



* 文章编号:1000-5811(2012)02-0001-08

Comparison of Carbohydrate Utilization in Batch and Continuous Operation of Anaerobic System

XUE Xu-dong, PENG Dang-cong, GOU Miao

(Key Laboratory of Ministry of Education of Northwest Water Resource and Environmental Ecology, School of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: Substrate utilization in a glucose-fed anaerobic reactor in continuous and batch system was investigated. In continuous system, concentration of glycogen and VFA remained the same, the substrate transformed into methane (79.34%) and microbial cells (20.66%), and hydrogen pressure was around 298 Pa. In batch system, 50% of the substrate fed was taken up rapidly as glycogen which accumulated in the cell, the rest was changed to VFA (25.05%), methane (11.56%) and microbial cell (13.22%). After the reaction, the percentage of glycogen and VFA was exhausted completely, and the substrate mainly changed to methane (78.13%) and microbial cells (20.60%). The maximum hydrogen pressure was 14.29 Pa. The utilization ways in two systems are different, but the results are similar. VFA accumulation slowed down due to glucose storage, which makes the system more stable in batch system.

Key words: anaerobic; batch; continuous; glucose; glycogen; storage; hydrogen

CLC Number: Q93-33

Document Code: A

0 Introduction

Continuous system is widely used in wastewater treatment, influent, effluent and reaction work together in the reactor. Substances remain the same in the system and microorganisms stay in unchanged surrounding with a steady state. In batch system, the operation is different from continuous system. Influent, effluent and reaction are separated in a cycle^[1]. And the anaerobic sequencing batch reactor (ASBR) is extensively used because of low price and easy handling^[2-4]. In ASBR, the substance concentration is maximum after influent, and decrease with the reaction^[5]. Microorganisms are exposed to variable substrate concentrations over a cycle, resulting in high rates of substrate conversion, efficient biomass flocculation and settling^[6]. These dynamics in the reactor give an environment in which the production of reserve polymers might provide a competitive advantage to those microorganisms capable of producing storage products^[7]. In published studies, the microorganisms have been shown to accumulate carbohydrates as glycogen in the cell. For example, glycogen storage and degradation have been observed^[8,9]. Microbial accumulations of glycogen and glycogen-like compounds have been contact with the excess carbon source and nutrient deficiency in the reactor^[10]. But in the continuous system, microorganisms do not absorb carbohydrate into cells because of the invariable substances concentration.

* 收稿日期:2011-10-05

基金项目:国家自然科学基金项目(50878178)

作者简介:薛旭东(1983—),男,陕西省白水县人,在读博士生,研究方向:废水厌氧生物处理

The object of this study was finding the different degradation ways of the carbohydrate between continuous and batch system in anaerobic condition, the percent of each metabolic product and the different construction of biogas.

1 Materials and Methods

1.1 Laboratory-scale reactor

Two jacketed reactors with the same working volume (4.5 L) were used for both batch and continuous systems. Reactors were operated at 35 ± 1 °C with recirculation water, using intermittent agitation (30 s every 5 m at 300 rpm), and hydraulic retention time (HRT) was 1 d. Gas bags were used for biogas collection. The continuous system ran constantly, and the ASBR was operated with 8 h cycles consisting of feeding (30 min), reaction (400 min), settling (30 min), effluent (10 min) and idle (10 min). Floc sludge in the reactor which was inoculated from wastewater treatment plant has been cultured for more than 1 year.

Hydrogen utilization rate was determined by modified serum bottle method. The quantitative sludge was injected into a serum bottle with the free space full of hydrogen. A peristaltic pump was used for internal circulation aeration, and a gas bag with full of nitrogen which was controlled by a valve was placed to balance the pressure in the bottle because the pressure was decreased while hydrogen was used. Then gas constitution in the bottle at different time was analyzed with GC.

1.2 Substrate and nutrient solution

Substrate was 4 kg chemical oxygen demand (COD)/m³ · d with glucose feeding, C : N : P was controlled at 300 : 5 : 1. Nutrient solution was: NaCl 120, MgCl₂ · 6H₂O 49, Na₂SO₄ 43, FeSO₄ · 7H₂O 5.53, MnCl₂ · 4H₂O 2.02, CaCl₂ · 2H₂O 0.59, ZnCl₂ 0.67, NiCl₂ · 6H₂O 0.65, CuCl₂ · 2H₂O 0.16, CoCl₂ · 6H₂O 0.48, H₃BO₃ 0.063, Na₂MoO₄ · 2H₂O 0.004 5 (in milligram per liter) ^[11].

1.3 Analytical methods

COD, ammonia nitrogen, total suspended solid (TSS) and volatile suspended solid (VSS) were determined according to standard methods^[12]. pH was determined by glass-electrodes method. Partial pressure of hydrogen and volatile fatty acid (acetic and propionic) were analyzed with GC (Agilent 6890 N). The specific methanogenic activity (SMA) of formate, acetate, propionate and butyrate were analyzed in serum bottles. Glycogen in cells was determined according to anthrone colorimetry method. And hydrogen utilization rate was determined by modified serum bottle method.

1.4 Calculations

In the system, COD balance can be evaluated with formula 1 and 2.

$$\text{COD}_{\text{influent}} = \text{COD}_{\text{soluble}} + \text{COD}_{\text{methane}} + \text{COD}_{\text{biomass}} + \text{COD}_{\text{glycogen}} \quad (1)$$

$$\text{COD}_{\text{remove}} = \text{COD}_{\text{influent}} - \text{COD}_{\text{soluble}} = \text{COD}_{\text{methane}} + \text{COD}_{\text{biomass}} + \text{COD}_{\text{glycogen}} \quad (2)$$

COD_{influent} — total COD in the influent water;

COD_{soluble} — soluble COD in the reactor, mostly were VFA;

COD_{methane} — the cumulative methane production determined by Gas flow counter and GC, the former determine total gas production, the latter detect the percent of methane, then dividing by 0.395 L methane/g COD (35 °C, 1atm).

COD_{biomass} — COD used for biomass production, calculated by ammonia nitrogen decrement.

COD_{glycogen} — COD of glycogen was calculated as 1.066 7 g COD/g glycogen.

COD_{remove} — COD removed from the mixed liquor.

Some parameters were shown in Tab. 1. γ_1 , γ_2 and γ_3 were different parts of glycogen in the micro-organisms. ϵ_1 , ϵ_2 , ϵ_3 and ϵ_4 stand for the percentage of COD_{glycogen}, COD_{biomass}, COD_{methane} and COD_{soluble} in COD_{influent}.

In the Tab. 1: X_{sto} is the stored glycogen in microorganisms, X_g is the total glycogen in microorganisms. X stand for MLVSS.

Hydrogen utilization rate (HUR) can be evaluated with formula 3

$$\text{HUR} = \frac{(C_0 - C_1) \times V \times 2}{22.4 \times T \times X}$$

(3)

In the formula, 2 is molecular weight of hydrogen, 22.4 is molar volume of gas

C_0 —— percentage of hydrogen in the bottle at beginning of reaction

C_1 —— percentage of hydrogen in the bottle after while of reaction

V ——volume of the free space

T ——reaction time when get the sample

X ——quantity of the sludge

Tab. 1 Parameters in the research

Parameters	Definition	Formula	Unit
γ_1	Stored glycogen per unit MLVSS	$\gamma_1 = X_{\text{sto}} / X$	mg/gVSS
γ_2	Total glycogen per unit MLVSS	$\gamma_2 = X_g / X$	mg/gVSS
γ_3	Fixed glycogen per unit MLVSS	$\gamma_3 = \gamma_2 - \gamma_1$	mg/gVSS
ϵ_1	Percentage of stored glycogen in total COD	$\epsilon_1 = \text{COD}_{\text{glycogen}} / \text{COD}_{\text{influent}}$	%
ϵ_2	Percentage of biomass production in total COD	$\epsilon_2 = \text{COD}_{\text{biomass}} / \text{COD}_{\text{influent}}$	%
ϵ_3	Percentage of methane production in total COD	$\epsilon_3 = \text{COD}_{\text{methane}} / \text{COD}_{\text{influent}}$	%
ϵ_4	Percentage of soluble COD in total COD	$\epsilon_4 = \text{COD}_{\text{soluble}} / \text{COD}_{\text{influent}}$	%
Y_{sto}	Percentage of stored glycogen in removed COD	$Y_{\text{sto}} = \text{COD}_{\text{glycogen}} / \text{COD}_{\text{remove}}$	%
Y_{bio}	Percentage of biomass production in removed COD	$Y_{\text{bio}} = \text{COD}_{\text{biomass}} / \text{COD}_{\text{remove}}$	%
Y_{gas}	Percentage of gas production in removed COD	$Y_{\text{gas}} = \text{COD}_{\text{methane}} / \text{COD}_{\text{remove}}$	%

2 Results and Discussion

In batch system, MLVSS was 8.81 g/L, SRT was controlled at 15 d with 0.15 g/L SS in effluent and 225 mL/d mud removing, and SVI was 51.08 mL/g. In continuous system, there were plenty of filamentous microorganisms in the rector because of the low substrate, MLVSS was 5.01 g/L, SRT was controlled as same as the batch system with 0.25 g SS /L in the effluent and 75 mL/d mud removing, and SVI was higher than batch system (95.81 mL/g). In continuous system, reaction goes continuously without cycle, but in order to compare with batch system easier, the data of 8 h (a cycle in batch system) was taken out as a cycle.

2.1 Glycogen

Glycogen in different systems was shown in Fig. 1. In continuous system, reactor was stayed in an unchanged surrounding, glycogen in microorganisms remained the same, there was no glycogen stored in microorganisms, γ_1 approximated to 0, and γ_2 was as same as γ_3 (meanvalue 137.19 mg/gVSS). In batch system, a mass of substrate got into the reactor during influent, a part of substrate was turned to VFA while the other was stored in the microorganisms as glycogen, γ_1 (63.39 mg/gVSS) and γ_2 (244.77 mg/gVSS) reached the maximum at the end of the influent. With the reaction carried on, glycogen was exhausted gradually by the microorganisms, at the end of the reaction, γ_2 (181.38 mg/gVSS) decreased to the minimum, and was as same as γ_3 . As reported, the glycogen stored by granular sludge was 63~129 mg/gVSS^[13] and 2.6~18 mg/gVSS in extracellular polymers in UASB^[14]; also it was similar to the glyco-

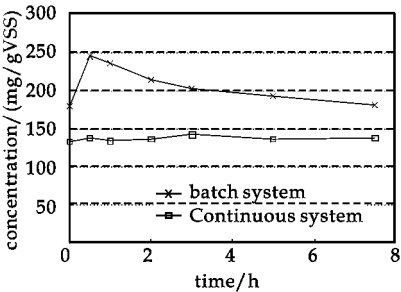


Fig. 1 Glycogen change a cycle in different systems

gen (111.2 mg/gVSS) in ASBR with granular sludge^[15]. But in this research, it was floc sludge in reactor, glycogen in the microorganisms reached up to 134~245 mg/gVSS which was much higher than reported. Different sludge shape and structure mean different microbial quotient and component in the reactor, and bring about the big different of glycogen in the microorganisms. Moreover, γ_3 in batch system was obvious higher than it in continuous system, and there was not any stored glycogen in continuous system. It indicated that there was a part of stored glycogen stayed in cells for keeping the microorganisms' normal existence when substrate was not enough. This part of glycogen occupied 24% of γ_3 in batch system. In continuous system, this part of glycogen was inexistence without the variational substrate.

2.2 COD, pH and VFA

In two different systems, each of the substrate concentration showed special slope-change trend because of different influent. In batch system, influent last half an hour, COD (418.84 mg/L, Fig. 2 (a)) and VFA reached the highest, and pH (6.66, Fig. 2 (a)) decreased to the least at the end of the influent. VFA was constructed mostly of acetic and propionic, with the maximums were 96.66 mg/L and 186.14 mg/L respectively in Fig. 2 (c). After the influent, COD and VFA reduced gradually with the reaction going on. At the end of the reaction, COD, acetic and propionic decreased to the least, which were 115.23 mg/L, 5.08 mg/L and 48.91 mg/L respectively, pH raised up to 6.95 (Fig. 2 (a) and (c)), as same as the COD, VFA and pH before influent, then the reactor processed to the next cycle. In continuous system, substrate went into the reactor continuously at low and unchanged level, COD, VFA and pH remained stable, VFA was consisted of propionic and a few of acetic, and each meanvalue of COD, acetic, propionic and pH were 67.40 mg/L, 41.78 mg/L, 4.51 mg/L and 6.85 respectively (Fig. 2 (b) and (d)). In different systems, the percentage of propionic in VFA was different. Propionic was the main component of VFA in batch system, but that was opposite in continuous system, there was only a few of propionic. Because the SMA of propionic in two systems were very different from each other, which in batch system was higher than in continuous system. It caused much of substrate transformed to acetic, and the concentration of propionic was very low in continuous system.

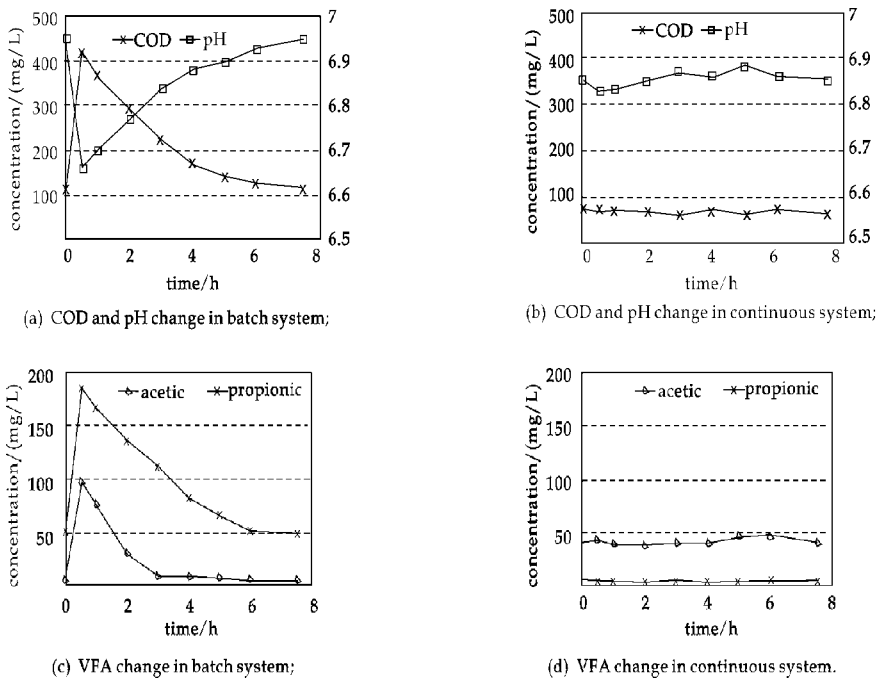


Fig. 2 COD, pH and VFA change in a cycle in different systems

2.3 Sludge production

The main way to remove ammonium nitrogen is biomass production in anaerobic system. In this research, we determine COD which used for biomass production by decreased ammonium nitrogen and the molecular formula of microorganism ($C_5H_7NO_2$)^[16]. ammonium nitrogen in the influent was 63.23 mg/L in both systems and the change in a cycle were shown in Fig. 3. In batch system, a mass of ammonium nitrogen was utilized in the influent; the concentration was 10.91 mg/L (160.75 mg/L COD_{biomass}). Then ammonium nitrogen decreased gradually with the reaction going on; in the final phase of the reaction, it went up a little because biomass decomposed itself in lacking substrate surrounding. The concentration of ammonium nitrogen was 3.27 mg/L (251.24 mg/L COD_{biomass}). In continuous system, ammonium nitrogen was held in a low level because of the slow influent, mean concentration of it was 4.22 mg/L, (249.45 mg/L COD_{biomass}).

2.4 Biogas

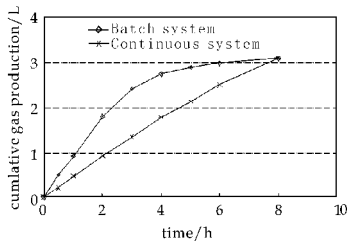


Fig. 4 Cumulative gas production in a cycle in different systems

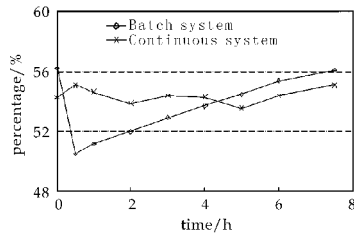


Fig. 5 Percentage of methane in biogas change in a cycle in different systems

Biogas production is the main method to remove the COD in anaerobic system. In batch system, all the substrate went into reactor in the influent; enough substrate ensured the microorganisms produced biogas with full speed, and the variation curve of cumulative biogas production was a straight-line at beginning of the reaction (Fig. 4). Plenty of carbon dioxide were produced because of the fermentation, the percentage of methane reduced to the least (50.5%, Fig. 5) at the end of influent. As the reaction going on, the speed of biogas production was obviously slow after 3 hs because the concentration of acetic decreased to a very low level (less than 10 mg/L, Fig. 2 (c)); the percentage of methane increased with the hydrogen and carbon dioxide were used by microorganisms. At the end of the cycle, cumulative biogas production was 3.1 L (Fig. 4), the percentage of methane rose up to 56.1% (Fig. 5). In continuous system, the speed of biogas production remained unchanged, the variation curve looked like a straight-line all over the reaction, the cumulative biogas production was 3.11 L (Fig. 4) in 8 hs, almost the same as the batch system; meanvalue of the percentage of methane was 54.4% respectively (Fig. 4).

2.5 Hydrogen partial pressure

Hydrogen partial pressure is a very important parameter in anaerobic system. It impacts the speed of VFA transformation in the system. In batch system, hydrogen partial pressure reached the maximum (14.3 Pa, Fig. 6) after influent, and then it reduced with the reaction and decreased to 3.5 Pa at the end of the cycle. In continuous system, Hydrogen partial pressure was about 20 times to batch system and unchanged (about 291.3 Pa). It was reported the highest hydrogen partial pressure was about 200 Pa in anaerobic system^[17], and hydrogen yield in continuous system was higher than batch system^[18]. But in

our research, the hydrogen partial pressure was much higher than reported. This phenomenon could be explained by two points.

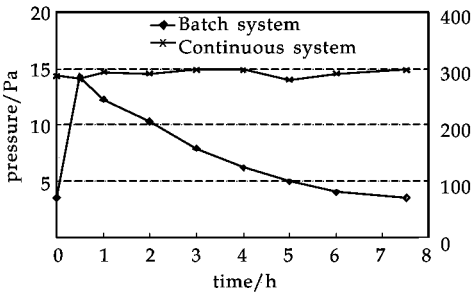


Fig. 6 Hydrogen pressure change in a cycle in different systems

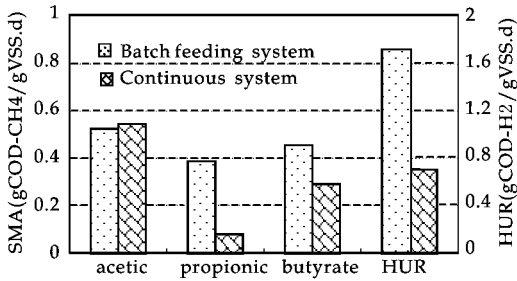


Fig. 7 SMA and HUR in different systems

(1) Different hydrogen utilization rate (HUR, Fig. 7), each of them was 8.954 mg/h · gVSS (1.719 g COD-H₂/gVSS · d) in batch system and 3.659 mg/h · gVSS (0.703 g COD-H₂/gVSS · d) in continuous system. Low utilization rate cause more hydrogen accumulated in the reactor.

(2) It was reported that 41%~46% of the substrate in the influent was stored in the microorganism as glycogen, only 34%~38% was hydrolyzed to VFA^[19], less substrate hydrolyzed meant less H₂ production during the hydrolyzing. In our research, the storage substrate was about 50% (Tab. 2).

2.6 Specific methanogenic activity (SMA)

SMA is an important physical sign to describe the methanogenesis ability of methanogen. It indicates the maximum methane production of unit mass of sludge in unit time and the utilization of different VFA in the reactor. SMA in different system was shown in Fig. 7. In batch system, SMA of acetic, propionic and butyrate were 0.521 5 g COD-CH₄/gVSS · d, 0.382 8 g COD-CH₄/gVSS · d, 0.453 5 g COD-CH₄/gVSS · d respectively. In continuous system, they were 0.544 6 g COD-CH₄/gVSS · d, 0.076 8 g COD-CH₄/gVSS · d, 0.289 0 g COD-CH₄/gVSS · d. Total SMA of batch and continuous system were 1.357 8 g COD-CH₄/gVSS · d and 0.910 4 g COD-CH₄/gVSS · d, MLVSS in batch system (8.81 g/L) was higher than continuous system (5.01 g/L). That means the treatment capacity in batch system was higher than continuous system, and with the different MLVSS in two systems, sludge in continuous system always worked on high burden, this is not good for a stable system.

Hydrogen Utilization Rate (HUR) shows the ability of sludge to use hydrogen in the reactor. HUR was 1.719 g COD-H₂/gVSS · d in batch system and 0.703 g COD-H₂/gVSS · d in continuous system. Low HUR cause more hydrogen accumulated in the reactor. As we know, hydrogen pressure which ensure propionic metabolism is less than 10 Pa. High partial pressure of hydrogen limited the propionic metabolism ability in continuous system and SMA of propionic in continuous system was much less than batch system.

2.7 Utilization of the substrate in different system

Tab. 2 Parameters in different time and system

System	Time	$\epsilon_1/\%$	$\epsilon_2/\%$	$\epsilon_3/\%$	$\epsilon_4/\%$	$Y_{sto}/\%$	$Y_{bio}/\%$	$Y_{gas}/\%$
Batch	End of influent	50.17	13.22	11.56	25.05	66.94	17.63	15.43
	End of reaction	1.18	20.60	78.13	0.09	1.18	20.62	78.20
Continuous		0	20.66	79.34	0	0	20.66	79.34

The results (Tab. 2) showed that 36.61% of total COD was transformed to VFA (acetic and propionic, $\epsilon_3 + \epsilon_4$) in the influent and 50.17% was stored (ϵ_1), a part of the VFA was changed to biogas (11.56% of total COD, ϵ_3), others stayed in the mixed liquor (25.05% of total COD, ϵ_4). This phenomenon is different from the absorption and utilization of VFA in biological phosphorus removal. In bi-

ological phosphorus removal, VFA are absorbed and stored as PHB by phosphate accumulating organisms (PAO) in anaerobic surrounding, and the PHB is oxidized in oxic zone. But in ASBR, glucose storage and fermentation work together, and the storage is major (50.17% of total COD). At the end of the reaction in batch system, most of glycogen and VFA were transformed to biogas (79.44% of total COD, ϵ_3) and microorganism cells (20.94% of total COD, ϵ_2), ϵ_1 and ϵ_4 decreased approximately to 0. In continuous system, it was as same as the end of reaction in batch system; glucose was immediately transformed to biogas (79.34 of total COD, ϵ_3) and microorganism cells (20.66% of total COD, ϵ_2), glycogen and VFA were not detected in the reactor. The way of substrate utilization is different in two systems because of different influent. Glycogen storage is an important way to remove COD from the mixed liquor at beginning of the reaction in batch system. And the final way to remove COD is similar, all of the glucose is transformed to biogas and microorganism cells.

2.8 Metabolic method of different systems

In traditional continuous system, the degradation complex organic (carbohydrate) is 3 steps: (1) substrate is changed to VFA by acid-producing bacteria; (2) VFA is transformed to acetic and hydrogen by hydrogen-producing acetogens; (3) methanogen use the acetic and hydrogen to produce methane. In batch system, the degradation of substrate has two ways to transform, one is VFA, and the other is glycogen stored in the microorganisms, then the glycogen is transformed to VFA gradually. The storage of glycogen can decrease the accumulation of VFA, which gives good condition to hydrogen-producing acetogens and methanogen, keep the balance of anaerobic system, and ensure the methanogenesis.

We name the microorganism which store the glycogen rapidly as glycogen-accumulating organism. In batch system, more percent of glycogen-accumulating organisms exist in system, more glycogen will be stored, less VFA will be accumulated, and more organic load will be disposed. So the glycogen-accumulating organism contributes much to steady the ASBR system.

3 Conclusions

(1) The way of substrate utilization is different in two systems. The degradation of substrate has two ways to transform in batch system, one is VFA (36.61%), another is glycogen (50.17%), and there isn't storage in continuous system. At last, the removal ways of COD in two systems are almost the same, biogas (79.34%~79.44%) and microorganism cells (20.66%~20.94%). Glycogen storage decreased the VFA production with the substrate was fed in.

(2) Hydrogen partial pressure was obviously different in two systems (291.3 Pa in continuous system and 14.3 Pa in batch system) because of different HUR (1.719 g COD- H_2 /gVSS · d in batch system and 0.703 g COD- H_2 /gVSS · d in continuous system) and glycogen storage (0 in continuous system and 50.17% in batch system). Low HUR caused hydrogen accumulated and low SMA of propionic in continuous system.

(3) Total SMA in two systems was 1.357 8 g COD- CH_4 /gVSS · d in batch system and 0.910 4 g COD- CH_4 /gVSS · d in continuous system, and the MLVSS in continuous system (5.01 g/L) was less than batch system (8.81 g/L). That means sludge in continuous system worked on a higher burden than batch system. This was disadvantageous in a stable and long-time running system.

References

- [1] Angenent LT, Dague RR. A laboratory-scale comparison of the UASB and ASBR processes[J]. 50th Purdue Industrial Waste Conference Proceedings, Ann Arbor Press, Chelsea, Mich. 365-377.
- [2] L. H. Ketchum. ASBR treatment of coal conversion wastewater, Report 1989, Avail. NTIS[J]. From Energy Res. Abstr. 1990

,15 (9) :Abstr. ,NO. 21157.

[3] Udem James Ndon. ASBR treatment of low strength wastewater[J]. Avail . Univ. Microfilms Int, Order NO: DA 9531772 From Diss. Abstr. Int. B 1995, 56 (5):2765.

[4] Dague R R, Banik G C, Ellis T G. Anaerobic batch feeding reactor treatment of dilute wastewater at psycrophilic temperatures[J]. Water Environment Research, 1998,70(2), 155-160.

[5] M. Zaiat J. A. D. Rodrigues. Anaerobic batch feeding reactors for wastewater treatment: a developing technology[J]. Appl Microbiol Biotechnol,2001, 55: 29-35.

[6] Dague, R. R. , Habben, C. E. , Pidaparti, S. R. . Initial studies on the anaerobic batch feeding reactor[J]. Water Sci. Technol. 1992,26, 2 429-2 432.

[7] Beun, J. J. , Paletta, F. , Van Loosdrecht, *et al.* Stoichiometry and kinetics of poly-beta-hydroxybutyrate metabolism in aerobic, slow growing, activated sludge cultures[J]. Biotechnol. Bioeng, 2000,67, 379-389.

[8] Pol, L. W. H. , Lopes, S. I. D. , Lettinga, G. , *et al.* Anaerobic sludge granulation[J]. Water Res. 2004,38, 1 376-1 389.

[9] Hobson, P. N. , Nasr, H. . An amylopectin-type polysaccharide synthesised from sucrose by Cl[J]. butyricum. Chem. Soc. , 1951, 51, 1 855-1 857.

[10] Preiss, J. Bacterial glycogen-synthesis and its regulation[J]. Annu. Rev. Microbiol, 1984,38, 419-458.

[11] Jian Xing. Effects of a long-term periodic substrate perturbation on an anaerobic community[J]. War. Res, 1997,31(9): 2 195-2 204.

[12] State Environmental Protection Bureau of China. Monitoring and analysis method of water and waster water[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2005.

[13] Grotenhuis J T, Smit M, Vanlammeren A A, *et al.* Localization and quantification of extracellular polymers in methanogenic granular sludge[J]. Appl. Microbiol. Biotechnol. , 1991, 36:115-119.

[14] Schmidt J E, Ahring B K. Extracellular polymers ingranular sludge from different upflow anaerobic sludgeblanket (UASB) reactors[J]. Appl. Microbiol Biotechnol, 1994, 42:457-462.

[15] Shimada T, Zilles J, Raskin L, *et al.* Carbohydrate storage in anaerobic batch feeding reactors[J]. Water Research, 2007, 41 (20):4 721-4 729.

[16] Bruce E. Rittmann, Perry L. McCarty. Environmental Biotechnology: Principles and Applications[M]. McGraw-Hill Companies, Inc. ,2001.

[17] Ahn Y-H. Physicochemical and microbial aspects of anaerobic granular pellets[J]. Environ Sci Health 2000; A35(9):17-35.

[18] Muhammad Farhan Arooj, Sun-Kee Han, Sang-Hyun Kim. Sludge characteristics in anaerobic SBR system producing hydrogen gas[J]. Water research. 2007,41: 1 177-1 184.

[19] Dangcong Peng. Effects of F/M on the uptake, storage and utilization of carbonhydrate in ASBR[J]. Environmental Science, 2009, 30(2): 427-431.

厌氧条件下序批操作与连续操作对基质利用的影响

薛旭东, 彭党聪, 苟 苗

(西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 西安建筑科技大学环境与市政工程学院, 陕西 西安 710055)

摘 要:研究了在厌氧条件下以葡萄糖为基质的序批操作与连续操作反应器中微生物利用基质的不同途径. 结果表明, 在连续操作中, 反应器内的 VFA 及污泥中的糖原含量保持不变, 葡萄糖被用于产生甲烷和微生物增殖, 两者分别占进水 COD 的 79.34% 和 20.62%, 氢分压在 298 Pa 左右. 在序批操作中, 当进水结束时, 50.17% 的葡萄糖被转化为糖原储存于细胞体内, 反应器内的 VFA、产生的甲烷及微生物增殖分别占进水 COD 的 25.05%、11.56% 和 13.22%; 当反应结束时, 葡萄糖转化为甲烷和微生物细胞的部分分别占进水 COD 的 78.13% 和 20.6%, 积累的 VFA 及储存的糖原被微生物代谢, 最高氢分压为 14.29 Pa. 两种不同操作模式下葡萄糖的代谢途径不同, 序批式反应器中由于糖原储存的存在, 减缓了 VFA 的积累, 为厌氧系统的高效、稳定运行提供了保证.

关键词:厌氧; 序批操作; 连续操作; 葡萄糖; 糖原; 储存; 氢

中图分类号:Q93-33 **文献标识码:**A

* 文章编号:1000-5811(2012)02-0009-03

不同栽培模式杜仲体绿原酸含量积累动态的研究

杨秀芳, 汪 洋, 马养民

(陕西科技大学 教育部轻化工助剂化学与技术重点实验室, 陕西 西安 710021)

摘 要:研究杜仲绿原酸积累的动态规律, 为确定杜仲合理栽培模式和最佳采收期提供依据. 定期定点采集乔林栽培和叶林栽培的每年 4~10 月杜仲叶、皮样品, 采用高效液相色谱(HPLC)法, 分析杜仲体中绿原酸的含量. 结果表明杜仲体中绿原酸动态积累有一定规律, 叶林模式栽培的杜仲叶中绿原酸含量最高, 且在 6 月达到全年最大值. 实验结论: 根据杜仲体中的绿原酸积累动态规律, 杜仲的最佳栽培模式为叶林栽培, 最佳采收期为 6 月.

关键词:杜仲; 栽培模式; 绿原酸; 积累动态
中图法分类号:[R282.2] **文献标识码:**A

0 引言

杜仲 *Eucommia ulmoides* Oliv. 为杜仲科(Eucommiaceae)属落叶乔木, 为我国特产, 主产于四川、陕西、湖北等地^[1]. 绿原酸是杜仲中的重要成分, 具有利胆、抗菌、抗病毒、降压、增高白血球及兴奋中枢神经系统等多种药理作用, 是保健、医药等工业的重要原料^[2]. 杜仲中绿原酸的含量常作为评价杜仲叶品质的重要依据, 王太霞对杜仲叶生长发育过程中绿原酸含量的变化进行了研究, 但对不同栽培模式下叶、皮中有效成分动态变化情况较少提及.

杜仲栽培的模式有两种——乔林模式和叶林模式, 乔林模式是以获得木材为主要目的, 按传统方法进行种植的一种栽培模式, 其生长周期较长; 叶林模式是利用杜仲较强萌芽能力, 定植后每年春天从靠近地面处平茬, 并在主干上萌生出的枝条中选育 3 个不同方向、分布均匀的萌条构成开放型树冠, 以后每年春天进行平茬. 叶林模式是将高大乔木改育为灌木的种植模式^[3]. 本文采用 HPLC 法, 以绿原酸含量为评价指标, 研究了杜仲不同栽培模式、生长期有效成分积累动态变化规律, 探讨了杜仲的最佳采收时间, 为杜仲规范化种植提供依据.

1 实验材料、试剂及仪器

1.1 实验材料与试剂

1.1.1 材料处理

叶林栽培模式的杜仲叶、皮于 2010 年 4 月至 10 月每月 15 日采自西北农林科技大学苗圃平茬林; 乔林栽培模式的杜仲叶、皮于 2010 年 4 月至 10 月每月 15 日采于西北农林科技大学苗圃杜仲乔林. 随机采集同一株植物东、南、西、北各个方向的杜仲皮及杜仲叶. 用湿布将杜仲叶擦拭干净, 杀青、阴干后, 密封保存备用; 杜仲皮阴干后, 密封保存备用. 样品使用前, 将其粉碎并于 60℃真空干燥箱中烘至恒重.

1.1.2 试剂

绿原酸(中国药品生物制品检验所); 甲醇(色谱纯); 乙酸(色谱纯).

1.1.3 主要仪器

* 收稿日期:2012-02-08
作者简介:杨秀芳(1963—), 女, 陕西省铜川市人, 教授, 研究方向:天然产物的加工

岛津 LC-10ATvp 型高效液相色谱仪(日本岛津制造);SPD-10A 紫外检测器(日本岛津制造);KH5200B 型超声波清洗器(成都一科仪器设备有限公司).

1.2 方法

1.2.1 测定方法的建立

绿原酸含量测定采用高效液相法.参考文献后^[4],确定色谱条件:色谱柱为 ODS(250 mm×4.6 mm);以甲醇-水-乙酸(体积比 24:75:1)作流动相;流速为 1 mL/min;检测波长为 240 nm;进样量为 5 μL;柱温为 30℃.用甲醇配制浓度为 0.075,0.150,0.300,0.600,1.200 mg/mL 的一组绿原酸对照品溶液,分别吸取 10 μL 进行高效液相色谱仪分析测定,建立回归方程,考察在测定浓度范围内进样浓度与峰面积之间的线性关系.

1.2.2 样品处理及含量检测

分别准确称取 60℃真空干燥后的样品 1 g,加入 50 mL 体积分数为 50%的甲醇,80℃加热回流提取 2 h,过滤,并将滤液定容至 50 mL.用 0.45 μm 微孔滤膜过滤后,置于冰箱中冷藏待测.以选定的色谱条件下精密吸取供试样品溶液 10 μL 进样测定.

2 结果和分析

2.1 标准曲线

将绿原酸标准溶液注入高效液相色谱仪中,重复进样 3 次,并对所得的峰面积进行平均,以绿原酸浓度为横坐标,峰面积值为纵坐标,绘制标准曲线见图 1.

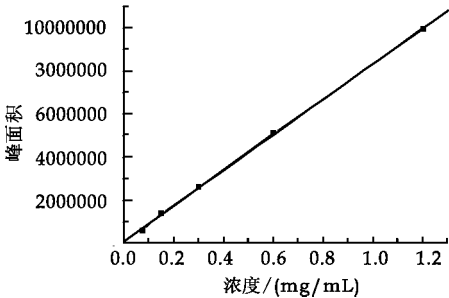


图 1 绿原酸标准曲线

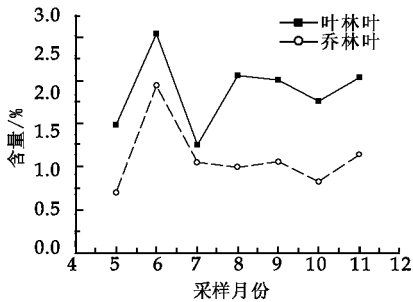


图 2 杜仲叶中绿原酸积累动态规律

由此可知,绿原酸在 0.075~1.2 mg/mL 的浓度范围内线性关系良好,由此得到回归方程: $y = 8 \times 10^6 x + 1.197\ 33 \times 10^5$, $r = 0.999\ 7$.

2.2 杜仲体内绿原酸积累动态规律

通过对待测样品峰面积的测定,可由回归方程得到待测样中绿原酸的浓度.再以各个植物样品的采样月份为横坐标,绿原酸含量为纵坐标绘图,得到绿原酸在杜仲体内随时间变化的规律.

2.2.1 杜仲叶中绿原酸积累动态规律

杜仲叶中绿原酸的积累动态规律见图 2.乔林叶和叶林叶中绿原酸的积累动态具有一定的相似性,绿原酸含量均在 6 月份达到最大值,两种栽培模式进行比较,叶林叶中的绿原酸含量明显高出乔林叶.

2.2.2 杜仲皮中绿原酸积累动态规律

叶林皮和乔林皮中绿原酸积累动态规律见图 3.叶林皮绿原酸含量在 10 月份达到全年最大值,乔林皮 6 月份绿原酸含量达到全年最大值,叶林皮绿原酸的最高含量高于乔林皮,但乔林皮在一年当中存在三个绿原酸含量较高的时期.

2.2.3 绿原酸积累动态规律比较

将杜仲中的绿原酸积累规律进行对比,结果见图 4.两种栽培模式中杜仲叶中绿原酸含量要明显高于杜仲皮的含量,尤其是叶林叶的绿原酸含量每月均超过其他 3 种样品.显示出叶林叶作为提取绿原酸植物原料方面具有独特的优势.若以绿原酸作为提取目标,杜仲栽培应选择叶林模式,并且以 6 月作为杜仲叶

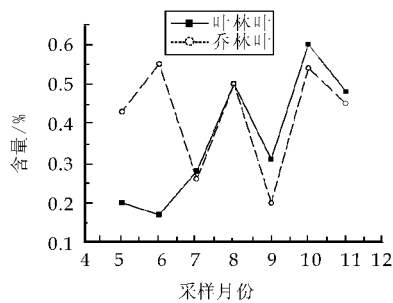


图 3 杜仲皮中绿原酸积累动态规律

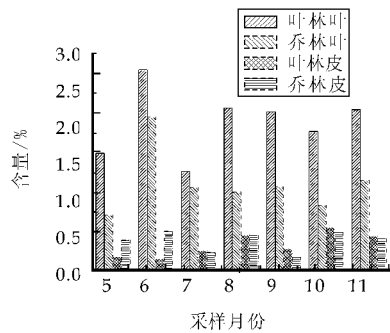


图 4 绿原酸积累动态比较

的最佳采收期。

3 结束语

采用高效液相色谱检测方法,对不同栽培模式下同一植株叶、皮中绿原酸积累规律进行了研究,发现杜仲叶是绿原酸合成、积累的主要器官;与乔林叶相比,叶林模式栽培的杜仲叶中绿原酸含量更高,且在 6 月达到全年峰值.该结果对药用植物用药部位确定、用药原料采收时间、种植资源可持续利用及生态保护具有重要意义.

参 考 文 献

[1] 杨 云,冯卫生. 中药化学成分提取分离手册[M]. 北京:中国中医药出版社,1998:172.
[2] 王太霞,赵红艳,柴志艳,等. 杜仲叶生长发育过程中结构和绿原酸含量的变化[J]. 时珍国医国药,2009;20(3):635-636.
[3] 徐咏梅,苏印泉,彭 锋,等. 杜仲乔林与叶林树皮中次生代谢物含量的比较[J]. 西北农林科技大学学报,2006;34(4):55-57.
[4] 董娟娥,马希汉. 反相高效液相色谱法同时分离测定杜仲雄花及其产品中的京尼平苷酸和绿原酸[J]. 色谱,2007;25(2):217-220.

Research on the Accumulation Dynamic of Chlorogenic Acid
in Eucommia Ulmoides Oliv Different Planting Patterns

YANG Xiu-fang,WANG Yang, MA Yang-min

(Key Laboratory of Auxiliary Chemistry & Technology for Chemical Industry, Ministry of Education, Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China)

Abstract: To study the extraction and separation technology of chlorogenic acid from Eucommia ulmoides leaves. Water extracting technology of chlorogenic acid was studied through the orthogonal test. Purification process of chlorogenic acid by column chromatography was discussed. The optimum technological parameters of water extraction were as followed: ratio of leaves to solvent was 1 : 8, extracting temperature was 80℃, extracting times was twice, the leaves were extracted by hot water for 70 min. With this method, the extraction yield of chlorogenic acid could reach 1.78%. Chlorogenic acid could be purified by D-101 macroporous resin column chromatography, silica gel column chromatography and Sephadex LH-20 column chromatography. The content of chlorogenic acid in the leaves of leaf-oriented tree model was higher.

Key words: Eucommia ulmoides Oliv.; cultivation pattern; chlorogenic acid; dynamic accumulation



* 文章编号:1000-5811(2012)02-0012-03

单宁酸在冷却水中的缓蚀性能研究

贾 峰¹, 李 波², 成晓敏¹

(1. 中北大学 化工与环境学院, 山西 太原 030051; 2. 山西省环境科学学会, 山西 太原 030024)

摘 要:采用失重法对单宁酸在冷却水中的缓蚀性能进行了试验研究,考察了温度、不同材质挂片等影响因素,并对单宁酸与 HEDP、ATMP 进行了复配.结果表明,单宁酸有一定的缓蚀性能,且随着水温的升高缓蚀率有所下降;45 ℃,投加量为 40 mg/L 时,对 A3 碳钢、H62 黄铜、1Cr18Ni9Ti 铝合金的缓蚀率分别为 46.7%、41.3%、39.4%;单宁酸与 HEDP、ATMP 分别复配后的缓蚀性能明显增强.

关键词:单宁酸;缓蚀;冷却水

中图法分类号:TQ085

文献标识码:A

0 引 言

目前,工业生产中使用的缓蚀剂多为磷系配方,磷系配方会随工业废水的排放而进入水体,不仅造成水体“富营养化”,而且严重污染环境,加剧了水资源短缺的同时对水处理提出更高的要求.随着人类环境保护意识的增强和可持续发展思想的深入,对缓蚀剂的开发和应用也提出了新的要求.围绕性能和经济目标,研究开发对环境不构成破坏作用,即运用绿色化学的思想研究和制备环境友好型缓蚀剂,成为未来缓蚀剂发展的方向^[1].单宁酸存在于多种植物及果实中,是自然界中十分丰富的天然有机资源之一,属于多元酚类化合物,单宁分子的每个结构单元都是由多环芳核和活性官能团组成;同时和其它水体腐殖质一样具有羧基、酚羟基、甲氧基、乙醇基、羰基等多种官能团,单宁酸具有亲水性、表面活性、离子交换能力、络合能力以及吸附分散能力等,它可作为絮凝剂、阻垢分散剂、缓蚀剂、离子交换树脂在水处理中得到应用^[2],因此单宁酸可以作为一种非磷系、无公害、易降解的绿色环保型缓蚀剂,在工业水处理领域有着理论研究价值和广阔的应用前景.早有文献报道,单宁酸具有一定的缓蚀性能,但对缓蚀的效率以及性能没有具体的数据和资料作为参考,因此本文将通过试验对单宁酸的缓蚀性能进行全面细致的考察,为后续深入研究提供参考.

1 实验部分

1.1 实验材料

主要仪器:GYXZFS-II 型旋转挂片腐蚀仪,北京广源科佑科贸有限公司;电子天平,奥豪斯公司;A3 碳钢挂片、H62 黄铜、1Cr18Ni9Ti 铝合金.

主要试剂:单宁酸,相对分子质量约为 1 701.23,天津恒兴公司;丙酮、无水乙醇、盐酸、氢氧化钠、六次甲基四胺,均为分析纯;羟基亚乙基二膦酸(HEDP)、氨基三亚甲基膦酸(ATMP),由山东泰和水处理有限公司提供,两者纯度均为 50%.

1.2 实验方法

本研究采用失重法,依据 GB/T18175-2000 进行.

实验条件:温度(40、45、50±1)℃,试片材质为 A3 碳钢、H62 黄铜、1Cr18Ni9Ti 铝合金,实验溶液体积与试片面积比为 32 mL/cm²,转速为 75 r/min,不进行预膜,试验时间为 72 h,实验用水为中北大学自

* 收稿日期:2012-01-16

作者简介:贾 峰(1980—),男,山西省太原市人,助教,硕士,研究方向:水污染控制工程

来水。

试片处理:试片表面积均为 28.0 cm²,将试片用滤纸把防锈油脂擦拭干净,然后分别在丙酮和无水乙醇中用脱脂棉擦洗(每 10 片试片用不少于 50 mL 上述试剂),置于干净滤纸上,用滤纸吸干,置于干燥器中 4 h 以上,称量(精确到 0.000 2 g)。

实验步骤:从试片挂入所要求温度的试液中起计算时间,72 h 后取出试片,酸洗去除腐蚀产物,去离子水洗、干燥称重;同时做未加水处理剂的空白实验;由试片在实验前后的质量损失计算出腐蚀率和缓蚀率。

2 结果与讨论

2.1 不同温度下单宁酸的缓蚀性能研究

采用失重法对单宁酸分别在 40 ℃、45 ℃、50 ℃ 的温度下对单宁酸的缓蚀性能进行了测试,试验材质为 A3 碳钢,实验结果如图 1 所示。

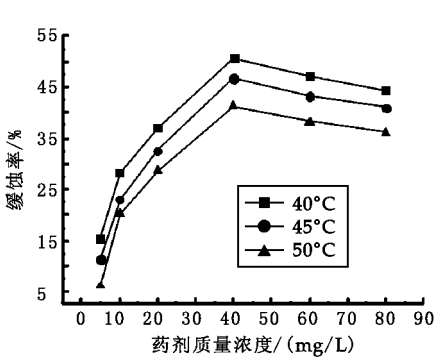


图 1 单宁酸在 40 ℃、45 ℃、50 ℃ 下缓蚀率与药剂质量浓度的关系

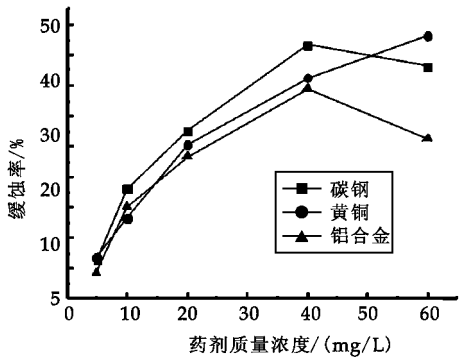


图 2 单宁酸对不同材质挂片的缓蚀性能影响

由图 1 可以看出,单宁酸的药剂质量浓度为 20 mg/L 时,40 ℃、45 ℃、50 ℃ 的缓蚀率分别为 28.2%、23.1%、20.3%;在药剂质量浓度为 40 mg/L 时单宁酸的缓蚀率达到最高,在 40 ℃、45 ℃、50 ℃ 的缓蚀率依次为 50.6%、46.7%、41.2%;药剂质量浓度超过 40 mg/L 时,单宁酸的缓蚀率没有继续升高,反而有轻微下降;说明单宁酸具有良好的缓蚀率,且缓蚀率随着温度的升高而逐渐下降。

2.2 单宁酸对不同材质的挂片缓蚀性能的研究

循环冷却水系统中过水的金属表面都会遭受不同程度的腐蚀,如输水管道、水泵、热换器、金属支架等。各种部件的材质各有不同,试验研究了单宁酸对 A3 碳钢、H62 黄铜、1Cr18Ni9Ti 铝合金的缓蚀性能,试验温度为(45±1)℃,结果如图 2 所示。

由图 2 可以看出,单宁酸对 A3 碳钢、H62 黄铜、1Cr18Ni9Ti 铝合金都具有一定的缓蚀性能;单宁酸对 H62 黄铜的缓蚀率随着药剂的增加而上升,A3 碳钢、1Cr18Ni9Ti 铝合金的缓蚀率随着药剂质量浓度的增加先上升后下降;药剂质量浓度为 40 mg/L 时,A3 碳钢、1Cr18Ni9Ti 铝合金的缓蚀率达到最大,分别为 46.7%、39.4%;药剂质量浓度为 60 mg/L 时,H62 黄铜的缓蚀率达到最大,为 48.2%。

2.3 单宁酸与 HEDP、ATMP 缓蚀性能的对比研究

试验也对单宁酸与市售常用磷系缓蚀剂 HEDP、ATMP 的缓蚀性能进行了对比研究,试验温度为(45±1)℃,采用 A3 碳钢挂片,试验结果如图 3 所示。

由图 3 可以看出,单宁酸的缓蚀率相比市售常用缓蚀剂 HEDP、ATMP 有一定差距;药剂质量浓度为 10 mg/L 时,单宁酸、HEDP、ATMP 的缓蚀率分别为 11.3%、21.4%、18.2%;药剂质量浓度为 40 mg 时,HEDP 的缓蚀率达到最大,为 60.4%,此后随着药剂投加量的增加,缓蚀率基本保持平稳;ATMP 的缓蚀率随着投药量的增加而增加,在 60 mg/L 时达到了最大,为 64.3%。

2.4 单宁酸与 HEDP、ATMP 复配缓蚀性能的研究

试验将单宁酸与市售常用磷系缓蚀剂 HEDP、ATMP 分别进行了复配,药剂复配质量浓度为 1:1,试

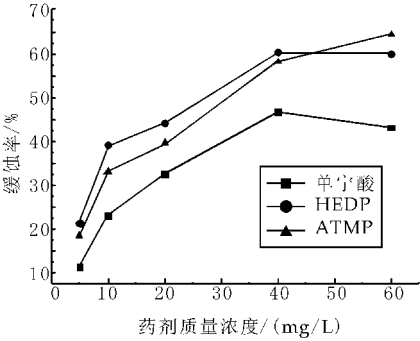


图 3 单宁酸与 HEDP、ATMP 缓蚀性能的对比

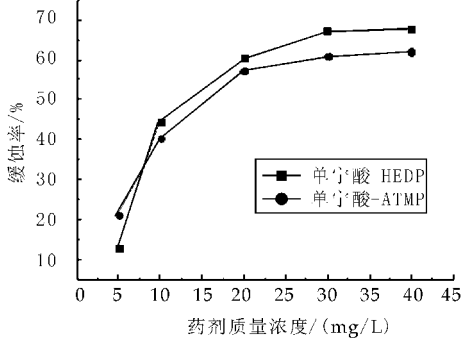


图 4 单宁酸与 HEDP、ATMP 分别复配后的缓蚀率与药剂质量浓度的关系

验温度为 $(45 \pm 1)^\circ\text{C}$ ，试片材质为 A3 碳钢，实验结果如图 4 所示。

由图 4 可以看出，单宁酸与 HEDP、ATMP 分别复配后的缓蚀率均随着投药量的增加而上升，在药剂质量浓度超过 30 mg/L 时，缓蚀率基本保持平稳；结合图 3，在药剂质量浓度为 20 mg/L 时，单宁酸、HEDP、ATMP、单宁酸 + HEDP、单宁酸 + ATMP 的缓蚀率分别为 32.6%、44.1%、39.6%、60.3%、57.1%，40 mg/L 时，缓蚀率依次为 46.7%、60.4%、58.2%、67.8%、62.1%；复配后比使用单一药剂的缓蚀性能都要好，说明单宁酸与 HEDP、ATMP 复配后具有协同增效效应，可以部分减少磷系缓蚀剂 HEDP、ATMP 的使用量。

3 结论

- (1)单宁酸有一定的缓蚀性能，质量浓度为 40 mg/L 时达到了最大，此后随着质量浓度的增加，缓蚀率反而有所下降。
- (2)单宁酸对不同材质，A3 碳钢、H62 黄铜、1Cr18Ni9Ti 铝合金都具有一定的缓蚀性能，药剂质量浓度为 40 mg/L 的缓蚀率分别为 46.7%、41.3%、39.4%。
- (3)单宁酸与市售常用磷系缓蚀剂 HEDP、ATMP 复配后能增强缓蚀性能，能减少 HEDP、ATMP 的使用量。

参考文献

[1] 王慧龙,郑家荣. 环境友好缓蚀剂的研究进展[J]. 腐蚀科学与防护技术,2002,14(5):275-279.
[2] 秦小玲,刘艳红. 植物单宁在水处理中的应用[J]. 工业水处理,2006,26(3):28-29.

Study on the Corrosion Inhibition Performance of Tannic Acid in Cooling Water

JIA Feng¹, LI Bo², CHENG Xiao-min¹

(1. College of Chemical & Environmental Engineering, Taiyuan 030051, China; 2. Society For Environmental Sciences of ShanXi Province, Taiyuan 030024, China)

Abstract: Weight loss method was used to experimental study to the corrosion inhibition performance of tannic acids in cooling water. Affecting factors including temperature, specimen with different materials were studied, and compound with HEDP、ATMP. The results showed that tannic acids had an better corrosion inhibition, but the corrosion inhibition with the of temperature drop. When dosage of tannic acids was 40 mg/L, the corrosion inhibitions of A3 carbon steel、H62、1Cr18Ni9Ti is 46.7%、41.3%、39.4% respectively in the water temperature of 45 degrees. It is significantly increased that the corrosion inhibitor of the combinations by tannic acid with HEDP、ATMP.

Key words:tannic acid; corrosion inhibitor; cooling water



* 文章编号:1000-5811(2012)02-0015-05

安塞地区长 10_1 相对高渗储层 特征及控制因素分析

王新锋^{1,2}, 刘正伟², 刘新菊², 刘晓锋², 张 龙², 曹 丽²

(1. 西安石油大学 油气资源学院, 陕西 西安 710065; 2. 长庆油田分公司第一采油厂, 陕西 延安 716009)

摘 要:安塞地区长 10_1 物性变化大, 高渗带高产, 低渗带不出油, 勘探风险大. 为了更好的认识长 10_1 油层, 引入了相对高渗储层的概念. 利用岩心、薄片、扫描电镜、粒度、图像、X 衍射、物性、压汞等多种分析手段, 研究了安塞地区长 10_1 相对高渗储层的岩石学特征、成岩作用特征及孔隙结构特征, 并分析出形成相对高渗储层的影响因素. 研究表明, 安塞地区长 10_1 相对高渗储层为中粗粒-中粒含浊沸石长石砂岩和岩屑砂岩, 成分成熟度较高, 胶结物主要为绿泥石胶结, 成岩作用主要表现为次生溶蚀, 储集层主要为浊沸石溶蚀孔、长石溶蚀孔及残余粒间孔; 相对高渗储层的影响因素主要有储层的沉积相、胶结物、成岩作用、裂缝及构造作用.

关键词:安塞地区; 长 10_1 ; 相对高渗储层; 控制因素

中图法分类号:[TE122.2⁺3]

文献标识码:A

0 引 言

随着对低渗透储层油气勘探的不断深入, 在普遍高低孔低渗储层背景下常常可以找到相对优质的储集层段^[1,2]. 鄂尔多斯盆地在已探明的石油储量中, 油层渗透率在 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 左右的约占 70% 以上, 可以看出相对高渗优质储层的重要性. 安塞地区长 10_1 砂体及储层物性变化大, 高渗带高产, 低渗带不出油, 勘探评价风险极大. 因此, 开展安塞地区长 10_1 相对高渗储层特征研究有非常重要的理论意义和实际意义.

1 相对高渗储层的界定

相对高渗储层是指在普遍低孔隙度、低渗透率背景下的相对较好的有效储层, 又称优质储层或“甜点”^[3]. 根据对安塞地区长 10_1 层 115 口试油井共 190 个试油点, 其中油层 63 个试油点, 油层 98 个试油点, 水层 29 个试油点, 进行声波时差-电阻率交会(图 1), 得出油层判别的电性下限 $\Delta t > 230 \mu\text{s/m}$, $R_i \geq 30 \Omega \cdot \text{m}$; 水层判别的电性下限 $212 \mu\text{s/m} \leq \Delta t \leq 230 \mu\text{s/m}$, $R_i \geq -0.7839 \Delta t + 214.21$.

2 相对高渗储层的特征

2.1 岩石学特征

通过对安塞地区 55 口取芯井长 10_1 段 110 块铸体薄片观察, 发现安塞地区长 10_1 主要为长石砂岩, 岩屑长石砂岩少量(图 2), 其中碎屑组分中石英含量介于 13.7%~49% 之间, 平均约 23.91%, 长石含量介于 28%~64% 之间, 平均约 46.98%, 岩屑含量介于 4%~29.2% 之间, 平均约 10%^[4].

统计相对高渗储层铸体薄片分析结果发现, 安塞地区长 10_1 相对高渗储层石英平均含量 31.53%, 长

* 收稿日期:2012-01-25

基金项目:国家自然科学基金项目(41102083);西安石油大学博士启动基金(YS29030504)

作者简介:王新锋(1981—),男,新疆拜城县人,工程师,在读硕士生,研究方向:油气田开发

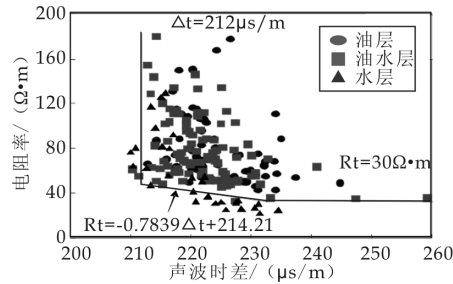


图 1 安塞油田长 10₁ 段声波时差-电阻率交汇图

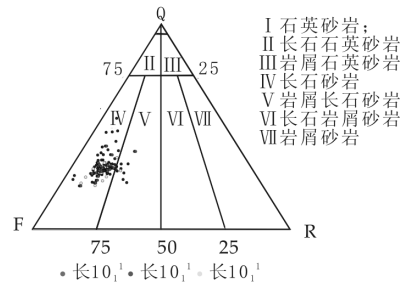


图 2 安塞油田长 10₁ 油层组岩石类型三角图

石平均含量 43.93%，岩屑平均含量 12.06%，而相对低渗储层石英平均含量 21%，长石平均含量 52%，岩屑平均含量 8.5%，由此可见相对高渗储集层石英含量大于 22%，普遍较高，岩屑含量大于等于 10%。

安塞地区长 10₁ 填隙物组分类型多样，总体含量不高，介于 6%~35% 之间，但平面上变化较大。浊沸石普遍发育，含量最高，平均 7.12%，其次为绿泥石膜、方解石和铁方解石，其中绿泥石膜平均 2.76%，方解石平均 1.68%，铁方解石平均 1.34%。除此之外，还有石英加大边、自生石英颗粒等硅质和水云母假杂基化，重晶石、长石质和黄铁矿等。统计相对高渗储层铸体薄片分析结果，安塞地区长 10₁ 相对高渗储层浊沸石平均含量 6.8%，绿泥石膜平均含量 1.4%，方解石的平均含量 1.06%，而相对低渗储层或者浊沸石平均含量高或者方解石平均含量高，由此可见安塞地区长 10₁ 相对高渗储层胶结物中浊沸石普遍高于其他胶结物，绿泥石膜普遍发育，硅质胶结较为发育。

据铸体薄片鉴定资料分析，安塞地区长 10₁ 砂岩粒度分选较好，磨圆度多为次棱角状，胶结类型主要为孔隙式，次为薄膜—孔隙式和加大孔隙式。砂岩结构成熟度中等。砂岩粒径主要居于 0.05~0.5 mm 范围内，其中以 0.25~0.5 mm 中砂为主，部分达到粗砂级^[5]。统计相对高渗储层铸体薄片及粒度分析结果，长 10₁ 相对高渗储层粒度均较粗，主要为中粗粒、粗中粒、细中粒等。

2.2 成岩作用类型及特征

对安塞油田长 10₁ 铸体薄片、扫描电镜、X-衍射和电子探针等资料的综合研究，认为长 10₁ 砂岩储集层在埋藏成岩过程中发生的成岩作用主要为致密成岩和改善成岩作用，前者包括机械压实和压溶作用、胶结作用和交代作用，后者主要为溶蚀作用和裂缝作用^[6]。

安塞地区长 10₁ 各段砂岩在埋藏成岩过程中经历了不同程度的压实作用。在安塞长 10₁ 砂岩中石英矿物成分含量较低，碎屑颗粒呈拉长延伸状定向排列，贴面接触，石英颗粒多呈凹凸接触，甚至镶嵌接触。位于刚性颗粒之间的软组分由松软状变为致密状，孔隙空间极大缩小，颗粒长轴定向、半定向性排列，云母受挤压弯曲等。压溶作用在研究区表现为石英、长石的次生加大，并使得颗粒间的接触关系由最初的点接触、点+线或线接触变成凹凸接触甚至缝合线接触。这一过程造成孔隙空间进一步压缩，喉道变窄，配位数减少，孔隙的连通性变差。

安塞地区长 10₁ 储层的胶结物类型多样，主要包括粘土矿物、浊沸石胶结物、碳酸盐胶结物、石英加大硅质胶结物。除此之外，还有极少量的重晶石、长石质和黄铁矿等。

安塞地区长 10₁ 镜下主要见到浊沸石和方解石交代碎屑长石、岩屑颗粒，程度由较弱至强烈。浊沸石和方解石大部分充填于粒间孔隙中，沿着碎屑颗粒边缘进行交代，被交代的碎屑颗粒边缘多为锯齿状，蚕食状、港湾状，部分颗粒甚至孤立地漂浮在胶结物之中。

安塞地区长 10₁ 储层中溶解作用十分强烈，溶蚀孔隙在 0.5%~9.5% 之间，平均达 3.95%，对孔隙度的贡献率平均达 57.43%，超过了一半，是第一大孔隙类型，可见其对储层物性的改善起到了至关重要的作用。主要发育长石溶蚀、浊沸石溶蚀和岩屑溶蚀。

安塞地区长 10₁ 储层中裂缝发育程度较高，在岩芯观察时见到明显的裂缝发育。镜下可观察到微裂缝的薄片数量占 11.25% 含量较少，表明微裂缝分布不均匀，且微裂缝贡献的面孔率均在 0.2%~1.0% 之间，微裂缝对研究区渗透率总体影响有限。

2.3 孔隙类型及孔隙结构

安塞地区长 10₁ 储层孔隙类型主要为溶蚀孔(占 55%)和粒间孔(占 44%)，其中溶蚀孔主要为长石溶

孔(最大 6.9%, 平均 1.43%)和沸石溶孔(最大 6%, 平均 1.04%), 其次为岩屑溶孔(最大 1.2%, 平均 0.29%), 微裂缝(最大 2%, 平均 0.1%,)和粒间溶孔(最大 2%, 平均 0.03%,)极少(图 3).

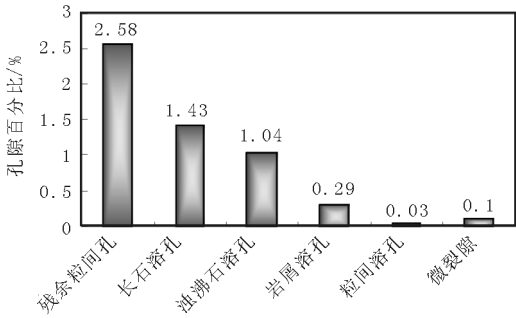


图 3 安塞油田长 10₁ 孔隙类型

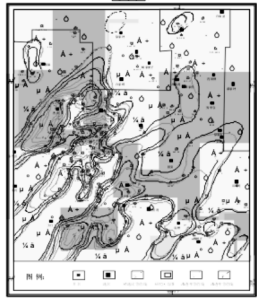


图 4 长 10₁²⁻² 沉积相与孔隙度、渗透率叠加图

统计相对高渗储层铸体薄片分析结果,安塞地区长 10₁ 相对高渗储层粒间孔平均含量 4.57%, 浊沸石溶孔平均含量 2.4%, 长石溶孔平均含量 1.47%, 裂隙平均含量 0.17%, 而相对低渗储层粒间孔平均含量 2.83%, 浊沸石溶孔平均含量 0.38%, 长石溶孔平均含量 2.32%, 无裂隙. 由此可见相对高渗储集层具有高粒间孔、高溶蚀孔, 尤其是高浊沸石溶孔.

安塞地区长 10₁ 随着中值半径的增大(大喉道数目增多), 孔隙度、渗透率参数随之增加; 随着中值压力的增大(小喉道数目增多), 储层岩石孔隙度、渗透率参数减小; 最大连通孔喉半径和孔隙度、渗透率呈现较好的正相关性, 最大连通孔喉半径与渗透率的相关性好于与孔隙度的相关性, 这里也说明了岩石渗透率主要由大孔喉决定; 随着排驱压力的升高, 孔隙度、渗透率变差; 随着分选系数的增大, 孔隙度、渗透率增大, 分选系数增大时, 储层岩石孔喉表现出较强的非均质性, 其渗透率只是某些大孔喉的表征; 随着均值系数的增大, 孔隙度、渗透率减小; 随着变异系数的增大, 孔隙度、渗透率增加^[7].

3 相对高渗储层的控制因素分析

3.1 三角洲分流河道是控制相对高渗储层的主要因素

安塞地区长 10₁ 为三角洲平原亚相沉积, 分流河道呈 NE-SW 向带状展布, 储集层的分布严格受三角洲平原亚相分流河道微相的控制^[8,9]. 相对高渗储层的孔隙度、渗透率分布又受砂体的控制, 因而沉积微相控制了相对高渗储层的分布(图 4). 分流河道砂体粒度粗、厚度大、在垂向上彼此叠置, 平面上因侧向加积形成复合砂体, 而且河道砂体常被河道间泥质岩包围, 侧向封堵条件良好, 是油气聚集的有利部位^[10].

3.2 绿泥石膜的形成有利于原生粒间孔隙的保存

黄思静等(2004)认为, 湖相砂岩中的自生绿泥石是深埋地层中砂岩孔隙得以保存的重要因素^[11]. 颗粒表面绿泥石膜的存在有利于原生粒间孔的保存, 该膜可以阻止骨架颗粒之间或者骨架颗粒与填隙物之间的成岩反应, 有利于原始孔隙的保留. 同时, 发育绿泥石膜的砂体有利于酸性水的进入和长石的溶蚀孔隙的形成, 所以绿泥石膜对长 10₁ 次生孔隙的形成也起到了非常积极地作用.

自生绿泥石含量可以作为指示孔隙度大小的指标, 原因有两个:

(1) 粒间孔中的自生绿泥石作为一种从溶液中结晶的矿物, 其形成需要大量流体的活动; 而孔隙越发育, 就越有利于流体的流动. 所以, 孔隙度高不一定自生绿泥石含量就高, 但自生绿泥石含量高却必然表明孔隙度高、孔隙的连通性好.

(2) 另一个原因是由于自生绿泥石膜的形成, 使碎屑石英失去了成核能力, 有效地抑制了石英的自生加大, 保留了较多的粒间孔.

3.3 浊沸石胶结是形成次生溶蚀的物质基础

据郑俊茂等(2009), 陕北地区延长组砂岩中浊沸石胶结物的成因主要与物源中的火山物质有关, 属于低温成岩产物^[12]. 浊沸石的分布趋势和溶蚀趋势控制着优质储层的空间分布. 浊沸石的形成、分布和溶蚀

作用均受沉积相的控制。

通过对安塞地区长 10_1 三角洲沉积微相和浊沸石胶结物分布特征研究发现,浊沸石主要分布在三角洲平原分流河道微相,特别是主要分布在纵向上多期叠置的水下分流河道厚砂层中,因为这些叠置水下分流河道中的原生孔隙发育,孔隙水易于流动,孔隙水与火山岩碎屑和斜长石碎屑的离子交换能力强,因此易于形成浊沸石胶结。而纵向上孤立的、薄的水下分流河道砂岩中浊沸石含量较低,并主要以硅质和方解石胶结物为主,后期溶蚀作用较弱^[13]。

3.4 次生溶蚀作用是形成相对高渗储层的关键

安塞地区长 10_1 成岩作用类型多,对相对高渗储层的形成起主导作用的是次生溶蚀成岩作用,包括长石溶蚀、浊沸石溶蚀和岩屑溶蚀,其中前两者对岩石储集性能的改善起主要的作用。

早在 20 世纪 80 年代 Surdum 等人就提出:在中成岩的早期(R. 0.5%~0.7%),烃源岩中的有机质脱羧形成大量有机酸,这些有机酸对碳酸盐、硫酸盐、硅酸盐等矿物具有很强的溶蚀作用^[14]。岩心观察及薄片观察结果表明在相对高渗储层砂岩中确实存在沥青质,说明存在有机酸溶蚀的前提条件。

安塞地区长 10_1 砂岩中粒间孔、浊沸石溶孔和长石溶孔平面分布,浊沸石溶蚀孔隙主要分布在高 52 井区,而长石溶蚀孔则分布广泛。因此,粒间孔、浊沸石溶孔和长石溶孔的发育情况对于有利储集层的预测具有重要的意义。

3.5 裂缝作用

微裂缝不仅改善储集层的渗透率,而且控制次生孔隙的形成和分布。高渗透砂体与裂缝、微裂缝在空间的配置是油气成藏的有利场所,也是勘探开发的直接目标。

据赵文智等(2003)、汪泽成等(2005),盆地现今构造应力场的最大水平主应力为 NE 向,故 NE 向裂缝开启程度高,为高效导流缝。基底断裂控制的沉积体系及砂体展布方向为 NE 向,储层在该方向具有相对较高的渗透率,与 NE 向裂缝共同作用也表现为 NE 向裂缝发育。微裂缝发育状况是沉积微相带及基底断裂基础上成岩过程中多期古构造应力场与现今构造应力场共同作用的结果。

经过细心观察,安塞地区长 10_1 裂缝较为发育,主要存在于砂岩中,多数以单条裂缝形式出现,产状多为高角度或垂直裂缝,倾角大于 70 度的裂缝占裂缝总数的 75%。缝面平直,裂缝间有时可见后期充填的方解石薄膜。岩芯上的裂缝长度多数小于 0.5 m,是规模较小的裂缝,裂缝多数在岩性自然状态下能够张开。

根据观察到的裂缝井在平面的分布状况,推测安塞地区长 10_1 至少有 6 组 NE-SW 向的裂缝,该裂缝与砂体的延展方向近于一致。

3.6 构造高点是高渗储层聚集的有利位置

安塞地区处于鄂尔多斯盆地陕北斜坡带西倾单斜构造的构造背景下,长 10_1 油层组发育因差异压实作用而形成鼻状构造,成为油气聚集地带。试油及开发结果证明,在研究区长 10_1 大部分含油层段都处在鼻状构造带上。

4 结论

(1)岩石主要为中粗粒-中粒含浊沸石长石砂岩和岩屑长石砂岩,岩石石英含量相对较高、成分成熟度相对较高,胶结物主要以绿泥石膜和浊沸石为主。成岩作用主要表现为次生溶蚀。

(2)相对高渗储层孔隙度大于等于 8%,渗透率大于等于 $1.2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

(3)相对高渗储层以浊沸石溶蚀孔、长石溶蚀孔和残余粒间孔为主。

(4)相对高渗储层具有高中值半径、最大喉道半径、变异系数、分选系数,低中值压力、门槛压力、均值系数等孔隙结构特征。

三角洲分流河道是控制相对高渗储层的主要因素,绿泥石膜的形成有利于原生粒间孔隙的保存,浊沸石胶结是形成次生溶蚀的物质基础,次生溶蚀作用是形成相对高渗储层的关键,微裂缝改善了储集层的渗透率,构造高点为油气聚集的有利地带。

参 考 文 献

- [1]杨晓萍,裴悻楠.鄂尔多斯盆地上三叠统延长组浊沸石的形成机理、分布规律与油气关系[J].沉积学报,2002,20(4):628-632.
- [2]王多云,郑希民,李风杰,等.低孔渗油气富集区优质储层形成条件及相关问题[J].天然气地球科学,2003,14(2):87-92.
- [3]魏铁军,郭建林,贾爱林,等.低渗透气田相对高渗储层描述方法研究——以苏里格气田为例[J].石油天然气学报(江汉石油学院学报),2008,30(5):165-170.
- [4]赵澄林,朱筱敏.沉积岩石学[M].北京:石油工业出版社,2001.
- [5]刘正伟,李文厚.安塞油田长 10 油层组砂岩粒度与沉积环境的关系[J].陕西科技大学学报(自然科学版),2011,(1):112-116.
- [6]罗静兰,刘小洪.成岩作用与油气侵位对鄂尔多斯盆地延长组砂岩储层物性的影响[J].地质学报,2006,80(5):664-673.
- [7]邸世祥.碎屑岩储集层的孔隙结构及其成因与对油气运移的控制作用[M].西安:西北大学出版社,1991.
- [8]赵虹,党犇,李文厚,等.安塞地区延长组沉积微相研究[J].天然气地球科学,2004,15(5):492-497.
- [9]朱国华,王文炯.论陕北安塞延长组三角洲的油气富集条件[J].石油与天然气地质,1987,8(4):440-447.
- [10]戴启德.油气储层地质学[M].北京:石油大学出版社,1996.
- [11]黄思静,谢连文,张萌,等.中国三叠系陆相砂岩中自生绿泥石的形成机制及其与储层孔隙保存的关系[J].成都理工大学学报(自然科学版),2004,31(3):273-281.
- [12]郑浚茂,游俊,何东博.渤海湾盆地与鄂尔多斯盆地陆相优质储层形成条件对比分析[J].现代地质,2007,21(2):376-386.
- [13]朱国华.陕北延长统浊沸石次生孔隙砂体的形成与油气的关系[J].1985,75-81.
- [14]黄思静,黄可,冯文立,等.成岩过程中长石、高岭石、伊利石之间的物质交换与次生孔隙的形成:来自鄂尔多斯盆地上古生界和川西凹陷三叠系须家河组的研究[J].地球化学,2009,38(5):498-506.

Relative High Permeability Reservoir Characteristics and Control Factor Analysis in Chang 10_1 Layer of Ansai Area

WANG Xin-feng^{1,2}, LIU Zheng-wei², LIU Xin-ju²

LIU Xiao-feng², ZHANG Long², CAO Li²

(1. School of Petroleum Resources Xi'an Shi You University, Xi'an 710065, China; 2. PetroChina Changqing Oilfield Company Oil Production Plant No. 1, Yan'an 716000, China)

Abstract: Chang 10_1 formation of Ansai area characterized by large-change property, high-yielding in higher permeability zone and no oil production in lower permeability zone, which decide the exploration have great risk in this area. Introduced the theory of relatively high permeability reservoirs. Using many kinds of analysis methods such as core, chip, scanning electron microscope, grain size, the image, X-ray diffraction, physical properties, mercury injection and so on, researched petrology characteristics, diagenesis characteristics and pore structure features of the relatively high permeability reservoir chang 10_1 formation in Ansai area, analysed the influencing factors of forming the relatively high permeability reservoir and formed medium coarse-medium grain feldspathic sandstone with laumontite and lithic sandstone, high composition maturity, chlorite cementation, diagenesis shows mainly secondary corrosion, such presented as turbidity zeolite dissolution holes, feldspar dissolution holes and residual intergranular holes. Main influencing factors of relatively high permeability reservoirs are reservoir sedimentary facies, cementation, diagenesis, fracture and tectonism.

Key words: Ansai area; chang 10_1 formation; relatively high permeability reservoirs; influencing factors



* 文章编号:1000-5811(2012)02-0020-05

下寺湾油田柴窑区延长组 长 6 储层特征研究

张庭姣¹, 张庭学², 付国民¹

(1. 长安大学 地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054; 2. 陕西甘谷驿采油厂, 陕西 延安 716005)

摘 要:以研究区大量的岩心资料为基础,通过扫描电镜、铸体薄片、常规压汞等有效的分析方法,对下寺湾油田柴窑油区储层进行了详细研究. 研究表明,柴窑区长 6 油层组储层主要为一套浅灰色-灰绿色长石细砂岩,其次为粉-细粒长石砂岩及中-细粒长石砂岩. 本区储层为特低渗储层,储层砂岩中的孔隙主要分为:原生孔隙,包括残余粒间孔隙和填隙物内微孔隙;次生孔隙,以溶蚀型次生孔隙为主,此外有自生矿物晶间微孔隙和微裂隙. 孔隙类型主要为粒间孔,次为长石、沸石和岩屑溶孔. 该区储层孔喉分选性好,储层成岩作用类型主要有压实及压溶作用、胶结作用、溶蚀作用和破裂作用等,成岩作用复杂,成岩现象丰富,并对储集层孔隙发育及物性影响显著.

关键词:鄂尔多斯盆地; 下寺湾油田柴窑区; 延长组; 储层特征

中图法分类号:[TE122.2⁺3]

文献标识码:A

0 引 言

下寺湾油田地处陕西省延安市与甘泉县交界处的下寺湾镇境内. 在构造区带上,该油田位于鄂尔多斯盆地东部陕北斜坡南部. 柴窑井区位于下寺湾油田东南部,是下寺湾油田重要的区块之一,长 6 段是该区主要的含油层段. 本区块合理有效的开发对下寺湾油田的增储上产有着重要的指导意义.

1 储层岩石学特征

1.1 组分特征

通过对岩心常规薄片、铸体薄片、阴极发光和扫描电镜等资料的观察和分析,研究了目的储层的岩石学特征.

柴窑区长 6 油层组储层主要为一套浅灰色-灰绿色长石细砂岩(图 1),其次为粉-细粒长石砂岩及中-细粒长石砂岩,碎屑颗粒约占 84%,以长石为主,其次为石英、碎屑、云母和少量的重矿物. 其中长石含量为 40%~56%,平均 47.1%,以钾长石和酸性斜长石为主;石英含量 19%~34%,平均 23.6%;岩屑含量 5%~9%,平均 7.0%,以变质岩岩屑为主;云母含量一般为 0%~2%;重矿物含量 0.3%~1.8%,成分主要有绿帘石、石榴石和榍石及少量的锆石、电气石;填隙物含量 10%~30%,平均含量 13.9%,组分以胶结物为主,成分主要有方解石(平均 3.9%)、绿泥石(平均 3.6%)、浊沸石(平均 2.3%),其次为水云母、硅质、长石质等,杂基含量极少. 砂岩成分成熟度较低,大多数砂岩分选性、磨圆度中等-较好,以次棱角状为主,呈颗粒支撑,点-线接触为主,结构成熟度较高.

1.2 结构特征

由柴 55 井长 6 段的粒度概率累积曲线可知(如图 2),曲线为两段式,细截点 3.25 ϕ ,跳跃体含量(中砂

* 收稿日期:2012-03-02

作者简介:张庭姣(1986—),女,陕西省延安市人,在读硕士生,研究方向:油气田地质与开发研究

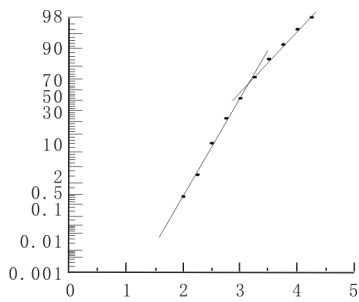
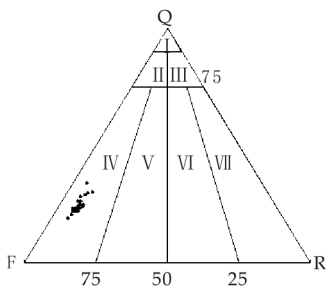


图 1 下寺湾油田柴窑区长 6 油层组砂岩组分三角图 图 2 水下分流河道粒度概率累积曲线(柴 55 井)

I—石英砂岩；II—长石石英砂岩；III—岩屑石英砂岩；IV—长石砂岩；V—岩屑长石砂岩；VI—长石岩屑砂岩；VII—岩屑砂岩

0.82%，细砂 84.7%）85.22%，悬浮体含量为 14.78%，曲线的斜率较高，反映了水动力相对较强，为水下分流河道沉积。细砂岩颗粒磨圆度一般，多为次棱角状，分选好，少数分选中等。胶结类型以薄膜-孔隙式为主，还有部分的再生-孔隙式和压嵌-孔隙式。主要为点-线接触关系，有少量的点接触和线接触。

2 孔隙结构特征

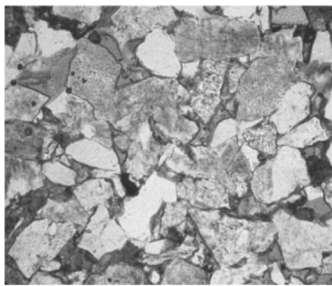
2.1 孔隙类型

根据柴窑区延长组储层的岩石铸体薄片、图像孔隙、扫描电镜和压汞等资料分析，该区延长组储层砂岩中主要发育以下几种孔隙类型：

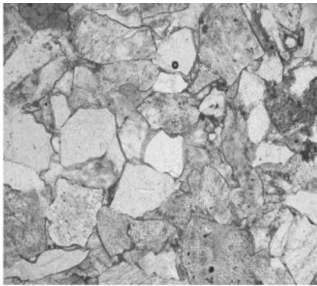
(1)原生孔隙：为机械压实、长石及石英的次生加大和多种胶结作用充填后剩余的原生粒间孔，也称为残余粒间孔或剩余粒间孔。包括早期薄膜状绿泥石、伊利石胶结之后的残余粒间孔，石英、长石次生加大之后的残余粒间孔，方解石、粘土矿物充填胶结之后的残余粒间孔等，其中前者孔径较大，可达 60~100 μm。残余粒间孔是本区延长组储层砂岩中最主要的一种孔隙类型(如图 3a)。

(2)次生孔隙：主要为溶蚀作用产生的溶蚀孔隙，其次为自身矿物之间的晶间孔。次生孔隙对改善本区延长组储层的物性起着非常重要的作用。次生孔隙包括溶蚀孔隙(又可分为粒间溶孔、粒内溶孔、胶结物溶孔和杂基溶孔)、晶间孔和裂隙孔(如图 3b)。

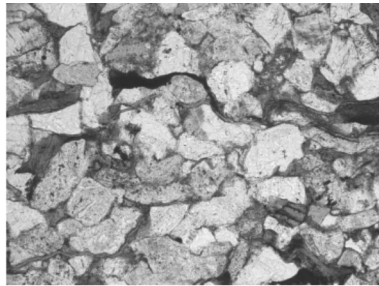
(3)微裂隙：主要为颗粒间缝隙和云母碎屑、长石碎屑的解理缝，其对粒间孔隙与粒内孔隙的连通起了重要作用；另一种是砂岩在外力作用下发生破裂而形成的裂缝，属次生孔隙类(如图 3c)。



(a) 粒间溶孔、粒间孔局部残余



(b) 浊沸石溶孔(柴55井735m×100)



(c) 微裂缝(柴39, 804.9m)

图 3 柴窑油区孔隙类型

2.2 孔喉大小与分布特征

柴窑区长 6 储层粒度细，填隙物含量较高，成岩作用较强，但后期溶解作用相对较强，使其储层孔隙度和渗透率有很大地改善，平均面孔率 4.3%，平均孔径 51.5 μm，平均喉道半径 0.18 μm，孔隙大小均一，分布均匀，连通性较好，属于中孔微喉型。孔隙类型主要为粒间孔，次为长石、沸石和岩屑溶孔。

表 1 下寺湾油田柴窑区长 6 油层组孔隙度、渗透率统计表

油层组	孔隙度/%				渗透率/($\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)				样数/块
	最大	最小	平均	中值	最大	最小	平均	中值	
长 6 ₁	17.5	1.4	10.1	10.3	17.3	0.1	1.9	2.1	11
长 6 ₂	16.3	3.4	9.8	10.1	19.6	0.1	1.8	1.7	61
长 6 ₃	14.3	2.5	9.2	9.63	18.8	0.1	1.2	1.3	139
长 6	17.5	2.0	9.7	10.0	19.6	0.1	1.7	1.8	211

对柴窑区抽取的 14 口井进行岩石毛管压力测定,结果显示毛管压力曲线总体特征表现为平缓段较明显,基本在中部偏下,反映该区储层孔喉分选性好.排驱压力为 0.1~8.6 MPa,平均为 2.42 MPa,喉道半径为 0.02~0.72 μm ,平均为 0.16 μm ,平均喉道分选系数 2.70,为中等一好.中值压力 1.9~30.9 MPa ,平均为 12 MPa. 偏度均大于 0,平均为 1.74,属正偏,表现为喉道偏粗(如图 4).

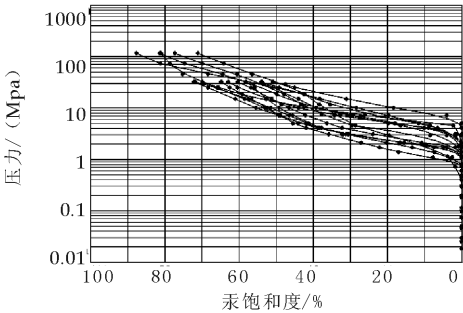
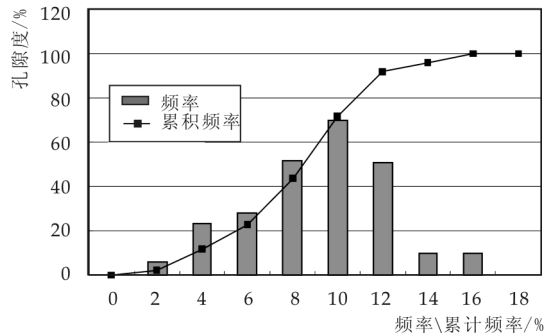


图 4 下寺湾油田柴窑柴 44 井区
长 6 储层典型毛管压力曲线图

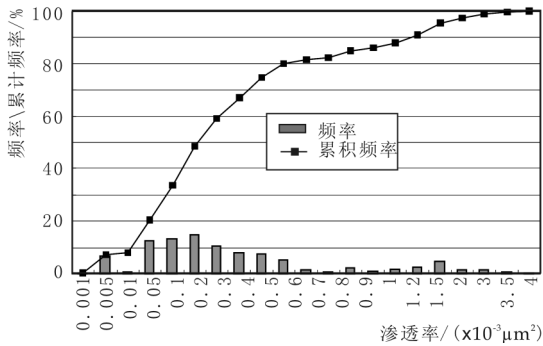
属于特低孔、特低渗储层.

3 储层物性特征

根据柴窑区的岩心分析孔隙度、渗透率资料的统计结果趋势表明,其总体呈现正态分布.储层物性变化较大,长 6 孔隙度主频范围主要分布在 4%~12%之间,孔隙度最小值为 2.0%,最大值为 15.8%,平均值为 8.35%,中值为 8.6%,下限以上的平均孔隙度为 10.4%;长 6 渗透率主频范围较宽,主要分布范围在 $0.01 \times 10^{-3} \sim 1.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 之间,渗透率最小值为 $0.001 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,最大值为 $3.8 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均值为 $0.47 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,中值为 $0.21 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,下限以上平均渗透率为 $0.74 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (如图 5).长 6 油层组储层总体



(a) 长 6 砂岩储层孔隙度分布直方图



(b) 长 6 砂岩储层渗透率分布直方图

图 5 柴窑油区长 6 砂岩储层孔渗分布直方图

4 储层物性成因分析

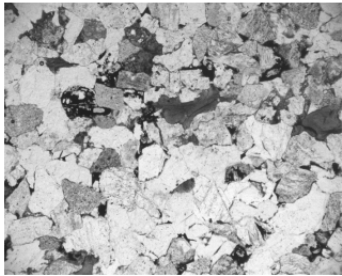
4.1 沉积因素

沉积环境主要影响储层砂岩的粒度、分选性、碎屑成分、泥质杂基的含量,导致不同沉积微相储层物性差异明显^[1].柴窑区延长组长 6 沉积期,湖盆开始收缩,下沉作用减缓,沉积补偿大于沉降,为湖泊三角洲的主要建设期.该区处于富县三角洲前缘相带,水下分流河道及分流间湾沉积发育,河口坝沉积常因水下分流河道的截切或冲刷改造而保存不完整.河道砂体主要沿东北-西南方向展布,受河道砂体的展布控制作用,长 6 油层组主要发育灰色细粒长石砂岩,砂体具有正粒序结构,下部以细砂岩为主,向上变细为粉砂岩、泥质砂岩及泥岩.储集层物性也随着河道展布、粒度结构序列和层理类型的变化而不同,位于河道中部储层物性较好,向两侧物性变差.砂体主要发育板状和槽状交错层理、平行层理、块状层理.

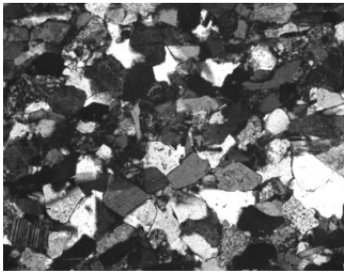
4.2 成岩作用

4.2.1 压实作用

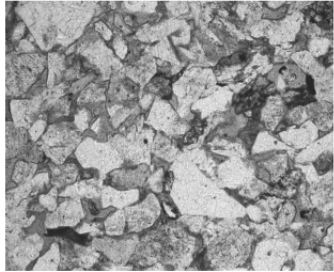
压实作用是沉积物在上覆重力和静水压力作用下,使原来存在粒间的孔隙水排出,碎屑颗粒重新排列,沉积物密度变大,孔隙度减小,同时云母及其他软组分挤入孔隙,使孔隙体积进一步减小,渗透率变差.长 6 油层组砂岩在埋藏成岩过程中经历了不同程度的压实作用.在压实作用早期绿泥石薄膜的析出和初步固结作用,有效的保护了储层砂岩的原生孔隙,并为后期溶蚀型次生孔隙的形成提供了有效的通道和空间(柳益群等,1996;Baker 等, 2000;黄思静、谢连文等,2004;吕正祥等,1999).随着上覆沉积物的增加,压力、温度升高,压溶作用发生,形成镶嵌状接触关系,长石和石英加大边形成,使原生孔隙度进一步减小,喉道半径缩小,孔渗特性变差(如图 6a,b).



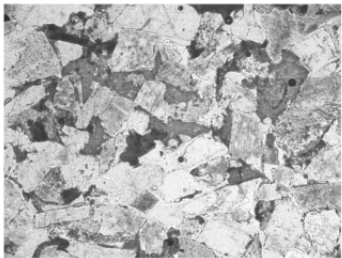
(a)压实、镶嵌、硅质胶结充填,使孔隙基本消失



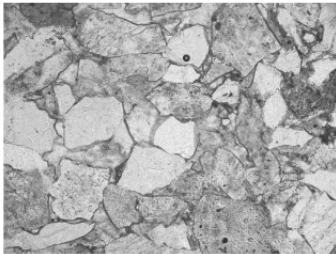
(b)长石石英加大强烈,形成致密结构



(c)绿泥石薄膜发育,孔隙斑状分布(柴69井 378.9m×100)



(d)方解石斑状分布(柴43井 725.86~726.56m×100)



(e)浊沸石溶孔(柴55井 735m×100)



(f)长石溶孔、杂基溶孔孤立状分布(柴159井 723.73m×100)

图 6 柴窑油区成岩作用特征

4.2.2 成岩自生矿物析出及其胶结作用

(1)粘土胶结作用.包括绿泥石、伊利石、伊-蒙混层、高岭石的胶结作用,其中绿泥石的胶结作用最为普遍,占粘土胶结物总量的三分之二左右.自生绿泥石胶结物多在成岩早期呈绿泥石膜保护碎屑颗粒,阻碍了碎屑颗粒与孔隙水的接触,使原生粒间孔大部分得以保留,形成残余孔隙型组合关系.绿泥石胶结物除以孔隙衬边和薄膜包壳状产出外,部分呈孔隙充填状产出,多数充填残余粒间孔,部分充填溶蚀孔隙,表明这部分绿泥石形成时间较晚,发生在溶蚀作用之后(如图 6c).

(2)碳酸盐胶结作用.碳酸盐胶结作用在延长组储层砂岩中较为发育,是影响柴窑区储层物性的主要胶结物类型之一.砂岩薄片鉴定结果表明,90%以上的砂岩样品中含有数量不等的碳酸盐胶结物,成分主要为方解石、铁方解石,偶见白云石胶结.碳酸盐胶结物主要呈大片的连晶分布,充填大部分甚至全部的粒间孔隙并交代长石、岩屑等碎屑颗粒及填隙物,使原生粒间孔几乎丧失殆尽而成为致密阻挡层(图如 6d).

(3)浊沸石胶结作用.浊沸石多分布在粒度较粗、分选较好、杂基含量较低的部位,在砂岩中以胶结物或以交代长石、火山碎屑的形式产出,它们的析出使砂岩中的原生孔隙大部分被充填,在降低原始孔隙度方面起了主要作用.另一方面,浊沸石是一种不稳定的矿物,在流体的物化条件发生变化时,特别是流体的性质由碱性向酸性转化时,可被不同程度地溶蚀,形成众多次生溶蚀孔缝而改善储层砂岩的孔渗性^[2],因此浊沸石的存在对柴窑区长 6 储层物性的改善具有积极的一面(图 6e).

4.2.3 溶蚀作用

溶蚀作用是形成次生孔隙,改善柴窑区延长组储层砂岩储渗条件的主要成岩方式之一.溶蚀作用主要

表现为碎屑颗粒(长石、岩屑、云母)的溶蚀和填隙物(浊沸石、方解石、粘土)的溶蚀(图如 6f)。

4.2.4 破裂作用

在岩心观察和薄片鉴定时,常可见岩石失稳破裂形成的各种裂缝,包括构造裂缝、层间张裂缝、压裂缝等多种成岩类型。裂缝的产生规模不等,既有肉眼可明显观察的显缝,也有显微镜下才能描述的微缝,以及在显微镜下都难以观察的隐蔽缝或超微缝^[3]。裂缝的发育对改善储层砂岩的孔渗性极为重要,亦是造成该区延长组储层具较强非均质性特征的重要因素(如图 7、8)。



图 7 岩心裂缝照片



图 8 岩石微裂缝显微薄片照片(柴 43,726.10 m)

5 结论

延长组长 6 沉积期,柴窑区处于富县三角洲前缘相带,主要的砂体成因类型为水下分流河道和水下分流河道侧缘等不同微相类型的砂体。本区储层岩性主要为一套浅灰色-灰绿色长石细砂岩,其次为粉-细粒长石砂岩及中-细粒长石砂岩;储集类型以残余粒间孔为主,次为浊沸石、长石和岩屑溶孔,其余为晶间孔和裂隙孔;孔隙组合主要是溶孔-粒间孔型,孔喉大小均一,分布均匀,连通性较好,属于中孔微喉型。影响本区砂岩储层物性的因素为沉积相、成岩作用和裂缝改造,其中沉积相及成岩作用是主要因素。

参 考 文 献

[1] 梅志超,彭荣华,杨 华,等. 陕北上三叠统延长组含油砂体的沉积环境[J]. 石油与天然气地质,1988,9(3):261-266.
[2] 朱国华. 陕北浊沸石次生孔隙砂体的形成与油气关系[J]. 石油学报,1985,6(1):1-8.
[3] 曾联播. 低渗透砂岩油气储层裂缝及其渗流特征[J]. 地质科学,2004,39(1):11-17.

Analysis About Chang 6 Reservoir Characteristics of Yanchang Formation in Chaiyao Area of Xiasiwan Oilfield

ZHANG Ting-jiao¹, ZHANG Ting-xue², FU Guo-min¹

(1. School of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, China; 2. GanGuYi oil production plant, Yanchang oil field, Yan'an 716005, China)

Abstract:Based on the massive core data and analysis methods such as scanning electron microscope ,casting thin sections and routine mercury injection, detailly studies the reservoir characteristics of Chaiyao Area. The results indicate that Chang 6 reservoir mainly is a set of oyster gray-celadon feldspar fine-sandstone, secondly for powder-fine and system-fine arkose. Reservoir in this region is super-low permeability reservoir and the pore mainly be divided into primary pore, secondary pore, authigenic mineral intergranular micropore and microfissure. The pore type is mainly intergranular pores. The pore throat sorting features is good and reservoir diagenesis types mainly includes compaction, cementation, dissolution and fracture diagenesis, which have significant effect on the developing of pore and physical properties.

Key words: Ordos basin; Chaiyao Area of Xiasiwan Oilfield; Yanchang formation; reservoir characteristics



* 文章编号:1000-5811(2012)02-0025-03

HPLC-ELSD 法测定酸羊奶中水苏糖含量

宋娟娜, 陈 合, 王长凤, 舒国伟

(陕西科技大学 生命科学与工程学院, 陕西 西安 710021)

摘 要:建立高效液相色谱法分离、蒸发光散射检测器(HPLC-ELSD)测定酸羊奶中水苏糖含量的方法.采用 Hypersil NH₂ (250 mm × 4.6 mm, 5 μm) 色谱柱;流动相为甲醇:水(83:17),流速 1 mL/min,柱温为室温;蒸发光散射检测器(ELSD)参数,漂移管温度 85℃,氮气压力 35 Psi,增益 10.结果表明,在上述条件下测得水苏糖在 2.504~12.52 μg 范围内线性关系良好,相关系数为 0.999 8.本方法操作简便、稳定,结果准确、灵敏度高、重现性好.

关键词:酸羊奶;水苏糖;HPLC-ELSD 法

中图分类号:TS207.3

文献标识码:A

0 引 言

水苏糖(stachyose)是自然界存在的一种功能性低聚糖,其结构式为:D-吡喃半乳糖基 α-1,6-D-吡喃半乳糖基 α-1,6-D-吡喃葡萄糖基 α-1,2-β-D-呋喃果糖苷,属于蔗糖的衍生产物,是棉子糖的同系物,分子式为 C₂₄H₄₂O₂₁.纯水苏糖为白色粉末,甜度约为蔗糖的 22%.它具有能量值低,稳定性好等特点^[1];还具有增殖双歧杆菌,调节肠道菌群,保护肠道;增强人的肌体免疫力,预防疾病发生;防止体内胆固醇积蓄,降低血压;合成 B 族维生素,促进对某些无机盐的利用等功能^[2-4].因此成为日本和欧洲等地流行的功能性保健食品^[5].

课题组在前期研究中将不同量水苏糖添加到羊奶中,发酵制得水苏糖酸羊奶.本研究利用 HPLC-ELSD 法测定发酵后水苏糖的含量,求水苏糖利用率;以寻求利用率低,但促进普通酸羊奶益生菌菌数增值效果好的水苏糖添加量,为制备高品质高营养价值的发酵酸羊奶提供试验依据.实验结果表明该方法简便、准确、重复性好,为后期研究羊奶发酵酸奶中水苏糖含量测定提供方法.

1 材料与方法

1.1 仪器与试剂

高效液相色谱仪和蒸发光散射检测器 waters1525-2420;美国 Waters 公司;Empower2 色谱工作站;水苏糖对照品,美国 sigma 公司;甲醇、乙睛均为色谱纯;超纯水和酸羊奶样品,实验室自制.

1.2 试验方法

(1)色谱条件 色谱柱:Hypersil NH₂ 色谱柱(250 mm × 4.6 mm, 5 μm),流动相:甲醇:水(83:17),流速 1 mL/min;ELSD 检测器参数:漂移管温度 85℃,氮气压力 35 Psi,增益 10.

(2)对照品溶液的制备 精密称取水苏糖对照品 0.031 3 g,置于 50 mL 量瓶中,加超纯水溶解并稀释至刻度,摇匀,制成 0.626 mg/mL 的对照品储备液,经 0.45 μm 滤膜滤过,备用.

(3)供试样品溶液的制备 发酵制备水苏糖添加量分别为 0.4%、0.6%、0.8%和 1.0%的酸羊奶,分别准确量取 1.5 mL 制备的酸羊奶于离心管中,在高速离心机中 15 000 r/min 离心 30 min,取出上清液继续离心一次至上清液澄清,取 1 mL 上清液用超纯水定容至 10 mL 的容量瓶中,摇匀,过 0.45 μm 滤膜,即得

* 收稿日期:2011-12-18

作者简介:宋娟娜(1982—),女,陕西省蓝田县,助理工程师,研究方向:食品药物分析和食品药物化学

4 份供试样品溶液。

(4)阴性对照溶液的制备 发酵制备不添加水苏糖的阴性酸羊奶适量,依供试品溶液的制备法,制备阴性对照溶液。

(5)活菌数的测定 采用高层琼脂法^[6]。

2 结果与讨论

2.1 专属性实验

在上述色谱条件下,分别取对照品溶液、阴性对照溶液、供试品溶液各 20 μL 注入高效液相色谱仪,记录色谱图。结果表明供试品色谱中,在与对照品色谱相应的位置上,有相同保留时间的色谱峰,阴性对照无干扰。水苏糖可与酸羊奶中其它组分在 10 min 内有效分离,且峰形较好。色谱图见图 1~图 3。

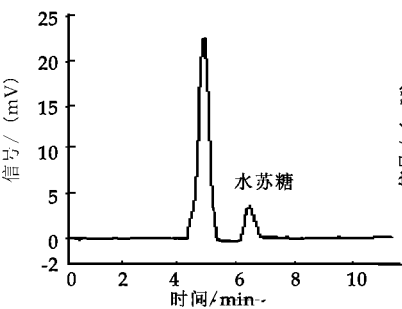


图 1 水苏糖供试样品的色谱图

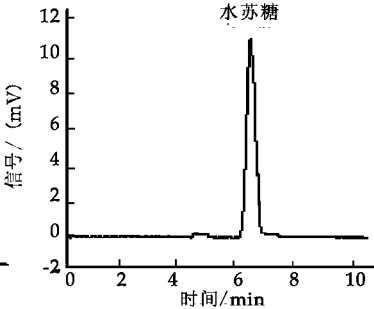


图 2 水苏糖对照品的色谱图

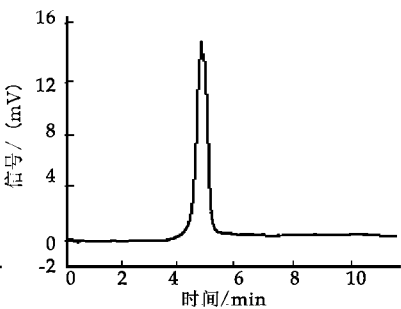


图 3 阴性对照的色谱图

2.2 线性关系考察

吸取配制好的对照品溶液 4,8,12,16,20 μL ,按上述色谱条件测定峰面积值,以峰面积的自然对数为纵坐标,以对照品溶液进样量为横坐标,绘制标准曲线,结果显示,水苏糖在进样量 2.504~12.52 μg 范围内线性关系良好,其回归方程为: $y = 12.204x - 47.478, R^2 = 0.9998$ 。

2.3 精密度试验

吸取对照品溶液 20 μL ,重复进样 6 次,测定峰面积值,计算精密度 RSD 为 2.0%。

2.4 重复性试验

取制得的同一批含水苏糖酸羊奶,按供试样品溶液的方法平行制备 6 份,均进样 20 μL ,纪录峰面积,求得 6 份水苏糖浓度的 RSD 为 1.01%。

2.5 稳定性试验

取上述供试品溶液 0、2、4、6、8、10 h,室温放置,各精密进样 20 μL ,测定水苏糖浓度的 RSD 为 1.05%。结果说明供试样品溶液在 10 h 内稳定。

2.6 加样回收率试验

表 1 加样回收率实验结果

试验号	样品量取量 /mL	样品含水 苏糖量/mg	加入对照 品量/mg	测得量 /mg	回收率 /%	平均回 收率/%	RSD/%
1	1.50	9.81	2.50	12.19	99.00	98.59	1.53
2	1.51	9.88	2.50	12.15	98.21		
3	1.49	9.74	2.50	12.26	100.14		
4	1.49	9.74	7.51	16.77	97.20		
5	1.50	9.81	7.51	16.91	97.64		
6	1.51	9.88	7.51	17.29	99.43		
7	1.49	9.74	12.52	22.49	101.02		
8	1.50	9.81	12.52	21.45	96.07		
9	1.50	9.81	12.52	21.93	98.21		

分别量取 1.5 mL 已知含量的酸羊奶(添加 1.0%水苏糖)9 份,每 3 份分别精密加入上述对照品溶液 4 mL、12 mL 和 20 mL,即加入 2.5 mg、7.5 mg 和 12.5 mg 水苏糖对照品;按前面供试样品溶液的制备

方法制备,进样 20 μL ,测定水苏糖峰面积计算回收率,结果显示:平均加样回收率为 98.59%,RSD(%)为 1.53%.

2.7 供试样品测定

分别吸取 4 份供试样品溶液 20 μL ,在上述色谱条件下进样,每份平行测定 3 次,求的平均值. 供试样品的水苏糖含量、利用率及活菌数结果见表 2.

表 2 样品测定结果($n=3$)

水苏糖添加量 /%	初始浓度 /(mg/mL)	发酵后浓度 /(mg/mL)	利用率/%	活菌数 /(10^8 cfu/mL)
0.00	0.00	0.00	0.00	1.28
0.40	3.60	2.54	29.44	1.36
0.60	5.40	3.98	26.30	1.48
0.80	7.20	4.61	35.97	1.44
1.00	9.00	6.54	27.33	1.32

2.8 讨论

(1)流动相选择: 通过实验比较了几种不同的流动相:乙腈:水为 70:30;甲醇:水为 70:30;甲醇:水为 75:35;甲醇:水为 83:17 等. 结果表明,乙腈:水体系需要的保留时间为 17.5 min,且分离效果差,很难将样品中的水苏糖与其它成分分开;以甲醇:水为 70:30 和甲醇:水为 75:25 为流动相时,水苏糖与其它成分分离效果差;以甲醇:水为 83:17 为流动相时,分离效果最好.

(2)ELSD 参数的选择: 主要为漂移管温度和雾化气体压力的选择. 漂移管温度必须足够高以保持溶剂雾化状态,否则检测器噪声太大,但也不能过高造成样品蒸发,导致灵敏度降低;另外,为保证雾化后的色谱洗脱物能够均匀的进入检测池,避免大量微滴导致噪声升高,因此要求保证气体压力足够高. 故选用漂移管温度 85 $^{\circ}\text{C}$,气体压力 35 Psi,此时,噪音小,信号强.

3 结论

选用 ELSD-HPLC 法测定酸羊奶中水苏糖含量,在上述色谱条件下,水苏糖的线性范围为 2.504~12.52 μg ,相关系数为 0.999 8. 本方法操作简便、稳定,结果准确、灵敏度高、重现性好. 实验结果显示,在羊奶中添加 0.60%水苏糖制备的酸羊奶,水苏糖的利用率最小,活菌数最高,促进益生菌生长效果最好.

参 考 文 献

[1] 舒国伟,吕嘉彬,任宏强,等. 水苏糖对乳制品中微生物的影响[J]. 食品科学,2005,26(6):106-108.
[2] 刘薇薇,李小伟. 一种功能性化妆品原料—水苏糖[J]. 应用科技,2008,16(13):24-25.
[3] 任宏强. 水苏糖[J]. 精细与专用化学品,2003, (14):15-17.
[4] 邓文辉. 水苏糖的功效及应用研究概述[J]. 综述与述评,2010,13(8):19-22.
[5] 袁其朋,范 颖. 水苏糖[J]. 精细与专用化学品, 2002, 10(1):13.
[6] 熊 郃. C. B. T 三种菌混合发酵益生菌酸奶发酵基本特征研究[J]. 乳品科学与技术,2008,(2):56-58.

Determination of Stachyose in Goat Yogurt by HPLC-ELSD

SONG Juan-na, CHEN He, WANG Chang-feng, SHU Guo-wei
(School of Life Science and Engineering, Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an 710021, China)

Abstract: To establish a HPLC-ELSD method for determining the stachyose in goat yogurt. Stachyose was successfully separated on a Hypersil NH₂ (250 mm × 4.6 mm, 5 μm) column at ambient temperature, the mobile phase composition was Methanol:water (83:17). The flow rate was 1.0 mL/min. The parameters of ELSD were set as follows: Drift tube temperature was 85 $^{\circ}\text{C}$, Gas pressure was 35 Psi, Gain was 10. This method fulfilled all the standard requirements of linearity, accuracy and precision. The linear range was 2.504~12.52 μg ($r=0.999\ 8$). This method was simple, stable, accurate, sensitive, and reproducible.
Key words: goat yogurt; stachyose; HPLC-ELSD

* 文章编号:1000-5811(2012)02-0028-07

粤蓝链霉菌中丝氨酸/苏氨酸蛋白激酶 基因 *gra-orf7* 的功能初探

李 超^{1,2}, 胡建伟¹, 邓名荣², 朱红惠²

(1. 塔里木大学 塔里木盆地生物资源保护利用重点实验室, 新疆 阿拉尔 843300; 2. 广东省微生物研究所, 广东省菌种保藏与应用重点实验室, 广东省微生物应用新技术公共实验室, 广东省华南应用微生物重点实验室-省部共建国家重点实验室培育基地, 广东 广州 510070)

摘 要: 粤蓝链霉菌是塔里木盆地生物资源保护利用重点实验室近期发现的能够产生榴菌素的链霉菌新种. 在榴菌素生物合成基因簇的左翼存在一个可能的丝氨酸/苏氨酸蛋白激酶基因 *gra-orf7*. 为了解该基因的生理功能, 通过 PCR-targeting 方法构建了粤蓝链霉菌 *gra-orf7* 缺失突变株. 表型分析结果显示, *gra-orf7* 缺失突变株在菌落形态、产孢能力、孢子形态以及色素(榴菌素)最终产率等方面与野生株均无显著差异, 但产色(榴菌素)时间延迟约 1 h. 结果暗示 *gra-orf7* 基因编码的 STPK 在粤蓝链霉菌中可能参与了与榴菌素生物合成有关的上游调控信号的传导, 但其具体生理功能和作用机制仍有待进一步研究.

关键词: 粤蓝链霉菌; 丝氨酸/苏氨酸蛋白激酶; 榴菌素
中图分类号: Q81 **文献标识码:** A

0 引 言

丝氨酸/苏氨酸蛋白激酶 STPK (serine-threonine protein kinase) 广泛存在于真核生物中, 在 ATP 等磷酸供体的存在下, 能特异地使底物蛋白中丝氨酸或苏氨酸残基上的羟基磷酸化而激活底物蛋白, 参与细胞生长、形态发育及生理分化等多种重要的生命过程. 目前研究显示 STPK 不仅存在于真核生物中, 在原核生物中也同样存在, 如黄色粘球菌 (*Mycococcus xanthus*)^[1], 天蓝链霉菌 (*Streptomyces coelicolor* A3(2))^[2], 无乳链球菌 (*Streptococcus agalactiae*)^[3] 等.

链霉菌不仅能产生丰富的活性次级代谢产物, 同时还具有复杂的发育周期. 对链霉菌的代表种天蓝链霉菌 A3(2) 的基因组测序结果表明, 该菌存在约 44 个可能的 STPK^[4], 这提示 STPK 可能对该菌的形态发育、次级代谢调控等具有重要的影响. AfsK 是发现最早、研究最深入的一个链霉菌 STPK^[5], 它在天蓝链霉菌 A3(2) 中与次级代谢全局性调控蛋白 AfsR 组成双组份系统, 调控放线紫红素 (actinorhodin)、十一烷基菌红素 (undecylprodigiosin) 等的生物合成^[6]. 进一步的研究发现, PkaG、AfsL 等 STPK 也能使 AfsR 磷酸化^[7], 提示这些 STPK 都可能参与了次级代谢的调控. 在灰色链霉菌 (*S. griseus*) 中存在与 *af-sK* 高度同源的基因 *afsK2*, 该基因参与气生菌丝的形成, 但对链霉素 (streptomycin) 的生物合成没有影响^[8], 这说明高度同源的 STPK 在不同链霉菌中可参与不同的生命活动, 也从侧面反映了 STPK 在链霉菌的生命活动过程中扮演了多样化的角色.

榴菌素 GRA (Granaticin) 与放线紫红素同属苯并异色满醌 BIQ (Benzoisochromanequinone) 类抗生素, 均具有抗菌、抗肿瘤等生物活性. 早期从紫红链霉菌 (*S. violaceoruber* Tü22) 中克隆测序了榴菌素的

* 收稿日期: 2012-03-05
基金项目: 国家自然科学基金项目 (31100042); 广东省自然科学基金项目 (S2011010001625)
作者简介: 李 超 (1985—), 男, 陕西省合阳县人, 在读硕士研究生, 研究方向: 生物工程技术

生物合成基因簇,发现其左翼存在一个可能编码 STPK 的基因 *gra-orf7*,该基因与天蓝链霉菌 A3(2)中的 *PkaA* 存在较高同源性^[9],与此同时,在多个完成基因组测序的链霉菌,如委内瑞拉链霉菌(*S. venezuelae*)ATCC 10712、灰黄链霉菌(*S. flavogriseus*)ATCC 33331、灰色链霉菌灰色亚种(*S. griseus subsp. griseus*)NBRC 13350、阿维链霉菌(*S. avermitilis*)MA-4680、冰城链霉菌(*S. bingchenggensis*)BCW-1、疮痂病链霉菌(*S. scabiei*)87.22 等中也发现同源基因.同源基因的普遍存在,提示其可能参与了重要的生命活动过程,但其具体生理功能如何,目前仍不明确.

近年,塔里木盆地生物资源保护利用重点实验室从热带原始森林土壤中分离获得一株链霉菌新种——粤蓝链霉菌(*S. vietnamensis*)^[10],该菌能够产生榴菌素^[11].前期,我们测定了该菌榴菌素生物合成基因簇的全长序列^[12],并首次成功建立了榴菌素产生菌(粤蓝链霉菌)的有效遗传转化体系^[13].本研究在此基础上,通过体内基因敲除,对 *gra-orf7* 这一可能的 STPK 基因的生理功能进行初步研究.

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 菌株、质粒和引物

本研究所涉及的菌株,质粒和引物见表 1.

表 1 参试菌株、质粒和引物

Strains, plasmids and primers	Characteristics	Reference/Source
<i>S. vietnamensis</i>		
GIMV4.0001	Wild type	文献[10]
MSORF7	$\Delta gra-orf7::aac(3)-IV$	This study
<i>E. coli</i>		
DH5 α	$\Phi 90lacZ\Delta m15, recA1$	上海生工
JM109	<i>endA1, recA1, gyrA96, thi-1, hsdR17(r_K⁻, m_K⁺), relA1, supE44, $\Delta(lac-proAB)$, [F', <i>traD36, proAB, lacI^qZΔM15</i>]; general cloning strain</i>	文献[14]
BW25113	$\Delta araBAD, \Delta rhaBAD$; for PCR-targeted disruption	文献[15]
ET12567	<i>dam, dem, hsdM, hsdS, hsdR, cat, tet</i> ; for intergenic conjugation	文献[16]
Plasmids		
pCR2.1	<i>bla, neo</i> ; TA cloning vector	Invitrogen
pCR-orf7D	A 1.5 kb fragment cloned into pCR2.1, becoming recombinant	This study
pCR-orf7UD	A 3.5 kb fragment containing <i>gra-orf7</i> and flanking region cloned into pCR2.1, serving as the target plasmid	This study
pCR-orf::apraUD	Mutant pCR-orf7UD with <i>gra-orf7</i> replaced by the <i>aac(3)-IV/oriT</i> cassette	This study
pIJ790	λ -RED(<i>gam, bet, exo, cat, araC, rep101^{ts}</i>)	文献[17]
pIJ773	<i>aac(3)-IV, oriT</i>	文献[17]
pUZ8002	<i>tra, neo, RP4</i> ; helping plasmid for conjugation	文献[18]
Primers		
orf7Fs	ATCGGCGGGCTCCTCGTGTA	This study
orf7Rs	ATGCCGTTGGTGGCGTCGTC	This study
ORF7-645	AAGGACGGCAAGGTCTACT	This study
ORF7-4133	AATCCCCACATCCATGAAA	This study
apraF	GGA GAG ACG ACG CAG ACG GGG AGC GGG CGC AGC GCG ATG ATT CCG GGG ATC CGT CGA CC	This study
apraR	CTG CTG GCC AGG CGC GGG GCC TAG AAC CCT TCG GGC TCA TGT AGG CTG GAG CTG CTT C	This study
ApraF	GGTCCACAGCTCCTTCCGTA	文献[19]
ApraR	TTATGAGCTCAGCCAATCGAC	文献[19]

1.1.2 主要试剂与培养基

UNIQ-10 柱式 DNA 胶回收试剂盒购自上海生工生物工程技术服务有限公司;pCR2.1 TA 克隆试剂盒购自上海英骏生物技术有限公司;IPTG、X-Gal、限制性核酸内切酶等均购自宝生物工程(大连)有限公司;萘啶酮酸(Nalidixic acid,Nali)、阿普拉霉素(Apramycin, Apra)为 Sigma 产品;氨苄霉素(Ampicillin, Amp)、卡那霉素(Kanamycin, Kan)、氯霉素(Chloramphenicol, Cml)等均为常规产品. LB、SOB、YEME、YD、NA、2×YT、YMS、高氏一号等培养基均按标准配方配制.

1.2 *gra-orf7* 基因下游未知序列的克隆与测序

前期 GRA 基因簇测序中已获得 *gra-orf7* 完整基因及下游部分序列,但已知的下游序列长度并不足以在基因敲除中作为同源臂.为了获得更长的下游序列,本研究对 *gra-orf7* 基因及其上、下游已知序列进行了同源性分析,通过 BLAST 比对,在同源性较高区域设计引物,以期获得下游未知序列. PCR 扩增产物经纯化 TA 克隆到 pCR2.1 载体上,酶切验证后送上海英骏公司测序.

1.3 粤蓝链霉菌突变株的构建

大肠杆菌和链霉菌相关的分子生物学操作分别按照文献[20]和文献[21]进行. 突变株 MSORF7 的构建采用 PCR-targeting 方法^[18]进行,稍有改动如下:根据 *gra-orf7* 基因上下游已知序列设计引物 ORF7-645 和 ORF7-4133,利用保真性能高的 LA Taq 酶从粤蓝链霉菌基因组中扩增出 *gra-orf7* 基因及其上下游共约 3.5 kb 的片段,TA 克隆至载体 pCR2.1,得到质粒 pCR2.1-orf7UD,并将此重组质粒作为突变母体质粒转入 *E. coli* BW25113/pIJ790 感受态细胞中,获得转化子 *E. coli* BW25113/pIJ790/pCR2.1-orf7UD.

利用引物对 *apraF/apraR*(下划线部分与 *gra-orf7* 基因上下游序列同源)扩增 pIJ773 质粒上包含 Apra 抗性基因和转移起始序列约 1.4 kb 片段(*aac(3)-IV/oriT cassette*),PCR 扩增产物纯化后用电击法转化至 *E. coli* BW25113/pIJ790/pCR2.1-orf7UD 感受态细胞.在 30℃ 条件下,λ/RED 重组系统将重组质粒 pCR2.1-orf7UD 上的 *orf7* 基因替换成 *aac(3)-IV/oriT cassette*,从而获得 pCR2.1-orf7::ApraUD.将质粒 pCR2.1-orf7::ApraUD 转化至 *E. coli* ET12567/pUZ8002,得到转化子 *E. coli* ET12567/pUZ8002/pCR-orf7::ApraUD,将其与粤蓝链霉菌孢子进行接合转移,在 YD 平板上筛选接合子.待 YD 平板上刚长出孢子时,用 Apra 和萘啶酮酸抗生素覆盖平板,直到平板上长出接合子.随机挑取若干接合子,点接转移至含有 Apra 和 Kan 以及只含 Apra 的两种 NA 平板上,挑取单一抗性(Kan^S、Apra^R)的接合子,即双交换接合子.

1.4 粤蓝链霉菌突变株基因型验证及表型分析

1.4.1 突变株的基因型验证

得到双交换接合子后,提取其基因组 DNA,利用 PCR 方法进行基因型验证. PCR 采用 4 条引物 ApraF、ApraR、ORF7-645 和 ORF7-4133 等组合成的 4 对引物,即: ApraF/ApraR、ORF7-645/ORF7-4133、ApraF/ORF7-645、ApraR/ORF7-4133 等进行验证.

1.4.2 突变株菌落形态分析

在多种培养基,如 YD、YEME、高氏一号、MM、P2 等中,观察突变株的菌落形态.取粤蓝链霉菌突变株与野生株甘油种各 50 μL,分别培养于 5 mL 含 Apra 的 YEME 液体培养中,30℃ 过夜培养.吸取 1 mL 菌液于 1.5 mL 无菌离心管,5 000 rpm 离心,弃去上清,1 mL 无菌水重悬菌体.用接种环进行划线.30℃ 培养 3 d,观察菌落形态.

1.4.3 突变株孢子微观形态分析

扫描电镜观察粤蓝链霉菌孢子微观形态特征. YD 培养基上培养 7 天的粤蓝链霉菌采用戊二醛固定法处理.将链霉菌孢子用 3%戊二醛固定 5 h,依次用 PBS、30%乙醇、50%乙醇、70%乙醇、90%乙醇,无水乙醇处理,再用叔丁醇置换,冷冻干燥后,进行电镜观察.

1.4.4 突变株产色(榴菌素)能力分析

利用比色法对突变株的产色能力进行测定.挑取粤蓝链霉菌突变株与野生株单菌落,分别培养于 5 mL 的 YEME 液体培养基中,30℃ 过夜培养.吸取 1 mL 菌液于 1.5 mL 无菌离心管,5 000 rpm 离心,弃

去上清,用 1 mL 无菌水重悬菌体,采用比色法进行相对定量.以相同的接种量接于 30 mL YEME 液体培养基的 250 mL 三角瓶中,30 ℃,170 rpm 条件下培养,每个处理 3 次重复.产色后,每小时取一次样.从培养液中吸取 300 μ L 菌液,12 000 rpm 离心 1 min,取上清,测定 580 nm 波长处的光吸收值.以时间(h)为横坐标,光吸收值(OD580)为纵坐标,绘制色素生产曲线.

2 结果与分析

2.1 *gra-orf7* 基因下游序列的克隆与测序

对 *gra-orf7* 基因的 BLAST 分析表明,在多个完成基因组测序的链霉菌中存在同源基因,进一步的分析发现其上下游序列在委内瑞拉链霉菌、灰色链霉菌灰色亚种、冰城链霉菌等中也存在较高同源性,且该区域中相邻基因间相对位置相同(图 1).将委内瑞拉链霉菌的 SVEN-3648 基因与灰色链霉菌灰色亚种、冰城链霉菌等的相应同源基因进行比较,发现该基因序列高度保守,多个区域序列同源率达 100%.因此,在该 3 种链霉菌的序列一致区域设计了上游引物 orf7Fs,与根据已知序列设计的下游引物 orf7Rs 组成引物对,以粤蓝链霉菌野生型菌株基因组为模板,进行 PCR 扩增(图 1).电泳显示,扩增产物约为 1.5 kb,与预期大小相近(图 2a).将 TA 克隆后得到的重组质粒 pCR-orf7D 进行酶切验证(图 2b),并送英骏公司测序.对测序结果分析表明,该扩增产物是粤蓝链霉菌榴菌素基因簇侧翼基因 *gra-orf7* 的下游区域.

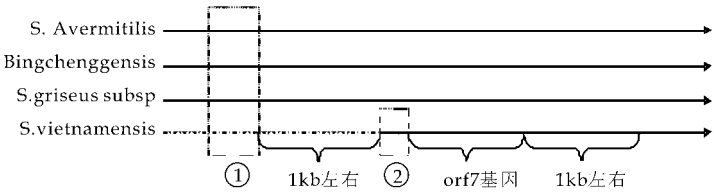


图 1 *gra-orf7* 基因上、下游同源性比较及引物设计

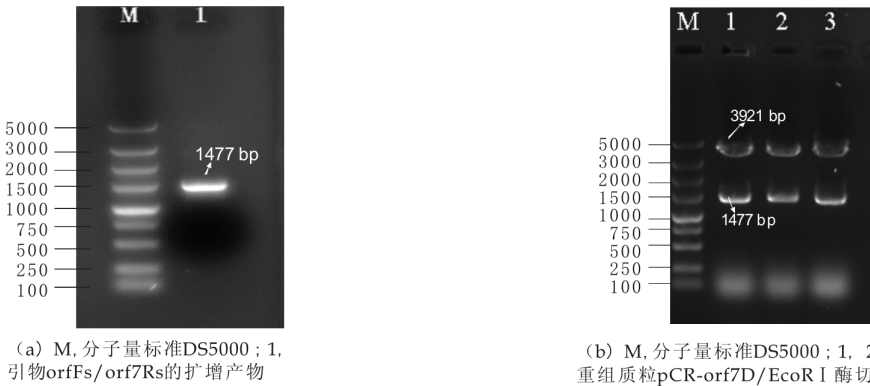


图 2 粤蓝链霉菌 *gra-orf7* 基因下游区域的 PCR 扩增及其重组质粒酶切鉴定

2.2 突变株的构建及基因型验证

Escherichia-Streptomyce 属间接接转移操作之后大约 12 h,在 YD 培养基平板上覆盖 Apra 和 Nali. 30 ℃培养 2 d 后,从中挑取的表现单一抗性表型(Kan^S、Apra^R)接合子数目约占 10%.双交换接合子经扩繁后,提取其基因组 DNA,进行 PCR 验证.琼脂凝胶电泳检测显示 708 bp(ApraF/ApraR)、3 511 bp(ORF7-645/ORF7-4 133)、1 861 bp(ApraF/ORF7-645)、2 358 bp(ApraR/ORF7-4 133)条带(图 3),其中,M,分子量标准 DS5000;1~4 分别为 ApraF/ApraR、ORF7-645/ORF7-4133、ApraF/ORF7-645、ApraR/ORF7-4133 的 PCR 产物,结果符合预期,提示突变株构建成功.

2.3 突变株表型分析

2.3.1 突变株菌落形态分析

突变株在 YD、YEME、高氏一号、MM、P2 等培养基平板上,仍然能够产蓝色素,即榴菌素,且具有产孢的能力,菌落形态与野生株无显著差异(图 4).

2.3.2 突变株孢子微观形态分析

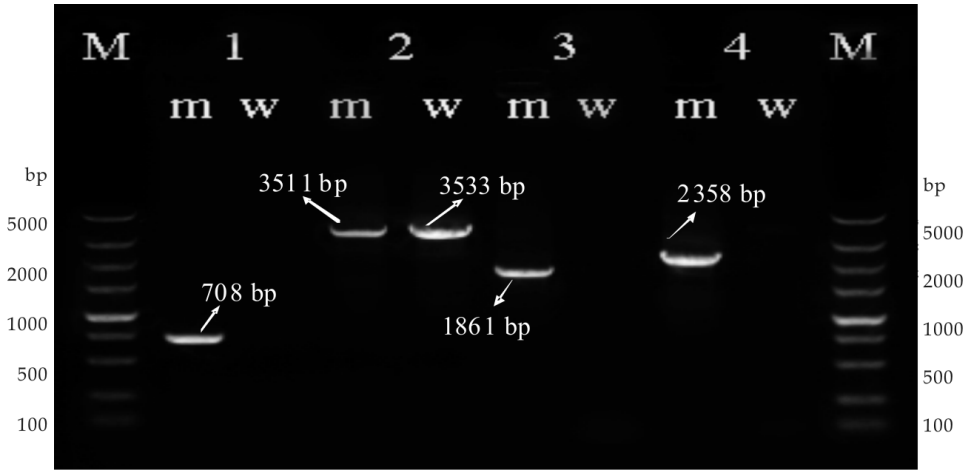


图 3 粤蓝链霉菌 *gra-orf7* 突变株基因型的 PCR 验证

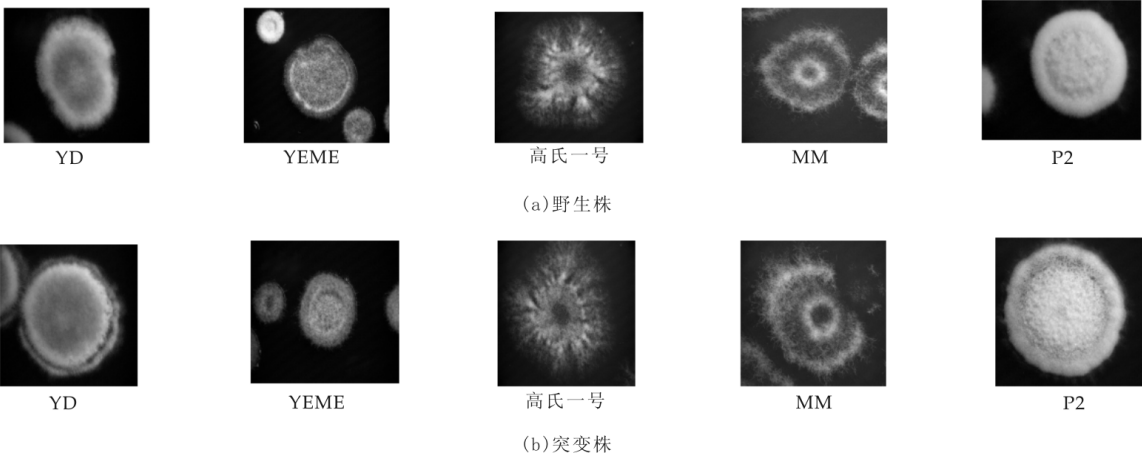


图 4 粤蓝链霉菌突变株 MSORF7 与野生株菌落形态比较

通过扫描电镜的观察,其孢子形态与野生株也基本一致(图 5).



图 5 扫描电镜对粤蓝链霉菌突变株与野生株孢子形态观察

2.3.3 突变株产色(榴菌素)能力分析

在 YEME 液体培养基中,对照野生株在培养到 11 h 时开始产生色素(榴菌素),而突变株约在 12 h 时才开始产色,但突变株在培养约 19 h 时,色素产量与野生株基本相同(图 6). 在多次独立实验中,均可观察到突变株较野生株延迟产色的现象,说明这一变化特征较为稳定.

3 结论与探讨

基因敲除是研究目标基因功能的主要手段之一,本研究对粤蓝链霉菌中一个可能的丝氨酸/苏氨酸蛋白激酶(STPK)编码基因 *gra-orf7* 进行了体内敲除,PCR 基因型验证结果显示, *gra-orf7* 缺失突变株构

建成功. 突变株在菌落形态、产孢能力、孢子形态以及色素(榴菌素)最终产率等方面与野生株无显著差异, 这些结果似乎暗示 *gra-orf7* 在粤蓝链霉菌的发育分化, 和榴菌素的生物合成过程中并不扮演重要角色. 然而, 突变株的产色延迟现象在重复的独立实验中均能观察到, 该表型变化应与 *gra-orf7* 基因的失活直接相关, 这说明 *gra-orf7* 基因编码的 STPK 在粤蓝链霉菌中具有生物学功能.

突变株产色(榴菌素)的延迟, 却并不能说明 *gra-orf7* 基因编码的 STPK 直接参与了榴菌素的生物合成. 在许多抗生素生物合成基因簇中存在被称为抗生素合成“分子开关”的途径特异性调控基因^[22], 只有当途径特异性调控基因被激活后, 抗生素的生物合成才会启动. 在榴菌素的生物合成基因簇中也同样存在这种途径特异性调控基因 *gra-orf9*^[9]. *gra-orf7* 缺失突变株在产色后, 无论是色素的累积速度和最终产量水平均与野生株无显著差别, 这说明 *gra-orf7* 并没有直接参与榴菌素的生物合成. 产色延迟可能是由于 *gra-orf7* 基因的失活, 影响到了上游调控信号传导, 导致榴菌素生物合成的途径特异性调控基因 *gra-orf9* 的激活滞后.

STPK 是通过使目标蛋白磷酸化而激活目标蛋白的. 在链霉菌中, 不同的 STPK 可能能够激活同一个目标蛋白. 例如, 在天蓝链霉菌 A3(2) 中, 次级代谢全局性调控蛋白 AfsR 是蛋白激酶 AfsK 的目标蛋白^[5], 但 PkaG、AfsL 等 STPK 也能使 AfsR 磷酸化^[7]. 在本研究中, *gra-orf7* 基因编码的 STPK 可能参与了与榴菌素生物合成有关的上游调控信号的传导, 但其目标蛋白可能也能够被其它未知的 STPK 激活, 形成某种补偿机制, 使得 *gra-orf7* 基因的失活, 并不能彻底阻断榴菌素的合成, 而是延迟产生.

近期, 也有研究者获得了与我们类似的结果^[23]. 他们在研究天蓝链霉菌 A3(2) 的一个 STPK 基因 *pkaF* 时发现, *pkaF* 过量表达突变株表现出生长延迟、完全丧失了产孢和产放线紫红素的能力, 表明 *pkaF* 对天蓝链霉菌 A3(2) 的生长、发育分化和次级代谢有重要的影响; 然而 *pkaF* 失活突变株在细胞生长、气生菌丝分化、产孢和放线紫红素的产生等方面与野生株并无差别, 仅产孢和产放线紫红素的时间提早了约 0.5 天. 造成这一结果的原因也可能与本研究类似, 即该基因的目标蛋白还能够被其它未知的 STPK 激活, 通过某种补偿机制, 在该基因失活的情况下, 菌株仍然能够维持大致正常的生长、发育、分化和次级代谢过程. 也正是基于这个原因, 虽然 *gra-orf7* 缺失突变株的各种表型与野生株无显著差别, 但不能排除 *gra-orf7* 参与粤蓝链霉菌发育、分化的可能.

链霉菌 STPK 早在 1994 年即被发现^[24], 此后许多可能的链霉菌 STPK 陆续被证实, 在体外具有丝氨酸/苏氨酸残基磷酸化活性, 然而其体内生理功能和作用机制被阐明的仅有 AfsK 等极少数 STPK. 基因敲除后, 突变株的表型常常与野生株相近, 是导致其体内真实生理功能难以被发现的重要原因. 本研究虽然暗示了 *gra-orf7* 基因编码的 STPK, 在粤蓝链霉菌中可能参与了与榴菌素生物合成有关的上游调控信号的传导, 但要揭示其生理功能和作用机制, 仍有大量的工作需要展开. 例如, 体外丝氨酸/苏氨酸残基磷酸化活性的证实、体内过量表达研究、目标蛋白的捕获和鉴定等, 这些均有助于我们深入了解 *gra-orf7* 基因在粤蓝链霉菌中的生理功能. 目前, 进一步的研究正在进行中.

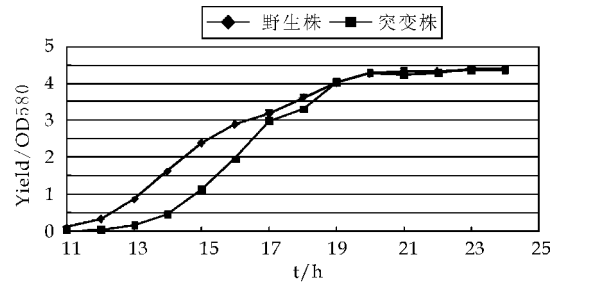


图 6 粤蓝链霉菌 *gra-orf7* 突变株与野生株在 YEME 液体培养基产色比较

参 考 文 献

[1] Muñoz-Dorado J, Inouye S, Inouye M. A gene encoding a protein serine/threonine kinase is required for normal development of *M. xanthus*, a gram-negative bacterium[J]. Cell, 1991, 67(5): 995-1 006.

[2] Petříčková K, Petříček M. Eukaryotic-type protein kinases in *Streptomyces coelicolor*: variations on a common theme[J]. Microbiology, 2003, 149(7): 1 609-1 621.

[3] Rajagopal L, Vo A, Silvestroni A, et al. Regulation of purine biosynthesis by a eukaryotic-type kinase in *Streptococcus agalactiae* [J]. Mol Microbiol, 2005, 56(5): 1 329-1 346.

[4] Bentley SD, Chater KF, Cerdeño-Tarraga AM, et al. Complete genome sequence of the model actinomycete *Streptomyces coelicolor* A3(2)[J]. Nature, 2002, 417(7): 141-147.

- [5] Umeyama T, Lee PC, Horinouchi S. Protein serine/threonine kinases in signal transduction for secondary metabolism and morphogenesis in Streptomyces[J]. Appl Microbiol Biotechnol, 2002, 59(4-5): 419-425.
- [6] Horinouchi S. AfsR as an integrator of signals that are sensed by multiple serine/threonine kinases in Streptomyces coelicolor A3(2)[J]. J Ind Microbiol Biotechnol, 2003, 30(2): 462-467.
- [7] Sawai R, Suzuki A, Takano Y, et al. Phosphorylation of AfsR by multiple serine/threonine kinases in Streptomyces coelicolor A3(2)[J]. Gene, 2004, 33(4): 53-61.
- [8] 高 瑾,姜卫红,焦瑞身. 原核生物中的信号传导与次生代谢[J]. 国外医药抗生素分册, 2001, 22(6): 269-273.
- [9] Koji Ichinose, David J Bedford, et al. The granaticin biosynthetic gene cluster of Streptomyces violaceoruber Tü22; sequence analysis and expression in a heterologous host[J]. Chemistry & Biology, 1998, (5): 647-659.
- [10] Zhu HH, Guo J, Yao Q, Yang SZ, Deng MR, Phuong LTB, Hanh VT, Ryan MJ. Streptomyces vietnamensis sp. nov., a streptomycete with violet blue diffusible pigment isolated from soil in Vietnam[J]. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 2007, 57(8): 1 770-1 774.
- [11] 邓名荣,朱春华,郭 俊,朱红惠. 粤蓝链霉菌中紫罗兰蓝色素成分的分离与鉴定[J]. 华南理工大学学报, 2011, 5(39): 132-137.
- [12] Deng MR, Guo J, Li X, Zhu CH, Zhu HH. Granaticins and their biosynthetic gene cluster from Streptomyces vietnamensis: evidence of horizontal gene transfer[J]. Antonie van Leeuwenhoek Journal of Microbiology, 2011, 100(4): 607-617.
- [13] Deng MR, Guo J, Zhu HH. Streptomyces vietnamensis GIMV4.0001: a granaticin-producing strain that can be readily genetically manipulated[J]. The Journal of Antibiotics, 2011, 64(2), 345-347.
- [14] Yanisch-Perron C, Vieira J, Messing J. Improved M13 phage cloning vectors and host strains: nucleotide sequences of the M13mp18 and pUC19 vectors[J]. Gene, 1985, 33(1): 103-119.
- [15] Datsenko KA, Wanner BL. One-step inactivation of chromosomal genes in Escherichia coli K-12 using PCR products[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2000, 97(12): 6 640-6 645.
- [16] MacNeil DJ, Gewain KM, Ruby CL, Dezeny G, Gibbons PH, MacNeil T. Analysis of Streptomyces avermitilis genes required for avermectin biosynthesis utilizing a novel integration vector[J]. Gene, 1992, 111(1): 61-68.
- [17] Gust B, Challis GL, Fowler K, Kieser T, Chater KF. PCR-targeted Streptomyces gene replacement identifies a protein domain needed for biosynthesis of the sesquiterpene soil odor geosmin[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2003, 100(4): 1 541-1 546.
- [18] Paget MSB, Chamberlin L, Atrih A, Foster SJ, Buttner MJ. Evidence that the extracytoplasmic function sigma factor sigma E is required for normal cell wall structure in Streptomyces coelicolor A3(2)[J]. Journal of Bacteriology, 1999, 181(1): 204-211.
- [19] 邓名荣,郭 俊,黄永恒,朱红惠. 粤蓝链霉菌菌素生物合成基因 orf20 的功能[J]. 微生物学报, 2011, 51(3): 402-409.
- [20] Sambrook J, Russell DW. Molecular cloning: a laboratory manual, 3rd edn[J]. New York: Cold Spring Harbor Laboratory, 2001, 35(2): 73-74.
- [21] Kieser T, Bibb MJ, Buttner MJ, Chater KF, Hopwood DA. Practical Streptomyces Genetics, 2nd edn. Norwich[J]. John Innes Foundation, 2000, 45(8): 25-26.
- [22] Arias P, Fernandez-Moreno MA, Malpartida F. Characterization of the Pathway-Specific positive transcriptional regulator for actinorhodin biosynthesis in Streptomyces coelicolor A3(2) as a DNA-Binding Protein[J]. Journal of Bacteriology, 1999, 181(22): 6 958-6 968.
- [23] Oh EA, Chi WJ, Kim MS, Kang SS, Chun J, Hong SK. Characterization of the autophosphorylating kinase, PkaF, in Streptomyces coelicolor A3(2) M130[J]. Archives of Microbiology, 2011, 193(12): 845-856.
- [24] Matsumoto A, Hong S-K, Ishizuka H, Horinouchi S, Beppu T. Phosphorylation of the AfsR protein involved in secondary metabolism in Streptomyces species by a eukaryotic type protein kinase[J]. Gene, 1994, 146: 47-56.

Pilot Study on the Function of a Ser/Thr Protein Kinase Gene *gra-orf7* from Streptomyces Vietnamensis

LI Chao^{1,2}, HU Jian-wei¹, DENG Ming-rong², ZHU Hong-hui²

(1. Key Laboratory of Protection & Utilization, Tarim University, Alar 843300, China; 2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Microbial Culture Collection and Application, Guangdong Open Laboratory of Applied Microbiology, State Key Laboratory of Applied Microbiology (Ministry—Guangdong Province Jointly Breeding Base in South China), Guangzhou Institute of Microbiology, Guangzhou 510070, China)

Abstract: *Streptomyces vietnamensis*, a newly designated streptomycete species by Key Laboratory of Protection & Utilization of Biological Resources in Tarim Basin, was found to be a new granaticin producer. A putative serine/threonine kinase gene, *gra-orf7*, was found in the left end of the granaticin gene cluster. To deduce its possible physiological role in *S. vietnamensis*, a *gra-orf7* deletion mutant was constructed using a PCR-targeting disruption method. The mutant showed no visible changes in colony and spore morphology, sporulation, or granaticin production. However, the mutant tended to synthesize granaticin at earlier stage by 1 hour than the wild strain. These imply that the *gra-orf7* gene played some role in a signaling process that related to the granaticin biosynthesis, but its specific role and mechanism remain elusive.

Key words: *Streptomyces vietnamensis*; Serine/Threonine protein kinase; granaticin

* 文章编号:1000-5811(2012)02-0035-04

BiVO₄ 粉体的制备方法及其光催化性能的研究进展

魏莎莎,谈国强,宋丽花,章 微,夏 傲
(陕西科技大学 材料科学与工程学院,陕西 西安 710021)

摘 要:介绍了 BiVO₄ 光催化剂的结构,总结了 BiVO₄ 光催化剂的几种合成方法以及近年来对其光催化性能研究的进展情况,并简要介绍了几种 BiVO₄ 的改性方法.最后针对目前 BiVO₄ 的研究现状提出了几点亟待解决的问题.

关键词:BiVO₄; 合成方法; 光催化性能; 研究现状

中图法分类号:TB44;TQ135.3⁺2 **文献标识码:**A

0 引 言

利用半导体材料作为光催化剂催化降解有机污染物,可将有机物完全矿化为 H₂O 和无机离子,降解速率快,不产生二次污染,有着传统的高温、常规污染处理方法不可比拟的优势.国内外报道的光催化研究中,TiO₂ 以其优良的光催化性能备受人们的关注,成为近几十年来最重要的光催化剂.但由于其带隙宽(3.2 eV),只能被波长较短的紫外光激发,极大地限制了 TiO₂ 的应用.

BiVO₄ 主要有 3 种晶型:四方锆石型(z-t)、单斜白钨矿型结构(s-m)和四方白钨矿型结构(s-t),其中单斜晶相钒酸铋的禁带宽度为 2.3~2.4 eV,它足够高的价带完全可以实现空穴(h⁺)对有机污染物的降解.在单斜白钨矿 BiVO₄ 的结构中:每个铋和 6 个氧组成 BiO₆ 八面体,每个钒和 4 个氧组成 VO₄ 四面体,BiO₆ 八面体之间以相邻交替,而 VO₄ 之间不接触,Bi 原子在 8 个 VO₄ 四面体环绕之下,和 VO₄ 之间共一个氧原子,构成的结构之间有一定的层间距.该结构对光吸收的带隙能起决定作用,通常都是其中的 O_{2p} 提供价带,过渡元素 V 的空 d 轨道提供导带;BiVO₄ (z-t)和 BiVO₄ (s-m)紫外光区的吸收主要是借助于电子从 O_{2p} 轨道跃迁到 V₃ 轨道,而可见光区的吸收则是借助于电子从 Bi_{6s} 轨道或者 Bi_{6s} 和 O_{2p} 的杂化轨道跃迁到 V₃ 轨道.

BiVO₄ 作为一种非 TiO₂ 基的新型环保半导体光催化剂,因其禁带宽度窄、无毒、稳定性好,有着广泛的应用前景,引起了科研工作者的广泛关注.本文就近年来 BiVO₄ 光催化剂的研究,综述了 BiVO₄ 光催化剂的合成方法、光催化活性等方面的研究进展及发展趋势.

1 BiVO₄ 光催化剂的合成

目前 BiVO₄ 的合成方法很多,如高温固相法、金属醇盐水解法、化学浴沉积法、溶胶凝胶法、超声辅助法等.这些合成方法各有利弊,且不同的合成方法制得的产物的结构和形貌也不同,从而光催化性能也有差异.

1.1 液相沉淀法

Kudo 等^[1]采用液相沉淀法,在室温制备出了四方相和单斜相的钒酸铋.制得的四方相 BiVO₄ 吸收边

* 收稿日期:2012-02-28

基金项目:国家自然科学基金重点项目(50872077);国家自然科学基金青年项目(51002092);陕西省自然科学基金基础研究项目(2010JM6013);陕西科技大学研究生创新基金(SUST-A04);陕西科技大学科研创新团队基金(TD-09)

作者简介:魏莎莎(1987—),女,山东省菏泽市人,硕士研究生,研究方向:半导体光催化材料

落在紫外区,带隙约为 2.9 eV;而单斜相的吸收边可扩展到可见光区,带隙也相应的缩小到 2.3~2.4 eV.高善民等^[2]采用液相沉淀法,选择不同起始原料并控制反应温度和 pH 值,得到不同形貌和结构的纳米 BiVO_4 .发现采用 NH_4VO_3 作 V 源,室温下可直接制备得到结晶好的四方晶系硅酸锆型 BiVO_4 球形纳米颗粒,提高反应液 pH 值或升高温度,可得到单斜晶系白钨矿型 BiVO_4 ,采用 NaVO_3 作为 V 源,室温下可直接得到单斜晶系白钨矿型片状 BiVO_4 .

张萍等^[3]以 $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 和 NH_4VO_3 为原料,利用液相沉淀法制备了平均粒径为 300 nm、且分散性良好的 BiVO_4 .

1.2 水热合成法

Liu *et al.*^[4]分别以五氧化二钒、偏钒酸铵为钒源采用水热法合成了钒酸铋,SEM 结果显示:以五氧化二钒为钒源制备得到的是棒状粒子,而用偏钒酸钠为钒源得到的盘状粉末.

Yu *et al.*^[5]以阳离子表面活性剂十六烷基三甲基溴化铵(CTAB)为模剂,采用水热法在 160 °C 下合成了平均直径为 100 nm、长度可达几微米的纤维状 BiVO_4 .

Zhang *et al.*^[6]以硝酸铋、偏钒酸铵为原料,十二烷基苯磺酸钠为模板剂水热合成了厚度为 10~40 nm 的二维片状 BiVO_4 .

Yu^[7]采用水热法在 453 K 通过调节 pH 值合成了各种型貌的 BiVO_4 .

周建伟等^[8]以十二烷基苯磺酸钠为分散剂,采用水热法合成了平均尺寸小于 100 nm 的球形 BiVO_4 颗粒.

Yang *et al.*^[9]报道采用水热法在表面活性剂 SDS 存在时,合成了球状或均一的十面体形貌的 BiVO_4 .

1.3 强迫水解法

德国专利提出的一种制备方法为:将 $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$ 溶液加入到含可溶性磷酸盐、 NH_4VO_3 的溶液中,调 pH 值为 3~6.5,加热至 100 °C,并加入更多的碱液使 pH 值保持一定,经 0.5~5 h 后调 pH 值为 2~5 并搅拌 1 h,然后调 pH 值为 5~8,保持 pH 值加热至回流温度,并继续加热 0.5~5 h^[10];还有人提出如下制备工艺:使酸性硝酸铋溶液与碱性偏钒酸铵(或偏钒酸钠)溶液(还可有其他盐)反应,在 pH 值 1~2 条件下生成沉淀,加碱调 pH 值至 7,大约用 30 min 加热至 80 °C 以上,加碱以保持 pH 值为 7,搅拌 0.5 h 以上,至 pH 值为 6.5 左右^[11].

1.4 微乳液法

彭秧^[12]在聚乙二醇/环己烷/水的乳液体系中,超声条件下制备了能响应于太阳光的砖形 BiVO_4 微米棒光催化材料.结果表明,所制备的光催化剂为单斜晶系结构的砖形微米棒,是由直径为 30~50 nm 的纳米粒子组成.制备的光催化剂光吸收特性表明,其禁带宽度约为 2.18 eV,在紫外和可见光区均有较强的光吸收性能.

戈磊等^[13]以 $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$ 、 NH_4VO_3 为原料,以 Tween-80 为表面活性剂,正丁醇为助表面活性剂,正庚烷为油相,采用微乳液法分别合成了四方相和单斜相的 BiVO_4 光催化剂.

1.5 微波辅助加热法

刘冰晶等^[14]采用微波辅助加热法,以 NaVO_4 溶液和 $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 的硝酸溶液为反应物,在 10~40 min 内合成了纳米钒酸铋粉末.经测定反应 10 min 时,得到纯的四方相 BiVO_4 ,随着反应时间的延长,逐渐出现单斜相的衍射峰,当反应 40 min 时,获得纯的单斜相 BiVO_4 ,并且它们的形貌也有所不同.

2 光催化活性的研究

Kudo^[1]等人研究发现钒酸铋材料具有光催化性能,在可见光或紫外光照射下可催化 AgNO_3 水溶液产生 O_2 ,和四方相结构相比,单斜相钒酸铋具有更好的光催化性能,进一步的研究表明:单斜相钒酸铋之所以具有高的光催化性能是和其结构特征分不开的^[15].

Xie *et al.*^[16]第一次报道了在可见光使用单斜晶系 BiVO₄,利用氧化和还原反应之间的协同效应,同时去除苯酚和光还原 Cr(VI)溶液,使原来对单个反应光催化效率较低的 BiVO₄ 在苯酚和 Cr(VI)溶液的共存体系中的光催化效率大大增加。

Zhang *et al.*^[6]以罗丹明 B(RhB)为模型,考察了太阳光下钒酸铋的光催化性能。

Hui *et al.*^[17]发现在可见光照射下,在降解染料罗丹明 B 的过程中,mBiVO₄ 的光催化活性要优于 tBiVO₄。

刘冰晶等^[14]对不同反应时间下获得的 BiVO₄ 样品进行光催化性能测试,结果表明,微波反应时间对 BiVO₄ 结构的转变及光催化性能的改变起到重要作用。

周建伟等^[8]以 450 W 高压汞灯为光源,以 10 mg/L 亚甲基蓝溶液为目标降解物,对所制得的 BiVO₄ 样品进行光催化测试,光照 2.0 h,降解率达 90%。

刘秀萍^[18]以单斜相 BiVO₄ 为催化剂,在可见光下对亚甲基蓝进行降解,辐照 5 h,亚甲基蓝溶液的脱色率可达 99%。

3 BiVO₄ 半导体光催化剂的改性

3.1 贵金属表面沉积

贵金属和半导体具有不同的费米能级,当贵金属过渡元素掺入后,电子就会从费米能级较高的半导体转移到费米能级较低的金属,从而形成肖特基势垒,肖特基势垒成为捕获电子的有效陷阱,光生载流子被分离,从而抑制了电子和空穴的复合,提高了半导体的光催化活性^[19]。最常用的贵金属有 Pt, Pd, Au, Rh, Ag 等。如 Pt 的沉积能显著提高对甲苯^[20]的降解效率。

戈磊^[21]以 Bi(NO₃)₃、NH₄VO₃ 和 H₂PtCl₆ 为原料,采用浸渍法制备了新型复合光催化剂 Pt/BiVO₄,Pt/BiVO₄ 光催化剂为单斜相结构,在可见光区的吸收增强,吸收带边红移到了红光区。在大于 400 nm 的可见光照射下,以甲基橙的光催化降解为模型反应,研究了该新型光催化剂的光催化活性,结果发现与纯 BiVO₄ 样品相比,Pt/BiVO₄ 复合样品的光催化活性大幅提高。

Aiping Zhang *et al.*^[22]等采用水热法制得单斜相的 Au/BiVO₄,发现 Au 的掺入使得半导体内部电子、空穴的复合率减少,从而使得 BiVO₄ 在可见光下的光催化性能得到改善。

3.2 离子掺杂

金属离子的掺入可能会在半导体晶格中引入缺陷位置或改变结晶度,从而在半导体的带隙能级中引入缺陷能级和杂质能级,使能量较小的光子就能激发半导体产生光电子,从而改变半导体的激发光波长,拓宽半导体对太阳光的光谱响应范围,提高对太阳光能的利用率。此外,掺杂可以导致载流子的扩散长度增加,从而延长了光生电子和光生空穴的寿命,当掺杂价态高于金属离子的价态时,可以在局部生成光生电子的俘获中心,从而抑制光生电子与空穴的复合,提高半导体的光催化活性^[23]。

Hui Xu *et al.*^[24]采用浸渍法,以 Cu(NO₃)₂ · 3H₂O 为 Cu 源,制备出 Cu-BiVO₄,发现在降解亚甲基蓝时,Cu 的掺入量及煅烧温度是影响光催化性能的关键,并且研究了 Cu 的最佳掺入量及煅烧温度。

3.3 半导体复合

将两种不同禁带宽度的半导体复合,其互补性质能增强电荷分离,抑制电子—空穴的复合和扩展光致激发波长范围,从而显示了比单一半导体更好的稳定性和催化活性。

戈磊^[25]通过浸渍法制备了新型可见光活性的氧化钯(PdO)/钒酸铋(BiVO₄)复合光催化剂。在可见光($\lambda > 400$ nm)照射下考察 PdO/BiVO₄ 样品降解甲基橙的光催化性能。结果表明,PdO/BiVO₄ 光催化剂为单斜相结构,晶粒形貌呈十字花或球形。XPS 结果显示,复合光催化剂中掺杂的钯(Pd)元素是以 PdO 的形式存在的。与纯 BiVO₄ 样品相比,复合光催化剂可见光降解甲基橙的活性显著增强。这种新型复合光催化剂的光催化性能提高的原因可能是催化剂中光生载流子的高效分离造成的。

4 结论

钒酸铋作为一种新型的窄带隙半导体光催化剂,有着广泛的应用前景,受到了科研工作者的高度重

视. 目前对钒酸铋的研究已经进入了一定的高度,但是仍然存在着许多问题亟待解决,可总结为以下几点:

(1)探索新型环境友好的制备方法. 目前报道的关于钒酸铋的合成方法很多,但大多存在着多方面的缺陷. 如液相沉淀法步骤多、易导致组份损失,得到的粉体颗粒尺寸分布宽、易团聚和比表面积小等问题. 固态反应法生产能耗大,颗粒偏大、形貌较难控制、易行成非化学计量和结构缺陷. 水热法加热速率慢、反应时间长、热量分布不均匀、温度梯度大. 因此开发一种环境友好的快速合成工艺是十分必要的.

(2)钒酸铋的光催化机理. 光催化机理的深入研究对提高钒酸铋催化剂的光催化效率和实际应用尤为重要. 由于光催化过程复杂,目前关于钒酸铋光催化机理的研究比较少而不够全面. 因此钒酸铋光催化机理有待进一步的研究.

(3)钒酸铋光催化剂的负载. 如何将光催化剂固定和再生也是光催化剂研究的一项技术难题. 如何在不影响或提高钒酸铋光催化活性的前提下,解决钒酸铋的负载问题也是未来钒酸铋光催化剂的又一研究重点.

参 考 文 献

- [1] Akihiko, K., Keiko, O., Hideki, K. A novel aqueous process for preparation of cyrsatl fomr-controlled and highly cyrsatlline BiVO₄ powder from layered vanadates at room temperature and Its photocatalytic and photophysical porperties[J]. Am. Chem. Soc. 1999,121,11 459-11 467.
- [2] 高善民,乔青安,赵培培. 沉淀法制备不同形貌和结构的纳米 BiVO₄[J]. 无机材料学, 2007,23(7):1 153-1 158.
- [3] 张 萍,王焕英,许保恩,等. 化学沉淀法制备 BiVO₄ 及其表征[J]. 人工晶体学报, 2008,37(3): 716-720.
- [4] JingBing Liu, Hao Wang, Shu Wang, *et al.* Hydrothermal preparation of BiVO₄ powders[J]. Materials Science and Engineering B, 2003,104:36-39.
- [5] Jianqiang Yu, A kihiko Kudo. Hydrothermal synthesis of nanofibrous bismuth vanadate[J]. Chemistry Letters,2005,34(6):850-851.
- [6] Li Zhang, Dairong Chen, Xiuling Jiao. Monoclinic structured BiVO₄ nanosheets: hydrothermal preparation, formation mechanism, and coloristic and photocatalytic properties[J]. Phys. Chem. B, 2006, 110, 2 668-2 673.
- [7] J. Yu , A. Kudo. Effects of structural variation of photocatalytic, hydrothermally synthesized BiVO₄ [J]. Adv. Funct. Mater. 2006, 16:2 163-2 169.
- [8] 周建伟,黄建新,李 洁,等. 纳米 BiVO₄ 的制备表征及光催化性能研究[J]. 化学试剂, 2009,31(3): 169-172;176.
- [9] TaoYang, Dingguo Xia, Ge Chert, *et al.* Influence of the surfactant and temperature on the morphology and physicochemical properties of hydrothermally synthesized composite oxide BiVO₄[J]. Materials Chemistry and Physics, 2009, 114(1): 67-92.
- [10] Liedek, K. H. GE200925.
- [11] 秦毅红,王亏燕,石西昌,等. 共沉淀制备铋黄颜料[J]. 涂料工业,2000, 9(7):18-21.
- [12] 彭 秧,侯林瑞,原长洲. 砖形 BiVO₄ 微米棒光催化剂的制备及其光催化性能[J]. 应用化学, 2008,25(4):485-488.
- [13] 戈 磊. 张宪华. 微乳液法合成新型可见光催化剂 BiVO₄ 及光催化性能研究[J]. 无机材料学报, 2009,24(3): 453-456.
- [14] 刘晶冰. 张慧明. 汪 浩. 纳米钒酸铋的微波快速合成及光催化性能研究[J]. 无机化学学报, 2008,24(5): 777-780.
- [15] Saimi, T., Hideki, K., Akihiko, K. Selective preparation of monoclinic and tetragonal BiVO₄ with scheelite structure and their photocaltalytic properties chem[J]. Mater,2001, 13, 4 624-4 628.
- [16] Baoping Xie, Hanxia Zhang, Peixiang Cai, *et al.* Simultaneous photocatalytic reduction of Cr(VI) and oxidation of phenol over monoclinic BiVO₄ under visible light irradiation[J]. Chemosphere, 2006, 63: 956-963.
- [17] HuiMing Zhang, Jing Bing Liu, Hao Wang. Rapid microwave-assisted synthesis of phase controlled BiVO₄ nanocrystals and re-search on photocatalytic properties under visible light irradiation[J]. Nanopart Res.,2008, 10:767-774.
- [18] 刘秀萍,颜桂炆. 钒酸铋光催化剂的制备、表征及其作用机理研究[D]. 福州:福州大学学位论文, 2009.
- [19] 周武艺,曹庆云,唐 绍. 提高纳米二氧化钛可见光光催化活性研究的进展[J]. 硅酸盐学报,2006,34(7):861-867.
- [20] 李俊华,傅慧静,傅立新,等. 金属离子掺杂的 TiO₂ 薄膜的制备及其光催化降解甲苯的性能[J]. 催化学报,2005,26(6):503-507.
- [21] 戈 磊. 新型 Pt/BiVO₄ 可见光活性光催化剂的制备和表征[J]. 无机材料学报, 2008, 23(3):449-453.
- [22] Aiping Zhang, Jinzhi Zhang. Characterization and photocatalytic properties of Au/BiVO₄ composites[J]. Journal of Alloys and Compounds , 2010, 491 :631-635.
- [23] 毛海舫,田宏健,周庆复,等. 共吸附对叶琳、酞菁/二氧化钛复合电极光电特性的影响[J]. 高等学校化学学报,1997,18:268-272.
- [24] Hui Xu , Huaming Li, Chundu Wu,*et al.* Preparation, characterization and photocatalytic properties of Cu-loaded BiVO₄ [J]. Journal of Hazardous Materials, 2008,(153), 877-884.
- [25] 戈 磊,崔立山. 新型可见光活性氧化钨/钒酸铋复合光催化剂的制备及其光催化性能[J]. 硅酸盐学报,2008,36:320-324.

(下转第 48 页)

* 文章编号:1000-5811(2012)02-0039-05

碳纳米管自组装的研究进展

周延辉, 徐百平

(广东轻工职业技术学院 广东高校高分子材料加工工程技术开发中心, 广东 广州 510300)

摘要:通过分子自组装,碳纳米管可结合成具有不同功能的碳纳米管复合材料,从而可进一步设计成具有特殊结构和功能的纳米材料,在医学、组织工程及生物材料等方面有着巨大的应用潜力.本文主要综述了碳纳米管自组装纳米材料的研究现状与制备方法,重点介绍了通过化学吸附自组装、静电自组装、模板自组装、静电力及氢键、亲水/疏水相互作用和 DNA 操纵下的自组装,并对各种方法的特点及研究现状进行了评述.

关键词:自组装;碳纳米管;纳米材料

中图法分类号:O613.7 **文献标识码:**A

0 引言

碳纳米管(Carbon Nanotubes, CNTs)自日本的 Iijima 发现以来,由于其独特的结构与优异的性能引起了人们的广泛关注^[1,2].目前,碳纳米管已经被广泛的应用于制备纳米电子器件^[2-5]、高性能聚合物纳米复合材料^[6,7]、纳米探针^[8]和储氢、储能材料^[9]等方面.自组装技术指分子自发地(在氢键、静电、亲疏水作用、范德华力等弱力推动下)构筑具有特殊结构和形状的稳定集合体的过程.它是以分子尺度材料作为组元去构建纳米功能尺度器件的制备方法,利用自组装技术能够构建出可规模化生产应用的、具有特殊功能的分子器件.本文主要综述了碳纳米管自组装纳米材料的研究现状与制备方法.

1 化学吸附自组装

化学吸附自组装是指通过共价键、离子键、配位键等为驱动的自组装. Liu 等^[10]首次报道了功能化碳纳米管的自组装过程.他们先利用硫醇($\text{NH}_2(\text{CH}_2)_{11}\text{SH}$)修饰带有羧基的碳纳米管,然后利用硫醇与金纳米粒子之间的相互作用实现了金纳米粒子在碳纳米管表面的自组装.

Nan 等^[11]首先通过 Au-S 键对金基质表面进行巯基功能化修饰,使其表面富含氨基,然后将氨基修饰的金基质浸入到分散有氧化切割后端基富含羧基的碳纳米管的 DMF 中,通过表面缩合,实现了碳纳米管在金表面的自组装.

Liu 等^[12]利用一种带有硫醇基的苈化合物 17-(1-苈基)-13-氧基-十七巯基(PHT)为连接中介实现了金纳米粒子在碳纳米管表面的自组装. PHT 的一端带有硫醇基团,一端为苈单元,这样 PHT 可以通过苈单元与碳纳米管表面发生 π - π 堆积相互作用,另一端的巯基与金纳米粒子发生作用,从而实现了金纳米粒子在碳纳米管表面的自组装.

单独利用化学自组装制备的纳米薄膜物理、化学稳定性较好,但是实验的重复性较差.为了克服化学吸附自组装法的这一缺陷,人们通常采用化学吸附和其他方法并用的方式改善膜的性能^[13].

* 收稿日期:2012-01-28
基金项目:广东省高性能与功能高分子材料重点实验室开放基金项目(20100009)
作者简介:周延辉(1981—),男,河北省邢台市人,硕士,讲师,研究方向:高分子材料加工

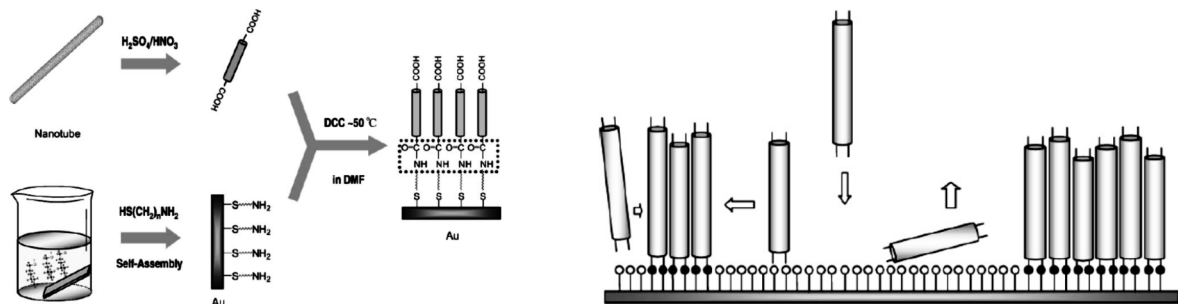


图 1 巯基修饰碳纳米管在金表面自组装的示意图

2 静电自组装

静电自组装可以对沉积过程或膜结构进行分子级控制,对成膜的厚度可控,并且对基体形态没有限制.近年来利用静电自组装法制备纳米复合膜发展越来越迅速.

还可以先在在二氧化硅基质表面修饰上氨基,在金电极上吸附酸性物质.在水性介质中,金电极表面会带上负电荷,从而排斥带负电荷的碳纳米管胶束.相反,氨基修饰的二氧化硅表面带正电荷,通过静电力碳纳米管自组装在金电极之间的二氧化硅基质上.

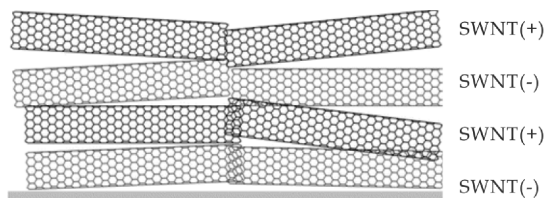


图 2 单壁碳纳米管-聚电解质的静电自组装

Brughard 等^[14]先用十八硫醇修饰金电极表面,当接触到十二烷基硫酸钠(SDS)修饰的碳纳米管时,原本在水相中处于动态平衡状态的碳纳米管表面的 SDS 分子被十八烷基硫醇所取代,从而实现了碳纳米管在硫醇修饰的金电极表面的自组装.此外,他们还用氨基硅烷修饰二氧化硅基质表面,用 3-巯基丙酸来修饰金电极.这样,带有负电荷的碳纳米管胶束就会和金电极相排斥,而带有正电荷的二氧化硅基质和碳纳米管之间发生静电相互作用,从而实现碳纳米管选择性的自组装在金电极之间的二氧化硅基质上.

Liu 等^[15]先在硅片的表面进行硅烷修饰,使其表面带有氨基,然后将修饰好的硅片浸入到经过酸化处理的碳纳米管的 DMF 悬浮液中,碳纳米管通过静电力自组装到氨基修饰过的表面,这些碳纳米管是以单根的形式存在,从而实现了碳纳米管在预定区域的选择性组装.

Chattopadhyay 等^[16]将表面用 Fe^{3+} 修饰的硅片浸入到酸化处理后碳纳米管/DMF 悬浮液中,通过改变溶液的 pH 值,使 Fe^{3+} 转化为 $\text{FeO}(\text{OH})$,通过酸化处理后的碳纳米管端基的羧酸根与硅片表面的氢氧根作用来实现碳纳米管的自组装.

Mamedov 等^[17]通过将基质交替的浸入到酸化后单壁碳纳米管的悬浮液和聚合物电解质(聚酰亚胺、聚丙烯酸)溶液中,通过碳纳米管的羧酸端基与聚合物电解质的相互作用制备了碳纳米管/聚电解质多层膜.

Kim 等^[18]通过控制聚电解质模板的表面电荷分布,利用酸化处理后碳纳米管端基的羧酸根阴离子和聚电解质 PDDA(聚二烯丙基二甲基氯化铵)的阳离子作用,实现了碳纳米管在聚电解质膜表面组装阵列分布的可调.

Li 等^[19]利用碳纳米管的羧酸官能团与重氮树脂的重氮基团通过静电引力实现了碳纳米管与重氮树脂的层一层自组装,从而制备了水溶性光敏高聚物/碳纳米管的自组装膜.这种膜是一种光敏性材料,在紫外光的照射下,伴着重氮基团的分解,各层之间的作用力由离子键转变为共价键力.

Jiang 等^[20]首先通过静电相互作用用阳离子聚电解质 PDDA(聚二烯丙基二甲基氯化铵)对酸化的碳纳米管进行修饰,然后用带负电荷的粒径为 10 nm 的金纳米粒子通过与聚合物电解质之间的静电相互作用自组装在碳纳米管的表面,采用同样的方法还可以选择性的将其他的半导体纳米晶体和磁性纳米粒子

修饰在碳纳米管的表面。

Sainsbury 等^[21]先用阳离子电解质修饰碳纳米管,用冠醚修饰纳米金粒子. 经过修饰后碳纳米管的表面为缺电子结构,而金纳米粒子的表面为富电子结构,这样在碳纳米管与纳米金粒子之间就形成了一种准轮烷式的几何构型,从而实现在碳纳米管表面自组装上金纳米粒子。

Wang 等^[22]利用 3-氨丙基-三乙氧基硅烷分子的模板作用,在云母表面构建了一种平行排列的碳纳米管阵列. 此外,他们还利用相同的原理在玻碳电极表面也制备类似的碳纳米管平行阵列. Paloniemi 等^[23]首先用阳离子电解质聚丙烯氯化铵(PAH)、聚二烯丙基二甲基胺盐酸盐(PDADMA)和阴离子电解质聚苯乙烯磺酸钠(PSS)通过非共价键修饰碳纳米管,阳离子电解质只和酸化的碳纳米管之间发生静电自组装,这样就可以通过改变电解质的电性来实现多层碳纳米管的自组装。

静电自组装避免了复杂的化学反应,弥补了化学吸附法制膜技术操作复杂、费用昂贵、稳定性差且不适于大规模应用的缺陷,因此被广泛应用于制备各种碳纳米管自组装膜材料^[24-26]。

3 模板自组装

模板自组装是一种十分有效的可得到理想结构的方法,由于选定的模板与纳米颗粒之间具有指导识别作用,组装过程更加完善. 王成伟等^[27]用多孔阳极氧化铝(AAO)模板,合成了一种大面积高度取向的碳纳米管有序阵列膜,这种膜具有良好的场电子发射特性,可稳定发射,有很长的耐久性,并且原料来源丰富、制备方法简便、成本低,对平板显示技术有良好的应用前景。

Correa 等^[28]将磁性纳米粒子吸附在碳纳米管表面使其具有超顺磁性,室温低磁场强度下,碳纳米管沿着磁场方向排列. 以碳纳米管为模板,将带有相反电荷的聚电解质包覆在碳纳米管表面,然后把带负电荷的 Au 纳米棒首位相接排列在碳纳米管表面^[29]。

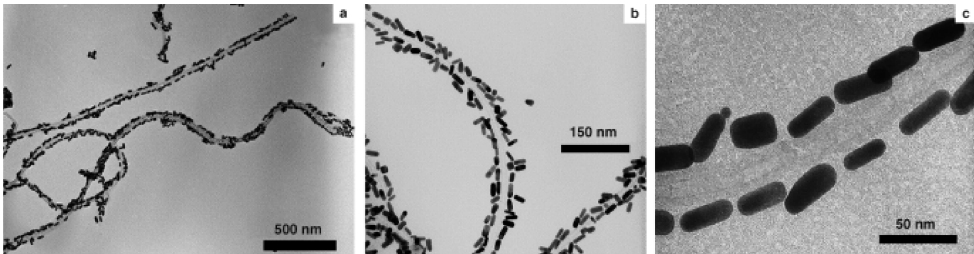


图 3 金纳米棒在碳纳米管表面自组装的形貌图

张磊等^[20]以碳纳米管与水溶液界面的阳离子表面活性剂十八烷基三甲基溴化铵(ODTMA)超分子自组装结构为模板,在水溶液体系成功地合成了以碳纳米管为核,以介孔硅基材料为壳的碳纳米管/有序介孔氧化硅核壳纳米线. 这种核壳纳米线具有规整的有序孔道结构、高比表面和集中的孔径分布,碳纳米管/有序介孔氧化硅核壳纳米线的形貌可通过溶液的 pH 进行控制. 此外,这种纳米线在水和乙醇等极性溶剂中具有良好的分散性能,可以应用于生物传感器、纳米探针以及储能等领域。

在利用模板自组装构建碳纳米管的纳米结构与器件过程中,选择不同表面模板是实现碳纳米管模板化沉积的关键. 通过选择不同表面性质的膜对碳纳米管产生不同的作用力,使碳纳米管选择性的沉积到表面自组装膜区域,对实现常温构建碳纳米管的纳米结构与器件具有重要的意义^[31-33]。

4 其他方法

Velasco 等^[34]利用羧基之间的氢键作用实现了羧酸化碳纳米管在聚苯乙烯乳液微球表面的自组装. 通过调节体系的 pH 还可以实现羧酸化碳纳米管与其他物质的自组装。

Lee 等^[35]通过调节碳纳米管表面的亲油/亲水性能,来实现碳纳米管在水/油界面上的自组装. 他们先分别用柠檬酸钠和聚乙烯吡咯烷酮对金纳米粒子和银纳米粒子进行表面修饰并制成相应的水溶胶,然后将这些水溶胶与二乙氧基醚混合,形成上层为无色的二乙氧基醚相、下层为有颜色的金属水溶胶的两相

体系. 将碳纳米管的 DMF 悬浮液加入到上述的两相体系中, 可以发现在两相界面处迅速出现带有金属光泽的由碳纳米管和金属纳米粒子组成的界面薄膜.

DNA 具有完善和严密的分子识别功能与碱基互补配对的性质, 具有较强的定向自组装功能, 在实现碳纳米管自组装过程中具有高度的选择性. He 等^[36]通过共价结将末端氨基化的单链 DNA 固定到酸化处理的碳纳米管表面, 再与另一条互补单链 DNA 修饰的碳纳米管杂化, 从而得到线型或网状的碳纳米管复合材料. 利用 DNA 修饰的碳纳米管具有优异的性能, 可以用来制备高灵敏度和高选择性的生物传感器.

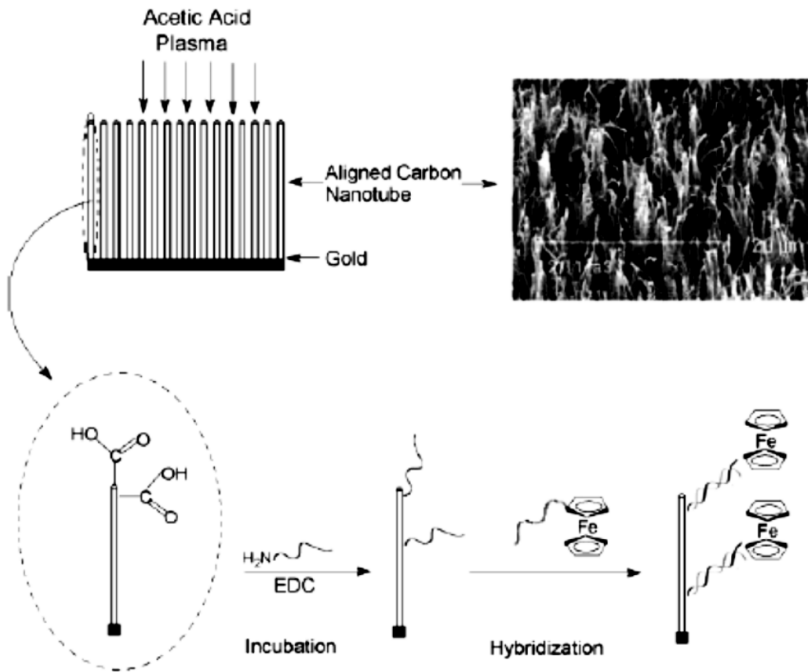


图 4 碳纳米管通过 DNA 杂化自组装

5 结束语

利用自组装技术实现碳纳米管的有序排列对碳纳米管的应用开发有重大意义, 通过自组装制备的各种碳纳米管器件可以被广泛地应用于碳纳米管的关电器件、存储器件以及其他各种新型纳米器件. 目前, 关于碳纳米管的自组装研究还主要集中在自组装体的制备和性能方面, 而对碳纳米管自组装过程的形成机制研究得不够深入. 此外, 碳纳米管自组装分子器件离大规模

的实际应用还有很多工作要做, 尤其是在器件的可靠性、重复性和成本等方面.

参考文献

- [1] Iijima S. Helical microtubules of graphitic carbon[J]. *Nature*, 1991, 354:56-58.
- [2] Iijima S, Ichihashi T. Single-shell carbon nanotubes of 1-nm diameter[J]. *Nature*, 1993, 363:603-605.
- [3] Bachtold A, Hadley P, Nakanishi T, *et al.* Logic circuits with carbon nanotube transistors[J]. *Science*, 2001, 294:1 317-1 320.
- [4] Lee Seung Woo, Kim Byeong-Su, Chen Shuo. Layer-by-layer assembly of all carbon nanotube ultrathin films for electrochemical applications[J]. *Journal of the American Chemical Society*, 2009, 131(2): 671-679.
- [5] Mannik J, Heller I, Janssens A M, *et al.* Charge noise in liquid-gated single-wall carbon nanotube transistors[J]. *Nano Letters*, 2008, 8:685-688.
- [6] Spitalsky Zdenko, Tasis Dimitrios, Papagelis Konstantinos. Carbon nanotube-polymer composites: Chemistry, processing, mechanical and electrical properties[J]. *Progress in Polymer Science*, 2010, 35(3): 357-401.
- [7] Koziol K, Vilatela J, Moisala A, *et al.* High-performance carbon nanotube fiber[J]. *Science*, 2007, 318:1 892-1 895.
- [8] Kachooangi Roochollah Torabi, Musameh Mustafa M, Abu-Yousef Imad, *et al.* Carbon Nanotube-Ionic Liquid Composite Sensors and Biosensors[J]. *Analytical Chemistry*, 2009, 81(1): 435-442.
- [9] Svec F, Germain J, Frechet J. M. J. Nanoporous polymers for hydrogen storage[J]. *Small*, 2009, 5(10): 1 098-1 111.
- [10] Liu J, Rinzler, AG, Dai, HJ, *et al.* Fullerene pipes[J]. *Science*, 1998, 280(5367):1 253-1 255.
- [11] Nan XL, Gu ZN, Liu ZF. Immobilizing shortened single-walled carbon nanotubes (SWNTs) on gold using a surface condensation method[J]. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2002, 245(2):311-318.
- [12] Liu L, Wang TX, Li JX, *et al.* Self-assembly of gold nanoparticles to carbon nanotubes using a thiol-terminated pyrene as interlinker[J]. *Chemical Physics Letters*, 2003, 367(5-6): 747-752.
- [13] Yang MH, Yang Y, Yang HF, *et al.* Layer-by-layer self-assembled multilayer films of carbon nanotubes and platinum nanoparticles with polyelectrolyte for the fabrication of biosensors[J]. *Biomaterial*, 2006, 27(2):246-255.
- [14] Burghard M, Duesberg G, Philipp G, *et al.* Controlled adsorption of carbon nanotubes on chemically modified electrode arrays[J]. *Advanced Materials*, 1998, 10(8):584-588.
- [15] Liu J, Casavant MJ, Cox M, *et al.* Controlled deposition of individual single-walled carbon nanotubes on chemically functionalized

- templates[J]. Chemical Physics Letters, 1999, 303(1-2): 125-129.
- [16] Chattopadhyay D, Galeska I, Papadimitrakopoulos, F. Metal-assisted organization of shortened carbon nanotubes in monolayer and multilayer forest assemblies[J]. Journal of The American Chemical Society, 2001, 123(38):9 451-9 452.
- [17] Mamedov AA, Kotov NA, Prato M, *et al.* Molecular design of strong single-wall carbon nanotube/polyelectrolyte multilayer composites[J]. Nature Materials, 2002, 1(3):190-194.
- [18] Kim B, Sigmund WM. Self-alignment of shortened multiwall carbon nanotubes on polyelectrolyte layers[J]. Langmuir, 2003, 19(11):4 848-4 851.
- [19] Bo Li, Tingbing Cao, Weixiao Cao, *et al.* Self-assembly of single-walled carbon nanotube based on diazoresin[J]. Synthetic Metals, 2003, 132(1):5-8.
- [20] Jiang KY, Eitan A, Schadler LS, *et al.* Selective attachment of gold nanoparticles to nitrogen-doped carbon nanotubes[J]. Nano Letters, 2003, 3(3):275-277.
- [21] Sainsbury T, Fitzmaurice D. Carbon-nanotube-templated and pseudorotaxane- formation- driven gold nanowire self-assembly[J]. Chemistry of Materials, 2004, 16(11):2 174-2 179.
- [22] Wang T, Wang MK, Hu XG, *et al.* Parallel alignment of carbon nanotubes induced with inorganic molecules[J]. Langmuir, 2005, 21(26):12 068-12 071.
- [23] Paloniemi H, Lukkarinen M, Aaritalo T, *et al.* Layer-by-layer electrostatic self-assembly of single-wall carbon nanotube polyelectrolytes[J]. Langmuir, 2006, 22(1):74-83.
- [24] Maggini Laura, Traboulsi Hassan, Yoosaf K, *et al.* Electrostatically-driven assembly of MWCNTs with a europium complex. Chemical Communications, 2011, 47(5):1 626-1 628.
- [25] Zhang Sheng, Shao Yuyan, Yin Geping, *et al.* Carbon nanotubes decorated with Pt nanoparticles via electrostatic self-assembly: a highly active oxygen reduction electrocatalyst. Journal of Materials Chemistry, 2010, 20(14): 2 826-2 830.
- [26] Taylor Andre D, Michel Marc, Sekol Ryan C, *et al.* Fuel cell membrane electrode assemblies fabricated by layer-by-layer electrostatic self-assembly techniques[J]. Advanced Functional Materials, 2008, 18(19): 3 003-3 009.
- [27] 王成伟, 李梦柯, 力虎林. 模板法合成高度取向碳纳米管有序阵列膜的场电子发射特性[J]. 中国科学 A, 2000, 30(11):1 019-1 024.
- [28] Correa-Duarte MA, Grzelczak M, Salgueirino-Maceira V, *et al.* Alignment of carbon nanotubes under low magnetic fields through attachment of magnetic nanoparticles[J]. Journal of physical chemistry B, 2005, 109(41):19 060-19 063.
- [29] Correa-Duarte MA, Perez-Juste, J, Sanchez-Iglesias A, *et al.* Aligning an nanorods by using carbon nanotubes as templates[J]. Angewandte Chemie International Edition, 2005, 44(28): 4 375- 4 378.
- [30] 张 磊, 乔世璋, 阎子峰, 等. 界面组装控制的碳纳米管/有序介孔氧化硅核壳纳米线[J]. 科学通报, 2008, 53(17):2 104-2 108.
- [31] Xiangnan Dang, Hyunjung Yi, Moon-Ho Ham, *et al.* Virus-templated self-assembled single-walled carbon nanotubes for highly efficient electron collection in photovoltaic devices[J]. Nature Nanotechnology, 2011, 6(6): 377-384.
- [32] Lyonais Sebastien, Chung Chia-Ling, Goux-Capes Laurence, *et al.* A three-branched DNA template for carbon nanotube self-assembly into nanodevice configuration[J]. Chemical Communications, 2009, 6: 683-685.
- [33] Wei-Syuan Lin, Wei-Jen Liou, Cheng-Han Chen, *et al.* Application of carbon nanotubes as template for self-assembled nanowires. Diamond and Related Materials, 2009, 18(2-3): 328-331.
- [34] Velasco-Santos C, Martinez-Hernandez AL, Castano VM. Hydrogen bonding of polystyrene latex nanospheres to sidewall carbon nanotubes[J]. Journal of physical chemistry B, 2004, 108(49):18 866-18 869.
- [35] Lee KY, Kim MJ, Hahn J, *et al.* Assembly of metal nanoparticle-Carbon nanotube composite materials at the liquid/liquid interface[J]. Langmuir, 2006, 22(4):1 817-1 821.
- [36] He PG, Dai LM. Aligned carbon nanotube-DNA electrochemical sensors[J]. Chemical Communications, 2004, 3:348-349.

Research Advance in Nanomaterials From the Self-assembling Carbon Nanotubes

ZHOU Yan-hui, XU Bai-ping

(Technology Development Center for Polymer Processing Engineering of Guangdong Province, Guangdong Industry Technical College, Guangzhou 510300, China)

Abstract: Through the carbon nanotubes with different functions, and so the carbon nanotubes are able to form the nanomaterials with various structures and functions, which can be applied in the medicine, tissue engineering, biological engineering, etc. In this paper, we reviewed the current status and research progress related on the carbon nanotubes self-assembling and the nanomaterial, especially the works according to the driving force for self-assembly chemical adsorption self-assembly, electrostatic self-assembly, template assisted self-assembly, hydrol bond and hydrophilic/hydrophobic interaction are mainly discussed.

Key words: self-assembling; carbon nanotubes; nano-materials



* 文章编号:1000-5811(2012)02-0044-05

采用轮盘赌法的造纸企业生产调度排产模型的优化设计

李明辉, 孟宪坤

(陕西科技大学 机电工程学院, 陕西 西安 710021)

摘要:在传统生产调度模型的基础上,对造纸企业生产调度的排产模型进行了优化设计,引入了一种激励机制,并将工人的心理因素应用到多目标造纸企业生产调度问题中.针对传统方法中权值分配不合理会导致某个目标下非支配解遗失的问题,采用了均值自适应法求解方法,并对交叉和变异策略进行了改进,即采用轮盘赌和精英选择策略保留了优良的个体,使遗传算法中权值系数的设置得到了很大程度的改善,提高了多目标下遗传算法的优化性能.

关键词:生产调度;轮盘赌法;排产模型;优化设计

中图法分类号:TP3-05

文献标识码:A

0 引言

造纸企业是典型的流程企业,一般都具有复杂性、不确定性、非线性、多目标、多约束、多资源相互协调等特点.生产调度是企业生产管理的重要组成部分,不仅是企业生产运行的指挥中心,而且是企业产生经济效益的重要来源,特别是在造纸企业中,由于其基础自动化水平相对较高,从而实现高效生产调度所取得的经济效益和社会效益会比离散型企业更明显和迅速.一些造纸企业采用“计算机集成制造(Computer Integrated Manufacturing, CIM)”思想,以优化生产经营和生产操作为主要目标,综合利用线性规划、流程模拟等技术,优化资源分配、排产方案、调度作业及生产操作条件,辅助生产调度与经营决策,为技术进步和科学管理提供了强有力的技术支持,产生了明显的经济效益和社会效益^[1,2].但是,生产调度的自动化和信息化程度依然不高,大多数流程企业依然把生产调度系统作为辅助手段应用于实际的生产;同时,造纸企业应对市场变化的能力还不是很强,还没有达到市场意义上的实时性要求.因此,有必要对造纸企业生产调度方法与应用问题进行进一步的研究,并将研究成果逐步应用到生产实际中.

1 生产调度优化排产问题分析

生产调度是整个企业信息系统的-一个重要组成部分,它与生产计划决策层、调度层和生产控制层三者的关系如图 1 所示^[3].生产调度完成生产计划分解,以生产作业计划为依据,围绕企业的生产经营目标,从生产全局出发,结合生产流程的实际情况和生产能力,进行优化排产,合理调配物料和能源,为生产装置提供生产控制的指标,及时调整各装置间物流的分配,协调和均衡各装置的生产,使各生产环节能有效配合和紧密衔接,形成并传达优化调度指令.通过及时掌握生产动态,对生产中存在的各种矛盾和问题进行综合分析,有效地协调解决,确保生产均衡、稳定、安全、长周期地进行,以保证企业生产作业计划的完成.

* 收稿日期:2012-09-05

基金项目:陕西科技大学博士科研启动基金项目(BJ08-10)

作者简介:李明辉(1972—),男,河南省信阳市人,副教授,博士,研究方向:智能及高级过程控制

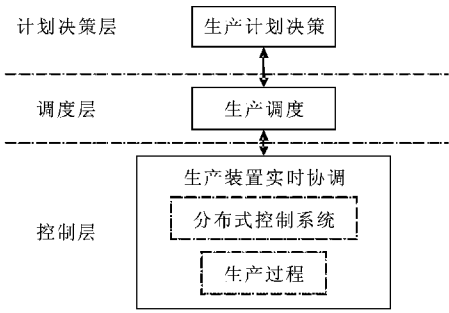


图 1 生产计划、调度和生产控制三者的关系

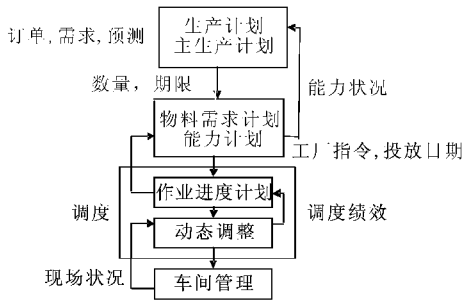


图 2 生产系统中的信息流动图

调度结果受到整个企业的中、长期生产计划的影响,调度过程必须考虑库存水平、预测和资源需求,以对长期资源进行优化.计划功能做出的决策可能对调度有影响,且调度也需要考虑车间生产现场的状况,如机器故障、加工时间和交货期变更等事件都会成为调度的主要影响因素,调度在生产系统中的位置及信息流动示意如图 2 所示.生产作业调度的结果就是进度计划,进度计划表在执行过程中视物资、设备、交货期、优先级等因素的变动而进行动态调度.

综上所述,造纸企业的优化排产问题可以分 2 个步骤来解决:第一步根据现有原材料和成品库存状况、客户的资信等级、客户的实际付款情况,并结合企业的长期生产计划,从所有客户订单需求中筛选确认一段时间内的实际订单;第二步对这些经过确认的订单进行优化排产,确定订单中所有产品的生产时间与切换序列.订单的排产问题是一个多目标的优化问题,本课题假定订单已经过筛选确认,只研究其优化排产问题^[4,5].

2 造纸企业排产模型建立

2.1 模型假设

现假设这批订单的每条信息包含字段有:

编号 i 、品种 m_i 、需求数量 $V_i(t)$ 、延期罚金为 C_i (元 / t)、交货期完工量 $\sum F_j$ 其中, $j = 1, 2, \dots, R_i$ 班次,再假设这批订单交货周期是 T_c ,共涉及 m 种不同品种的产品,生产过程中切换不同品种所需的冲洗纸机等费用是 K (元 / 次),每种产品的实际生产能力是模糊的,因为这与每种产品的控制质量有关. T_c :第 i 种纸所限定的生产时间(以班次为单位). R_i :第 i 种纸的实际生产班次. M :切换次数. F_j :每一天每班的产量在实际生产中是不确定的,根据如上分析,如果每天分成三班,则每个班次的产量是不确定的,考虑到各种因素的影响,对于一个年产 10 万吨的纸机来说,每个班次的产量为 60 ~ 120 吨, J_i 为每一个班次的奖金.

2.2 单个模型的建立

根据以上分析,优化排产问题的前两个目标的数学模型如下:

$$\min \sum_{i=1}^n C_i \left(V_i - \sum_{j=1}^{R_i} F_j \right) \tag{1}$$

$$\min K \cdot M \tag{2}$$

式(1)表示最小罚金,式(2)表示切换费用最小.

下面两个目标函数中引入了激励制度和心理因素如下:

$$\min \sum_{i=1}^m -J_i \left(T_c - \sum R_i \right) \tag{3}$$

$$\min \left(\frac{F_j}{60} - 1 \right) \tag{4}$$

式(3)表示交货时间最短,式(4)表示心理压力最小.该模型引入的心理因素考核机制,如(4)式,工人的心理压力能从每个班次规定完成的产量中反映出来,每天规定生产的产量越高,则心理压力越大,否则越小,其示意图如图 3 所示.

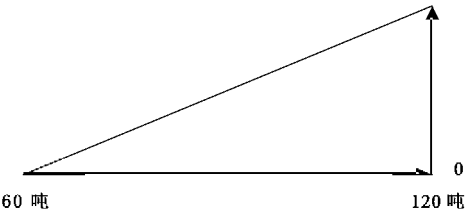


图 3 心理压力示意图

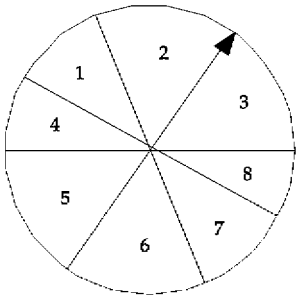


图 4 轮盘赌选择示意图

2.3 基于轮盘赌法的模型转化

本文使用了“轮盘赌”选择法和精英保存策略来进行个体的选择,在选择交叉变异的个体时采用轮盘赌选择策略,如图 4 所示.该策略从父代种群中选择进行交叉和变异操作的个体.交叉和变异产生的新个体和父代种群中的个体一起采用最优选择策略,用适应度较高的个体生成下一代种群,保持种群数量不变.

对于多目标优化问题,这里采用权重系数变化法以线性加权和把多目标优化问题转化为单目标优化问题,此处把最大优化问题转为最小优化问题,其适应度函数为:

$$Fit(f(x)) = \begin{cases} f(x) & \text{目标函数为最大化问题} \\ -f(x) & \text{目标函数为最小化问题} \end{cases} \tag{5}$$

这种适应度函数简单直观,但存在两个问题:一是可能不满足常用的轮盘赌选择中概率非负的要求;二是某些待求解的函数在函数值分布上相差很大,由此得到的平均适应度可能不利于体现种群的平均性能而影响算法的性能.

多目标遗传算法在实际运算过程中,往往不能兼顾搜索全局目标,容易向一个目标方向上侧重,而忽略了对其它目标的搜索,从而导致其它目标上优良解的遗漏.这实际上是权值系数设置不合理所造成的,一种权重分配的好坏取决于由这组权重计算出来的综合决策与已知的综合决策的贴近度,贴近度越大说明这组权重越好,本文目标就是要找到一种最佳的权重分配,采用一种均值自适应法来设置权重.

对于一组离散的目标函数, $f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)$, 可以预先估计一个非支配解所在的函数区间,或直接利用 $f_k(x), k=1, 2, \dots, n$ 的所有可能囊括到的区间,在这个区间上进行随机采样,可得到一组采样函数值(如图 5 所示): $f_i(x_1), f_i(x_2), \dots, f_i(x_m), i=1, 2, \dots, n$.

$$\overline{f_k(x)} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m f_k(x_i), k=1, 2, \dots, m \tag{6}$$

首先要使每个目标函数在搜索初始状态时,反映到综合目标函数中都占有较明显份额的比例,以便权值系数 W_i 设置为较均匀的初始值进行下一步的各目标间的侧重和调配.此时综合目标函数可设计为:

$$f(x) = \sum_{i=1}^m \frac{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \overline{f_k(x)}}{f_i(x)} w_i f_i(x), i=1, \dots, n \tag{7}$$

其中 $w_i \geq 0, \sum_{i=1}^n w_i = 1$

这种方法是利用种群已有信息和目标函数的权系数,对各目标函数均值进行有效调节,以达到各目标

之间相协调的作用^[6].

可根据每个目标的均值计算出:

$$f(x)=0.4w_1f_1+71.3w_2f_2+0.75w_3f_3+6.41w_4f_4 \tag{8}$$

反映调度成本的指标即调度发生的费用有启动成本、切换成本、加工费用、加班费用、过期赔偿费用、在线库存费用、调度管理费用等. 所以从造纸企业的运行来看, 成本即减少纸种切换是第一位的, 交货期其次, 因此本次针对某企业取 $w_1=0.4$, $w_2=0.3$, $w_3=0.15$, $w_4=0.15$, 可使企业得到最大效益.

2.4 控制参数选取

遗传算法中需要选择的参数包括群体规模 N 、交叉概率 P_c 和变异概率 P_m 等, 这些参数的选取对遗传算法的性能有很大的影响^[6]. 在求解实际问题时, 这些参数主要是凭经验值给出, 其范围一般为: $N=20 \sim 100$, $P_c=0.5 \sim 1.0$, $P_m=0.001 \sim 0.05$. 在简单遗传算法中, 这些参数是不变的. 但本文对这些参数的选取是随着遗传进程而自适应变化, 这种有自组织性能的遗传算法具有更高的鲁棒性、全局最优性和效率. 性能提高则 P_c 增加, 反之则 P_m 增加.

在实际生产中与改进前相比, 纸种切换次数减少, 且引入了激励机制和心理因素后, 单位时间的产量比原来提高了 7% 左右, 相应的完成相同产量的时间减少了, 心理压力处于相对适中的位置, 交货周期明显缩短, 大大提高了企业的工作效率.

3 结束语

本文在遗传算法的基础上对造纸企业生产调度的排产模型进行了优化设计, 针对传统方法中权值分配不合理会导致某个目标下非支配解遗失的问题, 采用了均值自适应法求解方法, 使遗传算法中权值系数的设置得到了很大程度的改善, 一定程度上提高了多目标下遗传算法的优化性能, 并对交叉和变异策略进行了改进即采用轮盘赌和精英选择策略保留了优良的个体, 有效的减缓了遗传算法搜索寻优过程中种群收敛于单一个体的趋势, 并在算法执行过程中体现了交叉和变异并行的思想, 更有利于优良模式的遗传和生成. 由于造纸企业生产过程存在大量的不确定因素, 往往会导致计划、调度与控制优化脱节, 不能有效协调和均衡生产, 造成企业成本增加和效益下降, 因此, 在提高生产过程柔性的基础上去适应多变的市场需求, 进一步解决在合理计算时间内全局最优性的挑战具有现实意义.

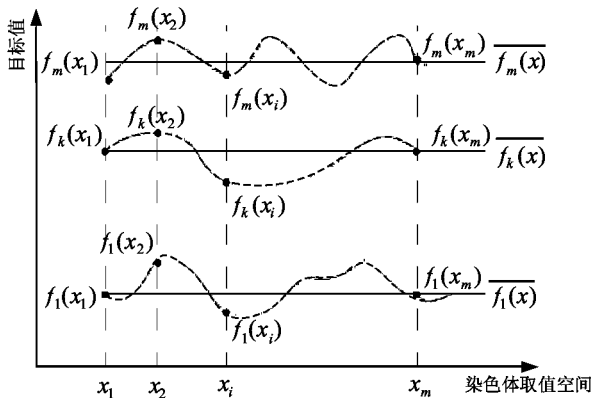


图 5 离散函数样本取值示意图

参 考 文 献

[1] Chin-Yin Huang. Distributed manufacturing execution system[J]. A Workflow Perspective. J. of Intelligent System, 2002, 13: 485-497.

[2] Amber Computer System Inc. Integratable MES the challenge and the opportunity, advanced manufacturing research consulting [EB/OL]. <http://www.amrc.com>, 1995-4-25.

[3] 赵小强, 荣 冈. 流程工业生产调度问题综述[J]. 化工自动化及仪表, 2004, 31 (6): 8-13.

[4] 李艳君, 吴铁军. 用于柔性流程工业生产调度的并行多目标遗传算法[J]. 系统工程理论与实践, 2001, (6): 7-9.

[5] 杨春节. 基于遗传算法的造纸企业优化排产方法研究[J]. 中国造纸, 2005, (10): 32-34.

[6] 王 凌. 车间调度及其机器遗传算法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003: 56.

Optimization Design of Paper-making Enterprises Production Scheduling Model Using Roulette Law

LI Ming-hui, MENG Xian-kun

(School of Electrical and Mechanical Engineering, Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China)

Abstract: The subject in the production scheduling model based on the traditional basis, optimize the design of the paper production scheduling scheduling model, introduces a kind of incentive mechanism, and applied worker's psychological factor in the multi-objective paper-making enterprise production scheduling question. Using the average value auto-adapted method solution method aim to the conventional routes the weight to assign unreasonable which will cause under some goal the non-control solution losing question, improved cross-over and mutation strategy, that the use of roulette and elite selection strategy to retain the good of the individual, enabled the weight coefficient establishment in the genetic algorithm to be improved very great degree, in the certain extent enhances under the multi-objectives the genetic algorithm optimized performance.

Key words: production scheduling; roulette law; scheduling model; optimization design

~~~~~  
(上接第 38 页)

# Research Progress in Preparation of BiVO<sub>4</sub> Photocatalyst and Its Photocatalytic Performance

WEI Sha-sha, TAN Guo-qiang, SONG Li-hua, ZHANG Wei, XIA Ao

(School of Materials Science and Engineering, Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China)

**Abstract:** This paper introduced the structure of BiVO<sub>4</sub> photocatalyst, summarized several preparation methods of BiVO<sub>4</sub>, the research of photocatalytic activity was reviewed, and the ways for enhancing photocatalytic activity were presented. In the last part of this paper, a few existing problems which need to be solved were proposed.

**Key words:** BiVO<sub>4</sub>; preparation method; photocatalytic activity; research progress



\* 文章编号:1000-5811(2012)02-0049-04

# 基于 ANSYS 的废水一体化处理设备的有限元分析

蔡苏宁<sup>1</sup>, 董继先<sup>2</sup>, 蔡锁宁<sup>3</sup>

(1. 陕西工业职业技术学院 机械工程学院, 陕西 咸阳 712000; 2. 陕西科技大学 机电工程学院, 陕西 西安 710021; 3. 宝鸡石油钢管有限责任公司, 陕西 宝鸡 721008)

**摘 要:**对废水一体化处理设备中的沉淀池的过水壁进行分析, 得出了简化的力学模型. 利用 ANSYS 有限元软件对简化模型进行了有限元分析, 初步得出了位移等值图和应力场等值线图. 经过比较, 废水一体化处理设备中沉淀池的过水壁设计合理.

**关键词:**污水处理设备; 有限元分析; ANSYS

**中图法分类号:**X703

**文献标识码:**A

## 0 引 言

随着工业化得飞速发展, 环境污染已经成为摆在人类面前的一个重大问题, 而水资源作为人类生存和生活中不可缺少的物质和原料也日益紧缺. 因此, 设计出一种废水一体化处理设备对部分废水进行深度处理, 回用部分水资源, 就显得尤为重要. 为了使废水一体化处理设备的机构更为合理, 本文采用有限元分析软件 ANSYS 对该设备中的关键结构进行有限元分析.

## 1 ANSYS 简介

ANSYS 是一套功能非常强大的有限元分析软件, 它能进行结构分析、热分析、电磁分析、流体分析以及多物理场的耦合分析. 下面简单介绍一下 ANSYS 结构分析的功能模块<sup>[1]</sup>.

结构分析用于确定结构的变形、应变、应力及反作用力等. ANSYS 结构分析主要包括以下几个功能模块:

- (1) 静力分析. 用于静态载荷, 可以考虑结构的线性及非线性行为, 例如应力刚化、接触、塑性、超弹及蠕变等.
- (2) 模态分析. 计算线性结构的自振频率及振型.
- (3) 谱分析. 是模态分析的扩展, 用于计算由于随机振动引起的结构应力和应变.
- (4) 谐响应分析. 确定线性结构对随时间按正弦曲线变化的载荷的响应.
- (5) 瞬态动力学分析. 确定结构对随时间任意变化的载荷的响应, 可以考虑与静力分析相同的结构非线性行为.
- (6) 特征屈曲分析. 用于计算线性屈曲载荷并确定屈曲模态形状(结合瞬态动力学分析可以实现非线性屈曲分析).

此外, ANSYS 除了提供标准的隐式动力学分析以外, 还提供了显式动力学分析模块 ANSYS/LS-DYNA. 主要用于模拟非常大的变形, 惯性力占支配地位, 并考虑所有的非线性的行为. 它采用显式方程求解冲击、碰撞、快速成形等问题, 是目前求解这类问题最有效的方法.

## 2 ANSYS 有限元分析步骤

利用 ANSYS 进行有限元分析主要有 3 个步骤: (1) 创建有限模型(前处理)包括创建或读入几何模

\* 收稿日期: 2012-02-23

基金项目: 陕西工业职业技术学院院级科研项目(ZK11-11)

作者简介: 蔡苏宁(1978-), 女, 陕西省宝鸡市人, 讲师, 硕士, 研究方向: 机械设计及加工

型、定义材料属性和划分单元 3 个过程。(2)施加载荷进行求解(分析求解)包括施加载荷及载荷选项和求解两个过程。(3)查看结果(后处理)包括查看分析结果和检验结果(分析是否正确)两个过程。以上 3 个步骤体现在 ANSYS 软件的主菜单上,如图 1 所示。

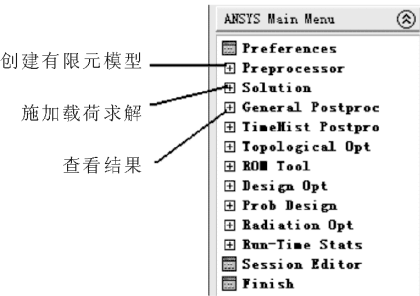


图 1 ANSYS 主菜单

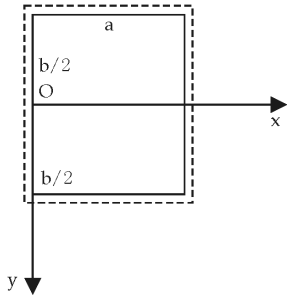


图 2 模型

3 ANSYS 有限元分析详解

以废水一体化处理设备中的沉淀池过水壁、搅拌轴为例,详细进行有限元分析,以求获得较优化的设计结果。

3.1 模型的确定

废水一体化处理设备中的过水壁作为沉淀池的一部分具有很重要的作用。过水壁上带有过水孔,因此,对其进行有限元分析以确保设计的合理性,具有一定的价值。

由于过水壁受到横向(垂直与板面)载荷的作用,这是薄板的弯曲问题;又由于薄板板面两个尺寸(长、宽)远大于厚度,可以作为小挠度薄板弯曲问题。

3.2 模型的理论解

过水壁可以看作:对边简支,另外两边任何形式的固定,可以采用单三角级数求解挠度<sup>[2]</sup>。

因此,过水壁等效为:对边简支,一边固定,一边自由,受静水压力作用,  $q = \rho g x$ , 如图 2 所示。

解答如下:应用莱维法的单三角级数求解,将  $q = \rho g x$  代入得:

$$\frac{2}{aD} \int_0^a q \sin \frac{m\pi x}{a} dx = \frac{2}{aD} \int_0^a \rho g x \sin \frac{m\pi x}{a} dx = (-1)^{m+1} \frac{2a\rho g}{\pi Dm}$$

方程特解可以取为:

$$f_m(y) = (-1)^{m+1} \frac{2a\rho g}{\pi Dm} \times \frac{a^4}{\pi^4 m^4} = (-1)^{m+1} \frac{2\rho g a^5}{\pi^5 m^5 D}$$

从而得到  $Y_m$  和挠度  $\omega$  的表达式。由于结构及载荷对称于  $x$  轴,  $\omega$  应为  $y$  的偶函数,由此,可得  $\omega$  的表达式为:

$$\omega = \sum_{m=1}^{\infty} \left[ A_m \cosh \frac{m\pi y}{a} + B_m \frac{m\pi y}{a} \sinh \frac{m\pi y}{a} + (-1)^{m+1} \frac{2\rho g a^5}{\pi^5 Dm^5} \right] \sin \frac{m\pi y}{a}$$

在  $y = \pm \frac{b}{2}$  的边界,有条件

$$y = \pm \frac{b}{2}, \omega = 0, \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} = 0$$

将挠度  $\omega$  代入边界条件,记  $a_m = \frac{m\pi b}{2a}$ , 得

$$A_m \cosh a_m + B_m a_m \sinh a_m + (-1)^{m+1} \frac{2\rho g a^5}{\pi^5 Dm^5} = 0$$

$$A_m \cosh a_m + B_m (2 \cosh a_m + a_m \sinh a_m) = 0$$

解得

$$A_m = (-1)^m \frac{2\rho g a^5}{\pi^5 m^5 D} \times \frac{(2 + a_m \tanh a_m)}{\cosh a_m}$$

$$B_m = -(-1)^m \frac{2\rho g a^5}{\pi^5 m^5 D} \times \frac{1}{\cosh a_m}$$

挠度解答为:

$$\omega = \frac{\rho g a^5}{\pi^5 m^5 D} \sum_{m=1}^{\infty} (-1)^{m+1} \times \frac{1}{m^5} \times \left[ 2 - \frac{(2 + a_m \tanh a_m) \cos \frac{m\pi y}{a} - \frac{m\pi y}{a} \sinh \frac{m\pi y}{a}}{\cosh a_m} \right] \sin \frac{m\pi x}{a}$$

根据  $\frac{\partial \omega}{\partial x} = 0$  时挠度具有最大值,可以求得挠度的最大值.

3.3 模型的有限元分析

由于对模型进行理论求解时需要大量的计算过程,处理效率比较低,因此,采用有限元分析软件对模型进行分析并借助计算机将复杂的计算过程简化,从而提高计算效率和计算准确率. 本文采用国内外流行的 ANSYS 软件对废水一体化处理设备部分关键部件进行有限元分析. 下面以过水壁为例进行有限元分析.

(1) ANSYS 建模及网格化. 由于模型相对简单,采用直接在 ANSYS 中建模的方法. 如果结构复杂,一般采用 Pro/E 或者 UG 等三维造型软件进行建模.

采用的方法是先建立薄板平面图,对其进行网格化,而后利用 ANSYS Main Menu:Preprocessor-Modeling-Operate-Extrude 对平面进行拉伸得到所需的模型,所建模型如图 3 所示.

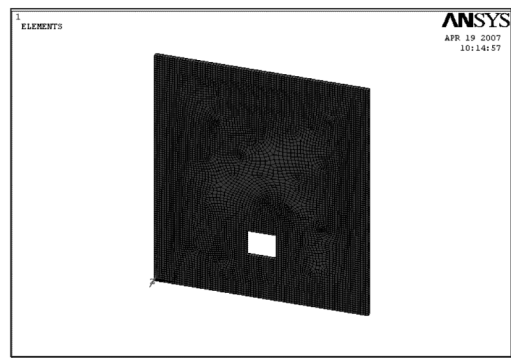


图 3 ANSYS 模型

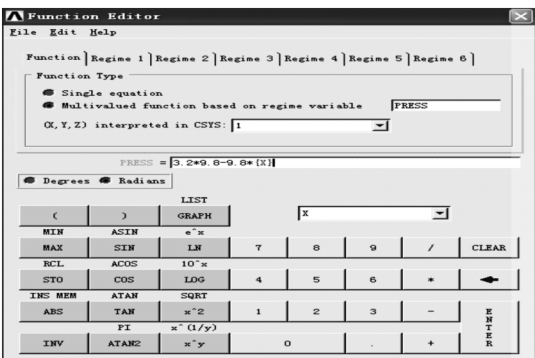


图 4 载荷函数设置

(2) ANSYS 模型约束及加载. 在 ANSYS 中必须对模型进行约束和加载,约束的数目要适当,过多的约束会使结果不正确,过少的约束将使分析无法进行下去.

在约束的时候根据所假设的模型,对过水壁左右两侧进行简支,下方进行固定,然后进行分析.

在施加载荷时,考虑到载荷  $q = \rho g x$ ,为  $x$  的函数,随  $x$  变化,所以在加载时采用 ANSYS Main Menu:Preprocessor-Solution-Define loads-Applied-Functions 设置所需的载荷. 如图 4 所示,然后在加载时调用此函数即可.

(3) ANSYS 模型求解. 完成 ANSYS 前置处理的各部分设置后,可以进行有限元求解. 利用 ANSYS Main Menu:Preprocessor-Solution-Solve-Current LS 对所建立的模型进行求解. 利用 ANSYS Main Menu:Preprocessor-General Postproc-Plot result 查看结果,结果如图 5~图 8 所示.

4 结论

通过对废水一体化处理设备中的沉淀池的过水墙进行分析,得出了简化的力学模型. 利用 ANSYS 有限元软件对简化模型进行了有限元分析,初步得出了位移等值图和应力场等值线图. 从图中可以得出以下结论:

(1) 简化模型属于薄板弯曲弹性力学问题,体现在图中即为位移分布量. 从图中可以得出,位移量在固定边或者简支边最小,在自由边中部最大,在重点考察对象方孔处位移量在数值上属于中等,理论上可以满足要求.

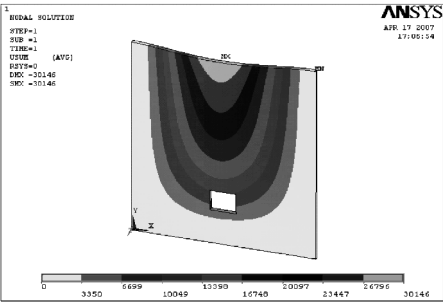


图 5 合位移等值线图(1)

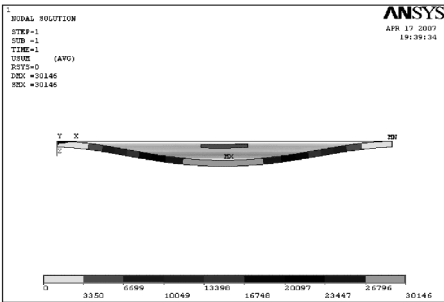


图 6 合位移等值线图(2)

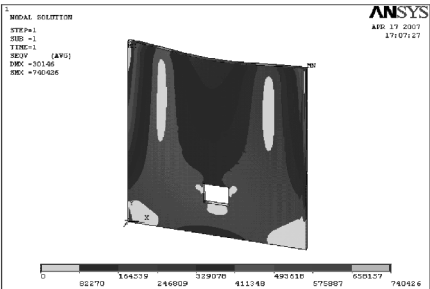


图 7 等效应力场等值线图(1)

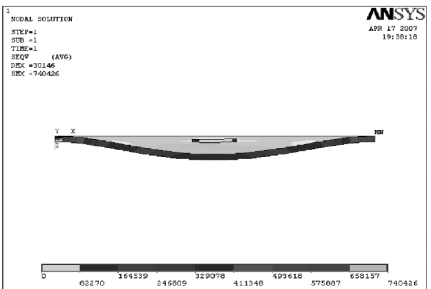


图 8 等效应力场等值线图(2)

(2)从应力分布图可以看出,应力最大处为简支边上部,为危险部位,由 ANSYS 分析可知,最大应力处为 740 MP,超过了一般工程用碳钢的最大抗拉强度 640 MP. 这是由于简化模型对固定两边的处理不恰当,导致了应力在此处具有较大值. 实际模型中,此过水墙作为沉淀池的一个壁,三个固定边以焊接方式连接,方孔周围应力分布变化平缓,分析数值仅为 82 MP,远远小于工程用碳钢的强度要求,理论上满足要求.

参 考 文 献

[1] 宁新汝,赵汝嘉. CAD/CAM 技术[M]. 北京:机械工业出版社,2006.  
[2] 徐芝伦. 弹性力学[M]. 北京:高等教育出版社,2004.

Finite Element Analysis of the Intergrated Equipment  
for Wastewater Treatment Based on ANSYS

CAI Su-ning, DONG Ji-xian, CAI Suo-ning

(School of Life Science and Engineering, Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China)

**Abstract:** Through the integration of wastewater treatment equipment in the sedimentation tank through the water wall for analysis, the simplified mechanical model. Using ANSYS finite element software to simplify the model the finite element analysis, preliminary plans and obtained the equivalent stress field displacement contour map. By comparison, come to an integrated wastewater treatment facilities over the water in the sedimentation tank wall designed, reasonably .

**Key words:** equipment for wastewater treatment; finite element analysis; ANSYS





\* 文章编号:1000-5811(2012)02-0053-03

# 农村小型上料机传动系统设计

王小爱, 宁 煜

(陕西工业职业技术学院 机械工程学院, 陕西 咸阳 712000)

**摘 要:**针对具体应用的农村小型上料机,在已有产品的基础上设计了一种新型的上料机.该上料机大大减轻了建筑工地人工送料的劳动强度,降低了劳动成本.具有结构紧凑、操作方便、生产效率高、价格低廉等特点.

**关键词:**上料机;结构方案设计;应用

**中图法分类号:**TH693.9

**文献标识码:**A

## 0 引 言

近年来,随着农村生活水平的不断提高,房屋更新建设频度也随之提高,但现有的机械设备多为大型设备,价格昂贵,不适应于农村个体小型建筑队的使用,目前农村个体小型建筑队都是用人工进行二层架上砖、上灰等,人工上料需要俩人相互配合劳作,劳动强度大,效率低,存在一定的安全隐患,费力、费工、又费时,而且也大大的增加了房屋的制造成本.因此,设计一款小型上料机,以提高工作效率,降低制造成本,具有重要的现实意义.本文以适合我国国情、性能先进、功能完善、符合有关技术规范的小型上料机技术和机具开发作为研究选题,以期促进该领域的技术进步.

## 1 上料机的性能要求和总体技术方案

### 1.1 上料机的性能要求

上料机应以稳定高效的生产率为前提,做到技术先进,经济合理,运行可靠稳定,操作简单,制造成本低.

本文研究的具体目标及技术参数:

(1)具有上料机的技术方案和传动设计,满足自动上料和卸料.技术指标:竖直上升高度为 3 m,上升速度为 0.4 m/s;水平进给量为 1.5 m,进给速度为 0.2 m/s;

(2)适应我国农村小型建筑队的需求,采用独特的结构,通过手动控制竖直上下上料及水平方向卸料等功能.与已有相关设备比较,此设备应体积小,操作简单,人工劳动强度小,安全性能高,造价低.

### 1.2 总体技术方案

自动机械的最大特点是自动化程度高、操作人员的劳动强度低、生产效率高.自动机械所完成的工艺动作一般比较多,一般有多个工艺执行机构组成,结构相对复杂.虽各自的组成不完全相同,但基本都是由驱动系统、传动系统、执行系统、控制系统 4 大部分组成的.一部完整的、自动化程度较高的小型上料机包含了如图 1 所示的各种机构(装置).

本文所研究的小型半自动上料机适合小规模建筑队使用.其具有体积小、操作简单、安全性能高等特点,可实现对物料的输送和卸料.结合国内上料机的特点,笔者提出一套半自动上料机的总体设计方案,使其具有紧凑、操作方便、工作效率高等特点.

该上料机可同时实现竖直上下及水平方向的频繁传动,并且保证传动平稳、准确.其在竖直方向通过

\* 收稿日期:2011-12-19

作者简介:王小爱(1976—),女,陕西省咸阳市人,讲师,硕士,研究方向:机械设计

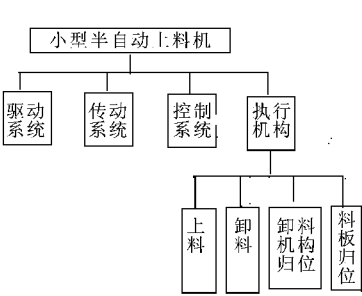


图 1 功能系统图

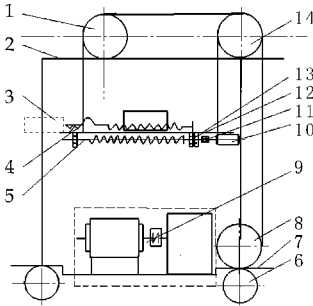


图 2 传动系统图

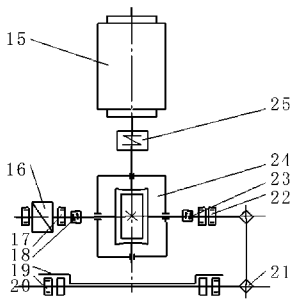


图 3 动力传动系统图

1、滑轮；2、槽型钢；3、物料；4、弹簧；5、丝杠；6、滚轮；7、底板；8、滑轮；9、动力传动系统（如图 3 所示）；10、电动机；11、联轴器；12、轴承套；13、托料板；14、滑轮；15、电动机；16、卷筒；17、轴承套；18、联轴器；19、底座；20、轴承套；21、链传动；22、轴承套；23、联轴器；24、减速器；25、离合器。

电动机带动卷筒卷放钢丝绳完成上料平台的升降；水平方向通过电动机驱动丝杠进行物料送进。电动机用重力逆止器与减速器输入轴连接，减速后将运动传至卷筒轴，卷放钢丝绳；水平进给是通过电动机带动固定丝杠螺母，使其前后移动，从而可实现物料的方便进给。同时此机器下面使用 4 个万向轮可实现 360°任意转弯，进而方便移动使用。该设计主要采用钢铁材料，成本低、效率高；并且该设计使用电动机驱动，手动断点控制，操作方便；采用两个电动机分路驱动，传动链短，结构简单；采用重力逆止器，实现双向逆止，效率高；该设计方案结构简单、采用成型槽钢做导轨，角钢做骨架，价格便宜，操作方便，使用效率高，具有较大的应用前景。传动系统方案如图 2 所示。

1.3 传动机构设计

1.3.1 选择原动机

$$F = mg = 1.5 \text{ kN} \quad V = 0.4 \text{ m/s}$$
$$F = 1.5 \times 1.6 = 2.4 \text{ kN} \quad P_{\text{实}} = FV = 2.4 \times 0.4 = 0.96 \text{ kW}$$

（安全系数  $K = 1.6$ ，根据机械设计课本  $P167$  查得）

$$\eta_{\text{总}} = \eta_{\text{联轴器}} \times \eta_{\text{蜗轮}} \times \eta_{\text{轴承}} \times \eta_{\text{定滑轮}} \times \eta_{\text{滑台}}$$
$$= 0.99 \times 0.45 \times 0.97 \times 0.95^2 \times 0.99 \times 0.99^2 = 0.38$$

数据来源： $\eta_{\text{联轴器}}$  见机械设计课本  $P195$ ， $\eta_{\text{蜗轮}}$  见机械设计课本  $P195$ ， $\eta_{\text{卷筒}}$ 、 $\eta_{\text{定滑轮}}$ 、 $\eta_{\text{滑台}}$  均来自机械设计手册第五卷。

$$P_{\text{电}} = P_{\text{实}} / \eta = 0.96 / 0.38 = 2.53 \text{ kW}$$
$$n_2 = \frac{60 \times 1000 \times 0.4}{3.14 \times 160} = 47.77 \text{ (卷筒直径查机械设计手册 } 2.8 \sim 38 \text{ 得)}$$

表 1 电动机的相关参数

| 电动机     | 额定功率 P/kW | 实际功率/kW | 满载转速  | 轴直 D | 轴长 E | 轴中心 E |
|---------|-----------|---------|-------|------|------|-------|
| Y112M-4 | 3         | 2.53    | 1 420 | 28   | 60   | 100   |

故选用 Y100L2-3 电动机（查机械设计手册  $P167$ ）。

1.3.2 传动机构设计

总传动比： $i_{\text{总}} = 1\,420 \div 47.77 = 29.94$

轴转速 输出功率 转矩

$$P_1 = P\eta_1 \times \eta_2 = 3 \times 0.99 \times 0.45 = 1.34$$
$$n_2 = \frac{60 \times 1\,000 \times 0.4}{3.14 \times 160} = 47.77$$
$$T = 9\,550 \times 1.34 / 47.77 = 267.89 \text{ Nm}$$
$$n_2 = 47.77$$
$$1.34 \text{ kW}$$
$$T = 267.89 \text{ Nm}$$

输入转速  
输出功率

1.3.3 执行机构设计

此机器传动机构竖直方向电动机通过减速器减速带动链条,拉动上料板实现;水平方向是通过电动机带动固定丝杠螺母,使其前后移动,实现物料方便进给,如图 4 所示.

(1)估计竖直上升高度 2.6 m,水平进给位移 1 m.

(2)确定从动件运动规律. 竖直上升速度为 0.4 m/s,速度较低,载重量平均 80 kg,要求能正反转且能频繁竖直上下启动;水平进给速度为 0.1 m/s,电机能频繁正反转.

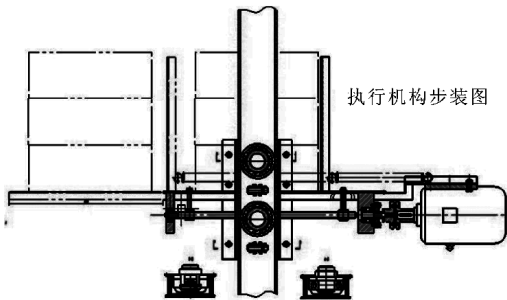


图 4 执行机构步装图

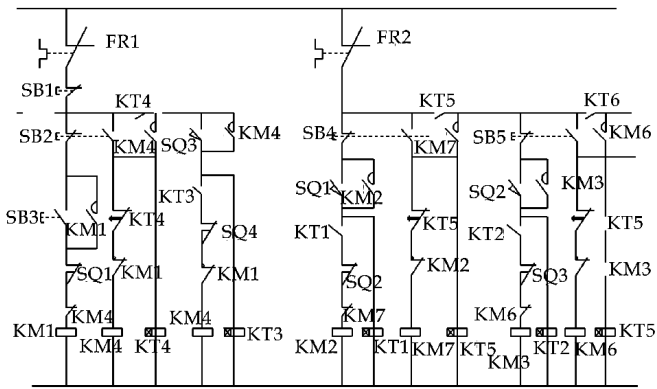


图 5 小型上料机电路控制图

2 电路控制图

该电路控制图是上料机的电路控制系统,通过该系统可以控制上料机的上升、下降、水平前进、水平后退,如图 5 所示..

3 结束语

农村小型建筑工程队一般只有十几人,所使用的工程机械仅有搅拌机和一些小型电动建筑工具. 在砌墙、处理楼顶时,二层以上脚手架的上砖上灰,大都需要多人配合,费工费力,很不方便. 目前市场上现有的上料机多为大型设备,价格高,不适用于农村小型建筑队使用. 本文设计的农村小型上料机成本低、体积小、性价比高、节省人力、性能完善、安全可靠、操作简便,适用于农村小型建筑队使用,具有广阔的应用前景.

参考文献

[1] 闻邦椿. 机械设计手册(第五版第一卷)[M]. 北京:机械工业出版社,2008.  
[2] 闻邦椿. 机械设计手册(第五版第二卷)[M]. 北京:机械工业出版社,2008.  
[3] 闻邦椿. 机械设计手册(第五版第三卷[M]. 北京:机械工业出版社,2008.  
[4] 吴宗泽. 机械设计课程设计手册(第二版)[M]. 北京:高等教育出版社,2010.

Rural Small Loader Transmission System Design

WANG Xiao-ai, NING Yu

(College of Mechanical Engineering,Shaanxi Polytechnic Institute,Xianyang 712000,China )

**Abstract:** This article from the design of the mechanical structure of the program is a feeder for the specific application of small-scale rural development. The characteristics of domestic products in existing products on the basis of a new feeding method. The feeder greatly reducing the labor intensity of the artificial feeding of the construction site, reducing labor costs. The small feeder has a compact structure, convenient operation, high efficiency, low prices.

**Key words:** feeding machine; structural design; applications



\* 文章编号:1000-5811(2012)02-0056-06

# 某轿车气动特性的 CFD 分析及优化

张怀华<sup>1</sup>, 容江磊<sup>2,3</sup>, 郭建成<sup>2,3</sup>

(1. 湖南长丰汽车沙发有限责任公司, 湖南 永州 425101; 2. 一汽-大众汽车有限公司, 吉林 长春 130011;  
3. 湖南大学 汽车车身先进设计制造国家重点实验室, 湖南 长沙 410082)

**摘要:**以一轿车模型为研究对象,采用 CFD 仿真的方法,对其车身表面压力分布和车身周围气流状况进行了深入地分析和研究,阐明了轿车气动阻力产生的原因.为了实现对气动阻力的优化,结合全局优化方法和局部优化方法的优点,将迭代的思想引入局部优化方法中,通过迭代式的局部改型,保证了优化过程中气动阻力是一直降低的.结果表明,气动阻力系数由0.338降至0.317,降幅6.21%,取得了很好的效果.

**关键词:**CFD 仿真; 轿车; 空气动力学特性; 气动阻力; 迭代式局部优化

**中图分类号:**U461.1

**文献标识码:**A

## 0 引言

随着现代汽车工业和高速公路的发展,全球汽车每年的产销量和保有量不断增加,汽车产业巨大的能源需求,给石油资源带来越来越大的压力.而汽车的燃油消耗与其空气动力学性能,特别是气动阻力有很大的联系.研究表明,当车速达到 80 km/h 时,气动阻力与滚动阻力几乎相等;当车速为 150 km/h 时,气动阻力相当于滚动阻力的 2~3 倍<sup>[1]</sup>.因此,研究汽车的空气动力学特性,并通过改进其气动性能,特别是对气动阻力的优化,对于提高汽车的燃油经济性有十分重要的意义.

传统的汽车空气动力学研究方法主要有理论分析、试验研究和数值模拟<sup>[2]</sup>.汽车空气动力学的数值模拟方法一般称为计算流体力学(CFD),具有耗时短、操作简便、结果不受实验条件影响等优势,在汽车空气动力学性能的研究中应用最为广泛.国外对 CFD 方法的研究和运用已经达到较高的水平,国内虽然对 CFD 方法的研究起步较晚,但也获得了很大的进步和成果.目前,国内运用 CFD 方法对汽车主要空气动力学指标的仿真,经风洞试验验证已经能达到较高的精度.本文即是基于 CFD 方法,对某轿车的空气动力学特性进行了仿真,主要分析了其车身表面压力和车身附近流场.

传统的气动优化方法主要有全局气动优化方法和局部气动优化方法<sup>[3]</sup>.两种方法有其各自的优势,在汽车的气动优化中起到很大的作用.全局优化方法一般用于实车开发的初期,局部优化方法经常出现不同改型方案互相干涉影响,使得整体优化效果下降的情况.为此,本文将迭代的思路引入局部优化方法,使局部优化方法具有“全局单调下降”特点,保证整个优化过程中气动阻力一直降低,从而优化了某轿车的气动阻力.

## 1 CFD 仿真分析方法

\* 收稿日期:2012-01-12

基金项目:国家自然科学基金项目(50975083);湖南省科技攻关计划重点项目(2009JT1014);教育部长江学者与创新团队发展计划(531105050037);湖南大学汽车车身先进设计制造国家重点实验室自主课题(61075001).

作者简介:张怀华(1974—),男,湖南省永州市人,工程师,研究方向:汽车整车性能优化

1.1 CAD 模型建立

某轿车 CAD 模型是在 UG 中建立的. 由于实车模型比较复杂, 会给网格绘制和仿真计算带来很大困难, 而且耗时长、效率低, 因此需要对车身模型进行简化, 忽略一些对气动力计算影响很小的细节, 如门把手, 雨刮器等, 简化后的模型如图 1 所示.

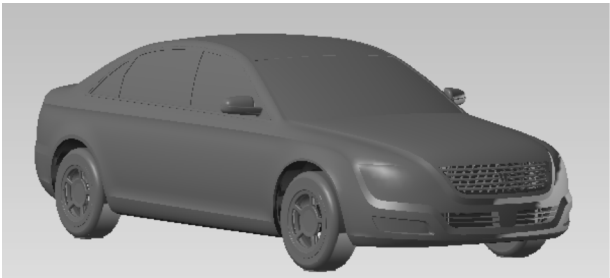


图 1 某轿车简化模型

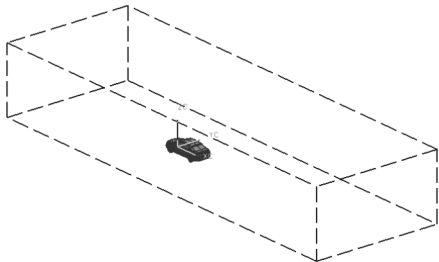


图 2 计算域示意图

为准确模拟实际风洞的气流状况, 建立外轮廓为长方体的计算域. 根据汽车外流场的特点, 结合以往计算经验, 设置计算域的大小为: 入口距模型前端 3 倍车长, 出口距模型后端 6 倍车长, 总高度为 4 倍车高, 总宽度为 7 倍车宽. 其计算域如图 2 所示.

1.2 网格划分

运用 ANSYS 软件绘制模型的四面体网格. 采用 Delaunay 三角形方法在整个计算流域面生成半尺寸化网格, 在车身表面拉伸出与其平行的三棱柱网格作为附面层, 以消除壁面函数的影响. 为提高计算精度, 建立包围车身的密度核, 同时为了避免网格差异对仿真结果的影响, 在每次仿真过程中, 保持模型的相同部分网格尺寸不变, 同时用不同数目的网格验证网格的无关性<sup>[4]</sup>. 轿车底部的网格模型如图 3 所示.

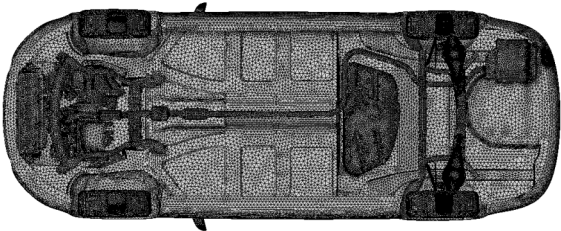


图 3 底部网格模型

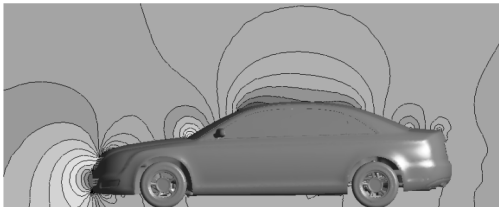


图 4 纵对称面压力分布

1.3 湍流模型及边界条件

表 1 边界条件参数设置

|                    |                                         |
|--------------------|-----------------------------------------|
| Inlet              | Velocity inlet, $v=40\text{ m/s}$       |
| Outlet             | Pressure outlet, $p=101\ 325\text{ Pa}$ |
| Ground             | Moving wall, $v=40\text{ m/s}$          |
| Top and side walls | Stationary wall                         |
| Other walls        | Stationary wall                         |

湍流精度较高, 且计算量小, 是 5 种模型中较适于汽车外部复杂流场数值仿真计算的湍流模型<sup>[5]</sup>.

为真实模拟发动机舱内部空气的流动情况, 对汽车外部流场与发动机舱内部流场进行耦合仿真, 因此将散热器、中冷器、冷凝器设置为多孔介质, 多孔介质参数是根据各部件压降与迎面风速的关系曲线的方法<sup>[6]</sup>确定. 计算域边界条件设置如表 1.

汽车周围流场可以看作是三维不可压缩粘性等温流场. 由于其外形复杂容易引起气流分离, 所以应按湍流处理. 仿真中常用的湍流模型有 Reynolds Stress 模型、标准  $k-\epsilon$  模型、RNG  $k-\epsilon$  模型、 $R k-\epsilon$  模型. 研究表明, RNG  $k-\epsilon$  模型考虑涡流因素影响和低雷诺数效应, 可有效模拟汽车尾部和底部复杂旋涡流动结构, 计算



### 1.4 CFD 仿真结果

对轿车的仿真计算是在大型商用软件 FLUENT 中进行的. 在车速为 40 m/s 时, 通过仿真计算得到的气动阻力系数  $C_d$  为 0.338, 封闭进气格栅时  $C_d$  为 0.286, 而封闭格栅的模型风洞试验测得的  $C_d$  为 0.280, 仿真结果和实验误差在 3% 以内, 证明了仿真的可靠性.

## 2 原车气动特性分析

### 2.1 车身表面压力分析

汽车车身表面压力分布与汽车外形有着非常密切的联系, 它的研究对汽车气动力的产生有重要的影响, 压差阻力约占汽车总气动阻力的 50%~65%.

从图 4 对称面压力云图可以看出, 车头缘角、挡风玻璃以及行李箱盖后缘等压线比较密集, 意味着较大的压强梯度, 而正压区压强梯度大意味着该区域平均压强大和流动能量损失大; 而在负压区压强梯度大则意味着该区域平均压强低和流动能量损失大, 两者相互作用的结果就是气动阻力大.

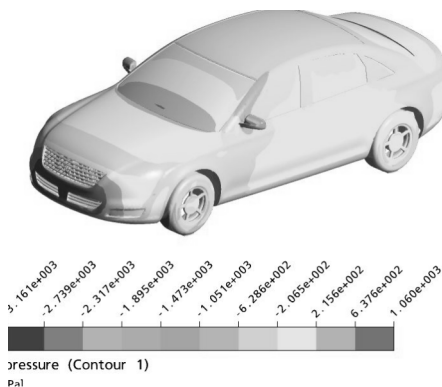


图 5 车身表面压力云图

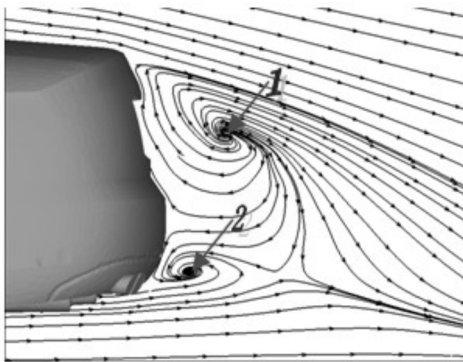


图 6 纵对称面尾涡示意图

从图 5 车身表面压力云图可以看出, 轿车前部、后视镜和前风窗玻璃等处都有一定的正压区域, 这是由于这些区域都是直接承受来流冲击的, 它们是构成整车气动阻力的主要因素. 如果能够进一步改进车头造型, 减小车头正投影面积, 对减小气动阻力有一定的效果. 在 A 柱、挡风玻璃与顶棚的交接处等, 由于气体的分离, 致使这些区域为负压区, 这些区域的气流分离会造成漩涡生成、旋转、脱落, 这样会消耗大量的能量, 增大汽车的气动阻力.

### 2.2 车身周围流场分析

汽车的流场分为外部流场和内部流场, 是汽车空气动力学特性的重要方面. 研究汽车周围的流场情况, 可以更好的理解气流的运动情况, 进一步找出优化的方案.

图 6 为纵对称面尾涡示意图, 可以看到在汽车的尾部有很明显的涡 1、2. 尾涡 1 实际为对称的一对, 是由于从后风窗玻璃冲击下来的高速气流受到行李厢的屏蔽作用而使厢体、底部汇流入厢体尾部的较高压强的气流在此形成了大尺度的漩涡, 尾涡 1 速度流线十分密集, 说明这里速度梯度很大, 气流速度有很大的损耗. 尾涡包含了大量的湍动能, 气流能量消耗很大一部分就在此发生, 这是汽车受到气动阻力的一个重要原因<sup>[7]</sup>.

尾涡 2 为汽车从表面下来的气流与从轿车底部冲出的气流产生了向上翻卷的漩涡, 尾涡 2 除了造成能量的损耗, 还容易使泥土上卷造成汽车尾部尘土污染.

汽车底部结构对其气动性能有很大影响<sup>[8]</sup>. 图 7 是该轿车的底盘流线图, 由于底部结构比较复杂且凹凸不平, 造成气流在车底流动受阻, 流动状况相当复杂, 气流分离区较多, 形成了各种复杂的涡流, 底部基本上都是负压区域, 但排气管中后部、油箱以及备胎等突出的部分由于迎风受气流冲击而形成了正压区

域,凹进去的部分基本处于负压区,这些地方的压力分布都将增加整车的气动阻力. 所以如果将汽车底盘覆盖起来并具有适度的组合和造型,将有利于降低气动阻力系数.

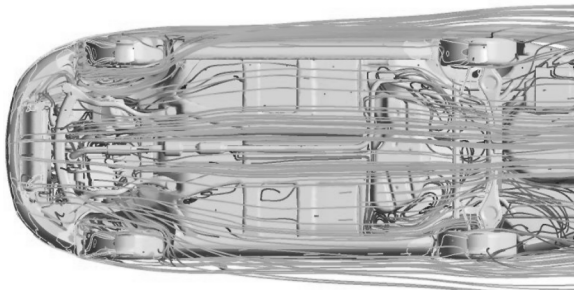


图 7 底部速度流线图

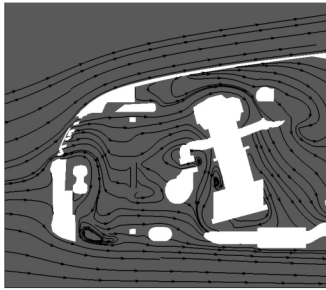


图 8 发动机舱纵对称面流线

图 8 是发动机舱内部纵对称面气流流动情况,从图中可以看出流动状况十分复杂. 气流基本上都是由前进气隔栅进入,气流进入发动机舱后,由于散热器组的不完全通风性,气流在此受到了阻挡,导致此处的气流出现不连续现象,气流在此处分离,一部分气流从散热器组上下四周继续向前流动;另一部分气流则进入散热器组,对其进行吹风冷却,从散热器组排出的冷却气流,由于风扇的抽吸作用,经过该处有一个迅速的加速,直接吹向发动机体,在发动机体前面突然减速,气流在其四周发生分离.

3 汽车气动阻力优化方法

气动阻力是汽车气动性能的重要内容,气动阻力的优化一直是汽车工程界关注的研究工作<sup>[9]</sup>. 常用的气动优化方法有局部优化方法和全局优化方法.

全局优化方法以具有出色气动特性的适当的“理想形体”为出发点,然后通过几何局部修整等方法,逐步改造使它成为能满足人机工程、工艺学及安全法规等因素的汽车<sup>[10]</sup>. 这种方法从一开始就十分重视汽车外形的整体气动性能,在全局改型过程中能保证气动阻力一直是“单调”下降的,但是因为没有添加任何车身的附件,一般只能用于车身开发的初始阶段.

局部优化的基本思路是对原有车型局部如圆角半径、曲面弧度、斜度等进行少量局部的修改,或者加装扰流器、尾翼等气动部件与装置,以使气动力降低、流态结构更趋合理. 这种优化方法操作简单,对于整车定型后的优化有较好的效果. 然而局部改型优化方法存在局部方案之间的冲突. 车身流场是一个整体,当把两处有效的局部改型方案综合到一起时,其优化效果不是简单的叠加,甚至有可能不如其中任一方案. 这样不但得不到预期优化效果,而且耗费了大量时间和精力.

为此,将迭代的思想引入局部优化方法中,将原车定位  $A_0$ ,对某局部 1 进行改型使气动阻力下降并经 CFD 仿真验证,局部改型 1 后模型变为  $A_1$ ,以  $A_1$  为基础模型,对某局部 2 进行改型进一步获得降低气动阻力的方案,模型  $A_2$  取代  $A_1$  成为基础模型,然后依次类推,继续在  $A_2$  上进行局部改型以降低阻力,直到气动阻力达到预期的标准. 用这种迭代式局部优化方法,既保留了局部优化方法对实车模型优化的有效性,又具备全局优化方法的“阻力单调下降性”.

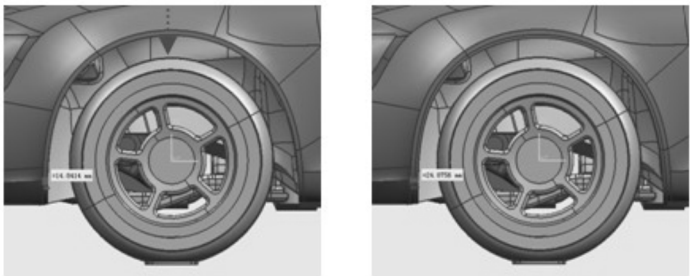


图 9 前翼子板改型前后

4 某轿车 CFD 迭代式局部优化

4.1 前翼子板改型

由于汽车轮腔内流动比较复杂,内部有大量的涡系生成,所以要控制轮腔内的涡流向外溢出,使其尽量不与车身外部气流相互影响.因此可以考虑适当延长前翼子板的长度来减小车身与车轮的间距.设计方

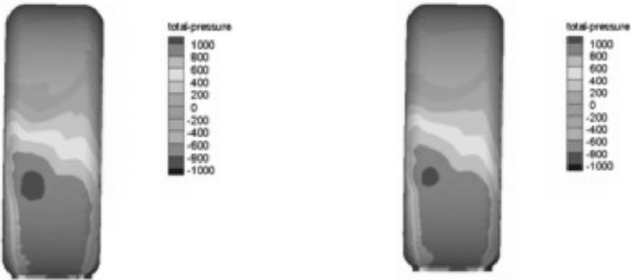


图 10 改型前后车轮压力云图

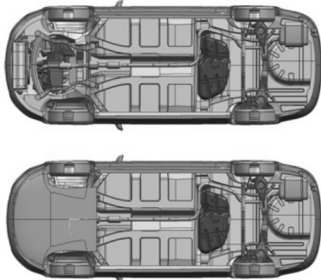


图 11 地板前部改型前后

案 1、2、3 分别曲率延长前翼子板 5 mm、10 mm、15 mm,如图 9 所示.经过计算模拟,得到结果如表 2 所示.

表 2 各方案计算结果

| 方案    | $A_0$ | 1     | 2     | 3     |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| $C_d$ | 0.338 | 0.337 | 0.332 | 0.335 |

从表 2 中可看出,延长 10 mm 时降阻效果最为明显.图 10 为方案 2 改进前后车轮云图,可以看出改进后车轮正压区明显小于原车型.这是由于原车车轮与车身间隙过大,

就会在其间进入更多的涡流,造成较大的能耗,使汽车的阻力较大.选取方案 2 改型后的模型为下一步改型优化的基础模型  $A_1$ .

4.2 地板前部改型

从原车的底部流线图可以发现发动机底部的气流状况十分紊乱,因此将  $A_1$  发动机舱下部用密封板封闭,如图 11 所示.

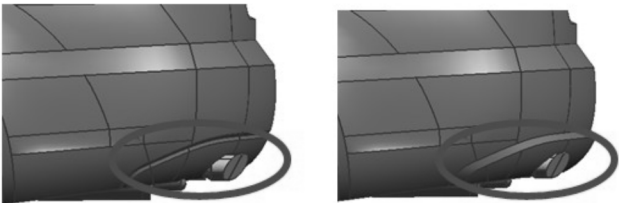


图 12 后保险杠改型前后

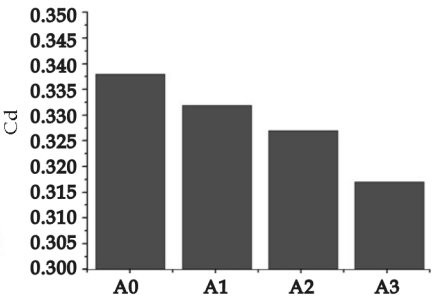


图 13 气动阻力系数对比

经过计算模拟,加装底部密封板后, $A_1$  的气动阻力系数  $C_d$  进一步降低为 0.327.改型后,发动机舱底部存在的流场复杂现象得以改善,使得流线趋于平顺、顺畅,从而可以减少局部的涡系生成而造成能量耗散,最终使整车的气动阻力降低.因此,进一步选取加装密封板的模型为基础模型  $A_2$ .

4.3 后保险杠改型

为了减小尾部涡流的能量耗散,对后保险杠进行修改,设计方案 1、2 分别延长后保险杠 10 mm、15 mm,如图 12 所示.

经过计算模拟,得到结果如表 3,从表中可见方案 2 的效果较好.后保险杠改型后,减少了底部气流向上翻滚而和上部冲击下来的高速气流干涉,从而可改善尾部气流,减少局部的涡系生成,使得整车的气动阻力降低.

经过 3 次迭代式局部改型, $C_d$  由 0.338 降至 0.317,降幅为 6.21%,取得了较好的效果,各改型阶段模型的气动阻力系数对比如图 13,方案 2 改型后的模型确定为最终气动优化后的模型 A<sub>3</sub>。结果表明,迭代式局部优化方法在对汽车气动阻力的优化中,能取得很好的效果,可以在工程实践中加以应用和推广。

5 结论

运用 CFD 数值模拟的方法,对某轿车的空气动力学特性进行了分析,将迭代的思想引入局部气动优化方法,对轿车的气动阻力进行了优化,得到如下结论:

- (1)CFD 数值仿真可以精确地模拟汽车的空气动力学特性,包括汽车的压力分布及外部和内部的流场状况。
- (2)迭代式局部优化方法同时具备全局优化方法的气动阻力“单调递减性”和局部优化方法的方便高效,可以在气动减阻的工程实践中推广运用。

参 考 文 献

[1] 傅立敏. 汽车空气动力学[M]. 北京:机械工业出版社,1998:30-254.  
[2] 谷正气. 汽车空气动力学[M]. 北京:人民交通出版社,2005:116-140.  
[3] 黄向东. 汽车空气动力学与车身造型[M]. 北京:人民交通出版社,1999:94-119.  
[4] 涂尚荣,张扬军. 汽车外流场仿真的复杂网格系统生成[J]. 汽车工程, 2002,24(5):408-411.  
[5] 杨 胜,张扬军,涂尚荣,等. 汽车外部复杂流场计算的湍流模型比较[J]. 汽车工程,2003,2,(4):321-325.  
[6] 袁志群. 中气轿车内外流场气动特性研究与改进[D]. 长沙:湖南大学硕士学位论文,2009.  
[7] 傅立敏,沈 俊,王靖宇. 汽车流场及尾部涡系数值模拟[J]. 吉林工业大学自然科学学报,2000,30(2):6-9.  
[8] 王靖宇,赖晨光,胡兴军. 汽车底部外形对气动特性的影响[J]. 中国公路学报,2008, 21(2) :111-115 .  
[9] 吴 军,钟志华,谷正气. 汽车外流场数值仿真的进一步研究[J]. 机械工程学报,2003,39(9):110-113.  
[10]江 涛,谷正气,杨 易,等. 全局变形法在实车气动减阻中的运用[J]. 汽车工程,2011,33(1):26-30.

CFD Analysis and Optimization of the Aerodynamic Characteristics of a Car

ZHANG Huai-hua<sup>1</sup>, RONG Jiang-lei<sup>2,3</sup>,GUO Jian-cheng<sup>2,3</sup>

(1. Hunan Changfeng Automotive Seat Ltd., Yongzhou 425101, China; 2. FAW-Volkswagen Automotive Company Ltd., Changchun 130011, China; 3. State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacture for Vehicle Body, Hunan University, Changsha 410082, China)

**Abstract:** A car model was taken as the research object, and its surface pressure distribution and nearby flow field around were deeply studied and analyzed using CFD simulation method, and the causes of the aerodynamic drag of the car was explained as well. For the aim of optimization of the aerodynamic drag, the advantages of the global optimization method and regional optimization method were combined together and the thought of iteration is introduced to the regional optimization method. By iterational regional modification, it can be assured that the aerodynamic drag keep the trend of declining in the optimization process. The result shows that the aerodynamic drag coefficient can be reduced by 6.21%, from 0.338 to 0.317, which is a satisfactory effect.

**Key words:** CFD simulation; car; aerodynamic characteristics; aerodynamic drag; iterational regional optimization





\* 文章编号:1000-5811(2012)02-0062-04

# 基于 UG NX 表达式的空间凸轮精确建模

慕 灿<sup>1</sup>, 陈 科<sup>2</sup>

(1. 阜阳职业技术学院 机电工程系, 安徽 阜阳 236016; 2. 合肥工业大学 机械与汽车工程学院, 安徽 合肥 230009)

**摘 要:**在高速精密自动机械中凸轮机构凸轮轮廓曲线非常复杂, 给凸轮三维精确建模带来了困难, 且精度较低的凸轮轮廓曲线不能满足凸轮后续 CAM 和 CAE 的要求. 凸轮轮廓曲线的设计原理是根据工作所要求的从动件运动规律, 推导出从动件位移与凸轮转角之间的方程式, 依据方程式绘出凸轮轮廓曲线, 保证所得凸轮轮廓曲线的精确性. 以直动从动件五次项运动规律的圆柱凸轮为例介绍了基于 UG NX 的圆柱凸轮参数化建模方法.

**关键词:**空间凸轮; 表达式; 精确建模; UG NX

**中图法分类号:**TH122

**文献标识码:**A

## 0 引 言

凸轮机构是机械中的常用机构之一, 按凸轮几何形状分为平面凸轮与空间凸轮. 其中空间凸轮机构的运动特性和动力特性更为优良, 在机械式自动化机构和自动控制装置中应用广泛. 由于对凸轮设计速度和加工精度的要求越来越高, 数控技术和 CAD/CAM 技术被越来越广泛地应用到凸轮特别是空间凸轮的加工中. 而精确建立凸轮机构三维模型是 CAE/CAM 的重要保证. 平面凸轮机构结构较为简单, 使用一般商业 CAD 软件即可轻易完成设计工作, 而空间凸轮机构轮廓多为复杂的空间曲面, 因此设计建模的难度较大. 目前, 主要使用以下几种方法来实现空间凸轮的建模: 以 SolidWorks 为平台并借助其他计算软件完成空间凸轮建模<sup>[1]</sup>; 在商用三维设计软件 AutoCAD 基础上实行二次开发, 使用编程工具获得凸轮轮廓曲线, 完成空间凸轮的三维设计<sup>[2]</sup>; 基于 Pro/E 软件, 利用其方程曲线功能绘制出从动件运动规律曲线, 然后以变剖面扫描的方式建立圆柱凸轮的轮廓形状<sup>[3]</sup>. 本文以高端 CAD/CAE/CAM 软件 UG NX 为平台, 介绍一种思路清晰、更加容易掌握、无需编程、不借助其他软件可独立实现高精度空间凸轮三维建模的方法.

## 1 建模思路与实现过程

### 1.1 建模思路

一般将空间凸轮机构划分为圆柱凸轮机构和圆锥凸轮机构两大类型. 凸轮机构中从动件的运动方式主要有往复直动和往复摆动两种. 凸轮轮廓与从动件大多采用滚子接触, 也可采用尖底接触. 由于空间凸轮的轮廓为复杂的空间曲面, 根据从动件的运动规律计算轮廓曲面的空间坐标是十分繁琐的. 在制造凸轮时不必要按照空间曲面的坐标进行加工(除非有特定要求). 因此, 为了使空间凸轮轮廓的设计和制造过程简化, 对一般的空间凸轮机构而言, 通常把圆柱凸轮上的圆柱面展开成矩形平面, 而把圆锥凸轮的圆锥面展开成扇形平面, 然后参照平面凸轮轮廓曲线的设计方法计算展开后的轮廓曲线坐标<sup>[4]</sup>. 在此基础上可进一步推导出凸轮空间理论轮廓曲线与凸轮转角之间的参数方程, 再使用三维软件的公式曲线命令即可得

\* 收稿日期:2012-01-02

基金项目:国家自然科学基金项目(51075111)

作者简介:慕 灿(1972—), 男, 安徽省亳州市人, 副教授, 硕士, 研究方向:数字化设计与制造



到精确的空间凸轮的轮廓曲线.

1.2 基于 UG NX 凸轮建模实现过程

UG NX 是 CAD/CAE/CAM 无缝集成的三维参数化设计软件,为设计、分析和制造提供了高性能和灵活性,该软件支持全中文界面,操作过程人性化,是目前最先进的计算机辅助设计、分析和制造软件之一,在航空航天、汽车、造船、通用机械和电子等工业领域得到广泛应用. 在 UG NX 中建立空间凸轮模型的过程如下:

- (1)在 UG NX 的建模模块中将凸轮空间理论轮廓曲线与凸轮转角之间的参数方程转化成系统可以识别的表达式.
- (2)应用 UG NX 曲线工具,选择菜单“插入”“曲线”“规律曲线”命令,使用上一步生成的表达式创建精确的空间凸轮轮廓曲线.
- (3)在 UG NX 草图模块中绘制凸轮槽截面,接着使用扫掠命令绘制凸轮槽实体特征.
- (4)使用 UG NX 草图工具和拉伸特征命令绘制凸轮毛坯,接着使用布尔求差命令得到空间凸轮三维模型.

2 空间凸轮建模实例

在自动机械中一些凸轮机构是在高速重载环境下工作,要求从动件运动规律特征值综合性能良好,机构能很好地适应工作转速和负荷的变化. 多项式运动规律的通用性很强,可以按照任意给定的运动特征要求来设计运动规律,运动特征的控制条件越多,多项式的项数或幂次就越多. 一般五次项运动规律即可满足要求,其类速度曲线和类加速度曲线均连续无突变,故既无刚性冲击也无柔性冲击. 文中以滚子直动从动件空间圆柱凸轮为例,从动件运动规律为五次项运动规律,详细介绍凸轮的设计与建模过程. 其运动规律曲线如图 1 所示.

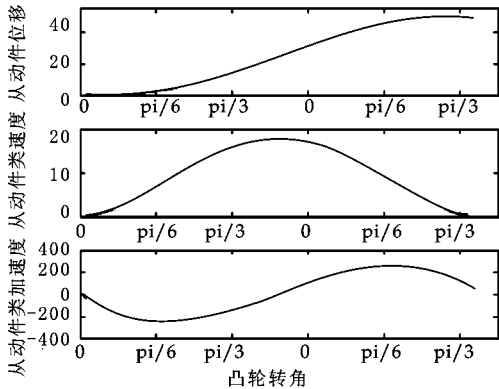


图 1 五次项运动规律曲线

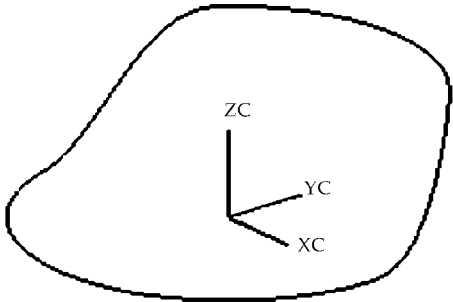


图 2 圆柱凸轮理论轮廓曲线

2.1 凸轮设计题目

建立某内燃机配气凸轮机构滚子直动从动件圆柱凸轮的三维模型. 其从动件升程  $h=50\text{ mm}$ ,机构的推程角  $\Phi=60^\circ$ ,远休止角  $\Phi_s=80^\circ$ ,回程角  $\Phi'=60^\circ$ ,近休止角  $\Phi_s'=160^\circ$ ,凸轮基圆半径  $R_b=80\text{ mm}$ ,许用压力角  $[\alpha]=25^\circ$ ,滚子半径  $R=20\text{ mm}$ ,推程和回程的运动规律选用五次项运动规律.

2.2 确定从动件运动规律参数

参照文献[4]建立从动件各段的位移  $s$ 、类速度  $\frac{ds}{d\varphi}$  的运动方程式:

- (1)五次项运动推程期,凸轮转角范围为  $\varphi \in \left[0, \frac{\pi}{3}\right]$ :

$$\begin{cases} s = h \left[ 10 \left( \frac{\varphi}{\Phi} \right)^3 - 15 \left( \frac{\varphi}{\Phi} \right)^4 + 6 \left( \frac{\varphi}{\Phi} \right)^5 \right] \\ \frac{ds}{d\varphi} = \frac{30h}{\varphi} \left[ \left( \frac{\varphi}{\Phi} \right)^2 - 2 \left( \frac{\varphi}{\Phi} \right)^3 + \left( \frac{\varphi}{\Phi} \right)^4 \right] \end{cases}$$

(2) 五次项运动远休止期, 凸轮转角范围为  $\varphi \in \left[ \frac{\pi}{3}, \frac{7}{9}\pi \right]$ :

$$\begin{cases} s = 50 \text{ mm} \\ \frac{ds}{d\varphi} = 0 \end{cases}$$

(3) 五次项运动回程期, 凸轮转角范围为  $\varphi' \in \left[ 0, \frac{\pi}{3} \right]$ , 对应的  $\varphi$  值范围为  $\varphi \in \left[ \frac{7}{9}\pi, \frac{10}{9}\pi \right]$ :

$$\begin{cases} s = h - h \left[ 10 \left( \frac{\varphi'}{\Phi} \right)^3 - 15 \left( \frac{\varphi'}{\Phi} \right)^4 + 6 \left( \frac{\varphi'}{\Phi} \right)^5 \right] \\ \frac{ds}{d\varphi} = \frac{30h}{\varphi} \left[ \left( \frac{\varphi'}{\Phi} \right)^2 - 2 \left( \frac{\varphi'}{\Phi} \right)^3 + \left( \frac{\varphi'}{\Phi} \right)^4 \right] \end{cases}$$

(4) 五次项运动近休止期, 凸轮转角范围为  $\varphi \in \left[ \frac{10}{9}\pi, 2\pi \right]$ :

$$\begin{cases} s = 0 \\ \frac{ds}{d\varphi} = 0 \end{cases}$$

### 2.3 空间凸轮理论轮廓曲线的参数方程

$$\begin{cases} x = R_b \cos \varphi \\ y = R_b \sin \varphi \\ z = s \end{cases} \quad (0 \leq \varphi \leq 2\pi)$$

### 2.4 基于 UG NX 表达式的空间凸轮建模步骤

(1) 将上述运动方程式和参数方程转化成 UG NX 可以识别的表达式. 选择菜单“工具”“表达式”命令, 在弹出的“表达式”对话框中依次添加以下公式:

$a_1 = 60^\circ$  // 推程角

$a_2 = 80^\circ$  // 远休止角

$a_3 = 60^\circ$  // 回程角

$a_4 = 160^\circ$  // 近休止角

$t = 0$  // 系统变量, 变化范围从 0 到 1

$b_1 = a_1 \times t$  // 推程期凸轮转角

$b_2 = a_1 + a_2 \times t$  // 远休止期凸轮转角

$b_3 = a_1 + a_2 + a_3 \times t$  // 回程期凸轮转角

$b_4 = a_1 + a_2 + a_3 + a_4 \times t$  // 近休止期凸轮转角

$h = 50 \text{ mm}$  // 从动件升程

$R_b = 80 \text{ mm}$  // 凸轮基圆半径

$s_1 = h \times (10 \times (b_1/c)^3 - 15 \times (b_1/c)^4 + 6 \times (b_1/c)^5)$  // 推程期从动件位移

$s_2 = 50 \text{ mm}$  // 远休止期从动件位移

$s_3 = h - s_1$  // 回程期从动件位移

$s_4 = 0$  // 近休止期从动件位移

$x_1 = R_b \times \cos(b_1)$  // 推程期凸轮理论轮廓曲线  $x$  坐标

$x_2 = R_b \times \cos(b_2)$  // 远休止期凸轮理论轮廓曲线  $x$  坐标

$x_3 = R_b \times \cos(b_3)$  // 回程期凸轮理论轮廓曲线  $x$  坐标

$$\begin{aligned}x_4 &= R_b \times \cos(b_4) && // \text{近休止期凸轮理论轮廓曲线 } x \text{ 坐标} \\y_1 &= R_b \times \sin(b_1) && // \text{推程期凸轮理论轮廓曲线 } y \text{ 坐标} \\y_2 &= R_b \times \sin(b_2) && // \text{远休止期凸轮理论轮廓曲线 } y \text{ 坐标} \\y_3 &= R_b \times \sin(b_3) && // \text{回程期凸轮理论轮廓曲线 } y \text{ 坐标} \\y_4 &= R_b \times \sin(b_4) && // \text{近休止期凸轮理论轮廓曲线 } y \text{ 坐标} \\z_1 &= s_1 && // \text{推程期凸轮理论轮廓曲线 } z \text{ 坐标} \\z_2 &= s_2 && // \text{远休止期凸轮理论轮廓曲线 } z \text{ 坐标} \\z_3 &= s_3 && // \text{回程期凸轮理论轮廓曲线 } z \text{ 坐标} \\z_4 &= s_4 && // \text{近休止期凸轮理论轮廓曲线 } z \text{ 坐标}\end{aligned}$$

(2)使用 UG NX 的规律曲线命令,按照上一步建立的表达式绘制 4 段规律的样条曲线.选择菜单“插入”“曲线”“规律曲线”命令,在弹出的“规律函数”对话框中选取“根据方程”按钮,接下来根据系统提示顺序选取 4 段规律曲线的对应坐标表达式,得到圆柱凸轮的理论轮廓曲线,如图 2 所示.

(3)应用 UG NX 草图工具在 XOZ 平面绘制长度 20 mm、宽 40 mm 的矩形草图,表示凸轮槽截面.选择菜单“插入”“扫掠”“扫掠”命令,在弹出的“扫掠”对话框中分别选取矩形草图为截面曲线,以圆柱凸轮理论轮廓曲线为引导线,按矢量  $z$  方向选取定位方法,得到如图 3 所示的凸轮槽三维实体.

(4)使用拉伸特征创建直径为 200 mm 的圆柱体凸轮毛坯,注意应使圆柱体与凸轮理论轮廓曲线同轴,如图 4 所示.最后应用布尔求差命令,使其与图 3 所示凸轮槽三维实体进行布尔运算,得到如图 5 所示的空间凸轮三维模型.

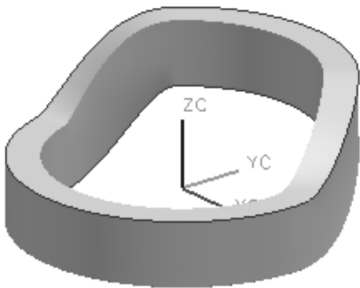


图 3 凸轮槽三维实体



图 4 凸轮毛坯

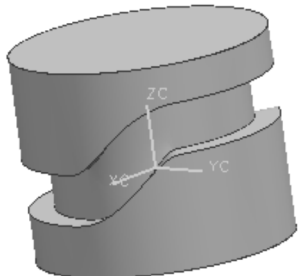


图 5 空间凸轮模型

### 3 结束语

阐述了凸轮理论轮廓曲线的建模思路,并通过实例详细介绍了基于 UG NX 表达式的空间凸轮精确建模方法.该方法不仅能满足空间凸轮设计精度要求,而且设计思路清晰,建模过程得以简化,易于掌握和应用;同时具有较强的通用性,对于不同功能要求的空间凸轮,只要更改对应的几何参数及运动规律方程式即可,提高了凸轮三维建模的效率;所建精确三维模型也为后续凸轮的虚拟装配、运动仿真及动力学分析、有限元分析和数控加工奠定了良好的基础.

### 参 考 文 献

[1] 孟利民,冯利国.空间凸轮机构轮廓建模方法研究与实现[J].机械设计,2010,27(8):58-60.  
[2] 魏 胜,李克天,张志成,等.空间凸轮的参数化设计及加工[J].机床与液压,2005,3:6-10.  
[3] 徐 峰,葛正浩,杨芙莲,等.利用 CAD/CAM 系统设计与加工空间凸轮[J].机械传动,2006,30(4):50-52.  
[4] 石永刚,吴央芳.凸轮机构设计与应用创新[M].北京:机械工业出版社,2007.  
[5] 齐从谦,甘 屹.UGS NX 5 中文版 CAD/CAE/CAM 实用教程[M].北京:机械工业出版社,2008.  
[6] 袁 锋.UG 机械工程设计范例教程[M].北京:机械工业出版社,2009.  
[7] 刘昌祺,(日)牧野洋,曹西京.凸轮机构设计[M].北京:机械工业出版社.2005.  
[8] 孙树峰,周以齐.基于非均匀有理 B 样条的空间凸轮设计[J].机械工程学报,2009,45(8):125-129.



\* 文章编号:1000-5811(2012)02-0066-04

# 基于 UG 和 Moldflow 的遥控器后盖注塑模具设计

王玉坤, 卢 军, 李 卓

(陕西科技大学 机电工程学院, 陕西 西安 710021)

**摘 要:**以 UG 为平台对遥控器后盖的注塑模具进行设计,通过 Moldflow 进行流动模拟分析,确定了浇注系统、冷却水道等的设计方案,并利用 UG 强大的 CAM 技术对模具零件(型腔/型芯)进行加工,生成加工轨迹.该设计提高了模具研发质量和生产效率,并对生产有借鉴意义.

**关键词:**UG; Moldflow; NC 加工; 遥控器后盖

**中图法分类号:**TG76

**文献标识码:**A

## 0 引 言

随着模具工业的飞速发展,CAD/CAE/CAM 一体化已成为模具设计、制造过程中关键性的核心技术.Moldflow 是注塑模具 CAE 分析最具代表性的软件<sup>[1]</sup>;而 UG 的 CAM 则是模具数控行业最具代表性的数控编程软件<sup>[2]</sup>.本设计将此两款软件的核心部分结合运用,力求达到简便、快捷、合理的模具设计要求.

本设计通过模拟分析塑料熔体在模具内的流动情况,合理设计浇口位置以及冷却系统,提高模具设计成功率,降低生产成本.在 UG 中建立模具模型后,用其加工模块,针对产品特点,设计合理加工工艺,并得到加工轨迹.

## 1 塑件结构分析

遥控器后盖的 3D 模型如图 1 所示,其使用性能决定了塑件强度、外观、质量要求较高,因此制件材料选为 ABS.制件最大长度 195 mm、宽 46 mm、高 12 mm,两侧各设有 3 个卡扣,中心处有一阶梯孔.

## 2 模具设计模块

### 2.1 模具整体结构

由塑件的形状结构和成型结构特点将模具定为一模两腔.选择“HASCO-E”模架,类型为“F2M2”,尺寸型号为“296×296”,整体结构如图 2 所示.

### 2.2 成型零部件及侧抽部分设计

由于零件特征,分型线不在一个平面内,因此需要设计引导线,之后补出所有空缺的面.然后分别选择型芯、型腔包含的面,创建出型芯、型腔.制件中心处细深孔的成型部分做成嵌件,便于加工.由于零件侧壁设有装配用的卡扣,体积较小,因此可用斜顶杆机构成型.用零件内表面减去修剪斜顶杆多余部分.

### 2.3 浇口及流道设计

零件为薄壁扁平制件,采用扁平侧浇口进浇.由于表面要求光滑,因此将浇口选择在侧面.通过 Mold-

\* 收稿日期:2012-02-27

作者简介:王玉坤(1988—),男,安徽省安庆市人,在读硕士研究生,研究方向:模具加工工艺

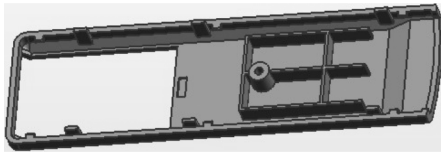


图 1 零件三维模型

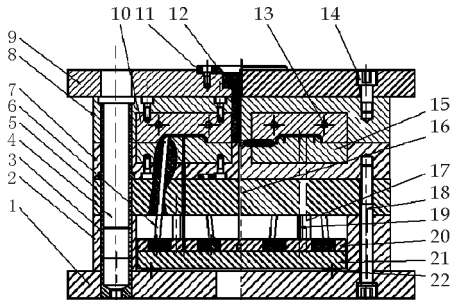


图 2 模具整体结构

1—动模底板;2—支架;3—导套;4—导柱;5—动模垫板;6—斜顶杆;7—动模板;8—定模板;9—定模底板;10—型腔;11—定位环;12—密封圈;13—冷却水道;14—螺钉;15—型芯;16—拉料杆;17—复位杆;18—螺钉;19—推杆;20—推杆固定板;21—推板;22—垫块

flow 进行充填分析,熔接痕及填充时间预测结果如图 3 和图 4 所示.熔接痕结果比较理想,填充时间合理,且能充满制件,说明浇注系统设计较理想.

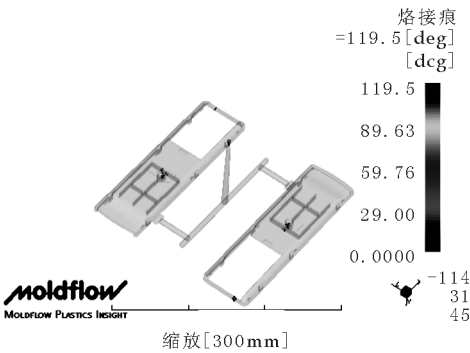


图 3 熔接痕

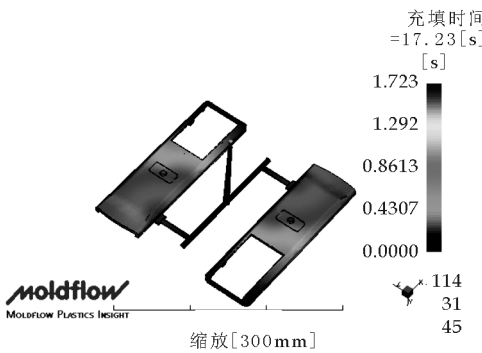


图 4 填充时间

2.4 模温控制系统设计

本设计选用水作为模具加热及冷却的介质,将水道设置成直流式.由于制件较小,将水道布置在制件四周.通过 Moldflow 分析,进水口和出水口处温差为 0.70 ℃,不会造成冷却不均(如图 5a),并且由冷却不均引起的翘曲变形很小,最大变形为 0.026 2 mm(如图 5b),因此冷却系统设计合理.

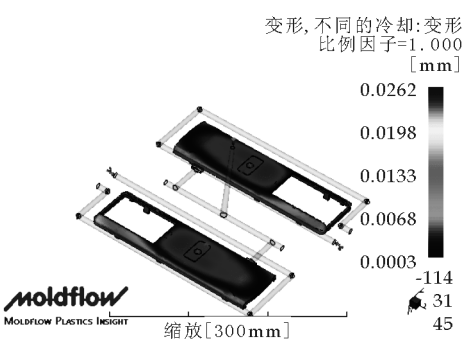
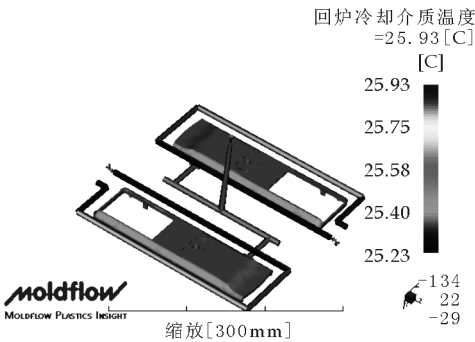


图 5 Moldflow 冷却分析



2.5 开模模拟

开模分两步,第一步型芯型腔从分型面分开,第二步斜顶杆咬合部分脱开,并顶出制件.开模模拟如图 6 所示.

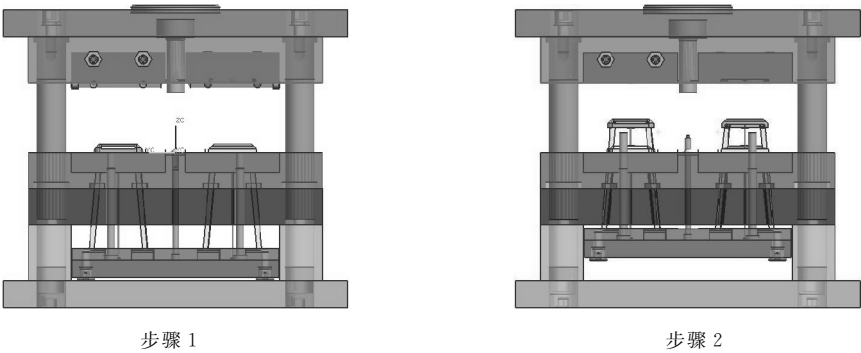
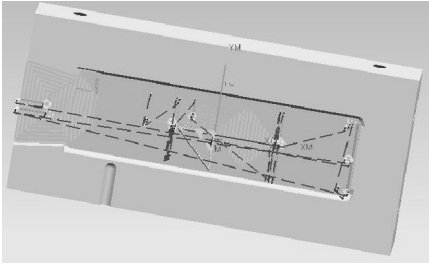


图 6 开模示意图

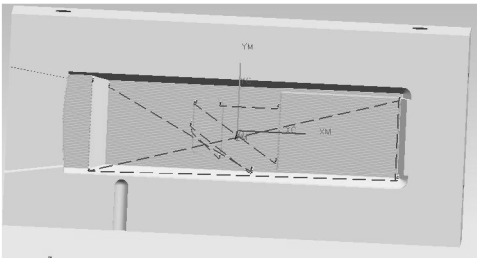
3 NC 加工模块

这里以型腔铣削加工为例:

- (1)从加工型面几何特点分析,采用型腔铣操作作为粗加工和半精加工(如图 7a).
- (2)型腔内部有装配嵌件的通孔,用标准钻.
- (3)精加工先采用 4 mm 平底立铣刀等高轮廓铣加工四周陡峭壁.
- (4)采用 1 mm 的平底铣刀进行平缓区域精加工(如图 7b).
- (5)最后清根加工用 1 mm 平底立铣刀进行固定轴区域轮廓铣.



(a) 二次走粗刀具轨迹示意图



(b) 平缓区域精加工轨迹示意图

图 7 NC 加工

4 结束语

本文以遥控器后盖为实例,详细介绍了注塑模具 CAD/CAE/CAM 一体化的设计思路.通过 Mold-flow 的分析,使设计更合理,减少试模时间,提高效率.并且制定了成型零件(型腔)加工工艺,在 UG 的 NC 模块中实现加工模拟,并生成刀具轨迹,降低开发成本,缩短制造周期,对实际的生产有指导意义.

参 考 文 献

[1] 吕 迅,金杨福,厉 滢.吹风机注塑模具浇口的优化设计[J].塑料,2008,37(4):90-93.  
[2] 蒋 萌,葛正浩.基于 UG 的模具三维设计与制造[J].塑料,2010,39(2):20-22.  
[3] 郑贞平,喻 德,张小红.UG NX5.0 数控加工典型范例[M].北京:电子工业出版社,2007.  
[4] 唐小云,葛正浩.基于 Pro/E 的电池盒盖注塑模具设计[J].塑料,2008,37(3):110-113.

**Key words:** spatial cam; expression; precise modeling; UG NX

\* 文章编号:1000-5811(2012)02-0070-03

# PID 控制在制动器试验台上的仿真分析

王玉梅, 蔺小林

(陕西科技大学 电气与信息工程学院, 陕西 西安 710021)

**摘 要:**采用 PID 控制策略和驱动电流控制方法,用飞轮模拟汽车车轮制动的机械部分惯量,用驱动电流补偿缺失能量,通过 MATLAB 仿真软件进行仿真,并对结果进行分析.结果表明,应用 PID 控制方法能更好地模拟制动器实际使用模式和环境条件,更真实地反映制动器的性能,模拟误差小,电流波动较小,制动距离短.该制动器试验台驱动电流方法为制动器的研究和性能测试提供了有效的技术手段,PID 控制策略分析的数学模型建立对制动器产品的研发、质量控制以及整车制动性能具有非常重要的意义.

**关键词:**PID 控制; 驱动电流控制; 制动器试验台; 能量补偿

**中图法分类号:**TP273      **文献标识码:**A

## 0 引 言

汽车制动器联接在车轮上,它的作用是在行驶时使车辆减速或者停止.制动器的设计是车辆设计中最重要的一环之一,直接影响着人身和车辆的安全.为了检验制动器设计的优劣,必须进行相应的测试,即需要在各种不同情况下进行大量路试.但是,由于车辆设计阶段无法路试,只能在专门的制动器试验台上对所设计的路试进行模拟试验<sup>[1]</sup>,所以制动器试验台设计具有十分重要的意义.

汽车制动器制动的实质是吸收汽车的动能,制动器试验台的基本原理就是以一定角速度旋转的惯性飞轮动能来模拟汽车的动能,在制动时被试验制动器所吸收.制动器试验台需要有模拟被制动对象机械能的装置.

最原始的制动控制只是驾驶员操纵一组简单的机械装置向制动器施加作用力,这时的车辆质量比较小,速度比较低,机械制动已能满足车辆制动的需要.随着汽车技术的发展,车辆防抱制动控制系统(ABS)得到了广泛的应用<sup>[2]</sup>,但它们都是基于车轮加、减速门限及参考滑移率方法的发展设计的,方法虽然简单实用,但是其调试相对比较困难,不同的车辆需要不同的匹配技术.防抱系统要求高可靠性,否则会导致人身伤亡及车辆损坏.对以滑移率为目标的 ABS 而言,控制精度并不是十分突出,并且达到高精度的控制也比较困难.因为路面及车辆运动状态的变化很大,多种干扰影响较大,所以重要的问题在于控制的稳定性,即系统鲁棒性应保持在各种条件下不失控.需要在许多不同的道路上加以验证.理论上,整个控制过程车辆滑动率不是在最佳滑移率上,并未取得最佳制动效果.

## 1 制动器试验台组成

目前广泛应用的是利用惯性飞轮模拟旋转机械装置的惯性.飞轮是一种贮藏能量的机械部件,在角速度上升时吸收能量,角速度下降时释放能量.可以用来模拟制动器负载.制动器试验时,用电动机来启动飞轮,此后在惯性试验台上的制动器吸收达到一定速度的飞轮动能,在变化的滑轮速度下实现转动轴制动<sup>[3]</sup>.本文制动器试验台采用的是组合机械惯量的电模拟系统,其结构图如图 1 所示.

在机械混合电惯量制动器试验台方面,国内外很多学者也做了相关研究.如 James KT、陈建军等通

\* 收稿日期:2011-10-05  
基金项目:陕西科技大学博士科研启动基金(BJ10-23)  
作者简介:王玉梅(1982-),女,陕西省咸阳市人,在读硕士研究生,研究方向:控制理论及应用

过转速环给定电压来实现控制,模拟精度高,但存在滞后现象;王仁光采用 VME 实时控制,可以制动校正和锁定目标,但是制动距离不是最佳。

本文采用驱动电流控制方法,用飞轮模拟机械部分惯量,用驱动电流补偿缺失能量,并通过 MATLAB 仿真软件进行拟合,并对结果进行分析,发现不足.采用 PID 控制策略,使得制动力矩基本恒定且较短,并用能量误差来作为评价标准,以验证此方法的可行性。

2 PID 控制策略

PID 控制就是按偏差的比例(P),积分(I)和微分(D)线性组合方式进行控制的 PID 控制器<sup>[3]</sup>.PID 控制作为一种有效的实用控制算法,广泛地应用于工业过程控制领域.PID 控制由于简单、稳定、鲁棒性强等优点,因此在实际应用中具有强大的生命力。

PID 控制具有以下几个优点<sup>[4]</sup>:(1)原理简单,使用方便,PID 参数  $K_p$ 、 $K_i$ 、 $K_d$  可以根据过程动态特征及时调整。(2)适应性强,可以广泛应用于化工、热工、冶金等各种生产部门。(3)鲁棒性强,即其控制品质对被控对象特性的变化不大敏感.其原理图如图 2。

3 模型假设

(1)假设试验台采用的电动机的驱动电流与其产生的扭矩成正比(比例系数取为  $1.5\text{ A/N}\cdot\text{m}$ ),且试验台工作时主轴的瞬时转速与瞬时扭矩是可观测的离散量。

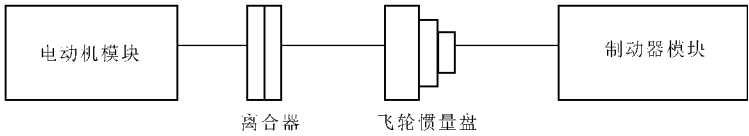


图 1 混合制动器试验台结构框图

- (2)设车辆单个前轮的滚动半径为  $0.286\text{ m}$ ,制动时承受的载荷为  $6\,230\text{ N}$ 。
- (3)飞轮组由 3 个外直径  $1\text{ m}$ 、内直径  $0.2\text{ m}$  的环形钢制飞轮组成,厚度分别为  $0.039\,2\text{ m}$ 、 $0.078\,4\text{ m}$ 、 $0.156\,8\text{ m}$ ,钢材密度为  $7\,810\text{ kg/m}^3$ ,基础惯量为  $10\text{ kg}\cdot\text{m}^2$ ,电动机能补偿的能量相应的惯量范围为  $[-30, 30]\text{ Kg}\cdot\text{m}^2$ 。

4 模型建立与仿真分析

(1)设制动减速度为常数,初始速度为  $50\text{ km/h}$ ,制动  $5.0\text{ s}$  后车速为零,计算驱动电流。

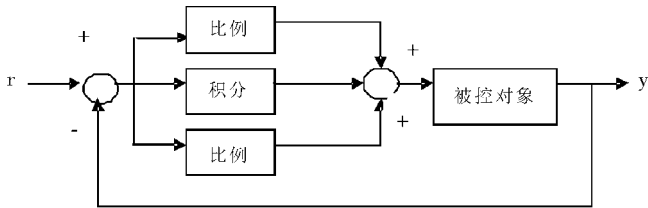


图 2 PID 控制器原理图

(2)对于与所设计的路试等效的转动惯量为  $48\text{ kg}\cdot\text{m}^2$ ,机械惯量为  $35\text{ kg}\cdot\text{m}^2$ ,主轴初转速为  $514\text{ r/min}$ ,末转速为  $257\text{ r/min}$ ,时间步长为  $10\text{ ms}$ 。

该系统的数学模型为：

$$\begin{cases} \frac{I}{K} - M_{\text{制}} = J_{\text{机}} \frac{d\omega}{dt} \\ \frac{I}{K} = -J_{\text{补}} \frac{d\omega}{dt} \end{cases} \tag{1}$$

其中,  $J_{\text{机}}$  —机械转动惯量,  $J_{\text{补}}$  —需要电流弥补的转动惯量,  $K$  —比例系数,均为常数。得转动惯量为：

$$M(t) = 317.970\,3t + 46.767\,1\text{ N}\cdot\text{m} \tag{2}$$

当制动器产生的制动力矩增加到稳定值后,有

$$M_{\text{制}} = 281\text{ N}\cdot\text{m} \tag{3}$$

$$\frac{d\omega}{dt} = 9.712\,5\text{ s}^{-2} \tag{4}$$

$$I(t) = KJ_{\text{补}} \frac{d\omega}{dt} = 175\text{ A} \tag{5}$$

则仿真结果如图 3 和图 4 所示.

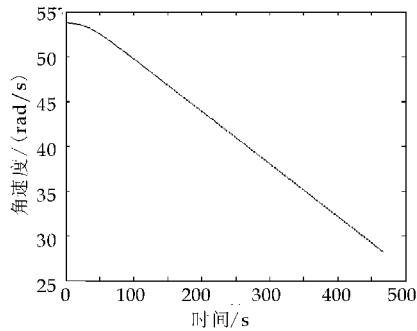


图 3 角速度与时间的关系图

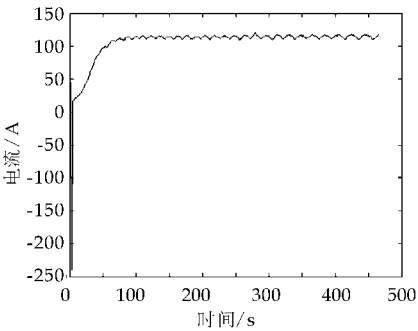


图 4 驱动电流与时间关系图

从图 3 的制动力矩图上可以看出,角速度基本上均匀减小,图 4 电流波动幅度较小,控制效果较为理想. 易发现,无论是制动力矩还是驱动电流,在仿真刚开始的时候,都会出现瞬间跳跃现象,即在初始阶段 PID 的仿真有较大震荡,这是由该系统自身性质和 PID 算法本身的原理所决定的. 但是,PID 通过辨识和调整积分项系数可以迅速的达到稳定状态. 从控制过程的总体效果来看,PID 控制方法的精度是很高的.

5 结束语

本文所提出试验台制动器控制方法通过机械惯量模拟,仿真结果表明,PID 控制具有良好的控制性能,能更好的模拟制动器实际使用模式和环境条件,更真实的反应制动器性能,不仅能够提高制动器研发水平,提升制动技术,还可以提高制动器测试技术,提高试验台架的设计水平,最关键的是良好的控制方法分析的数学模型建立对制动器产品的研发、质量控制以及整车制动性能都有非常重要的意义.

参 考 文 献

[1] 陈小元, 方 凯, 杨银贤. 汽车制动器惯性试验台的系统设计与实现[J]. 电子技术, 2004, (8): 55-57.  
[2] 谭元文. 汽车防抱死制动系统控制逻辑的离线与在线仿真研究[D]. 北京: 北京交通大学硕士学位论文, 2007.  
[3] 乔永卫, 董艇舰, 肖春景. 制动器试验台惯性控制方法研究[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2010, (11): 57-59, 63.  
[4] 夏 红, 赏星耀, 宋建成. PID 参数自整定方法综述[J]. 浙江科技报, 2003, 15(4): 236-240.

Brake Test Bench Simulation Analysis Based on PID Control

WANG Yu-mei, LIN Xiao-lin

(School of Electrical and Information Engineering, Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China)

**Abstract:** Using the drive current control method bgased on PID control strategy, with the flywheel to simulate mechanical inertia, drive current to compensate for lack of energy, and through the MATLAB simulation software, using energy error for inspection and the results shows: using the PID control system, the brake test bench can better simulate the brake actual usage patterns and environmental conditions. The system error small, the current is more stable, guarantee a least brake torque. Drive current control method of brake test bench provides on effective thchnical measurement for brake performance and basic research, the mathematical model establishment based on PID control strategy have an important significance to brake product development, quality control and braking performance.

**Key words:** PID control; rive current control; rake test bench; energy compensation



\* 文章编号:1000-5811(2012)02-0073-04

# 一种新型的白光 LED 恒流驱动技术研究

张小洁<sup>1</sup>, 张文新<sup>2</sup>, 李 梅<sup>1</sup>

(1. 陕西工业职业技术学院, 陕西 咸阳 712000; 2. 中国人民解放军 96512 部队, 陕西 宝鸡 721000)

**摘 要:**介绍了白光 LED 的发光原理、伏安特性,在此基础上提出白光 LED 的驱动方案. 设计了一种基于反激变换的 LED 恒流驱动电路. 该电路的主要优点是利用变压器将输入输出回路隔离,同时省掉了正激电路中所需要的输出滤波电感. 结果表明,这种恒流驱动方式具有良好的恒流精度.

**关键词:**白光 LED; 恒流驱动; 反激变换

**中图法分类号:**TN27      **文献标识码:**A

## 0 引 言

近年来,白光 LED 因其高效、节能、环保、寿命长、高可靠性等优点逐渐在照明领域获得广泛的应用,已经开始替代白炽灯、荧光灯等传统照明光源,成为 21 世纪的新一代照明光源. 大功率白光 LED 产业的蓬勃发展有力地推动了 LED 驱动集成电路产业的前进,孕育着巨大的商机.

由于 LED 是特性敏感的半导体器件,又具有负温度特性,因而在应用过程中需要对其进行稳定工作状态和保护,从而产生了驱动的概念. LED 器件对驱动电源的要求近乎于苛刻,LED 不像普通的白炽灯泡,可以直接连接 220 V 的交流市电. LED 是 2~3 V 的低电压驱动,必须要设计复杂的变换电路,不同用途的 LED 灯,要配备不同的电源适配器. 国际市场上国外客户对 LED 驱动电源的效率转换、有效功率、恒流精度、电源寿命、电磁兼容的要求都非常高,设计一款好的电源必须要综合考虑这些因数,因为电源在整个灯具中的作用就好比人的心脏一样重要. 用 LED 作为显示器或其他照明设备或背光源时,需要对其进行恒流驱动,主要原因是:(1)避免驱动电流超出最大额定值,影响其可靠性. (2)获得预期的亮度要求,并保证各个 LED 亮度、色度的一致性.

## 1 白光 LED 发光原理

白光 LED 是一种由 InGaN 蓝色 LED 和荧光体组成的新型 LED. 在蓝色 LED 芯片上涂敷荧光体,最后用环氧树脂将芯片周围密封. 两种方式(单芯片型和多芯片型)可得到色调效果好(Ra 85)的白光. 一是同时点亮红色、绿色、蓝色(R. G. B)或蓝绿色和黄橙色二、三种 LED;二是用辐射蓝色或紫外 LED 作激励光源激励荧光体的方式. 第一种方式不仅在 LED 的驱动电压或发光输出上有缺陷,而且在温度特征或器件寿命上也存在问题,因此距实用化还有一段距离. 第二种方式只需用一种 LED 恒流驱动电路,而且易于设计.

白光 LED 有 3 种激励方式:(1)用蓝色 LED 激励发黄光的荧光体. 这种白光就是将蓝色 LED 与 YAG 荧光物质放在一起,用蓝光激发荧光物质,这样它发出的光谱就是白光. 在这方面日亚化学公司拥有世界性的专利. 用紫外 LED 激励 R. G. B 荧光体. 激励荧光体的白色 LED 照明光源因荧光体组拿来不同可发射白光以外的各种颜色的光,因而可广泛应用与照明. (2)用 R. G. B 三基色 LED 开发了白色 LED,现实验室水准的发光效率已超过 50 Lm/W,近几年内可望超过 100 Lm/W,而红色部分最佳的发光效率

\* 收稿日期:2012-01-21  
作者简介:张小洁(1978—),女,陕西省咸阳市人,讲师,硕士,研究方向:仪器仪表

已超过 100 Lm/W. (3)利用红、绿、蓝 3 种发光二极体调整个别亮度达到白光,一般来说,红、绿、蓝的亮度比应为 3 : 6 : 1,或者只用红、绿或蓝、黄两颗 LED 调整其个别亮度来发出白光,这样的白光结构最大的缺点就是造价较高,不利于商品化发展.

2 白光 LED 的伏安特性

LED 驱动电路就是能为 LED 的正常工作提供所需要的电压和电流的电路. 要了解 LED 驱动电路的特性,就必须先了解 LED 的电学特性.

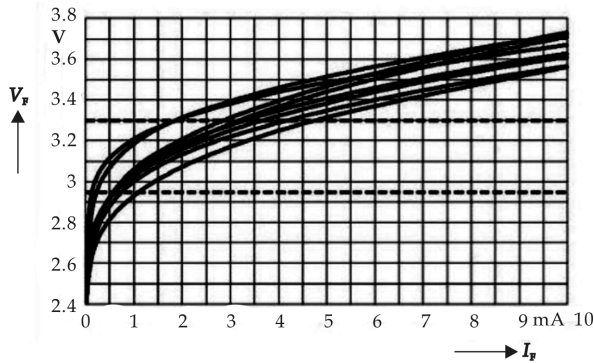


图 1 不同白光 LED 的电流-电压特性之间的差异性

图 1 所示的是不同白光 LED 之间,甚至是从同一产品批次中随机挑选的 LED 之间的正向电流电压特性的差异. 横坐标为通过不同 LED 的正向电流,纵坐标为对应的外加正向电压. 可以看出,在恒定电压的驱动下,不同 LED 上流经的正向电流大小不同,由于 LED 的发光亮度主要受其驱动电流的影响,从而导致发出的白光亮度不同,如图中虚线所示. 而且,LED 正向导通后,外加正向电压的细小变动都将引起 LED 电流的很大变化,从而导致出射光光强的变化.

图 2(a)所示为美国 Lumileds Lighting 公司一种超高 LED 白光,LED (HRWA-xH00) 在常温 (25℃) 下,光通量  $\Phi$  与其正向电流  $I_F$  的关系曲线. 从该图中可以看出,LED 的发光亮度与正向平均电流大小基本成正比关系,因此可以通过控制 LED 的正向电流  $I_F$  来控制其发光亮度.

图 2(b)给出了该大功率 LED 在常温下 (25℃) 的  $I-V$  曲线,从图中可以看出通过控制其正向电压  $V_F$  就可以控制其正向电流  $I_F$ ,从而控制其发光亮度. 在正向电压值小于某一值(阈值)时,电流极小,不发光. 当电压超过某一值后,正向电流随电压迅速增加,从而使 LED 发光. 但如果采用恒压源驱动, $V_F$  的微小变化就会引起  $I_F$  的较大变化,从而会引起 LED 发光亮度的较大变化. 所以,采用恒压源驱动不能保证 LED 亮度的一致性,并且影响 LED 的可靠性、寿命和光衰. 因此,超高亮 LED 通常采用恒流源驱动.

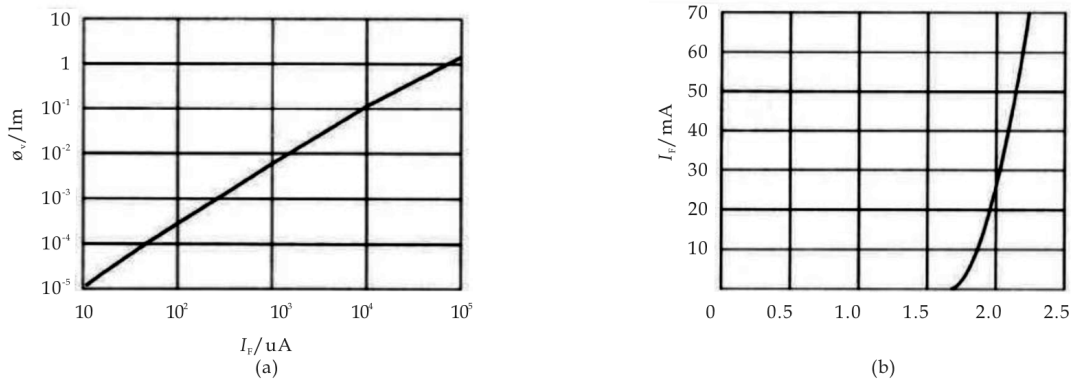


图 2 HPWA-xH00 在常温下的光通量与  $I_F$  曲线以及  $I-V$  曲线关系

3 白光 LED 驱动电路设计

3.1 反激变换电路设计

LED 驱动电路采用的开关电源电路通常有 Boost、Buck 和 Buck-Boost 拓扑电路,其缺点是输入回路和输出回路共地,无法实现多路输出,同时输入回路的短路大电流很容易对输出回路中的 LED 造成影响. 基于以上原因,本设计采用了反激变换电路作为 LED 的恒流驱动电路. 该电路的主要优点是利用变压器

将输入输出回路隔离,同时省掉了正激电路中所需要的输出滤波电感。

根据变压器副边电感中电流情况的不同,反激变换电路的工作模式分为:断续模式(DCM)和连续模式(CCM)。由于断续模式的变压器励磁电感小从而系统响应快,且输出负载电流和输入电压突变时,输出电压瞬态尖峰小;而连续模式的传递函数具有右半平面零点,这将使得系统不稳定,必须通过大幅减小误差放大器带宽才能使反馈环稳定。因此,本设计采用断续模式反激变换电路。

图 3 为本设计断续模式下反激变换器工作原理图,Viper12A 为电源管理芯片。当开关管  $Q$  导通时,变压器原副边绕组同名端的电压相对于异名端为负,输出整流管  $D$  反偏,电容  $C$  向负载供电。 $C$  容量的选择应保证提供负载电流的同时能满足输出电压纹波和压降的要求。 $Q$  导通期间,变压器原边  $N_p$  上的电压恒定,其电流线性上升,设开关管导通电压为  $1\text{ V}$ ,则电流线性上升斜率为:

$$di/dt = (V_{dc} - 1)/L_p \quad (1)$$

其中, $L_p$  为变压器原边励磁电感, $V_{dc}$  为输入端直流电压。

设开关管导通时间为  $T_{on}$ ,则在导通结束之前原边电流上升到最大值  $I_p$ ,

$$I_p = (V_{dc} - 1)T_{on}/L_p \quad (2)$$

此时变压器储存的能量为:

$$E = L_p (I_p)^2 / 2 \quad (3)$$

式中, $E$  的单位为焦耳, $L_p$  的单位为亨利, $I_p$  的单位为安培。

当开关管  $Q$  断开时,励磁电感的电流使各绕组电压反向,由于电感电流不能突变,在  $Q$  断开瞬间,变压器次级电流幅值为:

$$I_s = I_p (N_p / N_s) \quad (4)$$

几个开关周期之后,次级直流电压上升到  $V_o$ 。 $Q$  断开时, $N_s$  同名端为正,电流从该端流出并线性下降,电流线性下降斜率为

$$dI_s/dt = V_o/L_s \quad (5)$$

其中, $L_s$  为次级电感。

若次级电流  $I_s$  在  $Q$  再次导通之前降到零,则变压器储存的能量在  $Q$  再次导通前已全部传送到负载端,变压器工作在断续模式。由于一个周期内传递的能量  $E$  即为输入功率  $P$ ,则一个周期  $T$  内直流母线电压提供的功率为:

$$P = \frac{\frac{1}{2} L_p (I_p)^2}{T} \quad (6)$$

又因, $I_p = (V_{dc} - 1)T_{on}/L_p$ ,则有:

$$P = \frac{[(V_{dc} - 1)T_{on}]^2}{2TL_p} \approx \frac{(V_{dc}T_{on})^2}{2TL_p} \quad (7)$$

从式(7)可知,只要反馈环保持  $V_{dc}T_{on}$  恒定,即可保持输出恒定。

设变压器的转换效率为  $80\%$ ,则输入功率  $P = 1.25 \times$  输出功率  $P_o$ ,即有:

$$\frac{1.25(V_o)^2}{R_o} = \frac{L_p (I_p)^2}{2T} \quad (8)$$

式中  $R_o$  为负载 LED 的等效电阻。从式(7)可知,最大导通时间  $T_{on}$  出现在输入电压最低的时候,因此  $I_p = V_{dc \min} T_{on \max} / L_p$ ,则有:

$$V_o = V_{dc \min} T_{on \max} \sqrt{\frac{R_o}{2.5TL_p}} \quad (9)$$

反馈环在  $V_{dc}$  或  $R_o$  上升时减小  $T_{on}$ ,在  $V_{dc}$  或  $R_o$  下降时增大  $T_{on}$ ,从而自动调节输出<sup>[3]</sup>。

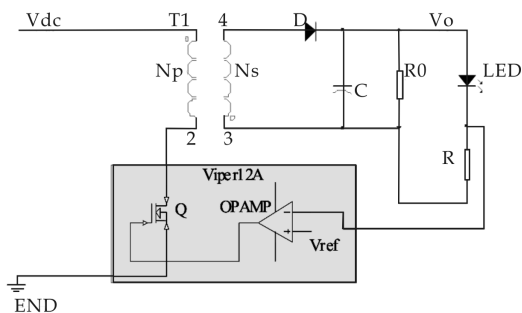


图 3 断续模式下反激变换器

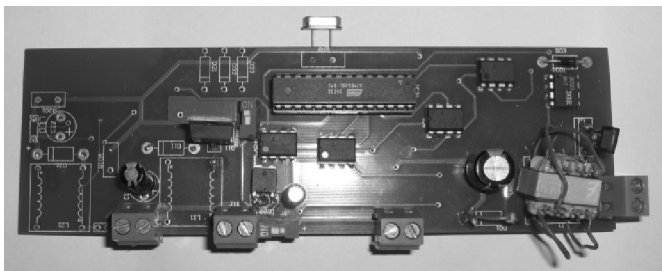


图 4 控制板实物图

变压器原副边匝数比  $N_p/N_s$  决定了不考虑漏感尖峰时开关管可承受的最大关断电压应力  $V_{ms\max}$ 。若忽略漏感尖峰并设输出整流管  $D$  压降为 1V, 则直流输入电压最大时开关管的最大电压应力为:

$$V_{ms\max} = V_{dc\max} + \frac{N_p}{N_s}(V_0 + 1) \quad (10)$$

参数  $V_{ms\max}$  的选择应尽量小, 以给开关管的极限值留有一定的裕度。

在图 3 中, 通过电阻  $R$  将输出回路的电流采样后与参考电压  $V_{ref}$  比较, 通过调节开关管  $Q$  的占空比, 即可使输出电流保持恒定, 达到恒流目的。

### 3.2 驱动电路参数设计

实验系统中 LED 灯组采用 1 W 白光 LED 9 只, 按照图 3 连接方式 3 并 3 串, LED 型号为 EHP-AX08L/UT01-P01/B46J5, 额定电流 350 mA, 工作电压 3.3~3.5 V, 额定功率 1 W, 光效 45 Lm/W。则 LED 灯组负载需要的功率为 9 W, 电流为 1.05 A, 电压为 9.9 V 左右。为了安全起见, 将 LED 恒流目标值设定为 0.98 A。本驱动电路前端为太阳能板—蓄电池供电系统, 最大直流输入电压  $V_{dc\max} = 17$  V。

针对以上负载需求及前端供电特点, 设计驱动电路中相关参数: 原副边最大电流取为 1.5 A; 最大输出功率  $P_{o\max}$  取为 12 W; 由于本设计中的功率不是很高, 一般的开关管均能满足功率需要, 所以不存在开关管最大关断电压应力  $V_{ms\max}$  的限制, 根据需要选定  $N_p/N_s$  为 5; 选择变压器铁芯型号为天通 EE10 锰锌铁芯, 其  $A_e = 12.7 \cdot 10^{-6}$  平方米; 电路工作频率选定为 25 kHz。根据相关计算公式确定  $L_p \approx 63 \mu\text{H}$ ;  $N_p = 33$ ; 变压器线径选为 0.5 mm。图 4 为设计的控制板实物图, 正面主要是插件器件, 反面为贴片器件。

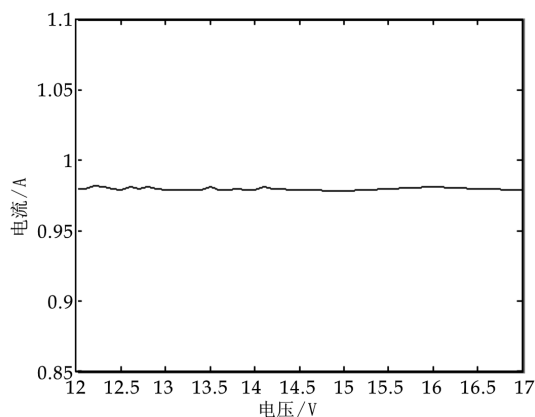


图 5 LED 驱动电路恒流曲线

针对上面实验系统, 测试了输入电压在 12~17 V 变化时的驱动电路恒流特性, 恒流实测曲线如图 5 所示, 横坐标为驱动电路输入电压, 纵坐标为流过 LED 的电流。可以看出, LED 驱动电路输入端电压从 12 V 变化到 17 V, 基本上可以保证流过 LED 的电流为 0.98 A 左右, 恒流相对精度可以达到 3% 以内, 完全满足 LED 恒流的要求。

### 4 结束语

针对大功率白光 LED 的电学特点, 在现有白光 LED 驱动的基础上, 提出了白光 LED 在混联方式下的反激变换驱动电路。实验证明, 该电路能够很好的实现白光 LED 的恒流驱动, 为以后的科学研究和实际应用提供了充分的理论依据和有力的实验数据, 加快了白光 LED 的发展, 为 LED 照明开辟了一条新的路径。

### 参 考 资 料

- [1] 茅于海. 恒流驱动源及其在太阳能 LED 路灯中的应用[J]. 照明设备, 2009, (4): 32-34.
- [2] 王 健. 太阳能驱动的 LED 照明系统研究[D]. 上海: 上海大学硕士学位论文, 2009.
- [3] 张占松, 蔡宣三. 开关电源的原理与设计(第一版)[M]. 电子工业出版社, 1998.
- [4] 沈 慧. 大功率照明 LED 恒流驱动芯片的设计[D]. 杭州: 浙江大学硕士学位论文, 2009.
- [5] 刘行仁, 薛胜薛, 黄德森, 等. 白光 LED 现状和问题[J]. 光源与照明, 2003, (3): 25-28.
- [6] 周太明. 半导体照明的曙光[J]. 照明工程学报, 2004, (2): 37-39.
- [7] Bernie Weir. 用白色 LED 做背光照明需考虑的事项[J]. 今日电子, 2003, (8): 49-51.
- [8] 汉泽西, 孙 平. 电源输出功率与电源效率[J]. 现代电子技术, 1997, (1): 18-23.
- [9] 潘建明. 高频开关电源功率因数校正的基本方式[J]. 广西通讯技术, 1997, (3): 11-13.
- [10] 李 宏. 现代电力电子技术基础[M]. 机械工业出版社, 2009.

(下转第 81 页)



\* 文章编号:1000-5811(2012)02-0077-05

# 基于聚类建模的三维人脸识别技术研究

魏衍君, 杨明莉  
(商丘职业技术学院 计算机系, 河南 商丘 476000)

**摘 要:**由于信息采集困难、环境条件约束、实现方式和手段不足等原因,三维人脸识别技术还很不成熟.为此提出将聚类技术应用到三维人脸建模过程中来提高建模的效果和效率.首先定义了三维人脸相似性,提出了圆锥曲线相似性定义方法.其次基于三维人脸聚类建模提出了人脸识别系统的新框架,设计与新系统对应的识别策略.实验证明,基于聚类建模的人脸识别系统在进行人脸识别时所用的时间远远少于采用传统形变模型的方法所用的时间,而且对人脸样本的数量不敏感.

**关键词:**三维形变模型;人脸聚类;人脸建模;人脸识别

**中图法分类号:**TP391.4      **文献标识码:**A

## 0 引 言

目前,由于信息采集困难、受到环境条件的约束、实现方式和手段的不足等原因,三维人脸识别技术还很不成熟<sup>[1,2]</sup>.论文提出将聚类技术应用到三维人脸建模过程中,设计了一个基于三维人脸聚类建模的人脸识别系统的解决方案.针对三维人脸聚类,提出了圆锥曲线相似性三维人脸定义方法.基于三维人脸聚类建模设计了人脸识别系统的新框架,设计与新系统对应的识别策略,解决了人脸与不同模型匹配结果无法比较的问题.本文的方法较好地提高了三维人脸建模的效果和效率.

## 1 聚类建模的框架

三维形变模型方法基于合成分析框架.三维形变模型的基本原理是在包含  $M$  张人脸样本的人脸空间上,将所有对应每张人脸的形状向量  $\mathbf{S}$  和纹理向量  $\mathbf{T}$  进行线性组合,最后生成一个形变模型:

$$\mathbf{S}_{\text{mod}} = \sum_{i=1}^m a_i \cdot \mathbf{s}_i, \mathbf{T}_{\text{mod}} = \sum_{i=1}^m b_i \cdot \mathbf{t}_i \tag{1}$$

其中  $a_i$  和  $b_i$  是人脸样本的线性组合系数,并且  $\sum_{i=1}^m a_i = 1, \sum_{i=1}^m b_i = 1$ ,通过改变  $a_i$  和  $b_i$  能产生任意新的人脸模型.这里分别对形状空间和纹理空间实行主成分分析法(PCA)变换,先将三维人脸的形状向量和纹理向量分别存放到矩阵  $A_s$  和  $A_r$  中,用  $\bar{\mathbf{S}}$  和  $\bar{\mathbf{T}}$  分别表示形状和纹理的平均向量,则:

$$\bar{\mathbf{S}} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \mathbf{s}_i, \bar{\mathbf{T}} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \mathbf{t}_i \tag{2}$$

它们的协方差矩阵  $C_S$  和  $C_T$  可以这样计算:

$$C_S = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (\mathbf{s}_i - \bar{\mathbf{S}})(\mathbf{s}_i - \bar{\mathbf{S}})^T$$

\* 收稿日期:2012-02-08  
基金项目:河南省商丘市科技攻关计划项目(2010)  
作者简介:魏衍君(1971—),男,河南省商丘市人,副教授,硕士,研究方向:图形图像处理、数据库



$$C_T = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (T_i - \bar{T})(T_i - \bar{T})^T \tag{3}$$

然后分别求得  $C_S$  的特征值  $\delta_i$  和特征向量  $\mathbf{s}_i$ ,  $C_T$  的特征值  $\lambda_i$  和特征向量  $t_i$ , 并按特征值由大到小的顺序取前  $m$  个最大的特征值及相应的特征向量作为变换后组合模型的基底. 那么人脸空间中的一个人脸形变模型可以近似表示为:

$$\begin{aligned} \mathbf{S}_{\text{MOD}} &= \bar{\mathbf{S}} + \sum_{i=1}^m a_i \cdot \mathbf{s}_i \\ \mathbf{T}_{\text{MOD}} &= \bar{\mathbf{T}} + \sum_{i=1}^m b_i \cdot \mathbf{t}_i \end{aligned} \tag{4}$$

只要给定模型组合参数  $\bar{a}$  和  $\bar{b}$  即可产生新模型人脸 ( $\mathbf{S}_{\text{MOD}}, \mathbf{T}_{\text{MOD}}$ ).

针对三维形变模型存在的问题及其解决办法, 受聚类思想的启发, 考虑将聚类技术应用于三维形变模型的建立. 在建立形变模型之前, 先对整个三维人脸库中的所有原型人脸进行聚类, 然后对每一类人脸进行三维建模. 这样的好处是首先使得三维人脸库的容量理论上可以无限制增长, 增加模型的适用性; 其次确定了模型建立时模型参数的初始值, 去除了模型建立时的不确定因素; 最后也是最重要的就是大大简化了模型匹配的过程, 减少了迭代次数, 提高了计算效率. 参考三维形变模型框架, 建立了三维聚类建模的主要框架, 如图 1 所示. 从图 1 可以看出, 框架的总体结构与三维形变模型有些类似, 主要的区别就是在建立形变模型之前, 先对整个三维人脸库中的所有原型人脸进行聚类, 然后对每一类人脸进行三维建模, 最后得到一组三维形变模型. 这里有两个很重要的问题需要解决. 首先, 要对三维人脸进行聚类, 决定选用哪种特征作为三维人脸之间的相似性, 并且根据这种相似性进行的聚类效果最好; 其次选择最优的聚类技术, 高效地进行聚类<sup>[3]</sup>.

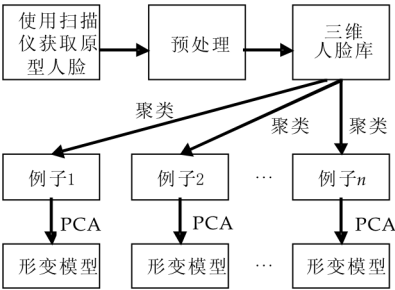


图 1 三维人脸聚类建模框架

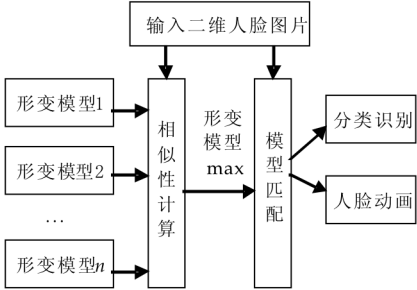


图 2 人脸识别系统架构图

2 人脸识别系统框架

简单地对每个形变模型都进行模型匹配是不合适的, 这样不仅增加了系统的计算量, 也没有充分利用聚类建模的优势. 在参照传统形变模型框架的基础上, 提出了新的基于聚类建模的人脸识别系统框架, 如图 2 所示.

在进行模型匹配之前添加了一个相似性计算模块, 其主要功能是根据输入的二维图像, 在  $n$  个形变模型中选择一个形变模型来进行模型匹配, 当然这里不能任意选择, 要按照一定的原则, 这里采用的是相似性最大原则.

因为在建立这个形变模型时, 是利用聚类思想先对三维人脸库进行聚类, 然后在每个分类的基础上建立相应的形变模型, 这里属于每个分类的三维人脸之间具有很强的相似性, 所以, 我们自然想到, 同样按照相似性原则选择一个形变模型进行模型匹配. 在现实中面临较多的是二维人脸图像识别, 现在要解决的主要问题是, 如何计算一张二维人脸图像与形变模型之间的相似性.

### 3 相似性计算

使用相似性传递聚类技术进行三维人脸的聚类,首先要解决的问题是三维人脸相似性的定义,该定义应该满足以下要求:首先计算效率高,不能为整个系统增加计算量;其次,在计算量最低的情况下提高聚类的效果,以满足实际应用的需要.

#### 3.1 圆锥曲线相似性定义

根据光照锥理论,一个三维对象在不同光照环境下形成的所有图像可以形成一个凸多面锥,这个多面锥可以作为一个图像生成器,赋予其不同的非负系数就可以生成不同光照条件下的图像.圆锥曲线相似性定义的首要任务就是要定义一个好的度量,来描述来自同一个多面锥的图像间的相似性.

对于某一个三维人脸图像  $x_i$ , 可以找到一个非负的线性合成系数  $\{b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{i(i-1)}, b_{i(i+1)}, \dots, b_{in}\}$  使得:

$$x_i = \sum_{j, j \neq i}^n b_{ij} \cdot x_j \quad (5)$$

这里用到了最小二乘逼近法,对于所有的  $i, b_{ii} = 0$ .

用  $\{y_1, y_2, \dots, y_k\}$  表示三维人脸库的一个子集,如果  $x_i$  属于该子集中元素生成的光照锥,那么对于任意不在这个子集中的人脸  $x_j, b_{ij} = 0$ . 如果  $x_i$  不属于该子集生成的光照锥,那么  $x_i$  可以分解成两个向量的和  $x_i = x_i^c + r_i$ ,  $x_i^c$  是  $x_i$  在光照锥上的投影,而  $r_i$  是投影余数.  $x_i^c$  可以写成具有非负系数的  $\{y_1, y_2, \dots, y_k\}$  的线性合成,至于  $r_i$ , 由于非负的约束,公式(6)中的系数  $b_{ij}^c$  将受  $r_i$  数值的影响.

$$r_i = \sum_{j, j \neq i}^n b_{ij}^c \cdot x_j \quad (6)$$

公式(5)中的系数可以用来判断  $x_i$  的归属,即  $x_i$  是否属于  $\{y_1, y_2, \dots, y_k\}$  子集生成的光照锥. 如果  $x_i$  属于,那么对于  $j \in \{1, 2, \dots, k\}$ , 对应的  $b_{ij}$  应该具有相对较大的数值,其他的  $b_{ij}$  很小、或者趋于 0. 这样公式(5)中的线性系数就是一个很好的三维人脸圆锥曲线结构的指示器.

用矩阵  $B$  表示公式(5)中的线性系数  $b_{ij}$ , 即  $B = (b_{ij})$ , 并对矩阵的每一列进行正常化处理,使得每一列的和等于 1. 因为一般情况下  $b_{ij} \neq b_{ji}$ , 也就是矩阵  $B$  不是对称的,所以可以得到需要的相似矩阵  $A = (B + B^T)/2$ .

根据形变模型的表达式可知,只要给定模型组合参数  $\bar{a}, \bar{b}$  即可产生一张新的模型人脸  $(S_{\text{mod}}, T_{\text{mod}})$ , 要计算输入二维人脸与形变模型之间的相似性,只需计算输入二维人脸与由形变模型产生的新模型人脸  $(S_{\text{mod}}, T_{\text{mod}})$  之间的相似性即可.

#### 3.2 相似性的计算

这里得到的平均脸  $\bar{F}(\bar{S}, \bar{T})$  仍然是一张三维人脸,要生成一张可以进行相似性计算的二维人脸图像还需要知道形变模型的人脸姿态、摄像机状况、光照的强度方向等<sup>[4]</sup>, 最终得到二维平均人脸图像:

$$I_m(x, y) = (I_{r,m}(x, y), I_{g,m}(x, y), I_{b,m}(x, y))^T \quad (7)$$

输入的二维人脸图像为:

$$I_i(x, y) = (I_r(x, y), I_g(x, y), I_b(x, y))^T \quad (8)$$

两张人脸图像的所有像素和色阶的欧几里得距离为:

$$E = \sum_{x,y} (I_i(x, y) - I_m(x, y))^2 \quad (9)$$

$E$  的大小就反映了这两张人脸相似性的大小,  $E$  越大相似性越小, 反之越大. 这里的  $n$  个形变模型生成  $n$  张对应的平均人脸,  $E$  最小的平均脸对应的形变模型就是与二维输入图像最相似的形变模型.

### 4 三维人脸识别

三维人脸相似性的定义实际就是提取一种三维人脸特征来表示人脸,圆锥曲线相似性属于基于动态

模板的特征提取,这种方法的实质是参数化的图元模型和能量函数的结合,其中能量函数的设计依据人脸的先验知识来确定,模板由三维人脸特征点的参数组成,参数可以根据环境的变化而调整,在进行特征提取时由模板的参数确定提取的面部三维特征.

三维人脸识别利用上一步所提取的面部关键特征,与数据库中已有的图像进行比较,从而得出人脸的身份.比较图像通常使用最大相似性判别法.最大相似性判别法首先匹配人脸整体的轮廓和三维空间方向;然后,在保持姿态固定的情况下,匹配脸部不同特征点.匹配时根据人脸特征向量的统计相似度来判断,相似度在一定范围之内即为识别结果.相似度的计算公式为:

$$S = \sqrt{k_1(t_1 - p_1)^2 + k_2(t_2 - p_2)^2 + \cdots + k_m(t_m - p_m)^2} \tag{10}$$

其中  $t_i$  是待检验样本的特征向量的第  $i$  个特征分量;  $p_i$  是样本库中样本的特征向量的第  $i$  个特征分量;  $k_i$  是第  $i$  个特征分量的权值;  $m$  是特征向量的维数.相似度计算不能反映脸形图像中的哪些变化量是关键的,哪些又是偶然的.因此可采用贝叶斯统计识别方法来解决这个问题.

在将上述框架应用到人脸识别时要选择一个形变模型进行模型匹配,这里提出的识别策略如下:假设这里要确定两张人脸图像  $A$  和  $B$  是否是同一个体,首先分别对这两张人脸图像与  $n$  个形变模型进行相似性计算,如果与这两张图像相似的形变模型不是同一个,那么可直接确定这两张图像不属于同一个体;如果这两张人脸图像都与同一个形变模型相似,那么再进行模型的匹配,这是得到的模型参数,具有可比性,最后根据模型参数的比较确定这两张图像是否属于同一个体.

模型匹配的过程是一个多参数的迭代优化问题,过程复杂,是形变模型中计算花销最大的处理步骤.而在实际的人脸识别系统中,大多数的情况是人脸图像不属于同一个体,如果采用如上策略,那么不需要再进行模型匹配就可以完成人脸的比较.这就大大减少了基于形变模型的人脸识别系统的总体计算量.这也正是本文提出基于聚类建模的人脸识别思想的最主要动机.

如果待处理的两张人脸图像都与同一个形变模型相似,这时就需要进行模型的匹配,这里采用了文献[5]中介绍的 ICIA(Inverse Compositional Image Alignment)算法实现模型的匹配.

匹配完成后会得到代表二维输入图像身份的模型参数  $C(\bar{a}, \bar{b})$ ,比较模型参数,就可以确定这些图像是否属于同一个体.假设两张人脸图像的模型参数分别为  $C_1$  和  $C_2$ ,这里有两种度量定义方式来对  $C_1$  和  $C_2$  进行比较.

由两个向量之间夹角得出  $d_A$ ,基于极大类似分类器和线性判别分析理论得出  $d_w$ :

$$d_A = \frac{c_1^T \cdot c_2}{\sqrt{(c_1^T \cdot c_1)(c_2^T \cdot c_2)}} \\ d_w = \frac{c_1^T \cdot C_w \cdot c_2}{\sqrt{(c_1^T \cdot C_w \cdot c_1)(c_2^T \cdot C_w \cdot c_2)}} \tag{11}$$

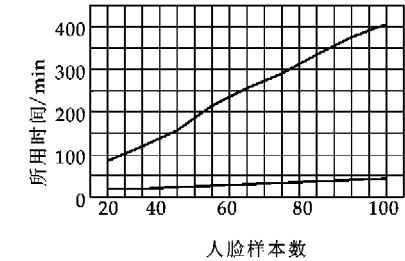


图 3 所用时间比较

5 实验结果及分析

为了显示基于聚类建模的人脸识别系统相对传统形变模型在计算效率上的优势,在 CMUPIE 人脸数据中随机选取了 100 张人脸图像进行实验.实验的办法是任意从数据集中选取一张人脸图像,然后通过与其他图像进行比较,确定此人脸图像的身份,即找出与此人脸图像最接近的图片.图 3 显示了人脸识别系统在计算效率上与传统形变模型的差别.图 3 中上面一条线表示传统形变模型所用时间曲线,下面一条线是基于聚类建模的人脸识别系统时间曲线.

分析实验结果可知,基于聚类建模的人脸识别系统相对传统形变模型的系统,所用的时间差距很大,本文提出的方法在进行人脸识别时所用的时间远远少于采用传统形变模型的方法所用的时间,而且对人脸样本的数量不敏感.

参 考 文 献

[1] 蔡雪君,谢松云,张 波. 一种改进的利用五官特征的人脸识别方法[J]. 计算机仿真,2009,26(11):228-303.  
[2] 王跃明,潘 纲,吴朝晖. 三维人脸识别研究综述[J]. 计算机辅助设计与图形学学报. 2008,20(7):819-829.  
[3] Brendan J. Frey, Delbert Dueck. Clustering by passing messages between data points[J]. Science,2007,315:972-976.  
[4] Mian A S,Bennamoun M,Owens R. An efficient muhimodal 2D-3D hybrid approach to automatic face recognition[J]. IEEE Transactions on Pattern Recognition and Machine Intelligence,2007,29(11):1 927-1 943.  
[5] Stan Z. Li, Anil K. Jain. Handbook of Face Recognition[M]. Springer Science & Business Media,Inc. ,New York,2004.

Research of 3D Face Recognition Technology  
Based on the Cluster Modeling

WEI Yan-jun, YANG Ming-li

(Department of Computer, Shangqiu Vocational and Technical College, Shangqiu 476000, China)

**Abstract:** As the information collection difficulties, environmental conditions, lack of ways and means to achieve and so on, the realization of 3D face recognition is still immature. This paper applied cluster analysis techniques to 3D face modeling, 3D face similarity should come first in the framework, we reasonably defined similarity by Conic Affinity and designed a novel recognition strategy for our new framework of face recognition system based on cluster modeling. experiments show that clustering-based modeling of face recognition system during the time when the spending is far lower than the traditional deformable model approach, but also to face the number of samples is not sensitive.

**Key words:** 3D morphable model; face cluster; face modeling; face recognition

~~~~~  
(上接第 76 页)

A New White LED Constant Current Drive Technology Research

ZHANG Xiao-jie¹, ZHANG Wen-xin², LI Mei¹

(1. Shaanxi Polytechnic Institute, Xianyang 712000, China; 2. 96512 Troops, People's Liberation Army, Baoji 721000, China)

Abstract: This paper introduced the principle of white LED light, current-voltage characters, and based on this, puts forward the white LED driving scheme. Based on flyback converter designs LED constant current driver circuit. The main advantage of this circuit is to use the input and output circuit isolation transformer, while eliminating the need to forward circuit in the output filter inductor. Experimental results show that the constant current constant current drive has good accuracy.

Key words: white LED; constant-current driving; flyback converter

* 文章编号:1000-5811(2012)02-0082-05

基于 LabVIEW 的监测及预测系统的设计

朱笑花
(漳州师范学院 物理与电子信息工程系,福建 漳州 363000)

摘 要:基于虚拟仪器设计了马铃薯田间气象信息的实时监测及晚疫病的流行性、灾变预测系统,该系统对气象信息包括温度、湿度、降雨量等进行采集、显示、处理分析及存储,通过灰色预测模型实现预测.介绍了系统软、硬件的功能与设计,并且对基于多变量的灰色预测模型 GM(1,n)的流行性预测和基于 GM(1,1)的灾变预测进行了重点研究.实验研究表明,所设计的系统预测准确率较高,具有实用价值和现实意义,可进一步推广.

关键词:虚拟仪器;晚疫病;灰色预测

中图法分类号:TP273 **文献标识码:** A

0 引 言

马铃薯晚疫病是由致病疫霉(*Phytophthora infestans*)感染引起的,是一种导致马铃薯茎叶死亡和块茎腐烂的毁灭性病害,是严重威胁世界马铃薯生产和粮食安全的重要病害之一,也是植物病害中流行速度最快的病害之一.由于品种多不抗病,目前针对马铃薯晚疫病的防治,主要通过喷洒农药来杀死晚疫病菌.该方法存在喷药时间问题,喷洒时间的确定以晚疫病菌是否感染以及是否会传染开为准.许多农业病虫害方面的专家在进行这方面的工作,并总结出许多很有价值的规律,使得工程技术人员可以直接使用.借助专家的经验,可开发预测预警系统.目前国外已有马铃薯晚疫病的预测预警系统,主要是根据当地的气象条件和晚疫病感染和发病规律进行预测,但还没有进行流行性预测和灾变预测.国内也还没有开发预测预警系统的先例,而有些高校的研究也只是处于研究阶段,还没有投入到马铃薯田间使用,文献[1]只是总结了一些预测方法,文献[2]进行了 48 h 内的预测.中国小规模、单家独户的农业生产方式及相对落后的广大马铃薯种植用户,对经常性流行且造成灾害的晚疫病的抵抗力尤其薄弱,加强对马铃薯晚疫病造成的流行性及灾变预测非常重要,受某马铃薯田间基地的委托,拟开发基于虚拟技术的马铃薯田间监测与流行性灾变预测系统,可实现田间气象信息的监测及预测.该系统可以用于对马铃薯晚疫病的田间防治.

1 系统总体设计

本系统采用安装 LabVIEW 的 PC 机作为上位机,充分利用了 LabVIEW 的强大功能,降低了成本,扩展了该软件的应用^[3,4].该软件主要实现 3 方面功能:主控整个系统的通信;数据处理,如流行性预测、灾变预测;生成人机界面.单片机 AT89C2051 作为系统的下位机与各个传感器组成测量终端,单片机每隔一个转换周期,读出测量值并启动下一次信号转换,从而完成数据的采集和存储.以单片机为核心的数据采集系统体积

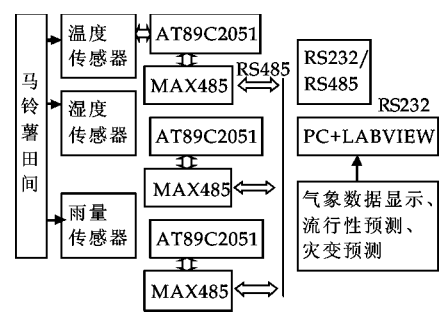


图 1 马铃薯田间预测系统

* 收稿日期:2011-01-09
作者简介:朱笑花(1980—),女,福建省漳州市人,讲师,硕士,研究方向:最优控制与信息处理

小、功耗低、成本低. 单片机与 RS485 总线之间经过 MAX485 进行 RS485 与 TTL 逻辑电平的转换后实现链接. 由于 PC 机只有 RS232 接口, 故 RS485 总线必须经过 RS232/485 转换器电平转换后才能接入上位机.

安装在马铃薯田间的传感器具体选型如下: 温度传感器为美国 DALLAS 公司生产的 DS18B20 芯片, 湿度传感器为法国 Humirel 生产的电容式湿度传感器, 降雨量为 RY-YL 型雨量传感器, 风速传感器为天津气象仪器厂 DEM6 型三杯风速表. 为了使获得的数据更能反映田间的总气象情况, 系统分别在 4 个角落和中心安装传感器, 总的传感器数为 20.

2 灰色流行性和灾变预测

按照农业植保专家的介绍, 按照当地、当季的单位面积马铃薯感染病率的多少可将马铃薯晚疫病最终病情的流行程度分为 5 级, 即轻发生(1)级、偏轻发生(2)级、中等发生(3)级、偏重发生(4)级、大发生(5)级, 级数越高表示流行程度越高. 灰色预测模型的目的就是预测出当年的流行程度.

文献[5]指出, 目前采用的大多数预测模型都局限于单点建模和预测. 由于 GM(1, 1) 模型仅用 1 个时间序列数据建模预测, 当存在多个相互影响或关联的变量时, 就无法反映它们之间相互影响、制约和协同发展的情况; 而 GM(1, n)模型主要描述变量之间的相互关系, 是一种状态模型. 为此, 可以采用 MGM(1, n)模型, 它不同于 GM(1, n)模型只建立 1 个 n 元一阶微分方程, 而是建立 n 个 n 元微分方程. 通过联立求解, 使所得的模型参数能满足多变量的相互关系, 最终使预测的值更符合实际.

下面结合某马铃薯田间的气象观测数据进行数据的分析与计算. 由于在实际的田间马铃薯晚疫病并不是一直发生, 因此马铃薯田间的观测数据不多, 本文仅利用后期连续的等时距(8 年, 2003~2010 年)数据, 共 8 组, 每组数据包含 8 个数据, 分别为 6 月份平均温度(\bar{T}_6)、6 月份平均湿度(\bar{H}_6)、6 月份平均降雨量(\bar{F}_6)、6 月份平均风速(\bar{W}_6)、7 月份平均温度(\bar{T}_7)、7 月份平均湿度(\bar{H}_7)、7 月份平均降雨量(\bar{F}_7)、7 月份平均风速(\bar{W}_7)、以及当年的流行程度. 在所提供的 8 组数据中, 前面 6 组数据用于建模, 后面 2 组数据用于预测. 具体数据见表 1.

表 1 马铃薯田间观测数据

	\bar{T}_6	\bar{H}_6	\bar{F}_6	\bar{W}_6	\bar{T}_7	\bar{H}_7	\bar{F}_7	\bar{W}_7	流行程度
03	20.1	80	180	2	26.1	76	201	1	2
04	20.3	81	189	3	26.7	74	203	4	2
05	20.4	78	185	2	27.9	74	208	2	3
06	20.9	79	193	3	27.4	86	206	3	3
07	21.4	85	190	3	26.9	85	202	3	3
08	21.5	84	183	2	26.2	84	209	2	2
09	21.5	85	176	3	26.8	76	207	2	3
10	21.6	86	197	3	28.0	84	206	1	4

2.1 关联度计算

经过对原始数据进行归一化等处理后, 计算得温度、湿度、降雨量、风速的关联系数. 计算得到的关联系数如表 2.

表 2 各变量的关联系数

	6 月平均温度	6 月平均湿度	6 月平均雨量	6 月平均风速	7 月平均温度	7 月平均湿度	7 月平均雨量	7 月平均风速
r	-0.23	-0.32	0.41	-0.05	-0.27	-0.38	0.53	-0.06

故本文在预测模型中剔除风速因素, 而仅考虑 6、7 月份平均温度、平均湿度、平均降雨量 6 个因素, 即取这 6 个变量和当年的流行程度建立灰色 MGM(1, 7)预测模型.

2.2 灰色流行性预测

2.2.1 MGM(1,n)模型的建立

建模时首先将原始观测数据 $\{x_i^{(0)}(k)\} (k=1,2,\cdots,m; i=1,2,\cdots,n)$, (n 为参数个数, $n=7, m$ 为观测周期, $m=6$) 进行累加生成处理, 一次累加生成序列为: $x_i^{(1)}(k) = \sum_{j=1}^k x_i^{(0)}(j)$, 考虑 n 个点相互关联相互影响, 对数据序列建立 n 元一阶微分方程组^[6,7]如下:

$$\begin{aligned} \frac{dx_1^{(1)}}{dt} &= a_{11}x_1^{(1)} + a_{12}x_2^{(1)} + \cdots + a_{1n}x_n^{(1)} + b_1 \\ \frac{dx_2^{(1)}}{dt} &= a_{21}x_1^{(1)} + a_{22}x_2^{(1)} + \cdots + a_{2n}x_n^{(1)} + b_2 \\ &\vdots \\ \frac{dx_n^{(1)}}{dt} &= a_{n1}x_1^{(1)} + a_{n2}x_2^{(1)} + \cdots + a_{nn}x_n^{(1)} + b_n \end{aligned}$$

用最小二乘法估计参数向量 a 和 b 如下式:

$$\hat{a} = [\hat{a}_{i1}, \hat{a}_{i2}, \cdots, \hat{a}_{in}, \hat{b}_i]^T = (L^T L)^{-1} L^T Y$$

L 为 $m-1$ 行, $n+1$ 列矩阵, Y 为 $m-1$ 行, n 列矩阵, 计算如下式:

$$\begin{aligned} L &= \begin{bmatrix} \frac{1}{2}(x_1^{(1)}(2) + x_1^{(1)}(1)) & \frac{1}{2}(x_2^{(1)}(2) + x_2^{(1)}(1)) & \cdots & \frac{1}{2}(x_n^{(1)}(2) + x_n^{(1)}(1)) & 1 \\ \frac{1}{2}(x_1^{(1)}(3) + x_1^{(1)}(2)) & \frac{1}{2}(x_2^{(1)}(3) + x_2^{(1)}(2)) & \cdots & \frac{1}{2}(x_n^{(1)}(3) + x_n^{(1)}(2)) & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{1}{2}(x_1^{(1)}(m) + x_1^{(1)}(m-1)) & \frac{1}{2}(x_2^{(1)}(m) + x_2^{(1)}(m-1)) & \cdots & \frac{1}{2}(x_n^{(1)}(m) + x_n^{(1)}(m-1)) & 1 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 50.05 & 100.7 & 149.9 & 199.85 & 253.05 & 305.8 & 1 \\ 130 & 265 & 396.5 & 5325 & 670 & 803.5 & 1 \\ 103.05 & 210.9 & 317.35 & 427.8 & 536.25 & 640.85 & 1 \\ 51.05 & 101.4 & 152.35 & 203.3 & 259.25 & 314.35 & 1 \\ 138.5 & 277 & 418 & 559 & 1613 & 1759.5 & 1 \\ 101.5 & 204 & 309.5 & 415 & 1428 & 1533.5 & 1 \end{bmatrix} \\ Y &= [Y_1 \quad Y_2 \quad Y_3] = \begin{bmatrix} x_1^{(0)}(2) & x_2^{(0)}(2) & \cdots & x_n^{(0)}(2) \\ x_1^{(0)}(3) & x_2^{(0)}(3) & \cdots & x_n^{(0)}(3) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_1^{(0)}(m) & x_2^{(0)}(m) & \cdots & x_n^{(0)}(m) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 80 & 81 & 78 & 79 & 85 & 84 \\ 180 & 189 & 185 & 193 & 190 & 183 \\ 261 & 267 & 279 & 279 & 269 & 262 \\ 76 & 74 & 74 & 74 & 85 & 84 \\ 201 & 203 & 203 & 208 & 203 & 209 \\ 2 & 2 & 3 & 3 & 3 & 2 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

据微分方程组的解法得响应式:

$$\hat{X}^{(1)}(k) = e^{\hat{A}(k-1)} (\hat{X}^{(1)}(1) + \hat{A}^{-1} \hat{B}) - \hat{A}^{-1} \hat{B}$$

式中: $e^{\hat{A}(k-1)} = I + \sum \frac{\hat{A}^i}{i!} (k-1)^i$

作累减还原有:

$$\hat{X}^{(0)}(k) = \hat{X}^{(1)}(k) - \hat{X}^{(1)}(k-1) \quad (k=1,2,3,\cdots)$$

当 $k < m$ 时, $\hat{X}^{(0)}(k)$ 为模拟值; $k = m$ 时, $\hat{X}^{(0)}(k)$ 为滤波值; $k > m$ 时, $\hat{X}^{(0)}(k)$ 为预测值.

2.2.2 模型比较

表 3 各模型灾变预测结果

		2009	2010
GM(1,1)模型	实际值	3	4
	预测值	3.1	4.2
	相对误差	3%	5%
MGM(1,3)模型	预测值	3.04	4.02
	相对误差	1%	0.5%

由表格数据可看出,相对误差明显减少,准确率明显提高.

2.3 灰色灾变性预测

(1) 规定阈值 $\lambda \geq 3$,从原始数据中选出符合这一条件的数据,组成该灾变序列.

$$X^{(0)} = \{3,3,3,3,4\}$$

(2) 查其对应的时刻(序号号),分别依次为:

$$X^{(0)}(t) = \{X^{(0)}(3),X^{(0)}(4),X^{(0)}(5),X^{(0)}(7),X^{(0)}(8)\}$$

(3) 得对应的灾变时刻序列为:

$$N^{(0)}(t) = \{3,4,5,7,8\}$$

(4) 对灾变年份建立 GM(1,1)模型.

先进行累加生成:

$$N^{(0)}(t) = \{3,7,12,19,27\}$$

构造矩阵 L 和向量 Y ,并用最小二乘法求解.

代入时间响应方程得: $\hat{N}(K+1) = \left[N^{(1)}(1) - \frac{\hat{u}}{a}\right]e^{-\hat{a}k} + \frac{\hat{u}}{a}$,求导还原模型 $D^{(0)}(k)$.



图 2 监测与预测系统的前面板

(5) 利用模型进行预测,其结果如下:

$$D^0(6) = 8.53$$

(6) 预测时间的确定.

上述预测值仅是灾变出现的间隔值,而不是实际预测要求灾变出现的时间值.其换算过程为:2003 年 + 9.53 ≈ 2012 ~ 2013 年.

3 软件设计

系统的软件设计包括两部分,一部分是单片机(下位机)程序设计,用于实现实时信号调理、检测、及数据上传功能,具体不阐述;另一部分是基于 LabVIEW 的虚拟仪器(上位机)软件设计,用于实时数据显示,流行性和灾变预测.单片机通信采用中断工作方式,用 C 语言编写,为了配合多机通信选用工作方式 3. PC 机的程序采用 LabVIEW 的虚拟仪器软件编写,应用程序将控制权交向串口的驱动程序,接收和发送的中断完全由串口驱动程序控制,减少了编程中的很多麻烦,NI 公司提供了基于 RS-232 的驱动程序,以及初始化接口、读写接口的函数.通过调用函数就可很方便地进行数据采集通信,提高编程效率.这部分分为界面设计、串行通信的实现、数据的显示以及流行性和灾变预测等^[8,9].

利用 LabVIEW 实现气象数据采集、显示、分析处理等功能的过程为：(1)用 SQL 创建气象数据库；(2)开启数据库、串口通信，并进行串口参数设置；(3)采集田间 20 个气象数据，并用“事后波形记录”控件显示各个采集变量的平均值。(4)用 insert()函数将采集到的数据样本记录到数据库。(5)用 select()函数提出数据，数据显示在列表中，并进行流行性 GM(1, n)和灾变 GM(1, 1)建模和相应的预测，显示预测结果，图 2 所示是上位机的前面板界面^[10]。

4 结束语

本文介绍了马铃薯田间流行性灾变预测系统的具体设计步骤，包括软件和硬件，详细分析了流行性和灾变预测算法。实验结果表明，该算法可以获得较高的预测结果，具有重要的参考价值和现实意义，但由于本系统具有的田间数据有限，加之马铃薯晚疫病的灾变机理和影响因素也比较多，因此，本系统还需要结合具体的田间进行调试和改进。本文将虚拟仪器技术应用于系统开发中，具有开发周期短、硬件可更新性和开放性强、人机界面友好等特点。将 RS485 总线应用于信号的传输中，提高了系统的可靠性。

参 考 文 献

[1] 夏冰,冯晓东. 马铃薯晚疫病监测预警技术研究[J]. 中国植保导刊, 2010, 30(7): 35-38.
[2] 胡同乐,张玉新. 中国马铃薯晚疫病监测预警系统“china-blight”的组建及运行[J]. 植物保护, 2010, 36(4): 106-111.
[3] 刘小丽,张晓光. 基于 LabVIEW 的压风机组状态监测及故障诊断系统设计[J]. 煤矿机械, 2011, 2(5): 248-250.
[4] 李铁,朱凤武,韩光辉. 基于 LabVIEW 的温室环境监控系统的开发. 农机化研究[J], 2011, (7): 201-204.
[5] 柴占杰,张广明. 多变量灰色模型 MGM(1, n)在锅炉故障预测中的应用[J]. 机械与电子, 2007, (5): 28-30.
[6] 张岩,邵富群,王军生,等. 灰色预测模型在冷轧动态张力控制中的应用[J]. 东北大学学报, 2011, 132(5): 614-616.
[7] Zhang XF, Zhang QD, Sun CY. Gauge and tension control in unsteady state of cold rolling using mixed H₂/H_∞ control[C]. IEEE International Conference on Control and Automation. New Zealand, 2009: 2 072-2 076.
[8] 刘小丽,张晓光. 基于 LabVIEW 的 S7-300 PLC 与 PC 机的串口通信[J]. 仪表技术与传感器, 2011, (5): 100-102.
[9] 余圣甫,邓宇,余露,等. 基于 LabVIEW 的多通道疲劳裂纹实时监测系统行舒乐[J]. 仪表技术与传感器, 2011, (5): 37-39.
[10] 郭山国,陈永会,李海虹,等. 基于 LabVIEW 和 PCI-8333 的采集与分析系统的研究与实现[J]. 机床与液压, 2011, 39(107): 107-109.

Design of Monitoring and Forecasting System Based on LabVIEW

ZHU Xiao-hua

(Department of Physics and Electronic Information Engineering, Zhangzhou Normal University, Zhangzhou 363000, China)

Abstract: Based virtual instrument the system of potato field meteorological information's realtime monitoring and late blight's epidemic and disaster prediction was designed. The system can collective(temperature, moisture, rainfall), display, process and storage the meteorological information, and achieve prediction by grey prediction model. This paper introduces the system's hardware and software, function and design, Based on multivariable grey model GM(1, n)'s epidemic prediction, based on GM(1, 1)'s disaster prediction was researched intensively. The experiment shows that the accuracy rate of predicting is high, and that it has practical value and realistic significance and that it can be extended widely.

Key words: virtual instrument; potato late blight; gray predicting

* 文章编号:1000-5811(2012)02-0087-03

IRIG-B 时间格式码产生解调电路的设计

周国平¹, 屈少君¹, 韩 亮²

(1. 南京林业大学 信息科学技术学院, 江苏 南京 210037; 2. 陕西科技大学 电气与信息工程学院, 陕西 西安 710021)

摘 要:IRIG-B 码作为一种国际通用的时间编码,在时间信息传输方面已得到广泛应用. 通过介绍 IRIG-B 格式码的格式与规范,给出了应用于对时终端的 IRIG-B 格式时间码,产生解调电路的设计及相应的软件程序流程.

关键词:IRIG-B 码; 对时终端; 编码解调

中图法分类号:TP273 **文献标识码:** A

0 引 言

随着科学技术的发展,越来越多的行业对时间同步,及对系统装置时钟的一致性提出了更高要求^[1,2]. 时间信息的传输多数采用 IRIG-B 码,而在对时装置中,则需要将 B 码的时间信息解调出来. 在电力系统自动化领域中,GPS 同步对时技术的应用^[3-5],为电网自动化设备提供精确的系统时间,不仅满足了我国电力系统自身的发展要求,同时对于提高电能质量,优化电网调度操作,事故分析,实现电网运行工况的同步测控等都具有十分重要的意义.

1 IRIG-B 格式码的格式与规范

靶场仪器组 IRIG(Inter-Range Instrumentation Group),是美国 RCC(靶场司令委员会)下属机构. 它所指定的时间码格式有两大类,一类是并行时间码格式,另一类是串行时间码格式. IRIG 串行时间码,共有七种格式. 即 IRIG-A、B、C、D、E、G、H,其中 IRIG-C 码已由 IRIG-H 码代替^[6]. 现存 6 种时间码的主要差别在于时间码的帧速率不同. 以时帧周期划分,时帧周期大于 1 秒的有 D、E、F 三种格式,这些码元由于速率较慢,主要用于纸带记录等;A、G 二种格式码元速率较高,直接使用可获得较高的时间分辨率;IRIG-B 格式时间码是每秒一帧的时间码,其发送的时间信息中不仅包含秒脉冲信息,而且还有包括年、天、时、分、秒、二进制秒计日等在内的绝对时间信息,最适合人们使用的习惯. 因此,在 IRIG 6 种串行时间码格式中,B 码的应用最为广泛.

B 码信号的基本码元速率为每秒 100 个,位置识别速率为每秒 10 个,帧速率为每秒 1^[7] 个. B 码的基本码元是“0”码元、“1”码元和“P”码元,每个码元占用 10 ms 时间. 码元“0”和“1”对应的脉冲宽度为 2 ms 和 5 ms,“P”码元是位置码元,对应的脉冲宽度为 8 ms. 基本码元示意图如图 1 所示.

B 码时间格式的时序为秒-分-时-天,所占信息位为秒 7 位、分 7 位、时 6 位、天 10 位,其位置在 P0-P5 之间. 天、时、分、秒用 BCD 码表示,个位在前,十位在后,个位和十位之间有一个脉冲宽度的索引标志码元为 2 ms. 控制功能码位于 P5-P8 之间. 从 P8 码元开始是 SB 时间码,SB 时间码是直接由二进制的秒信号表示一天时间的的时间编码方法,共 17 位二进制信号,每天重复. IRIG-B 码的输出信号可分为直流码(DC 码)和交流码(AC 码)两种^[8]. 本文以 IRIG-B 直流码为例,对 IRIG-B 格式时间码产生解调电路进行介绍.

* 收稿日期:2012-02-16
作者简介:周国平(1963—),男,陕西省西安市人,副教授,硕士生导师,研究方向:自动化控制装置研究及嵌入式系统开发

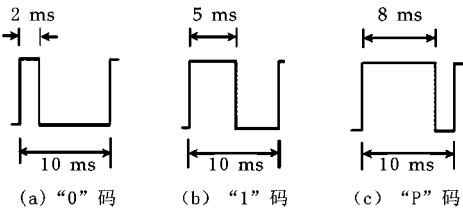


图 1 B 码基本码元示意图

直流 B 码示意图如图 2 所示。

2 B 码产生解调电路硬件设计

本设计中,B 码解码电路将对时终端所产生的标准时间转换成 B 码所需要的格式,进行时间的换算及天数的计算,并由单片机产生对应的脉冲序列进行输出.为了保证输出时间的准确性,必须保证标准频率产生模块所产生的频率,与

对时终端产生的 1 PPS(秒脉冲)同步,这样才能使输出的脉冲信号的前沿时间达到 $\pm 1 \mu\text{S}$ 的误差。

2.1 B 码产生

产生 B 码时,硬件电路接电力系统常用的 BJT 串行输入的时间信息、秒脉冲、1 kHz 信号输入,由于电路中有 TTL/232 电平模块,BJT 信号有 TTL 电平和 232 串口两种输入方式.秒脉冲 1 PPS 接单片机的 INT 1 引脚,1 kHz 接单片机的 INT 0 引脚,通过单片机的控制,完成时间、天数的计算,以及 BCD 码的转换,最后以 IRIG-B 码的 232 电平格式输出.硬件设计如图 3 所示。

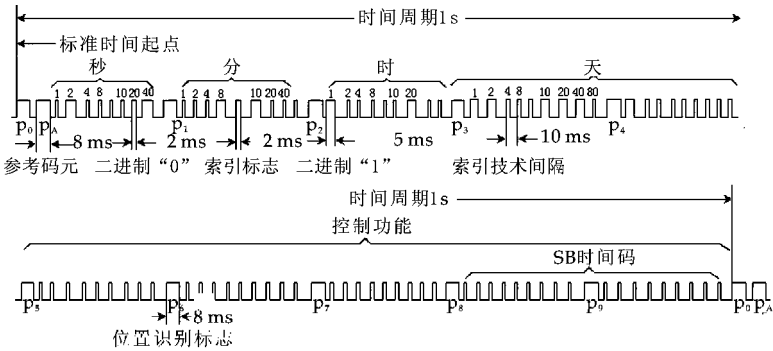


图 2 直流 B 码示意图

2.2 B 码解调

解调 B 码时,硬件电路直接接收 IRIG-B 码信息. B 码信号通过 TTL/232 电平调整模块,接单片机的外部中断 0,单片机根据 INT 0 引脚高电平的宽度,对 IRIG-B 码的各个码元进行解码,形成秒、分、时、天、年的 BCD 码,最后输出 1 PPS、1 PPM、1 PPH 信号和 BJT 的 232 电平输出.硬

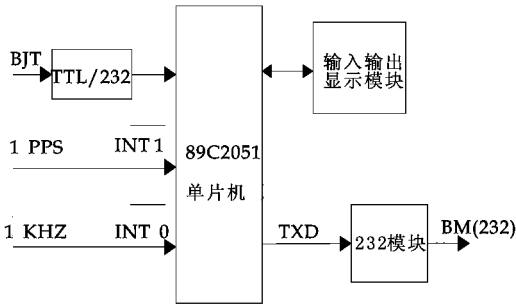


图 3 B 码产生框图

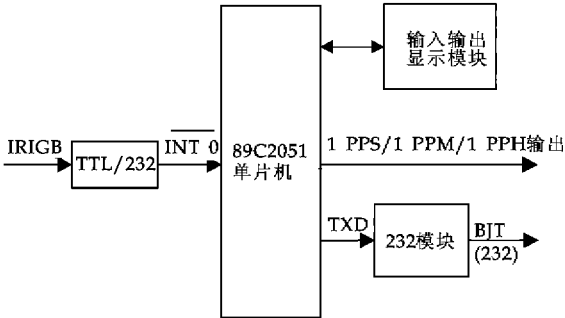


图 4 B 码解调框图

件设计如图 4 所示。

3 程序流程与程序说明

3.1 主程序

BM 产生主流程图和 BM 解调主流程图如图 5、图 6 所示：

3.2 子程序

(1)IRIG-B 码串口接收子程序.串口接收 BJT 格式语句,从中取出需要的时间、日期等信息,送入相应的内存单元存放。

(2)秒加 1 处理子程序.由于时间信息在接收的时刻已经滞后,因此,为保证时间信息的准确性,在下

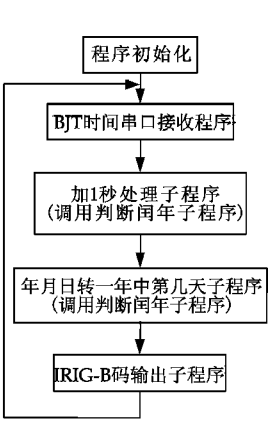


图 5 BM 产生主流程图

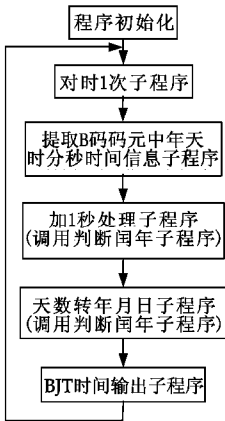


图 6 BM 解调主流程图

一秒脉冲来临之前,将现在接收到的这一秒的时间信息进行加 1 秒处理,以便在下一个秒脉冲到来之时,将经过加 1 秒处理过的信息送出,才是正确的时间.

需要考虑的是:时间信息在经过加 1 秒后,可能会引起分、时、天、月、年等的变化.比如在跨年度的一瞬间,此外还要涉及到闰年、平年等在 2 月末、3 月初的日期上的区别.

(3)年月日转换为一年中第几天的子程序.由于 IRIG-B 码中有一年中天数的时间信息,而 BJT 格式时间信息里没有天数信息,因此,在将月份和日期的信息,经过加 1 秒处理和判断是否闰年后,根据 BJT 语句中的月份和日期的信息,将其转化为一年中是第几天的时间信息.

表 1 单片机内部 RAM 定义表

帧标志位	00H
闰年标志	02H
秒单元、分单元、时单元	21H、22H、23H
天个位、天十位、天百位	24H、25H
年个位、年十位	26H
二进制秒计日	27H、28H、29H
8 ms 计数器	30H
0.5 ms 计数器	31H
对时次数计数器	32H
码元号	33H
BCD 码转为二进制码时中介寄存器	34H、35H
时-分-秒的 ASCII 码	41H-3CH
天百位/天十/天个位的 ASCII 码	45H-42H
年/月/日的 ASCII 码	47H、46H/4BH、4AH/49H、48H
秒-分-时-天-年的二进制码	4CH-51H
暂存串口输出 BJT 语句每组信息	56H-5BH

(4)时间信息参数在单片机内部 RAM 单元中的定义如表 1 所示.

4 结束语

近年来,我国以电力系统为主的多个行业,对时间精确度和准确度要求不断提高,越来越多的企业通过引进国外先进的对时终端,来满足自身对时间的要求.然而,西欧、美国等发达国家生产的对时终端大都采用 IRIG-B 码格式输出,因此对 IRIG-B 格式码的产生解码装置提出了更高要求.从本 IRIG-B 时间产生解码装置中,产生和解调出来的标准秒脉冲信号,通过实用测试均达到了时统设备的对时要求,有着较高的应用价值.

参 考 文 献

[1] 王 铮,胡敏强,郑建勇.基于 GPS 的变电站内部时间同步方法[J].电力系统自动化,2002,26(4):36-39.
[2] 周国平,邢灿华. IRIG-B 格式时间编码电路的设计[J]. 电气技术与自动化,2005,34(2):88-90.
[3] 邹红艳,郑建勇. 基于 GPS 同步时钟的统一校时方案[J]. 电力自动化设备,2004,24(12):59-61.



* 文章编号:1000-5811(2012)02-0090-04

串口编程在物探仪器中的应用

陈万胜

(中煤科工集团西安研究院, 陕西 西安 710077)

摘 要:为了使物探仪器现场采集的数据准确、快速的上传计算机,通过对串口基本资料的描述,使用微软的通讯控件来实现串口编程的方法、Mscomm 控件的使用方法及如何实现上位机的程序;通过对下位机电路原理图的描述,实现下位机及计算机之间的通讯问题. 提高数据传输的准确性和可靠性,为资料处理奠定了基础,减少了抄录数据的笔误.

关键词:串口通信; MSComm 控件; 串口事件; RS-232 标准

中图法分类号:TP3 **文献标识码:**A

0 引 言

在很多情况下,远程监控和工业自动化领域系统常见的通信编程多为串口通信编程. 计算机串口和并口编程在通信^[1-5]软件中有着十分广泛的应用,如电话、传真、视频和控制等. 过去的物探仪器,在采集数据后,仅仅把数据存入自身的或外部扩展的存储器,有的甚至没有存储器,而是需要人手工记录,再把记录的数据输入计算机进行相应的资料处理. 在这个过程中,可能由于人为的失误造成数据的错位,导致处理资料的偏差. 为了解决便携式物探仪器与计算机数据传输问题,我们在计算机中选择 Visual Basic 作为开发工具,下位机选择 C51 做为开发工具.

1 串行通讯控件 MSComm

表 1 9 针串口定义

管脚	符号	含义
1	DCD	数据载波监测
2	RXD	接收信号线
3	TXD	发送数据
4	DTR	数据终端准备好
5	SG	信号地和保护地信号线
6	DST	数据装置准备好
7	RTS	当终端要发送数据时,有效
8	CTS	对请求发送信号 RTS 的响应信号
9	RI	振铃指示

串口是常用的计算机与外部设备之间的数据通道. 由于串行通信方便易行,所以应用广泛. 依据不同的条件实现对串口的灵活编程控制是我们所需求的. 串口九针定义如表 1 所示.

Windows 下串行通信与以往的 DOS 下串行通信程序不同的是 Windows 不提倡应用程序直接控制硬件,而是通过 Windows 操作系统提供的设备驱动程序来进行数据传递. 在此结合实例,叙述在 Visual Basic 中实现 PC 机与单片机串口的通信过程.

在可视化程序中实现串口通信,可以利用 Windows 提供的 API 函数通过查询方式来实现,也可以通过控件以事件的方式来实现. 对于多数用户,控件是最好的选择. 因为只要了解他的部分属性,通过在事件中加入合适的处理程序,便可完成对串口的编程. 由于 Mscomm 控件不是常用的控件,因此需要把该控件添加到工具栏中. 在工具栏中右击鼠标,在弹出的菜单栏中选择部件,选中 Microsoft Comm Control6.0,

* 收稿日期:2011-12-25

作者简介:陈万胜(1976—),男,陕西省富平县人,工程师,研究方向:物探仪器

便可把 Mscomm 控件添加到工具栏中,通过对 Mscomm 控件进行相应的处理便可完成上位机的串口程序. 现把 Mscomm 控件的常用属性叙述如表 2 所示.

表 2 Mscomm 属性含义

属性	作用及用途
Comport	设置并返回通信端口号,缺省值为 com1 口.
Setting	以字符串的形式设置并返回波特率,奇偶检验,数据位,停止位.
Portopen	设置并返回通信端口的状态,也可以打开和关闭端口.
Input	从接收缓冲区返回和删除字符.
Output	向发送缓冲区写入字符.
Inputlen	设置每次从接受缓冲区读入的字符个数,缺省值为 0,表示读取接收缓冲区的全部内容.
Inputmode	定义 input 属性获取数据的方式(1(comInputModeText)文本方式,0(comInputModeBinary)二进制方式).
Rthreshold	接收缓冲区可以接收的字符数.
Sthreshold	发送缓冲区可以接收的字符数.

以下是通过设置控件属性对串口进行初始化的实例.

设置串口端口
MSComm1.CommPort=1
设置串口通信波特率及相关参数
MSComm1.Settings=“9600,n,8,1”
设置串口通讯模式,0(comInputModeBinary)为二进制传输,1(comInputModeText)为文本方式传输
MSComm1.InputMode = comInputModeBinary
打开端口
MSComm1.PortOpen=True
‘打开串口’

打开对应串口后,需要考虑串口通信的过程中串口的一些事件. 在接收或发送数据过程中,可能需要监视并响应一些事件

和错误,所以事件驱动是处理串行端口交互作用的一种非常有效的方法. 使用 OnComm 事件和 CommEvent 属性捕获并检查通信事件和错误的值. 发生通信事件或错误时,将触发 Oncomm 事件,CommEvent 属性的值将被改变,应用程序检查 CommEvent 属性值并作出相应的反应来完成串口通讯. 在 Oncomm 事件中根据相应的事件添加相应的处理程序即可. Oncomm 事件(属性)名称及对应的关系如表 3 所示.

2 串口通信在物探仪器中的应用

需要说明的是,计算机和单片机直接传输数据需要有数据协议约定,以保证数据传输的准确性. 协议约定为每组数据前两字节为开始标志,第三字节为本组数据长度,最后再加上结束标志. 以流量计为例来论述.

表 3 MSComm 的 Oncomm 事件

事件(属性)名称	作用
comEventCDTO	CD 超时
comEventCTSTO	CTS 超时
comEventDSRTO	DSR 超时
comEventFrame	Framing Error
comEventOverrun	数据丢失
comEventRxOver	接收缓冲区溢出
MSComm comEventRxParity	Parity 错误
事件 comEventTxFull	传输缓冲区已满
comEventDCB	获取 DCB 时意外错误
comEvCD	CD 线状态变化
comEvCTS	CTS 线状态变化
comEvDSR	DSR 线状态变化
comEvRing	Ring Indicator 变化
comEvReceive	接收数据处理
comEvSend	传输缓冲区有 Sthreshold 个字符,发送处理程序
comEvEof	输入数据流中发现 EOF 字符

2.1 计算机部分程序实现

通过使用微软的 Mscomm 控件来完成计算机部分的接收程序和发送程序. 编程简单,效率高,通讯准确性高. 发送部分程序的实现,首先要把发送部分的数据放入发送队列,打开串口,对串口进行初始化,设置相应的参数,然后设置合适 Sthreshold 参数,把发送的数据写入串口缓冲区,完成发送任务. 接收部分程序的实现,判断数据开始标志位,把数据存入接收队列,当读到一组数据的结束标志时,数据存入相应的数组,为后面计算做准备. 接收和发送流程图如图 1 和图 2 所示.

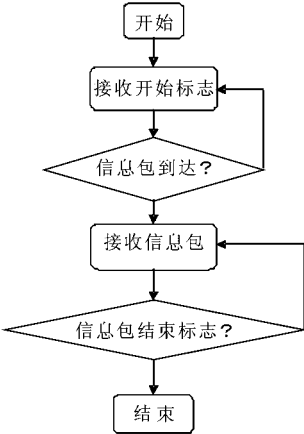


图 1 接收流程图

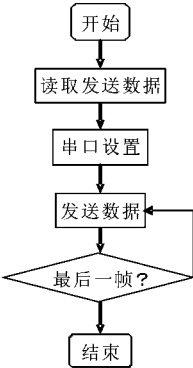


图 2 发送流程图

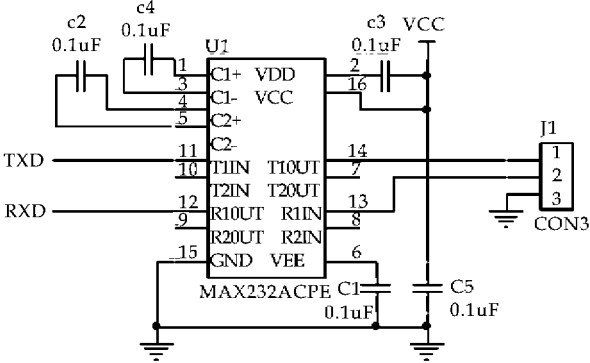


图 3 下位机电路原理图

2.2 下位机程序实现及电路设计

下位机是把现场采集到的数据存入数据存储器,从现场带回之后,再把数据通过串口上传给计算机,单片机外接 MAX232 直接把数据上传给计算机. MAX232 的输入端 T1IN 接单片机的 TXD(发送端), R1OUT 接单片机的 RXD(接收端), T1OUT 接 9 针插头的 RXD(接收), R1IN 接 9 针插头的 TXD(发送),其原理电路图如图 3 所示. 这样就可以完成计算机与单片机通讯的硬件电路搭建. 通讯协议相对简单,所需要的就是把现场采集到的数据准确无误的上传计算机,协议开始标志,EB,4D,中间数据位,结束标志 0D,0A,因为传输距离比较近,所以没有加校验位. 计算机开始接收数据之前,发送一组开始数据传输标志,然后下位机把数据存贮器中的数据按通讯协议的方式上传计算机,完成数据的通讯. 我们已经将此应用到便携式磁电流量仪、矿业直流电法仪、矿用水压自动记录仪、矿用测井仪等物探仪器中,取得了很好的应用效果.

3 结束语

详细论述了串口编程的原理、方法、以及如何实现,给出了上位机(计算机)、下位机(单片机)部分的程序流程图,电路原理图. 以及串口控件如何使用,如何快速的完成程序设计. 对串口进行操作大大提高了编程的效率,使监测与监控实现变得不那么复杂. 同时给出了在物探仪器中的典型应用,把现场采集的数据准确、高速的上传给计算机,为工程技术人员进行资料处理提供了可靠的依据. 大大的提高了工作效率,减少了抄录数据的错误,为工程技术人员节约了更多的时间来分析资料,提出可靠的预防措施,受到现场工程技术人员的一致好评.

参 考 文 献

[1] 李现勇. VisualC++串口通信技术与工程实践[M]. 北京:人民邮电出版社,2002.
[2] 凌志浩. 智能仪表原理与设计技术[M]. 上海:华东理工大学出版社,2003.
[3] 秋育桥. 基于 MSComm 的 PC 机与单片机串行通信程序设计[J]. 科技信息,2009,(2):76-79.

- [4] 岳志高. MSComm 控件在 VC++6.0 串口通信中的应用[J]. 长春工程学院学报, 2009, (1): 51-54.
- [5] 张自强. 基于 VC++MSComm 控件的串行通信[J]. 河南科技大学学报, 2004, (1): 33-40.

Application of Serial Programming in the Geophysical Instruments

CHEN Wan-sheng

(Xi'an Research Institute of China Coal Technology & Engineering Group Corp, Xi'an 710077, China)

Abstract: In order to make geophysical equipments collect data accurately and upload it to computer quickly at the scene. By description of the basic information of the serial port, and using of Microsoft's communications control to achieve serial programming method. It describes MSComm control of use and how to achieve the program of the upper computer. By description of the lower mechanical and electrical principle diagram to resolve the communication problems between the lower machine and computer. It well improves the accuracy and reliability of data transmission. for data processing it also has a good basis, and reduces the slip of the pen of reproducing the data.

Key words: serial communication; MSComm control; serial eEvents; RS-232 standard

~~~~~  
(上接第 89 页)

- [4] 周 斌, 黄国方, 王耀鑫, 等. 在变电站智能设备中实现 B 码对时[J]. 电力自动化设备, 2005, 25(9): 86-88.
- [5] 李瑞生, 张克元, 冯秋芳. 电力系统自动化 GPS 精确对时的解决方案[J]. 继电器, 1999, 27(5): 31-32.
- [6] 高厚磊, 厉吉文, 文 锋, 等. GPS 及其在电力系统中的应用[J]. 电力系统自动化, 1995, 19(9): 41-44.
- [7] 朱文治, 肖晓刚. GPS 卫星时钟在电网自动化系统中的应用[J]. 电网技术, 1997, 21(3): 32-33.
- [8] 吴 宁, 潘小龙, 虞皆侠. 高精度 GPS 同步时钟的研究与实现[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(10): 61-65.

## Design of Time Format Code IRIG-B Code Producing Demodulation Circuit

ZHOU Guo-ping<sup>1</sup>, QU Shao-jun<sup>1</sup>, HAN Liang<sup>2</sup>

(1. College of Information Science and Technology, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China; 2. College of Electronic and Information Engineering, Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China)

**Abstract:** Time format code IRIG-B code is a kind of time code standard used in time Synchronization of different systems, which is published by IRIG organization of the United States. As a kind of the international and general time code, IRIG-B code has been widely used in time information transmission. In this paper, time format code IRIG-B code's format and standard were introduced, also the design of time format code IRIG-B code producing demodulation circuit Applied to time setting terminals and its corresponding software program flow are given.

**Key words:** IRIG-B code; time setting terminals; code & demodulation

\* 文章编号:1000-5811(2012)02-0094-06

带有非线性扰动的非脆弱奇异时  
变时滞系统的保性能控制

尚阿曼, 吴保卫, 刘丽丽

(陕西师范大学 数学与信息科学学院, 陕西 西安 710062)

**摘 要:**针对一类带有非线性扰动的奇异时变时滞系统,研究了其非脆弱保性能控制问题,并运用 Lyapunov 稳定性理论和 LMI 方法,得出了系统非脆弱保性能控制律存在的充分条件和设计方法. 对所有容许的不确定性,所设计的非脆弱保性能控制律不仅使得相应的闭环系统是渐近稳定的,并且使得闭环性能指标有性能上界. 最后,结合仿真实例来说明所得方法的可行性.

**关键词:**非线性扰动; 非脆弱保性能控制; 奇异时变时滞系统; LMI

**中图法分类号:**O. 0232      **文献标识码:** A

0 引 言

时滞现象和不确定性普遍存在于各类工业系统中,是导致系统不确定性和性能变差的主要因素<sup>[1]</sup>. 不确定奇异系统保性能控制研究的基本思想是设计一个控制律使得对应的闭环系统鲁棒渐近稳定,并且相应的闭环性能指标有一个性能上界. 而非脆弱性是控制律设计中的一个重要因素,因此,关于不确定奇异时变时滞系统的非脆弱保性能控制的研究是具有实际意义的. 至今,有关这方面的研究已有了丰硕成果. 文献[1]研究了带有非线性扰动的不确定奇异时滞系统的保性能控制问题,其研究的系统无输入时滞;文献[2]研究了一类非脆弱奇异时滞系统的保性能控制问题,其研究的系统不带有扰动项;文献[3]研究了非线性不确定时变时滞系统的鲁棒保性能控制问题,其研究的系统时变时滞是同一个;文献[4]研究了线性不确定时滞系统的保性能控制问题. 本文主要针对一类带有非线性扰动的非脆弱奇异时变时滞系统,研究了其非脆弱保性能控制问题,利用 Lyapunov 稳定性理论和 LMI 方法,得出了保性能控制律存在的充分条件和设计方法. 最后,通过数值算例验证了所得方法的有效性.

1 问题描述

考虑由如下状态方程描述的一类不确定奇异时变时滞系统

$$\begin{cases} E\dot{x}(t) = (A + \triangle A)x(t) + (A_1 + \triangle A_1)x(t - d(t)) + (B + \triangle B)u(t) \\ \quad + (B_1 + \triangle B_1)u(t - h(t)) + Df(x(t)) \\ x(t) = \varphi(t), t \in [-\tau, 0] \end{cases} \quad (1)$$

其中,  $E \in R^{n \times n}$  是奇异矩阵,并且  $rank(E) = r < n$ ;  $x(t) \in R^n$  是系统(1)的状态向量;  $\mu(t) \in R^m$  是系统(1)的控制输入向量;  $A, A_1, B, B_1, D$  是适当维数的已知矩阵;  $\triangle A, \triangle A_1, \triangle B, \triangle B_1$  是不确定矩阵,表示系统模型中的时变参数不确定性;  $0 \leq d(t) \leq d < \infty, 0 \leq h(t) \leq h < \infty$  是时变时滞,并且满足  $\dot{d}(t)$

\* 收稿日期:2011-12-05  
基金项目:国家自然科学基金项目(10971123);陕西省自然科学基金基础研究计划项目(SJ08A20)  
作者简介:尚阿曼(1987—),女,陕西省周至县人,硕士,研究方向:控制理论

$\leq \bar{d} < 1, \dot{h}(t) \leq \bar{h} < 1$ , 记  $\tau = \max\{d, h\}, \beta = \max\{\bar{d}, \bar{h}\}, d(0) = \eta_1, h(0) = \eta_2, \varphi(t)$  是给定初始值的连续函数.

假定所考虑的参数不确定性是范数有界的,并具有如下形式

$$[\triangle A, \triangle A_1, \triangle B, \triangle B_1] = MF(t)[E_1, E_d, E_2, E_h] \quad (2)$$

其中,  $M, E_1, E_d, E_2, E_h$  是适当维数的已知常数矩阵,反映了不确定性的结构信息,且  $F(t) \in R^{i \times j}$ , 满足  $F^T(t)F(t) \leq I$  ( $I$  是单位矩阵);  $f(\cdot)$  满足  $\|f(\cdot)\| \leq \|Gx(t)\|, \forall x(t) \in R^n, G$  为给定常矩阵.

定义与系统(1)对应的性能指标函数为

$$J = \int_0^\infty [x^T(t)Qx(t) + u^T(t)Ru(t)]dt \quad (3)$$

其中,  $Q, R$  为给定的对称正定加权矩阵.

定义 1 对系统(1)和性能指标(3),如果存在一个正数  $J^*$  和一个控制律

$$u(t) = (K + \triangle K)x(t) \quad (4)$$

(其中,  $K \in R^{n \times n}, \triangle K$  是一个增益扰动),使得对任意的不确定性,闭环系统

$$\begin{cases} \dot{E}x(t) = [A + \triangle A + (B + \triangle B)(K + \triangle K)]x(t) + (A_1 + \triangle A_1)x(t - d(t)) \\ + (B_1 + \triangle B_1)(K + \triangle K)x(t - h(t)) + Df(x(t)) \\ x(t) = \varphi(t), t \in [-\tau, 0] \end{cases} \quad (5)$$

是渐近稳定的,并且闭环性能指标满足  $J \leq J^*$ , 则称  $J^*$  是系统(1)的一个性能上界,控制律(4)是系统(1)的一个非脆弱保性能控制律. 其中,

$$\triangle K = HF(t)E_k \quad (6)$$

( $H, E_k$  是适当维数的已知矩阵).

本文所要研究的问题是对系统(1)考虑形如非脆弱保性能控制律(4)的设计问题,基于 LMI 方法给出控制律存在的条件 and 设计方法.

## 2 主要结论

引理 1<sup>[1]</sup> 给定矩阵  $Y = Y^T$ , 及适当维数的矩阵  $D$  和  $N$ , 则对任意满足  $F^T(t)F(t) \leq I$  的矩阵  $F(t)$ , 不等式  $Y + DF(t)N + N^TF^T(t)D^T < 0$  成立的充要条件是存在一个常数  $\epsilon > 0$ , 使得  $Y + \epsilon DD^T + \epsilon^{-1}N^TN < 0$ .

引理 2<sup>[3]</sup> 对任意适当维数的实相量  $X, Y$  及任意实数  $\alpha$ , 有  $2X^TY \leq \alpha^{-1}X^TX + \alpha Y^TY$  成立.

引理 3<sup>[7]</sup> (Shur complement) 给定任意实矩阵  $P_1, P_2$  和  $P_3$ , 其中  $P_1 = P_1^T$ , 并且  $P_3 > 0$ , 那么  $P_1 + P_2P_3^{-1}P_2^T < 0$  成立的充要条件是

$$\begin{pmatrix} P_1 & P_2 \\ P_2^T & -P_3 \end{pmatrix} < 0 \text{ 或 } \begin{pmatrix} -P_3 & P_2^T \\ P_2 & P_1 \end{pmatrix} < 0.$$

定理 1 给定正数  $\alpha > 0$ , 对于不确定奇异时变时滞系统(1)和性能指标(3),若存在适当维数矩阵  $P$ ,  $K$  及正定矩阵  $R_1, R_2$ , 使得对于所有允许的不确定性,有

$$PE = E^TP^T \geq 0 \quad (1a)$$

$$\begin{pmatrix} \Xi & P(A_1 + \triangle A_1) & P(B_1 + \triangle B_1) \\ (A_1 + \triangle A_1)^TP^T & -(1 - \beta)R_1 & 0 \\ (B_1 + \triangle B_1)^TP^T & 0 & -(1 - \beta)R_2 \end{pmatrix} < 0 \quad (1b)$$

$$\begin{aligned} (\Xi = & [A + \triangle A + (B + \triangle B)(K + \triangle K)]^TP^T + P[A + \triangle A + (B + \triangle B)(K + \triangle K)] + R_1 + \\ & (K + \triangle K)^TR_2(K + \triangle K) + \alpha^{-1}PDD^TP^T + \alpha G^TG + Q + (K + \triangle K)^TR(K + \triangle K)) \end{aligned}$$

成立,则闭环系统(5)是渐近稳定的,控制律(4)是系统(1)的非脆弱保性能控制律,并且对所有允许的不确定参数矩阵,闭环性能指标(3)满足

$$J \leq \varphi^T(0)PE\varphi(0) + \int_{-\eta_1}^0 \varphi^T(s)R_1\varphi(s)ds + \int_{-\eta_2}^0 \varphi^T(s)(K + \Delta K)^TR_2(K + \Delta K)\varphi(s)ds$$

证明:选取如下 Lyapunov 函数

$$V(x(t)) = x^T(t)PEx(t) + \int_{t-d(t)}^t x^T(s)R_1x(s)ds + \int_{t-h(t)}^t u^T(s)R_2u(s)ds$$

沿闭环系统(5)的任意轨线对  $V(x(t))$  关于  $t$  求导,得

$$\begin{aligned} \dot{V}(x(t)) &= \dot{x}^T(t)PEx(t) + x^T(t)PE\dot{x}(t) + x^T(t)R_1x(t) - (1 - \dot{d}(t))x^T(t-d(t))R_1x(t-d(t)) \\ &\quad + u^T(t)R_2u(t) - (t - \dot{h}(t))^Tu(t-h(t))R_2u(t-h(t)) \\ &\leq x^T(t)\{[A + \Delta A + (B + \Delta B)(K + \Delta K)]^TP^T + P[A + \Delta A + (B + \Delta B)(K + \Delta K)] \\ &\quad + R_1 + (K + \Delta K)^TR_2(K + \Delta K) + \alpha^{-1}PDD^TP^T + \alpha G^TG\}x(t) \\ &\quad + x^T(t-d(t))(A_1 + \Delta A_1)^TP^Tx(t) + x^T(t-h(t))[(B_1 + \Delta B_1)(K + \Delta K)]^TP^Tx(t) \\ &\quad + x^T(t)P(A_1 + \Delta A_1)x(t-d(t)) + x^T(t)P[(B_1 + \Delta B_1)(K + \Delta K)]x(t-h(t)) \\ &\quad - (1 - \beta)x^T(t-d(t))R_1x(t-d(t)) - (1 - \beta)x^T(t-h(t))(K + \Delta K)^TR_2(K + \Delta K)x(t-h(t)) \\ &= \begin{pmatrix} x(t) \\ x(t-d(t)) \\ (K + \Delta K)x(t-h(t)) \end{pmatrix}^T \begin{pmatrix} \Xi - Q - (K + \Delta K)^TR(K + \Delta K) & P(A_1 + \Delta A_1) & P(B_1 + \Delta B_1) \\ (A_1 + \Delta A_1)^TP^T & -(1 - \beta)R_1 & 0 \\ (B_1 + \Delta B_1)^TP^T & 0 & -(1 - \beta)R_2 \end{pmatrix} \\ &\quad \begin{pmatrix} x(t) \\ x(t-d(t)) \\ (K + \Delta K)x(t-h(t)) \end{pmatrix} \end{aligned}$$

由(1b)可知  $\dot{V}(x(t)) < x^T(t)(-Q - (K + \Delta K)^TR(K + \Delta K))x(t) < 0$ , 故闭环系统(5)是渐近稳定的.

对上式两边从 0 到  $T$  积分,并由系统的稳定性得

$$\begin{aligned} J &\leq V(x(0)) \\ &= \varphi^T(0)PE\varphi(0) + \int_{-\eta_1}^0 \varphi^T(s)R_1\varphi(s)ds + \int_{-\eta_2}^0 \varphi^T(s)(K + \Delta K)^TR_2(K + \Delta K)\varphi(s)ds \end{aligned}$$

故由定义 1,(4)是系统(1)的非脆弱保性能控制律. 定理 1 得证.

定理 1 给出了系统(1)非脆弱保性能控制律存在的一个充分条件,但其中含有不确定项,无法直接应用. 下面的定理 2 消去了(1b)中的不确定项,并利用 LMI 方法给出了(1b)有解的一个充要条件.

定理 2 对系统(1)和性能指标(3),给定正数  $\alpha > 0$ ,如果存在  $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3 > 0$ ,非奇异矩阵  $X \in R^{n \times n}$ ,正定矩阵  $U_1 \in R^{n \times n}, U_2 \in R^{m \times n}$  及矩阵  $W$ ,使得对所有允许的不确定性,以下 LMIs 成立

$$\begin{aligned} EX &= X^TE^T \geq 0 \tag{2a} \\ \begin{pmatrix} \Theta & A_1U_1^T & B_1U_2^T & X^T & W^T & X^TG^T \\ U_1A_1^T & -(1 - \beta)U_1^T & 0 & 0 & 0 & 0 \\ U_2B_1^T & 0 & -(1 - \beta)U_2^T & 0 & 0 & 0 \\ X & 0 & 0 & -U_1 & 0 & 0 \\ W & 0 & 0 & 0 & \Sigma_1 & 0 \\ GX & 0 & 0 & 0 & 0 & -\alpha^{-1}I \\ X & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ W & 0 & 0 & 0 & \epsilon_3HH^T & 0 \\ E_1X + E_2W & E_dU_1^T & E_hU_2^T & 0 & \epsilon_3E_2HH^T & 0 \\ E_KX & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ E_KX & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

$$\left( \begin{array}{ccccc} X^T & W^T & (E_1 X + E_2 W)^T & X^T E_K^T & X^T E_K^T \\ 0 & 0 & U_1 E_d^T & 0 & 0 \\ 0 & 0 & U_2 E_h^T & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \epsilon_3 H H^T & \epsilon_3 H H^T E_2^T & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -Q^{-1} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \Sigma_2 & \epsilon_3 H H^T E_2^T & 0 & 0 \\ 0 & \epsilon_3 E_2 H H^T & \Sigma_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\epsilon_2 I & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\epsilon_3 I \end{array} \right) < 0 \quad (2b)$$

则系统(1)是渐近稳定的.

其中,

$$\begin{aligned} \Theta &= AX + BW + (AX + BW)^T + \alpha^{-1} DD^T + \epsilon_1 MM^T + \epsilon_2 BHH^T B^T, \\ \Sigma_1 &= -U_2 + \epsilon_3 H H^T, \\ \Sigma_2 &= -R^{-1} + \epsilon_3 H H^T, \\ \Sigma_3 &= -\epsilon_1 I + \epsilon_3 E_2 H H^T E_2^T. \end{aligned}$$

进而,如果 LMI(2b)有一个可行解  $(\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3, X, U_1, U_2, W)$ , 则系统(1)的状态反馈增益矩阵  $K = WX^{-1}$ , 闭环性能指标(3)满足

$$J \leq \varphi^T(0) P E \varphi(0) + \int_{-\eta_1}^0 \varphi^T(s) R_1 \varphi(s) ds - \int_{-\eta_2}^0 \varphi^T(s) X^{-T} \Theta X \varphi(s) ds$$

证明:应用引理 1 及引理 3,通过适当的变形和技巧,条件(1b)等价于

$$\left( \begin{array}{cccccc} \Xi & P A_1 & P B_1 & I & K^T & G^T \\ A_1^T P^T & -(1-\beta)R_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ B_1^T P^T & 0 & -(1-\beta)R_2 & 0 & 0 & 0 \\ I & 0 & 0 & -R^{-1} & 0 & 0 \\ K & 0 & 0 & 0 & -R_2^{-1} + \epsilon_3 H H^T & 0 \\ G & 0 & 0 & 0 & 0 & -\alpha^{-1} I \\ I & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ K & 0 & 0 & 0 & \epsilon_3 H H^T & 0 \\ E_1 + E_2 K & E_d & E_h & 0 & \epsilon_3 E_2 H H^T & 0 \\ E_K & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ E_K & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right)$$



$$\left( \begin{array}{ccccc} I & K^T & (E_1 + E_2 K)^T & E_K^T & E_K^T \\ 0 & 0 & E_d^T & 0 & 0 \\ 0 & 0 & E_h^T & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \epsilon_3 HH^T & \epsilon_3 HH^T E_2^T & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -Q^{-1} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -R^{-1} + \epsilon_3 HH^T & \epsilon_3 HH^T E_2^T & 0 & 0 \\ 0 & \epsilon_3 E_2 HH^T & -\epsilon_1 I + \epsilon_3 E_2 HH^T E_2^T & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\epsilon_2 I & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\epsilon_3 I \end{array} \right) < 0$$

$$(\Xi = (A + BK)^T P^T + P(A + BK) + \alpha^{-1} PDD^T P^T + \epsilon_1 PMM^T P^T + \epsilon_2 PBHH^T B^T P^T)$$

令  $T = \text{diag}\{P^{-1}, R_1^{-1}, R_2^{-1}, I, I, I, I, I, I, I\}$ , 对上式左乘  $T$ , 右乘  $T^T$ , 并记  $X = P^{-T}, U_1 = R_1^{-1}, U_2 = R_2^{-1}, W = KP^{-T}$ , 则可得 (1b) 等价于 (2b), 并且当 (2b) 有可行解  $(\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3, X, U_1, U_2, W)$  时, 系统 (1) 的状态反馈增益为  $K = WX^{-1}$ , 即系统 (1) 的非脆弱保性能控制律  $u(t) = (WX^{-1} + HF(t)E_K)x(t)$ .

由于  $(K + \triangle K)^T R_2 (K + \triangle K) < -\Xi = -X^{-T} \Theta X$ , 所以

$$J \leq \varphi^T(0) P E \varphi(0) + \int_{-\eta_1}^0 \varphi^T(s) R_1 \varphi(s) ds - \int_{-\eta_2}^0 \varphi^T(s) X^{-T} \Theta X \varphi(s) ds$$

故定理 2 得证.

3 数值算例

考虑不确定系统 (1), 其中,

$$\begin{aligned} E &= \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, G = \begin{pmatrix} 0.01 & 0.01 & 0 \\ 0.01 & 0.02 & 0 \\ 0.01 & 0 & 0.02 \end{pmatrix}, A = \begin{pmatrix} 0.01 & 0 & 0 \\ 0 & -0.02 & 0 \\ 0 & 0 & 0.05 \end{pmatrix}, \\ A_1 &= \begin{pmatrix} 0.01 & 0 & 0.02 \\ 0 & 0.04 & 0 \\ 0.05 & 0 & 0.01 \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} 0.02 \\ 0.01 \\ 0 \end{pmatrix}, B_1 = \begin{pmatrix} 0.01 \\ 0 \\ 0.06 \end{pmatrix}, D = \begin{pmatrix} 2 & 0.06 & 0 \\ 0.03 & 0.05 & 0 \\ 0 & 1 & 0.07 \end{pmatrix}, \\ M &= \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0.03 \end{pmatrix}, E_1 = (0.01 \quad 0.02 \quad 0.03), E_d = (0.01 \quad 0 \quad 0.02), \\ E_2 &= 0.06, E_h = 0.05, H = 0.03, E_k = 0.02, \end{aligned}$$

$$Q = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, R = 1, \varphi(t) = \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{1}{2}e^{t+1} \\ 0 \end{pmatrix}, t \in [-1, 0]$$

给定  $\alpha = 0.1, \beta = 0.2, \eta_1 = 0.5, \eta_2 = 0.1$ , 利用 LMI 工具箱, 解得相应的线性矩阵不等式为

$$\begin{aligned} \epsilon_1 &= 0.239 \ 6, \epsilon_2 = 1.612 \ 7e + 003, \epsilon_3 = 203.515 \ 0, \\ X &= \begin{pmatrix} -0.011 \ 0 & -0.000 \ 1 & -0.003 \ 8 \\ -0.002 \ 1 & 0.019 \ 8 & -0.008 \ 3 \\ -0.003 \ 2 & -0.000 \ 1 & -0.061 \ 9 \end{pmatrix}, \end{aligned}$$

$$U_1=(1.0\text{e}+004)\times\begin{pmatrix}2.670\ 5 & -0.008\ 9 & -1.329\ 8 \\ 0.006\ 4 & 3.347\ 8 & -0.014\ 8 \\ -1.327\ 5 & -0.015\ 7 & 0.677\ 4\end{pmatrix},$$

$$U_2=31.594\ 2,$$

$$W=(-0.002\ 9\ \ -0.000\ 6\ \ -0.006\ 0),$$

$$K=(0.242\ 0\ \ -0.029\ 7\ \ 0.085\ 5),$$

相应的性能上界:  $J^*=184.904\ 2$ .

4 结束语

本文研究了给定系统的非脆弱保性能控制问题,利用 LMI 方法得出了系统非脆弱保性能控制律存在的充分条件,并通过数值算例验证了所得结论的可行性.

参 考 文 献

[1] 焦建民,孙小军,吴保卫.带有非线性扰动的不确定奇异时滞系统的保性能控制[J].山东大学学报(工学版),2009,39(2):63-69.  
[2] Dongmei Zhang,Li Yu. Non-fragile guaranteed cost control for a class of uncertain singular time-delay systems[C]. Proceeding of the 5th World Congress on Intelligent Control and Automation,2004:923-927.  
[3] Ji-Qing Qiu,Yan-Jun Wang,Xiao-Ming Du,*et al.* Robust guaranteed cost control of nonlinear uncertain time-varying delay systems [C]. International Conference on Machine Learning and Cybernetics,2010:969-974.  
[4] Li Yu,Jian Chu. An LMI approach to guaranteed cost control of linear uncertain time-delay systems[J]. Automatica,1999,35:115 5-115 9.  
[5] Jong-Hae Kim. Delay-dependent robust and non-fragile guaranteed cost control for uncertain singular systems with time-varying state and input delays[J]. International Journal of Control,Automation and Systems,2009,7:357-364.  
[6] Li Yu,Furong Gao. Optimal guaranteed cost control of discrete-time uncertain systems with both state and input delays[J]. Journal of The Franklin Institute,2001,338:101-110.  
[7] Nan Xie,Gong-You Tang. Delay-dependent nonfragile guaranteed cost control for nonlinear time-delay systems[J]. Nonlinear Analysis,2006,64:208 4-209 7.  
[8] 俞立.鲁棒控制-线性矩阵不等式处理方法[M].北京:清华大学出版社,2002.

Non-fragile Guaranteed Cost Control for a Class of Uncertain Singular Time-varying Delay Systems with Nonlinear Perturbation

SHANG A-man, WU Bao-wei, LIU Li-li

(College of Mathematics and Information Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

**Abstract:** The non-fragile guaranteed cost control problem is studied in this paper for a class of uncertain singular time-varying delay systems with nonlinear perturbation. Based on the Lyapunov stability theory and LMI approach, sufficient conditions for the existence of the non-fragile control law are given, and the design procedure is presented. The designed control law ensures the stability of the closed-loop systems, and a corresponding upper bound of the closed-loop cost function value is obtained for all admissible uncertainties. Furthermore, a numerical example is given to illustrate the feasibility of the proposed approach.  
**Kay words:** nonlinear perturbation; non-fragile guaranteed cost control; singular time-varying delay systems; LMI



\* 文章编号:1000-5811(2012)02-0100-05

# Banach 空间中 $n$ 阶非线性脉冲积分-微分方程的边值问题

刘转转, 刘茂省, 韩伟

(中北大学 理学院数学系, 山西 太原 030051)

**摘要:** 利用非紧性测度和 *Mönch* 不动点定理得到了一类高阶非线性脉冲积分-微分方程无穷边值问题解的存在性. 首先是将其转化成与之等价的积分方程, 进而转化为算子不动点问题, 然后通过更为精确的非紧性测度的分析, 利用 *Mönch* 不动点定理证明了方程解的存在性.

**关键词:** Banach 空间; 脉冲积分-微分方程; 边值问题; 非紧性测度; *Mönch* 不动点定理

**中图法分类号:** O177.91

**文献标识码:** A

## 0 引言

在文献[1-3]中, 郭大钧教授用不动点指数理论证明了 Banach 空间中积分-微分方程的无穷边值问题具有多重解. 文献[4]利用 *Mönch* 不动点定理获得了 Banach 空间中一阶脉冲微分方程边值问题解的存在性. 但文献[1-3]要求右端非线性项对  $\forall t > 0, r > 0, f(t, P_r, P_r, \dots, P_r)$  是紧的, 其中  $P_r = \{u \in P: \|u\|, \leq r, P$  为  $E$  的锥}, 文献[4]研究的是一阶的, 而且右端非线性项不含有积分算子. 本文将利用非紧性测度和 *Mönch* 不动点定理在非线性项不要求满足文献[1-3]中提到的条件下, 对高阶非线性脉冲积分-微分方程解的存在性进行研究.

设  $E$  为 Banach 空间, 考察  $E$  中的  $n$  阶非线性脉冲积分-微分方程无穷边值问题(BVP)

$$\begin{cases} u^{(n)}(t) = f(t, u(t), u'(t), \dots, u^{(n-1)}(t), (Tu)(t), (Su)(t)) & \forall t \in J' \\ \Delta u^{(i)}|_{t=t_k} = I_{ik}(u(t_k), u'(t_k), \dots, u^{(n-1)}(t_k)), & (i=0, 1, \dots, n-1; k=1, 2, \dots) \\ u^{(i)}(0) = \theta, u^{(n-1)}(\infty) = \beta u^{(n-1)}(0) & (i=0, 1, \dots, n-2) \end{cases} \quad (1)$$

其中,  $J = [0, \infty), 0 < t_1 < t_2, \dots, t_k < \dots, t_k \rightarrow \infty, J' = J \setminus \{t_1, t_2, \dots, t_k, \dots\}, f \in C[J \times \underbrace{E \times \dots \times E}_{n+2}]$ ,

$E, \beta > 1, I_{ik} \in C[\underbrace{E \times E \times \dots \times E}_n, E], (Tu)(t) = \int_0^t K(t, s)u(s)ds, (Su)(t) = \int_0^\infty H(t, s)u(s)ds, K, H \in C[J \times J, R^1], \Delta u^{(i)}|_{t=t_k} = u^{(i)}(t_k^+) - u^{(i)}(t_k^-)$  表示  $u^{(i)}(t)$  在  $t=t_k$  的跳跃度.

令  $PC[J, E] = \{u: J \rightarrow E \mid u(t) \text{ 在 } t \neq t_k \text{ 连续, } t=t_k \text{ 左连续, } u(t_k^+) \text{ 存在, } k=1, 2, \dots\}$ . 令  $BPC[J, E] = \{u \in PC[J, E] \mid e^{-t} \|u(t)\| \rightarrow 0 (t \rightarrow \infty)\}$ , 赋范数  $\|u\|_B = \sup_{t \in J} (e^{-t} \|u(t)\|)$  成为 Banach 空间. 令  $PC^{n-1}[J, E] = \{u \in PC[J, E] \mid u^{(n-1)}(t) \text{ 在 } t \neq t_k \text{ 连续, } u^{(n-1)}(t_k^+), u^{(n-1)}(t_k^-) \text{ 存在, } k=1, 2, \dots\}$ . 当  $u \in PC^{n-1}[J, E]$  时, 由牛顿-莱布尼兹公式可得  $u^{(n-2)}(t_k^+), u^{(n-2)}(t_k^-), \dots, u'(t_k^+), u'(t_k^-)$  存在. 令  $u^{(i)}(t_k) = u^{(i)}(t_k^-)$ , 则  $u^{(i)} \in PC[J, E]$ . 本文总将  $u^{(i)}(t_k)$  理解为  $u^{(i)}(t_k^-)$ . 令  $DPC^{n-1}[J, E] = \{u \in PC^{n-1}[J, E] \mid u^{(i)} \in BPC[J, E], i=0, \dots, n-1\}$ , 赋范数  $\|u\|_D = \max_{0 \leq i \leq n-1} \|u^{(i)}\|_B$  成为 Banach 空间. 若  $u \in C^n[J', E] \cap PC^{n-1}[J, E]$  满足 BVP(1), 则称  $u$  为 BVP(1) 的解. 对  $E, DPC^{n-1}[J, E]$  中的非紧性测度<sup>[5]</sup>, 分别用  $\alpha_E(\cdot),$

\* 收稿日期: 2011-12-08

基金项目: 国家自然科学基金(10901145); 山西省自然科学基金(2010011002-1); 山西省青年科学基金(2010021001-2)

作者简介: 刘转转(1981—), 女, 山西省平遥县人, 助教, 硕士, 研究方向: 基础数学

$\alpha_D(\cdot)$  表示.

## 1 预备知识

**引理 1**<sup>[6]</sup> 当  $u \in C^n[J', E] \cap PC^{n-1}[J, E]$  时, 有

$$\begin{aligned} u(t) &= \sum_{j=0}^{n-1} \frac{t^j}{j!} u^{(j)}(0) + \frac{1}{(n-1)!} \int_0^t (t-s)^{n-1} u^{(n)}(s) ds \\ &\quad + \sum_{0 < t_k < t} \sum_{j=0}^{n-1} \frac{(t-t_k)^j}{j!} [u^{(j)}(t_k^+) - u^{(j)}(t_k)], \quad \forall t \in J \\ u^{(n-1)}(t) &= u^{(n-1)}(0) + \int_0^t u^{(n)}(s) ds + \sum_{0 < t_k < t} [u^{(n-1)}(t_k^+) - u^{(n-1)}(t_k)], \quad \forall t \in J \end{aligned}$$

**引理 2**<sup>[6]</sup> 设  $V \subset DPC^{n-1}[J, E]$  有界,  $J_1 = [0, t_1], J_k = (t_{k-1}, t_k] (k=2, \dots)$ ,  $V^{(n-1)}(t) = \{u^{(n-1)}(t); u \in V\}$  是  $J_k$  上的等度连续函数族, 且当  $t \rightarrow \infty$  时,  $e^{-t} \|u^{(i)}(t)\|$  关于  $u \in V$  一致收敛于 0 ( $i=0, \dots, n-1$ ), 则有

$$\alpha_D(V) = \max\{\sup_{t \in J} [e^{-t} \alpha_E(V^{(i)}(t))]; i=0, 1, \dots, n-1\}$$

**引理 3**<sup>[7]</sup> 设  $V = \{x_n\}_{n=1}^\infty \subset L[I, E]$ , 且  $\exists g \in L[I, R^+], s, t \forall x_n \in V$ . 有  $\|x_n(t)\| \leq g(t), a.e. t \in I$ , 则有  $\alpha_E(\{ \int_a^b x_n(s) ds; n=1, 2, 3, \dots \}) \leq 2 \int_a^b \alpha_E(V(s)) ds$ , 其中,  $I = [a, b]$ .

**引理 4**<sup>[7]</sup> (Mönch 不动点定理) 设  $E$  是 B 空间,  $K \subset E$  为闭凸集,  $F: K \rightarrow K$  为连续映射, 若对某一  $x \in K$  有可数集  $C \subset K$ , 且  $C \subset \bar{C}_0(\{x\} \cup F(C))$  蕴涵着  $C$  是相对紧集, 则  $F$  在  $K$  中有一个不动点.

## 2 主要结果和证明

对 BVP(1) 提出以下假设

$(H_1)$   $\lim_{t \rightarrow \infty} (e^{-t} \int_0^t |K(t, s)| e^s ds) = 0, \int_0^\infty |H(t, s)| e^s ds < \infty (\forall t \in J)$  且  $\lim_{t \rightarrow \infty} (e^{-t} \int_0^\infty |H(t, s)| e^s ds) = 0, \lim_{t' \rightarrow t} \int_0^\infty |H(t', s) - H(t, s)| e^s ds = 0 (\forall t \in J)$ , 记  $k^* = \sup_{t \in J} (e^{-t} \int_0^t |k(t, s)| e^s ds), h^* = \sup_{t \in J} (e^{-t} \int_0^\infty |H(t, s)| e^s ds)$ ;

$(H_2)$   $\exists b(t), a_i(t) \in C[J, R^+] (i=0, 1, \dots, n+1)$  和  $C_{ikj} \geq 0 (i=0, 1, \dots, n-1; k=1, 2, \dots)$ , 有  $\|f(t, v_0, v_1, \dots, v_{n-1}, v_n, v_{n+1})\| \leq b(t) + \sum_{i=0}^{n+1} a_i(t) \|v_i\|, \forall t \in J, \forall v_0, v_1, \dots, v_{n+1} \in E; \|I_{ik}(v_0, v_1, \dots, v_{n-1})\| \leq \sum_{j=0}^{n-1} c_{ikj} \|v_j\|, \forall v_0, v_1, \dots, v_{n-1} \in E (i=0, 1, \dots, n-1; k=1, 2, \dots)$  且  $b^* = \int_0^\infty b(t) dt, a_i^* = \int_0^\infty a_i(t) e^t dt, c_i^* = \sum_{k=1}^\infty \sum_{j=0}^{n-1} c_{ikj} e^{t_k}$  都存在,  $C^* = \max_{0 \leq i \leq n-1} \{c_i^*\}, \frac{\beta}{\beta-1} M_1 + \left(\frac{\beta}{\beta-1} + n-1\right) C^* < 1$ ;

$(H_3)$   $\exists l_j \in L[J, R^+] (j=0, \dots, n+1)$  和  $M_{ikj} \geq 0 (i, j=0, \dots, n-1; k=1, 2, \dots)$ , 对  $\forall$  有界集  $D_i \subset E$  有

$$\alpha_E(f(t, D_0, D_1, \dots, D_{n+1})) \leq \sum_{j=0}^{n+1} l_j(t) \alpha_E(D_j), \quad \forall t \in J,$$

$$\alpha_E(I_{ik}(D_0, D_1, \dots, D_{n-1})) \leq \sum_{j=0}^{n-1} \alpha_E(D_j) M_{ikj} e^{-t_k},$$

且  $l_j^* = \int_0^\infty l_j(t) e^t dt, M_i^* = \sum_{k=1}^\infty \sum_{j=0}^{n-1} M_{ikj}$  都存在,  $M_2 = \frac{2\beta}{\beta-1} (\sum_{j=0}^{n-1} l_j^* + k^* l_n^* + h^* l_{n+1}^*) + \frac{\beta}{\beta-1} M_{n-1}^* + \sum_{i=0}^{n-2} M_i^* < 1$ .

**引理 5** 当  $(H_1)(H_2)$  成立时,  $u \in DPC^{n-1}[J, E] \cap C^n[J', E]$  是 BVP(1) 的解等价于  $u \in DPC^{n-1}[J, E]$  是以下脉冲积分方程(2) 的解

$$\begin{aligned}
u(t) = & \frac{t^{n-1}}{(\beta-1)(n-1)!} \left\{ \int_0^\infty f(s, u(s), u'(s), \dots, u^{(n-1)}(s), (Tu)(s), (Su)(s)) ds \right. \\
& + \sum_{k=1}^\infty I_{n-1k}(u(t_k), u'(t_k), \dots, u^{(n-1)}(t_k)) \Big\} \\
& + \frac{1}{(n-1)!} \int_0^t (t-s)^{n-1} f(s, u(s), u'(s), \dots, u^{(n-1)}(s), (Tu)(s), (Su)(s)) ds \\
& + \sum_{0 < t_k < t} \sum_{j=0}^{n-1} \frac{(t-t_k)^j}{j!} I_{jk}(u(t_k), u'(t_k), \dots, u^{(n-1)}(t_k)), \quad \forall t \in J
\end{aligned} \quad (2)$$

证明: 首先  $u \in DPC^{n-1}[J, E]$  时, 由  $\|T\| \leq k^*$ ,  $\|S\| \leq h^*$  [6] 和条件  $(H_2)$  可得

$$\int_0^\infty \|f(s, u(s), u'(s), \dots, u^{(n-1)}(s), (Tu)(s), (Su)(s))\| ds \leq b^* + M_1 \|u\|_D < \infty \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^\infty \|I_{n-1k}(u(t_k), u'(t_k), \dots, u^{(n-1)}(t_k))\| \leq \sum_{k=1}^\infty \sum_{j=0}^{n-1} C_{n-1kj} e^{t_k} \|u^{(j)}\|_B \leq \|u\|_{DC_{n-1}^*} < \infty \quad (4)$$

设  $u \in DPC^{n-1}[J, E] \cap C^n[J', E]$  是 BVP(1) 的解, 由引理 1 有

$$\begin{aligned}
u(t) = & \frac{t^{n-1}}{(n-1)!} u^{(n-1)}(0) + \frac{1}{(n-1)!} \int_0^t (t-s)^{n-1} f(s, u(s), u'(s), \dots, u^{(n-1)}(s), (Tu)(s), (Su)(s)) ds \\
& + \sum_{0 < t_k < t} \sum_{j=0}^{n-1} \frac{(t-t_k)^j}{j!} I_{jk}(u(t_k), u'(t_k), \dots, u^{(n-1)}(t_k)), \quad \forall t \in J
\end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned}
u^{(n-1)}(t) = & u^{(n-1)}(0) + \int_0^t f(s, u(s), u'(s), \dots, u^{(n-1)}(s), (Tu)(s), (Su)(s)) ds \\
& + \sum_{0 < t_k < t} I_{n-1k}(u(t_k), u'(t_k), \dots, u^{(n-1)}(t_k)), \quad \forall t \in J
\end{aligned} \quad (6)$$

由 (3), (4) 在 (6) 中令  $t \rightarrow \infty$ , 结合  $u^{(n-1)}(\infty) = \beta u^{(n-1)}(0)$ , 得

$$\begin{aligned}
u^{(n-1)}(0) = & \frac{1}{\beta-1} \int_0^\infty f(s, u(s), u'(s), \dots, u^{(n-1)}(s), (Tu)(s), (Su)(s)) ds \\
& + \sum_{k=1}^\infty I_{n-1k}(u(t_k), u'(t_k), \dots, u^{(n-1)}(t_k))
\end{aligned}$$

将上式代入 (5) 式得  $u$  满足 (2);

相反地, 设  $u \in DPC^{n-1}[J, E]$  满足 (2), 对 (2) 关于  $t \neq t_k$  求  $i$  ( $i=0, 1, \dots, n$ ) 阶导数, 可得:

$$\begin{aligned}
u^{(i)}(t) = & \frac{t^{n-i-1}}{(\beta-1)(n-i-1)!} \left\{ \int_0^\infty f(s, u(s), u'(s), \dots, u^{(n-1)}(s), (Tu)(s), (Su)(s)) ds \right. \\
& + \sum_{k=1}^\infty I_{n-1k}(u(t_k), u'(t_k), \dots, u^{(n-1)}(t_k)) \Big\} \\
& + \frac{1}{(n-i-1)!} \int_0^t (t-s)^{n-i-1} f(s, u(s), u'(s), \dots, u^{(n-1)}(s), (Tu)(s), (Su)(s)) ds \\
& + \sum_{0 < t_k < t} \sum_{j=i}^{n-1} \frac{(t-t_k)^{j-i}}{(j-i)!} I_{jk}(u(t_k), u'(t_k), \dots, u^{(n-1)}(t_k)), \quad \forall t \in J', \quad i=0, 1, \dots, n-1
\end{aligned} \quad (7)$$

$$u^{(n)}(t) = f(t, u(t), u'(t), \dots, u^{(n-1)}(t), (Tu)(t), (Su)(t)), \quad \forall t \in J' \quad (8)$$

对  $\forall i=0, 1, \dots, n-1, \forall l=1, 2, \dots$ , 取  $\varepsilon > 0$  且足够小时有

$$\begin{aligned}
\Delta u^{(i)}|_{t=t_l} = & u^{(i)}(t_l^+) - u^{(i)}(t_l^-) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0^+} u^{(i)}(t_l + \varepsilon) - u^{(i)}(t_l) \\
= & \lim_{\varepsilon \rightarrow 0^+} \sum_{k=1}^l \sum_{j=i}^{n-1} \frac{(t_l + \varepsilon - t_k)^{j-i}}{(j-i)!} I_{jk}(u(t_k), u'(t_k), \dots, u^{(n-1)}(t_k)) \\
& - \sum_{k=1}^{l-1} \sum_{j=i}^{n-1} \frac{(t_l - t_k)^{j-i}}{(j-i)!} I_{jk}(u(t_k), u'(t_k), \dots, u^{(n-1)}(t_k)) \\
= & \lim_{\varepsilon \rightarrow 0^+} \sum_{j=i}^{n-1} \frac{(t_l + \varepsilon - t_l)^{j-i}}{(j-i)!} I_{jl}(u(t_l), u'(t_l), \dots, u^{(n-1)}(t_l)) = I_{il}(u(t_l), u'(t_l), \dots, u^{(n-1)}(t_l))
\end{aligned} \quad (9)$$



在(7)式中取  $i = n - 1$  时, 令  $t = 0$  和  $t \rightarrow \infty$  时, 易得  $u^{(n-1)}(\infty) = \beta u^{(n-1)}(0)$  (10)

由(7)、(8)、(9)、(10)式得  $u \in DPC^{n-1}[J, E] \cap C^n[J', E]$  是 BVP(1) 的解.

由引理 5, 已将问题转化, 当条件  $(H_1)(H_2)$  成立时研究 BVP(1) 解的存在性等价于研究(2)的解. 为应用 Mönch 不动点定理, 建立如下对应关系:  $A: DPC^{n-1}[J, E] \rightarrow DPC^{n-1}[J, E], u(\cdot) \mapsto (Au)(t), (Au)(t)$  为(2)式的右端项.

这时, BVP(1) 在  $DPC^{n-1}[J, E] \cap C^n[J', E]$  中有解等价于  $A$  在  $DPC^{n-1}[J, E]$  中有不动点, 且容易证明.

**引理 6** 当条件  $(H_1)(H_2)$  成立时,  $A$  为  $DPC^{n-1}[J, E] \rightarrow DPC^{n-1}[J, E]$  的连续有界算子.

**引理 7** 当条件  $(H_1)(H_2)$  成立时,  $V$  为  $DPC^{n-1}[J, E]$  的有界集, 则有

$$\alpha_D(AV) = \max\{\sup_{t \in J}[e^{-t}\alpha_E((AV)^{(i)}(t))]; i=0, 1, \dots, n-1\}$$

**证明:** 设  $V \subset DPC^{n-1}[J, E]$  有界, 由引理 6 知  $AV \subset DPC^{n-1}[J, E]$  有界. 不妨  $\forall u \in V, \|u\|_D \leq r$ . 则对  $\forall u \in V, t_1', t_2' \in J_k (k=1, 2, \dots), t_1' < t_2'$ , 有

$$\begin{aligned} \|(Au)^{(n-1)}(t_2') - (Au)^{(n-1)}(t_1')\| &= \left\| \int_{t_1'}^{t_2'} f(s, u(s), u'(s), \dots, u^{(n-1)}(s), (Tu)(s), (Su)(s)) ds \right\| \\ &\leq \int_{t_1'}^{t_2'} [b(s) + \sum_{i=0}^{n-1} a_i(s) e^s r + a_n(s) e^s k^* r + a_{n+1}(s) e^s h^* r] ds \leq M'(k)(t_2' - t_1'), \end{aligned}$$

其中  $M'(k)$  为  $b(s) + \sum_{i=0}^{n-1} a_i(s) e^s r + a_n(s) e^s k^* r + a_{n+1}(s) e^s h^* r$  在  $J_k$  的最大值. 对  $\forall \varepsilon > 0$ , 取  $0 < \delta < \frac{\varepsilon}{M'(k)}$ , 只要  $|t_2' - t_1'| < \delta$ , 有  $\|(Au)^{(n-1)}(t_2') - (Au)^{(n-1)}(t_1')\| < \varepsilon, \forall u \in V$ , 所以  $(AV)^{(n-1)}(t)$  是  $J_k (k=1, 2, \dots)$  上的等度连续函数族, 所以  $t \rightarrow \infty, e^{-t} \|(Au)^{(i)}(t)\|$  关于  $u$  一致趋于 0, 由引理 3 命题成立.

下面证明本文的主要定理.

**定理 1** 若条件  $(H_1)(H_2)(H_3)$  成立, 则 BVP(1) 到少有一个属于  $DPC^{n-1}[J, E]$  的解存在.

**证明:** 取  $R > \frac{\beta}{\beta-1} b^* \left[ 1 - \frac{\beta}{\beta-1} M_1 - \left( \frac{\beta}{\beta-1} + n - 1 \right) C^* \right]^{-1}$ , 令  $V = \{u \in DPC^{n-1}[J, E] : \|u\|_D \leq R\}$ , 则  $\|(Au)^{(i)}\|_B = \sup_{t \in J}[e^{-t} \|(Au)^{(i)}(t)\|] \leq \frac{\beta}{\beta-1} [b^* + M_1 \|u\|_D] + \frac{1}{\beta-1} C^* \|u\|_D + \sum_{j=0}^{n-1} C^* \|u\|_D \leq \left[ 1 - \frac{\beta}{\beta-1} M_1 - \left( \frac{\beta}{\beta-1} + n - 1 \right) C^* \right] R + \left[ \frac{\beta}{\beta-1} M_1 + \frac{\beta}{\beta-1} C^* + (n-1) C^* \right] R = R$  所以  $\|Au\|_D \leq R$ , 从而  $AV \subset V$ , 由引理 6 得  $A$  为从闭凸集  $V$  到  $V$  的连续算子.

下面证明若可数集  $C \subset V$  且满足  $C \subset \overline{Co}(\{u_0\} \cup AC)$ , 则  $C$  必为相对紧集, 其中  $u_0 \in V$ . 事实上, 一方面由  $C \subset \overline{Co}(\{u_0\} \cup AC)$ , 有  $\alpha_D(C) \leq \alpha_D(\overline{Co}(\{u_0\} \cup AC)) = \alpha_D(\{u_0\} \cup AC) \leq \alpha_D(AC)$ , 且

$$\overline{C^{(i)}(t)} \subset \overline{Co}(\{u^{(i)}(t)\} \cup (AC)^{(i)}(t)) (i=0, 1, \dots, n-1), \forall t \in J$$

所以  $\alpha_E(C^{(i)}(t)) \leq \alpha_E((AC)^{(i)}(t)) (i=0, 1, \dots, n-1), \forall t \in J$  (11)

另一方面, 对任意固定的  $t \in J, u \in C$ , 对  $m > t (m \in N)$ , 令

$$\begin{aligned} (A_m u)^{(i)}(t) &= \frac{t^{n-i-1}}{(\beta-1)(n-i-1)!} \left\{ \int_0^m f(s, u(s), \dots, u^{(n-1)}(s), (Tu)(s), (Su)(s)) ds \right. \\ &\quad \left. + \sum_{k=1}^m I_{n-1k}(u(t_k), \dots, u^{(n-1)}(t_k)) \right\} \\ &\quad + \frac{1}{(n-i-1)!} \int_0^t (t-s)^{n-i-1} f(s, u(s), u'(s), \dots, u^{(n-1)}(s), (Tu)(s), (Su)(s)) ds \\ &\quad + \sum_{0 < t_k < t} \sum_{j=i}^{n-1} \frac{(t-t_k)^{j-i}}{(j-i)!} I_{jk}(u(t_k), u'(t_k), \dots, u^{(n-1)}(t_k)), \forall t \in J', i=0, 1, \dots, n-1 \end{aligned} \quad (12)$$

由条件  $(H_2)$  和上式有

$$\|e^{-t}(Au)^{(i)}(t) - e^{-t}(A_m u)^{(i)}(t)\| \leq \frac{1}{\beta-1} \int_m^\infty b(s) ds + \frac{R}{\beta-1} \sum_{i=0}^{n-1} \int_m^\infty a_i(s) e^s ds$$

$$+\frac{R}{\beta-1}\int_m^\infty[a_n(s)e^sk^*+a_{n+1}(s)e^sh^*]ds+\frac{R}{\beta-1}\sum_{k=m+1}^\infty\sum_{i=0}^{n-1}C_{n-1ki}e^{t_k}\rightarrow 0(m\rightarrow\infty)$$

此式说明  $e^{-t}(A_mC)^{(i)}(t)$  与  $e^{-t}(AC)^{(i)}(t)$  的 Hausdorff 距离:

$$d_H(e^{-t}(A_mC)^{(i)}(t), e^{-t}(AC)^{(i)}(t)) \rightarrow 0(m \rightarrow \infty), \forall t \in J, i=0, 1, \dots, n-1$$

$$\text{故有} \quad \lim_{m \rightarrow \infty} e^{-t}\alpha_E((A_mC)^{(i)}(t)) = e^{-t}\alpha_E((AC)^{(i)}(t)) (\forall t \in J, i=0, 1, \dots, n-1) \quad (13)$$

下面估计  $e^{-t}\alpha_E((A_mC)^{(i)}(t)) (m > t)$ .

由条件  $(H_3)$ ,  $e^{-t}\alpha_E((TV)(t)) \leq k^*\alpha_D(V)$ ,  $e^{-t}\alpha_E((SV)(t)) \leq h^*\alpha_D(V)^{[6]}$  和(11) 式有以下估计

$$\begin{aligned} & e^{-t}\alpha_E((A_mC)^{(i)}(t)) \\ & \leq \frac{2\beta}{\beta-1}\int_0^m\alpha_E(\{f(s,u(s),u'(s),\dots,u^{(n-1)}(s),(Tu)(s),(Su)(s):u\in C\})ds \\ & \quad +\frac{\beta}{\beta-1}\sum_{k=1}^m\alpha_E(\{I_{n-1k}(u(t_k),\dots,u^{(n-1)}(t_k)):u\in C\}) \\ & \quad +\sum_{j=0}^{n-2}\sum_{k=1}^\infty\alpha_E(\{I_{jk}(u(t_k),\dots,u^{(n-1)}(t_k)):u\in C\}) \\ & \leq \frac{2\beta}{\beta-1}\sum_{j=0}^{n-1}\int_0^\infty l_j(s)\alpha_E(C^{(j)}(s))ds+\frac{2\beta}{\beta-1}\int_0^\infty l_n(s)k^*e^s\alpha_D(C)ds \\ & \quad +\frac{2\beta}{\beta-1}\int_0^\infty l_{n+1}(s)h^*e^s\alpha_D(C)ds \\ & \quad +\frac{\beta}{\beta-1}\sum_{k=1}^\infty\sum_{j=0}^{n-1}M_{n-1kj}\alpha_E(C^{(j)}(t_k))e^{-t_k}+\sum_{j=0}^{n-2}\sum_{k=1}^\infty\sum_{i=0}^{n-1}M_{jki}\alpha_E(C^{(i)}(t_k))e^{-t_k} \\ & \leq \frac{2\beta}{\beta-1}\sum_{j=0}^{n-1}\int_0^\infty l_j(s)\alpha_E((AC)^{(j)}(s))ds+\frac{2\beta}{\beta-1}\int_0^\infty l_n(s)k^*e^s\alpha_D(C)ds \\ & \quad +\frac{2\beta}{\beta-1}\int_0^\infty l_{n+1}(s)h^*e^s\alpha_D(C)ds \\ & \quad +\frac{\beta}{\beta-1}\sum_{k=1}^\infty\sum_{j=0}^{n-1}M_{n-1kj}\alpha_E((AC)^{(j)}(t_k))e^{-t_k}+\sum_{j=0}^{n-2}\sum_{k=1}^\infty\sum_{i=0}^{n-1}M_{jki}\alpha_E((AC)^{(i)}(t_k))e^{-t_k} \end{aligned}$$

而  $C \subset V, V \subset DPC^{n-1}[J, E]$  中的有界集, 由引理 7 得  $\alpha_D((AC)) \geq e^{-t}\alpha_E((AC)^{(i)}(t))$ , 所以有

$$\begin{aligned} & e^{-t}\alpha_E((A_mC)^{(i)}(t)) \\ & \leq \frac{2\beta}{\beta-1}\sum_{j=0}^{n-1}\int_0^\infty l_j(s)e^s\alpha_D(AC)ds+\frac{2\beta k^*}{\beta-1}\int_0^\infty l_n(s)e^s\alpha_D(AC)ds+\frac{2\beta h^*}{\beta-1}\int_0^\infty l_{n+1}(s)e^s\alpha_D(AC)ds \\ & \quad +\frac{\beta}{\beta-1}\sum_{k=1}^\infty\sum_{j=0}^{n-1}M_{n-1kj}\alpha_D(AC)+\sum_{j=0}^{n-2}\sum_{k=1}^\infty\sum_{i=0}^{n-1}M_{jki}\alpha_D(AC) \\ & =\left\{\frac{2\beta}{\beta-1}\left[\sum_{j=0}^{n-1}l_j^*+k^*l_n^*+h^*l_{n+1}^*\right]+\frac{\beta}{\beta-1}M_{n-1}^*+\sum_{j=0}^{n-2}M_j^*\right\}\alpha_D(AC)=M_2\alpha_D(AC) \end{aligned}$$

由上式和(13)式得到:

$$e^{-t}\alpha_E((AC)^{(i)}(t)) \leq M_2\alpha_D(AC) \quad (\forall t \in J, j=0, 1, \dots, n-1)$$

所以

$$\alpha_D((AC)) = \max_{0 \leq i \leq n-1} \left\{ \sup_{t \in J} [e^{-t}\alpha_E((AC)^{(i)}(t))] \right\} \leq M_2\alpha_D(AC),$$

由条件  $(H_3)$  和  $M_2 < 1$ , 得  $\alpha_D(AC) = 0$ , 又  $\alpha_D(C) \leq \alpha_D(AC)$ , 则  $\alpha_D(C) = 0$ , 即  $C$  为  $DPC^{n-1}[J, E]$  中的相对紧集, 这样由引理 2.7 Mönch 不动点定理知  $A$  在  $V$  中有不动点, 亦即 BVP(1) 在  $DPC^{n-1}[J, E]$  中至少有一个解.

(下转第 109 页)



\* 文章编号:1000-5811(2012)02-0105-05

# 密度算子的保真度的向量表示

张坤利, 曹怀信, 王 敏

(陕西师范大学 数学与信息科学学院, 陕西 西安 710062)

**摘要:**讨论了  $N$  维 Hilbert 空间  $H$  上密度算子的保真度与它们的 Bloch 向量之间的关系, 进而给出了两个密度算子的保真度的向量表示形式.

**关键词:**算子保真度; 密度算子; Bloch 向量

**中图法分类号:**O177.1

**文献标识码:**A

## 0 引言

近年来, 量子信息光学引起了人们的极大兴趣, 保真度是量子光学和信息科学领域的一个重要概念, 它表示信息在传输过程中保持原来状态的程度, 并广泛应用于量子通讯和量子计算理论研究中. 随着量子信息和量子计算理论的不断发展和完善, 它的研究领域不断扩大, 对保真度的相关研究引起了来自不同领域学者的广泛关注. 文献[1]引入了量子信道的保真度测量, 并描述了信道保真度的性质, 讨论了信道保真度在量子信息科学方面的应用; 文献[2]给出了 Hilbert-Schmidt 内积下  $N$  量子系统上的两个密度算子及纯态之间的信道保真度的二择一保真度定义, 定义了两个线性算子之间的算子保真度, 并证明了算子保真度除了一个规范化因子也满足所有的 Jozsa's 四公理; 文献[3]证明了  $N$ -态量子系统上的两个态之间的二择一保真度测量, 给出了这种保真度的几何解释, 并证明了当  $N=2$  时, 二择一保真度等价于 Bures 保真度. 算子理论是量子信息与计算的基础与工具, 也是泛函分析的核心内容. 在量子力学中, 不同的算子代表不同的物理量, 算子的不同代数运算, 意味着不同的物理规律, 所以研究算子之间的差异是必要的. 文献[2]给出了算子保真度的定义, 为研究算子差异提供了一个重要方法. 本文研究  $N$  维 Hilbert 空间  $H$  上密度算子的保真度的具体表示形式.

以下  $H$  表示  $H$  维 Hilbert 空间,  $B(H)$  表示  $H$  上所有有界线性算子之集.

## 1 算子保真度

对任意的  $A, B \in B(H)$ , 定义内积为  $\langle A, B \rangle = \text{Tr}(A^+ B)$ , 则得到  $B(H)$  上的一个内积. 我们称这种内积为 Hilbert-Schmidt 内积. 由此导出的范数为

$$\|A\|_{\text{Tr}} = \sqrt{\langle A, A \rangle} = \sqrt{\text{Tr}(A^2)}$$

若  $A$  是 Hilbert 空间  $H$  上的一个半正定线性算子, 且满足  $\text{Tr}(A)=1$ , 则称  $A$  是  $H$  上的一个密度算子. 我们把  $H$  上的所有密度算子组成的集合记为  $D(H)$ , 即

$$D(H) = \{A \in B(H) \mid \text{Tr}(A)=1, A \geq 0\}$$

**定义 1**<sup>[2]</sup> 设  $A, B$  是 Hilbert 空间  $H$  上的任意两个非零线性算子, 则称

$$F(A, B) = \frac{|\text{Tr}(A^+ B)|}{\sqrt{\text{Tr}(A^+ A)} \cdot \sqrt{\text{Tr}(B^+ B)}}$$

为  $A, B$  之间的保真度.

\* 收稿日期:2011-12-25

基金项目:国家自然科学基金项目(10571113, 10871224)

作者简介:张坤利(1985—), 女, 陕西省宝鸡市人, 在读硕士生, 研究方向:算子理论

注 当  $A, B \in D(H)$  时, 有

$$F(A, B) = \frac{\text{Tr}(AB)}{\sqrt{\text{Tr}(A^2)} \cdot \sqrt{\text{Tr}(B^2)}}$$

## 2 算子保真度的表示

引理 1<sup>[3]</sup> 任意一个  $N \times N$  密度矩阵  $A$  都可以表示为

$$A = \frac{1}{N} \left( I + \sqrt{\frac{N(N-1)}{2}} \vec{a} \cdot \vec{\lambda} \right)$$

其中  $I$  为  $N \times N$  单位矩阵,  $\vec{a}$  为  $N^2 - 1$  维实向量, 称为  $A$  的 Bloch 向量,  $\vec{\lambda} = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{N^2-1})$ ,  $\lambda_i (i=1, 2, \dots, N^2-1)$  为  $SU(N)$  的自伴生成元.

引理 2 任意一个形如  $A = A_1 \otimes A_2 \otimes \dots \otimes A_N$  的  $2^N$  阶密度矩阵都可以表示为

$$\begin{aligned} A = & \frac{1}{2^N} (I \otimes I \otimes \dots \otimes I + \vec{a}_1 \cdot \sigma \otimes I \otimes \dots \otimes I + \vec{a}_2 \cdot I \otimes \sigma \otimes I \otimes \dots \otimes I + \dots \\ & \vec{a}_N \cdot I \otimes I \otimes \dots \otimes I \otimes \sigma + \sum_{i_1, i_2=1}^3 t_{i_1 i_2}^A \cdot \sigma_{i_1} \otimes \sigma_{i_2} \otimes I \otimes \dots \otimes I \otimes \dots \otimes I + \dots \\ & + \sum_{i_{N-1}, i_N=1}^3 t_{i_{N-1} i_N}^A \cdot I \otimes \dots \otimes I \otimes \sigma_{i_{N-1}} \otimes \sigma_{i_N} + \sum_{i_1, i_2, i_3=1}^3 t_{i_1 i_2 i_3}^A \cdot \sigma_{i_1} \otimes \sigma_{i_2} \otimes \sigma_{i_3} \otimes I \otimes \dots \otimes I \\ & + \dots + \sum_{i_1, i_2, \dots, i_N=1}^3 t_{i_1 i_2 \dots i_N}^A \cdot \sigma_{i_1} \otimes \sigma_{i_2} \otimes \dots \otimes \sigma_{i_N}) \end{aligned}$$

其中  $I$  为  $2 \times 2$  单位矩阵,  $\sigma_i (i=1, 2, 3)$  为 Pauli 矩阵,  $A_i (i=1, 2, \dots, N)$  为二阶密度算子,

$$\vec{a}_1 = (a_{11}, a_{12}, a_{13}), a_{1i} = \text{Tr}(A(\sigma_i \otimes I \otimes \dots \otimes I)), i=1, 2, 3;$$

$$\vec{a}_2 = (a_{21}, a_{22}, a_{23}), a_{2i} = \text{Tr}(A(I \otimes \sigma_i \otimes I \otimes \dots \otimes I)), i=1, 2, 3;$$

⋮

$$\vec{a}_N = (a_{N1}, a_{N2}, a_{N3}), a_{Ni} = \text{Tr}(A(I \otimes I \otimes \dots \otimes I \otimes \sigma_i)), i=1, 2, 3;$$

$$T_{i_1 i_2}^A = (t_{i_1 i_2}^A), t_{i_1 i_2}^A = \text{Tr}(A(\sigma_{i_1} \otimes \sigma_{i_2} \otimes I \otimes \dots \otimes I)), i_1, i_2 = 1, 2, 3;$$

⋮

$$T_{i_{N-1} i_N}^A = (t_{i_{N-1} i_N}^A), t_{i_{N-1} i_N}^A = \text{Tr}(A(I \otimes I \otimes \dots \otimes \sigma_{i_{N-1}} \otimes \sigma_{i_N})), i_{N-1}, i_N = 1, 2, 3;$$

$$T_{i_1 i_2 i_3}^A = (t_{i_1 i_2 i_3}^A), t_{i_1 i_2 i_3}^A = \text{Tr}(A(\sigma_{i_1} \otimes \sigma_{i_2} \otimes \sigma_{i_3} \otimes I \otimes \dots \otimes I)), i_1, i_2, i_3 = 1, 2, 3;$$

⋮

$$T_{i_1 i_2 \dots i_N}^A = (t_{i_1 i_2 \dots i_N}^A), t_{i_1 i_2 \dots i_N}^A = \text{Tr}(A(\sigma_{i_1} \otimes \sigma_{i_2} \otimes \dots \otimes \sigma_{i_N})), i_1, i_2, \dots, i_N = 1, 2, 3;$$

且

$$\begin{aligned} & |\vec{a}_1|^2 + \dots + |\vec{a}_N|^2 + \|T_{i_1 i_2}^A\|_{\text{Tr}}^2 + \|T_{i_2 i_3}^A\|_{\text{Tr}}^2 + \dots + \|T_{i_{N-1} i_N}^A\|_{\text{Tr}}^2 + \|T_{i_1 i_2 i_3}^A\|_{\text{Tr}}^2 \\ & + \dots + \|T_{i_1 i_2 \dots i_N}^A\|_{\text{Tr}}^2 \leq 2^N - 1. \end{aligned}$$

事实上, 任意一个密度算子  $A = A_1 \otimes A_2 \otimes \dots \otimes A_N$  是由  $C_N^1$  个三维向量,  $C_N^2$  个  $3^2$  矩阵,  $C_N^3$  个  $3^3$  个元素矩阵,  $\dots$ ,  $C_N^N$  个  $3^N$  个元素矩阵唯一确定.

下面我们给出能用以上形式表示的密度算子的保真度的 Bloch 向量形式.

定理 1 设  $A, B$  是  $N \times N$  阶密度矩阵, 则它们之间的保真度可表示为

$$F(A, B) = \frac{1 + (N-1) \vec{a} \cdot \vec{b}}{\sqrt{1 + (N-1) |\vec{a}|^2} \cdot \sqrt{1 + (N-1) |\vec{b}|^2}}$$

其中  $I$  为  $N \times N$  单位矩阵,  $\vec{a}, \vec{b}$  为  $A, B$  的  $N^2 - 1$  维 Bloch 向量.

证明 因为  $A, B$  是  $N \times N$  阶密度算子, 所以  $A, B$  可以表示为

$$A = \frac{1}{N} \left( I + \sqrt{\frac{N(N-1)}{2}} \vec{a} \cdot \vec{\lambda} \right), B = \frac{1}{N} \left( I + \sqrt{\frac{N(N-1)}{2}} \vec{b} \cdot \vec{\lambda} \right),$$

其中  $I$  为  $N \times N$  单位矩阵,  $\vec{a}, \vec{b}$  为  $A, B$  的  $N^2 - 1$  维 Bloch 向量,  $\vec{\lambda} = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{N^2-1})$ ,  $\lambda_i (i=1, 2, \dots, N^2-1)$

1) 为  $SU(N)$  的自伴生成元. 因为  $\lambda_i (i=1, 2, \dots, N^2-1)$  为  $SU(N)$  的自伴生成元, 所以我们有

$$\text{Tr}(\lambda_i) = 0, \text{Tr}(\lambda_i \lambda_j) = 2\delta_{ij}, i, j = 1, 2, \dots, N^2-1.$$

从而有

$$\text{Tr}(AB) = \frac{1 + (N-1)\vec{a} \cdot \vec{b}}{N}, \text{Tr}(A^2) = \frac{1 + (N-1)|\vec{a}|^2}{N}, \text{Tr}(B^2) = \frac{1 + (N-1)|\vec{b}|^2}{N},$$

故有

$$F(A, B) = \frac{1 + (N-1)\vec{a} \cdot \vec{b}}{\sqrt{1 + (N-1)|\vec{a}|^2} \cdot \sqrt{1 + (N-1)|\vec{b}|^2}}.$$

**推论 1** 当  $N=2$  时,  $A, B$  可表示为

$$A = \frac{1}{2}(I + \vec{a} \cdot \vec{\sigma}), B = \frac{1}{2}(I + \vec{b} \cdot \vec{\sigma}),$$

则它们之间的保真度可表示为

$$F(A, B) = \frac{1 + \vec{a} \cdot \vec{b}}{\sqrt{1 + |\vec{a}|^2} \cdot \sqrt{1 + |\vec{b}|^2}},$$

其中  $I$  为  $2 \times 2$  单位矩阵,  $\vec{a}, \vec{b}$  为 3 维 Bloch 向量,  $\sigma = (\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3), \sigma_i (i=1, 2, 3)$  为 Pauli 矩阵.

**推论 2** 当  $N=3$  时,  $A, B$  为表示为

$$A = \frac{1}{3}(I + \sqrt{3}\vec{a} \cdot \vec{\lambda}), B = \frac{1}{3}(I + \sqrt{3}\vec{b} \cdot \vec{\lambda}),$$

则它们之间的保真度为表示为

$$F(A, B) = \frac{|1 + 2\vec{a} \cdot \vec{b}|}{\sqrt{1 + 2|\vec{a}|^2} \cdot \sqrt{1 + 2|\vec{b}|^2}},$$

其中  $I$  为  $3 \times 3$  单位矩阵,  $\vec{a}, \vec{b}$  为 8 维 Bloch 向量,  $\vec{\lambda} = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_8), \lambda_i (i=1, 2, \dots, 8)$  为  $SU(3)$  的自伴生成元.

**定理 2** 设  $A_i, B_i (i=1, 2, \dots, N)$  为二阶密度算子,

$$A = A_1 \otimes A_2 \otimes \dots \otimes A_N, B = B_1 \otimes B_2 \otimes \dots \otimes B_N,$$

则

$$F(A, B) = \frac{1 + \vec{a}_1 \cdot \vec{b}_1 + \dots + \vec{a}_N \cdot \vec{b}_N + \text{Tr}((T_{i_1 i_2}^A)^+ T_{i_1 i_2}^B) + \dots + \text{Tr}((T_{i_1 i_2 \dots i_N}^A)^+ T_{i_1 i_2 \dots i_N}^B)}{\sqrt{1 + |\vec{a}_1|^2 + \dots + \|T_{i_1 i_2}^A\|_{\text{Tr}}^2 + \dots + \|T_{i_1 i_2 \dots i_N}^A\|_{\text{Tr}}^2} \cdot \sqrt{1 + |\vec{b}_1|^2 + \dots + \|T_{i_1 i_2}^B\|_{\text{Tr}}^2 + \dots + \|T_{i_1 i_2 \dots i_N}^B\|_{\text{Tr}}^2}}$$

其中  $\vec{a}_i, \vec{b}_i (i=1, 2, \dots, n), T_{i_1 i_2}^A, T_{i_1 i_2}^B, T_{i_1 i_2 i_3}^A, T_{i_1 i_2 i_3}^B, \dots, T_{i_1 i_2 \dots i_n}^A, T_{i_1 i_2 \dots i_n}^B$  同引理 3.

**证明** 由引理 2 可知,  $A$  和  $B$  可表示为

$$A = \frac{1}{2^N}(I \otimes I \otimes \dots \otimes I + \vec{a}_1 \cdot \sigma \otimes I \otimes \dots \otimes I + \vec{a}_2 \cdot I \otimes \sigma \otimes I \otimes \dots \otimes I + \dots$$

$$\vec{a}_N \cdot I \otimes I \otimes \dots \otimes I \otimes \sigma + \sum_{i_1, i_2=1}^3 t_{i_1 i_2}^A \cdot \sigma_{i_1} \otimes \sigma_{i_2} \otimes I \otimes \dots \otimes I \otimes \dots \otimes I + \dots$$

$$+ \sum_{i_{N-1}, i_N=1}^3 t_{i_{N-1} i_N}^A \cdot I \otimes \dots \otimes I \otimes \sigma_{i_{N-1}} \otimes \sigma_{i_N} + \sum_{i_1, i_2, i_3=1}^3 t_{i_1 i_2 i_3}^A \cdot \sigma_{i_1} \otimes \sigma_{i_2} \otimes \sigma_{i_3} \otimes I \otimes \dots \otimes I$$

$$+ \dots + \sum_{i_1, i_2, \dots, i_N=1}^3 t_{i_1 i_2 \dots i_N}^A \sigma_{i_1} \otimes \sigma_{i_2} \otimes \dots \otimes \sigma_{i_N}).$$

$$B = \frac{1}{2^N}(I \otimes I \otimes \dots \otimes I + \vec{b}_1 \cdot \sigma \otimes I \otimes \dots \otimes I + \vec{b}_2 \cdot I \otimes \sigma \otimes I \otimes \dots \otimes I + \dots$$

$$\vec{b}_N \cdot I \otimes I \otimes \dots \otimes I \otimes \sigma + \sum_{i_1, i_2=1}^3 t_{i_1 i_2}^B \cdot \sigma_{i_1} \otimes \sigma_{i_2} \otimes I \otimes \dots \otimes I \otimes \dots \otimes I + \dots$$

$$+ \sum_{i_{N-1}, i_N=1}^3 t_{i_{N-1} i_N}^B \cdot I \otimes \dots \otimes I \otimes \sigma_{i_{N-1}} \otimes \sigma_{i_N} + \sum_{i_1, i_2, i_3=1}^3 t_{i_1 i_2 i_3}^B \cdot \sigma_{i_1} \otimes \sigma_{i_2} \otimes \sigma_{i_3} \otimes I \otimes \dots \otimes I$$



$$+\cdots+\sum_{i_1,i_2,\cdots,i_N=1}^3 t_{i_1 i_2 \cdots i_N}^B \sigma_{i_1} \otimes \sigma_{i_2} \otimes \cdots \otimes \sigma_{i_N}.$$

由于

$$\begin{aligned} \text{Tr}(I \otimes I \otimes \cdots \otimes I) &= 2^N, \text{Tr}(I \otimes \sigma_{i_m} \otimes \cdots \otimes I) = 0, \text{Tr}(I \otimes \sigma_{i_m} \otimes \sigma_{i_n} \otimes \cdots \otimes I) = 0, \\ \text{Tr}(\sigma_{i_1} \otimes \sigma_{i_2} \otimes \cdots \otimes \sigma_{i_N}) &= 0, i = 1, 2, 3; m \neq n, m, n = 1, 2, \cdots, N, \end{aligned}$$

因此

$$\begin{aligned} \text{Tr}(AB) &= \frac{1}{2^N} (1 + \vec{a}_1 \cdot \vec{b}_1 + \cdots + \vec{a}_n \cdot \vec{b}_n + \text{Tr}((T_{i_1 i_2}^A)^+ T_{i_1 i_2}^B) + \cdots + \cdots + \text{Tr}((T_{i_1 i_2 \cdots i_n}^A)^+ T_{i_1 i_2 \cdots i_n}^B)), \\ \text{Tr}(A^2) &= \frac{1}{2^N} (1 + |\vec{a}_1|^2 + \cdots + |\vec{a}_N|^2 + \cdots + \|T_{i_1 i_2}^A\|_{\text{Tr}}^2 + \cdots \\ &\quad + \|T_{i_1 i_2 i_3}^A\|_{\text{Tr}}^2 + \cdots + \|T_{i_1 i_2 \cdots i_N}^A\|_{\text{Tr}}^2), \\ \text{Tr}(B^2) &= \frac{1}{2^N} (1 + |\vec{b}_1|^2 + \cdots + |\vec{b}_N|^2 + \cdots + \|T_{i_1 i_2}^B\|_{\text{Tr}}^2 + \cdots \\ &\quad + \|T_{i_1 i_2 i_3}^B\|_{\text{Tr}}^2 + \cdots + \|T_{i_1 i_2 \cdots i_N}^B\|_{\text{Tr}}^2), \end{aligned}$$

从而

$$F(A, B) = \frac{1 + \vec{a}_1 \cdot \vec{b}_1 + \cdots + \vec{a}_N \cdot \vec{b}_N + \text{Tr}((T_{i_1 i_2}^A)^+ T_{i_1 i_2}^B) + \cdots + \cdots + \text{Tr}((T_{i_1 i_2 \cdots i_N}^A)^+ T_{i_1 i_2 \cdots i_N}^B)}{\sqrt{1 + |\vec{a}_1|^2 + \cdots + \|T_{i_1 i_2}^A\|_{\text{Tr}}^2 + \cdots + \|T_{i_1 i_2 \cdots i_N}^A\|_{\text{Tr}}^2} \cdot \sqrt{1 + |\vec{b}_1|^2 + \cdots + \|T_{i_1 i_2}^B\|_{\text{Tr}}^2 + \cdots + \|T_{i_1 i_2 \cdots i_N}^B\|_{\text{Tr}}^2}}$$

**推论 3** 设  $A = A_1 \otimes A_2, B = B_1 \otimes B_2$  为密度算子,  $A_1, A_2, B_1, B_2$  为二阶密度算子, 则它们之间的保真度.

$$F(A, B) = \frac{1 + \vec{a}_1 \cdot \vec{b}_1 + \vec{a}_2 \cdot \vec{b}_2 + \text{Tr}((T_{i_1 i_2}^A)^+ T_{i_1 i_2}^B)}{\sqrt{1 + |\vec{a}_1|^2 + |\vec{a}_2|^2 + \|T_{i_1 i_2}^A\|_{\text{Tr}}^2} \cdot \sqrt{1 + |\vec{b}_1|^2 + |\vec{b}_2|^2 + \|T_{i_1 i_2}^B\|_{\text{Tr}}^2}},$$

其中

$$\begin{aligned} \vec{a}_1 &= (a_{11}, a_{12}, a_{13}), a_{1i_1} = \text{Tr}(A(\sigma_{i_1} \otimes I)), i_1 = 1, 2, 3; \\ \vec{a}_2 &= (a_{21}, a_{22}, a_{23}), a_{2i_2} = \text{Tr}(A(I \otimes \sigma_{i_2})), i_2 = 1, 2, 3; \\ \vec{b}_1 &= (b_{11}, b_{12}, b_{13}), b_{1i_1} = \text{Tr}(B(\sigma_{i_1} \otimes I)), i_1 = 1, 2, 3; \\ \vec{b}_2 &= (b_{21}, b_{22}, b_{23}), b_{2i_2} = \text{Tr}(B(I \otimes \sigma_{i_2})), i_2 = 1, 2, 3; \\ T_{i_1 i_2}^A &= (t_{i_1 i_2}^A) \in M_3(R), t_{i_1 i_2}^A = \text{Tr}(A(\sigma_{i_1} \otimes \sigma_{i_2})), i_1, i_2 = 1, 2, 3; \\ T_{i_1 i_2}^B &= (t_{i_1 i_2}^B) \in M_3(R), t_{i_1 i_2}^B = \text{Tr}(B(\sigma_{i_1} \otimes \sigma_{i_2})), i_1, i_2 = 1, 2, 3; \end{aligned}$$

且  $|\vec{a}_1|^2 + |\vec{a}_2|^2 + \|T_{i_1 i_2}^A\|_{\text{Tr}}^2 \leq 3, |\vec{b}_1|^2 + |\vec{b}_2|^2 + \|T_{i_1 i_2}^B\|_{\text{Tr}}^2 \leq 3$

对于任意两个密度矩阵, 它们的保真度可以用 Bloch 向量和有限个矩阵表示, 并且当  $N$  比较小时, 它简化了算子保真度的计算. 但是对于无限维的算子保真度有待进一步研究.

### 参 考 文 献

[1] Maxim Raginsky. A fidelity measure for quantum channels[J]. Physics Letters A, 2001, 290: 11-18.  
[2] WANG Xiao-guang, Yu Chang shui, Yi. X. X. An alternative quantum fidelity for mixed states of qudits[J]. Physics Letters A, 2008, 373:58-60.  
[3] CHEN Jing ling, FU Li bin, Ungar Abraham A., et al.. Alternative fidelity measure between two states of an N-state quantum system[J]. Physical Review A, 2002, 65(5): 543 041-543 043.  
[4] MA Zhi hao, ZHANG Fu lin, CHEN Jing ling. Fidelity induced distance measures for quantum states[J]. Physics Letters A, 2009, 373:3 407-3 409.  
[5] 石名俊, 杜江峰, 朱栋培, 阮图南. 混合纠缠态的几何描述[J]. 物理学报, 2000, 49(10):1 912-1 918.  
[6] Agata Checinska, Krzysztof Wodkiewicz. Fidelity and entanglement breaking properties of qutrit channels[J]. Optics Communications, 2010, 283: 795-804.

## Vector Representations of Fidelity of Density Operators

ZHANG Kun-li, CAO Huai-xin, WANG Min

(College of Mathematics and Information Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

**Abstract:** This note is devoted to discuss the relation between fidelity of density operator and their Bloch vector on  $n$ -dimensional hilbert space  $H$ . Especially, it is given that vector representation forms of fidelity of two density operators.

**Key words:** operator fidelity; density operator; Bloch vector

(上接第 104 页)

### 参 考 文 献

- [1] D. Guo. Multiple positive solutions for first order nonlinear integro-differential equations in Banach spaces[J]. Nonlinear Anal. , 2003,53:183-195.
- [2] D. Guo. Multiple positive solutions for first order nonlinear impulsive integro-differential equations in a Banach space[J]. Appl. Math. Comput. ,2003,143: 233-249.
- [3] D. Guo. Multiple positive solutions of a boundary value problem for  $n$ th-order impulsive integro-differential equations in a Banach space[J]. Nonlinear Anal. ,2004,56:985-1 006.
- [4] 张兴秋. Banach 空间中一阶脉冲微分方程的无穷边值[J]. 应用数学, 2005,18(1): 153-160.
- [5] 郭大钧. 非线性泛函分析[M]. 山东:山东科学技术出版社,2004.
- [6] D. Guo. Existence of solutions for  $n$ th order impulsive integro-differential equations in a Banach space[J]. Nonlinea Anal. ,2001, 47:741-752.
- [7] D. Guo, V. Lakshmikantham, X. Z. Liu. Nonlinear Integral Equations in Abstract Spaces[M]. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, 1996.

## Boundary Value Problem on the Nth-order Nonlinear Impulsive Integro-differential Equations in Banach Spaces

LIU Zhuan-zhuan, LIU Mao-xing, HAN Wei

(College of Science, North University of China, Taiyuan 030051, China)

**Abstract:** In this paper, by means of transforming the integro-differential equations into a integral equation, using the measure of noncompactness and *Mönch* fixed point theorem, the existence of a solution for a boundary value problem on the  $n$ th-order nonlinear impulsive integro-differential equations on unbounded domains in a Banach space is obtained.

**Key words:** Banach space; impulsive integro-differential equation; boundary value problem; measure of noncompactness; fixed point theorem

\* 文章编号:1000-5811(2012)02-0110-05

# 一类弦方程的逆谱问题

张婷婷

(陕西师范大学 数学与信息科学学院, 陕西 西安 710062)

**摘 要:**作者讨论弦方程的逆谱问题. 利用 Fourier 理论, 证明了当密度函数是分段常值的正函数时, 在对分段区间重新排列的意义下, 一组谱不仅可确定密度函数, 同时也能确定边界条件. 如果问题同时满足关于区间中点的对称性, 则半组谱即可确定密度函数和边界条件.

**关键词:**弦方程; 特征值; 逆问题; Fourier 余弦变换

**中图法分类号:**O175.3      **文献标识码:**A

## 0 引 言

Sturm-Liouville 理论经过一个半世纪的发展日趋完善, 其应用已涉足于数学物理、工程技术、地球物理和气象物理等各类应用及理论学科. 一端固定的非均匀的张紧弦的自由振动问题可描述为 Sturm-Liouville 弦方程问题  $L(\rho, h)$  (简称 SL 弦问题).

$$y''(x) + \lambda \rho^2(x)y(x) = 0, \quad x \in [0, 1] \tag{1}$$

$$y(0) = 0, \quad y'(1) - h y(1) = 0 \tag{2}$$

其中  $\rho(x)$  称为密度函数,  $h \in R$ . 记其特征值为  $\{\lambda_n^D\}$ .

SL 理论的另一个重要分支是逆谱问题, 它研究由怎样的特征值信息可唯一确定 SL 系统. 这类问题是 1929 年 Ambarzumyan<sup>[1]</sup> 首先提出的, 他证明了若势函数  $-y'' + qy = \lambda y$  在边界条件  $y'(0) = y'(a) = 0$  下的谱为  $\frac{n^2 \pi^2}{a^2} (n \in Z^+ \cup \{0\})$ , 则必有  $q \equiv 0$ . 1946 年 Borg<sup>[2]</sup> 证明了在势函数对称, 即  $q(a-x) = q(x)$  的情况下, 一组谱可以确定势函数  $q(x)$ ; 而在一般情况下确定势函数需要两组谱. 其后对势方程的逆问题涌现出大量推广性结论<sup>[3-5]</sup>. 其后也有许多对 SL 其它特殊方程平行的结论. 比如, 1949 年 Robert 的文章<sup>[6]</sup> 中讨论方程为  $-[p(x)y'(x)]' + q(x)y(x) = \lambda y(x)$  的 SL 逆问题. 证明了当  $p(x)$  为分段常值的正函数时, 在对分段区间重新排列的意义下, 一组谱可确定  $p(x)$ . 对弦方程的逆问题的 Ambarzumyan 结果, Borg 的文章<sup>[2]</sup> 中就给出了反例. 2007 年 Shen 的文章<sup>[7]</sup> 中研究弦方程问题的 Ambarzumyan 结果时, 证明了即使已知  $\rho(x)$  在  $[0, a]$  上是分段连续的正函数, 也无法确定  $\rho(x) = 1$ .

本文的目的是将文献[6]的结论推广到弦方程. 我们将证明当密度函数是分段常值的正函数时, 一组谱不仅在对分段区间重新排列的意义下可确定密度函数, 而且能同时确定边界条件. 进一步地, 如果问题同时具有对称性, 则半组谱即可确定密度函数和边界条件.

## 1 预备知识

假设弦方程中的密度函数  $\rho(x)$  是  $[0, 1]$  上分段常值的正函数. 具体地, 设闭区间  $[0, 1]$  被分割成  $N$  个区间:  $0 = x_0 < x_1 < \cdots < x_N = 1$ , 在每个区间  $(x_n, x_{n+1})$  内  $\rho^2(x)$  的值为常数  $\rho_n^2 > 0 (n = 0, \cdots, N-1)$ . 记  $l_n = x_{n+1} - x_n$ , 且令  $\xi_n = l_n \rho_n, n = 0, \cdots, N-1$ , 并设  $\xi_0 < \xi_1 < \cdots < \xi_{N-1}$ , 引入向量  $B_i = (\beta(0, i), \beta(1, i), \cdots, \beta(N-1, i))$ , 其分量满足  $\beta(0, i) = 1, \beta(m, i) = \pm 1, (m = 1, 2, \cdots, N-1)$ .

\* 收稿日期: 2012-01-05  
基金项目: 国家自然科学基金项目(10771165)  
作者简介: 张婷婷(1985—), 女, 山西省长治市人, 在读硕士生, 研究方向: 微分算子的谱与逆谱理论

如文献[6],我们还需做以下假设:

(C1)  $A_i := \left| \sum_{m=0}^{N-1} \beta(m, i) \xi_i \right|$  互不相同.

(C2) 若记  $\mu_n = \rho_n / \rho_{n+1}$  ( $n=0, \dots, N-2$ ), 则  $\mu_n \neq 1$ .

为书写方便,记  $\omega = \sqrt{\lambda}$ .

设  $\varphi(x, \lambda)$  是方程(1) 满足初始条件  $y(0)=0, y'(0)=1$  的基本解,则由  $\rho(x)$  的结果知,在区间  $(x_n, x_{n+1})$  内  $\varphi(x, \lambda)$  可表示为:

$$\varphi_n(x, \lambda) = C_n \cos(\rho_n \omega [x - x_n]) + (D_n / \omega) \sin(\rho_n \omega [x - x_n]) \quad (3)$$

其中  $C_n$  和  $D_n$  为待定常数,  $\varphi(x, \lambda)$  和  $\varphi'(x, \lambda)$  都是  $\lambda = \omega^2$  的阶为  $\frac{1}{2}$  的解析函数.

由  $\varphi(x, \lambda)$  和  $\varphi'(x, \lambda)$  在  $x \in [0, 1]$  上的连续性,可计算出  $C_n$  和  $D_n$  与  $C_{n+1}$  和  $D_{n+1}$  之间的线性映射关系

$$\begin{pmatrix} C_{n+1} \\ D_{n+1} \end{pmatrix} = T_n \begin{pmatrix} C_n \\ D_n \end{pmatrix} \quad (4)$$

其中

$$T_n = \begin{pmatrix} \cos(\rho_n \omega l_n) & \sin(\rho_n \omega l_n) / \omega \\ -\omega \rho_n \sin(\rho_n \omega l_n) / \rho_{n+1} & \rho_n \cos(\rho_n \omega l_n) / \rho_{n+1} \end{pmatrix} \quad (5)$$

记

$$G(\omega) = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \omega \end{pmatrix}, \quad G^{-1}(\omega) = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1/\omega \end{pmatrix} \quad (6)$$

则

$$T_n = G(\omega) \begin{pmatrix} \cos(\rho_n \omega l_n) & \sin(\rho_n \omega l_n) \\ -\rho_n \sin(\rho_n \omega l_n) / \rho_{n+1} & \rho_n \cos(\rho_n \omega l_n) / \rho_{n+1} \end{pmatrix} G^{-1}(\omega) \quad (7)$$

为了由  $C_0$  和  $D_0$  得到  $C_n$  和  $D_n$ , 我们需要计算  $T_n \cdots T_0$ .

**引理 1.1**

$$\begin{aligned} & \begin{pmatrix} \cos(b) & \sin(b) \\ -\mu_b \sin(b) & \mu_b \cos(b) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos(a) & \sin(a) \\ \mp \mu_a \sin(a) & \pm \mu_a \cos(a) \end{pmatrix} \\ &= \frac{1 \pm \mu_a}{2} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \mu_b \end{pmatrix} M(a+b) + \frac{1 \mp \mu_a}{2} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -\mu_b \end{pmatrix} M(a-b) \end{aligned} \quad (8)$$

其中  $M(t) = \begin{pmatrix} \cos(t) & \sin(t) \\ -\sin(t) & \cos(t) \end{pmatrix}$ .

该引理可以由三角恒等式直接证明(也可参考文献[6]的引理 2.1).

**引理 1.2**  $\forall n > 0, T_n \cdots T_0 = G(\omega) \left[ \sum_{i \in I_n} C_i \right] G^{-1}(\omega)$ , 其中  $I_n$  是使得  $B_i$  为互不相同向量的指标集, 且  $C_i$  由下式给出:

$$C_i = 2^{-n} \left[ \prod_{m=0}^{n-1} (1 + \beta(m, i) \beta(m+1, i) \mu_m) \right] \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \beta(n, i) \mu_n \end{pmatrix} M \left[ \omega \sum_{m=0}^n \beta(m, i) \xi_m \right] \quad (9)$$

该引理可由数学归纳法结合引理 1.1 证得(也可参考文献[6]的引理 2.2).

**引理 1.3** Sturm-Liouville 弦方程问题  $L(\rho, h)$  的特征函数  $F_0(\lambda)$  可表示为

$$F_0(\lambda) = \sum_{i \in I_{N-1}} e_i \{ \beta(N-1, i) \mu_{N-1} / \rho_0 \cos(f_i \omega) + h \sin(f_i \omega) / [\rho_0 \omega] \}, \quad (10)$$

其中  $e_i = 2^{-N+1} \prod_{m=0}^{N-2} [1 + \beta(m, i) \beta(m+1, i) \mu_m]$ , 而  $f_i = \sum_{m=0}^{N-1} \beta(m, i) \xi_m$ , ( $i \in I_{N-1}$ ).

**证明** 由初始条件  $\varphi(0, \lambda) = 0, \varphi'(0, \lambda) = 1$  知  $C_0 = 0, D_0 = 1/\rho_0$ . 由(3) 和(4) 可得在最后一个区间  $(x_{N-1}, x_N)$  内的解可表示为

$$\begin{aligned} \varphi_{N-1}(x) &= (\cos(\rho_{N-1} \omega [x - x_{N-1}]) \sin(\rho_{N-1} \omega [x - x_{N-1}]) / \omega) \begin{pmatrix} C_{N-1} \\ D_{N-1} \end{pmatrix} \\ &= (\cos(\rho_{N-1} \omega [x - x_{N-1}]) \sin(\rho_{N-1} \omega [x - x_{N-1}]) / \omega) T_{N-2} \cdots T_0 \begin{pmatrix} 0 \\ 1/\rho_0 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

令  $\tau(\lambda) = T_{N-2} \cdots T_0 = \begin{pmatrix} \tau_{11} & \tau_{12} \\ \tau_{21} & \tau_{22} \end{pmatrix}$ , 则有:

$$\varphi_{N-1} = \tau_{12}/\rho_0 \cdot \cos(\rho_{N-1}\omega[x - x_{N-1}]) + \tau_{22}/\rho_0 \cdot \sin(\rho_{N-1}\omega[x - x_{N-1}])/\omega,$$

从而可得

$$\varphi'_{N-1}(x) = -\tau_{12}\rho_{N-1}\omega/\rho_0 \cdot \sin(\rho_{N-1}\omega[x - x_{N-1}]) + \tau_{22}\rho_{N-1}\omega/\rho_0 \cdot \cos(\rho_{N-1}\omega[x - x_{N-1}]),$$

于是

$$\begin{pmatrix} \varphi_{N-1}(1, \lambda) \\ \varphi'_{N-1}(1, \lambda) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\rho_{N-1}\omega l_{N-1}) & \sin(\rho_{N-1}\omega l_{N-1}) \\ -\rho_{N-1}\omega \sin(\rho_{N-1}\omega l_{N-1}) & \rho_{N-1}\cos(\rho_{N-1}\omega l_{N-1}) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \tau_{12}/\rho_0 \\ \tau_{22}/\rho_0 \end{pmatrix}.$$

记  $\rho_{N=1}, \mu_{N-1} = \rho_{N-1}$ , 则有

$$\begin{pmatrix} \varphi_{N-1}(1, \lambda) \\ \varphi'_{N-1}(1, \lambda) \end{pmatrix} = T_{N-1} \begin{pmatrix} \tau_{12}/\rho_0 \\ \tau_{22}/\rho_0 \end{pmatrix} = T_{N-1} T_{N-2} \cdots T_0 \begin{pmatrix} 0 \\ 1/\rho_0 \end{pmatrix} \quad (11)$$

由边界条件(2)可知,  $L(\rho, h)$  的特征函数为

$$F_0(\lambda) = h\varphi_{N-1}(1, \lambda) - \varphi'_{N-1}(1, \lambda) = (h - 1) \begin{pmatrix} \varphi_{N-1}(1, \lambda) \\ \varphi'_{N-1}(1, \lambda) \end{pmatrix} = (h - 1) T_{N-1} T_{N-2} \cdots T_0 \begin{pmatrix} 0 \\ 1/\rho_0 \end{pmatrix},$$

再由引理 1.2 可得

$$F_0(\lambda) = (h - 1)G(\omega) \left[ \sum_{i \in I_{N-1}} C_i \right] G^{-1}(\omega) \begin{pmatrix} 0 \\ 1/\rho_0 \end{pmatrix} \quad (12)$$

将(6)和(9)代入后整理即得(10), 得证.

**引理 1.4** 存在非零常数  $c$ , 使得

$$F_0(\lambda) = c \prod_{n=1}^{\infty} \left( 1 - \frac{\lambda}{\lambda_n^D} \right) \quad (13)$$

证明 因为  $\varphi(x, \lambda)$  和  $\varphi'(x, \lambda)$  都是  $\lambda = \omega^2$  的阶为  $\frac{1}{2}$  的解析函数, 所以  $F_0(\lambda) = h\varphi_{N-1}(1, \lambda) - \varphi'_{N-1}(1, \lambda)$  也是  $\lambda = \omega^2$  的阶为  $\frac{1}{2}$  的解析函数. 又  $\{\lambda_n^D\}$  是  $F_0(\lambda)$  的全部零点, 则由 Hadamard 分解定理[8]可得引理结论, 得证.

## 2 定理及证明

为了文章中叙述的方便, 我们作如下定义:

**定义 2.1** 若  $\{f_i\}_{i \in I_{N-1}} = \{\tilde{f}_i\}_{i \in I_{N-1}}$ , 则对于  $\{f_i\}_{i \in I_{N-1}}$  中的每一个元素  $f_i$  可在  $\{\tilde{f}_i\}_{i \in I_{N-1}}$  中找到一个相应的元素  $\tilde{f}_i$  使得  $f_i = \tilde{f}_i$ .

注:  $f_i$  与  $\tilde{f}_i$  在文章中只表示值相同, 与  $\{f_i\}_{i \in I_{N-1}}$  和  $\{\tilde{f}_i\}_{i \in I_{N-1}}$  的排列次序无关. 且文章中  $\mu_i = \tilde{\mu}_i, \xi_i = \tilde{\xi}_i, \rho_i = \tilde{\rho}_i$  和  $S_i = \tilde{S}_i$  的含义与上述定义一致.

设  $\tilde{\rho}(x)$  是  $[0, 1]$  上弦问题的另一个分段常值的正函数, 它满足与  $\rho(x)$  相同的条件,  $\tilde{h} \in R$ . 记弦问题  $L(\tilde{\rho}(x), \tilde{h})$  为  $\tilde{\rho}(x)$  和  $\tilde{h}$  所生成的弦问题, 且其特征值集合为  $\{\lambda_h^D\}$ .

**定理 2.1** 若  $\lambda_n^D = \tilde{\lambda}_n^D (n=0, 1, \cdots)$ , 则  $h = \tilde{h}$ , 且  $\{\rho_i\}_{i=0}^{N-1} = \{\tilde{\rho}_i\}_{i=0}^{N-1} (x \in [0, 1])$ .

证明 由引理 1.3, 弦方程(1)-(2)的特征函数  $F_0(\lambda)$  与文献[6]中所考虑的特征函数类似. 所以按照文献[6]中定理 1 的证明方法, 可以得该定理. 即为了证明  $\{\rho_i\}_{i=0}^{N-1} = \{\tilde{\rho}_i\}_{i=0}^{N-1}$ , 我们采用 Fourier 余弦变换.

令  $f(v) = \lim_{L \rightarrow \infty} \left( \frac{2}{L} \right) \int_1^L F_0(\lambda) \cos(v\omega) d\omega$ , 其中  $v > 0$ , 则由引理 3 得

$$f(v) = \lim_{L \rightarrow \infty} \left( \frac{2}{L} \right) \int_1^L \sum_{i \in I_{N-1}} e_i \{ \beta(N-1, i) \mu_{N-1} / \rho_0 \cos(f_i \omega) + h / [\rho_0 \omega] \sin(f_i \omega) \cos(v\omega) \} d\omega \quad (14)$$

由 Fourier 理论可知, 当且仅当  $v = |f_i| (i \in I_{N-1})$  时,  $f(v) = \frac{e_i \beta(N-1, i) \mu_{N-1}}{\rho_0} \neq 0$ . 类似地有, 当且仅当  $v = |\tilde{f}_i| (i \in I_{N-1})$  时,

$$\tilde{f}(v) = \lim_{L \rightarrow \infty} \left( \frac{2}{L} \right) \int_1^L \tilde{F}_0(\lambda) \cos(v\omega) d\omega = \frac{\tilde{e}_i \tilde{\beta}(N-1, i) \tilde{\mu}_{N-1}}{\tilde{\rho}_0} \neq 0$$



由引理 4 知,存在非零常数  $C$  使得  $F_0(\lambda) = C\tilde{F}_0(\lambda)$ , 所以对任何  $v > 0$  都有,

$$f(v) = C\tilde{f}(v) \text{ 且 } \{ |f_i| \}_{i \in I_{N-1}} = \{ |\tilde{f}_i| \}_{i \in I_{N-1}} \quad (15)$$

令  $S = \sum_{m=0}^{N-1} \xi_m, \tilde{S} = \sum_{m=0}^{N-1} \tilde{\xi}_m$ . 另对所有的  $1 \leq k \leq N-1$ , 记  $S_k = S - 2\xi_k, \tilde{S}_k = \tilde{S} - 2\tilde{\xi}_k$ . 则由(15) 和  $f_i$

$$= \sum_{m=0}^{N-1} \beta(m, i) \xi_m. \text{ 并注意到所有 } \xi_m > 0 \text{ 和 } I_{N-1} \text{ 是有限集, 就有}$$

$$S = \max\{f_i \mid i \in I_{N-1}\} = \max\{\tilde{f}_i \mid i \in I_{N-1}\} = \tilde{S} \quad (16)$$

再由  $\{\xi_m\}$  的递增假设可知

$$S_0 = -\xi_0 + \xi_1 + \cdots + \xi_{N-1} = S - 2\xi_0 \quad (17)$$

由观察可知:  $S_0$  是某个  $f_i (i \in I_{N-1})$  的相反数, 即  $S_0 = -(\xi_0 - \xi_1 - \cdots - \xi_{N-1}) = -f_{i_0}$ . 因为  $S_0 > 0$  和(15), 故当  $i \in I_{N-1}$  时, 可找到某个  $\tilde{f}_{i_0}$  使  $\tilde{S}_0 = -(\tilde{\xi}_0 - \tilde{\xi}_1 - \cdots - \tilde{\xi}_{N-1}) = -\tilde{f}_{i_0} = -f_{i_0}$ , 即

$$S_0 = \tilde{S}_0 \quad (18)$$

又因为  $2\xi_0 = S - S_0 = \tilde{S} - \tilde{S}_0 = 2\tilde{\xi}_0$ , 由(16)和(18)得  $\xi_0 = \tilde{\xi}_0$ .

设  $m \leq k$  时, 有  $\{\xi_m\} = \{\tilde{\xi}_m\} (m=0, 1, \cdots, k)$ , 则当  $m=k+1$  时, 可找到与  $S_{k+1}$  对应一个  $f_{i_{k+1}}$  使得  $S_{k+1} = \xi_0 + \cdots + \xi_k - \xi_{k+1} + \cdots + \xi_{N-1} = f_{i_{k+1}}$ . 同理可找到与  $\tilde{S}_{k+1}$  对应的一个  $\tilde{f}_{i_{k+1}}$  使得  $\tilde{S}_{k+1} = \tilde{\xi}_0 + \cdots + \tilde{\xi}_k - \tilde{\xi}_{k+1} + \cdots + \tilde{\xi}_{N-1} = \tilde{f}_{i_{k+1}}$ . 由  $2\xi_{k+1} = S - S_{k+1} = \tilde{S} - \tilde{S}_{k+1} = 2\tilde{\xi}_{k+1}$ , 得  $\xi_{k+1} = \tilde{\xi}_{k+1}$ . 故由归纳法可确定出  $\{\xi_i\}_{i=0}^{N-1} = \{\tilde{\xi}_i\}_{i=0}^{N-1}$ .

对于  $\xi_0 \cdots \xi_{N-1}$  的每一个排列, 将产生不同的  $\sum \beta(m, i) \xi_m$  和  $e_i (i \in I_{N-1})$ , 选取  $i$  使得  $\beta(0, i) = \cdots = \beta(k, i) = 1, \beta(k+1, i) = \cdots = \beta(N-1, i) = -1$ , 有

$$\epsilon_k = e_i = 2^{-N+1} \prod_{m=0, m \neq k}^{N-2} (1 + \mu_m)(1 - \mu_k), \quad 0 \leq m \leq N-1$$

再选取另外一个  $i$  使得  $\beta(0, i) = \cdots = \beta(N-1, i) = 1$ , 有

$$e = e_i = 2^{-N+1} \prod_{m=0}^{N-2} (1 + \mu_m), \quad 0 \leq m \leq N-1$$

定义  $E_k = \epsilon_k / e$ , 则有  $E_k = (1 - \mu_k) / (1 + \mu_k)$ , 即  $\mu_k = (1 - E_k) / (1 + E_k)$ . 故选取不同的  $i$ , 我们可确定出

$\mu_0 \cdots \mu_{N-2}$ . 同样定义  $\tilde{E}_k = \tilde{\epsilon}_k / \tilde{e}$ , 则由  $f(v) = C\tilde{f}(v)$  知  $E_k = \frac{\epsilon_k}{e} = \frac{C\tilde{\epsilon}_k \tilde{\mu}_{N-1} / \tilde{\rho}_0}{C\tilde{e}_i \tilde{\mu}_{N-1} / \tilde{\rho}_0} = \frac{\tilde{\epsilon}_k}{\tilde{e}_k} = \tilde{E}_k$ , 即  $E_k = \tilde{E}_k$ . 由此可推

$\{\mu_k\} = \{\tilde{\mu}_k\} (k=0, \cdots, N-2)$ . 因为  $\rho_m = \rho_0 / [\mu_0 \cdots \mu_{m-1}]$ , 且  $\xi_m = \rho_m \xi_m$ , 我们有  $1 = \sum l_m = \sum (\xi_m / \rho_m) =$

$$\frac{1}{\rho_0} \sum_{m=0}^{N-1} \xi_m \left\{ \prod_{j=0}^{m-1} \mu_j \right\}, \quad \rho_0 = \frac{1}{\sum_{m=0}^{N-1} \xi_m \left\{ \prod_{j=0}^{m-1} \mu_j \right\}}.$$

依据  $\mu_m = \rho_m / \rho_{m+1}$ , 可推得  $\rho_0, \rho_1, \cdots, \rho_{N-1}$ , 同理可求得:  $\tilde{\rho}_0, \tilde{\rho}_1, \cdots, \tilde{\rho}_{N-1}$ .

由  $\{\xi_m\} = \{\tilde{\xi}_m\} (m=0, 1, 2, \cdots, N-1), \{\mu_k\} = \{\tilde{\mu}_k\} (k=0, \cdots, N-2)$ , 即可求出  $\{\rho_i\} = \{\tilde{\rho}_i\} (i=0, 1, \cdots, N-1)$ . 根据  $e_i = 2^{-N+1} \prod_{m=0}^{N-2} (1 + \beta(m, i)\beta(m+1, i)\mu_m), i \in I_{N-1}, \tilde{e}_i = 2^{-N+1} \prod_{m=0}^{N-2} (1 + \tilde{\beta}(m, i)\tilde{\beta}(m+1, i)\tilde{\mu}_m), i \in I_{N-1}$ , 知  $\{e_i\} = \{\tilde{e}_i\}$ . 故由  $f(v) = C\tilde{f}(v)$  可推得  $C=1$ . 因为对于  $\{f_i\}$  中的每一个值  $f_{i_k}$ , 在  $\{\tilde{f}_k\}$  中都可以找到一个相应的值  $\tilde{f}_{i_k}$  使得  $f_{i_k} = \tilde{f}_{i_k}$ , 所以有  $F_0(\lambda) - \tilde{F}_0(\lambda) = (h - \tilde{h}) \sum_{i \in I_{N-1}} \sin(f_i \omega) / [\rho_i \omega] = 0$ . 即

$$\begin{aligned} 0 &= \lim_{L \rightarrow \infty} \left( \frac{2}{L} \right) \int_1^L (F_0(\lambda) - \tilde{F}_0(\lambda)) \omega \sin(f_k \omega) d\omega \\ &= \lim_{L \rightarrow \infty} \left( \frac{2}{L} \right) \int_1^L \frac{h - \tilde{h}}{\rho_0} \sum_{i \in I_{N-1}} \sin(f_i \omega) \sin(f_k \omega) d\omega = \frac{h - \tilde{h}}{\rho_0} \end{aligned} \quad (19)$$

由此可得  $h = \tilde{h}$ .

将(2)中左端的边界条件换成 Neumann 边界条件  $y'(0) = 0$ , 对应问题的特征值记为  $\{\lambda_n^N\}$ , 则有类似地结论, 其证明与定理 2.1 类似.

**定理 2.2** 若  $\lambda_n^N = \tilde{\lambda}_n^N (N=0, 1, \cdots)$ , 则  $h = \tilde{h}$ , 且  $\{\rho_i\}_{i=0}^{N-1} = \{\tilde{\rho}_i\}_{i=0}^{N-1} (x \in [0, 1])$ .

若密度函数  $\rho(x)$  是  $[0, 1]$  上的偶函数, 即  $\rho(x) = \rho(1-x)$ , 且边界条件为:

$$y'(0) - hy(0) = 0, y'(1) + hy(1) = 0 \quad (20)$$

则有如下结论成立:

**引理 2.1** (1) 若  $\rho(x), \bar{\rho}(x)$  是  $[0, 1]$  上的偶函数, 则方程(1) 的解  $\Psi(x, \lambda_{2n+1})$  是偶函数. (2) 若  $\rho(x), \bar{\rho}(x)$  是  $[0, 1]$  上的偶函数, 则方程(1) 的解  $\Psi(x, \lambda_{2n})$  是奇函数.

**证明** 令  $t = 1 - x, z(t) = \Psi(1 - t)$ , 则有  $\Psi(x) = \Psi(1 - t)$ , 故  $z'(t) = -\Psi'(t), z''(t) = \Psi''(x)$ , 所以有

$$z''(t) + \lambda \rho^2(1 - t)z(t) = 0 \quad (21)$$

再由  $\rho(t) = \rho(1 - t)$ , 方程(21)变为

$$z''(t) + \lambda \rho^2(t)z(t) = 0 \quad (22)$$

由(20)可得

$$z'(0) - hz(0) = 0, z'(1) + hz(1) = 0 \quad (23)$$

所以  $\Psi(1 - x) = C\Psi(x)$ . 由  $\Psi(0) = \Psi(1 - 1) = C\Psi(1), \Psi(1) = \Psi(1 - 0) = C\Psi(0)$  得  $C^2 = 1$ .

根据特征函数的振动性可知: 对应于  $\lambda_{2n+1}$  的特征函数  $\Psi(x, \lambda_{2n+1})$  有偶数个零点, 故此时  $C = 1$ , 所以有  $\Psi(1 - x) = \Psi(x)$ , 即  $\Psi(x)$  是偶函数; 对应于  $\lambda_{2n}$  的特征函数  $\Psi(x, \lambda_{2n})$  有奇数个零点, 故此时  $C = -1$ , 所以有  $\Psi(1 - x) = -\Psi(x)$ , 即  $\Psi(x)$  是奇函数. 得证. (可参考文献[8]).

**定理 2.3** 若  $\rho(x), \bar{\rho}(x)$  是  $[0, 1]$  上的偶函数, 且  $\lambda_{2j} = \tilde{\lambda}_{2j} (j = 0, 1, \dots)$ , 则  $h = \tilde{h}$ , 且  $\{\rho_i\}_{i=0}^{N-1} = \{\bar{\rho}_i\}_{i=0}^{N-1} (x \in [0, 1])$ .

**证明** 由  $\rho(x) = \rho(1 - x)$  可知  $\Psi(x, \lambda_{2n}(1))$  是奇函数, 所以有  $\Psi(\frac{1}{2}, \lambda_{2n}(1)) = 0$ . 故定理 2.3 中的

Sturm-Liouville 问题变为: 
$$\begin{cases} -y'' = \lambda \rho^2 y, & x \in [\frac{1}{2}, 1] \\ y(\frac{1}{2}) = 0 \\ y'(1) - hy(1) = 0 \end{cases}$$
, 再利用定理 2.1 的证明方法可证得  $h = \tilde{h}, \rho = \bar{\rho}, x \in [\frac{1}{2}, 1]$ .

**定理 2.4** 若  $\rho(x), \bar{\rho}(x)$  是  $[0, 1]$  上的偶函数, 且  $\lambda_{2j+1} = \tilde{\lambda}_{2j+1} (j = 0, 1, \dots)$ , 则  $h = \tilde{h}$ , 且  $\{\rho_i\}_{i=0}^{N-1} = \{\bar{\rho}_i\}_{i=0}^{N-1} (x \in [0, 1])$ .

**证明** 与定理 2.3 类似地证明可求得  $[0, 1]$  上的解  $\Psi(x, \lambda)$ , 由  $\rho(x) = \rho(1 - x)$  可知  $\Psi(x, \lambda_{2n+1}(1))$  是偶函数, 故  $\Psi'(x, \lambda_{2n+1}(1))$  是奇函数. 所以有  $\Psi'(\frac{1}{2}, \lambda_{2n}(1)) = 0$ . 再利用定理 2.3 的证明方法可证得定理 2.4 的结果.

## 参 考 文 献

- [1] Ambagumyan VA. Über eine frage der eigenwertthewrie[J]. Z. Phys., 1929, 53: 690-695.
- [2] Borg G. Eine umkehrung der sturm-liouvilleschen eigenwertaufgabe[J]. Acta. Math., 1946, 78: 1-96.
- [3] Hochstadt H, Lieberman B. An inverse sturm-liouville problem with mixed given data[J]. Siam J. Appl. Math., 1978, 34: 676-680.
- [4] Hald O. Inverse eigenvalue problems[J]. Comm. Pure. Appl. Math., 1984, 37: 539-577.
- [5] Gesztesy F, Simon B. Inverse spectral analysis with partial information on the potential(ii) the case of discrete spectrum[J]. Trans. Amer. Math. Soc., 2000, 352: 2 765-2 787.
- [6] Robert Carlson. An inverse spectral problem for sturm-liouville operators with discontinuous coefficients[J]. Proceedings of the American Mathematical Society, 1994, 9: 475-484.
- [7] Chao L S. On some inverse spectral problems related to the ambarzumyan problem and the dual string of the string equation[J]. Inverse Problems, 2007, 23: 2 417-2 346.
- [8] Markushevich A I. Theory of functions of a complex variable(2ed.)[M]. Chelsea, New York, 1985.
- [9] Gladwell G. Inverse problems in vibration[M]. Second edition, kluwer academic publishers, 2004.

(下转第 121 页)



\* 文章编号:1000-5811(2012)02-0115-07

# 我国上市商业银行风险溢出效应的测度及分析研究——基于 CoVar 模型的分析

李玉贤

(上海交通大学 安泰经济与管理学院, 上海 200035)

**摘要:**对我国上市商业银行的风险溢出效应大小和方向进行测度分析,利用分位数回归法、使用已上市银行的收益率序列、采用金融风险测度的 CoVar 方法测度了我国上市银行业各银行股之间的 CoVar,以测量各上市银行与银行业整体水平之间的风险溢出效应.分析得出以下结论,即资产规模大、利润水平高的银行股整体风险溢出效应较低,抗风险能力较强;资产规模大、利润水平高的银行股在抵御银行业整体风险溢出效应上能力较强;部分经营方式灵活、在区域市场具有较强竞争力的银行在抵御银行业整体风险溢出效应上能力强于部分全国性商业银行;资产规模较大的银行股对银行业的整体风险溢出效应较大.以上结论对于银行业主管部门对上市商业银行进行金融风险监管将提供有效参考.

**关键词:**上市商业银行;风险溢出; CoVar

**中图法分类号:**F830.3

**文献标识码:**A

## 0 引言

金融危机的出现往往是由单一金融机构或经济体的风险引发进而影响整个金融系统而爆发的.随着经济全球化的加快,各金融机构和经济体之间的联系更为紧密,2007年爆发的次贷危机和2011年以来爆发的欧债危机,都是由单一金融机构或经济体引发的金融市场风险迅速扩散到其他国家和地区,最终导致席卷全球的经济危机.然而,现有对金融风险的评估缺乏对市场极端条件下金融机构或经济体之间可能存在的风险溢出效应的估量,可能会导致各金融市场风险水平被严重低估.2008年,Adrian 和 Brunnermeier 提出了条件风险价值(CoVar)方法,旨在测量单体金融机构(或金融市场)陷入困境时,其它金融机构(或金融市场)遭受损失的风险<sup>[1]</sup>.与传统的风险计量技术相比,CoVar 可以捕捉到金融机构的风险对其它金融机构的溢出效应;从统计技术而言,CoVar 从全局性的角度来测量金融机构或经济体间的风险溢出效应,是一种更为全面的测量方法.

金融危机中,大部分金融机构都难以幸免.随着经济全球化,经济金融相互依存度越来越高,金融体系的稳健运行与经济体系长期稳定较快发展紧密相关. Adrian 和 Shin(2008)利用单个金融市场和单个金融机构的历史数据、借助 VaR 方法分析了金融体系里连锁的资产负债表的风险溢出效应. Engle 和 Manganelli(2004)采用分位数回归提出了 CAViaR 方法.基于 Engle 和 Manganelli 对 CAViaR 的研究,结合学术界对分位数的已有研究,学术界发展出了 CoVar 来计量和分析金融机构间的风险溢出效应<sup>[2]</sup>.上述研究都为 CoVar 方法的提出奠定了基础.国内关于溢出效应的研究最早可追溯到2003年.赵留彦、王一鸣(2003)利用向量 GARCH 模型对我国 A、B 股进行实证检验,研究表明存在 A 股向 B 股的单向溢出效应,这种溢出效应在2001年 B 股对境内投资者开放后得到加强<sup>[3]</sup>.张瑞锋(2006)克服了以往溢出效应研究的缺陷,实证考察了多个金融市场对一个金融市场的协同波动效应.研究结果显示,考虑多个金融市场对一

\* 收稿日期:2011-12-15

作者简介:李玉贤(1986—),男,甘肃省兰州市人,在读硕士研究生,研究方向:金融风险与金融理论

个市场的协同波动溢出更合理有效,与实际更相符<sup>[4]</sup>.

1 模型相关方法介绍

1.1 条件风险价值 CoVar 相关介绍

1.1.1 条件风险价值 CoVar 理论

JP. Morgan 在 20 世纪 90 年代提出的 VaR(Value at Risk)对风险测度理论与实践产生了革命性的影响,已经成为风险管理领域的主流技术,广泛应用于各大金融机构和金融监管部门.然而,随着风险管理实践的深入,人们逐渐发现 VaR 本身存在一定的局限性,其最大的不足在于它只能估计正常市场条件下资产组合的潜在风险,并没有涵盖极端性的市场条件,这使得 VaR 技术在金融危机时期显得特别脆弱. Adrian 和 Brunnermeier(2008)在 VaR 的基础上提出一个测量金融机构之间风险溢出的方法——CoVar. CoVar 被定义为当特定金融机构陷入困境时其他金融机构的 VaR,一般而言, VaR 和 CoVar 之间的差别体现在 CoVar 可以捕捉到其他金融机构的风险对某金融机构的溢出效应<sup>[5]</sup>.

1.1.2 CoVar 的定义

VaR(Value at Risk),即风险价值,是指在一定的持有期和给定的置信水平下,资产组合或机构造成的潜在最大损失.  $Var_q^i$  可以被定义为  $q$  的分位数,那么,

$$Pr(X^i \geq Var_q^i) = q$$

根据 Adrian 和 Brunnermeier 两位学者的定义,  $CoVar_q^{ij}$  表示为当金融机构(或金融市场) $j$  的收益率处于  $Var_q^j$  水平时,金融机构(或金融市场) $i$  的风险水平. 因此,  $CoVar_q^{ij}$  也可以用条件概率分布的  $q$  分位数来定义,即,

$$Pr(X^i \geq CoVar_q^{ij} \mid X^j = Var_q^j) = q$$

其中,  $0 < q < 1$  表示概率.  $CoVar_q^{ij}$  是  $i$  的总风险价值,包含了无条件风险价值和溢出风险价值,为了更真实地反映  $j$  的风险事件对  $i$  的风险溢出大小,我们定义溢出风险价值为  $\Delta CoVar_q^{ij}$ ,表达式为:

$$\Delta CoVar_q^{ij} = CoVar_q^{ij} - Var_q^i$$

$\Delta CoVar_q^{ij}$  反映了  $j$  对  $i$  的风险溢出大小,但由于不同金融机构的无条件风险价值 Var 相差很大,  $\Delta CoVar_q^{ij}$  不能充分反应金融机构  $j$  对  $i$  的风险溢出程度,因此,需要对  $\Delta CoVar_q^{ij}$  进行标准化处理,计算出 CoVar 与无条件风险价值 Var 的溢出率,表达式为:

$$\%CoVar_q^{ij} = (\Delta CoVar_q^{ij} / Var_q^i) \times 100\% = [(CoVar_q^{ij} - Var_q^i) / Var_q^i] \times 100\%$$

$\%CoVar_q^{ij}$  去除了量纲的影响,能更为准确反映金融机构(金融市场) $j$  发生风险事件时对  $i$  的风险溢出程度.

1.2 分位数回归方法(Quantile Regression 简称 QR)

1.2.1 分位数回归方法在风险价值方面的应用综述

众所周知,传统的线性回归方法描述了因变量均值受其他因素影响的情况,且利用普通最小二乘法(OLS)估计出来的参数具有最优线性无偏性.然而现实中的金融数据往往服从尖峰厚尾分布且存在显著的异方差,这会导致普通最小二乘法的失效.同时,普通最小二乘法只描述了总体的平均信息,不能充分体现因变量分布各部分的信息.为了弥补传统线性回归方法的不足,Koenker 和 Bassett(1978)首先提出了分位数回归的思想,分位数回归根据因变量的条件分位数对自变量进行回归,可以得到所有分位数下的回归模型<sup>[6]</sup>.因此,分位数回归能够更全面反映部分因变量受自变量的影响情况.

1.2.2 分位数回归的基本思想和系数估计

假设随机变量  $X$  的分布函数如下:

$$F(x) = Pr(X \leq x)$$

$Y$  的  $q$  分位数  $Q(q)$  定义为满足  $F(x) \geq q$  的最小  $y$  值,即:

$$Q(q) = \inf\{x : F(x) \geq q\}, 0 < q < 1$$

其中,中位数可以表示为  $q(0.5)$ ,对于  $Y(y_1, y_2, \dots, y_n)$  的一组随机样本,样本均值回归是使误差平

方和最小,即:

$$\min_{\xi \in R} \sum_{i=1}^n (y_i - \xi)^2$$

样本中位数回归是使误差绝对值之和最小,即:

$$\min_{\xi \in R} \sum_{i=1}^n |y_i - \xi|$$

一般的样本分位数回归是使加权误差绝对值之和最小,即:

$$\min_{\xi \in R} \left\{ \sum_{i: y_i \geq \xi} q |y_i - \xi| + \sum_{i: y_i < \xi} (1-q) |y_i - \xi| \right\}$$

对于回归方程

$$Y_i = \alpha + \beta X_i + \epsilon_i, i = 1, 2, \dots, n$$

若使用 QR 方法对回归方程进行估计,我们记分位点函数为:

$$Q(q | X_i) = \alpha + \beta X_i$$

在使用 QR 方法对参数  $\alpha$  和  $\beta$  进行估计时,我们一般通过求解下式得到:

$$\min_{\alpha, \beta \in R} \left\{ \sum_{i: Y_i \geq \alpha + \beta X_i} q |Y_i - \alpha - \beta X_i| + \sum_{i: Y_i < \alpha + \beta X_i} (1-q) |Y_i - \alpha - \beta X_i| \right\}$$

从上式容易看到,通过改变  $q$  就可以得到不同的分位数回归曲线(由  $\alpha$  和  $\beta$  的不同估计值代表).  $q$  反映了因变量  $Y$  的不同水平,在金融风险实践中我们可以通过选取较小的  $q$  值(如  $q=0.05$ ) 来考察收益率左尾(代表损失)受其他因素影响的情况. 分位数回归技术为我们全面理解金融风险提供了全新的方法和思路. 由于 VaR 本质上就是一个分位数,而 CoVar 本身又是 VaR,所以 CoVar 也是一个分位数,可以通过建立分位数回归来对 CoVar 进行有效分析.

## 2 应用 CoVar 方法对我国上市商业银行风险溢出效应进行实证分析

### 2.1 研究对象选择

截至 2011 年 9 月 30 日,我国上市商业银行共有 16 家,根据对上市商业银行的研究,在研究对象的首发上市时间上,农业银行和光大银行都是于 2010 年 7 月以后在上海证券交易所和香港证券交易所上市交易,交易时间过短;且农业银行和光大银行上市流通股占总股本比例分别只有 15.76% 和 35.73%,流通股比例过低,未能反映公司交易所市场整体表现,因此在研究对象里剔除上述两家银行. 可以发现其余 14 只银行股上市时间均在 2007 年 10 月 1 日之后,距离目前已经超过四年,数据量足够进行分析;且上述 14 只银行股上市流通股占总股本比例均超过 60%,流通股所占比例较高,公司股价变动能够反映公司在资本市场的整体表现. 因此,选取这 14 只银行股作为本文的研究对象.

### 2.2 实证研究过程

#### 2.2.1 数据选择方法及相关解释

(1) 本次银行股整体指数和收益率计算以 2007 年 10 月 8 日为起始日,以 2011 年 9 月 23 日为结束日,采用前复权方式,共可获得 965 个交易日数据. 在此周期内,曾经历了美国次贷危机及欧洲债务危机为主的全球新一轮金融危机,因此,此时间段内的银行股价格水平具有很强的参考意义.

(2) 由于银行股票市场的风险传导需要一定的时滞,本文选用周数据进行实证分析. 故选取每周末股价收盘价数据,一共可以获得 193 个周数据.

(3) 对于只在上海证券交易所或只在深圳证券交易所上市的银行股,其银行股价格指数计算以 2007 年 10 月 12 日星期五为基准指数 1 000.00 点,之后每周指数根据基准指数直接计算.

(4) 对于在上海(深圳)证券交易所和香港证券交易所都上市的银行股,其银行股价格指数以 2007 年 10 月 12 日星期五为基准指数 1 000.00 点,之后每周指数以各股指数根据基准指数以每周五收盘价计算的流通股股票市值除以整体流通股股本,港股市值根据每周末的人民币港币汇率计算,如果当天汇率值不存在,则以可获得的上一有效汇率值计算.



(5)对于银行股整体指数,与(3)中计算方法类似,其价格指数也以 2007 年 10 月 12 日星期五为基准指数 1 000.00 点,之后每周指数以作为研究对象的所有 14 只银行股市值之和除以整体流通股股本,股市值根据每周五的人民币港币汇率计算,如果当天汇率值不存在,则以可获得的上一有效汇率值计算。

(6)银行股整体收益率和个股收益率对每个周历史数据取对数一阶差分计算出每周收益率.为了减少计算误差,我们将所有计算结果乘以 100,即:

$$R_t = \ln(\text{第 } t \text{ 周价格指数} / \text{第 } t - 1 \text{ 周价格指数})$$

(7)股价数据及人民币港币汇率数据来源均为 wind 资讯。

2.2.2 银行股整体指数、收益率的计算及单只银行股指数、收益率计算

我们对银行股指数收益率的均值(Mean)、偏度(Skewness)和峰度(Kurtosis)进行了计算,并对各收益率序列进行了 Jarque-Bera 检验,偏度(Skewness)、峰度(Kurtosis)和 Jarque-Bera 统计检验量的计算公式如下所示:

$$s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( R_i - \frac{\bar{R}}{\sigma} \right)^3$$
$$K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( R_i - \frac{\bar{R}}{\sigma} \right)^4$$
$$J - B = \frac{n - m}{6} \left[ S^2 + \frac{1}{4} (K - 3)^2 \right]$$

其中 S 为偏度, K 为峰度, J-BJarque-Bera 统计检验量,检验数据如表 1 所示。

表 1 各银行股收益率序列统计分析表

| 股票名称  | 收益率简称      | 均值       | 偏度       | 峰度      | Jarque-Bera 检测(p 值) |
|-------|------------|----------|----------|---------|---------------------|
| 深发展 A | $R^{sf}$   | -0.311 2 | 0.022 1  | 4.164 2 | 0.004 4             |
| 浦发银行  | $R^{pl}$   | -0.356 8 | -0.172 1 | 4.290 2 | 0.000 8             |
| 民生银行  | $R^{ms}$   | -0.327 5 | 0.113 7  | 7.380 0 | 0.000 0             |
| 招商银行  | $R^{zs}$   | -0.537 1 | -0.532 4 | 5.842 7 | 0.000 0             |
| 华夏银行  | $R^{hx}$   | -0.409 3 | -0.167 0 | 4.037 6 | 0.008 6             |
| 中国银行  | $R^{zg}$   | -0.289 9 | 0.321 6  | 3.465 3 | 0.080 4             |
| 工商银行  | $R^{gs}$   | -0.274 1 | 0.048 2  | 6.169 9 | 0.000 0             |
| 兴业银行  | $R^{xy}$   | -0.478 0 | -0.102 5 | 3.715 2 | 0.109 2             |
| 中信银行  | $R^{zx}$   | -0.280 9 | -0.280 4 | 5.657 0 | 0.000 0             |
| 交通银行  | $R^{jt}$   | -0.514 1 | -0.684 9 | 6.760 6 | 0.000 0             |
| 南京银行  | $R^{nj}$   | -0.252 2 | 0.151 8  | 3.611 2 | 0.155 2             |
| 宁波银行  | $R^{nb}$   | -0.407 4 | 0.052 3  | 4.011 5 | 0.016 0             |
| 北京银行  | $R^{bj}$   | -0.448 4 | 0.112 8  | 3.848 4 | 0.045 8             |
| 建设银行  | $R^{js}$   | -0.292 5 | -0.535 6 | 8.072 3 | 0.000 0             |
| 银行指数  | $R^{yhzs}$ | -0.359 8 | -0.990 0 | 9.342 5 | 0.000 0             |

根据表 1 所示,各银行股收益率均呈现左偏,绝大多数银行股收益率峰度  $K > 3$ ,序列分布的尾部比正态分布的尾部厚,其分布呈现出“高瘦”形状,即“尖峰”,符合大多数金融事件序列“尖峰厚尾,非对称分布”的特征。

2.2.3 银行股与银行指数的双向风险溢出效应计算——以深发展为例

根据 2.2.2 中计算所得的各银行股收益率序列数据,取  $q=0.05$ ,即求置信度为 95%时的风险溢出效应.以深发展为例,建立以下  $q$  分位数回归模型,其中 sfz 代表深发展,yhzs 代表银行指数:

$$R_{0.05}^{sfz} = \hat{\alpha}^{sfz|yhzs} + \hat{\beta}^{sfz|yhzs} R_{0.05}^{yhzs}$$
$$R_{0.05}^{yhzs} = \hat{\alpha}^{yhzs|sfz} + \hat{\beta}^{yhzs|sfz} R_{0.05}^{sfz}$$
$$Var_{0.05}^{yhzs} = \hat{\alpha}^{yhzs|sfz} + \hat{\beta}^{yhzs|sfz} R_{0.05}^{sfz}$$
$$CoVar_{0.05}^{sfz|yhzs} = \hat{\alpha}^{sfz|yhzs} + \hat{\beta}^{sfz|yhzs} Var_{0.05}^{yhzs}$$

利用软件 Eviews6.0,使用分位数回归方法,取分位数  $q=0.05$ ,并且带入各银行股收益率序列数据,

我们可以得到 $\hat{\alpha}^{sz|yhzs}=-6.537\ 88,\hat{\beta}^{sz|yhzs}=0.867\ 316;\hat{\alpha}^{yhzs|sz}=-5.114\ 48,\hat{\beta}^{yhzs|sz}=0.564\ 646$ ,将参数带入模型,可以得到:

$$\begin{aligned}R_{0.05}^{sz}&=-6.537\ 88+0.867\ 316R_{0.05}^{yhzs}\\&\quad(-9.580\ 03)\quad(5.871\ 827)\\R_{0.05}^{yhzs}&=-5.114\ 48+0.564\ 646R_{0.05}^{sz}\\&\quad(-6.139\ 46)\quad(6.420\ 764)\end{aligned}$$

可以发现,各估计参数均通过了显著性检验,为了简单起见,我们将深发展收益率的样本序列按从小到大排序,取样本 0.05 分位数对应的值作为无条件风险价值,可以得到: $R_{0.05}^{sz}=-10.99$ .

根据上式,我们可以最终得到:

$$\begin{aligned}Var_{0.05}^{yhzs}&=-11.32\\CoVar_{0.05}^{sz|yhzs}&=-16.36\end{aligned}$$

类似的,我们可以通过以上方法,得到:

$$\begin{aligned}Var_{0.05}^{sz}&=-12.96\\CoVar_{0.05}^{yhzs|sz}&=-12.43\end{aligned}$$

根据以上结果,我们可以通过计算风险溢出价值 $\triangle CoVar_{0.05}^{sz|yhzs}$ 和 $\triangle CoVar_{0.05}^{yhzs|sz}$ 反映深发展和银行股价格指数间的风险溢出大小,表达式为:

$$\begin{aligned}\triangle CoVar_{0.05}^{sz|yhzs}&=CoVar_{0.05}^{sz|yhzs}-Var_{0.05}^{sz}\\\triangle CoVar_{0.05}^{yhzs|sz}&=CoVar_{0.05}^{yhzs|sz}-Var_{0.05}^{yhzs}\end{aligned}$$

但由于不同金融机构的无条件风险价值 Var 相差很大, $\triangle CoVar_{0.05}^{sz|yhzs}$ 和 $\triangle CoVar_{0.05}^{yhzs|sz}$ 不能充分反应深发展和银行股价格指数间的相互风险溢出程度,因此,需要对其进行标准化处理,计算出 CoVar 与无条件风险价值 Var 的溢出率,表达式为:

$$\begin{aligned}\%CoVar_{0.05}^{sz|yhzs}&=[(CoVar_{0.05}^{sz|yhzs}-Var_{0.05}^{sz})/Var_{0.05}^{sz}]\times 100\%\\\%CoVar_{0.05}^{yhzs|sz}&=[(CoVar_{0.05}^{yhzs|sz}-Var_{0.05}^{yhzs})/Var_{0.05}^{yhzs}]\times 100\%\end{aligned}$$

这种做法的优点能更为准确的反映深发展与银行股价格指数间的风险溢出程度,代入之前所算出的数据,深发展与银行股指数之间的相互风险溢出效应数值如表 2 所示.

表 2 深发展与银行股指数之间的相互风险溢出效应数值表

| 深发展                                |        | 银行股指数                              |        |
|------------------------------------|--------|------------------------------------|--------|
| $Var_{0.05}^{sz}$                  | -12.96 | $Var_{0.05}^{yhzs}$                | -11.32 |
| $CoVar_{0.05}^{sz yhzs}$           | -16.36 | $CoVar_{0.05}^{yhzs sz}$           | -12.43 |
| $\triangle CoVar_{0.05}^{sz yhzs}$ | -3.40  | $\triangle CoVar_{0.05}^{yhzs sz}$ | -1.11  |
| $\%CoVar_{0.05}^{sz yhzs}$         | 20.78% | $\%CoVar_{0.05}^{yhzs sz}$         | 8.93%  |

由表 2 可以发现:

(1)使用 Var 方法测量金融风险都要小于使用 CoVar 方法所测量的风险,说明使用 Var 方法对风险的估计过小,尤其是在极端情况下对风险估计的不足.

(2)通过对风险溢出效应进行标准化,可以发现当银行业整体发生极端情况时深发展对整个银行业的溢出效应要大大强于深发展发生极端情况时对银行业整体风险的溢出效应,这也与深发展在整体银行业中的地位特征是相符合的.

综上所述,深发展与整体银行股之间存在着双向的风险溢出效应,整体银行股对深发展的风险溢出效应要远强于深发展对整体银行股的风险溢出效应.在风险溢出方向上,二者之间的风险溢出效应都是正向的.以上数据符合我们对中国银行业的一般判断. CoVar 将风险溢出效应转化为具体数字,具有很强的操作性,金融机构和监管部门可以借助 CoVar 来评估其他金融机构(或金融市场)发生风险事件时对本金融机构(或金融市场)的溢出影响程度,提高决策准确性,降低决策风险.

2.3 银行股风险溢出效应实证结果分析

与深发展的风险溢出效应方法类似,我们对各支银行股收益率进行了分位数回归即风险溢出效应的

测量,得到以下图形,用来分析风险溢出效应.

2.3.1 当银行业陷入困境时,各银行股总风险价值

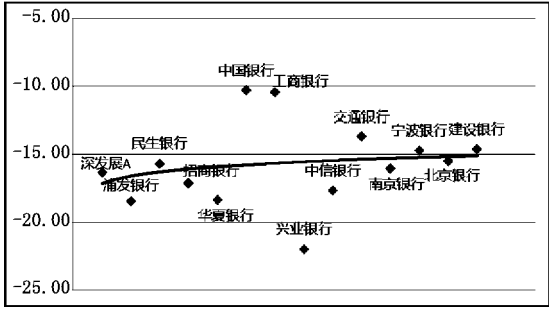


图 1 当银行业陷入困境时,各银行股总风险价值

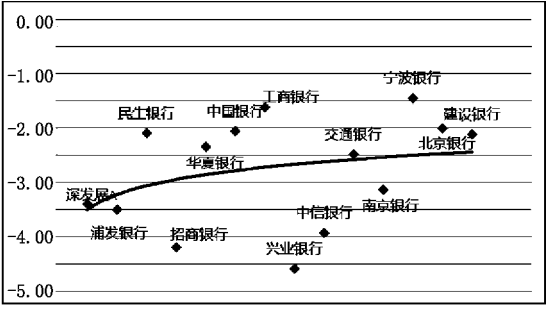


图 2 当银行业陷入困境时,各银行股风险溢出价值

便于分析,我们在图 1 中加入一条趋势线,在趋势线上方的银行如中国银行、工商银行和交通银行,其总风险价值水平较低;而在趋势线下方的兴业银行、华夏银行等其风险水平较高.根据资料可以发现资产规模大的银行在银行业陷入困境时,抵御风险能力较强.因此,得到结论 1 如下:

资产规模大、利润水平高的银行股整体风险溢出效应较低,抗风险能力较强.

2.3.2 当银行业陷入困境时,各银行股风险溢出价值

便于分析,我们同样在图 2 中加入一条趋势线,在趋势线上方的银行如中国银行、工商银行、交通银行、民生银行和宁波银行,其风险溢出价值较低;而在趋势线下方的兴业银行、招商银行、中信等其风险溢出价值较高.根据资料可以发现不仅资产规模大的银行在银行业陷入困境时,抵御风险能力较强,还可以发现一些区域性商业银行如宁波银行和民生银行,虽然整体风险水平较高,但其风险溢出价值较低,说明在抵御极端方面也具有较强的实力.因此,得出结论 2 和结论 3 如下:

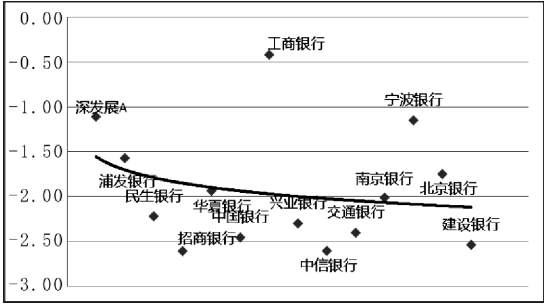


图 3 当各只银行股陷入困境时,对整体银行业的风险溢出价值

资产规模大、利润水平高的银行股在抵御银行业整体风险溢出效应上能力较强.

部分经营方式灵活、在区域市场具有较强竞争力的银行在抵御银行业整体风险溢出效应上能力强于部分全国性商业银行.

2.3.3 当各只银行股陷入困境时,对整体银行业的风险溢出价值

便于分析,我们同样在图 3 中加入一条趋势线,在趋势线下方的银行如招商银行、中国银行、中信银行和建设银行等,当各只银行股陷入困境时,对整体银行业的风险溢出价值较高,而上述银行都是资产规模较大的全国性商业银行,因此产生以上效果也符合我们对中国银行业的一般判断.因此,可以得出结论 4 如下:

资产规模较大的银行股对银行业的整体风险溢出效应较大.

3 结束语

对于金融监管部门而言,CoVar 能够用来捕捉单个金融机构发生风险事件时对整个金融体系的溢出效应.这使得金融监管不再拘泥于单个金融机构的风险监管,而是着眼于整个金融体系潜在的风险变化.本文利用分位数回归法和我国已上市银行的收益率序列,测度了我国上市银行业各银行股之间的 CoVar,以测量银行业之间的风险溢出效应.

本文得出的结论与国内银行的一般事实相符,为银行业监管部门对银行部门进行监督和管理提供有效参考.金融监管部门可以根据各金融机构对系统风险的贡献度进行有区别的管理,对风险溢出值较高的金融机构实施更为严厉的监管,确保整个金融体系的稳定,从而抑制金融危机时的金融风险的扩散蔓延.

参 考 文 献

[1] Adrian,Brunnermeier. “CoVar”[R]. Federal Reserve Bank of New York Staff Reports,2008,9.  
[2] 毛 菁, 罗 猛. 银行业与证券业间风险外溢效应研究——基于 CoVar 模型的分析[J]. New Finance, 2011, (05): 27-31.  
[3] 赵留彦, 王一鸣. AB 股之间的信息流动与波动溢出[J]. 金融研究, 2003,(10): 37-52.  
[4] 张瑞锋. 金融市场协同波动溢出分析及实证研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2006, (10): 141-149.  
[5] Adrian,Brunnermeier. “CoVar”[R]. Federal Reserve Bank of New York Staff Reports,2008,9.  
[6] 谭治国, 蔡乙萍. 分位数回归在风险管理中的应用[J]. 统计与决策, 2006, (17): 23-24.

Measurement and Analysis of Risk Spillover Effects on  
Commercial Bank in China——Based on CoVar Model

LI Yu-xian

(Antai College of Economics and Management, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200035, China)

**Abstract:** This paper aims at measuring the size and direction of the risk spillover effects of China’s listed commercial banks. This paper uses quantile regression method, and the return series of our listed banks, to measures the CoVar between those listed banks in China, and then the risk spillover effects. This paper finds out that those listed banks with large-scale assets and high profits have lower risk spillover effects and higher anti-risk ability, those banks with flexible operation pattern and strong competitive advantages in regional markets have relatively stronger ability to withstand the risk spillover effect compared to the national commercial banks, banks with large-scale assets have larger spillover risk effects to the banking sector. The above mentioned conclusions provide useful advices and references for the financial risk management of the bank regulatory commission.

**Key words:** commercial bank; risk spillover effects; CoVar

❦  
(上接第 114 页)

Inverse Spectrum Problem of a String Equation

ZHANG Ting-ting

(College of Mathematics and Information Science, Shaanxi Normal University, Xi’an 710062, China)

**Abstract:** This paper discusses the inverse spectrum problem of the string equation. By using fourier theory, it proved that a group of spectrums not only can determine density function, but also can determine boundary condition, when density function is piecewise constant positive function on piecewise interval rearranged sense. If the problem at the same time satisfies the symmetry about interval, half group of spectrums can determine the density function and boundary condition.

**Key words:** string equation; eigenvalue; inverse problem; fourier cosine transform

\* 文章编号:1000-5811(2012)02-0122-04

# 上证指数基于 SVD 的组合预测模型

刘常明,张德生,李金凤,任世远

(西安理工大学 理学院, 陕西 西安 710054)

**摘 要:**股票指数时间序列具有非平稳和高噪声等特点,在进行股票指数预测时,由于噪声的影响,单一模型的预测精度往往不高.作者建立了基于奇异值分解(SVD)的 BP 神经网络和 ARMA-GARCH 组合预测模型,该模型将原序列分解为趋势部分和噪声部分,分别进行研究.实证研究结果表明:该模型的拟合、预测精度较高.

**关键词:**奇异值分解; BP 神经网络; ARMA-GARCH 模型

**中图法分类号:**O211.64 **文献标识码:**A

## 0 引 言

对于股票投资者来说,获得高额的投资收益一直是他们追求的目标,如果能对股价进行准确的预测,就可以避开市场风险,同时,政府部门也可以对股票市场进行有效的监管.因此,对股票市场进行建模预测研究,对于经济和金融市场的发展具有非常重要的意义.然而,股票市场受到诸如国家政策、国际环境、经济形势、政局形势以及投资者心理等许多因素的影响<sup>[1]</sup>,具有高度的不确定性和高噪声等特点.因此,在对股价进行建模预测分析时,有必要将噪声部分从原始序列中分离出来进行研究,对趋势部分建立 BP 神经网络模型;对随机部分建立 ARMA-GARCH 模型,这样可以充分发挥各自的优点.

## 1 奇异值分解(SVD)滤波算法<sup>[2]</sup>

对于零均值化的序列  $S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ , 奇异值分解(SVD)滤波的步骤如下:

(1) 构造矩阵

$$\Pi = \begin{bmatrix} S_1 & S_2 & \cdots & S_h \\ S_2 & S_3 & \cdots & S_{h+1} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ S_N & S_{N+1} & \cdots & S_n \end{bmatrix}_{N \times h} \tag{1}$$

其中,  $h = [(n+1)/2]$ ,  $[\cdot]$  表示取整数,  $N = n - h + 1$ .

(2) 对  $\Pi$  进行奇异值分解

$$\Pi = UTV^T \tag{2}$$

其中,  $U, V$  分别是  $N \times N$  和  $h \times h$  正交矩阵.

$$\Gamma = \begin{bmatrix} \Delta_{q \times q} & O_{q \times (h-q)} \\ O_{(N-q) \times q} & O_{(N-q) \times (h-q)} \end{bmatrix}_{N \times h} \tag{3}$$

其中,  $\Delta_{q \times q} = \text{diag}(\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_q)$ ,  $\delta_i (i = 1, 2, \dots, q)$ , 称  $\Pi$  为矩阵的奇异值, 且  $\delta_1 \geq \delta_2 \geq \dots \geq \delta_q, q \leq \min(N, h)$ , 是矩阵  $\Pi$  的秩, 若  $\Pi$  列满秩, 则  $h = q$ .

(3) 门限控制

\* 收稿日期:2012-01-15  
作者简介:刘常明(1984—),男,山西省大同县人,在读硕士研究生,研究方向:应用概率统计



设定门限值  $\eta(0 < \eta < 1)$ ,解关于  $r$  的方程:

$$\eta=\frac{\sum_{i=1}^r\delta_i}{\sum_{i=1}^q\delta_i}\tag{4}$$

得到正整数  $r$ ,将其余  $q-r$  个奇异值置为 0,得到:

$$\Gamma'=\begin{bmatrix}\Delta_{r\times r}&O_{r\times(h-r)}\\O_{(N-r)\times r}&O_{(N-r)\times(h-r)}\end{bmatrix}_{N\times h}\tag{5}$$

其中,  $\Delta_{r\times r}=\text{diag}(\delta_1,\delta_2,\cdots,\delta_r)$ .

(4) 重构序列

重构矩阵:

$$\Pi'=U\Gamma'V^T=\begin{bmatrix}S_1'&S_2'&\cdots&S_h'\\S_2'&S_3'&\cdots&S_{h+1}'\\\cdots&\cdots&\cdots&\cdots\\S_N'&S_{N+1}'&\cdots&S_n'\end{bmatrix}_{N\times h}\tag{6}$$

对  $\Pi'$  中下标相同的元素求平均得到趋势序列  $S'=\{S_1',S_2',\cdots,S_n'\}$ ,噪声序列为  $S-S'$ .

2 BP 神经网络与 ARMA-GARCH 模型

2.1 BP 神经网络

BP 神经网络是目前最成熟、应用最广泛的神经网络,它是多层非线性映射网络,采用最小误差学习方式<sup>[3]</sup>.在学习的过程中实现输入模式与输出模式之间的非线性映射.BP 神经网络是前馈神经网络,由输入层、隐层和输出层组成,层内之间没有信息的传递,前一层的输出是下一层的输入,在学习过程中不断调节网络的连接权,使得最小均方误差达到所设定的要求,典型的 BP 神经网络结构如图 1 所示.

2.2 ARMA-GARCH 模型

回归模型中一个重要假设就是残差是同方差的,它保证了回归系数估计的无偏性、有效性与一致性.当回归模型的残差是异方差时,回归系数的估计就不再是有效的和一致的.金融时间序列大多具有“尖峰厚尾”和波动聚集性等特征,针对这一特征,美国经济学家 RobertF. Engle<sup>[4]</sup> 于 1982 年提出了 ARCH 模型, Boller-Slev<sup>[5]</sup> 于 1986 年将此模型发展为广义条件异方差(GARCH)模型,它们很好的描述了金融时间序列的波动特征. ARMA-GARCH 模型的一般形式为:

$$\begin{cases} y_t=b_0+\sum_{i=1}^mb_iy_{t-i}+\sum_{i=0}^n\varphi_i\varepsilon_{t-i} \\ \sigma_t^2=\omega+\sum_{i=1}^p\alpha_i\varepsilon_{t-i}^2+\sum_{i=1}^q\beta_i\sigma_{t-i}^2 \end{cases}\tag{7}$$

式中,  $p\geqslant 0,q\geqslant 0;\omega>0,\alpha_i\geqslant 0,i=1,2,\cdots,p,\beta_i\geqslant 0,i=1,2,\cdots,q,\varphi_0=1,\varepsilon_t$  是时间的扰动项,独立同分布; $\sigma_t^2$  为  $\varepsilon_t$  的条件方差,它由过去扰动项的平方项和滞后条件方差平方项的线性组合构成;式(7)为 GARCH( $p,q$ )模型,GARCH(1,1)是应用最多的模型.

3 上证指数的 BP 神经网络与 ARMA-GARCH 的组合预测模型

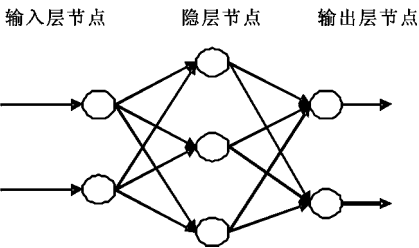


图 1 BP 神经网络模型

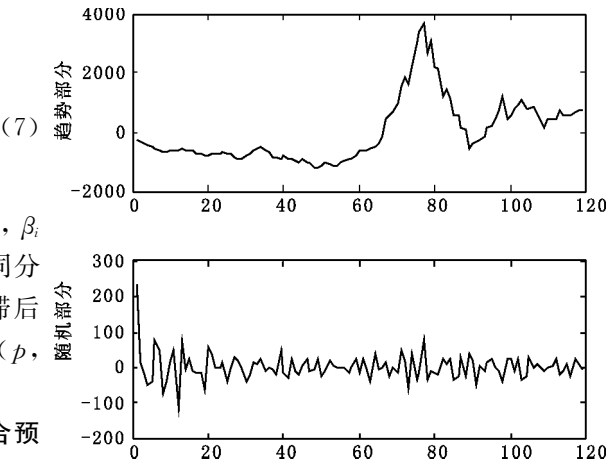


图 2 奇民值分解

3.1 奇异值分解

本文以 2001 年 6 月到 2011 年 4 月的上证月度收盘指数为研究对象,前 114 个数据作为模型拟合样本,后 5 个数据作为预测样本,用来检验模型的预测效果.在对上证指数进行奇异值分解之前需要确定门限控制的大小,确定门限的原则是:

- (1) 保证所分离出来的噪声部分是平稳序列,这是因为对噪声部分建立 ARMA-GARCH 模型的前提是序列是平稳的.
- (2) 为了不使原序列信息太多的丢失,门限值不能过小.经多次尝试,最终选取门限  $\eta=0.966\ 6$ ,由于原序列均值不为 0,对其进行 0 均值化处理,将原序列  $\{s_1, s_2, \cdots, s_{119}\}$  分解为趋势部分  $\{s_1^1, s_2^1, \cdots, s_{119}^1\}$  和随机部分  $\{s_1^2, s_2^2, \cdots, s_{119}^2\}$ ,如图 2 所示.

3.2 趋势部分的拟合、预测

在进行网络训练时,为了避免由于净输入绝对值过大使得神经元的输出进入饱和区<sup>[6]</sup>,导致网络的训练速度过慢,对数据进行归一化处理,使其变换到  $[0,1]$  范围内,经过多次试验后,最终建立了网络结构,拟合、预测效果如图 3 和表 2 所示.

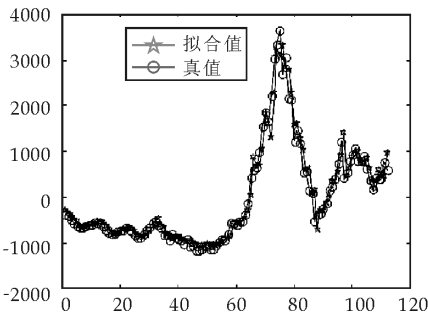


图 3 趋势部分拟合图

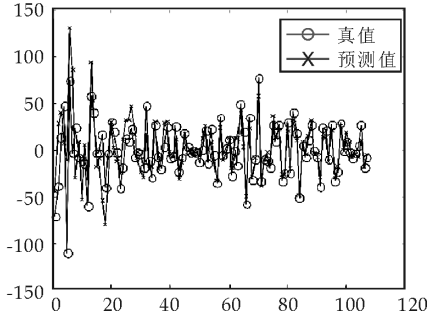


图 4 随机部分拟合图

3.3 随机部分的拟合、预测

3.3.1 模型识别和参数估计

从表 1 可以看出,序列的偏相关系数在 6 处截尾,因此初步认为应该建立 AR(6)模型.

表 1 序列自相关系数和偏相关系数

| Autocorrelation | Partial Correlation | AC        | PAC    | Q-Stat | Prob  |
|-----------------|---------------------|-----------|--------|--------|-------|
|                 |                     | 1 -0.269  | -0.269 | 8.3932 | 0.004 |
|                 |                     | 2 -0.282  | -0.382 | 17.720 | 0.000 |
|                 |                     | 3 0.022   | -0.234 | 17.778 | 0.000 |
|                 |                     | 4 -0.112  | -0.397 | 19.274 | 0.001 |
|                 |                     | 5 0.105   | -0.264 | 20.612 | 0.001 |
|                 |                     | 6 0.006   | -0.378 | 20.616 | 0.002 |
|                 |                     | 7 0.255   | 0.085  | 28.578 | 0.000 |
|                 |                     | 8 -0.111  | 0.032  | 30.103 | 0.000 |
|                 |                     | 9 -0.258  | -0.047 | 38.450 | 0.000 |
|                 |                     | 10 0.146  | 0.094  | 41.151 | 0.000 |
|                 |                     | 11 -0.057 | -0.023 | 41.559 | 0.000 |
|                 |                     | 12 -0.013 | -0.158 | 41.580 | 0.000 |
|                 |                     | 13 0.224  | 0.068  | 48.098 | 0.000 |

经过系数的显著性检验以及 AIC 最小准则,最后确定模型为 AR(6)模型,应用最小二乘估计法进行参数估计,利用 Eviews 得到 AR(6)的模型表达式为:

$$y_t = -0.838\ 129y_{t-1} - 0.994\ 258y_{t-2} - 0.824\ 585y_{t-3} - 0.841\ 608y_{t-4} - 0.530\ 638y_{t-5} - 0.379\ 207y_{t-6}$$

3.3.2 ARCH 检验

金融时间序列常常出现异方差现象,异方差会导致回归系数的估计不是有效的与一致的,因此有必要对残差进行异方差检验,我们对残差的平方序列进行相关性检验,显著性水平 0.05 下的  $\chi^2$  统计量的临界值为 23.209 3,  $\chi^2$  统计量的值为 20.804 7 < 23.209 3,故认为残差平方序列是相关序列,存在异方差性.建立 ARMA-GARCH 模型为:

均值方程:

$$y_t = -1.076\ 998\ 6y_{t-1} - 1.432\ 914y_{t-2} - 1.141\ 636y_{t-3} - 1.448\ 84y_{t-4} - 0.903\ 506y_{t-5} - 0.600\ 076y_{t-6}$$

条件方差方程:  $\sigma_t^2 = 3.362\ 964 + 0.931\ 778\sigma_{t-1}^2$

拟合、预测效果如图 4 和表 2 所示.

3.4 上证指数的预测

将趋势部分的预测值与随机部分的预测值叠加,得到上证指数的预测值如表 2 和图 5 所示.

表 2 实际值与预测值对比

| 步长   |      | 1         | 2         | 3         | 4         | 5         |
|------|------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 趋势部分 | 实际值  | 567.200 0 | 582.800 0 | 652.400 0 | 688.300 0 | 685.600 0 |
|      | 预测值  | 591.998 1 | 597.661 1 | 623.547 0 | 694.299 8 | 707.599 2 |
|      | 相对误差 | -0.043 7  | -0.025 5  | 0.044 2   | -0.008 7  | -0.032 1  |
| 随机部分 | 实际值  | 8.899 2   | -24.111 0 | 20.693 6  | 7.818 9   | -6.021 2  |
|      | 预测值  | 9.405 9   | -15.825 1 | 14.651 3  | 9.435 3   | -7.965 2  |
|      | 相对误差 | -0.056 9  | 0.343 7   | 0.292 0   | -0.206 7  | -0.322 9  |
| 总预测  | 实际值  | 2 808.08  | 2 790.69  | 2 905.05  | 2 928.11  | 2 911.51  |
|      | 预测值  | 2 837.6   | 2 818.0   | 2 874.4   | 2 939.9   | 2 935.8   |
|      | 相对误差 | -0.010 5  | -0.009 8  | 0.010 6   | -0.004 0  | -0.008 4  |

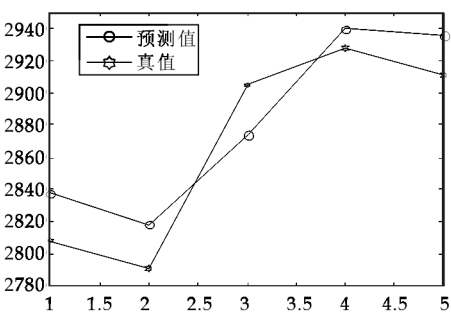


图 5 预测效果图

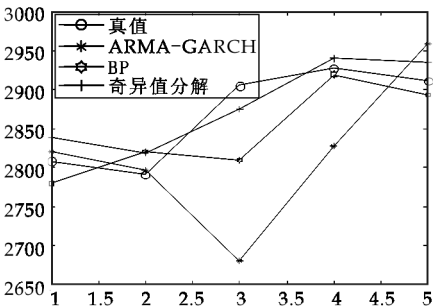


图 6 模型预测效果对比

3.5 预测效果比较

为了检验本文所建模型的好坏,对上证指数分别单独建立 BP 神经网络模型和 ARMA-GARCH 模型并进行预测,这里只给出预测结果,并与本文所建组合模型的预测结果进行比较,结果如图 6 所示. 3 个模型预测结果的 MAE 与 MSE 对比如表 3 所示.

从图 6 可以看出,基于 SVD 的组合模型预测精度较高,基本上和实际值的变化趋势是一致的,BP 神经网络模型的预测效果也优于 ARMA-GARCH 模型,这也充分体现了神经网络模型在处理具有非线性特征序列的优势. 从表 3 中也得到了同样的结果.

表 3 三个模型的 MAE、MSE 对比

| 模型  | ARMA-GARCH | BP 神经网络  | 基于 SVD 组合模型 |
|-----|------------|----------|-------------|
| MAE | 78.404 8   | 36.383 0 | 25.653 4    |
| MSE | 112.492 2  | 47.535 1 | 24.734 1    |

4 结束语

本文针对股票指数时间序列的非线性和高噪声等特点,通过奇异值分解(SVD)将原序列的趋势部分和噪声部分分离,分别进行研究,建立了上证指数的基于 SVD 的组合预测模型,取得了较好的预测效果,该模型一方面避免了将趋势部分和噪声部分混为一谈导致的单模型预测精度偏低;另一方面充分利用了 BP 神经网络的非线性映射能力. 同时,用去掉一部分噪声后的平滑序列训练网络避免了过拟合,进而提高了网络的泛化能力,使其描述数据的非线性关系更加真实. 另外,对于随机噪声部分并没有被扔掉,而是建立 ARMA-GARCH 模型,这样更加符合实际情况,更具有实际意义.

参 考 文 献

[1] 李文静,张德生,等. 股票价格及其影响因素的灰典型相关分析[J]. 长江大学学报,2010,7(1):148-150.  
[2] 吕永乐,郎荣玲,梁家城. 基于信噪比经验值的奇异值分解滤波的门限确定[J]. 计算机应用研究,2009,26(9):3 253-3 255.



\* 文章编号:1000-5811(2012)02-0126-08

# 东亚股市一体化实证分析 ——基于 2008 年金融海啸

余 诚

(上海交通大学 安泰经济与管理学院, 上海 200052)

**摘 要:**通过运用协整检验、VAR 模型、残差相关系数、格兰杰因果检验与方差分解,研究了 2008 年全球金融海啸对东亚股票市场的一体化影响,在实证分析中也考虑了美国股票市场与东亚股票市场的相互联系.最终发现 2008 年全球金融海啸促进了东亚股票市场的一体化,然而这种一体化的提高只是金融海啸期间的暂时现象.美国股票市场在金融海啸之前、期间与之后对东亚股票市场都有重大影响.

**关键词:**股票市场一体化; 2008 年全球金融海啸; VAR 模型

**中图法分类号:**F831

**文献标识码:**A

## 0 引 言

近年来,在全球区域化浪潮下,东亚金融合作也呈现出如火如荼的趋势.从 2000 年的清迈倡议 (Chiang Mai Initiative)——建立地区货币互换协议,到 2002 年的亚洲债券基金 (Asian Bond Foundation),再到 2010 年的亚洲区域外汇储备库,可以看出东亚金融合作正朝着纵深发展,伴随着国际资金的频繁流动,东亚股票市场成为国际证券投资的主要区域.东亚各国和地区为了使其股票市场健康稳定的发展,采取了一系列措施增强其区域内股票市场的一体化程度,而 2008 年全球金融海啸的爆发又对东亚股票市场产生了深刻的影响<sup>[1,2]</sup>.

由于市场的传播效应,金融危机往往能够影响股市之间的相互联系,但是金融危机是否增强了一体化程度,这种一体化程度的提高是长期还是暂时的,这些在以前的文献研究中并不十分明确.文献[3]研究了 1987 年的“黑色星期一”对 18 个股市一体化程度的影响,发现金融危机并没有促进长期一体化.文献[5]运用 1990~2001 年的东南亚股票市场每日收盘价,发现在 1997 年亚洲金融危机后一体化程度并没有显著上升.然而文献[8]和文献[10]研究了 1997 年亚洲金融危机对东亚股票市场一体化的影响,发现金融危机后短期和长期的一体化都得到了提高<sup>[3-10]</sup>.国内基于最近的金融危机前后数据的研究主要局限于中国沪深股市和香港股市之间,以及中国股市和香港、日本、欧美等国股市之间,鲜有文章具体针对东亚地区主要股市进行深入研究,而基于最近的金融危机前后数据的研究更是少之又少.对于 2008 年爆发的全球金融海啸对东亚股票市场之间以及与美国股票市场之间的相互关联造成什么影响?一体化程度是否得到提高?一体化的提高是短期的还是长期的?本文将试图回答这些问题.

## 1 数据的选择及平稳性检验

本文把中国、日本、韩国、香港、新加坡、马来西亚、印度尼西亚、菲律宾、泰国、东亚地区指数——MSCI AC Far East 与美国股票市场作为研究对象,选取了以美元标价的 MSCI(Morgan Stanley Capital International) Standard (Large+Mid Cap)每日收盘指数,数据的时间跨度从 2005 年 9 月 15 日~2011 年 9 月 14 日.为了研究 2008 年金融海啸对东亚股票市场一体化的影响,把时间划分为金融海啸前(2005 年 9 月

\* 收稿日期:2011-12-23

作者简介:余 诚(1987—),男,浙江省绍兴市人,在读硕士研究生,研究方向:国际金融学,区域经济合作

15 日~2008 年 9 月 12 日)、金融海啸期间(2008 年 9 月 15 日~2009 年 9 月 14 日)和金融海啸后(2009 年 9 月 15 日~2011 年 9 月 14 日),这里选择 2008 年 9 月 15 日作为金融海啸前后的分界线是因为 2008 年 9 月 14 日雷曼兄弟提出破产申请保护,拉开了 2008 年全球金融海啸的序幕,全球股市出现全面下跌.而选择 2009 年 9 月 14 日作为全球金融海啸的结束是因为这些经济体的股票市场在全球金融海啸爆发一周年后已经稳步回升,金融海啸对股票市场的直接冲击已经结束.对各经济体的股票市场日指数取自然对数的形式,其作用是减少序列的波动性与异方差,各经济体股票市场日收益率可以用日指数自然对数的一阶差分来表达,即:

$$R_{i,t} = \ln(P_{i,t}) - \ln(P_{i,t-1}) = \ln\left(\frac{P_{i,t}}{P_{i,t-1}}\right) \quad (1)$$

$R_{i,t}$  表示第  $i$  个市场在  $t$  时刻的收益率,  $P_{i,t}$  表示第  $i$  个市场在  $t$  时刻的指数.

由于各国和地区的股指都是时间序列,而时间序列可能存在非平稳性.如果直接采用原始数据进行传统回归分析与检验的话,将可能产生 Granger and Newbond(1974)提出的虚假回归问题,而且建立向量自回归模型(VAR)的前提序列是平稳的,因此在进行时间序列分析之前,将对各国和地区取自然对数形式的股指进行单位根检验,判断其是否稳定.对东亚各股票市场、MSCI AC Far East 以及美国股票市场的自然对数形式的指数按照 2008 年金融海啸前、期间以及海啸后分别进行 ADF 检验,发现股指时间序列都是非平稳的,然后对东亚各股票市场、MSCI AC Far East 以及美国股票市场自然对数形式的指数一阶差分形式,即对股票市场的日收益率进行 ADF 检验,单位根检验的结果表明无论是 2008 年全球金融海啸之前、期间还是之后,所有东亚股票市场、MSCI AC Far East 指数以及美国股票市场的日收益率是平稳的,可以把股指日收益率作为基础建立 VAR 模型.

## 2 实证模型和方法

### 2.1 协整检验

即使几个时间序列是非平稳的,但是多个时间序列之间仍可能存在一种长期稳定或均衡的关系,这就是时间序列的协整.由于单位根检验结果表明所有东亚股票市场指数、MSCI AC Far East 指数以及美国股票市场股指日收益率是平稳的,故可对其进行协整检验.协整检验主要有 EG 两步法(Engle 和 Granger, 1987)和 Johansen 检验(Johansen, 1988; Johansen & Juselius, 1990).由于 EG 两步法涉及两个步骤,而 Johansen 检验适用于多重协整的问题,所以本文采用 Johansen 检验.

Johansen 检验基于 VAR 模型,VAR 模型可以被改写为误差修正的形式:

$$\Delta X_t = \Gamma_0 + \Gamma_1 \Delta X_{t-1} + \Gamma_2 \Delta X_{t-2} + \cdots + \Gamma_{k-1} \Delta X_{t-k+1} + \pi X_{t-1} + \epsilon_t \quad (2)$$

其中,  $\pi X_{t-1}$  是误差修正项,Granger 定理指出:如果系数矩阵  $\pi$  的秩  $\gamma < k$ ,那么存在  $k \times \gamma$  阶矩阵  $\alpha$  和  $\beta$ ,它们的秩都是  $\gamma$ ,使得  $\pi = \alpha\beta'$ ,并且  $\beta'X_t$  是稳定的.其中  $\gamma$  是协整关系的数量(协整秩)并且  $\beta$  的每列是协整向量,矩阵  $\alpha$  中的元素是向量误差修正模型 VEC 中的调整参数,Johansen 检验是在无约束 VAR 的形式下估计  $\pi$  矩阵,然后求出  $\beta$ ,从而检验出协整秩,得出协整向量.

### 2.2 VAR 模型

Sims(1980)提出了向量自回归模型.向量自回归模型就是用模型中所有当期变量对所有变量的若干期滞后变量进行自回归.向量自回归(VAR)常用于预测相互联系的时间序列系统以及分析随机扰动对变量系统的动态影响.VAR 方法通过把系统中每一个内生变量作为系统中所有内生变量的滞后值的函数来构造模型,从而回避了结构化模型的需要.假设存在一个  $N \times 1$  阶的时间序列向量  $X$ ,它是一个列向量: $X_t = (x_{1t}, x_{2t}, \cdots, x_{nt})'$ ,则  $k$  阶的 VAR 模型可以表示为:

$$X_t = \sum_{i=1}^k \Pi_i X_{t-i} + U_t \quad (3)$$

其中,  $U_t$  为随机误差向量,  $U_t \sim \text{IND}(0, \Omega)$ ,  $\Omega$  是  $N \times N$  阶的方差——协方差矩阵,  $\Pi_i$  为该 VAR 模型的参数矩阵.在实际运用中,通常希望滞后期  $k$  足够大,从而完整地反映所构造模型的动态特征,但另一方面,滞后期越长,模型中待估计的参数就越多,自由度就会越少,因此应在滞后期与自由度之间寻求一种均衡状态,一般根据 AIC 和 SIC 信息量取值最小的准则确定模型的阶数.



2.3 基于 VAR 模型的残差相关系数

基于 VAR 模型的残差相关系数与简单相关系数相比具有优势,它考虑了数据的动态变化,两个股票市场之间的残差相关系数会随时间变化而变化.残差相关系数可以被写成

$$\rho_t = \partial_i \frac{\sigma_i}{\sigma_j} \tag{4}$$

$\partial_i$  是  $i$  股票市场股指的随机误差项对  $j$  股票市场股指的随机误差项的回归系数,  $\sigma_i$  和  $\sigma_j$  是  $i$  股票市场指数与  $j$  股票市场指数的标准差.

2.4 格兰杰因果检验(Granger Causality Test)

Granger(1980)提出了因果关系的定义,他的定义是建立在完整信息集以及发生时间先后顺序基础上的.至于判断准则,也在逐步发展变化:最初是根据分布函数(条件分布)判断,注意  $\Omega_n$  是到  $n$  期为止宇宙中的所有信息,  $Y_n$  为到  $n$  期为止所有的  $Y_t(t=1, \cdots, n)$ ,  $X_{n+1}$  为第  $n+1$  期  $X$  的取值,  $\Omega_n - Y_n$  为除  $Y$  之外的所有信息.

$$F(X_{n+1} \mid \Omega_n) \neq F(X_{n+1} \mid (\Omega_n - Y_n)) \tag{5}$$

后来认为全部信息集是不可能找到的,于是退而求其次,找一个可获取的信息集  $J$  来替代  $\Omega$ :

$$F(X_{n+1} \mid J_n) \neq F(X_{n+1} \mid (J_n - Y_n)) \tag{6}$$

再后来,大家又认为验证分布函数是否相等太复杂,于是再次退而求其次,只是验证期望是否相等(这种叫做均值因果性,上面用分布函数验证的因果关系叫全面因果性):

$$E(X_{n+1} \mid J_n) \neq E(X_{n+1} \mid (J_n - Y_n)) \tag{7}$$

也有一种方法是验证  $Y$  的出现是否能减小对  $X_{n+1}$  的预测误差,即:

$$\sigma^2(X_{n+1} \mid J_n) < \sigma^2(X_{n+1} \mid (J_n - Y_n)) \tag{8}$$

最后一种方法已经接近我们最常用的格兰杰因果检验方法,统计上通常用残差平方和来表示预测误差,于是常用  $X$  和  $Y$  建立回归方程,通过假设检验的方法检验  $Y$  的系数是否为零.

2.5 方差分解

方差分解是将变量预测方差进行分解的技术.某个变量预测方差可能由自身引起,也可能由系统其它变量引起,将这个预测方差分解为自身和系统其它变量作用的结果,可以发现该变量变化的原因,比如经济增长预测的方差可分解为若干影响因素作用的结果,进而得到这些因素对经济增长影响大小、影响多少和作用时滞等.

VAR 模型中可以将任意一个内生变量的预测均方差分解成系统中各个变量随机冲击的贡献,计算出每一个变量冲击的相对重要性.通过比较不同变量贡献百分比的大小,可以估计出各个变量效应的大小.

方差分解能够给出系统中某个因变量的变动归因于自身冲击和其他变量冲击的比例,即通过考察不同变量的变化对因变量变化的贡献度来进一步评价各个变量对因变量影响程度的强弱.

式中各括号()中的内容是第  $j$  个扰动项  $\epsilon_j$  从无限过去到现在时点对第  $i$  个变量  $y_i$  影响的总和.求其方差,因为  $\{\epsilon_{jt}\}$  无序列相关,故

$$E[(\Psi_{0,ij}\epsilon_{jt} + \Psi_{1,ij}\epsilon_{jt-1} + \Psi_{2,ij}\epsilon_{jt-2} + \cdots)^2] = \sum_{q=0}^{\infty} (\Psi_{q,ij})^2 \sigma_{jj} \quad j=1,2,\cdots,k \tag{9}$$

这是把第  $j$  个扰动项对第  $i$  个变量的从无限过去到现在时点的影响用方差加以评价的结果.此处还假定扰动项向量的协方差矩阵  $\Omega$  是对角矩阵.于是  $y_{ii}(0)$  是上述方差的  $k$  项简单和

$$\text{var}(y_{ii}) = r_{ii}(0) = \sum_{j=1}^k \left\{ \sum_{q=0}^{\infty} (\Psi_{q,ij})^2 \sigma_{jj} \right\} \tag{10}$$

$y_{ii}$  的方差可以分解成  $k$  种不相关的影响,因此为了测定各个扰动相对  $y_{ii}$  的方差有多大程度的贡献,定义了 RVC(Relative Variance Contribution)(相对方差贡献率),根据第  $j$  个变量基于冲击的方差对  $y_{ii}$  的方差的相对贡献度来作为观测第  $j$  个变量对第  $i$  个变量影响的尺度.实际上,不可能用直到  $s=\infty$  的  $\Psi_{k,ij}$  来评价,只需有限的  $s$  项.

$$RVC_{j \rightarrow i}(s) = \frac{\sum_{q=0}^{s-1} (\Psi_{q,ij})^2 \sigma_{ij}}{\sum_{j=1}^k \left\{ \sum_{q=0}^{s-1} (\Psi_{q,ij})^2 \sigma_{jj} \right\}} \quad i, j = 1, 2, \dots, k \tag{11}$$

如果  $RVC_{j \rightarrow i}(s)$  大时,意味着第  $j$  个变量对第  $i$  个变量的影响大,相反地, $RVC_{j \rightarrow i}(s)$  小时,可以认为第  $j$  个变量对第  $i$  个变量的影响小.

3 实证分析结果

3.1 协整检验

在对东亚股票市场和美国股票市场进行协整检验时,本文关注几个问题:东亚股票市场之间是否存在协整关系;如果把美国纳入进来,是否也存在协整关系;如果存在协整关系,那么有几个协整关系. 协整检验的具体结果参见附录 A.

比较 2008 年金融海啸前后,发现 2008 年金融海啸期间无论是东亚股票市场之间还是东亚股票市场与美国股票市场之间的协整关系加强了,东亚股票市场与美国股票市场的协整关系由金融海啸前的一个增加为四个,东亚股票市场之间的协整关系由金融海啸前的零个增加为三个,而 2008 年金融海啸后,无论是东亚股票市场之间还是东亚股票市场与美国股票市场之间的协整关系都减弱了,东亚股票市场与美国股票市场的协整关系由金融海啸期间的四个减少为一个,东亚股票市场之间的协整关系由金融海啸期间的三个变为零个,这说明在金融危机期间,无论是东亚股票市场之间还是东亚股票市场与美国股票市场之间联系更为紧密了,一体化程度加强了,然而金融海啸之后协整关系又减弱了,这表明东亚股票市场之间以及与美国股票市场之间一体化提高只是金融海啸期间的暂时现象,金融海啸时期一体化程度提高的潜在的原因是东亚各经济体以及美国采取的经济复兴政策趋于同步性,各经济体的政府为了抑制金融危机蔓延,恢复经济,往往都会同步采取措施与政策.

3.2 VAR 模型的建立

由于单位根检验显示所有的东亚股票市场以及美国股票市场的取自然对数形式指数都是一阶单整的,于是采用自然对数形式指数的差分形式,即东亚股票市场、AC Far East 指数以及美国股票市场的日收益率,按照金融海啸之前、期间与之后把东亚股票市场、AC Far East 指数以及美国股票市场的日收益率建立 VAR 模型. 本文使用非限制 VAR 模型,在模型中包括了截距项. 对于金融海啸之前、金融海啸期间与金融海啸之后的日收益率,根据施瓦兹准则(SIC),滞后阶数都取 1.

3.3 基于 VAR 模型的残差相关系数

使用 Eviews 软件计算了金融海啸之前、期间以及之后残差相关系数.

表 1 金融海啸前残差相关系数

|                       | D_AC_<br>FAR_<br>EAST | D_CHN | D_HK | D_IDN | D_JPN | D_KOR | D_MYS | D_PHL | D_SGP | D_THA | D_USA |
|-----------------------|-----------------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| D_AC_<br>FAR_<br>EAST | 1.00                  | 0.62  | 0.62 | 0.45  | 0.93  | 0.69  | 0.36  | 0.31  | 0.58  | 0.32  | 0.13  |
| D_CHN                 | 0.62                  | 1.00  | 0.84 | 0.52  | 0.37  | 0.55  | 0.38  | 0.25  | 0.63  | 0.34  | 0.14  |
| D_HK                  | 0.62                  | 0.84  | 1.00 | 0.49  | 0.38  | 0.55  | 0.38  | 0.26  | 0.64  | 0.34  | 0.17  |
| D_IDN                 | 0.45                  | 0.52  | 0.49 | 1.00  | 0.28  | 0.39  | 0.46  | 0.28  | 0.56  | 0.37  | 0.14  |
| D_JPN                 | 0.93                  | 0.37  | 0.38 | 0.28  | 1.00  | 0.48  | 0.21  | 0.22  | 0.38  | 0.19  | 0.07  |
| D_KOR                 | 0.69                  | 0.55  | 0.55 | 0.39  | 0.48  | 1.00  | 0.37  | 0.33  | 0.55  | 0.35  | 0.16  |
| D_MYS                 | 0.36                  | 0.38  | 0.38 | 0.46  | 0.21  | 0.37  | 1.00  | 0.34  | 0.50  | 0.32  | 0.12  |
| D_PHL                 | 0.31                  | 0.25  | 0.26 | 0.28  | 0.22  | 0.33  | 0.34  | 1.00  | 0.28  | 0.16  | 0.16  |
| D_SGP                 | 0.58                  | 0.63  | 0.64 | 0.56  | 0.38  | 0.55  | 0.50  | 0.28  | 1.00  | 0.37  | 0.20  |
| D_THA                 | 0.32                  | 0.34  | 0.34 | 0.37  | 0.19  | 0.35  | 0.32  | 0.16  | 0.37  | 1.00  | 0.10  |
| D_USA                 | 0.13                  | 0.14  | 0.17 | 0.14  | 0.07  | 0.16  | 0.12  | 0.16  | 0.20  | 0.10  | 1.00  |

资料来源:由 Eviews 估计得到

表 2 金融海啸期间残差相关系数

|                       | D_AC_<br>FAR_<br>EAST | D_CHN | D_HK | D_IDN | D_JPN | D_KOR | D_MYS | D_PHL | D_SGP | D_THA | D_USA |
|-----------------------|-----------------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| D_AC_<br>FAR_<br>EAST | 1.00                  | 0.73  | 0.72 | 0.49  | 0.90  | 0.74  | 0.52  | 0.41  | 0.66  | 0.03  | 0.26  |
| D_CHN                 | 0.73                  | 1.00  | 0.89 | 0.57  | 0.41  | 0.64  | 0.58  | 0.50  | 0.77  | -0.01 | 0.42  |
| D_HK                  | 0.72                  | 0.89  | 1.00 | 0.56  | 0.43  | 0.60  | 0.52  | 0.48  | 0.75  | 0.01  | 0.39  |
| D_IDN                 | 0.49                  | 0.57  | 0.56 | 1.00  | 0.25  | 0.46  | 0.45  | 0.45  | 0.64  | -0.02 | 0.25  |
| D_JPN                 | 0.90                  | 0.41  | 0.43 | 0.25  | 1.00  | 0.48  | 0.27  | 0.23  | 0.36  | 0.05  | 0.07  |
| D_KOR                 | 0.74                  | 0.64  | 0.60 | 0.46  | 0.48  | 1.00  | 0.55  | 0.32  | 0.65  | 0.00  | 0.33  |
| D_MYS                 | 0.52                  | 0.58  | 0.52 | 0.45  | 0.27  | 0.55  | 1.00  | 0.37  | 0.68  | 0.01  | 0.30  |
| D_PHL                 | 0.41                  | 0.50  | 0.48 | 0.45  | 0.23  | 0.32  | 0.37  | 1.00  | 0.42  | 0.03  | 0.21  |
| D_SGP                 | 0.66                  | 0.77  | 0.75 | 0.64  | 0.36  | 0.65  | 0.68  | 0.42  | 1.00  | -0.02 | 0.46  |
| D_THA                 | 0.03                  | -0.01 | 0.01 | -0.02 | 0.05  | 0.00  | 0.01  | 0.03  | -0.02 | 1.00  | -0.07 |
| D_USA                 | 0.26                  | 0.42  | 0.39 | 0.25  | 0.07  | 0.33  | 0.30  | 0.21  | 0.46  | -0.07 | 1.00  |

资料来源:由 Eviews 估计得到.

表 3 金融海啸之后残差相关系数

|                       | D_AC_<br>FAR_<br>EAST | D_CHN | D_HK | D_IDN | D_JPN | D_KOR | D_MYS | D_PHL | D_SGP | D_THA | D_USA |
|-----------------------|-----------------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| D_AC_<br>FAR_<br>EAST | 1.00                  | 0.68  | 0.65 | 0.43  | 0.87  | 0.71  | 0.52  | 0.32  | 0.62  | 0.42  | 0.28  |
| D_CHN                 | 0.68                  | 1.00  | 0.84 | 0.52  | 0.30  | 0.61  | 0.56  | 0.38  | 0.67  | 0.49  | 0.30  |
| D_HK                  | 0.65                  | 0.84  | 1.00 | 0.45  | 0.32  | 0.57  | 0.49  | 0.32  | 0.64  | 0.45  | 0.27  |
| D_IDN                 | 0.43                  | 0.52  | 0.45 | 1.00  | 0.15  | 0.48  | 0.58  | 0.46  | 0.56  | 0.42  | 0.21  |
| D_JPN                 | 0.87                  | 0.30  | 0.32 | 0.15  | 1.00  | 0.38  | 0.24  | 0.12  | 0.30  | 0.20  | 0.11  |
| D_KOR                 | 0.71                  | 0.61  | 0.57 | 0.48  | 0.38  | 1.00  | 0.54  | 0.37  | 0.58  | 0.38  | 0.37  |
| D_MYS                 | 0.52                  | 0.56  | 0.49 | 0.58  | 0.24  | 0.54  | 1.00  | 0.43  | 0.64  | 0.40  | 0.29  |
| D_PHL                 | 0.32                  | 0.38  | 0.32 | 0.46  | 0.12  | 0.37  | 0.43  | 1.00  | 0.34  | 0.31  | 0.13  |
| D_SGP                 | 0.62                  | 0.67  | 0.64 | 0.56  | 0.30  | 0.58  | 0.64  | 0.34  | 1.00  | 0.45  | 0.47  |
| D_THA                 | 0.42                  | 0.49  | 0.45 | 0.42  | 0.20  | 0.38  | 0.40  | 0.31  | 0.45  | 1.00  | 0.18  |
| D_USA                 | 0.28                  | 0.30  | 0.27 | 0.21  | 0.11  | 0.37  | 0.29  | 0.13  | 0.47  | 0.18  | 1.00  |

资料来源:由 Eviews 估计得到.

从金融海啸前后残差相关系数的情况来看,无论是金融海啸之前、期间还是之后,东亚各股票市场与 AC Far East 指数日收益率的残差相关系数都大于与美国股票市场日收益率的残差相关系数,这说明东亚股票市场之间的联系比与美国股票市场之间的联系更为紧密.金融海啸前、金融海啸期间与金融海啸之后,日本与 AC Far East 指数日收益率的残差相关系数最大,新加坡与美国股指日收益率的残差相关系数最大,这说明金融海啸并没有改变这一关系.金融海啸期间与金融海啸之前相比,大多数(55 个中的 39 个)东亚股票市场之间以及与美国股票市场之间日收益率的残差相关系数变大,而金融海啸之后,大多数(55 个中的 35 个)东亚股票市场之间以及与美国股票市场之间日收益率的残差相关系数变小了,这说明金融海啸促进了东亚各国之间及与美国股票市场一体化程度,值得注意的是,泰国与东亚股票市场之间以及与美国股票市场之间日收益率的残差相关系数在金融海啸期间变小了.总的来说残差相关系数变化情况与简单相关系数类似,大多数东亚股票市场之间以及与美国股票市场之间日收益率的残差相关系数变大,日本与东亚股票市场联系最为紧密,而新加坡与美国股票市场联系更为紧密.金融危机期间,东亚股票市场之间以及与美国股票市场之间日收益率的残差相关系数变大.东亚各股票市场与 AC Far East 指数日收益率的残差相关系数大于与美国股票市场日收益率的残差相关系数.

3.4 格兰杰因果检验

对东亚各股票市场、AC Far East 指数以及美国股票市场的日收益率按照 2008 年金融海啸之前、期

间和之后进行格兰杰因果检验。格兰杰因果检验是基于建立 VAR 模型基础之上,进行格兰杰因果检验的前提是各时间序列是平稳的,由于上文通过单位根检验得到东亚各股票市场、AC Far East 指数以及美国股票市场的日收益率都是平稳的,所以可以进行格兰杰因果检验。根据上文建立的 VAR 模型进行格兰杰因果检验,根据施瓦兹准则(SIC),金融危机之前、期间的滞后阶数都取 1。

表 4 2008 年金融海啸之前的格兰杰因果检验结果

| Cause          | CHN   | JPN   | KOR   | HK    | SGP   | MYS   | PHL   | IDN   | THA   | AC_Far<br>East | USA   |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|-------|
| CHN            |       | 0.000 | 0.907 | 0.000 | 0.000 | 0.186 | 0.000 | 0.068 | 0.120 | 0.013          | 0.024 |
| JPN            | 0.018 |       | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.992 | 0.291 | 0.244 | 0.502 | 0.000          | 0.312 |
| KOR            | 0.093 | 0.000 |       | 0.381 | 0.006 | 0.160 | 0.001 | 0.235 | 0.060 | 0.000          | 0.013 |
| HK             | 0.222 | 0.000 | 0.195 |       | 0.004 | 0.003 | 0.000 | 0.243 | 0.937 | 0.000          | 0.065 |
| SGP            | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |       | 0.000 | 0.000 | 0.027 | 0.566 | 0.000          | 0.021 |
| MYS            | 0.029 | 0.000 | 0.907 | 0.242 | 0.245 |       | 0.000 | 0.521 | 0.732 | 0.001          | 0.001 |
| PHL            | 0.186 | 0.003 | 0.017 | 0.238 | 0.325 | 0.023 |       | 0.524 | 0.036 | 0.008          | 0.767 |
| IDN            | 0.006 | 0.000 | 0.055 | 0.175 | 0.696 | 0.001 | 0.000 |       | 0.805 | 0.000          | 0.012 |
| THA            | 0.014 | 0.000 | 0.028 | 0.097 | 0.325 | 0.178 | 0.000 | 0.131 |       | 0.000          | 0.157 |
| AC_Far<br>East | 0.186 | 0.000 | 0.019 | 0.007 | 0.000 | 0.499 | 0.013 | 0.219 | 0.525 |                | 0.083 |
| USA            | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000          |       |

注:黑体代表在 1%显著性水平下拒绝不存在格兰杰因果关系的原假设。

表 5 2008 年金融海啸期间的格兰杰因果检验结果

| Cause          | CHN   | JPN   | KOR   | HK    | SGP   | MYS   | PHL   | IDN   | THA   | AC_Far<br>East | USA   |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|-------|
| CHN            |       | 0.000 | 0.258 | 0.955 | 0.042 | 0.009 | 0.000 | 0.071 | 0.799 | 0.000          | 0.728 |
| JPN            | 0.001 |       | 0.011 | 0.026 | 0.015 | 0.183 | 0.214 | 0.185 | 0.872 | 0.000          | 0.075 |
| KOR            | 0.070 | 0.000 |       | 0.078 | 0.582 | 0.352 | 0.002 | 0.132 | 0.873 | 0.001          | 0.057 |
| HK             | 0.066 | 0.000 | 0.699 |       | 0.026 | 0.100 | 0.002 | 0.153 | 0.216 | 0.000          | 0.481 |
| SGP            | 0.001 | 0.000 | 0.002 | 0.000 |       | 0.006 | 0.000 | 0.004 | 0.520 | 0.000          | 0.135 |
| MYS            | 0.765 | 0.000 | 0.868 | 0.238 | 0.155 |       | 0.001 | 0.675 | 0.803 | 0.010          | 0.783 |
| PHL            | 0.120 | 0.150 | 0.768 | 0.307 | 0.247 | 0.154 |       | 0.245 | 0.484 | 0.678          | 0.043 |
| IDN            | 0.332 | 0.000 | 0.036 | 0.125 | 0.593 | 0.000 | 0.003 |       | 0.463 | 0.001          | 0.871 |
| THA            | 0.677 | 0.452 | 0.307 | 0.265 | 0.210 | 0.534 | 0.960 | 0.911 |       | 0.346          | 0.119 |
| AC_Far<br>East | 0.011 | 0.000 | 0.083 | 0.155 | 0.013 | 0.912 | 0.362 | 0.731 | 0.811 |                | 0.377 |
| USA            | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.145 | 0.000          |       |

注:黑体代表在 1%显著性水平下拒绝不存在格兰杰因果关系的原假设。

表 6 2008 年金融海啸之后的格兰杰因果检验结果

| Cause          | CHN   | JPN   | KOR   | HK    | SGP   | MYS   | PHL   | IDN   | THA   | AC_Far<br>East | USA   |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|-------|
| CHN            |       | 0.013 | 0.001 | 0.731 | 0.947 | 0.033 | 0.000 | 0.619 | 0.783 | 0.010          | 0.003 |
| JPN            | 0.297 |       | 0.578 | 0.521 | 0.718 | 0.636 | 0.385 | 0.663 | 0.494 | 0.000          | 0.635 |
| KOR            | 0.697 | 0.019 |       | 0.591 | 0.343 | 0.256 | 0.000 | 0.627 | 0.830 | 0.199          | 0.541 |
| HK             | 0.174 | 0.018 | 0.007 |       | 0.249 | 0.037 | 0.001 | 0.933 | 0.498 | 0.012          | 0.012 |
| SGP            | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |       | 0.000 | 0.000 | 0.031 | 0.141 | 0.000          | 0.236 |
| MYS            | 0.965 | 0.002 | 0.038 | 0.783 | 0.017 |       | 0.002 | 0.746 | 0.844 | 0.018          | 0.479 |
| PHL            | 0.454 | 0.129 | 0.464 | 0.631 | 0.505 | 0.050 |       | 0.946 | 0.092 | 0.428          | 0.909 |
| IDN            | 0.405 | 0.005 | 0.024 | 0.857 | 0.317 | 0.043 | 0.000 |       | 0.257 | 0.014          | 0.275 |
| THA            | 0.959 | 0.004 | 0.003 | 0.768 | 0.148 | 0.327 | 0.003 | 0.085 |       | 0.022          | 0.899 |
| AC_Far<br>East | 0.494 | 0.002 | 0.254 | 0.678 | 0.567 | 0.470 | 0.083 | 0.720 | 0.539 |                | 0.200 |
| USA            | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000          |       |

注:黑体代表在 1%显著性水平下拒绝不存在格兰杰因果关系的原假设。

从单向关系和双向关系两方面来看,可以发现 2008 年金融海啸削弱了东亚股票市场双向关系,而对

单向关系的影响却加强了,2008 年金融海啸之前的双向关系都转变为 2008 年金融海啸期间的单向影响.发现香港、新加坡、中国在东亚股票市场发挥了重要作用.其中,新加坡股票市场对东亚股票市场的影响更为广泛,金融海啸加强了新加坡对东亚股票市场的影响,金融海啸之前新加坡对 5 个东亚股票市场有影响,金融海啸期间,其能够施加影响的数量增加为 7 个,金融海啸之后数量为 6 个;金融海啸削弱了香港与中国对东亚股票市场的影响,金融海啸之前,香港对 4 个东亚股票市场有影响,然而金融海啸期间与之后,其能够施加影响的数量下降为 2 个;中国在金融海啸前对东亚 4 个股票市场有影响,然而金融海啸期间,其能够施加影响的数量下降为 3 个,到金融海啸之后,则下降为 2 个.而日本对东亚股票市场的影响不大,日本股票市场对中国、韩国、香港、新加坡股票市场有影响,对于其他东南亚股票市场没有重大影响.我们也发现东亚股票市场呈现出分层现象,发达的股票市场之间(中国、日本、韩国、香港、新加坡)呈现出双边影响,而欠发达股票市场(菲律宾、马来西亚、印度尼西亚、泰国)则受到发达股票市场的影响.

最后,对比美国与 AC Far East 指数对东亚各股票市场的影响,发现金融海啸之前,美国股票市场是所有东亚股票市场的格兰杰原因,而 AC Far East 指数是日本、香港与新加坡股票市场的格兰杰原因,这说明金融海啸之前美国对于东亚股票市场的影响程度很大.金融海啸期间,美国股票市场是除泰国以外所有东亚股票市场的格兰杰原因,而 AC Far East 指数是日本股票市场的格兰杰原因,说明美国股票市场仍主导东亚股票市场,金融海啸削弱了 AC Far East 指数对于东亚各股票市场的主导力量.金融海啸之后,美国股票市场是所有东亚股票市场的格兰杰原因,而 AC Far East 是日本的格兰杰原因.比较金融海啸之前、期间与之后,发现美国股票市场对东亚股票市场的影响最大,金融海啸并没有改变美国股票市场对于东亚股票市场的主导性,另外值得注意的是泰国股票市场,与东亚股票市场联系不多,在金融海啸期间,尤其显得封闭,这与之前的残差相关系数分析相一致.

### 3.5 方差分解

把中国、日本、韩国、香港、新加坡、马来西亚、印度尼西亚、菲律宾、泰国与美国的股票市场股指日收益率建立 VAR 模型,根据施瓦兹准则(SIC),我们取滞后期为 1.在 VAR 模型基础上进行方差分析,时间同样分为 2008 年金融海啸之前、金融海啸期间与金融海啸之后.方差分解的追踪期数我们选为 10.方差分解的具体结果参见附录 B.

方差分解的结果表明,大多数东亚股指以及美国股指由其自身波动解释的比例最高,而新加坡与香港作为小型开放经济体,由外部市场波动的解释的比例较高.中国股票市场波动对大多数东亚股指解释比例也较高,仅次于来自自身波动解释的影响,说明中国股票市场对于东亚股票市场具有重要影响,尤其是金融海啸增加了中国股票市场的影响,并且在金融海啸之后已经全面超过美国对东亚股票市场的影响,美国股票市场也对东亚股票市场有重要影响,尤其是日本,在对日本的影响力方面超过中国.反过来东亚股票市场对美国股票市场的影响较小,从金融海啸期间开始,东亚股票市场对美国股票市场的影响开始增大.金融海啸期间,来自中国对除泰国以外的东亚股票市场的影响增强,来自美国对除日本以外的东亚股票市场的影响减弱,除中国与泰国之外,金融海啸期间,所有东亚股票市场与美国股票市场来自于自身的影响都呈现减弱的趋势,这说明金融海啸促进了东亚股票市场之间以及东亚股票市场之间与美国股票市场之间的联系,其中泰国是一个例外,在金融海啸期间显得相对封闭,而中国对于东亚股票市场以及美国市场的影响越来越大.

## 4 结束语

经过实证分析发现,金融海啸期间东亚股票市场之间以及与美国股票市场之间存在长期的均衡关系,东亚股票市场之间以及与美国股票市场之间的一体化程度提高,但是一体化程度的提高只是金融海啸期间的暂时现象,金融海啸之后一体化程度又降低了.

美国股票市场对于东亚股票市场具有重大影响,反过来,金融海啸之后东亚股票市场对美国股票市场的影响开始逐渐增大,但是其对美国股票市场的影响力仍然有限.

中国、香港与新加坡对东亚股票市场影响很大,而日本对东亚股票市场影响不大,东亚股票市场中日本与美国的关系最为密切.金融海啸增强了中国与新加坡股票市场对于东亚股票市场的影响,而香港股票



市场对东亚股票市场的影响力稍微有所减弱。

香港与新加坡股票市场开放程度较高,受到其他股票市场的影响很大,金融海啸更是加大了这种影响。泰国股票市场则较为封闭。

### 参 考 文 献

- [1] 吴凌芳. 东亚股票市场的一体化及其趋势——基于股指趋同性的分析[J]. 特区经济, 2010, (3): 44-47.
- [2] 周云帆. 东亚地区主要股票市场联动效应的研究——基于金融危机大规模爆发前后样本分析[J]. 哈尔滨金融高等专科学校学报, 2010, (2): 61-65.
- [3] Chan K. C., Gup B. E., Pan M. S.. International stock market efficiency and integration: A study of eighteen nations[J]. Journal of Business Finance & Accounting, 1997, (6): 803-813.
- [4] C. W. J. Granger. Investigating casual relationship by econometric models and cross spectral models[J]. Econometrica, 1969, (37): 424-438.
- [5] K. J. Daly. Southeast Asian stock market linkages: evidence from pre- and post-october 1997[J]. ASEAN Econ. Bull, 2003, (20): 73-85.
- [6] Lee K. Lim. Convergence and interdependence between asean-5 stock markets[J]. Mathematics and Computers in Simulation, 2009, (79): 2 957-2 966.
- [7] Nancy Huyghebaert, Lihong Wang. The co-movement of stock markets in East Asia——did the 1997-1998 Asian financial crisis really strengthen stock market integration[J]. China Economic Review, 2010, (21): 99-103.
- [8] Tan K. B., Tse Y. K.. The integration of the east and south-east Asian equity markets[J]. International Center for the Study of East Asian Development, Working Paper, 2002, (11): 75-78.
- [9] Titus O. Awokuse, Aviral Chopra, David A. Bessler. Structural change and international stock market interdependence: Evidence from Asian emerging markets[J]. Economic Modeling, 2009, (26): 549-559.
- [10] Yang J., Kolari J., Min I.. Stock market integration and financial crisis: The case of Asia[J]. Applied Financial Economics, 2003, (7): 477-486.

## Empirical Analysis of Impact of 2008 Global Financial Tsunami on East Asia Stock Market Integration

YU Cheng

(Antai College of Economics and Management, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200052, China)

**Abstract:** This paper examines implication of 2008 global financial tsunami on the integration of East Asia stock market by using co-integration test, VAR model, residual correlation, granger causality test and variance decomposition. We pay special attention to the interaction between US stock market and east Asia stock market before, during and after 2008 global financial tsunami. The empirical analysis reveals that 2008 global financial tsunami strengthened the integration of east Asia stock market. However, this turned out to be transient phenomenon. US stock market strongly influenced east Asia stock market before, during and after 2008 global financial tsunami.

**Key words:** stock market integration; 2008 global financial tsunami; VAR model

\* 文章编号:1000-5811(2012)02-0134-06

# 我国玉米供需曲线估测与市场预测

杨晓芸

(上海交通大学 安泰经济与管理学院,上海 200052)

**摘 要:**通过两阶段最小二乘法估测了我国玉米供需曲线,并预测未来两年均衡价格和净进口量.研究发现影响我国玉米供给的因素有玉米价格、大豆价格、技术进步和成灾率,影响我国玉米需求的因素有玉米价格、小麦价格、人均国内生产总值和总人口;预测未来两年我国玉米价格和净进口量都将呈上升趋势,我国将成为玉米净进口国.

**关键词:**玉米;供给;需求;预测

**中图法分类号:**F304.3      **文献标识码:**A

## 0 引 言

我国是世界第二大玉米生产国和消费国,长久以来国内玉米供给基本可以满足国内需求,而且还能出口一部分.但是随着中国经济持续高速的增长,农村工业化与城镇化进程的不断加快以及人民生活水平的不断提高,玉米需求快速增长,特别是饲料企业和玉米深加工的发展对原料玉米需求旺盛.近年来,玉米的供给和需求达到了紧平衡,市场迎来了新的格局<sup>[1]</sup>.

过去十年间玉米价格翻了一番,远远超过 CPI 的上涨幅度.与此同时,我国玉米的进出口形势也发生着改变,从 2008 年开始,出口量大幅明显减少,进口量大幅增加,2010 年玉米累计进口量为 157.3 万吨,创下历史新高.有一些机构预测,再过四五年,国内玉米进口量可能增至目前的 10 倍.一时间,坊间弥漫着一股国内玉米市场将重蹈大豆市场覆辙的氛围,也引发了国民对于我国粮食安全问题的担忧<sup>[2]</sup>.针对这些情况,有必要对我国玉米供给与需求的影响因素进行研究,通过估测供给和需求曲线,预测玉米市场未来的均衡价格和进出口情况,以便更清楚的判断未来市场的走势.

## 1 玉米供给量与需求量的计算

从供给角度来看,我国玉米每年的供给来自几个方面,包括国内产量、进口、库存投放等.从需求角度来看,我国玉米每年的需求来自口粮消费、饲料消费、工业消费、种子消费、损耗、出口、库存收购等.初始供需平衡等式如下:

$$\text{产量} + \text{进口} + \text{库存投放} = \text{口粮消费} + \text{饲料消费} + \text{工业消费} + \text{种子消费} + \text{损耗} + \text{出口} + \text{库存收购}$$

由于年度库存收购和库存投放没有权威的统计数据,因此将库存收购作为负项移到供给方,并用期末库存减去期初库存替代库存投放减去库存收购.进口和出口都与国际因素相关,但是单独考察进口和出口与国际因素的相关性都比较片面,本文选择将出口作为负项移到供给方,用净进口来衡量与国际因素的相关性.最终确定的供需平衡等式为:

$$\text{产量} + \text{净进口} + \text{期末库存} - \text{期初库存} = \text{口粮消费} + \text{饲料消费} + \text{工业消费} + \text{种子消费} + \text{损耗}$$

由于玉米需求方面没有权威的数据公布,因此本文通过供给法来计算我国历年玉米供给量和需求量.

$$\text{供给量} = \text{需求量} = \text{产量} + \text{净进口} + \text{期末库存} - \text{期初库存}$$

\* 收稿日期:2012-01-24  
作者简介:杨晓芸(1986—),女,上海市人,在读硕士生,研究方向:农业经济与管理

2 玉米供给和需求的影响因素分析

2.1 影响玉米供给的主要因素

2.1.1 玉米价格

玉米价格是影响玉米播种面积的主要因素. 玉米价格高, 则农户种植意愿强. 玉米价格分为收购价格、农贸市场价格、期货价格等. 对广大农户而言, 在决定农作物的播种面积时最直接的考量因素是玉米收购价格. 一般来说, 农户根据上一期玉米价格来决定本期玉米播种面积. 我国玉米分为春播和夏播, 一年一作和一年二作, 农户参考的是播种前几天的收购价格, 因此本文认为把当年玉米价格作为当年玉米产量的影响因素较为妥当. 从 1991~2009 年玉米产量和收购价格变化趋势图上看, 虽然有些年份玉米产量和价格之间存在反向关系, 但是从整体趋势看, 产量和价格都处于逐步走高的态势, 特别是进入 21 世纪以后, 玉米收购价格翻了一番, 玉米产量也增加了将近 80%.

2.1.2 种植替代品价格

玉米与大豆主产区有一些重合的区域, 播种面积此消彼长, 属于竞争作物. 当大豆和玉米的比价上涨, 农户更偏向于种植大豆, 因此玉米的播种面积会减小, 大豆价格和玉米产量存在反向关系. 农户根据两者的比价关系, 不断的修正播种意向, 最终影响玉米和大豆的产量. 以黑龙江省为例, 在 1995~2009 年间, 黑龙江豆类和玉米的播种面积此消彼长, 特别是 2002~2004 年豆类价格相比玉米价格较高, 豆类种植面积增加, 而玉米种植面积减少.

2.1.3 农业技术进步

从 1991 年至今, 我国玉米单产增加了 30% 左右, 其中最主要得益于农业技术进步. 技术进步反映在产前、产中和产后, 产前主要体现在良种等方面; 产中主要体现在农资、机械、化肥和杀虫剂等方面; 产后主要体现在保存方法等方面. 据农业部测算, 2010 年我国农业科技进步贡献率达到 52%, 比上年提高 1 个百分点, 良种覆盖率达到 96%, 种子统供率达到 66%, 耕种收综合机械化水平达到 52%<sup>[3]</sup>.

2.1.4 其他影响因素

农业政策是影响玉米供给的主要因素之一, 包括补贴政策、信贷政策、最低收购价政策、国储抛售政策和进出口政策等等. 此外, 各种自然灾害对玉米产量的影响也很大, 例如 2009 年的干旱和洪涝等自然灾害导致玉米减产, 影响了国内供给. 成灾面积可以反映农作物生产中受自然灾害影响的程度, 一般认为, 成灾面积越大, 农作物产量越少, 两者呈负相关关系.

2.2 影响玉米需求的主要因素

2.2.1 玉米价格

对于口粮消费, 玉米属于必需品, 大多数经济学家认为, 必需品的价格需求弹性比较弱, 几百年来形成的传统消费习惯不会在短时间内因为玉米涨价而不消费或寻找替代品. 但是从 2001~2009 年我国玉米消费结构变化上看, 口粮消费呈下降趋势, 与玉米价格呈负相关关系, 究其原因, 应该是由城市化的进程和人

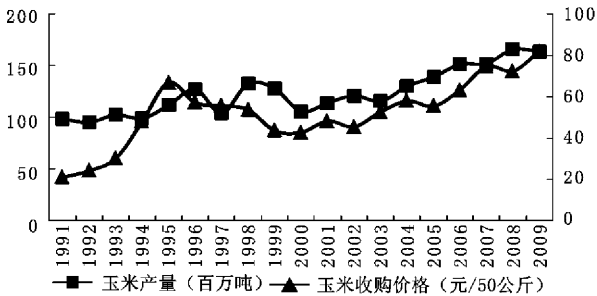


图 1 1991~2009 年玉米产量和收购价格变化趋势

数据来源:《中国统计年鉴》、《全国农产品生产成本与收益资料汇编》

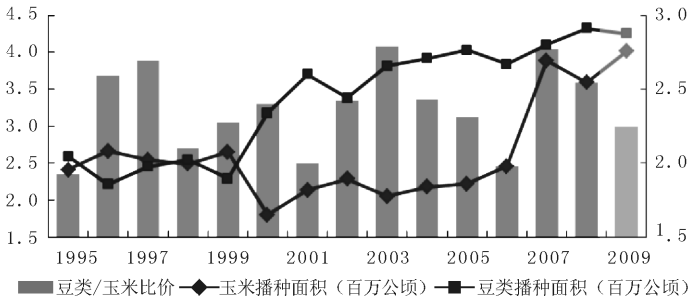


图 2 1995~2009 年黑龙江省玉米、豆类播种面积和价格比变化趋势

数据来源:《中国统计年鉴》、《全国农产品生产成本与收益资料汇编》

民生活水平的提高改变了人们的饮食消费结构所导致的. 此外, 饲料消费和工业消费都呈上升趋势, 特别是工业消费的上升速度很快. 两者与价格呈正相关关系, 这与需求原理违背, 究其原因, 可能是因为饲料和玉米加工行业受到了经济发展等因素的影响. 价格和需求的关系还需要进一步用模型去验证.

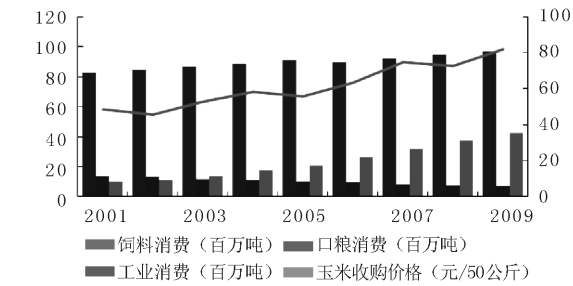


图 3 2001~2009 年我国玉米消费结构与价格变化趋势

数据来源:《全国农产品生产成本与收益资料汇编》、作者估计

2.2.3 经济发展

近年来随着社会经济的发展、人均可支配收入水平的提高, 居民的食物结构发生新的变化, 主要表现在肉蛋奶消费在日常消费中所占的比重越来越大. 在这一大趋势下, 我国饲料行业增长迅速, 产量稳步增加, 2005~2009 年我国饲料产量连续 5 年突破亿吨大关, 2009 年饲料产量为 1.48 亿吨. 此外, 我国玉米深加工行业也在飞速发展, 玉米是酒精、淀粉和玉米油等工业加工品的原材料. 作为主要的饲料原料和工业原料, 玉米的需求正在日益增加. 选择人均生产总值作为经济发展和收入增加的衡量指标, 发现人均生产总值和玉米总需求呈现明显的上升趋势, 呈正相关关系.

2.2.4 其他影响因素

总人口也是影响玉米需求的主要因素之一, 人口越多, 对玉米口粮和饲料消费的需求就越大, 两者呈共同上升趋势. 此外, 玉米深加工行业也在飞速发展, 特别是燃料乙醇的迅猛发展对玉米形成了原料需求, 进入 21 世纪, 国家分别在黑龙江、安徽、河南、广西等省区建立了一批生产基地, 产能已经超过 200 万吨/年, 大概需要 6~7 千万吨玉米作为原料. 为避免“与民争粮”的情况, 我国现在提倡使用非粮作物来代替玉米成为燃料乙醇生产的原料, 并严格控制产量. 所以, 国家在燃料乙醇生产方面的政策也是影响玉米需求的因素之一.

3 玉米供给与需求曲线估测

3.1 估测方法

在完全市场竞争条件下, 玉米属于价格接受型产品, 同时, 市场出清量和均衡价格由供给和需求曲线共同决定, 因此采用二步最小二乘法(2SLS)来估测玉米供需曲线, 并检验影响玉米供需的各个因素. 供需模型需要同时进行估测和调整, 本文选择 Eviews 计量软件进行具体分析.

3.2 变量选择

3.2.1 供给模型自变量选择

通过玉米供给的影响因素分析, 选择玉米价格、大豆价格、技术进步和成灾率等作为玉米供给的影响因素. 技术进步采用时间变量替代, 每过一年, 技术进步就增加 1. 政策因素除了对库存的变化有直接影响外, 对农产品价格、技术进步和投入要素都有一定影响, 但因为难以衡量, 所以本文并未考虑政策因素对供给和需求的影响. 模型采用年度时间序列数据, 样本期从 1991~2009 年, 数据来源于《中国统计年鉴》、《全国农产品生产成本与收益资料汇编》和万德数据库, 价格数据均剔除了通货膨胀影响, 采用线性模型来估测供给曲线. 完整的估计模型为:

$$Y = a_0 + a_1 P^c + a_2 P^s + a_3 T + a_4 D + \epsilon$$

2.2.2 替代品价格

玉米消费中有 60% 是用作饲料原料, 小麦和大豆是其最主要的替代品. 玉米是主要的能量饲料, 在饲料配方中占的比重较大. 虽然小麦的消化率不如玉米高, 但是其蛋白质含量较高, 部分替代玉米并不会影响畜禽的生长, 而且可以提高配方的蛋白质水平. 大豆的加工制品豆粕也是饲料的主要原料之一, 和玉米之间也有一定的替代性. 因此小麦和大豆与玉米的价格比将影响饲料企业原粮采购的选择. 当小麦和大豆与玉米的价格比降低时, 饲料企业会倾向于用一部分小麦和大豆来替代玉米, 致使玉米需求减少.

其中,  $a_0$  为常数项,  $a_1, a_2, \dots, a_4$  为待估参数,  $Y$  为因变量,  $P^c$ 、 $P^s$ 、 $T$  和  $D$  为自变量,  $\epsilon$  为随机误差项.

表 1 玉米供给模型相关变量

| 变量    | 名称    | 含义               | 单位      |
|-------|-------|------------------|---------|
| $Y$   | 玉米供给量 | 产量+净进口+期末库存-期初库存 | 万吨      |
| $P^c$ | 玉米价格  | 农户 50 公斤玉米平均出售价格 | 元/50 公斤 |
| $P^s$ | 大豆价格  | 农户 50 公斤大豆平均出售价格 | 元/50 公斤 |
| $T$   | 技术进步  | 时间变量 1、2、...     | —       |
| $D$   | 成灾率   | 全国农业成灾面积占播种面积比   | %       |

3.2.2 需求模型自变量选择

通过玉米需求的影响因素分析,选择玉米价格、小麦价格、大豆价格、人均国内生产总值、总人口和饲料产量等作为玉米需求的影响因素. 模型采用年度时间序列数据,样本期从 1991~2009 年,数据来源于《中国统计年鉴》、《全国农产品生产成本与收益资料汇编》和万德数据库,价格数据和人均国内生产总值均剔除了通货膨胀影响. 完整的估计模型为:

$$Y=b_0+b_1P^c+b_2P^w+b_3P^s+b_4GDP+b_5H+\epsilon$$

其中,  $b_0$  为常数项,  $b_1, b_2, \dots, b_5$  为待估参数,  $Y$  为因变量,  $P^c$ 、 $P^w$ 、 $P^s$ 、 $GDP$ 、 $H$  为自变量,  $\epsilon$  为随机误差项.

表 2 玉米需求模型相关变量

| 变量    | 名称       | 含义              | 单位     |
|-------|----------|-----------------|--------|
| $Y$   | 玉米需求量    | 口粮+饲料+工业+种子+损耗  | 万吨     |
| $P^c$ | 玉米价格     | 农户 50 斤玉米平均出售价格 | 元/50 斤 |
| $P^w$ | 小麦价格     | 农户 50 斤小麦平均出售价格 | 元/50 斤 |
| $P^s$ | 大豆价格     | 农户 50 斤大豆平均出售价格 | 元/50 斤 |
| $GDP$ | 人均国内生产总值 | 国内生产总值处于当年总人口   | 元      |
| $H$   | 总人口      | 全国每年末总人口        | 万人     |

3.3 估测结果与分析

经过变量的筛选和模型的调整,得到了最终的供需模型. 供给模型中,玉米价格与玉米供给量呈正比,与预期一致,且达到了 1% 的显著性水平;大豆价格与玉米供给量呈反比,与预期一致,且达到了 10% 的显著性水平;技术进步与玉米供给量呈正比,与预期一致,且达到了 5% 的显著性水平;成灾率与玉米供给量呈反比,与预期一致,且达到了 5% 的显著性水平. 需求模型中,玉米价格与玉米需求量呈反比,与预期一致,且达到了 10% 的显著性水平;小麦价格与玉米需求量呈正比,与预期一致,且达到了 1% 的显著性水平;人均国内生产总值与玉米需求量呈正比,与预期一致,且达到了 10% 的显著性水平;总人口与玉米需求量呈正比,与预期一致,且达到了 10% 的显著性水平.

表 3 供给与需求模型最终 TSLS 估计结果

| 变量     | 供给模型       |            | 需求模型       |            |
|--------|------------|------------|------------|------------|
|        | 回归系数       | 标准误        | 回归系数       | 标准误        |
| 玉米价格   | 361.752 2  | 0.005 8*** | -229.948 4 | 0.091 1*   |
| 小麦价格   | —          | —          | 430.369 6  | 0.003 5*** |
| 大豆价格   | -81.670 02 | 0.071 2*   | —          | —          |
| 技术进步   | 178.396 9  | 0.013 8**  | —          | —          |
| 成灾率    | -317.891 9 | 0.019 3**  | —          | —          |
| 人均生产总值 | —          | —          | 39.621 11  | 0.097 4*   |
| 总人口    | —          | —          | 19.099 42  | 0.051 4*   |
| 常数项    | 11 546.96  | 0.013 3    | -21 136.57 | 0.072 3*   |

注:\*\*\*、\*\*和\* 分别表示显著性水平达到了 1%、5%和 10%.

玉米供给函数和需求函数的估计曲线如下:

$$\hat{Y}=11\,546.9+361.9P^c-81.7P^s+178.4T-317.9D$$

玉米价格每上涨 1 元/50 公斤,玉米供给量将上涨 361.8 万吨;大豆价格每上涨 1 元/50 公斤,玉米供



给量将下降 81.7 万吨;技术进步每增加 1(即每过一年),玉米供给量将上涨 178.4 万吨;成灾率每上涨 1%,玉米供给量将下降 317.9 万吨.

$$\hat{Y} = -21\,136.6 - 229.9P^c + 430.4P^w + 39.6GDP + 19.1H$$

玉米价格每上涨 1 元/50 公斤,玉米需求量将下降 229.9 万吨;小麦价格每上涨 1 元/50 公斤,玉米需求量将上涨 430.4 万吨;人均国内生产总值每上涨 100 元,玉米需求量将上涨 39.6 万吨;总人口每上涨 100 万人,玉米需求量将上涨 19.1 万吨.

3.4 根据 2009 年和 2010 年数据进行检验

本文选取 2009 年和 2010 年数据对供需模型进行检验,2009 年数据均有出处,而 2010 年数据部分可以查到<sup>[4]</sup>,部分需要作者估计.2010 年玉米产量数据来源于统计局网站,净进口量根据海关数据计算得到,玉米、小麦、大豆价格根据中华粮网公布的全国收购均价换算得到,GDP、总人口数据来源于统计局 2010 年统计公告,成灾率根据专家估测值计算得到.此外,假设 2010 年库存没有变化,总供给是产量和净进口之和.所有价格数据都剔除了通货膨胀因素的影响.

把 2009 年和 2010 年各变量的数据代入供给和需求两个方程,求出 2009 年和 2010 年的玉米供给量估计值和市场均衡价格,并与实际值进行比较.发现误差率均在 5%以内,说明模型具有较高的预测价值.

表 4 2009 年和 2010 年估计值误差率

| 年份   | 估计值                                   | 实际值                             | 误差率/% |
|------|---------------------------------------|---------------------------------|-------|
| 2009 | $\hat{Y}=17\,086.0(\text{万吨})$        | $Y=16\,292.9(\text{万吨})$        | 4.87  |
|      | $\hat{P}^c=35.1(\text{元}/50\text{斤})$ | $P^c=34.2(\text{元}/50\text{斤})$ | 2.51  |
| 2010 | $\hat{Y}=18\,101.9(\text{万吨})$        | $Y=17\,869.6(\text{万吨})$        | 1.30  |
|      | $\hat{P}^c=37.0(\text{元}/50\text{斤})$ | $P^c=37.3(\text{元}/50\text{斤})$ | -0.08 |

4 应用模型预测 2011、2012 年中国玉米市场均衡价格和净进口量

对未来两年市场均衡价格和净进口量进行预测,则先要预测未来两年其他变量的值.对于收到随机因素影响的变量采用过去的平均值作为预测值,而对于具有明显变化趋势的变量采用过去几年均增长率预测或者根据经济形势变化预测.2011 年和 2012 年玉米产量根据过去 3 年均增长率计算得到;2011 年小麦和大豆价格采用中华粮网公布的前 3 季度收购价均价,2012 年价格根据过去 5 年年均增长率计算得到;技术进步为时间变量,每年增加 1;成灾率采用上年值;2011 年度前 3 季度 GDP 已公布为 9.4%,第 4 季度可能有继续下降的风险,全年预测为 9.2%,2012 年大多数学者估计继续下降,估计为 9%;我国人口增长率呈下降趋势,预计未来两年为 0.4%;CPI(以 1990 年为基期)根据过去 3 年均增长率计算得到.所有价格变量都剔除了通货膨胀因素影响.

把 2011 年和 2012 年各变量的预测值代入供给和需求两个方程,求出 2011 年玉米市场均衡价格、净进口量和总供给量分别为 38.4 元/50 公斤、216.2 万吨和 18 536.9 万吨;2012 年玉米市场均衡价格、净进口量和总供给量分别为 41.5 元/50 公斤、431.8 万吨和 19 368.3 万吨.价格和总供给量继续呈现上涨趋势,而净进口量在逐渐扩大,与美国农业部和一些专家学者的预测一致,中国正在从玉米出口国向进口国转变.

表 5 2011 年和 2012 年玉米市场均衡价格、净进口量和总供给量预测值

| 年份   | 均衡价格<br>/(元/50 公斤) | 均衡价格增长率<br>/% | 净进口量<br>/万吨 | 总供给量<br>/万吨 |
|------|--------------------|---------------|-------------|-------------|
| 2011 | 38.4               | 2.95          | 216.2       | 18 536.9    |
| 2012 | 41.5               | 8.07          | 431.8       | 19 368.3    |

5 结束语

通过构造玉米供给与需求模型,发现影响我国玉米供给的因素有玉米价格、大豆价格、技术进步和成灾率,影响我国玉米需求的因素有玉米价格、小麦价格、人均国内生产总值和总人口.根据 2009 年和 2010

年数据进行验算,误差率在 5% 以内,模型具有一定的预测价值.应用模型预测 2011 年和 2012 年中国玉米市场均衡价格和净进口量,发现未来两年玉米均衡价格和净进口量都呈现上升趋势,玉米市场将继续维持高位运行,涨幅达到 2.95% 和 8.07%.同时,我国将转变为玉米净进口国,但是净进口量并没有出现激增的态势,而是在现有基础上逐步上升,未来两年我国玉米净进口量预测值为 216.2 万吨和 431.8 万吨.

参 考 文 献

[1] 中国农业科学院农业信息研究所“农产品供求分析与预测”项目组. 中国玉米生产与消费形势及供需平衡分析[J]. 农业展望, 2005,(3):21-25.  
[2] 程 杰,袁天远. 我国粮食生产函数与影响因素分析[J]. 山西农业大学学报, 2007,(4):392-395.  
[3] 陈世军,蒋和平. 中国玉米供给与需求[J]. 调研世界, 1998,(10):17-20.  
[4] 任荣华. 我国玉米产业经济与玉米总量平衡研究[D]. 北京:中国农业科学院硕士学位论文, 2008:17-29.

Estimation of China's Demand and Supply Curve  
of Corns and the Market Forecasting

YANG Xiao-yun

(Antai College of Economics and Management, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200052, China)

**Abstract:** By using the two-stage least square method, this essay estimates the demand and supply curve of China's corn, and forecasts the corn's equilibrium price and net import in the next two years. The result shows that the influencing factors of corn's supply are price of corn, price of soybean, technical progress and plague ratio; and the influencing factors of corn's demand are price of corn, price of wheat, GDP per capita, and total population. As is predicted in the essay, the price and net import of China's corn will be in a rising trend, and China will become a net-import country of corn.

**Key words:** corn; supply; demand; forecast

~~~~~  
(上接第 125 页)

[3] 甘晰艳,张钰玲,等. 基于股价预测的仿真研究[J]. 计算机仿真, 2010,27(10):297-300.
[4] Engle Robert. Autoregressive conditional heteroskedasticity with estimate of the variance of U. K. inflation[J]. Econometrica, 1982, 50:987-1 008.
[5] T. Bollerslev. Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity[J]. Journal of Econometrics, 1986,31:3 097-3 327.
[6] 韩力群. 人工神经网络教程[M]. 北京:北京邮电大学出版社, 2006.

Combination Forecasting Model of Shanghai Index Based on SVD

LIU Chang-ming, ZHANG De-sheng, LI Jin-feng, REN Shi-yuan

(School of Science, Xi'an University of Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract: Stock index time series with non-stationary, high noise character, making stock index forecast, due to noise, the predictive accuracy of a single model is often not high. In this paper, the BP neural network and ARMA-GARCH combination forecasting model based on singular value decomposition(SVD) is built, the original sequence is decomposed into tend and noise parts and studied respectively. Empirical research result shows that, compared with the single model, this model has higher fitting and prediction accuracy.

Key words: singular value decomposition; BP neural network; ARMA-GARCH model



* 文章编号:1000-5811(2012)02-0140-06

基于 VAR 模型的大宗商品价格 与全球流动性关系研究

程 剑

(上海交通大学 安泰经济与管理学院, 上海 200030)

摘要:基于 VAR 模型,使用脉冲分析方法研究全球流动性对黄金、原油、工业金属、农产品等大宗商品价格变动的影响.实证结果表明,对于不同品种的大宗商品,全球流动性冲击对其具有不同的影响.其中对黄金和原油价格短期影响较大,对黄金的长期影响持久且显著,但对原油和工业金属的长期影响效果是递减的,而对农产品价格的影响无论短期还是长期都是缓慢且温和的.

关键词:全球流动性;大宗商品;向量自回归模型

中图法分类号:F830.59

文献标识码:A

0 引言

全球流动性是目前全球宏观经济和金融领域非常热门的话题,在美国次贷危机时,美联储连续执行了 QE1、QE2 以及呼之欲出的 QE3.随着欧债危机愈演愈烈,欧洲央行和英国央行纷纷推出了货币宽松等政策.全球范围内的流动性过剩导致全球石油及黄金等资产价格空前大涨,其效应影响了全球主要经济体.在这个背景下,“全球流动性过剩”和“资产价格”之间的关系成为学者们的热门研究对象^[1-3].

关于流动性及其对主要资产的价格影响方面,目前国内外已经有一些研究.但由于一些基本的概念如全球流动性标准等还没有统一定论,加之国内外研究人士采用的研究样本、研究对象及研究方法均有所差异,研究结果大相径庭,导致目前在全球流动性如何影响资产价格的研究领域尚未形成共识.在现有的研究中,研究的对象更多集中于房地产和股票市场,大宗商品价格大多采用 CRB 综合指数作为控制变量,但其实大宗商品范围较广(包括工业金属价格、贵金属价格、能源价格、农产品价格等),各种商品之间属性并不相同,而目前的研究中,关于流动性与各个商品子类之间几乎没有任何关系.今年以来,各种商品价格出现了不同时间跨度和不同幅度的波动,针对全球流动性如何影响这些商品价格进行研究变得十分必要,除了能为相关的投资者提供投资意见外,这些研究对于全球及中国政府制定相关货币政策具有指导意义.

1 文献综述

关于全球流动性对宏观经济及资产价格方面的研究越来越受到关注,但由于研究领域存在诸多争议,目前国内外在这方面的研究都相对稀缺.国外学者的研究中,较早研究全球流动性相关影响的是 Baks and Kramer(1999),他们采用简单广义和狭义货币供给增长率的加总作为全球流动性指标,使用简单的同期相关性分析方法得出全球流动性与利率成反比例、与股票收益成正比例的结论.同时还发现美国的超额货币对日本的超额货币具有溢出效应. Sousa and Zaghini(2006)使用简单货币加总法作为衡量全球流动性的指标,并以此研究全球流动性对欧洲地区经济的影响.他们的研究结果显示全球流动性对欧洲的物价水平和经济产出的波动具有较大影响,并且发现全球流动性波动是欧洲地区的 M3 指标波动的重要因素. Rüffer and Stracca (2006)的研究结果显示全球流动性波动对欧洲地区具有很强的溢出效应,对日本

* 收稿日期:2011-12-06

作者简介:程 剑(1986—),男,江西省九江市人,在读硕士研究生,研究方向:投资管理

的溢出效应不是特别明显.同时,他们还利用欧洲各国的房地产价格和股票指数构建了一个综合资产价格指数,发现全球流动性对其影响并不明显. Giese and Tuxen (2007)通过研究发现全球流动性波动与股票价格之间存在微弱的联系. Belke(2008)等人采用 OECD 国家的加总数据,利用 VAR 模型研究全球流动性和全球资产价格之间的关系,结果显示房价指数和全球流动性波动存在较强的关系. D'Agostino and Surico (2009)发现在预测国内通胀方面,全球流动性指标比国内的相关因素更加有效. Belke(2010)等人采用 CVAR 模型研究全球流动性对全球总需求和通胀的影响^[3-6].

国内研究主要集中在国内流动性对国内经济和资产价格的影响等相关方面的研究.董益盈(2008)采用协整方法、格兰杰因果检验和 VAR 模型对货币流动性和黄金价格之间的关系进行了实证检验.其选取的衡量货币流动性指标为 M2/GDP,实证结果表明,货币流动性是影响黄金价格的重要因素,两者存在着长期均衡稳定的关系.张会清和王剑(2011)基于结构向量回归模型(SVAR)研究全球流动性对国内经济影响,结果显示全球流动性扩张的外部冲击通过扩大出口和增加外商直接投资两种渠道直接拉动中国经济增长.本文将根据美国、欧洲、日本、加拿大及英国的货币供应量数据,使用 GDP 进行加权的方法构建全球流动性指标,并采用 VAR 模型分析全球流动性分别对工业金属、石油、黄金及农产品的价格影响^[7-9].

2 模型及数据选取

2.1 数据选取及处理

在下面的实证分析中,我们将全球流动性对不同的大宗商品价格进行分析.考虑数据的可得性和代表性,采用 G5(美国、欧盟、日本、加拿大及英国)1984Q1—2011Q2 的季度数据作为研究对象.我们收集其真实 GDP(GDP)、通胀指数(CPI)、短期货币市场利率(IRS)、广义货币供应量(Money)及汇率等数据.为了研究商品价格,分别选取 CRB 工业金属价格指数(Metal)、CRB 农产品价格指数(Agric)、伦敦黄金价格(Gold)及 OECD 提供的 BRENT 原油价格(Oil),所有数据货币单位均折算为美元.对于广义货币供应量,不同国家和地区选取指标有所不同,美国采用 M2;欧盟地区采取 M3;日本采用 M2+CDS;加拿大采用 M2+;英国采用 M4.所有数据均来自 Bloomberg、OECD 官方网站、IMF 官方网站及 ECB 网站.

为了构建全球流动性及对应的真实 GDP、CPI、短期利率等指标,我们采用 Giese and Tuxen (2007)建议的方法.首先,采用真实 GDP 和汇率数据将各个国家或地区的 GDP 和广义货币供应量数据转换为以美元为计价单位的数据;其次,计算每个国家或地区的 GDP 占总量的比例,以此后续计算权重指标.

即第 i 个国家在第 t 时间内的权重为:

$$w_{i,t} = \frac{GDP_{i,t}e_{i,t}}{GDP_{agg,t}}$$

其中 $GDP_{i,t}$ 为第 i 个国家第 t 时间内的 GDP 值, $e_{i,t}$ 为第 i 个国家第 t 时间内本国货币对美元的汇率, $GDP_{agg,t}$ 为第 t 时间内 G5 的 GDP 按照美元折算的总量.

然后利用该权重指数将 G5 的广义货币供应量、GDP、CPI 及短期利率分别采取加权合计法,从而构建全球性的流动性指标及其对应的 GDP、CPI 及短期利率等控制变量.

2.2 VAR 模型介绍

本文采取的数量分析模型为向量自回归模型(VAR).在不明确各个参数之间因果关系的情况下,通过将所有变量内生生化构建 VAR 模型,并采用脉冲法分析各个变量之间的脉冲反馈效应.

VAR 模型最早由 Sims 提出,其基本思想是将系统中每一个内生变量作为系统中所有内生变量滞后值的函数,从而将单变量自回归模型推广到由多元时间序列变量组成的“向量”自回归模型,VAR 模型是目前为止对多个相关经济指标进行分析和预测时使用最多的模型.简化 VAR 结构如下:

$$\Gamma(L)Y_t = CZ_t + u_t$$

其中: Y_t 为内生变量的向量, $\Gamma(L)$ 是滞后算子, $\Gamma(L) = I + \sum_{i=1}^p$, p 为滞后阶数, Z_t 是确定型矩阵, C 为其系数矩阵, u_t 是残差向量,因此可得:

$$\begin{aligned} E(u_t) &= 0 \\ E(u_t u_s') &= \begin{cases} \Sigma : t = s \\ 0 : t \neq s \end{cases} \end{aligned}$$

由于 Σ 不是对角矩阵,所以存在同期相关性. 为了在脉冲分析中得到某个单一内生变量的脉冲效应,需要对系统做一定的调整,这里使用 Cholesky 分解($\Sigma=PP'$),构造 $\Psi=DP^{-1}$ 矩阵(D 也是对角矩阵),并用 Ψ 左乘 VAR 原始结构式得到如下表达式:

$$K(L)Y_t=C^*Z_t+e_t$$

其中

$$K(L)=\Psi+\sum_{i=1}^pA_i^*L^i$$

于是变量间的同期相关性可用下三角矩阵 Ψ 来解释,新的残差 e_t 之间是没有相关性的, $E(e_t e_t')=\Psi\Sigma\Psi'=\Psi PP'\Psi'=DP^{-1}PP'P^{-1'}D'=DD'$.

3 实证分析结果

3.1 数据平稳性检验

首先,我们对所选用的变量历史数据进行取 ln 值(短期市场利率除外),对处理后的值进行单位根检验,本文采用 ADF 检验方法,根据下表中的检验结果,可以看出处理后的数据都不平稳,但是通过一阶差分处理后都是平稳的时间序列,所以依然可以使用 VAR 模型进行分析. 单位根检验的结果显示所有变量都是一阶单整,因此现在的问题在于是否应该对所有变量取一级差分处理. Sim. (1990)的研究结果显示即使变量非平稳,如果所有变量都一阶单整,那么使用 OLS 方法估计的 VAR 模型变量系数差别不大,即我们依然可以使用原变量建立 VAR 模型.

表 1 本文所使用的变量 unit root test 结果

变量	ADF 值	1% 临界值	5% 临界值	10% 临界值	是否平稳	变量	ADF 值	1% 临界值	5% 临界值	10% 临界值	是否平稳
lnGDP	-1.364 168	-3.492 523	-2.888 669	-2.581 313	否	lnGold	2.212 134	-3.491 345	-2.888 157	-2.581 041	否
dlnGDP	-4.372 006	-3.492 523	-2.888 669	-2.581 313	是	dlnGold	-10.165 02	-3.491 928	-2.888 411	-2.581 176	是
lnCPI	-3.100 212	-3.491 928	-2.888 411	-2.581 176	是	lnOil	-0.163 732	-3.492 523	-2.888 669	-2.581 313	否
dlnCPI	-13.421 58	-3.491 928	-2.888 411	-2.581 176	是	dlnOil	-8.744 617	-3.492 523	-2.888 669	-2.581 313	是
IRS	-1.725 791	-3.491 928	-2.888 411	-2.581 176	否	lnMetal	-0.571 474	-3.491 928	-2.888 411	-2.581 176	否
dIRS	-6.470 826	-3.491 928	-2.888 411	-2.581 176	是	dlnMetal	-7.892 318	-3.491 928	-2.888 411	-2.581 176	是
lnMoney	-1.158 198	-3.493 747	-2.889 2	-2.581 596	否	lnAgric	-0.015 489	-3.491 345	-2.888 157	-2.581 041	否
dlnMoney	-3.568 847	-3.493 747	-2.889 2	-2.581 596	是	dlnAgric	-9.505 568	-3.491 928	-2.888 411	-2.581 176	是

3.2 建立基本模型、稳定性检验及滞后阶数判定

为了分析不同大宗商品价格对流动性冲击的反应,首先利用传统宏观经济变量如 GDP、CPI、短期市场利率(IRS)、广义货币供应量(Money)等建立一个基本模型. 同时基本模型中还包括了黄金价格作为辅助变量.

表 2 AR 特征多项式根表

Root	Modulus
0.993 483+0.030 785i	0.993 960
0.988 651	0.988 651
0.897 178-0.168 764i	0.912 912
0.897 178+0.168 764i	0.912 912
-0.374 750-0.086 900i	0.384 693
-0.374 750+0.086 900i	0.384 693
0.228 417	0.228 417
0.129 475-0.041 274i	0.135 894
0.129 475+0.041 274i	0.135 894

本文中对除市场利率之外的所有变量数据均取 ln 值,且采用如下的内生变量向量:

$$x_t=(GDP,CPI,Gold,Money,IRS)$$

使用 Eviews 建立基本的 VAR 模型,为了保证脉冲响应函数分析的有效性,首先要对估计出的 VAR 模型进行稳定性检验,从下面的 AR 根表可以看出,没有根模在单位圆外,所以本文设定的 VAR 模型满足稳定性条件,根据其得出的脉冲响应函数结果是稳健、可靠的.

VAR 模型的滞后期选择是非常关键的:如果使用的滞后期数过长,则模型会产生参数过度化(Over-parameterization)的现象,造成估计结果无效率;若选取的滞后期过短,则又会因为过度简化参数(Parsimonious Parameterization)而产生偏误的问题,这两种情形都会对模型的分析运算造成影响,进而影响到结果的判定. 根据下表显示结果,我们选取 2 阶作为滞后期数(* 最多的滞后期数).

表 3 AR 特征多项式根表

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	289.954 1	NA	2.58e-09	-5.587 335	-5.458 660	-5.535 231
1	1 250.765	1 808.585	2.77e-17	-23.936 56	-23.164 51 *	-23.623 93
2	1 295.888	80.514 00 *	1.87e-17 *	-24.331 13 *	-22.915 71	-23.757 98 *
3	1 314.105	30.719 34	2.16e-17	-24.198 14	-22.139 34	-23.364 46
4	1 339.144	39.768 18	2.19e-17	-24.198 91	-21.496 73	-23.104 71
5	1 355.460	24.312 78	2.67e-17	-24.028 62	-20.683 06	-22.673 89
6	1 378.878	32.601 87	2.88e-17	-23.997 60	-20.008 67	-22.382 35
7	1 403.552	31.931 04	3.07e-17	-23.991 21	-19.358 91	-22.115 43
8	1 439.561	43.069 81	2.69e-17	-24.207 08	-18.931 40	-22.070 77

3.3 基本模型脉冲分析及结论

通过前面的分析,可以看出我们的基本模型是稳定的,为了进一步检验基本模型的合理性,我们在分析商品价格对流动性冲击的反映之前,先对基本模型进行一次脉冲分析,其结果如下:

从上面的分析结果可以看出,由于引入了 Gold 变量在基本模型中,基本模型并没有出现 Sousa and Zaghini(2006)模型中的“Price Puzzle”问题(即 IRS 短期会引起 CPI 上行),没有出现“Price Puzzle”的主要原因是因为本文 VAR 模型中的 Gold 变量能够反应通胀预期控制变量.其次,通过基本模型的分析可以看出流动性冲击短期对 GDP 具有正面效应,在第 6 个季度正面效应见顶,随后效应开始下降,且长期来看,货币供应量增加对 GDP 并没有影响.再次,分析结果可以发现,流动性冲击引起 CPI 上行,虽然上行速度较慢,但具有长期效应.最后,流动性冲击对黄金价格的影响非常迅速,但长期效应在递减.市场利率的冲击效应结果基本与流动性冲击相反.

3.4 加入原油价格、工业金属价格、农产品价格的模型机脉冲分析及结论

为了分析流动性对不同商品价格的影响,我们需要建立三个扩展模型,其内生变量向量分别为:

$$x_{i1} = (\text{GDP}, \text{CPI}, \text{Gold}, \text{Oil}, \text{Money}, \text{IRS})$$
$$x_{i2} = (\text{GDP}, \text{CPI}, \text{Gold}, \text{Metal}, \text{Money}, \text{IRS})$$
$$x_{i3} = (\text{GDP}, \text{CPI}, \text{Gold}, \text{Agric}, \text{Money}, \text{IRS})$$

然后对三个扩展模型建立 VAR 模型进行脉冲分析,其分析结果如下:

从上述分析结果可得出不同商品价格对流动性冲击反映具有较大差别.黄金价格对流动性冲击反映最为迅速,1~2 个季度内即可达最大值,且由于其流动性冲击能够产生长期的通胀,则作为抗通胀最重要的投资品种——黄金成为投资者和各国央行外汇储备的投资组合中超配的投资对象.另外,由于全球范围内金精矿原料供给弹性非常小,短期内,一旦需求迅速增加,相应黄金价格必然迅速增长.长期来看,在布雷顿森林体系瓦解之后,美元处于持续贬值趋势,且全球范围内的货币供应量在持续增加,在全球货币体系混乱不堪的情况下,黄金充分发挥其货币属性,其价格也必然长期处于上涨趋势.

原油价格对流动性冲击影响的短期效应与黄金相似,主要原因是期货的投机属性已经成为决定原油价格的重要因素,全球货币供应量大幅增加,必然迅速流向资本市场,相应的原油的投机需求大幅增加,而由于全球石油供给掌握在 OPEC 国家手中,其供给弹性相对较低,故原油价格会出现短时间迅速上涨.但从长期来看,根据本文的基本模型分析结论,全球流动性与全球经济增长之间并没有因果关系,而原油作为生产过程中最重要的能源产品,其长期价格必然受实体经济需求影响,所以投机性需求逐渐减弱后,流动性对原油价格影响效应也必然逐渐减弱.

工业金属价格对流动性冲击短期影响相较黄金和石油要缓慢一些,其影响大小与对 GDP 的影响相似.短期来看,市场注入流动性,如美国实行量化宽松等刺激经济的政策,一方面加大了市场对工业金属期货如 LME 金属期货的投机需求,另一方面市场预期在刺激政策的提振下,经济或将会有所好转并带动工业金属的需求上升;但由于全球工业金属的原料来源和产能分布较为分散,价格明显上涨必然拉动冶炼厂和矿山的增产,所以其供给弹性较原油要高一些,因此流动性冲击对工业金属价格的短期影响较为缓慢,一般在 6~7 个季度左右达到最大点.随后更多取决于全球经济增长情况,而流动性在长期对全球经济增长没有贡献,故其对工业金属的长期影响也必然逐渐减弱.

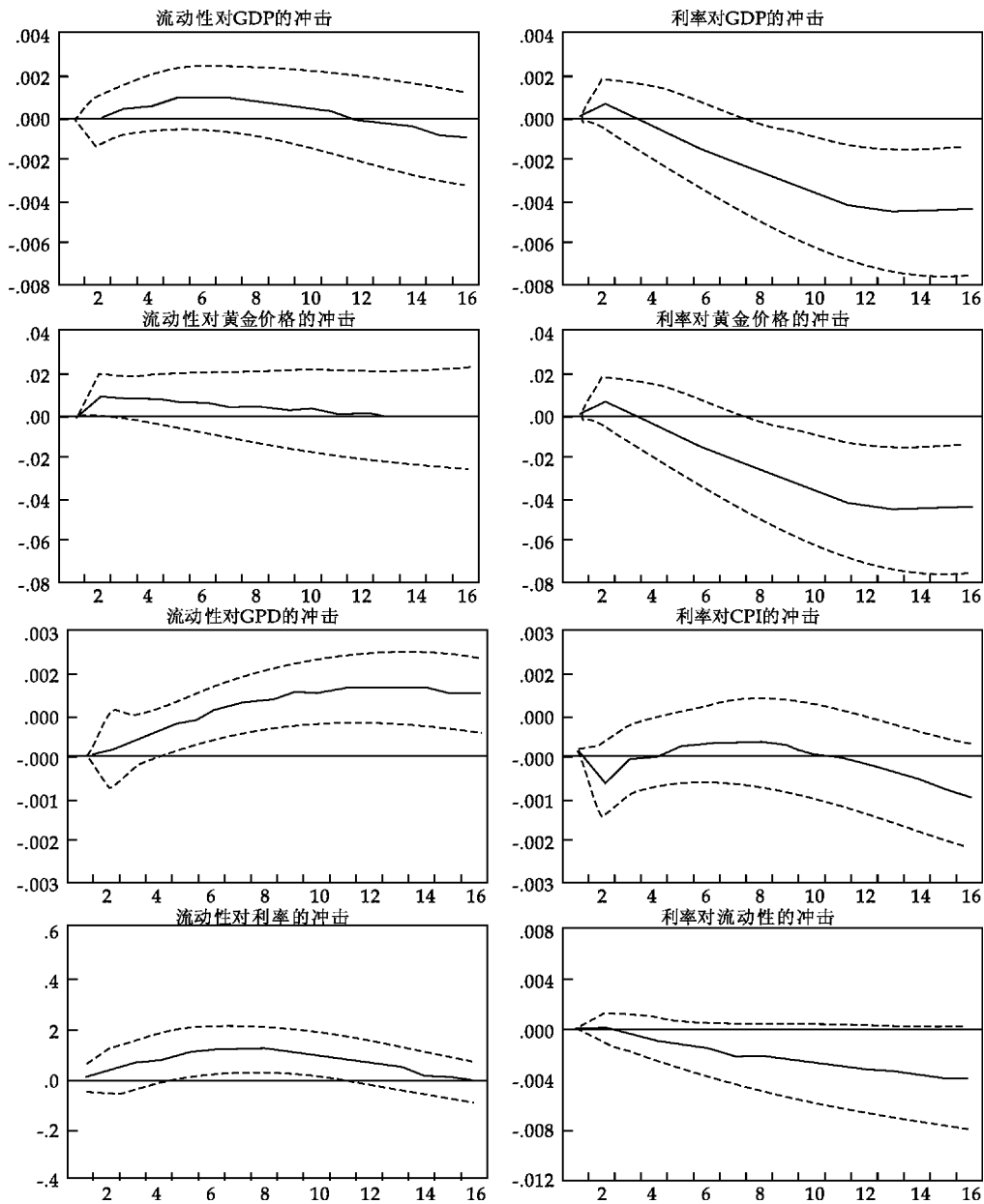


图 1 基本模型脉冲分析结果

农产品价格对流动性冲击反映缓慢且温和,主要原因是农产品的供给弹性相较其他品种的大宗商品要大,不少农作物在 2~3 季度内就能完成成熟期,且农产品的投机属性相对较弱,所以其对货币供给冲击的反映相教其他大宗商品要缓慢且温和。

4 结束语

本文通过建立 VAR 模型,使用脉冲分析方法研究全球流动性对黄金、原油、工业金属、农产品等大宗商品价格变动的影响. 实证结果表明,对于不同品种的大宗商品,全球流动性冲击对其影响是完全不同的. 其中对黄金和原油价格短期影响较大,对黄金的长期影响持久且显著,但对原油和工业金属的长期影响效果是递减的,而对农产品价格的影响无论短期还是长期都是缓慢且温和的. 对于商品期货的投资者而言,了解流动性冲击对不同品种商品期货的价格影响效果的差异性,有助于更好的把握投资时点. 对于政府部门,在制定相关货币政策的时候,尤其是美国、欧洲、日本等国家相继实行直接或变相的量化宽松政策的时候,需要考虑货币供给量大幅增加对大宗商品市场、通货膨胀及经济增长的短期和中长期影响。

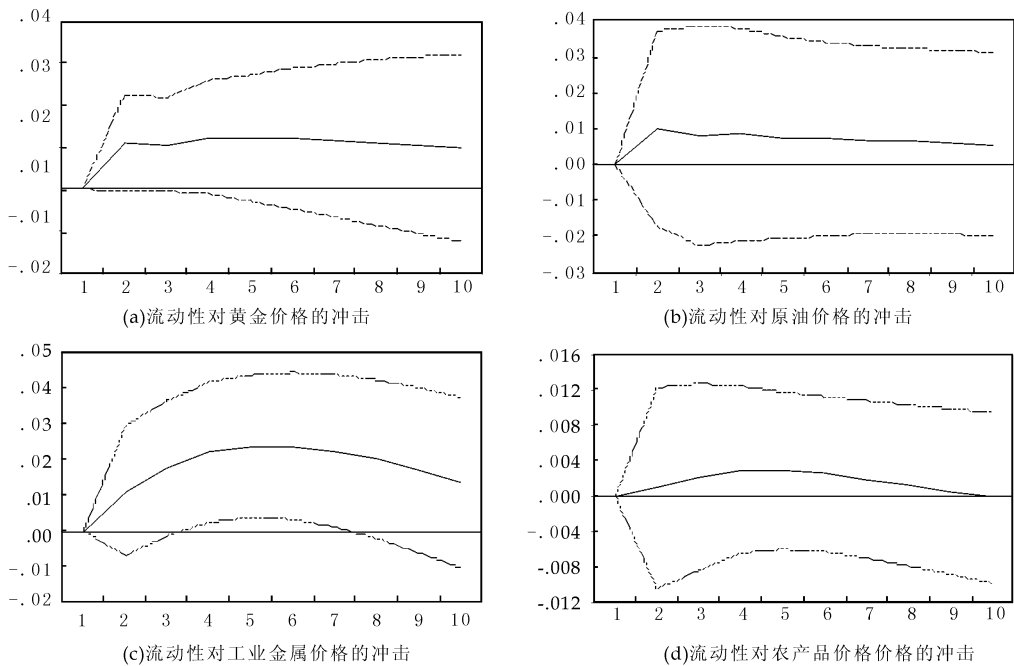


图 2 扩展模型脉冲分析结果

参 考 文 献

[1]Baks, K., Kramer, C.. Global liquidity and asset prices: measurement, implications and spillovers[J]. IMF Working Paper (Washington), 1999,(99):168.

[2]Sousa, J. M., Zaghini, A.. Global monetary policy shocks in the G5: A SVAR Approach[R]. Working Paper Series (Center for Financial Studies; Frankfurt), 2006.

[3]Giese, J. V., Tuxen, C. K.. Global liquidity and asset prices in a cointegrated VAR[R]. Manuscript, 2007.

[4]Belke, A., Orth, W., Setzer, R.. Sowing the seeds of the subprime crisis-does global liquidity matter for housing and other asset prices[J]. International Economics and Economic Policy,2008, 5(4): 403-424.

[5]D'Agostino, A., Surico, P.. Does global liquidity help to forecast U. S. Inflation[J]. Journal of Money, Credit, and Banking, 2009,(41):479-489.

[6]Belke, A., Bordon, I., Hendricks, T.. Monetary policy, global liquidity and commodity price dynamics[J]. Discussion Papers (DIW Berlin; German Institute for Economic Research) ,2010,(971):1 053-1 058.

[7]于艳萍,郭鹏飞,钱争鸣. 财政政策对经济增长与价格波动影响的动态效应研究[J]. 商业经济与管理, 2004,10(180):83-87.

[8]董益盈. 货币流动性对黄金价格影响的实证研究[J]. 金融与保险, 2009,(10):20.

[9]张会清,王 剑. 全球流动性冲击对中国经济影响的实证研究[J]. 金融研究,2011,(369):59-63.

Study the Relationship between Global Liquidity and Commodity Price Based on VAR Model

CHENG Jian

(Antai College of Economics and Management, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China)

Abstract: The paper study the relationship between global liquidity and the price change of gold, oil, metals, agricultural prices with pulse analysis based on VAR model. The empirical results shown that impacts of global liquidity pulse varying among different commodities. The short term impacts of global liquidity to gold and oil prices are significant. The long term impact to gold price is persistent, while the long term impact to oil and metals prices are decreasing. To agricultural products, both short term and long term impacts are slow and moderate.

Key words: global liquidity; commodity price; VAR model



* 文章编号:1000-5811(2012)02-0146-03

浅析西安旅游纪念品的深度 创新与系统发展策略

赵敏婷

(陕西科技大学 设计与艺术学院, 陕西 西安 710021)

摘要:深刻解读西安旅游纪念品市场的现状,分析西安旅游纪念品创新发展之路,依据现实,对其进行合理、科学、有效的系统开发,从而整合发展策略,改善西安旅游纪念品市场的发展趋势,使其呈现出新的面貌。

关键词:西安;旅游纪念品;创新;系统发展

中图法分类号:F590.8

文献标识码:A

0 引言

旅游业的收入来自于游客的吃、住、行、游、购、娱等多种消费。其中,吃、住、行、游是游客消费的基本组成部分,缺少其中的某一因素,便会影响旅游活动的正常进行,这属于游客的基本消费需求。而购物消费支出,则随游客的不同需求而具有很大的弹性。作为购买物消费的中心内容,旅游纪念品的消费支出也具有同样的特性。刺激游客在这方面的消费需求,是增加旅游收入潜力较大的手段之一。但目前,这方面的收入在我国旅游业总收入中的比重还比较低,特别是与旅游业发达国家相比,存在明显差距。一方面是和我国经济发展水平较低有关;另一方面也与旅游纪念品的开发力度不大、引导不力、缺乏旅游纪念品开发的创新意识等有关。作为我国重点旅游城市之一,西安在整体旅游业取得长足发展的同时,在旅游纪念品的开发上也面临着同样的问题。

西安具有悠久的历史,是我国著名的古都。在旅游纪念品的开发上,可供挖掘的文化内涵非常丰厚。但从目前经营的旅游纪念品来看,人有我有类的纪念品比比皆是,而人无我有类的纪念品,特别是蕴涵地方特色并具有吸引力的纪念品却不多见。这与西安旅游业的快速发展,游客需求的多样性、变化性极不相适应。因此,为了增强旅游创收能力,满足游客的多种需求,深入挖掘地方文化内涵,深度创新并系统开发独具千年古都特色的旅游纪念品已是势在必行。

1 西安旅游纪念品发展现状及存在问题

近年来,随着西安旅游业的发展,西安的旅游纪念品发展较快,逐渐形成了一部分专门从事旅游纪念品生产的队伍。但是目前,在西安旅游收入持续增长的情况下,旅游纪念品收入占旅游总收入比重的增长却并不大。旅游纪念品开发已成为西安旅游业发展中的一个滞后因素,其开发、研制、销售等方面均存在诸多问题,影响了西安旅游业的整体发展。

1.1 质量意识不强

纪念性、艺术性、收藏性等是旅游纪念品作为一种特殊商品所应具有的特点。这就要求旅游纪念品不管是使用的材料、制作工艺,还是包装装潢等方面都应该体现出较强的质量意识^[1]。但在西安旅游纪念品

* 收稿日期:2011-12-19

基金项目:陕西科技大学人文社会科学基金项目(ZX10-41)

作者简介:赵敏婷(1981-),女,陕西省咸阳市人,讲师,硕士,研究方向:艺术设计

市场上,质量上乘,真正称得上旅游纪念品的东西却并不太多,大部分做工粗糙,档次较低,即使价格低廉也吸引不了游客的购买欲望.更有甚者,以次充好,以假乱真,使游客购物没有安全感,挫伤了购物积极性.

1.2 产品缺乏特色和规模

西安旅游纪念品的生产企业没有形成产业化的经营规模,缺乏支撑性的企业力量.目前,旅游纪念品的生产、销售大多属于个体经营,技术与资金不足,设计包装简陋,产品更新换代缓慢.此外,经营者的管理水平低,品牌意识薄弱.因此,导致西安有着一流的旅游资源,而旅游纪念品市场却不尽人意.如兵马俑仿制品大都工艺简单,品种单调,制作粗糙,质量低下.而极少数质量高的,却价格昂贵,让游客望而却步,又因没有形成知名品牌,旅游者对其实际价值持怀疑态度.更甚的是,西安目前的旅游纪念品行业,不仅生产企业规模小,而且绝大多数产品缺乏创意,不同地方不同景点的纪念品千篇一律,不能反映出地域文化特色.甚至在不同景点的旅游纪念品商店,出现相同的纪念品,这样就使旅游者失去购买的愿望.

1.3 市场观念单薄

西安旅游纪念品市场缺乏高效的发展机制,市场主体发展不够完善.生产、供应、销售各自为政,多数还处于小作坊式的经营状态,缺乏有效地协作和沟通,导致市场信息无法准确、快速、有效的流通和反馈,导致生产不能根据市场变化进行及时调整.此外,由于规模小、资金不足,无法进行大规模的宣传和促销活动,不能扩大旅游者对纪念品的认知和感知.这种零散的个体经营,难以形成一定的规模和档次,不能开展灵活、深入的营销活动,这些都对西安旅游纪念品市场的整体发展极其不利.

2 西安旅游纪念品开发的创新内容

2.1 题材创新

西安历史悠久,积淀了丰厚的历史文化遗产,同时,自然景观也具有一定的特色,现代文化缤纷多彩,这些都为旅游纪念品的开发提供了丰富的创作题材.首先,现存的各类旅游景观本身就是很好的题材,如兵马俑、华清池、华山、大雁塔、大唐芙蓉园、古城墙等,均具有很好的纪念品开发前景;其次,与西安有关的历史名人、名诗、名书法、名画、名文学作品及其内容也可作为纪念品的创作题材,例如西安碑林众多的名人墨宝.这些宝贵的文化题材均具有极大的开发潜力及市场价值,但目前远远没有在旅游纪念品的开发中得到体现.

2.2 表现形式创新

旅游纪念品的表现形式是多样的,如绘画、书法、雕刻、手工编织、音像等.每一大类都需进一步挖掘不同的具体的表现形式,如雕刻中的微雕,木、竹、石雕等艺术形式.除了注重这些制成品表现形式的创新外,还有一点要引起注意,即纪念品在制作过程中要进一步增加游客的参与性,包括画、雕、编织、陶艺等各种表现形式,都可让游客参与其中,从中既可以学到一定的知识,又能增加新的体验.这方面的市场机会还是比较多的.

纪念品可以单独表现,也可就某一内容或载体等形式制成系列化产品,以满足游客的不同需求.如根据精细程度,推出具有不同档次的同一类产品,形成系列化;就某一类内容可形成内容系列化,如同一类内容的名画系列品,名雕系列品;还可形成载体系列化,如就相同内容题材来说,可用木、玉、石雕、烫画、国画、云锦等各种形式表现出来,形成系列化纪念品.

此外,除了注意纪念品本身的表现形式外,精美并具有特色的包装,也是吸引游客的重要因素.需要注意的是,纪念品的包装不仅要求精美,还要考虑其艺术性、实用性、地域性,以适应不同的需求.与产品系列化相结合,可单独包装,也可组合包装.

2.3 制作工艺创新

这主要指旅游纪念品的科技含量要高而新,要将生物、医学、电子等高新技术及新材料应用于旅游纪念品的开发之中,增强纪念品的实用性、趣味性,以提高吸引力.如具有动感的纪念品、能发出声光的纪念品、在造型或内容方面加入关中具体景区文化因素的小型家电及小型健身用品,要尽量包含最新奇的科技

成果,做到既在一般实用商品中具有吸引力,同时又有一定的纪念意义。

2.4 品牌的创新

品牌与商标是商品的象征和标志,是区别其他同类型产品、确立市场形象的重要因素,是创新过程中不可忽视的重要内容^[2]。品牌与商标一旦在市场中树立,就不应轻易地改动。一方面要加强对老牌、名牌旅游纪念品的保护,并通过技术革新和管理创新,使其优良品质和信誉不断焕发青春活力;另一方面,要大力扶持新生旅游纪念品生产企业,通过高质量的产品与服务,以及有力的营销手段,推进品牌和商标在市场上的知名度和信誉度,成为代表西安旅游形象的新代言品牌。

3 西安旅游纪念品的系统性开发策略

西安旅游纪念品的经济价值潜力巨大,可待挖掘的空间广阔,若以地域优势对其进行合理、科学、有效的开发,必定会改善西安旅游纪念品市场的发展现状,使其呈现新的面貌。

3.1 强化商业旅游概念

旅游商品销售收入占旅游业总体收入份额的高低,是衡量旅游业发展状况的重要标准之一。作为有特色的旅游商品——旅游纪念品,它的发展在提高旅游商品销售收入中起着重要的作用^[3]。要促进西安旅游纪念品市场的发展,就一定要解放思想,转变观念,充分认识商旅结合的战略意义。如可以采用“商店与馆藏结合”、“商店与艺术表演结合”、“商店与风景胜地结合”、“商店与保健结合”等模式,将购物功能与旅游功能合二为一,形成优质服务体系,获得社会的广泛认可和支持。在旅游纪念品的开发中,企业是中心环节,政府要通过一定的政策来鼓励社会企业开发旅游纪念品,增强其开发活力,还可以利用各种新闻媒体,把思想传播到社会中去,为旅游纪念品的发展创造良好的政策和社会环境。

3.2 精确定位,规模发展

市场定位决定着开发产品的具体内容和档次规模,准确、良好的市场定位有助于开发出畅销的旅游纪念品^[4]。在西安旅游纪念品的开发中,可依照不同消费群体的特点进行市场细分,认真分析和掌握各类旅游者的偏好,正确进行市场定位、商品定位和价格定位。如在西安的入境旅游者中,欧美游客对西安的仿古工艺品、瓷器、民族用品比较喜爱。尤其是老年游客,他们十分欣赏古风古韵的东方情调;而日韩游客,由于和我国有相近的文化渊源,对西安剪纸、西安刺绣等民族工艺品情有独钟。因此,在产品开发上,要做到针对不同的消费群体与市场的特点来进行区分,才能有好的销路。

3.3 发挥本地优势,突出古城特色

同其他产品一样,旅游纪念品也有其生命周期,鉴于西安相当一部分有影响的旅游纪念品日趋老化的现象,应加紧对其进行二次开发。此外,旅游纪念品本身就是特色旅游商品,集地方性、纪念性和时代性于一体。特色,是旅游纪念品的灵魂。因此,要深刻挖掘其文化内涵,将秦汉的传统文化、现代的工艺技术和当地的物质资源结合起来,设计和制造出独具特色、品位较高的旅游纪念品,才能使西安旅游纪念品市场重获生机。例如,兵马俑的开发要以秦代文化为切入点。可以利用现代工艺技术,模拟兵马俑或秦始皇陵墓中的部分,制作成类似机械玩具的各种精美复制品,如变形金刚似的大秦武士,从而再现兵马俑和古时秦代生活方式,突出其地域特色。旅游纪念品开发若以民族传统文化为内核和源泉,就会迸发出长久的生命力和较高价值。

3.4 加大宣传力度,通过多种形式活动使西安旅游纪念品形象深入人心

旅游纪念品的宣传要加大力度,调整宣传手段、宣传方式和投资力度。要抓住各种有影响的洽谈会、交易会等机会,把西安的旅游产品摆上去、推出去。如,可以考虑每年举行一次全市旅游纪念品大奖赛,及衍生出各种形式的旅游纪念品设计大赛。同时,加大力度奖励对发展旅游纪念品做出贡献的人员,在市内外引起广泛影响,从而扩大西安旅游纪念品的知名度和影响力。

4 结束语

(下转第152页)



* 文章编号:1000-5811(2012)02-0149-04

环保型户外广告的设计探索

李曜良

(西安文理学院 文学院, 陕西 西安 710065)

摘要:通过对环保型户外广告的研究,提出环保型户外广告的含义,探讨环保型户外广告的可持续发展性、多样变化性、超现实性,以及文化与时代性等.以“三棵树油漆”户外广告为例,分别解读了环保型户外广告的可持续发展性、多样变化性、超现实性以及文化与时代性的视觉表现,为环保型户外广告进一步推广与应用提供了新的理论依据.

关键词:户外广告;环保;三棵树油漆

中图法分类号:J524.3

文献标识码:A

0 引言

企业以促进人们购买行为做为自己的最根本目标,这必然牵扯到人与人、人与环境之间的关系.人是环境中的主体,设计必须以人为本.企业把户外广告看作是沟通和联系人、产品、环境、社会、自然的中介,会间接影响社会公众的生活方式.值得一提的是,绿色和环保已经成为当今设计的共同主题.环保型设计是一种以节约资源和美化环境为宗旨的设计意念和方法.而其他诸多方面,如流行风格、民族特征、传统特色等文化因素将成为未来设计的一大潮流.户外广告的整体规划应该从以上种种方面入手,将人文、科技、环保等主题融入其中,更多地传达出设计师对社会的关注和对美的追求.因此进行未来户外广告的设计实践,应首先把握住绿色、环保的特征^[1].

1 户外广告是人与环境相互联系的重要纽带

具有生命与活力的城市环境,是生存条件良好,且使人们能够在环境中可持续健康发展的生活空间,所以,企业在做户外广告时,更应从生态学视角予以重视.以前,我们对户外广告视觉文化内涵的认识,仅限于社会科学,只关注人和人造物,对其他物种和自然环境视而不见.从而导致了户外广告所宣传的消费至上主义,造成了各种各样的环境和生态问题,如一次性和即时性消费的流行,人与物的关系越来越带有临时性质,由此带来了严重的环境污染和自然资源浪费.而当今的企业文化却是不同的,它立足于人类和自然环境互补基础之上,一个企业的形象要建立起来,更是要关注户外广告引发的消费行为与环境之间的关系,因此户外广告已成为人与人、人与环境相互联系的重要纽带.

2 环保型户外广告的涵义

户外广告可以说是一个城市的重要组成部分,因此,户外广告形式的优劣将直接影响到人们对城市环境的印象.未来的户外广告设计,必将以改善环境及改善生活质量为出发点,努力创造出以生态学原理为导向的环保型户外广告形式.

环保型户外广告是一个新的提法,它可理解为是自然资源和能源消耗少、无公害、无污染,具有地方特色和文化意韵的户外广告.这样的广告形式集性能和生活品位于一体,同时也能美化公共环境.

* 收稿日期:2012-02-08

作者简介:李曜良(1983—),男,陕西省西安市人,讲师,硕士,研究方向:设计艺术学

3 环保型户外广告的可持续发展性

户外广告作为城市整体环境中的重要组成部分,无论是利用原材料创作的,还是利用自然绿地开发的,都必须考虑到与整体环境的联系,要从城市环境的规模、广告的内容、材料结构及功能、还有美化布局等方面去整体思考.只有全方位地将人与自然视为一个完整协调的系统,才能把户外广告与环保型生态系统的稳定性结合起来,从而利用自然规律进行创作.



图 1 “三棵树油漆”
平面广告方案一

在满足当代人需求的同时,应不危及后代人的需求及选择生活方式的可能性.因此,具体在其规划设计的构思、平面布局结构与各类设施的设置方面应尊重环境的自然属性,全面考虑户外广告与周围环境的各种关系,强调人类活动与所处地域环境的不可分割性,从而提高户外广告的视觉冲击力和人与环境的关联,使其具有可持续发展的特性^[2].

绿色来自于大自然,它象征着生命和成长,所以绿色也意指活力与希望,进而被人们所向往.如图 1 所示,在“三棵树油漆”平面广告方案一中,手持喷壶的女人,把油漆撒向人间,不仅滋润了万物,而且还为大地涂上了绚丽的色彩.喷水的效果让平面的创意更具真实感,与下面茂盛的植物相呼应,使观者得到一份遐想与震撼.喷嘴的材质为铝合金,喷壶内部为蓄水箱,收集雨水,并与下方喷嘴连接.由于喷嘴所起的是漏斗的作用,不会过多加重柱体的承载力,将蓄水箱与支撑框架相结合.下方种植花草或树木,与创意主题相呼应,起到美化环境的效果.

4 环保型户外广告的多样变化性

环保型户外广告的多样变化性,是指尽可能地利用自然环境的变化,诸如太阳光、雨、雪等自然景象的不同为户外广告形式服务.这种多样变化的特征即被赋予了丰富的所指,即在一年之中根据季节的变化,乃至一天中光线的不断变化,从而在相对狭小的区域里形成一个多样变化的自然空间效果,根据人们位置的不同,也能产生出不同的变化效果.



图 2 “三棵树油漆”平面广告方案二

如图 2 所示,在“三棵树油漆”平面广告方案二中,这是一块每分每秒都在变化的广告牌.它拥有大自然赋予的绝美配色,以自然节气的交替无形引申出大量繁复的能指元素,即春天的绿色、秋天的黄色、夏天的红色、冬天的白色,从广义上对三棵树“健康、自然、绿色”的核心价值观进行阐述,进而表现出丰富的所指,寓意其美好世界的再现.广告形象所建构的“现实”甚至比现实更逼真,从而使广告形象凌驾于现实之上,成为超现实^[3].

5 环保型户外广告的超现实性

通过原本没有的物象或模拟现实物,进一步生产并制造出具有创新的、夸张的模型,那就是超现实.也就是说,这种按照原有物象的模拟,通过逻辑生成的类象物,而生产出极度逼真的物象,努力营造出净化空气、无污染,并且有绿地环保意识,有强烈的视觉冲击力及良好的美化环境效果,就是环保型户外广告的超

现实特征.



图 3 “三棵树油漆”平面广告方案三



图 4 “三棵树油漆”平面广告方案四

如图 3 所示,在“三棵树油漆”平面广告方案三中,这是一个油漆刷模型,上方内部装置种植绿色植物,体现健康漆概念.这预示着企业创造健康生活的使命感,矗立于城市街道、商业区、公园等位置.油漆刷长出鲜活的植物,阐释品牌的核心价值“健康、自然、绿色”的概念.由此,户外广告中的事物看起来比真实的事物更具真实感,显现出环保意识.

这种按照自身的模拟生产着“现实”和人们对现实的经验,这种生产不再以理性结构为基础,这种存在并不代表意义,它只代表欲望,这种欲望,让人们把类象直接等同于现实^[4].现实的欲望被类象的欲望所取代,类象和现实之间的关系被颠倒了,现实在人们眼中变得不再真实,类象要比现实更可信,人们不再按照真实之物来行动和思维,类象的模拟逻辑代替了现实的生活逻辑,左右着人们的立身行事.正是因为户外广告超现实性的故作神秘,故意不与那些羡慕者共享它的经验,才会引起他人的注意和兴趣.

6 环保型户外广告的文化与时代性

环保型户外广告的文化与时代性是社会经济基础发展到一定高度后才出现的.其不仅仅被理解为宣传企业形象、提高声誉的展示,更是在宣传的基础上融入环保、健康、活力的感受,使其具有一定的社会公益宣传作用.

环保型户外广告作为城市环境的一部分,也承载着时代与文化的特征.要认识到文化特征和与时俱进对于人们健康高尚情操培育的重要性.而营造绿色、环保的文化氛围,就是要用这些实体性的宣传载体赋予其文化感与时代感的所指.进而,注重户外广告所在地域的特征及地方特色,挖掘、提炼和发扬不同地域的历史文化传统,并在规划中予以体现.

如图 4 所示,在“三棵树油漆”平面广告方案四中,以“三棵树漆、跑道”为设计元素,整个开放的画面给人以环保、健康、活力的感受.三棵树下刷出起点、分享健康,预示着在“三棵树”下就可以刷出“新的人生起点、全民参与、分享健康”的理念,体现了“三棵树漆”的环保、健康、活力等所指.

7 结束语

我国幅员辽阔,东南西北差异较大,加上各地生态因素、自然资源也不尽相同,因此,作为环保型的户外广告设计的研究领域必然也十分宽广,从而会产生出许多结合地域特色来研究环保型户外广告的设计理论.这必将促使我国未来的户外广告继续朝着“环保、健康、绿色、活力”的方向迈进,进而为我国走向新世纪的城市环境发展产生巨大的推动作用.未来的城市环境是与户外广告的整体规划息息相关的,人类的取向与选择必然是生态化的,愿户外广告设计实践与人的可持续发展能促进城市环境的美化,以使人类能够拥有更加广阔、更为美好的绿色世界^[5].这必然需要我们的设计师们更新观念,把握其要点,并在具体设计实践中予以正确地应用.同时,在户外广告与城市环境的整体规划布局上,应注意将其与环保、服务、实用等方面结合起来进行全面考虑.

参考文献

[1] 刘志峰,刘光复.绿色设计[M].北京:机械工业出版社,1999:83-86.

[2] 辛艺峰. 持续发展的绿色住区环境设计[EB/OL]. http://dolcn.com/Data/cns_1/article_31/paper_311/penv_3113/2002-06/1024562185.html, 2002-06-20.

[3] 张宪荣. 设计符号学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 53.

[4] 杨君顺, 程远. 论知觉对象与背景的关系[J]. 包装工程, 2006, 27(1): 159.

[5] 齐效斌. 人的自我发展与符号形式的创造[M]. 北京: 中国社会科学出版, 2002: 121.

Environmentally Outdoor Advertising Design Exploration

LI Yao-liang

(College of Chinese Language and Literature, Xi'an University of Art and Science, Xi'an 710065, China)

Abstract: Through the study on environmentally outdoor advertising, pointed out the meaning of environmentally outdoor advertising, discussed four features: sustainable development, variety, surreal, cultural times. Take the “Skshu Paint” as an example, interpreted deeply the above features of sustainable development, various changes, super reality, and cultural times of visual performance, provided new theoretical basis for the promotion and further applications of environmentally outdoor advertising.

Key words: outdoor advertising; environmental protection; Skshu Paint



(上接第 148 页)

旅游纪念品在现阶段的开发,对于增加旅游业的附加值,拉动内需,促进我国经济和社会的发展具有重要意义.对于以国际化大都市及国际最佳旅游目的地为建设目标的古城西安,在实现旅游资源合理化配置与应用的同时,更要重视促进旅游纪念品水平的总体提升.只有这样,才能走出具有西安地域特色,且与时代同步的旅游经济之路,为打造古城西安这一世界知名旅游品牌添砖加瓦.

参 考 文 献

[1] 刘 燕,刘宇男. 旅游纪念品—推动旅游业发展的生力军[J]. 资源开发与市场, 2002, 18(4): 16-17.

[2] 朱应皋,万绪才. 旅游纪念品发展对策探析[J]. 现代经济探讨, 2002, 21(5): 27-28.

[3] 冯万荣. 旅游纪念品市场存在的问题及其对策[J]. 太原大学学报, 2004, (7): 35-36.

[4] 郑丽娟,罗晓光. 旅游纪念品的营销策略[J]. 边疆经济与文化, 2004, 1(1): 19-20.

Analysis of Profound Innovation and Systematic Development Tactics of Tourist Souvenirs in Xi'an

ZHAO Min-ting

(College of Design and Arts, Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China)

Abstract: This paper aims to present the current situation of tourist souvenirs market in Xi'an, analyze the way of innovation and development for tourist souvenirs in Xi'an, and state the reasonable, scientific and effective system-developing in accordance with the reality. It also expounds on integrating the development strategies and how to improve the development trend of tourist souvenirs market in Xi'an so as to present the new conditions.

Key words: Xi'an; souvenirs; innovation; system development

* 文章编号:1000-5811(2012)02-0153-03

浅议“龙”在中西方文化中的差异及翻译观

李淑玲

(陕西科技大学 外国语与传播学院,陕西 西安 710021)

摘 要: 中西方有不同的人文、历史背景和社会价值观. 中国的“龙文化”上下八千年,源远流长,是中国文化的象征,也是中华民族的象征. 从中西方文化中“龙”的不同含义、汉语中有关“龙”的成语及其英译、英语中有关“龙”的表达、关于“龙”的英语翻译等 4 个方面进行了探讨,为跨文化交际和跨文化翻译提供借鉴.

关键词: 龙; 中西方文化; 差异; 翻译观

中图法分类号: H059 **文献标识码:** A

0 引 言

龙年来临,有关“龙”的话题日渐增多,如龙的传说、龙的成语、龙的服饰、龙的电影、龙的广播电视节目、龙的精神、龙文化论坛、龙民俗文化节等. 古时候,龙是至高无上的权力象征,历代帝王都自命为真龙天子. 皇帝穿“龙袍”、坐“龙椅”、住“龙宫”,动辄“龙颜大怒”. 故宫里单是太和殿便装饰有一万三千多条龙. 现今,在老百姓心目中,龙是祥和、幸福的象征. 传统娱乐项目如新春佳节舞龙、元宵节赏龙灯、端午节赛龙舟、旅游时乘龙船等. 2011 年西安世界园艺博览会每天晚上的龙舟游园活动,吸引了无数游客的目光,甚是热闹. 而在西方文化中,“龙”一直是反面角色,有着截然不同的形象和含义. 本文从以下四个方面探讨龙在中西方文化中的差异及其翻译观.

1 中西方文化中“龙”的不同含义

1.1 中国文化中“龙”的含义

- (1) 中国“龙”的形象. 中国龙是吉祥的象征,是我国古代传说中的神异动物,与凤凰、麒麟、龟等一起并称为“四瑞兽”. 它由各种动物的身体部分组成,如鹿角、牛头、蛇身、鱼鳞、蜥腿、鹰爪,无翅,其口角有虎须、额下有珠,身体修长,通常颜色金黄,不食人间烟火,但能翻江倒海,吞风吐雾,兴云降雨. 在中国的神话与传说中,龙能隐能显,“春分时登天,秋分时潜渊”,故而能兴云致雨^[1].
- (2) 中国“龙”文化的内涵. 龙文化有多重内涵. 一是龙的概念. 中国龙的形象中蕴涵着国人最重视的四大观念,即天人合一的宇宙观、仁者爱人的互主体观、阴阳交合的发展观、兼容并包的多元文化观;二是龙的理念. 龙文化包含着中国人处理四大主体关系时的理想目标、价值观念,即追求天人关系的和谐,人际关系的和谐,阴阳矛盾关系的和谐,多元文化关系的和谐;三是龙的精神. 中国龙是国人的独特文化创造、观念创造和符号创造. 龙的精神是中国龙文化的最深文化底蕴,是一种崛起的中国人勤劳、勇敢、不屈不挠、大胆创造、诚信和谐而立于世界民族之林的精神.
- (3) 中国“龙”文化的本质. 中国的龙文化源于图腾,超越图腾. 在现代中国绝非仅仅存在于个别遗迹之中,而是保持着强大生机,其扬弃了封建主义、神秘主义、专制主义等消极因素,在国家统一、民族复兴中虽不能起到历史上主流的文化作用,但对中华民族有着强大的感召力、凝聚力、向心力等方面作用. 另一方面,中国的龙文化是文化创造,而非实物崇拜,是基于民族文化观念的文化创造,并升华为以地缘关系为根

* 收稿日期:2011-12-13
作者简介:李淑玲(1965—),女,河南省偃师市人,教授,研究方向:英语语言与文化

基的民族文化内涵。

1.2 西方文化中“龙”的含义

(1)西方“龙”的形象. 西方的 dragon 是一种喷火怪兽,是邪恶的象征. 其外形是一只巨大的蜥蜴,长着蝙蝠样的巨大翅膀,身披鳞片,身体粗壮,浑身黑色,长有蛇样的舌头,能喷火,吃人和动物^[1]. 因此,有人把它想像成一条大蛇,有带刺的尾巴. 在基督教里,龙是罪和异教的象征,因而在绘画里,总是匍匐于圣徒与殉教者足下. 此外,龙很早就被用来作为战争的标志. 北欧的战士把他们的船头刻成龙头形,中世纪时的英国曾以龙作为皇家的徽记.

(2)西方“龙”的传说. 在西方文化中,dragon 是一种传说生物,拥有强大的力量及魔法能力,其种类甚多、家族甚是庞大. 比起东方的龙来说,毫不逊色. 如有居住于深海的海龙,有沉睡于火山的火龙,有蛰伏于沼泽的毒龙以及无数的奇形怪状的龙,还有九头龙、龙兽、亚龙、双足飞龙等. 欧美文化中的 dragon 与中国龙除外观容貌上有少许相似外,其背景和象征意义都差别甚大. 西方的 dragon 一般带有邪恶的意味,与东方的瑞兽完全不同. 西方从基督教时代开始,龙和蛇有负面的含义,充满邪恶,是“魔鬼”、“撒旦”.

(3)西方“龙”的起源. 龙在基督教中被视为恶魔的象征,是源自 Mesopotamia(美索不达米亚)神话^[1]. 在 Mesopotamia 神话中,龙是“海洋中恐怖的生命,具有祸害人、被神消灭的命运”. 巴比伦神话中的英雄 Marduk 的对手 Tiamato,以及 Hittite 神话中的 Illuyankas 等,皆为其中例子. 居住在 Mesopotamia 区域附近的犹太人也曾受其影响,并将这一观念继承下去,龙在犹太教与基督教中渐渐成为恶魔的象征.

2 汉语中有关“龙”的成语及其英译

从距今 7000 年的新石器时代开始,先民们就开始对原始龙图腾崇拜,到今天,人们仍然多以带有“龙”字的四字成语或典故,来形容生活中的美好事物或生活场景. 有关龙的成语不计其数,且多含有褒义,但在英译过程中,有些根本无需出现 dragon 一词,意译即可,有些则需加注进一步解释. 可看以下典型例子.

- (1)望子成龙: expect one's children to become successful; hope one's children will have a bright future
- (2)龙飞凤舞: like Chinese dragons flying and phoenixes dancing—lively and vigorous flourishes in calligraphy
- (3)龙争虎斗: a fierce struggle between two evenly-matched opponents
- (4)龙凤呈祥: prosperity brought by Chinese dragon and the phoenix—in extremely good fortune
- (5)藏龙卧虎: hidden dragons and crouching tigers—talented men still remained in concealment
- (6)车水马龙: incessant stream of horses and carriages; heavy traffic
- (7)龙口夺粮: snatch food from the dragon's mouth—speed up the summer harvesting before the storm breaks
- (8)生龙活虎: doughty as a Chinese dragon and lively as a tiger; full of vim and vigor
- (9)来龙去脉: origin and development; cause and effect
- (10)画龙点睛: bring the painted dragon to life by putting in the pupils of its eyes—add the touch that brings a work of art to life—add the finishing touch
- (11)龙生九子: each one has its own characteristics among the nine sons of the same father
- (12)龙腾虎跃: dragons rising and tigers leaping—a scene of bustling activity
- (13)龙盘虎踞: like a coiling dragon and crouching tiger—a forbidding strategic position
- (14)龙潭虎穴: dragon's pool and tiger's den—a dangerous spot
- (15)群龙无首: a host of dragons without a head—a group without a leader

3 英语中有关“龙”的表达

由于中西方文化差异,dragon 所引起的联想与龙在中文中所引起的联想是完全不同的. 在西方神话中,dragon 是使人恐惧的妖魔;在圣经故事中,dragon 是罪恶的化身,人们把与上帝作对的恶魔撒旦(Sa-

tan)称为“大龙”(the great dragon). 在英语中,赞扬龙的词语压根就找不到,更谈不上含有 dragon 的成语或者典故. 在评选 2008 年北京奥运会吉祥物时,之所以没有选择呼声甚高的“龙”,主要是因为担心其英译 Dragon 会使西方人误解中国. 英美出版的词典中,含 dragon 的表达都充溢贬义,“dragon”引申为“凶暴的人”、“严厉的人”、“悍妇”等,因此在使用时需十分注意. 英语中,如果把一个女人叫做 dragon,意思是她很凶狠,令人讨厌. 可看以下典型例子.

(1)the old dragon 撒旦、魔鬼

(2)chase the dragon 服用鸦片、服用毒品

(3)dragonish 似龙的、凶暴的、严厉的

(4)Sow dragon's teeth 播下不和或毁灭的种子(比喻相互争斗的根源)

(5)Mary said that her father was an old dragon. 玛丽说她父亲简直是个恶魔.

(6)She's a bit a dragon around place. 她在这里是个很跋扈的人.

(7)The woman in charge of the accounts department is an absolute dragon! 会计科那个女科长是个十足的母夜叉!

4 关于“龙”的英语翻译观

东西方有不同的人文、历史背景和社会价值观,因而处在不同地域、或不同民族的人们会有不同的历时性感受和共时性感受,造成翻译中的文化错位现象^[2]. 英文中对“龙”的音译是 Loong, 姓氏“龙”和人名中的“龙”字也被翻译成“long”. 例如,著名武术家李小龙的英文名字是“Lee Siu Loong”,新加坡总理李显龙的名字被翻译成“Lee Hsien Loong”. 显然,这是受到香港人所使用的那一套粤语拼音的影响.

有人认为,中国人在西方人面前自称为 Dragon 或 Descendants of the Dragon(龙的传人),西方人会把中国人看成是恶魔或者坏人,因此,不能把“龙”翻译成 Dragon. Loong 的两个“O”字母象龙的两只眼睛,Loong 使人联想到 long(长),所以它有一点象形文字的特征,和汉字的特色相通. 对于“龙”的翻译方法,2004 年,台湾学者蒙天祥在“为‘龙’正视听是我们的责任”一文中提出,把“龙”翻译成“Loong”^[3]. 2008 年,北京大学新闻与传播学院教授关世杰,在北京大学深圳研究生院做了题为“从‘龙’与 Dragon 看中西文化交流”的讲座,也提出将“龙”译为“Loong”. 遗憾的是,这种提议目前还没有被权威和大众认可并接受.

早在 1985 年,中美两国专家学者在编撰中文版的《简明不列颠百科全书》时,在涉及“龙”的条目时已经存在两种不同意见. 在百科全书第五卷的第 367 页上,“龙”具有两个独立的条目,其一是“龙 dragon”;其二则是“龙 loong(dragon)”^[4]. 当然,也有很多人反对把“龙”重新翻译,这部分人认为随着中国的日益强大,以及他们对中国文化的进一步了解,西方人已经或者有朝一日将完全能够正确理解 Dragon 所指的“龙”和原来的 Dragon 是不同的. 所以,我个人认为,只需要写成 Chinese Dragon 加以区别就可以了. 总之,只要中国强大起来,为龙正“英”名,指日可待.

5 结束语

尽管龙不存在于这个世界上,而且在中西方文化中又存在着如此巨大的差异,但在我们的心目中,其美好形象无与伦比,“龙”的形象早已融合在中华民族文化的鲜活生命中了. 龙是华夏民族的代表,是高贵、神圣和吉祥的象征. 对每一个炎黄子孙来说,龙的形象是一种符号,一种血肉相联的情感.“龙文化”和“龙精神”除了在中华大地上传播继承外,还被远渡重洋的海外华人带到了世界各地,因此,“龙的传人”、“龙的国度”获得全世界认同,已是指日可待.

参考文献

[1] 百度百科. 龙文化[EB/OL]. <http://baike.baidu.com/view/113827.html?wtp=tt>, 2012-03-07.

[2] 金惠康. 跨文化交际翻译续篇[M]. 北京:中国对外翻译出版社, 2006:82.



* 文章编号:1000-5811(2012)02-0156-04

陕西省体育非物质文化遗产保护现状与对策探析 ——以红拳为例

赵冬刚

(陕西科技大学 体育部, 陕西 西安 710021)

摘 要:随着时代发展与文化变迁,我国民族传统体育非物质文化遗产的生存面临巨大挑战. 陕西省非物质文化遗产在中华民族文化宝库中占有重要地位. 运用访谈法、文献资料法、田野调查法等,对陕西省体育非物质文化遗产的保护传承问题进行了探究. 阐述了陕西省体育非物质文化遗产(红拳)的价值特征;提出了陕西省民族传统体育非物质文化遗产保护传承的策略.

关键词:民族传统体育; 非物质文化遗产; 保护传承对策

中图法分类号:G852.1

文献标识码:A

0 引 言

非物质文化遗产既是历史发展的见证,又是珍贵的、具有极其重要价值的文化资源. 继承传承,就是保持历史,保存文化命脉. 随着社会的急剧变革,西方文化大举进入民众生活,引起了生产方式、生活方式等的急剧变化^[1]. 保护中华民族的非物质文化遗产,建立世界文化多样性体系,是我们每一个人的责任与义务. 红拳是我国优秀的体育类非物质文化遗产,2007年被收录到第一批国家级非物质文化遗产名录. 2006年,陕西省政府公布了第一批陕西非物质文化遗产名录,共有145个项目入选,“红拳”被收录. 本文拟通过对陕西省非物质文化——“红拳”的历史渊源与发展现状进行梳理,探析其社会价值,为陕西体育非物质文化遗产的保护提供对策,从而促进陕西省民俗体育非物质文化遗产的良性健康发展.

1 陕西省非物质文化遗产简介

古希腊哲人曾说过:“只有民族的才是世界的”. 中国是世界上唯一一个拥有5000年文明历史而不曾中断的国家,悠久的历史赋予了中华民族博大而丰富的文化遗产. 这些文化遗产分为两类,一是物质文化遗产,二是非物质文化遗产. 它们都是人类文化多样性的生动展示,也是人类创造力和智慧的结晶. 作为现存文化的记忆,非物质文化遗产与物质文化遗产具有同等的重要地位. 其中,民间文学、民间音乐、民间舞蹈、传统戏剧、曲艺、竞技、民间美术、传统手工技艺、传统医药、民俗活动等文化表现形式或文化空间传承的非物质文化遗产,不仅是我们国家和民族的骄傲,更是全人类的共同财富^[2].

陕西是中华民族的发祥地之一,有五千多年的辉煌历史.“秦中自古帝王都”,从公元前11世纪开始,先后有周、秦、汉、唐等13个朝代在此建都,文化积淀深邃,为世人瞩目. 悠久的历史、深厚的文化底蕴和独特的地理位置,孕育了源远流长、丰富多彩、特色鲜明的民族民间文化,使陕西成为我国非物质文化遗产的重要代表地区. 陕西现有国家级非物质文化遗产42项,其中红拳是收录之一. 陕西体育非物质文化遗产有红拳、华山太极拳(剑)、澄城表演特技“上刀山”、华山拳、安塞腰鼓、户县社火、宝鸡社火等几十余种.

* 收稿日期:2012-01-02

基金项目:陕西科技大学人文社会科学基金项目(ZX11-59)

作者简介:赵冬刚(1978—),男,陕西省西安市人,讲师,硕士,研究方向:民族传统体育学

2 陕西省体育非物质文化——红拳的历史渊源及发展

陕西是中华文化的发源地之一,美丽的三秦大地孕育出令世人惊叹的“汉唐盛世”,同时造就了秦人粗犷阳刚、朴实豪放的性格。中国武术以其独特的魅力,吸引着无数人去追求和探索,向世界展示了我们民族独有的文化,以及拼搏向上的精神。武术是中国古老的文化遗产,是中华民族的一种精神体现。而红拳是中国武术中不可缺少的重要组成部分,是诞生于黄河流域的古老拳种,流传于西北、华北,盛行于陕西。现今,在山西、河北、山东仍有少数人习练红拳,注重实战、击技性强、节奏鲜明、结构严谨、朴实大方等是陕西红拳的特点。

在秦代,据传秦王嬴政在每次胜仗的庆功宴上,武士们“击皮为鼓”以示庆贺,红拳套路中“放炮”、“十大响”就源于此。1995年出版的《陕西体育志》记载:“红拳始于宋末元初,源于陕西一带”。西北习拳常说,“耍红了”以示普遍、兴盛、吉祥,鲜艳。因其流传于潼关以西,称“西家拳”;明代《续文献通考》载,十一家拳名,其中“西家”即指红拳;《少林拳法》载:“元时觉远上人访李叟、白玉峰于陕西、兰州,习大、小红拳,擒拿等”;明代戚继光著《纪效新书·拳经捷要篇》收录了“太祖红拳三十二势”,把红拳作为训练士兵的必修科目。拳谱中大量采用陕西方言,红拳至今还在沿用,书中记录的“六合大枪”枪法,已由陕西省红拳传人完整传承至今,为全国之仅有;清代《清稗类钞》载有大小红拳、关西拳;民间广为流传着“东枪西棍关中拳”,及“东查,西红”的美誉^[3]。

明清两代,活跃于全国的晋商对红拳的传播起到了积极的推动作用。据当代《中国武术史》记载:“山东冠县人张洛焦述其传承云,其叔张普光学自山西平遥人师来明,师氏于乾隆二十八年(公元1763年)在陕西周至拜宝鸡人张阳真为师,学得红拳两套,这与红拳出自西北吻合”。清代,红拳在关中十分盛行,乾隆年间的千邑宋朝佐、凤翔史宝龙、耀州郭崇志、宝鸡张阳真等皆是当时的红拳名家。道、咸年间,红拳发展至鼎盛时期,主要分成四个流派,即三原的鸽子高三、临潼的黑虎邢三、宝鸡的司宝龙和通背李四等。这四位武林前辈,就是当时的“陕西四杰”。他们对红拳的发展,起到了承前启后的作用。现今的陕西红拳就是“四杰”拳法的延续。从红拳各流派保存的历史资料可以证明,陕西红拳是中国红拳中保存最完整的形式。它不仅以实战性强而享誉武林,更以其悠久的历史和丰富的文化内涵而逐渐被人们重视和喜爱。

到了近代,陕西杰出人物胡景翼、杨虎城等自幼习练红拳,并将红拳在西北军中推广。胡景翼部队武术教官杨杰、冯玉祥部队武术教官张鸣岐等拳师,在军中教习红拳。抗战时期,抗日义勇军中的大刀队官兵也多习练红拳;以邢派(终南派)传人李万福先生为代表的陕西红拳,至今还流传在三秦大地上。万福先生,陕西渭城人氏(1885~1965年),自幼勤习苦练,博“四杰”之长,改大架、小架为中平架,使其更加舒展大方,气顺力达,进退自然,便于习练。万福先生对红拳精研深刻,民国初期就享誉西北,受人尊为“拳夫子”和“红拳泰斗”,以其对红拳的论述便可知其造艺,如“阴阳要转、两手要直、前腿要曲、后腿要直、步步着力、天下无敌”。

3 陕西省体育非物质文化——红拳的价值

3.1 文化传承价值

红拳具有浓厚的地域文化色彩,传承以口传身授为主,为研究中国武术的发展、传承,提供了丰厚翔实的第一手资料。它具有丰富的内容,鲜明的健身特点,尤其是跑拳搭手体系,如跑拳、跑棍、跑鞭、跑刀、大杆对接、排手、排棍等与母子打手九拳,贴近实战,突出了撑、补、揭、抹、劈、斩的技击方法,保持着古拳的风格。红拳有拳有序,拳序即“拳帽”,上场演艺,走上帽,奔下帽,抹掉拳帽,以示礼貌。拳序内容,如蜜蜂乱采花序子、马重序子、炮捶序子、陆合序子等区别于其他拳种,是极具民族文化特色的精神遗产。

3.2 健身价值

红拳的十大盘功、实战技击等具有养生健身、启智益悟、防身自卫和陶冶性情等诸多功能。保护传承这一优秀文化遗产,交流推广使其发扬光大,是造福子孙后代的历史使命。发掘、抢救、保护红拳,对振奋民族精神,提高全民综合素质,丰富人民群众的文化生活,同时对落实《全民健身计划纲要》,推动社会主义精神

文明建设,构建和谐社会等,都将起到积极的作用。

3.3 武术价值

陕西红拳是历代武学及周边地区精华汇集而成。陕西红拳古谱中对各种套路均有叙述,虽不可作证,却可作参研。如大红拳谱中有“一路红拳出少林,开花结子挑撩裆”之说;太师双鞭谱中有“闻太师传下雌雄鞭”;白虎鞭谱中有“养由基传下护身鞭”;四门双刀谱中有“双刀飞舞出汉朝”等,都对朝代和人名有所说明,同时也对省地有准确记载。关东关西红拳、康熙红拳、燕青的“五形刀”、九纹龙史进的“九龙棍”、杨家的“九点梨花枪”和鲁智深的“醉打山门”都是出处有名,这为发掘和研究中国传统武术提供了参考依据。

3.4 教育价值

体育非物质文化遗产(红拳)作为中华民族文化的重要组成部分,包含了对人教化教育的重要内容,对提升锻炼者的思想品质有很大作用。红拳作为民族民间传统体育中的一项内容,它的产生和发展与中华民族的传统文化息息相关。其文化内涵与特定的文化氛围有直接的联系^[4]。因此,从事红拳活动,不仅是对动作技能和身体素质、意志力等方面的教育和锻炼,也是一种对民族传统文化的学习和教育方式。

4 陕西省体育非物质文化遗产保护发展对策

4.1 加大宣传力度,增强人们保护非物质文化遗产的意识

随着现代体育对民族传统文化冲击趋势的加快,民族传统体育面临着消失的重大困境,因此,抢救、保护非物质文化遗产的工作迫在眉睫。红拳是我国优秀的民族传统体育文化,继承、发扬这一优秀民族传统体育文化,需要我们每个人积极参与。故此,政府要加大对民俗体育红拳的宣传力度,积极营造重视民俗体育的氛围。如通过广播、电视及各种会议等加大宣传力度,引导人们了解红拳体育文化的丰富内涵、价值与作用;邀请红拳专家举办非物质文化遗产的专题讲座,目的是提高人们对民族红拳非物质文化遗产的认知程度,唤醒人们对红拳非物质文化的保护意识。特别是现在的年轻一代中,许多年轻人根本就不知道红拳是什么,出现了红拳文化遗产认识和记忆的断层。通过教育,使人们自觉参与到红拳非物质文化遗产的保护工作中去。

4.2 加大对传承人的保护和培养,建立有效的传承机制

2007年,经陕西省政府法制办公室审核,以及陕西省政府同意,陕西省文化厅印发了《陕西省非物质文化遗产代表性传承人认定与管理暂行办法》的通知,对传承人应具备条件、认定评审程序、传承人待遇和责任等都做了明确规定,成为今后做好传承人工作的基本政策依据。目前,陕西已经建立了国家非物质文化遗产人目录,对传承人进行保护,并提供一定的经济补贴,和其所需要的各项经费。

4.3 开展体育非物质文化遗产的全面普查工作,建立非物质文化遗产数据库

对非物质文化遗产进行保存,是为了抢救和保护民族传统体育非物质文化遗产的最基本工作和任务。对非物质文化遗产进行全面普查的目的,是为了了解民族传统体育文化遗产资源的分布、构成、保护传承情况及其所面临的危机。陕西是文化资源大省,随着经济的快速发展和工业化的加速,各地非物质文化遗产面临着消亡危险。因此,记录、保存陕西非物质文化遗产资源,建立陕西省非物质文化遗产资源数据库,是势在必行的工作。目前,陕西省正按照文化部和国家中心制定的方案和要求,克服各种困难,力争将非物质文化遗产数据库建设好、宣传好、利用好、传承好。

4.4 将体育类非物质文化遗产项目纳入学校教育体系,开发学校体育文化教育资源

学校是民族文化遗产传承与发展的重要渠道之一,但当前学校教育基本上仍以现代竞技体育项目为主要教学内容,很少有关于非物质文化遗产保护项目的内容。因此,我们应积极地把非物质文化方面的教育内容,特别是要把民族传统体育文化遗产纳入教育体制^[5]。长期以来,现代竞技项目体育的内容是体育教学的主要内容,而传统体育项目却越来越被忽略。学校体育教育应当实现教学知识体系的多元化,应对学生有兴趣且具有一定现实价值的传统体育文化予以扶持,使其在校园有一定的开展空间,从而丰富学生的体育课外活动。

参 考 文 献

- [1] 王 海. 贵州省少数民族体育非物质文化遗产研究[J]. 贵州民族研究, 2011, 23(2): 62-64.
[2] 韩志芳. 河北省体育非物质文化遗产保护现状与对策探析[J]. 河北体育学院学报, 2009, 23(6): 35-37.
[3] 陕西文化信息网. 陕西省非物质文化遗产数据库[EB/OL]. <http://www.snwh.gov.cn/feiwuzhi/lwz>, 2007-11-16.
[4] 刘远航, 任作良. 民族传统体育文化的现代化价值[J]. 武汉体育学院学报, 2006, 40(4): 89-90.
[5] 伍 娟. 民族传统体育非物质文化遗产保护传承研究[J]. 沈阳体育学院学报, 2011, 30(5): 132-134.

Present Situation of Sport Intangible Cultural Heritage
Protection in Shaanxi Province and Countermeasures
——Red Fist: a Case Study

ZHAO Dong-gang

(Department of Physical Education, Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China)

Abstract: With the development of era, cultural change, survival of the non-material cultural heritage of national traditional sports in China faces enormous challenges. Intangible cultural heritage in Shaanxi Province occupies an important position in the Chinese cultural treasures. Using interviews, literature, the field investigation, had a research on the protection and inheritance of intangible cultural heritage. Elaborated in Shaanxi Province sports intangible cultural heritage (red fist) value features; pointed out that the generation of non-material cultural heritage protection of traditional national sports policy in Shaanxi Province.

Key words: National traditional sports; non-material cultural heritage; protection and inheritance strategies

~~~~~  
(上接第 155 页)

- [3] 蒙天祥. 为‘龙’正视听是我们的责任[J]. 广西文献(台北市广西同乡会编辑出版), 2004, (4): 189.  
[4] 简明不列颠百科全书[M]. 北京: 中国大百科全书出版社, 1985-1991: 367.

On the Differences of “Dragon” between Chinese and Western  
Culture and My Views on it's Chinese-English Translation

LI Shu-ling

(College of Foreign Languages and Communications, Shaanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China)

**Abstract:** China and Western countries are quite different in humanities, historical backgrounds and social values. Chinese “Dragon Culture” covers a long history of eight thousand years, which is not only the symbol of Chinese culture but also the symbol of the Chinese nation. This paper discusses four aspects: different implications in the two cultures, idioms concerning dragon in Chinese and their English translation, expressions concerning dragon in English, English translation concerning dragon, so as to offer reference for both intercultural communication and intercultural translation.

**Key words:** dragon; Chinese and Western Culture; difference; conception of translation



· 科技简讯 ·

## 陕西省人民政府与中国轻工业联合会、中国 轻工集团公司签约共建陕西科技大学

为深入贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010~2020年)》,大力实施科教兴陕战略和人才强省战略,更好地保持和发挥陕西科技大学以轻化工为主的办学特色和学科优势,全面加强校企合作,积极构建轻工行业科技攻关支撑平台,加快推进陕西科技大学高水平、有特色的教学研究型大学建设,积极争取将陕西科技大学纳入“中西部高等教育振兴计划”,2012年4月17日,“陕西省人民政府与中国轻工业联合会、中国轻工集团公司共建陕西科技大学签约仪式”在陕西科技大学文体馆隆重举行。

陕西省副省长朱静芝,省发展与改革委员会、教育厅、财政厅、科技厅、人力资源和社会保障厅、农业厅、工业与信息化厅等负责同志,中国轻工业联合会会长步正发、副会长兼秘书长王世成,中国轻工集团公司董事长、党委书记陈鄂生,中国轻工业西安设计工程有限公司总经理李一文,中国轻工业工程院总经理、党委书记石虹,中国轻工业联合会副秘书长、党群工作部主任徐祥楠,陕西科技大学党委书记潘中伟、校长沈一丁等干部及师生代表1000余人,新华社、中国教育报社、陕西日报社、省广播电视台等多家中省新闻媒体记者出席了签约仪式。签约仪式由陕西省政府副秘书长徐春华主持。

陕西省人民政府与中国轻工业联合会、中国轻工集团公司签约共建陕西科技大学,体现了社会各届对陕西轻工业的高度重视,具有重要而深远的意义。陕西科技大学将以“共建”为契机,充分发挥学科优势,进一步密切校企合作,全面提高人才培养、科学研究、社会服务和科技创新水平,不断提升学校在轻工产业科技创新方面的示范带动作用,并在科研上结出累累硕果,为国家轻工行业的发展,为经济社会发展做出新的更大的贡献。

陕西科技大学轻工特色鲜明,被誉为全国“轻工技术和人才的摇篮”。目前,已经形成以轻工技术与工程为主、基本覆盖轻工领域主要专业的学科群,在造纸、皮革、轻化工材料、化学与化工、生物食品科技、机械电子、工业设计等多个学科领域处于全国领先水平,并在若干研究方向上具备国际先进水平。目前,学校设有博士后科研流动站2个,博士学位授权一级学科2个、二级学科11个,硕士学位授权一级学科14个、二级学科65个,本科专业49个,涉及工学、理学、管理学、文学、经济学、法学、医学、艺术学等8大学科门类。

