

文章编号: 1001-0920(2006)12-1407-05

## 兼控利率风险和流动性风险的资产负债组合优化模型

迟国泰, 许文, 王化增

(大连理工大学 管理学院, 辽宁 大连 116024)

**摘要:** 提出了资产负债管理的利率结构对称原理, 通过控制持续期缺口和免疫条件来控制利率风险, 保护银行股东权益的安全。以线性规划为工具, 建立了兼控利率风险和流动性风险的资产负债组合优化模型。将利率结构对称原理引入银行资产组合优化, 解决了资产与负债利率的协调和匹配问题, 使银行股东的权益在市场利率发生变化时不受到影响和损失, 并解决了决策模型的服务对象问题。

**关键词:** 资产负债管理; 利率风险; 流动性风险; 持续期; 优化方法; 免疫条件

**中图分类号:** F830.5      **文献标识码:** A

## Optimization Model of Asset-liability Portfolio Considering Interest Risk and Liquidity Risk

CHI Guo-tai, XU Wen, WANG Hua-zeng

(School of Management, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China Correspondent: CHI Guo-tai, E-mail: chigt@dlut.edu.cn)

**Abstract** An interest rate structure symmetry theory is presented. The duration gap and immunity conditions are adopted to control the interest rate risk and protect the equity rights. Linear programming is used to set up the optimization model of asset-liability portfolio, in which the interest rate risk and liquidity risk are controlled simultaneously. The interest rate structure symmetry is introduced into the optimization of bank assets portfolio. The proposed method solves the harmonization and match problem, and protects the bank equity against the effect and loss while the market interest rate changes.

**Key words:** Asset-liability management; Interest-rate risk; Liquidity risk; Duration; Optimization methods; Immunity conditions

### 1 引言

资产负债管理(ALM)是一种总体风险控制和资源配给方法,是把资产和负债组合视为有机的整体,协调资金来源和运用内在的关系协调流动性、安全性和赢利性,在可接受的风险下实现资产组合的最大赢利<sup>[1]</sup>,使资产的收入与负债的支出现金流的时间和数额相匹配<sup>[2]</sup>。在资产负债管理方面,以资产和负债的价值差的利率敏感性最小进行资产选择,这一作法称为组合免疫<sup>[2]</sup>。

银行管理的核心是风险管理,银行风险管理最重要的工具之一是资产负债管理。以资产负债管理

控制银行的综合风险,已成为有关方面关注的热点之一<sup>[3]</sup>。

资产负债管理的目标一是净利息收入;二是净利息收入的波动最小化或银行股东权益的市场价值(银行净值)波动最小化<sup>[4]</sup>。根据控制或管理的侧重点不同,现有的资产负债管理方法大致可分为三大类:

第一类是基于流动性风险控制的资产负债管理方法,代表性的研究是Puelz的资产负债随机组合模型<sup>[5]</sup>和Karl的多阶段随机规划模型<sup>[6]</sup>。这种方法在满足对未来负债提供足够现金流的前提下,实现

收稿日期: 2005-09-26; 修回日期: 2006-02-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(70471055); 高等学校博士学科点专项科研基金项目(20040141026)。

作者简介: 迟国泰(1955-),男,黑龙江海伦人,教授,博士生导师,从事金融工程、银行风险等研究;许文(1964-),男,南京人,博士生,从事银行风险管理的研究。

所需现金流成本最小的目标。这类模型的特点是立足于银行支付能力的管理,但未考虑资产与负债利率的协调和匹配。

第二类是基于违约风险控制的资产负债管理方法,代表性的研究是Altman的商业贷款组合分析模型<sup>[7]</sup>。这类模型以Sharpe指数为基础,求解单位风险收益最大化。但由于模型的约束条件是组合贷款收益大于或等于目标收益,当目标收益定得较高时,银行会面临较大的风险。这类模型也未考虑利率风险。

第三类是基于利率风险控制的资产负债管理方法。从西方商业银行的实践看,这类方法侧重于利率、资产负债数量、利率敏感性资产和利率敏感性负债的组合分析<sup>[5,6,8]</sup>。该方法又分为两种:

一种是资金缺口管理模型/会计模型<sup>[4,9,10]</sup>。这种模型把利率敏感性资产减去利率敏感性负债作为资金缺口,通过资金缺口和利率变动来确定净利息收入的变动。但缺口管理模型没有考虑利率变化对所有所有者权益的影响,而这正是银行股东最关注的问题。

另一种是持续期缺口管理模型/经济模型<sup>[2,4,9,11~13]</sup>。这种方法通过资产和负债的持续期缺口以及利率的变化来判断银行净值的变化,其核心在于银行资产负债价值的敏感性分析。该方法的不足之处表现为:一是虽然可用于分析既定结构的资产负债的利率风险,但未能对资产负债结构事先进行整体优化;二是衡量银行净值的变化需要预测利率的变动,这在实践中往往是很棘手的;三是对流动性风险的控制缺乏考虑。因此,这种模型在实际中的应用不如会计模型广泛<sup>[4]</sup>。

现有研究中存在的主要问题表现为:一是未考虑资产与负债利率的协调和匹配问题;二是利率风险对银行损失的影响只是事后测算,未能对资产负债的利率结构事先进行整体优化。

本文综合考虑上述因素,建立了兼控利率风险和流动性风险的资产负债组合优化模型,用于解决在资产负债优化中利率结构的协调和匹配问题。

## 2 资产负债组合双重结构对称原理

### 2.1 利率结构对称原理

利率的波动导致各种资产和负债的市场价值发生变化,从而导致银行净值——所有者权益的市场价值发生变化。

利率结构对称原理是指通过资产利率结构与负债利率结构的匹配和协调,以及持续期缺口的控制和免疫条件来控制利率风险,消除或减少由于利率

波动所引起的银行净值的变化。

资产负债管理的任务是预测当发生意想不到的利率变动时,银行的资产收益率和股票价格如何反应,并事先进行计划和控制。

应用利率结构对称原理建立决策模型,使银行资产的配置在市场利率发生变化时,银行股东的权益不受到影响和损失。这样既控制了利率风险,又解决了资产负债管理决策模型的服务对象问题。

### 2.2 数量结构对称原理

数量结构对称是指资产的数量结构与负债的数量结构要协调和匹配,以保证银行的支付能力,避免支付危机和减少流动性风险。

从实践上看,数量结构对称可通过资产负债比例控制来实现。商业银行法,中央银行对商业银行的监管条例,商业银行根据内外条件总结出的资产负债比例,都是减少流动性风险的保障。本文的模型和应用实例就采用这类法律法规约束和经营管理约束来控制流动性风险<sup>[14]</sup>。

应用数量结构对称原理建立资产负债组合优化决策模型,通过法律法规约束和经营管理约束的数量对称,控制流动性风险和保障银行支付能力,保证银行资产配给的合法合规性。

### 2.3 兼控双重风险的资产负债组合优化原理

兼控双重风险的资产负债组合优化原理是在求解的约束条件中,引入利率结构对称原理和数量结构对称原理,并结合持续期缺口控制,达到控制银行的利率风险和流动性风险的目的。兼控双重风险的资产负债组合优化原理如图1所示。

### 2.4 兼控双重风险的资产负债组合优化原理的作用

1) 应用利率结构对称原理建立决策模型,使银行资产的配置在市场利率发生变化时,银行股东的权益不受到影响和损失,控制了利率风险,解决了资产负债管理决策模型的服务对象问题,弥补了现有研究中忽略资产与负债利率协调和匹配问题。

2) 应用数量结构对称原理建立资产负债组合优化决策模型,通过法律法规约束和经营管理约束的数量对称,控制流动性风险和保障银行的支付能力,避免了资产配置的流动性危机,保证了银行资产配给的合法合规性。从而解决了现有研究中对银行的风险承受能力和资本监管的客观要求考虑不足的问题。

## 3 兼控双重风险的资产负债组合优化模型

### 3.1 约束条件的基本关系

设 $D_{Ai}$ 和 $D_{Lj}$ 分别为第 $i$ 种资产和第 $j$ 种负债的

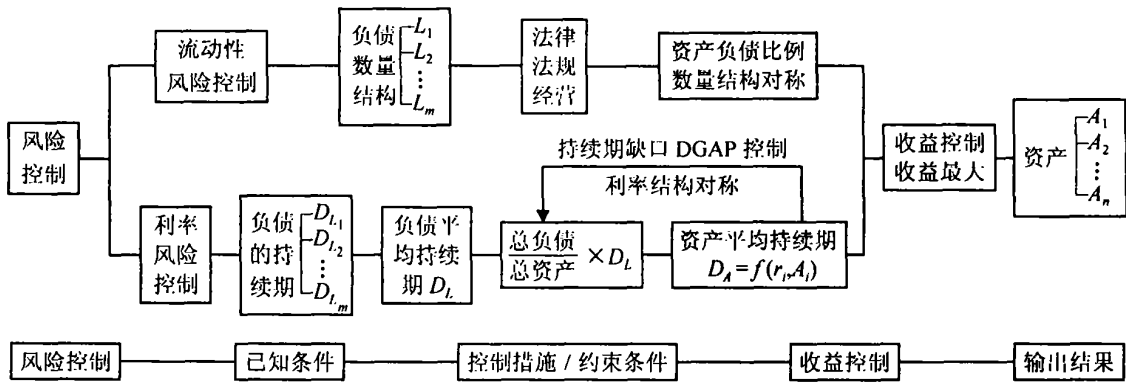


图 1 双重结构对称原理

持续期,  $t$  为现金流或利息发生的时间间隔,  $n$  为资产或负债的期限,  $F_{it}$  和  $F_{jt}$  为第  $i$  种资产和第  $j$  种负债在第  $t$  期产生的现金流或利息,  $r_i$  和  $r_j$  为第  $i$  种资产和第  $j$  种负债的利率 则有<sup>[4,9]</sup>

$$D_{Ai} = \frac{\sum_{t=1}^n [t \times F_{it} / (1 + r_i)^t]}{\sum_{t=1}^n [F_{it} / (1 + r_i)^t]}, \quad (1)$$

$$D_{Lj} = \frac{\sum_{t=1}^n [t \times F_{jt} / (1 + r_j)^t]}{\sum_{t=1}^n [F_{jt} / (1 + r_j)^t]} \quad (2)$$

式(1)和(2)反映了持续期就是用时间进行加权的现金流现值与未加权的现金流现值之比,进而可用它来衡量一系列固定现金流的平均期限

设  $D_A$  和  $D_L$  为资产和负债平均持续期或组合持续期,  $A_i$  和  $L_j$  为第  $i$  种资产和第  $j$  种负债的市场价值,  $k$  和  $m$  为资产和负债的种类 则有<sup>[9]</sup>

$$D_A = \left( \sum_{i=1}^k D_{Ai} \times A_i \right) / \sum_{i=1}^k A_i, \quad (3)$$

$$D_L = \left( \sum_{j=1}^m D_{Lj} \times L_j \right) / \sum_{j=1}^m L_j \quad (4)$$

设 DGAP 为持续期缺口,  $A$  和  $L$  为资产和负债的市场价值,  $m = L/A$  为负债资产系数 则有<sup>[9]</sup>

$$DGAP = D_A - (L/A) \times D_L = D_A - m \times D_L. \quad (5)$$

避免利率风险的免疫条件为<sup>[4,9]</sup>

$$A \times D_A = L \times D_L \text{ or } DGAP = 0 \quad (6)$$

设  $\Delta V$ ,  $\Delta A$  和  $\Delta L$  分别为银行净值、资产净值和负债净值的变化;  $\Delta A_i$  和  $\Delta L_j$  为第  $i$  种资产和第  $j$  种负债的变化;  $\Delta r_i$  和  $\Delta r_j$  为第  $i$  种资产和第  $j$  种负债利率的变化 则有<sup>[4,9]</sup>

$$\Delta V = \Delta A - \Delta L = \sum_{i=1}^k \Delta A_i - \sum_{j=1}^m \Delta L_j = \left[ - \sum_{i=1}^k D_{Ai} \times A_i \times \Delta r_i / (1 + r_i) \right] -$$

$$\left[ - \sum_{j=1}^m D_{Lj} \times L_j \times \Delta r_j / (1 + r_j) \right] \quad (7)$$

### 3.2 资产负债组合优化模型

设  $Z$  为优化模型的目标函数,即资产的月利息收益;  $a_{si}$  为第  $s$  个约束条件中第  $i$  种资产的系数,与法律法规约束、经营管理约束等资产负债的管理比率有关<sup>[14]</sup>;  $b_s$  为第  $s$  个约束条件中的常量,与资产负债管理比率有关<sup>[14]</sup>;  $U$  为与流动性风险有关的约束条件个数

根据上述双重结构对称原理和约束条件基本关系式,有线性规划模型

$$\text{Max } Z = \sum_{i=1}^k r A_i, \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (8)$$

模型中目标函数的意义是使银行的利息收入最大化

$$\text{s.t. } \sum_{s=1}^u a_{si} A_i \leq b_s, \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (9)$$

约束条件(9)为一组流动性风险约束<sup>[14]</sup>. 这里是应用上述数量结构对称原理建立资产负债组合优化决策模型,通过法律法规约束和经营管理约束的数量对称,控制流动性风险和保障银行的支付能力,避免资产配置的流动性危机,保证银行资产配给的合法合规性

$$D_A = (L/A) \times D_L. \quad (10)$$

约束条件(10)为源于式(6)的免疫条件,即利率风险约束. 这个约束条件使银行资产的配置在市场利率发生变化时,银行股东的权益不受到影响和损失,用于控制利率风险,解决资产负债管理决策模型的服务对象问题

$$A_i \geq 0 \quad (11)$$

## 4 实例与建模分析

### 4.1 基本数据及其初步处理

#### 4.1.1 ABC 银行的基本数据

ABC 银行的负债和所有者权益的有关信息如表 1 所示

表1 ABC 银行负债与所有者权益 千元

负债 $L_j$ 和 权益 $E$	市场现值 $L_j$ (已知条件)	月息 $r_j/\%$	有效持续期 $D_{L_j}/$ 月
1. 活期存款	8 000	0.825	2.40
2. 3个月期存款	3 000	1.605	3.00
3. 6个月期存款	5 000	1.800	6.00
4. 1年期存款	36 000	1.875	12.00
5. 3年期存款	20 000	2.250	36.00
6. 5年期存款	14 000	2.400	60.00
7. 3年期债券	6 000	2.350	34.80
L. 负债总额	92 000	—	19.86
E. 所有者权益	8 000	—	—
L & E. 负债和 所有者权益	100 000	—	—

#### 4.1.2 负债持续期的计算

把表1第3列有关数据代入式(2),可求出该银行各项负债的持续期如表1第4列所示

把表1第4列有关数据代入式(4),得到其负债的平均持续期如表1第4列最后一个数据所示

#### 4.1.3 资产持续期的计算

ABC 银行的资产用途及其月利率如表2第1列和第3列所示.其中固定资产 $A_{11}$ 和其他资产 $A_{12}$ 是业已形成的常量,其余资产为待求变量

表2 ABC 银行资产利率及分配结果

资产 $A_i$	市场现值 $A_i$ (待求规模)	月息 $r_i/\%$	有效持续期 $D_{A_i}/$ 月
1. 现金	516	0.000	0.00
2. 存款准备金	5 160	1.725	0.00
3. 备付金	3 784	1.725	0.00
4. 上存总行(6个月)	24 940	4.500	5.93
5. 1个月期贷款	0	4.650	1.00
6. 6个月期贷款	0	4.650	5.93
7. 1年期贷款	42 434	4.875	11.68
8. 3年期贷款	7 355	4.950	33.06
9. 5年期贷款	7 355	5.025	51.95
10. 8年期贷款	7 355	5.175	75.90
11. 固定资产	1 000	—	0.00
12. 其他资产	100	—	0.00
A. 资产总计	100 000	—	18.27

由于没有利息,持续期 $D_{A1} = 0$  同理, $D_{A11} = 0, D_{A12} = 0$  准备金存款按法规不能挪作他用,故持续期 $D_{A2} = 0$  备付金存款一般正好够清算用,故 $D_{A3} = 0$  详见表2第4列有关数据

把表2第3列有关数据代入式(1),分别得到各项资产的持续期 $D_{A4} \sim D_{A10}$ ,如表2第4列所示

## 4.2 建模过程与优化分析

### 4.2.1 目标函数的建立

以月利息收益最大化为目标函数,则会在负债规模和结构一定的条件下使净利息收入最大.根据表2的资产利率表的第3列,有

$$\begin{aligned} \text{Max } Z = & 0 \times A_1 + 1.725\%A_2 + 1.725\%A_3 + \\ & 4.5\%A_4 + 4.65\%A_5 + 4.65\%A_6 + \\ & 4.875\%A_7 + 4.95\%A_8 + 5.025\%A_9 + \\ & 5.175\%A_{10} + 0 \times A_{11} + 0 \times A_{12} \end{aligned}$$

### 4.2.2 数量结构对称约束

根据表1和表2的资产负债种类信息,应用利率结构对称原理来约束流动性风险<sup>[14]</sup>.

1) 资产规模约束(资产 = 负债 + 所有者权益)

$$\sum_{i=1}^{12} A_i = 100\,000;$$

2) 基于流动性的库存现金比例(银行测算)

$$A_1 \leq 0.6\% \sum_{j=1}^6 L_j = 0.6\% \times 86\,000 = 516;$$

3) 基于盈利性的库存现金比例(银行测算)

$$A_1 \leq 1.5\% \sum_{j=1}^6 L_j = 1.5\% \times 86\,000 = 1\,290;$$

4) 法定存款准备金比例

$$A_2 \leq 6\% \sum_{j=1}^6 L_j = 6\% \times 86\,000 = 5\,160;$$

5) 备付金比例

$$A_3 + A_4 \leq 5\% \sum_{j=1}^6 L_j = 5\% \times 86\,000 = 4\,300;$$

6) 资产流动性比例(一个月可变现的资产/一个月内到期的负债) $(A_1 + A_3 + A_5)/L_1 \leq 25\%$ ,即

$$(A_1 + A_3 + A_5) \leq 25\% \times 8\,000 = 2\,000;$$

7) 存贷比例  $\sum_{i=5}^{10} A_i / \sum_{j=1}^6 L_j \leq 75\%$ ,即

$$\sum_{i=5}^{10} A_i \leq 75\% \times 86\,000 = 64\,500;$$

8) 中长期贷款比例  $\sum_{i=8}^{10} A_i / \sum_{j=5}^6 L_j \leq 120\%$ ,即

$$\sum_{i=8}^{10} A_i \leq 120\% \times 34\,000 = 40\,800;$$

9) 中长期贷款结构 $A_8 - A_9 \leq 0$ ;

10) 中长期贷款结构 $A_9 - A_{10} \leq 0$ ;

11) 固定性约束 $A_{11} = 1\,000$ ;

12) 固定性约束 $A_{12} = 100$ ;

13) 非负约束 $A_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, 12$

将数量结构对称原理引入模型以规避流动性

风险, 通过法律法规约束和经营管理约束的数量对称, 控制流动性风险和保障银行的支付能力, 避免了资产配置中的流动性危机

#### 4.2.3 利率结构对称约束

根据表 1 和式(10) 或(14) 的免疫条件, 有

$$D_A = (L/A) \times D_L = (92\,000/100\,000) \times 1.86 = 18.27.$$

由表 2 和式(7) 可得出利率结构对称约束条件

$$\left( \sum_{i=1}^k D_{A_i} \times A_i \right) / \sum_{i=1}^k A_i = D_A,$$

即

$$(1/100\,000) \times (0 \times A_1 + 0 \times A_2 + 0 \times A_3 + 5.93A_4 + A_5 + 5.93A_6 + 11.68A_7 + 33.06A_8 + 51.95A_9 + 75.90A_{10} + 0 \times A_{11} + 0 \times A_{12}) = 18.27.$$

应用利率结构对称原理建立组合免疫的约束条件, 通过持续期缺口控制利率风险, 保护银行股东权益的安全, 使银行资产的配置在市场利率发生变化时, 银行股东的权益不受到影响和损失

#### 4.2.4 优化结果与对比分析

求解由 4.2.1~ 4.2.3 组成的线性规划模型, 可得出既控制流动性风险又避免利率风险的资产最优分配方案, 其结果如表 2 第 2 列所示. 由分配结果可得出在这种约束条件下的月最大利息收入  $Z = 445\,958$  元

若不进行利率风险的免疫, 即去掉 4.2.3 中的约束条件, 求解线性规划后,  $Z = 449\,236$  元. 单纯从收益的角度看, 这种优化比前一种每月增加利息收益 3 278 元, 但它不具备抵御利率风险的能力

设资产  $A_i$  和负债  $L_i$  的利率均上升 1%, 若不进行利率风险免疫, 则由 3.1 节的公式可方便地算出该银行所有者权益的变化  $\Delta V = -3\,460\,358$  元, 其损失程度占整个资产的比重为 3.46%, 占所有者权益的比重为 43%. 可见不进行利率免疫的风险极大

## 5 结 论

1) 本文提出了利率结构对称原理和数量结构对称原理, 通过控制持续期缺口和免疫条件来控制利率风险, 保护银行股东权益的安全; 通过法律法规约束和经营管理约束的数量对称, 控制流动性风险和保障银行的支付能力; 建立了兼控利率风险和流动性风险的资产负债组合优化模型

2) 引入免疫条件来控制利率风险, 提出了利率结构对称原理, 解决了利率风险的控制问题, 并解决了资产负债管理决策模型的服务对象问题

3) 通过法律法规约束和经营管理约束的数量结构对称来控制流动性风险, 提出了数量结构对称原理, 用以避免和减少流动性风险, 保证银行资产配给的合法合规性

## 参考文献(References)

- [1] Peter S R. *Commercial Bank Management* [M]. 5th Ed. New York: The McGraw-Hill Companies Inc, 2002: 199-200
- [2] 赵天荣. 存续期缺口模型在资产负债管理中的应用[J]. *财经科学*, 2003, (增刊): 235-237.  
(Zhao T R. Application of Duration Gap Model in Asset-liability management [J]. *Finance and Economics*, 2003, (Suppl): 235-237.)
- [3] Wolfgang H, Mark S. The Implications of the New Capital Adequacy Rules for Portfolio Management of Credit Assets[J]. *J of Banking and Finance*, 2001, 25(1): 97-114
- [4] Joseph F, Sinkey J. *Commercial Bank Financial Management: In the Financial Services Industry* [M]. 5th Ed. New Jersey: Prentice Hall Inc, 1998: 142-155
- [5] Puelz A V. Asset and Liability Management: A Stochastic Model for Portfolio [A]. *Proc of the 1997 IEEE/IAFE Conf on Computational Intelligence for Financial Engineering* [C]. New Jersey, 1997: 36-42
- [6] 张春妮. 缺口管理在我国商业银行利率风险管理中的运用[J]. *市场周刊·财经论坛*, 2003, 11: 23-25.  
(Zhang C N. Application of Gap Management in Interest Risk Management of Chinese Commercial Banks[J]. *Market Weekly — Finance Forum*, 2003, 11: 23-25.)
- [7] Caouette J B, Altman E I, Narayanan P. *Managing Credit Risk: The Next Great Financial Challenge* [M]. New York: John Wiley and Sons Inc, 1998: 274-281
- [8] Bauer W, Ryser M. Risk Management Strategies for Banks[J]. *J of Banking and Finance*, 2004, 28(2): 331-352
- [9] 俞乔, 邢晓林, 曲和磊. *商业银行管理学* [M]. 上海: 上海人民出版社, 1998: 192-195, 573-603.  
(Yu Q, Xing X L, Qu H L. *Commercial Bank Management* [M]. Shanghai: Shanghai People's Publishing House, 1998: 192-195, 573-603.)
- [10] 吴双. 用持续期管理我国商业银行利率风险的可行性分析[J]. *重庆大学学报(社会科学版)*, 2004, 10(6): 20-21.  
(Wu S. Feasible Analysis for Applying Duration to Manage Chinese Commercial Banks [J]. *J of Chongqing University (Social Sciences Edition)*, 2004, 10(6): 20-21.)

(下转第 1416 页)

算法的有效性 而在常规PD控制的实验过程中,系统不断受到扰动变量以及外部条件的影响,控制效果不是很稳定

## 5 结 语

为了探讨具有复杂非线性时变特征的HVAC系统难以控制问题,本文提出一种新型的基于max-product推理的Mamdani型模糊预测控制模型 采用Mamdani型模糊模型的结构分析表达式对HVAC系统进行线性化,由滚动优化策略得到预测控制律,并通过反馈校正环节不断改善预测控制的性能,构成了HVAC系统的闭环优化控制 实验结果表明,该算法是一种跟踪误差较小且鲁棒性较强的有效控制算法 与常规的PD控制器相比,它具有超调量小、调整时间短等优良的动态性能

关于多输入多输出的模糊模型的预测控制问题,还有待于进一步研究 这也是作者今后努力的方向之一.

## 参考文献(References)

- [1] Salisbury T I. A Temperature Controller for VAV Air-handling Units Based on Simplified Physical Models[J]. *HVAC & Research*, 1998, 3(3): 264-279
- [2] Bi Q, Cai W J, Guo Q. Advanced Controller Auto-tuning and Its Application in HVAC Systems[J]. *Control Engineering Practice*, 2000, 8(6): 633-644
- [3] He M, Cai W, Li S. Multiple Fuzzy Model-based Temperature Predictive Control for HVAC Systems[J]. *Information Sciences*, 2005, 169(1): 155-174
- [4] Richard Thompson, Arthur Dexter. A Fuzzy Decision-making Approach to Temperature Control in Air-conditioning Systems [J]. *Control Engineering Practice*, 2005, 13(6): 689-698
- [5] Richalet J, Rault A, Testud J L, et al. Model Predictive Heuristic Control: Application to Industrial Processes[J]. *Automatica*, 1978, 14(5): 413-428
- [6] 樊晓平,李艳. 交通信号自适应模糊控制器的设计及稳定性分析[J]. *控制与决策*, 2005, 20(2): 152-158 (Fan X P, Li Y. Design and Stability Analysis of the Adaptive Fuzzy Controller for Traffic Signal Control [J]. *Control and Decision*, 2005, 20(2): 152-158 )
- [7] Teeter J, Chow M Y. Application of Functional Link Neural Network to HVAC Thermal Dynamic System Identification[J]. *IEEE Trans on Industrial Electronic*, 1998, 45(1): 170-176
- [8] Liu X F, Dexter A. Fault-tolerant Supervisory Control of VAV Air-conditioning Systems [J]. *Energy and Building*, 2001, 33(4): 379-389
- [9] Cao S G, Rees N W, Feng G. Universal Fuzzy Controllers for a Class of Nonlinear Systems [J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 2001, 122(16): 117-123
- [10] Lv H L, Jia L. Structure Analysis of Typical Fuzzy Controllers Using Different Fuzzy Reasoning [A]. *Proc of the 5th World Conf on Intelligent Control and Automation* [C]. Hangzhou, 2004: 2561-2565
- [11] Duan J, Sealey C W, Yan Y. Managing Banks' Duration Gaps When Interest Rates Are Stochastic and Equity Has Limited Liability [J]. *Int Review of Economics and Finance*, 1999, 8(3): 253-265
- [12] 张琦, 蒋馥. 期限结构模型在资产负债管理问题中应用的探讨[J]. *预测*, 2001, 20(2): 45-48 (Zhang Q, Jing F. Research on the Application of Term-structure Models in the Asset-liability management Problem [J]. *Forecasting*, 2001, 20(2): 45-48 )
- [13] 左晖. 利率变动下的存续期缺口管理和流量比例调整 [J]. *武汉理工大学学报(社会科学版)*, 2003, 16(5): 524-527. (Zuo H. Macaulay Duration Gap Management and Flux Ratio Adjustments in a Condition of Interest Rate Change [J]. *Wuhan University of Technology (Social Science Edition)*, 2003, 16(5): 524-527. )
- [14] Chi G T, Xu C, Li Y X. Optimal Decision-making Model of Asset-liability Portfolio for Banks [A]. *Proc of 2000 Int Conf on China Joins the World Trade Organization* [C]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technological Literature Publishing House, 2000: 67-73

(上接第1411页)