

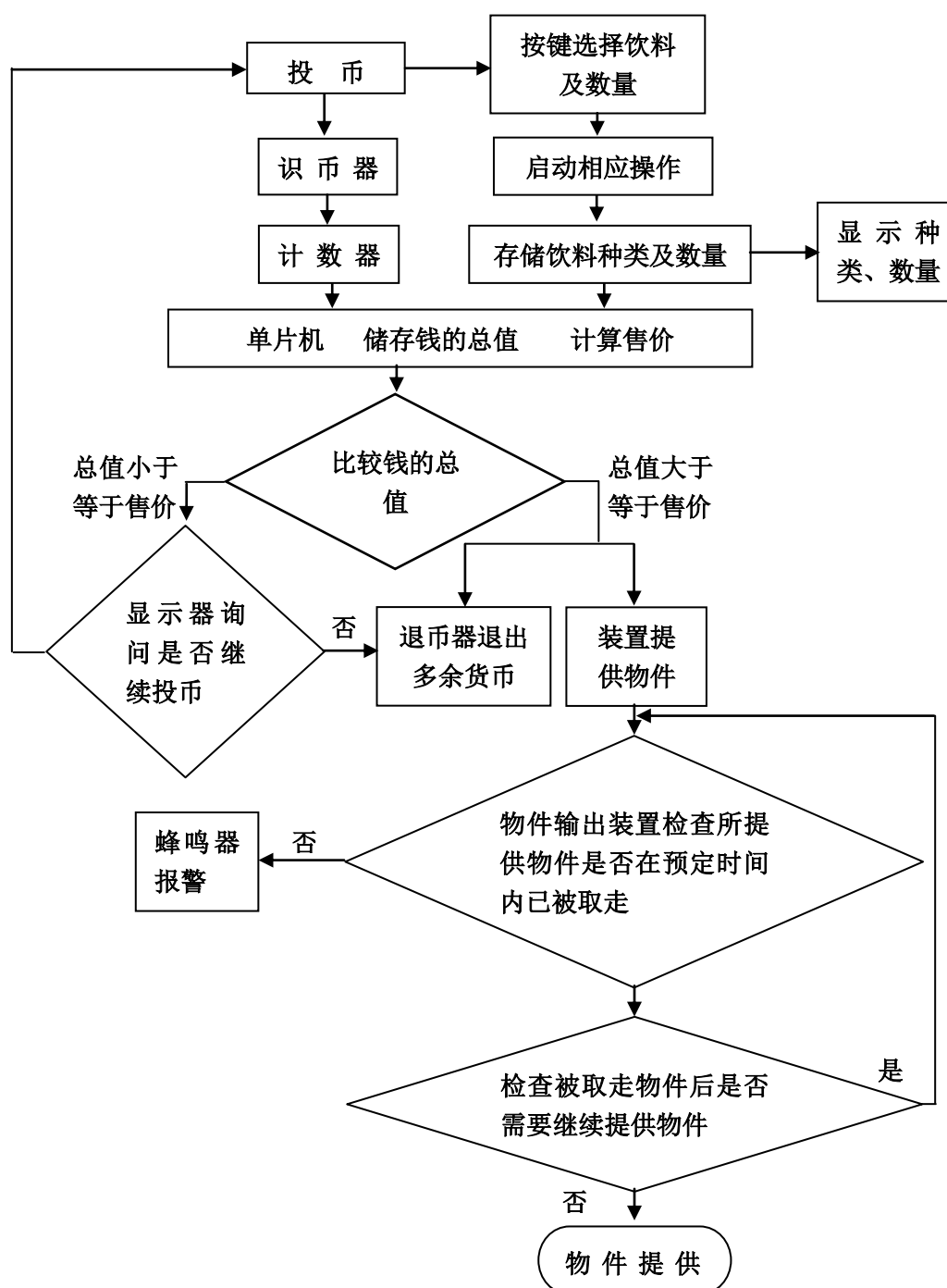
第五讲、系统建模

1. 系统建模

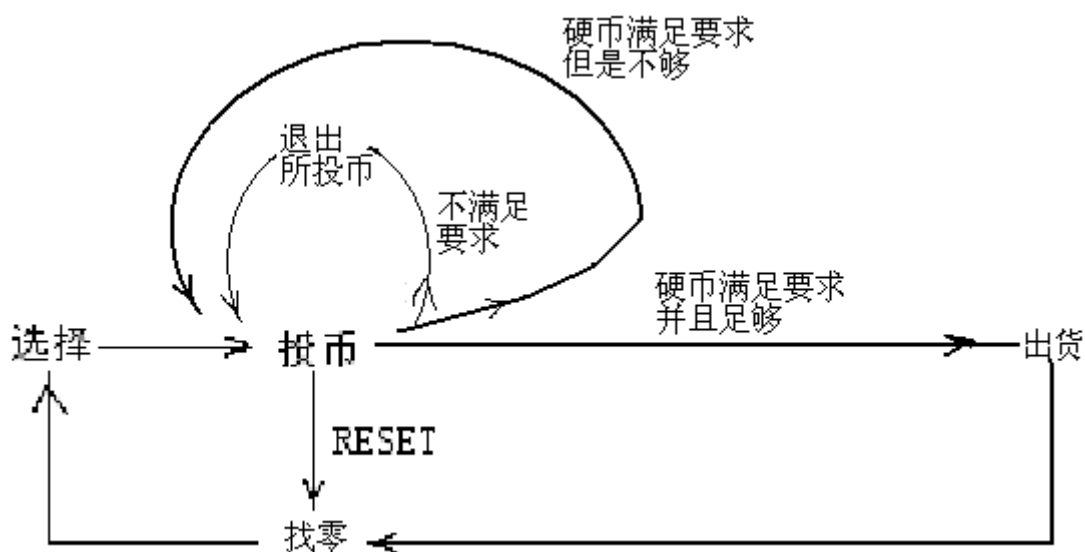
1) 系统模型的例子

(1) 自动售货机模型

● 自动售货机模型 1



● 自动售货机模型 2



● 自动售货机模型 3

a. 问题描述

假设自动饮料售货机只售可口可乐公司的可乐、芬达和雪碧三种 33ml 易拉罐饮料，单价 2.5 元人民币。该售货机接受 5 角、1 元和 2 元人民币硬币，再投入硬币总和达到 2.5 元时，按下售货机的选择按钮，则会弹出一瓶易拉罐的饮料。其中选择 L 则为可乐，选择 F 则为芬达，选择 S 则为雪碧。每操作一次只能购买一瓶易拉罐饮料，如果所投硬币总额超过 2.5 元人民币，则该自动售货机会退出所超余额。此外，在任何时刻若顾客选择取消按钮或超过半分钟自动售货机无任何输入，则售货机将会退出该顾客当下所投所有硬币。

b. 模型 3-1

自动售货机由六元组 $M = (S, I, O, f, g, s_0)$ 描述，其中：

S: 有限的状态集合

I: 输入集合

O: 输出集合

f: 状态转移函数 $(S \times I \rightarrow S)$

g: 输出函数 $(S \times I \rightarrow O)$

s_0 : 初始状态

下面是自动售货机这六元组的具体表示：

状态集合 S: 自动售货机有 6 种不同状态 $s_i (i=0, 1, 2, \dots, 5)$ ，其中 s_i 状态指机器总共收到 $0.5i$ 元人民币；

系统输入集合 I: 输入可能是 0.5 元硬币 (0.5)，1 元硬币 (1)，2 元硬币 (2)，长时间无输入 (W)，取消按钮 (C)，可乐按钮 (L)，芬达按钮 (F)，雪碧按钮 (S)

系统输出集合 S: 空 (n)，0.5 元 (0.5)，1 元 (1)，1.5 元 (1.5)，2 元 (2)，一瓶可乐 (yl)，一瓶芬达(yf)，一瓶雪碧(ys)。

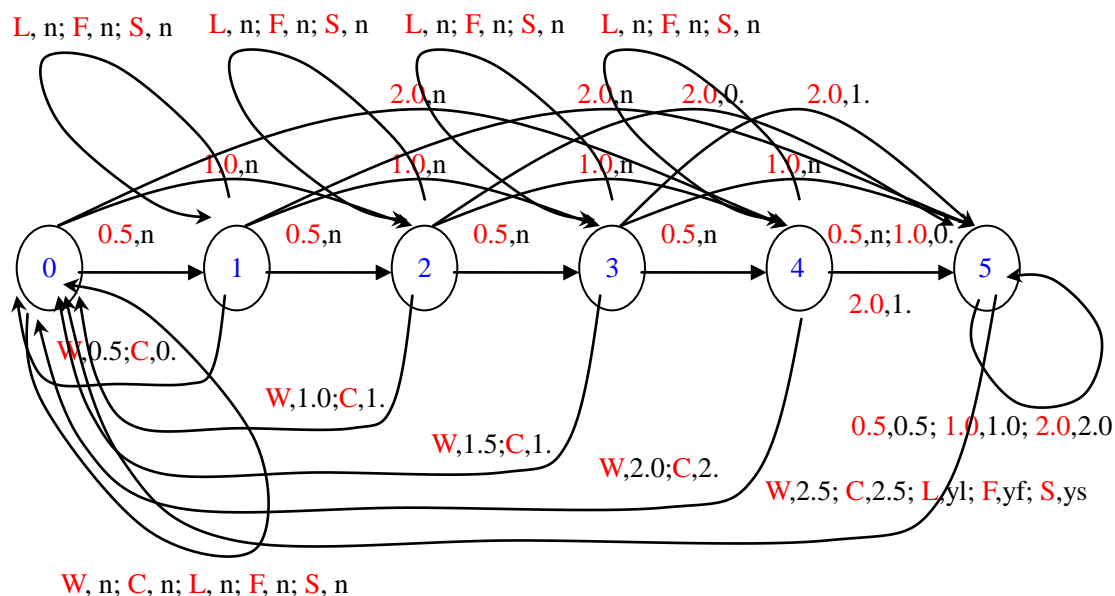
初始状态 s_0 : 自动售货机中投入硬币数目为 0 时的状态。

c. 模型 3-2

所有状态	状态函数 f								输出函数 g							
	输入								输入							
	0.5	1.0	2.0	W	C	L	F	S	0.5	1.0	2.0	W	C	L	F	S
S ₀	s ₁	s ₂	s ₄	s ₀	s ₀	s ₀	s ₀	s ₀	n	n	n	n	n	n	n	n
S ₁	s ₂	s ₃	s ₅	s ₀	s ₀	s ₁	s ₁	s ₁	n	n	n	0.5	0.5	n	n	n
S ₂	s ₃	s ₄	s ₅	s ₀	s ₀	s ₂	s ₂	s ₂	n	n	0.5	1.0	1.0	n	n	n
S ₃	s ₄	s ₅	s ₅	s ₀	s ₀	s ₃	s ₃	s ₃	n	n	1.0	1.5	1.5	n	n	n
S ₄	s ₅	s ₅	s ₅	s ₀	s ₀	s ₄	s ₄	s ₄	n	0.5	1.5	2.0	2.0	n	n	n
S ₅	s ₅	s ₅	s ₅	s ₀	s ₀	s ₀	s ₀	s ₀	0.5	1.5	2.0	2.5	2.5	yl	yf	ys

其中输出函数 g 中 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 分别表示自动售货机退出的硬币金额 (单位: 元), n 表示没有任何输出, yl 表示得到一瓶可乐, yf 表示得到一瓶芬达, ys 表示得到一瓶雪碧。

d. 模型 3-3



其中圆圈中蓝色字体 0、1、2、3、4、5 表示自动售货机的状态 s_0 、 s_1 、 s_2 、 s_3 、 s_4 、 s_5 , 红色字体 0.5、1.0、2.0、W、C、L、F、S 表示输入, 而黑色字体 0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、n、yl、yf、ys 表示输出。

(2) 线性连续系统的状态空间模型

$$\dot{x} = Ax + Bu$$

$$y = Cx + Du$$

其中：

状态向量： $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$

输入向量： $u = (u_1, u_2, \dots, u_r)^T$

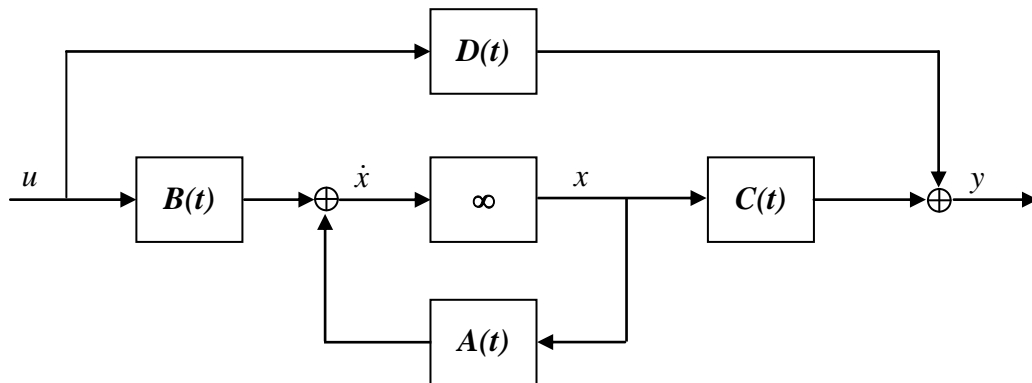
输出向量： $y = (y_1, y_2, \dots, y_m)^T$

状态矩阵： $A(t) = \begin{bmatrix} a_{11}(t) & a_{12}(t) & \cdots & a_{1n}(t) \\ a_{21}(t) & a_{22}(t) & \cdots & a_{2n}(t) \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ a_{n1}(t) & a_{n2}(t) & \cdots & a_{nn}(t) \end{bmatrix}$

输入矩阵： $B(t) = \begin{bmatrix} b_{11}(t) & b_{12}(t) & \cdots & b_{1r}(t) \\ b_{21}(t) & b_{22}(t) & \cdots & b_{2r}(t) \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ b_{n1}(t) & b_{n2}(t) & \cdots & b_{nr}(t) \end{bmatrix}$

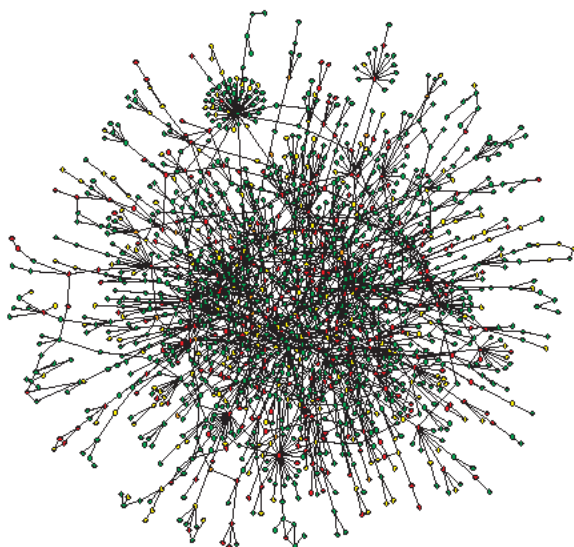
输出矩阵： $C(t) = \begin{bmatrix} c_{11}(t) & c_{12}(t) & \cdots & c_{1n}(t) \\ c_{21}(t) & c_{22}(t) & \cdots & c_{2n}(t) \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ c_{m1}(t) & c_{m2}(t) & \cdots & c_{mn}(t) \end{bmatrix}$

前馈矩阵： $D(t) = \begin{bmatrix} d_{11}(t) & d_{12}(t) & \cdots & d_{1r}(t) \\ d_{21}(t) & d_{22}(t) & \cdots & d_{2r}(t) \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ d_{m1}(t) & d_{m2}(t) & \cdots & d_{mr}(t) \end{bmatrix}$

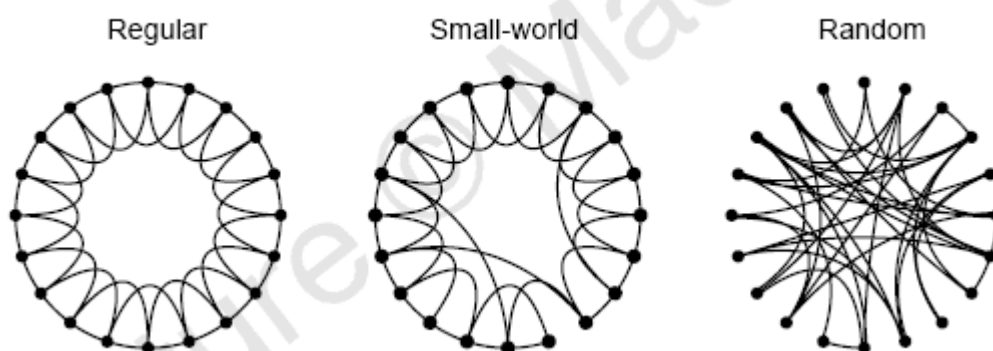


线性连续系统框图

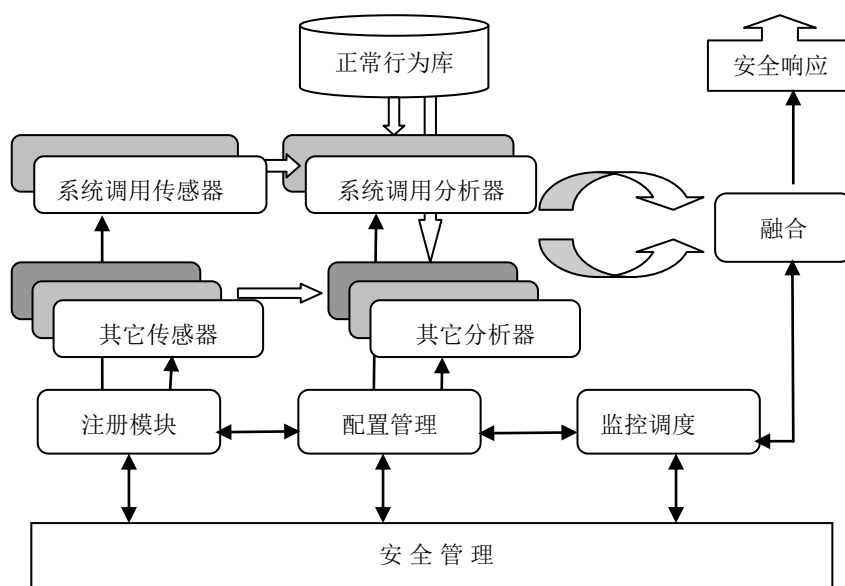
(3) 酵母蛋白质网络



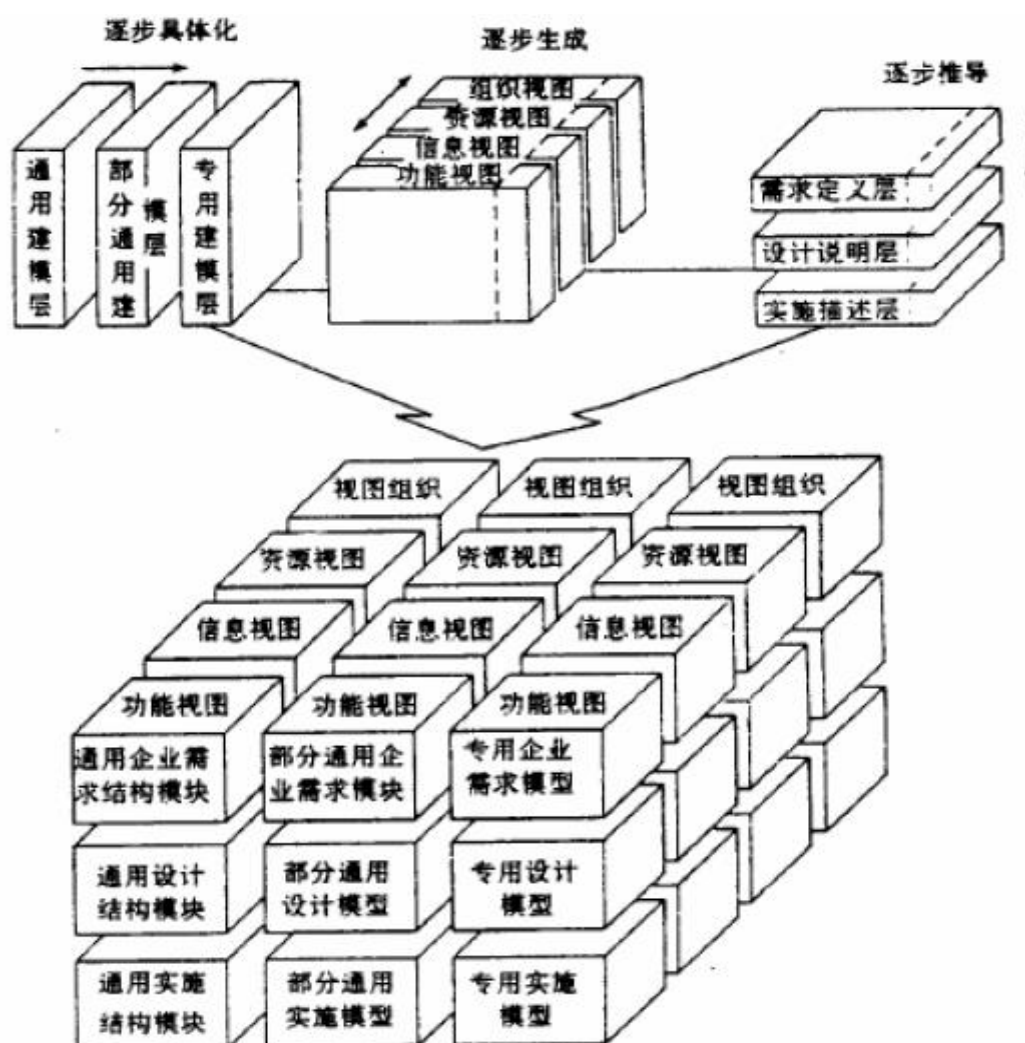
(4) 小世界网络、随机网络



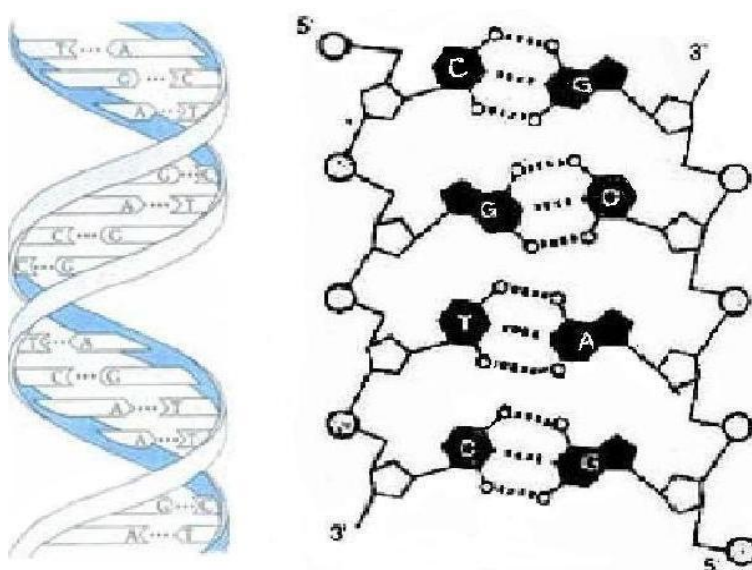
(5) 一种主机安全防护系统的体系结构



(6) CIM-OSA 建模框架



(7) DNA 序列的双螺旋结构

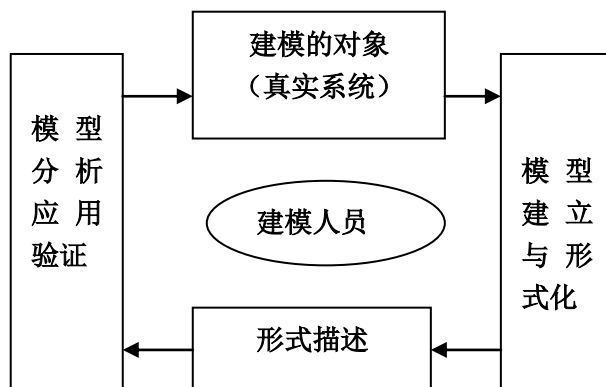


(8) 计算机可视化仿真模型

2) 模型的定义和作用

定义 1 模型是对系统的结构、行为和状态等的形式化描述

定义 2 模型是给出系统 (S, R) 中关系 R 的描述



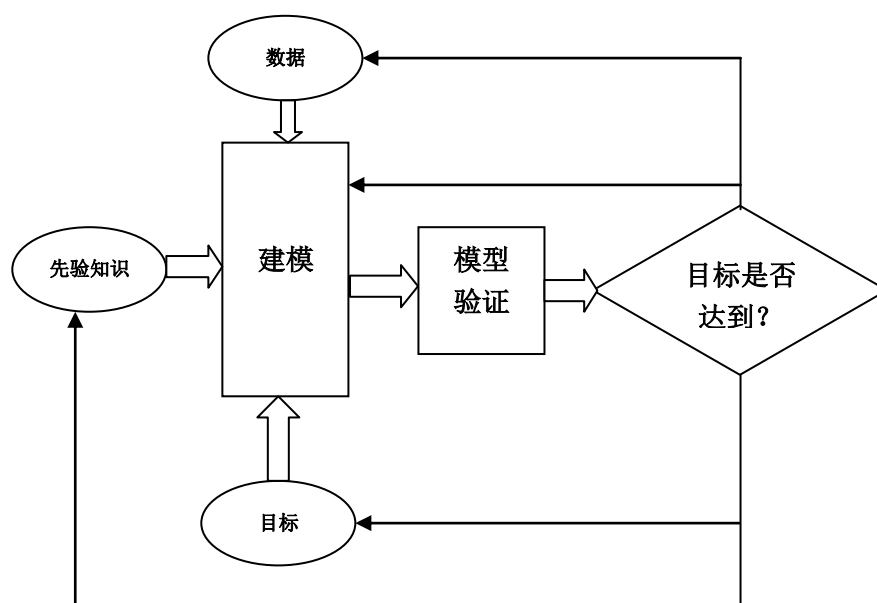
3) 模型的形式

例子：数学，图，仿真（计算机程序）

4) 模型的特性

- 抽象性
- 规范和标准性
- 目标性
- 多样性

5) 建模过程



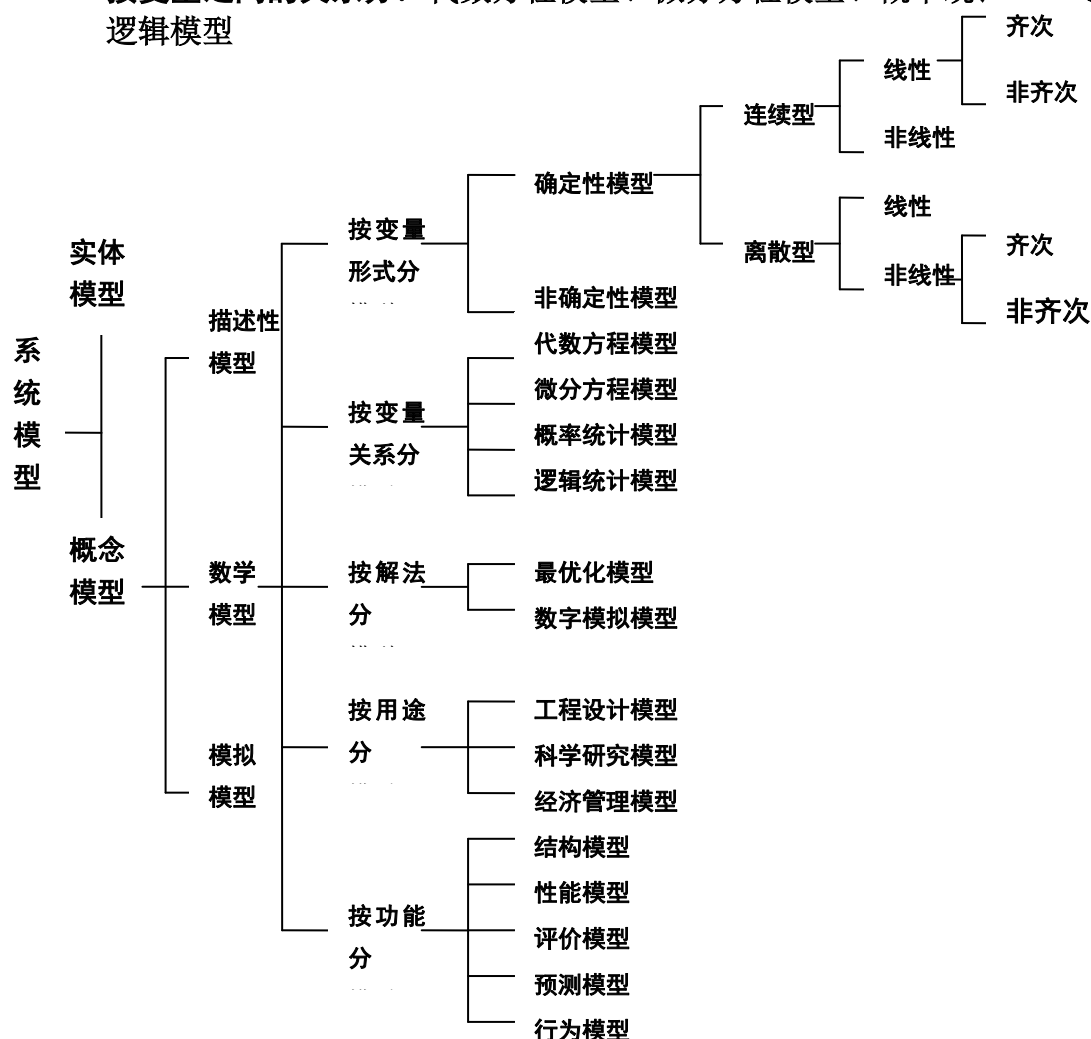
2. 模型分类

可以对系统模型按以下各种原则分别分类：

- 1) 按建模材料不同：抽象模型与实物模型。
- 2) 按与实体的关系：形象模型、模型与数学模型。
- 3) 按模型表征信息的程度：概念模型、数学模型与物理模型。
- 4) 按模型的构造方法：理论模型、经验模型与混合模型。
- 5) 按模型的功能：结构模型、性能模型、评价模型、最优化模型与网络模型。
- 6) 按与时间的依赖关系：静态模型与动态模型。
- 7) 按是否描述系统内部特性：黑箱模型与白箱模型。
- 8) 按模型的应用场合：通用模型与专用模型。

其中数学系统模型又可以按照以下标准分类：

- 按变量形式分：确定性模型、随机性模型、连续型模型与离散性模型。
- 按变量之间的关系分：代数方程模型、微分方程模型、概率统计模型与逻辑模型



3. 几种数学模型的例子

1) 一个简单的人口增长模型 (Malthus)

根据统计分析, 在人口自然增长过程中, 净相对增长率 (出生率-死亡率) 是常数。设 t 时刻人口为 $N(t)$, 净增长率为 r , 把 $N(t)$ 看成连续变量, 则在 t 到 $t+\Delta t$ 时间内人口量为:

$$N(t+\Delta t) - N(t) = rN(t) \Delta t$$

因此

$$\frac{dN(t)}{dt} = rN(t)$$

如果在 $t=0$ 时的人口为 N_0 , 则

$$N(t) = N_0 e^{rt}$$

2) 交战问题

设 $x(t)$ 、 $y(t)$ 分别是两支军队在时刻 t 的总人数, x 军每个士兵每单位时间消灭 y 军的平均人数为 a , y 军每个士兵每单位时间消灭 x 军的平均人数为 b , 则两军在交战过程中人数的变化为:

$$\dot{x}(t) = -by(t)$$

$$\dot{y}(t) = -ax(t)$$

3) 离散事件系统

一般情况下, 离散时间系统由如下六元组描述:

$$(X, S, Y, \delta, \lambda, \gamma)$$

其中:

X : 外部事件集合

S : 离散事件状态集合

Y : 输出集合

δ : 状态转移函数 ($S \rightarrow S$)

λ : 输出函数 ($S \times X \rightarrow Y$)

γ : 时间保持函数 ($S \rightarrow R^+$)

4) 有限状态自动机

有限状态自动机由如下六元组描述：

$$M = (S, I, O, f, g, s_0)$$

其中：

S：有限的状态集合

I：输入集合

O：输出集合

f：状态转移函数 ($S \times I \rightarrow S$)

g：输出函数 ($S \times I \rightarrow O$)

s₀：初始状态

4. 建模的基本方法

建模是一个假设、推理、验证、完善、提高的过程

1) 演绎法建模

主要特点：

- 倾向利用先验知识
- 利用一定的假设和已有的原理
- 是从一般到特殊的过程
- 可以用来证实或否定原理

存在的问题：

- 假设、公理、条件等的合理性

2) 归纳法建模

特点：

- 以观测到的结果、数据、资料等为基础，推导出更加一般的知识

问题：有限的样本数据。

3) 混合建模方法（两者结合）

4) 基于原理的建模和基于数据的建模

● 基于原理的建模

卫星轨道计算模型

在惯性坐标系中，应用牛顿第二定律可得到卫星的运动方程如下：

$$\ddot{\mathbf{r}} = \mathbf{f}_{TB} + \mathbf{f}_{NB} + \mathbf{f}_{NS} + \mathbf{f}_{TD} + \mathbf{f}_{RL} + \mathbf{f}_{SR} + \mathbf{f}_{AL} + \mathbf{f}_{DG} + \mathbf{f}_{TH} \quad (1.1)$$

式中， \mathbf{r} 为卫星在惯性坐标系中的位置矢量：

$$\mathbf{r} = x \mathbf{i} + y \mathbf{j} + z \mathbf{k}。$$

方程(1.1)式右端为作用在卫星单位质量上的力。它们分别表示：

\mathbf{f}_{TB} ：二体问题作用力。即把地球看作是质量分布均匀的正球体，因此，地球和卫星均可当作两个质点。 \mathbf{f}_{TB} 为地心对卫星的吸引力。

\mathbf{f}_{NB} ：月球、太阳和除地球之外的其它行星对卫星的吸引力。

\mathbf{f}_{NS} ：地球非球形部分对卫星的吸引力。

\mathbf{f}_{TD} ：地球潮汐(包括固体潮、海潮和大气潮汐)使地球对卫星引力的变化部分。

\mathbf{f}_{RL} ：相对论效应对卫星运动的影响。

\mathbf{f}_{SR} ：太阳辐射对卫星造成的压力。

\mathbf{f}_{AL} ：地球红外辐射和地球反射太阳光对卫星产生的压力。

\mathbf{f}_{DG} ：地球大气对卫星的阻力。

\mathbf{f}_{TH} ：作用在卫星上的其它作用力。如卫星姿态控制的动力等。

● 基于数据的建模

a. 人的某 DNA 序列信息

```

1 gaattccagg ttggaggggc ggcaacctcc tgccagcctt caggccactc tctgtgctt
61 gccagaagag acagagcttg aggagagctt gaggagagca ggaaaggtgg aacattgctg
121 ctgctgctca ctcagttcca caggtgggag gaacagcagg gcttagagtg ggggtcattg
181 tgcagatggg aaaacaaagg ccagagaggg ggaagaaatg cctaggagct accgagggca
241 ggcgacctca accacagccc agtgctggag ctgtgagtgg atgtagagca gcggaatata
301 cattcagcca gctcagggga aggacagggg ccctgaagcc aggggatgga gctgcaggga
361 agggagctca gagagaaggg gaggggagtc tgagctcagt ttcccgtgc ctgaaaggag
421 ggtggtacct actccctca cagggttaact gaatgagaga ctgcctggag gaaagctctt

```

.....

b. FTP 系统调用序列

```

2044 2044 102 221 4613 4613 4613
2044 2044 221 102 4613 4613 4613
2044 2044 102 45 4613 22b4a 0
2044 2044 45 45 22b4a 22b4a 22b4a
2044 2044 45 45 22b4a 22b4a 22b4a
2044 2044 45 45 22b4a 251b1 0
2044 2044 45 13 251b1 251b1 251b1
2044 2044 13 45 251b1 251b1 251b1
2044 2044 45 5 251b1 251b1 251b1
2044 2044 5 197 251b1 251b1 251b1
2044 2044 197 192 251b1 251b1 251b1
2044 2044 192 3 251b1 251b1 251b1
2044 2044 3 6 251b1 251b1 251b1
2044 2044 6 91 251b1 251b1 251b1
2044 2044 91 20 251b1 251b1 251b1
2044 2044 20 174 251b1 251b1 251b1

```

.....

c. 股票变动符号化后的数据

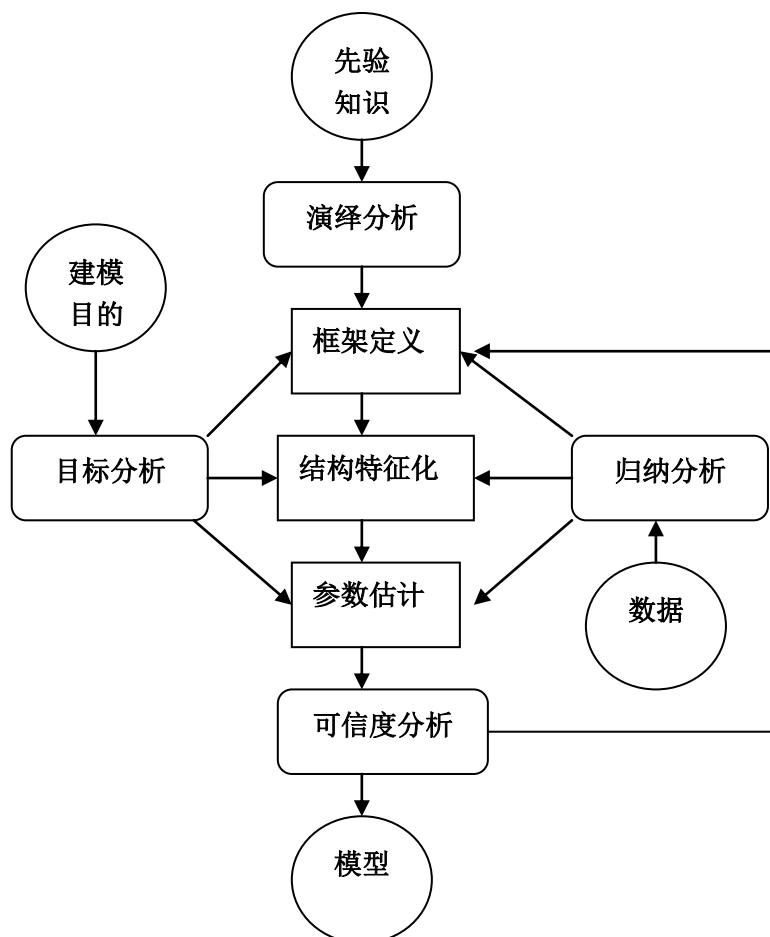
对上证指数（代码 1A0001），20040801—20040831 连续 20 个工作日的符号化：

序号	ID	日期	收盘	涨跌	两日符号	六日符号
1	1A0001	20040804	1404.51	—	0	000
2	1A0001	20040805	1389.04	—	C	000
3	1A0001	20040806	1390.46	+	G	000
4	1A0001	20040809	1395.85	+	U	000
5	1A0001	20040810	1400.77	+	U	000
6	1A0001	20040811	1384.96	—	A	CUA
7	1A0001	20040812	1368.2	—	C	GUC
8	1A0001	20040813	1368.45	+	G	UAG
9	1A0001	20040816	1354.51	—	A	UCA
10	1A0001	20040817	1360.2	+	G	AGG
11	1A0001	20040818	1358.22	—	A	CAA
12	1A0001	20040819	1340.45	—	C	GGC
13	1A0001	20040820	1341.74	+	G	AAG
14	1A0001	20040823	1325.41	—	A	GCA
15	1A0001	20040824	1344.63	+	G	AGG
16	1A0001	20040825	1339.78	—	A	CAA
17	1A0001	20040826	1334.42	—	C	GGC
18	1A0001	20040827	1320.61	—	C	AAC
19	1A0001	20040830	1319.41	+	G	GCG
20	1A0001	20040831	1342.06	—	A	ACA

5) 模型与基于模型的理论分析的相互推动

- 相关领域模型的要素、结构
- 相关领域模型的建立和分析方法（用于对模型验证）

5. 建模过程的总体框架



6. 作业

1) 思考题：针对下面问题之一或自选一个问题，构思一种可以研究此问题的模型的建模思路：

- 中国社会的老龄化和中国经济“人口红利”问题
- 放开二胎政策对中国未来经济和社会的影响
- 中国城镇化与城市规模问题
- 汇率、油价对中国或全球经济增长的影响
- 通货紧缩对全球经济的影响

- 美国、中国、欧洲、日本、俄罗斯等经济的相互影响
 - 中国当前经济巨量货币的调控问题
 - 城市道路拥堵治理问题等
- 2) 选读“系统工程理论与实践”或其它期刊上近两年发表的一篇关于系统建模的文章，分析论文的特点与贡献，构思改进其模型的方法。

第5讲、系统建模方法（举例）

一、数据建模举例

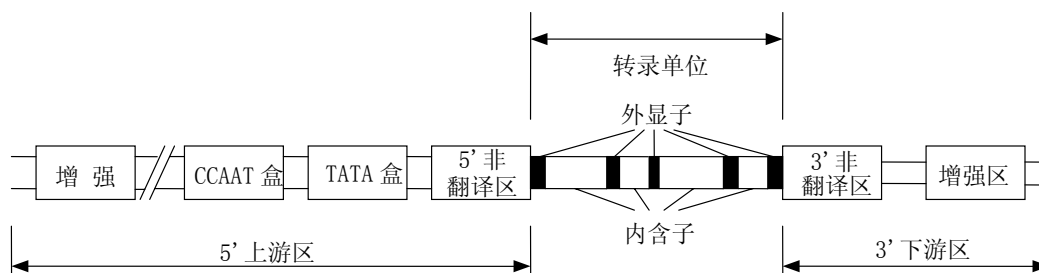
1. DNA 序列信息

```

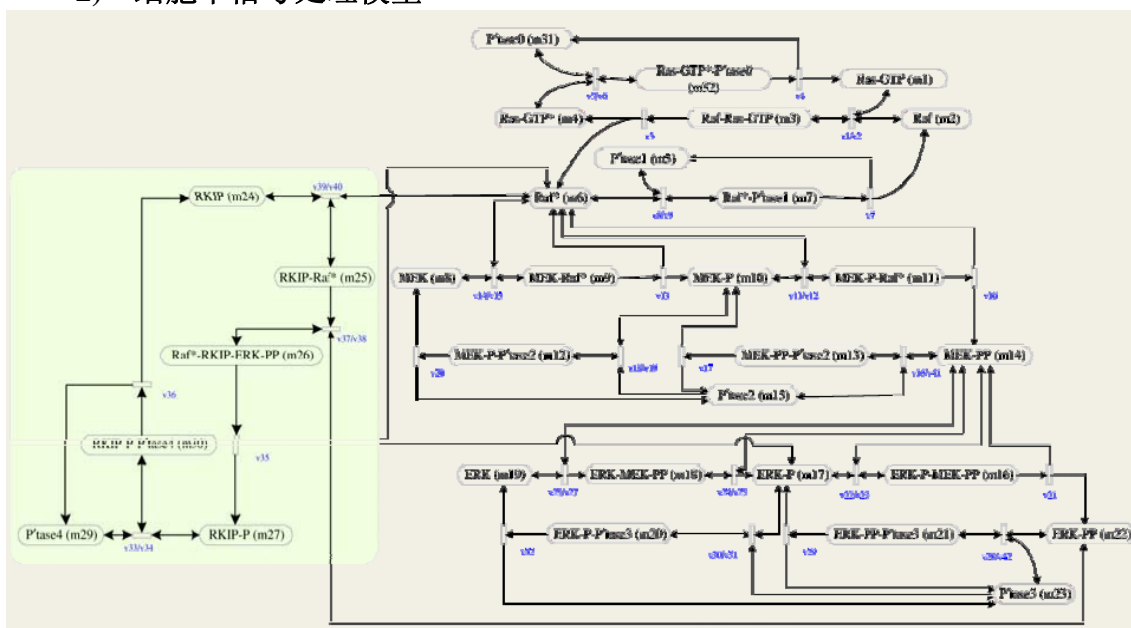
gaattccagg   ttggaggggc   ggcaacctcc   tgccagcctt   caggccactc   tcctgtgcct
gccagaagag   acagagcttg   aggagagctt   gaggagagca   ggaaagggtg   aacattgctg
tgaggacata   tgtcaagggt   ggccaaggta   tggttggtt   tcatacattt   caggagagaca
tgagacatta   atcaatgtat   gtaagatgtg   caccggttcg   gtctggaaag   gcaggacaac
.....

```

1) 基因的断裂结构

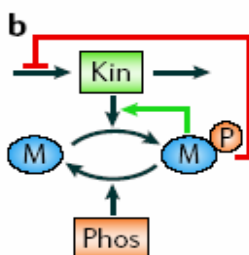


2) 细胞中信号处理模型



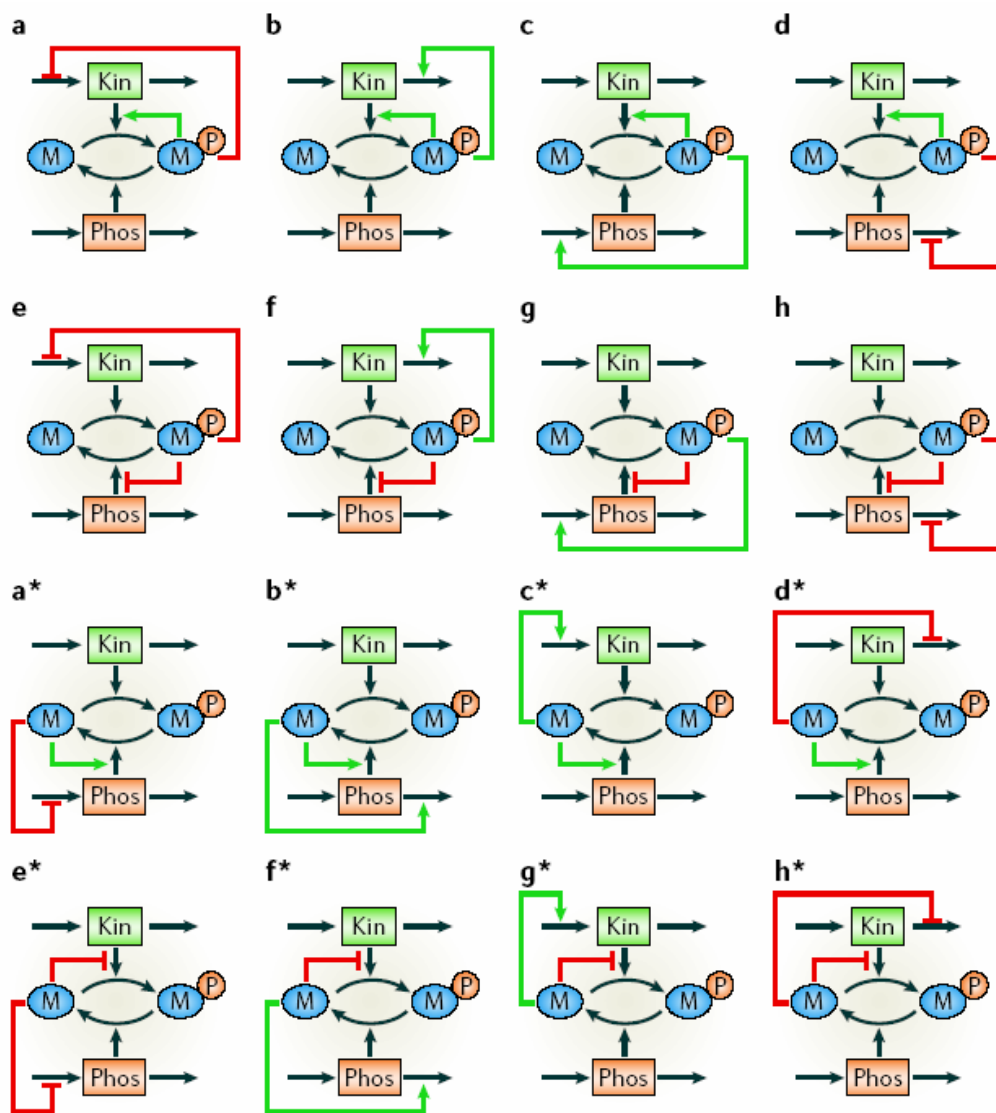
细胞中信号传输模型 (System Biology, IEEE Control Systems Magazine, 2003)

3) 细胞信号网络的动力学模型



$$\frac{dE_{kin}}{dt} = V_{kin}^{synth} - V_{kin}^{deg} = V_{kin}^0 \frac{(1 + M_p / K_1)}{(1 + l \cdot M_p / K)_1} - k_{kin}^{deg} E_{kin}, \quad l > 0.$$

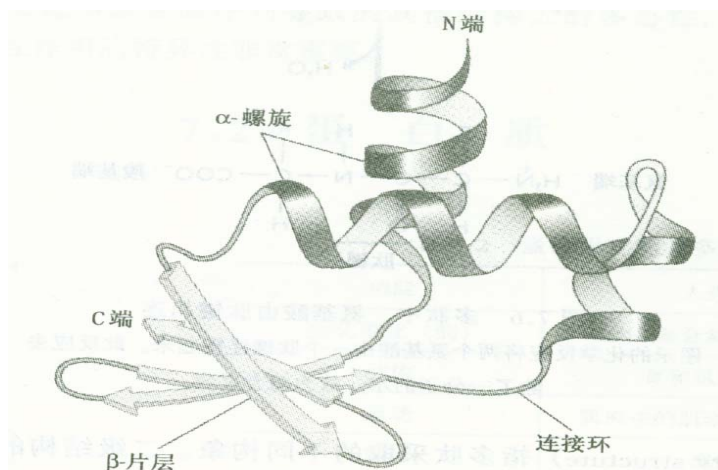
一种具有负反馈环节信号处理模式的动力学方程



典型信号传递模式的反馈环节

(Nature Review of Molecular Cell Biology, 7, 165-176, 2006)

4) 蛋白质三维折叠结构模型



2. 系统调用序列和命令序列

1) Linux 系统中 FTP

● 系统调用(函数)序列

LINUX中系统调用函数

Time open fstat64 read close time rt-sigprocmask select rt-sigprocmask time
open fstat64 read close time time rt-sigprocmask select rt-sigprocmask time
open fstat64 read close time time statfs rt-sigprocmask select rt-sigprocmask
wait4 sigreturn rt-sigprocmask time open fstat64 read close time
rt-sigprocmask select rt-sigprocmask time open fstat64 read close time
rt-sigprocmask select wait4 time open fstat64 read close time

● 系统调用(编号)序列

LINUX中系统调用

13 5 197 3 6 13 175 142 175 13 5 197 3 6 13 13 175
142 175 5 197 3 6 13 13 99 175 142 175 114 119 175 13
5 197 3 6 13 175 142 175 5 197 3 6 13 175 142 114 13
5 197 3 6 13 175

2) Linux 系统中 Telnet 命令序列

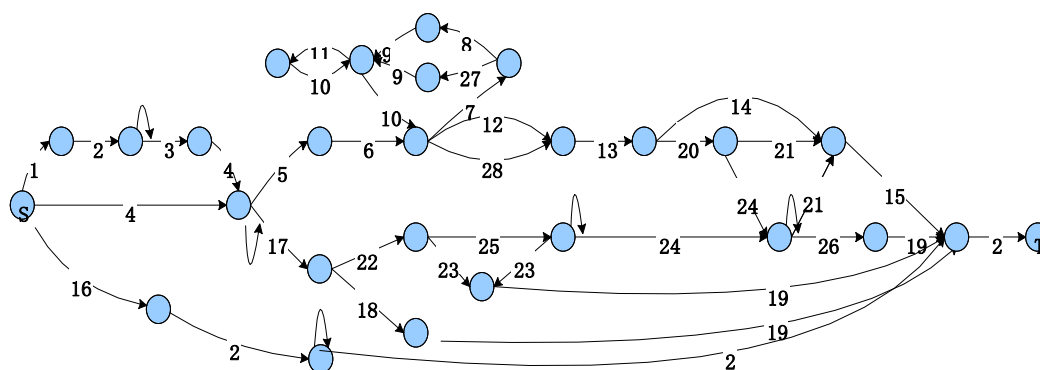
xinetd — in.telnetd — login — bash — ls
(677) (999) (1000) (1001) (1044)
— su — bash — ls
(1045) (1046) (1094)
— cd /var/log
(1095)

LINUX中 Telnet
shell 命令

3) SendMail 系统调用序列的基本模式

1: 4 2 66 66 4 138 66 5 23 45 4 27 66 5	13: 50 27 2 5 17 4 14 50 27 2
4 2 66 66 5 4 2 66 66 5 5 85	14: 50 27 2 3 5 93 88 112 19 128
2: 5 5	15: 112 19 128 4 4 14 50 27 3 5 9 124 1 112
3: 5 4 59 155 4 50 27 2 5 105 104 104 106	4 5 5
4: 105 104 104 106	16: 1 5 5
5: 105 104 104 106 56 19 155 83	17: 105 104 104 106 5 4 5 5 40 40 41 105 104
6: 19 4 93 94 5 112	104 106 61 5 85 50 27 18
7: 19 93	18: 50 27 2 2 3 5 6 6 112 112 19 128 9 9
8: 19 100 50 128 85 89 121 5 5 4	19: 5 9 9 5 112 4
9: 50 27 2 19 4 93 94 5 112	20: 50 27 2 3
10: 19 93 100 50 128 89 121 5 5	21: 2 3 5 93 88 112 19 128
11: 5 93 50 112 4 2 5 23 4 50 27 2 2 2 54	22: 50 27 2 3 3
4 50 27 2 2 5 11 17 4 4 27 17 112 19 19 32	23: 2 2 3 5 6 6 112 112 19 128 9 9
32 7 5 8 9 8 4 14 112 19 112 4 2 5 112 112	24: 2 3
50 50 50 27 4 27 88 167 167 17 5 4 50 27	25: 2 3 3
2 5 4 18 2 5 4 50 27 2 5 23 23 4 50 27 2	26: 2 3 5 6 6 112 112 19 128 9 9
5 18 2 19 4 93 94 5 112	27: 19 100 100 50 128 85 89 121 5 5 4
12: 19 93 100 50 128 89 121 5 5 4	28: 19 93 100 100 50 128 89 121 5 5 4

4) SendMail 系统调用序列的基本模式网络



其中 $i = 1, 2, \dots, 28$ 基本模式编号, S 表示服务的开始, T 表示服务的结束。

3. 股票价格波动分析

1) 股票数据

No	代 码	日 期	收盘价	涨跌	符号化	模式
1	1A0001	20040804	1404.51	—	0	000
2	1A0001	20040805	1389.04	—	C	000
3	1A0001	20040806	1390.46	+	G	000
4	1A0001	20040809	1395.85	+	U	000
5	1A0001	20040810	1400.77	+	U	000
6	1A0001	20040811	1384.96	—	A	CUA
7	1A0001	20040812	1368.2	—	C	GUC
8	1A0001	20040813	1368.45	+	G	UAG
9	1A0001	20040816	1354.51	—	A	UCA
10	1A0001	20040817	1360.2	+	G	AGG
11	1A0001	20040818	1358.22	—	A	CAA
12	1A0001	20040819	1340.45	—	C	GGC
13	1A0001	20040820	1341.74	+	G	AAG
14	1A0001	20040823	1325.41	—	A	GCA
15	1A0001	20040824	1344.63	+	G	AGG
16	1A0001	20040825	1339.78	—	A	CAA

2) 相关序列

- 收盘价时间序列: 1404.51, 1389.04, 1390.46, 1395.85, 1400.77, 1384.96, 1368.2, 1368.45, 1354.51, 1360.2……
- 股价波动符号时间序列: C, G, U, U, A, C, G, A, G, A, C, G, A, G, A……
- 股价波动模式序列: CUA, GUC, UAG, UCA, AGG, CAA, GGC, AAG, GCA, AGG, CAA……

$$\left. \begin{aligned} \frac{dn(t)}{dt} &= rn(1 - \frac{n}{N}) \\ n(0) &= n_0 \end{aligned} \right\}$$

其中 N 为生存环境所决定的一个常数, 这种类型的人口在人口总数小的时候近似按指数规律增长, 但不会超过某一最大人口总数 N 。

3. 莱斯利 (P.H.Leslie) 人口控制模型

将时间分为离散点 $t = 0, 1, 2, \dots$, 假定有 $m+1$ 个年龄组。定义 n_{xt} 表示时间 t 年年龄组 x 的女性人数, 她们中能活到时间 $t+1$ 成为年龄组 $x+1$ 的成员的比率为 P_x , F_x 表示时间 t 年年龄组 x 的女性中每位女性生出女孩的平均数。莱斯利给出如下数学模型:

$$n_{t+1} = Mn_t$$

其中

$$n_t = [n_{0t}, n_{1t}, \dots, n_{mt}]^T$$

$$M = \begin{bmatrix} F_0 & F_1 & \dots & F_{m-1} & F_m \\ P_0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & P_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & P_{m-1} & 0 \end{bmatrix}$$

此差分方程可以用来对人口发展进行分析和预测。

4. 宋健和于景元人口控制模型

1985 年, 宋健等在模型中引入了生育模式的概念, 从控制论的角度提出了包括连续、离散模型在内的一组人口控制模型。

用 $p(a, t)$ 表示 t 时刻 a 年龄的人口密度, $p_0(a)$ 表示零时刻的初始人口密度, $\mu(a, t)$ 表示 t 时刻 a 年龄的相对分布死亡率。以总和生育率 $\beta(t)$ 、按年龄女性比例 $k(a, t)$ 以及生育模式 $h(a, t)$ 来反映生育事件, 假设生育仅发生在年龄 a_1 和 a_2 之间, 则生育模式满足规格化条件 $\int_{a_1}^{a_2} h(a, t) da = 1$ 。假设 t 时刻 a 年龄的人口迁移率为 $f(a, t)$, 则连续的人口控制模型为下面带边界反馈的一阶偏微分方程:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial p(a,t)}{\partial t} + \frac{\partial p(a,t)}{\partial a} &= -\mu(a,t)p(a,t) + f(a,t) \\ p(a,0) &= p_0(a) \\ p(0,t) &= \beta(t) \int_{a_1}^{a_2} k(a,t)h(a,t)p(a,t)da \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

相应于(1.1)式表示的连续模型，离散模型可通过对该(1.1)式的离散化得到

$$x(t+1) = H(t)x(t) + \beta(t)B(t)x(t) + g(t) \quad (1.2)$$

其中，

$$\begin{aligned} x(t) &= [x_0(t), x_1(t), \dots, x_m(t)]^T \\ H(t) &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ 1-\mu_0(t) & 0 & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 1-\mu_1(t) & \dots & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 1-\mu_{m-1}(t) & 0 \end{bmatrix} \\ B(t) &= \begin{bmatrix} 0 & \dots & 0 & b_{a_1}(t) & \dots & b_{a_2}(t) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \\ b_i(t) &= (1-\mu_0(t))k_i(t)h_i(t), \quad i = a_1, a_1+1, \dots, a_2 \\ g(t) &= (g_0(t), g_1(t), \dots, g_m(t))^T \end{aligned}$$

这里假设人口最高年龄为 m ，女性最低和最高育龄分别为 a_1 和 a_2 ， $x_i(t)$ 表示 t 时刻第 i 年龄组的人口数， $\mu_0(t)$ 为婴儿死亡率， $\mu_i(t), i=0,1,\dots,m-1$ ，为第 i 个年龄组 $[t, t+1)$ 时间内的死亡率，以 $k_i(t)$ 表示 t 时刻 i 年龄组的女性比例，以 $h_i(t)$ 表

示生育模式，其满足归一化条件 $\sum_{i=a_1}^{a_2} h_i(t) = 1$ ，总和生育率为 $\beta(t)$ ， t 时刻 i 年龄

组的迁移人数为 $g_i(t)$ 。利用离散模型(1.2)进行模拟分析，可以进行人口政策的研究，如对我国人口采取政策控制不同生育率可以得出人口发展是不同的。

对人口系统，当只考虑分年龄组而时间仍为连续的情况下，对应的模型是半离散人口模型；

$$\dot{x}(t) = A(t)x(t) + \beta(t)C(t)x(t) + F(t)$$

其中

$$x(t) = (x_0(t), x_1(t), \dots, x_m(t))^T$$

$$A(t) = \begin{bmatrix} -(\mu_0(t) + r_0(t)) & 0 & \cdots & 0 \\ r_0(t) & -(\mu_1(t) + r_1(t)) & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & r_{m-1}(t) & -(\mu_m(t) + r_m(t)) \end{bmatrix}$$

$$C(t) = \begin{bmatrix} 0 & \cdots & 0 & c_{a_1}(t) & \cdots & c_{a_2}(t) & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix}$$

$$c_i(t) = k_i(t)h_i(t), \quad i = a_1, a_1 + 1, \dots, a_2$$

$$F(t) = [f_0(t), f_1(t), \dots, f_m(t)]^T$$

这里 $r_i(t)$ 表示第 i 个年龄组的人口递进率, $f_i(t)$ 为 i 年龄组的人口迁移率, 其余参量物理意义与模型 (1.1) 相同。

利用前述逻辑斯蒂模型的概念, 可构造按年龄状况下的人非线性模型:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial p(a,t)}{\partial t} + \frac{\partial p(a,t)}{\partial a} &= -\mu(a,t)p(a,t) - KNp(a,t) \\ p(a,0) &= p_0(a) \\ p(0,t) &= \beta(t) \int_{a_1}^{a_2} k(a,t)h(a,t)p(a,t)da \end{aligned} \right\}$$

式中 N 反映人口的最大环境容量, K 表示影响系数, 其余参量的物理意义与 (1.1) 式表示的模型相同。 这种模型所反映的人口系统其增长的最终目标受到 N 的限制。

如果把生育看成一系列相互关联的事件, 以妇女生育第一胎、第二胎、……等作为事件, 则可构造胎次递进人口模型:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial P(a,t)}{\partial t} + \frac{\partial P(a,t)}{\partial a} &= D(t)P(a,t) \\ P(a,0) &= P_0(a) \\ P(0,t) &= \int_0^m B(a)P(a,t)da \end{aligned} \right\}$$

其中

$$P(a,t) = [P_0(a,t), P_1(a,t), \dots, P_N(a,t)]^T$$

$$P_0(a) = [P_{00}(a), P_{10}(a), \dots, P_{N0}(a)]^T$$

$$B(a) = \begin{bmatrix} k_0\lambda_0(a) & k_0\lambda_1(a) & \cdots & k_0\lambda_{N-1}(a) & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$D(a) = \begin{bmatrix} -[\lambda_0(a) + \mu_f(a)] & 0 & \cdots & 0 \\ \lambda_0(a) & -[\lambda_1(a) + \mu_f(a)] & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & \lambda_{N-1}(a) & -[\lambda_N(a) + \mu_f(a)] \end{bmatrix}$$

式中, 下标 N 为妇女生育的最多胎次, $P_x(a, t)$ 为 n 胎次妇女年龄分布密度函数, $P_{n_0}(a)$ 为初始 n 胎次妇女年龄分布密度, $\lambda_n(a)$ 为胎次递进率, k_0 为婴儿女性比, $\mu_f(a)$ 为女性死亡率函数。胎次递进模型可对分胎次的人口控制政策进行模拟分析。

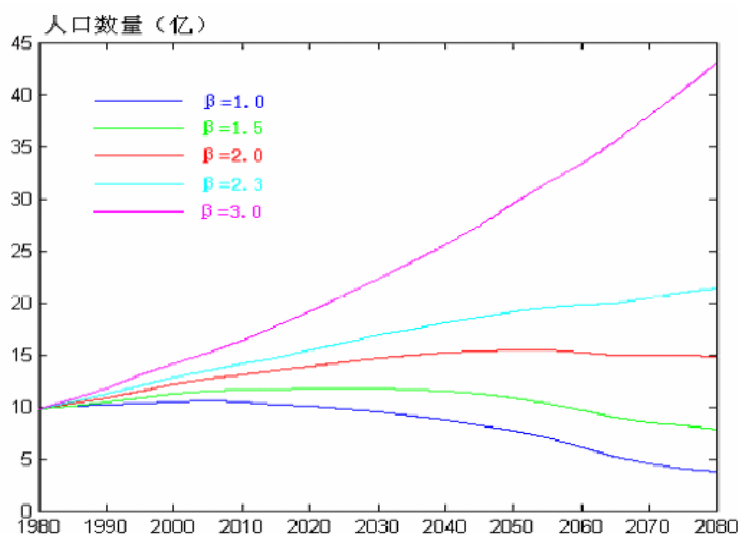
如果研究全世界的人口, 或是分析某国内部各区域间的影响, 则可构造如下的人口控制模型, 以带边界反馈的一阶偏微分方程组表示:

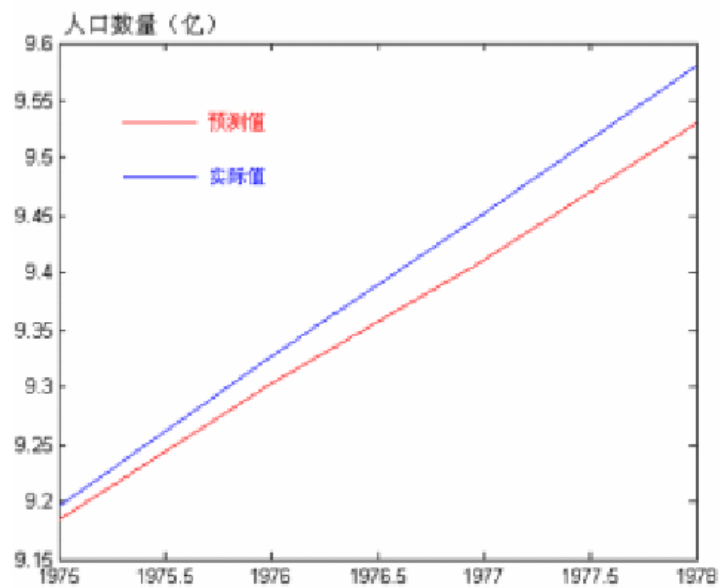
$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial P(a, t)}{\partial t} + \frac{\partial P(a, t)}{\partial a} &= -M(a, t)P(a, t) + A(a, t)P(a, t) + G(a, t) \\ P(a, 0) &= (P_{01}(a), P_{02}(a), \cdots, P_{0m}(a)) \\ P(0, t) &= (\varphi_1(t), \varphi_2(t), \cdots, \varphi_m(t)) \end{aligned} \right\}$$

其中 $P_i(a, t)$ 为第 i 地区的人口密度函数, $P(a, t)$ 为整个人口状态。初始人口密度函数为 $P_{0i}(a)$, $\varphi_i(t)$ 为 i 地区的绝对出生率。 $M(a, t)$ 为人口死亡率函数。

$A(a, t)$ 表示地区间的移民, $G(a, t)$ 表示人口扰动。这个方程所表示的模型用来分析多区域的人口大系统的人口控制过程, 以其对其进行预报、控制和管理。

运用该模型对我国人口进行预测, 下图为预测结果与实际的对比。





5. 几篇人口模型研究和应用的文章

- Logistic 人口增长模型的反馈控制研究
- 城市人口控制制度及其变迁——迁移者与政府的博弈
- 城乡迁移对中国人口增长的影响
- 人口经济与环境整体优化模型初步研究
- 中国经济发展与人口控制协同探析

Logistic 人口增长模型的反馈控制研究

魏金岭, 赵光宙

(浙江大学电机系, 浙江 杭州 310027)

摘要: 针对 Logistic 人口增长模型在混沌状态时轨道杂乱无章的现象, 提出了一种基于 Lyapunov 指数的状态反馈控制策略, 并给出了进行状态反馈的条件。数字仿真结果表明, 利用该控制策略, 可将混沌状态时的 Logistic 人口增长模型中的状态变量在很短的时间内控制在任意的允许值上。

关键词: Logistic 人口增长模型; Lyapunov 指数; 反馈控制

中图分类号: TP273

On Feedback Control for Logistic Population Growth Model

WEI Jin-ling, ZHAO Guang-zhou

(Department of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

Abstract This paper proposed a control tactics by state feedback based on Lyapunov exponent to get rid of the chaotic orbits in chaotic Logistic population growth model, and gave the control conditions. The number simulation shows we can control the static variables of chaotic Logistic population growth model to any allowable value in short time with this tactics.

Keywords Logistic population growth model; Lyapunov exponent; feedback control

1 引言

目前人们主要利用两种形式的人口增长模型来研究人口的数量状况^[1]。一种是英国经济学家马尔萨斯于 1798 年提出的指数型人口增长模型。由于该模型没有考虑食物、能源等环境方面的限制, 因此该模型不能正确地反映人口实际增长情况, 已不大被采用。另一种是荷兰生物学家 Verhaust 于 1938 年提出的以昆虫数量为基础的 Logistic 人口增长模型^[1~4]。该模型综合考虑了环境等因素对人口增长产生的影响, 因此是一种被广泛应用的比较好的模型。Logistic 人口增长模型的无量纲离散形式为

$$X_{n+1} = \lambda X_n (1 - X_n) \quad (1)$$

其中, 状态变量 $X_{n+1}, X_n \in [0, 1]$, 分别代表第 $n+1$ 代及第 n 代人口的无量纲数量; 控制参量 $\lambda \in [1, 4]$, 反映了人口稀少时人口的增长率。

系统(1)的特点为当 $\lambda \in [1, \lambda_c)$ 时, 其中 $\lambda_c = 3.56994\dots$, 对从定义域 $[0, 1]$ 内出发的任意一点, 经过一定次数的迭代后, 系统的状态轨道迟早会进入一个周期轨道。当 $\lambda \in [\lambda_c, 4]$ 时, 系统为混沌状态。此时系统的轨道大都呈现出杂乱无章的现象, 不利于进行预测和控制。因此, 对于混沌系统, 人们经常采用一些方法将其转变为确定性的系统, 从而对系统进行预测和控制。本文主要考虑系统(1)在混沌状态时的控制问题。

2 基于 Lyapunov 指数的混沌系统状态反馈控制法

对于混沌系统, 目前人们主要利用 Ott 等人提出的 OGY 方法及其改进方法进行控制(为简单起见, 后面统称为 OGY 方法)^[5-8]。该方法对形如 $X_{n+1} = F(X_n, p)$ 的混沌动力学系统, 通过在一个小的范围内轻微改变控制参量 p , 将系统控制在一个不稳定的周期轨道上。文献[7]中, 作者采用了该方法对 Logistic 人口增长模型进行了比较好的控制。

我们知道, 在一定的环境下及比较短的时间内, 系统(1)中的控制参量是不变的。而 OGY 方法是通过改变控制参量的方法达到控制目的。故当控制参量不变时, 不可利用 OGY 方法对系统(1)进行控制。当控制参量不变时, 文献[8]的作者给出了一种状态延时反馈控制方法。该方法通过增加系统的维数将系统的状态稳定在平衡点上, 但该方法却不能将系统(1)的状态值稳定在任意允许的一点上。

最近, 陈关荣等人在研究如何将一个非线性系统转变为混沌系统时提出了一种基于 Lyapunov 指数的状态反馈法^[9, 10]。该方法的主要思想为: 对于一个非线性离散动力学系统

$$X_{k+1} = f_k(X_k) \quad X_k \in R^n \quad (2)$$

其中 X_0 已知, f_k 在局部范围内连续可微

通过对系统(2)加一状态反馈量

$$u_k = B_k X_k \quad (3)$$

其中 B_k 满足

$$B_k = -f_k(X_k) + \begin{bmatrix} e^{\sigma_1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & e^{\sigma_2} & \dots & 0 \\ & & \ddots & \\ 0 & 0 & \dots & e^{\sigma_n} \end{bmatrix} \quad (4)$$

式(4)中 $k = 0, 1, 2, \dots$, 对角阵中其它的元素为 0

于是系统(2)变为

$$X_{k+1} = f_k(X_k) + u_k = f_k(X_k) - f_k(X_k)X_k + \begin{bmatrix} e^{\sigma_1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & e^{\sigma_2} & \dots & 0 \\ & & \ddots & \\ 0 & 0 & \dots & e^{\sigma_n} \end{bmatrix} X_k \quad (5)$$

可以验证, 系统(5)的 n 个 Lyapunov 指数分别为 $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n$ 。配置这 n 个 Lyapunov 指数, 使其中至少有一个大于零, 则系统(5)变为混沌的。

利用该方法, 我们考虑, 如果将系统(5)中的所有的 Lyapunov 指数全部配置为小于零, 则系统变为稳定的系统。利用该想法, 我们对系统(1)进行控制。仿真结果表明, 系统(1)可以被稳定在 $[0, 1]$ 中任意的一点上。

3 Logistic 人口增长模型控制策略

3.1 控制模型的建立

设系统(1)预期的控制目标为 $[0, 1]$ 区间上的任意一点 c 。令

$$X_n = Y_n + c \quad (6)$$

则 $Y_n \in [-c, 1-c]$ 。将式(6)代入式(1), 整理得

$$Y_{n+1} = -\lambda Y_n^2 + \lambda Y_n - 2c\lambda Y_n + (\lambda c - \lambda c^2 - c) = g(Y_n) \quad (7)$$

由式(7)得

$$g(Y_n) = -2\lambda Y_n + \lambda - 2c\lambda \quad (8)$$

设反馈控制量为

$$u_n = B_n Y_n - (\lambda c - \lambda c^2 - c) = (-g(Y_n) + e^\sigma)Y_n - (\lambda c - \lambda c^2 - c) \quad (9)$$

其中, 系统的 Lyapunov 指数 σ 为负。将式(9)加入到式(7), 整理得

$$Y_{n+1} = e^{\sigma} Y_n + \lambda Y_n^2 = F(Y_n) \quad (10)$$

式(10)即为要求的控制模型

3.2 控制条件的确定

式(10)的不动点为 $Y_n^* = 0$ 或 $\frac{1-e^{\sigma}}{\lambda}$. 且有 $|F'(0)| = |e^{\sigma}| < 1$, $\left| F'\left(\frac{1-e^{\sigma}}{\lambda}\right) \right| = |2-e^{\sigma}| > 1$, 故不动点 $Y_n^* = 0$ 是稳定的, 而不动点 $Y_n^* = \frac{1-e^{\sigma}}{\lambda}$ 是不稳定的^[4]. 如果系统(10)能稳定在不动点 $Y_n^* = 0$ 上, 则原系统(1)的状态值能稳定在 c 上

下面我们求系统(10)在不动点 $Y_n^* = 0$ 附近的稳定范围

由式(10)可知, 加入状态反馈量后的系统(7)为开口向上的抛物线, 其对称轴为:

$$Y_n = -\frac{e^{\sigma}}{2\lambda} \quad (11)$$

当 $Y_n \geq -\frac{e^{\sigma}}{2\lambda}$ 时, 系统(10)为单调递增的连续函数. 为了得到系统(10)在 $Y_n^* = 0$ 附近的稳定范围, 我们推导出了下面一个更普遍的定理

定理 设 $X_0 \in (a_0, a_{k+1})$, 其中 a_0 与/或 a_{k+1} 可为无穷大. 差分方程 $X_{n+1} = f(X_n)$ 有且仅有 k 个不动点 a_1, a_2, \dots, a_k , 满足 $a_0 < a_1 < a_2 < \dots < a_k < a_{k+1}$, f 为单调递增的连续函数, 且对任意的 $a_i (i=1, 2, \dots, k)$ 有 $f(a_i - \epsilon) - (a_i - \epsilon)$ 与 $f(a_i + \epsilon) - (a_i + \epsilon)$ 异号, 其中 ϵ, ϵ_+ 满足 $a_{i-1} < a_i - \epsilon < a_i < a_i + \epsilon_+ < a_{i+1}$. 令 $\beta = f(a_0)$, 若有 $f(\beta) > \beta$, 则 a_1, a_3, a_5, \dots 为稳定的不动点. 其对应的收敛区间分别为 $(a_0, a_2), (a_2, a_4), (a_4, a_6), \dots$; a_2, a_4, a_6, \dots 为不稳定的不动点. 反之, 若有 $f(\beta) < \beta$, 则 a_2, a_4, a_6, \dots 为稳定的不动点, 其对应的收敛区间分别为 $(a_1, a_3), (a_3, a_5), (a_5, a_7), \dots$; a_1, a_3, a_5, \dots 为不稳定的不动点.

证明 先证 $f(\beta) > \beta$ 时的情况

由 $f(\beta) > \beta$ 及 f 为连续函数可知, 对区间 (a_0, a_1) 中的任意一点 X_0 , $f(X_0) > X_0$ 成立. 由于 f 为单调递增的连续函数, 故有

$$\begin{cases} a_1 = f(a_1) > f(X_0) = X_1 > X_0 \\ a_1 = f(a_1) > f(X_1) = X_2 > X_1 > X_0 \\ a_1 = f(a_1) > f(X_2) = X_3 > X_2 > X_1 > X_0 \\ \vdots \\ a_1 = f(a_1) > f(X_{n-1}) = X_n > X_{n-1} > \dots > X_1 > X_0 \end{cases} \quad (12)$$

由式(12)可知, 对从区间 (a_0, a_1) 出发的任意一点, 在单调递增函数 f 的作用下, 迭代任意次后系统的状态值均在区间 (a_0, a_1) 上. 且迭代后的系统状态值也是单调递增的.

另一方面, 由于 f 为连续函数, 且在区间 (a_0, a_1) 上无不动点, 故区间 (a_0, a_1) 上存在一点 Y , 使 $l = \frac{f(a_1) - f(Y)}{a_1 - Y}$ 最小, l 满足 $0 < l < 1$. 由点 $(a_1, f(a_1))$ 与 $(Y, f(Y))$ 组成的单调递增的直线方程为 $y = l(x - a_1) + a_1$. 于是有

$$\begin{cases} X_1 = f(X_0) > y(X_0) = l(X_0 - a_1) + a_1 \\ X_2 = f(X_1) > y(X_1) > y(l(X_0 - a_1) + a_1) = l^2(X_0 - a_1) + a_1 \\ X_3 = f(X_2) > y(X_2) > y(l^2(X_0 - a_1) + a_1) = l^3(X_0 - a_1) + a_1 \\ \vdots \\ X_n = f(X_{n-1}) > y(X_{n-1}) > y(l^{n-1}(X_0 - a_1) + a_1) = l^n(X_0 - a_1) + a_1 \end{cases} \quad (13)$$

由式(12)及(13)可得 $\lim_{n \rightarrow \infty} X_n = a_1$.

因此可知, 对于从区间 (a_0, a_1) 中的任意一点 X_0 出发的轨道, 在单调递增函数 f 的作用下, 系统的状态值从左边趋向 a_1 .

同理可知, 对于从区间 (a_1, a_2) 中的任意一点 X_0 出发的轨道, 在单调递增函数 f 的作用下, 系统的状态值从右边趋向 a_1 .

故可知, 若有 $f(\beta) > \beta$, 则 a_1 为稳定的不动点, 其对应的收敛区间为 (a_0, a_2) .

同理可得 a_3, a_5, \dots 也为稳定的不动点, 其对应的收敛区间分别为 $(a_2, a_4), (a_4, a_6), \dots$. 显然, 此时 a_2, a_4, a_6, \dots 为不稳定的不动点

同理可得当 $f(\beta) < \beta$ 时, 另一结论也成立

在上述定理中, 若单调递增函数 f 处处可导, 由 $f(a_i - \epsilon) - (a_i - \epsilon)$ 与 $f(a_i + \epsilon) - (a_i + \epsilon)$ 异号可知, 在不动点处, f 的导数不为 1. 由 $f(\beta) > \beta$ 可知, $f(a_i) < 1$, 其中 $i = 1, 3, 5, \dots$, 以及 $f(a_i) > 1$, 其中 $i = 2, 4, 6, \dots$. 由 $f(\beta) < \beta$ 可知, $f(a_i) < 1$, 其中 $i = 2, 4, 6, \dots$, 以及 $f(a_i) > 1$, 其中 $i = 1, 3, 5, \dots$. 于是我们有下面的推论

推论 设 $X_0 \in (a_0, a_{k+1})$, 其中 a_0 与/或 a_{k+1} 可为无穷大, 差分方程 $X_{n+1} = f(X_n)$ 有且仅有 k 个不动点 a_1, a_2, \dots, a_k , 满足 $a_0 < a_1 < a_2 < \dots < a_k < a_{k+1}$, f 在区间 (a_0, a_{k+1}) 上处处可导, 且对任意的 $a_i (i = 1, 2, \dots, k)$ 有 $f'(a_i) \neq 1$. 若有 $f'(a_1) < 1$, 则 a_1, a_3, a_5, \dots 为稳定的不动点, 其对应的收敛区间分别为 $(a_0, a_2), (a_2, a_4), (a_4, a_6), \dots$; a_2, a_4, a_6, \dots 为不稳定的不动点. 反之, 若有 $f'(a_1) > 1$, 则 a_2, a_4, a_6, \dots 为稳定的不动点, 其对应的收敛区间分别为 $(a_1, a_3), (a_3, a_5), (a_5, a_7), \dots$; a_1, a_3, a_5, \dots 为不稳定的不动点

由上述推论可知系统 (10) 中不动点零的收敛区间. 由于系统 (10) 在区间 $\left[-\frac{e^\sigma}{2\lambda}, \frac{1-e^\sigma}{\lambda}\right]$ 上是单调递增的且处处可导, 且有 $|F'(0)| = |e^\sigma| < 1$, 故知, 系统 (10) 在区间 $\left[-\frac{e^\sigma}{2\lambda}, \frac{1-e^\sigma}{\lambda}\right]$ 上收敛到不动点零. 当状态变量在区间 $\left[-\frac{1}{\lambda}, -\frac{e^\sigma}{2\lambda}\right]$ 上时, 经过一次迭代后, 有 $X_n \in \left[-\frac{e^\sigma}{2\lambda}, \frac{1-e^\sigma}{\lambda}\right]$, 故区间 $\left[-\frac{1}{\lambda}, -\frac{e^\sigma}{2\lambda}\right]$ 也满足收敛的要求. 其它的区间则为发散区间. 考虑到系统变量的取值范围, 于是得到系统 (10) 收敛到不动点零的区间为

$$Y_n \in \left(\max\left(-c, -\frac{1}{\lambda}\right), \min\left(1-c, \frac{1-e^\sigma}{\lambda}\right)\right) \quad (14)$$

当系统 (7) 的状态变量满足 (14) 时, 将反馈控制量 (9) 加入至 (7) 中, 则系统 (7) 的状态值将会收敛到零, 也即系统 (1) 的状态值收敛至 c . 当系统 (7) 的状态变量不满足式 (14) 时, 不可将反馈控制量 (9) 加入至 (7) 中, 否则系统 (10) 是发散的, 不满足控制要求. 因此式 (14) 为 Logistic 人口增长模型进行状态反馈的控制条件.

当系统 (1) 及控制目标 c 给定时, 式 (14) 中的三个参数 c, λ 与 σ 中只有 σ 可变. 通过调整 σ , 我们可改变式 (14) 的范围. 但只有当 σ 固定时, 式 (14) 的取值范围才能相应的确定下来, 才能验证系统 (7) 的状态值是否满足式 (14) 的要求. 因此在具体的控制过程中, 我们将 σ 也取为定值, 从而降低了控制过程的复杂性.

3.3 Logistic 人口增长模型控制策略

由上述的分析可知, 当系统 (7) 的状态变量满足式 (14) 时, 系统 (7) 中加入状态反馈量 (9), 则系统 (10) 的状态值最终会收敛到零, 也即原系统 (1) 的状态值收敛到 $[0, 1]$ 上的预定控制点 c 上. 当系统 (7) 的状态变量不满足式 (14) 的要求时, 对系统 (7) 不要加入状态反馈量 (9), 而应按系统 (7) 原有的混沌行为进行演化, 否则系统 (10) 发散. 当系统 (7) 按原有的混沌行为进行演化时, 我们要不断地检测系统的状态值. 一旦状态变量满足式 (14) 时, 便将式 (9) 加入系统 (7) 中, 使系统满足控制要求. 当经过一定次数的迭代后, 系统变量仍未满足式 (14) 时, 这时系统可能处于一个不稳定的周期轨道上. 因此对系统加入一个小的扰动, 利用混沌系统对初值敏感的特点, 迫使系统 (7) 的状态值进入式 (14) 所确定的区间, 满足控制条件. 从而对系统 (7) 加以控制, 使其状态值收敛到零.

由此得到 Logistic 人口增长模型的控制策略

- 1) 系统 (1) 按式 (6) 对进行状态变换, 原系统变为系统 (7);
- 2) 检测系统 (7) 的状态变量, 若满足式 (14) 时, 按式 (9) 将控制信号加入到系统中, 转至 2);
- 3) 当系统的状态变量不满足式 (14) 时, 若 $n = 10k, k$ 为任一自然数, 将一小的扰动量 δ_k 加入系统 (7) 的状态变量中, 使式 (7) 变为 $Y_{n+1} = g(Y_n + \delta_k)$. 其中 δ_k 满足下式

$$\delta_k = \begin{cases} -\frac{Y_n + c}{100}, & \text{当 } n = 10k \text{ 时} \\ 0, & \text{当 } n \neq 10k \text{ 时} \end{cases} \quad (15)$$

转至 2)。

利用上述的控制策略, 对于任意的初始状态值, 经过一定次数的控制, 系统的状态值最终会趋于零, 即系统(1)的状态变量趋向于 c 。

4 数字仿真研究

令 $\lambda = 4$, $c = 0.5$, $e^{\sigma} = 0.5$, 则有 $\max \left(-c, -\frac{1}{\lambda} \right) = -0.25$, $\min \left(1 - c, \frac{1 - e^{\sigma}}{\lambda} \right) = 0.125$ 。取系统(7)的初始状态变量值为 -0.1 。按上述的控制策略进行控制, 其状态变化图如图 1. a 所示。可见经过四次的迭代后, 系统的状态值趋向于零, 即原系统状态变量趋向于 0.5 。

取初始值为 0.3 , 此时系统(7)的初始状态值不在区间 $(-0.25, 0.125)$ 上。按上述控制策略, 系统(7)应按自身规律演变, 但要不断检测系统的状态值。经过 3 次迭代后, 系统的状态值近似为 -0.21 , 满足式(14)的要求。此时, 按式(9)设计并加入控制量, 系统(7)的状态值又经过 8 次迭代后收敛至零。相应的状态变化图如图 1. b 所示。

取初始值为 0.25 , 由于 0.25 不满足式(14), 按上述控制策略, 系统(7)应按自身规律演变, 由于 $Y_1 = 0.25 = Y_0$, 故系统(7)的状态值处在周期 1 的轨道上, 经过 10 次迭代后, 系统状态值仍为 0.25 。按式(15)加入小的扰动量, 再迭代 4 次后, 系统状态值近似为 0.123 , 满足式(14), 进行相应的控制。系统状态变化图如图 1. c 所示。可见通过加入小的扰动量, 系统快速收敛到零。

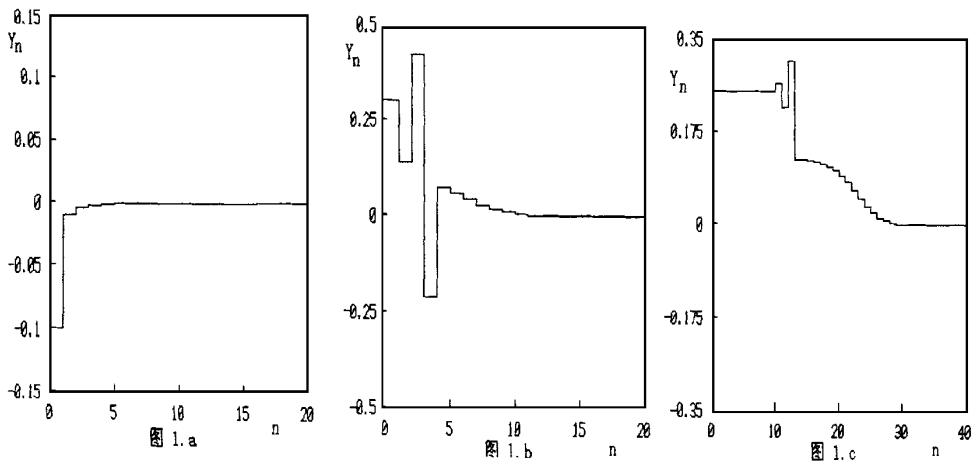


图 1. a 中状态初始值为 $X_0 = -0.1$; 图 1. b 中状态初始值为 $X_0 = 0.3$; 图 1. c 中状态初始值为 $X_0 = 0.25$

图 1 Logistic 人口增长模型在状态反馈控制策略下的状态变化图

5 结论

本文给出了当控制参数不可调节时, Logistic 人口增长模型在混沌状态时的一种控制策略。该方法通过进行状态反馈, 将 Logistic 系统的 Lyapunov 指数配置为小于零的值, 使系统变为渐近稳定的系统。随着迭代次数的增加, 系统状态值逐渐收敛至预期的值。同时, 本文给出了 Logistic 系统加入状态反馈的条件及反馈量的设计。数字仿真结果表明, 利用该控制策略, 系统状态值能快速收敛至预定值。

参考文献:

- [1] 冯蔚东, 贺国光, 马寿峰. 一种新的城市人口规模演化模型——分支模型研究. 系统工程理论与实践

践, 1997, 17(9): 71~ 79.

- [2] Feigenbaum M J. Quantitative universality for a class of nonlinear transformation J. Stat Phys , 1978, 19(1): 25~ 52
- [3] May R M. Simple mathematical models with very complicated dynamics Nature, 1976, 261(10): 459 ~ 467.
- [4] Moon, F C. Chaotic Vibrations New York: A Wiley-Interscience Publication, 1987.
- [5] Ott E, Grebogi C, Yorke A. Controlling chaos Phys. Rev. Lett , 1990, 64(11): 1196~ 1199
- [6] Garfinkel A, Spano M L, Ditto W L, Weiss J N. Controlling Cardiac Chaos Science, 1992, 257: 1230~ 1235
- [7] Shinbrot T, Grebogi C, Ott E, Yorke A. Using small perturbations to control chaos Nature, 1993, 363: 411~ 417.
- [8] Pyragas K. Continuous control of chaos by self-controlling feedback Phys. Lett. A, 1992, 170: 421 ~ 428
- [9] Chen G, Lai D. Feedback control of Lyapunov exponents for discrete-time dynamical systems Int. J. Bifurcation and Chaos, 1996, 6(7): 1341~ 1349
- [10] Chen G, Lai D. Making a dynamical system chaotic: feedback control of Lyapunov exponents for discrete-time dynamical systems IEEE Trans. Circuits Syst. I, 1997, 44(3): 250~ 253

(上接第 83 页)

4.3 GM (1, 6)的经济含义

在最优灰色模型中, 自变量可分为三类: 第一类是资本要素(x_2 , x_3 及 x_{10}), 其中 x_2 和 x_3 为投入资本价值的量度, x_{10} 为资本的利用效率; 第二类是劳动力要素(x_4), 它既反映了劳动力的投入量度又反映了其利用效果; 第三类是空间要素(x_9), 它反映了开采空间的占用广度. 再分析模型参数符号, 只有 x_2 的系数为负值, 这说明该企业工业总产值并不随着固定资产的投入规模增加而增加, 而与其利用程度(如采掘机械化水平)直接相关. 由此得出结论, 企业的产出总量不但取决于投入生产要素的量度, 而且更取决于生产要素的组合运行质量.

5 结束语

灰色模型 GM (1, n) 的变量选择及拟合效果的研究, 揭示了建立 GM (1, n) 的关键是应该正确地选择模型的解释变量. 应用实例, 也说明了利用灰色关联度选择显著变量来建立灰色模型的可行性和有效性.

参考文献:

- [1] 邓聚龙. 灰色预测与决策. 武汉: 华中工学院出版社, 1986.
- [2] 袁嘉祖. 灰色系统理论及其应用. 北京: 科学出版社, 1991.

城市人口控制制度及其变迁^{*}

——迁移者与政府的博弈

柯荣住

本文引进制度变量对托达罗模型进行修正，在博弈论的框架内讨论城市的就业控制与城乡人口迁移，指出这时城乡人口迁移规模是内生变量，就业控制和迁移规模其实是由政府和迁移者的 Cournot 博弈均衡决定。然后文章分析了这种均衡在长期中的稳定性，指出了制度变迁的几种可能性特别是被锁定的条件，并用实证数据对模型的结论进行了检验和修正，对城市就业控制制度及其变迁的经济绩效作出了评价。

关键词 城市人口控制 城乡人口迁移 制度变迁 锁定

作者柯荣住，1977 年生，北京大学工商管理研究所研究助理。

一、导 论

自刘易斯等人（刘易斯，1954；拉尼斯、费景汉，1961）的杰出研究之后，二元经济成为发展经济学最为重要的和研究发展问题的学者们最为常用的术语之一。与此同时，和二元经济密切联系的劳动力转移问题也进入经济学家的视野，托达罗（1961）模型专门研究了二元经济中的劳动力流动问题，修正了劳动力迁移模型，把城市失业考虑进来，注意到人口迁移与进城劳动力在城市取得就业的机会有关。但他没有考虑到制度的影响，所以在他的模型中人口流动规模是外生于制度变量的，从而也无法分析城乡收入差距与城市人口迁移、城市人口控制制度之间的关系。而在现实中，特别是转轨经济国家，城市化背后都伴随着深刻的制度变迁。在这些经济里，现代化过程中出现的往往不是正常的“二元”现象，而是具有许多人为因素的制度扭曲。例如在中国，就是以控制农村劳动力流入城市为核心的户籍管理、福利制度、工资歧视等一系列的制度安排来人为地隔离城乡的经济联系和要素流动，形成二元格局。城市的人口控制制度被赋予特殊的含义：第一，建国初实行的“重型化”等现代化战略不利于大城市吸纳大量的人口增长带来的劳动力剩余，城市特别是大城市在巨大的人口压力下不得不关闭城门甚至遣散人口，即使是改革开放后，偏重大城市的产业结构还未调整过来，其就业创造率仍相当有

* 同丁利、钟鸿钧、李祥生先生的讨论使作者受益匪浅，谨此致谢。

纯粹由技术因素引起的二元结构被称为自然的过渡性二元结构（杨小凯，1997），它的一个逻辑结论是认为这种二元仅仅是分工的差别，不会带来太大的效用、或者说真实收入上的差别，尽管在刚开始分工时会出现收入差距。而在转轨经济中城乡差别之所以拉大，恐怕不仅仅是这种“自然”的差别，更大程度上是由计划经济和制度落差造成的。

限；第二，重型化战略所需的资本无法由粗放型增长的城市部门单独提供，大量的积累来自隐蔽性转移农业剩余，政府高树城乡门槛以保证这种超强度抽调方式的进行；第三，限制农村劳动力流向城市以保障农业生产上充裕的劳动力从而保证农业基础的稳固；第四，可用来保护城市集团的利益专享以防止农民进城分享。

这些制度安排显然扭曲了要素流动，是一种低效率的制度安排。尽管它在 1978 年以来的改革过程中出现松动，但至今依然存在并继续发生作用，而且在改革以来的二十年中发生了反复和波动。在这样的经济中，必须关注人口迁移和制度之间的相互作用，考虑就业概率、收入差距、制度变迁之间的互动关系。我们要问，为何这种低效率的制度能长期存在下去，变革的困难和契机何在？显然，需要从农民和城市政府的博弈局面和信息结构的变化中寻找答案。我们注意到由于追求利益的冲动，1980 年以来形成了一浪高过一浪的“民工潮”，它对城市的就业控制制度到底产生了什么样的影响？已有的研究城乡人口迁移的经典模型不能满足我们的要求，我们打算在托达罗（1961）模型的合理假设基础上作进一步的分析。改进的要点包括：（1）引进制度变量，认为农民在城市取得就业的机会不仅仅与既定技术下的城市所能提供的就业机会有关，而且同样重要的它还受城市政府制度性歧视的影响，它是政府就业控制制度的一个函数；（2）在博弈论框架中考虑政府的就业控制和农民的迁移行为，建立一个将人口迁移规模内生于城市政府的人口控制制度模型，然后分析在城市政府不知道迁移者的成本信息或人口密度的信息、进城农民可能知道或不知道整个人口迁移规模的博弈中，城市政府对迁移有何反应，其均衡点如何变动；（3）在此基础上，更重要的是考察这种均衡在动态过程中的稳定性，也即作为一种纳什均衡的制度控制水平对抗动的敏感程度，它的变迁路径、锁定和“合辙”的条件。实际上，城市就业控制制度的变革正是体现在这种农民和城市政府的博弈之中。这个模型和托达罗模型的方法与所研究的重点都有所不同，我们的主要目的是研究决定城乡人口迁移的人口控制制度的绩效及其变迁。我们先建立了博弈模型，然后用实证数据验证理论的准确性。

二、模 型

假定有一个圆形区域，在除原点外的 (x, y) 处的人口为 (x, y) ，城市位于坐标原点，城市政府（或城市利益集团）的目标是追求城市的就业水平，它需要通过诸如户籍制度等“就业配额”来限制农村人口在城市取得就业的机会，但是这种限制要花费城市政府的财政收入。政府需要在增加就业率的收益和增加就业控制带来的成本之间进行折衷。假定期效用函数为：

$$u(E, i) = \ln E + a \ln i \quad (0 < a < 1) \quad (1)$$

式中， u 是城市政府的效用， E 是城市就业水平 $(0 \leq E \leq 1)$ ， i 是就业控制的放松程度 $(0 \leq i \leq 1)$ ，0 表示完全控制，1 表示完全放松。有 $\frac{\partial u}{\partial E} > 0$ ， $\frac{\partial u}{\partial i} > 0$ ，表示城市就业水平越高效用越大，控制制度越严格成本越高 $(0 < a < 1$ 表示同样幅度的就业控制加强的花费比就业率的增加带来的效用小)。

城市就业率是城市创造的就业岗位和所有可能的就业人口之比，故：

$$E = \frac{L_1 + L_2 - F}{S} \quad (2)$$

60 年代，连续三年的粮食产量下降使农村非农业劳动力由 810 万降至 1963 年的 71 万，减少 90%；1980 年比 1979 年粮食产量下降 1 166 万吨，99.3 万非农业劳动力又回到农业部门；1985 年以来，粮食生产 5 年徘徊，又有近 1 000 万非农业人口返回农业部门（见周振华《现代经济增长中的结构效应》，上海三联书店 1995 年版）。

这里, L_1 和 L_2 分别是城市私营部门和国有部门的就业岗位, S 为城市的人口, F 为迁入城市的农村人口, i 为农村人口在城市求得就业的机会。在没有歧视性的制度控制的情况下, 流动人口在城市求得就业的机会应该和城市居民一样, 但在有制度控制的情况下其就业机会为:

$$= \frac{L_1 + L_2}{S + F} i \quad (3)$$

也即在政府的控制下农村流动人口在城市求得就业的机会比原来少, 是原来的 i 倍。将 (3) 式代进 (2) 式, 将其结果再代进 (1) 式, 得:

$$u = \ln \frac{(L_1 + L_2)(S + F - iF)}{(S + F)S} + a \ln i \quad (4)$$

因为 $\frac{\sqrt{a}}{1 + \sqrt{a}} > \frac{a}{1 + a}$, 故 u 在未到拐点之前能取到最大值, 另加有 $i \leq 1$ 的限制, 所以我们可假定极值处于一阶导数为零处。即

$$i^* = \frac{a(S + F)}{(a + 1)F} \quad (5)$$

这就是政府对农村流动人口的最优反应函数。现在考虑流动人口对政府控制制度的反应函数。假定城市的工资率为 w , 农村的工资率为 v (为了方便令其标准化为零), 每单位距离的迁移成本为 R , 那么对于居住在距离城市为 R 的人来说, 他面临这样的抉择:

$$M = \max \{ e^w - v - R; 0 \} \quad (6)$$

当 $M = 0$ 时他选择不迁移。

这实际上相当于一个信息不完全下的 Cournot 博弈。政府事先并不知道迁移规模的信息, 因为迁移成本是私人信息, 即使政府知道人口的密度函数; 但政府知道有多少人迁入及其对就业率构成多大影响。农民知道自己的成本, 但它并不是必然知道整个迁移规模的信息。于是对农民迁移者来说, 这里预期的就业概率 i 因为信息不对称, 它与 (3) 式就可能不一致, 有两种可能: (i) 当人们的迁移决策是由分散的个人作出的时, 每个迁移者不可能拥有关于整个流动规模 F 的信息, 所以它在迁移时认为自己的迁入不会影响取得就业机会, 此时 $i_1 = \frac{L_1 + L_2}{S} i$; (ii) 如果是大规模的有组织的迁入, 例如组织“民工团”等形式, 那么它们就会考虑自己的迁入给就业机会带来的影响, 这时候 $i_2 = \frac{L_1 + L_2}{S + F} i$, 实际上的迁移决策可能是介于二者之间。

那么考虑到政府的人口控制, 只有在

$$R \leq \frac{w}{e} \quad (7)$$

处的居民才会选择流入城市, 那么人口流动规模为:

$$F = \iint_D (x, y) dx dy \quad D = [(x, y) / x^2 + y^2 \leq (\frac{w}{e})^2] \quad (8)$$

这就是流动人口对城市政府的政策的反应函数, 如果农民是进行分散决策的, 那么 F 显然是 i 的递增函数; 如果农民是有组织的大规模迁移, 此时在相当广泛的条件下, F 仍然是 i 的增函数, 这时人口迁移规模与城市的人口 S 无关。所以从以上分析可知, 政府和迁移者彼此的两条反应曲线分别是两条单调的函数曲线, 它们的交点便是 Cournot 均衡点, 由反应函数的单调性可知它们肯定有交点并且惟一。

三、模型分析

我们主要关注均衡及其稳定性, 这也就意味着制度及其变迁的可能路径及路径依赖和锁定

的条件。

(一) 均衡的存在性和稳定性

纳什均衡 (i^*, F^*) 满足: $i^* = \frac{a(S+F^*)}{(a+1)F^*}$; $F^* = \iint_D (x, y) dx dy$; $D = [(x, y) / x^2 + y^2 \leq (\frac{w^e}{c})^2]$ 。

我们考虑动态形式。假定控制的程度只与当期的人口迁移规模有关, 并且人们将根据上期的控制程度来确定下期的迁移决策, 就有:

$$i(t+1) = \frac{a(S+F(t+1))}{(a+1)F(t+1)} \tag{9}$$

$$F(t+1) = \iint_D (x, y) dx dy; D = [(x, y) / x^2 + y^2 \leq (\frac{w^e(t)}{c})^2] \tag{10}$$

(上式中 $w^e(t)$ 根据两种不同预期模式来确定)

这是一个复杂的非线性系统, 系统的稳定性可由均衡点附近的线性展开式判断, 对于系统 $X(t+1) = f(X(t))$ (其中 X 为矢量), 如果 $|\frac{\partial f}{\partial X}|_{X=X^*}| > 1$ 则系统不稳定, $|\frac{\partial f}{\partial X}|_{X=X^*}| < 1$ 则系统收敛, $\frac{\partial f}{\partial X}|_{X=X^*} = -1$ 则系统有周期分岔。

根据上述原理我们可知, 在 (i^*, F^*) 附近, 当 $\frac{d(i(t+1))}{d(i(t))}|_{i^*} = -\frac{aS}{(a+1)F^{*2}}$
 $\frac{d(\iint_D (x, y) dx dy)}{d(F(t))}|_{i^*} > 1$ 时系统发散; $\frac{d(i(t+1))}{d(i(t))}|_{i^*} = -\frac{aS}{(a+1)F^{*2}} \frac{d(\iint_D (x, y) dx dy)}{d(F(t))}|_{i^*} < 1$
时系统收敛 (直观的说明见图 1)。决定上式取值的因素与城市规模、人口密度、迁移费用、工

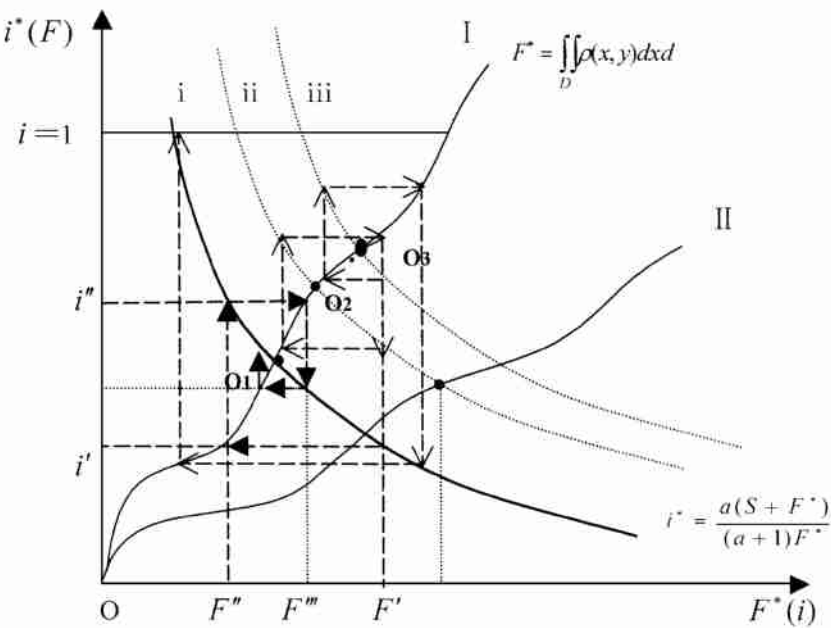


图 1. 不同情况下的均衡点

说明: 图中 --- 、 --- 、 --- 分别是三种不同参数组合情况下的三条政府的反应曲线, --- 是流动人口的反应曲线 (--- 是当分散决策时流动人口的反应曲线, 有关情况后面的例子中还将讨论)。三条曲线与 --- 交于三点 O_1 、 O_2 、 O_3 , 当有一个偏离交点的人口流动规模 $F > F^*$ 时, 政府将有反应 i ; 当政府反应 i 时, 下一轮的迁移规模为 F , 于是政府的反应相应地为 i ; 根据政府的反应, 迁移规模又变为 F'' ; 当 $F'' > F$ 时, 最后将收敛于 $O_1 (i^*, F^*)$ 。否则, 要么像 O_2 , 将在 F 、 i 、 F 、 i 、 F 之间形成周期循环; 要么当 $F'' < F$ 时, 将发散如 O_3 。

资水平等因素有关。

这个结论具有非常重要的理论和现实意义，当纳什均衡为稳定的均衡点时意味着制度变迁将被锁定在 $i^* < 1$ 状态，也就是说尽管随着流动人口的冲击城市的人口控制配额有波动，但最后仍会趋向于有歧视的均衡，城市的就业管制制度将长期存在。当出现第二种情形时，城市的就业控制将长期在某种歧视水平上循环，波动幅度不变，但不可能最后放松。只有当纳什均衡为发散的情形即第三种情况时，制度变迁才不会被锁定，最后趋向于完全放松 $i^* = 1$ 的状态。为了方便地进行比较静态分析，下面我们以一个特例来说明各个参数对均衡的影响和实现制度变迁的路径依赖的条件。

(二) 一个具体例子

为了更清楚地了解均衡点的情况，我们不妨一种特殊的人口分布函数代入上式，这个函数尽管特殊，但它并不妨碍我们分析的实质。

假定人口的密度函数为：

$$(x, y) = \begin{cases} 0 & \text{if } y < 0 \\ \text{if } y = 0, \text{ and } x > 0 \end{cases}$$

这实际上是指一个线性区域，那么将密度函数代入 (8) 式得：

$$F = \frac{w}{e} \quad (11)$$

我们将问题动态化，假定政府可以根据当期的人口流动规模确定配额，农民则根据上期的政策来决定是否迁移，那么有

$$i(t+1) = \frac{a(S+F(t+1))}{(a+1)F(t+1)} \quad (12)$$

$$F(t+1) = \frac{w}{e}(t) \quad (13)$$

现在我们分析两种决策模式时的情况：

1. 分散决策或迁移者不能对城市就业机会有理性预期时的情形

当分散决策时，将 $i(t) = \frac{L_1+L_2}{S}i(t)$ 代入 (12) 式，将其与 (13) 式建立一个非线性系统，

$$i^* = \frac{\frac{a}{a+1} + \sqrt{\left(\frac{a}{a+1}\right)^2 + 4 \frac{a S^2}{(a+1) w (L_1+L_2)}}}{2} \quad (14)$$

$$F^* = \frac{w (L_1+L_2) \left[\frac{a}{a+1} + \sqrt{\left(\frac{a}{a+1}\right)^2 + 4 \frac{a S^2}{(a+1) w (L_1+L_2)}} \right]}{2 S} \quad (15)$$

显然， $\frac{\partial i^*}{\partial a} > 0$ ，即均衡的制度变量 i^* 随控制的难易系数 a 的增加而增加，越难控制，控制的程度就越低； $\frac{\partial i^*}{\partial} < 0$ ， $\frac{\partial i^*}{\partial w} < 0$ ， $\frac{\partial i^*}{\partial (L_1+L_2)} < 0$ ； $\frac{\partial i^*}{\partial S} > 0$ ， $\frac{\partial i^*}{\partial} > 0$ ，表示人口密度越大，城乡收入差距越大，城市的就业创造水平越低，人口的控制程度将越严格；相反，迁移成本越高，城市的规模越大，就业控制就会越宽松。这和我们的实际情况很符合。而另一方面， $\frac{\partial F^*}{\partial a} > 0$ ，即均衡的迁移规模 F^* 也随控制的难易系数 a 的增加而增加，控制越难，迁移的规模就会越大；另外， $\frac{\partial F^*}{\partial} > 0$ ， $\frac{\partial F^*}{\partial w} > 0$ ， $\frac{\partial F^*}{\partial (L_1+L_2)} > 0$ ； $\frac{\partial F^*}{\partial S} < 0$ ， $\frac{\partial F^*}{\partial} < 0$ ，表示人口密度越大，城乡收入

差距越大，城市的就业创造水平越高，人口迁移规模就越大，而迁移成本越高，城市的规模越大，迁移的规模将越小。

2. 有组织的决策或迁移者对城市就业机会有理性预期时的情形

当决策者考虑迁移的影响时，将 $\frac{L_1+L_2}{S+F}i$ 代入 (12) 式得

$$i^* = \frac{a}{a+1} \left(1 + S \sqrt{\frac{(a+1)}{a w (L_1+L_2)}} \right) \quad (16)$$

$$F^* = \left[\frac{w (L_1+L_2)}{(a+1)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (17)$$

比较两种决策模式有以下结论：

——和第一种模式比较，除 F^* 与城市规模无关外， i^* 和 F^* 与控制的难易系数 a 、人口密度、城乡收入差距、城市的就业创造水平、人口的控制程度、迁移成本、城市的规模之间的关系仍然不变。

此结论说明当人们对自己的迁移对城市就业率的影响有充分的信息时，城市规模的大小将不会影响迁移规模；除此之外，其他参数对迁移规模的影响两种模式类似。

——如果人口在直线上均匀分布，无论迁移者的决策是分散还是充分考虑了自身迁移的影响，只要存在工资率的差距，制度就会被锁定（篇幅所限，证明过程略）。同时说明，如果存在城乡收入差距，又有信息不对称，迁移者决策时不可能了解整个迁移规模的信息，也无法知道自身的迁移对城市就业的影响，只可能拥有政府的制度控制程度的信息，那么，决策者就只能按第一种模式进行决策。在这种情况下，制度被锁定的可能性极大，除非有非常特殊的密度函数。这提醒我们，在相当广泛的条件下，不管人们采取何种预期模式、事先是否考虑到自身的迁入对城市就业率的影响、是分散的还是大规模的有组织的迁移模式，一项帕累托有效的制度变迁也会因为信息不对称对决策者的影响而夭折。更为危险的是，这种制度安排作为一种纳什均衡，其博弈结构对外界的扰动具有很强的抵御性，在动态系统中表现为“吸引子”，外在的冲击不会对制度长期变化构成威胁，制度因此被锁定，使得经济系统长期处于低效率状态。这也正是我们现实中的城市人口控制制度变迁的艰难所在，也正是城市人口控制制度的危险性所在。

四、模型的验证

我们运用建国以来的城市人口控制实际数据建立计量模型来验证前面的理论，分改革开放前和改革开放后两个阶段。

（一）改革开放前的城市人口控制

在改革开放前的 26 年里，我们认为城市的就业控制基本上没有变化，处于很严格的控制水平，即 $F(t)$ 只与 L_1+L_2 及 S 有关，又因为 $\frac{d(L_1+L_2)}{dt}$ 和 $\frac{dS}{dt}$ 分别与 (L_1+L_2) 和 S 成正比（也即它们都是按指数增长），所以用前者替代后者可知， $\frac{\partial F(t)}{\partial (dS/dt)} < 0$ ， $\frac{\partial F(t)}{\partial (d(L_1+L_2)/dt)} > 0$ 。我们选取了 1953—1978 年的 13 个双年度数据（见附表 1）进行回归（具体回归数据结果可向作者索要），结果表明，在就业控制制度基本上维持一种很严格的控制水平的情况下，城乡人口迁移能够由城市的人口自然增长率、城市的就业创造率以及特殊年度的情况充分地解释。这证

在这里我们为托达罗模型提供了一个更具体的证明和解释，他只简单地认为流动规模随收入差距而增大，这里的解释要具体和现实得多。

明了前面的模型对改革开放前的严格的流动控制制度下的迁移行为有很强的解释力。

(二) 改革开放后的制度变迁

在改革开放后的 20 年里, 根据前面的模型, 当人口迁移规模偏离均衡水平时, 将引起本期的就业控制的从严, 但会使下期的控制放松, 从而形成周期性的波动; 当然波动还与城市的失业率、人口自然增长率、就业创造率等有关。根据前面的理论, 在实际中的就业控制水平应该表示为:

$$i(t+1) = f[F(t), F(t+1), E(t), \frac{dS}{dt}, \frac{d(L_1+L_2)}{dt}] + \quad (18)$$

式中, $F(t)$ 、 $F(t+1)$ 为 t 、 $t+1$ 期的人口迁移规模, $\frac{dS}{dt}$ 为城市人口自然增长率, $\frac{d(L_1+L_2)}{dt}$ 为城市就业创造率, 为随机变量。根据理论应该 $\frac{\partial i(t+1)}{\partial F(t)} > 0$, $\frac{\partial i(t+1)}{\partial E(t)} < 0$, $\frac{\partial i(t+1)}{\partial (dS/dt)} < 0$, $\frac{\partial i(t+1)}{\partial (d(L_1+L_2)/dt)} > 0$; 我们用经验数据 (见附表 2) 来验证上述判断的正确性 (回归的数据结果可向作者索要)。结果表明, 模型的性态是令人满意的, 城市失业率、城市净就业创造率、人口迁移特别是两年平均的人口迁移对城市就业控制水平的影响显著。上期的流动人口对下期的就业控制的影响果然为正, 特别是如用两年平均的人口迁移规模代替上年迁移规模, 效果更好。两年平均的人口迁移规模对城市就业控制制度的放松水平的影响显著为正, 每增加一百万的劳动力流动规模, 城市就业控制就会放松 0.87 个百分点, 这比净就业创造率增加一个百分点对制度放松的贡献还高 0.7 个百分点。大量涌入城市的农村劳动力的确对冲击过高的城乡壁垒起了不可低估的作用。实际上我们也可以从下图中清楚地看到改革开放以来的城市控制制度的变迁 (如图 2):

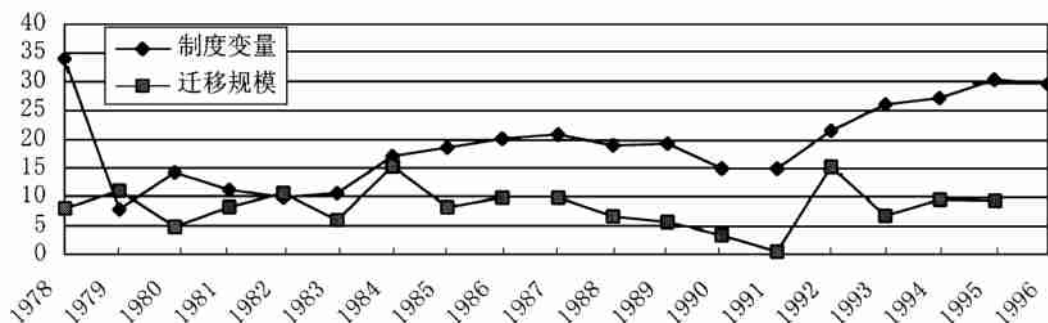


图 2. 改革开放后的制度控制 $i(t+1)$ 和流动人口规模 $F(t+1)$

从图中可以看到在 1983 年以前, 当期的人口流动规模 $F(t+1)$ 和制度变量 $i(t+1)$ 基本上反向相关 (1978 年的情况较特殊, 与许多政治平反返城有关), 也即迁移越多, 控制越严格, 但 1983 年以后发生了微妙的变化, 制度的放松和迁移规模正向相关, 这反应了三个方面的变化: (i) 城市国有部门的改革和非国有部门的兴起创造了大量的就业机会; (ii) 大量的小城镇截留了为数众多的农村流动劳动力; (iii) 最为关键的是市场化的改革要求矫正要素流动的扭曲, 大量进城的农村劳动力对城市的就业控制制度产生巨大的冲击。所有这些结果都支持了前面的模型和理论分析。

五、模型的拓展和修正

前面模型的有些假设可以作进一步的拓展和修正。我们主要考虑以下几种重要的修正:

(一) 农村人口迁入的滞留对模型的影响

前面的假定里隐含上期迁入城市的人口没有滞留效应,但实际上由农村迁入的人口大部分滞留在城市,即使他们找不到工作;城市政府也考虑到这点,所以其控制就更严格。那么模型在动态过程中要增加一个新的变量即滞留在城市的总迁入人口,城市政府将按照它来确定控制程度。这样,根据判定非线性系统稳定性的原理得到的结论是,当城市较小时控制制度可能较为宽松,但人口增加到一定程度后即城市规模变大后则控制程度就会趋严,大城市的控制制度就会收敛于绝对严格水平,这是城市人口控制制度变迁面临的一个困境(只考虑分散决策情形,另一种情形类似)。临界城市规模和各个参数之间有复杂的关系:当 $\frac{w(L_1+L_2)a}{(a+1)} < 0.5$, 临界城市规模随人口密度、工资差距、控制难易系数、就业岗位的增加而变小,随迁移成本的增加而增加;或者当 $1 > \frac{w(L_1+L_2)a}{(a+1)} > 0.5$ 时相反。

(二) 考虑人口迁移对城乡差距的影响

对模型的另一个有用的拓展是把人口流动对收入差距的影响考虑进来,那么流动人口在城市取得就业机会将有利于缩小城乡收入差距。假定流动人口是第2种的决策模式,则有:

$$v(t+1) = \frac{1}{2} \left[\frac{a}{(1+a)} \frac{w(L_1+L_2)}{F(t)} + v(t) \right] \quad (19)$$

$$F(t+1) = \frac{w(L_1+L_2)i(t) - v(t+1)(S+F(t))}{(S+F(t))} \quad (20)$$

当 t 很大时,人口流动很快会达到均衡水平,这时控制制度有可能趋于完全放松。实际上流动人口对缩小城乡收入差距的确起了不小的作用,据推算,1992年豫、川、鄂等六省外出打工的农民创造的劳务总收入达280亿元,人均1200元,不仅增加了收入,也推动了整个社会经济的发展(参见张兴杰等,1995)。另根据中国农业银行调查系统1993年底到1994年初对29个省、市、自治区的2万户的调查,1993年农村外出打工人员的平均收入为3649.33元,带回寄回农村的收入为2008.93元,如果1993年农村劳动力外出人数为5000万,那么其总货币收入为1825亿元,相当于农业国民收入的25%,这其中的55%被寄回带回农村(黄守宏,1996)。

(三) 考虑工资的影响

我们在前面的模型中假定城市工资是不变的,但实际上城市的私营部门在招收农民工时,付的工资可能比城市工人低得多,农民工也愿意接受一个较低的工资水平,这实际上有利于降低城市工业部门的用工成本,从而有利于现代部门资本的积累。当然,如果和城市的国有企业改革联系起来,城市的就业制度的变革就还要与城市国有企业改革以及私营经济的发展联系起来,而国有企业改革特别是私营企业的发展又受放开要素流动障碍、矫正制度扭曲、降低劳动力用工成本的影响,所以不仅仅流动规模受制度的影响,而且就业创造率也受制度影响。实际上国有企业到今天已经无法创造更多的就业岗位,甚至它还释放了大量的下岗工人,就业创造率为负,城市政府将面临更多的就业压力。但这样一来模型可能变得非常复杂。

(四) 考虑小城镇的影响

再一个修正是把小城镇的兴起考虑进来。小城镇的兴起改变了人口流动和分布的格局,为大城市截留了大量的劳动力,使城市的人口压力大为减少。它可以使前面模型中的密度函数动态过程中发生不连续的变化,从而有可能改变均衡点的长期稳定性。但是城市政府和农民博弈双方的最佳反应策略是不会因此而改变的。

当然还有其它一些修正,限于篇幅,不再赘述。

六、结论和讨论

我们将模型的分析总结如下:

1. 关于我国的城市人口控制制度。城市人口控制制度体现了城市政府追求城市的均衡就业水平和控制人口流动所要的成本之间的折衷；迁移者则根据政府的政策作出迁移或不迁移的决策。政府和迁移者之间展开 Cournot 博弈，政府不知道流动人口的私人信息，尽管它拥有整个迁移规模及其对就业的影响的信息；迁移者则知道成本信息以及政府的控制程度，但可能知道也可能不知道整个迁移规模及其对就业率的影响的信息。这样，政府将根据自己的效用函数来确定最佳的控制水平，迁移者事后知道控制水平以此决定是否迁移。于是人口迁移规模便内生于就业控制制度，均衡的就业控制水平就是这个博弈的纳什均衡点。这个均衡的就业控制严格程度一般随控制的难度系数、人口密度、城乡收入差距的增加而增加，而随城市就业创造率、迁移成本、城市规模的增加而放松；均衡的城乡人口迁移规模却随控制的难度系数、城乡收入差距、城市就业创造率的增加而增加，而随迁移成本、城市规模的增加而减少（迁移者对自身迁入的影响有充分估计，则迁移规模与城市规模无关）。这与我们的实际非常吻合，也从理论上证明了托达罗模型的某些结论。

2. 关于城市就业控制制度的变革。我们的模型重点讨论了城市就业控制制度变迁的困难及其机理所在。制度作为一种均衡策略的结果，它的动态变化的可能性取决于一些参数的组合和博弈的信息结构的变化。从长期来看，制度将有四种可能性的变化：（1）制度在长期的变化中将收敛于某种水平，无论外界的扰动如何，这被诺斯称为“锁定”；（2）制度将会因为某种扰动而改变，最终实现有效的变迁，这称之为“合辙”；（3）制度将会在某几个水平上循环，反复波动，最后既不发散也不收敛；（4）制度也有可能高度依赖于制度的初始状态和参数的变化，虽然所有的参数一样，但稍微的变化就会使结果发生巨大的改变，这实际上可能是一种混沌系统。我们以一种非常简单的密度函数为例分析了两种信息结构下的制度的长期稳定性问题。无论当人们作迁移决策时无法估计自身迁移对城市就业机会的影响从而无法准确预期自己个人决策对政府的政策的影响时，还是充分考虑自身迁移对制度的影响，也即说人们拥有更多的迁移规模的信息、对城市的就业机会有更理性的预期时，在相当广泛的条件下，制度都会被锁定，特别是城市政府考虑到流动人口的滞留效应时更是如此。

困难在于一种在长期内有可能避免被锁定的博弈均衡在短期内对应的可能不是一个帕累托有效的社会福利水平，而短期内能有更高福利的制度安排在长期上可能被锁定。我们不得不在长期和短期利益中作折衷，这也是制度变迁的艰难所在。所以我们特别强调某种机制对于打破均衡的作用，在城市就业控制制度的变革中，最重要的外在冲击就是迁移者的迁移了，必须重视它对冲击城乡就业壁垒的作用，哪怕它的冲击在短期内可能不是帕累托有效的。我们的计量验证证实了这一点，人口流动每增加一百万的规模，城市的就业控制程度就会下降 0.86 个百分点。

3. 关于城市人口控制制度的变革的深远意义。我们有必要强调一下城市人口控制制度的变革的深远意义，它不仅仅影响人口流动，而且还会影响整个社会经济的发展。实际上我们的城市化背后的制度和刘易斯等人分析的自然演进的二元经济（由共同体经济向市场化经济转变）背后的制度很不一样。在刘—拉—费模式中，传统部门按共同体原则分配，而现代部门却按市场原则（利润最优化）分配剩余（为什么这样分配首先也是个制度问题），这对于保证现代部门不断进行资本积累从而吸纳、最终吸收尽传统部门的剩余劳动力的工业化（城市化）目标的实现具有关键性作用。但我国的实际情形却是：一方面，技术装备相对先进的现代部门也即城市国有企业按国有经济意识形态上的要求进行类似于共同体的原则分配；另一方面，倒是改革以

熊彼特曾指出：“一个在每一个时点充分利用它的各种可能性知道发挥其最大优势的体制——不管是经济体制还是其它体制——都可能在长期内不如任何既定时点上做不到这一点的另一个体制，因为后者未能做到这一点，可能正是达到长期较好水平和速度的一个条件”（参见熊彼特《资本主义、社会主义和民主》，商务印书馆 1979 年版）。

来崛起于农村的乡镇企业却在某种程度上更倾向于按市场原则分配，但他们技术装备落后，和传统部门即农业联系密切又有浓厚的乡土性，在这种情况下，我们要分析和研究城市化问题，首先应分析这种二元经济背后的制度及其变迁。原来由于“制度落差”而导致的价格扭曲、要素流动障碍要逐步减弱或取消，这里城市人口控制是一个核心的制度问题。周其仁（1997）曾指出如果还继续奉行过分严格的城市就业控制，就会使城市劳动力价格因管制而上扬，从而使城市部门的用工成本提高，从而导致新的“资本深化”运动，这在长期内将不利。而且同时，我们还认为人口的迁移也有利于提高城乡收入，这反过来又使城市政府的改革面对一个较为宽松的环境，形成良性互动。

4. 最后，我们想就新制度经济学和制度变迁的研究作些讨论。制度已日益成为经济学家关心的主要话题之一，越来越多的人意识到制度变迁的重要性以及一项制度变迁发生的困难。笔者（柯荣住，1997）曾经归纳了制度变迁的五个特点，并且指出了一项帕累托有效的制度变迁发生的困难所在，特别强调了制度变迁一般来说是人们在长期博弈中追求均衡和均衡的变动过程。但是正如现实中制度变迁发生的艰难一样，要准确地描述和解释一项制度的变迁也颇不容易，现有新制度经济学经典文献（戴维斯、诺斯，1970；诺斯，1991、1993；林毅夫，1989）就忽略了制度变迁中的更细致的过程。诺斯等人的制度变迁的理论框架，对于我们分析现实中错综复杂的制度变迁过程显得过于简单，仅仅靠成本—收益分析显然是不能解释制度变迁的实质问题的。在我们看来，哪怕是最简单的制度变迁理论也要先把制度理解为一种（组）各个行为主体之间的不完全信息博弈的均衡结果，它是定义在知识和信息集里的映射；然后在此基础上分析信息结构的变化、获得信息的技术的变化通过影响人们的最优选择来影响博弈的结果；并且还要关注外在的不确定性对均衡结果的影响，特别是在均衡的策略集下，一种微小的外界扰动是否会对均衡结果产生重大影响。

然而要建立这样一种制度变迁的理论是异常艰难的，一种退而求其次的办法是通过对某一项制度变迁的实例的研究来部分达到目的。城市人口控制制度仅仅是一个例子，我们选择它，不仅仅是因为它在实际中重要，更是因为它的博弈局面和信息结构为我们研究制度变迁提供了一个案例，转轨经济的现实中诸如这样的案例还有许多，我们期望这样的尝试有助于这个领域的研究。

参考文献：

- 托达罗、迈克尔：1961，《欠发达国家劳动力迁移与城市失业模型》，载《发展经济学经典论著选》，中国经济出版社 1998 年版。
- 马侠主编《中国城镇人口迁移》，中国人口出版社 1994 年版。
- 谭崇台主编《发展经济学》，上海人民出版社 1989 年版。
- 张维迎：《博弈论与信息经济学》，上海人民出版社 1995 年版。
- 柯荣住：《长期谈判中的均衡问题：制度变迁与博弈——兼述科斯定理的改进》，载《中国社会科学季刊》（香港）1997 年春夏季卷。
- 柯荣住：《城市就业（人口）控制制度及其变革：理论模型和实证分析》，载《经济科学》1998 年第 4 期。
- 刘易斯：1954，《经济增长理论》，上海三联书店 1991 年版。
- 杨小凯：《经济学原理》，中国社会科学出版社 1998 年版。
- 诺斯、科斯等：1994，《财产权利与制度变迁：产权学派与新制度学派译文集》，上海三联书店 1994 年版。

现实中的很多制度变迁可能就是这样的，这也是一些学者所说的制度变迁的耗散和巨涨落现象（刘世锦，1994；傅琳，1993）。这种不确定性并没有对经济学的分析框架构成威胁，因为，这种浑沌现象同样也是一定信息结构下的博弈的结果，而不是无中生有的，以此来批评经济学的解释力是不得要领的。

附表 1:

年度	产出增长率 (%)	劳动生产率的增长率 (%)	$\frac{d(L_1+L_2)}{dt}$ (%)	城市人口自然增长率 $\frac{dS}{dt}$ (%)	F (t) (万)
1953—1954	46.6	35.3	11.1	64.38	233.6
1955—1956	33.7	40.8	- 7.1	61.81	306.6
1957—1958	66.3	- 13.6	79.9	60.34	408.8
1959—1960	47.3	38.8	8.5	32.77	277.4
1961—1962	- 54.8	22.3	- 32.5	37.42	124.1
1963—1964	28.1	57.6	- 29.5	62.27	146.0
1965—1966	47.3	36.4	10.9	36.16	219.0
1967—1968	- 18.8	- 61.7	12.9	30.00	153.3
1969—1970	66.9	45.1	21.8	30.00	350.4
1971—1972	20.6	- 7.2	28.8	29.96	423.4
1973—1974	10.1	- 4.2	14.3	21.65	306.6
1975—1976	17.9	- 5.4	23.3	15.84	452.6
1977—1978	28.1	10.6	17.5	16.31	525.6

说明：产出增长率和劳动生产率增长率均采用工业部门数据， $\frac{d(L_1+L_2)}{dt}$ 为产出增长率和劳动生产率之差，数据来自《中国统计年鉴 1991》。 $\frac{dS}{dt}$ 即自然增长率数据来自《中国统计年鉴 1986》。F (t) 即城乡人口迁移数据来自马侠 (1987) 的统计。其中虚拟变量：X3 = 1 当时间为 1959—1960，1967—1968；X3 = 0 为其它。

附表 2:

年度	制度变量 (%)	失业率 (%)	城市失业人口 (百万)	人口自然增长率 (%)	迁移规模 (百万)	净就业创造率 $\frac{d(L_1+L_2)}{dt} - \frac{dS}{dt}$
1978	33.9	5.3	530.0	8.44	7.9	0.141865
1979	7.8	6.9	636.0	8.60	11.0	0.033169
1980	14.2	4.9	541.5	8.69	4.8	0.054220
1981	11.2	3.8	439.5	11.31	8.2	0.039179
1982	9.9	3.2	379.4	12.96	10.7	0.035342
1983	10.6	2.3	271.4	10.07	5.8	0.030123
1984	17.1	1.9	235.7	9.14	15.3	0.062533
1985	18.5	1.8	238.5	8.06	8.2	0.068865
1986	20.1	2.0	264.4	11.64	9.8	0.059203
1987	20.9	2.0	276.6	12.50	9.8	0.042302
1988	18.9	2.0	296.2	11.80	6.6	0.038115
1989	19.4	2.6	377.9	10.24	5.7	- 0.006131
1990	15.0	2.5	383.2	10.95	3.4	0.031220
1991	14.9	2.3	352.2	10.43	0.5	0.027721
1992	21.7	2.3	393.1	9.70	15.3	0.029450
1993	26.2	2.6	420.1	9.38	6.8	0.028663
1994	27.3	2.8	476.4	9.60	9.6	0.002327
1995	30.6	2.9	519.0	9.23	9.5	0.017239
1996	29.8	3.0				

说明：城市就业控制程度 = 城市新安排的就业人口中的农村人口 / 城市新安排就业人口；城乡人口迁移规模数据来自茅于軾 (1997)，净就业创造率根据《中国统计年鉴》计算；就业创造率为城市部门产出增长率与劳动生产率的增长率之差，这里采用了城市国有部门的数据和全部工业数据的平均值，因为前者可能低估城市的就业创造，后者却可能高估。

[本文责任编辑：王清芳]



城乡迁移对中国人口增长的影响*

胡华清 李 南 胡 平

(西安交通大学, 710049, 西安)

摘要 将带有年龄结构并包含迁入迁出地的人口迁移模型推广到城乡人口迁移。通过改变城乡迁移强度, 对中国人口的长期发展进行了分析, 讨论了城乡迁移对中国城乡人口年龄结构的影响, 提出加大城乡迁移强度是中国人口调控的新途径。

关键词 人口迁移 年龄结构 人口控制

中国图书资料分类法分类号 C92 42

Keyfitz^[1]首次提出包含年龄结构的人口迁移模型是以一个给定年龄组的定常迁出对于迁出地人口增长的影响开始, 结论是这种迁出不是降低迁出地人口增长率的可行手段。Coale^[2]考虑了对于有定常迁入的迁入地人口达到静止的条件, 结论是迁入地人口应有低于更替水平的生育率。Pollard^[3]证明, 对于任何生育低于更替水平的人口, 定常迁入可使其达到静止人口。进入80年代, 由于发达国家的人口负增长及较高的社会负担比引起了对迁入人口问题的重视, 这类研究不仅具有重要的学术意义而且具有明显的政策价值从而取得了引人注目的发展。Espenshade等^[4,5]考虑了迁入人口的生育、死亡率取迁出地的值而其后代取迁入地的值的情况, 发现Pollard的结论仍然成立, 而且研究了其动态过程。另一方面, Castro等^[6]研究了迁移人口的年龄结构, 发现其具有集中于工作年龄段的一般性质。Mitra^[7]发现迁入地所达到的静止人口的年龄结构具有不随年龄而单调降的奇异性质。

李南提出了包含迁入迁出地及年龄结构的人口模型, 讨论了一般性的迁出对于迁出地人口的影响, 可以分析对于迁出、迁入地人口的影响, 分析的内容由国际迁移扩展到国内的区域迁移, 此外将渐近分析从静止人口推广到稳定人口, 而稳定人口则可反映一般动态过程的发展方向。胡华清^[8]根据中国第四次人口普查资料中迁移数据的特点, 提出了迁移人口年龄模式的估计方法, 并对中国城乡人口迁移的年龄模式进行了实证分析。本文就是在包含迁入迁出地及年龄结构模型的基础上, 推广为包含城乡迁移的人口模型, 分析城乡迁移对中国城乡人口年龄结构的影响, 提出了加大城乡人口迁移强度是对中国未来人口控制的强有力的措施。

收到日期: 1997-03-21 胡华清: 男, 1966年5月生, 管理学院, 博士生

* 国家自然科学基金资助项目。

1 包含城乡迁移的人口发展模型及基本假定

对城镇和乡村分别建立离散时间模型, 设迁移发生并完成在各时间间隔始点, 引入记号如下: L_1, L_2 为城镇和乡村的 Leslie 矩阵, 其各元素不随时间变化; λ_1, λ_2 为矩阵 L_1 和 L_2 的占优特征根; R_1, R_2 为对角阵, $R_1(R_2)$ 的第 i 对角元素为由城镇到乡村(由乡村到城镇)的 i 岁组人口迁移率, 这些迁移率不随时间变化; $N_1(t), N_2(t)$ 为城镇和乡村中 t 时刻按龄人口向量; N_1, N_2 为城镇和乡村的渐近按龄人口向量

则模型为

$$\begin{aligned} N(t) = \begin{bmatrix} N_1(t) \\ N_2(t) \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} (I - R_1)L_1 & R_2L_2 \\ R_1L_1 & (I - R_2)L_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} N_1(t-1) \\ N_2(t-1) \end{bmatrix} = \\ &= \begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} \\ L_{21} & L_{22} \end{bmatrix} N(t-1) = L \cdot N(t-1) \end{aligned} \quad (1)$$

则 L 也是 1 个 Leslie 矩阵, 其占优特征根处于 L_1 和 L_2 的占优特征根之间, 其渐近人口分布与 L 的占优特征根及相应的左右特征向量有关, 迁入地将享有较小的负担比, 而作为代价, 迁出地将承受较大的负担比^[8].

2 包含城乡迁移的人口发展动态模型的主要数据来源

1990 年人口普查中按第二口径划分的城镇、农村单岁年龄和性别作为预测起点的人口基数, 城乡单岁组按龄生育率以 1990 年城乡生育水平作为人口发展的生育率假定^[9]; 中国城镇、乡之间按龄迁移率数据采用 1985~1990 年间平均按迁移率^[8]; 城乡人口按龄死亡率数据考虑死亡漏报估计处理后的有关数据^[10].

3 城乡人口发展动态仿真分析

我们对包含迁移的中国城乡人口发展的动态分析考虑了 3 个基本方案. 第 1 个方案假设城乡之间没有迁移, 城镇和农村各自按照自己的人口发展模式发展, 其结果见表 1. 第 2 个方案假设城乡之间的人口迁移年龄模式按照 1985~1990 年间平均迁移年龄模式保持不变, 其主要结果见表 2. 第 3 个方案保持迁移模式不变但将迁移的强度增加一倍, 其主要结果见表 3.

L_1 和 L_2 的主特征根分别为 0.987 352 78 和 1.004 966. 当不包含迁移时, L 的特征就是 L_1 和 L_2 所有特征根, 中国人口发展将会持续增长下去, 城镇人口的老年比将持续增加, 2000 年将步入老龄化社会, 全国总人口由于农村人口的快速增长而使总人口持续增长, 城镇化水平将持续下降.

第 2 方案时, L 的主特征根为 1.000 466 6, 处于城镇和乡村人口发展之间, 城镇化水平发展不快, 城镇人口和农村人口均持续增长, 城镇的老年比和社会负担比上升较第 1 方案慢, 而

表1 城乡之间无人口迁移时中国未来人口变化趋势

时间 /a	总人口数			城 镇			乡 村			城镇化 水平 /%
	人口数	负担比	老年比	人口数	负担比	老年比	人口数	负担比	老年比	
	/亿人	/%	/%	/亿人	/%	/%	/亿人	/%	/%	
1990	11.31	49.8	5.57	2.96	37.8	5.10	8.34	54.6	5.73	26.2
2000	12.93	51.1	6.27	3.23	39.2	7.08	9.70	55.6	6.01	24.9
2010	14.16	44.8	6.89	3.32	33.9	9.13	10.8	48.6	6.20	23.4
2020	15.34	47.0	9.10	3.32	30.6	13.1	12.0	49.5	7.98	21.6
2030	16.26	52.1	11.4	3.19	50.5	19.6	13.0	52.4	9.44	19.6
2040	16.72	55.8	13.8	2.87	57.2	23.6	13.8	55.5	11.7	17.2
2050	17.07	53.5	11.9	2.51	51.4	20.3	14.5	53.9	10.5	14.7
2060	17.51	54.7	12.4	2.22	54.9	22.2	15.2	54.7	11.0	12.6
2070	18.04	54.7	12.4	1.96	54.4	22.1	16.0	54.7	11.2	10.8
2080	18.59	54.1	11.6	1.71	52.4	20.8	16.8	54.3	10.7	9.20
2090	19.27	54.9	12.1	1.51	55.3	22.5	17.7	54.9	11.2	7.88

农村的老年比和社会负担比却较第1方案高,这说明城乡人口迁移不仅有利于调控总人口的增长,而且有利于调节城市发展中迅猛增长的老年化问题,推迟老年化到来的同时,以充足的劳动力资源为老年化的到来打下物质基础。当然付出的代价是需要适当增加农村的老年负担。

表2 定常按龄城乡人口迁移率时中国未来人口变化趋势

时间 /a	总人口数			城 镇			乡 村			城镇化 水平 /%
	人口数	负担比	老年比	人口数	负担比	老年比	人口数	负担比	老年比	
	/亿人	/%	/%	/亿人	/%	/%	/亿人	/%	/%	
1990	11.31	49.8	5.57	2.96	37.8	5.10	8.34	54.6	5.73	26.2
2000	12.91	50.9	6.29	3.54	38.5	6.58	9.36	56.2	6.17	27.4
2010	14.09	44.1	6.93	4.02	34.0	7.80	10.0	48.6	6.58	28.5
2020	15.18	46.0	9.21	4.44	36.6	10.4	10.7	50.2	8.70	29.2
2030	15.96	50.6	11.6	4.75	43.5	14.4	11.2	53.9	10.5	29.7
2040	16.23	54.2	14.3	4.88	47.3	17.1	11.3	57.3	13.0	30.0
2050	16.32	51.9	12.7	4.91	44.6	15.3	11.4	55.3	11.5	30.1
2060	16.42	53.1	13.4	4.96	46.3	16.3	11.4	56.3	12.2	30.2
2070	16.54	53.1	13.6	5.01	46.2	16.4	11.5	56.3	12.4	30.3
2080	16.59	52.4	12.9	5.03	45.3	15.7	11.5	55.7	11.7	30.3
2090	16.71	53.4	13.7	5.09	46.6	16.6	11.6	56.5	12.4	30.4

第3个方案,将城乡人口迁移强度提高1倍,城镇化水平将有较大提高,城镇人口的老年比和负担比上升速度得到进一步缓解,农村的老年比和负担比加重,人口总数可以得到比较好的控制。

表3 加大城乡迁移强度1倍时中国人口发展方案

时间 /a	总人口数			城 镇			乡 村			城镇化 水平
	人口数 /亿人	负担比 /%	老年比 /%	人口数 /亿人	负担比 /%	老年比 /%	人口数 /亿人	负担比 /%	老年比 /%	
1990	11.31	49.8	5.57	2.96	37.8	5.10	8.34	54.6	5.73	26.2
2000	12.89	50.7	6.30	3.84	38.0	6.20	9.05	56.8	6.34	29.7
2010	14.02	43.4	6.96	4.62	34.0	6.99	9.40	48.6	6.95	32.9
2020	15.05	45.1	9.30	5.35	35.6	9.11	9.69	50.9	9.41	35.5
2030	15.72	49.5	11.9	5.93	40.9	12.4	9.79	55.2	11.5	37.7
2040	15.85	53.0	14.7	6.27	44.7	15.3	9.57	59.1	14.3	39.6
2050	15.74	50.8	13.3	6.47	43.4	14.3	9.27	56.5	12.5	41.0
2060	15.60	52.2	14.3	6.59	45.2	15.5	9.00	57.8	13.4	42.2
2070	15.45	52.2	14.6	6.68	45.5	15.9	8.76	57.9	13.6	43.2
2080	15.19	51.5	14.0	6.69	44.9	15.4	8.50	57.1	12.9	44.0
2090	15.00	52.6	14.9	6.70	46.4	16.4	8.29	58.1	13.7	44.7

从以上分析的结果可以看出,加大城乡迁移的强度可以调节人口总数、人口的城镇化水平、城乡人口的负担比和老年比,随着市场经济的发展,工业化和城市化水平将进一步提高,人口的迁移强度也会得到增强,合理地控制迁移的流向和强度对于中国的经济发展将会起到促进作用

参 考 文 献

- Keyfitz N. Migration as a means of population control. *Population Studies*, 1971, 25: 125~ 133
- Coale A. Alternative paths to a stationary population. In: C F and R Parke Jr. Commission on Population Growth and the American Future, Demographic and Social Aspects of Population Growth. Washington, DC: Commission Research Reports, 1972
- Pollard, J. H. Mathematical models for the growth of human populations. Cambridge: University Press, 1973. 50~ 51
- Espenshade T. J. Immigration and the stable population model. *Demography*, 1982, 19: 125~ 133
- Espenshade T. J. Population dynamics with immigration and low fertility. *Population and Development Review*, 1986, 12: 248~ 261
- Castro I. J., Rogers A. What do we know from migration age structures? *Population Bulletin of the United Nations*, 1983, 15: 63~ 79
- Mitra S. Immigration below replacement fertility and long-term national population trends. *Demography*, 1990, 27(1): 121~ 129
- 胡华清. 内部迁移对人口增长的影响及评价: [博士学位论文]. 西安: 西安交通大学管理学院, 1997
- 国务院人口普查办公室和国家统计局人口统计司. 中国1990年人口普查资料第三册. 北京: 中国统计出版社, 1993. 544~ 567

(下转第132页)

- 8 Mahoney J T. The management of resources and the resource of management Journal of Business Research, 1995, 33(7): 81~ 90
- 9 Stalk G. Competing on capabilities: the new rules of corporate strategy. Harvard Business Review, 1992, 70: 57~ 69

(编辑 管咏梅)

Integrative Analysis Pattern of Forming Firm's Competitive Strategy

Li Yuan Liu Yi

(Xi'an Jiaotong University, 710049, Xi'an)

Abstract Both the Resource-Based Theory (RBT) and the Capability-Based Theory (CBT) are two of the most important theories in the formation of firm's strategy. However, there are some limitations in these theories as the article first analyses. Based on the characteristics and problems of RBT and CBT, the authors put forward a new definition, that is the Resource-Based Capability (RBC) and Capability-Based Resource (CBR). Through the comprehensive analysis of RBC and CBR, a new pattern of forming firm's strategy is established.

Keywords *firm competitive strategy pattern*

(上接第126页)

- 10 蒋正华. 中国第四次人口普查死亡数据研究. 见: 国家统计局人口与就业统计司编, 1990年人口普查数据专题分析论文集. 北京: 中国统计出版社, 1995. 395~ 397

(编辑 管咏梅)

The Effect of China Population Increase about Urban-Rural Migration

Hu Huaqing Li Nan Hu Ping

(Xi'an Jiaotong University, 710049, Xi'an)

Abstract The age-specific migration model with both immigrant and emigrant areas is expanded to urban-rural migration model. By changing strength of urban-rural migration, China urban-rural long-term population development is analyzed, and the effects on urban-rural population's age-structure is discussed. It is provided that increasing strength of urban-rural migration is a new approach to China population control.

Keywords *population migration age-structure population control*

人口经济与环境整体优化模型初步研究

郭宝森

(中国人民大学人口环境与发展研究室,北京 100872)

摘要 一个城市在发展中做到人口经济与环境整体优化,传统的思路是控制人口经济发展。80年代以来持续发展理论的提出,以产业技术结构的演进,二、三产业的融合来促使人口经济环境由低级向高级发展,取得人口经济与环境整体优化,这就要求提供实用的研究方法。本文提出人口经济与环境整体优化模型的思路,给出了具体模型的建立方法,讨论各项参数的获取,从而可为城市人口经济与环境整体优化研究奠定基础。

关键词 人口 经济 环境 整体优化

五、六十年代,世界经济有一个大发展,但随之又出现了人口及经济发展对资源需求的急速增长和环境资源供给有限性的矛盾。为研究讨论这个矛盾,联合国主持召开了世界人口会议和人类环境会议。会上经过激烈地争论,最后发表的宣言指出人类如把发展需求与环境供给处理不当就会发生尖锐矛盾;如处理得当,通过人口、经济与环境的综合评价及协调就可能实现人口、经济与环境的协调持续发展。人口、经济与环境供给的矛盾是可以解决的,关键是如何使人口、经济和环境综合评价规模协调处理得当,已成为新发展理论的主要研究内容。人口、经济和环境协调发展是研究的核心,我们研究工作者应该探讨比较适当的方法与方案,以为领导和有关部门决策参考。世界若干有成就的科学家通过定量的模拟研究提出调整产业技术结构,并相应地调整社会经济体制以提高经济效益,降低资源消耗协调平衡人口和经济发展需求与环境供给矛盾的思路。70年代中期以后出现了世界性的发达国家的产业信息服务化和技术高级化的结构性调整,以平衡人口经济需求与环境资源供给的矛盾,从而为若干国家和地区的人口、经济与环境的协调持续发展开拓出新局面。本文拟吸收借鉴国外新思想与方法探讨建立应用定量化方法研究城市人口、经济与环境的模型方法。

现有的经济模型主要以经济发展为目

标,很少考虑人口环境问题,这是不可取的。而现有的低污染经济发展结构模型主要以线性规模为代表,环境问题尽管考虑得详细,而人口经济问题考虑得却不够。本文将投入产出原理结合线性规划,通过严密的数学推导得到“人口环境经济投入产出线性规模模型”。

1 人口经济与环境投入产出模型的建立

传统的投入产出表没有人口环境项目,我们在传统的投入产出表中增加人口环境项目,得到人口、经济与环境投入产出表。

表1 人口经济与环境投入产出表

项 目	生产部门					最终产品及 消费领域	总计
	1	2	n			
生 产 部 门	1	A ₁₁	A ₁₂	A _{1n}		Y ₁	X ₁
	2	A ₂₁	A ₂₂	A _{2n}		Y ₂	X ₂
			
	n	A _{n1}	A _{n2}	A _{nn}		Y _n	X _{m2}
环 境 项 目 及 人 口	1	G ₁₁	G ₁₂	G _{1n}		G ₁	B ₁
	2	G ₂₁	G ₂₂	G _{2n}		G ₂	B ₂
			
	m	G _{m1}	G _{m2}	G _{mn}		G _m	B _m
污 物		P ₁	P ₂	P _n		R	Q
人 口		E ₁	E ₂	E ₂		M	N

下面定义三种系数:

(1)直接消耗系数 $\alpha_{mn} = \frac{A_{mn}}{X_{mn}}$

这一系数与传统投入产出表定义一样,这是我们熟知的。

$$(2) \text{资源消耗系数 } G_{mn} = \frac{G_{mn}}{X_m}$$

即每生产单位产品所消耗的资源量为万吨/亿元。

$$(3) \text{污物系数 } P_n = \frac{G_{mn}}{X_m}$$

即每生产单位产品所产生的污染物是万吨/亿元,这样我们得到了表1的系数矩阵(见表2)。

表2 人口经济与环境投入产出系数矩阵

项目	生产部门	最终产品及消费领域	总计
生产部门	A	Y	X
资源	C	G	B
污物量	P	R	Q
人口	E	M	N

由表中第三行得到:

$$Q = \bar{P}\bar{X} + R \quad (1)$$

即总排污量等于生产排污($\bar{P}\bar{X}$)加消费领域排污量(R)

由表中第一行得到:

$$A\bar{X} + \bar{Y} \leq \bar{X} \quad (2)$$

即总产值(X)应大于生产消耗量($A\bar{X}$)与最终产品(Y)之和。

由表中第二行得到:

$$C\bar{X} + \bar{G} \leq \bar{B} \quad (3)$$

即生产消耗资源($C\bar{X}$)加消费领域消耗资源 \bar{G} 应小于总资源 \bar{B} 。

$$\text{由表最后一行得: } N = M + E \quad (4)$$

将方程(1)中的排污量最小定为目标函,将方程(2)、(3)、(4)作为约束条件,再加上其它约束 $\bar{X} \geq \bar{W}$ (基值约束),最大增长约束 $\bar{X} \leq \bar{L}$,总产值约束 $\sum_{m=1}^n X_m \leq U_n$,以各产值X为变元,则建立城市人口经济与环境投入产出线性规划模型的数学表达式为:

$$\text{目标函数: } \text{Min} Q = \bar{P}\bar{X}$$

约束条件:

$$(1) (1-A)\bar{X} \geq \bar{Y} \quad \text{投入产出平衡约束}$$

$$(2) C\bar{X} + \bar{G} \leq \bar{B} \quad \text{资源约束}$$

$$(3) \bar{X} \leq \bar{L} \quad \text{最大增长约束}$$

$$(4) \bar{X} \geq \bar{W} \quad \text{基值约束}$$

$$(5) \sum_{m=1}^n X_m \leq U \quad \text{总产值约束}$$

$$(6) E + M \leq N \quad \text{人口总量约束}$$

式中 $(1-A)$ —列昂节夫矩阵

C—资源消耗矩阵

Q—排污量

\bar{P} —排污系数向量

$$\bar{P} = (X_1, X_2, \dots, P_n)$$

R—消费领域排污量

\bar{X} —各部门产值向量

$$\bar{X} = (X_1, X_2, \dots, X_n)T$$

\bar{Y} —最终产品需求向量

$$\bar{Y} = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)T$$

\bar{G} —消费领域所需环境资源向量

$$\bar{G} = (g_1, g_2, \dots, g_m)T$$

\bar{B} —总环境资源向量

$$\bar{B} = (b_1, b_2, \dots, b_m)T$$

\bar{L} —最大增长向量

$$\bar{L} = (l_1, l_2, \dots, l_m)T$$

\bar{W} —基值向量

$$\bar{W} = (w_1, w_2, \dots, w_m)T$$

W—总产值

E—人口向量

模型中只有部门产值 \bar{X} 是变量,其余均为常数,只要资料完整就能求解出优化后的产值 \bar{X} 。

应用

(1)通过求解部门产值X得到人口经济与环境整体优化的低污染的人口和经济结构。

(2)通过求解目标函数值,得到环境最小污染物非放量。

2 模型的说明

2.1 目标函数

有废水排污量、废气排污量、工业粉尘排污量、废渣排污量、相对排污量、环境投资最小,分设六种目标函数。

$$\text{水} \quad \text{Min} Q = \bar{P}_1 \bar{X}$$

$$\text{气} \quad \text{Min} Q = \bar{P}_2 \bar{X}$$

尘 $\text{Min}Q = \bar{P}_3 \bar{X}$

渣 $\text{Min}Q = \bar{P}_4 \bar{X}$

相对 $\text{Min}Q = \bar{P}_5 \bar{X}$

投资 $\text{Min}Q = \bar{P}_6 \bar{X}$

(1) 部门分类 (\bar{X})

将以统计部门标准分为 19 个部门 $\bar{X} = (X_1, X_2, \dots, X_{19})$, 具体是: X_1 农业, X_2 黑色冶金, X_3 有色冶金, X_4 电力, X_5 煤炭, X_6 焦炭, X_7 石油, X_8 化工, X_9 机械, X_{10} 建材, X_{11} 森林工业, X_{12} 纺织, X_{13} 食品, X_{14} 轻工及其它工业, X_{15} 建筑, X_{16} 铁路, X_{17} 公路, X_{18} 邮电, X_{19} 商业。我们可以看到前 14 个部门, 为生产部门, 后 5 个部门为服务性部门。

(2) 排污系数

与目标函数相对应, 我们使用了六种排污系数: \bar{P}_1 水排污系数、 \bar{P}_2 气排污系数、 \bar{P}_3 粉尘排污系数、 \bar{P}_4 渣排污系数、 \bar{P}_5 相对排污系数、 \bar{P}_6 环境投资系数。

前四种可以直接得到, 后两种是由前四种综合等标而来。

a. 相对排污系数

前四种单项排污系数不能反映各部门排污综合情况, 我们将单项排污系数进行等标处理, 得到综合指标的相对排污系数和环境投资系数。

相对排污系数是以各部门排污量占整个排污量的百分比进行等标的。它的求法是先求出各部门水、气、尘、渣四项排污量约占总排放量的百分比。然后, 将所得到的百分比相加取四者的平均值, 再除以部门的产值, 其单位是 %/亿元。很显然, 在未调整结构时相对排放量 $Q = 100\%$, 即 $100 = P_1 X_1 + P_2 X_2 + \dots + P_{19} X_{19}$, 调整之后相对排放量必小于 100% , 即 $P_1 X'_1 + P_2 X'_2 + \dots + P_{19} X'_{19} \leq 100$ (X' 为调整之后的产值), 使用这种排污系数, 优点是对整个污染物排放量的削减率显而易见。

b. 环境投资系数

它是以环境治理投资来反映出排污量的

大小。即各种污染物是以前单位污染治理投资为等标基础。我们将单位产值排污系数除以治理效益系数 ($T/\text{万元}$) 得到每生产单位产值所产生污染物的所需治理投资。

我们分别以表中的六种排污系数 (\bar{P}_1 、 \bar{P}_2 、 \bar{P}_3 、 \bar{P}_4 、 \bar{P}_5 、 \bar{P}_6) 代入目标方程, 分别得到六种不同的目标函数值 (Q_1 、 Q_2 、 Q_3 、 Q_4 、 Q_5 、 Q_6)。

2.2 约束条件

本模型约束条件分为五大类: (1) 投入产出平衡约束; (2) 资源约束; (3) 基值约束; (4) 总产值约束; (5) 人口约束。

现分述如下:

2.2.1 投入产出平衡约束 ($\delta + A - I$) $\bar{X} < 0$

为保护部门之间能按综合平衡去发展, 必须有这个约束, 这也是本模型区别于一般线性规模模型的。

($1 - A$) 矩阵可以由投入产出表得到。

有 19 个部门的平衡关系约束, 这 19 个部门是: 农业、电力、化工、机械、纺织、……铁路、邮电、公路、商业。后四个部门: 铁路、公路、邮电、商业属于服务性部门, 其产品的量不能积累, 只需其能满足生产的需要即可。故这四个部门为等式约束。

2.2.2 资源约束 $C \bar{X} \leq \bar{B}$

我们考虑到三种资源, 水、土地、投资和资源消耗系数阵 C 列 (C 矩阵表) 可整理而获得: \bar{B} 是各部门消耗资源最大允许量。一般指消耗水、土地、能源允许最大量和资金的允许最大量。

2.2.3 最大增长 \bar{L} 和基值 \bar{U} 约束 $\bar{X} \leq \bar{L}$, $\bar{X} \geq \bar{U}$

为了使我们的总产值不能高于可能达到的产值, 要有最大可能增长约束的限制, 基值约束 \bar{W} 。考虑到生产上的安排我们取当年产值为基值。

2.2.4 总产值约束 (W_t)

$$\sum_{m=1}^m X_m \geq W_t$$

3 模型的求解

这是一个线性规划的数学问题, 19 个变

元 \bar{X} , 51 个约束方程。使用常用的单纯形法求解 \bar{X} , 采用电子计算机的标准程序(单纯形法的 FORTRAN 语言程序)使用电子计算机即可求到结果。

从上述研究可知, 运用人口、经济、环境投入产出线性规划模型, 从人口经济与环境几个方面协调规划, 探求人口经济与环境整体优化的结构, 以此为参考信息调整人口经济结构就能获得经济效益与人口环境效益的统一。此项研究工作可以为我国城市人口环境经济协调发展定量研究的框架, 很有深入研究的必要。本工作只是初步探讨, 希望能为

我国城市人口环境与经济协调发展定量研究提供一个可供参考的模型方法, 并已经以此模型方法为基础, 在山西、北京等地开展工作, 为地区和城市的领导提供可供决策的参考方案得到较好评价。

参考文献

- 1 郭宝森等. 环境规划方法及实例. 化学工业出版社, 1984
- 2 国家统计局. 中国投入产出表. 中国统计出版社, 1990
- 3 陶文达. 发展经济学. 中国财政经济出版社, 1988
- 4 郭宝森等. 持续发展新的发展战略. 中国人口、资源与环境, 1993; 2

PRELIMINARY STUDY ON OVERALL COORDINATED DEVELOPMENT MODEL OF POPULATION ECONOMY AND ENVIRONMENT

Guo Baosen

(The People's University of China, Beijing 100872)

Abstract How can a city achieve the overall coordination of population, economy and environment in its development? The traditional way is to limit the development of population, economy and environment. Since 1980's, the concept of sustained development suggests that population, economy and environment should develop from lower stage to higher stage by the evolution of structure of industrials and technology as well as the infiltration between the second and third industrials so as to achieve the overall coordination of population, economy and environment. So it requires the practical research method. This article focuses on the train of thought on the overall coordination model of population, economy and environment, gives the way of setting up a concrete model and discusses how to get various parameters so that it provides some basic study for the coordination research of population, economy and environment in a city.

Key words population economy environment overall coordination

中国经济发展与人口控制协同探析

毛志锋 米红

摘要:本文通过对中国经济发展与人口控制协同机制的定量研究,探讨了人口年龄构成与产业结构、人力资源的就业供求与劳动生产率变化间的互动特点和规律,并通过本文所构建的理论模型,对我国未来的经济适度人口规模进行了研究。

作者:毛志锋,男,1948年生,西安交通大学管理学院系统科学与社会发展研究所副教授,博士;
米红,男,1962年生,西安交通大学人口与经济研究所博士生。

尽管人口并不始终是决定经济发展、社会进步和生态环境改善的首要因素,但它的数量规模及其与之关联的素质、年龄和空间分布构成却是社会经济和生态环境复合系统演化的重要机制之源。当代发展中国家经济增长的困扰,人民生活的普遍贫穷和生态环境的恶化,无不与超载的人口规模及急剧的人口增长息息相关。我国作为发展中国家的人口大国,在步入现代化的社会经济变革进程中,控制人口规模,协调人口与经济增长及其同资源环境的适度容载势必作为基本国策,须亟待确立合理的人口容量及其与之相适应的经济发展和资源利用目标。

一 人口增长与经济发展的动态机制

从动态方面看,人口的总量增长、内部结构变化同经济总量增长和产业结构的调整之间呈现某种合理机制。

如果我们设 $y(t)$ 为 t 年的人均国民生产总值,则有

$$y(t) = \frac{Y(t)}{P(t)} = \frac{L(t)}{P(t)} \sum_{i=1}^3 \frac{Y_i(t)}{L_i(t)} = \frac{L(t)}{P(t)} \sum_{i=1}^3 \frac{L_i(t)}{L(t)} \cdot X_i(t) \quad (1)$$

式中 $Y(t)$ 、 $Y_i(t)$ 和 $X_i(t)$ 分别表示国民生产总值、 i 产业产值和劳动生产率, $L(t)$ 为经济活动总就业人口, $L_i(t)$ 为 i 产业的就业人口。方程两边取对数、求导整理简记为:

$$\frac{\dot{y}}{y} = \left(\frac{L}{P}\right)' / \left(\frac{L}{P}\right) + \frac{Y_1}{Y} \cdot \frac{\dot{X}_1}{X_1} + \frac{Y_2}{Y} \cdot \frac{\dot{X}_2}{X_2} + \frac{Y_3}{Y} \cdot \frac{\dot{X}_3}{X_3} \quad (2)$$

式中 Y_i/Y 是 i 产业的产值结构系数, \dot{X}_i/X_i 为 i 产业的劳动生产增长率。于是,在三次产业产值结构配置一定条件下,上式揭示了人均 GNP 增长率同总人口、就业增长率、各产业劳动生产增长率之间的相依关系。

由于 $\frac{\dot{y}}{y} = \frac{\dot{Y}}{Y} - \frac{\dot{P}}{P}$, 代入(2)式左端,经整理得:

$$\frac{\dot{Y}}{Y} = \frac{\dot{P}}{P} + \left(\frac{L}{P}\right)' / \left(\frac{L}{P}\right) + \frac{Y_1}{Y} \cdot \frac{\dot{X}_1}{X_1} + \frac{Y_2}{Y} \cdot \frac{\dot{X}_2}{X_2} + \frac{Y_3}{Y} \cdot \frac{\dot{X}_3}{X_3} \quad (3)$$

由于劳动生产率增长速度与劳均固定资产增长速度 \dot{k}/k 和技术进步增长速度 \dot{A}/A 有关,即 $\dot{X}_i/X_i = \dot{A}_i/A + \dot{K}_i/K_i + E_{K_i}$, 其中 $E_{K_i} = f(K_i)/[f(k_i)/k_i]$ 为同固定资产装备增长有关的劳动生产率增长弹性,于是:

$$\frac{\dot{Y}}{Y} = \frac{\dot{P}}{P} + \left(\frac{L}{P}\right)' / \left(\frac{L}{P}\right) + \sum_{i=1}^3 \frac{Y_i}{Y} \cdot \left(\frac{\dot{A}_i}{A_i} + E_{K_i} \cdot \frac{\dot{K}_i}{K_i}\right) \quad (4)$$

就是说,在产值结构一定条件下,经济增长率同人口增长率、总人口就业增长率和三次产业的劳动生产增长率之间保持着线性关系,这个结论正好迎合了美国学者勃斯鲁普(Boscrup)在本世界六十年代中期提出的“人口推力”(Population—Push)假说和“发明拉力(Invcntionpull)假说。“人口推力”假说是指,在原始时代,随着人口增长,推动了农业生产方法的改进;而农业生产方法的改进,每每使单位土地面积上的用工量增加,劳动强度加大,粮食生产增加,经济获得发展;经济发展后,反过来又促进了人口增长,如果我们令(3)和(4)式中的

$$(\frac{Y_2}{Y} \cdot \frac{\dot{X}_2}{X_2} + \frac{Y_3}{Y} \cdot \frac{\dot{X}_3}{X_3}) \rightarrow 0 \text{ 或 } (\frac{\dot{A}_2}{A_2} + E_{k2} \cdot \frac{\dot{K}_2}{K_2} + \frac{\dot{A}_3}{A_3} + E_{k3} \cdot \frac{\dot{K}_3}{K_3}) \rightarrow 0$$

恰好复现了勃斯鲁普“人口推力”假说的内涵,即在人口密度较小,第二、三产业并未完全独立时,人口和劳动力增长对社会、经济发展的推动作用。

在现代社会经济发展背景条件下,人口增长与经济发展之间的内在协同无疑潜藏于各自内部构成变动的有机联系之中,假定三次产业的产值结构已定,我们由(2)式得:

$$\frac{\dot{y}}{y} = \frac{\dot{L}}{L} - \frac{\dot{P}}{P} + \frac{Y_1}{Y} \cdot \frac{\dot{X}_1}{X_1} + \frac{Y_2}{Y} \cdot \frac{\dot{X}_2}{X_2} + \frac{Y_3}{Y} \cdot \frac{\dot{X}_3}{X_3} \quad (5)$$

即在特定国民经济空间中,人均国民生产总值的增长取决于:①就业人口的增长速度;②人口自然增长率的降低;③三次产业产值结构的合理配置和劳动生产率的提高状况。变换上式有 $\frac{\dot{y}}{y} = \frac{\dot{L}}{L} - \frac{\dot{P}}{P} + \sum_{i=1}^3 (\frac{L_i}{L} \cdot (\frac{Y_i}{L} / \frac{Y}{L}) \cdot \frac{\dot{X}_i}{X_i})$

令 $g_i = L_i/L (i=1,2,3)$, 为就业结构系数, $h_i = (Y_i/L_i)/(Y/L) (i=1,2,3)$, 为比较劳动生产率,或相对国民生产总值($h_i = (Y_i/Y)/(L_i/L)$)。于是:

$$\frac{\dot{y}}{y} = \frac{\dot{L}}{L} - \frac{\dot{P}}{P} + g_1 h_1 \cdot \frac{\dot{X}_1}{X_1} + g_2 h_2 \cdot \frac{\dot{X}_2}{X_2} + g_3 h_3 \cdot \frac{\dot{X}_3}{X_3} \quad (6)$$

该式揭示了人均国民生产总值增长率同就业增长率,人口自然增长率和产业就业结构配置,以及各产业劳动生产率变化之间的关联依存。

假定国民收入中能够用于服务类支出的分配率为 I_s , 物质资料生产部门(主要指第一、二产业)和第三产业的劳动生产率与就业人口分别为 $R_w = (X_1 L_1 + X_2 L_2)/(L_1 + L_2)$, $X_3 = Y_3/L_3$ 和 $L_w = L_1 + L_2, L_3$ 时,则有

$$L_3 = \frac{I_s}{(1-I_s)} \cdot \frac{R_w}{X_3} \cdot L_w \quad (7)$$

即第三产业所能吸纳的就业人口容量取决于国民收入的分配构成。物质生产部门与第三产业的劳动生产率比值和物质生产部门就业人口的变动。同样,我们还可以得到第三产业的就业比重,即:

$$\frac{L_3}{L} = \frac{I_s}{(1-I_s)} \cdot \frac{R_w}{X_3} \cdot \frac{L_w}{L} \quad (8)$$

以及第三产业的就业人口增长率,即

$$\frac{\dot{L}_3}{L_3} = \frac{\dot{I}_s}{I_s} + \frac{\dot{I}_s}{(1-I_s)} + \frac{\dot{R}_w}{R_w} - \frac{\dot{X}_3}{X_3} + \frac{\dot{L}_w}{L_w} \quad (9)$$

同理,第一、三产业的发展 and 人们生活水平提高对工业产品的消费需求,需要第二产业的发展支持。于是,从国民收入的分配和比较劳动生产率角度,我们便可得到第二产业的劳力吸纳、就业构成份额及其就业增长率分别为

$$L_2 = \frac{I_g}{(1-I_g)} \cdot \frac{R_v}{X_2} \cdot L_v \quad (10)$$

$$\text{其中 } L_v = L_1 + L_3, R_v = \frac{X_1 L_1 + X_3 L_3}{L_1 + L_3}, \frac{L_2}{L} = \frac{I_g}{1-I_g} \cdot \frac{R_2}{X_2} \cdot \frac{L_v}{L} \quad (11)$$

$$\text{以及 } \frac{\dot{L}_2}{L_2} = \frac{\dot{I}_g}{I_g} + \frac{\dot{I}_g}{(1-I_g)} + \frac{\dot{R}_v}{R_v} - \frac{\dot{X}_2}{X_2} + \frac{\dot{L}_v}{L_v} \quad (12)$$

式中 I_s 为国民收入中用于第二产业的投资份额。

诚然,从国民收入分配和比较劳动生产率角度,我们还可以求得第一产业的劳力资源投入 $L_1=L-L_2-L_3$ 和就业增长率 $\frac{\dot{L}_1}{L_1}=(\dot{L}-\dot{L}_2-\dot{L}_3)/L_1$,事实上,第一产业的就业增长率还取决于消费人口和人力资源的增加状况。就是说,实际消费人口超过适度消费人口的规模,在第一产业技术装备较低状态下,社会为保障人们的基本生活消费需求(如粮食),则必然依赖人力资源的投入增加来转化自然力,以增加粮食等农产品的总量供给。另一方面,第二、三产业可吸纳的人力资源十分有限,因而伴随人口增加而增加的潜在过剩人力资源大多滞留在农村,投入第一产业的生产,从而降低第一产业的劳动生产率而缓解社会的就业压力,目前世界上大多数低收入国家恰似这种状况。

二 人口增长与经济发展的内在协同

特定国民经济空间的人口年龄结构,既影响人口总量的增长和控制,亦制约产业结构的调整和人均社会经济贡献,以及人们生活消费水平的提高。

由于 $L=(1-\theta_1)LS=(1-\theta_1)(W_1P_u+W_4P_o+SHL)$,其中 θ 为非在业人口占人力资源总量的比例参数, W_1, W_4 分别为幼年人口 P_u 和老年人口 P_o 总量中实际参与就业人口的比例系数, SHL 为适龄就业人口。

$$\begin{aligned}\dot{L} &= [(1-\theta_1)LS]' = \dot{L}S - (LS \cdot \dot{\theta}_1 + \theta_1 \cdot \dot{L}S) = (1-\theta_1)\dot{L}S - LS \cdot \dot{\theta}_1 \\ \frac{\dot{L}}{L} &= \frac{(1-\theta_1)\dot{L}S - LS \cdot \dot{\theta}_1}{(1-\theta_1)LS} = \frac{\dot{L}S}{LS} + \frac{1}{1-\frac{1}{\theta_1}} \cdot \frac{\dot{\theta}_1}{\theta_1} \\ &= \frac{\dot{L}S}{LS} + \frac{1}{1-\frac{LS}{L}} \cdot \frac{\dot{\theta}_1}{\theta_1} - \frac{\dot{L}S}{LS} + (1-\frac{LS}{L}) \cdot \frac{\dot{\theta}_1}{\theta_1} \\ &= \frac{W_1\dot{P}_u + W_4\dot{P}_o + \dot{SHL}}{LS} + (1-\frac{LS}{L}) \cdot \frac{\dot{\theta}_1}{\theta_1} \\ &= \frac{W_1P_u}{LS} \cdot \frac{\dot{P}_u}{P_u} + \frac{W_4P_o}{LS} \cdot \frac{\dot{P}_o}{P_o} + \frac{SHL}{LS} \cdot \frac{\dot{SHL}}{SHL} + (1-\frac{LS}{L}) \cdot \frac{\dot{\theta}_1}{\theta_1}\end{aligned}\quad (13)$$

分别代入(5)和(6)得

$$\frac{\dot{y}}{y} = (1-\frac{LS}{L}) \cdot \frac{\dot{\theta}_1}{\theta_1} + \frac{W_1P_u}{LS} \cdot \frac{\dot{P}_u}{P_u} + \frac{W_4P_o}{LS} \cdot \frac{\dot{P}_o}{P_o} + \frac{SHL}{LS} \cdot \frac{\dot{SHL}}{SHL} - \frac{\dot{P}}{P} + \sum_{i=1}^3 \frac{Y_i}{Y} \cdot \frac{\dot{X}_i}{X_i} \quad (14)$$

$$\frac{\dot{y}}{y} = (1-\frac{LS}{L}) \cdot \frac{\dot{\theta}_1}{\theta_1} + \frac{W_1P_u}{LS} \cdot \frac{\dot{P}_u}{P_u} + \frac{W_4P_o}{LS} \cdot \frac{\dot{P}_o}{P_o} + \frac{SHL}{LS} \cdot \frac{\dot{SHL}}{SHL} - \frac{\dot{P}}{P} + \sum_{i=1}^3 g_i h_i \cdot \frac{\dot{X}_i}{X_i} \quad (15)$$

前者反映了人均 GNP 增长率同人口增长率,人口年龄结构变化,就业率和产值结构与各产业劳动生产率变化之间共栖相长的关联,后者揭示了人均 GNP 增长率同人口增长率、人口年龄结构变化,就业率和就业结构、比较劳动生产率及各产业劳动生产率变化之间此长彼短的依存。

由(14)和(15)我们可得到,人口增长与人均 GNP、人口年龄、就业、产业结构及劳动生产率变化的微分方程式如下:

$$\frac{\dot{P}}{P} = -\frac{\dot{y}}{y} + (1-\frac{LS}{L}) \cdot \frac{\dot{\theta}_1}{\theta_1} + \frac{W_1P_u}{LS} \cdot \frac{\dot{P}_u}{P_u} + \frac{W_4P_o}{LS} \cdot \frac{\dot{P}_o}{P_o} + \frac{SHL}{LS} \cdot \frac{\dot{SHL}}{SHL} + \sum_{i=1}^3 \frac{Y_i}{Y} \cdot \frac{\dot{X}_i}{X_i} \quad (16)$$

$$\frac{\dot{P}}{P} = -\frac{\dot{y}}{y} + (1-\frac{LS}{L}) \cdot \frac{\dot{\theta}_1}{\theta_1} + \frac{W_1P_u}{LS} \cdot \frac{\dot{P}_u}{P_u} + \frac{W_4P_o}{LS} \cdot \frac{\dot{P}_o}{P_o} + \frac{SHL}{LS} \cdot \frac{\dot{SHL}}{SHL} + \sum_{i=1}^3 g_i h_i \cdot \frac{\dot{X}_i}{X_i} \quad (17)$$

由于上述方程式中的各变元随年度 t 变化,我们不妨取基年为 t_0 ,目标年份为 t_1 ,且令 $m_1=W_1P_u/LS, m_2=W_4P_o/LS, m_3=SHL/LS, D_i=Y_i/Y (i=1,2,3)$ 为待定参数,对(16)两边取积分,则有

$$\int_{t_0}^{t_1} \frac{\dot{P}}{P} dt = \int_{t_0}^{t_1} [-\frac{\dot{y}}{y} + (1-\frac{LS}{L}) \cdot \frac{\dot{\theta}_1}{\theta_1} + m_1 \cdot \frac{\dot{P}_u}{P_u} + m_2 \cdot \frac{\dot{P}_o}{P_o} + m_3 \cdot \frac{\dot{SHL}}{SHL} + \sum_{i=1}^3 D_i \cdot \frac{\dot{X}_i}{X_i}] \cdot dt \quad (18)$$

求解整理得 EOP-MM 模型 1

$$(1) P(t_1) = P(t_0) \cdot \left[\frac{y(t_1)}{y(t_0)} \right]^{-1} \cdot \left[\frac{P_u(t_1)}{P_u(t_0)} \right]^{m_1} \cdot \left[\frac{P_o(t_1)}{P_o(t_0)} \right]^{m_2} \cdot \left[\frac{SHL(t_1)}{SHL(t_0)} \right]^{m_3} \cdot \left[\frac{\theta_1(t_1)}{\theta_1(t_0)} \right]^{(1-L)} \cdot \prod_{i=1}^3 \left[\frac{X_i(t_1)}{X_i(t_0)} \right]^{D_i} \quad (19)$$

$$(2) P(t_1) = P(t_0) \cdot \left[\frac{y(t_1)}{y(t_0)} \right]^{-1} \cdot \left[\frac{P_u(t_1)}{P(t_1)} \right]^{m_1} \cdot \left[\frac{P_u(t_0)}{P(t_0)} \right]^{-m_1} \cdot \left[\frac{P_o(t_1)}{P(t_1)} \right]^{m_2} \cdot \left[\frac{P_o(t_0)}{P(t_0)} \right]^{-m_2} \cdot \left[\frac{SHL(t_1)}{P(t_1)} \right]^{m_3} \cdot \left[\frac{SHL(t_0)}{P(t_0)} \right]^{-m_3} \cdot \left[\frac{P(t_1)}{P(t_0)} \right]^{m_1+m_2+m_3} \cdot \left[\frac{\theta_1(t_1)}{\theta_1(t_0)} \right]^{(1-L)} \cdot \prod_{i=1}^3 \left[\frac{X_i(t_1)}{X_i(t_0)} \right]^{D_i}$$

由于 $m_1+m_2+m_3=1$, 则

$$P(t_1) = P(t_0) \cdot \left[\frac{y(t_1)}{y(t_0)} \right]^{-1} \cdot \frac{P(t_1)}{P(t_0)} \cdot \left[\frac{P_u(t_1)}{P(t_1)} \right]^{m_1} \cdot \left[\frac{P_u(t_0)}{P(t_0)} \right]^{-m_1} \cdot \left[\frac{P_o(t_1)}{P(t_1)} \right]^{m_2} \cdot \left[\frac{P_o(t_0)}{P(t_0)} \right]^{-m_2} \cdot \left[\frac{SHL(t_1)}{P(t_1)} \right]^{m_3} \cdot \left[\frac{SHL(t_0)}{P(t_0)} \right]^{-m_3} \cdot \left[\frac{\theta_1(t_1)}{\theta_1(t_0)} \right]^{(1-L)} \cdot \prod_{i=1}^3 \left[\frac{X_i(t_1)}{X_i(t_0)} \right]^{D_i} \quad (20)$$

$$(3) P(t_1) = P(t_0) \cdot \left[\frac{y(t_1)}{y(t_0)} \right]^{-1} \cdot \frac{P(t_1)}{P(t_0)} \cdot \left[\left(\frac{P_u(t_1)}{P(t_1)} \right) / \left(\frac{P_u(t_0)}{P(t_0)} \right) \right]^{m_1} \cdot \left[\left(\frac{P_o(t_1)}{P(t_1)} \right) / \left(\frac{P_o(t_0)}{P(t_0)} \right) \right]^{m_2} \cdot \left[\left(\frac{SHL(t_1)}{P(t_1)} \right) / \left(\frac{SHL(t_0)}{P(t_0)} \right) \right]^{m_3} \cdot \left[\frac{\theta_1(t_1)}{\theta_1(t_0)} \right]^{(1-L)} \cdot \prod_{i=1}^3 \left[\frac{X_i(t_1)}{X_i(t_0)} \right]^{D_i} \quad (21)$$

就是说,由上述三个方程式中的任何一个,均可以求得在人口年龄结构和劳动生产率及产业结构等参变量变化下的未来目标年份的人口总量。就(2)或(3)式而言, $P_u(t_1)/P(t_1)$ 、 $P_o(t_1)/P(t_1)$ 和 $SHL(t_1)/P(t_1)$ 分别为目标年幼年(0—14岁)、老年(65岁以上)、适龄劳动力人口(15—64岁)占总人口的可能份额。 $X_i(t_1)/X_i(t_0)$ 为 $i(i=1,2,3)$ 产业劳动生产率的预期增长倍数, $y(t_1)/y(t_0)$ 是目标年较基年相比人均 GNP 预计增长的倍数, LS/L 为目标年就业人口占人力资源供给的份额的倒数。另则,伴随社会经济发展,幼年从业人口比重 $W_1 \rightarrow 0$; 产业的产值结构系数 $D_i(i=1,2,3)$ 的变化趋势必然是,第一产业日趋缩小,第三产业符合逻辑斯蒂曲线增长,第二产业在达到一定比重峰值后相对缓慢递减。于是,在预测确定了上述结构系数和参变量之后,我们便可以得到未来目标年份的预计总量人口。假定该目标人口估算是以可实现的理想人口年龄结构追求、产业结构合理配置、劳动生产率适度增长、人均 GNP 不断提高、失业率相对降低及以基期人口总量和年龄结构为控制基础,因而可视其为与经济发展保持协同增长的经济适度人口。这样,我们可以得到 $n=t_1-t_0$ 年间的平均人口自然增长速度为 $V=(P(t_1)/P(t_0))^{1/n}-1$ 。在人口死亡率相对稳定和迁移率近似于零态情况下,按此自然增长速度要求控制人口出生率,使对象系统的人口总量尽可能在目标年进入经济适度人口区间,从而实现人口增长与经济协同和不断提高人们的物质、文化生活消费水平之需求。

同理,由(18)可以得到目标年人口年龄结构、产业就业结构、劳动生产率,以及人均 GNP 等变元和参数预期可控实现条件下的适度人口总量 EOP-MM 模型 I 为:

$$(1) P(t_1) = P(t_0) \cdot \left[\frac{y(t_1)}{y(t_0)} \right]^{-1} \cdot \left[\frac{P_u(t_1)}{P(t_0)} \right]^{m_1} \cdot \left[\frac{P_o(t_1)}{P_u(t_0)} \right]^{m_2} \cdot \left[\frac{SHL(t_1)}{SHL(t_0)} \right]^{m_3} \cdot \left[\frac{\theta_1(t_1)}{\theta_1(t_0)} \right]^{(1-L)} \cdot \prod_{i=1}^3 \left[\frac{X_i(t_1)}{X_i(t_0)} \right]^{D_i} \quad (22)$$

$$(2) P(t_1) = P(t_0) \cdot \left[\frac{y(t_1)}{y(t_0)} \right]^{-1} \cdot \left[\frac{P(t_1)}{P(t_0)} \right] \cdot \left[\frac{P_u(t_1)}{P(t_1)} \right]^{m_1} \cdot \left[\frac{P_u(t_0)}{P(t_0)} \right]^{-m_1} \cdot \left[\frac{P_o(t_1)}{P(t_1)} \right]^{m_2} \cdot \left[\frac{P_o(t_0)}{P(t_0)} \right]^{-m_2} \cdot \left[\frac{SHL(t_1)}{P(t_1)} \right]^{m_3} \cdot \left[\frac{SHL(t_0)}{P(t_0)} \right]^{-m_3} \cdot \left[\frac{\theta_1(t_1)}{\theta_1(t_0)} \right]^{(1-L)}$$

$$\cdot \prod_{i=1}^3 \left[\frac{X_i(t_1)}{X_i(t_0)} \right]^{g_i h_i} \quad (23)$$

三 模型结构与参数识别

从人口年龄构成与产业结构和劳动生产率变化的内在相互机制出发,得到经济适度人口规模的理论模型(EOP—MM)为

$$P(t) = P(t_0) \cdot \frac{y(t_0)}{y(t)} \cdot \left[\frac{P_u(t)}{P_u(t_0)} \right]^{m_1} \cdot \left[\frac{P_o(t)}{P_o(t_0)} \right]^{m_2} \cdot \left(\frac{SHL(t)}{SHL(t_0)} \right)^{m_3} \\ \cdot \left[\frac{\theta_1(t)}{\theta_1(t_0)} \right]^{(1-\frac{L}{L_0})} \cdot \prod_{i=1}^3 \left[\frac{X_i(t)}{X_i(t_0)} \right]^{D_i}$$

以第四次全国人口普查的1990年为基期,故由已公布的该年人口10‰抽样资料知, $P(t_0)=11.3187605$ 亿, $P_u(t_0)=3.1351849$ 亿, $P_o(t_0)=0.6319437$ 亿, $SHL(t_0)=7.5516319$ 亿;非在业人口占人力资源总量的比例参数为 $\theta_1(t_0)=0.1852$ 。按1950年物价总指数(1950年=100)对总量GNP和各产业GNP进行换算,得到基期人均 $GNP_y(t_0)=551.3$ 元,各产业的劳动生产率分别为 $X_1(t_0)=522.1$ 元, $X_2(t_0)=2311.1$ 元, $X_3(t_0)=1664.3$ 元;三次产业的GNP结构系数分别为 $D_1=0.284$, $D_2=0.436$, $D_3=0.28^{(2)(3)}$ 。

表1

年 份	总生育率	总人口(亿)	0—14岁(%)	15—64岁(%)	65岁以上(%)
1990	2.10	11.31	26.0	67.0	6.1
1995	2.00	12.15	26.7	66.8	6.5
2000	1.90	12.82	27.6	65.3	7.1
2030	2.10	14.99	24.4	62.6	12.9
2060	2.10	15.15	24.5	61.3	14.2
2070	2.10	14.82	19.4	65.3	15.3

以2000年和2030年为中远期探索的目标年,就未来人口总量和各龄段人口总量构成而言,本文借鉴田雪原教授提出的高位预测方案,作为经济适度人口规模研究的上界目标总量和结构参考来探讨未来不同时期我国人口的经济合理容载、控制及与产业结构等的调整问题,田教授曾在《中国人口控制和发展趋势研究》一书中荐举其中位预测方案为我国长远人口控制的较优目标集。然而,现实人口发展状况已超越了该方案的近期设想,且使中远期的预测目标亦将难以实现。例如,中位预测方案设定1990年、1995年和2000年的人口总量分别为11.06亿、11.66亿和12.11亿,但据第四次人口普查和我国统计年鉴资料悉,1990年和1991年的实际人口规模已分别达11.3亿和11.58亿。据国内人口学界的一些权威人士预估,到本世纪末我国人口总量有可能高达12.8—12.9亿,这些信息映象基本等价于田教授的高位预测方案,其不同时期的主要人口指标如表1所示,该方案的特点是,人口总生育率较高,老龄化进程来得缓慢,人口总量在21世纪50年代末达到顶峰开始缩减,由于预测方案中总生育率设计较高,从而为未来人口出生之控制和人口规模之降低留有一定的余地。

对于EOP—MM模型中所涉及的经济变量,本文根据1978—1991年统计资料,按1950年价格指数折算后,分别采用序列相关分析中的自回归和自回归移动平均误差模型(ARMA)进行了如下拟合预测:

1、人均GNP

$$y_1(t) = 15.985 + 1.801y_1(t-1) - 1.595y_1(t-2) + 0.826y_1(t-3) \quad (2)$$

(32.28) (0.536) (0.999) (0.583)

$$R^2=0.969 \quad SE=20.601 \quad D-W=1.956$$

$$y_2(t) = 1.053AR(1) + 0.476MA(1) - 0.302MA(2) + 0.146MA(3) \quad (3)$$

(0.0149) (0.336) (0.377) (0.529)

$$R^2=0.967 \quad SE=21.88 \quad D-W=1.867$$

2、第一产业劳动生产率(劳均 GNP,下同)

$$x_{11}(t)=1.04AR(1)-0.268MA(1)+0.154MA(2) \quad (4)$$

(0.3149) (0.3229) (0.0218)

$$R^2=0.844 \quad SE=33.42 \quad D-W=1.799$$

$$X_{12}(t)=1.037AR(1)-0.284MA(1)+0.235MA(2)+0.7205MA(3) \quad (5)$$

(0.0188) (0.3086) (0.3397) (0.3585)

$$R^2=0.899 \quad SE=28.35 \quad D-W=1.955$$

3、第二产业劳动生产率

$$X_{21}(t)=-96.16+1.1306X_{21}(t-1)-0.0592_{21}(t-2)+0.0613AR(1) \quad (6)$$

(643.45) (62.48) (67.24) (62.57)

$$R^2=0.813 \quad SE=106.9 \quad D-W=1.644$$

$$X_{22}(t)=-137.32+1.091X_{22}(t-1)+0.064AR(1) \quad (7)$$

(368.3) (0.177) (0.385)

$$R^2=0.83 \quad SE=94.63 \quad D-W=1.69$$

4、第三产业劳动生产率

$$X_{31}(t)=1.5248AR(1)-0.5057AR(2)-0.2838MA(1) \quad (8)$$

(0.4262) (0.4367) (0.5486)

$$R^2=0.934 \quad SE=65.51 \quad D-W=1.968$$

$$X_{32}(t)=-49.22+1.074X_{32}(t-1)+0.1878AR(1)-0.2609MA(2) \quad (9)$$

(182.32) (0.132) (0.338) (0.393)

$$R^2=0.927 \quad SE=75.75 \quad D-W=1.73$$

5、第一产业 GNP

$$AG_{11}(t)=203.818+0.5768AG_1(t-1)+0.3508AG_1(t-2) \quad (10)$$

(131.06) (0.308) (0.294)

$$R^2=0.917 \quad SE=90.19 \quad D-W=2.12$$

$$AG_{12}(t)=AG_{12}(t_0) \cdot (1+x_1\%)^{t_1} \quad (11)$$

6、第二产业 GNP

$$IG_{21}(t)=85.098+1.288IG_{21}(t-1)-0.2744IG_{21}(t-2) \quad (12)$$

(190.7) (0.397) (0.394)

$$R^2=0.938 \quad SE=159.5 \quad D-W=1.45$$

$$IG_{22}(t)=IG_{22}(t_0) \cdot (1+x_2\%)^{t_2} \quad (13)$$

7、第三产业 GNP

$$SG_{31}(t)=39.492+1.0538SG_{31}(t-1) \quad (14)$$

(55.55) (0.049)

$$R^2=0.977 \quad SE=74.07 \quad D-W=1.203$$

$$SG_{32}(t)=SG_{32}(t_0) \cdot (1+x_3\%)^{t_3} \quad (15)$$

设立 5—7 预测模型群,旨在通过预估未来不同时期各产业的发展规模确定产业结构系数 $D_i (i=1,2,3)$ 。因而,在该模型群里附设了各次产业 GNP 的增长速度估测模型,以便比较、适度地把握产业结构的方案调整。此外,对于 EOP—MM 模型中的参数 $m_1 (= \frac{w_1 P_u(t)}{LS(t)})$ 、 $m_2 (= \frac{w_2 P_o(t)}{LS(t)})$ 和 $m_3 (= \frac{SHL(t)}{LS(t)})$ 和 $\frac{LS(t)}{L(t)}$,本文依据基期状态和未来不同时期人口年龄结构组态,并参照不同时期世界经济活动人口占同年龄段人口比重的实际与预测值进行了估算⁽⁴⁾,其中幼年人口的参业系数 W_1 ,是按国际惯例 10—14 岁不在校人口数除以 0—14 岁幼年人口总量而计算的,我国的儿童保护法是明确限制适龄学童弃学就业的,但事实上因病、家庭生活困难

和教育事业发展落后等原因,纵使部分适龄幼年人口以家务劳动、半劳动力身份加入到社会人力资源的队伍,特别是在经济和文教事业发展落后的农村,失学少年大多从事农活生产。因此,本文仍以较低的比例且随时延递减,将该部分幼年人口列入人力资源的研究范畴。

四 不同方案预测与分析

根据上述模型群的参数预测结果和基期取值,并参照南韩和日本 1980 年的经济发展水平,分别代入 EOP—MM 模型,借助 Micro—TSP 软件包,经过多次模拟计算,分别得到未来两个目标年的五种发展方案,其参数取值和计算结果参表 2。

就 2000 年诸方案而言,前四个方案的结果表明,到本世纪末,倘能将人口规模控制在 12.6—12.8 亿之间,伴随市场经济制下的各产业劳动生产率较快提高,产业结构不断优化,人均 GNP 可达 900—955 元,按 1950 年价格折算美元汇率(1 元人民币=0.96 美元)计算,人均 GNP 可达 864—916.8 美元。将人均 GNP 再折算为人均国民收入(按 1989—1990 年三年平均人均 GNP 折人均国民收入的换算系数为 0.824 计)是 711.9—755.4 美元,显然,这与原定的到本世纪末人均国民收入达 800 美元的水平尚存一定的差距。这固然因折算基期和美元汇率不同而有所差异,但从前四个方案中的前四项指标值来看,由于人均 GNP 1990 年较 1980 年递增速度为 5.9%,1985—1991 年间人口增长较快,故而使人均 GNP 的递增速度降为 4.1%,这里方案 3 和 4 取 5.5—5.6% 的年递增速度是比较合适的;第一产业实际劳动生产率 1980—1990 年间的平均递增速度为 5.1%。方案 2—4 中为 5.99%,仅高 0.89%;第二产业劳动生产率 1980—1991 年均递增速度为 2.5%,其中 1989—1991 年间为 7.3%,方案 1—4 中取值为 5—6%。通过调整第二产业内部的行业与产品结构,加强企业生产的技术改造和提高职工的技术素质等举措,这样的年均递增速度是可以实现的;第三产业的劳动生产率,1981—1991 年间年均递增速度为 4.5%,方案 1—4 中取值 6—6.1%,显然较高,但伴随我国经济和科教事业的较快发展,以及国家对第三产业发展政策的倾斜,因而通过深化改革开放,是可以达到甚或超过这一年均递增速度的,方案 2 和 3 相比较,尽管人口总量等价,但由于第二、三产业劳动生产率提高,第三产业产值比重上升,故可使人均 GNP 提高 40 元,在上述方案中,人力资源非在业系数或人力资源非利用率 θ_1 取值 0.21,较 1990 年稍高,比 1989 年的 0.191 亦仅高 1.9%,这是基于社会主义市场经济模式的确立和发展,在保障适度充分就业前提下,因产业结构调整和提高人力资源技术素质需要,而致使一部分人力资源游离于部门就业之外,去参加文化和技术培训而考虑的,诚然,随着市场经济体制的完善和科技进步作用下的生产力发展对人力资源素质与就业竞争动力机制的需求, θ_1 的值仍会有所增加,因此,在 2030 年的诸方案中, θ_1 取值为 0.25。

主案 5 中经济指标和产值结构是按南韩 1980 年经济发展水平设计的,就是说,到本世纪末我国的人均 GNP、各产业劳动生产率和产业结构水平能够达到南韩 1980 年的水准,那么经济发展供给可以容纳 14.59 亿人口,换言之,倘若我国各产业的劳动生产率和产业结构水平等同于南韩 1980 年的发展状态,且能将人口规模控制在 12.71216 亿,那么届时我国的人均 GNP 可达 1950 元,折合 1872 美元,这需要第一、二、三产业劳动生产率较 1990 年年均递增速度分别为 13.9%、10.5% 和 17.1%,第一产业 GNP 所占比重降到 20% 以下,第三产业高达 40% 以上,这种超常增长显然不可能实现,也意味着我国的经济发展水平较南韩发展至少落后 20 年,因此,在积极控制人口增长的同时,坚持改革开放和依靠科技进步,大力发展经济和科教事业,不断优化产业结构,全面提高人力资源的技术素质,从而尽快缩小同发达和比较发达国家的社会经济发展差距,势必成为我国未来相当长一段时期的战略方针和目标。

根据上述发展要求,到本世纪末,将我国人口总量控制在 12.62—12.8 亿之内,这意味着 90 年代我国人口的年度自然增长率须介于 10.1—12.5‰ 之间,由于 90 年代前半叶,我国适龄生育人口正处在一个高峰期,因而近三年来人口自然增长率仍介 11.6—14.39‰ 之间,由于传统生育观的执拗性,加之管理体制、社会经济调节机制转轨和私有经济、农村生产力发展进程中某些不利因素的影响,会造成一定程度上计划生育的失控,因此,未来七年间人口生育控制的任务势必更为艰巨些,然而,90 年代后半期我国适龄生育人口高峰已过,经济发展、人民生活水平提高、家庭消费支出加大和社会就业压力等要素的综合制约,迫使城乡适龄生育人口的生育观念会发生一定的转变,只要各级政府能够充分重视人口生育控制和不断完善计划生育管理体制

表 2 EOP-MM 模型仿真参数与结果

年份	方案	人均 GNP $y(t)$ (元)	第一产业劳动 生产率 $x_1(t)$ (元)	第二产业劳动 生产率 $x_2(t)$ (元)	第三产业劳动 生产率 $x_3(t)$ (元)	产值结构 (GNP)			幼年人 口系数 ω_1	老年人口 就业系数 ω_2	幼年人 口比重 m_1	老年人口 就业比重 m_2	适龄劳动力 占人力资源 比重 m_3	$\frac{LS}{L}$	θ_1	经济适度人口 规模 $P(t)$ (亿)
1990	基期值	551.3	522.1	2311.1	1664.3	0.284	0.436	0.28	0.1914	0.0165	0.017	0.0165	0.966	1.227	0.1852	113187605
2000	1	910 年递增 5.1%	1058.6 年递增 7.3%	3771.1 年递增 5%	2981 年递增 6%	0.223	0.457	0.32	0.14	0.015	0.012	0.015	0.973	1.27	0.21	12.79626
	2	900 年递增 5%	935 年递增 5.99%	3771.1	2981	0.21	0.44	0.35	0.14	0.015	0.012	0.015	0.973	1.27	0.21	12.82488
	3	940 年递增 5.5%	935	4139 年递增 6%	3010 年递增 6.1%	0.22	0.41	0.37	0.14	0.015	0.012	0.015	0.973	1.27	0.21	12.82275
	4	955 年递增 5.6%	935	4139	3010	0.23	0.42	0.35	0.14	0.015	0.012	0.015	0.973	1.27	0.21	12.61971
	5	1698 年递增 11.9%	1925 年递增 13.9%	6259 年递增 10.5%	8091 年递增 17.1%	0.17	0.39	0.44	0.14	0.015	0.012	0.015	0.973	1.27	0.21	14.59877
2030	1	4900 年递增 5.6%	3187.8 年递增 4.6%	21866.3 年递增 5.8%	19590.3 年递增 6.4%	0.1258	0.381	0.4932	0.12	0.024	0.0057	0.024	0.9703	1.3	0.25	14.74508
	2	5000 年递增 5.7%	3187.8	21866.3	19590.3	0.10	0.39	0.51	0.12	0.024	0.0057	0.024	0.9703	1.3	0.25	14.66812
	3	5040 年递增 5.7%	3676 年递增 5%	23862 年递增 6%	19056 年递增 6.3%	0.115	0.365	0.52	0.12	0.024	0.0057	0.024	0.9703	1.3	0.25	14.98739
	4	5200 年递增 5.8%	3187.8	23771 年递增 6%	19590.3	0.09	0.39	0.52	0.12	0.024	0.0057	0.024	0.9703	1.3	0.25	14.66689
	5	10281 年递增 7.6%	7614 年递增 6.9%	23862	19056	0.04	0.43	0.53	0.12	0.024	0.0057	0.024	0.9703	1.3	0.25	7.792732

(1) 经济指数按 1950 年价格指数 (1950 年 = 100) 折算预测, 该年价格汇率为 1 元人民币 = 0.96 美元

(2) 2000 年方案 5 中前七项按南韩 1980 年发展水平折算为人民币取值。参考文献(5)

(3) 2030 年方案 5 中前七项按日本 1980 年发展水平折算为人民币取值。参考文献(6)

备 注

制与政策机制,上述人口总量控制目标是完全有可能实现的。

从 2030 目标年 1—4 方案参数与结果的输入输出来看,由于随着我国进一步改革开放,社会主义市场经济体系和机制逐步得以完善,经济和科技、教育等事业持续稳固而较快地发展,三大产业结构在劳动生产率普遍提高、生产要素和行业配置日趋合理、消费取向享受和发展型转变迫使第三产业得以较快发展,以及农村经济不断活跃的基础上,逐步予以调整。因而,倘使人口规模控制在 14.67—14.98 亿之间,那么人均 GNP 可达 4900—5200 元,按前述换算系数,分别折合人均 GNP 是 4704—4992 美元,人均国民收入为 3876.1—4113.4 美元,就方案 1、2 和 4 相比较,人口规模和各产业劳动生产率变化相近,然而因产业结构不同,人均 GNP 的变异区间为 140—300 元,可见适时有度地调整产业结构,既可以协同促进经济发展,又能提高人均生活水平,满足人民物质与精神文明追求的需要。

方案 5 中前七项经济指标是按日本 1980 年发展状态设计的,这意味着,我国经济发展和人民生活水平到 2030 年达到日本 1980 年的水准,经济发展对人口总量的适度容载量仅为 7.8 亿人,倘需负载 14.9 亿人口,人均 GNP 仅为 5377 元,尽管我国第二、三产业劳动生产率通过努力可达日本 1980 年的发展水平,但是庞大的农村人口、比较薄弱的农村经济基础和较低素质的农村人力资源技术素养,以及教育事业发展的落后状态不可能在半个世纪里得到迅速改变,尽管农业生产条件的逐步改善和现代化进程的推进,以及农村经济体制的深化改革,有助于推动农村生产力和劳动生产率水平的较快提高,然而不可能达到日本 1980 年的发达状态,这足以表明,我国经济发展的人均水平至少滞后于日本 50 年以上,农村经济、教育和科技事业的发展,以及农村人口增长的控制,既是我国现代化进程中一块极难啃的“骨头”,又须作为长期持续对弈的战略重点,否则,到下一世纪中叶,既难缩小同发达和比较发达国家的差距,还会因农村社会经济迟滞发展影响国民经济空间的协调运转。

到 2030 年,将人口总量控制在 14.67—14.98 亿范围内,这意味着下一世纪 30 年里,人口年度自然增长率须控制在 4.49—5.59‰ 以内,妇女总和生育率需要降到 1.9—2.1 水平上。上述目标要求,同我国八十年代以来人口的实际增长情况相比似乎较难实现。然而,由第四次全国人口 10% 抽样资料悉,1990 年占全国人口总量 38.24% 的三个直辖市和浙江、辽宁、吉林、黑龙江、四川、江苏、山东七个省份妇女的总和生育率已降到 2.11 以下,其中前八个省市已介于 1.42—2.00 之间,另据 1992 年《中国统计年鉴》知,1991 年占全国人口总量 45.18% 的三个直辖市和辽宁、浙江、四川、山东、内蒙古、河北、吉林、黑龙江、江苏诸省区人口的自然增长率已下降到 10.55‰ 以下,其中上海仅为 0.67‰,辽宁是 5.46‰,人口众多的四川和山东省亦分别达 8.53‰、8.86‰,1992 年虽届人口生育高峰期,但全国人口自然增长率仍由 1991 年的 12.98‰ 下降到 11.6‰,可见,随着我国经济的发展,人民生育观念的转变,以及计划生育政策和控制人口举措的有力贯彻执行,届时达到上述人口控制目标是很有可能的。这需要全党、全国人民和各级政府持续不断地努力,在着力促进经济较快发展的同时,坚持不懈地抓好计划生育,严格控制人口特别是农村人口的增长,这是历史赋予我们的一项艰巨而光荣的战略使命。

参考文献

- (1)毛志锋:《适度人口与控制》,陕西人民出版社,1995
- (2)《中国 1990 年人口普查 10% 抽样资料》,中国统计出版社,1991
- (3)《中国统计年鉴 1991》,中国统计出版社,1992
- (4)《中国人口统计年鉴 1990》,科学技术文献出版社,1991
- (5)《亚洲发展中国家和地区经济和社会统计资料汇编》,中国统计出版社,1992
- (6)《国际经济和社会统计资料 1950—1982》,中国财政经济出版社,1985

第二章 年龄相关的随机种群系统模型解的存在性和唯一性

在过去的几十年里, 与年龄相关的种群动态方程的理论知识出现了长足发展. 利用 Banach 不动点定理和算子半群理论, Webb 和 Anita 分别讨论了如下非线性模型解的存在性, 唯一性和正向性:

$$\begin{cases} \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial a} = -\mu(t, a)P + f(t, P), & \text{在 } (0, T) \times (0, A), \\ P(0, a) = P_0(a), & \text{在 } [0, A], \\ P(t, 0) = \int_0^A \beta(t, a)P(t, a)da, & \text{在 } [0, T]. \end{cases} \quad (2.1)$$

其中 $P(t, a)$ 为 t 时刻年龄为 a 的种群密度, $\beta(t, a)$ 为 t 时刻年龄为 a 的雌性生育率, $\mu(t, a)$ 为 t 时刻年龄为 a 的死亡率. $f(t, P)$ 为外部环境对种群系统的影响.

确定性的与年龄相关的种群系统不仅被研究, 而且随机性的与年龄相关的种群系统也被研究. Mao[2] 研究了受环境 Brownian 噪音压缩爆炸的种群动态性. 文献 [46] 给出了一些与随机种群方程有关的全局吸引子的结构和稳定性性质的结果. Luis[47] 考虑了与临界扩散和随机波动有关的种群的最佳结果.

然而, 我们研究的系统经常受到随机环境和时滞的影响. 因此, 随机偏微分方程不可能精确描述这些应用. 为了克服这个问题, 有必要采用随机微分方程来刻画种群系统模型. 换句话说, 随机种群系统模型比描述种群系统模型的不确定性的方程更合适. 在本节, 我们将研究如下的与年龄相关的随机种群系统模型:

$$\begin{cases} dP + \frac{\partial P}{\partial a} dt = [-\mu(t, a)P + f(t, P)dt + g(t, P)dW_t], & \text{在 } Q \\ P(s, a) = \eta(s, a), & \text{在 } R, \\ P(t, 0) = \int_0^A \beta(t, a)P(t, a)da, & \text{在 } [0, T]. \end{cases} \quad (2.2)$$

其中 $Q = (0, T) \times (0, A)$, $R = [-\tau, 0] \times [0, A]$, $g(t, P)$ 表示种群密度的扩散系数. W_t 是 Wiener 过程. dp 是 P 关于时间 t 的导数, 即 $dP = \frac{\partial P}{\partial t} dt$.