

System Dynamics Model Analysis on Basic Endowment Insurance Fund of Town Employees

Xiangdong Kong, Huan Liu, Weihua Wang

Wuhan University of Technology, Wuhan Hubei
Email: kong21062419@qq.com

Received: Dec. 4th, 2015; accepted: Dec. 21st, 2015; published: Dec. 25th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

According to the relevant provisions of endowment insurance system for urban workers, a system dynamics model for urban workers pension fund payments is built based on the data from Ministry of Human Resources and Social Bulletin and Statistical Yearbook. With population aging chain model instead of traditional forecasting model, the system dynamics model predicts the income and expenditure of the fund in the next 20 years, estimates the balance of the fund in the target period, and makes relevant comments on the main factors affecting the balance to ensure the effective operation.

Keywords

System Dynamics Model, Logistic Curve, Matlab, Regression Analysis

城镇职工基本养老保险基金系统动力学模型分析

孔祥东, 刘欢, 王卫华

武汉理工大学, 湖北 武汉
Email: kong21062419@qq.com

收稿日期：2015年12月4日；录用日期：2015年12月21日；发布日期：2015年12月25日

摘要

根据城镇职工养老保险制度的相关规定，结合人社部公报和统计年鉴的数据，构建了城镇职工养老保险基金收支的系统动力学模型，以老化链人口模型取代传统生命表预测模型，预测了20年内的养老保险基金的收支情况，测算了基金在目标期内能否保持平衡，并针对影响平衡的主要因素提出相关意见，以确保养老保险基金的有效运行。

关键词

系统动力学模型，Logistic曲线，Matlab，回归分析

1. 引言

我国的养老保险日益完善，到2014年底我国养老保险覆盖率已经达到80%左右，城镇职工基本养老保险参保人数达到34124万人。养老保险制度的完善与稳定已经成为影响社会和谐稳定的重要因素，目前我国学者关于养老基金收支平衡方面的研究分为两种方法：一种是传统的社会保险计算学，运用精算学原理，根据历史数据构建数学模型；另一种是运用系统动力学原理构建养老保险基金动力学模型。两种方法相比较而言，系统动力学模型相较于传统精算学模型，引入动态变化的影响因素，更能够根据社会经济、人口发展情形，模拟基金收支情况更为准确。

2. 参保人数

2.1. 系统动力学模型

系统动力学是一门基于系统论，吸取反馈理论与信息论等，并借助计算机模拟技术的交叉学科，能定性定量地分析研究系统，从系统的微观结构入手建模，构造系统的基本结构，进而模拟与分析系统的动态行为[1]。

系统动力学方程结构：

水平方程(L):

$$L \cdot K = L \cdot J + (\sum R.JK_{in} - \sum R.JK_{out}) \times DT \quad (1)$$

速率方程(R):

$$R.JK = \{\text{方程、变量、数值}\} \quad (2)$$

辅助方程(A):

$$A.K = \{\text{方程、变量、数值}\} \quad (3)$$

说明： K ：当前时刻； J ：前一时刻； JK ： J 时刻到 K 时刻的间隔；

DT ：步长； $R.JK$ ：流率变量在 JK 区间内取值； in ：流入； out ：流出。

2.2. 人口子系统

人口系统是一个高阶老化链结构，在不考虑移民的情况下，根据人口系统演化的内在规律，将人口分成21个年龄段：0~4岁、5~9岁、10~14岁...95~99岁、100岁以上[2]。每个年龄段的输入流只有一个，

即新出生的人口或从前一年龄段转移过来的人口。每个年龄段的输出流有两个：一个是转移到下一年龄段人口，即转移速率；另一个是死亡的人口，即死亡速率。最后一个年龄段，即“100 岁以上”的去向就是死亡，即死亡速率。人口子系统流位图如图 1 所示。

2.2.1. 出生率

出生率是受人口政策影响的外生变量，主要受到终生生育率(CFR)、性别比(SexRate)和生育年龄制约。根据统计年鉴和人口普查数据，女性的生育时间以不同概率分布在 15~49 岁之间，通过整理和分析，可得妇女的生育时间的分布规律如表 1 所示。

性别比(SexRate)是一个统计数据，是指新生儿中男性人口与女性人口的比例，国家卫生计生委公

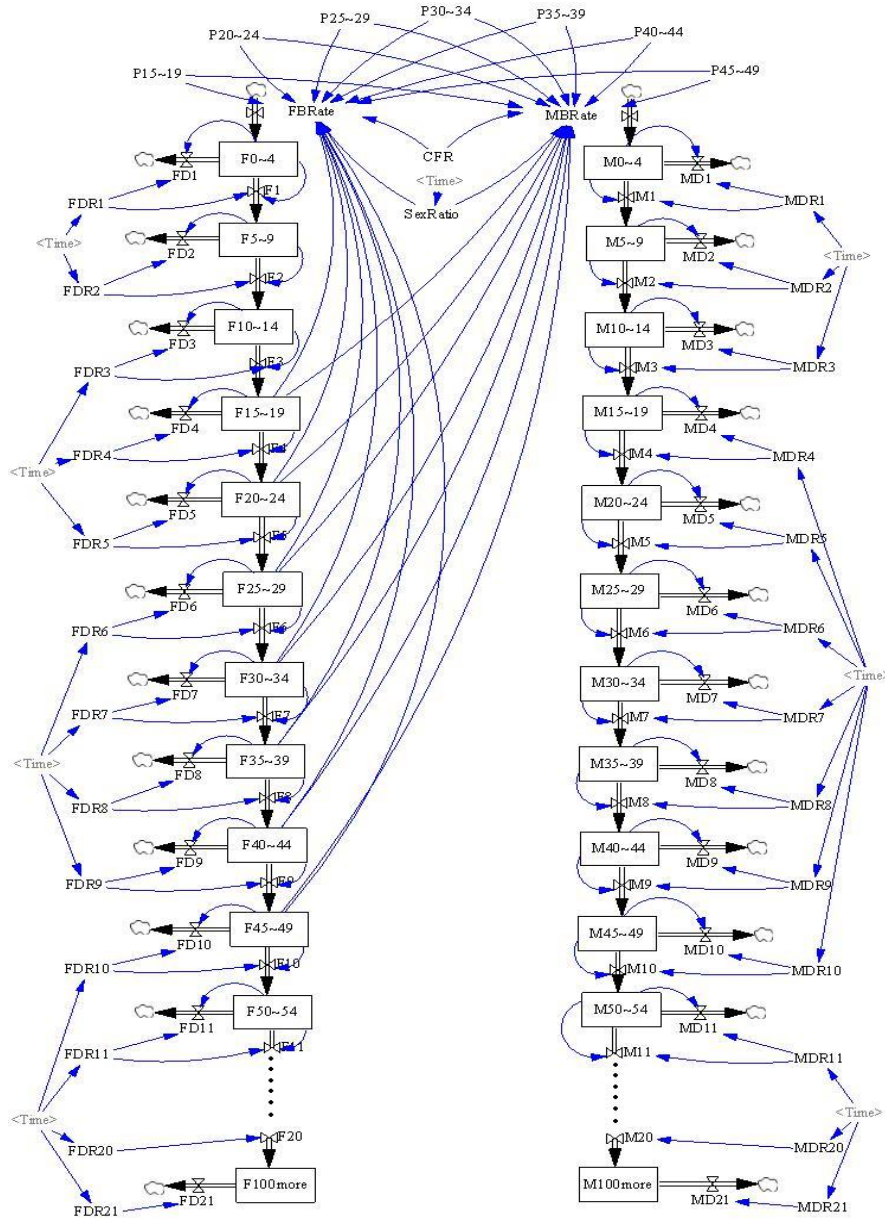


Figure 1. Population subsystem level-map
图 1. 人口子系统流位图

Table 1. The distribution of childbearing age
表 1. 生育年龄的分布规律

生育年龄	15~19 岁	20~24 岁	25~29 岁	30~34 岁	35~39 岁	40~44 岁	45~49 岁
概率	2.08%	32.79%	34.35%	18.16%	8.25%	3.00%	1.38%

Table 2. The sex ratio of birth
表 2. 出生人口性别比

年份	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
性别比	120.73	120.56	119.45	117.94	117.78	117.7	117.6	115.88

布的 2007~2014 年的出生人口性别比如表 2 所示。

从 2008 年开始, 全国出生人口性别比首次出现连贯的下降现象, “十二五”时期延续了这一持续下降态势, 且回落速度由慢到快。但全国绝大部分区域的出生人口性别比依旧不同程度地偏离正常水平, 特别是二孩及以上的出生人口性别比依旧严重失衡, 全国出生人口性别比偏高局面在短期内难以彻底扭转。基于此作出假设性别比会逐步下降, 下降规律依照每四年大幅下降、四年间小幅下降推算性别比变化趋势[3]。

终生生育率(CFR)主要由政策法规和人民的自主选择为基础, 根据统计我国的终生生育率平均值在 1.4 左右, 虽然近两年来国家推行单独二胎政策, 但终生生育率波动不大, 没有达到二胎政策期望的 1.8~1.9, 假设 2015 年以后的生育率数值为 1.6。

男性出生率(MBRate)与女生出生率(FBRate)方程表达式:

$$\begin{aligned} \text{MBRate} &= 0.2 \times (F_{15 \sim 19} \times P_{15 \sim 19} + F_{20 \sim 24} \times P_{20 \sim 24} + \dots + F_{45 \sim 49} \times P_{45 \sim 49}) \\ &\quad \times \frac{\text{SexRate}}{100 + \text{SexRate}} \times \text{CFR} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{FBRate} &= 0.2 \times (F_{15 \sim 19} \times P_{15 \sim 19} + F_{20 \sim 24} \times P_{20 \sim 24} + \dots + F_{45 \sim 49} \times P_{45 \sim 49}) \\ &\quad \times \frac{100}{100 + \text{SexRate}} \times \text{CFR} \end{aligned} \quad (5)$$

2.2.2. 死亡率

普查人口的数据显示总体而言死亡率呈下降趋势, 但不同年龄段的下降幅度存在较大差别。假定各因素对不同年龄人口死亡率的影响是稳定的, 即假定本年度死亡率与上一年度死亡率之间的指数关系为[4]:

$$\begin{aligned} S_1 &= \alpha \times S_0^\beta \\ S_n &= \alpha^A \times S_0^B \\ A &= \sum_{i=1}^n \beta^{n-i} = \frac{1 - \beta^n}{1 - \beta}, B = \beta^n \end{aligned} \quad (6)$$

通过比较 2000 和 2010 年普查数据, 得到男性各年龄死亡率下降幅度, 如图 2 所示。

根据死亡率下降幅度分为 0~14、15~49、50~79、80~99, 运用 SPSS 进行回归分析结果如表 3 所示。同理可得女性死亡率回归分析结果如表 4 所示。

因为 100 岁以上年龄段为死亡率明显上升年龄段, 为不影响回归曲线, 将男女 100 岁以上年龄段单独进行计算, 如表 5 所示。

2.3. 参保率

根据养老保险规定和学者研究相关数据, 将参保年龄设为 25 岁、女性退休年龄为 55 岁、男性退休

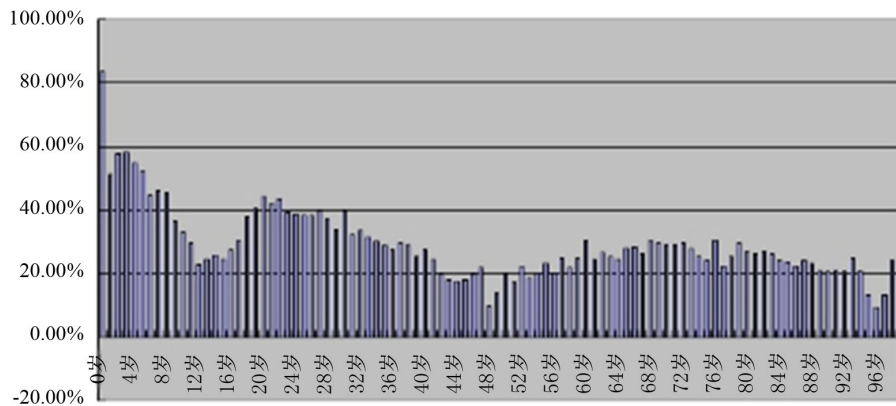


Figure 2. The decline of male mortality in different ages
图 2. 男性各年龄死亡率下降幅度

Table 3. Regression analysis of male mortality
表 3. 男性死亡率回归分析结果

年龄	回归曲线	初始曲线	R 方	调整 R 方	Sig
0~14	$0.513 \times x^{0.638}$	$0.916 \times x^{0.956}$	0.962	0.959	0
15~49	$0.630 \times x^{1.163}$	$0.953 \times x^{1.015}$	0.981	0.981	0
50~79	$0.840 \times x^{0.962}$	$0.980 \times x^{0.996}$	0.998	0.998	0
80~99	$0.365 \times x^{1.147}$	$0.900 \times x^{1.014}$	0.927	0.923	0

Table 4. Regression analysis of female mortality
表 4. 女性死亡率回归分析结果

年龄	回归曲线	初始曲线	R 方	调整 R 方	Sig
0~9	$0.405 \times x^{0.678}$	$0.890 \times x^{0.962}$	0.983	0.959	0
10~24	$0.346 \times x^{0.424}$	$0.850 \times x^{0.918}$	0.912	0.906	0
25~44	$0.503 \times x^{4.573}$	$0.939 \times x^{1.046}$	0.983	0.982	0
45~79	$0.632 \times x^{1.030}$	$0.951 \times x^{1.003}$	0.999	0.999	0
80~99	$0.847 \times x^{0.980}$	$0.998 \times x^{0.982}$	0.985	0.984	0

Table 5. Mortality rate of over-100 years old
表 5. 100 岁以上死亡率

年龄段	增长率%	曲线方程
女性 100 岁以上	1.52	$x \times (1 + 1.52\%)^{(n-1)}$
男性 100 岁以上	4.41	$x \times (1 + 4.41\%)^{(n-1)}$

年龄为 60 岁，则总参保人员和在职参保人员计算公式如下：

总参保人员 = 参保率 A × (25~100 人口数)

在职参保人员 = 参保率 B × (男性 25~59 岁 + 女性 25~54 岁)

参保率 A 是根据历史数据统计的参保人数占 25~100 岁人口总数的比例；

参保率 B 是参保人数当中的在职员工数占男 25~59 岁和女 25~54 岁人口总数的比例。

根据人社局和人口统计年鉴数据，得到参保率 A、B 的数值如表 6 所示。

根据参保率的变化规律,综合考虑其他学者研究成果[5]-[8],假设参保率 A、B 逐渐变大,最大值为 60%,运用 SPSS 进行 Logistic 曲线回归,结果如表 7 所示。

3. 养老保险基金系统

3.1. 社会平均工资预测

社会平均工资的预测采用 Logistic 阻滞增长模型:

$$w = W(t) = \frac{W_{\max}}{1 + \left(\frac{W_{\max}}{W_0} - 1\right) e^{-a(t-t_0)}} \quad (7)$$

数据的起始点选择在 1982 年(即统计年鉴起始年份),运用 Matlab 进行非线性回归分析得到上限值 W_{\max} 与固定增长率 a 的值,其结果为:

$$w = \frac{402693}{1 + 207.45 \times e^{-0.1404 \times (t-t_0)}} \quad (8)$$

3.2. 养老保险基金收支

养老保险基金的总额由基金收入和基金支出两部分构成,其流位图如图 3 所示。

3.2.1. 征缴率与替代率

根据养老保险缴费规定,缴费率分为社会统筹和个人账户两个部分,其值分别为 20% 和 8%,合计

Table 6. Insurance rates A and B
表 6. 参保率 A、B

年份	总参保人数(万人)	25~100 人数(万人)	参保率 A	在职参保人数(万人)	在职基数(万人)	参保率 B
2005	17487.9	79241.1	22.07%	13120.4	62017.9	21.16%
2006	18766.3	79564.1	23.59%	14130.9	62922.3	22.46%
2007	20136.9	80491.4	25.02%	15183.2	64034.0	23.71%
2008	21891.1	81098.3	26.99%	16587.5	65358.1	25.38%
2009	23549.9	81956.6	28.73%	17743.0	65722.9	27.00%
2010	25707.3	88025.6	29.20%	19402.3	66211.2	29.30%
2011	28391.3	88458.8	32.10%	21565.0	67974.6	31.73%
2012	30426.8	89808.2	33.88%	22981.1	68849.0	33.38%
2013	32218.4	91076.3	35.38%	24177.3	69575.6	34.75%

Table 7. Regression parameters
表 7. 回归参数

因变量	方程	模型汇总					参数估计值	
		R 方	F	df1	df2	Sig.	常数	b1
参保率 A	Logistic	0.994	2259.43	1	13	0.0	4.015E87	0.905
参保率 B		0.997	3937.40	1	13	0.0	2.380E82	0.910

28%。但因为各地经济社会情况不同，缴费率存在差异，故引入征缴率概念。征缴率代表实际基金收入与理论征缴收入间的比值，基于统计年鉴与人社部审计报告的实际基金收入数据(征缴收入加财政拨款)与本文中估算的理论征缴收入计算[4]。替代率是衡量劳动者退休前后生活保障水平差异的基本指标之一。养老金替代率，是一个国家或地区养老保险制度体系的重要组成部分，是反映退休人员生活水平的经济指标和社会指标。替代率的参数选取不同其数值也是不同，本文采用社会平均替代率，即以退休后每月领取退休金/月社会平均工资。其结果如表 8 所示。

比较征缴率和替代率的历史数值可以看出，2002 年以后征缴率和替代率的总体趋势为下降趋势，替代率在 2012 年有小幅上升，故提出假设征缴率会继续下降，在 2015 年下降到 70%，其后保持不变，替代率 2013 年后的数值保持为 43% 不变。

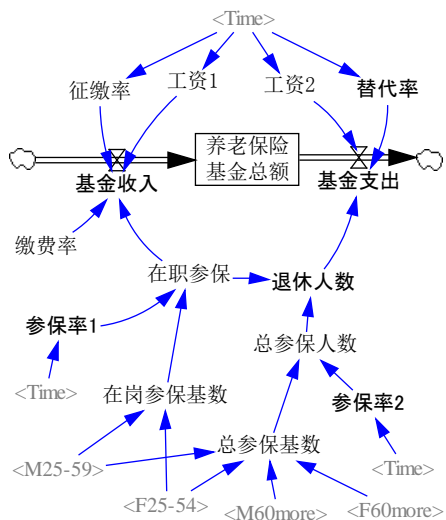


Figure 3. Pension funds level-map
图 3. 养老基金流位图

Table 8. Collection rate and the replacement rate
表 8. 征缴率与替代率

年份	参保在岗(万人)	平均工资(元)	基金收入(亿元)	理论收入(亿元)	征缴率	年均退休养老金(元)	替代率
2003	11,646.5	14,040	3680.0	4050.8	90.85%	7732.0	55.07%
2004	12,250.3	16,024	4258.4	4815.8	88.42%	7831.0	48.87%
2005	13,120.4	18,364	5093.3	5886.8	86.52%	8559.0	46.61%
2006	14,130.9	21,001	6309.8	7266.0	86.84%	9915.0	47.21%
2007	15,183.2	24,932	7834.2	8928.1	87.75%	11,291.0	45.29%
2008	16,587.5	29,229	9740.2	11,579.7	84.11%	13,304.0	45.52%
2009	17,743.0	32,736	11,490.8	14,521.1	79.13%	14,818.0	45.27%
2010	19,402.3	37,147	13,419.5	17,784.3	75.46%	16,424.0	44.21%
2011	21,565.0	42,452	16,894.7	22,430.2	75.32%	18,200.0	42.87%
2012	22,981.1	47,593	20,001.0	27,316.6	73.22%	20,652.0	43.39%

4. 仿真结果

将养老保险基金余额设置为 2009 年的数值 12526.1 亿元，将人口子系统的初始参数设置为 2010 年人口普查数据，运行结果如图 4 所示。

已知 2000~2014 年的基金相关数据，与仿真结果比较，如表 9 所示。

根据表 9 计算误差率，结果如表 10 所示。

通过比较发现基金的收入、支出和总额的误差率最大在 5.03%，最小为 0.74%，故可以认为模型仿真具有较好的效果。根据图 4 可以看出，基金总额在 10~19 年之间是逐渐增大，从 20 年开始迅速下降并在 2025 年变为负值。模型机模拟出的结果和大多数学者所预测的一样在 2020 年以后因为劳动力的减少，

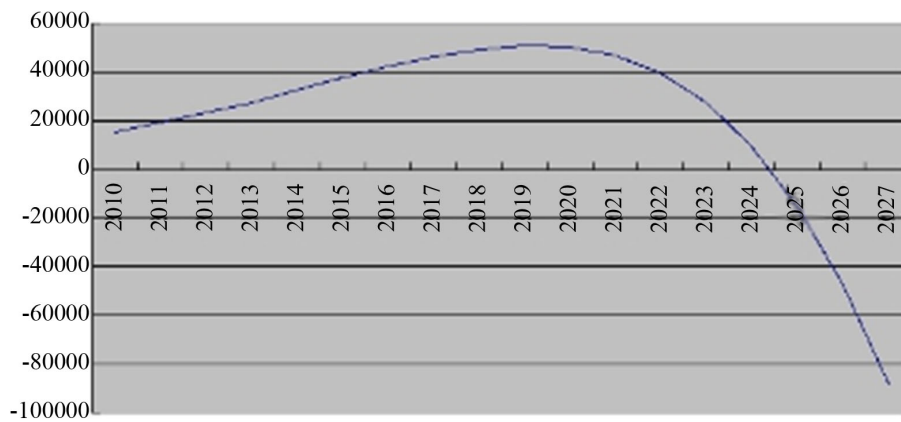


Figure 4. The curve of total fund
图 4. 基金总额曲线

Table 9. The simulation results and actual value
表 9. 仿真结果与实际发生值

年份	基金总额(亿元)	实际总额(亿元)	基金支出(亿元)	实际支出(亿元)	基金收入(亿元)	实际收入(亿元)
2010	15,251.8	15,365	10,443.8	10,555	13,169.5	13,420
2011	19,351.8	19,497	12,547.3	12,765	16,647.3	16,895
2012	23,491.8	23,941	15,457.9	15,562	19,597.9	20,001
2013	27,057.6	28,269	18,838	18,470	22,403.8	22,680
2014	32,304.5	31,800	21,404.6	21,755	26,651.5	25,310

Table 10. Error rate
表 10. 误差率

年份	总额误差率	支出误差率	收入误差率
2010	0.74%	1.05%	1.87%
2011	0.74%	1.71%	1.47%
2012	1.88%	0.67%	2.02%
2013	4.29%	-1.99%	1.22%
2014	-1.59%	1.61%	-5.30%

养老保险基金将会逐渐的减少，并且随着退休人数的增加和退休人员预期寿命的延长。我国的养老保险基金按照现行的制度必将出现收不抵支的严重后果。

5. 基于对调整养老保险制度的思考

通过模型的仿真预测养老保险的总额在未来10年里是持续增加的，在2020年以后迈入老龄化社会，在职人口的数量会逐渐减少，领取养老金的退休人口会逐渐增大，导致养老保险基金的支出大于收入，并且每年的资金缺口会逐渐增大，考虑保持养老保险基金的持续运营就得从扩大收入、减少支出两方面综合考虑。

提高退休年龄可以缓解老龄化带来的社会压力，使养老保险基金的可持续运营的时间增长。养老保险基金的运营收益率偏低，而养老保险基金入市计划就是根据这一情况产生的，通过股市的收益情况，可以预期会带来较高的收益率，但同样要考虑到股市存在风险，实际的效应有待实践检验。最后一种方案是源于欧洲的养老保险改革，将国家每年的财政收入的一定百分比补贴给养老保险基金，实际上我们国家的养老保险模式是碎片化的，尚未达到全国统筹，而每年的财政补贴也是基于地方不能达到收支平衡的情况下才产生的，更多的是“亡羊补牢”的作用，尚未形成固定的法规。

鉴于目前养老保险基金的实际运行情况，以及未来养老保险改革的难度，提出以下意见：一、尽早提出延迟退休的政策计划以缓解人口老龄化的压力；二、尽快统合各地养老保险基金运行，以达到全国统筹的目的，并根据具体情况提高政府财政补贴；三、是推进社会保险基金市场化、多元化的投资运营，社会保险基金在保证安全的情况下，与现代市场投资收益相结合，提高社会保险基金的统筹和运用能力，这都需要依靠国家的政策倾斜和一个较为稳定的、收益高的资本市场。

参考文献 (References)

- [1] 刘颖颖. 基于SD的上海城镇职工养老保险基金可持续发展研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海工程技术大学, 2010.
- [2] 李旭. 社会系统动力学: 政策研究的原理, 方法和应用[M]. 复旦大学出版社, 2009: 210-212.
- [3] 李建伟. 我国人口死亡率的演变特征及其发展趋势估计[J]. 发展研究, 2014(10): 76-86.
- [4] 金赟. 养老保险个人账户的动态平衡研究[J]. 统计研究, 2014(7): 38-42.
- [5] 庄众. 基于系统动力学的老龄化下养老保险问题研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京交通大学, 2009.
- [6] 王平. 基于系统动力学的中国城镇职工基本养老保险可持续运营研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2012.
- [7] 霍家风. 辽宁省职工基本养老保险基金收支平衡的系统动力学仿真研究[D]: [硕士学位论文]. 沈阳: 东北大学, 2012.
- [8] 史玮. 城镇职工基本养老保险基金可持续运营研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东财经大学, 2014.