

上海市城镇养老保险人口预测分析

——基于灰色GM(1,1)模型

常玉奇

上海工程技术大学管理学院, 上海

收稿日期: 2021年9月25日; 录用日期: 2021年10月18日; 发布日期: 2021年10月27日

摘要

运用Excel软件建立GM(1,1)模型, 对上海市2011~2018年城镇职工养老保险参保人员进行预测分析, 预测未来到21世纪中叶上海市城镇职工养老将要保险的参保人数, 为上海市养老保险机构提供参考。文章将采用灰色GM(1,1)预测模型, 对未来上海市城镇参与养老保险的人口进行预测, 预估上海市未来城镇老年人口的变化趋势, 为政府在制定未来发展规划城提供参考, 人口的预测对将来养老保险基金收支的可持续性预算具有非常重要的意义。

关键词

灰色系统, GM(1,1), 养老保险, 预测, 人口

The Population Forecast Analysis of Urban Pension Insurance in Shanghai

—Based on the Gray GM(1,1) Model

Yuqi Chang

School of Management, Shanghai University of Engineering and Technology, Shanghai

Received: Sep. 25th, 2021; accepted: Oct. 18th, 2021; published: Oct. 27th, 2021

Abstract

Using Excel software to establish the GM(1,1) model, the forecast analysis of urban workers' old-age insurance insured persons in Shanghai from 2011 to 2018 is carried out, and the number of insured persons of urban workers' old-age insurance in Shanghai that will be insured in the middle of the 21st century is forecasted, which provides reference for Shanghai old-age insurance in-

stitutions. This paper will use the gray GM(1,1) forecast model to forecast the population of the future urban pension insurance in Shanghai, estimate the changing trend of the urban elderly population in Shanghai in the future, and provide reference for the government to formulate the future development plan city, and the population forecast is of great significance to the sustainable budget of the pension fund income and expenditure in the future.

Keywords

Grey System, GM(1,1), Pension Insurance, Forecast, Population

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

养老保险是一个连续的系统。世界银行认为,养老保险的“可持续性”可视为现在和将来养老保险体系应具备财务稳定性——能够在长期内维持养老金支付的能力[1]。因为养老保险的管理基金在不断地接受参保者个人的长期缴费,对以后养老金作出长期预测,养老保险管理基金需要保持每年积累的总值能够远远大于当年所要兑现的基金给付支出值,才能保障养老保险管理系统的一个可持续性正常运行与健康发展。如果我们能够及时准确地预先对未来每年养老金的给付支出水平做出准确预测并及时为您建立一个足够的管理基金进行积累,就一定可以有效使您的养老保险管理系统在长期内能够保持一个收支平衡的运行状态,能够有效保证未来养老保险的管理基金体系可持续性健康发展。

城镇养老保险的参与人数是一个典型的灰色系统,在少数据、少信息的不确定性背景下,通过对数据的处理、现象的分析,达到预测模型的建立、针对发展趋势的预测、事物的决策、对系统的控制与状态进行有效合理的评估[2]。本文将采用灰色预测模型——GM(1,1)对上海市城镇养老保险参与的人口进行预测,探讨该模型预测城镇职工参与养老保险的可行性,预测的结果也可为有关部门制定相应的防治措施提供一定的依据。此预测方法对分析样本元素含量和分析数据的准确分布没有严格的技术要求,所需要的数据单一,原理简单,适用性强,其最大的技术特点就是不用再需要大量的业余时间使用序列分析数据就可以能够快速进行数据预测,并能够取得较好的数据预测分析效果,在很多领域应用广泛。

2. 上海市城镇养老保险概述

上海的养老保险事业从上个世纪 90 年代以来得到了迅速的发展,上海市城镇职工的缴费意识较强,政府的监管力度强,政府的管理成就巨大,体现在以下几个方面:

2.1. 养老金发放水平不断提高

从平均工资来看,上海统计局发布 2019 年上海市城镇单位就业人员平均工资为 114,962 元,折合每月为 9580 元,比 2018 年增加 9786 元,增长 9.3% [3]。相应的养老金的发放水平也在不断的提高。上海的城镇基本养老金发放水平根据国务院的规定逐年增长,平均养老金从 2001 年的 964 元/年增长至 2014 年的 33,278 元/年,十五年里增长了近 34 倍,充分保障了城镇职工退休后的生活[4]。

2.2. 养老保险覆盖面不断扩大

改革开放以后,越来越多的企业都能参与到养老保险中来,到目前为止养老保险覆盖面扩大到所有

的企业、单位，自雇人士等自由职业者现在也被纳入参与养老保险体系中。2011年7月前，上海市来沪城镇户籍外来人口均统一交费缴纳城镇来沪当地城镇基本居民综合农村医疗保险，简称为“综保”，2011年7月后，外来人口统一交纳缴费额度转为统一缴纳来沪城镇基本综合养老保险，简称为“城保”并在统一缴纳来沪城镇基本养老保险时按照上海市户籍人口同样统一缴费额度标准依次进行统一缴纳，来沪的所有城镇户籍外来人口也被统一缴费纳入来沪城镇基本养老救助养险办理保障体系中。未来，城镇基本综合医疗救助养老保险办理业务整体覆盖面在逐步拓展不断扩大，缴费人数不断增加。“综保”转“城保”政策执行后，意味着之前参与“综保”的职工都被纳入了“城保”中来，参保“城保”的职工急剧上升，上海市城镇基本养老保险参保人数在14年末达到1457.4万人，与2000年相比增加了近一倍。养老保险覆盖面的不断扩大，意味着养老保险能够给更多上海市民和来沪工作的人们保障。

2.3. 养老金替代率不断下降

不同发达国家间的老年职工职业养老金的计算可持续替代率往往也会具有很大一定程度上的差异，同时，社会保险中所需要具有的这种协同性和调节性的作用性也往往意味着不同职业平均收入稳定水平之间也往往具有不同的差异职工职业养老金的计算可持续替代率，即就是职工职业平均收入相对稳定水平越高，养老金计算中的不可替代率相对越低，这一点充分体现和直接突出了在社会养老保险工作中的协同调节作用。从上海市的数据来看，上海市养老金平均替代率在不断降低，从2001年的62.57%下降到2014年的33.19%，15年间下降了近30个百分点。

2.4. 上海社保缴费率居全国之首

目前，上海职工基本养老保险企业缴费率高达21%，上海的城镇职工缴费率居全国之首(《上海社会发展蓝皮书2013》)。五大保险的总缴费率在2016年已经达到45.5%，其中企业总的缴费率达到35%，而全国的平均水平在30%左右。超高的缴费率已经成为中小企业的沉重负担，高的缴费率使上海在一线城市中的社会保险竞争力受到影响。

从以上方面可以看出，对于城镇养老保险人口的预测是很有必要的，只有确定了人口的数量，才能够使得养老保险基金能够实现可持续性发展。

3. 数据来源及方法

3.1. 数据来源

本研究数据来源于2011~2018年《上海市统计年鉴》，其中选取2011~2018年上海市城镇职工基本养老保险参与人数作为分析和预测的指标。数据来源真实、可靠。

3.2. 研究方法

灰色系统理论认为，虽然系统是复杂的，杂乱无章的，但系统是一个整体，是有序的。灰色预测就是基于灰色系统的预测，在现实的实际预测中，多采用的是GM(1,1)模型进行预测，即一阶一元灰色模型预测方法，其中“G”代表Grey，表示灰色，“M”代表Model，表示模型，两个“1”分别表示一阶和一个变量的微分方程模型[5]。

根据灰色系统理论，运用Excel软件建立GM(1,1)模型对2011~2018年上海市城镇职工基本养老保险参与人数数据进行分析。

3.2.1. 级比检验及建模可行性分析

有些数列运用灰色预测模型预测可能会产生很大的误差，这样的序列就不适合运用GM(1,1)建模，

因此在建模之前要进行级比的检验。设原始数据序列为 $x^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(t)\}$ ，级比

$\sigma(k) \in \frac{x^{(0)}(k-1)}{x^{(0)}(k)}$, $k = 2, 3, 4, \dots$ ，级比判断 $\sigma(k) \in \left\{e^{\frac{-2}{n+1}}, e^{\frac{2}{n+1}}\right\}$ ，如果 $\sigma(k)$ 能够落在该区间，就可以进行

预测。否则，需要调整该数列的数据，使得该数列的级比 $\sigma(k)$ 都落在相应的范围内。

3.2.2. GM(1,1)建模

GM(1,1)模型是灰色预测模型的核心点，其建模的过程为：首先，设原始数列为 $x^{(0)}(k)$ ，对原始数列做一次累加形成新的数列为 $x^{(1)}(k) = \sum_{n=1}^k x^{(0)}(t)$, $k = 1, 2, 3, \dots, n$ 。构建数据矩阵 B 及数据向量 Y ，利用最小二乘法求参数 $P = (a, b)^T = (BB^T)^{-1} B^T Y$ ，求出 a, b 。最后求得 GM(1,1)的具体数学表达式。求出对应的预测值。

3.2.3. 模型检验

为了使所建模型能够更好地进行预测，所求得的各项精度指标需要满足规定的条件范围。模型精度等级表如下(见表 1)：

Table 1. GM(1,1) model precision grade table
表 1. GM(1,1)模型精度等级表

精度等级	P	C	ε (avg)
I 级(好)	>95%	<0.35	≤ 0.01
II 级(合格)	>80%	<0.50	≤ 0.10
III 级(勉强合格)	>70%	<0.65	≤ 0.20
IV 级(不合格)	$\leq 70\%$	>0.65	>0.20

3.2.4. 模型的预测

利用检验好的灰色预测模型进行预测。对未来的数列进行预测。

4. 上海市城镇职工养老保险人口预测

上海市城镇职工基本养老保险参保人数数据(2011~2018)为 $X = (902.58, 921.11, 922.43, 936.99, 961.05, 983.9, 1020.68, 1032.08)$ (单位：万人)。由于现有数据变化幅度过大需要进行调整，因此引入二阶弱化算子对原始数据作缓冲处理[6]：

$$XD^2 = XDD = (x(1)d^2, x(2)d^2, \dots, x(n)d^2) \quad (1)$$

其中， $x(k)d^2 = \frac{1}{n-k+1} [x(k)d + x(k+1)d + \dots + x(n)d]$ ($k = 1, 2, \dots, n$)得到二阶缓冲序列

$XD^2 = (995.21, 1000.22, 1005.54, 1011.41, 1017.53, 1023.56, 1029.23, 1032.08)$ 。

在 XD^2 基础上进行灰色系统建模：设 $X^{(0)} = [x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)]$ 为系统输出的非负原始数据序列，为保障数据的有效性和系统内部的规律，因此采用独特的数据预处理方式，对序列 $X^{(0)}$ 进行一阶累加生成，级 1-AGO，得到生成序列 $X^{(1)}$ ，即

$$x^{(0)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i), k = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

灰色微分方程动态模型

$$x^{(0)}(k) + az^{(1)}(k) = b, k=1, 2, \dots, n \quad (3)$$

其中 $z^{(1)}(k)$ 为 $x^{(1)}(k)$ 的紧邻均值生成, 即 $z^{(1)}(k) = 0.5[x^{(1)}(k) + x^{(1)}(k-1)]$, 公式(3)的白化方程为

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = b \quad (4)$$

其中, a 为发展系数, b 为灰色作用量, a 的有效区间是 $(-2, 2)$ 。由最小二乘法求得:

$$\bar{a} = (a, b)^T = (\mathbf{B}\mathbf{B}^T)^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{Y} \quad (5)$$

其中,

$$\mathbf{B} = \begin{Bmatrix} -\frac{1}{2}[x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)] & 1 \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)] & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(n-1) + x^{(1)}(n)] & 1 \end{Bmatrix}, \mathbf{Y} = \begin{Bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{Bmatrix}$$

方程的解即时间响应函数为:

$$\begin{cases} \hat{x}^{(1)}(k+1) = \left(x^{(0)}(1) - \frac{b}{a}\right)e^{-ak} + \frac{b}{a} \\ \hat{x}^{(0)}(k+1) = \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k) \end{cases} \quad (6)$$

为确保所建灰色模型有较高的精度应用于预实践, 首先, 求出 $x^{(0)}(k)$ 与 $\hat{x}^{(0)}(k)$ 的残差 $e(k)$ 、相对误差 Δ_k 和平均相对误差 $\bar{\Delta}$:

$$e(k) = x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k) \quad (7)$$

$$\Delta_k = \left| \frac{e(k)}{x^{(0)}(k)} \right| \times 100\% \quad (8)$$

$$\bar{\Delta} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \Delta_k \quad (9)$$

其次求出原始数据平均值 \bar{x} , 残差平均值 \bar{e} :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x^{(0)}(k) \quad (10)$$

$$\bar{e} = \frac{1}{n-1} \sum_{k=2}^n e^{(0)}(k) \quad (11)$$

最后, 求出原始数据方差 S_1 与残差方差 S_2 的均方差比值 C 和小误差概率 p :

$$S_1 = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n [x^{(0)}(k) - \bar{x}]^2} \quad (12)$$

$$S_2 = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=2}^n [e^{(0)}(k) - \bar{e}]^2} \quad (13)$$

$$C = \frac{S_2}{S_1} \quad (14)$$

$$p = P\left\{|e^{(0)}(k) - \bar{e}|\ < 0.6745S_1\right\} \quad (15)$$

通常所求的 $e(k)$ 、 Δ_k 、 C 值越小, p 值越大, 则模型精度越好, 若 $\bar{\Delta} < 0.01$ 且 $\Delta_k < 0.01$, $C < 0.35$, $p > 0.95$, 则模型精度为一级[7]。根据灰色系统理论, 当 $a \in (-2, 2)$ 且 $a \geq -0.3$ 时, 则所建 GM(1,1)模型则可以用来进行中长期预测。不同维度(或长度)序列建模, 所得的参数 a , b 的值是不一样的, 预测值也不同。为了提高预测精度, 必须筛选适当维数的灰色模型, 同时也可构造等维的新陈代谢模型。

所谓新陈代谢模型, 即由原始序列 $X^{(0)} = [x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)]$ 建模后求得预测值 $x^{(0)}(n+1)$, 将此最新信息加入序列, 并去掉最老信息 $x^{(0)}(1)$ 以保持序列长度不变, 如此反复类推可建立 GM(1,1)模型群。新陈代谢模型充分利用数据所懈怠最新信息, 揭示系统发展趋势, 可获得较高预测精度[8]。

为筛选合适的模型, 选取了 4~7 维上海市城镇职工养老保险参保人口短序列, 建立灰色动态 GM(1,1)模型和新陈代谢 GM(1,1)模型群, 对 2018 年上海市城镇职工养老保险参保人数进行检验性预测, 其预测结果如下(见表 2、表 3):

Table 2. The grey GM(1,1) model predicts the number of insured people in 2018

表 2. 灰色 GM(1,1)模型预测 2018 年参保人数

维度	C 值	预测值(万人)	小概率误差 p	精度等级	相对误差(%)
4 维	0.001	1035.20	1	一级	0.98
5 维	0.014	1035.39	1	一级	0.10
6 维	0.011	1035.43	1	一级	0.09
7 维	0.014	1035.26	1	一级	0.01

Table 3. The grey metabolism GM(1,1) model predicts the number of insured people in 2018

表 3. 灰色新陈代谢 GM(1,1)模型预测 2018 年参保人数

维度	C 值	预测值(万人)	小概率误差 p	精度等级	相对误差(%)
4 维	0.001	1035.14	1	一级	0.10
5 维	0.010	1035.33	1	一级	0.01
6 维	0.300	1046.33	1	一级	0.35
7 维	0.009	1035.34	1	一级	0.01

通过对比表 2、表 3 预测值, 以及与实际值之间的差别, 与新陈代谢模型相比, 7 维灰色模型所建灰色预测基础长期预测结构动态基本模型与实际客观预测值最为可靠且较接近, 发展系数 $a \in (-2, 2)$ 且 $a \geq -0.3$, 故而选用 7 维模型为最优预测模型。通过表 2、表 3 的对比分析, 故而选用 2011~2018 年城镇职工基本养老保险参保人数值建立 7 维灰色动态预测模型进行预测, 模型如下:

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = 172510.95e^{0.00577985k} + 991.3359464 \quad (16)$$

预测结果如下(见表 4):

Table 4. Prediction of the number of urban employees insured by the grey GM(1,1) model in Shanghai from 2018 to 2030
表 4. 灰色 GM(1,1)模型对 2018~2030 年上海市城镇职工养老保险参保人数预测

年份	2011	2012	2013	2014	2015
总人口	902.58	921.11	922.43	936.99	961.05
增加值	-	18.64	1.21	14.56	24.06
增长率(%)	-	2.02	0.13	1.55	2.50
年份	2016	2017	2018	2019	2020
总人口	983.90	1020.68	1032.08	1041.26	1047.30
增加值	22.85	36.78	11.40	9.18	6.04
增长率(%)	2.32	3.60	1.10	0.88	0.58
年份	2021	2022	2023	2024	2025
总人口	1053.37	1059.46	1065.62	1071.79	1078.01
增加值	6.11	6.14	6.18	6.21	6.25
增长率(%)	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58
年份	2026	2027	2028	2029	2030
总人口	1084.26	1090.54	1096.86	1103.22	1109.61
增加值	6.28	6.32	6.36	6.39	-
增长率(%)	0.58	0.58	0.58	0.58	-

为了更好地看出上海市城镇职工 2018~2030 年养老保险参保人数变化趋势以及增长率的变化,因此做出如下总人口和人口增长率折线图(见图 1、图 2)。

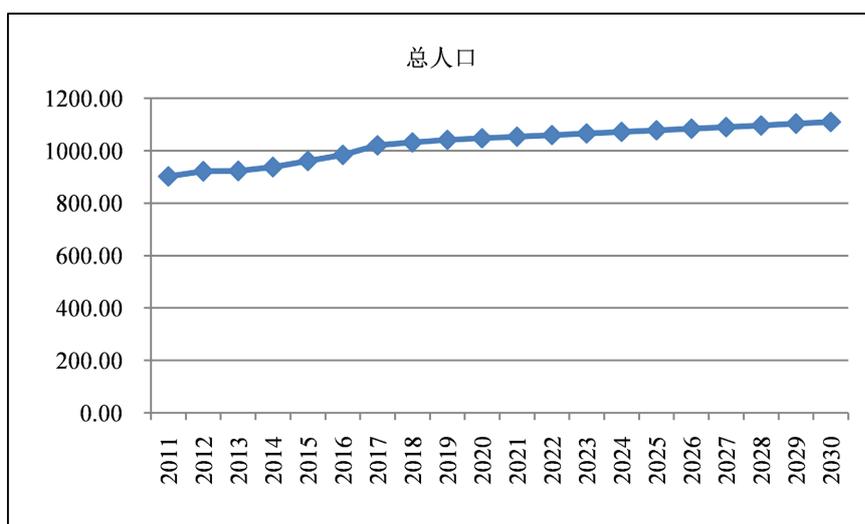


Figure 1. Participants of urban basic endowment insurance in Shanghai
图 1. 上海市城镇基本养老保险参保人员

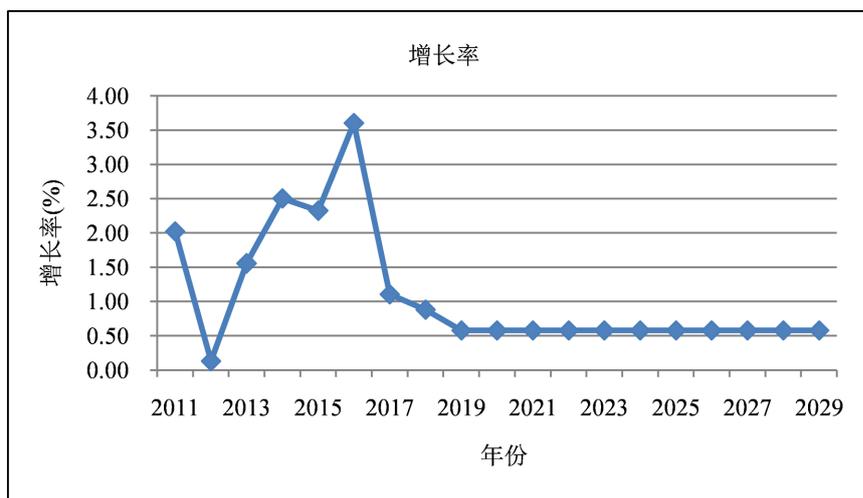


Figure 2. Growth rate trend of urban basic endowment insurance participants in Shanghai
图 2. 上海市城镇基本养老保险参保人员增长率趋势

5. 研究结论及政策含义

目前,虽然有许多预测的方法,但是它们对于数据资料有特定的限制和要求。灰色系统理论是 1982 年由邓聚龙教授提出的,广泛地应用到众多领域中,其具有原始数据样本量小,拟合度高,预测效果好,实用性强等特点,在医药领域方面应用较多。城镇职工养老保险的参与度受到社会发展、经济水平、文化素质等多方面因素的影响,所以本文采用非线性时间序列预测方法中的灰色预测模型 GM(1,1)进行拟合预测。

上海是我国最早进入老龄化社会的城市,也是我国人口老龄化程度最高的大型城市。2017 年,上海市人口老龄化达到了 14.3%,已经超过了联合国的老龄化标准。2020 年,全市常住人口中,60 岁及以上老年人口数量为 581.55 万、占 23.4%;全市户籍人口中,60 岁及以上老年人口数量为 533.49 万、占 36.1%。预计到 2025 年,全市 60 岁及以上常住和户籍老年人口分别将超过 680 万和 570 万。“十四五”期间,高龄化发展趋势将越发明显,预计我国户籍常住人口中 80 岁及以上老年化的人口数量将从目前的 81.98 万迅速增长至达到近 86 万。这一预测分析结论充分揭示并指出上海基本居民养老保险保障系统建设实现健康可持续发展中存在潜伏的最大社会危机——即离退休人员养老抚养问题危机。

城镇职工基本养老保险制度存在的主要问题之一即统筹层次低,仅达到省级,不利于社会公平和效率目标的实现,也有损养老保险体系的可持续性。但由于我国目前各地区的经济发展不平衡、各地区的养老保险政策和收支情况不均衡、企业和机关事业单位养老保险制度并轨尚未完成,实现全国统筹仍然面临较大的挑战。

我国实行全国统筹的时间点,是要在养老制度并轨基本完成的情况下进行的。实现全国统筹,也就是在全国各地区实现职工养老保险政策的基本统一,在目前养老金并轨的过程中,转轨成本的承担责任划分尚不明晰,倘若立即实行全国统筹,则会引起各地区转轨成本承担主体更加模糊。因此,在基本完成养老制度并轨的前提下,可以逐步提高养老保险统筹层次,实现全国统筹。

实现全国统筹后,养老保险的收缴和支付责任逐渐收归中央,但仍需要地方政府配合以足额征收养老保险费;此外,为了保证养老保险费征收的安全性和透明性,对中央相关部门也需要有效监管。因此,必须建立一套行之有效的监管体系,以保证中央和地方政府在养老保险费的征收和支付过程的合理合法性在完成养老保险的全国统筹后,基本可以建立起养老保险的预算制度。在此基础上,建议财政出资制

度参照日本的经验,由“财政兜底”制转变为“配比出资”制,支付环节“以收定支”以自求平衡,仍有不足的部分由发行国债进行补充,即“前段补助,后端自求平衡”。这种机制下,财政出资不再以最终兜底的形式被动承担风险,而是在筹资环节与企业和个人共同出资,每年财政按照一定的配比进行出资,并可以根据经济形势和养老保险预算进行微调。

配比出资一来将财政风险控制一定的范围内,从制度根本上解决财政兜底带来的无底洞,养老保险制度的可持续性得到保障;二来从“暗补”模式变为“明补”模式,财政补助的数额和承担的责任明确而且透明,有利于实现公平性的目标;三来自求平衡的模式有利于鼓励调动政府征缴和监管的积极性,减少制度运行的不必要的损耗,有利于制度效率性的目标实现。

参考文献

- [1] 罗伯特·霍尔茨曼,理查·德欣茨. 21 世纪的老年收入保障: 养老金制度改革国际比较[M]. 郑秉文,译. 北京: 中国劳动社会保障出版社, 2006.
- [2] 刘峻. 灰色预测控制对燃煤锅炉氮氧化物排放控制的应用[D]: [硕士学位论文]. 北京: 华北电力大学, 2015.
- [3] 上海本地宝发布《2019 上海职工平均工资官方标准公布月均 9580 元》[EB/OL]. <http://sh.bendibao.com/news/2020630/226022.shtml>, 2020-06-30.
- [4] 乐菡. 人口老龄化对上海职工基本养老保险的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 上海社会科学院, 2013.
- [5] 丁海峰. 上海市医护比例发展现状及趋势预测研究[J]. 中国医疗管理科学, 2021, 11(1): 33-37.
- [6] 刘思峰, 谢乃明, 等. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [7] 王宇熹, 汪泓, 肖峻. 基于灰色 GM(1,1)模型的上海城镇养老保险人口分布预测[J]. 系统工程理论与实践, 2010, 30(12): 2244-2253.
- [8] 邓聚龙. 灰色系统理论教程[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1990.