

基于灰色GM(1,1)模型的上海重度人口老龄化趋势预测

李佳容

上海工程技术大学管理学院, 上海

收稿日期: 2023年11月22日; 录用日期: 2023年12月19日; 发布日期: 2023年12月28日

摘要

人口老龄化是指人口中老年人比重日益上升的现象, 尤其是在已经达到老年状态的人口中, 老年人口比重继续提高的过程。对上海老年人口的调查研究显示, 上海早已步入重度老龄化社会, 且增长速度较快。运用灰色预测模型GM(1,1)对上海65岁以上人口进行预测, 结果显示, 上海2030年、2035年65岁及以上人口预测值为694.1821万人、937.18754万人。检验表明, 该模型可靠性高。最后, 根据模型(1,1)的实证结果分析, 给出相应的对策建议, 即实施更为灵活的生育政策、提升养老服务体系、打造数字化老年生活, 加强医疗体系建设以及建设多元化的养老金体系。

关键词

灰色模型, 老龄化, 人口预测

Prediction of Heavy Population Aging Trend in Shanghai—Based on Gray GM(1,1) Modeling

Jiarong Li

School of Management, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai

Received: Nov. 22nd, 2023; accepted: Dec. 19th, 2023; published: Dec. 28th, 2023

Abstract

Population aging refers to the phenomenon of the increasing proportion of elderly people in the population, especially the process of continuing to increase the proportion of elderly people in the

population that has already reached the state of old age. A survey and research on the elderly population in Shanghai shows that Shanghai has long stepped into a heavily poisoned aging society, and the growth rate is fast. Using the gray prediction model GM(1,1) to predict the population over 65 years old in Shanghai, the results show that the predicted value of the population aged 65 years old and above in 2030 and 2035 in Shanghai is 6,941,821,000 and 9,371,875,440,000 people. The test shows that the model is highly reliable. Finally, based on the analysis of the empirical results of the model (1,1), the corresponding countermeasure suggestions are given, namely, implementing a more flexible fertility policy, upgrading the pension service system, creating a digital senior life, and strengthening the construction of the medical system.

Keywords

Gray Modeling, Aging, Population Projections

Copyright © 2023 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/>



1. 引言

人口老龄化问题已经成为影响我国经济发展和社稳定的重要难题，根据世卫组织和联合国标准，当一个国家 60 岁以上人口占总人口比重超过 10% 或 65 岁以上人口比重超过 7%，即步入轻度老龄化社会；60 岁以上人口比重超过 20% 或 65 岁以上人口比重超过 14%，即步入中度老龄化社会；60 岁以上人口占总人口比重超过 30% 或 65 岁以上人口比重超过 21%，即步入重度老龄化社会[1]。

中国预计将于 2035 年前后步入重度老龄化社会。但自 2017 年起，上海 65 周岁及以上人口达 317.67 万人，占总人口比重 21.83%，标志上海早已步入重度老龄化社会，见表 1。基于此，本研究通过《上海统计年鉴》《中国统计年鉴》公布的相关数据，构建 GM(1,1) 灰色预测模型，对上海市未来 15 年人口老龄化发展趋势进行预测。

Table 1. Number of elderly population in Shanghai, 2011~2021

表 1. 上海 2011~2021 年老年人口数

年份	上海		全国	
	65 岁及以上人口(万人)	比重(%)	65 岁及以上人口(万人)	比重(%)
2021	402.37	26.95	20000	14.2
2020	382.45	25.92	19064	13.5
2019	361.66	24.61	17603	12.6
2018	336.90	23.04	16658	11.9
2017	317.67	21.83	15831	11.4
2016	299.02	20.62	15003	10.8
2015	283.38	19.64	14386	10.5
2014	270.07	17.92	13755	10.1

Continued

2013	256.63	12.92	13161	9.7
2012	245.27	17.19	12714	9.4
2011	235.21	16.57	12288	9.1

资料来源：《上海统计年鉴》。

2. 文献综述

人口老龄化在我国具有普遍性，但不同省份的老龄化程度并非处在同一层面上，上海是我国最早迈入老龄化社会的城市，并且老龄化增速非常快，老龄化水平也远超全国。作为我国老龄化的典型城市，上海也逐渐成为了学者们关注的焦点[2]。

从老龄化的相关研究来看，目前国内关于上海老龄化的研究主要分为三大主题，一是探讨老龄化对经济发展[3]、医保基金[4]以及消费[5]等的影响。二是基于上海老龄化的现状[6]，从其问题出发[7]，探讨应对老龄化的对策[8]，三是基于上海老龄化视角或以上海人口老龄化为背景对其影响的不同领域进行关联分析[9] [10] [11] [12]。目前总体关于上海老龄化发展趋势及其影响因素的研究较为匮乏，仅有部分学者运用灰色模型和主成分分析法从宏观层面进行分析[13]。

综合来看，关于老龄化的研究比较丰富，但基于 GM(1,1)模型从人口老龄化视角预测上海老龄人口发展趋势的研究相对单薄，因此本文将构建 GM(1,1)灰色预测模型，对上海市未来 15 年人口老龄化发展趋势进行预测，并希望能为上海市相关部门应对重度老龄化提供一定政策参考。

3. 老年人口 GM(1,1)模型构建

3.1. 灰色预测与数据来源

灰色预测法是邓聚龙先生提出的一种对含有不确定性因素的系统进行预测的方法，尤其适用于那些数据量非常有限，数据的完整性和可靠性都相对较低的数据序列。通过使用微分方程，灰色预测模型能够深入挖掘数据的内在本质，从而进行有效的预测。这种模型的优点在于，它需要的建模信息很少，精度较高，运算相对简单，易于检验。此外，它不需要考虑数据的分布规律或变化趋势等因素，这使得灰色预测模型在处理一些复杂数据时具有很大的优势。在面对大量复杂数据时，灰色预测模型可以发挥其独特的作用，通过捕捉数据间的微妙关系和趋势，揭示出隐藏在数据背后的规律和趋势。

相对于其他算法模型，GM(1,1)模型在处理人口数据时有一些特定的优势。人口数据通常受到多种因素的影响，而 GM(1,1)模型在小样本数据上表现良好。由于人口数据可能受到政策、经济、社会等多方面的因素制约，GM(1,1)的小样本适应性使其能够更好地适应人口数据的复杂性。此外，GM(1,1)模型在趋势建模方面具有较强的能力。当涉及到人口老龄化发展趋势预测时，该模型能够有效地模拟人口数量的变化趋势，尤其对于具有规律性的数据。因此，灰色系统在预测老年人口这种不确定性较大的离散型数据时，能够展现出极高的准确性和可靠性。[14]本文采用的数据来自《上海统计年鉴》，采用《上海统计年鉴数据(2015~2022 年)》公布的数据，以 65 岁及以上老年人口数作为原始数列，通过建立灰色 GM(1,1)模型对未来 15 年的老年人口进行预测。

3.2. 模型可行性分析

在实证分析前为确保本研究的预测模型可行，预先对该组数据进行了可行性分析。将上海 2015~2021 年 65 岁及以上老年人口作为原始数列 $X^{(0)} = \{X^{(0)}(1), X^{(0)}(2), \dots, X^{(0)}(7)\} = \{283.38, 299.02, \dots, 402.37\}$ 。

通过累加形成累加生成列 $X^{(1)} = \{X^{(1)}(1), X^{(1)}(2), \dots, X^{(1)}(7)\} = \{283.38, 582.4, \dots, 2383.45\}$ 。再通过原始序列 $X^{(0)}$ 进行极比检验，利用公式

$$\sigma(k) = \frac{X^{(0)(k-1)}}{X^{(0)}(k)} = (0.947696, 0.941291, 0.942921, 0.931538, 0.94564, 0.950493)$$

。已知原始序列 $X^{(0)}$ 的极比满足 $\sigma(k) \in \left(e^{\left(-\frac{2}{n+1}\right)}, e^{\left(\frac{2}{n+1}\right)} \right)$ 时，序列 $X^{(1)}$ 可做 GM(1,1) 建模。根据计算结果可知， $\sigma(k) \in (0.9315, 0.9504)$ ，

在(0.84648, 1.18136)之间，故可以用 $X^{(0)}$ 做满意的 GM(1,1) 建模。

3.3. 建立模型

灰色预测理论中，GM(1,1)模型的基本形式为 $X^{(0)}(k) + az^{(1)}(k) = b$ ，时间响应序列函数是

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = \left(x^{(0)}(1) - \frac{\hat{b}}{\hat{a}} \right) e^{-\hat{a}k} + \frac{\hat{b}}{\hat{a}}$$

。利用最小二乘法求参数列 $P = (a, b)T$;

$$\hat{P} = (\hat{a}, \hat{b})^T = (BB^T)^{-1} B^T Y = \begin{pmatrix} -0.0600298 \\ 273.6480978 \end{pmatrix}$$

，于是得到 $\hat{a} = -0.0600298$ ， $\hat{b} = 273.6480978$ 。再将 \hat{a} 和 \hat{b} 代入时间响应序列函数，得到 $\hat{x}^{(1)}(k+1) = (283.38 + 4558.54)e^{(0.0600298k)} - 4558.54$ 。然后根据该式对 k 进行赋值，将 0~21 代入，则获得上海 2015~2035 年老年人口预测表，见表 2。

Table 2. Projected elderly population in Shanghai, 2015~2035

表 2. 上海 2015~2035 年老年人口预测值

年份	预测值	实际值
2015	283.38	283.38
2016	299.5607	299.02
2017	318.094	317.67
2018	337.7739	336.90
2019	358.6713	361.66
2020	380.8617	382.45
2021	404.4249	402.37
2022	429.4459	
2023	456.015	
2024	484.2278	
2025	514.1861	
2026	545.9979	
2027	579.7778	
2028	615.6476	
2029	653.7366	
2030	694.1821	
2031	737.1299	

Continued

2032	782.7348
2033	831.1612
2034	882.5836
2035	937.18754

3.4. 模型精度检验

灰色模型的建模优劣精度通常由精确值、后验差比值以及模型精度等级综合判定。其中模型精度等级为1级(好)时, $P > 95\%$, $C < 0.35$, $\varepsilon(\text{avg}) \leq 0.01$; 模型精度等级为2级(合格)时, $P > 80\%$, $C < 0.50$, $\varepsilon(\text{avg}) \leq 0.10$; 模型精度等级为3级(勉强)时, $P > 70\%$, $C < 0.65$, $\varepsilon(\text{avg}) \leq 0.20$; 模型精度等级为4级(不及格)时, $P \leq 70\%$, $C > 0.65$, $\varepsilon(\text{avg}) > 0.20$ [15]。

根据模型数据可得到相对残差的最大值小于 0.01, 因此该模型的拟合效果较好。且原始值的残差的方差 $S_1 = 43.88032654$, 残差的均值 $\bar{E} = 0.097662$, 方差 $S_2 = 1.675636$ 得出后验差 $C = \frac{S_1}{S_2} = 0.038187$, 因为 $0.67449S_1 = 29.59683049$ (0.67449 为标准正态累积分布函数的概率为 75% 时的反函数), 所有的 $|E(k) - \bar{E}|$ 均小于 29.59683948, 故小概率误差 $P = \{|E(k) - \bar{E}| < 0.67449S_1\} = 1$ 。

综上所述本模型的 $P > 0.95$ 且 $C < 0.35$, 可知模型的预测等级较好, 可以用此灰色预测模型对上海 65 岁以上人口进行趋势预测。最后可以得出 2030 年上海 65 岁以上老年人口预测值为 694.1821 万人, 2035 年上海 65 岁以上老年人口预测值为 937.18754 万人, 具体见表 2。

根据灰色系统模型得到相应的 2015~2035 年共 20 年的拟合散点图(图 1), 从图中可以看出前五年的预测值基本与实际值重合, 可以看出预测结果与实际结果的误差很小, 也能说明数据的可信度很高。[16]

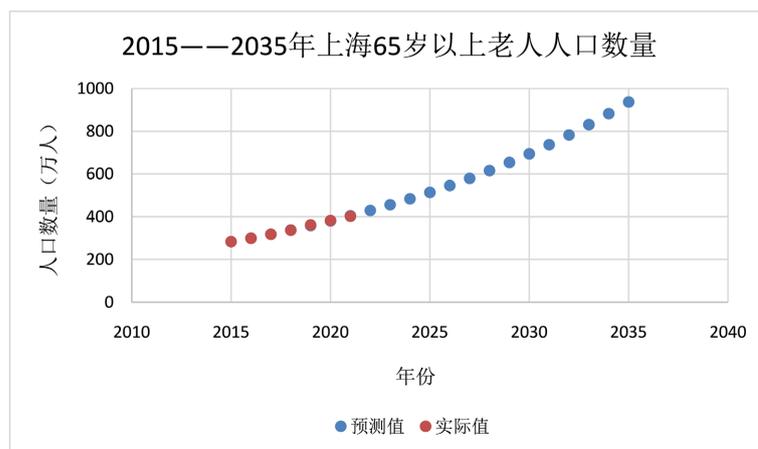


Figure 1. Number of elderly population in Shanghai, 2015~2035

图 1. 上海 2015~2035 年老年人口数量

4. 对策建议

一是实施更为灵活的生育政策。包括提高生育津贴、扩大产假和育儿假等措施, 以鼓励年轻夫妇生育。提供直接的生育奖励, 包括生育津贴、医疗费用减免、税收优惠等, 以激励年轻夫妇生育。提供更具有弹性和充裕的产假, 同时鼓励父亲参与育儿, 以减轻家庭经济负担和促进家庭共同责任。提供子女教

育资金或减免学费等支持，减轻家庭因子女教育负担而犹豫生育的顾虑。优化医疗服务，提供高质量的产前、产后医疗服务，确保孕妇和新生儿的健康，降低生育的医疗风险。改善育婴环境，建设更多的育婴设施，包括托儿所和婴儿室，以减轻年轻父母的育儿压力。建立公平的职业发展机会，确保女性在职场能够有更好的职业发展机会，减少因职业原因而推迟生育的压力。此外针对单亲家庭可以提供额外的经济和社会支持，以鼓励这部分人群也能够更容易地选择生育。

二是提升养老服务体系。加大对社区养老机构的投入，提高护理人员的培训水平，推动建设更多的老年活动中心，以满足老年人社交和娱乐需求。加强社区养老基础设施建设，投资建设更多、更现代化的社区养老中心，包括康复设施、健身房、文娛活动场所等，以满足老年人多样化的需求。并且提高护理人员和服务人员的专业水平，通过培训课程加强他们对老年人健康、心理和社交需求的理解，提升服务质量。推动社区志愿者服务，设立志愿者培训计划，让更多年轻人参与到老年人关爱工作中，提供陪伴、帮助购物、医疗陪同等服务。

三是打造数字化老年生活。推广远程医疗服务，让老年人能够在线咨询医生、预约医疗服务，以及监测健康状况，提高医疗资源的利用效率。提供易于使用的健康管理应用，帮助老年人记录健康数据、管理用药，同时定期提供健康建议和警示，以促进健康生活。创建专属于老年人的社交平台 and 在线社区，促进他们之间的互动、分享和支持，降低社交孤立感。此外可以鼓励建立老年大学或打造数字化学习平台，提供学习资源，包括兴趣班、健康知识课程等，以鼓励老年人持续学习，提升他们的科技应用能力。

四是加强医疗体系建设。发展老年医学专业，建设老年友好型医疗机构，使其更适应老年人需求，包括友好的环境设计、舒适的病房、便利的交通和通道。发展远程医疗服务，包括在线问诊、远程监测、远程药物配送等，以方便老年人在家中获取医疗服务，尤其是在偏远地区的老人。强化慢性病管理，通过数字化健康档案和定期追踪，提供个性化的慢性病管理计划，减轻老年人的医疗负担。推进医疗与社会福利、康复服务的综合发展，形成老年人健康全程管理的服务体系，提供从预防到治疗的全面服务。加强药物管理，提供便捷的配药服务，并推动康复辅助用具的研发和普及，以提高老年人的生活质量。与社区建立更为紧密的协作关系，通过社区医疗中心提供基础医疗服务，减轻大医院的压力，同时方便老年人就近就医。

五是建设多元化的养老金体系。提高社会养老保险的覆盖率和福利水平，确保足够的基本养老金，以满足老年人的基本生活需求。完善社会养老保险体系，鼓励个人参与商业养老保险，确保老年人有足够的经济来源，减轻社会养老负担。推动发展个人商业养老保险市场，为个体经营者和自由职业者提供更多选择，增加养老金来源。鼓励金融机构推出多样化的养老金产品，包括长寿险、逐年递增型养老金产品等，以满足不同需求。探索养老金提取的灵活方式，如分期领取、一次性领取或定期领取，以更好地适应老年人的个体差异和实际需求。应优化养老金资金运作方式，寻求更好的投资渠道，提高养老金的实际收益，保障其长期可持续发展。

参考文献

- [1] 陆杰华, 林嘉琪. 重度老龄化社会的人口特征、风险识别与战略应对[J]. 中国特色社会主义研究, 2023(1): 59-68.
- [2] 严宇珺, 严运楼. 上海人口老龄化发展趋势及其影响因素——基于 GM(1,1)和主成分分析[J]. 中国老年学杂志, 2021, 41(14): 3093-3098.
- [3] 春燕, 郭海生, 王灿. 上海人口老龄化如何影响经济社会发展[J]. 上海经济研究, 2019(8): 51-63. <https://doi.org/10.19626/j.cnki.cn31-1163/f.2019.08.007>
- [4] 徐丽. 老龄化趋势给医保基金带来的挑战及对策分析——以上海为例[J]. 经济问题探索, 2005(12): 56-60.
- [5] 钱婷婷. 上海人口老龄化对消费水平的影响研究[J]. 西北人口, 2016, 37(6): 78-85. <https://doi.org/10.15884/j.cnki.issn.1007-0672.2016.06.011>

-
- [6] 王蓓. 上海老龄化社会的特点、应对及其思考[J]. 中国老年学杂志, 2015, 35(2): 532-534.
- [7] 詹运洲, 吴芳芳. 老龄化背景下特大城市养老设施规划策略探索——以上海市为例[J]. 城市规划学刊, 2014(6): 38-45.
- [8] 于宁. 上海人口老龄化进程中的挑战与对策研究——基于人口学和经济学的视角[J]. 上海经济研究, 2008(3): 78-88. <https://doi.org/10.19626/j.cnki.cn31-1163/f.2008.03.014>
- [9] 王方兵, 吴瑞君, 桂世勋. 老龄化背景下国外老年人住房发展及经验对上海的启示[J]. 兰州学刊, 2014(11): 116-125.
- [10] 陆歆弘. 上海人口老龄化的空间分布及其与居住环境的协调度研究[J]. 现代城市研究, 2013(10): 94-98.
- [11] 彭小辉, 史清华, 晋洪涛. 基于人口老龄化视角的城乡户籍一体化研究——以上海为例[J]. 上海交通大学学报(哲学社会科学版), 2012, 20(6): 47-54. <https://doi.org/10.13806/j.cnki.issn1008-7095.2012.06.012>
- [12] 于宁. 少子老龄化背景下的低龄老人代际负担——以上海为例[J]. 社会观察, 2008(8): 16-18.
- [13] 严宇珺, 严运楼. 上海人口老龄化发展趋势及其影响因素——基于 GM(1,1)和主成分分析[J]. 中国老年学杂志, 2021, 41(14): 3093-3098.
- [14] 杜露, 王沛田, 曹晨晔. 山西省人口老龄化预测——基于灰色 GM(1,1)模型[J]. 经济研究导刊, 2022(18): 41-43.
- [15] 李艳茹, 李蒙, 刘爽. 上海市出生人口发展趋势预测及影响因素——基于 GM(1,1)灰色预测模型[J]. 经济研究导刊, 2022(24): 72-74.
- [16] 姚文华, 温馨. 基于灰色系统模型的人口预测分析[J]. 牡丹江教育学院学报, 2023(3): 107-110.