

基于GM(1,1)灰色预测模型的上海市机构养老服务供给情况预测分析

肖雨

上海工程技术大学, 上海

收稿日期: 2022年8月7日; 录用日期: 2022年8月29日; 发布日期: 2022年9月13日

摘要

本文旨在研究上海市机构养老服务供给预测, 回顾2010~2019年上海机构养老服务供给情况, 预测分析2020~2025年上海机构养老服务发展趋势, 为机构养老服务发展提供数据支持。方法: 构建GM(1,1)模型预测上海机构养老服务供给情况, 推断供给的变化趋势。结果: 2020~2025年, 上海机构养老服务供给持续增长, 但是养老机构数量以及床位数量处于较低水平且增速未达到十年前的平均增速。结论: 今后仍要加强机构养老服务供给增长速度, 提高床位利用率, 鼓励多元主体参与养老服务, 优化养老服务资源的配置, 确保养老服务的高质量发展。

关键词

机构养老服务, 灰色系统理论, GM(1,1)灰色预测模型

Predictive Analysis of Supply of Institutional Pension Service in Shanghai Based on GM(1,1) Gray Model

Yu Xiao

Shanghai University of Engineering and Science, Shanghai

Received: Aug. 7th, 2022; accepted: Aug. 29th, 2022; published: Sep. 13th, 2022

Abstract

This paper focuses on studying the supplies forecast of institutional pension service in Shanghai, reviewing the supply of institutional pension service in Shanghai from 2010 to 2019, predicting

and analyzing the development trend of institutional pension service in Shanghai from 2020 to 2025, and providing data support for the development of institutional pension service. Methods: A GM(1,1) model was constructed to predict the supply of institutional pension service in Shanghai, and to infer the changing trend of supply. Results: From 2020 to 2025, the supply of institutional pension service in Shanghai continued to grow, but the number of pension service and the number of beds were at a low level and the growth rate that did not reach the average growth rate ten years ago. Conclusion: In the future, it is still necessary to strengthen the growth rate of institutional pension service supply, improve the utilization rate of beds, encourage multiple subjects to participate in elderly care services, optimize the allocation of elderly care service resources, and ensure the high-quality development of pension service.

Keywords

Institutional Pension Service, Grey System Theory, GM(1,1) Gray Model

Copyright © 2022 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

为了加快机构养老服务的建设和连带产业发展,上海市先后出台了一些鼓励和扶持的机构养老发展的政策法规,基本涵盖了支持机构养老服务建设、规范机构生活照料和医疗、康复以及文化生活服务等多方面内容,为机构养老服务的发展提供了较好的制度保障。《上海市国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要》中也提到,“持续扩大多层次养老服务供给、优化床位供给结构、加强闲置空间的统筹利用。” [1]。

目前上海市机构养老的发展也面临诸多急需解决的问题,如机构养老服务供给与需求发展的不均衡,供求矛盾十分突出:一方面,从数量上来看,机构养老总体上表现为床位紧缺。截止 2019 年 12 月 31 日,全市共有机构养老服务 724 家,床位数共计 15.16 万张,占老年总人口的 2.96% [2]。而根据上海市老龄委和上海市人口计生委联合举行的新闻发布会公布的户籍老年人日常生活情况及养老意愿的调查显示,有 10.75% 的老人希望住机构养老服务。这表示上海市机构养老存在很大的潜在需求,假设全部机构养老服务的床位都住满,仍有近 8% 有住进机构养老服务的意愿但因为各种原因而没有入住的老年人口,但事实是某些机构养老服务的闲置率仍然较高,机构养老服务供给在数量上远远不能满足需求,预测上海机构养老服务供给情况,推断供给的变化趋势适应需求是必要的。

灰色系统理论以少量、不完全信息的不确定性系统为研究对象,由于公开渠道获取的信息有限,符合灰色系统理论的应用条件[3]。本研究对 2010~2019 年上海市机构养老服务供给状况进行回顾,并构建灰色系统理论 GM(1,1)模型预测 2020~2025 年的机构养老服务供给发展趋势,分析存在的问题,以期促进机构养老服务的发展,满足日益增长的需求水平。

2. 资料来源与方法

2.1. 资料来源

数据资料来源于 2010~2019 年《上海市统计年鉴》,基于现有资料,在未考虑今后政策调整的前提下,参照机构养老服务中的机构数和床位数指标数据,基于历史发展趋势,对未来上海机构养老服务供

给情况进行预测。

2.2. 方法

GM(1,1)模型是灰色系统理论的预测模型之一,最早由我国学者邓聚龙提出,基本思想是对原始序列进行一次累加,弱化其内在的随机性,生成具有较好规律性的累加序列,并基于生成序列建立微分方程,拟合系统规律求得灰参数,从而构建适合外推应用的预测方程模型[4]。该模型对数据资料的分类、样本含量及概率分布等没有严格要求,在对具有单调变化趋势的短期时间序列预测时能达到较高的预测精度,目前已广泛应用于资源配置、卫生费用和疾病控制等领域预测[5],由于本研究以机构养老服务供给情况作为研究对象,其中包括机构数量和床位数量,样本量为连续的十年时间序列的二十个数据值、数据的变化规律性较差,GM(1,1)模型对于样本数量少、规律性不强的信息具有较好的拟合效果,并且预测的精度高,而GM(2,1)、DGM和Verhulst模型常用于非单调的时间序列或者是饱和的S型序列[6]。因此,采用GM(1,1)模型对我国机构养老服务供给情况进行预测,既可探索模型的适应性,为后续应用提供参考,同时基于研究对象的数据特征,通过对原始数据累加序列构造预测方程,能有效减少无规律数据对整体的影响,增强预测结果的准确性和说服力。

3. GM(1,1)模型构建

3.1. 模型可行性分析

级比检验:

(1) 序列构造: 养老机构数量原始值序列见式 1:

$$X^{(0)} = \{X^{(0)}(1), X^{(0)}(2), X^{(0)}(3), \dots, X^{(0)}(N)\} \quad (1)$$

先将《上海统计年鉴》中 2010~2019 年的第二十二篇主要年份养老服务表格中的机构养老服务指标机构数(家)、床位数(万张)整理出来放到 Excel 表中如表 1, 构成原始序列。

Table 1. 2010~2019 Number of institutional pension service institutions (a) and number of beds (10,000)

表 1. 2010~2019 年机构养老服务机构数(家)、床位数(万张)

	年份	机构数(家)	床位数(万张)
1	2010	625	9.78
2	2011	631	10.1896
3	2012	631	10.5215
4	2013	631	10.8364
5	2014	660	11.49
6	2015	699	12.6
7	2016	702	13.28
8	2017	703	14.04
9	2018	712	14.42
10	2019	724	15.16

(2) 级比检验, 见式(2):

$$\sigma(k) = \frac{X^{(0)}(k-1)}{X^{(0)}(k)} \quad (2)$$

$$\sigma(k) \in \left(e^{-\frac{2}{n+1}}, e^{\frac{2}{n+1}} \right) \quad (3)$$

根据式(2)计算出级比,再根据式3计算出级比范围为0.833752918~1.199396102,判断级比值是否在此范围内,在此范围输出1,不在输出0,结算结果显示全都为1在此范围内,故可以使用 $X^{(0)}$ 作满意的GM(1,1)建模。如表2所示:

Table 2. Level ratio test results

表 2. 级比检验结果

	年份	级比	级比判断
1	2010	0.990491284	1
2	2011	1	1
3	2012	1	1
4	2013	0.956060606	1
5	2014	0.944206009	1
6	2015	0.995726496	1
7	2016	0.998577525	1
8	2017	0.987359551	1
9	2018	0.983425414	1
10	2019		
	范围	0.833752918	1.199396102

3.2. GM(1,1)建立模型

(1) 构建累加序列

$$X^{(1)}(N) = \begin{cases} X^{(0)}(1), N = 1 \\ X^{(1)}(N-1) + X^{(0)}(N), N = 2, 3, 4, \dots, N \end{cases} \quad (4)$$

$$X^{(1)} = \{X^{(1)}(1), X^{(1)}(2), X^{(1)}(3), \dots, X^{(1)}(N)\} \quad (5)$$

运用式4将原始序列进行累加处理生成算子得 $X^{(1)}$,即养老机构数量累加值序列,如表3。

(2) 构造矩阵 B 及数据向量 Y

矩阵 B 以及向量 Y 计算公式如式(6)、(7)

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(X^{(1)}(1) + X^{(1)}(2)) \\ -\frac{1}{2}(X^{(1)}(2) + X^{(1)}(3)) \\ \vdots \\ -\frac{1}{2}(X^{(1)}(N-1) + X^{(1)}(N)) \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$Y_n = \begin{bmatrix} X^{(0)}(2) \\ X^{(0)}(3) \\ \vdots \\ X^{(0)}(n) \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\hat{X}^{(0)}(t) = \begin{cases} \hat{X}^{(0)}(t), t=1 \\ \hat{X}^{(1)}(t) - \hat{X}^{(1)}(t-1), t \geq 2 \end{cases} \quad (8)$$

根据(1)中计算出的累加算子代入式(6)计算数据矩阵 B ，矩阵 Y 为式 7 构成的原始序列数据。式(6)、式(7)中的数由式(8)计算获得。如表 3。

Table 3. Construction of data matrix B and data vector Y

表 3. 构造数据矩阵 B 及数据向量 Y

	年份	累加算子	矩阵 B	矩阵 Y
1	2010	625	-940.5	631
2	2011	1256	-1571.5	631
3	2012	1887	-2202.5	631
4	2013	2518	-2848	660
5	2014	3178	-3527.5	699
6	2015	3877	-4228	702
7	2016	4579	-4930.5	703
8	2017	5282	-5638	712
9	2018	5994	-6356	724
10	2019	6718		

(3) 最小二乘估计求参数列 $\hat{P} = \begin{bmatrix} a \\ u \end{bmatrix}$

$$\hat{P} = \begin{bmatrix} a \\ u \end{bmatrix} = (BB^T)^{-1} B^T Y_n \quad (9)$$

根据(2)计算出的 B 、 Y 代入式 9，计算出 $a = -0.019631815$ ， $u = 606.6690231$ 。

(4) 根据(3)计算出来的 a 、 u 建立模型，如式(10)：

$$X^{(0)}(k) - 0.019631815z^{(1)}(k) = 606.6690231 \quad (10)$$

将式 10 代入式 11，解得时间响应序列为式(12)：

$$\hat{X}^{(1)}(k+1) = \left(X^{(0)}(1) - \frac{\hat{u}}{\hat{a}} \right) e^{-\hat{a}k} + \frac{\hat{u}}{\hat{a}} \quad (11)$$

$$\hat{X}^{(1)}(k+1) = 31527.3402e^{0.019631815} - 30902.3402 \quad (12)$$

(5) 求生成数列值 $\hat{X}^{(1)}(k+1)$ 及拟合值 $\hat{X}^{(0)}$

根据式(12)计算出来的时间响应序列，进行累减计算得到拟合值，如表 4。

Table 4. Calculation of fitted value
表 4. 拟合值计算

	年份	X(1): 时间响应序列	X'(0): 累减得还原值	X(0): 原始序列
0	2010	625	625	625
1	2011	1250.054308	625.0543077	631
2	2012	1887.500808	637.4465008	631
3	2013	2537.585187	650.0843788	631
4	2014	3200.558	662.9728128	660
5	2015	3876.67477	676.1167701	699
6	2016	4566.196087	689.5213166	702
7	2017	5269.387706	703.1916189	703
8	2018	5986.520651	717.1329456	712
9	2019	6717.871321	731.3506701	724

3.3. 模型可靠性检验

(1) **残差检验:** 相对残差见式(13):

$$\Delta(\varepsilon) = \left| \frac{X^{(0)}(t) - \hat{X}^{(0)}(t)}{X^{(0)}(t)} \right| \quad (13)$$

根据式(13)计算相对残差如表 5 所示, 当平均相对残差小于 0.2 时, 模型通过残差检验, 通过计算精度表 5 可知模型精度较高, 所以该模型可进行预测。

Table 5. Residual test
表 5. 残差检验

	残差	相对残差	精度
0	0	0	100.00%
1	5.9456923	0.0094	99.06%
2	-6.446501	-0.01	98.98%
3	-19.08438	-0.03	96.98%
4	-2.972813	-0.005	99.55%
5	22.88323	0.0327	96.73%
6	12.478683	0.0178	98.22%
7	-0.191619	-3E-04	99.97%
8	-5.132946	-0.007	99.28%
9	-7.35067	-0.01	98.98%
	平均相对残差	-3E-04	98.77%

(2) **后验差检验:** 原始序列数据离差见式(14):

$$S_1 = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (X^{(0)}(t) - \hat{X}^{(0)}(t))^2}{n-1}} \quad (14)$$

$$S_2 = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (\varepsilon(t) - \bar{\varepsilon}(t))^2}{n-1}}$$

后验差比值 C 如式(15)

$$C = \frac{S_2}{S_1} \quad (15)$$

小误差概率 P 如式(16)

$$P = P\{|E(k) - \bar{E}| < 0.6745S_1\} \quad (16)$$

根据式(14)~(16)计算结果, 后验差比值 $C = 0.290961092$, $0.6745S_1 = 25.497171$, 而所有的 $|E(k) - \bar{E}|$ 都小于 25.497171 , 通过函数 NORMSDIST (25.497171)得到小误差概率 $P = 1$ 。根据 $C < 0.35$, $P \geq 0.95$, 表示预测等级好。

4. 预测结果分析

外推预测: 由于模型预测等级好, 可知预测方程为式(17), 依次另 $K = 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16$, 得到养老机构预测数量, 将养老机构数量改为床位数, 通过以上公式计算直接可以快速得出床位数的预测值。如表 6, 以表 6 的数据做折线图如图 1、图 2。

$$\hat{X}^{(1)}(k+1) = 31527.3402e^{0.019631815} - 30902.3402 \quad (17)$$

Table 6. 2010~2025 Forecast of the number of pension institutions and beds in Shanghai
表 6. 2010~2025 年上海市养老机构、床位数预测表

年份	机构数(家)	床位数(万张)
2010	625	9.78
2011	631	10.1896
2012	631	10.5215
2013	631	10.8364
2014	660	11.49
2015	699	12.6
2016	702	13.28
2017	703	14.04
2018	712	14.42
2019	724	15.16
2020	745	9.25
2021	760	9.28
2022	775	9.31
2023	791	9.34
2024	806	9.37
2025	822	9.40

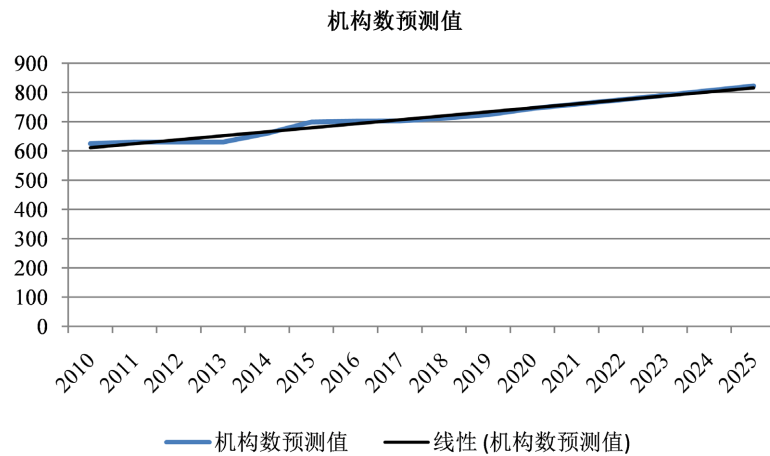


Figure 1. 2010~2025 Forecast line chart of the number of pension institutions in Shanghai

图 1. 2010~2025 年上海市养老机构数预测折线图

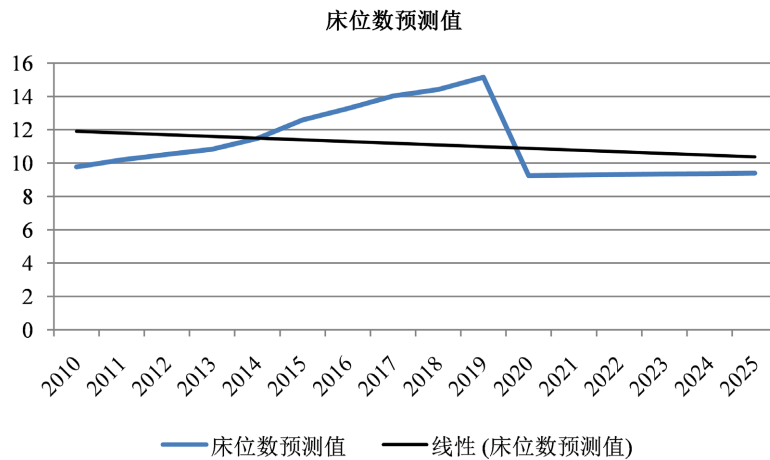


Figure 2. 2010~2025 Forecast line chart of the number of beds in Shanghai

图 2. 2010~2025 年上海市床位数预测折线图

4.1. 结果分析

如图 1、图 2 所示，2010 年~2013 年，养老机构的数量并没有显著增加，甚至出现 2011~2013 年不增加的情况，但与此同时床位数在缓慢增加，说明在 2010~2013 年整体的机构养老服务供给情况是在缓慢增加。2014 年~2015 年养老机构数量出现大幅度增加，每年增加额在 40 家左右，与此同时床位数量随着机构数量的大幅增加而增加，达到了增幅突破 1 万的情况，增速高达 9.6%，2010~2019 十年的床位平均增速为 5%。2016~2019 年增速再次放缓，增幅只有十位数甚至出现个位数，这是极不乐观的，对机构养老服务的承受力带来极大挑战，报道显示上海市的养老机构出现“一床难求”现象，很多地方的养老机构入住时间都排到两年以后了，这对于养老服务的发展带来了极大的挑战。

4.2. 预测结果偏差分析

通过对上海市机构养老服务供给情况的 GM(1,1)预测模型的检验，残差检验结果显示该模型的平均相对误差小于 0.2，后验差检验结果显示该模型后验差比值 C 小于 0.35，小误差概率 P 大于 0.95，均表

明预测值能较好的拟合原始值，模型等级为优秀。根据预测显示，2020年~2025年机构数量稳步增长，增幅稳定在25左右，但床位年均增长速度只有3%，从图2床位的线性预测看出，2020~2025床位数量总体呈下降趋势，说明床位的增幅极不明显，甚至没有达到2010~2019年的床位平均增长速率，这不是一个乐观的未来。2020~2025机构数量和床位数量整体均呈正向增长，但是二者增幅都不明显，机构养老服务的需求远远不能得到满足，上海的机构养老服务供给还需要通过政策激励、多元主体一起参与进来，在数量、质量上得到飞跃。

本研究的数据为近十年的机构养老服务的机构数和床位数为基础对未来的情况进行预测，时间上跨度较大，历年数据口径一致，具有可比性，预测结果更加可靠。此外，GM(1,1)模型在机构养老服务供给水平应用中表现良好，预测模型通过了检验，可以较好的拟合原始值，符合历史发展趋势，预测结果具有一定的参考价值，后续可以应用到养老服务供给水平的领域研究中。

5. 提升机构养老服务的对策

5.1. 政府加大扶持力度和监管力度

第一，政府应当加大对养老机构的补贴和投入，鼓励正当、合理的竞争市场，推动养老产业蓝海发展，带动养老产业全行业发展，根据当地不同社区的情况，设定多样化的养老机构准入门槛，推动降低经营成本，对老年人和机构双方给予适当的补贴，让每一位老年人都能享受到普惠型养老服务。第二，政府应当做好养老设施布局规划，深入当地调研获取需求情况，提高养老服务设施利用率，资源合理配置，确保每一个社区都能享受到“养老最后一公里”。第三，政府要加大监管力度，通过社区创新型社会治理，有效利用社工平台向社会组织提供专业指导、监督，确立养老服务机构责任归属，鼓励全社会通过多样化的渠道对养老机构进行监督，常态化监督巡查，对于资质、标准、人员专业化未达标的机构采取严厉惩罚措施，保证养老机构服务质量。

5.2. 引入社会力量，加快发展多元化养老模式

养老早已不能靠家庭养老、机构养老来解决当前的养老服务供给不足问题，政府应当加大鼓励社会养老，引入专业的社会组织来运营养老机构，加大专业化养老服务供给，对于不愿意住进养老机构的老人，加大在家门口的养老服务机构建设，减轻家庭经济负担。一方面，合理应用PPP模式，在模式的优化上，通过不同老年群体的需求来完善政企合作模式[7]，针对不同老年群体的需求提供针对性的服务来减少企业投资风险，从而达到长期合作的效果。另一方面，鼓励志愿服务，志愿人群可以从学生、低龄老年人等多方资源来挑选，以共青团中央主导，组建以大学生为志愿人群的社会组织，联合社会多方资源，利用暑期做好养老志愿服务；以社区为平台组建老龄志愿服务队，社区举办活动项目，号召老龄志愿者参与到养老服务供给中来。在志愿服务的保障措施上，应当给予一定的安全、培训、法律保障，同时建立激励机制，形成长效志愿机制。

5.3. 应用信息化管理手段

如今信息化技术的使用已经非常普遍，一方面，养老机构可以利用数据库等技术对本区域的老年人信息进行管理和更新，通过数据分析在大数据等技术的支持下，精准养老成为越来越多的养老机构吸引客源的方式，老年群体的需求非常的复杂，对不同情况的老人采取不同的差异化管理[8]。另一方面，养老机构引进智慧化养老服务管理平台，可以和智能养老产品进行对接，既提高了服务质量，又优化了工作流程，人财物等资源配置也得到了优化，可以在某种程度上缓解养老机构人力不足等问题，有利于企业降低成本，可持续性发展。

6. 总结

通过以上分析最后总结出, 政府采取措施不断鼓励社会化养老是满足老年人多元化养老需求、应对老龄化问题、促进养老机构改革发展的重要举措。模型预测显示上海市养老机构数量缓慢增长, 床位数增长量呈线性缓慢下降, 远远不能满足当下以及未来的养老需求, 政府应当从机构以及当地实际情况出发, 明确养老机构在社会养老服务中的定位, 从多角度、多渠道分析养老机构在养老服务方面欠缺的问题, 提出要加大扶持力度和监管力度, 引入社会力量, 加快多元养老服务供给模式发展, 应用信息化手段实施管理, 在机构养老服务的供给与需求的合理匹配中引入互联网、人工智能、云计算、大数据等比较先进的理念和技术, 提升机构养老服务供给能力, 让老年人在养老机构中获得高质量的养老服务, 从而提升老年人满意度和幸福感, 推动养老产业的蓬勃发展, 缓解人口老龄化带来的社会矛盾, 与其同时随着上海市老龄化趋势日益加剧, 如何更好提升机构养老服务供给是今后需要继续深入研究和思考的问题。

参考文献

- [1] 上海市第十五届人民代表大会第五次会议. 上海市国民经济和社会发展的第十四个五年规划和二〇三五年远景目标纲要[R]. 上海: 上海市人民政府, 2021.
- [2] 上海市统计局. 2020年上海市统计年鉴[J]. 上海: 中国统计出版社, 2021.
- [3] 刘思峰, 等. 灰色系统理论及其应用(第八版)[M]. 北京: 科学出版社, 2017.
- [4] 魏子汉, 李红艳, 郭政. 基于GM(1,1)预测方法的上海市全科医生发展现状及趋势研究[J]. 中国医疗管理科学, 2021, 11(6): 23-28.
- [5] 丁海峰, 李立清. ARIMA和GM(1,1)模型预测上海市卫生总费用[J]. 南京医科大学学报(社会科学版), 2021, 21(5): 418-423.
- [6] 朱澈, 黄辉凡, 丁美亚. DGM(2,1)预测模型在城市空气质量指标预测中的应用[J]. 宜春学院学报, 2021, 43(12): 41-45.
- [7] 韩焯. 社区居家或入住机构——养老服务PPP模式的差异化构建与优化[J]. 吉林大学社会科学学报, 2020, 60(2): 179-188+223-224.
- [8] 徐春英. 中国人口老龄化问题与养老对策研究[J]. 现代经济信息, 2019(12): 5-6.