· 卫生政策与管理 ·

区域差异视角下基于灰色系统框架的养老服务床位预测研究

宋梅晓[1],钱雨馨[1],陆佳怡[1],卢奕彤[1],金佳怡[1],仲亚琴[2],郭晓君[1]
1. 南通大学数学与统计学院,江苏 南通 226019;2. 南通大学公共卫生学院

摘要:目的 基于灰色系统理论框架,构建适用于养老服务床位需求预测的组合模型,从区域差异的视角揭示我国不同地区养老服务床位资源的未来发展趋势,为优化养老资源配置与相关政策制定提供决策参考。**方法** 构建融合分数阶灰色模型与非齐次离散灰色模型等改进模型的组合预测框架,基于《中国社会统计年鉴》中养老服务床位相关指标数据,针对我国东部、中部、西部和东北四个地区,预测 2024—2028 年养老服务床位需求的变化趋势。**结果** 预计 2028 年,中国及其四个代表性省份的养老床位数将分别达到 6 653 258 张、740 181 张、572 245 张、184 002 张、237 566 张。东部、中部、西部和东北四大区域的养老服务床位需求均呈上升趋势,尤以东部和中部地区增长更为显著,反映出人口老龄化加剧带来的更大养老压力;西部和东北地区虽整体需求较低,但亦呈稳步上升态势,预示其养老压力将在未来逐渐加重。**结论** 我国各区域养老服务床位资源将在未来持续增长,东部地区的养老资源配置水平仍将优于中西部及东北地区。本研究能较好反映各地区养老服务需求的差异性特征,为区域养老资源的科学配置提供有力支持。

关键词:养老服务床位;灰色系统;灰色预测模型;区域差异
中图分类号:N941.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1003 - 8507(2026)04 - 662 - 07
DOI:10.20043/j.cnki.MPM.202505179

Research on the prediction of elderly service beds based on a grey system framework from the perspective of regional differences

SONG Mei - xiao*, QIAN Yu - xin, LU Jia - yi, LU Yi - tong, JIN Jia - yi, ZHONG Ya - qin, GUO Xiao - jun
* *School of Mathematics and Statistics, Nantong University, Nantong, Jiangsu* 226019, *China*

Abstract: Objective Based on the theoretical framework of the grey system, a combined model suitable for the demand prediction of elderly care service beds is constructed to reveal the future development trend of elderly care service bed resources in different regions of China from the perspective of regional differences, providing decision - making references for optimizing the allocation of elderly care resources and the formulation of related policies. **Methods** Researchers construct a combined prediction framework integrating improved models such as the fractional - order grey model and the non - homogeneous discrete grey model. Based on the relevant indicator data of elderly care service beds in the "China Social Statistical Yearbook", they predict the changing trend of elderly care service bed demand in the four regions of eastern, central, western and northeastern China from 2024 to 2028. **Results** By 2028, the number of elderly care beds in China and its four representative provinces is expected to reach 6 653 258, 740 181, 572 245, 184 002, and 237 566, respectively. The demand for elderly care service beds in the four major regions of the east, central, west and northeast all shows an upward trend. Especially in the east and central regions, the growth is more significant, reflecting the greater elderly care pressure brought about by the intensification of population aging. Although the overall demand in the western and northeastern regions is relatively low, it is also showing a steady upward trend, indicating that the pressure of elderly care in these areas will gradually increase in the future. **Conclusion** The resources of elderly care service beds in various regions of our country will continue to grow in the future. The allocation level of elderly care resources in the eastern region will still be better than that in the central and western regions as well as the northeastern region. This research can better reflect the differential characteristics of elderly care service demands in various regions and provide strong support for the scientific allocation of regional elderly care resources.

Keywords: Elderly service beds; Grey system; Grey prediction model; Regional differences

---

基金项目:国家社会科学基金项目(21BGL302);江苏省大学生创新训练计划项目(202410304076Y)
作者简介:宋梅晓(2004—),女,本科在读,研究方向:灰色系统理论,人口老龄化
通信作者:郭晓君,E - mail: guoxj159@163.com

1　引　言

人口老龄化[1]已成为21世纪全球面临的共同挑战,对经济社会发展产生深远影响。自2000年正式进入老龄化社会以来,我国老年人口规模持续扩大,截至2022年底老龄人口已达2.8亿,预计到2035年将突破4亿,进入重度老龄化阶段。我国人口老龄化呈现出规模大、增速快、区域差异显著的特点,这种不均衡的发展态势给养老服务体系建设带来严峻挑战,亟需采取科学有效的应对措施。在此背景下,本文构建融合分数阶灰色模型[2]与非齐次离散灰色模型[3]等改进模型的组合预测框架,整合不同灰色模型的优势。通过分析不同区域老龄化进程与养老资源供需的动态关系,验证该模型对养老服务床位数据预测的适用性,为我国老龄化现状提出应对建议,也为其他领域的预测研究,如教育资源,提供了实例支持。

2　模型方法

人口老龄化及养老资源(如养老床位、养老机构数等指标)现有预测研究主要采用时间序列分析、多元线性回归以及灰色系统模型等方法。Wei 等[4]用ARIMA、指数平滑、GM(1,1)及LSTM构建猴痘疫情预测模型。Javanmardi 等[5]以灰色关联分析探讨可持续发展;Qin 等[6]开发含生物标志物的肿瘤免疫疗效模型。不同模型和方法在人口预测中各有优劣。相比之下,郝文琪和曹莉[7]用贝叶斯模型预测海南人口;Guo 等[8]基于灰色模型分析江苏老龄化趋势;Zhang 等[9]的新型灰色模型有效捕捉中国老龄化动态。针对传统灰色模型平滑性强但波动性捕捉不足的缺陷,学者提出多种改进方案:Tahraoui 等[10]融合KNN与灰狼优化器创新水质预测;Zhang 等[11]验证新型灰色模型在老龄化预测中的有效性;胥俊林和陈友军[12]用新陈代谢灰色模型精准预测四川老龄化数据。针对人口老龄化的区域差异,本文构建了模型组合框架,以适应最佳预测模型的选择。面对复杂的数据特征时,有利于获得更准确的预测。

2.1　*基础模型 GM (1,1)*　灰色模型是一种通过少量的、不完全的信息,建立灰色微分预测模型,对事物发展规律作出模糊性的合理描述的预测模型。最基本的灰色模型是 GM(1,1)[13]模型,具体建模步骤如下:

Step 1:设置原始数据序列 $X^{(0)}$:

$$X^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \cdots, x^{(0)}(n)) \quad (1)$$

其中 $x^{(0)}(k) \geq 0, k = 1,2,\cdots n$,且 $n \geq 4$。

Step 2:累加生成,得到原始数据序列 $X^{(0)}$ 的一阶累加生成序列 $X^{(1)}$:

$$X^{(1)} = (x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \cdots, x^{(1)}(n)) \quad (2)$$

其中 $x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^{k} x^{(0)}(i), k = 1,2,\cdots n$。

Step 3:定义一阶累加生成序列 $X^{(1)}$ 的邻值生成数列 $z^{(1)}$ 为

$$z^{(1)} = (z^{(1)}(1), z^{(1)}(2), \cdots, z^{(1)}(n)) \quad (3)$$

其中 $z^{(1)} = \frac{1}{2}x^{(1)}(k) + \frac{1}{2}x^{(1)}(k-1), k = 2,3,\cdots n$。

Step 4:定义 GM(1,1)的灰微分方程模型:

$$x^{(0)}(k) + az^{(1)}(k) = b \quad (4)$$

其中参数 a 为发展系数,参数 b 为灰作用量,$x^{(0)}(k)$、$z^{(1)}(k)$ 见 Step1、Step3。

Step 5:将上述微分方程离散化,通过最小二乘估计确定方程(4)的参数。引入矩阵向量,可得

$$\hat{a} = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}, Y = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} -z^{(1)}(2) & 1 \\ -z^{(1)}(3) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -z^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

可得 $\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y$。

Step 6:定义 GM(1,1)的白微分方程模型,将 $x^{(0)}(k)$ 的时刻 $k = 2,3,\cdots n$ 视为连续变量 t,可得 GM(1,1)灰微分方程对应的白微分方程模型为

$$\frac{dx^{(1)}(t)}{dt} + ax^{(1)}(t) = b \quad (6)$$

Step 7:求解式(6),可得解

$$\hat{x}^{(1)}(t) = (x^{(0)}(1) - \frac{b}{a})e^{-a(t-1)} + \frac{b}{a} \quad (7)$$

Step 8:得到时间响应函数为

$$\hat{x}^{(1)}(k) = (x^{(0)}(k) - \frac{b}{a})e^{-a(k-1)} + \frac{b}{a}, k = 1,2,\cdots n \quad (8)$$

Step 9:得到相应的预测函数为

$$\hat{x}^{(0)}(k) = \hat{x}^{(1)}(k) - \hat{x}^{(1)}(k-1) = (1-e^a)(x^{(0)}(1) - \frac{b}{a})e^{-a(k-1)}, k = 1,2,\cdots n \quad (9)$$

根据上述步骤和式(9),可得序列 $X^{(0)}$ 的拟合值和预测值。

2.2　*扩展的灰色系统模型*　基于传统 GM(1,1)模型得到改进的灰色模型,具有更好的非线性预测性能。本文选择离散灰色模型(Discrete Grey Model, DGM)、非齐次离散灰色模型(Non-Homogeneous Discrete Grey Model, NDGM)、分数阶灰色模型(Fractional Grey Model, FGM)、一致性分数阶灰色模型(Conformable Fractional Order Grey Model, CFGM)、阻尼累加灰色模型(Damping Accumulated Grey Model, DAGM)和新信息优先灰色模型(New

Information Priority Accumulated Grey Model, NIPGM)作为竞争模型。

拓展的灰色模型相较于 GM(1,1)有显著的优势,如灰色模型 DGM 通过离散化计算降低数值误差、灰色模型 NDGM 可以嵌入外部变量实现因果推断,精准量化干预因素对预测结果的影响等。上述模型在数据处理和模型结构上存在差异,但建模步骤可以简化为四个步骤:

Step 1:构造积累序列,对原始序列进行累加生成 AGO、累减生成、离散生成操作;

Step 2:建立灰色微分方程或离散方程;

Step 3:参数估计与求解,用普通最小二乘法、优化算法或约束条件求解模型参数;

Step 4:基于求解的时间响应函数或递推公式生成预测值。

2.3 *模型误差评估* 通过计算预测数据的平均绝对百分比误差(Mean Absolute Percentage Error, MAPE)[14]、灰色绝对关联度、后验差比值 C 值以及小误差概率 P 值,可评估模型预测精度。其中 MAPE 表示预测值与实际值之间的差异相对于实际值的平均百分比。灰色绝对关联度反映比较序列与参考序列在各时间点的曲线形态逼近程度。C 值为单点关联系数衡量序列局部相似性。P 值则通过整合所有 C 值得出整体关联强度。MAPE 值越小,灰色绝对关联度越大,预测精度越高。后验差比值 C 值以及小误差概率 P 值满足 $C \leqslant 0.35$、$P \geqslant 0.95$ 时模型精度较好,适合用该模型进行预测。模型精度检验标准见表 1。

表 1 精度检验标准

Table 1 The standard for evaluating accuracy

拟合等级		C	P
1 级	良好	$C \leqslant 0.35$	$P \geqslant 0.95$
2 级	合格	$0.35 < C \leqslant 0.50$	$0.80 \leqslant P < 0.95$
3 级	勉强	$0.50 < C \leqslant 0.65$	$0.70 \leqslant P < 0.80$
4 级	不合格	$C > 0.65$	$P < 0.70$

2.4 *基于灰色系统模型框架的养老服务床位预测流程* 基于灰色模型的养老服务床位的预测框架,建模流程步骤如图 1 所示。

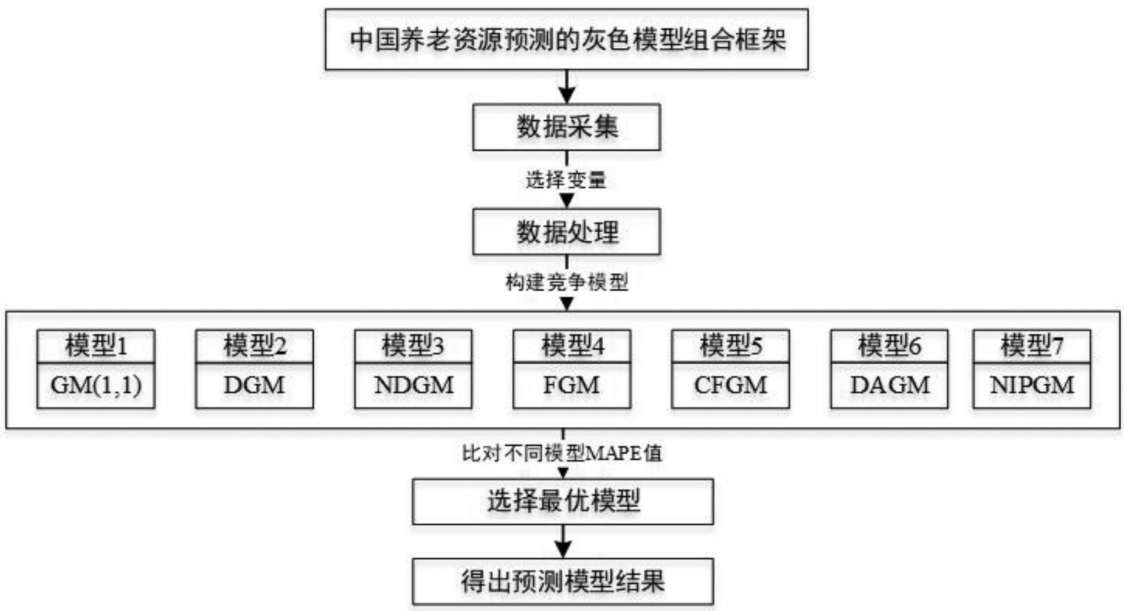


图 1 养老服务床位建模流程

Fig. 1 Modeling process for elderly care beds

3 实证分析

3.1 *数据来源与分析*

3.1.1 数据来源 本文研究涉及数据来源于中国统计局官网、《中国社会统计年鉴》。涵盖 2012—2023 年全国养老床位总数以及上述四省的对应指标。其中,养老床位总数通过抽样比、65 岁及以上抽样人口数、每千养老床位数等数据计算得到。综合考虑各省份老龄化程度、人口数以及国内生产总值(Gross Domestic Product, GDP)[15]情况以确定各地区的典型省份,其中各省份老龄化数据为主要指标,数据来源于 2024 年《中国社会统计年鉴》。以东部地区为例,老龄化程度排名前三为北京、上海、江苏;考虑人口因素以及 GDP 总量排名,选择江苏代表东部(江苏省 GDP 总量为第二)。最终,本研究选取江苏省、湖北省、陕西省和辽宁省分别作为东部、中部、西部及东北

地区的典型样本。2012—2023 年全国以及四个代表性省份原始数据详见表 2。

表 2　2012—2023 年全国以及四个代表性省份原始数据

Table 2　Original data for China and four representative provinces from 2012 to 2023

年份	抽样比	全国		江苏		湖北	
		65 岁及以上抽样人口数（人）	每千养老床位数（床/1 000 人）	65 岁及以上抽样人口数（人）	每千养老床位数（床/1 000 人）	65 岁及以上抽样人口数（人）	每千养老床位数（床/1 000 人）
2012	0.000 831	105 704	21.48	7 597	36.73	5 189	28.64
2013	0.000 822	108 261	24.39	8 030	41.39	4 741	27.16
2014	0.000 822	113 171	27.20	7 925	38.61	4 922	27.25
2015	0.015 500	2 230 465	30.31	157 135	41.02	102 146	30.12
2016	0.000 837	125 642	31.62	9 048	40.33	5 716	33.02
2017	0.000 840	130 428	30.92	9 210	40.23	5 955	31.83
2018	0.000 820	136 645	29.15	9 435	39.45	6 059	32.77
2019	0.000 780	137 283	30.53	9 447	40.89	6 026	37.29
2020	1.000 000	190 635 280	31.10	13 726 531	40.78	8 424 339	40.07
2021	0.001 058	212 419	30.52	15 354	39.30	9 524	39.04
2022	0.001 023	214 877	29.62	15 586	37.47	9 753	37.47
2023	0.001 050	228 252	27.70	16 569	35.60	10 418	36.90

年份	抽样比	陕西		辽宁	
		65 岁及以上抽样人口数（人）	每千养老床位数（床/1 000 人）	65 岁及以上抽样人口数（人）	每千养老床位数（床/1 000 人）
2012	0.000 831	2 905	14.96	3 639	27.33
2013	0.000 822	3 053	17.34	3 701	28.41
2014	0.000 822	3 306	17.79	4 407	24.31
2015	0.015 500	60 994	23.60	87 595	21.14
2016	0.000 837	3 439	25.47	4 849	22.90
2017	0.000 840	3 512	25.52	5 063	21.43
2018	0.000 820	3 536	23.30	5 353	19.41
2019	0.000 780	3 633	25.99	5 382	21.21
2020	1.000 000	5 266 597	26.19	7 417 481	22.31
2021	0.001 058	5 861	26.62	8 424	22.64
2022	0.001 023	5 948	26.35	8 605	21.75
2023	0.001 050	6 338	25.70	9 273	21.00

利用抽样比、65 岁及以上抽样人口数以及每千养老床位数，可得到养老床位总数的计算公式：

$$\text{养老床位数} = \frac{\text{每千养老床位数} \times 65\text{岁及以上抽样人口数}}{\text{抽样比} \times 1000}$$

对表 2 的数据进行处理，得到全国以及四个代表省份的养老床位数数据表，见表 3。

表 3　2012—2023 年全国以及四个代表省份的养老床位数（单位：张）

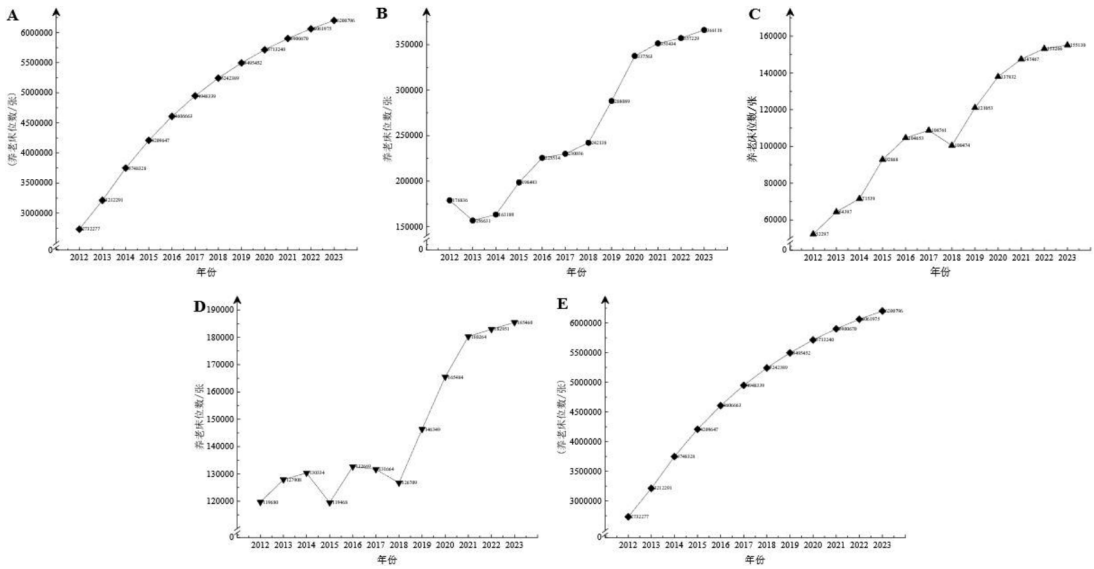
Table 3　The number of elderly care beds in China and four representative provinces from 2012 to 2023 (Unit: beds)

年份	全国	江苏	湖北	陕西	辽宁
2012	2 732 277	335 786	178 836	52 297	119 680
2013	3 212 270	404 336	156 631	64 397	127 908
2014	3 744 831	372 270	163 189	71 539	130 334
2015	4 361 638	415 850	198 493	92 868	119 468
2016	4 746 476	435 978	225 514	104 653	132 669
2017	4 800 993	449 635	230 036	108 761	131 664
2018	4 857 563	453 916	242 138	100 474	126 709
2019	5 373 397	495 241	288 089	121 053	146 349
2020	5 928 757	559 768	337 563	137 932	165 484
2021	6 127 626	570 333	351 434	147 467	180 264
2022	6 221 561	570 877	357 229	153 206	182 951
2023	6 021 505	561 768	366 118	155 130	185 460

3.1.2　养老数据统计分析　结合表 3，得到 2012 到 2023 年全国以及四个代表性省份养老床位数折线图，如图 2 所示。

从图 2 可以看出，中国及其四个省份的养老床位数整体呈上升趋势，但不同地区的发展速度存在显著差异。全国层面在 2016—2018 年间增长缓慢，2018—2020 年增幅明显，随后在 2020—2023 年趋于放缓并出现一定回落。江苏省在 2012—2020 年期间增长较快，其中 2013 年床位数出现明显上升，其每千人床位数也长期高于全国平均水平，表明其养老服务

能力在全国处于领先位置;但 2020—2023 年增速放缓。湖北省自 2013 年起床位数持续增长,2018 年养老机构数量大幅增加,反映出该省养老资源需求快速扩张。陕西省近年来虽总体呈上升态势,但 2018 年出现小幅下降,且床位水平低于全国平均,需要进一步关注养老资源保障能力的提升。辽宁省在 2012—2018 年增长相对缓慢,但自 2018 年起加速提升。总体来看,东部和中部地区的养老床位数显著高于其他区域,而西部与东北地区之间的差距在逐步缩小。



注:图 A、B、C、D、E 分别为江苏省、湖北省、陕西省、辽宁省以及全国的养老床位预测数。

图 2 2012—2023 年全国以及四个代表性省份养老床位数

Fig. 2 The number of elderly care beds of China and four representative provinces from 2012 to 2023

3.2 预测结果与分析

3.2.1 模型选择 将表 3 的数据带入灰色模型。将 2012—2021 年的数据作为训练数据,2022—2023 年的数据作为测试数据,通过对比 MAPE 值选择最佳模型。预测误差值见表 4,数据最优预测结果控制在 4.00% 以内,预测精度相对较高,灰色模型预测框架是非常有效的。

表 4 灰色模型框架下养老床位数的预测误差值(%)

Table 4 The prediction error value of the number of elderly care beds under the grey model framework(%)

地区	灰色模型						
	GM(1,1)	DGM	NDGM	FGM	CFGM	DAGM	NIPGM
全国	13.29	13.30	4.22	5.63	3.37	11.69	**3.14**
江苏	7.55	7.52	16.17	7.55	**2.09**	7.55	7.54
湖北	15.16	15.31	15.21	12.65	**3.09**	14.81	14.65
陕西	10.22	10.20	2.07	4.37	2.46	1 837.39	**2.05**
辽宁	2.95	3.13	42.21	8.28	2.95	**2.83**	6.44

注:加粗数据代表测试结果最好的模型。

根据表 4 可以得到, NIPGM 模型对全国和陕西地区的养老床位数预测效果最好,CFGM 模型预测江苏地区和湖北地区的养老床位数效果最佳,辽宁地区的养老床位数选择 DAGM 模型来预测最有效。以江苏省为例,根据表 2 中养老床位数进行模拟计算。7 个灰色模型预测结果见表 5,CFGM 模型预测误差率最低,为 2.09%,适合作为江苏省养老床位数的预测模型。

3.2.2 预测数据结果 根据 3.2.1 中选取的模型预测 2024—2028 年中国及其四个代表性省份的养老床位数。精度检验结果见表 6,预测数据见表 7。

3.2.3 区域差异视角下的预测数据分析 图 3 展示了四个区域代表省份 2012—2023 年的养老床位数情况,以及 2024—2028 年的养老床位数预测值。各地区数据总体上均呈上涨趋势。其中江苏省和湖北省的养老床位数增长率略高于陕西省和辽宁省,湖北省

表 5　养老床位数预测结果(以江苏为例)(单位:张)

Table 5　Forecast results of the number of elderly care beds (taking Jiangsu as an example) (Unit: beds)

年份	原始数据	GM(1,1)	DGM	NDGM	FGM	CFGM	DAGM	NIPGM
2012	335 786	335 786	335 786	335 786	335 786	335 786	335 786	335 786
2013	404 336	371 630	371 946	384 950	371 630	356 736	371 630	371 617
2014	372 270	391 441	391 728	396 553	391 441	394 111	391 441	391 438
2015	415 850	412 309	412 562	410 490	412 309	423 686	412 309	412 313
2016	435 978	434 289	434 505	427 228	434 289	448 722	434 289	434 298
2017	449 635	457 441	457 615	447 333	457 441	470 765	457 441	457 452
2018	453 916	481 827	481 953	471 480	481 827	490 680	481 827	481 838
2019	495 241	507 513	507 586	500 483	507 513	509 000	507 513	507 519
2020	559 768	534 568	534 583	535 318	534 568	526 081	534 568	534 567
2021	570 333	563 066	563 015	577 157	563 066	542 174	563 066	563 052
Simulation MAPE(%)		3.06	3.06	**2.56**	3.06	4.90	3.06	3.06
2022	570 877	593 083	592 960	627 410	593 083	557 460	593 083	593 052
2023	561 768	624 700	624 497	687 768	624 700	572 076	624 700	624 647
Forecast MAPE(%)		7.55	7.52	16.17	7.55	**2.09**	7.55	7.54

注:加粗数据代表 MAPE 的最小值。

表 6　2024—2028 年全国及区域代表省份精度检验结果

Table 6　The verification results of accuracy for China and representative provinces in the region from 2024 to 2028

区域	2024—2028 年全国及区域代表省份模型检验数据					
	模型	MAPE(%)	灰色绝对关联度	*C* 值	*P* 值	预测精度等级
全国	NIPGM	2.72	0.996 9	0.036 3	1	1 级(良好)
东部地区(江苏)	CFGM	3.15	0.994 5	0.042 4	1	1 级(良好)
中部地区(湖北)	CFGM	3.96	0.993 5	0.051 8	1	1 级(良好)
西部地区(陕西)	NIPGM	4.23	0.996 9	0.058 3	1	1 级(良好)
东北地区(辽宁)	DAGM	5.17	0.995 4	0.066 1	1	1 级(良好)

表 7　2024—2028 年全国及各区域养老床位预测数据(单位:张)

Table 7　Forecasted data on the number of elderly care beds in China and each region from 2024 to 2028 (Unit: beds)

年份	养老床位数				
	全国	东部地区(江苏)	中部地区(湖北)	西部地区(陕西)	东北地区(辽宁)
2024	6 320 266	620 488	421 913	161 814	195 633
2025	6 423 084	648 462	455 748	167 872	205 365
2026	6 511 570	677 697	491 957	173 576	215 582
2027	6 587 721	708 250	530 725	178 946	226 307
2028	6 653 258	740 181	572 245	184 002	237 566

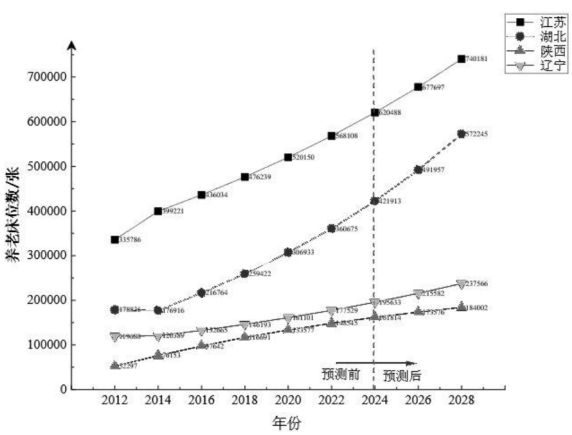


图 3　2012—2028 年区域代表省份养老床位预测数据

Fig. 3　Forecast data for the number of elderly care beds in regional representative provinces from 2012 to 2028

的养老床位数上升情况更陡峭。这意味着中国东中部地区的养老资源正在增加,考虑到东中部地区的老龄人口数量更多,整体的养老资源仍为供小于求的阶段。

从图 3 可以看出,2024—2028 年的养老床位数,整体呈现上升趋势。其中陕西省和辽宁省的养老床位数数据趋势相近,可见西部地区与东北部地区的养老资源状况相近。

3.3　*未来趋势与应对建议*　预测结果表明,未来几年中国各地区的养老呈现出不同的特征。

(1) 各地区养老床位数整体呈上升趋势。中国及其四个代表性省份的养老床位数将分别达到 665 万张、74 万张、57 万张、18 万张、23 万张。

(2) 全国整体养老床位总量年增 1.3%,增速较

为平缓,但区域差异显著。东部、中部的增速快于西部,东北区域发展不均衡。江苏省养老床位增速快且数量多,2028 年预测达 740 181 张,显著高于其他区域,反映东部地区养老服务需求较高。湖北省床位增速最快,可见我国中部老龄化问题急剧凸显。陕西省养老床位基数小且增速平缓。辽宁省虽然床位增速中等,但老龄化问题仍然较为严峻。

(3) 各地区人口老龄化程度不平衡,对养老床位的需求程度也不同。中国东部地区养老床位配置程度高于中西部、东北地区。但是东部的老龄化程度也远高于中西部以及东北地区。这一定程度上表明未来 5 年,中国东部地区的养老床位需求程度将比其他区域更为严重。

根据模型预测结果及相关分析,提出以下建议。

(1)养老资源(包括养老床位、养老机构等)开发势在必行。中国进入深度老龄化社会,养老资源短缺。而传统家庭养老功能弱化,社会化养老资源成为重要补充,对医疗、护理等需求持续增长。

(2)中国人口区域差异明显,各地区需制定不同的应对策略。东部地区可以继续增加养老领域方面的投入。中部地区可以优化养老设施,提高养老水平。西部地区则需大力投资养老改善老年人医疗条件。

(3) 面对养老服务设施不足、专业护理人员短缺等问题,各区域需科学合理配置养老、医疗相关资源。全社会参与,加大中西部地区的财政投入,完善社会保障体系,发展多元化模式,利用远程医疗、智能穿戴设备等智慧养老提升服务效率。

4 结 论

本研究基于灰色系统理论,构建适用于中国不同地区的养老床位预测模型,分析了东部、中部、西部和东北四个地区在 2024—2028 年养老床位需求的变化趋势。从预测结果来看,四个地区的养老床位数均呈现出上升趋势。在东部和中部地区,养老床位的需求增长更加显著。西部和东北地区的养老床位需求相对较低,但也呈现逐步增长的态势,表明这些地区的养老压力在未来几年将逐步增加。基于本研究的灰色系统模型框架具有较高的准确性和适用性,能有效反映各地区养老床位需求的趋势。该模型在应用中较好地捕捉到了不同地区老龄化速度的差异,为养老服务的资源配置提供了有力的支持。未来的研究可以更注重细化和多维度的预测模型建设,结合实际的政策环境和地方政府的需求,提供更具实用性的决策支持。

利益冲突声明 本研究不存在任何利益冲突

参考文献

[1] 丁建. 人口老龄化对公共政策制定的影响研究[J]. 市场瞭望, 2025,6(4):208 - 210.
Ding J. A study on the impact of population aging on public policy formulation[J]. Market Outlook, 2025, 6(4): 208 - 210. (In Chinese)

[2] Xia L, Ren YY, Wang YH. Forecasting clean energy power Generation in China based on a novel fractional discrete grey model with a dynamic time - delay function[J]. Journal of Cleaner Production, 2023, 416: 137830.

[3] Qu S. A novel conformable fractional non - homogeneous grey Bernoulli model based on Salp Swarm Algorithm and its application [J]. Communications in Statistics - Simulation and Computation, 2024, 53(8): 3589 - 3615.

[4] Wei WD, Wang G, Tao X, et al. Time series prediction for the epidemic trends of monkeypox using the ARIMA, exponential smoothing, GM (1, 1) and LSTM deep learning methods[J]. Journal of General Virology, 2023, 104(4): 001839.

[5] Qin YR, Huo MZ, Liu XW, et al. Biomarkers and computational models for predicting efficacy to tumor ICI immunotherapy[J]. Frontiers in Immunology, 2024, 15: 1368749.

[6] Javanmardi E, Liu S, Xie N. Exploring the challenges to sustainable development from the perspective of grey systems theory [J]. Systems, 2023, 11(2): 70.

[7] 郝文琪,曹莉. 基于贝叶斯结构时间序列模型的海南省人口预测研究[J]. 现代信息科技,2024,8(2):124 - 127.
Hao WQ, Cao L. Research on population prediction of Hainan province based on bayesian structure time series model[J]. Modern Informationn Technology, 2024, 8(2): 124 - 127. (In Chinese)

[8] Guo XJ, Wu Y, Wang YY, et al. Prediction of population aging trend and analysis of influencing factors based on grey fractional - order and grey relational models: a case study of Jiangsu Province, China[J]. BMC Geriatrics, 2025, 25(1): 197.

[9] Zhang J, Liu C, Jia ZJ, et al. The application of a novel grey model in the prediction of China's aging population[J]. Soft Computing, 2023, 27(17): 12501 - 12516.

[10] Tahraoui H, Toumi S, Hassein - Bey AH, et al. Advancing water quality research: K - nearest neighbor coupled with the improved grey wolf optimizer algorithm model unveils new possibilities for dry residue prediction[J]. Water, 2023, 15(14): 2631.

[11] Zhang WL, Liu SF, Liu LY, et al. A novel fractional - order discrete grey Gompertz model for analyzing the aging population in Jiangsu Province, China[J]. Grey Syst, 2023, 13(3): 544 - 557.

[12] 胥俊林,陈友军. 基于新陈代谢灰色模型对人口老龄化的预测[J]. 四川文理学院学报,2023,33(2):47 - 53.
Xu JL, Chen YJ. Prediction of population aging based on metabolic grey model[J]. Journal of Sichuan University of Arts and Science, 2023, 33(2): 47 - 53. (In Chinese)

[13] Guo SL, Wen YH, Zhang XQ, et al. Runoff prediction of lower Yellow River based on CEEMDAN - LSSVM - GM(1,1) model [J]. Scientific Reports, 2023, 13(1): 1511.

[14] Shaheen A, Sheng JY, Arshad S, et al. Forecasting the determinants of environmental degradation: a gray modeling approach[J]. Energy Sources Part A - Recovery Utilization and Environmental Effects, 2025, 47(1): 1084 - 1104.

[15] 田进. 31 省份经济半年报:多省经济增长超预期,消费投资增速差异大[N]. 经济观察报,2025 - 08 - 04(004).
Tian J. Economic half - year report of 31 provinces: economic growth in multiple provinces exceeds expectations, with significant differences in consumption and investment growth rates[N]. Econ. Observer, 2025 - 08 - 04(004). (In Chinese)

收稿日期:2025-05-14