

基于灰色理论的出生人口预测及影响因素研究

——以安徽省为例

黄星积^a 乔国通^{b1}

(安徽理工大学:a. 经济与管理学院;

b. 电气与信息工程学院, 安徽 淮南 232001)

【摘要】: 为提高人口生育率、减缓老龄化进程, 以安徽省为例, 梳理 2012–2018 年新生人口数据, 应用灰色系统预测模型 GM(1, 1), 对未来 10 年(2019–2028 年)人口增长趋势进行预测, 并采用灰色关联度分析法, 对出生人口数量影响因素进行分析。研究表明: 安徽省出生人口数量将持续稳定增长, 但增速缓慢; 恩格尔系数(农村)和城镇化率与出生人口数量的关联度最大; 现行的“全面二孩”政策只能在短期内增加新生人口数量, 并不能优化安徽省的人口年龄结构和减缓人口老龄化趋势。因此, 应从城镇化发展、社会保障和人口素质 3 个方面优化人口结构, 为政府提高生育率、减缓老龄化进程提供政策性指导。

【关键词】: 灰色理论 全面二孩政策 出生人口 影响因素

【中图分类号】: C924. 24 **【文献标志码】:** A **【文章编号】:** 1671–3079(2021)02–0089–06

2015 年 10 月, 党的十八届五中全会公报提出“全面实施一对夫妇可生育两个孩子政策”(简称“全面二孩”政策), 以积极应对人口老龄化问题, 推进我国人口均衡发展; 2016 年初, “全面二孩”政策正式启动。这一政策的实施, 使我国新生人口增长趋势成为众多研究者关注的焦点。

刘晓艳和石洪波应用变参数年龄移算法模型, 对我国未来 20 年人口数量和人口结构变化趋势进行预测。^[1]王开泳等人采用人口学队列元素法对落实全面二孩政策后的中国未来总人口和人口结构变化趋势进行评估, 并从地理学视角研究该政策对我国区域人口空间格局的影响。^[2]罗雅楠等人基于多状态人口预测模型, 预测我国人口和人力资本变化态势, 并对未来人口发展和经济社会政策调整提出建议。^[3]孟令国等人利用 Leslie 人口预测模型, 对我国人口增量和人口结构进行预测, 并提出全面二孩政策对人口老龄化缓解作用不显著。^[4]王金营和戈艳霞提出, 中国总人口依旧会持续减少, 到 21 世纪末人口将减少至 10.16 亿。^[5]陈友华认为, 全面二孩政策需配套各方面的改革, 才能起到使生育率回升的效果。^[6]孙幸荣和张春研究发现, 全面二孩政策能有效改善我国生育率水平、减缓人口老龄化进程和调和出生人口性别比例失衡等问题。^[7]梁海艳预测, 云南省出生人口会随全面二孩政策的实施而增加, 并在 5 年后达到高峰, 随后增长趋势减缓。^[8]汤兆云研究发现, 全面二孩政策会影响福建省人口年龄结构和家庭结构。^[9]

作者简介: 黄星积(1996–), 女, 浙江绍兴人, 安徽理工大学经济与管理学院在读硕士, 研究方向为管理科学
乔国通(1982–), 男, 河南南阳人, 安徽理工大学电气与信息工程学院副教授, 研究方向为管理科学。
基金项目: 安徽理工大学研究生创新基金项目(2020CX2092)

本文以安徽省为例，通过梳理 2012-2018 年新生人口数据，运用灰色系统预测模型 GM(1, 1) 对安徽省未来 10 年的新生人口趋势进行预测；并采用灰色关联度分析法对安徽省出生人口数量影响因素进行分析，对相关因素进行优势分析，明确关键影响因素，希望为地方政府生育政策调整提供参考。

一、数据分析

据《安徽统计年鉴》数据可知，近年来，安徽省人口自然增长态势保持良好。2012-2018 年，安徽省的新生人口出生率分别为 13.00‰、12.88‰、12.86‰、12.92‰、13.02‰、14.07‰、12.41‰；自然增长率分别是 6.86‰、6.82‰、6.97‰、6.98‰、7.06‰、8.17‰、6.45‰；人口老龄化系数分别为 12.08%、12.24%、11.71%、11.73%、12.00%、12.38%、12.97%。^[10]2018 年末，安徽省户籍人口为 7083 万人，常住人口为 6323.6 万人，城镇人口为 3458.3 万人，占总人口的 54.69%；乡村人口为 3624.7 万人，占总人口的 45.31%；出生率为 12.41‰，死亡率为 5.96‰。¹

由此可见，近年来安徽省人口出生率呈上下波动，人口自然增长稳中有升，但人口老龄化趋势依然严峻，这将会使安徽省处于未富先老的发展态势，而增加新生人口是缓解这一态势的有效途径，因此，对未来新生人口发展趋势进行预测显得尤为重要。

二、基于灰色系统预测模型 GM(1, 1) 的出生人口预测

(一) 灰色系统预测模型 GM(1, 1) 建模机理

1982 年，邓聚龙就“贫信息、少数据”问题提出了灰色系统理论，并将其广泛应用到各个领域，主要通过对部分已知信息进行开发、研究和提取，以正确描述系统运行演化规律，并实现对未来变化的预测。^{[11]92}图 1 是灰色预测模型 GM(1, 1) 的主要步骤，其基本形式及其时间响应式分别表示为：

$$x^{(0)}(k) + az^{(1)}(k) = b,$$

$$\hat{x}^{(1)}(k) = \frac{b}{a} + \frac{\sum_{i=1}^n (x^{(1)}(i) - \frac{b}{a}) \times e^{-ai}}{\sum_{i=1}^n e^{-2ai}} \times e^{-ak},$$

其中 $k=1, 2, \dots, n$, $\hat{x}^{(1)}(k)=1, 2, \dots, n$, $\hat{x}^{(1)}$ 表示 $x^{(2)}$ 的模拟值。

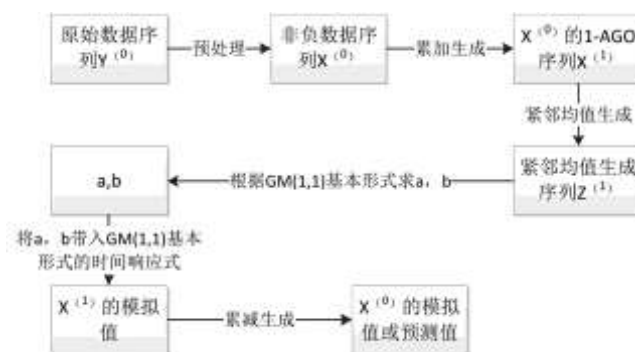


图 1 灰色系统预测模型 GM(1, 1) 流程图

1. 原始数据序列预处理

当原始数据序列存在失真情况时，需运用恰当的缓冲算子来提升序列光滑性，以提高预测的精确程度。一般情况下，灰色系统理论中多运用弱化缓冲算子，减缓序列振荡幅度以提升序列光滑性。设原始数据序列为 $Y^{(0)} = (y^{(0)}(1), y^{(0)}(2), \dots, y^{(0)}(n))$ ，令：

$$Y^{(0)} D = (y^{(0)}(1)d, y^{(0)}(2)d, \dots, y^{(0)}(n)d),$$

其中 $y^{(0)}(k)d = \frac{1}{n-k+1} [y^{(0)}(k) + y^{(0)}(k+1) + \dots + y^{(0)}(n)]$, $k = 1, 2, \dots, n$, 则 D 为弱化缓冲算子， $Y^{(0)}D$ 为一阶缓冲序列， $Y^{(0)}D_2$ 为二阶缓冲序列， $Y^{(0)}D_r$ 为 r 阶缓冲序列。用于预测的数据序列 $X^{(0)}$ 可以根据实际情况选择合适的阶数缓冲序列。

2. 累加生成序列和紧邻均值生成序列获取

对数据序列 $X^{(0)}$ 进行一次累加生成，得到 $X^{(0)}$ 的一次累加生成序列 (1-AGO 序列) $X^{(1)}, X^{(1)} = (x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n))$ ，其中 $x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i)$, $k = 1, 2, \dots, n$ 。再对序列 $X^{(1)}$ 进行紧邻均值生成，得到紧邻均值生成序列 $Z^{(1)} = (z^{(1)}(2), z^{(1)}(3), \dots, z^{(1)}(n))$ ，其中 $z^{(1)}(k) = \frac{1}{2} (x^{(1)}(k) + x^{(1)}(k-1))$, $k = 1, 2, \dots, n$ 。

3. 模拟值序列和预测值序列获取

将数据序列 $X^{(0)}$ 与 $Z^{(1)}$ 代入上述 GM(1, 1) 模型的基本形式中，求出参数向量 $\hat{a} = [a, b]^T$, $\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T C$ ，其中

$$B = \begin{bmatrix} -e^{a(2)} & 1 \\ -e^{a(3)} & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -e^{a(n)} & 1 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} e^{a(2)} \\ e^{a(3)} \\ \vdots \\ e^{a(n)} \end{bmatrix}。将求得的 a、b 带入 GM(1, 1) 模型的时间响应式，求得 $X^{(1)}$ 的模拟值序列 $\hat{X}^{(1)}$ ，而$$

$\hat{X}^{(1)}(k) = [e^{a(1)} - \frac{b}{a}] \frac{b}{a} e^{a(k-1)} + \frac{b}{a}$ (其中 $k = 1, 2, \dots, n$)，再对模拟值 $\hat{X}^{(1)}$ 进行一次累减，得到模拟值序列或预测值序列

$$\hat{X}^{(0)}, \hat{X}^{(0)} = \begin{cases} \text{模拟值序列}, & k \leq n \\ \text{预测值序列}, & k > n \end{cases}, \text{其中 } \hat{x}^{(0)}(k) = \hat{x}^{(1)}(k) - \hat{x}^{(1)}(k-1), \text{而 } k = 2, 3, \dots, n。$$

(二) 出生人口预测及趋势特征分析

为了确保预测效度的可靠性，本文运用 Matlab 软件对安徽省 2012-2018 年已出生的人口数据进行模拟预测，其中 $Y^{(0)}$ 表示 2012-2018 年安徽省出生人口数量；为增加原始数据序列光滑性，将 $Y^{(0)}$ 进行一次缓冲得到 $X^{(0)}$ ，即 $X^{(0)}$ 表示 2012-2018 年经处理后用于预测的安徽省出生人口数量，设其为实际值；对 $X^{(0)}$ 采用 GM(1, 1) 模型进行处理，得到 $\hat{X}^{(0)}$ ，即 $\hat{X}^{(0)}$ 表示安徽省出生人口

数量的模拟值或预测值， $\hat{X}^{(0)} = \begin{cases} \text{出生人口数量模拟值}, & \text{年份} \leq 2018 \text{ 年} \\ \text{出生人口数量预测值}, & \text{年份} > 2018 \text{ 年} \end{cases}$ ，具体见表 1 所示。

表 1 2012-2018 年安徽出生人口实际值和模拟值表 万人

年份	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
$Y^{(0)}$	367.7	365.4	358.3	365.0	369.3	369.0	376.9
$X^{(0)}$	367.4	367.3	367.7	370.0	371.7	373.0	376.9
$\hat{X}^{(0)}$	367.4	366.4	368.3	370.1	372.0	373.9	375.8

最后，通过残差方差 c 和后验差比值 p 来检测 GM(1, 1) 模型的精度，当 $c < 0.35$ 、 $p > 0.95$ 时，则说明模型的预测精度等级为好。而实际计算得出： $p=1$ ， $c=0.0426$ ，说明模拟等级为好，且拟合效果佳(见图 2 所示)，因此，可采用 GM(1, 1) 模型对安徽省未来 10 年出生人口数量进行预测，结果见表 2。

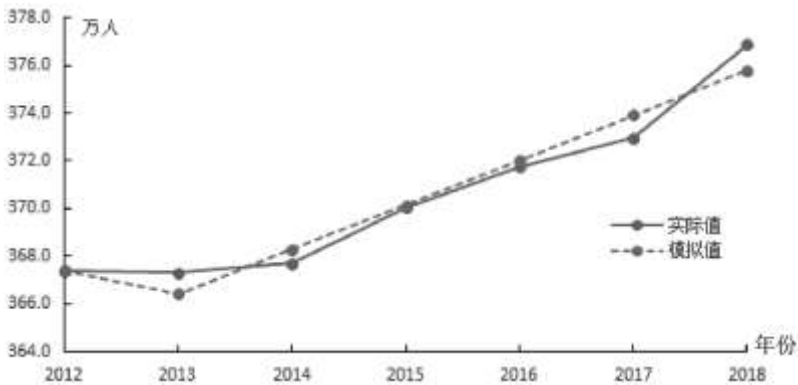


图 2 2012-2018 年安徽出生人口数量实际值和模拟值拟合图

表 2 2019-2028 年安徽省出生人口数量预测表 万人

年份	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
$\hat{X}^{(0)}$	377.7	379.6	381.6	383.5	385.4	387.4	389.4	391.3	393.3	395.3

从上述预测可知，在全面二孩政策落实下，安徽省未来 10 年的出生人口数量呈增长趋势，每年新生人口较上一年增加 2 万人左右，但该增长速度相较人口老龄化速度仍远远不够，2028 年，安徽省 65 岁以上人口将达 1051.17 万人，老龄化系数 18.89%。^[10] 因此，二孩政策对安徽省的人口结构变化及老龄化趋势作用十分有限，并没有达到预期效果。这主要是育龄妇女人口规模缩小、生育观念和 家庭观念转变、经济条件限制等影响因素所致。

三、安徽省出生人口数量影响因素的灰色关联度分析

灰色关联度分析是根据序列曲线几何相似程度来确定不同序列之间的关联度，序列之间的折线几何形状越相似，则关联度越大。

(一)出生人口增长影响因素指标选取和指标数据序列整理

根据已有文献和安徽省实际情况，选取年出生人口数量 X_0 、年龄在 15~49 岁的育龄妇女总量 X_1 、城镇化率 X_2 、人均生产总值 X_3 、恩格尔系数(农村) X_4 、恩格尔系数(城镇) X_5 、每 10 万人口中学历在大专及以上学历的人数 X_6 , 7 个影响因素指标对安徽省出生人口数量影响因素进行灰色关联度分析。^[9, 12-13]这其中 X_0 为系统特征行为序列， $X_1 \sim X_6$ 6 个指标为相关因素序列。7 个指标数据来源于《安徽统计年鉴》，数据整理如表 3。

表 3 2012-2018 年安徽省出生人口数量影响因素原始数据一览表¹

指标	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
X_0 /万人	367.7	365.4	358.3	365.0	369.3	369.0	376.9
X_1 /人	66225	65023	179462	181404	168697	162619	151765
X_2 /%	46.50	47.86	49.20	50.50	51.99	53.49	54.69
X_3 /(元/人)	28792	32001	34425	35997	39092	43401	47712
X_4 /%	39.25	39.65	35.61	35.79	34.25	33.55	33.01
X_5 /%	38.70	39.20	33.28	33.67	32.55	32.14	31.00
X_6 /人	6763	6623	8676	10848	12468	13554	13878

(二)计算步骤和计算结果分析

以表 1 数据为基础，计算 X_0 与 $X_1 \sim X_6$ 之间的灰色绝对关联度、灰色相对关联度和灰色综合关联度： $S_i = \int_1^6 (X_i - x_i(1)) dt$ ， S_i 为原始序列始点零化像的积分， $\varepsilon_{ij} = \frac{1 + |S_i| + |S_j|}{1 + |S_i| + |S_j| + |S_i - S_j|}$ 为 X_i 与 X_j 的灰色绝对关联度； $S_i^* = \int_1^6 (\frac{X_j}{x_j(1)} - x_i(1)) dt$ ， S_i^* 为初始化序列始点零化像的积分， $\gamma_{ij} = \frac{1 + |S_i^*| + |S_j^*|}{1 + |S_i^*| + |S_j^*| + |S_i^* - S_j^*|}$ 为 X_i 与 X_j 的灰色相对关联度；当 $\theta \in [0, 1]$ 时，称 $\rho_{ij} = \theta \varepsilon_{ij} + (1 - \theta) \gamma_{ij}$ 为 X_i 与 X_j 的灰色综合关联度，一般情况下， θ 取 0.5。^{[11]59-64}经计算， X_0 与 $X_1 \sim X_6$ 间关联度大小见表 4。

表 4 X_0 与其他影响因素的关联度表

指标	灰色绝对关联度	灰色相对关联度	灰色综合关联度
X_1	0.500007892	0.534220915	0.517114403
X_2	0.647205093	0.751880405	0.699542749
X_3	0.500073389	0.615227816	0.557650602
X_4	0.676022835	0.753599925	0.714811380

X_5	0.636986301	0.718885925	0.677936113
X_6	0.500168857	0.569355349	0.534762103

由表 4 可知, 6 个灰色综合关联度对各影响因素的排序为: $X_4 > X_2 > X_5 > X_3 > X_6 > X_1$, 且 6 个影响因素的灰色综合关联度均大于 0.5, 说明 6 个影响因素对安徽出生人口数量均有影响, 其中恩格尔系数(农村)与出生人口数量的关联度最大, 体现了安徽省农村养儿防老的观念依旧较深, 容易将生活寄托于孩子身上, 选择生养二胎。另外, 恩格尔系数(城镇)与出生人口数量综合关联度为 0.677936113, 存在较大关联。因此, 不管是农村还是城镇, 恩格尔系数与出生人口关联度都较高; 而育龄妇女总量与出生人口数量关联度最小, 育龄妇女总量增多暂时不会有效提升新生儿人口数量。

四、结论和建议

本文以安徽省为例, 选取其 2012-2018 年出生人口数据, 采用灰色系统预测模型 GM(1, 1), 对安徽省 2019-2028 年的出生人口进行了预测, 并采用灰色关联分析法对安徽省出生人口数量影响因素进行分析。研究表明: 安徽省未来 10 年出生人口持续增长, 但增长速度并不明显且持续效果不佳, 对减缓安徽省人口老龄化趋势作用有限。在众多出生人口影响因素中, 城镇化率和恩格尔系数与安徽省的出生人口数关联度最大。现行的“全面二孩”政策只能在短期内增加新生儿人口数量, 且增长数量与速率较小, 而从长期来看, 并不能有效优化安徽省的人口年龄结构和减缓人口老龄化趋势。因此, 仅改变生育政策是不够的, 应从城镇化发展、社会保障、人口素质三个方面入手, 提高出生人口增长率。

(一)健全城镇化发展体系, 加快推进城乡一体化进程

城乡一体化是保持人口增长的根本需要。健全城乡一体化产业格局, 可由城镇带动农村发展, 使得城乡居民共同享有城市现代化的发展成果; 同时, 城乡一体化产业格局可扩大农民收入增加的渠道, 减小城乡差距, 从而使农民富裕程度提升、恩格尔系数下降, 进而加快区域出生人口增长速度。

(二)健全育龄妇女的生育保障体系

育龄人口总体年龄结构上升对生育保障机构提出了更高的要求, 政府应加大该领域的财政支出, 积极配合公共卫生部门加强生育保障制度建设, 完善医疗保障体系, 解除生育家庭的后顾之忧。

(三)增加教育投入, 创造人口素质红利

在老龄化问题日渐突出的大背景下, 劳动力人口持续下降。因此, 需及时转变观念, 从人口数量创造价值向人口质量创造价值的观念转变, 应加大高新技术人才培养的资金投入, 促进区域经济向高质量发展。

基于灰色关联分析的便利性和可行性, 文章在影响因素筛选中仅归纳了 6 个, 影响因素受众面较小, 且筛选时易受到主观因素的影响, 因此, 选取影响因素指标的水平仍有待提升。同时, 应用 GM(1, 1)模型预测数据序列数量时, 需要综合考虑这些年生育政策的变化和预测指标的动态变化情况, 研究过程中若能建立不同维度的 GM(1, 1)模型, 并通过精度测验选取最佳维度, 则研究效果会更好, 这也是今后需要进一步改进的方向。

参考文献:

-
- [1]刘晓艳,石洪波.“全面二孩”政策下的中国人口结构解析[J].统计与决策,2017(8):77-80.
- [2]王开泳,丁俊,王甫园.全面二孩政策对中国人口结构及区域人口空间格局的影响[J].地理科学进展,2016,35(11):1305-1316.
- [3]罗雅楠,程云飞,郑晓瑛.“全面二孩”政策后我国人口态势趋势变动[J].人口与发展,2016,22(5):2-14.
- [4]孟令国,李博,陈莉.“全面两孩”政策对人口增量及人口老龄化的影响[J].广东财经大学学报,2016,31(1):26-35.
- [5]王金营,戈艳霞.全面二孩政策实施下的中国人口发展态势[J].人口研究,2016,40(6):3-21.
- [6]陈友华.全面二孩政策与中国人口趋势[J].学海,2016(1):62-66.
- [7]孙幸荣,张春.基于GM(1,1)模型的我国人口发展趋势分析[J].统计与决策,2016(23):104-106.
- [8]梁海艳.全面二孩政策对人口与就业的影响研究[J].中国人力资源开发,2017(9):127-138.
- [9]汤兆云.全面两孩政策对人口结构的影响——以福建省为分析对象[J].社会科学家,2017(5):12-18.
- [10]蒋诗泉.基于灰色理论的人口老龄化发展趋势及其影响因素研究——以安徽省为例[J].华东师范大学学报(哲学社会科学版),2014,46(3):133-139,156.
- [11]刘思峰,党耀国.灰色系统理论及其应用[M].8版.北京:科学出版社,2017.
- [12]姜全保,杨淑彩,李树苗.中国出生人口数量变化研究[J].中国人口科学,2018(1):60-71,127.
- [13]王广州.影响全面二孩政策新增出生人口规模的几个关键因素分析[J].学海,2016(1):82-89.

注释:

1 2018年《安徽统计年鉴》。

2 数据来源于《安徽统计年鉴》。