

基于新优化灰色模型的江苏人口发展预测研究

门可佩¹ 唐沙沙¹ 蒋梁瑜¹ 刘静¹

摘要

对江苏省60 a来人口发展进程进行了分析,并根据2008年江苏省人口最新统计资料,建立人口预测新发展系数的优化GM(1,1)模型,对2009—2020年江苏人口发展进行预测研究.结果表明:到2009年底,江苏总人口约为7 741.65万人,到2010、2015、2020年,则分别约为7 807.35、8 144.30和8 495.80万人,预测结果符合江苏人口发展实际.

关键词

江苏人口;新发展系数GM(1,1)模型;人口预测

中图分类号 C922

文献标志码 A

0 引言

Introduction

人口问题是当今世界最关注的问题之一,人类是社会经济活动的主体,未来社会的人口状况怎样,对一个国家或地区的未来社会经济发展关系极大.中国是世界上人口最多的国家,人口问题一直是制约中国经济和社会发展的“瓶颈”.江苏省位于中国东部,是我国著名经济大省,全省面积10.26万 km^2 ,2008年底常住人口7 676.5万人,人口密度高达748人/ km^2 ,位居全国各省区之首.江苏以占全国5.78%的人口,创造了占全国10.1%的地区总产值,相当于1个人做出2个人的贡献.因此,研究讨论江苏人口的发展趋势对江苏区域经济乃至全国经济的可持续发展都有极其深远的影响.

建国以来,江苏人口增长大致经历了4个时期(图1),即2次人口高峰期、1个低谷和1个稳定增长期.第1阶段(1949—1958年)为第1次人口增长高峰期,其特点是高出生率和高死亡率并存,在此建国初期,全省上下百废待兴,社会生产力和人民生活水平都得到很大提高,9 a间总人口增加了746万人,年均增长率为21.6‰,人口出生率最高达37.6‰;第2阶段(1959—1961年)为低谷时期,由于3 a重大自然灾害的影响,全省总人口减少近46万人;第3阶段(1962—1971年)为高出生率、低死亡率的第2次人口增长高峰期,9 a间总人口增加了1 027万人,年均增长率在23.9‰;第4阶段(1972年至今)为人口稳定增长时期,其中1985—1990年为第3次生育高峰,但人口自然增长率总的趋势呈逐步下降的态势.

20世纪七八十年代,我国开始实施人口计划生育政策,江苏人口发展开始进入缓慢增长阶段,人口自然增长率由20‰以上逐步降到10‰上下;到了20世纪80年代后期,计划生育政策初显成效,江苏人口的过快增长得到有效控制;90年代以后,江苏人口增速大为减缓,进入了稳定增长期,人口自然增长率基本降至10‰以下;1990—2000年,江苏总人口年平均增长率为8.0‰,比同期全国平均水平低2.4个百分点,比全省1980—1990年的年均增长率低5.2个百分点.30 a来江苏共少生3 200万人,江苏省人口和计划生育工作功不可没.“十五”以来,全省妇女总生育率稳定在1.3‰左右,人口自然增长率稳定在2.6‰以下,人口总量持续保持低速增长,已经实现了人口再生产类型从“高出生、低死亡、高增长”到“低出生、低死亡、低增长”的历史性转变,平稳地度过了建国以来的第3次生育高峰,人口发展从数量、

收稿日期 2009-10-22

资助项目 全国统计科研计划重点项目(2008-LZ022);南京信息工程大学科研基金(08KC-0012)

作者简介

门可佩,男,教授,硕士生导师,主要从事应用统计分析研究.menkp@yahoo.com.cn

¹ 南京信息工程大学 数理学院,南京,210044

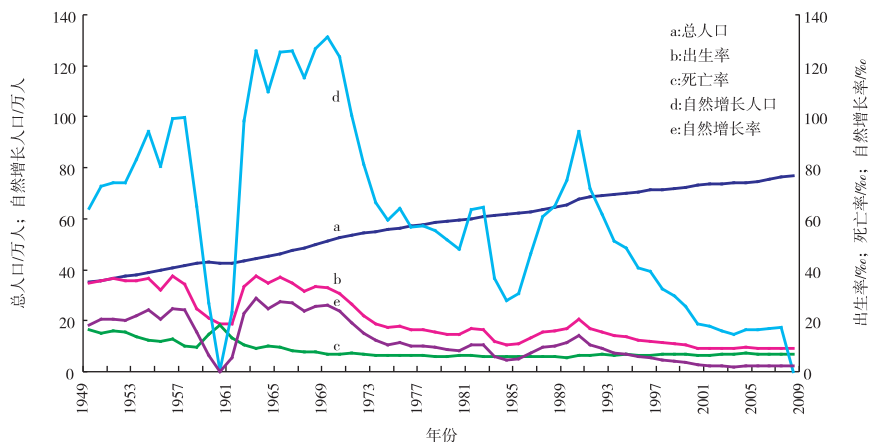


图1 1949—2008年江苏人口自然变动情况

Fig. 1 Diagram of natural changes in Jiangsu's population from 1949 to 2008

结构到质量均发生了较大的变化. 不过自2004年开始, 人口增长幅度加大, 这与人们的传统观念喜欢在农历猴年、猪年多生多养有关. 从统计部门获悉, 虽然“十五”期间江苏人口年均增长速度比“九五”时期下降了0.33个百分点, 5 a 共计少出生48万人, 但进入“十一五”后, 随着处于生育旺盛期的妇女人数逐年快速递增, 人口增长对资源、环境构成了较大的压力. 虽然目前我国已经进入了低生育率国家行列, 但由于人口增长的惯性作用, 江苏乃至全国的人口速度增长仍然会比较快^[1].

人口总量关系与人口预测是人口学理论研究的核心理论. 江苏经济可持续发展和现代化战略决策需要提供可靠的人口数据, 因此准确预测未来人口的趋势具有重要的现实意义. 人口预测有多种方法, 通常采用时间序列分析为基础的自回归模型或人口年龄移算等方法. 自回归模型往往基于平稳序列的前提, 而人口序列又常常是非平稳的, 因而导致预测精度不高. 人口移算法因涉及到预测基年的人口年龄结构、妇女生育模式、人口死亡模式等影响人口演变的因素太多而难以准确计算. 灰色系统理论以部分信息已知, 部分信息未知的“小样本”、“贫信息”不确定性系统为研究对象, 通过对部分已知信息的生成和开发, 来实现对系统运行规律的正确认识与控制. 人口系统是一个典型的灰色系统, 适宜采用灰色系统模型去发掘其内在的演变规律^[2-7]. 本文根据《江苏统计年鉴》^[8]最新统计资料, 经过特殊预处理建立新型优化的灰色GM(1,1)模型, 对2009—2020年江苏人口发展趋势进行预测分析, 为江苏社会经济可持续发展战略决策提供参考依据.

1 构建人口预测的优化灰色模型

Establishment of the optimal grey model for population prediction

1.1 普通GM(1,1)模型的建立

设人口系统输出的时间序列为

$$X^{(0)} = [x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)],$$

对序列 $X^{(0)}$ 再进行一阶累加生成运算(1-AGO, Accumulating Generation Operator), 得序列

$$X^{(1)} = [x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)],$$

其中

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

对 $X^{(1)}$ 建立GM(1,1)模型, 其白化微分方程形式为

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

式(1)中 a, b 为待辨识参数, 分别称之为发展系数和灰色作用量.

1.2 发展系数初始值 a_0 的确定

引理^[9] 若 $x^{(1)}(t)$ 满足一阶线性微分方程(1), 以 $x(t) = x(t_0)$ 为初始条件的解为

$$x^{(1)}(t) = \left[x(t_0) - \frac{b}{a} \right] e^{-a(t-t_0)} + \frac{b}{a}, \quad (2)$$

则

1) 存在 $\lambda_1 = \frac{1}{a} - \frac{1}{e^a - 1}$, 使得

$$[x^{(1)}(k) - x^{(1)}(k-1)] + a[\lambda_1 x^{(1)}(k-1) + (1 - \lambda_1)x^{(1)}(k)] = b.$$

其中 $k = 2, 3, \dots, n$;

2) 存在 $\lambda_2 = \frac{a(1+e^{-a})}{2(1-e^{-a})}$, 使得

$$\lambda_2 [x^{(1)}(k) - x^{(1)}(k-1)] + \frac{a}{2} [x^{(1)}(k-1) + x^{(1)}(k)] = b,$$

其中 $k=2, 3, \dots, n$;

3) 存在 $\lambda_3 = \frac{a}{e^a - 1}$, 使得

$$\lambda_3 [x^{(1)}(k) - x^{(1)}(k-1)] + ax^{(1)}(k) = b,$$

其中 $k=2, 3, \dots, n$.

为充分发挥人口系统信息并获得更高的预测精度, 令发展系数的初始值为

$$a_0 = \ln \left\{ \frac{1}{n-1} \left[\sum_{k=2}^n \frac{x^{(0)}(k-1)}{x^{(0)}(k)} \right] \right\}, \quad k=2, \dots, n;$$

$$\lambda_0 = \frac{1}{a_0} - \frac{1}{e^{a_0} - 1}.$$

其合理性在于: 当原始序列不是等比数列的时候, 原始序列级比倒数的算术平均

$$\frac{1}{n-1} \left[\sum_{k=2}^n \frac{x^{(0)}(k-1)}{x^{(0)}(k)} \right] = e^{a_0}$$

是恒等的, 而求发展系数的目的就是求其灰色预测模型中公比 e^{-a_0} 的倒数 e^{a_0} . 这样可保证初始值比较接近于实际值, 从而大大减少迭代计算的次数, 甚至无需迭代^[10-12].

1.3 求解参数并建立预测模型

以 $z^{(1)}(k)$ 为背景值进行非等权平均, 有

$$z^{(1)}(k) = \lambda_0 x^{(1)}(k-1) + (1-\lambda_0)x^{(1)}(k), \quad (3)$$

则 GM(1,1) 模型的灰色微分方程形如

$$x^{(0)}(k) + a_1 z^{(1)}(k) = b_1. \quad (4)$$

式(4)中 a_1, b_1 应用最小二乘法可经下式计算求得:

$$\hat{a} = (a_1, b_1)^T = (\mathbf{B}^T \mathbf{B})^{-1} \cdot \mathbf{B}^T \cdot \mathbf{Y}_n. \quad (5)$$

其中:

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} -z^{(1)}(2) & 1 \\ -z^{(1)}(3) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -z^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{Y}_n = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix}. \quad (6)$$

根据灰色系统中的新信息原理, 令 $\hat{x}^{(0)}(n) = x^{(0)}(n)$, 则方程的解即时间响应函数为

$$\begin{cases} \hat{x}^{(1)}(k+1) = \left[x^{(0)}(n) - \frac{b_1}{a_1} \right] \cdot e^{-a_1 k} + \frac{b_1}{a_1}; \\ \hat{x}^{(0)}(k+1) = \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k). \end{cases} \quad (7)$$

其中: $k=1, 2, \dots, n$.

最后, 进行逆变换还原, 即得拟合值或预测值

门可佩, 等. 基于新优化灰色模型的江苏人口发展预测研究.

$$\hat{x}^{(0)}(k) = x^{(0)}(n) \cdot e^{-a_1(k-n)}, \quad k=1, 2, \dots, n. \quad (8)$$

在实际灰色建模中, 系统的原始序列数据不一定全部用来建模, 不同维数(或长度)序列建模, 所得参数 a_1, b_1 的值是不一样的, 因而模型的预测值也不同, 它们构成一个预测灰区间. 为提高预测精度, 必须筛选适当维数的灰色模型. 本文采用 Matlab 进行编程计算, 对江苏人口发展趋势进行预测研究.

2 江苏未来人口发展预测分析

Prediction and analysis of the future population development in Jiangsu

江苏省人口统计资料比较完整, 为人口预测提供了较为充分的依据. 本文以推行计划生育政策以来的人口历史数据为依据, 选择江苏省总人口这个指标建立模型并进行预测分析.

2.1 关于 2008 年江苏人口的检验性预测

选取 2002—2007 年江苏人口数据, 建立 6 维短序列灰色 GM(1,1) 模型、新发展系数模型和无偏灰色模型, 分别对 2008 年数据进行检验性预测, 结果列于表 1.

表 1 各类模型关于 2008 年江苏总人口的预测结果比较

Table 1 Comparison between the predictions of Jiangsu's total population in 2008 based on various models

模型	实际值 /万人	预测值 /万人	绝对误差 /%	预测精度 /%
GM(1,1) 模型	7 676.50	7 665.36	11.14	99.85
新发展系数模型	7 676.50	7 681.18	4.68	99.94
无偏灰色模型	7 676.50	7 665.02	11.50	99.85

从表 1 可以看出新发展系数模型精度最高, 故选择其作为江苏未来人口的预测模型, 其结果为

$$\hat{x}^{(0)}(k) = 7 624.50 e^{0.007 406 747(k-6)}. \quad (9)$$

经检验: 平均拟合精度为 99.73%, 平均相对误差和模拟误差均小于 0.01, 模型达到一级精度标准. 由此模型计算即得 2008 年江苏人口预测值为 7 681.18 万人, 预测精度高达 99.94%. 由此可见, 采用新发展系数的人口预测灰色 GM(1,1) 模型具有极为理想的预测效果, 可用作江苏人口的实际预测.

2.2 2009—2020 年江苏人口预测和分析

选用 2003—2008 年人口资料, 建立 6 维新发展系数灰色 GM(1,1) 模型如下:

$$\hat{x}^{(0)}(k) = 7 676.50 e^{0.008 450 7(k-6)}. \quad (10)$$

经检验: 平均相对精度 99.82%, 即平均相对误

差 0.18%, 后验差指标 $C = 0.18 < 0.35$, 小误差概率 $P = 1 > 0.95$, 模型达到一级精度要求. 该模型关于 2009—2020 年江苏总人口的预测结果列于表 2.

表 2 2009—2020 年江苏总人口预测值

Table 2 Forecast value of total population in Jiangsu from 2009 to 2020

年份	总人口/万人	年份	总人口/万人
2009	7 741.65	2015	8 144.30
2010	7 807.35	2016	8 213.42
2011	7 873.60	2017	8 283.12
2012	7 940.42	2018	8 353.42
2013	8 007.81	2019	8 424.31
2014	8 075.77	2020	8 495.80

3 结论与讨论

Conclusions and discussions

1) 实践表明, 运用新发展系数人口预测灰色 GM(1,1) 模型进行江苏人口预测, 具有较高的预测精度. 该方法的最大优点在于它对数据量的要求不大, 模型操作灵活简便, 计算精确, 是人口预测的一种高效而经济的方法. 上述预测结果表明, 在保持现行人口系统运行的条件下, 到 2010 年江苏总人口将达到 7 807.35 万人, 江苏省政府工作报告中提出要在 2010 年将人口控制在 7 800 万以内, 完成这样一个目标还需要做出努力.

2) 全省在经济社会快速发展的同时, 一直面临着人多地少、资源短缺的难题. 近年来, 尽管江苏省人口增长速度较慢, 生育水平多年保持在更替水平以下, 但每年出生人口的绝对数仍然很大. 由于江苏省人口基数大, 人口自身生产惯性作用, 加上流入人口的不断增加, 未来江苏人口数量庞大和人口持续增长将在相当一段时间并存. 21 世纪, 江苏同全国一样, 将先后迎来劳动力年龄人口、总人口和老龄人口 3 大高峰, 加之江苏省人口密度为全国最大, 而矿产资源为全国最少, 人均环境容量最小, 这就造成人口对就业、社会资源等方面的更大压力. 当前江苏省处于低增长率和高增长量并存的时期, 同时又面临流动人口逐年增多、男女比例严重失衡等问题^[13-14].

3) 目前, 关于老年型人口的划分标准通常有两种: 一是联合国的划分方法, 以 65 岁及以上老年人口比例占 7% 以上的为老年型人口; 二是发展中国家大多采用的, 以 60 岁及以上老年人口占总人口比

例在 10% 以上为老年型人口. 20 世纪 80 年代, 江苏 65 岁及以上老年人口比重达到 6.79%, 接近联合国认定的老年型人口 7% 的标准, 劳动适龄人口和老年人的比例达到 12:1, 而当时全省人均国民生产总值却不足 1 000 美元. 2006 年, 江苏老年人口比重上升到 11%, 劳动适龄人口和老年人的比例已变成了 7:1, 尽管此时全省人均国民生产总值已经达 3 000 美元, 但与瑞典、日本、英国、德国、法国等发达国家在进入老龄化时, 人均国民生产总值 (GDP) 已达 1 万至 3 万美元相比, 江苏省属于典型的“未富先老”型社会. 据最新统计, 2009 年江苏 60 岁以上老年人口为 1 218 万人, 占全省总人口 16.8%, 比全国高出近 5 个百分点; 预计到明年底老年人口将达到 1 260 万人, 老龄化程度将达到 17% 以上, 并且今后老年人口比重还要年均增长 0.6 个百分点, 直至 2041 年达到峰值. 与此同时, 近 10 a 来全省少儿人口比重下降了 4.16 个百分点, 全省现有独生子女总人数 1 200 万人. 上述数字表明, 无论哪种标准, 江苏将来独生子女赡养老人的担子更重, 老年人口社会保障所面临的财政压力更大, 社会保险制度受到的挑战更加严峻^[15-16].

4) 人作为经济活动的主体, 既是可持续发展的受益者, 又是实现可持续发展的动力. 控制人口增长, 调整人口结构, 提高人口素质, 既是人口与社会经济协调发展的重要保障, 也是江苏实现“两个率先”, 构建和谐社会的“助推器”. 现在的当务之急是要紧紧围绕继续稳定低生育水平, 强化人口系统管理, 创新工作思路和机制, 大力发展人力资源, 及早积极应对人口老龄化, 健全社会保障体系, 努力提高人口的健康素质、科学文化素质和思想道德素质, 把人口压力转变为人力资源优势, 以高素质人才推动高水平发展. 总之, 人口问题是一个关系到国民经济和社会发展战略全局的重要问题, 只有促进人口、资源、环境和社会经济的全面协调可持续发展, 才能构建和谐的新江苏.

参考文献

References

- [1] 江苏省统计局. 江苏人口与经济社会发展的初步分析 [EB/OL]. [2007-07-16] http://www.stats.gov.cn/tjfx/dfxx/t20070713_402417792.htm
Jiangsu Province Statistics Bureau. Preliminary analysis of the population, economic and social development in Jiangsu [EB/OL]. [2007-07-16] http://www.stats.gov.cn/tjfx/dfxx/t20070713_402417792.htm
- [2] DENG Julong. Grey modeling in less data[J]. Journal of Grey Sys-

- tem, 1999(3):222
- [3] 刘思峰, 党耀国, 方志耕. 灰色系统理论及其应用[M]. 3 版. 北京: 科学出版社, 2004
LIU Sifeng, DANG Yaoguo, FANG Zhigeng. Grey system theory and its application[M]. 3th ed. Beijing: Science Press, 2004
- [4] 门可佩, 官琳琳, 尹逊震. 基于两种新型灰色模型的中国人口预测[J]. 经济地理, 2007, 27(6):942-945
MEN Kepei, GUAN Linlin, YIN Xunzhen. Prediction of China's population based on two new types of grey models[J]. Economic Geography, 2007, 27(6):942-945
- [5] MEN Kepei, JIANG Liangyu, ZHU Hongting. Research on prediction of China's population development from 2008 to 2050[J]. Journal of Sustainable Development, 2008, 1(2):55-62
- [6] MEN Kepei, GUAN Linlin, JIA Lingyun. China's future population: predictions and prospects[J]. Population Review, 2005, 44(1):1-10
- [7] 门可佩, 曾卫. 中国未来 50 年人口发展预测研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2004(3):12-17
MEN Kepei, ZENG Wei. Study on the prediction of the population of China over the next 50 years[J]. Journal of Quantitative & Technical Economics, 2004(3):12-17
- [8] 江苏省统计局. 江苏统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2009
Jiangsu Province Statistics Bureau. Statistical yearbook of Jiangsu[M]. Beijing: China Statistics Press, 2009
- [9] 穆勇. 无偏灰色 GM(1,1) 模型的直接建模法[J]. 系统工程与电子技术, 2003, 25(9):1094-1096
MU Yong. A direct modeling method of the unbiased GM(1,1)[J]. Systems Engineering & Electronics, 2003, 25(9):1094-1096
- [10] 党耀国, 刘思峰, 刘斌. 以 $x^{(1)}(n)$ 为初始条件的 GM 模型[J]. 中国管理科学, 2005, 13(1):132-135
DANG Yaoguo, LIU Sifeng, LIU Bing. The GM models with $x^{(1)}(n)$ taken as the initial value[J]. Chinese Journal of Management Science, 2005, 13(1):132-135
- [11] 余逗, 魏勇. 发展系数与预测模型初始值确定的新方法[J]. 统计与决策, 2008(2):42-44
YU Dou, WEI Yong. A new method of determining the initial value of the development coefficient and prediction model[J]. Statistics and Decision, 2008(2):42-44
- [12] 张大海, 江世芳, 史开泉. 灰色预测公式的理论缺陷及改进[J]. 系统工程理论与实践, 2002(8):140-142
ZHANG Dahai, JIANG Shifang, SHI Kaiquan. Theoretical defect of grey prediction formula and its improvement[J]. Systems Engineering Theory & Practice, 2002(8):140-142
- [13] 中华人民共和国国务院. 中国 21 世纪人口与发展[EB/OL]. (2005-05-26) http://www.gov.cn/zwgc/2005-05-26/content_1272.htm
PRC State Council. Population and development for the 21st century in China[EB/OL]. (2005-05-26) http://www.gov.cn/zwgc/2005-05-26/content_1272.htm
- [14] 新华社. 中国将迎来三大人口高峰[N]. 南京日报, 2006-10-10
Xinhua News Agency. China will meet the three population peaks[N]. Nanjing Daily, 2006-10-10
- [15] 扬子晚报. 3 年后老年人将突破 800 万[N]. 扬子晚报, 2007-07-23
Yangtze Evening News. Three years after the elderly population will exceed 8 million[N]. Yangtze Evening News, 2007-07-23
- [16] 仲崇山. 江苏老龄化比全国高 5 个百分点[N]. 新华日报, 2009-12-23
ZHONG Chongshan. The aging population of Jiangsu Province is 5% higher than the national percentage[N]. Xinhua Daily, 2009-12-23

Research on the prediction of Jiangsu population development based on the new optimal grey model

MEN Kepei¹ TANG Shasha¹ JIANG Liangyu¹ LIU Jing¹

¹ Department of Statistics, School of Mathematics & Physics, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

Abstract By analyzing the process of population development in Jiangsu from 1949 to 2008, the prediction of the population development in Jiangsu during the period from 2009 to 2020 is proposed according to the latest statistics of Jiangsu population in 2008, based on establishing the new development coefficient GM(1,1) model. The results indicate that the total population of Jiangsu will amount up to about 77.42 million at the end of 2009, 78.07 million in 2010, 81.44 million in 2015, and 84.96 million in 2020 with these predictive results in agreement with the reality of the population development in Jiangsu.

Key words population of Jiangsu Province; GM(1,1) model with new development coefficient; population prediction