DOI:10.19789/j.1004-9398.2023.06.004
文献引用:查淑玲,屈改珠,王璇.基于灰色模型的西安市人口数量预测分析[J].首都师范大学学报(自然科学版),2023,44(6):16-19. ZHA S L, QU G Z, WANG X. Population prediction analysis of Xi'an based on grey model[J]. Journal of Capital Normal University(Natural Science Edition),2023,44(6):16-19.

基于灰色模型的西安市人口数量预测分析*

查淑玲，屈改珠，王　璇**
(渭南师范学院数学与统计学院，陕西 渭南　714099)

摘要:基于2014—2020年西安市的人口数据,通过建立灰色模型,借助Matlab软件进行计算,分别预测不同年龄段的人口数量,并比较检验预测结果。通过计算预测值获得了2021—2026年的各年龄段的人口数量预测值,其中老龄人口数量的变化趋势说明西安市人口老龄化问题突出,未来的养老形势严峻,政府应尽快建立更加健全的社会养老保障体系。

关键词:人口预测;灰色模型;人口老龄化
中图分类号:C924.2　　**文献标识码**:A

Population prediction analysis of Xi'an based on grey model*

ZHA Shuling，QU Gaizhu，WANG Xuan**
(School of Mathematics and Statistics，Weinan Normal University，Weinan Shaanxi　714099)

Abstract:Based on the population data of Xi'an from 2014 to 2020,the predicted value of population in different ages were given by building the grey model and calculating with Matlab. The predicted results were compared and tested. According to the tested results,the predicted value of total population in different ages in 2021 to 2026 is obtained,the changing trend of the number of the elderly population, which indicates that the population aging in Xi'an is a serious problem. The situation about how to support the aged in the future will be severe. The local government should establish a sound social elderly security system as soon as possible.

Keywords:population prediction;grey model;population aging
CLC:C924.2　　**DC**:A

0　引　言

对于任何一个国家或地区,可持续发展的核心因素是人口的发展。人口发展研究最早的模型是由英国人口学家马尔萨斯(Malthus)于1798年提出的Malthus模型[1],其短期预测效果较好,但长期效果较差,因为任何地区的人口数量都不会呈指数式无限增长,一定会受自然资源的限制;于是荷兰生物学家威赫尔斯特(Verhulst)对上述模型[2]进行修正,于1838年提出了阻滞增长的Logistic模型。这2种模型均是假定人口总数变化的时间是连续的,都是确定性模型,若将时间作为离散变量看待时,则适合用随机性人口模型来描述其变化过程,如考虑人口年龄分布的模型等[3]。20世纪70年代我国人口总数激增突破8亿大关,与当时我国资源匮乏、经济发展落后、粮食生产水平较低的国情十分不相

收稿日期:2022-04-18
* 陕西省自然科学基金项目(2021JM-521);大学生创新创业训练计划项目(22XK020)
** 通信作者:1877330256@qq.com

适应;国家于1979年出台了“晚婚晚育,少生优生”的独生子女计划生育政策[4-5],有效地控制了人口数量,缓解了人口增长对资源、环境的压力。随着时间的推移及经济的发展,生活水平及医疗条件的改善,社会人口的年龄结构又发生了新的变化。如生育率持续下降,劳动力人口短缺,独生子女家庭生活风险加重,于是2013年11月开始实施一方为独生子女的夫妇可以生育2个孩子的政策[6];接着于2016年1月国家又全面实施了1对夫妇可生育2个孩子的政策[7];随着国际大环境的改变,又在2021年7月公布了“中共中央、国务院关于优化生育政策促进人口长期均衡发展的决定”,开始实施三孩生育政策[8-9],目的是希望能够有效地解决劳动力供给的问题,也为解决未来养老的问题提供有利的人口环境。

我国地大物博、幅员辽阔,作为历史文化名城、古丝绸之路的起点城市,关中平原城市群的核心城市、“一带一路”的核心区——西安市,人口问题自然也是不可小觑的,为了合理地优化人口结构,西安市于2017年实施了人才引进的政策[10-11],经过多年运行,人口结构得到了适当的改善。目前影响未来人口数量变化的主要因素有:人口数量和年龄结构;经济社会发展水平和人口政策[12]。因此,对某个地区而言,人口发展的规律不一定能用线性或简单非线性曲线来表达[13-15]。本文拟通过建立灰色数学模型,对西安市不同年龄段人口发展数量的变化过程进行描述、分析和预测,在文献[16-17]的基础上,为制定控制人口增长及人口老龄化的政策提供依据。

1　灰色预测理论

1.1　灰色模型的建立及解法

灰色系统理论是由华中科技大学邓聚龙[18]于20世纪80年代首创的,主要是针对小样本、贫信息、部分信息已知,而部分信息未确定的系统,通过挖掘系统内的参数数据与分布范围,并对其进行分析和建模,依据模型的解法得到预测结果,推测系统演化发展的规律。

GM(1,1)模型的构建方法通常是将研究的系列数据作为一个时间序列,对其进行处理分析,因原始数据序列不一定具有单调性,对原始数据序列

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

经过一次累加生成,即可得到一个单调递增序列

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

$$x^1(k)=x^0(1)+\cdots+x^0(k),(k=1,2,\cdots,n),$$

则X^1上的一阶灰微分方程为

$$x^0(k)+aZ^1(k)=b。\tag{1}$$

由X^1的生成过程可知,经过一次累减生成又可以还原得到原始数据序列X^0,即

$$x^0(1)=x^1(1),x^0(k)=x^1(k)-x^1(k-1),$$
$$(k=2,3,\cdots,n)。$$

实际上,方程(1)是仿照微分方程

$$\frac{\mathrm{d}x^1}{\mathrm{d}t}+ax^1=b\tag{2}$$

建立的,式中:a为发展系数,b为灰作用量。称方程(2)为方程(1)的白化微分方程。

对于发展系数a和灰作用量b,通常使用最小二乘拟合法估计[19],而估计参数时须用到背景值,其构造方法又会影响灰色模型的精度及适用性。

对方程(2)在$[k-1,k]$上积分可得

$$x^0(k)+a\int_{k-1}^{k}x^1\,\mathrm{d}t=b。$$

背景值$z^1=\int_{k-1}^{k}x^1\,\mathrm{d}t$实质上是一个积分,由积分的近似计算则有背景值构造的一般表达式为

$$z^1(k)=\lambda x^1(k)+(1-\lambda)x^1(k+1),$$
$$0\leqslant\lambda\leqslant1,k=1,3,\cdots,n-1,\tag{3}$$

若使用背景值的均值生成法,即取$\lambda=0.5$时,参数a和b满足矩阵方程$\boldsymbol{Y}=\boldsymbol{BU}$,其中,

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

按最小二乘估计法,可得到参数满足

$$\boldsymbol{U}=(\boldsymbol{B}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{B})^{-1}\boldsymbol{B}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{Y},\tag{4}$$

将式(4)估计出来的参数代入(1),考虑到选择初值$x^1(1)=x^0(1)$,则GM(1,1)模型的时间响应函数为

$$\hat{x}^1(t)=(x^0(1)-\frac{\hat{b}}{\hat{a}})\mathrm{e}^{-\hat{a}t}+\frac{\hat{b}}{\hat{a}},\tag{5}$$

将式(5)离散化,则生成序列X^1的预测值$\hat{X}^1$,

$$\hat{x}^1(k)=(x^0(1)-\frac{\hat{b}}{\hat{a}})\mathrm{e}^{-\hat{a}(k-1)}+\frac{\hat{b}}{\hat{a}}。\tag{6}$$

再对预测序列$\hat{X}^1$作一次累减生成,可得到原始序列X^0的预测值$\hat{X}^0$,即

$$\hat{x}^0(1)=x^1(1),\ \hat{x}^0(k+1)=(x^0(1)-\frac{\hat{b}}{\hat{a}})(1-\mathrm{e}^{\hat{a}})\mathrm{e}^{-\hat{a}k},$$
$$k=1,2,\cdots。\tag{7}$$

最后,对所建立的预测模型进行检验,检测合格说明模型预测的精度好,预测结果可靠,可以用

来预测将来的人口数量。

1.2 灰色模型的后验差检验

设原始序列X^0与预测值序列$\hat{X}^0$在k时刻的残差为

$$\varepsilon(k)=x^0(k)-\hat{x}^0(k),k=1,2,\cdots,n, \quad (8)$$

原始序列的均值与方差分别为

$$\overline{X}^0=\frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}x^0(k),\ S_1^2=\frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}(x^0(k)-\overline{X}^0)^2,$$

残差的均值与方差分别为

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

作为后验差的检验指标,通常考虑后验差比值$C=\frac{S_2}{S_1}$和小误差概率$P=P\left\{\left|\varepsilon(k)-\bar{\varepsilon}\right|<0.6745\times S_1\right\}$。

预测精度等级划分如表1所示。若$C<0.35$,$P>0.95$,说明模型的检验精度为1级,用模型可以合理地预测未来数据。

表1 预测精度等级划分

预测精度	等级	P	C
优	1	>0.95	≤0.35
合格	2	>0.80~0.95	>0.35~0.50
勉强合格	3	>0.70~0.80	>0.5~0.65
不合格	4	≤0.70	>0.65

2 西安市人口数量的灰色预测

根据2021西安市统计年鉴[20],选取西安市2014—2020年不同年龄段的人口数量,其中,2010和2020年数据根据人口普查数据加工整理得到,2011—2019年根据人口变动抽样调查数据推算得到,自2017年起为纳入西咸新区咸阳片区后的结构。详细分组信息列于表2。2013年前,幼儿人口数量的比例在逐年减少,直到2014年,单独二孩政策实施后有所反转,幼儿人口数量比例才逐年增加;成年人口数量的比例始终在逐年减少,特别是在2017年时减少的最多,到2020年人口普查时已达新低为73.45%;老年人口数量的比例始终在逐年增加,到2019年比例达到新高为11.69%,按照国际标准,社会人群中65岁及以上人口占比达到7.00%,即为老龄化社会,上述数据表明西安市正在从老龄化社会向深度老龄化过渡。

使用灰色模型预测时,提取表2中2014—2020年各年龄阶段的人口数量为依据。

以0~14岁的人口数量为原始序列

$$X^0=(102.07,102.45,105.26,115.19,126.89,132.99,153.05),$$

利用Matlab程序根据式(4)计算得到参数的估计值$\hat{a}=-0.0826$,$\hat{b}=86.2232$,将估计值代入式(7)可得原始序列的预测值

$$\hat{X}^0=(102.0700,98.6694,107.1629,116.3875,126.4061,137.2872,149.1049),$$

根据后验差比值的检验方法,经计算有$C=0.1568$,$P=1$,结合表1说明该预测精度为1级。预测方法比较合理,可以用来预测西安市未来若干年后这个年龄段的人口数量(表3)。2021—2026年的预测值为161.94~244.72万人。

以15~64岁的人口数量为原始序列

$$X^0=(631.52,627.57,629.83,635.51,691.75,711.91,718.32),$$

利用Matlab程序也可计算得到$\hat{a}=-0.0324$,$\hat{b}=585.6634$,$C=0.3047$,$P=1$,该预测精度也为1级。

$$\hat{X}^0=(631.5200,616.0598,636.3530,657.3147,678.9668,701.3322,724.4343),$$

2021—2026年的预测值为748.30~879.93万人。

以65岁及以上的人口数量为原始序列

$$X^0=(81.69,85.64,89.83,94.40,104.19,111.84,106.60),$$

利用Matlab程序也可计算得到$\hat{a}=-0.0515$,$\hat{b}=80.0726$,$C=0.3074$,$P=1$,该预测精度也为1级。

表2 2014—2020年西安市各年龄阶段分组信息

年份	0~14岁		15~64岁		65岁及以上	
	人口数/万人	比例/%	人口数/万人	比例/%	人口数/万人	比例/%
2014	102.07	12.52	631.52	77.46	81.69	10.02
2015	102.45	12.56	627.57	76.94	85.64	10.50
2016	105.26	12.76	629.83	76.35	89.83	10.89
2017	115.19	13.63	635.51	75.20	94.40	11.17
2018	126.89	13.75	691.75	74.96	104.19	11.29
2019	132.99	13.90	711.91	74.41	111.84	11.69
2020	153.05	15.65	718.32	73.45	106.6	10.90

表3 2021—2026年西安市各年龄阶段分组信息

年份	0~14岁		15~64岁		65岁及以上	
	人口数/万人	比例/%	人口数/万人	比例/%	人口数/万人	比例/%
2021	161.94	15.75	748.30	72.79	117.77	11.46
2022	175.88	16.39	772.95	72.05	123.99	11.56
2023	191.02	17.06	798.41	71.29	130.54	11.66
2024	207.46	17.74	824.71	70.51	137.43	11.75
2025	225.32	18.44	851.87	69.72	144.69	11.84
2026	244.72	19.16	879.93	68.91	152.33	11.93

$$\hat{X}^{0}=(81.690\,0,\ 86.486\,0,\ 91.053\,0,\ 95.861\,1,\ 100.923\,1,\ 106.252\,5,\ 111.863\,2),$$

2021—2026年的预测值为117.77~152.33万人。

3 预测结果分析及建议

基于西安市各年龄阶段的人口数量,通过灰色模型的预测和精度的检验,结果表明GM(1,1)模型对西安市的不同年龄段的人口数量预测精度较高,可信度较大,是一种较好的人口预测方法,可以借用该模型给出未来若干年内,幼儿人口、劳动人口与老龄人口的预测数量。

根据预测结果可知:自2022年起未来若干年内,西安市的幼儿人口数量比例将逐年平均递增0.68%,达到十多年来增幅较大的水平,也充分说明了我国人口政策的作用;成年人口数量比例仍将逐年平均递减0.78%;老年人口数量比例还是逐年递增,但平均递增降低了0.1个百分点。

我国的计划生育政策给西安市带来发展的新契机,虽然幼儿人数逐年递增,但人口老龄化问题依然突出,未来养老形势依然严峻,强烈建议西安市政府:抓住时机进一步调整产业结构,优化资源在全社会的配置,多举措地加强经济建设;适当地调整人口政策及优惠配套措施鼓励生育,同时继续加大人才引进计划,调整人口的年龄结构,促进人口均衡发展;健全社会保障体系,大力发展老年事业,应对人口老龄化问题,鼓励家庭养老,共建老有所养、老有所为、老有所医、老有所乐的和谐社会。

参 考 文 献

[1] 马尔萨斯.人口原理[M].失泱,胡企林,朱和中,译.北京:商务印书馆,1992.

[2] 余爱华.Logistic模型的研究[D].南京:南京林业大学,2003.

[3] 李建伟,周灵灵.中国人口政策与人口结构及其未来发展趋势[J].经济学动态,2018(12):17-36.

[4] 风笑天."后独生子女时代"的独生子女问题[J].浙江学刊,2020(5):64-73.

[5] 于晓洋,王丹,雷娅,等.我国独生子女政策调查报告[J].重庆与世界,2013,30(9):114-118+122.

[6] 刘煜."单独二孩"到"全面二孩"政策的演变:基于多源流分析框架的政策分析[J].学理论,2016(8):96-97.

[7] 吴亚雄."全面放开二孩"政策的伦理解读[D].株洲:湖南工业大学,2017.

[8] 赵旭凡.推行三孩生育政策的战略意义与实现路径[J].湖南社会科学,2022(1):120-126.

[9] 杨琦.新中国计划生育政策及其历史影响研究[D].长春:吉林财经大学,2019.

[10] 石柳清.国家中心城市竞争态势下西安市人才引进政策实效探究[J].传播力研究,2019,3(27):222-223.

[11] 贾代熙.西安市高层次人才引进政策研究[D].西安:长安大学,2019.

[12] 白露露,张桔,李本燕,等.老龄化背景下计划生育特殊家庭健康养老困境探析:以家庭功能为分析视角[J].中国社会医学杂志,2021,38(5):488-491.

[13] 董俊孚,李燕玉.全方位调整人口政策应对老龄化社会挑战[J].今日财富,2022(1):151-153.

[14] 王广州,胡耀岭.我国生育政策的历史沿革及发展方向[J].中国党政干部论坛,2012(11):18-20.

[15] 王勇胜,薛继亮.基于多种模型组合的我国2015年人口总数预测[J].西北农林科技大学学报,2009,9(1):75-79.

[16] 王泽昊,潘虹.灰色系统模型在我国人口预测中的应用[J].统计与决策,2005(1):31.

[17] 侯建中,张福林.用最优加权组合法预测深圳市人口发展趋势[J].数理医药学杂志,1998(11):203-205.

[18] 邓聚龙.灰色预测与决策[M].武汉:华中科技大学出版社,1986.

[19] 刘经南,曾文宪,徐培亮.整体最小二乘估计的研究进展[J].武汉大学学报,2013,38(5):505-512.

[20] 赵群洁.西安统计年鉴2021[M].北京:中国统计出版社,2021.

(责任编辑:马田田)