

基于GM灰色系统模型对中国老龄化程度的预测

郑琪珺, 李艾琳, 阎虎勤

厦门国家会计学院, 福建 厦门

Email: 18176579739@163.com, 13920481969@163.com, yanhuqin@xnai.edu.cn

收稿日期: 2021年5月17日; 录用日期: 2021年6月21日; 发布日期: 2021年6月28日

摘要

随着经济的发展, 我国的人口问题越来越突出, 尤其是人口老龄化问题。人口问题是制约许多国家发展的重要因素。本文对我国目前人口老龄化及经济发展的现状进行了分析, 通过灰色系统模型对未来我国65岁及以上老年人口占总人数之比, 以及人均GDP的走势进行预测。预测结果表明, 我国人口老龄化问题已成为经济社会发展的瓶颈, 未来二十年, 老年人口数将呈现明显上升态势, 并且随着我国经济的不断发展, 老龄化问题愈加明显。鉴于此, 本文对我国应对人口老龄化问题制定合理的人口控制政策, 同时提出相应的养老问题应对措施。

关键词

人口预测, 中国, 老龄化人口, 趋势预测

Prediction of the Relationship between China's Aging Degree Based on the GM Gray System Model

Qijun Zheng, Ailing Li, Huqin Yan

Xiamen National Institute of Accounting, Xiamen Fujian

Email: 18176579739@163.com, 13920481969@163.com, yanhuqin@xnai.edu.cn

Received: May 17th, 2021; accepted: Jun. 21st, 2021; published: Jun. 28th, 2021

Abstract

With the development of the economy, my country's population problems have become more and

more prominent, especially the problem of population aging. The population problem is an important factor restricting the development of many countries. This article analyzes the current situation of my country's current population aging and economic development, and uses the gray system model to predict the proportion of the population of 65 years and over in the total number of people in my country in the future, as well as the trend of per capita GDP. The forecast results show that the problem of population aging in my country has become a bottleneck in economic and social development. In the next two decades, the number of elderly people will show a significant increase, and with the continuous development of my country's economy, the problem of aging will become more and more obvious. In view of this, this article formulates a reasonable population control policy for my country to deal with the problem of population aging, and proposes corresponding measures for the elderly.

Keywords

Population Forecast, China, Aging Population, Trend Forecast

Copyright © 2021 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

人口老龄化是世界人口发展的必然趋势。根据 2010 年《中国人口老龄化与老年人状况蓝皮书》显示,我国自 1999 年进入人口老龄化社会以来,人口老龄化呈逐年加剧态势,严重制约经济发展。经济快速发展的同时,人口结构变化明显,人口老龄化程度逐年加深。政府一直高度重视人口老龄化问题。2017 年 10 月,习近平主席在十九大报告中指出要积极应对人口老龄化,构建养老、孝老、敬老政策体系和社会环境,推进医养结合,加快老龄事业和产业发展。

随着生育率下降和人类平均寿命延长,老龄化已经成为全球普遍现象。而中国长期施行计划生育政策,老龄化情况更加严重。面对中国日趋严峻的人口老龄化问题,合理预测老年人口规模和人口老龄化发展趋势,为政府制定相关人口政策提供数据和理论支撑,成为当前深入研究和亟需解决的问题。

2. 文献综述

灰色系统理论是基于研究系统内个因素之间具有不确定关系而建立起来的一门学科理论,其关联度分析方法以各因素发展动态趋势为立足点,对样本的大小没有过多的要求,也不需要很强的分布规律。灰色系统预测模型能充分挖掘和利用样本信息数据中的显信息和隐信息,在样本数据信息不充分、无较好规律的情况下进行较为精确的预测。因此,自灰色系统理论创建以来,已经被广泛应用于工业、农业、经济、环境和军事等各个领域。

近几年,学者们致力于对区间灰数这一表征系统发展和变化指标进行深入的探索和研究。叶璟等提出的基于广义“灰度不减”公理的区间灰数预测模型和基于函数变换的区间灰数预测模型都取得不错的预测效果。曾波等提出了基于灰数带和灰数层的区间灰数预测,该方法应用灰数预测,该方法中应用灰数层的面积挖掘区间所蕴含的几何意义,通过计算灰数层面积以及灰数层中位线中点的坐标,再不损失已有灰数信息的条件下,将区间灰数序列转变为实数序列,并建立一种基于区间灰数的 GM(1,1)预测模型,在曾波的研究基础上推广并扩充了由区间灰数生成实数序列的方法,由变权的均值生成思想取代非偏生成的提醒面积和中位数中点的纵坐标这两种区间灰数的处理方法,并引入权值 λ 建立灰色区间数预

测模型,通过遗传算法(GA)来寻找最优权参数,使得由区间灰数提取实数序列的建模过程的搜索范围扩大到了整个灰数带中;然后以平均相对误差最小目标函数在大范围内借助优化算法 GA 来搜索最优的权值,从而保证用来建模的灰数序列是最有信息,以此提高预测精度。

人口的数量和结构是影响经济社会发展的重要因素。我国人口老龄化带来或将带来一系列的问题,其直接后果之一就是随之而来的劳动力年龄结构的老龄化,这必将对经济发展和劳动生产率的提高带来消极的影响。因此本文建立灰色预测模型对老龄人口比例及人均 GDP 发展进行预测,以此来分析我国的老龄化程度与经济发展之间的关系。

3. 中国老龄化现状及成因分析

3.1. 中国人口老龄化现状

老龄化社会是指老年人口占总人口达到或超过一定比例的人口结构模型。按照联合国的新标准是一个地区 65 岁及以上老人占总人口的 7%,即该地区视为进入老龄化社会。本文主要从人口数量、人口老龄化率、人口结构指标来分析老龄化的现状。

从中国人口总量和各年龄组人口数上分析。目前,中国人口增速保持稳定增长,总人口数持续攀升,2018 年末总人口数上升至 13.95 亿。其中,少年人口数量(0~14 岁人口数)呈现出逐年下降的趋势。近年来,受到国家“二孩政策”的影响,少年人口数量有所上升,由于新育儿观的逐渐形成以及养育子女成本不断提高,少年人口数量的增加并不明显。15~64 岁劳动力人口数量自 2013 年呈现下降趋势至 2018 年劳动力人口数量下降至 9.93 亿。中国主要从事劳动的这部分人口总量开始出现负增长。根据统计局数据显示,2009~2018 年,65 岁及以上人口数量增速为 4.28%。老年人口增速有所加快,短期内老龄化加速发展趋势出现不可逆的现象[1]。

从人口老龄化衡量指标上分析,2001 年中国人口老龄化率达到 7.10%。至 2018 年,人口老龄化率达到 11.94%,中国 65 岁及以上人口数量的增速为 3.60%,可见中国人口老龄化发展迅速。

在人口结构指标上,主要从人口总抚养比、少儿抚养比和老年抚养比这三个层面分析。总抚养比的大小取决于少儿和老年抚养比的相对变化。由于长时期受到国家人口政策的影响,中国少儿抚养比总体上出现下降趋势。与此同时,随着医疗事业的迅速发展,中国人口预期寿命不断延长,人口结构逐渐老化,中国老年抚养比逐年上升。2000 年,中国人口总抚养比为 42.6%,少儿抚养比为 32.6%,老年抚养比为 10%。中国少儿抚养比呈现逐年下降趋势,老年抚养比呈现逐年上升趋势,人口总抚养比呈现先下降后上升的趋势。2010 年之前,由于少儿抚养比下降幅度超过老年抚养比增长幅度,人口总抚养比总体上呈现下降趋势;但 2010 年之后,少儿抚养比出现上升趋势,老年抚养比加速上升,导致人口总抚养比呈现逐年上升。因此,在 2010 年中国人口总抚养比达到近些年的最低值,这就意味中国人口的红利时期即将过去,未来的人口负担将会越来越重。

基于老年人口数、人口老龄化率和老年抚养比的分析,中国人口老龄化加速发展已是不争的事实。如何减轻老龄化对于经济增长的影响,可能是未来学术研究的方向之一。

3.2. 中国人口老龄化特征及成因分析

本文认为,人口老龄化的成因主要来自于出生率和死亡率的综合影响。

一方面,近些年,中国人口出生率受到计划生育政策的影响呈现逐年下降的趋势。同时中国人口死亡率常年趋于稳定,中国人口出生率影响了人口老龄化的进程。由此可见,人口基数大,叠加计划生育效应,出生率被压制,导致我国老龄化的速度比其他国家都要快[2]。

另一方面,随着现代医疗卫生事业逐步发展和营养水平的不断提高,中国人口预期寿命得到延长,

2010年人口预期寿命达到74.83岁。随着时间的推移,中国人口年龄结构的更替,人口结构老化逐渐加速,人口老龄化程度将呈现不可逆的趋势[3]。根据部分学者的推算和分析,2055年中国劳动力人口降至7.63亿人,少年人口降至1.89亿人,老年人口达到3.84亿人的最大值[4]。由此可见,生育率的下降和人口年龄结构的转变导致了中国人人口老龄化现象的出现。当中国进入老龄化阶段以后,生育率的减退和预期寿命的增加促使人口老龄化加速发展。

随着我国人口年龄结构老龄化的到来,正确认识人口老龄化发展的趋势以及将会产生的社会经济后果至关重要。以邻国日本为例,早在1970年,日本的老龄化程度就达到了7.1%,比中国早30年进入人口老龄化社会,目前已成为老龄化最严重的国家,对日本经济的增速产生巨大的负面影响。日本政府无法像过去方便地从养老金中提钱,因为储蓄养老金的人变少了,而65岁需要养老金生活的人增加了,这导致日本政府可用于投资的资金减少。

然而,我们也应摆正心态。人口老龄化是社会发展的必然趋势,它虽然会给经济带来一定的负面影响,但与人口老龄化相关的产业也是几代发展的朝阳产业,只要把握基于,积极应对人口老龄化,发展蕴含其中的朝阳产业也可在一定程度上削减人口老龄化的影响,从而促进经济的可持续发展[5]。

4. 数据来源

本文从世界银行数据库中获取中国1971年至2019年65岁和65岁以上的人口总数和中国的总人口数,将65岁和65岁以上的人口总数占总人口的百分比设置为人口老龄化程度指标。为了更好地运用GM灰色系统模型同时更清晰地呈现出拟合结果,本文将中国65岁和65岁以上的人口总数占中国总人口的百分比乘以 10^5 后作为老龄化系数。就相同研究区间,本文还获取了中国人均GDP作为经济发展指标,进一步分析人口老龄化与经济发展之间的关系。

5. GM模型理论概述

5.1. GM模型及其特点

灰色系统理论是关于信息不完全或不确定的系统的控制理论。该理论是中国控制理论学者邓聚龙教授于1982年3月在国际上首先提出,用于揭示系统内部事物连续发展变化的过程。灰色系统理论的研究对象是“部分信息已知、部分信息未知”的“贫信息”不确定系统,它通过“部分”已知信息的生成、开发,实现对现实世界的确切描述和认识。其研究的主要内容包括以灰色朦胧集为基础的理论体系,以灰色关联空间为依托的分析系统,以灰色序列生成为基础的方法体系,以灰色模型(GM)为核心的模型体系,以系统分析、评估、建模、预测、决策、控制、优化为主体的技术体系[6]。

灰色模型是用时间数据序列建立系统的动态模型,把一组离散的、随机的原始数据序列经 m 次累加生成,生成规律性较强的累加生成序列,从而达到使原始序列随机性弱化的目的,然后对累加生成序列建模,最后再进行 m 次累减生成还原成预测值。GM(1,1)模型适用于具有较强指数规律的序列,用其进行短期预测会得到一个较理想的结果,但随着时间的推移,灰色GM(1,1)模型预测误差会越来越大,模型精度较差。因此,本文考虑建立GM(2,1)模型进行预测,能充分体现人口增长的规律,进行较长时间的预测且效果较为理想。

5.2. GM模型原理及步骤

5.2.1. GM(1,1)

GM(1,1)模型是最简单的灰色系统模型,其基础是常微分方程的解析解,GM(1,1)微分方程直接求解的建立过程如下[7]:

假设有一个变量 $x(t)$ 是时间变量 t 的函数，它满足一阶常微分方程条件：

$$\frac{dx(t)}{dt} + ax(t) = b$$

这里，参数 a 和 b 是两个常系数。该微分方程也可以变为如下的形式：

$$\frac{dx(t)}{dt} + ax(t) - b = 0$$

假设参数 C 是任意常数，那么，该微分方程的解析解或者通解为：

$$x(t) = \frac{b + e^{a(C-t)}}{a}$$

如果 $x(t)$ 有一个初值，在 $t=0$ 时，初值为 $x(0)$ ，那么， $x(0)$ 也满足这个解，

$$x(0) = \frac{b + e^{aC}}{a}$$

因此，常数 C 满足关系式：

$$e^{aC} = ax(0) - b$$

代入微分方程的通解，就有：

$$x(t) = \frac{b}{a} + \left(x(0) - \frac{b}{a} \right) e^{-at}$$

该函数具有指数函数的特征，由于其对于参数 a 和 b 的依赖性很强，而参数 a 和 b 又是未知的，且在正常情况下不易估计，因此，该模型也被称为灰色系统。由于只有一个变量 $x(t)$ ，且是一阶微分，所以记为 GM(1,1)。

5.2.2. GM(2,1)

GM(2,1)模型是一个包含二阶方程和一个未知量的灰色模型，它通过用无明显规律的序列生成一组有明显指数规律的生成数来构建二阶微分方程，再利用二阶微分方程的通解来描述这一组生成数的变化规律，描述这种变化规律的过程称为白化[8]。GM(2,1)白化微分方程模型建立过程如下：

假设变量 $x(t)$ 是关于时间 t 的二阶常微分方程的解，满足条件：

$$\frac{d^2x(t)}{dt^2} + a \frac{dx(t)}{dt} + bx(t) = 0$$

则该微分方程的通解为：

$$x(t) = C_1 e^{\frac{(-a - \sqrt{a^2 - 4b})t}{2}} + C_2 e^{\frac{(-a + \sqrt{a^2 - 4b})t}{2}}$$

为了编程方便，我们对该关系式予以简化，使得：

$$x(t) = C_1 e^{mt} + C_2 e^{ht}$$

这里，存在关系式：

$$m = \frac{-a - \sqrt{a^2 - 4b}}{2}$$

$$k = \frac{-a + \sqrt{a^2 - 4b}}{2}$$

$$C_1 = \frac{x(0)e^k - x(1)}{e^k - e^m}$$

$$C_2 = \frac{x(1) - x(0)e^m}{e^k - e^m}$$

参数 C_1 和 C_2 的确定来源于两个特解条件, 当 $t = 0, 1$ 时:

$$x(0) = C_1 + C_2$$

$$x(1) = C_1e^m + C_2e^k$$

6. 实证结果及分析

6.1. 中国老龄化人口的灰色 GM 灰色系统模型拟合结果

6.1.1. GM(1,1)

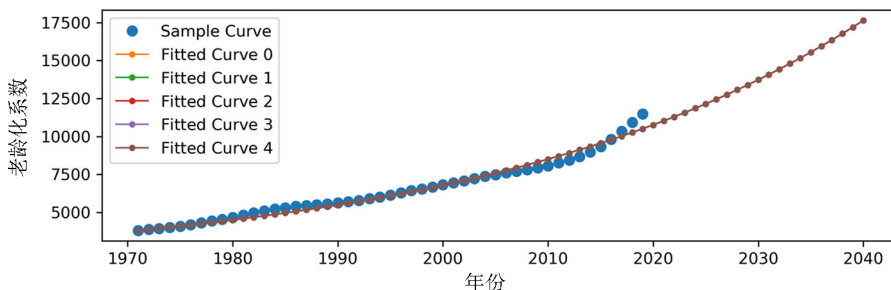


Figure 1. Fitting diagram of China's aging coefficient in GM(1,1)

图 1. 基于 GM(1,1)中国老龄化系数拟合图

虽然本文定义拟合次数 $h = 5$, 即进行了五次拟合, 拟合结果如图 1 所示, 但是从拟合结果可以看出, 除了小数位数后五位有些许差别之外, 拟合结果 a, b 的 5 组取值相差不多。

因此, 本文将拟合的参数结果确定为 $a = -0.03, b = -37.85$ 。

拟合的 GM(1,1)模型为:

$$x(t) = \frac{37.85}{0.03} + \left(x(0) - \frac{37.85}{0.03}\right)e^{0.03t}$$

6.1.2. GM(2,1)

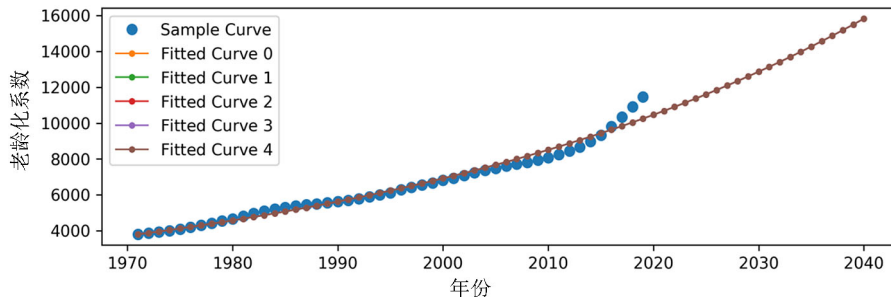


Figure 2. Fitting diagram of China's aging coefficient in GM(2,1)

图 2. 基于 GM(2,1)中国老龄化系数拟合图

同样地, 本文将模型循环拟合 5 次, 并生成如图 2 所示的拟合图形。与 GM(1,1)的预测结果情况相类似, 拟合参数除了小数点后五位数不一致, 参数结果大小基本相同。

因此, 本文将 GM(2,1)中国人均 GDP 预测模型参数确定为: $C_1 = 14.7477$; $C_2 = 3801.4465$; $m = -91.5498$; $k = 0.0207$ 。

拟合的 GM(2,1)模型表述为:

$$x(1) = 14.7477e^{-91.5498} + 3801.4465e^{0.0207}$$

6.2. 中国人均 GDP 的灰色 GM 灰色系统模型拟合结果

6.2.1. GM(1,1)

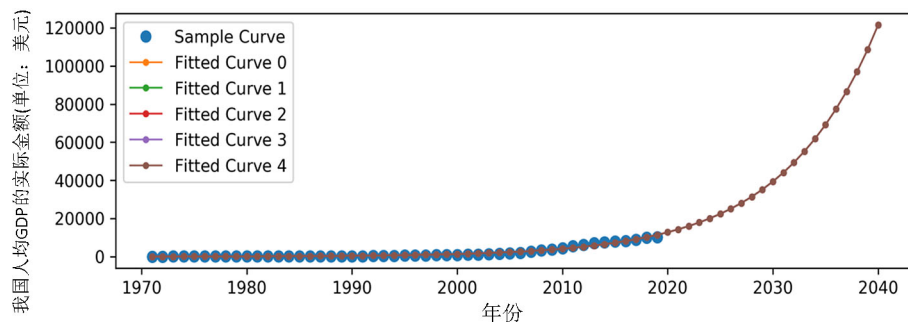


Figure 3. China's per capita GDP forecast in GM(1,1)

图 3. 基于 GM(1,1)中国人均 GDP 预测

同样地, 本文拟合出人均 GDP 预测模型地参数结果, $a = -0.11$, $b = -7.61$, 拟合图形如图 3 所示。拟合的 GM(1,1)模型为:

$$x(t) = \frac{7.61}{0.11} + \left(x(0) - \frac{7.61}{0.11} \right) e^{0.11t}$$

6.2.2. GM(2,1)

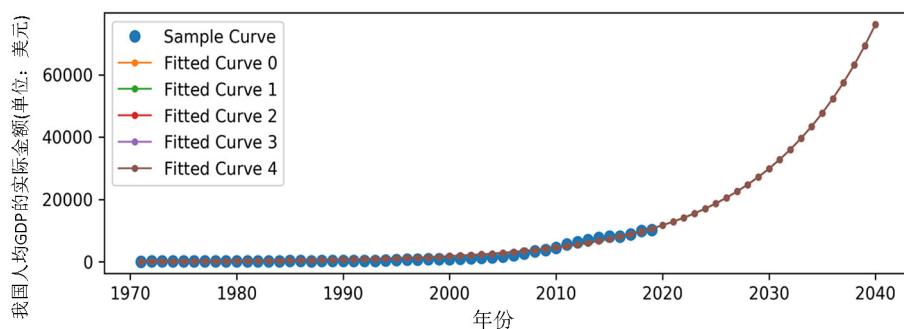


Figure 4. China's per capita GDP forecast in GM(2,1)

图 4. 基于 GM(2,1)中国人均 GDP 预测

同样地, 本文将模型循环拟合 5 次, 并生成如图 4 所示的拟合图形。与 GM(1,1)的预测结果情况相类似, 拟合参数除了小数点后五位数不一致, 参数结果大小基本相同。

因此, 本文将 GM(2,1)中国人均 GDP 预测模型参数确定为: $C_1 = -1.4574$; $C_2 = 120.1120$; $m = -21.9032$; $k = 0.0935$ 。

拟合的 GM(1,1)模型表述为:

$$x(1) = -1.4574e^{-21.9032} + 120.1120e^{0.0935}$$

就模型拟合程度来看, GM(1,1)对人均 GDP 的拟合结果比 GM(2,1)更优, 主要体现在前者在 2000 年和 2020 年的数据偏离程度明显弱于后者。

6.3. 误差系数分析

Table 1. GM model's error coefficient analysis table

表 1. GM 灰色系统模型误差系数分析表

误差指标	AdjR ²		RMSE	
	GM(1,1)	GM(2,1)	GM (1,1)	GM(2,1)
老龄化预测结果	0.9590	0.9746	273.1081	295.2906
人均 GDP 预测结果	0.9380	0.8753	461.6371	564.5168

从表 1 来看, GM(1,1)模型对老龄化程度预测结果的拟合度较高, 调整后的 R² 大于 0.97, 但是对人均 GDP 预测结果的拟合度低于 0.9。因此, 在综合考虑误差系数后, 本文对老龄化程度采用 GM(2,1)模型预测的结果, 对人均 GDP 采用 GM(1,1)模型预测的结果。

6.4. 预测结果分析

根据结果显示, 中国老龄化人口数量在近十未来年呈持续上升趋势, 从 2020 年的 10,463.30 万人到 2030 年的 15,817.80 万人, 人口增长 5354.50 多万; 另外, 中国人均 GDP 在近十未来年呈急剧上升趋势, 从 2020 年的 12,826 美元到 2030 年的 121,504 美元, 增长 108,678 美元。可以观察到, 2020 年之前, 人均 GDP 的增长速度明显小于老龄化人口的增长速度, 而 2020 年之后, 中国老龄化人口在 2020~2030 年将呈现近似线性的增长趋势, 说明控制力度较为稳定, 而人均 GDP 在此期间呈现指数型增长, 增长速度远高于老龄化人口, 实现高速增长。

7. 结论及建议

我国从 2000 年以来 65 岁及以上老年人口数量和抚养比两者均呈现上升的趋势, 到 2018 年, 我国 65 岁及以上老年人口数达到 16,658 万人, 占我国人口总量的 11.9%, 老年抚养比达到了 16.8%。2019 年我国的人均预期寿命达到了 76.1 岁。基于灰色系统模型对我国未来老年人口数量进行了预测, 通过精度检验结果显示这种方法预测精度高、可信度高, 适合中长期人口的预测, 预测结果同时显示我国未来老年人口数量是在不断增长的。由此可见, 我国人口老龄化的形式是非常严峻的, 为了应对人口老龄化危机, 我们必须采取以下合理措施进行有效应对。

我国巨大的老年人口数量意味着我国政府和家庭的养老压力在不断加剧, 同时也意味着我国需要大力发展养老行业, 我国的养老市场具有很大的潜在力和发展力。因此, 政府可以加大对养老行业的扶持力度, 鼓励企业创新养老的模式, 扩大养老行业专业的人才规模, 在解决了老年人的养老问题的同时, 也促进了我国养老行业的发展。

二胎政策在我国已经全面落实。这一政策从一定程度上可以改善我国的人口年龄结构, 是一项积极应对人口老龄化的有效措施。但是想要使我国的人口得到均衡发展, 需要提高我国的公共服务能力, 加大对义务教育方面的投入, 相应的配套措施需要同步完善。

为了应对我国的人口老龄化问题, 政府需要制定合理的退休政策和养老金制度, 建立健全城镇居民

的养老保险体系，加大对缴纳养老金的宣传力度，使越来越多的人能够主动地加入到缴纳养老金的队伍中来。

虽然我国的医疗水平和生活水平在不断地提高，我国人均寿命也在不断提高，但是我国普遍老年人的健康状况令人担忧。因此，老年人需要提高自我的养老能力，社区可以鼓励老年人在身体允许的情况下积极参与到社会活动中，对老年人进行养生知识的宣传，提高老年人自我保健的积极性，这样老年人的身体健康一定程度上会减轻家庭中年轻人的养老压力[9]。

基金项目

本论文得到厦门国家会计学院“云顶课题：Python 财务数据分析”项目和大米(厦门)科技股份有限公司的支持。

参考文献

- [1] 张欣悦. 我国人口老龄化的现状特点和发展趋势及其对策研究[J]. 中国管理信息化, 2020, 23(5): 195-199.
- [2] 李宁. 人口老龄化背景下我国老龄产业现状与对策研究[J]. 中国商界(下半月), 2009(5): 187+189.
- [3] 庞懋谦. 浅析中国人口老龄化的成因及对经济的影响[J]. 中国集体经济, 2020(31): 22-24.
- [4] 陈艳玫, 刘子锋, 李贤德, 黄奕祥. 2015-2050 年中国人口老龄化趋势与老年人口预测[J]. 中国社会医学杂志, 2018, 35(5): 480-483.
- [5] 陈曦雨. 人口老龄化、产业结构调整及经济增长之间的关系实证分析[J]. 时代金融, 2021(15): 93-96.
- [6] Tien, T.L. (2012) A Research on the Grey Prediction Model GM (1, n). *Applied Mathematics and Computation*, **218**, 4903-4916. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2011.10.055>
- [7] 田梓辰, 吉刚, 刘淼. 基于改进灰色 GM(1,1)模型的新疆人口总量的分析与预测[J]. 数学的实践与认识, 2021, 51(5): 258-264.
- [8] 阎虎勤, 编著. Python 财务数据分析 2020 春季教材[M]. 厦门: 厦门国家会计学院, 2020.
- [9] 李悦, 曹亚楠, 崔玉杰. 基于灰色 GM(1,1)模型对我国老年人口数量的预测研究[J]. 中小企业管理与科技(上旬刊), 2020(4): 178-179+182.