

# 多效益影响下的南京市养老机构建设规划分析

娄译文<sup>1</sup>,王天羽<sup>2</sup>,陈浩<sup>1</sup>

(1.南京信息工程大学数学与统计学院,江苏南京 210044;2.南京信息工程大学大气科学学院,江苏南京 210044)

**摘要:**本文建立了BP神经网络老年人口预测模型和双效益目标养老机构建设规划模型。将各养老机构每年净盈利收入总和作为经济效益指标,各级养老机构可容纳人数的均衡度作为社会效益指标,经济效益和社会效益指标的最大化为该规划的目标。结果表明,全市人口增长预测曲线为明显“S”型,未来15年老年人口密度增幅最大的三个区依次为高淳区、雨花台区和溧水区,并得到等级越高机构数量越少这一特征,且处于繁华地段、老年人口密度大的区对于AAA级养老机构的需求量相对更大。

**关键词:**老年人口预测;养老机构建设;多目标规划;BP神经网络

【DOI】10.12231/j.issn.1000-8772.2022.09.010

## 1 引言

依联合国标准,中国已步入老龄化社会。国务院办公厅、江苏省民政局先后就养老机构建设问题下发文件。如何积极应对我国人口老龄化趋势,如何满足多元化养老服务需求,以及如何统筹安排养老机构建设,是养老服务业亟待解决的现实问题。

目前,南京市社会养老机构数目仍不能满足不断增长的老年人口的需求。截止于二零一九年八月,南京市各区养老机构共245家,其中A、AA、AAA、AAAA、AAAAA级机构仅有65家;2019年初出台的《南京市提升养老院服务质量若干意见(试行)》中表明,到2020年全市每千名户籍老年人拥有养老床位将仅达到45张。考虑到今后南京市老年人口数量还将逐年增长,并且随着科技的进步和发展,智慧社区居家养老模式愈加流行,故为满足南京市可支配收入低、中等偏下、中等、中等偏上和高收入老年人的养老需求,且满足一定的社会效益,政府应结合实际规划未来建设的养老机构数目。

首先,对于未来老年人口预测问题,许多学者已经做了相关研究。曹亚楠和崔玉杰<sup>[1]</sup>通过Logistic人口模型方法,根据我国1990-2020年65岁及以上老龄人口数据,对我国2021-2040年65岁及以上老龄人口数进行预测。万丽颖<sup>[2]</sup>采用灰色GM(1,1)模型对老年人口系数进行预测并运用残差检验和后验检验的方法对模型进行检验。介于预测问题的长期性,BP神经网络通常也被用来进行长期预测,如杨佳琦等<sup>[3]</sup>通过BP神经网络进行京津冀老年人口预测模型的构建及分析,马晓星<sup>[4]</sup>将BP神经网络理论应用于人口普查收入预测。其次,本文建立数学模型,规划2021年1月至2035年12月的南京市养老机构建设规划问题,以满足各收入水平老年人的需求。具体内容包括:预测南京市2021至2035年的老年人口数量,并分别估计南京市各区的老年人口密度。在充分考虑经济效益和社会效益的条件下,遵循养老机构高等级高收费的原则,以三年为建设周期构建南京市各

区未来15年的养老机构建设布局模型。设计南京市各养老机构的建设方案。

## 2 模型概述

本文将从南京市统计局处获取2000年、2010年至2020年的南京市60岁以上户籍老年人口数据和各区占地面积,采用BP神经网络预测未来15年内南京市和各地区的老龄人口数,并相应给出各地区的老年人口密度估计。此外,利用已预测出的各地区未来15年老年人口数量,在给定的2035年床位达标个数的约束下,构建双效益目标养老机构建设规划模型。

## 3 模型假设

本文假设养老机构均为A、AA、AAA、AAAA、AAAAA级中之一;同时,本文假设机构一旦建设成功,无倒闭或者取消评级的情况。

## 4 模型的建立与求解

### 4.1 老年人口预测模型

本文从南京市统计局收集得到相关数据,将2000-2017年的训练样本数据标准化,输入网络后进行BP神经网络的训练,将训练完成的模型用于南京市未来15年的老年人口预测,结果见图1。模型的拟合残差为0.028,小于0.05,拟合效果较好。南京市老年人口的增长发展态势可分为三个阶段。第一阶段自2000年至2016年,老年人口数量变化曲线呈线性趋势,增速约为每年5万人,较为稳定,逐步增长到134.27万人;第二阶段自2017年至2030年,曲线接近指数函数态势,老年人口增速较第一阶段明显上升,增速约为每年20万人,达到341.26万人;第三阶段自2031年至2035年,发展势头减缓,从高速攀升转变为低速增长,增速不断下降,从每年增长10万人降为2万人,但总体仍呈现上升态势,最终增长至278.11万人。

考虑到各区本身人口基数不同,老年人口的增长数量也有所差异。对于南京市的各区,将其数据分别代入训练好的神经网络中,得到各区的未来老年人口预测值后。依据各

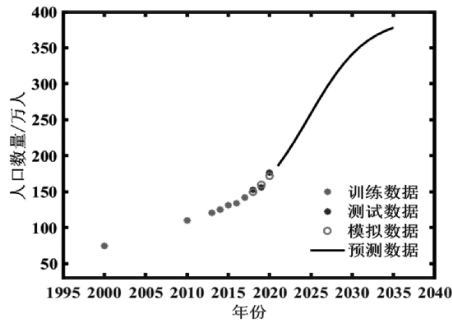


图1 南京市总老年人口数量趋势图

区不同的老年人口数量走势,可将趋势划分为稳定增长、两段增长和“S”型增长三类。稳定增长类主要为玄武区、秦淮区、建邺区、鼓楼区、栖霞区、江宁区,具体特征为增幅稳定,基本呈线性曲线,部分区域在2030年后增速略微降低,曲线末端较此前更加平缓。两段增长类为雨花台区和溧水区,具体表现为以2020年为分界线时前后人口增速不同,但两部分曲线均呈线性,且后者增长速度明显大于前者。“S”型增长类为:浦口区、六合区和高淳区,增速为慢-快-慢变化,曲线形状类似“S”,在高速增长段之前为缓慢线性发展;末段则与稳定增长类一样,发展势头减弱,增速降低乃至趋于平稳。其中秦淮、鼓楼、江宁、浦口、六合、溧水和高淳区的增幅较大,老年人口增长至2000年的三倍以上。

此外,基于南京各区面积,通过人口密度计算公式: $\rho_i = \frac{N_i}{S}$ ,为第*i*年的老年人口密度, $N_i$ 为第*i*年的老年人口数量, $S$ 为地域面积。以未来6年为例,可求得各区的人口密度,部分数据结果见表1。

表1 南京各区未来老年人口密度估计(百人/平方千米)

年份	2022	2023	2024	...	2033	2034	2035
秦淮区	44.8	46.5	48.13	...	61.40	62.46	63.43
建邺区	9.18	9.57	9.90	...	10.98	11.00	11.01
雨花台	6.42	7.08	7.81	...	13.86	14.20	14.48
...	...	...	...	...	...	...	...
浦口区	1.69	1.94	2.17	...	2.61	2.61	2.61
溧水区	1.23	1.30	1.38	...	2.21	2.30	2.38
高淳区	1.68	1.97	2.36	...	4.45	4.47	4.48

结果表明,由于行政区划基本不变,南京市各区占地面积不变而老年人口增长,故南京各区老年人口密度均存在不同程度的上升。老年人口密度远超其他各区的鼓楼区和秦淮区依然为密度的最高与次高,而建邺区老年人口密度随时间变化逐渐超过雨花台区。未来15年密度增长率最高的高淳区达到3.03%,雨花台区和溧水区增长率超过2%,其余各区均在1.2%以上。

## 4.2 双效益目标养老机构建设规划模型

### 4.2.1 经济效益的分析

由于具体开支与不同养老院等级须达到的设施标准紧密相关,故参考《南京市养老机构等级评定标准(试行)》(以下简称《标准》),认为A-AAAAA等级的养老机构始终完全满足《标准》的各项要求。在经济方面机构建设成本主要包括土地租用、装修与设施配备、水电与餐饮开支、人员培训与雇

佣费用,其中土地、装修、设施均为建设初始的一次性大额支出,而水电煤气与餐饮开支、人员培训与雇佣为以月或年为单位的持续性支出;机构的收益即为对入住老人的收费。

(1)土地购买、装修与设施配备费用:本文考虑到南京市各地区地价差异较小,故假设南京市11个地区在同一级别下的总支出相同。通过搜集各等级养老机构运营网站的数据得到的具体数值。(见表2)

表2 各级机构建设一次性支出费用

级别	A	AA	AAA	AAAA	AAAAA
$e$ (万元)	1270	1830	2040	2280	2830

(2)每年机构运营开支:显然养老机构中所需最多的工作人员为护工。通过查询招聘网站上的南京市养老院护工相关招聘信息所提供的薪资,可得护工年薪基本在6万到7万元间固定。对于水电煤气和餐饮的开支,理论上与当年所用量有关,但由于养老设施占地面积较大、居住老年人数量较多,因此南京市各地区的运营开支不同,并且居住者的个人生活习惯对整个养老设施的相关开支影响较小,故将每年开支视作常值,第*j*级养老机构每年的运营开支为 $c_j, j = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ 。

(3)每年机构运营收入:入住老人所缴纳的费用主要包括床位费、看护费和餐饮费,根据所需要的服务种类不同而有所增减。而针对不同自理能力的老人,相关政策可能给予不同水平的补贴。为简化计算,将养老机构所提供额外服务的费用与政策补贴金额视作相抵,因此,以各区各等级养老机构官方网站发布的收费标准作为每一位入住老人的每月缴纳费用,并且假设每一位老人均使用单人间床位。故记每位老人每月上缴费用 $w_j$ ,即第*j*级养老机构的月收入。一家养老机构每年的总盈利为 $h_j = 12w_j b_j r_j$ ,其中 $h_j, w_j, r_j$ ,分别为第*j*级养老机构的年总盈利,月收入 and 平均入住率。

综上,地区所有养老机构第*i*年的总净利润 $z_i$ 可表达

为: $z_i = \sum_{j=1}^5 [12w_j x_j^{(i)} b_j r_j - c_j x_j^{(i)}], i \in \{1, 2, \dots, 15\}$ 。经济因素的目标函数为盈利最大化,即净利润与新建养老机构的成本

差值最大,故有: $\max \sum_{i=1}^{15} z_i - \sum_{j=1}^5 e_j (x_j^{(i)} - x_j^{(0)})$ 。

### 4.2.2 社会效益的分析

考虑到选择养老机构的老年人口大多拥有退休工资,故老年人口的可支配收入也满足全国居民五等份收入分组的特征,希望社会效益尽可能高,则应当使各等级养老机构能够提供的床位数也尽可能接近1:1:1:1:1,以满足各可支配收入水平的老年人需求: $0.5 \leq \frac{b_j x_j^{(i)}}{b_1 x_1^{(i)}} \leq 1.5, 0.5 \leq \frac{b_j x_j^{(i)}}{b_{j+1} x_{j+1}^{(i)}} \leq 1.5, i \in \{1, 2, \dots, 15\}, j = \{1, 2, 3, 4\}$ 即两个不同级别养老机构所能提供的床位间的比值处于0.5和1.5之间。

尽管要达到2035年12月全市每千名户籍老年人拥有养老床位达到60张的约束条件,但考虑到老年人口数量增长平稳,社会需求也相应体现为逐步增加,因此不应集中在末期进行大量集中建设,而是较为平稳地增加养老机构数

量。此外为保证养老机构所能提供的床位数尽可能平稳增长、与老年人口数量上升的趋势匹配,对增长速度进行一定限制,避免最终达成题目目标而中期时床位不足的情况,故

$$\text{有: } \sum_{j=1}^i \frac{b_j x_j^{(i)}}{N_i} \geq \frac{45+i}{1000}, i \in \{1, 2, \dots, 15\}。$$

考虑到南京市某些区位于繁华地段,为了更大的社会效益,养老机构建设不宜占据过多的土地,并参考蔡志昶等<sup>[9]</sup>的研究结果,约束 2035 年时养老机构的总占地面积不得大于南京市总面积的 1%,故有  $\sum_{j=1}^5 s_j x_j^{(15)} < \frac{S}{100}$ 。模型的其余限制条件还包括以三年为一个周期进行建设,将三年周期内的可投入使用养老机构数量视为同一数值,且养老机构数量不减少。

4.2.3 规划模型的求解与分析

将双效益目标养老机构建设规划模型简化为目标,则问题转化为以  $x_j^0$  为决策变量的整数线性规划问题。整合以上所考虑的约束与目标函数,使用 Lingo 软件,对双效益目标模型简化所得的单目标养老机构建设规划模型进行求解,可得各区的养老机构建设方案。此处以浦口区与秦淮区为例进行阐述与分析。

图 2 所示的数量曲线整体上均呈线性的增长趋势,且与 2020 年时 AAA 级机构数量远大于其他等级的初始数值特征不同,基本满足等级越高,数量越少的特征。到 2035 年,A 级机构数量将明显大于其他等级,约为 AAA 级的 2 倍、AAAA 级的 3 倍。秦淮区老年人口数量多于浦口区,故整体各级机构数量均大于浦口区。与浦口区各等级机构典型线性增长的趋势相比,秦淮区的建设曲线存在更多波动,且 AA 级与 AAA 级机构数量差距更小。此特征与现实情况吻合度较高:秦淮区土地价格和各项每年固定开支较高,建设等级更高的养老院、提供质量更高的服务可以增加入住老人按月缴纳费用的收入,有利于其在市场中存活;而 AAAA 级及以上的机构的前期成本更高,故与 A 级相比,数量并无明显变化。

随着科学技术的发展,智慧家居被用于养老社区,我国人口老龄化正在不断加剧,养老服务愈来愈供不应求。在这一情形下,一系列“互联网+”养老新模型正在兴起。智慧社区居家养老模式作为其中之一,由于能够充分调动各方资源,利用高科技电子产品,更加方便老人居家养老,其已经成为

未来主流养老模式之一,预计在 2026 年,选择智慧社区居家养老模式的老人占总老年人口 24%<sup>[6]</sup>,所规划的养老机构建设数目也会相应改变。因此,模型可以将未来智慧家居的普及的影响考虑在内,进一步的完善规划方案。

4.2.4 南京市养老机构建设规划的相关建议

从经济和社会效益出发,结合南京市各区实际情况,为满足不同收入级别的老年人的养老需求,本文给出关于未来 15 年南京市及各区养老机构的建设规划建议。

一是利用利用好历年人口统计所得数据,分阶段均衡建设不同级别的养老机构,也有助于养老机构充分体现其公益性特征,起到良好的社会效益;二是帮助老年群体转变思想观念。大部分老年人仍不愿入住养老机构,认为此种做法是“被儿女抛弃”。政府可以增大对养老机构的宣传,帮助老年群体转变相关观念,增加养老机构入住的老人数量;三是逐步推行智慧社区居家养老。居家养老是大部分老年人乐于接受的养老方式,而智慧社区养老能够精准确定某一社区老年群体的具体要求,实时、准确地为每一户老人提供社区服务。

5 结束语

本文所得养老机构建设规划结果和当地经济社会状况相符合,模型建设合理。但对于实际应用来说,仍有一定的局限性和理想化,政府决策不仅约束于经济社会两方面的效益,还应立足以人为本,从老人的幸福感和居住感受等出发;本文的研究也有仍需改进之处,经济效益和社会效益仅用一个指标衡量,模型过于理想化和简单化,且本文所考虑的约束条件较少,因此在改进时,模型可以考虑更多的效益指标,改进目标函数;同时搜集实地数据,在求解过程中增加更多的实际约束条件。

参考文献

[1]曹亚楠,崔玉杰.基于 Logistic 人口模型对我国老年人口数量的预测研究[J].现代营销(学苑版),2021(08):192-193.  
 [2]万丽颖.基于灰色 GM(1,1)模型的河南省老年人口系数预测[J].河南工程学院学报(自然科学版),2016,28(01):58-62.  
 [3]杨佳琦,张亚平,安文忠,席彪,祖亮,单伟颖.基于 BP 神经网络的京津冀老年人口预测模型的构建及分析[J].承德医学院学报,2019,36(01):88-90.  
 [4]马晓星.基于 BP 神经网络的人口普查收入预测[J].现代计算机,2021(04):38-41.  
 [5]蔡志昶,朱昂,罗靖.城市中心城区老年人全日照料设施空间分布特征研究——以南京市为例[J].中国医院建筑与装备,2020,21(04):84-89.  
 [6]王越.太原市智慧社区居家养老服务问题研究[D].山西财经大学,2021.

作者简介:姜译文(2001,11-),女,汉族,江苏徐州人,在读本科生,研究方向:经济统计。

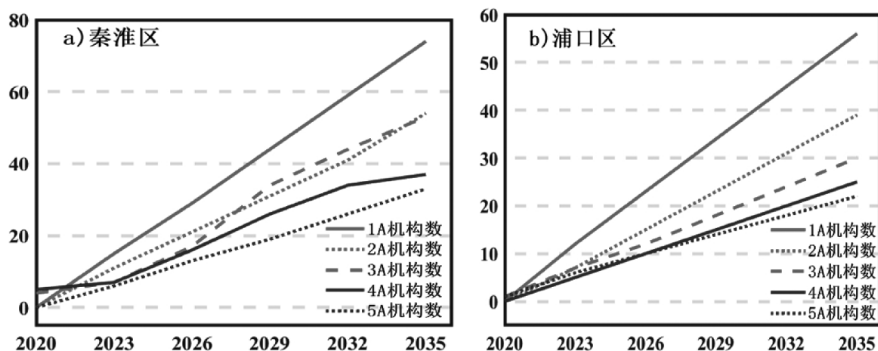


图 2 养老机构建设方案