

队伍编号	203986
题号	B

养老服务床位需求预测与运营模式研究

摘要

我国人口基数庞大，人口老龄化问题突出，老年人的养老需求也不尽相同，养老服务问题亟待解决。其中养老服务床位需求的预测与运营模式的探究是养老问题的重中之重。

首先，通过数据搜集与整理，本文选取影响养老床位的 8 项指标：老龄化人口数量、老龄化人口占比、人均 GDP、城乡人口比例、城乡消费比例、养老保险基金总收入、养老机构、养老机构收养人数。为探寻上述指标对养老床位影响是否显著，在经过数据线性检验与正态检验后，本文采用 Pearson 算法求取自变量与因变量的相关系数，MATLAB 结果显示上述指标对应 t 检验的 P 值均小于 0.05，即指标均显著。考虑到养老床位受上述指标影响，为贴近实际情况，本文选择能够利用指标预测的多元线性回归算法对因变量进行预测。在检验异方差与多重共线性后，本文利用 STATA 通过向前逐步回归法将养老床位与指标之间的表达式建立起来。接着运用时间序列预测指标，其中 SPSS 专家建模器推荐的时间序列为 ARIMA (0,1,0)，经过白噪声检验该模型 ACF、PACF 均接近于 0，数据平稳符合 ARIMA 的特征。最后将预测的指标数据代入多元回归方程，实现对养老床位的预测，预测 2025 年养老床位将会达到 998.83 万张。在划分分类中，本文先对各项因素在 2020-2025 年内的发展趋势进行预测，得到各类别的占比情况，结合 2025 年预测的床位数据与老人意愿分别按照性别、城乡、养老模式及养老机构类型进行详细划分。

其次，本文从企业的角度探讨了养老服务行业的商机。本文主要从两个方面进行了讨论，一方面通过探讨不同地区、城镇与乡村的养老床位供需关系来探寻商机，发现华东地区、西南地区养老市场发展较好，相比较而言西北地区等发展较为落后的地区养老行业发展较差，有较大的发展空间；城镇相较于农村养老服务发展潜力较大。另一方面在经过准指数规律验证后本文利用 GM (1,1) 模型对未来养老机构收益的变化趋势进行了预测，发现其变化趋势呈指数增长，同时该模型通过了残差与级比偏差检验，模型正确的同时进一步说明了养老市场的发展空间巨大。

然后，本文探索并建立了符合社会需求、养老事业可持续发展、促进社会就业三大方面的最优床位规划模式。通过构建养老企业收益与养老机构床位数、养老机构就业人数的函数关系 f_1 ，就业人数与养老床位数的函数关系 f_2 ，在多种约束条件下建立多目标规划模型，经过求解可以得到在 2025 年养老机构床位数建设在 1000 万左右时各方面达到了最优，此时可以促进 120 万养老机构工作者就业，并且带来将近 895 亿元的社会效益。之后本文对此模型进行了灵敏度分析，得到此商业模式能够稳健性运营。

最后，本文对全文核心模型进行了概述分析，深度剖析算法结论及依据，并从政府角度对管理部门提出了一个合理化的建议。

关键词：养老需求；多元回归预测；时间序列预测；GM (1,1) 模型；多目标规划

目录

一、 问题重述.....	1
二、 问题分析.....	1
三、 模型假设.....	2
四、 符号说明.....	2
五、 模型的建立与求解.....	2
5.1 床位数量的市场需求规模及其分类.....	2
5.1.1 指标数据预处理.....	2
5.1.2 Pearson 相关系数选取显著指标.....	4
Step 1.自变量与因变量线性关系检验.....	4
Step 2.数据正态分布检验.....	5
Step 3.求取 Pearson 相关系数.....	5
5.1.3 运用多元线性回归构造养老床位方程.....	6
Step 1.对数据进行异方差检验.....	6
Step 2.数据多重共线性检验.....	7
Step 3.运用向前逐步回归法求取床位预测方程.....	7
5.1.4 时间序列对各个指标进行预测.....	9
Step 1.时间序列图的构造.....	9
Step 2.利用 ARIMA (0,1,0) 模型求取指标预测方程.....	9
Step 3.ARIMA 模型的白噪声检验.....	11
5.1.5 床位预测结果.....	11
5.1.6 养老床位类型划分.....	12
Step1.预测未来各因素分类占比情况.....	12
Step2.养老床位按类型具体分类结果.....	13
5.2 养老服务床位增加中的商机.....	14
5.2.1 不同地域床位供需中的商机.....	14
5.2.2 养老服务企业未来利润的预测.....	15
Step1.数据预处理.....	15
Step2.养老企业近年来总收益.....	16
5.2.3 关于养老企业收益 GM(1,1)模型的建立.....	16
Step1.准指数规律验证.....	16
Step2.GM(1,1)模型的建立.....	17
Step3.对灰色预测模型进行检验.....	18
Step4.灰色模型预测结果及结论.....	18
5.3 运用多目标规划模型探索最优商业模式.....	19
Step1.确定养老企业收益与床位数、就业人数的函数关系.....	19
Step2.确定就业人数与养老床位数的函数关系.....	19
Step3.建立多目标规划模型.....	20
Step4.目标规划结果分析.....	21
5.4 模型算法归纳与养老床位规划建议.....	22
Step1.主要模型算法归纳.....	22
Step2.养老床位规划建议.....	22

六、 模型的灵敏度分析.....	23
七、 模型的评价、改进及推广	23
7.1 模型的评价.....	23
7.2 模型的推广.....	24
八、 参考文献.....	24
附录.....	25

一、问题重述

我国人口基数庞大，人口老龄化问题越来越突出，老年人的养老需求也不尽相同，养老服务问题亟待解决。各种养老机构和 PPP 等商业模式都为养老事业做出了巨大贡献，但目前养老床位数依然存在较大缺口，要解决这个社会问题需要政府、企业以及各方面的共同努力。为了合理规划养老床位，需要解决以下问题：

（1）考虑我国人口数量、人口结构和消费水平等多种问题，预测养老服务床位的市场需求规模^[1]，分别从城乡、性别、养老模式、机构类型对其进行分类。

（2）从企业角度出发，结合问题一的结论，从供求关系和利润方面考虑，发现并分析养老服务床位增加过程中带来的商机。

（3）从政府角度出发，设计一个既能满足养老床位需求，又能持续发展养老事业，还能促进社会就业的养老服务运营商业模式。

（4）归纳总结关键的数学建模问题及算法，依据模型和结论，针对养老床位规划问题对政府管理部门提出合理建议。

二、问题分析

针对问题一：本文首先对养老服务床位数量的市场需求规模与分类进行调查，结合各类影响因素分析得到选取老龄化人口数量、老龄化人口占比、人均 GDP、城乡人口比例、城乡消费比例、养老保险基金总收入、养老机构、养老机构收养人数共八种影响因素数据，之后对每种因素数据进行预处理，得到其发展趋势及与养老床位需求的关系。

为探究八种因素的相关系数，本文利用 Pearson 相关系数（共三步：线性检验、数据正态分布检验、求解相关系数系数）检验其与养老床位需求量的关系用于选择较为显著的因素以确保各因素数据的准确性、可靠性。之后用多元线性回归（共三步：异方差检验、多重共线性检验、向前逐步回归）得到各个因素与养老服务床位之间的关系，构造出多元线性回归方程，确保各因素之间的紧密联系性、依赖性。最后利用时间序列（共三步：序列图构造、求解预测方程、白噪声检验）预测各指标 2020-2025 年的变化趋势，之后将预测的指标代入多元线性回归方程得到确切的养老服务床位数量。

在划分分类中，本文先对各项因素在 2020-2025 年内的发展趋势进行预测，得到各类别的占比情况，结合老人意愿、实际情况分别按照性别、城乡、养老模式及养老机构类型进行详细分配。

针对问题二：在养老服务床位增加带来的商机问题，本文从企业角度出发考虑通过地域分布、城镇农村、养老机构类型等因素从多角度发掘商机，根据盈利收入、成本、政府补贴、社会捐赠等因素利用灰色预测中的 GM (1, 1) 模型预测养老服务企业未来利润，为养老企业提供可靠、稳健、安全的商业产业链以及可视化的利润呈现。

针对问题三：通过运用多目标规划模型探索并建立符合社会需求、养老事业可持续发展、促进社会就业三大方面的最优商业模式。首先确定养老企业收益分别与养老机构床位数和养老机构就业人数的函数关系，设立为目标函数 f_1 ，其次确定就业人数与养老床位数的函数关系，设立为目标函数 f_2 ，通过建立多目标规划模型，根据养老服务床位的运营模式把双目标函数通过目标函数统一最大化转换为单目标函数进行求解，进行灵

敏度分析，证明此商业模式能够稳健性运营。

针对问题四：首先对全文核心模型进行概述分析，深度剖析算法结论及依据，根据具体结果从政府角度对管理部门提出一个合理化的建议。

三、模型假设

- 1. 不考虑政策例如（二孩政策）带来的人口结构变化的影响。
- 2. 养老机构不存在因为服务不周赔偿的现象。
- 3. 不考虑此次疫情带来的带来的近期影响。
- 4. 从政府角度考虑，就业需求相对于养老企业的利润更重要，因此设定就业需求与养老企业的利润权重比为 6:4。
- 5. 不考虑金融危机对规划的商业模式带来的冲击。

四、符号说明

符号	含义
y	养老企业就业人数
α	千人拥有床位数
ϕ	政府补贴
b	社会捐赠
c	养老机构收入
d	养老机构成本
f_1	养老总收益
z	养老床位数

五、模型的建立与求解

5.1 床位数量的市场需求规模及其分类

5.1.1 指标数据预处理

首先进行影响因素分析，养老服务床位数量的市场需求受多种因素影响，选取老龄化人口数量、老龄化人口占比、人均 GDP、城乡人口比例、城乡消费比例、养老保险基金总收入、养老机构、养老机构收养人数共 8 个影响因素，搜集 2009 年—2019 年的相关数据并进行分析^[2]，搜集结果列示于附录 1。

从人口学角度出发，系统分析我国人口老龄化现状发现，近 11 年来，我国 65 周岁

以上的老年人口数逐渐增加，占全国总人口的比例也呈现出逐年增长的发展趋势。

表 1 我国 65 岁以上老人数量占比

年份	65+老年人口 (万人)	占全国总人口 比例 (%)	年份	65+老年人口 (万人)	占全国总人口 比例 (%)
2009	11307	8.5	2015	14386	10.5
2010	11894	8.9	2016	15003	10.8
2011	12288	9.1	2017	15831	11.4
2012	12714	9.4	2018	16658	11.9
2013	13161	9.7	2019	17603	12.6
2014	13755	10.1			

利用搜集数据绘制出老龄化人口数量随时间变化的柱状图如下：

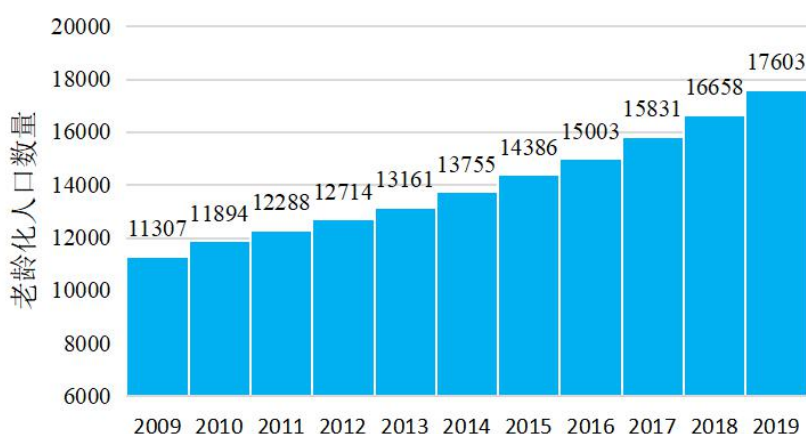


图 1 老龄化人口数量变化

从图中可以看出，随着近几年来老年人口比例逐渐增加，人口老龄化趋势越来越明显，由此带来的养老问题也受到广泛关注。

根据搜集到的数据分别绘制人均 GDP 和养老保险基金总收入随时间变化的柱状图如下。

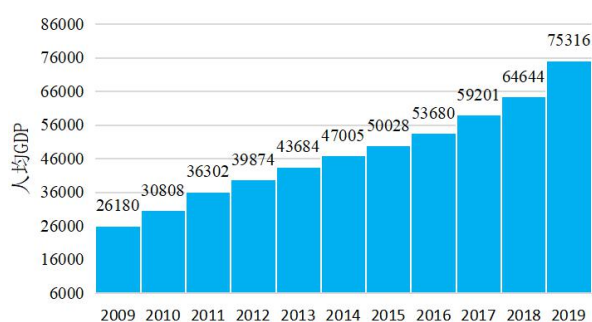


图 2 人均 GDP 变化

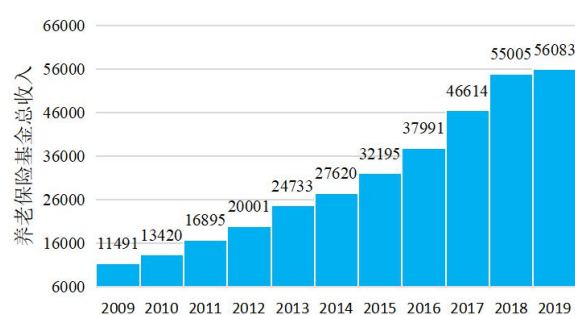


图 3 养老保险基金总收入变化

由图可以看出人均 GDP 逐渐增加，人民生活水平提高，生活方式也会发生改善，对生活质量的要求也逐渐提高，同时养老保险基金总收入呈逐年递增的趋势，国民对于养老问题的重视程度也逐渐加强，所以二者均会对养老服务床位需求规模产生影响。

城镇的人口比例与消费比例也在一定程度上影响着养老床位的划分结果，因此需要对城乡的人口、经济进行分析。

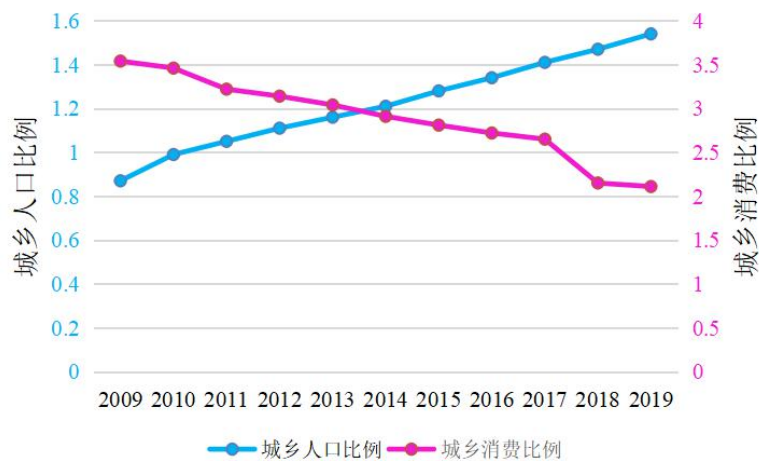


图4 城乡人口、消费分析

可以看到，城乡人口比例逐渐升高，随着城市人口比例增加，城镇养老床位需求量相比农村需求量增加较快，同时，城乡消费比例在逐年下降，城乡消费水平差距在逐渐缩小，二者在一定程度上会改变城乡养老床位的需求结构。

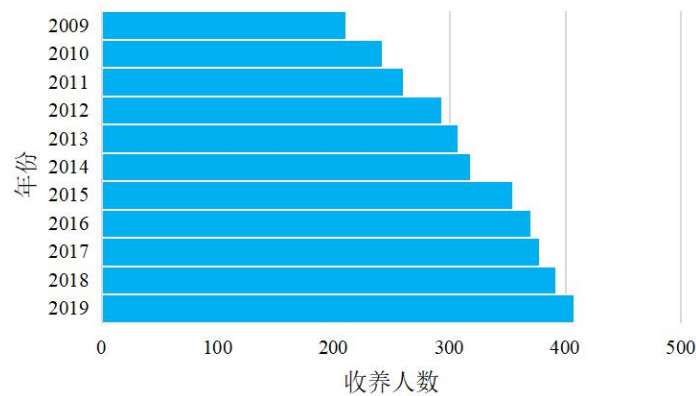


图5 收养人数随时间的变化

根据养老机构收养人数数据绘制出条形图，从中可以看出，养老机构收养人数呈逐年递增的趋势，随着选择机构养老的老年人口数量逐渐增加，在一定程度上会对未选择机构养老的老年人的需求态度产生影响，从而影响养老床位的市场需求量。

5.1.2 Pearson 相关系数选取显著指标

通过分析筛选，本文找到影响养老床位的8个指标，分别为老龄化人口、老龄化人口占比、人均GDP、城乡人口比例、城乡消费比例、养老保险基金总收入，为探索这8个指标与养老床位的相关系数，本文首先使用Pearson相关系数^[3]进行相关变量检验。

Step 1.自变量与因变量线性关系检验

Pearson 相关系数应用的前提是因变量与自变量成线性相关，即养老床位与另外9个指标的数据成线性关系。首先画出各个变量间的数据散点图，观察因变量与自变量是否满足线性关系。

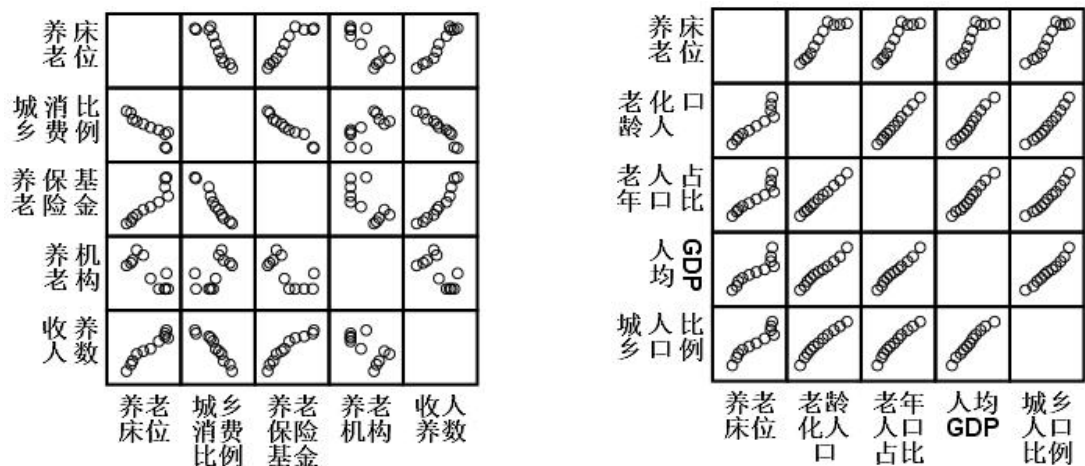


图 6 各变量相关散点图

由散点图可知，养老床位与城乡消费比例、养老保险基金、收养人数、老龄化人口、老龄化人口占比、人均 GDP、城乡人口比例呈现明显的线性关系。

Step 2.数据正态分布检验

Pearson 相关系数需要样本数据来自于正态分布的整体，因此本文利用 MATLAB 通过绘制 Q-Q 图来鉴别样本数据是否接近于正态分布。

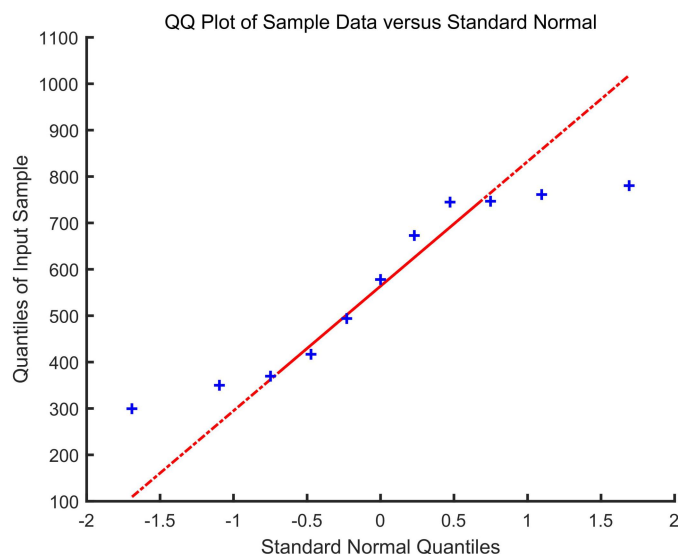


图 7 Q-Q 检测

观察 Q-Q 图，发现样本点近似地分布在一条直线附近，因此可以判断样本数据近似于正态分布。

Step 3.求取 Pearson 相关系数

通过上述检验可以验证，本文应用的数据满足 Pearson 算法相应的要求，因此使用 Pearson 算法算取因变量与各指标的相关系数。

假设有两组数据： $X: \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ 、 $Y: \{Y_1, Y_2, \dots, Y_n\}$

那么上述数据的总体均值为： $E(X)=\frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n},E(Y)=\frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n}$

总体协方差可以表示为： $Cov(X,Y)=\frac{\sum_{i=1}^n (X_i-E(X))(Y_i-E(Y)_i)}{n}$

则总体 person 系数表示为： $\rho_{XY}=\frac{Cov(X,Y)}{\sigma_X\sigma_Y}=\frac{\sum_{i=1}^n \frac{(X_i-E(X))}{\sigma_X} \cdot \frac{(Y_i-E(Y))}{\sigma_Y}}{n}$

其中 σ_x 是 X 的标准差， $\sigma_X=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i-E(X))^2}{n}},\sigma_Y=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i-E(Y))^2}{n}}$

利用上述公式，对 8 个指标求取 Pearson 相关系数，得到结果见表 1。

表 2 Pearson 相关系数表

自变量	老龄化人口	老龄化人口占比	人均 GDP	城乡人口比例
Pearson 相关性	0.933	0.928	0.917	0.954
显著性	0.000	0.000	0.000	0.000
自变量	城乡消费比例	养老保险基金总收入	养老机构	收养人数
Pearson 相关性	-0.902	0.926	-0.81	0.973
显著性	0.000	0.000	0.000	0.000

原假设为各个自变量与因变量之间的相关系数均为 0，上表可以发现，8 个指标对应的 t 检验的 P 值均小于 0.05，即在 95%的置信水平下，本文可以拒绝原假设，即本文选取的 8 个指标均与养老床位显著相关。

5.1.3 运用多元线性回归构造养老床位方程

由于自变量与因变量的关系呈现线性相关，且有 8 个指标与因变量显著的相关，为了充分考虑各个影响因素对养老床位的影响，本文采用多元线性回归，利用 OLS 普通最小二乘法对各个指标的相关系数进行求解，以得到带有 8 个预测指标的回归方程^[4]。

Step 1.对数据进行异方差检验

为避免样本数据异方差的影响，本文首先采用怀特检验对各个预测指标的数据进行异方差检验^[5]。原假设为不存在异方差，运用 STATA 软件运行的结果如表 2。

表 3 怀特检验

分类	chi2	df	p
Heteroskedasticity	11	10	0.3575

Skewness	0.72	8	0.9995
Kurtosis	2.34	1	0.1262
Total	14.06	19	0.7801

由表 2 可知， χ^2 检验对应的 p 值在异方差性、偏斜度、峰度上均大于 0.05，即在 95%的置信水平下，本文不可以拒绝原假设，即数据不存在异方差。

Step 2.数据多重共线性检验

为避免多重共线性的影响，本文通过计算各个指标的方差膨胀因子来检验多重共线性的影响。利用 STATA 软件，算取的方差膨胀因子如表 3。

表 4 方差膨胀因子

分类	VIF	1/VIF
老龄化人口	3507.11	0.000285
老龄化人口占比	2607.93	0.000383
人均 GDP	555.37	0.001801
城乡人口比例	322.55	0.0031
城乡消费比例	210.14	0.004759
养老保险基金总收入	117.38	0.008519
养老机构	50.56	0.019777
收养人数	6.28	0.159154

因为存在 $VIF>10$ 的指标，因此数据间有很强烈的多重共线性，因此为解决多重共线性的问题，本文考虑在进行多元回归分析时使用向前逐步回归的方法。

Step 3.运用向前逐步回归法求取床位预测方程

下面本文采用多元线性回归，对各个指标系数进行预测。假设 (x_1, x_2, \dots, x_n) 是自变量， y 是因变量，且满足以下线性关系：

$$y_i = \beta_0 + \sum_j \beta_j x_{ij} + u_i, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 1, 2, \dots, P \quad (1)$$

其中 $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p$ 为回归系数， u_i 为无法观测的且满足一定条件的扰动项。

$$\text{令预测值 } \hat{y}_i = \hat{\beta}_0 + \sum_j \hat{\beta}_j x_{ij} \quad (2)$$

$$\text{其中 } \hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_p = \arg \min_{\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p} \left(\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \right) = \arg \min_{\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p} \left(\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{\beta}_0 - \sum_j \hat{\beta}_j x_{ij})^2 \right)$$

$$\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_p = \arg \min_{\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p} \left(\sum_{i=1}^n (u_i)^2 \right) \quad (3)$$

$$\hat{u}_i = y_i - \hat{\beta}_0 - \sum_j \hat{\beta}_j x_{ij} \quad (4)$$

其中，我们将 \hat{u}_i 称之为残差，代表实际值与预测值的数值差距。

基于上面的分析，我们定义符号如下：

表 5 符号定义

符号	说明	符号	说明
x_1	老龄化人口数	x_5	城乡消费比例
x_2	老龄化人口占比	x_6	养老保险基金总收入
x_3	人均 GDP	x_7	养老结构
x_4	城乡人口比例	x_8	收养人数

以下将构建养老床位与诸多影响因素的回归模型：

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_8 x_8 \quad (5)$$

利用 STATA 统计软件以步进为 0.2 采用向前逐步回归的方法对各个影响因素的系数进行求解，得到结果如下：

表 6 模型检验

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	11
				F(6,3096)	=	274.96
Model Residual	339169.725	2	169584.862	Prob>F	=	0.0000
	4934.1806	8	616.772575	R-squared	=	0.9857
Total				Adj R-squared	=	0.9821
	344103.905	10	34410.3905	Root MSE	=	24.835

原假设 $H_0: \beta = 0$,通过 F 检验可以得到由于 $\text{Prob}>F=0.0000<0.05$ ，得到联合显著一致性检验可以通过，即可以否定原假设，该回归模型有意义。其中拟合优度 $R^2=0.9857$ ，回归效果极好。

表 7 指标系数及检验

养老床位（万）	Coef.	Std.Err.	t	P> t
收养人数（万）	2.25	0.17	13.56	0.00
养老机构（万）	-87.52	18.84	-4.65	0.00
_cons	150.57	110.11	1.37	0.21

运用向前逐步回归，只有显著的指标才能加入模型，通过筛选只有收养人数、养老机构两个指标符合，并且两者 t 检验对应的 P 值均小于 0.05，即在 95%的置信水平下可以认为相关系数有意义。因此可以构建回归预测方程如下：

$$y = 2.25x_8 - 87.52x_7 + 150.57$$

其中 y 表示养老床位， x_7 为养老结构， x_8 为收养人数。

5.1.4 时间序列^[6]对各个指标进行预测

多元线性回归预测模型是通过自变量预测因变量，因此需要将指标的未来数值预测出来，进而将指标预测值代入回归预测方程进行养老床位的预测。以下本文以收养人数为代表进行指标预测过程说明。

Step 1.时间序列图的构造

首先，本文构建出收养人数的时间序列图，用于观察图形中曲线的走向以判断长期变动趋势、季节变动规律等走向。

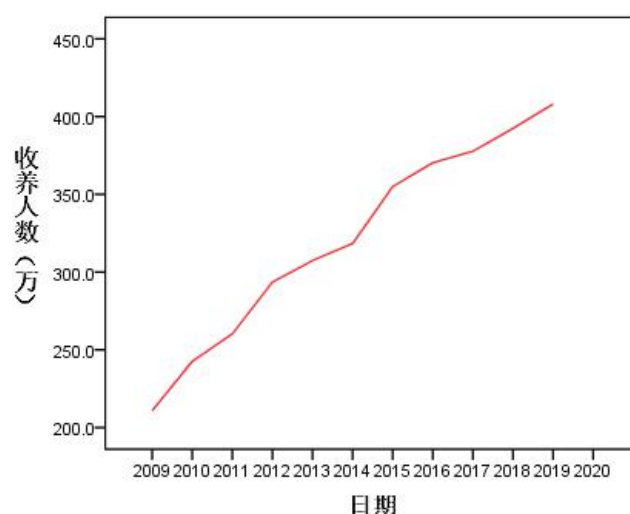


图 7 时间序列图

由时间序列图可以看出，收养人数是以年为单位，没有季节性因素；收养人数从 2009 年到 2019 年逐渐递增，数据不平稳，因此考虑进行一次差分处理，处理后的时间序列图如图 8。

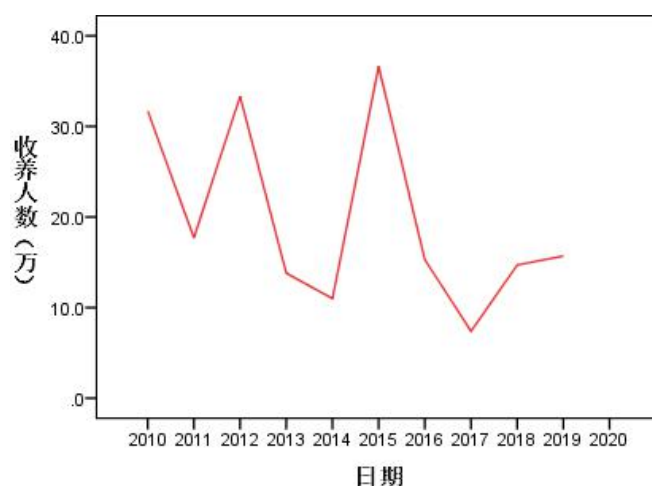


图 8 进行一次差分后的时间序列图

由时间序列图可以看出，收养人数在上下围绕一值波动，相对于图 7 来说稳定性大幅度提高，因此可以进行时间序列分析。

Step 2.利用 ARIMA (0,1,0) 模型求取指标预测方程

下面利用 SPSS 中专家建模器进行建模，建模器推荐结果如下：

表 8 模型描述

模型 ID	收养人数（万）	模型_1	ARIMA (0, 1, 0)
-------	---------	------	-----------------

由模型描述可知，专家建模器推荐的时间序列模型为 ARIMA (0,1,0) 模型^[7]，其拟合优度达到了 0.967，模型效果较好。其属于 ARIMA (p,d,q) 模型，原理如下：

收养人数经过 d 阶差分并运用自回归模型 AR (p) 与滑动平均模型 MA (q) 可以表示为：

$$y'_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i y'_{t-i} + \varepsilon_t + \sum_{i=1}^q \beta_i \varepsilon_{t-i} \quad (1)$$

其中 d 阶差分方程可以表示为：

$$y'_t = \Delta^d y_t = (1-L)^d y_t$$

将差分方程代入 (1) 式中，可以得到下式：

$$\left(1 - \sum_{i=1}^p \alpha_i L^i\right) (1-L)^d y_t = \alpha_0 + \left(1 + \sum_{i=1}^q \beta_i L^i\right) \varepsilon_t \quad (2)$$

其中 L 为滞后算子，满足

$$(1-L) y_t = y_t - L y_t = y_t - y_{t-1} \quad (3)$$

由于 p=0,q=0,d=1,将各个参数代入 (2) 式并结合 (3) 式，可以得到收养人数的表达式：

$$y_t = \alpha_0 + \varepsilon_t + y_{t-1} \quad (4)$$

通过专家建模器，得到 (4) 中的唯一的参数项。

表 9 ARIMA 模型参数

	估算	标准误差	t	显著性
常量	19.72	3.233	6.1	0
差异	1			

其中常数量为 19.720，其 t 检验对应的 P 值小于 0.05，即在 95% 的置信水平下可以认为参数合理。由此可以推出收养人数的表达式：

$$y_t = 19.720 + y_{t-1} \quad (5)$$

通过预测 2020-2025 年的收养人数，并将收养人数的拟合值、预测值、原值在同一张图中表达，观察效果。

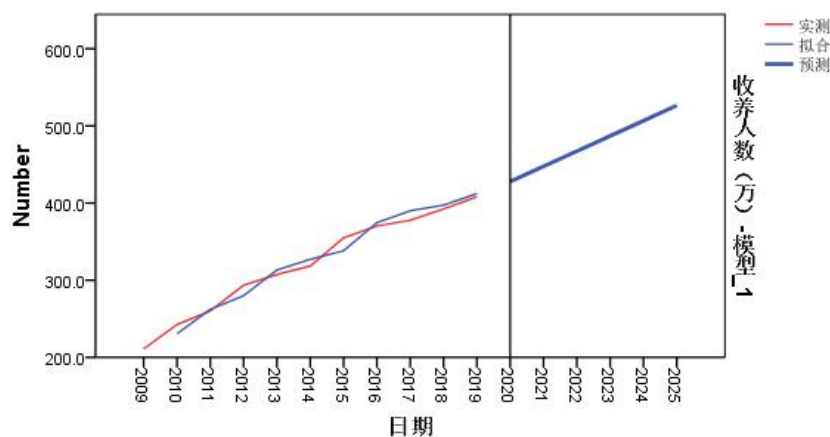


图9 实测、拟合与预测

可以发现，拟合效果较好，模型合理。同理，通过重复上面的过程也可以得到养老机构的表达式。

Step 3. ARIMA 模型的白噪声检验

因为 ARIMA 模型运用的基础为样本数据为白噪声序列，因此本文需要对数据的白噪声进行检验^[8]，检验结果如下：

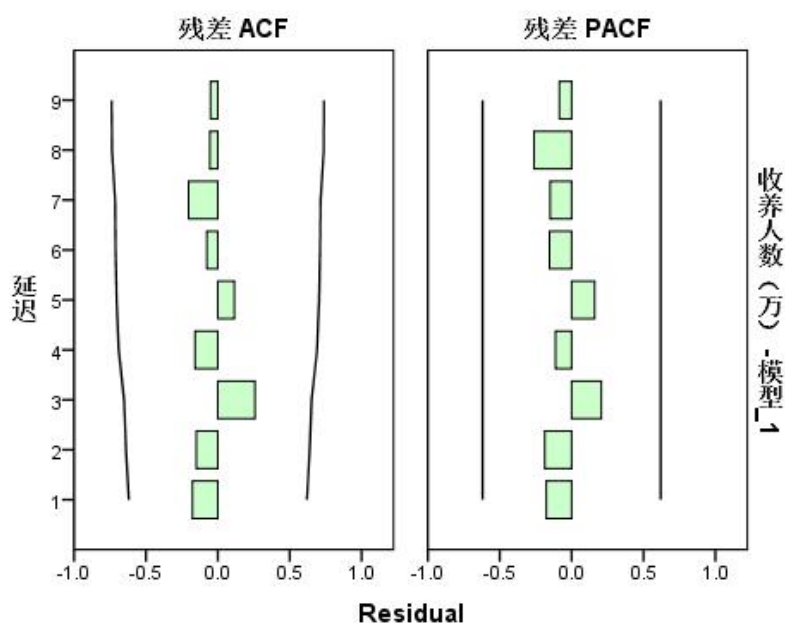


图10 残差 ACF、PACF

通过观察残差自相关系数与偏自相关系数，可以发现 ACF、PACF 均在临界范围内，与零无差异，因此数据平稳可以证明为白噪声序列。

5.1.5 床位预测结果

通过上述多元回归分析，本文得到了养老床位与各个指标的预测表达式如下：

$$y = 2.25x_8 - 87.52x_7 + 150.57$$

其中 y 表示养老床位， x_7 为养老结构， x_8 为收养人数。本文通过时间序列将养老结构与收养人数指标值预测到了 2025 年，将自变量的预测值代入上式中，便可得到

养老床位 2020 至 2025 年的预测值，结果如表 10。

表 10 养老床位预测(单位：万)

年份 \ 养老人数	年份	2020	2021	2022	2023	2024	2025
预测值		427.8	447.5	467.3	487	506.7	526.4
测下限		404.7	414.8	427.2	440.7	455	469.8
预测上限		450.9	480.2	507.3	533.2	558.4	583.1
年份 \ 养老机构	年份	2020	2021	2022	2023	2024	2025
预测值		3.50	3.50	3.50	3.52	3.52	3.54
预测下限		2.60	2.70	2.72	2.80	2.82	2.53
预测上限		4.40	4.30	4.28	4.20	4.22	4.55
年份 \ 养老床位	年份	2020	2021	2022	2023	2024	2025
预测值		785.41	828.75	872.31	913.90	957.24	998.83

通过养老床位的预测数值可以发现，未来养老床位数逐年增长，养老市场有较大的发展空间。

5.1.6 养老床位类型划分

通过对养老床位进行预测，本文得到了 2025 年的养老床位需求量，约为 998.83 万张，在此基础上，本文考虑从三大方面进行分类，分别为：按性别划分、按城乡划分、按养老模式划分，其中养老模式有居家养老、社区养老、机构养老（公办、民办、公建民营）。

Step1.预测未来各因素分类占比情况

首先本文需要根据目前已有的分类占比预测 2025 年各种分类的占比情况。在进行前期的数据收集整理后，本文利用近年来分类指标（见附录 2）并结合时间序列算法对各个分类占比进行预测，得到 2020-2025 年各方面分类占比的变化情况如表 11。

表 11 未来各方面分类占比预测

年份	2020	2021	2022	2023	2024	2025
老年抚养比	18.6	19.5	20.4	21.3	22.2	23.1
老年男女比例	0.9007	0.8971	0.8934	0.8898	0.8861	0.8825
城乡人口占比	1.61	1.67	1.74	1.81	1.87	1.94
机构类型占比（公办）	0.7861	0.7764	0.7667	0.757	0.7473	0.7375
机构类型占比（民办）	0.2047	0.2142	0.2237	0.2332	0.2427	0.2522
机构类型占比（公建民营）	0.0092	0.0094	0.0096	0.0098	0.0101	0.0103
养老模式占比（居家）	0.91	0.91	0.92	0.92	0.93	0.93
养老模式占比（社区）	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06	0.06
养老模式占比（机构）	0.05	0.05	0.03	0.03	0.01	0.01
养老机构床位（万）	785.41	828.75	872.31	913.90	957.24	998.83

表 11 中显示了 9 种因素未来 5 年的占比变化情况，上述 9 种因素共同构成了三大划分方式：按性别划分、按城乡划分、按养老模式划分。最后选取 2025 年各个分类占比情况数据，将养老床位根据三大方面进行分配。由上表可知，养老机构床位在 2025 年达到了 998.83 万张床位。

Step2.养老床位按类型具体分类结果

考虑到我国实际老龄化人口数量，在养老模式中 90%的老人会选择居家型养老，因此本文通过时间序列算法得到 2025 年老龄化人口数量，为 23272 万，其中有 90%的老年人意愿选择居家型养老，占到了 20944.8 万，社区型养老占比 6%，数量为 1328.37 万。

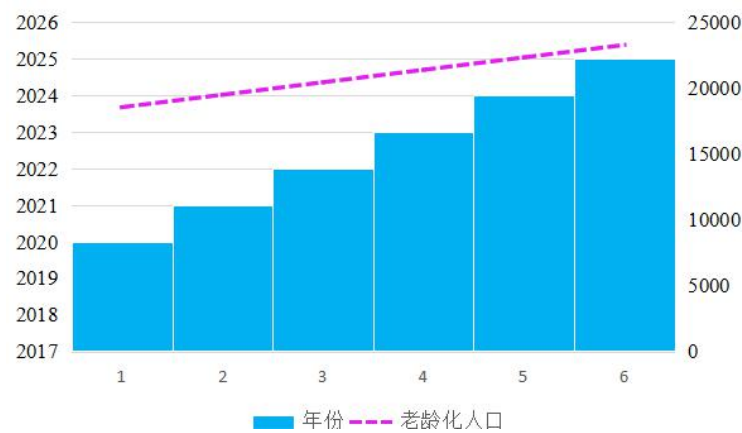


图 11 老龄化人口数量图

根据预测得到的养老服务床位数量的需求规模，按照性别、城乡、养老模式和机构类型在 2025 年的因素占比情况进行分类，计算得到各类人群的养老需求意愿如下表所示。

表 12 未来各方面分类占比预测

分类		2025 年养老床位需求量（万张）	
按性别划分	女性	530.58	
	男性	468.25	
按城乡划分	城镇	659.13	
	农村	339.7	
养老模式	居家		20944.8
	社区		1328.37
	机构	公办	736.64
		民办	251.90
		公建民营	10.29

本文利用时间序列算法得到 2025 年养老机构床位情况，分别对性别比例、城乡比例以及养老机构类型进行分配，由上表可以看出，随着时间的推移，65 岁以上的老年人中女性人数大于男性人数，故而在 2025 年女性的养老床位需求约为 530.58 万左右，多于男性养老床位需求的 468.25 万，其次对于近些年城乡比例人口的变化情况，虽然目前的农村养老机构较多，但根据数据显示在 2025 年时，由于大部分 65 岁以上的老年人选择迁移到城镇，故城镇的养老床位需求仍然要多于农村所需，分别是 659.13 万和 339.70 万左右。

根据养老模式的划分，调查显示，越来越多的老年人的养老意愿是居家养老，再次是社区养老，只有很少一部分的老年人意愿选择养老机构，在养老机构的调查中，又有大部分的老年人选择国营企业即公办养老机构，本文将其 2025 年预测的机构养老床位需求量进行分配，得到其数量为 736.64 万，其次为民办数量为 251.90，只有很少一部分会选择公建民营机构数量为 10.29 万，考虑到实际养老模式的需求情况，养老床位的供应量远远小于我国老龄化人口的需求量，因此本文从而根据实际情况和调查结果出发，

预测结果较为准确。

5.2 养老服务床位增加中的商机

5.2.1 不同地域床位供需中的商机

目前我国养老机构规模普遍较小，虽然机构数量增长迅速，但床位数增长相对缓慢。2018 年我国千人养老床位为 29.9 张，随着老龄化速度加快，我国养老机构床位缺口正在逐渐扩大，2018 年我国养老机构床位缺口为 914 万张，同比增长 9.1%。从企业角度出发，按照常规分类将我国划分为华北地区、东北地区、华东地区、中南地区、西南地区、西北地区六个区域，分别搜集 2018 年六个区域年龄在 65 岁以上人口数，地区总人数和地区养老床位数，定义千人拥有床位数为 α ，计算公式如下：

$$\alpha = \frac{\text{区域内床位数}}{\text{区域人口总数}} \times 1000$$

通过计算，结果如下表所示：

表 13 各地区养老数据

地区	65+老年人口数 (万人)	地区总人口 (万人)	地区养老床位数 (万张)	千人床位数 (张)
华北地区	2005	17522	89	24.1
东北地区	1448	10836	80	30.2
华东地区	5443	41172	298	45.6
中南地区	4171	39627	150	28.4
西南地区	2589	20217	98	36.0
西北地区	1015	10279	32	21.0

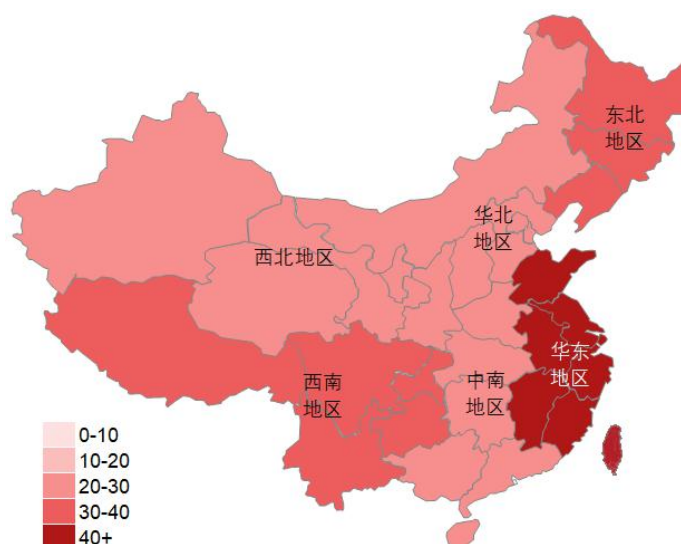


图 12 千人床位数地区热力图

根据结果可以看到华东地区千人床位为 45.6 张，位列各地区榜首，市场竞争较为激烈，各方面的养老服务市场制度也比较完善；华东地区、西南地区千人床位数已经达到十三五规划提出的每千人拥有养老床位 35-40 张的目标，市场发展较好；相比较而言西北地区等发展较为落后的地区养老行业发展较差，有较大的发展空间。

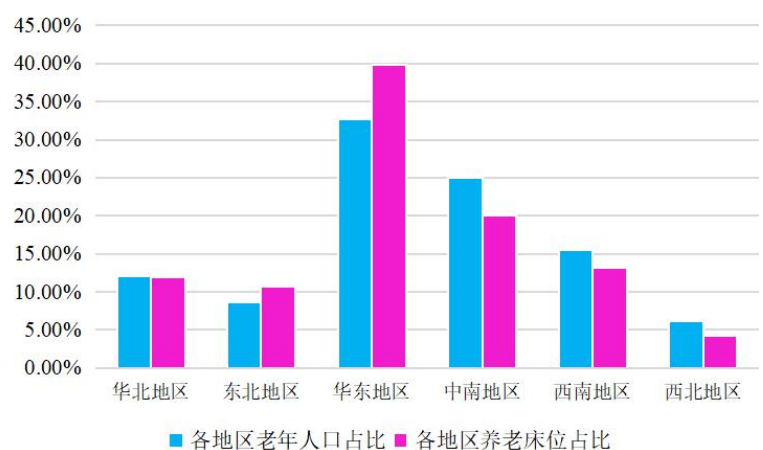


图 13 各地区老年人口和养老床位占比分析

从企业角度来分析，“商机”应该处在老年人口占比较高而养老床位供给量相对较少的地区，从图中可以看出，中南地区、西南地区和西北地区的发展潜力比较大。

在考虑地区的同时考虑城乡分类，分别搜集上述同类数据，搜集结果如下：

表 14 城镇与乡村养老数据

城乡分类	65+老年人口数 (万人)	总人口 (万人)	养老床位数 (万张)
城镇	9932.8	83137	367.77
农村	6738.5	56401	378.53

算取城镇与农村养老人口占比与养老床位数占比并将其用柱状图表示。

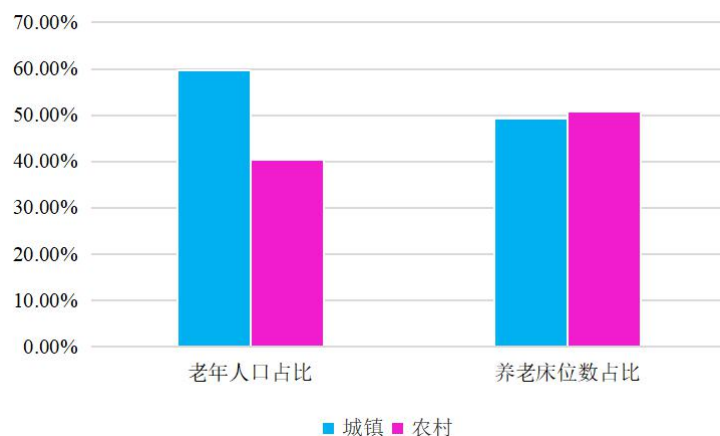


图 14 城镇与农村老年人口与养老床位数占比

从城乡老年人口和养老床位数供求关系可以看出，城镇老年人口数占比较大而养老床位数占比较小，农村则正好相反，所以城镇养老服务发展潜力较大。

5.2.2 养老服务企业未来利润的预测

Step1.数据预处理

从事养老机构的企业主要的年收入由政府补贴 ϕ 、社会捐赠 b 、养老机构的收入 c 与成本 d 四个部分组成，具体表达式如下：

$$\phi = a + b + c - d$$

其中 $c-d$ 表示养老机构利润为养老机构收入减去成本。

Step2.养老企业近年来总收益

搜寻 2010-2019 养老机构每年盈利收入、成本、政府补贴、社会捐赠的有关数据^[9]。并将上述 4 个指标 2010-2019 年的数据代入上式中，算出 2010-2019 年养老企业的总利润。具体数据见表 9。

表 15 养老企业总收益

分类	2014	2015	2016	2017	2018	2019
政府补贴（万）	143	150	157	165	171	179
社会捐赠（万）	501	525	551	578	600	626
养老机构收入（万）	159	170	214	250	256	302
养老企业总收益（万）	803	845	922	994	1028	1106

可见从事养老服务的企业总收益逐年增加，符合灰色预测^[10]的大体趋势。下面对养老企业总收入进行灰色预测。

5.2.3 关于养老企业收益 GM(1,1)模型的建立

本文利用从事养老服务的企业在 2010-2019 年的总利润对未来的养老事业的发展情况进行预测。GM (1,1) 模型要求数据具有较为明显的指数特征，因此本文通过绘制企业总利润在 2010-2019 年的时间序列图来检验数据是否满足要求。

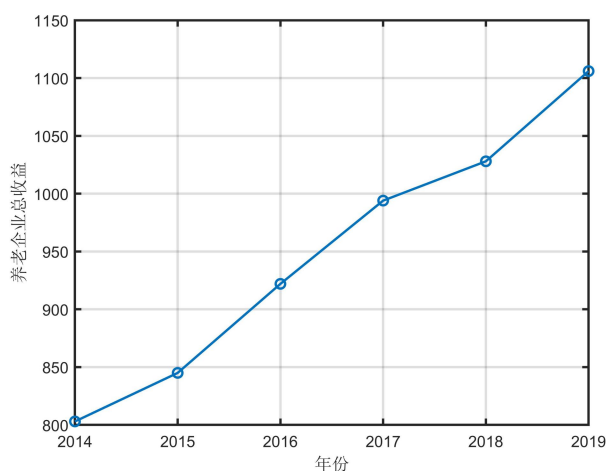


图 15 养老企业总收益时间序列图

可见养老企业的总收益的大体走向呈现指数的形式，数据符合灰色预测特征。并且由于数据量较少且满足离散非负数的特征，因此本文选用灰色预测模型对 2020-2025 年从事养老服务的企业利润进行预测。

Step1.准指数规律验证

利用 MATLAB 软件对数据进行准指数检验，用以判断数据是否具有准指数特征，软件运行结果如下：

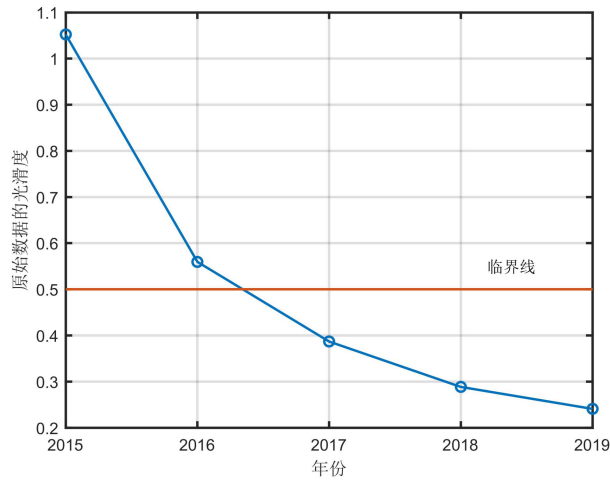


图 16 准指数规律验证

只有光滑比小于 0.5 的期数才能满足灰色模型运用的条件，由于前两期一般不符合要求，灰色预测模型更关注之后的期数，剔除前两个时期外，光滑比小于 0.5 的数据占比为 100%，证明数据满足准指数规律，满足模型要求。

Step2.GM(1,1)模型的建立

养老服务企业总收益的原始时间序列为：

$$x^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), x^{(0)}(4), x^{(0)}(5), x^{(0)}(6))$$

首先需要对原始序列进行一次累加：

$$x^{(1)} = (x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), x^{(1)}(3), x^{(1)}(4), x^{(1)}(5), x^{(1)}(6))$$

对一次累加后的数列相邻两值求取平均值，得其紧邻均值数列为：

$$z^{(1)} = (z^{(1)}(2), z^{(1)}(3), z^{(1)}(4), z^{(1)}(5), z^{(1)}(6))$$

GM (1, 1) 模型的基本形式可以表示为：

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

其中， b 表示方程的灰作用量， $-a$ 表示数据发展系数

紧接着构造数据矩阵 B 及数据向量 Y 及参数 μ

$$\mu = (a, b)^T, B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)) & 1 \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(5) + x^{(1)}(6)) & 1 \end{bmatrix}, Y = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(6) \end{bmatrix} \quad (2)$$

于是 GM (1,1) 模型的基本形式 $x^0(k) + az^{(1)}(k) = b$ 便可以表示为:

$$Y = B\mu \quad (3)$$

通过 OLS 最小二乘法^[11]便可以得到参数 μ ,

$$\hat{\mu} = \begin{pmatrix} \hat{a} \\ \hat{b} \end{pmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y \quad (4)$$

最小二乘法拟合得到的发展系数 $-a$ 为 0.060289, 灰作用量 b 是 1075.2432, 将参数代入 (1) 式可得:

$$x^0(k) = 0.06z^{(1)}(k) + 1075.24$$

利用上述预测公式便可对未来 2020-2025 年养老事业总收益变化趋势进行预测。

Step3.对灰色预测模型进行检验

使用灰色模型进行预测时可以使用残差检验与级比偏差检验, 利用 MATLAB 做出相应的残差与级比偏差图:

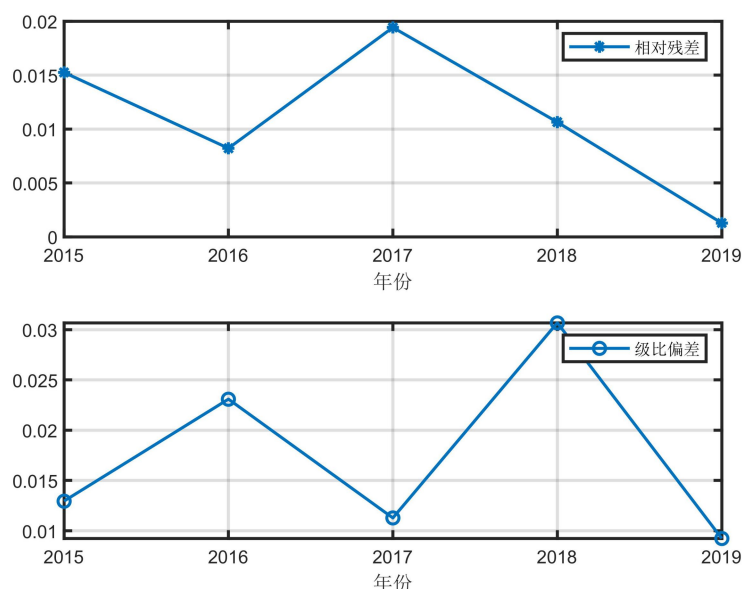


图 17 差检验与级比偏差检验

MATLAB 运行结果显示平均相对残差为 0.01096, 平均级比偏差为 0.017447, 均远远接近于 0。因此结果表明, 该模型对原数据的拟合程度非常不错, 可用于未来养老企业总收益的预测。

Step4.灰色模型预测结果及结论

通过预测 2020-2025 年从事养老服务行业企业利润的总收入, 并将企业总收益的拟合值、预测值、原值在同一张图中表达, 观察养老企业总收益变化趋势。

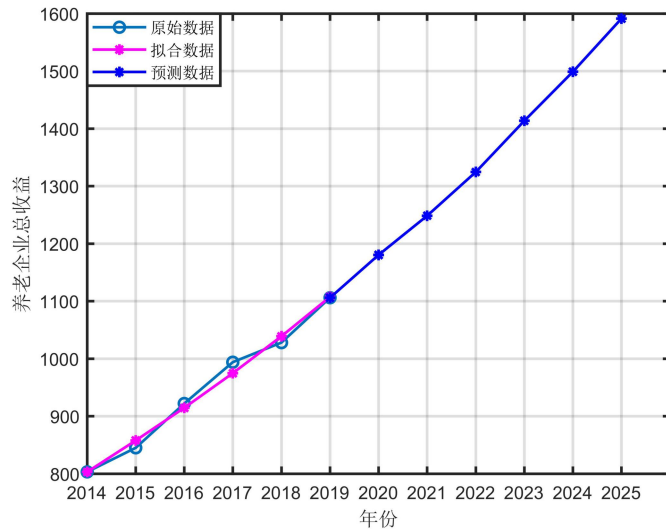


图 18 养老企业总收益变化趋势

上图显示，拟合与预测的效果比较好，模型合理。此外，通过上图也可得知，养老企业总收益呈指数式增长，到 2025 年每家养老企业的经济利润可以达到 1600 万，未来的商业收益增长空间十分巨大，因此从事养老行业存在着巨大的商机，企业应该抓准机遇发展养老事业的市场。

5.3 运用多目标规划模型探索最优商业模式

通过建立多目标规划模型^[12]在满足社会需求的同时保证养老服务事业持续发展并促进社会就业。其中满足社会需求即为满足养老床位需求量，保证养老服务事业持续发展即为在满足养老床位需求量的条件下保证养老企业收益最大化，促进社会就业为在满足养老床位需求量的条件下保证最大的岗位需求。因此需要构建养老机构就业人数、养老床位需求量和养老企业的总收益之间的关系函数，再进行目标规划。

Step1.确定养老企业收益与床位数、就业人数的函数关系

多目标规划是在满足养老床位需求的条件下进行的，且满足社会需求即为满足养老床位需求。以中档养老机构为准，详细剖析养老机构的运营情况。根据调研情况来看，养老项目鼓励成本收费每月人均在 1500 左右（失能老人按照 1:3 配备护理人员，半失能按照 1:6 配备护理人员，在考虑到管理人员等支出，护理成本约为人均 1500 元每月）；餐费每月人均在 700 元左右；包括折旧、维修（按照折旧的 5%计提）和利息在内的年固定费用约为 1839 万元。

通过查阅文献得知养老机构的平均床位使用率为 53%，人均每月收费为 3000 元，政府补贴 179 万元，社会捐赠 626 万元。得到养老机构利润综合表达式用 f_1 表示为：

$$f_1 = 19080z - 84000y - 5000000 + 1790000 + 6260000$$

其中，上式单位为元， y 表示企业员工数， z 表示床位数，确定了养老企业利润与企业员工数、床位数的函数关系。

Step2.确定就业人数与养老床位数的函数关系

实现就业人数的最大化是在满足社会需求即养老床位需求量的条件下进行的，因此需要构建就业人数与养老床位的相关关系。通过搜集不同等级养老机构对应的养老床位、就业人数、年收入利润、老年人数，总结数据表格如下：

表 16 不同级别养老机构数据

养老机构	就业人数（人）	利润（万）	床位（张）	老年人数（人）
一星	240	143.13	924	500+
二星	171	61.50	397	400
三星	87	34.08	220	225
四星	51	12.55	81	150
五星	22	7.75	50	150-

通过将不同等级的养老机构对应的就业人数与床位数拟合，寻找两者之间的关系。

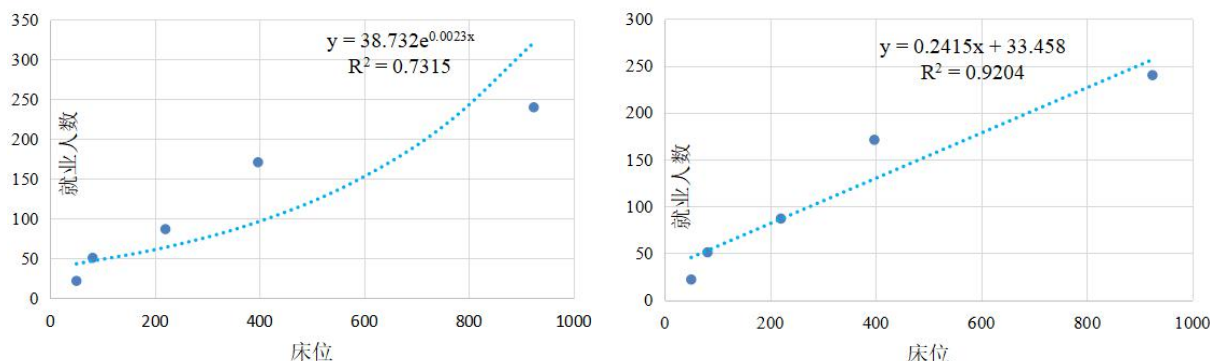


图 19 就业人数与床位数拟合关系

采用指数形式进行拟合，拟合优度为 0.7315，采用线性方式进行拟合，拟合优度为 0.9204，因此选用线性拟合的方式对就业人数与床位进行拟合，拟合方程如图所示。

假设就业人数综合表达式可以用 f_2 表示，就业人数主要与企业的床位需求量有关，结合上述拟合关系，利用养老机构床位数表示就业人数的综合表达式：

$$f_2 = 0.2415z + 33.458$$

其中，上式单位为人， z 表示床位数，确定了就业人数与养老床位数的函数关系。
Step3.建立多目标规划模型

本文规划的目标是在满足社会需求的条件下，养老机构的利润最大化即能够保证养老服务事业持续发展，其中满足社会需求即为满足养老床位需求，具体表示为：

$$\max f_1 = 19080z - 84000y - 5000000 + 1790000 + 6260000$$

在满足社会需求的条件下，保证就业人数的最大化即能促进社会就业，表达式为：

$$\max f_2 = 0.2415z + 33.458$$

在 5.1.5 中，本文对 2025 年的床位需求进行了预测，2025 年的养老机构床位量的需求为 998.83 万，现在 65 岁老人人数为 24000 万，考虑到居家养老人数占据 90%，即最大需求床位为 2400 万，因此在满足社会需求的条件下，即 z 需满足：

$$9988300 \leq z \leq 24000000$$

据调查，2018 年全国养老机构护理人数数量不足 100 万，与庞大的老年人口数量形成鲜明的对比，若要促进就业则 2025 年养老岗位数量应该多于现在的 100 万，即

$$y \geq 1000000$$

因此，有约束条件的目标规划模型可以表示为：

$$\begin{aligned} \max f_1 &= 19080z - 84000y + 3050000 \\ \max f_2 &= 0.2415z + 33.458 \\ \text{st.} \begin{cases} 0.2415z - y \leq 0 \\ 9988300 \leq z \leq 24000000 \\ y \geq 1000000 \end{cases} \end{aligned}$$

为简化方程，需要对多目标函数进行加权组合，使其变为单目标规划函数，由于两个目标函数统一为最大化问题，因此选择统一为最大化问题处理。因为上述两个目标函数数量纲不同，故进行量纲的标准化处理，即用目标函数除以某一常量，限定该常量为此目标函数其中的一个取值，本文根据上文调查的数据情况均取该类数据 2018 年平均值。同时对每个目标函数从政府角度确立权重关系，其中企业利润权重为 0.4，就业情况权重为 0.6,对目标进行加权求和,得到：

$$F = \frac{0.4 \times f_1}{518000} + \frac{0.6 \times f_2}{1000000} = \frac{0.4 \times (19080z - 84000y + 3050000)}{518000} + \frac{0.6 \times (0.2415z + 33.458)}{1000000}$$

Step4.目标规划结果分析

通过 MATLAB 软件对上述目标进行规划，得到各个参数的结果为：

$$z = 10,000,000 \quad y = 1,205,600 \quad f_1 = 89,532,650,000$$

上述参数为在满足基本养老需求的情况下，保证养老服务事业持续发展并促进社会就业的最优参数。可见当在 2025 年养老机构床位数建设在 1000 万左右时，可以促进 120 万养老机构工作者就业，并且带来将近 895 亿元的社会效益。因此政府在宏观调控下争取将养老机构中养老床位增加到 1000 万，可以带来最优的商业效益，并能最大程度的促进就业，其中床位数量的具体商业规划见下表。

表 16 商业床位运营体系规划

分类		2020 年养老床位需求量（万张）
按地域划分	华北地区	119.00
	东北地区	106.97
	华东地区	398.46
	中南地区	200.57
	西南地区	131.04
	西北地区	42.79
按机构等级划分	一星级	29.87
	二星级	48.39
	三星级	131.43
	四星级	237.16
	五星级	551.99
按城乡划分	城镇	492.21
	乡村	506.62

该表具体结合了问题一中的养老机构划分比例与与问题二中的地域床位供需，将 1000 万张床位具体的进行了划分，使用该商业模式，可以在满足基本养老需求的情况下保证服务事业持续发展并促进社会就业。

5.4 模型算法归纳与养老床位规划建议

Step1.主要模型算法归纳

问题一，首先找到影响养老床位的八个指标（老龄化人口、老龄化人口占比、人均 GDP、城乡人口比例、城乡消费比例、养老保险基金总收入），并用 Pearson 相关系数进行检验，得到八个指标均与养老床位显著相关，运用时间序列对各个指标进行预测，然后运用多元线性回归构建出回归预测方程，得到养老床位短期预测结果，并对养老床位类型进行划分得到分类结果。

问题二，分析不同地区和城乡的养老床位供需关系，搜集养老机构收入、成本、政府补贴、社会捐赠相关数据，建立灰色预测模型预测养老服务企业短期收益，以此来分析养老服务床位增加中的“商机”。

问题三，建立养老服务企业收益、床位数、就业人数的函数关系，建立多目标规划模型，规划目标是在满足养老床位需求的条件下，既满足养老机构利润最大化，保障养老行业的持续发展，又能促进社会就业，找到最优的商业运营模式。

Step2.养老床位规划建议

当前，中国老龄化问题日益严重，中国养老事业同时面临着机遇和挑战，针对以上研究问题和结果，我们从养老机构床位供给、结构分配和建设管理发面提出如下几点建议，仅供参考：

1.增加总量供给，提高入住需求

按照养老机构发展目标，目前全国养老机构床位缺口达 900 万，并根据问题一中养老床位预测结果发现养老床位需求量增长迅速，因此需要增加床位供给。在供给方面，通过现状挖潜、其他设施改建和新建等多种途径扩大全国养老机构的总量供给，以适应我国老龄化进程加速发展的形势，满足日益庞大的养老需求。

现状挖潜：改造和升级现状用房老旧、不达标的养老设施；挖掘土地利用率较低的设施，提高土地使用率。支持符合导向。符合需求的存量设施“正规化”。

其他设施改造利用：改造利用其他闲置设施，如将一、二级医院或专科医院的现值床位改造为老人康复床位，把闲置的学校、商办设施等改造为符合养老功能的设施。

新建设施：依托建设用地存量资源，政企结合，安排新建设施，根据城市总体规划和控制性详细规划落实独立占地的大型养老设施。

2.完善养老机构结构分配

紧跟社会结构的变化，依据不同类型的养老服务床位供求关系，以老年人口收入为基础，按照“低端有保障，中端有供给、高端有引导”原则，保障“三五”、“五保”和低收入老人床位，重点发展工薪阶层服务的普通型床位，适度建设高端养老的舒适型床位，未来养老需求结构逐渐向 10:80:10 的“纺锤型”结构发展。

3.提高建设管理水平

政府宏观调控养老行业商业规划，在带来最优的商业效益的同时，最大程度的促进就业，并给予从业工作者等价的薪资报酬，解决养老护理员存在的“人才型”缺失问题，建立行业规范，加强行业监管，形成严格的准入和推出机制。

六、模型的灵敏度分析

根据不同目标函数之前的相关关系，利用 MATLAB 通过改变权重占比而层层迭代 f 目标函数与 x 变量以及综合指数的取值情况。

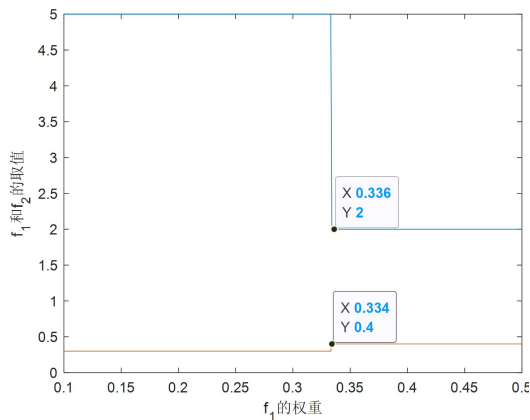


图 20 权重与目标函数取值关系图

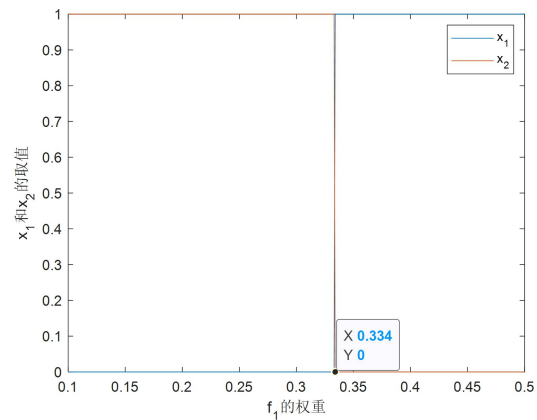


图 21 权重与变量取值关系图

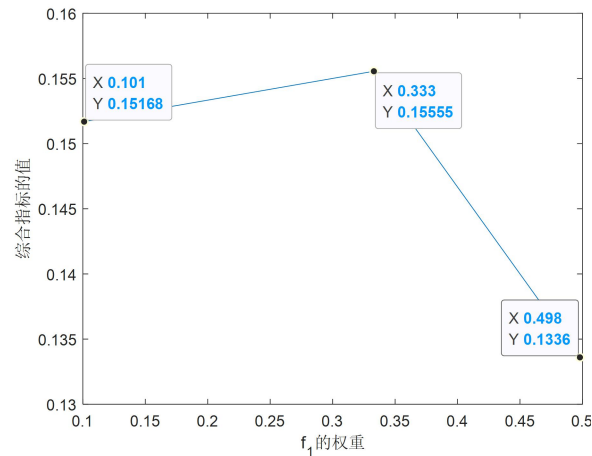


图 22 权重与综合指标关系图

由图 20 可看出在养老服务事业可持续发展与促进社会就业人数的占比权重变化过程中目标函数的取值在 f_1 和 f_2 权重达到 0.334-0.336 时发生变化， f_1 目标函数由 0.3 变为 0.4， f_2 目标函数由 5 变为 2，变化范围较为稳健，图 21 中两个变量 x_1 与 x_2 在权重达到 0.334 时 x_1 与 x_2 的值发生交换，在 0-1 间变化。主要原因是当 f_1 的权重增加时，养老机构的就业人数权重就减小，从政府角度出发，更倾向于降低养老机构所得利润来促进社会就业人数。图 22 中由于综合指标是由两个目标函数共同决定，在 0.1-0.33 期间从 0.151 逐渐上升到 0.155，在 0.33-0.5 区间内又从 0.155 降至 0.1336。

七、模型的评价、改进及推广

7.1 模型的评价

优点：

1. 在使用每一个模型前，本文均对数据与使用该模型的前提进行了检测与验证，

保证了模型的准确性。

2. 在对 2025 年养老床位进行预测时,本文选用了多元回归预测,该预测相比与其余预测的优势在于能够充分结合影响养老床位变化的各种指标,使预测更加符合实际情况。本文从市场供需与商业利润两个角度对养老行业进行分析,考虑更加全面。

缺点:由于数据访问权限以及缺乏相关资料的支持,本文在一定程度上简化了该模型,例如,假设政策不对人口结构产生影响等。

7.2 模型的推广

本题分析研究了养老行业的现状、需求预测和商业模式规划,为政府管理部门的行业发展规划提供依据,模型和研究思路同样适用于教育机构、医疗机构、福利机构等行业的分析和规划。灰色预测模型可以推广到企业的短期的收益预测分析,为投资者提供决策依据。

八、参考文献

- [1] 周婷婷. 南京市养老机构现状分析与规划对策研究[D].南京工业大学,2016.
- [2] 中华人民共和国民政部官网, <http://www.mca.gov.cn/article/sj/tigb>, 2020 年 5 月 21 日.
- [3] Liping Qi. A Course Recommender System of MOOC Based on Collaborative Filtering Algorithm with Improved Pearson Correlation Coefficient[D].华中师范大学,2019.
- [4] 蒋雅婷. 基于多元线性回归插值法研究中国区域积温演变[D].华东师范大学,2017.
- [5] 朱学虎. 期望相依和异方差检验以及非稀疏高维模型的推断[D].山东大学,2015.
- [6] 王慧健. 基于神经网络方法的时间序列预测方案研究[D].南京邮电大学,2019.
- [7] 时晓晴. 基于 ARIMA-RBF 神经网络的库存预测模型的研究与实现[D].东南大学,2019.
- [8] 严超. 具有未知相依结构的多维白噪声检验[D].厦门大学,2017.
- [9] 何伟健. 镇江市公私合营养老机构运营状况及发展对策研究[D].江苏大学,2019.
- [10] Song Ding,Ning Xu,Jing Ye,Weijie Zhou,Xiaoxiong Zhang. Estimating Chinese energy-related CO₂ emissions by employing a novel discrete grey prediction model[J]. Journal of Cleaner Production,2020,259.
- [11] Panuszko Aneta,Stangret Janusz,Nowosielski Bartosz,Bruździak Piotr. Interactions between hydration spheres of two different solutes in solution: The least squares fitting with constraints as a tool to determine water properties in ternary systems[J]. Journal of Molecular Liquids,2020,310.
- [12] 王芮婕. 广义对称不变凸多目标规划的最优性和对偶性[D].西安科技大学,2019.
- [13] Weihao Tang,Yanying Li,Yang Yu,Zhongyu Wang,Tong Xu,Jingwen Chen,Jun Lin,Xuehua Li. Development of models predicting biodegradation rate rating with multiple linear regression and support vector machine algorithms[J]. Chemosphere,2020,253.
- [14] 胡运强. 仿人机器人运动姿态的动态多目标优化研究[D].哈尔滨工业大学,2019.
- [15] Yuming Guo,Caroline X. Gao,Martine Dennekamp,Christina Dimitriadis,Lahn Straney,Jillian Ikin,Michael J. Abramson. The association of coal mine fire smoke with hospital emergency presentations and admissions: Time series analysis of Hazelwood Health Study[J]. Chemosphere,2020,253.

附录

表 1 附录 1

	2009	2010	2011	2012	2013	2014
养老床位（万）	299.3	349.6	369.2	416.5	493.7	577.8
老龄化人口（万）	11307	11894	12288	12714	13161	13755
老龄化人口占比（百分比）	8.5	8.9	9.1	9.4	9.7	10.1
人均 GDP（元）	26180	30808	36302	39874	43684	47005
城乡人口比例	0.87	0.99	1.05	1.11	1.16	1.21
城乡消费比例	3.54	3.46	3.22	3.14	3.04	2.91
养老保险基金总收入（亿元）	11491	13420	16895	20001	24733	27620
养老机构（万）	3.8	3.9	4	4.4	4.2	3.3
收养人数（万）	210.9	242.6	260.3	293.6	307.4	318.4
	2015	2016	2017	2018	2018	
养老床位（万）	672.7	780	744.8	746.4	761	
老龄化人口（万）	14386	15003	15831	16658	17603	
老龄化人口占比（百分比）	10.5	10.8	11.4	11.9	12.6	
人均 GDP（元）	50028	53680	59201	64644	75316	
城乡人口比例	1.28	1.34	1.41	1.47	1.54	
城乡消费比例	2.81	2.72	2.65	2.15	2.11	
养老保险基金总收入（亿元）	32195	37991	46614	55005	56083	
养老机构（万）	2.9	2.9	2.9	2.9	3.5	
收养人数（万）	355	370.3	377.7	392.4	408.1	

表 2 附录 2

	2009	2010	2011	2012	2013	2014
老年抚养比	11.6	11.9	12.3	12.7	13.1	13.7
老年男女比例	0.9370	0.9498	0.9350	0.9202	0.9204	0.9188
城乡人口占比	0.87	0.99	1.05	1.11	1.16	1.21
机构类型占比（公办）	0.8929	0.884	0.8749	0.8647	0.8564	0.8473
机构类型占比（民办）	0.1002	0.1090	0.1180	0.1279	0.1360	0.1448
机构类型占比（公建民营）	0.0069	0.0070	0.0071	0.0074	0.0076	0.0079
养老模式占比（居家）	0.70	0.73	0.75	0.77	0.79	0.80
养老模式占比（社区）	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05
养老模式占比（机构）	0.26	0.23	0.21	0.19	0.17	0.15
	2015	2016	2017	2018	2019	
老年抚养比	14.3	15	15.9	16.8	17.7	
老年男女比例	0.9198	0.9193	0.9152	0.9078	0.9027	
城乡人口占比	1.28	1.34	1.41	1.47	1.54	
机构类型占比（公办）	0.8387	0.8254	0.8164	0.8071	0.7958	
机构类型占比（民办）	0.1532	0.1661	0.1750	0.1841	0.1952	
机构类型占比（公建民营）	0.0081	0.0085	0.0086	0.0088	0.0090	
养老模式占比（居家）	0.82	0.84	0.85	0.88	0.90	

养老模式占比（社区）	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07
养老模式占比（机构）	0.13	0.11	0.09	0.06	0.03