

基于灰色评价和帝国竞争算法的养老服务床位运营策略

摘要

本文研究养老服务床位数量的需求预测和运营策略，通过建立商业潜力的灰色关联度评价模型以确定企业市场选择，运用帝国竞争算法，求解双目标规划问题，得到合理的养老服务床位运营模式。

针对问题一，筛选并预测自变量指标，基于**多元线性回归模型**预测养老服务床位数量并分类。首先对所选指标进行 Pearson 相关性分析、异方差检验和**多重共线性检验**，并通过 **Lasso 模型**筛选得到自变量指标**人均企业年金和抚养比**。引入社会和政策影响因子，建立**改进的 Leslie 模型**预测抚养比，并建立**非线性回归模型**预测人均企业年金。之后，再基于多元线性回归模型预测养老服务床位数量，2021-2025 年养老服务床位数量分别为 **927.05 万张、1094.27 万张、1323.97 万张、1615.91 万张、1969.91 万张**。最后，建立 **ARIMA 模型**预测分类指标，将养老服务床位数量按**机构与非机构、城市与乡村、年龄组成、性别比例**分为四种类型。

针对问题二，提取各省份商业潜力评价指标，并建立**基于灰色关联度的多层评价模型**，得出各省份商业潜力得分。提取**市场空缺、人口属性**这两个中层指标，及“床位供需差”、“老年人口增长率”等五个底层指标，并利用相关系数进行检验，然后通过**熵权法**求得指标权重。建立**评价商业潜力的灰色关联度评价模型**，求出商业潜力得分。**求解得出得分较高的前 8 个城市分别为：广东、山东、浙江、江苏、河南、北京、上海、河北**，并针对求解结果对企业的市场选择与投资提供建议。

针对问题三，建立优化模型，并利用**帝国竞争算法**得出养老服务床位的运营模式。首先，综合考虑**社会需求和社会就业**两方面因素，选取并计算各类型养老机构的指标数据作为优化模型的参数。其中，利用养老机构床位数量**拟合**出养老机构就业人数。基于养老机构的**收益增量和岗位增量**建立**双目标规划模型**。利用帝国竞争算法求解得到**增加的养老机构数量为 14998 个，养老收费均价为 4737.9 元**，床位的总增加量为 **1300 万张**，据此为政府设计出合理的养老服务床位的运营模式。

针对问题四，综合考虑老年人的养老需求、企业的商机和政府的运营管理，针对养老服务床位规划模型进行进一步分析，向政府管理部门给出合理性建议，帮助政府建立制定合理的**养老服务发展规划**。

本文的优势在于：1. 本文首先利用 Lasso 模型对所选指标进行筛选和精炼，从而减弱指标的多重共线性，保证后续预测的准确性；2. 利用帝国竞争算法求解优化模型，提高求解精度。

关键词：Lasso 模型 Leslie 模型 灰色关联度评价模型 双目标规划模型 帝国竞争算法

目录

1	一、问题重述	4
1.1	问题背景	4
1.2	问题提出	4
2	二、模型假设	4
3	三、符号说明	5
4	四、问题一的模型建立与求解	5
4.1	问题一的描述与分析	5
4.2	预备工作	6
4.2.1	Pearson 相关性分析	6
4.2.2	异方差检验	7
4.2.3	多重共线性检验	7
4.2.4	Lasso 模型筛选自变量指标	8
4.3	模型建立	8
4.3.1	自变量指标预测模型的建立	8
4.4	多元线性回归模型预测养老服务床位数量	9
4.5	ARIMA 模型预测分类指标	10
4.6	模型求解	10
4.7	求解结果与分析	10
4.7.1	自变量指标预测结果	10
4.7.2	养老服务床位数量预测结果	12
4.7.3	养老服务床位数量分类	13
5	五、问题二的模型建立与求解	14
5.1	问题二的描述与分析	14
5.2	预备工作	14
5.2.1	各省份商业潜力评价指标选取	14
5.2.2	数据对数化处理	15
5.2.3	数据预处理	16
5.2.4	指标相关性分析	16
5.3	模型建立	17
5.3.1	多层评价目标树建立	17
5.3.2	熵权法为评价指标赋权值	17
5.3.3	灰色关联度模型为中层指标评价打分	18
5.3.4	各省份商业潜力量化分析	19
5.4	模型求解	19
5.5	求解结果与分析	19

6	六、问题三的模型建立与求解	20
6.1	问题三的描述与分析	20
6.2	预备工作	20
6.2.1	优化模型参数指标选取	20
6.3	模型建立	21
6.3.1	双目标规划模型的建立	21
6.4	模型求解	22
6.5	求解结果	23
7	七、问题四的模型建立与求解	24
7.1	问题四的描述与分析	24
7.2	提出建议	24
8	八、模型评价	25
8.1	模型总结	25
8.2	模型优缺点分析	25
8.3	模型改进与展望	25
9	附录	27

一、问题重述

1.1 问题背景

人口老龄化是 21 世纪中国不可避免的基本国情，将对我国宏观经济运行、政治治理能力、社会民生保障等各方面产生深远的影响。我国较大的人口基数与各地区不均衡的发展使得养老服务问题变得较为复杂。为了有效解决这一问题，政府与各方机构共同努力，逐步完善我国养老服务体系。

我国的养老服务主要包括家庭养老、社区养老和机构养老，其中机构养老又被分为公办、民办、公建民营养老院等。然而，目前我国的养老服务床位数量难以满足较大的养老需求，因此养老服务床位的增加迫在眉睫。对企业来说，养老服务的需求为一些企业的经营发展创造了条件。对政府来说，养老服务体系的发展与完善对宏观经济运行和社会民生保障都有着重要的作用。

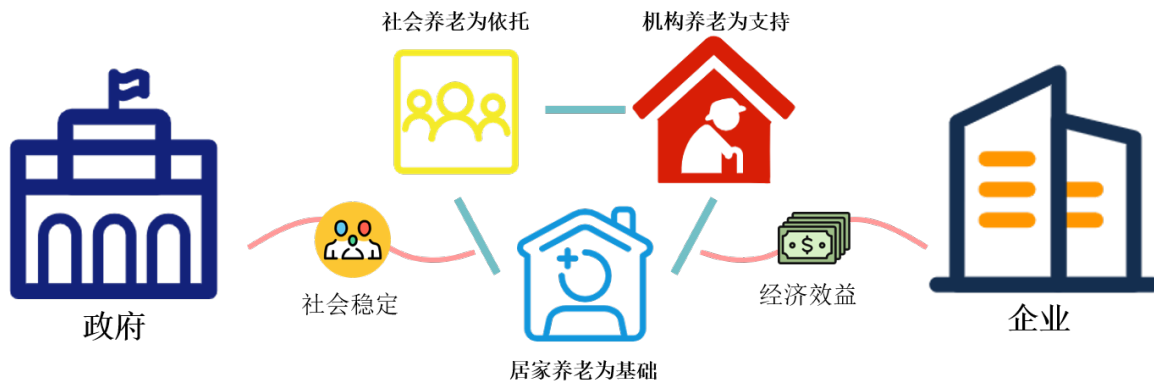


图 1: 养老服务体系

1.2 问题提出

近年来，我国人口老龄化的问题越来越突出，与此同时养老服务体系也亟待完善。其中，无论是从政府或是企业角度，正确预测未来养老服务床位数量，并合理设置不同服务类型的床位数量，都具有十分重要的现实意义。针对这些关于养老服务床位的信息，我们对以下几个问题进行研究：

问题一：我国人口数量、结构和消费水平等多种因素都对养老服务床位数量有着影响，据此对养老服务床位数量需求规模进行预测和分类。

问题二：对于企业，根据现有养老服务床位的数量和结构，分析养老服务床位增加所带来的“商机”。

问题三：对于政府，设计兼具满足社会需求和促进社会就业两个条件的养老服务床位运营模式。

问题四：根据上述问题和结论，对政府管理部门提出针对养老服务床位规划的合理建议。

二、模型假设

(1) 文中涉及到的所有数据真实可靠。

- (2) 养老机构类型的比例没有太大改变。
- (3) 所有养老机构都登记在案，没有遗漏。
- (4) 老年人口指的是 65 岁以上的人群，并以此作为养老服务的对象。

三、符号说明

符号	含义	说明
X_1	人均企业年金	
X_2	抚养比	
Y	养老服务床位数量	
$x_{i,j}$	第 i 个方案中的第 j 个评价指标	$i = 1, 2, \dots, 31; j = 1, 2, 3$
p_{ij}	第 j 项评价指标下第 i 个方案占该指标比重	$i = 1, 2, \dots, 31; j = 1, 2, 3$
W_1	人口属性评价指标权重向量	
W_2	市场空缺评价指标权重向量	
M_1	床位供需差	
M_2	潜在客户	
M_3	老年人口增长率	
M_4	人口密度	
M_5	城乡人口比例	

四、问题一的模型建立与求解

4.1 问题一的描述与分析

问题一要求根据我国人口数量、结构和消费水平对养老服务床位的规模和分类进行分析。首先，本文选取了我国总人口数量、老年人口数量、抚养比、参加养老保险人数、企业年金、人均企业年金、国内生产总值 GDP、人均 GDP 和消费者物价指数 CPI 这九个指标作为预测养老服务床位数的自变量。对所选指标进行 **Pearson 相关性分析**、**异方差检验**和**多重共线性检验**后发现，所选数据指标间有着很强的多重共线性。因此，本文使用 **Lasso 模型**对这九个指标进行筛选，从而确定用来预测养老服务床位数量所需的自变量。

经过筛选，本文最终确定了**人均企业年金**和**抚养比**作为自变量指标对养老服务床位数量进行预测。若要对 2021-2025 年的养老服务床位数量进行预测，首先需要分别对 2021-2025 年人均企业年金和抚养比这两个指标进行预测。对于人均企业年金，我们使用**非线性回归模型**进行预测。对于抚养比，我们选择 **Leslie 模型**进行预测。

预测得到 2021-2025 年人均企业年金和抚养比这两个指标的数据后，我们利用**多元线性回归模型**对养老服务床位数量进行预测，并利用 **ARIMA 模型**对养老机构床位数量和城乡养老床位比例进行预测，从而对养老服务床位需求规模进行分类 [5]。

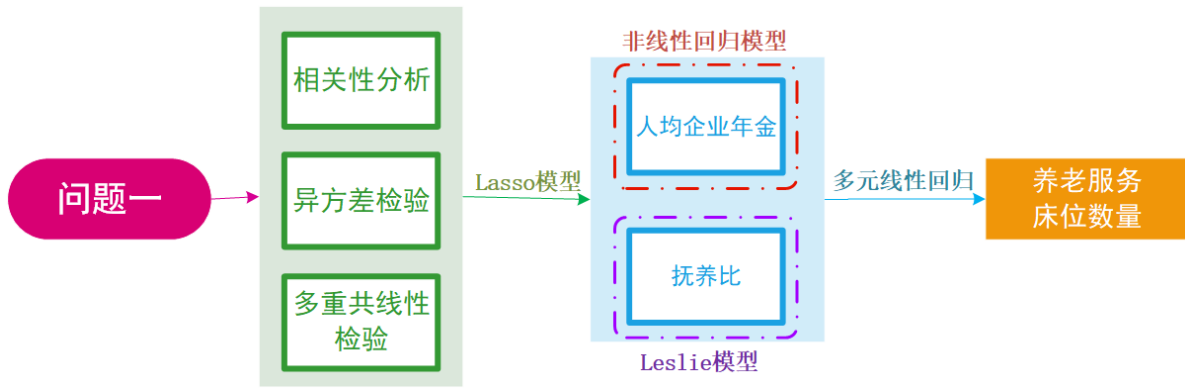


图 2: 问题一思路图

4.2 预备工作

4.2.1 Pearson 相关性分析

本文基于我国人口数量、结构和消费水平等多种因素对预测养老服务床位数量所需的自变量指标进行了选择。综合考虑养老服务体系的现状，我们首先选择了总人口数量、老年人口数量和抚养比这三个指标来反映我国人口数量和结构。然后选择了参加养老保险人数、企业年金、人均企业年金、国内生产总值 GDP、人均 GDP 和消费者物价指数 CPI 这六个指标作为消费水平的体现。为确定这九个指标与养老服务床位数量的相关系数，本文采用 Pearson 相关系数进行相关变量检验。

由于进行 Pearson 相关性检验的样本数据需要满足正态分布，本文通过 Shapiro-Wilk 检验法来鉴别样本数据是否符合正态分布。正态性检验的结果如下表：

表 1: 正态性检验结果

变量名	样本量	S-W 检验	变量名	样本量	S-W 检验
服务养老床	11	0.907(0.224)	抚养比	11	0.940(0.525)
GDP	11	0.962(0.792)	企业年金	11	0.947(0.607)
CPI	11	0.903(0.210)	参加养老保险人数	11	0.972(0.905)
人口	11	0.938(0.498)	人均 GDP	11	0.961(0.784)
老年人口	11	0.954(0.698)	人均企业	11	0.971(0.893)

计算 Pearson 相关系数用以估计两个变量之间的相关性，设 X , Y 为两组数据，则其 Pearson 相关系数为：

$$\rho_{XY} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(X_i - E(X))}{\sigma_X} \cdot \frac{(Y_i - E(Y))}{\sigma_Y}}{n}. \quad (1)$$

其中， $E(X)$ 、 $E(Y)$ 分别表示 X 和 Y 的均值， σ_X 和 σ_Y 分别表示 X 和 Y 的标准差。计算九个指标以及养老服务床位数量的 Pearson 相关系数如下图3所示，分析可知本文选取的九个指标均与养老服务床位数量显著相关。

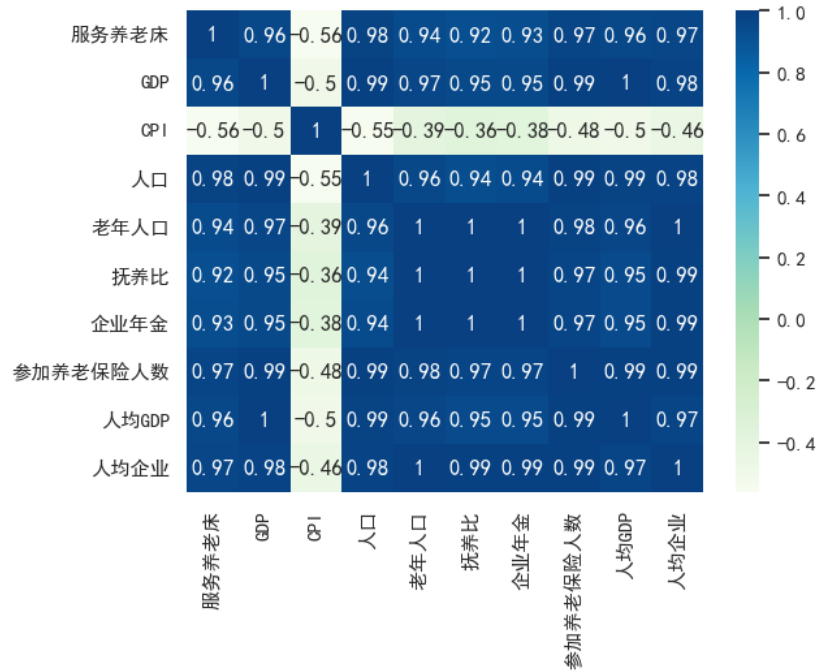


图 3: 相关系数结果图

4.2.2 异方差检验

为避免所选九个指标数据异方差的影响，本文采用 White 检验对九个指标数据进行异方差检验。检验得到 $Prob > \chi^2 = 0.3575$ ，因此 p 值大于 0.05，即在置信区间内不可以拒绝原假设，故不存在异方差。

4.2.3 多重共线性检验

对所选九个指标进行多重共线性检验得到结果如下表：

表 2: 多重共线性检验结果

指标	容差	VIF	指标	容差	VIF
CPI	0.330564	3.025137	人均企业年金	0.002238	446.8367
人口数量	0.001663	601.3196	GDP	5.59E-06	178832.1
抚养比	0.003099	322.7077	老年人口	7.7E-05	12985.51
参加养老保险人数	0.001288	776.1988	企业年金	6.08E-05	16456.72
人均 GDP	0.017818	56.12385			

因为存在 $VIF > 10$ 的指标，所以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，本文选择 Lasso 模型对九个指标进行筛选。

4.2.4 Lasso 模型筛选自变量指标

Lasso 模型是一种压缩估计方法。该模型通过构造一个惩罚函数对回归系数进行压缩从而对模型进行精炼。在构造惩罚函数过程中，Lasso 模型保留了子集收缩的这一优点，是一种处理具有多重共线性数据的有偏估计。Lasso 回归的损失函数表达式如下 [3]：

$$J(\theta) = 1/2n(X\theta - Y)^T(X\theta - Y) + \alpha\|\theta\|_1 \quad (2)$$

其中 n 为样本个数， α 为常数系数，需要进行调优。 $\|\theta\|_1$ 为 L1 范数。

由于经过多重共线性检验发现所选的九个指标具有很强的多重共线性，因此我们通过 Lasso 模型对这九个指标进行收缩和精炼。首先对这九个指标进行标准化处理，然后进行 Lasso 回归，最终筛选确定了人均企业年金和抚养比这两个指标。

筛选得到的人均企业年金和抚养比这两个自变量指标的意义及计算方式如下：

• 人均企业年金 X_1

企业年金是一种补充性的养老金制度，是指企业在参加法定养老保险的基础上，自主建立的养老保险制度，对法律规定的养老保险制度进行补充。本文利用预测得到的企业年金和老年人口数量数据，经过计算得到人均企业年金。该指标也可以反映老年群体对养老服务的需求程度以及经济承受能力，从而影响养老服务床位数量。人均企业年金满足下式：

$$X_1 = \frac{\text{企业年金}}{\text{老年人口数量}} \quad (3)$$

• 抚养比 X_2

抚养比指的是非劳动年龄人口与劳动年龄人口数的比。抚养比越大，表示劳动年龄人群均需要承担更多的抚养人数，也就意味着劳动年龄人群有着更大的抚养负担。抚养比满足以下公式：

$$X_2 = \frac{\text{老年人口数量}}{\text{劳动人口数量}} \times 100\% \quad (4)$$

4.3 模型建立

4.3.1 自变量指标预测模型的建立

在预备工作中，本文利用 Lasso 模型对九个自变量指标进行筛选，最终确定了人均企业年金和抚养比这两个指标。为了预测 2021-2025 年的养老服务床位数量，我们首先要利用 2010-2020 年的指标数据对 2021-2025 年的数据进行预测。由于人均企业年金和抚养比这两个指标具有不同的特征，因此本文选择不同模型对这两个指标进行预测 [2]。

• 改进的 Leslie 模型

Leslie 模型是一种预测人口按年龄组变化的离散模型，我们利用 Leslie 模型对老年人口数量和劳动人口数量进行预测。然后根据预测所得老年人口数量和劳动人口数量计算得到预测的抚养比。

为了更好的研究,我们需要预测出不同年龄阶段女性生育率和死亡率随时间变化的情况,再将结果带入每年的 Leslie 人口变化进行迭代。通过双对数线性回归预测得到了死亡率后,建立 Leslie 人口预测模型模型, Leslie 人口变化迭代等式为:

$$n_1(t+1) = \sum_{i=1}^m b_i n_i(t) \quad (5)$$

$$n_{i+1}(t+1) = n_i(t) s_i, i = 1, 2 \cdots, m-1 \quad (6)$$

其中, $n_i(t)$ 表示第 i 个年龄组在第 t 次的女性人数, b_i 表示第 i 年龄组女性生女率, s_i 为第 i 年龄组女性存活率。

不容忽视的是,我国推出的促进生育政策和新冠疫情对生育率也有着一定的影响,因此我们对 Leslie 模型进行改进,对于以上因素对生育率的影响程度进行一个度量和量化,构造了影响函数如下:

$$\omega_i(x, t) = \begin{cases} \left\{ 1 + \varpi_i \left(\frac{x-14}{32} \right) \right\}^{\frac{1}{t}} & 15 \leq x \leq 32 \\ \left\{ 1 + \varpi_i \left(\frac{50-x}{32} \right) \right\}^{\frac{1}{t}} & 32 < x \leq 49 \end{cases} \quad (7)$$

其中 ϖ_i 表示政府政策和新冠疫情对生育率的平均影响因子,变量 x 表示的女性年龄大小,变量 t 表示影响因子的影响年份长短。

• 非线性回归模型

分析 2010-2020 年企业年金的数据发现,企业年金的数据与时间呈非线性关系,建立函数如下:

$$x = \alpha t + \beta t^2, \quad \alpha < 0, \beta > 0. \quad (8)$$

得到 2021-2025 年的企业年金数据后,再结合 Leslie 模型得到的老年人口数量计算得到 2021-2025 年的人均企业年金数据。

4.4 多元线性回归模型预测养老服务床位数量

选取并预测得到 2021-2025 年的人均企业年金 X_1 和抚养比 X_2 的数据后,建立多元线性回归模型对养老服务床位数量进行预测。设养老服务床位数量为 Y , 则因变量 Y 与自变量 X_1 、 X_2 满足以下线性关系:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2. \quad (9)$$

其中, β_0 、 β_1 、 β_2 为回归系数。

利用 2010-2020 年的人均企业年金、抚养比和养老服务床位数量的现有数据,求出线性关系式中的回归系数 β_0 、 β_1 、 β_2 。然后利用该多元线性关系式,结合 2021-2025 年人均企业年金 X_1 和抚养比 X_2 的数据对 2021-2025 年养老服务床位数量 Y 的数据进行预测。

4.5 ARIMA 模型预测分类指标

ARIMA 模型的基本思想是把预测对象随时间变化形成的数据的序列看作一个随机序列, 并利用自相关函数可以近似地模拟时间序列的随机性质则以特点, 从而得出该序列的相关信息, 即可根据时间序列的过去值及现在值对未来的值进行预测 [1]。

本问题按机构与非机构、城市与乡村、年龄、性别这四种类型对养老服务床位数量进行分类。因此, 首先我们需要预测出 2021-2025 年养老机构床位数量、城乡养老服务床位数量比、年龄比例和性别比例。我们选择 ARIMA 模型对这两个分类指标进行预测。在预测时, 我们需要先将不平稳的时间序列进行差分处理得到平稳的时间序列。因此我们得到 ARIMA(p,d,q) 模型:

$$y'_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i y'_{t-i} + \varepsilon_t + \sum_{i=1}^q \beta_i \varepsilon_{t-i}. \quad (10)$$

其中 y'_t 表示平稳的时间序列, ε_t 为白噪声序列, p 为自回归阶数, q 为移动回归阶数, d 表示由非平稳时间序列变为平稳序列所进行过的差分的次数。

4.6 模型求解

结合模型建立, 将模型建立的各个步骤进行求解计算, 其整体的求解步骤如下:

Step1: 利用 Leslie 模型对 2021-2025 年老年人口数和劳动人口数进行预测, 从而计算得到 2021-2025 年的抚养比数据。

Step2: 利用非线性回归模型预测 2021-2025 年企业年金的数据。

Step3: 通过 Step1、Step2 中的预测结果计算出 2021-2025 年人均企业年金数据。

Step4: 利用多元线性回归模型, 结合 Step1-Step3 中预测所得的两个自变量指标, 即人均企业年金和抚养比, 对 2021-2025 年养老服务床位数量进行预测。

Step5: 利用 ARIMA 模型对 2021-2025 年的养老机构床位数量和城乡养老床位数量比例进行预测, 从而得到养老服务床位数量按机构与非机构、城市与乡村、年龄组成、性别这四种类型的分类情况。

4.7 求解结果与分析

4.7.1 自变量指标预测结果

利用 Leslie 模型和非线性回归模型, 预测得到 2021-2025 年人均企业年金和抚养比的数据。接下来将分别展示 Leslie 模型和非线性回归模型预测所得结果。

求解 Leslie 模型, 得到 2021-2025 年的抚养比, 以及真实人口数和预测人口数如下图所示:

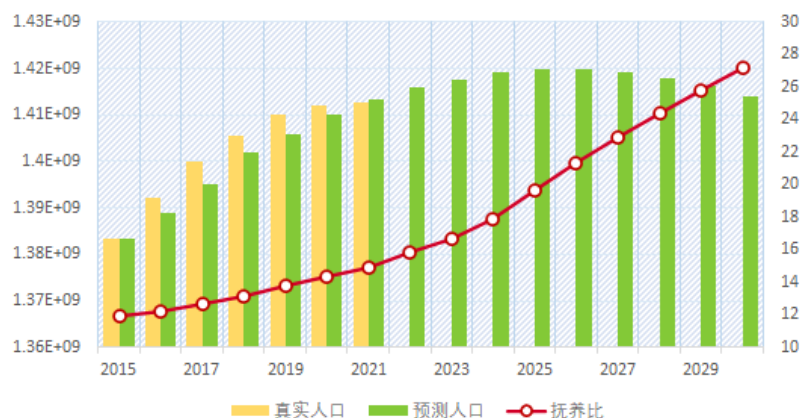


图 4: Leslie 预测人口及抚养比图

由预测结果我们可以看出，本文预测的 2021-2025 年的人口数量呈现逐年上升的趋势，而增速逐渐放缓，与我国的人口发展现状相符，从而印证了预测的准确性。利用预测所得的人口数量进行计算后得出历年的抚养比，观察预测结果可知 2021-2025 年抚养比也呈现逐年上升的趋势，且增长稳定，也反映了我国稳步发展的社会现状。

求解非线性回归模型，得到企业年金与年份满足函数关系：

$$x = 0.91t^2 - 1835.92t. \quad (11)$$

该非线性方程拟合系数为 $R^2 = 0.988$ 。预测得到的 2021-2025 年人均企业年金如下图：

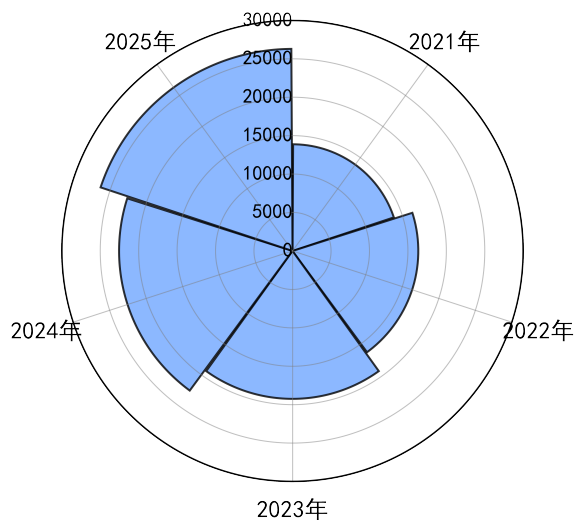


图 5: 人均企业年金预测结果图

观察图像 (5) 发现，2021-2025 年的人均企业年金逐年上升，体现了企业对员工养老福利的保障在逐渐提高，也反映了我国人口老龄化推动养老行业发展的现状。

4.7.2 养老服务床位数量预测结果

求解得到了 2021-2025 年抚养比及人均企业年金数据后，利用多元线性回归模型预测养老服务床位数量。利用 stata 软件求解多元线性回归模型结果如下两表：

表 3: 多元线性回归检验

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	11
Model	253026.038	2	126513.019	Prob>F	=	0.0000
Residual	3692.40219	8	461.550274	R-squared	=	0.9856
				Adj R-squared	=	0.9820
Total	256718.44	10	25671.844	Root MSE	=	21.484

表 4: 多元线性回归结果

养老服务床位数量	Coef.	Std.Err.	t	P> t	[95% Conf . Interval]
人均企业年金	0.1286684	0.014944	8.61	0.000	0.0942066 0.1631301
抚养比	-96.04252	18.29224	-5.21	0.001	-138.2245 -53.86055
_cons	1194.745	175.4128	6.81	0.000	790.2421 1599.247

观察多元线性回归结果，可以看到 $Prob > F = 0.0000 < 0.05$ ，表示在 95% 的置信水平下拒绝原假设 $\beta_1 = \beta_2 = 0$ ，表示模型通过了联合显著性检验，所以该模型是有意义的。此外 $P > |t|$ 这一列中人均企业年金表现为 0.000，抚养比表现为 0.001，则表示这两个指标在 95% 的置信水平下是显著的，因此这两个自变量是有意义的。在两个自变量指标显著的前提下，它们的回归系数分别为：人均企业年金：0.1286684，抚养比：-96.04252。表示在其他因素不变的情况下，每增加一个单位的人均企业年金，将导致养老服务床位数量增加 0.1286684 个单位，每增加一个单位的抚养比，将导致养老服务床位数量减少 96.04252 个单位。构建出回归预测方程如下：

$$Y = 1194.745 + 0.1286684X_1 - 96.04252X_2. \quad (12)$$

利用回归预测方程预测得到 2021-2025 年养老服务床位数量结果如图 (6)：

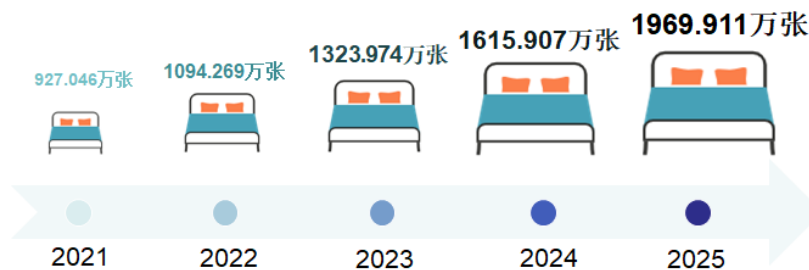


图 6: 养老服务床位数预测结果

观察 2021-2025 年养老服务床位预测结果发现，这五年的养老服务床位数量呈现出逐年递增的趋势，与我国养老服务行业的发展现状相互印证，也体现了我国养老行业的市场活力。从宏观的层面进行分析，我国越来越严重人口老龄化问题虽然在一定程度上影响了经济的发展，但也刺激了如养老服务业等行业的发展，从而为一些企业了提供新的经营思路，去发现新的“商机”。

4.7.3 养老服务床位数量分类

首先，求解 ARIMA 模型可以得到 2021-2025 年的养老机构床位数、养老服务床位数城乡分布比例、年龄组成以及性别比例的数据，养老机构床位数的预测情况如图 (7) 所示。观察预测结果发现，2021-2025 年养老机构床位数呈现逐年上升的趋势，与养老服务床位数的变化趋势相吻合，也印证了养老服务行业稳步上升的发展。此外，利用 Leslie 模型预测出的 2021-2025 年的年龄组成和性别比例基本保持不变。

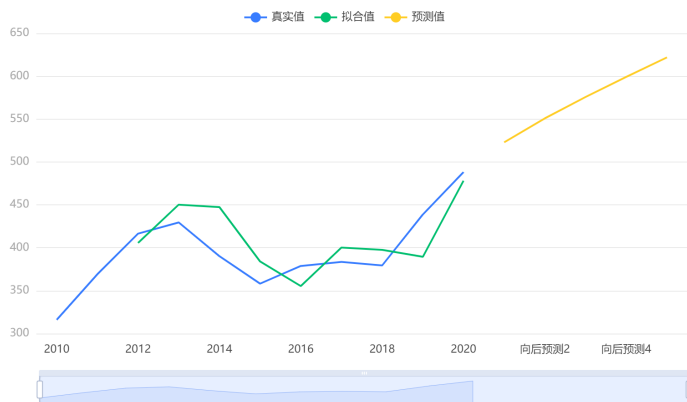


图 7: ARIMA 预测养老机构床数

之后，利用这四种分类方式对养老服务床位数量进行分类，即按机构与非机构、城乡床位比例、年龄组成和性别比例进行分类，具体结果分别展示如图。

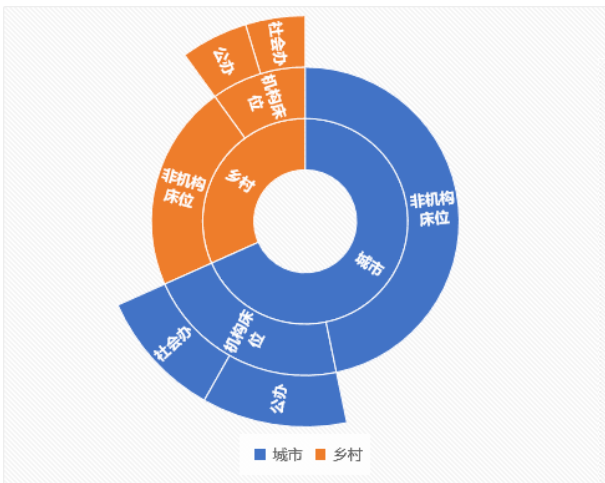


图 8: 养老服务床位按城乡及机构属性分类图

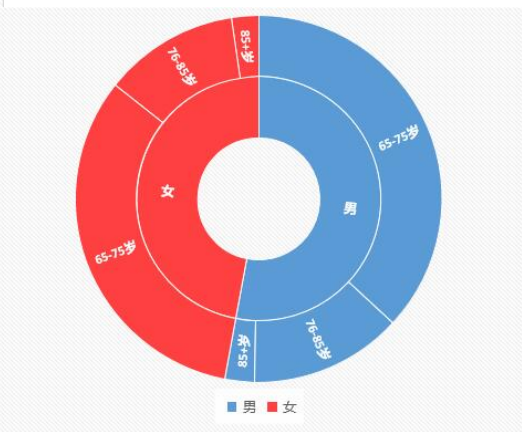


图 9: 养老服务床位按人口属性分类图

分析按机构与非机构对养老服务床位进行分析的结果发现,非机构床位数量约为机构床位数量的两倍,该结果体现出机构养老的发展相较于社会养老和居家养老仍处于弱势,也印证了我国老年人群较弱的机构养老意识和意愿。对于养老机构床位数,又被分为公办和社会办这两类,我们发现公办养老机构与社会办养老机构的数量基本相同,且公办略高于社会办。该结果从养老服务行业的角度体现和印证了我国公有制为主体、多种所有制经济共同发展的基本经济制度。

分析按男女比例和城乡比例进行分类的结果发现,这两种分类的结果都与我国总体男女及城乡结构基本类似,体现了养老服务行业的市场稳定性。此外,分析按年龄结构分类的结构发现,选择机构养老的老年人群年龄集中在 65-75 岁,该结果为养老服务行业的未来发展和政府政策制定都提供了思路。

五、问题二的模型建立与求解

5.1 问题二的描述与分析

问题二要求根据现有的养老服务床位数量和结构,分析养老服务床位增加所带来的“商机”。对我国各省份“商机”进行分析评估,建立**灰色关联评价模型**,对各省份养老服务床位的“商机”即商业潜力进行评价打分,从而为企业的投资与市场选择提供建议 [8]。

针对各省份养老服务床位行业的商业潜力,本文选择**市场空缺**和**人口属性**作为一级指标,**床位供需差、潜在客户、老年人口增长率、人口密度、城乡人口比例**作为二级指标进行灰色关联评价。其中,市场空缺对应的二级指标为床位供需差和潜在客户,人口属性对应的二级指标为老年人口增长率、人口密度和城乡人口比例。各层指标分别使用**熵权法**确定权重。

5.2 预备工作

5.2.1 各省份商业潜力评价指标选取

为了更好地评估养老服务床位增加所带来的“商机”,本文选择对该领域各省份的商业潜力进行分析和比较,即建立多层评价模型对商业潜力进行打分。通过查阅资料及附件,我们发现养老服务床位在一定程度上被我国的人口变化趋势及人口结构所影响,并且该市场也体现出了不饱和情况。因此,本文针对商业潜力选择了市场空缺和人口属性作为一级指标进行评价打分。

分析总结我国养老服务床位市场的不饱和情况,我们发现这种不饱和主要由两种因素产生:一是养老服务床位的需求量与供给量之间存在一定的差异,供给量往往难以满足需求量;二是有养老意愿的仅占老年人口总数的一小部分,还有许多潜在的机构养老需求用户。因此,我们确定了床位供需差和潜在客户这两个指标作为市场空缺这一指标的二级指标。

考察对养老服务床位数量有着一定影响的人口属性,发现老年人口增长率、人口密度、城乡人口比例都对养老服务床位数量有着影响。因此,我们确定了老年人口增长率、人口密度和城乡人口比例这三个指标作为人口属性这一指标的二级指标 [7]。

在后续使用熵权法为各项指标赋权时各指标不能为 0 和负,因此将床位供需差和潜在客户为 0 的指标数据换成 0.0001,各指标的意义及计算方法如下:

- 床位供需差 (M_1)

分析附件 3 的数据,我们发现老年人中有意愿选择养老服务机构的人数约占老年人口数的 5%。通过查阅资料,我们得到各省份的现有养老服务床位数均约为该省份选择养老服务的老年人口数的 2 倍。

因此,我们使用有意愿选择养老服务的老年人口数量的两倍作为养老服务床位的需求量。在问题一中,我们对养老服务床位进行了预测,该预测值即为市场的养老服务床位供给量。床位供需差满足下式:

$$M_1 = \text{养老服务床位需求量} - \text{养老服务床位供给量}. \quad (13)$$

• 潜在客户 (M_2)

通过查阅附件 3 中的数据可知,我国老年人中大约有 5% 有意愿在养老服务机构养老,即每个省份仍有剩余 95% 的老年人没有在养老服务机构养老的意愿,则这 95% 的老年人即为养老服务床位市场的潜在客户。因此,潜在客户指标即没有在养老服务机构养老意愿的老年人口数满足下式:

$$M_2 = \text{该省份老年人口数量} \times 0.95. \quad (14)$$

• 老年人口增长率 (M_3)

老年人口增长率即为每年老年人口数量相对前一年老年人口数量的变化率,满足下式:

$$M_3 = \frac{\text{该年老年人口数量} - \text{前一年老年人口数量}}{\text{前一年老年人口数量}}. \quad (15)$$

• 人口密度 (M_4)

人口密度为该省份人口数量与该省份占地面积之比,人口密度这一指标相比人口数量这一指标更能代表一个城市的人口情况及发展现状:

$$M_4 = \frac{\text{该省份人口数量}}{\text{该省份占地面积}}. \quad (16)$$

• 城乡人口比例 (M_5).

城乡人口比例间接地反映了该省份的发展水平,在一定程度上影响着养老服务行业的发展,满足下式:

$$M_5 = \frac{\text{该省份城市人口数量}}{\text{该省份乡村人口数量}}. \quad (17)$$

5.2.2 数据对数化处理

五个评价指标数据床位供需差、潜在客户、老年人口增长率、人口密度和城乡人口比例这些指标间存在的差异,会导致下文中的数据处理结果出现两极化的现象。因此,我们利用 $\ln x$ 对评价指标数据进行取对数的处理,以避免数据处理结果出现两极化的现象。

5.2.3 数据预处理

- 补全缺失值

对于床位供需差、潜在客户、老年人口增长率、人口密度和城乡人口比例这五个数据指标中的缺失值，我们使用插值法对其进行补全。

- 数据标准化

为方便使用灰色关联度评价模型对各省份商业潜力进行评价打分，本文对上述经过对数处理的床位供需差、潜在客户、老年人口增长率、人口密度和城乡人口比例这五个评价指标进行标准化处理，从而避免量纲差异对评价结果的影响。此外，在使用熵权法为评价指标赋权时评价指标不能为 0 和 1，因此本文利用下式 (18) 对数据进行标准化处理，数据标准化后的数据区间为 $[0.0000001, 1]$ 。

$$x^* = \frac{(0.9999999 - 0.0000001)(x - \min(x))}{\max(x) - \min(x)} + 0.0000001. \quad (18)$$

5.2.4 指标相关性分析

在建立目标评价树之前，本文需要对五项评价指标之间相关性进行分析，保证五项指标值之间是相互独立的。对此本文建立 Pearson 相关系数矩阵，对指标的相关性进行分析。求解方法与问题一中的 Pearson 相关系数求解相同。计算得到五项指标之间的相关系数如下图 (10) 所示，分析可见各组指标数据相关性均较弱。

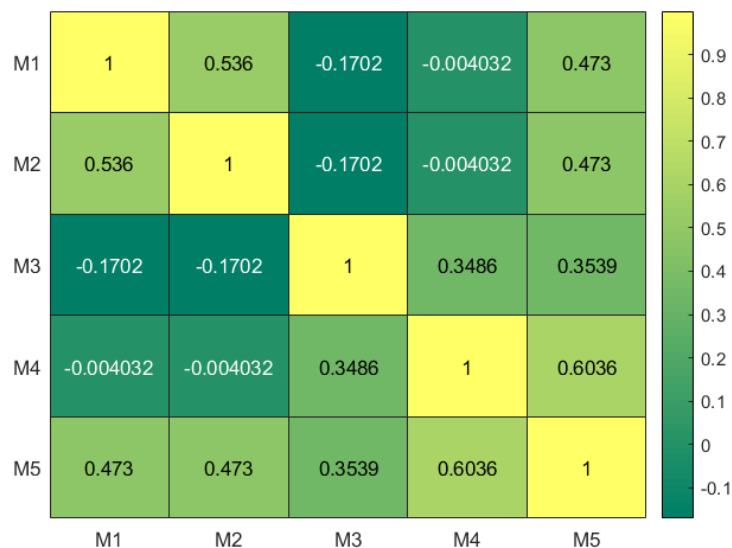


图 10: 评价指标相关系数结果图

5.3 模型建立

5.3.1 多层评价目标树建立

为对各个省份的商业潜力进行评价打分，本文建立多层评价目标树从多个方面对各省份的商业潜力进行综合评价。其中，总目标为商业潜力得分，中间目标为人口属性和市场空缺。其中，人口属性对应的二级评价指标是老年人口增长率、人口密度和城乡人口比例，市场空缺对应的二级评价指标是床位供需差和潜在客户。具体多层评价目标树如图 (11)：

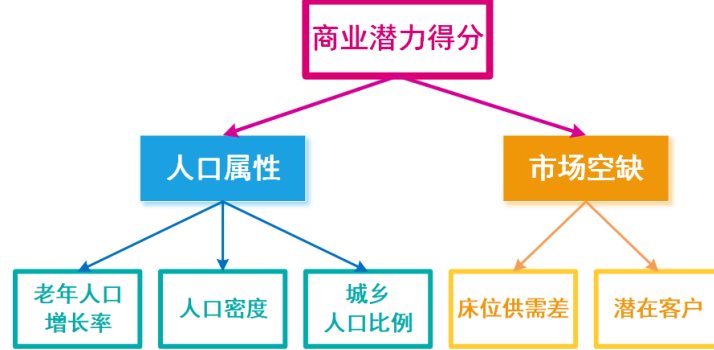


图 11: 多层目标评价树

5.3.2 熵权法为评价指标赋权值

熵权法的基本思路是根据指标变异性的确定客观权重，某个指标的信息熵越小，则说明该指标的变异程度越大，即它提供的信息量也越多，权重也就越大。

Step1: 建立初始评价矩阵和指标数据标准化。针对本题评价人口属性，我们有 31 个评价方案，即 31 个省份，3 个评价指标，即老年人口增长率、人口密度和城乡人口比例。 $x_{i,j} (i = 1, 2, \dots, 31; j = 1, 2, 3)$ 是第 i 个方案中第 j 个评价指标，则初始评价矩阵为 $X = (x_{i,j})_{31 \times 3}$ 。由于各项指标量纲和单位不统一，因此对矩阵 X 进行标准化处理，得到标准化矩阵 $Y = (y_{i,j})_{31 \times 3}$ 。

由于评价人口属性时所用指标均为正向指标，即选用指标的值越大越好，因此按照式 (18) 进行标准化：

$$y_{i,j} = \frac{x_j - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}. \quad (19)$$

Step2: 计算各项指标的信息熵。第 j 项指标的信息熵为：

$$p_{i,j} = \frac{y_{i,j}}{\sum_{i=1}^n y_{i,j}}. \quad (20)$$

$$e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n p_{i,j} \ln p_{i,j}. \quad (21)$$

其中， $p_{i,j}$ 为第 j 项指标下第 i 个方案占该指标的比重。

Step3: 确定各指标权重。第 j 项指标的权重为：

$$v_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^3 (1 - e_j)}. \quad (22)$$

针对各省份的市场空缺，我们有 31 个评价方案，即 31 个省份的市场情况，2 个评价指标，即床位供需差和潜在客户。我们同样使用上述熵权法的计算过程对这两个指标赋权值。针对各省份最终的商业潜力得分，我们同样有 31 个评价方案，根据同样的方法计算两个一级指标人口属性和市场空缺的中间目标权重。

通过熵权法计算得到的各个省份人口属性和市场空缺的各二级评价指标权重与商业潜力得分的中间目标权重如图 (12) 和图 (13) 所示：

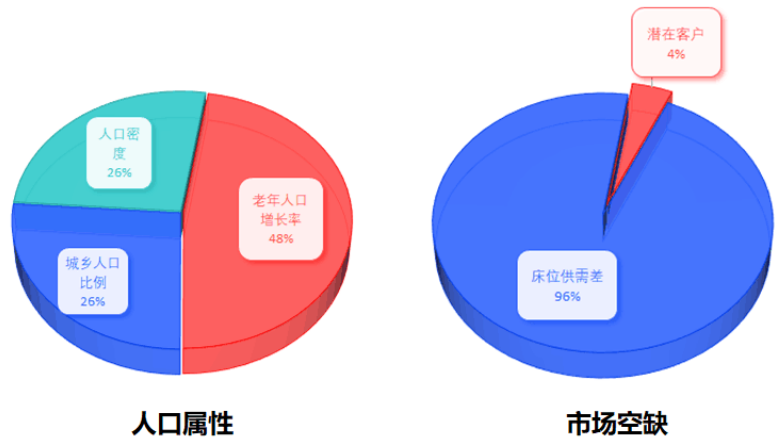


图 12: 底层指标权重图

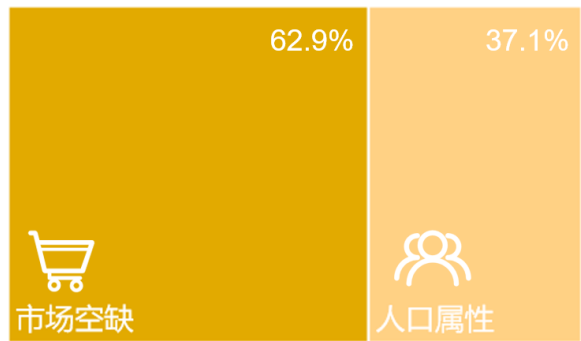


图 13: 中间层指标权重图

5.3.3 灰色关联度模型为中层指标评价打分

灰色关联分析是一种对系统发展态势变化的进行定量描述和比较的方法。该方法通常用于分析各个因素对结果的影响程度，以及解决综合评价类问题。本文利用灰色关联度模型联系老年人口增长率、人口密度和城乡人口比例三项评价指标对人口属性进行评价分析，联系床位供需差和潜在客户这两项评价指标对市场空缺进行评价分析。最后再联系人口属性和市场空缺这两个一级指标对商业潜力进行评价打分。

根据灰色关联决策的理论，以评价方案指标向量与相对最优方案指标向量的关联度作为评价方案优劣的准则。

针对本题评价人口属性和市场空缺的各个评价指标，其相对最优方案均为每个指标的最小值 $u_0 = (f_{01}, f_{02}, \dots, f_{031})$ ，规范化处理后为 $u_0 = (1, 1, \dots, 1)$ ，设计方案 u_i 的评价指标 v_j 与相对最优方案 u_0 的评价指标 v_j 之间的灰色关联度为：

$$\gamma_i = \frac{\xi \max |f_{ij} - 1|}{|f_{ij} - 1| + \xi \max |f_{ij} - 1|} \quad (23)$$

其中， $\xi \in (0.1)$ 为分辨系数，一般取作 0.5。

设得到的灰色关联度矩阵分别为 γ_1 和 γ_2 ，其人口属性的评价指标权重向量为 W_1 ，市场空缺评价指标权重向量为 W_2 ，则各个省份人口属性打分为 $\gamma_1 W_1^T$ ，市场空缺打分为 $\gamma_2 W_2^T$ 。

5.3.4 各省份商业潜力量化分析

与对人口属性和市场空缺的评价打分类似，本文利用灰色关联度模型和熵权法，结合人口属性和市场空缺对该省份商业潜力进行打分，设打分结果为 $Q = q_1, q_2, \dots, q_{31}$ 。

5.4 模型求解

结合模型建立，将模型建立的各个步骤进行求解计算，其整体的求解步骤如下：

Step1: 利用熵权法为人口属性下的三个评价指标——老年人口增长率、人口密度和城乡人口比例，市场空缺下的两个评价指标——床位供需差和潜在客户确定权值，权重向量分别为 W_1 、 W_2 。

Step2: 利用灰色关联度模型分别求出人口属性下的三个评价指标和市场空缺下的两个评价指标的灰色关联度矩阵 γ_1 和 γ_2 ，各个省份的人口属性和市场空缺可计算为 $\gamma_1 W_1^T$ 和 $\gamma_2 W_2^T$ 。

Step3: 利用灰色关联度模型和熵权法，结合该省份人口属性和市场空缺对商业潜力进行打分，之后对数据进行等级量化处理使其具有现实意义，据此得到各个省份的商业潜力，为企业提供投资建议。

5.5 求解结果与分析

利用灰色关联度评价模型和熵权法求解得到全国各省份商业潜力得分后，对得分进行等级量化处理，将打分为高、较高、中等、较低、低这五个等级，按照等级将各省份的商业潜力体现如下图 (14)。观察各省份商业潜力示意图发现，在养老服务床位市场中具有较大商业潜力的城市主要集中在我国东南部。具有较大商业潜力的分布地区也与我国经济发展水平较高的城市相对应，这个结果也印证了我们评价指标的选取以及评价打分的合理性。

此外，我们还发现我国东北部，如黑龙江、吉林和内蒙古等地的商业潜力较弱，即养老服务行业的发展较为落后。这一结果也体现出东北部人口正在不断向其他地区迁移的现状以及这些地区人群对于机构养老的较弱的意识，在这些地区的治理过程中也应该加大宣传以及政策的干预，促进养老行业发展从而减弱人口老龄化带来的经济压力。

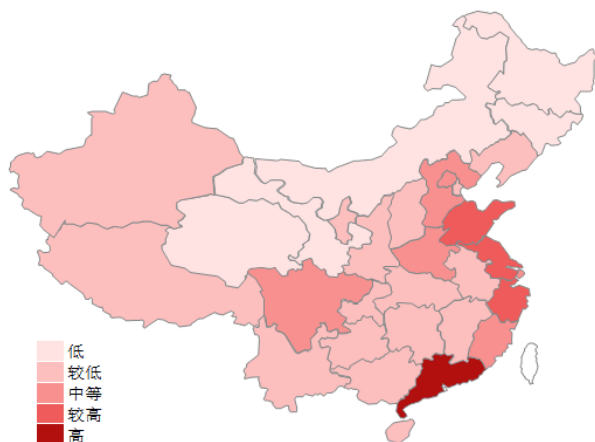


图 14: 各省份商业潜力得分示意图

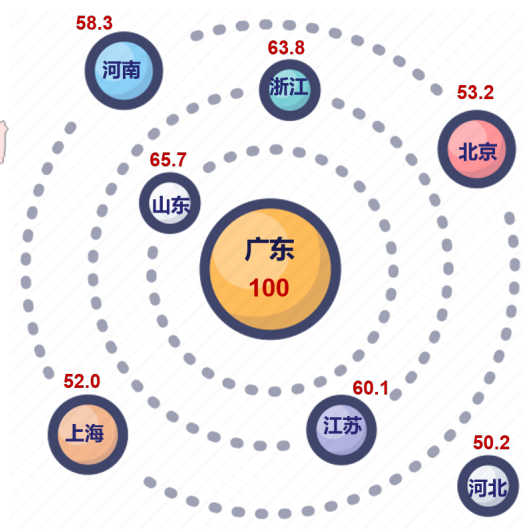


图 15: 部分省份商业潜力得分示意图

为了更好地为企业在养老服务床位方面的投资建议，我们对全国各省份的商业潜力得分进行了排序并将得分较高的八个省份展示如图 (15)。因此，站在企业的角度，养老服务床位数量增加所带来的“商机”主要来自于这些商业潜力较高的城市。我们建议企业对广东、山东、浙江、江苏、河南、北京、上海、河北这八个城市的养老床位市场进行投资和拓展开发。企业可以根据八个城市的不同得分合理分配投资比例，即得分越高的城市所投入的资金和资源就越多，从而获得更大的经济效益。

六、问题三的模型建立与求解

6.1 问题三的描述与分析

问题三要求站在政府的角度上，利用 2010-2020 年的相关数据对 2025 年的数据进行预测，针对 2025 年养老服务行业情况，设计兼具满足社会需求和促进社会就业两个条件的养老服务床位运营模式。我们综合考虑社会需求和社会就业两方面的因素，引入与之相关的参数并设置约束条件，建立双目标规划模型并使用帝国竞争算法进行求解，为政府设计出合理的养老服务床位的运营模式。

6.2 预备工作

6.2.1 优化模型参数指标选取

本文综合考虑社会需求和促进社会就业两方面的因素，选取了六个指标作为参数进行后续约束条件和目标函数的确定。此外，为了更完善地对养老机构的现状进行分析，本文通过查阅资料将养老机构按照床位数量分为小型、中型、大型、特大型这四类。其中，床位数量小于 150 个为小型机构，床位数量为 150-300 个为中型机构，床位数量为 300-600 个为大型机构，床位数量大于 600 个为特大型机构。不同类型养老机构所对应的六个参数指标的数值也不同，这六个参数指标的选取如下：

首先,通过查阅相关资料,我们确定了四个参数指标[10]:设**机构容纳老年人口数量**为 O_i ,**机构运营成本**为 C_i ,**机构员工工资**为 P_i ,**机构床位数量**为 T_i 。 $i = 1, 2, 3, 4$ 分别为小型、中型、大型、特大型这四类机构对应的指标数据。设**养老床位供需差**为 U ,该指标数据由问题二中各省份床位供需差累积得出 $U = 234.6753$ (万张)。

此外,设**养老机构就业人数**为 H_i ,将床位数作为自变量,就业人数作为因变量拟合得到养老机构就业人数与养老机构床位数量之间满足方程:

$$H_i = 0.3293T_i + 11.59 \quad (i = 1, 2, 3, 4). \quad (24)$$

上述不同类型养老机构对应的各参数指标展示如下表:

表 5: 养老机构参数指标表

养老机构种类	机构个数	养老机构 床位数 (张)	机构容纳老人 数量 (人)	机构运营 成本 (元)	机构就业 人数 (人)	机构员工 工资 (元)
小型	35505.52174	81.46332046	42.68677992	126129.0162	14.27258714	3000
中型	17272.95652	220.047619	109.8037619	279287.4095	18.8361681	3450
大型	5620.565217	397.097561	201.725561	489904.3043	24.66642268	3900
特大型	4660.956522	924.5294118	435.4533529	1032720.044	42.03475353	4350

6.3 模型建立

6.3.1 双目标规划模型的建立

本文综合考虑社会需求和促进社会就业两方面的因素,建立目标为总收益增量和总岗位增量最大化的双目标规划模型,最终得到每种机构的收费以及需要增加的机构数量的结果。

目标函数

设每种机构需要增加的数量为 x_i ,每种机构的养老收费为 y_i 。设总收益增量为 M ,总岗位增量为 G ,结合选取的参数指标得到 M 、 G 满足:

$$\max M = \sum_{i=1}^4 O_i x_i y_i - \sum_{i=1}^4 P_i H_i x_i - \sum_{i=1}^4 C_i x_i. \quad (25)$$

$$\max G = \sum_{i=1}^4 H_i x_i. \quad (26)$$

以养老机构获得最大总收益增量和提供最多总岗位增量为目标建立目标函数:

$$\max Z = M + \omega G. \quad (27)$$

其中, ω 为可调节的权重参数。

约束条件

总岗位增量数量不能为负,即有:

$$G > 0. \quad (28)$$

根据民意调查发现,我国有 64% 的老人能接受的养老机构收费为 2500 元。设养老机构床位使用率为 L_i , 则有:

$$L_i = 1 - \frac{y_i - 2500}{2500} \quad (i = 1, 2, 3, 4). \quad (29)$$

养老机构的增加所带来的被利用床位数量的增加又被供需差 U 所限制, 则有:

$$\sum_{i=1}^4 L_i B_i x_i \geq U \quad (i = 1, 2, 3, 4). \quad (30)$$

综上所述, 该双目标规划模型的约束条件如下:

$$\begin{cases} L_i = 1 - \frac{y_i - 2500}{2500}, \\ \sum_{i=1}^4 L_i B_i x_i \geq U, \\ G > 0, \\ L_i > 0, \\ 10000 < \sum_{i=1}^4 x_i < 20000, \\ 500 < y_i < 5000. \end{cases} \quad (31)$$

6.4 模型求解

帝国竞争算法 (ICA) 是一种基于帝国主义殖民竞争机制得出的进化算法, 属于社会启发的随机优化搜索方法。目前, ICA 已被成功应用于多种优化问题中 [4]。

本文首先对总收益增量 M 和总岗位增量 G 进行标准化处理统一量纲, 然后运用帝国竞争算法进行求解该双目标规划模型。帝国竞争算法伪代码如下:

Algorithm 1 Function Imperialist Competitive Algorithm(x)

- 1: **Initialize** /* 初始化: 设置多个初始国家解 $X_n, n = 1, \dots, n_{max}$ 。从中选取 N 个最好质量的解使其作为 N 个帝国的殖民国家, X_1, X_2, \dots, X_N , 根据国家势力比例数量分配给国家殖民, 从而得到 N 个帝国 E_1, E_2, \dots, E_N */
 - 2: iteration = 1 **Repeat for** $i \in [1, N]$ **do**
 - 3: Empire Assimilate(E_i)
 - 4: Colonies Revolve(E_i)
 - 5: Empire Posses(E_i)
 - 6: Caculate New Cost(E_i)
 - 7: **end**
 - 8: Empire Unite(E_1, E_2, \dots, E_N) EmpireCompetition(E_1, E_2, \dots, E_N)
 - 9: EmpireCompetition(E_1, E_2, \dots, E_N)
 - 10: iteration \leftarrow iteration + 1 进行新的迭代
 - 11: **until** 只剩下 1 个帝国或迭代次数已达到
-

6.5 求解结果

在已有规划模型的基础上，本文采用帝国竞争算法对最优方案进行了探寻，算法对应的迭代图如图 (16) 所示，可以看到算法在 200 次迭代后基本收敛，即已搜寻至最优解。

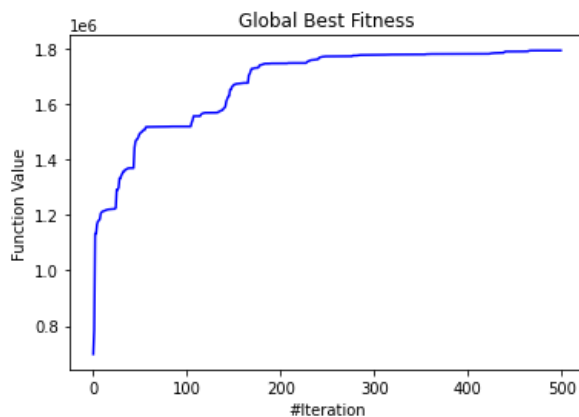


图 16: 规划模型迭代图

根据最优解情况，得到 2025 年对四种机构类型的建议增加机构数量以及养老收费如图 (17)。



图 17: 机构增加数量和养老收费示意图

结合模型求解的结果，我们对政府设计的 2025 年养老服务床位运营模式为：对于养老服务行业的社会需求，我们针对不同类型养老机构对政府建议增加机构数量为 14998 个。对于养老服务行业对社会就业的促进，我们对政府建议不同类型机构对老年群体收取费用 4737.9 元。该模型得到落实后，养老机构的总收益增量达到 119,1641,1303 元，所提供岗位数达到 603206 个。

分析求解结果发现，小型养老机构和中型养老机构的增加数量远远少于大型养老机构和特大型养老机构。结合养老机构相关数据，我们可以得出以下结论：因为小型机构和中型机构获得的政府补贴相对于大型机构和特大型机构有明显减少，所以创办机构的成本较高。而大型机构和特

大型机构所提供的岗位数多于小型机构和中型机构，因此我们建议政府注重大型和特大型养老机构的发展，并且增加对小型机构和中型机构的相关补贴。综合考虑增加机构数量和改变养老收费，政府可以在一定程度上改善养老服务行业的现状，促进我国经济的发展，满足老年群体的社会需求，为社会创造更多的就业岗位 [6]。

七、问题四的模型建立与求解

7.1 问题四的描述与分析

问题四要求结合之前的分析及模型计算结果，并以前三问中给出的量化解答为依据，在预测未来养老服务床位数量的需求规模与分类的基础上，综合考虑老年人的养老需求、企业的商机和政府的运营管理，针对养老服务床位规划模型进行进一步分析，向政府管理部门给出合理性建议，帮助政府建立制定合理的养老服务发展规划。

7.2 提出建议

1、规范机构服务价格

当前的民办养老机构定价存在不合理之处。通过本文在第三问中给出的养老服务规划模型中，可以发现，市场价格和老人的养老服务之间，存在负相关关系，即定价过高，而不充分考虑市场上老年人的经济问题，导致社会上的期望养老服务的老年人无法充分享受到养老服务；同时，规划模型中也给出了，机构定价过低，又容易导致机构盈利过低甚至负盈利，不利于企业的持续发展。政府需要根据当地居民收入的情况下，制定科学合理的民办养老机构服务指导性价格，建立合理的服务质量评判标准。在尽可能满足老年人的养老服务需求上，实现机构的可持续发展。

2、调整机构体系结构

建立科学的不同类型的养老服务机构，激励养老机构经营者不断提高养老服务质量，对满足老年人日益增长的养老服务需求具有重要意义。在问题三的养老服务规划模型中，我们发现，不同类型的养老机构的数量当按照各自特定的数量进行建设后，可以更好的满足社会老年人的养老服务需求和机构盈利。政府可以根据市场发展规律，结合现存的数据，在分析和判断后，给出城市建设中不同类型的养老服务机构的建设规划 [9]。

3、加大养老结构建设

根据问题一收集的数据和问题二中对数据的分析，可以得出，当前社会养老服务分布不均衡。对比城市和乡村的结果可以发现，乡村和城市的养老服务床数占比之间存在的较大的不平衡。城镇养老服务床数远超农村。造成未来乡村养老占比小的原因可能有：乡村的养老观念尚未普及，家庭养老方式在乡村呈主流化；乡村养老机构服务质量有待提高。但是城镇和乡村老年人的养老需求未满足的缺口较大。同时不同省份之间，养老服务也存在着不合理和不平衡，沿海地区养老服务较高，内地较少。政府需要协调和平衡不同地区之间的养老服务的发展，促进社会养老服务公平和进一步满足社会养老人群需求。

4、精细养老企业管理

根据问题二中，不同地区和不同养老类型之间的商机不同，企业会选择商机大的地区进行投资等。政府可以加强对相关企业的进一步规范化管理，适当的对相关企业进行监管。引导企业向

商机大的地区和方向投资，帮助企业盈利，同时也要注意通过资助等方式，调整企业的投资规模和方向，去满足大多数老年人的养老需求，减少不均衡发展的程度。

八、模型评价

8.1 模型总结

本文通过建立多元线性回归模型对养老服务床位数量进行预测，建立灰色关联度评价模型对各省份商业潜力进行评价打分，建立双目标规划模型设计养老服务床位运营模式，最后综合分析结果，提出有针对性的建议。

8.2 模型优缺点分析

优点：

(1) 在第一问选取自变量指标的过程中，本文首先利用 Lasso 模型对所选指标进行筛选和精炼，从而减弱指标的多重共线性，保证后续预测的准确性；

(2) 在第二问建立评价模型的过程中，本文首先对每一底层指标进行相关性分析，保证各指标之间数值的独立性；在此基础上确定多层目标评价树，使评价结果更为客观；

(3) 本文在问题三中建立了双目标规划模型，并添加多个约束条件，设计出一个技能基本满足社会需求，又能促进社会就业的养老服务床位运营模式。

(4) 求解优化模型时，本文采用帝国竞争算法进行求解，使求解结果更准确。

缺点：

(1) 针对缺失程度较大的数据，本文处理缺失值的方式不能较好表现曲线的变化情况，导致使用多元线性回归模型预测时存在一定误差。

(2) 由于得不到部分权限，本文的一些数据来源不可靠，可能对预测的正确率带来偏差。

8.3 模型改进与展望

首先，本文利用 Lasso 模型筛选自变量指标，并建立多元线性回归模型对养老服务床位数量进行预测。之后，本文建立灰色关联度评价模型对各省份商业潜力进行评价打分，可以对评价指标进行更进一步的处理，降低指标之间的相关性，提高结果的可靠性。本文建立双目标规划模型设计养老服务床位运营模式，可以对约束条件进行改进和优化。此外，可以增强数据来源的可靠性，从而是模型结果更具现实意义。

参考文献

- [1] Chi-Young Choi, Kyeong Rok Ryu, and Mohsen Shahandashti. Predicting city-level construction cost index using linear forecasting models. *Journal of Construction Engineering and Management*, 147(2):04020158, 2021.
- [2] Rajasekhar Kalla, Saravana Murikinjeri, and R. Abbaiah. An improved demand forecasting with limited historical sales data. pages 1–5, 01 2020.

- [3] Tiqian Liu, Jiang-Wen Xiao, Zhengyi Huang, Erdan Kong, and Yuntao Liang. Bp neural network feature selection based on group lasso regularization. In *2019 Chinese Automation Congress (CAC)*, pages 2786–2790, 2019.
- [4] Jianfu Luo, Jinsheng Zhou, and Xi Jiang. A modification of the imperialist competitive algorithm with hybrid methods for constrained optimization problems. *IEEE Access*, 9:161745–161760, 2021.
- [5] Ciara O’Higgins, Tatiana Andreeva, and Nekane Aramburu Goya. The hows and whys of foreign operation mode combinations: The role of knowledge processes. *Journal of World Business*, 57(2):101303, 2022.
- [6] 张斌. 大连市养老机构发展扶持政策研究. [D]. 大连海事大学, 2017.
- [7] 朱宝生徐俊. 养老机构床位使用率及其影响因素研究——以北京市为例. [J]. 人口与经济, (03):115–126, 2019.
- [8] 武赫. 人口老龄化背景下我国养老产业发展研究. 吉林大学, 2017.
- [9] 刘艺嘉王志桐, 郝慧婷. 高质量发展视角下黑龙江省现代养老服务问题研究. [J]. 经营与管理, 2022.
- [10] 高鹏飞. 民营养老机构盈利模式研究. [D]. 上海工程技术大学, 2020.

附录

附录 A: 支撑材料文件列表

- 图表
 - 人口指标预测结果
 - 养老服务床位分类结果
 - 各省份指标及其得分
 - 不同类型机构规划结果
- 代码

附录 B: 数据指标求解结果

• 人口指标预测结果

年数	预测抚养比	预测人口	预测老年人口	预测劳动人口
2015	13.17357	1.38E+09	1.35E+08	1.02E+09
2016	13.76303	1.39E+09	1.4E+08	1.02E+09
2017	14.49153	1.4E+09	1.47E+08	1.02E+09
2018	15.30911	1.4E+09	1.55E+08	1.02E+09
2019	16.33492	1.41E+09	1.65E+08	1.01E+09
2020	17.33158	1.41E+09	1.74E+08	1.01E+09
2021	18.43248	1.41E+09	1.85E+08	1E+09
2022	19.53859	1.42E+09	1.95E+08	9.97E+08
2023	20.49761	1.42E+09	2.04E+08	9.93E+08
2024	21.54822	1.42E+09	2.13E+08	9.89E+08
2025	22.34309	1.42E+09	2.2E+08	9.87E+08
2026	22.65052	1.42E+09	2.24E+08	9.9E+08
2027	23.14753	1.42E+09	2.29E+08	9.9E+08
2028	23.31905	1.42E+09	2.31E+08	9.91E+08
2029	24.48915	1.42E+09	2.41E+08	9.85E+08
2030	26.49182	1.41E+09	2.57E+08	9.71E+08

• 养老服务床位分类结果

男	1044.052662	城市	1345.842979
女	925.8580211	乡村	624.0677045
65-75	1370.691634	非机构床位	1347.987683
76-85	499.5058681	机构床位	公办 329.7444
85+	99.71318143		社会办 292.1786

• 各省份指标及其得分

	老年增长率	城乡比例	人口密度	缺口	待发掘	总得分
北京	0.024483	0.874829	1358.529	3.772592	318.9643	0.207351
天津	0.017081	0.848507	1300.272	2.428703	205.3414	0.150573
河北	0.005624	0.611439	398.2041	12.35468	1044.561	0.195599
山西	0.003732	0.634195	219.3683	5.667538	479.1776	0.103284
内蒙古	0.000704	0.682083	19.87983	3.887398	328.6708	0.057149
辽宁	0.000864	0.728068	282.8402	6.821156	576.7135	0.106897
吉林	-0.00536	0.633684	120.5169	3.733182	315.6322	0.028987
黑龙江	-0.00871	0.65696	64.47163	4.846751	409.782	0.023124
上海	0.021668	0.89313	3987.621	4.152561	351.0897	0.202461
江苏	0.007375	0.739447	831.073	14.09445	1191.654	0.233906
浙江	0.017487	0.726606	650.9846	10.97571	927.9714	0.24848
安徽	-0.00133	0.59398	437.9432	10.1129	855.0233	0.131851
福建	0.010049	0.696919	352.472	7.067194	597.5154	0.157932
江西	0.004308	0.614567	268.4156	7.409447	626.4522	0.127637
山东	0.006116	0.63943	664.6784	16.89778	1428.669	0.256015
河南	0.002399	0.564505	594.0912	16.39952	1386.543	0.227193
湖北	-0.00174	0.640823	312.8931	9.614727	812.9037	0.123993
湖南	0.000765	0.597101	312.4429	10.93851	924.8269	0.151557
广东	0.019331	0.746295	733.5756	21.82625	1845.36	0.389423
广西	0.002909	0.550725	216.0973	8.429912	712.7302	0.129227
海南	0.012568	0.609804	305.8088	1.718662	145.3091	0.102953
重庆	0.00219	0.7033	399.1744	5.430304	459.1201	0.097592
四川	-0.00126	0.578237	173.8167	13.83118	1169.395	0.171923
贵州	0.001647	0.543354	223.136	6.491484	548.8404	0.098847
云南	0.005409	0.510448	122.9051	7.787005	658.3738	0.130818
西藏	0.017621	0.36612	3.157939	0.641008	54.19583	0.087079
陕西	0.004115	0.636318	192.7273	6.549801	553.771	0.11557
甘肃	-0.00104	0.533333	53.95965	4.05293	342.6662	0.04904
青海	0.006883	0.609428	8.283758	0.989024	83.61973	0.047911
宁夏	0.013279	0.66069	112.4429	1.234132	104.3431	0.098144
新疆	0.017016	0.572422	16.46862	4.518839	382.0578	0.146408

• 不同类型机构规划结果

	小型	中型	大型	特大型		小型	中型	大型	特大型
收费	0.499999	0.454262	0.486484	0.472334	机构增量	0.691824	8.115107	1558.503	13432.69