



2020 年江苏省研究生数学建模科研创新实践大赛

题 目 养老机构建设规划问题

摘 要：

针对养老机构建设规划问题，建立了线性回归模型与 Logistics 回归模型，预测了未来 15 年南京市老年人口数，并使用人口密度计算模型计算了南京市各区的老年人口密度；建立了基于公平最大化目标规划模型和基于经济效益最优目标规划模型，在考虑社会效益和经济效益的条件下，规划了南京市各区养老机构未来 15 年各阶段的布局；建立了基于改进的公平最大化目标规划模型，解决了在智慧社区居家养老的情况下南京市各区养老机构建设方案的解答。并依据最终结果，给南京市政府相关部门提供了一份养老机构建设规划的建议报告。

针对问题一，建立了线性回归模型与 Logistics 回归模型。针对第一问，首先，根据南京市统计局网站提供的信息，搜集有关南京市以及各区 2000 年至 2018 年老年人口数量的数据，并对数据进行相关性检验的预处理以便于模型的计算。其次，预测人口数量有许多有效的方法，我们选择建立一元线性回归模型以及 logistics 回归模型，并使用与处理数据作为训练集训练模型。再根据训练结果得到的模型用于预测人口数量，并预测得到了南京市以及各区未来 15 年老年人口数；再次，根据各区老年人口数量以及各区行政面积利用人口密度计算模型计算得到了各区老年人口密度。同时，同过比较检验两种模型的预测结果，验证了预测结果的准确性。最后得到南京市以及各区未来 15 年老年人口数和老年人口密度的答案。

针对问题二，建立了基于公平最大化目标规划模型和基于经济效益最优目标规划模型。为了考虑到社会效益和经济效益。首先，我们对于社会效益的考虑，使用了基于公平最大化的目标规划模型，公平性指标是指，某块老年人需求区域到某个养老机构设施的可达性，并以可达性差异最小化作为优化目标。我们通过分析搜集了南京市建房时间位于 80-90 年前的小区作为老年人常驻区域及需求点，并计算各需求点到达南京市某区某养老机构的出行时间，并将搜集的数据代入目标规划模型中，训练模型得到南京市各区最优的所需养老床位数；其次，针对经济效益，在拥有南京市各区所需的养老床位数之后，构建基于经济效益最优的目标规划模型，并以到 2035 年全市每千名老年人拥有床位数达 60 张、各区不

同等级的养老机构总的平均费用低于标准的退休工资和各区不同等级机构的总的服务人员应大于养老机构所需的配置人员数量为约束,使用模型解决得到了各区不同等级机构的布局规划,并制定达到了未来 15 年的各区养老机构建设规划方案的答案。

针对问题三,建立了改进的公平最大化目标模型,着重分析了智慧社区居家养老对机构养老的影响程序,对可达性指标做出了调整,解决了在考虑智能机器人逐渐代替人工服务的场景下,养老机构建设布局优化问题。首先,我们考虑了南京市各行政区经济发展水平以及房屋设施现代化水平对智能化社区养老的影响程度,基于这种影响对空间可达性指标进行了优化。其次,根据改进之后的空间可达性指标,我们重新计算了各行政区不同时间段的养老床位需求数量,最后根据经济效益最优目标规划模型,对各级养老机构的数量进行了预测规划。最终得到了在智慧社区居家养老的影响下,对南京市各区养老机构规划建设的答案。

针对问题四,综合考虑前面三个问题的研究结果,从以下几个方面入手该报告。首先根据问题一的结果,陈述了南京市各行政区未来 15 年老年人口的预测结果,并对预测结果的合理性进行了分析。然后根据问题二的规划结果,提出各区各级别养老机构具体的规划建设方案。最后,考虑居家养老对机构养老的影响程度,提出了在此条件下的新的养老机构规划建设方案。

关键词: 相关性分析 线性回归 Logistics 回归 人口密度 目标规划 可达性指标

一、 问题重述

2016 年 12 月 23 日，国务院办公厅在颁布的《关于全面放开养老服务市场提升养老服务质量的若干意见》中明确提出，到 2020 年养老服务市场全面放开。2019 年 7 月 15 日，江苏省民政厅下发的苏民养老[2019]10 号文件里公布不再实施养老机构设立许可证，只需做好养老机构备案工作。按照《中华人民共和国老年人权益保障法》规定六十周岁以上的公民为老年人及国际上老龄化社会标准，我国本世纪初就进入了人口老龄化社会。因此，今年起做好养老机构建设，将成为养老服务业必须着重考虑的问题。

如今，已建或拟建的主要有公办公营、公办民营、民办民营和敬老院等养老机构。如，福利院、托老所、养老院、康复中心、老年公寓、居家养老等。此外，抱团养老、智慧社区等可能会成为未来养老方式的新趋势。目前，社会养老机构严重不足，比如截止于 2019 年 7 月南京市仅有养老机构 245 家；从南京市政府 2019 年 1 月 17 日召开的例行新闻发布会解读出台的《南京市提升养老院服务质量若干意见（试行）》（以下简称《意见》）中获悉，到 2020 年全市每千名户籍老年人拥有养老床位将达到 45 张，该《意见》具体包括了扩大养老床位有效供给、支持社会力量参与养老服务、全面推进医养融合、提升养老院服务人员综合素质、推动养老院配套设施升级改造、鼓励养老院“开门办院”、满足困难老人入住养老院需求、完善养老院价格管理体系、加强养老院服务质量长效监管、加大养老院服务考核奖惩十项举措。而今后若干年，南京市老年人口比例还将逐年增长，老年人口“增速快、寿龄长、空巢化、失能化”等特点更加明显。由此可见，满足多元化养老服务需求与养老机构建设将成为我国急需解决的民生问题之一。

下面，请你的团队考虑解决自 2021 年 1 月至 2035 年 12 月，分别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需求的养老机构建设规划问题：

1. 预测未来 15 年南京市老年人口数，并给出南京市各区老年人口密度估计。
2. 按照养老机构等级高收费高的原则（等级评定详见附件 1），要求到 2035 年 12 月全市每千名户籍老年人拥有养老床位达到 60 张。在至少考虑经济效益和社会效益条件下，建立养老机构建设布局模型，给出南京市各区以三年为建设周期的未来 15 年的建设规划方案表（方案表以附件 2 的形式呈现）。
3. 假设从 2027 年起，智能机器人可以替代人工服务，这时智慧社区居家养老比例将会逐年加大，研究南京市各区养老机构建设方案。
4. 依据你队的研究结果，给南京市政府相关部门提出养老机构建设规划的建议报告。

二、 问题分析

2.1 问题一的分析

第一问要求我们预测未来 15 年南京市老年人口数，并给出南京市各区老年人口密度估计。因此，需要搜集有关南京市老年人口数量的数据，同时针对各区搜集老年人口数量以及各区所占土地面积，用于预测和估计各区的老年人口密度。预测人口数量有许多有效的方法，我们选择建立一元线性回归模型以及 logistics 回归模型，用于预测人口数量，并同过比较检验两种模型的预测结果，用于验证预测的准确性。我们选择 2000 年至 2018 年，南京市以及各区的老年人口数作为训练集训练模型。再根据训练结果得到的模型，预测 2021 年至 2035

年内南京市以及各区的老年人口数量,并根据各区老年人口数量以及各区行政面积计算老年人口密度。

2.2 问题二的分析

根据问题的要求,针对南京市养老机构等级高收费高的原则,要求到 2035 年底,南京市每千名户籍老年人拥有床位达到 60 张。同时,需要考虑到社会效益和经济效益。首先,我们对于社会效益的考虑,使用了基于公平最大化的目标规划模型在保持公平性即社会效益的条件下,计算南京市各区所需的养老床位数;其次,针对经济效益,在拥有南京市各区所需的养老床位数之后,构建基于经济效益最优的目标规划模型,来解决各区不同等级机构的布局规划,并制定未来 15 年的建设规划方案。

基于公平最大化的目标规划模型使用的公平性指标是指,某块老年人需求区域到某个养老机构设施的可达性。并以可达性差异最小化作为优化目标的养老机构布局优化模型。首先,我们通过房屋中介网站,调查南京市建房时间位于 80-90 年前的小区作为老年人常驻区域及需求点,并计算各需求点到达南京市某区某养老机构的出行时间。其次,将搜集的数据代入目标规划模型中,训练模型得到南京市各区最优的所需养老床位数。

基于经济效益最优的目标规划模型,我们通过调研分析,选择以不同等级的养老机构的建设成本为目标函数构建规划模型。首先,根据前一个模型得到的各区所需的养老床位数,需使不同等级机构的总的床位数大于该区所需的养老床位数;其次,为了保障老年人老年生活的质量,应使该区不同等级的养老机构总的平均费用低于标准的退休工资;再次,为保障养老机构的服务质量,各区的不同等级机构的总的服务人员应大于养老机构所需的配置人员数量;最后,根据目标函数和约束建立以经济效益最优的目标规划模型,并求解计算南京市各区以三年为建设周期的未来 15 年的建设规划方案表。

2.3 问题三的分析

根据问题的要求,自 2027 年起,智能机器人可以替代人工服务,智慧社区居家养老的比例会逐年加大,要求我们研究南京市各区养老机构的建设方案,考虑到居家养老一定程度上会减少机构养老的床位需求,因此我们可以在问题 2 的基础上增加一个影响因子,用来衡量居家养老对机构养老床位数的影响程度。对于这个影响因子,我们可以主要考虑了南京市各个行政区经济发展水平以及房屋设施现代化程度对智能化社区养老的影响程度,基于以上的考虑,对空间可达性指标进行了具体的优化。基于改进后的最大公平目标规划模型,我们可以重新计算出南京市各行政区的不同级别养老机构需求数量。

2.4 问题四的分析

问题 4 要求我们根据研究结果,给南京市政府相关部门提出养老机构建设规划建议报告。本题可以综合考虑前面三个问题的研究结果,从以下几个方面入手该报告,首先根据问题 1 的结果,陈述南京市各行政区未来 15 年老年人口的预测结果。然后根据问题 2 的结果,提出各区各级别养老机构具体的规划建设方案。然后,考虑居家养老对机构养老的影响,提出在此条件下的新的养老机构规划建设方案。最后,基于上述的建设方案,提出一些启发性的建议。

三、 基本假设

- 1.假设南京市内不发生大规模人口移动或增减；
- 2.假设南京市老年人主要居住在建造年代较早的小区中；

四、 符号说明

符号	定义	符号	定义
α	回归系数	d_{ij}	表示 i 到 j 的平均时间
ε	随机误差项	S_i	机构拥有床位数
A_i	可达性评分	a	可达性加权平均值
S	总供给规模	D	总需求规模
D_i	i 点需求规模	B_i	各区所需养老床位数
P	服务人员配比数	b_i	不同等级机构收费

五、 模型建立与求解

5.1 问题一模型的建立与求解

通过对问题的理解分析，在第一题中建立了一元线性回归方程模型以及 Logistics 回归方程模型。基于南京市统计局网站公开的数据，我们搜集了 2000 年至 2018 年内南京 11 个区老年人口数量的数据，同时查询得到 11 个区各自的占地面积。通过将搜集的 11 个区的老年人口数据代入线性回归方程和 logistics 回归方程进行训练，得到各方程的训练数值和训练模型。再根据训练模型预测 2021 年至 2035 年各区的老年人口数量，并对比分析两种模型预测的人口数量，用于检验。最后将得到的老年人口数量预测值用以计算南京市各区老年人口密度。

5.1.1 模型的建立

(1)一元线性回归模型

一元线性回归模型^[1]为：

$$y = \alpha_0 + \alpha_1 x + \varepsilon \quad (1)$$

式中， α_0, α_1 为回归系数， ε 是随机误差项，总是假设 $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$ ，则随机变量 $y \sim N(\beta_0 + \beta_1 x, \sigma^2)$ 。

若对 x 和 y 分别进行了 n 次独立观测，得到以下 n 对观测值

$$(x_i, y_i), i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

这 n 对观测值之间的关系符合模型

$$y_i = \alpha_0 + \alpha_1 x_i + \varepsilon_i, i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

这里， x_i 是自变量在第 i 次观测时的取值，它是一个非随机变量，并且没有测量误差。对应于 x_i ， y_i 是一个随机变量，它的随机性是由 ε_i 造成的。 $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$ ，对于不同的观测，当 $i \neq j$ 时， ε_i 与 ε_j 是相互独立的。

(2)Logistics 回归模型

Logistic 回归分析模型，是一种广义的线性回归分析模型，线性回归的主要思想就是通过历史数据拟合出一条直线，用这条直线对新的数据进行预测。

线性回归的公式如下：

$$y = \alpha_0 + \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \dots + \alpha_n x_n = \alpha^T x \quad (4)$$

对于 Logistic Regression 来说，其思想也是基于线性回归。其公式如下：

$$h_{\alpha}(x) = \frac{1}{1 + e^{-z}} = \frac{1}{1 + e^{-\alpha^T x}} \quad (5)$$

其中，

$$z = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (6)$$

被称作 sigmoid 函数，可以得到，Logistic 回归模型是将线性函数的结果映射到了 sigmoid 函数中。

再根据上面的公式，估计参数 α 。最终得到 Logistics 回归模型的公式^[2]：

$$x(t) = \frac{x_m}{1 + \left(\frac{x_m}{x_0} - 1 \right) e^{-\alpha x}} \quad (7)$$

5.1.2 模型求解

(1) 数据预处理

将从南京统计局网站上搜集的 2000 年至 2018 年南京各区老年人口数进行处理，得到每个区域的老年人口数量，表 5.1.1 中是部分区域的老年人口数，以千人为单位计算。

表 5.1.1 2000-2018 年部分区域以及南京市老年人口数(/千人)

地区	玄武区	秦淮区	建邺区	南京市
2000	28.4711	112.7022	28.6783	556.6399
2001	38.9554	106.8273	30.1930	607.1913
2002	33.9426	114.8370	33.0531	640.8160
2003	47.7779	113.6445	33.8933	710.7747
2004	44.3904	114.7880	36.2514	734.6914
2005	50.6359	121.7633	37.6913	794.6120
2006	53.0750	142.2708	39.1718	887.4369
2007	62.0845	130.7720	40.8584	911.1707
2008	66.5559	140.8212	43.5043	962.8368
2009	64.0355	138.0912	44.6353	995.1442
2010	71.7561	146.0964	46.5040	1034.2491
2011	76.6282	150.8710	48.0717	1097.1723
2012	83.9258	157.8823	50.5743	1162.1078
2013	81.9758	170.2213	51.7041	1221.4928
2014	89.7053	174.7329	53.0945	1240.5959
2015	97.4057	169.4788	55.7561	1311.0268
2016	103.9371	176.3124	57.5213	1358.9336
2017	107.0874	174.9172	59.3666	1409.4532
2018	112.7328	190.6245	60.6138	1470.5280

对预处理得到数据进行显著性检验，使用 SPSS 的“分析-回归-线性”进行分析^[3]，以南京市为例得到如表 5.1.2 和表 5.1.3 所示的数据。

表 5.1.2 玄武区 SPSS 模型汇总表

模型	R	R 方	调整 R 方	标准的估计的 误差
1	0.999 ^a	0.998	0.998	13.7302

a. 预测变量: (常量), 年份。

b. 因变量: 南京市

表 5.1.2 中第三列 R 方，在线性回归中也判定为判定系数，用于判定线性方程拟合优度的重要指标，体现了回归模型杰斯因变量变异的能力，通常认为 R 方需要达到 0.6，最好是达到 0.8，而南京市老年人口数的线性拟合的 R 方为 0.998 接近于 1，表示我们的线性回归拟合程度极高。

表 5.1.3 玄武区 SPSS 方差分析表

模型	平方和	df	均方	F	Sig.
回归	1452723.374	1	1452723.374	7705.990	.000 ^a
残差	3204.817	17	188.518		
1455928.192	1455928.192	18			

表 5.1.3 中最后一列，显著性值为 $0.000 < 0.01 < 0.05$ ，表明由自变量“年份”和因变量“南京市老年人口数”建立的线性关系回归模型具有极显著的统计学意义^[4]。

对南京市的其他 11 个区的老年人口数也进行同样的分析处理，都得到了极高的线性回归拟合程度，以及显著性，由于篇幅限制，分析处理的数据将在附录中给出。

(2) 基于一元线性回归的预测

通过数据的预处理，以及显著性检验之后，将预处理数据带入一元线性回归模型中，分别得到南京市以及 11 个区老年人口与年份之间的线性函数。

$$\text{玄武区: } y_1 = -8988.608 + 4.509x_1 \quad (8) \quad \text{秦淮区: } y_2 = -9009.441 + 4.5565x_2 \quad (9)$$

$$\text{建邺区: } y_3 = -3533.20 + 1.780x_3 \quad (10) \quad \text{鼓楼区: } y_4 = -19848.89 + 9.953x_4 \quad (11)$$

$$\text{雨花台: } y_5 = -4410.369 + 2.214x_5 \quad (12) \quad \text{栖霞区: } y_6 = -9975.608 + 4.994x_6 \quad (13)$$

$$\text{江宁区: } y_7 = -14771.25 + 7.413x_7 \quad (14) \quad \text{浦口区: } y_8 = -3546.433 + 1.812x_8 \quad (15)$$

$$\text{六合区: } y_9 = -15550.626 + 7.807x_9 \quad (16) \quad \text{溧水区: } y_{10} = -9444.766 + 4.734x_{10} \quad (17)$$

$$\text{高淳区: } y_{11} = -1337.554 + 0.734x_{11} \quad (18) \quad \text{南京市: } y_{12} = -100416.7 + 50.48x_{12} \quad (19)$$

再根据每个区各自的老年人口线性回归方程预测未来 15 年内各区老年人口数量。得到如下图 5.1.1 所示的南京市以及各区老年人口预测。

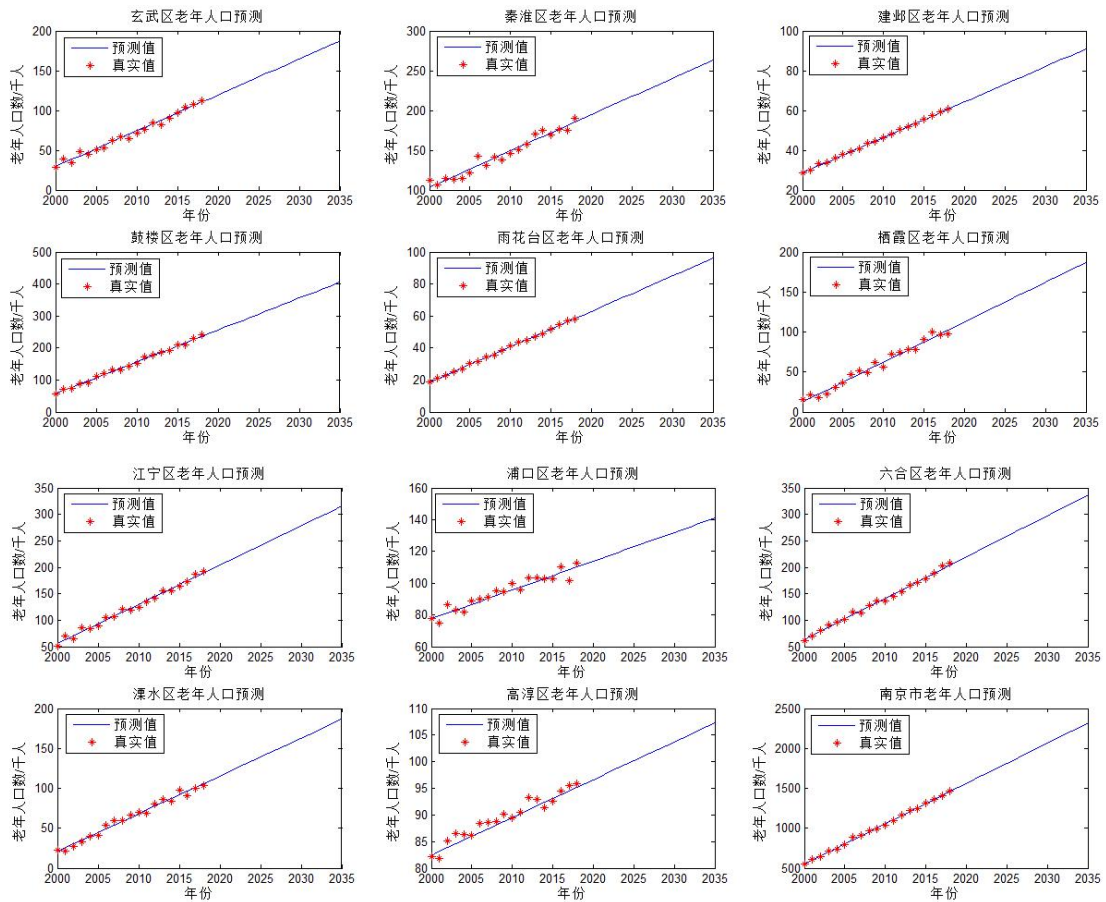


图 5.1.1 南京市以及各区老年人口线性回归预测图

上图是基于一元线性回归模型对南京市以及 11 个区老年人口数量的预测结果图，可以看到，线性回归拟合的数据较为准确，2000 年至 2018 年老年人口的数量基本都落在了预测值的附近，显示了我们的线性回归模型的预测是较为准确的。

(3) 基于 Logistics 回归的预测

将预处理得到的数据带入 Logistics 模型中进行训练，得到关于南京市各区老年人口预测模型^[5]。

$$\text{玄武区: } y = \frac{145.6}{1 + (\frac{145.6}{x_0} - 1)e^{-0.142(t_d - t_0)}} \quad (20) \quad \text{秦淮区: } y = \frac{1887}{1 + (\frac{1887}{x_0} - 1)e^{-0.03(t_d - t_0)}} \quad (21)$$

$$\text{建邺区: } y = \frac{4886}{1 + (\frac{4886}{x_0} - 1)e^{-0.028(t_d - t_0)}} \quad (22) \quad \text{鼓楼区: } y = \frac{4926}{1 + (\frac{4926}{x_0} - 1)e^{-0.08(t_d - t_0)}} \quad (23)$$

$$\text{雨花台: } y = \frac{86.8}{1 + (\frac{86.8}{x_0} - 1)e^{-0.09(t_d - t_0)}} \quad (24) \quad \text{栖霞区: } y = \frac{280.2}{1 + (\frac{280.2}{x_0} - 1)e^{-0.16(t_d - t_0)}} \quad (25)$$

$$\text{江宁区: } y = \frac{74.3}{1 + (\frac{74.3}{x_0} - 1)e^{-0.129(t_d - t_0)}} \quad (26) \quad \text{浦口区: } y = \frac{114.2}{1 + (\frac{114.2}{x_0} - 1)e^{-0.205(t_d - t_0)}} \quad (27)$$

$$\text{六合区: } y = \frac{222}{1 + (\frac{222}{x_0} - 1)e^{-0.157(t_d - t_0)}} \quad (28) \quad \text{溧水区: } y = \frac{136.1}{1 + (\frac{136.1}{x_0} - 1)e^{-0.06(t_d - t_0)}} \quad (29)$$

$$\text{高淳区: } y = \frac{104.5}{1 + (\frac{104.5}{x_0} - 1)e^{-0.056(t_d - t_0)}} \quad (30) \quad \text{南京市: } y = \frac{201.2}{1 + (\frac{201.2}{x_0} - 1)e^{-0.106(t_d - t_0)}} \quad (31)$$

再根据每个区各自的老年人口线性回归方程预测未来 15 年内各区老年人口数量。得到如下图 5.1.2, 图 5.1.3 以及表 5.1.4, 5.1.5, 5.1.6, 所示的南京市以及各区老年人口预测。

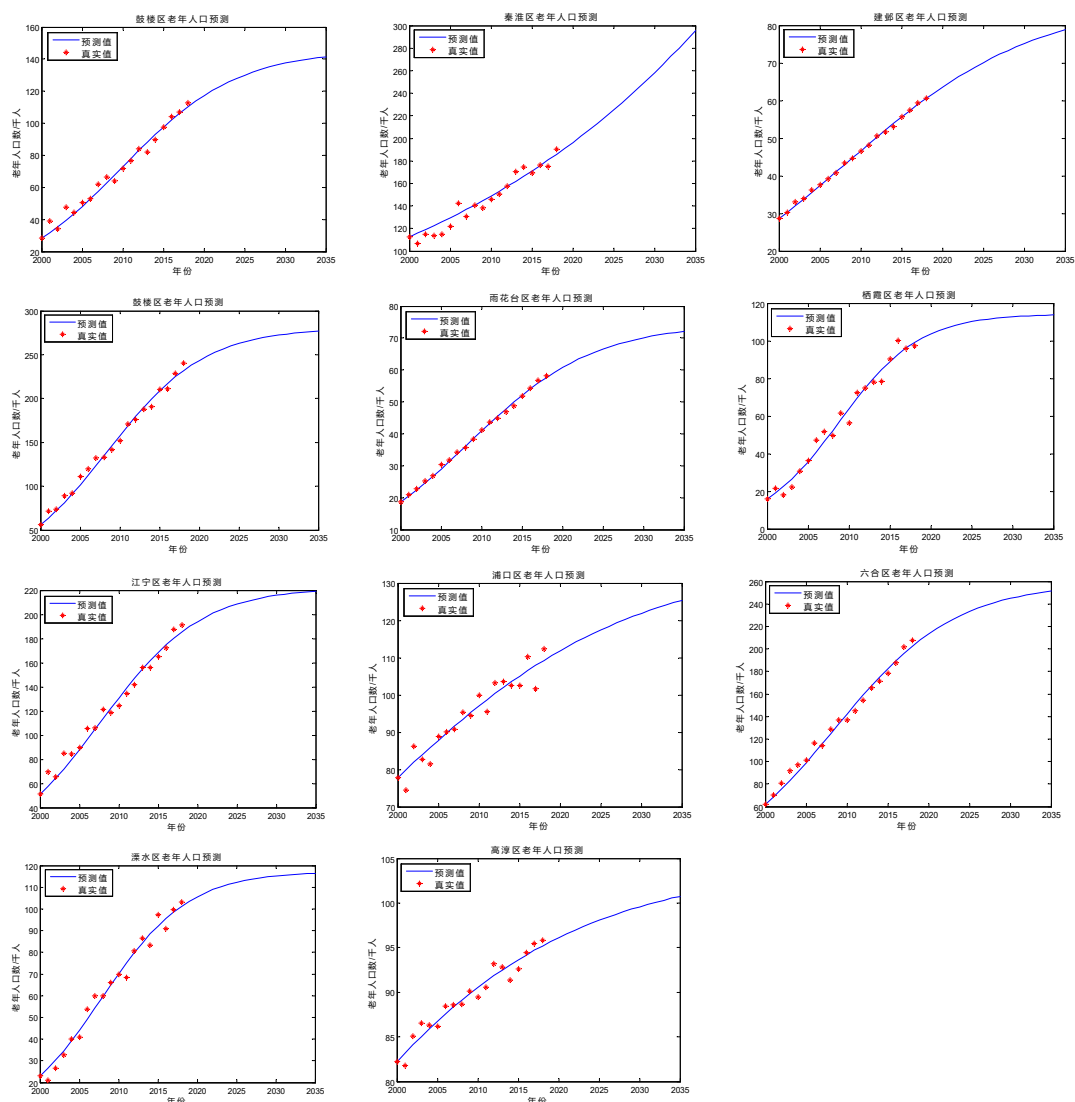


图 5.1.2 Logistics 回归预测的各区老年人口数

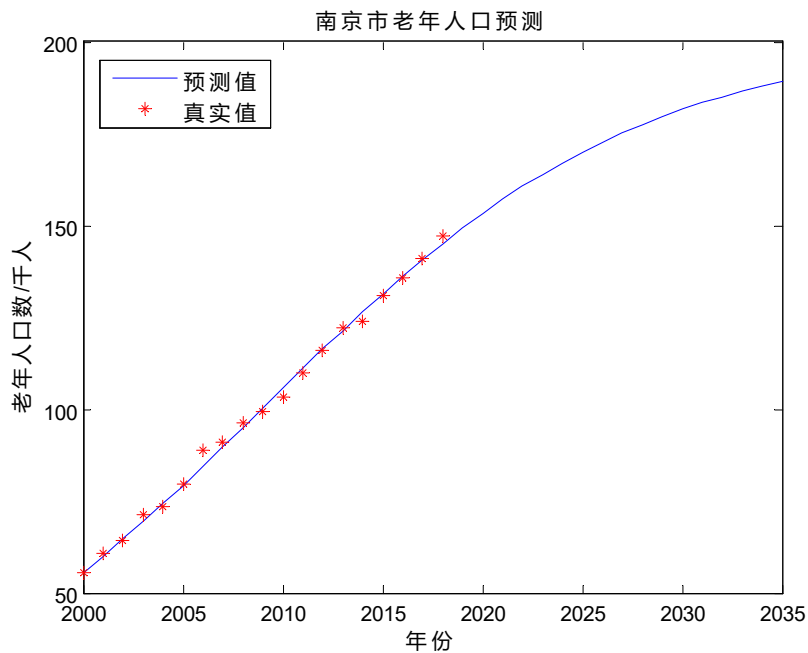


图 5.1.3 Logistics 回归预测的南京市老年人口数

上图 5.1.2 和图 5.1.3 是 Logistics 回归模型对南京市及各区的预测值，可以看出南京市老年人口数的预测值在未来 15 年内会区域平缓，这是符合人口增长的趋势。

表 5.1.4 南京市各区老年人口数预测

年份	玄武区	秦淮区	建邺区	鼓楼区	雨花台区
2021	120300	201268	65013	248513	62180
2022	123125	206735	66383	252847	63446
2023	125687	212333	67692	256647	64602
2024	127999	218062	68941	259962	65652
2025	130076	223925	70127	262844	66603
2026	131934	229924	71253	265340	67461
2027	133590	236061	72319	267497	68234
2028	135061	242338	73326	269355	68926
2029	136365	248757	74275	270952	69547
2030	137518	255319	75169	272323	70101
2031	138534	262027	76008	273497	70595
2032	139428	268882	76795	274501	71034
2033	140213	275885	77531	275360	71425
2034	140902	283040	78220	276093	71772
2035	141506	290346	78864	276718	72079

表 5.1.5 南京市各区老年人口数预测

年份	栖霞区	江宁区	浦口区	六合区	溧水区	高淳区
2021	105493	197839	113061	218114	107396	96536
2022	107008	201056	114223	222493	108912	96944

2023	108276	203890	115336	226463	110210	97333
2024	109331	206376	116403	230048	111316	97703
2025	110206	208549	117424	233272	112257	98056
2026	110929	210443	118400	236162	113054	98391
2027	111526	212089	119333	238745	113727	98711
2028	112017	213517	120223	241047	114296	99014
2029	112420	214752	121072	243093	114774	99303
2030	112751	215819	121881	244909	115176	99577
2031	113022	216739	122652	246517	115514	99838
2032	113243	217531	123385	247938	115798	100086
2033	113425	218214	124083	249193	116035	100321
2034	113573	218800	124745	250299	116234	100544
2035	113694	219303	125375	251273	116400	100756

表 5.1.6 南京市老年人口数预测

年份	南京市(人)
2021	1571065
2022	1606562
2023	1639878
2024	1671038
2025	1700084
2026	1727078
2027	1752093
2028	1775213
2029	1796530
2030	1816139
2031	1834140
2032	1850634
2033	1865720
2034	1879497
2035	1892059

上表 5.1.4,5.1.5 和表 5.1.6 是根据 Logistics 回归方程得到的 2021 年至 2035 年内各区以及南京市的老年人口数量，不同的区由于占地面积以及其他等因素，所占有的老年人口数量各不相同，例如秦淮区发展年代较久，地理位置偏在市中心，因此老年人口的数量较高；而高淳区处于正在开发的阶段，且远离市中心，因此老年人口数量较少。且南京市未来 15 年内老年人口数的增加会趋于平缓，是符合事实的。由此，可以看出，我们模型预测的结果较为合理。

(4) 各区人口密度的估计

通过南京市统计局网站下载的各区占地面积，使用人口密度计算公式计算 2035 年各区的人口密度得到如下表 5.1.7 所示

表 5.1.7 南京市各区 2035 年的老年人口密度

地区	老年人口（人）	面积（平方公里）	人口密度（人/平方公里）
南京市	1892060	6587.02	287
玄武区	141506	75.46	1875
秦淮区	290346	49.11	5912
建邺区	78864	82.93	951
鼓楼区	276718	53	5221
雨花台区	72079	132.39	544
栖霞区	113694	395.44	288
江宁区	219303	1563.32	140
浦口区	125375	698.15	180
六合区	251273	1295.27	194
溧水区	116400	790.23	147
高淳区	100756	1063.67	95

(5) 线性模型与 Logistics 模型的比较检验

为了比较两种模型的预测值，以玄武区老年人口数的预测为例，将两种模型的预测曲线进行比较，得到如下图 5.1.4 所示的比较图。

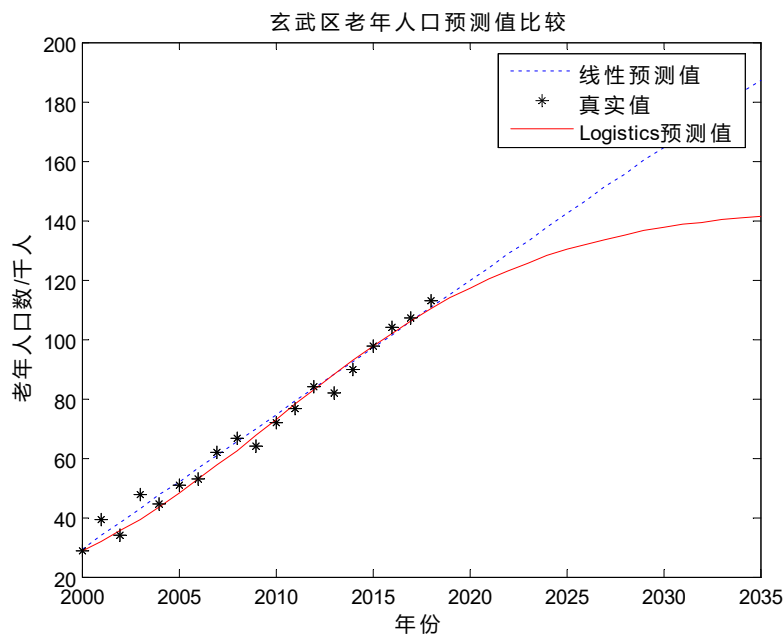


图 5.1.4 玄武区老年人口预测值比较

由上图 5.1.4 所示，线性回归预测曲线在 2021 年至 2035 年呈现倾斜上升，斜率保持不变，这表明预测的老年人口数量每年都以同样的斜率递增。而 Logistics 回归预测曲线在 2021 年至 2035 年内，老年人口预测数量逐渐趋于平缓。通过对比分析可以看出，Logistics 回归模型预测的老年人口数值更符合人口增长曲线，因为人口增长并不是保持不变的递增，而是在某个阶段时达到某个饱和值而趋于平缓；但线性回归曲线是一直保持稳定递增，这不太符合人口增长方式。

因此，我们分析得出结果，Logistics 回归模型预测的老年人口数值是十分符合现实中人口增长的趋势，预测的结果是十分合理且准确的，因此，我们的 Logistics 回归模型是优秀的。

5.1.3 问题的总结和答案

通过上述一系列问题的求解，可以总结得到 Logistics 回归模型优于线性回归模型。并且 Logistics 回归模型预测各区的老年人口增长都在未来 15 年内趋于平缓，这将有助于我们对老年人的养老问题进行更加有效处理。

同时通过预测分析得到，处于市中心的老年人口数多于偏离市中心的老年人口数，这是符合实际的，因为，城市中心的养老设施更加齐全，交通更加便利，偏离市中心的区域正处于开发阶段，因此老年人口数量少于市中心区域。

通过 Logistics 回归模型对南京市各区未来 15 年老年人口数量的预测，我们得到了关于南京市 11 个区以及南京全市 2021 年至 2035 年内的老年人口数量，同时根据各区域的占地面积，计算并得到了各区的老年人口密度。同时，还对两个模型进行了比较检验，验证了我们预测结果的准确性。

5.2 问题二模型的建立与求解

通过对问题的分析，在第二题中建立了基于公平最大化目标规划模型以及基于经济效益最优的目标规划模型，解决在考虑在社会效益和经济效益的条件下，构造养老机构建设布局模型。首先，根据搜集的数据，建立基于公平最大化目标规划模型，模型的公平性是指各老年人需求点到养老机构的可达性差异，并以可达性差异最小化为目标构建各区所需养老床位数。其次，根据公平最大化模型得到的各区所需养老床位数，建立基于经济效益最优的目标规划模型，在考虑经济效益的条件下，构建未来 15 年各区不同等级机构的规划建设。

5.2.1 模型的建立

(1) 基于公平最大化的目标规划模型

公平性是社会效益的核心要素，为了实现公平最大化模型，我们引入设施空间可达性评价指标^[6]。有关设置空间可达性的评价指标很多，最为常见的是两部移动搜寻法和重力模型，我们参考已有研究^[7]的方法，将上述两种方法整合为统一的形式，并结合现有的数据对模型进行了合理的改进，模型如下：

$$A_i = \frac{\sum_{j=1}^m S_j f(d_{ij})}{D_i f(d_i)} \quad (32)$$

其中， A_i 是需求点（小区） i 的可达性评分，也可以表示为需求点 i 平均每位老人可拥有的床位数， d_{ij} 表示 i 区内所有需求点到 j 养老机构的平均时间， d_i 表示 i 区内所有小区到所有机构的平均时间， S_j 表示各机构拥有的床位数量。 D_i 表示各区老人人口数。

距离衰减函数包含离散型和连续型。两步移动搜寻法采用离散型距离衰减函数，而重力模型采用了指数形式的连续型距离衰减函数。但是两步移动搜寻平均法容易忽略搜寻半径因为的可达性差异，因此在搜寻半径内加入重力模型的距离衰减函数可以提高可达性评价的准确性。因此，我们采用的距离衰减函数 f 可以写为：

$$f(d_{ij}) = \begin{cases} d_{ij}^{-\beta}, & d_{ij} \leq d_0 \\ 0, & d_{ij} \geq d_0 \end{cases} \quad (33)$$

其中, d_{ij} 是需求点 i 和养老机构 j 之间的出行时间; d_0 是出行时间的阈值; β 是距离衰减参数。

有了以上的指标之后, 下面我们对公平性进行建模。核心思想是通过需求点到养老设施的可达性差异最小化为目标, 从而实现了养老设置的公平最大化建模^[8], 该模型可以表达为:

$$\begin{aligned} \min \sum_{i=1}^m (A_i - a)^2 \\ a = \sum_{i=1}^m \frac{D_i}{D} A_i = \frac{S}{D} \end{aligned} \quad (34)$$

其中, A_i 是可达性评分, 也即需求点 i 平均每位老人的床位数; a 是可达性的加权平均值; S 是总供给规模, D_i 是需求点 i 的需求规模; D 是总需求规模。

(2) 基于经济效益最优的目标规划模型

在构建未来 15 年各区不同等级机构的规划建设时, 需考虑经济效益, 为此, 首先我们通过研究分析, 选择各区不同等级机构的建设总成本作为我们的目标函数^[9]:

$$\min 250x_1 + 1250x_2 + 2400x_3 + 4800x_4 + 7500x_5 \quad (35)$$

其中, $x_i (i=1,2,3,4,5)$ 分别表示等级为 A, AA, AAA, AAAA, AAAAA 的机构数量。

其次, 根据前一个模型得到的各区在不同阶段所需的养老床位数, 需要设定一个约束, 使得各区内不同等级机构的总的床位数大于所需的养老床位数, 即:

$$10x_1 + 50x_2 + 80x_3 + 120x_4 + 150x_5 \geq B_l \quad (36)$$

其中 $B_l (l=1,2,...,11)$ 表示各区所需的养老床位数。

再次, 为了满足南京市养老机构所需具备的条件, 应使各区内不同等级机构的总的护工人数即服务人员大于所需床位数配比的服务人员, 因此, 我们增加一个约束:

$$2x_1 + 8x_2 + 20x_3 + 30x_4 + 45x_5 \geq P \quad (37)$$

其中 P 表示各区所需的养老床位数对应的服务人员配比。

再次, 为考虑不同等级机构收费不同的问题, 为保障经济条件不同的老年人都能够选择合适的养老机构安度晚年, 为此, 我们增加一个约束, 保证各区不同等级机构的总的平均收费标准应低于标准的退休工资。即,

$$10(b_1 - T)x_1 + 50(b_2 - T)x_2 + 80(b_3 - T)x_3 + 120(b_4 - T)x_4 + 150(b_5 - T)x_5 \leq 0 \quad (38)$$

其中, $b_i (i=1,2,3,4,5)$ 表示不同等级机构的收费, T 表示标准退休工资。

最终得到如下的基于经济效益最优的目标规划模型^[10]:

$$\begin{aligned}
& \min 250x_1 + 1250x_2 + 2400x_3 + 4800x_4 + 7500x_5 \\
& s.t. \begin{cases} 10x_1 + 50x_2 + 80x_3 + 120x_4 + 150x_5 \geq B_i \\ 2x_1 + 8x_2 + 20x_3 + 30x_4 + 45x_5 \geq P \\ 10(b_1 - T)x_1 + 50(b_2 - T)x_2 + 80(b_3 - T)x_3 + 120(b_4 - T)x_4 + 150(b_5 - T)x_5 \leq 0 \\ x_i \geq 0 (i = 1, 2, 3, 4, 5) \end{cases} \quad (39)
\end{aligned}$$

5.2.2 模型求解

(1) 基于公平最大化的目标规划模型求解

为了求解模型参数，我们需要获取南京市各养老机构的位置数据和床位数数据，同时需要获取南京市各区的老年人口分布情况，并根据老年人口分布情况计算各区需求点到养老机构的距离数据和出行时间数据，将以上数据带入模型，评估南京市各区养老机构的可达性评分，基于可达性评分，预测未来南京市各个区所需床位数和养老机构数量。

● 南京市各区养老机构数据

我们根据南京市民政局部门发布的截止 2019 年末，南京市养老机构清单，通过网络爬虫抓取到了南京市各养老机构的位置、等级、床位数、地址等数据，其数据样例如下表 5.2.1 所示。

表 5.2.1 南京市养老机构数据（部分）

名称	等级	床位数	地址
雨花台区梅山来安公寓	AAA	60	梅山街道上怡二村内
南京市雨花康爱托老公寓	AA	70	雨花西路能仁里 16 号
南京宁南温馨老年公寓	AAA	88	君子兰花园 116 号
雨花赛虹桥温馨老年公寓	AAA	88	雨花南路 51-1 号
南京南山园护理院	AAAA	105	龙淮路 15 号善水湾好街坊
南京悦园老年公寓	AAA	150	甘家巷南京瑞东医院内
南京国悦养老服务有限公司	AAAA	200	迈越路 28 号 46 栋
南京爱德仁谷颐养院	AAAA	220	栖霞区尤山路 90 号
南京颐和老年康复护理中心	AAAA	344	迈皋桥长营村 100 号
南京市点将台社会福利院	AAAAA	1100	点将台路 69 号附近

● 南京市各区老年人口分布

由于通过公开数据难以直接获得南京市各区老年人口分布情况，因此我们考虑替代方案，通过各行政区内小区的建造年代来近似代替老年人口分布情况，为此我们通过链家网抓取了南京市各行政区的全部小区信息，通过小区的建造时间，考虑将 90 年代以前建造的小区近似认为是老年人主要分布居住区，部分数据如下表 5.2.2 所示。

表 5.2.2 南京市小区建造年代数据（部分）

小区名称	建造时间	地址
景明佳园畅景苑	1988	雨花台区花神大道 298 号
演武新村	1982	玄武区北京东路南侧外国语南侧
火瓦巷	1975	秦淮区洪武路 269 号
凤仪西园	1989	寅春路与燕春路交叉口西南 150 米
商城小区	1990	浦口区浦珠南路与珍珠南路交叉口

湖滨新寓	1983	六合区湖滨路
飞燕小区	1996	溧水区秀园路与陈沛桥路交叉口
江宁商厦新寓	1900	江宁区文靖路 146 号
梅花里	1986	建邺区北圩路 28 号
鲁迅园小区	1970	鼓楼区中山北路 283 号

● 需求点到养老机构的距离与公共交通出行时间

为了获取南京市各区需求点（小区）与养老机构的距离信息和出行时间信息，我们通过高德地图提供的开发者 API 来抓取，首先需要获取各个小区和养老机构的经纬度坐标信息，通过经纬度坐标计算出小区与养老机构的距离和出行时间，玄武区部分数据如下表 5.2.3 所示。

表 5.2.3 玄武区各小区与养老机构距离及出行时间（部分）

小区名称	机构名称	距离 (千米)	出行时间 (小时)
廖家巷	南京博爱老年公寓	4.73	0.80
南农大小区	玄武区梅园街道老年照料中心	3.05	0.88
锁金村 80 号	玄武区梅园街道老年照料中心	3.67	0.73
体育学院小区	南京市快乐谷养老院	0.93	0.49
百子亭	君兆老年服务中心	6.10	0.89
花红园	玄武区鸿福老年公寓	2.00	0.54
锁金三村	颐鹤老年公寓	9.41	1.00
百子亭	九如城盛和养老护理中心	2.98	0.53
演武新村	南京博爱老年公寓	5.42	0.59
南理工西园小区	玄武区鸿福老年公寓	4.74	0.61

在获得以上的信息之后，我们通过网格搜索法对 β 的不同取值进行比较，参考已有研究中 β 的取值范围，我们将 β 的取值范围定在 0.4-1.4 之间，步长设置为 0.2，得到南京市 11 个区养老机构的可达性标准差，如表 5.2.4 所示。

表 5.2.4 南京市各区养老设施可达性标准差

β	可达性标准差
0.4	0.0239
0.6	0.0215
0.8	0.0203
1.0	0.0171
1.2	0.0182
1.4	0.0194

可以看到，在 $\beta = 1$ 时，南京市 11 个区的可达性标准差最小，因此，我们将模型中的参数 β 定为 1，并假设南京市未来 15 年的养老机构的规划位置和南京市老年人口的分布可以一直保持平稳状态，基于公平最大化模型，我们可以预测得到未来 15 年内，南京市 11 个区所需床位数量如表 5.2.5 所示。

表 5.2.5 南京市各区分阶段拟新增床位数（单位：张）

	2021-2023	2024-2026	2027-2029	2030-2032	2033-2035
高淳区	848	707	664	505	469
鼓楼区	2190	2903	3251	3181	3517
建邺区	343	243	242	198	191
江宁区	1765	2006	1870	1390	1308
溧水区	460	385	367	281	264
六合区	726	457	423	310	296
浦口区	1848	2131	2000	1493	1410
栖霞区	607	350	352	282	278
秦淮区	1507	1252	1186	903	847
玄武区	436	344	321	237	225
雨花台区	419	345	345	267	265
全市	11586	10868	10594	8421	7978

(2) 基于经济效益最优的目标规划模型求解

根据前一个模型得到的关于各区各阶段所需新增的养老床位数，将各阶段养老床位数作为 B_l ；同时根据下发文件，我们将养老床数所需配比的护工人员令为养老床位数乘 $\frac{1}{6}$ ，该比例是下发文件中所提及的要求；再根据调查发现，不同等级养老机构的收费为 A 到 5A 为 1200 到 5000 元之间，同时，据调查南京市标准的退休工资约为 3300 元每月。将以上数据带入目标规划模型中可以得到：

$$\begin{aligned}
 & \min \quad 250x_1 + 1250x_2 + 2400x_3 + 4800x_4 + 7500x_5 \\
 & s.t. \quad \begin{cases} 10x_1 + 50x_2 + 80x_3 + 120x_4 + 150x_5 \geq B_l \\ 2x_1 + 8x_2 + 20x_3 + 30x_4 + 45x_5 \geq \frac{B_l}{6} \\ 10(1200 - 3300)x_1 + 50(2400 - 3300)x_2 + 80(3600 - 3300)x_3 \\ + 120(4000 - 3300)x_4 + 150(5000 - 3300)x_5 \leq 0 \\ x_i \geq 0 (i = 1, 2, 3, 4, 5) \end{cases} \quad (40)
 \end{aligned}$$

最后可求得各区未来 15 年养老机构的规划，如下表所示。

表 5.2.6 玄武区拟建养老机构数

	A	AA	AAA	AAAA	AAAAA
2021-2023	3	7	4	0	0
2024-2026	3	4	3	1	0
2027-2029	2	6	3	0	0
2030-2032	3	5	2	0	0
2033-2035	2	3	2	0	1

表 5.2.7 秦淮区拟建养老机构数

	A	AA	AAA	AAAA	AAAAA
2021-2023	0	16	10	1	0
2024-2026	4	22	15	0	0
2027-2029	5	24	15	0	1
2030-2032	0	21	14	2	1
2033-2035	0	20	18	1	2

表 5.2.8 建邺区拟建养老机构数

	A	AA	AAA	AAAA	AAAAA
2021-2023	7	3	1	0	0
2024-2026	9	3	0	0	0
2027-2029	5	3	0	1	0
2030-2032	0	2	1	0	0
2033-2035	8	2	0	0	0

表 5.2.9 鼓楼区拟建养老机构数

	A	AA	AAA	AAAA	AAAAA
2021-2023	2	11	9	0	1
2024-2026	4	16	7	2	0
2027-2029	0	11	8	0	2
2030-2032	2	11	7	0	0
2033-2035	0	5	7	2	1

表 5.2.10 雨花台区拟建养老机构数

	A	AA	AAA	AAAA	AAAAA
2021-2023	3	4	2	0	0
2024-2026	1	3	1	1	0
2027-2029	0	3	2	0	0
2030-2032	2	1	1	1	0
2033-2035	0	3	1	1	0

表 5.2.11 栖霞区拟建养老机构数

	A	AA	AAA	AAAA	AAAAA
2021-2023	7	6	3	0	0
2024-2026	3	4	2	0	0
2027-2029	0	2	2	1	0
2030-2032	4	2	1	0	1
2033-2035	3	1	1	1	0

表 5.2.12 江宁区拟建养老机构数

	A	AA	AAA	AAAA	AAAAA
2021-2023	8	10	7	2	1
2024-2026	4	16	11	0	0
2027-2029	7	14	9	1	0
2030-2032	1	11	8	0	1
2033-2035	4	7	7	2	0

表 5.2.13 浦口区拟建养老机构数

	A	AA	AAA	AAAA	AAAAA
2021-2023	1	5	3	0	0
2024-2026	4	2	1	1	0
2027-2029	4	2	1	0	1
2030-2032	2	3	1	0	0
2033-2035	2	1	1	1	0

表 5.2.14 六合区拟建养老机构数

	A	AA	AAA	AAAA	AAAAA
2021-2023	8	8	7	2	0
2024-2026	5	10	6	0	0
2027-2029	3	6	6	1	0
2030-2032	4	8	4	0	0
2033-2035	3	5	3	0	1

表 5.2.15 溧水区拟建养老机构数

	A	AA	AAA	AAAA	AAAAA
2021-2023	1	4	2	0	0
2024-2026	5	2	1	1	0
2027-2029	3	2	1	2	0
2030-2032	2	1	1	0	1
2033-2035	1	2	1	0	0

表 5.2.16 高淳区拟建养老机构数

	A	AA	AAA	AAAA	AAAAA
2021-2023	6	3	1	1	0
2024-2026	7	3	1	0	0
2027-2029	5	2	1	2	0
2030-2032	1	3	1	0	0
2033-2035	1	2	1	0	1

5.2.3 问题的总结和答案

通过对第二题的分析，我们首先考虑社会效益建立了基于公平最大化目标规划模型，通过该模型，我们预测了未来 15 年南京市各行政区各时间段所需的养老床位数量。在此基础上，考虑经济效益建立了经济效益最大化规划模型，通过该模型，对各行政区中不同级别的养老机构数量进行了规划。

同时通过预测分析得到，南京市中心城区的养老床位需求量明显高于周边地区的需求量，这是因为南京市中心地区老年人口数量多，密度大，对于床位的需求更加明显。此外，中心地区的经济更加发达，能够支撑起更多养老机构的运营。同时，通过经济效益最大化模型所得到的结果可以看出，AA、AAA、AAAA 级别的养老机构数量占据绝大部分，这与南京市的现实情况是比较吻合的，可以满足不同需求的老年人的养老要求。

通过对问题的分析，建立了基于公平最大化目标规划模型以及基于经济效益最优的目标规划模型，解决在考虑在社会效益和经济效益的条件下，构造养老机构建设布局模型。根据搜集的数据，带入训练好的基于公平最大化目标规划模型得到了各区所需养老床位数。其次，再将各区所需养老床位数带入以经济效益最优的目标规划模型中得到了未来 15 年各区不同等级机构的规划建设的答案。

5.3 问题三模型的建立与求解

通过对问题的理解分析，在第三题中建立了改进的公平最大化目标模型，解决了在考虑智能机器人逐渐代替人工服务的场景下，养老机构建设布局优化问题。首先，我们考虑了南京市各行政区经济发展水平以及房屋设施现代化水平对智能化社区养老的影响程度，基于这种影响对空间可达性指标进行了优化。其次，

根据改进之后的空间可达性指标，我们重新计算出了各行政区不同时间段的养老床位需求数量，最后根据问题 2 中的经济效益最优目标规划模型，对各级养老机构的数量重新进行了预测规划。

5.3.1 模型的建立

考虑到从 2027 年开始，智能机器人将逐渐取代人工服务，此时智慧社区居家养老^[11]的比例会逐年增加，因此养老机构床位数需求将会有所下降，可以抽象认为在之前的规划模型上增加了一个影响因子^[12]，即该影响因子会降低各行政区的床位需求数量，通过研究分析，我们对第二问的空间可达性指标做出了如下的修正：

$$A_i = \frac{\sum_{j=1}^m S_j f(d_{ij})}{D_i f(d_i)} \left(1 - \frac{1}{e^{-(0.0055x_1 + 0.0017x_2)}} \right) \quad (41)$$

其中， x_1 表示各区经济发展水平，该经济发展水平可以通过行政区 GDP 指标来衡量，研究表明，经济发展水平对智能化家居有着较大的影响，区域经济发展水平越高，智能化发展程度和居民对智能化设施的可接受程度也越高。

其次， x_2 表示房屋现代化水平，房屋建造年限越早，越不利于智能化设施的使用和维护，反之，近些年新建的房屋考虑了智能化设施的使用，在空间布局和物联网设备的接入上都更加友好，该值可以通过我们之前抓取到的各行政区小区的平均建造时间来衡量。

5.3.2 模型求解

(1) 基于改进的经济效益最优的目标规划模型求解

基于问题 2 的公平最大化模型和改进的空间可达性指标，我们对南京市各行政区 2027-2035 年的养老机构床位数进行了新的计算，得到了新的床位需求数据，如表 5.3.1 所示。

表 5.3.1 南京市居家养老各区拟新建床位数

	2027-2029	2030-2032	2033-2035
玄武区	564	465	413
秦淮区	2763	2746	2138
建邺区	223	182	169
鼓楼区	1589	1182	1073
雨花台区	312	259	232
栖霞区	389	285	260
江宁区	1800	1274	1056
浦口区	323	259	245
六合区	1091	831	745
溧水区	295	218	198
高淳区	317	246	233
全市	9667	7947	6763

(2) 基于改进的经济效益最优的目标规划模型求解

同样的，根据前一个模型得到的关于各区各阶段所需新增的养老床位数，将各阶段养老床位数作为 B_l ；同时将养老床数所需配比的护工人员令为养老床位数乘 $\frac{1}{6}$ ；再将不同等级养老机构的收费和南京市标准的退休工资带入目标规划模型中可以得到：

$$\begin{aligned} \min & 250x_1 + 1250x_2 + 2400x_3 + 4800x_4 + 7500x_5 \\ s.t. & \begin{cases} 10x_1 + 50x_2 + 80x_3 + 120x_4 + 150x_5 \geq B_l \\ 2x_1 + 8x_2 + 20x_3 + 30x_4 + 45x_5 \geq \frac{B_l}{6} \\ 10(1200 - 3300)x_1 + 50(2400 - 3300)x_2 + 80(3600 - 3300)x_3 \\ + 120(4000 - 3300)x_4 + 150(5000 - 3300)x_5 \leq 0 \\ x_i \geq 0 (i = 1, 2, 3, 4, 5) \end{cases} \end{aligned} \quad (42)$$

最后可求得自 2027 年后智慧社区居家养老对养老机构规划的影响，如表所示。

表 5.3.2 玄武区拟建养老机构数

	A	AA	AAA	AAAA	AAAAA
2027-2029	7	5	2	0	0
2030-2032	3	4	2	0	0
2033-2035	6	4	1	1	0

表 5.3.3 秦淮区拟建养老机构数

	A	AA	AAA	AAAA	AAAAA
2027-2029	7	14	10	2	1
2030-2032	0	15	8	1	1
2033-2035	5	12	11	2	0

表 5.3.4 建邺区拟建养老机构数

	A	AA	AAA	AAAA	AAAAA
2021-2023	1	2	1	0	0
2024-2026	8	2	0	0	0
2027-2029	6	2	0	0	0

表 5.3.5 鼓楼区拟建养老机构数

	A	AA	AAA	AAAA	AAAAA
2021-2023	5	9	5	1	1
2024-2026	3	7	4	1	0
2027-2029	4	6	5	1	0

表 5.3.6 雨花台区拟建养老机构数

	A	AA	AAA	AAAA	AAAAA
2021-2023	4	3	1	0	0
2024-2026	0	3	1	0	0
2027-2029	2	2	1	0	0

表 5.3.7 栖霞区拟建养老机构数

	A	AA	AAA	AAAA	AAAAA
2027-2029	1	3	2	0	0
2030-2032	2	3	1	0	0
2033-2035	0	3	1	0	0

表 5.3.8 江宁区拟建养老机构数

	A	AA	AAA	AAAA	AAAAA
2027-2029	4	11	7	1	1
2030-2032	7	7	6	1	0
2033-2035	2	7	5	1	0

表 5.3.9 浦口区拟建养老机构数

	A	AA	AAA	AAAA	AAAAA
2027-2029	5	3	1	0	0
2030-2032	0	3	1	0	0
2033-2035	9	3	0	0	0

表 5.3.10 六合区拟建养老机构数

	A	AA	AAA	AAAA	AAAAA
2027-2029	0	8	6	0	0
2030-2032	2	7	4	0	0
2033-2035	0	6	4	0	0

表 5.3.11 溧水区拟建养老机构数

	A	AA	AAA	AAAA	AAAAA
2027-2029	3	3	1	0	0
2030-2032	1	2	1	0	0
2033-2035	0	2	1	0	0

表 5.3.12 高淳区拟建养老机构数

	A	AA	AAA	AAAA	AAAAA
2027-2029	5	3	1	0	0
2030-2032	9	3	0	0	0
2033-2035	2	2	1	0	0

5.3.3 问题的总结和答案

通过建立的改进的公平最大化目标模型，在考虑了南京市各行政区经济发展水平以及房屋设施现代化水平对智能化社区养老的影响程度之后，基于这种影响对空间可达性指标进行了优化。其次，再根据改进之后的空间可达性指标，重新计算出了各行政区不同时间段的养老床位需求数量，最后再次使用以经济效益最优的目标规划模型，对各级养老机构的数量重新进行了预测规划，并最终给出了2027年至2035年每三年为周期的各区养老机构数的规划。

5.4 问题四的总结和答案

首先根据问题一的预测结果，可以得知南京市 2035 年的老年人口将会突破 188 万人，养老需求巨大。通过问题二的模型以及对结果的预测，可以得知到 2035 年，全市每千名户籍老人平均床位数将超过 60 张，可以满足规划要求。根据问题三，智能机器人的逐渐使用，将会一定程度上影响老年人的养老方式，居家养老的比例将会逐年上升，老年人对于机构养老的需求会在一定程度上下降。基于以上模型结果，提出以下建设规划方案。

总体方案根据此前的预测规划来划分各个区各级养老院的数量，以南京市各级养老机构 2021-2023 年的规划为例，可以得出 2021-2023 年南京市各区拟新增床位数如表 5.4.1 所示：

表 5.4.1 南京市各区 2021-2023 年拟新增床位数

玄武区	秦淮区	建邺区	鼓楼区	雨花台区	栖霞区
847.7038	2190.2384	342.6892	1764.6906	460.3861	725.5493
江宁区	浦口区	六合区	溧水区	高淳区	全市
1848.2966	606.8216	1506.5790	436.0730	418.5111	11586.1095

根据此前假设的模型，可以通过拟新增的床位数来计算出每个区各等级养老机构的数量，得到 2021-2023 年南京市各区拟新增各等级的养老机构数，如表 5.4.2 所示。

表 5.4.2 南京市各区 2021-2023 年养老机构建设规划方案

	A	AA	AAA	AAAA	AAAAA
玄武区	3	7	4	0	0
秦淮区	0	16	10	1	0
建邺区	7	3	1	0	0
鼓楼区	2	11	9	0	1
雨花台区	3	4	2	0	0
栖霞区	7	6	3	0	0
江宁区	8	10	7	2	1
浦口区	1	5	3	0	0
六合区	8	8	7	2	0
溧水区	1	4	2	0	0
高淳区	6	3	1	1	0

剩余四个建设周期各区各等级养老机构数量参见问题二中的规划方案表。
2027 年起，智能机器人逐步代替人工服务，按照我们的假设模型以及预测结果可以得出：随着时间的增长，老人对智能化居家养老的模式接受的比例逐年增加，结合问题二的模型，每个建设周期的新增床位数也在不同程度的减少。以 2027-2029 年为例，相关变化情况如表 5.4.3 所示。

表 5.4.3 南京市各区 2027-2029 年居家养老前后床位需求变化

	居家养老前	居家养老后	下降比例
玄武区	664.0464	564.4395	0.15
秦淮区	3250.6570	2763.0585	0.15

建邺区	242.2951	222.9115	0.08
鼓楼区	1869.6912	1589.2376	0.15
雨花台区	366.7127	311.7058	0.15
栖霞区	423.1112	389.2623	0.08
江宁区	1999.6580	1799.6922	0.10
浦口区	351.5919	323.4645	0.08
六合区	1185.5220	1040.6803	0.12
溧水区	320.8475	295.1797	0.08
高淳区	35.0790	366.7127	0.08

通过以上分析可得知，每个区的需求床位数随着老人接受智能化居家养老的比例均有不同程度的下降，因此，居家养老的实施会对机构养老的需求产生影响，需要在政府规划中考虑到这个问题。

针对以上的建设规划方案我们提出以下建议：

（一）建立养老服务综合监管制度。

制定“履职照单免责、失职照单问责”的责任清单，制定加强养老服务综合监管的相关政策文件，建立各司其职、各尽其责的跨部门协同监管机制，完善事中事后监管制度。健全“双随机、一公开”工作机制，加大对违规行为的查处惩戒力度，坚持最严谨的标准、最严格的监管、最严厉的处罚、最严肃的问责。

（二）减轻养老服务税费负担。

养老机构符合现行政策规定的，可享受小微企业等财税优惠政策；对在社区提供日间照料、康复护理、助餐等形式服务的养老机构给予税费减免政策；对符合行业规范的养老机构用电用水用热用气等资源的享受民用价格，保证在源头上减轻养老机构的相关支出。

（三）建立完善养老护理员职业技能等级认定和教育培训制度。

加强对养老机构护工护理人员、管理人员的岗前培训和定期培训，使其掌握养老服务行业法律法规，政策和标准。鼓励普通高校开设健康服务与管理、中医养生学、中医康复学等相关专业。推进职业院校（含技工学校）养老服务实训基地建设。

（四）走居家养老与机构养老相结合的道路

养老产业要形成多元化供给的格局，要为广大老年人提供多元化、多层次、价格合理、方便可及的普惠养老服务，不断发挥市场在养老服务资源配置中的决定性作用。走居家养老和机构养老的道路可以满足不同需求的老人，增强养老服务质量。

（五）养老服务设施规划建议

一方面是功能提升和运作模式关联的空间需求，另一方面是养老服务和医疗卫生融合发展的趋势。在空间引导方面，一个街道着重引导形成一个综合性的社区医养结合服务中心；基于社区层面，围绕居家养老，利用文化活动室，卫生服务站等形成基于居家养老的多功能服务站。

参考文献

- [1] Tang Weihao, Li Yanying, Yu Yang, Wang Zhongyu, Xu Tong, Chen Jingwen, Lin Jun, Li Xuehua. Development of models predicting biodegradation rate rating with multiple linear regression and support vector machine algorithms.[J]. Chemosphere, 2020, 253.
- [2] Sustainability Research - Sustainable Development; Researchers from Peking University Describe Findings in Sustainable Development (Crowdsourcing Logistics Pricing Optimization Model Based On DbSCAN Clustering Algorithm)[J]. Energy & Ecology, 2020.
- [3] 毛秀珍, 章璐杰, 毛天翔, 王友钊, 黄静. 基于 Pearson 相关分析和回归分析方法的基金影响力研究[J]. 浙江理工大学学报(社会科学版), 2017, 38(04): 306-311.
- [4] 房涛, 李洁, 王崇杰, 尹红梅. 基于回归分析的住宅冷热量需求预测模型研究[J]. 建筑科学, 2019, 35(12): 69-75.
- [5] 严进锦, 邬海, 韩斌德. 结核性脓胸术后残腔形成的危险因素多因素 Logistics 回归分析[J]. 中国医学创新, 2020, 17(18): 128-131.
- [6] 陶卓霖, 程杨, 戴特奇, 等. 基于公平最大化目标的 2020 年北京市养老设施布局优化[J]. 地理科学进展, 2015, 34(12): 1609-1616.
- [7] Wang F. Measurement, optimization, and impact of health care accessibility: a methodological review[J]. Annals of the Association of American Geographers, 2012, 102(5): 1104-1112.
- [8] Wang F, Tang Q. Planning toward equal accessibility to services: a quadratic programming approach[J]. Environment and Planning B: Planning and Design, 2013, 40(2): 195-212.
- [9] Somsubhra Gupta, Swati Sinha. Academic Staff planning, allocation and optimization using Genetic Algorithm under the framework of Fuzzy Goal Programming[J]. Procedia Computer Science, 2020, 172.
- [10] 朱林伟. 基于动态交通仿真的高速公路电动汽车充电站多目标规划方法研究[D]. 天津大学, 2018.
- [11] 陈瑞. 社区居家养老服务的现状, 问题与对策研究[J]. 青年与社会: 上, 2015 (6): 180-181.
- [12] 王琼. 城市社区居家养老服务需求及其影响因素---基于全国性的城市老年人口调查数据[J]. 人口研究, 2016, 40(1): 98-112.

附 录

附录一 问题一

1. Matlab 线性回归代码

```
x=[2000:2018];
y1=[28.4711521 38.95540091 33.94260284 47.77791416 44.39047038
50.63591842 53.07508584 62.08458473 66.55592723
64.03556172 71.75619591 76.62823276 83.92588485
81.97586723 89.70530826 97.40575136 103.9372083 107.087498
112.7328148];
y2=[112.7022489 106.8273301 114.8370661 113.6445022
114.7880657 121.7633542 142.270836 130.7720698 140.8212144
138.09121 146.0964071 150.8710104 157.8823036 170.2213442
174.7329554 169.4788125 176.3124547 174.9172921
190.6245719];
y3=[28.67830337 30.19309292 33.05319869 33.89338463
36.25147825 37.69130868 39.17180896 40.858404 43.50435461
44.63530465 46.5040936 48.07179875 50.57435199 51.70415393
53.09450143 55.75619694 57.52132725 59.36663306
60.61381983];
y4=[56.02454476 71.56144992 73.79042244 89.40345876
92.18626351 110.9957987 119.6805116 132.0471987
132.7279604 142.0024725 151.6880671 171.2924822 176.364971
187.5368314 190.7635012 210.7534447 210.8519032
228.8906205 240.5270942];
y5=[18.62045219 20.86370879 22.86911729 25.27374547
26.85824042 30.31428713 31.76302958 34.34934327
35.66325813 38.43728687 41.17139648 43.58109409
44.79697356 46.98206713 48.87760306 51.81016106
54.34101384 56.73244156 58.16870986];
y6=[16.07605691 21.50115545 18.13506424 22.12216951
30.86845513 36.21717551 47.32965775 51.61313872
49.56561191 61.41531167 56.17941636 72.59308692
75.04893829 78.23057131 78.37284776 90.22578392
100.0123178 96.05867309 97.31959289];
y7=[51.10108791 69.82769835 65.49542981 84.89867105
84.68591771 89.71137479 105.6396872 105.8496723
121.4761971 118.9090007 124.6733209 134.2481769 141.795656
156.1949317 156.3066525 164.8573521 172.4474357
187.6282993 191.3656528];
y8=[77.88453836 74.54262859 86.20640831 82.73432662
81.53730675 88.86264068 90.139356 90.86684551 95.30223411
94.49177263 99.92995379 95.55963835 103.3312435
103.5094458 102.613787 102.5946828 110.2465141 101.7474913
112.3691779];
y9=[61.94223837 70.21503207 80.77160859 91.6526937 96.85524131
101.2302654 116.1756584 114.0877612 128.4801892
137.0453273 136.9091429 145.3507899 154.4782027
165.6521939 171.3134424 178.1290927 187.9883524
201.8561327 207.6947959];
```



```

y10=[22.93460148 20.91436145 26.65472251 32.80986364
      39.96739121 41.03776916 53.72774407 60.03400478
      60.04232831 65.95540429 69.90625034 68.4375875 80.72735272
      86.64591813 83.44208802 97.37662925 90.87099098
      99.70856527 103.2615171];
y11=[82.20468326 81.78944175 85.06044482 86.56406903
      86.30264774 86.15218253 88.46355464 88.60774931
      88.69757266 90.1256 89.4349117 90.53848024 93.18198641
      92.83954771 91.37329224 92.63891365 94.40416857
      95.45959633 95.85031638];
y12=[556.6399076 607.1913003 640.8160857 710.7747988
      734.6914781 794.6120752 887.43693 911.1707723 962.8368481
      995.1442523 1034.249156 1097.172378 1162.107865
      1221.492872 1240.595979 1311.026821 1358.933687
      1409.453243 1470.528064];
x1=[2000:2035];
z1=-8988.608+4.509*x1; %玄武区
z2=-9009.441+4.5565*x1; %秦淮区
z3=-3533.205+1.7809*x1; %建邺区
z4=-19848.891+9.953*x1; %鼓楼区
z5=-4410.36968+2.214469*x1; %雨花台区
z6=-9975.6087+4.994*x1; %栖霞区
z7=-14771.266+7.4135*x1; %江宁区
z8=-3546.4336+1.812*x1; %浦口区
z9=-15550.620698+7.807*x1; %六合区
z10=-9444.76877+4.73278*x1; %溧水区
z11=-1337.5806598+0.710*x1; %高淳区
z12=-100416.79555+50.484*x1; %南京市
set(0,'defaultfigurecolor','w')
figure(1)
%玄武区
subplot(3,3,1);
plot(x1,z1);
hold on;
plot(x,y1,'*r');
hold on;
set(gca,'XLim',[2000 2035]);%X 轴的数据显示范围
legend('预测值','真实值','northwest');
title('玄武区老年人口预测');
Xlabel('年份');
Ylabel('老年人口数/千人');
%秦淮区
subplot(3,3,2);
plot(x1,z2);
hold on;
plot(x,y2,'*r');
hold on;
set(gca,'XLim',[2000 2035]);%X 轴的数据显示范围

```

```

legend('预测值','真实值','northwest');
title('秦淮区老年人口预测');
Xlabel('年份');
Ylabel('老年人口数/千人');
%建邺区
subplot(3,3,3);
plot(x1,z3);
hold on;
plot(x,y3,'*r');
hold on;
set(gca,'XLim',[2000 2035]);%X 轴的数据显示范围
legend('预测值','真实值','northwest');
title('建邺区老年人口预测');
Xlabel('年份');
Ylabel('老年人口数/千人');
%鼓楼区
subplot(3,3,4);
plot(x1,z4);
hold on;
plot(x,y4,'*r');
hold on;
set(gca,'XLim',[2000 2035]);%X 轴的数据显示范围
legend('预测值','真实值','northwest');
title('鼓楼区老年人口预测');
Xlabel('年份');
Ylabel('老年人口数/千人');
%雨花台区
subplot(3,3,5);
plot(x1,z5);
hold on;
plot(x,y5,'*r');
hold on;
set(gca,'XLim',[2000 2035]);%X 轴的数据显示范围
legend('预测值','真实值','northwest');
title('雨花台区老年人口预测');
Xlabel('年份');
Ylabel('老年人口数/千人');
%栖霞区
subplot(3,3,6);
plot(x1,z6);
hold on;
plot(x,y6,'*r');
hold on;
set(gca,'XLim',[2000 2035]);%X 轴的数据显示范围
legend('预测值','真实值','northwest');
title('栖霞区老年人口预测');
Xlabel('年份');

```

```

Ylabel('老年人口数/千人');

figure(2)
%江宁区
subplot(3,3,1);
plot(x1,z7);
hold on;
plot(x,y7,'*r');
hold on;
set(gca,'XLim',[2000 2035]);%X 轴的数据显示范围
legend('预测值','真实值','northwest');
title('江宁区老年人口预测');
Xlabel('年份');
Ylabel('老年人口数/千人');
%浦口区
subplot(3,3,2);
plot(x1,z8);
hold on;
plot(x,y8,'*r');
hold on;
set(gca,'XLim',[2000 2035]);%X 轴的数据显示范围
legend('预测值','真实值','northwest');
title('浦口区老年人口预测');
Xlabel('年份');
Ylabel('老年人口数/千人');
%六合区
subplot(3,3,3);
plot(x1,z9);
hold on;
plot(x,y9,'*r');
hold on;
set(gca,'XLim',[2000 2035]);%X 轴的数据显示范围
legend('预测值','真实值','northwest');
title('六合区老年人口预测');
Xlabel('年份');
Ylabel('老年人口数/千人');
%溧水区
subplot(3,3,4);
plot(x1,z10);
hold on;
plot(x,y10,'*r');
hold on;
set(gca,'XLim',[2000 2035]);%X 轴的数据显示范围
legend('预测值','真实值','northwest');
title('溧水区老年人口预测');
Xlabel('年份');
Ylabel('老年人口数/千人');

```

```

%高淳区
subplot(3,3,5);
plot(x1,z11);
hold on;
plot(x,y11,'*r');
hold on;
set(gca,'XLim',[2000 2035]);%X 轴的数据显示范围
legend('预测值','真实值','northwest');
title('高淳区老年人口预测');
Xlabel('年份');
Ylabel('老年人口数/千人');
%南京市
subplot(3,3,6);
plot(x1,z12);
hold on;
plot(x,y12,'*r');
hold on;
set(gca,'XLim',[2000 2035]);%X 轴的数据显示范围
legend('预测值','真实值','northwest');
title('南京市老年人口预测');
Xlabel('年份');
Ylabel('老年人口数/千人');

```

2. Logistics 回归代码

```

%logistics 回归（玄武区人口模型）
x1=[28.4711521 38.95540091 33.94260284 47.77791416 44.39047038
    50.63591842 53.07508584 62.08458473 66.55592723
    64.03556172 71.75619591 76.62823276 83.92588485
    81.97586723 89.70530826 97.40575136 103.9372083 107.087498
    112.7328148];
t1=[2000:2018];
t0=t1(1);
x0=x1(1);
fun=@(cs,td)cs(1)./(1+(cs(1)/x0-1)*exp(-cs(2)*(td-t0)));%S 型曲线方程 这里为增
长速率越来越小
%最后为零 故函数一直增长直到固定值（不会下降）
cs=lsqcurvefit(fun,rand(2,1),t1(2:end),x1(2:end),zeros(2,1))%确定参数
year=[2000:2035];%%横坐标范围为 2000-2035
predict=[2019:2035];%求预测值
xhat=fun(cs,year);
pre=fun(cs,predict);
plot(year,xhat);
hold on;
plot(t,x,'*r');
hold off;
set(gca,'XLim',[2000 2035]);%X 轴的数据显示范围
legend('预测值','真实值','northwest');

```

```

title('鼓楼区老年人口预测');
Xlabel('年份');
Ylabel('老年人口数/千人');

```

3. 比较验证代码

```

x=[2000:2018];
y1=[28.4711521 38.95540091 33.94260284 47.77791416
44.39047038 50.63591842 53.07508584 62.08458473
66.55592723 64.03556172 71.75619591 76.62823276
83.92588485 81.97586723 89.70530826 97.40575136
103.9372083 107.087498 112.7328148];
x1=[2000:2035];
z1=-8988.608+4.509*x1; %玄武区
set(0,'defaultfigurecolor','w')
%玄武区
plot(x1,z1,':');
hold on;
plot(x,y1,'*k');
hold on;

%logistics 回归（玄武区人口模型）
x=[28.4711521 38.95540091 33.94260284 47.77791416
44.39047038 50.63591842 53.07508584 62.08458473
66.55592723 64.03556172 71.75619591 76.62823276
83.92588485 81.97586723 89.70530826 97.40575136
103.9372083 107.087498 112.7328148];
t=[2000:2018]';
t0=t(1);
x0=x(1);
fun=@(cs,td)cs(1)./(1+(cs(1)/x0-1)*exp(-cs(2)*(td-t0)));%S 型曲线方程 这里为
增长速率越来越小
%最后为零 故函数一直增长直到固定值（不会下降）
cs=lsqcurvefit(fun,rand(2,1),t(2:end),x(2:end),zeros(2,1))%确定参数
year=[2000:2035];%%横坐标范围为 2000-2035
predict=[2019:2035];%求预测值
xhat=fun(cs,year);
pre=fun(cs,predict);
plot(year,xhat,'r');
hold on;
plot(t,x,'*k');
hold off;
set(gca,'XLim',[2000 2035]);%X 轴的数据显示范围
legend('线性预测值','真实值','Logistics 预测值');
title('玄武区老年人口预测值比较');
Xlabel('年份');
Ylabel('老年人口数/千人');

```

4. 老年人口预处理数据

表 1 2000-2018 年及南京市及各区老年人口数(/千人)

地区	玄武区	秦淮区	建邺区	鼓楼区	雨花台区	栖霞区
2000	38.9554	106.8273	30.1930	71.5614	20.8637	21.5011
2001	33.9426	114.8370	33.0531	73.7904	22.8691	18.1350
2002	47.7779	113.6445	33.8933	89.4034	25.2737	22.1221
2003	44.3904	114.7880	36.2514	92.1862	26.8582	30.8684
2004	50.6359	121.7633	37.6913	110.9957	30.3147	36.2171
2005	53.0750	142.2708	39.1718	119.6805	31.7630	47.3296
2006	62.0845	130.7720	40.8584	132.0471	34.3493	51.6131
2007	66.5559	140.8212	43.5043	132.7279	35.6632	49.5656
2008	64.0355	138.0912	44.6353	142.0024	38.4372	61.4153
2009	71.7561	146.0964	46.5040	151.6880	41.1713	56.1794
2010	76.6282	150.8710	48.0717	171.2924	43.5810	72.5930
2011	83.9258	157.8823	50.5743	176.3649	44.7969	75.0489
2012	81.9758	170.2213	51.7041	187.5368	46.9820	78.2305
2013	89.7053	174.7329	53.0945	190.7635	48.8776	78.3728
2014	97.4057	169.4788	55.7561	210.7534	51.8101	90.2257
2015	103.9372	176.3124	57.5213	210.8519	54.3410	100.0123
2016	107.0874	174.9172	59.3666	228.8906	56.7324	96.0586
2017	112.7328	190.6245	60.6138	240.5270	58.1687	97.3195
2018	28.4711	112.7022	28.6783	56.0245	18.6204	16.0760

表 2 2000-2018 年及南京市及各区老年人口数(/千人)

地区	江宁区	浦口区	六合区	溧水区	高淳区	全市
2000	51.1010	77.8845	61.9422	22.9346	82.2046	556.6399
2001	69.8277	74.5426	70.2150	20.9143	81.7894	607.1913
2002	65.4954	86.2064	80.7716	26.6547	85.0604	640.8160
2003	84.8986	82.7343	91.6526	32.8098	86.5640	710.7748
2004	84.6859	81.5373	96.8552	39.9673	86.3026	734.6914
2005	89.7113	88.8626	101.2302	41.0377	86.1521	794.6120
2006	105.6396	90.1393	116.1756	53.7277	88.4635	887.4369
2007	105.8496	90.8668	114.0877	60.0340	88.6077	911.1707
2008	121.4762	95.3022	128.4801	60.0423	88.6975	962.8368
2009	118.9090	94.4917	137.0453	65.9554	90.1256	995.1442
2010	124.6733	99.9299	136.9091	69.9062	89.4349	1034.2496
2011	134.2481	95.5596	145.3507	68.4375	90.5384	1097.1723
2012	141.7956	103.3312	154.4782	80.7273	93.1819	1162.1078
2013	156.1949	103.5094	165.6521	86.6459	92.8395	1221.4928
2014	156.3066	102.6137	171.3134	83.4420	91.3732	1240.5959
2015	164.8573	102.5946	178.1290	97.3766	92.6389	1311.0268
2016	172.4474	110.2465	187.9883	90.8709	94.4041	1358.9336
2017	187.6283	101.7474	201.8561	99.7085	95.4596	1409.4532
2018	191.3656	112.3691	207.6948	103.2615	95.8503	1470.5280

附录二 问题二

1. 小区爬虫程序

```
headers = {
    'Referer': 'http://nj.lianjia.com/',
    'User-Agent': "Mozilla/5.0 (Windows NT 10.0; Win64; x64)
AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/58.0.3029.110 Safari/537.36",
}
# 存储小区列表
xiaoqu_list_all = []
# 存储小区建造时间
build_time_list_all = []
def xiaoqu_spider(url, i):
    try:
        print('-----正在爬取第{}页-----'.format(i))
        response = requests.get(url, headers=headers)
        selector = etree.HTML(response.text)
        xiaoqu_list =
selector.xpath('//ul[@class="listContent"]//li//div[@class="title"]/a/text()')
        xiaoqu_list_all.extend(xiaoqu_list)
        xiaoqu_build =
selector.xpath('//ul[@class="listContent"]//li//div[@class="positionInfo"]/text()')
        build_time_list = []
        for build_time in xiaoqu_build:
            # 如果小区的时间未知，则添加未知标签即可
            if "未知" in build_time:
                build_time_list.append("未知时间")
                continue
            build_time_int = re.findall(r"\d+", build_time)
            if build_time_int != []:
                build_time_list.append(build_time_int[0])
        build_time_list_all.extend(build_time_list)

    except Exception as e:
        print("出错:", e)
        sys.exit(1)
for i in range(1, 15):
    url = "https://nj.lianjia.com/xiaoqu/pg{}rs 高淳区/".format(i)
    xiaoqu_spider(url, i)
    time.sleep(1)
# 将总的结果保存到 excel 中
df = pd.DataFrame({"小区名称": xiaoqu_list_all, "建成时间": build_time_list_all})
file_name = "/Users/yaokaiming/Desktop/南京市各小区数据/高淳区/高淳区数据汇总.xlsx"
df.to_excel(file_name, index=False)
```

2. 高德地图 API 坐标拾取程序

```
import requests
```

```

path = "result.txt"
with open(path, encoding="utf-8") as fp:
    for line in fp.readlines():
        paraeters = {'address': line, 'key': 'xxxxxxxxxxx'}
        url = 'https://restapi.amap.com/v3/geocode/geo?parameters'
        res = requests.get(url, paraeters)
        ans = res.json()
        location = ans['geocodes'][0]['location']
        print(location)

```

3. 高德地图 API 坐标点距离和公共交通出行时间程序

```

def get_distance_and_time(origin, destination):
    origin = origin
    destination = destination
    result = []
    result.append(origin)
    result.append(destination)

    parameters = {"key":
"eae045907dd0243e13bee8314c74f0cc", "origin": "", "destination": "", "city": "南京",
"extensions": "base"}
    parameters["origin"] = origin
    parameters["destination"] = destination
    url = "https://restapi.amap.com/v3/direction/transit/integrated?parameters"
    res = requests.get(url, parameters)
    ans = res.json()
    try:
        distance = ans['route']['distance']
    except:
        distance = "unknown"
    try:
        mes = ans['route']['transits'][1]['duration']
    except:
        mes = " unknown "
    result.append(distance)
    result.append(mes)
    return result

```

4. 基于经济效益最优的目标规划模型代码

```

min=250*x1+1250*x2+2400*x3+4800*x4+7500*x5;
10*x1+50*x2+80*x3+120*x4+150*x5<=232;
2*x1+8*x2+20*x3+30*x4+45*x5>=232*(1/6);
-0.2*10*(3300-1200)*x1+0.4*50*(3300-2400)*x2+80*(3300-3600)*x3-0.4*120
*(3300-4000)*x4-0.2*150*(3300-5000)*x5>=0;
@gin(x1);
@gin(x2);
@gin(x3);
@gin(x4);
@gin(x5);
a=664;

```