基于多元评价方法的呼和浩特地铁交通建设问题

摘　要

呼和浩特市目前有两条地铁线路，但由于城市人口密度小地铁交通发展处于探索期，故需要对其地铁交通情况进行讨论。基于此，从附件给出的站点位置与流量数据出发，综合使用多种分析方法对问题进行讨论和建模。

对于问题一，使用时间序列方法与统计方法，分析每一班地铁容纳人数的最大值与候车人数的最大值从而确定车厢节数，并利用交通工程中的流量模型对高峰-平峰-低峰期发车时间间隔进行建模。最后，通过 ARIMA 时间序列模型生成了一系列较为合理的流量预测数据，并在预测数据上检验了改进方案的合理性。

对于问题二，从工程管理与城市建设的角度，分析有十二项指标是影响地铁站选址的，对其中每一项指标都进行了量化建模。然后根据其相对重要性，使用层次分析法进行求解，最后得到了每一项指标的相对权重。另外，地铁的收益与乘客的平均乘坐距离有关，可以抽象为一个规划问题并利用遗传算法求解。

对于问题三，分析每一日的乘坐高峰期，对高峰区域进行推前或者滞后，得到相对良好的模拟结果。

对于问题四，基于图论方法的赫夫曼树模型求解出了在公交线路建设中的几个重要节点，并将其可视化为公交线路图。对于公交线路图的合理性，从交通的角度又进行了再分析，并给出线路对应的关键位置。

总体而言，多种模型分析方法结合能够在一定程度上对存在的问题进行改进，其分析结果有一定参考价值。

关键词：ARIMA 模型，层次分析法，规划问题，图论方法

目　录

一、 问题重述

在这个飞速向前发展的时代，我国也向世界展示了中国速度。大陆地区目前有一些城市地铁客运系统已相当完善，如北京市，武汉市等，也有许多城市都将地铁建设纳入了城市长远发展规划中，如大连市，南昌市等。但对于其他一些常住人口相对较少但交通道路较为拥堵的城市，如呼和浩特市，由建造地铁所带来的高昂的建设成本、后期运营成本及便民的收费标准，并且一些线路还存在一定规模的亏损，导致其建设过程十分困难。目前呼市只有地铁 1 号线与 2 号线两条线路正在运营中，所以我们要根据 2020 年 9 月份的前两周的数据并结合人们工作时间，疫情防控等多重因素来进行建模，从而分析目前发车方案的合理性，并对现有方案的缺点进行一定程度上的改进，比如在地铁站点的选址方面，在不同站点工作人员的上下班时间制定方面，在新增一定数量的和地铁线路互补的公交线路方面等等，从而达到既提高人们的出行效率又使地铁运营成本最低化的目的。

二、 问题分析

2.1 问题一的分析

为了使分析方案的合理性足够强，需要对每个时间段车内人数最多的情况进行统计分析。由于最末一班车是晚上十点发车，最后一条记录在 22：45，说明每一班车是 1 小时一个循环。我们统计一个小时内车内人数最多的时刻进行统计分析即可。而对于发车时间间隔，我们使用候车人数与流量关系进行建模。

2.2 问题二的分析

由附件 1 中数据作出呼和浩特市 1 号地铁线与 2 号地铁线的分布图，并综合附件 2 中每站进站人数与出站人数，我们利用层次分析法计算并对其根据人数来对地铁选址进行再一步划分，这样可以保证会有更多的居民会选择地铁出行。同时我们根据呼和浩特市近一段时间的盈亏情况和结合该市自身特点来利用时间序列 ARIMA 模型来预测为了达到盈利的目的，每天乘坐地铁的人数。

2.3 问题三的分析

为了在疫情期间实现错峰出行，我们根据附件 2 中数据对原来两条地铁线的每站进站出站人数作统计图，得到工作日与休息日时不同站的人流量，对一些人流量较大的站点，我们结合其前后几个站的人数，以最小范围内的时间变动和最大程度的人员疏散的原则综合拟定了这些站点的工作人员的上下班时间，尽量减少了在高峰时期出行的人数，向平峰目标靠拢。

2.4 问题四的分析

综合考虑到公交与地铁客运形式的不同，我们采取与问题二类似但不完全相同的算法进行分析计算。设计出陆上几个公交站点与公交线路，然后从收益和出行效率两方面均进行分析，得到最优结果。

三、 模型假设

1. 假设各周的乘车人数与附件 2 中的乘车人数不存在显著性差异。即附件 2 中 2020 年 9 月 1 日至 2020 年 9 月 14 日的数据就能代表其他时间段的人流情况。

2.假设在研究时间段内不会有小概率事件发生。即排除掉自然灾害等极小概率事件，附件中数据均为日常正常情况下的人流量。

四、 符号说明

表 1　符号说明与解释

符号	说明	单位
k	人流密度	/
v	发车速率	km/h
q	人流量	人
α	变动系数	/
E	乘客平均乘坐的距离	km
u	每公里的票价	元

其他未列入表格的符号以文中释义为准。

五、 模型的建立与求解

5.1 问题一模型的建立与求解

5.1.1 模型的建立

由于需要考虑整条线路列车车厢的容客率，所以我们初始时就只简单的对所有进站人数进行累加，判断 6 节每节能容纳 400 人次的车厢的合理性。并由时间序列 ARIMA 模型来对发车间隔作了重新的划分，并预测了未来的工作日和休息日的人流量与容客率，将新旧两种方案进行了对比分析。

5.1.2 模型的求解

①对于寻找最优车厢数量：

由于最后一班车 22：00 发车，22：45 是最后一条记录，所以说明每一班车的行驶时间为一个小时。我们将这一个小时内所有站台的上车人数减去下车人数，然后对此结果进行改良求和，即求得这一小时内什么时候在哪个站台上车时车内人数最多。改良求和的表达式如下所示

$$S=\max(S_i),\ S_i=\sum_{k=1}^{i}(P_{on}-P_{off}) \tag{1}$$

并由结果绘制出以下图像

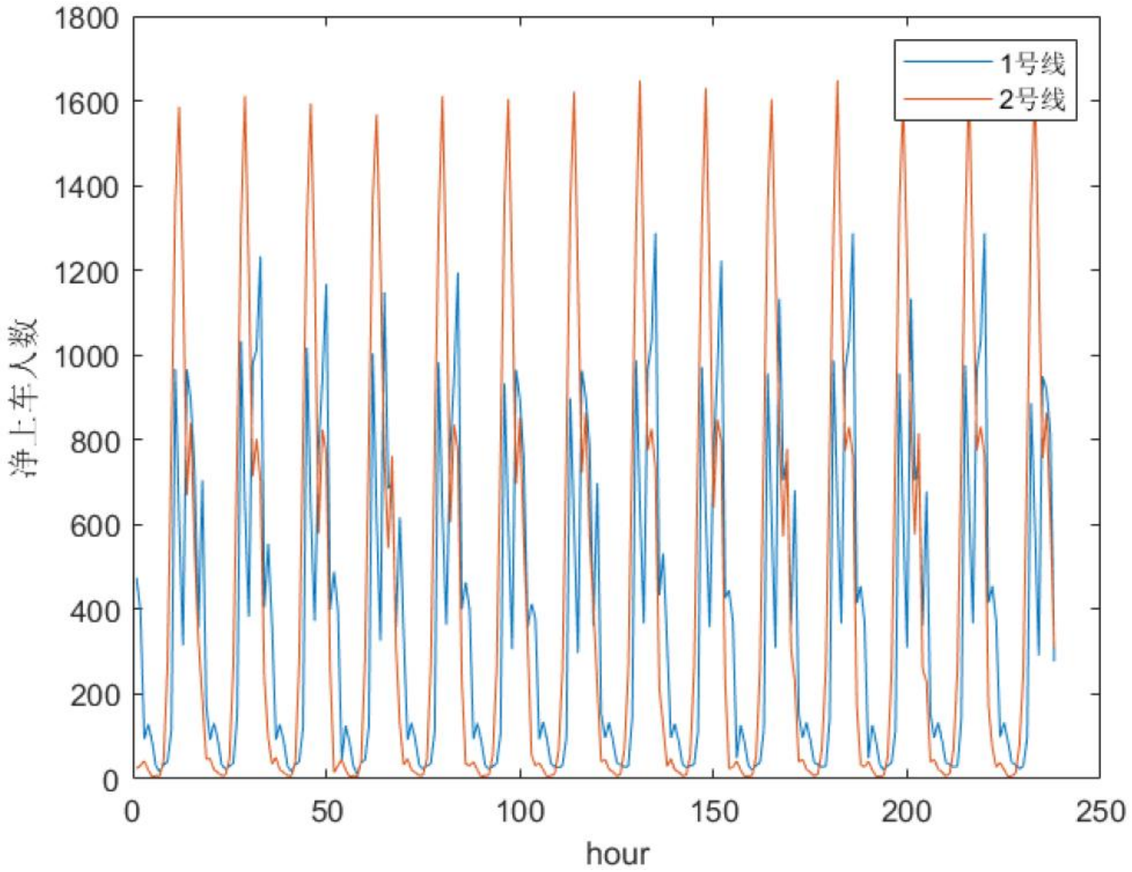

图 1　净上车人数与地铁线路时间的关系图

由此可见 1 号线 1 小时内净增长人数最大不会超过 1288 人，所以我们认为最多只需要 4 节车厢就足够了。而 2 号线最大值大一些，达到 1648 人，所以可能需要 5 节车厢。我们认为对于原来规划的 6 节车厢，其实是有浪费的。

②对于发车间隔时间的确定：

以候车人数作为标准划分高峰、低峰和平峰，我们定义超过平均值+标准差的数据为高峰，而低于平均值+标准差的数据即为低峰。从候车人数的角度来看，人数越多，则时间需越密集。我们考虑交通运输过程中的流量公式

$$q = vk \tag{2}$$

其中 k 为人流密度，近似用候车人数来进行描述，v 为速率，近似为发车频率，即 1 小时内经过多少趟车。若保持地铁的流量均匀，则正常情况下发车频率与人流密度成正比。若控制平峰期的时间间隔为 6 分钟，则 1 小时可以有 10 次，则两条线路的高峰人数：平峰人数：低峰人数的比值分别为

1 号线 4247.6：3052.2：1796.8

2 号线 5073.0：3272.9：1665.5

高峰时间：平峰时间：低峰时间分别为

1 号线 4.31：6.00：10.19 分钟，

2 号线 3.87：6.00：11.79 分钟

如果允许地铁的流量保持一定程度的上升或者下降。则记变动系数 $\alpha\in[0,1]$，当处于低峰期时可以设

$$q=\alpha\ v\ k,\ \alpha\in[0,1] \tag{3}$$

如果是高峰期，则可以设

$$q=\frac{vk}{\alpha},\ \alpha\in[0,1] \tag{4}$$

分别作出地铁 1 号线与 2 号线的图像如下所示

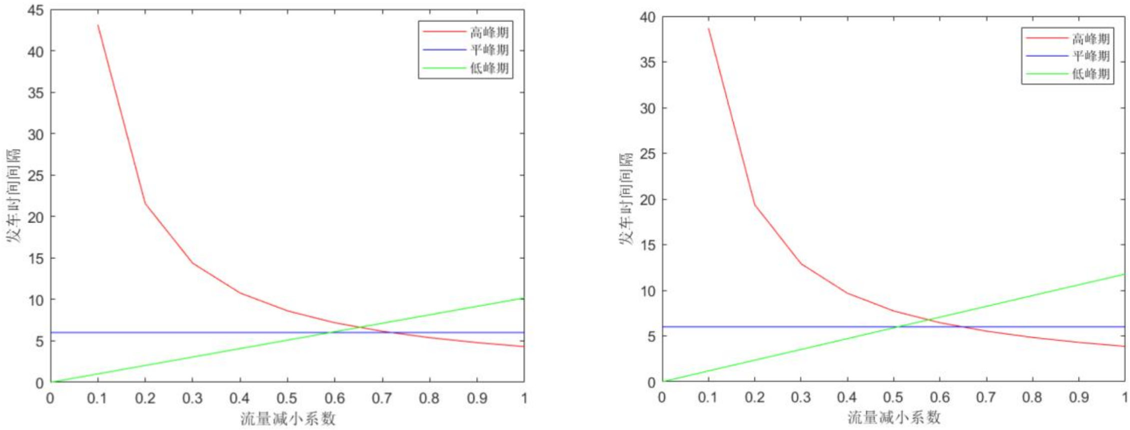

图 2　1 号线（左）与 2 号线的发车间隔图像

若使用时间序列 ARIMA 模型来进行预测，我们可以预测接下来 3 天内每个小时的候车人数。

ARIMA 模型包含 3 个部分，即自回归（AR）、差分（I）和移动平均（MA）三个部分。对其每一个部分，都有其递推公式定义。

（1）自回归模型：

对于 p 阶自回归模型（AR），其递推公式形如：

$$y_t=\mu+\sum_{i=1}^{p}\alpha_i y_{t-i}+\varepsilon_t \tag{5}$$

（2）移动平均模型：

对于 q 阶移动平均模型（MA），其递推公式形如：

$$u_t=\varepsilon_t+\sum_{i=1}^{q}\beta_i\varepsilon_{t-i}+\nu \tag{6}$$

（3）差分模型：

$$
\begin{aligned}
\nabla^{(1)} y_t &= y_t - y_{t-1} \\
\nabla^{(d)} y_t &= \nabla^{(d-1)} y_t - \nabla^{(d-1)} y_{t-1}
\end{aligned} \tag{7}
$$

即由自回归模型阶数 p、差分阶数 d 和移动平均阶数 q 就可以确定 ARIMA 模型的基本形式，我们将其简记为 ARIMA(p,d,q)

$$
y_t = \sum_{i=1}^{p} \alpha_i \nabla^{(d)} y_{t-i} + \sum_{i=1}^{q} \beta_i \varepsilon_{t-i} + \varepsilon_t \tag{8}
$$

这一模型具有一些特有性质，例如自相关性、白噪声和平稳性。为了探索模型的最优参数(p,d,q)，我们通过 AIC 准则寻优，对 1 号线的后车人数数据进行了建模。我们最终选取的模型为 ARIMA(6,1,5)。

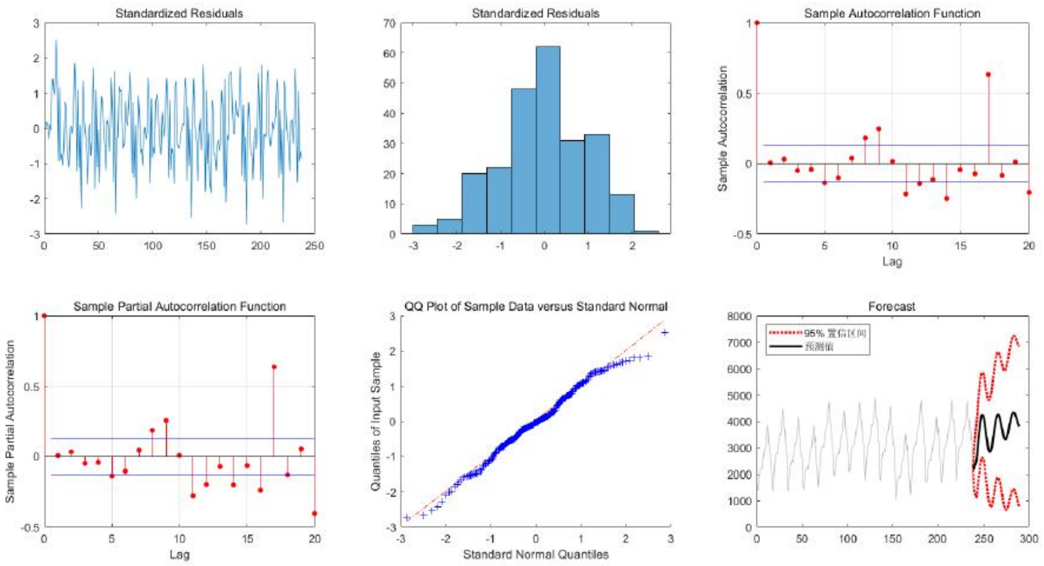

图 3　1 号线使用 ARIMA 预测的结果分析

图 3 为 ARIMA(6,1,5)的测试结果。第一幅图是每个点的残差图，第二幅图是残差的统计分布直方图，可以看到误差近似于分布在 0 左右，说明噪声确实是白噪声。第三幅图是自相关图，第四幅图是偏自相关图，它们常用于判断时间序列的平稳性。经观察，可以推知其满足平稳性。第五幅图是 QQ 图，用于描述理论分布和实际值的偏差，可以看到大部分点都分布在理论值附近（红线），说明它满足基本的统计规律（正态性）。第 6 幅图为预测结果，为了充分考虑到结果的可信度问题，我们还纳入了 95%置信区间进行分析。

最终预测的结果很明显，没有超过原始的最大值，所以 4 节车厢是够用的。而对于高峰期的平均候车人数，它是低于原有平均值的，所以我们即使控制高峰期流量与平峰期相等，以 4.31 分钟作为发车时间是能够保障乘客的出行便利的。低峰期候车人数比原有水平略高，所以可能需要将其略微缩短至 8.92 分钟左右。

那么按照类似的方法，可以得到 2 号线的 ARIMA 测试结果如图 4 所示。我们发

现 2 号线的最优参数为 ARIMA(5,1,4)，不过其误差的统计分布相比于 1 号线略显不均匀，不过从第 5 幅图看来也服从基本的正态性规律。最终的预测结果相对更加平稳一些，高峰期-平峰期-低峰期的发车时间应该比较相近。这一点可能是由于 ARIMA 模型的误差导致。按照原有方案在一定程度上也能保证流量的均匀。

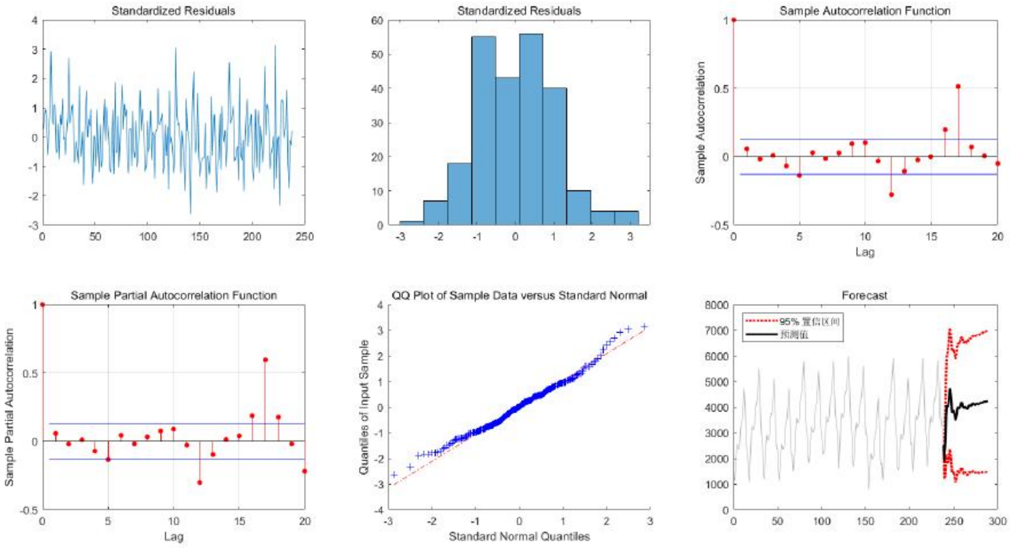

图 4　2 号线使用 ARIMA 预测的结果分析

5.2 问题二模型的建立与求解

5.2.1 模型的建立

在原来的地铁 1 号线与 2 号线两条线路的基础上，我们根据其中站点的人流量来进行归类，在考虑建造后续地铁时我们综合考虑地址之间的距离，与原地铁线路尽量不重复等因素，使用层次分析方法进行计算，得到了选择了一些合适的地址。

城市地铁站位设置方案的比选结果，不仅要满足线路规划功能要求，还需满足技术和经济上的要求。备选方案中各指标设定需要综合考虑其确定性和不确定性因素，构建可直接量化指标集合。这里我们尝试构建交通选址模型中的常见指标如表 2：

表 2　交通选址模型的常用指标：

方案层	准则层	指标层
方案 P	协调性	城市发展协调性
		地铁线路规划协调性
		其他交通方式协调性
	经济性	工程投资
		拆迁工程量
		可带动经济效益
		站点负荷强度
	交通功能性	平均出行时间
		运能匹配度
		客流断面均衡系数
	可实施性	工程建设难度
		对周边环境影响

接下来我们考虑将其量化：

（1）与城市发展规划的协调性用来表述城市地铁站位位置的占地面积与城市土地规划的协调性，通常用地铁站位的规划面积 S_1 与城市总规划中该位置相应性质用地 S_2 重合的面积比表示，即

$$I_1 = \frac{S_1}{S_2} \tag{9}$$

（2）与地铁路网规划的协调性用于描述地铁站位选址的位置与路网规划的协调性，可通过整个路网内不同车站负荷的均衡度来衡量[10]：

$$I_2 = 1 - \sqrt{\sum_{k=1}^{K}\left[G_k \frac{(F_k - \lambda_k)}{\lambda_k \sum_{k=1}^{K} G_k}\right]} \tag{10}$$

这里 K 为路网中总车站数量，k 表示单个车站，F_k 和 G_k 分别为第 k 个站位在高峰小时的负荷度和客流量；λ_k 为第 k 个站位高峰时间段内的平均负荷度；I_2 越小，表示各站位的负载越均衡。

（3）其他交通方式的协调性表示地铁与公交等换乘是否便捷，可采用加权平均时间确定，即[11]：

$$I_3 = \sum_{m=1}^{M} \frac{P_m T_m}{\sum_{j=1}^{M} P_j} \tag{11}$$

这里 T_m 为地铁与第 m 种交通方式的平均换乘时间;P_m 为该站位的预计旅客换乘量。I_3 越小，表明该站位与其他交通方式的协调性越好。

（4）工程投资主要包括征地费、拆迁费、建设费以及其他费用，其数值越小越好，数值大小以专家预测的绝对数值为准。

（5）拆迁工程量表示需要迁移或拆除有碍于地铁车站建设的自然景观、人文建筑或其他设施，数值大小可通过实地测量和计算拆迁建筑物的总面积来衡量。

（6）可带动经济效益主要考虑两个影响因素，一是所选车站地址与该区域的商业中心的距离；二是车站沿新线方向与城市中心的距离。根据经验公式可建立利益理论计算模型为[12]:

$$I_6 = 0.123\ln(x_{k1}) - 0.55\ln(x_{k2}) + 0.17 \tag{12}$$

两个距离分别表示车站距离市中心和区域中心的距离。

（7）客流吸引能力用来描述站位的客流吸引能力，可以换算为站位位置主要邻接客流集散点的距离，可由地铁站与各个集散点间的加权距离表示[13]:

$$I_7 = \sum_{m=1}^{J} \frac{Q_m L_m}{\sum_{j=1}^{J} Q_j} \tag{13}$$

其中 Q_m 为客流量，L 为距离。

（8）平均出行时间主要反映旅客乘坐地铁的总出行时间，主要以由地铁与其他交通站点换乘的加权平均时间表示，可表示为[14]:

$$I_8 = \sum_{n=1}^{N} \frac{\mu_n T_m}{\sum_{j=1}^{N} \mu_n} \tag{14}$$

其中 μ 为该站点的交通换乘量，T 为出行时间。

（9）运能匹配度用来描述高峰时间段内，该地铁站的客流量与其他交通方式客运能力的匹配程度。如果小于 1，说明地铁站位的设置与本区域其他交通方式之间 匹配性很好；反之则说明该地铁站集散的客流量超出与其衔接的交通方式的运送能力，两者之间的协调性需要进一步完善。可表示为[15]:

$$I_9 = \frac{D}{\sum_{s=1}^{S} C_s P_s} \tag{15}$$

式中：D 表示地铁站在高峰时间段内集散的客流量；S 为其他交通方式种类；C_S 为邻接的第 s 种交通方式的客运能力;P_s 为第 s 种交通方式的权重.

（10）客流断面不均衡系数用来表示客流特性，不均衡系数越小，则表示该站位负荷均匀，其分布合理．该系数的下限一般取值为 1.0，上限可根据实际情况取值为 2.5 及以上[16]。

（11）工程建设难度是工程可实施性的重要指标，可衡量地铁车站建设中的技术难点和工程风险，可以根据专家经验进行打分确定。

（12）对周边环境影响可分为自然环境和社会环境，地铁站位设置对自然环境影

响主要是对城市布局的分割影响以及对周围景观的破坏程度；对社会环境影响主要是指给社会经济以等方面带来的影响，相关数据可通过发放调查表的方式获取[17]。

5.2.2 模型的求解

进行量化以后，我们考虑通过层次分析法构建评价准则模型。层次分析法是一种解决多目标的复杂问题的定性与定量相结合的决策分析方法。该方法将定量分析与定性分析结合起来，用决策者的经验判断各衡量目标之间能否实现的标准之间的相对重要程度，并合理地给出每个决策方案的每个标准的权数，利用权数求出各方案的优劣次序，比较有效地应用于那些难以用定量方法解决的课题。

层次分析法的第一步是考虑这些指标的重要程度并进行比较排序，这一步带有一定主观性，代存杰等人通过三角模糊数-集分析，将这 11 项指标的权重进行了排序，顺序如下：$I_1>I_3>I_2>I_{10}>I_4>I_9>I_8>I_7>I_6>I_5>I_{11}>I_{12}$。

我们可以构建权重矩阵：

$$\begin{cases} a_{ij}=\dfrac{1}{a_{ji}} \\ a_{ij}=a_{ik}a_{kj} \\ a_{:1}=[1,3,2,10,4,9,8,7,6,5,11,12] \end{cases} \tag{16}$$

其中，元素值越大表示两两相比第一项更重要的程度。定义一致性指标：

$$CI=\frac{\lambda-n}{n-1} \tag{17}$$

一致性指标越接近 0 则一致性越好。那么为了衡量 CI 的相对大小，削弱主观因素的影响，引入随机一致性指标 RI（常数表格）。然后计算：

$$CR=\frac{CI}{RI} \tag{18}$$

若 CR 小于 0.1，则通过检验。最终我们的权重矩阵结果为 CR=0.0013，通过检验，各指标的权重系数分别为[0.0128114，0.0256228，0.0384342，0.05195652，0.06405699，0.07686839，0.08967979，0.10249119，0.11530259，0.12811398，0.14092538，0.15373678]。

然后考虑票价的问题。假设成本中包含一个固定成本，然后可变成本与发车时间间隔和车厢长度有关：

$$Cost=knt+C \tag{19}$$

通过第一问的求解，我们已经可以将车厢长度降低，然后对客流量的衡量可以估算出平均发车时间间隔。再来考虑收益，收益可以表达为：

$$Gain = pkEu \tag{20}$$

其中，E 为乘客平均乘坐的距离，k 为公里数，u 为每公里的票价。经过查询资料，我们发现呼和浩特的地铁票价可以表示为图 5：

乘坐里程	票价
0-5千米	2元
5-10千米	3元
10-15千米	4元
15-21千米	5元
21-28千米	6元
28千米以上	每10千米增加1元

注：成人带领一名身高不满1.3米儿童乘车时，儿童免票，按照“儿童在前，成人在后”刷卡通过闸机。带领两名及以上身高不满1.3米的儿童乘车时，一名儿童免票。

图 5　呼市地铁收费标准

那么难题为如何估计乘客平均乘坐的距离。我们将这一问题抽象为一个线性规划问题，目标函数为在某一阶段所有乘客乘坐距离之和，在这一问题中没有不等条件只有等式限制：

$$\max\ J = \sum_{i=1}^{M} \sum_{j=1}^{M} s_{ij} n_{ij}$$

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{M} n_{k,i} = Out(i) \\ \sum_{i=1}^{M} n_{i,k} = In(i) \end{cases} \tag{21}$$

我们经过数据的预处理以后利用遗传算法求解，最终可以得到，当一日乘坐地铁人数至少需要达到 54481.7 人次时不会亏损。使用粒子群算法求解的结果并不收敛。

遗传算法的迭代图像如图 6 所示：

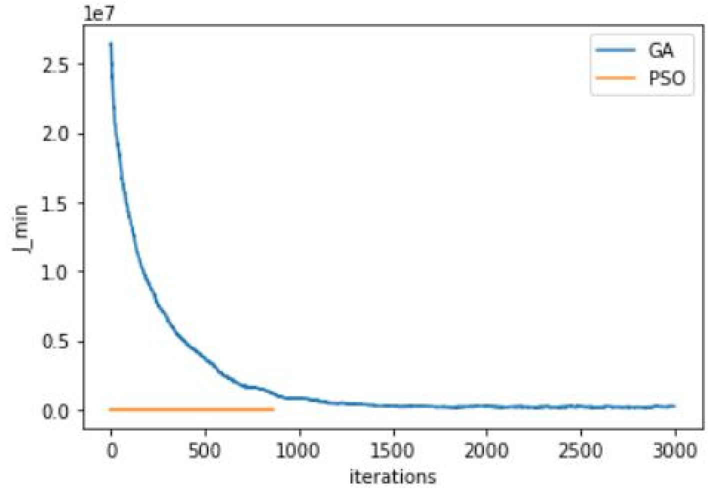

图 6　遗传算法的迭代图像

5.3 问题三模型的建立与求解

5.3.1 模型的建立

考虑到疫情仍持续一段时间，我们对一些人流量较大的站点附近的工作人员的工作时间做了微调，在保证原来工作时间尽量不变的前提下，来最大限度的减少人流的高峰期，减缓地铁交通压力。

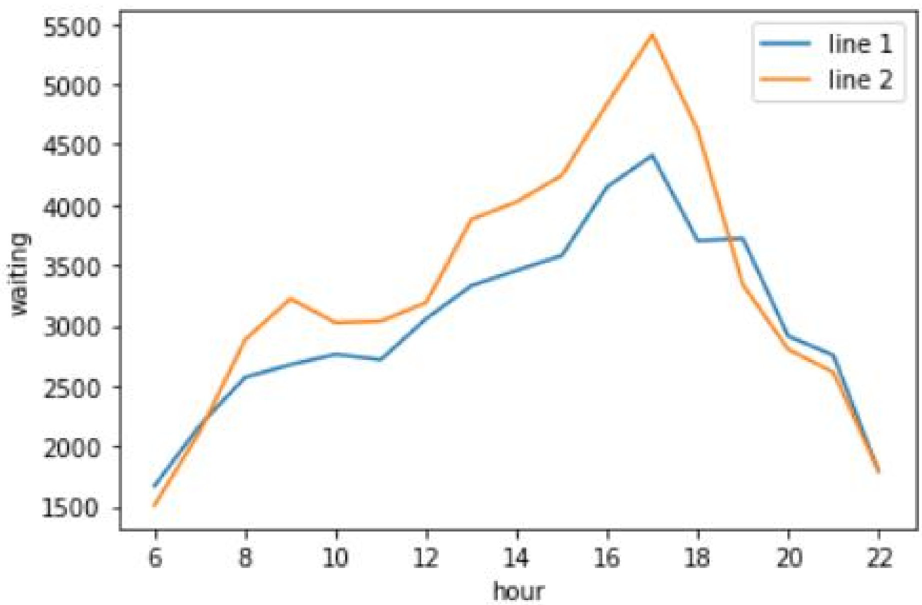

图 7　每天每个小时的平均乘车人数

很明显可以从图 7 中观察到，乘车人数集中分布在 16 到 18 点，这一阶段上班族下班，中小学生放学。我们可以进行错峰，将 9 点左右的第一个小高峰错到八点，13 点处的第二个增长提前到 12 点，16 点的高峰提前至 15 点，18 点的高峰推迟至 20 点，即可完成对出行时间的平峰处理。

5.3.2 模型的求解

由附件 2 可知，人流量较大的几个站点分别为 1a，1o，2u 等，当他们附近的上学和上班的工作人员每日工作结束时间提前 1 小时或延后 1 小时，则能有效的促使地铁乘坐高峰期变为原来的 66%、73%，极大的减少了人员聚集率，避免了疫情的传播。

5.4 问题四模型的建立与求解

5.4.1 模型的建立

由附件 2 中所给每个站点的人流量，并结合附件 1 中地铁交通站点的地理位置，我们由迪杰斯特拉算法和最大流算法计算得到在更多人高峰出行时能有效提高客运效率的公交与地铁互补的公交线路图。

5.4.2 模型的求解

考虑到公交和地铁在客运上的差别，即公交线路不用像地铁线路那样大规模修建，且车辆配置方面公交车也比地铁车厢的制作成本低，但公交车的客运速度低于地铁等因素，我们利用图论中的赫夫曼树算法模拟出几条公交线路，假设只增加 1 条，2 条，3 条公交线路的三种情况，设计图分别如下

（1）增加一条线路

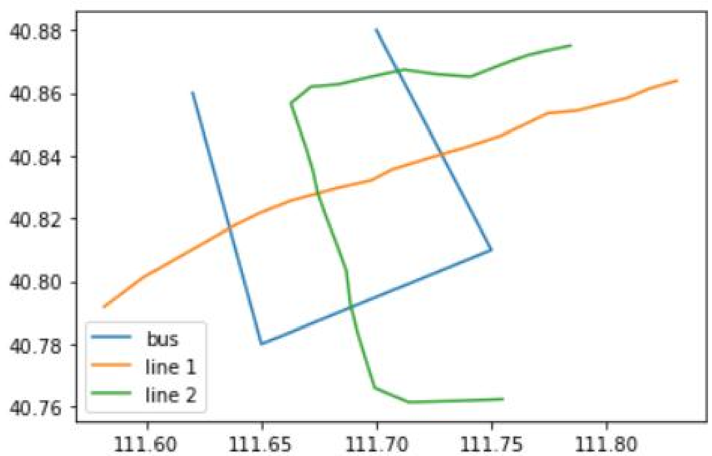

图 8　只增加一条公交线路

在只增加一条线路的情况下，要让人们出行更为便利，则在西北方向和正北方向均要和中间地区进行连通，并且尽可能多的实现地铁线路的交叉，这样能使人们更方便的进行换乘以及减少地铁修建时的施工量。我们所构想的第三条线路如图 8 所示。

（2）增加两条线路

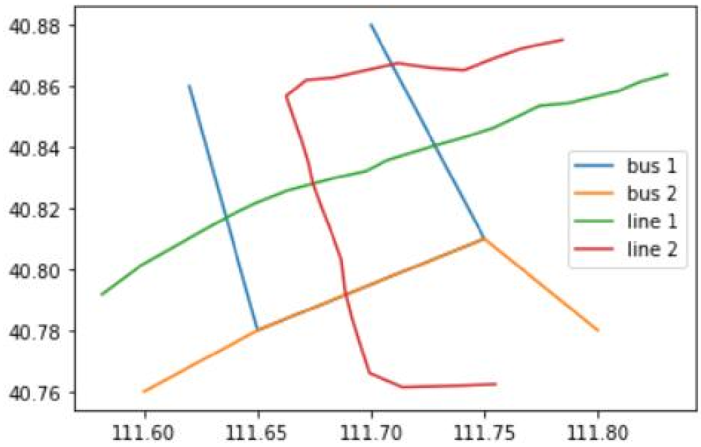

图 9　增加两条公交线路

在增加两条地铁线路时，可以让东南方向和西南方向的居民出行更为方便，且可以共用地铁 3 号线的一部分，这样提高了 3 号线每趟列车的容客率也减少了施工量，减少政府的财政压力。我们所构想的两条线路如图 9 所示。

（3）增加三条线路

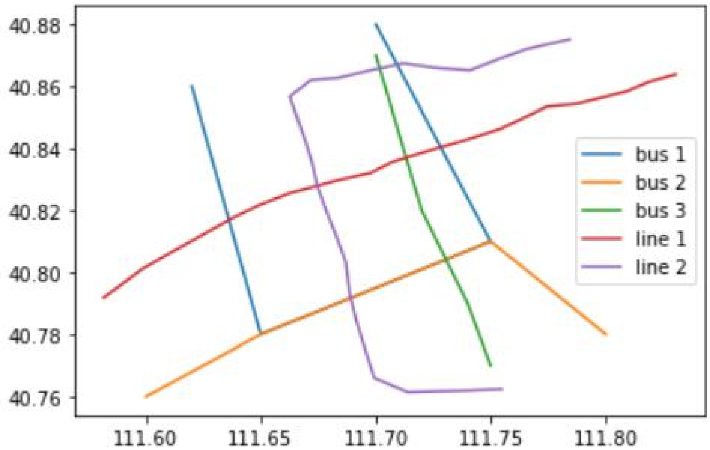

图 10　增加三条公交线路

在增加三条地铁线路时，相比于前面就可以形成更为复杂的地铁网路，换乘车站的选址也有多种可能。我们由附件 2 选取几个人流量稍小的站点作为换乘站点，这样可以将巨大的人流平均分散到各个站点，减轻某一高峰站点的乘坐压力与运营压力。我们所构想的三条线路如图 10 所示。

之后我们查阅了相关资料，得到呼市政府为了提高公交和地铁共同配合使用提高客运效率的情况下提出了“降低线网重复系数，与地铁高效接驳”的理念。具体表现为：

①降低线路重复系数，公交总公司拟对新华大街 27 条公交线路中的 17 条与地铁一号线并行的公交线路进行优化调整，降低线路重复系数，减少新华大街公交车密度。

其中拟撤销23路、51路、52路、87路、89路、104路6条线路，拟调整5路、19路、56路、66路、68路、97路、102路、109路、206路、203路、301路11条线路与地铁重合路段。

②与地铁高效接驳，与轨道交通实现互补。经公交总公司多次就公交地铁接驳事宜与轨道公司及相关单位进行对接，拟在地铁东起点坝堰机场站、西起点伊利健康谷规划公交线路4条，实现公交与地铁的零距离接驳换乘，方便沿线居民出行，4条线路分别是:

a.13路:坝堰村站—商贸职业学院新校区，连接机场与大学城，方便师生出行换乘地铁;

b.125路:坝堰机场站—万鑫农业示范园部独利村;

c.126路:坝堰机场站—白塔村;

d.35路:伊利健康谷站—公交六公司，连接地铁站与周边村镇，满足地铁站周边无公交覆盖区域市民出行需求。

由地图可以得到，我们计算得到的线路设计与这些线路重合度较高，说明我们建立的模型误差较小，可靠性较强。

六、 模型的评价与推广

6.1 模型的优点

1. 综合考虑多方面因素，结合现实中较复杂的各类情况来进行建模，其中对模型进行了多次修正，使之较符合实际情况。对数据也进行了充分使用与深加工处理。
2. 使用多种模型结合，参考了大量工程实际的相关资料，真实可靠。
3. 结合图论相关知识，没有单纯的只使用算法来进行分析，将示意图结合起来使结果更清晰可视又提高模型的准确性。

6.2 模型的缺点

1. 对于一些特殊情况，我们的算法没有很好地考虑到，并且用于仿真的数据较少，对模型的检验力度较小
2. 未能对交通流情况进行进一步的带动态可视化的仿真模拟

6.3 模型的推广

本次我们建立的模型还可以使用于其他地市的交通建设，并且其中时间序列ARIMA，赫夫曼树等算法思想可以拓展到其他领域，如生产过程中人员调度问题，在外出出行时最优路线选择问题等。

七、 参考文献

[1] 肖扬. 呼和浩特市地铁运营有限公司激励体系优化研究[D].中国地质大学(北京),2020.

[2] 梁浩宇.呼和浩特轨道交通 1 号线开通初期运营[J].都市快轨交通,2020,33(01):147.

[3] 呼和浩特地铁 1 号线一期工程进入试运行阶段[J].都市快轨交通,2019,32(05):144.

[4] 吴雪梅.呼和浩特地铁经济对城市经济影响分析[J].内蒙古科技与经济,2019(07):45+49.

[5] 杜娟. 呼和浩特城市轨道交通与地区经济的耦合效应研究[D].内蒙古科技大学,2019.

[6] 魏玉晓.呼和浩特地铁运营初期票价方案研究[J].现代城市轨道交通,2017(09):47-50.

[7] 呼和浩特地铁建设进入全新模式[A]. 《高速铁路与轨道交通》编辑部.《高速铁路与轨道交通》专享版 2017 年 6 月[C].:国铁科创新轨道交通科技股份有限公司,2017:3.

[8] 国家 PPP 基金牵手呼和浩特市地铁项目[J].都市快轨交通,2016,29(05):7.

[9] 呼和浩特将启动 5 条地铁线 总投资 950 亿元[J].城市道桥与防洪,2014(09):171.

[10]宋晓洁. 地铁线路网络规划问题及解决思路探讨[J]. 城市建设理论研究:电子版, 2013, 000(026):1-5.

[11]王新明, 李杨, 孙敏. 综合交通运输方式间的协调性评价研究[J]. 科技风, 2011, 000(015):87-87.

[12]许秋菊. 公路工程项目经济效益及可行性研究[J]. 现代经济信息, 2015, 000(013):314-314.

[13]牛龙飞. 城市轨道交通大客流的网络传播特性及运输组织协调研究[D]. 西南交通大学, 2013.

[14]杨晓光, 徐竞琪, 刘好德,等. 基于乘客平均出行时间最小的公交站距优化模型[J]. 吉林大学学报(工学版), 2008, 38(4):802-807.

[15]吕红霞, 倪少权, 赖文静,等. 一种干线铁路与城市轨道交通运能匹配度计算方法:, CN110751366A[P]. 2020.

[16]王啸. 网络化城市轨道交通运营组织关键问题研究[D]. 西南交通大学, 2012.

[17]李瑞瑞. 浅谈地铁车站站位设置[J]. 工程建设与设计, 2019, 408(10):105-109.

附录

附录 1

介绍：Python 代码计算问题一二(部分代码)

```
import pandas as pd
data1=pd.read_excel("附件 1.xlsx")
data2=pd.read_excel("附件 2.xlsx")
data1.head()

data1=data1.drop(['Unnamed: 0'],axis=1)
data1.columns=['stop','latitude','longitude']
data1.shape

data1_1=data1[data1.index<20]
data1_2=data1[data1.index>=20]

import matplotlib.pyplot as plt
plt.plot(data1_1['latitude'],data1_1['longitude'])
plt.plot(data1_2['latitude'],data1_2['longitude'])
plt.show()

data2['delta']=data2['进站人数']-data2['出站人数']
data2_1=data2[data2['线路']=='1 号线']
import numpy as np
def smax(a):
    s=0
    sumarr=np.zeros((len(a),))
    for i in range(len(a)):
        s+=a[i]
        sumarr[i]=s
    return sumarr.max()

days=data2_1.day.unique()
hours=data2_1.hour.unique()
days.shape,hours.shape

flow=np.zeros((14*17,))
i=0
for d in days:
    for h in hours:
        dfth=data2_1[data2_1['day']==d]
        dft=dfth[dfth['hour']==h].reset_index()
        flow[i]=smax(dft['delta'])
        i+=1
```

```
flow.max()

data2_2=data2[data2['线路']=='2 号线']
data2_2['day']=data2_2['时间'].apply(lambda x:x.day)
data2_2['hour']=data2_2['时间'].apply(lambda x:x.hour)
flow2=np.zeros((14*17,))
i=0
for d in days:
    for h in hours:
        dfth=data2_2[data2_2['day']==d]
        dft=dfth[dfth['hour']==h].reset_index()
        flow2[i]=smax(dft['delta'])
        i+=1

waiting_1=np.zeros((14*17,))
waiting_2=np.zeros((14*17,))
i=0
for d in days:
    for h in hours:
        dfth=data2_1[data2_1['day']==d]
        dft=dfth[dfth['hour']==h].reset_index()
        waiting_1[i]=smax(dft['进站人数'])
        dfth2=data2_2[data2_2['day']==d]
        dft2=dfth2[dfth2['hour']==h].reset_index()
        waiting_2[i]=smax(dft2['进站人数'])
        i+=1

waiting_1[flow>flow.mean()+flow.std()].mean(),waiting_1[flow<flow.m
ean()-flow.std()].mean()
waiting_1[(flow<flow.mean()+flow.std()) &
(flow>flow.mean()-flow.std())].mean()
waiting_2[(flow2<flow2.mean()+flow2.std()) &
(flow2>flow2.mean()-flow2.std())].mean()
waiting_1[waiting_1>waiting_1.mean()+waiting_1.std()].mean(),waitin
g_1[waiting_1<waiting_1.mean()-waiting_1.std()].mean()
waiting_1[(waiting_1<waiting_1.mean()+waiting_1.std()) &
(waiting_1>waiting_1.mean()-waiting_1.std())].mean()
waiting_2[waiting_2>waiting_2.mean()+waiting_2.std()].mean(),waitin
g_2[waiting_2<waiting_2.mean()-waiting_2.std()].mean()
    waiting_2[(waiting_2<waiting_2.mean()+waiting_2.std()) &
(waiting_2>waiting_2.mean()-waiting_2.std())].mean()
```