

机场出租车决策及优化问题研究

摘要

本文围绕出租车这一重要机场接驳方式，分别站在司机、机场到港乘客、管理部门的角度上对一系列重要决策问题及系统优化问题进行探讨，并通过收集到的数据或计算机模拟等方式给出了具体的决策结果。

针对问题一，送客到机场的出租车司机面临两种选择方案，方案一为选择前往蓄车池排队等待载客返回市区；方案二为直接放空返回市区拉客。本文首先根据抵达航班信息和蓄车池内车数给出排队等待时间的预测模型，在此基础上，通过加入惩罚因子、引入 NL 模型等方法量化天气状况、时间、其他交通方式等影响因素对模型做出修正和优化。两种方案利润相等情况下的排队等待时间为决策的临界值，从而出租车司机可以通过比较预测的排队等待时间与临界值进行比较，做出相应决策。

针对问题二，本文首先收集到某年成都双流机场及成都市出租车 GPS 数据，并对数据进行筛选处理，得到航班到达数据、蓄车池内车辆数据、天气情况等数据。再提取其中某一天的数据对司机决策进行了求解。由于司机到达时刻不可穷尽，决策不可一一列出，为了给出所有的决策，本文采用近似求解的方法，将司机到达时刻分成 108 个 10 分钟长的时间段，近似求得每个时间段司机决策。并证明了该近似算法的合理性，用计算机模拟计算出该近似算法的正确率约为 85%。最后，本文论证了模型的合理性，通过一阶偏导数刻画其他相关因素对等待时间影响程度从大到小依次为：单位时间内市内预期出租车单数、每单平均收入、油费、机场回市区的收入。

针对问题三，根据题目给出的机场“乘车区”两条并行车道的特点，为了在保证安全的前提下达到总乘车效率最高的目标，本文首先依据上车点数目、出租车等待状态将乘车排队系统划分为三种排队类型：单上车点排队类型、多上车点串联类型、多上车点并联类型。为保证公平，三种类型下乘客均只排一列。之后，通过计算系统中排队等待的平均队长和乘客总的逗留时间评价各种类型下总的乘车效率，结论为效率会随着上车点的增多而提高，在保证系统稳定的最小上车点的基础上增加一个上车点的边际效用最大。对系统进行改进，使得乘客等待时间成本与上车点的建设费用之和最小。根据成都双流机场的运营数据，根据模型求解，得到最优的乘车模型及上车点个数，在多上车点串联类型和并联类型分别对应 6 个和 5 个。

针对问题四，出租车司机载客的收益与乘客目的地远近有关，载短途乘客的司机收益相对较低。为使出租车的收益尽量均衡，此问题可视作带有优先权的排队论模型，可将每辆蓄车池中的出租车视为被服务对象，分别接受短途乘客和中长途乘客的服务。本文采用高优先权优先调度算法，基于每辆出租车上一次载客是否属于短途类型及其排队时长赋予其优先权重。最后通过评价体系的建立对安排方案可行性作出评估。

关键词：效用函数 NL 模型 排队论 计算机模拟 高优先权优先调度方法

一、问题重述

出租车是一种重要的机场接驳方式，国内多数机场都是将送客（出发）与接客（到达）通道分开的。送客到机场的出租车司机都将会面临两个选择：

(A) 前往到达区排队等待载客返回市区。

(B) 直接放空返回市区拉客。付出空载费用和可能损失潜在的载客收益。

在某时间段抵达的航班数量和“蓄车池”里已有的车辆数是司机可观测到的确定信息。司机的决策与其个人的经验判断有关。如果乘客在下飞机后想“打车”，就要到指定的“乘车区”排队，按先后顺序乘车。机场出租车管理人员负责“分批定量”放行出租车进入“乘车区”，同时安排一定数量的乘客上车。

我们团队通过建立数学模型，对下列问题进行了研究：

(1) 分析研究与出租车司机决策相关因素的影响机理，综合考虑机场乘客数量的变化规律和出租车司机的收益，建立出租车司机选择决策模型，并给出司机的选择策略。

(2) 收集国内某一机场及其所在城市出租车的相关数据，给出该机场出租车司机的选择方案，并分析模型的合理性和对相关因素的依赖性。

(3) 某机场“乘车区”现有两条并行车道，管理部门应如何设置“上车点”，并合理安排出租车和乘客，在保证车辆和乘客安全的条件下，使得总的乘车效率最高。

(4) 机场的出租车载客收益与载客的行驶里程有关，乘客的目的地有远有近，出租车司机不能选择乘客和拒载，但允许出租车多次往返载客。管理部门拟对某些短途载客再次返回的出租车给予一定的“优先权”，使得这些出租车的收益尽量均衡，给出一个可行的“优先”安排方案。

二、问题分析

2.1 名词解释

机会成本：机会成本(opportunity cost)是指企业为从事某项经营活动而放弃另一项经营活动的机会，或利用一定资源获得某种收入时所放弃的另一种收入。另一项经营活动应取得的收益或另一种收入即为正在从事的经营活动的机会成本。¹

2.2 问题分析

问题一，送客到机场的出租车司机面临两种选择方案。本文首先根据抵达航班信息和蓄车池内车数给出排队等待时间的预测模型，之后，通过量化天气状况、时间、其他交通方式的影响等影响因素对模型做出修正和优化。两种方案利润相等时得到排队等待时间临界值。出租车司机可以通过比较预测的排队等待时间与临界值进行比较，做出相应决策。

问题二，本文首先收集到某年成都双流机场及成都市出租车 GPS 数据，并对数据进行筛选处理，得到航班到达数据、蓄车池内车辆数据、天气数据。再以其中某一天为例对司机决策进行求解。由于司机到达时刻不可穷尽，决策不可一一列出，为了给出所有的决策，本文采用近似求解的方法，将司机到达时刻分成 108 个 10 分钟长的时间段，近似求得每个时间段司机决策。用计算机模拟计算出该近似算法的正确率约为 85%。最后，本文论证了模型的合理性，通过一阶偏导数刻画其他相关因素对等待时间影响程度从大到小依次为：单位时间内市内预期出租车单数、每单平均收入、油费、机场回市区的收入。

¹ 郭毅. 市场营销学原理：电子工业出版社，2008 年

问题三，根据题目给出的机场“乘车区”两条并行车道的特点，为了在保证安全的前提下达到总乘车效率最高的目标，本文首先依据上车点数目、出租车等待状态将乘车排队系统划分为三种排队类型：单上车点排队类型、多上车点串联类型、多上车点并联类型。之后，通过计算系统中排队等待的平均队长和乘客总的逗留时间评价各种类型下总的乘车效率，对系统进行改进，使得乘客等待时间成本与上车点的建设费用之和最小，得到最优的乘车模型及上车点个数。

问题四，出租车司机载客的收益与乘客目的地远近有关，载短途乘客的司机收益相对较低。为使出租车的收益尽量均衡，此问题可视作带有优先权的排队论模型，可将每辆蓄车池中的出租车视为被服务对象，分别接受短途乘客和中长途乘客的服务。本文采用高优先权优先调度算法，基于每辆出租车上一次载客是否属于短途类型及其排队时长赋予其优先权重。最后通过评价体系的建立对安排方案可行性作出评估。

三、模型假设

1. 问题一中，由于我们仅从司机决策角度对问题进行考虑，且前三种排队状态发生概率极小，故只考虑乘客和出租车均在排队的状态。
2. 假设不同型号飞机上座率不同，且均为一常数。
3. 假设出租车在行驶过程中单位时间油耗费用为常数。
4. 夜晚 24:00 到凌晨 6:00 为机场活动不活跃期，故对应时间段在决策模型中不予考虑。
5. 假设各个时间段的出租车平均载客量为一常数。

四、符号说明

符号	说明	符号	说明
T_0	排队等候时间	α	大型飞机
T_1	机场返回市区所需时间	β	中型飞机
L	出租车利润	γ	小型飞机
c	单位时间耗油费	μ	每分钟离开排队系统乘客数
C	出租车成本	λ	每分钟到达排队系统乘客数
R	出租车收入	ρ	排队系统服务强度
R_{city}	市区内的收入	L_Q	排队系统平均队长
R_{air}	从机场到市区的收入	W_Q	排队系统乘客平均逗留时长
\bar{r}	每单平均价格	RP	优先权
$\lambda(t_1)$	t_1 时刻市区需求	F	公平度
$\lambda(t_2)$	t_2 时刻市区需求	H	收益均衡度
M	天气状况惩罚因子	Y	综合指标

五、问题一的模型与求解

5.1 问题一的分析

送客到机场的出租车司机面临两种选择方案，方案一为选择前往蓄车池排队等待载客返回市区，需要付出一定的时间成本；方案二为直接放空返回市区拉客，则会付出空载费用和可能损失潜在的载客收益。司机的决策基于对两种方案利润的判断。故我们通过分析以上两种方案下的利润函数，比较在一段相同时间内两种方案的利润，并将利润

决定因素转化为机场出租车司机可观测的信息，给出选择方案。

5.2 模型的建立与求解

5.2.1 利润影响因素分析

出租车司机基于两种方案所带来的利润来做出决策，考虑到两种方案下利润的可比性，我们通过控制变量来比较两种方案在同一段足够长的时间段 T 内的利润。

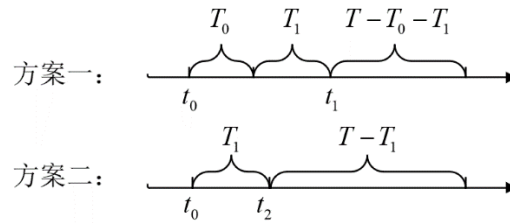


图1 两种方案对应时间安排示意图

如图所示，在给定的足够长的时间段 T 内，方案一为：出租车在 t_0 时刻到达机场，在机场等待 T_0 后，在 t_1 时刻接到客人，之后经过 T_1 返回市区，之后在市区工作 $T - T_0 - T_1$ ；方案二为：出租车在 t_0 时刻到达机场，之后立即从机场经 T_1 空载返回市区，之后在市区工作 $T - T_1$ 。在给定的时间段 T 内，两种方案均对应一定的机会成本，选择方案一则会丧失在排队等候时间 T_0 内可能在其他地方的载客收益；方案二则会丧失在空载回市区的时间 T_1 内可能等到下机乘客的收益。对于方案二，其利润主要取决于到达市区之后在市区拉客的利润；对于方案一，出租车前往到达区排队载客，排队等候时长 T_0 越长，时间成本越大，利润越小。而出租车排队等候时长由抵达航班数、“蓄车池”中已有排队出租车数决定，同时受到天气状况、其他交通方式、时间等因素的影响。故我们将分析过程分为如下三个阶段：

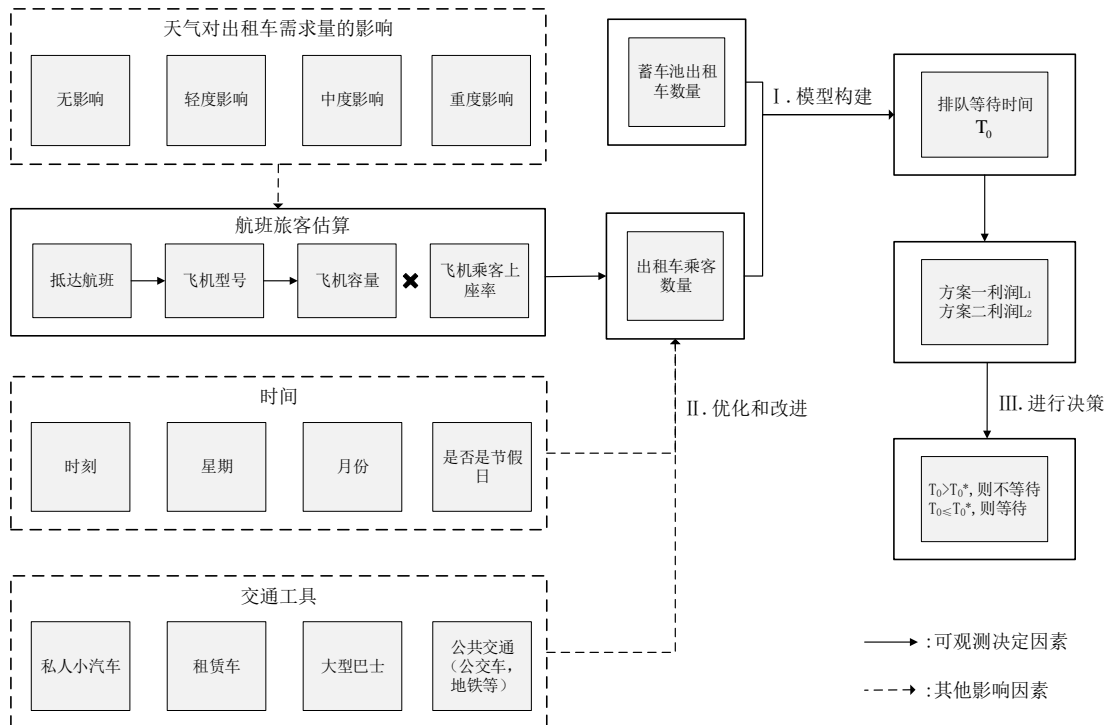


图2 决策流程图

I. 基于可观测信息的出租车等待时间预测模型

影响出租车等待时间的因素有很多，但我们需要帮助司机依据这些信息作出等待时

间的预测，故综合考虑信息可观测性和数据的可得性，我们选取抵达航班数 n 、排队出租车数 m 两项主要指标进行模型构建，在此模型的基础上进一步考虑天气状况、其他交通工具的影响、时间等因素对等候时间的影响，对模型进行修正，更具现实意义。

① 排队出租车数

考虑出租车载客容量，假设平均每辆出租车载客为 $d, (1 \leq d \leq 4)$ ，则在 t_0 时刻已在排队的 m 辆出租车可载乘客数为 $d \times m$ 。

② 抵达航班信息

经过理论初步分析，我们可判断抵达航班数 n 和 T_0 应为负相关关系。

将抵达飞机型号分为大、中、小三种类型，分别占比为 α 、 β 、 γ ，对应载客量分别为 S_α 、 S_β 、 S_γ ，对应上座率为 k_α 、 k_β 、 k_γ 。由于到港航空旅客有不同的个体属性、出行特征，会选择不同的接驳方式，故设旅客中乘坐出租车的比例为 τ ，则对于每架航班，其乘客数为：

$$S = \tau \times (\alpha S_\alpha k_\alpha + \beta S_\beta k_\beta + \gamma S_\gamma k_\gamma)$$

基于以上分析，我们可以通过出租车的供需分析来预测需要等待的时长，在 t_0 时刻，当一段时间内到达的乘客刚好消耗完已等待的出租车，即 $\sum S = dm$ 时， t_0 时刻到达的出租车等到客人，这段时间即出租车等待的时间 T_0 。

由于航班到达时刻表及飞机型号均可观测，在 t_0 时刻，出租车司机会观测到即将到达的航班时刻表，并对对不同航班的载客数量进行估计。如下表所示：

航班号	航班到达时刻	机上载客量
CA***5	a_1	S_1
PN***2	a_2	S_2
...
DR***1	a_k	S_k
...

表 1 航班时刻表

则在 t_0 时刻到达的出租车需要排队等候的时间 T_0 为：

$$T_0 = \min(a_k - t_0) + (k - 1)\Delta t$$

$$s.t. \sum_{i=1}^k E(S_i) \geq dm$$

其中， Δt 每架飞机乘客从下机到乘车所需时间，对于国际到达， $\Delta t \approx 45 \text{ min}$ ；对于国

内航班， $\Delta t \approx 30 \text{ min}$ 。

II. 出租车等待时间预测模型的修正与优化

① 天气状况

由于飞机飞行状况极易受到天气影响，故天气数据是对机场到港客流量的重要影响因素。天气情况包含大量数据如气温、气压、能见度、湿度、降水量、风速等。天气情况的及时预测也是近年来气象学关注的重点问题。

由于成本和预测准确率等原因，气象局的预测情况出租车司机难以及时获得，故司机只能观测到天气状况的大致情况。为了便于司机决策，经查阅相关文献²，我们将常见的天气类型按照对机场航班延误影响程度分为四类，如图所示。





分类	天气	影响程度
 I类天气	晴、多云、阴等天气。	无影响
 II类天气	小雨(雪)、小到中雨(雪)、小风、阵雨等天气。	微弱影响
 III类天气	中雨(雪)、大雨(雪)、中风、雾霾等天气。	中度影响
 IV类天气	大到暴雨、暴雨、雷阵雨、雷暴、大风、中到大雾等天气。	重度影响

图3 常见天气类型

由于天气影响不确定性，不良天气对航班的延误影响不能完全反应在飞机到达时刻表上，即出租司机在决策过程中不能完全忽略天气信息的影响。在此基础上，我们引入惩罚因子 M ，将不同类型天气对飞机延误情况的影响量化，进而对司机等待时间 T_0 进行不同程度的惩罚。明显，对于I类、IV类天气，有

$$M(I) = 0, M(IV) = +\infty,$$

即优良的天气不会对出租车司机的决策产生影响，过于恶劣的天气会导致大批航班延误，司机不会做出在机场停留等待拉客的决策。

对于II类、III类天气，不同时间下延误的时间差距不大，我们采用平均期望对惩罚因子赋值：

$$M(II) = 0.38, M(III) = 2.56$$

通过以上的标准，出租车司机可以对不同天气下预估等待时间进行修正：

$$T_0' = T_0 + M(i), i \text{ 为天气类别}$$

② 时间影响

首先，乘客到达机场时间段会影响其对出行方式的选择，此项影响在之后进行详细讨论。其次，出租车到达市区的早晚会影响市区内乘车人数的密度，即市区内对出租车的需求。市区一段时间内乘坐出租车司机人数服从泊松分布 $X \sim \text{Poisson}(\lambda)$ ，其中参数 λ 是单位时间内乘坐出租车的人数，反映的就是市区内需求情况。

③ 其他交通方式影响

基于经济学理论，乘客总倾向于选择实现自身效用最大化的交通出行方式。多项式

² 刘彤丹. 基于天气影响的离场航班延误分析及预测[A]. 中国科学技术协会、中华人民共和国交通运输部、中国工程院. 2019 世界交通运输大会论文集（下）[C]. 中国科学技术协会、中华人民共和国交通运输部、中国工程院：中国公路学会, 2019:13.

Logit 模型(MNL)和嵌套 **Logit**(NL)模型³作为常见的离散选择理论应用模型, 为理性消费者提供多种备选方案中的最佳方案。由于每个乘客的偏好不同, 效用往往带有主观性, 故一般情况下, 乘客 n 对选择第 i 种方式时效用函数可表示为:

$$U_{i,n} = U_{i,n}(SE_n, A_{i,n})$$

其中 SE_n 为乘客的个体属性向量, $A_{i,n}$ 为乘客 n 对应选择肢 i 的特征向量。

出行者 n 选择第 i 种方式 时效用函数的确定项可表示为个人特性和选择肢特性的线性函数:

$$V_{i,n} = \beta X_{i,n} = \sum_{k=1}^k \beta x_{ink} (i=1, 2, \dots, N)$$

其中, $V_{i,n}$ 为衡量效用, $\beta(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k)$ 为待标定的参数向量, $X_{i,n} = [x_{in1}, x_{in2}, \dots, x_{ink}]^T$ 为特征向量, 即衡量效用的影响因素, 本文选用出行时间、出行费用、舒适程度及旅客携带行李数量来表征全部影响交通方式选择行为的因素。

在此基础上推导出两层 **NL** 模型中, 选择上层虚拟选择肢 $r(r=1, 2, \dots, R)$ 、下层虚拟选择肢 $t(t=1, 2, \dots, T)$ 的概率为:

$$P_{t/r,n} = \frac{\exp(\lambda_1 V_{t/r,n})}{\sum_{t=1}^T \exp(\lambda_1 V_{t/r,n})} \cdot \frac{\exp(\lambda_2 V_{r,n})}{\sum_{r=1}^R \exp(\lambda_2 V_{r,n})}$$

其中, λ_1 为下层有关的效用概率项方差对应参数, λ_2 为同时考虑上下层效用概率项方差对应参数。

处于上层的模型通过条件概率约束下层模型, 下层模型的总效用 $Log \text{ sum}$ 成为上层模型的一个变量, 由选择肢组成下层模型的总效用 $Log \text{ sum}(r)$:

$$Log \text{ sum}(r) = \ln \left[\sum_{t=1}^T \exp(\lambda_1 V_{t/r,n}) \right]$$

代入上层虚拟选择肢的效用:

$$V_{r,n} = \beta' X_{i,n} + \beta'_{\text{Legum}} Log \text{ sum}(r)$$

将所有乘客可选择的交通方式按双层 **NL** 模型进行分类, 第一层包含的虚拟选择肢为: 公共交通方式和私人交通方式, 第二层分别嵌套具体的交通方式。通过建立各选择肢的效用函数, 进一步推算选择概率, 实现乘客的交通方式选择行为。

³ 张兰芳, 卞韬, 张亮. 基于 NL 模型的大型机场接驳方式选择研究[J]. 城市交通, 2017, 15(02): 40-47.

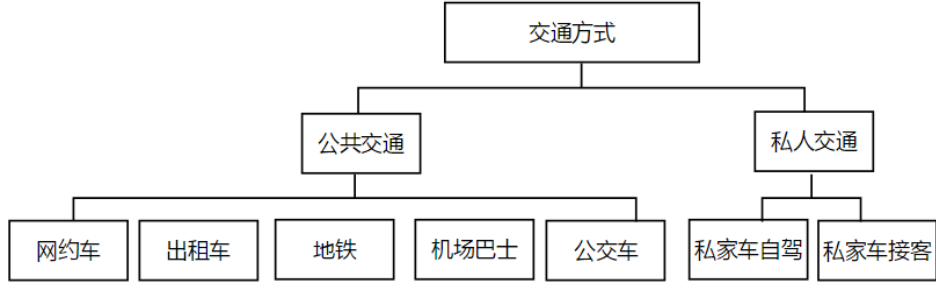


图4 模型选择肢

根据对各具体交通方式的分析得到参数选择结果，建立第二层选择肢各具体交通方式的线性效用函数：

$$U_i = B_{j,j} + b_{i,j}T_i + b_{i,j}C_i$$

其中各参数与衡量效用的影响因素有关。

分别对公共交通和私人交通的各潜在影响因素进行相关性分析，得到第一层选择肢的效用函数：

$$U_{\text{公共}} = \beta_1 L + \beta_2 C_o + \beta_3 C + \beta_4 C_{\text{停车}} + \beta_{\text{Log sum}} \text{Log sum}_{\text{公共}}$$

$$U_{\text{私人}} = \beta_1 L + \beta_2 C_o + \beta_4 C_{\text{停车}} + \beta_{\text{Log sum}} \text{Log sum}_{\text{私人}}$$

最后，根据选择肢概率和效用函数的关系，求得各种交通方式选择比例：

$$P_i = \frac{\exp(U_i)}{\sum \exp(U_i)} \times \frac{\exp(U_{\text{公共}})}{\exp(U_{\text{公共}}) + \exp(U_{\text{私人}})}$$

通过对多个机场数据的综合使用，我们得出如下结论：机场到港乘客选择地铁比例最高（40%），出租车比例次之（33%）。机场大巴和公共汽车比例较低，不足10%。

III. 基于等待时间求解利润函数

在一段足够长的时间段 T 内的利润 L 为这段时间内收入 R 减去成本 C ，即：

$$L = R - C$$

收入 R 为出租车从机场驶回市区的收入 R_{air} 与到达市区之后在市区拉客的收入 R_{city} ， R_{city} 与市区内乘坐出租车的需求量有关；成本 C 主要为油耗费用，等于行驶时长和单位行驶时长油耗费用的乘积。故我们可据此计算两种方案下的利润。

$$R = R_{\text{air}} + R_{\text{city}}$$

$$C = c \times t_{\text{行驶}}$$

①方案一利润：

由于选择在到达区排队等待载客的出租车一定会得到从机场驶回市区的收入，故从机场驶回市区的收入 R_{air1} 可视为一个定值。而 R_{city1} 为一变量，可表示为市区内出租车每单平均收入 \bar{r} 与一段时间内出租车接单数期望值 $E(X)$ 的乘积，即：

$$R_{city1} = \bar{r} \times E(X)$$

其中，一段时间内市区出租车接单数 X 实际上为一计数过程，服从泊松分布，即有 $X \sim Possion(\lambda)$ ，又由泊松分布的性质可知 λ 即为单位时间内市区内乘坐出租的平均人数，故在这段时间内参数 λ 与到达市区的时刻 t_1 有关，记为 $\lambda(t_1)$ 。其中不同 t_1 反映市区不同时刻的乘出租车需求。故有：

$$E(X) = \lambda(t_1) \times (T - T_0 - T_1)$$

根据以上分析，我们得到方案一的利润为：

$$L_1 = R_{air1} + \bar{r} \times \lambda(t_1) \times (T - T_0 - T_1) - c(T - T_0)$$

②方案二利润：

出租车空载返回市区，故从机场返回市区收入 $R_{air2} = 0$ 。同理，市区内收入 R_{city2} 为一变量，可表示市区内出租车每单平均收入 \bar{r} 与一段时间内出租车接单数期望值 $E(X)$ 的乘积，即：

$$R_{city2} = \bar{r} \times E(X)$$

$$E(X) = \lambda(t_2) \times (T - T_1)$$

方案二的利润为：

$$L_2 = \bar{r} \times \lambda(t_2) \times (T - T_1) - cT$$

故当方案一利润与方案二相等时，我们得到对应的等候时间临界值，记作 T_0^* 。

5.2.2 出租车司机选择决策模型

由以上分析，出租车司机可以基于以上提出的影响因素对当下情景做出判断，基于可观测信息预测等待时间 T_0 ，将该时间与临界值 T_0^* 比较。若 $T_0 < T_0^*$ ，则排队等候载客的利润较大，选择方案一；若 $T_0 \geq T_0^*$ ，则放空返回市区利润较大，选择方案二。

六、问题二的模型与求解

6.1 问题二的分析

本文对成都市双流机场进行研究。首先，进行数据采集，利用 R 软件对数据进行处理分析，得到航班时刻表数据、机场出租车蓄车池数据。之后，利用问题一的模型进行求解。由于出租车的到达时刻具有任意性，对于任意日期，可以用一样的方法求解，故本文以数据池中确定的某一天为例，给出了该天出租车司机在不同到达时刻的不同决策。

6.2 数据的收集与处理

本文采用“智慧中国杯”全国大数据创新应用大赛中提供的数据⁴。原始数据包含车辆 ID、车辆不同时刻经纬度、载客状态、时间等数据项。由于需要提取机场排队出租车数据，我们采用了 R 软件对数据进行处理。成都双流机场蓄车池经纬度范围为：103.95145~103.96903，30.56285~30.57543。如下图所示，左图中红圈内部分即双流机场蓄车池位置，右图是一段时间内出租车在该区域下的分布数量情况。

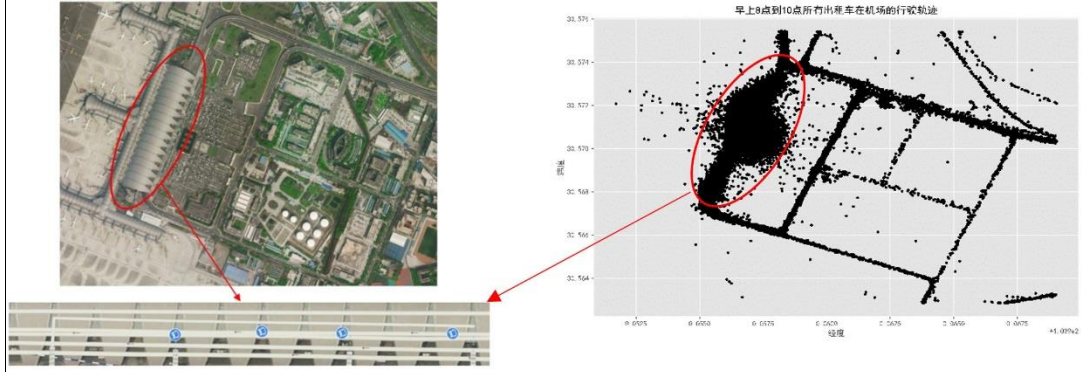


图 5 出租车轨迹示意图

通过经纬度筛选，可得到该天任意时刻蓄车池内出租车排队数。对于当天机场航班降落时间段数据，可以通过成都市双流机场网站查询⁵。

对于问题一模型中的未知参数，根据成都市内具体情况 $\bar{r} = 15.5$ 元/单·小时， $\lambda = 5$ 单， $c = 35.8$ 元/小时， $R_{air} = 60$ 元， $M(I) = 0$ 。得出 $T_0^* = 1.31$ 小时。

6.3 司机的决策求解

本文只对某一天内的决策进行求解，对于其他天的求解，用相同的方法可以实现。根据问题一的模型，有如下求解流程描述：

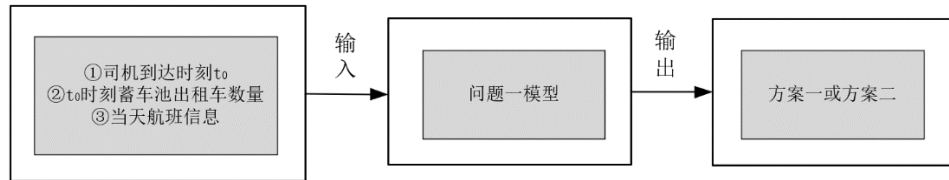


图 6 模型求解流程

由于只考虑确定的某一天，该天所有航班到达时刻已知。而时间具有连续性，司机到达时刻是不可穷尽的，当我们给定该司机某个到达时刻 t_0 ，该时刻蓄车池内车数 $m(t_0)$ 随之确定。故可以通过决策函数：

$$I = \begin{cases} 1, & \text{Function}(t_0) > T^* \\ 0, & \text{Function}(t_0) < T^* \end{cases}$$

$$\text{Function}(t_0) = \min(a_k - t_0) + (k - 1)\Delta t$$

⁴ “智慧中国杯”全国大数据创新应用大赛：

https://www.dcjingsai.com/common/zhzgbCmptWisdomDetails.html?tdsourcetag=s_pctim_aiomsg

⁵ 成都市双流机场：<http://www.cdairport.com/>

$$s.t. \sum_1^k E(S_k) \geq dm$$

其中，决策函数 $I=1$ 即司机选择方案二（不在机场等待载客）； $I=0$ 即司机选择方案一（在机场等待载客）。 $Function(t_0)$ 为模型一中给出的预计等待时间函数。

本文随机选择了 10 个时间点，利用决策函数进行求解，结果如下：

到达时刻 t_0	决策 I	到达时刻 t_0	决策 I
06:53	1	16:46	1
08:22	1	18:55	0
10:36	0	20:43	1
12:07	1	22:35	0
14:10	0	23:11	0

表 2 随机时刻及对应决策

通过上述的过程，只需要给定 t_0 ，我们便可以求得司机的对应决策。但由于时刻不可穷尽，我们的决策不可穷尽。无法给出司机决策的全部结果。为了给出该天内司机不同到达时刻下所有决策，我们采用了近似算法。

首先将 06:00~24:00 分成 10 分钟的小时间段：

$$t_1 = 06:00, t_2 = 06:10, \dots, t_{108} = 23:50, t_{109} = 24:00$$

若出租车到达时刻 $t_0 \in [t_i, t_{i+1}]$, $i=1, 2, \dots, 108$ ，则将 $0.5 \times (t_i + t_{i+1})$ 近似为出租车到达时刻，将

$[t_i, t_{i+1}]$ 内机场蓄车池内出租车平均值 $\bar{M}(t_o) = \frac{1}{t_{i+1} - t_i} \int_{t_i}^{t_{i+1}} M(t_o) dt_o$ 近似为到达时刻蓄车池

内车数。通过计算，给出了每个时间段内较为可能的近似解（详细结果见附录）。

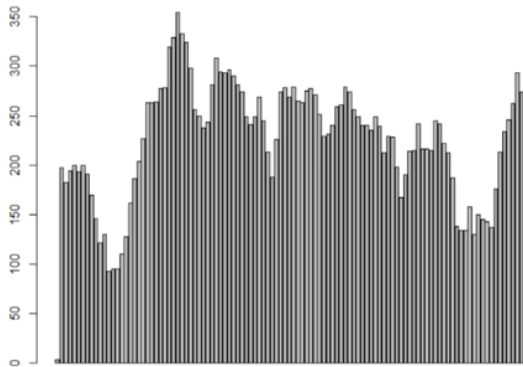


图 7 $M(t_o)$ 的近似过程

到达时刻 t_0 所属时间段	决策 I
06:00~06:10	1
06:10~06:20	0
...	...
23:50~24:00	0

表 3 各时间段近似结果

6.4 合理性

6.4.1 近似算法的合理性

本文利用近似算法，通过对时间点的聚集，用离散的时间段代替连续的时间点进行

求解，给出了每个时刻对应的决策。虽然该近似解对原始数据进行了一定程度的近似，但由于

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} 0.5 \times (t_i + t_{i+1}) = t_0$$

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \bar{M}(t_0) = \frac{1}{t_{i+1} - t_i} \int_{t_i}^{t_{i+1}} M(t_0) dt_0 = M(t_0)$$

这意味着当时间段划分趋近于无穷小时，近似解趋近于准确解。在上文中我们选取 $\Delta t = 10 \text{ min}$ ，通过大量对到达时刻 t_0 的模拟，可以计算近似解正确率约为 85%。足以证明该近似算法具有合理性。

6.4.2 模型合理性

从机理上看，本模型充分考虑了各种影响出租车司机等待时间和利润的因素，并对出租车司机效用与利润的关系进行了进一步深入探讨；从结果上看，模型计算的结果与实际事实相差不大；从数据易得性上看，模型使用的所有数据不难获得，模型可迁移性较佳。

6.5 依赖性

根据模型一，出租车等待时间临界值 T_0^* 满足：

$$T_0^* = \frac{R_{air1}}{\bar{r}\lambda - c}$$

则等待时间临界值 T_0^* 对各因素的依赖性可定义为：

$$k(factor) = \frac{\partial T_0^*}{\partial factor} = \frac{\partial \frac{R_{air1}}{\bar{r}\lambda - c}}{\partial factor}, factor = R_{air1}, \lambda, c, \bar{r}$$

带入成都市数据，得到结果为：

因素	依赖性	因素	依赖性
R_{air1}	0.024	c	0.0441
λ	-2.6443	\bar{r}	-0.2574

表 4 因素依赖程度

由数据可知，单位时间内市内预期出租车单数 λ 对等待时间临界值 T_0^* 影响最大， \bar{r}

其次，影响程度约为 λ 的十分之一， R_{air1} 与 c 的影响程度最小，约为 λ 的百分之一。

七、问题三模型与求解

7.1 问题三的分析

根据题目给出的机场“乘车区”两条并行车道的特点，为了在保证安全的前提下达到总乘车效率最高的目标，我们首先依据上车点数目、出租车等待状态将乘车排队系统划分为三种排队类型：单上车点排队类型、多上车点串联类型、多上车点并联类型，为保证公平，三种类型下乘客均只排一列。再通过计算系统中排队等待的平均队长和乘客

总的逗留时间评价该类型下总的乘车效率，并对系统进行改进，使得乘客等待时间成本与上车点的建设费用之和最小，得到最优的乘车模型及上车点个数⁶。

7.2 模型的建立与求解

7.2.1 模型建立

I. 总乘车效率评价

基于排队论，乘车排队系统为等待制先到先服务模型。该模型中乘客到达规律服从参数为 λ 的泊松分布，在 $[0, t]$ 时间内到达排队队伍的乘客数 $X(t)$ ：

$$P\{X(t) = k\} = \frac{(\lambda t)^k \cdot e^{-\lambda t}}{k!}$$

单位时间内到达乘客平均数为 λ ，在 $[0, t]$ 时间内到达排乘客平均数为 λt 。

乘客接受服务时间服从负指数分布，单位时间服务乘客平均数为 μ ，服务时间满足的分布为：

$$f(t) = \begin{cases} \mu e^{-\mu t} & t > 0 \\ 0 & t \leq 0 \end{cases}$$

每个乘客接受服务平均时间为 $\frac{1}{\mu}$ 。

我们选用排队长度 L_Q 和顾客逗留时间 W_Q 两项指标来评价排队系统的总效率，两者越小效率越高。

对于单上车点模型来说， $S=1$ ，在稳定状态下排队系统有 n 个乘客的概率：

$$p_n = (1 - \rho)\rho^n \quad n = 0, 1, 2, 3 \dots$$

其中 $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$ 为系统中乘客到达率和服务率之比，表示该排队系统的服务强度， ρ 越

大，排队系统越繁忙。

乘客的平均排队长度为：

$$L_Q = \sum_{n=0}^{\infty} n \cdot p_n = (1 - \rho) \sum_{n=0}^{\infty} n \rho^n = \frac{\rho}{1 - \rho} = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}$$

排队系统中乘客平均等待队长为：

$$L_d = \sum_{n=1}^{\infty} (n-1) \cdot p_n = (1 - \rho) \sum_{n=1}^{\infty} (n-1) \rho^n = \frac{\rho^2}{1 - \rho} = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)}$$

⁶魏中华, 王琳, 邱实. 基于排队论的枢纽内出租车上客区服务台优化[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2017, 13(10): 298-300.

乘客平均逗留时间为：

$$W_Q = \frac{1}{\mu - \lambda}$$

乘客平均等待时间为：

$$W_d = \frac{1}{\mu - \lambda} - \frac{1}{\mu} = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)}$$

当有 S 个上车点时，系统服务能力为 $S\mu$ ，服务强度 $\rho = \frac{\lambda}{S\mu}$ 。排队系统中乘客的平均队长为：

$$L_Q = S\rho + \frac{(S\rho)^S \rho}{S!(1-\rho)^2} \times p_0,$$

其中 $p_0 = \left[\sum_{k=0}^{s-1} \frac{(s\rho)^k}{k!} + \frac{(s\rho)^s}{s!(1-\rho)} \right]^{-1}$ 表示所有上车点都空闲的概率。

则系统中顾客平均逗留时间：

$$W_Q = \frac{L_Q}{\lambda}$$

II. 三种类型排队模型构建

① 单上车点排队类型

单上车点排队类型对应乘客队伍只有一列，只有一个上车点。出租车仅在靠近乘客的车道上驾驶。出租车和乘客在各自的队列上等候排队，只有当前一个乘客乘车离开后，后面的乘客和出租车补位，适用于 $[M/M/1]:[\infty/\infty/FCFS]$ 排队模型。

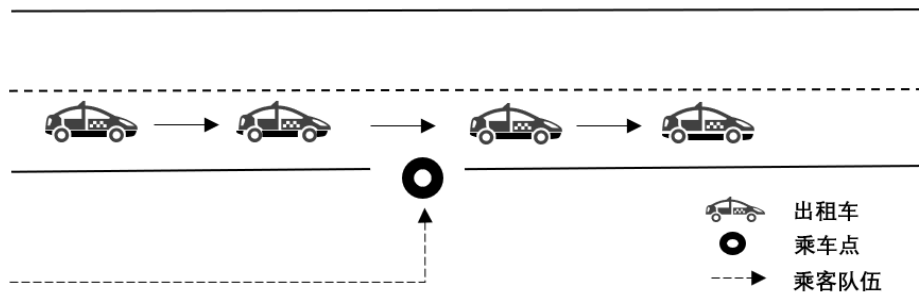


图 8 单上车点排队类型

则在系统达到稳态时，排队系统中出租车乘客数为 n 的概率为：

$$P_n = (1-\rho)\rho^n \quad n \geq 1$$

平均队列长为：

$$L_Q = \sum_{n=0}^{\infty} n \cdot p_n = (1-\rho) \sum_{n=0}^{\infty} n\rho^n = \frac{\rho}{1-\rho} = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}$$

乘客平均逗留时间为：

$$W_Q = \frac{1}{\mu - \lambda}$$

② 多上车点串联类型

多上车点串联类型对应乘客队伍只有一列，在靠近乘客车道旁有多个上车点，排到队伍最前端的乘客前往上车点乘车。出租车由外侧向内侧车道驶入上车点，载客后再从外侧车道离开。这样在单上车点排队类型上增加了上车点，提高了效率，但由于此类型下出租车直接已对彼此造成干扰，故可能会付出相应的车辆等待离开时间。此类型适用于 $[M/M/S]:[\infty/\infty/FCFS]$ 排队模型 ($S>1$)。

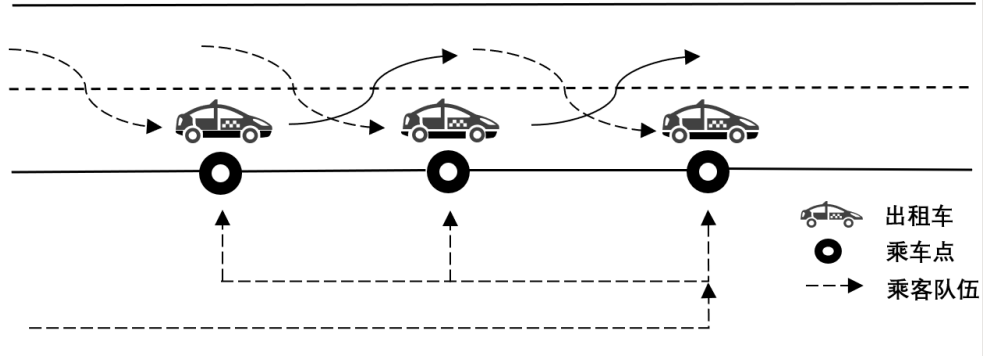


图 9 多上车点串联类型

③ 多上车点并联类型

多上车点并联类型对应乘客队伍只有一列，在两排车道上均有上车点，排到队伍前端的乘客需跨过马路上车。同样，上车点的增加提高了乘客离站效率，但容易影响乘客与司机安全，继而使得在内侧车道上车时间会延长。此类型适用于 $[M/M/S]:[\infty/\infty/FCFS]$ 排队模型 ($S>1$)。

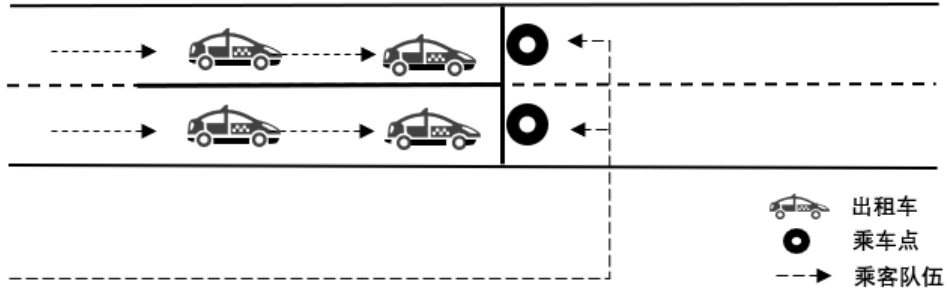


图 10 多上车点并联类型

对于多上车点的两类方案来说，规定各个上车点服务速率相同且相互独立：

$$\mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_s$$

则当系统达到稳定状态时，有如下稳态概率方程：

$$\lambda P_{s-1} + s\mu P_{s+1} = (\lambda + s\mu)P_s, S = 1, 2, \dots, n$$

由 $\sum_{n=1}^{\infty} P_n = 1$, 解得：

$$P_0(S) = \left[\sum_{k=0}^{S-1} \frac{1}{k!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^k + \frac{1}{S!} \frac{1}{(1-\rho)} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^S \right]^{-1}$$

$$P_n(S) = \begin{cases} \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n P_0(S), & n=1, 2, \dots, S \\ \frac{1}{S! S^{n-S}} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n P_0(S), & n \geq S+1 \end{cases}$$

由此得到系统中乘客排队队长和逗留时间，并据此对系统效率进行评价：

$$L_Q = L_d + S\rho = \frac{1}{S!} \frac{(S\rho)^S \rho}{(1-\rho)^2} P_0 + \frac{\lambda}{\mu}$$

$$W_Q = \frac{L_Q}{\lambda}$$

III. 三种类型排队模型优化

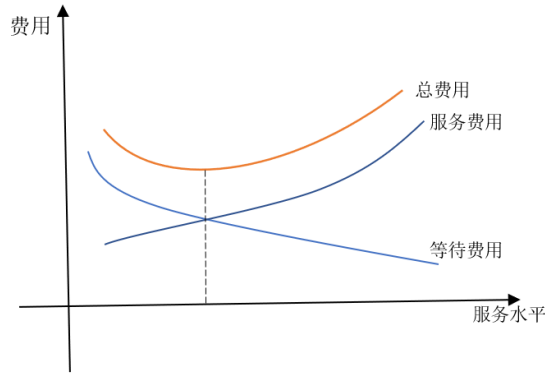


图 11 总费用函数

在实际生活中，考虑排队系统的效率不只与排队队长和逗留时间有关，还应当使得等待时间总成本 $Z_1 = \alpha L_Q$ 与上车点的建设费用 $Z_2 = \beta S$ 之和最小，其中 α 为每个乘客单位时间的等待时间成本， β 为单个服务台所需的建设费用，则有：

$$\min Z(S) = Z_1 + Z_2 = \alpha L_Q(S) + \beta S$$

$$\begin{cases} Z(S) \leq Z(S+1) \\ Z(S-1) \leq Z(S) \end{cases}$$

即满足如下条件：

$$L_Q(S-1) - L_Q(S) \geq \frac{\alpha}{\beta} \geq L_Q(S) - L_Q(S+1)$$

7.2.2 模型求解

基于以上模型，我们使用 **MATLAB** 软件进行了计算机模拟，并使用了成都双流机场不同时间段的航班到港信息及出租车数据进行验证，算法描述如下：

Step1: 选取窗口期长度为 30 分钟，观察不同时间段内排队系统特征；

Step2: 根据每个时间段内航班到达信息、航班型号占比、乘客选择乘坐出租车的比例计算进入排队系统的乘客，并求得每分钟乘客到达率 λ ；

Step3: 根据这段时间内离开排队系统的车辆数及每辆出租车平均载客人数计算服务结束离开排队系统的乘客数，并求得每分钟乘客离开率 μ ；

Step4: 计算系统 $\frac{\lambda}{\mu}$ ，并根据服务强度 $\rho = \frac{\lambda}{S\mu} < 1$ 时才能使得系统稳定的要求得到

服务台下限 S_{\min} ；

Step5: 对一天内各个时间段进行遍历，求得在不同数量上车台 $S, (S = S_{\min}, S_{\min+1}, \dots)$

系统下的平均队长 L_q 及平均逗留时间 W_q 。

Step6: 通过使等待时间总成本和上车点总建设费用之和最小，对平台个数进行最优选择。

程序运行结果如下所示：

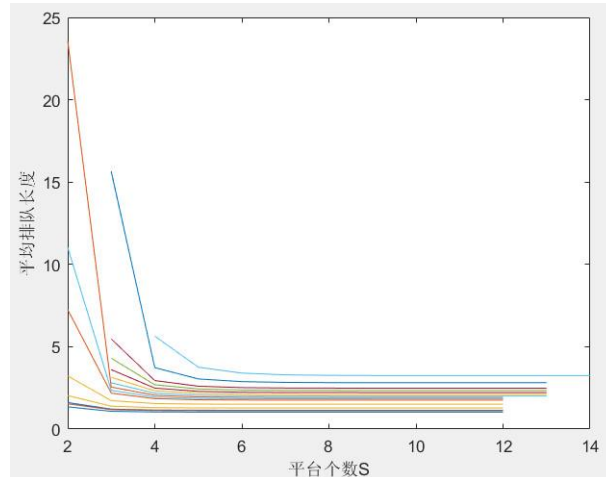


图 12 平均排队长度

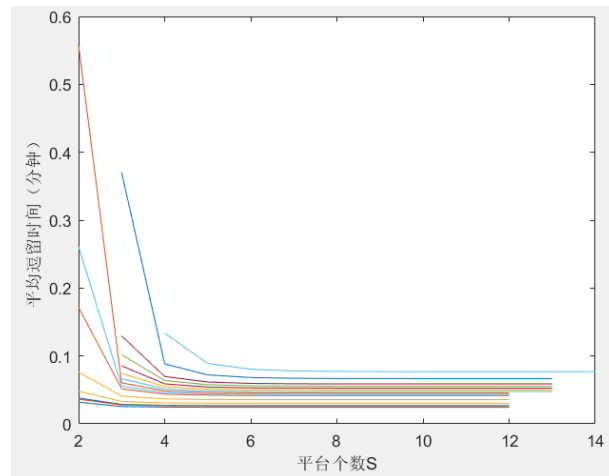


图 13 平均逗留时间

下使用费用决策模型对系统进行优化。与乘客等待时间成本相比，上车点建设费用要高很多；与多上车点串联模型相比，多上车点并联模型对安全要求较高，故顾客等待时间成本较高。故假设并联模型乘客等待时间成本与上车点建设费用之比为 0.0012，串联模型乘客等待时间成本与上车点建设费用之比为 0.0015。利用上述费用模型对成都双流机场排队服务系统进行优化，计算结果如下：

$L_q(2) - L_q(3)$	3.488851	$L_q(6) - L_q(7)$	0.002671
$L_q(3) - L_q(4)$	0.280610	$L_q(7) - L_q(8)$	0.000509
$L_q(4) - L_q(5)$	0.058231	$L_q(8) - L_q(9)$	0.000089
$L_q(5) - L_q(6)$	0.012877	$L_q(9) - L_q(10)$	0.000014

表 5 费用决策模型计算过程

由上述计算结果可得，多上车点并联模型和多上车点串联模型分别对应上车点为 5 个和 6 个时乘客与上车台建设成本最小，可实现排队系统费用较小。

八、问题四的模型与求解

8.1 问题四的分析

出租车司机载客的收益与乘客目的地远近有关，载短途乘客的司机收益相对较低，此问题可视作带有优先权的排队论模型，但此时服务对象发生了转变，我们可将每辆蓄车池中的出租车视为被服务对象，分别接受短途乘客和中长途乘客的服务，我们采用高优先权优先调度算法，基于每辆出租车上一次载客是否属于短途类型及其排队时长赋予其优先权重。最后通过评价体系的建立对安排方案可行性作出评估。

8.2 模型的建立与求解

8.2.1 模型建立

I. 均衡收益的优先权排队模型

高优先权优先调度（HPF）方法⁷指的是为队列中每一个个体赋予不同的优先权，优先权高的进入系统后能得到优先处理的方法。考虑到出租车的收益均衡和排队过程中的排队过程中的公平性，可根据每辆出租车上一次载客是否属于短途类型及其已在队列中排队时长设置优先权函数：

$$RP = \text{优先因子} \kappa \times \frac{\text{已排队时长}^\phi}{1 + \text{位次向下一位造成的费用}}$$

已排队时长越大， RP 越大，符合先来后到的公平原则， ϕ 的引入是为了调整分子分母大小比，使商具有可比性；位次向下一位造成的费用越小， RP 越大，体现整体利润最大的效率原则其中；为使短途载客的出租车与其他出租车收益尽量均衡，优先因子 κ 体现出租车上次载客是否为短途类型：

$$\kappa = \begin{cases} 1.5, & \text{上一次载客为短途} \\ 1, & \text{上一次载客为中长途} \end{cases}$$

采用 HPF 调度算法，每次计算队列中所有出租车优先级，依据优先级进行排队。

II. 系统综合评价模型

⁷ 魏太云, 詹德坚, 刘诗琴. 眼科病床安排的评价和优化[J]. 工程数学学报, 2009, 26(2): 131-138.

为刻画该系统的均衡和效率，我们从众多评价指标经过筛选整理，选择排队公平度和收益均衡度衡量系统的合理程度。

① 排队公平度

对于所有汽车来说，从时间维度上考虑，公平即遵守“先来后到”的原则，故我们可以引入逆序数来体现插队情况。考虑窗口期 t 内稳定状态下的排队车辆，按照各自的优先权进行先后顺序排列，得到的序列记作 I_t ，然后按照出租车到达时间求出逆序数

$Adv(I)$ ，作为不公平的量度，因此定义公平度

$$F = 1 - \frac{Adv(I)}{\max Adv(I)}$$

其中 $\max Adv(M)$ 可以认为是任意排列可能达到的最大逆序数。

② 收益均衡度

对该系统进行改进后，每个窗口期内均存在收益最大和最小的出租车，对应收益分别记作 L_{il} ， L_{is} 。则对应收益极差可以用来量度收益的不均衡程度，故定义收益均衡度：

$$H = 1 - \frac{|L_{il} - L_{is}|}{\max |L_{il} - L_{is}|}$$

其中 $\max |L_{il} - L_{is}|$ 表示全部时间段内最大的收益极差。

上述评价指标 F, H 的值均介于0-1之间，故评价该优先排队系统的综合指标 Y 为：

$$Y = \omega_F F + \omega_H H$$

其中， $\omega_F + \omega_H = 1$ ， $\omega_F \geq 0$ ， $\omega_H \geq 0$ 。 ω_F 和 ω_H 的值可根据实际情况中对两项指标的重视程度灵活确定。

8.2.2 模型求解

根据以上模型，再赋予其优先权进行模拟并计算该系统的综合指标。

Step 1: 提取每一时间段内机场出租车行驶轨迹，记录每一辆车出现在机场最早的时刻，计算排队时间并进行排序；

Step 2: 将优先因子随机分配给时间段内全部出租车，再根据优先权进行二次排序，得到的序列记作 I_t ， $t = 1, 2, 3, \dots, 35$ ；

Step 3: 计算序列 I_t 的逆序数，并取 I_t 所有序列中逆序数的最大值，从而计算出公平度；

Step 4: 通过问题一中给出的利润函数求解序列中每个出租车的利润，取得最大最小值并计算利润极值，取 I_t 所有序列中利润极值的最大值，从而计算收益均衡度；

Step 5: 根据公平度和收益均衡度的相对重要性给予权重分别为 $\omega_F = 0.38$ ， $\omega_H = 0.62$ ，计算综合评价指标。

程序运行结果如下所示：

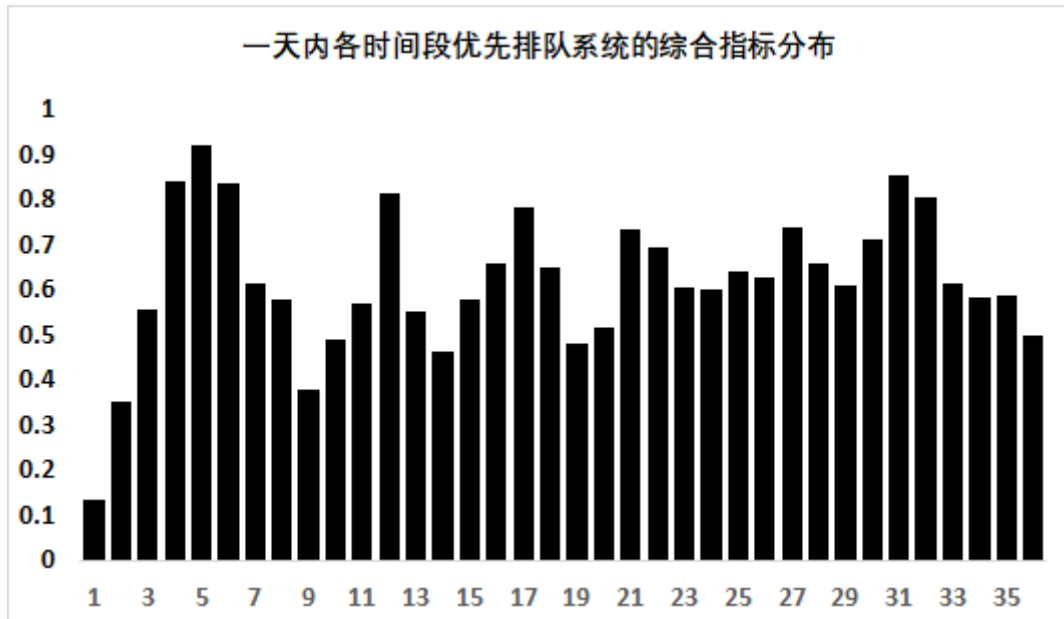


图 14 一天内各时间段优先排队系统综合指标分布

由图我们可以看出该模型在上午 7:00-9:00 及晚上 12:00-24:00 时间段内综合指标较高, 综合指标的平均值为 0.63, 方案的公平和收益均衡效果较好。

九、模型评价

9.1 模型优点

1. 本文围绕出租车这一重要机场接驳方式, 分别站在司机、机场到港乘客、管理部门的角度上对一系列重要决策问题及系统优化问题进行探讨, 建立了完整的理论决策与优化体系, 具有较强的稳健性和可迁移性。
2. 本文通过合理假设, 对影响因素考虑全面, 模型构建逻辑清晰。
3. 问题三提出了多个排队系统类型, 适用于现实生活中的不同情景。

9.2 模型缺点

1. 对数据质量要求较高, 实际中实现难度较大。
2. 计算机仿真模拟的结果具有一定的不稳定性。

参考文献

- [1] 司守奎, 孙兆亮, 数学建模算法与应用: 北京: 国防大学出版社, 2016.
- [2] 郭毅. 市场营销学原理: 电子工业出版社, 2008.
- [3] 刘彤丹. 基于天气影响的离场航班延误分析及预测[A]. 中国科学技术协会、中华人民共和国交通运输部、中国工程院. 2019 世界交通运输大会论文集(下) [4] 中国科学技术协会、中华人民共和国交通运输部、中国工程院: 中国公路学会, 2019:13.
- [5] 张兰芳, 卞韬, 张亮. 基于 NL 模型的大型机场接驳方式选择研究[J]. 城市交通, 2017, 15(02):40-47.
- [6] 魏中华, 王琳, 邱实. 基于排队论的枢纽内出租车上客区服务台优化[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2017, 13(10):298-300.
- [7] 魏太云, 詹德坚, 刘诗琴. 眼科病床安排的评价和优化[J]. 工程数学学报, 2009, 26(2):131-138.
- [8] 姜启源, 谢金星, 叶俊, 数学模型(第四版): 高等教育出版社, 2012.

附录

出租车数据下载说明：[数据量较大，约为 20GB，无法放入支撑材料中，按住 Ctrl 并单点此处即可下载数据](#)

· 机场航班数据

航班	始发地	目的地	计划到达
CA4502	上海虹桥	成都	0:05
SC4502	上海虹桥	成都	0:05
ZH4502	上海虹桥	成都	0:05
ZH9411	深圳	成都	0:05
CA3711	深圳	成都	0:05
CA4118	北京	成都	0:05
ZH4118	北京	成都	0:05
MU5374	宁波	成都	0:05
3U8920	杭州	成都	0:10
CZ9662	杭州	成都	0:10
MF5110	杭州	成都	0:10
MU3944	杭州	成都	0:10
EU2260	杭州	成都	0:10
CA4538	义乌	成都	0:10
ZH4538	义乌	成都	0:10
MU2230	合肥	成都	0:15
3U5084	合肥	成都	0:15
EU2270	大连	成都	0:15
EU2716	北海	成都	0:15
3U1640	北海	成都	0:15
3U8736	广州	成都	0:20
CZ4984	广州	成都	0:20
CA4536	上海浦东	成都	0:20
SC4536	上海浦东	成都	0:20
TV6456	上海浦东	成都	0:20
ZH4536	上海浦东	成都	0:20
CZ6119	北京	成都	0:25
MF1785	北京	成都	0:25
MF4683	北京	成都	0:25
CA4154	乌鲁木齐	成都	0:25
SC4154	乌鲁木齐	成都	0:25
TV6304	乌鲁木齐	成都	0:25
ZH4154	乌鲁木齐	成都	0:25
CA4064	宁波	成都	0:25

航班	始发地	目的地	计划到达
3U8667	昆明	成都	0:30
MU5273	北京	成都	0:30
TV9878	长春	成都	0:35
CA3962	长春	成都	0:35
EU2258	长春	成都	0:35
MU5417	上海浦东	成都	0:40
3U5004	上海浦东	成都	0:40
AZ5301	上海浦东	成都	0:40
H03693	上海浦东	成都	0:40
JL5685	上海浦东	成都	0:40
QF4019	上海浦东	成都	0:40
VN3534	上海浦东	成都	0:40
HU7347	北京	成都	0:40
CA4238	湛江	成都	0:40
TV6332	湛江	成都	0:40
ZH4238	湛江	成都	0:40
CA4588	武汉	成都	0:45
SC4588	武汉	成都	0:45
TV6478	武汉	成都	0:45
ZH4588	武汉	成都	0:45
3U8770	营口	成都	0:45
CZ4994	营口	成都	0:45
MU3952	营口	成都	0:45
ZH3814	营口	成都	0:45
8L9620	乌鲁木齐	成都	0:45
8L9945	昆明	成都	0:45
TV9880	沈阳桃仙	成都	0:50
CA3964	沈阳桃仙	成都	0:50
CA4182	太原	成都	0:50
ZH4182	太原	成都	0:50
MU2648	淮安涟水机场	成都	0:55
TV9820	厦门	成都	0:55
CA3938	厦门	成都	0:55

航班	始发地	目的地	计划到达
ZH9545	无锡	成都	0:55
CA3629	无锡	成都	0:55
3U8814	大连	成都	0:55
CZ9616	大连	成都	0:55
MU3954	大连	成都	0:55
EU2246	深圳	成都	1:00
EU2206	南京	成都	1:00
EU2224	昆明	成都	1:00
CA4324	桂林	成都	1:00
SC4324	桂林	成都	1:00
ZH4324	桂林	成都	1:00
EU2290	济南	成都	1:05
EU6668	上海浦东	成都	1:05
3U8862	天津	成都	1:05
MF5084	天津	成都	1:05
ZA493	西哈努克	成都	1:05
3U8630	长春	成都	1:10
3U8254	沈阳桃仙	成都	1:10
LH8410	法兰克福	成都	1:10
RU3851	哈巴罗夫斯克	成都	1:15
MU5506	榆林	成都	1:15
3U8234	厦门	成都	1:20
EU2238	丽江	成都	1:20
MU5278	太原	成都	1:20
3U5102	太原	成都	1:20
CA4392	珠海	成都	1:25
SC4392	珠海	成都	1:25
TV6402	珠海	成都	1:25
ZH4392	珠海	成都	1:25
CA4534	杭州	成都	1:25
TV6454	杭州	成都	1:25
ZH4534	杭州	成都	1:25
EU2220	南宁	成都	1:25
CA4140	哈尔滨	成都	1:25
TV6298	哈尔滨	成都	1:25
ZH4140	哈尔滨	成都	1:25
CA4524	南京	成都	1:30
EU2276	哈尔滨	成都	1:30

航班	始发地	目的地	计划到达
VJ5316	芽庄金兰机场	成都	1:30
GJ8730	大连	成都	1:35
3U8382	哈尔滨	成都	1:35
CZ4932	哈尔滨	成都	1:35
ZH3812	哈尔滨	成都	1:35
ZH3837	哈尔滨	成都	1:35
MU2296	沈阳桃仙	成都	1:35
3U8052	北海	成都	1:40
3U8916	青岛	成都	1:40
EU7058	青岛	成都	1:40
SC7042	青岛	成都	1:40
3U8714	合肥	成都	1:40
MU3940	合肥	成都	1:40
3U8844	哈尔滨	成都	1:45
CZ9632	哈尔滨	成都	1:45
MU3960	哈尔滨	成都	1:45
SC7036	哈尔滨	成都	1:45
ZH3506	哈尔滨	成都	1:45
EU1808	长沙	成都	1:45
3U8258	天津	成都	1:45
ZH9163	北京	成都	1:45
CA3463	北京	成都	1:45
3U8932	温州	成都	1:50
MU3948	温州	成都	1:50
3U8842	乌鲁木齐	成都	1:50
CZ9630	乌鲁木齐	成都	1:50
EU7052	乌鲁木齐	成都	1:50
EU2208	三亚	成都	1:55
3U1606	三亚	成都	1:55
3U8894	北京	成都	1:55
CZ9656	北京	成都	1:55
MF5104	北京	成都	1:55
3U8758	三亚	成都	1:55
3U8548	北京	成都	1:55
CZ4948	北京	成都	1:55
MF5042	北京	成都	1:55
GJ8744	大连	成都	2:00
FD562	曼谷廊曼	成都	2:00

航班	始发地	目的地	计划到达
DD3140	普吉	成都	2:00
G52868	满洲里	成都	2:05
Z2010	卡利博	成都	2:10
G52684	海口	成都	2:10
3U8094	新加坡樟宜	成都	2:20
CZ4088	新加坡樟宜	成都	2:20
SL932	曼谷廊曼	成都	2:30
CA1045	上海浦东	成都	2:50
YG9061	杭州	成都	3:10
GJ8808	曼德勒	成都	3:45
3U8188	雅希尔柯伊（坦）	成都	4:30
MU574	普吉	成都	5:05
CA414	普吉	成都	5:05
3U8926	普吉	成都	5:20
CA430	悉尼	成都	5:35
NZ3896	悉尼	成都	5:35
CA458	巴黎	成都	6:00
JD362	马德里	成都	6:00
3U8910	奥克兰	成都	6:00
3U602	墨尔本	成都	6:15
3U8296	苏黎士	成都	6:25
O36975	杭州	成都	6:30
HU470	洛杉矶	成都	6:30
Y87434	香港	成都	6:45
8L812	曼谷素万那普	成都	7:10
HU8296	曼谷素万那普	成都	7:10
MU5036	曼谷素万那普	成都	7:20
3U604	迪拜	成都	7:45
QW6092	芽庄金兰机场	成都	7:55
CZ8647	广州	成都	8:35
MF4340	广州	成都	8:35
DR6521	昆明	成都	8:40

航班	始发地	目的地	计划到达
ZH9361	南宁	成都	8:45
CA3661	南宁	成都	8:45
3U8448	胡志明	成都	8:50
CZ3403	广州	成都	8:50
3U3021	广州	成都	8:50
MF1255	广州	成都	8:50
MU3193	广州	成都	8:50
CZ3621	深圳	成都	8:55
3U3073	深圳	成都	8:55
MF1445	深圳	成都	8:55
MU3281	深圳	成都	8:55
CA403	银川	成都	8:55
3U610	莫斯科	成都	8:55
CA1086	南京	成都	9:05
TV9804	拉萨	成都	9:10
CA3912	拉萨	成都	9:10
CA4440	贵阳	成都	9:10
SC4440	贵阳	成都	9:10
ZH4440	贵阳	成都	9:10
CA4216	稻城亚丁	成都	9:25
ZH4216	稻城亚丁	成都	9:25
MU5841	昆明	成都	9:30
3U5124	昆明	成都	9:30
MF3068	昆明	成都	9:30
CZ3473	郑州	成都	9:30
3U3059	郑州	成都	9:30
MF1353	郑州	成都	9:30
CZ3457	深圳	成都	9:35
3U3053	深圳	成都	9:35
MF1297	深圳	成都	9:35
MF1337	深圳	成都	9:35
MU3279	深圳	成都	9:35
JD5161	广州	成都	9:40
ZH9441	广州	成都	9:45
CA3741	广州	成都	9:45
9C8985	石家庄	成都	9:45
ZH9541	无锡	成都	9:50
CA3841	无锡	成都	9:50
MU5233	太原	成都	9:50

航班	始发地	目的地	计划到达
3U5100	太原	成都	9:50
CA8221	武汉	成都	9:50
ZH4821	武汉	成都	9:50
CA4408	邦达	成都	9:55
SC4408	邦达	成都	9:55
ZH4408	邦达	成都	9:55
CA4418	昆明	成都	10:10
KY4418	昆明	成都	10:10
SC4418	昆明	成都	10:10
ZH4418	昆明	成都	10:10
CZ3447	武汉	成都	10:10
MF1327	武汉	成都	10:10
CA4194	北京	成都	10:10
ZH4194	北京	成都	10:10
MU2805	南京	成都	10:10
3U5042	南京	成都	10:10
SC4763	厦门	成都	10:15
CA4763	厦门	成都	10:15
MU5435	合肥	成都	10:20
3U5082	合肥	成都	10:20
CA8971	大连	成都	10:20
SC8971	大连	成都	10:20
TV6491	大连	成都	10:20
ZH4671	大连	成都	10:20
KN5215	北京南苑	成都	10:20
CA4330	深圳	成都	10:25
SC4330	深圳	成都	10:25
TV6368	深圳	成都	10:25
ZH4330	深圳	成都	10:25
MF8435	福州	成都	10:25
MF8401	厦门	成都	10:25
DZ6301	南通	成都	10:25
HU7741	深圳	成都	10:30
CZ3401	广州	成都	10:30
3U3171	广州	成都	10:30
MF1253	广州	成都	10:30
MU3191	广州	成都	10:30
HU7147	北京	成都	10:35
CA1741	杭州	成都	10:35

航班	始发地	目的地	计划到达
TV6247	杭州	成都	10:35
ZH1741	杭州	成都	10:35
CA1405	北京	成都	10:40
ZH1405	北京	成都	10:40
CA1427	天津	成都	10:40
TV6233	天津	成都	10:40
ZH1427	天津	成都	10:40
CA4416	大理	成都	10:40
SC4416	大理	成都	10:40
ZH4416	大理	成都	10:40
MU2653	武汉	成都	10:45
3U5050	武汉	成都	10:45
ZH9401	深圳	成都	10:45
CA3701	深圳	成都	10:45
CA1947	上海浦东	成都	10:50
TV6257	上海浦东	成都	10:50
ZH1947	上海浦东	成都	10:50
CA4296	林芝	成都	10:50
MU2905	无锡	成都	10:55
HO1119	上海虹桥	成都	10:55
3U2235	上海虹桥	成都	10:55
CA3293	上海虹桥	成都	10:55
MU4729	上海虹桥	成都	10:55
CA4432	林芝	成都	10:55
ZH4432	林芝	成都	10:55
CA4372	长沙	成都	11:00
SC4372	长沙	成都	11:00
TV6386	长沙	成都	11:00
ZH4372	长沙	成都	11:00
SC4901	济南	成都	11:05
CA4901	济南	成都	11:05
MF8423	杭州	成都	11:05
CZ6161	北京	成都	11:10
3U3111	北京	成都	11:10
MF1819	北京	成都	11:10
MF1901	北京	成都	11:10
CA4508	南昌	成都	11:15
SC4508	南昌	成都	11:15
ZH4508	南昌	成都	11:15

航班	始发地	目的地	计划到达
CA4112	北京	成都	11:15
SC4112	北京	成都	11:15
ZH4112	北京	成都	11:15
TV9893	邦达	成都	11:20
MU5401	上海虹桥	成都	11:20
3U5014	上海虹桥	成都	11:20
TV9881	拉萨	成都	11:25
CA3965	拉萨	成都	11:25
CZ3767	珠海	成都	11:30
MF1573	珠海	成都	11:30
CZ6941	乌鲁木齐	成都	11:35
3U3147	乌鲁木齐	成都	11:35
MF4563	乌鲁木齐	成都	11:35
MU4585	乌鲁木齐	成都	11:35
MU2217	西宁	成都	11:40
MU2464	武汉	成都	11:45
3U5048	武汉	成都	11:45
CZ3437	广州	成都	11:45
3U3043	广州	成都	11:45
MF1281	广州	成都	11:45
EU1802	长沙	成都	11:45
CI551	台北桃园	成都	12:00
3U8694	林芝	成都	12:05
CZ4970	林芝	成都	12:05
EU7046	林芝	成都	12:05
MU5843	昆明	成都	12:05
3U5126	昆明	成都	12:05
MF3070	昆明	成都	12:05
TV9824	拉萨	成都	12:10
CA3946	拉萨	成都	12:10
CA448Z		成都	12:10
CA4310	广州	成都	12:15
SC4310	广州	成都	12:15
TV6352	广州	成都	12:15
ZH4310	广州	成都	12:15
CZ6439	大连	成都	12:20
TV9848	林芝	成都	12:25
CA3952	林芝	成都	12:25
MU5403	上海浦东	成都	12:25

航班	始发地	目的地	计划到达
3U5002	上海浦东	成都	12:25
H03689	上海浦东	成都	12:25
JL5681	上海浦东	成都	12:25
QF4011	上海浦东	成都	12:25
CA4590	常州	成都	12:30
SC4590	常州	成都	12:30
TV6480	常州	成都	12:30
ZH4590	常州	成都	12:30
CA4402	拉萨	成都	12:35
SC4402	拉萨	成都	12:35
TV6288	拉萨	成都	12:35
ZH4402	拉萨	成都	12:35
CZ8648	稻城亚丁	成都	12:35
3U8698	拉萨	成都	12:35
CZ4974	拉萨	成都	12:35
MU4622	拉萨	成都	12:35
KA886	香港	成都	12:40
CA6502	香港	成都	12:40
CX5886	香港	成都	12:40
MU5405	上海虹桥	成都	12:40
3U5012	上海虹桥	成都	12:40
TV9806	三亚	成都	12:40
CA3914	三亚	成都	12:40
CA4252	林芝	成都	12:45
SC4252	林芝	成都	12:45
ZH4252	林芝	成都	12:45
CA4522	合肥	成都	12:45
SC4522	合肥	成都	12:45
ZH4522	合肥	成都	12:45
3U8702	深圳	成都	12:45
CZ4976	深圳	成都	12:45
MF5056	深圳	成都	12:45
ZH3832	深圳	成都	12:45
3U8774	南宁	成都	12:50
CZ4996	南宁	成都	12:50
CZ6401	沈阳桃仙	成都	12:50
3U3135	沈阳桃仙	成都	12:50
MF4103	沈阳桃仙	成都	12:50
MU4745	沈阳桃仙	成都	12:50

航班	始发地	目的地	计划到达
H01097	上海虹桥	成都	12:55
3U2239	上海虹桥	成都	12:55
MU4731	上海虹桥	成都	12:55
CA1415	北京	成都	12:55
ZH1415	北京	成都	12:55
ZH9565	南京	成都	13:00
CA3865	南京	成都	13:00
MU9638	湛江	成都	13:00
MU5777	大理	成都	13:05
MU5845	昆明	成都	13:05
3U5128	昆明	成都	13:05
MF3072	昆明	成都	13:05
EU2236	广州	成都	13:05
3U8738	广州	成都	13:10
CZ4986	广州	成都	13:10
CZ6255	哈尔滨	成都	13:10
3U3125	哈尔滨	成都	13:10
MF1977	哈尔滨	成都	13:10
CA4592	上海浦东	成都	13:15
ZH4592	上海浦东	成都	13:15
CZ6441	长春	成都	13:15
3U3139	长春	成都	13:15
CA4462	攀枝花	成都	13:20
TV6428	攀枝花	成都	13:20
ZH4462	攀枝花	成都	13:20
CA4374	揭阳	成都	13:20
SC4374	揭阳	成都	13:20
TV6388	揭阳	成都	13:20
ZH4374	揭阳	成都	13:20
MU5596	珠海	成都	13:20
CA460	东京成田	成都	13:20
CA412	香港	成都	13:35
CA4192	乌鲁木齐	成都	13:40
SC4192	乌鲁木齐	成都	13:40
ZH4192	乌鲁木齐	成都	13:40
D7320	吉隆坡	成都	13:40
CA4188	天津	成都	13:45
TV6316	天津	成都	13:45
ZH4188	天津	成都	13:45

航班	始发地	目的地	计划到达
CA4520	杭州	成都	13:45
ZH4520	杭州	成都	13:45
CZ6831	乌鲁木齐	成都	13:50
EU2218	深圳	成都	13:55
3U1610	深圳	成都	13:55
CA4512	青岛	成都	13:55
SC4512	青岛	成都	13:55
TV6438	青岛	成都	13:55
ZH4512	青岛	成都	13:55
CA4306	广州	成都	13:55
SC4306	广州	成都	13:55
TV6348	广州	成都	13:55
ZH4306	广州	成都	13:55
ZH9403	深圳	成都	14:00
CA3703	深圳	成都	14:00
3U8648	塞班	成都	14:00
H03438	塞班	成都	14:00
MU3938	塞班	成都	14:00
EU1826	沈阳桃仙	成都	14:05
CZ6183	北京	成都	14:10
3U3117	北京	成都	14:10
MF1835	北京	成都	14:10
MF8441	厦门	成都	14:15
TG618	曼谷素万那普	成都	14:25
TV9817	日喀则	成都	14:30
MU5407	上海浦东	成都	14:30
3U5006	上海浦东	成都	14:30
H03691	上海浦东	成都	14:30
QF4200	上海浦东	成都	14:30
CZ3471	郑州	成都	14:35
3U3057	郑州	成都	14:35
MF1351	郑州	成都	14:35
HU7085	海口	成都	14:35
NX198	澳门	成都	14:40
CA5418	澳门	成都	14:40
BK2851	天津	成都	14:45
CA4338	深圳	成都	14:45
TV6372	深圳	成都	14:45

航班	始发地	目的地	计划到达
ZH4338	深圳	成都	14:45
CZ3443	广州	成都	14:45
3U3047	广州	成都	14:45
MF1285	广州	成都	14:45
MU3221	广州	成都	14:45
MU5826	拉萨	成都	14:50
MU9696	常州	成都	14:55
CA4414	昆明	成都	15:00
KY4414	昆明	成都	15:00
SC4414	昆明	成都	15:00
ZH4414	昆明	成都	15:00
CA1963	温州	成都	15:10
TV6263	温州	成都	15:10
ZH1963	温州	成都	15:10
CA4160	库尔勒	成都	15:10
ZH4160	库尔勒	成都	15:10
VN552	河内内拜	成都	15:15
CA4442	拉萨	成都	15:15
ZH4442	拉萨	成都	15:15
CA4504	上海浦东	成都	15:15
SC4504	上海浦东	成都	15:15
TV6432	上海浦东	成都	15:15
ZH4504	上海浦东	成都	15:15
CA4516	上海虹桥	成都	15:20
SC4516	上海虹桥	成都	15:20
ZH4516	上海虹桥	成都	15:20
CZ3453	深圳	成都	15:20
3U3049	深圳	成都	15:20
MF1293	深圳	成都	15:20
MF1333	深圳	成都	15:20
MU3278	深圳	成都	15:20
CA4114	北京	成都	15:20
ZH4114	北京	成都	15:20
CA4152	乌鲁木齐	成都	15:20
SC4152	乌鲁木齐	成都	15:20
ZH4152	乌鲁木齐	成都	15:20
CA4308	广州	成都	15:30
SC4308	广州	成都	15:30
TV6280	广州	成都	15:30

航班	始发地	目的地	计划到达
ZH4308	广州	成都	15:30
CA424	伦敦希思罗	成都	15:30
MU2219	上海虹桥	成都	15:35
3U5022	上海虹桥	成都	15:35
ZH9405	深圳	成都	15:35
CA3705	深圳	成都	15:35
MU5322	广州	成都	15:40
MU5419	上海浦东	成都	15:40
QF4240	上海浦东	成都	15:40
ZH9445	广州	成都	15:45
CA3879	广州	成都	15:45
JD5109	青岛	成都	15:45
MU2651	武汉	成都	15:50
3U5052	武汉	成都	15:50
MU5500	杭州	成都	15:55
3U5088	杭州	成都	15:55
CA4406	拉萨	成都	16:05
SC4406	拉萨	成都	16:05
ZH4406	拉萨	成都	16:05
CA4530	宁波	成都	16:10
SC4530	宁波	成都	16:10
TV6450	宁波	成都	16:10
ZH4530	宁波	成都	16:10
CA438	加德满都	成都	16:10
CA4178	哈尔滨	成都	16:10
TV6308	哈尔滨	成都	16:10
ZH4178	哈尔滨	成都	16:10
CA4198	北京	成都	16:15
ZH4198	北京	成都	16:15
CA4046	长春	成都	16:15
CZ8243	上海虹桥	成都	16:20
MF4286	上海虹桥	成都	16:20
CA4186	沈阳桃仙	成都	16:20
TV6314	沈阳桃仙	成都	16:20
ZH4186	沈阳桃仙	成都	16:20
HU7751	深圳	成都	16:20
GY7183	贵阳	成都	16:25
ZH9543	无锡	成都	16:40

航班	始发地	目的地	计划到达
CA3843	无锡	成都	16:40
ZH9488	泉州	成都	16:45
CA3788	泉州	成都	16:45
EU6670	哈尔滨	成都	16:45
3U1664	哈尔滨	成都	16:45
EU2736	厦门	成都	16:45
3U1648	厦门	成都	16:45
EU2230	温州	成都	16:45
3U1614	温州	成都	16:45
MU9886	杭州	成都	16:50
MU5847	昆明	成都	16:50
MF3074	昆明	成都	16:50
ZH9472	南昌	成都	17:05
CA3502	南昌	成都	17:05
CA4190	长春	成都	17:05
TV6318	长春	成都	17:05
ZH4190	长春	成都	17:05
CA4184	运城	成都	17:05
ZH4184	运城	成都	17:05
CA4108	北京	成都	17:10
ZH4108	北京	成都	17:10
TV9926	哈尔滨	成都	17:15
CA3986	哈尔滨	成都	17:15
CA4464	攀枝花	成都	17:15
ZH4464	攀枝花	成都	17:15
CA4532	烟台	成都	17:20
SC4532	烟台	成都	17:20
TV6452	烟台	成都	17:20
ZH4532	烟台	成都	17:20
EU6674	舟山	成都	17:20
3U1668	舟山	成都	17:20
MI936	新加坡樟宜	成都	17:20
CA5292	新加坡樟宜	成都	17:20
SQ5136	新加坡樟宜	成都	17:20
VA5811	新加坡樟宜	成都	17:20

航班	始发地	目的地	计划到达
CA4278	东营	成都	17:25
TV6342	东营	成都	17:25
ZH4278	东营	成都	17:25
CA402	首尔仁川	成都	17:30
OZ6831	首尔仁川	成都	17:30
3U8696	拉萨	成都	17:30
CZ4972	拉萨	成都	17:30
MU4624	拉萨	成都	17:30
MU5769	腾冲	成都	17:35
MU2815	南京	成都	17:40
3U5044	南京	成都	17:40
TV9866	上海虹桥	成都	17:40
CA3954	上海虹桥	成都	17:40
H01725	南京	成都	17:50
3U2215	南京	成都	17:50
MU4799	南京	成都	17:50
HU7731	深圳	成都	17:50
CA4318	广州	成都	17:55
SC4318	广州	成都	17:55
TV6282	广州	成都	17:55
ZH4318	广州	成都	17:55
MU5755	大理	成都	17:55
CZ6673	沈阳桃仙	成都	17:55
3U3137	沈阳桃仙	成都	17:55
CZ3903	北京	成都	18:00
3U3101	北京	成都	18:00
MF1683	北京	成都	18:00
MF1761	北京	成都	18:00
HU7351	广州	成都	18:05
HU7247	北京	成都	18:05
CA4026	拉萨	成都	18:05
ZH4026	拉萨	成都	18:05
CA4116	北京	成都	18:10
ZH4116	北京	成都	18:10
CA4111	拉萨	成都	18:15
SC4111	拉萨	成都	18:15
ZH4111	拉萨	成都	18:15
CZ3417	广州	成都	18:20
3U3033	广州	成都	18:20

航班	始发地	目的地	计划到达
MF1265	广州	成都	18:20
MU3205	广州	成都	18:20
FM9403	上海虹桥	成都	18:20
MU9403	上海虹桥	成都	18:20
MU9403	上海虹桥	成都	18:20
ZH9407	深圳	成都	18:25
CA3707	深圳	成都	18:25
CA4591	西昌	成都	18:25
SC4591	西昌	成都	18:25
ZH4591	西昌	成都	18:25
MU5849	昆明	成都	18:35
MF3076	昆明	成都	18:35
CZ6881	乌鲁木齐	成都	18:35
CA416	缅甸仰光	成都	18:40
KY2416	缅甸仰光	成都	18:40
MF8447	泉州	成都	18:40
CA4540	厦门	成都	18:40
SC4540	厦门	成都	18:40
TV6460	厦门	成都	18:40
ZH4540	厦门	成都	18:40
CA4452	丽江	成都	18:45
SC4452	丽江	成都	18:45
TV6426	丽江	成都	18:45
ZH4452	丽江	成都	18:45
EU2704	长春	成都	18:45
3U1634	长春	成都	18:45
NS3209	石家庄	成都	18:50
MU5779	香格里拉	成都	18:55
EU2756	沈阳桃仙	成都	18:55
3U1652	沈阳桃仙	成都	18:55
CA4480	上海浦东	成都	19:00
3U8720	加德满都	成都	19:00
MU4620	加德满都	成都	19:00
MF8451	福州	成都	19:00
KN2307	石家庄	成都	19:05
CA4032	克拉玛依	成都	19:05
SC4032	克拉玛依	成都	19:05
ZH4032	克拉玛依	成都	19:05
CA1407	北京	成都	19:10

航班	始发地	目的地	计划到达
ZH1407	北京	成都	19:10
CA1949	上海浦东	成都	19:15
ZH1949	上海浦东	成都	19:15
CA4506	南京	成都	19:15
SC4506	南京	成都	19:15
ZH4506	南京	成都	19:15
3U8744	广州	成都	19:20
GJ8005	温州	成都	19:25
MF8453	杭州	成都	19:25
FM9549	上海虹桥	成都	19:25
MU9549	上海虹桥	成都	19:25
SC4935	厦门	成都	19:30
CA4935	厦门	成都	19:30
3U8704	深圳	成都	19:30
CZ4978	深圳	成都	19:30
MF5058	深圳	成都	19:30
ZH3834	深圳	成都	19:30
9C8526	素叻他尼	成都	19:35
HU7407	上海浦东	成都	19:35
TV9882	上海虹桥	成都	19:40
CA3966	上海虹桥	成都	19:40
EY818	阿布扎比	成都	19:40
AZ5756	阿布扎比	成都	19:40
3U8734	广州	成都	19:45
CZ4982	广州	成都	19:45
MU4050	广州	成都	19:45
CA4212	西宁	成都	19:45
TV6326	西宁	成都	19:45
ZH4212	西宁	成都	19:45
JD5177	三亚	成都	19:50
CA4404	拉萨	成都	19:55
SC4404	拉萨	成都	19:55
TV6292	拉萨	成都	19:55
ZH4404	拉萨	成都	19:55
CA4314	深圳	成都	20:00
SC4314	深圳	成都	20:00
TV6356	深圳	成都	20:00
ZH4314	深圳	成都	20:00
CA1425	北京	成都	20:00

航班	始发地	目的地	计划到达
ZH1425	北京	成都	20:00
CZ6135	北京	成都	20:05
3U3109	北京	成都	20:05
MF1801	北京	成都	20:05
3U8618	香港	成都	20:05
CA1653	呼和浩特	成都	20:10
TV6241	呼和浩特	成都	20:10
ZH1653	呼和浩特	成都	20:10
CA1745	杭州	成都	20:10
ZH1745	杭州	成都	20:10
CZ6435	大连	成都	20:15
MF4129	大连	成都	20:15
CZ3865	揭阳	成都	20:20
3U3095	揭阳	成都	20:20
MF1723	揭阳	成都	20:20
CZ3483	广州	成都	20:20
3U3061	广州	成都	20:20
MF1317	广州	成都	20:20
MF1363	广州	成都	20:20
MU3231	广州	成都	20:20
CZ3241	南宁	成都	20:25
3U3015	南宁	成都	20:25
CA404	新加坡樟宜	成都	20:30
TV9894	深圳	成都	20:30
CA4316	海口	成都	20:35
SC4316	海口	成都	20:35
TV6358	海口	成都	20:35
ZH4316	海口	成都	20:35
CA1959	温州	成都	20:35
TV6261	温州	成都	20:35
ZH1959	温州	成都	20:35
SC4713	青岛	成都	20:40
CA4713	青岛	成都	20:40
TV9916	大理	成都	20:45
ZH9567	南京	成都	20:45
CA3517	南京	成都	20:45
MU5100	卡利博	成都	20:50
CA4246	伊宁	成都	20:50

航班	始发地	目的地	计划到达
ZH4246	伊宁	成都	20:50
BK2779	长沙	成都	20:50
EU6662	泉州	成都	20:55
3U1662	泉州	成都	20:55
9C8758	普吉	成都	20:55
EU2744	拉萨	成都	20:55
MU2237	西宁	成都	21:00
3U5094	西宁	成都	21:00
MU5851	昆明	成都	21:05
3U5130	昆明	成都	21:05
CA4242	喀什	成都	21:05
ZH4242	喀什	成都	21:05
CA4334	广州	成都	21:05
SC4334	广州	成都	21:05
TV6370	广州	成都	21:05
ZH4334	广州	成都	21:05
CZ3441	武汉	成都	21:05
MF1321	武汉	成都	21:05
CA4312	深圳	成都	21:10
SC4312	深圳	成都	21:10
TV6354	深圳	成都	21:10
ZH4312	深圳	成都	21:10
MU2644	黄山	成都	21:10
3U8978	台北松山	成都	21:15
KN5217	北京南苑	成都	21:15
CA4104	北京	成都	21:15
ZH4104	北京	成都	21:15
CZ3433	深圳	成都	21:20
3U3041	深圳	成都	21:20
MF1277	深圳	成都	21:20
MU3280	深圳	成都	21:20
CZ3729	珠海	成都	21:20
MF1539	珠海	成都	21:20
MU2458	台州	成都	21:20
EU2714	台州	成都	21:20
3U1638	台州	成都	21:20
MU2837	南京	成都	21:25
CZ3427	广州	成都	21:25
3U3039	广州	成都	21:25

航班	始发地	目的地	计划到达
MF1273	广州	成都	21:25
MU5853	昆明	成都	21:30
3U5132	昆明	成都	21:30
MU9698	锦州	成都	21:35
TV9818	丽江	成都	21:35
CA4468	西昌	成都	21:35
CA4482	九寨黄龙	成都	21:40
MU5038	济州	成都	21:40
JL5683	济州	成都	21:40
QF4278	济州	成都	21:40
MU2935	常州	成都	21:45
3U5046	常州	成都	21:45
CZ6471	郑州	成都	21:45
3U3141	郑州	成都	21:45
DR5012	哈尔滨	成都	21:50
CZ3461	长沙	成都	21:50
MF1301	长沙	成都	21:50
3U8146	曼谷素万那普	成都	21:55
CZ4086	曼谷素万那普	成都	21:55
KA824	香港	成都	21:55
CA6504	香港	成都	21:55
CX5824	香港	成都	21:55
CA8139	天津	成都	22:00
ZH4905	天津	成都	22:00
3U8706	深圳	成都	22:00
CZ4980	深圳	成都	22:00
MF5060	深圳	成都	22:00
ZH3816	深圳	成都	22:00
EU2776	乌兰浩特	成都	22:00
GS7887	天津	成都	22:05
CA462	大阪关西	成都	22:05
ZH9409	深圳	成都	22:10
CA3829	深圳	成都	22:10
CA4110	北京	成都	22:10
ZH4110	北京	成都	22:10
MI938	新加坡樟宜	成都	22:10

航班	始发地	目的地	计划到达
CA5294	新加坡樟宜	成都	22:10
SQ5138	新加坡樟宜	成都	22:10
VA5813	新加坡樟宜	成都	22:10
VN546	岷港	成都	22:15
CA428	香港	成都	22:15
MU5320	深圳	成都	22:15
MU5654	烟台	成都	22:20
3U5096	烟台	成都	22:20
MU2413	兰州	成都	22:20
MU2638	揭阳	成都	22:20
3U8692	丽江	成都	22:20
MU3908	丽江	成都	22:20
3U8748	海拉尔	成都	22:25
SC7076	海拉尔	成都	22:25
NH947	东京成田	成都	22:25
QW9771	青岛	成都	22:25
EU2272	张掖	成都	22:30
3U1620	张掖	成都	22:30
MU5388	宁波	成都	22:30
MU5411	上海虹桥	成都	22:35
3U5020	上海虹桥	成都	22:35
CA4040	长春	成都	22:35
ZH4040	长春	成都	22:35
CA472	曼谷素万那普	成都	22:40
MU5855	昆明	成都	22:50
3U5134	昆明	成都	22:50
CA4384	深圳	成都	22:55
SC4384	深圳	成都	22:55
TV6396	深圳	成都	22:55
ZH4384	深圳	成都	22:55
EU2248	福州	成都	22:55
CA4106	北京	成都	23:00
ZH4106	北京	成都	23:00
OZ323	首尔仁川	成都	23:00
MU5413	上海虹桥	成都	23:00

航班	始发地	目的地	计划到达
3U5018	上海虹桥	成都	23:00
H03687	上海虹桥	成都	23:00
MU5280	长春	成都	23:00
MU2856	洛杉矶	成都	23:05
MU2472	兰州	成都	23:05
3U5092	兰州	成都	23:05
G58545	兰州	成都	23:05
MU5496	杭州	成都	23:10
3U5090	杭州	成都	23:10
CA4304	广州	成都	23:10
SC4304	广州	成都	23:10
TV6346	广州	成都	23:10
ZH4304	广州	成都	23:10
CZ6409	沈阳桃仙	成都	23:15
MF4111	沈阳桃仙	成都	23:15
ZH9443	广州	成都	23:20
CA3743	广州	成都	23:20
CA4208	兰州	成都	23:20
ZH4208	兰州	成都	23:20
3U8752	海口	成都	23:20
MU3928	海口	成都	23:20
MU5415	上海虹桥	成都	23:25
3U5016	上海虹桥	成都	23:25
CA418	台北桃园	成都	23:25
CA4528	济南	成都	23:25
SC4528	济南	成都	23:25
TV6448	济南	成都	23:25
ZH4528	济南	成都	23:25
CA4390	深圳	成都	23:25
SC4390	深圳	成都	23:25
TV6400	深圳	成都	23:25
ZH4390	深圳	成都	23:25
MU2006	名古屋	成都	23:30

航班	始发地	目的地	计划到达
3U5098	名古屋	成都	23:30
MF8489	厦门	成都	23:30
CA4230	福州	成都	23:30
SC4230	福州	成都	23:30
TV6330	福州	成都	23:30
ZH4230	福州	成都	23:30
MU2825	南京	成都	23:35
3U5040	南京	成都	23:35
MU5729	保山	成都	23:35
CA4244	阿克苏温宿	成都	23:40
ZH4244	阿克苏温宿	成都	23:40
CA4514	上海浦东	成都	23:40
SC4514	上海浦东	成都	23:40
ZH4514	上海浦东	成都	23:40
CZ3377	广州	成都	23:40
3U3019	广州	成都	23:40
MF1229	广州	成都	23:40
MU3172	广州	成都	23:40
MU2620	温州	成都	23:45
TV9854	拉萨	成都	23:45
CA3944	拉萨	成都	23:45
TV9830	兰州	成都	23:50
CA3942	兰州	成都	23:50
CA4328	南宁	成都	23:50
SC4328	南宁	成都	23:50
TV6366	南宁	成都	23:50
ZH4328	南宁	成都	23:50
3U8088	大阪关西	成都	23:55
CZ4084	大阪关西	成都	23:55
EU2232	福州	成都	23:55

• 问题二结果

时间段	决策
6:00 ~ 6:10	1
6:10 ~ 6:20	1
6:20 ~ 6:30	1
6:30 ~ 6:40	0

时间段	决策
6:40 ~ 6:50	1
6:50 ~ 7:00	1
7:00 ~ 7:10	1
7:10 ~ 7:20	1

时间段	决策
7:20 ~ 7:30	0
7:30 ~ 7:40	0
7:40 ~ 7:50	1
7:50 ~ 8:00	1

时间段	决策
8:00 ~ 8:10	1
8:10 ~ 8:20	1
8:20 ~ 8:30	1
8:30 ~ 8:40	0
8:40 ~ 8:50	0
8:50 ~ 9:00	0
9:00 ~ 9:10	1
9:10 ~ 9:20	0
9:20 ~ 9:30	1
9:30 ~ 9:40	1
9:40 ~ 9:50	0
9:50 ~ 10:00	1
10:00 ~ 10:10	0
10:10 ~ 10:20	0
10:20 ~ 10:30	0
10:30 ~ 10:40	0
10:40 ~ 10:50	1
10:50 ~ 11:00	1
11:00 ~ 11:10	1
11:10 ~ 11:20	1
11:20 ~ 11:30	1
11:30 ~ 11:40	0
11:40 ~ 11:50	0
11:50 ~ 12:00	1
12:00 ~ 12:10	1
12:10 ~ 12:20	1
12:20 ~ 12:30	1
12:30 ~ 12:40	1
12:40 ~ 12:50	0
12:50 ~ 13:00	0
13:00 ~ 13:10	0
13:10 ~ 13:20	0

时间段	决策
13:20 ~ 13:30	0
13:30 ~ 13:40	1
13:40 ~ 13:50	0
13:50 ~ 14:00	1
14:00 ~ 14:10	1
14:10 ~ 14:20	0
14:20 ~ 14:30	1
14:30 ~ 14:40	0
14:40 ~ 14:50	0
14:50 ~ 15:00	1
15:00 ~ 15:10	0
15:10 ~ 15:20	0
15:20 ~ 15:30	0
15:30 ~ 15:40	0
15:40 ~ 15:50	1
15:50 ~ 16:00	1
16:00 ~ 16:10	0
16:10 ~ 16:20	1
16:20 ~ 16:30	0
16:30 ~ 16:40	1
16:40 ~ 16:50	1
16:50 ~ 17:00	0
17:00 ~ 17:10	1
17:10 ~ 17:20	0
17:20 ~ 17:30	1
17:30 ~ 17:40	1
17:40 ~ 17:50	0
17:50 ~ 18:00	0
18:00 ~ 18:10	1
18:10 ~ 18:20	0
18:20 ~ 18:30	1
18:30 ~ 18:40	0

时间段	决策
18:40 ~ 18:50	0
18:50 ~ 19:00	0
19:00 ~ 19:10	1
19:10 ~ 19:20	1
19:20 ~ 19:30	0
19:30 ~ 19:40	1
19:40 ~ 19:50	0
19:50 ~ 20:00	0
20:00 ~ 20:10	0
20:10 ~ 20:20	1
20:20 ~ 20:30	0
20:30 ~ 20:40	0
20:40 ~ 20:50	1
20:50 ~ 21:00	0
21:00 ~ 21:10	1
21:10 ~ 21:20	0
21:20 ~ 21:30	1
21:30 ~ 21:40	1
21:40 ~ 21:50	1
21:50 ~ 22:00	0
22:00 ~ 22:10	1
22:10 ~ 22:20	0
22:20 ~ 22:30	1
22:30 ~ 22:40	0
22:40 ~ 22:50	0
22:50 ~ 23:00	0
23:00 ~ 23:10	0
23:10 ~ 23:20	1
23:20 ~ 23:30	0
23:30 ~ 23:40	0
23:40 ~ 23:50	1
23:50 ~ 24:00	1

R 代码

• Data.R: 筛选保留位置在机场的出租车所有数据

```
setwd('D:\\数模出租车\\交通赛数据_下')
library(data.table)
require('lubridate')
Sys.setlocale("LC_TIME", "C")
cab = fread('20140818_train.txt')
# 根据经纬度取出在机场的出租车轨迹的数据
cab = cab[which(cab[, 'V3'] >= 103.9514552 & cab[, 'V3'] <= 103.9690387), ]
cab = cab[which(cab[, 'V2'] >= 30.5628566 & cab[, 'V2'] <= 30.5754376), ]
cab = cab[which(cab[, 'V4'] == 0)]
d1 = as.vector(unlist(cab[, 'V5']))
cab[, 'V5'] = unclass(as.POSIXct(d1))      # 将时间格式数据转换为时间戳
write.csv(cab, 'cab.csv') # 保存经纬度在机场的出租车的所有数据
```

Python 代码

• Trace.py: 出租车轨迹数据

```
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
plt.style.use('ggplot')

cab = pd.read_csv('D:\\数模出租车\\交通赛数据_下\\cab.csv') # 导入将要使用的数据

# 选出早上 8 点到 10 点所有在机场的出租车
cab = cab[cab['V5'] >= 1408320000]
cab = cab[cab['V5'] <= 1408327200]
plt.rcParams['font.sans-serif']=['SimHei'] # 用来正常显示中文标签
plt.rcParams['axes.unicode_minus']=False # 用来正常显示负号
plt.figure(figsize=(12, 8))
plt.plot(cab['V3'], cab['V2'], 'k.') # 出租车在机场的行驶轨迹
plt.title('早上 8 点到 10 点所有出租车在机场的行驶轨迹')
plt.rcParams['savefig.dpi'] = 800 # 图片像素
plt.rcParams['figure.dpi'] = 800 # 分辨率
plt.xlabel('经度')
plt.ylabel('纬度')
plt.savefig('行驶轨迹.png')
plt.show()
```

MATLAB 代码

· 问题三排队论代码

```
function [Lq Wq] = model1(mu, la)
% 求单服务平台的平均队列长度和平均逗留时长
Lq = la/(mu-la); %平均队列长度
Wq = 1/(mu-la); %平均逗留时长
function [Lq Wq] = model2(mu, la, S)
% 求多服务平台的平均队列长度和平均逗留时长
t = la/(S*mu); %求出排队系统的服务强度
Lq = 1/factorial(S)*(S*t)^S*t/(1-t)^2*PoS(mu, la, S)+la/mu; %平均队
列长度
Wq = Lq/la; %平均逗留时长
function P = PoS(mu, la, S)
% 求所有上车点都空闲的概率
t = la/(S*mu); % 求出排队系统的服务强度
syms k
p1 = symsum(1/factorial(k)*(la/mu)^k, 0, S);
p2 = 1/(factorial(S)*(1-t))*(la/mu)^S;
P = (p1+p2)^(-1);
P = vpa(P);
clear
clc
warning off
opts = delimitedTextImportOptions("NumVariables", 6);

% 指定范围和分隔符
opts.DataLines = [2, Inf];
opts.Delimiter = ",";

% 指定列名称和类型
opts.VariableNames = ["Var1", "V1", "V2", "V3", "V4", "V5"];
opts.SelectedVariableNames = ["V1", "V2", "V3", "V4", "V5"];
opts.VariableTypes = ["string", "double", "double", "double", "double",
"double"];
opts = setvaropts(opts, 1, "WhitespaceRule", "preserve");
opts = setvaropts(opts, 1, "EmptyFieldRule", "auto");
opts.ExtraColumnsRule = "ignore";
opts.EmptyLineRule = "read";

% 导入数据
cab = readtable("D:\数模出租车\交通赛数据_下\cab.csv", opts);
cab = table2array(cab);
```

```

%% 清除临时变量
clear opts

delta_t = 1800; % 设置时间间隔为 30 分钟
n = 18*3600/delta_t;
later = 60;
Ntp = delta_t/60;
start_time = min(cab(:,5));
Results_Lq = zeros(1,2);
Results_Wq = zeros(1,2);

for i = 0:n-1
    Acar = 2.33; % 每辆出租车平均载客人数
    t1 = start_time+i*delta_t;
    t2 = start_time+(i+1)*delta_t;
    cabs = cab(cab(:,5)>=t1 & cab(:,5)<t2,:);
    cab_ids = unique(cabs(:,1));
    cabs_later = cab(cab(:,5)>=t2 & cab(:,5)<t2+later,:);
    cab_ids_later = unique(cabs_later(:,1));
    nums_not_out = sum(ismember(cab_ids,cab_ids_later));
    nums_out = length(cab_ids) - nums_not_out;
    mu = nums_out*Acar/Ntp; % 求平均每分钟出租车乘客离开排队数
    la = 2534/60; % 求平均每分钟出租车乘客进入排队数
    S = floor(la/mu)+1; % 求最少平台数
    S2 = S:1:S+10;
    [Lq1 Wq1] = model1(mu, la); % 求单服务平台的平均队列长度和平均逗留时长
    Results_Lq(i+1,1) = S;
    Results_Wq(i+1,1) = S;
    Results_Lq(i+1,2) = Lq1;
    Results_Wq(i+1,2) = Wq1;
    for j = 1:11
        [Lq2 Wq2] = model2(mu, la, S2(j)); % 求多服务平台平均队列长度和平均逗留时长
        Results_Lq(i+1,3+(j-1)) = Lq2;
        Results_Wq(i+1,3+(j-1)) = Wq2;
        delta_Lq(i+1,j) = Results_Lq(i+1,2+(j-1))-Results_Lq(i+1,2+j);
    end
end
xlabel('平台个数 S')
ylabel('平均排队长度')
delta_Lq = delta_Lq(:,2:11);

```

· 问题四代码

logit.m

```
function a = logit(x)
% 用逻辑函数计算优先因子
a = 1./(1+exp(-x));
a(a >= 0.5) = 1.5;
a(a < 0.5) = 1.0;
```

system.m

```
%% 设置导入选项
clear
clc
warning off
opts = delimitedTextImportOptions("NumVariables", 6);

% 指定范围和分隔符
opts.DataLines = [2, Inf];
opts.Delimiter = ",";

% 指定列名称和类型
opts.VariableNames = ["Var1", "V1", "V2", "V3", "V4", "V5"];
opts.SelectedVariableNames = ["V1", "V2", "V3", "V4", "V5"];
opts.VariableTypes = ["string", "double", "double", "double", "double",
"double"];
opts = setvaropts(opts, 1, "WhitespaceRule", "preserve");
opts = setvaropts(opts, 1, "EmptyFieldRule", "auto");
opts.ExtraColumnsRule = "ignore";
opts.EmptyLineRule = "read";

% 导入数据
cab = readtable("D:\数模出租车\交通赛数据_下\cab.csv", opts);
cab = table2array(cab);

%% 清除临时变量
clear opts

delta_t = 1800;
n = 18*3600/delta_t;
later = 60;
Ntp = delta_t/60;
start_time = min(cab(:,5));
```

```

for i = 0:n-1;
    t1 = start_time+i*delta_t;
    t2 = start_time+(i+1)*delta_t;
    cabs = cab(cab(:,5)>=t1 & cab(:,5)<t2,:);
    cab_ids = unique(cabs(:,1));
    cabs(:,5) = (cabs(:,5)-t1)./(t2-t1)+1;
    Queue = 0;
    n = length(cab_ids);
    for id = 1:n
        Queue(id,1) = min(cabs(cabs(:,1)==cab_ids(id),5));
    end
    Queue = sort(Queue);
    s = 1:1:n;

    w = 30/frnd(5,4,n,1)+10;
    Lil(i+1) = max(w);
    Lis(i+1) = min(w);

    Queue = [ s' Queue];
    New_Queue = [s' Queue(:,2).*logit(randn(n,1))];
    New_Queue = sortrows(New_Queue,2);
    Adv(i+1) = 0;
    % 计算逆序数
    for d = 1:length(New_Queue(:,1))
        tmp = New_Queue(d,1) - New_Queue(d:end,1);
        Adv(i+1) = Adv(i+1) + sum(tmp>0);
    end

end

F = 1-Adv/max(Adv); % 计算公平度
H = 1-abs(Lil-Lis)/max(abs(Lil-Lis)); % 计算收益均衡度
Y = 0.38*F+0.62*H; % 计算该优先排队系统的综合指标

```