

机场的出租车问题

摘 要

随着世界经济一体化的不断发展,我国航空业发展迅速,机场的旅客吞吐量不断攀升,旅客离港时出租车是机场重要的散客渠道之一。由于不同时空,不同地域机场规模不同,如何解决离港出租车排队问题的研究具有深远意义。本文针对某特定机场,从司机,机场两个角度分别对该问题进行了探究。

针对问题一,本文首先站在司机角度上模拟决策做出的过程:分别假设做出排队等候及空载返回两种决策,参考两种假设下的预期利润大小,进行决策。在模拟过程中自然地提取出了制约决策根本影响因素:排队车数、返回市区路程以及出租车市区每小时收入。然后,使用0-1变量 Q 表征采取的决策,建立了以不同决策下最大利润为目标函数的选择决策模型。

针对问题二,考虑到样本容差率以及数据复杂程度,选取苏南硕放国际机场进行研究。根据人车流量将一天均匀划分为四个时间段。利用收集到的数据,结合问题一建立的模型进行求解,给出四个时间段的司机决策方案为:3:30至9:30排队等候;9:30至16:30空载返回;16:30至21:30排队等候;21:30至次日3:30排队等候。值得注意的是,在求解平均车流量与等待时间的定量关系时本文采用了基于队列模拟的曲线拟合法,得出两者正相关。对相关因素的依赖性分析采用控制变量法。分别对目标变量求偏导,得到结论:等待时间对等待收益的负相关且影响较大;出租车市区每小时次之;而返回市区油耗则与排队等候的收益正相关。模型结果与机场实际情况基本吻合,较为合理。

针对问题三,参考国内机场,选择二车道矩阵式上客系统(详见5-14),设置一个上车口。根据交通流理论有停车位数量与车流速度负相关。如此,必然存在一个停车位数的阈值,使得乘车效率最大。所以以乘车效率为目标函数,停车位数为决策变量,车速限制等为约束条件建立优化模型,求取最大值。目标函数取最大值时距决策变量取值最近的偶数即为乘车效率最大时的停车位数量。

针对问题四,我们分别给出了基于时间和基于路程的两种“短途票”方案,满足时间或路程条件的司机能够凭短途票享有“优先权”。两种衡量标准都围绕收益平衡思想设定,取短途司机利润与正常司机利润相等时对应额临界值。两种方法各有利弊,适用于不同条件的机场。

关键词: 决策模型; 队列模拟; 短距标准

1. 问题的重述

乘坐航班到达机场后，多数乘客会前往市区的目的地。出租车因其无需转乘，方便快捷，全时段服务等优势条件深受出港旅客青睐。下图是上海浦东机场2018年旅客集散方式示意图。

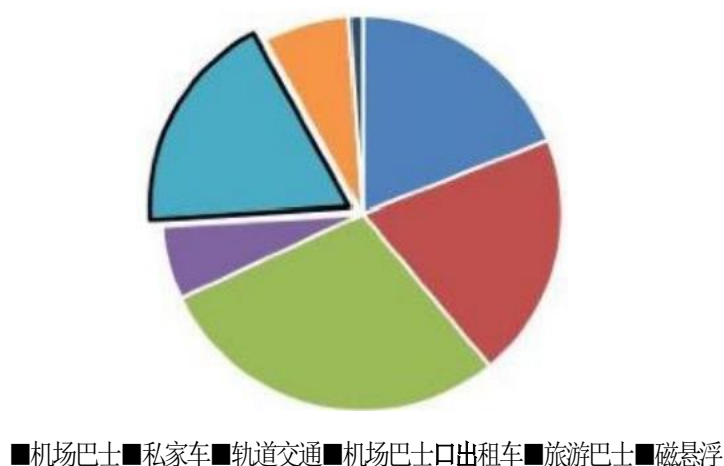


图1-1 上海浦东机场18年旅客集散方式示意图

其中，乘坐出租车的乘客数量达到了总旅客数的18%。可以看出，出租车是机场主要的集散方式之一。而国内多数机场采用进站客流与出站客流分离的规划思想，即送客与接客区域相隔离。于是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。出租车必须到指定的“蓄车池”排队等候，依“先来后到”排队进场载客，等待时间长短取决于排队出租车和乘客的数量多少，需要付出一定的时间成本，如图2。



图1-2上海浦东机场出租车蓄车池

以浦东机场为例，每位能在航站楼成功载乘客离去的出租车司机，都必须先经过P7 蓄车场几小时的耐心排队。经过漫长等待后，被随机分配开往P1 或 P2 停车场缓冲区再进行半小时到一小时的等待，最后才能在候客区载到客人。

“整个等待若花4小时算幸运的，有时候要等候七八个小时。”——某出租车司机。

(B) 直接放空返回市区拉客。出租车司机会付出空载费用和可能损失潜在的载客收益。在浦东机场，漫长的等待让很多的哥望而却步，他们选择直接返回市区。

“等这么久真的很不划算，不如回去拉客能多赚点。”

——某出租车司机。

通过查询，司机可以得到在该时间段抵达的航班数量，同时也可以观测到“蓄车池”里已有的车辆数，结合两者司机可以在(A)、(B)间作出决策。司机的决策通常与其个人的经验判断有关，比如在某个季节与某时间段抵达航班的多少和可能乘客数量的多寡等。

离港乘客若要搭乘出租车，则须前往指定“乘车区”排队，按先后顺序乘车。机场出租车管理人员负责放行出租车进入候客区以及安排乘客上车。要求结合实际，建立数学模型研究下列问题：

(1) 讨论决策相关因素及其影响机理，结合考虑机场乘客数量变化和出租车司机收益，建立出租车司机的选择决策模型，给出选择策略。

(2) 结合国内某一机场及其所在城市出租车的相关数据，给出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。求应如何设置“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) 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。故，拟对某些短途载客再次返回的出租车给予“优先权”，使出租车的收益均衡，试给出“优先”安排方案。

2. 问题的分析

本文要解决的是飞机场离港出租车上客系统优化问题。问题一、二要求从司机角度，结合机场情况作出空载返回或是排队等候的决策，使得利润最大化。而第三、第四问要求从机场角度考虑如何安排上车点，提高乘车效率以及如何设置短途返回“优先机制”以能够均衡司机收益。

2.1 对问题一的分析

针对问题一，为充分分析决策的影响因素及其机理，不妨站在司机角度上模拟决策做出的过程：

假设排队等候，通过排队车辆数，机场航班等情况估算等候的时间成本，并结合载客回市区的收益得出采取此决策的预期利润。二、假设空载返回，将空跑损耗作为成本，估计返回节省下的等候时间在市区拉客产生的收益，同样地可以给出采取空载返回决策的预期利润。

比较两种假设下的预期利润作出决策。如此，我们可以从决策过程中提取出直接影响因素：等待时间、返回时间、空跑损耗、载客利润及市区收益。对其继续分析可得到制约这几个量的根本影响因素：排队车数、打的人数、收费标准以及返回路程。对这类选择决策性问题建立模型时使用0-1变量表征采取的方式，目标函数取不同决策下的最大利润。使用上5个根本影响因素表示不同决策下的收益以及成本作为约束条件即可建立优化模型给出不同情况下使利润最大化的决策。

2.2 对问题二的分析

针对问题二，对机场的选择有一定的限制。首先不能选取小型机场：小型机场旅客

吞吐量小，出租车流量小，导致样本容量小。受制于样本容量，对数据统计有极高要求，容错率极低。并且考虑到数据获取难度大，故不予考虑。其次尽量避免大型机场：大型机场作为国际、国内中转枢纽，交通方式多样，各类影响较多。在不同时间段需要纳入考虑因素太多，会对五个根本因素与的决策关系产生影响。增加后文分析难度。故也需尽量避免。于是中型机场成为较好的选择。结合城市出租车数量等因素初步考虑苏南硕放国际机场。

收集数据给出第一问五个根本影响因素的值，即可根据模型给出决策。值得注意的是，等待时间与很多其他变量相互联系。对等待时间求解很大程度上决定了模型的好坏，需格外注意。

2.3 对问题三的分析

针对问题三，首先对国内机场离港出租车上客系统情况进行采集分析，结合所给条件，选定二车道矩阵式上客系统。为增大系统乘车效率，考虑增设停车位。但停车位的增加，伴随着车流量的变大，可能导致车多缓行。于是，寻找一个停车位数的阈值，使得乘车效率最大。

停车位变化造成的车流速度变化，通过出租车进出所需的时间直观地反映在了乘车效率上。可以尝试利用数学工具，给出停车位与车流速度的定量关系，进而给出出租车进出接客区时间关于停车位数的表达式。另外给出乘客上车时间则可以结合停车位数量给出乘车效率关于停车位数的表达式。

将乘车效率作为目标函数，加上基于接客区宽度的约束条件即得优化模型。求解可得乘车效率最大值。

2.4 对问题四的分析

针对问题四，对短途返回“优先机制”进行设计要求了解该机制的设计初衷并加以实现。由于乘客的目的地有远有近，但司机付出了同样的时间成本。本机制的设计目的是平衡不同司机的收益。于是，设计过程均应当围绕“收益均衡”展开。

借鉴国内机场经验，采用较为成功的“短途票”方案。实际操作方案需要明确短距评判标准，不妨以“收益均衡”为指导，通过比较短途载客收益与普通载客收益来界定其临界距离。另外，结合实际给出“短途票”的使用条件。

3. 模型的假设与符号说明

3.1 模型的假设

- (1) 假设一：乘客上车时间为90秒。
- (2) 假设二：决策的选择仅考虑经济因素，忽略个人倾向等其他因素。
- (3) 假设三：出租车行驶默认为相同速度的匀速运动

3.2 符号说明

表3-1 符号说明

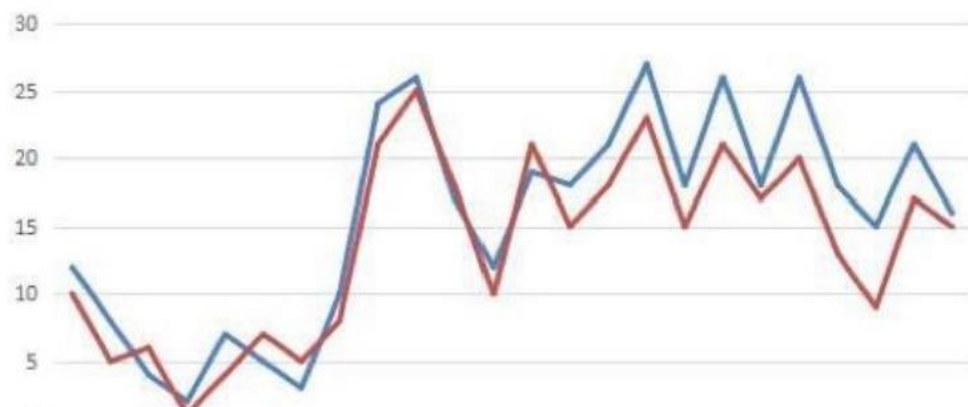
符 号	含 义	单 位
n	乘坐出租车离港的客流量	人
m	机场出租车流量	辆
T	等待载客时间	h
T'	从机场返回市中心时间	h
x	从机场返回市中心路程	km
τ	乘客上车时间	s
X	每条停车带所能停放的的车辆数	辆
W_1	载客返回市中心收益	元
W_2	在市中心拉客收益	元
V_1	载客返回市中心油耗	元
V_2	空载返回市中心油耗	元
P_1	排队等候决策下的利润	元
P_2	空载返回决策下的利润	元
λ	市中心拉客的每小时收益	元/h
π_j	时间成本系数	
π_2	潜在收益系数	
n	乘车效率	辆/h
v	车流速度	km/h
L	接客区长度	m
D	出租车长度	m
S	两辆出租车之间保持的安全距离	m

4. 模型的准备

4.1 对机场乘客数量与出租车流量关系的调查分析

如题中所述，机场等候人数与排队车数是决定排队时间长短的重要因素，但经过分析，猜想两者之间有某种内在联系，可以进行统一。为方便模型建立，不妨探究机场客流量、出租车流量时间维度上数量的对应关系。

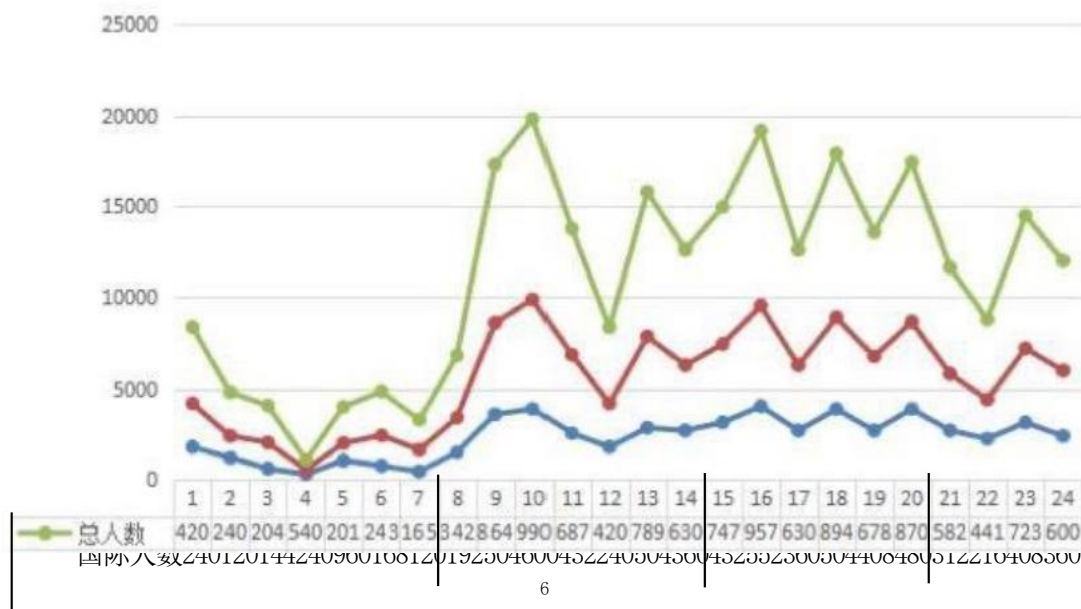
通过对上海虹桥机场、浦东国际机场、首都国际机场、成都双流机场2019年3月15至20日、7月25至30日进港飞机的统计，得到部分机场各时段平均入港飞机架次分布折线图，如图4-1所示。



0		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
	国内进港	12	8	4	2	7	5	3	10	24	26	17	12	19	18	21	27	18	26	18	26	18	15	21	16
	国际进港	10	5	6	1	4	7	5	8	21	25	18	10	21	15	18	23	15	21	17	20	13	9	17	15

图4-1 部分机场各时段平均入港飞机架次分布规律

国内航班按照每架次载运150人，国际航班按照每架次载运300人[1]。计算得部分机场平均人流量按时间分布图，如图4-2所示。



国内人数180120600300105750450150360390255180285270315405270390270390270225315240

图4-2 部分机场平均人流量按时间分布规律

注：表格内人数单位为：（百 人）

对上文所述机场的出租车流量进行统计、归纳求取平均值，得出了部分机场出租车流量随时间变化规律图，如图4-3所示。

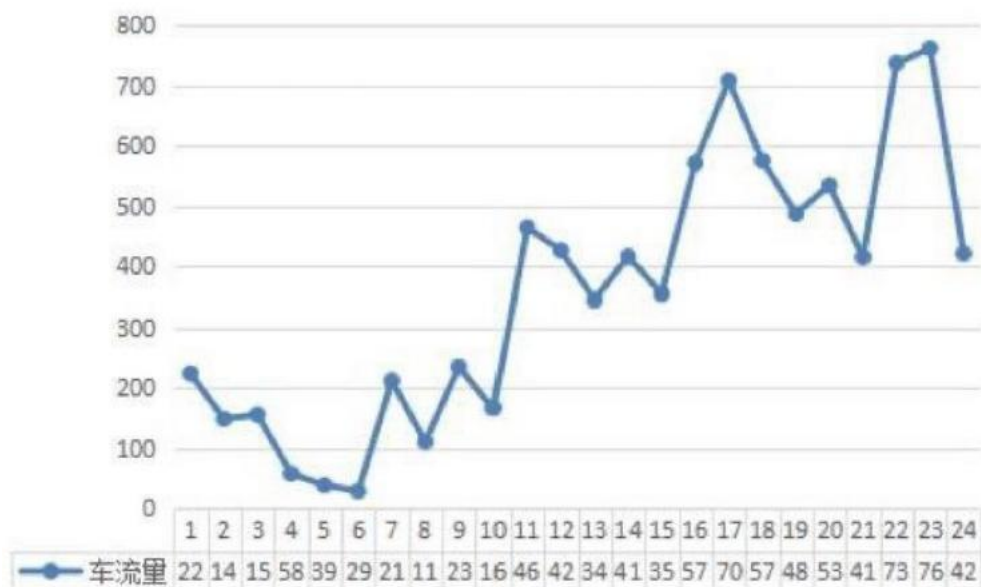


图4-3 部分机场出租车流量随时间变化规律

注：表格内车流量单位为：（十辆）

为了直观的感受出租车车流量与机场客流量之间的关系，将图4-2、图4-3合并如图4-4所示。柱状图机场客流量单位纵坐标2000人次，折线图为车流量，单位纵坐标100辆次；横坐标为1至24时。于是得到了各时间段部分机场客流量与出租车流量的数量关系图。

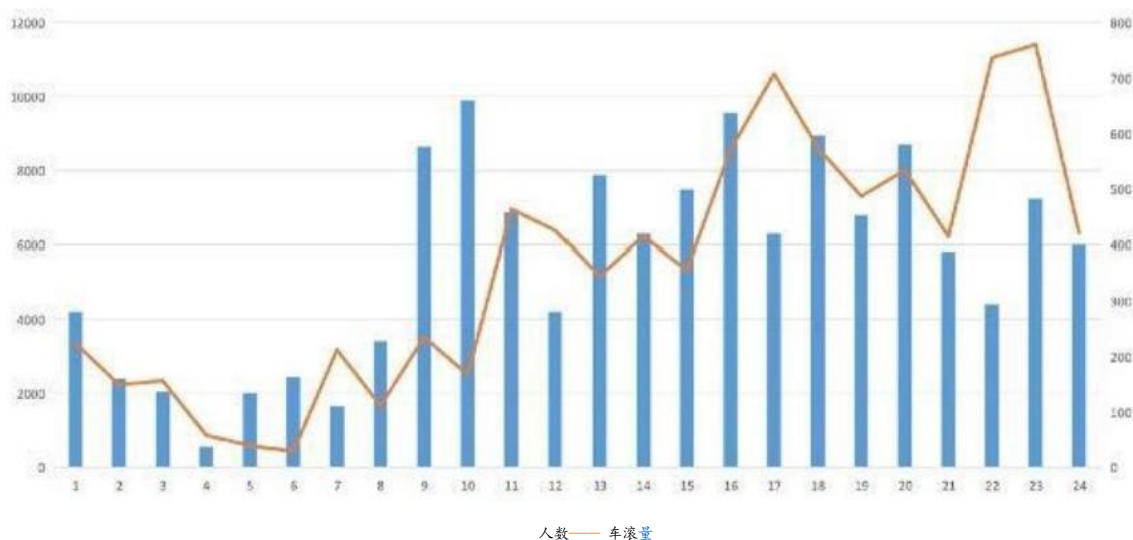


图4-4 各时间段部分机场客流量与出租车流量的数量关系

结合图4-4可明显看出，出租车车流量与入港航班表现出高度的吻合性。图中出租车流量在11时，17时，22时出现高峰。这与航班编制情况相统一。航班高峰期出现在10时、14时，由于乘客下机后需办理行李提取、海关检疫等一系列手续，故乘客离开的高峰需顺延1至2小时。这与出租车的流量高峰是吻合的。22时，轨道交通停运；23时，机场大巴停运，此时航班仍较为密集，故大量人流在此时段选择出租车离开机场，造成22时后出租车流量的激增。

通常，机场客流人数与出租车数的增减情况是匹配的，不妨设白天总客流量与乘坐出租车旅客数比为 C_1 ，且基本恒定。但在22时后，公共交通陆续停运，旅客不得不选择出租车，导致该系数急剧上升。于是，不妨将时间分为夜间、日间两部分，分别为22时至次日6时以及6时至22时。在夜间总客流量与乘坐出租车旅客数比例为 C_2 。在日间、夜间乘坐出租车人数于是可以描述为：

$$n_{\text{乘坐}}(t) \begin{cases} C_1 \cdot n_1(t), t \in [6, 22) \\ C_2 \cdot n_2(t), t \notin [6, 22) \end{cases} \quad (1)$$

同时有：

$$m(t) \propto n_{\text{乘坐}}(t) \quad (2)$$

于是建立起机场乘客数量与出租车数量的定性关系，后文讨论时将针对实际情况具体分析。

4.2 根据人流车辆情况对时间段进行划分

为了方便决策方案的给出，根据出港人流量和出租车流量的高峰、低谷，将一天等间隔地分为3:30至9:30;9:30至16:30;16:30至21:30;21:30至3:30四个时间段。各时间段均为6小时。具体划分方案如下：

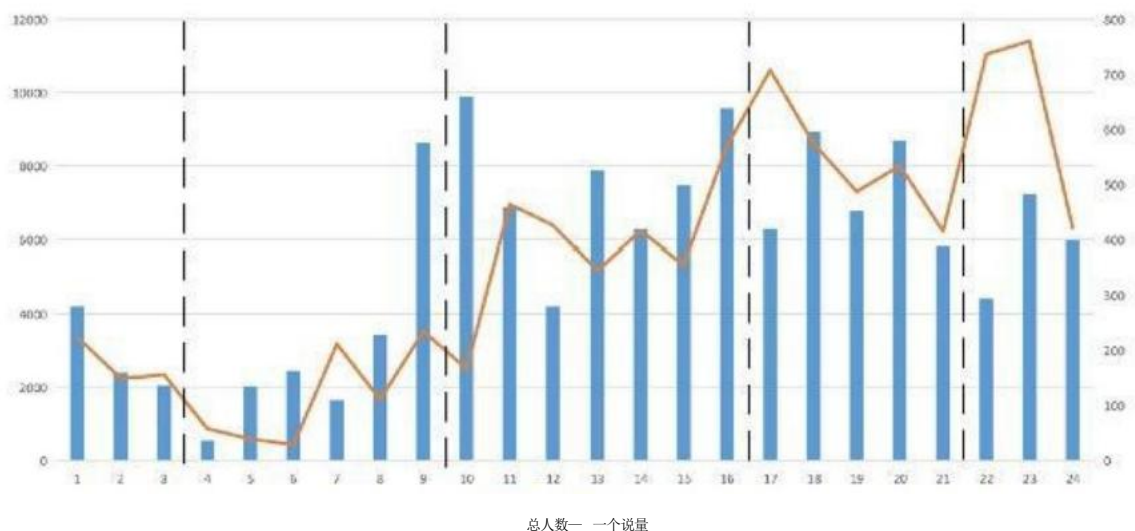


图4-5 机场时间段划分规则

5. 模型的建立与求解

5.1 问题1的模型建立与求解

5.1.1 决策影响因素及其影响机理的分析

本问要求分析研究出租车司机的决策机理并建立决策模型，使收益较大。值得注意的是，收益中应将时间成本 I_{21} 纳入考虑。即在计算收益时扣除因时间浪费而错失的潜在收益。

分别对 (A) 排队等待载客, (B) 空载返回市区的收益进行分析。为公平起见,

取时间段相同，默认空载返回后便开始在市区拉客。两种方法各时段的成本及收益如下图5-1所示：

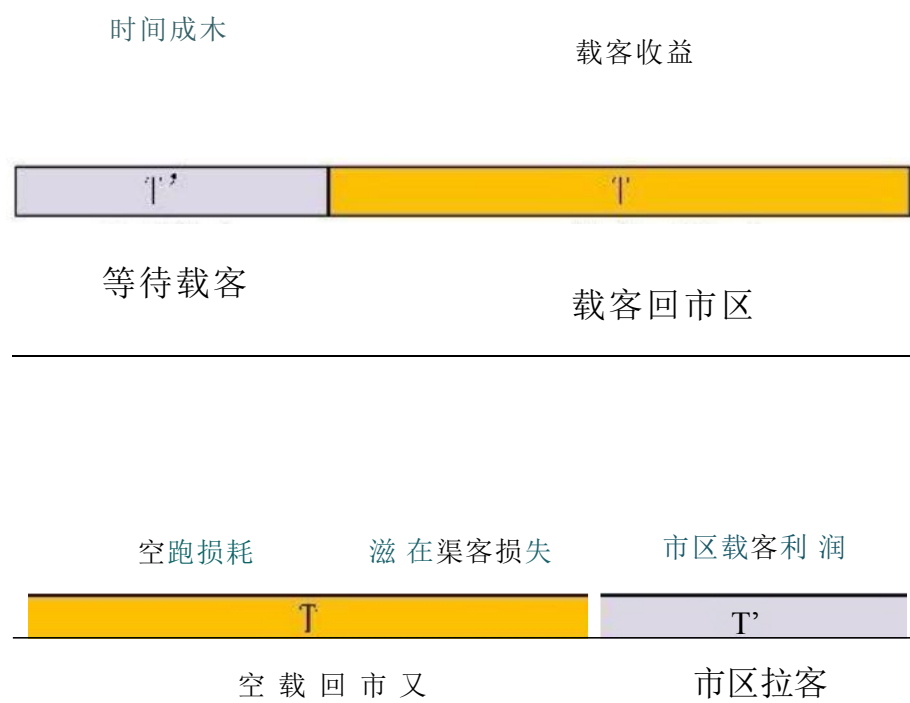


图5-1 两种方式各时段成本及收益

由此可以得出影响司机决策的因素有：等待载客的时间、载客回市区的利润、空载返回的时间以及消耗、市区载客的利润。对这些因素继续进行分析，可以发现司机的决策实际上由三个根本要素决定：排队车辆数 m 、返回路程 x 以及收费标准 $g(x)$ 。其中，排队车辆数决定了等待时间 T ，返回路程和收费标准共同影响了载客利润 W_1 。另外返回路程还制约了空载损耗的大小，收费标准还决定了司机在市区的收益。

由此得到如图5-2所示的决策影响因素及其影响机理图。

市区收益 W_2 $\pi_1=\lambda$

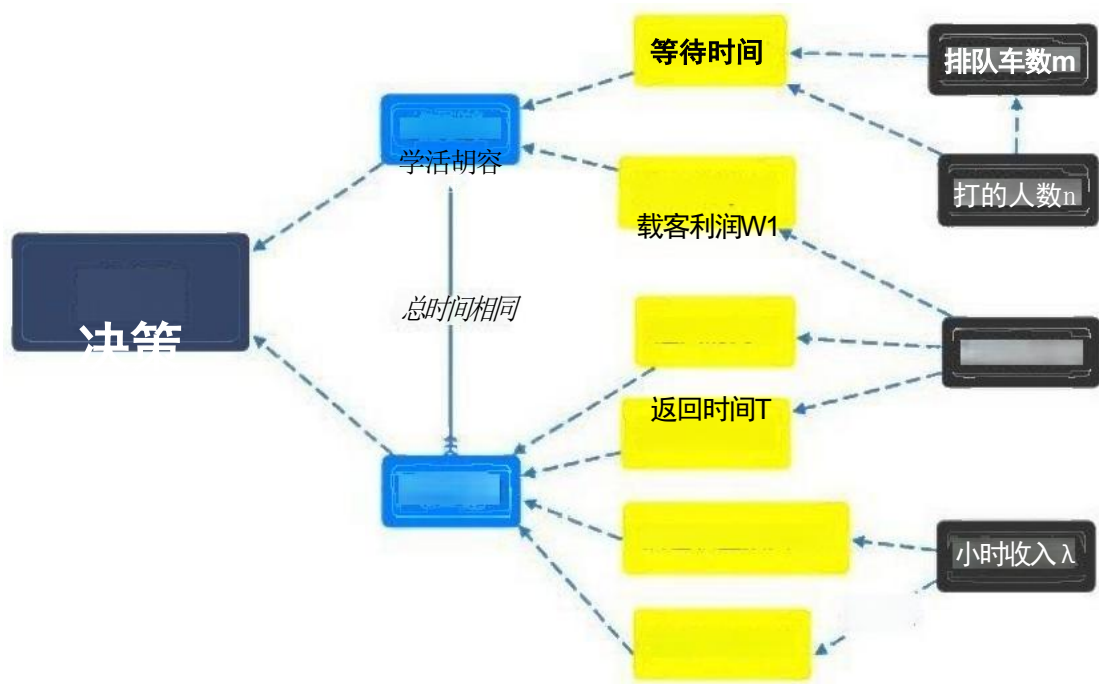


图5-2 司机决策影响因素及其影响机理图

5.1.2 选择决策模型的建立

本题为典型的选择决策问题。得到影响因素及其影响机理后，我们便可以建立优化模型对司机进行决策的过程进行描述。

1. 目标函数的确定

对于该类“二选一”决策，采用0-1变量 Q 表征司机的决策方案。若 Q 取1,代表选择等待载客， $Q=0$ 则代表空载返回。 P_1 、 P_2 分别代表了(A)、(B)两方案的利润。如此

规定后，便可将某种决策下的利润 Z 表示为：

$$Z=Q \cdot P+(1-Q) \cdot R \quad (3)$$

Q 为决策变量，决定了采取的决策。

目标函数对利润 Z 求取最大值即可：

$$\max \quad Z=Q \cdot P+(1-Q) \cdot R_2 \quad (4)$$

2. 约束条件的确定

在目标函数中给出了两种方案对应的收益 P_1 、 P_2 ，但并没有给出具体表达式。所以模型约束条件的确定将会围绕这两个重要的参数展开。

首先，根据分析可知无论采取方案(A)、(B)中哪一个，其利润计算的公式均为：

利润=收益-成本(金钱、时间)

下面，先讨论时间成本的折算问题。

时间成本[2],即“货币时间价值”,其定义为：时间成本是指一定量资金在不同时点上的价值量产差额。时间成本也可以引申为：在等待时间内造成的市场机会的丢失。对于本题中出租车司机而言，无论作出等候载客或是空载返回的决策，均会产生相应的时间成本。

对采取等候载客的司机而言，其在蓄车池中等候的时间产生时间成本：假设不需等候而直接载客返回市区，省下的等候时间可以在市区拉客获得收益。该丢失的潜在盈利收益即为折算为金钱的时间成本。不妨假设在市区平均每小时能够获利 π ,则可得出该决策方法下时间成本为：

$$C_1=\pi \cdot T \quad (5)$$

其中， T 为等候载客的时间。 π 称为时间成本系数。

对采取空载回家的出租车司机而言，其空载回市区时由于未运载乘客，则视为丢失了载客的潜在获利机会，该收益为：

(6)

考虑到得到潜在获利的概率，对 c_2 添加系数0.1作为时间成本。则有：

$$c_2' = \frac{0.1W_1}{T+T'} T' = \pi_2 T' \quad (7)$$

其中， T' 为若选择方案(A)所需等待的时间， W_1 为载客回市区获得的利润。 π_2 称为潜在载客收益系数。

$$\pi_2 = \frac{0.1W_1}{T+T'} \quad (8)$$

如此，结合分析，可以给出 P_1 、 P_2 表达式

$$P_1 = W_1 - V_1 - \pi_1 T \quad (9)$$

$$P_2 = W_2 - V_2 - \pi_2 T' \quad (10)$$

其中， W_1 、 W_2 为对应方案的收益， V_1 、 V_2 分别为返回时的载客油耗和空跑损耗。 π_1 为时间成本折算系数，等于市中心拉客的每小时利润 λ ， π_2 为潜在乘客损失系数。 W_1 、 W_2 分别是与路程 x 、等待时间 T 有关的系数，而 T 与某时刻 t 的排队出租车数有关。于是可以给出约束条件：

$$\left\{ \begin{array}{l} P_1 = W_1 - V_1 - \pi_1 T \\ P_2 = W_2 - V_2 - \pi_2 T' \\ W_1 = f(x) \\ W_2 = \lambda T \\ T = g[m(t)] \end{array} \right. \quad (11)$$

5.1.3 决策模型的建立与司机决策的确定

综上可以给出决策模型：

$$\max \quad Z = Q \cdot R + (1-Q) \cdot R$$

$$\left\{ \begin{array}{l} P_1 = W_1 - V_1 - \pi_1 T \\ P_2 = W_2 - V_2 - \pi_2 T \\ W_1 = f(x) \\ W_2 = \lambda T \\ T = g[m(t)] \end{array} \right.$$

为了方便给出不同时间段的指导策略，我们决定根据客流量以及出租车流量将一天划分为3:30至9:30;9:30至16:30;16:30至21:30;21:30至3:30四个时间段。

5.1.3 季节因素的影响

季节的变化影响的不仅是乘客数量的变化，其客流量的走势或者规律也可能发生变化。我们的决策方案的给出，是根据时段规律划分成有规律的几段，对每一段分别给定决策方案，所以季节因素，对模型结果影响很大。但是由于数据获取限制，这里无法对一年四季的情况分别具体分析，所以这里仅给出分析思路。如图所示

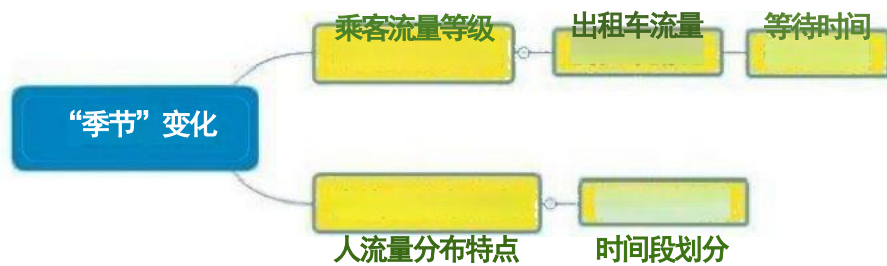


图5-3 季节因素的影响图示

5.2 问题2的模型建立与求解

本问要求收集国内某一机场及其所在城市出租车的相关数据，结合第一问方案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。

5.2.1 机场的选取以及相关数据的收集

1. 机场的选取

考虑到小型机场数据收集困难且样本容量过小，大型机场数据量过于庞大，不便于统计分析。为兼顾数据的可靠性以及处理的便利性，决定选择中型机场进行分析。要求选择的中型机场应有较多国内航班班次且应设有国际航班，以保证足够大的旅客集散量。同时，应保证机场所在城市较为发达，以保证足够的出租车流量。如此才能有足够大的样本空间，较为客观地评价第一问的模型合理性。



图5-4 苏南硕放国际机场

综上，选择了位于江苏省无锡市的苏南硕放国际机场(IATA 代码： WUX,ICAO 代码： ZSWX)。 如图5-4所示。

该机场位于无锡市高新区硕放街道，是设计年旅客吞吐量1000-2000万人次的枢纽型国际空港，可直飞东京、大阪、首尔、济州、曼谷、新加坡、暹罗、台北、香港、澳门等国际(地区)城市。2018年苏南硕放机场完成旅客吞吐量684.6万人次，同比去年增

长6.0%,旅客集散量大。该机场拥有5条公交及机场巴士线路,据沪宁高速仅1.3公里, 还在建两条轻轨线路。出行选择交通方式多样。

该机场客运吞吐量适中,所在的无锡市全市有出租车4040辆,出租车流量足够,可以作为一个很好的研究对象。

2. 相关数据的收集

(1) 返回路程 x 及收费标准 $g(x)$ 的确定

由于首先对无锡市市中心明确化:

无锡南站位于无锡最古老的寺院崇安寺周围, 位处无锡市中央位置。其作为重要的交通枢纽, 是无锡人员流动的大动脉。于是不妨将所在地定为市中心。

通过导航软件可以得到: 正常情况下司机载客从苏南硕放国际机场前往市中心的路程: 14.4公里; 行驶22分钟; 收益为33元。如下图5-5所示。

如此可以确定返回路程 x , 并结合收费标准得到载客回市区收益 W_1 。

由《无锡市客运出租汽车收费价目表》 (如下表),

表5-1 无锡市客运出租汽车收费价目表

公里路程	价格说明
3公里以内	起步价10元
3-8公里	每公里2.2元
8公里以上	每公里2.8元

给出收费标准 $g(x)$ 关于路程的函数:

$$g(x) = \begin{cases} 10, & x \in (0, 3] \\ 2.2x + 3.4, & x \in (3, 8] \\ 2.8x - 1.4, & x \in (8, \infty) \end{cases}$$

(12)

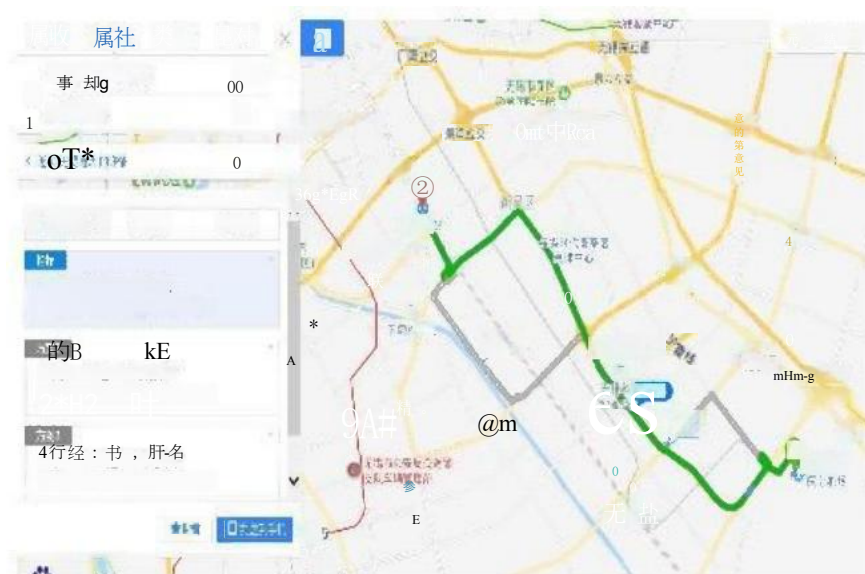


图5-5 机场至市中心相应数据

于是可以给出返回市区所需时间 T' 以及载客返回市区的利润 W

$$T=23(\text{min}) \tag{13}$$

$$W_1=g(x)=2.85\times14.4-1.9\approx33 \text{ (元)} \tag{14}$$

另外可以给出出租车从机场返回市区的燃油费用：

$$V=17.9\cdot\varphi \tag{15}$$

考虑到空载和载人对汽车油耗影响较小，可以忽略不计。则 $V=V$ 。查阅无锡出租车(车型：现代伊兰特)油耗可得：

$$V_1=V_2=14.4.9\times0.45=6.48 \text{ (元)} \tag{16}$$

另外查询知：无锡出租车司机每月净利润约为9000元，每天工作约7个小时，每月休假2日。如此可以推算无锡出租车司机在市中心每小时的利润 λ 为：

$$\lambda = \frac{9000}{7 \times 28} = 45.96 \text{ (元/小时)} \tag{17}$$

(2) 等待人数 n 及出租车流量 m 的确定

通过对苏南硕放国际机场2019年6月15日至30日各时段国际、国内航班情况的收集归纳，给出苏南硕放国际机场各时段平均入港飞机架次折线图：

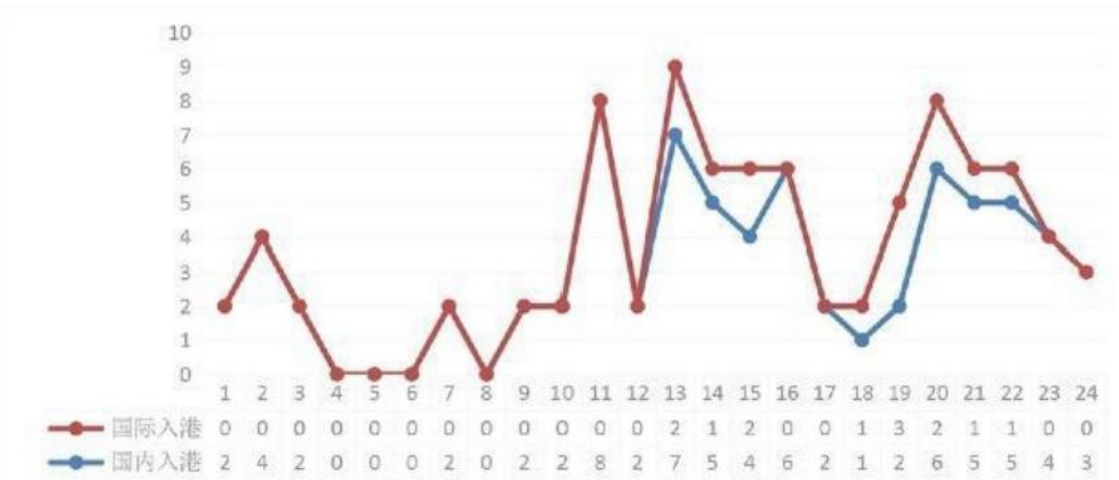


图5-6 苏南硕放国际机场各时段平均入港飞机数

同样地，取国内航班每架次乘客人数150人，国际航班每架次300人。于是可以结合图5-6入港飞机数给出各时间段离开机场客流量示意图。

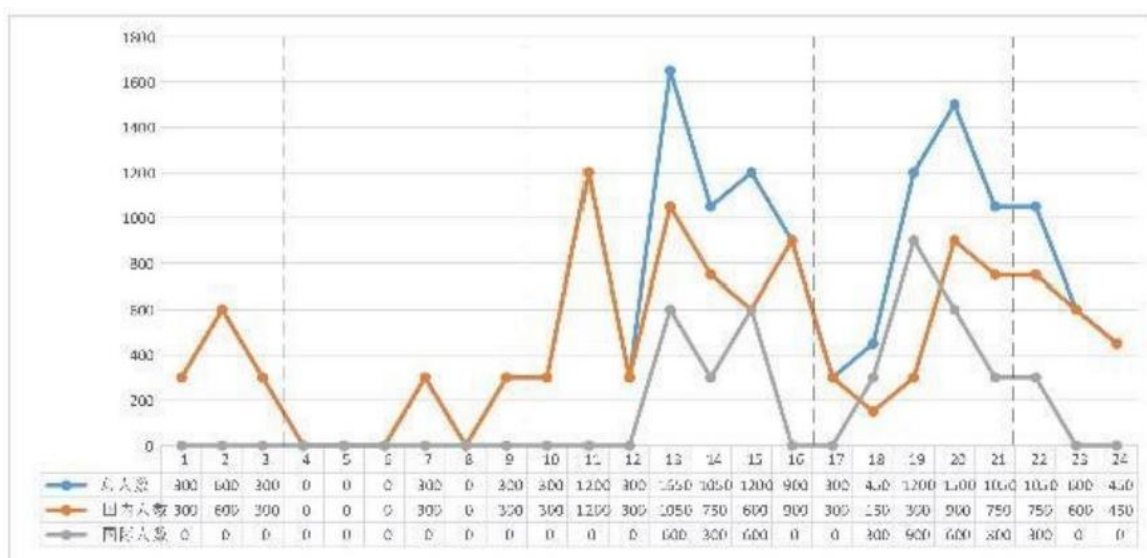


图5-7 苏南硕放国际机场各时段离开机场客流量

由于我们需要考虑的仅有乘坐出租车的乘客，故参考4.1求取各时段乘坐出租车客流量。参考南京禄口机场④该数据比例，给出其日间、夜间总客流量与乘坐出租车旅客数比例 C_1 、 C_2 分别为0.27和0.35。

通过调查统计，给出硕放机场出租车流量随时间变化规律曲线，与打的人数随时间变化规律放在同一图表中，可以看出数据高度吻合。如图5-8所示。

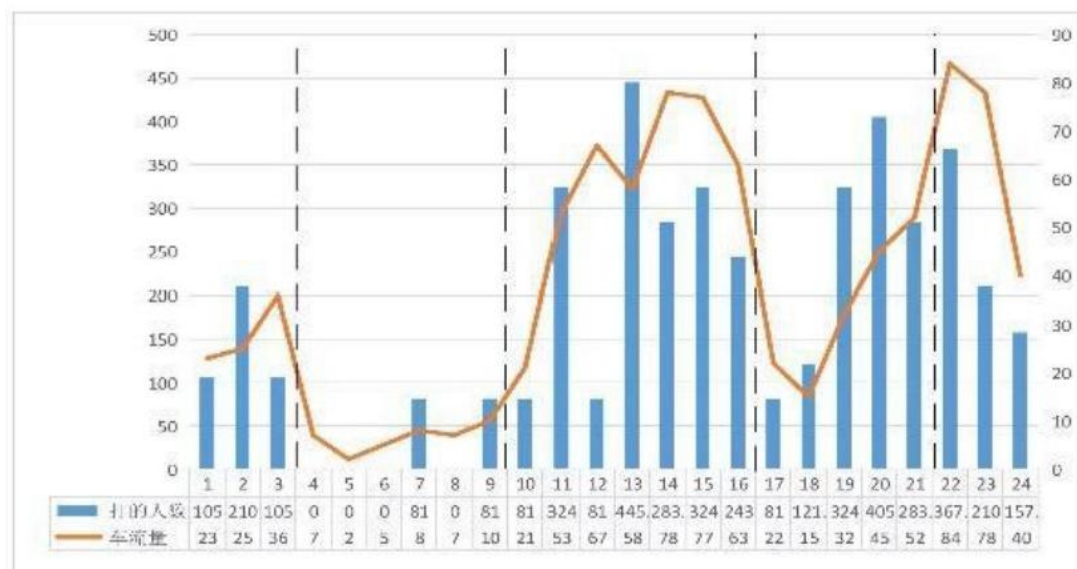


图5-8 苏南硕放国际机场出租车流量、打的人数随时间变化规律

为了方便决策方案的给出，如第一问将一天分为3:30至9:30;9:30至16:30;16:30至21:30;21:30至3:30四个时间段。分别求取各时间段出租车流量(m)平均值，打的人数(n)的平均值：

表5-2 苏南硕放国际机场各时段平均车流量、打的人数

	3:30至9:30	9:30至16:30	16:30至21:30	21:30至次日3:30
车流量均值(辆)	8.67	65.23	33.8	49
打的人数均值(人)	29	243	238.95	207.42

考虑到人车匹配, 可以将等待时间 T 表示为车流量 m 的函数。具体分析如下:

3. 等待时间 T 的确定

由上文分析可知, 出租车等待时间与每小时到达机场排队的出租车数量相关。为了找到两者的关系, 可以借助MATLAB, 使用C 语言对实际出租车排队情况进行队列模拟[5], 得出数据, 对数据进行分析, 拟合出两者的函数关系曲线。

一、原理分析

首先, 假设模拟时不会出现出租车等待乘客的情况, 即出租车到达上车点时总有人上车。设每小时到达机场车道排队的出租车数量为 m , 出租车司机平均等待时间为 T 。为了真实地反映实际情况, 以秒为单位进行模拟。模拟开始时, 只有乘客在机场进行等待, 上车点没有出租车排队。另, 根据实际设定队列最大容量为200辆车。

我们可以给出每辆出租车的三个属性: 到达时间、离开时间、乘客上车时间, 如图5-9所示:

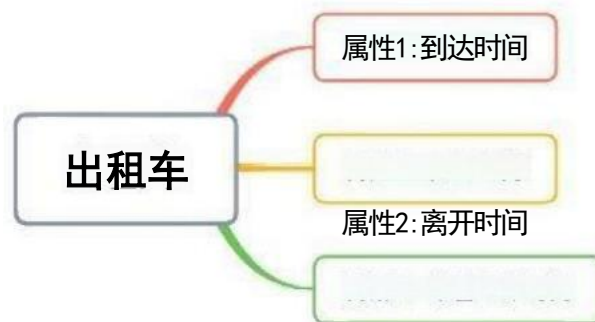


图5-9 队列中出租车的属性

同样地, 可以给出排队队列的6个属性, 如图5-10所示。

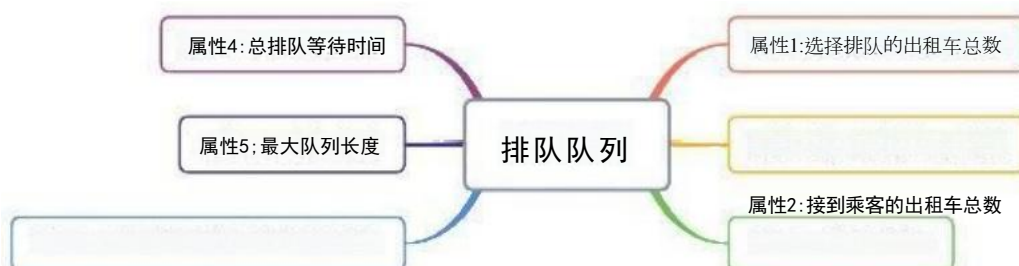


图5-10 排队队列的属性

暂且先假设只有一个上车点。则有出租车随机到达机场排队的概率P，该概率由m决定：

$$P(\text{每秒有出租车到达的概率}) = \frac{\text{每小时到达机场排队的出租车数量}}{3600} = \frac{m}{3600} \quad (18)$$

模拟的每一秒首先会产生一个0到1之间的随机数，若该随机数小于P，则有一辆新到的出租车排到队列的末尾，并赋予其属性值。之后检查队列第一辆出租车的上车时间是否到达。若未到达，第一辆车上车时间(图5-9中属性3)减1秒；若到达，算出其等待时间(图5-9中属性2和属性1相减)，加到排队队列的总排队等待时间(图5-10属性4)上，之后退出队列。之后另第二辆车成为队列首辆车，开始下一秒的模拟。重复上述步骤，最终可算出该m值下的出的T值。为了避免随机数产生的偶然性，模拟若干次取平均值，作为最终结果。一次模拟的程序框图见图5-11。改变m,T随之改变，用同样的方法得到所需要的数据点，进行拟合。

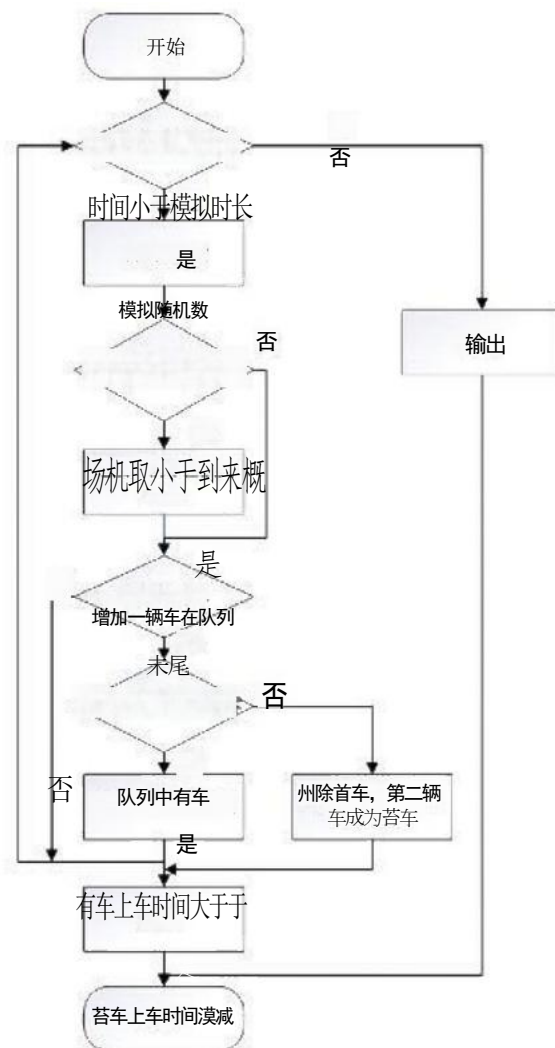


图5-11 一次模拟程序框图

二、结果展示

模拟总时间选择1小时和2小时两个长度进行比较见表5-3。

表5-3模拟时长为1、2小时时的等待时长

每小时到达机场排队的 出租车数量m(辆)	模拟1小时的平均等待时 间T ₁ (分钟)	模拟2小时的平均等待时 间T ₂ (分钟)
10	0.21	0.23
20	0.64	0.67
40	3.84	5.95
60	10.24	20.23
80	14.75	29.72(有拒绝)
100	17.63(有拒绝)	35.56(有拒绝)
120	19.61(有拒绝)	39.57(有拒绝)
140	20.83(有拒绝)	42.27(有拒绝)
160	22.01(有拒绝)	44.35(有拒绝)
180	22.75(有拒绝)	45.98(有拒绝)
200	23.40(有拒绝)	47.22(有拒绝)

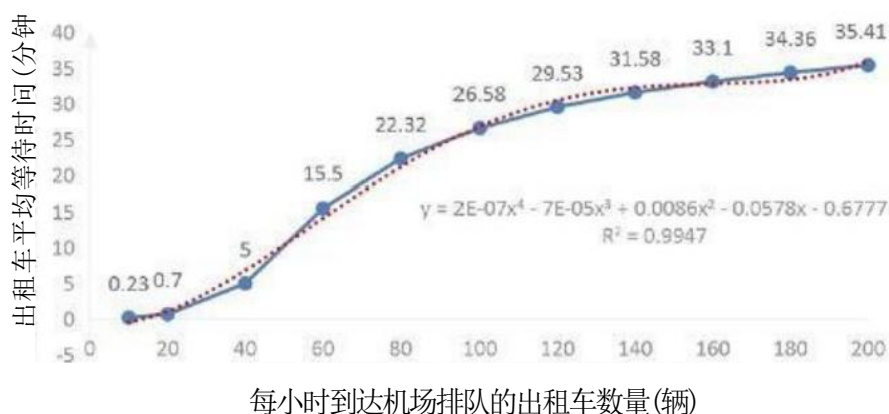
其中，“有拒绝”表示在模拟时间段内，存在因为队列长度限制而拒绝出租车排队的情况。由表可以看到，同一模拟时间段下，m 越大，等待时间越长；不同模拟时段下，模拟时间越长，平均等待时间越长。两个小时的模拟更贴合现实，因为第二个小时开始时存在等待的出租车，存在“拒绝”情况也很实际；但之后等待时间大幅增加，这是偏离现实的，因为车主在等待时间过长情况下会选择离开而不是等待。所以一小时的模拟提供了下限值，而两小时的模拟提供了比较合适的上限值。因此，最终选择1.5小时的模拟时长进行数据拟合分析。模拟结果见表5-4，数据曲线和拟合曲线见图5-12。

表5-41.5小时模拟数据

每小时到达机场排队的出租 车数量m(辆)	模拟1.5小时的平均等待时间 T(分钟)
10	0.23
20	0.70
40	5.00
60	15.5
80	22.32(有拒绝)

100	26. 58 (有拒绝)
120	29. 53 (有拒绝)
140	31. 58 (有拒绝)
160	33. 10 (有拒绝)
180	34. 36 (有拒绝)
200	35. 41 (有拒绝)

1.5小时模拟的数据曲线及拟合曲线



●—数据线.....多项式(数据线)

图5-121. 5小时模拟的数据曲线及拟合曲线

给出模拟时长为1.5小时时的拟合方程为：

$$T=2\times 10^{-7}m^4-7\times 10^{-5}m^3+8.6\times 10^{-3}m^2-0.0578m-0.6777 \quad (19)$$

将各时间段的车流量均值代入可得：各时间段等待时间均值：

表5-5 各时段等待时间均值

	3:30至9:30	9:30至16:30	16:30至21:30	21:30至次日3:30
车流量均值(辆)	8.67	46.29	33.8	49
等待时间均值(min)	0	16.3	11.1	17.3

5.2.2 决策方案的给出

综上，将上文给出的返回路程 x 、收费标准 $g(x)$ 以及出租车流量 m 三个根本因素代入问题一模型中并求解，可以给出各时段决策方案。

表5-6各时段决策方案

	3:30至9:30	9:30至16:30	16:30至21:30	21:30至次日3:30
等待时间(T)	0	23.8min	8.7min	15.7min
最大收益(P)	26.5元	9.5元	20.3元	15.3元
决策建议(Q)	等待拉客	空载返回	等待拉客	等待拉客

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/185003323120011300>