

# Solution of the Airport Taxi Queuing Problem Based on the Multi-Index Analysis Model

—Taking Chongqing Jiangbei International Airport as an Example

Yiyun Zhang, Yutong Tian

Westa College, Southwest University, Chongqing  
Email: 18681357759@163.com, k31000277@email.swu.edu.cn

Received: May 14<sup>th</sup>, 2020; accepted: May 28<sup>th</sup>, 2020; published: Jun. 4<sup>th</sup>, 2020

---

## Abstract

Taxi is a very important part of airport transportation. Most passengers go to destinations in the city (or surrounding) after getting off the plane by Taxi, which is one of the main means of transportation at the airport. The efficient and precise management is an important part of affecting airport traffic, and for drivers, there are multiple choices and decisions to improve efficiency. In practice, there are many certain and uncertain factors that affect taxi drivers' decision-making, their associations are different, and the effects are also different. At certain times, taxis always line up to carry passengers and passengers queue up to wait for the taxi. How should the management department set up a "boarding point", arrange taxis and passengers reasonably, and make the total ride efficiency the highest under the conditions to ensure the safety of vehicles and passengers is an urgent task. Based on this problem, we propose a taxi station queuing model, taking passenger riding efficiency and taxi utilization efficiency into account using different lanes, single/multiple pick-up point allocation, pedestrian distribution methods and deriving each time period. It is most suitable for the piecewise function of the airport under the current input data to ensure the maximum efficiency of passenger ride and taxi utilization. At the end of this paper, the real airport data—the taxi flow data of Chongqing Jiangbei International Airport is substituted into the model for simulation, which proves that this model has practical effects for solving practical problems.

## Keywords

Airport, Taxi, Boarding Point, Multi-Index Model

---

# 基于多指标分析模型解决机场出租车排队问题

——以重庆江北国际机场为例

张译匀, 田雨桐

西南大学西塔学院, 重庆

Email: 18681357759@163.com, k31000277@email.swu.edu.cn

收稿日期: 2020年5月14日; 录用日期: 2020年5月28日; 发布日期: 2020年6月4日

## 摘要

机场交通中, 出租车是十分重要的交通工具, 大多数乘客下飞机后要去市区(或周边)的目的地, 会选择方便、快捷的出租车作为代步工具。对其进行高效精准的管理是影响机场交通的重要一环, 而对于司机而言, 又有多重选择和决策以提高效率。在实际中, 还有很多影响出租车司机决策的确定和不确定因素, 其关联关系各异, 影响效果也不尽相同。乘客高峰期经常会出现出租车排队载客和乘客排队乘车的情况, 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, 使得乘车效率最高, 成为了一项亟待解决的任务。由此问题出发, 本文作者提出出租车站点排队模型, 兼顾乘客乘车效率与出租车利用效率, 通过利用对不同车道的利用, 单/多上车点配置和人流分布的方法, 导出各个时段下最适宜于当前输入数据下的机场的分段函数, 保证乘客乘车和出租车利用效率最大化。本文最后将实际机场数据——重庆江北国际机场的出租车流量数据代入模型进行模拟, 证明此套模型对于解决实际问题具有较好的实际效果。

## 关键词

机场, 出租车, 上车点, 多指标模型

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

现代社会中, 出租车已经成为了人们日常出行方式中必不可少的选项, 机场乘客与出租车的高效接驳也成为了机场外围交通中的一项重要问题。对于机场管理者来说, 提高出租车在机场的交通运转效率, 对于加快机场外围交通运转, 提高司机收益, 提升旅客舒适感、节省旅行时间等方面, 具有重大的意义。大多数国内机场都会选择将送客与接客通道分开, 此时, 送客到达机场的出租车司机会有两种选择: 1) 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; 2) 直接放空返回市区拉客。出租车司机会付出空载成本和可能损失潜在的载客收益。

对于司机来说, 无论哪种选择都会产生不可预计的成本, 而大多数司机也经常基于个人经验, 在一些时间段做出基于个人判断的选择。这种策略常常会造成机场在一些时间段“无车可用”, 进而导致乘客体验感降低、旅行时间增加, 最终对机场声誉、收益造成影响。基于这种现象, 机场管理者就需要对机场外围的出租车交通进行尽可能的优化, 以保证机场在每天的运营时间内都能保证出租车交通处于高效状态。对于这类问题, 部分专家学者已经对此进行了研讨和分析。金雷(2014) [1]讨论了关于城市中出租车停靠站选址的方法探索及优化, 通过选定上车点的位置, 提高城市环境中出租车的运行效率, 进而优化城市交通系统; 覃永明等(2019) [2]则对机场改扩建过程中, 如何改善机场外围交通布局的方案进行了讨论, 为机场改建外围交通设施提供了方向; 丁海鹰(2018) [3]则运用大数据技术, 对城市出租车的

定位信息进行数据挖掘, 通过大数据分析得到城市出租车布局分布的优化结果, 利用智能分析, 为提高出租车司机收益和交通流畅度提供了理论指导。

然而, 先前的研究鲜见对于机场出租车交通的细节因素的讨论, 比如上车点位置、蓄车池规模、并行道路数量等。相关文献皆从宏观角度对机场交通管理进行指导, 却少见对于具体实施管控的参考。受此点启发, 本文作者试图分析影响因素中灵活度最高的一项, 即上车点位置, 对机场出租车上车点的灵活控制提供数学模型, 使得机场内人流和出租车车流在不同时段尽可能地达到效率最大化。因此, 本文提出了出租车站点排队模型, 兼顾乘客乘车效率与出租车利用效率, 通过运用对不同车道的利用, 单/多上车点配置和人流分布的方法, 导出各个时段内最适宜于当前输入数据下的机场的分段函数, 保证乘客乘车和出租车利用效率最大化。

## 2. 模型假设

### 2.1. 符号假设

六个模型变量符号假设如下(表 1):

Table 1. Model variable symbolic assumptions

表 1. 模型变量符号假设表

符号	$Q_p$	$Q_T$	$P_A$
说明	乘客需求车辆数	蓄车池车辆数	单位时间内上车区乘客数
符号	$P_b$	$C_0$	$C_w$
说明	单位时间内上车乘客数	单位时间内载客车辆数	单位时间内蓄车池内车辆数

### 2.2. 模型假设

为分析出租车上车点最优化问题, 特作以下假设:

1) 蓄车池空载车和乘客的数量均服从泊松分布, 即:

$$\begin{cases} \varphi(t) = e^{\lambda(e^t - 1)} \\ P(X = k) = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda}, k = 0, 1, \dots \end{cases} \quad (1)$$

2) 系统中的待客车辆在接上上车点乘客前, 全部为空载状态;

3) 当乘客需求车辆数大于蓄车池中车辆数( $Q_p > Q_T$ ), 即运力不足时, 乘客需求车辆数为站点最大容纳量  $Q_{p\max}$ ;

4) 当蓄车池中车辆数大于等于乘客需求车辆数( $Q_p \leq Q_T$ ), 即运力充足时, 蓄车池车辆数为蓄车池车辆最大容纳量  $Q_{T\max}$ ;

5) 蓄车池中车辆在等待车道内按顺序排队, 依次到上车点为乘客服务, 且乘客上车后车辆即离开。

## 3. 问题分析及模型

### 3.1. 问题分析

由于所要研究的问题对象主体有两类: 乘客和出租车, 且考虑的优化指标为运载效率和车辆利用效率的问题, 本题建立对于效率的优化模型, 根据假设, 建立出租汽车站点排队模型假设的描述指标(表 2):

**Table 2.** Indicators table describing the queuing system for taxi stations  
**表 2.** 出租汽车站点排队系统模型描述指标表

模型组成	描述对象	描述指标	
		过程描述	容量描述
输入过程	空载车	空载车到达时间间隔分布	停车泊位数
排队过程	顺序排队	按队列依次服务	蓄车池/乘车区容量
服务机构	上车点	车辆载客时间间隔分布	上车点数量 $n$

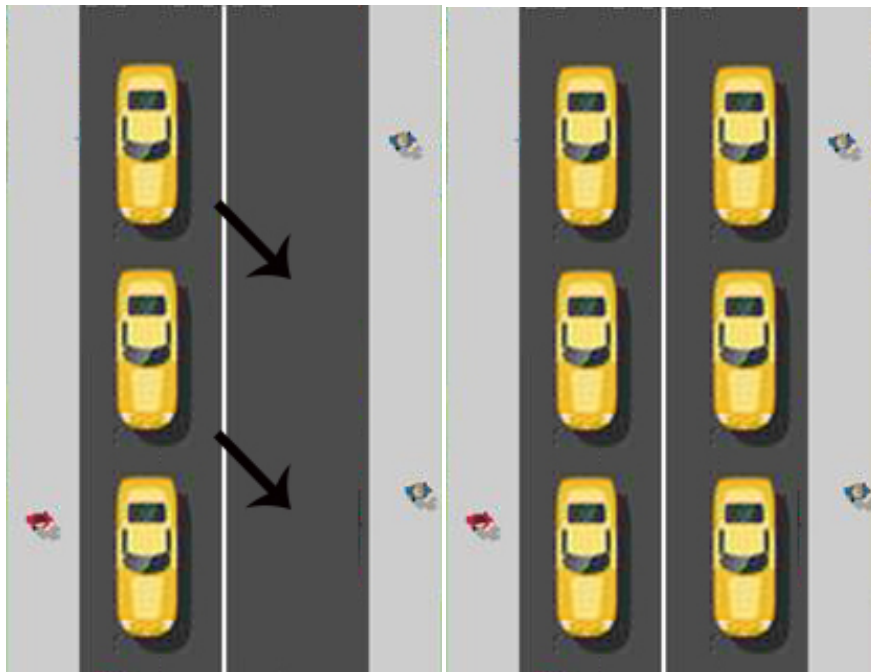
对于该系统效率的评价指标问题, 按照效率的基本定义, 本问题的效率有两项: 乘客运载效率和车辆利用效率, 两项应同时达到最大化。对此两项, 建立基本公式如下:

$$\max E = \frac{P_B}{P_A} \cdot \frac{C_0}{C_w} \times 100\% \quad (2)$$

根据题意, 机场乘车区目前有两条并行车道, 并且需要合理设置上车点, 以提高乘车效率, 故对于车道的利用和对于上车点的动态规划, 是模型优化的关键切入点。

首先, 整体分类为两种情况:  $Q_p > Q_r$  和  $Q_p \leq Q_r$ ;

其次, 考虑车道的利用, 分为两种情况: 一是两车道同向两侧载客; 二是两车道同向一车道载客一车道通行(图 1);



**Figure 1.** Left: Single passenger lane diagram; Right: Double passenger lanes diagram  
**图 1.** 左侧: 单载客车车道示意图; 右侧: 双载客车车道示意图

第三, 考虑上车点设置为单上车点或多上车点(均分)(图 2)。

根据这三项分类依据, 对 8 种情况进行分类讨论, 结合效率模型进行优化, 最终得到出租车调度在各种情况下的最优解, 导出一个分段函数。

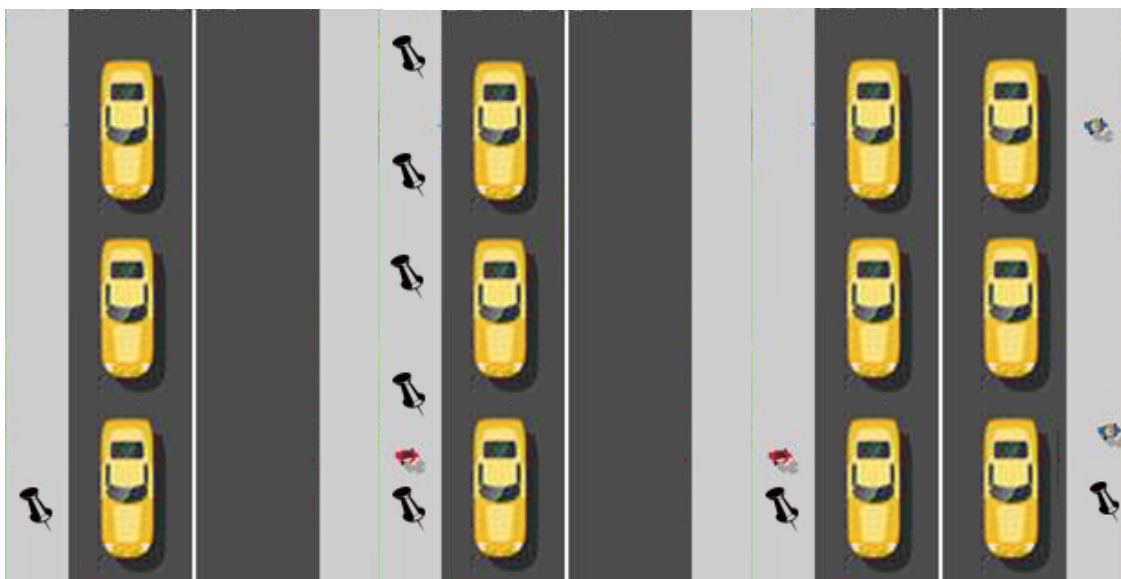


Figure 2. Diagram of the pick-up point  
图 2. 上车点示意图

### 3.2. 模型建立与求解

对于效率最优化而言, 以下模型建立的 8 种情况可由公式(2)进行分析导出。由于公式(2)中涉及到四个变量: 单位时间内上车区乘客组数  $P_A$ , 单位时间内上车乘客数  $P_B$ , 单位时间内单个上车点载客车辆数  $C_0$  和单位时间内蓄车池内车辆数  $C_w$ , 需要对各个量进行具体量化。

令机场出租车载客区的停车通道长度为  $L$ , 上车点距离车辆出点的距离为  $S$ , 一辆出租车的长度为  $L_{car}$ , 车辆之间的间距为  $gap_{average}$ 。

对于  $P_A$  而言, 当  $Q_p$  未被假设为常量时, 单位时间内的上车区乘客组数可视为  $Q_p$  对时间  $t$  的偏导数, 即:

$$P_A = \frac{\partial Q_p}{\partial t} \quad (3)$$

对于  $C_w$  而言, 当  $Q_T$  未被假设为常量时, 单位时间内蓄车池内车辆数可视为  $Q_T$  对时间  $t$  的偏导数, 即:

$$C_w = \frac{\partial Q_T}{\partial t} \quad (4)$$

对于  $C_0$  和  $P_B$  而言, 单位时间内上车区乘客组数和单位时间内载客车辆数的意义一致, 故:

$$C_0 = P_B, \quad (5)$$

由公式(5)可知:

$$C_0 \cdot P_B = P_B^2 = C_0^2, \quad (6)$$

此时公式(2)可整合为:

$$\max E = \frac{P_B^2}{P_A \cdot C_w} \times 100\% = \frac{C_0^2}{P_A \cdot C_w} \times 100\%, \quad (7)$$

而对于  $Q_p$  和  $Q_T$  来说, 当  $Q_p > Q_T$  时,  $Q_p$  的值为乘车区乘客容量的最大值, 即  $Q_{p_{max}}$ ,  $Q_T$  服从泊松分布, 此时,  $P_A$  极小, 可定义为正常数  $Q_{p_{max}}$  (可为任意正实数); 当  $Q_p \leq Q_T$  时,  $Q_T$  的值为蓄车池容量的最大值, 即  $Q_{T_{max}}$ ,  $Q_p$  服从泊松分布, 且:

$$Q_{T \max} = \frac{L}{L_{car} + gap_{average}}, \quad (8)$$

式中:  $L_{car}$  为单辆出租车车长,  $gap_{average}$  为平均车距,  $L$  为出租车道全长。

此时,  $C_w$  极小, 可定义为正常数  $Q_{T \max}$  (可为任意正实数)。

对于  $C_0$  和  $P_B$ , 其运输能力的量化由多个因素决定, 这里的描述方法为每小时内从某单一上车点通过出点的载客车辆流量, 其具体数值计算将在各种情况下说明。下面对各种情况进行代入讨论:

(一) 当  $Q_p > Q_T$  时

1) 两车道同向两侧载客

对于两车道同向两侧载客的情况, 其流量  $C_0$  和  $P_B$  可定义为:

$$C_0 = P_B = \frac{3600}{t_{load} + t_{drivein} + t_{jam} + t_{driveout}}, \quad (9)$$

其中:  $t_{load}$  为停车载客过程所需的平均时间,  $t_{drivein}$  为从停车区入点驶入上车点泊位的平均时间,  $t_{jam}$  为在蓄车池中的拥堵平均时间,  $t_{driveout}$  为驶出机场出租车乘车区的平均时间。

① 两侧各一个上车点(并行)

此时, 运输能力为单上车点的两倍, 得到:

$$C = 2C_0 = 2P_B, \quad (10)$$

整理可得:

$$\max_t E = 4P_B^2 \cdot \left( \frac{\partial Q_T}{\partial t} \cdot Q_{P \max} \cdot \frac{S}{L} \right)^{-1} \times 100\%, \quad (11)$$

该方案定为方案一。

② 多上车点

设上车点位有  $N$  个, 此时流量  $C_0$  和  $P_B$  受到前后多辆出租车的载客延时和交通堵塞的影响, 导致车辆出站时间更长, 不利于效率提升, 故其效率一定比单上车点位低, 因此不考虑  $Q_p > Q_T$  时两车道同向两侧载客时多上车点的情况。

2) 两车道同向一车道载客一车道通行

对于两车道同向一车道载客一车道通行的情况, 由于车辆载客后车辆直接变道驶出, 而不存在拥堵, 故其流量  $C_0$  和  $P_B$  可定义为:

$$C_0 = P_B = \frac{3600}{t_{load} + t_{drivein} + t_{driveout} + t_{conflict}}, \quad (12)$$

其中:  $t_{load}$  为停车载客过程所需的平均时间,  $t_{drivein}$  为驶入上车点泊位的平均时间,  $t'_{driveout}$  为单车道通行驶出机场出租车乘车区的平均时间,  $t_{conflict}$  为变道交通冲突平均消耗时间。

① 单上车点

此时, 单一上车点与入点位置距离描述为  $S$ , 则  $Q_{T \max}$  可被描述为:

$$Q_{T \max} = \frac{S}{L_{car} + gap_{average}}, \quad (13)$$

考虑此时只有一侧能够乘车, 故其运输效率可直接整理为:

$$\max_{S,t} E = P_B^2 \cdot \left( \frac{\partial Q_P}{\partial t} \cdot \frac{S}{L_{car} + gap_{average}} \right)^{-1} \times 100\%. \quad (14)$$

该方案定为方案二。

### ② 多上车点

设上车点数量为  $N$ , 此时乘客人数是大于出租车数量的, 考虑蓄车池内车辆数量的临界值(与  $N$  的大小比较): 若  $Q_T \geq N$  而  $Q_T \ll Q_p$ , 此时疏导乘客在上车区平均分布, 采用多上车点会提高效率, 此时:

$$\max_{N,t} E = N^2 \cdot P_B^2 \cdot \left( \frac{\partial Q_p}{\partial t} \cdot \frac{L}{L_{car} + gap_{average}} \right)^{-1} \times 100\%, \quad (15)$$

而若  $Q_T < N$ , 说明此时车辆严重不足, 在乘客在站台上的数量  $Q_p$  服从均匀分布的情况下, 多点上车会导致乘客积压在前端, 即便是效率相对较高, 在考虑安全性的基础上, 显然不利于管理, 故应设置单一上车点, 并疏导乘客排队候车或改乘其它交通工具。该方案定为方案三。

## (二) 当 $Q_p \leq Q_T$ 时

### 1) 两车道同向两侧载客

对于两车道同向两侧载客的情况, 其流量  $C_0$  和  $P_B$  见(9)式。

#### ① 两侧各一个上车点

此时, 单一上车点与入点位置距离描述为  $S$ , 则  $Q_{Tmax}$  可被描述为:

$$Q_{Tmax} = \frac{S}{L_{car} + gap_{average}}, \quad (16)$$

则(2)式可被整理为:

$$\max_{S,t} E = 4P_B^2 \cdot \left( \frac{\partial Q_p}{\partial t} \cdot \frac{S}{L_{car} + gap_{average}} \right)^{-1} \times 100\%, \quad (17)$$

该方案定为方案四。

### ② 多上车点

设上车点位有  $N$  个, 此时流量  $C_0$  和  $P_B$  受到前后多辆出租车的载客延时和交通堵塞的影响, 导致车辆出站时间更长, 不利于效率提升, 故其效率一定比单上车点位低, 因此不考虑  $Q_p \leq Q_T$  时两车道同向两侧载客时多上车点的情况。

### 2) 两车道同向一车道载客一车道通行

对于两车道同向一车道载客一车道通行的情况, 其流量  $C_0$  和  $P_B$  见(12)式。

#### ① 单上车点

此时, 单一上车点与入点位置距离描述为  $S$ , 则  $Q_{Tmax}$  可被描述为:

$$Q_{Tmax} = \frac{S}{L_{car} + gap_{average}}, \quad (18)$$

则(1)式可被整理为:

$$\max_{S,t} E = P_B^2 \cdot \left( \frac{\partial Q_p}{\partial t} \cdot \frac{S}{L_{car} + gap_{average}} \right)^{-1} \times 100\%. \quad (19)$$

该方案定为方案五。

### ② 多上车点

设上车点位有  $N$  个, 此时停车区间被分为  $N$  个, 每个停车区间长度为:

$$l_c = \frac{L}{N}, \tag{20}$$

但由于车辆长度有限, 故设置约束条件:

$$l_c \geq L_{car}, \tag{21}$$

可得:

$$N \geq \frac{L}{l_c}, \tag{22}$$

此时, 每个上车点的运输能力为  $C_0$ , 则总运输能力为  $NC_0$ 。

则(1)式可被整理为:

$$\max_{S,N,t} E = N^2 \cdot C_0^2 \cdot \left( \frac{\partial Q_P}{\partial t} \cdot \frac{S}{L_{car} + gap_{average}} \right)^{-1} \times 100\%. \tag{23}$$

该方案定为方案六。

### 3.3. 模型验证

对于以上六个成立的子模型, 验证需要基于实际机场数据。本模型采用重庆江北国际机场 T3 航站楼的双并行车道出租车乘车区的建筑和交通数据, 对部分时间数据进行大致估测, 使用 MATLAB R2019a 软件进行模拟, 代入以每两个小时为一组的模型中进行验证, 借此效率验证结果, 进一步得出针对江北国际机场的分时段高效运载模型。

模型代入的输入数据如下(表 3):

**Table 3.** Model parameters  
**表 3.** 模型参数表

$t_{load}$ 装载时间	$t_{drivein}$ 驶入时间	$t_{jam}$ 交通堵塞平均时间	$t_{driveout}$ 双道载客驶出时间	$t'_{driveout}$ 单道载客驶出时间
10 s	50 s	20 s	50 s	10 s
$t_{conflict}$ 变道交通冲突平均时间	$\lambda$ 泊松分布参数	$L_{car}$ 平均出租车长度	$gap_{average}$ 平均车距	$L$ 出租车道长度
5 s	5 s	3.7 m	40 cm	1 km

特别的,  $Q_{Pmax} = 5000$  个。

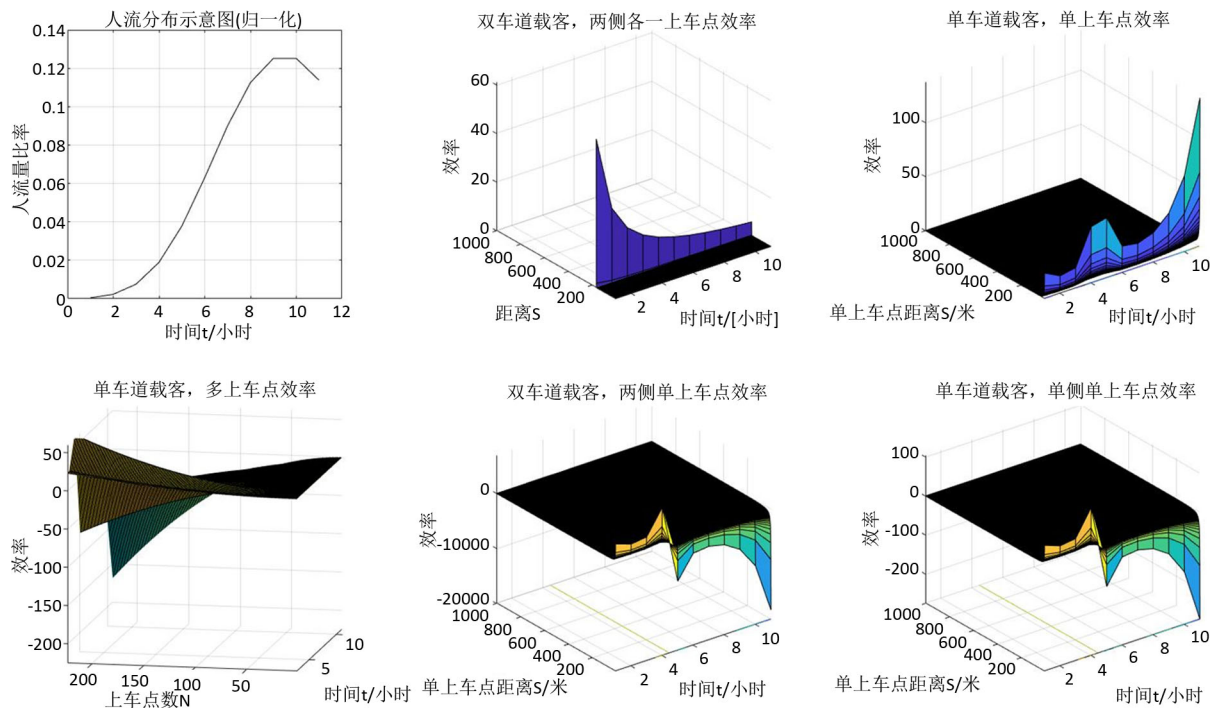
代入模型中, 得到效率分布图如图 3。

分析得各函数效率最优位置为(表 4):

**Table 4.** Table of optimal positions for model efficiency  
**表 4.** 模型效率最优位置表

	方案一	方案二	方案三	方案四	方案五	方案六
效率	33.8	52.1	94.9	69.3	69.3	20.8
单一上车点位置 S/个数 N	4	1	163	1	1	1/4
时间段	1	4	11	4	4	4





**Figure 3.** Model efficiency test plot  
**图 3.** 模型效率检验图

由此分析, 不同时间段内, 江北机场出租车上车区可采用动态归化停车点和车道应用的策略, 以提高乘客运载效率和出租车利用效率, 通过对每个模型在每一个 2 小时时段的数据分析后, 针对以上数据对各个时段的效率最高具体量化分段如下(表 5):

**Table 5.** Table of design options for efficient dynamic pick-up points in Jiangbei International Airport  
**表 5.** 江北机场高效动态上车点设计方案表

时间段(小时)	0~2	2~4	4~6	6~8	8~10	10~12
方案	方案一	方案一	方案三	方案四	方案五	方案一
单上车点距离 S/m	4	4	/	1	1	4
上车点个数 N	2	2	163	2	1	1
效率/%	33.8	23.6	56.3	69.3	69.3	33.8
时间段(小时)	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24
方案	方案一	方案二	方案二	方案三	方案三	方案三
单上车点距离 S/m	4	1	1	/	/	/
上车点个数/N	2	1	1	163	163	163
效率/%	15.5	17.3	48.1	94.0	94.9	94.8

由表 5 可知, 江北机场在夜间 0~4 点时, 采用方案一设置上车点的效率最高; 4~10 点则每两个小时依次使用方案三、四、五, 10~14 点则可采用方案一, 14~18 点可采用方案二, 18~24 点高峰时段, 可采用方案三。基于各时段下对应效率最高的方案, 我们得到了关于江北机场出租车上车点动态配置的分段函数, 这对于加快机场人流流动, 提高交通运输效率具有极大的好处。

#### 4. 结论

以上所谈, 为针对机场内出租车高效管理的方法, 在缓解乘客积压和出租车利用率低下的问题方面提供参考。本模型从效率模型出发, 针对机场出租车交通情况建立指标, 通过建立的偏微分模型, 对各个时间段内的情况进行分类讨论和分类评价, 进而得出对于特定机场环境的情况评价。最终本文采用重庆江北国际机场的实际数据进行模型测验, 发现对于各个时段应用不同的上车点排布方法, 确实可以有效提高机场出租车利用效率, 证明本文提出的动态规划方法有解决机场小交通问题的可能。对于机场内出租车的交通管理, 本模型仅仅在可行性上进行了数理分析, 对更深层次也更细微的人为和自然因素并未加以考量, 在实际应用中同样需要及时调节各类参数以提高效率。

#### 参考文献

- [1] 金雷. 考虑出行需求的出租车停靠站选址及优化技术研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2014.
- [2] 覃永明, 王涛. 关于城市机场改扩建方案设计中交通组织方案的技术探讨[J]. 建材与装饰, 2019(26): 257-258.
- [3] 丁海鹰. 基于出租车车载定位数据挖掘下智能化城市交通系统的应用[J]. 自动化与仪器仪表, 2018(9): 177-179.