

# 基于排队论的枢纽内出租车上客区服务台优化

魏中华<sup>1</sup> 王琳<sup>2</sup> 邱实<sup>2</sup>

(北京工业大学 交通工程重点实验室 北京 100124)

**摘要:** 交通枢纽作为承接多种交通方式的客货转乘中心,其客流量较大,为了保证枢纽安全、高效、有序地运转,需利用枢纽的各种交通方式将到站乘客尽快疏散。其中,出租车作为乘客离站的一种交通方式,其上客区的排队服务水平一定程度上影响着乘客的离站效率。本文首先对枢纽内出租车上客区的布局形式进行了分类,分为单点式出租车排队服务系统、多点纵列式出租车排队服务系统和多点并列式出租车排队服务系统三类。然后,基于排队论以北京站为例,利用费用决策模型对多点并列式出租车排队服务系统的服务台数进行了数量优化。优化结果表明,设置6个可同时供乘客上车的“服务台”可达到乘客等待时间、车辆排队时间以及“服务台”建设费用最小的效果。

**关键词:** 枢纽;出租车上客区;排队论;费用决策

中图分类号: U49

文献标识码: B

综合客运交通枢纽作为联合多种交通方式的客流转乘中心,往往承接包括民航、铁路、水运、公路、轨道交通、常规公交、小汽车、出租车、自行车与步行等多种交通方式。在众多的进出站的交通方式中,出租车以其较高的通达性与舒适性等优点,成为了许多乘客离站出行的交通方式之一。在铁路枢纽换乘的相关研究中发现,出租车客流集散客流量约占铁路客流集散总量的10%~30%,仅次于公交车的客流集散运量。枢纽内出租车换乘设施的服务水平在一定程度上影响着枢纽内客流的集散效率。2014年交通部提出在机场、火车站等设立统一出租汽车调度服务站或实行排队候客的场所,出租汽车司机不得通过手机打车软件等方式在排队候客区揽客,这一举措一定程度上对机场、火车站等地的出租车服务进行了规范管制,使枢纽内离站的出租车及乘客能够在换乘区域内更加有序地排队候客、候车。据此,在对枢纽内出租车站点的服务水平进行评价时,要充分考虑乘客及出租车辆的排队候车、候客情况,并结合不同的出租车服务站点的布局形式进行综合的考虑。以此为基础来改善火车站出租车乘客离站的交通疏散系统。

国内外许多学者对出租车上客区的服务水平进行了评析,例如黎冬平等人从乘客满意度的角度对机场出租车上客区的总体服务水平进行了评析;David及俞春辉等人则着重从出租车排队的车辆泊位设置及规模等角度对出租车上客区进行了研究,这类研究着重考虑了出租车的候客时间,而对乘客的等待服务时间、设施的设置成本等方面考虑相对较少。在出租车上客区排队服务设施的布置形式方面,以往的研究多集中于机场等空间充足、出租车需求量较大的枢纽内上客区、落客区的布设形式,而针对传统的紧凑型的枢纽内出租车上客区的布设形式的研究相对较少。

据此,本文将基于排队论对枢纽内出租车上客区的服务水平进行了评析,并以北京站为例,对枢纽内出租车上客区的乘客排队服务情况进行了分析,讨论在北京站打车离站的高峰期间,同时设置几个上车点能

够满足出租车乘客的离站需求。

## 1 枢纽内出租车排队服务系统

排队服务系统是指由输入、输出、服务规则、服务设施四部分组成的系统。决策者通过排队系统能够在服务对象与服务设施之间找到一个较好的平衡,进而使服务资源得到优先配置。目前,排队系统以其高效、灵活等特点在银行、医院、枢纽等公共服务场所得到了广泛的应用。其中在交通枢纽内的出租车上客区,通常会构建由乘客、空车作为输入,载客出租车作为输出以及出租车作为移动式“服务台”的出租车排队系统,以此来实现枢纽内乘客高效离站的目的。

排队服务系统根据其输入端队伍数目、服务规则、服务台数目与类型等的不同分为不同的类型。由于不同枢纽内部的规划与布局不同,不同枢纽内出租车排队上客区的设置类型也各不相同。根据枢纽内出租车服务站的设置类型、上车点的数目等,可将枢纽内的出租车排队系统分为3类:单点式出租车排队服务系统、多点并列式出租车排队服务系统、多点纵列式出租车排队服务系统。

### 1.1 单点式出租车排队服务系统

单点式出租车排队服务系统是指一列乘客等候上车的队伍对应一个上车点的布局形式。乘客与出租车同时在各异的等候空间进行排队,一辆出租车对应一个顾客,只有当一个乘客服务结束离开排队系统后后面的乘客才能接受服务。此类出租车排队系统结构简单,一般适用于客源较少的小型枢纽站的出租车上客区或者路侧出租车服务点。系统适用的排队模型为M/M/1排队模型。其布局形式如图1所示。

### 1.2 多点纵列式出租车排队服务系统

多点纵列式出租车排队服务系统属于面向乘客的带有多个服务台和一个公共队伍的排队系统。乘客按照一定的到达规律到达排队系统后,排在队伍前端的乘客可以根据当前上车点的出租车服务状态分散到纵向排列的多个“服务台”接受服务。出租车则由内侧

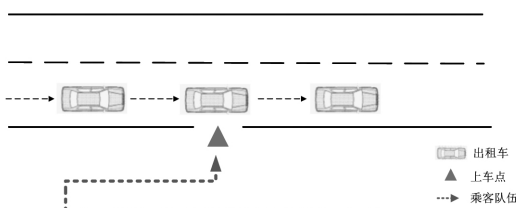


图1 单点式出租车排队服务系统

车道驶入港湾式上车点进行载客服务,服务结束后驶离上车点,然后由后面的出租车补位。此类出租车排队系统与单点式出租车排队服务系统相比,增加了上车服务点,提高了系统的服务效率,但当多个服务点的出租车同时驶离各自的上车点时,车辆之间易产生干扰与冲突。此外,此类出租车排队系统对纵向空间长度要求较高。因此,多点纵列式出租车排队服务系统一般适用于机场等枢纽的纵向距离较大的交通枢纽。

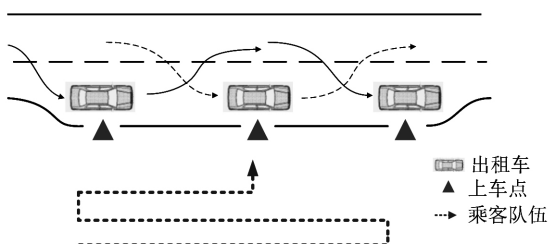


图2 多点并列式出租车排队服务系统

### 1.3 多点并列式出租车排队服务系统

多点并列式出租车排队服务系统与多点纵列式类似,但系统内各个上车点的布置形式呈并列式,乘客在排队结束后需跨出出租车道分散到各个上车点。这样的布局形式虽然增加了上车点,在一定程度上提高了乘客离站的效率,但是容易产生客流干扰及人车冲突,继而使得靠近乘客等待队伍的内侧出租车上车点的服务时间延长,进而对乘客离站效率会产生一定的影响。此类出租车排队系统需要在上客区设置多条出租车道来增加上车点,该布局形式对于上客区的纵向距离要求小,适用于上客区纵向距离较短的传统枢纽,例如北京站、北京南站的出租车服务点均采用了此类布局设置。

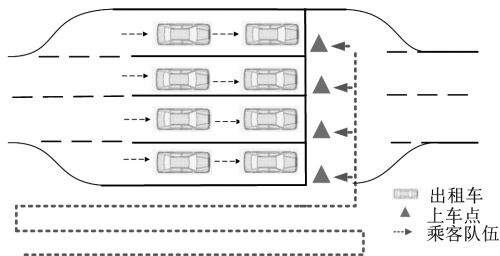


图3 多点并列式出租车排队服务系统

## 2 枢纽内出租车排队模型

### 2.1 排队系统服务状态及评价指标

#### 2.1.1 排队系统服务状态

根据排队系统中顾客及服务台的状态可以将排队

系统的服务状态分为忙期、闲期与休假。其中忙期是指排队系统中的顾客数从1开始到顾客数再次为0的这一时期,即此时排队系统中一直有顾客在等待接受服务或正在被服务的状态。闲期与忙期相反,是指排队系统中的顾客数从0到再次为1的时段,即此时排队系统处于空闲状态。对于顾客与服务台双端排队的服务系统,当服务台处于未到达的状态时,可称该排队系统处于休假期。

排队系统的繁忙程度可以用服务机构的繁忙率 $\rho$ 表示, $\rho$ 为系统中顾客到达率与服务率之比。 $\rho$ 越大排队系统越繁忙,当 $\rho$ 大于1时,系统将处于顾客无限排队的繁忙状态。

其中系统的排队系统的繁忙率 $\rho$ 可由以下公式计算得到:

$$\rho = \frac{\lambda}{C\mu} \quad (1)$$

式中: $C$ 为服务台个数,本系统中为并列式出租车上客区的上车点的数量; $\lambda$ 为出租车乘客的平均到达率,即单位时间内进入排队系统的乘客人数; $\mu$ 为单个上车点的平均服务率,即单个服务台单位时间内完成服务离开系统的乘客人数,多服务台排队系统的平均服务率为 $C\mu$ 。

#### 2.1.2 排队系统的评价指标

排队系统的评价指标有排队长度 $L$ 和顾客等待时间 $W$ ,无论是从系统的角度还是从顾客的角度来看,两者均是越小越好。其中队列长 $L_q$ 是指系统中正处于排队等待的平均旅客数,队长 $L_s$ 则是指队列长 $L_q$ 与正在接受服务的顾客数之和。等待时间 $W_q$ 则是指顾客从进入系统开始到开始接受服务的平均时间,逗留时间 $W_s$ 是指从顾客进入系统到接受完服务离开系统的平均时间。

#### 2.2 多点并列式出租车上客区排队系统

尽管枢纽内的出租车排队服务系统是出租车与乘客的双端排队的系统,但是为了充分体现上客区乘客的排队规律,本文将多点并列式出租车排队服务系统简化为具有一列排队队伍的并列式多服务台的排队系统。

系统中的乘客即为排队系统的顾客输入端,出租车上车点为系统中并列式的服务机构,乘客在接受出租车载客服务后离开即为系统的输出过程。假设乘客在离站的高峰时段内,系统输入端的客源是无限的,排队空间是无限的,并且乘客遵循先到先服务的排队规则。排队系统如图4所示。

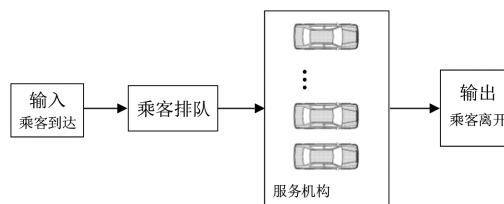


图4 出租车排队服务系统简图

#### 2.3 排队模型

根据排队论的相关理论,对枢纽内并列式出租车

上客区这一排队系统建立排队模型。当上客区排队系统处于全忙期,且系统的服务强度  $\rho < 1$  时,系统达到稳定状态且不会形成无限排队的现象,在此基础上对系统的输入与输出进行建模。

在系统达到稳态时,  $C$  个服务台并联工作,系统中出租车乘客数为  $n$  的概率如下:

$$P_0(C) = \left[ \sum_{k=0}^{C-1} \frac{1}{k!} \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^k + \frac{1}{C!} \frac{1}{(1-\rho)} \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^C \right]^{-1} \quad (2)$$

$$P_n(C) = \begin{cases} \frac{1}{n!} \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^n P_0(C) & n = 1, 2, \dots, C \\ \frac{1}{C!} \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^C P_0(C) & n = C + 1 \end{cases} \quad (3)$$

用系统中乘客排队的队长  $L_s$  及其逗留时间  $W_s$  对系统进行分析,得:

$$L_s = L_q + C\rho = \frac{1}{C!} \frac{(C\rho)^C \rho}{(1-\rho)^2} P_0 + \frac{\lambda}{\mu} \quad (4)$$

$$E(W_s) = \frac{P_n(C)}{C\mu(1-\rho)^2} = \frac{n\mu}{n!(n\mu - \lambda)^2} \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^n P_0(C) \quad (5)$$

#### 2.4 排队系统优化

利用排队系统的费用决策模型对排队系统进行优化设计。假设乘客等待时间的总费用为  $Z_1 = \alpha L_s$ , 上车点建设成本为  $Z_2 = \beta C$ , 其中  $\alpha$  为每个乘客单位时间的等待时间成本,  $\beta$  为单个服务台的服务时间成本与单个上车点的建设费用。当则需要满足两者之和最小才能使得系统进一步优化,即:

$$\begin{aligned} \min Z(C) &= Z_1 + Z_2 = \alpha L_s(C) + \beta C \\ \begin{cases} Z(C) \leq Z(C+1) \\ Z(C-1) \leq Z(C) \end{cases} \end{aligned} \quad (6)$$

即:

$$L_s(C-1) - L_s(C) \geq \frac{\alpha}{\beta} \geq L_s(C) - L_s(C+1) \quad (7)$$

### 3 北京站出租车排队服务系统

北京站是北京铁路局首批全国铁路枢纽之一,作为我国的特级综合型交通枢纽于 1959 年建成后使用至今。它对外连接了国内、国际的多条铁路线,对内更是在站前广场及附近集结了地铁、公交、出租车、私家车等多种市内交通方式。北京站作为一个大型的综合交通枢纽,客流量巨大,尤其是在列车到站后,大批的乘客从出站口涌出,给站前广场造成了较大的客流压力,必须通过各种交通方式将其尽快疏散。其中出租车作为乘客离站的交通方式之一,其上客区的排队服务水平的提高对北京站的客流疏散具有积极的意义。

本文选取北京站为例对其上客区的出租车排队服务系统进行优化评价。北京站的乘客出租车上客区是典型的多点并列式出租车排队服务系统,可以采用上述的费用决策排队模型进行优化。

对北京站的出租车上客区的乘客到达率  $\lambda$  与服务率  $\mu$  进行调查统计,并假设乘客等待时间成本与服

务台成本之比为 1:500,计算如下:

表 1 排队系统到达率与服务率

$\lambda$ (人/分钟)	$\mu$ (人/分钟)	$\alpha/\beta$
6	4	0.002

利用上述费用决策模型对北京站的出租车排队服务系统进行优化,计算结果如下:

表 2 费用决策模型计算过程

$L_s(1) - L_s(2)$	-6.428571429	$L_s(5) - L_s(6)$	0.00706261
$L_s(2) - L_s(3)$	1.691729323	$L_s(6) - L_s(7)$	0.001305939
$L_s(3) - L_s(4)$	0.192090724	$L_s(7) - L_s(8)$	0.000222269
$L_s(4) - L_s(5)$	0.036120281		

由上述计算结果可得,当  $C=6$  时,满足公式(7),即乘客与服务台成本之和最小。也就是当出租车上客区设置 6 个上客点时,可实现排队系统的费用相对较小。

### 4 结论

本文在对枢纽内出租车上客区的排队服务系统布局形式分三类进行了描述,并以北京站为例,对多点并列式的排队服务系统进行了评析。利用排队论中的费用决策模型对排队系统进行优化,经过调查与计算得,当上客区的上车点数为 6,即设置 6 条可同时搭载乘客的出租车候客车道时,乘客排队等待时间成本与车道设置成本之和构成的总费用最小。

研究中将枢纽内出租车上客区的排队系统进行了简化,仅考虑了上客区的乘客排队情况,而现实中出租车排队服务系统通常存在双端排队模式。因此,希望在后续的研究中可以综合考虑多个因素,如出租车排队情况、候客出租车停车位设置情况等,在此基础上对排队系统进行优化,进而提高出租车乘客的离站效率。

参考文献:

- [1] 朱胜跃,赵慧,吴海俊. 综合客运交通枢纽分类分级研究. 铁道经济研究, 2012(2): 23-29.
- [2] 刘洋. 北京市西客站与周边公共交通衔接优化研究. 北京交通大学, 2011.
- [3] 莫岱青. 交通运输部正式颁布《通知》打车软件获合法性地位. 计算机与网络, 2014(14): 10-11.
- [4] 黎冬平,晏克非,程林结等. 机场出租车上客区的服务水平模型. 哈尔滨工业大学学报, 2011, 43(4): 126-130.
- [5] DA COSTA DCT, DE NEUFVILLE R. Designing Efficient Taxi Pick up Operations at Airports. Transportation Research Record, 2012, 2300(1): 91-99.
- [6] 俞春辉,杨晓光,马万经. 考虑随机需求的出租车上客区泊位设置模式和规模优化方法. 中国公路学报, 2015, 28(3): 102-109.
- [7] 胡程. 并列式立体化出租车排队系统研究. 城市道桥与防洪, 2014(7): 19-21.
- [8] 孙荣恒,李建平. 排队论基础. 科学出版社, 2002.
- [9] 胡程. 并列式市体化出租车排队系统研究. 城市道桥与防洪, 2012.
- [10] 胡运权. 运筹学基础及应用. 武汉大学出版社, 2014.
- [11] 尹小玲,苏健. 带有负顾客的双端排队系统. 中山大学学报自然科学版, 2004, 43(4): 14-18.
- [12] 李静. 排队论在汽车售后服务系统的应用. 科技信息, 2009(23): 16.
- [13] 张明星. 北京站乘客换乘仿真优化研究. 北京交通大学, 2012.