# **基于排队论的公交站台优化设计**

李东岳，焦朋朋\*，王红霖

（北京建筑大学土木与交通工程学院，北京市西城区展览馆路1号 100044）

**摘要：**公交站台是城市公共交通的重要组成部分，针对多线路公交站台进行优化设计，方便车辆有序停靠，满足乘客候车空间需求，提高公交运行效率。通过分析国内外常用的公交站台尺寸设计方法，基于排队论模型引入了公交到达率、服务台数、站台服务率等参数，建立了公交站台尺寸设计模型。运用该模型对北京市某多线路公交站台进行了案例分析与优化设计，结果表明该模型能够对多线路公交站台根据服务线路数量进行有效地优化设计，在合理利用空间资源的基础上优化站台的泊位数和尺寸可以有效地减少站台处进站公交车辆排队长度，减少车辆停靠站延误，提高公交系统的运行效率。

**关键词：**公共交通；排队论；公交站台；泊位数；站台尺寸

**中图分类号：**U491.1+7 **文献标识码：**A

Bus Station Optimization Based on Queuing Theory

Li Dongyue, Jiao Pengpeng\*, Wang Honglin

(Beijing University of Civil Engineering and Architecture, No.1 Zhanlanguan Road, XiCheng District, Beijing 100044)

**Abstract:** Bus station is an important component of urban public transport. optimization design of multi-line bus station facilitate buses ordered parking, satisfy passengers waiting space requirements, improve the efficiency of bus operation. Through analyzing common bus station size design methods at home and abroad, bus station size design model is constructed with the introduction of bus arrival rate, service desk number, bus station service rate and other parameters based on the queuing theory model. Then a case analysis and optimization design is performed for certain multi-line bus station in Beijing, the application results prove that the model can optimize the design of multi-line bus station effectively according to the number of service lines. Optimization of bus station berth number and size on the rational use of space resources can effectively reduce bus stop vehicle queue length, which can reducing vehicle stop delays, improving bus system operational efficiency.

**Key words:** public transport; queue theory; bus station; berth number; scale of platform

**CLC number:**U491.1+7 **Document code:** A

第一作者：李东岳

1992-，女，硕士在读

单位：北京建筑大学，土木与交通工程学院

通信地址：北京市西城区展览馆路1号，100044

联系电话：17888812551

电子邮箱：lidongyue2000@163.com

# 0 引言

公共交通是城市交通系统的重要组成部分，随着城市交通拥堵问题的日益严重，优先发展公共交通已经成为共识。作为公交运行的节点，公交站台承担着公交车辆停靠和乘客上下车的任务，如果公交站台尺寸设计不合理，容易造成公交车辆进站、乘客乘车秩序混乱，尤其在高峰时段，由于车辆发车频率高、人流集散密度大，公交站台同时为车辆和乘客提供服务，混乱的进站车辆和候车乘客严重影响公交运行效率，甚至扩散至整个交通体系，同时对乘客上下车安全也产生严重威胁。因此，合理设计公交站台尺寸对充分发挥站台作用具有重要意义。

公交站台优化设计主要是指确定合理的站台长度和站台宽度，长期以来，已有很多管理者和研究者对此问题用不同方法进行了研究，如李娜，陈学武利用非线性回归方法统计出平均停靠车辆数，根据车辆数确定站台设计长度[1]；曾奕林对公交停靠站站台尺寸的几何计算方法进行了研究[2]；吴永欣，彭小东探讨了通过计算公交停靠站泊位数来设计站长[3]。于洋，何世伟等研究了基于乘客换乘量的BRT站台设计[4]。本文以排队论为理论依据构造公交站台尺寸设计模型，得到了不同线路数下车辆进站排队长度计算公式，通过优化分析确定出最优泊位数，然后以具体泊位长度为基点，进一步完善对站台长度的设计。同时，乘客上下车服务也可以看作一个排队过程，根据排队论模型计算出系统的排队长度，即站台内的候车乘客数，结合站台人流密度的要求即可得出所需的站台尺寸规模，以此计算站台宽度。

# 1 排队过程的一般模型

排队论是研究系统随机聚散现象和随机服务系统工作过程的数学理论和方法，通过对服务对象到来及服务时间的统计研究，得出一些数量指标（等待时间、排队长度、忙期长短等）的统计规律，然后根据这些规律来改进服务系统的结构或重新组织被服务对象，使得服务系统既能满足服务对象的需要，又能使机构的费用最经济或某些指标最优。

一般的排队系统有三个基本的组成部分：（1）输入过程，该过程考察的是顾客到达服务系统的规律。它可以用一定时间内顾客到达数或前后两个顾客相继到达的间隔时间来描述，一般分为确定型和随机型两种；（2）排队规则，分为等待制、损失制和混合制三种；（3）服务机构，可以是一个或多个服务台，多个服务台可以是平行排列的，也可以是串连排列的。服务时间一般也分成确定型和随机型两种。

通常评价排队系统优劣有6项数量指标。（1）系统负荷水平：它是衡量服务台在承担服务和满足需要方面能力的尺度；（2）系统空闲概率：系统处于没有顾客来到要求服务的概率；（3）队长：系统中排队等待服务和正在服务的顾客总数；（4）队列长：系统中排队等待服务的顾客数；（5）逗留时间：一个顾客在系统中停留时间，包括等待时间和服务时间；（6）等待时间：一个顾客在系统中排队等待时间。

以多服务台负指数分布排队系统为例，顾客到达服从泊松分布，服务时间服从负指数分布，根据排队论原理，系统的主要计算指标如下（其中为排队系统的服务强度）：

系统内没有顾客排队的概率：

 （1）

系统内有个顾客排队的概率：

 （2）

或

 （3）

系统平均长度：

 （4）

排队长度：

 （5）

平均等待时间：

 （6）

逗留时间：

 （7）

对于M/G/1模型，服务时间的分布是一般的（要求期望值和方差都存在），排队长度计算公式如下（其中）：

 （8）

服务时间是确定的常数时即转化为定长服务时间M/D/1模型，则排队长度计算公式为：

 （9）

# 2 公交站台长度优化设计

站台长度优化设计主要是指根据公交车辆到达和服务规律，利用排队论基本原理计算站台处的车辆排队长度，由此确定出站台最优泊位数，然后以单个泊位长度为基点进行站台长度的优化设计。

## 2.1 模型参数分析

对于设置多个泊位的公交站台，公交车辆的到达和服务时间构成一个多服务台排队系统。根据排队论知识可知优化模型需要的基本参数应包括车辆到达率、站台服务率和有效泊位数。

### 2.1.1 车辆到达率

每条线路的公交车在始发站按照一定的时间间隔进行发车，但是车辆在运行过程中会受到道路其他车流、交叉口、停站时间等的影响，故不会按照相同的时间间隔到达相同的公交站点，其到达过程可以认为是一个泊松过程。公交站台处车辆的到达率可以如下计算：

 （10）

式中，为单位时间内的公交交通量（辆/小时）。

### 2.2.2 公交站台服务率

在公交车辆进站接受服务过程中，公交车在站台内接受的服务时间不完全取决于上下车乘客数量，也受站台处其他进出站车辆的影响等，可以假设公交车辆接受站台服务的时间服从负指数分布。服务率可由单位时间的公交站台通行能力转化而来。美国交通工程师协会的《道路通行能力手册》中的公交站台的通行能力计算公式如下[5]：

 （11）

式中，——公交站台的通行能力；

——距离公交站台最近一个信号灯的绿信比；

——公交站台有效泊位数；

——乘客平均上下车时间；

——公交站台平均清空时间；

——调整系数，主要体现公交车到站时间及接受服务时间对站台容量的影响程度，经验值一般取0.83。

将通行能力转化为站台服务率，如下式所示：

 （12）

### 2.2.3 有效泊位数

当公交站台处泊位数大于1时，公交车辆停靠会使公交线路之间产生干扰，因而对应不同公交线路公交站台在不同停靠状况下有着不同的有效泊位数。美国《道路通行能力手册》指出：非港湾式停靠站的使用效率随着泊位数增加而降低，并建议该停靠站的泊位数最大有效值为2.5。其他学者通过对泊位数增加所造成的通行能力的变化进行模拟比较，提出不同泊位数对应的不同停靠方式站台处有效泊位数如表2-1所示[6]。

表2-1 公交站台有效泊位数

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 泊位数 | 直线式停靠站 | | 港湾式停靠站 | |
| 有效率（%） | 有效累积泊位数 | 有效率（%） | 有效累积泊位数 |
| 1 | 100 | 1.00 | 100 | 1.00 |
| 2 | 85 | 1.70 | 95 | 1.90 |
| 3 | 75 | 2.25 | 85 | 2.55 |
| 4 | 60 | 2.40 | 80 | 3.20 |
| 5 | 50 | 2.50 | 75 | 3.75 |

## 2.2 站台长度设计

作为日常见到的简单公交停靠形式，直线式停靠站是车辆停靠需占用部分车行道，公交停靠站沿路侧设置。该停靠方式站台处不提供超车，公交车辆实行先到先进站先行的原则。停靠时只需保持与前车的安全停靠距离就能顺利停靠。

直线式停靠站处公共车辆进出站停靠的形式见下图2-1。



图2-1 直线式停靠站站长计算示意图

从上图中可以看出，公交停靠站单个泊位的长度应包括公交车本身的长度及两停靠公交车辆之间的安全停车间距（一般取2.5m），根据式（1）、（5）和（6）可计算出对应不同有效泊位数的排队长度、平均等待时间等指标，优化分析确定出最优泊位数。

 （13）

 （14）

而站台的长度则应是个泊位长度之和，则直线式公交站台长度为：

 （15）

# 3 站台宽度优化设计

站台宽度是在站台长度确定的基础上根据停靠站上下车客流量来计算的，站台处客流密度应满足乘客上下车需求。在站台接受服务的上下车乘客流根据其特征可分别看作两个不同的单服务台排队系统，利用排队论知识求得系统中逗留人数，然后根据人流密度要求及站台长度即可确定站台宽度。

## 3.1 模型参数分析

公交站台对上下车乘客的服务过程可以分别描述为：乘客步行进入站台，在站台等待车辆，车辆到达，上车离开；乘客下车进入站台，经过一段距离离开站台。根据该描述以及排队论知识可知站台宽度优化设计模型需要乘客到达率、站台服务率等基本参数。

### 3.1.1 乘客到达率

针对公交站台而言，其服务的乘客不单单指等待上车的乘客也包括下车即将离散的乘客，他们都视站台为服务台，但上下车乘客的到达规律却不同，下面将分别加以说明。

（1）上车乘客到达率

公交作为居民出行的最普遍方式，乘客到达规律没有一定的确定性，根据公交站台实地调查数据拟合，乘客到达规律基本符合泊松分布，其分布参数可根据调查得到的乘客到达率与研究时段相乘得到。

（2）下车乘客到达率

为了简化模型的复杂程度，可认为每辆车下车乘客数量相差不大，由前文可知公交车辆到达符合泊松分布，因此可以认为下车乘客到达规律同样符合泊松分布。下车乘客的到达率为公交车辆到达率与平均下车乘客数量相乘得到。

### 3.1.2 站台服务时间

由于站台对上下车乘客服务过程不同，显然上下车乘客接收站台服务的时间有着明显差别，因此站台对上下车的服务率不同，下面将分别进行说明。

（1）上车乘客站台服务时间

站台对上车乘客的服务时间为乘客候车时间，针对多线路公交站台，由于乘客在等待不同线路公交，乘客的等待时间变化比较复杂，通过调查数据分析计算得到服务时间的期望值和方差。

（2）下车乘客站台服务时间

乘客下车后就会迅速离站，所以站台对下车乘客的服务时间为乘客离开站台时间，该服务时间可认为是定长。根据站台长度及行人步行速度（m/min），可以得到该定长值为：

 （16）

## 3.2 站台宽度设计

在乘客上车过程中，只有等待服务的乘客占用站台资源，因此只需求出在队列中等待的平均顾客数，根据模型则站台等待上车乘客数如下，其中服务强度：

 （17）

乘客下车离站时，正在接受服务的乘客和等待的乘客都占用站台资源，根据模型下车乘客数量计算公式如下，其中：

 （18）

由以上分析可知，当公交车辆到达时，站台上的总客流量为。站台宽度设计的最基本要求就是满足乘客所需的空间要求，候车人数的多少将直接影响到候车区的宽度，有研究证明：当人流密度人/时，在这种密度中的人群可以适当流动，有利于均匀分布，则站台宽度应满足：

 （19）

以上研究的站台宽度仅考虑了站台候车区宽度，而在实际应用中，站台宽度还需为站台设施的布置留出空间，因此，站台宽度可根据实际情况予以适当加宽。

# 4 案例分析

北京市西直门位于西城区北部，是金融、商业等经济活动的重要地区，还是集散人流、物流、信息流的中心地区之一。西直门外公交站位于西直门商业繁华区，周边商业聚集，人流密集，具有典型代表性，故本文选取该站点为研究对象。

## 4.1 现状分析

西直门外站台为直线式公交站台（由西向东），该站台长85m，服务公交线路18条，泊位数7个。站台前方为西外大街与北礼士路信号交叉口，绿灯时间82s,周期为195s。经实地调查，该站台乘客平均上下车时间为=15s，站台平均清空时间=10s，晚高峰时公交车流量达到156veh/h，将调查数据代入式（11）和（13）得出现状通行能力为307veh/h，从计算结果可知该站台基本上不存在车辆排队，站台泊位数设置过多，导致站台过长，占用较长的人行通道，不但增加了乘客选择公交线路的难度和离开站台时的步行时间，也对人行道通行产生了较大的影响。

## 4.2 优化设计

有研究证明随着有效泊位数的增加，站台容纳能力对泊位数的敏感度下降，因此车位应尽量控制在5个以内[7]。现将调查数据代入式（13）、（14），可以得出有效泊位数变化时的排队长度，以及对应设置的站台长度如下表4-1所示：

表4-1 直线式公交站台长度优化分析表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 泊位数 | 有效泊位数 | 排队长度 | 平均等待时间（min） | 站台长度 |
| 6 | 2.75 | 0.00 | 0.00 | 87.00 |
| 5 | 2.50 | 0.00 | 0.00 | 72.50 |
| 4 | 2.40 | 0.02 | 0.01 | 58.00 |
| 3 | 2.25 | 0.16 | 0.06 | 43.50 |

由上表计算结果可以看出，当泊位数减少至4个时，直线式公交站台的车辆排队长度仍基本为零，泊位数为3个时，排队长度与排队等待时间较泊位数为4时明显增加，因此选择设置4个泊位作为优化方案，则站台设计长度应为58。

取站台长度为58m，上车乘客平均到达率为11人/min，平均候车时间为5min，下车乘客平均到达率为12人/min，离开站台时间为定长0.4min，设乘客在站台候车区的步行速度为72m/min，代入数据得出=68，=50，则=118人，因此站台候车区宽度应为0.8m。

最终我们得到站台长度58m，站台候车区域宽度0.8m为满足需求的站台候车区域的最优尺寸。

## 4.3 关于线路数的灵敏度分析

上述案例为服务18条线路公交站台的优化分析，针对其他站台处停靠线路数不同的情况，若按照上述案例基本参数，其最优泊位数及对应站台尺寸设置如下表4-2所示：

表4-2 不同停靠线路数的站台尺寸优化

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 线路数 | 泊位数 | 有效泊位数 | 站台长度 | 站台宽度 |
| 5 | 2 | 1.70 | 29.00 | 0.6 |
| 13 | 3 | 2.50 | 43.50 | 0.7 |
| 23 | 5 | 2.40 | 72.50 | 1.0 |

# 5 结语

公交站台尺寸的确定作为公交站台设计的核心部分，其合理与否将直接影响到整个站台的运作质量。一个长度和宽度确定合理的公交站台不仅有利于公交车辆在站台处的安全运行和顺利进出，而且对整个公交系统的运行效率都起着重要的改善作用。本文从泊位数和公交站台客流量等方面对公交站台的优化设计进行了深入分析，提出基于排队论模型的公交站台尺寸优化模型。希望研究结果为站台尺寸的合理设计提供理论依据和实用参考。

# 参考文献

[1] 李娜，陈学武.公交车中途停靠站停靠能力及设计站长计算初探[J].土木工程学报，2003:72-77.

[2] 曾奕林.公交停靠站站台尺寸的研究[J].交通与运输，2005:65-69.

[3] 吴永欣，彭小东.道路交叉口处公交停靠站设计[J].城市道桥与防洪，2011:123-125.

[4] 于洋，何世伟，宋瑞，许旺土.基于乘客换乘量和停车泊位的站台规模研究[J].重庆交通大学学报，2008.

[5] 美国交通工程师协会.道路通行能力手册[M].任福田，译.北京：建筑工业出版社，2010.

[6] Herbert S Levinson. Bus lane capacity revisited[J].Transportation Research Record1664,1998.

[7] 柏海舰，李文权.常规公交站台容纳线路能力计算模型[J].东南大学学报，2007:1077-1080.