

# 城市公交站点布局优化研究

徐燕秋

广东省中山市坦洲镇城市建设和管理局 广东中山 528467

**摘要:** 公交站点是城市公交系统中的重要基础设施, 一条公交线路上的站点布局与乘客出行效率、公交运营效益以及道路交通运行质量密切相关。本文在深入分析公交站点布局影响因素的基础上, 分别建立站间距与站点选址优化模型确定最优站间距, 并进行了模型应用分析。

**关键词:** 公交站点; 站间距; 站点选址; 影响因素; 优化模型

## 1 概述

城市公共交通作为交通运输系统重要的组成部分, 与人民群众生活、工作息息相关, 与城市运行和经济发展密不可分, 是一项重大的民生工程。作为城市公共交通运行的关键节点, 公交站点布局优化对提高公共交通运行效率、缓解交通拥堵、优化城市交通结构具有重要意义。

本文在综合考虑土地开发强度、乘客出行需求、社会效益等影响因素的基础上, 建立以乘客出行时间最小为目标的站间距优化模型对公交站间距进行初步优化, 同时根据公交客流随机到站特征建立离散型站址优化模型对公交站间距进一步优化, 从而确定最优公交站点布局。

## 2 公交站点布局影响因素

### 2.1 土地开发强度

一条公交线路沿线的土地开发强度是公交站点布局的决定因素之一。土地开发强度较大的区域, 客流量大, 公交站点设置较为密集, 即站间距较短; 土地开发强度较小区域, 客流量小, 公交站点设置较为稀疏, 即站间距较长。同时, 公交站点选址需在考虑周边大型客流吸引源和站点覆盖率的基础上, 既有利于有效地开发利用土地, 又方便乘客出行。

### 2.2 乘客出行需求

通常情况下, 乘客出行选择交通工具主要考虑出行费用、出行时间、换乘便捷性、出行安全性等影响因素。其中, 出行时间、换乘便捷性与公交站点布局密切相关。公交站点站间距越大, 车辆运行速度越快, 则运行时间减少, 而站间距过大导致线路覆盖率减少, 降低客流吸引强度; 站间距越小则相反。因此, 合理的站间距需使乘客出行时间与公交线路覆盖率同时达到最优。同时, 公交站点选址应当充分考

虑到与其他交通方式的衔接情况, 尽量设置在地铁站、轻轨站、火车站以及学校等的出入口处, 从而节约乘客步行时间, 增加公交客流吸引强度。

### 2.3 经济效益

公交的经济效益应从两方面来考虑, 一方面是建设投资, 另一方面是效益所得。公交车站在整条线路中所占的土建费用比重较大, 建设投资成本往往高于区间线路的建设。为了合理控制公交车站的建设成本、避免投资浪费, 在建设城市公交系统时, 应当合理规划公交站点数量和站点位置, 从而既能控制公交的建设成本, 又能更好地实现公交的使用价值。同时, 公交站点布局决定了公交站点的覆盖率以及公交的客流吸引强度, 只有公交的客流量越大, 公交的经济效益才会大幅度提高。

## 3 公交站点布局优化模型建立

根据上述公交站点布局影响因素分析, 公交站点布局主要取决于站间距和站点选址。因此, 本文以乘客出行时间最小为目标建立站间距优化模型, 在此基础上, 基于公交客流特性建立离散型站址优化模型。

### 3.1 站间距优化模型

乘客总出行时间  $T$  包括乘客车外出行时间和乘客车内出行时间, 建立以乘客总出行时间最小的站间距优化模型。

(1) 乘客车外出行时间  $TW$ , 包括乘客步行到站时间  $T1$ 、乘客候车时间  $T2$  和乘客步行离站时间  $T3$ 。

根据乘客选择站间距分界点的行为特征, 当乘客在分界点处时, 其到达下一个邻近站点  $K+1$  的步行时间与其到达上一个邻近站点  $K$  的步行时间加上其由  $K$  站点乘车到达  $K+1$  站点的时间相等。

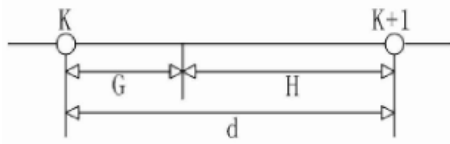


图1 乘客选择公交站点分界点示意图

$$\frac{H}{V_1} + t_1 = \frac{G}{V_1} + t_1 + t_2 \quad (\text{式 3-1})$$

$$G + H = d \quad (\text{式 3-2})$$

$$t_2 = \frac{d}{V_2} + t_3 \quad (\text{式 3-3})$$

式中:

$V_1$  表示乘客的步行速度 (m/s);

$t_1$  表示乘客平均候车时间 (s);

$t_2$  表示相邻站间的运行时间 (s);

$t_3$  表示公交车辆站点停靠延误时间, 等于加减速延误与停靠时间之和。

由式 3-2、3-3、3-4 联立可得:

$$G = \frac{1}{2} \left( d - \frac{dV_1}{V_2} - V_1 \times t_3 \right) \quad (\text{式 3-4})$$

$$H = \frac{1}{2} \left( d + \frac{dV_1}{V_2} + V_1 \times t_3 \right) \quad (\text{式 3-5})$$

由于乘客由出行起点步行至最近公交站点的时间与乘客由下车站点步行至目的地的时间是基本相同的, 假定  $T_3 = T_1$ , 设公交线路上有  $n$  个站点, 则:

$$T_w = t_1 + t_2 + t_3$$

$$= (G^2 + H^2) \times \frac{nq}{V_1} + L \times q \times \frac{h}{2} \quad (\text{式 3-6})$$

$$= \frac{Lq}{dV_1} \times \left( d^2 \times \frac{V_1^2 + V_2^2}{2V_2^2} + d \times t_3 \times \frac{V_1^2}{V_2} + \frac{V_1^2}{2} \times t_3^2 \right) + L \times q \times \frac{h}{2}$$

式中:

$L$  表示公交线路的长度 (m);

$h$  表示公交车辆的平均发车间隔 (s)。

(2) 乘客车内出行时间  $T_N$ , 包括乘客车内正常运行时间  $T_4$  和车辆停靠站延误时间  $T_5$ , 则:

$$T_N = T_4 + T_5$$

$$= L \times q \times \frac{L_0}{V_2} + L \times q \times \frac{L_0}{d} \times t_3 \quad (\text{式 3-7})$$

$$= L \times q \times \frac{L_0}{d} \times \left( \frac{d}{V_2} + t_3 \right)$$

式中:  $V_2$  表示公交车辆在站间的运行速度 (m/s);

$L_0$  表示乘客的平均乘距 (m);

$L$  表示  $i$  区间的区间长度;

$q_i$  表示  $i$  区间的车上人数;

$Q$  表示总的出行人数。

综上所述, 站间距优化模型目标函数如下:

$$\min T = T_w + T_N = \sum_{i=1}^5 T_i \quad (\text{式 3-8})$$

为求得最优站距  $d_0$ , 使得乘客总出行时间  $T$  最小, 将上式对  $d$  求偏导, 并令其为零可得:

$$d_0 = V_2 \sqrt{\frac{V_1^2 t_3^2 + 2L_0 V_1 t_3}{V_1^2 + V_2^2}} \quad (\text{式 3-9})$$

### 3.2 站址优化模型

建立坐标系, 如图所示, 图中路段为公交线路中的某一部分, 三角形表示客流的吸引源 (如住宅区、学校、商场等) 该路段的进出口, 五角星表示规划公交站的位置, 箭头表示原有公交站的位置。其中,  $A$  为坐标原点,  $a$  为规划公交站点的坐标,  $X_i$  表示第  $i$  个客流吸引源进出口的坐标,  $E(X_i)$  表示第  $i$  个客流吸引源的出行人数。



图2 公交站点及客流吸引源示意图

根据公交客流随机到站特性, 建立离散型站址优化模型:

$$\min Z(a) = \sum_{i=1}^n X_i E(X_i)$$

$$S.t. |X_i - a| \leq L_z \quad (\text{式 3-10})$$

式中:

$Z(a)$  表示乘客至公交站点的步行距离之和;

$L_z$  表示的是乘客步行道公交站点的最大容忍距离, 取值<sup>[2]</sup>一般为 300-500 米, 这里取为 400 米。

$$-e_1 - e_2 - \dots - e_j + e_{j+1} + e_{j+2} + \dots + e_n \geq 0 \quad (\text{式 3-10})$$

$$-e_1 - e_2 - \dots - e_j - e_{j+1} + e_{j+2} + \dots + e_n < 0 \quad (\text{式 3-11})$$

具体求解步骤如下:

- (1) 调查确定客流吸引源的数量、坐标和出行人数, 即  $(X_i, E(X_i))$ ;
- (2) 将按  $X_i$  其大小排序, 并对应各自的  $E(X_i)$ ;
- (3) 求  $j$  使得式 (3-1) 和式 (3-2) 同时成立;
- (4) 若式 (3-1) 等号成立, 则当  $a \in [X_j, X_{j+1}]$  是  $Z(a)$  取最小值, 反之,  $a = X_j$  时  $Z(a)$  取最小值, 这样就求得了



无约束条件下的解  $a_0$ ;

(5) 将  $a_0$  带入约束条件中, 若不等式成立, 则  $a_0$  为模型的解;

(6) 若不成立, 取足够小的步长  $d$ , 令  $D_1=a+h$ ,  $D_2=a-h$ ;

(7) 将  $D_1$ 、 $D_2$  都带入约束中, 若都满足不等式, 则模型的解为  $\min(Z(D_1), Z(D_2))$ ,

若其中一个满足条件, 则模型的解为  $a=D_1$  或  $D_2$ ;

(8) 否则, 令步长为  $2d$ , 返回步骤 6, 求模型的解。

#### 4 模型应用

本文以中山市坦洲镇某公交线路为实例进行模型应用分析。通过现状调查可知, 该条公交线路全长 12.595km, 共设置 17 个站点, 相应调查数据如下:

表 1 各项调查数据汇总表

站点编号	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9
$d$ (m)	853	340	1500	933	1000	969	912	1100
$t_0$ (s)	98	187	90	91	182	183	92	99
$V_2$ (m/s)	8.70	1.82	16.67	10.25	5.49	5.30	9.91	11.11
$t_3$ (s)	22	15	23	22	28	15	16	24
站点编号	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17
$d$ (m)	120	872	891	661	586	768	440	650
$t_0$ (s)	93	119	154	84	101	127	100	180
$V_2$ (m/s)	1.29	7.33	5.79	7.87	5.80	6.05	4.40	3.61
$t_3$ (s)	20	22	19	20	23	23	31	-

表 1 中 1、2、3...表示的是站点编号,  $t_0$  表示的是两相邻站间的运行时间 (包括红灯延误时间)。

根据上表 2-1 的上下车人数以及各区间的站间距, 可求得该条公交线路的平均乘距  $L_0$ , 其值为 8958m。通过查

阅相关资料<sup>[2]</sup>, 可以将乘客的平均步行速度  $V_1$  取为 1.67m/s。

根据站间距优化模型, 可得出各相邻站间的最优站间距如所示:

表 2 原站间距  $d$  和最优站间距  $d_0$  一览表

站点编号	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9
$d$ (m)	853	340	1500	933	1000	969	912	1100
$d_0$ (m)	798	494	841	802	877	639	683	840
站点编号	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17
$d$ (m)	120	872	891	661	586	768	440	650
$d_0$ (m)	473	792	725	757	798	801	902	1373

根据离散型站址优化模型, 从该条公交线路中选择几个比较具有代表性的站点进行实例分析, 确定合理的站点位置:

(1) 站点 2, 该站周边涉及四个主要客流吸引源。其中,  $X_1=-280m$ ,  $E(X_1)=150$  人;  $X_2=-180m$ ,  $E(X_2)=300$  人;  $X_3=-10m$ ,  $E(X_3)=280$  人;  $X_4=10m$ ,  $E(X_4)=200$  人。根据站址优化模型和求解步骤, 可得  $a_0=-180m$ , 即站点 2 应设在原站点前 180m 处。

(2) 通过现状调查可知, 站点 7 与站点 8 的客流量较小, 为了节约乘客出行时间和减少建设成本, 规划合并站点 7 与站点 8。站点 7 周边涉及五个主要客流吸引源。其中  $X_1=-170m$ ,  $E(X_1)=350$  人;  $X_2=-90m$ ,  $E(X_2)=500$  人;  $X_3=-60m$ ,  $E(X_3)=120$  人;  $X_4=10m$ ,  $E(X_4)=400$  人;  $X_5=840m$ ,  $E(X_5)=1200$  人。根据站址优化模型和求解步骤, 可得  $a_0=-60m$ , 即站点设在原加油站公交车站前 60m 处。

(3) 通过现状调查可知, 站点 12 与站点 13 客流吸引力较小, 为了节约乘客出行时间和减少建设成本, 规划合并站点 12 与站点 13。站点 12 周边涉及四个主要客流吸引源。其中,  $X_1=-10\text{m}$ ,  $E(X_1)=300$  人;  $X_2=130\text{m}$ ,  $E(X_2)=450$  人;  $X_3=210\text{m}$ ,  $E(X_3)=250$  人;  $X_4=820\text{m}$ ,  $E(X_4)=1000$  人。根据站址优化模型和求解步骤, 可得  $a_0 \in [210\text{m}, 820\text{m}]$ , 即规划公交站点与原站点 12 的距离应在  $[210\text{m}, 820\text{m}]$  范围内。

(4) 站点 16 为该条公交线路上的客流集散点, 需要合理设置站点位置来吸引和疏导客流。站点 16 周边涉及三个大型客流吸引源。其中,  $X_1=-60\text{m}$ ,  $E(X_1)=12000$  人;  $X_2=-40\text{m}$ ,  $E(X_2)=8000$  人;  $X_3=50\text{m}$ ,  $E(X_3)=20000$  人。根据站址优化模型和求解步骤, 可得  $a_0 \in [-60\text{m}, -40\text{m}]$ , 即规划公交站点与原站点 16 的距离应在  $[-60\text{m}, -40\text{m}]$  范围内。

通过对公交站点的站间距与站址的综合分析, 得出该条公交线路的最终站间距如下表所示:

表 3 规划各站间最终站间距

站序	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8
$d_0$	735	952	1260	802	877	789	940
站序	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15
$d_0$	906	792	957	1087	801	672	1025

## 5 结语

本文以提高公交服务水平、满足乘客出行需求及节约建设成本为目标, 分别建立公交站间距与站点选址优化模型, 以中山市条公交线路为例进行站点布局优化。根据优化结果, 规划公交站点数量减少了两个, 节约了建设成本, 同时有利于减少公交车辆停靠站时的加减速时间和停站时间, 从而减少环境污染; 对于客流量较小的站点适当增加了站间距, 有利于提高公交车辆的运行速度, 节约乘客出行时间, 从而增强公交客流吸引力。

## 参考文献

- [1] 王江, 蒋娜. 城市公交站点间距优化方法研究 [J]. 交通世界 (运输车辆). 2009.1.18
- [2] 吕林. 城市公交站点优化设计方法研究 [A]. 东南大学. 2006.3.1
- [3] 王琳, 陈大鹏. 公交站点选址的分析与模糊评判 [J]. 交通科技与经济. 2009.11.5
- [4] 袁孝尚. 北美公交站点布局深思熟虑 [J]. 商用汽车新闻. 2013.8.19
- [5] 张小丽, 陈峻, 王炜, 蒋大治. 基于可达性的公交站距优化方法 [J]. 东南大学学报 (自然科学版). 2009.3.20
- [6] 葛宏伟. 城市公交停靠站点交通影响分析及优化技术研究 [A]. 东南大学. 2006.1.1