

城市公交线路车辆配置模型研究

胡兴华^{1,2} 苏小军^{1,2} 王芳^{1,2}

1. 重庆市交通规划勘察设计院, 重庆 400067

2. 重庆市综合交通运输研究所, 重庆 400067

摘要: 本文在研究公交客流出行特性基础上构建了公交线路车型结构优化模型, 在确定线路配车数的基础上进行了运力规划的冗余优化, 进而确定了该线路的车辆规模。

关键词: 公交线路; 客流; 车辆结构; 规模

中图分类号: U491.17

文献标识码: A

文章编号: 1672-4747(2009)03-0092-06

Research on Vehicle Configuration Model of Urban Bus Line

HU Xing-hua^{1,2} SU Xiao-jun^{1,2} WANG Fang^{1,2}

1. Chongqing Communications Planning Survey and Design

Institute, Chongqing 400067, China

2. Chongqing Research Institute of Transportation,

Chongqing 400067, China

Abstract: The paper established an optimization model of vehicle composition structure based on studying the bus passenger travel features. Then, after the vehicle number on a route was determined, the vehicle number redundancy scale optimizing was carried out, furthermore, the vehicle allocation of basic line was obtained too.

Key words: Urban bus line, passenger flow, vehicle structure, scale

0 引言

线路运力的合理配置是公交资源优化配置的关键

内容^[1]。针对此问题, 国内外相关研究主要呈现以下特点: 研究过度重视宏观性, 对于中观、微观问题研究深度不足; 已有公交车辆配置问题研究成果假

收稿日期: 2008-10-13.

作者简介: 胡兴华(1981-), 男, 河北鹿泉人, 工学硕士, 重庆市交通规划勘察设计院任职, 主要研究方向为公交系统规划。

设性较强，对现实问题的拟合程度较低；对影响交通资源配置的因素分析缺乏系统性，重点在公交运力规模优化问题上，缺乏对如运力结构等关联问题的深入探讨。

在实际执行过程中，运营车辆始终要面对十分复杂的道路行车环境，同时还要面临诸如天气变化、客流量波动、交通事故等异常情况，因此时常出现由于运力冗余量不足而导致的公交系统稳定性弱等问题。同时由于不同时段、不同出行目的的出行需求对车辆的要求不同，而目前针对公交线路车型配置还缺少定量化的方法，致使公交车型、规模等均与客流时空分布特性匹配性较低，造成城市机能运行不畅或公共资源的浪费。因此，本文在分析乘客需求的基础上构建车辆配置结构和规模的计算模型，开展公交线路车辆配置模型的系统性研究。

1 车型结构优化配置

1.1 客流出行特性分析

随着运力调度方案的确定，全程车与区间车的组成比例、慢车与大站快车的组成比例基本确定，本文仅讨论普通车与高档车的组成比例优化问题。在实现公交线路运力合理配置中，客流出行特性是在线路确定的情况下决定公交线路车型结构的主要因素，因此应针对公交线路客流的出行特性展开深入分析。

假设线路上高档车与普通车运营均满足乘客需求，在此前提下分析乘客选择高档车的概率，可利用Logit模型分析处理。由于普通车和高档车属于同一条线路，因此城市常规公共交通的运营环境、运营速度可认为基本相同，故针对选择车型的效用函数不应该由时间充当变量，需建立基于车型选择的综合评价模型，以综合评价值作为效用函数变量，进而对乘客选择车型的概率进行计算。

(1) 效用函数的确定

根据分析目的，为便于考察和数据采集，作为观测的影响因素应取舒适性评价值、乘坐费用、时间严格性评价值（如通勤流、通学流对到达时刻要

求严格，而日常生活流则对时间要求严格性不明显，用德尔菲法确定其值）三项，效用函数 U_{ijwk} 表示如下：

$$U_{ijwk} = \beta_1 \cdot Z_{ijwk1} + \beta_2 \cdot Z_{ijwk2} + \beta_3 \cdot Z_{ijwk3} + \varepsilon_{ijwk}$$

式中：

U_{ijwk} —— 第 w 运营时段由出发站点 i 至目的站点 j 的乘客选择第 k 种车型的效用函数；

Z_{ijwk1} —— 第 w 运营时段由出发站点 i 至目的站点 j 的乘客选择第 k 种车型的舒适性评价值；

Z_{ijwk2} —— 第 w 运营时段由出发站点 i 至目的站点 j 的乘客选择第 k 种车型的乘坐费用，元；

Z_{ijwk3} —— 第 w 运营时段由出发站点 i 至目的站点 j 的乘客选择第 k 种车型的时间严格性评价值；

ε_{ijwk} —— 不能观测到的因素构成的效用随机项；

β_1 、 β_2 、 β_3 —— 待定参数。

基于计算同一线路普通车与高档车的乘客选择概率的客流分析目的，构建了指标体系，如图1所示。

(2) Logit 模型建立

Logit 模型为：

$$P_{ijwk} = \frac{\exp(b \cdot V_{ijwk})}{\sum_{k=1}^2 \exp(b \cdot V_{ijwk})}$$

式中：

P_{ijwk} —— 第 w 运营时段由出发站点 i 至目的站点 j 选择第 k 种车型的概率， $k = 1, 2$ ；

V_{ijwk} —— 第 w 运营时段由出发站点 i 至目的站点 j 选择第 k 种车型的效用确定项，计算公式如下：

$$V_{ijwk} = \beta_1 \cdot Z_{ijwk1} + \beta_2 \cdot Z_{ijwk2} + \beta_3 \cdot Z_{ijwk3}$$

b —— 待定参数，与 β_1 、 β_2 、 β_3 联合标定。

在客流出行特性调查的基础上，经过参数标定，第 w 运营时段客流选择第 k 种车型的概率 P_{ijwk} 随即可被确定。

1.2 车型结构优化配置模型

第 w 运营时段乘客群体在站点 i 前往前方各个站点选择 k 种车型的概率总和为：

$$P_{iwk} = \sum_{j=i+1}^{m+1} P_{ijwk}$$



图 1 基于车型比选的公交乘客舒适性评价指标体系

Fig.1 Bus passenger comfortable evaluation index system based on the vehicle selection

式中:

P_{iwk} —— 第 w 运营时段乘客群体在站点 i 选择 k 种车型的概率总和;

m —— 对象公交线路上的站点个数 (不包括终点站)。

则第 w 运营时段乘客群体在站点 i 选择第 k 种车型的平均概率为:

$$\bar{P}_{iwk} = \frac{\sum_{j=i+1}^{m+1} P_{ijwk}}{m+1-i}$$

式中:

\bar{P}_{iwk} —— 第 w 运营时段乘客群体在站点 i 选择 k 种车型的平均概率。

第 w 运营时段该线路所有站点乘客选择 k 种车型的平均概率为:

$$P_{wk} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=i+1}^{m+1} P_{ijwk}}{m}$$

根据乘客选择车型概率,本着乘客意愿与运力配置运行情况协调度最高的原则建立运力装备结构优化模型。客流需求与车型配置协调程度的测度可由第 w 运营时段该线路所有站点乘客选择 k 种车型的平均概率 P_{wk} 与配车情况数值表示的曼哈顿距离来表征,即车型配置需满足:

$$\begin{cases} \min D = \min_{w=1}^n |P_{wk} - C_{wk}| \\ \text{s.t. } 0 \leq P_{wk} \leq 1 \\ C_{wk} = \begin{cases} 0 & w\text{运营时段不选择}k\text{种车型} \\ 1 & w\text{运营时段选择第}k\text{种车型} \end{cases} \end{cases}$$

式中: C_{wk} —— 第 w 运营时段运营企业对公交线

路上发送 k 种车型的选择度。

由此, 利用计算机进行数值搜索便可确定全天运营时间内需发送 k 种车型的总班次, 进而以此为比例确定运力装备结构。

2 车辆规模优化配置

2.1 基本配车数的确定

运力装备规模配备的依据是该线路上居民出行的总次数。对一条线路的车辆数进行配备, 使其满足居民出行的实际需要, 即运力的规模应较好地满足实际的运输需求, 这样才能保证公共交通的顺利发展。在日常运营中, 该线路公交运力装备规模(即配车数)要以公交线路长度、营运周转速度和发车间隔为约束, 客流需求集中的断面是决定配车量的关键, 故高峰时段发车间隔满足规定要求。

公交线路基本配车数的计算公式为:

$$\begin{cases} N_k = \frac{2 \times 60 \times l_{\text{公交}} \times f_k}{v_k} \\ N = \sum_{k=1}^2 N_k \mu_k \end{cases} \quad k=1, 2$$

式中:

N_k —— 需配 k 型公交车辆数, 辆;

$l_{\text{公交}}$ —— 公交线路长度, km;

f_k —— k 型公交车高峰时段的发车频率, 班次/h;

v_k —— k 型公交车的运营周转速度, km/h;

N —— 需配公交车辆总数(标台)。我国以车身长度 7~10m 的 640 型单节公共汽车为标准车, 其他各种型号的车辆, 按其不同的车身长度, 分别乘以相应的换算系数, 折算成标准车数^[2];

μ_k —— 各种型号的车辆折算成标准车辆的换算系数。

通常情况下, 同一线路不同车型的车辆虽然在技术速度方面有差异, 但由于城市交通运转环境、运营周转速度 v_k 是大致相同的, 故在要求不是特别高的情况下, 可认为不同车型车辆的运营周转速度 v_k 为相同数值, 以简化问题, 增加可操作性。

2.2 运力规模冗余优化

在调度方案确定的情况下, 公交线路的基本配车数即可确定。但为保证系统的可靠度, 必须在资金约束的前提下具有一定的冗余量来弥补系统局部运力的时空缺损。对于公交车辆规模的冗余优化基于下面的三个基本假设: (1) 线路每天运营时间固定; (2) 全部车辆晚上维护保养, 保养后车辆状态恢复初始状态; (3) 故障车辆一天内可完成修理, 且恢复为初始状态。

汽车运行故障规律可以通过试验或统计方法获得^[3]。基于湖北、湖南和江西三省国营大型运输企业的汽车统计资料^[4], 得出国产东风 EQ1090 型和解放 CA1092 型两种车型故障分布函数为:

$$F(L)_{EQ1090} = 1 - \exp\left[-\left(\frac{L}{1417.055}\right)^{1.535}\right]$$

$$F(L)_{CA1091} = 1 - \exp\left[-\left(\frac{L}{1365.33}\right)^{1.46}\right]$$

因此, 基于车辆故障机理的类同性, 可以在样本较少的情况下推断公交车辆故障分布函数如下:

$$F(L)_{BUS} = 1 - \exp\left[-\left(\frac{L}{\eta}\right)^{\tau}\right]$$

式中:

L —— 工作日运营里程, km;

η, τ —— 函数参数, 可根据当地汽车故障统计资料利用最小二乘估计和相关系数检验法, 进行故障分布参数的点估计及故障分布的参数估计, 并进行故障分布拟合检验得到。

公交线路运力装备规模冗余量的提供应为贮备形式, 即当线路上其他车辆出现非正常状况(主要因故障引起)时, 该装备投入使用。与运力装备结构形成对应, 我们将该贮备冗余系统简化为只有两个部件构成: 第一个部件代表普通车运营子系统, 第二个部件代表高档车运营子系统。图 2 为具有车辆冗余特征的公交线路运营系统。

每辆公交车辆在一个单位工作日内的行驶里程为:

$$L_k = 2 \times l_{\text{公交}} \times z_k$$

式中:

L_k —— k 型车每个单位工作日内的行驶里程, km;

$l_{\text{公交}}$ —— 该公交线路长度, km;

z_k —— k 型车每个单位工作日运营时间周转次数, 次。

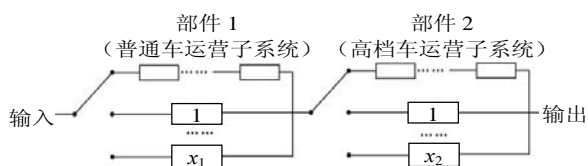


图2 具有车辆冗余特征的公交线路运营系统

Fig. 2 The bus lines operating system with vehicles redundant features

根据可靠性理论, 可靠度函数与故障分布函数为互补函数^[5], 则单位车辆的每单位工作日正常运行概率为:

$$R_k = \exp\left[-\left(\frac{L_k}{\eta}\right)^r\right]$$

式中:

R_k —— k 型车每单位工作日的正常运行概率。

由此得到无运力冗余量的公交线路 k 型车子系统正常运营的概率为:

$$P_k = R_k^{a_k}$$

式中:

P_k —— 无冗余量的 k 型车子系统每单位工作日的正常运行概率;

a_k —— 公交线路中无冗余量的 k 型车数量, 辆。

企业管理者希望尽量提高系统综合冗余率以使得在费用约束条件下系统稳定性最高, 因此以不稳定性指标作为权重建立模型如下:

参考文献

[1] 夏 钰. 城市公交线路运力合理配置方法研究 [D]. 南京: 东南大学, 2006.
 [2] 中华人民共和国建设部. 城市道路交通规划设计规范[M]. 北京: 中国计划出版社, 1995.
 [3] 金满秀. 汽车运用技术经济学[M]. 北京: 人民交

$$\begin{cases} \max Z = \tilde{P}_1 \cdot \frac{y_1}{a_1 + y_1} + \tilde{P}_2 \cdot \frac{y_2}{a_2 + y_2} \\ \text{s.t. } d_1 \cdot y_1 + d_2 \cdot y_2 \leq C \quad y_1, y_2 \geq 0 \text{ 且为整数} \end{cases}$$

式中:

\tilde{P}_1 —— 无冗余量的普通车子系统每单位工作日运行异常概率, $\tilde{P}_1 = 1 - P_1$;

a_1 —— 公交线路中无冗余量的普通车数量, 辆;

y_1 —— 普通车系统冗余量 (为整数), 辆;

\tilde{P}_2 —— 无冗余量的高档车子系统每单位工作日

运行异常概率, $\tilde{P}_2 = 1 - P_2$;

a_2 —— 公交线路中无冗余量的高档车数量, 辆;

y_2 —— 高档车系统冗余量 (为整数), 辆;

d_1 —— 普通车单价, 万元;

d_2 —— 高档车单价, 万元;

C —— 用于购买车辆冗余量资金总量, 万元。

在实际应用中, 由于一般情况下线路车辆冗余量不会很大, 故可利用 Matlab 数学工具经过穷举搜索确定使系统效益最优的 y_1, y_2 值。

3 结束语

利用现代系统工程决策的数学方法对城市公交线路运力调控管理体系进行提升和改造, 是可提高公交系统效能的基本手段之一。针对客流特征, 本文仅针对线路展开运力的配置研究, 而在实际操作中, 需要对整个城市区域的线网展开研究才能体现系统性配置的最优经济效益。因此, 今后应加强对公交线网运力的配置问题研究, 针对线网展开线路间的运力调配, 以体现运力资源的集约化利用原则。

通出版社, 2003.

[4] 周富臣, 王生辉等. 常用数理统计方法及应用实例 [M]. 北京: 中国计量出版社, 2006.

[5] 徐 安. 汽车维护与可靠性[M]. 北京: 人民交通出版社, 1996.

(中文编辑: 刘娉婷)