

公交运营调度优化的评价指标模型研究

林福成 靳文舟 符韦苇 谢明隆

(华南理工大学土木与交通学院, 广州 510640)

摘要 针对公交运营调度优化的效果,提出了评价优化效果的评价指标模型,并给出该模型相应的算法。评价指标包括运能匹配度、平均换乘次数、有效时间利用率,并运用层次分析法(AHP)将指标融合成一个综合的评价指数,建立了运营调度优化的评价指标模型。并以广州市中的几条线路为例,运用指标模型算法对线路的调度优化评价提出简单算法。该模型的三个指标都属于定量的技术性指标,克服了线网优化指标不能评价动态调度方案的问题,对于评价运营调度优化方案,具有较强的实用性。

关键词 公交运营 评价指标 层次分析法 调度优化

中图法分类号 U492.22; **文献标志码** A

公共交通对于一个城市的发展起着举足轻重的作用,而公交运营调度是通过合理的资源配置,有效地管理车辆资源,使供需矛盾得到解决。现阶段,对于公交车调度的优化问题已成为一个重点问题,并已取得一定的成果。中国矿业大学李维明等人以石家庄某条线路的客流数据为依据,兼顾乘客和企业经营者双方利益的目标优化模型,从而编排出一个调度表,作为调度依据,该论文成果是基于现实基础数据的基础上,提出有效地调度方案^[1],但并未对调度效果提出分析。四川大学数学学院傅昌建等通过建立数学模型解决公交车的调度的最优策略问题,并对模型进行求解^[2],文章虽对模型进行自我评价,但模型过于理想化,不实用且不能体现优化的效果。北京大学张飞舟将人工智能法引入公交调度管理,并利用排队论推导了乘客等待时间模式对优化调度结果评测分析^[3],该论文虽对调度优化成果进行评价,但仅以乘客等待时间为依据,过于片面。本

文旨在研究出一种公交调度优化效果的模型,该模型将集合各种影响调度效果的因素,全面、客观地对优化效果进行评价。

建立一套科学、系统、有效的评价指标体系不仅仅能评价运营调度方案的优劣,而且也是运营调度方案的重要组成部分。评价指标体系的建立和其指标是否科学合理,是最终评价结果是否科学合理的前提和基础。目前,专门对公交运营调度方案的评价体系方面的研究较少,更多的是研究公交线网的定性评价。因此,针对运营调度评价这一研究薄弱点,在国内外研究现状的基础上,提出一套新的指标模型。

1 评价指标的确立的原则和方法

1.1 确立的原则

公交运营调度优化的评价指标的构建是以乘客出行利益并兼顾公交企业效益最大为目标而建立的线网优化模型。评价指标模型应该具有简单、科学、全面、合理的特点。由于公共交通涉及的目标、因素很多,需要对所有因素进行有效筛选,利用定性定量相结合的方法建立一套完整的评价指标体系。因此,评价指标的建立应遵循以下原则:科学性原则、

2009年9月21日收到 国家高技术研究发展计划(863计划)

项目(2007AA11Z201)、

国家自然科学基金项目(50878089)资助

第一作者简介:林福成(1985—),男,福建泉州人,硕士研究生,研究方向:交通运输规划与管理。E-mail:fuchenglin51@126.com。

可比性原则、系统性原则、实用性原则^[4]。

1.2 确立的方法

公交线网的优化的约束条件很多,难以考虑全部约束条件,本文依据的是在现有路线的基础上,调整部分线路,以乘客换乘时间最小为目标,对公交的发车时间、发车间隔进行调整,以达到公交线网最优。根据该模型的特点而提出的评价指标模型涉及的面广、内容也多,考虑的因素也多,因此适宜采取层次分析法。该方法是由目标层、准则层和指标层组成的层次体系^[5]。

2 评价指标的选取

2.1 评价指标的结构

公交运营调度的评价指标是对公交调度的优化方案进行评价,是一种动态运营调度问题,不需要考虑非直线系数、站点覆盖率等评价公共交通服务水平的静态指标。传统的公交运营的评价指标:方便性指标:公交出行比例、换乘系数、换乘距离、换乘站距、发车频率等公交基本运营特征指标;迅速性指标:出行时耗、公交运营速度;高效性指标:乘客信息获得程度、企业调度手段先进程度;舒适性:高峰和平峰满载率。

可见,传统的评价存在以下问题:指标多且杂,各指标之间的值还可能存在此消彼长的问题,如换乘系数减少,出行时耗可能就会增加;部分指标难以量化,如高效性指标;无一个标准体现运营调度效果。

2.2 评价指标的内容

根据传统评价指标的不足,需要重新归纳这些评价指标,以更好、更快地评价优化效果,根据评价指标建立的原则,不然看出方便性指标指居民出行

的方便程度,将公交出行比例、换乘系数、换乘距离、换乘站距、发车频率结合起来可用平均换乘次数来表示,平均换乘次数总在换乘系数的基础上加入换乘量,便可以动态表示居民的出现方便性;迅速性指标可以通过有效时间利用率表示,出行时间利用得越充分,越能体现迅速性;高效性和舒适性可用运能匹配度来体现,若运力协调性好,则高效性和舒适性都可以得到保证,在这三个指标的基础上,在加入经济效益指标,可以全面评价运营调度效果。

因此,应从运营优化技术的角度,即主要从运力协调性、系统的运行效率、衔接的顺畅性、企业的利润率四个方面进行考虑,如图1所示。

(1)出行时间有效性是对公共交通用户在出行活动中,所有车外时间占出行总时耗的比例进行评价。车内时间主要和公交运营速度有关,从这一指标也反映出道路条件和交通环境对公交的影响;车外时间、等车时间和换乘时间,主要和网络布设有关^[6]。

在进行指标计算时,我们需根据线路重要性的不同对等车时间进行修正。线路的重要性及到达站点的先后顺序不同必然影响公交使用者的出行费用。确定公交线路的重要性对于整个公交线网的优化及评价有重要意义,需对乘客的总等车时间进行修正。针对某一站点,线路的重要性与客流量大小、服务水平成正比,即某站点如果某条线路的换乘量及下车人数越多则说明乘客更多的期望该线路,即该线路为重要线路,优化过程中,我们也经常对这样的站点和线路优先优化。

其本文将线路的到达先后分两种情况: $t_{i1} > t_{ij}$,表重要线路先到达; $t_{i1} < t_{ij}$,表非重要线路先到达。假设: $j=1$ 表示两两比较中相对重要线路,第一次上车乘客到达I站点服从均匀分布。得到公交用



图1 评价指标体系示意图

户的等车时间:

$$F(i) = \begin{cases} \sum_{i=1}^n \sum_{j=2}^m \left[\frac{T_1}{2} \times S_1 + S_{1j} \times (t_{i1} - t_{ij}) + \frac{T_j}{2} \times S_j + \right. \\ \left. S_{j1} \times (T_1 - t_{i1} + t_{ij}) \right], t_{i1} > t_{ij} \\ \sum_{i=1}^n \sum_{j=2}^m \left[\frac{T_j}{2} \times S_j + S_{j1} \times (t_{ij} - t_{i1}) + \frac{T_1}{2} \times S_1 + \right. \\ \left. S_{1j} \times (T_j - t_{ij} + t_{i1}) \right], t_{i1} < t_{ij} \end{cases} \quad (1)$$

s. t i —站点,

j —线路,

S_j —在站点 i 第一次上 j 线路的乘客,

T_j — j 线路的发车间隔,

S_{1j} —重要线路 1 换乘到 j 线路的乘客数,

S_{j1} — j 线路换乘到重要线路 1 的乘客数,

t_{i1} —相对重要线路到达站点 i 的时刻,

t_{ij} —其它线路到达站点 i 的时刻。

优化中更期望重要线路先到达,调度过程中,应该使重要线路早到占更大比例。在换乘量不变的情况下,重要线路早到的换乘时间应占更大的比重。该权重的确定涉及到线路重要性的评比,选用 AHP 法,重要线路先到达的比后到达稍微重要,得判断矩阵 $\begin{pmatrix} 1 & 3 \\ 1/3 & 1 \end{pmatrix}$,经修正,可以得到修正权重分别为 2/3 和 1/3。因此得到,修正后总的换乘时间为^[7];

$$F(i) = \frac{2}{3} \sum_{i=1}^n \sum_{j=2}^m \left[\frac{T_1}{2} S_1 + S_{1j} (t_{i1} - t_{ij}) + \frac{T_j}{2} S_j + \right. \\ \left. S_{j1} (T_1 - t_{i1} + t_{ij}) \right] + \\ \frac{1}{3} \sum_{i=1}^n \sum_{j=2}^m \left[\frac{T_j}{2} S_j + S_{j1} (t_{ij} - t_{i1}) + \frac{T_1}{2} S_1 + \right. \\ \left. S_{1j} \times (T_j - t_{ij} + t_{i1}) \right] \quad (2)$$

根据公式(2)与公交车总出行时耗 $T_{\text{总}}$,便可以得到乘车时间有效性:

$$C_1 = \frac{F(i)}{T_{\text{总}}} \quad (3)$$

(2) 公共交通网络的可达性反映了城市间不同区域通过公交线网的交通便捷程度,即反映公交调

度优化的成果,是交通系统能否优质、高效完成运输任务的一项综合性评价指标,而平均换乘次数则能很好地反映这一指标。

目前,关于平均换乘次数(ATT)的计算方法有很多,文献提出了基于邻接矩阵的平均换乘次数的计算方法,比较具有代表性,具体方法限于篇幅,不具体介绍。该方法的平均换乘次数的计算方法为^[8]:

$$C_2 = ATT = \frac{\sum_{r=1}^t \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n S_{ij} \cdot T_{ij}^{(r-1)} \cdot r}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n S_{ij}} \quad (4)$$

式(4)中: S_{ij} —站点 i 和站点 j 之间的客流量, $T_{ij}^{(r-1)}$ —为 $(r-1)$ 次换乘矩阵中的元素, r — $r-1$ 次换乘可使网络各点间可互达, t —换乘矩阵的迭代次数, n —站点数。

(3) 运力协调性是指线路运力的合理配置,线路车辆的配置数量根据企业的设备能力、客流量、服务水平、车辆周转时间和调度方法等确定。提高运力的协调性,有助于提高城市公共交通的资源消耗,提高交通的服务水平。公交调度优化需要改善线路运力配置的合理度,提高整个路网的运营效率。另外,运力配置是在满足客流需求的基础上,寻求公交车辆的最小配置规模,充分体现了企业效益与乘客需求的结合。因此,为了合理配置运力资源,很有必要将运力协调性作为一项公交调度系统的评价指标^[9]。

运力协调性主要以运能匹配度指标来衡量。运能匹配度主要受客流需求、公共交通的服务水平即公交运力和道路通行能力有关。运能匹配度的计算方法为:

$$C_3 = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_j (S_{ij} / \sum_{x=1}^k S_{ijx})}{t} \quad (5)$$

式(5)中 C_3 —运能匹配度, S_{ij} —高峰时间内 i 站点到 j 站点的客流量, $i \neq j$, S_{ijx} — i 站点到 j 站点之间 x 线路的客运能力, t —公交路网站点间的个数。

(4) 经济效益主要体现公交企业的运营效益,

通过分析运营成本的大小,可以衡量企业的管理效率。在公交的运营调度中,企业的管理效率有不可或缺的作用,甚至影响其他几个指标的准确性。

经济效益以运营利润率指标来衡量。运营利润率主要与 100 车公里成本和 100 车公里收入(包括政府补贴)有关。运营利润率的计算方法为:

$$C_4 = \frac{I - C}{I} \times 100\%$$
 (6)

式(6)中 C_4 —企业利润率, I —运营总收入, C —运营总成本。

3 运营调度优化的评价模型建立

3.1 评价方法

运营调度优化的评价是一项综合、复杂且涉及因素较多的工作,从选取的三个指标可以看出,各指标之间性质各异,为了得到理想的评价效果,应该对各方面进行综合评价。本文选取的指标为技术性指标,均为定量值。首先要对定量性指标进行标准化处理,再根据层次分析法(AHP)进行综合评价^[10]。层次分析法的方法步骤,见参考文献[10]。

3.2 权重计算

3.2.1 定量型指标的标准化处理

本文选取的三个指标中,运能匹配度、平均换乘次数、有效时间利用律都属于成本型指标。成本型指标的标准化函数为^[11]:

$$u_i = \begin{cases} 1, & x_i \leq m_i \\ \frac{M_i - x_i}{M_i - m_i}, & m_i \leq x_i \leq M_i \\ 0, & x_i \geq M_i \end{cases} \quad (7)$$

建议采用的各指标的评判标准的五个分级值如表 1 所示。

表 1 中各指标的评判标准值是在参考其他相关文献的基础上,基于经验的基础上设置的:有效时间利用率为 1 时最佳,依次平均得到另外其他几个等级值;平均换乘次数一般不超过 2 次,不换乘最佳,以此列出五个分级值,运能匹配度为 1 时最佳,且比

有效时间利用率要求更高,便列出了五个分级值^[12]。

表 1 各指标评判标准的五个分级值

评价指标	优	良	一般	差	较差
有效时间利用律	1-0.8	0.8-0.6	0.6-0.4	0.4-0.3	<0.3
平均换乘次数	0-0.5	0.5-1	1-1.5	1.5-2	>2
运能匹配度	1-0.9	0.9-0.7	0.7-0.5	0.5-0.3	<0.3

运营利润率在文献上还没有统一的标准值,但公交事业作为公益性事业,应该以“保本微利”为原则,利润率一般控制在在 7% 至 10% 之间,此项指标作为基础目标,调度方案应基本控制在满足或接近该利润率。

3.2.2 建立指标模型

根据 AHP 法,邀请有关专家评议得到三个指标的评判矩阵如表 2 所示:

表 2 各指标判断矩阵

评价指标	有效时间利用律	平均换乘次数	运能匹配度
有效时间利用律	1	2	4
平均换乘次数	1/2	1	2
运能匹配度	1/4	1/2	1

得到判断矩阵后,根据 AHP 法便可以计算出相应的标准化特征向量。经计算(计算步骤略),可得到各指标的权重见表 3。

表 3 各指标权重

评价指标	有效时间利用律	平均换乘次数	运能匹配度
权重	4/7	2/7	1/7

运营利润率作为指导性指标,不在该指标模型内,但需另作考虑。

4 算例

根据本文所建立的评价指标模型,选取广州

市区的5条公交线路,对这五条的运营调度效果进行评价。所选取的线路为33路、43路、45路、53路、543路,从某公交公司得到这几条线路的基础交通数据,包括各站点的集散客流量及到站时间。这五条线路该线网通过城市的主要站点且线路走向贯穿东南西北四个方向,具有较强的代表性,可组成一个简单的公交路网。根据各指标的量化方法,计算这几条线路的各指标值,计算结果见表4:

表4 各指标计算值

评价指标	有效时间 利用率	平均换 乘次数	运能匹 配度
计算结果	0.81	0.221 1	0.797 8

通过表1,对表4所得的各指标数值进行标准化,再通过表3算得得权重进行综合计算,可得到该路网的综合评价值:0.716 8。如果通过相应的运营优化算法,再得到一些预测数据,就可以对该路网进行运营优化前后的对比。该算例是是对一个简单路网进行评价,但是通过整个计算过程可知,该评价模型具有较强的可操作性和易算性,对于复杂的路网同样适用。

5 结语

调度优化方案的评价效果将对整个路网的运营优化水平有决定性的作用。本文建立了运能匹配度、平均换乘次数、有效时间利用率和企业利润率四个评价指标,这些指标的特点是只需有路网的站点之间的客流数据、发车间隔、到达站点时间等数据就可以算出,算法简单,对方案评比具有较强的可行性和实用性,具有一定的参考价值。但是论文研究还

存在一些问题:所有指标为技术性指标,没有考虑到经济指标等定性指标;在运用层次分析法时,受专家的主观影响,所求出的权重并不精确,影响评价结果;运营调度方案评价所涉及的影响因素较多,仅从所建立的评价模型不能完全涉及;所需数据要求大量的手工统计等。运营调度为一个动态的过程,存在许多不可估的因素,不易用计算得出。因此,该评价指标模型并不完善,还需要进一步的研究和探讨。

参 考 文 献

- 1 李维明,赵卫强,贾丽芳,等. 公交车的调度优化研究. 科技与经济,2007;1:91—93
- 2 傅昌建,杨彩霞,秦 敏. 关于公交车调度的优化问题. 工程数学学报,2002;2:89—94
- 3 张飞舟,陈 嘉,杨伯钢. 面向公交车辆优化调度的运行服务质量评测分析. 北京大学学报(自然科学版),2008;44(5):822—826
- 4 胡启洲,常玉林. 城市公交线网多目标优化的建模及其求解. 江苏大学学报(自然科学版),2003;24(6):88—90
- 5 张华军,赵丽华. 城市公共交通评价指标体系分析. 民营科技,2007;5:134
- 6 陈云新,谭汉松. 公交车线路运营调度及评估系统的研究与实现. 武汉理工大学学报,2005;27(9):97—100
- 7 覃运梅,王玲玲. 基于遗传算法的公交发车间隔模型. 交通标准化,2009;192(190):110—113
- 8 李春清. 城市公共交通换乘系统关键问题及评价研究. 北京交通大学硕士学位论文,2008
- 9 师桂兰,邓 卫,葛 亮. 基于平均换乘的城市公交线网性能评价. 洛阳大学学报,2003;18(4):26—31
- 10 胡兴华. 公交线路运力配置方法研究. 西南交通大学硕士学位论文,2007
- 11 田月龙,林 红. 层次分析法在教师评价指标权重计算中的应用. 中国电力教育出版社,2007;373—375
- 12 汪江洪. 公交换乘系统研究及其评价. 成都:西南交通大学硕士学位论文,2003

(下转第332页)

Improved Model of Single-runway Landing Capacity

CHEN Kuan-ming, LIU De-jun, PAN Wei-jun

(Civil Aviation Flight University of China, Guanghan 618307, P. R. China)

[**Abstract**] Runway capacity is the bottleneck of air transportation, The key patterns of runway capacity involve wake separation, approaching speed, the same approaching leg, ratio of aircraft type. Considering the possibility of air traffic control procedure in facts, the time of landing aircraft vacating runway was reckoned the key parameter of runway landing capacity in the text. It was analyzed that aircraft actual separation and the time of landing aircraft vacating runway were considered normal distribution. On acceptable safety level, runway capacity model was adjusted and consummated by adding cushion surplus, then more actual runway landing capacity model come into being.

[**Key words**] landing capacity approaching speed the time of vacated runway separation of control

(上接第 328 页)

The Study of Evaluation Index Model about the Optimization of Bus Scheduling

LIN Fu-cheng, JIN Wen-zhou, FU Wei-wei, XIE Ming-long

(College of Traffic, South China University of Technology, Guangzhou 510640, P. R. China)

[**Abstract**] By the effect of the optimization of bus scheduling, bring forward evaluation index model to evaluate optimization results, the corresponding algorithm of the model is given. This evaluation index is included transport capacity match, average transfer time, effective time-use law. analytic hierarchy process to integrate indicators into a comprehensive evaluation index, is used and built the evaluation index model about the optimization of bus scheduling. For several bus lines in Guangzhou City example, the use of indicators model line scheduling algorithm to optimize the evaluation made a simple algorithm. The three indicators in this model belong to quantitative technical indicators, overcome the line network optimization index can not evaluate the program for dynamic scheduling it's easy to evaluate program of bus scheduling, with strong practicality.

[**Key words**] bus scheduling evaluation index analytic hierarchy process scheduling optimization