

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2014.08.020

考虑轨道交通作用效应的城市公交线网优化方法

袁长伟¹, 吴群琪¹, 袁华智¹, 冯忠祥²

(1. 长安大学 经济与管理学院, 陕西 西安 710064;

2. 合肥工业大学 交通运输工程学院, 安徽 合肥 230009)

摘要: 在分析轨道交通对常规公交客流的诱增、分流和互补等三种作用效应的基础上, 采用定性与定量组合优化方法从公交整体线网结构调整和公交接运线路优化两方面进行常规公交线网的优化分析。在整体线网结构调整中, 依据线网的功能层次、功能结构、整体规模与公交线路长度等特性, 分别进行取消、缩短、调整线路走向等优化; 接运线路优化则以接运效率为优化目标、构建目标优化模型进行优化。以Z市为例, 对轨道作用效应下的Z市常规公交线网进行优化, 优化后, 取消线路1条, 缩短线路1条, 保持现状4条, 调整16条线路走向, 新设接运线路9条, 公交性能指标大幅提升, 优化结果表明组合优化方法能较好地实现公交线网优化目标。

关键词: 交通工程, 公交线网优化, 线网调整, 轨道作用效应, 组合优化

中图分类号: U491.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268(2014)08-0119-07

Optimization of Urban Public Transport Network Considering Rail Transit Interaction Effect

YUAN Chang-wei¹, WU Qun-qi¹, YUAN Hua-zhi¹, FENG Zhong-xiang²

(1. School of Economics and Management, Chang'an University, Xi'an Shaanxi 710064, China;

2. School of Transportation Engineering, Hefei University of Technology, Hefei Anhui 230009, China)

Abstract: Based on the analysis of the affection such as growth, sharing and complementary, we analysed the qualitative and quantitative combinatorial optimization of public transport network on integrated network adjustment and feeder bus routes optimization. According to the function level of the network, the functional structure, the network scale and the length of bus routes, we optimized the bus network, such as canceling, shortening, changing and so on. We also carried out the feeder bus routes optimization by setting feeder efficiency as the optimization goal and building an optimization model for the goal. Taking City Z for example, we made an optimization of conventional bus network under rail transit interaction effect by canceling 1 line, shortening 1 line, adjusting the routes of 16 lines, maintaining 4 lines and planning 9 new feeder lines. After the optimization, the performance indexes increased substantially. The result shows that the combinatorial optimization method can achieve the bus network optimization objectives.

Key words: traffic engineering; public transport network optimization; network adjustment; rail transit interaction effect; combinatorial optimization

0 前言

国内外城市化进程的理论研究与实践经验证明,

城市的繁荣发展建立在完善、发达的公共交通体系基础上。随着中国城市化进程的加快, 城市规模迅速扩大, 城市人口快速聚集, 城市交通拥堵问题日

收到日期: 2013-11-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(51278057); 教育部博士点基金(博导类)项目(20130205110001); 陕西省自然科学基金项目(2012JQ5013); 陕西省社会科学基金项目(12D247)

作者简介: 袁长伟(1981-), 男, 湖南邵阳人, 副教授, 博士。(yuanchangwei@126.com)

益凸显,城市公共交通面临严峻挑战。轨道交通具有运量大、速度快、节约用地等独特优势,世界各国普遍认识到解决城市的交通问题的根本出路在于优先发展以轨道交通为骨干的城市公共交通系统^[1-2]。近年来,中国城市轨道交通发展迅速。2006年,全国仅有10条地铁线路运行,2009年增至37条,到2015年则将达到86条。中国目前已经建成并开通运营的城市轨道交通超过1700 km,在建的超过2000 km,与此同时国内有34个城市规划了超过4300 km的城市轨道交通线路。可以预见,未来一段时期内仍将是城市轨道交通快速发展的阶段。在中国各大城市公共交通体系中,均是先有常规公交体系,而后开始引入轨道交通,由于轨道交通与常规公交技术经济特征上的差异,轨道交通进入后必然会对原有公交体系产生多种影响效应,在此背景下,针对新进入的轨道交通,对原有公交线网优化调整,促进公共交通资源的有效整合,对于形成高效公共交通服务体系,提升公共交通服务水平具有重要的意义。

轨道交通有效地提升城市公共交通服务水平,但轨道交通进入公交网势必对原有常规公交客流的流量、流向等带来重大影响。国外文献对此进行了大量研究,主要集中在常规公交线网规划、轨道交通与常规公交的站点设置、开行方案、接运公交系统优化等方面^[3-5]。在国内,蒋冰蕾等^[6]、吕慎等^[7]、高贺等^[8]研究了轨道交通进入后的接运公交规划方法与运营评价,曹政等则采用遗传算法探讨了城市轨道交通接运公交线网的规划^[9],汤旻安等^[10]、刘金城^[11]等对公交枢纽换乘量、公交枢纽与城市空间布局适应性进行了探讨,王玲则以接运效率最大为目标,构建了基于城市轨道交通的接运公交线网优化模型^[12]。从现有研究看,更多地侧重于轨道交通的接运公交网络、站点的规划设计上。为了协调轨道交通与常规公交间的平衡,最大限度地提升公共交通整体服务水平,需要对轨道交

通进入后的公交网络进行全面的分析、调整与优化。本文拟在分析轨道交通对常规公交作用效应的基础上,采用定性与定量组合优化方法探讨轨道交通进入后的常规公交线网结构调整与接运网络优化问题。

1 轨道交通对常规公交的作用效应分析

轨道交通进入后,对常规公交客流的作用效应主要可分为三种:

(1) 诱增效应。轨道交通开通后,所影响区域内出行更加便利,可达性提高,将会诱增在原有交通条件下未能出行或者出行频次较少的潜在出行需求。如轨道交通开通后,进入核心商业区所需时间缩短,诱发以往因为时间限制或者出行条件限制而未能实现的出行需求。在这种情形下,轨道交通和常规公交出行需求将呈现双增长态势。

(2) 分流效应。随着轨道交通的开通,原有常规公交的客流因为轨道交通的快速、准点等优点而向轨道交通分流。这种效应往往出现在轨道交通与原有常规公交在线路走向、空间辐射范围上高度重合的情形下。

(3) 互补效应。体现在两方面,一方面是客流对象的互补上,如轨道交通将更多地服务通勤流、时效要求较高人群,而常规公交则更多服务于对时间要求不高,更看重上下车便利、票价优惠的人群;另一方面是空间上互补,轨道交通一般穿越城市主要客流走廊,承担骨干作用,而常规公交强调空间的广覆盖性,承担轨道交通的客流接运、疏散功能。

轨道交通与常规公交在起讫点关系、线路走向、空间覆盖范围上不同的组合,会分别产生上述三种作用效应。常见的轨道交通与常规公交空间关系可以归纳为如下几种:

对应于上述不同的空间关系组合,轨道交通对常规公交客流出现不同的作用效应,如表1所示。

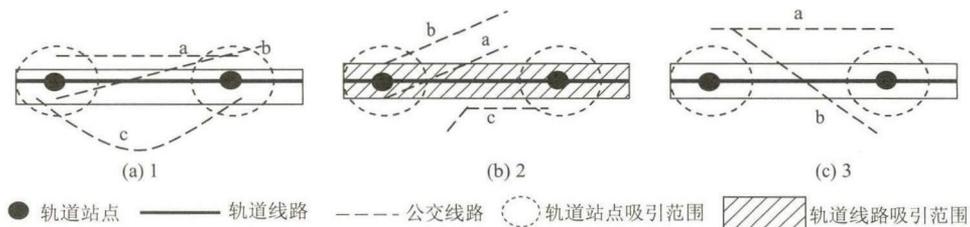


图1 轨道交通与常规公交空间关系组合示意图

Fig. 1 Schematic diagram of space relationship combination between conventional transit and rail transit

表1 轨道交通对常规公交客流作用效应
Tab.1 Interaction effect of rail transit to conventional transit

轨道交通与常规公交空间关系组合	图中示意	效应
始末站均在轨道交通直接吸引范围内	在轨道线一侧	(a)a 分流
	与轨道交通线相交	(a)b 分流、诱增、互补
	与轨道交通线相离	(a)c 分流、互补
始末站只有一个在轨道交通直接吸引范围内	与轨道线相交	(b)a 诱增
	延长线与轨道线相交	(b)b 诱增、互补
	线路大部分与轨道线重叠	(b)c 分流
始末站均不在轨道交通吸引范围内	经过轨道交通线引范围	(c)a 诱增、互补
	不经过轨道交通线吸引范围	(c)b —

2 基于作用效应的常规公交线网优化

2.1 基于作用效应的公交线网定性优化策略

如表1所示,轨道交通与常规公交不同的空间关系组合下会对常规公交客流产生不同的效应,针对不同的效应需要对常规公交线路采取不同的调整优化策略。

(1) 常规公交始末站均在轨道交通直接吸引范围内:①常规公交线路分布在轨道交通线路一侧,若常规公交与轨道交通走向大致平行,则两者客流吸引范围大致一致,主要是分流效应,可以考虑取消该线路;若常规公交线路与轨道交通走向呈发散状,则三种效应都存在,可考虑延长常规公交线至与轨道交通相交,以承担集疏散功能,或者考虑将其调整到吸引范围较外围,减少对轨道交通客流的分流。②若常规公交线路本身或者线路延长线与轨道交通线相交,则此类公交线路功能可定位为集疏散轨道交通客流,这部分常规公交线路应予以保留。

(2) 常规公交始末站之一在轨道交通吸引范围内,则重点分析常规公交线路与轨道交通线重叠部分:①若重叠部分大于等于二个轨道交通站点区间长度(视城市空间大小该区间长度有所不同)时,则主要是分流效应,可考虑缩短重叠部分公交线路长度,避免过多客流竞争,影响公交效率。②若重叠部分小于二个轨道交通站点区间长度,则主要是诱增和互补效应,可保留常规公交,并重视常规公交站点与轨道交通站点的衔接。

(3) 常规公交始末站都不在轨道交通吸引范围内,但线路穿越轨道交通吸引区域:①对于长度合适,承担较大部分客流量,且沿线客流集散点分布均匀的常规公交线路,主要是诱增、互补效应,应该保留。②对于线路较长,客流量分布不均匀的常规公交线路,可以考虑以轨道交通吸引区域为节点,分拆原有公交线路,并根据客流分布调整线路走向。

(4) 此外,还有种长度适当的外围片区或郊区与市中心区的联系线路、公交稀疏区域内的常规公交线路,这类线路起到连通区域、承担轨道交通集疏散作用,这主要产生互补与诱增效应,应予以保留,并需要根据需要加密该类线路。具体的布置方式,需要定量优化考虑。

2.2 基于作用效应的公交接运线网定量优化

而为了适应于轨道交通的运营,更好地提升轨道交通运营效率,需在新的轨道交通线路基础上规划公交接运线网。公交接运线网的规划一般以接运效率为目标。接运效率定义如下:

$$G_i = \frac{\sum_{j \in N} q_j \bar{l}_{ji}}{l_{ib}}, \quad (1)$$

式中, G_i 为接运效率; q_j 为接运公交所辐射 j 交通小区的公交出行量; N 为接运公交覆盖交通小区数; \bar{l}_{ji} 为 j 交通小区居民在 i 站点上车后乘坐轨道交通的平均距离; i 为接运站点; l_{ib} 为 i 站点接运公交线路长度。

在式(1)中, q_j 的获得方式如下:将轨道接运站点的合理接运范围划分为若干个交通小区,根据居民出行调查得到未来年各交通小区居民出行OD量,进而获得各交通小区的接运公交客运需求OD量。接运线网优化也需受到《城市道路规划设计规范》的约束,主要的约束包括:

(1) 接运线路的长度

$$l_{\min} \leq l_b \leq l_{\max}, \quad (2)$$

式中, l_b 为接运线路长度; l_{\min} , l_{\max} 分别为接运公交线路长度的最小值和最大值。 l_b 与城市的空间规模有关,一般 l_b 路线长度在 5~12 km 之间。

(2) 路线非直线系数

《城市道路规划设计规范》规定路线非直线系数一般不大于 1.4, 即:

$$\rho \leq 1.4, \quad (3)$$

式中 ρ 为非直线系数。

(3) 线路客流量不均匀系数

考虑到线路的服务水平与可持续性,不均匀系数一般不大于1.5,即:

$$u = \frac{Q}{\bar{q}} \leq 1.5, \quad (4)$$

式中, u 为线路流量不均匀系数, Q 为最大断面交通量, \bar{q} 为平均断面交通量。

通过以上的分析,以接运效率最大为目标函数,建立接运公交线路优化模型如下:

$$\begin{aligned} \max G_i &= \frac{\sum_{j \in N} q_j \bar{l}_{ji}}{l_{ib}}, \\ \text{s. t. } &\begin{cases} 5 \leq l_b \leq 12 \\ 0 \leq \rho \leq 1.4 \\ 0 \leq u \leq 1.5 \end{cases} \end{aligned} \quad (5)$$

根据上述模型,可以以接运效率为依据,进行接运线路的反向搜索。具体的递推公式:

$$T(i,0) = 0, G(i,0) = 0, \quad (6)$$

$$T(i,m) = T(i,m-1) + q_m \bar{l}_m, G(i,m) = \frac{T(i,m)}{l(i,m)}, \quad (7)$$

式中, $T(i,m)$ 为轨道交通 i 站点的接运公交至 m 点时的周转量; $G(i,m)$ 为轨道交通 i 站点接运公交到达 m 点时的接运效率; q_m 为接运公交到达 m 点时的客运量; \bar{l}_m 为接运公交达到 m 点时的平均运距。

接运公交线路优化模型的求解步骤如下:

Step 1: 公式初始化,输入轨道 i 接运范围内交通小区客流 OD 量,令 $G(i,m) = 0, l(i,m) = 0$ 。

Step 2: 设轨道站点 i 到待连接 m 点的连通函数 $f(i,m)$,若连通,则 $f(i,m) = 1$,若不连通,则 $f(i,m) = 0$ 。

Step 3: 判断设置的接运线路是否符合约束条件,若符合则转向 Step 5,否则进行 Step 4。

Step 4: 从站点 i 开始进行搜索,在接运公交站集合依次取相邻的站点 m ,根据式(7)计算 $G(i,m), G(i,t) = \max_{m \in N} G(i,m)$,并令 $f(i,t) = 1, m = t$,转到 Step 3 继续进行。

Step 5: 依次连接集合 N 中 $f(i,m) = 1$ 的站点形成线路,此时,线路的接运效率最大,且满足线网规划的约束条件,为最优接运路线。

3 实例应用——以 Z 市为例

3.1 城市空间结构与轨道交通规划

《Z 市城市总体规划(2010—2020)》中提出,

依据城市风貌特征,形成一轴两组团多片区的空间结构。Z 市轨道线路于 2009 年动工,计划 2014 年底通车,Z 市内轨道线路 50.68 km,共设 6 个站。Z 市中心城区区域发展规划与轨道交通布局如图 2 所示。

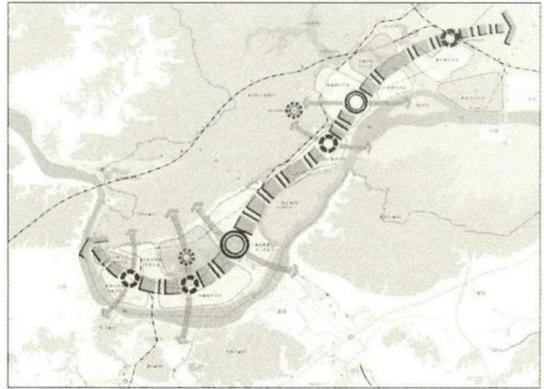


图 2 Z 市中心区域发展规划与轨道交通布局

Fig. 2 Development planning and rail transit layout of central area in City Z

2014 年轨道交通开通运营后,将对 Z 市的公交客流走向、城市空间布局等产生重要的影响。为应对城市轨道交通对常规公交带来的影响,需根据城市用地规划,采用定性与定量组合分析方法,优化调整公交线网。

3.2 Z 市客流分析

根据公交客流的形成特点,把客流集散地分为四类:居住类、就业/就学类、商业金融业类、旅游景区类。根据《Z 市城市总体规划(2010—2020)》,对各类集散点进行划分统计,得出公交组团情况如表 2 所示^[13]。

表 2 Z 市城市公交出行集散点统计表

Tab. 2 Bus travel distribution centers of City Z

类别	居住点			就业/就学集散点		商业金融业集散点			旅游景区集散点
	大型	中型	小型	中学	行政办公区	大型	中型	小型	
数量	8	10	10	7	7	3	4	5	6
用地面积/km ²	36.89			1.63	2.11	7.39			1.7
占总用地的百分比/%	37.59			1.65	2.15	7.53			1.74

3.3 基于作用效应的 Z 市公交线网定性优化

以 1 节作用效应分析为基础,对 Z 市公交线网定性分析,现有各公交线路与轨道交通的关系见表 3。

表 3 Z 市轨道交通对现有公交线路作用效应

(续表)

Tab. 3 Interaction effect of rail transit to current bus network in City Z

已有线路与轨道交通吸引范围关系	线路	效应
在轨道线两侧	19	分流
始末站均在轨道交通直接吸引范围内	与轨道交通线相交	1 分流、诱增、互补
	与轨道交通线相离	2,4,5,7 分流、互补
	与轨道线相交	3,10,15,18,20 诱增
始末站只有一个在轨道交通直接吸引范围内	延长线与轨道线相交	9,11,12,13,17,22 诱增、互补
	线路大部分与轨道线平行	3,15 互补、分流
始末站均不在轨道交通吸引范围内	经过轨道交通线引范围	6,8,14,16 诱增、互补
	不经过轨道交通吸引范围	21 —

结合整体公交线网结构布局以及城市空间结构、客流特性, 根据 2.1 所述调整策略对线路进行优化, 优化后的具体线路见表 4。

表 4 轨道交通进入后现有线路优化表

Tab. 4 Optimization of current bus network by introducing rail transit

线路名称	线路具体走向
1	调整线路走向。原宋城南路—人民南路—江滨西路段改为西江南路—江滨西路—江滨东路
2	维持现状
3	截短线路。东终点设在长利路与鼎湖大道南段交汇处; 西终点港口路与民乐大道交汇处
4	调整线路。1. 原城中路段改为江滨西路; 2. 西段终点设在迎宾大道东口
5	调整线路。1. 西段终点设在迎宾大道东口; 2. 东段延伸 Z 市大道与端州一路交汇处
6	调整线路。西段起点改为白沙路—江滨西路—建设三路
7	调整线路。原西江北路—端州六路段改为风华路—人民北路
8	调整线路。原端州区段改为文明路—建设三路—至高要
9	调整线路。原瓊东路—端州六路段改为瓊东路—端州七路—端州六路
10	调整线路。原端州四路—端州七路段改为端州四路—文明路—端州七路
11	调整线路。原前进北路段改为古塔中路
12	调整线路。原迎宾大道—天宁北路路段改为大桥路—天宁南路—天宁北路

线路名称	线路具体走向
13	调整线路。原终点改为端州一路与蓝塘路交汇处
14	维持现状
15	调整线路。原起点改为风华路与瓊东路交汇处, 经风华路—大桥路—端州六路
16	维持现状
17	调整线路。原西江北路—宋城东路段改为风华路东段—康乐北路—宋城东路
18	调整线路。原棠岗路—建设三路段改为星湖大道—建设三路
19	调整线路。原建设二路至终点段改为建设二路—建设一路—端州一路—东湖路路口
20	调整线路。改为旅游线路, 端州四路牌坊东至鼎湖山风景区
21	维持现状。
22	撤线, 与改线后 13 路重线率高。

3.4 接运公交线网布设

依托于轨道交通, 采用 2.2 节所述模型, 根据 Z 市城市空间布局具体特点, 具体的优化参数如下:

$$\max G_i = \frac{\sum_{j \in N} q_j \bar{l}_{ji}}{l_{ib}},$$

$$\text{s. t. } \begin{cases} 5 \leq l_b \leq 13 \\ 0 \leq \rho \leq 1.3 \\ 0 \leq u \leq 1.5 \end{cases} \quad (8)$$

在式 (8) 中, 考虑到 Z 市空间布局为东西长、南北窄的特点, 对优化参数限制进行了调整, 其中接运线路长度 l_b 上限放宽至 13 km, 而非直线系数 ρ 约束上限调整至 1.3。在按接运公交线路优化模型的求解步骤计算的基础上, 结合考虑已有线网调整结果, 形成轨道交通接运公交线网的布设方案, 见表 5。

3.5 优化效果

通过对已有公交线网的调整交叉线路、取消功能重复线路等, 布设接运线网等方式, 对 Z 市现有公交线网优化后, 公交网络主要指标都得以大幅提升, 优化前后的主要指标对比如表 6 所示。

从表 5 可以看出, 优化后主要公交服务指标都有大幅度提升, 尤其是平均线路长度、平均站间距、500 米覆盖率等指标在优化前达不到国家规范要求, 优化后完成符合国家规范要求, 促进了公交服务水平的提升。

表5 接运公交线路布设表

Tab. 5 Planning of feeder bus routes

接运线路	线路具体走向
J1	龟山路—矾西南路—沙湖一路南口—二桥路—二桥路
J2	龟山路—桂园路—蕉园路—星岩风景区—古塔北路
J3	鼎湖大道南端—端鼎路—迎宾大道—Z市学院
J4	沿江大道—双龙路—迎宾大道—长利路—沿江大道
J5	Z市大道—迎宾大道—双龙路—双龙路东口
J6	长利路南口（与沿江大道交汇）—创业路—双龙路—星湖大道
J7	庆云大道（港口路交汇）—港口路—鼎湖大道—沿江大道（长利路交汇）
J8	迎宾大道（云桂路交汇）—天宁南路—江滨中路—友谊路—前进中路—棠岗路
J9	康乐南路—端州六路—端州四路—Z市大道—迎宾大道—Z市学院

表6 优化前后指标对比表

Tab. 6 Comparison of indicators before and after optimization

指标	优化前	优化后	指标	优化前	优化后
线网总长度/km	479.1	701.5	线路重复系数	1.22	1.6
平均线路长度/km	19.2	12.9	500 m 覆盖率	87%	100%
较长线路数/条	11	6	300 m 覆盖率	66%	96.4%
平均站间距/m	744	512	非直线系数	1.46	1.24

4 结语

(1) 优先发展以轨道交通为骨干的城市公共交通系统是解决城市交通问题的根本路径。中国各大城市公共交通体系中，轨道交通均是在原有常规公交体系的基础上引入，由于轨道交通与常规公交技术经济特征上的差异，需要在轨道交通进入后对原有公交线网进行优化调整，以促进公共交通资源的有效整合，提升公共交通服务水平。

(2) 轨道交通与常规公交在空间组合方式上的不同，会对现有常规公交客流分别产生诱增、分流、互补等作用效应。根据作用效应的不同，需要对常规公交做线路走向、线路距离、站点开设等调整优化。在整体线网结构调整中，采用定性方法依据线网的功能层次、功能结构、整体规模与公交线路长度等进行调整，而在接运公交布设中，构建以接运效率为优化目标，线路长度、非直线系数、客流不均匀系数等约束条件的布设优化模型进行接运公交的布设。通过上述定性与定量两种组合优化方法，

进行基于轨道作用效应的公交线网优化。

(3) 在对Z市区轨道交通进入后对现有公交线路的影响效应，结合Z市区的空间布局与客流特性，对Z市公交网络结构调整，并对现有的22条公交线路进行了逐条优化，且新布设9条接运线路。优化调整后，主要公交服务指标大幅提升，体现优化方法具有良好的效果与适应性。

参考文献：

References:

- [1] LEVINSON H S. Rail Transit in the Next Millennium: Some Global Perspectives [J]. Journal of Transportation Research Record, 2000, 1704: 3-9.
- [2] TODD LITMAN. Rail Transit in America: A Comprehensive Evaluation of Benefits [R]. Victoria: Victoria Transport Policy Institute, 2012.
- [3] CHIEN S, YANG Z, HOU E. Genetic Algorithm Approach for Transit Route Planning and Design [J]. Journal of Transportation Engineering, 2001, 56 (2): 200-217.
- [4] MARTINS C L, PATO M V. Search Strategies for the Feeder Bus Network Design Problem [J]. European Journal of Operation Research, 1998, 23 (3): 425-430.
- [5] SHRIVASTAVA P, O'MAHONY M. A Model for Development of Optimized Feeder Routes and Coordinated Schedules: A Genetic Algorithms Approach [J]. Transportation Policy, 2006, 13 (4): 413-425.
- [6] 蒋冰蕾, 孙爱允. 城市快速轨道交通接运公交线网规划 [J]. 系统工程理论与实践, 1998, 18 (3): 131-135.
JIANG Bing-lei, SUN Ai-yun. Urban Rapid Rail Transit Feeder Buses Routes Planning [J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 1998, 18 (3): 131-135.
- [7] 吕慎, 田锋, 王京元. 基于DEA的接运公交运营绩效评价 [J]. 公路交通科技, 2010, 27 (8): 96-102.
LÜ Shen, TIAN Feng, WANG Jing-yuan. Assessment of Performance of Feeder Buses Based on DEA Technique Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2010, 27 (8): 96-102.
- [8] 高贺, 苑少伟, 慈玉生. 城市公交线路运营分析因子评价法 [J]. 公路交通科技, 2014, 31 (5): 24-29.
GAO He, YUAN Shao-wei, CI Yu-sheng. Operational Evaluation of Urban Bus Lines Based on Factor Analysis Method [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2014, 31 (5): 24-29.
- [9] 曹玫, 林小涵. 基于遗传算法的城市轨道交通接运公

- 交线网规划 [J]. 武汉理工大学学报: 交通科学与工程版, 2005, 29 (4): 568-570.
- CAO Mei, LIN Xiao-han. Urban Rapid Rail Transit Feeder Buses Routes Planning Based on Genetic Algorithm [J]. Journal of Wuhan University of Technology: Transportation Science & Engineering, 2005, 29 (4): 568-570.
- [10] 汤旻安, 袁爽, 王晓明. 基于优化灰色神经网络模型预测公交换乘需求量的换乘枢纽选址 [J]. 公路交通科技, 2013, 30 (6): 20-25.
- TANG Min-an, YUAN Shuang, WANG Xiao-ming. Location of Public Transport Hub Based on Transfer Demand Forecast by Using Optimized Grey Neural Network Model [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2013, 30 (6): 20-25.
- [11] 王玲. 基于城市轨道交通的常规公交线网调整方法 [D]. 成都: 西南交通大学, 2010.
- WANG Ling. Adjustment of Regular Public Transportation Network Based on Urban Rail Transit [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2010.
- [12] 刘金成, 谭健妹. 区域城际轨道交通网络与空间结构适应性评价指标体系研究 [J]. 公路工程, 2013, 38 (3): 23-28.
- LIU Jin-cheng, TAN Jian-mei. On Evaluation Index System for the Adaptability of Intercity Rail Network and Spatial Structure [J]. Highway Engineering, 2013, 38 (3): 23-28.
- [13] 长安大学课题组. Z市公交线网规划研究 (2013—2020) [R]. 西安: 长安大学, 2012.
- Chang'an University Research Group. Public Transportation Network Planning for City Z (2013—2020) [R] Xi'an: Chang'an University, 2012.
-
- (上接第118页)
- Beijing Public Transport Holdings, Ltd, Beifang Jiaotong University. Urban Public Transport Operation and Scheduling Management [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2001.
- [8] 李细霞. 公交线路车辆调度优化模型研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2007.
- LI Xi-xia. Study on Models of Optimizing Public Transportation Dispatching [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2007.
- [9] 李国莹, 姜诗章, 杨平, 等. 应用数学基础 [M]. 上海: 复旦大学出版社, 2006.
- LI Guo-ying, JIANG Shi-zhang, YANG Ping, et al. Fundamentals of Applied Mathematics [M]. Shanghai: Fudan University Press, 2006.
- [10] 牛学勤, 陈茜, 王伟. 城市公交线路调度发车频率优化模型 [J]. 交通运输工程学报, 2003, 3 (4): 68-72.
- NIU Xue-qing, CHEN Qian, WANG Wei. Optimal Model of Urban Bus Frequency Determination [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2003, 3 (4): 68-72.
- [11] 杨庆芳, 魏领红, 杨兆升. 公交线路调度优化模型研究 [J]. 合肥工业大学学报, 2009, 32 (11): 1642-1645.
- YANG Qing-fang, WEI Ling-hong, YANG Zhao-sheng. Research on the Model of Transit Line Dispatching Optimization [J]. Journal of Hefei University of Technology, 2009, 32 (11): 1642-1645.
- [12] 姜启源. 2001年全国大学生数学建模竞赛 [J]. 工程数学学报, 2002, 19 (增1): 1-7.
- JIANG Qi-yuan. China Undergraduate Mathematical Contest in Modeling in 2001 [J]. Chinese Journal of Engineering Mathematics, 2001, 19 (S1): 1-7.
- [13] 北京市统计局. 北京统计年鉴2012 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2012.
- Beijing Municipal Statistics Bureau. Beijing Statistical Yearbook 2012 [M]. Beijing: China Statistical Publishing House, 2012.
- [14] 许波, 刘征. Matlab工程数学应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- XU Bo, LIU Zheng. Application of Matlab in Engineering Mathematics [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2000.
- [15] 徐付霞, 董永权. 公交车调度的模型 [J]. 大学数学, 2003, 19 (3): 39-42.
- XU Fu-xia, DONG Yong-quan. The Model of Bus Dispatch [J]. College Mathematics, 2003, 19 (3): 39-42.