

doi: 10.3969/j.issn.1672-6073.2021.04.009

城市轨道交通接驳常规公交服务 评价体系研究

谭英嘉, 朱一洲, 李少龙

(深圳市综合交通设计研究院有限公司, 深圳 518003)

摘要: 建设城市轨道交通与常规公交之间的快速接驳换乘体系, 实现一体化公共交通是城市公共交通优先发展战略中不可或缺的部分。为有效评价常规公交和轨道交通接驳服务水平的高低, 及时发现接驳系统中存在的短板, 从设施、线网、运营和票价四个一体化方面选取了具有代表性的9个评价指标, 构建了多层次结构的接驳服务评价指标体系, 给出了各层次指标权重的计算方法, 并就深圳市轨道和公交接驳系统进行了实例分析验证。研究完善了公共交通接驳服务中指标体系构建和评价方法, 有助于为公交行业主管部门制定相关改进服务策略及措施提供依据。

关键词: 城市轨道交通; 常规公交; 接驳服务; 评价体系

中图分类号: U491.17

文献标志码: A

文章编号: 1672-6073(2021)04-0055-06

Evaluation Index System of Urban Rail Transit and Bus Feeder Service

TAN Yingjia, ZHU Yizhou, LI Shaolong

(Shenzhen Transportation Design & Research Institute Co., Ltd., Shenzhen 518003)

Abstract: Improving the transfer between urban rail transit and buses is an indispensable part of the priority development strategy for urban public transport. In this study, to effectively evaluate bus and rail transit service levels and quickly discover the shortcomings that exist in the transit system, nine representative evaluation indexes are selected from the four integration aspects of facilities, networks, operations, and ticket prices. Subsequently, a multi-level feeder service structure evaluation index is constructed, and the calculation method of the index weight of each level is elucidated. Finally, the rail transit and bus connection systems in Shenzhen are analyzed. The research improves the index system construction and evaluation method in the public transport feeder service, which is helpful for the public transport authority to formulate relevant service improvement strategies and measures.

Keywords: urban rail transit; bus; feeder transport service; evaluation system

随着城市化和机动化进程的不断加速, 城市交通拥堵、污染、能源紧缺等问题日益凸显, 已严重影响了城市发展和人民群众生活水平的提高。交通出行引发的一系列问题已经成为各大城市的难点和热点问题。在出行问题应对上, 各大城市都提倡发展公共交通来应对。城市公共交通客流运输以常规公交和轨道

交通为主, 以深圳市为例, 2018年常规公交和轨道交通客运量在整个公共交通客流中占比就达到了90%^[1]。建设城市常规公交和轨道交通系统之间的快速接驳换乘体系, 实现一体化公共交通, 成为当前提高城市公共交通服务水平的迫切需求, 也是公共交通优先发展战略的内在要求^[2]。

收稿日期: 2020-08-18 修回日期: 2020-09-23

第一作者: 谭英嘉, 男, 硕士, 高级工程师, 从事交通规划设计与大数据分析等工作, 81827058@qq.com

引用格式: 谭英嘉, 朱一洲, 李少龙. 城市轨道交通接驳常规公交服务评价体系研究[J]. 都市轨道交通, 2021, 34(4): 55-60.

TAN Yingjia, ZHU Yizhou, LI Shaolong. Evaluation index system of urban rail transit and bus feeder service[J]. Urban rapid rail transit, 2021, 34(4): 55-60.

中国各大城市轨道交通成网运营时间较短,成网后轨道交通与常规公交的接驳和匹配研究仍处于规划研究阶段,相关经验不足,尚未形成一套全面、科学、完善的服务评价体系。因此,研究构建科学、合理的城市轨道交通接驳常规公交服务评价指标体系,及时发现接驳服务中存在的短板,进而有针对性地采取措施来提高接驳服务水平就显得尤为重要。当前针对公交和轨道交通接驳服务评价已开展了系列研究,指标主要从基础设施、经济收益、乘客客流、方式衔接效率、运营协调以及信息服务^[3-8]等角度选择。在计算评价指标权重时,层次分析法由于能将定性分析和定量分析进行综合集成,适用于较为复杂、模糊且难完全定量分析的问题而被多数学者选择^[9-10]。从现有研究来看,常规公交与轨道交通接驳服务评价研究多采用多准则决策分析,在评价指标选取方面,存在系统要素的基本特征考虑不足,选取的评价指标还不够全面等问题。本研究旨在综合考量轨道交通接驳常规公交服务,建立能客观反映城市轨道交通和常规公交服务一体化发展的评价指标体系,并提出与之相适应的、便于操作的评价分析方法,引导促进城市交通一体化发展,提升公共交通整体竞争力,使公共交通成为市民可信赖的出行选择。

1 评价指标体系

1.1 评价原则

城市轨道交通和常规公交换乘衔接系统是一个多指标、多层次的综合体系,评价体系应能全面反映两者换乘服务一体化的基本要求,应遵循以下原则:

1) 科学性。评价指标的选择必须在科学理论研究的基础上进行,具有一定的理论依据。

2) 系统性。指标体系要能全面准确地反映常规公交和轨道交通换乘衔接的各个主要部分与关键影响因素,并尽可能地考虑到实际使用者。

3) 独立性。由于常规公交和轨道交通换乘衔接衡量的复杂性及评价需要,应保证指标的相互独立性,指标与指标间无内在的机制联系。

4) 可比性。指标应易采集

统计,具有统一的计算口径、计算方法和量纲,能为各大城市常规公交和轨道交通接驳服务提供横、纵向对比分析。

1.2 评价指标

按照城市常规公交与轨道交通接驳服务一体化的评价目标和评价原则,从设施一体化、线网一体化、运营一体化和票价一体化四个方面选取了具有代表性的9个评价指标,构建多层次结构的城市常规公交与轨道交通接驳服务评价指标体系,如图1所示。

1) 换乘距离。指所有轨道交通站点出入口与最近轨道交通接驳公交停靠站的平均步行距离,其中轨道交通接驳公交停靠站指轨道交通站点出入口300 m范围内的停靠站。换乘距离反映了常规公交与轨道交通换乘的便捷性和空间衔接紧密度。

2) 风雨连廊设置率。指与轨道交通出入口设置有风雨连廊连接(见图2)的轨道交通接驳公交停靠站数,占片区轨道交通接驳公交停靠站总数的比例,其可作为衡量“轨道+公交”换乘接驳舒适性的指标。

3) 换乘标识设置率。指的是 $(50\% \times \text{轨道交通站点出入口导向接驳公交站的换乘标识设置率}) + (50\% \times \text{接驳公交站导向轨道交通站点出入口的换乘标识设置率})$,其中轨道交通导向接驳公交站的换乘标识设置率= $(\text{设置有连续轨道交通导向接驳公交站箭头标识指引的接驳公交站数}) / \text{片区接驳公交站总数}$;接驳公交站导向轨道交通的换乘标识设置率= $(\text{设置有连续接驳公交站导向轨道交通箭头标识指引的接驳公交站数}) / \text{片区接驳公交站总数}$ 。轨道交通与常规公交换乘标识设置是衡量接驳便利性的重要指标。

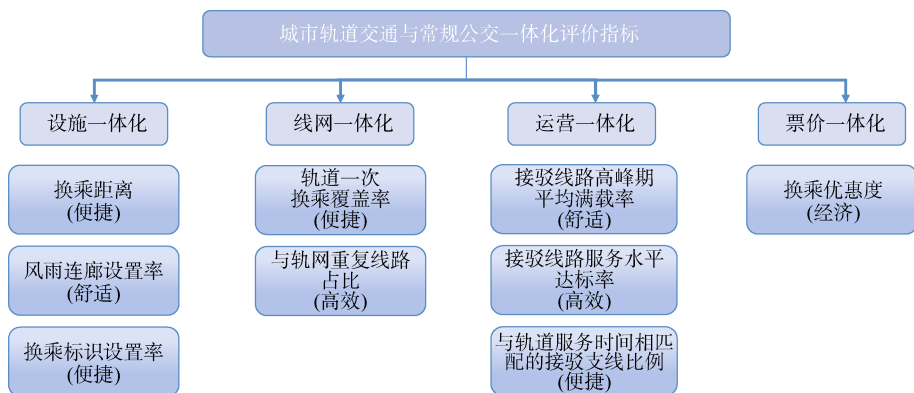


图1 城市常规公交与轨道交通服务一体化评价指标体系

Figure 1 Integrated urban bus and rail transit service evaluation index system



图2 连接轨道公交的风雨连廊

Figure 2 Wind and rain porch connecting rail and bus

4) 轨道公交一次换乘覆盖率。指所有轨道交通接驳公交线路途径站点 500 m 覆盖全市建成区比例, 其中, 轨道交通接驳公交线路指经停轨道交通站点出入口 300 m 范围内公交停靠站的公交线路。轨道交通一次换乘覆盖率主要衡量“轨道+公交”线网的服务区域和可达程度。

5) 与轨网重复线路占比。指有半数以上的公交站在轨道交通站点 500 m 范围内服务的常规公交线路数量占城市常规公交线路总数比例, 其中常规公交线路不包括高峰线、高快巴、夜班线、假日线等特定时段服务线路。对公交与轨道交通的竞争度进行定量分析, 有利于推动客流资源的合理分配, 弱化轨道公交的相互竞争。

6) 轨道交通接驳线路高峰期平均满载率。指轨道

交通接驳公交线路高峰期沿线路主客流方向驶离接驳公交停靠站时车内平均满载率, 其与接驳公交线路的发车间隔、车型、线路配置密切相关, 是衡量轨道换乘公交舒适性的一项重要指标。

7) 轨道交通接驳线路服务水平达标率。指高峰期发车间隔不高于 10 min 且平峰期不高于 20 min 的接驳公交线路数占接驳线路总数的比例。

8) 与轨道交通服务时间匹配的接驳公交支线占比。指与轨道交通首末班服务时间相匹配的轨道交通接驳公交支线数占接驳线路总数的比例。与轨道交通首末班时间匹配指常规公交线路首班发车时间不晚于轨道交通首班发车时间且末班发车时间不早于轨道交通末班发车时间。换乘服务时间的匹配反映常规公交与轨道交通时间衔接便捷性。

9) 换乘优惠度。指常规公交与轨道交通换乘的优惠额度。票价作为公共交通一体化体系的一个至关重要环节, 相应的调整是常规公交与轨道交通客流量分配的重要手段。

1.3 评价指标分级标准

参照“畅通工程”、创建“公交都市”指标评价体系, 将城市公交指标由好到差分为五个等级, 如表 1 所示。各指标分级标准制定主要参考相关标准规范推荐值、国内外公交发达城市指标值和相关规划中远期发展目标值等, 适用于深圳及同类型大城市, 能为轨道交通集中发展阶段的大城市提供参考借鉴, 部分指标可根据各城市实际发展做适当修正调整。

表 1 评价指标分级参考标准

Table 1 Reference standard for grading evaluation index

指标体系	相关规范及经验推荐值	各指标分级标准				
		等级一	等级二	等级三	等级四	等级五
换乘距离/m	50~100	≤50	(50, 100]	(100, 200]	(200, 300]	>300
风雨连廊设置率/%	100	≥90	[80, 90)	[70, 80)	[60, 70)	<60
换乘标识设置率/%	100	≥90	[80, 90)	[70, 80)	[60, 70)	<60
轨道一次换乘覆盖率/%	90	≥90	[80, 90)	[70, 80)	[60, 70)	<60
与轨网重复线路占比/%	--	≤5	(5, 10]	(10, 15]	(15, 20]	>20
轨道交通接驳线路高峰期平均满载率/%	--	≤40%	(40, 50]	(50, 60]	(60, 80]	>80
轨道交通接驳公交线路服务水平达标率/%	80	≥80	[60, 80)	[40, 60)	[20, 40)	<20
与轨道交通服务时间相匹配的接驳支线占比/%	--	≥80	[60, 80)	[40, 60)	[20, 40)	<20
换乘优惠度/(元/次)	--	≥1 或免费	[0.6, 1]	[0.3, 0.6]	(0, 0.3)	无优惠

其中, 处于等级五的指标, 是近中期需重点突破改善类指标; 处于等级四的指标, 是近中期需优化改善类指标; 处于等级三的指标, 是近中期需继续

提升类指标; 处于等级一、等级二的指标, 满足相关规范标准或相关规划目标值, 是需要不断保持和加强类指标。

2 评价方法

2.1 评价方法选择

城市轨道交通与常规公交一体化模型具有多层次、多目标的特点，各部分之间也存在很大的关联和影响，需要进行多层次、交叉性的对比和讨论，得出综合性的定量评价结果。目前适用于复杂问题评价的方法主要有模糊综合评价法、数据包络分析法、神经网络评价法、层次分析法等^[1]。

层次分析法由于能够有效地将定性分析和定量分析进行综合集成，具有可置换性、互容性、对称性等较优性质，适用于各种类型的复杂综合评价系统，是目前确定指标权重的一种较为常见方法。其主要步骤如下：

- 1) 建立递阶层次结构模型。在深入分析实际问题的基础上，构造一个有条理、有层次的结构模型。
- 2) 构造各个层次的判断矩阵。某一层次内所有指标的重要性不完全相同，一般采用数字 1~9 及其倒数的标度方法，其判断矩阵 $A=(a_{ij})_{n \times n}$ 定义方法具体见表 2。

表 2 判断矩阵标度定义
Table 2 Definition of judgment matrix

标度(a_{ij} 取值)	含义(重要性等级)
1	表示两个因素相比，具有相同重要性
3	表示两个因素相比，前者比后者稍重要
5	表示两个因素相比，前者比后者明显重要
7	表示两个因素相比，前者比后者强烈重要
9	表示两个因素相比，前者比后者极端重要
2, 4, 6, 8	表示上述相邻判断的中间值
倒数	相似元 i 与 j 比较后判断 a_{ij} ，而 j 与 i 比较得 $a_{ji}=1/a_{ij}$

- 3) 层次单排序及其一致性检验。计算一致性指标：

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \tag{1}$$

查找平均随机一致性指标 RI 的值，如表 3 所示。

表 3 平均随机一致性指标 RI 的值
Table 3 Value of average random consistency index RI

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

当判断矩阵的一致性比率 $CR=CI/RI<0.10$ 时，认为当前判断矩阵有满意的一致性；否则，需要调整判断矩阵，直到具有满意的一致性。

- 4) 层次总排序。最后得出各层次元素对目标的权重排序，对层次总排序进行一致性检验，计算各层次

元素对总目标的权重，对最终的方案进行排序。

2.2 指标权重确定

根据城市轨道交通与常规公交一体化评价指标体系结构，将其划分为三个层次，用 A, B, C 来表示。指标体系的总目标为城市常规公交与轨道交通接驳服务水平，准则层包括设施一体化、线网一体化、运营一体化、票价一体化四个方面，指标层则有 9 个指标，见表 4。

表 4 轨道交通与常规公交一体化评价指标体系
Table 4 Integrated evaluation index system of rail and urban bus transit system

目标层	一级指标	二级指标
城市轨道交通与常规公交一体化评价指标体系(A)	设施一体化(B_1)	换乘距离(C_{11})
		风雨连廊设置率(C_{12})
		换乘标识设置率(C_{13})
	线网一体化(B_2)	轨道一次换乘覆盖率(C_{21})
		与轨网重复线路占比(C_{22})
	运营一体化(B_3)	轨道接驳线路高峰期平均满载率(C_{31})
		轨道接驳公交线路服务水平达标率(C_{32})
		与轨道服务时间相匹配的接驳公交支线比例(C_{33})
	票价一体化(B_4)	换乘优惠度(C_{41})

目标层指标 A 对准则层的判断矩阵见表 5。

表 5 目标层判断矩阵
Table 5 Judgment matrix of target layer and urban bus transit system

目标层 A	B_1	B_2	B_3	B_4
设施一体化 B_1	1	2	2	3
线网一体化 B_2	1/2	1	1/2	2
运营一体化 B_3	1/2	2	1	2
票价一体化 B_4	1/3	1/2	1/2	1

可求得特征向量 $W=(0.42, 0.19, 0.27, 0.12)$ ，即设施一体化、线网一体化、运营一体化、票价一体化的相对权重值分别为 0.42, 0.19, 0.27, 0.12。一致性检验结果为： $\lambda_{\max}=4.07, CI=0.023, RI=0.025<0.10$ 。满足一致性要求。

同理可进行其他指标层的计算及检验。 B_1 准则层权重计算结果为 0.56, 0.14, 0.30。 B_2 层权重计算结果为 0.33, 0.67。 B_3 层权重计算结果为 0.17, 0.44, 0.39。 B_4 层为一阶矩阵，权重为 1.00。各指标层检验均满足一致性要求。综上可得到准则层层单排序，见表 6。

表 6 层次单排序

Table 6 Hierarchical sorting

一级 指标	计算 权重	一致性 检验结果	二级 指标	计算 权重	一致性 检验结果
B ₁	0.42	0.025<0.1	C ₁₁	0.54	0.004 7<0.1
			C ₁₂	0.16	
			C ₁₃	0.30	
B ₂	0.19		C ₂₁	0.67	RI=0
			C ₂₂	0.33	
B ₃	0.27		C ₃₁	0.17	0.013 3<0.1
			C ₃₂	0.44	
			C ₃₃	0.39	
B ₄	0.12		C ₄₁	1.00	RI=0

在此基础上,进行层次总排序,可得出各指标在总目标下的重要性,见表 7。

表 7 层次总排序

Table 7 Integrated sorting hierarchical

指标层	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	权重
	0.42	0.19	0.27	0.12	
C ₁₁	0.54	—	—	—	0.226 8
C ₁₂	0.16	—	—	—	0.067 2
C ₁₃	0.30	—	—	—	0.126 0
C ₂₁	—	0.67	—	—	0.127 3
C ₂₂	—	0.33	—	—	0.062 7
C ₃₁	—	—	0.17	—	0.045 9
C ₃₂	—	—	0.44	—	0.118 8
C ₃₃	—	—	0.39	—	0.105 3
C ₄₁	—	—	—	1.00	0.120 0

2.3 综合评价得分

综合评价步骤:

- 1) 确定指标值和等级。
- 2) 建立与评价指标等级相对应的指标分级得分表,如表 8 所示,将指标值换算为相应的分值(V_i)。

表 8 指标分级得分

Table 8 Index grading scores

指标分级	一	二	三	四	五
指标得分	100	[80, 100)	[70, 80)	[60, 70)	[0, 60)

- 3) 根据层次分析法确定的指标权重分配结果(W_i),对各指标得分进行加权求和,得到综合评价总分,综合评价总分满分为 100 分。

综合评价总得分为:

$$U = \sum V_i W_i$$

式中, U 为综合评价系统总得分; V_i 为各指标 i 的得分; W_i 为各指标 i 的权重。

- 4) 根据综合评价总得分确定常规公交与轨道交通接驳服务水平(见表 9)。

表 9 常规公交与轨道交通接驳服务水平分级

Table 9 Bus and rail transit feeder service level scales

综合评价得分	90~100	80~89	70~79	60~69	<60
综合评价等级	优秀 (等级一)	良好 (等级二)	中等 (等级三)	及格 (等级四)	差 (等级五)

3 实例分析

为验证建立指标及评价方法的有效性和实用性,对深圳市 2015 年和 2016 年的轨道交通接驳公交服务进行实例分析评价。2015 年深圳市运营轨道交通 5 条线路,分别是轨道 1~5 号线,线路总长度为 177 km。2016 年深圳市轨道三期 7、9、11 号线建成运营(见图 3),轨道交通线路增加至 8 条,线路总长度增加至 285 km,共设站 167 个。深圳市轨道网络运营规模进一步扩大,线网运营长度、投放运力、配套设施及轨道交通客流等都形成了跨越式增长。



图 3 深圳市 2016 年轨道交通运营线路分布

Figure 3 Distribution of operation lines of Shenzhen rail transit in 2016

根据构建的综合评价模型,分析深圳市两年各个指标的情况,对常规公交与轨道交通接驳服务水平进行综合评价,评价结果见表 10。2015 年深圳市常规公交与轨道交通接驳服务水平综合评价得分为 70.15 分,2016 年综合评价得分为 71.66 分,较上年度提高 1.51 分,各项指标除与轨道交通网重复线路占比得分下降明显外,其他指标或保持不变或略有增长。

表 10 评价指标值
Table 10 Evaluation index values

指标体系			指标得分		综合得分	
一级	二级	综合权重	2015	2016	2015	2016
B ₁	C ₁₁	0.2268	96.80	96.00	70.15	72.66
	C ₁₂	0.0672	2.00	8.50		
	C ₁₃	0.1260	66.80	66.00		
B ₂	C ₂₁	0.1273	79.40	84.20		
	C ₂₂	0.0627	79.00	68.00		
B ₃	C ₃₁	0.0459	66.00	77.00		
	C ₃₂	0.1188	79.72	87.50		
	C ₃₃	0.1053	35.00	35.00		
B ₄	C ₄₁	0.1200	70.00	70.00		

根据评价结果分析可知,轨道交通 7、9、11 号线开通后,深圳市轨道一次换乘覆盖率、轨道交通接驳线路高峰期平均满载率均有较大提高,同时轨道交通接驳公交线路服务水平达标率也有一定提高。但总体上,深圳市常规公交与轨道交通接驳服务水平仍有较大提升空间,亟需进一步完善接驳设施建设,优化接驳网络布局,弱化轨道公交的竞争性,强化轨道公交的接驳性,完善接驳线网运营,并加强换乘优惠,鼓励市民换乘出行。

4 结语

已有的一些发达国家的公共交通发展经验表明,优化常规公交与轨道交通的接驳服务,建立一体化、高效率的服务接驳体系,是提升轨道交通乃至整个公共交通系统的运营效率与服务水平的有效途径。研究分析了城市轨道接驳公交服务评价指标的选取原则和分级标准,重点介绍了各评价指标,并基于层次分析法确定了城市轨道和公交接驳服务评价体系的各指标权重。研究在理论方面能进一步完善轨道交通和常规公交接驳服务评价指标体系构建与评价方法,在实践方面能指导城市公交行业主管部门通过定量分析,及时发现接驳服务中存在的不足,有针对性地改善服务,促进常规公交和轨道交通服务一体化,持续提升整个公共交通的吸引力与竞争力。

参考文献

- [1] 深圳市公共交通运输管理局. 2018 年度深圳市公共交通发展报告[R]. 深圳, 2019.
- [2] 林国鑫, 陈旭梅. 城市轨道交通与常规公交系统协调评价探讨[J]. 交通运输系统工程与信息, 2006(3): 89-92.

LIN Guoxin, CHEN Xumei. Study on the evaluation of

coordination between urban rail system and bus system[J]. Journal of transportation systems engineering and information technology, 2006(3): 89-92.

- [3] 莫海波. 城市轨道交通与常规公交一体化协调研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2007.
- MO Haibo. Study on the integrative coordination of urban rail transit and conventional bus[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2017.
- [4] 崔艳萍, 刘莲花. 公共交通接驳换乘系统评价指标体系的构建[J]. 都市轨道交通, 2008, 21(6): 11-13.
- CUI Yanping, LIU Lianhua. Establishing transfer evaluation index system of public traffic[J]. Urban rapid rail transit, 2008, 21(6): 11-13.
- [5] 招晓菊, 唐志强. 城市轨道交通与常规公交协调换乘评价指标体系的研究[J]. 交通标准化, 2010(19): 23-26.
- ZHAO Xiaoju, TANG Zhiqiang. Appraisalment index system about coordination transfer degree between urban rail transit and bus transit[J]. Transport standardization, 2010(19): 23-26.
- [6] 魏华. 轨道交通与常规公交衔接优化关键问题研究[D]. 西安: 长安大学, 2014.
- WEI Hua. Research on the key problems of convergence optimization between rail transit and bus transit[D]. Xi'an: Chang'an University, 2014.
- [7] 郝成, 殷勇. 基于 D-S 证据理论的城市轨道交通与常规公交协调综合评价[J]. 综合运输, 2019, 41(5): 57-62.
- HAO Cheng, YIN Yong. Comprehensive coordination evaluation of urban rail transit and conventional transit based on D-S evidence theory[J]. China transportation review, 2019, 41(5): 57-62.
- [8] 王志刚, 王庆, 宋庆祥. 城市轨道交通与常规公交换乘评价模型[J]. 电脑知识与技术, 2020, 16(12): 249-251.
- [9] 金富达. 城市轨道交通换乘系统评价体系与方法研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2013.
- JIN Fuda. Study on the evaluation index system and method for urban rail transit transfer system[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2013.
- [10] 纪雪艳. 城市轨道交通换乘站综合评价指标体系研究[J]. 铁道建筑技术, 2011(5): 38-42.
- Ji Xueyan. Research on the comprehensive evaluation index system of urban rail transfer station[J]. Railway construction technology, 2011(5): 38-42.
- [11] 何宁, 潘向阳. 城市快速轨道交通规划的决策分析研究[J]. 中国公路学报, 1999, 12(3): 73-81.
- HE Ning, PAN Xiangyang. The decision-making research on urban rapid rail transit planning[J]. China journal of highway and transport, 1999, 12(3): 73-81.

(编辑: 郝京红)