

上海临港新片区中运量公交的运行评估方法

沈杰

(上海市临港新片区城市建设交通运输事务中心,上海市 201304)

摘要:中运量公交作为大运量轨道交通的延伸与小运量公交的补充,受到包括上海在内的众多城市交通建设的青睐。以临港新片区中运量项目为研究对象,分析了项目的功能定位与特征,并以此为基础从客流效率、运行服务、乘客满意度和交通影响四个维度构建了其运行服务评估指标体系,最终由层次分析法获取了各指标权重以及最终评估模型。该模型既具针对性又有普适性,为研究其他城市中运量公交运行评估方法提供了参考。

关键词:中运量公交;临港新片区;运行评估;层次分析法

中图分类号:U491.1⁺7

文献标志码:B

文章编号:1009-7716(2024)04-0011-05

0 引言

上海是我国重要的经济中心和开放“桥头堡”,其发展历程与成果离不开全方位、多层次的交通体系的支持。中运量公交凭借投资成本低、运输效率高、节能环保和安全准时等特点,受到包括上海在内的众多城市的青睐^[1]。中运量公交是介于大运量地铁、小运量地面传统公交之间的中等运量公共交通出行模式。根据我国《城市公共交通分类标准》(CJJ/T 114—2007),中运量公交的客运能力一般在0.5~3万人次/h^[2]。可以说,中运量公交是城市大运量线路的延伸与补充,加强了骨干线路与周边区域的联通,是多层次城市公共交通网络中的重要组成部分^[1,3]。

《上海市城市总体规划(2017—2035)》(以下简称“上海2035总规划”)提出到2035年上海市将形成3个1000 km,其中1000 km的局域线作为中运量系统推进建设。在上海2035总规划的指导下,上海已经积累了一些符合中运量概念的建设成果,主要包括张江有轨电车(9.8 km)、71路中运量(17.5 km)、浦江线(6.6 km)、BRT奉浦快线(26.6 km)和松江有轨电车T1/T2线(13.9 km),总计74.4 km^[3]。尽管取得了一定的建设成果,但上海公共交通体系依然存在层次简单、结构两极化、服务水平差异大等问题^[4]。作为上海重要的开放高地,中国(上海)自由贸易试验区临港新片区(以下简称“临港片区”)凭

借其得天独厚的区位优势与战略定位,成为了创新综合交通体系的“领头羊”。为加快建成“一环多射”的公交骨干走廊、进一步完善内部交通体系,临港片区开始了中运量公交建设。然而,目前临港新片区只开通了两条中运量交通线——T1和T2示范线,尚属中运量公交发展初期。针对初期发展特征与项目自身特点,本文拟以T1和T2线为例,展开中运量公交的运行评估方法研究。

1 临港片区中运量项目分析

1.1 项目简介与特点

临港新片区目前有两条运行的中运量项目,即T1与T2线。中运量T1线于2021年6月30号开通运营,全长21.75 km,是国内首条磁感导向胶轮电车中运量线路。中运量T2线于2022年10月28号开通试运行,全长8.7 km,是国内首条应用氢能源动力的中运量公共交通线路。T1线与T2线的运营站点及路线如图1(a)、(b)所示,且T1线与T2线可在水华路站、橄榄路站、环湖西三路站、滴水湖站实现换乘。T1线于滴水湖站、临港大道站处可与轨道交通16号线无缝换乘,T2线也可在滴水湖站与轨道交通16号线换乘。

关于运营模式,考虑客流规模、特征等多种因素,中运量T1线、T2线分别采用开放式、封闭式运营。关于技术模式,T1线与T2线项目采用胶轮数字轨道导向列车(DRT)。数字轨道由精确埋设于道路路面以下的一系列磁钉构成。一个磁钉序列传递一组特定的信息码,包括控制列车行驶的相关信息,铺设磁钉的道路就成为了被赋予信息的数字化道路,它承载了循迹

收稿日期:2023-09-13

作者简介:沈杰(1988—),男,硕士,工程师,从事临港新片区范围内市政交通建设管理。



(a) 临港中运量公交 T1 线路



(b) 临港中运量公交 T2 线路

图 1 临港片区中运量项目线路示意图

导向、全程定位、电子地图和虚拟道岔四大功能。数字轨道列车能够实现每小时单向 5 000~9 000 人次的输送能力,是对传统轨道交通物理钢轨的虚拟化、数字化替代。与快速公交系统(BRT)相比,DRT 运能更强,更能满足具有潮汐特征的临港片区交通;而与现代有轨电车相比,DRT 新建基础设施少、车辆选择广泛、对原有市政设施破坏少,工程适应性强、综合费用低、建设周期短、应急处理能力强^[5]。

1.2 功能定位

临港片区中运量 T1/T2 线主要服务高新区、重装备园区、自贸区、大学城、顶科社区、行政中心、滴水湖枢纽、鲜花港等,途经区域为居住生活区、国际创新协同区、中央活动区和综合区,具体空间布局如图 2 所示。

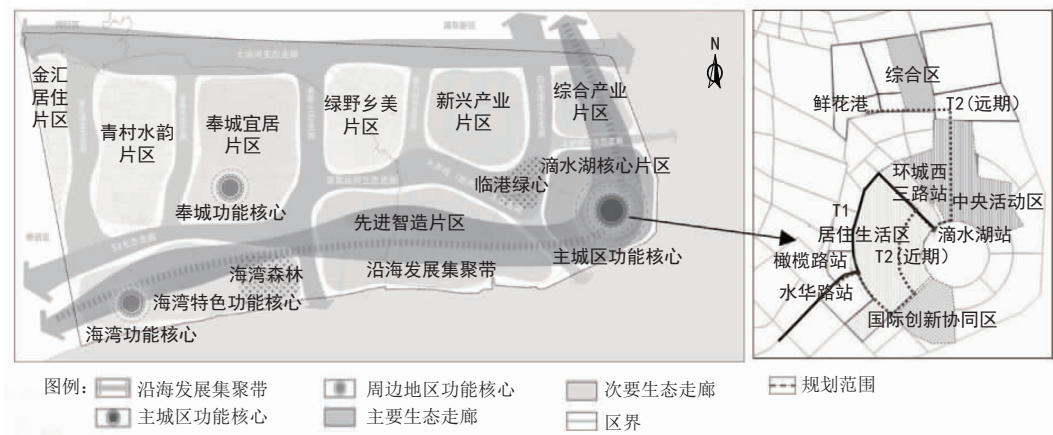


图 2 临港片区及其中运量项目沿线功能组团

率、小汽车转移比、土地开发价值提升、人均碳排放量等。黄晓斌^[9]认为可以从客流效益、运营管理、服

T1 线与 T2 线项目的开发能够提供品质较高的公共交通服务,满足临港新片区民出行需求,缓解轨道交通 16 号线服务不足,显著缩短就业居民通勤所需时间,带动沿线组团发展。此外,T1 线与 T2 线将临港主城区的骨干走廊和轨道交通高效衔接,实现中心城与临港主城区的快速连通需求。同时中运量公交系统,有利于培育客流,促进私人小汽车交通向更为优质的公共交通转移,积极响应了上海作为“公交都市”、“优先发展城市公共交通”的号召,有利于树立临港新片区公共交通的品牌形象。

2 运行服务评估指标选择

指标的选择要能够系统全面且客观真实地反应临港片区中运量 T1 线与 T2 线的运行情况。根据《城市轨道交通服务质量评价规范》,评价内容包括乘客满意度评价、服务保障能力评价和运营服务关键指标评价三个方面,其中乘客满意度评价涉及轨道环境与秩序、设施运行水平、换乘便捷性等;服务保障能力评价涉及进出站服务、问询服务、购检票服务以及候车乘车服务等;运营服务关键指标评价涉及行车服务、客运设施可靠性、乘客投诉回应等^[6]。此外,一些学者也对评估指标的选择作出了贡献,例如陈可心^[7]提出可从客流效益、运行管理、乘客满意度和交通影响四个方面对有轨电车运行服务进行评价,具体包括工作日日均客运量、客运强度、平均发车间隔、配套设施、美观舒适、候车时间、高峰时段有轨电车与机动车的车速比等共 19 个指标。郑进炫^[8]强调可从规划功能、运营服务、交通影响和综合效益四个维度对有轨电车进行后评估,指标涉及日均客运量、客运强度、出行时间、准点率、沿线路口延误、事故

务水平和交通影响这四个方面对淮安有轨电车的运营服务进行评估,具体包括工作日日均客运量、客运

强度、平均发车间隔、准点率、美观舒适、换乘时间、沿线高峰时段有轨电车与社会车辆的车速比等 19 个指标。

基于系统性、科学性与可操作性原则,本研究从相关文献与规范中梳理出客流效率、运行服务、乘客满意度和交通影响四个维度共计 19 个指标来构建评估递阶层次结构(见表 1)。

表 1 临港片区中运量公交运行服务评估指标体系

目标层	准则层	指标层
临港片区中运量公交运行服务评估	客流效率 Q_A	高峰小时断面客流 A_1
		日均客运量 A_2
		客运强度 A_3
		与轨道交通换乘比例 A_4
		与常规公交换乘比例 A_5
	运行服务 Q_B	准点率 B_1
		满载率 B_2
		旅行速度 B_3
		平均发车间隔 B_4
		平均延误时间 B_5
	乘客满意度 Q_C	候 / 乘车舒适度 C_1
		平均候车时长 C_2
		平均换乘距离 C_3
		票价水平 C_4
	交通影响 Q_D	高峰时段沿线机动车流量 D_1
		沿线机动车平均行驶速度 D_2
		与其沿线机动车速度比 D_3
		交叉口延误时间 D_4
		安全事故发生率 D_5

值得指出的是,上述指标集虽是针对临港片区中运量公交构建的运行服务评估体系,但指标的选择具有适用性和代表性,也可用于其他地区类似中运量公交项目的运行服务评估。

3 基于层次分析法的运行服务评估模型

层次分析法是一种能够处理多目标、多准则、多因素、多层次复杂决策与评价问题的系统分析方法。该方法将定性分析与定量分析结合,减少了人为因素的干扰,既保持了评价的客观性又实用易懂^[7]。因此本研究采用层次分析法构建中运量公交运行服务评估模型(见图 3),具体流程分为五步:一是建立递阶层次结构,包括目标层、准则层和指标层;二是通过两两比较,构造判断矩阵;三是层次单排序及一致性检验;四是层次总排序及一致性检验;五是得到评估体系及对应权重。

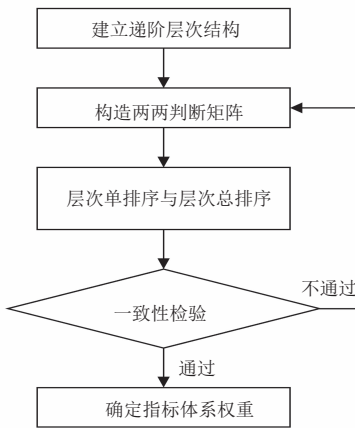


图 3 层次分析法评估流程

根据上文指标体系(见表 1)构建判断矩阵。通过两两比较,由调研情况及专家判断不同指标对某一准则的相对重要性,以数字 1-5 及其倒数表示不同程度作为标度。各因素集的判断矩阵见表 2 至表 5。

表 2 客流效率层面的判断矩阵 A 及权重

指标	重要性标度值					权重
	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	
A_1	1	2	1/2	1/4	1/3	0.101 5
A_2	1/2	1	1/2	1/5	1/3	0.073 5
A_3	2	2	1	1/3	1/2	0.153 9
A_4	4	5	3	1	1/2	0.329 4
A_5	3	3	2	2	1	0.341 7

通过方根法求得表 2 中矩阵的最大特征值和最大特征向量,进而计算客流效率层面的单排序权值并判断其一致性,具体如下。

判断矩阵 A 的最大特征向量为 $W_A = (0.101\ 5, 0.073\ 5, 0.153\ 9, 0.329\ 4, 0.341\ 7)$, 其最大特征值 $\lambda_{\max}^A$ 与一致性指标 CI 分别为:

$$\lambda_{\max}^A = \sum_{i=1}^5 \frac{[A W_A]_i}{5 W_i^A} = 5.211\ 1 \tag{1}$$

$$CI = \frac{\lambda_{\max}^A - n}{n - 1} = \frac{5.211\ 1 - 5}{5 - 1} = 0.052\ 8 \tag{2}$$

式中: n 为判断矩阵 A 的阶数,当 $n=5$ 时,查随机一致性指标(RI)表可得, $RI=1.12$,那么一致性比率 $CR=CI/RI=0.047\ 1 < 0.1$,表明判断矩阵 A 具有较好一致性,一致性检验通过。

根据表 3,计算运行服务层面的单排序权值并判断其一致性,具体如下。

判断矩阵 B 的最大特征向量为 $W^B = (0.206\ 1, 0.076\ 3, 0.080\ 8, 0.256\ 7, 0.380\ 1)$, 其最大特征值 $\lambda_{\max}^B$ 与一致性指标 CI 分别为:

表3 运行服务层面的判断矩阵B及权重

指标	重要性标度值					权重
	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	
B_1	1	4	3	1/2	1/2	0.206 1
B_2	1/4	1	1	1/3	1/4	0.076 3
B_3	1/3	1	1	1/3	1/4	0.080 8
B_4	2	3	3	1	1/2	0.256 7
B_5	2	4	4	2	1	0.380 1

$$\lambda_{\max}^B = \sum_{i=1}^5 \frac{[BW^B]_i}{5W_i^B} = 5.120 6 \quad (3)$$

$$CI = \frac{\lambda_{\max}^B - n}{n-1} = \frac{5.120 6 - 5}{5-1} = 0.030 2 \quad (4)$$

式中: n 为判断矩阵 B 的阶数,当 $n=5$ 时,查随机一致性指标 RI 表可得, $RI=1.12$,那么一致性比率 $CR=CI/RI=0.027 0<0.1$,表明判断矩阵 B 具有较好一致性,一致性检验通过。

根据表4,计算乘客满意度层面的单排序权值并判断其一致性,具体如下。

表4 乘客满意度层面的判断矩阵C及权重

指标	重要性标度值				权重
	C_1	C_2	C_3	C_4	
C_1	1	1/4	1/3	1/2	0.100 4
C_2	4	1	3/2	2	0.413 4
C_3	3	2/3	1	1/2	0.222 1
C_4	2	1/2	2	1	0.264 1

判断矩阵 C 的最大特征向量为 $W^C=(0.100 4, 0.413 4, 0.222 1, 0.264 1)$,其最大特征值 $\lambda_{\max}^C$ 与一致性指标 CI 分别为:

$$\lambda_{\max}^C = \sum_{i=1}^4 \frac{[CW^C]_i}{4W_i^C} = 4.138 4 \quad (5)$$

$$CI = \frac{\lambda_{\max}^C - n}{n-1} = \frac{4.138 4 - 4}{4-1} = 0.046 1 \quad (6)$$

式中: n 为判断矩阵 C 的阶数,当 $n=4$ 时,查随机一致性指标 RI 表可得, $RI=0.89$,那么一致性比率 $CR=CI/RI=0.051 8<0.1$,表明判断矩阵 C 具有较好一致性,一致性检验通过。

根据表5,计算环境影响层面的单排序权值并判断其一致性,具体如下。

判断矩阵 D 的最大特征向量为 $W^D=(0.087 9, 0.087 9, 0.153 1, 0.257 6, 0.413 5)$,其最大特征值 $\lambda_{\max}^D$ 与一致性指标 CI 分别为:

$$\lambda_{\max}^D = \sum_{i=1}^5 \frac{[DW^D]_i}{5W_i^D} = 5.036 4 \quad (7)$$

$$CI = \frac{\lambda_{\max}^D - n}{n-1} = \frac{5.036 4 - 5}{5-1} = 0.009 1 \quad (8)$$

表5 环境影响层面的判断矩阵D及权重

指标	重要性标度值					权重
	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	
D_1	1	1	1/2	1/3	1/4	0.087 9
D_2	1	1	1/2	1/3	1/4	0.087 9
D_3	2	2	1	1/2	1/3	0.153 1
D_4	3	3	2	1	1/2	0.257 6
D_5	4	4	3	2	1	0.413 5

式中: n 为判断矩阵 D 的阶数,当 $n=5$ 时,查随机一致性指标 RI 表可得, $RI=1.12$,那么一致性比率 $CR=CI/RI=0.008 1<0.1$,表明判断矩阵 D 具有较好一致性,一致性检验通过。

最后对准则层的客流效率、运行服务、乘客满意度和交通影响4方面进行两两比较,确定其判断矩阵及权重见表6。

表6 准则层面的判断矩阵Q及权重

指标	重要性标度值				权重
	Q_A	Q_B	Q_C	Q_D	
Q_A	1	1/2	1/2	3/2	0.182 7
Q_B	2	1	1	3/2	0.307 2
Q_C	2	1	1	3	0.365 3
Q_D	2/3	2/3	1/3	1	0.144 8

判断矩阵 Q 的最大特征向量为 $W^Q=(0.182 7, 0.307 2, 0.365 3, 0.144 8)$,其最大特征值 $\lambda_{\max}^Q$ 与一致性指标 CI 分别为:

$$\lambda_{\max}^Q = \sum_{i=1}^4 \frac{[QW^Q]_i}{4W_i^Q} = 4.060 6 \quad (9)$$

$$CI = \frac{\lambda_{\max}^Q - n}{n-1} = \frac{4.060 6 - 4}{4-1} = 0.030 2 \quad (10)$$

式中: n 为判断矩阵 Q 的阶数,当 $n=4$ 时,查随机一致性指标 RI 表可得, $RI=0.89$,那么一致性比率 $CR=CI/RI=0.022 7<0.1$,表明判断矩阵 Q 具有较好一致性,一致性检验通过。

根据上文评估递阶层次结构的构建与权重计算,可以获取整个指标体系及其对应权重,见表7。

基于层次分析法要义,中运量公交运行服务评估得分可计算如下:

$$S = \sum_{Q_k \in E} w_k^Q (\sum_{K_i \in Q_k} w_i^K V_i) \quad (11)$$

式中: S 为线路的运行服务评估得分; w_k^Q 为第 K 个准则的权重; w_i^K 为第 K 个准则下第 i 个指标的权重; V_i 为第 K 个准则下第 i 个指标的打分值,该值可根据不同指标的特征分别通过实地调研、问卷调查、公交公司访谈等方式获取基本数据,并消除量纲而得到。由

表7 中运量公交(T2线)运行服务评估指标体系及权重

目标层	准则层		指标层	
	准则 Q_k	权重	指标 K_i	权重
临港片 区中运 量公交 运行服 务评估	客流 效率 Q_A	0.182 7	高峰小时断面客流 A_1	0.101 5
			日均客运量 A_2	0.073 5
			客运强度 A_3	0.153 9
			与轨道交通换乘比例 A_4	0.329 4
			与常规公交换乘比例 A_5	0.341 7
	运行 服务 Q_B	0.307 2	准点率 B_1	0.206 1
			满载率 B_2	0.076 3
			旅行速度 B_3	0.080 8
			平均发车间隔 B_4	0.256 7
			平均延误时间 B_5	0.380 1
	乘客 满意度 Q_C	0.365 3	候 / 乘车舒适度 C_1	0.100 4
			平均候车时长 C_2	0.413 4
			平均换乘距离 C_3	0.222 1
			票价水平 C_4	0.264 1
	交通 影响 Q_D	0.144 8	高峰时段沿线机动车流量 D_1	0.087 9
			沿线机动车平均行驶速度 D_2	0.087 9
			T2线与其沿线机动车速度比 D_3	0.153 1
			交叉口延误时间 D_4	0.257 6
			安全事故发生率 D_5	0.413 5

于T1线与T2线正式运行时间较短,数据量少,且本文重点在于提供评估指标体系与方法,因此不再赘述评估结果。

4 结论与建议

本文通过分析临港片区中运量公交的项目特征及功能定位,提出了一套包含四个维度共19个指标的运行服务评估体系,并建立了基于层次分析法的评估模型,发现准则层中乘客满意度、运行服务、客流效率、交通影响对于运行服务的重要程度依次递减。

乘客满意度是中运量公交发挥预期功能定位与运行目标的内驱动力,高水平的乘客满意度将增强

乘客黏性,并吸引更多的潜在乘客。在该准则层下,平均候车时长是最为关键的因素。建议中运量公交项目运营过程中及时改善运行班次,增加相关线路以缩短乘客平均候车时间,这对快节奏的都市生活至关重要。此外,平均发车间隔与平均延误时间是运行服务层面相对关键的因素,这也是中运量公交区别于其他类型公交的优势与吸引点。中运量公交运营要特别考虑发车间隔是否合理,严格控制延误时长。而客流效率层面,与轨道交通及常规公交的换乘比例是较为关键的因素。对于临港片区而言,中运量公交的功能使命便是畅通临港片区的公共交通网络,弥补其轨道交通与常规公交的运力不足,因而便利的换乘显得尤为重要。对于交通影响层面,安全事故发生率及交叉口延误时间是相对关键因素。这是因为中运量公交属于地面交通,其日常运行势必会对路面其他交通产生一定影响,为实现中运量公交的可持续发展,建议运营期间严格控制安全事故发生率及交叉口延误时间。

参考文献:

[1] 赵宝鹏,黄静兰,钟映梅,等.城市中运量公共交通系统的比较分析与建议[J].公路,2021,66(2):249-253.
[2] CJJ/T 114—2007,城市公共交通分类标准[S].
[3] 张盛.关于上海中运量发展的若干思考[C]//2019世界交通运输大会论文集.北京:中国学术期刊电子出版社,2019.
[4] 陆荣杰.超大城市中运量系统功能定位研究——以上海市轨道交通局域线为例[J].交通与运输,2020,33(2):136-142.
[5] 夏春生.新型中运量城市公共交通系统的分析与实践[J].城市轨道交通研究,2018,21(5):95-100.
[6] 中华人民共和国交通运输部.城市轨道交通服务质量评价规范[Z].北京:中华人民共和国交通运输部,2019.
[7] 陈可心.基于层次分析法的有轨电车运行服务评估体系[J].城市轨道交通研究,2020,23(1):112-115.
[8] 郑进炫.基于层次分析法的现代有轨电车项目后评估体系探索[J].交通与运输,2022,35(1):176-179.
[9] 黄晓斌.淮安有轨电车运营服务评估[J].城市轨道交通研究,2020,23(1):123-127.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿邮箱:cdq@smcdi.com 电话:021-55008850 联系邮箱:cdq@smcdi.com