

# 低运量城市公共交通系统制式比选及适用性研究

魏威

(上海市城市规划设计研究院, 上海 200040)

**摘要:** 为提高低运量城市公共交通系统制式选择的科学性、提升综合效益, 对典型系统制式进行特征对比分析, 研究选用原则和适用情形。重点研究有轨电车、自动导向轨道系统、悬挂式单轨交通、快速公共汽车交通系统、智能轨道快运系统5种典型低运量城市公共交通系统, 从客运能力和运输效率、运营组织、车辆通过性和出行体验、投资造价、影响分析等方面进行综合分析。提出低运量城市公共交通系统制式选用应与城市区位、社会需求、客流指标、经济水平、交通特征、环境要求等相结合, 同时给出5种典型制式各自的适用情形。研究成果有助于指导城市公共交通规划和辅助政府决策。

**关键词:** 低运量城市公共交通; 制式比选; 有轨电车; 自动导向轨道系统; 悬挂式单轨交通; BRT; ART

Systematic Comparison and Applicability Analysis of Low-Capacity Urban Public Transportation Systems

WEI wei

(Shanghai Urban Planning & Design Research Institute, Shanghai 200040, China)

**Abstract:** To select the system types of low-capacity urban public transportation in a more scientific way and improve the overall system benefits, this paper presents a comparative analysis of the characteristics of typical low-capacity urban public transportation systems, including the selection principles and relevant scenarios. With a focus on five standards of typical low-capacity urban public transportation systems such as tramcars, automated guided transit systems, suspended monorail, Bus Rapid Transit (BRT), and Autonomous Rail Rapid Transit (ART), a comprehensive analysis is conducted on passenger capacity and transportation efficiency, operational organization, vehicle maneuverability and travel experience, investment costs and impacts. The paper proposes that low-capacity urban public transportation system types should be selected based on urban location, social needs, passenger flow indexes, economic conditions, transportation characteristics, and environmental requirements. The paper also provides relevant scenarios for each of the five typical systems. The research results can be used for guiding the planning of urban public transportation and assisting government decision-making.

**Keywords:** low-capacity urban public transportation; comparison and selection of system types; tramcars; automated guided transit system; suspended monorail; BRT; ART

收稿日期: 2023-01-21

作者简介: 魏威(1989—), 男, 江苏徐州人, 硕士, 工程师, 注册城乡规划师, 注册咨询工程师(投资), 主要研究方向: 综合交通规划、城市轨道交通规划、道路交通规划。

E-mail: 574365306@qq.com

## 0 引言

城市轨道交通按客运能力可分为高运量、大运量、中运量和低运量等类型。其中高运量、大运量、中运量城市轨道交通构成城市轨道交通主骨架, 单向客运能力分别为4.5万~7.0万人次·h<sup>-1</sup>、2.5万~5.0万人次·h<sup>-1</sup>、

1.0万~3.0万人次·h<sup>-1</sup><sup>[1]</sup>, 通常采用地铁、轻轨、市域快轨、磁浮交通、跨座式单轨交通等制式, 具有技术标准高、速度快、运量大等优势, 同时呈现建设运营成本高、申报条件高、建设周期长等特点。

低运量城市公共交通系统指单向客运能力小于1.0万人次·h<sup>-1</sup>的城市公共客运交通系



a 车辆



b 正线



c 联络线

图1 上海松江有轨电车

Fig.1 Songjiang tram system in Shanghai



图2 法国巴黎有轨电车

Fig.2 Paris tram system in France

资料来源: City Block (<https://www.alexblock.net/blog/2012/07/>)。

统,包括低运量城市轨道交通和城市道路公共交通。其中,低运量城市轨道交通一般采用有轨电车、自动导向轨道(Automated Guideway Transit, AGT)系统、悬挂式单轨交通等制式,城市道路公共交通一般采用快速公共汽车交通系统(Bus Rapid Transit, BRT)、智能轨道快运系统(Autonomous-rail Rapid Transit, ART)、公共汽电车等制式。低运量城市公共交通系统主要提供中短距离出行服务,与高运量、大运量、中运量城市轨道交通共同组成多模式的公共交通系统,具有建设运营成本低、建设周期短、地形适应性好、系统体量小、车辆通过性好等特点,有助于增强城市公共交通系统运营组织灵活性,提高城市用地适应性、城市公共交通车站覆盖率和公共交通出行比例。

系统制式的多样性为低运量城市公共交通发展提供了更多可能性,也对系统制式的科学合理选用提出了更高要求。本文将将有轨电车、自动导向轨道系统、悬挂式单轨交通、BRT、ART等运量相对较大的典型低运量城市公共交通系统作为研究对象,对5种系统制式的特征进行对比分析,研究选用原则和适用情形。

## 1 低运量城市公共交通系统及特征

### 1.1 有轨电车

有轨电车是一种与道路上其他交通方式共享路权的低运量城市轨道交通<sup>[1]</sup>,在我国的低运量城市轨道交通系统中应用最为广泛。截至2022年底,中国内地运营城市轨道交通线路总长度1 0287.45 km,其中有轨电车线路总长度564.77 km,占5.49%<sup>[2]</sup>,仅次于地铁和市域快速轨道交通。当前中国运营有轨电车的城市主要有北京、上海、天津、广州、深圳、武汉、南京、沈阳、长春、大连、成都、苏州、佛山、青岛、淮安、珠海、天水、三亚、嘉兴、文山州、南平、黄石等22个城市<sup>[2]</sup>,红河州、弥勒、德令哈、安顺、黔南州、保山等城市也在规划、建设有轨电车。

#### 1) 基本特征。

通常采用地面敷设方式,可与街道融合设计,拥有封闭独立路权或半封闭优先路权;单向客运能力0.8万~1.3万人次·h<sup>-1</sup>(以5~7节编组、2 min·班次<sup>-1</sup>的发车频率计算<sup>[3-4]</sup>);速度较快,设计速度65~80 km·h<sup>-1</sup><sup>[5]</sup>,平均行驶速度20~30 km·h<sup>-1</sup><sup>[3]</sup>;在线路间设置联络线可实现网络化运营。

#### 2) 车辆特征。

爬坡能力较强(车辆最大爬坡度60%~80%),转弯半径小(最小曲线半径15~25 m)<sup>[5]</sup>;采用模块化车辆,可灵活编组运行,如常见的5节编组(长33 m)和7节编组(长44 m)<sup>[3]</sup>;采用低地板车辆设计,便于乘客上下车,应急疏散便捷;运行平稳,乘坐舒适度高;利用电力驱动,无尾气排放,噪声低,无轮胎磨损造成的粉尘污染;线路外观时尚(见图1和图2)。

#### 3) 投资运维。

综合造价适中,为0.8亿~1.8亿元·km<sup>-1</sup><sup>[6]</sup>



a 线路全高架敷设



b 车辆

图3 上海地铁浦江线

Fig.3 Pujiang Line of Shanghai Subway

资料来源：上海地铁(<http://www.shmetro.com/node49/201803/con115042.htm>)。



图4 德国乌帕塔尔悬挂式单轨交通

Fig.4 Wuppertal suspended monorail in Germany

资料来源：百度百科(<https://baike.baidu.com/item/%E4%BC%8D%E7%8F%80%E5%A1%94%E5%B0%94%E6%82%AC%E6%8C%82%E5%BC%8F%E5%8D%95%E8%BD%A8%E7%94%B5%E8%BD%A6/12667911?fr=aladdin>)。



图5 武汉光谷悬挂式单轨交通

Fig.5 Optics Valley suspended monorail in Wuhan, China

资料来源：国务院国有资产监督管理委员会 (<http://www.sasac.gov.cn/n2588025/n2588124/c27916655/content.html>)。

(包括建筑安装工程费和车辆购置费)；初期购置车辆投资较高，但车辆寿命长，后期综合维护成本低，网络化运营维护费用较低。

## 1.2 自动导向轨道系统

自动导向轨道系统是指在混凝土轨道上，采用橡胶轮胎，并通过导向装置，自动导引车辆运行方向的轨道交通系统<sup>[1]</sup>。按车辆技术标准不同，自动导向轨道系统分为乘客自动运输系统(Automated People Mover, APM)、自动轻轨车辆(Véhicule Automatique Léger, VAL)、韩国宇进自动导向轨道交通系统(Korea Automated Guided Transit, K-AGT)等<sup>[7]</sup>。当前中国运营的线路主要有上海地铁浦江线、广州地铁 APM 线、北京首都国际机场 APM 线(见图 3)。

### 1) 基本特征。

通常采用高架或地下敷设，拥有封闭独立路权；单向客运能力 0.5 万~2.5 万人次·h<sup>-1</sup>；速度较快，设计速度 70~80 km·h<sup>-1</sup>，平均行

驶速度 25~30 km·h<sup>-1</sup><sup>[8]</sup>。

### 2) 车辆特征。

爬坡能力较强(车辆最大爬坡度 100%~120%)，转弯半径较小(最小曲线半径 22~40 m)；车辆可灵活编组运行，通常采用 2~6 节编组<sup>[7]</sup>；采用高架或地下车站，乘客进出车站和应急疏散便捷性较差；通常为全自动无人驾驶，车辆运行平稳，乘坐舒适度较高；利用电力驱动，无尾气排放，噪声低，但橡胶轮胎磨损易产生粉尘污染。

### 3) 投资运维。

综合造价较高，为 1.0 亿~4.0 亿元·km<sup>-1</sup><sup>[8]</sup>(包括建筑安装工程费和车辆购置费)；运营维护成本较高。

## 1.3 悬挂式单轨交通

悬挂式单轨交通是指采用电力牵引列车在一条轨道梁下方运行的低运量城市轨道交通<sup>[1]</sup>，起源于德国老工业城市乌帕塔尔市(Wuppertal)(见图 4)。当前中国内地运营线路

主要有武汉光谷悬挂式单轨交通(见图5),同时多地拟建或在建悬挂式单轨交通,如贵州安顺黄果树、贵州黔东南州、四川攀枝花、长沙大王山、陕西渭南等,主要作为旅游观光线。

1) 基本特征。

采用高架敷设,拥有封闭独立路权;单向客运能力0.80万~1.25万人次·h<sup>-1</sup>;速度较快,设计速度80 km·h<sup>-1</sup>,平均行驶速度20~35 km·h<sup>-1</sup>。<sup>[4]</sup>

2) 车辆特征。

爬坡能力较强(车辆最大爬坡度60%<sup>[4]</sup>),转弯半径较小(最小曲线半径30~50 m<sup>[9]</sup>);车辆可灵活编组运行;采用高架车站,乘客进出车站和应急疏散便捷性较差;运行平稳性一般,乘客舒适性一般;利用电力驱动,无尾气排放,噪声低,但橡胶轮胎磨损易产生粉尘污染。

3) 投资运维。

综合造价较高,为2.2亿~2.7亿元·km<sup>-1</sup><sup>[10]</sup>(包括建筑安装工程费和车辆购置费,若提高国产化水平可降低综合造价);运营维护成本较高。

1.4 BRT

BRT是一种介于城市轨道交通和公共汽车之间的低运量城市公共交通系统,利用大容量、高性能公共汽车沿专用车道按班次运行,由智能调度系统和优先通行信号系统控制,实现类似城市轨道交通的运营服务。BRT具有投资小、形式灵活、比公共汽电车运能大、服务水平更高等优势<sup>[11, 4]</sup>。北京、上海、广州、厦门、常州、连云港等城市均有运营(见图6)。

1) 基本特征。

采用地面或高架敷设,设专用车道,拥有封闭独立路权或半封闭优先路权;载客量相对于低运量城市轨道交通更小,对大客流的适应性较差,单向客运能力≤0.6万人次·h<sup>-1</sup>(以长度18 m大型车、2 min·班次<sup>-1</sup>发车频率、单车发送计算)<sup>[4, 11]</sup>;速度适中,设计速度60 km·h<sup>-1</sup><sup>[11]</sup>,采用地面敷设、部分独立路权时平均行驶速度20~25 km·h<sup>-1</sup>,采用高架专用车道、封闭独立路权时平均行驶速度25~40 km·h<sup>-1</sup><sup>[4, 11]</sup>;运营组织灵活,车辆调度便捷。

2) 车辆特征。

爬坡能力强(部分车型最大爬坡度150%<sup>[12]</sup>),



a 高架专用车道



b 车辆

图6 厦门BRT

Fig.6 BRT in Xiamen, China

资料来源: 厦门地铁(<https://www.xmgdjt.com.cn/HTML/347aaaf9-92e0-6a4b-94ff-2e46025f8ce5.html>)。



a 地面路中式专用道



b 车辆

图7 四川宜宾ART

Fig.7 Yibin ART in Sichuan, China

资料来源: 搜狐网([https://www.sohu.com/a/621480701\\_120569270](https://www.sohu.com/a/621480701_120569270))。

转弯半径小(最小曲线半径12 m);通常采用地面车站,乘客上下车方便,应急疏散便捷;运行平稳性一般,乘客舒适性较低;利用电力、汽油或柴油驱动,若采用化石燃料则有尾气排放;车辆噪声较大,橡胶轮胎磨损易产生粉尘污染。

### 3) 投资运维。

综合造价低,为0.5亿~0.7亿元·km<sup>-1</sup>(包括建筑安装工程费和车辆购置费);初期车辆投资低,车辆寿命短,后期运营维护成本较高。

## 1.5 ART

ART是一种具有轨迹跟随能力的电力驱动的新型胶轮虚拟轨道交通运输系统,被视为城市轨道交通和公共汽电车的跨界产品,在湖南株洲、四川宜宾等城市运营(见图7)。

### 1) 基本特征。

通常采用地面敷设,采用专用车道,拥有封闭独立路权或半封闭优先路权;单向客运能力0.6万~1.2万人次·h<sup>-1</sup>(以2~4节编组、2 min·班次<sup>-1</sup>的发车频率计算);速度适中,设计速度70 km·h<sup>-1</sup>[13],平均行驶速度20~30 km·h<sup>-1</sup>。

### 2) 车辆特征。

爬坡能力强(车辆最大爬坡度130‰),

转弯半径较小(最小曲线半径15 m)<sup>[13]</sup>;通常采用2~4节编组运行;采用地面车站,乘客上下车方便,应急疏散便捷;运行平稳度和乘客舒适度一般;利用电力驱动,车辆噪声较小,但橡胶轮胎磨损产生粉尘污染。此外,车辆荷载较重,对路面损坏较大,随着运营时间增加,路面产生不均匀沉降,乘坐舒适性降低。

### 3) 投资运维。

综合造价较低,为0.5亿~0.8亿元·km<sup>-1</sup>(包括建筑安装工程费和车辆购置费);后期运营维护成本较高。此外,ART车辆购置费用相对于BRT更高,车辆寿命(20~25年)相对于BRT(6~8年)更长<sup>[13]</sup>。

### 4) 技术成熟度及可靠性。

ART通过图像识别进行自主导向循迹,对路面清洁度要求高,当前识别技术相对不成熟,可靠性相对较差。

## 2 制式比选和适用性分析

### 2.1 制式特征对比

本文从客运能力和运输效率、运营组织、车辆通过性和出行体验、投资造价、影响分析5个方面对典型低运量城市公共交通

表1 低运量城市公共交通系统制式对比分析

Tab.1 Comparison of low-capacity urban public transportation system types

特征指标		有轨电车	自动导向轨道系统	悬挂式单轨交通	BRT	ART
客运能力和运输效率	单向客运能力/(万人次·h <sup>-1</sup> )	0.8~1.3	0.5~2.5	0.80~1.25	≤0.6	0.6~1.2
	设计速度/(km·h <sup>-1</sup> )	65~80	70~80	80	60	70
	平均行驶速度/(km·h <sup>-1</sup> )	20~30	25~30	25~35	20~25	20~30
	敷设方式	地面	高架/地下	高架	地面/高架	地面
	路权形式	封闭独立路权/半封闭优先路权	封闭独立路权	封闭独立路权	封闭独立路权/半封闭优先路权	封闭独立路权/半封闭优先路权
运营组织	轨道互联互通/跨线运营	具备	无	无	具备	具备
车辆通过性和出行体验	最小转弯半径/m	15~25	22~40	30~50	12	15
	爬坡能力(车辆最大爬坡度/‰)	较强(60~80)	较强(100~120)	较强(60)	强(150)	强(130)
	乘坐舒适度	高	较高	一般	较低	一般
投资造价	综合造价/(亿元·km <sup>-1</sup> )	适中(0.8~1.8)	较高(1.0~4.0)	较高(2.2~2.7)	最低(0.5~0.7)	较低(0.5~0.8)
	运营维护成本(相对于初期投资)	较低	较高	较高	较高	较高
影响分析	运营期间环境影响	小	较小	较小	较大	适中
	运营期间交通影响	适中	无	无	较大	较大
	建设期间交通影响	较大	较小	较小	较大	较大

系统的特征进行总结(见表1)。5种低运量城市公共交通系统具有相近的设计速度(60~80 km·h<sup>-1</sup>),但在平均行驶速度、敷设方式、路权形式、运营组织、车辆特性、出行体验、投资造价、相关影响等方面具有不同特征。

3种低运量城市轨道交通普遍具有平均行驶速度快、乘坐舒适度高、运营阶段环境影响小、可灵活编组、运量大、对交通影响较小等优点,但投资造价较高。其中,自动导向轨道系统和悬挂式单轨交通拥有封闭独立路权,具有更高的平均行驶速度和更好的出行体验,对道路交通运行影响最小;有轨电车利用联络线可实现网络化运营,有利于发挥线网规模效益,提高运营灵活性和服务水平,实现资源共享,降低运营成本。

BRT和ART投资造价低、爬坡能力更强、转弯半径更小,但客运能力和平均行驶速度较低,同时对环境和道路交通运行影响相对较大。

## 2.2 制式选用原则

城市公共交通规划应结合城市区位、社会需求、客流指标、经济水平、交通特征、环境要求等选用适宜的低运量城市公共交通系统制式,具体应遵循以下原则:

1) 满足地区服务需求。以满足地区服务需求为首要导向,匹配系统速度指标与地区效率目标,匹配公共交通线网布局与地区空间格局,支撑和引导城市发展。

2) 提高客流适应性,优化资源配置。应具备较好的客流适应性,匹配系统运量与地区客流需求,匹配高峰期与平峰期客流差异。

3) 匹配地形特征,满足爬坡转向能力。结合地区地形类型,选用满足爬坡能力和转向能力的系统制式。

4) 追求工程投资经济性。在引导城市合理发展、满足客流需求和乘坐舒适度的基础上,尽可能节约工程投资,并同步考虑后期运营成本。

5) 统筹相关因素,综合决策。统筹考虑产业基础和产业规划、技术成熟度、环境品质、建设周期、交通影响等因素,科学决策,合理选用。

## 2.3 适用性分析

1) 有轨电车。

在大城市中心城区承担大运量城市轨道交通系统的延伸、接驳和加密功能;在大城

市外围地区、新城,或中小城市中心城区承担骨干公共交通功能;还可用于旅游观光线、科创产业园区轨道交通车站接驳线等。

2) 自动导向轨道系统。

除具备有轨电车的适用情形外,还适用于城市短距离轨道交通线、机场内部捷运线或旅游景点观光线<sup>[14]</sup>;因爬坡能力较强,适用于地势起伏较大或空间狭小区域;因转弯半径小、运营阶段环境影响小,适用于中心城区内建筑物密集、环境要求较高的地区;也可用于学校、医院等具有特殊服务需求的线路。

3) 悬挂式单轨交通。

除具备有轨电车的适用情形外,还适用于客流集散点间(如机场、CBD、旅游景点、大型商圈等特定场所)、中小城市中心城区内部的接驳连接;适用于地面道路资源紧张、道路转弯半径小、路幅较窄、地形条件较差的地区<sup>[4,15]</sup>。

4) BRT。

适用于城市中心城区道路较宽、客流量稍大的客流走廊;适用于城市轨道交通车站的接驳线;适用于大城市新城或远郊、中小城市构建公共交通骨干网络;适用于对客流量大的公共汽电车线路进行提升改造,优化客流适应性;对于近期功能定位暂不明确地区,可先采用BRT培育客流,未来再进行系统提升改造<sup>[16]</sup>。

5) ART。

除具备BRT的适用场景外,还适用于对既有BRT或公交专用车道走廊进行提升改造,提高客流走廊客运能力与服务水平<sup>[13]</sup>。

## 3 结束语

通过对有轨电车、自动导向轨道系统、悬挂式单轨交通、BRT和ART等5种低运量城市公共交通系统进行特征比较研究,提出低运量城市公共交通典型系统制式选用原则和适用情形。总体来看,作为中国最广泛应用的低运量城市轨道交通,有轨电车在客运能力、速度、舒适性、便捷性等方面均具有一定优势;自动导向轨道系统、悬挂式单轨交通具有封闭独立路权和较高的平均行驶速度,但投资造价较高;BRT投资造价最低,但运量小、运营阶段环境影响较大;ART作为新型的公共交通系统整合了有轨电车和BRT的优势,平均行驶速度、运营平稳性和乘客舒适度有一定提高,且投资造价低于有

轨电车,但技术成熟度及可靠性、管理模式等方面有待进一步完善。5种低运量城市轨道交通系统在服务功能上存在重合,制式选择上应与城市区位、社会需求、客流指标、经济水平、交通特征、环境要求等相结合,并统筹考虑相关因素,科学规划,合理选用。

参考文献:

References:

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部.城市轨道交通工程基本术语标准:GB/T 50833—2012[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.  
Ministry of Housing and Urban Rural Development of the P.R.C. Standard for basic terminology of urban rail transit engineering: GB/T 50833—2012[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012.
- [2] 中国城市轨道交通协会.城市轨道交通2022年度统计和分析报告[EB/OL].(2023-01-03)[2023-03-31].<https://www.camet.org.cn/tjxx/11944>.
- [3] 陆锡明,李娜.科学理性地发展有轨电车[J].城市交通,2013,11(4):19-23.  
LU X M, LI N. Rational and sustainable development of streetcars[J]. Urban transport of China, 2013, 11(4): 19-23.
- [4] 中华人民共和国建设部.城市公共交通分类标准:CJJ/T 114—2007[S].北京:中国建筑工业出版社,2007.  
Ministry of Construction of the P.R.C. Standard for classification of urban public transportation: CJJ/T 114—2007[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2007.
- [5] 卫超.现代有轨电车的适用性研究[D].上海:同济大学,2008.  
WEI C. Study of the applicability of modern trams[D]. Shanghai: Tongji University, 2008.
- [6] 程兵.现代有轨电车工程造价对比分析及启示[J].价值工程,2016,35(11):62-65.  
CHENG B. A brief analysis on the cost of modern tramcar engineering and enlightenment [J]. Value engineering, 2016, 35(11): 62-65.
- [7] 曲婉,孙帅.自动导向轨道系统车辆及其走行部分分析[J].现代城市轨道交通,2020(9):6-12.  
QU W, SUN S. Analysis on vehicle and running parts of AGTS[J]. Modern urban transit, 2020(9): 6-12.
- [8] 张玉娇.中运量城市轨道交通系统及其在我国的适用性研究[D].北京:北京交通大学,2020.  
ZHANG Y J. Research on system mode and applicability of medium carrying-capacity urban rail transit in China[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2020.
- [9] 杨晓,韩冰,欧成章.悬挂式单轨最小曲线半径及缓和曲线理论研究[J].现代城市轨道交通,2019(9):85-90.  
YANG X, HAN B, OU C Z. Research on minimum curve radius and transitional curve theory of suspended monorail[J]. Modern urban transit, 2019(9): 85-90.
- [10] 李青,张博.悬挂式单轨工程造价指标研究分析[J].国防交通工程与技术,2020,18(s1):14-17.
- [11] 中华人民共和国住房和城乡建设部.快速公共汽车交通系统设计规范:CJJ 136—2010[S].北京:中国建筑工业出版社,2010.  
Ministry of Housing and Urban Rural Development of the P.R.C. Code for design of bus rapid transit system: CJJ 136—2010[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2010.
- [12] 刘海洲.城市快速公交专用道道路线形设计分析[J].交通科技与经济,2011,13(6):111-113.  
LIU H Z. A discussion based on urban bus rapid transit lane alignment design[J]. Technology & economy in areas of communications, 2011, 13(6): 111-113.
- [13] 梁粤华.智轨系统的市场定位与适用性研究[J].低碳世界,2021,11(11):117-119.
- [14] 牛悦丞,李芾,刘方伟,等.APM系统在城市轨道交通中的运用研究[J].电力机车与城轨车辆,2022,45(2):1-6.  
NIU Y C, LI F, LIU F W, et al. Application research of APM system in urban rail transit [J]. Electric locomotives & mass transit vehicles, 2022, 45(2): 1-6.
- [15] 朱鹏飞.悬挂式单轨交通的发展现状与应用展望[J].现代城市轨道交通,2020(4):96-100.  
ZHU P F. Development status and application prospect of suspended monorail[J]. Modern urban transit. 2020(4): 96-100.
- [16] 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.