

德国布伦瑞克市有轨电车线网规划特点分析及启示

梁帅文

(北京城建设计发展集团股份有限公司, 100037, 北京)

摘要 [目的] 有轨电车为德国布伦瑞克市唯一的城市轨道交通系统,也是该市公共交通骨干系统。总结其 2013 年启动的线网扩建项目线网规划阶段工作主要特点,对于我国有轨电车规划建设具有重要意义。[方法] 分析线网扩建项目线网规划阶段工作的主要内容,对其中的理念和方法进行总结。[结果及结论] 线网规划研究过程可分为三个阶段,主要内容分别为线路方案筛选、客流效益评价和经济效益评价,最终确定线网形态和线路廊道,为下阶段的线路设计提供依据。根据线路的路权形式初步确定各级政府对项目的投资补贴额度,明确项目的建设资金来源。线网规划阶段工作主要特点及给我国带来的启示为:坚定推行“公交优先”发展战略,因地制宜地打造以有轨电车为骨干、常规公交为补充的层次分明的公共交通体系;建立健全分级财政支撑体系,为项目建设提供资金保障;保障有轨电车的专有路权,提高有轨电车的服务水平;统筹考虑有轨电车建设对于整个城市交通系统的影响;注重有轨电车项目的经济效益分析,为决策提供量化依据。

关键词 有轨电车; 布伦瑞克; 线网规划; 规划特点

中图分类号 U212.1:U482.1

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.01.023

Analysis and Implications of Tram Line Network Planning Characteristics in Brunswick, Germany

LIANG Shuaiwen

(Beijing Urban Construction Design & Development Group Co., Ltd., 100037, Beijing, China)

Abstract [Objective] Tram network is the only urban rail transit system in Brunswick, Germany, serving as the backbone of the city's public transportation system. Summarizing the key features of the expansion project planning phase in the current network initiated in 2013 holds significant implications for tram planning and construction in China. [Method] By analyzing the main content of the network expansion project planning phase, an overview of the applied guiding principles and methodologies is provided. [Result & Conclusion] The line network planning research process is divided into three stages, focusing on route scheme selection, passenger flow benefit assessment, and economic benefit evaluation. These stages

culminate in the determination of the network structure and route corridors, providing a foundation for subsequent route design. Additionally, the preliminary allocation of investment subsidies by various levels of government, and sources of the construction funds for the project are determined based on the right of way format. The primary characteristics of the network planning phase work and the implications for China include: a firm commitment to the 'public transportation priority' development strategy, with context-specific construction of a clear-layered public transportation system featuring trams as the backbone and conventional buses as supplements; establishing a robust hierarchical financial support system to ensure financial security for the project construction; ensuring exclusive rights of way for trams to enhance service quality; a comprehensive consideration of the impact of tram construction on the entire urban transportation system; focusing on the economic benefit analysis of tram projects, providing quantitative basis for decision-making.

Key words tram; Brunswick; line network planning; planning characteristic

布伦瑞克市位于德国北部,是下萨克森州第二大城市,具有悠久的历史。从空间结构上看,城市轮廓南北稍长、东西稍窄,市区范围内地势平坦。市区总面积为 192.18 km²,常住人口约为 25 万人,全年 GDP(国民生产总值)为 123.8 亿欧元,折合人民币约为 990 亿元^[1]。布伦瑞克市内公共交通系统由有轨电车和常规道路公交组成,其中有轨电车线网为其骨干。

根据城市发展规划及人口预测,至 2030 年,布伦瑞克市将新增常住人口 15 000 人至 20 000 人,城市居民出行量将进一步增加。规划中明确提出,未来力争将布伦瑞克市的公共交通分担率从目前的 13% 提升到 20%。目前,该市有轨电车部分区间的运输能力已接近饱和,既有线网结构已难以支撑城市的进一步发展。在此背景下,该市政府于 2013 年 1 月启动了新一轮有轨电车线网建设工作^[2]。目

前,该轮建设的线网规划阶段工作(以下简称“2013版规划”)已顺利完成,部分线路已进入实施阶段。

1 布伦瑞克有轨电车概况

1.1 建设历程

布伦瑞克有轨电车于1897年10月28日开通运营首条电气化线路。之前线路采用有轨马车的形式,始建于1879年10月11日。在其超过120年的发展历程中,与大部分发达国家的城市类似,布伦瑞克有轨电车亦经历了“兴建—扩张—停运拆除—复兴”的过程^[3]。有轨电车线网总长度在1937年曾达到36.2 km,但在1969年下降至12 km^[4]。

进入20世纪70年代后,小汽车过度增长带来的城市噪声污染、空气污染和道路拥堵等问题日益突出。当时,布伦瑞克中心城区的道路通行能力已严重饱和,而且该区域建筑物密集,历史建筑多集中于此,不具备道路拓宽的条件。于是,优先发展公共交通成为解决交通问题的重要途径,这一观点得到了社会各界的广泛认同。至1992年,连接布伦瑞克市中心城区与周边多个郊区城镇的有轨电车线路相继完工。

1992年5月,新编制的布伦瑞克有轨电车线网规划通过市政府审批。该规划明确了优先发展城市轨道交通的战略^[5]。在接下来的近20年时间内,多条规划线路已建成并投入使用,使得该市有轨电车线网规模进一步扩大,并维持至今。

1.2 线网现状

截至2013版规划启动编制前,布伦瑞克有轨电车线网总长度为39.62 km,运营里程为51.3 km;专有路权段占比为81%,其余为混合路权段;全线共设81座车站和1座车辆段;采用接触网供电形式,供电电压为直流600 V^[6]。布伦瑞克有轨电车线网走向示意图如图1所示。该线网呈两纵三横的特点,其中1、2号线为南北走向,3、4、5号线为东西走向。2018年共发送旅客约1 958万人次^[7]。

2 线网规划

2013版规划工作流程可分为3个阶段:第一阶段,对线路方案进行初步分析与评价,筛选出拟规划线路;第二阶段,根据客流预测结果确定推荐方案;第三阶段,将对推荐方案进行经济效益评价,以分析项目的建设必要性。2013版规划的工作流程如图2所示。



注:1为布伦瑞克有轨电车1号线;余类同。

图1 布伦瑞克有轨电车线网走向示意图(2018)

Fig.1 Diagram of Brunswick tram line network routing (2018)

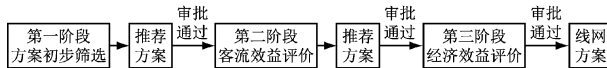


图2 2013版规划的工作流程

Fig.2 Workflow of the 2013 version planning

2.1 第一阶段

基于既有线网结构,结合市民、专家及规划机构的意见,第一阶段共提出了73条线路方案,并从投资效益、工程条件、运营效果和乘车便捷性等4个方面对各线路进行分析和评价。第一阶段提出的线路方案见图3。

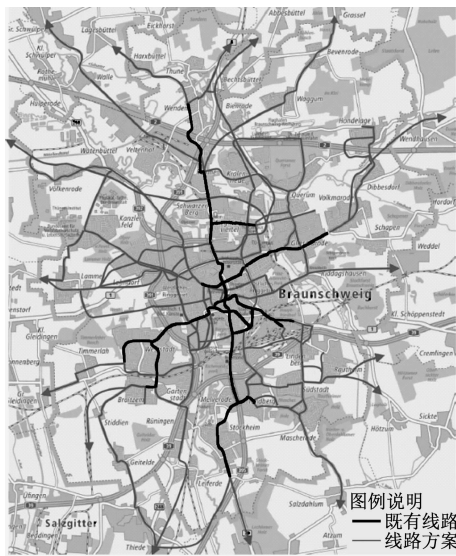


图3 第一阶段提出的线路方案示意图^[8]

Fig.3 Diagram of routing scheme proposed in the first stage

本文以位于市区西北部的201、202和203线路(未作特别说明的均为有轨电车线路)为例,阐述有

轨电车线路的分析评价过程和方法。这 3 条线路的初步方案见图 4。3 条线路分别途径伦多夫镇(Lehndorf)、坎勒费尔德镇(Kanzlerfeld)和拉尔姆镇

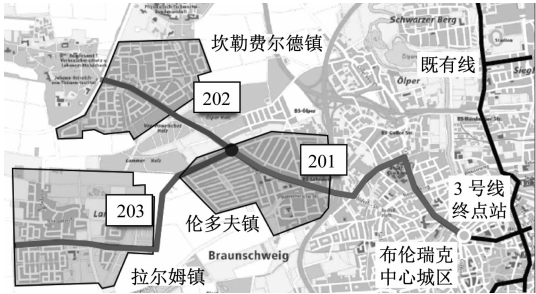


图 4 201、202、203 线路示意图^[8]

Fig.4 Diagram of routes 201, 202, 203

(Lamme),起到连接中心城区与 3 座外围城镇的作用。这 3 条线路的概况及评价内容分别如表 1 及表 2 所示。其中,评价结果由综合评价等级来体现,共分为 4 个等级:1 级为最优,2 级次之,3 级和 4 级表示第一阶段不予推荐。根据表 2 的评价结果,3 条线路均可作为拟规划线路。

表 1 201、202、203 线路的概况^[8]

Tab.1 Summary of routes 201, 202, 203

线路	线路长度/km	线路所处道路情况
201	3.40	双向 2、4 车道
202	1.85	双向 2 车道
203	3.30	双向 2 车道

表 2 201、202、203 线路的评价内容^[8]

Tab.2 Evaluation content of routes 201, 202, 203

评价指标		各方案的评价结果			
		201 方案	201 + 202 方案	201 + 203 方案	201 + 202 + 203 方案
投资效益	客流吸引量/人	19 630	23 740	26 210	29 570
	工程投资/10 ⁶ 欧元	33.60	56.20	61.80	84.40
	单位投资获得的客流效益/(人/10 ⁶ 欧元)	580	420	420	350
工程条件	道路交通与有轨电车之间的相互影响	小	小	小	小
	与城市规划的匹配性	适中	适中	适中	适中
	线路实施条件	适中	适中	适中	适中
运营效果	与既有线网的适应性	好	好	好	好
	替代既有道路公交的可行性	适中	好	好	好
客流吸引效果	客流集散点数量(如零售商店、医院等)	多	多	多	多
	与其他公共交通的接驳条件	好	好	好	好
	P + R 换乘设置条件	适中	适中	适中	适中
综合评价等级		1 级	2 级	2 级	1 级

注:客流吸引量指距线路 300 m(市中心)或 400 m(郊区)范围内的居民数、教职工数、学生数及工作岗位数量的统计,用于初步判断线路沿线的客运量;单位投资获得的客流效益 = 客流吸引量/工程投资,用于初步评价各线路方案的投资效益;P + R 为停车 + 换乘。

第一阶段研究工作结束后,经过初步分析和评价,共有 13 条线路成为拟规划线路,如图 5 所示^[8]。

2.2 第二阶段

客流预测采用四阶段法,按出行产生、出行分布、交通方式划分、交通分配 4 个阶段对客流进行预测,得到沿线公共交通系统(包括有轨电车和常规道路公交)的新增客运量、新增直达客运量、运营成本变化量(通过日均车辆走行公里数变化量来体现,即有轨电车车辆走行里程与常规道路公交车辆走行里程之间的差值)、机动车出行减少量 4 项指标。客流预测时并不是仅仅考虑单条线路,而是综合考虑既有线网中相关运营线路的开行计划、线路

在线网结构中的位置、现状公共交通客流走向及分布等因素,将相关联的拟规划线路进行组合,再计算其客运量。

经客流预测及评价,第二阶段共得到 11 条推荐线路。推荐线路组合各方案的客流预测评价结果如表 3 所示^[9]。本文以表 3 中的方案 1 为例,探讨第二阶段的客流预测及评价。

方案 1 线路分为南北两段。北段由 306 和 401 两线组成,长约 4.0 km,呈东西走向,主要服务于布伦瑞克工业大学北校区及西校区的师生,其工程造价约为 5 200 万欧元。线路南段即 100 线路,长约 0.85 km,是既有 4 号线与 3 号线的连接线,呈南

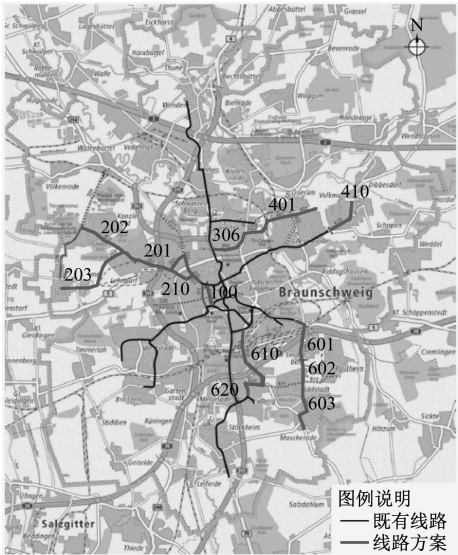


图5 第一阶段推荐方案

Fig. 5 Proposed scheme for the first stage

北走向,沿线均为已建成的居民楼,工程造价约为1 400 万欧元。与线路相关联的常规道路公交线路有433路(发车间隔为30 min)和413路(发车间隔为30 min)。

方案1的线路示意图如图6所示^[9]。该方案线路将同道路公交433线和413线分别有2处和1处相交。线路建成后,预计日均可新增客运量1 381人次,新增直达客运量586人次,日均车辆走行公里数增加342 km,通过提高公共交通乘客量,可减少机动车出行里程7 400 km。预测结果显示,线路建成后,沿线的公共交通出行量将显著增加,机动车出行量将相应减少,直达客运量增加,说明公共交通出行的便捷性得到改善。

2.3 第三阶段

根据《德国城镇交通投资法》(Gemein dever-

表3 第二阶段各方案的客流预测评价结果

Tab.3 Passenger flow prediction and evaluation results of each scheme in the second stage

方案	线路编号	新增+直达 客流评价得分	运营成本 评价得分	机动车减 少量评价得分	总分值	线路造价/ 10 ⁶ 欧元	评价结论
方案1	100+306+401	4	3	4	11	66.00	推荐
方案2	306+401	4	3	3	10	52.00	不推荐
方案3	610+620,其中,既有1号线将利用西侧的既有线路开行,2号线利用新建线路(610+620)开行	2	3	2	7	44.50	推荐
方案4	610+620,与方案3相反,既有2号线将利用西侧的既有线路开行,1号线则利用新建线路(610+620)开行	2	3	1	6	44.50	不推荐
方案5	601+602+603,列车采用15 min发车间隔	3	3	2	8	69.40	不推荐
方案6	601+602+603,列车采用10 min发车间隔	4	2	3	9	69.40	推荐
方案7	201+202+210	2	3	2	7	67.30	推荐
方案8	201+203+210	2	3	2	7	74.80	不推荐
方案9	201+202	2	3	1	6	69.10	不推荐

注:各分项指标满分值为5分;总分值为分项指标得分之和;布伦瑞克有轨电车目前运营的5条线路均采用10 min或15 min的发车间隔;为和既有的列车运行计划相匹配,第二阶段均采用10 min或15 min发车间隔。

kehrs finanz ierungsgesetz)的规定,总投资超过2 500万欧元的近距离公共交通系统(Öffentlichen Personen-nahverkehr,简称ÖPNV,指运营长度在50 km以下或运行时间在1 h以内的公共交通系统^[10]),必须根据“近距离客运交通项目投资标准化评估方法”(Standardisierte Bewertung von Verkehrsw-egeinves-titionen des Öffentlichen Personennahverke-hrs)进行经济效益分析,以验证项目的建设必要性。

第三阶段评估采用有无对比分析法,将建设项

目所产生的效益和成本与未建设项目所产生的效益和成本进行对比。第三阶段评估部分对比结果如表4所示^[13]。

在评估过程中将对项目建设带来的国民经济效益、社会效益及环境效益等统一进行货币化换算,并在此基础上开展定量分析。按是否需要换算,所有影响因素可分为直接货币化因素(如票款收入、运营成本、车辆购置等)和间接货币化因素(如出行时间成本、温室气体排放造成的影响、噪声

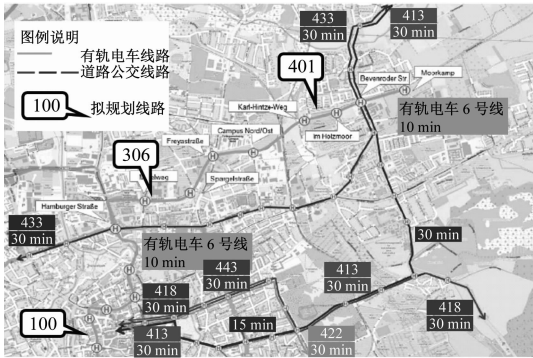


图 6 方案 1 的线路示意图

Fig. 6 Diagram of routes 100, 306, 401

污染等)。根据计算得到的经济效益指标 (Nutzen Kosten Indikator, NKI) 和后续开支 (Folgekosten) 两项指标来分析项目的建设必要性^[12-13]。

表 4 第三阶段评估的部分对比结果

Tab. 4 Partial comparison results in third stage evaluation

项目情况	线网长度/ km	有轨电车 车辆周转量/ (车·km/d)	道路公交 车辆周转量/ (车·km/d)	公共交通日 均出行量/ (人次/d)
2016 年无项目 (参照项)	39.6	8 300	24 200	87 800
2030 年无项目	39.3	8 800	26 200	96 700
2030 年有项目	57.0	10 800	20 800	106 700

NKI 为经济效益与成本的比值。其中经济效益为项目实施后产生的正面效益,包括缩短出行时间、降低运营成本、减少废气排放、提高公共交通分担率、减少交通事故等。成本指路基、桥隧、轨道、车站、供电系统等部分的工程建设费用。

后续开支为“有项目”与“无项目”情况下运营维护费用以及其他与项目相关联的费用的差额,包括车辆运营成本、维护成本、人员开支等。

计算结果表明,项目 NKI = 1.3,说明具备可实施性,新建项目带来的新增运营开支约为 140 万欧元/年^[11]。2017 年 1 月 13 日,项目经济费用效益分析报告获市政府审批通过,标志着线网规划工作顺利完成。2013 版规划由 6 条线路组成,将分三期进行建设,预计于 2030 年全部建成。线路概况见图 7 和表 5。

2.4 项目投资构成

根据《德国城镇交通投资法》的规定,总投资超

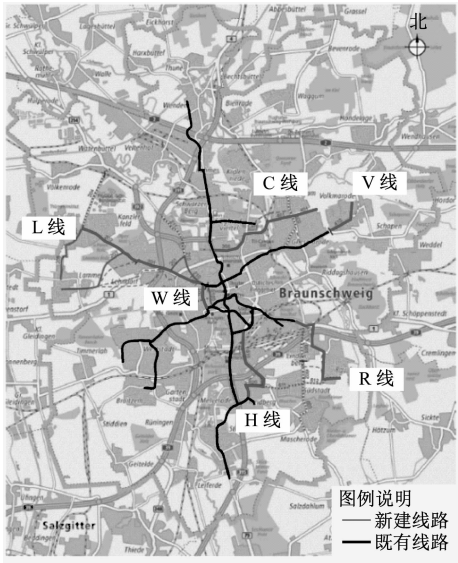


图 7 线网规划第三阶段推荐方案示意图

Fig. 7 Diagram of proposed scheme for line network planning in third stage

表 5 线网规划第三阶段推荐方案相关指标^[14]

Tab. 5 Relevant indicators proposed scheme for line network planning in third stage

分期规划	线路名	线路长度/ km	工程投资/ 10 ⁶ 欧元	NKI
一期工程	V 线	1.20	17.00	1.3
	R 线	3.40	31.40	1.4
二期工程	C 线	4.00	31.40	1.4
	H 线	3.40	39.00	1.6
三期工程	L 线	5.10	50.20	1.4
	W 线	0.95	1.00	1.3
合计		18.05	179.00	1.3

过 5 000 万欧元的建设项目需由州政府报备至“德国城镇交通投资项目库”(Gemeindeverkehrs-finan-zierungsgesetzt Bundesprogramm) 中,当项目 NKI 大于 1.0 时,可向中央政府和州政府申请投资补贴。对于有轨电车项目,线路的路权形式将是影响补贴额度的决定性因素。采用专有路权的线路,中央政府最高补贴额度为该段线路总投资的 60%,另外州政府再补贴 15%。而采用混合路权的线路仅获州政府支持,最高补贴额度为该段线路总投资的 50%。2013 版规划中,专有路权段长度为 11 km,混合路权段长度为 2 km,尚需进一步研究确定路权形式的线路段长度为 5 km,具体投资构成见表 6。

3 对我国有轨电车发展的启示

我国有轨电车正处于稳步发展的时期。据统

表 6 本项目规划中路权形式不同分段的投资构成^[14]
Tab.6 Investment composition for different segments to the right of way in project planning

分段	线路长度/ km	线路投资/ 亿欧元	出资方	出资占比/ %	出资 金额/ 亿欧元
专有路权段	11	1. 22	中央政府	60	0. 73
			州政府	15	0. 18
			自筹	25	0. 30
混合路权段	2	0. 22	中央政府	0	0
			州政府	50	0. 11
			自筹	50	0. 11
路权待定段	5	待定	待定	待定	待定

计,截至 2022 年 12 月 31 日,全国已有 23 座城市开通运营了有轨电车线路,且线路总长度为 578.4 km。近十年间有轨电车线路长度保持逐年增长。与欧洲部分城市相比,我国有轨电车的发展起步较晚,规模有限。积极借鉴国外城市有轨电车的发展经验,对实现我国有轨电车的可持续发展具有重要意义。布伦瑞克市有轨电车的规划建设工作可为我国有轨电车的发展提供以下启示:

1) 小汽车的过度增长给城市带来了沉重的负担,引发了一系列交通乃至城市发展问题,布伦瑞克有轨电车的复兴正是对这一发展模式的反思与纠正。大力发展公共交通,实施“公交优先”的发展战略,是城市可持续发展的有效措施。

2) 为应对城市经济社会的发展带来的城市人口和出行需求的增长,需加强城市公共交通的建设力度。对于中小城市而言,可构建以有轨电车为骨干的公共交通系统,支撑城市的进一步发展。

3) 建立支持有轨电车发展的财政体系,可参考《德国城镇交通投资法》的模式,通过立法的形式,明确不同层级政府的资金分担比例,缓解地方政府的财政压力,为有轨电车的建设提供稳定的资金支持。

4) 新建线路应以有轨电车专有路权为主。德国政府根据不同的线路路权形式而采取差异化的投资补贴,对专有路权线路提供较大的支持力度,表明德国政府已认识到保障有轨电车的路权是提高其服务水平和保持其可持续发展的关键。

5) 应统筹考虑线路建设对沿线区域城市交通系统的影响,包括有轨电车、常规道路公交、机动车以及其他交通方式的客流变化量,全面分析线路建

设带来的综合交通效益,确保有轨电车与其他交通方式之间的协调发展。

6) 有轨电车不仅建设成本高,运营费用也不低。因此,规划阶段应科学分析线路建设带来的经济效益与建设成本及其后期运营成本之间的差异,定量分析线路建设的必要性,提高决策工作的严谨性和科学性。

参考文献

[1] Stadt Braunschweig. Braunschweig in der Statistik [EB/OL]. (2020-11-30) [2021-04-19]. https://www.stadt-bahn-plus.de/fileadmin/media/Download_Unterlagen_2013_2014/Ratsvorlage_Stadtbahnausbaukonzept_23.01.2013.pdf.

[2] Stadt Braunschweig. Ratsvorschlge Stadtbahnausbaukonzept [EB/OL]. (2013-01-23) [2021-04-19]. https://www.stadt-bahn-plus.de/fileadmin/media/Download_Unterlagen_2013_2014/Ratsvorlage_Stadtbahnausbaukonzept_23.01.2013.pdf.

[3] 李元坤, 苗彦英. 国外现代有轨电车建设发展的启示 [J]. 城市轨道交通研究, 2013, 16 (6) : 29.
LI Yuankun, MIAO Yanying. Enlightenment of modern tram construction and development in foreign countries [J]. Urban Mass Transit, 2013, 16 (6) : 29.

[4] Stadt Braunschweig. Geschichte des Braunschweiger Strassenbahnnetzes 1879 bis heute [EB/OL]. (2013-02-10) [2021-04-19]. https://www.stadt-bahn-plus.de/fileadmin/media/Download_Unterlagen_2017/Zeitstrahl_Historie_V05_Ansicht.pdf.

[5] Stadt Braunschweig, Stadtplanungsamt. Stadtbahnplanung Priorittenkonzept 1992 Information zur Verkehrsplanung 1 [R]. Braunschweig, 1992. https://www.braunschweig.de/leben/stadtplan_verkehr/verkehrsplanung/Stadtbahn92.pdf.

[6] Stadt Braunschweig. Stadtbahnprojekte in Braunschweig [EB/OL]. (2013-02-07) [2021-05-03]. https://www.bsvg.net/index.php?eID=tx_securedownloads&p=418&u=0&g=0&t=1703062795&hash=5939e8b9c453a6e412c77dd97678eb8f3e-08dce3&file=fileadmin/secure/intranet-bsvg/Sonstiges/BSVG_Flyer_Wissenswertes_2021-03-WEB.pdf.

[7] Braunschweiger Verkehrs-GmbH. Das Jahr 2018 in Zahlen [EB/OL]. (2019-12-10) [2021-05-10]. <https://www.bsvg.net/unternehmen/ueber-die-verkehrs-gmbh.html>.

[8] Stadt Braunschweig. Präsentation; Bürgerinformation-sveranstaltung vom 12. 12. 2013 [EB/OL]. (2013-12-12) [2021-05-16]. https://www.stadt-bahn-plus.de/fileadmin/media/Download_Unterlagen_2013_2014/Anlage_2_Ratsvorlage_vom_24.01.2014.pdf.

[9] Stadt Braunschweig. Präsentation; Stadtbahnausbaukonzept Braunschweig Ergebnisse der Bewertung und Empfehlungen vom 03. 12. 2014 [EB/OL]. (2014-12-03) [2021-06-19]. https://www.stadt-bahn-plus.de/fileadmin/media/Download_Unterlagen_2013_2014/Praese_Plua_03.12.2014.pdf.

(下转第 137 页)

2) 通过模拟分析不同跨高比下的新型轨道梁在静力荷载下的力学性能,发现跨高比为16.6~18.5时,25 m跨度的新型轨道梁的力学性能较好,且造价适宜、施工难度较低,对于新型跨座式单轨轨道梁的进一步研究具有一定的参考意义。

参考文献

[1] 魏家蓉,董斌杰,张哲宁. 跨座式单轨交通发展现状研究及方向展望[J]. 铁道勘察, 2022, 48(1): 52.
WEI Jiarong, DONG Binjie, ZHANG Zhening. Research on development status and prospect of straddle monorail transit [J]. Railway Investigation and Surveying, 2022, 48(1): 52.

[2] HE X. Application and prospect of straddle monorail transit system in China[J]. Urban Rail Transit, 2015, 1(1): 26.

[3] 刘永锋. 重庆轻轨较新线一期工程 PC 轨道梁结构设计[J]. 铁道标准设计, 2003, 47(12): 74.
LIU Yongfeng. Structural design of PC track beam for Chongqing light rail[J]. Railway Standard Design, 2003, 47(12): 74.

[4] 韩军,朱尔玉. 韩国跨座式单轨交通预应力混凝土轨道梁设计评价[J]. 城市轨道交通研究, 2012, 15(12): 87.
HAN Jun, ZHU Eryu. Evaluation of PC track beam design in Korean straddle monorail transit[J]. Urban Mass Transit, 2012, 15(12): 87.

[5] 马继兵,蒲黔辉,夏招广. 跨座式单轨交通 PC 轨道梁静载及疲劳试验研究[J]. 铁道建筑, 2008, 48(5): 3.
MA Jibing, PU Qianhui, XIA Zhaoguang. Experimental study on static load and fatigue of PC track beam in straddle monorail traffic [J]. Railway Engineering, 2008, 48(5): 3.

[6] GOU H, YANG Y, YANG D, et al. Research on static and dynamic behaviors of PC track beam for straddle monorail transit system[J]. Steel and Composite Structures, 2019, 31: 437.

[7] 中华人民共和国住房和城乡建设部,国家质量监督检验检疫总局. 跨座式单轨交通设计规范: GB 50458—2008[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Code for design of straddle monorail transit: GB 50458—2008 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2009.

[8] 李泽高. 配置 600 MPa 钢筋有粘结部分预应力混凝土梁抗弯性能研究[D]. 天津: 河北工业大学, 2015.
LI Zegao. Study on flexural behavior of bonded partially prestressed concrete beams with 600 MPa reinforced bars[D]. Tianjin: Hebei University of Technology, 2015.

[9] 国家铁路局. 铁路桥涵混凝土结构设计规范: TB 10092—2017[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2017.
National Railway Administration of People's Republic of China. Code for design of concrete structures of railway bridge and culvert: TB 10092—2017 [S]. Beijing: China Railway Publishing House, 2017.

• 收稿日期:2021-06-22 修回日期:2021-09-11 出版日期:2024-01-10
Received:2021-06-22 Revised:2021-09-11 Published:2024-01-10

• 第一作者:赵军伟,硕士研究生,zhao15030140330@163.com
通信作者:杜鹏,讲师,dupeng@hebeu.edu.cn

• ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

~~~~~

(上接第 132 页)

[10] 虞宸晨. 德国近距公共交通系统简介[J]. 交通与运输, 2018, 34(2): 54.  
YU Xiaochen. Brief introduction of short-distance public transport system in Germany[J]. Traffic & Transportation, 2018, 34(2): 54.

[11] Stadt Braunschweig. Präsentation; Mobilität in der wachsenden Großstadt vom 13. 01. 2017 [EB/OL]. (2017-01-13) [2021-06-26]. [https://www.stadt-bahn-plus.de/fileadmin/media/Download\\_Unterlagen\\_2017/20170112VORLAGE\\_final\\_Stadtbahnausbaukonzept.pdf](https://www.stadt-bahn-plus.de/fileadmin/media/Download_Unterlagen_2017/20170112VORLAGE_final_Stadtbahnausbaukonzept.pdf).

[12] MARTIN A. Standardisierte Bewertung Version 2016[J]. Der Nahverkehr, 2017(9):42.

[13] 安宁. 德国公共交通投资项目标准化评估程序与方法[J]. 城市交通, 2009, 7(4): 83.  
AN Ning. Standardized procedures & methods for evaluation of

transit investment projects in Germany[J]. Urban Transport of China, 2009, 7(4): 83.

[14] Rat der Stadt Braunschweig. Beschlussvorlage: ÖPNV in einer wachsenden Großstadt Stadtbahnausbaukonzept für Braunschweig [EB/OL]. [https://www.stadt-bahn-plus.de/fileadmin/media/Download\\_Unterlagen\\_2017/Praesentation\\_Stadt.Bahn.Plus\\_13.01.2017\\_V100\\_Web\\_sec.pdf](https://www.stadt-bahn-plus.de/fileadmin/media/Download_Unterlagen_2017/Praesentation_Stadt.Bahn.Plus_13.01.2017_V100_Web_sec.pdf).

• 收稿日期:2021-08-27 修回日期:2021-11-04 出版日期:2024-01-10  
Received:2021-08-27 Revised:2021-11-04 Published:2024-01-10

• 作者:梁帅文,工程师,liebeshan@sina.cn

• ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议  
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license