

**编者按** 中国部分城市的轨道交通已经或正在逐步成网,最早投运线路已运营超过50年,随着运营年限的增加,反观既有线网络功能尚不完善,又添设备设施老化、运营服务水平降低等问题,不仅造成一定的安全隐患,还影响乘客出行体验,整个网络效益的发挥也存在着瓶颈和制约,因此,有必要对既有线进行升级改造,以完善网络功能,促进城轨高质量发展和城市的可持续发展。本刊特邀北京地铁运营有限公司创新研究院院长魏运担任栏目主编,从既有线改造路径、上海既有线改造工作回顾、改造技术标准、投融资机制及换乘站通信系统升级等方面组织策划既有线改造专辑,以期为其他城市既有线改造提供经验借鉴。本刊还将持续关注这一热点,在行业的可持续发展方面积极探索方向。

doi: 10.3969/j.issn.1672-6073.2024.01.003

# 我国城市轨道交通既有线改造 路径探讨

魏 运<sup>1,2</sup>, 楚柏青<sup>1</sup>, 光志瑞<sup>1,2</sup>

(1. 北京市地铁运营有限公司, 北京 100044; 2. 地铁运营安全保障技术北京市重点实验室, 北京 100044)

**摘 要:** 随着城镇化进程的加快,城市轨道交通既有线改造在促进城轨高质量发展和城市可持续发展方面具有重要的战略意义。既有线改造涉及专业面广、待解决问题复杂,过去以解决安全问题为主要目标的消隐改造、以部分专业为对象的专项改造已难以满足新时代既有线改造需求。因此,面对城市轨道交通高质量发展要求,亟须深入探讨我国城市轨道交通既有线改造发展路径。本文在梳理北京既有线改造历程的基础上,从面临的问题与实现的愿景两方面展开了对城市轨道交通既有线改造需求的分析,提出了既有线改造的整体思路,同时从城轨可持续发展方面创新地提出了既有线改造中的投融资思路,并从制度建设、要素活力、投融资机制、科技赋能、技术攻关、相关标准6个方面给出既有线改造工作建议,以期为我国城市轨道交通既有线改造提供思路。

**关键词:** 城市轨道交通; 既有线改造; 需求分析; 改造建议

中图分类号: U231

文献标志码: A

文章编号: 1672-6073(2024)01-0017-05

## Exploration of the Path of Refurbishment of Urban Rail Transit Lines

WEI Yun<sup>1,2</sup>, CHU Baiqing<sup>1</sup>, Guang Zhirui<sup>1,2</sup>

(1. Beijing Mass Transit Railway Operation Corp., LTD., Beijing 100044;  
2. Beijing Key Laboratory of Subway Operation Safety Technology, Beijing 100044)

**Abstract:** With rapid urbanization, the refurbishment of urban railway lines is crucial for advancing high-quality urban rail development and sustainable urban growth. This refurbishment process presents a host of intricate professional challenges that must be addressed. Meeting current requirements for line reconstruction while addressing safety issues and expanding beyond traditional specialized fields is demanding. Therefore, it is essential to chart a development path for the transformation

收稿日期: 2023-05-19 修回日期: 2023-09-05

第一作者: 魏运, 男, 博士, 教授级高级工程师, 主要研究方向为城市轨道交通运营组织, luckyboy0309@163.com

基金项目: 国家重点研发计划(2020YFB1600705)

引用格式: 魏运, 楚柏青, 光志瑞. 我国城市轨道交通既有线改造路径探讨[J]. 都市轨道交通, 2024, 37(1): 17-21.

WEI Yun, CHU Baiqing, Guang Zhirui. Exploration of the path of refurbishment of urban rail transit lines[J]. Urban rapid rail transit, 2024, 37(1): 17-21.

of existing urban rail transit lines in line with the needs of high-quality urban rail development. Drawing on the history of Beijing's line refurbishments, this study examines the challenges and future objectives of urban rail transit line refurbishment and proposes comprehensive concepts for the rejuvenation process. Furthermore, we introduce an innovative approach to investment and financing for line refurbishments, focusing on sustainable urban rail development. We offer recommendations for the transformation of urban rail transit lines in China across six key areas: system development, vitality of components, investment and financing frameworks, technological empowerment, research and development, and relevant standards.

**Keywords:** urban rail transit; refurbishment of urban rail transit lines; demand analysis; refurbishment suggestions

## 1 研究背景

城市轨道交通与城市发展是相互作用的动态互馈过程,城市化率的提高促进了城市轨道交通的发展,城市轨道交通的发展反向支撑了城市的发展与更新。根据发达国家的经验,城市化到一定程度后(一般为70%~80%),城轨网络进入稳步发展期,既有线改造将成为轨道交通发展的关键。我国城轨建设发展快,建设时间相对短暂,城轨线网优化提升可解决快速发展带来的问题。我国城轨交通伴随城市化发展经历了起步探索、缓慢发展、快速发展3个发展阶段。截至2022年底,经国家发展改革委批复的我国城轨交通(含轻轨)开通运营城市共有42座,其中开通运营15年以上的城市共有10座,开通运营11~15年的城市共有7座,开通运营6~10年的城市共有15座。其中,北京地铁已开通运营50余年,既有线运营10年以上的线路占比达到59%;上海地铁也已开通运营近30年,既有线运营10年以上的线路占比达到65%,率先进入增长稳定期,新线建设客流边际效益递减,整体步入存量优化阶段。

随着城轨交通线路运营年限的逐渐增加,既有线设施设备老化、系统稳定性下降、网络功能不完善、运营服务水平降低等问题越发突出,不仅影响乘客出行体验,还造成了一定的安全隐患,因此亟须开展既有线改造优化的研究工作。国外一些城市已经从不同角度开展了城市轨道交通既有线改造实践,其经验可供借鉴参考:日本东京轨道交通网络从20世纪60年代起持续开展既有线改造,涵盖了提升车站能力改造、提升线路能力改造、提升线路运营效率改造、减少线路间换乘改造、提升运营服务品质改造等,网络效能得到了优化提升;伦敦交通局正在改造4条有大量老旧轨道、设备和基础设施的地铁线路(共同构成伦敦地铁线网的40%),改造项目完成后,列车运行将更可靠,出行时间缩短。

理论研究方面,很多学者也开展了相关研究:施仲衡等<sup>[1]</sup>从目前我国大城市交通发展所面临的时

征和特殊状况出发,提出了我国未来城市综合交通体系在规划、建设、运营管理以及交通服务等各个发展环节上的指导思想。在城市更新方面,向鹏成等<sup>[2]</sup>从自然和社会两大维度阐述包容性城市更新实践体系,构建了技术、经济、制度三位一体的包容性城市更新保障体系;刘炜等<sup>[3]</sup>研究提出,城市更新需要在关注物质空间更新的同时,构建完善的创新系统、创造复合多元的创新空间以及形成持续创新与优化的长效机制;高见等<sup>[4]</sup>以复杂适应系统(complex adaptive system, CAS)理论为工具,在解构城市复杂系统的基础上,构建主体更新、单元更新和系统更新“三位一体”的系统性城市更新模型,探索了城市更新的实施路径;阳建强、李锦生、曹可心、毛羽等<sup>[5-8]</sup>也分别从不同角度开展了一系列城市更新策略研究。聚焦城市轨道交通既有线改造领域,相关研究多侧重于改造技术:杨元明<sup>[9]</sup>研究了城市轨道交通既有线扩能改造过程中既有标准与新规范不适应的问题;杜连涛等<sup>[10]</sup>结合运输需求与既有线能力的适应性,从全生命周期针对性地制定并分期、分段地实施改造方案;林柏梁等<sup>[11]</sup>从工程造价与车流运行态势优化的角度讨论线网新线建设和既有线改造项目的优化决策问题。

随着城市轨道交通发展进程的推进,既有线改造的内涵日益丰富,外延不断拓展,各城市轨道“单线路、单专业”的专项改造工程已不能适应全面高质量发展的需求,从统筹全局角度出发,提供宏观层面的方法论指导既有线网络化系统性改造的需求愈发迫切。而理论研究主要集中于城市轨道交通规划、城市更新改造以及各专业具体的既有线改造工程技术,在城市轨道交通既有线改造领域尚未形成具有全局性、系统性、网络级能够指导既有线改造工作的深度研究。本文在总结既有线改造经验的基础上,探讨我国城市轨道交通既有线改造路径,以网络化视角开展既有线改造的布局谋划,以精细化手段进行既有线改造的策略研究,对实现既有线改造分级分类、资源共享、降本增效、提升网络化运营效益具有十分重要的意义。

## 2 城市轨道交通既有有线改造需求分析

城市轨道交通既有有线改造涉及安全、舒适、效率、效益、服务等多方面改造需求,因此既要立足当下解决现状问题,又要着眼长远实现未来目标。本文从面临的问题与实现的愿景两方面刻画城市轨道交通既有有线改造需求的二维视角,开展城市轨道交通目标与问题双驱动的既有有线改造需求分析。

目标导向方面,城市轨道交通既有有线改造作为网络结构和功能再造的渐进性复杂过程,其需求受到高质量发展目标的牵引和影响,其最终目标是推进城市轨道交通高质量发展,促进城市轨道交通与城市发展的综合协同与耦合。既有有线改造的目标融合了政府治

理体系的优化、城市轨道交通高质量发展、运营企业安全生产和降本增效、出行环境改善和乘客出行品质提升等多维愿景,可归集为“安全提升、品质提升、效率提升、效益提升”。

问题导向方面,城市轨道交通运营年限增加,既有有线面临轮轨损伤、设备使用寿命到期、系统稳定性下降、管线老化、网络功能不完善等问题,这是推动既有有线改造的基本需求。我国城市轨道交通的高速发展、与城市发展的错落交织、政府和乘客的更高要求<sup>[12]</sup>等都使得我国轨道交通在更新改造阶段面临更多的挑战,需要通过既有有线改造的具体措施来解决城市轨道交通与城市发展欠协同、与综合交通欠协同、内部体系欠协同、与乘客需求欠协同4方面的问题(见表1)。

表1 既有有线改造问题及目标梳理

Table 1 Problems and objectives of urban rail transit line refurbishment

问题	具体问题	问题体现	具体案例
城市轨道交通与城市发展欠协同 <sup>[13]</sup>	城轨服务人口低,对重点区域支撑弱	城轨交通覆盖人口少,职住分离明显,网城融合不足	东京都市圈轨道交通车站周边1.5 km范围覆盖常住人口约2 373万人;北京轨道交通车站周边1.5 km覆盖常住人口1 340万人
		城轨对重点区域支撑不足,可服务地铁线路相对偏少	东京和北京重点区域支撑线路分别为18条和7条
	城市用地开发与大容量城轨不匹配	城市轨道交通周边开发强度不足,轨道交通引导作用不显著	东京轨道交通沿线300 m范围覆盖的土地开发量占覆盖总面积的52%,北京仅23%
		出入口布局不合理,与周边设施连通性不足	北京、上海的城市轨道交通出入口数量平均为4.6个,低于香港的6个,而东京新宿站多达178个
城市轨道交通与综合交通欠协同	轨道交通骨干作用未充分发挥	与小汽车相比,轨道交通客流吸引能力偏弱	北京中心城区城市轨道交通出行占比为14.7%,低于小汽车的出行占比24.3%
		地面公交与城市轨道交通没有实现优势互补,尚未形成完善的以轨道交通为骨干的公共交通体系	以北京为例,既有1 269条公交线路,与轨道交通共线超过10 km的公交线路仅有112条
	四网未充分融合	与城市内部其他交通方式未能有机衔接	—
		与区域综合交通系统融合不足	北京市郊铁路与城轨交叉点共有84处,换乘站仅4座
城市轨道交通内部体系之间欠协同	运力、运量矛盾突出,供需不匹配	部分线路、车站、断面客流压力大,其他客流吸引力不足,空间不均衡,高峰运营组织压力大	北京早高峰断面满载率超过80%的有86个,占11.4%,而满载率40%以下的区间有394个,占52.3%
		与城市通勤多样化出行需求不匹配	早晚高峰进出站客流占比达全天的50%左右
	存在安全隐患,网络资源共享弱	城市轨道交通层次较单一,快慢线网不完善	北京城轨郊区线旅行速度在50 km/h以下,低于采用快慢线运行模式的东京,其轨道交通快车平均时速约为66.9 km/h
		部分专业故障频发	—
城市轨道交通与乘客需求欠协同	乘客出行不快捷	旅行时间长、换乘次数多、走行距离长,接驳不便	以北京为例,换乘距离超100 m的换乘车站占47%,换乘距离超过250 m的换乘站占11%
		部分车站时段性进站排队情况严重	—
	乘客出行不舒适	部分列车车厢拥挤度高	—
		乘客出行智能化信息服务弱	—

注:数据来源于北京市交通发展年度报告、北京市轨道交通路网运营年报及相关行业网站最新数据。

## 3 城市轨道交通既有有线改造思路

当前,我国城市轨道交通既有有线改造正经历从“发展瓶颈问题倒逼”到“高质量发展愿景牵引”的时空

演进路径,从过去单一安全目标为主导的价值观转向基于以人为本和高质量发展的多元价值观,从过去以安全问题为出发点的消隐改造转向与城市发展、综合交通、内部体系、乘客需求协同融合的综合问题的解决。



结合国内外先进城市既有有线改造的实践经验及理论研究，本文提炼出既有有线改造的基本路径(见图 1)。首先，从问题导向和目标导向两方面，开展既有有线改造需求调研与发展趋势研判；其次，在深入分析城市轨道交通发展面临的问题与挑战以及高质量发展目标的基础上，充分借鉴研判先进城市轨道交通既有有线改造经验，结合不同城市的特点，明确既有有线改造思路与原则；再次，针对不同既有有线改造需求及特点，深入研究并构建体系化、可灵活组合的既有有线改造举措与策略库，在此基础上开展评估既有有线改造实施效果、效益；最后，结合既有有线改造保障措施，制定既有有线改造方案，开展技术攻关并进行工程实施。

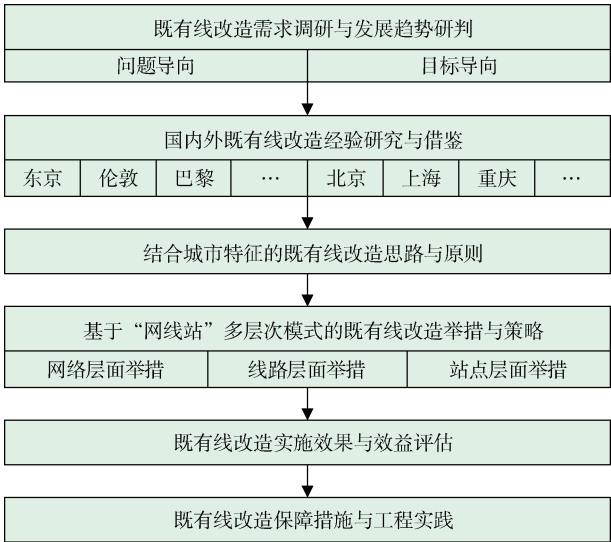


图 1 城市轨道交通既有有线改造路径  
Figure 1 Renovation paths for existing urban rail transit lines

此外，充分考虑城轨发展的可持续性，提出既有有线改造投融资思路如下。

1) 建立以财政出资为主导的多元市场化融资模式。加强中央、市级和区级三级政府资金联动，扩充财政资金来源，推动财政事权与支出责任相匹配，筑牢财政安全运行防线；规范有序推进 PPP 模式，常态化推出回报机制明确、商业潜力大的项目，鼓励民间资本参与轨道交通等领域项目建设，同时防范隐性负债风险；探索轨道交通场站综合开发管理机制，创新轨道交通投融资模式；给予城市轨道交通投融资更多政策支持，鼓励精准补贴与捆绑运作等模式，助推基础设施 REITs 健康发展，有效盘活存量资产，形成存量资产和新增投资的良性循环；充分发挥新兴产业发展资金、政府投资基金等财政资金的作用。加强政府

投资基金管理，更好地发挥投资基金支持重点产业发展作用；借鉴国内外先进经验，引进国内外城市轨道交通更新、城市更新中可供既有有线改造应用的新型投融资模式，从而创新既有有线投融资模式。

2) 根据项目的经济属性，建立分级分类的投融资机制。按照重大工程项目技术经济特点、可经营性和投资回报机制，通过分包运作，将既有有线改造项目划分为经营性项目、准经营性项目和非经营性项目三类。顺应基础设施和公共服务等公共领域市场化改革、产业化运作的要求，明确三类项目投资主体及其相应责任。

3) 根据资金属性与回流周期，建立动态灵活可持续的投融资机制。合理分配各类资金来源，平衡各类权益型资金和债务性资金投入、内源性融资和外源性资金投入、长期资金投入和短期资金投入，从而达到项目稳定以及资金灵活的最佳状态；优化项目收益现金流以保障资金顺畅循环和融资主体内的闭环运作，实现多种模式下收益与融资自求平衡；根据轨道交通正外部性特征，按照受益者负担原则，框入投融资主体，优化投融资模式，从而促进项目现金流在投融资主体内的闭环运作，同时通过优化收益分配方式减少投融资主体的现金流风险。

4 既有有线改造工作建议

既有有线改造是一项复杂的系统工程。实际工作中既有有线改造面临资金筹措困难、制度保障欠缺等难题。本文结合既有有线改造经验与思路研究，从制度建设、参与主体、投融资机制、技术攻关、标准建设等 5 方面进一步提出既有有线改造工作建议，推动既有有线改造工作。

1) 加强制度建设，打通既有有线改造发展路径。既有有线改造总体包括广泛系统的标准规范体系、持续高效的组织推进体系、多元灵活的政策体系以及持续动态的规划与设计体系等，同时囊括土地、金融、财税等核心的既有有线改造制度设计。通过系统、有效的制度设计，融合和构建包含政府、社会和企业等多种利益主体的“城市轨道交通既有有线改造网络”，探索完善的既有有线改造制度体系，出台既有有线改造管理办法或指导意见，明确既有有线改造项目的审批层级与流程，强化部门间的衔接协调。

2) 鼓励多方参与，激发既有有线改造要素活力。政府主管部门加强既有有线改造的政策引导，建立与既有有线改造相适应的投融资支持机制，并强化过程监督，推动城轨交通既有有线改造工作的规范化开展；运营企业基于运营实际、自身发展需求，结合政策导向和行

业发展趋势,积极主动地开展既有有线优化提升改造前期研究与工程创新示范,支持既有有线改造中在试点基础上广泛应用新技术、新设备;城轨交通装备制造企业依托既有有线改造需求,提升技术创新水平、产品性能和质量,建立自主知识产权体系,实现城轨交通应用技术突破,有效提升装备自主化水平;相关协会积极发挥桥梁纽带作用,利用平台优势,使既有有线改造工作在专家咨询、经验共享、示范推广、奖励宣传、技术标准化、认证体系建设等方面加强组织协调;最终形成各方力量综合治理、协同治理、良性互动的城市轨道交通既有有线改造新格局。

3) 创新投融资机制,拓宽既有有线改造资金渠道。探索既有有线改造的投融资创新机制,拓展多元化投融资渠道,盘活存量资产,开展资产证券化可行性研究与试点。例如,对于具备开展上盖物业开发条件的场段,可探索上盖物业开发,获取资源开发收益,形成长期稳定的现金流,用于投资改造提升项目,实现轨道交通自循环可持续发展;对于既有车站出入口优化提升项目,可探索与车站周边商业一体化开发建设模式,实现地铁出入口与商业地产的无缝对接,最大限度地发挥地铁出入口建设带来的区域商业价值,形成良性循环。

4) 强化科技赋能,打造既有有线改造创新引擎。运用数字技术、信息技术、智能技术推动既有有线升级改造、赋能既有有线改造,注重运用新技术、新材料,广泛布设智慧地铁应用场景,推动装备自主化,加强城轨交通认证体系建设,助推城市轨道交通高质量发展。同时,贯彻既有有线改造全生命周期管理理念,采用大数据分析等技术辅助科学管控,实现既有有线改造“设计—实施—评估”闭环,科学推进可持续既有有线改造更新。

5) 加快技术攻关,保障既有有线改造落地实施。既有有线改造亟需从技术方法、工具等方面实现技术攻关,集成一系列既有有线改造共性技术,在既有有线改造规划设计、工程施工、管理管控、评估评价等方面进行突破,借鉴国内外地铁改造工程先进技术与经验,围绕改造面临的突出的技术难题,组织各方力量联合攻关,深入研究论证,并进行试点验证,推进既有有线改造有效落地。

6) 加强标准建设,助力既有有线改造质量稳步提升。目前,既有有线改造、建设技术、管理参照《城市轨道交通工程项目建设标准》<sup>[14]</sup>《城市轨道交通工程项目规范》<sup>[15]</sup>等标准执行,这些标准均针对运营规模提出了相关技术特征,但尚无城轨不同系统制式下既有有线改造标准。因此,在既有有线改造落地实施过程中,

应在推广应用的基础上开展既有有线改造技术的标准化工作,将适用性强、效果明显的创新成果及时纳入标准体系,形成系列标准,助力既有有线改造质量稳步提升。

## 5 结束语

既有有线改造是城市轨道交通进入一定发展阶段后面临的重要任务,是满足乘客高品质出行需求和提升城市轨道交通竞争力的核心路径,是实现智慧地铁、绿色地铁等新发展理念和技术的关键,是推进我国装备自主化的有力保障,也是实现城市有机更新的重要手段。要深入分析我国城市轨道交通发展面临的问题,借鉴国外先进城市既有有线改造经验,深刻理解我国既有有线改造新需求,全面把握我国既有有线改造的工作重点与难点,联合多方力量共同参与,从政策、技术、资金、机制等多维度开展深入研究,有效推动我国城市轨道交通既有有线改造工作迈上新台阶,助力城市轨道交通高质量发展。

## 参考文献

- [1] 施仲衡,全永葵,马林.以新的发展战略观迎接大城市交通问题的挑战[J].都市快轨交通,2004,17(3):1-3.  
SHI Zhongheng, QUAN Yongshen, MA Lin. Facing the traffic challenge of megapolis with new development strategies[J]. Urban rapid rail transit, 2004, 17(3): 1-3.
- [2] 向鹏成,吴柏廷.包容性城市更新理论框架构建[J].建筑经济,2020,41(3):109-113.  
XIANG Pengcheng, WU Boting. Construction of the theoretical framework for inclusive urban renewal[J]. Construction economy, 2020, 41(3): 109-113.
- [3] 刘炜,郭传民.基于创新空间生产的城市更新策略:理论与方法与国际经验[J].科技管理研究,2022,42(16):234-242.  
LIU Wei, GUO Chuanmin. Urban renewal strategies based on innovation space production: theories, methods and international experiences[J]. Science and technology management research, 2022, 42(16): 234-242.
- [4] 高见,邬晓霞,张琰.系统性城市更新与实施路径研究:基于复杂适应系统理论[J].城市发展研究,2020,27(2):62-68.  
GAO Jian, WU Xiaoxia, ZHANG Yan. Research on systematic urban regeneration and implementation way: based on the complex adaptive system theory[J]. Urban development studies, 2020, 27(2): 62-68.
- [5] 阳建强,陈月.1949—2019年中国城市更新的发展与回顾[J].城市规划,2020,44(2):9-19.  
YANG Jianqiang, CHEN Yue. Review on the development of urban regeneration in China from 1949 to 2019[J]. City planning review, 2020, 44(2): 9-19.

(下转第62页)