

上海城市轨道交通既有有线改造实践与思考^{*}

王思韬¹ 王镇波¹ 姚建伟²

(1. 上海申通地铁集团有限公司技术中心, 201103, 上海; 2. 上海申通地铁集团有限公司, 201103, 上海)

摘要 [目的] 上海是我国首批开通城市轨道交通的城市之一, 近些年已开始开展既有有线改造项目, 做了许多开创性的探索与实践, 有必要对相关经验进行总结与思考, 以期形成可供参考借鉴的既有有线改造方法与思路。[方法] 梳理了上海进行既有有线改造的背景与类型, 介绍了既有有线不停运改造、局部停运改造的实践情况, 统计并分析了上海历史上已实施的既有有线局部停运改造项目的时空特征。[结果及结论] 不停运施工是国内外进行既有有线改造时的基本原则, 而停运施工在工期、施工质量、工程投资等方面更具优势, 也具备特定的应用场景, 如涉及轨行区的土建改造。通过晚发早收、正线留车增加夜间天窗时间等方法, 以及采用预制、模块化设计、工序模拟等技术, 提高夜间天窗时间的施工效率。通过在客流低谷期停运、安排短驳公交作为替代交通、跳站通过停运车站、建立成熟工作机制等措施, 可以降低既有有线局部停运改造对乘客出行的影响。

关键词 城市轨道交通; 既有有线; 不停运改造; 局部停运改造

中图分类号 U239.5

DOI:10.16037/j.1007-869x.2025.05.018

Practice and Reflection on Renovation of Shanghai Urban Rail Transit Existing Lines

WANG Sitao¹, WANG Zhenbo¹, YAO Jianwei²

(1. Technical Center of Shanghai Shentong Metro Group Co., Ltd., 201103, Shanghai, China; 2. Shanghai Shentong Metro Group Co., Ltd., 201103, Shanghai, China)

Abstract [Objective] Shanghai is one of the first batch of cities in China launching urban rail transit systems. In recent years, Shanghai has initiated renovation projects for existing rail lines, undertaking many pioneering explorations and practices. It is necessary to summarize and reflect on the relevant experience to develop methods and approaches for existing line renovation, so as to serve as a reference for future projects. [Method] The background and types of existing line renovation projects in Shanghai are outlined. Practices of existing line renovation without suspending operations and partially suspending operations are introduced. Additionally, the temporal-spa-

tial characteristics of historically implemented partial suspension renovation projects in Shanghai are statistically analyzed.

[Result & Conclusion] The non-suspension construction is a fundamental principle for existing line renovation both domestically and internationally. This construction method has advantages in terms of construction duration, quality, and investment, and is particularly suitable for specific scenarios, such as civil engineering renovations involving track areas. Methods such as delayed starts and early closures, retaining trains on the mainline to extend night-time construction windows, and the use of prefabrication, modular design, and process simulation techniques can improve construction efficiency during night-time windows. Measures such as suspending operations during periods of low passenger flow, arranging shuttle buses as alternative transportation, skipping stations under renovation, and establishing mature operational mechanisms can mitigate the impact of partially suspending renovations on passenger travel.

Key words urban rail transit; existing line; non-suspension renovation; partial-suspension renovation

随着运营年数的增加, 城市轨道交通既有有线开始陆续实施各类设施设备的改造工程^[1]。在改造过程中, 考虑到城市轨道交通列车晚点、局部停运等现象均可能产生不良的社会影响, 上海城市轨道交通在保障施工安全与质量的前提下, 坚持以乘客影响最小化原则开展既有有线的改造工作。截至2023年3月, 上海城市轨道交通历史上共计16个改造项目, 经过综合考量后采取停运施工措施, 其余上百个改造项目均为不停运施工。

鉴于我国的城市轨道交通发展较晚, 既有有线改造领域尚处在探索阶段, 有必要总结上海城市轨道交通关于既有有线不停运改造、局部停运改造的相关经验, 以期为后续我国其他城市的既有有线改造工程提供一定的借鉴与参考。

1 上海城市轨道交通既有有线改造概况

2015年1月4日, 上海市委员会在调研上海城

^{*} 上海市科学技术委员会项目(20dz1202902); 上海市国资委企业创新发展和能级提升项目(2023020)

市轨道交通时作出了地铁安全工作重要指示。以此为契机,上海申通地铁集团有限公司(以下简称“申通地铁集团”)全面启动“补短板”工作,并于同年5月25日上报《上海轨道交通网络“查隐患补短板保安全”(第一阶段)实施项目建议书》,改变了原先单体化考虑既有线改造需求及日程安排的模式,从考虑网络化角度出发,有目标、有计划地对既有线进行相关改造。经过多年探索与实践,于2020年制定了T/SHJX 0020—2020《上海城市轨道交通设施设备维护与更新改造规程导则》,使既有线改造进入了有系统化标准可依的新阶段。

对于有新增固定资产、用地、重大功能提升的项目,以及涉及市规划、建设、消防等政府多部门审批协调的项目,申通地铁集团一般将其纳入专项改造项目清单,上报上海市发展和改革委员会和上海市交通委员会。其他项目则纳入大修更新改造项目清单,由申通地铁集团内部立项实施,并上报上海市交通委员会。

目前,申通地铁集团已开展了两轮专项改造工作,实施内容包括通信系统新建、既有车站改造、网络车辆增购及车辆基地扩建等。大修更新改造方面,已实施的项目主要有车辆大修、供电系统更新改造、信号系统更新改造、轨道结构更换、隧道结构整修、机电设施更新等,基本涵盖了城市轨道交通的主要设施设备。

综合来看,上海城市轨道交通既有线改造的类型可分为4类:恢复类改造、更新类改造、完善类改造、综合类改造。①恢复类改造,即对出现功能受损的设施设备进行功能恢复的改造方式;②更新类改造,即对临近报废或技术落后的设施设备采取以新代旧的改造方式,可能存在功能方面的升级或新增;③完善类改造,即为符合新的服务要求或技术要求而进行设备新增或更换、设施改扩建等内容的改造方式,存在功能方面的升级或新增;④综合类改造,即涉及多个上述改造类型的混合性改造,如既有线的全面改造。

截至2022年底,上海既有轨道交通1号线—18号线的运营里程共计795.4 km^[2],按运营年数的分类统计结果如图1所示。由图1可知:至2023年底,上海既有轨道交通线路中出现了运营30年的区段;至2025年底,上海既有轨道交通线路中运营超过10年的运营里程占比约为76%;至2030年底,上海既有轨道交通线路中运营超过20年的运营里

程占比约为54%。由此可知,上海城市轨道交通即将进入常态化大修阶段。鉴于此,近年来,上海城市轨道交通开始致力于超大规模网络背景下,既有线不停运改造的提质增效及局部停运改造的科学筹划,并通过实践积累了一定的经验。

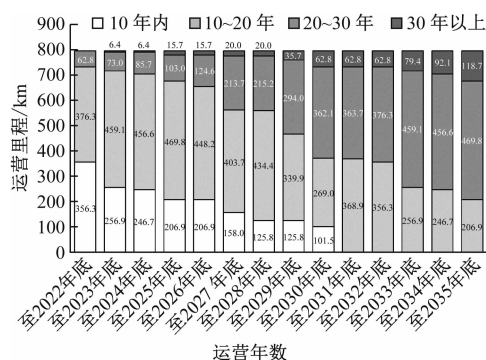


图1 不同运营年数下上海既有轨道交通运营里程分布情况

Fig.1 Distribution of Shanghai existing urban rail transit operating mileage in different operating years

2 既有线不停运改造实践情况

对于涉及既有线设备部件、软件系统等内容的改造,其施工难度相对较小,基本可以避免对日常运营的影响,实现不停运改造;对于涉及土建设施、重要硬件系统等内容的改造,在改造作业内容可拆解的情况下,合理利用夜间天窗时间施工,同样可实现不停运改造。因此,改造作业内容、夜间天窗时间、施工能力是决定该次既有线改造是否具备不停运条件的主要因素。

上海城市轨道交通为了在尽可能多的场景下实现既有线不停运改造,一方面通过调整列车调度增加夜间天窗时间,另一方面通过改进技法工艺,有策略地拆分改造作业内容,以提高施工能力。

2.1 通过晚发早收、正线留车增加夜间天窗时间

截至2023年3月,上海城市轨道交通各既有线的夜间天窗时间如表1所示。由表1可知:各既有线的夜间天窗时间主要集中在210~250 min,其中,最长为280 min,最短为165 min。因此,部分既有线在夜间天窗时间实施隧道结构整治、钢轨焊接、接触网整锚段更换、信号系统压力测试和割接等工序多、单次施工耗时较长的改造作业内容时,去除施工前、后各约15~30 min的设备及材料搬运时间,每晚有效作业时间极为紧张,且该问题在上海轨道交通9号线、11号线、16号线的长大区间更为突出。

考虑到夜间天窗时间主要由首末班车的发车

表1 上海城市轨道交通既有夜间天窗时间(截至2023年3月)

Tab.1 Night maintenance window time of Shanghai urban rail transit existing lines up to March 2023

线路名	最短夜间天窗时间/min	最长夜间天窗时间/min
1 号线	230	255
2 号线	175	240
3 号线	220	250
4 号线	225	250
5 号线	225	245
6 号线	220	245
7 号线	235	274
8 号线	261	280
9 号线	165	215
10 号线	210	220
11 号线	210	250
12 号线	255	270
13 号线	260	270
14 号线	240	260
15 号线	220	240
16 号线	210	210
17 号线	220	220
18 号线	205	240

时间决定,所以上海城市轨道交通进行既有线路改造时,会根据客流情况和线路条件,选择性地采取晚发早收、正线留车的方式来增加夜间天窗时间。例如,2020年上半年,上海城市轨道交通充分利用因疫情产生的客流低谷期(客流量约为疫情前的20%且乘客夜间出行意愿急剧降低),安排上海轨道交通2号线、5号线、7号线、8号线、16号线于2020年2月22日起全线运营结束时间提前至21:00,使夜间天窗时间平均增加了约90 min,为车站车厢消毒防疫、设施设备隐患消缺整改、新车调试等工作提供了更充裕的作业时间。之后,上海轨道交通8号线、16号线分别于同年3月22日、4月1日恢复常态末班车,2号线、5号线、7号线均于同年4月30日恢复常态末班车。此外,2022年10月至11月,上海轨道交通16号线在进行全线伤损钢轨更换工作时,采用了龙阳路站停放1列过夜车(在运营开始前执行上行巡道任务)、滴水湖站停放2列过夜车(在首班车后投入载客运送)的方案,使夜间天窗时间增加了约40 min,进而顺利完成171处伤损钢

轨的更换工作。

2.2 采用预制、模块化设计、工序模拟等技术

为了在有限的夜间天窗时间内安全高效地完成改造工作,上海城市轨道交通积极采用预制、模块化设计、工序模拟等技术。

以上海轨道交通5号线改扩建工程为例,该工程为我国首个整线不停运改扩建项目,建设历时约2年半,涉及线路、建筑、结构、信号等17个专业的近百项改造作业内容^[3]。其中,邻近轨行区的站台板采用分段预制、现场吊装拼装、临时固定就位方案,既节省了工期又降低了施工风险;站台屏蔽门采用模块化设计,以便施工现场快速安装;在处理车站改扩建与接触网的关系时,应用BIM(建筑信息模型)技术进行相关工序的可视化模拟,为实际施工提供了大量支持。

2.3 改造作业内容化整为零、日夜兼施

为了进一步提高既有线的不停运改造效率,上海城市轨道交通根据改造作业对正线运营的影响程度,拆分各项改造作业,将其中不实质性影响正线运营的改造作业尽量安排在运营时间施工,同时对安排在夜间天窗时间施工的改造作业进行施工过程细化,使每个步骤均可在短时间内完成。例如,通信系统中的广播系统改造不影响列车开行与上下客,一般安排在运营时间实施;轨行区钢轨焊接作业为适应有限的夜间天窗时间,通过细分施工过程及其相应优化措施,将总用时缩减至180 min。上海城市轨道交通轨行区钢轨焊接作业施工过程示意图如图2所示。

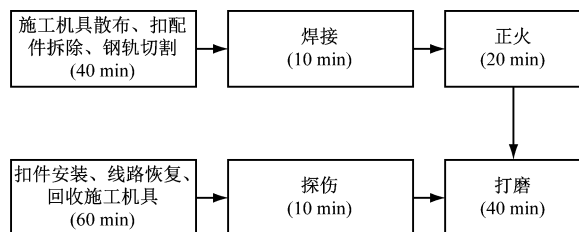


图2 上海城市轨道交通轨行区钢轨焊接作业施工过程示意图

Fig.2 Schematic diagram of the construction process of rail welding operations in the track area of Shanghai urban rail transit

3 既有线路局部停运改造实践情况

既有线路改造难免会涉及一些工程量大、施工过程繁杂、需启动大型施工机械设备和运送大量施工

材料的改造作业内容,若采取不停运施工,则往往会面临工期较长、施工风险较高、施工质量难以保障等问题。以工期问题为例,2023 年 1 月 22 日至 1 月 27 日,上海轨道交通 2 号线淞虹路站—国家会展中心站区段的停运改造项目涉及 105 环隧道整治作业,若在夜间天窗时间施工,每周可完成 1.0 环至 1.5 环工作量,即使按 1.5 环/周的速度施工仍需 490 d 才能完成。

因此,出于缩短工期、降低施工风险、保障施工质量等目的,上海城市轨道交通对一些既有线改造项目采取了停运施工,并通过将停运时间尽量安排在客流低谷期、停运区段开行短驳公交等方式最大化减少对乘客出行的影响。

3.1 基于乘客影响最小化原则安排停运时空范围

截至 2023 年 3 月,上海城市轨道交通历史上已实施的既有线局部停运改造项目如表 2 所示。

表 2 上海城市轨道交通历史上已实施的既有线局部停运改造项目(截至 2023 年 3 月)

Tab. 2 List of partial-suspension renovation projects for existing lines historically implemented in Shanghai Urban Rail Transit up to March 2023

停运类型	停运对象	主要施工内容	停运时间段	停运天数/d
区段停运	2 号线:国家会展中心站—淞虹路站区段	隧道结构整修	2020 年 1 月 23 日—2 月 2 日(春节及其前后)	11
	2 号线:国家会展中心站—淞虹路站区段	集中整治	2023 年 1 月 22 日—1 月 27 日(春节)	6
	3 号线:水产路站—江杨北路站区段	区间引导段不均匀沉降整治	2014 年 1 月 31 日—2 月 6 日(春节)	7
	3 号线:水产路站—江杨北路站区段	宝钢车场改扩建、接触网调整、轨道更换、信号版本更新	2015 年 2 月 16 日—2 月 28 日(春节及其前后)	13
	3 号线:长江南路站—江杨北路站区段	张华浜站改造、轨道设备大修	2023 年 1 月 21 日—1 月 27 日(春节)	7
	4 号线:宝山路站—临平路站区段	集中整治	2012 年 1 月 23 日—1 月 28 日(春节)	6
	5 号线:莘庄站—颛桥站区段	集中整治	2022 年 2 月 1 日—2 月 6 日(春节)	6
	6 号线:高青路站—东方体育中心站上行区段	集中整治	2022 年 2 月 1 日—2 月 6 日(春节)	6
	7 号线:云台路站—高科西路站区段、龙阳路站—花木路上行区段、锦绣路站—高科西路站下行区段	隧道结构整修	2021 年 2 月 12 日—2 月 17 日(春节)	6
	9 号线:松江新城站—洞泾站区段	新线延伸段信号扩容施工	2012 年 8 月 7 日—9 月 3 日(松江大学城放暑假期间)	28
车站停运	9 号线:上海松江站—松江新城站上行区段	隧道结构整修	2020 年 1 月 25 日—1 月 29 日(春节)	5
	1 号线、8 号线:人民广场站	楼扶梯及出站闸机改造	2017 年 1 月 17 日—2 月 10 日(春节及其前后)	25
	2 号线:张江高科站	配合 2 号线东延伸段建成试运营及新、老张江高科站的线路割接	2010 年 2 月 14 日—2 月 23 日(春节及节后)	10
	2 号线:张江高科站	楼扶梯及出站闸机改造、付费区面积扩增	2017 年 1 月 21 日—2 月 8 日(春节及其前后)	19
	8 号线:沈杜公路站	楼扶梯及出站闸机改造、站厅和出入口面积扩增、站外雨棚安装	2017 年 1 月 25 日—2 月 8 日(春节及其前后)	15
	9 号线:漕河泾开发区站	楼扶梯改造	2016 年 1 月 30 日—2 月 21 日(春节及其前后)	23

在停运时间段方面,各改造项目均选在了客流低谷期,从源头上减少了受影响乘客的数量:6 个改造项目的停运时间在春节及其前后、8 个改造项目

的停运时间在春节期间、1 个改造项目的停运时间在春节及节后、1 个改造项目的停运时间在附近大学城放暑假期间。

在停运空间方面,停运的区段与车站大部分位于线路郊区段或线路末端,对乘客出行路径的影响有限:11个停运区段中有8个为线路末端;5个停运车站中有2个为终点站、1个邻近终点站。

此外,根据上海地铁官网的运营公告可知,上海城市轨道交通针对停运车站,采取了跳站通过的方法维持既有线的日常交路;针对双向停运的郊区段,提供了短驳公交实现替代出行的方法;针对有平行线路的停运区段,加大了平行线路的运力投放。通过上述停运应对措施,在广义层面再次缩小了停运空间范围,从而进一步降低了局部停运对乘客出行的影响。

3.2 建立紧密联系相关单位的停运改造工作机制

城市轨道交通具有社会公共服务属性,且通常是城市的公共交通主干,容易牵一发而动全身,因此既有线局部停运往往会面临诸多阻力。

申通地铁集团经过多年的持续探索与实践,在上海市交通委员会的支持和指导下,已建立了一套与公交、铁路、新闻媒体等单位有紧密联系的既有线局部停运改造工作机制,实现与相关单位的及时沟通与配合。申通地铁集团实施既有线局部停运改造工作机制示意图如图3所示。

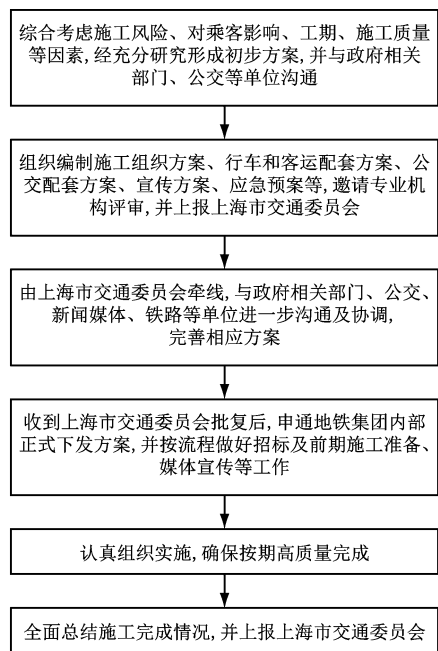


图3 申通地铁集团实施既有线局部停运改造工作机制示意图

Fig.3 Working mechanism of Shanghai Shentong Metro Group Co., Ltd. in implementing partial-suspension renovation

4 结语

近年来,随着多条既有线的设施设备陆续出现老化问题或面临大修,以及新的服务标准和技术标准出台,上海城市轨道交通开展了一系列既有线改造工作,在既有线不停运改造及局部停运改造方面进行了大量的探索与实践,主要获得以下结论:

1) 不停运施工是国内外城市轨道交通进行既有线改造时的基本原则,而停运施工在工期、施工质量、工程投资等方面更具优势,具备特定的应用场景。鉴于城市轨道交通在我国普遍定位为公共交通骨干,应从首要保证安全,再次综合考虑工程成本、社会影响、工程难易度等因素的角度,对既有线改造是否采取停运施工进行科学判断。

2) 涉及轨行区土建改造的工程量通常较大,且需启动大型施工机械设备和运送大量施工材料,因此基于降低施工风险、减少对乘客出行影响、缩短工期、提升施工质量的综合考量,可考虑采取停运施工;涉及设备部件、软件系统等内容的改造施工难度相对较小,基本可避免对日常运营的影响,应尽量采取不停运施工。

3) 不影响运营的改造作业可考虑安排在运营时间施工,而安排在夜间天窗时间施工的改造作业宜通过进一步细化使其可在短时间内完成。对于夜间天窗时间较为有限的情况,一方面可通过晚发早收、正线留车的方法临时增加夜间天窗时间,另一方面可采用预制、模块化设计、工序模拟等技术进一步提高夜间天窗时间的施工效率。

4) 既有线局部停运改造应最大化降低对乘客出行的影响,可采取的措施主要有:将停运时间安排在客流低谷期;为停运区段提供短驳公交作为替代或加大平行线路运力投放;通过跳站通过的方法避免停运车站对日常交路的影响;建立与政府相关部门、公交、铁路、新闻媒体等单位联系紧密的工作机制,实现停运方案的及时沟通与配合。

参考文献

- [1] 王少楠,邱丽丽.城市轨道交通既有线扩能改造分类及其实施要点[J].城市轨道交通研究,2022,25(10):176.
WANG Shaonan, QIU Lili. Types of urban rail transit existing line capacity expansion and implementation key points[J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(10): 176.

(下转第115页)

改造后的宝山路站设计图如图5所示。通过对历史文化元素的传承和创新运用,延续了周边城市

文脉,在一定程度上缝合了被轨道交通割裂的20年。



图5 改造后的宝山路站设计图

Fig. 5 Design diagram of Baoshan Road Station after renovation

4 结语

植根于对城市公共空间割裂问题的观察,以宝山路站为代表的轻轨站点在轨道交通基础设施的更新过程中,逐渐从独立于连续城市肌理的空间物体转向融合城市公共资源、连接碎片化公共空间的复杂系统,完成了对于城市既有基础设施的改造或再利用,并在城市更新和致密化之间建立了必要的联系,本文研究可为上海400余座轨道交通站点后续的更新改造提供一种参考类型。

参考文献

- [1] DE SOLA-MORALES R I. Terrain Vague[M]. Cambridge: MIT Press, 1995.

- [2] 谭峥. 寻找现代性的参量 基础设施建筑学[J]. 时代建筑, 2016(2): 6.

TAN Zheng. Seeking the parameters of modernity infra-architecture [J]. Time + Architecture, 2016(2): 6.

- [3] 许晔, 张斌. 对被看的遮蔽: 东岸望江驿的公共性[J]. 建筑学报, 2019(8): 45.

XU Ye, ZHANG Bin. Protecting those being seen: the publicity of riverview service stations on the east bund[J]. Architectural Journal, 2019(8): 45.

· 收稿日期:2023-03-27 修回日期:2023-05-11 出版日期:2025-05-10

Received:2023-03-27 Revised:2023-05-11 Published:2025-05-10

· 通信作者:方迎利,正高级工程师,87107310@qq.com

· ©《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109页)

- [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[J]. 城市轨道交通, 2023(4): 13.

China Association of Metros. Statistical and Analytical Report on Urban Rail Transit in 2022[J]. China Metros, 2023(4): 13.

- [3] 朱捷, 陈文艳. 上海既有轨道交通5号线“不停运”改扩建升级关键技术[J]. 都市快轨交通, 2020, 33(5): 51.

ZHU Jie, CHEN Wenyan. Key technologies for renovation and expansion of Shanghai rail transit line 5 without stopping operation

[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2020, 33(5): 51.

· 收稿日期:2023-04-03 修回日期:2024-01-15 出版日期:2025-05-10

Received:2023-04-03 Revised:2024-01-15 Published:2025-05-10

· 第一作者:王思韬,工程师,wst.ssrtrc@qq.com

通信作者:王镇波,工程师,735010283@qq.com

· ©《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