

城市轨道交通既有有线扩编改造类型与实施要点

陈炎^{1,2} 杨军^{1,2} 赵华伟^{1,2} 程晏^{1,2}

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

摘要 [目的] 目前,城市轨道交通部分线路的客流需求与运力供给矛盾突出,扩编改造作为提升线路运输能力的一种方式,在国内外已有较多的探索与应用,但尚无系统性的梳理与总结,对后续扩编改造具体工作的指导性不足。因此,有必要对城市轨道交通既有有线扩编改造类型与实施要点进行归纳与分析。[方法] 梳理国内外城市轨道交通扩编改造典型案例,并进行类型划分;以不同改造类型的典型案例为研究对象,分析其线路改造内容,归纳总结不同类型的扩编改造实施要点,并提出相关建议。[结果及结论] 扩编改造工程可划分为三类。对于站台空间已做条件预留的扩编改造,其重点在于车辆设备的改造,需要在设计时就确定好改造前、后的相关技术参数;对于站台空间未做预留、但不扩编改造,其重点在于车门开启方式与站台门的改造,确保乘客疏散时间能够满足安全运营要求;对于扩建车站站台并对相关土建设施与机电设备进行大规模改造的扩编改造,扩建设施应与既有设施的结构相对独立,扩建设施应满足客流通行乘降需求和消防疏散要求。

关键词 城市轨道交通; 既有有线; 扩编改造

中图分类号 U292.3⁺1

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.12.050

Types and Implementation Key Points of Expansion and Renovation for Urban Rail Transit Existing Lines

CHEN Yan^{1,2}, YANG Jun^{1,2}, ZHAO Huawei^{1,2}, CHENG Yan^{1,2}

(1. Beijing Subway Operation Co., Ltd., 100044, Beijing, China; 2. Beijing Key Laboratory of Subway Operation Safety Technology, 100044, Beijing, China)

Abstract [Objective] At present, some urban rail transit lines face significant mismatches between passenger flow demands and capacity supply. Capacity expansion and renovation is the common approach to enhance line transportation capacity. In spite of various explorations and applications in China and abroad, a systematic sorting and summary is absent, causing lack in guidance for subsequent specific expansion and renovation work. Therefore, it is necessary to summarize and analyze the types and key implementation points of capacity ex-

pansion and renovation for the existing urban rail transit lines.

[Method] Typical cases of urban rail transit capacity expansion and renovation both in China and abroad are sorted and categorized. Taking typical cases for each renovation type as the research objects, the line renovation contents are analyzed, the key implementation points for capacity expansion and renovation are summarized, and relevant recommendations are put forward. [Result & Conclusion] The capacity expansion and renovation projects can be classified into three categories. For the expansion with reserved platform space conditions, the focus is on renovating the vehicle equipment, and it is crucial to establish relevant technical parameters for pre- and post-renovation at design phase. For the expansion of preserving the current status without reserved platform space, the emphasis is on the vehicle door opening methods and modifying platform doors to ensure that passenger evacuation time can meet the safe operation requirements. For station platform expansion with major renovations on relevant civil engineering facilities and electromechanical equipment, the expansion facilities should be structurally independent of existing facilities, and meet the passenger flow passing, boarding and alighting requirements, and fire evacuation standards.

Key words urban rail transit; existing line; capacity expansion and renovation

城市轨道交通线路的初期车辆编组配置通常根据客流预测数据来确定,并采用相对近期、远期设计编组偏小的编组数量,以提高运输效益、降低运营成本。随着线路周边人口与城市功能的聚集,以及线网的逐步构筑,轨道交通客流量将会不断增长,甚至超出列车的运输能力。部分线路虽然在初期采用了与近期、远期一致的车辆编组数量,但由于客流量的增长超出了预测数据,线路运输能力也难以满足客流需求,导致车外拥堵、车内拥挤,乘客的舒适度与体验感较差。通过增购列车并缩短发车间隔可以缓解供需矛盾,但由于信号技术发展水平所限,在一定时期内,列车的行车间隔往往较难有大突破,对于供需矛盾过于突出的线路,有必要

对列车进行扩编,以提升线路的运输能力。

列车扩编是一项系统工程,除了列车本身的改造,还涉及到信号、供电、车站建筑、车辆基地等诸多方面,扩编过程中还不宜中断正常运营,实施起来具有一定的难度,而如果线路在设计实施中未对列车扩编进行过条件预留,实施难度则会大幅提升。针对部分城市轨道交通线路存在的列车扩编需求,本文梳理了国内外典型案例,对其进行类型划分,并以不同类型的典型案例为研究对象进行分析,提出扩编的实施要点和相关建议,为后续开展既有线的扩编改造提供参考与借鉴。

1 城市轨道交通既有线扩编改造类型划分

国内外很多城市为适应客流的增长需求,对城市轨道交通线路的列车编组进行过或正在进行扩编工作,这些扩编案例基于是否有预留空间条件、是否需要站台扩建改造的差异,可归纳为三大类:① 站台空间已做条件预留的扩编改造;② 站台空间未做预留,但不对站台进行扩建的扩编改造;③ 扩建车站站台,并对相关土建设施与机电设备进行大规模改造的扩编改造。已实施的案例中,大部分为有预留条件的扩编改造,少部分为无预留条件的扩编改造。城市轨道交通扩编改造典型案例与分类如表1所示。

2 站台空间已做预留的扩编改造

2.1 典型案例与实施内容

这一类扩编组改造是指线路规划建设之初已经考虑了后期客流增长的需求,为近期或远期列车扩编预留了相关接口,如车站站台、折返线、停车线等空间规模均满足扩编要求,无需进行配套土建设施扩建等大规模的土建改造工程。扩编方式通常为在增购新车的同时,对既有列车及相关设备系统进行改造,并对既有缺陷进行改进优化设计,实现新旧车辆融合扩编,必要时对站台门、信号、供电等设备系统及相关配线与车辆基地库线进行配套改造,典型案例包括北京地铁八通线^[1]、上海轨道交通1号线^[2-3]、天津轨道交通1号线^[4]、广州地铁3号线、重庆轨道交通3号线等线路的扩编改造工程。

以北京地铁八通线为例,北京地铁八通线于2003年开通运营,首批配车数量24组,共96辆,每组车采用2动2拖4辆编组方式。随着客流量的快速增长,列车最小运行间隔逐渐缩短至北京奥运会

表1 城市轨道交通扩编改造典型案例与分类

Tab.1 Typical cases and classification of urban rail transit capacity expansion and renovation

类型	城市	线路	列车扩编情况	实施时间
站台空间已做预留的扩编改造	东京	南北线	4 辆编组扩为 6 辆编组	1996 年
			6 辆编组扩为 8 辆编组	2022 年
		新宿线	8 辆编组扩为 10 辆编组	2010 年
	北京	八通线	4 辆编组扩为 6 辆编组	2007—2008 年
		13 号线	4 辆编组扩为 6 辆编组	2008—2009 年
	上海	1 号线、2 号线	6 辆编组扩为 8 辆编组	2008—2009 年
		2 号线(广兰路站—浦东 1 号 2 号航站楼站区间)	4 辆编组扩为 8 辆编组	2017—2019 年
	广州	3 号线	3 辆编组扩为 6 辆编组	2010 年
	天津	1 号线	4 辆编组扩为 6 辆编组	2010—2011 年
	重庆	2 号线	4 辆编组扩为 6 辆编组	2012 年
6 辆编组扩为 8 辆编组			2022 年	
3 号线		6 辆编组扩为 8 辆编组	2020—2021 年	
深圳	4 号线	4 辆编组扩为 6 辆编组	2014—2015 年	
站台空间未做预留,但不 对站台进行扩建的扩编改造	伦敦	北线、大都会线、环城线、区域线、汉默史密斯和城市线等	6 辆编组扩为 7 辆编组	2015 年
对站台进行扩建的扩编改造	巴黎	1 号线	5 辆编组扩为 6 辆编组	1963 年
	上海	5 号线	4 辆编组扩为 6 辆编组	2016—2018 年
	北京	13 号线	6 辆编组扩为 8 辆编组	2019 年开始(在建)

前的 3 min,但仍然难以满足早晚高峰的客流需求。故相关部门决定从 2007 年 10 月开始启动对北京地铁八通线现有 24 组列车的扩编工作,采购 48 辆新车与现有列车进行组合,将既有列车由 4 辆编组扩编为 6 辆编组,同时还增购了 6 组 6 辆编组的新列车。

北京地铁八通线列车的扩编主要内容是对车辆进行改造,将原编组方式为-Mc(1)·T(2)-T1(3)·Mc(4)-的4辆编组列车(其中:Mc表示带司机室动车;M表示无司机室动车;T表示拖车;“·”表示棒式车钩;“-”表示密接式车钩;括号内数字为车号),在T(2)-T1(3)·Mc(4)之间解开两处,分别增加一辆动车和一辆拖车,改造为编组方式为-Mc(1)·T(2)·M(3)-T1(4)·T2(5)·Mc(6)-的6辆编组列车。新增车辆各系统与原有车辆系统相兼容,性能及容量相匹配,车辆的车型、技术规格及技术性能与原有车辆相同。同时,在原有车辆结构和性能基础上,增加了乘客信息系统、视频监视系统与移动电视系统等服务设备。此外,还根据运营需求对土桥车辆段停车列检库进行了扩建,对四惠折返线进行了改造,各站列车停车位置也进行了相应调整。

2.2 实施要点与建议

结合已实施案例,尤其是北京地铁八通线的扩编改造操作经验,此类改造应重点关注以下几个方面:

1) 线路设计阶段核算并确定扩编前后的车辆编组形式、动拖比、牵引制动性能、故障运行及救援能力等技术指标。

2) 当列车扩编改造采取新旧车辆组合方式时,新车应核对与原有车辆的接口关系,尽可能减少与旧系统的接口,并最大限度地满足接口要求;条件困难时,再考虑对原有车辆及旧系统的改造。

3) 新车应尽可能沿用原有车辆的既有设计,结合运营需求与乘客需求,在条件允许的情况下,宜对原有车辆及新造车辆做出功能提升与改进设计。

4) 列车扩编改造应尽量在列车架修或大修期间进行,以减少对检修库分解组装台位的占用,并提高车辆的利用率,如天津轨道交通1号线与上海轨道交通1号线、2号线扩编改造的时间基本处于列车架修及大修周期。

5) 首列列车扩编后,须完成所有例行试验与联调试验,以验证新增车辆设计和旧车改造设计的合理性,在首列列车完成验证的基础上,再全面开展后续列车的扩编改造。

6) 扩编改造周期较长,若不中断运营,必将存在一个不同编组混跑的阶段,需要详细制定过渡阶段的运营组织方案。

3 空间未做预留但不对站台进行扩建的扩编改造

3.1 典型案例与实施内容

当线路未预留站台空间扩建条件且扩编规模较小时,可以考虑仅针对配线、车辆基地等进行小规模土建改造,重点侧重于对车辆等设备系统进行改造,并通过特殊的组织方法实现车辆的扩编组。典型案例为伦敦轨道交通基于SDO(车门选择性开启)运营模式的列车扩编改造。

伦敦轨道交通针对乘车需求与轨道运力矛盾日益突出的问题,采取了增加车辆编组的方式,提升线路运能。由于伦敦轨道交通一部分车站在建设时受空间制约,按照较短编组(如4辆、6辆编组等)进行站台设计,难以满足列车扩编要求。为实现线路的全线扩编,伦敦采用了SDO运营模式,在不对土建设施进行改造的情况下,根据站台长度选择性地开启部分或全部车门。对于部分短站台车站,首尾车厢有部分车体停靠于站台有效长度以外,该首尾车厢只打开部分车门。包括伦敦地铁北线、伦敦地铁大都会线、伦敦地铁环城线、伦敦区域线、汉默史密斯和城市线5条线路33座车站,伦敦地上铁4座车站及DLR(码头区轻便铁路)4座车站共计41座车站(约占全网车站的9%)的短站台上采用了SDO运营模式。

3.2 实施要点与建议

2.2节提出的实施要点同样适用于SDO运营模式下的列车扩编改造,结合伦敦地铁在SDO运营模式上的实践,此类改造还应对以下几点予以关注:

1) SDO运营模式适用于线路上仅少量车站的站台长度不满足列车扩编需求的改造,此类车站多为地下车站,且SDO运营模式一般仅能满足类似5辆编组扩为6辆编组、6辆编组扩为7辆编组这种小规模扩编需求。

2) 为满足列车正常的运营、维修、调度等需求,应根据扩编后的列车长度,对折返线、停车线等配线及车辆基地内的出入线与库线等进行必要的改造。虽然,站台有效长度受条件限制无法进行延长改造,但站外的配线改造仍会引起一定的土建改造,并需要一定的改造空间,同时还应满足道岔与站端的最小距离要求。此类小规模土建改造往往是扩编方案能否成立的关键。

3) SDO运营模式需重点考虑不同车门开启方

案的选择。由于我国的地铁车站站台基本都安装了站台门,若仅最后一个车厢不开门,则对站台门可不进行改动(新增车厢的车门布置与有司机室车辆车门布置保持一致时),或仅有一节车厢对应的站台门需要改动(新增车厢的车门布置与原有列车中间车厢的车门布置保持一致时),但对最后一节车厢乘客的乘降影响比较大;若首尾车厢均只开部分车门,首尾车厢乘客的乘降体验感相对有所提高,但需要对所有站台门进行改造。

4) SDO 运营模式不利于部分乘客的乘降,尤其不利于残障人士下车,且可能由于乘降效率的降低造成乘客疏散时间无法满足安全运营的要求,因此需要加强对受影响区域乘客的合理引导,通过乘客信息系统、广播系统对不能开启车门的车厢和相关区域及时给出提示信息。

5) 由于乘客使用不便、走行距离增加等因素影响,SDO 运营模式下的列车扩编运力提升的理论值实际很难达到,而且改造工程复杂、运营风险较大,项目应基于成本效益分析,审慎决策。正是因为 SDO 运营模式存在的风险和暴露出的问题,伦敦已计划在未来对采用 SDO 运营模式的车站进行改造,逐步减少该模式的使用。

4 对站台进行扩建的扩编改造

4.1 典型案例与实施内容

这一类列车扩编指线路在规划建设初期,未预留或预留土建设施不满足扩编要求,但车站站台具备通过土建改造进行延长和加宽的条件,故通过站台、配线等土建改造,以及车辆及相关设施的系统性改造来实现列车扩编需求。典型案例包括上海轨道交通 5 号线扩编改造^[5]、巴黎地铁 1 号线扩编改造、北京地铁 13 号线扩能提升工程中的 13A 线扩编改造(在建)^[6-7]。

以上海轨道交通 5 号线为例,该线于 2003 年投入运营,除莘庄站为地面站外,其余线路均采用高架方式敷设,并在东川路站岔前预留了继续向南延伸的条件。根据客流预测,该线路采用 4 辆编组 C 型车,相关土建工程及系统设施均按此标准进行设计与建设。随着城市的快速发展和客流的快速增长,上海轨道交通 5 号线的小编组列车已明显不能满足客流需求,故决定进行扩能改造。

上海轨道交通 5 号线扩编改造内容主要包括:

① 莘庄站—东川路站区间的 7 座车站扩建改造,以

满足 5 号线主线车辆编组由 4 辆调整为 6 辆的需求。车站站台扩建采用“有效站台两端加长”方案,并根据线路条件、接触网立柱、道岔、道路红线、地下管线等限制因素的差异,灵活采取了完全对称扩建、两侧非对称扩建、上下行站台错位扩建等多种改造方案。为确保结构工程可实施性和运营安全性,对于无主变电所的标准车站,扩建部分结构与既有结构完全脱开。② 对莘庄站站后折返线、全线信号系统及牵引供电系统等设施开展改造工程,以满足线路运能达到 30 对/h 的要求。其中,信号系统由点式列车控制系统升级为无点式后备模式的双 CBTC(基于通信的列车自动控制)系统,将线路运能由 22 对/h 提升至 30 对/h。③ 同步进行安全与人性化提升改造。结合站台扩建,对上海轨道交通 5 号线整体系统功能进行升级,将原司机手动控制的电动栏杆更新为能与信号系统联动的半高站台门,并新增车辆与门体间的红外探测装置、站台绝缘装置等。在既有车站每侧站台增设自动扶梯及疏散楼梯间,强化车站垂直提升和安全疏散的能力。新增站台雨棚及侧板全封闭形式,增强车站的防风、防雨能力,为乘客提供更良好的候车环境。

4.2 实施要点与建议

结合已实施案例,尤其是上海轨道交通 5 号线的扩编改造操作经验,此类改造的适用条件及应关注重点如下:

1) 相较于高架车站,地下车站的扩建难度更大、风险更高,因此,对无预留空间条件的车站进行扩编改造,宜选择高架敷设为主的线路与车站,如上海轨道交通 5 号线扩编改造、北京地铁 13A 线扩编改造的改造车站均为地上车站,扩建方案应综合线路条件、车站配线、柱网分布、既有设施设备与线路分布、用地条件、客流需求等因素进行设计比选。

2) 对站台进行扩建的扩编改造,一方面应立足于既有线的实际情况,充分利用既有条件与设备设施,尽量减少大拆大建,以节约投资。另一方面也应利用扩编改造时机,对到期或影响正常运营的设备系统一并进行更新,对既有线存在的“短板”同步进行改进升级,通过出入口优化等方式与城市功能实现更好的融合,从而提升改造后线路的整体功能和服务水平,如上海轨道交通 5 号线扩编改造时同步进行了安全与人性化设施的升级改造。

3) 站台扩建应重点分析客流通行乘降需求和消防疏散要求,根据核算结果,必要时拓宽站台、增

设楼扶梯或调整楼扶梯布局。

4) 扩建设施应与既有设施“相对独立”,站台扩建部分尽可能与既有结构脱开,最大程度上确保既有结构的稳定性,并从源头上减小工程实施对既有轨行区、车站公共区等关键系统的影响范围和时间。

5) 重视施工组织管理。对正线运营影响较小的改造工程,可在运营期间实施。影响既有运营线的改造工程,包括相关设备系统的安装及调试、站台扩建与配线改造等,应重点利用夜间停运时间开展,以保证有序推进各项改造工程的实施。

6) 由于改造实施的窗口期主要为夜间停运时间段,同时为降低对既有运营的影响,改造工程的整体周期应尽可能缩短。因此,需要选择有效合理的施工方法与工艺,如采用预制、模块化等设计手段,对车站扩建部分进行装配式建造,使改造工程在有限的夜间停运时间段内尽快完成。例如,上海轨道交通5号线在扩编改造时,临近轨行区的站台板采用分段预制、现场吊装拼装、临时固定就位的方案,既节约了工期,又降低了改造工程的施工风险。

5 结语

目前,部分城市轨道交通线路的客流增长明显超出了客流预测值,且通过缩短列车发车间隔仍不能完全解决运力供给与客流需求间的矛盾,因此,扩编改造就成为了线路进一步扩能的重要选择。线路扩编改造的制约因素多、工程难度大、实施风险高,应基于空间预留条件与站台扩建可能性来明确扩编改造类型,充分考虑扩编改造的实施要点与运营风险,加强成本效益论证,确保扩编改造的决策科学合理、推进稳妥有序、效果积极明显。

参考文献

- [1] 徐惠林,相春静,杜有强.北京地铁八通线列车扩编设计[J].城市轨道交通研究,2009,12(4):41.

- XU Huilin, XIANG Chunjing, DU Youqiang. The expanding design of Beijing Metro Ba-Tong Line [J]. Urban Mass Transit, 2009, 12(4): 41.
- [2] 戚婷婷,奚笑冬,余强.上海轨道交通车辆“6改8”项目的分析[J].城市轨道交通研究,2008,11(10):40.
- QI Tingting, XI Xiaodong, YU Qiang. Analysis of marshalling reform in Shanghai Metro [J]. Urban Mass Transit, 2008, 11(10): 40.
- [3] 朱沪生.上海轨道交通1、2号线列车编组“6改8”项目的技术对策及实施效果分析[J].城市轨道交通研究,2012,15(3):1.
- ZHU Husheng. Technical countermeasures and effectiveness analysis for marshalling expansion project on Shanghai Rail Transit Line 1 & 2 [J]. Urban Mass Transit, 2012, 15(3): 1.
- [4] 戴源廷,余泽军,贺丽伟,等.天津地铁1号线列车编组4辆扩编为6辆工程[J].铁道机车车辆,2012,32(3):93.
- DAI Yuanting, YU Zejun, HE Liwei, et al. Project of 4 cars extended to 6 cars for Tianjin Metro Line 1 [J]. Railway Locomotive & Car, 2012, 32(3): 93.
- [5] 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.
- [6] 邱丽丽,彭彦彬,陈苒迪,等.城市轨道交通高架车站扩编改造设计要点[J].城市轨道交通研究,2022,25(6):102.
- QIU Lili, PENG Yanbin, CHEN Randi, et al. Design points for the expansion and reconstruction of urban rail transit elevated station [J]. Urban Mass Transit, 2022, 25(6): 102.
- [7] 徐成永,贺鹏,邱丽丽.北京地铁13号线运能提升改造综合实施方案剖析[J].都市快轨交通,2021,34(2):54.
- XU Chengyong, HE Peng, QIU Lili. Comprehensive scheme for capacity expanding of Beijing Metro Line 13 [J]. Urban Rapid Rail Transit, 2021, 34(2): 54.

· 收稿日期:2023-08-25 修回日期:2023-09-20 出版日期:2024-12-10

Received:2023-08-25 Revised:2023-09-20 Published:2024-12-10

· 通信作者:陈炎,高级工程师,chenyan1145@bjsubway.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

欢迎订阅《城市轨道交通研究》

服务热线 021—56830728 转 821