

上海软弱地层采用盾构法及顶管法建造 地铁车站的可行性方案研究

陈卫军

(中铁上海设计院集团有限公司, 200070, 上海//高级工程师)

摘 要 地铁建设进入了智能化发展时代,基于智能化地下施工装备技术修建地铁车站成为建筑领域的新热点。在研究国内外暗挖法修建地铁车站案例的基础上,归纳了盾构法建造地铁车站的技术路线,提出了几种适用于在软弱地层中采用大断面盾构或顶管等机械化施工方法修建地铁车站的新方案,并对各方案的适应性与发展前景进行评析,为地铁土建工程建设提供智能化解决方案。

关键词 地铁车站;地下施工;软弱地层;盾构法;顶管法
中图分类号 U455.44

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.07.035

Study on Feasible Schemes of Metro Station Construction by Shield Method and Pipe Jacking Method in Soft and Weak Stratum in Shanghai

CHEN Weijun

Abstract Urban rail transit construction has entered the era of intelligent development, and constructing metro stations based on intelligent underground construction technology and equipment has become the hot issue in architecture area. On the basis of studying cases of metro station construction using shield method abroad and domestic, technical routes for building metro station with shield method are summarized, and several new proposals are given for building metro station in soft and weak stratum using mechanical methods such as large section shield method or pipe jacking method. The adaptability and development prospect of each proposal are evaluated, providing intelligent solutions for metro engineering.

Key words metro station; underground construction; soft and weak stratum; shield method; pipe jacking method

Author's address China Railway Shanghai Design Institute Group Co., Ltd., 200070, Shanghai, China

在软弱地层中修建地铁车站多采用明挖法^[1]。明挖法虽然具有适应性广等优点,但易受市政设施的限制,如下穿既有的城市隧道或市政管廊、地铁

车站、地面铁路线、低净空高架桥时,明挖法施工方案并不可行。或明挖法虽可行,但对于大埋深地下空间开发而言,综合考虑交通疏解、管线迁改、建筑物拆迁、环境保护等措施后,明挖法的造价不经济。地铁建设已进入智能化发展新时代^[2],城市经济和社会的高质量发展迫切要求对车站的暗挖法施工进行深入研究。

暗挖法施工通常包括矿山法、盾构法、顶管法等^[3]。在软弱地层中,矿山法需考虑地层预加固措施,其工程造价偏高。近年来地下施工装备技术迅猛发展,为采用盾构法、顶管法等建造地铁车站奠定了坚实基础,盾构法或顶管法日益成为地下工程建设高效、安全、经济、智能、绿色的代名词^[4]。

在对国内外暗挖法修建地铁车站进行案例研究的基础上,本文分析、归纳了采用盾构法及顶管法建造地铁车站几种技术路线,提出了几种适用于软弱地层的大断面盾构或顶管等机械暗挖法的新方案,并对其研究现状、适应性条件、争论焦点与发展前景等进行评析。

1 采用盾构法及顶管法建造地铁车站的技术现状分析

盾构法及顶管法均是适用于各种地质环境下暗挖施工的全机械化施工方法,均在钢护壳保护下进行开挖、推进、衬砌和注浆等作业,可有效防止周边岩土体发生往隧道内的坍塌。将智能感知技术与精细化监控技术应用于盾构法或顶管法施工中,使土体开挖或切削、出渣、管片拼装和注浆作业等工序变得更加高效、安全、绿色。

地铁车站一般由车站主体、出入口、通风道及地面风亭等3部分组成。其中,车站主体包括轨行区隧道、供乘客进出站及上下车的站厅层与站台层、设备用房、管理用房等。采用盾构法或顶管法

建造地铁车站,首先在车站的两端或中部修建工作井,作为盾构机或顶管机的始发井或接收井;然后用盾构法或顶管法分别贯通轨行区隧道;最后将轨行区隧道与进出站通道、设备用房与管理用房连通。为降低工程的技术难度与总造价,车站的设备用房与管理用房多布置在明挖区或外挂建筑物内。

文献[3]和文献[5-10]对国内外基于盾构组合方法建造地铁车站进行了研究。文献[11-12]对上海软弱地层中采用盾构法修建地铁车站进行了初探。在上述研究中可以归纳出盾构法修建地铁车站的2种技术路线:一是根据车站自身特点灵活采用各种盾构组合方法,即先采用盾构机将轨行区隧道贯通,后辅以横向连通道法、半盾构法、托梁(盖挖)法、矿山法等,扩充形成地铁车站;二是利用大直径盾构机或多连体盾构机直接进行全断面掘进,形成地铁车站。

在国外,采用盾构组合法修建地铁车站的方法与案例可归纳为以下几种类型:

1) 盾构法与横向连通道法相结合。采用2个或多个并列的圆形隧道通过横向连通道组合形成地铁车站。其案例如东京地铁5号线木场镇站。

2) 盾构法与半盾构法相结合。采用2台单圆盾构先平行掘进贯通轨行区隧道,然后在1台半盾构掩盖下掘进中间站厅部分。其案例如莫斯科的巴维列茨克站。

3) 盾构法与托梁法相结合。首先采用盾构平行掘进贯通轨行区隧道;然后在隧道内修建立柱,再从两侧立柱顶端向轨行区隧道之间的地层中压入托梁;最后在托梁的支撑下进行土体开挖,对车站结构进行施工。其案例如东京地铁9号线新御茶水站。

4) 盾构法与矿山工法相结合。采用盾构先行掘进贯通轨行区隧道,然后采用矿山法扩挖2个轨行区隧道之间的部分。

5) 采用两连体或三连体盾构机直接建造地铁车站,其案例如东京地铁的12号线饭田桥站和7号线白金台地铁站等。

6) 采用大直径单圆盾构隧道直接建造地铁车站,通过将上、下行线竖向叠落布置在单圆盾构隧道(10.9 m内净空)内。

在国内,北京地铁14号线高家园站将传统PBA(洞桩)法的中部导洞调整为采用大直径单洞双线隧道,仿照PBA暗挖法建造地铁车站,即:首先

采用大直径盾构掘进中部轨行区单洞双线隧道,并进行两侧矿山法导洞施工;然后在盾构隧道内施作底梁、矩形柱、顶梁,并架设临时支撑,仿照PBA法两侧对称扩挖形成地下2层侧式标准站;最后在站台两侧明挖修建车站的站厅及设备用房,通过连通道连接站台和外挂结构。上海轨道交通静安寺站是轨道交通2号、7号、14号线交汇形成的“门”字形换乘站,其14号线的站址位于上海市中心区域,道路交通繁忙,地下管线密集,车站结构需下穿延安路高架桥,因此14号线静安寺站的建筑设计采用端进式站型,下穿延安路高架桥段施工则采用分离式类矩形盾构法与站台层连通。

2 软弱地层采用盾构法或顶管法建造地铁车站的适应性分析

国内外采用盾构法修建的地铁车站大多处于自稳性较好的土层环境中,在软弱地层中施工案例较少。虽然上海轨道交通线路的区间隧道普遍采用盾构法施工,但考虑到地铁车站横断面面积约为单线盾构区间隧道横断面面积的10倍,业界对采用大直径盾构建造地铁车站仍存在顾虑:①与明挖法相比,盾构法机械设备造价昂贵,经济性较差;②受大直径盾构机及修建技术制约,盾构隧道与横向连通道法相结合的施工仅适用于客流量较小的车站,车站的建设规模受到限制;③为满足楼扶梯布置和消防逃生要求,多将车站建筑固化为端进式车站站型,盾构法建造段长度一般控制在90 m以内;④在富水软弱地层中,连通道施工被认为是地铁建设的高风险事件;⑤盾构法隧道是装配式结构,主体受力结构存在纵横向接缝,且整体刚度在受力与防水上较现浇钢筋混凝土结构处于劣势。

1994年,日本东京湾隧道首次采用直径为14.14 m的盾构进行施工。2004年,上海的上中路隧道引进了14.87 m的盾构机。截至目前,国内的盾构隧道项目中,盾构直径在14 m及其以上的项目有近40项。大直径盾构被广泛应用在上海越江隧道及城市轨道交通单洞双线区间隧道的建设中,大直径盾构的设计与施工已积累了丰富经验。

近年来,地下施工装备聚焦超大直径、超长距离、深埋高压、地质多变等复杂建设条件,围绕智能化、数字化与绿色化广泛开展科技创新,且取得了重大技术突破,为盾构法建造地铁车站提供了技术可行的替代解决方案。

隧道工程的建设推动了新技术、新工艺、新材料、新设备的引进、开发和应用。隧道掘进装备的国产化率已超过 90%, 使盾构法施工的工程造价大幅降低。

在软弱地层中联络通道施工普遍采用冻结法, 众多工程实践表明其施工风险是可控的。宁波地铁公司在采用顶管法实施连通道方面做了深入的研究与实践, 在顶管钢壳保护下进行联络通道施工的风险已显著降低。

盾构法与托梁法、矿山法应用于上海软土地层时, 需采取地层预加固和降水措施, 其工程经济性较差, 可考虑在小规模项目或局部节点处选用。另外, 盾构法与半盾构组合法建造的车站横断面与三连体盾构机全断面掘进法形成的车站横断面较相似, 而三连体盾构机在软弱地层中掘进优势更为明显。对于异形盾构机或多连体盾构机全断面掘进建造地铁车站, 其关键技术在于盾构机的研发与制造, 本文暂不做深入评析。

经综合分析, 在上海的软弱地层中采用盾构法或顶管法等机械化施工方法建造地铁车站, 其可行的技术路线推荐如下: ① 11 ~ 16 m 大直径盾构全断面掘进法; ② 8 ~ 10 m 中等直径盾构法与其它方法施工联络通道相结合的施工方法; ③ 矩形顶管水平并列、竖向叠落施工; ④ 大断面分割矩形顶管转换法。

3 软弱地层中采用盾构法或顶管法建造地铁车站的方案评析

为便于方案阐述, 盾构隧道横断面设计方案中假定轨行区的建筑限界宽度为 3 850 mm; 与楼扶梯并排布置时侧式站台的最小宽度为 2.5 m; 出入口侧接的侧式站台宽度按 3.5 m 考虑; 岛式站台宽度不小于 8.0 m。

3.1 11 ~ 16 m 大直径盾构全断面掘进法

将上、下行线路平行布置在单圆盾构隧道内, 当采用岛式站台时, 地铁车站的平面及竖向布置可参考地下 2 层标准岛式车站, 即设计为单洞双层, 上层为站厅层, 下层为站台层, 如图 1 a) 所示, 此时隧道内净空尺寸 D_1 不宜小于 15.4 m; 当采用侧式站台时, 为减少工程规模, 宜优先考虑出入口通道侧接方案。地铁车站的平面及竖向布置可参考地下 1 层侧式车站, 如图 1 b) 所示, 此时隧道内净空尺寸 D_2 不宜小于 12.6 m。

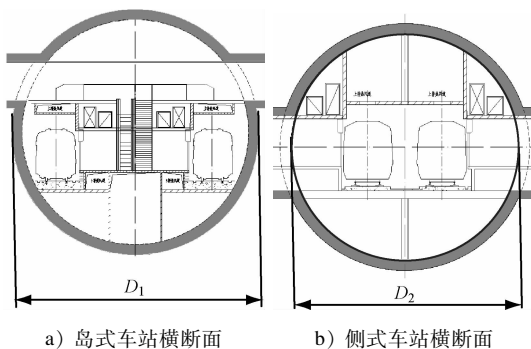


图 1 采用大直径盾构全断面施工的地铁车站横断面布置图

参照分离岛式车站设计, 将上、下行线路分别布置在 2 个独立的大直径圆形盾构隧道内, 隧道间通过横向联络通道或端头井区域连通。单圆隧道的上层布置站厅层, 下层布置站台层, 通过楼扶梯连接站台、站厅层, 如图 2 所示, 此时的隧道内净空尺寸 D_3 为 10 ~ 12 m。

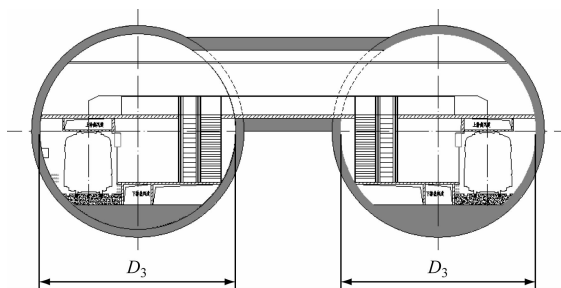


图 2 采用大直径盾构施工的分离岛式隧道横断面布置图

3.2 8 ~ 10 m 中等直径盾构与横通道结合法

广州地铁 2 号线越秀公园站位于五叉路口, 地面交通非常繁忙, 不具备明挖条件, 设计采用 3 个平行矿山法洞室方案, 两侧为外径不小于 8 m 的侧式站台洞室, 中间为人行通道, 通过设计横向联络通道将 3 个洞室连通, 中间人行通道连接两端明挖站厅或地面厅。

青岛地铁 3 号线敦化路站基岩埋深浅, 地面道路交通繁忙。建设时将主要设备外挂至地块明挖区域, 分别在车站两端设竖井及横通道, 在横通道内用矿山法暗挖建设上、下行轨行区隧道, 然后用横通道连通站台与地下 1 层站厅层。

参照上述越秀公园站、敦化路站的施工方案, 可在上海的软土地层内采用盾构与横通道结合法建造地铁车站, 如图 3 所示。

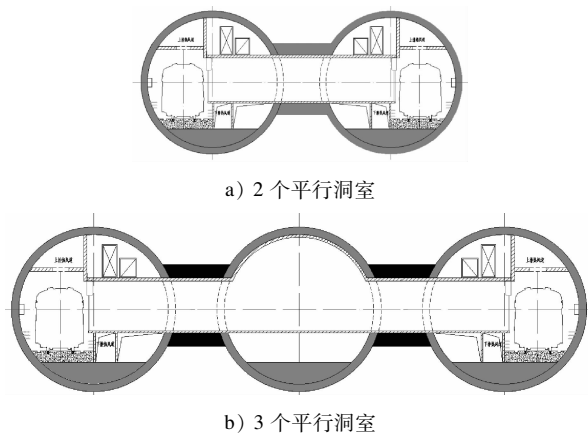


图3 采用“盾构+横通道”施工的地铁车站横断面布置图

3.3 矩形顶管水平并列、竖向叠落施工法

经标准化、模块化研究,将传统地下2层标准车站划分为多个独立矩形框架,各框架结构间为水平或竖向叠落。通过顶管法依次分步密贴顶进框架结构,在明挖工作井位置或通过联络通道连通各框架洞室,最终实现地铁2层标准车站功能,如图4所示。

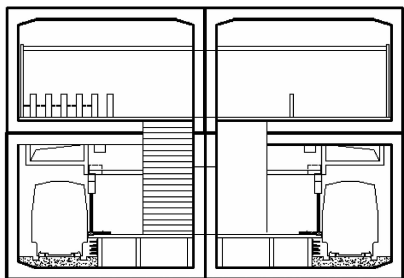


图4 采用矩形顶管分步顶进施工的地铁车站横断面示意图

3.4 大断面分割矩形顶管转换法

国内某地下1层停车库试验工程^[13-14]的总建筑面积为3 500 m²,车库的长、宽分别为90 m和36 m,设计停车位约为100个,并设1个车行出入口、2个人行出入口、3个自然采光井和1个机械排烟井。该工程采用顶管法和装配式结构相结合的施工方法,在两端工作井内依次水平密贴顶进矩形顶管,顶管管片为混凝土管片+钢管片拼装而成;然后在管片内修建结构梁柱;最后拆除中部临时钢管片。该工程为修建大规模地下工程提供了新的施工思路。

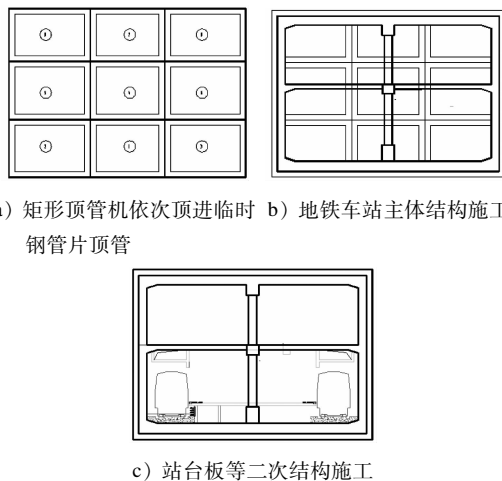
当车站埋深较深或车站上部有结构物不可拆迁时,可考虑在两端设计顶管工作井,参考矿山法中的CRD(交叉中隔墙)法,先将大断面合理分割成

若干个小断面,分步依次顶进小断面顶管;然后在临时顶管结构内修建地铁车站梁柱,依序拆除中部临时钢管片;最后再施筑车站二次结构。该施工方法主要实施步骤如下:

第1步:如图5 a)所示,用矩形顶管机依序顶进 n 个临时导洞,临时导洞衬砌采用钢管片。

第2步:如图5 b)所示,在 n 个洞室内,纵向分段依次施工外圈现浇混凝土顶板、侧墙及底板,并与外侧临时钢管片形成叠合结构。中楼板及中柱、纵梁系统可考虑采用现浇或装配式结构。

第3步:如图5 c)所示,拆除中间部分临时钢管片隔墙,最后浇筑施工站台板等二次结构。



a) 矩形顶管机依次顶进临时钢管片顶管 b) 地铁车站主体结构施工

c) 站台板等二次结构施工

图5 矩形顶管分割转换法工序示意图

4 结语

地下工程施工装备技术聚焦超大直径、超长距离、深埋高压、地质多变的复杂建设环境,并结合智能化、数字化等进行科技创新,为机械化暗挖法建造地铁车站提供了新的解决方案。本文针对上海软弱地层特点,提出了盾构或顶管等机械化施工方法建造地铁车站的4种可行技术路线,为软弱地层的地铁车站设计提供智能化解决方案。

参考文献

- [1] 石礼安. 地铁一号线工程[M]. 上海:上海科学技术出版社, 1998:58.
- [2] 上海市经济和信息化委员会,上海申通地铁集团有限公司,中国电信股份有限公司上海分公司. 5G+智慧地铁白皮书(2019)[R]. 上海:上海市经济和信息化委员会,2019.
- [3] 施仲衡,张弥. 地下铁道设计与施工[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1997:145.

(下转第168页)

备件更换;③三工位操作机构驱动电机及二次端子重新更换,其余机械部分根据实际情况进行清理或更换零部件;④断路器操作机构的驱动电机及二次端子重新更换,其余机械部分根据实际情况进行清理或更换零部件;⑤带电显示装置使用新备件更换;⑥其余一次带电部分无需更换。

2) 干式变压器修复:①变压器铁芯现场清理;②现场更换铁芯夹件绝缘部件;③现场更换高、低压绕组。

3) DC 1 500 V 开关柜修复:仅保留一次母排,其余部分全部更换。

4) 整流器修复:整套采购新设备更换。

3.2 接触网设备恢复

接触网恢复方案相对简单:

1) 对上下行刚性接触网汇流排、接触线和绝缘部件等进行清扫、擦拭、烘干并进行绝缘测试;

2) 对隔离开关操作机构箱进行整体更换,隔离开关刀闸本体被水浸泡,先对其进行擦拭、烘干后,再进行绝缘测试;

3) 回流箱设备先进行擦拭、清扫和烘干,再做绝缘测试;

4) 杂散电流监测传感器及监测装置整体更换。

3.3 设备运维

供电设备恢复供电后,为保证设备安全可靠运行,应制定相应的加密检修标准并执行。变电专业检修周期由年检变为半年检,对电缆头等关键部位采取加密热成像监测等措施。接触网专业检修周期由半年检变为季检,对运行隐患较大的绝缘部件按要求进行绝缘性能抽样送检等。

4 结语

突发灾害下城市轨道交通牵引供电系统的适用性是实现列车应急运行的保证。突发灾害后快速的供电恢复是恢复运营能力、减小灾害影响的重要措施。通过对广州“5.22”突发暴雨灾害后受损的广州地铁 13 号线牵引供电系统适用性进行相关计算和分析,为受损状态下尽早恢复运营提出了降级运营及限速限流的应对方案。同时,针对供电系统及设备抢险恢复,本文介绍了在尽量短的时间内,供电专业充分调配既有设备资源,按照供电恢复优先级逐步进行设备恢复及修复的方案措施,为城市轨道交通在突发灾害下的应急处理提供参考思路 and 应对经验。

参考文献

- [1] 赵绪杰,吉兴全,李可军,等.基于 Paladin DesignBase 的配电网可靠性评估与分析[J].电气技术,2014(5):16.
- [2] 李北辰.提高配电网可靠性管理水平措施的研究[J].电气技术,2013(8):63.
- [3] 李东.提高输变电设施可靠性指标的策略[J].电气技术,2013(1):94.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.地铁设计规范:GB 50157—2013[S].北京:中国建筑工业出版社,2013.
- [5] 于明,郭华,潘珍,等.基于提升供电能力的配电网协调规划探析[J].电气技术,2015(10):107.
- [6] 叶咏梅.城市电网供电安全“N-1”准则的实践[J].供用电,1999(4):17.
- [7] 龚晓冬.城市轨道交通主变电所资源共享问题研究[J].城市轨道交通研究,2016(9):87.

(收稿日期:2021-03-22)

(上接第 164 页)

- [4] 何川,封坤,方勇.盾构法修建地铁隧道的技术现状与展望[J].西南交通大学学报,2015(50):97.
- [5] 罗世培.地铁盾构隧道扩挖车站方案初探[C]//中国土木工程学会,中国公路学会,中国岩石力学与工程学会.第五届中日盾构隧道技术交流会议论文集.成都:西南交通大学出版社,2009:383.
- [6] 管攀峰,郭振坤,陈鸿,等.结合盾构法修建地铁车站方案综述[J].公路交通技术,2018(增刊):139.
- [7] 李围,何川,张志强,等.地铁车站盾构法综合法技术在我国的应用前景探讨[C]//中国土木工程学会,中国土木工程学会快速轨道交通委员会学术交流会地下铁道专业委员会第十四届学术交流会论文集.北京:中国科学技术出版社,2001.:337.
- [8] 曾鹏.盾构法结合 CRD 法建造地铁车站方案研究[D].北

京:北京交通大学,2011.

- [9] 张新金.盾构法与浅埋暗挖法结合建造地铁车站关键技术研究[D].北京:北京交通大学,2010.
- [10] 路美丽,刘维宁,孙晓静.盾构法、暗挖法结合修建地铁车站在我国的应用前景[J].都市快轨交通,2004(2):30.
- [11] 吴京华.基于盾构法的地铁车站断面形式与建筑布局研究[J].城市轨道交通研究,2020(5):34.
- [12] 刘洪波,吴迪.饱和软土敏感环境地铁车站的盾构法施工方案[J].城市轨道交通研究,2020(5):118.
- [13] 高毅,于少辉,李洋,等.大型地下空间的结构分割转换工法研究[J].隧道建设,2019(3):480.
- [14] 高毅,冯超元,程鹏.结构分割转换工法在地下空间开发中的应用及设想[J].隧道建设,2019(3):398.

(收稿日期:2020-01-11)