

盖挖逆作法施工地铁车站叠合墙综合防水体系^{*}

雷涛¹ 漆继良¹ 施成华² 孙晓贺²

(1. 中交一公局集团有限公司, 100162, 北京; 2. 中南大学土木工程学院, 410075, 长沙//第一作者, 工程师)

摘要 目的: 盖挖逆作法施工地铁车站叠合墙中无法铺设柔性防水层, 一旦发生渗漏水不仅影响结构耐久性, 同时也会增加后期封堵费用, 因此叠合墙结构防水是地铁车站工程施工的重点和难点, 需进行针对性研究。方法: 分析了叠合墙的地下连续墙、内衬墙及其他关键位置发生渗漏水的原因; 以长沙地铁6号线朝阳村站工程为依托, 介绍了叠合墙综合防水体系的多道防水技术, 包括围护结构防水、防水涂料防水、渗漏点预处理、内衬墙防水和预埋注浆管防水; 介绍了各道防水技术实施过程中所采用的新技术和新装置, 并提出了相应的保障措施和注意事项。结果及结论: 长沙地铁6号线朝阳村站自工程完工后的3年使用期间未发生渗漏水现象, 表明所提出的叠合墙综合防水体系防水效果良好。

关键词 地铁车站; 盖挖逆作法; 叠合墙; 防水综合体系

中图分类号 TU761.1⁺1:U231.4

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.09.012

Comprehensive Waterproof System for Composite Walls in Metro Station Constructed by Cover-excavation Reverse Method

LEI Tao, QI Jiliang, SHI Chenghua, SUN Xiaohe

Abstract Objective: Flexible waterproof layers cannot be installed in composite walls of metro stations constructed by cover-excavation reverse method, because once water leakage occurs, it not only affects the structural durability, but also increases the cost of later sealing. Therefore, waterproofing for composite wall structure is a crucial and difficult aspect in metro station engineering construction, requiring targeted research.

Method: The reasons for water leakage in diaphragm walls, inner linings and other critical locations of the composite walls are analyzed. Based on Changsha Metro Line 6 Chaoyangcun Station project, multiple waterproofing techniques in composite wall comprehensive waterproof system are introduced, including retaining structure waterproofing, waterproof coating, pre-treatment of leakage points, inner lining waterproofing, and pre-embedded grouting pipe waterproofing. New technologies and devices used in the implementation of each waterproofing

technique are presented, along with corresponding safeguard measures and precautions. **Result & Conclusion:** During the three years of usage after the completion of Changsha Metro Line 6 Chaoyangcun Station, no water leakage occurred, indicating that the proposed composite wall comprehensive waterproof system performs well.

Key words metro station; cover-excavation reverse construction method; composite wall; comprehensive water-proof system

First-author's address CCCC First Highway Engineering Group Co., Ltd., 100162, Beijing, China

我国大部分已运营地铁车站都存在不同程度的渗漏水现象, 渗漏水不仅会降低结构承载力、使用寿命和耐久性, 还会加大后期堵水维护费用, 增加运营成本。因此, 在地铁车站工程施工中, 采用科学合理的防水方法和技术手段以最大程度地避免运营车站渗漏水具有重要意义。

侧墙是地铁车站结构中最易发生渗漏水的部位, 既有地铁车站侧墙多采用复合墙和叠合墙两种形式。复合墙采用全外包防水层, 可以达到良好的防水效果。叠合墙中内衬墙与地下连续墙存在抗剪钢筋, 因此在两者之间不能铺设柔性防水层, 其防水主要依靠结构自防水^[1]; 内衬墙因自重及温度变化等会发生收缩变形, 这些变形又受到地连墙的强劲约束, 导致内衬墙极易产生裂纹, 因此叠合墙结构自防水效果较差^[2]。

综上所述, 采用盖挖逆作法施工的地铁车站, 其叠合墙防水难以达到预期效果。本文以长沙地铁6号线朝阳村站工程为依托, 首先分析地铁车站叠合墙渗漏水原因, 然后提出不同施工阶段的防水工艺, 建立了盖挖逆作法施工地铁车站叠合墙综合防水体系。实际工程应用表明, 所提由多道防水技术组成的综合防水体系可有效解决叠合墙结构的

^{*} 湖南省自然科学基金项目(2021JJ30837)

防水难题。

1 工程概况

长沙地铁 6 号线朝阳村站位于长沙市人民中路和车站中路交叉口处,沿人民中路东西向布置,与地铁 3 号线通过通道换乘。车站主体结构采用钢筋混凝土箱型结构,且在站台有效里程范围内采用无柱结构型式。基坑围护结构为地下连续墙,与主体结构采用叠合墙连接。车站主体顶板采用防水涂料防水,底板采用卷材防水,侧墙由于无法铺设防水卷材主要采用混凝土自防水。车站主体结构标准断面及配筋情况如图 1 所示。

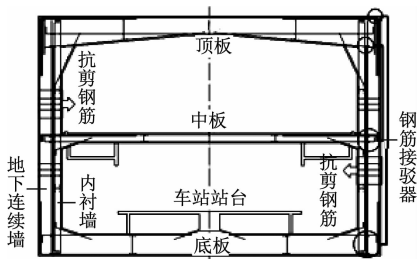


图 1 盖挖逆作法施工地铁车站主体结构标准断面及配筋图

Fig.1 Drawing of main structure standard section and reinforcement of metro station constructed by cover-excavation reverse method

2 地铁车站叠合墙渗漏水原因分析

地铁车站防水是一个系统工程,是外部防水、结构自防水、围护结构防水,以及变形缝防水、诱导缝防水和施工缝防水等防水质量的综合体现。一旦车站结构产生微小孔隙及裂缝,就会发生不同程度的渗漏水现象。通过文献研究及工程实例调研发现,地下连续墙、内衬墙及其他关键位置的渗漏水是叠合墙渗漏水的主要原因。

2.1 地下连续墙渗漏水原因分析

作为围护结构,地下连续墙不但能够有效减小邻近构(建)筑物的变形,其也是地铁车站防水的第一道屏障。质量无缺陷的嵌岩地下连续墙基本可以抵抗基坑外的静水压力,阻止地下水渗入基坑内。但是,如果地下连续墙的施工工艺及施工技术不到位,就不可避免地会产生不同程度的质量问题,从而发生渗水、漏水现象。通过对地下连续墙施工工艺分析发现,由此导致渗漏的主要原因有:

1) 地下连续墙泥浆护壁效果较差,降低了槽壁稳定性,进而在混凝土浇筑中发生侧壁塌土,导致

墙体夹泥,从而使浇筑不密实。

2) 钢筋笼下放过程中,控制其垂直度比较困难,一旦倾斜严重会发生局部保护层厚度不足甚至露筋现象。

3) 各槽段之间的接头是地下连续墙的薄弱部位,槽段土方挖完及前幅混凝土浇筑完毕后,若未采用刷壁器对槽壁及接头表面进行有效洗刷,接头处则会存在一层泥皮。

4) 由于没有采用有效的防绕流措施,从而使先浇筑的混凝土产生绕流,进而使相邻槽段接头混凝土无法清除,接头处混凝土无法浇筑密实。

5) 由于混凝土浇筑速度过快,使槽内淤积物来不及上浮就被挤入混凝土内部和接头处。

6) 地下连续墙凿毛过程中,不注意施工方法和控制措施,凿毛深度过深,对墙面造成较大损伤从而产生渗漏。

2.2 内衬墙渗漏原因分析

通常通过钢筋接驳器或剪力槽将叠合墙围护结构和内衬墙连接为一个整体,内衬墙除了具有普通混凝土的温度、化学、碳化和徐变裂缝外,还包括以下会导致内衬墙渗漏的原因:

1) 地下连续墙的厚度往往大于内衬墙,且施工中往往先于内衬墙很长时间浇筑完成,两者连接时其已基本完成变形,两者刚度存在较大的差异。内衬墙浇筑硬化时,会产生收缩变形,但由于地下连续墙的强大约束作用,使内衬墙产生拉应力,从而造成墙体开裂,形成渗水通道^[2]。

2) 大体积混凝土施工过程,其内部温度由于水泥水化的作用会急剧上升,内外温差过大会产生拉应力,从而出现因内外温差而导致的裂缝。

3) 地下车站施工中多采用小钢模进行侧墙浇筑,模板拼缝数量多且侧墙成型后平整度也很难达到保障,而且在接缝处容易出现质量问题。

4) 采用盖挖逆作法施工时,混凝土浇筑过程落差大且钢筋密集,因而难以保证浇筑的密实性。

2.3 关键位置渗漏原因分析

1) 逆作接头渗漏原因分析。采用逆作法进行内衬墙施工时,在顶板已经施作完毕、侧墙混凝土采用后浇办法进行施工的情况下,在内衬墙混凝土浇筑后会因沉降和收缩等原因在其上面形成空隙,并在接头表面产生析水或聚集气泡^[3],这样便很容易形成结构上和防水上的缺陷,影响逆作接头质量,形成渗水通道。

2) 施工缝渗漏原因分析。相比于其他工程,地铁车站采用的混凝土在体积和尺寸方面偏大,实际施工过程中常采用分段、分层浇筑,这些接缝位置往往决定着车站防水体系的好坏。

3) 应力集中处渗漏原因分析。顶板与内衬墙腋角处易发生应力集中现象,这些位置属于受力薄弱环节,易产生裂缝,形成渗水通道。

3 地铁车站叠合墙综合防水体系

结合以上地铁车站墙体渗漏水原因和朝阳村地铁车站的实际情况,从各阶段施工工艺角度出发,树立“质量把关,层层设防”的理念,充分发挥每一道防线的防水作用,以此保证盖挖逆作法施工的叠合墙综合防水体系的防水效果。

3.1 围护结构防水

地下连续墙是地铁车站防水体系的第一道防线,在施工过程中要采用有效的施工方法保证其结构质量。

1) 钻孔灌注桩等其他加固措施与地下连续墙组合使用,可提高围护结构的稳定性以及防水效果。在朝阳村站围护结构施工前,提前对围护结构外进行袖阀管预注浆加固保护,注浆垂直深度进入强风化或中风化岩层 1.5 m。

2) 成槽过程中,根据车载测斜仪器指针及时进行动态纠偏,保证地下连续墙成槽后的垂直度。采用现场研发的垂直控制装置与履带吊配合使用进行钢筋笼吊放,确保钢筋笼下放过程中工字钢翼缘沿滑轮移动,使钢筋笼在吊放过程中保持垂直、稳定,不发生摇晃,从而保证后期混凝土浇筑时地下连续墙保护层厚度满足要求且不发生露筋现象。钢筋笼垂直吊放控制装置如图 2 所示。

3) 利用刷壁器清刷槽壁和工字钢,保证在浇筑过程中地下连续墙侧壁不脱落渣土,前后幅工字钢接头处接触密实。

4) 安放防绕流接头板,并确保回填密实。一旦发生绕流现象,采用 RT260 型回旋钻机对绕流部位进行清除,保证接头处混凝土浇筑密实。

5) 严格控制混凝土浇筑速度。混凝土的供应速度不小于 $20 \text{ m}^3/\text{h}$,中间间隔不超过 30 min,塌落度控制在 18~22 cm,缓凝时间为 4~6 h。

3.2 防水涂料防水

由于不能在叠合墙中铺设柔性防水层,因此防水涂料便成为了叠合墙防水的第二道重要防线。本

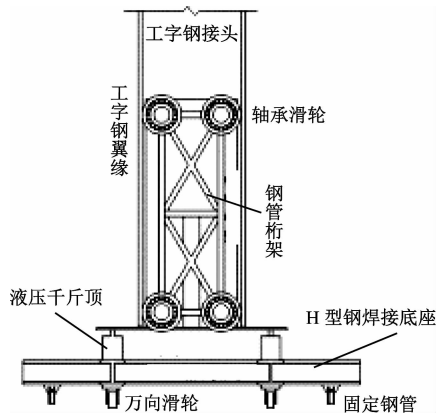


图2 钢筋笼垂直吊放控制装置

Fig. 2 Control device of reinforcement cage vertical hoisting

工程界面防水采用的是水泥基渗透结晶防水涂料。在混凝土干燥时,该化学物质处于休眠期,一旦某处开裂或原裂纹受外力作用再度裂开,只要有水渗入,便会激活水泥水化反应,生成新的不溶于水的针状结晶体,自动修复微小孔隙,从而达到防水的效果。为保证施工质量,应按以下要求严格执行:

1) 涂刷前,基层表面应坚实、干净,无浮灰、浮浆、油污、反碱、起皮、疏松等问题,用高压水枪或钢丝刷等工具将基面附着物清除干净。

2) 用水充分润湿待施工的基面,保证混凝土结构得到充分的湿润、润透,但不宜有明水。

3) 严格控制泥浆配比,并充分搅匀。加入定量的清水后,在初期搅拌时即使泥浆干稠,也不应继续加水,应继续搅拌,直到搅拌均匀。

4) 施工缝表面应按照规范要求凿毛并清理干净,且混凝土表面的脱模剂也应全部清除。采用涂刷法施工时,用尼龙刷均匀涂刷两道防水涂料,第一道与第二道涂刷方向相互垂直,第一道涂料初期固化(约 1~2 h)后再进行第二道涂料涂刷,涂料使用量为 $1.5 \text{ kg}/\text{m}^2$ 。

5) 在养护期间,根据现场的湿度采用喷雾或洒水的方式进行养护,养护过程不得碰撞防水层。

3.3 结构渗漏点预处理

结构渗漏主要有有点状、线状和面状三类渗漏^[4]。在内衬墙浇筑之前,对于结构发生的渗漏水现象要及时进行封堵,建立第三道“封堵防线”。

1) 对于型钢接缝处线状渗漏,渗漏水部位较大时,采用坑外地面引孔注浆及小型开孔机垂直地连墙面引孔注浆进行联合封堵;渗漏点部位较小时,采用针入式注浆进行封堵,确保型钢接头内部填充

密实。

2) 对于墙面点状渗漏,采用压力注浆法,利用改性环氧树脂浆液进行混凝土内堵漏补强。

3) 对于墙面面状渗漏,当仅有小块轻微的散漏时,采用涂膜的方式进行处理,将渗透结晶防水涂料调水后用尼龙刷涂刷,涂刷不少于两遍;若渗漏处有潮气结露或漏水点,则表明该处混凝土不密实,需进行钻孔灌浆以达到防渗补强的作用。

3.4 侧墙防水

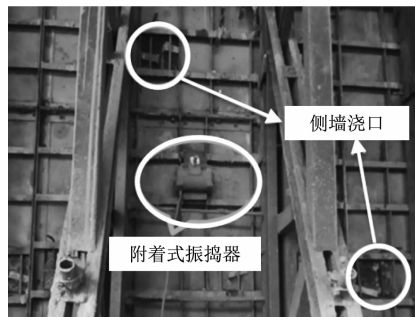
内侧墙是防水的第四道防线,其浇筑质量极为重要。除了叠合墙本身的施工难点外,在盖挖逆作法施工中,侧墙浇筑前顶板已施作完毕,因此施工难度更大。为严格控制侧墙浇筑质量,在朝阳村站工程中采取了以下针对性措施:

1) 采用传统方法进行内衬墙浇筑时,混凝土由地面输送到浇筑口存在较大的高程差,混凝土入槽过程会产生很大的冲击力,造成混凝土离析^[5]。本工程现场施工时引入了布料机,将混凝土由布料机下孔注入,再由上部可移动管道输出,大大降低了高程差;同时,侧墙模板一次立模,在垂向每隔 2 m 预留一排浇筑口,通过分层浇筑方式降低倾落度,并采用振捣棒与附着式振捣器共同振捣,保证其密实度。布料机与侧墙模板如图 3 所示。

2) 采用传统方法进行侧墙施工时,采用的是木模或拼装钢模板,内衬墙施工后存在拼缝较多的通病。本工程内衬墙施工时,采用的是大型钢模板,每块大型钢模高度为 3.7 m,宽度为 3.0 m,模板拼接数量仅为传统施工的 13%,大大减少了接缝数量。

3) 为加快施工进度,且保证钢筋密集区混凝土浇筑均匀,组合采用了混凝土分流装置、预留浇筑口侧墙模板及布料机,实现多浇筑口同时浇筑、循环浇筑,提高了浇筑密实性。侧墙浇筑模板体系如图 4 所示。

4) 采用传统方法输送逆作接头处混凝土时,通常在浇筑模板上每间隔 1 m 设置 1 个“簸箕口”作为混凝土进料口,但两进料口之间混凝土常存在浇筑不密实的情况,严重影响浇筑质量。本工程中,将逆作接头处浇筑模板改进为通长进料口,不仅实现了混凝土不间断浇筑,且浇筑密实,而且通过后期抹平取消了“簸箕口”凿除步骤。改进后的逆作接头浇筑模板如图 5 所示。



a) 侧墙模板



b) 布料机

图 3 侧墙模板与布料机

Fig. 3 Sidewall formwork and fabricator

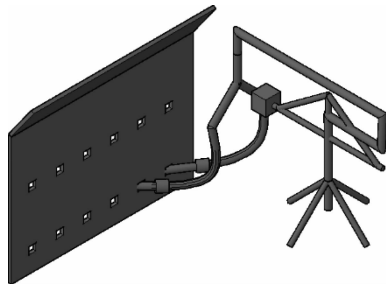


图 4 侧墙浇筑模板体系

Fig. 4 Sidewall casting formwork system



图 5 改进后的逆作接头浇筑模板

Fig. 5 Reverse joint formwork after improvement

5) 为减小水化热对混凝土质量的影响,现场采用混凝土自动化测温装置对侧墙浇筑过程水化热及内外温差进行实时监测,根据监测数据及时采取对应措施,保证混凝土硬化质量。

3.5 预埋导管防水

后期注浆防水是叠合墙防水的最后一道防线。地铁车站结构施工中,施工缝存在止水带位置偏

差、防水橡胶老化等现象,这是防水中的重点和难点。本工程采用了预埋导管,可对后期发生渗漏的部位(施工缝、逆作接头等)进行注浆。混凝土强度达到设计要求后,如需进行注浆封堵即可利用引出的注浆导管进行注浆。如需进行二次注浆或多次注浆,应在每次注浆结束后采用专用抽浆机将注浆管内剩余的浆液抽出,防止浆液堵塞注浆管。

4 防水实施效果

结合朝阳村站盖挖逆作法施工的实际情况,针对地铁车站叠合墙结构防水难的问题,建立了5道防水屏障,层层设防,形成了叠合墙多道综合防水体系。每道防线都能在适当的时机发挥作用,极大地增加了防水安全系数,保障了防水效果。朝阳村站主体结构刚施作完成时,没有发生任何渗漏水现象,施工效果良好。截至2022年年底,朝阳村站主体结构已施工完成3年有余,没有发生渗漏水现象,多道综合防水体系展现出了优异的防水效果。

5 结语

结合地铁车站叠合墙施工过程及其渗漏水原因,建立了“围护结构-防水涂料-结构渗漏点预处理-侧墙-预埋导管”多道防水体系,提出了“质量把关,层层设防”的设计理念,并针对每一道防线提出关键技术措施,保证其防水质量。朝阳村站工程施工中采用了多道综合防水体系,使用3年来未发生渗漏水现象,达到了预期防水效果。

(上接第68页)

- [2] 张斌,王瑞,汪优. 南通地铁盾构下穿既有建筑诱发基础沉降分析[J]. 土木与环境工程学报(中英文), 2023, 45(3): 24.
ZHANG Bin, WANG Rui, WANG You. Analysis of foundation settlement induced by shield construction of Nantong Metro underpassing existing buildings[J]. Journal of Civil and Environmental Engineering, 2023, 45(3): 24.
- [3] 范培. 盾构隧道近距离侧穿砌体结构建筑物施工技术[J]. 施工技术, 2019, 48(11): 111.
FAN Pei. Construction technology of shield tunnel side-crossing masonry structural buildings at close distance[J]. Construction Technology, 2019, 48(11): 111.
- [4] 李梓亮,汤劲松,赵书银,等. 盾构隧道下穿砌体结构住宅群的施工技术[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(6): 115.
LI Ziliang, TANG Jinsong, ZHAO Shuyin, et al. Construction

参考文献

- [1] 谢申举,王栋旭,郑立志. 地铁车站叠合墙裂缝生成机理与控制要点[J]. 建筑技术, 2018, 49(11): 1174.
XIE Shenju, WANG Dongxu, ZHENG Lizhi. Crack generation mechanism and key control points for subway station superimposed wall[J]. Architecture Technology, 2018, 49(11): 1174.
- [2] 何文超,文钦佩. 基于车站渗漏的叠合墙的防水施工分析[J]. 世界轨道交通, 2016(10): 65.
HE Wenchao, WEN Qinpei. Analysis of waterproof construction based on leaky superimposed wall in station[J]. World Railway, 2016(10): 65.
- [3] 郑园园. 地下室逆作法柱身后浇捣预压施工工艺[J]. 施工技术, 2019, 48(3): 91.
ZHENG Yuan. Construction technology concrete second pouring and prepressing of column of basement reverse method[J]. Construction Technology, 2019, 48(3): 91.
- [4] 胡国良,许晓峰,钱政华. 地下室渗漏调查原因分析及防治[J]. 工程质量, 2017, 35(8): 46.
HU Guoliang, XU Xiaofeng, QIAN Zhenghua. Investigation and analysis of basement leakage[J]. Construction Quality, 2017, 35(8): 46.
- [5] 丰宗明. 盖挖逆作法车站单侧模板支架施工侧墙量缺陷原因分析及防治[J]. 国防交通工程与技术, 2016, 14(2): 46.
FENG Zongming. An analysis of the causes for quality defects of the side wall built with single-sided form-scaffolding by the sequence-inverted covering-digging approach and the treatment of them[J]. Traffic Engineering and Technology for National Defense, 2016, 14(2): 46.

(收稿日期:2022-04-25)

technology of shield tunnel undercrossing masonry structure residential group[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(6): 115.

- [5] 丁智,张霄,顾晓卫,等. 双线平行盾构掘进对邻近浅基础建筑物影响理论分析[J]. 隧道建设, 2017, 37(4): 442.
DING Zhi, ZHANG Xiao, GU Xiaowei, et al. Theoretical study of influence of double-line parallel shield tunneling on adjacent frame building with shallow foundation[J]. Tunnel Construction, 2017, 37(4): 442.
- [6] 魏纲,庞思远. 双线平行盾构隧道施工引起的三维土体变形研究[J]. 岩土力学, 2014, 35(9): 2562.
WEI Gang, PANG Siyuan. Study of three-dimensional soil deformation caused by double-line parallel shield tunnel construction[J]. Rock and Soil Mechanics, 2014, 35(9): 2562.

(收稿日期:2022-06-14)