

# 地铁工程地下结构防渗漏关键技术研究

伍浩

(中国水利水电第八工程局, 湖南长沙 410004)

**摘要** 地铁工程结构渗漏已成为地下工程的质量通病, 渗漏不仅是地铁工程施工的重大安全风险因素, 而且会造成工程完工后产生巨大的堵漏成本, 严重制约地铁工程的健康发展。本文以某地铁工程地下停车场防渗漏施工技术成功运用案例, 总结了地铁工程地下围护结构、防水结构、主体结构等全过程施工的防渗漏关键技术, 旨在为后续同类工程提供借鉴。

**关键词** 注浆加固; 聚氨酯; 基面处理; 模板台车; 水冷温控

中图分类号: U231

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)05-0118-03

## 1 工程概述

### 1.1 工程概况

某地铁工程地下停车场为全地下双层五跨结构, 车场全长 555.5 m, 标准段宽度 50.55 m, 占地面积为 28094 m<sup>2</sup>, 结构高度为 19.5 m, 基坑深度 21.6 m。围护结构采用 1200 mm 厚地下连续墙, 底板、中板、顶板层厚分别为 1300 mm、800 mm、1000 mm, 两侧侧墙墙厚 1000 mm。

### 1.2 工程地质

该地铁工程位于一个典型的海洋冲积平原区域, 停车场断面结构穿越地层多为淤泥质土、粉质黏土、粉细砂层。主要不良地质为粉细砂层, 其具有渗透系数高、赋水承压性、浆液可灌性差等特点<sup>[1]</sup>。

## 2 渗漏的成因分析

### 2.1 设计原因

在本项目中, 地下停车场的结构采用了 C45P8 型号的混凝土, 这种混凝土以其大体积和高强度特性著称。在固化过程中, 混凝土的自然收缩常导致裂缝的形成。这一现象主要由水泥的水化作用引起, 尤其在使用高强度、大体积混凝土的情况下, 由于水泥含量较高且水化过程中产生的热量较大, 使得裂缝的风险进一步增加。

### 2.2 材料原因

混凝土, 这种广泛应用于建筑的材料, 是由水泥、沙子和碎石通过化学反应结合而成。在其硬化过程中, 特别是在水泥固化阶段, 会形成微小的孔隙结构, 包括微细孔和毛细孔。微观层面上, 混凝土可视为一个复杂的组合体, 其中包括水泥石、沙粒、碎石以及填

充有空气和水的微孔。随着混凝土中胶凝性材料的水化作用, 新形成的水化物会导致局部压力增加, 进而推挤出混凝土内部的多余水分。这一过程最终导致毛细通道的形成, 进而引发微观层面上的毛细裂纹。<sup>[2]</sup>

### 2.3 技术方案原因

本工程采用钢模台车和满堂架木模施工结构板。从施工成效上看, 钢模相对于木模, 由于其支架整体性较强、面板尺寸大、拼缝数量少、差异性沉降小, 导致钢模台车施工区域从裂缝种类、数量、长度方面都明显优于木模板施工区域。

### 2.4 施工过程控制原因

在施工过程中, 如果振捣作业不充分, 可能会导致混凝土表面出现蜂窝状或麻点状的不规则纹理。这种现象在严重情况下, 可能导致混凝土内部结构变得松散。此外, 如果新浇筑的混凝土层过厚, 或者振捣棒的插入深度不够, 以及施工中断导致上下两层混凝土之间形成冷缝, 都可能导致最终结构出现渗水问题。

此外, 养护不到位, 拆模时间过短也是产生渗漏的主要原因。

## 3 各阶段防渗控制措施

### 3.1 围护结构防渗措施

#### 3.1.1 止水帷幕注浆

地连墙工字钢板接缝处是防水薄弱点, 易发生渗漏水, 为防止停车场开挖过程中地连墙接缝渗漏水<sup>[3]</sup>, 在停车场地连墙接缝背侧布置注浆加固孔, 对砂层区域进行注浆加固。

采用 ZLJ250 型钻孔注浆一体机进行施工, 孔位布置在基坑外侧, 距离围护结构约 10~30 cm, 以漏水

点为中心,呈扇形向外分散,孔位布置梅花孔,孔间距 0.8 m。首先在地坪上按设计孔位采用钻孔机引孔,引孔直径  $\Phi 50$ ,引孔深度为基坑底以下 3 m。钻孔注浆钢管内部分为两层,分别为水泥浆液输送孔道及水玻璃浆液输送孔道,管内水泥浆液及水玻璃浆液分别输送至钻头处汇合。水泥采用普通硅酸盐水泥 P·O 32.5,水灰比为 1:1,水玻璃浓度 20° Bé,注浆压力为 0.3~0.5 MPa,终孔压力为 2 MPa,水泥浆与水玻璃的控制比例 3:1,凝固时间 30~50 s,单孔有效扩散直径 1 m。<sup>[4]</sup>

### 3.1.2 围护结构渗漏封堵

1. 围护结构轻微渗漏。地连墙接缝处湿迹且不具有明显水压力的渗流现象,直接可使用快干水泥对渗水处进行封堵。

若快干水泥无法处理,可对墙面轻微渗漏采用聚氨酯化学注浆工艺;若为线性渗漏,则沿渗漏方向交错注浆,相邻注浆孔间距约 10 cm;若为面状渗漏,则采用梅花形布孔,相邻注浆孔间距 10 cm,从结构立面由下往上灌注,每个孔注浆量控制在 70 mL,以裂缝处堵漏浆液溢出则注浆停止。如果浆液已灌满相邻针头位置,可跳开不注。在实施注浆作业时,如果某个注浆点的灌注时间过长而浆液没有从裂缝中溢出,这时应暂停注浆。之后,应等待一定时间让浆液在裂缝中分布和固化,再继续注浆作业。

2. 围护结构严重渗漏。若围护结构发生严重渗漏,可在渗漏处基坑外采用聚氨酯垂直注浆工艺。即从地面引孔,将注浆管下放至渗漏点下方 1~2 m 处。将聚氨酯主剂和副剂按照 100:8 比例混合。注浆前应进行发泡试验,要求发泡率  $\geq 2000\%$ ,凝固时间  $\leq 60$  s。若未达标,提高副剂参入比例。注入聚氨酯混合液前,先在注浆管内注入约 200 L 柴油,以确保聚氨酯在未到达渗漏处前,与外界水隔断,防止聚氨酯封堵注浆管路。

### 3.1.3 围护结构基面处理

防水卷材的铺设效果在很大程度上取决于地连墙基面的平整度。基面的平整性对于确保防水卷材铺贴的质量起到了关键性作用。在铺设防水卷材前,基层表面不得有渗漏水,否则应进行堵漏处理;基面要求平顺、坚固、无钢筋突出,平整度应满足  $D/L \leq 1/6$ ;地连墙表面的泥土杂物应彻底清理干净;底板及端头井等阴阳角部位均采用 1:2.5 水泥砂浆倒角。阴角做成  $50 \times 50$  mm 的倒角,阳角可采用水泥砂浆圆顺处理,  $R \geq 30$  mm。为确保地连墙满足以上要求,所有地连墙

基面均使用砂浆找平,完工后使用靠尺及塞尺验收平整度。

### 3.1.4 主体结构防渗措施

1. 外包防水卷材施工。在主体结构与其围护结构之间,我们特别设置了一层柔性防水层,以提高整体的防水性能。为了确保防水效果,我们在主体结构的外围覆盖了一层全包式的柔性防水卷材。在施工过程中,对防水卷材的质量控制极为重要:卷材铺设需平整、光滑,无褶皱和隆起现象;确保后续铺设时无空气囊,紧密贴合,粘接牢靠;卷材边缘需重叠 100 mm,并用 80 mm 宽的双面自粘胶条密封接缝,以提升接缝处的防水性能;在阴阳角和管道穿越部位需增加加强层。在施工中,还需特别注意防止在绑扎钢筋或进行电焊作业时损坏防水卷材。如有损坏,应立即修补。此外,为保证施工质量,我们实施了多道质量检查制度,包括底板防水层浇筑前的验收、侧墙模板施工前的检查、混凝土浇筑前的验收等,只有通过这些环节的质量检查,工作才能进入下一步,从而避免因前期工序的质量问题影响后续工作的进行。

#### 2. 主体结构施工阶段控制措施。

(1) 混凝土施工过程控制。第一,混凝土原材料控制。在此工程中,由于采用了大体积混凝土,其浇筑的体积相对较大,导致在水泥水化过程中产生了大量的热量。这种水化过程中的热积累使得混凝土内部温度迅速上升。鉴于混凝土本身具有较低的热传导效率,其表面与内部的散热条件存在显著差异,进而在混凝土内外部形成了明显的温度梯度。这种温度差异容易导致混凝土表面出现裂缝,从而可能对结构的安全性和使用寿命造成不利影响。第二,砼浇筑过程的控制。在板状混凝土的浇筑工序中,我们严格遵循了预先设计的仓面布局。这一过程首先聚焦于较短的边缘部分的浇筑,之后才转向较长的边缘进行浇筑,以确保浇筑工作的顺利进行和结构的均匀性,浇筑层厚控制在 30~50 cm。底板厚 130 cm,分三层浇筑,每层约 43 cm;中板厚 80 cm,分两层浇筑,每层 40 cm;顶板厚 100 cm,分两层浇筑,每层 50 cm;在执行墙体混凝土的浇筑作业时,我们采取了从一侧至另一侧的逐步方法,每隔 2 m 设定一个浇筑点。浇筑的过程中,我们控制每层混凝土的厚度约为 50 cm。

对于混凝土表面处理,我们采用专业的收面机进行操作。粗磨通常在混凝土浇筑完成后大约 2 小时进行,而精磨则在大约 4 小时后进行,具体时间取决于当天的天气条件及混凝土的塌落程度。混凝土的养护采用

土工布覆盖或者蓄水的方式,确保养护期不少于14天,以提高混凝土的质量和耐久性。

(2) 模板体系控制措施。在停车场的主体结构施工中,所采用的结构模板系统的设计合理性对整体施工质量具有决定性影响。考虑到该停车场主体结构的大跨度和长度特点,优先考虑使用了高度机械化的新型模板台车。这种模板台车不仅施工速度快,而且更加安全,特别是在保证施工质量和实现地铁施工的标准化方面显示出其显著优势。在评估了侧墙台车搭配钢面板系统和三角桁架支撑配合钢面板系统两种不同方案后,综合考量了工程质量、进度安排和人力成本等多个因素,模板台车系统在这些方面表现更加优越。

(3) 水冷温控措施。停车场底板厚度1300 mm,侧墙厚度1000 mm,浇筑厚度大。为消除内部蓄热过高引起的温度裂缝,提高结构耐久性和抗渗性,故采取水冷温控技术。

第一,水冷温控原理。为了有效控制混凝土结构体内的温度,我们采用了水循环冷却管的预埋策略。这些管道的作用是通过冷却水流与混凝土内部的水化热进行热交换,从而有效移除混凝土中积累的热量。通过这种方式,我们能够显著降低混凝土内部的温度升高,减少大体积混凝土内部和外部之间的温度梯度。这种温度控制方法对于减少由水化热引起的温度差异和防止温度裂缝的形成至关重要。<sup>[5]</sup> 第二,冷却水管安装。在本工程中,选用了直径为32 mm、壁厚为2.5 mm的钢制管作为冷却水管。冷却水管在铺设前均应通压力为0.6 MPa的水进行检查,检查冷却水管是否有破损;冷却水管在埋设布置前,水管内外壁应干净,没有水垢。冷却管预埋直接利用主体钢筋的拉筋或架立筋进行固定,采用铁丝绑扎固定,冷却水管进、出口引出仓外1.0~1.5 m。在混凝土浇筑前要先进行冷却水管通水,以检查冷却水管是否严密不漏水。第三,回填封堵。在混凝土温度降到设计指标时,为保证混凝土强度要求,对预埋的冷却水管采用水泥浆液注浆封堵。第四,侧墙温度数据对比分析。对安装冷却水管侧墙与未安装冷却水管侧墙,混凝土温度进行对比,温度数据如下。

从侧墙的温度监测数据中可以明显观察到,在最初的1至4天时间里,安装了冷却水管的区域中混凝土的核心温度普遍下降了8.8℃至14.5℃。相比之下,在没有实施水冷系统的侧墙区域,温度波动较大,最高温度可达约65℃。而在采用了水冷系统的侧墙区域,温度变化更为平稳,保持在较低水平(大约50℃)。这种温度的有效控制显著降低了混凝土内部的温度应

力,从而有效减少了温度裂缝的发生,实现了通过控制水化热释放的峰值以降低混凝土温度的目标。

3. 主体结构堵漏。主体结构完工后出现渗漏,底板和侧墙以水泥浆系统注浆为主,环氧树脂注浆为辅,顶板则以环氧树脂注浆为主。水泥浆具有凝固后强度高、造价低廉、浆液配制方便、操作简单等优点。

底板和侧墙采用水泥浆注浆前,先使用 $\Phi 40$  mm的水钻引孔,引孔深度以穿过防水卷材为准,布孔间距为8~15 m,引孔后要确保孔内出现明水,否则调整位置重新引孔。引孔结束后,向孔内出入八分(32 mm)镀锌注浆管,在执行注浆工作时,我们小心地将注浆管插入孔中,并故意留出一定的空间,这样做是为了确保浆液能够顺利注入。为了防止泄漏,我们在孔口处使用了专门的堵漏密封圈进行紧固。此外,为了达到最佳的效果,我们精心调配了水泥浆,采用的水灰比例为1:1,这样的比例有助于确保浆液的稳定性和效果,由首开注浆管开始注入,注浆压力为1~2 MPa。当临近孔出浆时,将首开孔注浆管阀门关紧,改由相邻孔注浆,按从下往上,出浆一孔,关闭一孔,直至结束。

#### 4 结束语

在整个地下地铁工程中,防渗漏的任务是一个贯穿始终的核心环节。从围护结构的稳固、防水措施的有效性,到主体结构施工过程中的质量监控,每一个步骤都至关重要。此外,堵漏工作的准确执行也是确保工程整体防渗成功的关键因素。这些环节共同构成了一个综合的、系统的防渗策略,对于整个地铁工程的质量和安全性有着不可忽视的影响。后续同类工程可以借鉴地铁停车场防渗工作的实践经验来做好防渗工作。

#### 参考文献:

- [1] 周志鹏. 地铁车站主体结构渗漏水控制[J]. 现代隧道技术, 2012, 49(02): 164-170.
- [2] 雷涛, 漆继良, 施成华, 等. 盖挖逆作法施工地铁车站叠合墙综合防水体系[J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(09): 69-73.
- [3] 赵嘉辉. 装配式地铁车站施工力学特征及其接缝处防渗材料性能研究[D]. 山东: 山东大学, 2021.
- [4] 莫云波. 复杂地层地铁地下结构渗漏水分析与质量控制技术研究[J]. 中国水运(下半月), 2022, 22(05): 121-123.
- [5] 苏博文. 地铁车站主体结构防水施工技术研究[J]. 科技创新与应用, 2022, 12(20): 156-159.