

城市地下工程变形缝渗漏水治理施工技术研究

——以苏州地铁4号线为例

郭兆普

苏州轨道交通运营有限公司 江苏苏州 215000

摘要: 城市地下工程具有结构复杂, 工程量大的特点, 为应对因地震、地基不均匀沉降、温度变化等因素导致的结构变形, 需预设变形缝。然而由于设计不当、地下水上升等原因, 部分变形缝防水性能丧失, 地表水或地下水经由变形缝进入地下工程内部, 对其正常运行造成影响。为了给施工单位提供参考, 本文采用个案分析法, 以苏州地铁4号线为例, 分析城市地下工程变形缝渗漏水治理施工技术。

关键词: 渗漏水; 变形缝; 地下工程; 施工技术

前言

我国城市轨道交通迅速发展, 根据中国城市轨道交通协会发布的《城市轨道交通2024年度统计和分析报告》提供的数据, 截止于2024年底, 我国开设城轨的城市共58个, 运营线路361条, 运营总里程12160.77公里, 当年运营里程净增长936.23公里。

须要重视的是, 受多种因素影响(如运营环境、施工、地质等), 大部分地铁车站、隧道在运行时, 会出现结构渗漏水的病害, 特别是内地富水软弱底层或沿海地区修建的地铁工程变形缝、诱导缝以及90%以上施工缝, 在建成后不久, 便会出现渗漏水问题。其中, 以变形缝漏水最为严重。鉴于此, 本文将采用案例分析法, 以苏州地铁4号线为例, 介绍注浆封堵、再造变形缝、预留排水措施以及表面处理等工艺的处理方法, 希望能够给予类似工程缺陷治理一定的参考。

一、变形缝渗危害、发生原因与治理原则

(一) 危害

对城市地下工程而言, 渗透危害巨大。(1) 长期渗水导致混凝土内部钢筋锈蚀膨胀, 引发保护层剥落及截面损失, 降低结构设计寿命。(2) 渗漏水侵入轨行区易引发电气设备短路, 威胁行车安全。(3) 单缝持续渗漏可掏空周边土体, 诱发差异沉降。

(二) 发生原因

导致城市地下工程变形缝渗漏水的因素主要有以下三个。其一为地质因素。地下水位较高, 水压较大, 地质环境多变; 其二属设计因素。结构设计计算不够完善, 缺乏抗浮设计, 工艺不适应工期紧张的要求, 因工期较紧; 其三系施工因素。整体式防水设施常受损, 如焊接灼穿、钢筋刺穿等, 令整体式防水首道防线失效。

(三) 治理原则

治理变形缝渗漏水时, 须严格遵循下述原则:

一是堵排结合, 因地制宜。在施工前, 须进行全面的勘察, 系统地掌握变形缝原防水构造、结构周边水质等重要数据, 综合地进行治理, 确保工程符合防水等级标准, 满足地铁的日常使用需求。

二是如果渗漏部位存在结构安全隐患时, 首先应将结构修复, 再进行渗漏的治理工作。

三是对于地铁变形缝的治理, 须在充分的渗漏水统计和调查的前提下开展, 对于处理过的变形缝, 应保存工艺记录、原治理材料以及复漏原因分析等资料^[1]。

四是在注浆堵水结束后, 应当采取后续防备措施, 确保长时期的止水性能。

二、城市地下工程变形缝渗漏水治理施工技术

(一) 工程概况

苏州地铁4号线是苏州市第三条建成运营的地铁线路, 将相城区、姑苏区、吴中区和吴江区紧密相连。2017年, 乐桥站上行出站列车前方钢轨面上, 有混凝土块掉落, 造成列车延误。经调查得知, 混凝土掉块来源于1、4号线土建结构施工接缝处(新旧混凝土结合部位), 主要结构隐患如下:

作者简介: 郭兆普(1987.10.29-), 男, 汉族, 辽宁省瓦房店市人, 本科学历, 高级工程师, 主要研究方向为地铁渗漏水综合整治。

(1) 中板接缝混凝土松散、脱落、钢筋裸露伴随渗水或湿渍；

(2) 侧墙接缝混凝土松散且渗漏水严重呈流水状；

(3) 下行线接缝旁结构柱出现斜向裂纹。

上述隐患，具有较大的安全风险，必须及时进行治疗。

(二) 施工方法

城市地下工程出现渗漏水现象后，部分施工单位会使用聚氨酯类有机化学浆将漏水堵住。但需要重视的是，此类方法虽然工期便捷，但寿命较短。这是因为，大部分有机类化学浆液均耐久性不佳。如其进行填补，在2-3月后，便会在此出现渗漏水现象。因此，该方法仅能实现临时性的堵水效果，无法从根本上消除渗漏水隐患。若要彻底解决渗漏水问题，必须采取更为系统和长效的治理措施：首先，需要通过精准注浆工艺，将结构背后因水土流失形成的空洞、裂隙完全充填密实，从而有效阻隔水源渗漏通道；其次，应对已失效的变形缝进行彻底改造或重做，恢复其变形适应性和防水功能；同时，必须前瞻性地在治理设计中预留可靠的排水设施（如集水槽、导流管等），为可能发生的二次微量渗漏水提供疏导路径，确保工程长期运营安全。

在本次施工中，所采用的施工材料如下：高强度环氧砂浆1吨，水泥10包，河沙3吨，2500mm*800mm*2mm钢板2块，25*25CM直径为20mm的L型钢筋若干，2000mm*800*2mm钢板4块、接水盒50m，密封胶若干。以下，为具体的施工方法。

1. 结构渗漏水治理

安排作业人员使用环氧树脂对结构渗漏水处进行注浆处理，待注浆完成后，使用接水槽对整条接缝进行引流至排水沟内。

(1) 注浆设计。将注浆孔布设于变形缝、施工缝两侧，注浆孔间隔为1.0m。为避免突泥突水，导致事故发生，在钻孔穿透混凝土结构前，进行防突装置的安装。转孔深度以3.0~4.0m为宜。将混凝土结构穿透后，伸入地层1.0m左右，进行注浆导管的安装，导管长度须与转孔深度持平。在处理管片缝漏水时，所采用的工具为手持式电钻，沿接缝两侧10cm处钻孔。注浆材料有3种，①超细水泥。②普通水泥。③硫铝盐水泥。

(2) 沿管片接缝、施工缝、变形缝接缝两侧布设注浆孔，共2排，注浆孔间隔0.2~0.3m，排距为0.2m，钻孔穿透斜穿管片缝、施工缝与变形缝，进行注浆针头的安装；注浆材料主要为环氧树脂^[2]。

(3) 注浆工艺流程。整个注浆工艺流程可分为三部分，即“钻孔-注浆导管安装-注浆”。

① 钻注浆孔前，须预先施作孔口防突装置，安装孔口管及闸阀以防突发性涌水涌砂。钻孔过程须实时严密监测孔口涌水量、水质颜色及涌出物性状，异常时立即停钻、关闭闸阀并封堵管口。鉴于需钻透钢筋密集的钢筋混凝土结构，选用小型高转速液压电动钻机实施取芯钻进：首先采用Φ70钻头开孔至60cm深度，随即安装并锚固密实Φ60孔口管及防喷闸阀；待锚固强度满足要求后，更换Φ50钻头继续钻进至设计深度。针对主要水源封堵后残留于变形缝、施工缝的微小渗漏，采用电动冲击钻沿缝钻设Φ20、深50cm注浆孔，并埋设长30cm的Φ12注浆管^[3]。

② 在注浆导管安装时，开启防喷闸阀，利用钻机将注浆钢花管顶入钻孔内，将其与防喷装置可靠连接，随后采用高压水彻底冲洗经泄浆孔涌入花管内的泥沙。

③ 注浆初期因涌水量大、注浆量高，采用KBY-50/70注浆泵注入P.O 32.5普通水泥浆或硫铝酸盐快凝早强水泥浆，对大型空洞（裂隙）实施回填。完成主要水源封堵后，针对沉降缝、施工缝及混凝土薄弱部位存在的残余微小渗漏，因大流量注浆泵压力迅速升高难以有效注浆，故切换为小流量手压注浆泵施注。注浆全程需严格控制压力、流量等关键参数，并依据实时监测数据动态调整注浆策略^[4]。

(4) 注意事项。在进行上述流程时，须注重以下事项。① 在选择化学浆液时，其应满足以下要求：低毒/无毒、无收缩、耐久性优异。② 为避免对设施设备造成污染，或将预留管道沟槽堵塞，在施工时，须派遣专人对周边结构与设备进行巡视，避免浆液渗漏。如存在异常，应及时向注浆组反馈，使之采取相应措施。③ 在安装设备，或装修时，应开展收敛与隆沉变形监测设计，对量测进行严格监控，进行现场事实检测与数据处理，如存在异常，则及时向注浆班组进行反馈，对压力、流量等参数进行及时调整控制，避免将结构压坏^[5]。

2. 结构缺陷修复

在修复结构缺陷时，采用钢板固定，环氧砂浆修复。其执行步骤如下，① 位置固定：搭设移动式脚手架，根据钢板宽度尺寸在中板底部东西方向进行划线，待划线完成后将划线处混凝土保护层破除，直至露出主筋。② 表面清理：混凝土破除完成后清除接缝处零碎混凝土渣。混凝土渣清理干净后，对基面处理后的混凝土表面进行冲洗，使混凝土表面无沙粒、粉尘。③ 固定钢板：将准

备好的L型钢筋焊接在剥出主筋上，在南北方向每隔1m各焊接一根，焊接长度不小于10d，在钢筋焊接完成后，将钢板放上焊接好的L型钢筋上托住，再将L型钢筋的另一端与钢板进行焊接，且焊接长度不小于10d，同时保证钢板与原有混凝土结构中板底部紧密贴合。④注入环氧砂浆：待钢板固定完成后，在中板上方向封钢板需进行接缝处理处注入环氧砂浆，注浆完成后拆除脚手架，将作业面清理干净后离场^[6]。

三、变形缝再造与排水措施

(一) 变形缝再造

因为原变形缝已经失去了其基本功能，因此，须再造变形缝。首先，将凿缝两侧混凝土剔除，到原止水带部位位置。此时，施工人员在沉降缝处，进行可溶解泡沫模板止水条的安装，安装完毕后，进行两侧混凝土重新浇筑。在浇筑前，为确保搭接处粘结良好，施工人员涂刷新旧混凝土截面处理剂。确保强度达标之后，将溶模材料沿预留管路注入，将止水条模型溶解，接着用清洗液进行冲洗；随后，液体膨胀橡胶沿管路注入，待液体膨胀橡胶凝固交联后，便可形成无缝密闭的遇水膨胀橡胶止水带。新止水带遇水膨胀，可有效阻止变形缝渗漏^[7]。

(二) 预留排水措施

为降低运营期维修负担，预留未来可能的渗漏排水设施，增设一道防水排水措施。为了同时确保功能性与美观性，案例工程在新制止水带外侧施作一道封闭排水沟槽，与装修结构进行匹配；在施作沟槽时，所采用的是倒置安装的不锈钢槽，同时在和墙面接缝处，开展防水处理，对遇水膨胀橡胶材料进行压贴处理，确保贴合密实。

(三) 表面处理

由于在浇筑结构混凝土的过程中，出现严重渗漏现象，导致局部水泥浆流失，个别表面出现蜂窝麻面，并存在渗水现象；虽在经过结构背后注浆封堵后，虽然已无显著渗漏，但在其表面处，依旧有小面积湿渍残留，如不及时处理，会对装修质量及未来设备造成严重影响。因此，维护团队依据JGJ/T212—2010《地下工程渗漏治理技术规程》及GB50108—2008《地下工程防水技术规范》中的相关要求，采取表面涂刷抗渗结晶材料处理，具体而言，先由技术人员将表面凿毛，再利用高压水将表面冲洗干净，用高压风吹干；最后，进行抗渗结晶材料的涂刷，前后3遍，每一遍的厚度均为1mm左右，并

涂刷至平整光滑^[8]。

结束语

城市地下工程变形缝渗漏水问题严重威胁结构安全与运营稳定，其有效治理具有重要工程实践价值。本文以苏州地铁4号线渗漏治理为案例，系统分析了注浆封堵、结构修复、变形缝再造及排水措施等关键技术的实施路径。研究表明，遵循“堵排结合”原则，采用环氧树脂注浆精准封堵水源、配合钢板加固修复结构缺陷，并结合创新的溶模成型工艺再造无缝膨胀橡胶止水带、辅以封闭排水沟槽设计，不仅成功消除了接缝混凝土脱落、侧墙流状水渗漏及结构柱裂纹等安全隐患，更显著提升了变形缝的长期防水效能。该综合治理方案效果优异，治理后渗漏现象完全消除，结构安全满足运营要求，其工艺参数与质量控制要点为类似富水地层地下工程变形缝渗漏治理提供了宝贵的实践经验和技术参考。在国家大力推动城市轨道交通节能降碳发展的背景下，此类高效可靠的渗漏治理技术对于保障工程全寿命周期安全、降低长期运维成本、推动城市轨道交通可持续发展具有重要意义。

参考文献

- [1]周文宇, 杨奎, 陈喜坤, 等.城市地下隧道变形缝渗漏水治理技术研究与应用[J].城市道桥与防洪, 2025, (04): 305-308+316.
- [2]卫凯.地下大体积混凝土变形缝渗漏水原因分析及处理方法[J].建筑安全, 2025, 40(04): 6-8.
- [3]张悦.北京地铁某车站渗漏水治理措施探讨[J].中国建筑防水, 2024, (03): 43-46.
- [4]欧志刚.地铁、公路大断面隧道结构变形缝渗漏水处理[J].广东土木与建筑, 2023, 30(04): 96-98.
- [5]李鸿阳.武汉某公路隧道变形缝渗漏水原因分析及整治方法[J].建筑施工, 2023, 45(03): 530-533.
- [6]李建辉.隧道变形缝病害的成因及整治[J].铁道运营技术, 2021, 27(03): 44-46.
- [7]付仲润, 蒋永星.城市地下工程变形缝渗漏水治理施工技术研究[J].广东土木与建筑, 2021, 28(04): 70-73.
- [8]王华军, 王浩, 王林.聚丙烯酰胺凝胶材料在地下工程变形缝渗漏水治理中的应用[J].建筑技术, 2020, 51(07): 843-845.