

地铁渗漏水问题治理探讨 ——以北京地铁16号线为例

顾广宇

北京城市快轨建设管理有限公司, 北京 100070

摘 要 : 轨道交通地下工程渗漏水问题, 不仅造成腐蚀结构, 造成地下工程耐久性降低, 影响其使用功能, 还会严重危害内部线路、机械设备、通讯照明, 甚至接触网和道床等设施, 造成一定的安全隐患。地铁16号线在运营期间出现的渗漏水缺陷数量呈逐年递增的现象, 本文通过介绍地铁16号线相关建设和运营期间渗漏水治理相关经验, 对轨道交通工程渗漏水防治提供了相关参考经验。

关 键 词 : 城市轨道交通; 变形缝; 渗漏水; 注浆止水; 内装可卸式止水带

Discussion on the Treatment of Subway Leakage Water Problem ---Taking Beijing Subway Line 16 as an example

Gu Guangyu

Beijing Urban Rapid Transit Construction Management Co., Ltd. Beijing 100070

Abstract : Water leakage in underground rail transit projects not only corrodes the structure, reduces the durability of underground projects, and affects their use functions, but also seriously harms internal lines, mechanical equipment, communications and lighting, and even contact networks and roadbeds, causing certain safety hazards. The number of water leakage defects in Metro Line 16 during operation has increased year by year. This article introduces the relevant experience of water leakage control during the construction and operation of Metro Line 16, and provides relevant reference experience for the prevention and control of water leakage in rail transit projects.

Keywords : urban rail transit; deformation joint; leakage water; grouting waterproofing; internal detachable waterstop

一、地铁渗漏水类型及原因分析

1. 类型

(1) 根据渗漏现象

渗漏现象共分5种。湿渍, 指地下混凝土结构背水面, 呈现明显色泽变化的潮湿斑; 渗水, 指地下混凝土结构背水面有水渗出, 墙壁上可观察到明显的流挂水迹; 水珠, 指地下混凝土结构背水面的顶板或拱顶, 可观察到悬垂的水珠, 其滴落间隔时间超过1min; 滴漏, 指地下混凝土结构背水面的顶板或拱顶, 渗漏水滴落速度至少为1滴/mm; 线漏, 指地下混凝土结构背水面, 呈渗漏成线或喷水状态^[1]。

(2) 根据渗漏部位

变形缝、施工缝等接缝渗漏: 多为出入口、换成通道或附属结构环向变形缝处; 施工缝, 后浇带等; 盾构管片结构及接缝、螺栓孔及注浆孔; 混凝土结构拱顶或顶板、侧墙、底板等。

2. 原因分析

(1) 施工质量问题

结构变形缝渗漏水:

导致变形缝渗漏水的主要原因是止水带埋设不当, 在施工中

由于种种原因, 止水带没有按设计要求进行施工, 造成止水带破裂, 偏离设计定位要求, 或者止水带老化失效。

施工缝渗漏水:

施工缝是混凝土结构施工造成的, 在施工缝处一般都设置有止水材料, 如果止水材料性能不适应施工条件或者是埋设工艺不当, 当混凝土收缩时, 出现裂隙。

外防水层失效:

对于顶板防水层, 若在未保证基面平整、干燥的情况下涂刷防水涂料, 防水涂料涂刷厚度不均匀, 或在雨雪天气天气进行涂刷涂料施工, 都会导致顶板防水层失效。

混凝土开裂:

一般为大结构尺寸混凝土受干缩和温度变化的影响产生形变, 当结构受到外部边界约束, 不能自由伸张和收缩时, 结构开裂形成裂缝。或混凝土配合比不当, 致使抗渗等级太低; 大面积振捣不足, 致使混凝土疏松, 会导致面渗水; 混凝土局部漏振, 或者模板穿心螺栓的止水措施不当, 将引起点渗漏。

盾构管片渗漏水:

盾构施工注浆孔设置不当, 注浆材料质量不过关及施工工艺不严谨, 如: 注浆孔封堵质量差, 管片拼装过程中的破损以及错

作者简介: 顾广宇(1988-), 男, 北京市通州人, 本科, 初级, 单位: 北京城市快轨建设管理有限公司, 邮编: 100000, 研究方向: 轨道交通地下工程。

台，盾构机在推进过程中控制失误，在挤压力过大的情况下形成管片裂缝；管片螺栓未按设计要求拧紧，造成拧紧扭矩不足以将止水条挤压密实，致使拱顶渗漏；止水条未粘贴牢固，在存放、吊装、运输、拼装的过程中出现脱胶、破损现象，拼装时表面杂物未清理干净，造成管片拼缝渗漏，未及时进行二次注浆等，都会出现盾构管片渗漏水情况。

（2）地下水位上涨

根据北京市水务局公示的地下水位数据，得益于南水北调工程的推进和一系列生态补水措施，自2015年以来，北京平原区地下水水位已连续九年回升，地下水储量增加了70亿立方米。2024年北京地下水位在年内变化：地下水水位平均回升了2.75米，地下水储量增加了14.1亿立方米^[2]。

结合地铁16号线建设期及运营期勘察的水位变化情况，以16号线车站为例：木樨地站（西城区）地下平均水位标高2016年至2024年36.8米涨至40.7米；宛平城站（丰台区）地下平均水位标高2016年至2024年40.13米涨至47.4米。

地铁16号线车站及区间每年会出现不同程度的渗漏水病害，渗漏水病害发生的频率和次数逐年递增，显然地下水位的上涨已经成为了地铁渗漏水的重要原因之一。

二、渗漏水治理

1. 注浆封堵

注浆就是将一定的材料配成浆液，用压送设备将其灌入缝隙内或孔洞中，使其扩散、胶凝或固化，以达到防渗堵漏的效果^[3]。

通常用于防水工程上的堵漏灌浆材料主要有颗粒型浆液、化学浆材料和混合浆液。

颗粒型浆液（又名：悬浊浆液），是指分散质直径大于100nm，不溶的固体小颗粒悬浮于液体里形成的混合浆液，固体小颗粒随着水溶质扩散直至析出固结，达到封堵渗漏水的目的，其流动性与颗粒的大小有关，如膨润土、水泥、粉煤灰、石灰岩等。

地铁16号线渗漏水治理所采用的悬浊浆液基本为水泥浆，水泥浆具有结石强度高、价格低、运输储存方便、工艺简单等优点，是应用最为广泛的基本注浆材料之一。但是，由于它属于颗粒材料，对微小裂隙的处理不能起到满意的效果；此外水泥浆材凝固时间长，在有一定流速的漏水部位灌浆时会在凝固前被水稀释或冲走，难达堵漏的目的。因此，水泥灌浆只适用灌注不存在流水条的混凝土裂缝和其他较大缺陷的修补^[4]。

化学浆液（又名：乳浊浆液），是指分散质直径100nm~500nm，成分是两种或多种不相溶的液体小液滴的混合物浆液；液体小液滴随溶质扩散直至胶凝固化，达到封堵防渗的目的，其流动性与其粘度有关，聚氨酯、丙凝（有毒），改性环氧树脂、丙烯酸盐材料等

化学浆比水泥浆材具有较好的流动性，它能按工程的需要调节浆液的胶凝时间，适用于有流动水部位的堵漏或防渗，

混合浆液，是指将颗粒型浆液和化学浆液通过两条注浆管

道，分别通过压送设备，混合均匀后注入目标结构或地层，浆液混合后迅速凝结（1min左右）以达到封堵防渗的目的，如：水泥-水玻璃双液浆。

2. 不同渗漏水情况的材料选用：

（1）目前地铁渗漏水治理常用的几种注浆材料（详见表1）：

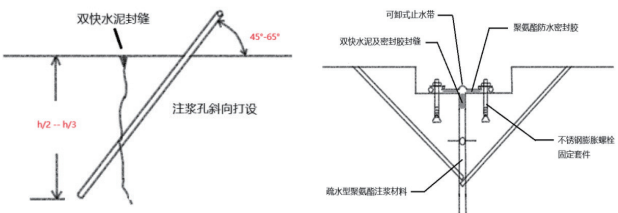
材料类型名称	特点	适用场景
丙烯酸盐	流动性大，柔性大，反应较快，无毒无害	结构侧墙、区间等渗漏轻微
水溶聚氨酯	柔性大，反应快	结构侧墙、区间等渗漏严重
疏水性聚氨酯（油溶聚氨酯）	快速发泡、防渗性能好，有一定的补强加固效果	结构顶板、区间拱顶等
环氧树脂	粘度大，可注性较差，强度大，带水作业粘接力较差，易堵塞注浆设备	用于结构结构裂缝补强加固或孔洞封堵
水泥浆	流动性不如化学浆液，凝结速度慢，价格便宜，无毒无害	迎水面土层防渗加固
水泥-水玻璃	反应快、强度大，防渗性能好	用于结构底板、迎水面土层止水

表1 注浆材料特点及适用场景

3. 操作方法

（1）结构空鼓或裂缝造成的渗漏水问题：

堵漏前须先用双快水泥进行封缝，后采用钻孔（锚杆）斜向打孔注浆方式进行注浆堵漏，注浆孔与结构面夹角控制在45° - 65° 之间，打设深度应在结构厚度的1/2至1/3之间，对于长度大的裂缝，注浆孔间距宜为30cm至50cm，压注丙烯酸盐或水溶聚氨酯浆液（拱顶或顶板宜采用疏水性聚氨酯材料封堵），注浆终压力为0.3-- 0.5MPa，快速发泡阻断水流，从而达到封堵渗漏水的效果（详见图1），待治理完成后涂刷环氧树脂及水泥基渗透结晶型防水材料补强加固裂缝^[5]。



> 图1 钻孔注浆堵漏示意图

> 图2 接缝可卸式止水带安装示意图

（2）施工缝、变形缝、后浇带等接缝渗漏水处理

施工缝、变形缝等接缝渗漏水治理时，同样采用斜孔注浆方式。首先，应先用双快水泥封堵接缝，后进行打设斜孔浆，宜选用疏水型聚氨酯注浆材料，降低漏水量后，对于接缝部位安装可卸式止水带，经聚氨酯防水密封胶粘贴和不锈钢膨胀螺栓套件加固，通过采用后嵌压缩密封材料，以达到防水功能。诱导缝渗漏水治理时，采用斜孔注浆和骑缝注浆相结合的方式进行堵漏，并安装顶部接水盒引流板等，预防二次渗漏影响运营^[6]。

对于反复出现渗漏水的结构，一般采用背后填充水泥浆的措施。

（3）预留孔洞封堵

对于不同类型的孔洞一般采用不同的材料，一般采用聚氨酯

材料填充和环氧树脂补强结合的方式。

（4）离壁沟预留

以地铁16号线建设及渗漏水治理经验来看，离壁沟的预留具有非常高的必要性，16号线南段通过在设计阶段增设了离壁沟，相较于未设置离壁沟的车站，离壁沟随着车站主体一体化浇筑施工，避免了后期改造开沟的工程难度，对于车站疏排水提升运营质量有着重要的促进作用，即便出现渗漏水问题，对运营造成的影响要小的多，渗漏水治理更加方便快捷^[7]。

离壁沟的施工控制要点主要为坡度控制和检修口设置的合理性，运营单位可通过检修口定期清理堵塞物保持离壁沟畅通。

（5）管片环缝还有纵缝间渗漏水的处理

在进行对管片的环缝还有纵缝间的渗漏水的处理过程中，首先应当对其缝隙内的异物采用钢丝刷进行有效地清理。展开对渗漏位置的确定的过程中，应当在出现渗漏的区域的两端进行终止孔的设置，终止孔的孔径通常情况下应当保持在6mm左右，转孔的深度要达到管片密封橡胶条的位置，采用环氧乳液防水胶泥进行对终止孔的封闭^[8]。

对于拼缝按照35公分的距离进行注浆孔的设置，利用氯丁胶乳聚合物水泥砂浆进行封缝嵌缝埋管处理。在进行注浆的过程中应当注入改性环氧化学灌浆液，然后进行有序的注浆，在注浆的过程中其压力需要保持在0.4至0.5Mpa的范围内，在压力到达标注以后再进行闭管等其进行凝固。

必要时应当进行二次注浆或者多次重复注浆，通过该种措施保障其注浆的质量能够达到预期的标准。注浆管拆除的同时，对其缝面涂刷环氧树脂材料，从而确保管片结构的质量。

三、新线建设渗漏水防治控制要点

地铁新线建设中的渗漏水防治控制是确保施工质量和地铁运营安全的关键之一。渗漏水问题可能导致结构损坏、设备故障、施工质量下降等问题，甚至可能影响地铁的长期运行。因此，在新线车站建设时应当从源头对车站质量进行把控，降低投运后渗漏水产生的概率，具体要求如下：

在施工前，必须根据水文地质勘察相关资料，详细了解地下水位变化趋势、土壤渗透性，地下水的种类、压力以及流量等信息。

设计阶段的防水要求要根据水位变化趋势进行适当的提高设计标准，合理选择防水材料，采用低渗透性、高强度的混凝土，增强施工缝的抗渗能力；将预防渗漏水措施：如留离弊沟、接水托盘等，统一出在施工图中。

施工阶段，应对于防水层施工、混凝土浇筑振捣、施工缝和接口处理等容易出现渗漏水的高风险工序或部位重点管控，以提高施工质量^[9]。

四、结语

本文分析了北京轨道交通地铁16号线运营期车站及区间常见的渗漏水问题的治理分析，对于未来新线车站施工和运营线路渗漏治理提供了一定的建议，对渗漏病害的典型性治理方法进行了整理汇集，结合轨道交通建设水平不断提升的大趋势，对提高地铁建设水平和运营安全具有一定参考意义^[10]。

参考文献

- [1] 罗富荣, 刘赫炜, 韩焯. 地下水水位上升对地铁隧道结构的影响分析 [J]. 中国铁道科学, 2011, 32(01): 81–85.
- [2] 白海贞. 地铁车站抗裂防渗技术研究与实践 [J]. 公路, 2021, v.66(05): 337–340.
- [3] 张继霞, 张捷. 聚氨酯灌浆材料地铁防渗处理应用中存在问题探讨 [J]. 中国建筑防水, 2016, No.356(24): 36–39.
- [4] 郑秀华. 水泥–水玻璃浆材在灌浆工程中的应用 [J]. 水文地质工程地质, 2000, (02): 59–61.
- [5] 牛成. 地铁车站刚柔结合注浆堵漏加固治理研究——以北京地铁12号线穿越5号线车站为例 [J]. 工程建设与设计, 2021, No.460(14): 40–43.
- [6] 王利民. 北京地铁出入口渗漏水原因分析及应对措施 [J]. 建筑技术, 2017, 48(06): 580–583.
- [7] 董飞, 房倩, 张顶立, 徐会杰, 李宇杰, 牛晓凯. 北京地铁运营隧道病害状态分析 [J]. 土木工程学报, 2017, v.50(06): 104–113.
- [8] 龚晓南, 郭盼盼. 隧道及地下工程渗漏水诱发原因与防治对策 [J]. 中国公路学报, 2021, 34(07): 1–30.
- [9] 张学文. 运营期地铁隧道常见结构病害成因及治理方法研究 [D]. 南京大学, 2014.
- [10] 廖晓东. 丙烯酸盐注浆材料堵漏特性试验研究 [D]. 北京交通大学, 2019.