

Cause Analysis and Treatment Measures for Leakage of Shield Tunnel Construction

Manhua Zhang

Beijing City Sub-center Investment Construction Group Co., Ltd., Beijing, 100101, China

Abstract

According to shield tunnel waterproof design and the cause of leakage in the east trunk canal of South-North water transfer project, treatment is made and implemented. The practice has shown that good results are achieved and the leakage treatment of shield tunnels is solved. The treatment measures are effective and have high promotion and application value.

Keywords

shield tunnel; leakage; cause analysis; treatment measures

盾构隧道施工渗漏的原因分析及处理措施

张曼华

北京城市副中心投资建设集团有限公司, 中国·北京 100101

摘要

根据南水北调东干渠工程盾构隧道防水设计与施工渗漏水原因分析, 研究制定实施针对性的处理措施, 达到了良好的效果, 解决了盾构隧道渗漏水处理的难题。工程实践表明, 该处理措施是行之有效的且具有较高的推广应用价值。

关键词

盾构隧道; 渗漏; 原因分析; 处理措施

1 引言

随着中国经济的发展, 人口迅速向城市集中, 城市的公共交通压力凸显。地下轨道交通工程具有运量大、缓拥挤、速度快、技术高, 开拓利用地下空间, 较大的节约资源、环保运行等特点, 成为中国缓解交通压力、提升城市形象的城市基础设施建设的重点。目前除了在中国上海市、北京市、天津市、南京市、广州市等一线城市大力发展外, 郑州市、太原市、重庆市、西安市等中西部城市也在重点建设, 盾构法施工由于其掘进速度快、安全开挖、一体化施工等优点在地铁区间、南水北调工程施工中在适宜地层被较多的采用, 然而, 由于其质量受注浆质量、管片的制作与安装质量、防水质量的影响较大, 尤其是在初衬完成后, 盾构隧道渗漏水的现象较为突出, 渗漏水的位置主要集中在管片的接缝、破损修补处、吊装孔和螺栓孔等处, 如果处理不彻底, 是影响运营安全的重大风险因素, 然而在含水量较大的富水地区, 施工防水质量受地质条件、防水设计与材料、注浆效果等方

面的影响较大。本文结合工程实际, 以渗漏水现象的处理为例, 详细阐述富水地区盾构隧道渗漏水的原因及针对性的施工技术措施, 解决了盾构隧道渗漏水处理的难题。

2 工程概况

本工程为南水北调东干渠工程, 本工程隧道埋深 6.5~29.4m, 最大纵坡 2.066‰, 洞顶以上压力水头在 15.4 ~ 43.6m。

2.1 结构型式

本工程盾构隧道结构形式为圆形隧道, 隧道结构净空尺寸为 4600mm, 采用复合衬砌结构: 一衬为 C50、W10、F150 预制混凝土管片内, 外径为 6000mm, 厚度为 300mm; 二衬为 C35、W10 (局部水力梯度大于 100 采用 W12)、F150 模筑钢筋混凝土, 厚度为 400mm, 另外为今后检修方便, 同时作为铺设通讯光缆及电缆的通道, 在洞底铺筑宽 2.0m 混凝土平台。

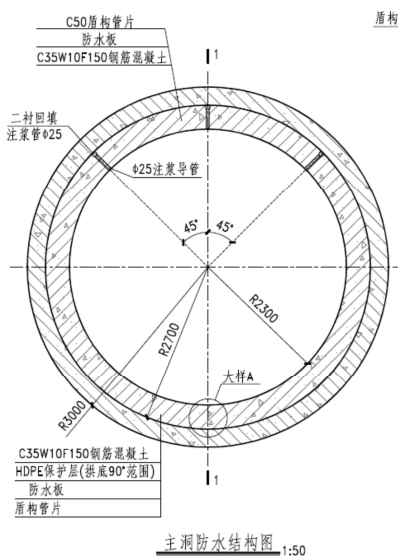


图1 主洞防水结构图

隧道二衬在轴线和地基变化处设置变形缝外，其余地段变形缝间距均为10m，直线段隧道采用全圆模板台车一次浇筑成形，不设施工缝；隧道转弯段设置纵向施工缝。

2.2 结构防水

盾构管片采用三元乙丙弹性密封橡胶条止水，二衬变形缝止水采用紫铜片止水带，高压低发泡聚乙烯闭孔板嵌缝，迎水面设双组分聚硫密封胶封口；施工缝采用紫铜片止水带并在迎水面设双组分聚硫密封胶封口。一衬、二衬之间设防水板，防水板和二衬之间做灌浆处理。

3 防水设计

3.1 盾构施工段的管片间防水设计为

初衬为C50盾构管片+防水板+HDPE保护层（拱底90度范围）+C35W10F150钢筋混凝土，在管片与二衬间除设置防水板外，拱底90度范围增加HDPE保护层。

3.2 盾构管片细部防水设计为：

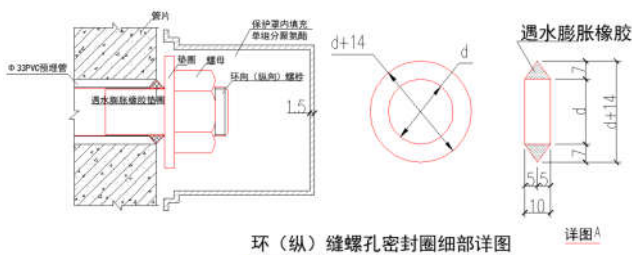


图2 环(纵)缝螺孔密封圈细部详图

高渗透性改性环氧防腐涂料（侵蚀路段），在管片间设置弹性膨胀橡胶密封垫防水，注浆孔设置封圈，注浆后进行

封堵，高密度预制钢筋砼管片，抗渗等级P12级。嵌缝处设弹性密封垫防水，环缝螺栓孔采用遇水膨胀橡胶垫圈。

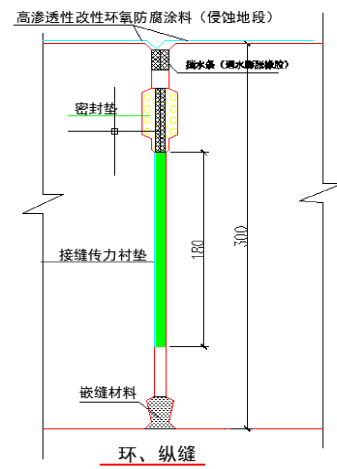


图3 环、纵缝

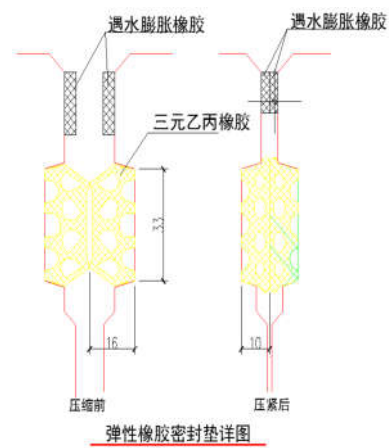


图4 弹性橡胶密封垫详图

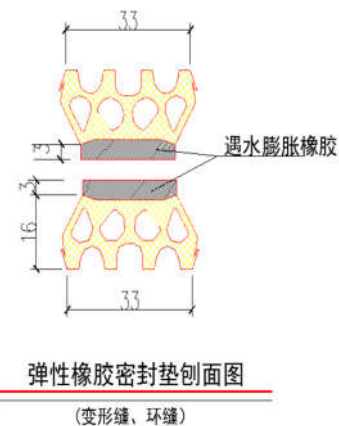


图5 弹性橡胶密封垫剖面图

(1) 环、纵缝变形缝处防水设计：高渗透性改性环氧防腐涂料（侵蚀路段）+ 挡水条（遇水膨胀橡胶）+ 弹性橡胶密封垫。

(2) 弹性密封垫材料为: 三元乙丙橡胶。

(3) 密封垫与管片之间用单组份氯丁胶粘结。

(4) 在管片背面及密封垫外侧的管片表面涂刷渗透性环氧树脂防水涂料, 涂层应能在盾尾密封用钢丝刷与钢板挤压条件下不损伤。在管片生产厂涂刷, 检验合格后出厂。

(5) 拱底块浇捣道床混凝土范围内的手孔均预留不做填充处理; 180° 以下, 道床混凝土以上范围内的手孔充填硫铝酸盐微膨胀水泥 C20 细石混凝土; 180° 以上 (包括 180° 部位的手孔), 采用塑料保护罩覆盖, 保护罩内填充单组份聚氨酯材料。

(6) 变形缝采用三元乙丙密封垫贴合一层遇水膨胀橡胶止水。

本工程在细部采用的遇水膨胀橡胶具有较好的防水特性, 利用其遇水膨胀后止水的特点, 在盾构管片环、纵缝变形缝防水设计中被较多的采用, 防水效果好, 其特性如下:

止水效果好, 具有橡胶的弹性止水和遇水后自身体积膨胀密封的双重止水机理, 大抗水压 $\geq 1.5\text{Mpa}$, 耐久性强、质量变化率低: PJ 遇水膨胀密封胶中含有特殊接枝技术的脲烷联结链, 在长期使用期间不会造成膨胀元流失, 在 20°C 温度下, 理论寿命为 100 年。

根据以上设计和材料选择措施, 管片处能够保证“在 20°C 温度下, 理论寿命为 100 年。”的时间内不渗漏水, 然而, 这是理想状态。

4 二衬施工完成后六个月内对隧道表面进行检查并发现

- (1) 聚硫密封胶表面出现龟裂、起皮及鼓胀现象;
- (2) 回填灌浆孔周围出现渗水现象;
- (3) 隧洞内表面有表面阴湿现象。

5 渗漏水原因分析

5.1 隧洞内出现以上现象后, 我们进行了详细的分析

- (1) 管片采用专业预制, 是在严格验收后才能进场;
- (2) 管片本身质量不合格与运输、拼装过程中碰撞破损的管片均被清退出场;
- (3) 管片拼装是在自检与监理严格验收后才进行下道工序施工。

因此可排除管片预制质量与施工拼装质量的因素。

5.2 施工方技术人员、监理工程师、业主代表三方联合对出现封孔质量问题与渗水现象的位置进行了详细分析

得出原因如下:

- (1) 封孔质量差 (手孔、螺栓孔、注浆孔等薄弱部位);
- (2) 漏水点注浆不彻底;
- (3) 壁后注浆不充分、同步注浆效果不好, 二次补注浆没有将管片背后的空隙完全填充;
- (4) 局部混凝土表面须加强防渗处理。

6 针对性处理方法

根据渗漏水的原因分析, 成立由知名专家组成的专业小组, 研究制定了以下处理方法:

6.1 针对聚硫密封胶表面出现龟裂、起皮及鼓胀现象

- (1) 将原聚硫密封胶彻底清除, 并清理干净, 保证混凝土面的干燥, 洁净, 无污染;
- (2) 按原设计封堵聚硫密封胶;
- (3) 分缝位置外粘胎基布, 宽度 200mm (伸缩缝两侧各 100mm);
- (4) 分缝位置涂刷 SK 手刮单组份聚脲 (胎基布范围厚 3-4mm, 其它范围厚 3mm), 宽度 400 mm (伸缩缝两侧各 200mm)。
- (5) 如果出现鼓胀且内存积水, 则彻底清理聚硫密封胶, 查找漏水点, 针对漏水点采取环氧树脂注浆, 直至把水彻底封堵, 按原设计重新做聚硫密封胶。

6.2 针对回填灌浆孔周围出现渗水现象的处理措施

- (1) 清除原回填灌浆管内封堵材料, 深度不小于 150mm, 并清理干净;
- (2) 注水泥浆, 压力 0.3Mpa;
- (3) 按原封堵材料封堵回填灌浆孔;
- (4) 在回填灌浆孔周围 200*200mm 范围涂刷 SK 手刮单组份聚脲 2-3mm。
- (5) 如果灌浆孔渗水量比较大且带有压力, 则在其注浆孔周围 5m 范围内打眼排水、注浆 (聚氨酯), 使其周围达到减压, 排水。然后在针对注浆孔及其周边眼进行注浆封堵。

6.3 混凝土表面阴湿现象的处理

阴湿处未发现明显的冷缝或裂缝,按照阴湿程度可分为两种处理方式:

(1) 无明水阴湿,表面涂抹聚合物水泥砂浆的方法进行表面防渗处理,处理范围为阴湿处上下10cm,两侧外延30cm,并平滑过渡。

①检查潮湿处基层,清理表面杂物,如果有油污、孔洞等要进行清洗、修补处理。

②施工前,要用水充分润湿基层面,无积水时可施工。

③水泥防水砂浆施工时,抹灰的厚度应一致,不得出现薄厚不均的现象。抹灰各层应紧密贴合,每层宜连续施工。

④总厚度要根据防水等级确定:隧道工程宜 $\geq 6.0\text{mm}$ 。高分子复合水泥防水砂浆抹灰二至三遍,每层抹灰厚度为2~3mm,第一层抹灰抹完后,干燥成膜(不小于5小时)后再进行第二层抹灰。最后一层抹灰表面应压实、抹平。每平方米砂浆消耗量约为2.0kg/mm。

⑤聚合物水泥防水砂浆凝结后,进行自然养护,养护温度不低于5℃。

⑥待混凝土面干燥、无表面阴湿现象时即为合格。

(2) 有明水阴湿的回填灌浆孔处理方式:

①基面处理

要修补的基底混凝土表面应处理干净,并提前喷水使基面处于潮湿状态,涂刷界面剂前基底要保持潮湿表面无明水状态。若有明水应用湿布擦掉,如有渗漏通道可采用适宜的排水方式保持基面处于无明水状态。界面剂要涂刷彻底、均匀、无遗漏,尤其是凹坑、麻面等部位。界面剂在使用过程中要经常搅拌,保持浆液均匀。涂刷界面剂后5分钟内可涂抹聚合物水泥砂浆覆盖^[1]。

②混凝土凿除

将阴湿部位松散混凝土凿除,直至密实混凝土。凿坑四周成方形、圆形或直条状,避免出现锐角的部位。凿除混凝土时,凿铲要垂直混凝土表面施工,并控制周边修补厚度不小于1.0cm。凿挖过程中,避免造成周边混凝土表面脱皮,凿挖的深度视缺陷架空的深度而定,原则上不小于1cm。

③施工与养护

抹平后的聚合物水泥砂浆在1~4小时内进行二次压实,以保证达到足够强度。聚合物水泥砂浆要注意养护,在喷水

养生的条件下至少潮湿养护两周以上。

经试验,聚合物乳液最低成膜温度为11℃,因此不宜在过低温度下使用。基底处理、严格按配合比及工序施工是保证修复质量的关键^[2]。

(3) 混凝土表面渗水

混凝土表面渗水,凿除渗水部位,范围由渗水面积确定,凿除后,采用打孔注浆,打孔深度控制在一衬和二衬之间,采用聚氨酯注浆,注浆完毕将其凿除面封堵。

7 处理结果检查

隧洞内所有缺陷修补完毕后,施工方组织自检,缺陷全部得到有效处理,报监理工程师检查,经验收后全部合格。

该标段区间盾构隧道按照上述堵漏措施处理,经过1个多月的处理,建设单位针对情况组织了专项环境巡视,第三方监测机构进行了专项监测,经检测,渗漏水现象全部得到有效处理,由于地质条件的原因,以上质量问题在本项工程的其他标段也较为普遍,经监理验收合格后,本合同段的处理方法得到全线的推广应用,并达到了良好的效果。证明该处理措施是行之有效的且具有推广应用的价值。

8 结语

盾构隧道经过含水量较高的地层,必将受到地下水的侵害,如果没有可靠的预防、堵漏措施,地下水就会侵入隧道,影响其内部结构与附属管线,缩短隧道使用寿命,乃至危害隧道的正常运营。盾构隧道的防水施工尤其是环纵缝变形缝处的防水施工对渗漏水至关重要。

通过对南水北调东干渠工程的渗漏水现象分析及处理得出如下结论:

(1) 防水设计方案经过层层把关,贯彻“以防为主,刚柔结合、多道防线、因地制宜、综合治理”的防水原则。

主洞防水与环、纵缝变形缝处防水设计均使设计方案达到理想状态,然而需要施工过程中100%的实现,才能完全保证不渗漏水。施工过程中的关键环节如注浆加固地层受地质岩土条件的影响较大,准确评价注浆效果仍有较大的难度,需要根据渗漏水情况分阶段进行注浆,注浆加固地层在施工后期具有较大的被动性。

(2) 注浆加固仍然是防水施工的最重要环节,注浆效果

不好,二次补注浆没有将管片背后的空隙完全填充是后期渗漏水的主要原因,需要采用补注浆的方式将漏点的渗漏水完全隔离,以使防水设计的材料实现 100% 的防水。

(3) 出现渗漏水现象要做细致的分析,查找准确原因,制定较强的针对性措施,以使渗漏水处得到完全的根除,减弱较大的渗水对环、纵缝变形缝处防水设计材料的冲击,从

而增强各环节的防水性,确保隧道运行的安全。

参考文献

- [1] 罗子强. 地铁盾构隧道渗漏原因分析及处理措施 [J]. 科学之友, 2011(10):69-70.
- [2] 何杰. 隧道施工中涌水渗漏水处置及其预防对策 [J]. 四川建材, 2019,45(07):84-85.