

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.14.027

非开挖修复排水箱涵中注浆堵漏技术的应用实践

刘才平, 王志录, 高兴朋

(中国水利水电第十四工程局有限公司, 云南 昆明 650041)

摘要: 排水箱涵由于施工质量、运输车辆重型化、使用年限增加等原因常常发生渗漏,结合非开挖修复排水箱涵的工程实例,分析了渗漏原因、注浆堵漏的技术难点等。总结出适用的注浆堵漏方式、注浆堵漏材料和压力,可为在复杂施工条件和不良土层地质条件下的箱涵修复提供借鉴。

关键词: 注浆堵漏; 注浆压力; 堵漏材料; 排水箱涵; 非开挖修复

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)14-0157-05

Application Practice of Grouting Plugging Technology in Drainage Culvert Trenchless Repair

LIU Cai-ping, WANG Zhi-lu, GAO Xing-peng

(Sinohydro Bureau 14 Co. Ltd., Kunming 650041, China)

Abstract: Aiming at the leakage phenomenon of drainage culvert due to construction quality problems, heavy transport vehicles and increased service life, the causes of leakage and the technical difficulties of grouting plugging were studied in combination with the engineering example of drainage culvert trenchless repair. The applicable grouting plugging methods, grouting plugging materials and pressures are summarized, which could provide reference for culvert repair under complex construction conditions and poor soil geological conditions.

Key words: grouting plugging; grouting pressure; plugging material; drainage culvert; trenchless repair

随着城市建设的飞速发展,城市的排水系统建设日趋完善,然而由于排水箱涵建设的施工质量不高、运输车辆重型化、使用年限增加以及管养不到位等种种原因,城市建设早期埋设的排水箱涵已有不同程度的损坏,常常出现管道腐蚀、渗漏、变形、沉降等情况,给城市排水和地面交通带来了安全隐患,严重影响了城市的环境与市容,不容忽视^[1-2]。

排水箱涵断面尺寸较大,在箱涵结构受到破坏、所处位置地质条件复杂、地下水丰富、箱涵埋深较深等情况下,采用常规的开挖修复方法存在施工进度慢、施工安全风险较高、周围交通影响较大等问题,因此需采用非开挖技术从箱涵内部进行修复。非开挖修复技术具有开挖范围小,成本低,对地面设施、

交通及居民活动影响小的优点,加之新技术不断涌现,非开挖修复技术在污水管道修复施工中的应用越来越多^[3]。

渗漏多是由裂缝形成的集中渗漏通道造成的,化学注浆堵漏技术在各种建筑物的防水堵漏、裂缝补强、隧道防治滴水等方面应用广泛。注浆堵漏是在出现渗漏的混凝土结构缝隙处,利用手工或机械等手段,通过压力将具有一定凝胶时间的浆液注入混凝土结构裂缝中,浆液在压力的作用下可以有效灌注到裂缝深处,通过发生膨胀、凝结等作用达到充填裂隙和止水的目的^[4]。化学注浆堵漏技术不仅可以解决常见渗漏问题,而且可以降低成本,提高建筑企业的经济效益^[5]。这种技术在沿海地区的地

下工程施工中有着广阔的应用前景^[6]。

结合广州市中心城区污水管线缺陷修复项目中箱涵应急维修实际工程,对非开挖修复排水箱涵中的注浆堵漏技术及应用进行了探讨,可为复杂施工条件和不良土层地质条件下的箱涵修复提供借鉴。

1 渗漏成因分析

引起渗漏水的原因较多,从设计到施工各个阶段均可能造成防水失效,导致管道渗漏,造成渗漏的原因主要有以下几种:

① 混凝土材料自身特性引起渗水。由于混凝土本身抗渗强度较低,而且浇筑后还会发生干缩效应,所以混凝土在浇筑完成后经过长时间干湿、冻融及温度变化等自然因素的影响,就使得混凝土排水渠涵产生裂缝。

② 混凝土施工质量差,引起渗水。在混凝土施工过程中,由于结构转折、交叉等施工薄弱处,模板不严、漏浆,或是振动器具达不到,造成不密实。施工缝位置不当,没有设置止水钢带,混凝土表面没有凿毛,残渣没有冲洗干净,使新旧混凝土结合不牢,或者混凝土振捣不密实,使混凝土结构产生蜂窝、空洞,就会导致施工缝以及墙体混凝土局部片状的渗漏。

③ 墙体的螺栓孔、预留孔及预埋管件引起渗水。混凝土墙体施工预留孔在后补时,未能填嵌严实,形成渗水通道,或者混凝土墙体穿墙套管预留孔嵌填不密实造成渗水。

2 案例概况及技术选择

案例为广州市荔湾湖排水箱涵应急维修项目。经前期勘测,本工程道路下为 $d2\ 500\text{ mm}$ 钢筋混凝土承插圆管,湖底为 $2\ 500\text{ mm}\times 2\ 000\text{ mm}$ 钢筋混凝土箱涵,箱涵顶部离湖底覆土厚约 1.0 m 。经清淤检测发现,箱涵墙壁存在大量渗漏点及孔洞,渗水严重,并存在河水倒灌现象,且湖底有冲积淤泥质软土,其流塑性大,湖面全部为流塑性大的淤泥质软土,含水量大。该箱渠的修复难度较大,结构变形缝堵漏是该修复施工中需要解决的首要 and 关键技术问题之一。

该排水箱涵位于荔湾区,周边人流量大,若采取开挖修复技术,则会对周边居民以及环境造成较大的影响。为了保证箱涵修复施工的质量、安全,根据现场地质条件、箱涵尺寸、埋深以及箱涵过水状况,在不断总结以往施工经验的基础上,决定采用非开

挖修复钢板内衬法施工。而非开挖修复首先就需要堵漏,本项目箱渠漏水严重且场地施工的空间有限,采用化学注浆堵漏技术可以不受施工场地大小限制,对复杂环境及水质适应性较强,不污染环境,因此选用化学注浆堵漏。

经过现场勘察和研究,选定本项目的排水箱涵内衬钢板非开挖修复施工主体技术路线:注浆堵漏施工→蜂窝麻面部位修复施工→内衬钢板施工;其中,注浆堵漏施工路线:凿槽并埋设注浆嘴→裂缝封缝处理→配制化学浆液→注入化学浆液→封孔处理。通过以上技术路线,层层递进,能够保证注浆堵漏的顺利进行并取得理想的堵漏效果。

3 技术难点

3.1 凿槽与注浆嘴的设计

注浆堵漏的第一步是凿槽与埋设注浆管,为注浆提供条件,凿槽的大小与位置以及质量会直接影响注浆效果,因此必须选择合适的位置与尺寸。该排水箱涵尺寸较大,渗漏点较多,在凿槽的设计上存在一定的难度,需要同时保证质量与效率,并满足多种裂缝情况。常用的凿槽类型有U型槽与V型槽,经过观察现场施工情况与试验,V型槽施工更加方便易行,在保证质量的同时,可以提高施工效率,因此采用人工打凿宽 30 mm 、深 20 mm 的V型槽,按裂缝方向前后顺延 300 mm 进行打凿,清理干净V型槽后,沿裂缝每隔 $350\sim 400\text{ mm}$ (包括裂缝端部)埋设一个 $\varnothing 8\text{ mm}$ 灌浆嘴,其应设在裂缝较宽处、端部,保证注浆材料有较大的进口面积(见图1)。

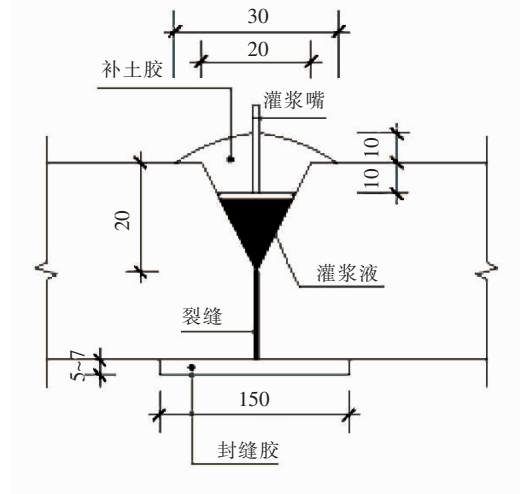


图1 V型槽及注浆管埋设示意

Fig. 1 Schematic diagram of V-groove and grouting pipe burying

原则上,缝窄应密,缝宽可疏,但每条裂缝至少有一个进浆孔和排气孔。这样的凿槽方法可行性高,施工方便易行,且能保证注浆液紧密填满 V 型槽,获得良好的注浆效果;开凿管道的程度也处在较低水平,不影响渗漏口周边结构的稳定性。

表 1 常用注浆堵漏材料基本性质

Tab. 1 Basic properties of commonly used grouting materials

项目	水泥浆液	水泥-水玻璃浆液	改性环氧灌浆液	水溶性聚氨酯灌浆液	油性聚氨酯灌浆液
组分	普通硅酸盐水泥、外加剂	水泥、水玻璃混合浆液	改性环氧树脂、助剂	聚氨酯预聚体、添加剂组	丙烯酰胺和其他交联剂、引发剂等组分
形态	高强度水泥石	高强度结石	高强度硬质固结体	弹性凝胶状固结体	弹性发泡固结体
特点	①黏度随水灰比而变,凝结时间随水灰比的增加而延长;②结石率可达 99%,抗压强度可达 22 MPa;③材料来源广泛,成本较低,无毒性,工艺简单	①凝胶时间可准确控制在几秒至几十分钟;②浆液的结石率可达 100%,结石体强度可达 10~20 MPa,渗透系数小;③材料来源丰富,价格便宜,对地下水 and 环境无污染	①黏度低,可灌性好;②极强的基面黏结与耐化学腐蚀性能;③固结体强度高,对结构裂缝起补强、加固作用	①带水堵漏、瞬间止水;②固结体有良好的延伸性、弹性及抗渗性、耐低温性;③浆液的膨胀性好,包水量大,具有良好的亲水性和可灌性;④环保单组分、使用方便	①带水堵漏、瞬间止水;②黏度低,遇水迅速反应而膨胀固结;③固结体对基层有较强的黏着力、韧性好、耐化学性能极佳;④环保单组分、使用方便
适用场合	适于 0.2 mm 以上裂隙及 1 mm 以上粒径的砂层使用	适于 0.2 mm 以上裂隙及 1 mm 以上粒径的砂层使用	裂缝及结构体的补强加固,无明水环境下的高性能堵漏维修	潮湿裂缝的灌浆堵漏、动水地层的堵涌水;固化物失水收缩,适用于长期有水场合	固结体强度高,多用于强度与防水堵漏兼备的工程,抗变形能力差,适用变形小的场合
缺点	稳定性差,易沉淀析水,在地下水流速较大的条件下注浆时,浆液易受水的冲刷和稀释	水玻璃属强碱性材料,凝胶体有脱水收缩和腐蚀现象	憎水,与潮湿裂缝黏结力差,不能在明水及涌水环境下直接用于灌浆堵漏;难以灌入细微裂缝	不适合 0.2 mm 以下细微裂缝;固化物失水收缩,适用于长期有水场合;固化物强度低	不适合 0.2 mm 以下细微裂缝;固化物强度低;抗变形能力差

广州市荔湾湖排水箱涵渗漏严重,渗漏类型较复杂,各处渗漏点水压并不一样,渗漏的缝隙也大小不一,采用一种注浆堵漏材料无法适应所有的堵漏情况,因此需要选用多种材料,这也存在一定的难度。经过对现场管渠的渗漏现状分析,该排水箱涵渗漏类型较多,大部分为无明水的裂缝,其次存在潮湿裂缝、0.2 mm 以上裂缝等情况。结合表 1,由于无明水裂缝较多,决定所用材料以改性环氧树脂浆液为主,并且根据现场情况增加选用超细水泥、聚合物浆液、丙烯酸丁腈胶乳水泥胶浆、水溶性聚氨酯作为灌浆材料。当水流量特别大或水压特别高时,采用水溶性聚氨酯作为灌浆材料。因为这种材料具有遇水膨胀,迅速止水的功能。一般渗水且缝隙较宽,采用丙烯酸丁腈胶乳水泥胶浆作为灌浆材料。此种材料具有在水中固结且能与原混凝土结构粘牢的功能。当渗水量较小且缝隙较窄时,采用改性环氧浆液。此种材料渗透力强,特别适合发丝裂纹的灌浆。

3.3 注浆压力的设计

在注浆过程中,注浆压力、流量、注浆时间以及

3.2 注浆材料的选择

注浆材料的选择应从堵水、加固要求、是否作为永久性支护结构、无毒性、无污染等方面综合考虑。目前国内外常用的注浆材料可基本分为水泥基浆液和非水泥基浆液,其特性^[7-12]见表 1。

浆液扩散半径对注浆效果产生影响,其中注浆压力的选取对注浆的效果影响最大,合适的注浆压力是保证注浆质量的重要因素^[8]。如果压力过小,浆液流不到预计范围内,扩散范围小易形成空白区无法有效止水;如果压力过大,则会损坏原箱涵结构,造成箱涵变形,达不到灌浆的目的,因此注浆压力应通过经验公式结合现场试验而定。

目前常用的灌浆方式有静压注浆与高压喷射注浆两大类,静压注浆主要适用于砂砾石、软黏土和湿陷性黄土等地质,高压喷射注浆通常采用 20 MPa 以上的高压,通过钻机钻孔将浆液冲击入土地。荔湾湖排水箱涵湖底全部为流塑性大的淤泥质软土,因此采用静压注浆的方式进行注浆^[13]。根据马格(Magg)球形扩散理论,假设浆液为牛顿型流体,采用点源注浆并呈球形扩散,得到了浆液在砂层的扩散公式:

$$h_1 = \frac{r_1^3 \beta n}{3ktr_0}$$

(1)

式中: k 为砂砾层的渗透系数,cm/s; r_1 为浆液

的扩散半径, cm ; β 为浆液黏度对水的黏度比; n 为砂层的孔隙率; t 为注浆时间, s ; r_0 为注浆管半径, cm ; h_1 为注浆压力水头, cm 。

注浆压力的确定需要进行多次渗透注浆试验并结合式(1)来确定,荔湾湖排水箱涵渗透点较多,不同渗漏点浆液的扩散半径、渗透系数以及孔隙率都存在差异,故所需灌浆压力有所不同,具体注浆压力的设计存在一定难度。通过对现场各个裂缝的测量,由式(1)得到其注浆压力为 $0.3 \sim 0.5 \text{ MPa}$ 。经过现场试验,发现公式所得注浆压力偏大,当注浆压力为 $0.2 \sim 0.4 \text{ MPa}$ 时可获得最佳注浆效果。因此确定此次灌浆压力为 $0.2 \sim 0.4 \text{ MPa}$,灌浆设备采用方便易行的手动灌浆机,压力应逐渐升高,防止骤然加压使封缝爆裂、裂缝扩大,当吸浆率 $< 0.1 \text{ L/min}$ 时,再续灌 $1 \sim 2 \text{ min}$ 后即可停止灌浆。按照此方法注浆,能够保证注浆材料在较短时间内填满凿槽与缝隙,取得良好的堵漏效果。

4 技术特点

针对荔湾湖排水箱涵存在较多大小不一的渗漏点,以及湖底为流塑性大的淤泥质软土的特点,本工程在非开挖修复过程中采用了独特的化学注浆堵漏技术,因地制宜,在传统技术上进行了创新,其主要特点如下:

① 注浆堵漏使用机械性能好,无噪声,无污染,且携带方便、操作简单,可带水堵漏,并在极短的时间内将浆液有效注到裂缝深处。施工方法简单且见效快,有利于施工以及加快施工进度,缩短工期,节约施工成本,增加经济效益。

② 注浆材料来源丰富,对水质适应性较强,不污染环境,固体在水中浸泡对人体无害、无毒、无污染,且可灌性好,即使在低温下仍可注浆使用。投入小,施工成本降低。

③ 注浆材料固化后收缩小,与混凝土黏结性能好,经得住热变化、干/湿循环、冻融循环和没有降解的裂缝移动,并且不会被水和其他化合物溶解和稀释,耐化学物性能很好,尤其适用于混凝土排水灌渠裂缝的堵漏;施工工艺不受施工场地大小限制,对复杂环境的适应性强。

④ 注浆材料多样,对于不同情况的渗漏点采用不同性能的注浆材料,在降低成本的同时取得更好的注浆堵漏效果。

⑤ 注浆压力根据多次渗透注浆试验结合扩散

公式来确定,并对不同大小的缝隙采用不同大小的注浆压力,在不破坏箱涵以及土质结构的前提下,保证了注浆的成功进行,浆液完全填满缝隙,与周围结构结合紧密。

采用以上注浆堵漏技术,修复了荔湾湖排水箱涵出现的多处裂缝以及缺口,阻止了箱涵的渗漏,也为后续的非开挖修复工程奠定了坚实的基础。

5 总结与展望

对于非开挖修复排水箱涵,注浆堵漏技术能保证后续工作的顺利进行。本项目结合广州市的中心城区污水管线缺陷修复项目,针对工程中箱涵墙壁存在大量渗漏点及孔洞,渗水严重,并存在河水倒灌现象,开展了化学注浆堵漏技术。

在注浆堵漏过程中,凿槽时选用人工打凿宽 30 mm 、深 20 mm 的 V 型槽,沿裂缝每隔 $350 \sim 400 \text{ mm}$ 埋设一个 $\varnothing 8 \text{ mm}$ 灌浆嘴,能够保证浆液紧密填满 V 型槽并对裂缝周围造成的破坏较小。注浆材料的选用以改性环氧树脂浆液为主,结合水溶性聚氨酯、超细水泥等材料,视渗漏点情况分别选用对应浆液进行注浆,能在降低注浆成本的同时获得更好的注浆效果。通过多次渗透注浆试验,决定根据裂缝大小、结构等情况,将注浆压力逐渐升高到 $0.2 \sim 0.4 \text{ MPa}$,保证浆液在较短时间内填满凿槽与缝隙,取得良好的堵漏效果。

注浆堵漏技术在不同地质、管道、渗漏量等工况间都存在差异,在实际修复的过程中,需要根据渗漏点的情况来进行比选和试验,选择合适的注浆方式、注浆材料以及注浆压力;另一方面,也需要进一步研发出更加通用的注浆材料与注浆设备,提供更多的技术选择并提高效率,适应更加复杂的修复环境,共同促进管道与箱涵的修复。

参考文献:

- [1] 遆仲森,马保松,舒彪,等. 排水管道原位固化法修复内衬管的施工质量验收研究[J]. 给水排水,2012,38(1):93-96.
TI Zhongsen, MA Baosong, SHU Biao, et al. Research on construction quality test of the drainage pipe lining tube rehabilitation by cured-in-place pipe [J]. Water & Wastewater Engineering, 2012, 38(1): 93 - 96 (in Chinese).
- [2] 安关峰,王和平,刘添俊,等. 广州市排水管道检查与非开挖修复技术[J]. 给水排水,2014,40(1):97-

101.
AN Guanfeng, WANG Heping, LIU Tianjun, *et al.* Inspection and trenchless repair technologies for drainage pipeline in Guangzhou [J]. Water & Wastewater Engineering, 2014, 40(1): 97–101 (in Chinese).
- [3] 谢烽. 市政管道修复工程中的非开挖管道修复技术[J]. 中国高新科技, 2020(4): 84–85.
XIE Feng. Trenchless pipeline repair technology in municipal pipeline repair project[J]. China High-tech, 2020(4): 84–85 (in Chinese).
- [4] 李义模, 郑治. 堵漏灌浆技术探讨[J]. 贵州水力发电, 2011, 25(5): 15–17, 25.
LI Yimo, ZHENG Zhi. Discussion on plugging grouting technology[J]. Guizhou Water Power, 2011, 25(5): 15–17, 25 (in Chinese).
- [5] 张剑锋. 化学注浆堵漏技术解析[J]. 建筑科技, 2019, 3(5): 28–30.
ZHANG Jianfeng. Analysis of chemical grouting plugging technology[J]. Architecture Technology, 2019, 3(5): 28–30 (in Chinese).
- [6] 刘坤鹏, 管泽英. 注浆加固地层技术在淤泥地层中的应用[J]. 隧道建设, 2006, 26(1): 74–77.
LIU Kunpeng, GUAN Zeying. Application of grouting consolidation technology in mud ground [J]. Tunnel Construction, 2006, 26(1): 74–77 (in Chinese).
- [7] 廖晓东. 丙烯酸盐注浆材料堵漏特性试验研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2019.
LIAO Xiaodong. Experimental Study on the Plugging Characteristics of Acrylate Grouting Material [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2019 (in Chinese).
- [8] 付学会. 通风井导向孔注浆堵漏及其失效机理研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2012.
FU Xuehui. Study on Grouting and Its Failure Mechanism of Pilot Hole in Ventilation Shaft [D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2012 (in Chinese).
- [9] 李杰. 隧道渗漏的注浆堵漏技术研究[J]. 山西建筑, 2008, 34(9): 317–318.
LI Jie. Research on grouting and plugging technology for tunnel leakage [J]. Shanxi Architecture, 2008, 34(9): 317–318 (in Chinese).
- [10] 史茂林, 胡宗明, 刘宏宇, 等. 化学注浆堵漏技术在鹰鹞山隧道混凝土渗漏水病害整治中的应用[J]. 铁道标准设计, 2010(3): 112–114.
SHI Maolin, HU Zongming, LIU Hongyu, *et al.* Application of technology for chemical grouting sealing in realignment of hazards caused by seepage in Yingyaoshan mountain tunnel [J]. Railway Standard Design, 2010(3): 112–114 (in Chinese).
- [11] 庞文博. 混凝土水池渗漏修复方法——注浆堵漏[J]. 住宅与房地产, 2019(18): 210.
PANG Wenbo. Leakage repair method of concrete pool-grouting to stop leakage [J]. Housing and Real Estate, 2019(18): 210 (in Chinese).
- [12] 孙贵生. 双液注浆堵漏工艺在煤田地质孔应用[J]. 中国煤炭地质, 2010, 22(增刊): 128–130.
SUN Guisheng. Application of dual slurry grouting leak in coal geological boreholes [J]. Coal Geology of China, 2010, 22(z1): 128–130 (in Chinese).
- [13] 吴星. 水泥浆液渗透注浆扩散机理试验研究[D]. 济南: 山东大学, 2015.
WU Xing. Experimental Study on the Diffusion Mechanism of Cement Slurry Penetration Grouting [D]. Jinan: Shandong University, 2015 (in Chinese).

作者简介: 刘才平(1986–), 男, 湖北荆州人, 大学本科, 工程师, 长期从事水利水电工程施工技术及其管理工作。

E-mail: 594297203@qq.com

收稿日期: 2020–08–06

修回日期: 2020–08–31

(编辑: 衣春敏)