

水利混凝土管道抗渗抗腐蚀改性技术研究

刘治华

新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要:水利混凝土管道在复杂服役环境下,易出现抗渗抗腐蚀性能不足问题,影响工程安全与经济性。本文深入剖析水利混凝土管道的服役环境与损坏特征,阐述抗渗抗腐蚀改性技术的核心原理,探讨改性材料的选择与配比,详细介绍改性施工工艺,包括前期准备、核心流程、关键操作要点及质量控制重点。通过系统研究,为提升水利混凝土管道的耐久性与使用寿命提供理论依据与实践指导,保障水利工程的稳定运行。

关键词:水利混凝土管道;抗渗抗腐蚀;改性技术;材料配比;施工工艺

引言:水利混凝土管道作为水利工程的重要组成部分,广泛应用于各类输水、排水等工程。其面临的水质条件涵盖淡水、海水、污水等不同类型,且受不同地区气候因素影响,服役环境挑战诸多。在长期使用过程中,管道易因抗渗抗腐蚀性能不足,出现各种损坏特征,如渗水、结构破坏等,进而影响水利工程的正常运行,增加维护成本与安全风险。因此,开展水利混凝土管道抗渗抗腐蚀改性技术研究具有重要的现实意义。

1 水利混凝土管道的服役环境与损坏特征

1.1 水利混凝土管道的服役环境

水利混凝土管道广泛应用于各类水利工程,其服役环境复杂多样。在淡水环境中,管道可能长期浸泡于水库、河流、湖泊等水源里,水温随季节变化,水中溶解氧、微生物等含量也存在差异^[1]。在海水环境里,管道面临高盐度、高氯离子浓度的挑战,海水中的多种离子会对管道产生侵蚀作用。污水环境则更为复杂,含有大量有机物、无机物、酸碱物质以及各类腐蚀性介质,这些物质相互作用,对管道造成严重威胁。此外,不同地区的气候条件也会影响管道服役环境,寒冷地区管道需承受冻融循环作用,高温地区则要应对高温膨胀等问题,湿热地区微生物滋生更为严重,进一步加剧管道损坏风险。

1.2 水利混凝土管道的抗渗性能损坏特征

当水利混凝土管道抗渗性能不足时,会呈现出一系列损坏特征。水分会逐渐渗透管道混凝土内部,在混凝土孔隙中形成水压力。随着时间推移,水压力不断增大,会导致混凝土内部微裂缝扩展和连通,形成渗水通道。在管道外壁,可观察到湿润斑块或水渍,严重时会出现水流渗出。长期渗水还会使管道周围土体含水量增加,导致土体软化、沉降,进而影响管道基础稳定性,造成管道不均匀沉降和变形。同时,渗水会带走混凝土

中的水泥水化产物,降低混凝土密实度,削弱管道结构强度。

1.3 水利混凝土管道的抗腐蚀性能损坏特征

水利混凝土管道抗腐蚀性能不佳时,损坏特征也十分明显。在化学腐蚀环境下,酸、碱、盐等介质会与混凝土中的氢氧化钙等成分发生化学反应,生成易溶于水或膨胀性物质,导致混凝土结构破坏。例如,硫酸盐与氢氧化钙反应生成硫酸钙,硫酸钙再与水泥水化产物反应生成膨胀性钙矾石,使混凝土开裂、剥落。在微生物腐蚀方面,某些细菌会在混凝土表面附着生长,产生酸性代谢产物,腐蚀混凝土表面,同时微生物活动还会改变混凝土周围环境化学性质,加速腐蚀进程。

1.4 抗渗抗腐蚀性能不足对管道服役的影响

抗渗抗腐蚀性能不足对水利混凝土管道服役产生多方面不利影响。从结构安全角度,管道损坏会导致输水能力下降,无法满足工程设计流量要求,影响水利工程正常运行。管道渗漏和腐蚀还会降低管道结构强度和稳定性,增加管道破裂风险,一旦管道破裂,将造成水资源浪费、周边环境破坏,甚至引发安全事故^[2]。从经济角度,管道损坏需要频繁维修和更换,增加工程维护成本,缩短管道使用寿命,造成资源浪费。

2 水利混凝土管道抗渗抗腐蚀改性技术的核心原理

2.1 混凝土抗渗改性的核心作用原理

混凝土抗渗改性旨在降低水分及有害介质在混凝土内部的渗透能力,核心原理围绕优化混凝土微观结构展开。从孔隙结构角度,普通混凝土内部存在大量大小不一、相互连通的孔隙,这些孔隙成为水分渗透的通道。通过添加矿物掺合料,如硅灰、粉煤灰等,这些细颗粒物质可填充混凝土中的毛细孔隙,使孔隙结构得到细化与密实。硅灰颗粒极细,比表面积大,能迅速与水泥水化产物发生反应,生成低钙硅比的水化硅酸钙凝胶,填

充于孔隙之中,有效阻断水分渗透路径。此外,引入聚合物乳液也是重要的抗渗改性手段。聚合物乳液在混凝土搅拌过程中均匀分散,随着水泥水化进程,聚合物颗粒逐渐聚集并形成连续的聚合物膜。这层膜覆盖在混凝土孔隙表面,形成一道物理屏障,阻止水分通过。同时,聚合物膜还能改善混凝土内部界面过渡区的结构,增强水泥石与骨料之间的粘结力,减少因界面薄弱导致的渗水通道,进一步提升混凝土抗渗性能。

2.2 混凝土抗腐蚀改性的核心作用原理

混凝土抗腐蚀改性主要针对不同腐蚀介质的作用机制,通过多种途径增强混凝土抵抗化学侵蚀的能力。对于酸性介质腐蚀,可在混凝土中掺入具有抗酸性能的矿物掺合料,如矿渣微粉。矿渣微粉含有大量活性玻璃体结构,在碱性环境下能发生二次水化反应,生成稳定的低钙硅比水化硅酸钙凝胶。这种凝胶具有较好的抗酸性,能在混凝土表面形成一层保护膜,减缓酸性介质对混凝土的侵蚀速度。面对氯离子侵蚀,采用添加阻锈剂的方法较为有效。阻锈剂能在钢筋表面形成一层吸附膜,阻止氯离子与钢筋接触,从而抑制钢筋锈蚀。一些新型纳米材料如纳米二氧化硅,可填充混凝土孔隙,降低氯离子在混凝土中的扩散系数,减少氯离子渗透量,提高混凝土抗氯离子侵蚀能力。

2.3 抗渗与抗腐蚀改性技术的协同作用机制

抗渗与抗腐蚀改性技术并非孤立发挥作用,而是存在协同效应。良好的抗渗性能为抗腐蚀提供了基础保障,当混凝土抗渗性能提升后,水分及腐蚀介质难以进入混凝土内部,大大降低了腐蚀反应发生的可能性。例如,优化后的孔隙结构不仅能阻止水分渗透,还能阻碍氯离子、硫酸根离子等腐蚀介质的传输,减少它们与混凝土内部成分的接触机会。而抗腐蚀改性技术进一步增强了混凝土在复杂环境下的稳定性。通过提高混凝土抵抗化学侵蚀的能力,即使有少量腐蚀介质进入混凝土内部,也能有效减缓腐蚀进程,避免因腐蚀导致的混凝土结构破坏和孔隙扩大,从而维持混凝土的抗渗性能。两者相互配合,共同提升水利混凝土管道在恶劣服役环境下的耐久性和使用寿命。

3 水利混凝土管道抗渗抗腐蚀改性材料的选择与配比

3.1 抗渗改性材料的类型与选择依据

在水利混凝土管道抗渗改性中,常用材料涵盖矿物掺合料与聚合物两类^[3]。矿物掺合料里,硅灰是重要选择。硅灰颗粒细小,比表面积大,能快速与水泥水化产物反应,生成低钙硅比的水化硅酸钙凝胶。这种凝胶可填充混凝土内部毛细孔隙,细化孔隙结构,有效阻断水

分渗透路径,提升抗渗性能。粉煤灰同样应用广泛,其球形颗粒在混凝土中起到滚珠轴承作用,改善工作性,且能参与二次水化反应,填充孔隙,增强密实性。聚合物乳液也是关键抗渗材料。如丁苯乳液,在混凝土搅拌时均匀分散,随水泥水化进程,聚合物颗粒聚集形成连续膜。这层膜覆盖孔隙表面,形成物理屏障,阻止水分通过,还能改善界面过渡区结构,增强水泥石与骨料间粘结力,减少渗水通道。选择依据主要基于材料性能与工程需求。若工程对早期强度要求不高,更注重长期抗渗与经济性,可多掺粉煤灰;若追求快速提升抗渗性能,硅灰是较好选择。聚合物乳液则根据对柔韧性、粘结性等特殊要求进行选用。

3.2 抗腐蚀改性材料的类型与选择依据

抗腐蚀改性材料主要包括阻锈剂与特定矿物掺合料。阻锈剂能吸附在钢筋表面形成保护膜,阻止氯离子等腐蚀介质与钢筋接触,抑制锈蚀。常见有无机阻锈剂如亚硝酸盐类,有机阻锈剂如胺类、羧酸类等。特定矿物掺合料中,矿渣微粉含大量活性玻璃体结构,在碱性环境下二次水化生成稳定低钙硅比水化硅酸钙凝胶,具有良好抗酸性,能在混凝土表面形成保护膜,减缓酸性介质侵蚀。选择时,需考虑腐蚀介质类型与浓度。若处于氯离子侵蚀环境,优先选用能有效吸附氯离子、阻止其向钢筋扩散的阻锈剂;面对酸性介质,矿渣微粉是理想选择。同时要兼顾材料与混凝土的相容性,确保不会对混凝土其他性能产生不利影响。

3.3 改性材料的配比原则与优化方向

改性材料配比需遵循满足工作性、强度与耐久性要求的原则。工作性方面,要保证混凝土易于搅拌、运输、浇筑与成型。例如,适量掺入粉煤灰可改善工作性,但过量会导致流动性变差。强度上,各种改性材料应协同作用,确保混凝土达到设计强度等级。如硅灰能显著提高早期与后期强度,但需控制掺量,避免因需水量增大影响强度发展。耐久性是关键考量因素,配比要有利于提升抗渗与抗腐蚀性能。优化方向在于通过试验确定各材料最佳掺量范围。利用正交试验等方法,研究不同配比下混凝土性能变化规律,找到性能最优的配比组合。还可借助计算机模拟技术,预测不同配比下混凝土长期性能,为实际工程提供科学依据,实现改性材料配比的精准优化。

4 水利混凝土管道抗渗抗腐蚀改性施工工艺

4.1 改性施工的前期准备工作

施工前,需对施工现场进行全面勘察,了解场地地质条件、周边环境以及既有管道状况,为后续施工方案

制定提供依据^[4]。依据设计要求与现场实际情况,精准准备各类施工材料,对改性材料进行严格检验,确保其质量符合相关标准,具备合格证明文件。同时对施工设备进行全面检查与调试,保证设备性能良好、运行稳定,如搅拌机、输送泵等关键设备,要确保能满足施工过程中的各项参数要求。组织施工人员开展技术交底工作,使施工人员熟悉施工流程、操作要点以及质量标准,明确各岗位的职责与分工,为顺利施工奠定基础。

4.2 抗渗抗腐蚀改性的核心施工流程

先对管道表面进行预处理,运用专业工具清除管道表面的油污、灰尘、浮浆等杂质,对于存在的裂缝、孔洞等缺陷,采用合适的修补材料进行填充与修复,保证管道表面平整、洁净。按照预先设计好的配合比,精确称量改性材料、水泥、砂石等原材料,将改性材料与部分水充分混合搅拌均匀,配制成改性溶液。把水泥、砂石投入搅拌机中进行干拌,使各原材料初步混合,随后加入改性溶液继续搅拌,严格控制搅拌时间与搅拌速度,确保改性混凝土各组分混合均匀,具备良好的工作性能。搅拌完成的改性混凝土通过输送设备运送至施工现场,根据管道的实际情况选择合适的施工方式,若为管道内浇筑,采用分层分段浇筑的方法,控制好每层的浇筑厚度与浇筑速度;若为管道表面涂抹,要保证涂抹均匀、厚度一致。浇筑或涂抹完成后,及时对混凝土进行振捣密实,排除内部的气泡与空隙。最后,依据环境条件选择适宜的养护方式,如洒水养护、覆盖养护等,保持混凝土表面湿润,促进混凝土强度增长与性能稳定。

4.3 改性施工的关键操作要点

搅拌过程中,严格把控改性材料的掺量,过多会导致混凝土性能改变,如出现凝结时间异常、强度下降等问题,过少则无法达到抗渗抗腐蚀的预期效果。遵循先干拌后湿拌的搅拌程序,干拌时间一般控制在1-2分钟,确保各原材料初步均匀混合,再进行湿拌,湿拌时间根据混凝土工作性要求调整,一般为2-3分钟,确保各原材料充分混合。浇筑时,控制好混凝土的下落高度,防止产生离析现象,对于管道内浇筑,要合理安排分层分段

顺序,保证混凝土填充密实。涂抹施工时,注意涂抹的顺序与方向,避免出现漏涂或厚度不均的情况,每层涂抹间隔时间要根据混凝土的凝结时间合理确定。振捣操作要适度,避免过度振捣导致混凝土离析或漏振产生空洞。

4.4 施工过程中的质量控制重点

加强对原材料的质量管控,定期对原材料进行抽检,确保质量稳定。严格监控改性混凝土的配合比,定期校准计量设备,保证配比准确^[5]。施工过程中,实时检测混凝土的坍落度、扩展度等工作性能指标,不符合要求时及时调整。对浇筑或涂抹后的混凝土外观质量进行仔细检查,发现蜂窝、麻面、裂缝等缺陷及时处理。按照规范要求留置试块,进行强度、抗渗、抗腐蚀等性能试验,以检验混凝土质量是否满足设计要求,确保水利混凝土管道抗渗抗腐蚀改性施工质量达到标准。

结束语

水利混凝土管道抗渗抗腐蚀改性技术研究,从管道服役环境与损坏特征出发,深入探讨了改性技术的原理、材料选择与配比以及施工工艺。通过严格把控施工过程中的各个环节与质量控制重点,能够有效提升水利混凝土管道的抗渗抗腐蚀性能,增强管道的耐久性与使用寿命,为水利工程的稳定运行提供坚实保障。研究成果对实际工程具有重要的指导价值,有助于推动水利行业的技术进步与发展。

参考文献

- [1] 禄红涛.抗渗混凝土管道井渗漏的原因分析及对策[J].科学技术创新,2022(36):151-154.
- [2] 李乐平.抗渗混凝土管道井渗漏的原因及控制措施[J].中国建筑装饰装修,2022(10):171-173.
- [3] 程祥飞.不同条件下市政混凝土排水管道接口渗漏研究[J].江西建材,2025(4):308-311.
- [4] 刘本山,佟瑶,高迎鑫,等.污水管道中混凝土生物腐蚀的研究进展[J].腐蚀与防护,2022,43(10):7-13.
- [5] 柏鹏,高传武,马翠明.市政混凝土污水输送管道内部腐蚀及防腐的探究[J].建材发展导向,2024,22(20):19-21.