

铸管水泥砂浆内衬防腐工艺优化与质量控制研究

姚思隽

安钢集团永通球墨铸铁管有限责任公司, 河南 安阳 455000

[摘要]伴随城市供水及工业输配系统对管材的使用时长、输水水质要求持续升高,工程关注焦点转向铸铁管内壁的防腐性能。作为铸管防腐主流技术里的一种,水泥砂浆内衬,存有材料易取得、施工方便、耐久性较高等长处,可在实际应用当中,依旧有涂衬不均匀、发生开裂、空鼓乃至脱层等质量方面隐患。通过以分析现行水泥砂浆内衬施工工艺为基础,透彻分析其主要技术难点及质量影响要点,制定了一套涵盖材料配比合理优化、施工参数严格把控、固化养护全面改进、在线检测等流程的工艺优化手段,还依据工程实践制订出一套具备可操作性的质量管控体系。

[关键词]铸管;水泥砂浆;内衬防腐;工艺优化;质量控制;施工技术

DOI: 10.33142/ect.v3i7.17178

中图分类号: TF777

文献标识码: A

Research on Optimization and Quality Control of Anti corrosion Process for Cast Pipe Cement Mortar Lining

YAO Sijun

Angang Group Yongtong Ductile Cast Iron Pipe Co., Ltd, Anyang, He'nan, 455000, China

Abstract: With the continuous increase in the usage time and water quality requirements for pipes in urban water supply and industrial distribution systems, the focus of engineering attention has shifted to the anti-corrosion performance of the inner wall of cast iron pipes. As one of the mainstream anti-corrosion technologies for cast pipes, cement mortar lining has the advantages of easy material availability, convenient construction, and high durability. However, in practical applications, there are still quality hazards such as uneven coating, cracking, hollowing, and even delamination. Based on the analysis of the current construction process of cement mortar lining, a thorough analysis of its main technical difficulties and quality impact points has been conducted. A set of process optimization methods covering reasonable optimization of material ratio, strict control of construction parameters, comprehensive improvement of curing and curing, online detection and other processes has been developed. Based on engineering practice, an operable quality control system has also been developed.

Keywords: cast pipes; cement mortar; inner lining anti-corrosion; process optimization; quality control; construction technique

引言

在市政给排水、工业循环水的相关系统以及石油化工等领域,鉴于铸铁管的强度表现出色且施工性能良好,被大量采用。然而,考虑到其内壁长期与水以及腐蚀性流体产生接触,很容易产生腐蚀、结垢等弊病,由此影响到管道的使用寿命以及输送效率。为此,在铸管的内壁添加防腐层成常规操作,水泥砂浆内衬以其优良的物理化学稳定性、跟铸管的适配程度以及良好的输水卫生表现,被普遍采用。虽说现有的水泥砂浆内衬施工工艺成熟度高,但因施工环境、原材料以及操作手法等因素复杂多变,常出现厚度不整齐、空鼓情形与黏结不紧实等现象,如何借助对涂衬工艺参数的合理优化、对质量控制流程的严格管理,以此增进内衬的均一性及防腐效能,成为铸管应用时面临的关键技术课题。

1 水泥砂浆内衬防腐工艺概述

在铸铁管的防腐处理范畴内,应用最广泛的是水泥砂浆内衬防腐技术,主要是对市政给排水、工业输送等系统铸管内壁做防护处理。其基本原理为利用水泥砂浆在铸管

内壁造就一层附着牢固、质地致密的保护结构,由此可有效隔绝管内输送介质与管材本体的直接相接,减少或阻止腐蚀现象的涌现。鉴于水泥砂浆具备碱性环境、一定的抗渗优势以及和铸铁良好的匹配性,可于铸管内壁构建起一个稳固的“钝化层”,使金属表面处在不易受腐蚀的情形,可有效达成延长寿命的目的^[1]。

水泥砂浆内衬施工一般是采用机械喷涂也或人工抹涂的方式来操作,施工流程一般包含内壁除锈清洗这一流程、预湿处理这一流程、砂浆喷涂或抹涂工序、初凝养护流程和终凝检测流程等。正常情况下,内衬厚度控制在6~9mm 范畴,应做到均匀无差,防止砂浆层出现空鼓、裂缝、脱落等质量缺陷。

2 水泥砂浆内衬工艺中存在的主要问题

2.1 厚度控制困难

在水泥砂浆内衬施工的阶段中,对厚度的控制,乃是保障防腐效果和使用寿命的关键指标。如离心成型或喷涂工艺这类常见施工方法,虽在效率方面较高,然而在实际作业时,往往会受重力、离心力、管径大小、旋转速率以

及操作技能等要素的制约,导致砂浆层厚度分布呈现出不均势态。实施离心工艺的阶段,旋转情况下,浆体容易向管壁的低洼处堆积成团,且上部或是接口位置,易出现“薄弱之处”,导致局部厚度不达标,较厚的地方易因内应力过大,出现收缩裂缝甚至掉砂的问题。若厚度过薄,会直接对材料的抗渗性、防腐能力及其使用寿命产生影响^[2]。

2.2 黏结力不足、易空鼓脱层

判定水泥砂浆内衬是否牢固持久的核心指标当中,黏结强度算一个。倘若在施工前铸管内壁未开展彻底除锈清洁,管道表面留存如浮锈、油污、氧化皮的杂质,或者未能让内壁维持湿润态,砂浆不易达成与金属基体的充分结合。若存在干燥、吸水效果欠佳以及粗糙度不足的现象,砂浆极易出现“滑脱”情况,生成粘结效果微弱的接触层,极易滋生空鼓、裂缝、分层等方面的质量弊病。若养护期间未维持适宜的湿度与温度,砂浆表层容易出现水分过快流失,进而引起表面干裂、界面的稳定性缺失,影响到内衬整体的耐久性与防腐成效。

2.3 原材料波动影响品质

原材料的品质好坏,在较大程度上左右着水泥砂浆质量的稳定性。在部分相关工程里面,为缩减成本,也或是采购渠道不稳定,施工单位往往会采用普通硅酸盐水泥或劣质的矿渣水泥。此类材料未达标准配比规格,早期强度增长呈现缓慢状,后期易形成收缩裂缝。更棘手的是,未做筛分处理的粗砂,以及含泥量偏高的河砂,会大幅削弱砂浆的致密性与均匀性,引发其易渗水,抗压强度变差,极大影响了内衬抵御腐蚀的能力。材料入场之后需进行样本抽取检验,设立关于原材料使用的台账,保证每一批砂浆具备扎实的性能基础,自起始端把控施工水准。

2.4 缺乏全过程质量追踪

目前不少铸管水泥砂浆内衬项目中,仍然出现“重结果达成、轻过程实施”的质量管理问题。部分施工单位极度依赖终端成品检验的相关数据,却忽略了对施工进程里关键环节开展实时监控与管控,这使得诸如厚度偏差、养护不规范、黏结不紧密等潜在质量缺陷,在生产阶段不易被及时查找与整改。尤其在以批量化、流水作业进行生产时,倘若未设立周期性的工艺检查节点、人员复查机制以及养护记录体系,极易引发施工标准执行不一致、设备运转不顺畅等现象。为增进整体质量把控水平,应构建起“全阶段质量控制体系”,有原材料检验的记录文档、设备参数的日志存档、施工期间影像的留存措施、内衬厚度抽样检查的台账,以及质量追溯码的管理手段^[3]。

3 工艺优化路径与技术改进策略

3.1 优化材料配比与掺合剂使用

水泥砂浆内衬质量好坏的关键之处,是材料的合理调配与功能性掺合材料的甄选,为增进抗裂特性与黏结强度,一般采用 P.O 42.5 级普通的硅酸盐水泥,该水泥呈现早强、

稳定性佳的特性;需筛选粒径 $\leq 2\text{mm}$ 这种规格的细砂作砂子,含泥量宜控制于 1.5%以内,以达到提升砂浆密实度和均匀性的目的。基于这一基础,适量地加入化学添加剂(如氧化钙 CaO 类物质),能有效矫正砂浆干缩造成的体积变动,由此可降低产生开裂的风险。

从试验数据对比的结果看,经历掺合优化工序后的砂浆,其抗折强度提高值约为 12%,对基体黏结力的提升超过 15 个百分点。此外,优化后的浆体,流动性得到进一步改善,较容易开展机械化施工,离心均匀性呈现明显提升,应安排专人在施工现场进行配料比的控制。凭借自动计量系统对砂、水、水泥及外加剂精准投配,保障每一批砂浆性能稳定无波动,为内衬防腐筑牢稳固的材料根基。

3.2 改进施工工艺与机械参数

在衬层机通过旋转离心使铸管附着砂浆的工艺中,施工工艺与机械参数的优化是提升质量与效率的关键。施工工艺方面,可采用分段注浆法,先在铸管两端注入高稠度砂浆,利用离心力快速形成稳固的端部基础层,再向中部均匀注浆,避免因砂浆分布不均导致的厚度偏差。同时,引入动态监控系统,实时监测砂浆注入速度与铸管旋转状态,根据实际情况调整注浆节奏,确保砂浆均匀附着。

机械参数改进上,通过试验测试不同转速与离心力的匹配关系,确定最优参数组合。适当提高铸管初始旋转速度,可增强离心力,使砂浆快速贴合管壁;在砂浆附着过程中,采用变频调速技术,逐步降低转速,让砂浆充分密实。此外,优化砂浆输送泵的压力参数,确保砂浆以稳定压力注入,避免因压力波动造成砂浆堆积或附着不牢,通过施工工艺与机械参数的协同改进,有效提升铸管砂浆衬层的施工质量与效率^[4]。

3.3 完善养护制度

养护环节是保障铸管砂浆衬层强度与耐久性的核心工序,需依据科学参数构建标准化制度。温度与湿度控制是养护的关键要素,将养生温度严格控制在 35~65℃区间,此温度范围既能加速水泥水化反应,又可避免因温度过高导致砂浆干裂;同时保持环境湿度大于 80%,防止水分过快蒸发造成衬层表面龟裂,为砂浆硬化创造适宜的湿热环境。

在养生时间设定上,需结合管径与季节差异精准规划。自然养生适用于常规工况,小管径铸管因散热快、砂浆层薄,养护 2~4h 即可满足强度要求;大管径铸管因散热慢、砂浆层厚,需延长至 4~6h。蒸汽养生则针对极端气候条件,冬季通过 6~8h 蒸汽养护补偿低温对水化反应的抑制;夏季根据管径调整养护时长,小线管 4~8h、大中线管 6~8h,避免高温加速水化而产生结构缺陷。通过系统化的养护制度,可显著提升砂浆衬层的密实度与抗渗性能,延长铸管使用寿命^[5]。

3.4 增设在线厚度检测与质量验收机制

水泥内衬作为铸管防护与功能实现的关键结构层,其

厚度直接影响管道的耐腐蚀性、输水安全性及使用寿命。为确保水泥内衬厚度严格符合国家标准,亟需构建全流程在线厚度检测与质量验收机制,从实时监测、智能分析到闭环管理形成完整质量管控链条。在在线厚度检测系统构建方面,采用非接触式测量技术实现高效、精准检测。可引入 X 射线测厚仪与超声波测厚仪协同作业,前者利用 X 射线穿透水泥内衬后的衰减特性,快速计算出厚度数值,适用于连续生产过程中的快速扫描;后者通过超声波在水泥与铸管基体界面的反射时差,精确测量内衬厚度,特别适合复杂工况下的局部厚度检测。两种技术互为补充,在铸管生产线上间隔布置检测点,确保每根铸管的圆周方向与轴向均能覆盖检测范围。同时,将检测设备与生产线控制系统联网,一旦检测到厚度数据异常(如低于国标规定的最小厚度值),系统立即触发声光报警,并自动调整衬层机的砂浆注入量与离心时间,实现“检测-反馈-修正”的动态闭环控制。

质量验收机制需建立多级核查体系。首先,在生产环节设置首件检验、巡检与成品抽检制度。首件检验在生产线启动或工艺参数调整后立即开展,对首根铸管的水泥内衬进行全尺寸、多方位检测,确认工艺参数设定的准确性;巡检则由质量控制人员按固定频次对生产中的铸管进行随机抽样检测,重点关注厚度波动趋势;成品抽检在铸管养护完成后进行,通过破坏性检测(如切割管壁)与非破坏性检测相结合的方式,对批量产品进行最终质量把关。其次,引入第三方检测机构定期介入,依据国家标准对企业生产的铸管进行独立检测与认证,确保检测结果的公正性与权威性。

为提升检测数据的利用价值,需搭建智能化质量分析平台。该平台可集成在线检测系统、生产设备运行数据及养护环境参数,通过大数据分析 with 机器学习算法,挖掘厚度偏差与生产工艺、设备参数、环境条件之间的关联关系。例如,当系统发现某批次铸管内衬厚度普遍偏薄时,可自动追溯到当时的砂浆配比波动、衬层机旋转速度异常等因素,并生成优化建议推送给生产管理人员。此外,平台还可建立质量追溯档案,将每根铸管的生产时间、检测数据、操作人员等信息进行永久性记录,便于后续质量问题溯源与责任界定。

在人员管理与制度保障层面,需制定详细的检测与验收操作规范,明确各岗位人员的职责与权限。对检测人员进行专业培训,使其熟练掌握各类检测设备的操作方法与数据解读技巧;对生产人员开展质量意识教育,使其充分认识内衬厚度控制对产品质量的重要性。同时,建立质量奖惩制度,对严格执行标准、及时发现质量隐患的人员给予奖励,对违规操作、隐瞒质量问题的行为进行严肃处理。通过技术、管理、制度多维度协同发力,确保水泥内衬厚度始终处于受控状态,为用户提供符合国家标准、质量可靠的铸管产品^[6]。

4 结语

作为保障输水管道防腐成效与使用时长的核心环节,就是铸管水泥砂浆内衬工艺,该工艺在合理性与质量控制方面的水平,直接关乎系统运行的安全状况。经由对材料、设备、工序与质量控制体系做系统性优化,可有效增进内衬均匀性、附着的牢固度及防腐表现,有效杜绝施工阶段的各类缺陷。研究提出工程实施时,强化标准化的操作流程、全程监测及技术培训工作,助力水泥砂浆内衬施工往规范化、智能化方向前行,为市政与工业输配管道的安全稳定运转筑牢根基。

[参考文献]

- [1]李万峰.球墨铸铁管水泥涂层机的技术改进[J].中国设备工程,2022,5(10):120-122.
- [2]秦晓川.盾构输水隧洞内衬钢管防腐蚀研究[J].水利规划与设计,2022,28(1):113-116.
- [3]夏鹏.给水管道的防腐技术研究进展[J].建材与装饰,2020,16(13):83-84.
- [4]王广存.水性丙烯酸改性沥青铸管防腐涂料的研发[J].中国石油和化工标准与质量,2020,40(4):98-101.
- [5]阎富杰.市政混凝土污水输送管道内部腐蚀及防腐的研究[J].城市道桥与防洪,2019,12(8):305-315.
- [6]申发田,杜波,孙聚杰,等.球墨铸铁管内外表面防腐技术[J].铸造设备与工艺,2019,50(2):36-38.

作者简介:姚思隽(1992.8—),男,籍贯:河北省玉田县,毕业学校:辽宁科技大学,专业方向:材料化学专业,职称:助理工程师,职务:质量专员,当前就职单位:安钢集团永通球墨铸铁管有限责任公司。