

倒虹吸工程施工技术及质量控制研究

王禄宏

定西市水务投资集团有限公司, 甘肃 定西 743000

[摘要]倒虹吸工程是水利工程建设不可缺少的重要水工建筑物之一, 负责穿越河谷、道路、低地地区传输水体的作用, 倒虹吸工程施工质量直接影响整个水利枢纽的运行安全、经济效益的实现。此文就倒虹吸工程整个施工过程中的主要施工技术进行了全面剖析, 详细研究了解剖管槽开挖, 管道铺设, 防水防腐等重点工程施工的技术手段; 在此基础上建立了由材料设备控制、过程质量控制、质量检查、常见质量问题处理等内容组成的工程质量管理体系。并且针对安全环保要求, 阐述了施工现场安全管理规定, 环境影响防治要求, 应急预案措施等内容。

[关键词]倒虹吸工程; 施工技术; 质量控制

DOI: 10.33142/sca.v9i2.19106

中图分类号: TU315

文献标识码: A

Research on Construction Technology and Quality Control of Inverted Siphon Engineering

WANG Luhong

Dingxi Water Investment Limited Company, Dingxi, Gansu, 743000, China

Abstract: Inverted siphon engineering is one of the indispensable and important hydraulic structures in water conservancy engineering construction, responsible for transporting water through river valleys, roads, and low-lying areas. The construction quality of inverted siphon engineering directly affects the operational safety and economic benefits of the entire water conservancy hub. This article provides a comprehensive analysis of the main construction techniques used throughout the entire construction process of the inverted siphon project, with a detailed study of the technical means for key construction projects such as dissecting pipe trench excavation, pipeline laying, waterproofing, and anti-corrosion; On this basis, an engineering quality management system consisting of material and equipment control, process quality control, quality inspection, and common quality problem handling has been established. And in response to safety and environmental protection requirements, the regulations on construction site safety management, environmental impact prevention and control requirements, emergency response plans and measures were elaborated.

Keywords: inverted siphon engineering; construction technology; quality control

引言

倒虹吸工程是通过上下游水位差, 用压水管路把水流从低处引到高处的一种特殊形式的水工建筑物, 在现阶段的水利、市政、灌溉工程中使用非常普遍。随着国家基础设施建设的发展, 倒虹吸工程建造规模、工艺越来越复杂, 对施工技术和质量管理提出更高要求。倒虹吸工程的施工过程繁琐复杂、各工序环环相扣, 任一环节出现问题都会造成整个工程渗漏、管道变形或整个工程报废等后果。因此探究倒虹吸工程的施工技术及相关质量控制措施具有重大的理论指导作用以及实际意义。

1 倒虹吸工程施工技术分析

倒虹吸工程的施工为一个较为复杂的系统工程, 一般的技术工艺流程按基础工程开始至管道敷设, 最后到附属构筑物施工完成进行。倒虹吸工程的各项施工技术主要包含施工放样及降水排水、管沟开挖、基底施工、预制管道及运输、管道敷设及连接、镇、支墩施工以及功能检测等关键技术环节, 它们相互制约又相互联系组成倒虹吸工程的整体框架^[1]。在开工前的测量定位工作决定了管线的具

体走向; 而施工期间的导流排水方案直接关系到下一步的旱地面工作能否顺利开展。进入到主体施工之后, 管沟开挖深度是否达标、基础承载力是否合格都是保障管道顺利就位的关键因素。管材及管件连接方式是该工程的重点, 它是影响倒虹吸过流能力以及密封性的主要因素, 在此基础上进行严密性试验和水压试验可以很好的对整项工程进行质量把控。所以深入剖析每个技术环节之间的关联以及具体的操作方法就是达到预期目标的认知前提。

2 关键施工技术要点

2.1 管槽开挖与地基处理技术

管槽开挖是指倒虹吸管道工程施工的一个重要的第一个环节, 其施工的质量将会影响到后面的管道铺设过程是否能够顺利实施甚至影响整个工程运行寿命长短的问题。因此在管槽开挖时一定要严格按照设计蓝图来进行, 在管槽底部高度、中轴线上下要严加把控好, 不能够出现过深或者过浅的现象发生。而针对岩石地基则需用采用控制爆破法来进行操作以免对基底岩层面造成破坏或者使其形成一些缝隙等现象。而在开挖过程中更要密切关注地

下水位的变化情况并及时做好相应的排涝工作从而保证基坑周围的安全性还有管槽底部土壤本身的原有状态不受损害也是为了防止边坡垮塌以及地基强度减弱的重要手段之一。地基加固方法也根据不同的地基情况有所不同,对软土地基地段采用铺筑换填垫层、抛石挤淤、复合地基等措施来增强地基的承载能力和抗力变形性能;对于有湿陷性的黄土地基地段,则要先浸水或者强夯处理,使其失去湿陷性特点,使地基加固的目的就是要求管基有均一、足够大的承载力,防止产生不均匀沉降造成管道接口拉开或者造成结构损坏现象出现。

2.2 管道安装与连接技术

管道铺设是倒虹吸工程的主要工程,在管道吊装到位之前要对每一根管子的质量状况、外形尺寸、偏差等进行检查,清除承插口处或者接缝处的障碍物,管道安装一般采取用吊车配合人力的方法来操作,严格掌握着管道竖向轴线的位置及标高是否达到设计标准。管道联结的技术由于管道种类的不同也是不同的,对于预应力钢筒混凝土管道,多数都是用双环橡胶圈柔性接口的形式来进行联结,安装时一定要把橡胶圈的位置放好,使管道可以轻松地往里滑动,并且要用专用器具将其插入承口中直至其定位;在钢管方面则以焊接为主,焊接的方法必须要经过评定,焊工要取得相应的资格证书,要求焊缝内侧及外表面达到相关的要求。倒虹吸工程所用的钢管在焊接过程中要严格按照规定的焊接工艺执行,在不利气候下要做好保护措施使焊接环境保持稳定,保证焊缝的质量以及机械强度等,接口完成后要及时做接口严密性检测有无泄露再进行下一步工作。

2.3 防渗与防腐处理技术

防渗和防腐措施也是保证倒虹吸结构长久可靠运行的重要措施,直接影响着工程的服务寿命及其安全问题。防渗主要是对管道自身的接口部位、管道本身的裂纹还有管道同镇支墩交接的位置这三个最易发生漏水的地方采取有效措施进行防水。针对柔性接头采用的是优质胶圈及合理设计的接头形式来达到封堵的效果;针对钢管焊接部分要进行无损探伤和适当的煤油渗透试验;对于管道外部特别是穿过不同的土质层段的时候,有的还要增设截流环或者加大防渗厚度从而延长了水流的渗流途径达到减小集中渗漏的目的。另外对于腐蚀部分主要是对于金属管道和钢结构。地下钢管外表防锈一般采用加强级或者特加强级环氧煤沥青防腐涂料或者三层结构聚乙烯防腐层,可以很好地把土壤、地下水等腐蚀物质同钢管表面隔离起来,大大降低了钢管因电化学反应而被腐蚀的速度。管内壁的防腐应根据所输送的水体情况来选择,常用的方法有水泥砂浆衬里、环氧树脂涂装等,起到减小水流的摩擦损失,避免内壁被氧化和生长微生物的作用,防腐层的施工应该在干净、干燥的基面上进行并且要对防腐层的质量指标如

涂层厚度、针孔等进行严格的检验。

3 施工质量控制体系

3.1 材料与设备质量控制

原材料以及机械设备都是组成工程实体的基础材料,它们的质量好坏直接影响到工程施工的质量水平,倒虹吸工程的主要材料有:管材、橡胶止水带、钢筋、水泥、外加剂、各种防腐涂料等,都应选择信誉良好的生产厂家,并提供完整的产品质量证书。管材到场后除了验收规格与型号之外还要按规定数量抽取试样检测其外观尺寸、抗渗性、力学性能等是否符合要求,严禁不合格产品进入下一道工序。橡胶止水带要仔细检验其硬度、拉伸强度、压缩永久变形等性能指标是否合格。施工期间使用的施工机械,包括吊车、电焊机、振动碾压机等部直接影响到施工质量和生产安全,所以应该定期对其进行维护保养及标定;倒虹吸工程中的压力试验所必需的压力泵以及相关的压力表需要事先进行标定保证其量程值及精度符合试验的要求,这是获取真实可靠的试验结果及合理评估工程的质量的前提条件。做好施工材料机械设备台帐工作实现质量追溯性是质量管理体系正常运转的基本条件。

3.2 施工过程质量控制要点

工程施工过程中的质量管理是一个动态的过程,通过实施设计意图并达到预期产品的质量标准。对于管线沟槽开挖时主要把控制槽底高程、中轴线偏差值、断面尺寸以及槽底土层扰动的情况,在验槽合格的情况下才可进入下一步的工作。对基础处理时要把握好回填料颗粒大小,级配情况、含水量及压实系数或密实度的要求,以满足处理需求。管道安装时对管道中的轴线、高程要求精确;对接口插入长度、橡胶密封圈的位置是否到位;钢管焊接情况等都必须严格控制。倒虹吸工程施工中的钢管焊接工作的质量管理关键是做好焊前坡口加工,做好焊中多层多道焊接工艺的焊接以及做好焊后焊缝的外观检查及无损探伤等工作,做到层层把关才能彻底消除焊接隐患。镇墩支墩混凝土浇筑要严格控制好模板安装的安全可靠程度、钢筋绑扎的质量状况以及混凝土配合比例、振捣密实程度和养护情况等。功能性试验是对整个工程进行检验验收的最后一环,必须要按试验要求来进行试验,保证试验结果真实可靠。对以上重要工序和特殊工序必须实行旁站监理和工序交接检验,建立完善质量管理档案。

3.3 质量检测与监测方法

合理有效的质量和监控措施是衡量工程质量、查找问题的关键途径。检测方法分为施工阶段工艺参数检测和完工后实体质量检测两类。前者包含有地基承载力检测、回填土压实度检测、混凝土坍落度和强度检测等。主要采取的是在施工现场进行就地取样的方法、试件实验的方法。后者则主要有对管道进行的水压试验、闭水试验、焊缝无损探伤、防腐层电火花检漏等。水压试验

是最基本也是最重要的一个对管道强度和严密性的一个检测步骤,需要严格按照要求分段加压、稳压观察,准确的做好压力损失值、渗水量等数据^[2]。对埋地柔性接口管道而言,闭水试验是检验其接头部位是否具有可靠的防水能力的有效方式。对于倒虹吸工程中较长范围输水管路中的焊缝探伤一般选用X光探伤或者超声波探伤的方法,在不影响焊缝完整性的情况下对焊缝内部出现的裂纹、未焊透、夹杂物等病害进行准确判断,从而得到该部分的工程质量。另外一些大型或者重要的倒虹吸工程也可以选择设置一些测点如沉降缝或者渗压计等进行长期跟踪观测。

3.4 常见质量问题与预防措施

倒虹吸工程的质量通病主要是指在施工过程中出现的基础下沉不匀、管节接口漏水、混凝土结构断裂及钢管防腐涂层损坏等问题,在基础下沉问题上主要是由于基础下处理不好或者回填的时候把关不严造成的,在施工中应该严格按照图纸要求做好基础下部工作,保证回填土的质量和密实度并在两种不同性质的地基交接位置增加一道沉降缝或者是增加过渡层;管道接口漏水主要是因为橡胶圈安装不合格、承插口未清理干净或焊接不合格等原因造成,对于此类问题需要加大对接口安装阶段的监督力度,保证橡胶圈没有发生变形、到位正确,焊接时严格执行工艺评定并通过100%的水压试验。混凝土结构裂缝主要是由于温差应力、干缩及基础约束所造成的,防治对策有:控制好配合比,及时养护,正确设置伸缩缝与后浇带等。钢管防腐层破损主要是因为运输、吊运、回填过程中造成的机械破坏,防治对策就是加强成品保护意识,在吊装过程中使用专门的吊钩,回填前检查防腐层是否完好无损,进行必要的修补工作,在回填材料中不得混有锋利棱角的石头等。

4 施工安全与环境保护

4.1 施工现场安全管理措施

倒虹吸工程存在深基坑开挖、起重吊装以及临时用电等多个方面的安全风险,做好安全管理工作十分必要。倒虹吸工程建设现场要落实好安全生产责任制,落实到各个管理人员的安全责任。对于深基坑的开挖必须编制专项施工方案,并根据相关标准对边坡做出稳定性监测,在周围设置安全防护栏杆。起重吊装作业必须严格按照“十不准”的要求,吊索具要定期检查。对于倒虹吸建设现场的临时用电系统一定要做到三级配电两级保护的规定,所有用电设施都要进行接地或者接零保护,并由专职电工负责每天的巡视和维修,避免出现触电情况。重视安全管理教育、落实安全技术交底,经常性的进行安全隐患排查整治,可以为安全生产提供强有力的保证。

4.2 环境影响控制要求

倒虹吸工程对周围环境有一定的影响主要是施工扬

尘、噪音、污水排放等问题,在工程施工中一定要按照国家的相关法律法规进行严格的环境治理工作,并且把环境保护措施贯穿于整个施工过程中去,扬尘治理要采用喷水除尘及遮盖等办法来降低粉尘污染;噪音治理首选低噪音施工机械并且尽量避免夜间施工,严禁无证排放污水入河,所有固体垃圾应及时清理外运,对于有害物质必须送至专门机构处置。

4.3 水土保持与生态保护措施

倒虹吸工程一般会经过河流、沟谷等地形位置,在施工时容易导致水土流失以及生态环境遭到破坏等问题的发生,要特别注重做好水土保持和生态修复工作,在管槽开挖之前首先要尽量清除表土层进行集中存放,然后对其进行苫盖或者是临时性的绿化等措施加以保护,在回填之后再用于地表的修复之中。在施工阶段也应当控制好施工区间的宽度,在一定程度上降低对地表植被及自然景观的破坏程度,在经过河流的地方一定要考虑好最佳的施工时机问题并且优化导流方案,在最大程度上减少水下作业对于水生动物的影响^[3]。管槽填完以后要及时做好地表植被恢复工作,在工程措施和植物措施配合下加强边坡防护从而避免发生水土流失现象发生。倒虹吸工程施工作业范围如果处于水源地或者生态环境脆弱区,则需要制定更强有力的防护措施,比如搭建防渗帷幕防止施工区污染水体、对参与施工的人员进行生态环保知识教育等,使得工程施工尽可能小的影响到局部生态系统。工程结束之后应尽快清场,还原地貌地形。

4.4 应急预案与风险管控

倒虹吸工程施工存在很多不确定的风险因素,有坍塌、管涌、洪水、有毒有害气体等,要有一套完整的应急预案制度和风险管理机制。项目部需要组建一个应急指挥部,明确责任,对各种可能出现的突发事件,都要制定出切实可行的应急预案。预案内容要包括险情描述、预警级别、应急响应程序、救援措施、人员疏散路线、外部联络方式等,要储存足够的应急物资和设备。例如编织袋、水泵、应急照明设备、通讯设备、急救药品等物资都要充足,同时还要定期对其进行检查维修工作。开展倒虹吸工程深基坑施工、管道吊装等重大危险源作业之前,需专门进行危险源辨识及评价并制定应急救援预案,进行相应的应急演练,保证一旦出现事故时,施工人员能及时、有序、有效的进行应急处理,最大限度降低人员伤亡和经济损失;建立风险动态管理机制,加强施工过程中各种危险源的监控以及风险分析,及时消除或减弱各种危险因素,是实施安全生产的根本方法。

5 结束语

倒虹吸工程属于水利工程的基础设施之一,它的施工技术和工程质量直接影响着整个工程的效果及使用寿命。从对管槽开挖、管道敷设、防渗防腐等关键技术进行的研

究中可以发现,严谨有序的工艺流程是保证工程质量的基础。形成一套包含原材料把控、流程工序管控、检验检测验证、缺陷预防处理在内的全过程质量监控机制,能够为工程发挥预期作用、抵抗外部侵害、适应恶劣环境提供有力支持。加强工程施工安全环保工作既是法律规定的要求,也是促进工程同大自然、人类社会相互协调发展的必经之路。所以未来在建设倒虹吸设施项目中要进一步加强技术革新、提升质量管理意识、增强安全环境观念、积累施工经验等以带动我国倒虹吸工程项目技术水平进入一个新的阶段。

[参考文献]

- [1]王军雷,蔡小超.南水北调倒虹吸工程沉陷加固施工技术研究[J].工程技术研究,2026,11(1):23-25.
 - [2]王建红.西赵河倒虹吸工程的变形影响分析[J].黑龙江水利科技,2023,51(6):85-88.
 - [3]徐伟.倒虹吸工程施工期温度场及温度应力研究分析[J].黑龙江水利科技,2025,53(9):98-101.
- 作者简介:王禄宏(1986.10—),男,毕业院校:河西学院,专业:土木工程,目前就职单位:定西市水务投资集团有限公司,职称:中级。