

大口径 PCCP 管道在水利供水工程中的应用

王鑫

河北省承德市隆化县水务局, 河北 承德 068150

DOI:10.61369/WCEST.2025010019

摘要： 大口径 PCCP（预应力钢筒混凝土管）管道凭借其优异的承载能力、抗渗性能，被广泛应用在长距离工况下的水利工程中。基于此，本文将广东省某市东北部供水工程作为研究对象，注重分析大口径 PCCP 管道施工全过程。研究表明，严格按照标准化施工流程实施，有效控制地下水运动对于管道稳定性的影响，大幅度降低地基沉降带来的结构变形风险，全面提高土体和管道系统的协同工作性能。

关键词： 水利供水工程；大口径；PCCP 管道；安装施工

The Application of Large-Diameter PCCP Pipes in Water Conservancy Water Supply Projects

Wang Xin

Water Affairs Bureau of Longhua County, Chengde City, Hebei Province, Chengde, Hebei 068150

Abstract： Large diameter PCCP (prestressed steel cylinder concrete pipe) pipelines are widely used in hydraulic engineering under long-distance working conditions due to their excellent bearing capacity and impermeability performance. Based on this, this article takes the water supply project in the northeast of a city in Guangdong Province as the research object, focusing on analyzing the entire construction process of large-diameter PCCP pipelines. Research has shown that strictly following standardized construction procedures can effectively control the impact of groundwater movement on pipeline stability, significantly reduce the risk of structural deformation caused by foundation settlement, and comprehensively improve the collaborative performance of soil and pipeline systems.

Keywords： water conservancy and water supply project; large caliber; PCCP pipe; installation and construction

引言

近年来，随着南水北调、引滦入津、引黄入淀等国家级水利工程的持续推进，传统中小口径 PCCP 已经无法满足日益增长的输水需求，促使大口径 PCCP 管道成为主要的发展趋势，有效提高单线输水能力，延长管道运行周期，科学降低后期维护成本。但随着管径持续增大，施工技术难度同步提高，尤其在运输、基础处理、垫层铺设、吊装定位、接口密封等方面都需要进行精细化操作。基于此，本文结合广东省某市东北部水利项目实际应用情况，系统性分析大口径 PCCP 管道在各施工环节的技术要点，为同类工程提供实践参考。

一、工程概况

本工程为广东省东北部区域供水系统建设项目，主要任务是给现有水厂1~水厂5提供稳定水源，输水线路总长度达99.4 km，其中主供水管道全长64.5 km，支管长度34.9 km，取水点和各水厂间的距离为58.7 km。项目主要输水管材采用大口径预应力钢筒混凝土管（PCCP），有效提高高压工况下的输水效率。工程建设内容主要包括新建一座主水泵站、中途加压泵站、配水泵站，形成三级加压输送体系，保证长距离输水过程中的流量和扬程匹配的合理性。针对水厂5没有建设的实际情况，工程在设计阶段即

预留水泵接口，大幅度提高系统的扩展性。

二、施工工艺

（一）管道运输

为了保证管道在运输过程中不受到损伤，施工人员必须采取严格的防护措施，使用木楔进行防滑固定，防止管体在运输途中发生位移，同时控制单车装载量，保证运输车辆的承载能力符合道路运输规范，避免受到超重、超高等因素影响，从而引发严重的交通事故。在运输过程中，施工人员应采用专用车辆，减少管

体外壁受力不均现象,有效解决局部应力集中问题,实地踏勘运输路线,避开低矮桥梁、狭窄路段、电力线路密集区,有效保障运输作业的安全性。在装卸操作中,需要严格按照施工组织设计执行,禁止野蛮吊装,使用高强度尼龙吊带配合起重机械,加强吊点分布的合理性,防止受力不均造成严重的管体裂损。

（二）基础施工

本工程沿线部分区域为软土地基,存在天然含水量高、压缩性大、承载力不足等不利地质条件,如果不进行有效加固处理,容易出现管道基础沉降不均,严重影响到接口密封性能,从而引发结构破坏风险。为此,项目采用粉喷桩复合地基加固技术,结合碎石垫层优化管基受力状态,保证地基具备足够的承载力。在施工方案中,粉喷桩直径设定为0.5 m,桩体布置形式为梅花形排列,桩间距控制为1 m (±0.1 m),加固深度达10 m (±1 m),形成三维空间增强体系,大幅度提高地基抗剪强度。粉喷桩施工采用静压法成桩工艺,所用静压桩机最大加荷能力大于11 000 kN,持荷时间不低于1 min,在保证桩身充分密实的基础上,和周边土体形成良好咬合效应。经过专业人员检测,单桩竖向承载力特征值不低于230 kN,满足设计的复合地基承载力要求,桩顶铺设0.5 m厚级配碎石层(误差±0.1 m),作为管道基础的柔性过渡层,具有良好的排水性,降低差异沉降对于管道的影响,全面提高地基的承载性能。

（三）垫层施工

本工程结合软土地基处理成果,在加固完成的地基上铺设C25强度等级混凝土垫层,厚度控制为270 mm,采用全站仪进行精确放线,科学控制垫层面高程误差。在施工前,施工人员依据划线布设竹签作为标高控制桩,形成可视化基准,全面提高模板安装的精度。在混凝土配制中,采用普通硅酸盐水泥、天然砂、连续级配粗集料,添加适量粘合剂和外加剂,科学优化拌合物的流动性,加强水泥硬化后的抗压性能。在浇筑过程中,则要严格控制混凝土坍落度,使用平板振动器进行分段振捣,将密实度提高到95%以上,避免发生蜂窝、麻面等质量缺陷。垫层成型后,要保证垫层表面的平整度,并和管道底部轮廓进行相互贴合,防止应力集中造成管体受力不均(见图1)。

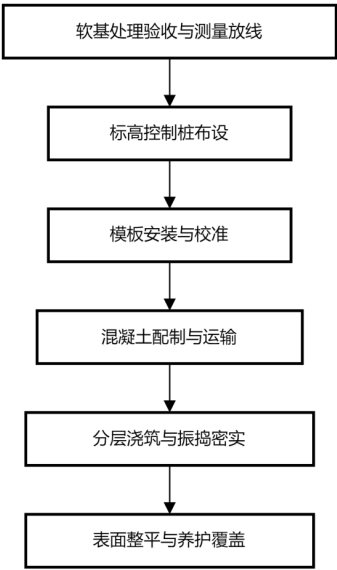


图1 垫层施工

（四）吊装

在本工程中采用PCCP管,内径3750 mm,单节长度6 m,质量逾50 t,对于吊装设备选型提出严格的技术要求。针对该类超大型管材,由于施工区域地势平坦,项目选用200T履带式起重机配合80T导装架进行吊装作业,结合钢板桩支护体系,在基坑一侧具有开阔作业条件的前提下实施精准吊装。吊装架由四条支腿和横梁组成,采用25b工字钢焊接成型,有利于提高结构的稳定性;系统配置4个20T垂直升降手拉葫芦,用于同步调整管道高度,从而实现管道的平稳就位;同时设置1个8T水平牵拉葫芦(位于管顶)和2个10T侧向牵引葫芦,将其分别布设于管体外侧两端,有利于控制管道横向位移,防止吊装过程中发生偏转问题。

在实际操作中,技术人员要严格根据《起重机械安全规程》和《大口径管道安装施工规范》,制定详细的吊装方案,严格执行安全交底制度,加强不同工序衔接的顺畅性。吊点布置按照力学平衡原则设定,避免应力集中造成管体变形问题;吊索具选用高强度尼龙吊带,减少管壁防腐层破坏。此外,吊装过程全程配备专人指挥,通过全站仪监测管道轴线位置变化,保证安装精度满足设计要求。

（五）安装

本工程中,PCCP管道内径达3750 mm,单节长度6 m,质量超过50 t,在安装过程中采用“基准管定位—外拉法对接—轴线复测—弯管合拢”的施工流程,全面提高工程对接的精度,加强整体管线受力的协调性。在定位环节,技术人员依据设计图纸及现场测量控制网,将第一节管道设定为基准管,统一承口端面朝向水流方向,基准管轴线和高程误差严格控制在1~3 mm区间,科学减少累计误差给后续安装带来的影响^[1]。

在管道对接过程中,该工程采用外拉法实施精准拼装,该方法通过布置牵引葫芦,让待安装管段沿着已经安装管道轴线平稳推进,加强承插口间隙周长的均匀性,保证中心线重合度达标。在操作时,由专业人员进行指挥,控制两侧拉进速度一致,避免受力不均产生接口错位。完成对接后,立即执行轴线、高程复测作业,检测点是以管道底部为基准,如果发现偏差超出允许范围,则需要及时进行调整,并且组织专业人员进行重新校核,直至符合规范要求。此外,管道最终合拢段设置于弯管区域,合拢管由原厂定制提供,实现其尺寸匹配和现场既有管道进行无缝衔接,在提高合拢精度的基础上,科学减少二次切割带来的质量风险^[2]。

（六）打压

在工程施工中,采用分阶段手动加压方式,打压检测每节管道接口,验证接口的密封性,加强整体系统结构的稳定性^[3]。在打压作业中,通常分为两个压力等级,第一阶段升压至0.2 MPa后停止加压,观察接口是否存在渗漏现象,确认无异常后进入第二阶段,继续升压至0.6 MPa,稳压5 min,如果压力一直保持稳定,则判定该接口为合格,否则需要拆解接口进行重新安装。此方法严格遵循《给水排水管道工程施工及验收规范》(GB 50268)相关要求,通过量化压力变化评估接口密封性能,大幅度提高检测结果的可操作性^[4]。

从实际打压记录来看,所列管号420至402的接头水压测试数

据表明,各段管道在不同高程条件下都能有效维持设定压力,水压值在0.15 ~ 0.36 MPa之间,符合设计要求的最低试验压力标准^[5]。同时,管道底高程误差控制良好,没有发现因沉降引起的局部应力集中问题。但值得注意的是,在打压过程中工作人员不仅要关注接口是否渗漏,还要同步复核管道标高,防止安装偏差影响到后续土体回填中的附加荷载,影响管道结构受力状态,所以在每一节新安装管道施工完成后,必须二次打压检测前一节已经安装管道接口,保证整个管线的连续密封性。

(七) 回填

大口径PCCP管道在完成打压验收后,采用黏性土作为主要回填材料,根据设计规范垫层至管顶及管顶以上500 mm范围内的关键区域,压实度不得低于93%,该部分作为管道近区约束层,对于控制差异沉降、增强土体、管道协同受力具有重要作用;而在管顶500 mm以上的远区回填段,压实度标准不低于90%,全面提高工程施工效率^[6]。为了提高回填质量,严格限定回填土成分,禁止混入淤泥、腐殖质、建筑垃圾、粒径超过10 cm的硬质石块,防止局部应力集中对于管道外壁造成损伤^[7]。在回填过程中采取分层摊铺、分层压实方式,每层厚度控制在20 ~ 30 cm,结合轻型压实机械,配合人工夯实工艺,避免重型设备直接碾压管道,产生管道变形问题。同时,回填土含水率应控制在最佳压实含水率±2%范围内,进一步提升压实效果,科学减少空隙比,不仅增强了管道结构的承载稳定性,也有效降低了外部荷载作用下的变形风险^[8]。

三、施工效果

在管道安装完成后,选取T₁至T₅共5个监测时间节点,时间间隔7天,连续观测施工区域地下水位及土体沉降情况,形成完整的数据记录。从图3所列数据可见,在T₁至T₅期间,地下水

位波动范围控制在-0.08 ~ +0.05 m之间,土体沉降变化值稳定于-1.36 ~ +2.16 mm区间,整体变化幅度均处于±3 mm以内,符合《给水排水管道工程施工及验收规范》中对管道周边地层变形控制的要求(见图2)。该数据变化表明,管道基础处理、垫层铺设、回填压实等工序执行到位,有效保障了管道结构和地基之间的协调变形能力,避免不均匀沉降引发接口渗漏风险^[9]。同时,地下水位未出现明显下降或上升趋势,说明管道密封性能良好,没有造成地下水流动路径改变,判定本次大口径PCCP管道安装质量达到预期标准^[10]。

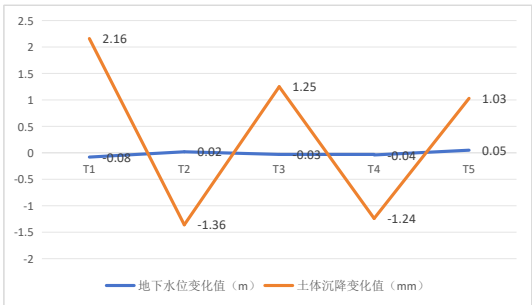


图2 地下水位与土体沉降变化

四、结语

本文基于广东省某市东北部水利供水工程实例,系统分析了大口径PCCP(预应力钢筒混凝土管)管道在施工全过程中的技术控制要点。研究表明,严格按照标准化施工程序实施,有效维持地下水动力平衡,科学降低土体沉降变化幅度,全面加强地基的稳定性。在未来研究中,研究人员应进一步融合智能监测手段,探索基于BIM的全生命周期质量追溯体系,推动PCCP管道在水利工程中的应用向智能化方向发展,加强管网系统的运维精度。

参考文献

[1] 潘家诚. 供水管道工程中顶管施工技术研究 [J]. 江西建材, 2023, (05): 351-352+355.
[2] 许琳林. 供水工程管道顶管施工设计及技术分析 [J]. 东北水利水电, 2017, 35(09): 12-14+71.
[3] 高学先. 水利工程供水管道安装施工中技术的应用 [J]. 中国储运, 2024(9).
[4] 王松, 田慧慧, 邹梓戈. 试论水利工程中城镇供水管道安装与管理措施分析 [J]. 商品与质量, 2022(37).
[5] 张炜, 张举华, 杨燕伟, 等. 管道供水工程基坑开挖变形规律及支护方案优化设计研究 [J]. 工程技术研究, 2024, 9(21): 1-3, 12.
[6] 史爱华. 地下管线竣工测量技术在供水管道工程中的应用研究 [J]. 现代工程科技, 2024, 3(8): 73-76.
[7] 顾晨浩. 基于工程实例的市政供水管道健康状态评估技术 [J]. 净水技术, 2024, 43(z1): 97-103.
[8] 焦广宇, 陈杨, 曹良, 等. 供水管道水平定向钻穿越航道关键技术研究——以闽江水水平定向钻穿越工程为例 [J]. 安全与环境工程, 2023, 30(1): 46-55.
[9] 赵凯, 张虹, 张继来. 严埭泵站技术供水管道水下部分抢修案例 [J]. 江苏水利, 2024, (5).
[10] 尹茂栋. 市政工程的供水管道安装技术及应用 [J]. 砖瓦世界, 2024(17): 139-141.