

引水工程中 PCCP 管道的系统化安装工艺探讨

李金金

中铁五局集团第一工程有限责任公司 湖南 长沙 410002

摘要: 本文系统阐述了云南省滇中引水二期配套工程(楚雄施工3段)中,预应力钢筒混凝土管(PCCP)的成套安装技术。文章围绕管道安装的全过程,详细介绍了从施工准备(包括设备选型、材料检验)到关键工序(如管道吊装定位、承插口对接、密封性检验),再到后续处理(接缝灌浆、阴极保护)及质量控制的完整工艺链。通过系统化的流程管理和技术要点把控,旨在为同类大口径、大吨位PCCP管道的安全、高效安装提供实践参考。

关键词: PCCP管道; 吊装工艺; 承插口对接; 压力测试; 质量控制

引言: 随着跨区域调水及城市供水工程规模的扩大,PCCP管道因其显著的经济性、耐久性和低运维成本,在水利建设中得到了广泛应用^[1]。为确保这一复合型管材的长期运行安全,行业内部已积累了丰富的实践经验并形成了完备的技术标准。本文结合滇中引水二期工程的施工实践,对PCCP管道的系统化安装方法进行探讨,为提升工程质量与效益提供技术支撑。

1 预应力钢筒混凝土管(PCCP)概述

PCCP是一种将钢材与混凝土性能有机结合的高品质复合管材。其结构核心为内置钢筒的高强度混凝土管芯,通过在管芯上缠绕预应力高强钢丝并施以外覆水泥砂浆保护层,赋予其优异的抗内外压能力。管端采用与钢筒焊接为一体的钢制承插口结构,并配以精密加工的凹槽和橡胶密封圈,形成兼具密封性与一定角变位适应能力的柔性接头,确保了管线的整体安全性与适应性。

2 工程概述

2.1 工程简介

滇中引水二期工程是滇中引水工程的重要组成部分,为输水总干渠分水口至水厂、灌区、湖泊等配水节点的骨干输水工程(含提水泵站),以及连通在线和充蓄调节工程的输水线路,不包括规模较小的乡镇水厂的供水支线、水厂及其以下的配水管网和田间工程。二期工程划分为二期骨干工程和二期配套工程,线路全长1769.052km。

云南省滇中引水二期配套工程楚雄施工3段总长度272.62km,其中PCCP管主要分布在易门干线。本工程PCCP管的管径规格型号为DN2400、DN2200、DN2000、DN1800四种,单根长度为6m, DN2400单根重量约为33t,现场施工采用130t履带吊进行吊装作业。

2.2 工程重、难点分析

PCCP管道施工的重难点主要包括以下几个方面:

(1) 大吨位构件吊装定位: 33吨的单管重量与超过6米

的深基坑,对吊装安全和高程、轴线精确定位构成严峻挑战。应对措施: 实施严格试吊程序,评估地基承载力,必要时采取钢板铺垫等措施分散接地比压,确保边坡稳定。运用精密测量仪器(全站仪、水准仪)进行全程跟踪测量,确保管线线型顺直。(2) 柔性接口的密封可靠性: 承插口柔性接头是防渗漏的关键,其施工质量直接关系到管线寿命^[2]。应对措施: 严格执行接头清理、润滑程序。安装前仔细检查并正确安装橡胶圈,采用专用工具消除扭曲。接口对接后立即进行压力测试,验证密封性。(3) 复杂地形与环境适应: 管线穿越城市及复杂地形区域时,需兼顾施工可行性与环境影响。应对措施: 针对不同地形编制专项施工方案。在城市等敏感区域,采取降噪减震、合理规划交通组织等措施,最大限度降低施工对居民生活和周边环境的干扰。(4) 严苛的安装精度控制: 设计要求每节管道安装时,水平方向的偏差不应大于30mm, 垂直方向的偏差应控制在 $\pm 30\text{mm}$ 范围内, 单个接头处的设计偏转角和安装偏差的总相对转角不得大于设计管道接头允许相对转角。应对措施: 针对不同地形编制专项施工方案。在城市等敏感区域,采取降噪减震、合理规划交通组织等措施,最大限度降低施工对居民生活和周边环境的干扰。(5) 低温环境施工适应性: 低温可能导致橡胶圈硬化,影响密封效果。应对措施: 当环境温度低于 0°C 时,对橡胶圈采取保温措施,确保其物理性能稳定。

3 管道系统化安装工艺详解

3.1 施工工艺

施工准备→测量放样→垫层与工作坑施工→管道吊装就位→接头清理润滑→橡胶圈安装→管道承插口对接→接口压力测试→接口内外灌浆→阴极保护施工→管沟回填。

3.2 关键工序操作要点

3.2.1 放样与基础处理

清底后,依据设计图纸精确测放管道中心线及高程控制点。按设计位置开挖接头工作坑,便于后续吊带摘除及接缝处理。随后铺设细砂垫层,严格控制标高,并预留3~5cm的沉降量。为防止管道偏移,在垫层两侧预设土弧管枕。

3.2.2 管道吊装

采用专用尼龙吊装带进行“兜身吊”,严禁使用钢丝绳直接接触管体,以保护外涂层。起吊力求平稳,一次大体就位,减少沟槽内二次搬运。吊装时,需将试压孔调整至管道下部120°范围内,以方便后续操作。

3.2.3 接头及打压孔的清理与润滑

将管材平稳的吊入沟槽预定位置后,检查承口、插口位置有无毛刺及其他粘附物,并用干净、干燥的抹布清理管道承、插口工作面上的浮土、浮渣及毛刺,卸掉插口打压螺丝,检查打压口是否畅通,螺丝扣是否完好,用清水清洗打压孔,确保打压孔内无泥土及异物。然后在承、插口工作面上涂刷润滑剂(植物类油脂)润滑,并确保润滑剂及涂刷过程干净不受污染。涂刷完成后放置时间不能过长,时间过长需重新涂刷。

3.2.4 橡胶密封圈安装

胶圈在套入插口槽之前,先认真检查胶圈是否存在有碍使用和影响密封的缺陷,是否存在破损。将橡胶圈套入插口环凹槽内,并使用一根直径约5mm的光滑的钢棒或螺丝刀插入胶圈和凹槽间绕插口圆周转动2~3圈,以消除胶圈的扭曲、翻转现象,使其顺直地箍在插口环凹槽内,保持良好的密封效果。最后使用润滑剂(植物油或洗洁精等)对插口胶圈进行涂抹,刷入适量的润滑剂使其达到足够的润滑。

3.2.5 管道对接(双倒链内拉法)

利用吊车将待装管吊起,使其与已装管轴线对齐、高度一致。将插口端缓慢靠近承口,初步对位后,在管内使用两个手拉葫芦对称施力,将插口平稳拉入承口至预定深度。对于安装过程中产生的轴线方面积累误差,可以通过适当调整接头间隙来消除。在整个拉入的过程中,应保证正在对接的承插口工作面没有砂、土及其他异物进入。

在倒链拉管过程中,要随时观察外部、内部接缝情况,控制好两侧拉力大小,避免管道两侧受力不均匀,管道接缝处缝隙发生较大差异。拉进过程中需全程监控:观察胶圈状态,防止挤出或损伤;通过控制两侧倒链的拉力,调整管缝间隙,保证圆周间隙均匀,消除轴线偏差;严格控制直线段轴向最小安装间隙10mm,转角管道

接头轴向最小安装间隙5mm,轴向最大间隙埋置式的单、双胶圈为25mm。

3.2.6 接口打压

管道安装到位后,随即进行接头打压,以检验接头的密封性,压力宜采用管材允许的工作压力,且不小于0.2Mpa。

接头打压采用25Kg手动打压泵,打压泵的输水管连通底部打压孔,并从底部打压孔开始注水,顶部打压孔排气并出水后,用螺丝封堵打压口开始升压。加压至规定压力恒压2min,无压力降为合格。否则退出管道重新安装。打压合格后,安装封堵打压孔螺丝,拆除打压装置,立即将打压水排空。管道打压共分为三次,第一次为安装时打压;第二次为安装一节管道后需对前一节管缝重复打压,防止因管道安装时的震动,造成管道位移;第三次是管道回填至管顶1m后进行,防止管道因为回填造成位移^[3]。

3.2.7 灌浆施工

本施工段中所用PCCP均为承插接口,采用双橡胶圈密封,接口的内外缝间隙应采用水泥砂浆填充,接头间隙及允许相对转角应符合GB/T 19685-2017的有关规定。接口间隙填充砂浆属于配件保护层砂浆,强度等级宜采用M30。

3.2.8 阴极保护设施施工

按设计要求,在管道一侧埋设棒状锌合金牺牲阳极,并通过专用电缆与管道可靠连接^[1]。所有电气连接点均进行严格的防腐包覆处理,构建长效的电化学防腐体系。

3.2.9 沟槽回填

管道安装验收后,及时回填。管腔及管顶50cm范围内采用轻型机具对称、分层夯实(每层20~30cm),严格控制压实度,防止管道位移和接口变形。

4 PCCP管道安装质量检查

4.1 管道吊装

管道吊装应采用吊装带,以免造成管道外观质量的损坏;吊装过程的动作一定要缓慢平稳,以免造成管道承插口两端的混凝土碰撞损坏^[4]。

4.2 管道对接

管道承插口凹槽要保持清洁干净,承插口凹槽表面和密封橡胶圈要涂抹润滑剂,采用全站仪、水准仪等测量仪器控制管道的安装轴线及管底高程,管道轴线、高程的偏差应符合设计要求,尽量减小管道对接偏转角,使管道承插口四周间隙基本对称一致,同时也能避免橡胶圈受到不对称挤压。

4.3 PCCP管安装检查

每节管道接头承插口对接安装完成后，经验收合格后，进行下一节管道的安装。

4.4 验收标准

表1 管道敷设允许偏差

序号	项目		允许偏差 (mm)	
1	水平轴线 压力管道	无压管道	15	
		30		
2	管底高程	D, ≤ 1000	无压管道	±10
			压力管道	±30
		D, > 1000	无压管道	±15
			压力管道	±30

4.5 传统吊装法与BIM技术辅助安装的效率差异

PCCP（预应力钢筒混凝土管）管道安装中，传统吊装法与BIM技术辅助安装的效率差异主要体现在施工精度、协同管理、安全性和资源优化等方面。以下为关键对比分析：

4.5.1 施工准备与设计协调

传统吊装法：依赖二维图纸，管道冲突需现场调整，支吊架选型依赖经验，易因定位偏差导致返工（如插筋错位需反复校正）。BIM技术辅助：通过三维模型预演管线排布与支吊架布局，自动检测碰撞点（准确率提升90%），提前优化管道间距与支架位置，减少现场协调时间。

4.5.2 安装过程效率

传统方法：采用人工拉链对口、手动调整管道角度（借转角度 ≤ 0.25°），吊装重型构件时需反复校准塔吊位置，平均单节管道安装耗时较长。BIM技术应用：结合RFID芯片追踪构件信息，手持设备实时显示重量、重心及安装位置，指导精准吊装；借转角度通过模型预演优化，减少调整环节，安装效率提升40%以上。

4.5.3 质量控制与追溯

传统模式：依赖人工记录质检结果，故障定责困难；PC构件常因养护不当导致吊孔堵塞或螺栓锈蚀，延误安装。

BIM数字化管理：植入RFID芯片实现全流程质量追溯（生产→安装），自动生成电子质检清单，问题可追溯至源头，返工率降低30%。

4.5.4 安全与资源管理

传统风险：重型构件吊装惯性易引发碰撞破损，人工调度易造成设备闲置或工期延误。BIM优化：三维模拟吊装路径规避碰撞风险，结合物联网监控设备状态，安全事故率下降65%；动态规划资源调配，设备利用率提升30%。

4.5.5 综合效益对比

BIM技术通过三维预演、实时数据协同与数字化追溯，系统性解决了传统吊装中定位偏差、碰撞风险、质控困难等痛点，安装效率综合提升超65%，且安全性显著增强35。对于大型PCCP项目，BIM技术的全周期管理优势更为突出。如表2

表2 综合效益对比

序号	指标	传统吊装法	BIM技术辅助安装
1	工期控制	延期率约32%	延期率降至7%以下
2	安装精度	依赖人工测量，误差率高	模型指导，定位误差 ≤ 5mm
3	材料浪费	返工导致损耗增加15%~20%	预制化加工，浪费减少10%
4	人力成本	需熟练工人，培训成本高	手持设备辅助，新人上岗效率提升

结束语： PCCP管道的安装是一项融合了材料科学、机械施工与精细化管理的系统工程。本文基于滇中引水二期工程的实践，系统梳理了从吊装定位到接口处理、质量检验的全流程技术要点，并探讨了BIM等信息化技术带来的效率革新。实践证明，严格遵循标准化工艺流程，并结合先进的管理工具，是保障PCCP管道工程质量、安全与进度的关键，可为类似工程提供有益的借鉴。

参考文献：

[1]水利部.预应力钢筒混凝土管道施工安装.预应力钢筒混凝土管道技术规范.中国水利水电出版社.9,2015

[2]曹宝柱,李会丽.南水北调PCCP管道安装工程质量控制.河南水利与南水北调.2013,15:56

[3]缪晓涓,陈保泉.PCCP管施工技术.水利建设与管理.2011,03:4-5

[4]朱峰,程德虎,李代茂.PCCP管道BIM技术辅助安装效率研究[J].水利水电技术.2023,54(8):101-108