

# 大直径PCCP管道安装过程中接口密封性能保障技术研究

刘书娟

中国水利水电第十二工程局有限公司

DOI:10.12238/hwr.v9i10.6589

**[摘要]** 大直径PCCP(预应力钢筒混凝土管)管道安装过程中,对接口密封性能要求极为苛刻,密封失效将直接影响运行安全,还可能引发大范围泄漏事故。本文主要研究接口密封性能保障技术失效机制,提出在不同工况下优化安装流程及对密封材料进行改进的方案,以工程实例验证技术适应性与可靠性,有效提高PCCP管道整体密封性能,为PCCP管道安全运行提供技术支撑。

**[关键词]** PCCP管道; 接口密封; 安装技术; 密封性能; 技术保障

**中图分类号:** TU81 **文献标识码:** A

## Technical Study on Ensuring Joint Sealing Performance in Large-Diameter PCCP Pipeline Installation

Shujuan Liu

China Water Conservancy and Hydropower 12th Engineering Bureau Co., LTD

**[Abstract]** During the installation of large-diameter PCCP (pre-stressed steel cylinder concrete pipe) pipelines, the sealing performance of joints is subject to extremely stringent requirements. Seal failure could directly compromise operational safety and potentially trigger widespread leakage incidents. This study investigates the failure mechanisms of joint sealing technologies and proposes optimized installation procedures along with improved sealing materials under various operating conditions. Through engineering case studies, the research validates the technical adaptability and reliability of these solutions, effectively enhancing the overall sealing performance of PCCP pipelines while providing technical support for their safe operation.

**[Key words]** PCCP Pipeline; Interface sealing; Installation technology; Sealing performance; Technical support

### 引言

PCCP管具备强度高、耐久性好的特点,广泛用于大中型输水工程,接口连接密封性是核心要素,直接决定管道系统运行稳定性。近年来铺设规模与口径持续增大,接口密封面临更为复杂的应力环境和施工挑战,本文从如何提高接口密封性的角度切入,探讨PCCP管道安装过程中的接口密封保障关键控制技术,为工程实践提供理论基础与技术指导。

### 1 PCCP管道接口密封失效问题分析

目前,重要的输水管道多采用大直径PCCP管(预应力钢筒混凝土管),接口密封性能在工程实践中至关重要,接口是管道系统薄弱环节之一,长期承受内部水压作用,还需适应外部土体压力与不均匀沉降带来的结构应力变化。实际安装和运行过程中,接口常出现密封相关问题,如密封圈错位、压缩不足、管端破损或接口渗漏。这些问题多与密封结构设计局限性、材料性能劣化、安装精度偏差相关,密封失效不仅直接影响运行安全,还会引发大范围漏水事故,增加运维成本。密封结构未充分考虑变形协调性和应力分布合理性,易在外界荷载或地基沉降下产生局

部撕裂或压溃;密封材料在高温、高湿或化学腐蚀环境中更易老化失效;安装环节的轻微偏差会导致密封圈应力集中,导致密封能力骤降。

在实际施工中影响接口密封性能的因素较为复杂,PCCP管接口多采用橡胶密封圈配合止水结构密封,橡胶材料长期受压、受温差和水质影响后容易老化、硬化或产生永久变形,导致密封能力随之下降,还会因地基不均匀沉降、回填质量不良或外部载荷变化,使接口部位轴向和径向位移超出密封圈变形极限,造成密封损坏。在安装时管节接口未对中、插入深度不足、未有效使用润滑剂,会导致密封圈剪切、拉拽甚至卷曲,初始密封状态失效,部分施工项目中密封结构与管道材质或尺寸不匹配,进一步放大密封失效风险。

结合典型工程案例,大直径PCCP管在复杂地质条件下易出现接口密封问题,在软弱地基区域中常因沉降不均,使接口产生张开缝隙;在山区管线转弯处,管道受弯矩集中影响使接口挤压偏移,密封圈局部失效;在高水压输水工程中,密封圈压缩应力长期维持高水平,加剧橡胶材料疲劳损耗。这些实际问题表明当

前PCCP管接口密封设计与安装工艺面对大型复杂工程条件仍有诸多不足,需通过系统性分析和优化来提升整体密封性能与运行可靠性,才能为后续密封保障技术研究及工程应用奠定基础。

## 2 安装过程中的密封性能影响因素

大直径PCCP管道在安装过程中接口密封性能遭受多种因素影响,这些因素贯穿施工全流程,直接影响管道系统的长期运行稳定性。密封性能的实现主要依赖接口结构的合理设计与施工的精确执行,但在实际施工中,常因工况复杂、施工条件受限,导致密封效果难以完全达标。管道接口轴向定位精度、管节插入深度控制、密封圈装配状态以及润滑剂的均匀性与用量,都会对密封圈的压缩状态和密闭能力产生关键影响,这些环节在安装中如果控制不当,会直接削弱密封圈初始弹性恢复力,使接口无法形成可靠密闭状态,埋下渗漏隐患。

密封材料物理性能是决定密封效果的重要因素,多数PCCP管接口密封采用橡胶材料,其抗压缩永久变形能力、抗老化性能及耐水解性能对长期密封能力影响显著,在实际施工中不同批次密封圈可能有硬度不一、回弹性差异大等问题,施工单位对材料储存、运输及预处理流程控制不到位,橡胶圈使用前极有可能出现疲劳、硬化等早期劣化现象。密封结构与管道端面装配间隙是否合理,也直接影响密封材料承压后的受力状态,间隙偏大时,密封圈压缩不足,无法形成有效初始应力场,易埋下渗漏隐患;间隙过小时,密封圈在安装中承受过大挤压力,极易发生剪切、翻转或撕裂,破坏其结构完整性与回弹能力,在长期运行中这类初期损伤会在高压水流和振动作用下进一步恶化,最终导致密封功能失效,影响整个管道系统密闭性能与安全性。

外部环境条件在密封效果形成过程中同样不容忽视,安装现场的气温波动、空气湿度变化、风沙侵袭程度以及周边水文条件等环境因素,都会间接影响密封材料的现场安装性能与适配效果,在持续高温或低温严寒环境中,橡胶密封圈自身的柔韧性会明显下降,回弹性也会出现不同程度衰减,这不仅增加了施工时密封圈定位的操作难度,还会直接降低最终成品的密封可靠性。在潮湿多雨或接口处有积水的环境里,接口部位涂抹的润滑剂与水混合后,容易出现稀释现象或随积水流失,进而影响密封圈与管道端面之间的紧密贴合度,而施工平台的实际平整度、起吊设备的运行精度,以及现场安装人员的操作规范程度,共同决定了管道接口对中的精准度与管节插入动作的稳定性,若施工节奏把控过快或插入操作力度不均匀,还会导致密封圈局部产生应力集中,严重时甚至引发滑移破坏,保障接口密封性能并非仅依赖结构设计与材料选择,更需要在实际安装过程中通过系统化规划、精细化管控的施工管理手段,全面控制各类影响因素,确保每一个施工工序的执行效果都严格达到设计标准要求。

## 3 密封性能保障技术的优化策略

针对大直径PCCP管道在安装中接口密封失效频发的问题,亟需从技术层面对密封性能保障策略进行系统优化,有效的优化策略需从密封结构设计、施工工艺控制及材料选型三方面协

同推进,以此提升整体密封体系的可靠性,接口结构上可改进橡胶圈的几何断面形式与应力分布机制,实现更均匀的压缩变形,减少局部应力集中给密封圈造成的损伤。同时推广多道密封系统,在原有主密封圈外增设辅助密封圈或柔性止水带,形成双重保障机制,增强抵抗外部应力扰动的能力,对于安装位置复杂或埋深较大的工段,还可考虑设置柔性连接结构,释放安装应力集中给密封结构带来的破坏影响,从结构层面进一步增强接口密封稳定性。

施工工艺方面的优化,需强化安装精度控制与现场操作规范性,引入激光测距仪、全站仪等数字化测量设备,提高接口对中的精度,保证密封圈均匀受压;应用自动润滑系统,实现润滑剂的定量、均匀施加,避免因润滑不均引发密封圈挤伤或错位。同时推行标准化作业流程,强化施工队伍培训和技术交底,提升作业人员对接口安装各关键控制点的理解与执行力,在易受环境影响的作业面设置防护措施,如临时遮盖棚、抽排水设备等,确保密封作业环境稳定,施工结束后,采用气压试验、水压试验等无损检测手段,对接口密封效果进行系统验证,确保隐患早发现、早处理。

材料选型优化同样至关重要,应优选高回弹性、低压缩永久变形率且耐老化性能优异的密封橡胶材料,像乙丙橡胶(EPDM)或氟橡胶等,来替代传统普通合成橡胶,提升密封圈的长期适应性。为适应多变施工环境,可开发具备自适应补偿能力的新型复合密封材料,例如嵌入金属骨架的增强型密封圈或膨胀型止水材料,使其在接口错位或压力突变时自动填补缝隙,防止渗漏。密封圈生产实施全过程质量控制,从原料到成型、检验严格把控,确保符合规范。通过结构、施工、材料协同优化,显著提升PCCP管道接口密封性能,保障输水工程安全。如图1所示,该图直观呈现PCCP管道接口密封结构及密封圈装配的现场作业场景,清晰地展示接口处密封构件的装配方式与施工工艺细节,有助于理解前文所述密封结构设计、装配工艺等技术要点。



图1 PCCP管道接口密封结构及密封圈装配示意图

## 4 工程实例验证与技术应用成效分析

某大型输水工程项目中铺设了数公里大直径PCCP管道,接口密封作为系统运行稳定性关键节点是工程重点控制内容,项

目安装前期曾出现接口渗漏频发问题,现场检测显示,密封圈压缩变形不均、接口对中偏差大及橡胶材料老化是主要原因,针对这一现象项目团队引入密封性能保障技术优化策略,对接口结构设计、密封材料选用及安装工艺流程做了系统升级。如调整密封圈断面尺寸与硬度参数,采用双道复合密封结构,在接口处形成更稳定的密封应力分布,同时配置激光对中仪与自动润滑系统,确保每道接口安装精度与密封效果的一致性,这种优化设计既增强密封圈的变形协调性和抗压能力,又能有效的缓解因接口错位或管节不均匀插入力引发的应力集中问题,数字化施工设备的应用显著提升接口安装的标准化与可控性,降低人为误差对密封性能的影响。

施工阶段优化措施带来很明显的成效,如密封圈用新型EPDM材料制造,其优异回弹性与耐介质性能显著提升密封可靠性,关键节点及复杂地质段落采用柔性连接件,能降低安装应力集中带来的接口扰动,经水压试验及运行初期监测数据对比分析,优化后接口平均渗漏率降至万分之三以内,远低于原规范要求的千分之一,所有接口均顺利通过二次密封检查,无一处出现剪切或错位现象。同时采用质量过程追踪系统,对密封圈批次、安装参数、检测数据做闭环记录,提高工程质量可追溯性与后期维保效率,为密封效果长期稳定运行提供数据支撑。

另一个典型应用实例来自某跨区域调水项目,该工程输水压力长期维持在高值区间、管道埋深突破常规标准,对接口密封性能提出了极高要求,施工团队在项目全流程中全面推广密封性能保障技术,从前期材料筛选、中期安装管控到后期运维监测,构建起接口密封全生命周期管理体系,项目运行两年内未出现

任何接口泄漏事件,接口结构整体稳定性良好,密封状态始终保持设计预期,专项监测数据显示,橡胶圈压缩应力持续维持在设计范围内,未发生明显衰减现象。该工程的成功实施,不仅充分验证技术优化方案的实际可行性与复杂工程适应性,还为同类高标准输水管道项目提供可直接参考的技术路径,实践明确表明密封性能保障技术的系统应用,能有效提升PCCP管接口密封水平,大幅降低后期运维风险,具备广泛的工程推广价值。

## 5 结语

本文针对大直径PCCP管道安装的接口密封性能保障技术开展系统研究,剖析失效问题、探讨影响因素、提出优化策略并结合工程实例验证,形成完整技术思路与分析框架。实际工程应用效果显示优化后的密封结构与施工工艺大幅提升接口密封可靠性,拥有良好工程适应性与推广价值,后续需不断推进密封材料创新与数字化安装技术的融合,进一步增强PCCP管道系统整体安全性与运行稳定性。

## [参考文献]

- [1]王伟,李强.预应力钢管混凝土管接口密封性能分析[J].城市建设理论研究,2020,30(6):52-54.
- [2]刘洋,陈涛.大口径PCCP管接口施工工艺改进研究[J].水利水电工程技术,2021,39(4):89-92.
- [3]高峰,周林.输水管道接口密封技术优化与应用[J].工程建设与设计,2022,28(8):101-104.

## 作者简介:

刘书娟(1990--),女,汉族,河南信阳人,本科,中级职称,研究方向:水利水电工程施工。