

大口径球墨铸铁管快速安装技术研究与应用

张 甲 卢永强

河北省水利工程局集团有限公司 河北 石家庄 050000

摘 要：在我国南水北调配套输水、城市供水主干管网、区域水系连通等大型水利、市政工程中，大口径球墨铸铁管凭借强度高、韧性好、耐腐蚀、抗沉降、密封性稳定等突出优势，已成为高压长距离输水工程的首选管材。但相较于中小口径管道成熟的施工工艺，DN2000 及以上大口径球墨铸铁管自重荷载大、管口对接精度要求高、人工对位难度大，传统施工工艺存在工序繁琐、调整次数多、机械台班消耗大、施工效率低、工期不可控、综合成本高等突出问题，严重制约了大型输水管道工程的施工进度与经济效益。

关键词：大口径球墨铸铁管；快速安装；管口对中；施工优化；效益分析

引言：为解决大口径球墨铸铁管安装施工痛点，本文以北京大兴国际机场临空经济区（廊坊）南水北调配套工程廊涿干渠及永清支线输水管道迁改工程为工程依托，针对性开展大口径管道快速安装技术研究。通过自主研制管道导向对位架工装，优化管口同轴对中工序，增设微调摇杆结构优化对位精度与作业灵活性，形成一套适配 DN2200 大口径球墨铸铁管的快速安装施工工艺。通过现场传统工艺与新型工装工艺的人机投入、施工时效、成本消耗多组对比试验，验证了新工艺的实用性与优越性。

1 研究背景

随着我国水利基础设施现代化建设持续推进，跨区域调水、城乡供水一体化、老旧管网升级改造、临空经济区配套水利工程建设规模逐年扩大。长距离有压输水工程对管材强度、密封性、耐久性、抗地质变形能力提出了更高标准。目前国内长距离输水管线常用管材主要包含预应力钢筒混凝土管（PCCP）、HDPE 高密度聚乙烯给水管、涂塑复合钢管、螺旋焊接钢管、球墨铸铁管等几大类。

2 研究目的与意义

2.1 研究目的

针对大口径球墨铸铁管传统安装效率低、对位精度差、成本消耗高、工期难以保障的工程难题，依托实际迁改工程项目，研制专用管道导向对位工装，优化传统安装工序，形成标准化快速安装工艺流程。通过现场对比试验，量化分析新工艺在施工效率、资源投入、施工成本、施工质量方面的提升效果，解决大口径管道对口难、调整繁、耗时长、成本高的施工痛点，实现提质、

增效、降本、缩期的施工目标。

2.2 研究意义

工程意义：本次研究形成的导向架快速对位施工技术，彻底改变大口径管道纯人工盲目对位的作业模式，实现管道限位、导向、精准对中一体化作业，大幅减少返工与质量隐患，提升管道安装一次合格率，保障输水管道密闭性与运行稳定性。

经济意义：新工艺有效减少人工、吊车、挖掘机台班投入，显著缩短施工工期，大幅降低单位长度管道施工成本，为大型输水工程降本增效提供切实可行的技术方案。

3 工程概况与研究方案

3.1 依托工程概况

本课题研究依托北京大兴国际机场临空经济区（廊坊）南水北调配套工程廊涿干渠及永清支线输水管道迁改工程，研究对象为工程核心施工内容——DN2200 大口径球墨铸铁管安装施工。

本工程为南水北调配套重点民生水利工程，承担区域供水调配、管网优化迁改、供水保障升级的重要功能，工程施工质量标准高、工期节点严格、现场施工协调难度大。本次试验研究选取工程桩号 60+800~60+900 区段作为试验场地，试验管道为双排 DN2200 球墨铸铁管，试验段管道总长度 195.6m，场地开阔、施工条件典型，可真实反映现场常规施工工况，对比试验数据具备真实性、代表性与参考性^[1]。

项目组结合工程施工难点与研究目标，制定完整研究技术路线：梳理传统施工弊端 → 研制专用导向架工装

→ 优化对口施工工序 → 增设微调结构迭代优化 → 开展新旧工艺现场对比试验 → 统计人机投入与时效数据 → 核算经济效益 → 总结成套施工技术 → 分析不足与未来优化方向, 确保研究工作系统、有序、完整开展。

3.2 传统施工工艺弊端分析

为精准定位优化方向, 项目组对传统大口径球墨铸铁管安装工艺进行全面梳理, 总结核心弊端如下:

(1) 对位精度差。传统施工无专用限位导向装置, 管道吊装入槽后完全依靠工人肉眼观察、撬棍撬动调整, 管口左右偏移、高低偏差无法精准控制, 承口与插口难以保持同轴同心状态。

(2) 作业效率极低。单节管道需要反复多次调整、校对、微调, 对位耗时占管道整体安装时长的 60% 以上, 单节管道安装周期长, 整体施工进度缓慢。

(3) 资源消耗量大。反复调整作业需要多名工人协同操作, 同时吊车、挖掘机需长时间待机配合对位, 机械台班利用率低, 燃油、设备租赁成本居高不下。

(4) 质量隐患多。多次撬动、错位强行插接极易导致管口磕碰变形、橡胶密封圈扭曲、挤压破损, 管道接口密封性不达标, 后期水压试验易出现渗漏, 返工修补工作量较大。

3.3 总体研究内容

本次研究围绕大口径球墨铸铁管快速安装核心技术, 开展四项核心研究工作: 一是自主设计并加工管道导向对位架, 明确工装结构原理与使用方法; 二是开展传统工艺与导向架工装工艺的现场人机资源投入对比试验; 三是统计两种施工工艺的单节管道安装时效, 量化效率提升效果; 四是对导向架结构进行迭代优化, 增设微调摇杆结构, 进一步提升对位灵活性与精度, 形成最优施工工艺。

4 关键技术与工装研制

4.1 导向架工装设计原理

大口径球墨铸铁管安装质量与效率的核心控制核心为承插口同轴度、管口同心度, 所有安装偏差均源于无固定限位基准、人工调整随机性大。本次研制的导向架工装核心设计原理: 以已安装成型管道为固定基准, 通过工装限位约束待安装管道的水平、竖向位置, 强制实现管口同轴对位, 消除人工调整偏差。

工装整体采用国标槽钢焊接制作, 结构刚度大、承载力强、不易变形, 可长期重复周转使用, 成本低廉、制作简便、现场拆装灵活, 完全适配施工现场露天、土

方作业、重型管道施工工况。

4.2 导向架结构与功能分区

导向架整体分为前部固定区与后部导向区两大功能模块, 结构分工明确、适配现场施工流程:

(1) 前部固定区: 作业时卡装固定在已完成安装的管道端头, 为整个工装提供稳定支撑基准, 杜绝工装偏移、晃动, 保证对位基准统一、精准。

(2) 后部导向区: 为待安装管道专属对位作业区域, 具备左右限位功能。管道通过吊车吊装落位至导向区后, 自动完成左右方向精准对中, 无需人工反复撬动纠偏。竖向高程偏差仅需通过手拉导链进行微调即可完成精准对位, 极大简化调整工序。

4.3 工艺迭代优化 (微调摇杆升级)

为进一步解决导向架初始版本宽度固定、微小偏差调整不便的问题, 项目组对工装进行二次优化升级, 在导向架两侧增设微调摇杆机构。通过摇杆旋转可精准调节导向槽宽度, 适配管道微小尺寸偏差, 精准修正管口左右偏差; 结合导链竖向微调, 实现水平 + 竖向双向精准对位, 彻底解决传统工艺对位精度不足、调整繁琐的问题。

4.4 新型快速安装施工工艺流程

结合工装功能优化, 梳理形成标准化快速安装流程: 施工准备 → 沟槽基底验收 → 导向架安装固定 → 管道吊装入槽 → 导向架水平自动限位 → 导链竖向高程微调 → 摇杆精准修正偏差 → 管口同轴对位完成 → 管道插接安装 → 工装拆卸周转下一工作面 → 接口检查验收。整套流程规避了传统工艺反复撬动、多次校对的冗余工序, 作业流程标准化、简洁化、高效化。

5 现场对比试验与数据分析

5.1 试验资源投入方案

本次对比试验严格控制变量, 在同一施工区段、同一地质条件、同一施工班组、同一机械设备配置的前提下, 分别开展传统人工对口工艺、基础导向架工艺、摇杆优化后导向架工艺三组对比试验, 统计人员数量、机械台班、作业时长等核心数据, 保证试验数据客观有效。试验段配置固定资源: 现场作业人员 15 人 (含工人 10 人、机械司机 2 人、管理调度人员 3 人), 施工机械为 360 型挖掘机 1 台、70t 履带吊 1 台, 试验管道为 DN2200 球墨铸铁管, 总试验长度 195.6m。人员作业时长按 10h/天计算, 机械设备按照工程定额 8h/台班标准结算。

5.2 工期节约分析

通过现场实测统计,新型工装优化工艺相比传统工艺,整体施工工期显著缩短,累计节约工期折合 1.5 个机械台班。机械费用核算依据市场施工台班单价:70t 履带吊台班单价 9600 元/台班,360 挖掘机台班单价 3500 元/台班。

履带吊节约费用: $9600 \times 1.5 = 14400$ 元

挖掘机节约费用: $3500 \times 1.5 = 5250$ 元

5.3 人工成本节约分析

现场人工综合单价按 300 元/人·天计算,新工艺减少无效作业时长、缩短整体工期,累计节约人工折算工期 1.2 天。

人工节约总成本: $15 \times 300 \times 1.2 = 5400$ 元

5.4 施工效率对比分析

通过多组单节管道安装时长统计对比:传统人工对位工艺单节管道对位调整耗时最长、波动极大;基础导向架工艺大幅缩减对位时间;增设微调摇杆的优化工艺进一步减少精细调整时长,施工稳定性、精准度进一步提升。综合统计计算:本次研发的大口径球墨铸铁管快速安装工艺,整体施工功效提升 37.5%,效率提升效果显著,彻底解决了大口径管道施工工期不可控的难题。

6 成果效益分析

6.1 经济效益

本技术在试验段 195.6m DN2200 管道工程中成功应用,机械、人工成本大幅降低,工期大幅压缩。经综合核算,项目平均每延米管道安装可节约综合施工成本 128.07 元。

新工艺无需高额设备投入,导向架工装制作成本低、可无限次周转使用,一次性投入、长期复用,边际成本极低。对于千米级、万米级大型输水管道工程,可累计节约巨额施工成本,经济效益极为可观。同时工期缩短可有效减少现场管理费用、设备闲置费用、安全文明施工运维费用,间接经济效益显著。

6.2 社会效益

一方面,新工艺大幅简化重型管道高危作业工序,减少人工近距离撬动、调整重型管道的危险作业,降低机械伤害、物体打击、管道倾覆等安全风险,提升施工现场安全管理水平。

另一方面,施工效率提升、工期缩短可保障配套输水工程提前竣工投用,提前发挥区域供水保障功能,改

善区域供水稳定性,服务临空经济区民生与产业发展,具备良好的民生社会效益^[2]。

同时,本技术形成的标准化施工工艺,可为行业同类工程提供示范标杆,推动大口径管道施工技术升级,具备重要的行业推广价值。

6.3 质量效益

新型导向架工装实现管口精准同轴对位,橡胶圈受力均匀、无扭曲挤压,管道接口插接密实、密封性能优良,大幅降低接口渗漏概率,管道安装一次验收合格率显著提升,减少后期修补、返工、试压整改工作量,工程实体质量更加稳定可靠。

结束语

本文依托南水北调配套输水迁改工程,针对大口径球墨铸铁管安装施工低效高耗难题,研发导向架快速对位工装及成套优化施工工艺,通过理论分析、工装研制、现场对比试验、效益核算,得出以下结论:

(1) 针对 DN2200 大口径球墨铸铁管研制的导向架对位工装结构合理、实用性强,可快速实现管道限位导向、精准同轴对位,彻底解决传统人工对位偏差大、反复调整的施工难题^[3]。

(2) 增设微调摇杆的迭代优化工艺,进一步提升管口微调精度与作业灵活性,适配现场复杂施工偏差,施工标准化、精准化程度大幅提升。

(3) 工程实践证明,新工艺施工工效提升 37.5%,工期显著缩短,人工、机械成本大幅降低,每延米节约成本 128.07 元,提质增效降本效果显著。

(4) 该技术操作简单、成本低廉、安全可靠、适用性强、可重复周转,适配各类大口径球墨铸铁管输水工程,推广价值极高。

研究不足

本次研究依托干槽无水作业工况开展试验,仅针对常规地质、不带水施工条件展开研究,对于带水作业、软基不均匀沉降地质、超大型口径管道施工的适配性仍有待进一步验证,应用范围存在一定局限性。

参考文献

- [1] 高宇,江登峰.高水压大口径球墨铸铁管道支墩设计[J].市政技术,2021,39(2):115-118+124
- [2] 马志华.长距离输水管道水压试验方法及验收标准探析[J].水利建设与管理,2022,42(10):66-69
- [3] 齐树强.市政工程中给水排水管道的施工技术[J].城市建筑空间,2022,29(S1):265-266.