

水利引水工程中顶管技术的应用要点

刘勇

中建新疆建工(集团)有限公司

DOI: 10.12238/ems.v6i7.8107

[摘要] 水利引水工程中,顶管施工技术显著降低了土方工程量,并成功跨越了包括坝体在内的多种地形障碍,因而广受欢迎并普及,作为地下管道施工领域的前沿技术,凭借其穿越繁忙交通线路、高速公路、重要设施、复杂地表形态及既有地下管网的灵活性,不断拓宽其在现代城市基础设施建设中的应用范围。本文以顶管技术为切入点,分析了水利引水工程中顶管技术应用的优势,并深入剖析该技术细节,提出施工策略的优化建议,旨在进一步提升其实施效果与效率。

[关键词] 水利引水; 顶管技术; 施工技术; 应用实践

Key points of application of pipe jacking technology in water conservancy diversion projects

Liu Yong

China Construction Xinjiang Construction Engineering (Group) Co., Ltd

[Abstract] In water conservancy and water diversion projects, the top-down construction technology significantly reduces the amount of earthwork and successfully crosses various terrain obstacles, including dam bodies. Therefore, it is widely popular and popularized. As a cutting-edge technology in the field of underground pipeline construction, it continuously expands its application scope in modern urban infrastructure construction with its flexibility in crossing busy traffic lines, highways, important facilities, complex surface forms, and existing underground pipeline networks. This article takes pipe jacking technology as the starting point, analyzes the advantages of pipe jacking technology application in water conservancy diversion projects, and deeply analyzes the details of this technology, proposing optimization suggestions for construction strategies, aiming to further improve its implementation effect and efficiency.

[Keywords] water conservancy and water diversion; Top pipe technology; Construction technology; Application Practice

引言:

顶管施工法作为水利管道建设领域的一项革新性技术,其核心目标在于减轻对地面建筑及周边环境的施工干扰。该技术起源于19世纪末的美国北太平洋铁路建设时期,随后在全球范围内得到广泛应用与发展。我国自20世纪中叶起,逐步开始探索顶管技术的应用,随着改革开放的深入与经济的快速增长,北京、上海等一线城市率先引进了国际先进的顶管施工技术和设备,极大地推动了国内顶管施工技术的发展与进步。进入21世纪,我国在顶管施工技术与理论研究方面已跻身国际前列,广泛应用于国家重大工程项目中,有效解决了众多施工难题与挑战。

一、顶管技术概述

在水利水电工程领域内,我国隧道建设技术取得了显著进步,积累了丰富的实践经验和丰硕成果。针对水利引水工程中隧道掘进常遇的复杂地质条件,如多变岩性与断裂构造,推动了新技术的不断涌现与应用。顶管技术作为一项创新性的非开挖管道施工技术,依托液压千斤顶等先进设备,自顶管工作井出发,精确地将管道推入预定土层,高效达成工程目标。其独特优势在于卓越的穿越能力,能够无障碍地穿越公路、铁路、建筑群、水域及山地等复杂地形,同时保持高度的机械化作业水平,显著减轻对环境的影响,对地面设施及交通流的干扰降至最低^[1]。

顶管施工工艺凭借其其对地面干扰小、施工效率高及成本效益优化的特点,受到广泛青睐。作为铺设长距离管道的非

开挖优选方案，顶管技术在水利引水管道工程中应用日益增多，且长距离顶管项目占比持续攀升。尽管目前单次顶进长度超过 2000 米的实践案例尚属稀缺，凸显了该领域对深化理论探索与技术强化的迫切需求，但国内已成功实施的多项工程，如嘉兴污水处理排海工程的钢筋混凝土顶管项目（内径 2m，顶进 2050m，2001 年完成）、汕头第二过海水管续建工程的钢管顶进作业（通径 2m，顶进 2080m，2008 年完成）以及珠海市西水东调二期工程中磨刀门水道的大直径钢管顶管工程（通径 2.4m，顶进 2329m，2019 年完成），均有力证明了顶管技术在长距离管道施工中的可行性和巨大潜力。

二、水利引水工程中顶管技术的优势

（一）经济效益显著，促进成本优化

在水利工程建设中，成本控制是市场环境下的核心考量。顶管技术虽初期投入较大，但其长远经济效益不容忽视。该技术通过减少拆迁规模、降低道路修复与管线改迁费用，有效削减了项目总成本，展现了显著的成本节约能力，为水利工程建设提供了经济高效、切实可行的解决方案^[2]。

（二）降低社会影响，保障民众生活

顶管技术的应用标志着水利建设模式的革新，显著降低了对城市基础设施的扰动。在交通繁忙区域作业时，该技术实现非开挖施工，避免了道路封闭与交通拥堵，减轻了公众出行的不便。同时，保护周边建筑及既有管网的完整性，减少了因拆迁引发的社会波动，为居民提供了更加安宁的生活环境，提升了社会整体满意度。

（三）强化环保效益，助力绿色发展

面对传统水利建设对生态环境的潜在压力，顶管技术以其非开挖特性成为环保实践的代表。该技术避免了大规模拆迁与建设活动，大幅减少建筑废弃物、尘土与噪音污染，维护了施工区域及其周边环境的自然平衡，不仅保障了公众健康，还促进了水利建设与环境保护的和谐共生，为绿色发展战略的实施提供了有力支持。

三、水利引水工程中顶管技术的应用要点

（一）工程概况

该水利引水隧洞项目总长度为 1334.6 米，其顶管施工路径被精细划分为三个独立的顶进段落。项目初始阶段需穿越的地貌特征极为复杂，主体地质构成为白垩纪角砾岩，该岩层显著特征为密布的裂隙网络，岩石破碎程度较高，裂隙间相互贯通，导致地下水活动频繁。随后，隧洞主体部分深入浅埋砂质土层，该土层特点为含水量丰富且分布均匀稳定。至项目接近收尾的出口段，地形条件变得更为复杂，地层转而进入强风化花岗岩区域，岩石破碎程度进一步加剧，岩石强度显著降低，同时伴随有裂隙面颜色变化的现象，透水性

相对减弱。鉴于此，本项目需集中力量解决水文地质复杂多变、土层性质差异显著、地层转换频繁及节理发育等关键技术难题，以确保引水隧道工程的顺利施工与圆满完成。

（二）施工准备

施工前的充分准备是顶管技术成功实施的关键基础，直接关系到技术应用成效与工程质量。在顶管技术的筹备阶段，需聚焦于以下三个核心环节：

一是顶管前期的周密规划。项目成立专业的物探与地质复核小组，深入实施全面的物探调查与地质复查工作，精确掌握地下管线的布局详情与地质构造特征，复核既有勘探数据的准确性，从而精确规避既有管线，科学规划顶进路径的垂直与水平维度，确保顶管施工过程的顺畅无阻。

二是施工设备的精准选型，尤其是顶管机头的选择至关重要。项目依据工程具体条件，综合考虑地质条件、土层特性、覆土深度、管道尺寸、施工场地状况及地下管线布局等要素，合理匹配顶管机头型号，以保障施工过程中的安全性、质量控制及文明施工要求，运用有效技术手段达成项目预定目标^[3]。

三是人员配置的优化与安全保障机制的建立。项目需确保施工各环节人员配备充足，避免人力资源不足导致的施工障碍。同时，加强安全技术交底工作的严谨性，特别是针对电工、焊工等特殊工种，严格执行资质审核制度，并结合针对性的安全教育与技能培训，提升施工队伍的整体专业素养与安全防范意识，以满足项目高标准要求。

（三）技术要点

水利引水工程中，泥水平衡法与土压平衡法作为顶管施工的核心技术备受青睐。以泥水平衡法为例，其关键技术架构涵盖顶管机头、地面控制中心及其配套辅助系统。针对施工区域特定的地质条件与项目需求，精确配置泥水平衡顶管设备至关重要。该技术业已成熟，对土层的扰动降至最低，施工效果显著。施工前，必须严格核查顶铁安装的直线度，防止顶进过程中产生偏心力矩。顶进作业遵循标准操作流程：安装顶铁→启动油泵推动千斤顶活套伸出→活套达预设行程后操作回油阀→管道下降。此过程中，地面控制中心依据机头内置的 PLC 控制单元指令进行精确调控，利用排泥系统清除掘进产生的废土，并借由千斤顶动力逐步推进管道。管道推进时，刀盘持续旋转，进泥管路不断供给泥水，废土则被泥水裹挟，通过排泥管路排出。泥水平衡机制的核心在于泥浆护壁原理，通过向刀盘内注入高压泥水以维持开挖面的稳定。鉴于泥水在压力作用下易渗透砂性土壤，需精细调整泥水密度，严防渗漏，实时监测地下水压力变化，并精确控制排泥泵流量，这些措施是防止开挖面失稳坍塌的关键所在。具体的技术指标如表 1 所示。

表 3 顶管施工主要技术指标

序号	顶进方向	距离/m	中继站数目	$f/kN \cdot m^{-2}$	F1/kN	F2/kN	F3/kN
1	1#工作井-2#接收井	563.2	2	2.9	13455	30584	44039

2	3#工作井-2#接收井	372.1		3.5	13455	16899	30354
3	3"工作井-4"接收井	288.2		5.0	13455	18004	31459

(四) 测量工作

水利引水工程中顶管技术的成功实施依赖于精准测量的坚实保障。测量不仅是施工顺利进行的必要条件,更是确保工程质量达标的关键环节。从顶管施工前的设备精准定位,到施工过程中的工具管方向校正与高程精确控制,直至工程竣工后的成果严格复核,每一步都需依靠精确测量来确保无误。依据既定的坐标系统与建筑总图设计,需科学布设控制点,选点时应综合考虑视野开阔度、操作便利性及复核效率,以保障施工流程的顺畅进行,引导顶管严格遵循预设轴线推进,确保施工路径的准确无误。在施工过程中,必须严格执行测量复核制度,对轴线坐标、高程基准点进行细致检查与精确校正,确保其精度满足工程规范要求,为工程质量奠定坚实基础。同时,需加强对顶管安装过程的监督,有效防止因安装偏差(如倾斜、接口错位、坡度不符)可能带来的安全风险,实现施工安全与工程质量的同步优化^[4]。

(五) 顶管管节接头焊接

水利引水工程顶管技术实施中,管节接头的焊接质量控制是项目安全与稳定的重中之重。因此,对焊接流程的严格管理至关重要。焊接预备阶段,首要任务是彻底清理管口,移除油污、毛刺等杂质,确保管口端面平整洁净,为后续焊接创造有利条件。随后,通过焊丝初步固定管段接口,稳固接口位置,为后续作业提供坚实支撑。下管过程中,需精准对接管口,并精细调整管节的高程与中心线,确保安装准确无误。进入焊接操作阶段,首先采用点焊进行初步固定,确保点焊分布均匀对称,为全面焊接打下坚实基础。全面焊接时,应严格关注对口处内外壁的平整度和完整性,利用直尺精确测量错口偏差,并严格控制允许范围内(不超过壁厚0.2倍且最大2mm)。同时,确保点焊与全面焊接使用的焊丝材质一致,以维护焊接质量的统一性。焊接期间,及时清除焊渣、药皮等残留物,防止对焊接质量造成不良影响。每完成一节管段的安装,立即对焊缝质量、管节安装精度及防腐层保护状况进行全面检验,确保各项指标均符合设计要求。若发现焊接质量问题,应立即采取修复措施,重新焊接直至满足质量标准。此外,焊接作业区域应配备充足的照明与通风设备,以优化作业环境,并设置完善的消防安全设施,确保作业过程的安全可控,保障作业人员的健康安全^[5]。

(六) 洞口止水的处理

顶管作业实施过程中,为确保管节能顺畅穿越工作井,工作井入口处预先预留一适当间隙(常规值为约100mm,略大于管节外径)。在管节推进过程中,采取严密的止水策略是核心环节,旨在防止地下水与泥沙侵入工作井,从而避免洞口上方地表沉降,并减少对邻近构筑物及地下管网的潜在威胁。

(七) 顶管轴线控制

顶管施工安全与质量的核心保障在于严格遵循既定设计轴线进行施工。构建完善的测量监控体系,需将控制点设于地基稳固、视野开阔且易于维护之处,以确保管道轴线与标高测量的高精度。针对长距离顶进作业,鉴于支导线精度可能受环境因素影响,应采取多次往返复核测量方法,并取平均值作为校准基准,以增强测量结果的可靠性。鉴于管道安全运行的重要性,需定期复测标高数据,及时校正偏差,确保纠偏措施精确有效,减少土体不必要扰动。在地质复杂区域,特别是地表覆土薄弱地带,应加密测量频次,并减缓顶进速度,严格控制挖掘深度,以保障管线稳定与安全运行,全面符合水利引水工程的技术标准与要求^[6]。

(八) 注浆控制

注浆技术的实施显著减小了管道顶进过程中的阻力。第一个步骤是在管道外表面施加润滑层,以减小摩擦阻力。其次,工具管外径被设计成略大于管道设计尺寸,旨在防止上部土壤直接接触管体,并通过注浆填充间隙,加强结构支撑,从而提高施工效率。中介质的润滑与支撑效能对确保管道顺畅推进具有关键作用,应予以充分关注。膨润土含量直接影响触变泥浆的性能,因此,在注浆作业中需精确调控注浆量及压力,以防止因压力异常而导致摩擦力波动或地面沉降现象的发生。

结语:

综上所述,在社会经济发展的过程中,人们的生活水平得到了极大地提高。在水利饮水工程建设工作中,也出现了许多新技术和新工艺。比如顶管技术,是当前应用较为广泛的一种技术,对于工程建设来说具有较大的促进作用。为此,在实际施工的过程中,要对顶管技术进行科学合理的应用,严格按照方案进行操作,确保各个环节质量符合施工标准,才能保证水利建设工程的质量和水平。

[参考文献]

- [1]文龙龙. 钢套管顶管施工技术与应用[J]. 散装水泥, 2023, (01): 110-112+115.
- [2]罗维高, 林惠庭, 章志, 等. 大直径超长距离钢管顶管施工技术应用分析[J]. 广东土木与建筑, 2022, 29 (08): 71-75.
- [3]马江红, 李宗蔚, 杜荣波. 顶管施工在大型水利引水工程中的应用分析[J]. 安徽建筑, 2022, 29 (05): 69-70.
- [4]张明跃, 常帅, 郝邳. 穿越京密引水渠施工方式适应性初探[J]. 水利建设与管理, 2022, 42 (01): 16-19.
- [5]余培松. 引水管道工程施工措施及方法[J]. 河南水利与南水北调, 2021, 50 (08): 38-39.
- [6]邵晓勇. 高密度电阻率法在塘坂引水项目地质物探中的运用[J]. 四川建材, 2021, 47 (08): 41-42.