

水利工程关于灌区配水工程顶管的控制要点

何军¹ 何倩²

1. 浙江省水利水电建筑监理有限公司, 浙江 杭州 310020

2. 浙江江能建设有限公司, 浙江 杭州 310051

[摘要] 依据《水利水电工程施工安全管理导则》(SL721—2015)及相关要求,本工程项目工作井基坑开挖深度已超5m、顶管施工工艺为暗挖工程,属于超过一定规模的危险性较大的分部分项工程,故按规定要求需要组织对该方案进行论证。顶管技术在水利工程建设施工过程中,一般很少遇见,值得大家学习及推广。灌区配水工程中的顶管技术是在地下进行管道铺设的方法,通过顶推设备将顶管从一端顶入不同地质中,以完成管道的安装,顶管技术适用于穿越河流、铁路、公路、山体等障碍物的管道工程。文章以衢州市柯城区寺桥水库灌区顶管工程为例,顶管施工工艺为泥水平衡法和混合式顶管机。分析了钢管顶管施工技术 with 难点克服,并就顶管施工的质控及安全施工提出了建议,期能够为相关施工提供借鉴经验。

[关键词] 水利工程; 管道工程; 顶管技术; 顶管质控

DOI: 10.33142/hst.v7i10.13893

中图分类号: TU991

文献标识码: A

Key Points for Controlling Pipe Jacking in Irrigation Area Water Distribution Engineering in Hydraulic Engineering

HE Jun¹, HE Qian²

1. Zhejiang Water Resources and Hydropower Construction Supervision Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310020, China

2. Zhejiang Jiangneng Construction Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310051, China

Abstract: According to the "Guidelines for Construction Safety Management of Water Resources and Hydropower Engineering" (SL721—2015) and relevant requirements, the excavation depth of the working well foundation pit in this project has exceeded 5m, and the pipe jacking construction process is a hidden excavation project, which belongs to a sub item project with high risk exceeding a certain scale. Therefore, according to the regulations, it is necessary to organize a demonstration of this plan. Top pipe technology is rarely encountered in the construction process of water conservancy projects and is worth learning and promoting. The pipe jacking technology in irrigation water distribution projects is a method of laying pipelines underground. By using jacking equipment to push the pipe from one end into different geological formations, the installation of the pipeline is completed. Pipe jacking technology is suitable for pipeline projects that cross obstacles such as rivers, railways, highways, and mountains. The article takes the pipe jacking project of Siqiao Reservoir Irrigation Area in Kecheng District, Quzhou City as an example, and the construction process of the pipe jacking is the mud water balance method and the mixed pipe jacking machine. The article Analyzes the construction technology and difficulties of steel pipe jacking, and proposes suggestions for quality control and safe construction of jacking construction, hoping to provide reference experience for related construction.

Keywords: water conservancy engineering; pipeline engineering; top pipe technology; top pipe quality control

1 工程概况

衢州市柯城区寺桥水库灌区主要依托寺桥水库作为主要水源,结合片区内小型水库作为补充水源,利用数字化手段通过管网进行灌溉水资源综合调配,在提高灌溉水利用系数的同时实现水资源调度的智能化,打造节水型智慧灌区。灌区设计灌溉面积 8.04 万亩,工程规模为中型,工程等别为III等。

本工程有不同地质不同长度的顶管,线路总长约 4km。顶管施工为本工程的技术难点重点,也是关键线路。

2 顶管工程前期施工

2.1 地质情况

首先详细了解顶管线路的地质情况。根据地勘报告,

建设单位提供的可靠依据,进行分析,研究地质情况。整个线路有穿山体的地质,穿越公路的地质,穿江河的地质。有地下燃气管道等。地质有基岩,泥土,有砂砾卵石层,山体可能还有溶洞等不可预见的复杂地质情况。

2.2 机械的选型

机械的选型至关重要。本工程多为风化岩基,最大抗压强度不大 100MPa 进行设备的选型。机型为:日立 ZX870LCH-5B 破岩钩机。将液压岩石犁碎钩的钎杆压在岩石上,并保持一定压力后反复开动犁钩,将岩石犁碎。风化岩基大于 100MMp 要从新考虑设备型号。

2.3 开挖与支护

工作井按照设计位置桩号从上到下,开挖设计高程超

过 5m 为深基坑，施工单位编制开挖方案，进行专家论证方可施工开挖。工作井为 C30 钢筋混凝土，待强度达到设计要求方可施工。

2.4 工作井的钢管防护栏

立杆、横杆的固定应符合相关标准要求；密闭式安全网挂置在钢管防护栏杆的内侧。

2.5 排水及沉淀控制设计

排水是为防止局部渗水影响坑内施工作业，开挖线路布置合理的排水沟，坑底设置集水井，形成排水系统。必须保证基坑开挖过程中及开挖至基坑底板后不得有积水现象。沉淀池坑内明排水、集水井内抽取的地下水经过二级沉淀池的过滤、沉淀（设置汽车式废水沉淀池运出施工现场）。

3 顶管工程顶进施工

3.1 施工工序

顶进工作流程如下：安放机头→安装承接口钢环→安装连接电缆、油管、进出泥水管路、注浆管路→伸出顶镐活塞杆→顶进→缩回顶镐活塞杆→拆除承接口钢环→拆除机头管内电缆、油管、进出泥水管路、注浆管路→安放钢筋砼管继续再顶^[2]。

3.2 施工测量

激光经纬仪发射激光束，将激光束发射到顶管机前面标靶上，显示出当前顶管机姿态。

3.3 顶管纠偏

顶管施工中，导向系统的核心是安装在工作井中的激光经纬仪，它发射的激光作为精确的基准点。随后，地面监控系统负责实时检测顶管机的运行姿态，并通过远程遥控系统进行精确的测量和纠偏操作。这一纠偏过程应当是一个持续的活动，贯穿于整个顶进施工的始终，旨在尽早发现并纠正偏位，以防止偏差进一步扩大。

在顶管机操作过程中，若遇到刀盘滚动偏差的问题，由于其独特的设计允许刀盘在两个方向上自由旋转，因此，通过反转刀盘的方向，可以迅速且有效地校正滚动偏差。这种设计不仅简化了操作流程，还显著提高了纠偏的效率。然而，当涉及到管道的横向或竖向偏差时，情况则有所不同。在这种情况下，必须依赖顶管机配备的纠偏油缸来进行精确调整。例如，如果机头出现下俯的现象，操作人员可以通过激活顶管机下方的两个纠偏油缸来实现纠正；同理，若机头表现出上仰的趋势，则应相应地激活顶管机上方的两个纠偏油缸。这种针对性的调整方法确保了管道铺设的精确性和稳定性，从而保障了整个工程的质量和安全性。同样地，对于左右偏差，也可以通过相应地伸出顶管机左侧或右侧的两个纠偏油缸来进行纠偏。

在实际操作中，一旦检测到较大的偏差，操作人员应立即分析其发展趋势，并采取分次逐步纠正的策略，以避免一次性过度调整可能带来的风险。此外，顶管顶进过程

中的偏差数据会实时显示在操作人员的显示器上，这使得操作人员能够根据电脑提供的数据及时调整纠偏措施，并确保所有操作都有详细的书面记录，以便于后续的检查和分析。

3.4 泥浆减阻

采用注浆技术，显著降低了管材与周围土壤之间的摩擦阻力，从而使顶管的推进距离增加 40%至 70%。依赖膨润土和水的混合物，同时辅以纯碱、纤维素 CMC 和缓凝剂等辅助材料，以达到最佳的润滑和减阻效果。

在制备泥浆浆液时，必须确保机械搅拌的均匀性，并将浆液储存在专门的储浆罐中。为了使膨润土颗粒充分吸水膨胀（吸水率在 2 小时内可达 430%），浆液需要在储浆罐中静置 3~4 小时后方可投入使用。注浆过程中的压力控制也是关键。注入管材与土壤之间的浆液压力应略高于地下水压力，通常设定在 0.02MPa~0.15MPa 之间，并随着注浆距离的增加而适当提高压力。

在实施注浆工艺时，首先，在工作井内安装止水墙洞口的止水圈，以防止浆液泄漏和地下水进入基坑。其次，在管材安装过程中，应在管节环间设置橡胶圈，并在接头后连续放置 2 至 3 节带孔管，然后间隔 3 节放置 1 节注浆孔管。此外，顶管注浆减阻的效果不仅取决于注浆质量，还与管道纠偏质量、土质特性以及注浆管的设计等因素密切相关，因此在施工过程中需要综合考虑这些因素。在注浆操作方面，首先需要计划好注浆量，泥浆的厚度应保持在管外径圆周 1 厘米左右，并根据实际情况按厚度的 1 至 2 倍进行考虑。注浆工作完成后，可以使用水泥与粉煤灰配比的浆液对触变泥浆进行置换，并在管线拆除后及时将注浆孔封严，以确保施工质量和安全。

3.5 顶管直接顶进的难点克服

在地下管道施工技术中，钢管直顶施工与混凝土顶管施工之间存在显著的技术差异。核心区别在于材料连接方式：钢管的接头采用焊接技术，形成刚性连接；而混凝土管的接头设计为柔性，允许一定程度的变形和调整。这种刚性与柔性的差异，赋予了钢管顶管施工独特的优势与挑战。如果能够在施工初期精确控制顶进方向，钢管顶管能够保持高度的方向一致性，从而确保整个顶进过程的顺利进行。这种一致性意味着一旦方向被正确设定，后续的顶进过程中管道不易发生大的偏差，从而提高了施工的精确度和效率。然而，这种刚性连接也带来了潜在的风险。如果顶进方向出现偏差，由于钢管的刚性特性，纠正这种偏差将变得非常困难。过度的纠正措施可能导致管道变形或接口脱开，严重时甚至可能导致整个管道报废。因此，施工过程中对方向控制的精确性要求极高。此外，钢管顶进的推力通常低于同口径的混凝土管。这主要归因于三个因素：首先，钢管与周围土壤的摩擦系数较小，减少了推进阻力；其次，钢管本身重量较轻，便于推动；最后，钢管

的直线性好,进一步降低了推进过程中的阻力。这些因素共同作用,使得钢管顶管在某些条件下成为一种更为高效和经济的选项。

为了尽量克服钢管顶进过程中的不利因素。第一,要把握好初始顶进的方向,顶进过程中通过操作台上的外表和激光监视仪,发觉偏差及时纠偏;其次,还要对洞口土壤进行注浆加固,防止掘进机出洞时洞口土壤塌方,而阻碍出洞成效。同时,假如是在长距离的钢管顶进中,为了使校正方向好一些,必须把机头后面三节管子的接口做成企口形柔性接口(即采纳3根与顶进钢管同径的2m长钢管,管前焊接已加工好的钢制插口,掘进机后面前2根管管尾焊接已加工好的钢制承口;掘进机后面第3根管管尾与顶进钢管焊接)。如此,在纠偏过程中,前三根管子会形成一个过渡的区域,从而会使整体性好的钢管有个较好的适应性。

顶时钢管的外防腐一样采纳环氧沥青涂料外防腐层构造,管口外防腐采纳冷缠或热缠防腐胶带进行防腐;在长距离砂砾土中顶进时,为防止防腐外表涂料因摩擦而遭到破坏,可采纳加大防腐层厚度或在钢管外用硅做外防腐。对需要管道内防腐的钢管,可视管内防腐的要求,采纳一般的涂刷工艺漆防腐或采纳PVC等作为内衬用来防腐。

管口焊接可采纳手工电弧焊进行焊接,或采纳氩弧焊打底,手工电弧焊进行堵充、罩面。管道焊接时,除必须保证焊缝焊接质量外,还必须保证管道的直顺、同轴。防止前后管子因焊接时不同轴而产生夹角,使顶进推力增大。同时,顶进管道在推力的作用下产生径向应力,而造成管口焊缝的破坏和因径向力的存在而增加了顶管显现偏差的因素。管道在进行焊接质量检验时,由于顶进钢管内钢制进排泥管道的存在,无法使用射线照相进行检验,可采纳超声波进行管口检验。

在钢管顶进时,为减少顶进管外壁与土层的摩擦力,降低顶进推力,减少地面沉降。可在掘进机的注浆口注入润滑材料。顶进所用钢管的壁厚除要考虑埋深、管径、腐蚀余量等因素外,还应考虑钢管所要承担的推力。

4 灌区配水工程顶管施工质控与安全管理要点及建议

4.1 安全管理要点及建议

施工前,对施工现场进行详细勘察,了解地质条件、地下管线分布等情况,制定详细的施工方案和安全技术措施。对施工人员进行安全教育和培训,确保他们了解施工中的安全风险和应对措施。确保顶管设备、辅助设备和安全设施完好有效,定期对设备进行维护和检查,及时发现并排除安全隐患。实时监控顶管推进过程中的地质变化、设备运行状态等。设置必要的安全监测点,穿公路的沉降监测、地下水位监测等。针对可能发生的紧急情况,定期组织应急演练,提高施工人员的应急处理能力。依据2024

年水利安全生产风险管控“六项机制”进行安全严格管控。制定有针对性的应急预案,发生事件后,迅速按照应急预案进行应急救援。

(1) 建立健全安全管理体系

明确项目负责人、安全管理人员、施工班组负责人以及每个施工人员的安全生产责任,确保每个层级都有明确的安全职责和任务,形成层层负责、人人有责的安全管理体系。制定详细的施工安全操作规程,包括顶管施工的各个环节,如设备操作、材料搬运、现场布置,制定应急预案和事故处理流程,确保在紧急情况下能够迅速有效地采取措施。定期进行安全检查,包括日常检查、周检、月检等,确保施工现场的安全状况始终处于监控之下,不定期进行专项安全检查,针对特定风险点或新出现的安全隐患进行深入检查。利用信息化手段,如安全管理软件、监控系统等,对施工现场的安全状况进行实时监控和数据分析,建立安全信息报告和反馈机制,确保安全信息的及时传递和处理。

(2) 强化安全教育培训

根据施工人员的不同岗位和职责,制定针对性的培训计划,包括新员工入职培训、定期复训、特殊工种专项培训等。结合理论教学和实践操作,采用讲座、演示、模拟演练、案例分析等多种培训形式。培训内容应紧密结合顶管施工的实际操作,包括安全操作规程、设备使用维护、应急处理措施,强调安全意识的重要性,让施工人员充分认识到安全事故的严重后果。在施工现场设置安全教育提示牌,定期进行现场安全宣讲,利用班前会、安全例会等时机,强调安全注意事项,分享安全经验。

(3) 安全文明施工

在工程项目启动之前,必须严格执行安全技术交底程序,确保安全生产责任制的全面建立和落实。

在进行顶管机及其重型设备的吊装拆除作业时,必须严格遵守安全操作规程。特别是在吊车接近工作井边坡行驶的情况下,应加强对地基稳定性的详细检查,以防止任何可能导致倾翻的事故发生。在顶进作业的实施过程中,施工人员必须佩戴安全带,洞口应由专人负责监控,确保安全。洞内照明应使用不超过12伏的低压灯具,而工作井和接收井内则应使用24伏的照明设备。每个作业班次都必须有合格的电工在场,确保电气安全。此外,应使用轴流式抽水泵在工作井的集水井内进行抽水,以保持井内无积水状态。在进行抽水作业时,施工作业人员应避免站立在积水区域内,并确保备有足够的水泵,以便在管内积水时能够迅速抽干。

在有限空间作业中,通风和有害气体检测是至关重要的。应利用鼓风机进行有效的通风,根据顶管线路的总长度计算所需的风量,确保空气能够顺畅地输送到管道内部,增强管内空气的流动和循环。工作挖掘面的工人应佩戴含

氧量探测器,并定期检查该区域的含氧量,确保其不低于18%。管道外部应配备专职监护人员,密切监控入管作业人员的状态。超过一定长度的有限空间作业,必须考虑采用有害气体的检测仪器,进行有害气体的监测,确保安全。

4.2 质控管理要点及建议

对施工图纸和技术文件进行详细审查,确保施工方案的合理性和可行性。实施工序质量控制,对每个施工环节进行严格监控,确保每道工序的质量,对顶管施工的关键技术参数进行实时监测,如顶进力、顶进速度、管道偏移。对完成的顶管进行质量验收,包括管道的直线度、接口的密封性、管道的支撑和固定,对施工记录和质量检测报告进行归档,作为工程质量追溯的依据。

(1) 加强现场施工质量监督

确定施工质量监督的具体目标,如确保管道安装精度、接口密封性、材料质量,依据相关规范和标准,制定明确的施工质量验收标准。从施工准备、材料进场、施工操作到竣工验收,对施工全过程进行监督,对关键工序和隐蔽工程进行重点监督,确保每个环节的质量,定期和不定期进行现场质量检查,及时发现和纠正质量问题。采用动态监督方式,对施工现场进行不间断地巡视和检查。

(2) 建立健全质量管理体系

设定具体、可衡量的质量目标,如施工质量合格率。设立专门的质量管理部门或指定质量管理负责人,明确其职责和权限,建立跨部门的质量管理团队,确保质量管理工作得到有效执行。

根据国家和行业的相关标准,制定详细的质量管理程序 and 操作规程,包括施工前的准备、施工过程中的控制、施工后的验收等各个环节。鼓励持续改进,建立质量问题反馈和改进机制,对质量问题进行根本原因分析,制定改进措施,并跟踪实施效果。

5 顶管机头预见不可研判的处理措施

5.1 顶管机头进洞下沉措施

机头进洞时,为了机头顶进安全,不下沉,应采取以下措施:由于洞口存在平段,洞内段距离较长,在洞口平段内安装延伸导轨直至洞口,使顶管机在洞内仍然有导轨支托;用拉杆将管节、顶管机拉紧,依靠后续管节配重防止顶管机下沉。顶管机和其后的第一至第三节管节用拉杆连在一起,形成一个整体,顶管机和管节连在一起后增加了稳定性;利用主千斤顶向上纠正。只利用下面2~4只主千斤顶顶进,可产生明显的向上推力,修正顶管机向下的趋势;顶管轴线放线是保证顶管轴线正确的关键,放线准备好就能保证顶管机顺利出洞,满足施工质量需求,因此在出洞前,必须做好测量放样工作及复核工作。

5.2 顶管出洞技术措施

顶管机距离接收井约20~30m处,需对地面控制网、井下控制点,顶管机的姿态进行全面的测量复核,确保顶管机以良好的姿态出洞。

5.3 洞口封堵

顶管机出洞后,应用环形钢板及时封堵顶管与穿墙洞的间隙,同时通过管道内注浆孔向外压水泥浆填充。

5.4 顶管机头进洞不同地质的措施

泥土顶进过程中,遇见孤石及飘石,应采取措施,及时研判,更换合适的机头刀盘;了解山体地质,万一有溶洞,及时更改线路,防止机头掉进溶洞,造成重大经济损失,影响工期。

5.5 检测及观测措施

周边已建道路和管线为重点监测对象,顶管前收集原始资料(影像资料),一旦发生位移和沉降,须立即查明原因并采取有效的加固措施。各方协调,保证施工过程中监测点不被破坏。如遇报警,应减慢施工进度或停止挖土,施工单位应会同设计单位一起进行分析,并考虑采取相应的控制位移及沉降的措施后方可施工。

6 结语

水利工程灌区配水工程顶管施工技术与工艺涉及多个关键环节。首先依据工程的不同顶管直径,管材的要求,地质情况,岩石的抗压强度,选择合适的机械设备,设备选择失误,岩石强度较高,会造成无法进行掘进,影响工期,浪费资金,设备合理的选型至关重要。

在施工过程中,顶管施工技术要求精确控制顶进方向和深度,施工中还需考虑水位、土层稳定性等因素,采取相应的防护措施。施工完成后,进行必要的质量检测 and 环境影响评估,确保工程质量和安全。本文就衢州市柯城区寺桥水库灌区主要依托寺桥水库灌区工程中的顶管项目进行分析,主要集中阐述了施工工艺与难点解决,在文中也提出了一些质量安全建议,以期能够为相关研究提供经验参照与借鉴。

[参考文献]

- [1]尹俊文,寇学文,姬咪,等.泥水平衡顶管在大型引调水工程的应用[J].东北水利水电,2024,42(8):53-72.
 - [2]王强,赵景平,牛晓明.城市排水系统建设的顶管施工技术研究[J].工程建设与设计,2024(14):206-208.
 - [3]冯兴帅,李根胜,侯艳洪.浅析顶管施工技术在农田水利工程中的应用[J].农村科学实验,2024(11):79-81.
- 作者简介:何军(1972—),男,浙江省水利水电建筑监理有限公司;何倩(1995—),女,浙江江能建设有限公司。