

# 顶管技术在水利输水工程中的应用分析

●肖光 王国栋



**[摘要]** 顶管技术在水利输水工程中的应用能够减少施工对环境的影响、提高工程的效率并保障施工安全。本文分析了该技术的应用,探讨了其工艺流程、技术优势及具体实践。该技术以不破坏地表的方式进行地下管道的铺设,减少了传统开挖施工方式带来的交通干扰、环境污染及土地占用等问题。在推进过程中,采用注浆减阻、精准的管道定位及贯通后的置换注浆等工艺,提高了管道稳定性与施工进度,减少了因土层不稳定或摩擦力过大而导致的施工难度。随着技术的不断发展与优化,顶管技术将在水利工程建设中扮演更加重要的角色,推动水利基础设施建设的高质量发展。

**[关键词]** 顶管技术;水利输水工程;应用分析

随着城市化进程的加速和环境保护意识的提升,传统的开挖施工方法已无法满足日益严格的施工要求。顶管技术作为非开挖施工技术,以其独特的优势逐渐成为重要的手段。鉴于此,本文将深入剖析顶管技术在水利输水工程中的应用。顶管技术,顾名思义,从地面下“顶”入地下,避免了传统开挖方法带来的大量土方开挖与环境破坏。在一些无法进行大规模开挖的区域,顶管技术能实现管道施工的“隐蔽化”与“绿色化”。在水利输水工程中,顶管技术不仅减少了对周围环境的影响,还提升了工程的施工效率与安全性。通过分析,以期工程实践提供有价值的参考与借鉴,推动其在水利工程中的进一步发展普及。

## Q 顶管技术综述

顶管技术近年来在水利输水工程中得到了广泛应用。与传统的开挖施工方式相比,顶管技术利用机械设备在地下进行管道铺设,有效避免了地面开挖带来的交通中断、环境污染及高昂的施工成本等诸多问题。施工过程中,顶管机运用顶推力将管道推进,并利用钻头或刀盘破碎土层,形成管道所需的空间。利用泥浆或水的循环冷却系统来减少摩擦力,保持作业面的稳定。顶管技术适用于跨越城市道路、铁路、高速公路及河流等地区,能高效、低干扰地完成管道的铺设,特别适合穿越地下管网密集、居民区或自然保护区等不便开挖的地段。该技术在较短的时间内完成施工,降低了工程的整体周期,提升了施工的效率。

## Q 顶管技术在水利输水工程中的优势剖析

### (一)减轻对周边生态的干扰与破坏

传统的开挖施工方式需要大面积开挖地面,破坏生态环境,对交通、基础设施及周围居民的生活造成严重影响。而顶管施工是利用地下机械设备推进管道,无需开挖大范围的地面,只需在起点与终点设置工作井,能有效减少对地面环境的扰动,保持生态平衡,避免土地的大规模破坏。在城市中进行水利输水工程时,交通会受到影响。穿越城市道路、桥梁或铁路等区域时,开挖施工会带来交通中断、噪音污染及尘土飞扬等问题。而顶管技术能在地下进行施工,无需大范围封堵交通,避免了对市民生活的影响,减少了施工过程中的交通拥堵与噪声污染。顶管技术通过精确的机械操作,使管道按设计路径推进,避免了传统开挖施工中易出现的误差或位置偏移,减少了土壤与地下水的二次污染。此外,采用泥浆或水循环系统来降温与润滑,能减少施工过程中对周围土壤与水源的污染,提高施工的安全性、稳定性。

### (二)加速水利输水工程进度

传统方法需要在管道敷设路径上大面积开挖沟槽,处理大量土方,且每次开挖后均要进行回填与压实,不仅繁琐,且耗时较长。顶管技术无需大范围的地面开挖,极大地减少了土方工程的量,避免了施工中的多次回填与处理。这不仅减少了土方工,缩短了施工的周期,提升了施工的效率。许多水利输水项目涉及到复杂的地质条件与环境限制,传统开挖施工会由于老旧管道、岩石等地下障碍物或软土、湿滑等地质条件而面临较大的施工难度与延误。顶管技术能利用不同型号的顶管机应对各种复杂的地下环境,避免了开挖过程中会遇到的诸多问题。通常情况下,顶管技

术能在较短时间内完成管道的敷设,减少了环境恢复时间,加速了工程进度。此外,顶管施工的精确性较高,减少了返工的可能性,保证了施工计划的顺利推进。相比于传统开挖施工,顶管施工在地下进行,能更好地规避暴雨、大风等不良天气对施工进度的影响,确保工程按期完成。

### (三)强化作业过程中的安全保障

传统开挖施工常要深挖沟槽,深度较大的开挖易引发塌方、泥石流等地质灾害,特别在复杂或不稳定的土层中,施工安全风险较高。顶管技术施工过程中无需大面积开挖,降低了发生坍塌与滑坡等安全事故的风险。顶管设备在地下作业时,地面不会受到较大影响,避免了对施工人员的威胁。开挖施工还会破坏原有的地下管网,易引发电力、通讯及水管等其他管线的损坏,甚至会引发爆炸或火灾等危险。顶管施工通过精确的设备控制,避开了地下的其他管线,减少了施工过程中的事故风险,确保在城市区域中不破坏其他基础设施的情况下顺利推进。传统开挖施工过程中,土层复杂、地面不平等,会使管道铺设不准确,产生严重的结构性安全隐患。顶管技术采用机械设备进行推进,能精确控制系统,使管道的铺设线路与深度符合设计的要求,降低了施工偏差造成的安全风险。此外,传统开挖施工要大量人员在现场进行土方作业与回填等,作业人员会接触危险环境。而顶管技术在地下进行工作,只要设置起始井与接收井,减少了现场人员的工作量与暴露时间,降低了人员受伤的可能性,提高了施工的安全性。

## Q 顶管技术在水利输水工程中的深度应用实践

### (一) 精准管道定位技术

在顶管机的前端安装激光发射器,激光束指引管道的推进方向,能与地面或设定的标志物形成对比,不断的调整管道的推进方向,使管道沿着预定路线精准推进。激光系统的高精度使管道的定位误差极小,保证了工程的准确性与可控性。安装在顶管机上的传感器与接收器实时的监测管道推进过程中的位置。传感器能感知顶管机相对于地面或地下预设位置的变化,并经无线通信技术传输至控制中心,使工程人员能实时的调整管道的位置,确保按设计路径推进。电子定位系统的精确度较高,适用于复杂地质条件下的管道铺设。顶管机还能配备陀螺仪与倾角仪等设备。陀螺仪测量管道的旋转角度,在水平方向与垂直方向上保持管道的精确定位。倾角仪则能监控管道的坡度,使管道在预定的坡度范围内推进,避免发生倾斜或偏移现象。与全球定位系统(GPS)或地面激光扫描仪相结合,提供了实时的空间位置数据,随时纠正顶管机的运行方向,保持管道与设计路线的高度一致。

### (二)工具管高效进出洞技术

顶管的进洞与出洞是指如何从起始井进入地下并最终到达接收井。起始井是用于安装顶管设备并开始施工的工作井。井内设备需精确布置,以确保顶管机的正确启动。起始井会依据管道的设计深度进行挖掘,要适应顶管机的大小,同时留出足够空间安装与调整设备。安装完成后,顶管机的前端会配备钻头或刀盘,将管道逐步推入地下。进洞过程中,顶管机会利用激光引导系统和电子定位设备等进行实时的定位,使管道按照设计路线精准推进。顶管机的推进常伴随着土层的破碎,采用泥浆或水循环系统来降低摩擦力并保持工作面的稳定。这不仅减少了顶管与土层的摩擦,提升了推进效率,还能防止土壤对管道造成的压力。

顶管出洞时,会通过接收井来完成。接收井常位于管道的末端,提供管道完成顶推后被接收井取出的空间。在到达接收井位置后,使用设备控制系统确认管道是否按计划完成了推进。接收井需要精确地对接管道,确保管道的连接位置与设计要求一致。精密的控制系统使管道在接收井处顺利取出,同时避免管道与设备间的误差。出洞后,施工人员还需要对管道进行检测,确保管道的密封性与质量符合设计要求。

### (三)顶进技术的科学应用

顶管技术在水利输水工程中的“顶进”过程,是指利用顶管机将管道从起始井推进至接收井的操作。起始井是一个用于安装顶管设备、设置顶管机及进行其他作业的工作空间。在井内,顶管位置与方向准确,顶管机的前端配有刀盘或钻头,利用旋转与推进的力量将地下土壤破碎并向后推移。起始井的深度与宽度要依据顶管机的规格及管道的设计要求来设定。同时,也会被逐步接入并与前进的刀盘或钻头相连接。为了减少摩擦力,顶管作业常采用泥浆或水循环系统。为了保证管道不偏离设计路线,顶管机会配备激光引导系统、电子定位设备等仪器。实时的反馈管道的位置,使顶管机按照预定的轨迹推进,譬如,激光引导系统利用激光束提供方向指引,电子定位设备则监控管道的实际位置,并调整推进方向,能精确的控制管道的推进路径,避免误差导致的施工偏差。施工过程中,顶管机的推进力要结合土壤类型、管道规格及推进距离等进行调节。过大会造成管道变形或损坏,不足有会导致推进不顺利。施工人员要定期的检查设备,地下的土层会会对管道造成不同程度的压力,顶管机的设计与施工方法要充分考虑这一点,使管道不受损害,并能顺利完成顶进。

### (四)注浆减阻技术的创新实践

注浆减阻能提高推进的速度,还能有效的保护管道与设备,延长顶管机的使用寿命。向土层中注入浆液,填充土壤孔隙,增加土层的稳定性,同时减少摩擦与阻力。首先依据地下土质的不同,选择不同类型的浆液,有水泥浆、化

学浆液及膨润土浆等。对于较松软的土层,使用膨润土浆,具有良好的润滑性与较高的稳定性,对于较硬的土层,水泥浆能提供更强的粘结性,有效的固定土壤。通常,水泥浆中水泥与水的比例为1:1.5~1:2,保证浆液的流动性,在推进过程中有效的填充土壤孔隙,减少摩擦力。膨润土浆的配比则要结合不同土层的吸水性而调整,膨润土与水的比例为1:10~1:15。结合实际情况,注浆的量控制在每米推进距离注入20~30升浆液。过程中,浆液的注入量要依据顶管机的推进速度与土层的实际情况动态调整。摩擦系数是决定顶管机推进阻力的重要指标,通常顶管与土壤的摩擦系数能达到0.4~0.6,但注浆减阻后,摩擦系数能降低至0.2~0.3,甚至更低。有效的减少推进过程中所需的推力,从力学角度来看,顶管机的推进力,为摩擦系数 $\cdot P$ 是管道与土层间的法向力。在注浆减阻后,降低,所需的推进力 $F$ 也随之减少。使顶管施工的难度降低。

#### (五)钢管焊接与探伤工艺的粹

钢管的焊接与探伤关系到管道的密封性、耐用性与安全性。顶管施工中的钢管焊接主要采用的是电弧焊或TIG焊接。焊接前先要对钢管进行清理,去除表面油污、锈蚀及污垢,使用焊接机对钢管两端进行对接,并加热将金属融合,形成牢固的接头。焊接工艺中,过高的焊接温度会使钢管变形,过低又易导致焊缝不饱满或缺陷。采用分段焊接的方式,将钢管分段进行焊接后再进行整体拼接。这种方法不仅有利于控制焊接温度,还能减少焊接应力,防止温度过高而产生变形。

焊接完成后,钢管的探伤能检测焊缝与钢管本体是否存在裂纹、气孔等缺陷。超声波探伤发射高频声波,检测焊缝内部是否有缺陷,当声波遇到障碍物时会反射回来,参考反射波的强弱与时间差,判断出缺陷的位置与大小。对管道的厚度适应性强,能精确定位焊缝内的缺陷,如气孔、夹渣、裂纹等,无需拆卸管道,操作方便。X射线探伤射线穿透钢管及焊缝,形成影像。依据影像中的不规则阴影,判断出焊缝是否存在缺陷。能发现细小的缺陷,适合高标准的水利输水工程。磁粉探伤通过在钢管表面施加磁场,若存在裂纹或缺陷,会形成漏磁场,吸附磁粉而暴露缺陷。适用于表面缺陷的检测,但无法检测到管道内部的问题。

#### (六)顶管贯通后的置换注浆策略

贯通后的置换注浆是保证管道稳固、减小沉降并提高管道耐久性的重要工艺。顶管贯通后,管道与周围土层间的空隙要置换注浆进行填充,以提升管道的稳定性,避免由于周围土壤的松动而导致管道变形或出现裂缝。注浆液由水泥浆、膨润土浆及化学浆液等组成,对于粘土或砂土较多的地质环境,使用水泥浆或膨润土浆,增强土层的粘结力,防止土壤松动与沉降。常见配比为水泥与水的比例1:1.5~1:2,膨润土浆依据土壤的吸水性,膨润土与水的比例控制在1:10~1:15。在管道贯通后的前端与后端分别设置注浆口。注浆液从后端被注入,填充管道周围的空隙,利用压力将浆液推向土层的各个空隙与裂缝,充分填充并加固周围土壤。通常每推进一段距离,会进行一次注浆,确保浆液充分渗透土层,使管道与周围土层稳固的结合。

#### Q 结束语

对顶管技术在水利输水工程中的应用分析,不难看出,在水利输水工程中,顶管技术通过精准的管道定位、贯通后的置换注浆及顶管进出洞等工艺,在复杂地质环境中仍能高效推进。随着技术的不断进步与工艺的持续优化,顶管技术在水利输水工程建设中,将发挥更重要的作用,值得进一步关注与研究。

#### 参考文献

- [1]刘雪山.软基处理施工技术在水利工程施工中的应用[J].建筑技术开发,2021,48(07):151-152.
- [2]冯彬.高边坡加固技术在水利水电工程施工中的应用探讨[J].中国设备工程,2021(04):207-208.
- [3]陶玮,丁国莹,李长斌.大口径顶管技术在水利工程中的应用与设计[J].价值工程,2014,33(23):122-123.

#### 作者简介:

肖光(1991—),男,汉族,山东潍坊人,本科,工程师,山东水发黄水东调工程有限公司,研究方向:水利工程。

王国栋(1991—),男,汉族,山东潍坊人,本科,工程师,山东水发黄水东调工程有限公司,研究方向:水利工程。