

复杂地质状况下复合顶管施工工法

郑 潇

沧州市市政工程股份有限公司 河北 沧州 061000

摘 要：随着城市地下管网建设需求攀升，在淤泥、流砂与砂卵（砾）石复合地层中开展顶管施工面临巨大挑战。传统单一施工工艺难以满足此类复杂地质条件下的施工要求，且存在造价高、风险大等问题。本工法通过创新融合人工与机械顶管技术，改进施工设备，研发出兼具双重施工功能的复合顶管工艺。其核心原理是利用密封仓与工作仓的协同运作，根据不同地质条件灵活切换施工模式。该工法具有工艺适应性强、操作简便、质量安全可靠、经济环保等显著优势，适用于多种城市地下管道工程，尤其在对环境影响控制要求高的场景中表现突出。经广州市机场三期迁改工程等项目实践验证，成功攻克复杂地质难题，有效降低施工成本与安全风险，为同类工程施工提供了极具价值的借鉴。

关键词：复杂地质；复合顶管施工工法；人工机械融合；安全经济；地下管道工程

1 前言

随着城市建设的飞速发展，人们生活水平的日益提高，城市供排水和供暖供热管道急需铺设。但是，多数城市地段不易或不能开槽施工，管道必须采用顶管施工工艺铺设。正常人工或机械顶管施工能满足地质状况较好的地段^[1]。但对于同时含有淤泥、流砂和砂卵（砾）石地层则不能正常顶进，国内也鲜有类似施工工艺研究^[2]。如何能在保证安全质量的情况下，以简便的施工工艺、较低的工程造价解决上述问题是亟待解决的一个课题。我们通过对广州市机场三期迁改工程的施工，对其进行了积极探索研究，并经后续工程的一系列施工应用、改进和完善，最终形成本工法。本工法的关键技术---同时含有淤泥、流砂和砂卵（砾）石地层中的顶管施工。

2 工法特点

2.1 工艺使用范围较广，适应能力较强。能满足不同地质状况下的复合顶进。

2.2 机具改进简单，操作灵活方便。可进行人工和机械顶进的交替操作。

2.3 工艺简单，流程明确。

2.4 工程质量可靠，随时掌握顶进断面的地质状况，采用不同的顶进工艺和纠偏方法。并根据掌握的地质状况决定后期注浆的方法。

2.5 施工安全，减少了正常施工工艺中的安全隐患。

2.6 经济适用，造价低廉，经济效益良好。

2.7 节能环保，降低噪音。

3 适用范围

本工法适用于同时含有淤泥、流砂和砂卵（砾）石地层的顶管工程。具体而言，在淤泥地层中，由于土体

强度低、压缩性高，常规顶管易出现机头下沉、地面沉降过大等问题，本工法通过冲刷成浆、泥水输送的方式，有效控制土体扰动；面对流砂地层，其颗粒松散、易流动的特性会引发塌方风险，工法的密封仓与泥水系统可形成压力平衡，防止流砂涌入工作坑。对于砂卵（砾）石地层，当卵（砾）石粒径差异较大时，机械顶管易卡顿、人工顶管效率低，而本工法能灵活切换人工与机械操作模式，大粒径颗粒可人工取出，小颗粒通过机械冲刷排出。

4 工艺原理

根据成熟工艺，机械顶管工艺完全适用于淤泥、流砂地层顶进。人工顶管工艺能在含砂卵（砾）石颗粒直径较大地层钻进。但是，用单一工艺不能钻进同时含有淤泥、流砂和砂卵（砾）石的地层。反复分段制作工作井会增加造价，且受地域限制较大，影响工程进度，增加施工危险性。本工艺核心就是：通过改进施工方法，使其同时具备人工顶管和机械顶管施工功能，且造价较低，质量可靠，安全风险较小。

5 工艺流程及操作要点

5.1 工艺流程

5.2 操作要点

5.2.1 施工准备

（1）编制、审核、审批方案，对顶进系统进行设计计算和机具选择；

（2）确定施工组织机构及人员、机具配置；

（3）调配施工设备机具，购进机具配件；

（4）制订相应的质量安全保证措施；

（5）布置施工现场的作业环境，安排泥浆池和清水

池的循环路线;

(6) 制订合理的降水方案, 做好降水工作并经验收后能满足施工需要。

5.2.2 设备改进制作:

(1) 密封仓

①切削刀头: 在工具管端部内侧用钢板制作成刀状切削面, 管道顶进时将淤泥流砂或卵(砾)石切削至密封仓, 减小顶进阻力。

②冲刷喷嘴: 沿切削刀头后侧环向布置供水管, 其上下对称开口安装四个冲刷喷头, 喷出水压大于0.6mpa, 用于淤泥、流砂地层中把淤泥流砂冲刷成泥浆。

③密封挡板: 在离工具管前端1.2米处安置内径为35cm环形挡板, 用螺栓固定于工具管上。

④法兰门: 在挡板的一侧用铰链链接一40cm*40cm的法兰门。

(2) 工作仓

①纠偏油缸: 在工具管后端对称安装10个纠偏油缸, 用于顶进纠偏。

②供水管: 工作仓底部安装10cm直径供水管, 与密封仓环向供水管连接。

③排泥管: 与供水管同步安装10cm直径排泥管, 与外部泥浆泵连接, 将冲刷成的泥浆抽出工作面至泥浆池。

5.2.3 系统安装验收

(1) 主顶系统: 由两只200T的油缸、油缸支架及主顶液压控制台组成, 总顶力400T, 行程1.5m, 油压32MPa, 无极调速并显示即时顶速。启动和停止由电气系统联动控制。

(2) 泥水系统: 以一定水压, 流量的水流稀释、搅拌泥浆池中的泥浆, 并将泥浆带至地面沉淀池, 该泥水流的水压在2-25m范围内可以调节, 管道、阀门及泵均为Dg100mm系统。

(3) 电气控制系统: 提供全部设备的需求能源, 定期监视设备的顶速、压力、流量等工况。保证与顶管机头操作员沟通。

(4) 触变泥浆系统: 压浆泵采用无压力脉动泵, 压力0-2.5MPa无级变速调整压力、流量、阀门、管路均为Dg50mm系统。

(5) 导轨安装

两条导轨安装要顺直、平行、等高, 其纵坡应与管道设计坡度一致。并要安装牢固, 符合稳定性的要求。导轨安装后的轴线误差不大于3mm; 顶面高程不大于0~3mm; 两轨内距偏差不大于±2mm。

(6) 后靠背的安装: 后背墙采用方木、型钢或钢板

等组装, 组装的后背墙有足够的强度和刚度, 要能满足在最大顶力时不变形和损坏; 装配式后背墙的安装垂直度允许偏差不得大于0.1%H (H为后背墙的高度), 水平扭角度不得大于0.1%L (L为装配式后背墙的长度)。

(7) 千斤顶的安装: 要取偶数固定在支架上, 并与管道中心的垂线对称, 其合力的作用点要在管道中心上, 根据顶进参数计算来确定千斤顶的标高, 一般以千斤顶的中心标高位于管道直径下口的四分之一处为好。

千斤顶规格要相同, 规格不同时, 其行程要同步, 布置要对称。千斤顶的油路要并联, 每台千斤顶要有独立的进油、退油的控制系统, 以便操作^[3]。

(8) 油泵的安装: 应设在千斤顶附近, 油管要顺直、转角少。油泵与千斤顶要匹配, 并要有备用油泵, 油泵安装完毕应进行试运行。

(9) 顶铁: 顶铁要有足够的刚度, 顶铁应采用铸钢整体浇筑或采用型钢焊接成型。焊接成型时, 焊缝不得高于表面, 且不得脱焊。顶铁的相临面应互相垂直; 同种规格的顶铁尺寸应相同。

顶铁安装平稳, 安装后的顶铁轴线应与管道轴线平行、对称, 顶铁与导轨和顶铁之间的接触面不得有泥土和油污; 顶铁与管口之间应用木板等缓冲材料衬垫, 当顶力接近管节材料的允许抗压强度时, 管端应增加U形或环形顶铁;

5.2.4 工作原理

(1) 若管道铺设于一般土层中, 将冲刷喷嘴、密封挡板、法兰门和供水管、排泥管拆除。当做一般人工顶管机正常顶进施工。

(2) 若管道铺设于淤泥流砂和含有小直径的卵(砾)石层中, 因工作面不稳, 易造成安全事故, 不能采用人工掘进式顶进。采用岩石掘进机械可以顶进, 但是工程造价较高。此时, 将冲刷喷嘴、密封挡板、法兰门和供水管、排泥管安装后, 形成上图所示设备, 即可顶进施工。

(3) 若管道铺设于淤泥流砂和含有较大直径的卵(砾)石层中, 泥水平衡式机械顶管前端切削绞盘不能将大卵(砾)石破碎, 易损坏切削刀头, 无法顶进。此时, 按照上述第2条顶进施工, 遇到顶进压力急增时, 打开法兰门, 人工将较大粒径卵(砾)石取出。然后封闭法兰门可继续施工^[4]。

6 设备和人员配置

6.1 人员配置

每台设备配十二名工作人员, 分三班连续施工。其中: 1、工作仓一名, 负责查看土质变化并及时清除大粒

径卵(砾)石;配合测量人员测量轴线并及时纠偏。2、工作坑内一名,负责安管、顶进操作、排水和大粒径卵(砾)石装车以备外运。3、工作坑井口一名,负责操作行吊下管、大粒径卵(砾)石吊出。4、地上一名,配合井口工作人员操作。

6.2 设备配置

设备配置涵盖顶管施工全流程所需机具。主顶系统采用2台200T油缸搭配专用支架,液压控制台型号为DTZ-32,实现400T总顶力、1.5m行程无极调速;泥水系统配备DG100mm管道、ISG100-160型泥浆泵,水压调节范围2-25m;电气控制系统选用PLC智能控制柜,实时监测顶速、压力等参数;触变泥浆系统配置UB-3型压浆泵,压力0-2.5MPa可调;起重设备采用16t履带式起重机,配合3t电动葫芦完成管材吊装;测量设备配备全站仪、水准仪,精度达 $\pm 2\text{mm}$,保障施工精准度。

7 质量保证措施

在施工全程严格落实质量管控,设立专职质检机构,对工程质量实施全方位监督与检查,确保各环节符合标准要求。下管前,仔细检查管道外观质量,确保无裂缝、破损等问题,且在管道敷设和接口施工时,严格遵循相关规范与标准操作。施工过程中,秉持勤测勤纠偏原则,按照技术交底要求规范测量,将每次纠偏最大偏差控制在2cm以内,并详细记录测量数据,以此保障管道轴线、标高的偏差处于规范允许范围。同时,建立严格的检查复核制度,安排专业技术人员每日早、中、晚对管道内底高程和轴线进行复测,一旦发现问题,立即采取措施纠正,通过多道质量防线,切实保障施工质量。

8 安全措施

加强安全宣传教育,坚持班前、班中、班后讲安全制度,强化安全认识,确保安全规范操作。临时用电要由专职电工负责,遵循一机一闸,一厢一漏和三相五线制原则,确保用电安全。最好使用有防电能力的安全帽、护眼罩、绝缘材料特制的耐20kv(最小)电力工人靴和手套、以及由工作条件要求的其它防护设备。不要带首饰和穿宽松的衣服,以免被机器卷入或牵绊。建立

健全安全生产管理网络,设立专职安全员,经常检查、发现不安全地方立即整顿、改善。搞好安全防护工作,工作坑边缘要设置护栏,禁止行人围观,实行封闭施工,夜间要挂红色警示标志。尤其是吊车下管时,要有专人(起重工)负责指挥。起吊用绳索要定期检验,如有断股,脱丝的应当弃置不用。各种机械操作必须由持证人员专职操作,并严格遵守安全操作规程,定期维护保养检修,确保运转正常良好。

9 工程实例

广州市机场三期迁改工程顶管长度1708米,顶管管径,内径3.5米,外径4.14米,于2022年9月22日开工,2023年6月17日竣工。需铺设的管道位于流砂层、大粒径卵(砾)石层和杂填土层(含建筑垃圾及块石)中。采用DN3500岩石泥水平衡顶管机进行施工。经采用上述设备和工艺后,按质按期完成施工任务,无任何安全质量事故发生。

综述

在顶管施工中,多数管道不是铺设于单一地质状况的地层中。采用任何单一施工设备都无法解决复杂地质中的顶进问题,都会造成工程造价升高,安全与质量事故风险增大。此工法中的设备制作和施工工艺是实际施工中根据现场实际情况确定的一项专项施工方法,能解决现实问题。并在多个工程中成功应用。造价较低,安全质量风险较小,管道闭水试验全部合格,施工效果较为理想。是较为实用的一项工法。

参考文献

- [1]钱亦媛,徐建,周联英,等.复杂地质市域电力管廊隧道顶管法机械超前清障技术[J].浙江建筑,2025,42(02):41-44.
- [2]甄亮.复杂地质条件下长距离钢顶管重启顶进脱困技术与应用[J].中国市政工程,2025,(02):109-112+151.
- [3]潘颖慧.复杂地质条件下长距离顶管技术在市政排水工程中的应用[J].工程技术研究,2025,10(07):99-101.
- [4]李航.复杂地质大直径输水管道顶管施工技术研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(01):130-132.