

长距离曲线顶管工程中的大口径水管施工质量控制与安全风险评估

黄晓庆

上海市嘉定区水务工程安全质量监督管理站 上海 201800

摘要：本文聚焦长距离曲线顶管工程中的大口径排水管施工，以上海市嘉定区某排水主管新建工程为例，从施工准备、顶管设备安装调试、管道顶进、管节制作安装等方面论述施工质量控制要点。同时，识别地质环境、施工技术、设备、周边环境、人员与管理等安全风险，构建风险评估指标体系，介绍风险识别分析方法与等级划分标准，为保障施工质量和安全提供参考。

关键词：长距离曲线顶管；大口径排水管；施工质量控制；安全风险评估

1 长距离曲线顶管工程中大口径排水管施工概述

1.1 项目概况

本项目为嘉定区某初期雨水控污调蓄池的进水管配套工程，初期雨水控污调蓄池工程位于上海市嘉定

区，新建全地下式初期雨水控污调蓄池一座，同步建设DN1500进水管222m(采用顶管工艺)。其中穿越虬江段148m为曲线顶进，曲率半径R270。



初期雨水控污调蓄池顶管工程平面位置示意图

1.2 长距离曲线顶管施工原理

长距离曲线顶管施工是一种非开挖施工技术，主要应用于地下管道铺设，尤其适用于穿越城市道路、铁路、河流等障碍物的情况。利用主顶油缸及管道间中继间的推力，将工具管或掘进机从工作井内穿过土层一直推进到接收井内吊起。同时，将紧跟在工具管或掘进机后的管道埋设在两井之间，实现非开挖铺设地下管道。在曲线顶管施工中，通过调整顶进方向和角度，使管道按照预定的曲线轨迹前进，以满足复杂地形和地下管线的布局要求。

1.3 大口径排水管的特点及对施工的要求

大口径排水管具有管径大、流量大、输送能力强等特点，常用于城市排水系统、污水处理厂进水管等大型排水工程。由于其管径较大，对施工质量和安全提出了更高的要求。在施工过程中，需要保证管道的强度和密封性，防止出现渗漏和破裂等问题；要确保管道的坡度和流向符合设计要求，以保证排水顺畅。此外，大口径排水管的重量较大，对顶管设备的性能和稳定性也有较高的要求^[1]。

1.4 长距离曲线顶管工程施工流程

长距离曲线顶管工程施工流程主要包括工作井和接收井的施工、顶管设备安装与调试、管道顶进、管节制作与安装、检查井施工等环节。本工程参数如下：

参数项	数值
顶管类型	曲线顶管
曲率半径 (m)	270
顶管长度 (m)	148
最大埋深 (m)	11.04
最小埋深 (m)	8.6
穿行土层	砂质粉土

在工作井和接收井施工完成后，进行顶管设备的安装与调试，确保设备正常运行。然后进行管道顶进，根据设计曲线轨迹调整顶进方向和角度。在顶进过程中，同时进行管节的制作与安装，保证管节之间的连接质量。最后进行检查井施工，完成整个排水管道系统的建设。

2 大口径排水管施工质量控制要点

2.1 施工准备阶段的质量控制

施工准备阶段的质量控制是保障工程质量的关键。

针对本工程,需委托专业单位对砂质粉土进行详细地质勘察,该土层天然含水量28%,孔隙比0.76,内摩擦角 22° ,黏聚力8kPa,渗透系数较高,易发生管涌,需制定专项应对措施。施工单位应组织技术人员仔细会审设计图纸,明确设计意图、工程特点及技术要求,及时与设计单位沟通,形成书面记录。技术交底需层层落实,确保施工人员熟悉施工工艺、质量标准及安全注意事项。施工方案应结合地质条件、管道规格及施工环境等实际情况编制,明确施工步骤、质量控制、安全保障及进度计划,经监理单位和建设单位审批后实施,重大变更需重新审批。管材需查验出厂合格证、性能检测报告,并抽样检验外观、尺寸、强度等,确保符合设计要求。顶进设备、测量仪器、注浆设备等进场时需验收性能参数、运行状况,必要时试运行,确保满足施工需求。

2.2 顶管设备安装与调试的质量控制

顶管设备安装与调试的质量直接影响管道顶进的精度和安全性。为控制顶管施工过程中的地面沉降,减小顶管施工对上部土体带来的扰动影响,本工程选用泥水平衡顶管机。导轨安装精度控制是关键,本工程基坑导轨由型钢和钢板焊接而成,在工作井底板基础上应事先预埋钢板,预埋钢板上的锚固钢筋要焊牢并有足够的锚固强度,导轨安放后,还应在二侧用型钢支撑好,必要时再浇筑混凝土,确保导轨在受撞击的条件下不走动,不变形。后背墙是承受顶进反力的重要结构,需具有足够的强度和稳定性。钢后靠安装时与顶进轴线保持垂直,同时确保整体接触。本工程的承压壁设计在内衬混凝土上,后靠钢板用 $\delta=20$ 空腹钢板,在钢板和混凝土平面之间浇筑C25混凝土电充密实,承压壁的面积 $H \times B 2.0 \times 3.0\text{m}$ 。对液压系统,需检查其压力、流量是否正常,各阀门的动作是否灵活可靠,有无泄漏现象。对顶进设备的同步性进行调试,确保4个千斤顶能够协同工作,避免因顶进速度不一致导致管道偏移。

2.3 管道顶进过程中的质量控制

管道顶进是施工质量控制的核心,顶进轴线控制尤为关键。需用高精度全站仪、水准仪等,每顶进50cm测一次管道轴线和高程。本工程曲线段轴线横向、竖向误差小于100mm,超差应及时纠偏,防管道损坏或土体扰动。顶力需合理控制,过大可能损管节、变形后背墙或挤压土体,不足则影响进度。本工程砂质粉土层顶力控制在1800-2200kN,液压系统实时监控调整。管节接口密封材料要具弹性和密封性,安装准确,螺栓连接拧紧力矩均匀,定期检查防渗漏;注浆材料基于上海地区多个大口径长距离顶管工程中减阻泥浆的研究及运用,采用膨润土、CMC、纯

碱、添加剂(940:15:40:5)。通过顶管机同步注浆和管段补浆两种方式进行减阻。考虑管道直径较大,拟每环4个压浆孔,90度间隔布置。通过均匀连续注浆,充填空隙。监测地面沉降(预警30mm),判断注浆效果^[2]。在进入穿越段前30m,顶进测量的频率提高到1次/0.3m,并每顶进10m就需进行一次顶进轴线人工复核,确保顶管机头在进入穿越段之前处于准确的姿态。

2.4 管节制作与安装质量控制

大口径排水管道管节的制作质量要求严格,管节的尺寸精度应符合设计标准。管节的强度和抗渗性是重要指标,需进行抽样检测,确保其能够承受施工过程中的顶力和运行过程中的水压。运输过程中,应采取有效的固定措施,避免管节碰撞、滚动。管节存放场地应平整坚实,底层管节应垫稳垫实,多层存放时堆放高度不超过3层,避免管节变形,同步做好防雨、防潮措施。在管节安装前,需清理管节接口处的杂物。安装时,起重设备将管节平稳吊起,缓慢移动至已顶进管节的前端,使管节的中心线与已顶进管道的中心线一致。对接过程中,应避免强行挤压,防止接口密封材料损坏。对接完成后,及时进行接口连接和固定,确保管节连接紧密、平顺。

3 长距离曲线顶管工程中的安全风险识别

3.1 地质环境风险

地质环境风险是长距离曲线顶管工程中常见的风险类型,复杂地质条件带来的风险较大,本工程建设场地浅层均匀分布有厚层软黏性土,局部夹薄层粉土,土质较均匀,具有孔隙比大、含水量高、强度低、压缩性高、回弹变形大等不良特性,同时具有蠕变性和流变性等特点。本工程基坑最大开挖深度约15.60m,顶管深度达到14m,基坑开挖揭露至该层时,由于其灵敏度高,开挖受扰时,强度会降低,易产生失稳,需做好相应的支护措施,同时由于开挖卸荷,坑底以下会产生一定的回弹变形,导致坑底隆起,设计、施工时应予以注意,必要时对基坑底进行加固处理。同时基坑两侧不宜大面积堆载,以免影响基础的稳定。

3.2 施工技术风险

施工技术风险贯穿于整个施工过程。顶管轴线偏差过大风险是常见的技术风险,若轴线偏差超过允许范围,不仅会影响管道的正常运行,还可能导致管道与周边地下管线、建筑物发生碰撞,造成损坏。轴线偏差过大通常是由于测量误差、设备安装不当、纠偏不及时等原因引起的;顶力不足会使管道无法按计划顶进,延误工期;顶力过大则可能导致管节破裂、后背墙损坏,甚至引发周围土体的过度变形,影响周边环境安全;管节接口渗漏

风险可能引发周边环境问题,渗漏的污水可能会污染地下水,同时水的渗透会导致管周土体流失,引起地面沉降,影响周边建筑物和地下管线的安全;注浆量不足或注浆压力过小,无法有效填充管道与土体之间的空隙,会导致地面沉降;注浆量过大或注浆压力过高,则可能引起地面隆起,同样会对周边环境造成影响^[3]。

3.3 设备风险

设备风险对施工安全和进度影响较大,顶进设备故障风险,如千斤顶失灵、液压系统故障等,可能导致顶进工作中断,若在顶进过程中发生故障,还可能造成管道卡住、轴线偏移等问题。测量设备精度不足或故障会导致施工偏差风险,测量数据不准确会使管道顶进轴线偏离设计要求,影响工程质量,甚至需要返工,增加施工成本。辅助设备(如注浆泵、起重机等)的安全风险也不容忽视。注浆泵故障可能导致注浆工作中断,影响地面沉降控制;起重机在吊装管节过程中,若发生倾覆、钢丝绳断裂等事故,会造成人员伤亡和设备损坏。

3.4 周边环境风险

周边环境风险是长距离曲线顶管工程需要重点关注的内容,对周边建筑物、构筑物的影响较大,施工过程中产生的地面沉降可能导致建筑物、构筑物出现裂缝、倾斜等问题,严重时甚至会危及结构安全。对地下管线的影响不容忽视,顶进过程中土体的扰动可能导致地下管线发生位移、破裂等情况,影响管线的正常运行,如供水管线破裂会导致停水,燃气管线破裂可能引发爆炸等安全事故;对周边道路、交通的影响也较为明显,地面沉降可能导致路面塌陷、开裂,影响道路的通行能力和交通安全。施工期间的设备运输、材料堆放等也可能占用道路资源,造成交通拥堵。

3.5 人员与管理风险

施工人员操作不当引发的安全事故风险较高,如未按操作规程进行设备操作、未正确佩戴安全防护用品等,可能导致机械伤害、高处坠落、触电等事故;安全管理制度不完善、责任不明确会导致管理混乱,无法有效落实安全措施,增加安全事故发生的概率。如安全检查不到位、隐患整改不及时等;应急处置能力不足带来的风险不容忽视,当发生突发事件,如管涌、突水、设备故障等,若缺乏有效的应急处置预案和措施,会导致事故扩大,造成更大的人员伤亡和财产损失。

4 大口径排水管施工安全风险评估方法

4.1 风险评估指标体系的构建

构建大口径排水管施工安全风险评估指标体系是进行风险评估的基础。指标体系应包括地质环境、施工技

术、设备、周边环境、人员与管理等方面的指标。例如,地质环境方面可选取土质类型、地下水位等指标;施工技术方面可选取顶进方向偏差、顶力控制等指标;设备方面可选取设备故障率、设备性能稳定性等指标;周边环境方面可选取地下管线密度、建筑物距离等指标;人员与管理方面可选取人员操作规范程度、安全管理制度完善程度等指标。

4.2 风险识别与分析方法

4.2.1 专家调查法

邀请相关领域的专家,通过问卷调查、访谈等方式,对长距离曲线顶管工程中大口徑排水管施工的安全风险进行识别和分析。专家凭借其丰富的经验和专业知识,能够全面、准确地识别出潜在的安全风险^[4]。

4.2.2 故障树分析法

以顶管施工过程中可能发生的安全事故为顶事件,通过分析导致事故发生的各种因素及其逻辑关系,构建故障树。然后对故障树进行定性分析和定量分析,找出事故发生的主要原因和概率,为制定风险应对措施提供依据。

4.3 风险等级划分标准

根据风险评估结果,将大口径排水管施工安全风险划分为不同的等级,如低风险、中风险、高风险和极高风险。可以设定相应的风险等级划分标准,例如根据风险发生的可能性和后果严重程度进行综合评估,将风险发生可能性分为极不可能、不可能、可能、很可能和极可能五个等级,后果严重程度分为轻微、一般、严重、很严重和极其严重五个等级,然后通过矩阵分析的方法确定风险等级。

结束语:长距离曲线顶管工程中大口徑排水管施工,质量控制与安全风险评估至关重要。施工涉及环节众多,每一环节的质量把控都关乎整体工程质量,而全面识别并有效评估各类安全风险,是保障施工安全的前提。通过构建科学的风险评估体系,采取针对性措施,可降低风险发生概率与影响程度。未来需持续探索创新,不断提升施工水平,确保此类工程安全、优质推进。

参考文献

- [1]康文庆,郭晓光.市政给排水施工存在的问题及质量控制分析[J].工程技术研究,2022,7(19):126-128.
- [2]刘嘉靖.顶管技术在市政给排水工程施工中的运用研究[J].四川建材,2022,48(10):106-107.
- [3]劳维挺.市政给排水工程中的长距离顶管施工技术的应用分析[J].工程与建设,2022,36(05):1424-1426+1467.
- [4]崔光强.长距离顶管施工工艺在市政给排水工程项目中的应用[J].工程技术研究,2021,6(20):230-232.