跨河水利管道定向钻穿越施工风险控制

宫庆丰　刘　旋
南水北调中线实业发展有限公司　北京　100071

摘　要：本文聚焦跨河水利管道定向钻穿越施工风险控制。先阐述定向钻穿越原理、设备与工艺流程，接着从地质条件、钻进过程、管道回拖、环境与安全等方面识别风险，如地层不均、钻孔偏斜、管道损坏等。针对各类风险提出控制措施，包括提前勘察地质、规范设备操作、做好回拖准备、加强环境与安全管理等，以保障施工安全、质量，实现环保与安全双赢。

关键词：定向钻穿越；跨河管道；风险控制

引言：在水利工程建设中，跨河管道铺设是关键环节。传统开挖施工对河流生态、航运及周边建筑影响大，而定向钻穿越技术作为非开挖施工方法，凭借精准控制钻孔方向、减少环境扰动等优势，成为跨河管道铺设的优选。然而，该施工过程面临诸多风险，若控制不当将影响工程安全与质量。因此，研究跨河水利管道定向钻穿越施工风险控制具有重要的现实意义。

1 水利管道定向钻穿越施工原理与工艺流程

1.1 定向钻穿越的基本原理

水利管道定向钻穿越是一种非开挖施工技术，核心原理是利用定向钻机的导向系统，控制钻杆按预设轨迹钻进，形成与设计轴线一致的导向孔，再通过扩孔器逐步扩大钻孔直径，使其满足水利管道铺设要求，最后将预制好的水利管道同步或分段回拖至扩孔后的孔道内，完成管道穿越施工。该技术无需开挖河道、破坏两岸地貌，能有效规避传统开挖施工对河流生态、航运及周边建筑物的影响，尤其适用于跨河、跨公路、跨铁路等复杂地形的水利管道铺设。其核心优势在于精准控制钻孔方向和深度，通过导向仪实时监测钻具位置，及时调整钻进参数，确保钻孔轨迹偏差控制在规范允许范围内，保障管道铺设的准确性和安全性，同时最大限度减少施工对周边环境的扰动，实现高效、环保、安全的施工目标。

1.2 主要设备与机具

水利管道定向钻穿越施工所需设备与机具种类较多，核心设备主要包括定向钻机、导向系统、扩孔系统及辅助设备，各类设备协同配合完成施工全过程。定向钻机是核心动力设备，按额定扭矩和推力可分为小型、中型和大型，根据跨河距离、管道直径及地质条件选型，负责提供钻杆钻进、扩孔及管道回拖的动力[1]。导向系统由导向仪、探头及显示终端组成，探头安装在钻杆前端，实时传输钻孔位置、深度、倾角等参数，操作人员通过显示终端调整钻进方向，确保轨迹符合设计要求。扩孔系统包括不同规格的扩孔器，按地质条件选用刮刀式、牙轮式或组合式扩孔器，逐步扩大钻孔直径至管道外径的1.2-1.5倍。辅助设备包括泥浆系统、钻杆、管道牵引装置、吊装设备等，泥浆系统负责配制护壁泥浆，减少钻进阻力、防止孔壁坍塌；钻杆用于传递动力和导向信号；牵引装置配合钻机完成管道回拖，确保施工顺利推进。

1.3 施工工艺流程

水利管道定向钻穿越施工工艺流程清晰，需严格遵循规范要求，依次分为施工准备、导向孔钻进、扩孔、管道回拖及竣工验收五个核心环节。施工准备阶段主要完成现场勘察、设计交底、设备进场调试、泥浆配制及管道预制，重点核查地质资料和河流周边环境，确保设备性能良好、管道质量达标。导向孔钻进是关键环节，钻机就位后，根据设计轨迹，利用导向系统控制钻杆钻进，全程监测钻孔参数，及时调整钻进速度和角度，避免出现偏斜、坍塌等问题，确保导向孔贯穿两岸。扩孔阶段采用分级扩孔方式，从小于管道直径的扩孔器开始，逐步增大规格，每级扩孔后清理孔内沉渣，保障孔道顺畅。管道回拖前检查孔道质量和管道完整性，将管道与牵引装置连接牢固，匀速回拖，全程监测回拖力，避免管道受损。回拖完成后，进行管道打压试验、气密性检测及现场清理，验收合格后完成施工，确保管道满足水利输送要求。

2 跨河水利管道定向钻穿越风险识别

2.1 地质条件风险

跨河水利管道定向钻穿越施工中，地质条件是主要风险来源之一，直接影响施工安全和进度，常见风险类型多样且影响范围较广。一是地层不均匀风险，跨河区域地层多为砂土、卵石层、淤泥层及岩层交替分布，不同地层的硬度、渗透性差异较大，易导致钻进过程中钻

杆受力不均，出现钻孔偏斜、卡钻等问题，甚至造成钻杆断裂。二是地下水风险，河流底部及两岸地下水丰富，若钻孔过程中泥浆护壁效果不佳，易引发孔壁坍塌、涌水等事故，不仅影响施工进度，还可能导致河道水体污染[2]。三是不良地质风险，部分跨河区域可能存在溶洞、断层、地下障碍物等，钻进过程中若未及时发现，会造成钻具损坏、钻孔报废，增加施工成本和工期。另外，地层承载力不足可能导致钻机就位后沉降，影响钻进精度，进而引发后续管道回拖困难等连锁问题，需提前做好地质勘察，全面识别地质风险。

2.2 钻进过程风险

钻进过程是跨河定向钻施工的核心环节，操作不当或参数控制不合理易引发多种风险，直接威胁施工安全和工程质量。钻孔偏斜风险，由于导向系统故障、操作人员误判或地质不均匀等原因，可能导致钻孔轨迹偏离设计轴线，若偏斜量超过规范允许范围，需重新钻进，增加施工成本和工期，严重时可能导致钻孔报废。钻具损坏风险，钻进过程中若遇到硬岩层、地下障碍物，或钻进速度过快、扭矩过大，易造成钻杆弯曲、断裂，钻头、扩孔器磨损或损坏，影响施工连续性。泥浆系统故障风险，泥浆配比不合理、泥浆泵故障或泥浆循环不畅，会导致护壁效果下降，引发孔壁坍塌、沉渣堆积，进而导致卡钻、埋钻等事故。钻进过程中若未及时监测钻孔参数，可能出现孔内压力异常，引发涌水、涌砂等问题，威胁施工现场人员和设备安全。

2.3 管道回拖风险

管道回拖是跨河定向钻施工的关键收尾环节，此阶段受力复杂，易出现多种风险，直接影响管道铺设质量和完整性。管道损坏风险，回拖过程中管道受到牵引力、摩擦力及孔壁挤压力的共同作用，若牵引力过大、管道焊接质量不达标或孔道内存在尖锐杂物，易导致管道划伤、破损、焊缝开裂，影响管道密封性，后续可能出现漏水事故。回拖卡阻风险，孔道内沉渣堆积、孔壁坍塌或管道与孔壁间隙过小，会导致回拖阻力骤增，出现卡阻现象，若强行回拖，可能造成管道断裂、钻杆损坏，甚至导致整个工程失败。牵引设备故障风险，牵引装置、钢丝绳等设备若出现故障，会导致回拖工作中断，影响施工进度，若设备突然失效，可能导致管道脱落，造成安全隐患。

2.4 环境与安全风险

跨河水利管道定向钻穿越施工涉及河流及周边环境，同时存在一定的安全风险，若防控不当，会造成不良影响。环境风险主要包括水体污染和生态破坏，钻进过程中护壁泥浆若泄漏至河流，会污染河水，影响水生生物生存；施工过程中开挖的土方、废弃泥浆若处置不当，会破坏两岸植被，引发水土流失。另外，施工噪音、扬尘会影响周边居民生活环境[3]。安全风险主要包括人员安全和设备安全，钻进、回拖过程中钻杆断裂、管道脱落等可能砸伤现场人员；钻机、泥浆泵等设备若操作不当或维护不及时，会引发设备故障，甚至出现安全事故。同时，跨河施工可能影响河道航运，若未做好警示和管控，可能发生船只碰撞施工设备的风险，此外，施工现场用电、动火等操作不当，还可能引发触电、火灾等安全隐患。

3 跨河定向钻穿越施工风险控制措施

3.1 地质风险控制

针对跨河定向钻施工中的地质风险，需采取提前勘察、精准防控的措施，最大限度降低地质条件对施工的影响。首先，施工前开展详细的地质勘察工作，采用钻探、物探等方式，全面掌握跨河区域的地层分布、地下水水位、不良地质位置等信息，编制详细的地质勘察报告，为施工方案制定提供依据。其次，根据地质勘察结果优化施工方案，针对不同地层选用合适的钻进参数和钻具，例如在砂土、淤泥层采用低速钻进，加大泥浆护壁力度；在岩层区域选用耐磨钻头，合理控制钻进扭矩。对于地下水丰富区域，优化泥浆配比，增加泥浆粘度和护壁性能，必要时采用套管护壁，防止孔壁坍塌。此外，施工过程中实时监测地质变化，若发现溶洞、断层等不良地质，及时停止钻进，调整施工方案，避免盲目施工引发风险，确保施工安全。

3.2 钻进过程风险控制

为有效控制钻进过程中的各类风险，必须从设备、操作、监测三个关键维度入手，构建一套全方位、多层次的防控体系。在设备管控方面，施工前要对定向钻机、导向系统、泥浆系统等核心设备进行全面且细致的调试与检修。尤其要重点检查导向仪的精度，确保其能精准指引钻进方向；仔细检验钻杆的强度，防止在钻进过程中出现断裂；认真查看泥浆泵的运行状态，保障泥浆循环正常，避免因设备故障而引发风险。规范操作流程也至关重要，操作人员必须经过专业培训且考核合格后才能上岗，在钻进过程中，要严格依照施工方案和操作规程进行操作。依据导向系统反馈的参数，及时、合理地调整钻进速度、角度和扭矩，坚决杜绝盲目钻进的情况发生。强化实时监测同样不可或缺，安排专人负责监测钻孔位置、深度、倾角、泥浆压力等关键参数，并建立详细的监测台账。一旦发现参数异常，要立即停止钻进，迅速排查原因并及时处理。定期清理孔内沉渣，优化泥

浆循环系统，保证泥浆循环顺畅，提升护壁效果，从而有效防止孔壁坍塌、卡钻等事故的发生。

3.3 管道回拖风险控制

针对管道回拖阶段潜藏的各类风险，必须从回拖前准备、过程控制以及应急处置三个重要环节精准发力，以此保障管道回拖工作能够顺利推进。回拖前，准备工作容不得半点马虎，要全面且细致地检查孔道质量，将孔内沉渣清理干净，确保孔道毫无阻碍、顺畅无阻。同时，对管道完整性展开严格检查，运用专业的检测手段，对管道焊接接头进行逐一检测，保证焊接质量完全达标，杜绝因焊接瑕疵引发后续问题。另外，仔细检查牵引装置、钢丝绳等关键设备，查看连接部位是否牢固，设备性能是否良好，防止在回拖过程中出现设备故障。回拖过程中，过程控制是关键，要合理且精准地控制回拖速度，保持匀速回拖，避免速度忽快忽慢导致管道受力不均匀，进而影响回拖质量。实时密切监测回拖力，一旦回拖力超过设计值，必须立即停止回拖，迅速排查原因，若有必要则进行二次扩孔，有效降低回拖阻力。此外，安排专人全程监护管道状态，仔细观察管道表面是否有划伤、破损等情况，一旦发现问题及时处理。同时，要制定科学合理的回拖应急预案，针对卡钻、管道断裂等突发情况，提前准备好应急设备和物资，确保在事故发生时能够及时处置，将损失降到最低。

3.4 环境与安全风险控制

环境与安全风险控制是施工过程中至关重要的环节，必须坚持“预防为主、防治结合”的原则，全面且细致地落实各项防控措施，实现环境保护与施工安全的双赢。在环境风险控制上，要采取一系列有效举措。针对施工过程中产生的废弃泥浆，需合理设置泥浆沉淀池，让泥浆经过充分沉淀处理，各项指标达标后再进行排放，坚决杜绝直接排入河流，守护水体生态。对于开挖的土方，要严格按照规范进行堆放，施工结束后及时清理现场，并通过植树种草等方式恢复两岸植被，防止水土流失，维护生态平衡。同时，选用低噪音设备，科学合理安排施工时间，避免在居民休息时间进行高噪音作业，并采取洒水降尘等措施，最大程度减少施工噪音和扬尘对周边环境及居民生活的影响[4]。安全风险控制同样不容忽视，施工现场要设置醒目的安全警示标志，清晰划分危险作业区域，严禁无关人员进入，从源头上降低安全风险。对现场施工人员进行全面的安全培训，提高其安全意识和应急处理能力，并为他们配备齐全且合格的安全防护用品。规范用电、动火等操作流程，防止触电、火灾等事故的发生。积极与海事部门沟通协调，在河道设置施工警示标识，合理管控河道航运，避免船只碰撞施工设备。定期开展全面深入的安全检查，不放过任何一个细节，及时排查并消除安全隐患，为施工安全保驾护航。

结束语

跨河水利管道定向钻穿越施工风险控制是一项复杂且关键的工作。通过全面识别地质、钻进、回拖、环境与安全等方面的风险，并针对性地采取提前勘察、规范操作、加强监测、完善应急预案等控制措施，能够有效降低风险发生的概率和影响程度。这不仅保障了施工的顺利进行，提高了管道铺设的质量，还最大程度减少了对环境的破坏，为水利工程建设的安全、高效、环保开展提供了有力支撑。

参考文献

[1]李光亮,李学敏,任晓舟.非开挖定向钻穿越技术在水利工程中应用关键技术[J].价值工程,2023,42(3):59-61.

[2]王元明.某引水管道穿山水平定向钻施工方案研究[J].水利技术监督,2025(6):108-112.

[3]方金水.水利工程供水管道水平定向钻穿越施工关键技术研究[J].建筑工程技术与设计,2024,12(6):151-153.

[4]马晓未,刘屹,李爽.水平定向钻在输水管道穿越保沧干渠工程中的应用[J].水科学与工程技术，2023(1):36-40.