

水文地质钻探及钻孔施工的研究分析

王泽龙 刘永杰

河北省地质矿产勘查开发局国土资源勘查中心（河北省矿山和地质灾害应急救援中心） 河北石家庄 050081

摘要：地下水资源开发与工程地质勘察需求升级背景下，水文地质钻探及钻孔施工质量对勘察精度与工程安全至关重要。本文剖析水文地质钻探关键要素构成，阐述钻孔施工全流程环节与操作要点，其中全流程环节涵盖前期筹备、钻进实施、护壁堵漏、样品处理及终孔后续工作，构建包含质量核心指标管控、多维度安全风险防控的管理体系，探讨现有技术优化方向及智能化、数字化新技术应用前景，为提升水文地质钻探施工规范性与技术水平提供参考。

关键词：水文地质钻探；钻孔施工；质量管控；安全防控；技术发展

引言

水文地质钻探及钻孔施工在水资源勘探、地质灾害防治等领域意义重大。准确查明地下地质与水文情况，能为资源合理开发、工程建设安全提供关键依据。然而，该领域涉及要素复杂，施工流程繁琐，质量与安全管控难度大。深入研究其关键要素、全流程环节及管控措施，紧跟技术发展趋势，对提升钻探施工水平、保障工程顺利推进具有迫切且重要的现实意义。

一、水文地质钻探的关键要素

（一）钻探目标设定

钻探目标设定需紧密结合勘察需求，明确核心方向以保障后续工作有序开展。若需查明含水层分布特征，需聚焦含水层的空间位置、延伸范围以及与周边地层的接触关系，通过钻探获取的信息清晰呈现含水层的分布规律，为后续地下水资源分析提供基础^[1]。获取水文地质参数也是重要目标之一，这些参数涵盖渗透系数、给水度等，它们是评估地下水资源量和水质的关键依据，通过钻探过程中的数据采集与分析，精准获取这些参数能为水资源开发利用方案制定提供支撑。验证地质勘察假说同样不可或缺，前期地质勘察可能基于地表观测或间接数据提出关于地下地质结构的假说，钻探工作通过实际揭露地下地层情况，对这些假说进行验证，判断其合理性，若存在偏差则及时调整，确保对地下地质条件的认知准确可靠。

（二）钻探方法分类与适用场景

回转钻探依靠钻具的旋转切削作用破碎岩石或土层，

其特点是钻进效率较高，适用于多种地层。在松散地层中，回转钻探能平稳切削土体，减少对地层的扰动，保证岩芯的完整性；对于硬度适中的基岩地层，也能通过合适的钻头实现有效钻进。冲击钻探则利用钻具的冲击力破碎岩石，适用于硬度较大、整体性强的基岩地层，通过反复冲击使岩石逐渐破碎，从而完成钻孔作业。冲击-回转钻探结合了两种方法的优点，在钻进过程中既施加冲击力又保持钻具旋转，对于一些复杂地层，如软硬交替的地层，能更好地适应，提高钻进效率和钻孔质量，确保在不同地质条件下都能顺利完成钻探任务。

（三）探设备与工具选型

钻机的选型需考虑钻探深度，不同深度的钻探需求对应不同型号的钻机，深层钻探需要功率更大、稳定性更强的钻机以保证钻进过程的顺利。地层硬度也会影响钻机选择，坚硬地层需要钻机具备更强的驱动力和抗磨损能力。钻杆的选择与钻探深度和地层压力相关，深层钻探需选用强度高、韧性好的钻杆，避免在钻进过程中出现断裂或变形；同时要考虑地层压力对钻杆的影响，确保钻杆能承受相应压力。钻头的选型则依据地层岩性，松散地层适合使用刮刀钻头，通过切削作用获取岩芯；基岩地层则需使用牙轮钻头或金刚石钻头等，以适应岩石的硬度，提高破碎效率。冲洗液系统的选型要结合地层渗透性，渗透性强的地层需要选择粘度合适的冲洗液，防止冲洗液过快流失，同时保证其携带岩屑的能力，确保钻孔内清洁，为钻进创造良好条件。

（四）钻孔结构设计

钻孔直径的设计需结合钻探目标，若需获取较大体

积的岩芯用于详细分析,则需设计较大的钻孔直径;若仅需进行水文地质参数测试,较小直径的钻孔可能即可满足需求。同时要考虑后续设备的下入,确保钻孔直径能容纳所需的测试仪器或套管。孔身垂直度的设计至关重要,垂直度不足会影响钻孔质量,可能导致钻具磨损加剧、岩芯采集不准确,甚至影响后续测试工作的开展,因此需根据钻探精度要求,确定合适的垂直度标准,并在施工过程中严格控制^[2]。套管层级设置需结合地质条件,在松散、易坍塌的地层,需设置多层套管以保护孔壁,防止塌孔;在稳定性较好的基岩地层,套管层级可适当减少,通过合理的套管层级设置,既能保证钻孔安全,又能降低施工成本,确保钻孔结构满足钻探目标和地质条件的要求,为整个钻探施工提供可靠保障。

二、钻孔施工的全流程环节

(一) 施工前期筹备

施工前期筹备需全面覆盖多方面工作,为后续施工筑牢基础。地质资料梳理与分析是首要任务,需对区域内已有的地质勘察报告、地层分布图等资料进行系统梳理,深入分析地层岩性变化规律、地下水埋藏情况等关键信息,为施工方案编制提供精准依据。施工方案编制需结合地质条件与钻探目标,明确钻进方法选择、钻孔结构设计、施工进度安排等核心内容,确保方案具备可行性与合理性。场地平整与布置需清理施工区域内的障碍物,平整场地地面,按照设备摆放要求规划钻机、材料存放区等区域的位置,保证施工空间充足且作业流程顺畅。设备调试与材料准备要对钻机、冲洗液系统等核心设备进行全面检查与调试,确保设备运行状态良好;同时备齐钻杆、钻头、冲洗液原料等施工材料,避免因材料短缺影响施工进度。

(二) 钻进作业实施

钻进作业实施过程中需精准把控各项操作要点,保障钻孔质量。参数控制是关键,钻进速度需根据地层岩性调整,在松散地层中适当降低速度防止塌孔,在坚硬基岩地层中合理提高速度提升效率;钻压与转速需匹配钻头类型与地层硬度,避免因参数不当导致钻头磨损加剧或钻进困难。地层岩性识别与记录需实时开展,通过观察岩芯外观、颗粒组成等特征,结合钻进过程中的手感与声音,准确判断地层类型,并详细记录各层位的深度、厚度等信息,形成完整的地质柱状图。孔内情况实时监测不可忽视,需通过孔内摄像、测斜仪等工具,及时掌握孔壁稳定性、孔内水位变化等情况,一旦发现异

常及时采取应对措施。

(三) 孔内护壁与堵漏

孔内护壁与堵漏是保障钻孔安全的重要环节。泥浆护壁需合理控制泥浆的粘度、密度等性能指标,使泥浆在孔壁形成稳定的泥皮,阻挡孔外土层坍塌,同时起到携带岩屑、冷却钻头的作用;套管护壁需根据地层稳定性选择合适的套管材质与规格,按照设计深度下入套管,通过套管与孔壁间的间隙填充水泥浆等材料,增强孔壁支撑力。钻孔漏失处理需先明确漏失类型,若为裂隙漏失,可采用水泥浆、化学堵漏剂等材料注入裂隙封堵;若为松散地层孔隙漏失,可通过调整泥浆性能或下入套管进行封堵,确保漏失问题得到有效解决,维持孔内正常作业环境。

(四) 样品采集与处理

样品采集与处理需严格遵循标准流程,保证样品的代表性与有效性。含水层岩芯采集需使用专用取芯工具,控制取芯速度与压力,确保岩芯完整且不受扰动,采集后按层位编号、标注深度,妥善存放。地下水样采集需选择合适的采样器,在钻孔稳定后采集,避免样品受到污染,采集过程中记录水温、水位等相关信息^[3]。样品保存需根据样品类型选择适宜的保存方式,岩芯需置于干燥、通风环境中,水样需添加保护剂并密封;运输过程中避免样品震动、碰撞,防止样品性质发生改变。初步分析需对岩芯进行岩性鉴定、颗粒分析等,对水样进行pH值、浊度等指标检测,为后续详细分析提供基础数据。

(五) 终孔与后续处理

终孔与后续处理需规范操作,确保钻孔施工圆满收尾。终孔检查需对照设计要求,检测钻孔深度、孔径、垂直度等指标,确认是否符合设计标准,同时检查孔内是否存在沉渣、漏失等问题,若存在问题及时整改。封孔需根据钻孔用途选择合适的封孔材料与工艺,对于不再使用的钻孔,需采用水泥浆等材料分层封堵,防止地下水串层污染;若钻孔需保留用于后续监测,需做好孔口保护措施。钻孔资料整理归档需将施工过程中的地质记录、参数报表、检测报告等资料进行系统整理,按规范要求归档保存,为后续工程查阅与研究提供完整依据。

三、水文地质钻探及钻孔施工的质量与安全管控

(一) 质量管控核心维度

质量管控需聚焦关键指标,通过科学方法保障施工质量。岩芯采取率管控需根据地层特性选择合适取芯工

具与工艺,在松散地层中优化取芯速度与压力,减少岩芯破碎;在基岩地层中确保钻具稳定运行,避免岩芯丢失,定期检查取芯情况并记录,确保岩芯采取率符合分析需求。钻孔垂直度管控需在施工前校准设备,钻进过程中使用测斜仪定期监测,发现偏差及时调整钻进参数或采用纠偏工具,避免因垂直度不足影响后续作业与数据准确性。水文地质参数准确性管控需规范数据采集流程,确保监测仪器精准度,采集时严格遵循操作标准,多次测量验证数据一致性,排除外界干扰因素对参数的影响。样品代表性管控需在采集环节严格筛选采样位置,使用洁净采样工具,避免样品污染或混杂,按规范保存与运输,确保样品能真实反映地下地质与水文状况。

(二) 安全风险防控

安全风险防控需全面识别隐患,提前制定应对策略。设备故障防控需定期对钻机、钻杆、冲洗液系统等设备进行检修维护,检查零部件磨损情况与运行状态,及时更换老化部件,施工前进行设备试运行,确保设备无故障投入使用。孔内事故防控需提前分析地层稳定性,做好护壁措施,钻进中密切关注孔内压力、水位变化,若出现塌孔迹象及时调整泥浆性能或下入套管;针对卡钻风险,合理控制钻进速度与钻压,避免钻具与孔壁过度摩擦。人员安全风险防控需对施工人员开展安全培训,使其掌握设备操作规范与应急技能,施工中配备安全帽、防滑鞋等防护装备,设置安全警示标识,定期开展安全检查,一旦发生紧急情况,按照应急方案快速响应,保障人员安全。

四、水文地质钻探及钻孔施工的技术发展与趋势

(一) 现有技术的优化方向

现有技术优化需从多维度发力,推动传统钻探方法升级。效率提升可通过改进钻进工艺实现,比如针对不同地层特性优化钻进参数组合,减少钻进过程中的调整时间;同时对钻具结构进行改良,增强钻头耐磨性与切削能力,延长使用寿命并减少更换频次,从而缩短整体施工周期^[4]。成本控制可从设备维护与材料利用入手,建立设备全生命周期管理体系,通过定期保养降低故障维修成本;优化冲洗液、护壁材料等耗材的配比,提高材料利用率,减少浪费,在保证施工质量的前提下降低物资投入成本。环境影响降低需聚焦绿色施工,研发可降解的冲洗液与护壁材料,避免化学物质对地下水与土壤造成污染;施工过程中加强废水、废渣的收集与处理,

减少对周边生态环境的干扰,实现钻探施工与生态保护的协调发展。

(二) 新技术应用前景

前沿技术为水文地质钻探领域带来新机遇,应用潜力广阔。智能化钻探设备可通过搭载传感器与自动控制系统,实现钻进参数的实时监测与自动调整,减少人工干预误差,同时具备故障预警功能,提前发现设备异常并发出提示,提升施工安全性与稳定性。数字化勘察系统能整合多源数据,通过三维建模技术构建地下地质与水文模型,直观呈现含水层分布、地层结构等信息,为钻探方案设计与施工决策提供精准数据支持,提高勘察与施工的科学性。新型护壁材料如高性能聚合物护壁材料,具有更强的护壁稳定性与环境适应性,在复杂地层中能有效防止孔壁坍塌,且施工后易降解或回收,降低对环境的影响,未来有望在更多复杂地质条件的钻探工程中广泛应用,推动钻孔施工技术向更高效、更环保方向发展。

结束语

水文地质钻探及钻孔施工是一项系统工程,涵盖钻探要素把控、施工全流程管理、质量安全管控等多方面内容,各环节相互关联、缺一不可。通过科学设定钻探目标、合理选择方法与设备、规范施工流程、强化质量安全管理,可有效提升钻探施工质量与效率。随着技术不断发展,现有钻探技术的优化与智能化、数字化新技术的应用,将为水文地质钻探领域带来新突破。未来,需持续推动技术创新与实践应用结合,进一步提升水文地质钻探及钻孔施工水平,为地下水资源可持续利用与工程建设安全提供更坚实的技术保障。

参考文献

- [1] 陈龙明.复杂地质条件下岩土工程勘察中的水文地质研究[J].西部资源,2025,(03):47-49.
- [2] 谢益凯.某地区工程水文地质条件勘察分析[J].黑龙江科学,2024,15(14):94-97.
- [3] 张留彬,刘国卫.矿区水文地质钻探存在的问题及改进措施[J].西部探矿工程,2021,33(11):141-143+148.
- [4] 李昶.综合物探技术在矿山水文地质勘探中的应用研究[J].中国金属通报,2023,(06):83-85.