

高陡边坡地质钻探施工技术及安全防护措施

张俊生 梁佳望 冯雪松 侯露露

中国地质调查局 哈尔滨自然资源综合调查中心 黑龙江哈尔滨 150000

【摘要】高陡边坡地质钻探施工对边坡稳定性与安全管控要求严苛。钻孔深度与布设角度必须根据地质条件、岩土力学参数和潜在滑塌风险进行综合评估。针对作业面狭窄、高差显著、应力集中等特点，需选取轻便耐用的钻机与匹配的钻具组合，合理搭建稳固平台并加强边坡支护。地质灾害预警与防范需结合现场监测、锚固加固以及应急预案管理，从而提高施工效率与安全系数。完善的环保及应急体系可保障周边环境与作业人员健康，本文力求为高陡边坡地质钻探施工技术与安全防护提供参照与实践指导。

【关键词】高陡边坡；地质钻探；稳定性；施工安全；支护加固

引言

高陡边坡分布于山区公路、矿山采场、水利枢纽等工程场景。斜坡形成过程涉及构造运动、岩体破碎带发育，以及长期风化侵蚀与重力坍塌作用。边坡失稳将对工程施工安全及人员生命带来潜在威胁。地质钻探可获取地下结构与岩土参数，为滑坡预测及设计提供依据。高陡边坡条件下，钻探平台布置难度大，作业半径受限且风险系数上升。钻机选型、孔位布设、支护加固及动态监测均需精细化设计。安全管理与环保措施不可或缺，需立足于地质灾害防治与应急预案体系。可通过对工程实践案例与技术方案的系统探讨，形成一套适应高陡边坡地质钻探的技术与安全防护模式。

1 高陡边坡地质钻探的特点与挑战

高陡边坡地质钻探所处环境常见于深切河谷、采石坑壁及高山区路堑等区域。岩体结构破碎与夹层分布复杂，斜坡表面往往存在崩塌与滑移痕迹，部分地段岩体节理发育且面间组合易致失稳。钻探过程中难以布置大面积作业场地，平台搭建与机械运输受到地形限制。若地层内含有软弱夹层或富水层，孔壁容易坍塌。某些高差显著的边坡顶部和底部可能存在应力集中区域，钻孔开挖时稍有扰动便诱发局部松动或裂隙扩展。高陡边坡工况下的钻探设备选型要求轻便、灵活，可在狭小场地内搭载起吊与移动。若需在岩壁上设置临时平台，需应对地形切割及载荷安全问题。外部环境经常风力强烈，岩面碎石滚落概率提高。现场机具与人员防护难度明显提升。某些偏远山地交通不便，材料运送成本高且周期较长，不容忽视潜在极端气候

干扰。对地质条件缺乏系统调研时，可能忽略潜伏性软弱带或变形带，带来钻探施工中的突发险情。对滑坡体或古滑坡区钻孔作业，需充分评估其残余变形与地下水赋存特征。地质参数采集的精度与完整性也将受到诸多干扰。地层塌孔、漏失、卡钻等问题时有发生，造成钻探取心率偏低或孔深不足。若加大泥浆泵量或改变钻进参数，可能二次破坏孔壁或造成底部压力失衡。对富水带及含泥页岩的层位，泥浆护壁的适用性有限，需额外注重孔壁稳定技术。若岩面夹杂膨胀性矿物，易吸水膨胀而堵塞孔道。钻进参数与护壁材料的匹配度亟待提高，否则影响施工效率与安全系数。高陡边坡区易发生降雨冲刷与地表径流突增，雨季引发边坡浅表滑塌与落石概率上升。若施工组织与排水设计不当，平台淤积与设备进出受阻。雷击、泥石流等极端灾害亦不容忽视。综观全局，地质钻探在高陡边坡实施需多方应对：钻孔布置与平台设计需紧扣地形与岩土特征；设备与工具配置需适应狭窄场地与多变地层；施工过程中安全管控与地质灾害预防需强化监测与应急处置。

2 高陡边坡地质钻探施工技术

2.1 钻探设备与工具配置

高陡边坡施工环境多伴随场地狭窄与落差显著，设备配置应选用轻便、拆装快速且具有足够钻进扭矩与提升力的钻机。动力系统可采用电动机或柴油发动机，小型液压驱动或全液压钻机更便于控制推进速度与回转力矩。输送系统与机架模块尽量采用分块式设计，便于吊装与组装。潜孔锤、绳索取心、金刚石钻头等多种钻进工具需按地层硬度与破碎程度选配。硬质基岩区域可选用金刚石复合片

钻头，高磨蚀性层位则需增加护筒与合理调整泥浆。若遇含水层或软土夹层，需搭配不同类型的套管或跟管钻进工艺，确保孔壁稳定。钻探辅助装备涉及泥浆泵、泥浆循环槽、空压机与各类仪表。泥浆泵排量与压力应适应孔深与冲洗介质特性。若存在大量碎屑或沉砂，需配合泥浆净化回收装置。岩芯获取可使用绳索取心工具，并配备减震与防卡装置，提升取心率。对易坍塌地层宜搭配手动或自动给进系统，调节钻进速度与载荷。必要时可增设防喷器或井口阀门，控制孔内流体压力。工具配置需考虑现场供电或燃料供应条件，各部件接口与连接应确保密封性与安全性。拟定备用钻头与套管，以便快速更换。通过恰当配置并定期保养维护，可在高陡边坡复杂地质条件下维持高效钻探。

2.2 钻孔布置与稳定性控制

钻孔布置需综合考量边坡几何形态、岩土层分布、地下水与重点结构面的位置。对潜在滑动面或软弱带，应加密孔位以获取更详尽的地质信息。孔向设计应适当避开斜坡主要开裂带，减少对脆弱结构面或不稳定岩体的扰动。若需判明深部构造或探寻滑动断层走向，可采用倾斜孔或多分支钻孔方法。孔位标定前应详细测量边坡坡面倾度及顶底高差，确定可行的作业平台与通道位置。钻进过程中，孔壁稳定控制至关重要。高陡边坡下方多为自由面或深切沟谷，任何孔壁失稳都可能诱发局部坍塌。可视地层类型采用正循环或反循环泥浆护壁技术，对严重破碎带可短进尺、勤提钻，及时清理孔内淤积。软弱夹层宜设置临时套管并辅以黏度更高的泥浆。若遇岩层裂隙发育或富水带，可适度注浆堵漏。深孔或斜孔段需关注套管下入质量，避免局部悬空或错口。钻孔倾斜度应定期测量并修正，防止产生过大偏斜影响取心准确度。钻孔施工应与边坡实时监测联动，一旦出现表面裂缝扩展或岩块松动迹象，应暂停钻进并加固孔口与周边岩体。

2.3 高陡边坡钻探平台搭建技术

高陡边坡上常缺少可供铺设大型设备的平整场地，须因地制宜搭建安全稳固的钻探平台。若岩质边坡坚硬完整，可切削局部坡面形成浅基。松散破碎或土质斜坡宜先清除浮石、杂物，整平后设置锚杆挡墙或桩板支护，确保平台与边坡之间稳定连接。平台面板可用钢梁搭建后铺设防滑

钢板或木板。对较陡峭的岩壁可设置悬挑式平台，外伸段安装刚性吊梁与斜撑杆，通过预埋锚筋与化学锚栓将平台连接于稳固岩体。平台设计要满足钻机荷载与施工操作荷载需求。梁柱截面与支撑系统应经受力分析与计算校核，平台顶部宜留出钻机滑动与回转空间，设置防护栏杆与挂网。若场地无法容纳整机组装，可拆分机架或采用特殊滑动支座。平台排水顺畅，避免降雨导致积水与滑塌。若需向更高处或更深处移动设备，可在平台周缘设置临时爬梯或斜坡便道，保持作业区进出安全。

2.4 高陡边坡钻探支护与加固技术

高陡边坡钻探支护包括钻孔口及周围区域的挡护与岩土体加固。崩塌风险区可植入锚杆或锚索并配合挂网喷浆，稳定浮石与松散块体。软土或堆积层坡面可采用土工格栅与护坡植物结合方式，形成柔性防护。若岩层裂隙贯通或节理面倾向不利，需增设钢架或锚喷面层，提高整体抗剪能力。对孔口或平台周界可设置钢管桩或重力式挡墙。针对滑动面，可通过深层锚索或压力注浆提高岩土体粘聚力与剪切强度。锚索长度与角度须结合钻探资料与稳定计算结果布设。局部含水层富集需注重排水与减压，减小孔内及孔口区域渗透压力。喷射混凝土与系统锚固的联合运用可减少块体松动。一些工程需在高陡岩壁上设置预应力锚索群，控制潜在滑移的主要结构面。对岩体破碎带可填充灌浆料或混凝土进行加固。施工期间需同步检测锚杆拉力与边坡位移，若发现偏差应及时补强。支护与加固方案需兼顾长效性与现场可操作性，避免材料耗费过高或工艺过于复杂。

3 高陡边坡地质钻探施工安全防护措施

3.1 施工安全防护

高陡边坡地质钻探对施工人员与设备安全要求严格。进场前应开展安全技术交底，明确风险来源与作业规定。人员进入斜坡或悬崖区域时需佩戴安全帽、安全带并配置反光背心。临近崩塌区段需拉设警戒线或安全绳网，禁止无关人员靠近。钻机操作区按防护等级设置围栏与防护棚，防止落石或杂物坠落伤人。设备吊装与转移时应制定专项吊装方案，使用合规起重机具并设专人指挥。工作面应严格管控人员数量与活动范围，杜绝盲目攀爬或超荷载运料。若遇大风或暴雨，应暂停高空作业与平台施工。电

气安全属于重点关注对象。供电设备应安装漏电保护装置并保持接地良好，所有电缆和插头完好无破损。钻机操作台与其他金属支架需执行等电位联结，防止意外触电。大功率设备启动前应检查电压稳定性与线路容量。配电箱位置远离潮湿区与人员频繁活动区，配备防雨罩与明显警示标志。夜间施工需提供充分照明。易发生滑塌或落石的高陡边坡上方应设监测人员，必要时设置临时挡石网。高处作业需使用防坠落装置并配备救援绳，操作人员需经过高处作业培训并取得资质。平台搭建或拆除阶段应遵照先支后拆、分段分层的顺序。吊装与拆除均需专业人员负责指挥。钢梁或其他构件安装完毕后需立即固定与加固。料具堆放区应稳固并设置限高标志。机械操作区和人员行走区分离，避免交叉干扰。高温或极寒气候下应适当调整工作时间与作业方式，防止机具受损与人员疲劳。综合落实上述措施后，方可降低高陡边坡钻探施工的安全风险。

3.2 地质灾害防治措施

高陡边坡地质钻探常面临崩塌、滑坡与落石等灾害威胁。作业前需结合地形测绘与岩体勘察结果，圈定可能失稳范围并加强观测。若坡体存在裂缝或松动迹象，需优先实施锚固与临时支护。雨季到来前应完善截水沟与排水系统，减少斜坡表面与裂隙中积水。地表排水沟需及时清理淤积，防止暴雨期间形成集中冲刷。作业平台上下方设置拦石网或柔性防护网，减小滚落岩块对设备与人员的威胁。隐患排查应贯穿施工全程。定期检测边坡位移或裂缝扩张速率，利用简单的裂缝计或测斜管掌握内部变形。若监测数据显现显著加速，应立即停止钻探并撤离人员，必要时启动紧急加固或卸载措施。对易坍塌区域可临时铺设覆盖膜或防护毡，防止雨水入渗。地层含水丰富时，应考虑降排水与深孔泄压，降低孔内与裂隙水位。对存在潜在滑动断层的坡体，钻探方案需在确认支护与排水措施奏效后方可推进。若边坡下方为居住区或交通干线，需在钻探前评估可能波及范围，完善灾害预警机制，与当地部门或居民建立信息联动。一旦监测到坡体异常位移，及时疏散受威胁人员并设置警戒。水文与气象信息对地质灾害防治具有参考价值。极端气候条件下应暂停易引发次生灾害的高强度钻进。钻机与平台布置应避免过度集中载荷，必要时分段作业并在完成一段后稳固边坡再进行下一个孔位。

地质灾害防治应与工程进度统筹安排，既确保施工推进又避免盲目赶工引发事故。

3.3 环保与应急管理

高陡边坡地质钻探会产生泥浆废水、废弃岩芯与少量机油废液。施工前宜规划专门的泥浆沉淀池与回收装置，分离泥渣后再行处理。含油污水需收集存储，委托有资质单位处置。废岩芯可集中堆放在防渗漏区域，避免泥砂流失阻塞沟道。现场不得随意排放含泥杂物至坡面或水体，避免引发二次污染。若平台搭建需占用植被覆盖区，应尽量减少破坏并在工程结束后补植恢复。机械噪声与柴油尾气排放也需加以控制，可在钻机周围布设隔音屏或选用低噪设备。应急管理旨在应对落石、泥石流、滑坡及孔内突发涌水等险情。施工现场应储备抢险物资，如砂石、钢管、土工布、锚索等。针对可能的坍塌灾害，预先编制人员撤离路线与指挥流程，明确警报触发与信息报告层级。钻孔出现严重塌孔或泥浆失控时，应先关闭泥浆泵并撤离井口操作人员。若坡面出现大面积裂开或滑动趋势，应迅速撤场并向上级管理部门与当地政府汇报。重大灾害防控需结合专业监测和科学评估，积极采取支护或卸载措施。人员安全管理与设备保护同步推进。应急演练可提高人员应对突发灾害与互救能力。环保责任与安全目标纳入考核机制，违章排放与违规操作应受到相应处罚。

4 结语

高陡边坡地质钻探施工伴随高度危险与技术挑战，工程实践需从钻机选型、平台搭建、孔位设计、支护加固到安全与环保措施各方面严谨部署，系统监测与应急管理可降低灾害风险。合理运用技术方案与管理机制，方能取得可靠地质数据并确保人机安全，也可减轻对环境与区域稳定的冲击。

参考文献：

- [1] 王龙. 基于钻探和物探数据融合的边坡土层划分和边界识别研究[J]. 砖瓦, 2023, (08): 47-49.
- [2] 陈显, 靳二举. 绳索取心钻探技术在铜银钨矿边坡勘察中的应用研究[J]. 建筑技术开发, 2023, 50(07): 4-6.
- [3] 张婉彤. 基于钻探和物探数据融合的边坡地层非均匀性表征及可靠度更新[D]. 南昌大学, 2022.