

ZY便携式钻机在揭露斜坡单元孕灾条件中的应用

唐黔^{1,2*}, 廖立平¹, 陈中源¹

¹湖南省地球物理地球化学调查所, 湖南 长沙

²中南大学地球科学与信息物理学院, 湖南 长沙

收稿日期: 2026年4月9日; 录用日期: 2026年4月29日; 发布日期: 2026年5月11日

摘要

为解决传统大型钻探设备在复杂山区斜坡孕灾条件勘查中的应用难题, 本文以永州市零陵区为研究区, 应用自主研发的ZY-15、ZY-20、ZY-25型便携式钻机, 进行覆盖典型斜坡单元的19个钻孔、累计139米的钻探作业。结合钻孔取样及山地工程等手段, 识别出5类孕灾斜坡结构, 揭示了区内易崩易滑地层的分布特征及4种地质灾害成灾模式。结果表明, ZY系列便携式钻机兼具轻量化、高适配性、钻进效率高及绿色勘查的优势, 可有效克服复杂地形作业限制。本研究为地质灾害快速勘查提供了新手段, 对推动精细化地灾防控具有重要实践意义。

关键词

ZY便携式钻机, 斜坡单元, 孕灾条件, 地质灾害勘查, 成灾机理

Application of ZY Portable Drilling Rig in Revealing Disaster-Pregnant Conditions of Slope Units

Qian Tang^{1,2*}, Liping Liao¹, Zhongyuan Chen¹

¹Geophysical and Geochemical Survey Institute of Hunan Province, Changsha Hunan

²School of Geosciences and Info-Physics, Central South University, Changsha Hunan

Received: April 9, 2026; accepted: April 29, 2026; published: May 11, 2026

*通讯作者。

Abstract

To solve the application difficulties of traditional large-scale drilling equipment in the investigation of disaster-pregnant conditions of slopes in complex mountainous areas, this paper takes Lingling District of Yongzhou City as the research area, and adopts the self-developed ZY-15, ZY-20 and ZY-25 portable drilling rigs to carry out drilling operations with 19 boreholes covering typical slope units and a total drilling footage of 139 m. Combined with borehole sampling and mountain engineering, five types of disaster-pregnant slope structures are identified, and the distribution characteristics of collapse- and landslide-prone strata and four disaster formation modes of geological hazards in the area are revealed. The results show that the ZY series portable drilling rigs have the advantages of lightweight, high adaptability, high drilling efficiency and green exploration, and can effectively overcome the operation restrictions of complex terrains. This study provides a new method for the rapid investigation of geological hazards and is of great practical significance for promoting refined geological disaster prevention and control.

Keywords

ZY Portable Drilling Rig, Slope Unit, Disaster-Pregnant Condition, Geological Disaster Investigation, Disaster Formation Mechanism

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来, 便携式钻机因机动性强、运输便捷、对场地适应性好, 在国内地质勘察技术中得到快速发展。国外背包式钻机起步较早, 国内近年来也围绕模块化、轻量化和全液压化持续开展研发, 相关成果已在矿产勘查、水利工程及绿色勘查等领域得到应用[1]-[11]。总体来看, 便携式钻机在解决交通不便、作业面狭小、生态扰动敏感等条件下的勘查问题方面具有明显优势。然而, 现有研究仍主要集中于资源勘查和一般工程勘察, 在斜坡单元孕灾条件系统识别方面应用较少, 尚未形成系统的应用体系。

查明孕灾条件是斜坡地质灾害风险评价与防控的核心。针对传统大型钻探设备在复杂山区面临的搬运困难、进场受限等痛点, 本文以地质灾害频发的永州市零陵区为研究区, 依托自主研发的 ZY 系列(ZY-15、ZY-20、ZY-25 型)便携式钻机开展斜坡孕灾条件勘查应用研究。研究在区内精选了 19 个典型斜坡单元进行针对性钻探, 共完成钻孔 19 个, 累计进尺 139 米。

通过结合钻孔取样、室内试验及山地工程等手段, 本研究揭露了斜坡不同深度的岩土体结构与岩性组合, 获取物理力学参数分析了成灾机理, 识别出土质切层型、土质顺层型等 5 类孕灾斜坡结构, 揭示了易崩易滑地层的分布规律及 4 种地质灾害成因模式。勘探实践表明, ZY 便携式钻机有效克服了复杂地形的作业限制, 实现了孕灾地层的快速、绿色揭露, 大幅降低了勘探时间和环境破坏。本研究不仅验证了便携式钻机在复杂斜坡勘查中的适用性与优越性, 也为同类山区地质灾害的早期精准识别、风险防范提供了重要参考。

2. ZY 便携式钻机技术参数

自主研发 ZY 系列便携式钻机, 其结构组成见图 1。钻机采用模块化设计, 分为(a)水泵、(b)主机和

(c)钻具三大部分。水泵主要由动力头、密封装置组成；主机主要由动力头、变速箱、传动装置等组成；钻具包括钻杆、套管、岩芯杆、钻头、快速接头、水龙头等。水龙头连接主机、水泵和快速接头，水龙头与快速接头采用卡扣式连接，快速接头与钻杆采用螺纹连接，装拆方便，减少了大量的辅助时间。套管采用专用材料加工，主要用于覆盖层的隔离，防止发生垮孔现象，便于取芯。ZY 系列便携式钻机主要技术参数见表 1，涵盖 ZY-15 型、ZY-20 型、ZY-25 型三种型号。其核心技术参数贴合复杂地形勘查需求，其中 ZY-15 型钻机最大钻孔深度可达 15 m，额定功率适配斜坡浅层勘查作业；ZY-20 型、ZY-25 型钻机则可根据斜坡实际高度及孕灾隐患深度，灵活调整钻孔深度，最大钻孔深度分别可达 20 m、25 m，能够满足不同类型斜坡单元孕灾条件勘查的深度要求。相比其他主流钻机如美国绍尔 STS-2 型(重 92 kg，拆装耗时 >18 min，最小作业面 >3.5 m²)、国产 BXZ-2(重 115 kg，拆装耗时 >22 min，最小作业面 >4.0 m²)，本系列主力机型 ZY-20 整机重量仅 65.0 kg，较两款机型分别降低 29.3%、43.5%，模块化拆分后单模块最大重量不超 28 kg，可单人背负转运，最小作业面仅 2 m²，可直达传统钻机无法进场的复杂山区地形，依托卡扣式 + 螺纹双快接结构设计，整机单人拆装耗时不超 10 分钟，约为传统机型的 50%，辅助作业时间占比降至 15%以下，单孔勘查效率较主流机型提升 60%以上。

Table 1. Main technical parameters of ZY series portable drilling rigs

表 1. ZY 系列便携式钻机主要技术参数

型号	主机型号	额定转速 (转/分钟)	钻机功率 (kW)	额定扭矩 (N·m)	额定给进力 (kN)	额定提升力 (kN)	最大钻孔直径 (mm)	最大钻孔深度 (m)	取芯范围 (mm)	整机重量 (kg)	适用地层
ZY-15	TB50 (三菱)	1900	2.3	65	1.6	5.5	75	15	Φ26~Φ63	80.5	泥土、沙土
ZY-20	TB50 (三菱)	1900	1.8	52	1.3	4.5	38	20	Φ18~Φ26	65.0	复杂多变地层
ZY-25	TB50 (三菱)	1900	1.55	45	1.1	4.0	25	25	Φ16~Φ18	79.0	较完整基岩地层

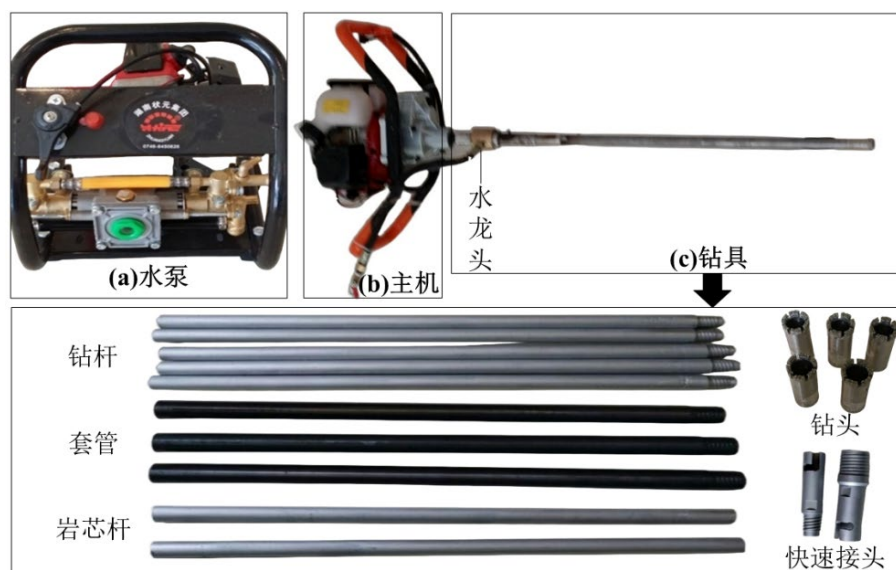


Figure 1. Structural composition of ZY portable drilling rig

图 1. ZY 便携式钻机结构组成

3. ZY 便携式钻机在孕灾斜坡勘察中的应用

3.1. 研究区概况

研究区位于永州市零陵区，以区内斜坡单元为基本研究对象。其中斜坡单元的划分步骤为：识别承灾体→判定承灾体重要性→套合叠加高分辨率遥感影像、地形图、地质图→设定斜坡单元相关参数→利用 ArcGIS 生成斜坡单元→根据套合的遥感影像图、地形图人工修正斜坡单元→导出斜坡单元名录表。区内地质灾害主要发育于中低山区及丘陵区，平原区一般不发育，斜坡型地质灾害与地形条件关系密切。总体上，区内地形起伏较大，斜坡广泛发育，为滑坡、崩塌等灾害的形成提供了基本地貌条件。

研究区岩体以碳酸盐岩建造为主，岩性主要包括灰岩、白云岩和白云质灰岩，其次为泥岩、页岩夹硅质岩以及砾岩、石英砂岩、粉砂岩等，并可进一步划分为中厚层较坚硬-较软变质砂岩夹板岩组、中厚层较坚硬-较软红层碎屑岩组、薄-中层状较坚硬-较软粉砂岩夹泥页岩组、中厚层状坚硬-较坚硬岩溶化灰岩白云岩组、中厚层状较坚硬-较软泥质灰岩夹粉砂岩组和厚层状较坚硬石英砂岩组等 8 类。土体主要包括卵砾类土、砂土、黏性土和特殊土，按成因可分为冲积土和残积土，其中残积土多分布于丘陵山坡表层，厚度变化较大，整体表现为结构松散、不均匀、强度较低。不同岩土体在风化程度、结构特征和软化特性等方面的差异，共同构成了研究区斜坡孕灾条件的工程地质基础。

3.2. 典型钻孔揭露的主要地层

本次项目在共计生成 3849 个斜坡单元基础上，选取典型的 19 个斜坡单元，收集不同斜坡单元各类地质资料，然后运用 ZY 便携式钻机对斜坡单元进行钻探施工和结合山地工程实施。本次勘查共布设钻孔 19 个，累计进尺达 139 m，覆盖典型斜坡单元，钻孔布设位置结合地形地貌、岩性分布及地质灾害隐患点分布情况合理确定，避免钻孔布设于集中或遗漏关键孕灾区域。钻孔位置如图 2 所示。钻孔施工完成后，对钻孔进行封孔处理，避免地下水渗漏引发坡体失稳，保障勘查现场安全。各钻孔深度均严格按照控制标准执行，满足勘查工作要求。

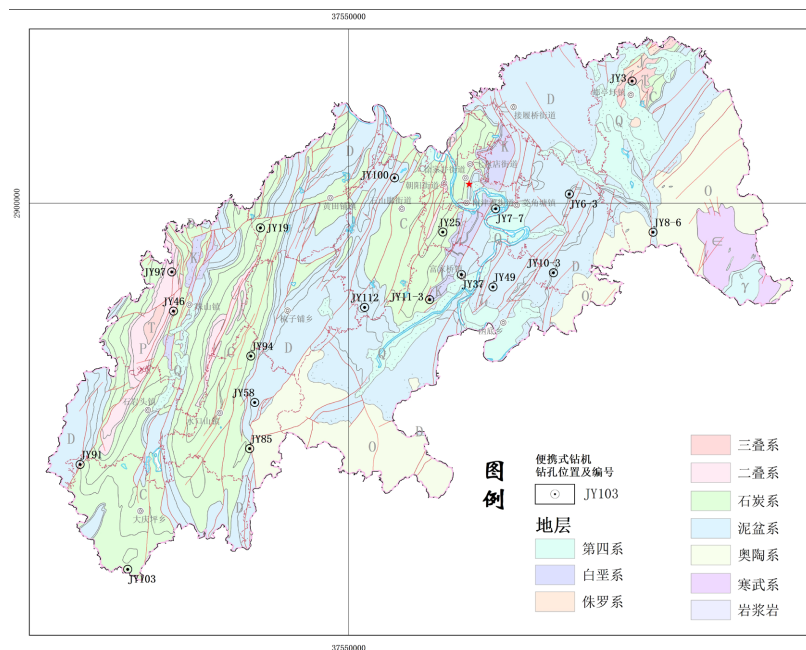


Figure 2. Location map of portable drilling boreholes in ZY Lingling district
图 2. ZY 零陵区便携式钻探钻孔位置图

选取本次勘查中 3 个具有代表性的典型钻孔(JY7-7、JY49、JY3)进行详细分析, 见表 2。可见 JY7-7、JY49 及 JY3 可揭露覆盖层 - 风化岩层 - 基岩的典型垂向结构特征, 较好验证了便携式钻机在斜坡单元孕灾地层揭露中的应用效果。结果还表明, ZY 便携式钻机发挥质量轻、搬运方便优势, 弥补了工程钻探钻机无法到达指定孔位的缺陷, 从开孔到终孔耗时 40~90 分钟, 每层岩芯采取率均达到了规定要求, 充分体现了该钻机钻进效率快的特点。

Table 2. Main strata revealed by typical boreholes

表 2. 典型钻孔揭露的主要地层

钻孔编号	地形	钻机型号	深度	主要地层揭露
JY7-7	半山腰	ZY-20	7.9 m	1、粉质粘土: 黄褐色, 硬塑, 单层结构, 局部含卵石及强风化泥灰岩碎石, 粒径 2~5 cm, 干强度和韧性中等, 岩芯采取率 90%, 揭露厚度 0~1.2 m。
JY49	半山腰房屋之间狭小作业面	ZY-15	4.0 m	2、强风化泥灰岩: 黄褐色, 泥质结构, 裂隙很发育, 岩芯多为片状, 岩质极软, 手可掰断, 其中 3.4~3.7 m 含 20%~30%卵石, 粒径 5~10 cm, 4.5~4.8 m 为硬塑状粘土, 岩芯采取率 90%, 揭露厚度 1.2~4.8 m。
JY3	山顶植被茂盛区	ZY-25	7.5 m	3、中等风化灰岩: 灰色, 隐晶质结构, 中 - 厚层状构造, 钙质胶结, 节理裂隙较发育, 多为白色方解石脉充填, 岩质较硬, 串珠溶洞发育, 顶板厚 0.1~0.5 m, 岩芯多呈块状, 少量呈柱状, 溶洞全充填软塑状粘土, 岩体基本质量等级为 IV 类, 岩芯采取率约 80%, 揭露厚度 4.8~7.9 m。

3.3. 孕灾斜坡结构类型揭露

基于钻孔揭露的地层岩性与产状信息, 将区内孕灾斜坡结构归纳为 5 类典型类型, 见表 3 所示。总体上, 这些类型反映了覆盖层厚度、基岩岩性及岩层产状与坡向关系对斜坡稳定性的共同控制作用。其中, 土质切层型为区内分布范围最广、发生频率最高的类型; 土质顺层型和碎屑岩顺层型因结构上具备较有利的顺坡滑移条件, 更易发育滑坡; 而土质逆层型和碎屑岩逆层型则多表现为局部失稳和崩塌破坏。

Table 3. Types and characteristics of disaster-pregnant slope structures

表 3. 孕灾斜坡结构类型及特征

类型	岩性组合	岩层面与坡向交角	失稳特点	主要灾害类型
土质切层型	覆盖层(3~6 m) + 砂岩/泥灰岩	30°~60°、120°~150°之间	易沿覆盖层 - 基岩接触面滑动	滑坡、崩塌
土质顺层型	覆盖层(4~6 m) + 砂质页岩 + 泥灰岩	0°~30°之间	易沿接触面或节理裂隙面滑动	滑坡为主、崩塌次之
土质逆层型	覆盖层(3~6 m) + 泥灰岩/页岩/灰岩	逆向	稳定性较差, 坡体易失衡	崩塌
碎屑岩顺层型	砂岩为主	同向	易沿节理裂隙面滑移	滑坡、崩塌
碎屑岩逆层型	砂岩 + 页岩	逆向	发育规模较小, 但稳定性较差	崩塌

3.4. 易崩易滑地层分布

通过钻孔资料与区域地质图综合分析,零陵区易崩易滑地层总面积 410.15 km² (占全区 20.9%), 具有 127 处中风险斜坡单元(占全区 65.8%), 见图 3 所示。主要易崩易滑主要集中于 5 个地层单元, 见表 4 所示。其中罗镜滩组(197 个/100km²)、烟溪组(149 个/100km²)、龙潭组(36 个/100km²)的灾害发育密度最高, 其次是龙潭组(34 个/100km²)和天马山组(28 个/100km²), 孕灾斜坡现场见图 4 所示(以天马山组为例)。这些地层高度集中于特定的软弱岩组中, 多由泥质粉砂岩、泥页岩构成, 遇水极易发生软化、泥化作用, 抗剪强度骤降, 是引发大规模斜坡变形的主控因素。

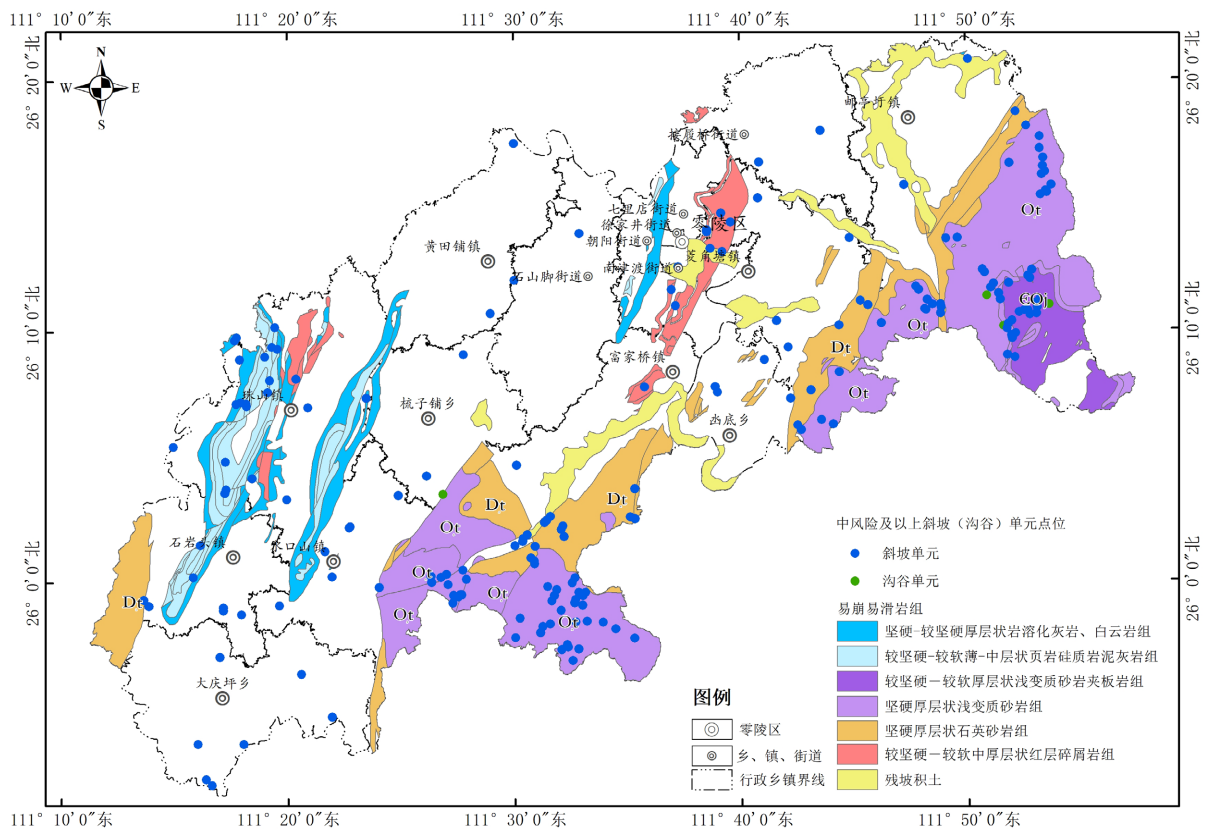


Figure 3. Distribution map of collapse- and landslide-prone strata
图 3. 易崩易滑地层分布图

Table 4. Distribution of main collapse- and landslide-prone strata
表 4. 主要易崩易滑地层分布

地层	面积(km ²)	全区占比(%)	中风险单元密度 (个/100km ²)	分布区域
罗镜滩组	2.53	0.13	197	中部、西北部
烟溪组	8.74	0.44	149	邮亭圩镇、富家桥镇
龙潭组	19.38	0.99	36	北部、中部灰岩区
大隆组	11.88	0.60	34	北部、中部灰岩区
天马山组	264.32	13.44	28	邮亭圩镇、富家桥镇



Figure 4. Medium-risk slope of Tianma Mountains formation in southern Fujiaqiao town
图 4. 富家桥镇南部天马山组中风险斜坡

4. 地质灾害成灾机理与模式

综合零陵区地质资料与野外钻探结果, 本区地质灾害成因主要受坡体结构、岩层产状、软弱层发育状况以及人类工程活动与降雨耦合作用控制, 主要归纳为以下四种典型成灾模式, 如表 5 所示。总体来看, 四类模式均以坡脚切坡扰动为初始条件, 并在强降雨入渗作用下加速失稳, 但不同坡体结构决定了灾害的具体表现形式。其中, 均质或似均质斜坡和缓倾外层状斜坡由于坡体整体具备较好的顺坡滑移条件, 失稳后多表现为滑坡, 尤其后者在软硬互层及软弱夹层泥化作用控制下, 顺层滑移特征更为明显。相比之下, 平缓层状斜坡和缓倾内层状斜坡受近水平或逆向坡结构控制, 坡体更易沿节理裂隙张裂、断开, 因而以崩塌为主。因此, 零陵区地质灾害并非单一因素作用结果, 而是地层结构条件控制下的人类工程扰动与降雨共同诱发的结果。从防灾角度看, 顺层及软弱夹层发育斜坡应重点防范滑坡, 陡倾逆向坡及近水平层状岩质斜坡则应重点关注崩塌风险。

Table 5. Formation mechanism and genetic models of geological hazards in Lingling district
表 5. 零陵区地质灾害形成机理与成因模式

成灾模式	典型地质结构	主要触发因素	主要灾害表现
均质或似均质斜坡蠕滑 - 拉裂式	上部多为残积粉质黏土、含砾黏土; 下部多为强风化泥灰岩、粉砂岩、页岩、浅变质岩、灰岩等; 层面与坡向大体一致	多发于 20°~60°的中低山及丘陵区。坡脚切坡扰动 + 暴雨入渗致土体饱和、抗剪强度降低	以滑坡为主, 崩塌和泥石流较少
平缓层状斜坡滑移 - 压致拉裂式	上覆残积土层较薄; 下部多为弱风化红层、页岩、泥灰岩、浅变质岩等; 岩层近水平, 倾角一般较小	多发于 30°~80°的中低山区。坡脚切坡扰动 + 暴雨入渗后岩土体增重、强度降低, 沿节理裂隙面失稳	以崩塌为主, 滑坡次之
缓倾外层状斜坡滑移 - 拉裂式	岩层缓倾外倾, 坡体沿层面或软弱结构面具备外滑条件	多发于 20°~60°的中低山及丘陵区。降雨软化 + 坡脚开挖/卸荷 + 结构面控制	以顺层滑坡为主, 常伴后缘拉裂
缓倾内层状斜坡滑移 - 压致拉裂式	岩层缓倾内倾, 坡体前缘受压、后缘易张裂, 局部沿结构面滑移	多发于 50°~80°的陡峻中低山区。降雨入渗 + 坡脚扰动 + 坡体内部应力重分布	以前缘压致变形、后缘拉裂为特征, 可形成滑坡或崩塌

5. 结论

(1) ZY 便携式钻机在复杂山区勘查中具备显著的适用性与高效性。其通过轻量化、模块化设计,有效克服了大型钻探设备搬运困难、对作业场地要求高的难题。

(2) 明确了零陵区内孕灾斜坡的 5 种典型结构,其中土质切层型斜坡结构分布最广。揭示了区内主要易崩易滑地层分布,高度集中在泥质粉砂岩、泥页岩构成的软弱岩组(如罗镜滩组、烟溪组)中,这些地层遇水极易软化泥化,是引发斜坡变形的主控因素。

(3) 区内地质灾害形成主要受坡体结构、软弱层发育、人类工程扰动与降雨入渗共同控制,可归纳为均质或似均质斜坡蠕滑-拉裂式等 4 种典型成灾模式,为区域风险评价与防治重点判别提供了依据。

ZY 便携式钻机虽具备轻便高效的勘查优势,但实际应用中仍存在一定局限性:如研究区为湘南丘陵特定地质条件,结论难以直接外推至其他岩性与地貌区域;ZY 便携式钻机在坚硬基岩、深厚覆盖层等工况下钻进效率与岩芯采取率受限;此外本次仅布设 19 个钻孔,样本量有限,钻机在复杂地层的适配性与长期作业可靠性仍需更多工程验证。

基金项目

湖南省地质院科研项目(2021YSP-03)。

参考文献

- [1] 曹金龙, 刘鹤玮. 便携式全液压钻机及其柴油机组启动电路问题分析与探讨[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(8): 42-45.
- [2] 卢长伟, 卢佳. 便携式水利钻机在水利工程中的应用[J]. 资源环境与工程, 2013, 27(4): 555-556+562.
- [3] 宋端正. HC600 型全液压力头便携式钻机在陇东南山区生产应用效果及经济性分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(4): 48-50.
- [4] 周旭林, 尹辉墩, 周子幸, 等. 便携式钻机在水泥灰岩矿勘查中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2017, 44(6): 1-5.
- [5] 李兴兵. XD800 型全液压便携式钻机在矿区勘查中的应用效果分析[J]. 世界有色金属, 2019(6): 53-55.
- [6] 张子伟, 郝永强. 便携式全液压钻机在地质勘查中的应用[J]. 黑龙江交通科技, 2021, 44(7): 233+235.
- [7] 孔二伟, 张锋, 李大鹏, 等. 便携式全液压钻机在地质勘查中的应用[J]. 西部探矿工程, 2021, 33(1): 71-74.
- [8] 刘蓓, 寇少磊, 朱芝同, 等. 便携式模块化钻机在绿色地质勘查工作中的应用实践[J]. 钻探工程, 2022, 49(2): 30-38.
- [9] 杨万贵, 马映辉, 贾宏福, 等. 便携式全液压钻机在工程勘察中的应用[J]. 四川地质学报, 2022, 42(1): 114-119.
- [10] 邹凤钗, 冷洋洋, 陶小郎, 等. 基于斜坡单元的滑坡风险识别——以贵州万山浅层土质斜坡为例[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2022, 33(3): 114-122.
- [11] 陈宾, 魏娜, 张联志, 等. 基于斜坡单元灾害强度的滑坡灾害易损性评价——以湖南省湘乡市为例[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2024, 35(2): 137-145.