

宁夏固原地区地质灾害精细化调查技术应用及防治对策分析

梁新富 马小波 康登成 单 斌 徐 磊 段 佳 段志刚

宁夏回族自治区水文环境地质调查院 宁夏 银川 750021

摘 要: 固原市地处宁夏南部黄土丘陵区, 地质环境脆弱, 地质灾害频发。基于 1: 10000 精细化调查成果, 系统分析灾害发育特征、分布规律及形成机理, 阐述“空-天-地”一体化调查技术体系。研究表明: 全市隐患点集中分布于黄土丘陵沟谷岸坡及人类活动强烈区段。构造复杂、黄土水敏性强、降水集中及人类工程活动为主要控制因素。精细化调查以斜坡单元为基本评价单元, 综合运用遥感解译、无人机航测、地面调查、物探钻探等手段, 实现隐患高精度识别与风险定量评价。据此提出“分区防控、精准施策”对策, 构建全链条防治体系, 为黄土高原地区地质灾害风险管控提供可复制的技术路径与实践经验。

关键词: 地质灾害; 精细化调查; 风险评价; 防治对策

引言

地质灾害严重威胁人民生命财产安全和区域可持续发展。我国黄土分布广达 64 万平方公里, 黄土高原因独特地质环境与强烈人类活动成为地质灾害高发区。宁夏固原地处黄土高原西部边缘, 属典型黄土丘陵地貌, 构造复杂、岩土脆弱、降水集中, 灾害频发。近年来, 国家推进“隐患点+风险区”双控体系建设, 要求在重点城镇开展 1: 10000 地质灾害精细化调查, 推动防控模式从被动应急向主动管控转型。深入贯彻落实总书记关于防灾减灾“两个坚持、三个转变”的重要指示精神, 即坚持以防为主、防抗救相结合, 坚持常态减灾和非常态救灾相统一, 努力实现从注重灾后救助向注重灾前预防转变、从应对单一灾种向综合减灾转变、从减少灾害损失向减轻灾害风险转变, 为新时期地质灾害防治工作提供了根本遵循。

1 研究区地质环境概况

1.1 自然地理与气候特征

固原市属黄河中游黄土高原丘陵沟壑区, 以六盘山为南北脊柱将市域分为东、西两壁, 地势呈南高北低、西高东低之势, 海拔范围在 1248 ~ 2955 m 之间。地貌类型以黄土丘陵为主, 间有川、塬、淌、盆台地, 山多川少, 梁峁交错, 沟壑纵横。黄土丘陵海拔多在 2000 m 左右, 中部山间平原海拔 1300 ~ 1500 m, 其余地区为山地和山间丘陵交错分布。地表分布主要为第三系湿陷性黄土, 黄土堆积厚度大, 垂直节理发育, 水敏性强, 遇水易产生湿陷变形^[1]。

1.2 地质构造与地层岩性

固原市大地构造位于昆仑山秦岭北祁连褶皱区, 地处鄂尔多斯地台与喜马拉雅隆起接触带。以龙首—六盘深断裂及月亮山-什字大断裂为界, 分为北祁连加里东褶皱带、西吉拗陷带等三级构造单元, 受西华山-六盘山弧形推覆构造及湟泥河、葫芦河、清水河等河流切割侵蚀, 形成复杂地形地貌。出露地层主要有中元古界海原群(西吉火石寨)、寒武系—奥陶系(原州区、彭阳零星出露)、侏罗系含煤岩系(原州区炭山)、白垩系六盘山群(隆德、泾源、彭阳广泛分布)及新生代红层与第四系黄土(全市广泛覆盖)。第四纪以来地壳总体抬升, 构造活动以左旋走滑为特征且持续至今。据《中国地震动参数区划图》(GB18306-2015), 全市地震动峰值加速度系数为 0.20g-0.40g, 地震活动频率高、破坏性强。

1.3 水文地质与工程地质条件

地下水按赋存条件分为松散岩类孔隙水、碎屑岩类孔隙裂隙水和基岩裂隙水三类, 其中松散岩类孔隙水与地质灾害关系最为密切。岩体按工程地质性质划分为坚硬的厚层砂岩岩组、软弱的薄层页岩-砾岩-粘土岩岩组和软弱的厚层砂岩-砾岩-粘土岩岩组三种类型^[2]。

1.4 人类工程活动影响

近年来, 农田建设、公路修建、矿产开发和居民削坡建房等工程活动日益加强, 在促进经济发展的同时严重破坏地质环境, 成为灾害重要诱发因素。其中, 坡改田项目对原始坡体进行大规模改造, 破坏地表植被与土体结构, 显著削弱坡体稳定性, 加剧了滑坡、崩塌等地

质灾害风险。

2 地质灾害发育特征与分布规律

2.1 地质灾害类型与分布特征

固原市地处宁夏南部黄土丘陵区,地貌类型多样、地形起伏大,属地质灾害易发多发区。地质灾害类型以滑坡、崩塌为主,兼有泥石流和地面塌陷。其中,滑坡是最主要灾害类型,多集中于黄土丘陵沟谷岸坡及人类工程切坡段,规模以中小型为主;崩塌则发育于黄土陡坎与土石山区,突发性强;泥石流与地面塌陷数量虽少,但威胁不容忽视。隐患点分布广泛,各县(区)均有发育,集中程度受地形地貌、岩性与人类活动强度控制。黄土丘陵区沟壑纵横、垂直节理发育,侵蚀强烈,属高发区;南部土石山水源涵养区隐患密集,原州区该区域占全区隐患点半数以上。全市超六成国土面积处于中高风险等级,防治任务艰巨。

2.2 形成机理

地质灾害受内外因素综合作用。内在因素上,区内黄土堆积厚、结构疏松、垂直节理发育且水敏性强,遇水入渗易失稳;地形高差大、坡度陡,为滑坡崩塌提供了有利临空条件。诱发因素上,集中降水导致土体含水率升高、抗剪强度降低是主要触发条件;道路修建、削坡建房及采矿等人类活动诱发占比高达43%。此外,固原位于西华山—六盘山弧形推覆构造带,新构造运动活跃,1920年海原8.5级地震形成大量地震诱发滑坡,至今仍是重要隐患来源。

3 精细化调查技术方法体系

3.1 技术路线与总体架构

固原市地质灾害精细化调查以县(区)为实施单元,采用1:10000比例尺为主要工作尺度。调查工作遵循“以人为本、预防为主”“实事求是、动态管理”“部门负责、专业支撑”的基本原则,综合运用遥感解译、无人机航测、专项地质测量、斜坡单元调查、物探勘查、钻探验证等多种技术手段,形成了“空-天-地”一体化的精细化调查技术体系。技术路线可概括为:在系统收集已有成果资料的基础上,通过遥感解译初步识别地质灾害及隐患,结合无人机调查开展重点区精细判读,以地面调查和专项地质测量为核心获取详实数据,辅以物探和钻探手段验证深部地质条件,最终通过综合评价形成调查成果。以西吉县吉强镇为例,其典型乡镇精细化调查面积252km²,共划分斜坡单元400个,为全市精细化调查工作提供了示范经验^[3]。

3.2 遥感解译与无人机调查技术

遥感技术是大范围地质灾害识别与监测的有效手段。固原市采用国产高分一号、二号等卫星数据,开展1:10000比例尺遥感地质解译,实现对黄土丘陵区、土石山区等不同地貌单元地质灾害隐患的初步识别。遥感解译工作主要包括:建立典型地质灾害遥感解译标志,识别滑坡、崩塌等地质灾害体的形态特征和分布状况,判断其活动迹象和发展趋势,为地面调查提供靶区指引。无人机调查作为卫星遥感的重要补充,在重点区域和疑似隐患点开展精细化航拍,获取高分辨率正射影像和数字高程模型(DEM),工作比例尺优于1:1000。无人机调查具有机动灵活、分辨率高、可多角度观测的优势,特别适用于地形复杂、人员难以到达区域的地质灾害隐患识别。通过无人机三维建模,能够精确测量灾害体的几何参数,为稳定性评价和风险分析提供可靠数据支撑。

3.3 地面调查与专项地质测量

地面调查是精细化调查的核心环节。全市以斜坡单元为基本调查单元,逐坡开展系统调查。斜坡单元调查内容涵盖坡向、坡度、坡面形态、结构类型等基本特征,重点分析判定斜坡稳定性和发展趋势。专项地质测量工作包括1:10000地质灾害测量、重要隐患点及斜坡1:1000地质测量以及1:1000实测地质剖面。对于确定为地质灾害或隐患的斜坡,进一步详细调查其边界条件、物质组成、结构面特征、变形迹象和影响因素,综合判断其稳定性状态和可能失稳方式。以西吉县吉强镇为例,其调查面积252km²,划分斜坡单元400个(重点调查区100个、一般调查区300个),设置其他调查点100个,完成1:10000地质灾害测量108km²,重要隐患点及斜坡1:1000地质测量3km²,实测地质剖面14条。承灾体调查是连接地质灾害危险性与风险评价的关键环节,调查内容包括可能受地质灾害或失稳斜坡威胁的人员、建(构)筑物、基础设施及其他工程等,系统收集承灾体的类型、数量、价值及易损性信息。

3.4 物探与钻探勘查技术

对于重要隐患点和典型斜坡,采用物探与钻探相结合的手段开展勘查工作,以查明深部地质结构和获取定量评价参数。物探工作主要采用高密度电法和地质雷达两种方法。高密度电法通过视电阻率成像揭示斜坡体内部结构、地层界面及含水状况;地质雷达用于浅层精细结构探测和隐伏裂缝识别。物探成果为钻探孔位布置和地质剖面推绎提供依据。钻探工程直接揭露滑坡体及滑带物质组成和结构特征,通过钻探取样开展室内岩土测

试,获取土体的物理力学参数(天然密度、含水量、液塑限、抗剪强度、压缩性指标等),这些定量参数是斜坡稳定性计算和风险定量评价的基础数据。以西吉县吉强镇为例,其物探工作完成高密度电法测点 1072 点、地质雷达探测 3000 点,钻探总进尺 190m(重点区 80m、一般区 110m),配合探槽 37m³,完成岩土样 16 组,有效支撑了调查区斜坡稳定性的定量评价。

3.5 斜坡单元划分与风险评价方法

斜坡单元是地质灾害精细化调查评价的基本空间单元,其合理划分直接决定评价结果的科学性和实用性。斜坡单元的划定综合考虑地形分水岭、沟谷切割、坡面形态等因素,结合地质条件和人类工程活动特征进行人工修正,确保每个单元在地质环境条件和灾害发育特征上具有相对一致性。单体地质灾害风险评价在调查或勘察工作基础上,根据灾害体的稳定性、危险性,结合承灾体调查结果,采用定性或定量方法评定风险等级。区域地质灾害风险评价则以斜坡单元为基础,在易发性和危险性评价的基础上,叠加承灾体易损性信息,综合判定各单元的风险等级,据此进行地质灾害风险分区,为固原市地质灾害防治和国土空间规划提供科学依据。

4 地质灾害防治对策分析

基于上述精细化调查,固原市地质灾害防治应坚持“分区防控、精准施策”原则:对高一极高风险区优先实施工程治理与避险搬迁,重点针对滑坡、崩塌隐患点采取削坡减载、截排水沟修筑和抗滑支挡等工程措施,对城镇及重要设施周边的隐患点开展专业监测预警;对中—低风险区以群测群防和巡查排查为主,强化坡改田、道路切坡等人类工程活动的规范管理,严格控制不合理削坡行为并落实同步护坡措施;同时,依托“空-天-地”一体化调查数据,完善市—县—乡三级地质灾害气象预警体系,加强针对黄土垂直节理发育区和构造破碎带的降雨阈值研究,并将风险区划成果纳入国土空间规划与建设用地审批,从源头规

避灾害风险,最终形成“隐患识别—风险评价—监测预警—工程治理—空间管控”全链条防治体系,有效保障人民群众生命财产安全^[4]。

5 结语

固原市 1:10000 精细化调查构建了“空-天-地”一体化技术体系,实现从区域宏观识别到隐患点精准判定的逐级聚焦,显著提升隐患识别能力和风险评价精度。调查表明,灾害受黄土水敏性、地形切割、构造活动与人类工程活动多重叠加控制,需从单点治理向全域风险分区分区管控转变。当前调查虽成效显著,但深部隐患识别仍存不确定性,风险评价参数本地化校准尚需完善。未来应推进调查成果动态更新与业务化运行,建设全流程信息化管理平台,加强 AI 与 InSAR 等早期识别能力建设,深化降雨阈值与黄土力学本构等基础研究,将风险区划纳入国土空间规划“一张图”管理,从源头约束不合理开发。唯有坚持“以人为本、预防为主”,持续夯实数据底座,完善“隐患点+风险区”双控体系,方能将“两个坚持、三个转变”理念转化为守护人民生命财产安全的坚实屏障,为黄河流域生态保护与高质量发展先行区建设提供地质安全保障。

参考文献

- [1] 杨凌雪.宁夏固原市原州区滑坡地质灾害成因、特征及防治策略[J].中国金属通报,2020,(11):195-196.
- [2] 蔡青玉.宁夏固原市原州区地质灾害发育特征及危险性研究[D].中国地质大学(北京),2020.DOI:10.27493/d.cnki.gzdzy.2020.001840.
- [3] 张佳.黄河中上游(宁夏黄土丘陵区)滑坡地质灾害早期识别与机理研究.宁夏回族自治区,宁夏回族自治区国土资源调查监测院,2023-10-07.
- [4] 苏沉.黄河中上游宁夏南部山区环境地质灾害风险评价研究[D].长安大学,2023.DOI:10.26976/d.cnki.gchau.2023.001209.