

梁鑫, 范文, 苏艳军, 等. 秦岭钒矿集中开采区隐蔽性地质灾害早期识别研究[J]. 灾害学, 2019, 34(1): 208-214. [LI-ANG Xin, FAN Wen, SU Yanjun, et al. Study on early identification technology of concealed geological hazards in vanadium mining area of Qinling[J]. Journal of Catastrophology, 2019, 34(1): 208-214. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2019.01.038.]

秦岭钒矿集中开采区隐蔽性地质灾害早期识别研究*

梁鑫, 范文, 苏艳军, 李培

(长安大学地质工程与测绘学院 陕西 西安 710064)

摘要: 秦岭矿产资源开采区地质灾害具有形成条件复杂、隐蔽性强与识别难等特点。如何识别隐蔽性地质灾害是一难点。通过秦岭钒矿开采区地质灾害详细调查, 主要从斜坡体岩性组合特征、斜坡岩体结构特征、高程、坡型、坡度以及采矿活动六个方面总结了该区域地质灾害发育规律。在此基础上, 结合无人机航拍室内解译提出了一套适用于该地区的隐蔽性斜坡灾害早期识别方法, 从而为矿山斜坡灾害预警与防治提供理论依据和技术支持。

关键词: 钒矿开采区; 隐蔽性; 地质灾害; 早期识别技术; 秦岭

中图分类号: X43; P694 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2019)01-0208-07

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2019.01.038

秦岭是华北与扬子两大板块碰撞造山带^[1], 该地区地质构造复杂、岩土体结构类型多变, 形成高山峡谷、沟壑纵横的地形地貌, 是我国南北重要的地理分界线, 造就了南北气候的迥异, 同时也是全国地质灾害的高发地带。近年来国内经济逐年增长, 西部大开发战略得到进一步实施, 人类工程活动和矿产资源的开发增多, 崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害变得更加频繁, 特别是在矿产资源集中开采区, 诱发地质灾害的数量逐渐增多, 且具有形成条件复杂、隐蔽性强、识别难等特点^[2-4]。例如2015年8月12日发生在陕西省山阳县中村镇烟家沟碾沟村的特大型山体滑坡, 掩埋中村钒矿15间职工宿舍和矿山配套设施及3间民房, 8人遇难, 57人失踪, 造成了严重的经济和人员损失。

地质灾害之所以能给人类社会造成如此严重的危害, 在于人们难以事先对具有潜在威胁的灾害进行准确的识别和预测, 因而也就难以预先防范。目前除了对有潜在危险性的灾害点进行全面治理之外, 对地质灾害综合防治的另外一条积极主动的、有效的途径, 就是开展潜在的隐蔽性地质灾害的早期识别研究^[5-6]。该研究一直是世界性的难题, 早在1970年代, H. T. 里布(Rib)等^[7]讨论了如何认识潜在滑坡, 并总结分析了遥感技术在滑坡判别中的应用。我国学者1975年编写的《工程地质手册》^[8]中简要从地貌、地层岩性、水

文地质条件上识别滑坡。徐邦栋^[9]详细阐述了从地形地貌、地层岩性、结构构造及水文地质等条件判别潜在滑坡的依据和方法。邵铁全^[10]提出了滑坡超前预判的基本方法, 即单要素预判法和综合要素预判法。何满朝等^[11]针对巨型滑坡难以识别的问题, 提出了利用宏观地质特征和微观结构特征相结合确定“滑坡岩体”的新方法。褚宏亮^[12]运用三维激光扫描技术和机载激光雷达扫描技术进行了地质灾害早期识别的研究。本文基于前人的研究成果, 开展了无人机遥感与宏观地质识别指标相结合的地质灾害早期识别体系研究。

1 地质环境概况

研究区位于陕西省东南部, 商洛市南部, 西起山阳县中村镇夏家店村, 东至土门镇龙王庙村, 长约26 km, 南北宽约4.5 km, 总体带状分布。

1.1 地形地貌

该区域属于秦岭山系南麓鹅岭山脉, 属浅切割中山地貌, 地势西南高东北低, 海拔在800~1500 m, 平均海拔1100 m^[13], 最低点位于峡峪沟段, 海拔791.1 m, 最高点位于金狮剑西沟壑, 海拔1441.6 m, 相对高差300~500 m。沟谷纵横, 流水侵蚀严重, 沟谷以NS方向展布为主, 两

* 收稿日期: 2018-07-19 修回日期: 2018-09-12

基金项目: 中国地质调查局项目(2147026160170)

第一作者简介: 梁鑫(1991-), 男, 内蒙古呼和浩特人, 硕士研究生, 主要从事工程地质与地质灾害等方面的研究工作。

E-mail: 243337764@qq.com

侧坡体坡度在 $40^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 之间。矿区内树木杂草丛生, 植被发育(图 1, 图 2)。



图 1 沟谷深切



图 2 地形陡峻

1.2 地质构造

该区域位于商丹缝合带和勉略缝合带之间, 在此宏观构造背景下, 导致矿区内构造格局总体由近东西向的褶皱、断裂构造组成。区内褶皱主要有: 烟家沟倒转背斜、正沟脑倒转向斜。断裂主要有: 南秦岭北部逆冲推覆构造带、凤镇~山阳断裂带、板岩镇~镇安断裂带、两河-阎河-白河断裂带和红椿断裂带。

1.3 地层岩性

该区域主要出露地层有上元古界震旦系灯影组(Z_2dn), 下古生界寒武系-上奥陶系的水沟口组(ϵ_1sh)、岳家坪组(ϵ_2y)、石瓮子组[($\epsilon_3 - O_1$)s], 第四系地层主要分布于沟谷地带(图 3, 图 4)。



图 3 硅质岩

震旦系灯影组依据岩性组合、结构构造特征等可分为两个岩性段: 上岩性段岩性为灰色厚层微晶白云岩; 下岩性段以浅~灰白色厚层~巨厚层微晶白云岩为主。水沟口组与灯影组接触关系在局部地段被构造破坏, 多数地段保留平行不整



图 4 白云岩

合接触关系。水沟口组为一套海相碎屑岩、生物碎屑岩、泥质(粘土)岩、碳酸盐岩沉积, 为钒矿的赋矿层位, 岩性主要为薄层硅质岩夹粘土岩, 倾向北, 产状 $340 \sim 10^{\circ} \angle 32 \sim 56^{\circ}$ 。中寒武统岳家坪组岩性主要为微晶砾屑灰岩夹粘土岩。第四系分布于河流的河谷底部和坡地, 为河谷冲、洪积砂砾石, 残积、坡积砂土堆积(图 5)。

2 地质灾害发育规律

本次调查采用无人机低空航拍与实地详查相结合的方式, 重点调查矿区即钒矿带周围的斜坡灾害, 共查明灾点 35 处, 其中滑坡 16 处(表 1), 崩塌 13 处, 泥石流沟 6 条。在此基础上, 在 Arcgis 平台下, 以 1:10 000 地形图作为基础地理地图, 集成野外调查的地质灾害点, 以及前期所收集的地质资料, 得到研究区的地质灾害分布图(图 6)。

2.1 灾害分布与岩性组合的相关性

调查区主要涉及两组地层, 震旦系灯影组 Z_2dn^{1-2} 地层和寒武系水沟口组第一岩性段 ϵ_1sh^1 和第二岩性段 ϵ_1sh^2 , 水沟口组是钒矿的主要赋矿层。灯影组地层以白云岩为主, 水沟口组第一岩性段为薄-中层状硅质岩和薄层状含碳硅质岩夹水云母粘土岩, 第二岩性段为黑色薄层状泥质碳质岩; 由于整条钒矿带位于耀州河倒转背斜南翼, 地层倒转导致震旦系地层位于寒武系地层之上, 呈平行不整合接触, 整体形成典型的“上硬下软”两个地质单元组成的双层结构。

调查区多数灾害是发生在这样的岩性组合条件下的, 由于上部中厚层状白云岩致密坚硬, 完整性和力学性质较好, 从而形成突出的高陡地形; 而下伏薄层碳质硅质岩夹粘土岩为软岩, 层理、节理发育, 完整性和力学性质差, 且遇水会发生软化, 因此在两层岩性分界面处形成软弱带, 成为滑坡和崩塌的重要致灾因素。

2.2 灾害分布与高程的相关性

根据调查区的 DEM 栅格图将调查区内的高程进行重分类分为 5 个等级: < 800 m、 $800 \sim 1 000$ m、 $1 000 \sim 1 200$ m、 $1 200 \sim 1 400$ m、 $> 1 400$ m,

表 1 滑坡统计表

名称	特征描述
西沟一号滑坡	滑坡长约 140 m, 宽约 50 m, 高 53 m。顺向坡, 上覆 1.5 m 厚的耕植土, 下伏基岩为弱风化泥盆系白云岩, 产状 $260^{\circ} \angle 36^{\circ}$, 节理不发育。斜坡坡向 280° , 坡度 30°
西沟二号滑坡	滑坡长 78 m, 宽 53 m, 高 34 m。上陡下缓, 斜向坡, 上覆 2 m 厚的耕植土, 下伏基岩为弱风化泥盆系泥质灰岩, 产状 $305^{\circ} \angle 34^{\circ}$, 节理未见。斜坡坡向 0° , 坡度 23.5°
秦金滑坡	潜在滑体长约 40 m, 宽 20 m, 高 20 m。顺向坡, 上覆 0.2 m 厚的碎石土, 下伏基岩为中风化泥盆系厚层白云岩, 夹泥质砂岩, 产状 $30^{\circ} \angle 41^{\circ}$, 节理发育, 产状 $285^{\circ} \angle 32^{\circ}$ 。斜坡坡向 0° , 坡度为 38.5°
老林沟滑坡	潜在滑移体长 60 m, 宽 40 m, 高 42 m。斜向坡, 上覆植被根部 0.2 m 厚的碎石土, 下伏基岩为中风化奥陶系厚层白云岩, 产状 $30^{\circ} \angle 70^{\circ}$, 节理较发育, 产状 $110^{\circ} \angle 60^{\circ}$ 。斜坡坡向 85° , 坡度为 52°
秦鼎滑坡	滑坡长 107 m, 宽 60 m, 高 68 m。顺向坡, 上陡下缓, 上部上覆薄层碎石土, 植被发育, 下部人工活动强烈, 出露岩层为中风化寒武系硅质岩, 产状 $34^{\circ} \angle 61^{\circ}$, 节理发育, 产状 $282^{\circ} \angle 76^{\circ}$ 。斜坡坡向 60° , 坡度为 39°
小熊滑坡	滑坡长约 56 m, 宽约 40 m, 高 46 m。上缓下陡, 顺向坡, 上覆寒武系泥质页岩, 产状 $10^{\circ} \angle 58^{\circ}$, 厚约 10 m, 节理发育, 产状 $110^{\circ} \angle 38^{\circ}$ 。下伏震旦系中风化厚层白云岩, 产状 $20^{\circ} \angle 52^{\circ}$, 斜坡坡度 40° , 坡向 340°
山阳滑坡	滑坡长约 460 m, 宽约 150 m, 高 258 m。顺向坡, 上覆震旦系中风化厚层白云岩, 产状 $15^{\circ} \angle 43^{\circ}$, 厚约 30 m, 下伏寒武系水沟口组硅质岩, 产状 $20^{\circ} \angle 47^{\circ}$, 节理发育, 产状 $100^{\circ} \angle 60^{\circ}$, 斜坡坡度 32° , 坡向为 90°
五色沟滑坡	潜在滑体长约 74 m, 宽约 131 m, 高约 84 m。斜向坡, 植被发育, 坡底人工切坡, 上覆震旦系中风化厚层白云岩, 产状 $0^{\circ} \angle 55^{\circ}$, 节理较发育, 产状 $80^{\circ} \angle 47^{\circ}$ 。斜坡坡度 27.5° , 坡向为 330°
尾矿库滑坡	潜在滑体长约 43 m, 宽约 41 m, 高约 30 m。上陡下缓, 顺向坡, 植被发育, 上覆震旦系中风化厚层白云岩, 产状 $0^{\circ} \angle 55^{\circ}$, 节理较发育, 产状 $255^{\circ} \angle 35^{\circ}$ 。斜坡坡度 40° , 坡向为 350°
梅子沟滑坡	滑体长约 36 m, 宽约 43 m, 高约 40 m。斜向坡, 坡上植被发育, 坡体中上部人工修路切坡, 上覆紫红色中风化厚层白云岩, 产状 $35^{\circ} \angle 52^{\circ}$, 节理较发育, 产状 $120^{\circ} \angle 68^{\circ}$, $305^{\circ} \angle 42^{\circ}$ 。斜坡坡度 37.5° , 坡向为 100°
祖师沟一号滑坡	潜在滑体长约 70 m, 宽约 50 m, 高 80 m。顺向坡, 坡上植被发育, 植被根部有 0.2 m 的根植土, 上覆震旦系中风化厚层白云岩, 产状 $5^{\circ} \angle 70^{\circ}$, 节理较发育, 斜坡坡度 43.5° , 坡向为 30°
祖师沟二号滑坡	潜在滑体长约 60 m, 宽约 18 m, 高约 90 m。斜坡坡度 37.5° , 坡向为 100° , 上陡下缓, 斜向坡, 坡上植被发育, 上覆厚约 4 m 的矿渣堆积体, 下伏岩层为板岩, 产状 $10^{\circ} \angle 48^{\circ}$, 节理不发育
龙台子一号滑坡	潜在滑体长 83 m, 宽 40 m, 高 93 m。斜坡坡度 35° , 坡向 325° , 斜向坡, 上陡下缓, 坡上植被发育, 上覆厚约 7 m 的矿渣堆积体, 下伏岩层为白云岩, 产状 $30^{\circ} \angle 53^{\circ}$, 节理发育, 产状 $230^{\circ} \angle 61^{\circ}$
龙台子二号滑坡	潜在滑体长约 100 m, 宽 60 m, 高 53 m。顺向坡, 上覆 0.2 m 厚的碎石土, 下伏基岩出露明显, 为中风化厚层白云岩, 产状 $90^{\circ} \angle 28^{\circ}$, 节理发育, 产状 $190^{\circ} \angle 51^{\circ}$ 。斜坡坡向 74° , 坡度为 32°
金狮剑滑坡	滑坡长约 80 m, 宽约 65 m, 高约 68 m。斜坡坡度 43.5° , 坡向 347° , 顺向坡, 植被发育, 上覆寒武系中风化细晶白云岩, 产状 $12^{\circ} \angle 52^{\circ}$, 下伏寒武系硅质岩, 产状 $5^{\circ} \angle 48^{\circ}$, 节理发育, 产状 $97^{\circ} \angle 42^{\circ}$
大沟滑坡	潜在滑体长约 98 m, 宽 50 m, 高约 53 m。顺向坡, 上覆 15 m 厚中风化寒武系白云岩, 产状为 $2^{\circ} \angle 51^{\circ}$, 下伏紫红色硅质岩, 产状 $0^{\circ} \angle 46^{\circ}$, 节理发育, 产状 $91^{\circ} \angle 41^{\circ}$ 。斜坡坡向 340° , 坡度为 43°

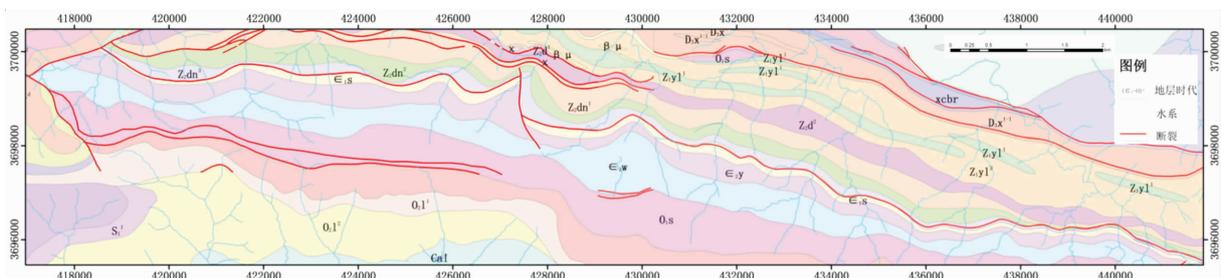


图 5 钒矿区地质图

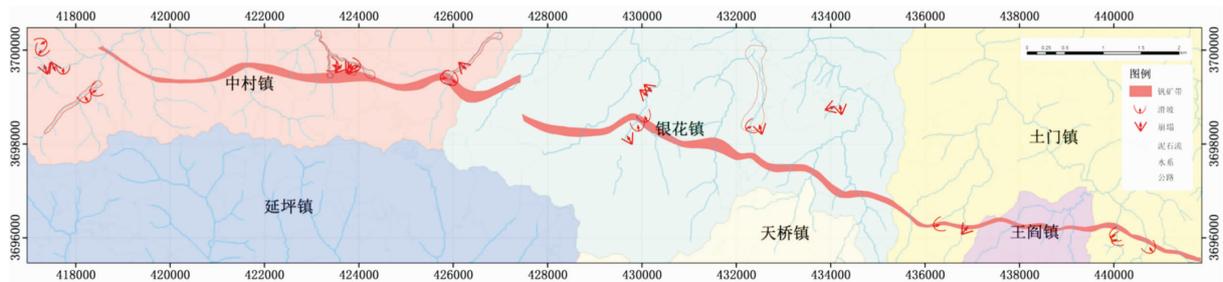


图 6 钒矿区地质灾害分布图

由表 2 可以看出, 灾害点密度随着高程的增加呈现先增后减的现象, 斜坡灾害主要发生在 800 ~ 1 200 m 之间, 这是因为在高程较低的区域多是河谷的底部, 地形平坦开阔, 而 800 ~ 1 200 m 是区域上河流从峡谷进入宽谷的部位, 这一部位地形坡度较陡, 岩体卸荷最为强烈, 人类工程活动频繁, 采矿响应最为突出, 因而斜坡地质灾害也最为发育。在高海拔区由于受采矿等人类工程活动影响较小, 故灾害发育较少。

表 2 斜坡灾害分布与高程的关系

高程/m	分区面积/km ²	灾害点数目/处	点密度/(处/km ²)
<800	10.78	3	0.28
800~1 000	36.19	15	0.41
1 000~1 200	42.68	13	0.30
1 200~1 400	24.07	4	0.17
>1 400	4.50	0	0.00

2.3 斜坡灾害分布与坡度的相关性

根据野外调查结果, 将调查区的斜坡划分为 <30°、30°~50°、>50° 三个等级, 统计不同坡度分类上的地质灾害个数(图 7)可以看出, 滑坡集中于 30°~50° 的坡体上, 崩塌分布于 50° 以上的坡体上, 而泥石流则发育在小于 30° 的坡体和沟谷中。

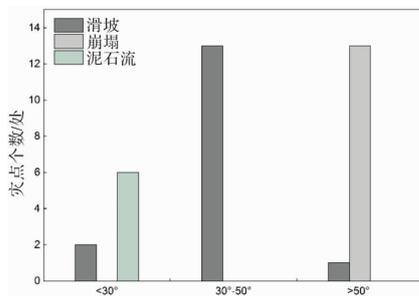


图 7 灾害分布与坡度的关系

2.4 斜坡灾害分布与坡型的相关性

根据坡面形态可以将斜坡分为凹型坡、直线型坡和凸型坡, 根据 DEM 提取的坡面曲率是对地面坡度沿最大坡降方向地面高程变化率的度量, 可以间接的表示坡面形态, 从而把坡面曲率值 >0.5 的归为凸型坡, 坡面曲率 <-0.5 的归为凹型坡, -0.5 < 坡面曲率 < 0.5 的归为直线型坡。

从表 3 中可以看出, 灾害集中分布于凸型坡, 而在凹型坡中发育最少, 直线型坡体的灾害分布介于二者之间。这是因为凹型坡是侵蚀基准长期稳定的结果, 坡体中的应力集中较弱, 坡体稳定性好, 而凸型坡则相反, 坡体表面向上凸起, 反映了地壳隆升强烈、河流下切速度大于坡体侵蚀速度的结果, 内部应力集中明显, 还可能出现拉应力, 形成崩塌。

表 3 灾害分布与坡型的关系

坡型	分区面积/km ²	灾害点数目/处	点密度/(处/km ²)
凹型坡	49.62	4	0.08
直线型坡	16.95	6	0.35
凸型坡	51.67	19	0.37

2.5 灾害分布与斜坡结构类型的相关性

斜坡结构类型反映了岩层原生层状结构面产状与斜坡的相互关系, 总体控制了斜坡临空条件和斜坡变形破坏的基本类型。结构类型主要表现为岩层倾角和斜坡坡向之间的相互关系。由此根据岩层倾角与斜坡坡向之间的夹角(α)分为: 顺向坡(0°~30°)、顺斜向坡(30°~60°)、横向坡(60°~120°)、逆斜向坡(120°~150°)、逆向坡(150°~180°)五类。

对本次野外调查结果进行统计, 得到如图 8 所示的结果, 可见研究区内顺向坡是灾害的高发区, 灾点属于顺向坡的占比为 41%, 其次为顺斜向坡占到 24%, 而横向坡和逆斜向坡灾点数量相近, 逆向坡灾点数量最少, 即研究区斜坡灾害易发程度为: 顺向坡 > 顺斜向坡 > 横向坡 > 逆斜向坡 > 逆向坡。另外根据对灾害点岩层倾角的统计(表 4), 发现岩层倾角集中在 40°~60°, 占灾害总数的 68.97%。

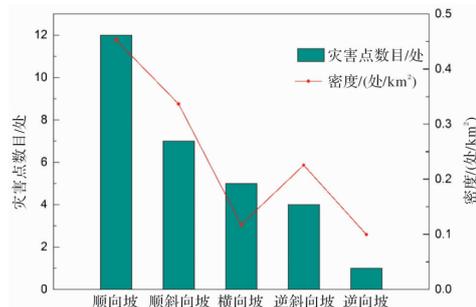


图 8 灾害点斜坡结构类型

表4 灾害分布与岩层倾角的对应关系

倾角/°	灾害点数目/处	灾害点个数百分比/%
0~40°	5	17.24
40~60°	20	68.97
60~90°	4	13.79

2.6 人类工程活动

研究区钒矿带东西展布, 主要人类工程活动为矿山开采, 沿线分布有10座矿山, 规模大小不等, 采矿活动对坡体稳定性的影响主要包括巷道开挖和爆破。

(1) 巷道开挖对山体稳定性的影响分析

巷道开挖应力重分布范围及塑性圈半径是评价开挖巷道影响范围的主要依据。根据岩体力学理论, 在静水压力状态下(洞室埋深大于洞室高度的三倍以上时), 一般认为地下洞室开挖引起围岩应力重分布的范围为 $6r_0$, 在该范围以外岩体结构不受开挖的影响。根据修正的芬纳公式, 塑性圈的最大半径可按式计算:

$$R_1 = r_0 \left[\frac{(\sigma_0 + C_m \text{ctg} \varphi_m)(1 - \sin \varphi_m)}{C_m \text{ctg} \varphi_m} \right]^{\frac{1 - \sin \varphi_m}{2 \sin \varphi_m}} \quad (1)$$

式中: $\sigma_0 = \gamma H$ 为初始应力。

据调查, 研究区矿洞直径为2.5 m, 最大埋深为120 m, 上覆岩层为白云岩, 容重 $\gamma = 28 \text{ kN/m}^3$, 内聚力 $C_m = 500 \text{ kPa}$, 内摩擦角 $\varphi_m = 33.5^\circ$ 。经计算知, 巷道开挖引起岩体内部应力重分布的范围为7.5 m, 在7.5 m以外巷道开挖引起的应力重分布值可以忽略不计; 巷道开挖引起围岩塑性变形的塑性圈最大为1.8 m。

(2) 爆破振动对山体稳定性的影响分析

矿山巷道的钻爆开挖过程中, 由于爆破振动波的作用, 在岩体中会形成爆破影响区。该区域内, 会产生新的或是再次被扩展的微裂纹、微裂隙, 从而导致该区域内岩石力学参数的变化, 例如岩石强度、弹性模量、声波速度等参数的降低, 孔隙率的增大等。爆破影响区主要以允许安全距离和裂隙圈半径来控制。

根据爆破安全规程, 爆破振动安全允许距离根据下式进行计算:

$$R = \left(\frac{K}{V} \right)^{\frac{1}{a}} \times Q^{\frac{1}{3}} \quad (2)$$

式中: R 为爆破振动安全允许距离(m); Q 为炸药量, 齐发爆破为总药量, 延时爆破为最大一段药量(kg); V 为保护对象所在地质点振动安全允许速度(cm/s); K 、 a 为与爆破点至计算保护对象间的地形、地质条件有关的系数和衰减指数。

根据规范, 结合实际情况, 该区采矿地层为黏土岩, 可考虑为软岩, 则 K 、 a 分别取为300、2.0。矿山爆破的最大同段药量处在巷道掘进中。每掘进2 m进尺需24 kg炸药。考虑掏槽眼、周边眼和辅助眼共分3段, 辅助眼最大药量将不超过15 kg。允许安全速度的选取, 依据一般砖房、非抗震的大型砌块建筑物的允许标准。爆破频率范围按深孔爆破考虑, 按50 Hz选取。则允许安全速

度可取为2.5 cm/s。经计算, 允许安全距离为16.74 m。根据经验, 该地区为小药量爆破, 岩石裂隙圈均小于1 m。

综上所述, 综合考虑开挖和爆破的影响, 只要矿洞与潜在滑面的距离大于16.74 m, 矿山爆破开挖对坡体稳定性基本没有影响。

3 早期识别模型建立

地质灾害的早期识别工作是对其研究、预警预报和进行治理的基础, 在识别的基础上才能通过地表或外部现象认识到其成因机理, 才能确定合理有效的防治措施^[14]。研究区隐蔽性斜坡地质灾害识别主要包括两方面内容, 首先进行灾害点的室内解译, 通过变形迹象以及不同类型灾害特有的几何形态进行初步筛选判别, 然后在野外进行验证, 同时利用地质识别标志判别其稳定性以实现隐蔽性斜坡灾害的最终识别。

3.1 无人机遥感室内解译

由于研究区范围大、山高沟深、植被茂密, 有些区域人难以到达, 所以我们首先使用无人机进行大范围的航拍, 然后在室内通过Agisoft PhotoScan软件进行照片的拼接建立三维模型和DOM数字正射影像^[15], 处理流程见图9, 三维模型更符合人类的思维惯性, 它可以更直观的反映地貌变化和地形起伏, 之后通过解译标志进行详细解译, 获得每个解译点的位置、规模、几何形态和危险性等^[16]。解译工作流程见图10。

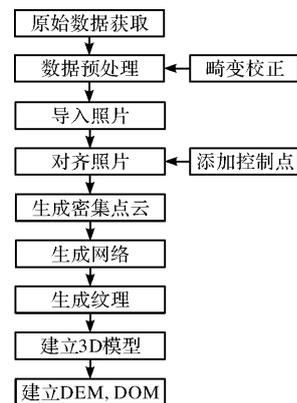


图9 photoscan 软件照片处理流程

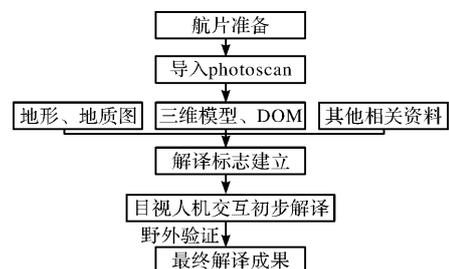


图10 无人机遥感解译流程图

表 5 地质灾害解译标志

解译标志 解译对象	颜色	形状	大小	位置	其他
滑坡	浅绿色、绿色、 白色、土黄色	弧形、舌形、圈 椅形、不规则形	大小不一	多发育于陡坡、河谷两侧 坡体、矿洞周围、矿渣堆 积处, 坡面多沟壑	后缘有弧形异常影像, 例如 陡坎、出露的基岩
崩塌	浅灰色、灰白 色、土黄色、 绿色	矩形、梨形	小	道路两侧高陡边坡、斜坡 体后缘直立岩体	后缘有异常影像
泥石流	白色、黑色	线状	大小不一	物源充足、坡降较陡、顺 直的沟谷中	沟道内有大量的矿渣堆积

Agisoft PhotoScan 是俄罗斯开发的一套摄影后处理软件, 是把静态图片自动拼接生成正射影像的摄影测量软件, 它的优势是精度高、完全自动化, 在特殊飞行轨迹、无控制点的情况下, 可以制作三维影像和 DOM 正射影像。该软件对照片质量要求低, 只要保证拍摄场地照片有足够的重叠率, 没有漏拍, 就可以顺利的自动拼接^[17]。

本次航飞 10 个矿区, 量测面积 26 km², 布设 78 条航线, 飞行 15 架次, 拍摄照片 2 500 余张。以山阳中村镇五洲矿业金狮剑开采区为例, 航拍采用大疆 PHANTOM 4 PRO 无人机, 布设 6 条航线, 飞行 3 个架次, 拍摄 300 余张照片, 量测 2.65 km², 飞行高度 500 m, 航向重叠率 80%, 旁向重叠率 75%, 相机倾斜 45°。手动剔除质量较差的照片, 将所有的照片导入到 photoscan 中生成三维影像和 DOM 正射影像, 之后根据解译标志(表 5)进行初步解译。三维模型见图 11。



图 11 无人机航拍建立的三维模型

3.2 地质识别标志

对于有可能失稳的潜在斜坡, 主要是要探明其地层岩性、坡体结构、不连续面的性质及组合特征。基于对研究区地质灾害发育分布规律的研究, 本文初步选取六个指标作为钒矿区灾害识别的指标, 而岩性组合上硬下软和顺向坡或顺斜向坡这两个特征, 我们将其作为钒矿区斜坡存在不稳定可能性的基本条件, 在此基础上岩层倾角 40°~60°、地形坡度 30°~50°、结构面组合夹角 70°~90°、沟谷切穿软弱岩层为判定斜坡稳定性的四个指标, 这四项指标满足个数的多少代表斜坡稳定性的等级(表 6)。

表 6 斜坡稳定性判别表

斜坡稳定性等级	典型上硬下软岩性组合、顺向坡或顺斜向坡(基本条件)			
	岩层倾角 40°~60°	地形坡度 30°~50°	结构面组合 夹角 70°~90°	沟谷切穿 软弱岩层
一级	条件满足二项			
二级	条件满足三项			
三级	条件满足四项			
三级为最不稳定斜坡, 依次类推				

4 结论

本文在结合无人机遥感和实地野外地质灾害调查的基础上, 统计分析了斜坡灾害发育规律, 探讨了矿区隐蔽性地质灾害的早期识别方法, 得出如下结论:

(1) 通过搜集、整理研究区的有关地质资料, 总结归纳了研究区采矿活动、地形地貌、地质构造及地层岩性等地质环境条件, 从而为斜坡灾害的研究工作提供了相关背景。

(2) 研究区“上硬下软”的岩性组合特征, 是斜坡地质灾害发生的基本条件, 灾害主要发生在顺向坡和顺斜向坡中; 大多数斜坡灾害都发生在高程 800~1 200 m 范围内, 30~50°是斜坡灾害发生的优势坡度、40~60°是斜坡灾害发育的优势岩层倾角, 凸型坡是灾害发生的优势坡形。

(3) 沟谷常年对坡脚的下切侵蚀作用, 切穿下伏软弱岩层, 形成临空面, 使上部坚硬岩体下滑成为可能。

(4) 提出了一套专业与科普相结合的矿山隐蔽性斜坡灾害识别方法, 可为矿山斜坡灾害预警与防治提供技术与理论依据。

参考文献:

[1] 张国伟, 董云鹏, 姚安平. 秦岭造山带基本组成与结构及其构造演化[J]. 陕西地质, 1997, 15(2): 1-14.
 [2] 熊炜, 范文. 秦巴山区浅表层滑坡成灾规律研究[J]. 灾害学, 2014, 29(1): 228-233.
 [3] 范立民. 关注山区重大地质灾害隐患的早期识别[C]//秦巴

- 山区地质灾害与防治学术研讨会论文集. 西安: 陕西省地质调查院, 2015: 6-7.
- [4] 李凯. 陕西山阳县中村钒矿区滑坡形成机理及早期识别研究[D]. 西安: 长安大学, 2017.
- [5] 孔志岗. 潜在斜坡地质灾害研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2007.
- [6] 易靖松. 川东红层滑坡的形成条件与早期识别研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2015.
- [7] Schuster R L and Krizek R J. landslides: analysis and control, transportation research board, geol. soc. of science, washington. D. C., special Report 176, 铁道部科学研究院西北研究所译, 滑坡的分析与防治[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1987.
- [8] 《工程地质手册》编写组, 工程地质手册(第一版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1975.
- [9] 徐邦栋. 滑坡分析与防治[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2001.
- [10] 邵铁全. 滑坡地质灾害超前地质预判技术研究[D]. 西安: 长安大学, 2006.
- [11] 何满潮, 武雄, 鹿粗, 等. “滑坡岩体”鉴别的实验方法研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(4): 630-632.
- [12] 褚宏亮. 三维激光扫描技术在地质灾害调查、形变监测和早期识别方面的研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2016.
- [13] 杨海龙, 樊晓一, 张友谊, 等. 山阳烟家沟滑坡成因机制与运动特征研究[J]. 路基工程, 2016(6): 30-35.
- [14] 邓茂林. 视倾向滑移型滑坡形成条件与失稳机理研究——以重庆武隆鸡尾山滑坡为主[D]. 成都: 成都理工大学, 2014.
- [15] LI X Q, CHEN Z A, ZHANG L T, et al. Construction and Accuracy Test of a 3D Model of Non-Metric Camera Images Using Agisoft PhotoScan[J]. Procedia Environmental Sciences, 2016, 36: 184-190.
- [16] 高姣姣. 高精度无人机遥感地质灾害调查应用研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2010.
- [17] 王慧. PhotoScan 在无人机遥感影像数据处理中的应用[J]. 测绘与空间地理信息, 2017, 40(5): 109-111.

Study on Early Identification Technology of Concealed Geological Hazards in Vanadium Mining Area of Qinling

LIANG Xin, FAN Wen, SU Yanjun and LI Pei

(Department of Geology Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054)

Abstract: Geological hazards in the mineral resources mining area of Qinling have the characteristics of complicated formation conditions, concealment and identification difficulties. How to identify hidden geological hazards is a difficult point. Based on the survey of the geological hazards in the vanadium mining area in Qinling, we summarize the regularity of the geological hazards in this area mainly from the characteristics of the slope rock mass composition, the characteristics of the rock mass structure, elevation, slope shape, the angle of slope and mining activities. On this basis, combined with remote sensing interpretation of UAV, formed a set of suitable methods for early identification of geological disasters in this area and provides technical support and theoretical basis for early warning and prevention of mine slope hazards.

Key words: Vanadium mining area; concealment; geological hazard; early identification technology; Qinling