

doi:10.6046/gtzyyg.2012.02.25

安宁磷矿区基于3S技术的矿山 地质灾害隐患三维判识

杜瑞玲¹, 赵志芳², 洪友堂¹, 南竣祥¹

(1. 中国地质大学土地科学技术学院, 北京 100083; 2. 云南大学资源环境与地球科学学院, 云南 650091)

摘要:以云南省安宁磷矿区为例,基于3S技术构建三维模型,在ArcGIS软件中利用高分辨率遥感图像建立矿山地质灾害隐患三维判识标志,圈定并量算出地质灾害隐患体及影响对象的范围,实地了解并验证地质灾害隐患信息的可靠程度,取得的成果为矿山企业和相关管理部门提供了基础信息和决策支持,具有一定的推广应用价值。

关键词:3S技术; 矿山地质灾害隐患; 三维判识

中图分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-070X(2012)02-0138-05

0 引言

近年来,3S(RS, GIS和GPS)技术被许多地学工作者应用于地质灾害调查与研究领域,并日渐成为地质灾害研究不可或缺的工具。目前,随着全国矿山遥感调查监测工作的推进,分辨率优于4 m的高分辨率遥感数据(以下简称高分遥感数据)已在矿山地质灾害调查中得到广泛应用。基于二维平面的专业知识背景的目视解译或人机交互遥感解译技术在地质灾害调查中的应用已经比较成熟,同时,3S三维可视化技术亦在地学领域有所应用,如罗真富等利用遥感三维解译全方位观察泥石流沟谷以及相关的地形地貌^[1];高山等通过建立三维可视化工程地质模型,勘查向莆铁路高盖山隧道工程^[2];戴晓爱等利用高精度DEM建模实现云南腾冲驼峰机场的遥感图像三维可视化,快速准确地分析地形和计算土石方填挖量,取得了较好效果^[3]。

分析总结以往地质灾害遥感调查监测工作,笔者认为在以下方面还仍存在不足:①地质灾害遥感解译大多基于中、低分辨率遥感数据的二维平面图像进行,这导致解译结果图中地质灾害体(或地质灾害隐患)与周围地理(地质)环境之间的关系不符合人们视觉习惯的直观认识,缺乏有效的结合数字高程模型(DEM)对地质灾害(或地质灾害隐患)微地貌进行综合研究,尤其对地质灾害的定量化研究

不足^[4];②三维可视化技术应用面相对较窄,已开展的工作主要集中在对已发生地质灾害及其灾情的三维信息提取方面,对尚未发生的、对人民生命财产存在较大威胁的地质灾害隐患信息的提取则较少涉及。

基于此,本文以安宁磷矿区为例,采用WorldView2、SPOT5等高分遥感数据,将3S技术应用于地质灾害隐患三维判识及定量信息提取研究,以期为矿山地质灾害隐患的快速判识提供方法示范,为矿区防灾减灾等工作提供基础信息及决策支持。

1 研究区与数据源概况

1.1 研究区概况

选择云南省安宁磷矿区为研究区。该矿区地处滇中昆明盆地西南侧,以中山山地、高原盆地分布为主,平均海拔2 000 m。区内交通较便捷,穿过矿区的县级公路向多个方向延伸,可与国道及高速公路相接。

区内矿山企业众多,且多为小型规模、集体和私营企业,以磷矿、石灰岩矿开采为主。大型国有磷矿企业对矿山开发引起的地质灾害及隐患大多采取了一定防御措施;但小型磷矿与采石场由于开采难度低、规模小,个体私营企业主及相关部门对采矿引发的地质灾害隐患尚未有足够的重视^[5]。

1.2 数据源

本研究涉及数据源有高分遥感数据(RS)、采矿

收稿日期:2011-08-20; 修订日期:2011-11-25

基金项目:中国地质调查局“云南安宁、南温河、富源等矿集区矿山开发遥感调查与监测”项目(编号:1212010911066)。

权数据(GIS)、野外查证数据(GPS)以及地形、地理、地质等资料。

RS 数据主要包括 2010 年 12 月 18 日获取的 WorldView2 卫星数据(分辨率:全色 0.46 m,多光谱 1.8 m),2010 年 5 月 5 日获取的 SPOT5 卫星数据(分辨率:全色 2.5 m,多光谱 10 m)。为了能够精确、充分地挖掘遥感数据中所包含的矿山地质灾害隐患信息,以 1973 年测制的 1:5 万地形图为准,利用 1:5 万 DEM 数据对遥感数据进行正射纠正;将 SPOT5 全色波段数据与多光谱波段数据进行融合处理,采用 B3(R)、B2(G)、B1(B)波段组合生成模拟真彩色遥感影像图。地图投影方式为高斯克吕格,6 度分带 18 带投影。影像地图上随机抽取地物点的平面位置中误差不大于 0.50 mm,可满足高精度矿山地质灾害隐患信息判识的要求。数据为 img 格式。

GIS 数据主要为地形、地理及采矿权数据资料,地形、地理数据以 1973 年测制的 1:5 万地形图为准,生成 1:5 万 DEM 高程数据,并获取居民地、道路、交通等数据;采矿权数据则主要来自云南省国土资源厅,截止时间为 2010 年 5 月,其中包括矿山名称、开采矿种等属性。数据为 shp 格式。

GPS 数据主要为野外查证资料,为 2010 年 7 月及 2011 年 1 月采用手持式 GPS(误差小于 5 m)所测定的野外观察点位置等数据,另外还包括观察点地理、地形地貌、灾害隐患及险情的野外照片、野外记录表等。数据为 shp 格式。

2 实验与分析

2.1 研究流程

本次研究采用 ArcGIS 平台,利用 RS 和 DEM 等资料,叠加矿权数据,基于 3S 技术建立三维矿山地质灾害隐患判识标志,综合分析研究矿山地质灾害隐患,并采用 GPS 进行野外实地测量验证地质灾害隐患判识的可靠程度。主要研究内容包括:

- 1) 利用 ArcGIS 软件,从研究区矿山主要为磷矿、铁矿及砂石料露天开采方式的特点出发,建立矿山开发地物解译标志,提取研究区与矿山开发相关的地物类型(活动开采面、中转场地、固体废弃物等)及其分布位置、面积范围等信息;
- 2) 利用 ArcGIS 软件中的空间分析工具,基于 DEM 数据生成坡度、坡向图,为后续三维判识地质灾害隐患时粗略查询隐患体发育部位的坡度、坡向奠定基础;
- 3) 在 ArcGlobal 平台上,依次叠加遥感影像、地

理、DEM、坡度、坡向、地质及矿权等基础资料,利用三维可视化技术生成三维遥感影像图,根据遥感影像上地质灾害孕灾背景条件(包括矿山地质灾害隐患赋存的条件,物源-堆积物厚度与分布,孕灾地质体的地貌部位、植被发育状态、地形坡度、地质构造、岩性、周边相关地物等)的形态、色调、影纹结构特征,结合人类工程活动即矿山开发状况,建立矿山地质灾害隐患三维解译标志;综合分析判识地质灾害隐患物源及可能的隐患类型、影响对象;圈定并精确量算出地质灾害隐患体的长度、宽度和面积,通过 DEM 估算出其高度;圈定灾害可能影响范围(公路掩埋长度、村庄损毁面积、建筑损坏数量等);

4) 选取典型地区进行 GPS 野外查证,了解地质灾害隐患发育的位置、类型是否正确,进一步目估隐患体的平均高度,完善地质灾害隐患体的规模信息;了解该区的交通、社会、经济等状况,验证并估算地质灾害隐患可能造成的损失状况,如公路掩埋长度、建筑中容纳人数等,评估地质灾害隐患险情。

研究流程如图 1 所示。

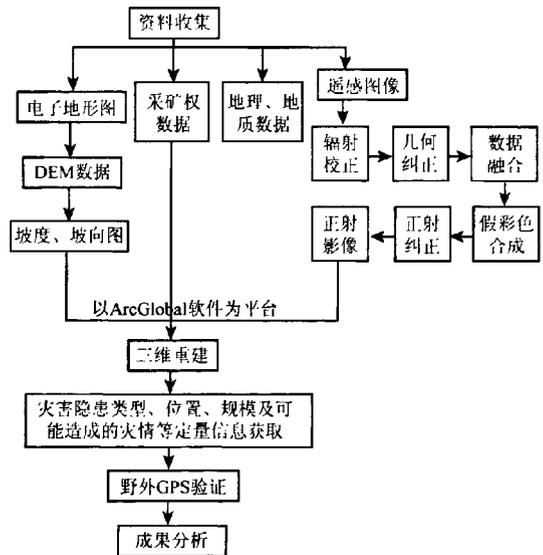


图 1 研究流程图

Fig. 1 Study flow chart

2.2 矿山地质灾害隐患三维判识

本次研究的对象不涉及自然发生的地质灾害隐患,均为由矿山开发引起的地质灾害隐患,即指那些具备了灾害发生所需要的一些条件但尚未达到临界状态,在二维遥感图像上与矿山特定地物(采场、固体废弃物等)密切相关,但其组成要素不能清晰判识,需要通过三维技术构建一系列孕灾背景条件等的间接解译标志,进行判识、推断的矿山地质灾害隐

患体。下文分述研究区几种主要地质灾害隐患类型的三维判识标志。

2.2.1 崩塌隐患

研究区内的建筑石材类矿山主要是以爆破的方式进行开挖,这往往会造成坡体岩石破碎,坡体内积存的弹性应变能释放,岩体内应力场重新分布,产生卸荷裂隙。此类裂隙大多呈张开特征,且平行于边坡面,坡度一般大于 60°,并会进一步加剧岩体原有裂隙的扩展和张开,从而导致岩体可能会在重力作用下失稳而急剧坍塌形成崩塌灾害。此类潜在的崩塌灾害险情称之为崩塌隐患。

在三维模拟真彩色高分遥感图像上,结合采矿权分布情况,可清晰识别出开采面。该类开采面多位于采矿权包含的山体边坡,上无植被覆盖,呈灰色色调;岩石破碎,纹理粗糙;开挖破碎岩石下方悬空,无挡护设备。在高分遥感数据如 WorldView2 图像上可清晰看到,开挖面前后方都存在爆破开挖形成且沿山坡坡体分布的卸载裂隙。因卫星数据获取时太阳光入射角度的关系,陡坡开挖面往往存在阴影,而且阴影越深表明开采面越陡峭。结合利用地质资料及前期制作的 DEM 坡度、坡向图进一步判断,凡开挖面处地质构造发育,开挖面坡度大于 60°时,在重力作用下开挖面上的岩石易失稳塌落。此类开采面则视为崩塌隐患^[6](图 2)。

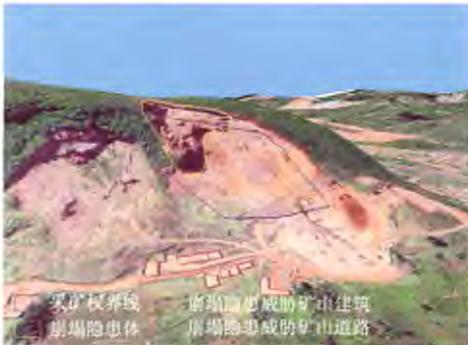


图 2 崩塌隐患

Fig.2 Hidden danger of landslip hazard

另外,建筑石材开发利用的开采设备和矿山建筑多位于开采面下方,纹理比较清晰,形状规则,容易直接判识,这也是辅助识别上方开采面的重要间接标志。同时,通过地物所处的方位关系分析,判断上方崩塌隐患将对下方的开采设备、矿山建筑造成威胁。通过三维图像上定量提取的矿山设备、矿山建筑物数量,并结合矿山开采规模估算矿山建筑中可能居住的工人数量,并通过野外查证补充调查数据等,最终评估出崩塌隐患可能导致的灾情。

万方数据

2.2.2 泥石流隐患

泥石流是在斜坡上或沟谷中由急速地表径流激发的饱含泥砂、石块等固体碎屑物质,并具有强大破坏力的特殊洪流所造成的灾害,是山区最常见的地质灾害之一。按沟谷地貌形态可分为沟谷型泥石流和坡面型泥石流两大类^[7]。研究区磷矿及部分砂石料的开发多沿沟谷两侧山坡开挖,部分矿山经营者为追求利益的最大化,将剥离的表土和产生的废石等就地堆存于所在沟谷的上游,而不运往排土场,如遇特大暴雨、洪水时,这些堆存的废土、废石将与水体混合并沿沟谷、山坡流动形成泥石流^[8],给沟口的道路、居民点、耕地、建筑物、矿山生产设备及人员带来严重损失。此类潜在的泥石流灾害险情称为泥石流隐患。

研究区内磷矿及部分砂石料矿山在沟谷上方就地堆存的大量废土、废石为泥石流形成提供了充足的物源。通常这些堆放在沟谷上游的堆积物呈漏斗状、勺状或椭圆状,环山谷分布,结构松散,纹理较为细腻,表面几无植被覆盖;堆积体的下方一般无挡护措施,并有次级沟槽发育。从三维影像图上目估以及从坡度坡向图上可知,这些沟谷坡度大多大于 25°,可为泥石流形成和倾泻提供流通通道。沟口出山处则由于地形变缓,泥石流携带的物质开始堆积,形成泥石流堆积扇。如矿山开发地的沟谷具备以上所述的“物源、流通通道、堆积区”3 个条件,泥石流便有可能形成,即可判识存在泥石流隐患。

显然,在三维遥感图像(图 3)及 DEM 图上可以量测出泥石流隐患的长度、宽度、高度,进而推测出其规模。假如一旦发生泥石流,沟口的矿山道路、农田、矿山建筑等将受到危害,而这些地物有其自身的形态、色调、影纹等特征可被识别,其分布位置、面积、规模等定量数据亦可从三维影图像上量算;再结合野外查证,核实农田作物生长态势、矿山建筑可容纳人数等资料,最终可估算出泥石流隐患对农田、道路、矿山建筑、人员等可能造成的损失情况。



图 3 泥石流隐患

Fig.3 Hidden danger of debris flow hazard

2.2.3 滑坡隐患

斜坡上的部分岩、土质,在重力作用下,沿着斜坡内的一个或多个较弱面产生整体向下滑移的现象称为滑坡^[9]。滑坡是山区最重要的地质灾害之一。矿山开发所形成的堆积物的下方如具备一定的滑动斜面,又无任何挡护设备时,在重力作用下极易失稳,可能形成滑坡灾害,称之为滑坡隐患。这种隐患对其下方的居民点、建筑物、道路、生产设施等具有重大威胁。

研究区内铁矿开采过程中产生的大量松散固体废弃物,如碎石、矿渣等,常常就地沿山坡堆放,为滑坡灾害的形成提供了物源。在三维遥感图像上这些堆积物多呈紫色色调(图4),结构疏松,纹理较周围地物细腻而连续,多呈上陡、中缓、下陡形态,上部边缘常显上凸的弧形,表面上几无植被覆盖,下方多无挡护设备。结合DEM资料、坡度坡向图及地质资料可知,固体废弃物的堆放坡度多在 $10^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 范围,而且部分地段下垫地层的产状亦向下方倾斜,具有较好的滑动面条件,在强降雨等诱发下易于形成滑坡。另外,在三维遥感图像上可通过滑坡形态等预测和估算出可能发

生的滑坡的影响范围;根据影响范围内各类地物的形态、色调、影纹、结构等影像特征识别出可能受灾地物的类型,获得其位置、长度、面积等量化信息;进一步结合野外查证资料,最终完成对滑坡隐患险情的评估。

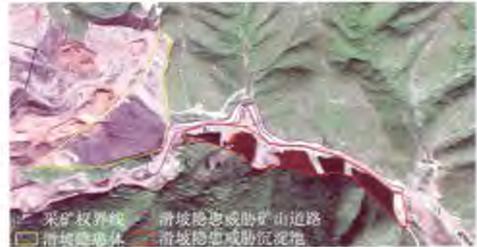


图4 滑坡隐患

Fig.4 Hidden danger of landslide hazard

2.3 调查结果

依据以上灾害隐患三维判识标志,获知研究区由矿山开发引起的地质灾害隐患共计6处。其中4处崩塌隐患,2处滑坡隐患。各处地质灾害隐患可造成的险情如表1所示。

表1 矿山地质灾害隐患统计

Tab.1 Statistics of mine geological disaster hazard

灾害类型	开发矿种	矿山名称	所属区县	属性			影响对象
				面积/m ²	高度/m	坡度/($^{\circ}$)	
崩塌隐患	建筑石料用灰岩	矿山1号	昆明市西山区	7 800	140	85	9处矿山建筑,约27个工作人员
崩塌隐患	建筑石料用灰岩	矿山2号	昆明市西山区	1 800	40	90	2处矿山建筑,约6个工作人员
崩塌隐患	石灰岩	矿山3号	昆明市西山区	5 200	80	80	1处施工设备
崩塌隐患	建筑石料用灰岩	矿山4号	昆明市五华区	1 500	30	85	1处矿山建筑,约3个工作人员
滑坡隐患	页岩	矿山5号	玉溪市澄江县	5 000	50	30	40 m长道路
滑坡隐患	铁矿	矿山6号	玉溪市易门县	35 000	5	45	1 000 m长矿山道路,26 000 m ² 沉淀池

3 结论

1) 利用GIS软件叠加高分辨率遥感影像和DEM的三维可视化技术,可较好地弥补二维技术中不能实现的三维立体再现,弥补了二维技术不能获取地质灾害隐患发育高度等定量信息以及无法直观厘定隐患威胁对象的方位关系等不足,能够快速直观地获取研究区内地质灾害隐患相关属性及其威胁对象的定量信息,在山高谷深、交通不便的矿山开发集中地区的地质灾害隐患调查、减灾防灾中有着良

好应用效果及应用前景。

2) 本次工作以安宁磷矿区为研究区,针对区内主要开发的建筑石料用灰岩、石灰岩、页岩和铁矿,建立了三维遥感图像解译标志,对区内6处可能发生的崩塌和滑坡灾害点的三维遥感图像特征及其险情进行了综合分析,取得了良好效果,不仅为矿山管理部门提供了详实的遥感信息,有助于矿山企业准确、快速地进行地质灾害隐患的预防 and 治理,也为其他地区各类矿山地质灾害隐患的遥感判识提供了可资借鉴的方法思路。

3) 本次研究所建立的三维遥感图像解译标志

受诸多因素的影响尚有一定的局限性。建议不同地区、不同矿种的矿山在运用基于 3S 的三维可视化技术研究地质灾害隐患时,需针对矿山的区域地质背景、矿种特点、地形地貌条件、开发方式、固体废弃物处理状态等具体情况,系统地建立最适宜的图像解译标志。

志谢:感谢王锋德、毛雨景同学在数据处理及图版制作方面给予的帮助。

参考文献:

[1] 罗真富,齐信,易静. 遥感三维可视化在南沟泥石流调查中的运用[J]. 环境科学与管理,2010,35(1):144-146.
 [2] 高山,冯光胜. 三维遥感铁路工程地质勘察技术应用研究[J]. 铁道勘察,2009(1):36-39.

[3] 戴晓爱. 遥感图像三维可视化及在腾冲机场建设中的应用研究[D]. 四川:成都理工大学,2005.
 [4] 唐小明,冯杭建,赵建康. 基于虚拟 GIS 和空间分析的小流域泥石流地质灾害遥感解译——以峰州市为例[J]. 地质科技情报,2008,27(2):12-13.
 [5] 袁忠玉. 云南省矿山地质灾害及防治[J]. 中国地质,2000(8):36-37.
 [6] 李成尊,聂洪峰,汪劲,等. 矿山地质灾害特征遥感研究[J]. 国土资源遥感,2005(1):45-49.
 [7] 张红兵. 云南省东川区泥石流灾害 SPOTS 遥感影像特征[J]. 灾害学,2010,25(4):60-67.
 [8] 吕战锋,毛延兵. 浅谈小型露天开采矿山地质灾害分析与防治[J]. 工程技术,2010(12):169.
 [9] 王治华. 遥感技术在地质灾害调查、监测和防治中的应用[J]. 环境遥感,1992,7(3):190-195.

Three - dimensional Discriminate of Mine Hidden Geological Disaster Based on 3S Technology of Anning Phosphate Area

DU Rui - ling¹, ZHAO Zhi - fang², HONG You - tang¹, NAN Jun - xiang¹

(1. School of Land Science and Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. School of Resource Environment and Earth Science, Yunnan University, Kunming 650091, China)

Abstract: With the Anning phosphate mine as the study area and on the basis of the existing interpretation of signs, the high resolution remote sensing images and ArcGIS software were used to delineate and calculate the areas of geological disaster and affected objects and verify the correctness or incorrectness of the information in field. This method is highly feasible and has effective visualization, and the results achieved can provide basic information and decision support for mining business owners and relevant authorities.

Key words: 3S technology; mine hidden geological disaster; three - dimensional identification

第一作者简介:杜瑞玲(1985 -),女,硕士研究生,汉族。主要从事 3S 技术应用研究方向。E - mail:342895874@qq.com。

通讯作者:赵志芳(1971 -),女,博士,教授,白族。主要从事云南遥感地质应用研究方向。E - mail:zzf_1002@163.com。

(责任编辑:李 瑜)