

3S 技术在乌达煤矿水灾危险评估中的应用

孔冰, 马建伟, 陈汉章, 张鑫

(神华(北京)遥感勘查有限责任公司, 北京 100085)

摘要: 位于内蒙古自治区乌海市境内的乌达煤田是我国目前最大的煤田火区。2006~2008年间,在乌达煤田进行了地表浅部剥挖灭火,随着2000多万t浅部残煤的挖出,煤田70%以上的原始地貌被无数巨大的剥挖坑和碎石渣堆取代。针对2009年夏季可能出现的强降雨,遭严重破坏的煤田究竟会给煤矿安全生产带来怎样的水灾成为有关部门最关心的问题。本文应用遥感(RS)、全球定位系统(GPS)和地理信息系统(GIS)等新技术,结合少量野外工作,获取了丰富的调查评估数据,3个月提交了评估成果,成为3S技术在煤矿生产应用中的一次成功实践。

关键词: 火区剥挖; 3S技术; 水灾评估

中图分类号: TP 79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-070X(2010)02-0080-06

0 引言

乌达煤田位于内蒙古自治区西部乌海市境内,属贺兰山北端余脉,低山丘陵地貌,含煤盆地总面积35 km²。自1958年开始建矿并进行煤炭开采至今50余a,乌达煤田划分成五虎山、苏海图和黄白茨3个井田,分别由神华集团下属神华乌海能源有限责任公司五虎山煤矿、苏海图煤矿和黄白茨煤矿开采。3个老煤矿通过近几年技术改造,煤矿生产能力大幅度提高,2007年创下了原煤生产500×10⁴t/a、精煤生产200×10⁴t/a的历史最高记录,是神华集团重要的焦煤生产基地。

自20世纪70年代以来,有400多个小煤窑先后在乌达煤田浅部煤层进行生产,其不规范的采煤方式造成了乌达煤田地表浅部多煤层燃烧,部分煤火沿小煤窑废弃巷道蔓延到苏海图、五虎山和黄白茨煤矿生产工作面,煤火的四处蔓延不仅使众多废弃小煤窑巷道相互贯通形成地下熊熊大火,而且到处飘逸的煤烟伴随着硫化氢与烟尘在乌达煤田地表形成大范围的混浊空气;采空区在煤火作用下地面塌陷不断加剧、地表裂隙成群成片出现,植被相继遭到破坏,电力、交通、测绘与煤矿地面设施严重受损。经2002年乌达煤田火区详查,煤田火区总面积达到307.6万m²,占乌达煤田总面积的8.7%,成为我国现今最大的煤田火区^[1,2]。

2006年中期~2008年下半年,在乌达煤田开展了一场浅部残煤剥挖灭火工程。随着数千人、数千

台机械设备进入煤田,有2000多万t煤被从地下挖掘出来,取而代之的是众多的剥挖坑和堆积如山的碎石渣堆,煤田70%的原始地貌已经彻底消失^[3]。原来的火区一部分被清除、一部分被渣石掩盖、一部分沿煤层向深部蔓延,乌达煤田18个火区被切割得凌乱不堪。

面临2009年汛期,如果乌达出现几十年不遇的强降雨,湍急的洪流和地面的积水会在已被堵塞的泄洪通道、巨大的积水坑和大面积的煤火破碎带蓄积,对煤层埋藏在0~300m的神华煤矿来讲,将面临严重的水患危险。针对煤田剥挖现状,尽快进行煤矿水灾危险评估,在洪水到来之前提出煤矿水灾防治对策,已经刻不容缓。

为此,作者接受了“乌达煤矿水灾危险评估”任务,应用3S技术,在计算机支持下,结合少量野外工作,在3个月的短时间内,获取了大量翔实的调查评估数据,提交了评估成果,在雨季到来之前为乌达煤矿水灾危险评估和煤矿安全生产决策提供了科学依据^[3]。

1 水文环境与水灾成因

乌达煤田平均海拔1150~1300m,为低山丘陵地貌。煤田内沟谷发育,基岩出露良好,地表渗水性较强,无地表水体,只有季节性冲沟,大气降水是地下水主要补给来源。春季风大干燥,夏季炎热少雨,秋季多雨,年降雨量少,蒸发量大,干旱多风沙,是典型的内陆干旱沙漠气候。

乌达煤田水文地质条件简单,第四系孔隙含水层及石盒子砂岩含水层属潜水含水层,主要受大气降水补给,因降雨量小于蒸发量,原始地形地貌又有利于降水排泄,地表无常年流水,地下水补给条件差,潜水含水层含水性极贫。地层中砂岩裂隙含水性极弱,且与煤矿地下水无水力联系。煤田构造大部分为逆断层,断面紧密,裂隙被粘土状岩石充填,断层破碎带无水或少量含水^[4,5]。通过对煤矿所做调查证实,煤矿井下涌水量一般在 500 ~ 1 200 m³/d,地表潜水和地下含水层水一直没有对煤矿生产形成水害。因此,汛期强降雨是神华煤矿发生水灾的最大危险因素。

40 a 的采矿历史证明,如果神华煤矿出现水灾危害,其根源必定与地表积水大量渗入地下或者积存于老塘内有关,而汛期强降雨就是煤矿突发水灾的致灾因子;地表洪流排泄不畅,大量积水蓄存于剥挖坑内,在地表大面积塌陷、裂隙(图 1(左))、废弃巷道和煤火破碎带(图 1(右))引导下,雨水迅速渗(流)入矿井是乌达煤矿水灾的重要孕灾环境;煤矿地下的生产工作面则是煤矿水灾的承灾体。从乌达煤田地表水系变化调查入手,迅速查清影响汛期洪流排泄堵塞点、地表积水环境和煤火破碎带分布范围等,为煤矿水灾评估提供准确可靠依据。

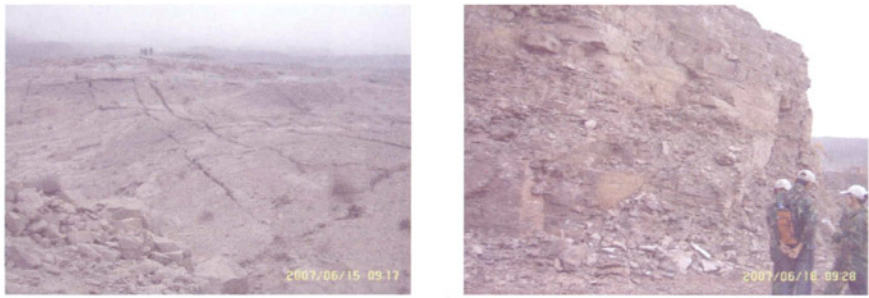


图 1 乌达煤田地表塌陷裂隙区(左)与煤火破碎带(右)

Fig.1 Photos of Wuda surface subsided & cracks area (left) and the belt of coalfire broken (right)

2 水灾评估

以乌达 50 a 一遇的强降雨形成的地面洪水为致灾因素,煤田地表剥挖造成地貌为孕灾环境,煤矿生产工作面为承灾体的基本构思,建立了乌达煤矿水灾评估体系。

2.1 关键问题

在乌达汛期强降雨到来之前必须完成水灾危险评估,以提出水灾防治对策,为煤矿水灾防治工作争取尽可能多的时间。

2.2 关键技术

面对遭受严重破坏的乌达煤田 35 km² 的地表环境,要快速、准确提取水灾孕灾环境因子,采取常规地面测量等调查手段是无法完成的,只有依靠 3S 技术。为此,本次调查要充分发挥航空遥感快速、客观和 GPS 准确定位等特点,获取乌达煤田地表剥挖现状信息,进行水灾孕灾环境因子的提取^[6];借助 GIS 平台,利用乌达煤田三维模拟电子仿真模型,模拟地表降雨及淹没情况,建立积水区计算模型,快速为水灾评估提供基础数据。

3 3S 技术应用

在 2009 年 3 月 15 日 ~ 5 月 20 日期间,通过建立乌达煤田地理信息系统、进行工作区控制测量、组织完成航空自然彩色数码飞行、制作工作区正射影像(DOM)镶嵌图和数字高程模型(DEM),在三维模拟仿真电子模型环境下,完成了水灾孕灾因子的建立以及乌达煤矿地表泄洪沟、剥挖坑、岩石渣堆和火区破碎带等基本信息的提取。

3.1 建立评估区地理信息系统

将已有的乌达煤田多期航空遥感影像、地质、采矿、地形和煤火等资料进行数据集成,建立起具有统一空间坐标的乌达煤田地理信息系统,为研究煤矿水灾与剥挖工程因果关系、进行致灾环境因子提取和煤矿水灾危险评估图制作构建了分析平台。

3.2 航空遥感解译

对比乌达煤田地表剥挖前后的航空影像镶嵌图(图 2)发现,在 2006 年 6 月的彩色影像图上可以清楚地看到煤层露头、地层走向;含煤盆地、地质构造和水系分布特征以及乌达煤田原始地貌清晰可见(图 2(左))。但在 2009 年 3 月的彩色影像图上,看到的是

杂乱的黑色斑块(煤堆场地)、白色斑块(剥挖坑)、棕色斑块(岩石渣堆)和黄色斑块(原始地貌),反映出

乌达煤田剥挖后的地貌影像特征,点、块图斑是乌达煤田地表剥挖结束后的地貌影像标志(图 2(右))。

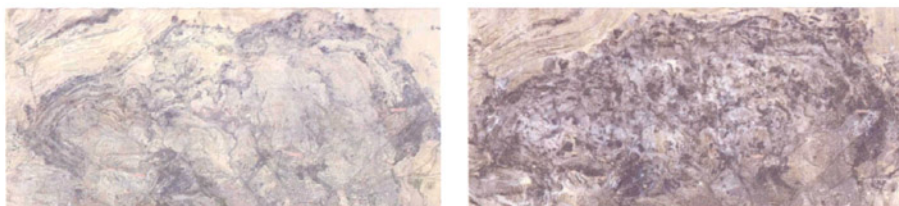


图 2 2006 年(左)和 2009 年(右)乌达煤田航空影像

Fig.2 Aerial images of Wuda coal mine acquired in 2006 (left) and 2009 (right)

利用计算机和 ArcGIS 软件,将乌达煤田最新正射航空影像(DOM)和数字高程模型(DEM)合成,生成乌达煤田剥挖后期三维模拟仿真电子模型;再通过水淹没实验和建立剥挖坑计算模型等,寻找汛期强降雨中影响乌达煤田地表泄洪畅通、造成地面大量积水和渗水的部位,对水系、剥挖坑、渣堆和煤火破碎带等孕灾环境信息进行提取与计算,为水灾评估提供重要数据。

3.2.1 地表水系解译

利用 2006 年和 2009 年乌达 DOM 叠加 DEM,在三维状态下,通过漫水试验模拟地表冲沟流路流向,进行煤田剥挖前后地表水系特征解译。针对煤田 50 a 一遇的降雨量,计算出流经煤田内的奇里格沟、五虎沟、梁家沟和教子沟的汇水能力($3\ 066.7 \times 10^4\text{ m}^3$)及流经煤田南北两侧的苏海图沟和巴音赛沟的汇水能力($7\ 371.1 \times 10^4\text{ m}^3$);查找剥挖前后水系变化特征,将煤田内排水不畅、直接危害煤矿和居民安全的水系危险点提取出来,并进行了实地验证。

通过水系危险点分布示意图(图 3)可以看出,剥挖前后地表水系总体特征没有变化,但主流和支流大多因地面剥挖发生不同程度位移,这种人工强迫水系

改变河道是汛期地表泄洪排洪危险点形成的主要因素,水系解译是灾害危险点排查的重要工作。

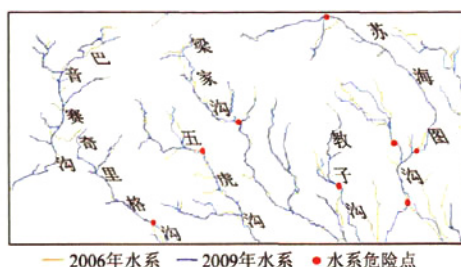


图 3 2006、2009 年乌达水系变迁与危险点分布

Fig.3 Wuda river system change and distribution map in 2006、2009

3.2.2 剥挖坑解译

剥挖坑是乌达煤田地表汛期强降雨汇集、流动和积存的基本场所。在野外踏勘(图 4)基础上,建立剥挖坑航空影像解译标志,如坑底平整、影像呈浅灰色一灰白色、四周坑边出现剥挖陡坎形成的阴影或影像条带等(图 5)。



图 4 剥挖坑野外照片

Fig.4 Excavation pit photo

经过详细解译,查清每个剥挖坑的空间位置,包括面积、深度、积水量、泄水通道、坑的最低点标高、距煤矿采掘工作面垂直距离等基本要素。在三维环境

下(图 6),从影像上解译出大型剥挖坑 180 个,其中具有积水能力的有 60 个。



图 5 航空影像二维积水坑特征
Fig.5 Aerial image of water pit in 2D

建立剥挖坑数学计算模型(图 7),对每个积水剥挖坑最大水面积、最低点标高、最大积水量和不同降雨强度时的水位现状等进行计算。通过水淹没实验,计算出乌达煤田积水坑总面积为2 123 396 m²,约占乌达煤田总面积的6%。其中:最大积水坑长 900 m,宽 435 m;最大积水坑高差为 30.7 m;最大积水高度面积为 99 176 m²;最大剥坑积水量达 93 487 539 m³。

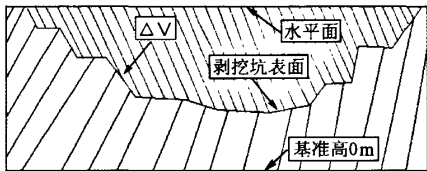


图 7 剥挖坑计算模型
Fig.7 Calculating model of excavation pit

3.2.3 碎石渣堆解译

剥挖坑在乌达煤田地表的出现伴随着巨量岩石碎渣的产出,遍布的岩石碎渣不仅形成了许多大面积

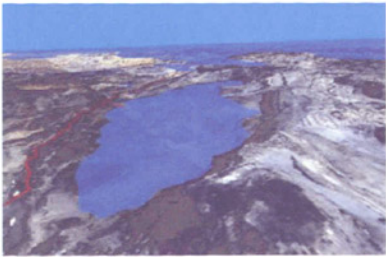


图 6 三维模拟环境下积水坑特征
Fig.6 Water pit in 3D model

渣场(图 8),更重要的是渣堆直接影响到地表泄洪通道的畅通,汛期洪水到来将面临渣堆倒塌、泥石流和形成堰塞湖等危险。



图 8 野外渣堆照片
Fig.8 Field photo of sediment hill

从航空影像上可以看到渣堆具有橘皮形状、花瓣形及平顶山形影像特征(图 9(左)),渣堆四周出现由阴影或放射状条带影像形成的光滑斜坡;部分渣堆层层堆放成为层状渣山,大多渣堆呈首尾相连等影像特征(图 9(右));渣堆内简易路清晰。

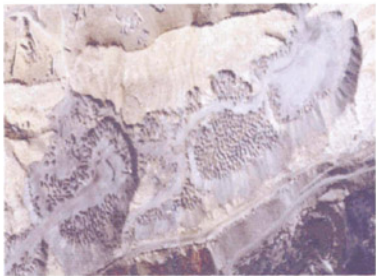


图 9 橘皮状与平顶山状(左)和橘皮状与花瓣状(右)渣堆航空影像
Fig.9 Aerial images of sediment hills in the forms of the tangerine skins and flat mountains (left) and the tangerine skins and petals (right)

在建立渣堆解译标志基础上,在三维环境下完成了大型渣堆影像解译(图 10 中蓝色范围是渣堆、红色范围是剥挖坑)。总计查明大型渣堆 66 处,总面积

6 641 613 m²,占乌达煤田总面积 19%;总体积约 67 196 696 m³。其中最大渣堆面积 639 984 m²,直接影响水系畅通的渣堆 11 处。

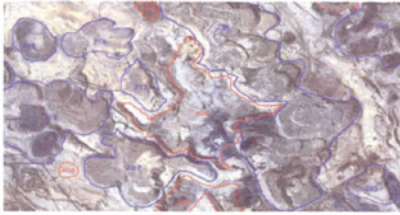


图 10 剥挖坑和渣堆航空影像解译图

Fig. 10 Aerial interpreting image of excavation pits and sediment hills

3.2.4 煤火破碎带解译

煤火破碎带指在煤矿采空区内发育起来的地下煤火区,火区内地表大面积塌陷、裂隙成群成片出现、

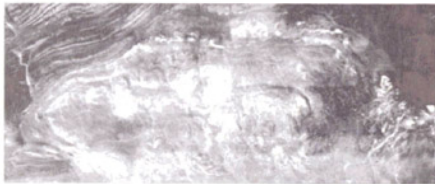


图 11 乌达煤田航空热红外影像(左)与火区分布(右)

Fig. 11 Aerial thermal infrared image (left) and distribution of coal fire areas (right) in Wuda coal mine

4 应用结果

应用 3S 技术,快速完成了乌达煤田地表水系、剥挖坑、渣堆和煤火破碎带的解译,结合野外验证,为乌达煤矿水灾危险评估提供了丰富而准确的调查数据,确保乌达煤矿水灾危险评估成果(图 12)在 2009 年 6 月中旬雨季到来之前提交给有关部门使用。



图 12 乌达煤矿水灾危险评估图

Fig. 12 Flood risk assessment map of Wuda coal mine

5 结论

实践证明,将 3S 技术用于煤矿地质环境与煤矿

历经剥挖之后蔓延发展的范围。在对乌达 18 号火区钻探验证中发现,在原燃烧的 4 号煤层之下赋存的 6、7 号煤层也已燃烧,煤火出现上下贯通。在多数火区因煤火沿密集废弃巷道和岩石裂隙不断向煤层深部蔓延,煤火破碎带是地表水渗(流)入地下矿井的最危险通道,也是孕灾因子中的重中之重。查清煤火破碎带分布区域与面积,对评估工作意义重大。在 2005 年 11 月获取的航空热红外影像图(图 11(左))解译基础上,结合野外验证,圈出乌达煤田火区破碎带总面积 $481.2 \times 10^4 \text{ m}^2$ (图 11(右)),占乌达煤田总面积的 13.7%。

水灾、火灾等灾害研究,与传统地面调查比较,不仅成倍提高功效,且研究水平和成果应用程度都比过去得到极大提高,实现了高科技为企业安全生产保驾护航的发展目的。

参考文献:

- [1] 马建伟. 内蒙古自治区乌达煤田火区详查[R]. 北京:神华(北京)遥感勘查有限责任公司,2002.
- [2] 管海晏,冯·亨特伦,谭永杰,等. 中国北方煤田自燃环境调查与研究[M]. 北京:煤炭工业出版社,1998.
- [3] 马建伟,孔冰,等. 内蒙古自治区 2007 乌达煤田火区勘查报告[R]. 北京:神华(北京)遥感勘查有限责任公司,2007.
- [4] 刘永立,刘晓军. 矿井安全评价及其确定方法[J]. 煤炭技术,2002,30(8):37-38.
- [5] 张梁,张建军. 地质灾害风险区划理论与方法[J]. 地质灾害与环境保护,2000,11(4):323-328.
- [6] 青春炳,苟兴华. 灾害评价、风险评价和灾情评价[J]. 大自然探索,1991,10(2):65-701.

The Application of 3S Technology to the Assessment of the Flood Risk in the Wuda Coal Mine, Inner Mongolia

KONG Bing, MA Jian - wei, CHEN Han - zhang, ZHANG Xin

(Shenhua (Beijing) Remote Sensing & Geo - Engineering Co. Ltd., Beijing 100085, China)

Abstract: Located in Wuhai City of Inner Mongolia, the Wuda coalfield is the biggest coal fire area in China. Between 2006 and 2008, shallow open - cut surface mining in the Wuda coalfield was conducted, with more than 2 000 million tons of coal excavated and more than 70% of the original landscape replaced by countless huge excavated pits and chip ballasts. If heavy rainfall occurred in the summer of 2009, the severely damaged coalfield would encounter floods, which would severely affect the safety and production of the coal mine. The relevant authorities paid a close attention to this problem. Using remote sensing (RS), Global Positioning System (GPS), Geographic Information Systems (GIS) and other new technologies in combination with some field work, the authors obtained a lot of investigation data and submitted an assessment report on the flood risk within 3 months. This is a successful practice of the application of 3S technology to the coal mine production.

Key words: Coal fire excavation; 3S technology; Flood risk assessment

第一作者简介: 孔 冰(1962 -),女,工程师,主要从事遥感地质和中国北方煤田火区调查与研究等工作。

(责任编辑: 刘心季)

(上接第 79 页)

- [3] 张晓霞,王 焱. 遥感图像分类方法在土地利用分析中的比较[J]. 科技情报开发与经济,2007(9):136 - 137.
- [4] 姚凤梅,张佳华. 全球及区域模式中陆面过程的地表植被覆盖分类方法[J]. 干旱区地理,2006(6):872 - 877.
- [5] Prasad S Thenkaball. Optimal Hyper - spectral Narrow Bands for

Discriminating Agricultural Crops[J]. Remote Sensing of Environment, 2002,74:344 - 358.

- [6] 曹卫彬,杨邦杰,宋金鹏. TM 影像中基于光谱特征的棉花识别模型[J]. 农业工程学报,2004,20(4):112 - 116.
- [7] 曹卫彬,刘姣娣,马 蓉. 新疆棉花遥感监测识别区域的划分[J]. 农业工程学报,2008,24(4):172 - 176.

Cole Feature Extraction from CBERS - 02B Remote Sensing Images

ZHONG Shi - quan^{1,2}, CHEN Yan - li^{1,2}, MO Jian - fei^{1,2}, CHEN Yu - lan³

(1. Guangxi Meteorological Disaster Mitigation Institute, Nanning 530022, China; 2. Remote Sensing Application and Validation Base of NSMC, Nanning 530022, China; 3. Guangxi Remote Sensing Centre, Nanning 530023, China)

Abstract: CEBRS - 02B launched successfully on September 19, 2007 by China is a new earth resource satellite. The satellite remote sensing technology can play an important role in national economical construction. In order to improve the application of satellite remote sensing data in China, this satellite was used to extract the cole area in Luoping County of Yunnan Province so as to establish a reliable basis for the recognition of the cole area in Yunnan. Using the spectral analysis method, the authors analyzed the spectral reflectance properties of cole and then built a model for remote sensing cole feature extraction. The result shows that the extraction technique can provide references for condition monitoring and yield estimation.

Key words: CBERS - 02B; Cole; Remote sensing identification

第一作者简介: 钟仕全(1964 -),男,高级工程师,主要从事遥感应用研究工作。

(责任编辑: 刘心季)