doi: 10.6046/gtzyyg.2017.s1.11
引用格式: 薛庆,吴蔚,李名松,等. 高分一号数据在矿山遥感监测中的应用[J]. 国土资源遥感,2017,29(s1):67-72. (Xue Q, Wu W, Li M S, et al. Application of GF-1 satellite data to remote sensing monitoring of the mine[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2017, 29(s1):67-72.)

高分一号数据在矿山遥感监测中的应用

薛 庆[1,2], 吴 蔚[1], 李名松[1], 董双发[1], 章新益[1], 石海港[1]
(1. 核工业航测遥感中心,石家庄 050002; 2. 东华理工大学,南昌 330013)

摘要: 利用卫星遥感技术开展矿山监测是国土资源部矿证管理的重要技术手段。高分一号(GF-1)卫星是我国高分专项的首发星,具有较高的影像数据获取能力,为矿山遥感监测工作提供了重要的数据源选择。对 GF-1 数据作了简要介绍,并开展了几何纠正、波段组合、数据融合、图像增强等数据处理方法的研究,探索出了适合本项工作的最佳处理方法。全面阐述了矿山遥感监测信息提取的内容和影像特征。通过在鞍本辽铁矿区的成功应用,表明 GF-1 数据能够很好地应用于矿山开发状况、占地、地质灾害、环境恢复治理等矿山遥感监测各项工作。

关键词: 高分一号; 矿山遥感监测; 数据处理; 信息提取
中图法分类号: TP 79 **文献标志码**: A **文章编号**: 1001-070X(2017)s1-0067-06

0 引言

利用卫星遥感技术开展矿山监测具有直观、快速、高效、准确、全面的显著特点,是国土资源部矿政管理的重要技术手段之一[1-6]。过去很长时期内,矿山遥感监测中使用的高分辨率遥感数据多为 SPOT5, WorldView, QuickBird 等国外遥感数据源。近年来,随着我国自主研发的资源三号(ZY-3),资源一号 02C(ZY1-02C)等卫星相继投入使用,国产遥感影像数据才逐渐取代国外数据。2013 年 4 月 26 日,高分一号(GF-1)卫星成功发射,该卫星数据具有相比以往民用国产卫星数据更高的空间分辨率和时间分辨率,在矿山监测中推广应用能够大大提高遥感数据使用的国产化率。本文系统研究和介绍了 GF-1 数据在矿山遥感监测应用的全流程技术方法,对未来开展相关工作具有一定的借鉴意义。

1 遥感数据源及预处理

1.1 遥感数据源

GF-1 卫星是我国高分辨率对地观测系统重大专项中的首发星,具有多种空间分辨率、多种光谱分辨率的对地观测能力,配置了 2 台 2 m 空间分辨率全色相机,1 台 8 m 空间分辨率多光谱相机以及 4 台 16 m 空间分辨率多光谱宽幅相机(表 1),可满足不同用户的需求。

表 1 GF-1 有效载荷技术指标

Tab. 1 GF-1 satellite payload technical indicators

参数	2 m 全色/8 m 多光谱相机		16 m 多光谱宽幅相机
光谱范围/μm	全色	0.45~0.90	
	多光谱	0.45~0.52	0.45~0.52
		0.52~0.59	0.52~0.59
		0.63~0.69	0.63~0.69
		0.77~0.89	0.77~0.89
空间分辨率/m	全色	2	16
	多光谱	8	
幅宽/km	60(2 台相机组合)		800(4 台相机组合)
重访周期(侧摆时)/d	4		
覆盖周期(不侧摆)/d	41		4

收稿日期: 2017-06-01; **修订日期**: 2017-06-08
基金项目: 中国地质调查局地质调查项目"全国矿产资源开发环境遥感监测"(编号: 121201003000150009)资助。
第一作者: 薛 庆(1985-),男,工程师,主要从事矿山遥感监测和矿产资源遥感调查等工作。Email: xueq604@163.com。

1.2 几何纠正

遥感器成像过程中,卫星的轨道姿态、地球的自转和地形的影响等都会使影像产生几何变形。几何纠正在 ENVI 平台下,采用数字地形图或 IRS – P5 卫星数据制作的数字高程模型(digital elevation model,DEM)数据和遥感影像自带的有理多项式系数(rational polynomial coefficients,RPC)模型,结合地面控制点(ground control point,GCP),辅助以 1 阶或2 阶多项式保证控制点拟合精度的方法。GCP 采用实测的方式或从经精度评价符合规范精度要求的数字正射影像图(digital orthophoto map,DOM)数据中选取,一般 25 个以上时可达到在山区同名地物点中误差不大于 2 个像元,平原地区 1 个像元之内,满足 1∶5 万制图精度要求。

1.3 波段组合

波段组合 B3(R),B2(G),B1(B)数据接近真彩区,但绿色普遍暗淡,不利于矿山环境恢复治理图斑的提取,可采用绿色和近红外波段加权运算的方法解决这一问题。通过试验对比分析,以 0.7*B*4 + 0.3*B*2代替 B2,组合方法效果最佳。

1.4 数据融合

数据影像融合可以分为像素级图像融合、决策级图像融合、特征级图像融合 3 个层次[7]。采用像素级融合层次的 PCA 变换、HIS 变换、Gram – Schmidt 变换和 Brovey 变换 4 种方法进行融合试验研究。经对比分析,Gram – Schmidt 变换融合影像(图 1)亮度、清晰度最高,光谱畸变较小; PCA 变换融合影像光谱信息的保持程度和信息量的丰富程度最高,清晰度次之; Brovey 变换融合影像光谱信息的保持程度和信息量的丰富程度较高,但清晰度最差; HIS 变换影像纹理较清晰,但图像色调发生了变化。总之,Gram – Schmidt 变换和 PCA 变换效果较好,HIS 次之,而 Brovey 变换融合效果不理想。



(a) PMS 数据 (b) PAN 数据 (c) 融合后数据

图 1 Gram – Schmidt 方法融合效果

Fig. 1 Fusion effect of Gram – Schmidt method

1.5 图像增强

增强处理能使原来不清晰的图像变得清晰,或者突出用户感兴趣的信息而抑制不感兴趣的信息。增强方法主要有空间增强、光谱增强、彩色合成等,但各有利弊,同一种方法能突出图像的某些特征,又会掩盖或消除图像别的特征,因此应根据需要加以选用。如在解译矿山占地时,通过光谱增强的方式增强了尾矿库、排土场等相关信息(图 2)。



(a) 增强前 (b) 增强后

图 2 图像增强效果

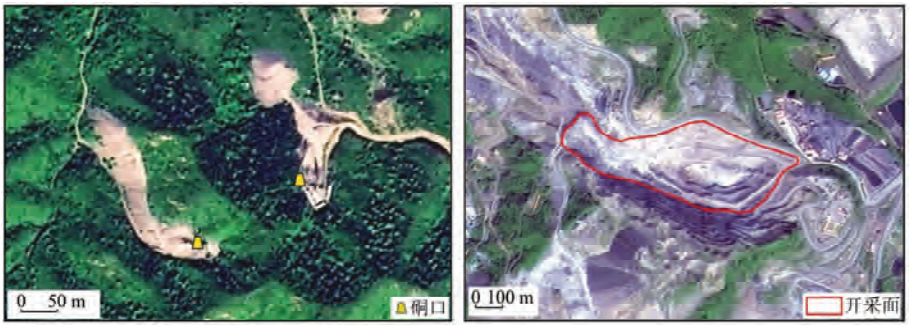
Fig. 2 Image enhancement effect

2 信息提取

采用计算机自动提取或人机交互式解译的方法。提取的内容主要包括矿产资源开发、矿山占地、矿山地质灾害、矿山环境恢复治理等信息。

2.1 矿产资源开发信息

包括开采点和开采面。开采点在影像中难以直接识别,须依据周边地物和其他辅助信息综合判定,附近矿山地貌有明显人为搅动迹象,色调明亮,无植被,与周边原生地貌形成明显对比,采矿使用道路明显,附近沟壑有弃石、废渣堆积,不远处常有选矿厂或尾矿库等标志。开采面位于采场内,呈负地形,不同高程的采掘阶梯明显,色调明亮(图 3)。



(a) 开采点　　(b) 开采面

图 3 矿山开采点/面典型遥感影像特征

Fig. 3 Typical characteristics of remote sensing image in mining point / surface

2.2 矿山占地信息

主要为采场、中转场地(选矿场、矿石堆等)、固体废弃物(排土场、煤矸石堆、尾矿库等)和矿山建筑。露天采场多沿矿脉延伸方向展布,形状为碟状或不规则条带,呈负地形。矿山建筑一般位于开采点附近、采场或中转场地内,凸出于地面,形状规则,边界清晰,一般呈矩形,色调较亮,易识别。中转场地一般位于开采点、采场附近,地下开采矿山中转场地呈现工矿企业的影像特征,色调较暗,露天开采非金属矿山中转场地选矿设备在遥感影像上成散射状分布,内有多处块状矿堆,选矿场附近一般分布有尾矿库。排土场、废石堆、煤矸石堆影像纹理特征为斑块状、月牙状或线状。尾矿库影像特征呈亮斑面状或三角形影像,形状类似半圆形或不规则长条形,无植被或稀疏植被,尾矿库常位于沟谷或山口处,下游河流多呈深暗色,多位于选矿场周边(图 4)。

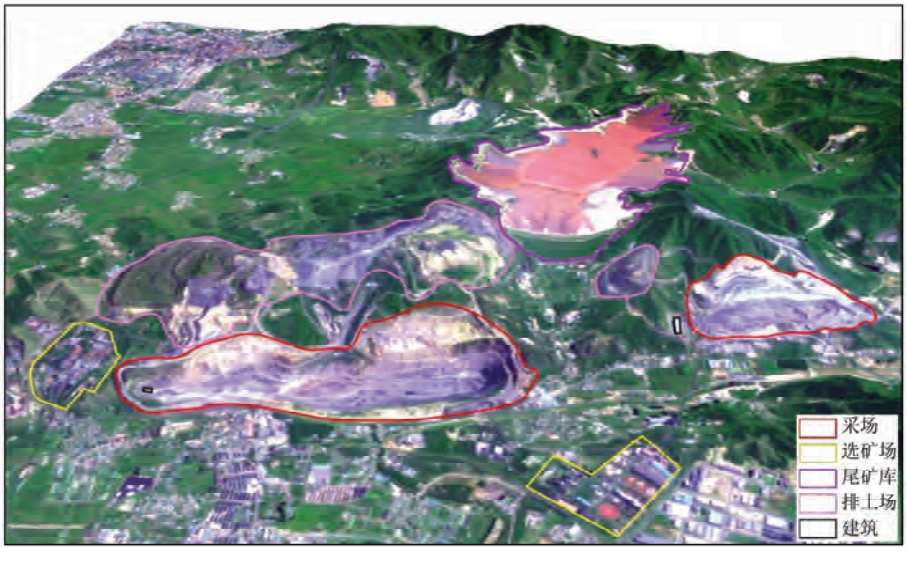


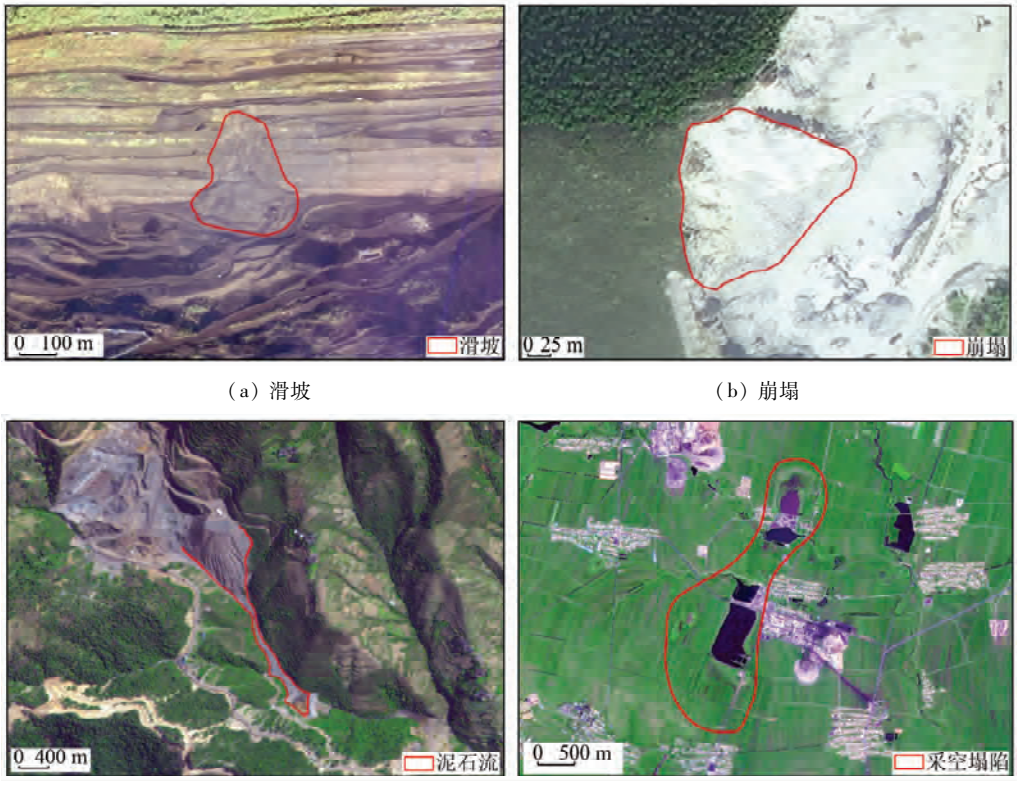
图 4 矿山占地典型遥感影像特征

Fig. 4 Typical characteristics of remote sensing image in mine area

2.3 矿山地质灾害信息

矿山开采会引发滑坡、崩塌、泥石流、采空塌陷等地质灾害。滑坡周界一般呈簸箕形,也有些呈舌形、梨形、匙形等,陡峭的滑坡壁和它们所形成的尾谷,在影像上表现为弯曲的弧形影像。崩塌在硬质岩分布区,表现为色调深灰或灰白的崩塌陡崖,崖壁

参差不齐,壁顶常见一组或几组节理,平面上呈锯齿状,陡崖下有大小不等杂乱无章的、影像结构粗糙的堆积体。泥石流主要由泥石流物源区、泥石流沟和堆积区 3 部分组成,影像标志通常是由陆源碎屑岩、粘土岩构成的流域范围较大的集水谷地,流域内平行状、树枝状水系发育,在谷地中堆积有含水性较高的松散物。采空塌陷主要为地下开采矿山引起,分布于地下开采企业周边,平面形态呈圆状或椭圆状,剖面形态有漏斗状、井筒状和锥状,常形成大量积水坑(图 5)。



(a) 滑坡 (b) 崩塌

(c) 泥石流 (d) 采空塌陷

图 5 矿山地质灾害典型遥感影像特征

Fig. 5 Typical characteristics of remote sensing image in geological disaster

2.4 矿山环境恢复治理信息

矿山环境恢复治理主要是针对由矿山开采引起的地表毁坏的一些治理活动,治理包括矿山土地的平整与复垦、排土场与煤矸石堆绿化、采场绿化等。矿山环境恢复治理典型遥感影像特征如图 6 所示。



图 6 矿山环境恢复治理典型遥感影像特征

Fig. 6 Typical characteristics of remote sensing image in mine environment restoration management

矿山土地平整与复耕主要分布在地势较平缓地区,以农田附近的砖厂治理较为常见,影像中表现为色调明亮,无纹理,与周围形成明显不同,若已复垦,则可从农作物种植方向和色调的突变点圈出治理范围。煤矸石堆与排土场治理,发生在矿山采场附近的煤矸石堆和排土场,堆场周边呈阶梯状、环状,中间有道路和储水设施等。采场边坡治理一般发生在大型采场或采坑,表现为边坡呈阶梯状,存在植被覆盖。

3 应用实例

以鞍本辽铁矿区为例,研究基于 GF - 1 数据的矿山遥感监测。

3.1 研究区概况与数据源

鞍本辽铁矿区位于辽宁省中南部,地跨鞍山市、本溪市和辽阳市,面积约 1 875 km^2,主要矿种有铁矿建筑石料用灰岩、花岗岩及其他非金属矿产,开采方式以露天开采为主。

研究区数据选取 2015 年 9 月 13 日获取的 2 m 分辨率全色和 8 m 分辨率多光谱数据,经几何纠正、波段组合、数据融合和图像增强等处理后得到数字正射影像图数据; 数据质量较好,全区没有云覆盖,满足解译要求。

3.2 监测结果

通过遥感监测,查明了该区矿产资源的开发状况及引发的矿山地质环境问题,取得了较好的应用效果。

1)查明了研究区矿产资源开发状况。全区共有矿山开采点 310 处,其中疑似违法开采 7 处,持证界内开采 71 处,关闭或废弃 232 处。7 处疑似违法开采点中无证开采建筑石料用灰岩 4 处,以采代探铁矿 1 处,无证开采铁矿 1 处,无证开采硅灰石 1 处(表 2)。

表 2 研究区矿山开发状况统计

Tab. 2 Statistics of mining development in study area

矿种	疑似违法开采	持证界内开采	关闭或废弃	总计
铁矿	2	34	98	134
硅灰石	1	0	0	1
建筑石料用灰岩	4	32	66	102
建筑用砂	0	2	17	19
砖瓦用粘土	0	0	12	12
花岗岩	0	1	33	34
大理岩	0	2	6	8
总计	7	71	232	310

2)查明了研究区矿山占地现状。全区共有矿山占地 97.12 km^2,占研究区总面积(1 875 km^2)的 5.18%。其中,固体废弃物占地 53.37 km^2,面积最大,采场占地 27.41 km^2,中转场地占地 16.09 km^2,矿山建筑占地 0.25 km^2,面积最小(图 7)。

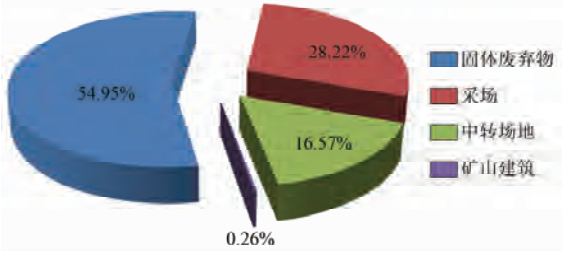


图 7 矿山占地类型面积比例

Fig. 7 Area proportion of area of mine types

3)查明了研究区矿山地质灾害现状。区内共发现地质灾害 6 处,其中滑坡 4 处,崩塌 1 处,泥石流 1 处。

4)查明了研究区矿山环境恢复治理现状。区内矿山环境恢复治理 42 处,治理面积 14.68 km^2,占矿山占到总面积的 15.30%。

4 结论

1)GF - 1 数据应用于矿山遥感监测效果十分显著,能够全面查明矿山开发状况、占地、地质灾害、环境恢复治理等信息,满足国土资源部矿政管理技术支撑的要求。

2)GF - 1 数据几何分辨率较高,经几何纠正后可满足 1∶5 万比例尺制图要求; 多光谱数据波段组合时以 0.7*B*4 + 0.3*B*2 代替 B2 可解决真彩色组合出现的绿色暗淡的问题; 数据融合时利用 G - S 变换法和 PCA 变换法,得到的融合影像效果较好。

3)研究区内存在疑似违法开采点 7 处,矿山开发秩序较为混乱; 矿山占用与损毁土地面积大,虽进行了大范围的恢复治理,但仍然存在多处地质灾害,矿山地质环境问题依然突出。

参考文献(References):

[1] 杨金中,荆青青,聂洪峰. 全国矿产资源开发状况遥感监测工作简析[J]. 矿产勘查,2016,7(2):359 - 363.
Yang J Z,Jing Q Q,Nie H F. Analysis of the mineral resources development status of remote sensing monitoring in national land[J]. Mineral Exploration,2016,7(2):359 - 363.

[2] 杨金中,聂洪峰,荆青青. 初论全国矿山地质环境现状与存在问题[J]. 国土资源遥感,2017,29(2):1 - 7. doi:10.6046/gtzyyg.2017.02.01.
Yang J Z,Nie H F,Jing Q Q. Preliminary analysis of mine geo - environment status and existing problems in China[J]. Remote Sensing for Land and Resources,2017,29(2):1 - 7. doi:10.6046/gtzyyg.2017.02.01.

[3] 安志宏,聂洪峰,王 昊,等. ZY - 1 02C 星数据在矿山遥感监测中的应用研究与分析[J]. 国土资源遥感,2015,27(2):174 - 182. doi:10.6046/gtzyyg.2015.02.27.
An Z H,Nie H F,Wang H,et al. Study and analysis of application of ZY - 1 02C satellite data to remote sensing monitoring technology for exploration of mineral resources[J]. Remote Sensing for Land and Resources,2015,27(2):174 - 182. doi:10.6046/gtzyyg.2015.02.27.

[4] 南峻祥,赵志芳,洪友堂,等. 云南宣威煤矿开发遥感调查研究[J]. 国土资源遥感,2012,24(2):121 - 124. doi:10.6046/gtzyyg.2012.02.22.
Nan J X,Zhao Z F,Hong Y T,et al. Remote sensing investigation of coal mines in Xuanwei of Yunnan Province for their development[J]. Remote Sensing for Land and Resources,2012,24(2):121 - 124. doi:10.6046/gtzyyg.2012.02.22.

[5] 杨显华,黄 洁,田 立,等. 基于高分辨率遥感数据的矿山环境综合治理研究——以冕宁牦牛坪稀土矿为例[J]. 国土资源遥感,2015,27(4):115 - 121. doi:10.6046/gtzyyg.2015.04.18.
Yang X H,Huang J,Tian L,et al. A discussion on comprehensive governance of mine environment based on high resolution remote

sensing data: A case of Maoniuping REE deposit, Mianning County [J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2015, 27(4): 115 – 121. doi: 10.6046/gtzyyg.2015.04.18.

[6] 陈 琪,赵志芳,何彬仙,等. 基于 RS 和 GIS 技术的矿山环境恢复与治理规划——以云南省元阳某金矿矿集区为例[J]. 国土资源遥感, 2015, 27(3): 167 – 171. doi: 10.6046/gtzyyg.2015.03.26.
Chen Q, Zhao Z F, He B X, et al. Environmental recovery and management planning based on RS and GIS techniques: A case study of the Yuanyang gold mining area in Yunnan Province[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2015, 27(3): 167 – 171. doi: 10.6046/gtzyyg.2015.03.26.

[7] 王晓绵,姜 芸. 高分一号遥感卫星影像融合及质量评价方法研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2015, 38(8): 178 – 179, 182.
Wang X M, Jiang Y. GF – 1 Satellite for remote sensing image fusion and quality assessment methods[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2015, 38(8): 178 – 179, 182.

Application of GF – 1 satellite data to remote sensing monitoring of the mine

XUE Qing[1,2], WU Wei[1], LI Mingsong[1], DONG Shuangfa[1], ZHANG Xinyi[1], SHI Haigang[1]
(1. *Airborne Survey and Remote Sensing Center of Nuclear Industry*, *Shijiazhuang* 050002, *China*;
2. *East China University of Technology*, *Nanchang* 330013, *China*)

Abstract: The use of satellite remote sensing technology to carry out mine monitoring. GF – 1 satellite with a high acquisition capabilities is an important mining management technical means of Ministry of Land and Resources. GF – 1 satellite is China's first launched star in High Resolution Earth Observation System Major Projects, which provides important data source for mine remote sensing monitoring. In this paper, GF – 1 data were briefly described, and studies were carried out on geometric correction, band combination, data fusion, image enhancement and other data processing methods. Finally, the best way to deal with the data in the mine remote sensing monitoring was found out. The contents and image characteristics of information extraction for mine remote sensing monitoring were comprehensively expounded. The successful application of this means to Anshan, Benxi, Liaoning iron ore deposits indicates that GF – 1 data can be well applied to the mine remote sensing monitoring work in such aspects as mine development, land use, geological disasters, environmental restoration and management.

Keywords: GF – 1; mine remote sensing monitoring; data processing; information extraction

(责任编辑: 邢 宇,张 仙)