

doi: 10. 6046/gtzyyg. 2015. 02. 27

引用格式: 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. (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.)

ZY-1 02C 星数据在矿山遥感监测中的应用研究与分析

安志宏, 聂洪峰, 王 昊, 荆青青
(中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083)

摘要: 利用资源一号(ZY-1)02C 卫星(以下简称 02C 星)全色高分辨率相机(HR)和多光谱相机(MUX)数据,以河北承德多金属矿区和江西寻乌稀土矿区为实验区,开展了 1:5 万矿山遥感监测应用研究;分析了应用过程中存在的问题,提出了解决方案和建议,对 02C 星数据在矿山遥感监测中的规模化应用起到了示范效果。研究结果表明:在数据处理流程上,对空间分辨率为 2.36 m 的 02C 星全色 HR1 与 HR2 数据需先进行正射纠正再拼接,对空间分辨率为 10 m 的多光谱数据 MUX 可采用假彩色合成方法进行模拟真彩色合成;在矿山地物识别上,与 SPOT5 图像比较,02C 星图像可更好地反映出开采面、开采点、中转场和矿山建筑等矿山地物类型,不足之处是纹理信息较平滑、矿山地物的边界相对模糊,因而增加了室内解译的难度;在经济效益上,02C 星数据的性价比优势明显。因此,尽管 02C 星数据处理和解译工作量较大,但其能满足 1:5 万矿山遥感监测要求,总体经济效益显著。

关键词: 资源一号 02C 星; 矿山遥感监测; 应用研究

中图法分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-070X(2015)02-0174-09

0 引言

资源一号卫星(ZY-1)02C 星(以下简称 02C 星)是国土资源部按照主体业务定制的业务卫星,其数据主要应用于土地、地矿和环境等多个领域。矿山遥感监测工作利用遥感技术对矿产资源开发利用状况及其引发的生态环境等问题进行动态监测,是国土资源部矿政管理的重要技术手段^[1-7]之一。02C 星数据改变了矿山监测工作长期以来主要依赖外国卫星数据的现状,其时效性和机动性更加适应矿政管理的要求,可节约监测成本,提高工作效率。

02C 星搭载 2 台空间分辨率为 2.36 m 的全色高分辨率相机(HR1 和 HR2)和 1 台空间分辨率为 5 m(全色 P)/10 m(多光谱 MUX)相机。利用 P/MUX 数据(5 m 全色/10 m 多光谱数据)进行矿山遥感监测的应用过程中问题较少^[8-10];但按照 1:5 万尺度的矿山监测要求,需要采用 02C 星分辨率为 2.36 m 的 HR 数据和 10 m 的多光谱 MUX 数据。由于软、硬件等多种原因,在利用 HR/MUX 数据进行矿山遥感监测时尚存在一些亟待解决的问题,如 HR 数据正射纠正、数据处理流程、矿山地物识别效

果等。本文通过对上述问题的梳理、分析和探讨,提出了解决方案和建议,旨在提高 02C 星数据在矿山遥感监测中的应用效果,并为其规模化应用奠定基础。

1 ZY-1 02C 星数据

本文采用的数据源为 ZY-1 02C 星 P/MUX 相机获取的全色/多光谱图像(行/列号为 250/316)和 HR 相机获取的全色图像(行/列号为 250/318)。

1.1 HR 数据质量

HR 图像在总体上影像纹理清晰,主要地类特征区分明显;但有些 HR 图像存在较为明显的条带噪声或数据丢失(图 1)。

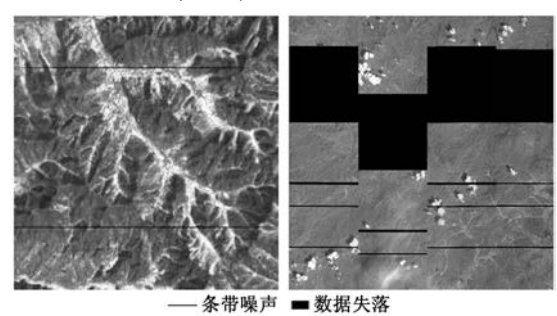


图 1 02C 星 HR 数据的质量问题
Fig.1 Quality problems of 02C HR data

1.2 MUX 数据波段组合

ZY-1 02C 星 MUX 数据与 SPOT5 多光谱数据(分辨率为 10 m)的 3 个波段的波谱范围比较相近(表 1),因而可以参照 SPOT5 多光谱数据假彩色合成方法进行模拟真彩色合成^[6,11]。

表 1 ZY-1 02C 星与 SPOT5 多光谱数据
波段范围对比

Tab.1 Comparison between band wavelength ranges
for multispectral data of 02C and SPOT5

波段	波长/ μm	
	ZY-1 02C MUX	SPOT5 多光谱
B1(绿波段)	0.52 ~ 0.59	0.50 ~ 0.59
B2(红波段)	0.63 ~ 0.69	0.61 ~ 0.68
B3(近红外波段)	0.77 ~ 0.89	0.78 ~ 0.89

经模拟真彩色合成的 MUX 图像中,影像层次分明、色彩丰富、反差适中(图 2)。

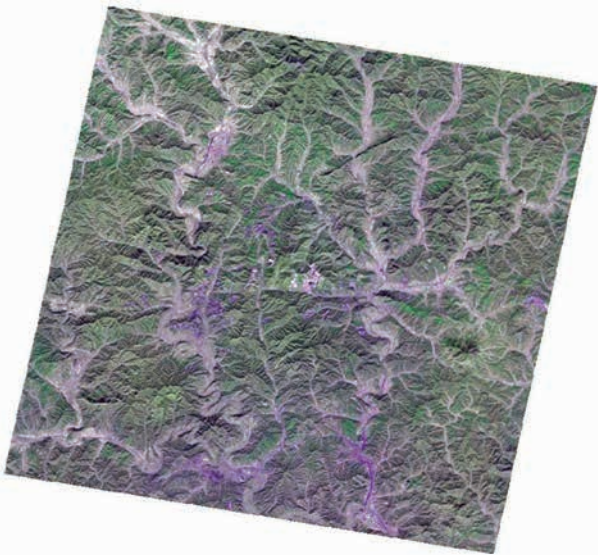


图 2 02C MUX 模拟真彩色图像

(02C MUX 合成方案: $B2(R), [(B_1 \cdot X + B_3 \cdot Y)/(X + Y)](G),$
 $B1(B)(X, Y \text{ 为权值}, X + Y = 100\%)$)

Fig.2 02C MUX simulated true color image

2 数据处理

2.1 图像预处理

2.1.1 正射纠正

02C 星的 2 台全色高分辨率相机的成像数据分别是 HR1 和 HR2。由于 2 台相机的入射角和成像角度有一定差别,如果直接将 HR1 和 HR2 图像拼接成整景图像后再进行正射纠正,会出现图像几何精度降低的问题。因此,正确的处理方法应该是:首先利用 HR1 和 HR2 各自的有理多项式系数(rational polynomial coefficient, RPC)

(图 3),采用有理函数模型,以基准 DOM 和 DEM 数据为基础,分别进行正射纠正。

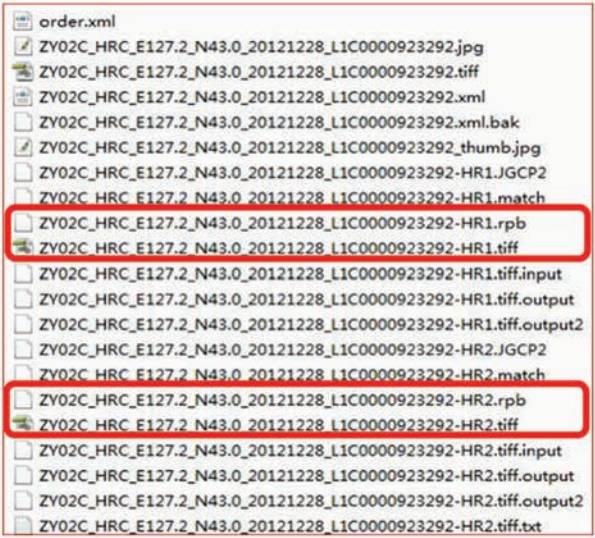


图 3 02C HR 数据及其 RPC 文件

Fig.3 02C HR data and its RPC file

选择的控制点应尽可能在整景图像中均匀分布,处理过程中要注意对 HR1 和 HR2 图像接边重叠部分加强控制,以保证图像的拼接精度;然后将 HR1 和 HR2 数据拼接成整景 HR 图像。同时,对 MUX 图像直接进行正射纠正。

2.1.2 HR1 与 HR2 拼接

经正射纠正处理后的 HR1 和 HR2 图像在拼接过程中,重叠区内会有少量像元出现错位,因此需要对重叠区进行羽化处理,以基本消除重叠区内的像元错位和黑边现象(图 4)。

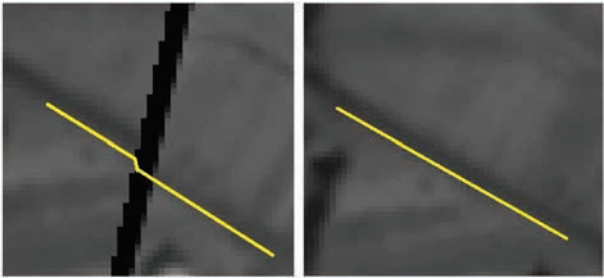


图 4 错位现象处理前(左)后(右)效果示意图

Fig.4 Dislocation before(left) and after(right) processing

2.1.3 图像配准与融合

采用 Pansharping 融合方法将正射纠正和几何配准后的 HR 与 MUX 数据进行模拟真彩色融合处理,得到监测区的 02C 星数字正射影像图(digital orthophoto map, DOM)(图 5),作为遥感解译和信息提取的基础图像。



图 5 02C 星数据融合图像(DOM)
Fig. 5 02C data fusion image(DOM)

2.2 数据处理

针对 02C 星的数据处理流程见图 6。

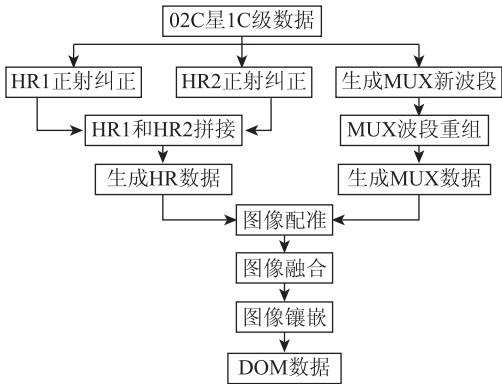
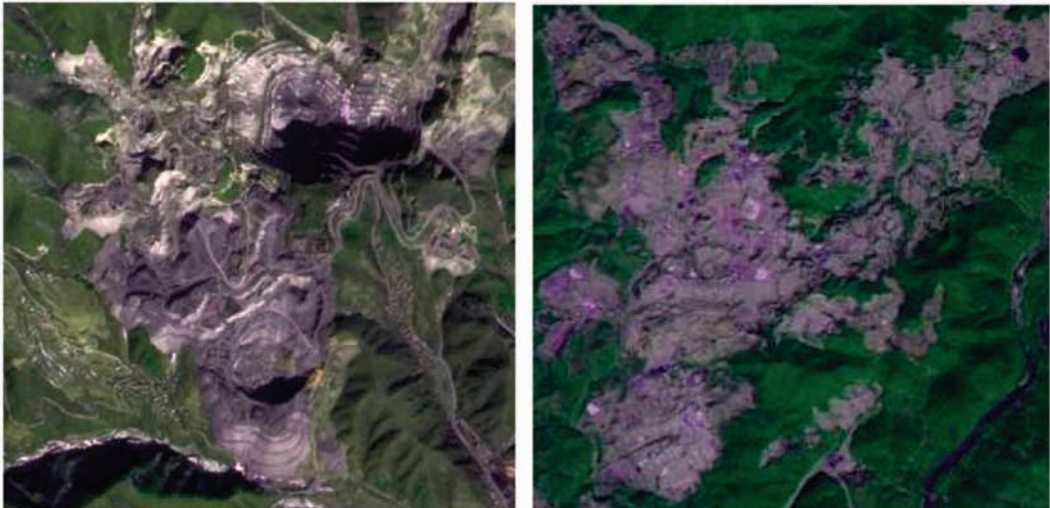


图 6 02C 星数据处理流程图
Fig. 6 Flow chart of 02C data processing

3 应用效果

3.1 矿山开采地物识别与分析

在按照上述步骤处理好的 02C 星图像中,地物纹理、色调等细节特征明显,较易识别和解译,可以较好地判别出不同矿种开采矿山的采场、中转场地、固体废弃物、矿山建筑和矿山道路等重要地物信息。对于中、大型露天开采矿山来说,还可以进一步辨识出采场内部的细节信息(例如阶梯状开采信息等),以判断矿山的开采状态。图 7 为铁矿山和稀土矿山的影像特征。



(a) 铁矿山 (b) 稀土矿山

图 7 露天矿山开发现状影像特征

Fig. 7 Image features of mining status in open pit

3.2 02C 星与 SPOT5 数据应用效果比较

1)小型建筑物(居民地)。02C 星图像能够清晰地反映出城区内建筑分布、城区主要道路及建筑

群等信息,但小路、建筑间隔等细节信息不如 SPOT5 图像明显(图 8)。



图 8 02C 星与 SPOT5 图像中城镇影像对比

Fig.8 Comparison between urban features in 02C and SPOT5 images

2) 水体。在水系的影像特征上,02C 星图像中的 SPOT5 图像中的明显(图 9)。
的水系亮度比 SPOT5 图像中的高,但水系边界不如

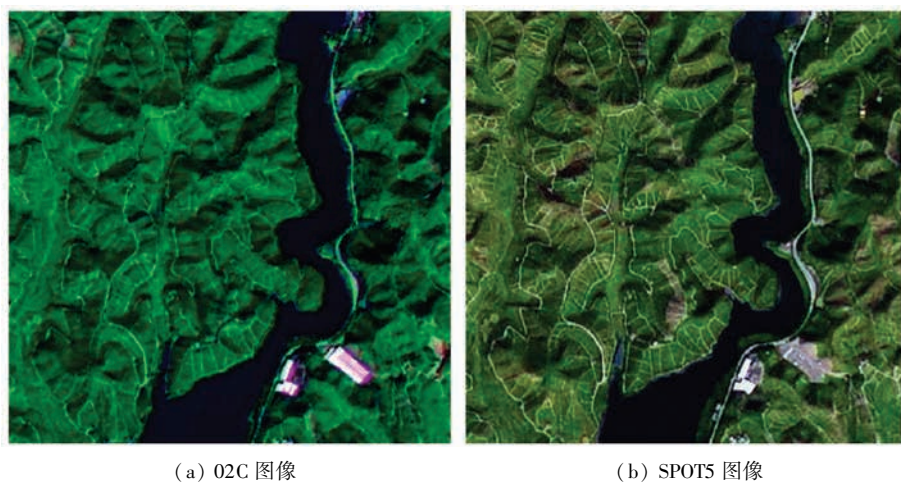


图 9 02C 星与 SPOT5 图像中水系影像对比

Fig.9 Comparison between river features in 02C and SPOT5 images

3) 矿山建筑。02C 星图像能够反映出矿山建筑 不如 SPOT5 图像中的明显(图 10)。
物的位置、轮廓等信息,但其内部的色彩和纹理信息



图 10 02C 星与 SPOT5 图像中矿山建筑影像对比

Fig.10 Comparison between mine construction features in 02C and SPOT5 images

4) 铁矿采场。对于规模巨大的矿山,02C 和 SPOT5 数据均能反映出铁矿开采面信息以及开采梯度等细节信息。在 02C 星图像中与上述信息有关

的纹理比较平滑,颜色反差不大;但 SPOT5 图像中的颜色、细节和边界信息更加丰富,易于勾绘(图 11)。



图 11 02C 星与 SPOT5 图像中铁矿采场影像对比

Fig. 11 Comparison between iron mining field features in 02C and SPOT5 images

5) 尾矿库。对于尾矿库来说,02C 和 SPOT5 数据均能清晰反映出其外部轮廓和内部信息,包括尾

矿库内部形态和边界(图 12)。



图 12 02C 星与 SPOT5 图像中尾矿库影像对比

Fig. 12 Comparison between tailing pond features in 02C and SPOT5 images

6) 稀土矿。02C 和 SPOT5 数据均能反映出稀土矿的开采位置、边界以及沉淀池形状等细节信息。在 02C 星图像中与上述信息有关的纹理比较平滑,

颜色反差不大;而 SPOT5 图像中的颜色、细节和边界信息更加丰富,易于勾绘(图 13)。

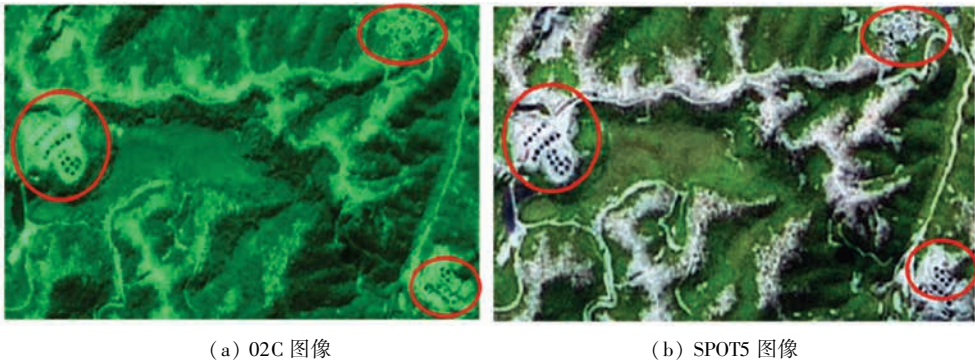


图 13 02C 星与 SPOT5 图像中稀土矿影像对比

Fig. 13 Comparison between rare earth mine features in 02C and SPOT5 images

7) 非金属矿山。02C 和 SPOT5 数据都能明显反映出矿山采场和道路的基本情况。SPOT5 图像中

的矿山和道路边界比 02C 星图像中的略为清晰,采面边界与周围地物的反差更明显(图 14)。

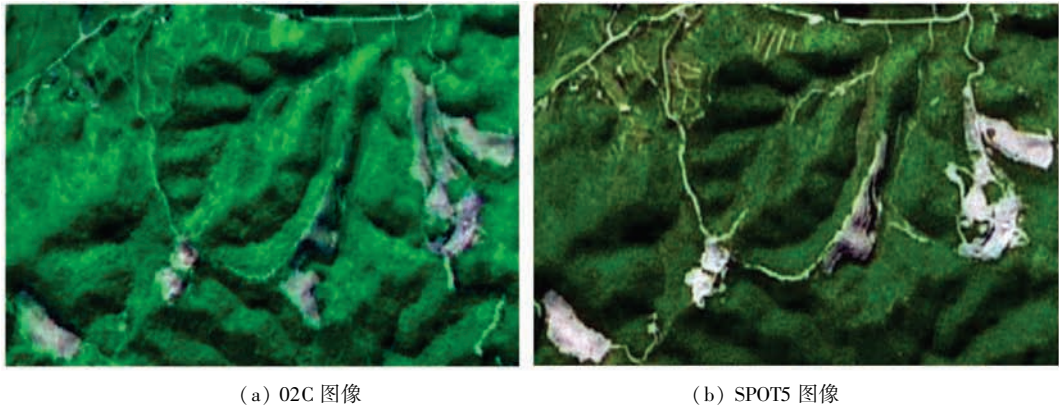


图 14 02C 星与 SPOT5 图像中非金属矿影像对比

Fig. 14 Comparison between non – metallic mine features in 02C and SPOT5 images

4 应用实例

以河北承德多金属矿区为例,研究基于 02C 星数据的矿山开发状况遥感动态监测情况。

4.1 实验区与数据源

承德多金属矿区位于河北省东北部,地跨承德县、滦平县和隆化县,面积约 388 km²;主要矿种有铁矿、铅矿、磷矿及其他非金属矿产,开采方式以露天开采为主。

实验区数据选取 2013 年 2 月 20 日获取的 02C 星 HR 和 MUX 数据,经正射纠正和数据融合等处理后为 DOM 数据,分辨率为 2.36 m;数据质量总体良好,全区没有云覆盖,满足解译要求(图 15)。

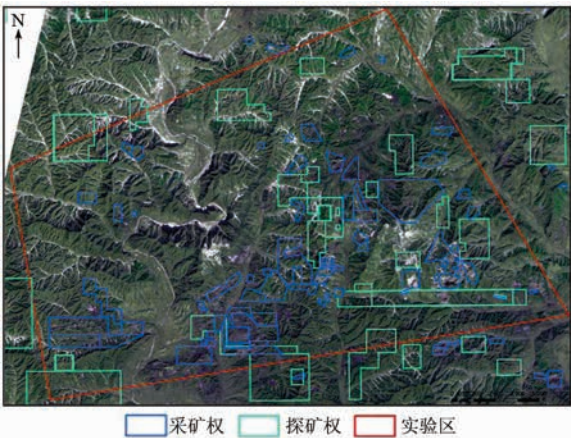


图 15 河北承德多金属矿区示意图

(底图为 02C 星 HR 和 MUX 数据融合后 DOM 图像)

4.2 监测结果与分析

4.2.1 矿山开发现状调查

根据矿山采场、固体废弃物等矿业活动影像标志并结合野外验证情况,利用 2013 年获取的 02C 星图像,共解译出各类矿山开发地物图斑 200 个,其中开采面图斑 68 个、中转场地图斑 47 个、固体废弃物图斑 85 个(图 16)。

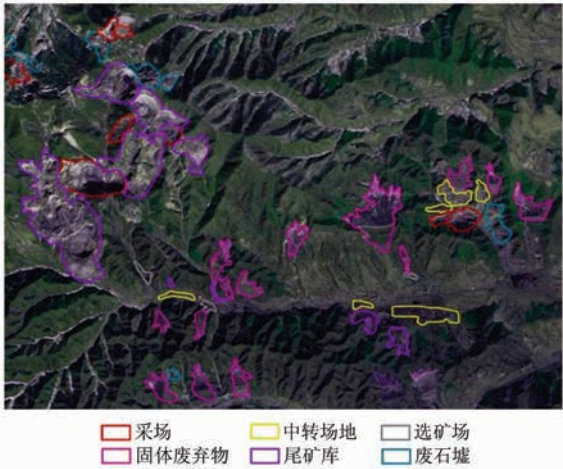


图 16 矿山开发地物图斑分布

Fig. 16 Distribution of mine exploitation pattern polygons

野外调查结果(表 2)表明,从矿山开发状况来看,2013 年承德多金属矿区内正在开采的矿山共 68 个(其中铁矿 66 个、长石矿 1 个、膨润土矿 1 个),均为合法开采,开发秩序总体较好;从矿山开发占地情况来看,该矿区 2013 年矿山开采占地面积 1 929.29 hm²,其中采场占地面积 728.25 hm²,中转场地占地面积 242.77 hm²,固体废弃物面积 958.27 hm²,矿山开采占地规模巨大,长期开采对区域生态环境造成威胁。

表 2 承德多金属矿区 2013 年矿山开发状况调查结果

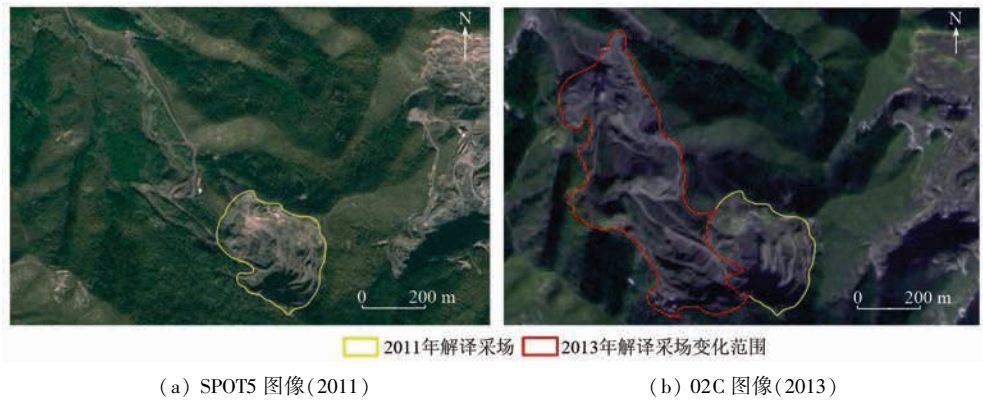
Tab.2 Field survey results of mining status in 2013 in Chengde

矿种	采场		中转场地		固体废弃物	
	数量/个	面积/hm ²	数量/个	面积/hm ²	数量/个	面积/hm ²
铁矿	66	725.48	45	241.52	85	958.27
铅矿	—	—	1	0.56	—	—
长石矿	1	2.46	—	—	—	—
膨润土矿	1	0.31	—	—	—	—
建筑用凝灰岩矿	—	—	1	0.69	—	—
合计	68	728.25	47	242.77	85	958.27

4.2.2 矿山开发状况动态监测

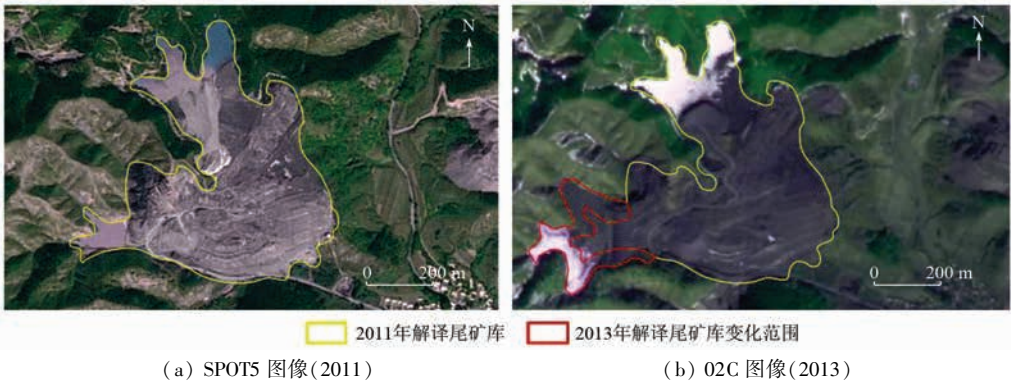
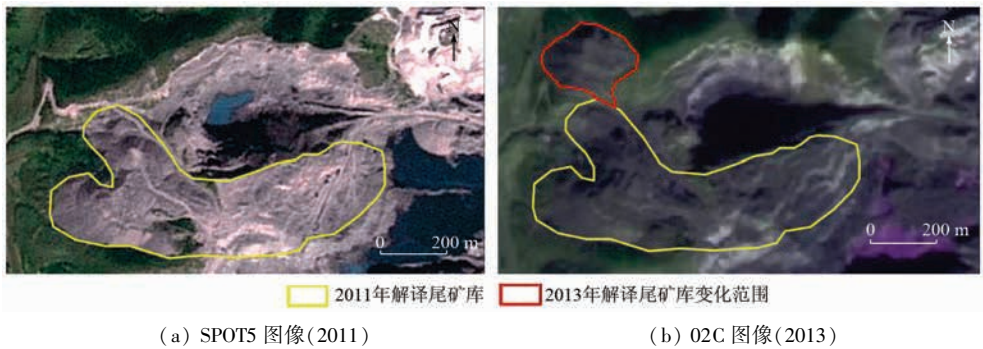
利用 2013 年 02C 星数据与 2011 年 SPOT5 数据对河北省承德矿区进行了 2011—2013 年间矿山

开发状况动态变化监测,对 2 期卫星数据的调查结果进行了统计和对比分析,共发现 24 个开采图斑发生了变化,部分矿山地物的图斑变化明显(图 17)。



从图 17 可以看出,黄线圈定区域为 2011 年初始状态下的铁矿采场范围,红线圈定区域为 2011—2013 年间增加的铁矿采场范围,说明 2011—2013

年间铁矿采场面积大幅度增加,开采活动相对剧烈。图 18 反映了 2011—2013 年间铁矿排土场的变化情况,图 19 反映了铁矿尾矿库的面积也有所增加。



利用 2 期 02C 星数据进行的矿山开发状况动态监测结果表明,监测区矿山开采活动剧烈,矿业开发占地有所增加,生态环境趋于恶化。2011—2013 年间,监测区范围内共增加正在开采的铁矿采场 4 处、正在利用的中转场地 8 处、固体废弃物 12 处;矿山占地面积共增加 468.81 hm²,均为铁矿用地,其中矿山采场面积增加 83.68 hm²、中转场地面积增加 46.04 hm²、固体废弃物面积增加 339.09 hm²。随着矿山占地的不断增加,矿山周围的生态环境势必趋于恶化,特别是固体废弃物的集中分布和长期露天堆放,造成土壤污染和水土流失,会导致局部地区生态环境脆弱,严重威胁生态环境平衡。

5 结论

1)在收集的 ZY-1 02C 星 HR 数据中,部分 HR 数据的质量不太稳定,存在明显的条带噪声或数据丢失,影响了使用。

2)在 02C 星数据处理流程中,需要对 HR1 与 HR2 分别进行 2 次正射纠正,再加上数据拼接和波段配准等,相比其他数据来说,成倍增加了数据处理的工作量。

3)在对 HR1 和 HR2 数据进行拼接过程中,为了消除重叠区内的像元错位和黑边现象,需要单独对重叠区进行羽化处理。

4)02C 星图像质量总体良好,影像清晰,地类层次分明,纹理信息较为丰富;但纹理较平滑,边界较模糊,不利于边界勾绘。

5)在 1:5 万矿山遥感监测中,02C 星图像能较好地反映出开采面、开采点、中转场、矿山建筑等矿山地物类型;不足之处是地物的纹理信息较平滑,矿山地物的边界相对模糊,不利于地物边界的圈定,增加了室内解译的难度,需要加大野外工作量确定地类边界。

6)河北承德多金属矿区、江西寻乌稀土矿区等实验区的 1:5 万矿山遥感监测表明,02C 星数据能够达到 1:5 万矿山遥感监测的要求。

7)与国外同类卫星高昂的数据费用相比,02C 星的性价比优势明显。使用 02C 星数据进行矿山遥感监测,既能满足 1:5 万矿山遥感监测要求,又可大大降低监测成本,经济效益显著。

参考文献 (References):

[1] 聂洪峰,杨金中,王晓红,等. 矿产资源开发遥感监测技术问题与对策研究[J]. 国土资源遥感,2007,19(4):11-13. doi:10.6046/gtzyyg. 2007. 04. 03.

Nie H F, Yang J Z, Wang X H, et al. The problems in the remote sensing monitoring technology for the exploration of mineral resources and the countermeasures[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2007, 19(4): 11-13. doi:10.6046/gtzyyg. 2007. 04. 03.

[2] 尚 慧,倪万魁. 石嘴山矿区地表环境动态变化遥感监测[J]. 国土资源遥感,2013,25(2):113-120. doi:10.6046/gtzyyg. 2013. 02. 20.

Shang H, Ni W K. Remote sensing monitoring of dynamic changes of surface environment in Shizuoshan mining area[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2013, 25(2): 113-120. doi:10.6046/gtzyyg. 2013. 02. 20.

[3] 方雪娟,丁 镭,张 志. 大冶陈贵镇小型尾矿库分布特征及其环境影响分析[J]. 国土资源遥感,2013,25(1):155-159. doi:10.6046/gtzyyg. 2013. 01. 27.

Fang X J, Ding L, Zhang Z. An analysis of distribution characteristics and environmental effect of small tailing ponds in Chengui town, Daye[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2013, 25(1): 155-159. doi:10.6046/gtzyyg. 2013. 01. 27.

[4] 郝利娜,张 志,何文熹,等. 鄂东南尾矿库高分辨率遥感图像识别因子研究[J]. 国土资源遥感,2012,24(3):154-158. doi:10.6046/gtzyyg. 2012. 03. 27.

Hao L N, Zhang Z, He W X, et al. Tailings reservoir recognition factors of the high resolution remote sensing image in southeastern Hubei[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2012, 24(3): 154-158. doi:10.6046/gtzyyg. 2012. 03. 27.

[5] 南竣祥,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.

[6] 孙家波,杨建宇,张 超,等. 应用“资源一号”02C 卫星数据的模拟真彩色技术[J]. 国土资源遥感,2013,25(4):33-39. doi:10.6046/gtzyyg. 2013. 04. 06.

Sun J B, Yang J Y, Zhang C, et al. Simulating true color technology applied to “ZY-1”02C satellite[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2013, 25(4): 33-39. doi:10.6046/gtzyyg. 2013. 04. 06.

[7] 栾卓然,周智勇,路 丽,等. 冀中平原区砖瓦粘土开采现状及生态环境遥感调查[J]. 国土资源遥感,2013,25(4):143-146. doi:10.6046/gtzyyg. 2013. 04. 23.

Luan Z R, Zhou Z Y, Lu L, et al. Remote sensing survey of brick clay exploitation situation and eco-environment of central Hebei (Jizhong) plain[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2013, 25(4): 143-146. doi:10.6046/gtzyyg. 2013. 04. 23.

[8] 胡凤伟,胡龙华,李 涛,等. 资源一号 02C 卫星 PMS 数据处理方法研究[J]. 华北科技学院学报,2012,9(4):40-44.

Hu F W, Hu L H, Li T, et al. The discussion of processing method of ZY-1 02C PMS remote sensing image data[J]. Journal of North China Institute of Science and Technology, 2012, 9(4): 40-44.

[9] 文雄飞,陈蓓青,申邵洪,等. 资源一号 02C 卫星 P/MS 传感器数据质量评价及其在水利行业中的应用潜力分析[J]. 长江科

学院院报,2012,29(10):118-121.

Wen X F,Chen B Q,Shen S H,et al. Image quality evaluation for ZY-1 02 C satellite P/MS sensors and the potential of its application in water conservancy[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute,2012,29(10):118-121.

[10] 周 亦,武 娟,李 琦,等. “资源一号”02C 卫星影像在土地利用变化信息发现中的试验与分析[J]. 矿产勘查,2012,3(5):688-694.

Zhou Y,Wu J,Li Q,et al. Test and analysis for detecting land use change by using CBERS-02C satellite image[J]. Mineral Exploration,2012,3(5):688-694.

[11] 陈雪洋,袁 超. ZY-1 02C 卫星影像融合方法评价[J]. 测绘与空间地理信息,2013,36(2):50-53.

Chen X Y,Yuan C. Data fusion evaluation of ZY-1 02C satellite images[J]. Geomatics and Spatial Information Technology,2013,36(2):50-53.

Study and analysis of application of ZY-1 02C satellite data to remote sensing monitoring technology for exploration of mineral resources

AN Zhihong, NIE Hongfeng, WANG Hao, JING Qingqing
(China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China)

Abstract: With the HR/MUX data of ZY-1 02C obtained from Chengde and Xunwu experimental areas as examples, the authors applied the remote sensing monitoring technology to the exploration of mineral resources at the scale of 1:50 000. The problems in the application process were studied and analyzed, the solutions and recommendations, which play a demonstration role in the large-scale application of mineral exploration monitoring, were proposed. Some conclusions have been reached: In the data processing, the 02C HR1 and HR2 data with 2.36 m resolution must be orthorectified first before splicing, and the MUX data with 10 m resolution should be composed with simulated true color by using the false color composition method. In the aspect of mine object recognition, the 02C image can better reflect mining position, transit field, mine construction and other types of mining features in comparison with SPOT5 image, but its relative smooth texture information and relative fuzzy boundary of the mine ground objects increase the difficulty of indoor interpretation. In economic efficiency, the price advantage of 02C data is obvious. Although the 02C data processing and interpreting have larger workload, it can meet the remote sensing monitoring of mineral exploration at 1:50 000 scale, and the overall economic benefit is significant.

Keywords: ZY-1 02C satellite data; remote sensing monitoring for mineral resources exploration; application study

第一作者简介: 安志宏(1981-),男,高级工程师,主要从事遥感地质、矿山遥感监测等应用研究。Email: anzhihong_agrs@sina.com。

(责任编辑: 刘心季)