doi: 10.6046/gtzyyg.2017.s1.22
引用格式: 梅军军,徐素宁,彭令,等. 国产高分卫星数据在新疆铁厂沟煤矿塌陷调查中的应用[J]. 国土资源遥感,2017,29(s1):132-136. (Mei J J, Xu S N, Peng L, et al. Application of domestic high-resolution satellite imagery data to the investigation of surface collapse in the Tiechanggou coal mine of Xinjiang[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2017, 29(s1):132-136.)

国产高分卫星数据在新疆铁厂沟煤矿塌陷调查中的应用

梅军军[1], 徐素宁[1], 彭 令[1], 邢顾莲[2], 李文娟[1]
(1. 中国地质环境监测院,北京 100081; 2. 北京德中天地科技有限公司,北京 100085)

摘要: 煤矿开采引起的地面塌陷、地裂缝等地质灾害日益严重,查清矿区地质灾害规模、分布和影响范围,掌握变化趋势,对建设绿色矿山至关重要。应用资源一号 02C(ZY1-02C),高分一号(GF-1)和高分二号(GF-2)卫星高空间分辨率影像数据,基于已知塌陷区的基本特点,建立遥感影像地物解译标志体系,通过人机交互目视解译,圈定了新疆铁厂沟煤矿区地面塌陷的边界、展布方向和影响面积。研究表明,国产卫星 ZY1-02C, GF-1 和 GF-2 数据能够有效保障矿区大、中型地面塌陷遥感精准识别; 国产卫星 ZY1-02C 和 GF-1 能满足 1∶5 万比例尺制图要求,GF-2 卫星遥感数据可以满足 1∶2.5 万比例尺制图要求。作为我国自主发射的国产高分辨率卫星,数据资源丰富,为今后开展矿山地质灾害遥感监测提供重要数据保障。

关键词: 国产高分卫星数据; 新疆铁厂沟煤矿; 地面塌陷
中图法分类号: TP 79　**文献标志码**: A　**文章编号**: 1001-070X(2017)s1-0132-05

0 引言

人类社会发展到今天,在取得巨大社会进步的同时,对自然环境的破坏也触目惊心,而煤炭资源开采就是一个不可忽视的重要方面。地下煤炭资源开采引起地面塌陷、地裂缝等一系列环境地质灾害,尤其在第四系覆盖层的前山或平原区,几十 a 的地下开采常常造成局部出现地裂缝并伴有区域性大面积的地面塌陷。这种变化兼有渐变和突变的特点,形成规模也相差悬殊。常规监测方法是设置观测仪器,定点、定时监测,或以有关人员和当地群众逐级汇报的方式。因此,对沉陷区的宏观掌控具有一定的局限性,确定沉陷区范围及其边界分布有较大困难,而且数据更新效率较低[1]。

遥感技术具有宏观、准确、高空间分辨率、高精度定位和高效可重复的动态监测特点,为采空沉陷区边界确定提供了重要信息。利用遥感数据进行煤矿区地面塌陷遥感解译及环境监测评价,具有成本低、效益高的特点,是传统方法不可比拟的。我国学者通过遥感手段分别对淮南矿区、兖济滕矿区和开滦矿区等地[2-6]进行了地面塌陷的研究和监测,结果表明遥感技术可以有效地圈定出地面塌陷的位置和影响范围等信息,但是上述工作对国外遥感数据依存度过高,使得数据采购费用高昂,且获取时间和数据质量往往受制于人。近年来,我国发射了一系列资源和环境卫星,特别是国产高空间分辨率卫星的投入使用,使我国卫星对地观测能力大大提高,为开展矿区地面塌陷动态监测带来了契机。

本文以新疆铁厂沟煤矿区地面塌陷遥感解译为例,基于 ZY1-02C, GF-1 和 GF-2 国产高分卫星遥感数据,对比 3 种国产卫星遥感数据地物特征,采用目视解译与计算机自动提取相结合的方法,圈定煤矿区地面塌陷情况,测量了塌陷的展布方向,并分析国产卫星数据对矿区地面塌陷的调查能力和调查精度,为国产卫星的推广应用提供技术支撑。

1 研究区概况

新疆铁厂沟煤矿区地处乌鲁木齐市和昌吉州原米泉县境内,位于天山北麓,准格尔盆地南缘,乌鲁木齐市以东,呈山前丘陵剥蚀地貌。区内地势南高北低,最高海拔为 934 m,最低海拔为 739.2 m,最大相对高差 130 m,一般平均高差 60 m。区内土壤类

收稿日期: 2017-06-01; **修订日期**: 2017-07-10
基金项目: 高分辨率对地观测系统重大专项项目"基于高分五号卫星等数据的空间数据融合同化与城市环境变化监测技术"(编号: 11-Y20A40-9002-15/17)和卫星及应用产业发展专项"基于国产卫星的地质灾害调查监测系统研制与示范应用"(编号: 发改办高技〔2012〕2083 号)共同资助。
第一作者: 梅军军(1985-),男,硕士,主要从事地质环境与地质灾害调查监测等工作。Email: 345251988@qq.com。

型以灰漠土和灌溉灰漠土为主。该区地理坐标为 E87°43′50″～87°51′20″,N43°54′25″～43°58′30″; 解译面积约 145 km^2。研究区山体阴影如图 1 所示。

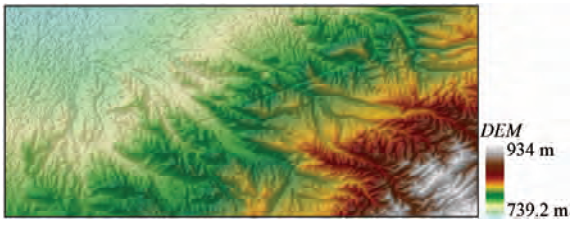


图 1　研究区山体阴影

Fig. 1　Mountain shadow of the study area

出露地层主要有古生界二叠系、中生界三叠系、侏罗系、新生界新近系、古近系及第四系地层。主要工业含煤地层为早侏罗世的八道湾组(俗称下含煤层)和中侏罗世的西山窑组(俗称上含煤层),特别是西山窑组在天山北麓,岩性、岩相都较稳定,而且是新疆最重要的工业含煤地层,煤层厚度几 m 至几十 m 不等,以乌鲁木齐东西两侧至阜康一带为沉积和聚煤中心,为一套湖沼相含煤碎屑岩沉积,岩性为灰、灰绿、紫红色砂岩、石英砂岩、灰黑色泥岩、碳质泥岩夹煤层及菱铁矿薄层。区内煤层共计 54 层,总厚度 169.80 m,均属急倾斜煤层。

2　数据源及其预处理

数据源主要采用国产高分遥感影像 ZY1 －02C 卫星的 HR 数据(全色波段数据)、GF －1 和 GF －2 卫星数据,遥感影像分别获取于 2012 年 9 月、2013 年 7 月和 2016 年 4 月,其参数如表 1 所示。基于 ENVI5.3 和 ArcGIS10.2 遥感应用处理平台,遥感数据的主要预处理流程如图 2 所示。

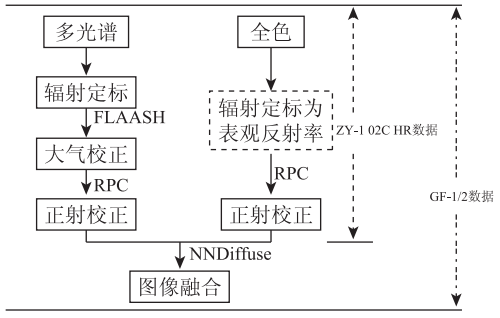


图 2　数据预处理流程

Fig. 2　Flowchart of data processing

表 1　主要数据源参数

Tab. 1　Parameters of major data

数据源	载荷	波段	波段范围/μm	空间分辨率/m	幅宽/km	重访周期/d
ZY1 －02C	HR 相机	—	0.51～0.85	2.36	1 台: 27 2 台: 54	3
GF －1	PMS 相机	1	B: 0.45～0.52	8	60	4
		2	G: 0.52～0.59	8		
		3	R: 0.63～0.69	8		
		4	NIR: 0.77～0.89	8		
		—	Pan: 0.45～0.90	2		
GF －2	PMS 相机	1	B: 0.45～0.52	4	45	5
		2	G: 0.52～0.59	4		
		3	R: 0.63～0.69	4		
		4	NIR: 0.77～0.89	4		
		—	Pan: 0.45～0.90	1		

有效运用各种图像处理方法进行图像增强处理,如数据对比度拉伸、锐化等,处理结果如图 3 所示。

(a) ZY1 －02C 卫星 HR 影像　(b) GF －1 卫星影像 GF －1 3(R)2(G)1(B)假彩色合成　(c) GF －2 卫星影像 GF －2 3(R)2(G)1(B)假彩色合成

图 3　研究区遥感影像预处理结果

Fig. 3　Pre－processing results of remote sensing images in study area

3 地面塌陷遥感解译标志及边界确定

沉陷带、塌陷坑和地裂缝集中分布是采空沉陷区形成的直接标志。除此之外,在遥感图像上还能找到采空沉陷区的一些其他特征,可以直接或间接指示确定沉陷区的分布范围。结合前人地质灾害研究成果,以卫星遥感影像信息为基础,经过详细的图像解译,确定了判断地面塌陷及边界特征的 3 个解译标志[7-11]:

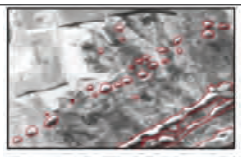
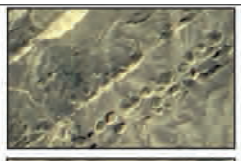
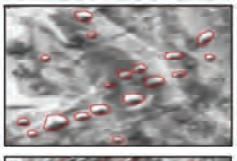
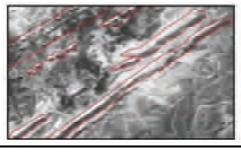
1)有大型煤矿或集中分布的中小型煤矿。

2)形成多条地面沉陷带、地裂缝。在遥感图像上,采空沉陷有大小不等的沉陷带或地裂缝,呈暗色线状地物。地面塌陷一般以带状、线状或槽状展布,呈直线或舒缓的波状延伸,这些暗色槽状地物为采空沉陷造成的。有平行排列型、折线型和蠕虫型。规模较大的宽度十几 m,长几百 m。

3)塌陷状况。有些塌陷呈断续状延伸,多呈椭圆状、哑铃状或串珠状,但总体延伸走向与地下煤层展布基本相同。塌陷都发育有暗色色边,而且靠近塌陷南侧壁边,这是阴影所致,呈槽状、线状展布的塌陷,阴影呈椭圆状、哑铃状或月牙状,如表 2 所示。

表 2 煤矿区地面塌陷国产卫星影像特征

Tab. 2 Remote sensing image features of ground subsidence in coal mine

解译标志	影像特征	ZY1 -02C 卫星 HR 影像	GF -1 卫星影像	GF -2 卫星影像
串珠状塌陷坑	呈串珠状塌陷,走向总体与煤层展布一致			
半月形阴影	呈椭圆状、哑铃状塌陷,阴影呈半圆形			
槽状塌陷坑	槽状塌陷,规模较大,宽几十 m,长几百 m			

4 地面塌陷的解译结果

4.1 变化趋势分析

基于地面塌陷遥感解译标志,采用预处理后的遥感影像,通过计算机处理与人机交互目视解译相结合,圈定地面塌陷边界范围。通过遥感解译,研究区 2012 年 9 月地面塌陷总面积为 4.002 km^2,2013 年 7 月为 3.102 2 km^2,2016 年 4 月为 2.875 1 km^2,如图 4 所示。

(a) 2012 年 9 月 ZY1 -02C 卫星 HR 影像 (b) 2013 年 7 月 GF -1 卫星影像 (c) 2016 年 4 月 GF -2 卫星影像

图 4 遥感解译成果图

Fig. 4 Interpretation of remote sensing data

3 期数据相比,4 a 来塌陷面积呈逐年递减趋势,变化量为 1.126 9 km^2,降低率为 18.158%。地面塌陷主要有 9 条,分别为北部 2 条、中部 4 条和南部 3 条。其中,中部 4 条塌陷最强烈,又分为 2 组,偏南的 2 条塌陷深而且长,最长的一条单独塌陷槽长达 3 km,宽度一般为 30 ~ 60 m,深度为 5 ~ 35 m。一般呈带状或槽状;偏北的 2 条塌陷多呈紧密的椭圆状、哑铃状或串珠状展布,宽度一般为 20 ~ 40 m,深度为 5 ~ 20 m。

4 a 来,当地政府和矿管部门积极实施绿色矿山建设,针对矿区内地面塌陷采取了积极的治理措施,主要实施了地面塌陷和地裂缝综合治理工程,包括

煤矿区重点地段地面塌陷进行机械回填和平整,植树恢复植被,取得了较好的成效。

4.2 精度评价

遥感影像对塌陷坑的解译能力取决于影像空间分辨率与待识别塌陷坑的大小,一般认为某一影像在对比度条件好的情况下目视解译可识别的最小规模对象的面积是其空间分辨率的 20 ~ 25 倍。以最小可识别图斑面积作为评价遥感数据解译图斑面积精度的指标,通过解译研究区 ZY1 - 02C,GF - 1 和 GF - 2 全色与多光谱融合数据,对比分析得出结果如表 3 所示。

表 3　不同遥感影像的最小可识别图斑面积

Tab. 3　Minimum recognition area of different image data

数据源	空间分辨率/m	最小可识别灾害体面积/m^2	成图比例尺
GF - 2(融合)	1	100	1∶2.5 万
GF - 1(融合)	2	200	1∶5 万
ZY1 - 02C(HR)	2.36	270.34	1∶5 万

可见 GF - 2 的图斑解译精度最高,GF - 1 影像次之,ZY1 - 02C 影像的图斑解译精度最差。

5　结论与建议

通过国产遥感影像数据在矿区地面塌陷调查中的应用,得出如下结论:

1)国产高分卫星数据可进行宏观大范围的调查。获取方便,易于综合管控,成本相对较低,可大面积推广应用,现势性非常强,适用于较大范围或局部地区的地质灾害遥感调查。

2)适合地面塌陷坑动态遥感调查。遥感技术在地面塌陷坑研究中的应用逐渐从单一的遥感资料向多时相、多源数据的复合分析,从静态识别、形态分析向动态监测过渡,从对塌陷坑的定性调查向计算机辅助的定量分析过渡。国产卫星类型多,时间分辨率高,可以提供一系列时序数据,开展对地质灾害时空尺度变化、数据源差异及多种方法相结合的综合系统研究。

同时,研究区内矿产资源丰富,近些年煤炭开采业发达,从而引发地面塌陷,快速获取采煤地质灾害的分布有利于掌握研究区地质环境变化情况。应用国产高分卫星数据,可以准确圈定煤矿区地面塌陷范围,为国产卫星产业化应用提供一定的导向作用。

参考文献(References):

[1] 梨来福,王秀丽. SPOT - 5 卫星遥感数据在煤矿塌陷区监测中的应用[J]. 矿山测量,2008(2):45 - 47.
Li L F, Wang X L. Application of the SPOT - 5 satellite remote - sensing data in monitoring the coalmine subsidence area[J]. Mine Surveying, 2008(2): 45 - 47.

[2] 彭苏萍,王 磊,孟召平,等. 遥感技术在煤矿区积水塌陷动态监测中的应用——以淮南矿区为例[J]. 煤炭学报,2002,27(4):374 - 378.
Peng S P, Wang L, Meng Z P, et al. Monitoring the seeper subside in coal district by the remote sensing: examples from Huainan coal district[J]. Journal of China Coal Society, 2002, 27(4): 374 - 378.

[3] 王行风,杜培军,孙久远. 兖济滕矿区地表塌陷遥感信息解译研究[J]. 水土保持研究,2007,14(5):230 - 232,235.
Wang X F, Du P J, Sun J Y. Extracting of remote sensing information of mining subsiding in Yanjiteng area[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2007, 14(5): 230 - 232, 235.

[4] 汪宝存,苗 放,晏明星,等. 基于遥感技术的开滦煤矿地面塌陷积水动态监测[J]. 国土资源遥感,2007,19(3):94 - 97. doi:10.6046/gtzyyg.2007.03.22.
Wang B C, Miao F, Yan M X, et al. The dynamic detection of ground collapse water log in the Kailuan coal mine based on the remote sensing technique[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2007, 19(3): 94 - 97. doi: 10.6046/gtzyyg.2007.03.22.

[5] 许长辉,高井祥,王 坚,等. 多源多时相遥感数据融合在煤矿塌陷地中应用研究[J]. 水土保持研究,2008,15(1):92 - 95.
Xu C H, Gao J X, Wang J, et al. Application of RS data fusion of multi - source and multi - temporal in coal mine subsidence[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2008, 15(1): 92 - 95.

[6] 王钦军,陈 玉,蔺启忠. 矿山地面塌陷的高分辨率遥感识别与边界提取[J]. 国土资源遥感,2011,23(3):113 - 116. doi:10.6046/gtzyyg.2011.03.20.
Wang Q J, Chen Y, Lin Q Z. Surface collapse identification and its boundary extraction using high resolution remote sensing[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2011, 23(3): 113 - 116. doi: 10.6046/gtzyyg.2011.03.20.

[7] 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,2005,17(1):45 - 48. doi:10.6046/gtzyyg.2005.01.11.
Li C Z, Nie H F, Wang J, et al. A remote sensing study of characteristics of geological disasters in a mine[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2005, 17(1): 45 - 48. doi: 10.6046/gtzyyg.2005.01.11.

[8] 张敦虎,卢中正,强建华,等. 地面塌陷特征及其遥感识别方法研究[J]. 地质灾害与环境保护,2009,20(3):8 - 12.
Zhang D H, Lu Z Z, Qiang J H, et al. Characteristic of land collapse and its identification method in remote sensing image[J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 2009, 20(3): 8 - 12.

[9] Wang J A, Shang X C, Ma H T. Investigation of catastrophic ground collapse in Xingtai gypsum mines in China[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2008, 45(8): 1480 - 1499.

[10] 陈文平,范英霞,韩小朋,等. 中巴资源卫星影像 HR 数据在煤矿矿区地面塌陷调查中的应用[J]. 测绘与空间地理信息,2012,35(2):80 - 83.
Chen W P, Fan Y X, Han X M, et al. Application of CBERS HR image data in investigation of surface collapse in coal mine zone

[J]. Geomatics and Spatial Information Technology,2012,35(2):80 – 83.

[11] 王瑞国. 基于 WorldView – 2 数据的乌东煤矿地质灾害遥感调查及成因分析[J]. 国土资源遥感,2016,28(2):132 – 138. doi:10.6046/gtzyyg.2016.02.21.

Wang R G. Remote sensing investigation and analysis of geological disasters in the Wudong coal mine based on WorldView – 2 data [J]. Remote Sensing for Land and Resources,2016,28(2):132 – 138. doi:10.6046/gtzyyg.2016.02.21.

Application of domestic high – resolution satellite imagery data to the investigation of surface collapse in the Tiechanggou coal mine of Xinjiang

MEI Junjun[1], XU Suning[1], PENG Ling[1], XING Gulian[2], LI Wenjuan[1]

(1. *China Institute of Geo – Environment Monitoring*, *Beijing* 100081, *China*; 2. *Beijing Esky Tec Ltd.*, *Beijing* 100085, *China*)

Abstract: The problem which has become serious over time is coal mine zone's surface collapse and ground crevice. Therefore, making a thorough investigation of the type, size and distribution of geological disasters in the mining area and analyzing the causes, damage degree and development trend of the geological disasters are very important for the green mine construction. With the ZY1 – 02C and GF – 1/2 data as the basis, on the basis of the characteristics of known subsidence area and the establishment of remote sensing imagery interpretation system, and by using the methods of human – computer interactive interpretation, the authors delineated the boundary, the direction and the influence area of the ground collapse area of the Tiechanggou mine in Xinjiang. The analysis shows that the data obtained by domestic high – resolution satellites of ZY1 – 02C HR, GF – 1 and GF – 2 can effectively guarantee the remote sensing precise identification of large and medium – sized ground subsidence in the mining area. The domestic high – resolution satellite ZY1 – 02C and GF – 1 can meet the 1∶50 000 scale, and the GF – 2 satellite remote sensing data can meet the 1∶25 000 scale. With the home – made satellites of China, the data resources are abundant, which provide important data guarantee for remote sensing monitoring of mine geological disasters in the future.

Keywords: domestic high – resolution satellite imagery data; Tiechanggou coal mine in Xinjiang; surface collapse

(责任编辑: 陈 理)