



“物探+遥感”技术在矿山生态修复中的应用 ——以邢台园博园为例

张 昭, 张大明, 殷全增, 王进朝, 王焕允, 王春博, 王 鹏, 张龙飞

河北省煤田地质局物测地质队, 河北 邢台 054000

摘 要: 矿山经过多年开采, 地下形成采空区, 造成地面沉降, 开展绿色发展、生态修复工作刻不容缓。冀中邢东煤矿由于长期开采, 造成不同程度地面塌陷, 不适于人类长期居住和农业耕作, 邢台市经研究决定在采煤塌陷区建设中央生态公园——邢台园博园。基于此, 通过收集分析研究区内的地震、电法等物探资料, 确定煤矿煤层赋存形态、采空区范围及富水情况, 指导地面进行生态公园选址; 利用遥感技术监测矿山生态修复进度。研究表明: 在矿区开展地震、电法工作查明煤矿开采生产情况, 对科学规划地面矿区生态修复工作具有指导意义; 利用遥感技术实时动态监测矿山生态修复进程, 可为生态环境修复提供数据基础, 对治理前后生态环境变化对比分析及效果评价提供影像资料。

关键词: 特控; 遥感; 矿山采空区; 地质灾害; 生态修复

APPLICATION OF GEOPHYSICAL PROSPECTING AND REMOTE SENSING TECHNOLOGY IN MINE ECOLOGICAL RESTORATION: A Case Study of Xingtai Garden Expo Park

ZHANG Zhao, ZHANG Da-ming, YIN Quan-zeng, WANG Jin-chao, WANG Huan-yun,
WANG Chun-bo, WANG Peng, ZHANG Long-fei

Geophysical Survey Team, Hebei Bureau of Coalfield Geology, Xingtai 054000, Hebei Province, China

Abstract: The green development and ecological restoration is urgent due to underground mined-out areas and ground subsidence formed after years of mining. As there are different degrees of ground collapse caused by long-term mining of Xingdong Coal Mine in central Hebei Province, the area is no longer suitable for permanent human residence and agricultural farming. Therefore the Xingtai City government decided to build the central ecological park — Xingtai Garden Expo Park in the coal mining subsidence area. Through collection and analysis of seismic, electrical and other geophysical data in the study area, the coal seam occurrence forms, range of mined-out areas and water-rich condition are determined to guide the site selection of ecopark. The progress of mine ecological restoration is monitored by remote sensing (RS) technology. The results show that ascertaining the situation of coal mining through geophysical exploration of seismic and electrical methods is significant to guide the scientific planning of ecological restoration in surface of

收稿日期: 2021-11-03; 修回日期: 2021-12-08. 编辑: 张哲.

基金项目: 河北省一般公共预算财政资金项目“河北省主要矿区关闭煤矿山多要素综合调查”(343-0402-YQN-71AY); 河北省煤田地质局物测地质队科研项目“冀中矿区上组煤采空区精准成像及含水性综合判识技术研究”(HBWCD-W-2019-9); 冀中能源股份有限公司邢东矿批准项目“邢东新区中央生态公园采空区物探勘查”(2017-0036), “冀中能源股份有限公司邢东矿 1126-11212 工作面地表岩移观测项目”(2018-0061).

作者简介: 张昭(1983—), 男, 高级工程师, 从事煤田地震勘探研究工作, 通信地址 河北省邢台市守敬北路 235 号, E-mail//41563199@qq.com

通信作者: 王进朝(1982—), 男, 高级工程师, 从事煤田地震勘探和电法勘查测量研究工作, 通信地址 河北省邢台市守敬北路 235 号, E-mail//21911812@qq.com

mining areas, while the real-time dynamic monitoring of the mine ecological restoration process through RS can provide data basis for eco-environment restoration and image data for comparative analysis and effect evaluation of eco-environment changes before and after treatment.

Key words: geophysical prospecting; remote sensing; mined-out area; geological disaster; ecological restoration

0 引言

2019年8月28日,以“太行名郡·园林生活”为主题的河北省第三届园林博览会在邢台开幕.园博园选址在邢东矿采煤塌陷区,总占地面积 3 km^2 ,作为邢台市中心生态公园中一颗璀璨明珠的园博园,实现了从煤矿开采塌陷区向城市核心绿肺的蜕变.

邢台作为资源城市,煤矿经过长期开采,形成了大量采空区,存在地面沉降、水土资源损毁和区域环境污染等问题.进行矿山生态修复工程需探查地下采空区范围及地面沉降情况.鉴于此,本研究通过收集分析以往的地震、电法等物探资料,确定研究区煤层底板赋存形态、构造发育情况及采空区范围,指导公园地面选址.利用遥感技术,开展无人机动态监测,获取矿山生态修复的基础数据,为治理过程提供影像资料,实现“物探+遥感”技术有效服务于采煤塌陷区矿山生态修复工作.

1 工作方法综述

1.1 地震勘探

地震勘探是通过天然场或人工场激发的地震波在地下介质中的传播改变,确定地下地质体分布变化及岩石学弹性参数的物探方法^[1].由于人工场地震勘探激发地点可控、激发时间可控、能量可控,地震勘探多采用人工场激发方式.其技术特点为:激发场产生地震波,预设地震检波器采集地震波信号,分析采集的地震波动力学和运动学特征(时差、振幅、波形、相位、频率等),搭建地震波地下传播路径,获取地下岩石构造及弹性参数信息.地震波分为纵波(P波)、横波(S波)和面波,岩石弹性参数不同波速不同,依据此可反映岩石性质.

地震勘探是勘测石油、天然气和固体矿产的重要手段,在煤田勘查、工程勘查、区域地质研究等方面广泛应用^[2].目前,地震勘探方法在寻找地下构造、民用工程建设、地质灾害防治中发挥着重要作用,为城市建设服务.

1.2 电磁法勘探

电磁法勘探是利用天然交变电磁场来研究地球电性结构的地球物理勘探方法,通过研究介质电磁性差异,观测天然或人工的交变电磁场随空间或时间的变化规律^[3-5].大地电磁法技术成熟,施工方便,成本低,受高阻层屏蔽影响小,低阻层分辨率高,在矿产勘查、地热调查、深部地质构造探究等方面也有很重要的应用.

可控源音频大地电磁法(CSAMT法)是一种人工源频率域电磁法,其方法原理与大地电磁测深相近^[6],针对天然电磁场信号弱的特性,采用人工源发射方式,利用发射电偶极AB($1\sim 3\text{ km}$)向地下发送频率不同的交变电流,产生交变电磁场,在场源距离足够远的区域测量相互垂直的电场信号(E_x)和磁场信号(H_y),依据公式(Cagniard法)求取地层视电阻率和阻抗相位.CSAMT法采用人工源激发,野外采集数据质量优质,剪作性强,利于强干扰区开展勘测工作^[6-8].该方法处理解释简单,成果剖面横向分辨率高,且不受高阻屏蔽,在采空区调查等方面得到广泛应用^[9].

1.3 遥感方法

遥感方法采集装置与测量目的有一定的距离^[10].其采集探头安装在空中飞行器、飞机或卫星上,受地形影响小.数据采集阶段,采用不同的探头可以得到多种波段的电磁波信息,经软件处理得到地质信息.卫星遥感技术采集资料具有区域广、绿色、高效等特性^[11].

地质构造在遥感图像上往往以图形、色调特征、地貌等表现,呈平直、微弯形的线性条带或者圆形、半圆形、椭圆形环状条带展示.电磁波辐射的差异导致不同的影像色调与形态,地表地貌或地质现象的异常可作为断裂构造的依据^[12-13].

高分影像无人机(UAV)是利用遥控装置和控制系统进行飞行和工作的不载人式飞行器.通过搭载各种传感器,如可见光相机、热红外相机等,可以获取高分辨率遥感数据^[14-16].无人机可以低空飞行,具有高机

动性,能够多角度观测目标,快速获取目标地物的连续、高分辨率影像数据以及其他自然资源和环境条件等信息.随着无人机遥感技术的发展,其在生态监测、灾害勘察、精准农业等领域应用范围迅速扩大,对于矿山生态修复工程领域的应用也越来越重要^[17].

2 案例分析

2.1 研究区概况

冀中能源股份有限公司邢东矿位于邢台市东郊,

地理位置优越,交通便利(图1).矿井设计年生产能力 $60\times 10^4\text{ t}$ ^[18].2001年11月矿井建成投产,开采深度为 $+59.5\sim -1200\text{ m}$,开采的3个煤层分别为山西组的2煤、2下煤和太原组的6煤.经过20多年的开采,形成了采空区,长时间的沉降作用,在采空区的上方产生了 6.7 km^2 的沉降区,最大地面沉陷值为 2.9 m .目前沉降区均在缓慢地沉陷,没有达到稳定状态.随着矿业活动的延续,矿山将形成新的采空区,采矿引起的采空沉陷及地裂缝将对地面村庄和城市建设产生严重危害.



图1 物探工作概况图

Fig. 1 Overview of geophysical prospecting work

1—邢东矿区边界(boundary of Xingdong Mine); 2—邢东矿首采区(1999年)(first mining area of Xingdong Mine); 3—下组煤采区(2007年)(lower coal seam mining area); 4—1200采区(2010年)(No. 1200 mining area); 5—后备区(2014年)(reserve area); 6—中央生态公园(2018年)(Central Ecological Park); 7—遥感工作区(RS prospecting area); 8—后备区剖面线(section in reserve area); 9—CSAMT 勘探线(CSAMT line); 10—铁路(railway); 11—高速公路(expressway); 12—国道(national highway); 13—一般街路(street)

邢台市政府经研究，决定在邢东矿采煤塌陷区建立中央生态公园——邢台园博园，有必要对采空区范围、地面破坏情况调查清楚。

2.2 工作情况分析

多年来，为保障矿井安全开采和规避地质灾害，在该地区进行了大量的地面物探工作，其中河北省煤田地质局物测地质队分别于1999年、2007年、2010年、2014年在矿区进行了多次三维地震勘探工作，2018年开展了中央生态公园采空区电法勘查工作，2016—2019年，在邢台园博园开展了连续遥感监测工作，详见物探工作概况图（图1）。多次工作查明了邢东矿煤层埋藏深度、地层起伏形态、构造发育、采空区范围等情况，为地质灾害防治、生态公园建设提供了科学数据支撑。

2.2.1 地震勘探结果

多年来，邢东矿多次开展三维地震勘探工作。以2014年邢东矿后备区为例，激发方式采用井中中爆速成型炸药激发，60 Hz 高频检波器接收，24次覆盖单边下倾激发的观测系统，428XL 数字地震仪 0.5 ms 采样录制，记录长度 1.6 s。

勘探工作查明了区内新生界厚度变化、可采煤层的构造形态及赋存深度、断距大于 5 m 的断层、异常区和其他地质构造，能够准确划分采空区分布范围。从邢东矿后备区 2 煤层沿层切片图（图 2）中可以看出，区内被多条近东西向张性断层切割，小型断层和裂缝较发育，构造面貌复杂。

从后备区 AA' 剖面线图（图 3）中可以看出，勘探区东北部 2 煤层已经开采，采空区域反射波频率低，能量弱，波形紊乱不规则，影响下部煤层的反射波。煤层开采后形成的采空区是造成地面塌陷的重要原因。

2.2.2 电法勘探结果

在邢东新区中央生态公园采用可控源音频大地电磁法开展物探勘查工作。中央生态公园占地面积 17.478 km²，位于邢州大道以南、中兴大街以北、襄都路以东、东华路以西。邢东煤矿处于生态公园范围内，面积 14.5149 km²，两者范围基本重合。

电法工作查明了区内的采空区位置、分布范围及积水情况。从 D18 线反演电阻率断面示意图（图 3）中可以看出：上部电阻率较低，为第四系、新近系、古近系、三叠系、煤系地层的电性显示；下部电阻率较高，电

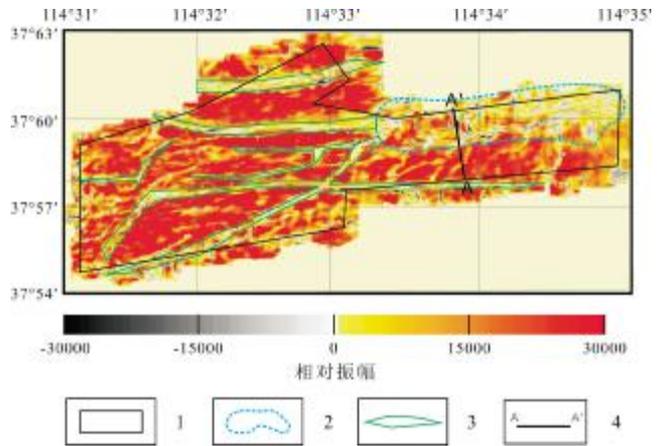


图 2 邢东矿后备区 2 煤层沿层切片

Fig. 2 Plan view of No. 2 coal seam in the reserve area of Xingdong Mine

1—勘探区范围(exploration area); 2—2 煤层已采边界(mined boundary of No. 2 coal seam); 3—断距大于 5 m 断层(fault of displacement greater than 5 m); 4—剖面线(section line)

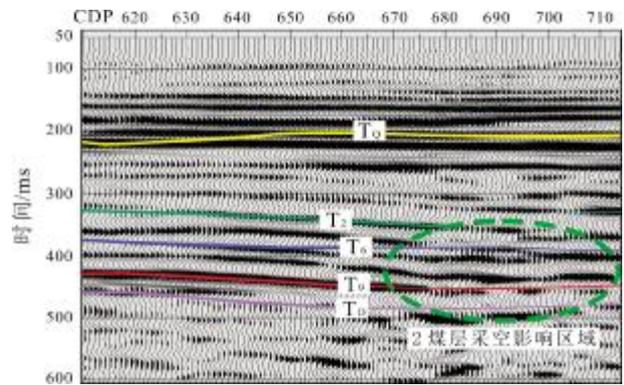


图 3 AA' 剖面线图

Fig. 3 AA' section line

T₀—第四系底界面反射波 (Quaternary bottom reflected wave); T₂— 2 煤层反射波 (No. 2 coal seam reflected wave); T₆— 6 煤层反射波 (No. 6 coal seam reflected wave); T₉— 9 煤层反射波 (No. 9 coal seam reflected wave); T₀—奥陶系顶界面反射波 (Ordovician roof reflected wave)

性分布相对均匀，为奥陶系地层灰岩电性显示。图中，反演电阻率自上而下逐渐增大，反映出第四系、新近系、古近系、三叠系、煤系地层、奥陶系基底反演电阻率从浅到深逐渐增大的基本电性规律^[19-20]。

图 4 中，-700~ -800 m 煤层赋存深度中，在 960~1560 m 点距之间出现相对高阻特征，与围岩电阻率差异明显。分析认为，该高阻异常区由煤系地层采空后引起，采空区富水性相对较弱。

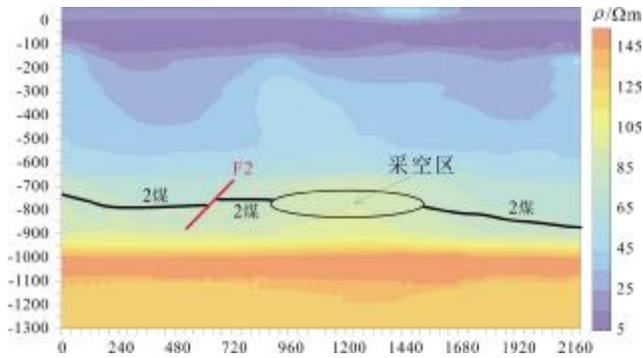


图4 D18线反演电阻率断面示意图

Fig. 4 Resistivity inversion section along exploratory line D18

2.2.3 遥感监测结果

为在受采空区沉降影响的区域建立中央生态公园,需对涉及的村庄、厂房、土地进行重新设计和规划,达到矿山修复、绿色发展的目的。

场地调查内容包括生态修复区域内地表植被情况、土壤污染情况、地形地貌及地物等。无人机低空摄影获取高质量的遥感影像数据,获取地表基本信息,减少人工调查,提高工作效率和质量,对场地改造进行宏观把控。

高分遥感和无人机航摄可获取较高分辨率的正射影像图,可将生态修复区域的实际情况直观地展现出来。该技术可实施监测施工进度,加强生态修复施工

管理,有助于把控施工进度,为了解生态恢复工程的完成情况提供依据。

生态修复工作是一个长期的动态过程。完成生态修复工程后,按照监测计划形成正射影像,对工程治理效果、地貌地物变化进行长期监测,能够帮助评估生态修复区的治理现状,推动生态修复工作进一步开展^[21]。

采用高分遥感和无人机航摄,得出2016年9月—2019年10月间邢台园博园建设情况变化(图5)。2016年9月间,对区域内植被、建筑物等地貌地物等进行了观测;2017年—2019年8月间,进行了园博园建设全过程监测和工程实施进度监督;2019年10月,对园博园开放两个月以来地表植被变化进行了动态监测,可见绿色覆盖率明显提高,生态修复工程初见成效。

遥感技术在生态修复区获取基础资料、施工监管和长期监测方面均具有积极作用,作为新技术在采煤塌陷区改造修复进程中,为政府制定决策和生态修复结果评价提供基础数据。

3 结论与认识

在邢东矿开展地面物探和遥感工作,成果应用于矿山修复即邢台园博园建设工程。结果表明:

1) 三维地震可准确查明地层起伏形态、构造发育



图5 邢台园博园遥感监测连续变化图

Fig. 5 Continuous changes in Xingtai Garden Expo Park by remote sensing monitoring

情况、采空区分布范围;电法勘探能够圈定采空区范围、地层富水性状态;遥感技术可连续监测地表地物变化情况,为生态修复区域提供基础数据。

2)在进行矿山生态修复中,收集前期已开展的物探工作资料,详细分析数据,能够指导地质灾害防治、生态修复改造工作。

参考文献(Reference):

- [1]陈晓冈. 工程物探技术在铁路路基检测中的应用研究[J]. 上海铁道科技, 2013(3): 109-110.
Chen X G. Application of engineering geophysical technology in railway subgrade detection[J]. Shanghai Railway Science & Technology, 2013(3): 109-110.(in Chinese)
- [2]沈大兴. 基于固体矿产的区域找矿技术的分析[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2013(12): 112.
Shen D X. Analysis of regional prospecting technology based on solid minerals[J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2013(12): 112. (in Chinese)
- [3]王明吉, 张哲, 姚勇, 等. 基于震电效应理论的一体化流体勘探仪[J]. 机械设计与制造, 2018(S2): 58-61.
Wang M J, Zhang Z, Yao Y, et al. Seismo-electric integrated prospecting instrument[J]. Machinery Design & Manufacture, 2018(S2): 58-61.
- [4]许海滨. 电法勘探在矿产勘探中的应用研究[J]. 环球市场, 2018(2): 362.
Xu H B. Research on the application of electrical prospecting in mineral exploration[J]. Global Market, 2018(2): 362. (in Chinese)
- [5]王志宏, 全旭东, 王利民, 等. 综合物探方法在硬岩型铀矿勘查中的应用研究[J]. 铀矿地质, 2015, 31(2): 110-120.
Wang Z H, Quan X D, Wang L M, et al. Application of integrated geophysical survey to the exploration of hard rock hosted uranium deposits[J]. Uranium Geology, 2015, 31(2): 110-120.
- [6]黄启春, 景朋涛. 可控源音频大地电磁测深法在煤矿采空区积水区勘查中的应用[J]. 工程地球物理学报, 2012, 9(3): 296-300.
Huang Q C, Jing P T. Application of controlled source audio-frequency magnetotellurics method to mine gobs and water logged area investigation[J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2012, 9(3): 296-300.
- [7]夏训银, 王身龙, 王洪生, 等. CSAMT方法在铁路隧道勘探中的应用[J]. 勘察科学技术, 2006(4): 61-64.
Xia X Y, Wang S L, Wang H S, et al. Application of CSAMT to exploration of railway tunnel[J]. Site Investigation Science and Technology, 2006(4): 61-64.
- [8]李江华, 刘超林, 柳杰, 等. 可控源音频大地电磁法在采空区勘探中的应用[J]. 中国煤炭, 2013, 39(1): 40-43.
Li J H, Liu C L, Liu J, et al. Application of CSAMT in exploration of goaf[J]. China Coal, 2013, 39(1): 40-43.
- [9]尹纪超. 可控源音频大地电磁(CSAMT)法在采空区勘查中的应用[J]. 勘察科学技术, 2017(6): 59-61.
Yin J C. Application of controlled source audio-frequency magnetotelluric sounding method (CSAMT) in goaf prospecting[J]. Site Investigation Science and Technology, 2017(6): 59-61.
- [10]杜珂. 基于深度学习的图像分类关键技术研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2016.
Du K. Research on the key technology of image classification based on deep learning[D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2016.
- [11]武斌. 松潘甘孜地区地热资源的地球物理勘探研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2013.
Wu B. Geophysical exploration of geothermal resources in the Songpan-Ganzi area[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2013.
- [12]许军强, 白朝军, 刘嘉宜. 基于遥感技术的长白山火山区地热预测研究[J]. 国土资源遥感, 2008(1): 68-71.
Xu J Q, Bai C J, Liu J Y. Geothermal prediction based on remote sensing technology in Changbaishan volcanic area[J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2008(1): 68-71.
- [13]赵同阳, 周可法, 张晓帆, 等. 基于Canny算子的边缘检测技术在遥感地质填图中的应用——以西准包古图地区为例[J]. 新疆地质, 2008, 26(1): 95-99.
Zhao T Y, Zhou K F, Zhang X F, et al. Application of edge detection technology based on Canny algorithms in geological mapping: An example from Baogutu area, the Central Asia[J]. Xinjiang Geology, 2008, 26(1): 95-99.
- [14]王宇恒. 多旋翼无人机的发展历程及构型分析[J]. 科技传播, 2019, 11(22): 142-144.
Wang Y H. Development history and configuration analysis of multi rotor UAV[J]. Public Communication of Science & Technology, 2019, 11(22): 142-144. (in Chinese)
- [15]刘建晓, 孟令辉, 李辉, 等. 基于无人机遥感技术的衡水湖生态调查研究[J]. 衡水学院学报, 2019, 21(4): 1-5.
Liu J X, Meng L H, Li H, et al. Ecological investigation of Hengshui Lake based on UAV remote sensing technology[J]. Journal of Hengshui University, 2019, 21(4): 1-5.
- [16]邢元勋. 基于群体智能算法的无人机灾区搜救优化研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2019.
Xing Y X. Research on search and rescue optimization of UAV disaster area based on swarm intelligence algorithm[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2019.

- 环境问题解析——以黑龙江省肇源县为例[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2020, 50(4): 1240-1248.
- Ding Y X, Mao L, Zhou X B, et al. Analysis of eco-environmental problems in Songnen low plain based on high-score image: A case study of Zhaoyuan County of Heilongjiang Province [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2020, 50(4): 1240-1248.
- [15]余飞燕, 吕蒙, 杨军. 云南省镇雄县滑坡地质灾害主要致灾因子筛选及危险性分区[J]. 地质与资源, 2015, 24(2): 152-156.
- Yu F Y, Lyu M, Yang J. Risk zoning and disaster-inducing factor screening of landslide in Zhenxiong County, Yunnan Province [J]. Geology and Resources, 2015, 24(2): 152-156.
- [16]何满潮, 崔政权, 陈鸿汉, 等. 三峡库区巫山古滑坡系统构造形变场研究[J]. 工程地质学报, 1998, 6(2): 97-102.
- He M C, Cui Z Q, Chen H H, et al. Study of tectonic deformation field for Wushan paleo-landslide system in the Three-Gorges reservoir area [J]. Journal of Engineering Geology, 1998, 6(2): 97-102.
- [17]赵力行, 范文, 柴小庆, 等. 秦巴山区地质灾害发育规律研究——以镇巴县幅为例[J]. 地质与资源, 2020, 29(2): 187-195.
- Zhao L X, Fan W, Chai X Q, et al. Study on the development regularity of geohazards in Qinling-Daba mountains: A case study of Zhenba County, Shaanxi Province [J]. Geology and Resources, 2020, 29(2): 187-195.
- [18]房浩, 李媛, 杨旭东, 等. 2010—2015 年全国地质灾害发育分布特征分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2018, 29(5): 1-6.
- Fang H, Li Y, Yang X D, et al. Distribution characters of geohazards in China during the period of 2010-2015 [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2018, 29(5): 1-6.
- [19]熊倩莹. 基于 1:5 万地质灾害填图的区域地质灾害易发性及危险性的评价与区划——以茂汶羌族自治县幅为例[D]. 成都: 成都理工大学, 2015.
- Xiong Q Y. Based on 1:50 000 geological hazard mapping of regional geological hazards and risk assessment and regionalization: Shigeru to Brunei Qiang Autonomous County as an example [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2015.
- [20]杨乐, 彭海游, 周莫林, 等. 基于层次分析法的奉节县城地质环境承载力评价[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2014, 33(2): 95-99.
- Yang L, Peng H Y, Zhou M L, et al. Assessment of geological environment carrying capacity of Fengjie County based on AHP [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science), 2014, 33(2): 95-99.

(上接第 803 页/Continued from Page 803)

- [17]邱新分. 无人机技术在林业工作中的应用[J]. 吉林农业, 2019 (12): 92-93.
- Qiu X F. Application of UAV technology in forestry [J]. Agriculture of Jilin, 2019(12): 92-93. (in Chinese)
- [18]要书其. 浅谈构建绿色矿山的环保设计技术[J]. 河北煤炭, 2012 (2): 1-2.
- Yao S Q. Discussion on environmental protection design technology for building green mines [J]. Hebei Coal, 2012(2): 1-2. (in Chinese)
- [19]麻燕华. 可控源音频大地电磁法在查明煤矿富水性的应用[J]. 中国科技投资, 2017(1): 173-174.
- Ma Y H. Application of controllable source audio frequency magnetotelluric method in identifying water abundance of coal mines [J]. China Venture Capital, 2017(1): 173-174. (in Chinese)
- [20]郑伟清. 邢东煤矿采空区综合勘察技术研究与应用[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2020.
- Zheng W Q. Study and application of comprehensive survey technology in goaf of Xingdong coal mine [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2020.
- [21]吴霞. 遥感技术在山水林田湖草生态修复的应用[J]. 地矿测绘, 2020, 3(3): 53-54.
- Wu X. Application of remote sensing technology in ecological restoration of mountains, rivers, forests, fields, lakes and grasses [J]. Geological and Mineral Surveying and Mapping, 2020, 3(3): 53-54. (in Chinese)