



遥感技术在矿致滑坡成因分析中的应用

高永志, 初 禹, 杨元江

黑龙江省地质调查研究总院, 黑龙江 哈尔滨 150036

摘 要: 以湖南省怀化市泸阳镇中型岩质滑坡为例, 基于多期次多元高分辨率数据, 利用遥感技术研究滑坡的地质灾害各项背景因素, 发现怀化滑坡主要是由山体破碎和矿山持续不规范开采共同造成的地质灾害. 研究表明遥感技术可以在不接触此危险源的情况下直接进行定性和定量的滑坡成因分析.

关键词: 遥感监测; 矿致滑坡; 多元高分辨率数据; 地质灾害; 湖南省

APPLICATION OF REMOTE SENSING TECHNOLOGY IN CAUSE ANALYSIS OF MINING-INDUCED LANDSLIDE

GAO Yong-zhi, CHU Yu, YANG Yuan-jiang

Heilongjiang Institute of Geological Survey, Harbin 150036, China

Abstract: Taking the Luyang medium-scaled rock landslide in Huaihua City of Hunan Province as an example, on the basis of multistage high-resolution remote sensing (RS) data, the RS technology is applied to study the background factors of landslide geohazard. It is found that the Huaihua landslide is mainly caused by broken mountain and continual instandard mining. The results show that the RS technology can be used in the qualitative and quantitative analysis of landslide causes directly without exposure to hazard source.

Key words: remote sensing monitoring; mining-induced landslide; multivariate high resolution data; geohazard; Hunan Province

0 引言

中国的地质灾害发生较为频繁, 主要包括地面塌陷、地裂缝、崩滑流等灾害. 根据 2017 年中国土地矿产海洋资源公报, 全国共发生各类地质灾害 7122 起, 其中滑坡 5500 起, 占到 77.23%; 根据自然资源部地质灾害技术指导中心 2018 年全国地质灾害通报, 全国发生地质灾害 2966 起, 其中滑坡 1631 起, 占地质灾害总

数的 55%. 由此可见, 滑坡是我国主要的地质灾害类型之一^[1].

遥感技术具有多时序、海量信息和非接触观察等特点, 能够快速、准确、兼顾宏观和微观两个方面获取滑坡信息, 在滑坡调查和研究中得到了广泛的应用^[2-7]. 我国遥感技术在滑坡中的应用开始于 20 世纪 80 年代, 初期主要是利用航空遥感开展水电站建设的滑坡

收稿日期: 2020-07-20; 修回日期: 2020-11-16. 编辑: 张哲.

基金项目: 中国地质调查局项目“全国矿山环境恢复治理状况遥感地质调查与监测”(编号 DD20190705).

作者简介: 高永志(1981—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事遥感地质、环境地质相关工作, 通信地址: 黑龙江省哈尔滨市香坊区新乡里街 9 号, E-mail //gaoyz@qq.com

调查,2000 年左右王治华提出了以遥感图像为数据源、综合利用地理信息系统等方法对滑坡等地质灾害进行识别和分析的“数字滑坡”技术^[8-9]。伴随高分辨率卫星特别是我国国产卫星的不断发射和正常运行,对滑坡遥感的认识水平大大提高。杨金中等将遥感技术应用在三峡库区千将坪滑坡研究^[10],宿方睿等利用高分数据开展川藏铁路沿线大型滑坡遥感解译^[11],彭令等利用 GF-1、ZY-3 等高分辨率国产遥感影像开展汶川震区的滑坡灾害识别^[12],唐尧等利用国产遥感卫星进行金沙江高位滑坡灾害灾情应急监测^[13]。以上研究为遥感技术在滑坡中应用提供了大量可行方法,但

是国内这方面的研究大多集中于国家重大工程、地震或者暴雨引起的滑坡研究^[14-16],而随着我国矿山开采活动的深入,矿山滑坡问题日益增多。为此,本文以湖南省怀化市泸阳镇新店坪村滑坡为例,基于多期次的多元高分辨率数据,研究滑坡的地质灾害各项背景因素,从而分析主要致灾原因,探讨矿山生产建设中预防矿山滑坡的策略要点,并给出防治建议,为防险避灾提供依据。

1 研究区概况

2017 年 5 月 20 日上午,湖南省西部怀化市泸阳

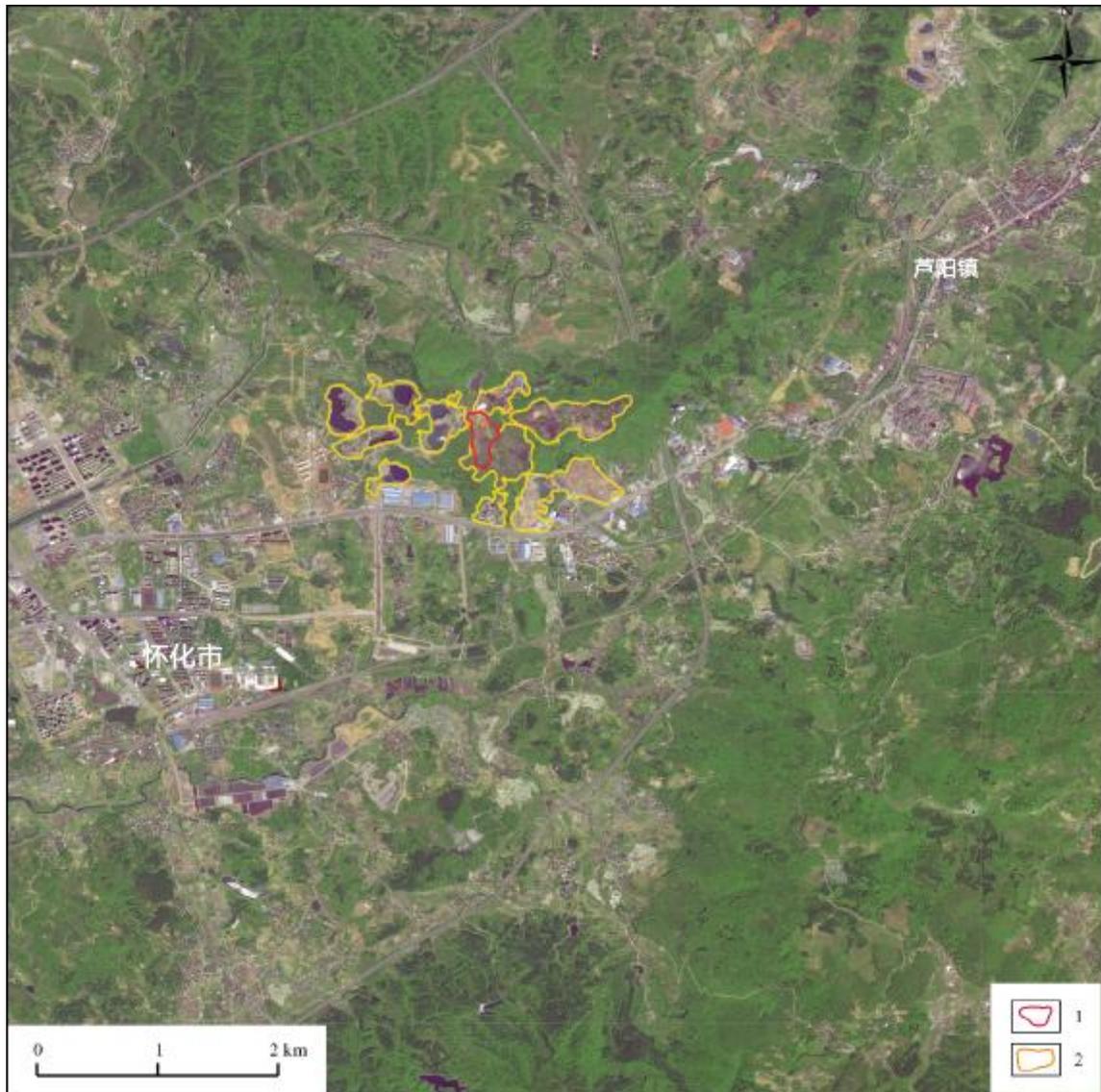


图 1 滑坡和矿山遥感分布图

Fig. 1 Remote sensing image of landslides and mines

1—滑坡范围(range of landslide); 2—矿山范围(range of mine)

镇新店坪村五一砖厂附近山坡发生中型岩质滑坡, $2 \times 10^4 \text{ m}^3$ 土石滑下, 掩埋了部分矿山厂房和作业场, 造成严重经济损失.

1.1 地质环境

怀化市泸阳镇新店坪村滑坡位于雪峰山脉西侧的低山丘陵地带, 属于湘西侵蚀、剥蚀构造中-低山地貌, 海拔 260~370 m, 地形坡度 25~40°.

滑坡区位于扬子地台西缘, 所属三级构造单元雪峰构造带, 四级构造单元沅麻盆地和雪峰冲断带褶皱带交界地带, 以北北东向构造为主.

滑坡地层主要为上三叠统火把冲组、二桥组并层和下三叠统大冶组不整合接触部位, 基岩为灰黑色薄层状泥灰岩、泥质灰岩, 夹白云质灰岩、竹叶状灰岩等. 根据野外实地调查, 发现在滑坡体斜坡上, 岩体节理面、层面较破碎, 为滑坡的发生提供了一定的地质基础. 滑坡区域的表层主要是第四系堆积物, 土体厚 2~4 m.

1.2 矿山基本情况

滑坡周围矿山主要为开采石灰岩和页岩矿的露天矿山, 包括以开采石灰岩为主的怀化市鹤城区石门乡金海采石场、怀化市鹤城区凤凰山采石场、怀化市鹤城区石门后冲二号采石场、怀化市鹤城区石门乡金海采石场、泸阳镇石管冲曾垂友采石场、怀化市鹤城区石门李家湾采石场和中方县泸阳五里湾里采石场; 以开采页岩为主的中方县泸阳镇新店坪村五一砖厂和泸阳镇山宝田炭质页岩矿. 具体滑坡和矿山分布见图 1.

1.3 降雨特征

根据湖南省气象局怀化气象站资料, 2017 年 1 月 1 日至 5 月 20 日 8 时怀化市累计平均降雨量 449.6 mm, 与历年同期均值 (538.5 mm) 相比偏少 16.5%, 其中 5 月 1—20 日怀化市天气以晴、多云和阵雨为主, 累计平均降雨量 136.5 mm, 与历年同期均值 (156.6 mm) 相比偏少 12.9%.

2 影像数据源情况

基于遥感技术的应用数据源选择十分重要. 为了提高对滑坡灾害的历史演化、定性乃至定量分析的能力, 本次研究选择了无云无覆盖、易于提取信息(滑坡、道路、水体、植被、矿山地物等)、影像层次较为丰富、色调反差适中^[17]、数据分辨率优于 1 m 的高质量遥感数

据 IKONOS、GF-2、P1 等对滑坡地区历史情况和变化情况进行识别. 卫星的技术参数见表 1.

表 1 卫星技术参数表

Table 1 Technique parameters of satellite

数据类型	相机类型	成像波段	光谱范围/ μm	分辨率/m
IKONOS	全色相机		0.45-0.90	1
IKONOS	多光谱相机	1	0.45-0.53	4
IKONOS	多光谱相机	2	0.52-0.61	4
IKONOS	多光谱相机	3	0.64-0.72	4
IKONOS	多光谱相机	4	0.77-0.88	4
GF-2	全色相机		0.45-0.90	1
GF-2	多光谱相机	1	0.45-0.52	4
GF-2	多光谱相机	2	0.52-0.59	4
GF-2	多光谱相机	3	0.63-0.69	4
GF-2	多光谱相机	4	0.77-0.89	4
Pleiades-1	全色相机		0.48-0.83	0.5
Pleiades-1	多光谱相机	1	0.43-0.55	2
Pleiades-1	多光谱相机	2	0.49-0.61	2
Pleiades-1	多光谱相机	3	0.60-0.72	2
Pleiades-1	多光谱相机	4	0.75-0.95	2

3 滑坡情况遥感解译

本研究选取的灾前遥感影像是 GF-2 卫星数据, 灾后遥感影像是 P1 卫星数据(图 2). 考虑数据获取情况和数据质量情况, GF-2 卫星数据选取的时相是 2015 年 10 月 22 日, P1 卫星数据选取的时相是 2017 年 10 月 22 日. 本次选取的 2007—2014 年参考影像是 IKONOS 卫星数据. 通过遥感解译结合实地调查, 可知滑坡由南部山顶向北部山脚展布, 滑坡区面积约 5.99 hm^2 , 起滑山顶部位海拔约 370 m, 滑坡终止的山脚海拔高度约 263 m, 滑坡灾区可分为滑源区、碎屑流刮铲区及堆积区 3 部分, 其中滑源区主要包含了矿区固体废弃物和地表的松散堆积物, 碎屑流刮铲区已经淹没通往矿山企业的道路和部分矿山建筑(图 3), 导致该矿山完全废弃. 滑源区的南侧活动痕迹区域形成陡峭的滑坡后壁(图 4), 该区域地势较陡, 存在潜在塌方可能; 滑源区的西侧外存在数条平行的地裂缝(图



图 2 滑坡区域 2007 年到 2017 年遥感影像

Fig. 2 RS images of the landslide area during 2007–2017

5), 也存在再次滑坡的可能. 以上区域是潜在滑坡的高发区域. 堆积区已经完全覆盖了一家矿山企业的开采区并淹没部分厂房, 使矿山损失严重.

4 滑坡成因分析

4.1 地质环境背景

(1) 陡峭地貌. 滑坡区域位于山坡地带, 高差近



图 3 滑坡灾害前后遥感解译图

Fig. 3 RS-interpreted maps before and after the landslide disaster

a—滑坡前(before landslide); b—滑坡后(after landslide); 1—滑坡范围(range of landslide); 2—分区界线(zoning boundary); 3—潜在滑坡范围(range of potential landslide); 4—地裂缝(ground fissure)



图 4 滑坡滑源区的滑坡后壁照片

Fig. 4 Photograph of landslide scarp in the source area

110 m,滑源区平均坡度 35°.

(2)构造交界区. 滑坡位于沅麻盆地和雪峰冲断



图 5 滑坡滑源区西侧的地裂缝实地照片

Fig. 5 Photograph of ground fissure on the west side of landslide source area

带褶皱带交界地带,构造作用十分明显,形成裂隙,影

响着山体斜坡的稳固。

(3)地层不整合. 滑坡位于火把冲组和大冶组不整合接触部位, 地层之间存在古风化壳, 为构造薄弱面, 为山体节理、开裂提供了地质基础, 由灰岩、炭质页岩和松散的残坡积物组成的地层力学强度十分薄弱, 为外力作用触发储备了一定条件。

4.2 人类矿山活动

滑坡周围存在9处露天矿山, 露天矿山开采活动对该地区原始斜坡稳定性产生影响. 本次研究采用多时相遥感数据开展变化检测, 通过遥感解译发现, 本地区的矿山开采活动大多从2011年开始, 2013—2016年达到矿山开采高峰. 如图2所示, 2007年滑坡地区基本未受到人类活动扰动. 根据2012年影像可知, 滑坡地区山顶部位已经堆积矿山固体废弃物 3.65 hm^2 (图2中红色线所围区域), 山脚已经开挖开采面 0.19 hm^2 (图2中黄色线所围区域). 随着矿山活动的深入, 山顶的矿山固体废弃物高度不断上升, 面积不断增大, 山脚的开采面深度不断加大, 面积不断增加. 到2015年山顶堆积物面积达到 3.95 hm^2 , 山脚开采面面积达到 0.81 hm^2 . 矿山活动影响主要表现在以下几个方面:

(1)矿山活动改变滑坡地区重力结构. 山顶长期的不断增加的矿山固体废弃物使坡体上部重力不断加大, 逐渐使该地区重力失稳。

(2)山体底部矿山开采面不断扩大. 削坡面积范围扩大使承载山体的应力场消失, 滑源物质失去支撑力, 并形成足够的临空面, 给滑坡启动提供了足够的空间。

(3)滑坡周围的露天矿山开采, 特别是石灰岩开采, 需要长期采用爆破的方法开采矿石. 大规模爆破振动使该地区破碎岩层节理、裂隙进一步增大。

综合地质基础和矿山活动因素, 结合怀化地区2017年1—5月降雨偏少的实际情况, 可以确定怀化滑坡主要是由于山体破碎和矿山持续不规范开采共同造成的地质灾害。

5 结论及建议

结合以往针对重大工程类人类活动引起的滑坡研究, 本次利用多时相遥感数据对矿山类人类活动引起的滑坡开展深入研究, 得出以下结论:

(1)2017年5月20日湖南省西部怀化市泸阳镇

新店坪村山体滑坡, 造成一座矿山企业完全废弃, 另一座矿山企业失去开采面和部分厂房。

(2)滑坡区域属于侵蚀-剥蚀低山地貌, 构造活跃, 地层不整合, 岩体破碎, 为人类活动触发滑坡提供了地质基础。

(3)矿山山顶堆放固体废弃物, 山脚开挖形成临空状态和持续爆破振动等不规范的矿山开采行为综合作用最终造成滑坡地质灾害。

为了防治愈演愈烈的矿山地质灾害发生, 矿山企业应严格规范矿山开采行为, 必须认真贯彻执行有关法律法规, 建立健全监测监管机制^[18]. 禁止矿山企业在不稳定地质体上堆积矿产品, 露天矿山企业开采必须提前研究边坡稳定情况, 采场选址应做严格的地质稳定性评价, 防止改变山体应力场引发矿山地质灾害. 采用现代科学方法和先进技术手段, 为生态环境保护提供更加科学合理的数据基础^[19].

参考文献(References):

- [1]童立强, 郭兆成. 典型滑坡遥感影像特征研究[J]. 国土资源遥感, 2013, 25(1): 86-92.
Tong L Q, Guo Z C. A study of remote sensing image features of typical landslides[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2013, 25(1): 86-92.
- [2]陈曦, 胥兵, 陈爱明, 等. 遥感技术在提取滑坡背景环境因素的应用——以湖北省房县地区滑坡地质灾害为例[J]. 资源环境与工程, 2014, 28(6): 950-959.
Chen X, Xu B, Chen A M, et al. Application of remote sensing technology in extraction of environmental background factors of landslide[J]. Resources Environment & Engineering, 2014, 28(6): 950-959.
- [3]王娜, 徐素宁, 王赛, 等. 多源遥感数据在新疆精河县震后滑坡调查中的应用[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2018, 29(4): 58-63.
Wang N, Xu S N, Wang S, et al. The application of post-earthquake landslide investigation based on multi-source remote sensing data in Jinghe County of Xinjiang[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2018, 29(4): 58-63.
- [4]王治华, 郭兆成, 杜明亮, 等. 川东缓倾斜坡地区特大型滑坡遥感识别技术研究成果报告[R]. 中国国土资源航空物探遥感中心, 2012.
Wang Z H, Guo Z C, Du M L, et al. The report of identification technology research of superlarge landslides in gently inclined slope area, Eastern Sichuan [R]. China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resource, 2012. (in Chinese)
- [5]童立强, 张晓坤, 李曼, 等. “6·28”关岭滑坡特大地质灾害应急遥

- 感调查研究[J]. 国土资源遥感, 2010, 22(3): 65-68.
- Tong L Q, Zhang X K, Li M, et al. Emergency remote sensing research on superlarge geological disasters caused by "6·28" Guanling landslide[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2010, 22(3): 65-68.
- [6]童立强, 张晓坤, 程洋, 等. "8·7"甘肃舟曲县特大泥石流灾害遥感解译与评价研究[J]. 遥感信息, 2011(5): 109-113.
- Tong L Q, Zhang X K, Cheng Y, et al. Remote sensing interpretation and evaluation of super-large geological disasters Caused by "8·7" debris flow of Zhouqu [J]. Remote Sensing Information, 2011(5): 109-113.
- [7]王治华. 大型个体滑坡遥感调查[J]. 地学前缘, 2006, 13(5): 516-523.
- Wang Z H. Large scale individual landslide remote sensing[J]. Earth Science Frontiers, 2006, 13(5): 516-523.
- [8]王治华. 数字滑坡技术及其应用[J]. 现代地质, 2005, 19(2): 157-164.
- Wang Z H. Progress and applications for digital landslide[J]. Geoscience, 2005, 19(2): 157-164.
- [9]王治华. 中国滑坡遥感及新进展[J]. 国土资源遥感, 2007, 19(4): 7-10, 32.
- Wang Z H. Remote sensing for landslides in China and its recent progress[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2007, 19(4): 7-10, 32.
- [10]杨金中, 杨日红. 遥感技术在三峡库区千将坪滑坡研究中的应用[J]. 国土资源遥感, 2007, 19(4): 85-89.
- Yang J Z, Yang R H. The application of remote sensing digital technique to the investigation of the Qianjiangping landslide in the Three Gorges area[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2007, 19(4): 85-89.
- [11]宿方睿, 郭长宝, 张学科, 等. 基于面向对象分类法的川藏铁路沿线大型滑坡遥感解译[J]. 现代地质, 2017, 31(5): 930-942.
- Su F R, Guo C B, Zhang X K, et al. Remote sensing interpretation of large landslides along Sichuan-Tibet railway based on object-oriented classification method[J]. Geoscience, 2017, 31(5): 930-942.
- [12]彭令, 徐素宁, 梅军军, 等. 地震滑坡高分辨率遥感影像识别[J]. 遥感学报, 2017, 21(4): 509-518.
- Peng L, Xu S N, Mei J J, et al. Earthquake-induced landslide recognition using high-resolution remote sensing images[J]. Journal of Remote Sensing, 2017, 21(4): 509-518.
- [13]唐尧, 王立娟, 马国超, 等. 利用国产遥感卫星进行金沙江高位滑坡灾害灾情应急监测[J]. 遥感学报, 2019, 23(2): 252-261.
- Tang Y, Wang L J, Ma G C, et al. Emergency monitoring of high-level landslide disasters in Jinsha River using domestic remote sensing satellites[J]. Journal of Remote Sensing, 2019, 23(2): 252-261.
- [14]李明波, 陈平, 陈植华, 等. 湖南雪峰山地区降雨型滑坡灾害敏感性区划[J]. 地质与资源, 2019, 28(1): 78-84.
- Li M B, Chen P, Chen Z H, et al. Sensitivity zoning of rainfall-induced landslide hazard in Xuefeng mountain area[J]. Geology and Resources, 2019, 28(1): 78-84.
- [15]王佳运, 王根龙, 石小亚. 陕西山阳特大型滑坡视向滑移-溃屈破坏力学分析[J]. 中国地质, 2019, 46(2): 381-388.
- Wang J Y, Wang G L, Shi X Y. Mechanical analysis of apparent dip creep-buckling failure of Shanyang Super large-scale rockslide in Shaanxi Province[J]. Geology in China, 2019, 46(2): 381-388.
- [16]殷跃平, 王文沛, 张楠, 等. 强震区高位滑坡远程灾害特征研究——以四川茂县新磨滑坡为例[J]. 中国地质, 2017, 44(5): 827-841.
- Yin Y P, Wang W P, Zhang N, et al. Long runout geological disaster initiated by the ridge-top rockslide in a strong earthquake area: a case study of the Xinmo landslide in Maoxian County, Sichuan Province[J]. Geology in China, 2017, 44(5): 827-841.
- [17]高永志, 初禹, 薛广垠, 等. 黑龙江省矿山地质灾害遥感调查研究[J]. 地质与资源, 2017, 26(2): 161-164, 189.
- Gao Y Z, Chu Y, Xue G Y, et al. Remote sensing survey of geological hazards of mines in Heilongjiang Province[J]. Geology and Resources, 2017, 26(2): 161-164, 189.
- [18]杜玉龙, 方维萱, 柳玉龙. 东川铜矿因民矿区非污染型环境地质问题类型分析[J]. 地球科学与环境学报, 2010, 32(4): 404-408.
- Du Y L, FANG W X, Liu Y L. Analyzing of non-pollution type environmental geology problem of Yinmin mine in Dongchuan Cu deposit[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2010, 32(4): 404-408.
- [19]丁宇雪, 毛龙, 周向斌, 等. 基于高分影像的松嫩低平原地区生态环境问题解析——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.