

基于 RS 与 GIS 技术的西藏多龙矿集区 生态环境监测研究

王俊华¹⁾, 代晶晶¹⁾, 令天宇²⁾, 王松²⁾, 刘青枰²⁾

1) 自然资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京, 100037;

2) 中国地质大学(北京), 北京, 100083

内容提要:西藏多龙矿集区铜多金属矿产资源丰富, 铜储量约 2500 万吨, 排名中国第一。矿集区矿产资源的开发能带来巨大的社会经济利益, 但青藏高原地区生态环境承载力有限, 矿山开发容易造成生态环境的不可逆破坏。本文基于高分二号、Landsat8 等遥感影像数据, 采用人机交互解译方法提取多龙矿集区有关人类活动、水文、荒漠化、金属氧化物污染及草地覆盖等信息, 进而分析研究区生态环境现状。分析结果表明: 研究区生态环境整体仍处于较原始状态, 未遭受过大型工业活动及人为活动破坏; 区内主要植被类型为高原草原和高原草甸, 高草地覆盖区面积较小且分布较集中; 研究区荒漠化形势较为严峻, 主要荒漠化类型包括沙漠化、石漠化及盐碱化等; 矿区地表出现大面积褐铁矿化及孔雀石化, 周边土壤及水系金属及重金属矿物含量超标; 区内砂金矿盗采、超载放牧及地质勘探等人类活动均对当地生态环境造成一定影响。利用 RS 与 GIS 技术开展多龙矿集区生态环境调查研究, 可为矿山的绿色选址及绿色矿山开发建设提供建议及技术支持。

关键词: 多龙矿集区; 生态环境; 高分二号; 遥感监测; 绿色矿山

西藏多龙矿集区位于阿里羌塘自然保护区南缘, 属于班公湖—怒江成矿带一部分, 经过地物化遥感等全面勘查评估, 现已探明该矿集区内金属矿产资源储量为铜约 2500 万吨, 金约 500 吨, 银约 3000 吨, 铜资源储量居全国第一 (Dai Jingjing et al., 2012; Gao Ke et al., 2016)。多龙矿集区铜多金属矿床的开发可为我国社会发展建设提供宝贵的矿产资源, 并带动西藏阿里地区社会经济的发展, 带来可观的经济效益及社会效益。然而, 由于多龙矿集区地理条件特殊, 生态环境脆弱, 对人类社会活动 (放牧、矿山开发等) 及全球气候变化响应敏感 (Fang Hongbin et al., 2007; Bai Shuying et al., 2015; Nie Yong et al., 2017)。因此, 为了避免今后矿山开发建设对当地生态环境的破坏, 需要对研究区进行生态环境遥感监测及调查研究。

生态环境遥感调查研究是指通过遥感技术对研

究区内由各种自然要素构成的具有环境与资源属性的自然系统, 如地貌、植被、水文、土壤、荒漠化、气象、生物多样性及相关生态环境破坏活动等要素进行提取解译 (Ma Ronghua et al., 2003; Sandra Hamel et al., 2009; Wang Qinjun et al., 2017)。针对矿区生态地质环境遥感监测已有大量研究。陈华丽等利用 Landsat TM 数据, 通过应用波段组合、铁矿指数及 NDVI, 采用最大似然监督分类方法对矿区进行地物信息提取, 并定量分析了湖北大冶矿区生态环境变化 (Chen Huali et al., 2004); 卓义等利用 Landsat TM 影像数据, 对内蒙古伊敏露天煤矿区 1987~2004 年的土地利用、草地盖度、产草量及地下水量进行变化监测及相关分析, 结果表明煤矿区开采对周边草地生态环境影响有限 (Zhuo Yi et al., 2007); 魏信等利用 1990~2007 年 Landsat TM/ETM+ 数据, 对山西乡宁矿区自然生态环境变

注: 本文为中国地质调查局二级项目“西藏多龙矿床技术经济与环境综合评价”(项目编号 DD20160330) 资助的成果。

收稿日期: 2018-03-28; 改回日期: 2018-08-23; 网络发表日期: 2018-12-10; 责任编辑: 黄敏。

作者简介: 王俊华, 男, 1993 年生。在读硕士研究生, 主要从事遥感地质方向研究工作。通讯地址: 北京市西城区百万庄大街 26 号中国地质科学院, Email: 419782021@qq.com。通讯作者: 代晶晶, 女, 1982 年生。博士, 副研究员, 现主要从事遥感地质研究工作。Email: daijingjing863@sina.com。

引用本文: 王俊华, 代晶晶, 令天宇, 王松, 刘青枰. 2019. 基于 RS 与 GIS 技术的西藏多龙矿集区生态环境监测研究. 地质学报, 93(4): 957~970, doi: 10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2019110.
Wang Junhua, Dai Jingjing, Ling Tianyu, Wang Song, Liu Qingpin. 2019. Eco-environmental monitoring study of the Duolong ore cluster area using remote sensing and GIS technology. Acta Geologica Sinica, 93(4): 957~970.

化进行遥感监测,研究得出矿区草地及耕地有减小趋势,总体生态环境先明显变差而后出现恢复(Wei Xin et al., 2010);马丽丽等利用 SPOT5 融合图像,基于层次分析法及模糊数学法对昌平砂矿区的水体、植被、生物多样性、地形地貌、矿区占地及居民密度等生态环境指标进行监测分析研究,实现矿区生态环境评价(Ma Lili et al., 2013);付慧等利用多时相 Landsat TM/ETM+/OLI 数据,运用水体指数法和单波段法等对临沂苍峰矿区水体生态环境信息提取,通过对 2001、2007 和 2014 年的影像合成,根据不同像元变化趋势反演矿区水体变化,实现对矿区水体生态环境监测(Fu Hui et al., 2017)。

前人主要根据已开发矿山的的具体矿种及矿山周边环境状况有针对性地选择遥感影像数据进行矿山生态地质环境监测及评价分析研究(Li Yanting et al., 2016; Ma Xiuqiang et al., 2017),而针对矿山开发前的生态与地质环境背景调查研究较少。因此,本文以西藏藏北多龙矿集区为研究区,利用高分二号影像及 Landsat8 OLI 数据建立矿集区遥感生态环境监测及评价分析的具体技术流程,提取矿集区生态环境信息,为将来多龙矿集区的绿色开发提供生态环境背景资料和基础数据,并能为今后藏北其它矿床及矿集区的生态与地质环境监测及评价分析提供参考。

1 研究区概况

多龙矿集区主要位于西藏阿里地区改则县物玛乡,距拉萨市约 1200 km,海拔为 4800~5200 m,地理坐标范围为 83°13' E-84°00' E, 32°40' N-33°00' N,即南起本松河,北至扎多那日错穷,西起别塘,东至查尔康错,面积约为 2024 km²。多龙矿集区处于西藏四大成矿带中的班公湖—怒江成矿带,成岩成矿时期为早白垩世(120~116 Ma),主要发育在中生代海相沉积岩地层,包括上三叠统日干配组灰岩,下一中侏罗统色哇组、曲色组泥质粉砂岩、砂岩(Tang Juxing et al., 2014; Zhu Xiangping et al., 2015; Wei Shaogang et al., 2017)。区域构造活动强烈,多为隐伏断裂。主要控矿构造为北东—南西向、北西—南东向,区域内岩浆活动也主要沿构造线分布(Liu Zhibo et al., 2017; Wei Shaogang et al., 2017),具体如图 1 所示。

多龙矿集区主要矿床类型为由斑岩—浅成低温热液成矿系统形成的斑岩型—高硫化浅成低温热液型—隐爆角砾岩筒型矿床,其上表覆盖厚层的美日

切错组陆相安山质火山岩,使得矿床得以保存。其中,波龙、多不杂矿床为典型的斑岩型矿床,有明显的分层蚀变现象,主要蚀变类型包括钾硅化蚀变、黄铁绢英岩化蚀变、青磐岩化蚀变及角岩化蚀变。隐爆角砾岩筒型矿床主要为拿顿矿床,该矿床角砾岩筒规模较小,但铜多金属等含量高,除此之外,拿若矿床也出现矿化隐爆角砾岩筒,其铜金矿化规模大,青磐岩化蚀变强烈。而典型的高硫化型浅成低温热液矿床主要为铁格隆南矿床,其下层为斑岩型矿体,上覆层为后陆相中基性火山岩(Tang Juxing et al., 2017)。

2 数据源与技术路线

2.1 数据源

本文选择国产高分二号(GF-2)和 Landsat8 遥感卫星影像数据进行研究区生态环境调查研究。高分二号卫星是我国自主研发的首颗空间分辨率为亚米级的民用遥感卫星,其星下点全色影像数据分辨率达 0.8 米。本次获取的 8 景数据由中国国土资源航空物探遥感中心分发,其中 3 景获取时间为 2015 年 10 月 8 日、2015 年 12 月 16 日及 2017 年 2 月 2 日,另外 5 景获取时间为 2016 年 2 月 18 日。影像级别为 L1A 级,全色影像数据分辨率为 0.8m,多光谱影像分辨率为 3.24m。高分二号遥感影像主要用于对道路、房屋、牛羊圈、水系、探槽、钻孔及砂金矿尾矿堆积物等生态环境信息进行解译及研究。

Landsat8 卫星是陆地卫星系列的第八颗卫星,由美国航空航天局(NASA)于 2013 年 2 月 11 日成功发射,其携带 OLI 和 TIRS 两个传感器。本文使用的是从地理空间数据云下载的 Landsat8 OLI 数据,数据获取时间为 2016 年 6 月 1 日。Landsat8 OLI 影像数据包含 9 个波段(表 1),其中波段 8 为全色影像,空间分辨率为 15 m,其余波段影像数据空间分辨率均为 30 m(Xu Hanqiu et al., 2013)。

表 1 Landsat8 数据波段参数

Table 1 band parameters of Landsat8

波段	波长范围(μm)	空间分辨率(m)
B1 海岸波段	0.433~0.453	30
B2 蓝波段	0.450~0.515	30
B3 绿波段	0.525~0.600	30
B4 红波段	0.630~0.680	30
B5 近红外波段	0.845~0.885	30
B6 短波红外 1	1.560~1.660	30
B7 短波红外 2	2.100~2.300	30
B8 全色波段	0.500~0.680	15
B9 卷云波段	1.360~1.390	30

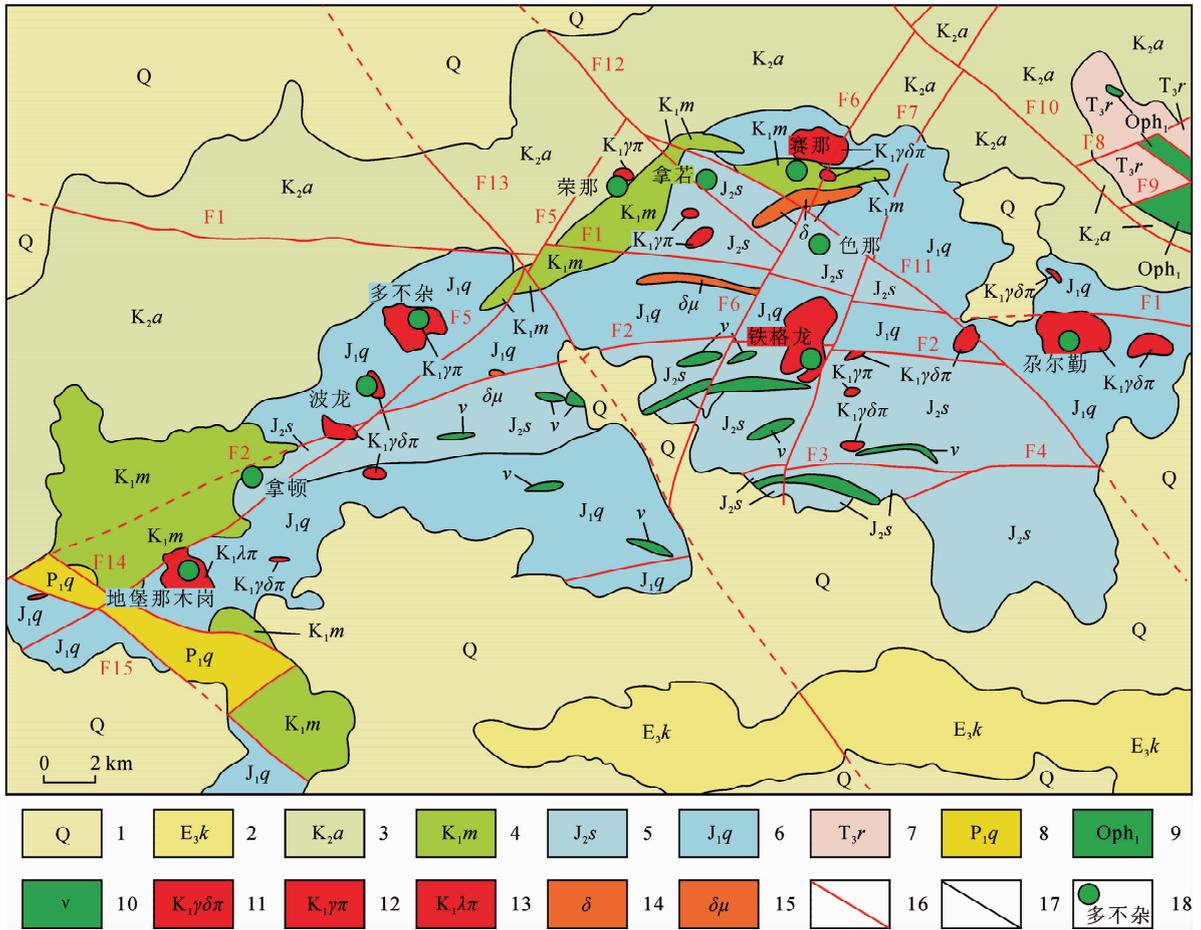


图 1 西藏多龙矿集区地质简图(孙振明, 2015)

Fig. 1 Geology sketch of Duolong ore concentration area on Tibet (Sun Zhengming, 2015)

1—第四系;2—第三系康拖组;3—下白垩统阿布山组;4—下白垩统美日错组;5—中侏罗统色哇组;6—下侏罗统曲色组;7—上三叠统日干配错组;8—下二叠统曲地组;9—变质橄榄岩;10—辉长岩;11—早白垩世花岗岩闪长斑岩;12—早白垩世花岗岩斑岩;13—早白垩世石英斑岩;14—闪长岩;15—闪长玢岩;16—断层;17—地质界线;18—矿床(点)

1—Quaternary;2—Tertiary Kangtuo Formation;3—Lower Cretaceous Abushan Farmation;4—Lower Cretaceous Meiriqiecuo Farmation;5—Lower Jurassic Sewa Farmation;6—Lower Jurassic Quse Farmation;7—Upper Triassic Riganpeicuo Farmation;8—Lower Permian Qudi Farmation;9—metamorphic peridotite;10—gabbro;11—Early Cretaceous granodiorite porphyry;12—Early Cretaceous granite porphyry;13—Early Cretaceous quartz porphyry;14—diorite;15—diorite porphyrite;16—fault;17—geological boundary;18—deposit position

Landsat8 遥感影像数据主要用于提取研究区植被生长指数 (NDVI) 数据、植被覆盖度及荒漠化状况等生态环境信息。

2.2 技术路线

为进行多龙矿集区生态环境监测及生态环境现状的评价分析研究,收集了研究区人文地理、地质、气象等基础资料及 GF-2、Landsat8 等遥感影像数据。基于 ENVI 软件平台,对 GF-2 影像进行正射校正、数据融合、图像镶嵌、影像裁剪、影像增强等预处理,同时对 Landsat8 数据进行数据融合、图像镶嵌、影像裁剪、影像增强等预处理后,得到信息解译所需的基准影像数据,用于提取研究区生态环境相关信息。其中,基于 GF-2 基准影像数据,可以获取

生态环境因子信息包括人类活动环境因子信息、矿山活动环境因子信息、河流湖泊环境因子信息。基于 Landsat8 数据,通过蚀变信息提取、NDVI 数据提取及 Albedo-NDVI 模型,分别获取金属氧化物污染环境因子信息、植被覆盖度环境因子信息及荒漠化环境因子信息。最后,基于 GIS 技术对提取解译的生态环境相关信息进行综合评价分析,为绿色矿山开发及绿色环保型矿山建设提出建议,具体技术流程如图 2 所示。

3 生态环境信息提取及评价

3.1 人类活动环境因子信息

人类活动相关环境因子信息主要包括研究区内

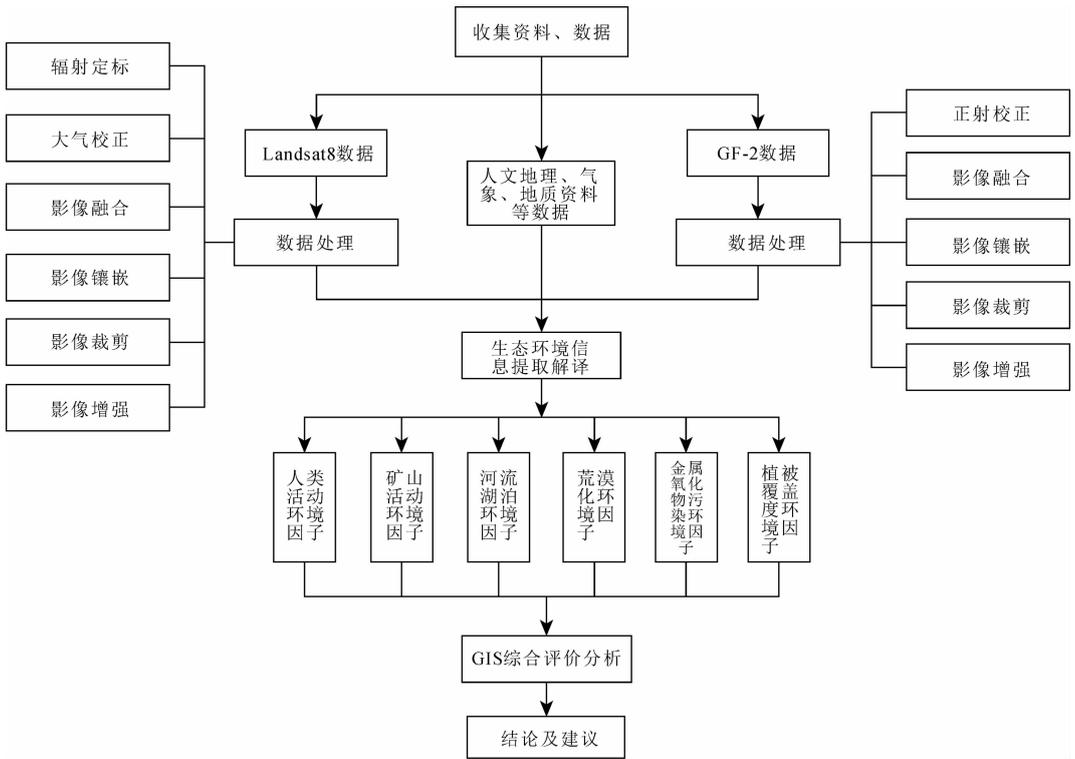


图 2 技术流程图

Fig. 2 Technique flow chart

的交通道路、村庄及人工建筑(包括居民房屋、牛羊圈等)等信息。本文通过高分二号遥感影像对以上因子信息建立解译标志,其中道路为亮白色线条,居民房屋表现为方形,屋顶呈亮白色,牛羊圈多表现为圆形、半圆形,色调较深呈黑褐色。根据解译标志对全区进行解译,由解译结果图 3 可知,研究区内主要交通路线 72 条,总长约 564.31km,道路主要呈南北向延伸;区内共存在三个自然村,分别为本送村、萨玛隆村和扎多那日村;区内居民住房及牛羊圈等共 468 处,总面积约 0.52 km²。

由人类活动环境因子解译结果可知,研究区约 2000km² 面积内仅有 72 条主要道路,并且大部分道路为狭窄简陋的土路。由于交通道路状况一般与当地经济状况密切相关(Xu Haicheng et al., 2007),可推知研究区仍属于经济状况较为落后地区。同样由于研究区自然条件恶劣、交通不便、人烟稀少,使当地原始生态环境能远离人为及工业破坏。研究区三个村落分别位于本松河、萨玛隆河及恰秋沟流域,符合人类择水而栖的特点,由于自然条件限制,当地居民不能从事种植业,多以畜牧业为生。从图 3 中可以看出,人工建筑密集区与村落位置吻合,即通过遥感影像中人工建筑的解译结果能够有效定位村落位置及分布。其中散落在村庄外的人工建筑主要为

牧民放牧临时住所及牛羊圈等,这些散落的人工建筑几乎遍布于整个研究区,说明牧民放牧范围广,且有过度放牧迹象。

3.2 矿山活动环境因子信息

研究区内有关矿山活动生态环境因子信息的解译内容主要包括地质勘探留下的钻孔、探槽及河流流域的砂金矿开采等。本文利用高分二号影像数据对钻孔、探槽及砂金矿尾矿堆积物等矿山活动因子进行解译,由解译及统计结果可知,研究区内钻孔为 64 孔,探槽数 178 条,钻孔和探槽密集分布且多呈平行并排布置,主要分布在研究区中部及西南部;研究区内共有 171 处的砂金矿尾矿堆积物,主要分布在恰秋沟、萨玛隆河及本松河等流域两侧,具有黑色、半圆环状构造等影像特征,具体如图 4 所示。

经统计探槽面积为 1.62 × 10⁵ m²,平均面积为 911.76m²,探槽总面积占研究区总面积 0.008%,砂金矿尾矿堆积物总面积为 7.68 × 10⁵ m²,占研究区总面积 0.038%。虽然探槽及砂金矿尾矿堆积物面积占比较小,但对于生态环境脆弱且敏感的藏北高原地区,仍造成了局部草地破坏且长时间难以自行修复,尤其是砂金矿开采主要为盗采,开采工具技术落后,对周边地表植被及水系生态环境造成严重破坏(Yu Hui et al., 2011)。将探槽、钻孔解译图(图

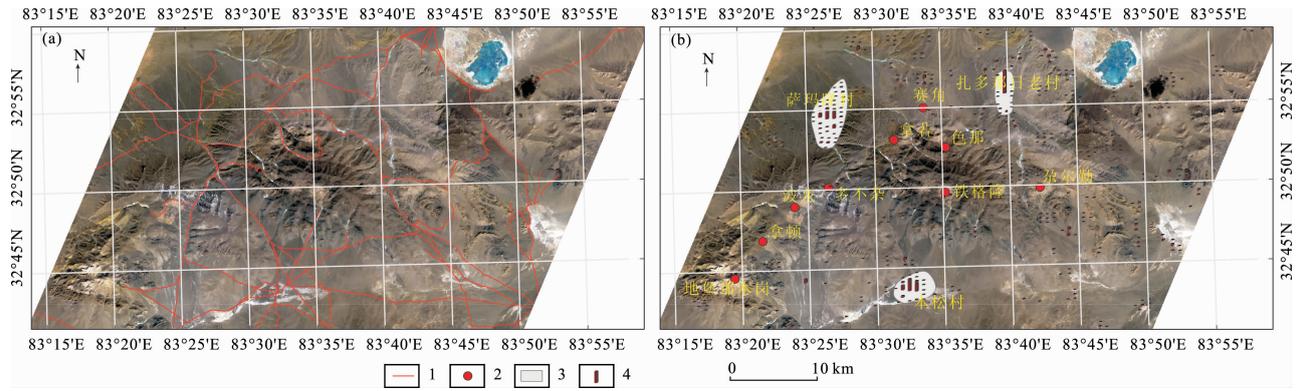


图 3 西藏多龙矿集区道路、村庄及人工建筑解译图(图 a 为道路;图 b 为村庄及人工建筑)

Fig. 3 Remote sensing interpretation of roads, village and architecture of Duolong ore concentration area on Tibet (a is road; b is village and architecture)

- 1—道路;2—矿床点位;3—村庄;4—建筑
- 1—road;2—deposit position;3—village;4—architecture

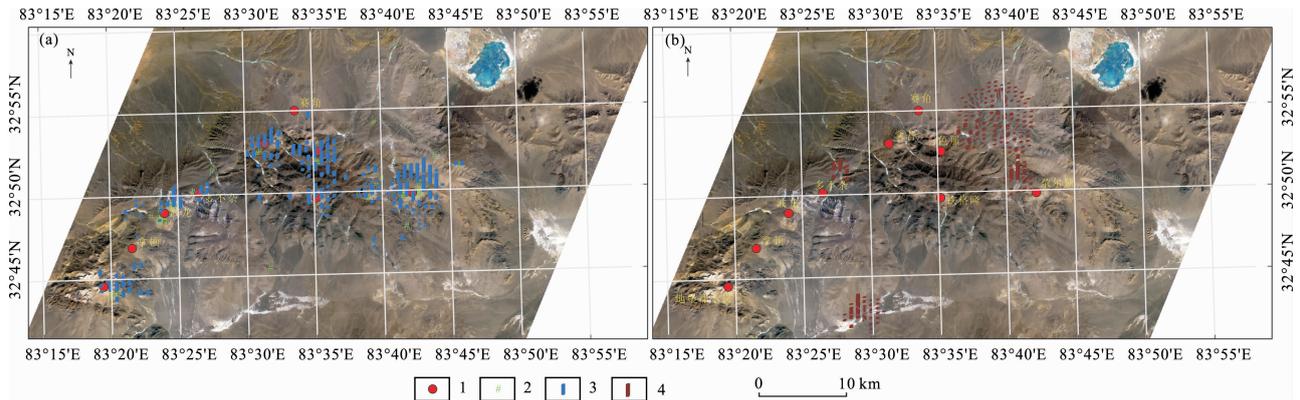


图 4 西藏多龙矿集区探槽、钻孔及尾矿堆积物解译图(图 a 为钻孔和探槽;图 b 为尾矿堆积物)

Fig. 4 Remote sensing interpretation of trench and core and tailing of Duolong ore concentration area on Tibet (a is trial trench and drill hole; b is tailing)

- 1—矿床点位;2—钻孔;3—探槽;4—尾矿堆积物
- 1—deposit position;2—drill hole;3—trial trench;4—tailing

4a)与西藏多龙矿集区简图(图 1)进行对比分析,发现钻孔、探槽密集分布区与矿床位置基本吻合,从西南到东北方向分别为地堡那木岗、拿顿、波角、多不杂、荣那、拿若、铁格隆、色那及尕尔勤等矿床,即通过探槽、钻孔信息的提取解译可以大致确定矿床的位置分布情况。

3.3 河流湖泊环境因子信息

研究区内关于河流湖泊环境因子信息的解译内容包括河干道及湖泊分布状况等。本文主要利用高分二号遥感数据对河流湖泊信息进行解译,由解译及统计结果可知,研究区内河流分布范围广、延伸远,主流及支流总数共为 174 条,主要河道总长为 703.02km;研究区内主要湖泊为拉布错,位于工作区东北部,湖泊面积约为 15.24km²,具体如图 5

所示。

经野外采样分析发现,恰秋沟、萨玛隆河及本松河等流域由于受到地表金属、重金属氧化物排放及砂金矿的盗采挖掘堆积而遭受污染及破坏。研究区内湖泊水体含盐度高,其周边盐碱化严重,易被风刮起,形成盐碱尘暴。由于矿山开采的粉尘及矿山迹地,必将对附近河流湖泊造成一定程度的污染。根据《中华人民共和国水法》及《中华人民共和国河道管理条例》等条例规定,河道周边不能进行挖掘、勘探等活动。因此,本文对影像河流解译的同时建立河道缓冲区,根据资源开发规划要求及西藏高原地区生态环境状况,缓冲距离设定为 100m,即在河流 100m 范围内不能开展地质勘探及矿山开采活动,保障河堤完整及水资源不被污染,水资源保护区范

围如图6所示。

3.4 荒漠化环境因子信息

土地荒漠化是指包括气候变化和人类活动在内的种种因素造成的干旱半干旱和亚湿润地区的土地退化(Zhu Zhenda et al., 1998)。使用遥感影像数据可以提取土地荒漠化信息,通过遥感影像所表现

的不同信息,可以判断土地荒漠化的发生与否以及发展程度等(Ma Xiongde et al., 2016)。西藏荒漠化类型多样,主要包括沙漠化、岩漠化、盐碱渍荒漠化、草场退化荒漠化、风蚀荒漠化及水蚀荒漠化等(Zhang Peiming et al., 2006; Wang Xiaoyan, 2007),研究区可见的荒漠化类型为岩漠化(由安山

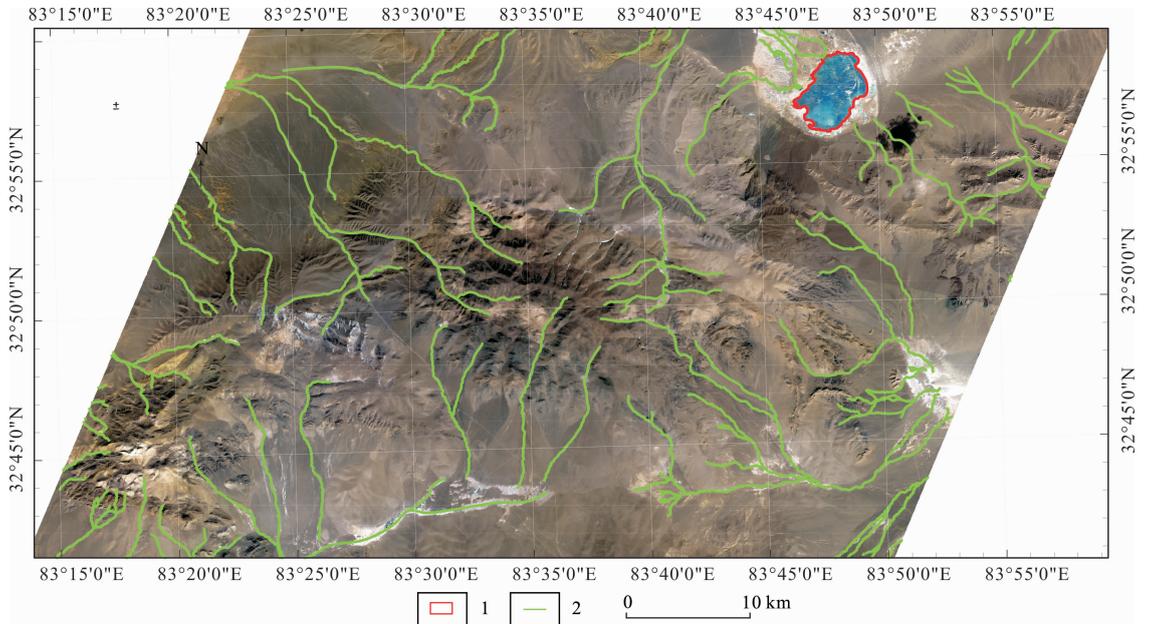


图5 西藏多龙矿集区河流湖泊解译图

Fig. 5 Remote sensing interpretation of rivers and lakes of Duolong ore concentration area on Tibet

1—湖泊;2—河流
1—lake;2—river

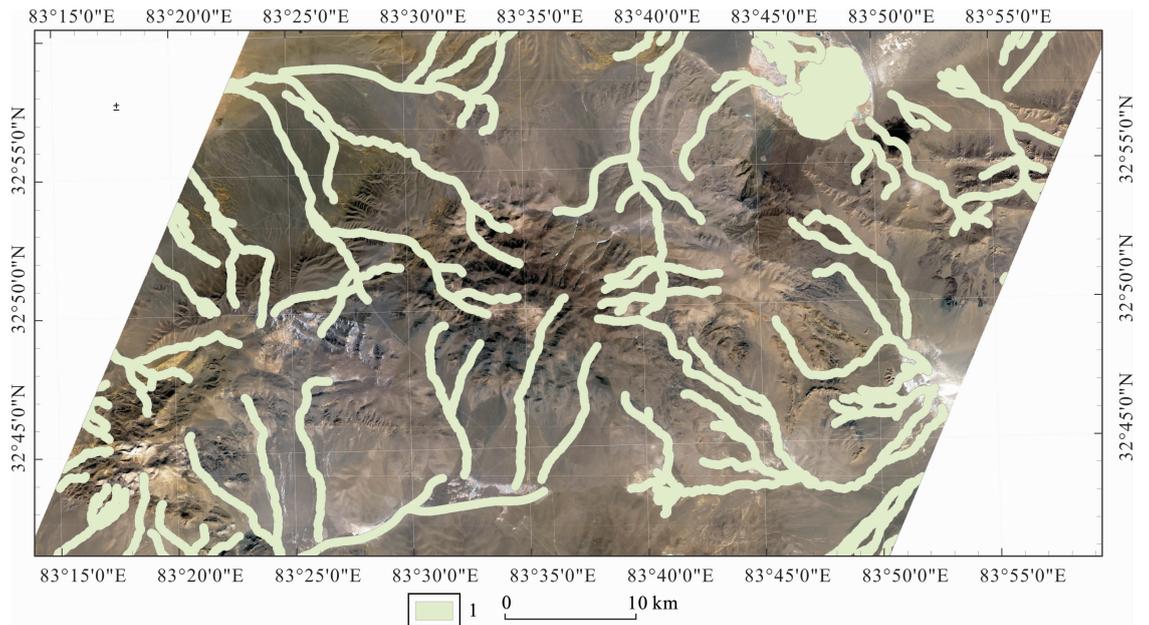


图6 西藏多龙矿集区水资源保护区图

Fig. 6 Protected zone of water resources of Duolong ore concentration area on Tibet

1—水资源保护区
1—protected zone of water resources

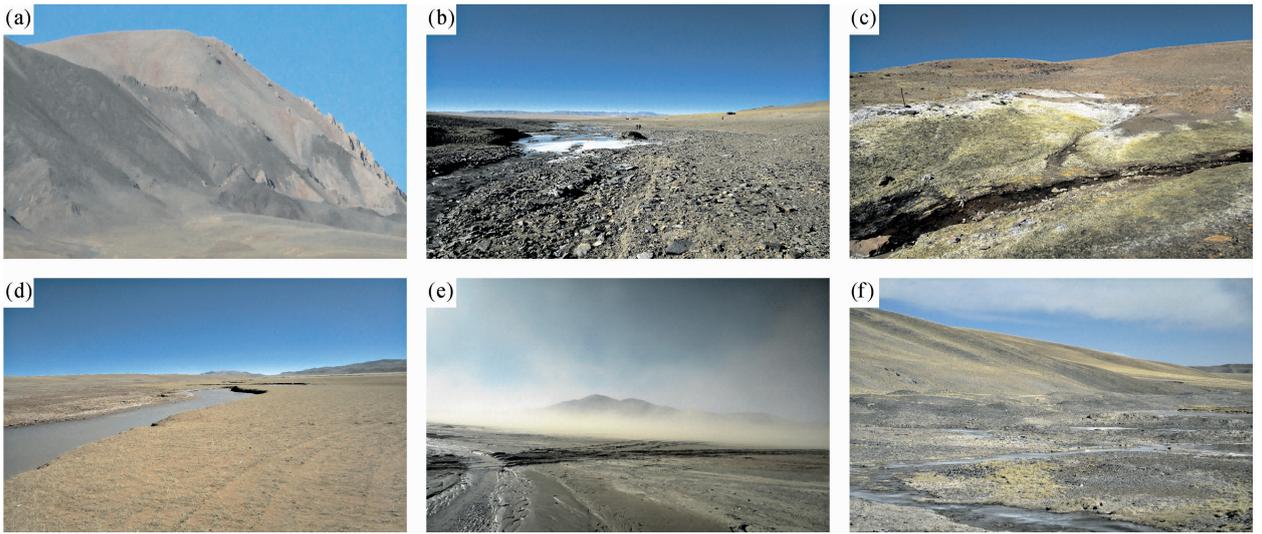


图 7 西藏多龙矿集区内荒漠化类型图

Fig. 7 The desertification types of Duolong ore concentration area on Tibet

(a)—岩漠化;(b)—石漠化;(c)—盐碱渍荒漠化;(e)—沙漠化;(f)—风漠化;(g)—人为破坏荒漠化
 (a)—rock desertification;(b)—rocky desertification;(c)—salinization desertification;(e)—sandy desertification;
 (f)—blow desertification;(g)—man-made desertification

岩裸露地表、砂砾石裸地)、石漠化、盐碱渍荒漠化、沙漠化、风漠化及人为破坏荒漠化等,具体如图 7 所示。

本文通过利用植被生长季 Landsat8 影像数据构建“植被指数(NDVI)-反射率(Albedo)特征空间”来进行研究区荒漠化信息提取(Zeng Yongnian et al., 2006; Lamchin, et al., 2016)。通过拟合相同位置的 NDVI 值及 Albedo 值得到两者的定量关系,其反演模型为幂指数模型: $y=0.1882x^{-2.571}$, $R^2=0.8473$,具体如图 8 所示。由反演模型通过选择反映荒漠化程度的合理指数,将研究区进行荒漠化程度分级,分为极重度荒漠化、重度荒漠化、中度荒漠化、轻度荒漠化和非荒漠化五个等级,具体荒漠化分级信息图如图 9 所示。通过对荒漠化分级图不同等级的面积占比进行统计分析,对于总面积约 2000km² 的研究区,其中极重度荒漠化面积为 57.06km²,占研究区面积比为 2.85%;通过对荒漠化分级图不同等级的面积占比进行统计分析,研究区总面积约 2000km²,其中极重度荒漠化面积为 57.06km²,占研究区面积比 2.85%;中度荒漠化面积为 626.53km²,占研究区面积比为 31.24%;轻度荒漠化面积为 610.98km²,占研究区面积比为 30.47%;非荒漠化面积为 381.93km²,占研究区面积比为 19.05%。

由以上统计分析结果可知,研究区极重度荒

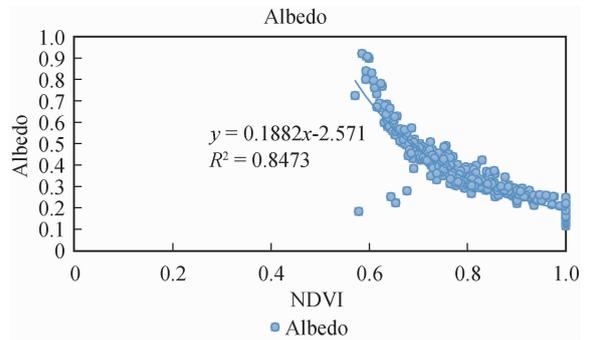


图 8 NDVI-Albedo 反演模型

Fig. 8 Inversion model of NDVI-Albedo

漠化面积占比较小,主要分布在两大湖泊周边,说明湖泊周边盐碱化严重且造成了地表的严重荒漠化;中度荒漠化主要分布于研究区东北部,面积占比相对较大,说明研整体荒漠化状况较为严峻;中度荒漠化及轻度荒漠化面积占比均最大,其中中度荒漠化面积约占研究区的三分之一,主要分布于研究区东部和南部,轻度荒漠化主要分布与研究区的西部;非荒漠化区主要为高原草地,分布于研究区中西部,通过叠加矿床位置发现,研究区内矿床多数分布于非荒漠化地区,具体荒漠化分级面积统计如表 2 所示。

3.5 植被覆盖度环境因子信息

研究区内主要植被类型为高寒草原及草甸,本文选择 2016 年植被生长季的 Landsat8 遥感影像数

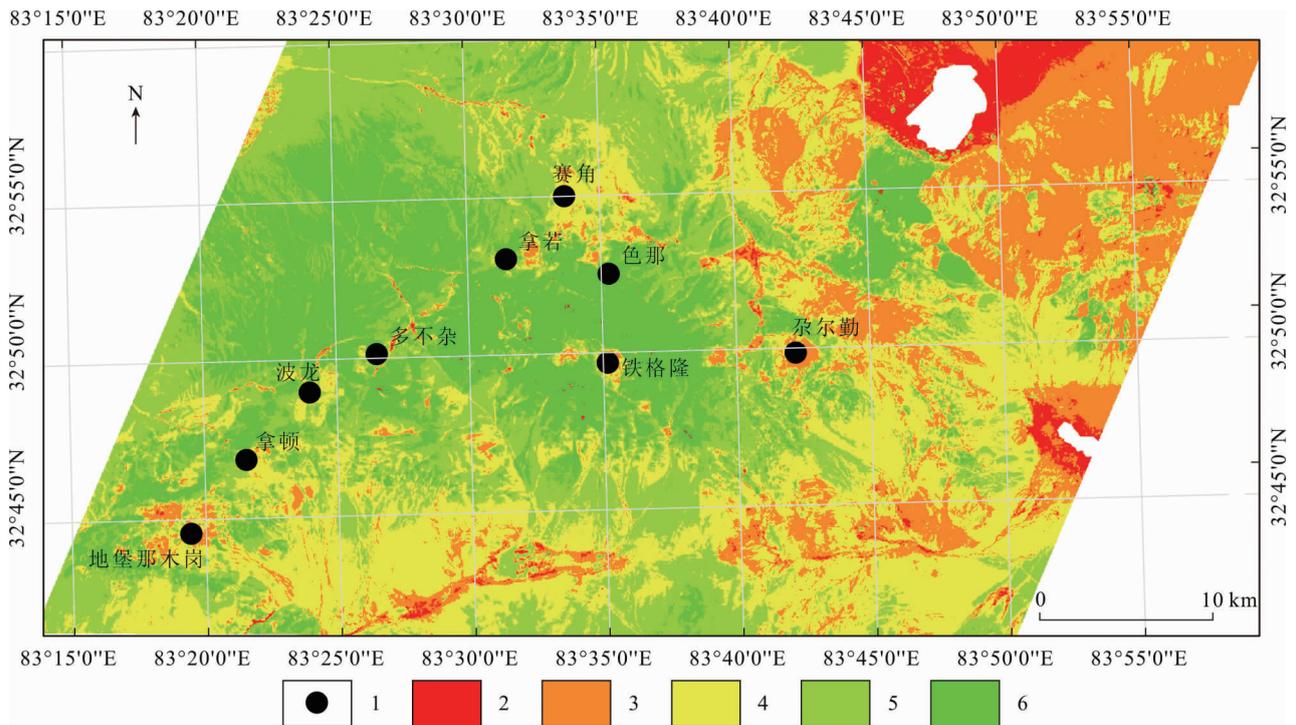


图9 西藏多龙矿集区荒漠化分级图

Fig. 9 Grading of desertification of Duolong ore concentration area on Tibet

1—矿床点位;2—极重度荒漠化;3—重度荒漠化;4—中度荒漠化;5—轻度荒漠化;6—非荒漠化

1—deposit position;2—extremely severe desertification;3—severe desertification;4—moderate desertification;5—mild desertification;6—non desertification

据,经过辐射定标、大气校正、影像裁剪等预处理后,得到研究区基准影像,用于进一步提取归一化植被指数(NDVI)数据并求取研究区植被覆盖度信息。归一化植被指数(NDVI)是地表植被覆盖特征的重要指标之一,它能反映植被代谢强度及其季节变化和年际变化,可用于植被的监测、分类和物候分析。获取NDVI数据后,通过线性混合模型的像元二分模型估算研究区的植被覆盖度信息(Defries et al., 1994; Zhou Zhaoye et al., 2008)。基于NDVI的像元二分模型法反演植被覆盖度的估算公式可以表示为:

表2 荒漠化分级面积统计表

Table 2 The area chart of desertification grade

荒漠化分级	像元数	面积(km ²)	百分比
极重度荒漠化	63401	57.06	2.86%
重度荒漠化	356332	320.69	16.06%
中度荒漠化	696144	626.53	31.37%
轻度荒漠化	678861	610.98	30.59%
非荒漠化	424364	381.93	19.12%

$$F_c = \frac{NDVI - NDVI_{soil}}{NDVI_{veg} - NDVI_{soil}}$$

式中,NDVI_{soil}代表纯土壤覆盖像元的NDVI

值;NDVI_{veg}代表纯植被像元的NDVI值。本文对NDVI影像数据进行直方图统计分析,以累计概率(置信度)的1%及99%作为NDVI_{soil}及NDVI_{veg},其取值分别为0.578和0.043。

将NDVI_{soil}和NDVI_{veg}代入基于NDVI的像元二分模型计算多龙矿集区的草地植被覆盖度,利用ISO聚类非监督分类方法,并依据研究区草地植被特点,将草地植被覆盖度分为4级:非草地覆盖区、低草地覆盖区、中草地覆盖区、高草地覆盖区,得到研究区植被覆盖度空间格局图,具体分布如图10所示。其中,非草地植被覆盖区占比23%,面积约为46km²,低草地植被覆盖区占比35%,面积约70km²;中草地植被覆盖区占比34%,面积约68km²;高草地植被占比8%,面积约16km²。

3.6 金属氧化物污染的环境因子信息

多龙矿集区中多不杂与波龙矿床为富金斑岩型铜矿床,富含黄铜矿及黄铁矿,出露地表部分容易被氧化为褐铁矿、孔雀石及蓝铜矿等氧化物及氢氧化物。经野外实地调查发现,矿区褐铁矿化覆盖范围广,覆盖区草被不能生长,岩漠化严重。同时可见,地表褐铁矿化对附近泉眼及流经水系也造成了污

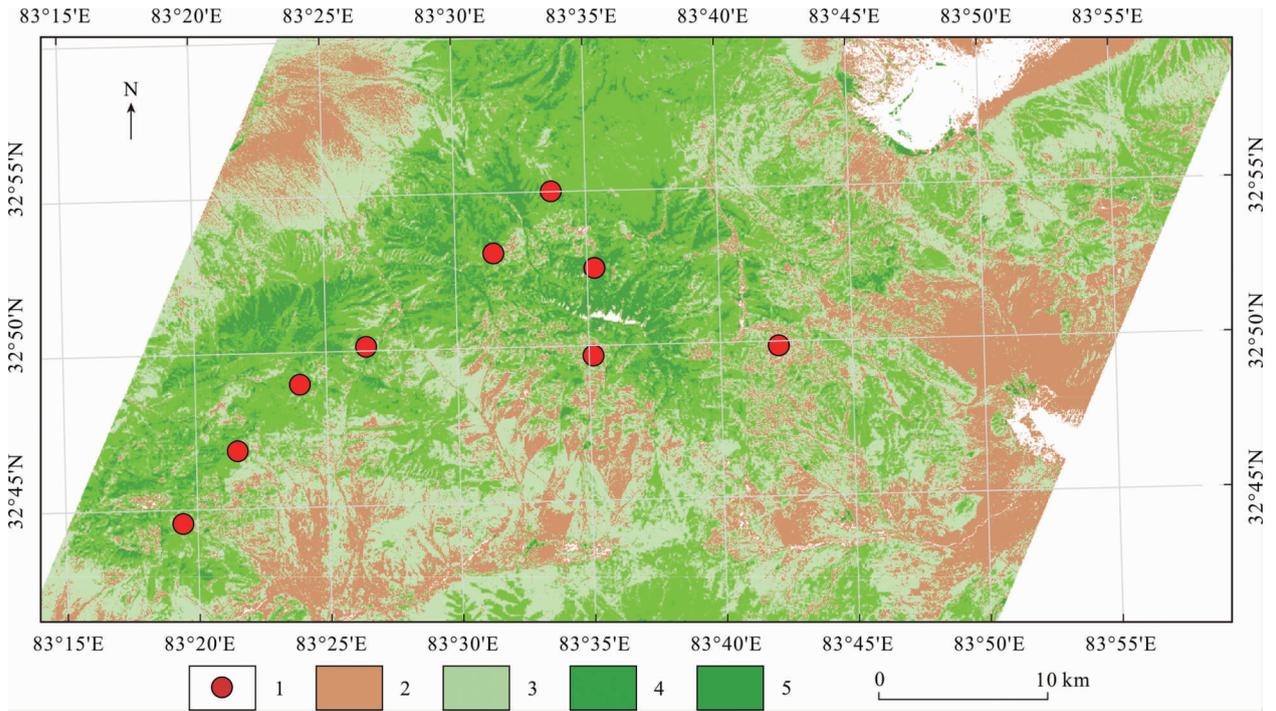


图 10 西藏多龙矿集区植被覆盖度分级图

Fig. 10 The vegetation coverage classification of Duolong ore concentration area on Tibet

1—矿床点位;2—非草地覆盖区;3—低草地覆盖区;4—中草地覆盖区;5—高草地覆盖区

1—deposit position;2—non grassy areas;3—low grassy areas;4—medium grassy areas;5—high grassy areas

染,河水颜色变成黄褐色及红褐色。

本文通过遥感技术,利用 Landsat8 OLI 遥感影像数据,经过预处理后,采用主成分分析(PCA)方法对研究区褐铁矿化等金属氧化物信息进行提取。褐铁矿化是一种或多种矿物集合体,主要包括纤铁矿、水纤铁矿、针铁矿、水针铁矿、水的氢氧化铁胶凝体、富含铝的氢氧化物等(Cao Cheng, 1983)。褐铁矿化中主要含有三价铁离子,而三价铁离子的矿物吸收波谱分布在 $0.85\sim 0.94\mu\text{m}$ 、 $0.45\mu\text{m}$ 以及 $0.55\mu\text{m}$ 波段,其中 $0.85\sim 0.94\mu\text{m}$ 为三价铁离子的强吸收带,表现为含三价铁离子的矿物在波段 2、波段 3、波段 5 的反射率降低,在波段 4 的反射率增高(Meng Xin et al., 1995; Peng Guangxiong et al., 2013)。针对研究区遥感影像波段分析,确定研究区以波段 2、波段 4、波段 5 和波段 6 为一组进行主成分分析提取褐铁矿化信息,并统计出各主成分的特征向量矩阵(表 3)。从表 1 可以看出,第 4 主成分对波段 2、波段 4 具有相反的贡献标志,并且对应的波段 4 的贡献量最大,因此 PC4 满足要求。

通过对 PC4 成分提取的褐铁矿化信息进行阈值分割,采用均值分别加上 3.0、2.5、2.0 倍标准差,并将得出的值划分 3 个区间,最终生成具有强褐铁

矿化、中等褐铁矿化、弱褐铁矿化 3 级标准的异常信息分类图,具体如图 11 所示。由图 12 统计分析结果可知,研究区强褐铁矿化像元数为 13044 个,总面积约为 11.74km^2 ,占总面积 0.69%;中等褐铁矿化像元数为 10732,总面积约为 9.66km^2 ,占总面积 0.57%;而弱褐铁矿化像元数为 21685 个,总面积约为 19.52km^2 ,占总面积 0.69%。

表 3 主成分变化特征向量矩阵

Table 3 The eigenvector matrices of PCA

特征向量	波段 2	波段 4	波段 5	波段 6
PC1	0.2509	0.4691	0.5395	0.6527
PC2	0.4188	0.4067	0.3424	-0.7362
PC3	0.8054	-0.0306	-0.5642	0.1788
PC4	-0.3361	0.7834	-0.5229	-0.0016

由以上金属氧化物污染环境信息提取结果可知,出现褐铁矿化区域约占研究区总面积的 1.95%,总体面积较小且集中分布在矿区周边。由于矿石氧化物携带重金属元素,大量出露的褐铁矿及孔雀石等金属重金属矿物,其经过雨水冲刷、运移而不断扩散,造成周边水源、土壤及草地的金属、重金属污染,对周边牧民、牲畜及动植物健康造成威胁,同时造成了当地生态系统的破坏。

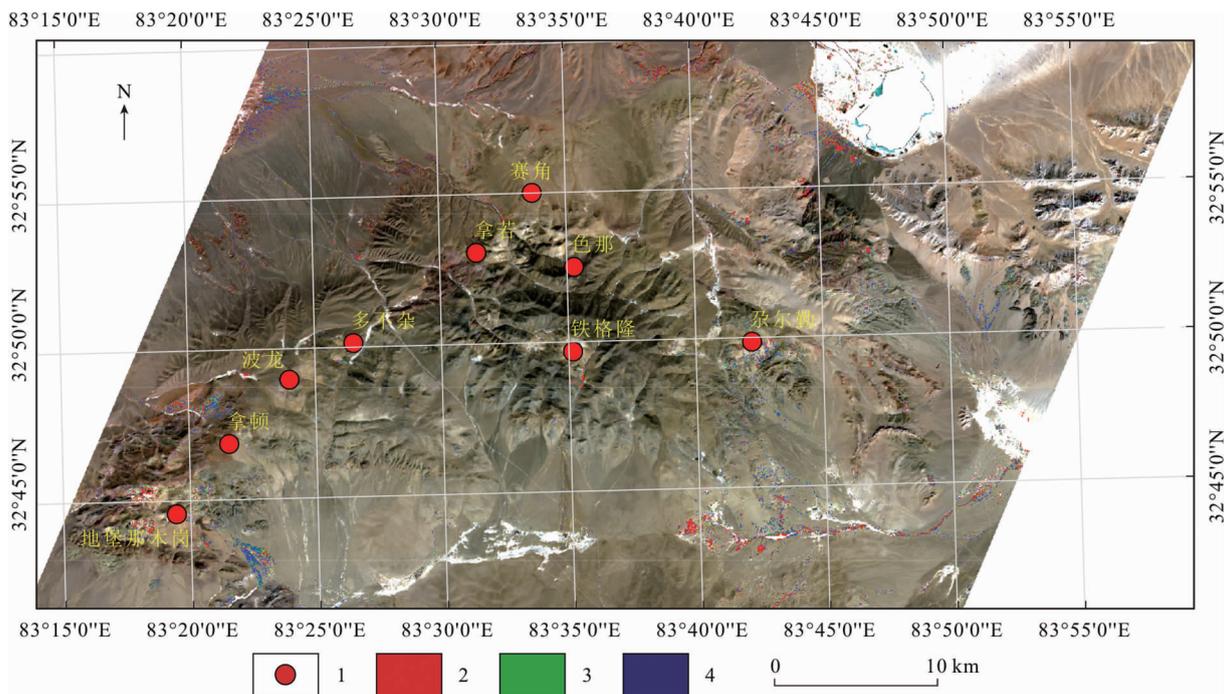


图 11 西藏多龙矿集区褐铁矿化信息分级图

Fig. 11 Grading of limonitization of Duolong ore concentration area on Tibet

1—矿床点位;2—强褐铁矿化;3—中等褐铁矿化;4—弱褐铁矿化

1—deposit position;2—intense ferritization;3—moderate ferritization;4—weak ferritization

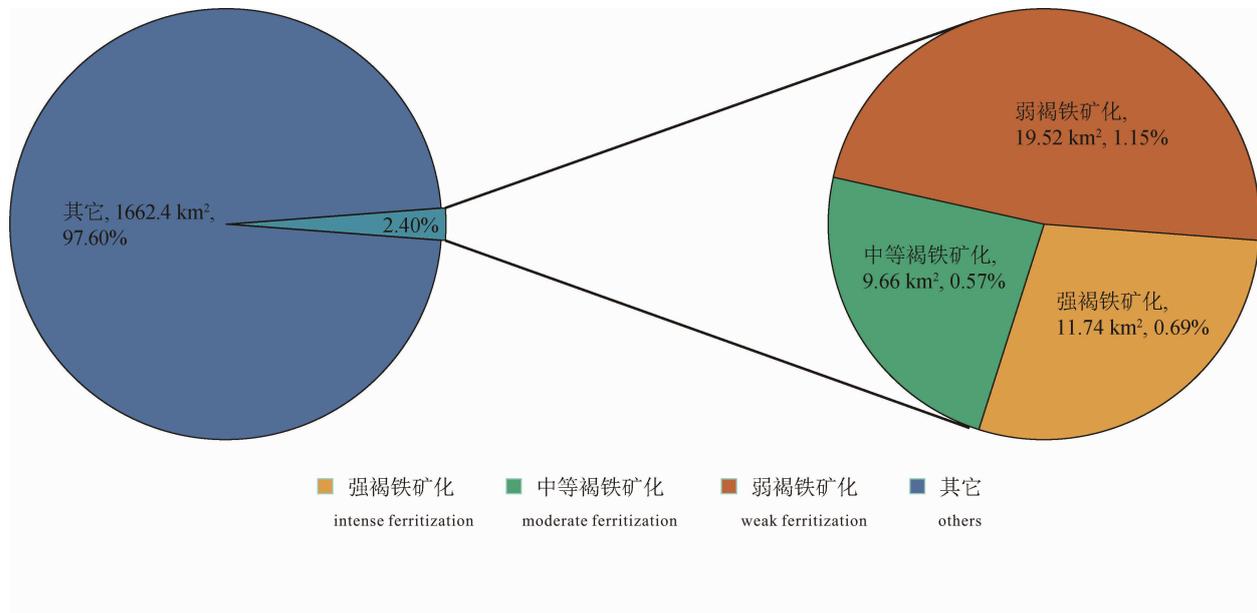


图 12 褐铁矿化分级面积统计图

Fig. 12 The area chart of limonitization grade

4 讨论

本研究通过高分二号影像和 Landsat8 数据提取了研究区有关生态环境因子信息和利用 GIS 技术对获取的生态环境因子信息进行初步统计分析研

究,但并未对各生态环境因子进行定量化分析,无法定量评估研究区生态环境状况。因此,下一步的研究工作主要为收集提取更多研究区生态环境因子信息并运用相关算法对其进行定量化处理,进而综合各环境因子各定量化数据构建绿色矿山选址模型,

为绿色矿山开发及建设提供参考及理论依据。

5 结论

通过对西藏多龙矿集区生态环境进行调查监测研究,获取研究区生态环境现状信息,可为研究区生态承载力作评价,并作为矿床开发部署的可靠性评估提供基础背景数据,为绿色科学的矿山开发及生态环保型矿山建设提供参考。本文的结论主要有:

(1)研究区交通通讯不便,整体生态环境仍处于较原始状态,河水、饮用水及草地均未遭受过重大的工业生产活动与人为活动的破坏及污染。其中,研究区内河流域砂金矿的盗采挖掘、矿山迹地及牧民的超载放牧是导致高原草场退化及荒漠化不断扩展的主要原因,部分河流域因砂金矿开采提取排除物而出现酸化及重金属含量超标现象。

(2)研究区内恰秋沟、萨玛隆河及本松河等流域由于砂金矿盗采滥伐、排出酸性有毒成分及周边重金属氧化物释放重金属元素,导致各河流河段出现不同程度的污染,伴随有地表破坏、河流改道及水土流失等生态环境破坏现象,同时造成牧民畜牧业损失并威胁当地居民的身体健康。另外,探槽、钻孔挖掘等地质勘探活动也造成了局部区域的生态环境破坏,主要表现为草地破坏及水土流失等。

(3)研究区可见的荒漠化类型包括岩漠化(由安山岩裸露地表、砂砾石裸地)、石漠化、盐碱渍荒漠化、沙漠化、风漠化及人为破坏荒漠化等。按照荒漠化程度分级面积统计结果可知,研究区中度荒漠化以上区域面积占比超过50%,说明研究区裸露范围广,荒漠化形势较为严峻。经野外调查验证发现,研究区燕山期安山岩地层占据裸露地表面积比重大,地表多见岩石风化侵蚀后的碎石,部分地方出现蓝铜矿、褐铁矿等重金属氧化物污染,该区域是研究区主要的岩漠化区。另外,砂金矿等矿山违法开采、矿山地质活动及牧民过度放牧等也造成了一定的草场退化荒漠化。多龙矿集区中地堡那木岗、荣那、拿若、铁格隆和尕尔勤等矿床出现中一重度荒漠化,主要荒漠化类型为岩漠化及石漠化。

(4)多龙矿集区中地堡那木岗、拿顿、多不杂、铁格隆及尕尔勤等矿区均出现了强褐铁矿化现象,部分地区伴随有大面积的孔雀石化。通过对研究区金属氧化物调查结果分析,即未开采的矿床同样会由于富含金属氧化物及重金属等,进而严重破坏当地生态环境。通过获取褐铁矿化、孔雀石化等信息,可以查明研究区金属及重金属氧化物污染现状,以及

调查它们对当地生态环境对影响,从而了解研究区生态环境发展趋势,为今后对荒漠化地区、污染区和重点生态地质环境研究区进行重点监测和跟踪监测提供科学依据。同时,也能为国土资源部门决定矿床是否开采提供数据决策依据。

(5)通过植被覆盖分级图及矿点位置可知,波龙、荣那、拿若、赛角、色那等矿床主要分布在高植被覆盖区,而地堡那木岗、铁格隆及尕尔勤等矿床主要分布于中一低植被区。总体而言,研究区内矿床主要分布于高植被覆盖区,如何进行绿色开发将是一个很大的挑战。

针对多龙矿集区生态环境现状及今后矿山开发主要提出以下几点建议:①对于今后矿山开发,由于道路需要进行扩展修建,难免会出现生态环境破坏,因此建议在原有土路基础上,在环境承载力范围内进行扩充修建,以尽量避开草原草地为原则,荒漠化严重地区做好草被移植修复工作,防止研究区内草场破坏及荒漠化蔓延扩大。②地质勘探等工作人员应有绿色勘探意识,尽量做到不破坏草地植被,生活垃圾即时清理,并对探槽挖掘做好回填和草被移植工作。矿床在今后的开发时,特别需要注重对水土环境的保护,同时加强环境的治理,遏制生态破坏性的粗放式开采行为,坚定按照绿色矿山的要求进行开发建设。③建议多龙矿集区内符合地下开采条件的矿床主要采用地下开采方式为主,而对于露天开采的矿床要做好地表草被移植及开采后的环境修复工作。

References

- Bai Shuying, Wu Qi, Shi Jianqiao, Lu Yuan. 2015. Analysis on Vegetation Coverage Change IN Shannan, Tibet, China Based on Remotely Sensed Data. *Journal of Desert Research*, 35(5): 1936~1402 (in Chinese with English abstract).
- Cao Cheng. 1983. Mineralogical Study of YULIANSI. *Acta Mineralogical sinica*, (2): 54~57 (in Chinese with English abstract).
- Chen Huali, Chen Gang, Guo Jinzhu. 2004. The Application of Landsat TM for Ecological Environmental Monitoring in Mining Area. *Remote Sensing Information*, (1): 31~34 (in Chinese with English abstract).
- Dai Jingjing, Qu Xiaoming. 2012. Structural pattern and alteration information derived from remote sensing data and their significance for ore search in the Duolong copper-ore concentration area of Tibet. *Geology and Exploration*, 48(4): 815~822 (in Chinese with English abstract).
- Defries R, Townshend J. NDVI-derived land cover classification at global scales. *International Journal of Remote Sensing*, 1994, 15(17): 3567~3586.
- Fang Hongbin, Zhao Fuyue, Lu Yuege, Zhang Ruijiang, Zhang Zhende, Sun Yangui, Jiang Qi-gang. 2007. Remote sensing survey of ecological and geological and environment factors in Qinhai-tibetan plateau. *Remote Sensing for Land and Resources*,

- 19(4):61~65 (in Chinese with English abstract).
- Fu Hui, Wang Ping. 2017. Study on Monitoring Water Change in Mining Area Based on Remote Sensing Method. *Geomatics and Spatial Information Technology*, 40(7):95~98 (in Chinese with English abstract).
- Gao Ke, Tang Ju-xing, Liu Zhi-bo, Fang Xiang, Yang Huan-huan, Wang Qin, Lin Bin, Song Jun-long. 2016. Fluid Inclusion Study of the Cryptoexplosive Breccias in the Naruo Cu(Au) Deposit of Tibet. *Geology and Exploration*, 52(5):815~825 (in Chinese with English abstract).
- Lamchin M, Lee J Y, Lee W K, et al. 2016. Assessment of land cover change and desertification using remote sensing technology in a local region of Mongolia. *Advances in Space Research*, 57(1):64~77.
- Li Yanting, Zhang Wen, Ning Liping, Cai Yongji, Cheng Lu, Gu Gaige. 2017. Research of ecological environment evaluation system for Jiangcang open-pit mining area based on RS and GIS. *Coal Engineering*, 48(12):120~123 (in Chinese with English abstract).
- Liu Zhibo, Wang Wenlei, Song Yang, Wang Qin. 2017. Geo-information Extraction and Integration of Ore-controlling Structure in the Duolong Ore Concentration Area of Tibet. *Acta Geoscientia Sinica*, 38(05):803~812 (in Chinese with English abstract).
- Ma Lili, Tian Shufang, Wang Na. 2013. Ecological environment evaluation of the mining area based on AHP and fuzzy mathematics. *Remote Sensing For Land and Resources*, 25(3):165~170 (in Chinese with English abstract).
- Ma Ronghua, Huang Xingyuan, Hu Mengchun, Xie Shunping. 2001. Evaluation and Change Analysis of Eco-environment on Hainan Island. *Journal of Nanjing University (Natural Sciences)*, 37(03):269~274 (in Chinese with English abstract).
- Ma Xiongde, Fan Limin, Zhang Xiaotuan, Zhang Yunfeng, Zhang Hongqiang, Bian Huiying. 2016. Dynamic change of land desertification and its driving mechanism in Yushenfu mining area based on remote sensing. *Journal of China Coal Society*, 41(08):2063~2070 (in Chinese with English abstract).
- Ma Xiuqiang, Peng Ling, Xu Suning, Ding Zhilei. 2017. Application of GF-2 satellite data to mine geological environment investigation in Daye, Hubei Province. *Remote Sensing for Land and Resources*, 29(b10):127~131 (in Chinese with English abstract).
- Meng Xin, Yao Guoqing. 1995. The Research of Information Extraction of Hydrosiderite Using TM Image in Amuwusu, Inner Mongolia, China. *Remote Sensing Technology and Application*, 10(2):23~27 (in Chinese with English abstract).
- Nie Yong, Yang Chao, Zhang Yi-li, Liu Lin-shan, Xu Xia. 2017. Glacier Changes on the Qiangtang Plateau between 1976 and 2015: A Case Study in the Xainza Xiegang Mountains. *Journal of Resources and Ecology*, 8(1):97~104.
- Peng Guangxiong, Wang Mingyan, He Jiao. 2013. An Improved Crosta Technique Based on Local Variable Window for Alteration Information Extraction—A Case Study of the Mohailaheng Area. *Geotectonica et Metallogenia*, 37(3):553~560 (in Chinese with English abstract).
- Sandra Hamel, Mathieu Garel, Marco. 2009. Spring Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) predicts annual variation in timing of peak faecal crude protein in mountain ungulates. *Journal of Applied Ecology*, 46(3):582~589.
- Sun Zhenming. 2015. Copper-Gold Mineralization and Metallogenic Regularity of Duolong Mineralization Area in Western Bangonghu-Nujiang metallogenic belt, Tibet. *Jilin University (in Chinese with English abstract)*.
- Tang Juxing, Sun Xingguo, Ding Shuai, Wang Qin, Wang Yiyun, Yang Chao, Chen Hongqi, Li Yanbo, Li Yubin, Wei Lujie, Zhang Zhi, Song Junlong, Yang Huanhuan, Duan Jilin, Gao Ke, Fang Xiang, Tan Jiang-yun. 2014. Discovery of the Epithermal Deposit of Cu (Au-Ag) in the Duolong Ore Concentrating Area, Tibet. *Acta Geoscientia Sinica*, 35(1):6~10 (in Chinese with English abstract).
- Tang Juxing, Wang Qin, Yang Huanhuan, Gao Xin, Zhang Zebin, Zou Bing. 2017. Mineralization, Exploration and Resource Potential of Porphyry-skarn-epithermal Copper Polymetallic Deposits in Tibet. *Acta Geoscientia Sinica*, 38(05):571~613 (in Chinese with English abstract).
- Wang Qinjun, Wei Yongming, Chen Yu, Lin Qizhong, Zhou Hongying. 2017. Remote Sensing Porphyry Copper Deposit Exploration Model and Its Application in Low Vegetated Areas: An Example from the Taken Balkhash-Western Junggar Metallogenic Zones. *Acta Geologica sinica*, 91(02):400~410 (in Chinese with English abstract).
- Wang Xiaoyan, Xu ZhiGao. 2007. Study on the Dynamic Changes of Desertification in Tibet. *Research of Soil and Water Conservation*, 14(6):48~51 (in Chinese with English abstract).
- Wei Shaogang, Tang Juxing, Song Yang, Liu Zhibo, Wang Qin, Lin Bin, He Wen, Feng Jun. 2017. Petrogenesis, Zircon U-Pb Geochronology and Sr-Nd-Hf Isotopes of the Intermediate-felsic Volcanic Rocks from the Duolong deposit in the Bangonghu-Nujiang Suture Zone, Tibet, and Its Tectonic Significance. *Acta Geologica Sinica*, 91(1):132~150 (in Chinese with English abstract).
- Wei Shaogang, Tang Juxing, Song Yang, Liu Zhibo, Wang Qin, Lin Bin, Wang Yiyun, Fang Xiang, Yang Huanhuan, Feng Jun. 2017. Zircons LA-MC-ICP-MS U-Pb Ages, Petrochemical, Petrological and Its Significance of the Potassic Monzonitic Granite Porphyry from the Duolong Ore-concentrated District, Gaize County, Xizang (Tibet). *Geological Review*, 63(1):189~206 (in Chinese with English abstract).
- Wei Xin, Qiao Yulian, Wang Peng. 2010. Dynamic Monitoring of Ecological Environment Based on Remote Sensing and GIS—Taking Xiangning County, Shanxi Province as an Example. *Journal of Geo-Information Science*, 12(1):111~118 (in Chinese with English abstract).
- Xu Haicheng, Li Jian, Yang Yan. 2007. Relationship between highway transportation and economic development in China. *Journal of Chang'an University (Social Science Edition)*, 9(2):8~13 (in Chinese with English abstract).
- Xu Hanqiu, Tang Fei. 2013. Analysis of new characteristics of the first Landsat 8 image and their ecoenvironmental significance. *Acta Ecologica Sinica*, 33(11):3249~3257.
- Yu Hui, Zhen Zhijun, Cheng Song, Gao Yong-heng, Yang Gang. 2011. The Study on Ecological Environment Status and Protection of Mine in Tibet—Taking Placer Gold Mine in North Tibet for Example. *Journal of Sichuan Normal University (natural science)*, 34(2):260~266 (in Chinese with English abstract).
- Zeng Yongnian, Xiang Nanping, Feng Zhaodong, Hu Huo. Albedo-NDVI Space and Remote Sensing Synthesis Index Models for Desertification Monitoring. *Scientia Geographica Sinica*, 26(1):75~81 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Peimin, Zhang Zhende, Li Xiaoqin, Wang Yi, Yu Jiangkuan, Huang Yongfang. 2006. Desertification Remote Sensing Information Extraction from Qinhai-Tibet Plateau and Evolution Analysis. *Arid Land Geography (Chinese)*, 29(5):710~717 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Zhaoye, Chu Shaolin, Wang Zhiwei, Chen Quanguo. 2008. Analysis of vegetation coverage change based on NDVI—A case study in Ganzhou area, Zhangye city, Gansu. *Pratacultural Science*, 25(12):23~29 (in Chinese with English abstract).
- Zhuo Yi, Yu Fengming, Bao Yuhai. 2007. Remote Sensing Monitor of the Ecological Environment of the Yimin Open Coal Mine in Inner Mongolia. *Journal of Inner Mongolia Normal University (Natural Science Edition)*, 36(3):358~362 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Xiangping, Chen Hua'an, Liu Hongfei, Ma Dongfang, Li Guangming, Huang Hanxiao, Zhang Hong, Liu Chaoqiang,

Wei Lujie. 2015. Zircon U-Pb Ages, geochemistry of the porphyries from the Duobuza Porphyry Cu-Au Deposit, Xizang and their metallogenic significance. *Acta Geologica Sinica*, 89(3): 534~548 (in Chinese with English abstract).

Zhu Zhengda. 1998. Concept, Cause and Control of Desertification in china. *Quaternary Sciences*, 18(2): 145~155 (in Chinese with English abstract).

参 考 文 献

- 白淑英, 吴奇, 史建桥, 陆源. 2015. 基于时间序列遥感数据的西藏山南地区植被覆盖变化特征分析. *中国沙漠*, 35(5): 1396~1402.
- 曹成. 1983. 禹粮石的矿物学研究. *矿物学报*, (2): 54~57.
- 陈华丽, 陈刚, 郭金柱. 2004. LandsatTM 在矿区生态环境动态监测中的应用. *遥感信息*, (1): 31~34.
- 代晶晶, 曲晓明. 2012. 西藏多龙铜多金属矿集区构造及蚀变遥感信息提取. *地质与勘探*, 48(4): 0815~0822.
- 方洪宾, 赵福岳, 路云阁, 张瑞江, 张振德, 孙延贵, 姜琦刚. 2007. 青藏高原生态地质环境遥感调查研究. *国土资源遥感*, 19(4): 61~65.
- 付慧, 王萍. 2017. 矿区水体变化遥感监测方法研究. *测绘与空间地理信息*, 40(7): 95~98.
- 高轲, 唐菊兴, 宋扬, 刘治博, 方向, 杨欢欢, 王勤, 林彬, 宋俊龙. 2016. 西藏拿若铜(金)矿床隐爆角砾岩流体包裹体研究. *地质与勘探*, 52(5): 815~825.
- 李燕婷, 张文, 宁黎平, 才永吉, 程璐, 顾改革. 2017. 基于RS与GIS江仓露天矿区生态环境评价体系研究. *煤炭工程*, 48(12): 120~123.
- 刘治博, 王文磊, 宋扬, 王勤. 2017. 多龙矿集区控矿构造信息提取、识别与融合. *地球学报*, 38(05): 803~812.
- 马丽丽, 田淑芳, 王娜. 2013. 基于层次分析与模糊数学综合评判法的矿区生态环境评价. *国土资源遥感*, 25(3): 165~170.
- 马荣华, 黄杏元, 胡孟春, 谢顺平. 2001. 海南生态环境现状评价与变化分析. *南京大学学报(自然科学版)*, 37(03): 269~274.
- 马雄德, 范立民, 张晓团, 张云峰, 张红强, 卞惠瑛. 2016. 基于遥感的矿区土地荒漠化动态及驱动机制. *煤炭学报*, 41(08): 2063~2070.
- 马秀强, 彭令, 徐素宁, 丁志磊. 2017. 高分二号数据在湖北大冶矿山地质环境调查中的应用. *国土资源遥感*, 29(b10): 127~131.
- 孟新, 姚国清. 1995. 内蒙古阿木乌苏地区 TM 图像褐铁矿化蚀变信息提取研究. *遥感技术与应用*, 10(2): 23~27.
- 彭光雄, 王明艳, 何皎. 2013. 基于局部可变窗口的 Crosta 蚀变信息提取技术——以莫海拉亨为例. *大地构造与成矿学*, 37(3): 553~560.
- 孙振明. 2015. 西藏班—怒成矿带西段多龙矿集区铜金成矿作用与成矿规律. 吉林大学.
- 唐菊兴, 孙兴国, 丁帅, 王勤, 王艺云, 杨超, 陈红旗, 李彦波, 李玉彬, 卫鲁杰, 张志, 宋俊龙, 杨欢欢, 段吉琳, 高轲, 方向, 谭江云. 2014. 西藏多龙矿集区发现浅成低温热液型铜(金银)矿床. *地球学报*, 35(1): 6~10.
- 唐菊兴, 王勤, 杨欢欢, 高昕, 张泽斌, 邹兵. 2017. 西藏斑岩—矽卡岩—浅成低温热液铜多金属矿成矿作用、勘查方向与资源潜力. *地球学报*, 38(05): 571~613.
- 王钦军, 魏永明, 陈玉, 蔺启忠, 周红英. 2017. 低植被覆盖区斑岩铜矿遥感找矿模型及其应用——以环巴尔喀什—西准噶尔成矿带为例. *地质学报*, 91(02): 400~410.
- 王晓燕, 徐志高. 2007. 西藏荒漠化动态变化研究. *水土保持研究*, 14(6): 48~51.
- 韦少港, 唐菊兴, 宋扬, 刘志博, 王勤, 林彬, 贺文, 冯军. 2017. 西藏班公湖—怒江缝合带美日切错组中酸性火山岩锆石 U-Pb 年龄、Sr-Nd-Hf 同位素、岩石成因及其构造意义. *地质学报*, 91(1): 132~150.
- 韦少港, 唐菊兴, 宋扬, 刘志博, 王勤, 林彬, 王艺云, 方向, 杨欢欢, 冯军. 2017. 西藏改则多龙矿集区地堡那木岗矿床钾玄质二长花岗斑岩锆石 LA-MC-ICP-MSU-Pb 年龄、地球化学特征及其地质意义. *地质论评*, 63(1): 189~206.
- 魏信, 乔玉良, 王鹏. 2010. 自然生态环境遥感动态监测与 GIS 分析评价——以山西“煤田之乡”的乡宁矿区为例. *地球信息科学学报*, 12(1): 111~118.
- 徐海成, 李健, 杨艳. 2007. 中国公路交通与经济发展关系的实证研究. *长安大学学报(社会科学版)*, 9(2): 8~13.
- 徐涵秋, 唐菲. 2013. 新一代 Landsat 系列卫星: Landsat 8 遥感影像新增特征及其生态环境意义. *生态学报*, 33(11): 3249~3257.
- 于慧, 郑志军, 程颂, 高永恒, 杨刚. 2011. 西藏矿山生态环境现状及保护研究——以藏北砂金矿为例. *四川师范大学学报(自然科学版)*, 34(2): 260~266.
- 曾永年, 向南平, 冯兆东, 徐豁. 2006. Albedo-NDVI 特征空间及沙漠化遥感监测指数研究. *地理科学*, 26(01): 75~81.
- 张佩民, 张振德, 李晓琴, 王毅, 余江宽, 黄永芳. 2006. 青藏高原荒漠化遥感信息提取及演变分析. *干旱区地理(汉文版)*, 29(5): 710~717.
- 卓义, 于凤鸣, 包玉海. 2007. 内蒙古伊敏露天煤矿生态环境遥感监测. *内蒙古师大学报(自然汉文版)*, 36(3): 358~362.
- 周兆叶, 储少林, 王志伟, 陈全功. 2008. 基于 NDVI 的植被覆盖度的变化分析——以甘肃省张掖市甘州区为例. *草业科学*, 25(12): 23~29.
- 祝向平, 陈华安, 刘鸿飞, 马东方, 李光明, 张红, 刘朝强, 卫鲁杰. 2015. 西藏拿若斑岩铜金矿床成矿斑岩年代学、岩石化学特征及其成矿意义. *地质学报*, 89(1): 109~128.
- 朱震达. 1998. 中国土地荒漠化的概念、成因与防治. *第四纪研究*, 18(2): 145~155.

Eco-environmental monitoring study of the Duolong ore cluster area using remote sensing and GIS technology

WANG Junhua¹⁾, DAI Jingjing^{* 1)}, LING Tianyu²⁾, WANG Song²⁾, LIU Qingpin²⁾

1) *MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037;*

2) *China University of Geology, Beijing, 100083*

** Corresponding author; daijingjing863@sina.com*

Abstract

Copper polymetallic mining area in Duolong, Tibet, is endowed by abundant mineral resources with a reserves of about 25 million tons, ranking the first in China. Mineral development in this ore cluster area will not only bring significant benefit for society and economy, but also cause irreversible damage to the ecological environment due to its limited bearing capacity. To understand the current situation of ecological environment, we extracted the related ecological environment information, such as social activities, hydrology, desertification, metal oxide, vegetation cover, and so on, from the dataset of GF-2 and Landsat 8. Analytical results show that the ecological environment in the study area is generally in a primitive state and untouched by large-sized industrial and human activities; the plateau grasslands and plateau meadows are the main vegetation types distributed in relatively small areas. But the problem facing this area is severe desertification including desertification, desertification and salinization, etc. Large-scale ferritization and malachitization occur in the mining area, around which soils and waters contain high contents of metals and heavy metals. But human activities in the mining area, such as illegal mining for placer gold, overload herds, and geological survey, all cause a certain influence on the local ecological environment. RS- and GIS-based investigation of the geological and ecological environment in the Duolong ore cluster area can provide some suggestion and technical support for location and construction of environmentally friendly mining.

Key words: Duolong ore cluster area; eco-environmental; GF-2; remote sensing monitoring; green mines