基于航空高光谱的铁矿矿物信息提取与分析*

秦凯^{1,2)},陈建平¹⁾,赵英俊²⁾,张东辉²⁾,陆冬华²⁾

1) 中国地质大学(北京),国土资源与高新技术研究中心,北京,100083;

2) 核工业北京地质研究院,遥感信息与图像分析技术国家级重点实验室,北京,100029

关键词: 航空高光谱; 相对丰度; 蚀变矿物

甘肃酒泉走廊南山地区是重要的多金属成矿 带,发育众多铁铜矿床、矿点,近年来随着桦树沟 铁矿上铁中铜下金模式的发现和小柳沟大型钨矿 的发现,区内成为重要的铁、铜、钨钼找矿靶区, 掀起了新一轮的找矿热潮。随着航空高光谱技术的 快速发展,在地质应用方面有许多成功的实例应用 (刘德长、赵英俊、杨燕杰等)航空高光谱遥感数 据,在测区内铁矿床上提取多种类型的蚀变矿物, 主要有赤铁矿/褐铁矿、绢云母/伊利石、方解石等。

下面以黑沟矿床为例,对高光谱遥感提取出的 热液矿物类型、组合和分布特征进行了分析,为航 空高光谱找矿预测奠定基础。

1 研究区地质概况

黑沟铁矿位于甘肃省嘉峪关市镜铁山东南 14 km 处,有简易公路可以到达,地理位置:东经 97 57'31",北纬 39 °18'24"。

黑沟铁矿区出露地层为长城系桦树沟组和蓟 县系镜铁山群,由浅变质的杂色千枚岩、石英岩及 铁矿层组成,总体上为一套复理式含铁建造,呈北 西-南东向展布,为西部桦树沟矿区含铁岩系东延部 分。矿区内岩浆岩仅见石英闪长玢岩及辉绿岩两 种。石英闪长玢岩见于矿区南部,贯于灰绿色千枚 岩及铁矿层中,与岩层、矿层走向基本平行,局部 斜切,呈脉状产出。辉绿岩为岩墙状,见于矿区西 部,侵入于灰绿色千枚岩中(图1)。

黑沟矿区本身为一向斜构造,位于桦树沟复向 斜东南端,轴向北西西,总体上向南东倾没。矿区 范围内,黑沟向斜两端则向中间倾伏,向斜两翼次 一级小型褶皱发育,次一级褶皱轴向与主向斜轴向 基本一致,属于同期构造。

矿区内断裂构造有北东东和北北东两组,断层 面多倾向北北西或北西西。破碎带不甚发育且延长 不远,断层整体上南东盘相对升起,在垂直陷落的 同时,断层北西盘普遍向南西方向位移,对于矿体 破坏不大。矿区内岩层及矿层中,节理发育,其中 以铁矿层及黑灰色千枚岩中的节理尤为发育。



图 1 黑沟铁矿平面地质图

1-灰色千枚岩; 2-铁矿层; 3-含铁千枚岩; 4-铁白云石; 5-灰绿色千枚岩; 6-石英岩; 7-灰岩; 8-钙质千枚岩; 9-粗粒辉绿岩; 10-石英闪长玢岩; 11-实测及推测地质界线; 12-实测及推测断层

2 航空高光谱数据采集与处理

采用空中国王飞机为搭载 CASI/SASI 航空高 光谱传感器,完成了祁连山工作区 4 个架次(2014 年 7 月)的航空飞行,获取了工作区高光谱数据 33 条航带,面积分别为 2176 km²。所获取的航空高光 谱数据空间分辨率为: 1 m(casi)/2.5 m(sasi);

^{*}注:本文为国家自然科学基金资助项目(编号:416023333)的成果。

收稿日期: 2017-02-15; 改回日期: 2017-03-24; 责任编辑: 刘志强。Doi: 10.16509/j.georeview. 2017. s1. 111 作者简介: 秦凯, 男, 1981 年生。博士研究生, 高级工程师, 遥感地质专业。Email: h_rs_qk@163.com。

光谱采样间隔20 nm (casi) /15 nm (sasi)。并同步 采用 ASD 可见光-短波红外地面光谱仪和地面卫星 定位基站设备采集波谱数据和定位数据。

完成了工作区 CASI/SASI 数据的辐射校正、正 射校正、几何校正、色差处理、影像拼接和大气校 正等数据预处理工作。主要包括六个步骤:辐射校 正;传感器姿态数据处理;GPS 定位数据处理; 姿态数据与定位数据时间同步与集成;精细的几何 校正;地形校正;大气校正和光谱重建。其中,采 用的是 5 m分辨率卫星 DEM 数据完成了正射校正。 基于经验线性回归方法,开展了数据大气校正和光 谱重建,获取了工作区的反射率数据。

3 信息提取与验证

采用最小噪声变换、PPI 纯净像元分析、MTMF 等方法进行了矿物信息提取,航空高光谱遥感技术 在矿区内主要提取出了赤铁矿/褐铁矿、绢云母和少 量碳酸盐。蚀变矿物内部主要为赤铁矿/褐铁矿,呈 片状、带状展布,整体分布的长轴为北西向,在矿 区东南部蚀变极为发育;外围为绢云母/伊利石矿 物,呈团块状、片状展布,主要分布于矿体外围。 高光谱提取的矿物分布规律为长轴北西向的封闭 环形。 野外验证发现,黑沟铁矿区主要含矿岩性为硅 质岩,发育强烈的赤铁矿化、褐铁矿化,可见明显 的镜铁矿和菱铁矿发育,矿体地表出露呈环状,与 提取的含铁矿物信息分布十分吻合;在环形矿体周 围岩性主要为灰绿色千枚岩,岩石普遍发育绢云母 化现象,受地表覆盖影响,高光谱影像所提取的绢 云母矿物信息分布于赤铁矿/褐铁矿外围,多在矿体 周围裸露基岩和废石堆位置出露。总体上,矿区内 分布的高光谱遥感矿物信息符合实际地质情况,尤 其含铁矿物信息很好地反映了地表矿体出露形态。

4 结论

经过对研究区典型铁矿床的深入分析和研究,总 结出了该研究区沉积改造型铁矿高光谱的找矿模 型,主要包括高光谱找矿的典型矿物、矿物分布特 征、矿物组合、地质控制因素等。

航空高光谱遥感提取的典型蚀变矿物组合为 赤铁矿/褐铁矿+绢云母,蚀变带具有明显的分带性, 其内带以赤铁矿/褐铁矿为主,外带以绢云母为主。 蚀变矿物分布斑块状、团块状、线状展布,分别与 地层和断裂构造具有密切联系,并且典型矿物绢云 母的特征吸收峰位置与距离热液活动构造的距离 有关(表1)。

表 1	沉积改造型铁矿	高光谱找矿	*要素表

序号	典型矿物异常信息及组合	分布及丰度特征	地质控制因素
1	赤铁矿	光谱吸收深度深,丰度较高 呈斑块状、团块状,局部为条带状展布	蓟县系镜铁山群铁含量较高的岩性
2	绢云母	吸收深度位置向短波方向偏移 中高铝绢云母线性展布	有热液活动的断裂构造
3	赤铁矿与绢云母组合	内带为赤铁矿/褐铁矿,外带为绢云母	与铁矿关系密切

参考文献/References

- 刘德长,邱骏挺,田丰等.2015. 区域控矿断裂带的航空高光谱遥感技术研究——以黑石山-花牛山深大断裂带为例.地质与勘探,51(2):366~375.
- 杨燕杰,赵英俊. 2011. 航空成像光谱的蚀变信息提取技术. 科技导报, 29(23): 57~61.
- 秦凯,陈建平,赵英俊等. 2015. 基于航空高光谱遥感岩性识别技术研 究.矿产勘查,6(5):594~600.

QIN Kai, CHEN Jianping, ZHAO Yingjun, ZHANG Donghui, LU Donghua: Mineralizing Alteration Extraction Based on Airborne Hyper-spectral Data in Iron Deposit

Keywords: Airborne hyperspectral; Relative amount; Mineral alteration