

广东大宝山多金属矿床断层剖面矿物 X 射线衍射和 近红外光谱分析及其意义

王国强^{1, 2, 3, 4}, 曹建劲^{1, 2, 3, 4*}, 邓永康^{1, 2, 3, 4}, 刘翔^{1, 2, 3, 4}

1. 中山大学地球科学与工程学院, 广东 广州 510275
2. 广东省地质过程与矿产资源探查重点实验室, 广东 广州 510275
3. 广东省地球动力作用与地质灾害重点实验室, 广东 广州 510275
4. 南方海洋科学与工程广东省实验室, 广东 珠海 519082

摘要 大宝山多金属矿床为典型的金属硫化物矿床, 其具有经济价值的成矿元素包括铜、铁、铅、锌、钨、钼等。矿床的成矿作用与岩浆和变质热液蚀变活动有着密切联系。矿区内构造断裂的广泛发育为成矿热液活动提供了通道和有效的成矿容矿空间, 并在成矿后对矿体可以进行改造作用。该研究中在大宝山铜多金属矿床的三个断层剖面中, 采集了断层泥、含矿脉体和蚀变围岩共 8 个样品。然后, 对所有样品通过 X 射线衍射(XRD)和近红外光谱分析(NIR)两种光谱学方法进行了综合测试分析。在样品中多种蚀变类型矿物组合通过光谱学分析被鉴别出来, 主要包括黄铁绢英岩化矿物组合(石英、绢云母、黄铁矿和黄铜矿等)、矽卡岩化矿物组合(透闪石、阳起石和石榴石等)和青磐岩化矿物组合(绿泥石、碳酸盐和黄铁矿等)。这些蚀变类型的矿物组合的表明矿区的岩石经历了多种热液蚀变作用的叠加。断层泥样品中则可以鉴别出蚀变围岩和含矿脉体的矿物成分, 以及金属氧化物和硫酸盐矿物(黑铜矿、铜矾、钾铁矾和钾明矾等), 以及粘土矿物(伊利石、蒙脱石、高岭石和滑石等)。断层泥中的氧化和风华矿物指示了断层作用为岩石的物理和化学风化过程提供了有利条件。此外, 根据三个断层剖面中蚀变围岩的 NIR 图谱, 计算了白云母类矿物的结晶度参数($IC = Al-OH(2\ 200\ nm)$ 吸收峰强度/ $H_2O(1\ 900\ nm)$ 吸收峰强度)。在蚀变围岩样品中 637 平台的 $IC_1 = 0.078\ 71/0.037\ 76 \approx 2.08$; 793 平台的 $IC_2 = 0.108\ 8/0.014\ 8 \approx 7.35$; 817 平台的 $IC_3 = 0.098\ 6/0.039\ 1 \approx 2.52$ 。显然, 793 平台蚀变围岩白云母类矿物的结晶度明显高于其他两个平台的样品。结晶度越高表明热液活动的温度越高, 进而可以推测在 793 平台蚀变围岩的采样位置相对而言可能更接近于热液活动中心。综上所述, 将 XRD 和 NIR 两种光谱学分析方法相结合有助于快速准确鉴别蚀变矿物的类型和结晶度, 从而为矿床学研究和找矿勘探提供更加丰富的地质资料。

关键词 多金属矿床; 近红外光谱; X 射线衍射; 断层剖面

中图分类号: P575.4 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2020)02-0610-06

引言

大宝山多金属矿床位于粤北成矿带中心, 为典型的热液成因的金属硫化物矿床, 其具有经济价值的成矿元素包括铜、铁、铅、锌、钨、钼等^[1-3]。矿区内与成矿密切相关的岩浆岩有次英安斑岩和花岗闪长斑岩^[4-5]; 主要的含矿地层为晚古生界的砂岩、页岩和灰岩等^[3, 6]。矿区内发育多种与成矿作用相关的蚀变类型。构造断层普遍发育为蚀变和矿化热

液提供运移的通道, 也可在成矿后进行改造。通过研究断层剖面相关的断层泥、裂隙填充的含矿脉体和蚀变围岩中的矿物组成, 有利于分析蚀变作用、矿化作用和构造作用三者的关系, 指导矿床学研究。新型学科如纳米科学和光谱学在地质学中的应用, 往往能优化和补充许多传统地质对矿物研究的不足^[7]。而近红外光谱分析(NIR)作为一种矿物光谱学研究的新型方法对层状硅酸盐、碳酸盐和硫酸盐等蚀变矿物的研究有着简捷、快速的优势^[8-10]。将近红外光谱分析(NIR)与 X 射线衍射(XRD)相结合用以提高矿物识别的准确率, 进

收稿日期: 2018-12-28, 修订日期: 2019-04-30

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0600602)资助

作者简介: 王国强, 1990 年生, 中山大学地球科学与工程学院博士研究生 e-mail: 1010819804@qq.com

* 通讯联系人 e-mail: eescjj@mail.sysu.edu.cn

而获取到更为丰富可靠的地质信息。

1 实验部分

1.1 样品采集

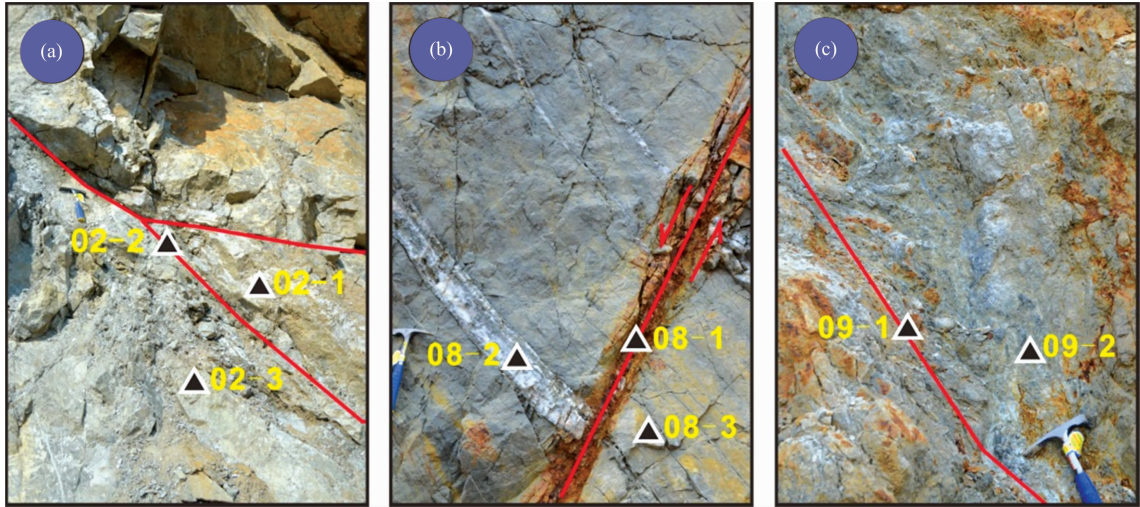


图 1 采样位置图片

(a): 637 平台; (b): 793 平台; (c): 817 平台

Fig. 1 Pictures of the sampling sites

(a): 637 Platform; (b): 793 Platform; (c): 817 Platform

表 1 样品信息

Table 1 Description of the samples

样品号	类型	高程/m	纬度/(°)	经度/(°)
02-1	含矿脉体	637	N24.567 631	E113.717 592
02-2	断层泥	637	N24.567 631	E113.717 592
02-3	蚀变围岩	637	N24.567 631	E113.717 592
08-1	断层泥	793	N24.560 012	E113.714 555
08-2	含矿脉体	793	N24.560 012	E113.714 555
08-3	蚀变围岩	793	N24.560 012	E113.714 555
09-1	断层泥	817	N24.561 550	E113.712 883
09-2	蚀变围岩	817	N24.561 550	E113.712 883

1.2 测试方法

XRD 测试在中山大学实验教学中心进行, 仪器型号 TD-3500 型 XRD 衍射仪, 测试使用铜靶, 管压和管流: 30 kV/20 mA; 步宽: 0.02; 扫描范围: 10°~80°。MID Jade 6.5 软

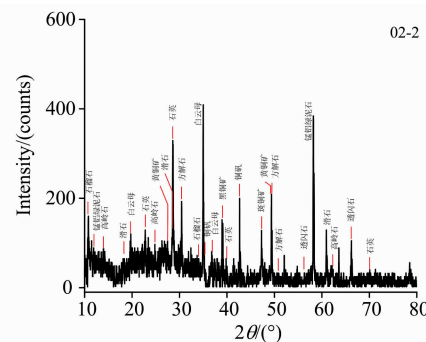
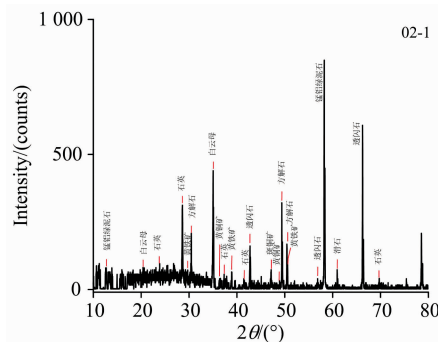
件进行图谱物相分析。NIR 测试在华南农业大学测试中心进行, 仪器为 VERTEX70 红外光谱仪, 波长范围: 780~2 500 nm, 分辨率: 8 cm⁻¹, 波数精度优于 0.01 cm⁻¹, 扫描次数: 64 次。

2 结果与讨论

2.1 XRD 图谱分析

结合矿区地质背景, 对比 PDF 卡片, 对所有样品的 XRD 图谱进行了分析(图 2)。

637 平台样品中, 含矿脉体(02-1)和蚀变围岩(02-3)样品均含有石英、白云母、方解石、透闪石等矿物, 而含矿脉体样品含有多种金属硫化物矿物, 包括黄铁矿和黄铜矿等。而断层泥(02-2)样品除包含上述两种样品的矿物外还有铜矾、黑铜矿等金属氧化物。



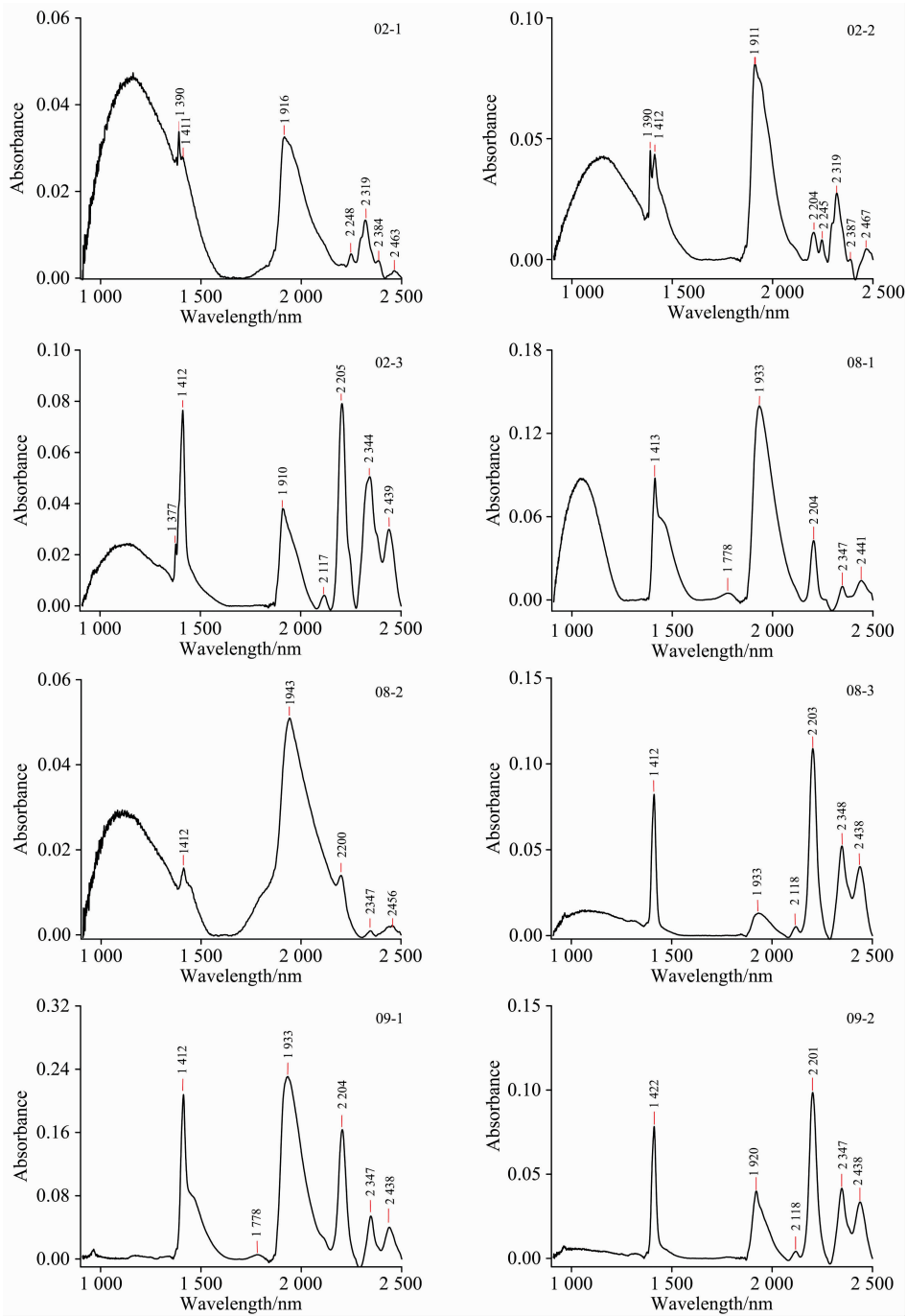


图 3 样品的近红外光谱

Fig. 3 Near infrared spectrum of each sample

一致, 另有 NH_4^+ 的特征峰(2 118 nm), 指示可能存在水铍长石^[16]。

817 平台样品中断层泥样品 09-1 图谱中识别出白云母类矿物、碳酸盐和钾明矾石等矿物。而在蚀变围岩样品 09-3 中则主要为白云母类矿物、碳酸盐和长石类矿物。

2.3 地质意义探讨

通过对比 XRD 和 NIR 图谱的分析, 并结合矿区地质背景, 对三个断层剖面中所识别出的矿物进行了总结。主要类

型包含: (1) 黄铁绢英岩化矿物组合: 石英、白云母(绢云母为白云母的一种亚类, 根据野外地质观察该矿区主要以绢云母形式存在)、黄铁矿和黄铜矿等; (2) 矽卡岩化矿物组合: 透闪石、阳起石和石榴石等; (3) 青磐岩化矿物组合: 绿泥石、碳酸盐和黄铁矿等; (4) 金属氧化物和硫酸盐矿物: 黑铜矿、铜矾、钾铁矾和钾明矾石等; (5) 粘土矿物: 伊利石、蒙脱石、高岭石和滑石等。

其中, 在蚀变围岩(样品 02-3, 08-3, 09-2)中主要有矽卡

岩化矿物、绢云母化等蚀变矿物,而方解石、石英等可能来源于沉积岩原岩(灰岩和砂页岩)和热液蚀变包括硅化、碳酸盐化作用。含矿脉体(样品 02-1 和 08-2)中主要为黄铁绢英岩化矿物组合、矽卡岩化矿物组合。这些蚀变类型与矿化有着密切的联系。断层剖面的样品中多种蚀变矿物组合指示多种蚀变类型的叠加。断层泥样品(02-2, 08-1 和 09-1)中有蚀变围岩和含矿脉体的矿物成分,此外,还有次生过程(氧化和风化作用)形成的金属氧化物、硫酸盐矿物和粘土矿物等。

在近红外光谱图中,白云母类矿物(包括白云母、伊利石等)的结晶度高反映形成温度高,而形成温度越高表明其距离热液活动中心越近^[17-18]。据上所述可知断层泥中的矿物发生了不同程度的风化作用。蚀变围岩中样品更能反映热液活动形成的白云母矿物的结晶度情况。对三个剖面蚀变围岩样品 02-3, 08-3, 09-2 中的结晶度参数($IC = A1 - OH(2\ 200\ \text{nm})$ 吸收峰强度/ $H_2O(1\ 900\ \text{nm})$ 吸收峰强度)进行了计算^[17]。样品 02-3 中 $IC_1 = 0.078\ 71/0.037\ 76 \approx 2.08$; 样品 08-3 中 $IC_2 = 0.108\ 8/0.014\ 8 \approx 7.35$; 样品 09-2 中 $IC_3 =$

$0.098\ 6/0.039\ 1 \approx 2.52$ 。793 平台样品 08-3 的结晶度明显高于其他两个样品。进而,可以推测其可能更接近于热液活动中心。

3 结 论

(1)通过综合分析 XRD 和 NIR 图谱,在三个断层剖面的断层泥、含矿脉体和蚀变围岩鉴别出了黄铁绢英岩化矿物组合、矽卡岩化矿物组合、青磐岩化矿物组合等。表明矿区的岩石经历了多种蚀变作用的叠加作用。

(2)断层泥样品中包含蚀变围岩和含矿脉体的矿物成分,以及金属氧化物、硫酸盐矿物和粘土矿物等,指示了断层作用为岩石的物理和化学风化过程提供了有利条件。

(3)XRD 和 NIR 分析相结合可以提高蚀变类型的鉴别准确度,以及分析矿物结晶度(白云母类矿物)推测矿区内热液活动情况,为矿床学研究和找矿勘探提供更为丰富的地质资料。

References

- [1] MAO Wei, LI Xiao-feng, YANG Fu-chu(毛 伟, 李晓峰, 杨富初). Acta Petrologica Sinica(岩石学报), 2013, 29(12): 4104.
- [2] ZHANG Xiong(张 熊). World Non-ferrous Metals(世界有色金属), 2017, (9): 139.
- [3] YING Li-juan(应立娟). Earth Science Frontiers(地学前缘), 2017, 24(5): 31.
- [4] HE Guo-chao, ZHANG Jian, WU Jing, et al(何国朝, 张 健, 伍 静, 等). Geotectonica et Metallogenia(大地构造与成矿学), 2016, 40(1): 136.
- [5] ZHAO Ming-ming, PAN Hui-bin, JING Guo-qing, et al(赵明明, 潘会彬, 景国庆, 等). Sichuan Nonferrous Metals(四川有色金属), 2017, 2: 39.
- [6] TAN Zhi-jun, SHAN Ye-hua, LIANG Xin-quan, et al(谭志军, 单业华, 梁新权, 等). Science Technology and Engineering(科学技术与工程), 2017, 17(4): 1.
- [7] ZHANG Zhi-kui(张志奎). Mineral Resources and Geology(矿产与地质), 2014, 28(5): 636.
- [8] Cheng S, Cao J, Li Y, et al. Ore Geology Reviews, 2018, 95: 382.
- [9] Hu G, Cao J, Jiang T, et al. Ore Geology Reviews, 2018, 99: 151.
- [10] Jerry Workman, Jr Lois Weyer. Practical Guide to Interpretive Near-Infrared Spectroscopy(近红外光谱解析实用指南). Translated by CHU Xiao-li, XU Yu-peng, TIAN Gao-you(褚小立, 许育鹏, 田高友, 译). Beijing: Chemical Industry Press(北京: 化学工业出版社), 2009. 10.
- [11] XIU Lian-cun, ZHENG Zhi-zhong, YU Zheng-kui, et al(修连存, 郑志忠, 俞正奎, 等). Acta Geologica Sinica(地质学报), 2007, 81(11): 1584.
- [12] LIU Yan-de, XIONG Song-sheng, LIU De-li(刘燕德, 熊松盛, 刘德力). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2014, 34(10): 2639.
- [13] ZHANG Shu-jing, DEJI Zhuo-ga, QIN Huan, et al(张姝婧, 德吉卓嘎, 覃 欢, 等). China Nonmetallic Minerals Industry(中国非金属矿工业导刊), 2018(2): 1.
- [14] LIAN Chang-yun, ZHANG Ge, YUAN Chun-hua, et al(连长云, 章 革, 元春华, 等). Geology in China(中国地质), 2005, 32(3): 483.
- [15] WANG Jin-rong, LÜ Xin-biao, HUANG Zhao-qiang, et al(王锦荣, 吕新彪, 黄照强, 等). Geology and Exploration(地质与勘探), 2017, 53(1): 141.
- [16] Dai S, Xie P, David F et al. International Journal of Coal Geology, 2017, 195: 347.
- [17] Duba D, Williams J. Economic Geology, 1983, 78: 1350.
- [18] XU Qing-sheng, GUO Jian, XU Yang, et al(徐庆生, 郭 健, 徐 阳, 等). Geology and Exploration(地质与勘探), 2011, 47(1): 107.

XRD and NIR Analysis on Minerals of Fault Sections from Dabaoshan Polymetallic Deposit, Guangdong

WANG Guo-qiang^{1, 2, 3, 4}, CAO Jian-jin^{1, 2, 3, 4*}, DENG Yong-kang^{1, 2, 3, 4}, LIU Xiang^{1, 2, 3, 4}

1. School of Earth Sciences and Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China

2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Mineral Resources & Geological Processes, Guangzhou 510275, China

3. Guangdong Provincial Key Lab of Geodynamics and Geohazards, Guangzhou 510275, China

4. Southern Laboratory of Ocean Science and Engineering, Zhuhai 519082, China

Abstract The Dabaoshan polymetallic deposit is a typical metal-sulfide deposit, and the metallogenic elements of economic value include copper, iron, lead, zinc, tungsten, molybdenum, etc. Mineralization of the deposit is closely related to magmatic and metamorphic hydrothermal alteration. Faults widely developed in the mining area provide the pathway of hydrothermal ore-forming solution migrating and the available ore-forming space. Moreover, faults can transform ore bodies after mineralization. In this study, 8 samples were collected from three fault sections in Dabaoshan Polymetallic Deposit, and the sample types include fault gouges, ore-bearing veins and altered wall-rocks. Then, all the samples were comprehensively analyzed by XRD analysis method and NIR analysis method. Variety of altered mineral assemblages were identified by spectral analysis, include beresitization (quartz, sericite, pyrite and chalcopyrite, etc), skarnization (Diorite, actinolite, garnet, etc) and propylitization (chlorite, carbonate, pyrite, etc). The altered mineral assemblages indicate that the rocks in mining area had undergone a variety of alteration types. In the fault gouges samples, we can identify minerals of altered wall rock and ore-bearing veins, as well as, the oxidation and weathering products such as metal oxides, sulfates (tenorite, antlerite, krausite and kalunite) and clay minerals (illite, montmorillonite, kaolinite and talc, etc). The oxidation and weathering minerals in the gouges indicate that the faulting provides favorable conditions for the physical and chemical weathering of rocks. In addition, the crystallinity parameters of dolomite minerals ($IC = \text{peak intensity of Al-OH (2 200 nm)} / \text{peak intensity of H}_2\text{O (900 nm)}$) were calculated based on Near infrared spectrum of altered surrounding rocks in three fault sections. In altered wall rock samples, 637 Platform: $IC_1 = 0.078 71 / 0.037 76 \approx 2.08$; 793 Platform: $IC_2 = 0.108 8 / 0.014 8 \approx 7.35$; 817 Platform: $IC_3 = 0.098 6 / 0.039 1 \approx 2.52$. Obviously, the crystallinity of the altered surrounding rock of Platform 793 is significantly higher than the other two platforms. The higher crystallinity means the higher temperature of hydrothermal activity. Therefore, it can be speculated that the sampling location of altered rocks on the Platform 793 may be closer to the hydrothermal activity center. In conclusion, the combination of XRD and NIR spectroscopy analysis methods is helpful for the identification of alteration types and the analysis of mineral crystallinity, which will provide more abundant geological information for the study and the exploration of mineral deposits.

Keywords Polymetallic deposit; Near infrared spectroscopy; X-ray diffraction; Fault sections

(Received Dec. 28, 2018; accepted Apr. 30, 2019)

* Corresponding author