

Research on Reflectance Spectroscopy of Wall Rocks in Gongchangling Iron Deposit and Their Significance for Exploration

Yuzeng Yao, Pengyu Li, Xiaoying Wang

School of Resource and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang Liaoning
Email: yaoyuzeng@mail.neu.edu.cn

Received: Mar. 29th, 2016; accepted: Apr. 18th, 2016; published: Apr. 21st, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

The rich ore bodies occurred in Gongchangling iron deposit are the few industrial rich iron resources in China, and there are strong chloritization around the rich ore bodies. The reflectance spectroscopy of wall-rocks was measured by ASD Fieldpec3 and the characteristic features at wavelength around 2250 nm and 2340 nm were extracted. The results indicate that the spectroscopic absorption features are well in accordance with wall-rock alteration intensity, which is helpful to the further exploration of rich iron ore.

Keywords

Rich Iron Ore, Wall-Rock Alteration, Chlorite, Gongchangling Iron Ore Deposit

弓长岭富铁矿围岩反射光谱特征及其指示意义浅析

姚玉增, 李鹏宇, 王肖营

东北大学资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳
Email: yaoyuzeng@mail.neu.edu.cn

收稿日期: 2016年3月29日; 录用日期: 2016年4月18日; 发布日期: 2016年4月21日

摘要

弓长岭铁矿内产出的富铁矿体是我国为数不多的、可工业利用的富铁资源之一，富铁矿体周围发育有强烈的绿泥石化蚀变。本文采用ASD FieldSpec 3地物光谱仪对距富铁矿体不同位置蚀变围岩进行反射光谱测量，并提取2250 nm和2340 nm处光谱吸收特征，结果表明上述光谱吸收特征可以很好地表征富铁矿体围岩的蚀变强度。该研究对今后本区富铁矿的勘查具有一定的指导意义。

关键词

富铁矿，围岩蚀变，绿泥石，弓长岭铁矿

1. 引言

沉积变质型铁矿是世界上最重要的铁矿床工业类型，其储量占世界探明铁矿资源的60%以上，我国情况基本类似，占探明储量的50%以上[1]。该类型矿床在我国辽宁省鞍山—本溪地区最为典型，故而亦称为“鞍山式铁矿”。

我国沉积变质型铁矿资源虽然丰富，但高品位富铁矿严重匮乏，其中具有工业意义的以辽阳弓长岭铁矿二矿区富铁矿最为典型，因此前人从成矿地质特征[2] [3]、流体包裹体[4] [5]、同位素特征[6] [7]、矿物学特征[8] [9]、成矿实验[10]、富铁成矿机制[11]、微量及稀土元素特征[12]等方面对弓长岭富铁矿成因进行了深入研究，对于寻找“弓长岭”型富铁矿具有较好的指导意义。

弓长岭富铁矿体周围均发育有以绿泥石为主的围岩蚀变，蚀变岩石呈脉状、似层状或皮壳状依附于富铁矿体周围，围岩蚀变强度与富铁矿体的规模呈正相关关系，即围岩蚀变越强烈则富铁矿厚度大且品位高[13]；对绿泥石岩的成因矿物学研究表明，绿泥石含铁系数可很好地表征富铁矿化的规模与强度[9]。本文在详细野外工作基础上，选取代表性蚀变围岩样品进行了反射光谱测量并提取了特征反射光谱信息，结果表明短波红外反射光谱2250 nm附近和2340 nm附近的吸收光谱特征亦可很好地表征绿泥石蚀变特征，该方法为矿区下一步富铁矿勘探提供了一种新的手段。

2. 弓长岭铁矿成矿地质背景

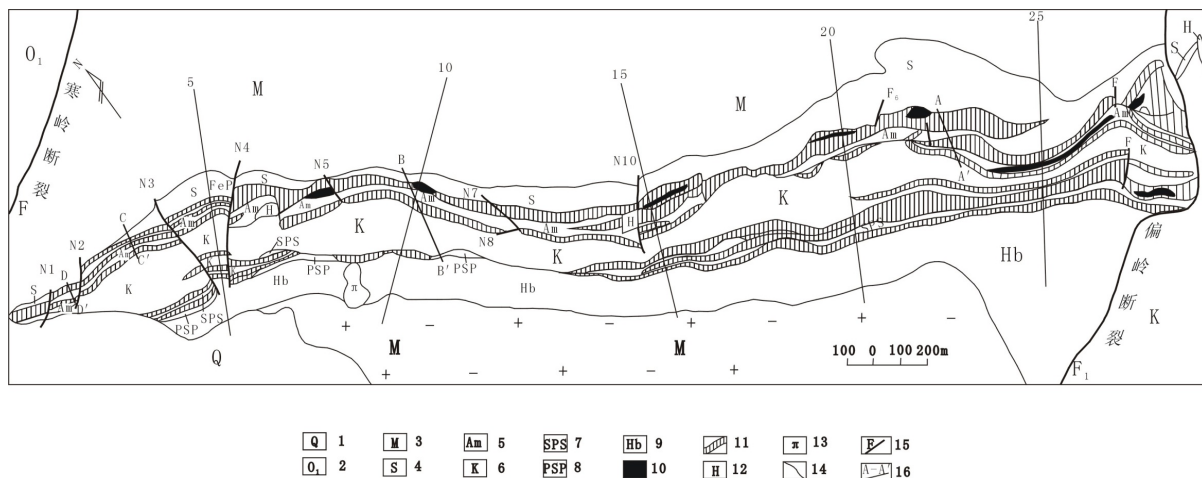
弓长岭铁矿区大地构造位置位于鞍山凸起东部[13]。矿区内出露地层主要为太古宙鞍山群茨沟组，岩性以斜长角闪岩、黑云变粒岩、片麻岩及磁(赤)铁石英岩为主，是主要含矿层位；矿区内构造发育，褶皱构造以弓长岭背斜为主，而断裂构造则以寒岭断裂和偏岭断裂横向断层为主，另存在系列较老的走向断层，与富铁矿体形成关系较为密切；矿区内岩浆岩主要为混合花岗岩，分布面积广，老地层呈“捕掳体”形式分布于混合花岗岩体中，另有少量伟晶岩及基性侵入岩脉。

3. 弓长岭铁矿富铁矿体特征

本矿区贫铁矿体主要赋存在上、下两个含铁带之中。上含铁带包括 Fe_4 、 Fe_5 和 Fe_6 ；下含铁带包括 Fe_1 和 Fe_2 ，以及含铁带之间的黑云斜长变粒岩带中夹有 Fe_3 ；其中规模最大的矿层为 Fe_6 ，其它顺次为 Fe_2 、 Fe_4 、 Fe_1 、 Fe_5 和 Fe_3 （见图1）。

矿区内共有138个富铁矿体，其中较大的有三个，主要分布在 Fe_6 中，其次是在硅质层中。

第一富矿体(RI)：位于西北区和中央区的 Fe_6 中，为本区最大的富矿体，占富矿总储量的一半以上，矿体沿走向长2.8 km，纵向延伸很大，出露标高为0~100 m，深部一般在-900 m标高以下，厚2~30 m；



1—第四系；2—下奥陶系；3—上下混合岩；4—硅质岩层；5—斜长角闪岩层；6—黑云变粒岩(K层)；7—钠长角闪岩、绿泥角闪片岩；8—绿泥云母片岩、绿泥角闪片岩；9—底部角闪岩；10—磁铁富矿；11—条带状磁铁石英岩；12—绿泥石石榴岩、绿泥片岩；13—长英岩脉；14—地质界线；15—实测及推测断层；16—采样剖面

Figure 1. Geology map of No. 2 ore district, Gongchangling Iron Deposit (After Zhou Shitai, 1994)

图 1. 弓长岭铁矿二矿区地质平面图(据周世泰, 1994)

矿体呈似层状，与贫矿层的产状一致，内部有小的磁铁石英岩体及蚀变岩的夹层。本次研究中蚀变围岩即采集于该富铁矿体周围。

第二富矿体(RII)：位于中央区的 Fe_6 中，为本区第二大富矿体，储量占富矿总储量的 14.5%；矿体沿走向长 1.5 km，向上尖灭，深部可达 -100 m，矿体上小下大、上薄下厚，厚 5~30 m；矿体呈似层状，与贫矿层的产状一致。

第三富矿体(RIII)：位于中央区 Fe_4 之中，矿体沿走向长 0.7 km，矿体出露最高标高为 -200~-380 m，厚 3~26 m；矿体产状与所在的 Fe_4 相同。

此外，在东南区的 Fe_6 中，有多个小富铁矿体，分布于 19~28 线，最低见矿标高在 -530 m，矿体沿走向长 120~290 m，延深 150~535 m，矿体厚度变化较大(2~15 m)。

4. 样品采集及 SWIR 测量

前人研究表明，弓长岭富铁矿周围围岩蚀变主要有石榴石化、镁铁闪石化、绿泥石化、碳酸盐化、黑云母化、十字石化、黄铁矿化等，其中绿泥石化、镁铁闪石化和铁铝石榴石化最为发育，本文即以富铁矿周围最为发育的绿泥石化围岩为研究重点。

在规模最大的富铁矿(RI)项底板、富矿近矿围岩、富矿远矿围岩及富铁矿体外围围岩中系统采集蚀变围岩共计 13 块，按照距离矿体远近进行编号；室内磨制薄片并鉴定，结果表明采集样品中主要矿物为绿泥石和石英，其它矿物含量较少(图 2)。

样品测量采用美国 ASD 公司的便携式地物光谱仪(FIELDSPEC 3)，其主要的技术参数为：光谱范围 350~2500 nm；光谱分辨率：3 nm@350~1000 nm，7 nm@1000~2500 nm；采样间隔：1.4 nm@350~1000 nm，2 nm@1000~2500 nm；数据间隔：1 nm；波长精度： ± 1 nm；重复性：优于 0.3%。

测试过程中为了最大程度地消除大气的影 响，采用高密度探头室内接触式测量；测量样品为经简单预处理的块样，每块样品至少测量六个点，以其均值作为最终测量结果，以保证采集数据的代表性；每个点光谱采集次数为 10 次，尽可能提高光谱数据的信噪比；保存采集的光谱数据便于后续数据处理；测量结果见图 3。

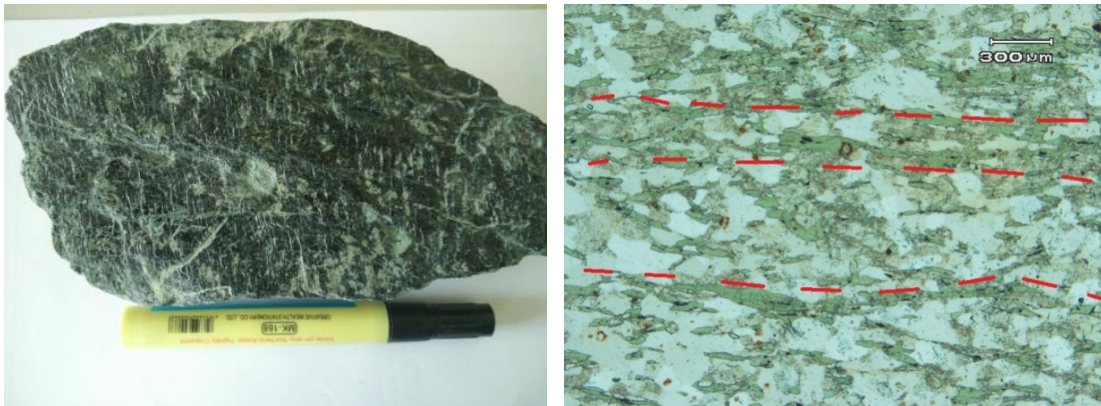


Figure 2. Characteristics of chlorites on the periphery of Gongchangling rich iron ore deposit
图 2. 弓长岭富铁矿体外围绿泥岩特征

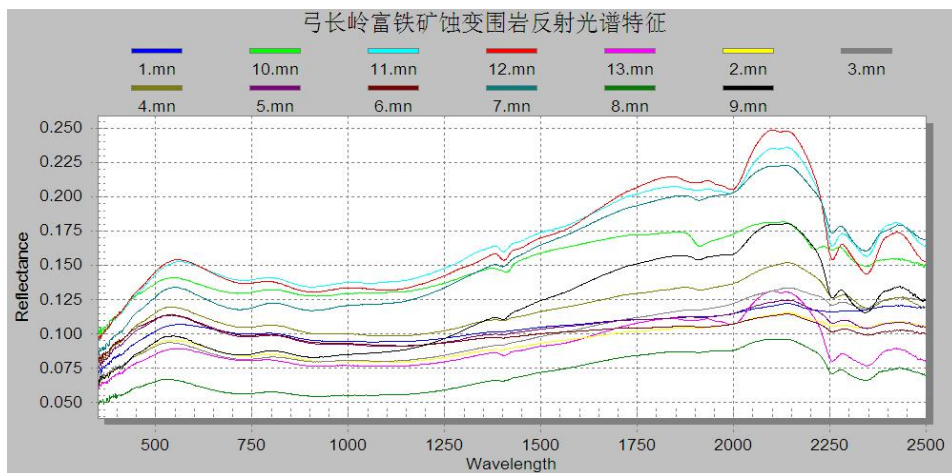


Figure 3. Reflectance spectral map of wall-rocks in Gongchangling rich iron ore deposit
图 3. 弓长岭富铁矿围岩反射光谱测量结果图

5. 光谱数据处理及结果讨论

5.1. 数据处理

光谱数据处理包括数据预处理和光谱特征参数提取两个部分。数据预处理采用美国 ASD 公司的 VIEWSPEC PRO 来进行，主要包括拼缝处理、均值化、连续统去除等，将每个样品采集的多个光谱数据取平均值以增强测量数据的代表性；光谱特征参数提取采用国际光谱公司(SII)的 SPECWIN 软件进行，在连续统去除的反射光谱曲线上提取 2250 nm、2340 nm 附近光谱吸收深度，结果见表 1。

一般地，1400 nm、1900 nm 附近的吸收光谱指示的是 OH⁻和 H₂O 的吸收特征，而 2200 nm、2250 nm 和 2340 nm 附近的吸收光谱指示的是 Al-OH、Fe-OH 和 Mg-OH 键的吸收特征[14]；短波红外反射光谱方法已成功应用于浅成低温热液、VMS 型及侵入体相关矿床的围岩蚀变研究中[15]，甚至可用于追溯流体运移通道[16] [17]；但在古老的沉积变质型矿床的围岩蚀变研究中应用较少，本文即以反射光谱方法研究弓长岭富铁矿蚀变围岩特征，并探讨反射光谱特征对“弓长岭型”富铁矿成因及找矿的指示意义。

5.2. 结果讨论

前人研究表明，富铁矿体强蚀变围岩中绿泥石的含铁系数对富铁矿具有良好的指示意义[9]，含铁系

数 f 与矿体品位间呈正相关；对样品中绿泥石的电子探针分析结果表明，绿泥石含铁系数介于 49.3~56.3 之间，相差不大且其空间分布并不明显[18]。

绿泥石成分复杂，矿物内元素类质同象现象广泛，相互之间的代替比例变化大，因此矿物属种亦多[19]。同族矿物间的变化主要与八面体位置的 Mg、Fe、Al 等元素含量变化有关。

矿物反射光谱在 2250 nm 附近和 2340 nm 附近表现出来的吸收特征应该是 Fe-OH 键和 Mg-OH 键的谐波，因此反射光谱吸收特征与全岩分析中的 Fe 和 Mg 元素之间相关性可能并不好，本次研究也证实了这一点；基于二者均含 OH⁻，且绿泥石是较为典型的铁镁硅酸盐矿物，二者吸收特征可能与围岩蚀变强度或成矿作用之间具内在联系。利用表 1 数据绘制二维散点图，结果见图 4。

由图 4 可以看出，不同样品 Fe-OH 键和 Mg-OH 键的反射光谱吸收深度的规律性还是很明显的，表现为距离矿体越近则吸收深度越小，在图 4 上表现为距离原点较近，相应地绿泥石化程度越高；反之，距离矿体越远则吸收深度越大，在图 4 上表现为距离原点越远，相应地绿泥石化程度越低。鉴于不同围岩在 2200 nm 和 2340 nm 附近的吸收波长位置变化极小，上述吸收特征的规律性变化应该不是由绿泥石种类(镁绿泥石或铁绿泥石)变化引起，而应与蚀变温度/水岩比或者说蚀变强度密切相关。引起这种变化的岩石学/矿物学的证据尚需今后进一步工作来证实。

Table 1. Spectral parameters from Gongchangling rich iron ore deposit

表 1. 弓长岭富铁矿光谱特征参数提取结果表

编号	取样位置	2250 nm (Fe-OH) 吸收深度	2340 nm (Mg-OH) 吸收深度	编号	取样位置	2250 nm (Fe-OH) 吸收深度	2340 nm (Mg-OH) 吸收深度
1		485	379	8		1063	1048
2	富矿体顶板	660	633	9	富矿近矿围岩	880	818
3		760	811	10		765	668
4		1472	1502	11		2143	1763
5	富矿远矿围岩	1794	1688	12	富矿外围围岩	2621	2156
6		2042	1913	13		2255	1994
7		563	818				

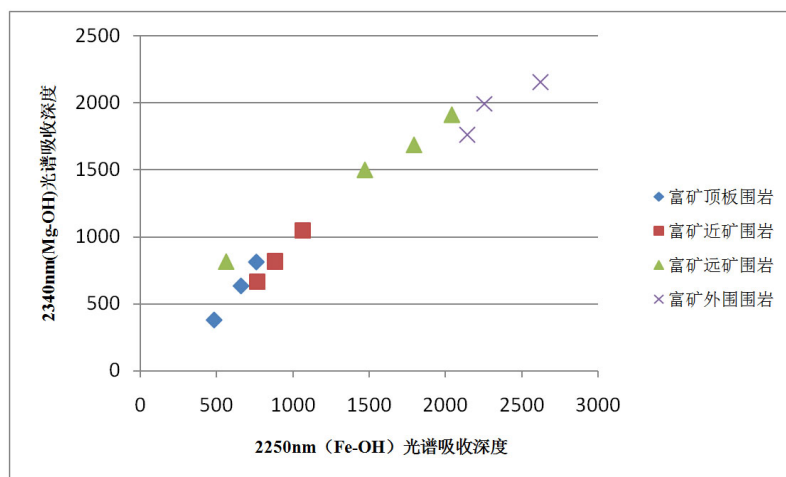


Figure 4. Scatter diagram of reflectance spectral parameters from Gongchangling rich iron ore deposit

图 4. 弓长岭富铁矿围岩反射光谱特征参数散点图

6. 结论

- 1) 弓长岭富铁矿体周围均发育有明显的绿泥石化蚀变, 蚀变的强度与富矿体规模及品位基本呈正比。
- 2) 按距弓长岭富铁矿体不同距离系统采集蚀变围岩并进行反射光谱测量, 结果表明 2250 nm 和 2340 nm 附近的吸收深度可以很好地表征绿泥石化蚀变强度, 具体表现为距离富铁矿体越近则吸收深度越小, 而距离越大则吸收深度越大; 该规律对富铁矿成因研究及下一步找矿具有一定的指导意义。
- 3) 综合研究认为, 不同空间位置绿泥石化围岩的吸收强度不同可能与温度及水岩比有关, 反射光谱吸收特征可以很好地表征富铁矿体的围岩蚀变强度。

致 谢

感谢东北大学王恩德教授、付建飞博士、夏建明博士在样品采集中给予的帮助; 感谢朱元初硕士在光谱测量及数据处理过程中给予的帮助。

基金项目

东北大学第九批大学生创新项目资助(编号: 150026)。

参考文献 (References)

- [1] 赵一鸣, 吴良士, 白鸽, 等. 中国主要金属矿床成矿规律[M]. 北京: 地质出版社, 2004.
- [2] 程裕淇. 中国东北辽宁山东省前震旦纪鞍山式条带状铁矿中的富矿成因问题[J]. 地质学报, 1957, 37(2): 153-180.
- [3] 关广岳. 论变质作用在鞍山式铁矿床富矿形成上的意义[J]. 地质学报, 1961, 41(1): 65-76.
- [4] 施继锡, 李本超. 根据鞍本地区包裹体研究试论弓长岭磁铁富矿的成因[J]. 地球化学, 1980(1): 43-53.
- [5] 赵斌, 李统锦. 鞍山弓长岭富铁矿床的形成机制和物理化学条件研究[J]. 地球化学, 1980(4): 333-344.
- [6] 刘军, 靳淑韵. 辽宁弓长岭铁矿磁铁富矿的成因研究[J]. 现代地质, 2010, 24(1): 80-88.
- [7] 陈江峰, 杨延龄, 李平, 等. 辽宁鞍山 - 本溪地区富磁铁矿床硫同位素地质研究[J]. 地质与勘探, 1985, 21(1): 32-37.
- [8] 任英忱. 鞍本地区铁的氧化矿物特征及富铁矿的成因[J]. 矿物学报, 1982(4): 245-248.
- [9] 陈光远, 黎美华, 汪雪芳, 等. 弓长岭铁矿成因矿物学专辑[J]. 岩石矿物, 1984(2): 1-266.
- [10] 赵斌, 王声远, 李统锦. 混合花岗岩的成因及其与铁矿关系的实验研究[J]. 地球化学, 1979(3): 211-223.
- [11] 刘洪波. 鞍山式富铁矿的成矿自催化与互催化作用[J]. 东北大学学报(自然科学版), 1995, 16(1): 11-15.
- [12] Wang, E.D., Xia, J.M., Fu, J.F., *et al.* (2014) Formation Mechanism of Gongchangling High-Grade Magnetite Deposit Hosted in Archean BIF, Anshan-Benxi Area, Northeastern China. *Ore Geology Reviews*, **57**, 308-321. <http://dx.doi.org/10.1016/j.oregeorev.2013.09.013>
- [13] 周世泰. 鞍山 - 本溪地区条带状铁矿地质[M]. 北京: 地质出版社, 1994.
- [14] Clark, R.N. (1999) Spectroscopy of Rocks and Minerals, and Principal of Spectroscopy. In: Rencz, A.N., Ed., *Manual of Remote Sensing*, Vol. 3, Remote Sensing for the Earth Science, Wiley, New York, 3-58.
- [15] Thompson, A.J.B., Hauff, P.L. and Robitaille, A.J. (1999) Alteration Mapping in Exploration: Application of Short-Wave Infrared (SWIR) Spectroscopy. *SEG Newsletter*, **39**, 16-27.
- [16] van Ruitenbeek, F.J.A., Cudahy, T. and Hale, M. (2005) Tracing Fluid Pathways in Fossil Hydrothermal Systems with Near-Infrared Spectroscopy. *Geology*, **33**, 597-600. <http://dx.doi.org/10.1130/G21375.1>
- [17] Hally, S., Diles, J.H. and Tosdal, R.M. (2015) Footprints: Hydrothermal Alteration and Geochemical Dispersion around Porphyry Copper Deposits. *SEG Newsletter*, **100**, 11-17.
- [18] 张建民. 弓长岭 BIF 型富铁矿绿泥石成因矿物学研究[D]: [硕士学位论文]. 沈阳: 东北大学, 2015.
- [19] 潘兆樽. 结晶学与矿物学(下册)[M]. 北京: 地质出版社, 1985.