

品位对鞍山式铁矿反射光谱特征的影响研究

王 东, 刘善军*, 毛亚纯, 李恒宇, 祁玉馨

东北大学资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110819

摘 要 矿物与岩石的可见光-近红外光谱特性与内在理化特性紧密相关, 岩矿反射光谱的决定因素是其成分及含量。为明确鞍山式铁矿反射光谱与铁品位之间的关系, 采用 SVC HR-1024 便携式地物光谱仪对不同品位的鞍山式铁矿进行光谱测试, 分析铁品位对试样反射光谱的影响规律, 明确试样铁品位与反射光谱相关性较显著的敏感波段, 并基于此建立铁品位定量反演模型。结果表明, 铁品位对赤铁矿、磁铁矿反射光谱的影响规律不尽一致, 赤铁矿铁品位的变化不仅会影响试样反射光谱的高低, 还会影响试样反射光谱的形态; 而磁铁矿铁品位的变化不会影响试样反射光谱的形态, 仅会对试样反射光谱的高低产生影响。赤铁矿铁品位在不同的波段处对试样反射光谱影响规律不尽一致, 在 350~1 000 nm 波段, 试样反射率大小对铁品位反应敏感, 该波段光谱反射率与赤铁矿铁品位呈现显著线性负相关关系; 在 1 000~1 250 nm 波段, 反射光谱的斜率对铁品位反应敏感, 二者呈现显著线性正相关关系; 而在 1 250~2 500 nm 波段, 试样反射光谱受铁品位影响较微弱。对磁铁矿铁品位与其反射光谱之间的关系进行定量分析, 发现铁品位与反射率呈现显著指数函数负相关关系, 且这种关系在 350~2 500 nm 波段近乎一致。然后, 基于铁品位与赤铁矿、磁铁矿试样反射光谱之间的定量关系, 分别建立了赤铁矿、磁铁矿铁品位定量反演模型, 并对模型进行了验证。结果表明, 模型预测的铁品位绝对误差均小于 1%, 结果比较理想。该研究揭示了鞍山式铁矿品位对反射光谱的影响规律, 并建立了铁品位定量反演模型, 为应用光谱分析技术进行铁品位的定量反演提供了新方法。

关键词 鞍山式铁矿; 铁品位; 可见光-近红外光谱; 定量反演

中图分类号: P237 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2020)10-3193-06

引 言

光谱分析技术是 20 世纪 80 年代新兴的一种定量分析技术, 其与传统方法相比具有快速、无损、便携等优点, 因此, 被广泛应用于岩矿分析与矿物加工等领域^[1-3]。国内外学者对多种矿物与岩石的光谱特性及产生原因进行了深入研究, 结果表明, 矿物与岩石的光谱特性与内在理化特性紧密相关, 试样光谱的差异主要是成分与含量不同引起的, 依据谱带特征能够实现矿物、岩石的分类识别与定量反演^[4-6]。Feng 等通过应用 X 射线光电子能谱分析技术进行菱铁矿实验样品的化学组成及其成分含量的确定, 取得了较理想的结果^[7-8]。鞍山式铁矿, 国际上称之为条带状铁建造 (banded iron formations, BIF), 在全球广泛分布, 占世界铁矿资源总储量的 60%, 鞍山式铁矿也是我国最重要的铁矿类型, 占全国铁矿资源总储量 55.2%, 居于全国首位^[9]。因此, 国内外

学者对鞍山式铁矿的反射光谱与其成分及含量之间的关系进行了大量的研究。Timothy 发现试样反射光谱最小值的位置与其针铁矿的含量符合非常显著的抛物线关系, 随着试样中针铁矿含量的增高, 反射光谱最小值位置逐渐向长波方向移动^[10]。Geraldo 基于铁矿反射光谱建立了试样矿物成分的多元回归模型, 对试样中的多种矿物成分进行了定量反演, 取得了较理想的结果^[11]。Mao 等通过对铁矿和围岩的反射光谱进行对比分析, 建立了矿石和围岩的分类识别模型, 然后基于 Landsat 8 数据进行了矿体提取, 模型精度达到了 85%^[12]。胥燕辉等通过对磁铁矿石的岩芯进行光谱分析, 发现铁矿石中铁含量与 850~900 nm 的反射率均值呈现显著指数函数负相关关系, 并基于此建立了铁含量反演模型, 模型误差为 5.5%^[13]。前期研究通过对鞍山式铁矿的反射光谱进行分析, 发现铁矿石中的磁性率与其反射光谱相关性显著, 基于试样反射光谱建立了磁性率的定量反演模型, 模型误差为 3.8%, 结果较理想^[14]。

收稿日期: 2019-10-01, 修订日期: 2020-03-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(41771404, 71790614)资助

作者简介: 王 东, 1991 年生, 东北大学资源与土木工程学院博士研究生 e-mail: 15032925070@163.com

* 通讯联系人 e-mail: liusjdr@126.com

上述研究表明鞍山式铁矿反射光谱与其成分及含量关系密切,依据试样反射光谱可以对试样成分及其含量进行有效的定量反演。鞍山式铁矿的矿石类型主要为赤铁矿和磁铁矿,此二种矿石在实际中既可以混合赋存,又可以单独赋存,但是前述研究均认为二者是混合赋存状态,未对二者单独赋存状态进行系统研究与分析建模,影响了定量反演模型的精度。本文针对粉末状赤铁矿、磁铁矿单独赋存情况,利用实验方法分析铁品位对试样反射光谱特征的影响规律,分别建立赤铁矿、磁铁矿的铁品位定量反演模型,为矿山铁品位测试提供了新方法,从而为实现矿山精准开采奠定了基础。

1 实验部分

1.1 样品制备

辽宁省鞍山-本溪地区是我国最主要的鞍山式铁矿床富集区,该地区铁矿储量约占全国铁矿资源总储量的 20%,居全国首位,且易于开采,具有极大的工业价值。本文以辽宁省鞍钢集团下属的鞍千矿作为实验区展开研究,于实验区露天采场的不同地点采集块状赤铁矿、磁铁矿等典型实验样品若干。对块状实验样品进行破碎、研磨、过筛等加工处理,以备后续实验需要。

鞍山式铁矿的铁矿石种类主要为赤铁矿和磁铁矿,其中赤铁矿多为贫铁矿,铁品位多低于 35%,其余成分为石英,杂质成分含量极少;而磁铁矿铁品位含量较高,磁铁矿的铁品位最高达到了 60%,其余成分为石英,杂质成分含量极少。因此,本研究以赤铁矿、磁铁矿的实际赋存铁品位为依据,进行不同铁品位的实验样品设计。如表 1 所示,赤铁矿按照铁品位设计了 30%,25%,20%,15%和 10%五个等级的铁品位,磁铁矿按照铁品位设计了 60%,50%,40%,30%和 20%五个等级的铁品位。

表 1 试样铁品位设计表
Table 1 The grade of samples

矿石类型	样品编号	铁品位/%
赤铁矿	赤铁矿 1	30
	赤铁矿 2	25
	赤铁矿 3	20
	赤铁矿 4	15
	赤铁矿 5	10
磁铁矿	磁铁矿 1	60
	磁铁矿 2	50
	磁铁矿 3	40
	磁铁矿 4	30
	磁铁矿 5	20

按照上述设计进行实验样品的制备,为保证颗粒度、粗糙度、表面形态等变异因素的一致性,首先对颗粒状赤铁矿、磁铁矿与石英进行过筛处理,然后统一选择过 200 目筛的赤铁矿、磁铁矿与石英进行试样的配置。采用 HLD-6002 (精度=0.01 g)电子天平对试样称重,然后将赤铁矿和石英

按照一定质量比例进行配比并混合均匀,制备出铁品位为 10%,15%,20%,25%和 30%,5 个品位等级的赤铁矿实验样品;将磁铁矿和石英按照一定质量比例进行配比并混合均匀,制备出铁品位为 20%,30%,40%,50%和 60%,5 个品位等级的磁铁矿实验样品。然后将制备好的粉末状实验样品放进圆形的黑色样品盒中保存,如图 1 所示。图 1 中第一排为赤铁矿实验样品,由左至右,赤铁矿铁品位逐渐增加,分别为 10%,15%,20%,25%和 30%,由图可知,随着铁品位的增加,赤铁矿实验样品颜色逐渐由浅色变成樱红色。第二排为磁铁矿实验样品,由左至右,磁铁矿铁品位逐渐增加,分别为 20%,30%,40%,50%和 60%,随着铁品位增加,磁铁矿实验样品颜色逐渐加深,由浅色变成黑色。



图 1 不同铁品位的实验样品
Fig. 1 Samples of different grades

1.2 光谱测试

采用 SVC HR-1024 便携式地物光谱仪对制备好的实验样品进行可见光-近红外光谱测试。为减弱外界环境的影响,本实验选择在室内条件下,以卤素灯作为唯一光源进行光谱测试。测试前以标准白板为背景进行定标,测试过程中,每 10 min 进行一次白板定标,获取实验样品绝对反射率。为了减弱样品表面形态的影响,每个试样测三次光谱曲线,剔除有明显偏差的曲线,以样品光谱曲线的平均值作为试样的反射率,通过上述步骤可以最大程度减弱其他因素的干扰,获取可靠的光谱曲线。

2 品位对试样反射光谱的影响分析

2.1 品位对赤铁矿反射光谱的影响分析

由于赤铁矿和磁铁矿试样的反射光谱具有显著差异,而且铁品位对二种铁矿石反射光谱的影响规律也不尽一致,因此对二种铁矿石试样的反射光谱分别进行分析研究。首先分析赤铁矿试样的反射光谱,图 2 为不同铁品位赤铁矿实验样品的反射光谱曲线,由图可知,实验样品反射率光谱曲线随铁品位不同呈规律性变化:

(1)在 350~1 000 nm 波段,随着铁品位的升高,试样光谱的反射率依次降低,而且光谱形态也发生了一定的改变。当赤铁矿试样铁品位为 10%时,试样在该波段的反射光谱曲线比较平缓,铁离子的光谱特征几乎没有体现,随着试样铁品位的升高,铁离子的光谱特征越来越显著。由于 Fe^{3+} 吸收波长较短的能量,其反射光谱曲线在蓝紫波段较低,在红光波段较高,因此赤铁矿反射光谱于 750 nm 形成一个显著的

波峰；而且 Fe^{3+} 的电子从 ${}^6\text{A}_{1g}$ 跃迁到 ${}^4\text{T}_{1g}$ ，在 880 nm 形成一个较强的吸收谱带，呈现显著的波谷特征。随着试样铁品位的升高，赤铁矿反射光谱在 750 nm 的波峰特征和 880 nm 的波谷特征越来越显著。

(2) 在 1 000~1 250 nm 波段，试样铁品位的变化主要影响该波段反射光谱的斜率，试样铁品位为 10% 时，光谱曲线比较平缓，斜率较小，随着铁品位的升高，斜率逐渐增大。

(3) 在 1 250~1 900 nm 波段，随着赤铁矿铁品位的升高，试样光谱的反射率亦依次降低，但降低幅度相对 350~1 000 nm 波段较小，不同铁品位的光谱差别不明显，而且铁离子在该波段无明显光谱特征，光谱曲线近似一条直线，表明此波段受铁品位影响较小。

(4) 在 1 900~2 500 nm 波段，可能是受到外界环境干扰，该波段光谱曲线多交叉重叠，无较明显的变化规律。

由上述分析可知，赤铁矿铁品位的变化对试样反射光谱有较显著的影响，但是在不同的波段处影响规律不尽一致。在 350~1 000 nm 波段，赤铁矿铁品位对反射光谱有显著影响，试样反射率大小对铁品位反应敏感，即随着试样铁品位的增高，试样光谱反射率逐渐降低；在 1 000~1 250 nm 波段，反射光谱的斜率对铁品位比较敏感，即随着试样铁品位的增高，反射光谱的斜率逐渐增高，光谱趋势发生明显变化；而在 1 250~1 900 nm 波段，试样反射光谱受铁品位影响较微弱。

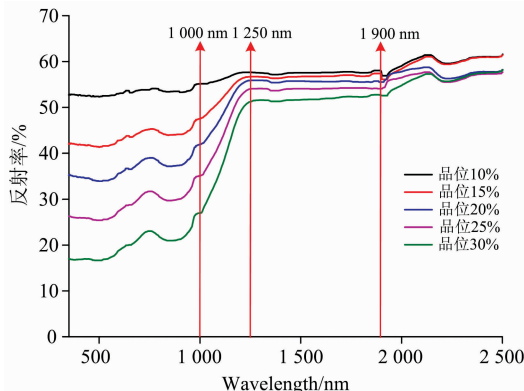


图 2 不同品位赤铁矿试样反射光谱曲线
Fig. 2 The reflectance spectrums of hematite samples with different grades

为深入了解铁品位对赤铁矿反射光谱的影响，进行了试样铁品位与其反射光谱之间的定量分析。

(1) 线性相关性分析

从图 2 看出，随着试样铁品位的升高，光谱的反射率总体上逐渐降低，利用线性相关性分析光谱反射率与铁品位之间的定量关系，用“线性相关系数”和“单位品位反射率变幅”两个指标进行刻画。图 3 为试样光谱反射率与赤铁矿铁品位的线性相关性分析结果。由图可知，试样在 350~1 900 nm 波段光谱反射率与试样铁品位相关性较好，线性相关系数在 $-0.95 \sim -0.99$ 之间，相关性非常显著；1 900~2 500 nm 波段，线性相关系数波动较大，相对于 350~1 900 nm 波段线性相关性较差。为了更好地评价品位对试样光谱的影响，

定义了“单位品位反射率变幅”指标。图 4 为不同铁品位赤铁矿在 350~2 500 nm 波段单位品位反射率变幅分析结果，由图可知，在 350~1 000 nm 波段单位品位反射率变幅较大，试样光谱受铁品位影响较显著；1 000~1 250 nm 波段单位品位反射率变幅呈现快速下降的趋势，在 1 250 nm 后下降速度明显减缓，1 250 nm 是拐点；1 250~2 500 nm 波段试样单位品位反射率变幅很小，表明该波段反射光谱受品位影响微弱。

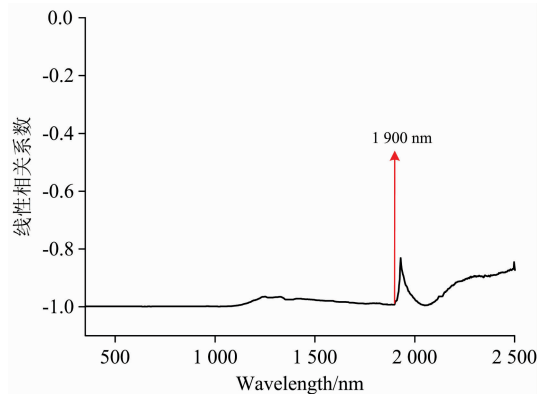


图 3 赤铁矿光谱反射率与品位的线性相关性分析图
Fig. 3 The linear correlation analysis of reflectivity and the grades of hematite

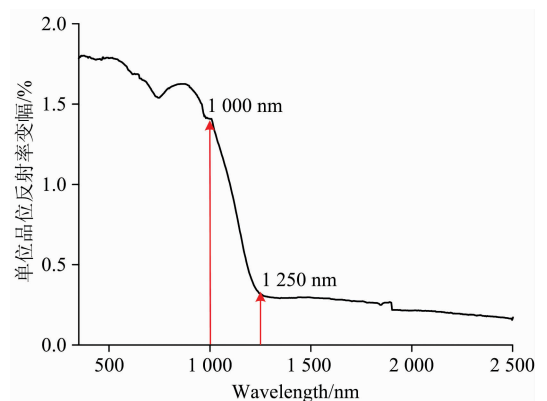


图 4 不同品位赤铁矿试样在 350~2 500 nm 波段的单位品位反射率变幅

Fig. 4 The reflectivity variation of per unit grade of hematite with different grades in 350~2 500 nm band

综合分析上述两个指标，最终确定两个指标均显著的波段交集为 350~1 000 nm，以此做为赤铁矿试样反射光谱对铁品位的敏感波段。在该波段，试样光谱反射率与铁品位呈现显著线性负相关关系，二者线性相关系数达到 -0.99 、单位品位反射率变幅达到 1.4 以上，赤铁矿反射光谱受铁品位影响显著。

(2) 斜率定量分析

从图 2 看出，在 1 000~1 250 nm 波段，随着试样铁品位的升高，该波段斜率逐渐增大，因此对 1 000~1 250 nm 波段反射光谱斜率与铁品位之间的关系进行分析。图 5 为赤

铁矿试样在 1 000~1 250 nm 波段反射光谱的斜率与铁品位的线性拟合图, 由图可知, 当试样铁品位由 10% 增加到 30% 时, 试样反射光谱的斜率由 $0.10 \mu\text{m}^{-1}$ 增加到了 $0.96 \mu\text{m}^{-1}$, 斜率增加了 $0.86 \mu\text{m}^{-1}$, 该波段反射光谱的斜率与铁品位呈现显著线性正相关关系, 线性相关系数为 0.99。

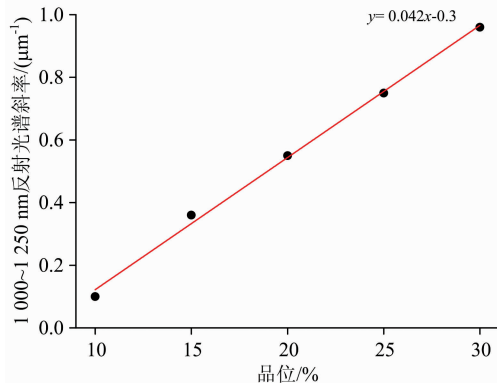


图 5 1 000~1 250 nm 波段反射光谱的斜率与赤铁矿品位线性拟合图

Fig. 5 The linear fitting map of the slope in 1 000~1 250 nm and hematite grade

2.2 品位对磁铁矿反射光谱的影响分析

图 6 为不同品位磁铁矿试样的反射光谱曲线, 从图 6 看出:

(1) 不同品位磁铁矿, 其反射光谱曲线的形态和趋势无明显变化, 均近似一条直线, 无明显光谱特征, 表明试样铁品位不会影响光谱的趋势和形态, 且其对试样 350~2 500 nm 波段反射光谱的影响整体一致, 无较显著的敏感波段。

(2) 随着磁铁矿铁品位的升高, 试样反射光谱曲线急剧下降, 表明试样铁品位对试样反射光谱的高低具有较大影响。

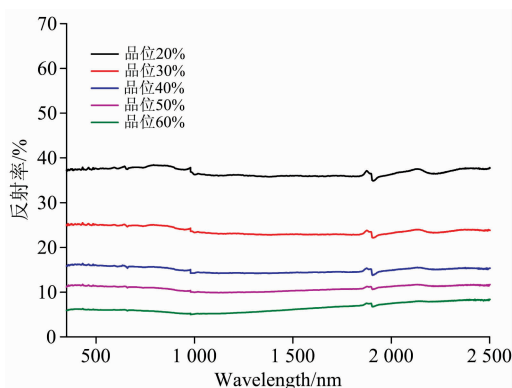


图 6 不同品位的磁铁矿样品反射光谱曲线

Fig. 6 The reflectance spectrums of magnetite samples with different grades

为深入了解铁品位对磁铁矿光谱的影响, 进行了磁铁矿铁品位与反射率间的定量分析。由于磁铁矿铁品位对 350~2 500 nm 波段反射光谱的影响基本一致, 因此本文选取 350~2 500 nm 波段的反射率均值与铁品位进行拟合分析,

结果如图 7 所示。由图 7 可知, 350~2 500 nm 波段反射率均值与铁品位呈现显著指数函数负相关关系, 其残差平方和为 0.43%, 拟合优度为 0.99, 当磁铁矿铁品位由 20% 增至 60%, 试样铁品位增加 1% 时, 试样反射率降低 0.75%。

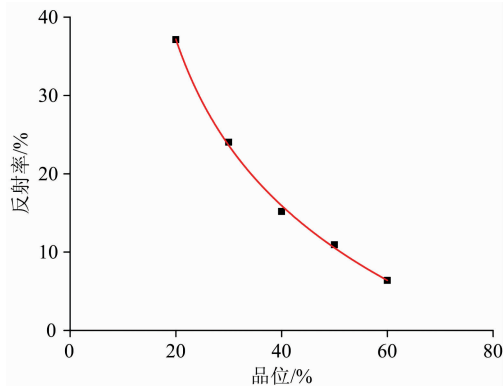


图 7 350~2 500 nm 反射率均值与磁铁矿品位拟合图

Fig. 7 The fitting map of the mean value of 350~2 500 nm reflectivity and magnetite grade

3 模型建立与检验

3.1 模型建立

由前述分析可知, 铁品位对赤铁矿和磁铁矿反射光谱的影响规律不尽一致, 因此需要对赤铁矿、磁铁矿分开进行分析与建模。

(1) 赤铁矿铁品位定量反演模型

由 2.1 节分析表明, 赤铁矿试样在 350~1 000 nm 波段光谱反射率与铁品位呈显著的线性负相关关系; 同时, 在 1 000~1 250 nm 波段光谱曲线斜率与铁品位呈显著的线性正相关关系。因此, 可以应用上述关系建立赤铁矿铁品位的定量反演模型。目前, 国产高分 1、2 卫星数据是众学者常用的遥感数据, 其中 450~900 nm 是全色波段, 可选用该波段建立铁品位定量反演模型, 结果如式(1)

$$y_1 = -0.63x_1 + 41.6 \quad (1)$$

式(1)中: x_1 为试样 450~900 nm 反射率均值, %, y_1 为试样铁品位, %。

同样, 利用 1 000~1 250 nm 波段光谱曲线斜率与铁品位之间的线性关系, 建立赤铁矿铁品位定量反演模型, 如式(2)

$$y_2 = 23.6x_2 + 7.2 \quad (2)$$

式(2)中: x_2 为试样 1 000~1 250 nm 波段光谱曲线斜率, μm^{-1} ; y_2 为试样铁品位, %。

(2) 磁铁矿铁品位定量反演模型

由 2.2 节分析可知, 磁铁矿铁品位对试样 350~2 500 nm 波段反射光谱的影响基本一致, 且磁铁矿铁品位与 350~2 500 nm 波段反射率均值呈现显著的指数函数负相关关系, 基于此建立磁铁矿铁品位定量反演模型, 如式(3)

$$b = 72.4e^{-0.04a} \quad (3)$$

式(3)中: a 为试样 350~2 500 nm 波段反射率均值, %; b 为试样铁品位, %。

3.2 模型检验

为验证模型的准确性,按照 1.1 节所述的步骤和方法,制备了铁品位分别为 12.5%, 17.5%, 22.5% 和 27.5% 的赤铁矿实验样品和铁品位分别为 25%, 35%, 45% 和 55% 的磁铁矿实验样品。对实验样品进行可见光-近红外光谱测试,基于实验样品反射光谱曲线应用式(1)和式(2)对赤铁矿实验样品的铁品位进行定量反演,并与铁品位实测值进行对比分析,结果如表 2 所示;基于实验样品反射光谱曲线应用式(3)对磁铁矿实验样品的铁品位进行定量反演,并与铁品位实测值进行对比分析,结果如表 3 所示。由表 2 和表 3 可知,应用式(1)反演的赤铁矿铁品位与实测的铁品位误差为 0.7%,应用式(2)反演的赤铁矿铁品位与实测铁品位误差为 0.58%,应用式(3)反演的磁铁矿铁品位与实测铁品位误差为 0.87%,所有模型的预测误差均小于 1%。

胥燕辉建立的磁铁石英岩型铁矿岩芯品位预测模型的误差为 5.5%,汪云建立的磁性铁回归分析预测模型的误差为 2%,而本文所建立的铁品位定量反演模型误差小于 1%,模型精度有一定提高,结果较理想,该模型对鞍山式铁矿铁品位的确定具有重要的指导意义与参考价值。

表 2 赤铁矿反演铁品位与实测铁品位对比表

Table 2 The comparison of inversed grade and measured grade of hematite

样品号	实测铁品位/%	式(1)		式(2)	
		反演铁品位/%	误差/%	反演铁品位/%	误差/%
赤铁矿 1	12.5	13.47	0.97	12.95	0.45
赤铁矿 2	17.5	18.30	0.80	18.56	1.06
赤铁矿 3	22.5	22.98	0.48	22.91	0.41
赤铁矿 4	27.5	26.95	-0.55	27.92	0.42

表 3 磁铁矿反演铁品位与实测铁品位对比表

Table 3 The comparison of inversed grade and measured grade of magnetite

样品号	实测铁品位/%	反演铁品位/%	误差/%
赤铁矿	25	23.49	-1.51
赤铁矿 2	35	36.48	1.48
赤铁矿 3	45	45.46	0.46
赤铁矿 4	55	54.97	-0.03

4 结论

通过对不同铁品位赤铁矿、磁铁矿进行可见-近红外光谱测试,分析了铁品位对试样反射光谱的影响规律,并基于此建立了铁品位的定量反演模型,具体结论如下:

(1)铁品位对赤铁矿和磁铁矿的反射光谱有显著影响,但是对二者的影响规律不尽一致。赤铁矿铁品位的变化不仅会影响试样反射光谱的强弱,还会影响试样反射光谱的形态;磁铁矿铁品位的变化不会影响试样反射光谱的形态,仅会对试样反射光谱的强弱产生影响,且在整个波段影响关系基本一致。

(2)赤铁矿在 350~1 000 nm 波段反射率大小与铁品位呈显著线性负相关关系,在 1 000~1 250 nm 波段反射光谱斜率与铁品位呈显著线性正相关关系,基于此建立了赤铁矿铁品位定量反演模型;磁铁矿在 350~2 500 nm 波段反射率均值与铁品位呈现显著指数函数负相关关系,基于此建立了磁铁矿铁品位定量反演模型。验证结果表明,上述所建模型的预测误差均小于 1%,为矿山铁品位测试提供了新方法。

致谢:感谢辽宁省鞍钢集团鞍千矿业有限责任公司为本研究提供实验样品及对本研究的支持与合作。

References

- [1] Walid S, Mourtada E A, Reinhard G. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 2015, 136(5): 1816.
- [2] ZHANG Suo-xu(张所续). China Mining Magazine(中国矿业), 2010, 19(10): 1.
- [3] Longhi I, Sgavetti M, Chiari R, et al. International Journal of Remote Sensing, 2001, 22(18): 3763.
- [4] Salem S M, Gammal E. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, 2015, 18(2): 195.
- [5] Hecker C, Mark M, Meer F, et al. Earth Science Reviews, 2010, 103(1): 60.
- [6] Mao Y C, Ma B D, Liu S J, et al. Canadian Journal of Remote Sensing, 2014, 40(5): 327.
- [7] Feng Q C, Wen S M, Bai X, et al. Minerals Engineering, 2019, 137: 1.
- [8] Zhao W J, Liu D W, Feng Q C, et al. Minerals Engineering, 2019, 141: (105846).
- [9] WANG Rui-jiang, WANG Yi-tian, WANG Gao-shang, et al(王瑞江, 王义天, 王高尚, 等). Geological Bulletin of China(地质通报), 2008, 27(1): 154.
- [10] Townsend T E. Journal of Geophysical Research, 1987, 92(B2): 1441.
- [11] Geraldo M D, Vidal B, Mendonca F, et al. Minerals Engineering, 2009, 22(14): 1245.
- [12] Mao Y C, Wang D, Liu S J, et al. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 2019, 47(06): 1051.
- [13] XUN Yan-hui, TIAN Qing-jiu(胥燕辉, 田庆久). Remote Sensing for Land & Resources(国土资源遥感), 2005, (3): 70.
- [14] WANG Yun, LIU Lei, YANG Chang-bin, et al(汪云, 刘蕾, 杨昌彬, 等). Shandong Land and Resources(山东国土资源), 2013, 29(1): 25.

Effect of Grade on Reflectance Spectra of Anshan Iron Mine

WANG Dong, LIU Shan-jun* , MAO Ya-chun, LI Heng-yu, QI Yu-xin

School of Resources and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China

Abstract The visible-near infrared spectra of minerals and rocks are closely related to their intrinsic physicochemical properties. The determinants of the reflectance spectra are the composition and the content. The study is focused on the relationship between reflectance spectrum and the grade of Anshan iron mine. The visible-near infrared spectrum of Anshan iron mine with different grade was obtained by SVC HR-1024. The influence of grade on reflectance spectra was analyzed. The sensitive band between the grade and the spectra of the samples were determined. The model for predicting grade of experimental samples was established. The results show that, the effects of grade on the spectra of hematite and magnetite are different. The grade of hematite not only affects the reflectance spectra of samples, but also affects the shape of the reflectance spectra of samples. The grade of magnetite does not affect the shape of reflectance spectra of samples. It only affects the reflectance spectra of samples. The influence of hematite grade on reflectance spectra is not uniform at different bands. In 350~1 000 nm band, the reflectivity of samples is sensitive to grade. There is a significant linear negative correlation between reflectance and grade of hematite in this band. In 1 000~1 250 nm band, the slope of reflectance spectrum is sensitive to grade. There is a significant linear positive correlation between them. However, in 1 250~2 500 nm band, the reflectance spectra are slightly affected by grade. The quantitative relationship between the reflectance spectra and the grade of magnetite was analyzed. There is a significant negative correlation between grade and reflectance with the exponential function. The relationship is almost the same in the 350~2 500 nm band. Then, the grade inversion model of hematite and magnetite had been established. We tested and verified the practicality of the model. The error of these models is less than 1%. The prediction results of these models are ideal. In this paper, the influence of grade on reflectance spectra was clarified. The inversion model of the iron grade was established. It provides a new method for determination of iron grade by spectral analysis technology.

Keywords Anshan iron mine; Grade; Visible and near-infrared spectrum; Predict

(Received Oct. 1, 2019; accepted Mar. 6, 2020)

* Corresponding author