

粗糙度对热红外光谱反演铁矿中 SiO₂ 含量影响的实验研究

徐吉坤¹, 李天子^{1, 2*}, 任玉娟¹

1. 河南理工大学测绘与国土信息工程学院, 河南 焦作 454003
2. 东北大学资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110819

摘要 矿物化学成分的精确定对矿产资源开发利用具有重要意义, 利用热红外光谱反演铁矿中 SiO₂ 含量弥补了传统方法耗时等方面的不足。然而铁矿的热红外光谱受表面粗糙度(roughness, R_q)等因素影响, 导致 SiO₂ 含量反演精度降低。现有研究在没有考虑矿石表面粗糙度对成分反演影响的情况下, 利用热红外光谱数据对铁矿石中 SiO₂ 含量进行定量反演, 反演精度对精确圈定矿体范围及配矿难以提供有效帮助。因此, 将粗糙度作为影响反演铁矿中 SiO₂ 含量的考虑因素, 研究对反演 SiO₂ 精度的影响。以辽宁省的“鞍山式”铁矿为研究对象, 为满足热红外光谱观测要求, 将铁矿试样制备成直径 6 cm、厚度 1 cm 的圆柱形块体共 14 块, 按其 SiO₂ 含量多少形成序列。每件试样正反两面制作成两个等级的粗糙度, 并利用 Surtronic S128 粗糙度仪观测表面粗糙度。采用红外光谱辐射计 Turbo FT 观测试样热红外光谱发射率, 利用归一化指数(NDI)分析光谱指数与 SiO₂ 含量的相关性, 确定两个等级粗糙度试样 SiO₂ 含量的敏感波段分别位于 8.12, 8.13 和 8.02, 8.03 μm 处, 相关系数分别为 0.947 和 0.972。建立敏感波段与试样 SiO₂ 含量的定量反演模型, 分析粗糙度对反演 SiO₂ 含量的影响。结果表明:(1)粗糙度 R_q 增加对 RF(reststrahlen features)特征区域光谱发射率增加影响明显。平均粗糙度 R_q 由 1.05 μm 增加到 2.47 μm, 使得同一块试样粗糙面与光滑面发射率的最大差值为 0.17(相对差 42.9%)。(2)相同等级粗糙度进行含量反演时, 反演误差小, 平均相对误差 1.88%, 大部分试样的反演精度能够满足地质矿产行业标准的误差要求。(3)实验结果较不考虑铁矿表面形态反演 SiO₂ 含量精度 3.57% 有较大提高, 相对提高精度为 47.3%。因此, 考虑粗糙度的影响对提高 SiO₂ 含量的反演精度, 实现铁矿的精确区划, 合理、高效的开采铁矿资源具有重要意义。

关键词 铁矿; 热红外光谱; 粗糙度; SiO₂ 含量; 定量反演

中图分类号: O657.3 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2020)07-2153-06

引言

在地质品位客观存在的条件下, 准确确定原矿品位, 降低采选成本, 高效开采矿产资源成为矿山生产的重要工作。利用热红外光谱可以有效反演矿物中化学成分, 为指导矿山进行矿体边界精准区划提供帮助。Wyatt 等^[1]对陆地及火星火山岩的化学成分进行了反演, 将反演矿物与电子探针扫描成像结果进行了对比, 平均标准偏差为 4.8 Vol%。闫柏琨等^[2]利用 ASU 光谱库中矿物样品的发射率及化学分析数据, 使用线性拟合的方法, 建立了 SiO₂ 指数与 SiO₂ 含量之间的关系, 得到相关系数 r 为 0.614 2。刘道飞等^[3]基于 Clementine 热红外数据, 利用回归统计分析对月球表面岩石的

CaO 含量进行反演, 均方根误差为 0.767。Nair 等^[4]对火成岩样品进行研究, 建立实验测得的发射率光谱与组成矿物含量的关系模型, 模型预测的二氧化硅含量误差在 10%~15%。王东等^[5]建立归一化指数(normalized difference index, NDI)与 SiO₂ 含量的关系模型, 反演铁矿中 SiO₂ 含量, 反演平均误差为 3.57%。上述实验结果仍不能对精确圈定矿体范围提供有效帮助。

影响铁矿中 SiO₂ 含量光谱反演精度的因素较多, 其中铁矿石表面粗糙度是影响发射率光谱, 进而影响反演精度的重要因素。一些学者做了大量实验, 验证粗糙度引起的矿物光谱特征变化。Kirkland 等^[6]研究发现由表面粗糙度引起的多次反射, 造成通过不同方式获取的相同岩石光谱对比度存在差异, 最大达到 10%。Osterloo 等^[7]研究表明, 光谱对比

收稿日期: 2019-05-05, 修订日期: 2019-09-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(41871333), 河南省科技攻关项目(182102310844)资助

作者简介: 徐吉坤, 1990 年生, 河南理工大学测绘与国土信息工程学院硕士研究生 e-mail: xjkhpu@163.com

* 通讯联系人 e-mail: litz@hpu.edu.cn

度随着表面粗糙度的增加而减小,且在 整个波段区间的变化不一致,发射率最大变化量约为 0.3。Hardgrove 等^[8]研究了抛光表面和自然表面石英及方解石,结果表明粗糙度对光谱发射率影响较大,最大影响变化为 0.3。Rost 等^[9]对加工得到的三种不同粗糙度的石英砂岩进行热红外光谱研究,发现表面抛光的石英砂岩有较高的光谱对比度。由上述研究可知,岩石表面粗糙度对光谱特征的影响不可忽略。

将粗糙度作为影响反演铁矿中 SiO₂ 含量的重要因素,以辽宁省的“鞍山式”铁矿作为研究对象,制作并选取了 14 块系列 SiO₂ 含量大小的铁矿试样进行实验研究。建立两个等级粗糙度的热红外光谱发射率与 SiO₂ 含量的定量反演模型,研究粗糙度对反演铁矿石中 SiO₂ 含量的影响。旨在提高铁矿区划精度,合理、高效开采铁矿资源。

1 实验部分

1.1 样品采集

我国已探明铁矿储量 680 亿吨,其中鞍钢集团占 13.04%,实验试样采自辽宁省鞍钢集团鞍千矿业有限责任公司露天采场。采集试样类型具有代表性。

采集试样约 2 t,试样采集地点在露天采场中呈空间上均匀分布,满足试样采集的多样性。为满足热红外光谱观测需要,对采集的试样进行钻芯、切割处理,制备成直径为 6 cm,厚度为 1 cm 的圆柱体。

1.2 试样粗糙度制备

为研究粗糙度对热红外光谱反演的影响,按照 Becker 设计的判据^[10]确定粗糙度范围,在热红外光谱波段(8~13 μm),一般粗糙面范围约为 0.48 μm < Rq < 4.78 μm。在此粗糙度范围内,制作两个等级的粗糙度试样,研究粗糙度对光谱反演的影响具有普适性意义。粗糙度制作采用金刚砂(SiC)磨片打磨的方法,通过选择不同粒径金刚砂磨片,将同一块试样两个面打磨成两个等级的粗糙度。

表面粗糙度采用英国泰勒霍普森公司生产的 Surtronic S128 粗糙度仪测量,仪器量程为 100 μm,分辨率 10 nm。

表征粗糙度的参数选用常用的均方根高度 Rq^[7],如式(1)所示

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l y^2(x) dx} \quad (1)$$

式(1)中, l 为取样长度, y 为轮廓偏距。

观测得到 14 块试样,较粗糙表面(简称粗糙面)和较光滑表面(简称光滑面)共 28 个观测表面的均方根高度 Rq 值,其分布如图 1 所示。

试样上、下底面的粗糙度范围分别为: 0.69 μm < Rq < 1.58 μm, 1.92 μm < Rq < 3.16 μm。

1.3 光谱测试

试样的热红外光谱观测采用美国 D&P 公司生产的红外光谱辐射计 Turbo FT,光谱分辨率选用 4 cm⁻¹,光谱测试范围约为 3~16 μm。考虑到大气窗口的影响,实验选取的波段范围为 8~13 μm。光滑面和粗糙面的发射率光谱曲线如

图 2 和图 3 所示。

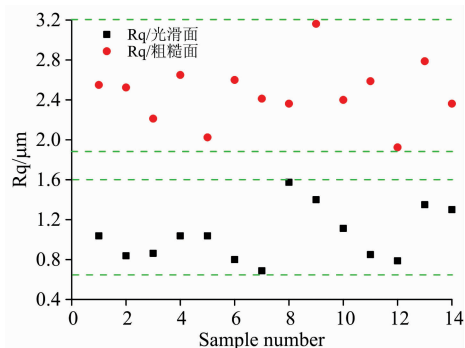


图 1 用 Rq 表示的两个等级的粗糙度分布

Fig. 1 Roughnesses distribution expressed by Rq of two levels

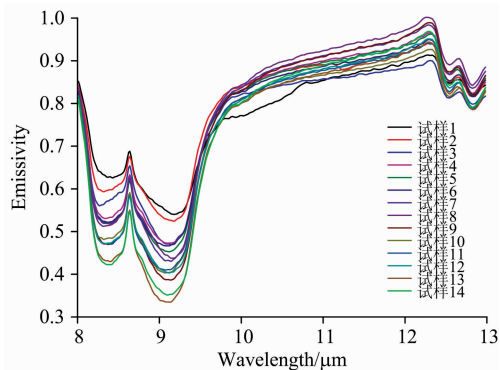


图 2 波长 8~13 μm 试样光滑面的发射率

Fig. 2 The emissivities of smooth surfaces of samples in the wavelength range of 8~13 μm

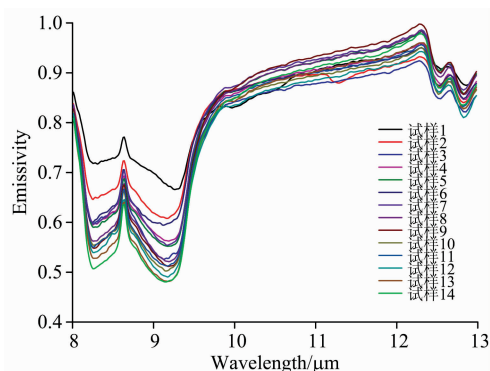


图 3 波长 8~13 μm 试样粗糙面的发射率

Fig. 3 The emissivities of rough surfaces of samples in the wavelength range of 8~13 μm

由图 2 和图 3 可知,试样在 8~10 μm 波段处形成“W”形发射率谷,在 10~13 μm 波段发射率光谱曲线平缓上升至较高点,约在波长 12 μm 处开始下降。

全部实验样品在东北大学化学分析测试中心进行测试,确定每块试样 SiO₂ 含量,结果如表 1 所示,以此为真实含量。

表 1 试样 SiO₂ 含量表
Table 1 The SiO₂ content of samples

试样编号	SiO ₂ 含量/%	试样编号	SiO ₂ 含量/%
1	41.45	8	62.34
2	48.58	9	65.95
3	53.68	10	66.44
4	54.65	11	70.26
5	55.55	12	72.08
6	56.79	13	74.22
7	59.54	14	83.59

2 结果与讨论

2.1 粗糙度对光谱特征影响分析

铁矿的热红外光谱有 3 个典型特征,分别为克里斯琴森特征(Christensen features, CF)、余辉带特征(reststrahlen features, RF)和透射特征(transparency features, TF)。CF 特征是入射光波透过试样发生异常散射所引起的光谱特征,导致此波长处的发射率达到最大值。RF 特征为入射光波在矿物表面出现表散射无法进入矿物内部形成的光谱特征,此特征处发射率曲线呈现波谷形态。TF 特征是与体散射有关的波段特征,当表面粗糙度达到光学薄度时,表散射被削弱,体散射增强,使得在光谱曲线上出现较宽的发射峰值。

为了研究粗糙度对铁矿热红外光谱特征的影响,将同一块试样两个面的发射率,按照粗糙度 R_q 由小到大排列。依次列出 14 块试样光谱 CF, RF 和 TF 特征波段由粗糙度变化引起的发射率变化。发射率在各个特征波段的最大变化量,如表 2 所示。

表 2 光谱特征处发射率随粗糙度最大变化量
Table 2 The maximum change of emissivity with roughness in the feature bands

序号	CF 特征	RF 特征	TF 特征
1	0.001 3	0.138 8	0.061 9
2	0.000 6	0.083 9	0.026 9
3	0.000 3	0.059 3	0.038 3
4	0.000 6	0.098 8	0.028 2
5	0.000 5	0.109 1	0.041 7
6	0.001 3	0.132 2	0.035 4
7	0.000 3	0.132 1	0.035 2
8	0.000 8	0.085 8	0.020 6
9	0.001 9	0.170 0	0.064 8
10	0.000 1	0.140 2	0.042 1
11	0.000 5	0.117 4	0.042 7
12	0.000 2	0.097 5	0.027 1
13	0.000 9	0.158 1	0.051 9
14	0.000 3	0.132 2	0.047 0

对表 2 数据的分析,可以初步得出如下结果:

(1)在 CF 特征区域范围内,粗糙度 R_q 对光谱发射率的影响不明显。同一块试样的粗糙面与光滑面发射率的最大差

值为 0.001 9(相对差 0.2%);最小差值为 0.000 1(相对差 0.01%)。

(2)RF 特征区域范围内,粗糙度 R_q 对光谱发射率存在显著影响。同一块试样的粗糙面与光滑面发射率的最大差值为 0.17(相对差 42.9%);最小差值为 0.059 3(相对差 12.5%)。

(3)在 TF 特征区域范围内,粗糙度 R_q 对光谱发射率存在一定影响。同一块试样的粗糙面与光滑面发射率的最大差值为 0.064 8(相对差 7.6%);最小差值为 0.020 6(相对差 2.4%)。

2.2 粗糙度对反演 SiO₂ 含量影响分析

对试样 SiO₂ 成分光谱反演采用王东等^[5] 优选的归一化指数 NDI 方法,首先,对 SiO₂ 含量敏感波段提取,构建归一化指数 NDI,然后,对两个等级粗糙度试样的 NDI 与 SiO₂ 含量相关性进行分析。NDI 如式(2)所示。

$$NDI = \frac{E_{\lambda_m} - E_{\lambda_n}}{E_{\lambda_m} + E_{\lambda_n}} \quad (2)$$

式中: λ_m 为 m 点对应的波长位置; λ_n 为 n 点对应的波长位置; E_{λ_m} 为 m 点波长对应的发射率值; E_{λ_n} 为 n 点波长对应的发射率值。

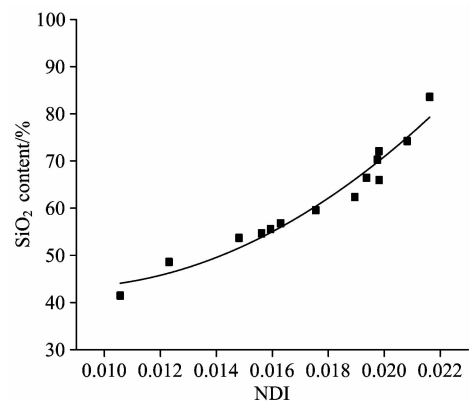


图 4 光滑面 NDI 与 SiO₂ 含量拟合结果
Fig. 4 The fitting result of NDI and SiO₂ content in the smooth surface

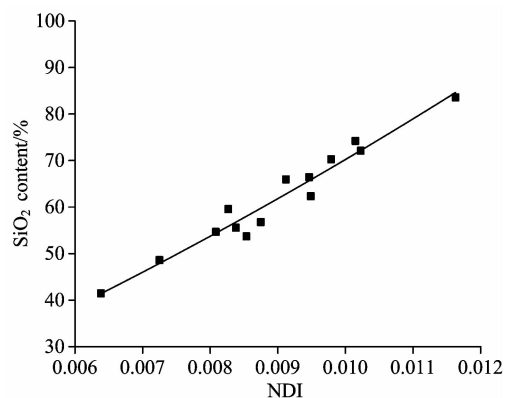


图 5 粗糙面 NDI 与 SiO₂ 含量拟合结果
Fig. 5 The fitting result of NDI and SiO₂ content in the rough surface

利用 MatLab 软件编程,分析了试样 SiO₂ 含量与光谱归一化指数的 Spearman 秩相关系数,从而优选出与试样 SiO₂ 含量相关性最显著的两个波段。得出光滑面光谱指数的 SiO₂ 含量敏感波段位于 8.12 与 8.13 μm 处, Spearman 秩相关系数为 0.947。粗糙面光谱指数的 SiO₂ 含量敏感波段位于 8.02 与 8.03 μm 处, Spearman 秩相关系数为 0.972。NDI 与 SiO₂ 含量的二次多项式拟合结果如图 4 和图 5 所示。

为了研究粗糙度对反演 SiO₂ 含量存在的影响,利用 NDI 建立 SiO₂ 含量定量反演模型^[5],对反演 SiO₂ 含量结果分析,模型如式(4)和式(6)所示。

$$X = \frac{E_{8.12} - E_{8.13}}{E_{8.12} + E_{8.13}} \quad (3)$$

$$Y = 208\ 500X^2 - 3\ 528.6X + 58.09 \quad (4)$$

$$X = \frac{E_{8.02} - E_{8.03}}{E_{8.02} + E_{8.03}} \quad (5)$$

$$Y = 167\ 252X^2 - 5\ 229.1X + 1.198\ 1 \quad (6)$$

式中: $E_{8.12}$ 为 8.12 μm 波长处的发射率值; $E_{8.13}$ 为 8.13 μm

波长处的发射率值; $E_{8.02}$ 为 8.02 μm 波长处的发射率值; $E_{8.03}$ 为 8.03 μm 波长处的发射率值; Y 为实验样品的 SiO₂ 含量。

将实测 SiO₂ 含量作为真值与模型预测值进行对比,结果如表 3 所示。光滑面和粗糙面反演 SiO₂ 含量与实测 SiO₂ 含量的平均相对误差分别为 1.95% 和 1.88%。与王东等^[5]采用相同的实验试样的实验结果具有可比性。较他不考虑粗糙度影响反演的 SiO₂ 含量,平均相对精度提高了 47.3%。

根据行业标准 DZ 0130—1994^[11] 要求,铁矿中 SiO₂ 含量反演误差不大于行业标准的允许误差,各试样反演误差与允许误差对比结果如表 3 所示。

由表 3 可以得出,14 块试样光滑面有 3 块反演误差大于允许误差,超出允许误差约 1.25%~2.19%。粗糙面有 6 块反演误差大于允许误差,超出允许误差约 0.3%~1.59%。由此可知,本实验考虑粗糙度对光谱反演 SiO₂ 影响,反演精度有很大提高(平均相对精度提高 47.3%),已经接近于矿物生产的行业标准要求,但还需进一步提高反演精度。

表 3 SiO₂ 含量反演结果

Table 3 The SiO₂ content inversion result

样品 编号	真实 SiO ₂ 含量/%	允许 误差/%	光滑面			粗糙面		
			反演 SiO ₂ 含量/%	反演误差 /%	是否 超限	反演 SiO ₂ 含量/%	反演误差 /%	是否 超限
1	41.45	3.21	44.09	2.64	否	41.39	0.06	否
2	48.58	2.92	46.25	2.33	否	47.89	0.69	否
3	53.68	2.75	51.57	2.11	否	58.02	4.34	是
4	54.65	2.72	53.84	0.81	否	54.40	0.25	否
5	55.55	2.69	54.82	0.73	否	56.76	1.21	否
6	56.79	2.66	55.96	0.83	否	59.75	2.96	是
7	59.54	2.58	60.40	0.86	否	55.85	3.69	是
8	62.34	2.51	66.10	3.76	是	65.87	3.53	是
9	65.95	2.43	70.05	4.10	是	62.81	3.14	是
10	66.44	2.42	67.96	1.52	否	65.66	0.78	否
11	70.26	2.34	69.77	0.49	否	68.43	1.83	否
12	72.08	2.30	70.02	2.06	否	72.17	0.09	否
13	74.22	2.26	75.01	0.79	否	71.49	2.73	是
14	83.59	2.11	79.29	4.30	是	84.62	1.03	否

粗糙度是引起铁矿石中 SiO₂ 含量反演的误差来源之一,消除或减小粗糙度在反演模型中的影响是提高反演精度的关键。同时, SiO₂ 含量真值的获取也是影响精度评定的重要因素。

(1)粗糙度对发射率光谱影响引起的 SiO₂ 含量反演误差变化。粗糙度增加,试样表面微凸体增多,表散射镜面反射效应减弱,透射率增强,同时前向散射增强^[7]。因此,表面辐射能变大,发射率变大,RF 特征变浅。同时,由于粗糙表面形成类似黑体空腔的多次反射减少了传感器所接收到的光子数量,从而降低了光谱对比度,发射率光谱发生变化。由粗糙度引起的发射率光谱变化,使 SiO₂ 含量反演模型参数变化,引入反演误差。

(2)两个粗糙度等级内部 Rq ^[9] 值离散性引起的反演误差。将粗糙度值划分为两个等级,但等级内部 Rq 值的离散

性并没有考虑,由此引起的光谱发射率变化也没有考虑。在 SiO₂ 含量反演光谱模型中认为是相同粗糙度的发射率光谱,粗糙度参数 Rq 没有参与到反演 SiO₂ 含量的运算模型中,由此引入反演误差。

(3)对试样表面粗糙度刻画不完善造成粗糙度两个粗糙度等级划分不确切,引起反演误差。刻画铁矿石表面粗糙度的参数 Rq 为统计参数,在不确定其表面分布状态的条件下,使用统计参数对表面粗糙度描述并不完善,因此仅仅根据 Rq 值划分两个粗糙度等级,并不十分合理。同时两个粗糙度等级 Rq 较为接近,其差值最小仅为粗糙度范围的 13.8%,容易引起等级划分误差。因此,需要进一步研究描述试样表面形态的模型,对粗糙面的分布状态做完整描述。

(4)铁矿石成分分布离散性引起的 SiO₂ 含量测试误差。对试样化学成分进行测试,需要将试样破碎成粉,将无法再

用于实验研究。实验试样的 SiO_2 成分用试样所在大块铁矿石中相邻部位 SiO_2 成分的化验结果代替。由此将造成由于铁矿石块体中 SiO_2 成分分布的离散性,引起的含量测试误差,即实验结果含量误差评定中认为真值部分的误差,由此引起评定误差。

3 结 论

利用制备的两个等级粗糙度共 14 块铁矿石试样,分析其热红外光谱特征,并将粗糙度作为影响反演 SiO_2 含量的因素进行实验研究,得出以下结论:

(1)粗糙度 R_q 的增加对 RF 特征区域光谱发射率增加影响明显。平均粗糙度 R_q 由 $1.05 \mu\text{m}$ 增加到 $2.47 \mu\text{m}$,使得同

一块试样的粗糙面与光滑面发射率的最大差值为 0.17(相对差 42.9%)。这个差值会对反演铁矿成分带来很大影响,不可忽略。

(2)相同等级粗糙度进行含量反演时,反演误差小,平均相对误差 1.88%,大部分试样的反演精度能够满足地质矿产行业标准的误差要求。

(3)实验结果较不考虑铁矿表面形态反演 SiO_2 含量精度 3.57%有较大提高,精度相对提高 47.3%。

因此,考虑粗糙度的影响对提高 SiO_2 含量的反演精度,实现铁矿的精确区划,合理、高效的开采铁矿资源具有重要意义。

致谢:感谢东北大学刘善军教授、毛亚纯副教授对本工作提出的宝贵意见。

References

- [1] Wyatt M B, Hamilton V E, Jr M S, et al. Journal of Geophysical Research Planets, 2001, 106(E7): 14711.
- [2] YAN Bai-kun, LIU Sheng-wei, WANG Run-sheng, et al(闫柏琨, 刘圣伟, 王润生, 等). Geological Bulletin of China(地质通报), 2006, 25(5): 639.
- [3] LIU Dao-fei, CHEN Sheng-bo, LU Peng(刘道飞, 陈圣波, 路 鹏). Acta Geoscientica Sinica(地球学报), 2015, 36(2): 119.
- [4] Nair A M, Mathew G. Planetary and Space Science, 2017, 140(Jun.): 62.
- [5] WANG Dong, LIU Shan-jun, MAO Ya-chun, et al(王 东, 刘善军, 毛亚纯, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2018, 38(7): 2101.
- [6] Kirkland L E, Herr K C, Adams P M. Journal of Geophysical Research Planets, 2003, 108(108): 343.
- [7] Osterloo M M, Hamilton V E, Anderson F S. Icarus, 2012, 220(2): 404.
- [8] Hardgrove C J, Rogers A D, Glotch T D, et al. Journal of Geophysical Research Planets, 2016, 121(3): 542.
- [9] Rost E, Hecker C, Schodlok M, et al. Minerals, 2018, 8(11): 475.
- [10] Becker F, Ramanantsizehena P, Stoll M P. Appl. Opt., 1985, 24(3): 365.
- [11] DZ 0130—1994. The Specification of Testing Quality Management for Geological Laboratories(地质矿产实验室测试质量管理规范). Beijing: Ministry of Geology and Mineral Resources of the People's Republic of China(北京: 中华人民共和国地质矿产部), 1994. 3.

Experimental Study on the Effect of Roughness on the Inversion of SiO_2 Content in Iron Ore by the Thermal Infrared Spectrum

XU Ji-kun¹, LI Tian-zi^{1, 2*}, REN Yu-juan¹

1. School of Surveying and Mapping Land Information Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, China

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

Abstract The precise determination of mineral chemical composition is significance to the exploitation and utilization of mineral resources, and inversion of SiO_2 content in iron ore by thermal infrared spectrum makes up for the shortcomings of the traditional methods in terms of time-consuming and so on. The thermal infrared spectrum of iron ore, however, is affected by surface roughness and other factors, which results in the decrease of the inversion accuracy of SiO_2 content. The recent study doesn't consider the influence of ore surface roughness on the inversion of ore composition and quantitatively inverted SiO_2 content in iron ore by thermal infrared spectrum. The inversion result can't provide any effective help for precise delineation of ore body range and ore blending. Therefore, this paper aims roughness on the factor to influence the inversion of SiO_2 content in iron ore. Taking the "Anshan-type" iron ore in Liaoning Province as the research object, the samples are made into a total of 14 blocks of cylindrical blocks with a diameter of 6 cm and a thickness of 1 cm, which formed a sequence according to their SiO_2 content. Two levels of roughnesses are made on both sides of each sample, and the surface roughness is observed by using Surtronic S128 roughness meter. The infrared spectroradiometer Turbo FT is used to observe the thermal infrared spectroscopy emissivities of samples. The correlation indexes between the spectral index and SiO_2 content are analyzed by the normalized index (NDI) to de-

termine the sensitive bands of SiO_2 content of two grade roughness samples. Located at 8.12~8.13, 8.02~8.03 μm , the correlation coefficients are 0.947 and 0.972, respectively. A quantitative inversion model of the sensitive band and SiO_2 content is established to analyze the effect of roughness on the inversion of SiO_2 content. The results show that: (1) The increase of roughness R_q has a significant effect on the spectral emissivity of RF (Reststrahlen Features) characteristic regions. The average roughness R_q is increased from 1.05 to 2.47 μm , so that the maximum difference between the rough surface and the smooth surface emissivity of the same sample is 0.17 (relative difference 42.9%). (2) When the same grade roughnesses are used for content inversion, the inversion error is small, and the average absolute error is 1.88%. The inversion accuracy of most samples can meet the error requirements of the geological and mineral industry standards. (3) The experimental results of inversion SiO_2 content accuracy are great higher than the inversion accuracy of 3.57% without considering the iron ore surface morphology, and the relative improvement accuracy is 47.3%. Therefore, considering the influence of roughness is of great significance for improving the inversion accuracy of SiO_2 content, then it is of great significance to realize the precise division of iron ore and mine iron ore resources reasonably and efficiently.

Keywords Iron ore; Thermal infrared spectral; Roughness; SiO_2 content; Quantitative inversion

(Received May 5, 2019; accepted Sep. 13, 2019)

* Corresponding author

(上接 2147 页)

五、会议组织机构

大会组委会人员组成请见如下链接: http://www.sinospectroscopy.org.cn/meeting/extend.php?mid=24&body_id=12

学术委员会人员组成见如下链接: http://www.sinospectroscopy.org.cn/meeting/extend.php?mid=24&body_id=13

有关会议的邀请报告、住房信息、交通路线、稿件编号等信息敬请登录会议主页查询。

六、组委会和会务组联系方式

组委会:

吴兰: 13688385033 Email: wulan@scu.edu.cn

会务组:

注册&住宿: 张亮 15902844473 Email: zhang.liang@scu.edu.cn

报告&论文: 李成辉 18980877825 Email: atcpubs@scu.edu.cn

厂商联络: 王香凤 13520034335 Email: xiangfeng@bnu.edu.cn

七、支持媒体

会议官网: 光谱网(<http://www.sinospectroscopy.org.cn>)

会议各类信息发布以光谱网信息为准。

主办单位:

中国光学学会

中国化学会

中国光学学会光谱专业委员会

承办单位:

四川大学分析测试中心

中国光学学会光谱专业委员会

四川大学分析测试中心

2019年11月18日