

文章编号: 1006-6616 (2007) 04-0376-09

冀东水厂铁矿区地物波谱特征分析

丛楠, 徐刚, 郑达兴, 乔子江, 董法先

(中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081)

摘要: 水厂铁矿经多年大面积、高强度的开挖, 矿区生态环境不断恶化。地物波谱测试结果表明, 植被波谱曲线普遍发生“红边蓝移, 绿峰降低”的效应, 是典型的铁化合物中毒变异的特征。从工业场地到外围, 植被波谱曲线的红边“蓝移”数值有明显变小的趋势, 表明植被铁化合物中毒现象逐渐减轻。矿山典型地物波谱特征测试和分析是确定各类地物特征谱带或诊断性谱带的重要依据, 是矿山生态环境高光谱遥感调查的理论基础。

关键词: 地物波谱特征; 矿山生态环境; 水厂铁矿; 冀东

中图分类号: P631.5

文献标识码: A

自然界的任何物体都具有发射、反射、吸收电磁波的能力, 每个物体都发射和吸收固定波长和频率的电磁波。同类物体具有相同或相似的电磁波谱特性, 不同类物体由于物质组成、内部结构和表面状态的差异, 则具有不同的电磁波谱特性。这种随着波长变化的电磁波谱特性可用波谱曲线来描述, 即地物波谱^[1]。本文以水厂铁矿区及周边的典型植物波谱测试资料为依据, 并与其它地区同类地物波谱曲线进行对比, 试图获取该地区典型地物的特征谱带或诊断性谱带, 从物质的微观物理层面对当地的生态环境状况进行研究与评价。

1 地物波谱库简介

(1) 研究自然环境中各种地物的电磁波辐射特性是遥感技术的一项极重要的基础, 它在发展遥感技术的过程中也是一项必不可少的工作。因此早在 20 世纪 30 年代苏联的克里诺夫就对许多自然物体的光谱反射进行了系统的测量和研究, 他的《自然地物的光谱反射性能》是目前已知最早而且相当系统的专著, 也为这方面的研究开拓了一个领域; 至 90 年代, 国际上的遥感基础研究不断向着深度和广度发展, 美国地质调查局、美国喷气推进实验室和澳大利亚联邦工业科学组织于 1990 年协作开发了具有代表性的标准矿物波谱数据库^[2]。ENVI 专业遥感软件的 Spectral Libraries 中提供了一些公共波谱库, Jet Propulsion Laboratory (JPL) 建立的波谱库包括从 400~2500nm 的 3 种不同粒径的 160 种“纯”矿物的波谱^[3]; 公共领域美国地质勘察波谱库 (USGS) 包括近 500 个优质矿物波谱和几个植被波谱, 范围是 400~2500nm^[4]; Johns Hopkins University (JHU) 的波谱库包含 400~1400nm 的矿物波谱; IGCP264

收稿日期: 2007-10-09

资助项目: 科技部科研院所社会公益研究专项 (编号: 2005DIA3J064) 资助。

作者简介: 丛楠 (1982-), 女, 在读硕士, 从事遥感地质科研工作。

波谱库是1990年作为IGCP项目264的一个部分被收集,它由5个波谱库组成,这些波谱库是通过对26个优质样品应用5个不同的波谱仪测量得到的,植被波谱的波谱库由Chris Elvidge, DRI提供,范围是 $400 \sim 2500\text{nm}^{[5]}$ 。

(2)我国波谱特性研究起步相对较晚,从目前的研究水平和深度看,与国际发展尚有一定距离,对于专业地物典型波谱库还没有一个统一的参考规范,对于地物波谱曲线的背景对比仍有待进行整体的规划。1988年,童庆禧先生等将以前测试的中国典型地物波谱数据汇编成册,共收录了包括173种植物,31种土壤,66种岩石及7种水体等277种中国典型地物波谱特性,完成了《中国典型地物波谱及其特征分析》一书的编辑工作,这是我国较早的一本波谱特性研究的专著^[6]。进入新世纪,由北京师范大学承担,李小文院士领衔的国家863计划信息领域13主题“中国典型地物标准波谱数据库”课题已于2005年10月30日通过专家验收并在一定范围内进入试运行阶段,系统同时处于不断的调试完善过程中。

(3)到目前为止,我国还没有一个成熟公开的地物波谱库,而且同一种物质的波谱数据和波谱曲线需要多套针对不同条件下的波谱数据,才能对区域状况做出整体评价。因此要通过地物波谱数据了解研究区的生态环境状况,需要对当地进行批量的野外实地波谱测试,得到研究区区域整体的地物波谱数据,确定诊断谱带,从而对研究区的生态环境状况做出整体的判断并加以分析总结。

2 研究区概况

水厂铁矿隶属首钢矿业公司,位于河北省迁安市、迁西县境内,矿区占地面积 19.45km^2 。水厂铁矿1969年正式投产,设计矿岩采剥总量为 $4800 \times 10^4\text{t/a}$,采掘矿石能力 $1100 \times 10^4\text{t/a}$,矿石处理能力 $1800 \times 10^4\text{t/a}$,是亚洲特大型露天铁矿之一。经多年开采,现已形成北山露天采场,印子峪、河西、河东排土场,水厂选矿厂,新水、尹庄尾矿库等工业场所(图1)。

水厂铁矿区地处燕山山脉东段南麓低山丘陵区,海拔一般为 $100 \sim 500\text{m}$,相对高差一般小于 200m 。矿区属暖温带、半湿润季风气候,全年平均气温 10.1°C ,多年平均降雨量为 662mm ,降水多集中在 $6 \sim 8$ 月份,占全年降水量的 74.8% 。矿区地表水系属滦河水系,滦河干流自西向东流经矿区北部,于侯台子折向南,然后沿矿区东侧径流。

水厂铁矿属“鞍山式”铁矿,含矿岩系为中太古界迁西(岩)群水厂(岩)组(A_{2S})紫苏斜长变粒岩夹二辉麻粒岩、浅粒岩及磁铁石英岩。矿体由许多具平行夹层的磁铁石英岩透镜体群组成,呈密集断续状分布。按矿物组成,矿石类型可划分为磁铁石英岩、磁铁-赤铁石英岩、赤铁石英岩、角闪磁铁石英岩、辉石磁铁石英岩等。其中,以磁铁石英岩、辉石-角闪磁铁石英岩为主。赤铁石英岩为磁铁石英岩氧化的产物,仅局限在近地表的氧化带范围内。矿石由磁铁矿、赤铁矿、石英、角闪石、辉石及少量磷灰石、锆石等矿物组成,具细纹、条纹、粗条纹、条带状构造,片麻状、变晶等粒状结构,TFe品位为 $10.2\% \sim 48.35\%$,平均 $28\%^{[7]}$ (图1)。

3 地物波谱测试

调查结果表明,水厂铁矿区生态环境恶化的主要表现是:矿区地形地貌、植被遭破坏,

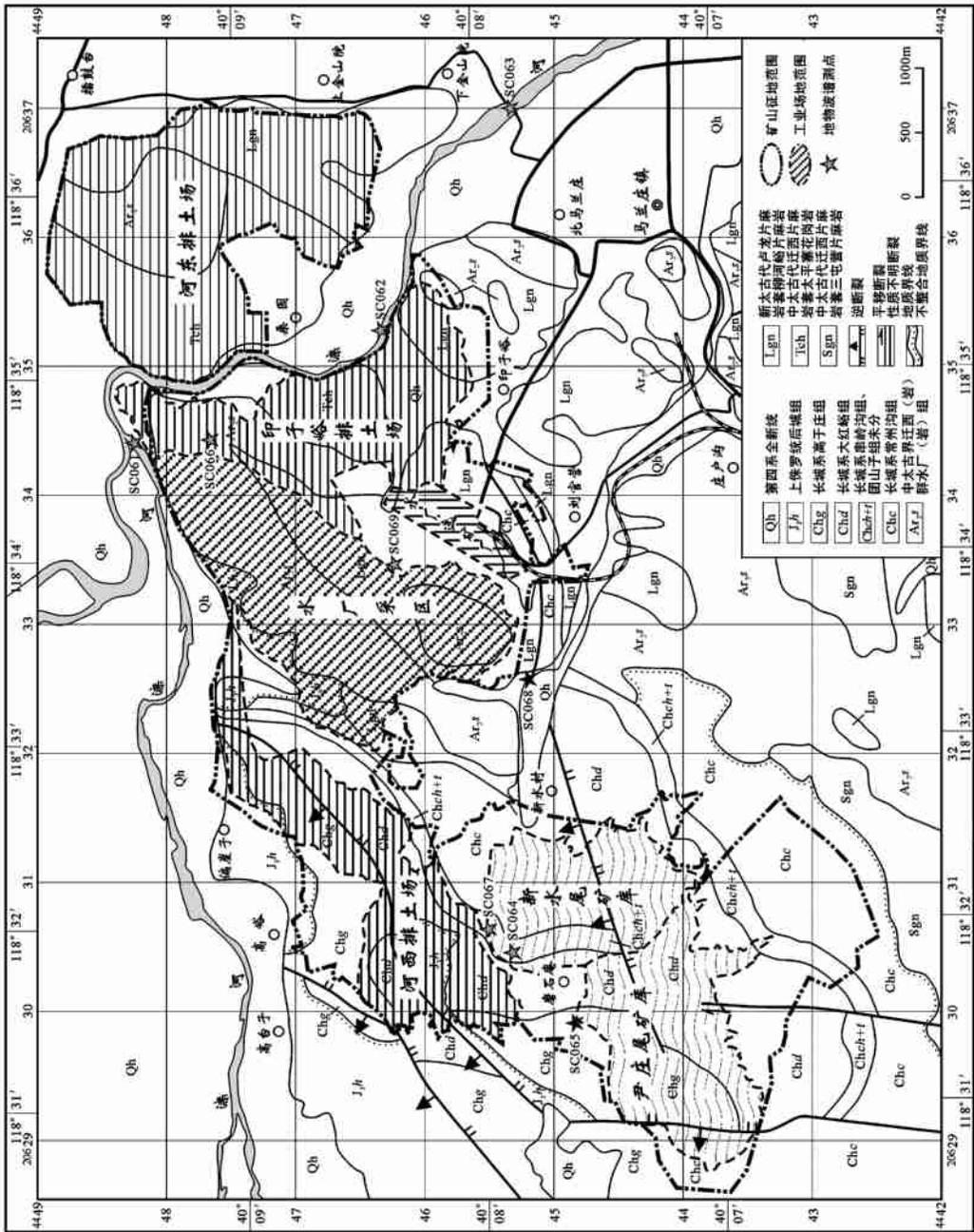


图 1 水厂铁矿区地理、地质环境图 (据首钢矿业公司资料修编)

Fig. 1 Map of the geographical and geological environment of the Shuichang iron mining area

水土流失严重;排土场边坡陡峻、岩土裸露,在汛期往往发生滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害;采选废水直接排放,造成大量尾矿排入滦河,致使河道堵塞,河水污染。20世纪90年代以来,首钢矿业公司实施以水土保持、土地复垦、污染治理为主要内容的生态环保工程,取得了明显的社会、环境效益。据此,作者选择露天采场、排土场、尾矿库及周边的植被进行野外波谱测试。野外波谱测试使用美国的 FieldSpec[®] Pro FR 全光谱便携式光谱分析仪,测试时间为2006年10月17、18、20日10~13时,天气状况为晴天或晴天多云。测试按照《我国典型地物标准波谱数据库规范与标准(试行版)汇编》中的要求进行。

本次测试设计植被测点5个,分别位于新水尾矿库复垦区(SC064)及其外围(SC067),尹庄尾矿库外围(SC065),印子峪排土场复垦区(SC066)和北山采场外围(SC069);测试的植物种类有臭椿、紫穗槐、沙棘、酸枣等灌木,榆树、松树、桑树、柳树、杨树等乔木,测得植被反射波谱曲线321条(图1)。测试数据由ASD配套的专业软件ViewSpec Pro转出,由Excel、Access等软件工具根据地物反射率计算公式做进一步的分析处理^[8]。分析工作系统规范,测试结果基本可靠。

在上述测点中,SC064、SC066测点分别位于尾矿库和废石场。尾矿和废石中含有较多的 Fe^{2+} 和 Fe^{3+} 化合物,是水厂铁矿区的主要污染源,生态环境相对恶化。SC065、SC067测点位于长城系串岭沟组、大红峪组和高于庄组分布区内,主要出露页岩、白云岩、灰岩等,SC069测点附近则主要出露新太古代卢龙片麻岩套柳河峪片麻岩,在以上两类岩石中 Fe^{2+} 和 Fe^{3+} 化合物含量较少,其分布区生态环境相对稳定。水厂铁矿区岩石中 Fe^{2+} 和 Fe^{3+} 化合物含量在空间上的差异性,在本次植被波谱测试中得到了印证。

4 植被反射波谱特征

影响植被反射率的因素主要是叶绿素的含量,同时还受具体的环境背景的控制。健康的绿色植物具有非常独特的反射波谱特性,形成很有特色的反射波谱曲线:在可见光的蓝紫光波段,反射率相当低,一般低于0.1,曲线出现一个小反射峰(绿峰),之后反射率急剧下降,至670nm或680nm时,形成很深的吸收谷(红谷);进入红外区,反射率急剧上升,至800nm附近达到顶峰(红外肩),形成略向长波方向倾斜、波状起伏的高平台(红外反射平台),反射率一般在0.5上下。由于红谷和红外反射平台的综合作用,这段区间的曲线很陡峻,几乎为近垂直的直线(红边),此即著名的植被红外陡坡效应^[9]。植物发生病变后叶绿素含量减少,红谷变浅,反射率增高,致使红边的斜率和位置发生变化,即发生“蓝移”现象^[10]。植被反射波谱曲线的红边位置(REP)是描述植被色素状态和健康状况的特定参量,是植被高光谱遥感调查的重要光谱参数。植物红边位于690~780nm之间,其位置常以植被反射波谱从可见光到近红外的转折点(拐点)表示。红边位置的确定方法主要有690nm与750nm区间波谱一阶微分的最大值点、二阶微分的零值点、简单线形插值等。本次分析采用一阶微分法确定红边的位置。

经综合分析,水厂铁矿区植被反射波谱特性如下。

(1) 矿区植被的反射波谱曲线都出现不同程度的红谷上提、红边蓝移现象。以松树为例,经与ENVI所提供的USGS植被波谱库中的标准反射波谱曲线相比,SC066、SC067测点松树的红边相对平缓,伴有轻微的蓝移现象;对反射曲线求一阶导数,可见其红边位置向短波方向移动了10~20nm(图2)。一般认为,植被反射波谱曲线发生红谷变弱、红边蓝移效

应, 是典型的重金属元素中毒的变异特征^[19]。

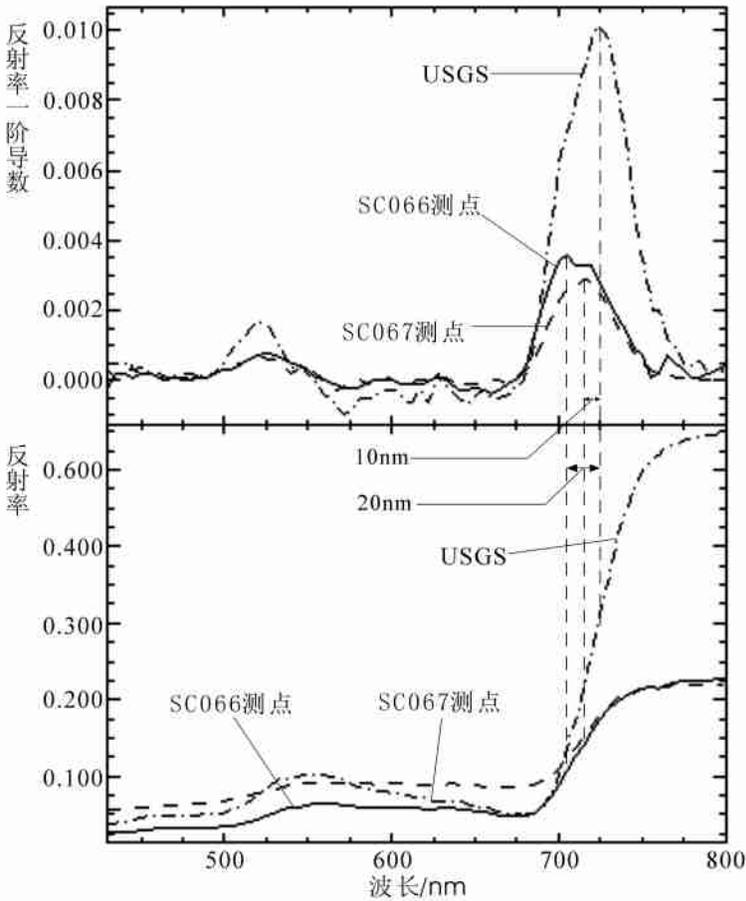


图 2 矿区松树反射率曲线及“红边蓝移”效应

Fig 2 Reflectance curves and “blue shifts of red edges” effect of pine trees in the mining area

(2) 矿区不同区域的同种植物, 其反射波谱曲线的红边蓝移程度有所不同。紫穗槐在 SC066 测点的红边位置较 SC067 略向短波方向偏移。对上述两地的紫穗槐反射波谱曲线求一阶导数, 发现前者较后者红边“蓝移”了约 13nm (图 3 右), 用同样方法可见松树 SC066 较 SC067 红边“蓝移”了约 10nm。同理对比 SC064 点与 SC067 点的沙棘波谱曲线, 前者较后者红边“蓝移”了约 3nm (图 3 左)。可见从各工业场地到外围, 同种植物的红边“蓝移”量有明显变小的趋势。

(3) 矿区植被反射波谱曲线在 900~1000nm 之间均有 50nm 左右的曲线异常, 主要表现为不同程度的吸收特征。这一现象与铁的特征吸收谱带相一致, 可能是植被中 Fe 元素含量异常导致植物整体被毒化的缘故。

(4) 针对植被曲线的其它特征波段加以分析, 结果表明, 植被反射波谱曲线在 555nm “绿峰”的反射率一般低于标准曲线 (中国典型地物波谱及其特征分析, 在保证同测试点地域季节相近的地区选择同种植物波谱曲线做参考对比^[6]), 其叶面 Fe 含量高于标准曲线的植被 (图 4)。这一结果同以往植物在 555nm “绿峰”的反射率与叶面 Fe 含量呈非线性负相

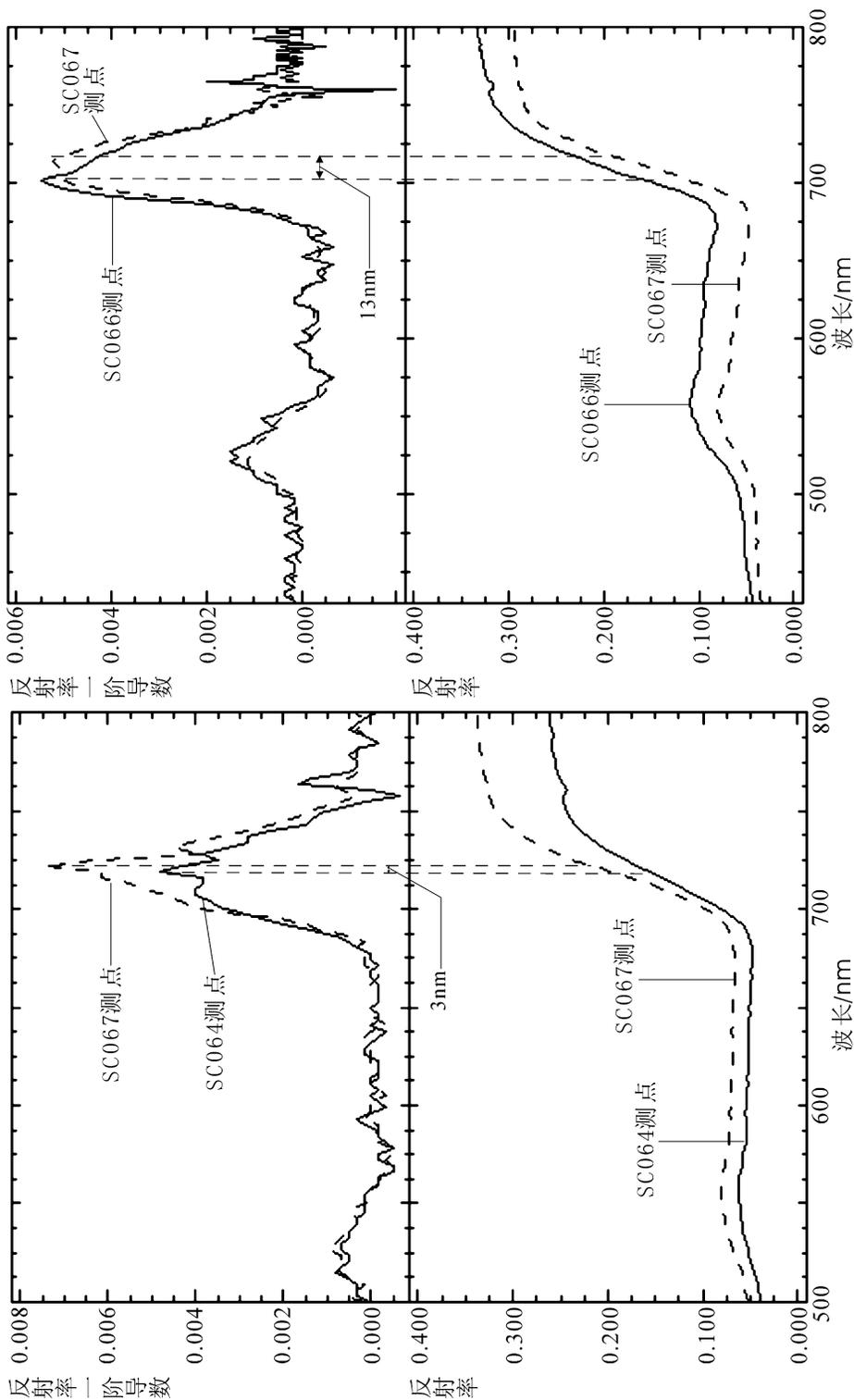


图 3 矿区沙棘(左)、紫穗槐(右)反射率曲线“红边蓝移”效应
 Fig. 3 “Blue shifts of red edges” effect of reflectance curves of sea buckthorn(left) and false indigo(right) in the mining area

关^[11]的认识相一致。

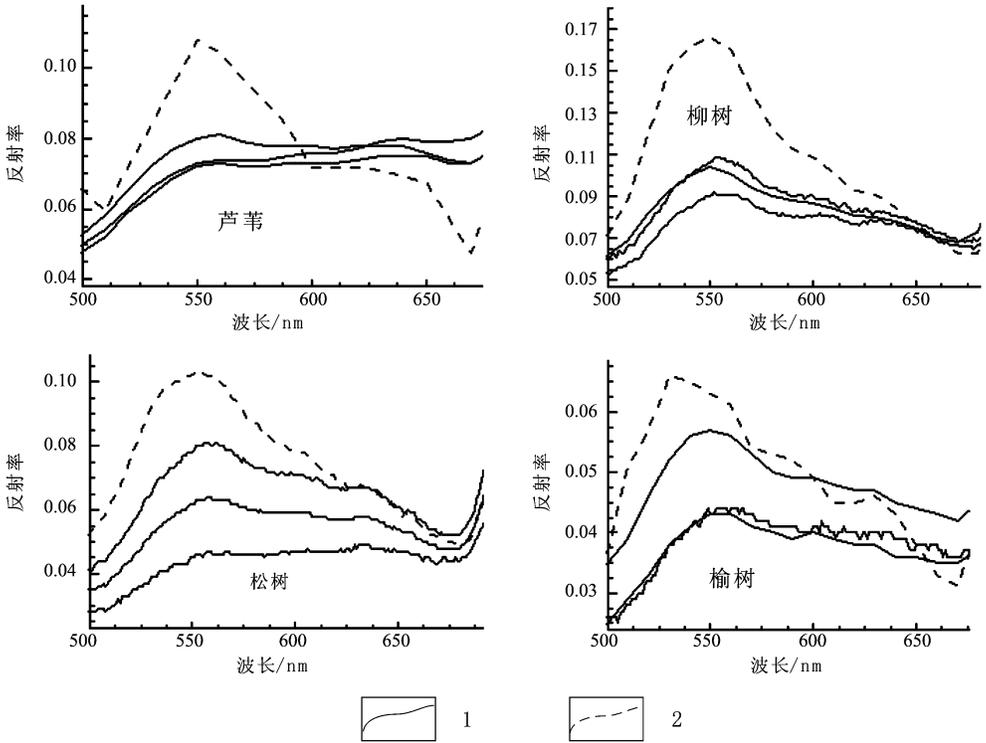


图4 矿区几种植被“绿峰”反射率曲线

Fig. 4 Reflectance curves of “green peaks” of several kinds of plant in the mining area

1 矿区植被曲线; 2 标准参考植被曲线^[9]

5 矿区环境状况分析

水厂铁矿区相对于邻区 Fe 的背景值较高, 这些含铁物质被植被、水体、土壤等所吸收和富集, 产生了生物地球化学效应, 进而导致矿区植被在上述相应的波谱区间表现出异常的反射率^[12]。根据本次地物波谱测试结果, 作者对水厂铁矿区环境状况作如下初步分析。

在进行地物波谱测试时, 采集了测试的植物样品, 并进行了化学检测, 检测结果见表 1。

表 1 矿区几种植物茎叶的含 Fe 量

Table 1 Iron content of stems and leaves of several kinds of plants in the mining area

植物名称	芦苇	沙棘	红薯	紫穗槐	荆条
Fe 含量 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	940	677	877	640	1100
正常植物含 Fe 量上限值 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	300				

林年丰^[13]的研究结果表明, 正常植被中含 Fe 量超过 $300\text{mg}/\text{kg}$ 时, 有可能造成植被毒害。水厂铁矿区各种植被中 Fe 的含量均超过 $600\text{mg}/\text{kg}$, 而荆条中 Fe 的含量超过 $1000\text{mg}/\text{kg}$, 可见矿区的植被普遍被铁化合物所毒化。铁化合物中的 Fe^{2+} 和 Fe^{3+} 是导致矿区植被的反射

波谱曲线在900~1000nm之间出现吸收谷和“绿峰降低”、“红边蓝移”现象的主要重金属元素。从各工业场地到外围,同种植物的红边“蓝移”量有明显变小的趋势,表明植被铁化合物中毒现象逐渐减轻。

6 结论

综上所述,根据对水厂铁矿区地物波谱测试和分析的结果,可以得到以下几点认识。

(1) 矿区所有地物反射波谱曲线在900~1000nm区间都存在一个异常区,在此区间多数地物的波谱曲线表现为吸收谷,说明矿区中铁化合物较富集,从而造成地物中铁化合物含量的异常,致使反射波谱曲线发生整体的变化。

(2) 测试植被的波谱曲线普遍发生红谷变弱、红边蓝移的效应,是典型的铁化合物中毒的变异特征。植被波谱曲线在555nm“绿峰”的反射率一般低于标准曲线,说明其叶面Fe含量高于标准曲线的植被。从各工业场地到外围,植被铁化合物中毒现象总体呈逐渐减轻的趋势。

(3) 每种地物都具有自己独特的反射波谱特性,350~1100nm区间的地物波谱特征是该项研究主要的研究范围。对研究区地物的波谱特征提取,并与参照波谱对比分析,可以从光谱层面了解当地的地物特征,进而为矿山生态环境的研究提供资料依据。

参 考 文 献

- [1] 赵英时,等. 遥感应应用分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [2] 田庆久. 地物波谱数据库研究现状与发展趋势[J]. 测绘文摘, 2003, (3): 4~5.
- [3] GROVE C I, HOOK S J, PAYLOR II E D. Laboratory Reflectance Spectra of 160 Minerals, 0.4 to 2.5 Micrometers; Jet Propulsion Laboratory Pub, 1992; 92~2.
- [4] CLARK R N, SWAYZE G A, GALLAGHERA, KING T V V, CALVIN W M. The US Geological Survey Digital Spectral Library; Version 1: 0.2 to 3.0mm. US Geological Survey Open File Report 93-592, 1993: 1340.
- [5] 李小娟, 宫兆宁, 刘晓萌, 等. ENVI 遥感影像处理教程[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2007.
- [6] 童庆禧, 等. 中国典型地物波谱及其特征分析[M]. 北京: 科学出版社, 1990.
- [7] 王四巍, 王怀军, 刘汉东. 水厂铁矿区边坡稳定性随机有限元法分析[J]. 华北水利水电学院学报, 2006, 27(4): 75~77.
- [8] 王树东, 刘素红, 李向, 等. 野外波谱测量应注意的几个问题[J]. 遥感信息, 2006, (1): 29~33.
- [9] 戴昌达, 姜小光, 唐伶俐. 遥感图像应用处理与分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [10] 迟光宇, 刘新会, 刘素红, 等. 环境污染监测中的植物光谱效应研究[J]. 环境科学与技术(增刊), 2005, 28(增刊): 16~19.
- [11] 万余庆, 谭克龙, 周日平, 等. 高光谱遥感应应用研究[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [12] 王洁, 杨锋杰, 李江涛, 等. 遥感技术在江西德兴铜矿区污染研究中的应用[J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2005, 24(4): 66~69.
- [13] 林年丰. 医学环境地球化学[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 1991.

ANALYSIS OF SURFACE SPECTRAL FEATURES IN THE SHUICHANG IRON MINING AREA

CONG Nan, XU Gang, ZHENG Da-xing, QIAO Zi-jiang, DONG Fa-xian

(Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: The eco-environment in the Shuichang iron mining area has continuously deteriorated after many years of extensive and substantial mining operations. Surface spectral testing indicates that the spectral curves of vegetation commonly display the phenomenon of “blue shifts of red edges and down shifts of green peaks”, which is a typical aberrance character of poisoning of iron compounds. From the operation site to peripheries, the values of red edge “blue shifts” have a trend of decreasing markedly, which indicates that the poisoning symptom of iron compounds is reduced gradually. Testing and analysis of the typical surface spectral features of the mine furnish important evidence for the determination of characteristic spectral bands or diagnostic spectral bands of various surface features and also provide a theoretical basis for the hyperspectral remote sensing survey of the eco-environment of the mine.

Key words: surface spectral features; mine eco-environment; Shuichang iron mine; eastern Hebei