

成像光谱岩矿 识别方法技术 研究和影响因素分析

——张宗贵 王润生 郭大海 甘甫平 著
郭小方 党福星 田庆久

地质出版社

• 北京 •

成像光谱岩矿识别方法技术研究 和影响因素分析

张宗贵 王润生 郭大海 甘甫平 著
郭小方 党福星 田庆久

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

随着传感器性能的提高,尤其是光谱分辨率的提高,岩矿信息识别与提取的技术环境大为改善。但是,由于高光谱分辨率的成像光谱波段很窄,在岩矿光谱信息的识别与提取的过程中,岩矿信息极易受诸多因素的制约和影响。本书在岩矿光谱信息获取、光谱特征信息识别与提取的过程中,着重分析了与岩矿光谱特征信息密切相关的岩矿组成成分、内部结构和构造以及与之发生相互作用的外部环境或过程,通过理论、模型、模拟和试验测试分析相结合的方法,探讨了遥感的大气分子组分与传输、传感器的几何观测条件、平台的运动姿态、传感器的光学传递函数、探测器的光谱响应及光谱、空间分辨率与信噪比等对岩矿光谱特征信息识别与提取的影响,同时还系统地分析研究了新疆东天山试验区成像光谱遥感矿物光谱信息识别与提取的实用化方法技术,并阐述了高分辨率的岩矿光谱特性在多光谱技术中的应用。

本书可供从事遥感、地质工作的教学、科研和生产人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

成像光谱岩矿识别方法技术研究和影响因素分析/张
宗贵等著. —北京:地质出版社,2006.4

ISBN 7-116-04813-8

I. 成... II. 张... III. 地质勘探-遥感技术-应
用-找矿-研究 IV. P627

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 031371 号

CHENGXIANG GUANGPU YANKUANG SHIBIE FANGFA JISHU
YANJIU HE YINGXIANG YINSU FENXI

责任编辑:薛子俭 王 璞

责任校对:郑淑艳

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号,100083

电 话:(010)82324508(邮购部);(010)82324572(编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010)82310759

印 刷:北京地大彩印厂

开 本:889 mm × 1194 mm^{1/16}

印 张:13.75 铜版:4 页

字 数:350 千字

印 数:1—600 册

版 次:2006 年 4 月北京第一版·第一次印刷

定 价:58.00 元

ISBN 7-116-04813-8/P·2672



(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社出版处负责调换)

前言

随着传感器的光谱分辨率、空间分辨率和时间分辨率的不断提高,及信息处理、提取和分析技术的不断发展,地学遥感技术发展到了 20 世纪 80 年代出现了成像光谱。高光谱分辨率的成像光谱的发展,一方面,利用高光谱特征能够直接进行遥感岩矿识别,使遥感信息的提取从粗糙到精细,解译由定性到定量,岩矿的识别从间接到直接,极大地提高了遥感技术对地探测的能力;另一方面,使遥感技术从对地球岩石圈中的岩石、矿物地质体物质特性的微观研究,经过大气圈拓展到空间进行宏观、大尺度范围内的探测研究,极大地拓展了遥感技术的视野和观测角度,真正做到把微观和宏观的技术手段有机地结合在一起,从不同尺度和不同层面揭示岩石圈中岩矿的物质成分、结构、构造等特性,有利于岩矿制图学和矿物成因学的研究与发展。本书以遥感岩矿光谱特性识别研究作为重心,针对从微观进行的岩矿光谱特征识别到遥感岩矿光谱识别中存在的问题,分析了在岩矿光谱特性信息获取、识别和提取的过程中与岩矿光谱特征信息密切相关的组成成分、内部结构与构造以及与之发生相互作用的外部环境或过程;通过理论、模型、模拟和试验测试分析相结合的方法,分析研究了岩矿的各种矿物组分、结构类型、化学成分、风化作用、岩矿颗粒度、高温模拟、遥感的大气分子组分、传感器的几何观测条件、遥感平台的运动姿态、传感器的光学传递函数、探测器的光谱响应及光谱、空间分辨率与信噪比等对岩矿光谱特征信息识别与提取的影响。系统地分析研究了新疆东天山试验区成像光谱遥感矿物光谱信息识别与提取的实用化方法技术,并阐述了高光谱分辨率的岩矿光谱特性在多光谱技术中的应用。下面是本书侧重研究的四个方面。

0.1 岩矿光谱特性及其变异性

(1)通过分析研究试验区岩石、矿物和矿石光谱特征,归纳总结了河北张家口的崇礼-赤城和新疆东天山地区岩浆岩、沉积岩和变质岩及不同矿床的光谱特征,不同地层中光谱差异性及其成因;分析了东坪、黄土梁两个金矿区以及三道沟多金属矿的褐铁矿化、粘土蚀变强度和类型,初步探讨了三个矿床的成因温度。

(2)从观测几何光学位置关系出发,分析总结了光源的方位和入射角、仪器观测方位和观测角影响岩矿的光谱特性:入射光方位、入射角的变化和观测方位、观测角的变化都会引起岩矿光谱反射率值的变化,但其特征吸收谱的强弱程度不变;总结了岩矿在室内外测量条件下和不同入射光谱辐照度条件下岩矿光谱特性

的差异性。

(3)对岩矿的颗粒度、风化程度和温度试验等各种因素引起的岩石光谱变异性特征和规律进行了较全面的研究;对岩矿的光谱特征参量在各种条件下的稳定性进行了有效的分析评价;也较深入地探讨了遥感地质研究中的“同物异谱”和“异物同谱”现象的发生、影响及减轻或消除的可能途径;提出了成像光谱岩矿识别的深层次的定量化分析应尽量利用高光谱分辨率的岩矿光谱特征数据的技术思路,为开展精细的岩矿分类与识别提供了有效的事实依据和技术指导。

(4)通过岩石矿物高温模拟实验的光谱特征与参量分析,结合岩石、矿物的晶体结构的稳定性以及形成条件,对岩矿在模拟高温条件下的光谱特性的变异性进行了初步探讨。随着岩矿温度的升高,其光谱行为表现为吸收谱带相变宽变浅;反之,其光谱特性表现为吸收谱带变深,且尖锐;并且吸收谱带波长位置向长波发生漂移。

0.2 影响遥感岩矿光谱特征信息识别与提取的因素分析

0.2.1 大气传输

总结了大气的成分与分层结构,探讨了大气的传输理论模型,开展了岩矿光谱反射辐射特性在不同大气厚度层中的模拟分析,从而深刻地认识了大气对光谱传输影响的复杂性和多变性;该工作的开展对发展和开发高光谱遥感岩矿光谱特性的恢复方法、提高高光谱遥感中光谱重建精度、还原出岩矿本质光谱特性具有重要意义。

0.2.2 岩矿光谱信息遥感的方向性

尽管岩矿光谱特性的二向性问题并不影响岩矿的特征谱带,影响的仅为反射率值的大小,但是在遥感影像中,确实影响不同航带上的岩矿信息识别和提取。通过从理论上分析形成方向反射的机理,开展了辐射变异的修正计算方法。从分析中也认识到遥感辐射的变异性存在复杂多变性,影响因素相当多,存在不确定性。该辐射畸变效应是岩矿地表地形复杂性、大气的不确定性(季节性、地理性和复杂性)以及观测的不稳定性的综合效应。

0.2.3 传感器的因素

通过分析考察了光谱分辨率、空间分辨率、信噪比对岩矿光谱信息识别与提取的影响。结果表明,它们的影响相互制约,并且都受到大气、岩矿方向性以及传感器自身的影响。大气对光谱分辨率高的窄波段上的岩矿信息,或者对低信噪比的谱带特征信息扰动(附加噪声)十分明显(如不同高度对空间分辨率的影响等)。

基于岩矿光谱特征、光谱变异性的分析,提出了岩矿填图、矿物丰度和组分含量的定量分析所需求的光谱分辨率各有不同(当然受信噪比的影响),从岩矿填图

到矿物丰度再到组分含量的定量分析所需要的光谱分辨率和信噪比依次提高。

空间分辨率的提高意味着识别的岩矿等地物的几何定位精度高,遥感影像清晰,降低了混合像元的效应,从而使得岩矿识别、填图的准确性好,或者分类精度得到提高;在成像光谱遥感岩矿信息提取技术中,常常利用的是岩矿高分辨率的光谱信息,为了提高信噪比,一般牺牲空间分辨率;空间分辨率的选择取决于所研究的目标形态、尺寸、大小以及制图的精度或成图比例尺要求。

对成像光谱技术,信噪比是一个既重要、又复杂的参数,受诸多因素的制约。探测岩矿的精细光谱特征,需要高信噪比的成像光谱数据;信噪比的需求取决于所研究的岩矿光谱吸收谱带的强度、探测器的响应灵敏度、波段的光谱带宽以及来自岩矿反射辐射光的亮度影响。岩矿的光谱吸收谱带很强,仅需要较低的信噪比值;对吸收峰很弱的岩矿识别,常常需要数百的信噪比值,甚至更高。

0.3 岩矿高光谱特征信息在多光谱技术中的应用

本书从地质矿产调查的需求出发,结合我国资源卫星传感器波段,开展了岩矿高光谱数据的光谱特征、波段选择与组合、模拟与应用效果的对比分析。在全面总结岩矿地质体反射辐射太阳光谱($0.40 \sim 2.50 \mu\text{m}$)的光谱特征、光谱信息应用特点以及在主要矿床、典型岩矿光谱特征分析的基础上,开展了不同光谱分辨率模拟分析研究,总结了不同矿床岩矿光谱特性和不同分辨率下光谱特征的差异;选择了侧重面向遥感岩矿多光谱信息需求的地质填图、资源评价等遥感应用的波段;通过对机载成像光谱数据处理分析和波段选择的模拟、验证、对比分析研究,形成了高光谱分辨率成像光谱数据模拟宽波段的方法技术流程;选择了能满足矿产资源调查需要的多光谱遥感波段位置、带宽和数目。该成果已经为我国后续资源卫星(03和04号)传感器波段的设置提供了依据。

0.4 成像光谱遥感矿物信息识别、提取的方法技术

成像光谱技术自发展以来,以高光谱特征直接识别岩矿等地物的成像光谱方法技术及应用一直是地学遥感的研究热点,在遥感地质调查中已展示出一定的效果。为了促进成像光谱遥感岩矿光谱识别方法技术在地质调查中的实用化和工程化,本书的研究以新疆东天山土屋东-三岔口为试验区,利用澳大利亚128波段的机载成像光谱HyMap数据,首次开展了试验区成像光谱遥感岩矿光谱信息识别的实用方法技术研究。填绘了试验区 3180 km^2 的1:50000标准分幅的蚀变矿物图,如绿泥石、云母类、碳酸盐、高岭石和蛇纹石矿物的分布图,以及重点成矿地段上约 300 km^2 的1:10000比例尺的7种矿物分布图。

通过该项工作的开展,初步形成了成像光谱遥感岩矿光谱信息识别与制图的方法技术流程;填绘的矿物分布图为该区成矿潜力的深层次评价分析提供了极有

价值的矿化蚀变异常信息;在推进成像光谱技术在地质应用产业化进程中发挥了积极作用;同时也为今后开展航空、航天成像光谱遥感数据的广泛应用做好了技术准备。

书中的研究内容受到国家“863”高新技术发展计划“对地观测技术在国土资源调查中的应用”课题中“机载成像光谱应用技术服务系统(2001AA136020-5)”,中国地质调查局的“新疆东天山土屋东-三岔口地区航空成像光谱调查(200115100004)”,国土资源部的资源卫星应用系统研究和开发中“地质矿产资源对后续资源卫星传感器优化设计”和国家自然科学基金“高光谱遥感影像成因矿物学信息定量提取研究”(40201034)等项目的资助。研究工作和本书的撰写得到了中国国土资源航空物探遥感中心遥感部领导的鼎力支持,遥感部方法室主任郭小方教授级高级工程师、党福星高级工程师、甘甫平高级工程师、杨苏明工程师、王清华高级工程师、刘圣伟博士和王天兴教授在科研工作中给予了大力支持与帮助;在新疆、江苏等试验区进行的机载成像光谱仪 HyMap、OMIS-I 的数据获取与数据处理过程中,南京大学国际地球系统科学研究所的田庆久教授、澳大利亚联邦科学与工业研究组织(CSIRO)勘探与采矿所杨凯博士、澳大利亚 HyVista 公司的 Christopher 与 Ben Joseph 和上海技术物理研究所的杨一德研究员都给予了指导和帮助;在野外地质调查、资料收集和野外岩矿光谱测试等工作中得到了新疆地质调查研究院第五地质调查所单金忠高级工程师,第六地质大队吴华副总工程师,核工业北京地质研究院张静波和张宏光两位高级工程师,王润生教授的博士生闫柏琨、章革,田庆久教授的博士生吴昀昭、研究生夏雪齐、仝学勇和阚明泽,以及其他相关单位与有关人员给予了大力支持和帮助,在此一并表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中难免存在缺点和错误,敬请读者批评指正。

作 者

2005 年 8 月

目 录

1 导 论	(1)
1.1 研究目的和意义	(1)
1.2 研究内容	(2)
1.2.1 开展岩矿光谱特征测试及其变异性分析	(2)
1.2.2 成像光谱遥感岩矿光谱特征信息量化、识别和提取的方法研究	(2)
1.2.3 影响成像光谱遥感岩矿信息识别的因素分析	(2)
1.2.4 岩矿高光谱数据在多光谱技术中的应用	(2)
1.3 技术流程	(3)
1.3.1 研究思路	(3)
1.3.2 技术流程	(4)
1.3.3 本研究采用的技术手段	(4)
1.4 数据源	(6)
1.4.1 岩矿光谱数据	(6)
1.4.2 成像光谱数据	(6)
1.5 主要实物工作量与研究成果	(7)
1.5.1 主要实物工作量	(7)
1.5.2 主要研究成果	(7)
2 研究现状与趋势	(10)
2.1 概述	(10)
2.2 岩矿光谱学机理研究进展	(11)
2.2.1 引言	(11)
2.2.2 遥感岩矿光谱研究的现状和发展趋势	(12)
2.2.3 岩矿光谱特征形成机理	(15)
2.3 遥感岩矿光谱信息提取方法技术研究进展	(26)
2.3.1 多光谱方法技术	(26)
2.3.2 成像光谱方法技术	(27)
2.4 小结	(32)
3 岩矿光谱特性研究	(34)
3.1 岩矿光谱研究目标	(34)
3.1.1 概述	(34)
3.1.2 样品光谱数据测试与分析	(34)
3.2 岩矿光谱特征分析	(36)
3.2.1 崇礼-赤诚试验区	(36)
3.2.2 新疆东天山(土屋东-三岔口)试验区	(51)
3.2.3 岩石光谱特征小结	(69)

3.3 岩矿光谱特性变异性分析	(71)
3.3.1 引言	(71)
3.3.2 环境因素	(71)
3.3.3 岩石的物质成分	(74)
3.3.4 岩矿表面状态	(98)
3.3.5 光谱变异性小结	(104)
3.4 小结	(104)
4 成像光谱遥感岩矿信息提取示范应用	(108)
4.1 试验区的地质概况	(108)
4.1.1 大地构造位置及其地质演化	(108)
4.1.2 地层	(109)
4.1.3 构造	(110)
4.1.4 岩浆岩与岩浆作用	(113)
4.1.5 变质作用	(113)
4.1.6 矿产分布	(113)
4.2 航空成像光谱数据获取和质量评价	(114)
4.2.1 数据的获取	(114)
4.2.2 HyMap 成像光谱数据质量评价	(115)
4.3 成像光谱数据预处理	(121)
4.3.1 航空成像光谱数据的辐射纠正、定标和光谱重建	(121)
4.3.2 数据的几何校正与地理编码	(125)
4.4 岩矿光谱信息提取识别技术方法	(129)
4.4.1 成像光谱矿物识别技术	(129)
4.4.2 矿物识别方法和工作流程	(130)
4.4.3 试验区成像光谱蚀变矿物识别结果与地质分析	(133)
4.5 小结	(135)
4.5.1 结论	(135)
4.5.2 存在的问题与建议	(136)
5 成像光谱矿物识别的影响因素分析	(137)
5.1 引言	(137)
5.2 大气效应分析	(137)
5.2.1 大气成分与结构	(138)
5.2.2 大气的散射、吸收	(139)
5.2.3 大气传输的理论模型	(141)
5.2.4 大气效应的光谱模拟	(143)
5.3 太阳光-岩矿目标-传感器几何位置关系	(148)
5.3.1 引起边缘辐射畸变的因素分析	(148)
5.3.2 引起几何畸变因素分析	(151)
5.4 光谱分辨率	(156)
5.4.1 光谱分辨的定义	(156)

5.4.2 岩矿光谱特征的光谱分辨率模拟	(157)
5.4.3 岩矿光谱特征变异的波长分析	(161)
5.4.4 光谱分辨率的图像模拟分析	(163)
5.5 空间分辨率	(170)
5.5.1 空间分辨率的概念	(170)
5.5.2 空间分辨率与光学传递函数的关系	(171)
5.5.3 空间分辨率的模拟分析	(176)
5.6 数据的信噪比	(180)
5.6.1 信噪比的定义	(180)
5.6.2 信噪比的模拟分析	(180)
5.6.3 成像光谱数据的信噪比对比分析	(182)
5.7 小结	(186)
5.7.1 大气传输	(186)
5.7.2 岩矿光谱信息遥感的方向性	(186)
5.7.3 传感器的因素	(187)
6 岩矿高光谱数据在多光谱中的应用	(188)
6.1 引言	(188)
6.2 主要地质体岩矿组合及相应光谱特性分析	(189)
6.3 波段选择	(190)
6.3.1 岩矿地质体光谱数据源	(190)
6.3.2 波段位置	(191)
6.3.3 各反射光谱波段识别岩矿能力分析	(191)
6.3.4 波段宽度	(194)
6.4 波段组合	(194)
6.5 选择波段的模拟应用效果分析	(195)
6.5.1 模拟遥感图像的生成	(195)
6.5.2 地质应用效果评价	(198)
6.6 波段优化与配置	(199)
6.7 小结	(200)
7 结语与讨论	(201)
7.1 总结	(201)
7.1.1 岩矿光谱特性及其变异性	(201)
7.1.2 成像光谱矿物光谱识别影响因素分析	(203)
7.1.3 成像光谱遥感岩矿识别技术研究和实用化工作方法	(204)
7.1.4 我国后续资源卫星波段选择和模拟分析	(204)
7.2 讨论	(205)
7.2.1 岩矿光谱特征的变异性	(205)
7.2.2 遥感岩矿光谱特征信息变异性分析	(205)
7.2.3 成像光谱遥感岩矿信息识别、提取的方法技术实用化	(205)
参考文献	(207)

1 导 论

1.1 研究目的和意义

高光谱遥感是指在太阳光谱波段内对地物目标反射辐射能量进行测量的分辨率为纳米级的光谱测量技术。该测量技术的特点是光谱分辨率高。从测量方法来看,有实验室样品测试、野外地面目标物实时测量、机载传感器和星载传感器测量;从测试空间来看,有点(实验室、地面实测和航空)、剖面(实验室和地面实测)和面积测量。高光谱遥感是在多光谱遥感基础上发展起来的光谱测量技术、有非成像和成像之分,其中非成像测量技术包括地面光谱与航空光谱测量;成像测量技术包括机载、星载成像光谱遥感测量。通常所说的高光谱遥感技术是指成像光谱技术。该技术把实验室样品、地面目标的精细光谱测量技术融合到航空、航天遥感成像技术中,形成成像光谱遥感对地观测技术。它具有图像-精细光谱合二为一的特点,具有从空间上大尺度探测和分析岩矿目标精细光谱特征的能力,从而使遥感技术直接识别岩矿地质体中矿物的存在、矿物的丰度和矿物的成分分布成为可能。20 世纪 80 年代发展起来的成像光谱技术,是现代遥感技术发展的前沿之一,并成为研究热点。

以岩矿光谱特征形成的理论为指导,在系统研究和理解岩矿地质体光谱特征基础上,根据岩矿标型光谱特征应用成像光谱数据有可能直接识别岩矿类型,特别是识别与成矿作用密切相关的矿化异常信息和蚀变矿物,圈定热液矿化蚀变带,分析蚀变矿物组合,定量或半定量估计相对蚀变强度和蚀变矿物含量,探测一些蚀变矿物和造岩矿物的成分及结构变异特征,为分析蚀变带的空间分带、成矿成岩作用的温压条件、热动力过程和热液运移的时空演化;检测植被中毒和油气微渗漏引起的地植物异常,追索矿化热液蚀变中心,圈定找矿靶区提供极有参考价值的信息。成像光谱技术在地质找矿勘查和矿产资源(金、铜等金属矿床、油气、钾盐等)评价以及一些基础地质研究中都可发挥重要作用。成像光谱技术的发展和广泛应用有可能使地质找矿以至地质找矿理论、研究方法都发生重大变化。譬如,有可能发展成成像光谱找矿矿物学和成因矿物学研究,并使研究方法发生改变,把实验室测量与空间探测相结合,实现点与面、微观与宏观的有机统一。因此,开展高光谱遥感岩矿光谱特性研究、影像数据处理分析与解评、岩矿地质体蚀变与矿化弱信息提取方法技术研究具有理论和实际意义。

成像光谱图谱合一的特点以及可对矿物进行直接识别的能力,使成像光谱遥感的工作方法已由多光谱时代以图像增强和信息解译为主的阶段推进到以光谱分析和光谱识别的量化分析阶段。为了充分发挥高光谱遥感技术在国土资源调查中的技术优势,尤其是在基础地质、岩矿识别和地质找矿中发挥作用,本书以新疆东天山为试验区,详细地测试分析岩矿地质体光谱特征和光谱变异性;开展高光谱遥感数据特征分析与处理分析方法技术研究,发展有利于机载高光谱遥感数据几何纠正、辐射纠正、光谱重建和光谱识别技术,促进高光谱遥感应用技术产业化进程。同时,根据成像光谱矿物填图产业化应用的需求,分析和探讨了大气、地面的方向性反射、传感器的光谱分辨率、空间分辨率和信噪比等因素对矿物识别的影响,为产业化运行

中技术参数的选择、工作布置和设计、噪声的压制和消除以及资源卫星多光谱的技术指标设置等提供技术依据,探讨减少或避免这些影响的方法或措施。

1.2 研究内容

根据目前开展成像光谱岩矿识别中存在的问题,结合高光谱遥感技术发展的关键技术,本书侧重下面四方面的研究。

1.2.1 开展岩矿光谱特征测试及其变异性分析

在分析岩矿光谱特征形成理论上,详细测试分析典型岩石、矿物及矿床中的矿石与矿化蚀变岩的光谱特征,以及开展岩矿组合光谱模拟与实验测试分析,为开展岩矿光谱特性研究,变异因素(岩矿光谱反射的方向性,以及岩矿成因温度、颗粒度与风化程度、化学成分、矿物结构性质)以及光谱特征与变异因素的相关性研究,为成像光谱遥感数据处理、理解与分析,工作区岩矿地质体信息特征量化、提取与识别以及系统地认识、理解矿化异常、蚀变组合与成岩成矿的物源关系提供依据。

1.2.2 成像光谱遥感岩矿光谱特征信息量化、识别和提取的方法研究

从分析机载成像光谱遥感的几何光学位置(太阳光—岩矿目标—传感器)关系出发,在分析数据的几何特性和辐射特性的基础上,开展适合于国土资源调查的机载成像光谱数据的几何纠正和辐射纠正方法技术研究,并进行岩矿地质体光谱特征反演的的方法技术分析。提高成像光谱技术的应用效果、促进其朝着产业化的方向发展的另一关键技术是发展岩矿光谱特征量化、信息提取和识别技术方法。从地质调查的应用出发,结合地质信息、岩矿光谱特征信息以及其他相关岩矿测试技术手段提供的信息(如岩矿鉴定、XRD、电子探针和化学分析等),利用反演的成像光谱数据发展成像光谱遥感矿化蚀变(异常)信息的识别技术。通过有效的岩矿信息识别与提取,为地质矿产资源评价提供更有利的成矿蚀变信息。

通过这些分析研究为开展地质矿产资源评价分析提供可靠的高光谱分辨率的成像光谱反射率数据。同时通过开展数据处理分析方法研究,以形成成像光谱岩矿识别的方法技术流程,能够推进机载成像光谱技术朝着产业工程化的方向发展。

1.2.3 影响成像光谱遥感岩矿信息识别的因素分析

从分析地质矿产资源调查对成像光谱技术的需求出发,开展分析研究影响成像光谱遥感岩矿光谱特征信息提取的因素:光谱分辨率、波段范围与波段数据,空间分辨率,遥感成像的过程中太阳光—岩矿目标—传感器的几何位置关系,大气传输效应以及信噪比(SNR);利用机载成像光谱(HyMap、OMIS-I)数据对光谱波段分辨率、空间分辨率及信噪比等开展岩矿光谱特征量化、提取和识别的综合模拟与对比分析,进而总结出适合地质矿产资源调查的机载或星载成像光谱技术指标。

1.2.4 岩矿高光谱数据在多光谱技术中的应用

从地质矿产资源调查的需求出发,开展岩矿光谱特性分析并进行波段选择;利用机载成像光谱(HyMap)数据开展适合于多光谱遥感地质调查需求的波段选择与组合、模拟与应用对比

分析,进而优化后续资源卫星传感器波段的波长范围、光谱带宽及波段数目的设置,为我国后续资源卫星传感器的有效载荷设计提供依据。

1.3 技术流程

1.3.1 研究思路

岩矿光谱是岩矿反射辐射单色光成分的表现,也是遥感光谱成像中一种单色成分对应一个特征谱线的基础。本次研究的总体思路采用光线跟踪法,即在可见光、近红外和短波红外遥感过程中对岩矿光谱的跟踪变化分析研究。光线跟踪法就是岩矿反射辐射的单色光(光谱)在各个成像的环节中的传递、变化及影响因素分析。

1.3.1.1 光线的过程分析

岩矿内部结构→岩矿光谱特性→光谱变异因素分析→遥感光谱变异分析→岩矿光谱特征和变异规律→高光谱岩矿光谱信息识别、提取方法→岩矿识别的影响因素分析和模拟→高光谱矿物填图的产业化应用

→资源卫星多光谱传感器的波段设置选择

1.3.1.2 遥感光路跟踪

太阳光谱→大气传输→岩矿光谱→大气传输→光谱分辨率→成谱→成像光谱

→像元→大气传输→空间分辨率→成像→多光谱

$E_0(\lambda) \propto \tau_1(\lambda, h)$, $\rho \propto k_2(\lambda, I, \alpha, \varepsilon)$, $L \propto \tau_2(\lambda, h) E_0(\lambda) \rho$, $L_{\text{出瞳}} \propto k_1 \cdot \text{MTF} \Theta S(\lambda)$, 式中, E_0 表示太阳入射光, τ_1 为大气下行透过率, ρ 为岩矿的反射率, L 表示岩矿辐射亮度, τ_2 为大气上行透过率, $L_{\text{出瞳}}$ 为传感器出瞳孔的辐射亮度, MTF 表示调制传递函数, $S(\lambda)$ 为探测器的响应函数, Θ 表示两者的乘性, k_1 和 k_2 表示成性比例因子(Siegrist & Schnetyler, 1980)。

1.3.1.3 影响因素

在谱带产生和传递的各个子系统环境中,影响谱带能量变化或传递的主要因素有:①谱带生成的因素,即结晶结构、成分等;②谱带影响因素,包括岩矿物理化学因素(风化、表观形态、温度与压力、粒度等)大气传输因素(大气中分子成分、水蒸汽和气溶胶等)以及传感器的光谱分辨率、空间分辨率、信噪比等。

本书以此为思路,从岩矿的光谱特征出发,分析岩矿的光谱特征形成机理,岩矿光谱特性的变异性;在此基础上,分析岩矿光谱在遥感大系统每一个子系统转输,或影响因素;在分析清楚各个子系统影响成像光谱遥感岩矿光谱特征变化的基础上,开展岩矿光谱信息识别、提取的方法技术分析,以促进成像光谱应用技术工程产业化发展。

1.3.1.4 研究方法

(1)以遥感岩矿光谱理论为指导,以岩矿(试验区以及其他的)地质体的光谱特性研究为基础,以试验测试为技术手段,将岩矿地质体实验、野外和机载成像光谱测量紧密相结合,以系统分析岩矿地质体光谱特征与岩矿组分、温度相关性分析为核心,不断跟踪并吸收国内外成像光谱技术方法和应用上的最新成果,使本研究收到实效。

(2) 本书的研究工作以国家“863”计划“对地观测技术在国土资源调查中的应用”研究课题中的“机载成像光谱应用技术服务系统(2001AA136020-5)”子课题“新疆东天山土屋东-三岔口地区航空成像光谱调查(200115100004)”项目和自然科学基金项目“高光谱遥感影像成因矿物学信息定量提取研究(40201034)”中的“地质矿产资源对后续资源卫星传感器优化设计”课题为依托,选择新疆东天山干旱或半干旱且具有地质找矿前景的工作区作为研究试验区,开展机载成像光谱遥感数据进行矿区矿化蚀变信息识别、提取模型分析和矿化蚀变带成因矿物蚀变温度分析,同时开展有利成矿地段分析,提供成矿远景地质区,缩小找矿靶区。

(3) 在研究过程中遵循试验测试分析、方法研究与应用相结合,一般特性与典型相结合,借鉴与发展相结合的原则,在岩矿光谱特征形成机理、光谱特性变异、光谱分辨率模拟、空间分辨率模拟、机载成像光谱数据处理分析的方法技术以及矿化识别信息提取方法上下功夫。

1.3.2 技术流程

图 1-3-1 为本研究的技术流程框图。

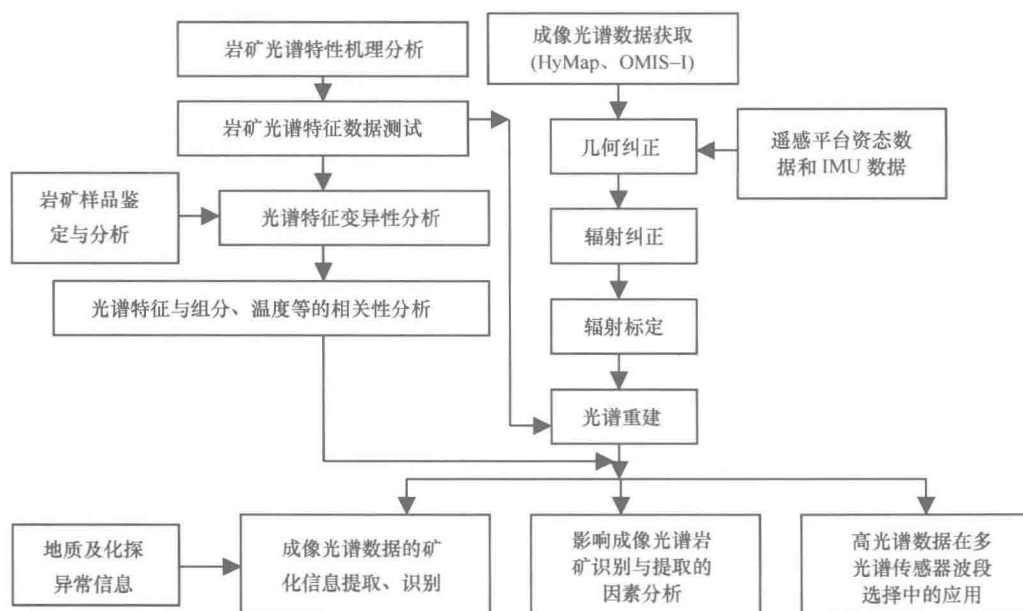


图 1-3-1 研究的技术流程图

1.3.3 本研究采用的技术手段

1.3.3.1 机载成像光谱数据获取

本研究使用的成像光谱数据来源于两种机载成像光谱仪,新疆东天山土屋东-三岔口试验区的成像光谱数据获取使用澳大利亚 HyVista 公司最新研制的第二代高光谱分辨率、高空间分辨率的机载成像光谱仪(HyMap),对山东招远地区使用国产成像光谱仪 OMIS-I 获取数据。表 1-3-1 为 HyMap 和 OMIS-I 的主要技术性能参数。

1.3.3.2 岩矿光谱特性测试

岩矿光谱测试分析将使用美国光谱分析设备公司(ASD)研制的 FR-Pro 光谱仪和地球物理环境研究所(GER)研制的红外智能光谱仪。

表 1-3-1 HyMap、OMIS-I 成像光谱仪的主要技术参数表

OMIS-I				HyMap			
光谱范围 (nm)	波段带宽 (nm)	光谱采样间隔 (nm)	波段数	光谱范围 (nm)	波段带宽 (nm)	光谱采样间隔 (nm)	波段数
455 ~ 1092	10	6 ~ 10	64	437 ~ 1322	15	12 ~ 15	64
1053 ~ 1642	40	37 ~ 40	16	1396 ~ 1805	15	13 ~ 15	32
1941 ~ 2500	15	15 ~ 20	32	1952 ~ 2500	15 ~ 20	15 ~ 18	32
3000 ~ 5000	250	/	8	3000 ~ 5000	/		
8000 ~ 12000	500	/	8	8000 ~ 12000			
总波段数	128			总波段数	128		
瞬时视场 (mrad)	3.0			瞬时视场 (mrad)	2.5		
视场角 (FOV)	> 70°			视场角 (FOV)	60°		
扫描率(S/s)	5, 10, 15, 20 可选			扫描率(S/s)	10 ~ 16 连续可调		
行像元数	512			行像元数	512		
数据编码 (bit)	12			数据编码 (bit)	16		
探测器	Si, InGaAs, InSb, MCT 线列			探测器	Si, InGaAs, InSb, MCT 线列		
信噪比	/			信噪比	1:500 以上		
高精度定位设备	陀螺平台和 GPS			高精度定位设备	IMU; C-MIGITS, DGPS; OMNISTAR GPS		

1.3.3.2.1 ASD FR-Pro 光谱仪

FR-Pro 光谱仪采用高级吸收滤光片、标准内置光闸和漂移锁定自动校准功能,采样扫描时间短,操作简单,软件包功能强劲,标配 1m 长标准光纤探头(也可另外延长光纤)。其主要性能指标如下:工作波长范围为 350 ~ 2500 nm,室内外两用,单光路系统;在可见光、近红外波段上,光谱分辨率是 3 nm;在短波红外波段上,光谱分辨率是 10 nm;光谱采样间隔 350 ~ 1050 nm 段为 1.4 nm,1000 ~ 2500 nm 段为 2 nm;色散元件包括一个固定的两个快速旋转的全息反射光栅,探测器 Si(512 列阵)和 InGaAs(2 个),探测器响应线性为 $\pm 1\%$, PE 制冷恒温;视场角(FOV)为 1°, 3°, 5°, 8°, 10°, 25° 可选;测试时间小于 0.5 s;数据存取为计算机硬盘;量化值为 16 bits;测试精度为 3% (可见光,近红外反射率)和 5% (短波红外);波长精度为 ± 1 nm。

1.3.3.2.2 GER IRIS-III 型红外智能光谱仪

光谱测试仪为中国国土资源航空物探遥感中心实验室配备的 GER-IRIS-III 型红外智能光谱仪。仪器具有双光路系统,目标地物和标准参考板同时测量。其基本性能指标为:光谱范围为 0.40 ~ 2.50 μm (可见光、近红外以及短波红外);带宽为 2 ~ 4 nm;通道数为 800;总视场为 6°;光谱分辨率可见光为 2 nm,近红外到短波红外为 4 nm;光栅特征的闪跃值 500、1200、2200 nm;扫描区间为 400 ~ 790 nm、750 ~ 1800 nm、1750 ~ 2500 nm;标准参考板为聚四氟乙烯标准白板。

1.3.3.3 样品鉴定与分析

为了配合岩矿光谱特征研究分析,尤其是岩矿光谱特征与成因温度的相关性分析以及岩矿识别验证分析,本次样品鉴定分析试验将采用岩矿样品高温实验、样品岩矿鉴定和化学分析

等实验分析方法。

1.4 数据源

1.4.1 岩矿光谱数据

多年来使用红外智能光谱仪(IRIS)对大量的岩矿样品进行了野外和实验室光谱特性测试,并对岩矿光谱的特性、形成机理以及光谱特征数据处理分析与应用有一定程度的认识和理解,为本次深入研究岩矿光谱特性及其变异性分析奠定了基础。在此基础上,对新疆东天山试验区、山东招远试验区进行了野外(ASD FR-Pro 光谱仪)和室内(IRIS)的岩矿光谱测试分析,同时也利用河北张家口的崇礼-赤城地区的岩矿样品进行了光谱测试分析。使用了美国地质调查局(USGS)和美国宇航局(NASA)喷气推进实验室(JPL)的标准矿物光谱数据库。

1.4.2 成像光谱数据

本书的研究数据利用了国家“863”计划“对地观测技术在国土资源调查中的应用”研究课题中的“机载成像光谱应用技术服务系统(2001AA130033-5)”子课题和“新疆东天山土屋东-三岔口地区航空成像光谱调查(200115100004)”项目等提供的成像光谱数据。

1.4.2.1 HyMap 数据

对新疆东天山土屋东-三岔口试验区利用澳大利亚 HyVista 最新研制的成像光谱仪 HyMap(光学-机械扫描成像)获取了可见光、近红外和短波红外波长上 128 波段 3000 km^2 的高光谱、高空间分辨率的成像光谱数据。数据获取日期为 2002 年 10 月 10~23 日。试验区范围: $N42^{\circ}12.65'$, $E93^{\circ}12.58'$, $N42^{\circ}23.08'$, $E95^{\circ}20.00'$; $N42^{\circ}02.85'$, $E93^{\circ}12.58'$, $N42^{\circ}12.00'$, $E95^{\circ}20.00'$ 。数据获取时的主要技术参数为:波长 $0.40\sim2.50\text{ }\mu\text{m}$, 波段 128 个, 光谱带宽可见光、近红外为 15 nm, 短波红外为 15~20 nm, 相对航高为 2400 m, 空间分辨率为 $6\text{ m}\times6\text{ m}$, 扫描速率 12~16 扫/m, 视场角 $FOV=60^{\circ}$, 瞬时视场角 $IFOV$ 为 2.5 mrad。

1.4.2.2 OMIS-I 数据

对山东招远试验区利用成像光谱仪 OMIS-I(光学-机械扫描成像)(“九五”期间国家“863”计划 308 主题支持,上海技术物理研究所研制)获取的可见光、近红外和短波红外 112 波段 1500 km^2 的高光谱、高空间分辨率(见表 1-3-1)的长光谱数据。数据获取日期为 2002 年 9 月 20~27 日。数据获取时的主要技术参数为:波长 $0.40\sim2.50\text{ }\mu\text{m}$, 波段 112 个, 光谱带宽可见光、近红外分别为 10 和 40 nm, 短波红外为 15 nm, 相对航高为 2400 m, 空间分辨率为 $7\text{ m}\times7\text{ m}$ 。扫描速率 10 扫/m, 视场角 FOV 为 70° , 瞬时视场角 $IFOV$ 为 3.0 mrad。

1.4.2.3 CBERS-1(中巴地球资源卫星一号)和 ETM⁺数据等

本研究所使用的 CBERS-1 数据是 2001 年 9 月 26 日获取的 CCD 二级图像产品(Path/row=25/53),共有 2、3、4 三个波段。太阳高度角是 45.2° , 方位角是 161.1° 。为了与陆地卫星专题制图仪(ETM⁺)进行对比,选用了 1999 年 8 月 27 日的 ETM⁺ 图像(PATH/ROW=138/31)。太阳高度角是 53.1° , 方位角是 142.6° 。

1.5 主要实物工作量与研究成果

1.5.1 主要实物工作量

本研究工作的光谱数据以美国地质调查局(USGS)的标准矿物光谱数据库为主,岩石、矿石光谱数据以河北张家口的崇礼-赤城地区的岩矿样品光谱数据、新疆东天山试验区和山东招远试验区的野外和样品光谱数据为主,同时也补充一些其他岩矿光谱数据。在多光谱岩矿地质应用模拟分析研究、影像岩矿光谱信息提取分析研究和成像光谱遥感岩矿光谱信息提取与识别中,分别采用了多光谱 CBERS-1, ETM⁺ 和 HyMap 和 OMIS-I 成像光谱数据。具体的数据处理、分析及研究的工作量如下:

- (1) 分析并总结 USGS 标准矿物光谱数据库中的 220 种矿物近 500 条光谱特征曲线;
- (2) 分析实验室测试高温模拟岩矿样品 4 件;
- (3) 野外岩矿地物光谱测试包括河北张家口的崇礼-赤城地区 and 新疆东天山试验区的岩性、矿石以及定标地物;
- (4) 室内岩矿样品的光测试包括两个试验区的岩石、矿石和土壤样品近 300 件,光谱近 700 条,温度、粒度、化学成分、双向反射变化、样品混合等光谱测试约 300 条;
- (5) ETM⁺ 数据一景(185km × 185km);
- (6) CBERS-1 数据两景(6 个波段);
- (7) HyMap 数据 24 航带(128 波段 × 24);
- (8) OMIS-I 数据 4 航带(112 波段 × 4)。

1.5.2 主要研究成果

本研究的最终目的是为了深入了解遥感岩矿信息识别与提取过程中的影响因素,岩矿光谱特征信息在遥感探测过程中传递或发生变化的理论与成因机制,最大限度地消除各种因素对直接进行成像光谱遥感岩矿识别的影响,以便提高岩矿信息识别、鉴别与信息提取的能力,逐渐改善遥感在岩矿地质应用中存在的问题。通过上述研究取得以下主要成果。

1.5.2.1 试验区的岩矿光谱特征

通过分析研究试验区岩石、矿物的光谱特征,归纳总结了河北张家口的崇礼-赤城和新疆东天山试验区岩浆岩、沉积岩和变质岩的光谱特征,以及不同地层中的光谱差异性及其成因。

在河北张家口的崇礼-赤城试验区,对东坪、黄土梁两金矿区以及三道沟多金属矿的岩石(含蚀变岩和含矿岩脉)的光谱特征分析表明,在三个矿区,以黄土梁的褐铁矿化蚀变最强烈,其次为三道沟,东坪金矿最低;粘土矿物蚀变程度以三道沟多金属矿最为显著,其次为东坪金矿,黄土梁的粘土矿物蚀变最弱;东坪金矿蚀变类型由强到弱为钾化、硅化、绿帘石化、黄铁矿化和褐铁矿化,黄土梁金矿蚀变类型由强到弱为钾化、硅化、褐铁矿化、黄铁矿化、绿泥石化、黄铁矿化等,三道沟多金属矿的蚀变类型由强到弱为硅化、绢云母化、褐铁矿化、黄铁矿化等;从光谱特征推断的三个矿区的成矿相对温度,三道沟为低温,东坪金矿为中低温,黄土梁金矿为中高温。

在新疆东天山试验区,为了配合成像光谱数据处理分析和地质应用解译,开展了典型岩性与矿床(矿化点)矿石、矿化蚀变岩野外光谱实测以及实验室样品光谱测试分析。从光谱特征