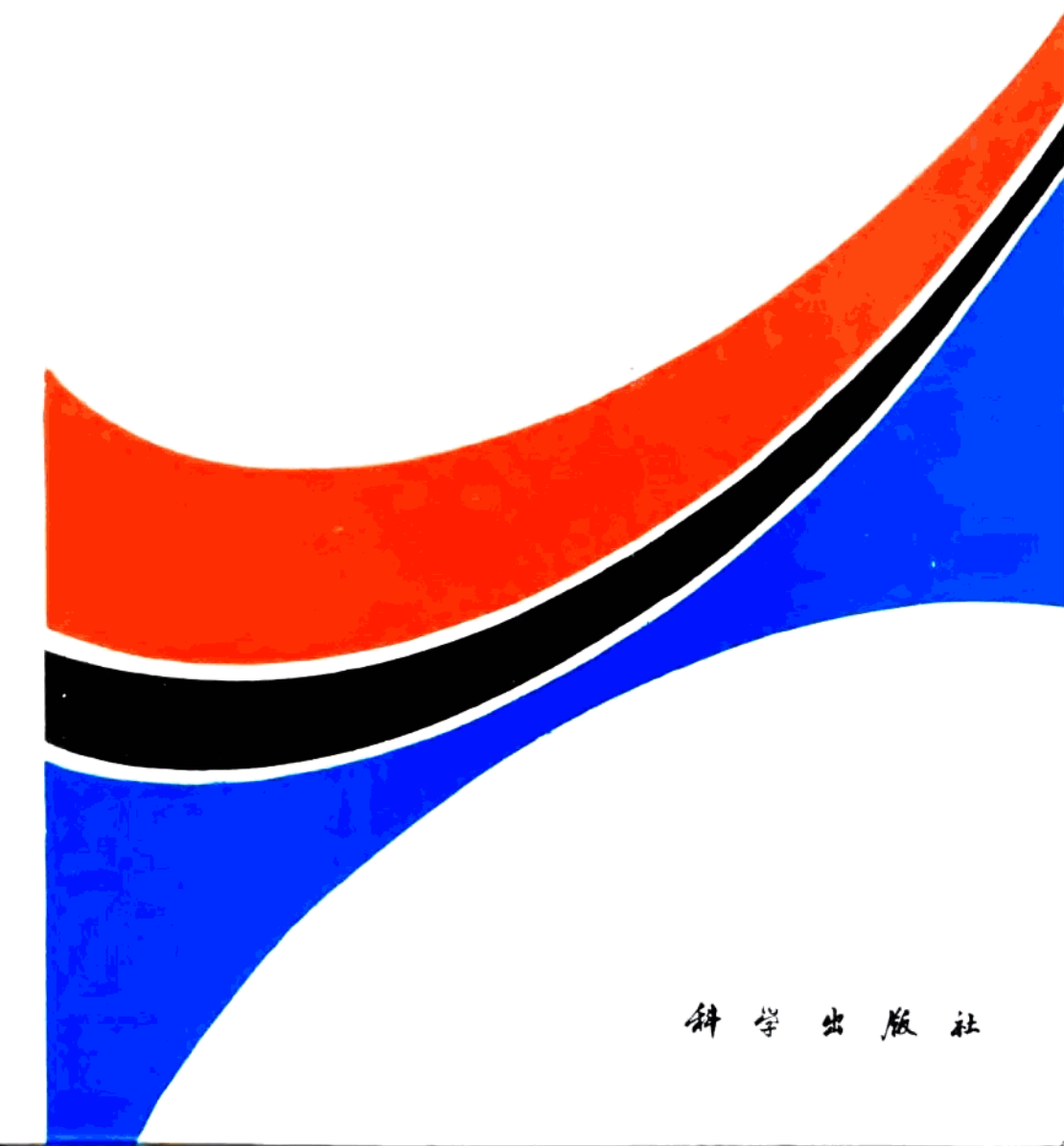


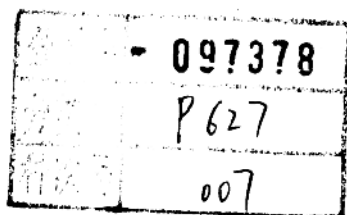
新疆北部固体地球科学系列书

新疆北部地质矿产遥感

郭华东 等著



科学出版社

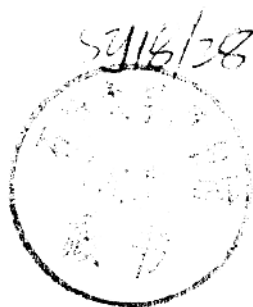


200829014

新疆北部固体地球科学系列书

新疆北部地质矿产遥感

郭华东 等著



00846776

科学出版社

1995

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

本书为“新疆北部固体地球科学系列书”之一。它是多波段多平台遥感技术应用于地质矿产探测的一部研究专著,系统论述了遥感地质找矿原理,多源遥感技术及其在新疆北部地区基础地质、金矿与有色金属矿产资源勘查的方法、效果及理论,同时分析了新一代遥感找矿技术的发展前景和应用潜力。全书内容翔实,结构严谨,有较高的理论水平和应用价值,可供从事遥感地质科研、教学及生产的专业技术人员与高等院校研究生阅读。

新疆北部固体地球科学系列书

新疆北部地质矿产遥感

郭华东 等著

责任编辑 彭 斌

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

新华公司 激光照排

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1995年9月第 一 版 开本:787×1092 1/16

1995年9月第一次印刷 印张:16 1/8 插页:8

印数:1—750 字数:368 000

ISBN 7-03-004905-5/P·857

定价: 35.00 元

序

新疆地域辽阔,地质构造复杂,蕴藏着丰富的地下矿产资源,是尚待开发的一块宝地。研究新疆地质构造及矿产分布规律,为我国西部地区经济腾飞做好资源准备,是地球科学工作的战略性任务。国家第七个五年计划期间,由新疆维吾尔自治区人民政府、中国科学院及地质矿产部主持了国家科技攻关项目“加速查明新疆矿产资源的地质、地球物理、地球化学综合研究”(简称“国家三〇五项目”)。中国科学院所属地质研究所、地球化学研究所、长沙大地构造研究所、南京地质古生物研究所、遥感应用研究所、地球物理研究所、中国科技大学、新疆地理研究所及高能物理研究所等十多个单位的300余名科技人员积极参加了三〇五项目的研究工作,承担了十余个课题的研究任务。五年来,在三〇五项目委员会及中国科学院资源环境科学局的领导下,广大科技人员努力奋斗,在基础地质、成矿理论及技术方法等各领域中都取得了一批丰硕的研究成果。

《新疆北部固体地球科学系列书》是中国科学院一些研究单位参加三〇五项目成果体现方式之一。1990年,三〇五项目的各个课题组经过评审,都向三〇五项目办公室提交了最终科研报告,其中包括了中国科学院的有关研究所的十余份报告。这些科研报告内容丰富、资料翔实、图件齐备,是中国科学院参加三〇五项目研究工作重要的成果。但由于各课题组提交报告的时间仓促而又紧迫,使若干重大理论问题考虑或讨论得不够深邃;另外,科研报告篇幅一般过大,都是洋洋近百万言,使一些读者参阅困难;再者,这些科研报告份数很少,只能在个别读者中流通。为了弥补这几方面的不足,使科研成果能够发挥更大的效益,经过多次蕴酿,在中国科学院资源环境科学局和科学出版社的大力支持下,决定出版《新疆北部固体地球科学系列书》。它包括一系列专著,是在科研报告的基础上经过提炼升华、去粗取精、深入加工而得到的第二次成果。系列书将包括下列专著:《新疆北部固体地球科学新进展》;《西准噶尔地区岩浆活动与金矿化作用》;《新疆北部地质矿产遥感》;《新疆北部花岗岩》;《新疆北部火山岩》;《额尔齐斯构造带构造演化》;《新疆北部地壳演化及成矿规律》等。

多年来,三〇五项目委员会、中国科学院资源环境科学局、新疆地质矿产局、新疆有色金属公司、中国科学院新疆分院、三〇五项目办公室等给予中国科学院各课题以极大的支持和热情的指导,在此谨向上述单位的领导和同志们表示深切的感谢。

涂光炽

1992.2.28

新疆北部固体地球科学系列书
编辑委员会

主 编：涂光炽
副主编：王中刚 沈远超 郭华东
编 委：涂光炽 王中刚 沈远超 郭华东
赵生才 张 弛 张湘炳 于学元
胡寿永 张汝玫

前 言

近年来遥感技术得到迅速发展。探测平台在不断增加,新型传感器相继出现,工作频率正向全波段延伸,空间及光谱分辨率逐渐提高,遥感图像处理技术获得质的进展,分析方法与能力进一步加强,地理信息系统的作用愈加明显。这些,为地质矿产研究提供了重要的技术基础。

赋存于地壳表层的含矿地质体,在特定环境与条件下,常以其构造和岩性特征、蚀变特征、或受其影响产生的地貌、土壤、植被等异常特征,反映于地表或近地表,其与电磁波相互作用形成的特征反映,使得遥感技术有能力捕捉这些信息,达到地质调查及寻找矿产资源的目。

新疆地处欧亚大陆腹地,大部分地区气候干燥,植被稀疏,基岩广泛出露,研究程度相对较低。这样的地区对于利用遥感技术开展基础地质研究及贵金属、多金属矿产探测是比较有利的。

1986年初,作为国家“七五”重点科技攻关计划第56项(国家三〇五项目)主要内容之一的“遥感技术在地质找矿中的应用研究”课题正式开展。在取得初步成功基础上,1987年国家三〇五项目办公室又设立了具有跟踪性质的“用遥感技术进行金锡地质矿产调查与研究”课题。同时,中国科学院于1988年开始在该区安排了院“七五”重中之重黄金项目“北疆地区遥感金矿靶区地质评价及新靶区遥感预测研究”课题。以上三项内容构成新疆北部遥感地质找矿的系统成果。来自中国科学院遥感应用研究所、广州地质新技术研究所、长沙大地构造研究所、地质研究所、新疆地理研究所及兰州地质研究所的68位科技人员先后参加了这项历时5年的研究工作,取得一批丰硕的研究成果。其中用遥感技术在阿尔泰地区发现的金矿床,已进入开采阶段,为当地经济建设作出了重要贡献。

该系统成果共形成26个不同序次的研究报告。本书是在研究报告基础上由郭华东主持撰写,参加各章编写的人员分别为:第一、二章,郭华东;第三章,李林、朱重光、张圣凯;第四章,董品亮、郭华东;第五章,董品亮;第六章,林树道、黄长林、陈广浩;第七章,郭华东、张雯华、王道经;第八章,郭华东、林树道、蔺启忠;第九章,崔承禹、刘嘉麒;第十章,刘子贵、郭子祺;第十一章,朱亮璞、郭华东;第十二章,郭华东、李林、董品亮。林树道参与部分章节修改。全书最后由郭华东定稿。

在课题研究阶段及本书撰写过程中,得到国家三〇五项目办公室、中国科学院资源环境科学局、中国科学院开发新疆科研工作办公室、新疆地质矿产局、新疆有色金属公司以及各课题参加单位的大力支持。中国科学院学部委员涂光炽、陈述彭、孙枢、叶连

俊先生给予了极大帮助和热情指导，特别是涂光炽先生，他亲任遥感找矿课题顾问，始终关心着本研究工作进展。谨此表示衷心感谢。

由于作者水平有限，书中缺点错误在所难免，恳望读者不吝指正。

郭 华 东

1992.1.15

目 录

序

前言

第一章 电磁波与地物的相互作用	(1)
第一节 电磁波谱	(1)
第二节 电磁波与岩石矿物的相互作用	(3)
第三节 电磁波与植被和水的相互作用	(7)
第四节 地物的雷达散射特性	(10)
第二章 地理地质背景及多源遥感数据获取	(13)
第一节 北疆地理及地质矿产条件	(13)
第二节 多平台多波段遥感数据的获取	(17)
第三节 遥感地质找矿方法选择	(24)
第三章 遥感图像处理及含矿地质体信息提取	(26)
第一节 遥感图像的预处理	(26)
第二节 图像增强	(30)
第三节 含矿地质体遥感信息提取	(36)
第四章 多源遥感及非遥感数据的复合	(45)
第一节 TM、HRV 与 SAR 图像复合	(45)
第二节 遥感和航磁数据的复合	(49)
第三节 遥感和化探数据的复合	(51)
第五章 地理信息系统在地质矿产调查中的应用	(53)
第一节 ARC/INFO 地理信息系统及其软件发展	(53)
第二节 GIST 地理信息系统及其软件发展	(57)
第三节 GIST 在蚀变带填图中的应用	(59)
第六章 遥感生物地球化学及定量统计分析	(63)
第一节 遥感生物地球化学找矿	(63)
第二节 遥感地质定量统计分析	(72)
第七章 北疆地质构造遥感分析	(98)
第一节 北疆线性构造的基本面貌	(98)
第二节 主要断裂带和断裂的影像特征	(98)
第三节 环形构造及其地质意义	(101)
第四节 用 NOAA AVHRR 图像划分大地线性构造单元	(103)
第八章 遥感技术在阿尔泰地区地质找矿中的应用	(111)
第一节 构造分析	(111)
第二节 岩性识别	(125)
第三节 金铜矿资源探测	(128)
第四节 恰奔布拉克金矿床的发现	(140)
第九章 遥感技术在准噶尔地区地质找矿中的应用	(158)

第一节	东准噶尔地质矿产遥感分析	(158)
第二节	西准噶尔地质矿产遥感分析	(185)
第十章	遥感技术在天山地质找矿中的应用	(193)
第一节	东天山地质矿产遥感分析	(193)
第二节	西天山地质矿产遥感分析	(202)
第十一章	遥感地质找矿方法讨论	(218)
第一节	多源遥感数据在地质找矿中的应用	(218)
第二节	地质矿产调查中多种遥感资料的适用性评价	(221)
第三节	新疆北部遥感找矿模型分析	(225)
第四节	遥感找矿程序讨论	(229)
第十二章	遥感技术找矿前景展望	(230)
第一节	新一代传感器的发展	(230)
第二节	信息提取技术的进步	(238)
第三节	综合分析能力的提高	(244)
参考文献		(247)
彩色照片		(249)

REMOTE SENSING FOR GEOLOGICAL MINERALS IN NORTHERN XINJIANG

Guo Huadong *et al.*

CONTENTS

Foreword

Preface

CHAPTER 1	Interaction between electromagnetic wave and surface materials	(1)
1.1	Electromagnetic spectrum	(1)
1.2	Interaction of electromagnetic wave with rocks and minerals	(3)
1.3	Interaction of electromagnetic wave with vegetation and water	(7)
1.4	Radar scattering characteristics of surface materials	(10)
CHAPTER 2	Geographical and geological background, and multi-source remote sensing data acquisition	(13)
2.1	Geography of Northern Xinjiang and conditions of forming mineral deposits	(13)
2.2	Acquisition of multi-platform and multi-band remote sensing data	(17)
2.3	Methodological choice using remote sensing data for mineral exploration	(24)
CHAPTER 3	Image processing of remote sensing data and extraction of information from ore-bearing geological bodies	(26)
3.1	Pre-processing of remote sensing imagery	(26)
3.2	Image enhancement	(30)
3.3	Extraction of information from ore-bearing geological bodies	(36)
CHAPTER 4	Integration of multi-source remote sensing and non-remote sensing data	(45)
4.1	Integration of TM, HRV with SAR images	(45)
4.2	Integration of remote sensing with aeromagnetic data	(49)
4.3	Integration of remote sensing with exploration geochemical data	(51)
CHAPTER 5	Application of Geographical Information Systems to the survey of mineral deposits	(53)
5.1	ARC/INFO geographical information system and its development	(53)
5.2	GIST geographical information system and its development	(57)
5.3	Application of GIST to the mapping of altered zone	(59)
CHAPTER 6	Remote sensing biogeochemistry and quantitative statistical analysis	(63)
6.1	Mineral exploration using remote sensing biogeochemistry	(63)
6.2	Quantitative statistical analysis of remote sensing data	(72)
CHAPTER 7	Remote sensing analysis of Northern Xinjiang geological structures	(98)
7.1	Essential outlines of Northern Xinjiang linear structures	(98)

7.2	Major faulting belts and image characteristics of faults	(98)
7.3	Circular structures and their geological implications	(101)
7.4	Using NOAA AVHRR images to classify regional linear structural units	(103)
CHAPTER 8 Applications of remote sensing techniques to the mineral exploration in Altay Region		(111)
8.1	Structural analysis	(111)
8.2	Recognition of lithological types	(125)
8.3	Detection of mineral resources for gold and copper	(128)
8.4	Discovery of Qiabulake gold deposit	(140)
CHAPTER 9 Applications of remote sensing techniques to the mineral exploration on Jungger region		(158)
9.1	Remote sensing analysis for mineral resources in Eastern Jungger	(158)
9.2	Remote sensing analysis for mineral resources in Western Jungger	(185)
CHAPTER 10 Applications of remote sensing techniques to the mineral exploration in Tianshan Mountains		(193)
10.1	Remote sensing analysis for mineral resources in Eastern Tianshan Mountains	(193)
10.2	Remote sensing analysis for mineral resources in Western Tianshan Mountains	(202)
CHAPTER 11 Discussion on the methods of remote sensing for mineral exploration		(218)
11.1	Applications of multi-source remote sensing data to mineral exploration	(218)
11.2	Feasible appreciation of multi-source remote sensing data in mineral exploration	(220)
11.3	Analysis for exploration models established from remote sensing techniques in North- ern Xinjiang	(225)
11.4	Discussion on the procedures of remote serving for mineral exploration	(228)
CHAPTER 12 Perspective of remote sensing for mineral exploration		(230)
12.1	Development of new generated remote sensor	(230)
12.2	Advance of information extraction techniques	(239)
12.3	Improvement of capability of comprehensive analysis	(245)
References		(247)
Color platos		(249)

第一章 电磁波与地物的相互作用

第一节 电磁波谱

电磁波谱是波长从纳米到米、以光速传播的连续能谱。这个能谱是按电磁波在真空中的波长排列的，从 γ 射线到无线电波，它被划分为不同的波段范围（图 1-1）。电磁波

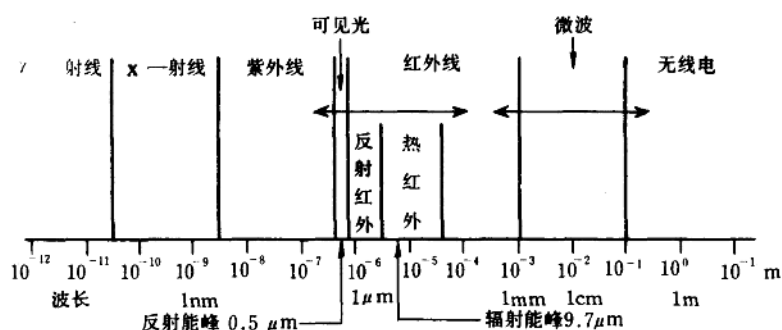


图 1-1 电磁波谱

(据 Sabins, 1987)

的短波长部分包括 γ 射线、X射线和紫外线产生于原子内层电子的跃迁和原子核子状态的变化，可见光与近红外辐射主要源于原子、分子中的外层电子跃迁，红外线产生于物质的分子振动和晶格振动，微波来自于物质的分子旋转和反转、电子自转及与磁场之间的相互作用。可见光波段（ $0.4-0.7\mu\text{m}$ ）在电磁波谱中仅占有很小部分。白天地球反射的最大值在 $0.5\mu\text{m}$ 处，是可见光的绿波段，称之为反射能峰。晚上亦辐射能量，最大的能量辐射在 $9.7\mu\text{m}$ 处。红外波段中的短波红外部分是识别热液蚀变矿物及蚀变带的有效波段。热红外（ $8-14\mu\text{m}$ ）对识别硅酸盐矿物非常有用。微波，特别是长波长微波有穿透云、雾、雨及夜间工作的能力，并能穿透某些干燥地物。表 1-1 概述了不同波段电磁波波长范围及其识别地物的作用。

大气圈在 γ 射线、X射线及大部分紫外波段吸收能量，因此，这些波段是不能用于遥感的。在微波、红外、可见光和紫外的长波段区，具有强反射的波段范围称为大气窗口，这些窗口是用以获取遥感图像的理想波段。图 1-2 表达了遥感传感器与常用电磁波段的对应关系。可以看出 Landsat TM、MSS 及 SPOT HRV 图像所用波段的不同特点。X 至 L 波段是雷达遥感中常用的波段范围。一般而言，波长越长，其穿透地物的能力越强。

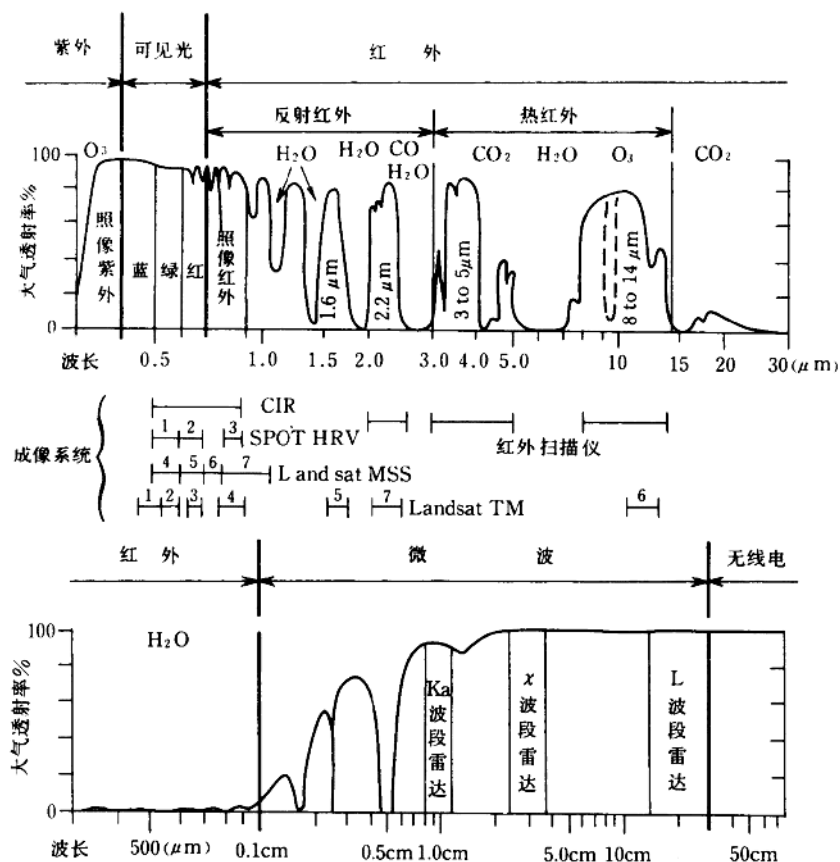


图 1-2 常用的电磁波段及与遥感器波段的对应

(据 Sabins, 1987)

表 1-1 电磁波谱范围与作用

名称	波长	说明
γ 射线	$< 0.03\text{nm}$	辐射能量全部被上层大气吸收, 不能被遥感利用
X射线	$0.03\text{--}3.0\text{nm}$	全部被大气吸收, 遥感不能利用
紫外线	$0.03\text{--}0.4\mu\text{m}$	小于 $0.3\mu\text{m}$ 的能量被上层大气臭氧吸收
摄影紫外	$0.3\text{--}0.4\mu\text{m}$	透过大气, 胶片可感光, 但产生大气散射
可见光	$0.4\text{--}0.7\mu\text{m}$	可用胶片及光电探测器成像
红外	$0.7\text{--}100\mu\text{m}$	与物质的相互作用特征随波长变化
反射红外	$0.7\text{--}3.0\mu\text{m}$	反射太阳辐射 $0.7\text{--}0.9\mu\text{m}$ 称之为摄影红外波段
热红外	$3\text{--}5\mu\text{m}$ $8\text{--}14\mu\text{m}$	热红外区的主要大气窗口, 这些波段的图像由光机扫描仪获取
微波	$0.1\text{--}30\text{cm}$	长波段能穿透云、雾、雨, 图像可由主动或被动形式获得
雷达	$0.1\text{--}30\text{cm}$	微波遥感的主动形式
无线电波	$> 30\text{cm}$	电磁波的最长波段, 长波段雷达亦工作在该波段区间

注: 据 Sabins, 1987。

第二节 电磁波与岩石矿物的相互作用

地质矿产遥感调查中,重要的一环是清楚地识别不同岩矿的有效波段。在可见光、红外波段范围内,目前有3个大气窗口,即可见—近红外(0.4—1.1 μm)、短波红外(1.1—2.5 μm)和热红外(8—14 μm)。它们在识别岩矿中分别有不同的能力。表1-2表示了其波长范围及可识别的主要矿物。可以看出,特别是短波红外波段,对识别热液蚀变典型矿物有重要作用。

岩石是矿物的集合体。岩石波谱是构成岩石各个组分波谱的综合反映。而矿物又是由不同元素组成的,以分子形式被不同的化学键连接起来。原子中电子跃迁比分子内振动跃迁需要更多的能量。所以前者以短波长、可见光范围为特征,后者以长波长、红外范围为标志。

组成岩石和矿物的最普遍的成分是氧、硅、铝以及含量不等的铁、镁、钙、钠和钾,另有少量其它元素。氧、硅、铝元素中原子的电子层结构使电子能级跃迁在可见光红外区间影响很小或基本没有影响,这时矿物波谱主要取决于矿物中一些离子及矿物分子结构的影响。由于元素离子价态,键的类型和配位形式的不同,组成矿物元素的能级会改变。产生跃迁的金属元素铁、铜、镍、铬、钴、镁、钒、钛等可以不同价的离子存在,其变化范围往往较大。

表 1-2 波长范围与可识别矿物

波段	波长范围 (μm)	可 识 别 矿 物
可见光	0.40—1.20	Fe、Mn 和 Ni 的氧化物、赤铁矿、镜铁矿
—近红外	0.50—0.80	植被
短波红外	1.30—2.50	氢氧化物、碳酸盐和硫酸盐
	1.47—1.82	硫酸盐类: 明矾石
	2.16—2.24	含 Al-OH 基团矿物: 白云母、高岭石、迪开石、叶蜡石、蒙脱石、伊利石
	2.24—2.30	含 Fe-OH 基团矿物: 黄钾铁矾、锂皂石
	2.26—2.32	碳酸盐类: 方解石、白云石、菱铁矿
	2.30—2.40	含 Mg-OH 基团矿物: 绿泥石、滑石、绿帘石
热红外	8.0—14.0	硅酸盐类: 石英、长石、辉石、橄榄石

(据 J. V. Tarantik, 1988)

图 1-3 表示了几种含铁矿物的反射波谱,这些特征是由铁离子(Fe^{2+})电子跃迁引起的。不同波长处的吸收特征与矿物中晶格的对称性、晶格扭曲程度及铁离子配位体有关,反射曲线中波谷表示在相应波长处发生了能量吸收,这样导致电子跃迁。所有这些特征都是由离子的跃迁和晶体场效应引起的。

另一种电子跃迁是由于有一种电子,它们的能量大到足以不被任何特定离子吸附,可从一个离子转移给另一个离子。这一特性使得金属具有高导电性。矿物中亦可发生称之

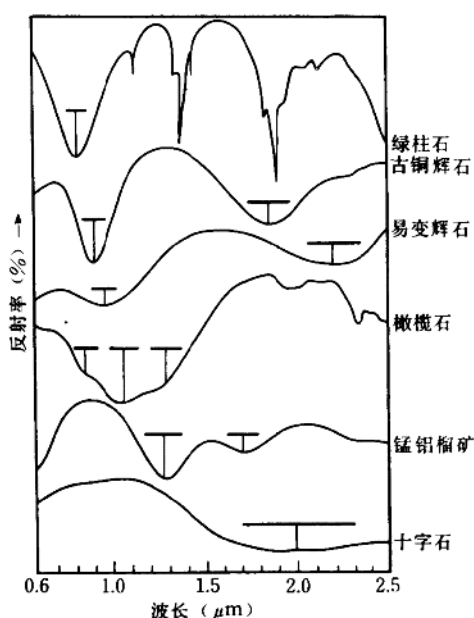


图 1-3 一些含铁矿物在 0.6—2.5 μm 波长间的反射光谱特征

为电荷转移的相似特征,这也是电磁波的窄波段能量诱发而产生的吸收特征。最常发生的电荷转移就是电荷由铁转移到氧,导致小于 0.55 μm 波长间的 Fe-O 转移波段。这是含铁矿物中最普遍的特征,以发生在铁氧化物中者最为明显(图 1-4)。所以含铁氧化物矿物或岩石常呈黄色、赤黄色或红色。

在可见光近红外波段,矿物中最重要的振动跃迁与羟基(OH^-)离子或水分子的存在有关。水分子有 3 个基本的振动跃迁,这是由于在 3.11 μm 和 2.90 μm 处 H-O-H 键的拉伸和在 6.08 μm 处的弯曲产生的。由于谐波和它们的组合,形成 1.9, 1.4, 1.14 和 0.94 μm 处的吸收特征,其特征成为矿物中出现分子水的判别标志(图 1-5)。

许多硅酸盐类矿物含有氢氧根离子,形成在 2.7 μm 处的拉伸跃迁,这种跃迁可以与其它跃迁形成谐波,比较重要的有 Mg-OH, Al-OH 弯曲跃迁,产生分别位于

2.3 和 2.2 μm 处的吸收特征,构成云母类矿物和粘土矿物的波谱特征,形成含氢氧根离子矿物的识别标记(图 1-6)。

相似的振动跃迁和谐波效应亦是碳酸盐矿物的主要特征,是由于 CO_3^{2-} 离子中的 C-O 键的拉伸和弯曲而产生的,在 1.9, 2.0, 2.16, 2.35 和 2.55 μm 附近形成特征吸收(图 1-7)。

位于 8—14 μm 间的热红外波段最重要的振动跃迁是由 Si-O 键引起的。理想电磁波辐射发射体是黑体,其反射总能量及在不同波长发射能量分布遵循斯蒂芬-玻尔兹曼和维思定律,这种分布的描述显示出特征曲线(图 1-8)。由理想状态推出了自然界物质的衡量标准——辐射率(ϵ_r),即该物质同黑体在给定波长、给定温度下的比值。灰体辐射率是恒量并且在任何波长下均小于 1。但是,大多数自然界物质的辐射率都随波长变化而变化,这些可称之为“选择性辐射器”,主要是由于振动跃迁阻碍了在特征波长处的辐射,石英便是很好的例子。正如图 1-9 所示,在近 6 μm 时其辐射近似黑体,但往长波长方向则偏离了黑体。

石英辐射曲线在 8 到 9 μm 之间的波谷是 Si-O 基团拉伸振动引起的,它们发生在所有的硅酸盐中(图 1-9)。非硅酸盐矿物在此波谱段的振动跃迁不同于硅酸盐。石灰岩和含铁岩石在该波谱段可容易被区分,并且也可将其同硅酸盐类岩石区分开来。

岩石在热红外波段辐射能量与其温度有关。根据斯蒂芬-玻尔兹曼定律,由总辐射能量可以计算出岩石表面辐射温度。岩石温度一般取决于两方面因素,即地球内部的热传

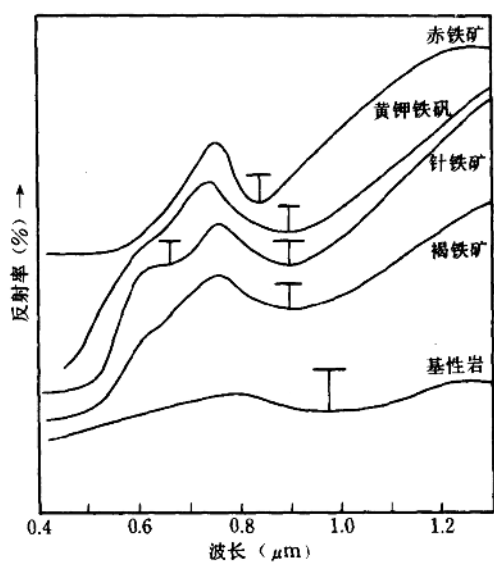


图 1-4 铁氧化物和氢氧化物在可见 近红外波段的反射光谱特征

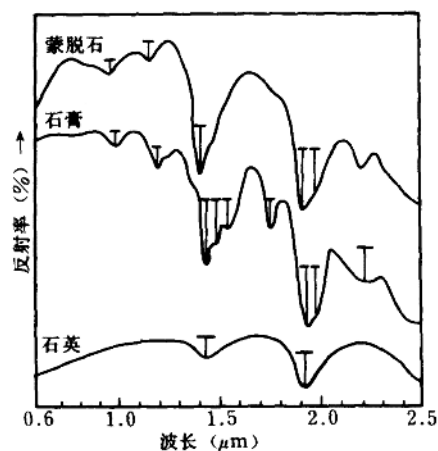


图 1-5 含有束缚水的矿物产生独特的波谱吸收特征 (Drury, S. A., 1987)

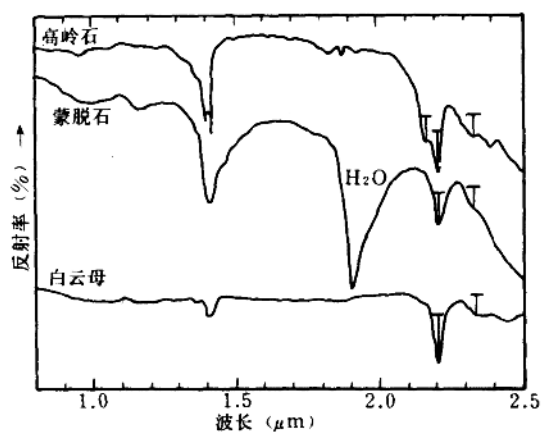


图 1-6 云母及粘土矿物的特征吸收波谱 (Drury, S. A., 1987)

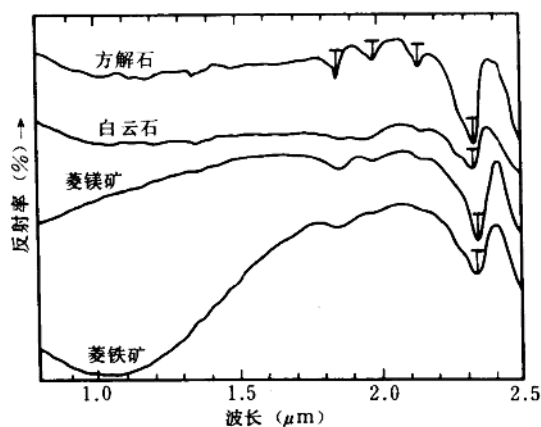


图 1-7 典型碳酸盐矿物的波谱特征

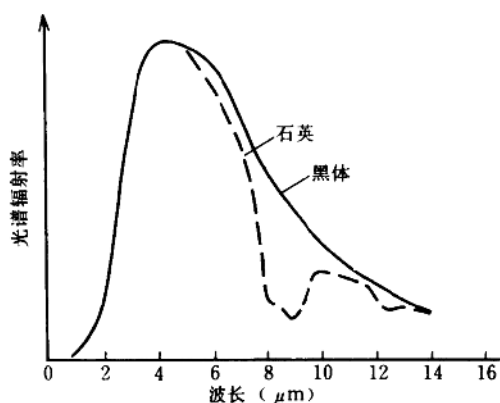


图 1-8 在 600K 时石英与黑体的波谱比较
(Drury, S. A., 1987)

导和白天对太阳能的吸收。在 1 天 24 小时的周期内，岩石温度是在变化的。最热时，表面温度最高，黎明之前温度最低。温度变化的范围和速率由物质的吸收、发射和热容量决定。这些变量可用热惯量表示。热惯量大的岩石冷热变化比较慢，所以白天温度变化幅度较低，而热惯量小的岩石在 24 小时内可显示出很大幅度的温度变化。