

高等学校规划教材

# 煤田遥感地质学

晁吉祥 夏炎 张弼斌 编

煤炭工业出版社

P13 110.2

-141

高等学校规划教材

# 煤田遥感地质学

晁吉祥 夏炎 张弼斌 编

煤炭工业出版社

**798180**

(京) 新登字042号

### 内 容 简 介

本书共三篇十五章。第一篇总论,包括遥感理论基础和最新成就、遥感技术系统和遥感资料的种类及应用;第二篇煤田航空遥感,包括航片特征、地质解译和实例、航空地质观测、热红外中侧视雷达图像的特征及其应用、煤田航空遥感地质工作程序和方法等;第三篇煤田航天遥感,包括卫片的特征和种类、地质解译和实例、图像的光学增强和计算机数字图像处理技术、煤田航天遥感地质工作程序和方法等。本书突出了煤田航空和航天遥感的各自特征、应用范围及其相互关系,并附图版27个、遥感图像110余幅和实习指导书。

本书是煤炭高等院校煤田地质勘查、水文地质及工程地质等专业的通用教材,也适用于其它地质专业,并可供广大生产、科研和教学等单位的地质工作者参考。

高等学校规划教材

**煤田遥感地质学**

晁吉祥 夏炎 张弼斌 编

责任编辑:宋德淑

\*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平里北街21号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

\*

开本 787×1092mm<sup>1/16</sup>, 印张 12<sup>1/2</sup>, 插页15

字数 286 千字 印数 1—535

1994年9月第1版 1994年9月第1次印刷

ISBN 7-5020-0963-9/TD·888

书号 3729 A0280 定价 8.75元

081297

## 前 言

《煤田遥感地质学》是参照中国矿业大学煤田地质系现行“遥感地质学”教学大纲修订的编写细纲。在修订中承蒙煤炭高等院校有关老师和从事煤田遥感工作的专家们热情鼓励，并提出了许多宝贵的意见和建议，特一并表示衷心地感谢。

在本书的编写过程中，我们始终注意了三个问题：一是结合本课程的特点，除了吸取同类教材的优点外，加强了实践应用的内容；二是结合煤田遥感地质工作的特点，对本书的体系安排做了新的尝试，即把航空和航天遥感分开编写，对煤田航空、航天遥感的各自特点、图像特征、信息提取、图象应用及工作程序和方法作了简明论述，突出了煤田航空和航天遥感的各自特征、应用范围及其相互关系；三是在本书的深度和广度上，以煤田地质勘查专业的大学本科生为主要对象，力图与遥感专业的大学生、研究生和其它地质专业的研究生区别开来，但很难做到恰如其分，尚需在应用中广泛征求意见，不断改进。

参加本书编写的人员有：中国矿业大学晁吉祥（绪论、第一、二、五、十四章）、夏炎（第三、四、五、七、八、十一、十二、十三、十四、十五章）和西安矿业学院张弼斌（第六、九、十章和实习指导书）。晁吉祥任主编，负责全书的统编定稿工作。

值得指出，中国矿业大学张大顺为本书提供了许多珍贵的遥感图像，谨在此表示真诚地感谢。

由于编者水平所限，错误和不足之处难免，敬请批评指正。

编 者

1993年9月

# 目 录

绪 论 .....	1
第一篇 总 论	
第一章 遥感的物理基础 .....	9
第一节 电磁辐射与电磁波谱 .....	9
第二节 地物的光谱特性 .....	12
第三节 太阳辐射和大气的影晌 .....	23
第四节 地物的波谱特征测试 .....	27
第五节 彩色原理 .....	30
第二章 遥感技术系统及遥感资料种类 .....	34
第一节 遥感技术系统 .....	34
第二节 遥感资料的种类 .....	41
第二篇 煤田航空遥感	
第三章 航空相片 .....	47
第一节 航空摄影 .....	47
第二节 航空相片的特征 .....	51
第三节 航空相片立体观察和量测 .....	60
第四节 航空相片资料和相片质量评定 .....	63
第四章 航空相片地质解译特征和方法 .....	64
第一节 航空相片地质解译特征 .....	64
第二节 航空相片地质解译方法和原则 .....	70
第五章 航空相片地质解译 .....	72
第一节 地貌解译 .....	72
第二节 岩性解译 .....	75
第三节 构造解译 .....	81
第四节 地层解译 .....	86
第六章 航空地质观测 .....	89
第一节 概述 .....	89
第二节 航空地质观测的准备 .....	90
第三节 航空地质空中观测 .....	91
第四节 室内整理 .....	92
第七章 热红外图像及其在煤田地质中的应用 .....	94
第一节 概述 .....	94
第二节 热红外图像的特征 .....	96
第三节 热红外图像在煤田地质中的应用 .....	99

<b>第八章 侧视雷达图像的特征及其在煤田地质中的应用</b> .....	101
第一节 概述 .....	101
第二节 侧视雷达图像的特征 .....	103
第三节 侧视雷达图像在煤田地质中的应用 .....	110
<b>第九章 煤田航空遥感地质的工作程序和方法</b> .....	117
第一节 准备工作阶段 .....	117
第二节 野外建立解译标志阶段 .....	121
第三节 室内详细解译阶段 .....	122
第四节 野外验证与调绘阶段 .....	123
第五节 编写报告及成图阶段 .....	124

### 第三篇 煤田航天遥感

<b>第十章 陆地卫星图像特征</b> .....	127
第一节 概述 .....	127
第二节 陆地卫星图像的几何特征 .....	131
第三节 陆地卫星图像的物理特征 .....	135
<b>第十一章 陆地卫星图像的地质解译特征和方法</b> .....	139
第一节 陆地卫星图像的地质解译特征 .....	139
第二节 陆地卫星图像的解译方法 .....	140
<b>第十二章 陆地卫星图像的地质解译及实例</b> .....	142
第一节 地貌解译 .....	142
第二节 地质解译 .....	144
第三节 卫星图像解译实例介绍 .....	149
<b>第十三章 陆地卫星图像的光学增强技术</b> .....	153
第一节 彩色合成增强技术 .....	153
第二节 假彩色等密度分割技术 .....	155
第三节 相关掩膜增强技术 .....	156
<b>第十四章 遥感图像的数字处理技术</b> .....	159
第一节 概述 .....	159
第二节 预处理——恢复处理 .....	161
第三节 图像增强处理 .....	163
第四节 图像分类处理 .....	167
<b>第十五章 煤田航天遥感的工作程序和方法</b> .....	169
<b>实习指导书</b> .....	175
<b>参考文献</b> .....	188
<b>图版</b>	



# 绪 论

遥感地质学是地质学 and 现代物理学之间的一门新兴的边缘学科。它是在传统的航空地质学的基础上，于本世纪60年代随着空间技术的发展而兴起的。

空间技术的发展，正在改变着地质学、天文学及其它一些科学的面貌。所谓空间技术即空中运载物加上探测仪器成像技术，而探测仪器成像技术即是通常所称的遥感技术。现在遥感技术已成为人类研究地球乃至宇宙的一种现代化技术手段。它通过摄影、扫描和全息等成像技术，得到了地质体各电磁波的影像，获得了过去无法感觉和记录的地质信息，大大地扩大了地质学的研究内容，并进而把地球各物理场结合起来，建立了地球物理场的相互转化关系，以阐明地球运动的起因及由此而引起的各种地质现象。遥感技术的发展，使地质学的研究获得了新的方法，提出了新的课题，也需要进行新的基础理论研究，因而遥感地质学便应运而生了，并在地质学中形成为一门最年青的分支学科。

## 一、遥感和遥感技术

遥感是遥远感知的意思。遥感技术是根据电磁波理论，应用各种光学、电子学和电子光学探测仪器即传感器，不直接与研究对象接触，而是从高空或远距离对研究对象的特性进行量测，再经过加工处理，并最终成像，从而达到识别研究对象的目的。

传感器是探测和收集电磁波信息的遥感装置。传感器的种类很多，如人眼就是一种灵敏的传感器，照像机是最简单和最常用的传感器。安装在飞机或卫星上的传感器有航空摄影仪、多波段扫描仪、侧视雷达、电视摄影系统等。传感器的运载工具有飞机、气球、火箭、人造卫星等，称为遥感平台。由于遥感平台不同，可分为地面遥感、航空遥感和航天遥感。在地面上，用汽车、船只作为运载工具，由人直接操作在地面上进行遥感，称地面遥感。用飞机或气球作为运载工具的遥感，称为航空遥感，又称机载遥感。用卫星、火箭或宇宙飞船作为遥感的运载工具，称为航天遥感，又称星载遥感。

遥感又可分为被动遥感和主动遥感。利用传感器，被动地接收地物反射太阳辐射或地物自身发射的电磁波，以了解地物性质的方法，称为被动遥感。用人工电磁辐射源，主动地向地物发射电磁波，然后利用传感器接收地物反射回来的电磁波以了解地物性质的方法，称为主动遥感，也有人称为遥测。这种方法不依赖太阳作为辐射能源，可以昼夜工作。主动遥感和被动遥感所获得的遥感信息，都是以电磁波的强弱来表征的，可以被转换成可见的影像形式，又统称为成像方式遥感；当仅对研究对象的辐射强度进行一度空间的测定时，如测距、测温、测光谱特征等，只能获得数据或曲线，则称为非成像方式遥感。

应用传感器获取目标物电磁辐射信息的测量方法，按目标物的电磁辐射范围有可见光摄影测量、电视测量、多波段测量、全息摄影测量，以及紫外、红外、微波（雷达）、激光测量等，但是不包括对地表以下的测量，所以又称为狭义的遥感技术。广义的遥感技术还应包括重力、磁法、地震波和声波等地球物理测量。由于地球物理测量已形成一门独立的学科，所以遥感技术的概念，通常是指狭义的遥感技术，并把电磁辐射信息称为遥感信息。

由于遥感技术所提供的资料具有图像覆盖面积大、遥感信息丰富和资料获得迅速等特点,在地质中得到广泛地应用,为找矿找水、煤田的普查预测、油气普查以及勘查地热资源、宏观地质现象的研究等提供了先进的手段,同时在军事、地理、农林、气象、测绘、海洋及环境保护等40多个领域里日益发挥着重要的作用。

## 二、煤田遥感地质学的研究内容和方法

煤田遥感地质学是遥感技术在煤田地质研究和煤矿生产中的应用,其研究内容和方法与一般的遥感地质没有原则上的区别。但是,由于煤矿产与其它矿产资源之间,无论是成矿原始物质、建造特征、构造控制(包括成煤期前、成煤期和成煤期后)以及分布规律和赋存状况都有许多独特之处,又由于煤矿生产带来的许多环境问题,如地表沉陷、水资源污染、陷落柱等等,也有别于其它矿产资源的开发,因而在地表地形、水系、植被、土壤、岩性、地质构造等方面都有其独特的特征,反映在电磁波谱特征与影像特征等方面都有明显的差异,形成了煤田遥感的独特的研究内容和方法。

### (一) 煤田遥感地质学的研究内容

#### 1. 研究地质体和各种地质现象的电磁波谱特征

遥感地质是根据和利用地质体的电磁波谱特征,从各种地物电磁辐射的遥感资料中提取地质信息,来研究地质体和各种地质现象。不同的地物,具有不同的光谱特性,不同的电磁辐射波段,需要用不同性能的传感器才能接收、量测和记录。所以,地物的光谱特性是遥感技术的重要理论依据,它既是选择传感器工作波段的依据,又是遥感数据正确分析和判读的理论基础。遥感工作者的一个重要任务就是根据生产和科研的要求,正确选择工作波段和传感器;而正确选择工作波段和传感器,则必须进行一系列遥感测试工作,提供设计参考。

#### 2. 研究地质解译的原理和方法

遥感地质是借助于遥感技术对地面进行地质探测,并将所获得的图像和数据资料进行地质解译,据此作出各种比例尺、各种类型的地质图件,用以研究和解决各种地质问题。所以,遥感地质工作所依据的遥感影像和数据资料是最基本的遥感资料。因此系统地建立各种地质体和各种地质现象的解译标志,是遥感地质研究的基本内容。

#### 3. 发展遥感图像处理技术

遥感图像处理技术包括预处理和应用处理两部分。目前,我国的遥感图像预处理技术基本上已赶上国际先进水平,无论是对遥感数据的接收、记录和系统校正,还是为各个应用领域及时提供高质量的遥感信息,都实现了电子计算机化。但由于历史原因,目前从事遥感图像处理的人员大多出身于电子、计算机、数学、物理等专业,很难满足各种不同应用目的所要求的图像处理任务。作为煤田遥感地质科技人员,应该从图像预处理获得的反映各种地质体和各种地质现象的综合遥感信息中,提取对煤田地质研究有用的遥感信息,并转化为对煤田地质有用的图像,这就是应用处理。为此,就需要深入研究从综合遥感信息中如何突出需要的信息,排除那些无用的干扰信息。

### (二) 煤田遥感地质学的研究方法

煤田遥感地质学的研究方法与常规地质工作的研究方法不同。遥感地质方法主要是依据遥感资料并从遥感资料中提取地质信息来研究地质体和各种地质现象,因而遥感地质工作是以遥感资料的地质解译、处理、分析和野外验证为主,室内工作任务重于野外,减轻



了地质工作繁重的体力劳动。其具体方法包括：遥感影像的目视解译技术和方法；遥感影像的光学增强处理技术和方法；遥感影像的计算机数字图像处理技术和方法；地面地物波谱测试的技术和方法。

上述方法和常规地质工作方法比较，具有速度快、投资少、精度高等优点。在有些情况下，还能完成地面地质调查所不能或很难完成的工作任务。

### 三、煤田遥感地质学与其它学科的关系

煤田遥感地质学是一门综合性和实用性很强的自然技术学科。首先，它的理论基础涉及到现代物理学、光谱学、数理统计学、数学地质学、现代光学技术、电子计算机技术、摄影技术等多种学科。其次，在应用中还需要有广博的地质学基础，如岩石学、构造地质学、大地构造学、煤田地质学、水文地质学、地貌及第四纪地质学等。此外，为了探索扩大并充分利用有价值的地物光谱的差异性，压制起干扰作用的遥感信息，需要有地理学、土壤学和植被学的知识，为改进煤田遥感地质工作程序的研究，与区域地质测量和煤田普查与勘探方法关系密切。

### 四、遥感发展概况

“遥感”一词是美国前海军科学研究所伊夫林·L·布鲁伊特提出的。由于这个术语概括了从遥远的运载工具上进行各种观测的全过程，所以1962年在美国密执安大学威洛·莱恩实验室负责召开的第一次国际环境遥感讨论会后被科学界很快地接受了。

遥感技术被用于军事目的而迅速地发展起来，此外，由于运载工具和传感器的不断革新和广泛的应用性，也逐渐引入地质学和其它科学领域。遥感技术的发展，大致经历了如下发展阶段。

#### 1. 航空遥感发展阶段

第一张航空相片是达格雷 (Daguerre) 和尼普斯 (Niepce) 拍摄的，并由达格雷于1939年公开发表。在此后的很长一段时间里，航空相片主要用于军事、气象和地形测绘试验。

最初的运载工具是气球和风筝，或把相机绑在鸽子胸前。1903年莱特兄弟发明飞机后，于1909年开始有了机载可见光黑白航空相片。摄影技术首次应用于测绘地形图大约是1840年，直到1913年，摄影技术才开始用于地质研究。例如，在利比亚应用常规航空摄影的镶嵌图编制了“本戈逊”地区的油田地质图。

第一次和第二次世界大战极大地促进了航空遥感的发展。在两次世界大战期间及其以后的40余年里，航空遥感技术的发展突飞猛进，主要表现在以下两个方面。

首先是航空摄影技术的飞速发展。主要表现为传感器和感光材料的不断改进和更新，除了常规黑白摄影机有了很大改进外，1937年常规彩色摄影在阿拉斯加首次用于测量和绘图。此后，相继出现了非常规摄影和非摄影式传感器。其中，非常规摄影，如彩红外摄影、多波段黑白摄影、紫外摄影等；非摄影式传感器，如红外系统、激光与发光系统、雷达系统等。光、电技术的发展，使图像可记录的波长范围从可见光扩展到紫外、远红外以及微波波段，加上新型感光材料相继研究成功和应用，使人类对自然界的观察内容大大的丰富了。

其次是像片判读技术的发展。第一次世界大战中，像片判读人员成了各交战国武装部队的眼睛。1918年战争结束后，军事像片判读虽有停滞现象，但在其它科学领域却取得了许多进展。例如，农业土地管理、森林调查，以及美国勘探局进行绘制地形图和地质图

等；1943年由芝加哥规划委员会出版的《住宅利用总平面图》就是根据航片判读得到的资料编制的。同时，若干种杂志开始介绍摄影测量和相片判读技术，如美国摄影测量协会于1934年首次发行《摄影测量工程》月刊，在德国和前苏联也出现了类似刊物。

第二次世界大战极大地刺激了相片判读的发展。伴随着目视解释的发展，为提高目视判读效果及提高绘图质量和速度的立体镜、立体绘图仪、多倍仪、纠正仪等先后研制成功并广泛地投入使用，有关判读和利用航片的文章和书籍也大量涌现，其中影响较大的综合性出版物从本世纪40年代初开始陆续问世。1941年A·J·厄德利(Eardley)出版了《航空相片：应用与判读》一书，该书的贡献在于把航片应用到地质科学；1960年R·G·雷出版了《航空相片：地质判读与绘图》，该书详尽地论述了从航片中可以提取出来的地质资料类的型，并利用黑白立体像对来说明各种地质特征；同年，美国摄影测量学会出版了由R·N·科尔韦尔(Colwell)主编的《相片判读手册》，该书的独到之处在于它把航空摄影几乎应用于所有的地球科学，如地质学、土壤学、水文学、地理学、农学以及牧场、野生动物管理等等；1968年美国摄影测量学会又出版了《彩色航空相片判读手册》，该手册由J·T·史密斯(Smith)编辑，书中除用较大篇幅讨论像片判读外，还附有许多高质量的彩色航片及判读说明。

我国从本世纪50年代中期开始，也普遍进行了以地形制图为主的可见光黑白摄影工作。航空地质方法主要用于区域地质测量、矿产普查与勘探、大比例尺煤田地质填图；在我国西北地区的石油普查、干旱地区寻找地下水以及某些地区的水库工程地质调查、铁路路线调查等也取得了较好的效果。1956年武汉测绘学院、北京矿业学院和北京地质学院等高等院校先后编写了《航空摄影测量》教材，60年代各高等院校先后出版了航空地质教材，培养出一批遥感地质人才。

## 2. 航天遥感发展阶段

1957年10月，前苏联第一颗人造卫星的发射标志着人类向空间进军的飞跃，开辟了遥感技术进入航天遥感的新阶段。1958年1月美国也发射了一颗人造卫星，两国间展开了一场宇宙空间的竞赛，在遥感技术的发展方面各有特色。

美国发射的卫星、载人宇宙飞行和登月等活动，大约有57%用于军事目的。1961年1月，美国国家科学院、海军研究局等单位开会讨论利用空间技术勘察地球资源问题，并由密执安大学出面发起“环境遥感讨论会”进行广泛的国际学术交流。其中于1964年10月召开的第三次交流会最重要，会上讨论了有关飞机和卫星遥感的各个方面，并论证了遥感技术在各个科学领域的应用性。与此同时，美国国家宇航局(NASA)组织执订并实施了一系列的实验研究计划，如“地球资源飞机计划(ERAP)”、“双子座计划”、“阿波罗计划”和“地球资源观测计划”等，1967年3月，在“地球资源观测计划”的基础上提出了“地球资源卫星计划(ERTS)”，确定了地球资源卫星的总体方案、技术设计和应用目标，为遥感形成全球性的科学技术系统奠定了基础。1972年7月23日，美国成功地发射了第一颗地球资源卫星(ERTS-1)，这一事件被誉为遥感技术发展的里程碑；此后于1973年5月又发射了载人的“天空实验室”飞船，除承担了部分地球资源勘测任务外，还进行了微波(雷达)测量试验。此外，在70年代里，美国还发射了两颗地球资源卫星(ERTS/Landsat-2,3)和海洋卫星(Seasat)，末期又发射了“热容量制图卫星(HCMM)”，开展了专题性的红外和微波遥感试验。从60年代初开始至70年代末的20年里，美国已组成了比较完整的

卫星系列。为专门研究运用卫星遥感技术调查地质矿产资源，美国地质矿业界成立了“地质卫星委员会”，负责提供遥感地质资料。1975年以来，先后出版了“遥感手册”及F·F·萨宾著的《遥感原理及解释》。美国在遥感地质研究中，偏重电子计算机的应用，大量遥感地质信息已进入自动识别和自动处理、成图的试验阶段。

前苏联的空间技术水平同样走在世界的前列，所发射的“联盟号”、“礼炮号”、“气象”、“宇宙”等卫星和飞船，其中68%用于军事目的。前苏联没有发射专门的地球资源卫星，也没有采用多光谱摄像设备。用于地球地质研究的卫星照片，大部分是从“联盟”号宇宙飞船和“礼炮号”长久轨道站上拍摄的；电视图片大部分是由“气象”、“宇宙”等卫星上的电视摄像机拍摄的；在“气象”卫星上还装有红外测量仪器，并通过卫星从1968年起对全球进行了磁力测量。前苏联地质部、科学院和主要高等地质院校为配合航天遥感，在重点地区同时进行了航空目测和地面地质研究。前苏联地质界认为，航天遥感为宏观研究地质作用的全球规律，探索地表构造的总格局，对地质作用进行全球对比，直至与其它星球进行对比方面提供了有效的手段。因此，前苏联十分重视遥感资料的地质应用，对遥感影像的分析比较深入，并于1978年出版了《地球的航天地质研究》，1980年出版了《航空摄影在自然资源研究中的作用》(B·E·什林著)，该书详细地论述了航空遥感的地质应用，很重视遥感机理条件的研究。

自1960年至70年代末的20年里，不少第二世界国家除与美国合作外，也积极筹备发展自己的独立的地球资源卫星系统。第三世界各国纷纷引进美国的卫星遥感资料，围绕森林调查、土地利用、矿产资源调查及干旱半干旱地区的开发利用等方面进行应用研究。印度和泰国均建立了地面接收站，我国的西藏、新疆南部和长江以南各省分别处于这两个接收站的工作有效区内。

我国于1970年4月发射了第一颗人造卫星，从此进入国际航天遥感的先进行列。此后，我国连续发射了数颗“尖兵号”卫星，依靠回收卫星获取可见光卫片，其地面分辨率可达8m。1978年3月，组织了各部门专家进行分析鉴定，并制订了80年代发射“国土”(GT)卫星和“科学实验”卫星的规划。“尖兵号”所提供的遥感资料详细地反映了我国大部分地区地质结构特征，经纠正处理后可编制1:50000~1:200000比例尺的地质图，加速了地质矿产调查，缩短了矿山开发周期，在石油普查勘探、海岸调查和地震研究中都取得了很好的效果。

80年代遥感的发展方兴未艾，国际间的竞争也愈加激烈。美国继ERTS/Landsat-1、2、3之后，于80年代又发射了Landsat-4、5两颗卫星，采用了改进的专题绘图仪(TM)传感器，提高了卫片的地面分辨率；同时，在航天飞机上实施了SIR-A、SIR-B计划，进行了雷达成像试验。此外，在遥感资料的处理上形成了完整的以目视解译、数字图像处理、数据库技术、计算机制图等为主体的技术处理系统。前苏联在继续保持其空间站试验的优势外，1988年向国际遥感界推出了地面分辨率为5m的航天摄影照片。法国发射的地球观测实验卫星(SPOT)，以其高分辨力和立体观测能力在美国引起了强烈的震动。欧洲空间局利用欧洲国家组织起来的优势，加紧推进以微波遥感技术及海洋研究为主的欧洲遥感卫星(ERS)系统的研究进程。日本除发射了气象卫星和海洋观测卫星(MOS)外，其地球观测卫星(JERS)的研究也取得了实质性进展。这是一颗以微波雷达和新型多波段传感器为主的卫星。印度的空间计划稳步发展，于1988年发射了印度资源卫星，其技术水

平相当于ERTS/Landsat-1。

我国在发展遥感技术中，航天遥感和航空遥感并重。在“尖兵”系列卫星的基础上发射了2颗回收型“国土”资源卫星及实验型极轨气象卫星等。在航空遥感方面实施了高空机载遥感实用系统的研究项目，为遥感的实用化及今后新型航天遥感的发展作了准备。在遥感应用方面，开展了三北防护林带和黄土高原遥感调查为代表的两大遥感工程，同时地质、石油、煤炭、海洋、气象、农业、林业、铁道、城建、测绘等部门都组建了专业队伍和机构，更广泛地开展了专业遥感应用。各高等院校和中等专业技术学校普遍开设了遥感地质学课程和培养了一批遥感专业硕士研究生。

90年代，遥感技术会有更大的发展，一切有能力发展空间技术的国家都尽力要在国际航空、航天俱乐部中取得一席之地。据不完全统计，各国在90年代将要发射的各类对地观测卫星可能要超过20个以上。事实证明，通过空间技术的发展，可以促进提高本国整个科学技术水平，同时在空间技术领域中的激烈竞争也必将更大地促进遥感科学技术的发展。从20世纪90年代到21世纪初可预见的将来，遥感技术和遥感地质学必将有明显的进展。

## 五、遥感在煤田地质及煤矿生产中的应用和地位

### (一) 形成新的地质工作程序

一些西方国家主张使用多级遥感资料，建立新的工作程序。即首先分析、解译航天遥感资料，了解区域性地质概况，确定找矿远景区；在有找矿远景区开展航空遥感和航空物探工作，进而确定成矿有利地段；在成矿有利地段开展地面综合勘探工作。前苏联在大、中比例尺区域调查中执行“组合地质测量”方法，反映了工作部署的变化。由此可见，由点到面的传统地质工作方法将被改革，逐步形成新的地质工作程序。

### (二) 深化煤田地质构造研究

利用遥感资料进行地质构造研究的优越性非常明显，取得的成果也较多，从而导出许多新的认识，提高了煤田地质构造研究的理论水平。例如，中国矿业大学与湖南煤田二队协作，在湖南涟邵煤田利用Landsat MSS图像共解译出断裂构造543条。其中，166条在过去的1:200000和1:100000比例尺的地质图上未曾标出。卫片对该地区的基底、表层和隐伏断裂网络显示清晰，为断裂构造的组合型式、形成机制、区域构造格局的研究提供了直观的依据，配合野外验证，修订了原来的地质图，丰富了该区地质构造，特别是断裂构造系统的内容，推动了该区的找煤研究工作。

### (三) 促进了煤田普查和预测

煤系的生成和变形均严格受地质构造条件控制。利用遥感图像来研究煤田区域地质构造，已成为目前煤田勘查中普遍采用的一项先进技术，其应用成效也日益明显。特别是利用陆地卫星图像解译，可以对大面积未经勘查的地区作出煤炭储量的远景评价，或者在第四系覆盖层下为煤田勘探和开采提供有价值的资料。

例如，东北煤田地质局和长春科学研究所的十一位遥感工作者，在1982~1985年期间利用航天遥感图像，在大兴安岭西坡70000km<sup>2</sup>的范围内研究了17个全部被第四系掩盖的含煤盆地。他们首先从地质研究程度较高，并已开发的霍林河盆地着手，主要研究了：在掩盖条件下，盆地构造的可解译程度；从已知的基底断裂（隐伏断裂及其伴生的基底断块）与影像特征的对应关系，建立解译标志；应用解译标志对盆地构造格架全面解译并补充对盆地构造格架的认识等三方面的问题。然后在此基础上，按照基盘全暴露型（该类型盆

地影像特别明显、盆地边界清楚、盆内影像差异较明显)、基盘半暴露型(盆地影像较明显、盆地边界可依据间接影像标志解译)、基盘全掩盖型(盆地周围基岩无出露,地面起伏不大,盆地边界影像模糊),对17个含煤盆地进行了解译,不仅修定了原预测的部分盆地范围,确定了含煤盆地的边界位置、方向、性质及内部次级构造单元,而且新发现了4个含煤盆地(即道巴盆地、乌拉盖牧场盆地、白音郭勒盆地和额和宝力格盆地),增加了煤炭储量。

#### (四) 在矿区和矿井水文地质及防治水中的应用

由于历史原因,我国许多煤矿区和矿井的开发是在没有搞清水文地质条件的情况下仓促上马的,以致出现了许多问题(如水资源污染、过量开采地下水造成地表沉陷、矿井突水造成淹井事故等等),严重地影响了煤矿的正常生产和人民的生命财产安全。

例如,淮南煤矿是我国有名的大煤矿,储量大、煤质好。但因多次突水,严重影响了原煤生产;同时,由于矿井排水,使奥陶系灰岩地下水位大幅度下降,造成地面塌陷。为此,煤炭部地质勘探研究院运用遥感方法(航空象片、卫星图像、热红外图像解译),对该矿区水文地质条件进行了研究。

通过航空相片和卫星图像解译分析,证实东西向构造受新华夏系构造切割是矿区突水的构造背景。通过红外图象解译,研究了第四系孔隙水、地表水和基岩裂隙水、岩溶水的关系,同时,从凌晨的热红外图像上还直接显示了塌陷区的总体轮廓。在此基础上,查明了矿区突水规律,并对沿断裂带可能发生的地面塌陷作出了预测,为该矿的生产和进一步开拓提供了决策依据。

#### (五) 在矿区工程地质及环境评价中的应用

##### 1. 矿区地面沉陷规律的研究

美国伊利诺斯州煤盆地是一个回采率高达80%~85%的房柱式开采的煤矿区。煤层埋深约230m,平均可采厚度2.5m,构造简单,地面有些沉陷点,但规律不清。开采引起的地面沉陷和土体移动经常发生毁坏公共设施、折断水暖管道和破坏房屋地基等事故,使该地的房地产主和居民产生严重的忧虑。

密苏里大学的遥感专家通过数据收集(包括区内地质钻孔记录、标明巷道、采空区及保护支柱等的类型和位置的矿山开采作业图,陆地卫星资料、彩红外航空相片、地面沉陷资料)、图像解译、数据库的分析和计算、多数据拟合分析等,研究了该区与地面沉陷有关的各种因素及其相关性,探索出地面沉陷地区与覆盖层岩性中以页岩为主和开采程度较高的地区有关,巷道支护好的采区不属于可能沉陷之列。沉陷影像与线性构造图拟合后表明,地面沉陷多发生在线性构造的交汇处及其附近。上述关系的发现对于矿区开采和确定沉陷的潜在范围十分有利,指导了土地使用。

##### 2. 工矿城市土地利用及环境研究

人类赖以生存的自然界,包括大气圈、水圈、岩石圈、生物圈和土圈,统称为“环境”。环境中能被人类利用的部分叫“资源”,如矿产资源、水资源、生物资源等等。人口、资源、环境三者相互联系、相互制约,共同组成一个大系统。长期以来,人们对这种关系缺乏认识,肆意攫取资源,以满足自身的物资需要,致使环境受到严重的创伤,人类自身的生存受到严重威胁。因此,调查环境状况,以便治理环境污染,或对可能产生的污染危害采取防范措施已引起人们极大关注。现代遥感技术可以提供工矿区宏观地质环境的

全面、系统的资料。

例如，山西晋城市素以煤铁之乡著称，各乡镇小煤窑炼铁炉星罗棋布，重工业以煤炭采选、黑色冶金、建筑材料为主，大气、水污染严重。为此，中国矿业大学测物系和晋城矿务局于1989年9月~1991年9月进行了遥感调查，在约40km<sup>2</sup>的城区内进行了航空彩红外摄影及热红外扫描成像；与此同时，进行了航空遥感监测、布点采样、同步(或准同步)观测、地面波谱测试、地面辐射温度测量、现场查勘、实地试验等野外工作及室内的分析解译、图像处理、计算机绘图等工作。基本查明土地利用现状，并对其结构进行了分析和评价，指出城市发展方向；绘出晋城市区大气污染源及大气污染强度分布图，提出了治理大气污染的方法措施；查清了建筑密度、固体垃圾分布状况及地表水体污染；评价了矿山开发对城市生态环境的影响。

从上述可知，遥感技术在煤田地质和煤矿生产中具有巨大的优越性和广阔的应用前景，但是，上述五个方面的应用绝不是遥感技术应用于煤田地质和煤矿生产的全部内容。所以，煤田遥感地质工作者担负着光荣的任务，即继续深入地研究煤田遥感地质学的基础理论和工作程序，并为扩大遥感资料在煤田遥感地质学领域和煤矿生产中的应用范围而努力奋斗。



# 第一篇 总 论

## 第一章 遥感的物理基础

遥感技术之所以能够远距离探测各种不同的地面目标,是由于目标本身具有不同的电磁辐射特性。所以电磁辐射及其与物体相互作用的原理,就成为遥感技术的理论基础。由于遥感的物理基础涉及面较广,而地学工作者主要是应用遥感技术所取得的遥感资料进行判读,所以仅就与应用遥感资料中有关的电磁辐射与电磁波谱、太阳辐射与大气层的影响、地物的光谱特征以及彩色合成等基本原理等作一概要地介绍。

### 第一节 电磁辐射与电磁波谱

#### 一、电磁辐射的基本特性

遥感技术获取的信息,实质上是目标物辐射的电磁波能量。电磁辐射是以每秒 $3 \times 10^8$  m的速度把辐射源的能量,通过自由空间直接地或经过反射和再辐射间接地传播到传感器。它是传感器和远距离物质之间高速联系的一个环节。那么,什么是电磁辐射或电磁波?它又具备怎样的特性呢?

##### 1. 波动性

19世纪初,人们已经发现光具有干涉、衍射等波动特征及显示横波特点的偏振性,但把光波与机械波(在弹性媒质中传播)等同起来。19世纪30年代,法拉第(Faraday)在著名的感应实验中证明了电场与磁场是相互联系的,即带电物体的周围空间存在一种真实的,但却是无形的力场,它随时可以对每一个指南针产生力的作用。19世纪60年代,麦克斯韦(Maxwell)发展了光的波动学说,建立起系统的电磁场理论,证明了电磁场以谐波的形式在空间传播。电磁波是横波,在真空中的传播速度与真空中的光速完全一致( $\approx 3 \times 10^8$  m/s)从而论证了光与电磁现象的统一性,说明光波是电磁波的一种(图1-1)。

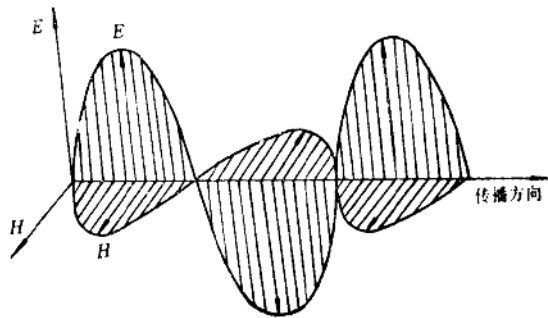


图 1-1 电磁波的电(E)、磁(H)向量

按照麦克斯韦的理论:在电力场和磁力场内存在着一种在数学上平滑的波动;电磁场是不可分割的,既不会有与磁分离的纯电波,也不会有与电分离的纯磁波;空间存在变化的电场,就会感应出变化的磁场,这个变化的磁场又会引起新的变化的电场。这样,电场和磁场相互激发循环不已的交替产生,使电磁场传播到很远的区域(图1-2)。电磁场在空间以一定速度由近及远的传播过程,形成了电磁波。电磁波的能量传播过程,叫电磁辐射。

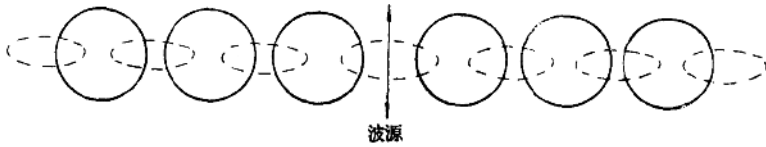


图 1-2 变化电场和变化磁场的传播示意图

图中，实线代表电场，虚线代表磁场  
 (引自赵振远，《遥感》，1981)

电磁波在物体中传播时，传播速度  $c$ 、波长  $\lambda$ 、波动频率  $\nu$  之间的关系为

$$c = \frac{\lambda}{T} = \lambda\nu$$

式中  $\lambda$ ——波长，波动传播时同一波线上两个周期相差  $2\pi$  的质点间的距离；

$T$ ——周期，波前进一个波长的距离所需要的时间；

$\nu$ ——频率，波的周期的倒数，即波在单位时间内振动的次数。表示频率所使用的术语见表 1-1。

表 1-1 表示频率所用的术语

单 位	符 号	频 率
赫 兹	Hz	1周/s
千 赫	kHz	$10^3$ 周/s
兆 赫	MHz	$10^6$ 周/s
吉 赫	GHz	$10^9$ 周/s

由上式可知，不同波长的电磁波，其频率也不同。波长愈短，频率愈高；波长愈长，频率愈低。

电磁辐射的波动性，主要表现为电磁波能产生干涉、衍射、偏振、散射、叠加、多普勒效应等现象。

## 2. 量子性

麦克斯韦的波动理论成功地解释了电磁辐射的传播，但在解释辐射与物质相互作用的一些重要现象时碰到了困难。在这种相互作用中，电磁辐射的习性像是由很多被称为光子的单个物体所组成，它们在能量和动量方面具有类似于粒子的性质。当辐射波长非常短时，这些现象就愈加明显。

1905年爱因斯坦推广了普朗克的能量量子概念，并用来解释光电效应现象，获得了满意的结果。证明了光的辐射能不是连续分布的，被电子吸收时也不是连续的，而是一份一份不连续地被吸收。光是运动着的粒子流，这些光粒子称为光量子，或称光子。每一光子的能量  $\epsilon = h\nu$ ，式中  $h$  即为普朗克恒量。单位时间内通过单位面积的光子数目决定光的强度。

光照射在金属上时，光子与电子相互作用，电子获得了光子的一份能量  $h\nu$  之后就脱离金属表面成为光电子，而无需累积能量的时间。按照能量守恒与转换定律得

$$h\nu = \frac{1}{2}mv^2 + \omega$$

式中  $h\nu$ ——电子所吸收的光子能量，

$\frac{1}{2}mv^2$ ——电子脱出金属表面后所具有动能，

$\omega$ ——电子脱出金属表面时的脱出功。

此式称为爱因斯坦光电效应方程。它直接解释了电磁辐射与物质相互作用时的重要现象。

由此可知，电磁波具波粒二象性，波长不同，其波动性和粒子性表现的程度不同。“光子”一词用来强调电磁辐射的量子化和统计特性，而“波”一词则用来强调电磁辐射的总平均效应。遥感传感器探测的是目标物在单位时间辐射的能量，由于电磁辐射的量子性，使某时刻到达传感器的辐射能具有统计性，并据此来推断“那里是什么？有多少？”。

## 二、电磁波谱

随着科学的发展，人们认识到不仅无线电波和光波属于电磁波，而且伦琴射线（x射线）， $\gamma$ 射线等也都是电磁波。所有这些电磁波本质上完全相同，都是横波，且都遵守同一的反射、折射、干涉、绕射、偏振定律，只是波源和产生的方法不同，波长或频率不同。按电磁波波长的长短或频率的大小，依次排列制成的图表叫电磁波谱（图1-3）。

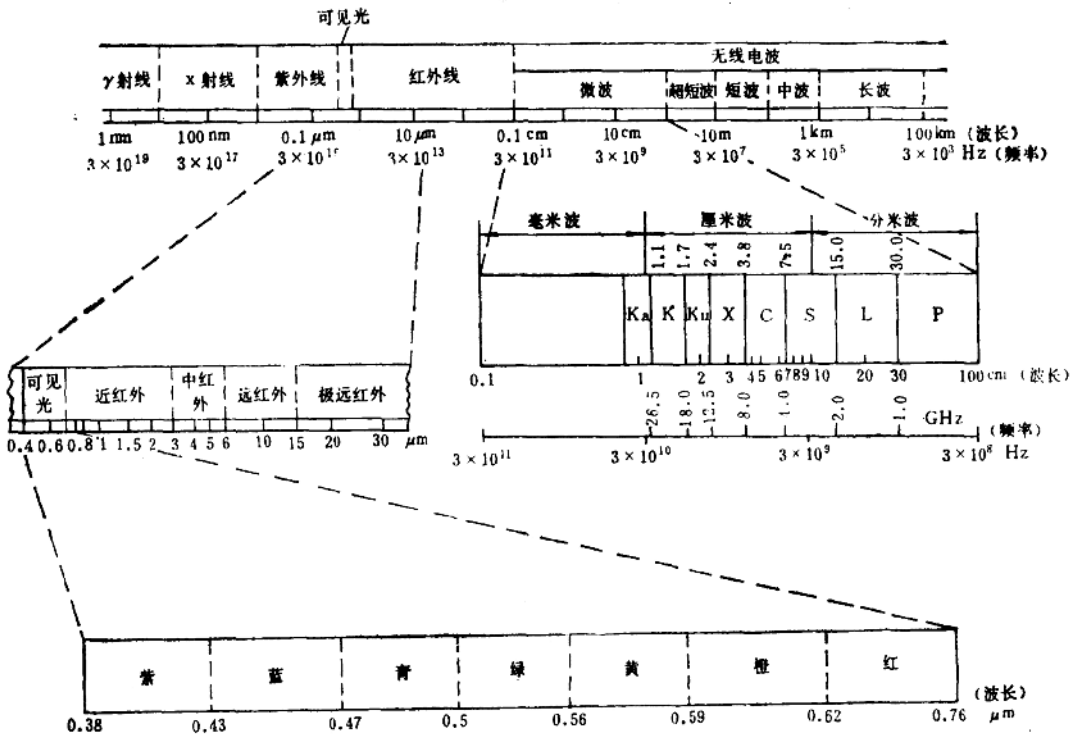


图 1-3 电磁波谱

(引自赵振远,《遥感》,1981)