

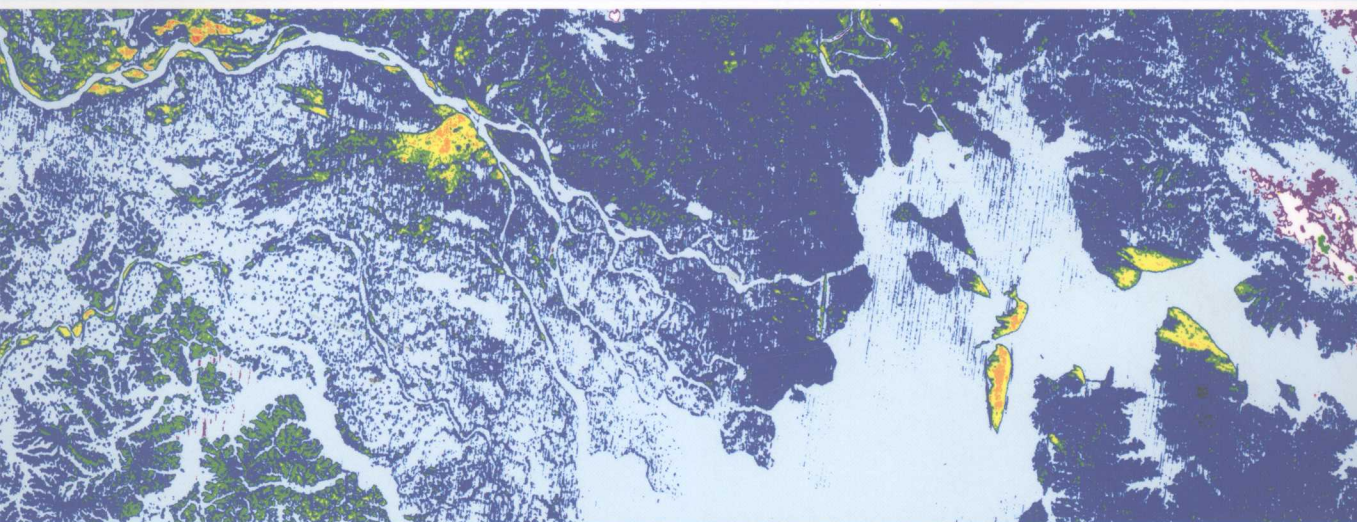
GEO-SPATIAL INFORMATION SCIENCE

● 高等学校摄影测量与遥感系列教材

环境遥感模型与应用

Remote Sensing of Environment:
Models and Applications

陈晓玲 赵红梅 田礼乔 主编



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

高等学校摄影测量与遥感系列教材

环境遥感模型与应用

主编 陈晓玲 赵红梅 田礼乔

编委 马吉苹 张 琍 殷守敬 叶 艺

李 辉 陈莉琼 孙乐成 吴忠宜



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

环境遥感模型与应用/陈晓玲,赵红梅,田礼乔主编. —武汉:武汉大学出版社,2008.2

图书在版编目(CIP)数据

环境遥感模型与应用/陈晓玲,赵红梅,田礼乔主编. —武汉:武汉大学出版社,2008.2

高等学校摄影测量与遥感系列教材

ISBN 978-7-307-06062-3

I. 环… II. ①陈… ②赵… ③田… III. 遥感技术—模型—高等学校—教材 IV. TP7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 201324 号

责任编辑:王金龙

责任校对:刘欣

版式设计:詹锦玲

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:wdp4@whu.edu.cn 网址:www.wdp.com.cn)

印刷:湖北金海印务公司

开本:787×1092 1/16 印张:16.625 字数:402千字

版次:2008年2月第1版 2008年2月第1次印刷

ISBN 978-7-307-06062-3/TP·285 定价:24.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

1

目 录

前 言	1
绪 论	1
0.1 遥感应用模型定义	1
0.1.1 地球信息模型	1
0.1.2 地球信息应用模型	2
0.1.3 遥感应用模型	2
0.2 遥感应用模型分类	2
0.2.1 经验模型	2
0.2.2 半经验模型	2
0.2.3 理论模型	3
0.3 本书的章节安排	3
第 1 章 遥感应用预备知识	5
1.1 遥感物理学基础知识	5
1.1.1 大气层结构和大气成分	5
1.1.2 电磁波谱与电磁辐射传输	8
1.2 遥感影像辐射定标与大气校正	16
1.2.1 系统辐射定标	16
1.2.2 大气校正	17
1.2.3 太阳位置引起的辐射误差校正	22
1.2.4 地形坡度坡向校正	23
1.3 遥感影像几何纠正	25
1.3.1 遥感影像的几何误差	25
1.3.2 遥感影像的几何纠正	25
1.4 几种常用卫星及其传感器	33
1.4.1 Landsat 卫星系列及其 TM/ETM+ 传感器	33
1.4.2 NOAA 卫星系列及其 AVHRR 传感器	35
1.4.3 SeaStar 卫星及其 SeaWiFS 传感器	37
1.4.4 Terra、Aqua 卫星及其 MODIS、ASTER 传感器	38
参考文献	44

第2章 温度反演模型	49
2.1 温度反演基础知识	49
2.1.1 热红外遥感温度反演原理	49
2.1.2 有关温度的几个概念	51
2.1.3 温度反演窗口的选择	52
2.2 海面温度反演	53
2.2.1 单通道直接反演与统计方法	53
2.2.2 多通道海面温度遥感反演	54
2.2.3 多角度海面温度遥感反演	58
2.2.4 多角度与多通道相结合的反演方法	59
2.3 陆面温度遥感反演	59
2.3.1 单窗算法(Mono-Window Algorithm)	60
2.3.2 分裂窗算法(Split Windows Algorithm)	62
2.3.3 温度、比辐射率分离算法(TES)	65
2.4 温度遥感反演结果的应用实例	72
2.4.1 海面温度遥感反演结果的应用	72
2.4.2 陆面温度反演应用	76
参考文献	78
第3章 水色遥感定量反演模型	82
3.1 水色遥感基础	82
3.1.1 水体光学特性	82
3.1.2 水体光谱测量	91
3.2 水色遥感大气校正	96
3.2.1 海洋-大气辐射传输模型	96
3.2.2 I类水体大气校正	98
3.2.3 II类水体大气校正	100
3.2.4 中国海岸带II类水体大气校正研究实例	101
3.3 水色遥感参数的定量反演算法	102
3.3.1 叶绿素浓度反演算法	103
3.3.2 悬浮颗粒物浓度反演算法	107
3.3.3 黄色物质浓度反演算法	110
3.3.4 其他反演方法	110
3.3.5 反演算法对比分析	114
参考文献	115
第4章 植被指数反演模型	122
4.1 植被指数的理论基础	122
4.1.1 植物叶片结构	122

4.1.2 植物光谱特征	123
4.1.3 植被指数的影响因素	125
4.2 常用的植被指数及其分类	131
4.2.1 简单的植被指数	132
4.2.2 基于土壤线的植被指数	133
4.2.3 减少大气效应的植被指数	135
4.2.4 高光谱和热红外植被指数	136
4.3 植被指数应用实例	137
参考文献	138
第5章 初级生产力遥感应用模型	141
5.1 初级生产力反演的基础知识	141
5.1.1 光合作用及其影响因素	141
5.1.2 初级生产力有关概念	142
5.1.3 影响因素	145
5.2 相关生物参量的遥感应用模型	146
5.2.1 叶面积指数遥感反演模型	146
5.2.2 吸收光合有效辐射遥感反演方法	148
5.3 海洋初级生产力的遥感应用模型	156
5.3.1 初级生产力的遥感模型原理	157
5.3.2 初级生产力遥感模型	158
5.4 陆地初级生产力遥感应用模型	165
5.4.1 气候相关统计模型	166
5.4.2 过程模型(机理模型)	168
5.4.3 光能利用率模型(参数模型)	170
参考文献	180
第6章 环境灾害遥感应用	188
6.1 干旱遥感监测	188
6.1.1 土壤热惯量方法	188
6.1.2 区域蒸散量法(基于能量平衡的区域蒸散研究)	190
6.1.3 基于植被指数和温度的方法	196
6.1.4 土壤水分光谱特征法	197
6.2 森林火灾遥感监测	198
6.2.1 火灾监测的原理及数据选取	199
6.2.2 森林火灾监测模型	199
6.2.3 火灾监测实例	202
6.3 雪灾遥感监测	203
6.3.1 积雪遥感监测原理	203

6.3.2	积雪范围遥感监测模型	204
6.3.3	积雪深度遥感监测	207
6.3.4	雪灾判别体系的建立	209
6.3.5	雪灾遥感监测实例	210
6.4	赤潮遥感监测	210
6.4.1	赤潮遥感监测原理	211
6.4.2	赤潮的遥感监测模型	211
6.4.3	赤潮监测实例	214
6.5	油污监测	215
6.5.1	激光荧光监测技术	215
6.5.2	紫外监测技术	216
6.5.3	可见光监测技术	216
6.5.4	红外监测技术	216
6.5.5	微波监测技术	217
6.5.6	其他用于溢油监测的技术	217
	参考文献	218
第7章	土地利用/地面覆盖变化	223
7.1	LUCC 基础知识	223
7.1.1	LUCC 基本概念	223
7.1.2	LUCC 计划及研究进展	225
7.2	LUCC 检测方法	227
7.2.1	分类前变化检测	227
7.2.2	分类后变化检测	231
7.2.3	变化检测方法的选取	233
7.3	LUCC 模型	233
7.3.1	LUCC 建模及其影响因素	234
7.3.2	常用的 LUCC 模型及其分类	234
7.4	总结与展望	251
	参考文献	252

绪论

遥感信息科学起源于20世纪80年代末期,是在遥感技术的迅速发展、集成和理论化过程中形成的,它是通过遥感地球物质系统的电磁波谱信息来模拟、反演和探讨地球表层不同尺度地学现象和过程的科学。遥感信息科学主要研究地球系统电磁波谱信息的获取、流动和转换等;所使用的技术主要包括对地观测技术、全球定位技术、遥感影像识别技术、遥感数据处理技术等;研究的地球物质系统主要集中于地球表面,如大气、海洋、水体、植被、地壳等。

遥感技术发展的目的是为地球科学及相关的应用提供数据及信息,但是,目前遥感信息的利用程度远远落后于信息获取的速度;遥感应应用模型的研究周期较长,跟不上实际需求。本书以遥感应应用模型为主线,以促进遥感人才的培养为宗旨,就海洋、水体、植被及环境灾害等各个方面遥感应应用模型的理论、方法及其应用作了全面阐述。本书可作为遥感学科本科生及研究生的遥感应应用模型课程的教材。

目前,遥感学界对模型的认识、概念多种多样,如,遥感应应用模型、遥感分析模型、遥感模型等各种说法。一般而言,遥感应应用模型是指用来解决实际问题的遥感信息模型;遥感分析模型则多以模型的数学算法为主体;遥感模型则是一个集合,它应该包括遥感理论模型、遥感分析模型、遥感应应用模型等。本书以实用化的遥感信息模型为主体,统一使用“遥感应应用模型”。

0.1 遥感应应用模型定义

遥感应应用模型是地球信息模型发展的一个重要分支,而地球信息模型又是地球信息科学发展的重要方向,所以,遥感应应用模型的发展最终是为了服务于地球信息科学。因此,要了解遥感应应用模型,首先需要了解地球信息模型。

0.1.1 地球信息模型

地球信息科学(Geo-information Science)是20世纪90年代初期,在全球定位系统(Global Navigation Satellite Systems, GNSS 或 Global Positioning System, GPS)、遥感(Remote Sensing, RS)、地理信息系统(Geographical Information System, GIS)和信息网络系统(Information Network System)等一系列现代信息技术快速发展和高度集成的推动下,在系统科学、信息科学与地球科学的交叉领域迅速发展起来的一门信息科学。

地球信息模型就是用模型来表达地球信息的状态、结构及其属性。地球信息模型具有以下功能:①通过简化地球系统的结构来描述和认识地球系统的构造,从而提取关心的问题;②通过汇集数据来综合系统的大量具体事实,从而发现地球系统的内在规律;③通过模

拟系统过程,预测系统未来变化;④通过建立逻辑关系,解释事物变化结果的必然性;⑤通过验证假说和理论,形成新的理论;⑥通过优化系统结构,设计新的方案。

0.1.2 地球信息应用模型

根据地球信息模型的定义和功能,有些地球信息模型主要用于理论研究,有些则侧重于解决现实世界中的许多实际问题。用于解决现实世界实际问题的地球信息模型,称为地球信息应用模型。

0.1.3 遥感应用模型

遥感信息模型是概念模型、物理模型和数学模型的综合集成,是应用遥感信息和地理信息影像化的方法建立起来的一种模型。

一个静态的物理模型,只有几何上的相似性问题;一个动态的物理模型除了几何上相似外,运动方式上也要相似;一个数学上的信息模型,除了几何上相似、运动方式上相似外,在数值定量上也要相似;一个遥感信息模型,除了几何上相似、运动方式上相似、数值定量上相似外,还要在影像上可视。所以,遥感信息模型由几何相似律、物理相似律和数学方程组成,还要用遥感信息中的独立变量和地理信息影像化的变量,针对像元作数学模型运算。因此,与前三类模型相比,遥感信息模型是可视化的模型,即形象模型与抽象模型结合的一类模型。用以解决现实世界中实际问题的遥感信息模型就称为遥感应用模型。

0.2 遥感应用模型分类

遥感的主要对象是地球表层。地理现象和地理过程是非常复杂的,既有必然的规律,又有偶然因素的影响,因此,建立遥感信息模型时,需要将事物发展的客观机理与试验观测结合起来,根据二者在模型中的应用情况,可将遥感应用模型分为经验模型、半经验模型、和理论模型三类。

0.2.1 经验模型

经验模型又称为统计模型,这类模型的输入主要来自遥感实验,是根据大量重复的遥感信息和其相应的地面实况统计结果所得到的模型。这类模型受一定的时空限制,缺乏对物理机理的足够理解和认识,代表性差,模型的应用受到区域实用性的限制。但这类模型所需参数较少,在缺乏理论模型或理论模型的参数要求过于复杂而难以获得的情况下,经验模型往往成为唯一可用的选择。

0.2.2 半经验模型

半经验模型又称为统计物理模型,它综合了统计模型和理论模型的优点,既考虑模型的定性物理含义,又采用经验参数建模。由于自然界的有些事物影响因素太多,从一定时空尺度衡量,变化是随机的,因此,必须将物理机制与随机统计有机地结合起来,这种方法是解决某些问题的有效途径。比较有代表性的“统计物理模型”有 Rahman 的地表二向反射模型等。

0.2.3 理论模型

理论模型以事物发展的机理为基础,研究遥感信息源与传输介质、目标相互作用的定量过程和结果,它是基于物理定律的确定性模式。然而,对于复杂的自然表面来说,理论模型存在误差,必须以实验(或试验)验证模型的灵敏度和精度。因此,遥感实验不可缺少。

理论模型通常是非线性的,方程复杂、输入参数多、实用性较差,为了求解,通常忽略或假定多个非主要因素。遥感中常见的理论模型有植被二向性的辐射传输模型、几何光学模型等。

0.3 本书的章节安排

随着遥感应用的深入及遥感定量反演需求的日益增加,遥感应用模型已广泛应用于生态与环境参数的反演,如陆地及海洋初级生产力估算中有关植被的各种参数(叶面指数、植被指数、绿度指数等)、作物估产模型、温度以及水色等参数的反演等。全书可分为三大篇:基础篇(第1章),参数反演篇(第2~4章)以及综合应用篇(第5~7章)。有关遥感应用模型及其具体应用将在有关章节中详细阐述,具体章节安排如下:

第1章:遥感应用预备知识

该章介绍遥感数据采集过程中产生误差的原因及其校正方法,主要包括大气校正和几何纠正两部分。在该章的最后,简要介绍了本书所涉及的卫星及传感器数据,目的是使初学者有概要性的认识。

第2章:温度反演模型

该章首先介绍热红外遥感温度反演的基本原理及相关术语,然后,将地表温度反演分为海面温度反演和陆面温度反演两部分,详细介绍地表温度反演的各种方法。最后,简要给出了地表温度反演的应用。

第3章:水色遥感定量反演模型

该章按照“原理—参数反演模型”的结构,首先,详细介绍了水体的组分及光学特征,同时,就水体的光谱测量规范和操作流程作了简要说明,从而为水体中水色要素:叶绿素、悬浮泥沙及黄色物质等的遥感反演奠定理论和验证基础;然后,详细介绍了水色定量遥感中的关键问题——大气校正;最后,给出了各水色参数的遥感定量反演模型。

第4章:植被指数反演模型

陆地植被作为陆地生态系统的重要组成部分和核心环节,对气候变化具有调节与反馈作用,是人类调节气候、减缓大气 CO_2 浓度增加的主要手段。植被指数是目前发展最为成熟、种类最多的遥感生态学参数之一。该章首先简要介绍了植被叶片的结构及影响植被指数反演的诸因素;然后,详细介绍了常用的植被指数及其发展趋势;最后简要介绍了植被指数的应用并举例说明。

第5章:初级生产力遥感应用模型

在具备了第4章中描述的植被指数反演知识的基础上,本章详细介绍了海洋及陆地初级生产力反演的基础知识、相关生物参量的反演模型及方法、海洋和陆地初级生产力反演模型及方法,并就常用海洋初级生产力反演模型(VGPM)和陆地初级生产力反演模型(CASA

和 GLO-PEM)的应用作了详细说明。

第6章:环境灾害遥感应用

该章详细介绍了不同类型灾害的遥感监测方法,主要包括干旱、森林火灾、雪灾监测、海洋赤潮及油污的遥感监测方法,并简要给出了不同灾害类型遥感监测的实际应用。

第7章:土地利用/地面覆盖变化

全球土地利用和地面覆盖变化(LUCC)已经被公认为是人类活动影响全球环境变化的主要因素。该章首先概要介绍了 LUCC 研究背景及相关知识;然后,系统介绍了 LUCC 检测方法;最后对 LUCC 模型进行了重点叙述,在总结各类模型的基础上,选取典型模型进行了具体阐述。

第1章 遥感应用预备知识

遥感是通过对不直接接触地物目标所获取的地物电磁辐射信号进行处理分析与解译,来提取地物的定性定量特征并进行专题分析研究。理想的遥感影像应该能够真实地反映地物的辐射和几何特性,但传感器在接收来自地物的电磁辐射能时,由于电磁波在大气层传输和成像过程中受到传感器本身特性、地物光照条件(地形和太阳高度角等)以及大气散射、吸收等因素的影响,使传感器的测量值与地物实际的光谱辐射并不一致,发生辐射失真,从而使光谱特征很难在时空域上拓展,特别是当大气衰减影响在一景影像内部发生明显变化时,还会严重影响遥感影像分类精度;另一方面,由于传感器成像方式、外方位元素变化、地形起伏、地球曲率、地球自转以及大气等因素的影响,遥感影像往往会产生几何畸变。为了使影像尽可能地反映遥感目标的真实信息,必须针对以上两个问题,对影像进行辐射校正和几何纠正预处理。本章首先介绍了遥感物理学的基本常识;然后,具体介绍了辐射校正和几何纠正方法;最后,简述本书中涉及的几种常用遥感卫星及其传感器。

1.1 遥感物理学基础知识

遥感是以电磁波为媒介进行的。遥感过程中,电磁波要经过层层包围着地球的大气,并与大气中的成分发生交互作用,使遥感卫星影像不可避免地受到大气散射和吸收、地形衰减等方面因素的影响,因此,遥感影像处理需要了解电磁波在大气中的辐射传输机理。本节以大气的结构、成分和电磁波辐射基本理论为基础,介绍了电磁辐射大气传输基本理论,并给出了电磁波谱、大气窗口等基本概念。

1.1.1 大气层结构和大气成分

1. 大气层结构

地球被厚厚的一层大气包围着,大气层没有一个确切的界限,其厚度一般取1000km。由于地球自转以及地心引力的作用,地球大气在水平方向上比较均匀,而在垂直方向呈明显的层状分布。按大气圈内的温度结构和气流运动特征,大气层在垂直地表方向上可分为:对流层、平流层、中间层、暖层(也称增温层)和散逸层。不同高度上的大气层的主要成分和物理性状存在差异,它们对大气辐射的影响也各不相同。

1) 对流层

对流层(Troposphere)最接近地球,由于地球引力的作用,地球大气质量的81%集中在对流层中,接近地表的大气主要由氮气(78.1%)、氧气(20.9%)和少量氩气(0.9%)及二氧化碳(0.03%)组成,该层中还含有水汽和极少的“微量气体”,如甲烷、一氧化碳、氢气和臭氧等。虽然这些气体的绝对含量很少,但它们使大气层像一个温室一样包围着地球,为地球

生物的生存提供了适宜的温湿条件。对流层厚度随纬度不同而不同,纬度越高,厚度越小:在低纬地区为 15~18km,中纬地区为 10~12km,高纬地区则只有 8~9km。水汽主要分布在该层中,所以,云和降水等气象变化都主要在该层发生,但是,由于对流层深受下垫面特性的影响,气象特征的空间分布并不均匀。遥感的气象应用特别侧重于研究电磁波在该层内的传输特性,现代航空遥感活动也主要集中于该层。

2) 平流层

平流层(Stratosphere)位于对流层顶向上到 50km 左右的高度,又称为“同温层”。该层主要特点是:

(1)水汽、杂质很少,云雨现象少见;

(2)大气主要是水平方向的运动,没有明显的上下混合作用,气流平稳,有利于飞机的安全飞行;

(3)存在着薄薄的一层臭氧(O_3)气体,主要集中在 20~40km 的高度范围,该层常常被称为臭氧层,是太阳紫外辐射的主要吸收区;

(4)大气温度在该层的底层随高度的增加而降低,约 30km 以上开始微弱上升,形成逆温分布。

3) 中间层

中间层(Mesosphere)分布在平流层顶到 85km 左右的高度。该层内,温度随高度增加而迅速递减,大约在 80km 处气温降到大气圈中最低温度——约 170K。由于温度梯度的影响,大气又出现自上而下的对流现象,因此,该层也被称为上对流层。该层水汽很少,仅在高纬地区黄昏偶尔出现夜光云。该层 80km 高度处,存在一个白天出现的电离层。目前,也常将平流层和中间层统称为平流层。

4) 暖层

暖层(Thermosphere)位于中间层以上到 800km 的高度,也称为增温层,该层的大气密度很小,但对太阳紫外辐射吸收强烈:波长小于 $0.15\mu m$ 的紫外辐射能量,几乎全部被吸收,因此,气温随高度增加而急剧递增,其顶部气温可达 $1000^\circ C$ 以上。该层对遥感采用的可见光、红外直至微波波段的影响较小,基本上是透明的。由于该层大气十分稀薄,处于电离状态,对无线电波绕地球的远距离传递作用很大,故又称为电离层(Ionosphere)。暖层受太阳活动影响较大,是人造卫星绕地球运行的主要空间。

5) 散逸层

散逸层(Escape Layer)位于 800km 以上,又称大气外层,它是地球大气圈的最外层,也是从地球大气层进入宇宙太空的过渡区域。层内空气极为稀薄,并不断地向星际空间散逸,该层对卫星运行基本上没有影响。

上述各层中,对太阳辐射影响最大的是对流层和平流层。

2. 大气成分

地球大气由多种气体分子、固态及液态悬浮的微粒混合组成。

1) 气体分子

在 85km 以下的各种气体成分中,一般可以分成两类:一类是常定成分,即各成分之间的比例大致固定,这类气体主要是氮(N_2)、氧(O_2)、氩(Ar),此外,还有微量的惰性气体如氖(Ne)、氪(Kr)、氙(Xe)等, N_2 和 O_2 约占 99%;另一类是可变成分,这类气体在大气中所占

的比例随时间、地点而改变,其中以水汽(H_2O)最为重要,它的变化幅度很大。二氧化碳(CO_2)和臭氧(O_3)虽然所占比例很小,但其含量的变化可以影响气候,很受人们重视,此外,还有一氧化碳(CO)、甲烷(CH_4)等。85km以下除 H_2O 、 O_3 等少数可变气体外,各种气体均匀混合,所占比例几乎不变,所以,这层大气通常被称为均匀层,该层中大气物质与太阳辐射相互作用,是使太阳辐射衰减的主要原因,是遥感辐射传输重点研究的部分。

臭氧是遥感研究中一个不可忽略的成分,它作为氧的一种存在形式,主要存在于平流层中。在距地面大约25km的高空,聚集了地球上约90%的臭氧,构成“臭氧层”。臭氧在地球生物活动和遥感大气校正研究中发挥着重要作用:一方面太阳辐射透过大气层射向地面时,臭氧层几乎吸收太阳辐射中波长300nm以下全部的紫外辐射,从而起到保护地球上的生命免遭短波紫外辐射伤害的作用,成为生物在地球上得以生存繁衍的保护伞;另一方面太阳辐射特性的改变会随着臭氧层光学厚度的改变而变化,使之成为定量遥感研究中大气校正需要考虑的一个重要因素。因此,大气臭氧分布状况一直是备受关注的问题,观测结果表明,在1950~1970年的20年间,地球大气的臭氧水平一直处于稳定状态,但是,20世纪70年代以来,全球臭氧总量在逐渐减少,并且,减少的趋势越来越明显,这种减少可能主要发生在臭氧层,南极“臭氧空洞”的观测是一个突出的表现。联合国环境署(United Nations Environment Programme, UNEP)于1985年3月在奥地利首都维也纳召开了“保护臭氧层外交大会”,21个国家政府代表参加并通过了《关于保护臭氧层的维也纳公约》,标志着国际上开始统一行动起来保护臭氧层。

2) 气溶胶

气溶胶是悬浮于地球大气中,直径介于 $10^{-3} \sim 10\mu\text{m}$ 的分子团、液态或固态粒子所组成的混合物,它主要分布在距地表面5km以内的大气层,具有一定稳定性,沉降速度小。气溶胶能在大气中滞留至少几个小时,主要具有以下特性:

(1)从生命周期来看,对流层气溶胶的寿命只有几天到几周,它对辐射的影响集中在排放源附近。气溶胶的影响主要集中在北半球;

(2)从时间来看,主要是影响白昼的太阳辐射,而且夏季低纬度影响较大;

(3)从与下垫面的关系看,气溶胶对辐射的影响与下垫面的光学性质关系密切,可以分为海洋型、大陆乡村型、城市型等不同的类型;

(4)气溶胶的数量可以表示为气溶胶的光学厚度,也可用能见度粗略地估计气溶胶的含量,气溶胶光学厚度随时间、地点而变,一般是陆地上空大于海洋上空,城市和工业区上空大于乡村上空;

(5)气溶胶的物理化学特性(浓度、组成、粒子尺度)与光学特性(光学厚度、单次散射反照率)相关,但是,由于光学特性还依赖于电磁辐射波长,所以,两种特性之间的关系具有很大的不确定性。

气溶胶粒子往往与环境恶化及人类活动密切相关,沙漠化、沙尘暴、酸雨、大气污染等气候与环境问题均与气溶胶有关。按其来源可分为自然和人为两种,其中,与自然活动或现象有关的有:

(1)土壤和岩石风化产生的粒子及火山喷发进入大气的尘埃物质;

(2)微生物、孢子、花粉等有机物;

(3)泡沫产生的海盐粒;

(4) 宇宙尘埃。

与人类活动有关的气溶胶微粒主要是燃料燃烧烟粒及工业粉尘。总的来看,气溶胶粒子主要是由自然现象产生的。气溶胶粒子是环境污染的重要来源,随着人类工业活动的发展,人类活动产生的粒子会越来越多地进入大气层,由此引起的环境污染会越来越严重。

气溶胶不仅可以通过散射和吸收直接影响到太阳的辐射特性,同时,还作为云或雾的凝结核,可以通过形成霾、雾、云以及改变云雾的光学性质和生存时间,进而间接影响太阳辐射特性。因此,气溶胶粒子在云、雾、降水、大气光、辐射等物理过程中都有重要的作用,已成为目前大气遥感研究的热点问题。

为了研究大气气溶胶对大气辐射传输的影响,国内外学者专家都尝试过在各种天气条件下测量大气气溶胶的尺度谱、化学成分及折射率,用数学方法来拟合大气气溶胶的尺度谱。常见的解析式为:

$$\text{Junge 谱} \quad \frac{dN(r)}{d(\ln r)} = Cr^{-v} \quad (1-1)$$

$$\text{Diermendjian 谱} \quad \frac{dN(r)}{d(\ln r)} = A^{\alpha} \exp(-br^{\beta}) \quad (1-2)$$

式中: r 为半径, $N(r)$ 为半径小于或等于 r 气溶胶的数密度, $C, A, b, v, \alpha, \beta$ 为解析式中的常数。

气溶胶特性观测最长的历史记录来自于全球大气监视网 (Global Atmosphere Watch, GAW) 和 NOAA 气象卫星,利用气象卫星太阳反射光通道的监测数据,可以计算出气溶胶的含量和分布,卫星遥感是目前获得气溶胶全球及区域分布的唯一手段。为得到全球趋势,很多科学家还参加针对特殊地区的短期加强观测试验,为研究气溶胶特性提供更详细的数据。

1.1.2 电磁波谱与电磁辐射传输

1. 电磁波谱

交变的电场和磁场互相激发就形成了连续不断的电磁振荡,即电磁波。电磁波用频率 f 、波长 λ 、波数 ν 和波速 c 来描述。它们之间的相互关系为:

$$\lambda \cdot f = c, \nu = \frac{1}{\lambda} = \frac{f}{c} \quad (1-3)$$

波长 λ 的单位常用 μm (10^{-6}m) 表示,在紫外和可见光波段也用 nm (10^{-9}m) 表示,红外波段用波数表示的比较多,常用单位为 cm^{-1} ,表示 1cm 空间距离内有几个波动。

太阳不断向外发射出大量的电磁波辐射,是电磁波的主要辐射源,也是被动遥感的主要能源。若将这些电磁波根据其波长加以排列,则可以形成一个电磁波谱 (Electromagnetic Spectrum)。该波谱以频率从高到低的排列顺序,可以划分为 γ 射线、X 射线、紫外线、可见光、红外线、无线电波 (图 1-1)。这里仅介绍卫星遥感中的几个常用波谱:

(1) 紫外 (Ultraviolet, UV)

波长为 $10\text{nm} \sim 0.4\mu\text{m}$ 。由于波长小于 $0.3\mu\text{m}$ 的信息被大气中的臭氧所吸收,可以通过大气传输的只有 $0.3 \sim 0.4\mu\text{m}$ 的紫外信息。它适用于紫外摄影,能监测气体污染和海面油膜污染,但由于该谱段受大气散射的影响十分严重,因此,对成像条件的要求十分苛刻,探测的成功率也较低,应用范围狭窄,在实际应用中很少采用。