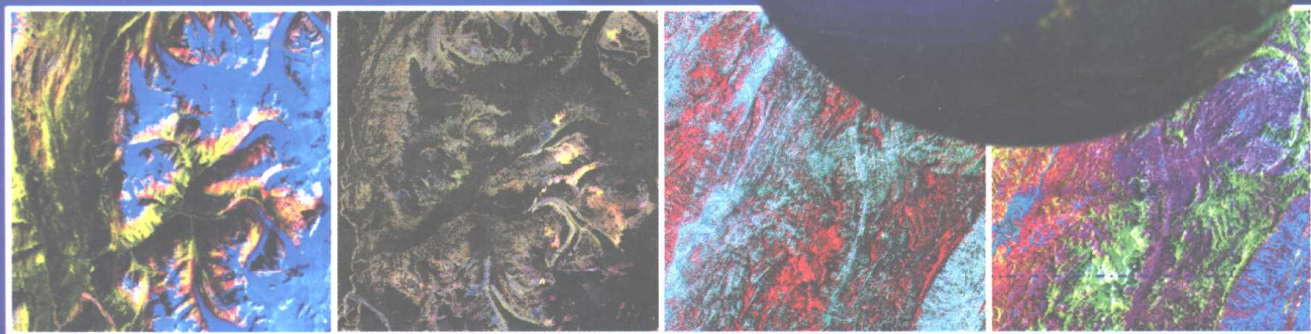


中国科学院“数字地球基础理论研究”资助项目(编号: KZCX0055)

遥感数据模型与处理方法

马建文 赵忠明 布和敖斯尔 编著



中国科学技术出版社

中国科学院“数字地球基础理论研究”资助项目（编号：KZCX0055）

遥感数据模型与处理方法

马建文 赵忠明 布和敖斯尔 编著

中国科学技术出版社

·北京·

2021044

图书在版编目 (CIP) 数据

遥感数据模型与处理方法 / 马建文, 赵忠明, 布和敖斯尔编著 .
—北京: 中国科学技术出版社, 2001.9
ISBN 7-5046-3160-4

I. 遥… II. ①马…②赵…③布… III. ①遥感图像—数据模型
②遥感图像—图像处理 IV. TP75

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 062112 号

中国科学技术出版社出版

北京海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码: 100081

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京地质印刷厂印刷

*

开本: 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张: 12.625 插页: 8 字数: 300 千字

2001 年 9 月第 1 版 2001 年 9 月第 1 次印刷

印数: 1—1500 册 定价: 40.00 元

1101501

内 容 简 介

人类在通过不断探索挖掘电磁波资源研制新型传感器的同时，还在积极探索实现遥感数据资源中有效信息挖掘的方法。本书通过图像处理过程的模型化，将地物光学反射辐射模型、传感器模型、数据模型与信息提取有机地结合起来，前端是遥感信息产生过程，后端是各种应用。书中还通过大量的应用实例说明图像处理算法的研发与应用之间存在巨大的扩展空间和开发潜力。

本书可供从事遥感应用、图像处理和数据挖掘等领域的科学和管理工作者参考，也可作为学校有关专业师生的参考用书。

序

遥感数据获取能力的进步，日新月异。航天、航空与网络，使遥感信息源极大丰富：光谱分辨率达到纳米级，空间分辨率也超过了米级。成像雷达已实现多波段、多极化。三维遥感更集成定位、定量、定性功能于一体，凝聚多源数据采集于一体。各种对地观测卫星密布太空，组成监测星座，夜以继日，向地面接收台站网发送遥感数据，并以宽带网向用户传输数据，从而形成了海量数据仓库群和巨大的遥感信息流，为人类创造了丰富的社会和经济财富，加深了人类对自己居住的星球的再认识，进入比较自觉地协调人与自然资源、生态环境的持续发展的新世纪。毫无疑问，这是 20 世纪后半叶空间科学与信息技术交叉融合的伟大贡献；也为 21 世纪人类进入全球化、网络化和智能化的信息时代，铺垫了良好的创新环境，这是人类文明的新的骄傲。

然而，无可讳言，作为遥感数据获取与应用系统工程的中间关键环节—遥感数据的分析模型与图像处理方法，至今仍然是遥感信息流程中的技术瓶颈，制约着整个规模生产的速度、广度和深度，使效率难以提高。例如大多数的遥感图像处理系统，基本上沿袭数十年一贯制的传统方法，离不开概率统计，甚至重复着排列组合的形式逻辑或相关分析。深入剖析地物光谱特征和相干雷达变形分析等创新的亮点，大部分还停留在实验室成果和论文阶段，还没有转化成为生产能力，加入到规模生产的流程中去。

遥感数据模型与处理方法正在向规模生产的纵深发展。世纪之交，已崭露头角：其一是“速度”，数据处理愈来愈接近实时或准实时处理水平。美国入侵越南战争中，遥感数据采集、处理到反馈的全过程需要 8 天；在海湾战争中缩短到 4.5 小时；美国偷袭利比亚仅用 17 分钟；轰炸科索沃，不超过 1 分钟。其二是“广度”，覆盖全球范围的高分辨率制图能力明显提高。美国航天飞船奋进号（SRTM）测图计划，222 小时获取全球（中低纬地区）海陆面积范围 80% 的遥感数据，制图计划预期在 2 年内完成。其

工作量超过了 20 世纪全球航测制图的总和。其三是“深度”，遥感数据的数据挖掘 (Data Mining) 与知识发现，由于深入渗透到许多相关学科中去，吸收它们最新的理论成果和方法而大放异彩。例如，生物地球景观化学背景值与遥感光谱特征数据处理嫁接为碳循环、碳水化合物光合作用与生命营养元素的研究，有可能开拓崭新的领域。分形分维、小波分析等方法的引进，为地学信息图谱的研究，为生态系统与社会可持续发展等复杂性问题的探索，有可能打开崭新的局面。总之，遥感数据量大、面大，周而复始，时间序列愈来愈长，多源融合，空间分辨率愈来愈高。只要我们继续努力，坚持科学创新与技术攻关，努力解决数据模型与处理方法中的速度、广度与深度问题，必将为科技创新提供巨大的知识财富和技术经济效益，在 21 世纪的信息社会中，为人类及时提供更有应用价值的信息服务。

在中国科学院遥感应用研究所工作的马建文、赵忠明、布和敖斯尔三位遥感专家，联合编著《遥感数据模型与处理方法》，归纳了他们近年取得的科学实验与创新成果，来自实践而高于实践。提炼出一条从光学反射辐射模型—传感器模型—数据模型—信息提取的主线，突破了微弱信息分离与提取的难点，着重介绍了“临边效应”掩膜快速提取方法和多波段遥感数据场的角度变换，探索了在全球变化、生态脆弱带、净初级生产力估算等当前科学热点问题。阅后更令人耳目一新、美不胜收！如前所述，正是我们为了解决当前瓶颈问题所期盼的一部佳作；也是促进遥感科技交流很有理论和实用价值的参考书。有幸先睹为快，谨此致贺！

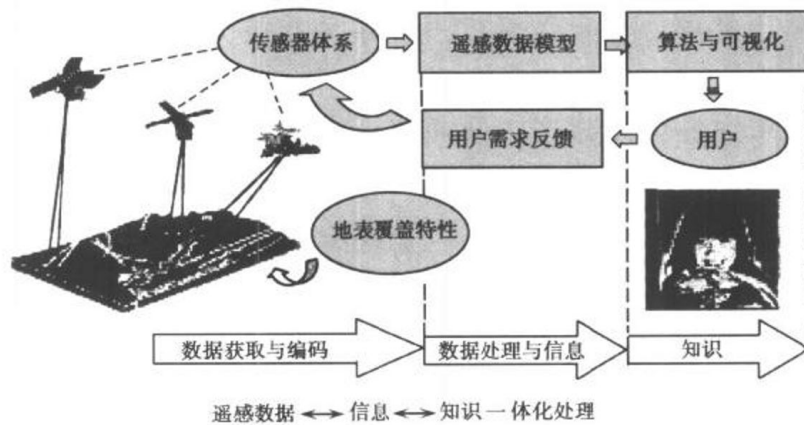
陈述彭

2001 年 3 月 3 日

前言

遥感技术已经成为人类了解地球表面变迁和大气变化的基本手段。传感器获取的数据记录了电磁波辐射与地表物质相互作用特征；从不同时空尺度上客观地反映了地球表面系统与大气系统的活动和规律；电磁波在传输路径上受到不同介质及其表面形状的影响，人类在通过传感器的研制不断探索挖掘电磁波资源的同时，还在积极探索实现遥感数据资源中有效信息的挖掘。本书从遥感数据模型这一新视角，在图像处理中更自觉地运用遥感信息机理与模型，使图像处理产生更好的应用效果。

我们在遥感图像处理的实践中反复证明，机械地使用图像处理系统或新算法是难以将复杂的地球覆盖和表面过程具有指示意义的信息分离出来的。在各种成功的遥感应用和有效的图像处理经历背后，都在自觉不自觉地应用着遥感数据形成的某些原理，存在一条独立的主线。在经历了大量的阅读、讨论和思考之后，越来越明朗，这是一条将光学反射辐射模型、传感器模型、数据模型，基于数据模型的信息提取有机地结合起来的主线，如题图所示。



本书汇集了中国科学院遥感所马建文博士（1997年中国科学院“百人计划”）、赵忠明博士后和布和敖斯尔博士后近年来的主要研究成果，展示了提取遥感数据中弱信息的潜在能力，建立了空间角度模型，开发了逐步正交变换、投影变换两项技术，形成了自主知识产权的创新思想和技术方法体系。着重介绍了“临边效应”掩膜快速提取方法和多波段遥感数据的角度变换；探索了在全球变化、生态脆弱带、净初级生产力估算；深入研究了遥感数据与其他地学数据的交叉与融合等当前科学热点问题中的应用理论和技术方法。这些研究代表了遥

感图像处理的发展方向。

全书共八章。第一章介绍了遥感科学与技术的发展现状，描述了主要光学遥感传感器类型及其工作原理和建立光学遥感基本参数；第二章用数学的方法描述了遥感技术中最重要的光学反射辐射过程和模型；第三章解释了传感器模型及其空间响应原理；第四章通过遥感数据模型表达出遥感系统中传感器特点与遥感数据，实现了前几章遥感物理模型与图像处理之间的联接。

对遥感数据中的“微弱”信息的分离与提取始终是遥感应用的追求目标之一，故在第五章介绍了基于“临边效应”的掩膜、主成分变换、色点调整为核心技术的 MPH 目标信息快速提取方法及应用实例；第六章介绍了将可视化理论运用在图像处理中，提出了基于遥感数据场的角度分析模型与方法探索，通过多波段遥感数据场的角度变换，提取角度空间层信息；随着对不同时空尺度像元遥感信息提取方法的研究、数字地球在资源环境数据管理中的应用，数据融合理论与技术成为图像处理的发展热点，代表了重要的发展方向。

西部大开发、生态环境治理和可持续发展研究是新世纪的国家经济建设的主题，通过地面参数与遥感数据相结合揭示中国资源环境脆弱带的研究以及随着全球环境变化遥感研究的不断深入，净初级生产率 NPP 估算成为研究碳循环研究的基础，为此，第七章论述了该方面的问题，介绍了 NPP 计算方法和遥感估算方法和图像等成果。

遥感应用方法是将遥感数据与其他数据相结合解决实际问题的。数据融合模型与方法研究已经成为当代遥感应用探索的重要方向，第八章主要介绍了数据融合模型与方法。

本书一至六章主要由马建文、马超飞、韩秀珍完成；第七章由布和敖斯尔和马建文完成；第八章由赵忠明、马建文、闫春燕、王成完成。本书承王长耀先生审阅，并对部分章节作了修改；郭华东、朱重光、田国良先生对本书总体结构提出了良好建议和意见，在此一并致以衷心的感谢。

受水平所限，对于书中表述不当之处，盼读者指正。

作者

2001年5月30日

目 录

第一章 绪论	(1)
§ 1.1 概述	(1)
§ 1.2 卫星遥感应用和国际卫星遥感计划	(1)
§ 1.3 我国卫星发展计划的比较优势	(9)
§ 1.4 遥感数据的信息载荷.....	(13)
§ 1.5 光谱特征与定量分析.....	(14)
§ 1.6 遥感系统.....	(17)
§ 1.7 图像显示系统.....	(21)
参考文献	(24)
第二章 太阳辐射与地球系统	(25)
§ 2.1 概述.....	(25)
§ 2.2 太阳辐射和电磁光谱.....	(25)
§ 2.3 黑体中波 - 热红外波谱域.....	(33)
参考文献	(39)
第三章 传感器模型	(40)
§ 3.1 概述.....	(40)
§ 3.2 光学传感器模型.....	(40)
§ 3.3 光谱响应.....	(44)
§ 3.4 空间响应.....	(46)
§ 3.5 遥感信号放大.....	(51)
§ 3.6 遥感信号的采样与量化.....	(51)
§ 3.7 简化的传感器模型.....	(52)
§ 3.8 几何畸变.....	(52)
参考文献	(61)
第四章 数据模型	(62)
§ 4.1 概述.....	(62)
§ 4.2 数据模型的概念.....	(62)
§ 4.3 图像单变量统计.....	(63)
§ 4.4 多波段图像的统计与计算.....	(65)
§ 4.5 噪声模型.....	(68)
§ 4.6 方差分析.....	(70)
§ 4.7 地形条件与传感器效应.....	(77)
参考文献	(84)

第五章 遥感数据的临边效应与 MPH 技术	(85)
§ 5.1 概述	(85)
§ 5.2 像元光谱分解与单元光谱提取	(86)
§ 5.3 MPH 技术应用实例	(90)
参考文献	(111)
第六章 多维空间遥感数据的角度分析与弱信息挖掘	(113)
§ 6.1 概述	(113)
§ 6.2 入射、反射能量角度关系	(114)
§ 6.3 三角函数矩阵	(117)
§ 6.4 掩膜和多因子逐步正交变换相结合区分岩性信息	(121)
§ 6.5 利用 Gram - Schmidt 投影方法提取 TM 数据中含矿蚀变带信息	(124)
参考文献	(130)
第七章 陆地生态系统脆弱带遥感模型与全球生物量估算	(131)
§ 7.1 中国陆地生态系统脆弱带遥感模型	(131)
§ 7.2 像元 NDVI 主成分分析与 NDVI 综合特征值的求出	(131)
§ 7.3 典型样区植被指数 (NDVI) 的比较	(133)
§ 7.4 土地覆盖时空变化规律	(134)
§ 7.5 土地覆盖变化的区域环境影响分析	(136)
§ 7.6 中国陆地生态系统时空脆弱性研究	(139)
§ 7.7 全球生物量估算	(144)
参考文献	(147)
第八章 遥感数据融合	(149)
§ 8.1 概述	(149)
§ 8.2 数据融合定义与一般推理模型	(150)
§ 8.3 遥感数据融合的一般方法	(155)
§ 8.4 遥感数据融合的空间域和尺度空间数学模型	(161)
§ 8.5 多光谱遥感数据像元级融合	(163)
§ 8.6 多传感器遥感数据特征级融合	(168)
§ 8.7 多时相决策级遥感数据融合	(183)
参考文献	(191)
附录：彩色图版	

第一章 绪 论

§ 1.1 概 述

1972年美国发射的陆地卫星1号(Landsat-1),首次采用了数字扫描方式记录和传输探测信息,数字记录和传输不仅可以延长了卫星服务时间、减轻了有效载荷重量,而且还克服了感光底片保存和复制技术缺陷,是卫星对地观测技术发展的标志性阶段。当今,运行的卫星系统与1972年第一颗陆地卫星系统发射时相比较,展示了全面发展的特点。几何分辨率从5m到4000m,覆盖了大气窗口的光谱域,大气窗口以外的光谱域也被航空遥感以10nm光谱分辨率所覆盖(Clark 1990)。1999年和2000年美国1m分辨率卫星IKONOS商业化运行和雷达30m三维测地卫星SRTM发射成功,将人类经历上百年完成的地球表面1:25万测绘,缩短到两年。由于卫星对地观测技术的发展推动着人类对地球系统整体行为的观测与研究,促进了从自然现象的定性描述向量化方向的发展。本章主要描述了电子-光学遥感仪器成像原理和图像特征,同时建立数字图像与地表之间的关联。

§ 1.2 卫星遥感应用和国际卫星遥感计划

1.2.1 卫星遥感应用

遥感是不直接接触物体而利用传感器探测地表物体的电磁波谱特性,了解物体的自然状态、特征或演化的过程。多种探测使命的卫星遥感计划利用数字化测量地球表面的陆地、森林、海洋和围绕地球表面的大气,观测大气中的化学光谱。通过探测不仅提供地表扫描形成的二维网格数据,同时还能持续地提供不同时间分辨率的数字图像,其最显著应用价值就是可以监测陆地第一净生产力、C循环、全球变化和人类活动对全球变化的影响规律。随着传感器技术的发展,遥感的应用领域也在不断地扩大,其当前主要应用领域有以下几个方面(Campbell 1996):

- (1) 环境评估与监测:城市发展、灾害、废物排放。
- (2) 全球变化探测与监测:大气臭氧消耗、森林减少、全球变暖。
- (3) 农业:农作物长势、产量估算、土壤侵蚀。
- (4) 可再生资源:湿地、土壤、森林、海洋。
- (5) 不可再生资源勘查:矿产、石油、天然气。
- (6) 气象:气象预报、天气预报、大气动力学研究。
- (7) 测绘:地形图、土地利用图、民用工程。
- (8) 军事监视与勘查:隐蔽目标识别、战略决策、战术估计、数字战场。
- (9) 网络与新闻媒体:背景说明、场景分析。

(10) 数字城市与数字地球：三维数字城市和地球。

为了满足不同用户对参数和数据的需求，许多遥感系统原始数据提供了大量空间、光谱和辐射参数；数据类型有低空间分辨率、高空间分辨率和高重复覆盖数据。通过应用模型，遥感数据用来模拟与预测地球环境变化模型（GCM），估算和监测净第一性生产力（NPP），碳循环及其变迁，特别是遥感的动态复轨数据对研究地表生态过程是非常珍贵的。不同尺度的数据可以揭示不同尺度的自然过程和变化规律，应针对不同问题选择合适的分辨率数据。所以，对全球尺度研究高分辨率数据并不是理想数据；而提取含矿蚀变带和植物地球化学信息需要使用高分辨率数据，因为地质现象的变化比较缓慢，一般不要求时间分辨率；在使用不同传感器数据时要考虑时间和空间精确的一致性。根据不同的应用目标，可以选择不同光谱波段、分辨率和灰度级的数据。遥感数据的这些信息也可以用于不同时相的自然变化关系分析和不同时间的投入-产出经济活动监测分析（Asrar and Greenstone 1995）。

光谱资源的挖掘与融合、数据的尺度研究、复轨遥感数据对地表动态过程和规律的研究、多光谱波段能量信息深度分解与弱信息提取，提高遥感数据有效利用率等，已成为新世纪的研究热点。遥感数据中的信息一般可以从两个方面理解和提取：第一是以图像为中心的方法，这种方法的基础是显示地物之间的关系，它延续了最早航空像片制图的方法。这种方法依赖利用人的经验，例如河流、地质构造、植被、飞机场、军事目标的解译。第二是以数据为中心的方法，以数据为中心的方法更注重数据的维数而不是地物之间的关系，如利用特殊的算法提取高光谱和多光谱数据中的特征信息；利用不同端元组分分解方法对像元组分的分解；通过剖面恢复算法提取大气和海洋参数。对电磁强度的精确计算是本方法的侧重点，即使以数据为中心的方法最终还是要以图像方式表达处理的结果（图 1-1）。

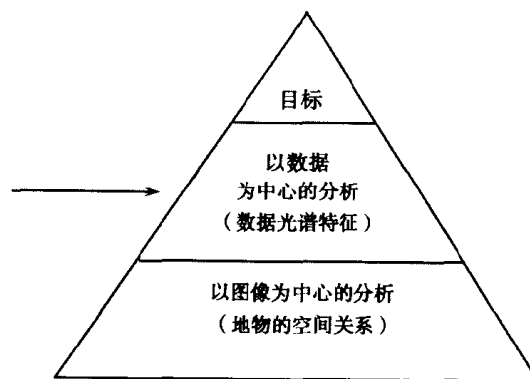


图 1-1 遥感数据中的信息可以从两个方面理解和提取

多光谱数据处理的基本方法在 20 世纪 70 年代初就由一些科研机构和公司相继开发出来，如美国宇航局（NASA）、美国喷气实验室（JPL）、美国地质调查所（USGS）、美国 RSI 公司的 ENVI、ERDAS 图像与可视化系统，以及加拿大的 PCI 和 Moridian 图像处理系统等都是当今有一定市场占有率的图像处理和分析软件系统（Richards 1993）。与此同时，我国有代表性的商业化软件有中国科学院遥感应用研究所的 ISRA 图像处理软件、北京大学的 Spaceman、石油部遥感应用研究所和地矿部遥感中心开发的图像处理软件。进入 20 世纪 90 年代，随着图像信息与空间信息相结合的发展趋势，图像处理软件也逐渐加入了地理信息系统功能和实现了图像处理软件与地理信息系统的一体化（Schowengerd 1997）。由于网

络技术的迅速发展，基于 Java 的网络遥感数据挖掘和网络地理信息系统将成为 21 世纪的发展方向。

1.2.2 主要国际卫星遥感计划

各国制定的卫星观测系统计划首先是为本国利益服务的，要求其提供可靠的全球性、区域性观测数据。下面简要地介绍一下主要卫星大国近期的卫星计划，同时也分析一下我国对地观测体系的发展。

美国继 1972 年第一颗陆地卫星之后，分别于 1975 年、1978 年发射了陆地卫星 2 号、3 号。1982 年发射的陆地卫星 4 号载荷了新的传感器系统，6 个波段 30m 空间分辨率的专题制图 (TM) 系统和一个 120m 的热红外波段。1984 年发射了 5 号陆地卫星，6 号陆地卫星由于搭载火箭没有进入轨道而告失败。陆地卫星 7 号于 1999 年 4 月发射成功，系统共设 8 个波段，与前 6 颗 TM 卫星相比较，红外波段分辨率从 129m 提高到 60m，增加了全色波段 $0.52\sim 0.90\mu\text{m}$ ，空间分辨率为 15m。陆地卫星系列的系统性和连续性为全球土地资源调查、地质矿产勘查和地球表面过程变化提供了可持续利用的数据源。

在卫星大家族中还有低几何分辨率的 AVHRR 和地球观测系统 (EOS) 计划的系列卫星数据 (Michael, 2000, <http://edc.usgs.gov/>)。无论过去和现在的遥感传感器都可以用两个参量来表达，^①光谱波段数 nB ；^②像元几何分辨率，并且定义为瞬间视场地面投影 (GI-FOV)。

美国地球观测系统计划 (EOS) 是美国宇航局 (NASA) 制订的一个循序渐进探测地球系统的观测和数据管理战略，EOS 计划用了近 20 年时间的准备。它的基本设计目标是提供足够长时间和序列的数据记录。计划采取了系列传感器性能交叉互补，完成单一传感器无法完成的探测任务，同时协调与陆地卫星系列等其他计划的促进，共同帮助人类分析地球系统的自然过程，区分人类活动和自然力对地球系统的各种影响。

(1) 地球观测系统的上午系列 (EOS-AM 系列)

EOS-AM 系列卫星经过赤道的时间均在上午 10:30 左右，每天此时全球陆地云覆盖量最小，因而最有利于对陆地进行卫星观测。该卫星系列于 1998 年开始实施，计划的主要目标是为了取得每日有关云、气溶胶和辐射平衡及陆地生态系统特性，土地利用、土壤、陆地能量、水分和对流层化学成分，火山喷发对气候的影响等观测值。传感器有效载荷由美国 NASA/JPL、加拿大、日本、欧洲等国家共同提供。云的物理和辐射特性由高级空间热辐射热反射辐射计 (ASTER)、云和地球辐射能量系统 (CERES)、多角度成像光谱辐射计 (MISR) 和中等分辨率成像光谱仪 (MODIS) 观测，大气-陆地、大气-海洋的能量、碳水交换由 ASTER、MISR 和 MODIS 观测；甲烷总量由对流层污染测量仪 (MOPITT) 测定；火山在气候变化中的作用亦由 ASTER、MISR 和 MODIS 观测 (Salomonson, Barker 1998)。

(2) 地球观测系统的色彩卫星 (EOS-COLOR)

该卫星主要目标是收集有关海洋初级生产率的数据。EOS-COLOR 将观测海洋叶绿素、

浮游植物等海洋水色和生产率，通过观测求得对海洋在全球碳循环中作用的理解。EOS - COLOR 是继海洋卫星 (Seastar) 计划后的海洋宽视场探测器。在 MODIS 能在 EOS - AM 和 PM 上工作之前，该计划提供连续观测数据。

(3) 地球观测系统的测高计划 (EOS - ALT 卫星系列)

EOS 测高计划的目标是要获取海洋循环、冰盖重力平衡及相对海平面变化的高精度测量数据，卫星携带的主要传感器系统有地面激光高度计系统 (GLAS)、TOPEX 微波辐射计 (TMR)、卫星集成的多谱段轨道成像及无线电定位仪 (DORIS) 和固态高度计 (SSALT)。SSALT 用来测量海洋表面形态，据此可推断海洋洋流循环；亦可用来测量风速和波高。GLAS 用来收集格陵兰和南极冰盖剖面数据。DORIS 为空间飞行器精确定位，而 TMR 则为校正高度计的数据而设计。计划要求将光学和雷达传感器分别载于不同的卫星系统，以满足不同的轨道高度和倾斜要求。

(4) 地球观测系统的化学计划 (EOS - CHEM 系列)

EOS 化学计划系列卫星将于 2003 年开始发射，其目的是研究大气化学和动力学、大气化学与气候交互作用，测量大气化学成分及大气和海洋间化学变换与能量交换等参量。EOS 化学计划中主动型谐振辐射计辐照度监视仪 (ACRIM) 用于测量太阳能量流；太阳天体辐射度比较实验体 (SOLSTICE 11) 用于测定太阳紫外辐射；高分辨率临界动态探测仪 (HIRDLS)、微波临界探测仪 (MLS) 和 SAGE 探测大气温度、气溶胶和温室气体数据。EOS 化学计划将与 EOS 上午系列和 EOS 气溶胶计划一起提供对流层、低层平流层动态和化学成分变化及对流层—平流层化学交换的探测数据。EOS 化学计划将结合多种仪器测得的相关数据，以提供多种仪器产生的数据产品和综合数据产品。通过 EOS/MODIS 系列探测计划实现时空探测数据系列化和有效数据积累 (表 1-1)。

表 1-1 EOS / MODIS 卫星系列波段设定目标

探测目标	波段	光谱覆盖 (nm)	地表视场 GIFOV (m)
植被叶绿素，云	1	620~670	250
	2	841~876	
土壤与植被的区分 绿色植被 树叶与树冠特性 雪与云的特性 陆地与云的特性	3	459~479	500
	4	545~564	
	5	1230~1250	
	6	1628~1652	
	7	2105~2155	
海洋叶绿素	8	405~420	
海洋叶绿素	9	438~448	
海洋叶绿素	10	483~493	
海洋叶绿素	11	526~536	
海洋沉积物	12	546~556	
海洋沉积物与大气	13	662~672	
海洋叶绿素荧光	14	673~683	
气溶胶特性	15	743~753	
气溶胶与大气特性	16	862~877	

续表

探测目标	波段	光谱覆盖 (nm)	地表视场 GIFOV (m)
云与大气特性	17	890~920	1000
云与大气特性	18	931~941	
云与大气特性	19	915~965	
热红外 μm			
海面温度	20	3.66~3.84	
森林火灾与火山	21	3.929~3.989	
云与大气温度	22	3.929~3.989	
云与大气温度	23	4.02~4.08	
对流层温度与碎云	24	4.433~4.498	
对流层温度与碎云	25	4.482~4.549	
大气与云			
旋卷云	26	1.36~1.39	
热红外 μm			
中对流层水气	27	6.535~6.895	
上对流层水气	28	7.175~7.475	
表层温度	29	8.4~8.7	
臭氧层	30	9.5~9.88	
云与表层温度	31	10.78~11.28	
云与表层温度	32	11.77~12.27	
云高和碎云	33	13.185~13.485	
云高和碎云	34	13.485~13.785	
云高和碎云	35	13.785~14.085	
云高和碎云	36	14.085~14.385	

传感器的不断发展对储存和处理“海量”数据提出了新的挑战。如要处理所有 EOS 系统接收的一天的数据就必须具备 10^{16} 个字节的处理能力。在快速发展的航天对地观测背景下，传统的摄影航空遥感也在发挥着重要的作用。它主要体现在两个方面：第一是高空间分辨率遥感；第二是满足特殊的需求。

美国海洋卫星 SEASTAR 是美国为数不多的海洋卫星，搭载的传感器为 SeaWiFS，服务年限 1997~1999 年，主要探测海洋水色、海洋浮游生物和海洋生态。SeaWiFS-2 纳入 EOS-海洋水色计划，探测海洋浮游生物、叶绿素、生物量和海洋初级生产率（见 EOS-COLOR）。

雷达三维测图卫星（SRTM）美国航天飞机于 2000 年 1 月 11 日发射携带 X-band 型微波传感器，飞行 11 天 5 小时接收到地表 80% 和 95% 有人口陆地三维数据，2001 年 3 月将完成数据处理，形成 DEM 数据和图像。该传感器的发射成功将人类经过 200 年完成的地表绘制，缩短到 1~2 年的时间，而且是 DEM、三维图像和干涉图像三种形式产品。无疑 SRTM 的成功将为地形测绘、制图带来一场技术革命（<http://www.dfd.dlr.de/srtm>）。

美国 1m 分辨率陆地卫星（IKONOS）是商业卫星系统（表 1-2），于 1999 年 9 月发射成功，主要用于城市规划；农业灾害、估产；保险损失评价等（<http://www.ersi.bc.ca>）。

表 1-2

美国 1m 分辨率陆地卫星技术参数

产品名称	空间分辨率	光谱波段 (μm)
IKONOS	4m	波段 1: 0.45~0.53 (蓝) 波段 2: 0.52~0.61 (绿) 波段 3: 0.64~0.72 (红) 波段 4: 0.77~0.88 (近红外)
	1m	全色波段: 0.45~0.90

欧洲空间局 (ESA) 遥感卫星 1 号 (ERS1) 作为 20 世纪 90 年代新一代空间计划的先驱, 在 1991 年发射升空。ERS1 工作到 1995 年由它的继承者 ERS2 (1995 年 8 月发射成功) 接替。ERS1 和 ERS2 使用能全天候测量和成像的微波技术, 提供全球重复性的观测数据。ERS 是与太阳同步的极地轨道卫星系统, 能覆盖目前其他卫星系列还未有或不足的地区观测领域, 包括海况、洋面风、海洋循环及海洋/冰层等。ERS 观测数据可以改善我们对海洋—大气间相互作用的理解; 海洋循环及能量传输方面知识的更新; 南北极冰盖质量平衡的估计; 海岸动态过程和污染的监测, 以及改善土地利用变化的探测和管理。ERS 携带的传感器主要有主动式微波仪 (AMI), 具有图像、波和风三种工作方式, 雷达高度计 (RA)、纵向扫描辐射仪 (ATSR)、精密测距和测速率设备 (PRARE) 及激光反向反射器。ERS2 上还多了一个全球臭氧监测实验仪 (GOME), 主要用于观测在对流层和平流层中的微量气体种类 (<http://earth.esa.int>)。

ESA 的环境卫星 (Envisat) 计划 1998 年 9 月升空。它带有双重任务: 一是继续 ERS1 和 ERS2 对地观测, 即全球海洋循环和陆地生态系统类型、范围和物候现象制图; 二是对环境的研究, 即获取陆地表面性质、大气化学、气溶胶分布和海洋生物学等方面的观测值。它的传感器系统除 ERS 携带的一些外, 还新加了中等分辨率成像光谱仪 (MERIS)、全球臭氧监测仪 (GOMOS)、辐射收支扫描仪 (SCARAB) 和微波辐射仪 (MWR) 等主要用于测量大气化学和辐射收支方面数据的仪器。

ESA 还在 2000 年发射另一个卫星——极轨气象卫星 (METOP), 用于气象和气候监测。卫星核心部分载有 9 种仪器, 其中 5 种用于气候方面的监测。

日本的国家空间发展局 (NASDA) 和日本国际工贸部 (MITI) 于 1992 年联合发射了日本地球资源卫星 1 号 (JERS1)。该卫星所携带的 SAR 和光学传感器 (OPS) 能用于冰川现象研究、土地利用 (农林业) 调查、沿海地区观测、土质制图及环境和灾害监测。先进的地球观测卫星 (ADEOS) 计划将继续收集陆地、大气和海洋的遥感数据 (<http://eorc.nasda.go.jp>)。这些数据最初是由日本海洋观测卫星 (MOS, 1987) 和 JERS-1 (1992) 开始记录。ADEOS 卫星包括两台由日本 NASDA 研制的核心仪器外加 6 台由其他国际伙伴提供的传感器。日本 NASDA 研制的核心传感器为海洋色温扫描仪 (OCTS) 和先进的可见光/近红外辐射仪 (AVNIR)。法国空间局 (CNES) 提供被动式光学成像辐射仪 (POLDER), 而 NASA 提供散射计 (NSCAT) 和成图光谱仪 (TOMS)。日本分别在 1994 年和 2000 年实施 ADEOS 和高分辨率观测卫星 (HIROS)。ADEOSII 将执行全球监测, 并强调水循环; 而 HIROS 则获取高分辨率可见光和微波观测数据。

热带降雨测量计划 (TRMM) 是 NASA 与 NASDA 的联合项目, 它的主要目的是测量热带降水, 并由此衍生出全球水文循环和大气动态模型。TRMM 将测量热带地区气温/降雨的每日变化和传导过程。

法国 SPOT 卫星系列地球观测计划始于 1977 年。SPOT-1 于 1986 年发射成功, 所携带的传感器为高分辨率可见光传感器 (HRV), 可以获得 10m (全色) 和 20m (多光谱) 高空间分辨率观测图像, 主要用于土地利用、农林业、地质、制图及区域规划等。SPOT-3 (1993 年 9 月发射) 携带极地臭氧和气溶胶测量仪, 用于臭氧等大气化学成分的测量。SPOT-4 卫星搭载了多种仪器, 它们是改进型轨道定位系统; 测量发射和在轨时的热特性、辐射特性和微震动环境的仪器; 法国海军和法属圭亚那地面标准场雷达发射机; 测量地球两极上空的臭氧和气溶胶水平的美国仪器; 欧洲空间局的 S 频段试验终端和欧洲空间局的 Silex 试验终端, 为未来的 Artemis 通信试验卫星试验低轨道和地球同步轨道间的光通信。SPOT-4 数据用户市场百分比为: 绘制地图占 41%, 农业 22%, 环境 12%, 城市规划和通信 10%, 地质 8%, 其他 7%。按地区分: 亚洲占 37%, 欧洲 25%, 美国 21%, 中东 6%, 南美 6%, 非洲 5%。

加拿大的雷达卫星 (Radarsat) 于 1995 年 11 月发射成功。携带的合成孔径雷达 (SAR) 微波仪器, 使用 8 种工作方式。雷达卫星获取的数据主要应用于资源管理, 冰、海洋和环境监测及北极和近海勘测, 也可用来支持渔业、航海业、海洋研究等。

俄罗斯的地球观测系列卫星 (ALMAZ-1B) 工作期间为 1996~1998 年, 携带有 9 种传感器, 主要用来收集有关制图、陆地表面观测、地质、海洋、渔业及灾害等突发事件的监测。几乎同期工作的俄罗斯空间站研究模型 (PRIRODA-1) 和俄罗斯资源监测卫星系列 (RESURS-0) 主要用于地球生态、海洋循环、地质、大气、农作物状态、森林火灾、污染监测等。

印度国家空间部 (DOS) 的 Bhaskara-1 和 2、IRS-1A/1B、IRS-P3 和 IRS-1C 构成了印度卫星遥感计划家族。1996 年 12 月发射的 IRS-1C 系统携带具有三个传感器的, 三轴稳定极轨太阳同步卫星, 轨道高度 817km, 重访能力 5 天, 设计寿命为 3 年。三个传感器分别为 (用户简讯 1999):

- a. 全色 (PAN), 光谱覆盖范围为 $0.50\sim 0.75\mu\text{m}$;
- b. 多光谱 (LISS-III), 四个波段的光谱覆盖范围分别为:
 - 波段 2 $0.52\sim 0.59\mu\text{m}$ 波段 3 $0.62\sim 0.68\mu\text{m}$
 - 波段 4 $0.77\sim 0.86\mu\text{m}$ 波段 5 $1.55\sim 1.70\mu\text{m}$
- c. 广域 (WIFS), 二个波段的光谱覆盖范围分别为:
 - 波段 3 $0.62\sim 0.68\mu\text{m}$ 波段 4 $0.77\sim 0.86\mu\text{m}$

空间分辨率/幅宽为:

- 全色 (PAN) $5.8\text{m}/70\text{km}$;
- 多光谱 (LISS-III) 2、3、4 波段为 $23.5\text{m}/141\text{km}$, 第 5 波段为 $70.5\text{m}/148\text{km}$;
- 广域 (WIFS) $188.3\text{m}/810\text{km}$.

由于 IRS-1C 遥感卫星数据的高空间分辨率、多光谱和重访时间等特点, 被广泛地应用在农作物长势与估产、旱情监测与评估、洪涝损失制图、荒地范围绘图、海洋资源调查、