

对地观测技术与 地球系统科学

宫鹏 史培军 浦瑞良 郭华东 著

202

科学出版社

对地观测技术与地球系统科学

宫 鹏 史培军 著
浦瑞良 郭华东

科学出版社

1996

(京) 新登字 092 号

内 容 简 介

本书回顾了国内外对地观测技术的发展过程,展望了其今后的发展方向,并结合作者的具体工作介绍了五种使用现代对地观测手段提取科学信息的方法,还介绍了作者利用对地观测资料研究中国地表分异的部分成果。最后介绍了与对地观测技术紧密相连的新学科——摄影生态测量学、地球信息学、地理信息科学、特别是地球系统科学和地球表层学的概念与方法。

本书可供从事遥感、地理、气候、水文、植物、生态、林业、农业、自然资源、环境、地球物理、地球化学、海洋以及经济等方面科研与教学人员阅读参考。

对地观测技术与地球系统科学

宫 鹏 史培军 浦瑞良 郭华东 著

责任编辑 彭胜潮

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

北京市东华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1996 年 8 月第 一 版 开本: 787 × 1092 1/16

1996 年 8 月第一次印刷 印张: 13 1/2

印数: 1 - 1200 字数: 320 000

ISBN 7-03-005571-3/P·945

定价: 30.00 元

前 言

一、写作背景

随着人口增长和经济发展,人类活动对地表环境的影响作用愈来愈明显。能够阻挡紫外线辐射的大气臭氧层出现了漏洞,大面积的森林遭到不合理的采伐而影响到全球二氧化碳的变化等均是例证。许多科学家认识到全球气候正在变化;对气候模拟表明,将来全球气候,特别是中纬度地区的气候,趋向于干旱和少雨。为了维持我们的生存环境,更为了确保人类的后代及与我们共享这个地球的其它生物有一个长期的、稳定的、可持续发展的生存环境,我们不但迫切需要对地球有一个完整的理解,而且还需要面对一切不理想的全球变化,发现和研究这些问题,以便采取一切可能的技术措施来尽快解决这些问题。

世界上许多国家的政治家与科学家已认识到我们所肩负的重大责任。地学界的科学家们必须为制订环境政策提供可靠的信息并当好参谋。以美国为首的发达国家的科学家们针对全球问题的复杂性,提出在学科极度深化和分化的今天统合各个地学学科建立对地球进行全面研究的地球系统科学。我们的老前辈钱学森先生也早有类似的主张。但是要系统地研究地球就必须有准确反映全球整体面貌的科学数据。为此世界许多国家正积极研究并实施各种全球观测计划。为了增加国内科学、教育界对这一系列计划和一些新的地学学科体系的了解,同时为了给中国科学技术协会于1996年9月在北京主办的以“对地观测技术与地球系统科学发展”为专题的青年科学家论坛提供基础材料,使海内外的同行们携起手来共同发展中国的对地观测技术与地球系统科学,我们决定撰写此书。

二、本书结构

本书共分五章,主要介绍对地观测技术、相应的地学信息提取技术、利用对地观测数据(1983—1992年)对中国地表覆盖动态变化区域分异规律的研究、地球信息学与地理信息科学、地球系统科学的发展现状,以及作者在这些方面的一些体会和认识,进而对未来发展的趋势进行预测。各章的作者分别是,第一章:宫鹏、史培军;第二章:浦瑞良、郭华东、宫鹏;第三章:宫鹏、浦瑞良;第四章:史培军、曾小明、宫鹏;第五章:史培军、宫鹏。

为了便于读者了解对地观测与地球系统科学的资料,我们分8个附录分别介绍了今后10—15年内计划实施的的对地观测卫星计划及所载传感器,全球观测计划数据源、正在进行中的一些项目、有关缩略语及含义以及我们近来提出的应用对地观测技术开展中国地表覆盖研究的项目建议。附录1由浦瑞良、宫鹏、张爱戎、盛永伟、于芳、潘俊峰

和苏亚芳完成。附录2—4, 6—8由浦瑞良与宫鹏完成。附录5由宫鹏和史培军完成。

三、致谢

美国宏大资源环境评价技术公司(GREAT)总裁陈俊女士不仅对书中的部分研究提供了GIS技术咨询,还对本书提出了许多修改意见。在美国工作或学习的张爱戎女士、盛永伟先生、于芳女士、潘俊峰先生以及苏亚芳博士帮助翻译了附录1中的大部分资料。北京师范大学资源与环境科学系的谢云女士、王静爱副教授、梁进社副教授、潘耀忠先生、孔健先生、周武光先生等协助收集和录入数据。刘国棱女士和宫鲲鹏先生录入本书全部文稿和图件。本书除了介绍作者们的研究成果外,还介绍了第一作者与加拿大滑铁卢大学的Howarth教授、温莎大学王今飞教授、约克大学Miller教授、美国马里兰大学梁顺林教授和在加拿大工作的王端详先生等的合作研究成果。伯克利加州大学统计系郁彬教授在多元相数据处理方面给予许多帮助。在此一并致谢。

在本书写作期间,美国国家宇航局(NASA)提供了1983—1992年的NOAA-AVHRR的NDVI数据;中国国家教委环境演变与自然灾害开放研究实验室提供了本项研究所用的中国行政区划、气象观测、以及社会经济统计的数字化数据;加拿大ITRES公司提供了小型机载成像光谱仪(CASI)数据;美国HJW公司提供了数字相机数据。NASA行星地球计划(MTPE)对地观测系统(EOS)项目科学家Asrar博士为撰写本书提供了许多资料;加拿大British Columbia省林业部原小平博士多次提供数字相机的材料。书中大部分试验完成于美国伯克利加州大学(University of California, Berkeley)自然资源学院遥感与地理信息系统实验室。

由于时间仓促,作者水平所限,书中一定存在错误及不当之处,敬请读者不吝指教。

作者于美国伯克利加州大学

1996年7月

目 录

前 言

| | |
|---------------------------------------|----|
| 第一章 绪论 | 1 |
| 第二章 对地观测技术 | 3 |
| § 2.1 中国对地观测技术 | 3 |
| § 2.1.1 航天遥感系统 | 3 |
| § 2.1.2 航空遥感系统 | 6 |
| § 2.1.3 两种重要传感器简介 | 7 |
| § 2.2 国际对地观测技术 | 9 |
| § 2.2.1 卫星观测计划 | 9 |
| § 2.2.2 对地观测的传感器系统 | 17 |
| § 2.2.3 高分辨率多光谱数字摄影技术 | 29 |
| 第三章 信息提取技术 | 34 |
| § 3.1 用遥感数据进行地表分类制图 | 34 |
| § 3.1.1 地表分类制图的一般方法 | 34 |
| § 3.1.2 基于特征频率的上下文土地利用分类法 | 35 |
| § 3.1.3 高分辨率影象应用示例 | 37 |
| § 3.2 线性要素的提取方法 | 39 |
| § 3.2.1 道路提取方法 | 39 |
| § 3.2.2 用高分辨率数字相机影象提取道路的例子 | 39 |
| § 3.3 统计回归分析方法 | 40 |
| § 3.3.1 针叶林叶面积指数和树叶生物化学成分 | 45 |
| § 3.3.2 数据的采集及处理 | 46 |
| § 3.3.3 使用的统计模型 | 47 |
| § 3.3.4 结果 | 48 |
| § 3.3.5 小结 | 50 |
| § 3.4 辐射传输模型的反演 | 51 |
| § 3.4.1 Liang - Strahler 植冠反射模型 | 52 |
| § 3.4.2 用神经元网络法对植冠模型进行反演 | 52 |
| § 3.4.3 试验结果 | 53 |
| § 3.5 三维几何信息的提取 | 55 |
| § 3.5.1 从明暗度到形态 | 55 |
| § 3.5.2 摄影生态测量学 | 55 |

| | |
|--------------------------------------|-----------|
| 第四章 利用对地观测数据研究中国地表分异 | 57 |
| § 4.1 资料来源与预处理 | 58 |
| § 4.2 中国地表覆盖的空间分异特征分析 | 63 |
| § 4.2.1 地表覆盖指数的建立 | 63 |
| § 4.2.2 结果分析 | 63 |
| § 4.2.3 结论与讨论 | 66 |
| § 4.3 中国地表覆盖动态变化的区域分异特征分析 | 67 |
| § 4.3.1 数据处理 | 67 |
| § 4.3.2 结果分析 | 68 |
| § 4.3.3 结论与讨论 | 72 |
| § 4.4 中国地表覆盖动态变化趋势分析 | 73 |
| § 4.4.1 数据处理 | 74 |
| § 4.4.2 结果分析 | 74 |
| § 4.4.3 结论与讨论 | 87 |
| § 4.5 中国典型地区地表覆盖动态变化驱动力探讨 | 88 |
| § 4.5.1 典型样区的选择及其基本特征 | 88 |
| § 4.5.2 结果分析 | 88 |
| § 4.5.3 结论与讨论 | 96 |
| | |
| 第五章 地球系统科学 | 98 |
| § 5.1 地球信息学 | 98 |
| § 5.1.1 地球信息学的定义 | 98 |
| § 5.1.2 地球信息学的目的、学科特点及学科组成 | 99 |
| § 5.1.3 基于地球信息学的数据标准 | 100 |
| § 5.2 地理信息科学 | 100 |
| § 5.2.1 地理信息科学的研究内容 | 100 |
| § 5.2.2 地理信息科学的基础设施建设 | 103 |
| § 5.3 地球系统科学体系 | 104 |
| § 5.3.1 地球系统科学的定义、目的和所面临的挑战 | 104 |
| § 5.3.2 地球系统科学的基本内容 | 104 |
| § 5.3.3 地球系统过程的概念化模型 | 106 |
| § 5.4 地球表层学 | 108 |
| § 5.4.1 地球表层系统 | 108 |
| § 5.4.2 地球表层学的目标与基本内容 | 111 |
| § 5.5 人地系统动力学 | 114 |
| § 5.5.1 人地系统动力学的定义、目标和面临的挑战 | 115 |
| § 5.5.2 人地系统动力学的基本内容 | 115 |
| § 5.5.3 人地系统动力学中的数据获取与管理 | 116 |
| § 5.5.4 人地系统动力学中各要素相互作用的时空差异分析 | 117 |

| | |
|---|------------|
| § 5.5.5 概念化模型的建立 | 118 |
| § 5.6 小结 | 125 |
| 参考文献 | 127 |
| 附录 1 美国地球观测系统传感器 | 132 |
| 附录 2 ERS 欧洲空间局遥感卫星 | 177 |
| 附录 3 RADARSAT 加拿大雷达卫星 | 181 |
| 附录 4 美国的一些商业卫星 | 183 |
| 附录 5 中国地表特征数字化制图与地理区划研究 | 185 |
| 附录 6 NASA EOS 资助的多学科科学研究项目 | 195 |
| 附录 7 EOS 数据及信息系统 (EOSDIS) | 196 |
| 附录 8 英文缩写及其中文译名 | 197 |
| 关键词索引 | 207 |

第一章 绪论

与日俱增的资源与环境问题,促使科技界、经济界、社会界、政治界等试图从全球的角度理解人类生存环境的变化,以及这种变化对人类发展的影响 (Eddy 等, 1986)。从80年代中期开始的全球变化研究至今已10年有余。人们深刻地认识到全球变化在不同时间和空间尺度上的复杂性。近年来的研究计划开始强调从不同的时间尺度对地球系统开展综合研究,并把重点放在解决下列三个方面的问题上:一是提高对与全球变化有关的各种现象的监测分辨率;二是降低在理解和模拟各种过程时的不确定性;三是加强研究人类活动在全球变化中的作用机制 (CENR, 1995a; 1995b)。

提高监测分辨率的关键是加强对地球进行整体性和系统性的观测以及加强对监测技术系统的开发 (Asrar 等, 1995), 其核心有两个部分:一是地面各种观测站网的完善与提高,即在现有的气象、水文、海洋、地震等观测站网的基础上,加强对生态系统的观测 (孙鸿烈, 1995), 以便于获取关于典型区域生态系统动态变化过程的数据,加深对生态系统各因子间相互作用机制的理解;二是各种遥感对地观测技术系统的完善与提高,即在目前已有的各种资源卫星、海洋卫星、气象卫星等基础上研制对地球系统进行全面观测的系统 (Asrar 等, 1995)。

降低模拟不确定性的关键是加强对地球系统各要素间的相互作用机制的理解,改善系统模型。例如在长期对组成地球系统各要素—大气圈、水圈、岩石圈、生物圈等深入研究的基础上,建立这些要素在不同时空尺度上的非线性关系及反馈作用机制,建立全球的生物地球化学过程的动力学模型、全球海-气以及地-气系统相互作用的气候动力学模型以及陆地生物与环境相互作用的生态系统动力学模型 (ESSC, 1986; 1988)。

加强对人类活动在全球变化过程中作用的研究,其中心任务之一是建立人类活动对地球表层影响的观测技术,以获取全球范围内在一定时空尺度上可进行比较的、反映人类活动的物理过程、化学过程、生物过程及人文过程的数据,包括关于土地利用动态、化肥农业过程、人工育种、经济和政治制度等的的数据。国际科学联合会与国际社会科学联合会共同组织实施的HDP (全球变化的人类行为计划) (Human Dimension Programme of Global Change) 计划,正是着眼于这个方面而开展的系统研究。其中土地利用/土地覆盖变化项目 (Land Use/Cover Change, 简称LUCC) 已开始组织实施 (Meyer 等, 1994)。

针对上述三个全球变化研究中的关键问题,一些科学家重申,全球变化研究是一个复杂的科学系统工程 (Corell 等, 1991; 陈述彭, 1995)。全球变化就是包括气候、土地生产力、海洋及其它水资源、大气化学及包括生态系统在内的支撑生命能力的全球环境变化。全球变化研究的中心议题是地球系统观测、信息管理、过程理解、变化预测、后果分析、政策评价与方案选择、国际交流、教育与公共意识等方面 (图 1.1) (CENR, 1995)。表 1.1 进一步列出了上述议题的内容。由图 1.1 和表 1.1 可见,获取信息、处理信息及加强对各类过程的理解和模拟在全球变化研究中的重要作用。

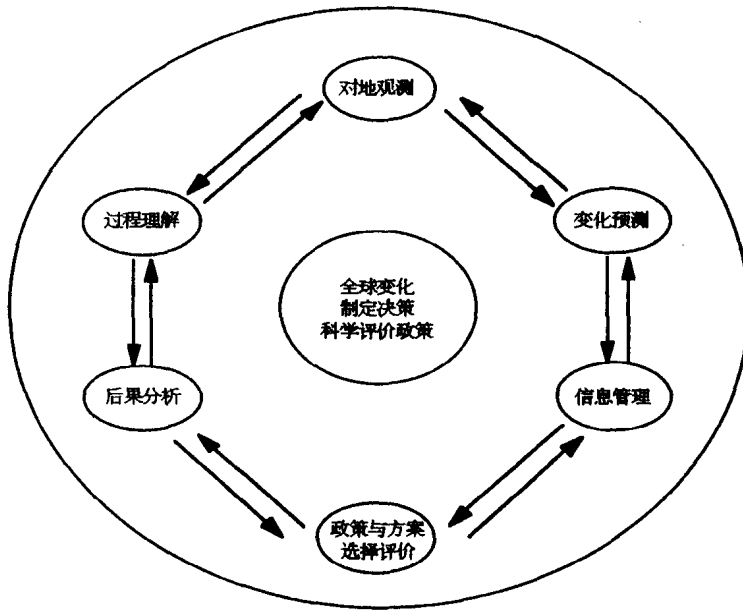


图 1.1 美国的全球变化研究框架 (据 CENR, 1995)

表 1.1 美国全球变化研究的基本内容 (据 CENR, 1995)

| | |
|--|---|
| <p>A. 观测全球变化</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 空间对地观测系统 2. 其它空间观测 3. 陆地与海洋的观测 <p>B. 管理全球变化的数据和信息</p> <p>C. 理解全球变化过程</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 气候动力学与水文系统 2. 化学和生物地球化学的动力学 3. 生态系统及其动力学 4. 人类作用与影响 5. 地球系统历史 6. 固体地球作用 7. 太阳的影响 | <p>D. 预测全球变化</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 模拟地球系统与长期预测 2. 从季节到年际的预测 3. 用观测寻求成因及一致性 <p>E. 分析全球变化的后果及缓解策略</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 环境效应与适应机制 2. 社会效应与适应机制 3. 缓解策略 <p>F. 评价政策与选择</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 社会、经济、和政策科学研究 2. 综合评价的能力 3. 决策工具和信息 4. 资源利用和管理工具 |
|--|---|

由于对地观测信息的大量增加,人们在发展地理信息系统技术的过程中,逐渐意识到建立地球信息学和地理信息科学的重要性(陈述彭, 1991; 1995; Gagnon等, 1990; Groot, 1991; Goodchild, 1992; 1995)。在实践的基础上,促进理论的发展。地理信息科学的提出,为解决上述三个问题提供了一条互相促进的途径。用地球信息学和地理信息科学的理论作指导,有效地采集、处理和分析大量对地球观测数据及其它有关资料,以便于更好地研究人类的资源与环境 and 评价人类活动对环境的影响。

第二章 对地观测技术

§ 2.1 中国对地观测技术

从70年代起,中国开始从事空间遥感与应用,先后发射了15颗返回式遥感卫星和极轨卫星,研制了包括成像光谱仪和多极化合成孔径雷达等在内的多种传感器,目前正在准备发射地球资源卫星。

§ 2.1.1 航天遥感系统

自70年代以来,主要发展的是回收型对地照相卫星,使用的是以照相胶卷为信息载体的框幅式广角相机和全景相机。近年来中国正在研究和制订以气象卫星及资源卫星为代表的无线电传输型对地观测计划,同时也正在形成雷达卫星计划。

(1) 风云一号气象卫星

“风云一号”气象卫星是中国发射的第一颗环境遥感卫星,其主要任务是获取全球的昼夜云图资料及进行空间海洋水色遥感试验。卫星于1988年9月7日准确进入太阳同步轨道,高度901 km,倾角99.1°,周期102.8 min。1990年9月3日已发射了风云一号的第二颗卫星FY-1-B。

甚高分辨率扫描辐射计是该卫星的主要探测仪器。它共有五个探测通道,能同时获取五个波段的目标影像资料。其光谱覆盖范围为0.58—12.5 μm ,波段宽50—2000 nm。其中1, 2, 5波段用于拍摄可见光和红外云图资料供天气预报之用。波段1和2通道的测量数据可提供植被指数,区分云和雪。波段4和5用于海洋水色观测,获取中、高浓度海洋叶绿素的分布图。扫描辐射计的热红外探测通道,具有飞行中辐射响应校正能力,能定量测量目标(如洋面、云顶等)的等效黑体温度。其图象数据还可用于监测积雪、海冰、大面积的洪涝灾害等。

FY-1卫星实时资料的传输采用与美国NOAA卫星兼容的体制,有高分辨率图象传输(HRPT)和4 km分辨率的自动图象传输(APT)两种。凡可以接收NOAA卫星资料的地面接收设备,一般也可以接收FY-1卫星资料。HRPT数字信息的码速率为0.665 MB/s,载波频率为1695.5 MHz或1704.5 MHz。APT模拟信号的载频为137.05 MHz或137.795 MHz。FY-1卫星上装有磁带机,可以存储卫星在各地观测的资料,在卫星通过地面站时,再将资料回收发送下来。由于现在FY-1卫星上的磁带机存储容量有限,还不能获取全球资料。HRPT和APT图象的象幅宽均为3235 km,卫星每天绕地球14圈,可见光/近红外探测通道每天24小时覆盖全球一次,热红外通道覆盖周期为12小时。

(2) 资源卫星1号

中国资源卫星1号是中国在现有卫星技术基础上与巴西之间的国际合作计划,其目标是在互利和各负其责的基础上发展空间技术。

资源卫星整体系统包括5个部分: 星体、测控、数据接收和处理系统、运载工具、发射场。其中数据接收和处理系统将以资源卫星发射为前提, 扩展为中国资源卫星的应用系统。

中国资源卫星1号将用中国长征4号火箭发射。这种火箭可将2000 kg的载荷发射到750 km高的轨道上。卫星上的有效载荷包括: 三台成像传感器、一台数据收集系统(DCS)、一台检测空间高能辐射的空间环境监测仪(SEM)、一台实验性高密度磁带机(HDDR)。三台成像传感器为: 广角成像仪(WFI)、高分辨率CCD相机(CCD)、红外多光谱扫描仪(IR-MSS)、其中WFI是巴西研制的产品。

中国资源卫星1号集四种功能为一体: 高分辨率CCD相机具有与Landsat卫星的TM几个类似的波段, 且空间分辨率高于TM; CCD相机具有侧视立体观测功能, 这与SPOT的侧视立体功能类似; 以不同的空间分辨率覆盖观测区域的能力, WFI的空间分辨率为256 m, IR-MSS可达78 m和156 m, CCD为19.5 m; 三种成像传感器组成从可见光、近红外到热红外整个波谱域覆盖观测地区的组合能力。可见, 中国资源卫星1号是具有特色的资源卫星系统。

中国资源卫星1号首先为中国和巴西的用户服务。搭载多种传感器则对能源提出了高要求, 数据接收也以中国、巴西的地面站为主。其主要性能示于表2.1。

表 2.1 中国资源卫星 1 号主要性能指标

| | |
|------------|-----------------------|
| 轨道类型 | 太阳同步轨道 |
| 轨道倾角 | 98.5° (赤道处) |
| 卫星高度 | 778 km |
| 地面相邻轨道间隔时间 | 3 d |
| 回归周期 | 26 d |
| 卫星设计寿命 | 2 年 |
| 姿态和轨道控制系统 | 三轴指向精度 <0.3° |
| | 三轴旋偏精度 <0.003°/s |
| | 抖动 <0.0004°/s |
| 电源输出功率 | 1100 W |
| 数据传输波段 | X 波段 (三频道) |
| 数据传输速率 | 112 Mbps |
| 星体尺寸 | 2.0 m × 1.8 m × 2.2 m |

1) CCD相机是中国资源卫星1号主要成像传感器, 包括光学系统、探测器校准系统、电子线路、观测机械结构等部分。CCD相机分为五个波段, 波段宽61 - 220 nm, 覆盖可见光谱范围从450 - 731 nm。星下点空间分辨率为19.5 m。以推扫式扫描方式成像。

2) 红外多光谱扫描仪 (IR-MSS) 是另一种重要传感器, 它能提供 CCD 相机所没有的红外光谱部分的信息。它包括如下部件: 主体结构、电子单元、星载校准系统、辐射致冷器。主体结构部分包括扫描镜、主光学部件 (远摄镜)、焦平面总成、中继光学部件、扫描行纠正器、扫描角监视器、一组探测器及其相应的前置放大器。

3) 广角成像仪 (WFI) 是资源卫星 1 号中高分辨率 CCD 相机的辅助传感器。它由一个电子-光学模块、信号处理器和一调制器组成。电子-光学模块中含有聚光物镜、谱段滤波器、CCD 探测器及驱动电子部件和辐射校准装置。信号处理器则控制 CCD 的操作, 与星上数据处理分系统接合, 以采集有关的卫星数据, 接收遥控令, 产生成像状态下的遥测信号, 以及提供送入调制器的视频信号。调制器装置则由 OPSK 调制器和合成器组成。WFI 传感器波段范围 530 - 890 nm。地面分辨率为 256 m。

由处理中心生产的景幅图象按下列纠正标准分级:

- 0 类产品 - 没有经过任何校正的“粗”(原始) 图象, 只提供 CCT 磁带。
- 1 类产品 - 系统校正过的图象。该产品按是否同时进行辐射和几何校正而分为 1A 和 1B 产品。1B 图象既进行了辐射校正又进行了几何校正, 而 1A 图象仅经过辐射校正。
- 2 类产品 - 地理编码产品。根据是否进行过数字地形模型补偿纠正而又可分为 2A 和 2B 产品。2B 产品是既用地面控制点进行精校正, 又用补偿纠正。

(3) 雷达卫星计划

中国下一步将在资源 1 号卫星平台的基础上发展以星载合成孔径雷达 (SAR) 为主要载荷的雷达卫星。目的是使卫星既具有对洪涝、干旱、森林和草原火灾及作物病虫害的观测能力, 又具有对上述灾害的预报能力, 同时进行资源勘查、海洋观测。使卫星既具有全球观测能力, 又具有对中国七大江河主要洪涝区经常性监视能力。为达到上述目的, 雷达卫星打算采用 608 km 和 568 km 两种轨道高度互相转换的圆形太阳同步轨道。其中 608 km 轨道用于全球的图象覆盖, 覆盖周期为 31 天; 568 km 轨道用于固定覆盖中国七大江河主要易发洪涝地区, 图象覆盖周期为 1 天。

目前计划在雷达卫星上安装下列传感器:

1) 一台 L 波段单波段极化的合成孔径雷达 (SAR)。该 SAR 有两种工作模式: 一种是窄测绘带, 高分辨率, 天线波束不扫描, 但可在 20° - 40° 范围内任意改变波束视角的工作模式, 该模式主要用于 608 km 轨道, 图象地面分辨率为 25 m, 测绘带宽约为 100 km。另一种是宽测绘带, 低分辨率, 天线波束可在 20° - 40° 范围内连续扫描的工作模式; 该模式主要用于 568 km 轨道, 图象地面分辨率约为 113 m, 测绘带宽约为 400 km。

2) 一台五谱段可见光和近红外的 CCD 相机。它具有侧视能力。该相机一方面可配合 SAR 工作, 可为 SAR 图象的判读人员提供可见光的判读图象经验; 另一方面, 可提供多光谱、高分辨率的地面图象以提高资源勘探的效率, 达到一星多用的目的。同时雷达卫星也可作为资源 1 号卫星后续星使用, 节省人力和物力。CCD 相机的侧视范围为 $\pm 32^{\circ}$, 地面象素分辨率约为 15 - 18 m, 图象幅宽约为 93 - 130 km。

3) 一台十谱段可见光至热红外、低分辨率的扫描仪。在 608 km 轨道情况下, 地面分辨率约为 1.15 - 2.91 km, 图象地面幅度约为 2709 km, 图象覆盖周期约为 1 - 8 天。它一方面可补充 SAR 和 CCD 相机都不具备测量地面温度和大气含水量能力的不足, 另

一方面又具有拍摄云图、测量云层温度和含水量以及测量大范围地面温度变化的能力,这对于观测和预报洪水泛滥、森林和草原火灾以及风暴灾等有利。

§ 2.1.2 航空遥感系统

1986年以来,中国发展了两套重要的机载遥感系统,即高空机载遥感系统和洪水监测遥感系统。

(1) 高空机载遥感系统

中国发展了一整套航空遥感研究技术系统,该系统包括航空遥感信息的获取、信息处理、分析与应用等各方面。航空遥感技术系统由航空小型遥感平台,多种遥感仪器,遥感信息的预处理,多种遥感信息的集中监视、控制、记录,遥感信息的机-地实时传输等五个子系统所组成。该系统遥感仪器完整、波谱覆盖面宽、工作模式齐全、获取数据方式灵活、兼有生产作业及科研发展两方面的潜力。该系统在研究过程中已在中国资源环境的调查、城市监测、测绘制图、工程规划、地质找矿、海岸调查、灾害监测等方面发挥了作用。

该系统以中国科学院1986年引进的两架赛斯纳奖状-II型飞机为遥感平台,该机最高航速760 km/h,最大航高为13000 m,航程3300 km,装备有LTN-72型惯性导航系统。一架主要用于装备可见光及红外遥感仪器,另一架则用于装备微波遥感仪器。

该系统可分为三大部分:

1) 航空遥感信息获取技术系统的研制与配套 在以前科研工作基础上以装备奖状-II型飞机平台为对象,改进并提高遥感仪器的性能,包括框幅摄影、光-机扫描仪、微波及激光遥感器等以形成宽电磁波覆盖、全天候、全天时能力的高空遥感信息获取系统。并在此基础上开发新的传感器和新一代遥感信息获取技术。

2) 航空遥感技术总体与配套系统 总体技术配套是系统实用化的关键,使电磁波各个谱段的图象式和非图象式遥感以及主动式和被动式遥感有机地结合起来,实现遥感信息的集中控制、显示、记录、传输和地面校正、测试验证、定标。

3) 遥感信息处理技术与系统 目的是使信息标准化、实用化、商品化,实现对航空遥感资料的摄影,光学及计算机图象预处理,以获得胶片图象及磁带图象产品,并具有缩微、存储自动检索能力,发展相应的图象处理软件。

该系统关键技术有:

1) 多波段 成像光谱仪及多波段辐射计,随着微电子技术及精密光机技术的发展,成像光谱仪波段数已超过100个。

2) 大容量、超大容量快速信息存储记录技术 随着波段数的急骤增加,本来十分巨大的遥感信息,更是成倍、几十倍地增长。激光盘以其信息容量大、检索速度快、可靠性高而独具优势。近年发展的可擦除光盘作为航空遥感信息记录系统更具有吸引力。但目前光盘信息存取速度约为250KB/s—1MB/s,尚难以完全满足多通道遥感信息存储的要求。近年新近发展的超大容量卡式磁带记录系统,信息容量达10 GB,它无疑是理想的信息存储系统之一。

3) 快速处理 由于信息量巨大,应用不同的信息抽取、变换方法使得信息处理速度问题更加突出,已开发了各种不同结构的处理系统、一些专用硬件部件、快速算法等,

从而大大提高了遥感信息的时效性,对某些快速变化的实时信息更具有重大意义。

4) 适用于多类用户的最终产品 对用户是否适用的重要标志,是用户使用遥感信息的最终产品时是否方便和能否解决各类应用问题。本系统充分考虑了用户不同的需要,可提供经几何校正和辐射校正的象片、计算机兼容磁带(CCT)、软盘、各类专题应用图、统计图表、以及各类数据及资料。

(2) 洪水监测遥感系统

中国发展了综合应用遥感技术、通信技术和地理信息系统技术于一体的实时、全天候、准实时监测洪水险情的遥感信息系统。该系统不仅可以使国家防汛指挥部看到发生洪水的实况,迅速了解洪水水位及其变化,而且可以根据传回的洪水图象在计算机内的防洪数据库中快速查询洪水造成的损失,提供及时可靠的决策依据。

该系统由两个互相独立又紧密相关的部分构成:一是黄河洪水航空遥感图象和水位数据的实时传输系统;二是黄河洪泛区防洪数据库。

§ 2.1.3 两种重要传感器简介

成象光谱仪具有直接识别地表物质成分的能力,合成孔径雷达则具有全天候成象能力和对一些地物的穿透能力。两种传感器代表了目前空间对地观测仪器的前沿水平,中国在该领域取得了重要进展。

(1) 71 波段成象光谱仪

成象光谱仪的性能参数为:光谱分辨率、辐射、灵敏度、瞬时视场、总视场等。它们的选择主要是以遥感应应用中的科学要求为依据,同时也要适合所选择的探测器的性能和运载工具的环境。

根据成象光谱仪主要功能参数的要求,考虑到关键器件实现的可能性,以及中国科学院遥感飞机的安装空间,71 波段成象光谱仪的总体方案选择为线列探测器和光机扫描型成象系统。以 45° 转镜扫描的成象系统完成一维空间扫描,第二维由飞机的飞行完成。主光学系统把地物信号的光能汇集到视场光栏上。为保证各波段的象元配准,采用光谱波段共用一个视场光栏的结构,在平行光路中设置分色片,使光谱以一定方式组合。光机系统设计为组合式结构,主要由一个光机扫描成象系统和三个光谱仪组件(可见光/近红外光谱仪、短波红外光谱仪、热红外光谱仪)四部分组成。光谱仪均采用光栅分光,在色散的谱面上由线列探测器接收不同波段的光信号。探测器转换后的电信号经放大和数据采集系统按规定格式数据记录在高密度数字磁带(HDDT)上。其波谱技术参数如下:

- 可见/近红外分光组件 波长范围:440 — 1080 nm; 波段数: 32; 取样间隔: 20 nm。
- 短波红外分光组件 波长范围: 1500 — 2500 nm; 波段数: 32; 取样间隔: 30 nm。
- 热红外分光组件 波长范围: 8200 — 12200 nm; 波段数: 7; 取样间隔: 400-800 nm。

样机首次试验于 1990 年 11 月。1991 年 8 月样机经改进后又进行了实验飞行,同年 10 月又对试验区进行飞行实验,获得了优质数据。经过对可见光/近红外及短波红外波段清晰图象进行分析,证明中国制造的 71 波段成象光谱仪工作性能良好。

(2) 合成孔径雷达系统

中国在1976年开始研制SAR系统。二十年来,中国科学院电子学研究所先后研制成功单测绘通道、单侧视与多测绘通道、多极化两代合成孔径雷达系统。

1) 单测绘通道单侧视SAR系统 单测绘通道侧视SAR系统于1983年研制成功。在这个系统中,采用表面声波器件进行脉冲展宽和压缩,采用微处理机控制的运动补偿系统,增加了地速跟踪,飞机的姿态信号全部从惯性导航系统中取出,保证了系统的高精度和高可靠性。

2) 多测绘通道多极化SAR系统 1987年,多测绘通道、多极化合成孔径侧视雷达系统(CAS/SAR)研制成功。该系统主要有以下特点:能适应多种型号的载机,即既能装载在喷气飞机上作高空飞行,又能装载在螺旋桨飞机上作中低空作业,使用方便灵活;天线波束俯视角可变化;采用多极化成像技术,可以获得HH(水平发射水平接收)、VV(垂直发射垂直接收)、VH和HV等4种不同极化的图象;采用多测绘通道成像技术,总测绘带宽度可达5 km;依据载机飞行速度的不同,每小时可以成像 $1 \times 10^4 - 3 \times 10^4$ km²的面积;既可以左侧视,又可以右侧视;具有实时空对地数据传输的功能,能在飞行时,将所获数据实时地传到地面。表2.2列出了CAS/SAR系统的参数。

表 2.2 CAS/SAR 系统参数

| | |
|--------|-----------------------|
| 飞行高度 | 6000 — 10000 m |
| 地速 | 450 — 750 km/h |
| 载波 | Ceasna Citation S/II |
| 波长 | 3cm |
| 极化 | HH, HV, VV, VH |
| 俯角 | 可调 |
| 侧视方向 | 左或右 |
| 分辨率 | 10 m × 10 m (方位 × 距离) |
| 成像宽度 | 35 km |
| 数据记录方式 | 光学 |

该系统在性能上有两个重要特点:一是成像宽度大,达到35 km,便于图象镶嵌与应用;二是有4种极化成像方式。多极化方式可以给出比单极化数据大得多的信息量。

1990年以来,对多测绘通道、多极化SAR系统作了以下4个方面的改进:①系统的小型化、模块化和标准化。②实现天线馈线系统的密封和充气增压,使雷达飞行高度达11000 m以上,有利于飞机全天候飞行。③改进电路和结构,提高系统的可靠性。④采用新研制的表声器件,提高了脉冲压缩性能。

CAS/SAR图象在土壤水分监测、植被鉴别、岩性识别、构造分析、土地利用、古河道探测、洪涝灾害调查损失评估应用中均显示出良好的效果。其多极化成像能力可分辨一些岩性单元及植被类型,显示出了在恶劣天气条件下监测洪水灾害的能力。

§ 2.2 国际对地观测技术

§ 2.2.1 卫星观测计划

只有航天遥感才能提供全球性、重复性的连续对地观测数据,这类数据可用于对地球系统作为一个整体进行理解。地球作为一个综合系统包括地学各学科所涉及的所有领域。卫星和地面观测及复杂的计算机模拟在研究地球系统时将发挥不可替代的重要作用。各国的卫星观测计划是确保提供全球性观测数据的重要前提。下面将对以美国为首的对地观测系统 (EOS) 和其它国家的卫星观测计划 (Asrar 和 Greenstone, 1995; Asrar 和 Dozier, 1994; Kramer, 1994; ERS-1 User Handbook, 1992) 总结于表 2.3, 并简述如下。

(1) 美国的地球观测系统 (EOS)

美国宇航局 (NASA) 已制订了一个循序渐进的观测和数据管理战略,以向科学家提供与地球系统科学有关的观测数据。行星地球计划 (MTPE) 是对美国全球变化研究计划 (USGCRP) 的一大贡献,而 EOS 是雄心勃勃的 MTPE 计划的核心。EOS 计划用了近 20 年时间的准备,现已出台。它的基本设计 requirements 是提供足够长时间的数据记录序列 (即一个完整的太阳周期),以帮助科学家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经过系列 (EOS-AM 系列)

该卫星系列计划将于 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,及海洋初生产率等观测值。EOS-AM 系列卫星经过赤道的时间均在上午 10:30 左右,因为每天此时对于全球陆地而言云覆盖量是最小的时候,因而最有利于对陆地进行卫星观测。搭载于此卫星系列的传感器主要由美国 NASA/JPL 提供,加拿大、日本、欧洲等也提供一部分。云的物理和云的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、碳和水交换由 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。

2) 地球观测系统的彩色卫星 (EOS-COLOR)

该卫星亦计划在 1998 年实施,主要目标是收集有关海洋初级生产率的数据。EOS-COLOR 将观测海洋水色和生产率 (包括对海洋叶绿素、浮游植物的观测),并强调理解海洋在全球碳循环中的作用。EOS-COLOR 继续海星 (SeaStar) 计划的海洋宽视场传感器探测。在 MODIS 能在 EOS-AM 和 PM 上工作之前,该计划将提供连续的观测数据。

3) 地球观测系统的气溶胶计划 (EOS-AERO 系列)

EOS-AERO 主要用来测定穿越平流层的中层对流层中的气溶胶、O₃、水汽、云及所有与辐射和大气化学有关的参量。现在的计划要求使用国际提供的倾斜 57°、705 km 轨道高的卫星,以最佳收集赤道和中纬度地区的观测数据。目前美国的平流层气溶胶和气体实验 III 型 (SAGE III) 仪器可用于观测上述参量。该计划在 2000 年实施。

4) 地球观测系统的下午经过系列 (EOS-PM 系列)

这个系列将在下午经过时 (1:30PM) 收集有关星载大气探测器的气象数据。观测值包括云的形成、降水、和辐射性质,大气温湿度剖面,大气-海洋能量和水通量及动量,