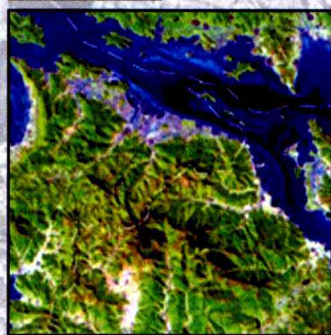
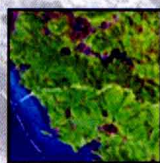
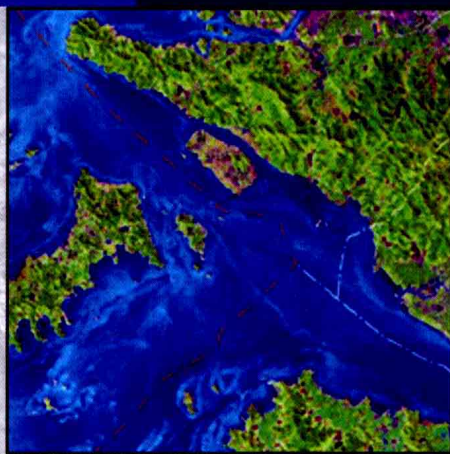




宏观生态环境 遥感监测技术与应用

庄大方 王 桥 江 东 徐新良 等 著

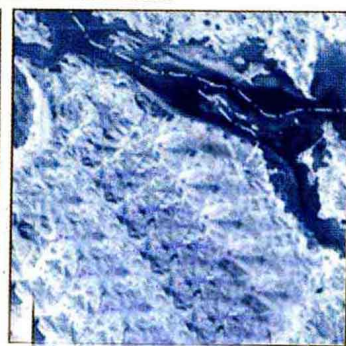
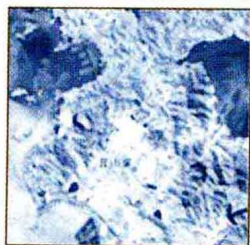
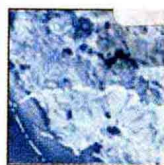


科学出版社



宏观生态环境 遥感监测技术与应用

庄大方 王 桥 江 东 徐新良 等 著



科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书在综述国内外宏观生态环境遥感监测理论方法的基础上,结合我国生态环境监测的应用需求,提出我国宏观生态环境遥感监测业务应用模式、运行方案和应用系统技术体系;阐述基于多源遥感数据、观测数据和统计数据的宏观生态环境遥感数据处理技术、参数定量反演技术、遥感综合评价技术;并对宏观生态环境遥感监测系统的构建与应用情况进行介绍。

本书可供生态环境监测、遥感应用等相关专业科研人员、大专院校师生和环境保护行业的业务人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

宏观生态环境遥感监测技术与应用 / 庄大方等著. —北京: 科学出版社, 2012

ISBN 978-7-03-034011-5

I. 宏… II. 庄… III. 环境遥感-应用-生态环境-环境监测
IV. ①X171.1-39②X83-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 065692 号

责任编辑: 李 敏 张 菊 刘 超 / 责任校对: 张怡君
责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 耕者设计

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

天时彩色印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

2012 年 4 月第 一 版 开本: 787 × 1092 1/16

2012 年 4 月第一次印刷 印张: 21 插页: 2

字数: 490 000

定价: 88.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

生态环境的监测与评估是一项综合性极强的系统工程，涉及自然和社会不同层面。它需要综合采取自然科学、现代技术以及经济社会等多方面的手段和方法，多管齐下、综合考虑。事实上，国家对生态环境监测和评估工作极为重视，2006年1月发布的《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）》，在第3重点领域“环境”的第14优先主题“生态脆弱区域生态系统功能的恢复重建”中，明确规定了“重点开发典型生态脆弱区生态系统的动态监测技术，构建生态系统功能综合评估和技术评价体系”的任务。党的十七大和十七届五中全会报告中明确提出积极应对全球气候变化，加强生态环境建设等国家战略需求。

经过十多年的发展，我国环境保护系统的生态与环境遥感应用业务得到了一定的发展，利用卫星遥感数据在国家级生态环境状况调查、区域生态规划、生态功能保护区建设、区域环境空气污染监测、水华与近海赤潮监测、沙尘及沙尘暴监测等方面取得了一定的成绩，为国家制定生态保护政策与发展战略提供了技术支持。面对我国环境状况的新形势和我国对大范围、全天时、全天候、动态环境监测数据的需求，亟须以多源卫星为主要数据源，将遥感监测与地面常规监测有机结合，相互验证、综合分析与评估，建立环境天地一体化的监测体系和监测能力，更为全面地掌握我国生态环境的发生、发展与演变过程；同时整合经过多年的环境遥感应用基础研究、业务示范，基本形成一套利用遥感技术进行环境监测与评估的业务流程，形成一个高效、长期稳定、安全可靠且能够对批量数据进行快速、规模化处理和应用的业务运行系统，并以此作为支撑，为遏止环境污染与生态破坏提供科学的决策依据，以提高我国环境保护能力，保障国民经济和社会的持续、稳定发展。

本书针对我国环境卫星等光谱特征，首次提出适合我国宏观生态监测和管理需要的宏观生态要素分类体系，阐述基于知识发现的土地利用自动分类技术、宏观生态环境变化遥感监测参数定量提取技术；将定量遥感技术与生态环境监测有机结合，重点介绍宏观生态环境监测系统：集成数据库管理技术、模型库管理技术与业务流程控制技术，真正实现监测任务制定—数据处理—监测指标提取—问题分析—成果输出（专题制图、监测报告生成）—任务反馈的宏观生态环境遥感监测业务运行模式。本书研究内容涵盖宏观生态环境遥感监测各个环节，形成面向宏观生态环境监测的完整的技术体系，同时以大量翔实的应用实例，既阐述了理论方法的精度和合理性，同时也为广大业务应用部门的技术人员提供了可参照的技术方法，具有很强的针对性和实用性。

本书共分6章：第1章主要由庄大方、王桥、付晶莹撰写；第2章主要由江东、黄耀欢、王军邦撰写；第3章主要由徐新良、张峰、万华伟等撰写；第4章主要由王昌佐、刘

晓曼、刘庆生、雷丽萍、胡云锋等撰写；第5章主要由江东、徐新良、杨晓梅、李静等撰写；第6章主要由王勇、袁文、梁万杰撰写；庄大方研究员、王桥研究员还承担了全书总体思路和体例的设计、指导工作。

需要特别指出的是，形成本书的基础研究和主要成果与环境小卫星系列课题的相关研究是密不可分的，在这里要对全体课题组成员、项目组成员所付出的辛勤劳动表示感谢和由衷敬意。三年来，课题的研究工作形成了一支团结稳定的研究队伍，谨以此书作为对这段充满艰辛而又硕果累累的岁月的见证和总结。

宏观生态环境遥感监测与评价是一个重要而充满挑战的领域，但受问题复杂性、时间和作者水平的限制，书中所描述的难免会有许多不妥之处，希望能在批评、讨论和争鸣的气氛下不断改进。

庄大方
2011年10月16日

目 录

前言

第 1 章 宏观生态环境遥感监测技术及其应用进展	1
1.1 宏观生态环境遥感信息源发展状况	1
1.1.1 气象卫星数据	2
1.1.2 资源卫星数据	9
1.1.3 高分辨率卫星数据	13
1.1.4 微波传感器数据	15
1.1.5 小卫星与小卫星星座	17
1.2 宏观生态环境遥感监测技术发展现状与趋势	19
1.2.1 多传感器数据融合	19
1.2.2 宏观生态环境关键参数定量反演	25
1.2.3 宏观生态环境参数时间序列重构与方法	34
1.2.4 生态环境变化监测、评估与预警技术的发展	40
1.3 宏观生态环境遥感应用的最新研究进展	42
1.3.1 全球生态环境遥感监测研究	43
1.3.2 区域生态环境遥感监测研究	50
1.3.3 我国生态环境遥感监测应用研究	54
第 2 章 宏观生态环境关键参数遥感获取技术	56
2.1 宏观生态环境要素分类信息自动提取	56
2.1.1 宏观生态环境要素分类体系	56
2.1.2 宏观生态环境要素分类方法	57
2.1.3 宏观生态环境要素分类研究实例	61
2.1.4 问题与讨论	65
2.2 宏观生态环境关键参数遥感反演	65
2.2.1 地表反照率	65
2.2.2 植被状态参数	67
2.2.3 地表能量/水平衡参数	71
2.2.4 生态系统生产力参数	83
2.3 宏观生态环境参数时间序列重构与再分析	88
2.3.1 植被指数时间序列重构方法	88
2.3.2 S-G 滤波算法说明	89

2.3.3	数据处理及程序实现流程	89
2.3.4	应用实例与结果分析	90
第3章	大尺度生态环境遥感监测与评价	94
3.1	大尺度生态环境遥感监测与评价概述	94
3.1.1	宏观生态环境遥感监测与评价的指标体系	94
3.1.2	宏观生态环境评价建模方法	95
3.1.3	宏观生态环境遥感监测和评价的技术流程	96
3.2	全国生态环境遥感监测与评价	97
3.2.1	全国生态系统宏观结构监测	98
3.2.2	全国生态系统自然条件监测	106
3.2.3	全国生态环境综合评价	111
3.3	全球变化敏感区域遥感监测	115
3.3.1	全球变化敏感区域遥感监测的主要内容	115
3.3.2	全球变化敏感区域遥感监测的技术方法	116
3.3.3	全球变化敏感区域遥感监测的案例研究——以雪线为例	120
第4章	重点区域生态环境遥感监测与评价	136
4.1	自然保护区生态环境遥感监测	136
4.1.1	自然保护区生态环境遥感监测的内容与方法	136
4.1.2	南四湖湿地类型保护区遥感监测	138
4.1.3	双台河口自然保护区遥感监测	144
4.2	重要生态功能区遥感监测与评价	155
4.2.1	重要生态功能区遥感监测的内容与方法	155
4.2.2	1978~2008年黄河源生态环境变化遥感动态监测	157
4.2.3	三江源区草地生态系统退化综合监测与评价	165
4.3	重点生态建设区域建设效果遥感评价	169
4.3.1	重点生态建设区域建设效果遥感监测的内容与方法	169
4.3.2	京津风沙源治理工程区遥感动态监测评价	170
4.3.3	内蒙古中部生态脆弱区生态状况遥感监测评价	177
4.4	大型工程建设区域生态环境影响监测	190
4.4.1	大型工程建设区域生态环境遥感监测的内容与方法	190
4.4.2	大型工程建设区域生态环境遥感监测典型实例	190
4.5	城市生态环境遥感监测与评价	204
4.5.1	城市生态环境遥感监测的内容与方法	204
4.5.2	北京城市生态用地遥感动态监测研究	206
4.5.3	上海城市生态用地遥感动态监测研究	214
第5章	生态环境灾害应急监测与评价	221
5.1	干旱灾害生态环境影响遥感监测与评价技术	221
5.1.1	方法概述	221

5.1.2	研究区概况与数据处理	224
5.1.3	北方地区干旱过程监测	226
5.1.4	结果与分析	230
5.2	大范围雪灾的生态环境影响遥感监测与评价	235
5.2.1	雪灾的生态环境影响遥感监测方法	235
5.2.2	2008年南方雪灾对生态环境影响的遥感监测与评价	236
5.2.3	中国重点省份灾后植被恢复状况监测评价	243
5.3	地震及次生地质灾害的生态环境影响快速监测与评估技术	250
5.3.1	地震灾害生态环境影响快速监测与评估技术概述	250
5.3.2	汶川地震灾害核心区域公共卫生环境评估	251
5.3.3	四川汶川地震灾区环境风险评估	258
5.3.4	四川地震灾区生态环境恢复遥感监测与评估	269
第6章	宏观生态环境遥感监测系统构建与应用	286
6.1	宏观生态环境遥感监测系统总体设计	286
6.1.1	概述	286
6.1.2	系统总体结构设计	287
6.1.3	总体界面设计	296
6.1.4	系统体系架构	298
6.2	宏观生态环境遥感监测数据库建设	300
6.2.1	数据库设计原则	300
6.2.2	数据库结构设计	301
6.2.3	数据库运用设计	301
6.3	宏观生态环境遥感监测系统构建	305
6.3.1	系统主要功能模块实现	305
6.3.2	系统集成的关键技术	308
	参考文献	314

第 1 章 宏观生态环境遥感监测技术 及其应用进展

1.1 宏观生态环境遥感信息源发展状况

遥感在宏观生态环境监测与评估中有着广泛的应用前景。它能够对生态、资源环境、气候变化等进行连续观测，具有可重复覆盖、视点高、视域广、数据获取周期短等特点。因此，遥感技术的发展受到了世界各国的重视，航天遥感的发展尤其迅速。目前，根据遥感卫星观测系统的应用目的，可以分为气象卫星系列、陆地卫星系列和海洋卫星系列等三类。在宏观生态环境遥感监测与应用的研究领域中，常常根据不同卫星数据特点，选择多种数据源。适用于大面积陆地表面生态环境监测的卫星资料信息源有很多种，按照时空分辨率的不同，可以将常用的宏观生态环境遥感监测的遥感信息源大致分为以下几种（表 1-1）。

表 1-1 宏观生态环境监测常用的遥感信息源

类型	信息源名称	波段数	空间分辨率	数据存档情况	所属国家（组织）
(1)	NOAA/AVHRR	5	1.1km	1982 年至今	美国
	风云 1C/1D	10	1.1km	1999 年至今	中国
	Meteosat	3	2.5km	1999 年至今	欧洲空间局
	GMS	4	1.1~4km	1989 年至今	日本
(2)	Landsat 系列	7	15~120m	1986 年至今	美国
	SPOT 系列	4	2.5~20m	1998 年至今	法国
	CBERS-01/02	5	19.5m	2000 年至今	中国/巴西
	MODIS	36	250m~1km	2000 年至今	美国
(3)	QuickBird	5	0.6m	2001 年至今	美国
	IKONOS	5	0.8m	1999 年至今	美国
(4)	ERS-1/2	1 (C 波段)	25m	1995 年至今	美国
	RADARSAT-1/2	1 (C 波段)	10~30m	1995 年至今	中国
	ENVISAT	1 (C 波段)	10~30m	2002 年至今	欧洲空间局

(1) 高时间分辨率、低空间分辨率气象卫星数据，如美国 NOAA 系列极轨业务气象卫星、我国风云系列气象卫星、日本静止气象卫星 GMS 等，空间分辨率 1km 至几千米，时间分辨率高（小时至日），可以对大范围重复观测，提供全国乃至全球资源环境的动态信息；

(2) 中等空间分辨率多光谱资源卫星数据，如美国 Landsat TM (ETM+) 数据、法国

的 SPOT 资料、中国 - 巴西合作 CBERS-01/02、美国新一代中尺度 MODIS 数据等，空间分辨率一般为几十米（MODIS 为 250m ~ 1km），具有多个波段，是反演森林、草地等植被状态参数的主要信息源；

(3) 高空间分辨率的卫星数据，如 QuickBird 数据、IKONOS 数据等，其空间分辨率在 1m 左右，能够提供局部地物分布的详细信息；

(4) 星载微波数据，如加拿大的 RADARSAT 数据、欧洲空间局的 ENVISAT 数据等。

1.1.1 气象卫星数据

随着航天技术的不断发展，气象卫星自问世以来的 50 多年也有了巨大的进步。气象卫星是以气象服务为主要任务的卫星，分为静止气象卫星和极轨气象卫星两大类。静止气象卫星大致沿地球赤道平面运动，卫星所在的高度使得它运动的角速度与地球自转的角速度大致相同，可以对其覆盖范围进行连续的观测。极轨气象卫星大致沿地球子午线运动，轨道平面离子午面略有偏差。由此既可以观测到整个地球表面、获得全球观测资料，又可以保证卫星总是在相同的地方时间经过观测地点，从而保证地球上的云和地物有相同的照明条件。这两种卫星优势互补，提供了有效的气象服务（许健民，2002）。

1. 静止气象卫星

静止气象卫星位于赤道上空 36 000km 的高空，与地球同步运转，以极高的时间分辨率（每小时）对地球表面特定区域进行连续记录，多颗卫星联合工作可以获得覆盖全球的数据。目前主要运行的静止气象卫星群包括美国的 GOES 系列（东 GOES 和西 GOES）、欧洲的 Meteosat、中国的风云二号和日本的 GMS、MTSAT 等。

1) 美国 GOES

GOES (Geostationary Operational Environment Satellite)，即地球静止业务环境卫星。美国于 1970 年提出发展 GOES 系列卫星，发展计划由美国国家航空航天局 (NASA) 管理。从 1974 ~ 2010 年共发射了 15 颗 GOES 系列卫星，如表 1-2 所示，分为东 GOES (GOES East-75°W) 和西 GOES (GOES West-135°W) (Menzel and Purdom, 1994)。GOES 可以实现高时间分辨率观测，而且从地球同步轨道对地球任意地理位置都有一个一致的视场几何校正方法，因此空间分辨率和大气倾斜光路不变，由此可对天气过程做空间和时间演变的最佳解释；但是只能监测全球中低纬度的大气参数及其发展过程。GOES 可监测的过程和参数如表 1-3 所示 (黎光清, 1998)。

表 1-2 GOES 系列卫星

卫星	发射时间 (年.月)	主要传感器
SMS-1 (SMS-A)	1974.5	VISSR
SMS-2 (SMS-B)	1975.2	
GOES-1 (GOES-A)	1975.10	
GOES-2 (GOES-B)	1977.6	
GOES-3 (GOES-C)	1978.6	

续表

卫星	发射时间 (年.月)	主要传感器
GOES-4 (GOES-D)	1980.9	GOES VISSR
GOES-5 (GOES-E)	1981.5	
GOES-6 (GOES-F)	1983.4	
GOES-G	1986.5	
GOES-7 (GOES-H)	1987.2	
GOES-8 (GOES-I)	1994.4	GOES I/M
GOES-9 (GOES-J)	1995.5	
GOES-10 (GOES-K)	1997.4	
GOES-11 (GOES-L)	2000.5	
GOES-12 (GOES-M)	2001.7	
GOES-13 (GOES-N)	2006.5	GOES N/O/P
GOES-14 (GOES-O)	2009.6	
GOES-15 (GOES-P)	2010.3	
GOES-Q	待发	GOES NEXT
GOES-R	待发	GOES NEXT

表 1-3 GOES 的可监测过程与参数

暴雨、洪水、气温和闪电	地球生态日变过程
云演化和强风暴	海岸过程 (包括潮汐)
水汽及其源、汇与结构	环境污染 (包括沙尘)
中尺度天气与洋流系统	火山爆发、地震和林火
大气微量气体演化	海洋赤潮
地球系统辐射收支	太阳通量和太阳常数

2) 欧洲 Meteosat

欧洲空间局 (以下简称欧空局) 研制的 Meteosat 卫星系统, 实现了从零经度的地球静止轨道进行气象观测, 迄今为止共发射两代 9 颗卫星, 详见表 1-4。

表 1-4 Meteosat 系列卫星

发射时间 (年.月.日)	卫星	发射场/运载火箭
1977.11.23	Meteosat-1	卡纳维拉尔角/德尔塔
1981.06.19	Meteosat-2	
1988.06.15	Meteosat-3	库鲁/阿丽亚娜
1989.03.06	Meteosat-4	
1991.03.02	Meteosat-5	
1993.11.20	Meteosat-6	
1997.09.02	Meteosat-7	
2002.08.28	MSG-1 (Meteosat-8)	
2005.12.21	MSG-2 (Meteosat-9)	

欧洲第一代地球静止气象卫星中第一颗卫星 Meteosat-1 于 1977 年 11 月 23 日发射, 最后一颗是 1997 年 9 月 2 号发射的 Meteosat-7。这个卫星系统由一颗运行卫星和一颗后备卫星组成。它可以获取欧洲、非洲、中东和南美洲的东半部的图像, 总覆盖超过 100 个国家和地区。Meteosat 卫星播发的资料有三种: 高分辨率 (HRI) 图像、低分辨率模拟云图 (WEFAX) 和气象资料分发系统 (MDD) (Labarbera et al., 1995)。

第二代气象卫星 (Meteosat Second Generation, MSG) 是由欧空局和欧洲气象卫星应用组织联合研制的, 于 2002 年 8 月 28 日在法属圭亚那库鲁航天中心发射, 现改名为 Meteosat-8。与第一代气象卫星相比其设计功能更加强大, 具有 12 个光谱通道, 扫描周期为 15min, 位于 0°E 的赤道上空 36 000km。

随着 MSG 系列前两颗卫星成功投入服务, 欧洲气象卫星组织和欧空局正积极策划下一代欧洲地球静止气象卫星业务系统——第三代气象卫星 (Meteosat Third Generation, MTG)。计划于 2015 年发射的 MTG 系列卫星由于在设计性能上的巨大提高, 将使天气预测和环境监测发生革命性的变化。

3) 日本静止气象卫星

日本的第一颗静止气象卫星是 1977 年 7 月发射的 GMS-1 (地球静止气象卫星), 日本至今总共发射了 5 颗 GMS 卫星。GMS-5 于 1995 年 3 月发射, 定位于 140°E, GMS-5 卫星的主要有效载荷为: 4 通道可见光和红外扫描辐射器, 波段设置见表 1-5 (蔡淑英和郭陆军, 1995; Le Marshall, 1999)。GMS-5 播发给用户的资料有两种: 高分辨率数字资料 (展览数字资料, S-VISSR) 和低分辨率模拟云图 (WEFAX), 图像产品见表 1-6 (徐建平, 2000)。

表 1-5 GMS-5 气象卫星的 VISSR 特性

通道	波长/ μm	量化等级/bit	空间分辨率 (星下点) /km
可见光	0.55 ~ 0.90	6	1.25
水汽	6.5 ~ 7.0	8	5
红外 1	10.5 ~ 11.5	8	5
红外 2	11.5 ~ 12.5	8	5

表 1-6 GMS-5 气象卫星的图像产品

图像种类	光谱	发送次数
圆盘图	可见光	每日 3 次 (白天)
	红外	每 3h 1 次
极射投影图	可见光、红外	每日 3 次 (白天)
		每 3h 1 次
分区图	A、B、C、D (红外)	每 3h 1 次
极射投影图 (日本)	可见光	每小时 1 次 (白天)
	红外	每小时 1 次
	红外增强图	每小时 1 次 (夜间)
S-VISSR 图 (全球)	可见光、红外	每日 28 次

MTSAT 卫星系列是日本运输省和日本气象厅合作投资的多功能（气象观测和飞行控制）卫星。第1颗卫星 MTSAT-1 在 1999 年 11 月发射，但由于火箭故障，星箭具毁，之后重新生产了 MTSAT-1R，于 2005 年 2 月 26 日发射。与 GMS 卫星系列相比，MTSAT 卫星系列有 4 大变化：一是卫星由自旋稳定改为以三轴稳定方式控制姿态；二是扫描辐射计的通道数增加到 5 个；三是卫星星下点水平分辨率有所提高，详见表 1-7；四是 MTSAT 播发的高分辨率图像资料（HIRID）、高速率信息传输（HRIT）、低速率信息传输（LRI）和低分辨率模拟云图（WEFAX）（张鹏锐和王荣华，2005；Yang and Guo, 2010；Hong et al., 2009）。

表 1-7 MTSAT 系列卫星波段特性

通道	波长/ μm	量化等级/bit	空间分辨率（星下点）/km
可见光	0.55~0.90	10	1
红外（IR1）	10.3~11.3	10	4
红外（IR2）	11.5~12.5	10	4
红外（IR3）	6.5~7.0	10	4
红外（IR4）	3.5~4.0	10	4

2006 年 2 月 18 日，日本 H2-A 火箭搭载多功能卫星“MTSAT-2”从南部的鹿儿岛县种子岛宇宙中心升空，进入距离地面 3.6 万 km 的地球静止轨道，位于 145°E。MTSAT-2 卫星上搭载的成像仪拥有 1 个可见光波段和 4 个红外波段，成像仪依靠内部的扫描镜每 30min 拍摄 1 次北半球的图像。执行气象观测任务部分的设计寿命为 5 年，执行航空管制任务部分的设计寿命为 10 年（Zoccarato, 1997）。

4) 中国风云二号气象卫星

风云二号气象卫星（FY-2）是我国第一颗静止气象卫星，分两个批次进行研制和发射，即 01 批和 02 批。01 批共发射两颗卫星：1997 年 6 月发射 FY-2A；2000 年 6 月发射 FY-2B。02 批共三颗卫星，分别命名为 FY-2C、FY-2D 和 FY-2E。与 01 批相比，02 批星载扫描辐射计从三个光谱通道增加到五个光谱通道（表 1-8），能对中长期天气预报、气候预测、生态监测和自然灾害监测发挥更重要的作用，更好地为防灾减灾服务。

FY-2C 是我国第一颗业务型静止气象卫星，在 2004 年 10 月 19 日由长征 3 号甲运载火箭发射升空，定点在距地面 36 000km、105°E 的赤道上空，以对亚太地区进行观测。升空 10 天后，顺利传回第一张气象云图。至此，FY-2C 进入试运行阶段，2005 年 7 月正式投入业务使用。

表 1-8 五通道扫描幅设计的观测性能技术指标

波段	波长/ μm	空间分辨率/km	瞬时视场角/ μr
可见光	0.55~0.90	1.25	35
红外 1（IR1）	10.3~11.3	5	140
红外 2（IR2）	11.5~12.5	5	140
红外 3（IR3）	6.3~7.6	5	140
红外 4（IR4）	3.5~4.0	5	140

2006年12月8日, FY-2D发射升空, 最终定位于86.5°E赤道上空。FY-2D既可以作为FY-2C的在轨备份星, 也可以根据需要进行立体业务观测, 实现中国静止气象卫星双星业务系统建设目标, 增强中国气象卫星在轨连续、稳定运行的可靠性, 为中国及周边国家天气观测、气象预报和减灾防灾发挥重要作用(晓昊, 2004)。风云二号02批星的最后一颗卫星FY-2E, 在2008年12月23日成功发射。

FY-2A播发给用户的资料有三种: 高分辨率数字资料(展宽资料, S-VISSR)、低分辨率模拟云图(WEFAX)和低分辨率传真图(S-FAX)。FY-2A的S-VISSR的传输特性与GMS-5的S-VISSR接近, 除了载波频率不同(GMS-5为1687.51 MHz, FY-2为1687.5 MHz)外, 其他几乎相同。两者的数据模式也兼容。因此FY-2的S-VISSR资料接收站只要改变一下接收机的频率就可以接收GMS-5卫星的S-VISSR资料。处理系统的软件也只要略作修改。GMS卫星系列的WEFAX传输特性(包括载波频率)都完全相同, 接收站不需做任何修改即可接收两颗卫星的WEFAX资料。

2. 极轨气象卫星

极轨气象卫星又称为太阳同步卫星, 环绕地球进行扫描, 时间分辨率以日为基本单位。自20世纪70年代末、80年代初美国NOAA系列极轨业务气象卫星投入运行以来, 由于其快速、宏观、动态、低成本和相对丰富的多光谱数字信息的特点, 在环境遥感领域中的应用得到了很大的发展。在我国, 运用气象卫星在非气象领域中的遥感应用工作起始于80年代中期, 采用了多时相准同步AVHRR数据, 对我国东部植被季相动态规律进行了系统研究, 同时也探讨了AVHRR数据的植被指数构成; 随后国家先后开展了以中国气象局为主组织的北方10省市冬小麦估产试验、中国科学院主持的资源环境动态监测等。

1) 美国NOAA/AVHRR

1979年6月美国发射了第三代极轨气象卫星系列的第一颗业务运行卫星NOAA-6(运行前称为NOAA-A), 至今已发展到第五代卫星, 包括NOAA-15—NOAA-19(NOAA-K、NOAA-L、NOAA-M、NOAA-N、NOAA-N Prime)。作为备用的第四代星, 包括NOAA-9—NOAA-14。部分卫星的发射时间和基本轨道参数见表1-9。

表 1-9 部分 NOAA 系列卫星的发射时间和基本轨道参数

卫星	发射时间(年.月.日)	轨道高度/km	轨道倾角/(°)	轨道周期/min
NOAA-11	1988.09.24	841	98.9	101.80
NOAA-12	1991.05.14	804	98.6	101.10
NOAA-14	1994.12.30	845	99.1	101.90
NOAA-15	1998.05.13	808	98.6	101.20
NOAA-16	2000.09.12	850	98.9	102.10
NOAA-17	2002.06.24	811	98.7	101.20
NOAA-18	2005.05.20	854	—	102.00
NOAA-19	2009.02.06	859	98.73	102.14

NOAA 卫星装载有 6 个光谱通道的可见光和红外扫描辐射计, 包括 1 个可见光、2 个近红外通道、1 个中波红外通道和 2 个长波红外通道, 各波段的基本情况见表 1-10。数据量化等级 10bit, NOAA-15/16/17/18/19 (K/L/M/N/N') 是美国第五代极轨业务环境卫星, 星上主要携带有: 改进的甚高分辨率辐射计 3 型 (AVHRR/3)、高分辨率红外辐射探测仪 3 型 (HIRS-3)、先进的微波探测装置 A 型 (AMSU-A)、先进的微波探测装置 B 型 (AMSU-B)。其中 HIRS-3、AMSU-A 和 AMSU-B 统称为先进的 TIROS 业务垂直探测器 (ATOVS)。

表 1-10 AVHRR 光谱通道特征和主要探测目的

通道	波长/ μm	主要用途
1	0.58 ~ 0.68	白天图像、植被、冰雪
2	0.725 ~ 1.00	白天图像、植被、水/陆边界、大气校正
3a	1.58 ~ 1.64	白天图像、土壤湿度云雪判识、干旱监测、云相区分
3b	3.55 ~ 3.93	下垫面高温点、夜间云图、森林火灾
4	10.30 ~ 11.30	昼夜图像、海表和地表温度
5	11.50 ~ 12.50	昼夜图像、海表和地表温度

NOAA/AVHRR 提供了多种多样的遥感资料, 包括: 可见光与红外云图、一系列气象及环境数据、由以上资料派生的气象要素以及空间环境监测资料。因此, 可以广泛应用于资源与环境科学的各个领域, 如水文学、海洋学、植物学、资源与环境监测, 区域土壤水分分析, 灾害监测等 (Ehrlich et al., 1994; 赵英时, 1990)。

2) 中国风云一号气象卫星

1988 年 9 月 7 日, 中国启用“长征四号”火箭, 在太原卫星发射中心成功地发射了我国第一颗极轨气象卫星——“风云一号” (FY-1A), 这是中国自行研制和发射的第一颗传输型极轨遥感卫星。其基本功能是向世界各地实时广播卫星观测的局地可见、红外高分辨率卫星云图; 获取全球的可红外卫星云图、地表图像和海温等气象、环境资料, 为天气预报、减灾防灾、科学研究及政府决策服务。

1990 年 9 月发射了第二颗极轨气象卫星 FY-1B; FY-1C、FY-1D 分别发射于 1999 年 5 月和 2002 年 5 月。其中, FY-1A/1B 为试验卫星, FY-1C/1D 为业务卫星。FY-1C 在轨运行时间是设计寿命的 3 倍, 于 2004 年 3 月失去业务能力, 2007 年 1 月作为中国卫星工程试验靶标被摧毁。FY-1D 在轨运行 8 年, 超龄服务 6 年仍稳定运行。

FY-1C、FY-1D 卫星具有相同的有效载荷配置, 是两台互为备份的 10 通道扫描辐射计, 主要技术性能和在轨实测结果见表 1-11。可见光和近红外通道定标精度达到 10%; 红外辐射定标精度达到 1K; HRPT 直接广播图像空间分辨率优于 1.1km, GDPT 记录回放图像空间分辨率优于 4km。

表 1-11 各通道特性及应用范围

通道	波长/ μm	信噪比		应用范围
		指标	实测	
1	0.58 ~ 0.68	≥ 3	14	白天图像、植被冰雪
2	0.84 ~ 0.89	≥ 3	22	白天图像、植被、水/陆区界

续表

通道	波长/ μm	信噪比		应用范围
		指标	实测	
3	3.55 ~ 3.93	≤ 0.8	0.40	昼夜图像、高温热源、地表温度、森林火灾
4	10.3 ~ 11.3	≤ 0.45	0.17	昼夜图像、海表和地表温度
5	11.5 ~ 12.5	≤ 0.45	0.22	昼夜图像、海表和地表温度
6	1.58 ~ 1.64	≥ 3	12	白天图云雪判识、干旱监测、云相区分
7	0.43 ~ 0.48	≥ 3	18	海洋水色
8	0.48 ~ 0.53	≥ 3	30	海洋水色
9	0.53 ~ 0.58	≥ 3	24	海洋水色
10	0.9 ~ 0.905	≥ 3	22	水汽

3) 中国风云三号气象卫星

2008年5月27日,风云三号A星(FY-3A)成功发射。运行高度831km,太阳同步轨道,运行周期约102min,回归周期5天。FY-3A携带11台仪器,光谱通道高达100个,主要特征见表1-12。

表 1-12 FY-3A 星载仪器的主要特征

仪器名称	光谱范围	通道数目/个	星下点分辨率/km	量化等级/bit	应用目标
可见光红外扫描辐射计(VIRR)	0.44 ~ 12.5 μm	10	1.1	10	云、植被、雪、冰、陆/海表温度、气溶胶、火点等
红外分光计(IRAS)	0.69 ~ 15.5 μm	26	17.0	13	大气温、湿度廓线、射出长波辐射等
微波温度计(MWTS)	50 ~ 57GHz	4	50	13	大气温度廓线、地表辐射率
微波湿度计(MWHS)	150 ~ 183 GHz	5	15	14	大气湿度廓线、降水强度
中分辨率光谱成像仪(MERSI)	0.41 ~ 12.5 μm	20	0.25 ~ 1.1	12	自然景观图像、云、植被、地表覆盖类型、海色等
紫外臭氧垂直探测仪(SBUS)	252 ~ 340nm	12	200	12	臭氧垂直分布
紫外臭氧总量探测仪(TOU)	309 ~ 361nm	6	50	12	臭氧总量
微波成像仪(MWRI)	10.65 ~ 89 GHz	10	9 ~ 85	12	降水和云、大气可降水、地表
地球辐射监测仪(ERM)	0.2 ~ 3.8 μm 0.2 ~ 50 μm	2	35	16	反射太阳辐射通量 射出长波辐射通量
太阳辐射监测仪(SIM)	0.2 ~ 50 μm	1	—	16	太阳常数
空间环境监测仪(SEM)	—	—	—	—	探测高能粒子等

FY-3A 大气探测资料(红外分光计、微波温度计、微波湿度计)在数值天气预报的应用中,不仅预报精度提高,而且延长了预报时效,应用效果与国外同类仪器相当。FY-3A

可提供一天两次全球覆盖的大气温、湿度廓线,全球云图资料、云参数定量计算结果、极区风矢量、大气可降水、微波监测降水、大气不稳定性、大雾、海面温度以及臭氧垂直分布、地表参数等。因此,在区域天气系统和气候变化监测中有极大的应用潜力。FY-3A中分辨率光谱成像仪有3个可见光、1个近红外和1个长波窗通道时250m空间分辨率,对生态环境与灾害监测分析非常有利。FY-3A获取资料丰富,应用范围广泛,将在气象、气候、环境监测和决策服务等方面发挥更重要的作用(<http://nsmc.cma.gov.cn>)(董超华,2010)。

1.1.2 资源卫星数据

陆地资源卫星是勘测和研究陆地表层自然、环境状况的卫星,广泛应用于资源调查、生态环境和灾害监测、土地规划和区域开发等领域。目前常用的陆地资源卫星包括美国陆地卫星(Landsat)、法国SPOT卫星、中巴合作陆地资源卫星CBERS、印度的P5和新一代中尺度卫星MODIS等。

1. 美国陆地卫星(Landsat)

世界上第一颗陆地资源卫星是美国1972年7月23日发射的陆地卫星1号(Landsat-1)。运行在高705km、倾角98.2°的太阳同步轨道上,16天覆盖地球一遍。陆地卫星2号/3号(Landsat-2/3)分别发射于1975年1月和1978年3月。这三颗卫星是美国第一代试验型地球资源卫星,携带相同的传感器:返束视像管摄像机(Return Beam Vidicon, RBV)和多光谱扫描仪(Multispectral Scanner System, MSS)。陆地卫星4号/5号(Landsat-4/5)分别发射于1982年7月和1984年3月,是美国第一代实用型地球资源卫星,有7个波段,所携带的传感器为多光谱扫描仪(MSS)和专题制图仪(Thematic Mapper, TM)。陆地卫星6号(Landsat-6)于1993年发射失败。1999年4月发射的陆地卫星7号(Landsat-7)是第三代资源卫星,用8波段的多光谱扫描辐射计增强型专题制图仪(Enhanced Thematic Mapper Plus, ETM+)代替了前两代陆地卫星上用的7波段专题制图仪(TM),工作于可见光、近红外、短波红外和热红外光谱区域。ETM+在前两代陆地卫星的基础上,在很多方面进行了改进:①引入了空间分辨率为15m的全色波段;②热红外波段的空间分辨率由ETM的120m提高到60m;③太阳定标器使卫星的辐射定标误差小于5%,比陆地卫星5提高近一倍,ETM+波谱特征见表1-13。Landsat数据现在被世界上15个地点的地面站所接收,主要应用于陆地的资源探查、环境监测。TM数据包括其热红外波段在内对沿岸地区的环境监测也很有效。数据分发可在世界各国进行,它是现在最为广泛利用的地球观测数据(李良序等,2003;Goward and Williams,1997)。

表 1-13 美国陆地卫星 Landsat-7 ETM+ 波谱特征

波段	光谱范围/ μm	空间分辨率/m	主要特点
1	0.45 ~ 0.52 (蓝色波段)	30	叶绿素的吸收波段
2	0.52 ~ 0.60 (绿色波段)	30	绿色光反射波段