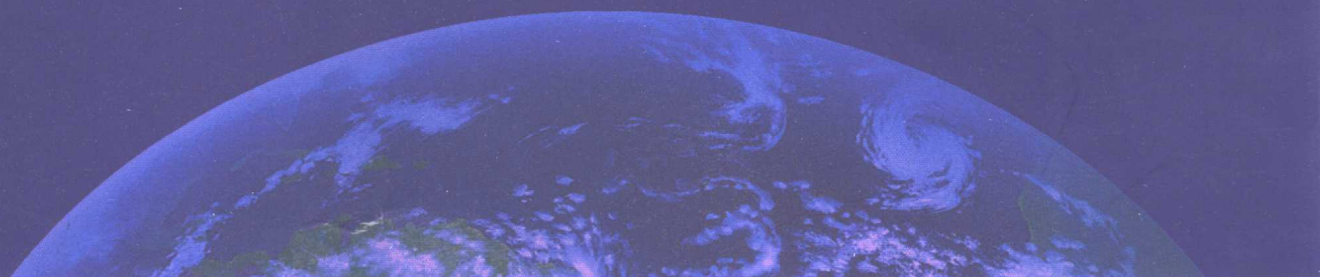


空间信息获取与处理系列专著

对地观测技术 与可持续发展



郭华东 编著



科学出版社

空间信息获取与处理系列专著

对地观测技术与可持续发展

郭华东 编著

科学出版社

2001

内 容 简 介

本书是国家高科技计划信息领域信息获取与处理技术(863-308)主题成果系列专著之一。其从全局角度全面论述了对地观测这一前沿技术在当今社会中的作用,及其在实施国家可持续发展战略中的重大意义,并陈述了我国对地观测技术当前的进展,特别是面向21世纪初的发展战略。全书共分九章。第一至第三章,分别阐述对地观测的对象、内容及其社会需求,简述对地观测的理论基础及其技术体系;第四至第七章论述了当前应发展的对地观测的关键技术,分别介绍了新型的光学对地观测技术、微波对地观测技术、信息处理技术、对地观测平台技术,并提出为构筑中国数字地球需要建立国家对地观测体系;第八至第九章,讨论了为实施国家可持续发展战略建立信息保障体系的重要性和可能性。

本书可供从事空间科学、资源环境科学领域有关产业工程部门的科学工作者与领导及高校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

对地观测技术与可持续发展/郭华东编著. - 北京:科学出版社,2001
(空间信息获取与处理系列专著)

ISBN 7-03-009197-3

I. 对… II. 郭… III. 遥感地面调查-作用-可持续发展-研究-中国 IV. TP72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 05985 号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

陈海印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2001 年 2 月第 一 版 开本: 787 × 1092 1/16

2001 年 2 月第一次印刷 印张: 14 3/4

印数: 1—2 500 字数: 325 000

定价: 30.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈北燕〉)

23
J5474/38
28

国家 863 计划 308 主题

空间信息获取与处理系列专著

编辑委员会

名誉主编：匡定波

主 编：郭华东

副主编：许健民 倪国强

编 委（按姓氏笔画为序）

王长耀 王建宇 王德纯 朱敏慧 刘玉洁

刘永坦 孙文新 巫英坚 杨家德 杨震明

李小文 李文友 吴一戎 张光义 张永生

张钧屏 张意红 张澄波 郁文贤 林行刚

周心铁 郇辛樵 孟宪文 侯朝焕 姜文汉

姚岁寒 顾怀瑾 阎吉祥 龚雅谦 梁甸农

彭胜潮 景贵飞 强小哲 缪家驷 魏钟铨

国家 863 计划 308 主题

空间信息获取与处理系列专著

- 对地观测技术与可持续发展
- 合成孔径雷达卫星
- 空间探测相控阵雷达
- 对地观测与对空监视
- 航天遥感工程
- 对地观测技术与数字城市
- 对地观测技术与精细农业
- 多角度与热红外对地遥感
- 环境监测激光雷达
- MODIS 遥感信息处理原理与算法
- 对地观测系统与应用

空间信息获取与处理系列专著

序

信息获取与处理技术(308)主题是我国高技术计划最早设立的15个主题之一。20世纪80年代初,美国政府推出“星球大战计划”,接着欧洲出台了“尤里卡计划”。在亚洲,日本率先提出了“未来10年振兴科学技术政策大纲”。面对严峻的国际形势和世界的发展趋势,中国于1986年形成自己的高技术研究发展计划,明确提出308主题重点发展面向空间目标监视和空间对地观测的军民两用技术。

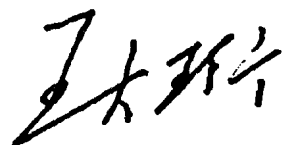
随着20世纪90年代初前苏联的解体、冷战的结束及其后“信息高速公路”、“知识经济”、“数字地球”的出现,308主题根据国际形势的发展和国家现代化建设的需要,科学地调整战略目标,卓有成效地部署实施研究计划。

15年来,308主题围绕对地观测和对空监视两大系统,突破了以新型对地观测系统星载合成孔径雷达、红外焦平面列阵成像和自适应光学为代表的六大关键技术,配套发展了超高速实时成像信息处理专用技术,取得一系列重大成果。星载合成孔径雷达等重大对地、对空关键技术成功地向国家建设主战场转移,实现了863计划与其他计划的有机衔接,带动了我国在这些领域的一系列技术进步和设备研制,开拓了我国对地观测技术和对空探测技术发展的新局面。

在863计划15年工作行将完成之际,308主题专家组决定撰写出版空间信息获取与处理系列专著,这是一项非常重要的举措:一是科研人员通过系统总结而进一步提高水平,二是可以让更多的人分享多年来的重要科研成果,三是对发展下一期的863计划建立了坚实的基础。这套系列专著的作者,包括了战略型科学家和工程

技术专家,他们长期工作在第一线,对该领域有直接的发言权。该系列专著包括 11 部书,从不同角度在不同程度上介绍了我国对地观测、对空监视高技术领域的发展,并对下一步的工作提出了设想与建议。本套专著的出版,是我国信息获取领域的一件大事,有重要的学术和实用意义。

我高兴地向读者们推荐这套高技术领域的系列专著。

A handwritten signature in black ink, appearing to read '王大华' (Wang Dahua), written in a cursive style.

2001 年 2 月

空间信息获取与处理系列专著

前 言

新世纪到来之际,我国的 863 计划——高技术研究发展计划,历经 15 年的辉煌,将完成第一期庄严的历史使命。863 计划信息领域信息获取与处理技术主题,经过各级领导和五届专家组及全体参研人员的共同努力,也圆满地实现了她的预期目标。

作为 863 计划信息领域 4 个主题之一的“信息获取与处理技术主题”,1986 年立题伊始即明确其战略目标:发展各种信息获取与处理技术,重点是掌握高速、高精度的新型信息获取和实时图像处理技术,促进信息技术在各个领域的应用。1990 年提出,在重视对空监视的基础上,加强对地观测;1993 年进一步提出,在重视星载对地观测的同时,加强机载对地观测技术的发展。进入“九五”,进一步凝炼战略方向:以中国数字地球战略空间信息资源重大需求为导向,研究发展对空、对地观测技术,形成具有我国自主知识产权的实用化机载对地观测技术系统,开展数字图像处理及信息挖掘方法研究,研究对地观测小卫星有效载荷及卫星数据处理技术,进行应用示范,为我国数字地球战略铺垫基础,为国家可持续发展、国家安全战略服务。

15 年来,308 主题五届专家组在国家科技部领导下,依靠来自 20 多个部、委,分布在 19 个省、区、市的 61 个单位 3000 余名科技人员的精诚奉献,围绕对地观测与对空监测两大系统,突破 7 项关键技术,探索信息获取前沿,取得机载对地观测系统技术、星载合成孔径雷达技术、自适应光学望远镜技术等四大标志性成果;获得 X-SAR 系统样机、SAR 实时成像器、激光测污雷达、激光测风雷达、对地观测小卫星相机、MODIS 接收处理系统、InSb 红外焦平面组件及逆合成孔径雷达等 8 项代表性重点成果;在前沿信息获取方面,取

得新型光学传感器、聚束雷达、微型自适应光学技术等 5 类成果。成功开展机载对地观测系统应用示范,在城市、农业应用等领域取得显著成效,及时开展了“九八”抗洪、“九九”澳门回归、“西部金睛行动”和中关村科技园区遥感飞行等服务国家重大需求的专项。这些成果提高了我国信息获取与处理技术领域发展水平,缩短了我国在该领域与世界先进水平的差距,为国民经济建设、国家安全战略做出重要贡献。

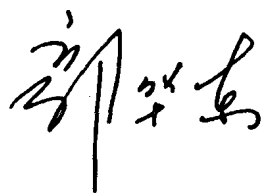
在 15 年研究即将完成之际,对长期以来的科研成果进行科学的、系统的总结,这对未来发展十分有益,为此我们决定出版这套空间信息获取与处理系列专著。本系列书由 11 部著作组成,书名分别是:《对地观测技术与可持续发展》、《合成孔径雷达卫星》、《空间探测相控阵雷达》、《对地观测与对空监视》、《航天遥感工程》、《对地观测技术与数字城市》、《对地观测技术与精细农业》、《多角度与热红外对地遥感》、《环境监测激光雷达》、《MODIS 遥感信息处理原理与算法》及《对地观测系统与应用》。对地观测内容构成本系列书的主体,介绍了对地观测原理、技术、应用与发展;侧重论述 308 主题近年来研究发展的光学传感器、成像雷达系统、信息处理方法及其在城市、农业、环境、资源、灾害等领域的应用,提出了 21 世纪初以可持续发展为牵引发展对地观测技术的建议及战略思考;空间监视内容是本系列书的又一重要方面,概述了空间目标探测与监视技术,介绍了空间探测相控阵雷达技术;激光雷达是信息获取技术的前沿领域之一,书中阐述了环境监测激光雷达原理与技术。

我们期望,这套专著能起到理论总结的作用、学术交流的作用;同时,我们也期望着她能对下一期国家高技术发展起到有益的参考作用。

15 年来,信息获取与处理技术主题工作受到科技部、科技部高新技术司、863 联合办公室、信息领域办公室各级领导的大力支持,得到各承研单位及课题组和关心 308 主题同志们的全力支持,在此谨代表主题五届专家组向以上领导与同志们致以真诚的谢意。诚然,没有大家的支持,本系列书也不可能问世,值此系列专著出版之际,向大家表示衷心的感谢。863 计划发起者之一的王大珩院士在百忙之中亲自为系列专著作序,我们向推动我国高技术计划的元勋

王大珩先生致以崇高的敬意。11部专著的数十位作者都是工作在863计划第一线的优秀科学家,在繁忙的工作之余,他们将高技术成果进行理论总结,为国家高技术“书写”奉献,亦特向各位辛勤的作者致以敬意。在本系列专著出版时又受到科学出版社的鼎力相助,特别是姚岁寒等先生付出了十分艰辛的劳动,谨此一并鸣谢。

系列专著不久将与大家见面了,鉴于水平与时间所限,书中不妥乃至错误之处在所难免,恳望读者不吝批评指正。

A handwritten signature in black ink, appearing to read '姚岁寒' (Yao Suihan), written in a cursive style.

2001年元月

前言

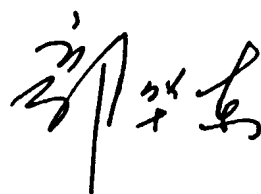
1992年开始,笔者受命从事国家高技术计划信息领域信息获取与处理技术主题(863-308)工作;特别是1996年以来,进行308主题的战略研究成为自己的重要任务之一,这使我有责任更多地考虑现在和未来战略发展,用更多时间与主题的同事们“常谋略、结连环、造大船”。学术研讨会是战略研究的有效形式之一。在对地观测领域,近年来主题专家组独立或与有关学会、单位合作,先后召开了“21世纪初对地观测技术与可持续发展”、“遥感发展战略”、“前沿对地观测技术与理论”及“数字地球”等学术研讨会。深层次的学术交流,不断给人新的启迪,不断撞击出新的“火花”。

发展高技术,有一个永恒的问题或命题,那就是为什么要发展这项高技术?没有用户(含直接的和潜在的用户)的技术是没有必要发展的,最终不能产业化(指广义的产业化)的技术是无生命力的。国际国内对地观测技术经过几十年的历程而长盛不衰,是因为无论它对陆地、大气、海洋以及到整体地球的科学研究,还是在农业、林业、水利、地质矿产、交通、城市、人口、环境等经济领域的应用,抑或国防建设、国家安全方面,都起着十分重要的、有时其他技术不能替代的作用,这就是“需求牵引”的效果。反过来对地观测技术又对这些应用领域起“技术推动”作用。于是,对地观测技术发展到一定程度,在论述下一阶段技术发展目标的时候,首先应考虑战略需求。无疑地,“可持续发展”的不断发展,对对地观测技术提出了更高的要求。正是基于这样一种背景,在纪念863计划15周年之际,将这几年的研究及认识理论化、系统化,作为系列专著之一出版,期望能对新世纪的高技术计划作些微薄的贡献。

全书共由九章组成,内容分为三大部分。第一至第三章为第一部分,重点描述对地观测技术对可持续发展的作用,包括对地观测技术概述,对地观测的对象与内容,在此基础上讨论可持续发展对对地观测技术的需求。第二部分含第四至第八章,这是本书的核心,着重论述在可持续发展战略方针牵引下,21世纪初对地观测领域应发展的方向,包括发展光学对地观测技术、微波对地观测技术、信息处理技术、大型机载及小卫星技术,提出应建立国家对地观测体系,构筑数字地球。第三部分即第九章,论述对地观测技术是我国可持续发展重要的信息保障体系,讨论对地观测技术在可持续发展不同领域的能力和例证。总之,全书以服务可持续发展为战略引导目标,阐述应发展的对地观测技术,设想建立国家对地观测体系,从而为构筑中国数字地球铺奠基础。可以预见,对地观测将在未来人类的和平与发展中发挥更加重要的影响与作用。

在本书编著过程中,参阅了国内外大量文献。第一部分的一些内容引用了 NASA 的对地观测报告;第二部分的许多素材取自于王建宇、李树楷、宋红军先生及其研究小组的研讨会材料及杨震明先生的专家战略报告;王湘云、王心源、李传荣、杨崇俊、刘浩、马建文、吴炳方、牛铮、王长林先生提供相关素材;岳焕印、李新武、韩春明、胡庆荣、杨虎、董庆、范典参加了部分工作,在此一并致谢。感谢国家科技部有关领导、863 计划信息领域办公室、308 主题专家组和中国科学院遥感应用研究所的大力支持。特别感谢王湘云、王心源博士,他们为本书出版付出了大量劳动。感谢姚岁寒先生,他编辑本书并提出了许多宝贵的建议。此外,由于时间仓促,所列参考文献若有遗漏,请原作者指正并谅解,以便有机会补充,在此亦深表谢意。

由于知识局限,书中不妥之处在所难免,尚祈读者不吝指正。



2001 年元月 20 日

目 录

前言

第一章 对地观测技术概述	1
§ 1.1 对地观测理论基础	1
1.1.1 电磁波辐射传输	1
1.1.2 电磁波与地物的相互作用	5
1.1.3 对地观测波段选择	7
§ 1.2 对地观测技术系统	12
1.2.1 对地观测传感器	12
1.2.2 对地观测卫星	17
第二章 对地观测对象与内容	19
§ 2.1 地球表层系统	19
2.1.1 地球表层系统的结构与特点	19
2.1.2 地球表层系统的空间信息特征	20
§ 2.2 空间对地观测内容	22
2.2.1 气候变化观测	22
2.2.2 陆地系统观测	29
2.2.3 海洋系统观测	32
第三章 可持续发展对对地观测技术的需求	37
§ 3.1 可持续发展概述	37
3.1.1 可持续发展的挑战	38
3.1.2 可持续发展的定义	42
3.1.3 可持续发展研究进展	44
§ 3.2 可持续发展对对地观测的需求	50
3.2.1 可持续发展研究中优先考虑的科学问题	50
3.2.2 全球陆地生物圈计划对空间数据的需求	56
3.2.3 全球能量、水循环和碳循环与空间信息	59
3.2.4 空间计划与世界气候计划的结合	68
第四章 发展新型光学对地观测技术	73
§ 4.1 光学对地观测技术的发展	73
§ 4.2 光学对地观测技术的主要发展方向	75
4.2.1 融汇高新技术的先进光学传感器	75
4.2.2 精细光谱分辨能力	75
4.2.3 多传感器的复合	76
§ 4.3 应重点发展的光学传感器系统	76

4.3.1	高分辨率复合成像光谱系统	78
4.3.2	高分辨率干涉成像光谱系统	80
4.3.3	空间高光谱分辨率红外探测技术	81
4.3.4	多偏振多角度探测技术	83
4.3.5	激光荧光/红外扫描技术	87
4.3.6	激光雷达技术	88
第五章	发展微波对地观测技术	90
§ 5.1	微波成像雷达	90
5.1.1	合成孔径雷达技术的发展	90
5.1.2	合成孔径雷达的应用领域	97
§ 5.2	微波非成像传感器	100
5.2.1	微波非成像传感器的发展现状	100
5.2.2	微波非成像遥感数据的应用领域	101
§ 5.3	应发展的技术	103
5.3.1	成像雷达技术	103
5.3.2	非成像微波技术	106
第六章	发展大型机载及小卫星对地观测技术	108
§ 6.1	大型机载对地观测系统	108
6.1.1	大型机载对地观测技术的作用	108
6.1.2	应用目标及技术的适应性	109
6.1.3	大型机载对地观测系统的能力和特色	111
6.1.4	大型机载对地观测系统的构成	112
§ 6.2	发展对地观测小卫星技术	116
6.2.1	小卫星技术发展概况	116
6.2.2	小卫星技术发展面临空前机遇	119
6.2.3	小卫星技术的应用	121
6.2.4	尽快发展对地观测小卫星	124
第七章	发展对地观测信息处理技术	127
§ 7.1	对地观测数据处理技术的发展趋势	127
7.1.1	雷达数据处理技术	127
7.1.2	成像光谱数据处理技术	128
7.1.3	面向应用的专业处理系统	129
7.1.4	遥感数据三维可视化软件	130
7.1.5	多源数据及信息融合技术	130
§ 7.2	对地观测数据管理与服务体系的建立	130
7.2.1	基于地球信息学的数据标准的制定	131
7.2.2	观测数据的有效性认证与格式化同步	132
7.2.3	空间信息基础设施建设	132
7.2.4	万维网 GIS 技术	133

7.2.5 对地观测信息系统	136
7.2.6 建立中国对地观测数据服务系统	137
第八章 建设国家对地观测体系,构筑中国数字地球	139
§ 8.1 我国对地观测技术的发展	139
8.1.1 星载对地观测系统	139
8.1.2 机载对地观测系统	142
§ 8.2 建设国家对地观测体系的思考	146
8.2.1 国家对地观测体系框架内容	146
8.2.2 发展国家对地观测体系	146
§ 8.3 发展中国数字地球的重要性与可能性	148
8.3.1 数字地球基础理论与关键技术	148
8.3.2 建设中国数字地球的重要性与可能性	155
第九章 对地观测技术是实施可持续发展战略的重要信息保障	159
§ 9.1 对地观测与土地利用/土地覆盖	159
9.1.1 对地观测在土地利用/土地覆盖研究中的作用	160
9.1.2 土地利用/土地覆盖多级分类体系	160
§ 9.2 对地观测与森林资源	162
9.2.1 可见光波段森林监测	163
9.2.2 微波波段森林监测	164
§ 9.3 对地观测与农作物长势	168
9.3.1 气象卫星用于农作物长势监测和产量估算	169
9.3.2 雷达数据农作物长势监测和产量估算	171
9.3.3 遥感光谱法水稻估产	174
§ 9.4 对地观测与水资源	175
9.4.1 对地观测水资源监测机理	176
9.4.2 对地观测水资源监测实例	180
§ 9.5 对地观测与海洋环境	184
9.5.1 实时海况监测	184
9.5.2 海洋环境污染监测	185
9.5.3 海冰监测	186
9.5.4 对地观测在海洋环境监测中的前景	189
§ 9.6 对地观测与自然灾害	190
9.6.1 干涉雷达数据地震研究	191
9.6.2 洪涝灾害遥感监测与评估	193
9.6.3 沙尘天气监测	195
9.6.4 森林火灾监测	196
9.6.5 对地观测为数字减灾系统提供支持	196
§ 9.7 对地观测与城市建设	197
9.7.1 城市可持续发展与数字城市	197

9.7.2 数字城市系统结构及关键技术	198
§ 9.8 对地观测与西部大开发	206
9.8.1 西部大开发与“西部金睛行动”	206
9.8.2 “西部金睛行动”目标	207
9.8.3 “西部金睛行动”构想	208
9.8.4 “西部金睛行动”内涵	209
参考文献	215

第一章 对地观测技术概述

§ 1.1 对地观测理论基础

电磁波与地物表面及大气的相互作用与其频率密切相关。任何物质都会反射、吸收透射和辐射电磁波,不同性质、结构的物质会产生不同频率的电磁波。电磁波产生的方式多种多样,包括电磁振荡,晶格或分子的热运动,晶体分子或原子的电子能级跃迁,分子、原子核振动与转动能级,内层电子能级、原子核内能级电子跃迁。

1.1.1 电磁波辐射传输

1. 对地观测技术中的电磁波辐射源

温度大于绝对温度的任何物体都具有发射电磁波的能力。我们常用黑体辐射作为度量电磁波辐射能力的标准。黑体热辐射满足普朗克方程:

$$\text{辐射通量密度} \quad W_{\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$

$$\text{黑体的吸收率} \quad \alpha_{\text{黑}} = \text{发射率} \quad \epsilon_{\text{黑}} = 1$$

地物的温度都高于绝对零度,都会发射电磁波。在相同温度下,地物的电磁波发射能力较同温下黑体的辐射能力要低。通常用地物的发射率(比辐射率)来度量

$$\text{发射率} \quad \epsilon(\lambda, T) = M(\lambda, T)/M_{\text{黑}}(\lambda, T)$$

对大多数地物,在一定温度范围内(地球环境温度),地物发射率¹与温度没有明显的依赖关系,且 $\epsilon(\lambda) < 1$ 。

对地观测技术中的电磁波辐射源,主要包括:太阳、地物、大气的热辐射,或主动式遥传感器的电磁波发射。

(1) 太阳是对地观测中的主要辐射源,地物的电磁波辐射特性也与太阳的辐射有密切关系。太阳近似地像一个处于 6 000K 的热黑体向外辐射。地球表面的太阳辐照度光谱如图 1.1 所示。

(2) 地球表面的温度在 288K 左右,辐射能量主要集中在 $10\mu\text{m}$ 左右的长波红外范围内(参见图 1.2b),是热红外遥感的主要辐射源。地物自身发射的热红外辐射来自其表层几个微米的分子振动,使得其辐射信息仅局限于地物表层,这种“趋肤效应”给地表以下地物信息的探测和地面温度反演带来一定的局限性。

(3) 在微波范围,太阳的辐射能很小,自然表面的热辐射主要发生在远红外区,但一直贯穿到微波区。此时的地物辐射率可使用 Rayleigh-Jeans 方程表达,地物的辐射出射度(辐射通量密度)为:

$$S(\nu) = \frac{2\pi kT}{c^2} \nu^2$$