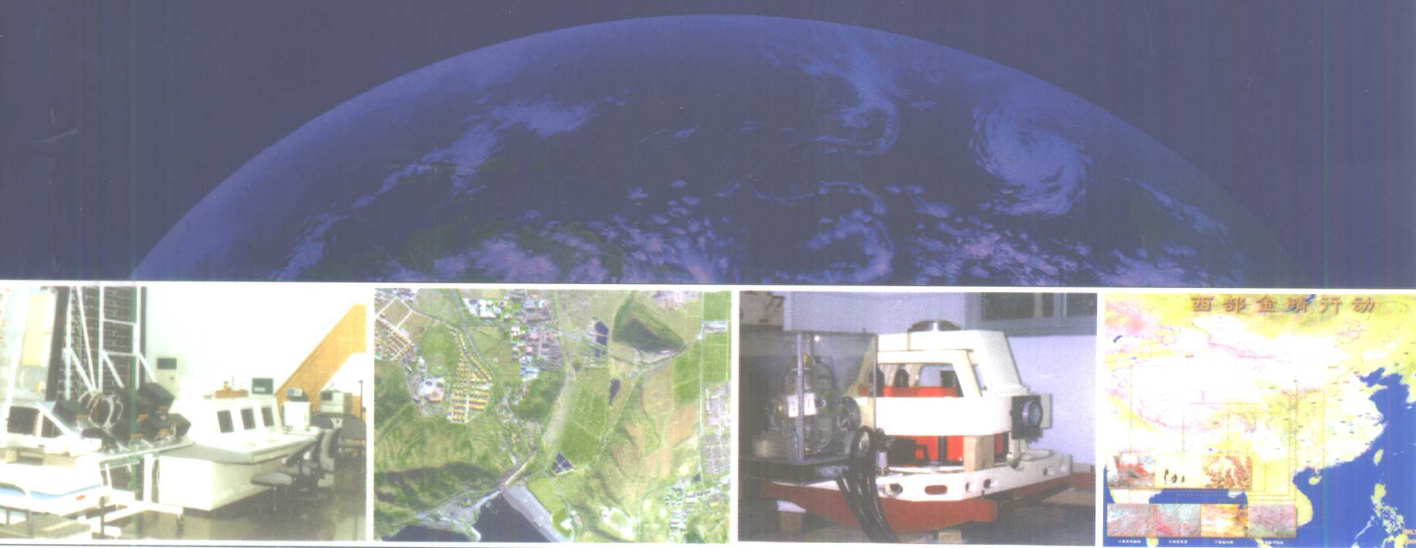


空间信息获取与处理系列专著

对地观测与对空监视



张钧屏 方艾里 万志龙 等著



科学出版社

空间信息获取与处理系列专著

对地观测与对空监视

张钧屏 方艾里 万志龙 等著

科学出版社

2001

内 容 简 介

本书是国家高技术计划信息领域(信息获取与处理技术)(863-308)主题成果系列专著之一。本书全面系统地介绍当今信息获取技术所取得的巨大进展,以及对人类和社会发展所起的巨大作用。

全书分三篇,共十六章。第一篇环境与资源应用对地观测技术,从第一至第六章介绍对地观测技术的发展、空间与机载对地观测系统,以及对地观测小卫星等;第二篇空间目标探测与监视,从第七至第十二章就空间监视技术,空间监视系统,以及空间监测技术系统等方面作了全面介绍;第三篇信息处理技术,从第十三至十六章系统地阐述了图像处理与理解,雷达成像技术与应用,影像目标的立体定位,以及高光谱信息处理等方法的理论与技术问题。

本书可供从事空间探测、信息获取工程技术,资源与环境等学科领域,以及有关产业部门的遥感科学技术工作者、高校的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

对地观测与对空监视/张钧屏著. - 北京:科学出版社,2001
(空间信息获取与处理系列专著)

ISBN 7-03-009154-X

I. 对… II. 张… III. ①遥感技术-应用-环境监测②遥感技术-应用-对空监视 IV. X87

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 03593 号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

丽源印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2001 年 2 月第 1 版 开本: 787×1092 1/16

2001 年 2 月第一次印刷 印张: 17 3/4

印数: 1—2 500 字数: 390 000

定价: 36.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈北燕〉)

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

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	缪家駟	魏钟铨

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。

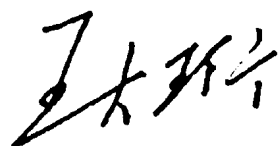
随着20世纪90年代初前苏联的解体、冷战的结束及其后“信息高速公路”、“知识经济”、“数字地球”的出现,308主题根据国际形势的发展和国家现代化建设的需要,科学地调整战略目标,卓有成效地部署实施研究计划。

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 '王大新' (Wang Daxin), 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。

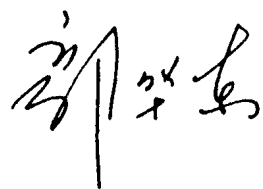
在 15 年研究即将完成之际,对长期以来的科研成果进行科学的、系统的总结,这对未来发展十分有益,为此我们决定出版这套空间信息获取与处理系列专著。本系列书由 11 部著作组成,书名分别是:《对地观测技术与可持续发展》、《合成孔径雷达卫星》、《空间探测相控阵雷达》、《对地观测与对空监视》、《航天遥感工程》、《对地观测技术与数字城市》、《对地观测技术与精细农业》、《多角度与热红外对地遥感》、《环境监测激光雷达》、《MODIS 遥感信息处理原理与算法》及《对地观测系统与应用》。对地观测内容构成本系列书的主体,介绍了对地观测原理、技术、应用与发展;侧重论述 308 主题近年来研究发展的光学传感器、成像雷达系统、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, consisting of stylized Chinese characters, likely '姚岁寒' (Yao Suihan).

2001年元月

前 言

人类自身是通过感觉器官和思维器官来获取、处理、传递和使用各种信息的。从一般意义上,信息技术是感觉器官和思维器官的扩展。信息技术与构成其基础的信息学一道成为人类从事各项活动的基本工具和基础。它们就是促进现代社会发展必不可少的信息科学技术。信息学也称信息科学,它是信息技术的基础,主要包括:信息获取与处理的基本方法、通信理论以及计算机科学等基础科学。由于社会发展和经济建设的需求,在诸如半导体、无线电、光学和空间等现代科学技术迅猛发展的带动下,信息科学技术在近 30 年以惊人的速度向前发展。通信、计算机以及信息获取能力都发生了巨大变化。

信息技术通过其应用——自动化生产使人类的生产活动发生重大变革。自动化生产在信息技术发展的推动下,从单参数自动调节或单机自动化,经过系统控制和局部自动化,已经发展到智能自动化或无人化工厂的生产。这大大地提高了社会生产力。信息技术的应用十分广泛,涉及到人类生产、生活,乃至社会生活的全部内容。反之,社会生活对于信息技术的需求是巨大的,这种潜力意味着:对于信息技术硬件和技术软件产品的巨大需求,使它们可以不断地孵化出新型的产业。信息技术的发展彻底地改变着人类的生活,不仅使人类从繁重的体力劳动中解放出来,而且由于信息高速公路和因特网的迅速发展,彻底地改变了过去世界隔绝的状态。有越来越多的人从事与信息相关的工作,他们不必像过去那样集中工作,可以在家里通过网络通信线路完成许多工作。家庭的功能将发生变化,人类的生活方式由于信息技术的发展正经历着巨大的变革。

因此,信息技术是当今社会最有活力的生产力。在技术先进的国家里,信息相关产业已经占据国民经济总产值的一半以上。有人预计,信息产业的革命是继农业革命和工业革命之后人类社会发展的第三次革命,人们都相信,未来社会将是信息社会。

信息技术包括信息获取与处理、信息传输与传递、信息存储与显示,以及信息使用方法(即信息应用技术)等四个组成部分。它作为一门综合性技术门类,涉及到与信息相关的许多科学和技术门类,其中有些技术已经很普及了。例如,信息传输和传递,即现代通信技术,这是大家十分熟悉的;信息的存储和显示技术也是家喻户晓的,包括电视机、VCD、光盘、录像机、打印、复印等许多与日常生活密切相关的技术。

信息获取与处理技术,是指利用电磁辐射媒介获取目标或自然物体信息的技术,在信息技术中属于上游的源头技术。信息获取技术的基本原理是,通

过敏感电磁辐射的方法来获取物体的信息。辐射传感仪器接收来自目标物体的特定辐射,将其转变为代表目标特征的电气形式的辐射数据,包括图像数据和非成像数据;对该数据进行处理,按照专门的需要提取信息,并以特定方式提供信息。目前信息处理技术的主体是计算机图像处理技术。

作为信息获取与处理技术的基本技术内容,包括电磁辐射特性、辐射在大气中传输、电磁辐射传感仪器技术、辐射数据处理等四大部分。对于信息获取与处理技术说来,为满足人类社会对信息技术的重大需求,主要的应用技术包含在三个重大的领域之内:从卫星上对地球观测,获取地球信息的手段;从空间或地面对于空间各种物体或人工目标的观测和探查;工业自动化智能获取信息的技术等。前两类应用技术是本书的基本内容,它们的本质是,从远距离获取信息的能力。事实上通过这两项前沿性的应用技术的发展,从空间分辨率、波(光)谱分辨率、三维体视,以及智能化数据处理等功能,把人类从远距离获取信息的能力提高到空前的水平。对地观测和对空监视是信息获取与处理技术发展的前沿领域。

地球环境和地球资源是全世界各个国家发展所面临的共同问题。广大发展中国家,人口增长过快,工业化过程不仅需要资源,而且还污染了自然环境。发达国家的能源和资源过度消耗,不可再生资源迅速减少,世界的环境与资源问题已经到了非解决不可的地步。其中,准确地获取地球环境和资源的信息,是解决资源与环境问题的首要步骤,从而必须建立可以随时监测整个地球的观测系统,掌握地球环境与资源的状况及变化。为此,我们必须解决获取地球环境信息所必须使用的信息获取与处理技术,即空间对地球观测技术。自从气象卫星发射以来,已经过去四十年,对地观测技术经历几代技术的发展和更新,现在正按照更高的需求条件,研制和发展更为先进的空间对地观测技术。

人类的太空活动包括:由各种应用卫星所实施的太空资源的开发和利用;由侦察、预警、监视和通讯等构成的军事太空应用活动;以及人类自身的载人太空飞行。现在,太空已经成为人类生活的一部分,太空技术与人类生活紧密地联系在一起;必须对太空环境进行监视,掌握那里的情况,保障人类的太空活动的安全。特别是在太空存放着大量军事目的的器具,它们有的是应当保护的,另一些则要消灭的。现代战争将是太空战争,在今后战争中太空将是它们的主要战场之一。要采用最先进的、最高性能的信息获取技术,对于空中的所有飞行体进行不间断地测量,保证人类随时都可以掌握太空飞行体的运行情况。从20世纪60年代开始,技术先进国家在反卫星和反导弹等军事需求的推动下,迅速地发展和建立起太空监视系统。现在,测量太空目标的手段增加,探测距离更远,监测性能不断提高。

本书著作者为:第一篇为张钧屏;第二篇为方艾里、卢崇顶、卢向红、王顺华;第三篇为万志龙、王顺华。

目 录

第一篇 环境与资源应用对地观测技术

第一章 对地球观测技术发展的简要历程	3
§ 1.1 20 世纪 60 年代的空间实验	3
1.1.1 气象卫星	3
1.1.2 地球资源卫星	4
§ 1.2 实用化遥感技术的形成	4
1.2.1 海洋遥感卫星	5
1.2.2 空间遥感商业化发展	5
1.2.3 空间遥感技术在世界范围的推广	6
§ 1.3 全新一代对地观测技术	7
1.3.1 空间站对地观测系统(EOS)	8
1.3.2 “行星地球”国际计划	9
1.3.3 对地观测小卫星及其星座技术	9
参考文献	10
第二章 对地观测应用的技术基础	11
§ 2.1 成像光谱技术和超光谱成像技术	11
2.1.1 物理基础和实验验证	11
2.1.2 成像光谱仪的原理构型	13
2.1.3 超光谱成像仪技术	15
2.1.4 成像光谱功能的元部件技术	16
§ 2.2 高分辨率成像雷达技术	18
2.2.1 合成孔径侧视雷达(SAR)技术原理	19
2.2.2 频带和极化	20
2.2.3 相控阵天线	21
2.2.4 T/R 组件及雷达接收机	22
2.2.5 雷达信号的成像处理	23
§ 2.3 激光雷达技术	24
2.3.1 激光雷达系统的构成和种类	24
2.3.2 激光谱线的选择	26
2.3.3 激光雷达对激光器功率的要求	27

2.3.4 激光雷达的接收器及其探测系统	28
2.3.5 空间激光雷达技术	29
参考文献	30
第三章 空间对地观测系统	31
§ 3.1 对地观测极轨平台	31
3.1.1 美国对地观测卫星系统(EOS)	32
3.1.2 欧洲空间局环境卫星系统(ENVISAT-1)	33
3.1.3 高极地球观测卫星-II(ADEOS-II)	34
3.1.4 热带降雨测量卫星(TRMM)	35
§ 3.2 空间对地观测典型遥感仪器系统	36
3.2.1 中分辨率成像光谱仪(MODIS)	36
3.2.2 中等分辨率成像光谱仪(MERIS)	38
3.2.3 高级空间热发射和反射辐射计(ASTER)	39
3.2.4 云和地球辐射能量系统(CERES)	40
3.2.5 多角度成像光谱辐射计(MISR)	41
3.2.6 地球反射比的偏振化和指向性(POLDER)仪器	42
3.2.7 对流层污染测量仪(MOPITT)	43
3.2.8 被动式大气探测迈克尔逊干涉仪(MIPAS)	44
3.2.9 大气制图扫描成像吸收分光计(SCIAMACHY)	45
3.2.10 高分辨率动态临边探测仪(HIRDLS)	46
3.2.11 大气红外探测仪(AIRS)	46
3.2.12 地球观测系统合成孔径雷达(EOS-SAR)	47
3.2.13 高级合成孔径雷达(ASAR)	49
3.2.14 双频雷达高度计(ALT)	50
3.2.15 “海风”散射计(SeaWinds)	51
3.2.16 高级微波扫描辐射计(AMSR)	52
§ 3.3 地球观测系统数据和信息系统(EOSDIS)	53
3.3.1 EOSDIS 建设原则和关键功能	53
3.3.2 EOSDIS 的构成	54
参考文献	57
第四章 小卫星及其星座的对地观测系统技术	58
§ 4.1 小卫星技术是新一代空间技术	58
§ 4.2 地球环境监视小卫星星座技术	59
4.2.1 意大利地中海盆地观测小卫星星座	59
4.2.2 灾害监视萨里微卫星星座	60
§ 4.3 廉价光学监测小卫星技术	60
4.3.1 基本的设计要求	62
4.3.2 CCD 推帚式扫描摄像机的设计	62
4.3.3 瞄准视线的控制技术	63

§ 4.4 地图测绘和超光谱遥感小卫星	64
4.4.1 NEMO 卫星遥感仪	65
4.4.2 星上数据实时处理系统	66
§ 4.5 小卫星 SAR 技术	67
4.5.1 MEDSAT 卫星的 SAR 系统	67
4.5.2 SkyMed/COSMO 卫星 SAR 的设计	68
4.5.3 小型多模态 SAR 技术	69
参考文献	70
第五章 机载对地观测技术的发展	71
§ 5.1 机载遥感技术是当代对地观测技术发展的基本内容	71
5.1.1 专题技术应用的综合飞行实验	71
5.1.2 专项应用遥感飞行实验	72
5.1.3 新型遥感技术的飞行实验	73
§ 5.2 对地观测飞机平台	73
5.2.1 遥感应用飞机技术平台	73
5.2.2 遥感飞机平台体系	75
5.2.3 无人机遥感平台	75
§ 5.3 机载成像光谱仪和超光谱成像仪(HSI)	76
5.3.1 机载可见红外成像光谱仪(AVIRIS)	76
5.3.2 实用型模块化机载成像光谱仪(OMIS)	78
5.3.3 推帚式扫描成像超光谱成像仪(HSI)	80
§ 5.4 合成孔径雷达技术的发展	81
5.4.1 发展多频段、多极化、多视角机载 SAR 系统	81
5.4.2 干涉 SAR 技术	82
5.4.3 机载聚束合成孔径雷达	83
参考文献	84
第六章 遥感技术的商业化发展	86
§ 6.1 遥感商业化发展的产品和服务	86
6.1.1 遥感数据产品	87
6.1.2 主要市场位置	87
§ 6.2 提高应用技术水平	89
6.2.1 提高地面分辨率水平是打开遥感图像数据产品市场的关键	89
6.2.2 大力发展地理信息系统(GIS)	90
§ 6.3 高分辨率商业遥感卫星系统	91
6.3.1 “Early Bird”(“晨鸟”)卫星	92
6.3.2 埃柯诺斯(Ikonos)商业遥感卫星	93
参考文献	94

第二篇 空间目标探测与监视

第七章 空间监视技术基础	97
§ 7.1 空间监视的任务、组成及工作过程	97
7.1.1 弹道导弹预警系统	97
7.1.2 空间目标监测、识别和编目系统	99
§ 7.2 空间目标探测的技术及手段	101
7.2.1 探测手段及原理	101
7.2.2 空间目标的轨道测量与确定	103
§ 7.3 空间目标的识别技术	106
7.3.1 识别的概念和原理	106
7.3.2 空间目标识别的一般方法和要求	107
§ 7.4 空间监视技术发展趋势	107
参考文献	108
第八章 国外空间监测系统	109
§ 8.1 美、俄(前苏联)弹道导弹预警系统	109
8.1.1 发展概况	109
8.1.2 美国弹道导弹预警系统的组成和技术特点	110
8.1.3 俄罗斯(前苏联)导弹预警系统组成及技术特点	115
§ 8.2 美国、俄罗斯(前苏联)空间目标监视系统	119
8.2.1 概述	119
8.2.2 美国的空间监视系统	120
8.2.3 俄罗斯(前苏联)的空间监视系统(SSS)	129
参考文献	130
第九章 空间目标的雷达探测技术	131
§ 9.1 雷达原理及系统分类	131
9.1.1 雷达系统组成	131
9.1.2 雷达测量的基本原理和分类方法	132
9.1.3 雷达分类方法	133
§ 9.2 雷达性能和雷达方程	134
9.2.1 雷达性能	134
9.2.2 雷达方程	136
9.2.3 目标的雷达截面积	137
§ 9.3 脉冲精密测量雷达	137
9.3.1 脉冲精密测量雷达的发展	137
9.3.2 脉冲精密测量雷达的特点和原理	138
§ 9.4 空间监测相控阵雷达	141
9.4.1 相控阵天线的原理及系统组成	141
9.4.2 相控阵雷达的技术特点与作用	145

9.4.3 空间监视相控阵技术的发展	146
§ 9.5 双(多)基地雷达系统	149
9.5.1 双(多)基地雷达的基本概念	149
9.5.2 双基地雷达方程	150
9.5.3 双基地雷达测量参数精度	151
参考文献	154
第十章 光学/光电探测技术	155
§ 10.1 光学望远镜的原理及分类	155
10.1.1 望远镜的简单光学原理	155
10.1.2 望远镜的分类	156
§ 10.2 光学系统的像差	158
10.2.1 单色像差	158
10.2.2 色差	159
§ 10.3 空间监视光学/光电探测系统	159
10.3.1 电磁波谱与光电技术的基本概念	160
10.3.2 红外辐射的一些基本概念	161
10.3.3 激光技术的一些基本概念	164
§ 10.4 光电荷耦合器件——CCD	166
10.4.1 CCD 的物理基础——MOS 结构	166
10.4.2 CCD 的工作原理	166
10.4.3 CCD 的分类及微光工作模式	168
§ 10.5 新一代红外探测器——IRFPA	169
10.5.1 扫描型 IRFPA	169
10.5.2 凝视型 IRFPA	170
§ 10.6 激光探测与激光雷达	170
10.6.1 激光探测的基本概念	170
10.6.2 激光雷达的原理和性能	171
参考文献	173
第十一章 空间目标的成像技术	174
§ 11.1 逆合成孔径雷达成像技术	174
11.1.1 ISAR 成像的原理	174
11.1.2 ISAR 成像的运动补偿技术	175
11.1.3 几种有效的 ISAR 成像算法	177
11.1.4 影响 ISAR 成像质量的几个因素	179
11.1.5 逆合成孔径成像技术的优缺点	179
§ 11.2 自适应光学成像技术	180
11.2.1 自适应光学成像的原理	180
11.2.2 空间目标的光学成像	183
参考文献	186