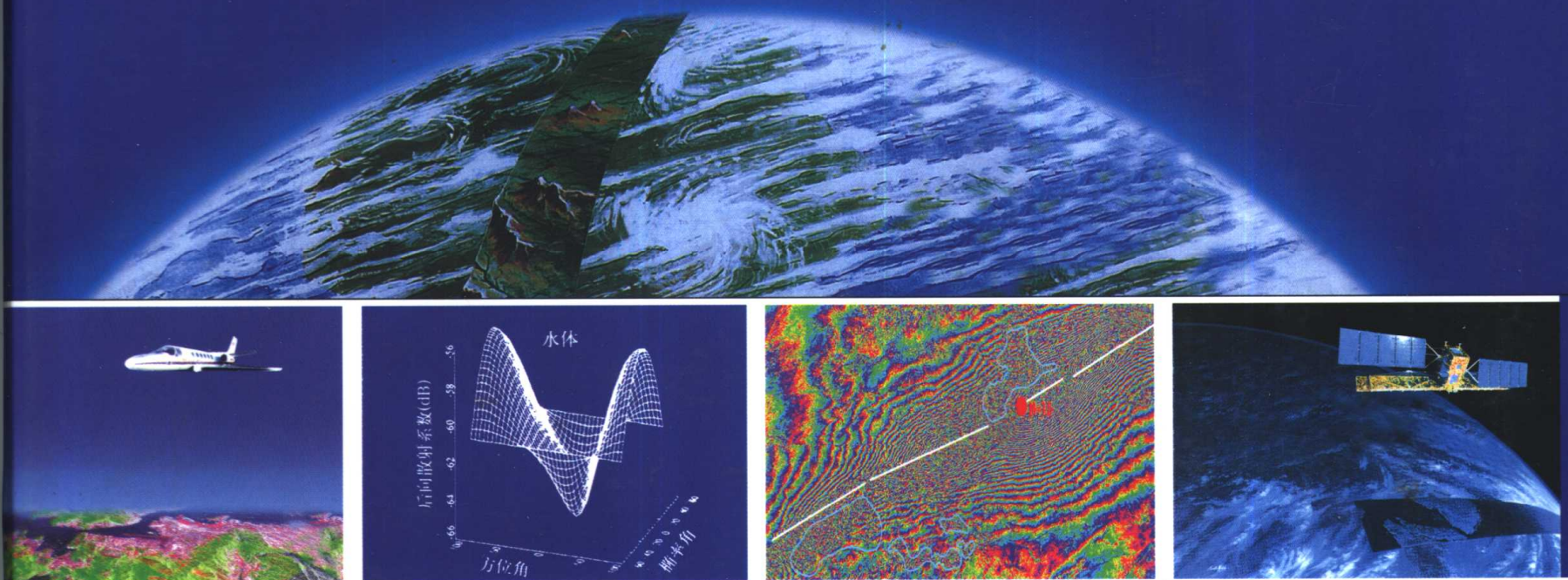




雷达对地观测 理论与应用



郭华东 等著



科学出版社

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

雷达对地观测理论与应用

郭华东 等 著

科学出版社

2000

内 容 简 介

本书是一部较为系统、全面的雷达对地观测专著,是已出版的《中国雷达遥感图像分析》的姊妹篇。本书总结了作者和前人的成果,从理论、技术到应用全面地阐述了雷达遥感的作用和机理。全书分三篇十四章:第一篇第一至第三章介绍雷达遥感的基础理论,机载星载雷达系统,以及极化雷达、干涉雷达和其他新型成像雷达;第二篇第四至第六章介绍了雷达定标与成像处理技术、雷达图像处理方法,以及雷达数据分析技术;第三篇第七章至第十二章,分别介绍雷达遥感在地质、农业、林业、水文、海洋、城市与考古,以及雷达散射计在全球变化监测中的应用研究,第十三章介绍了雷达对行星,特别是金星的探测,第十四章对雷达对地观测科学技术的发展前景作了展望。

本书可供从事空间探测、地球资源与环境科学研究领域,以及农、林、地矿、水文、海洋、城市与考古部门的遥感科学工作者、高等院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

雷达对地观测理论与应用/郭华东等著. - 北京:科学出版社,2000

ISBN 7-03-009200-7

I. 雷… II. 郭… III. 雷达—大地测量 IV. P225.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 05991 号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

深圳美光彩色印刷股份有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2000 年 12 月第 一 版 开本:889×1194 1/16

2000 年 12 月第一次印刷 印张:33 1/2 插页:8

印数:1—2 500 字数:766 000

定价: 98.00 元

序

郭华东教授又一新著《雷达对地观测理论与应用》出版了。这是《中国雷达遥感图像分析》的姊妹篇。彼此图文对照,相得益彰,为读者提供有关雷达遥感的系统知识和最新进展。作者都是战斗在这一高科技前沿的学术带头人,他们夜以继日,忙于组织合作攻关项目,撰写 SCI 论文,为祖国科学技术争取一席之地。抽出极其宝贵的时间,来为国内读者编写专著或大学教材,只能算是他们业余的义务劳动,而且由于阳春白雪,曲高和寡,不会大量畅销,只有能申报到学术出版基金的资助,才得以问世。这类高科技专业读物,的确来之不易,也就显得格外难能可贵了。

世纪之交,无论卫星与航空雷达都在日新月异,方兴未艾! 欧洲空间局、俄罗斯、日本、德国、意大利、美国和加拿大的雷达卫星、航天飞机相继升天,多波段、多极化成像雷达所提供的信息资源,日益丰富;激光雷达、小型卫星和我国自主研制的星载雷达,也指日可待了。郭华东教授承担着同美国和加拿大航天雷达的长期合作研究项目,作出了国际推崇的学术贡献;同时作为国家 863-308 项目负责人,精心策划国家雷达对地观测系统的建设,致力于开拓雷达遥感应用的新领域。他把长期从事科学实验的丰富积累,有关国际雷达遥感动态分析的精辟见解,奉献给青年学子和遥感工程技术界的朋友们,让大家分享他的研究成果,更是令人钦敬。特别是书中从地球开放系统的高度和广度,全面阐述雷达在行星探测、全球变化、海洋、陆地水文、生态、环境及至城市、考古等诸多方面的应用前景,无论对于地球系统科学的深入研究,对于培育和营造雷达遥感产业,促进我国自主开发雷达卫星,影响都是极其深远的。

高科技的著作中,有关对地观测或遥感的不多。其中涉及应用基础理论研究的中文著作,更是凤毛麟角,屈指可数。在遥感技术以引进为主的初级阶段,这是可以理解的。但是,经过 20 多年来的努力,现在应该有必要,也有可能,看到愈来愈多的实践经验总结,一些反映中国独立自主的遥感信息机理研究的著作也将会相继问世。引进和仿造是必要的,但只有“洋货”没有“土特产”的产业和市场,只是沙滩上的海市蜃楼。概念设计是工程技术的基础,知

识创新是经济复兴的前提,也是科学技术与世界接轨的必由之路。SCI 只是检测科技实力的一种国际指标,但并不是一切科研成果只有经过“出口转内销”才能标定它们的身价。科学工作者直面本国广大读者的系统科学专著,理应受到欢迎和鼓励,著作是对科技兴国的积极贡献。

陳述彭

2000 年端午节日

前言

今年的深秋时节,与同行们赴陕西进行一项机载合成孔径雷达(SAR)成果验收。该系统达到了很高的技术水平。触景生情,令人感慨不已。当年——1979年,也正是在这块土地上,笔者参加我国第一次机载合成孔径雷达遥感试验,当时获取的雷达图像质量不高,但她毕竟是国产的第一幅雷达图像,意义非凡。为研究地物的回波响应特征,我只身一人,逐点进行实地验证,浓浓夜色时才返回住地。这些第一手的素材为本人两年后完成的“雷达成像机理”研究生论文增加了很大分量。在那时,国内做雷达信息机理的研究主要是利用国外已发表的机载 SAR 图像或相关数据。

20 多年过去了,我国成像雷达技术的发展从无到有,取得长足进展。在机载层次,推出 X 波段、L 波段多极化系统,成功开展了聚束雷达、干涉雷达成像试验,图像分辨率达到 1~3m;在星载层次,星载雷达样机系统研制成功,进行雷达卫星工程研究,雷达小卫星也在酝酿之中。同时,雷达对地观测领域的基础研究、应用研究正蓬勃展开。

合成孔径雷达概念诞生于 20 世纪 50 年代后期。1960 年,世界上第一部 SAR 系统问世。40 年来,机载 SAR 的发展方兴未艾,本书介绍的十几种典型系统可反映出其概貌,作为微波对地观测的主体技术——星载 SAR 在持续发展。70 年代后期,国际上第一颗对地观测雷达卫星 Seasat 升空;80 年代,航天飞机雷达的成功发射与惊人的地学发现震撼了科技界;进入 90 年代,世界范围内形成雷达遥感的高潮:前苏联的金刚石卫星雷达于 1991 年发射,接着欧洲空间局和日本分别于 1991、1992 年将 ERS-1 SAR 和 JERS-1 SAR 送入空间轨道。1994 年航天飞机 SIR-C/X-SAR 两次成功的飞行,使之成为运行在地球轨道高度的第一部全极化多波段同时成像系统。1995 年,具有多种成像模式的加拿大雷达卫星上天,标志着国际上有了第一颗商业雷达卫星,使用户获取全球范围的 SAR 数据成为可能,2000 年,航天飞机雷达地形测图(SRTM)计划的实施,向人们展示了干涉雷达 11 天内可以获取全球 80% 地表三维地形信息的无可比拟的能力。

成像雷达全天候、全天时工作和穿透一些地物的特点,成为对地观测和行星探测领域尖端技术之一。我们的分析,雷达对地观测技术几十年的发展可划分为三个大的阶段。第一阶段以单波段单极化雷达为特征;第二阶段为多波段多极化阶段;干涉雷达、极化雷达等新型雷达的出现代表了第三阶段。每一阶段技术的进步都不同程度地提高其对地观测能力。雷达遥感在固体地球科学、生态科学、水文科学、海洋科学等领域正发挥着越来越重要的作用。

在 70 年代开展雷达遥感探索基础上,80 年代至 90 年代,我们负责承担了一系列雷达对地观测领域研究项目,包括早期的中国科学院重点项目、国家科委重点项目以及近 10 年来的国家自然科学基金重大项目、重点基金项目、国家高技术项目、中国科学院重大项目、知识创新项目等。同时,成为国际合成孔径雷达工作组成员,并作为 PI 相继进入航天飞机 SIR-C/X-SAR、SRTM 计划及加拿大雷达卫星、欧洲空间局、日本卫星等雷达遥感计划。

有机会接触并了解雷达遥感的最新发展,在前沿国际环境下展开工作。多年来,积累了一批成果和认识,有必要进行系统的理论性总结。幸运的是,得到国家科学技术学术著作出版基金的资助,使我们的愿望变为现实。

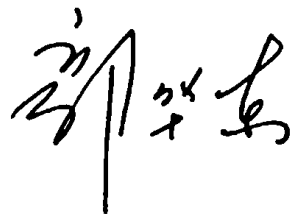
本专著系统地论述雷达对地观测原理,技术与应用。她是《中国雷达遥感图像分析》的姊妹篇。全书分为三篇:第一篇阐述雷达对地观测理论与系统,在第一章到第三章中分别介绍了雷达遥感的基础理论,机载星载雷达系统,极化雷达和干涉雷达等新型雷达;第二篇为雷达数据处理方法与技术,在第四章至第六章中介绍了雷达定标与成像处理方法,雷达图像处理方法,雷达数据分析技术;第三篇详细地叙述了雷达对地观测技术在各领域的应用,在第七章至第十二章中分别论述了雷达遥感在地质、农业、林业、水文、海洋、城市、考古及雷达散射计在全球变化监测中的应用,第十三章介绍了雷达对行星特别是金星的探测;在全书最后,即第十四章,展望了雷达对地观测科学与技术的未来发展。

本书从最初构思到最终交稿,历经数载。繁忙间隙,拾笔不断。值此付梓之际,倍感欣慰,又觉不安。欣慰的是该书终于问世,不安的是新的内容尚来不及包含进去。期望今后与同行同事们一起去开拓更新的雷达遥感天地。

本书各章节主要执笔人为:第一章 郭华东、王长林、董庆、李骏飞;第二章 郭华东、王长林、陈戈;第三章 郭华东、王翠珍、刘浩、王长林、李骏飞;第四章 舒士畏、王岩飞;第五章 刘浩、范湘涛;第六章 邵芸;第七章 郭华东、王长林、廖静娟、邵芸;第八章 邵芸、廖静娟;第九章 施建成、李震;第十章 董庆、周长宝;第十一章 刘浩、王翠珍、王长林、卢新巧;第十二章 王湘云 郭华东;第十三章 王长林;第十四章 郭华东、王长林。全书最后由郭华东定稿。

在本书出版之际,作者感谢中国科学院、国家自然科学基金委员会、科技部高新技术产业化司、中国科学院遥感应用研究所等部门和单位的支持;特别感谢陈述彭先生,他一直关心、指导本书的写作与出版,并挥笔为书作序;感谢王长林博士为本书付出的大量事务性劳动;感谢姚岁寒先生和彭斌先生编辑该书;感谢为本书做出贡献的所有同志。

由于著者水平有限,书中缺点错误在所难免,恳请读者不吝批评指正。



2000年11月

目 录

序 前 言

第一篇 雷达对地观测理论与雷达系统

第一章 雷达对地观测原理	2
§ 1.1 雷达遥感基础	2
1.1.1 电磁波与电磁波谱	2
1.1.2 雷达方程与散射截面	5
§ 1.2 合成孔径雷达系统	9
1.2.1 雷达工作方式	9
1.2.2 真实孔径雷达与合成孔径雷达	11
1.2.3 距离分辨率与脉冲压缩技术	16
1.2.4 方位分辨率与孔径合成技术	19
§ 1.3 雷达系统参数和地物参数	22
1.3.1 雷达系统参数	22
1.3.2 环境目标参数	31
§ 1.4 地物微波后向散射特性与模型	38
1.4.1 信号分布模型	39
1.4.2 地物及相关模型	40
1.4.3 信号分布的计算机模拟	41
第二章 雷达对地观测系统	44
§ 2.1 机载成像雷达系统	44
2.1.1 中国机载雷达系统	44
2.1.2 美国机载雷达系统	46
2.1.3 日本机载雷达系统	52
2.1.4 加拿大 CV-580 SAR 系统	54
2.1.5 德国 E-SAR 系统	56
2.1.6 丹麦 EMISAR 系统	57
2.1.7 荷兰 PHARUS 和 PHARS 系统	58
2.1.8 以色列 YSAR 系统	59
2.1.9 澳大利亚 INGARA 系统	59
2.1.10 瑞典 CARABAS SAR 系统	60
2.1.11 南非 SASAR 系统	60
2.1.12 俄罗斯 VEGA - M SAR 系统	62
§ 2.2 航天飞机雷达系统	62
2.2.1 SIR - A 系统	62
2.2.2 SIR - B 系统	63
2.2.3 SIR - C/X - SAR 系统	64

2.2.4 SRTM 系统	66
§ 2.3 星载雷达系统	71
2.3.1 海洋卫星雷达	71
2.3.2 金刚石卫星雷达	73
2.3.3 日本地球资源卫星雷达	75
2.3.4 欧洲遥感卫星雷达	76
2.3.5 加拿大雷达卫星	78
2.3.6 赤道卫星测雨雷达	80
§ 2.4 雷达散射计及高度计	81
2.4.1 雷达散射计	82
2.4.2 雷达高度计	86
第三章 新型成像雷达	94
§ 3.1 极化雷达	94
3.1.1 极化波概述	94
3.1.2 极化雷达系统	101
3.1.3 极化分析理论	103
3.1.4 地物散射特性极化分析	107
§ 3.2 干涉雷达系统	112
3.2.1 干涉雷达成像原理	112
3.2.2 干涉雷达测量技术	115
3.2.3 极化干涉测量技术	126
3.2.4 干涉雷达的作用	131
§ 3.3 聚束雷达与曲线雷达	135
3.3.1 聚束雷达	135
3.3.2 曲线雷达	137

第二篇 雷达数据处理方法与技术

第四章 雷达定标与成像处理技术	140
§ 4.1 雷达定标	140
4.1.1 相对定标和绝对定标	140
4.1.2 系统传递函数	141
4.1.3 定标方程	142
4.1.4 内定标器	145
4.1.5 外定标器	146
4.1.6 CASSAR 外定标实验	148
§ 4.2 雷达成像处理方法	149
4.2.1 合成孔径雷达成像处理过程	150
4.2.2 合成孔径雷达点目标响应信号	151
4.2.3 距离迁移问题	151
4.2.4 距离-多普勒成像处理方法	152
4.2.5 解斜坡成像处理方法	155
4.2.6 阶梯变换成像处理方法	157
4.2.7 Chirp-Scaling 成像处理方法	158

4.2.8 波数域成像处理方法	161
第五章 雷达图像处理技术	164
§ 5.1 雷达图像的辐射校正和增强	164
5.1.1 天线方向图校正	164
5.1.2 雷达图像的比例变换和反差调整	165
5.1.3 雷达图像质量评价	166
5.1.4 斑点噪声的形成机理和斑点压制滤波	167
§ 5.2 雷达图像几何校正	179
5.2.1 雷达图像几何特点	179
5.2.2 雷达图像几何粗校正与精校正	182
5.2.3 雷达图像的几何粗定位	183
5.2.4 Guindon 的雷达图像精校正方法	185
5.2.5 基于多中心透视变换的雷达图像几何精纠正	191
5.2.6 利用雷达图像立体像对提取 DEM	196
§ 5.3 变化检测	197
5.3.1 利用图像强度差别检测变化	197
5.3.2 利用斑点去相关检测变化	199
§ 5.4 雷达图像纹理分析方法	200
5.4.1 雷达图像纹理信息特点	200
5.4.2 灰度共现矩阵	201
5.4.3 分形分析	201
5.4.4 小波分析	205
§ 5.5 雷达图像分类	207
5.5.1 上下文分类法	208
5.5.2 神经网络分类法	210
5.5.3 雷达图像分类后处理	212
第六章 雷达图像分析方法	214
§ 6.1 雷达图像解译方法	214
6.1.1 解译标志	214
6.1.2 点目标、线目标及面目标	217
§ 6.2 雷达图像分析方法	218
6.2.1 单参数与多参数雷达图像分析	218
6.2.2 面向应用的雷达图像分析方法	222
6.2.3 雷达数据参数选择	233

第三篇 雷达对陆地海洋及行星的探测

第七章 雷达地质探测	238
§ 7.1 地质体雷达散射特性	239
7.1.1 地质体散射影响因子	239
7.1.2 岩石介电常数	240
7.1.3 地质体散射模型	247
7.1.4 裸露岩石后向散射模型	249
§ 7.2 雷达图像地质信息提取	255

7.2.1 极化波雷达数据提取地表参数	255
7.2.2 雷达图像纹理地质信息提取	260
7.2.3 正交雷达图像线性信息提取	264
§ 7.3 地形地貌分析	267
7.3.1 峡谷地形	267
7.3.2 冲积扇地貌	268
7.3.3 沙丘地貌	269
7.3.4 黄土地貌	270
7.3.5 喀斯特地貌	270
§ 7.4 岩性及构造分析	270
7.4.1 岩性	270
7.4.2 构造	273
§ 7.5 火山及地震探测	275
7.5.1 火山	275
7.5.2 地震	280
§ 7.6 雷达穿透性	288
7.6.1 穿透性试验	289
7.6.2 穿透现象分析	290
第八章 雷达生态探测	296
§ 8.1 雷达农业生态分析	296
8.1.1 雷达农业应用背景	297
8.1.2 典型植被散射特性	300
8.1.3 水稻散射特性测量与模拟	309
8.1.4 水稻散射模型	316
8.1.5 水稻长势监测	324
§ 8.2 雷达森林生态分析	328
8.2.1 森林微波后向散射特性研究	329
8.2.2 雷达森林生态应用分析	336
8.2.3 森林生态应用的最佳雷达参数	346
第九章 雷达水文探测	348
§ 9.1 土壤水分估算	348
9.1.1 理论模型	349
9.1.2 裸露土壤水分估算方法	350
9.1.3 利用 L 波段 SAR 数据估算裸土含水量	352
9.1.4 土壤水分估算的进一步发展	353
§ 9.2 积雪参数反演	354
9.2.1 雪盖后向散射模拟	354
9.2.2 估算积雪参数的技术	357
9.2.3 雪参数估算的进一步发展	361
§ 9.3 冰川、地下水及河流演变	362
9.3.1 冰川	362
9.3.2 地下水	364
9.3.3 河流演变	366

第十章 雷达海洋探测	370
§ 10.1 海面雷达成像的复杂性	371
§ 10.2 海面雷达散射及其成像模型	373
§ 10.3 SAR 成像调制传递函数及海浪谱的反演	383
§ 10.4 海洋现象分析	392
10.4.1 内波	392
10.4.2 海冰	404
10.4.3 水下地形	406
10.4.4 其他海洋信息	412
§ 10.5 多极化和干涉雷达与海洋	414
10.5.1 多极化雷达海洋应用	414
10.5.2 干涉雷达海洋应用	418
第十一章 雷达考古与城市探测	422
§ 11.1 城市探测	422
11.1.1 建筑物的后向散射特征	422
11.1.2 雷达参数与目标参数关系	429
11.1.3 雷达城市应用领域	433
§ 11.2 雷达考古	437
11.2.1 古长城识别	438
11.2.2 其他古遗迹探测	440
第十二章 雷达散射计与全球变化	445
§ 12.1 全球变化涉及的关键问题	445
12.1.1 大气污染导致的环境现象	445
12.1.2 生态破坏带来的环境影响	447
§ 12.2 微波遥感是全球变化研究的重要技术	447
12.2.1 散射计数据的特点及应用现状	448
12.2.2 ERS-1 散射计数据的结构及成图方法	449
§ 12.3 ERS-1 散射计的陆地应用	451
12.3.1 散射计陆地监测能力分析	451
12.3.2 全球陆地典型地物后向散射系数及季相变化	454
12.3.3 中国陆地雷达后向散射系数特征	458
12.3.4 散射计陆地分析在全球变化研究中的意义	459
§ 12.4 散射计数据海洋应用研究	459
12.4.1 全球海洋雷达后向散射系数的分布特征	460
12.4.2 海洋灾害监测	462
第十三章 雷达行星探测	464
§ 13.1 空间行星探测	464
§ 13.2 麦哲伦号雷达金星探测	465
13.2.1 麦哲伦号飞行前对金星的探测	465
13.2.2 麦哲伦号宇宙飞船金星飞行	466
§ 13.3 金星雷达地质	469
第十四章 雷达对地观测科学技术展望	477
§ 14.1 雷达对地观测技术的发展前景	477

§ 14.2	雷达遥感科学目标分析	492
§ 14.3	雷达参数选择的重要性	495
§ 14.4	建立雷达对地观测体系	497
参考文献		498
图版		

CONTENTS

Foreword

Preface

Part I Theories and Systems of Radar for Earth Observation

Chapter 1 Fundamental Principles of Radar Remote Sensing	2
§ 1.1 Radar Remote Sensing Principles	2
1.1.1 Electromagnetic wave and spectrum	2
1.1.2 Radar equation and radar scattering cross section	5
§ 1.2 Synthetic Aperture Radar	9
1.2.1 Radar operation	9
1.2.2 Real aperture radar and synthetic aperture radar	11
1.2.3 Range resolution and pulse compression technique	16
1.2.4 Azimuth resolution and aperture synthesis technique	19
§ 1.3 Radar System Parameters and Scene Parameters	22
1.3.1 Radar system parameter	22
1.3.2 Radar target parameters	31
§ 1.4 Radar Backscattering Characteristics and Models	38
1.4.1 Signal distribution model	39
1.4.2 Scene and relevant model	40
1.4.3 Computer simulation of signal distribution	41
Chapter 2 Radar Systems for Earth Observation	44
§ 2.1 Airborne Imaging Radar Systems	44
2.1.1 Chinese SAR	44
2.1.2 American SAR	46
2.1.3 Japanese SAR	52
2.1.4 Canadian CV - 580 SAR	54
2.1.5 German E-SAR	56
2.1.6 Denmark EMISAR	57
2.1.7 Holland PHARUS and PHARS SAR	58
2.1.8 Israeli YSAR	59
2.1.9 Australian INCARA	59
2.1.10 Swedish CARABAS SAR	60
2.1.11 South Africa SASAR	60
2.1.12 Russian VEGA - M SAR	62
§ 2.2 Shuttle Imaging Radar Systems	62
2.2.1 SIR - A	62
2.2.2 SIR - B	63
2.2.3 SIR - C/X - SAR	64

2.2.4	SRTM SAR	66
§ 2.3	Satellite Imaging Radar System	71
2.3.1	Seasat SAR	71
2.3.2	Almaz SAR	73
2.3.3	JERS - 1 SAR	75
2.3.4	ERS - 1/2 SAR	76
2.3.5	Radarsat SAR	78
2.3.6	TRMM SAR	80
§ 2.4	Radar Scatterometer and Altimeter	81
2.4.1	Radar scatterometer	82
2.4.2	Radar altimeter	86
Chapter 3	New Concept Imaging Radar Systems	94
§ 3.1	Polarimetric SAR	94
3.1.1	Introduction to polarimetric wave	94
3.1.2	Polarimetric SAR system	101
3.1.3	Theory of polarimetric SAR analysis	103
3.1.4	Polarimetric SAR analysis for surface scattering	107
§ 3.2	Interferometric SAR	112
3.2.1	Interferometric SAR principles	112
3.2.2	Interferometric SAR technique	115
3.2.3	Polarimetric interferometric SAR	126
3.2.4	INSAR roles	131
§ 3.3	Spotlight SAR and Curvilinear SAR	135
3.3.1	Spotlight SAR	135
3.3.2	Curvilinear SAR	137

Part II SAR Data Processing Methods and Techniques

Chapter 4	Radar calibration and Imaging Process Technique	140
§ 4.1	Radar Calibration	140
4.1.1	Relative calibration and absolute calibration	140
4.1.2	System transferring functions	141
4.1.3	Calibration equation	142
4.1.4	Inner calibrator	145
4.1.5	External calibrator	146
4.1.6	CASSAR external calibration experiment	148
§ 4.2	Radar Imaging Process Methods	149
4.2.1	SAR imaging process procedure	150
4.2.2	SAR target response signals	151
4.2.3	Range migration	151
4.2.4	Range - Doppler processing	152
4.2.5	De - ramped processing methods	155
4.2.6	Step transform processing	157
4.2.7	Chirp - Scaling imaging process	158

4.2.8	Wave – number domain processing	161
Chapter 5	SAR Image Processing technique	164
§ 5.1	SAR Image Radiometric Correction and Enhancement	164
5.1.1	Antenna pattern correction	164
5.1.2	SAR image ratio transform and contrast adjustment	165
5.1.3	SAR image quality evaluation	166
5.1.4	Mechanisms of speckle forming and speckle reduction filters	167
§ 5.2	Geometric Correction of SAR Image	179
5.2.1	Geometric characters of SAR image	179
5.2.2	SAR image ortho – correction and geo – reference correction	182
5.2.3	SAR image registration	183
5.2.4	Guindon method of SAR image rectification	185
5.2.5	SAR image rectification based on multiple – center transform	191
5.2.6	DEM extraction from SAR stereo pairs	196
§ 5.3	Change Detection	197
5.3.1	Change detection using image intensity difference	197
5.3.2	Change detection using speckle de – correlation	199
§ 5.4	SAR Image Texture Analysis	200
5.4.1	Characteristics of SAR image textural information	200
5.4.2	Grey – level co – occurrence matrix	201
5.4.3	Fractal analysis	201
5.4.4	Wavelet analysis	205
§ 5.5	SAR Image Classification	207
5.5.1	Contextual classification	208
5.5.2	Neural network classification	210
5.5.3	Post – process of SAR image classification	212
Chapter 6	SAR Data Analytical Technique	214
§ 6.1	SAR Image Interpretation Methods	214
6.1.1	SAR image interpreting indicators	214
6.1.2	Point, line and area targets	217
§ 6.2	SAR Image Analysis Methods	218
6.2.1	SAR image analysis with single and multiple parameters	218
6.2.2	SAR image analytical methods for applications	222
6.2.3	SAR parameter selection	233

Part III Radar Observation for Land, Ocean and Planetary

Chapter 7	Geological Analysis with SAR	238
§ 7.1	Scattering Characteristics of Geological body	239
7.1.1	Influencing factors of geological body scattering	239
7.1.2	Dielectric constants of rocks	240
7.1.3	Backscattering Models of geological bodies	247
7.1.4	Backscattering models of exposed rocks	249
§ 7.2	Extraction of Geological Information from Radar Imagery	255

7.2.1	Extracting surface parameters from polarimetric SAR data	255
7.2.2	Extraction of textural information from radar imagery	260
7.2.3	Extraction of linear information from orthogonal radar imagery	264
§ 7.3	Terrain Analysis	267
7.3.1	Valley	267
7.3.2	Alluvial fans	268
7.3.3	Sand dunes	269
7.3.4	Loess	270
7.3.5	Karst	270
§ 7.4	Lithological and Structural Analysis	270
7.4.1	Lithology	270
7.4.2	Structure	273
§ 7.5	Radar Detection of Volcanoes and Earthquakes	275
7.5.1	Volcano	275
7.5.2	Earthquake	280
§ 7.6	Radar Penetration Analysis	288
7.6.1	Experiments and analyses	289
7.6.2	Penetration phenomena analysis	290
Chapter 8	Ecological Analysis with SAR	296
§ 8.1	SAR Study for Agriculture	296
8.1.1	Background of radar remote sensing for agriculture	297
8.1.2	Analysis of scattering characteristics for typical vegetation	300
8.1.3	Quantitative study and simulation of rice backscattering characteristics	309
8.1.4	Study of rice backscattering models	316
8.1.5	Rice growth monitoring	324
§ 8.2	SAR Analysis for Forestry	328
8.2.1	Study of forest backscattering characteristics	329
8.2.2	SAR applications for forestry	336
8.2.3	Optimum SAR parameters of SAR applications for forestry	346
Chapter 9	SAR Analysis for Hydrology	348
§ 9.1	Estimation of Soil Moisture	348
9.1.1	Theoretical models	349
9.1.2	Methods of moisture estimation for bare soils	350
9.1.3	Estimation of water content in bare soils with L – band SAR data	352
9.1.4	Further development of soil moisture estimation	353
§ 9.2	Inversion of Snow Parameters	354
9.2.1	Backscattering models of snow cap	354
9.2.2	Techniques for estimating snow parameters	357
9.2.3	Further development of snow parameter estimation	361
§ 9.3	Analysis for Glacier, Underground Water and River Evolution	362
9.3.1	Glacier	362
9.3.2	Underground water	364
9.3.3	River evolution	366