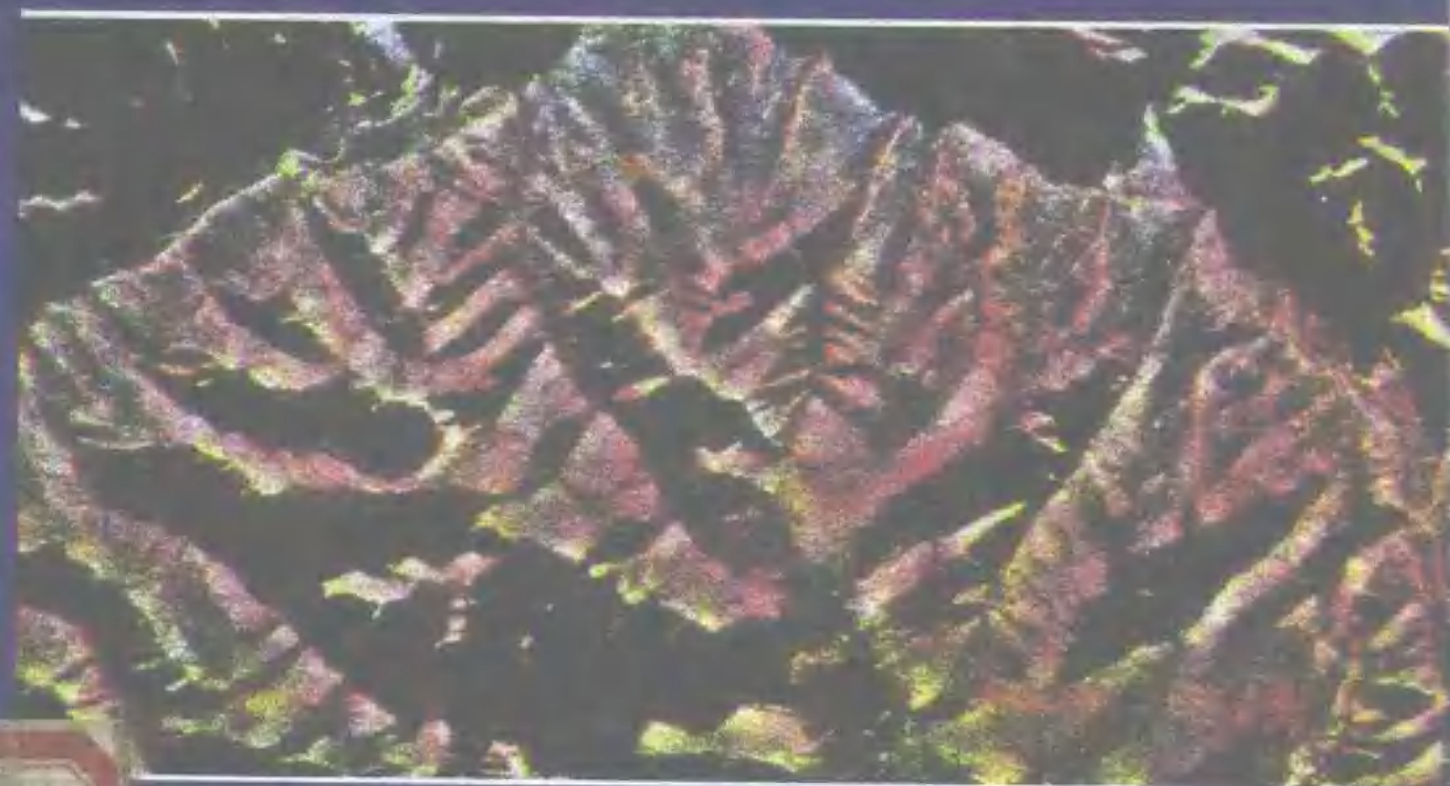


机载雷达遥感应用 试验研究

郭华东 主编



79

中国科学技术出版社

机载雷达遥感应用试验研究

郭华东 主编



中国科学技术出版社

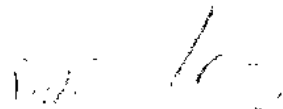
9310166

(京)新登字 092 号

内 容 提 要

本书介绍了国产机载合成孔径雷达(SAR)遥感应用研究成果。内容包括机载 SAR 遥感技术及理论、SAR 图像处理与分析方法、SAR 图像在水文学、地质学、植被、土地利用调查和洪涝灾害损失评估中的作用及应用结果。

本书可供从事遥感技术、遥感应用和地学、生物学领域的科研人员及大专院校有关专业师生参考。



机载雷达遥感应用试验研究

郭华东 主编

责任编辑 张秀智

特约编辑 卫 政

*

中国科学技术出版社出版(北京海淀区白石桥路 32 号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京市怀柔县黄坎印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 12.5 插页: 4 字数: 290 千字

1992 年 11 月第 1 版 1992 年 11 月第 1 次印刷

印数: 1—1 000 册 定价: 20.00 元

ISBN 7-5046-0888-2/V·11

《机载雷达遥感应用试验研究》 编辑委员会

主 编 郭华东

副主编 田国良 陈增圭 宋家骏 邵 芸 卫 政

编 委 (以姓氏笔划为序)

卫 政 田国良 孙利国 宋家骏 何欣年

陈增圭 邵 芸 邵一鸣 郭华东 濮静娟

魏成阶 魏秀萍

附录

合成孔径雷达遥感应用试验研究 项目组成员名单

项目组各负责人

- 项目负责人 郭华东 陈增主
项目总体组 郭华东 陈增主 何欣年 白有天
雷达技术负责人 宋家骏
飞行试验负责人 何欣年
水分监测负责人 田国良
地质应用负责人 邵 芸
土地利用负责人 濮静娟
水文分析负责人 魏成阶

主要科技人员

中国科学院遥感应用研究所

郭华东 何欣年 田国良 邵 芸 濮静娟 魏成阶 王尔和 吕永红
王 超 孙利国 李 彤 张宗科 杨希华 刘 浩 魏秀萍 丁 纪
鲍士柱 张云和 李生平 于天旭 谭宽祥 张渊智 董品亮 支毅乔
杨习荣 孙瑞宝 周福林 陈楚群 钱育华 刘桂云 刘建明 张志辉
李 林

中国科学院电子学研究所

宋家骏 邵一鸣 白有天 舒士畏 宋福明 曹学军 王富良 沈 江
王武萍 张隆礼 许桂玲 叶华强 任克武 李慧影 程定祿 杨华光
杨玉林 倪淑涵 赵 炎 袁慧坤 刘少军

本书图件由中国科学院遥感应用研究所刘薇薇绘制。

目 录

绪言	郭华东 (1)
机载多极化合成孔径雷达遥感应用试验	郭华东等 (5)
小型双极化密封天线	许桂玲等 (15)
机载 SAR 运动补偿系统分析	罗 倩等 (21)
惯性导航系统数据在 SAR 地速补偿中的应用	沈 汀等 (28)
机载双侧视三轴天线平台机械传动装置	叶华强 (37)
多极化 SAR 图像的几何校正及配准	吕永红等 (42)
SAR 图像的辐射校正及镶嵌	吕永红等 (48)
面散射理论及其在土壤湿度微波遥感中的应用	孙利国等 (55)
潮湿土壤微波介电常数的测试与分析	杨习荣等 (65)
SAR 图像监测土壤水分效果的评价	田国良等 (75)
多极化 SAR 图像信息的提取及其鉴别植被效果的评价	田国良等 (81)
多极化雷达图像农田信息的提取与解译	张 玮等 (86)
多极化雷达图像的地质应用	邵 芸等 (93)
雷达图像的宏观纹理分析和地质应用效果	邵 芸等 (103)
利用雷达图像研究大同地区的环形构造和火山机构	刘 浩等 (112)
太湖地区雷达图像的地质构造分析	石火生 (126)
太湖的陨击成因与雷达图像地质信息	王尔康等 (133)
下荆江古河道及其河曲形成与演变的雷达影像分析	魏成阶等 (140)
雷达图像在荆州地区土地利用现状调查中的应用	濮静娟等 (152)
永定河下游古河道的雷达影像分析	于天旭等 (159)
滁河全椒—滁州段洪涝灾害损失的雷达遥感调查及其评价	张宗科等 (164)
吴淞口地区侧视雷达图像的应用	杨习荣等 (170)
附录 合成孔径雷达遥感应用试验研究项目组成员名单	(ii)

AIRBORNE RADAR REMOTE SENSING AND APPLICATIONS

CONTENTS OF ABSTRACTS

Airborne Multi-polarization Radar Remote Sensing and Its Applications	Guo Huadong <i>et al.</i> (181)
Sealed Double Polarization Antenna with Small Size.....	Xu Guiling <i>et al.</i> (181)
Analysis on Motion Compensation System in Airborne SAR	Luo Qian <i>et al.</i> (182)
Application of Inertial Navigation System Data in Ground Speed Tracking for Airborne SAR	Shen Ding <i>et al.</i> (182)
The Mechanical Gearing of Airborne Double Sides Three Axes Antenna Platform	Ye Huaqiang (183)
Geometric Correction and Registration of Multi-polarization SAR Images	Lü Yonghong <i>et al.</i> (183)
Radiation Calibration and Mosaic of SAR Images.....	Lü Yonghong <i>et al.</i> (184)
Surface Scattering Theory and Its Application in Microwave Remote Sensing of Soil Moisture.....	Sun Liguo <i>et al.</i> (184)
Measurements and Analysis for the Microwave Dielectric Constant of Wet Soil.....	Yang Xirong <i>et al.</i> (185)
Assessment of the Effects of SAR Images in Soil Moisture Monitoring	Tian Guoliang <i>et al.</i> (185)
Information Extraction and Effect Evaluation for Multi-polarization SAR Images.....	Tian Guoliang <i>et al.</i> (186)
The Farmland Information Extraction and Interpretation of Multi-polarization SAR Image.....	Zhang Wei <i>et al.</i> (186)
The Geological Application of Multi-polarization SAR Image	Shao Yun <i>et al.</i> (187)
The Macro Texture Analysis of SAR Image and Its Geological Application in Zhangjiakou	Shao Yun <i>et al.</i> (187)
Exploration of Ring Structure and Volcanic System in Datong Region, Using Airborne SAR Image.....	Liu Hao <i>et al.</i> (188)
Structural Analysis of SAR Image of Taihu Lake Area	Shi Huosheng <i>et al.</i> (188)
The Impact Origin of Taihu Lake and the Geological Information of SAR Image.....	Wang Erkang <i>et al.</i> (189)

The Study of SAR Image on the Abandoned Channel of the Downstream of Jing Jiang River and the Formation and Evolution of Its Meanders	<i>Wei Chengjie et al.</i> (189)
Application of SAR Image in the Existing Land Use Investigation in Jing- Zhou Area.....	<i>Pu Jingjuan et al.</i> (190)
The Study of Radar Image on the Abandoned Channel of the Downstream of Yong Ding River.....	<i>Yu Tianxu et al.</i> (191)
Radar Remote Sensing for Investigating and Assessing the Flood Damage Losses of Chu River	<i>Zhang Zongke et al.</i> (191)
The Remote Sensing Application and the Image Interpretation of SLAR.....	<i>Yang Xirong et al.</i> (192)

绪 言

当遥感技术的发展迈入第 4 个 10 年的时候,人们惊喜地看到,国际上星载雷达遥感正在兴起空前的高潮。一系列的航天雷达遥感计划,或已成为现实,或将陆续付诸实施。前苏联的 ALMAZ SAR 于 1991 年初率先升空,紧随其后,欧空局和日本分别把 ERS-1 SAR 及 JERS-1 SAR 送入空间轨道,加拿大的雷达卫星 SAR 预计于 1995 年初开始商业性飞行,由美国主持的航天飞机 SIR-C/X-SAR 计划已确定 1993 年首飞并连续进行 1 年的科学实验,在此基础上发展的 EOS SAR 计划也已进入前期研究阶段,法国计划于 2000 年前后发射 SPOT RADAR 上天。同时,可以迅速获取地球表面数据的全球雷达成像仪计划正在酝酿中,探测金星的麦哲伦号 SAR 已获得金星表面的大部分雷达图像。用于地形测绘、热带雨林调查及星球探测等目的的 TOPSAT, TRMM, CASSINI, POEM ASAR 成像雷达科学工程已分别形成或纳入发展计划。这些表明,90 年代将进入一个星载雷达遥感的时代。

本书是一本专门讨论机载雷达遥感应用的集子,是一本论述国产合成孔径雷达遥感应用的论文集。

机载雷达遥感应用的研究是重要的。从一个角度分析,正是由于 60 年代末至 70 年代中期机载 SAR 遥感应用的蓬勃发展,才使得以后发射的 Seasat SAR 及 SIR-A, SIR-B 变为可能,并进而形成 90 年代星载 SAR 遥感的灿烂局面。不顾目前国际上的几个大的机载 SAR 计划,更能说明机载雷达遥感的重要性。

目前国际上机载 SAR 遥感的重要目的之一是资源环境成图。这方面的典型代表为美国地质调查局于 1980 年开始实施的机载 SAR 成像计划。该计划的鲜明特点是实用化。利用工作在 X 波段、HH 极化方式、分辨率为 $12 \times 10\text{m}$ 的 GEMS 101 雷达系统,稳定地获取全国范围内的机载 SAR 数据,以 CCT 或 CD-ROM 方式记录,编制出版 1:25 万或 1:40 万比例尺的 $1^\circ \times 2^\circ$ (经度 \times 纬度) 范围的 SAR 镶嵌图,应用于地质、水文、灾害等领域研究。除供来自政府、科研及工业部门的科学家实施 50 多项研究计划外,其资料还面向社会各界。据报道,到目前为止,该计划已完成大部分工作。

机载 SAR 发展的另一个重要方面是科研型系统。其典型例子是 AIRSAR P-3 SAR 及 E-SAR。由 NASA/JPL 研制的 AIRSAR 是功能极全的机载合成孔径雷达系统,它有 P, L, C 3 个工作波段,具备极化 (HH, HV, VH, VV) 成像能力,可同时产生 12 个通道、分辨力为 $10 \times 10\text{m}$ 的图像。安装在 DC-8 载机上,整个 SAR 系统由 HP 9000/300 计算机控制,图像数据可在载机上实时处理。该系统是为探索雷达遥感中的新技术、新概念而研制的,其重要目的是为了同时工作在 3 个波段、4 个极化的 SIR-C/X-SAR 作技术准备,因之,又有人称之为机载 SIR-C。1988 年以来,已为各种研究目的在世界

各地进行了数十次飞行试验,包括1988—1990年在美国本土、1991年在欧洲、1993年在澳大利亚及南美洲地区进行的飞行等。

密执安环境研究所的P-3 SAR系统在参数设计上与AIRSAR非常相似。同样是一个全极化机载成像雷达系统,工作在X、C、L 3个波段。有两种工作模式。在120MHz带宽模式下,斜距刈宽4.9km,分辨率 $1.2 \times 2.1\text{m}$,在60MHz带宽模式下,斜距刈宽9.8km,具有 $2.4 \times 2.1\text{m}$ 的分辨率。地面辐照宽度取决于入射角(范围 $0-85^\circ$)大小及飞机飞行高度(3—8km)。近年来该系统重点对海冰等目标进行了飞行。

E-SAR是德国宇航院研制的机载SAR系统。作为一个多参数系统,采用了分阶段研制的策略。第一步目标是C波段、VV极化SAR系统,分辨力可达 $2.4 \times 4.0\text{m}$,在ERS-1 SAR的发展中起了重要作用。第二步目标是研制成L、C、X 3个波段及全极化雷达系统,装载在Donier DO 228型小型飞机上,飞行高度较低,在1000—3500m之间,成像宽度4000m,视角控制范围 $20-27^\circ$,用于SIR-C/X-SAR及EOS SAR的预研,同时为陆地、海洋探测服务。

加拿大国家遥感中心拥有的SAR-580机载成像雷达是兼顾科研与实用的第三类系统,它具有C及X两个波段、4个极化成像能力,数字记录。有两种工作模式,模式一辐照宽度18km,模式二辐照宽度63km,分辨率分别为 $6 \times 6\text{m}$ 和 $20 \times 20\text{m}$ 。加拿大曾设立了20余个机载SAR遥感应用项目,内容包括对海冰、农业、森林和地质的探测,目的是为雷达卫星SAR参数选择提供依据并开展实际应用。目前,加拿大遥感中心正在安排一项新的称之为“Globesar'93”的计划,计划利用SAR-580系统,在北美、欧洲、南美及亚洲等数十个国家作飞行试验,为雷达卫星上天图像的处理及应用做技术准备,同时直接进行资源环境调查与监测。

日本是国际上唯一发射了星载SAR,而本国没有机载SAR系统的国家。但机载SAR研究这一步是难以超越的,因此它采用了国际合作的方式,即在本国实验中利用加拿大SAR-580系统进行飞行,同时利用AIRSAR在美国选择研究区开展试验,为JERS-1 SAR的研制提供科学依据。

从上述分析可以看出,机载雷达遥感的重要性至少体现在两个方面:(1)机载SAR遥感本身具有不可替代的作用;(2)是发展星载SAR的必不可少的过程。换言之,实施星载SAR计划,必须有机载SAR的技术支撑。因此加强机载SAR遥感及应用的研究,既是对地观测的重要组成部分,也是星载SAR发展的需要。

我国十分重视雷达遥感技术的发展。70年代后期,中国科学院电子学研究所开始研制机载合成孔径侧视雷达,经过10余年的不懈努力,在“六五”研制成功单通道、单侧视SAR的基础上,于“七五”期间研制成功了多测绘通道、多极化SAR系统。尽管其在实用化、商业化上尚需作较大努力,但其意义是不可低估的。这一高技术成果不仅为我国对地观测领域提供了富有潜力的手段,为我国星载SAR的发展奠定了重要的技术基础,而且也使我国跻身于国际上为数不多的能研制SAR的国家行列之中。

雷达应用不仅是发展SAR技术的目标和归宿,同时亦是进一步发展机载及星载SAR技术的有机组成部分。在国际上雷达遥感研究不断高涨的今天,雷达遥感应用的研究不仅必要,而且十分迫切和重要。

1989年,我国国家科学技术委员会基础研究高技术司及时设立了国家科委重点科技

项目“合成孔径雷达遥感应用试验研究”课题，并通过中国科学院资源环境科学局组织中国科学院遥感应用研究所及电子学研究所的科研人员开展了这项研究工作。其目的是进行国产 SAR 的应用研究。由于该系统尚未形成产品，因此本研究带有对 SAR 图像进行应用评价的性质。

本论文集收入了在该研究基础上形成的研究论文 22 篇，主要内容包括：(1) 雷达系统研制改进过程中的有关技术探索；(2) 雷达遥感的一些基础理论分析与图像处理技术的发展；(3) 雷达图像用于土壤水分监测及植被鉴别评价；(4) 雷达图像在岩性识别、构造分析中的应用；(5) 雷达图像在土地利用、古河道探测及洪涝灾害损失评估中的应用。

本项研究是在国家科委基础研究高技术司的领导下进行的，并得到中国科学院资源环境科学局及中国科学院遥感应用研究所、电子学研究所领导的大力支持。郑立中、周心铁、张琦娟同志具体组织了项目的开展，陈述彭、陈宗骥、童庆禧先生给予了许多指导。课题组谨在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中缺点错误在所难免，恳望同行们批评指正。

郭华东

1992 年 7 月于北京

机载多极化合成孔径雷达遥感应用试验

郭 华 东 陈 增 圭

(中国科学院遥感应用研究所) (中国科学院电子学研究所)

摘 要

本文介绍了1989—1992年间利用中国科学院合成孔径侧视雷达(CAS/SAR)进行遥感应用试验研究的结果。CAS/SAR是一部机载X波段多极化多测绘通道成像雷达系统,3年间进行了3期次遥感飞行试验,取得了不同地区的雷达图像。本研究包括对这些数据进行处理增强,开展对CAS/SAR在土壤水分监测、植被鉴别、岩性识别、构造分析、土地利用、古河道探测及洪涝灾害损失调查等方面的应用分析与评价,同时提出进一步发展的建议。

关键词 机载雷达 多极化 图像分析

一、前 言

1979年9月17日,是我国遥感科技界值得纪念的日子:中国科学院电子学研究所研制的第一台国产合成孔径雷达(SAR)原理样机在实验室完成并在试飞中获得了我国第一批SAR图像。尽管这一结果比国外晚了近20年,但不应忘记在当时艰苦的条件下,科研人员仅仅用了3年时间就取得了如此富有意义的成果。

合成孔径雷达的全天候、全天时成像能力及对一些地物的穿透特点,使得其成为对地观测的最重要的高技术手段之一。1960年4月国际上第一部SAR系统问世以后,许多国家十分重视发展应用这一先进技术,并迅速取得了成效。60年代末70年代初,雷达在南美洲等地区的遥感试验中所取得的成功,充分显示了其在资源环境调查中的作用与潜力。随之在70年代末期至80年代中期,Seasat SAR, SIR-A及SIR-B 3个SAR系统演出了航天雷达遥感的第一幕。进入90年代,雷达遥感在国际范围内呈现出更加灿烂的局面,6个星载SAR系统已经或即将在2000年前进入太空^[1],与此同时,实用性与试验性机载雷达遥感计划亦在蓬勃发展。

我国十分重视合成孔径雷达技术的发展。1976年开始了SAR系统的研制。十几年来,在国家科委及中国科学院的组织领导下,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。研制SAR系统的目的是实施对地观测,雷达图像应用是SAR系统的归宿所在,自1989年起,国家科委设立了“合成孔径雷达遥感应用试验研究”项目,以通过该项目的开展,评价国产SAR图像的应用效果,探索雷达遥感应用的理论与方法,为雷达遥感高潮的到来进行技术实验。这一计划得到了中国科学院的积极响应。中国科学院遥感应用研究所及电子学研究所的科研人员利用3年时间完成了这一应用试验研究。

二、合成孔径侧视雷达系统

本应用试验主要利用的是 1987 年研制成功、以后又不断发展的多测绘通道、多极化合成孔径雷达系统,它是在 SAR 原理实验系统及单测绘通道、单侧视 SAR 系统的基础上发展而来的。

1. SAR 原理实验系统

SAR 原理实验系统是一个最基本的雷达系统。它包括晶体振荡倍频微波信号源、行波管功率放大器、相参接收机、光学记录器、定时器、控制器、电源和喇叭天线(隙缝波导做馈源,能产生扇形波束)。雷达系统工作频率为 X 波段,脉冲重复频率为 1 000 Hz,脉冲宽度为 1.2 μ m,脉冲峰功率 1kW。系统安装在苏制 TY-4 型轰炸机上,飞行高度 6 000—7 000m,飞行速度 450km/h,测绘带宽度 9km,最大作用距离 24km。由于没有采用脉冲压缩技术,距离向分辨力为 180m。方位向采用合成孔径技术,分辨力为 30m。系统中没有天线平台和运动补偿分机,天线直接固定在飞机上,为了保持合成孔径需要的雷达波束正侧视方向,让飞机沿风向或逆风向飞行,靠驾驶保持飞机的偏流角为 0°。经试验飞行,于 1979 年 9 月 17 日获得了我国第一张 SAR 图像(图 1)。

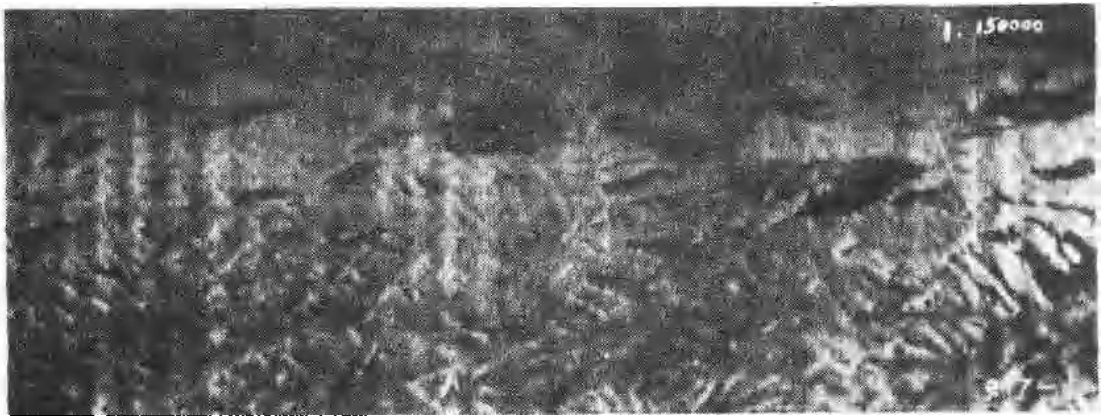


图 1 我国第一张 SAR 图像(秦岭地区,1979 年 9 月 17 日成像)

1980 年 12 月,第二台机载 SAR 实验系统进行了飞行试验。该系统是在第一台的基础上加以完善和改进的。发射峰值功率提高到了 10kW,采用了脉冲压缩技术,增加了天线稳定伺服平台和运动补偿电路。系统的测绘带宽度仍为 9km,最大作用距离 24km,但距离向和方位向分辨力都提高到了 15m¹⁾。图 2 为该系统试飞中获得的图像。

2. 单测绘通道单侧视 SAR 系统

单测绘通道单侧视 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,采用由微处理机控制的运动补偿系统,增加了地速跟踪,飞机

1) 宋家骏,研制机载合成孔径雷达简况,1992年。

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。图3为用该系统飞行试验时获得的SAR图像。

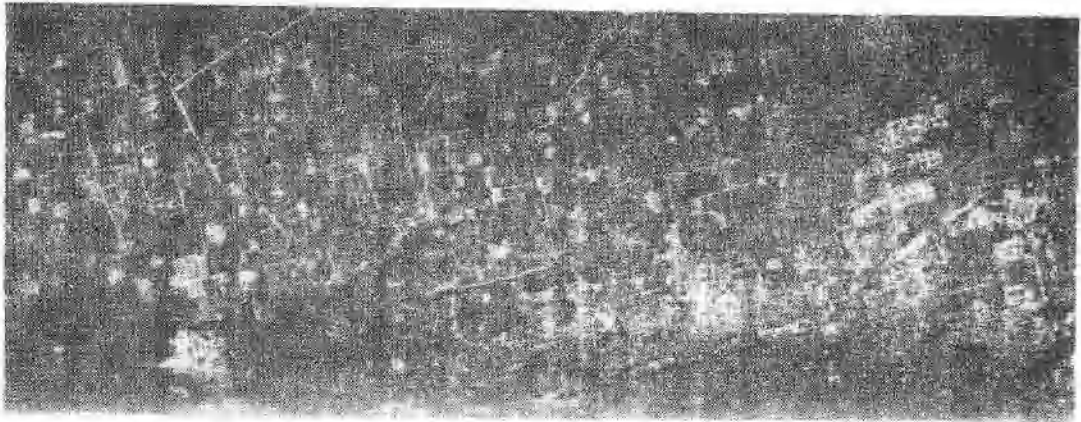


图2 西安地区SAR图像(1982年12月成像)

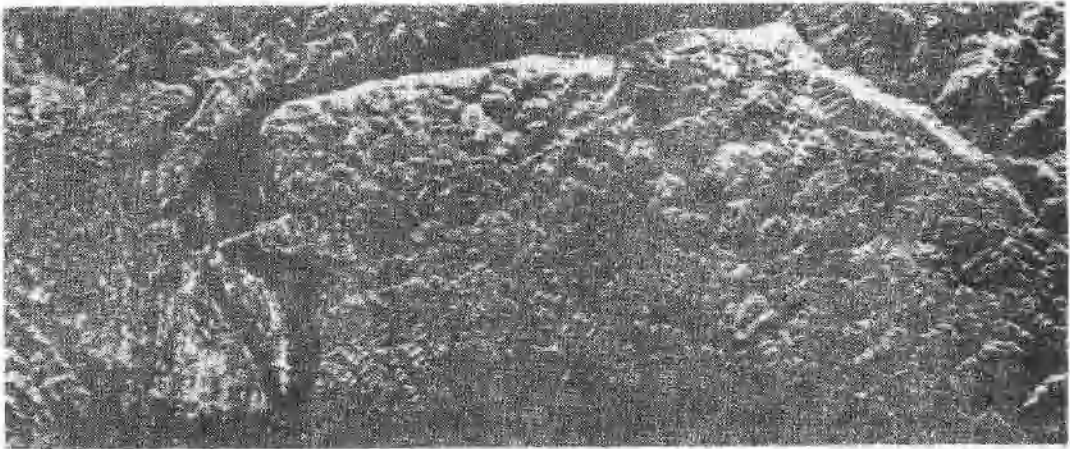


图3 长江葛洲坝地区SAR图像(1984年7月成像)

3. 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:(1)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;(2)天线波束俯视角可变;(3)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 4种不同极化的图像;(4)采用多测绘通道成像技术,总的测绘带宽度可达35km,依据载机飞行速度的不同,每小时可以成像 $1 \times 10^4 \sim 3 \times 10^6 \text{ km}^2$ 的面积;(5)既可以左侧视,又可以右侧视;(6)具有实时空对地数据传输的功能,能在飞行时,将所得数据实时地传到地面。

表1示出了CAS/SAR系统的参数。

该系统在性能上有两个重要的特点:一是成像宽度大,达35km,便于图像镶嵌与应用;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。

表 1 GAS/SAR 系统参数

飞行高度	6 000—10 000 m
地 速	450—750 km/h
载 机	Cessna Citation S/II
波 长	3 cm
极 化	HH, HV, VV, VH
俯 角	可 调
侧视方向	左或右
分 辨 率	10×10m(方位×距离)
成像宽度	35 km
数据记录方式	光 学

极化是指电磁波在一个振荡周期内空间一给定点上的电场强度矢量的方向。电场矢量方向不随时间变化的电磁波称为线极化波,它可分解为两个方向的极化,即水平极化和垂直极化。前者指电场矢量与入射面(即包含电磁波射线并与反射电磁波的扫射面相垂直的面)垂直,后者则平行于入射面。若雷达发射和接收的都是水平极化电磁波,收到的是同极化(HH)图像,若发射水平极化接收垂直极化电磁波,收到的是交叉极化(HV)图像。同样,也可得到VV及VH图像。

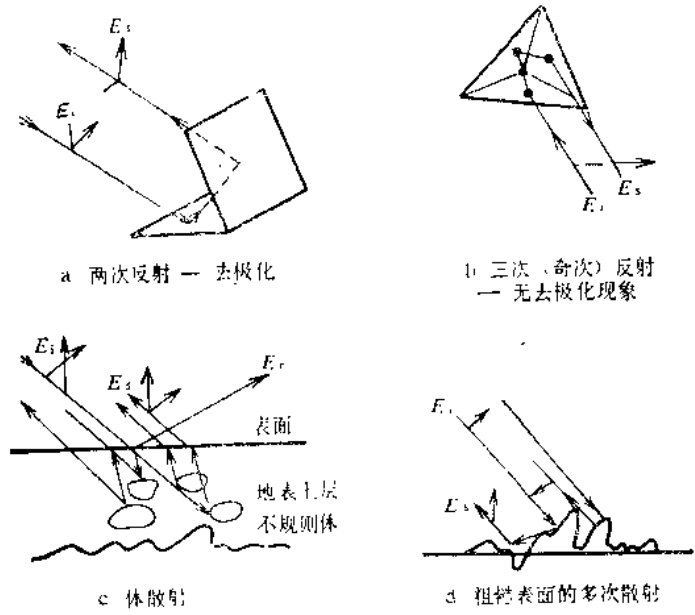


图 4 4种几何体的极化散射模型^[2]
 E_i ——入射能量, E_s ——后向散射能量, E_r ——反射能量

不同极化的不同回波是相应的电场方向与地物目标相互作用的结果。显然,目标的性质影响着极化。电磁波经过传播、反射、散射和绕射(衍射)后会发生电场矢量的改变,即发生去极化现象。

图 4 是一个极化散射模型,它从物体的几何性质上说明了去极化的机理。当电磁波入射到一个由两个相互正交的面组成的几何体——双面角反射器时,经过两次反射,电场矢量方向有 90° 的改变,发生去极化现象(图 4a);当电磁波入射到一个由三个相互垂直的面组成的几何体——三面角反射器时,经过三次反射,电场矢量保持在原来的方

向上, 没有去极化, 也就是说, 在奇次反射时, 无去极化产生 (图 4b); 较长波长的电磁波对某些物体有穿透能力, 地表及其下面的一定物体产生“体散射效应”, 此时, 部分电磁波去极化, 部分则不去极化, 如积雪的散射 (图 4c); 粗糙表面, 如上部布满砾石的干涸河流、长期生长的树林等, 电磁波也发生多次散射, 则两种情况均可发生 (图 4d)。

自然界物体, 有的对同极化 (HH, VV) 敏感, 有的利用交叉极化 (HV, VH) 探测更加有利, 4 个极化方式成像, 大大增强了图像信息。同时各极化通道间不同的组合及比值变换, 可突出特定现象。本书封面中的图像即为张家口地区 CAS/SAR HH, HV, VV 3 种极化方式的合成图像, 比单极化图像更突出了岩性信息。

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 11 000 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。本应用试验项目主要是用多测绘通道、多极化合成孔径雷系统进行的。

三、雷达遥感飞行与图像处理

1. SAR 数据获取

合成孔径雷达装载在中国科学院遥感应用研究所的奖状 II 型遥感飞机上, 从而形成了较完整的 CAS/SAR 作业系统。3 年来, 结合不同的应用试验目的, 进行了多次机载 SAR 飞行 (表 2)。飞行中采用了两种工作模式。模式的不同, 主要反映在飞行高度、波束斜

表 2 SAR 雷达遥感应用飞行试验

成像日期	成像地区	高度(km)	工作模式	极化方式	地速(km/h)
1989.7.29	密云—怀柔地区	7	B	HH, HV	550
1989.8.29	荆江河段	7	B	HH	550
1989.9.6	内蒙古阿拉善	7	B	HH	550
1991.7.18	太湖(1—3 航线)	11	B	HH	600
1991.7.23	太湖(3—6 航线)	11	B	HH	600
1992.1.13	大同地区	7—8	B	HH	跟踪
1992.2.15	张家口地区	7.5	B	HH, HV	跟踪
1992.2.16	张家口地区	7.5	B	HH, HV, VV	跟踪
1992.2.17	廊坊地区	7.5	B	HH, HV, VV	跟踪
1992.2.20	张家口地区	7.5	A	HH, HV, VV	跟踪
1992.2.21	廊坊地区	7.5	B	HH, HV, VV	跟踪

距、俯角的变化上。图 5 和表 3 表示了 SAR 成像的几何关系及 A、B 两种工作模式的变化参数。A 模式有较大的俯角, 在张家口地区进行成像飞行时, 由于该地区地形陡峻, B 模式成像造成大面积阴影, 损失较多信息。A 模式则比 B 模式成像效果好, 因之选择 A 工作模式飞行较为理想。对一些地物, 雷达波束方向的选择亦是重要的。如在进行地质探测时, 飞行方向设计成平行于构

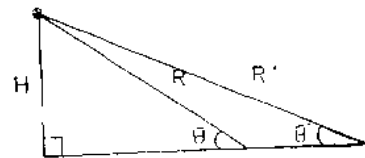


图 5 SAR 工作模式示意图
H——飞行高度; R——近波束斜距; R'——远波束斜距; θ ——近波束俯角; θ' ——远波束俯角