

舒士俊 赵立平 著

雷达图象及其应用

中国铁道出版社

73.46311
681

雷达图象及其应用

舒士畏 赵立平 著



中国铁道出版社

5110244

内 容 提 要

本书系统介绍有关雷达图象的各种基本知识,包括图象的产生、图象参数及特点、图象各要素的物理基础、实用地物目标散射特性、各类目标的图象标记以及图象定标和图象模拟等。给出了用于军事侦察、伪装及国民经济各领域里提取信息的主要依据;重点介绍雷达图象中的信息和提取信息的基本知识,通过实例可使读者对雷达图象有个初步了解,并为应用雷达图象提供信息和数据。

本书可供从事微波遥感技术研究和应用的科技人员及有关大专院校师生参考,亦可作为图象雷达设计人员的背景资料。

2011/5/27

雷达图象及其应用

舒士畏 赵立平 著

•

中国铁道出版社出版

国防科技大学印刷厂印刷

开本: 850×1168毫米 1/32 印张: 8.875 字数: 200千字

1988年12月第一版 1988年12月第一次印刷

印数: 1—1000册 定价: 6.50元

著者的话

随着空间科学技术的发展,雷达遥感获得了多方面的应用,引起了世界各国的广泛重视。自1978年来,我国研制的微波遥感雷达已取得了显著的成果,近年又引进了国外先进雷达设备及航天飞机的雷达图象,国内使用微波遥感和图象雷达的单位和部门也越来越多。作为微波遥感的终端产品——雷达图象是应用雷达遥感的依据。从分析雷达图象入手研究从雷达图象中提取信息的工作直接关系到雷达遥感的效益。鉴于目前国内大多数应用者对雷达图象尚不十分熟悉,高等院校有关专业亦缺少相应的教材,国外也还没有这方面的专著。我们根据多年对有关文献资料、科技报告、书籍手册的调研和积累,加上自身的部分实践工作,编写成此书。可基本上满足上述要求。

本书编写方法以普及知识为主,部分章节有一定深度,各章之间相对独立,读者不必阅读全书也能读懂其感兴趣部分的内容。

本书编写过程中受到了美国麻省理工学院孔金欧教授及得克萨斯大学冯健超教授的关心和指导;得到了清华大学无线电系杨弃疾教授的热情支持,并为本书作了序。我们表示衷心的感谢。在此我们还要感谢对本书出版给予了极大帮助的王祖淼先生及孙克恂、吴春涛、周展雄、吴长盛、丁益民、啜起春、王正藩等同志。

限于作者的水平,尽管力求完善,文中错误在所难免,诚挚地希望各位专家及广大读者批评指正。

著者 1988.12.26.

目 录

序.....	1
前言.....	3
概述	
雷达探测发展史	
目标散射特性与雷达图象解译	
雷达图象技术新进展	
第一章 电波与天线的基本知识	
§ 1.1 有关电波的基本知识	
1.1.1 平面波.....	12
(1) 实时电场表示式.....	12
(2) 平面波在有损介质中的传播.....	13
(3) 平面波的极化和相干.....	15
(4) 平面波的反射和传输.....	19
1.1.2 多普勒效应.....	21
1.1.3 迭加原理.....	22
1.1.4 绕射.....	23
1.1.5 电磁波谱.....	23
§ 1.2 有关天线的基本知识	
1.2.1 天线基本参数.....	25
1.2.2 单元天线.....	27
(1) 电偶极子.....	27
(2) 线性天线.....	28
(3) 矩形口径天线.....	28
(4) 圆形口径天线.....	29

1.2.3 天线阵.....	30
----------------	----

第二章 雷达成象原理

§ 2.1 雷达系统的基本概念.....	32
§ 2.2 真实孔径侧视雷达成象原理.....	32
2.2.1 距离分辨率.....	35
2.2.2 航迹向(方位向)分辨率.....	38
§ 2.3 合成孔径侧视雷达成象原理.....	39
2.3.1 合成天线原理.....	40
2.3.2 多普勒历史.....	42
2.3.3 相位历史贮存.....	43
2.3.4 图象胶片的产生.....	44
2.3.5 线性调频脉冲压缩原理.....	46
§ 2.4 关于分辨率的一点说明.....	47
§ 2.5 雷达方程和灰度方程.....	49
§ 2.6 最佳信息提取.....	53
2.6.1 雷达图象分析.....	53
2.6.2 雷达图象研究.....	55
2.6.3 雷达频谱研究.....	55
§ 2.7 雷达资料处理.....	56
2.7.1 雷达系统概况.....	56
2.7.2 光学处理.....	57
2.7.3 数字处理技术.....	58

第三章 雷达图象的特点

§ 3.1 雷达图象参数.....	60
3.1.1 雷达遥感工作参数.....	60
(1) 波长.....	60
(2) 极化.....	60
(3) 视向、俯角和照射带宽度.....	61
(4) 距离显示形式和比例尺.....	61

(5) 运载雷达飞行器的飞行参数	62
3.1.2 图象质量参数	62
(1) 图象分辨率	62
(2) 动态范围	64
(3) 几何精度	64
§ 3.2 雷达图象的几何特点	65
3.2.1 斜距与地距显示	65
3.2.2 雷达图象的透视收缩	68
3.2.3 雷达图象迭掩	72
3.2.4 雷达阴影	74
§ 3.3 雷达图象的信息特点	77
3.3.1 目标与电磁波相互作用	78
3.3.2 分布目标的回波特点——光斑	79
(1) 光斑的统计特性	80
(2) 衰落信号的平均	83
(3) 灰度分辨率	86
3.3.3 点目标回波的特点	89
3.3.4 分布目标和点目标混合回波的特点	90
3.3.5 硬目标回波的特点	91
3.3.6 雷达图象的色调	92
(1) 波长对雷达回波的影响	93
(2) 表面粗糙度对雷达回波的影响	95
(3) 入射角对雷达回波的影响	100
(4) 目标形状对回波功率的影响	104
(5) 组成目标的材料对雷达回波的影响	107
(6) 电磁波的极化对雷达回波的影响	108
(7) 次表面粗糙度和体散射对雷达回波的影响	110
3.3.7 雷达图象的纹理特征	112
3.3.8 雷达图象中的图型和形状	116
§ 3.4 雷达图象中可能出现的虚假目标和	

异常现象	117
3.4.1 图象光点旁瓣或条纹	117
3.4.2 图象浮散(发晕)或光环	118
3.4.3 距离向条带(旁瓣条带)	118
3.4.4 航迹向条带	119
3.4.5 航迹向模糊	120
3.4.6 目标消失(淹没)和自动增益控制效应	121
3.4.7 被反射的图象	122
3.4.8 雷达图象中的其他一些异常现象	124
(1) 降雨的影响	124
(2) 飞机运动的影响	125
(3) 图象比例尺的变化	125
§ 3.5 雷达图象的后处理	125
3.5.1 斜距图象与地距图象的转换	126
3.5.2 雷达图象的几何校正	126
3.5.3 雷达图象的辐射校正	126
第四章 地物目标散射特性	
§ 4.1 散射的一般原理	128
§ 4.2 散射特性参数	129
4.2.1 散射系数	129
4.2.2 散射系数特性	131
4.2.3 雷达图象与散射系数	132
§ 4.3 散射测量学	132
4.3.1 散射计系统	133
(1) 连续波系统散射计	133
(2) 脉冲系统散射计	133
(3) 多普勒连续波系统	135
(4) 调频连续波系统	135
(5) 举例	137
4.3.2 校准	139

(1) 内部校准	140
(2) 绝对校准	142
4.3.3 测量精度	146
(1) 衰落特性	147
(2) 等效独立样品	148
(3) 距离分辨率	149
(4) 取样数	150
(5) 样品的统计特性	150
§ 4.4 典型目标散射特性分析	157
4.4.1 光滑表面	157
4.4.2 粗糙表面	159
4.4.3 裸地	160
4.4.4 农作物	161
4.4.5 土壤	165
4.4.6 岩石	167
4.4.7 城镇	169
4.4.8 冰雪	169
4.4.9 海面	171
4.4.10 森林	173
4.4.11 地表特征对雷达回波的影响	174
§ 4.5 散射模型	176
4.5.1 散射理论综述	176
4.5.2 求解方法简介	177
4.5.3 典型实例	179
4.5.4 发展前景	181
第五章 雷达图象的目标检测	
§ 5.1 雷达图象解译	183
5.1.1 雷达几何测量	185
(1) 平面测量	185
(2) 从阴影和遮掩测量高度	187

(3) 雷达立体测量	188
(4) 雷达图象的拼图技术	193
5.1.2 各种目标的图象特征	195
(1) 背景目标	195
(2) 道路	196
(3) 铁路	198
(4) 输油管道和电力传输线	200
(5) 桥梁	202
(6) 房屋、村镇、城市	204
(7) 机场	205
(8) 堤坝、水闸、水库	205
(9) 运河、凸堤、防坡堤、码头	205
(10) 运动目标	206
(11) 植被	206
(12) 土壤	207
(13) 岩体	210
(14) 表面水	212
(15) 内陆水系	213
(16) 冰雪	214
5.1.3 军事和地球科学应用中雷达图象的解译	215
(1) 军事应用	215
(2) 地质应用	216
(3) 农业和天然植被研究	219
(4) 环境监测和土地利用中的应用	223
§ 5.2 定量检测	224
5.2.1 雷达图象定标要求	225
5.2.2 在有标准反射器作参考的 $R_s(\theta)$ 的测定	227
5.2.3 无标准反射器作参考时 σ^0 的测量	229
5.2.4 标准信号发生器的设计	230
5.2.5 标准反射器阵的设计	231

5.2.6 误差来源	234
5.2.7 航天飞机合成孔径雷达图象的外定标	234
(1) 天线方位向方向图	234
(2) 天线距离向方向图	235
(3) SIR-B 图象定标	236
§ 5.3 雷达图象模拟	237
5.3.1 点散射模型	238
(1) 分辨单元和本地入射角的计算	240
(2) 图象灰度的计算	241
(3) 光斑效应的模拟	242
(4) 分布目标的模拟	243
(5) 硬目标的模拟	244
(6) 雷达几何特征的模拟	244
(7) 地理信息数据库	246
(8) 目标特性数据库	246
(9) 模拟流程框图	246
第六章 雷达图象应用概况与前景	
§ 6.1 机载合成孔径侧视雷达图象的应用	248
§ 6.2 空间合成孔径侧视雷达图象的应用	250
§ 6.3 空间合成孔径雷达发展动向	253
 参考文献	255
雷达图象术语汇编	266

序

遥感技术是一门新兴的学科，微波遥感更是后起之秀。它的独特优点是受天气的影响远小于光学遥感，可以全天候工作。二十年来进展迅速，获得了多方面的应用。对促进科学技术的进步起了很大的作用。它已是遥感技术中不可忽视的一个组成部分。

微波遥感技术的探测方法有多种。各有不同的设备、探测结果及处理方法，以适应不同的需要。其中雷达成像是相当重要的一种。随着微波技术的发展，制造结构紧凑而分辨率高的雷达设备已成为可能，特别是合成孔径与微波技术的结合使得利用回波强度来分辨散射体的局部结构已成为可能，于是出现了雷达成象技术。它不仅能实现大范围的探测，而且可以获得细节结构的信息。但是微波波长为可见光波长的万倍以上，成象雷达不可能给出目视直觉的图象，所以对于雷达图象需要加以解译。即由雷达图象中提取关于地面实际结构的信息，这种解译当然要以各种地形、地物已知的散射特性为基础，但有了散射特性资料的积累，还需有专门的知识才能把实际结构的信息提取出来，这就是识别技术。因此成象雷达微波遥感是一门综合性技术。涉及到雷达、电磁波传播、信号处理、图象解译和模式识别等多种现代技术。随着计算机技术的发展，它的性能将不断地提高，对于军事侦察、资源勘探、国土调查、生产宏观管理和地球物理科学研究等方面将越来越成为有力的工具。它的发展前途十分广阔，对社会主义现代化建设是十分重要的一项技术。

由于雷达遥感毕竟兴起较晚，系统介绍这方面知识的书籍还不多，更何况对于微波遥感这类内容相当广泛的学科和技术，远非两、三本书所能概括，只能各有侧重。已出版的中、外文微波遥感的书中都没来得及详细介绍有关雷达图象应用的内容。我校校友赵立平高级工程师及舒士畏副研究员多年从事电波传播和微波遥感研究工作，近年花费了相当大的精力整理雷达图象在遥感中应用的材料，结合自己的工作实践写成“雷达图象及其应用”一书，对于普及和推广这种技术作了有价值的贡献。此书内容比较广泛，对雷达图象的特点和解译作了比较详细的介绍。书的写法也力求深入浅出，既能起到普及现代科技的作用，也可以用作手册，适合多方面读者的需要。从事微波遥感技术的工作人员和对此感兴趣的读者都值得来认真读一读这本书。

清华大学教授 杨弃疾

一九八八年一月十一日

前 言

一九八一年美国航天飞机 SIR-1 第一次进入太空，在 250KM 的高度利用成像雷达拍摄了地面的图象。这一划时代的科学事件标志着微波遥感技术开始进入实用阶段。从大气层的传输特性随频率的关系，通常的遥感信息都是选择可见光、红外和微波这几个窗口达到传递的目的，微波遥感的核心仍然是得到一张地物的微波波谱图，从中解译出目标的各种特征。如早期发展起来的光遥感一样，微波遥感同样经历了制定规划、建立遥感系统、地面实验研究、机载实验、实验卫星在不同轨道上收集数据、运行卫星的实测、航天飞机的应用等几个发展阶段。正象美国国家航天局局长詹姆斯——贝格斯在太空实验飞行结束时说的：“我们只不过刚刚开始认识到航天改善我们地球上生活的潜力，随着我们继续在轨道上进行科学实验，毫无疑问，今后它将源源不断地给我们带来好处。”

今天，微波遥感技术在迅速发展，借助卫星、航天飞机和各种飞行器作为平台，人们可以在任何天候条件下对人类赖以生存的地球上的各个角落获取雷达图象，并广泛地应用于地质、海洋、农业、植物、冰川冻土、土地规划、资源调查、气象、水利等各个学科领域。它将与可见光遥感、红外遥感相互配合、相互补充为造福人类服务。

概述

“雷达”的英文原名是“无线电探测和测距”(Radio Detection and Ranging)，无疑它是以无线电波为媒介的遥感工具。把雷达探测到的各种目标包括它们的二维、三维的距离

信息及其他特征信息显示于一幅图象上即为雷达图象。雷达图象亦即雷达遥感图象。

二次大战时军事部门已经广泛地使用雷达。B型扫描和平面位置显示器就是最初的雷达图象。利用这种图象已经可以为飞机驾驶员或轰炸员导航，把飞机引导到地球上某个已知的地点；或者用来发现海面上的船只。但是雷达在地球科学中的应用却是七十年代的事情。现在雷达的应用领域已遍及陆地、海洋和大气中的许多方面。1972年12月阿波罗—17登月飞船的飞行中，宇航员曾用雷达获取了月球资料。从绘制的月球图上清晰地显示出环形山的形状。目前，除了军事上侦察、导航、战地实况监视、预警等应用外，正在使用雷达来勘察地球上的广大地区，以帮助人们扩大视域、洞察世界，获得与人们活动直接有关的地球环境和资源信息。一九七八年的海洋卫星和一九八一年的航天飞机都获取了地球上大面积海洋和陆地的雷达图象。为了保障海运的安全，可用雷达来监测冰山的位置、运动和年龄；恶劣气候条件下用雷达监测洪水水情显示出微波的独特优点；雷达图象编制平原、低丘陵区的地图具有成图周期短、失真小的优越性；雷达图象突出了线性构造、断裂带的特征使其在地质研究及成矿预测中发挥作用，借助雷达图象对各种植被雷达截面的差异呈现出不同的色调与纹理结构来绘制农作物和森林的土地利用图……

从遥感的角度看，雷达是主动式的遥感系统，又是波长较长的遥感系统，它与被动式、波长短的光学遥感系统（红外、可见光、紫外）相辅相成、互为补充。由于雷达分辨力技术的重大突破（合成孔径技术）使得雷达遥感显示出全天候和全日候性能、对目标的穿透能力、波谱的宽范围及与距离和高度无关的高分辨力等特点，所以七十年代雷达遥感的发展超过了其它遥感，在军事、重要经济发展及社会改造方面的应用前景都

是无限广阔的。

雷达探测发展史

二次大战时，人们把雷达获取的关于目标距离、方位和信号强度的基本信息转换成平面位置显示器上的雷达图象。地表各基本单元的图象常常呈现为类似于它们各自地形特征的象征，不过雷达图象与实际地表间的对应关系是随着雷达参数、地表类型、探测高度和目标区的观测方向而变化的。

✓ 最易识别的地表特征是水陆界面，建筑物密集的城市在图象上呈现具有各种特征形状的一些亮信号的集合体，使用高分辨力的远程雷达最终也可能获得显示出许多细节的雷达图象。四通道公路在当时分辨力较高的雷达图象中呈现为一些暗线，但大多数公路因路面太窄无法分辨。不过由于道路两旁设有电话线、栽有树木、筑有围墙、堤岸、广告牌和小建筑物，因而会在平面位置显示器上产生一条对应于公路的亮线。同样的道理也常常可以用来在图象上识别铁路。对于山脉，由于雷达波束照射不到背阴山坡，在图象上呈现为黑暗色，向着雷达的山坡通常为强信号。这就形成了一幅与地形图十分类似的雷达图象。早在四十年代中美国空军就曾用雷达显示的图象作为通过阿尔卑斯山脉的导航手段。位于地势平坦的农村地区的一些孤山是很易识别的，常用作导航飞机的靶标。雷达用于气象研究已有多数，使用机载雷达可接收到50KM以外风暴的回波，因风暴的雷达图象与其他目标相比，边缘不清楚，因而易于识别。用于船舶导航的雷达比机载雷达的分辨力高，航行于港湾、河流和湖泊上的领航员可以牢靠地识别每一个码头和防坡堤。

大战期间，把一个目标从其他目标中分辨出来的主要方法是比较图象上各目标的形状、相对位置和回波强度。同时目标保留的时间也提供了另一种识别的依据。改善分辨力是提高雷

达探测可靠性的早期方法之一。大战结束后，人们对提高分辨力、研究各种目标的散射特性和图象特征以及各种较好的信号处理方法都作了大量的工作，取得了长足的进展。

条带状雷达图象代表了由于侧视雷达的出现而导致的信息显示方面的一项重要改进。当飞机飞行时，雷达发射一个与机身轴线成直角的微波波束；之后接收从目标反射的信号进行探测并记录。随着飞机的向前运动，被雷达波束所照射的地表形成一条连续的条带，回波信号用来产生被雷达波束照射的这一条带的图象。

同普通雷达一样，侧视雷达采用脉冲测距法来确定雷达至目标的距离。（利用由于飞机运动而产生的回波多普勒频率来提高航迹方向（或称方位向）的分辨力）。由于采用了这种多普勒波束锐化技术（亦称合成孔径技术），使得其分辨力比实际天线波束决定的分辨力要好得多，而且不受距离与高度的影响。侧视雷达除了在方位向的分辨力大大优于普通雷达外，其余功能与普通雷达无异。由于高分辨力及上述提到的雷达遥感的一系列优点，特别是它能在光学遥感不能工作的时间和气候条件下获取信息，因此在军事上的用途是不言而喻的。机载侧视雷达可以在对方上空获取数十公里甚至数百公里以外陆地上的精细图象；侧视雷达在地球科学方面的应用也展示出广阔前景，在没有测绘过的、情况不详、人烟稀少、云盖浓密的地区以及不能用普通航空测绘的地区使用侧视雷达特别有效。

在侧视雷达图象中，许多天然目标与人工特征目标都是可以识别的。飞机场、铁路线和站内围地、公路、工厂、住宅区的轮廓、农田、林区、河流等都十分明显。从空中获得的大而积复盖范围，对河流流域内的侵蚀研究极为可贵。侧视雷达成功应用的例子已经很多，例如：美国利用侧视雷达拍摄的海水图象对圣劳伦斯河和五大湖作冰季船只导航，可延长通航季节，