

The top half of the cover features a stylized radar display on a blue grid background. It includes concentric circles, a dashed line path, a white triangle, a white circle, and a white square. Two fighter jets are shown in silhouette, with dashed lines indicating their paths or detection ranges.

▶ 目标探测与识别技术丛书

# 雷达目标识别导论

Introduction to  
Radar Target Recognition

◎ [英] Peter Tait 著

◎ 罗军 曾浩 李庶中 等译



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

目标探测与识别技术丛书

# 雷达目标识别导论

**Introduction to Radar Target Recognition**

[英] Peter Tait 著

罗 军 曾 浩 李庶中 等译

电子工业出版社

**Publishing House of Electronics Industry**

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书在全面归纳雷达基本知识的基础上,系统阐述了雷达目标识别领域的关键技术。其中前6章为基础理论部分,包括:概述、雷达原理、高分辨率距离像、高横向距离分辨率技术、频率和时域分析以及其他高分辨率技术;第7~13章则分别阐述了雷达系统设计、雷达系统部件要求、天线设计、系统运用、雷达目标识别应用、目标识别过程以及雷达和其他来源数据融合等关键技术知识;最后一章对全文进行了总结。

本书可作为电子工程及相关专业的研究生参考教材,也可作为雷达专业工程技术人员和管理人员的参考用书。

Original English Language Edition published by The IEE, Copyright 2006, All Rights Reserved.

本书原版由IEE出版公司出版,并经其授权翻译出版,版权所有,侵权必究。  
未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权贸易合同登记号 图字:01-2011-7914

### 图书在版编目(CIP)数据

雷达目标识别导论/(英)泰特(Tait, P.)著,罗军,曾浩,李庶中译. —北京:电子工业出版社,2013.1  
(目标探测与识别技术丛书)

书名原文: Introduction to Radar Target Recognition  
ISBN 978-7-121-18973-9

I. ①雷… II. ①泰… ②罗… ③曾… ④李… III. ①雷达目标识别 IV. ①TN959.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第274716号

策划编辑: 窦 昊

责任编辑: 杨 博

印 刷: 北京东光印刷厂

装 订: 三河市鹏成印业有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 21.5 字数: 550千字

印 次: 2013年1月第1次印刷

定 价: 69.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

# 译者序

雷达是一种全天时全天候的传感器，可以安装在车辆、舰船、飞机和卫星等多种平台上，在军事和民用等方面都具有重要的应用价值。雷达目标识别技术开始于 50 年代末期，现已广泛应用于国民经济、空间技术和国防等领域。

目前无论是在军事还是民用领域，非合作目标远程识别需求日益迫切，雷达目标识别技术越来越受到世界各国的高度重视。近年来我国在雷达目标识别领域也开展了大量的研究工作，进入雷达目标识别技术领域的人越来越多。无论是雷达系统研制人员、目标识别研究人员，还是相关专业研究生，都希望有一本系统全面地介绍雷达目标识别技术的专著，可以系统学习该领域最新技术开发的进展，全面了解各种雷达目标识别技术的优劣。彼得·泰特的这本书完全可以满足读者的这种需求。

彼得·泰特是目标识别领域的国际知名专家、北约空中和地面目标识别工作组的会员以及 IEE 期刊的审稿专家，1986 年开始从事雷达目标识别研究，具有二十多年丰富的经验，本书是其杰出代表作。为了推动我国雷达目标识别技术的发展，我们组织翻译了本书。本书对各类用于识别地面、海上、空中目标以及弹道导弹的雷达技术进行了全面介绍，深入浅出地讲解了各类理论并介绍了最新研究成果，涵盖了应用雷达进行目标识别的所有内容，是目前该领域内最为完备的著述。本书是广大工程技术人员、可能涉及该领域的非专业人士学习雷达目标识别知识的重要参考资料。

全书包括正文共 14 章和附录。本书由罗军组织翻译并完成全书的统稿工作，参与翻译的有曾浩、李庶中、魏家祥、汪洋、李洁、张杨、鉴福升、汤俊、籍林峰、邹勇华、柯斌、苏彦华、翟孝霏、胡英辉，同时魏家祥、汤俊、籍林峰对全书进行了校对。

本书涉及知识面很宽，我们对于原著内容的理解难免会有偏差，翻译不当之处，敬请读者批评指正。

译者

# 序 言

目前，各国军队面临的最严重问题之一，是缺乏对战场目标快速而可靠的识别能力。敌我识别系统（IFF）等合作识别技术的发展，可能会大幅提高正确识别友方目标的概率，但这类系统并不能有效识别非盟国或敌方目标。这种情况必然会降低作战任务的效率，更糟糕的是，很容易将因种种原因未能正确应答的友方目标判定为敌方目标，而导致自相残杀误击己方部队的悲剧性事件，而公众对这类误击造成的人员损失越来越难以接受。因此，军方迫切需要增强在远距离上快速且准确地识别目标（不管是我方还是敌方）的能力。

在民用领域，对非合作目标识别能力的需求同样在增强，特别是在防范恐怖主义威胁的斗争中，被劫持飞机或船只配备的应答式系统可能被破坏而无法发挥作用。

尽管没有单一的解决方案能满足上述需求，但雷达却是实现目标识别的主要技术手段之一。自第二次世界大战以来，雷达已广泛应用于目标探测与跟踪。近几十年来，由于微波组件以及计算机处理能力的快速发展，将雷达用于目标识别的新用途也逐渐从无到有发展起来。事实上，现代雷达正日益成为一种非常重要的远程获取目标识别特征信号的重要技术手段，并能全天候全天时地工作。

基于上述原因，彼得·泰特（Peter Tait）的这本杰作，非常及时且极具价值。

该书涵盖了应用雷达进行目标识别的所有内容。通过对基本雷达技术（包括高分辨率和信号调制技术）的介绍，全书对雷达系统、运行机制及其目标识别过程进行了深入探讨。此外，书中也探讨了将雷达目标识别结果与其他来源的信息进行融合等重要论题。

雷达目标识别的应用领域极其广泛。在军事领域，雷达目标识别技术可用于空中、海上和陆基系统，也包括用于导弹防御；在民用领域，则可用于地雷探测和防范恐怖活动的威胁。本书在涉及相关主题时，全面而审慎地揭示了各种雷达目标识别技术的优势和缺陷，是目前该领域内最为完备的著述。

彼得·泰特运用他在该领域内长期且丰富的经验，深入浅出地讲解了各类理论并介绍最新研究成果，综合平衡了本书的教学及科普用途，使该书易于为不同层次的读者所接受，相关工程技术人员或非工程背景的读者都可从中受益。

泰特对本书精湛品质的不懈追求，是确保读者加深对雷达目标识别技术认识和理解的重要保证，而这也正是泰特先生写作本书的重要目的。这无疑也会激励读者对雷达目标识别技术做更深入的研究，从而研制出更为优良和高效的雷达系统，最终构建一个更为安全的世界。

瑞尼范德海登博士  
北约咨询、指挥和控制局

## 缩略词简表

ADC	analogue to digital converter	模/数转换器
ATR	automatic target recognition	自动目标识别
AWACS	airborne warning and control system	机载预警和控制系统
BMEWS	ballistic missile early warning system	弹道导弹早期预警系统
BVRAAM	beyond visual range air-to-air missile	超视距空空导弹
CFAR	constant false alarm rate	恒虚警率
CW	continuous wave	连续波
DAC	digital to analogue converter	数/模转换器
dB	decibel	分贝
dBc	power level(in dB) below carrier frequency	以分贝表示的相对于载波功率的信号功率电平分贝
DSP	digital signal processor	数字信号处理器
FDTD	finite difference time domain	时域有限差分
FM	frequency modulation	调频
FPGA	field programmable gate arrays	现场可编程门阵列
GHz	giga hertz	吉赫
GMTI	ground moving target indication	地面动目标指示
HERM	helicopter engine rotor modulation	直升机发动机旋翼调制
HF	high frequency	高频
HRRP	high-resolution range profile	高分辨率距离像
HPD	high-power discriminator	高功率辨识器
I	in-phase	同相/同相的
IF	intermediate frequency	中频
IFF	identification of friend or foe	敌我识别
INS	inertial navigation system	惯性导航系统
ipp	inter pulse period	脉冲间周期
ISAR	inverse synthetic aperture radar	逆合成孔径雷达
JEM	jet engine modulation	喷气式发动机调制
LFM	linear frequency modulation	线性调频
LNA	low noise amplifier	低噪声放大器
LO	local oscillator	本振
MHz	maga hertz	兆赫
MFR	multi-function radar	多功能雷达

NCTR	non-cooperative target recognition	非合作目标识别
NF	noise figure	噪声系数
PC	personal computer	个人计算机
prf	pulse repetition frequency	脉冲重复频率
Q	quadrature	正交
rcs	radar cross-section	雷达截面积
RF	radio frequency	无线电频率
rmp	revolutions per minute	每分转速
SAR	synthetic aperture radar	合成孔径雷达
SSR	secondary surveillance radar	二次监视雷达
STALO	stable local oscillator	稳定本机振荡器
TDU	time delay unit	延时单元
TRM	transmit/receive module	发射/接收模块
TWTA	travelling wave tube amplifier	行波管放大器
VCO	voltage controlled oscillator	压控振荡器

# 前 言

雷达系统正成为日益精密、复杂的传感器，其能力也由最初仅能探测并跟踪目标，进化到目前能够提供目标图像并具备识别能力。现在，各种正在研发的雷达新技术仍未在实验室及专业技术人员之外广泛传播，本书正是为未来有可能涉及该领域的非专业人士和感兴趣的普通读者，提供一个了解该领域最新技术开发进展的窗口。

为使毫无基础的读者快速对雷达有基本的了解，本书对雷达的基本知识做了简要介绍。书中对各类用于识别地面、海上、空中目标以及弹道导弹的雷达技术进行了全面介绍，其中包括高分辨率距离像、合成孔径雷达、逆合成孔径雷达、喷气式发动机调制、直升机旋翼反射及调制等技术。本书还探讨了对雷达目标识别功能研发的军事和民用具体需求，介绍了目标识别相关的雷达系统和组件设计以及将目标识别功能与传统雷达模式集成整合的知识。本书对采用碟形天线和相控阵天线的雷达系统也进行了探讨。此外，组建目标信号识别特征数据库技术，运用雷达探测数据以及其他可用信息对目标进行分类识别的方法，在书中也有所涉及。

对于所阐述的目标识别技术，本书首先介绍了其基本原理，然后通过简单的实例进行简要说明和解释，旨在使读者更好地理解相关技术的本质，而无须理解其复杂的数学原理。对那些希望更深入掌握雷达目标识别知识和相关主题的患者而言，本书也开列了进一步学习的参考书目和资料，这些参考书深入地探讨了本书所涉及的一些主题，其他内容和主题可从专业技术论文中找到。



# 致 谢

在此，非常感谢伦敦大学学院（UCL）的休·格里菲思教授，以及我在切姆斯福德 BAE 系统集成系统技术分公司（Insyte）的同事考斯和弗雷姆利，他们为本书的写作提供了宝贵的支持。还要感谢英国国防部、BAE 系统集成系统技术分公司（Insyte）、欧洲导弹系统集团（MBDA）、英国泰利斯防务系统公司、奎奈蒂克（QinetiQ）公司、美国能源部桑迪亚国家实验室、荷兰应用科学研究院（TNO）物理和电子实验室、空中客车公司（Airbus）和罗尔斯·罗伊斯公司（Rolls-Royce）允许我在文章中使用其版权材料。

彼得·泰特  
切姆斯福德 英国  
2005

# 目 录

第 1 章 概述	1
1.1 雷达背景知识	1
1.2 雷达的典型功能	1
1.3 目标识别的需要	3
1.3.1 目标识别定义	3
1.3.2 目前和未来的军事需求	3
1.3.3 因误击引起的悲剧	5
1.3.4 其他军用和民用用途	6
1.4 非合作目标识别	7
1.4.1 敌我识别系统 (IFF)	7
1.4.2 非合作目标识别雷达	8
1.5 雷达目标识别应用	9
1.5.1 空中军用平台	9
1.5.2 海军舰载平台	10
1.5.3 陆军军用平台	10
1.5.4 民用领域应用	11
1.5.5 弹道导弹防御	12
1.6 技术挑战	12
1.7 本书内容摘要	13
参考文献	14
第 2 章 雷达原理	17
2.1 雷达概述	17
2.1.1 引言	17
2.1.2 基本概念	17
2.1.3 雷达波	18
2.1.4 雷达波长	21
2.1.5 探测距离	22
2.1.6 雷达的功能组成	22
2.1.7 波形产生器	23
2.1.8 上变频	28
2.1.9 发射机	29
2.1.10 天线	30

2.1.11	多普勒效应	38
2.1.12	热噪声	41
2.1.13	相位噪声	44
2.1.14	接收机前端	45
2.1.15	下变频	46
2.1.16	接收机动态范围	48
2.1.17	模/数转换器	49
2.1.18	信号处理	51
2.1.19	目标跟踪	62
2.1.20	脉冲自相关函数和匹配滤波	64
2.1.21	雷达目标截面积	66
2.1.22	雷达距离方程	67
2.1.23	相控阵雷达	69
2.2	雷达测量	72
2.2.1	引言	72
2.2.2	距离测量	73
2.2.3	频率测量	74
2.2.4	横向分辨率	75
2.2.5	雷达测量小结	76
2.3	目标识别概述	76
2.3.1	引言	76
2.3.2	目标识别过程	76
2.3.3	电磁散射	78
2.3.4	简单物体的雷达截面积	80
2.4	小结	81
	参考文献	82
<b>第3章</b>	<b>高分辨率距离像</b>	<b>87</b>
3.1	概述	87
3.1.1	距离像信号特征	87
3.1.2	视角效应	87
3.2	目标散射体	88
3.2.1	个体散射体	88
3.2.2	散射体干涉效应	89
3.2.3	距离像的复杂性	90
3.2.4	距离像与光学图像比较	90
3.3	距离像处理	90
3.3.1	引言	90
3.3.2	目标信号的测量	91
3.3.3	目标特征信号数据库	91

3.3.4	特征信号调整和识别算法 .....	92
3.4	高距离分辨率雷达脉冲 .....	93
3.5	频率步进雷达 .....	93
3.5.1	合成宽带脉冲 .....	93
3.5.2	测量目标信号特征 .....	95
3.5.3	频率步进信号特征 .....	97
3.5.4	杂波下工作 .....	100
3.5.5	运动补偿 .....	101
3.5.6	支持频率步进应用的技术 .....	101
3.5.7	频率步进技术小结 .....	101
3.6	宽带脉冲压缩 .....	102
3.6.1	概述 .....	102
3.6.2	线性调频信号波形 .....	105
3.6.3	非线性频率调制 .....	108
3.6.4	相位编码波形 .....	108
3.6.5	类噪声波形 .....	109
3.7	伸缩处理 .....	110
3.7.1	伸缩处理技术 .....	110
3.7.2	作用距离范围 .....	111
3.7.3	距离多普勒耦合 .....	112
3.7.4	数字化器带宽 .....	112
3.8	带宽分段 .....	114
3.8.1	基本概念 .....	114
3.8.2	啁啾信号分段 .....	114
3.8.3	分段波形的组合 .....	116
3.8.4	带宽分段技术 .....	116
3.8.5	带宽分段小结 .....	116
3.9	高距离分辨率波形小结 .....	116
	参考文献 .....	117
<b>第 4 章</b>	<b>高横向距离分辨率技术 .....</b>	<b>119</b>
4.1	概述 .....	119
4.2	多普勒波束锐化 .....	119
4.2.1	实波束图 .....	119
4.2.2	多普勒波束锐化概念 .....	120
4.3	合成孔径雷达 .....	122
4.3.1	概念 .....	122
4.3.2	SAR 多普勒频移 .....	123
4.3.3	SAR 横向距离分辨率 .....	124
4.3.4	实波束照射 .....	126

4.3.5	目标多普勒频率和横向距离分辨率	127
4.3.6	SAR 距离单元和目标图像	128
4.3.7	SAR 运动补偿	129
4.3.8	SAR 信号处理操作	130
4.3.9	SAR 数据	134
4.4	SAR 雷达聚束模式	136
4.5	逆合成孔径雷达	137
4.5.1	逆合成孔径雷达简介	137
4.5.2	ISAR 横向距离分辨率	137
4.5.3	SAR 和 ISAR 之间的关系	139
4.5.4	获取 ISAR 图像	140
4.6	横向距离分辨率技术小结	145
	参考文献	146
<b>第 5 章</b>	<b>频域和时域分析</b>	<b>149</b>
5.1	概述	149
5.2	直升机识别	150
5.2.1	直升机识别简介	150
5.2.2	主旋翼桨叶	151
5.2.3	尾旋翼桨叶	159
5.2.4	主旋翼频谱	161
5.2.5	直升机识别小结	163
5.3	喷气引擎识别	164
5.3.1	喷气引擎识别简介	164
5.3.2	喷气引擎调制频谱	165
5.3.3	根据 JEM 频谱识别引擎	172
5.3.4	JEM 小结	177
5.4	直升机和喷气引擎识别技术小结	177
	参考文献	178
<b>第 6 章</b>	<b>其他高分辨率技术</b>	<b>179</b>
6.1	概述	179
6.2	超分辨率技术	180
6.2.1	传统分辨率技术	180
6.2.2	近距离目标	181
6.2.3	超分辨率技术的应用	182
6.2.4	关于超分辨率的讨论	185
6.3	单脉冲技术	185
6.3.1	概述	185
6.3.2	单脉冲雷达技术的背景	185
6.3.3	单脉冲技术在目标识别中的应用	188

6.3.4	单脉冲技术在目标识别中的应用探讨	190
6.4	极化现象	191
6.4.1	概述	191
6.4.2	极化矩阵	191
6.4.3	目标的极化特性	193
6.4.4	极化测量对雷达设计的要求	196
6.4.5	极化在目标识别中的应用	197
6.5	冲击雷达	197
6.5.1	概述	197
6.5.2	冲击雷达脉冲的特点	198
6.5.3	冲击雷达系统的设计	198
6.5.4	冲击雷达的应用	199
6.5.5	冲击雷达识别目标时遇到的挑战	200
6.6	超宽带/超高分辨率雷达	200
6.6.1	概述	200
6.6.2	相干超高距离分辨率	201
6.6.3	结论	201
6.7	组合高距离和高频率分辨率技术	201
6.7.1	概述	201
6.7.2	波形	202
6.7.3	二维距离-频率特征	202
6.7.4	结论	203
6.8	其他高分辨率技术小结	204
	参考文献	204
<b>第7章</b>	<b>系统设计</b>	<b>207</b>
7.1	概述	207
7.2	灵敏度	207
7.2.1	用于目标探测的雷达距离方程	207
7.2.2	高分辨率雷达距离方程	208
7.2.3	目标识别模式的最大应用距离	210
7.3	动态范围	211
7.3.1	动态范围简介	211
7.3.2	高分辨率模式应用	211
7.4	校准和系统失真补偿	213
7.4.1	校准和系统失真补偿简介	213
7.4.2	系统失真效应	213
7.4.3	通过雷达测量宽带信号的失真	215
7.4.4	信号失真补偿	219
7.5	高分辨率模式的雷达系统设计问题	220

7.5.1	高分辨率模式的雷达系统设计简介	220
7.5.2	目标识别功能在雷达系统上的应用	220
7.6	系统设计小结	222
	参考文献	223
<b>第 8 章</b>	<b>雷达系统部件要求</b>	<b>224</b>
8.1	概述	224
8.2	波形的产生	224
8.2.1	概述	224
8.2.2	高距离分辨率	224
8.2.3	JEM 调制波形	226
8.3	上变频	227
8.4	发射机	227
8.5	接收机	227
8.6	模/数转换器	228
8.6.1	高距离分辨率	228
8.6.2	喷气式发动机调制	228
8.7	信号和数据处理器	229
8.8	雷达部件小结	229
	参考文献	229
<b>第 9 章</b>	<b>天线设计</b>	<b>231</b>
9.1	概述	231
9.2	抛物面天线	231
9.3	相控阵天线	232
9.3.1	简介	232
9.3.2	波束偏斜	232
9.3.3	时间延迟效应	233
9.3.4	步进频率技术	234
9.3.5	真时间延迟	235
9.4	天线设计小结	237
	参考文献	237
<b>第 10 章</b>	<b>系统运用</b>	<b>239</b>
10.1	概述	239
10.2	跟踪雷达	239
10.2.1	跟踪雷达简介	239
10.2.2	跟踪雷达用于目标识别	240
10.3	无源相控阵雷达	242
10.3.1	无源相控阵雷达简介	242
10.3.2	无源相控阵雷达用于目标识别	242

10.4	有源相控阵雷达	244
10.4.1	有源相控阵雷达简介	244
10.4.2	有源相控阵雷达用于目标识别	244
10.5	目标识别雷达系统	245
10.6	系统运用小结	246
	参考文献	246
<b>第 11 章</b>	<b>雷达目标识别应用</b>	<b>247</b>
11.1	概述	247
11.2	飞机目标识别	247
11.2.1	概述	247
11.2.2	喷气引擎固定翼飞机	247
11.2.3	螺旋桨固定翼飞机	248
11.2.4	直升机	248
11.3	舰船	249
11.3.1	地(海)基平台	249
11.3.2	机载平台	249
11.4	地面车辆和人员	249
11.4.1	陆基平台	249
11.4.2	机载平台	250
11.5	巡航导弹	250
11.5.1	巡航导弹简介	250
11.5.2	巡航导弹识别技术	251
11.6	弹道导弹	251
11.6.1	弹道导弹识别简介	251
11.6.2	弹道导弹识别技术	252
11.7	目标识别应用小结	252
	参考文献	254
<b>第 12 章</b>	<b>目标识别过程</b>	<b>255</b>
12.1	概述	255
12.2	雷达测量	255
12.2.1	概述	255
12.2.2	测量问题	255
12.2.3	测量质量	256
12.2.4	相关时间	256
12.3	目标特征信号数据库	257
12.3.1	目标特征信号数据库简介	257
12.3.2	距离像	257
12.3.3	二维目标特征信号	261
12.3.4	直升机	261



12.3.5	喷气引擎 .....	262
12.4	数据库的构建 .....	262
12.4.1	概述 .....	262
12.4.2	数据库构建技术 .....	262
12.4.3	未知目标 .....	263
12.4.4	数据库内容数量 .....	265
12.5	目标特征信号模型 .....	265
12.5.1	目标特征信号模型简介 .....	265
12.5.2	几何和物理光学模拟 .....	266
12.5.3	有限差分域法 .....	267
12.5.4	矩量法 .....	268
12.5.5	目标特征模拟小结 .....	268
12.6	识别算法 .....	268
12.6.1	识别算法简介 .....	268
12.6.2	目标识别混淆矩阵 .....	269
12.6.3	采用相关技术的模板匹配 .....	270
12.6.4	特征提取 .....	271
12.6.5	识别算法小结 .....	278
12.7	数据处理功能 .....	278
12.7.1	概述 .....	278
12.7.2	目标特征数据提取 .....	279
12.7.3	特征信号数据调整 .....	279
12.7.4	特征提取 .....	280
12.7.5	识别算法 .....	280
12.7.6	数据处理器 .....	280
12.8	目标识别过程小结 .....	280
	参考文献 .....	281
<b>第 13 章</b>	<b>雷达及其他来源数据融合 .....</b>	<b>285</b>
13.1	数据融合简介 .....	285
13.2	其他雷达数据 .....	285
13.2.1	概述 .....	285
13.2.2	跟踪数据 .....	286
13.2.3	高度、速度和机动 .....	286
13.2.4	雷达截面积 .....	286
13.2.5	雷达数据小结 .....	286
13.3	其他传感器数据 .....	287
13.3.1	电子监视接收机 .....	287
13.3.2	光学和红外探测系统 .....	289
13.3.3	声学传感器 .....	289