国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

"十二五"国家重点出版规划项目

雷达与探测前沿技术丛书

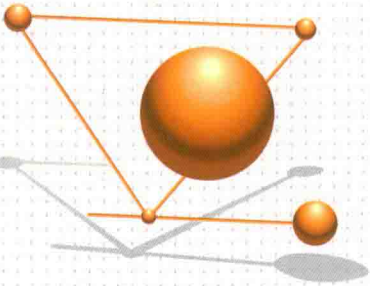
王小谟 左群声 主编

多波束凝视雷达

Multi-beam Staring Radar

王盛利 著

- 完善雷达探测理论，促进雷达技术进步
- 追溯数学演绎过程，强调结论物理解释
- 构建凝视探测概念，诠释能量利用含义
- 对抗复杂电磁环境，应对低可观测目标



國防工業出版社
National Defense Industry Press

国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

"十二五"国家重点出版规划项目

雷达与探测前沿技术丛书

多波束凝视雷达

Multi-beam Staring Radar

王盛利 著

国防工业出版社

·北京·

内容简介

多波束凝视雷达为一类改进雷达功率口径积和有限时间资源利用率而提高雷达探测性能的雷达探测系统。全书共10章，包括雷达探测目标原理、雷达信号积累处理的基本方法、多波束凝视原理、多波束凝视天线相位中心、多波束凝视雷达、短基线分布式多子阵多波束凝视雷达、长基线分布式多站凝视雷达、多波束凝视SAR、多波束凝视外辐射源雷达。书中给出了作者在雷达探测理论、方法认识和雷达研制方面的经验总结，希望能为下一代雷达的研究和研制提供一点理论支撑。

读者对象：学习、研究雷达技术的本科生、硕士研究生、博士研究生以及从事雷达研究和制造的科研人员。

图书在版编目(CIP)数据

多波束凝视雷达 / 王盛利著. —北京：国防工业出版社，2017.12

(雷达与探测前沿技术丛书)

ISBN 978-7-118-11458-4

Ⅰ. ①多… Ⅱ. ①王… Ⅲ. ①多波束雷达-研究 Ⅳ. ①TN958.8

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第008270号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号　邮政编码100048)

天津嘉恒印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 710×1000　1/16　印张 24½　字数 451 千字

2017年12月第1版第1次印刷　印数 1—3000 册　定价 108.00 元

安徽大学图书馆 藏书 www.lib.ahu.edu.cn

(本书如有印装错误，我社负责调换)

国防书店：(010)88540777　　发行邮购：(010)88540776

发行传真：(010)88540755　　发行业务：(010)88540717

“雷达与探测前沿技术丛书”
编审委员会

主　　任　左群声

常务副主任　王小谟

副 主 任　吴曼青　陆　军　包养浩　赵伯桥　许西安

顾　　问　贲　德　郝　跃　何　友　黄培康　毛二可
（按姓氏拼音排序）　王　越　吴一戎　张光义　张履谦

委　　员　安　红　曹　晨　陈新亮　代大海　丁建江
（按姓氏拼音排序）　高梅国　高昭昭　葛建军　何子述　洪　一
胡卫东　江　涛　焦李成　金　林　李　明
李清亮　李相如　廖桂生　林幼权　刘　华
刘宏伟　刘泉华　柳晓明　龙　腾　龙伟军
鲁耀兵　马　林　马林潘　马鹏阁　皮亦鸣
史　林　孙　俊　万　群　王　伟　王京涛
王盛利　王文钦　王晓光　卫　军　位寅生
吴洪江　吴晓芳　邢海鹰　徐忠新　许　稼
许荣庆　许小剑　杨建宇　尹志盈　郁　涛
张晓玲　张玉石　张召悦　张中升　赵正平
郑　恒　周成义　周树道　周智敏　朱秀芹

编辑委员会

主　　编　王小谟　左群声

副 主 编　刘　劲　王京涛　王晓光

委　　员　崔　云　冯　晨　牛旭东　田秀岩　熊思华
（按姓氏拼音排序）　张冬晔

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

总　序

雷达在第二次世界大战中初露头角。战后，美国麻省理工学院辐射实验室集合各方面的专家，总结战争期间的经验，于1950年前后出版了一套雷达丛书，共28个分册，对雷达技术做了全面总结，几乎成为当时雷达设计者的必备读物。我国的雷达研制也从那时开始，经过几十年的发展，到21世纪初，我国雷达技术在很多方面已进入国际先进行列。为总结这一时期的经验，中国电子科技集团公司曾经组织老一代专家撰著了“雷达技术丛书”，全面总结他们的工作经验，给雷达领域的工程技术人员留下了宝贵的知识财富。

电子技术的迅猛发展，促使雷达在内涵、技术和形态上快速更新，应用不断扩展。为了探索雷达领域前沿技术，我们又组织编写了本套“雷达与探测前沿技术丛书”。与以往雷达相关丛书显著不同的是，本套丛书并不完全是作者成熟的经验总结，大部分是专家根据国内外技术发展，对雷达前沿技术的探索性研究。内容主要依托雷达与探测一线专业技术人员的最新研究成果、发明专利、学术论文等，对现代雷达与探测技术的国内外进展、相关理论、工程应用等进行了广泛深入研究和总结，展示近十年来我国在雷达前沿技术方面的研制成果。本套丛书的出版力求能促进从事雷达与探测相关领域研究的科研人员及相关产品的使用人员更好地进行学术探索和创新实践。

本套丛书保持了每一个分册的相对独立性和完整性，重点是对前沿技术的介绍，读者可选择感兴趣的分册阅读。丛书共41个分册，内容包括频率扩展、协同探测、新技术体制、合成孔径雷达、新雷达应用、目标与环境、数字技术、微电子技术八个方面。

（一）雷达频率迅速扩展是近年来表现出的明显趋势，新频段的开发、带宽的剧增使雷达的应用更加广泛。本套丛书遴选的频率扩展内容的著作共4个分册：

（1）《毫米波辐射无源探测技术》分册中没有讨论传统的毫米波雷达技术，而是着重介绍毫米波热辐射效应的无源成像技术。该书特别采用了平方千米阵的技术概念，这一概念在用干涉式阵列基线的测量结果来获得等效大

口径阵列效果的孔径综合技术方面具有重要的意义。

(2)《太赫兹雷达》分册是一本较全面介绍太赫兹雷达的著作,主要包括太赫兹雷达系统的基本组成和技术特点、太赫兹雷达目标检测以及微动目标检测技术,同时也讨论了太赫兹雷达成像处理。

(3)《机载远程红外预警雷达系统》分册考虑到红外成像和告警是红外探测的传统应用,但是能否作为全空域远距离的搜索监视雷达,尚有诸多争议。该书主要讨论用监视雷达的概念如何解决红外极窄波束、全空域、远距离和数据率的矛盾,并介绍组成红外监视雷达的工程问题。

(4)《多脉冲激光雷达》分册从实际工程应用角度出发,较详细地阐述了多脉冲激光测距及单光子测距两种体制下的系统组成、工作原理、测距方程、激光目标信号模型、回波信号处理技术及目标探测算法等关键技术,通过对两种远程激光目标探测体制的探讨,力争让读者对基于脉冲测距的激光雷达探测有直观的认识和理解。

(二) 传输带宽的急剧提高,赋予雷达协同探测新的使命。协同探测会导致雷达形态和应用发生巨大的变化,是当前雷达研究的热点。本套丛书遴选出协同探测内容的著作共10个分册:

(1)《雷达组网技术》分册从雷达组网使用的效能出发,重点讨论点迹融合、资源管控、预案设计、闭环控制、参数调整、建模仿真、试验评估等雷达组网新技术的工程化,是把多传感器统一为系统的开始。

(2)《多传感器分布式信号检测理论与方法》分册主要介绍检测级、位置级(点迹和航迹)、属性级、态势评估与威胁估计五个层次中的检测级融合技术,是雷达组网的基础。该书主要给出各类分布式信号检测的最优化理论和算法,介绍考虑到网络和通信质量时的联合分布式信号检测准则和方法,并研究多输入多输出雷达目标检测的若干优化问题。

(3)《分布孔径雷达》分册所描述的雷达实现了多个单元孔径的射频相参合成,获得等效于大孔径天线雷达的探测性能。该书在概述分布孔径雷达基本原理的基础上,分别从系统设计、波形设计与处理、合成参数估计与控制、稀疏孔径布阵与测角、时频相同步等方面做了较为系统和全面的论述。

(4)《MIMO 雷达》分册所介绍的雷达相对于相控阵雷达,可以同时获得波形分集和空域分集,有更加灵活的信号形式,单元间距不受 $\lambda/2$ 的限制,间距拉开后,可组成各类分布式雷达。该书比较系统地描述多输入多输出(MIMO)雷达。详细分析了波形设计、积累补偿、目标检测、参数估计等关键

技术。

(5)《MIMO 雷达参数估计技术》分册更加侧重讨论各类 MIMO 雷达的算法。从 MIMO 雷达的基本知识出发,介绍均匀线阵,非圆信号,快速估计,相干目标,分布式目标,基于高阶累计量的、基于张量的、基于阵列误差的、特殊阵列结构的 MIMO 雷达目标参数估计的算法。

(6)《机载分布式相参射频探测系统》分册介绍的是 MIMO 技术的一种工程应用。该书针对分布式孔径采用正交信号接收相参的体制,分析和描述系统处理架构及性能、运动目标回波信号建模技术,并更加深入地分析和描述实现分布式相参雷达杂波抑制、能量积累、布阵等关键技术的解决方法。

(7)《机会阵雷达》分册介绍的是分布式雷达体制在移动平台上的典型应用。机会阵雷达强调根据平台的外形,天线单元共形随遇而布。该书详尽地描述系统设计、天线波束形成方法和算法、传输同步与单元定位等关键技术,分析了美国海军提出的用于弹道导弹防御和反隐身的机会阵雷达的工程应用问题。

(8)《无源探测定位技术》分册探讨的技术是基于现代雷达对抗的需求应运而生,并在实战应用需求越来越大的背景下快速拓展。随着知识层面上认知能力的提升以及技术层面上带宽和传输能力的增加,无源侦察已从单一的测向技术逐步转向多维定位。该书通过充分利用时间、空间、频移、相移等多维度信息,寻求无源定位的解,对雷达向无源发展有着重要的参考价值。

(9)《多波束凝视雷达》分册介绍的是通过多波束技术提高雷达发射信号能量利用效率以及在空、时、频域中减小处理损失,提高雷达探测性能;同时,运用相位中心凝视方法改进杂波中目标检测概率。分册还涉及短基线雷达如何利用多阵面提高发射信号能量利用效率的方法;针对长基线,阐述了多站雷达发射信号可形成凝视探测网格,提高雷达发射信号能量的使用效率;而合成孔径雷达(SAR)系统应用多波束凝视可降低发射功率,缓解宽幅成像与高分辨之间的矛盾。

(10)《外辐射源雷达》分册重点讨论以电视和广播信号为辐射源的无源雷达。详细描述调频广播模拟电视和各种数字电视的信号,减弱直达波的对消和滤波的技术;同时介绍了利用 GPS(全球定位系统)卫星信号和 GSM/CDMA(两种手机制式)移动电话作为辐射源的探测方法。各种外辐射源雷达,要得到定位参数和形成所需的空域,必须多站协同。

（三）以新技术为牵引，产生出新的雷达系统概念，这对雷达的发展具有里程碑的意义。本套丛书遴选了涉及新技术体制雷达内容的6个分册：

（1）《宽带雷达》分册介绍的雷达打破了经典雷达5MHz带宽的极限，同时雷达分辨力的提高带来了高识别率和低杂波的优点。该书详尽地讨论宽带信号的设计、产生和检测方法。特别是对极窄脉冲检测进行有益的探索，为雷达的进一步发展提供了良好的开端。

（2）《数字阵列雷达》分册介绍的雷达是用数字处理的方法来控制空间波束，并能形成同时多波束，比用移相器灵活多变，已得到了广泛应用。该书全面系统地描述数字阵列雷达的系统和各分系统的组成。对总体设计、波束校准和补偿、收/发模块、信号处理等关键技术都进行了详细描述，是一本工程性较强的著作。

（3）《雷达数字波束形成技术》分册更加深入地描述数字阵列雷达中的波束形成技术，给出数字波束形成的理论基础、方法和实现技术。对灵巧干扰抑制、非均匀杂波抑制、波束保形等进行了深入的讨论，是一本理论性较强的专著。

（4）《电磁矢量传感器阵列信号处理》分册讨论在同一空间位置具有三个磁场和三个电场分量的电磁矢量传感器，比传统只用一个分量的标量阵列处理能获得更多的信息，六分量可完备地表征电磁波的极化特性。该书从几何代数、张量等数学基础到阵列分析、综合、参数估计、波束形成、布阵和校正等问题进行详细讨论，为进一步应用奠定了基础。

（5）《认知雷达导论》分册介绍的雷达可根据环境、目标和任务的感知，选择最优化的参数和处理方法。它使得雷达数据处理及反馈从粗犷到精细，彰显了新体制雷达的智能化。

（6）《量子雷达》分册的作者团队搜集了大量的国外资料，经探索和研究，介绍从基本理论到传输、散射、检测、发射、接收的完整内容。量子雷达探测具有极高的灵敏度，更高的信息维度，在反隐身和抗干扰方面优势明显。经典和非经典的量子雷达，很可能走在各种量子技术应用的前列。

（四） 合成孔径雷达（SAR）技术发展较快，已有大量的著作。本套丛书遴选了有一定特点和前景的5个分册：

（1）《数字阵列合成孔径雷达》分册系统阐述数字阵列技术在SAR中的应用，由于数字阵列天线具有灵活性并能在空间产生同时多波束，雷达采集的同一组回波数据，可处理出不同模式的成像结果，比常规SAR具备更多的新能力。该书着重研究基于数字阵列SAR的高分辨力宽测绘带SAR成像、

极化层析SAR三维成像和前视SAR成像技术三种新能力。

(2)《双基合成孔径雷达》分册介绍的雷达配置灵活,具有隐蔽性好、抗干扰能力强、能够实现前视成像等优点,是SAR技术的热点之一。该书较为系统地描述了双基SAR理论方法、回波模型、成像算法、运动补偿、同步技术、试验验证等诸多方面,形成了实现技术和试验验证的研究成果。

(3)《三维合成孔径雷达》分册描述曲线合成孔径雷达、层析合成孔径雷达和线阵合成孔径雷达等三维成像技术。重点讨论各种三维成像处理算法,包括距离多普勒、变尺度、后向投影成像、线阵成像、自聚焦成像等算法。最后介绍三维MIMO-SAR系统。

(4)《雷达图像解译技术》分册介绍的技术是指从大量的SAR图像中提取与挖掘有用的目标信息,实现图像的自动解译。该书描述高分辨SAR和极化SAR的成像机理及相应的相干斑抑制、噪声抑制、地物分割与分类等技术,并介绍舰船、飞机等目标的SAR图像检测方法。

(5)《极化合成孔径雷达图像解译技术》分册对极化合成孔径雷达图像统计建模和参数估计方法及其在目标检测中的应用进行了深入研究。该书研究内容为统计建模和参数估计及其国防科技应用三大部分。

(五) 雷达的应用也在扩展和变化,不同的领域对雷达有不同的要求,本套丛书在雷达前沿应用方面遴选了6个分册:

(1)《天基预警雷达》分册介绍的雷达不同于星载SAR,它主要观测陆海空天中的各种运动目标,获取这些目标的位置信息和运动趋势,是难度更大、更为复杂的天基雷达。该书介绍天基预警雷达的星星、星空、MIMO、卫星编队等双/多基地体制。重点描述了轨道覆盖、杂波与目标特性、系统设计、天线设计、接收处理、信号处理技术。

(2)《战略预警雷达信号处理新技术》分册系统地阐述相关信号处理技术的理论和算法,并有仿真和试验数据验证。主要包括反导和飞机目标的分类识别、低截获波形、高速高机动和低速慢机动小目标检测、检测识别一体化、机动目标成像、反投影成像、分布式和多波段雷达的联合检测等新技术。

(3)《空间目标监视和测量雷达技术》分册论述雷达探测空间轨道目标的特色技术。首先涉及空间编目批量目标监视探测技术,包括空间目标监视相控阵雷达技术及空间目标监视伪码连续波雷达信号处理技术。其次涉及空间目标精密测量、增程信号处理和成像技术,包括空间目标雷达精密测量技术、中高轨目标雷达探测技术、空间目标雷达成像技术等。

(4)《平流层预警探测飞艇》分册讲述在海拔约20km的平流层，由于相对风速低、风向稳定，从而适合大型飞艇的长期驻空，定点飞行，并进行空中预警探测，可对半径500km区域内的地面目标进行长时间凝视观察。该书主要介绍预警飞艇的空间环境、总体设计、空气动力、飞行载荷、载荷强度、动力推进、能源与配电以及飞艇雷达等技术，特别介绍了几种飞艇结构载荷一体化的形式。

(5)《现代气象雷达》分册分析了非均匀大气对电磁波的折射、散射、吸收和衰减等气象雷达的基础，重点介绍了常规天气雷达、多普勒天气雷达、双偏振全相参多普勒天气雷达、高空气象探测雷达、风廓线雷达等现代气象雷达，同时还介绍了气象雷达新技术、相控阵天气雷达、双/多基地天气雷达、声波雷达、中频探测雷达、毫米波测云雷达、激光测风雷达。

(6)《空管监视技术》分册阐述了一次雷达、二次雷达、应答机编码分配、S模式、多雷达监视的原理。重点讨论广播式自动相关监视(ADS-B)数据链技术、飞机通信寻址报告系统(ACARS)、多点定位技术(MLAT)、先进场面监视设备(A-SMGCS)、空管多源协同监视技术、低空空域监视技术、空管技术。介绍空管监视技术的发展趋势和民航大国的前瞻性规划。

(六) 目标和环境特性，是雷达设计的基础。该方向的研究对雷达匹配目标和环境的智能设计有重要的参考价值。本套丛书对此专题遴选了4个分册：

(1)《雷达目标散射特性测量与处理新技术》分册全面介绍有关雷达散射截面积(RCS)测量的各个方面，包括RCS的基本概念、测试场地与雷达、低散射目标支架、目标RCS定标、背景提取与抵消、高分辨力RCS诊断成像与图像理解、极化测量与校准、RCS数据的处理等技术，对其他微波测量也具有参考价值。

(2)《雷达地海杂波测量与建模》分册首先介绍国内外地海面环境的分类和特征，给出地海杂波的基本理论，然后介绍测量、定标和建库的方法。该书用较大的篇幅，重点阐述地海杂波特性与建模。杂波是雷达的重要环境，随着地形、地貌、海况、风力等条件而不同。雷达的杂波抑制，正根据实时的变化，从粗犷走向精细的匹配，该书是现代雷达设计师的重要参考文献。

(3)《雷达目标识别理论》分册是一本理论性较强的专著。以特征、规律及知识的识别认知为指引，奠定该书的知识体系。首先介绍雷达目标识别的物理与数学基础，较为详细地阐述雷达目标特征提取与分类识别、知识辅助的雷达目标识别、基于压缩感知的目标识别等技术。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

(4)《雷达目标识别原理与实验技术》分册是一本工程性较强的专著。该书主要针对目标特征提取与分类识别的模式,从工程上阐述了目标识别的方法。重点讨论特征提取技术、空中目标识别技术、地面目标识别技术、舰船目标识别及弹道导弹识别技术。

(七) 数字技术的发展,使雷达的设计和评估更加方便,该技术涉及雷达系统设计和使用等。本套丛书遴选了3个分册:

(1)《雷达系统建模与仿真》分册所介绍的是现代雷达设计不可缺少的工具和方法。随着雷达的复杂度增加,用数字仿真的方法来检验设计的效果,可收到事半功倍的效果。该书首先介绍最基本的随机数的产生、统计实验、抽样技术等与雷达仿真有关的基本概念和方法,然后给出雷达目标与杂波模型、雷达系统仿真模型和仿真对系统的性能评价。

(2)《雷达标校技术》分册所介绍的内容是实现雷达精度指标的基础。该书重点介绍常规标校、微光电视角度标校、球载BD/GPS(BD为北斗导航简称)标校、射电星角度标校、基于民航机的雷达精度标校、卫星标校、三角交会标校、雷达自动化标校等技术。

(3)《雷达电子战系统建模与仿真》分册以工程实践为取材背景,介绍雷达电子战系统建模的主要方法、仿真模型设计、仿真系统设计和典型仿真应用实例。该书从雷达电子战系统数学建模和仿真系统设计的实用性出发,着重论述雷达电子战系统基于信号/数据流处理的细粒度建模仿真的核心思想和技术实现途径。

(八) 微电子的发展使得现代雷达的接收、发射和处理都发生了巨大的变化。本套丛书遴选出涉及微电子技术与雷达关联最紧密的3个分册:

(1)《雷达信号处理芯片技术》分册主要讲述一款自主架构的数字信号处理(DSP)器件,详细介绍该款雷达信号处理器的架构、存储器、寄存器、指令系统、I/O资源以及相应的开发工具、硬件设计,给雷达设计师使用该处理器提供有益的参考。

(2)《雷达收发组件芯片技术》分册以雷达收发组件用芯片套片的形式,系统介绍发射芯片、接收芯片、幅相控制芯片、波速控制驱动器芯片、电源管理芯片的设计和测试技术及与之相关的平台技术、实验技术和应用技术。

(3)《宽禁带半导体高频及微波功率器件与电路》分册的背景是,宽禁带材料可使微波毫米波功率器件的功率密度比Si和GaAs等同类产品高10倍,可产生开关频率更高、关断电压更高的新一代电力电子器件,将对雷达产生更新换代的影响。分册首先介绍第三代半导体的应用和基本知识,然后详

细介绍两大类各种器件的原理、类别特征、进展和应用：SiC 器件有功率二极管、MOSFET、JFET、BJT、IBJT、GTO 等；GaN 器件有 HEMT、MMIC、E 模 HEMT、N 极化 HEMT、功率开关器件与微功率变换等。最后展望固态太赫兹、金刚石等新兴材料器件。

本套丛书是国内众多相关研究领域的大专院校、科研院所专家集体智慧的结晶。具体参与单位包括中国电子科技集团公司、中国航天科工集团公司、中国电子科学研究院、南京电子技术研究所、华东电子工程研究所、北京无线电测量研究所、电子科技大学、西安电子科技大学、国防科技大学、北京理工大学、北京航空航天大学、哈尔滨工业大学、西北工业大学等近 30 家。在此对参与编写及审校工作的各单位专家和领导的大力支持表示衷心感谢。

王小棋

2017 年 9 月

前　言

雷达理论经一百多年的发展，已基本完成。近代雷达的发展主要集中在雷达技术与雷达设备及应用的研究，特别是数字技术的进步，为雷达技术发展提供了新机遇。近几年的数字收发技术，超高速并行处理计算，大数据传输、存储、挖掘、处理技术的发展也为雷达探测理论与技术的进一步发展奠定了基础，多波束凝视雷达则是以新技术的进步促进雷达探测理论完善的实例。多波束凝视雷达能在有限规模条件下，发现更远目标，探测更广空间，目标分得更清、更仔细，目标位置定得更准，跟踪目标更稳、更多。

由于雷达天线口径是有限的，故雷达波束一般存在辛格形包络（没有加权），造成天线增益在波束内非均匀。为了保证有效探测目标，传统雷达仅利用波束内比较高增益部分作为探测目标应用，其余发射信号的功率则被浪费；另外，雷达发射功率也是有限的。多波束凝视雷达研究的基本出发点是充分利用雷达有限的功率口径积和时间资源，提高雷达发射功率利用率，改进雷达探测性能和目标信息获取能力。

多波束凝视雷达采用的基本方法是设计多个接收波束覆盖发射波束，尽可能多地利用发射信号功率，同时尽可能利用雷达过去发射的信号能量，如此可在相同功率口径积和时间资源条件下，比较大地改进传统雷达探测性能。

在雷达各种探测性能要求不变的条件下，通过合理设计发射波束和接收波束，延长相参积累时间，可得到比较高的频率分辨力，同时可获取更高的目标分辨和更多的目标参数，也可改进杂波中检测运动目标的能力；另外，利用数字收发技术，不仅可实现多功能性（目标发现、多目标跟踪、多目标分辨与识别等），还可实现系统的多任务性（探测、通信、无线数传、干扰等）。

多波束凝视雷达的多波束凝视还体现在多个阵面对某一区域的凝视协同探测，充分利用所有阵面的功率口径积、时间和信号带宽资源；在长基线多站雷达系统中，不同雷达站可利用多波束凝视实现利用不同波位的多波束组成网格凝视探测，更高效地利用有限的功率口径积改进雷达探测性能。

多波束凝视雷达的凝视性还体现在运动平台雷达的天线相位中心的凝视，以补偿因平台运动所带来的天线相位中心的变化引起的杂波谱扩展，扩展运动平台雷达检测目标的清晰区，或改进杂波的对消比，提高运动目标的探测能力。

多波束凝视雷达比传统雷达性能提高的代价是大数据量传输、存储和处理。

传统雷达合成的波束数少，每一帧数据量比多波束凝视雷达少得多，且处理完之后即可放弃，而多波束凝视雷达的波束数要多很多，以相对较密的波位减小波束损失。为了提高雷达能量的利用率，可采用多帧回波信号探测目标，这就造成多波束凝视雷达的大数据存储和处理出现问题，但数字传输与处理技术的快速发展提供了可能的解决途径。

多波束凝视雷达的基本思想是经过十多年的思考、研究、仿真以及部分实际验证获取的，本书历经近四年不断努力撰写和修改而成。写作的方法是严密的逻辑推理，严格的数学推导，合理的物理解释，符合实际参数的计算、仿真和实验进行求证，但难免会存在错误或缺陷，由于作者认识水平有限，没能发现，恳请读者指正。

本书的重点是针对相控阵雷达搜索、跟踪时，雷达规模和时间资源的有限性与探测空域和雷达威力之间的矛盾，根据相控阵雷达原理，提出多波束凝视雷达探测方法，系统地介绍充分利用雷达的功率口径积，提高雷达发射功率和天线口径的利用率，改进雷达的探测性能的理论依据和实现方法。

全书共10章。第1章为绪论，简单介绍雷达的发展和雷达系统；第2章依据雷达方程，主要讨论雷达的功率口径积（雷达规模）、时间资源、雷达发射波形对雷达探测性能的影响；第3章论述雷达目标信号处理的基本理论：时、频、空域相参积累，目标的分辨和参数测量；第4章涉及多波束凝视形成方法；第5章由DPCA工作原理推导出多波束天线相位中心凝视来实现杂波对消、扩展检测目标的清晰区；第6章分析多波束凝视雷达基本原理；第7章研究短基线分布式多子阵多波束凝视雷达、探测目标的方法及波束形成与控制；第8章研究长基线分布式多站凝视雷达系统，综合利用多个雷达站的功率和天线口径，提高雷达的目标探测性能；第9章具体研究基于宽发窄收的多波束凝视SAR原理，该雷达利用大天线口径，减小雷达发射功率，同时利用多波束解决高分辨SAR与多普勒模糊和成像幅宽之间的矛盾，有利于地面运动目标的检测；第10章讨论多波束凝视在无源雷达中的应用：多波束凝视外辐射源雷达可利用多波束凝视实现大空域的目标搜索和跟踪，以及在该体制雷达中所应用的一些技术。

感谢陈建军博士、祝欢博士对书稿的审读，并提出了许多有益的修改意见。感谢江涛博士，陈翼博士，章华銮硕士完成了部分研究。感谢南京电子技术研究所的同仁所做的各种贡献。

感谢国防工业出版社王晓光先生的督促和鼓励。

著者

2017年5月

目　录

第1章　绪论 …… 001
1.1　雷达的发展历程 …… 001
1.2　雷达的性能与应用 …… 001
1.3　雷达系统基本组成与工作原理 …… 005
1.4　本书内容简介 …… 008
参考文献 …… 009
第2章　雷达探测目标原理 …… 010
2.1　雷达方程 …… 010
2.1.1　雷达方程推导 …… 010
2.1.2　搜索雷达方程 …… 013
2.1.3　边搜索、边跟踪方式 …… 013
2.2　目标运动对探测的影响 …… 014
2.2.1　运动速度的影响 …… 015
2.2.2　目标加速度 …… 019
2.2.3　目标机动 …… 020
2.3　探测目标信号基本波形 …… 022
2.3.1　等载频脉冲信号 …… 022
2.3.2　线性调频信号 …… 023
2.3.3　连续波信号 …… 025
2.4　目标探测的边界条件 …… 026
2.4.1　雷达探测视距 …… 026
2.4.2　时域处理约束 …… 028
2.4.3　多普勒约束 …… 031
2.4.4　角度变化约束 …… 032
参考文献 …… 032
第3章　雷达目标回波信号积累 …… 033
3.1　雷达信号谱 …… 033
3.1.1　傅里叶变换定义 …… 033

3.1.2 离散傅里叶变换 …… 037
3.1.3 频域采样损失 …… 038
3.1.4 匹配傅里叶变换 …… 040
3.2 频域积累损失 …… 044
3.2.1 信号相参积累 …… 044
3.2.2 幅度非稳定信号相参积累损失 …… 045
3.2.3 不同发射波位信号相参积累 …… 048
3.2.4 凝视雷达长时间积累 …… 055
3.2.5 跨速度门积累 …… 056
3.3 时域积累 …… 065
3.3.1 线性调频信号脉冲压缩 …… 065
3.3.2 运动目标回波脉冲压缩 …… 071
3.4 空域积累 …… 073
3.4.1 阵列天线波束形成与功率积累 …… 073
3.4.2 短基线多天线功率积累 …… 075
3.4.3 非均匀口径天线功率积累 …… 077
3.4.4 长基线多天线功率积累 …… 079
3.5 目标分辨 …… 080
3.5.1 频率分辨 …… 081
3.5.2 调频信号分辨 …… 086
3.5.3 时域分辨 …… 089
3.5.4 空域分辨 …… 091
参考文献 …… 093
第4章 多波束原理 …… 095
4.1 数字波束形成的基本原理 …… 095
4.1.1 数字阵元发射信号合成 …… 095
4.1.2 发射波束宽度控制 …… 100
4.1.3 接收数字波束形成 …… 104
4.1.4 通道一致性校准 …… 106
4.2 同时凝视多波束形成方法 …… 109
4.2.1 线性功放发射同时多波束 …… 109
4.2.2 饱和功放发射同时多波束 …… 112
4.2.3 接收同时多波束 …… 115
4.2.4 角敏函数与角测量 …… 118

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com