

“十一五”国家重点图书出版规划项目



海军新军事变革丛书

总策划：魏刚 主编：马伟明

# 航海雷达目标检测

Target Detection by Marine Radar

[英] John N. Briggs 著

席泽敏 夏惠诚 等译

王建 徐韬 主审



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

总策划：魏 刚  
主 编：马伟明

海军新军事变革丛书

Target Detection by Marine Radar

# 航海雷达目标检测

[英] John N. Briggs 著

席泽敏 夏惠诚 等译

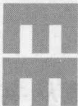
王 建 徐 韬 主审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

The



Original English Language Edition Published by The IEE, Copyright©2004 by John N. Briggs, All Rights Reserved. No Part of this book may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording, or by any information storage and retrieval system, without permission in writing from the publisher.

本书英文版由 IEE 公司出版, IEE 公司已将中文版独家版权授予中国电子工业出版社及北京美迪亚电子信息有限公司。未经许可, 不得以任何形式和手段复制或抄袭本书内容。

版权贸易合同登记号 图字: 01-2006-5606

### 图书在版编目 (CIP) 数据

航海雷达目标检测/ (英) 布里格斯 (Briggs, J.N.) 著; 席泽敏等译. —北京: 电子工业出版社, 2009.1

(海军新军事变革丛书)

书名原文: Target Detection by Marine Radar

ISBN 978-7-121-07956-6

I. 航… II. ①布…②席… III. 海用雷达 IV. U675.74

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 194779 号

责任编辑: 吴源 易昆

印刷: 北京天竺颖华印刷厂

装订: 三河市鑫金马印装有限公司

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

北京市海淀区翠微东里甲 2 号 邮编 100036

开本: 850×1168 1/32 印张: 25.25 字数: 670 千字

印次: 2009 年 1 月第 1 次印刷

定价: 75.00 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](mailto:zltz@phei.com.cn), 盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

服务热线: (010) 88258888。

## 《海军新军事变革丛书》总序

进入 21 世纪，一场世界性的新军事变革以前所未有的深度和广度迅猛发展。这场变革以信息技术的飞速发展是直接动力，以军事技术的变革、军事理论的创新和军队体制结构的调整改革为核心内容，目标是把工业时代的机械化军队建设为信息时代的信息化军队，使战争形态加速向信息化演变。因此，新军事变革是军事领域一次新的历史性飞跃，在世界军事史上具有划时代的意义。

党的十六大报告明确指出，国防和军队建设要“适应世界军事变革的趋势”，“努力完成机械化和信息化建设的双重历史任务”。新军事变革的深入发展，已经深刻改变了世界军事领域的面貌。认真研究它的内在规律，探索信息化战争的制胜之道，实现我军现代化建设的跨越式发展，是我们面临的现实而紧迫的历史性任务。面对新军事变革的浪潮，我们必须更新思想观念，开阔视野，时刻关注世界军事领域发生的深刻变化，准确预测世界军事发展的趋势，从我国的国情军情出发，牢牢把握军事变革的方向，加速推进中国特色的军事变革，不断提高人民海军现代化作战能力。

古人云：兵者，国之大事。死生之地，存亡之道，不可不察。中国是濒海大国，海上方向的防御是国防的重要组成部分。建设一个强大的国防，建设一支强大的海军，关系到民族的荣辱和国家的兴衰。中国近代屡遭列强来自海上的侵略，几乎所有的重要港口、岛屿和沿海地区，都曾受到外敌蹂躏。惨痛的历史告诫我们，军事上落后必然使国家遭受耻辱，没有海上安全就没国家安全。海军是一个国际性战略军种，担负着维护国家海洋权益、保卫国家海上安

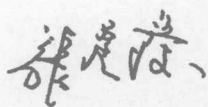
全的重要使命。我们必须看到，在世界性新军事变革中，战争形态已经发生了深刻变化，海军的作战和建设也出现了一系列新的特点。对此，我们应在密切关注的同时，深入研究信息化条件下的海军作战思想、武器装备、体制编制、教育训练和后勤保障，发展和创新海军作战理论，在推进中国特色的军事变革过程中完成机械化和信息化建设的双重历史任务。

江主席指出，在当今世界，任何一支军队，如果关起门来搞建设，拒绝学习国外先进的东西，是不可能实现现代化的。世界新军事变革的大潮来势猛、发展快。各军事强国纷纷加快军队的信息化建设，抢占战略制高点，虽然从总体上看，目前新军事变革还处在初级阶段，但外军在新军事变革中积累了一些有益的经验。同时，现代科学技术在国际间的迅速转移和相互渗透，为我们准确把握世界科技发展前沿、吸收最新科研成果提供了有利条件，也为我们最大限度地发挥后发优势、在自力更生的基础上跨越某些技术上的发展阶段、加快人民海军的现代化建设提供了机遇和可能。海军是技术与知识高度密集的军种，海军建设有其内在规律。我们在推进海军的军事变革时，必须坚持自主创新，同时大胆借鉴和吸收国外最新军事科研成果和先进经验，在借鉴和创新中实现“跨越式”发展。

发展与创新中很重要的方面是了解世界，面向未来。信息化战争从一定意义上来说，既是武器装备等物质条件的对抗，更是知识与观念等精神力量的较量。美国著名思想库兰德公司的军事研究专家马歇尔曾提出，未来“我们面临的首要挑战是知识挑战”。夺取未来战争的战略主动权，必须依靠先进的科学技术和先进的军事理论。近年来，国外出版了许多研究新军事变革的著作和技术文献。把这些新的研究成果介绍给国内读者，有益于我们学习和借鉴外军的先进经验。海军装备部与海军工程大学组织专家编著翻译出版的这套海军新军事变革丛书，以翻译国外海军先进技术和理论著作为主，出版海军军内自编

教材和专著为辅，对世界海军在新军事变革中推出的研究成果进行了系统介绍。这是一项很有意义的工作。在此我谨对参与这项工作的各位专家表示感谢。同时对各位译、著者在笔耕之劳中付出的心血表示敬意。希望这套丛书能够对推进中国特色的军事变革，加快人民海军的信息化建设发挥积极的借鉴与参考作用。

中央军委委员  
海军司令员



二〇〇四年七月十八日

## 前 言

1945年二战敌对状态的结束为在商船运输中利用在战争中迅速发展的雷达技术提供了机会。在英国，政府为生产商制定了方案，并接着在1946年制定了商船雷达性能规范。该规范及其后续版本是交通部在广泛征询船主代表、灯塔和港口管理部门、船舶制造商、邮政总局和海军部的意见后制定的。在当时，邮政总局负责无线电频率的使用，海军部则利用其技术专长在Eastney的海军信号研究院组成了新的交通实验小组，后发展为海军水面武器研究院的民用海运部。在制定雷达性能规范的同时，还设计了验证其适应性的设计型号测试系统。

在商船上安装雷达最初是出于商业目的。早期使用雷达的主要是轮渡和大型渔船，有了雷达，轮渡在大雾天气依然能准点运行。在那个时期，船员们都很怀疑雷达，雷达通常是船长的特权，他平时将它锁着，直到他本人在舰桥上时方可使用。港口同样出于商业目的使用雷达，主要是为了在雾天引导船舶停靠，一个典型例子就是1948年的利物浦港。

随着技术进步和使用日益方便，商船雷达越来越为人们所接受，但是出于安全目的使用雷达的观点过了好长时间才被人们接受。事实上在20世纪50年代，雷达的引入并未减少海洋中的严重碰撞事故。1956年驶离Nautucket的两艘客轮Andrea Doria号和Stochholm号在雾天发生碰撞就是错误判断雷达信息的一个例子。因此在1960年，海洋生命安全国际会议重新修订了防止海洋中船舶碰撞的国际条例，增加了使用雷达的规定，并建议利用雷达信息防止海洋中的船舶碰撞事故。

今天具有标绘功能的雷达已被船员们接受，成为避免船舶碰撞的主要工具。1974年的海洋生命安全国际会议采纳了商船必须装备雷达的条款，该条款自1980年开始分阶段逐步实施，至2002年全部完成。

目前所有总吨数超过 300 吨的商船都装备了雷达,许多还装备了两部。许多小船也自愿装备了生产厂家根据其需求生产的高性价比雷达。

海上和海岸警卫局是由 1946 年交通部下属的海运安全部发展而成的,那时为了就雷达技术规范达成一致而进行的磋商在今天的导航安全委员会仍然存在,而磋商的过程更为复杂,因为雷达的技术规范很少出于国家需求制定,而是为了在全世界通行而制定。通过随后的认可过程同样需要达成一个为世界各地的管理部门所广泛接受的协议。

然而如果负责起草规则的人不充分理解雷达的基本原理和随之产生的技术限制,则世界上没有一个规章制定机构的标准设置会是成功的。可喜的是本书作者在书中描述了雷达的基本工作原理以及在民用海用雷达中采用的关键技术。

Kim Fisher FRIN FIEE

MCA

Chairman UKSON



# 序 言

雷达是商船安全导航的基本工具，许多游船也自愿装备了雷达。对于管理港口和码头的船舶交通管理系统，雷达也是必不可少的，同时雷达还有其他重要的海上应用。本书介绍了民用监视雷达探测目标的原理。对雷达发展历史的简要回顾使我们理解现代雷达技术从 20 世纪 30 年代蹒跚起步发展到今天的过程。本书介绍并举了现代雷达，以及有源和无源信标目标，但是一些自然特点如海岸线（对避碰非常重要）以及船舶形状和大小并非为了反射雷达波而设计，雷达的工作状态依赖于目标物对雷达波的反射能力。因此，笔者从理论和实践的角度详细地验证了这种反射能力。

有关雷达方面的著作很多，但是本书是第一本集中介绍民用海用雷达的著作。民用海用雷达的设计不考虑 40 000 英尺高的飞行器、远离海岸的干扰、多普勒效应以及其他许多与民用海用雷达工作无关的因素。

雷达的设计受到人们制定的法规和客观物理条件的限制，所以在后续的章节中详细介绍了基本技术条件限制和国际上有关海洋雷达的法规框架。探测是建立在科学和统计原理上的工程问题，所以书中涉及许多数学方面的知识，初次阅读时可以跳过这些数学公式。在不省略具有实践意义的内容的前提下，笔者尽可能简单地叙述，以便让多数使用者、管理人员、制定法规者甚至不是从事航海事业的人都能够读懂本书。

笔者对影响雷达性能和目标识别的许多实用因素进行了详细的技术分析。天气和环境好坏影响性能，同样，操作人员水平高低也影响雷达性能发挥。笔者的分析表明了雷达为什么、何时和是否能发现诸如游艇、低平海岸或超级油轮等各种不同的目标。大量图表和实例使读者能掌握雷达工作的基本原理和对使用中的不同影响因素的重要性有量的认识。访问 IEE 网站 ([www.iee.org](http://www.iee.org))，可以下载详细的电子

表格性能说明书。说明书给出了雷达探测距离、检测概率以及其他许多性能参数，并有一套实例插图。

目标在雷达屏幕上的定位，对航迹的跟踪和预报精度取决于对目标的探测方式，所以笔者用专门的一章论述精度问题，解释了标绘工具如 APRA 对最接近点的预测能力和向导航设备发出警告的能力。笔者不是船长，所以我们对显示航迹的解释分析留给专门的导航书籍。在最后一章中，Chris Baker 提出了海用雷达的发展以应对今后 20 年挑战的几种方式。

笔者力求本书综合全面，同时尽量减少读者查阅其他参考书的必要。大量的对照、逻辑化的层次编排、术语表能够迅速地引导读者找到某项内容。

尽管笔者尽力，但错误纰漏难免。若没有众多专家的帮助、建议和鼓励本书则难以完成。

在此 J.N.B 要感谢 GEC-Marconi 的老同事 John Ashley、Niall Davies、Steve Holland、George Hurd，在我写出初稿时提出了大量宝贵的意见；在设计 VTS 系统时 Bob James、David Ogleby 鼓励我有写这本海用雷达书的必要；Richard Parsons、Janet Sykes、Peter Sykes 和 Dudley Taylor 在计算机技术方面提供了不少关键的帮助；在海用雷达行业具有高级工程管理经验的 David Hannah、Richard Trim 和 Phil Williams 教授也给予了我无私帮助，其中 Phil 教授为全书初稿提出了宝贵意见，并允许我免费引用他个人出版的“民用海用雷达”CD 里面的技术细节和 Decca 雷达发展历史等内容；写作初期，John Kemp 教授（后来是导航杂志的编辑）、Julian Parker（后来为 Nautical 学院的秘书）给予了我极大的鼓励；皇家导航学院慷慨地给了我一本难得的海用雷达使用手册；Easat Antennas 的 Jonathan Ansell 给我提供了许多有关现代 VTS 和扫描仪发展现状的背景资料，同时 Munro Engineering 的 Peter Munro 对第 8 章进行了阅读并给予了意见。

官员们同样给予了我许多帮助。海事局和海岸警卫队的 Martin Hart 和他的同事检查并校正了第 1 章，还帮我找出一些技术细节上的

错误；同时和 Roy Lee 的讨论也使我在技术方面受益匪浅；Dr J. M. 在解释第 10 章所概述的船舶雷达反射率时花了不少功夫；Bill Paterson（后来是北方灯塔委员会工程主管）为第 5 章的大气折射实验提供了不少便利；港务局灯塔服务中心的首席研发工程师 Dr Nick Ward 为我找了许多国际 IALA 文件并提供了许多插图。

一些生产厂家和其他机构非常友好地给我提供了图表。尽管我们不能认可某些厂商的产品，但是那些主要厂家提供了性能优越的设备。其他的图表是笔者自己收集的。

J.N.B 还要感谢 IEE 的编辑 Sarah Kramer、IEE 工作人员、雷达丛书编辑 Hugh Griffiths 教授以及他的前任 Ramsay Shearman 教授，Ramsay Shearman 教授提供了许多指导，并且说服 Baker 教授为此书撰写了稿件。

最后，也是最重要的，J.N.B 要感谢与他同甘共苦的妻子 Betty，她退休之后仍然辛苦操持家务支持我的工作。

Chris Baker 还要特别感谢 Hugh Griffiths 教授（伦敦大学学院）、Andy Stove 博士（THALES 传感器公司）、Steve Harman 博士、Graham Binns 先生（QinetiQ 公司）和 Ramsay Shearman 教授，他们对第 16 章提出宝贵建议并修改了许多内容。C.J.B 对 J.N.B 邀请他撰写本章并把本章与前些章节结合起来表示特别感谢。

## 译者序

航海雷达是船舶在海上安全航行时必不可少的辅助避碰装置。《航海雷达目标检测》一书以丰富的事例、公式、图表和数据，系统地介绍了航海雷达探测海上目标的原理。

第1章介绍了航海雷达在民用航海领域中的运用以及相关的国际组织和规章制度等情况。

第2章描述了航海、船舶交通管制(VTS)雷达的基本结构和操作。

第3章讨论了回波接收、杂波、信号处理、检测和显示问题。

第4章论述了电磁波在自由空间的传播。

第5章分析了环境因素对雷达信号传播的影响。

第6章讨论了多路径因素对点目标探测的影响。

第7章论述了几种典型的无源点目标的反射特性。

第8章介绍了几种有源点目标，包括雷达信标、搜救问答机和雷达目标增强器。

第9章分析了扩展目标的多径因子。

第10章分析了船舶、海岸线等扩展目标的雷达散射截面积。

第11章讨论了噪声、杂波和干扰对目标检测的影响。

第12章分析了雷达回波的检测过程。

第13章讨论了信号强度对定位精度和目标跟踪的影响。

第14章介绍了一种适于在PC上用电子表格计算检测概率和相关参数的方法。

第15章列举了几个用于研究雷达系统探测能力的案例。

第16章对航海雷达的发展方向进行了展望。

本书适合于研制、使用航海雷达的工程技术人员参考。

# 目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 目的和范围	1
1.1.1 目的	1
1.1.2 范围	3
1.2 雷达用户及使用	4
1.2.1 商船	4
1.2.2 游艇	5
1.2.3 渔船和小型商船	6
1.2.4 高速艇	6
1.2.5 船舶交通管理 (VTS)	6
1.2.6 军事应用	9
1.3 历史与未来	9
1.3.1 航海雷达的历史	9
1.3.2 二次雷达	12
1.3.3 船舶交通管理 (VTS)	14
1.3.4 当前的雷达	15
1.3.5 未来发展方向	16
1.4 管理部门	17
1.4.1 概述	17
1.4.2 联合国海洋法会议	17
1.4.3 国际海事组织	18
1.4.4 国家咨询委员会	19
1.4.5 海上生命安全条约和碰撞规则	20
1.4.6 国际灯塔导航机构协会	20
1.4.7 法规实施	20
1.4.8 国际标准化组织	21
1.4.9 国际电工委员会	21
1.4.10 国际电信联盟	21
1.4.11 国家法规	22
1.4.12 国家团体和超国家团体, 欧洲共同体	22
1.4.13 法庭	23

1.5	法规	24
1.5.1	海上生命安全条约对船用雷达规定	24
1.5.2	SOLAS 以外的船用雷达	26
1.6	理论和计算	27
1.6.1	来源	27
1.6.2	数学运算和单位	28
1.6.3	性能计算基础	30
1.6.4	电子数据表计算	31
1.6.5	近似法	31
1.7	本书结构	32
1.8	参考文献	34
<b>第 2 章</b>	<b>系统与发射机</b>	<b>36</b>
2.1	操作员与雷达系统	36
2.1.1	本章的范围	36
2.1.2	海上操作员	37
2.1.3	完整的舰桥系统	39
2.1.4	岸上操作员	41
2.1.5	雷达基本操作	42
2.1.6	目标探测能力	44
2.1.7	雷达的构成	47
2.1.8	分贝	48
2.2	雷达的组成	50
2.2.1	发射	50
2.2.2	接收	54
2.2.3	非相参系统	54
2.2.4	相参接收系统	55
2.2.5	全相参系统	57
2.2.6	模糊: 镜像频率, 重复频率的限制	57
2.2.7	典型雷达的构造	58
2.3	发射机	60
2.3.1	概述	60
2.3.2	磁控管功率源	60
2.3.3	调制器	62
2.3.4	发射机对系统的影响	62
2.3.5	频谱问题	63

2.4	发射频率	65
2.4.1	频率和波长	65
2.4.2	波段的选择	67
2.5	其他参数的选择	68
2.6	馈线	69
2.6.1	波导	69
2.6.2	失配	74
2.6.3	馈线损耗	76
2.6.4	振铃	77
2.7	天线, 定性描述	77
2.7.1	平面和圆极化射线	77
2.7.2	方向性辐射	80
2.7.3	波束特性	82
2.7.4	转动	83
2.7.5	尺寸和波束宽度	84
2.7.6	航海雷达天线	84
2.7.7	辐射图	87
2.7.8	发展现状	89
2.7.9	障碍物	91
2.7.10	旁瓣	91
2.7.11	船舶交通管理系统反射器天线	93
2.7.12	仰角性能: 反余割平方反射器	95
2.7.13	极化	96
2.7.14	表面公差损耗	98
2.7.15	波束形状和扫描损耗	99
2.7.16	天线损耗总结	100
2.7.17	测试天线	101
2.8	定量的天线分析	102
2.8.1	仰角性能、航海与船舶交通管理系统缝隙阵列	102
2.8.2	反余割平方船舶交通管理系统天线	105
2.8.3	方位辐射图	107
2.9	参考文献	108
<b>第3章 雷达接收机</b>		<b>109</b>
3.1	天线接收	109
3.2	接收机输入	109

3.2.1	旋转铰链或滑环	109
3.2.2	接收机保护	110
3.2.3	双工器	111
3.3	接收机和滤波器	112
3.3.1	概述	112
3.3.2	接收机噪声	115
3.4	超外差接收机和混频	118
3.4.1	超外差原理	118
3.4.2	混频	119
3.4.3	本地振荡器	121
3.5	中频放大器、解调器和视频部分	121
3.5.1	中频部分	121
3.5.2	滤波器	122
3.5.3	线性和平方律解调器	125
3.5.4	影响检波的因素	126
3.5.5	检波因子	126
3.5.6	距离量程选择的影响	127
3.5.7	视频放大器	128
3.5.8	微分器的短时间常数	130
3.6	信号处理基础	131
3.6.1	任务	131
3.6.2	目标探测的 $P_D$ 和 $P_{FA}$	132
3.6.3	探测单元的数字转化	133
3.6.4	目标检测的逻辑程序	135
3.6.5	机器检测	136
3.6.6	杂波图	137
3.6.7	检测判断过程	138
3.7	其他特征	140
3.7.1	单个雷达	140
3.7.2	航迹融合多传感器	141
3.8	显示原理	142
3.8.1	显示方式	142
3.8.2	显像管	145
3.8.3	其他显示设备	145
3.9	光栅扫描显示器	146
3.10	原始显示器	148



3.10.1	原始雷达	148
3.10.2	原始显示器问题	150
3.10.3	检测能力	151
3.11	显示器上的图像	152
3.12	雷达的特殊用途	153
3.12.1	高速飞行器	153
3.12.2	军舰	153
3.13	校准	154
3.14	参考文献	155
<b>第 4 章</b>	<b>自由空间的回波强度</b>	<b>156</b>
4.1	概述	156
4.2	辐射功率密度	156
4.3	无源反射体; 雷达散射截面积, 雷达距离方程	157
4.3.1	雷达散射截面积	157
4.3.2	双向的自由空间雷达距离方程	158
4.4	有源目标	161
4.5	实际形式的距离方程	161
4.5.1	实际环境的范围	161
4.5.2	完整的雷达距离方程 (dB)	162
4.5.3	简化方程	162
4.6	计算和图表	163
4.6.1	固定距离实例	163
4.6.2	图表	164
4.6.3	电脑制表和绘图	169
4.7	自由空间公式的局限性	169
<b>第 5 章</b>	<b>环境因素对传播的影响</b>	<b>171</b>
5.1	概述	171
5.2	大气折射	172
5.2.1	问题的提出	172
5.2.2	等效几何模型	174
5.2.3	根据气象参数计算折射率	175
5.2.4	标准大气层; 4/3 地球近似法	178