

导弹与航天丛书  
防空导弹系列

# 雷达目标特征信号

 中国科学技术出版社

导弹与航天丛书

防空导弹系列

# 雷达目标特征信号

主 编 黄培康



中国宇航出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本书以雷达目标作为研究对象,系统地阐述了雷达目标特征信号的基本内容及其测量方法。内容包括:雷达散射截面(RCS)、角闪烁、目标极化与相位特征、多散射中心与微波成像等特征信号;目标特征的测量方法、测量设备、室内与室外测试场以及目标识别等方面。书中给出了在实践中常用的曲线、图表与数据。

本书可供从事防空体系、防空导弹、雷达系统、遥感以及电子对抗等专业的工程技术人员参考,也可作为高等院校和研究部门该专业研究生的教材。

版权所有 侵权必究

### 图书在版编目(CIP)数据

雷达目标特征信号/黄培康主编. —北京:中国宇航出版社,  
1993.12(2009.8重印)

(导弹与航天丛书.第3辑,防空导弹系列)

ISBN 978-7-80034-562-3

I.雷… II.黄… III.目标识别雷达 IV.TN959.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第084639号

责任编辑 宋 纯 装帧设计 宇航数码

出 版 中国宇航出版社

社 址 北京市阜成路8号

邮 编 100830

网 址 www.caphbook.com

经 销 内部发行

零售店 读者服务部

(010)68371105

(010)68522384(传真)

承 印 北京画中画印刷有限公司

版 次 1993年12月第1版

2009年8月第2次印刷

规 格 850×1168 开 本 1/32

印 张 15.25 字 数 395千字

印 数 1001~2000

书 号 ISBN 978-7-80034-562-3

定 价 70.00元

如有印装质量问题,可与读者服务部联系调换

道子彈子航天丛书

张之华

《导弹与航天丛书》  
编辑工作委员会

名誉主任 宋 健 鲍克明

主 任 刘纪原

副 主 任 任新民 孙家栋

委 员 屠守锷 黄纬禄 梁守槃 陈怀瑾  
王 卫 权振世 谢昌年 赵厚君  
曹中俄 张新侠 高本辉

办 公 室 宋兆武 史宗田 任长卿 孙淑艳

# 防空导弹系列 编辑委员会

主 任 陈怀瑾

副主任 方辉煜(常务) 吴中英(常务)  
吴北生 沈忠芳 项家桢 陈定昌

委 员 (按姓氏笔画排列)

马翰秋 王其扬 刘国雄 李葆秦  
杨松林 张志英 张志鸿 赵善友  
徐长林 徐祖渊 梁晋才 梁棠文  
黄培康 程云龙 彭望泽 蒋 通  
翟春惠

编辑部 (按姓氏笔画排列)

王庸松 宋为民 吴佩伦 吴娟娟  
李喜仁 周志雄 林维菘 姜希蒲  
钟景福 郝如蕙 徐月泉 唐钟藩  
熊海珍 蔡鹤寿

# 《雷达目标特征信号》

## 作者名单

主 编 黄培康

作 者 黄培康 林桂森 樊正芳 印国泰  
许小剑 殷红成 庄钊文 杨爱秋  
郑建平

责任编辑 方辉煜

## 重印版序

我国的航天事业在 50 多年的发展历程中，从无到有，从小到大，创造了以“两弹一星”、载人航天和绕月探测为重要里程碑的辉煌成就，构筑了专业齐全、功能配套、设施完备的航天科技工业体系，掌握了一大批具有自主知识产权的核心技术，积累了独具特色的航天工程管理经验和方法，造就了一支技术精湛、作风优良的航天人才队伍，孕育形成了具有鲜明时代特征的航天精神、“两弹一星”精神和载人航天精神，在世界高科技领域占有了一席之地，并在一些重要技术领域跻身世界先进行列，为维护国家安全、带动科技进步、推动经济发展、促进社会和谐和振奋民族精神作出了重要贡献。

回顾 50 多年的发展与建设，我国的航天事业，在创业中起步，在探索中发展，在改革中腾飞，走出了一条具有中国特色的创新发展之路，在取得辉煌成就的同时，通过无数航天科技工作者的探索与实践，也创造积累了十分宝贵的经验。为了将这些知识财富传承下来，用以指导新时期的航天重大工程实践，促进航天科技成果在更加广阔的领域推广应用，为推动国民经济建设和社会进步发挥更大的作用，自 20 世纪 80 年代起，数以千计的航天科技工作者历时 20 余年，从导弹武器、运载火箭和空间飞行器等产品的设计、研制、生产、试验等各个方面，系统总结了在实践中形成的理论、方法和工程经验，编纂了一部共 156 册、6500 余万字的鸿篇巨制——《导弹与航天丛书》，奉献给广大读者。

当前，面对世界格局多极化、全球经济一体化、科学技术突飞猛进以及新军事变革不断向纵深发展的新形势，航天科技工业



作为国家的战略安全基石以及科技进步、经济发展、社会和谐的重要推动力量，越来越凸现出其重要的战略地位。十七大以来，党和国家高度重视航天科技工业的发展，提出了富国强军的明确要求，部署了包括载人航天工程第二步、探月工程二期、高分辨率对地观测系统、新一代运载火箭在内的一系列国家重大工程和重大科技专项任务，可以说，航天科技工业正处于历史上任务最多、发展最快的重大战略机遇期，形势和任务对航天科技工业的发展提出了新的更高要求。如何抓住难得机遇，乘势而上，圆满完成国家任务，从而推动我国航天事业全面、协调、可持续发展，真正担负起富国强军、建设创新型国家和推动我国成为航天大国、强国的历史责任，是新一代航天科技工作者必须面对的重大考验。

因此，在新时期航天事业蓬勃发展和读者需求的强力推动下，重印《导弹与航天丛书》凸显了重要的现实意义和深远的历史意义。希望这部丛书能够使我国航天事业50多年的创新成果和实践经验，在新的历史时期彰显出无穷活力，给人以更加深刻的启示，从而推动更多的航天科技工作者在新的航天工程实践中，不断继承、完善、发展航天事业50多年形成的宝贵经验，积极探索新形势下航天科技工业发展的内在规律，努力建设航天科技工业新体系，使我国的航天事业在新的起点上不断谱写更加辉煌的历史篇章。

马兴瑞

2009年6月

## 总 序

导弹与航天技术是现代科学技术中发展最快的高技术之一。导弹武器的出现，使军事思想和作战方式发生了重大变革；航天技术把人类活动的领域扩展到太空，使人类认识自然和利用外层空间的能力发生了质的飞跃。

导弹与航天工程是复杂的系统工程，它运用了现代科学技术众多领域的最新成果，是科学技术与国家基础工业紧密结合的产物，是一个国家科学技术水平和工业水平的重要标志。

中国人民经过 30 年的努力，依靠自己的力量，勇于开拓，坚韧不拔，在经济和科学技术比较落后的条件下，走出了自己发展导弹与航天技术的道路；造就了一支能打硬仗的技术队伍；建立了具有相当规模和水平的导弹与航天工业体系；形成了遍布全国的科研、生产协作网。这是党中央独立自主、自力更生方针的伟大胜利，是全国各地区、各部门大力协同，组织社会主义大协作的丰硕成果。

30 年来，我国已有多种型号经历了研究、设计、生产、试验、装备、使用的全过程，装备了各种射程的战略和战术弹道导弹、各种类型的防空导弹和飞航导弹，用多种运载火箭发射了不同轨道和用途的人造卫星。我国导弹与航天工业的这些重大物质成果，对增强我国的国防实力、促进经济发展、带动科技进步发挥了重要的作用。

我们不仅取得了丰硕的物质成果，而且积累了宝贵的实践经验。为了发展中国的导弹与航天事业，多少人投入毕生的精力，贡献了宝贵的智慧，付出了辛勤的劳动，备尝了失败的苦痛和成功的欢欣。付出高昂代价取得的实际经验，从书本上学不到，更

不可能从外国买来，只能靠自己在实践中总结。为了加速我国导弹与航天事业的发展，需要全面、系统地归纳以往研制过程中建立和应用的设计理论，总结其工程经验，用以指导今后的研制实践，并传授给导弹与航天事业一代又一代新生力量，使他们能在较高的起点上开始工作。为此，我们组织多年来从事导弹、人造卫星和运载火箭研制工作的专家与工程技术人员，编著了这套《导弹与航天丛书》。它以工程应用为主，力求体现工程的系统性、完整性和实用性，是我国导弹与航天技术队伍 30 年心血凝聚的精神成果，是多领域专业技术工作者通力合作的产物。

作为一项系统工程，要求参加导弹与航天工程研制工作的各类技术人员，不仅精通自己的专业，而且充分理解相关专业的要求和特点，在统一的总体目标下，相互协调、配合密切地工作。因此，本丛书也是导弹与航天技术队伍各专业间以及和其他有关人员进行技术交流的读物。

本丛书按液体弹道导弹与运载火箭（Ⅰ）、固体弹道导弹（Ⅱ）、防空导弹（Ⅲ）、飞航导弹（Ⅳ）、卫星工程（Ⅴ）等 5 个型号系列编排；对各系列共用的固体推进技术和空气动力学两种专业技术，将有关著作编为专著（Ⅵ和Ⅶ），其他共用专业技术则分别纳入 5 个型号系列中的一个系列，并供其他系列选用。

本丛书的各级编委会、各册的主编、副主编及各章节的作者是一个庞大的科学技术群体，为了编写好这部大型丛书，编著人员在组织和技术上都付出了巨大劳动。期望这套丛书能帮助人们加深对于导弹与航天技术的了解，促进中国的导弹与航天事业向更高的目标迈进。

《导弹与航天丛书》

编辑工作委员会

1987 年 8 月

# 防空导弹系列

## 序 言

防空导弹系列是《导弹与航天丛书》的系列之一。

我国防空导弹研制事业经历了 30 余年的历程，研制生产了多种武器系统，有的已装备了部队，在保卫祖国领空的斗争中立下了战功，为国防现代化作出了贡献。30 余年来，造就了一支比较成熟、颇具水平的科学技术队伍。他们为防空导弹事业奉献了青春年华，乃至毕生的精力，积累了丰富的理论与实践经验。编写本系列图书旨在把这些宝贵的经验进行归纳总结，使之系统化、理论化、科学化和实用化，以为后继者借鉴。期望它能起到指导工程设计的作用，以推动防空导弹研制事业的持续发展，对国防事业做出更多的贡献。

防空导弹的研究、设计、试验与制造，是一项庞大的系统工程。它包含总体设计、分系统设计、各种设备的设计与制造，以及研制各阶段相应的试验和各种应用研究。在系列图书编写中，对其中涉及的学科专题、基础原理、理论探索等方面将从略，复杂的数学推演证明将从简；给出的结论将力求严谨、确切和实用；对防空导弹技术领域近期出现的新课题和高技术予以适当的阐述，以期开拓思路、不断创新。

本系列图书从实际出发，划分为五大类共 40 册。其中，每册皆可独立成书，具有相对的完整性和系统性。五大类的具体划分如下：

1. 防空导弹武器系统设计与试验，共 10 册。其中 1 册论述

有关防空体系的问题，其余9册阐述了不同体制类型（例如遥控、寻的、便携等）的武器系统。内容涉及武器系统总体设计与试验、制导控制系统总体设计、武器系统可靠性工程设计、武器系统维护工程、指挥控制通信系统、武器系统电子对抗技术和武器系统仿真。

2. 导弹系统设计与制造，共15册。内容包括各种体制类型的导弹总体设计、弹上设备设计、固体火箭发动机设计、引战配合效率与战斗部设计、防空导弹测试技术与遥测系统应用设计、弹体结构与强度和制造工艺等。

3. 制导站系统设计与制造，共8册。内容以各种体制雷达系统总体和分系统的设计与制造工艺为主，同时也论及防空导弹射击指挥仪设计。

4. 地面发射装置和支援设备设计与制造，共4册。论述了防空导弹地面设备总体工程、地面车辆、导弹发射装置及其伺服系统。

5. 与防空导弹设计有关的应用科学技术，如数值方法和目标环境特性等，共3册。分别论述了在防空导弹设计的各个阶段中，涉及的各种数值分析和计算方法、雷达目标特征信号、目标和环境光学特性。

在本系列图书的编写过程中，得到了广大科技工作者的热情支持与无私帮助，因此本系列图书是集体智慧的结晶。限于编写者的水平，本系列图书会有一些不足之处，深切期望读者予以指正。

防空导弹系列  
编辑委员会  
1989年2月

# 前 言

---

“雷达目标特征信号”是一门新兴的专业。传统的雷达仅能测量目标的位置、速度、加速度以及它的运动轨迹，随着航天和遥感科学技术发展的需要，人们已不满足于获得目标的位置与运动参数，希望取得更多的有关目标特征信号，从而推导出目标的形状、体积、质量以及表面物理信息，达到识别目标的目的。为满足这方面的要求，我们撰写了这本书。

本书原是我多年为研究生讲课所用的教材，后经本书全体作者的修改和补充编写而成。本书的取材是以实践为背景，经过理论上的提炼，使其系统化。书中尽量提供有用的曲线、图表和数据，以提高本书的实用价值。

全书共9章。除第1章为概论外，第2章到第5章阐述雷达目标特征信号的基本内容，包括雷达散射截面（RCS）、目标角闪烁、目标极化与相位特征、多散射中心与微波成像等；第6章到第8章叙述雷达目标特征信号的测量技术，包括标定、测量原理、测量设备以及室内室外测试场等；第9章讲目标识别，介绍目标特征信号在识别中的应用。书末附有金属球雷达散射截面的精确理论数据，供测量时标定用。

在本书撰写过程中，有关雷达目标研究的方向，作者得到我国电子学界前辈蔡金涛、陈芳允、吴翔平与冯世章等先生的指点，蒋通、张志英、朱启明、陶巍、向家武、冯振勳、戴朝明等同志给予关心与支持，并提出宝贵意见。历届研究生们在使用原

稿作为课程教材时曾提出过不少修改意见。全书的插图均由吕燕冬同志精心描绘，董海珍同志协助稿件的复印与装订。这里一并向他们表示衷心的感谢。

主 编

1991年12月

# 目 录

<b>第 1 章 概论</b>	<b>黄培康</b>
1.1 雷达目标特征信号的含义及其内容 .....	(2)
1.2 雷达与雷达目标的匹配 .....	(6)
1.3 雷达目标特征信号的应用 .....	(10)
参考文献 .....	(17)
<b>第 2 章 雷达散射截面</b>	<b>黄培康等</b>
2.1 RCS 定义和分类 .....	(20)
2.1.1 RCS 定义 .....	(20)
2.1.2 宽带 RCS .....	(23)
2.1.3 RCS 分类 .....	(27)
2.2 RCS 计算方法概述 .....	(31)
2.3 几种定标体的 RCS 值 .....	(38)
2.3.1 金属导电球 RCS 精确值 .....	(38)
2.3.2 金属平板 RCS 精确值 .....	(40)
2.4 RCS 模型化 .....	(46)
2.4.1 模型化研究方法 .....	(46)
2.4.2 RCS 确定性模型 .....	(47)
2.5 RCS 起伏的统计特性及其特征量 .....	(53)
2.5.1 经典统计参数 .....	(54)
2.5.2 对数正态 (Log-Normal) 模型 .....	(55)
2.5.3 Chi-平方分布 (Chi-Square) 模型 .....	(55)
2.5.4 赖斯分布模型 .....	(56)
2.5.5 非参数法统计模型 .....	(56)
2.6 RCS 减缩技术 .....	(59)
2.6.1 赋形 .....	(61)



2.6.2	雷达吸波材料 .....	(66)
2.6.3	有源与无源阻抗加载 .....	(72)
2.6.4	RCS 减缩的作用 .....	(74)
2.7	RCS 增强和仿真技术 .....	(75)
2.7.1	RCS 增强器 .....	(75)
2.7.2	RCS 仿真 (物理复现) .....	(80)
	参考文献 .....	(81)
<b>第 3 章 扩展目标的角闪烁 黄培康 殷红成</b>		
3.1	角闪烁研究概况 .....	(84)
3.2	角闪烁的两种物理概念及其统一 .....	(87)
3.3	角闪烁的计算方法 .....	(91)
3.4	角闪烁统计特性及其参量 .....	(97)
3.4.1	两点目标角闪烁统计特性及其参量 .....	(97)
3.4.2	飞机目标的角闪烁统计特性 .....	(103)
3.4.3	角闪烁的频谱特性 .....	(107)
3.5	角闪烁抑制技术 .....	(108)
3.5.1	角闪烁与 RCS 的相关性 .....	(109)
3.5.2	角闪烁信号处理技术 .....	(112)
3.5.3	频率分集技术 .....	(115)
3.5.4	空间分集技术 .....	(118)
3.5.5	极化分集技术 .....	(118)
3.6	角闪烁增强技术 .....	(118)
3.6.1	无源法 .....	(119)
3.6.2	有源法 .....	(122)
	参考文献 .....	(124)
<b>第 4 章 目标极化特性和相位特性 殷红成 黄培康</b>		
4.1	极化散射矩阵及其变换 .....	(126)
4.1.1	极化波 .....	(126)
4.1.2	极化散射矩阵 .....	(129)
4.1.3	线-圆极化散射矩阵变换 .....	(131)
4.2	散射矩阵的极化不变量 .....	(134)
4.3	双基地圆极化散射矩阵特性 .....	(141)
4.4	非正交二面角反射器的复散射矩阵 .....	(143)