



导弹与航天丛书

防空导弹系列

# 防空导弹 雷达导引头设计

主 编 穆 虹

副主编 甘伟佑 翟春惠



中国宇航出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本书在总结防空导弹雷达导引头研制经验的基础上,系统地论述了雷达导引头的工作原理、功能组成、工程设计方法、测试、试验和仿真等内容。全书共 10 章,理论和设计并重,工程实践性和针对性强。

本书可供从事该专业的设计人员和导弹系统总体工程技术人员使用,也可作为高等院校相关专业师生的参考书。

## 版权所有 侵权必究

### 图书在版编目(CIP)数据

防空导弹雷达导引头设计/穆虹主编. —北京:  
中国宇航出版社,1996.6(2009.8重印)  
(导弹与航天丛书.第3辑,防空导弹系列)  
ISBN 978-7-80034-846-4

I. 防… II. 穆… III. 防空导弹—雷达制导—设计  
IV. TJ761.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 084657 号

责任编辑 任长脚 装帧设计 宇航数码

出 版 行 **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 1996 年 6 月第 1 版  
2009 年 8 月第 2 次印刷  
规 格 850×1168 开 本 1/32  
印 张 22.625 字 数 586 千字  
印 数 1001~1800  
书 号 ISBN 978-7-80034-846-4  
定 价 110.00 元

如有印装质量问题,可与读者服务部联系调换

《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	林维崧	姜希蒲
钟景福	郝如蕙	徐月泉	唐钟藩
熊海珍	蔡鹤寿		

# 《防空导弹雷达导引头设计》

## 作者名单

主 编 穆 虹

副 主 编 甘伟佑 翟春惠

责任编辑 梁棠文

作 者	穆 虹	甘伟佑	翟春惠	黄公弼
	高 烽	曹 平	倪保家	吴银洲
	金振栋	黎 栩	胡福昌	张六钧
	沈保中	周 玲	陈保辉	戚世璜

## 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航天产品的设计、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新技术之一。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

---

雷达导引头是自动寻的式战术导弹的关键组成部分。它对目标进行探测，并指挥导弹飞向目标，对导弹的作战性能有重大影响。

导引头是建立在雷达、自动控制、制导、微型计算机、精密机械、微电子、小型化和可靠性等多项专门技术基础上的一种复杂制导设备，研制涉及面广，生产工艺要求高，在防空导弹研制中占有极其重要的地位。因此，各先进国家均十分重视导引头的研制和其技术发展，并以它为基础正在把导弹武器推向智能化、高命中概率和高摧毁概率的新阶段。

中国十分重视寻的制导战术导弹武器系统的研制，有关型号已装备部队，并正在进一步改进和完善，以适应现代战争发展的需要。在导引头的研制、使用和教学中深感缺少一本比较系统、有针对性的研究导引头设计的专著，编写本书的目的就是为填补这一空白。

全书共 10 章，在全面概述导引头的功能和性能要求后，有针对性地结合其特点讨论了导引头的设计基础、收发技术、信息处理、自动控制、各种跟踪技术、抗干扰、精度分析和测试、试验技术等方面；在讨论中归纳了国内外有关资料和作者们自己的研制经验，比较全面、系统、完整地论述了导引头的理论、原理及设计方法。

本书作者均是在导引头领域长期从事研制工作的专家，他们有丰富的研制工作经验，对有关问题的讨论能紧扣导引头研制的实际，并力求实用，使读者能较快地掌握导引头的设计基础。该

书不仅具有理论价值，同时更具有工程指导意义。

本书是一本系统论述雷达导引头的专著，主要供导引头研制人员和导弹武器系统总体设计人员使用，也可作为高等院校相关专业师生的参考书。

袁孝康研究员审阅了书中的大部分章节，并提出了许多宝贵意见。在此，表示衷心的感谢。

在本书的编校过程中，得到宋为民高级工程师和熊海珍工程师等人的大力支持，他们作了大量工作，使书稿得以顺利完成，在此向他们表示深切的谢意。

由于本书涉及广泛的学科领域，又是集体创作，编者的水平有限，如有不协调、不当之处，请读者批评指正。

编 者

1994年8月

# 目 录

<b>第 1 章 概论</b>	<b>穆 虹</b>
1.1 雷达导引头的地位和作用 .....	(1)
1.2 寻的制导原理和导引头分类 .....	(4)
1.3 雷达导引头系统设计中的几个基本问题 .....	(8)
1.3.1 导引规律 .....	(8)
1.3.2 修正比例导引 .....	(10)
1.3.3 导弹与目标间相对速度的测量 .....	(12)
1.3.4 导弹的弹道补偿 .....	(14)
1.3.5 导弹的参数预置 .....	(15)
1.3.6 导引头的电磁环境 .....	(18)
1.3.7 导引头的自然环境 .....	(25)
1.4 导引头的基本功能和组成 .....	(27)
1.4.1 导引头的任务 .....	(28)
1.4.2 导引头应具备的主要功能 .....	(28)
1.4.3 导引头的基本组成 .....	(29)
1.4.4 对导引头的基本要求 .....	(31)
1.5 导引头技术的发展趋势 .....	(33)
参考文献 .....	(36)
<b>第 2 章 雷达导引头设计基础</b>	
甘伟佑 穆 虹 翟春惠 陈保辉 戚世瑛	
2.1 概述 .....	(37)
2.2 目标特性及有效反射面积 .....	(38)
2.3 雷达导引头的杂波环境 .....	(49)
2.3.1 地杂波、海杂波的功率谱概率分布特性 .....	(49)

2.3.2	地(海)杂波多普勒频谱图及计算	··· (52)
2.3.3	杂波模型及杂波功率谱计算	····· (55)
2.4	导引头的工作频段选择和波形设计	····· (57)
2.4.1	雷达导引头的工作频段	····· (57)
2.4.2	雷达导引头的波形选择	····· (58)
2.5	定向测角原理	····· (74)
2.5.1	圆锥扫描自动定向原理	····· (75)
2.5.2	振幅和差型单脉冲定向系统	····· (82)
2.5.3	隐蔽式圆锥扫描定向系统	····· (89)
2.5.4	相位干涉仪定向原理	····· (91)
2.6	视线角速度测量及去耦	····· (100)
2.6.1	视线角速度测量	····· (100)
2.6.2	角跟踪系统的去耦	····· (102)
2.6.3	相位干涉仪视线角速度测量和角跟踪系统的去耦	····· (104)
2.7	作用距离计算	····· (108)
2.7.1	主动式导引头作用距离的计算	····· (109)
2.7.2	半主动式导引头作用距离计算	····· (113)
2.7.3	被动式雷达导引头作用距离计算	····· (114)
2.7.4	距离方程讨论	····· (114)
2.7.5	雷达导引头的截获信噪比	····· (120)
2.8	天线罩对寻的制导系统的影响	····· (131)
2.9	导引头在导弹控制系统中的作用	····· (137)
	参考文献	····· (144)
	<b>第3章 半主动连续波导引头接收系统设计</b>	<b>黄公弼</b>
3.1	概述	····· (145)
3.2	工作原理和基本形式	····· (147)
3.2.1	多普勒效应	····· (147)
3.2.2	接收信号频谱	····· (150)
3.2.3	接收机的基本形式	····· (155)
3.3	照射信号特性	····· (163)
3.3.1	调制特性	····· (164)



3.3.2	噪声特性 .....	(172)
3.4	初始截获设计 .....	(184)
3.4.1	系统影响因素 .....	(184)
3.4.2	泄漏下能见度 .....	(185)
3.4.3	动态范围 .....	(188)
3.4.4	泄漏下能见度的工程计算 .....	(204)
3.5	杂波限制下的检测性能 .....	(215)
3.5.1	杂波下能见度概念 .....	(215)
3.5.2	杂波功率计算 .....	(218)
3.5.3	SCV 工程计算及其影响因素 .....	(224)
3.5.4	低噪声微波本振设计 .....	(229)
3.6	防止锁定背景杂波设计 .....	(254)
3.6.1	防止锁定杂波是下视导弹的基本设计 要求 .....	(254)
3.6.2	防止锁定杂波的设计途径 .....	(256)
3.6.3	主瓣杂波跟踪与防止锁定杂波逻辑 .....	(257)
	参考文献 .....	(261)
<b>第 4 章</b>	<b>主动雷达导引头收发系统 翟春惠 高 烽</b>	
4.1	概述 .....	(264)
4.2	收发系统方案 .....	(266)
4.3	收发隔离 .....	(270)
4.4	收发系统头部组件 .....	(274)
4.5	发射机 .....	(278)
4.6	接收机 .....	(287)
	参考文献 .....	(293)
<b>第 5 章</b>	<b>雷达导引头信号处理 高 烽</b>	
5.1	概述 .....	(294)
5.2	目标信号检测 .....	(296)
5.2.1	雷达导引头常用信号检测 .....	(297)
5.2.2	预定检测 .....	(301)
5.2.3	自适应检测 .....	(309)