



中航工业首席专家
技术丛书

“十二五”国家重点图书出版规划项目
中航工业科技与信息化部组织编写

张 波 编著

空面导弹系统设计

AIR-TO-SURFACE
MISSILE SYSTEM DESIGN

航空工业出版社

中航工业首席专家技术丛书

“十二五”国家重点图书出版规划项目

空面导弹系统设计

张 波 编著

航空工业出版社

内 容 提 要

目前,空面导弹在现代战争精确打击体系中处于核心地位,是左右局部战争胜负的决定性力量。本书正是为适应空面导弹的发展而编写的,旨在较全面详细地介绍空面导弹的系统设计。本书对一般概念性问题不做详述,着重结合工程实践对空面导弹系统设计进行了全面、系统、深入的分析论证,其基本理论和分析处理工程技术问题的方法具有普遍意义,对其他武器系统也具有一定的适用性和参考价值。

本书定位于从事该专业的各层次工程技术人员和管理人员,亦可供军队相关领域人员、航空院校相关专业教师及学生参考。

图书在版编目(CIP)数据

空面导弹系统设计 / 张波编著. -- 北京: 航空工业出版社, 2013. 12

(中航工业首席专家技术丛书)

ISBN 978 - 7 - 5165 - 0314 - 0

I. ①空… II. ①张… III. ①空对地导弹—导弹系统—系统设计 IV. ①TJ762.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 283384 号

空面导弹系统设计

Kongmian Daodan Xitong Sheji

航空工业出版社出版发行

(北京市朝阳区北苑路 2 号院 100012)

发行部电话: 010 - 84936555 010 - 64978486

北京世汉凌云印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经售

2013 年 12 月第 1 版

2013 年 12 月第 1 次印刷

开本: 787 × 1092 1/16

印张: 38.5 字数: 989 千字

印数: 1—2500

定价: 180.00 元

总 序

航空工业被誉为“现代工业之花”，是国家战略性高技术产业，同时也是技术密集、知识密集、人才密集的行业。中国是世界航空产业格局中的后来者，而中航工业作为支撑中国航空工业发展的核心力量，履行国家使命，必须大力推进自主创新，必须在科技创新和知识创新上有所作为。

从2009年开始，中航工业按照航空技术体系，在科研一线技术人才中陆续遴选出近百位集团公司级“首席技术专家”。此举既是集团公司对这些技术人才技术水平和能力的肯定，也意味着集团公司赋予了他们更大的责任和使命。我们希望这些技术专家在今后的工作中，要继续发挥科研技术带头人的作用，更加注重学习和创新，不断攀登航空科技新的高峰；要坚持潜心科研，踏实工作，不断推动航空科技进步；要带队伍、育人才，打造高水平的科研队伍，努力培养更多的高层次专业技术人才，为中航工业的发展做出更大的贡献。

21世纪企业的成功，越来越依赖于企业所拥有知识的质量，利用企业所拥有的知识为企业创造竞争优势和持续竞争优势，这对企业来说始终是一个挑战。正因如此，“知识管理”在航空工业等高科技产业领域得以快速推广和应用。依照这个思路，将首席技术专家们所积淀和升华出来的显性或隐性知识纳入知识管理体系，是进一步发挥其人才效益的重要方式，也是快速提升中航工业自主创新能力的重要途径。

知识管理理论的核心要义，就是把知识作为一种重要资产来进行管理，正如知识管理的创始人斯威比所说：“知识资本是企业的一种以相对无限的知识为基础的无形资产，是企业核心竞争能力的源泉。”如果专家们把其掌握的各类显性或隐性知识，用书面文字的形式呈现出来，就相当于构建了一个公共资料库，提供了一个交流平台，可以让更多的人从中受益——这就是出版这套《中航工业首席专家技术丛书》的初衷。

集团公司的这近百位“首席技术专家”，基本覆盖了航空工业的所有专业。每位专家撰写一部专著，集合起来，就相当于一个航空工业的“四库全书”，很有意义。在此，我要特别感谢这些专家们，他们在繁重的科研生产任务中，不辞辛劳地撰写出了自己的专著，无私地将自己的宝贵经验呈现给大家，担当起了传承技术、传承历史的责任。

相信这套丛书的出版，会使更多的航空科技工作者从中获益，也希望在一定程度上能助力中航工业的自主创新，对我国航空工业的科技进步产生积极影响。



中国航空工业集团公司董事长

序 言

空面导弹设计技术是一项复杂的系统工程，它应用了现代科学技术众多领域的最新成就，是科学技术与国家基础工业紧密结合的产物。立足国情，应重点发展满足未来我国空军作战任务的武器系统，不盲目仿制国外导弹，根据我国工业基础，制定与我国科技水平相适应的导弹发展计划，脚踏实地，逐步缩小与国际先进水平的差距。

而在下一代空地导弹发展方向上，我们与国外已经基本处于同一起跑线上，随着我国武器装备技术的发展，原有的跟踪研发模式已经无路可走，在未来新一代空地导弹武器发展上，需要我们运用创新思维，提出符合我国发展环境和需求的新一代空地导弹概念，通过创新设计有机整合各子系统，尽可能提高武器的整体性能。因此，为了迎接新形势下的理论、技术和工程等方面的严峻挑战，迫切需要分析总结空面导弹系统设计的有关理论及工程实践知识。

本书突出了空面导弹系统设计的特点，系统、详细地介绍了空面导弹武器系统设计的原则、规范、流程、方法和试验等，全书共 16 章，近 100 万字。本书内容充实，结构紧凑，概念清楚，逻辑性强。一是总结整理了多年来空面导弹设计的重要成果和宝贵经验；二是优化了航空导弹专业技术教材体系，为空面导弹设计人员的培养提供了一套系统、全面的教科书，满足了人才培养对教材的迫切需求；三是为空面导弹的研制工作提供了一套较为全面的设计参考资料；四是将这些年多位专家丰富的实践经验和见解总结继承下来，从系统性、完整性和实用性的角度出发，将丰富的实践经验进一步理论化、科学化，形成具有特色的空面导弹系统设计专著。对空面导弹的后继研发具有重大的指导意义。

本书既可作为实际工作的指导用书，亦可作为相关人员的学习参考书。期望本书能够有益于武器装备研制中人才的培养，有益于中国航空工业的发展，有益于空面导弹的成功研制。同时，希望能吸引更多的读者来关心并投身于中国的航空事业。

前 言

空面导弹是进攻性武器，在现代战争中扮演着重要的角色，用于执行近距空中支援、战场空中遮断、纵深遮断、压制防空作战、空袭、反舰等作战任务。纵观海湾战争以来的历次现代高技术局部战争，空面导弹是实施有效打击的重要武器之一，是战场的“清道夫”，是对地面（海面）各种目标实施“点穴式攻击”的撒手锏武器，是战场“外科手术”式打击的有效武器。其所打击的目标对象包括：军事设施和建筑、各种工事、战术导弹阵地、桥梁、交通枢纽、港口、兵力集结地、指挥所、工业基地、电站、车辆、机场、防空探测与制导雷达、水面各型舰船，以及地下的指挥、控制、通信设施等目标，甚至在反恐和杀伤对方首领战斗中也发挥着不可替代的作用。空面导弹的研制和运用能力已经成为衡量一个国家军事实力的重要标志之一，对增强一个国家的国防实力，特别是提高空、海军的打击能力有着深远的战略意义。空面导弹约占世界航空弹药市场40%的价值份额，位居第一，显示了空面导弹发展的巨大空间和强劲需求。根据美国防务市场服务公司（DMS）的预测，未来10年（2011—2020年）全球战术空面导弹规模将达到114.7亿美元，数量将达到26902枚，年均增长率达4%。

随着战场环境和军事需求的变化，空面导弹技术向着高速、远程、智能、隐身等方向发展，这种变化对空面导弹的设计方法和理念提出了新的要求。几十年来，我国多种空面导弹经历了预研、设计、生产、试验、装备和使用的全过程，取得了一定的成果，积累了宝贵的实践经验。

为了适应新形势下的需求，推进国防事业的发展，本书全面系统地归纳、提炼、完善了空面导弹研制过程的设计方法和规范，总结了过程经验，以指导今后的研制实践，并传授给下一代，使他们能在较高的起点上开始工作。

本书以工程为主，力求体现空面导弹武器系统的完整性和实用性，强调设计规范和设计流程。作者从空面导弹系统设计角度出发，全面介绍了空面导弹系统的组成及各分系统的设计原则和发展趋势。全书共16章，各章之间既有联系又相对独立，分为概论、空面导弹研制程序和内容、空面导弹武器系统总体、空面导弹总体、弹体结构强度、制导控制系统、动力系统、引信和战斗部系统、电气系统、数据链系统、火控系统、任务规划系统、技术支援系统、“六性”工程与电磁兼容性、武器系统试验及技术状态管理。在本书的编写过程中，得到了王少锋、王剑琴、王卫华、文革、许冰、余新荣、周晓华、徐志方、张邦楚、孙宁芹、杨会林、韩宏春、王武、尹志龙、王先文、王兵、王克强、王茹、王艳丽、王啸雄、邓进、毛端华、付洪飞、石林、任志文、刘涛、刘渊、刘慧慧、孙伟

星、孙海燕、郝桂珍、张岩、张效义、李玉亮、杨小勇、邹敏怀、陈宇强、陈明凡、周志强、周昌申、周海云、孟卫兵、易龙、姚先秀、洪厚全、胡向阳、赵小勇、赵志权、赵胜海、赵焕义、饶佳莉、皇东亚、袁飞马、袁素娇、高欣、梁可人、黄海龙、章祎、曾晓健、温耀华、舒婷、董斌、韩果、熊剑坤、綦龙、戴佳等人的热情帮助，在此一并感谢。

由于作者水平有限，对空面导弹系统设计的理解还不够全面，加之时间紧迫，因此本书难免有疏漏和不足之处，恳请读者批评指正。

目 录

第 1 章 概论	(1)
1.1 空面导弹的发展历程及趋势	(1)
1.1.1 空面导弹的发展历程	(1)
1.1.2 空面导弹的发展趋势	(2)
1.2 空面导弹的分类及技术特点	(8)
1.2.1 空地导弹	(9)
1.2.2 空舰(潜)导弹	(12)
第 2 章 空面导弹的研制程序和内容	(14)
2.1 型号研制应遵循的原则	(14)
2.2 论证阶段	(15)
2.2.1 工作的依据	(15)
2.2.2 论证阶段的主要工作	(15)
2.2.3 型号论证阶段完成的标志	(16)
2.3 方案阶段	(16)
2.3.1 工作的依据	(16)
2.3.2 方案阶段的主要工作	(16)
2.3.3 方案阶段工作完成的标志	(18)
2.4 初样阶段	(18)
2.4.1 工作的依据	(18)
2.4.2 初样阶段的主要工作	(18)
2.4.3 初样阶段工作完成的标志	(18)
2.5 试样阶段	(19)
2.5.1 工作的依据	(19)
2.5.2 试样阶段的主要工作	(19)
2.5.3 试样阶段工作完成的标志	(19)
2.6 设计定型阶段	(20)
2.6.1 工作的依据	(20)
2.6.2 设计定型阶段的主要工作	(20)
2.6.3 设计定型阶段工作完成的标志	(20)
2.7 生产定型阶段	(20)
2.7.1 工作的依据和条件	(20)
2.7.2 生产定型阶段的主要工作内容	(21)
2.7.3 生产定型标准	(21)

第 3 章 空面导弹武器系统总体	(22)
3.1 设计原则	(22)
3.2 设计方法	(23)
3.2.1 系统法	(23)
3.2.2 预算产品改进法	(24)
3.2.3 按费用设计法	(25)
3.2.4 数字化协同设计	(26)
3.3 目标特性分析	(30)
3.3.1 目标分类	(30)
3.3.2 典型目标特性	(31)
3.4 战术技术指标	(35)
3.4.1 战术技术指标论证	(35)
3.4.2 战术技术指标分解	(41)
3.5 作战效能评估	(43)
3.5.1 作战效能评估方法	(43)
3.5.2 导弹作战效能评估内容	(44)
第 4 章 空面导弹总体	(51)
4.1 导弹组成及功能	(51)
4.1.1 制导控制系统	(51)
4.1.2 引战系统	(54)
4.1.3 动力系统	(56)
4.1.4 电气系统	(58)
4.1.5 数据链(数传)系统	(58)
4.1.6 弹体结构	(58)
4.1.7 遥测和安控系统	(58)
4.2 外形设计	(58)
4.2.1 外形设计的主要要求	(59)
4.2.2 气动布局设计	(59)
4.2.3 外形几何参数的选择	(63)
4.2.4 气动特性的研究手段和方法	(66)
4.3 部位安排与质量特性	(70)
4.3.1 部位安排设计	(70)
4.3.2 质量质心的设计计算	(73)
4.3.3 转动惯量计算	(75)
4.4 综合隐身设计	(76)
4.4.1 雷达隐身技术	(76)
4.4.2 红外隐身技术	(80)
4.4.3 其他隐身技术	(86)
4.5 总体性能分析	(86)

4.5.1	飞行性能	(86)
4.5.2	突防能力和生存能力	(94)
4.5.3	制导精度	(94)
4.5.4	威力	(96)
4.5.5	使用性能	(96)
4.5.6	经济性能	(96)
第 5 章	弹体结构强度	(98)
5.1	概述	(98)
5.1.1	设计目标	(98)
5.1.2	设计流程及主要内容	(98)
5.1.3	设计依据	(98)
5.1.4	基本设计要求	(99)
5.2	弹体结构设计	(100)
5.2.1	翼面结构设计	(100)
5.2.2	弹身结构设计	(107)
5.2.3	分离机构设计	(117)
5.2.4	操纵/折叠机构设计	(127)
5.2.5	复合材料构件设计	(135)
5.2.6	热防护结构	(143)
5.3	强度设计	(145)
5.3.1	导弹载荷设计	(145)
5.3.2	静强度设计	(150)
5.3.3	动强度设计	(169)
5.3.4	结构疲劳及可靠性设计	(173)
5.3.5	气动弹性力学设计	(175)
5.4	主要大型试验	(177)
5.4.1	静强度试验	(177)
5.4.2	模态试验	(179)
5.4.3	机械系统地面功能验证试验	(182)
5.4.4	颤振试验	(184)
第 6 章	制导控制系统	(186)
6.1	概述	(186)
6.1.1	设计目标	(186)
6.1.2	设计依据	(186)
6.1.3	设计流程及主要内容	(187)
6.2	制导控制系统总体	(188)
6.2.1	系统设计与实现	(188)
6.2.2	制导控制系统仿真	(222)
6.3	控制与导航系统	(242)

6.3.1	导航系统	(242)
6.3.2	综合控制计算机	(257)
6.3.3	测高系统	(262)
6.3.4	伺服系统	(272)
6.4	导引系统	(278)
6.4.1	导引系统功能及分类	(278)
6.4.2	电视导引系统	(281)
6.4.3	红外导引系统设计	(288)
6.4.4	主动雷达导引头系统设计	(294)
6.4.5	被动雷达导引系统设计	(300)
6.4.6	半主动激光导引系统设计	(307)
6.4.7	复合导引系统	(312)
第7章	动力系统	(318)
7.1	概述	(318)
7.1.1	设计目标	(318)
7.1.2	设计流程及主要内容	(318)
7.1.3	设计依据	(319)
7.1.4	基本设计要求	(319)
7.2	固体火箭发动机设计	(320)
7.2.1	固体火箭发动机组成和原理	(320)
7.2.2	固体火箭发动机主要技术参数	(322)
7.2.3	固体火箭发动机总体方案设计	(324)
7.2.4	固体火箭发动机试验	(329)
7.3	固体火箭冲压发动机设计	(330)
7.3.1	固体冲压发动机组成和原理	(331)
7.3.2	固体冲压发动机主要技术参数	(331)
7.3.3	固体冲压发动机总体设计	(333)
7.3.4	固体冲压发动机试验技术	(338)
7.4	涡轮喷气发动机设计	(341)
7.4.1	涡喷发动机组成和原理	(341)
7.4.2	涡喷发动机的主要性能参数	(342)
7.4.3	导弹总体对发动机的技术要求	(344)
7.4.4	涡喷发动机的特性	(349)
7.4.5	涡喷发动机的安装特性	(351)
7.4.6	涡喷发动机系统试验	(359)
7.5	燃油系统设计	(360)
7.5.1	功用及组成	(361)
7.5.2	燃油系统方案设计	(361)
7.5.3	燃油系统安装设计	(374)

7.5.4	燃油系统设计计算	(376)
7.5.5	燃油系统试验	(382)
7.6	进排气系统设计	(384)
7.6.1	组成和功能	(384)
7.6.2	进气道设计	(384)
7.6.3	堵盖设计	(395)
7.6.4	次流系统设计	(397)
第8章	引信和战斗部系统	(400)
8.1	概述	(400)
8.1.1	设计目标	(400)
8.1.2	设计流程及主要内容	(400)
8.1.3	设计依据及要求	(401)
8.2	战斗部设计	(401)
8.2.1	战斗部分类与选型	(402)
8.2.2	侵彻战斗部	(405)
8.2.3	半穿甲战斗部	(409)
8.2.4	杀伤爆破战斗部	(411)
8.2.5	聚能战斗部	(418)
8.2.6	子母战斗部	(423)
8.3	引信设计	(425)
8.3.1	引信分类与选型	(425)
8.3.2	安全系统设计	(428)
8.3.3	触发类引信	(429)
8.3.4	激光近炸引信	(430)
8.3.5	全电子直列式引信	(432)
8.3.6	引信发展趋势	(434)
8.4	主要试验	(434)
8.4.1	战斗部静态威力试验	(435)
8.4.2	战斗部动态性能试验	(435)
8.4.3	引战匹配试验	(435)
第9章	电气系统	(437)
9.1	概述	(437)
9.1.1	设计目标	(437)
9.1.2	设计流程及主要内容	(438)
9.1.3	设计依据	(438)
9.1.4	基本设计要求	(439)
9.2	电源系统设计	(439)
9.2.1	弹上用电负载分析	(439)
9.2.2	主电源	(440)

9.2.3	二次电源	(444)
9.3	输配电系统设计	(446)
9.3.1	输配电系统设计要求	(446)
9.3.2	输电方式设计	(446)
9.3.3	配电方式设计	(447)
9.3.4	电气线路设计	(448)
9.3.5	配电控制盒设计	(450)
9.3.6	输配电技术的发展	(451)
9.4	电缆网络设计	(451)
9.4.1	电缆网络设计要求	(452)
9.4.2	导弹电气接线关系设计	(452)
9.4.3	电连接器及其后附件选择	(452)
9.4.4	导线选择	(453)
9.4.5	电缆附件	(454)
9.4.6	电缆拓扑结构及防护设计	(455)
9.4.7	电缆装前、装后检查	(455)
9.5	电气系统试验	(455)
9.5.1	电网络试验	(456)
9.5.2	电源品质试验	(456)
第 10 章	数据链系统	(460)
10.1	概述	(460)
10.1.1	设计目标	(460)
10.1.2	设计流程及主要内容	(460)
10.1.3	设计依据	(461)
10.1.4	基本设计要求	(463)
10.2	数据链系统分类	(463)
10.2.1	数据链系统组成及信号传输流程	(464)
10.2.2	数据链系统特点	(465)
10.3	专用数据链系统	(466)
10.3.1	专用数据链系统的组成	(466)
10.3.2	专用数据链系统的功能	(466)
10.3.3	专用数据链系统设计	(467)
10.4	卫星中继数据链系统	(475)
10.4.1	卫星中继数据链系统的组成	(475)
10.4.2	卫星中继数据链系统的分类	(476)
10.4.3	卫星中继数据链的功能	(476)
10.4.4	卫星中继数据链设计	(476)
10.5	组网数据链系统	(480)
10.5.1	组网数据链系统的组成	(480)

10.5.2	组网数据链系统的功能	(480)
10.5.3	组网数据链系统设计	(481)
10.5.4	网络构架设计	(481)
10.5.5	网络工作过程设计	(482)
10.5.6	网络协议设计	(482)
10.6	数据链系统主要试验	(482)
10.6.1	天线测试试验	(482)
10.6.2	拉距试验	(483)
10.6.3	抗干扰试验	(483)
10.6.4	互扰试验	(485)
10.7	发展趋势	(485)
第11章	火控系统	(487)
11.1	概论	(487)
11.1.1	设计目标	(487)
11.1.2	设计流程及主要内容	(487)
11.1.3	设计依据	(487)
11.1.4	基本设计要求	(487)
11.2	功用及组成	(488)
11.2.1	功用	(488)
11.2.2	组成	(488)
11.2.3	工作过程	(490)
11.3	主要战术技术指标与射击方式	(490)
11.3.1	主要战术技术指标	(490)
11.3.2	射击方式	(491)
11.4	接口关系	(491)
11.4.1	机械接口要求	(491)
11.4.2	电气接口要求	(491)
11.4.3	发射条件	(491)
11.5	工作流程	(492)
11.5.1	任务数据加载阶段	(492)
11.5.2	地面挂装和检查阶段	(492)
11.5.3	参数加载阶段	(492)
11.5.4	机弹地面协同检查阶段	(492)
11.5.5	空中武器准备阶段	(493)
11.5.6	武器发射阶段	(493)
11.5.7	目标捕获阶段	(493)
11.5.8	应急处置	(493)
11.6	火控系统试验	(493)
11.6.1	重要设备的专项性能试验	(494)

11.6.2	初样的功能试验	(494)
11.6.3	联试	(494)
11.6.4	动态性能及精度试验	(494)
11.7	发展趋势	(494)
第 12 章	任务规划系统	(496)
12.1	概述	(496)
12.1.1	设计依据	(496)
12.1.2	设计流程及主要内容	(497)
12.2	任务规划的现状与发展趋势	(498)
12.2.1	现实状况	(498)
12.2.2	发展趋势	(499)
12.3	任务规划的基本原理及方法	(499)
12.3.1	基本原理	(499)
12.3.2	方法简介	(500)
12.3.3	约束条件	(500)
12.4	任务规划系统的构成	(501)
12.4.1	功能框图	(501)
12.4.2	软件组成	(502)
12.4.3	硬件配置	(502)
12.4.4	数据库	(503)
12.5	任务规划系统的使用	(503)
12.5.1	工作流程	(503)
12.5.2	结果检验	(504)
12.6	任务规划系统的信息保障	(505)
12.6.1	基本概念	(505)
12.6.2	地理信息	(506)
12.6.3	战场情报	(506)
12.6.4	信息要求	(506)
第 13 章	技术支援系统	(507)
13.1	概述	(507)
13.1.1	设计流程及主要内容	(507)
13.1.2	设计依据	(508)
13.1.3	基本要求	(508)
13.2	保障性分析与评估	(508)
13.2.1	保障性分析	(508)
13.2.2	保障方案	(510)
13.2.3	保障性评估	(515)
13.3	综合测试技术	(517)
13.3.1	导弹测试分析	(517)

13.3.2	综合测试设备设计	(522)
13.4	地面设备设计	(526)
13.4.1	专用地面设备	(527)
13.4.2	通用地面设备介绍	(543)
第14章	“六性”工程与电磁兼容性	(546)
14.1	可靠性工程	(546)
14.1.1	可靠性策划	(546)
14.1.2	可靠性设计	(546)
14.1.3	可靠性分析	(548)
14.1.4	可靠性管理	(551)
14.1.5	元器件质量与可靠性管理	(553)
14.2	维修性工程	(554)
14.2.1	维修性策划	(554)
14.2.2	维修性设计	(555)
14.2.3	维修性分析	(555)
14.2.4	维修性管理	(556)
14.3	环境工程	(557)
14.3.1	环境工程工作策划	(557)
14.3.2	环境适应性设计	(557)
14.3.3	环境适应性分析	(558)
14.3.4	环境工程管理	(559)
14.4	测试性工程	(559)
14.4.1	测试性设计	(559)
14.4.2	测试性分析	(560)
14.5	保障性工程	(561)
14.5.1	保障性策划	(561)
14.5.2	保障性设计	(561)
14.5.3	保障性分析	(563)
14.5.4	保障性管理	(563)
14.6	安全性工程	(564)
14.6.1	安全性策划	(564)
14.6.2	安全性设计	(564)
14.6.3	安全性分析	(564)
14.6.4	安全性管理	(565)
14.7	电磁兼容性设计	(566)
14.7.1	原理	(567)
14.7.2	设计内容	(567)
14.7.3	方法	(569)
14.7.4	设计要求	(570)