

导弹与航天丛书

防空导弹系列

防空导弹武器系统 可靠性工程设计

主 编 朱美娴



中国宇航出版社

·北京·

内 容 简 介

本书在总结防空导弹武器系统可靠性工程实践的基础上,系统地论述了可靠性工程的工作内容及工作程序、环境条件、系统可靠性模型、系统可靠性参数及其指标、可靠性分配及预计、可靠性工程设计准则、机械结构的可靠性设计、军用软件可靠性、可靠性分析技术、可靠性试验及评定等内容。

本书可供防空导弹武器系统可靠性工程设计人员阅读,也可作为武器系统工程设计人员和管理人员以及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

防空导弹武器系统可靠性工程设计/朱美娴主编. —北京:
中国宇航出版社,1994.11(2009.8重印)
(导弹与航天丛书.第3辑,防空导弹系列)
ISBN 978-7-80034-675-0

I.防... II.朱... III.防空导弹—系统可靠性—工程设计
IV. TJ761.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 084671 号

责任编辑 尚秉民 装帧设计 宇航数码

出版 发行 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 1994 年 11 月第 1 版

2009 年 8 月第 2 次印刷

规 格 850×1168 开 本 1/32

印 张 12.25 字 数 312 千字

印 数 1001~1800

书 号 ISBN 978-7-80034-675-0

定 价 60.00 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

张彦华

《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		

**《防空导弹武器系统可靠性工程设计》
作者名单**

主 编 朱美娴

责任编委 张志鸿

作 者 朱美娴 成楚之 陈志才 周广涛
王振邦

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

可靠性是构成防空导弹武器装备作战效能，并影响其寿命周期费用的重要因素，是武器系统战术技术指标的重要组成部分。现代防空导弹武器装备的高性能，只有在具备好的可靠性的前提下，才能真正得到发挥。因此必须高度重视并强调武器装备研制、生产期间的可靠性工作，把可靠性设计、分析和试验等一系列活动纳入武器装备的研制和生产过程，以适应现代化战争的需要。

本书重点放在工程设计和应用上，在总结防空导弹武器系统可靠性工程实践的基础上，侧重介绍在装备研制阶段可靠性工程的工作内容及工作程序、环境条件、系统可靠性模型、系统可靠性参数及其指标、可靠性分配及预计、可靠性工程设计准则、可靠性分析技术、可靠性试验及评定等。由于机械结构的可靠性设计及军用软件可靠性有其特殊性，且大部分工作起步较晚，故在书中单独成章。

本书共分 10 章。第 1 章至第 6 章由朱美娟执笔，第 7 章由成楚之执笔，第 8 章由陈志才执笔，第 9 章由周广涛执笔，第 10 章由王振邦和朱美娟执笔。全书由朱美娟主编，何国伟等详细审阅了本书全稿，并提出了不少宝贵意见。在此谨向所有参与本书审阅、编辑、出版的同志致以衷心感谢。

本书可供防空导弹武器系统可靠性工程设计人员阅读，也可作为武器系统工程设计人员和管理人员以及高等院校相关专业师生的参考书。

编 者

1993 年 11 月

重印说明

20世纪80年代前期，我国向太平洋海域发射远程火箭、水下发射固体燃料火箭和发射地球静止轨道试验通信卫星等三项重要任务相继圆满完成，标志着中国航天事业的发展进入了新时期。面对更高的发展目标，以及航天技术干部平均年龄已达四十六七岁、许多技术专家年事已高、他们所掌握的理论 and 工程实践经验急需积累和传承的紧迫形势，当时的航天工业部领导果断决定：在圆满完成繁重的型号产品研制任务的同时，将我国导弹与航天事业创建以来各种型号产品研制的成果进行科学总结，编纂为《导弹与航天丛书》。20多年来，陆续出版的丛书为不断涌现的航天新技术、新型号，为成长中的新一代航天科技工作者提供了并将继续提供宝贵的营养，对于继承我国老一辈航天科技工作者创造的成果、坚持走创新之路所起的作用是无可替代的。

编纂出版《导弹与航天丛书》是一项宏大的文字系统工程，和研制导弹与航天型号产品一样，经历了艰辛的奋斗历程。回顾以往，我们对当年作出编纂丛书这一历史性决策的郑天翔、陆平、张钧、李绪鄂、宋健等老领导表示深深的敬意；对以鲍克明为主任的丛书编辑工作委员会的开创性工作表示深深的敬意。1991年以后，刘纪原担任丛书编辑工作委员会主任；在丛书编辑工作委员会的领导下，我们在2007年年底完成了全套丛书的出版工作。由于丛书出版工作历时20多年，各分册陆续推出，其间，丛书的很多分册已经售罄，应读者要求面世的按需印刷（POD）版也难以满足丛书配套使用的需要；《导弹与航天丛书》在航天事业发展中的重要性日益显现出来。

中国的航天事业，已进入到了新的历史时期，航天科技集团

公司正在全面推进航天科技工业新体系的建设，根据航天事业继承、创新、发展的需要，航天科技集团公司领导决定重印《导弹与航天丛书》。借此机会，我们对多年来所有参与丛书编纂、出版工作的航天科技工作者表示衷心的感谢。

中国宇航出版社

2009年6月

《导弹与航天丛书》

书 目

(156 册)

I、液体弹道导弹与运载火箭系列

- | | |
|-----------------|----------------------|
| 1. 总体设计(上) | 19. 弹头技术(上) |
| 2. 总体设计(中) | 20. 弹头技术(中) |
| 3. 总体设计(下) | 21. 弹头技术(下) |
| 4. 结构设计 | 22. 遥测系统(上) |
| 5. 液体火箭发动机原理 | 23. 遥测系统(下) |
| 6. 液体火箭发动机设计(上) | 24. 发射技术(上) |
| 7. 液体火箭发动机设计(下) | 25. 发射技术(中) |
| 8. 液体火箭发动机试验 | 26. 发射技术(下) |
| 9. 液体推进剂 | 27. 结构静力试验技术 |
| 10. 控制系统(上) | 28. 结构热试验技术 |
| 11. 控制系统(中) | 29. 振动工程(上) |
| 12. 控制系统(下) | 30. 振动工程(下) |
| 13. 惯性器件(上) | 31. 强度环境试验设备与仪器仪表 |
| 14. 惯性器件(下) | 32. 材料工艺(上) |
| 15. 电液伺服机构 | 33. 材料工艺(下) |
| 16. 弹(箭)载计算机 | 34. 弹头弹体制造与火箭总装技术(上) |
| 17. 外测与安全系统 | 35. 弹头弹体制造与火箭总装技术(下) |
| 18. 弹(箭)上一次电源 | 36. 发动机制造技术 |