

导弹与航天丛书
卫星工程系列

卫星结构设计与分析

(上)

导弹与航天丛书
卫星工程系列

卫星结构设计与分析

(上)

主 编 袁家军
副主编 于登云 陈烈民



中国宇航出版社

·北京·

内 容 简 介

本书是关于卫星机械系统的一部技术专著,对卫星结构和机构的设计与分析进行了较全面的论述。全书分上、下两册,共14章。上册1~6章为一般性技术内容,包括:概论、技术基础、卫星结构设计、卫星结构材料、卫星结构分析、卫星结构设计的验证。

本书可供航天器设计、分析、制造、试验和应用等领域的技术人员阅读,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

卫星结构设计与分析.上/袁家军主编. —北京:中国宇航出版社,
2004.10(2009.8重印)

(导弹与航天丛书.第5辑,卫星工程系列)

ISBN 978-7-80144-781-4

I. 卫… II. 袁… III. ①人造卫星—机械系统—结构分析
②人造卫星—机械系统—结构设计 IV. V423.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第021870号

责任编辑 艾小军 居自强 装帧设计 宇航数码

出 版 社 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 新华书店

零售店 读者服务部

(010)68371105

(010)68522384(传真)

承 印 北京画中国画印刷有限公司

版 次 2004年10月第1版

2009年8月第2次印刷

规 格 850×1168 开 本 1/32

印 张 10.5 字 数 269千字

印 数 1001~2000

书 号 ISBN 978-7-80144-781-4

定 价 50.00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

张立群

《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

卫星工程系列
编辑委员会

主任 孙家栋

副主任 戚发轫 杨嘉墀 屠善澄 徐福祥
侯深渊 (常务)

委员 林华宝 马兴瑞 李祖洪 邹广瑞
陈宜元 范本尧 朱毅麟 马世俊
黄本诚 陆道中 高慎斌 王金堂
魏钟铨

办公室 陆道中 杨树仁 宋惠兰 居自强
于 森

《卫星结构设计与分析(上)》
作者名单

主 编 袁家军

副 主 编 于登云 陈烈民

主编助理 白光明 刘立平 卢春平

作 者 陈烈民 冯纪生 柴洪友 白光明
焦定江 吴国庭 金 烽 宋燕平
李 翔 娄汉文 杨宝宁 韩增尧
陈月根 史瑾文 袁家军 于登云
刘立平

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。

马兰瑞

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

卫星工程系列

序 言

卫星工程系列是《导弹与航天丛书》的系列之一。

我国坚持自力更生、艰苦奋斗的方针，在人造卫星的研制工作中取得了举世瞩目的成就。1970年4月24日，中国第一颗人造地球卫星——“东方红一号”发射成功，卫星运行正常，我国跨入了空间大国的行列。至今，我国成功地研制和发射了30颗不同类型的人造卫星，其中包括当代最重要的三类应用卫星：高轨道的静止通信卫星、低轨道的返回式卫星和中轨道的遥感卫星。这些卫星应用于国民经济、国防建设、文化教育和科学研究的很多部门，取得了显著的社会效益和经济效益。

我国在研制人造卫星的工作中，开展了创造性的科研活动，积累了丰富的实践经验，形成了学科门类齐全的卫星工程知识体系。我们组织众多的工程技术专家编写本系列图书的目的，在于将这些实践经验和理论知识进一步系统化和理论化，并适当吸收国外先进的科学技术成果，使其形成一整套航天技术著作，用于指导今后的卫星研制工作。本系列图书共有19种29分册，包括卫星工程概论、卫星分系统技术和专业技术，以及探空火箭设计。

本系列图书的内容以人造卫星的研制技术为主，着重论述卫星工程技术方面的问题，并简要论及了许多相关学科的问题，使其具有完整性、系统性。某些分册涉及载人飞船、空间站等其他类航天器的工程技术问题，其中论述内容较多的两册，书名冠以

航天器。本系列各分册在内容上具有相对的独立性和系统性。

编纂卫星工程系列图书尚无经验可循，我们的工作首次尝试，由于编著人员的知识水平和实践经验有限，书中不当之处在所难免，欢迎广大读者批评指正。

本系列图书的编纂工作，得到很多单位领导、广大科技人员和宇航出版社很多同志的大力支持，在此致以衷心的感谢。

卫星工程系列
编辑委员会
1991年6月

前 言

《卫星结构设计与分析》是《导弹与航天丛书》卫星工程系列中关于卫星机械系统的一部技术专著。全书分上、下两册，共14章，上册为一般性技术内容，包括：概论、技术基础、卫星结构设计、卫星结构材料、卫星结构分析、卫星结构设计的验证；下册为具体技术内容，包括：杆系结构、板式结构、中心承力筒结构、密封舱结构、防热结构、太阳翼结构和机构、天线结构和机构、连接与分离机构。

由于卫星技术的发展，在卫星机械系统中，除了卫星结构以外，卫星机构已成为相对独立的重要组成部分，因此本书对此也进行了充分的阐述。另外，虽然本书以卫星的结构和机构为重点，但也涉及了其他航天器的结构和机构。

卫星结构和机构的研制可以包括设计、制造和试验三个方面，本书主要描述卫星结构和机构的设计，但也涉及有关制造或试验的内容。在现代卫星结构和机构的设计中，计算分析工作起到了非常重要的作用，实际上它是设计中不可分割的一个重要环节。但考虑到分析的重要性及其特殊性和复杂性，本书把它与设计分开进行描述。

本书是目前中国航天器结构和机构的第一部技术专著，突出了工程实用性、系统性、完整性和先进性，全面论述了卫星结构和机构的设计与分析方法，并且结合各类具体结构和机构作了详细说明。

本书由中国空间技术研究院从事卫星结构和机构研制工作的高级工程技术人员共同编写完成。在编写和出版过程中得到了中

国空间技术研究院各级领导的大力支持和帮助；在编审过程中，曾得到刘素云、徐孝诚、俞云书、吕钢、姜贵庆、李焕林、巫世杰、黄爱生、张建刚、宋剑鸣、彭成荣、沃西源、刘志全、马海全等专家的指导和帮助，在此谨致以诚挚的谢意。

本书可供航天器设计、分析、制造、试验和应用等领域的技术人员阅读，也可作为高等院校相关专业师生的参考书。

由于编写人员的水平和经验有限，书中难免存在缺点和错误，敬请广大读者批评指正。

编 者

2004年4月

目 录

第1章 概论 袁家军 于登云 白光明 刘立平

- 1.1 概念和范畴 (1)
- 1.2 卫星结构和机构的功能 (2)
 - 1.2.1 卫星结构的功能 (2)
 - 1.2.2 卫星机构的功能 (3)
- 1.3 卫星结构和机构设计的特点和原则 (4)
 - 1.3.1 设计特点 (4)
 - 1.3.2 设计原则 (5)
- 1.4 卫星结构和机构的分类 (7)
 - 1.4.1 卫星结构的分类 (7)
 - 1.4.2 卫星机构的分类 (9)
- 1.5 卫星结构和机构的研制程序 (11)
- 1.6 卫星结构和机构技术的发展和展望 (17)
 - 1.6.1 卫星结构技术 (17)
 - 1.6.2 卫星机构技术 (21)
 - 1.6.3 卫星结构和机构的相关技术 (23)
- 参考文献 (24)

第2章 技术基础

白光明 陈烈民 韩增尧 杨宝宁 陈月根

- 2.1 概述 (26)
- 2.2 结构动力学 (27)
 - 2.2.1 基本任务及研究方法 (27)
 - 2.2.2 单自由度系统的自由振动 (29)
 - 2.2.3 单自由度系统的受迫振动 (31)
 - 2.2.4 多自由度系统的振动 (35)

2.3	复合材料力学	(40)
2.3.1	基本概念和分析方法	(40)
2.3.2	层合复合材料的刚度分析	(43)
2.3.3	层合复合材料的强度分析	(47)
2.4	结构有限元法	(51)
2.4.1	有限元方程的建立	(53)
2.4.2	有限元法分析的过程	(57)
2.4.3	基本的结构单元	(59)
2.4.4	总体矩阵的形成和方程求解	(64)
2.5	结构优化方法	(67)
2.5.1	基本概念	(68)
2.5.2	最优化方法	(72)
2.5.3	最优化算法	(74)
2.6	计算机辅助设计方法	(79)
2.6.1	结构的计算机辅助几何造型	(79)
2.6.2	机构的计算机辅助运动学分析	(85)
2.6.3	结构的有限元分析	(87)
2.6.4	结构的设计/制造一体化	(91)
	参考文献	(94)
第3章 卫星结构设计		冯纪生 白光明
3.1	概述	(95)
3.2	卫星结构的工作环境	(96)
3.2.1	地面环境	(96)
3.2.2	发射环境	(101)
3.2.3	轨道环境	(104)
3.2.4	再入环境	(108)
3.3	卫星结构的载荷分析	(109)
3.3.1	载荷源	(109)
3.3.2	载荷分类	(113)
3.3.3	结构静载荷分析	(113)
3.3.4	结构动载荷分析	(114)
3.3.5	结构的综合载荷分析	(120)