

《国防科研试验工程技术系列教材》

导弹航天测试发射系统

航 天 器

中国人民解放军总装备部军事训练教材编撰工作委员会

国防工业出版社

《国防科研试验工程技术系列教材》

导弹航天测试发射系统

航 天 器

中国人民解放军总装备部
军事训练教材编辑工作委员会



国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

航天器 / 中国人民解放军总装备部军事训练教材编辑
工作委员会编. —北京: 国防工业出版社, 2006. 6
国防科研试验工程技术系列教材. 导弹航天测试发射
系统

ISBN 7 - 118 - 04341 - 9

I. 航... II. 中... III. 航天器—教材 IV. V47

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 003594 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850 × 1168 1/32 印张 16 $\frac{1}{2}$ 字数 417 千字

2006 年 6 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 48.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

《国防科研试验工程技术系列教材》 总编审委员会

名誉主任委员 程开甲 李元正

主任委员 胡世祥

副主任委员 段双泉 尚学琨 褚恭信 马国惠

委 员 (以下按姓氏笔画排列)

王国玉 刘 强 刘晶儒 张忠华

李济生 邵发声 周铁民 姚炳洪

姜世忠 徐克俊 钱卫平 常显奇

萧泰顺 穆 山

办公室主任 任万德

办公室成员 王文宝 冯许平 左振平 朱承进

余德泉 李 钢 杨德洲 邱学臣

郑时运 聂 皞 陶有勤 郭淦水

钱玉民

《国防科研试验工程技术系列教材· 导弹航天测试发射系统》编审委员会

主任委员 胡世祥

副主任委员 尚学琨 王文宝 李 钢 崔吉俊
谷连文 徐宏亮 常显奇 汪建平

委 员 (以下按姓氏笔画排列)

于建平 王立军 王保顺 刘雨均

杨乐平 邵发声 陈新华 张贤文

张育林 张泽明 赵 民 郑时运

钱玉民 徐克俊 徐广洲 虞晓明

穆 山

主 编 邵发声

副 主 编 徐克俊 穆 山 刘雨均 于建平
张育林 徐广洲

秘 书 马建林 张 炜

航 天 器

主 编 张育林 吴建军

编著者 张育林 吴建军 胡小平 刘 文

罗世彬

总 序

当今世界,科学技术突飞猛进,知识经济迅速兴起,国力竞争越来越取决于各类高技术、高层次人才的质量与数量,因此,作为人才培养的基础工作——教材建设,就显得格外重要和紧迫。为总结、巩固国防科研试验的经验和成果,促进国防科研试验事业的发展,加快人才培养,我们组织了近千名专家、学者编著了这套系列教材。

建国以来,我国国防科研试验战线上的广大科技人员,发扬“自力更生、艰苦奋斗、科学求实、大力协同、无私奉献”的精神,经过几十年的努力,建立起了具有相当规模和水平的科研试验体系,创立了一系列科研试验理论,造就了一支既有较高科学理论知识、又有实践经验,勇于攻关、能打硬仗的优秀科技队伍,取得了举世瞩目的成就。这些成就对增强国防实力,带动国家经济发展,促进科技进步,提高国家和民族威望,都发挥了重要作用。

编著这套系列教材是国防科研试验事业继往开来的大事,它是国防科研试验工程技术建设的一个重要方面,是国防科技成果的一个重要组成部分,也是体现国防科研试验技术水平的一个重要标志。它承担着记载与弘扬科技成就、积累和传播科技知识的使命,是众多科技工作者用心血和汗水凝成的科技成果。编著这套系列教材,旨在从总体的系统性、完整性、实用性角度出发,把丰富的实践经验进一步理论化、科学化,形成具有我国特色的国防科研试验理论与实践相结合的知识体系。一是总结整理国防科研试验事业创业40年来重要成果及宝贵经验;二是优化专业技术教材体系,为国防科研试验专业技术人员提供一套系统、全面的教科书,满足人才培养对教材的急需;三是为国防科研试验提供有力的

技术保障;四是将许多老专家、老教授、老学者广博的学识见解和丰富的实践经验总结继承下来。

这套系列教材按国防科研试验主要工程技术范畴分为:导弹航天测试发射系统、导弹航天测量控制系统、试验通信系统、试验气象系统、常规兵器试验系统、核试验系统、空气动力系统、航天医学工程系统、国防科技情报系统、电子装备试验系统等。各系统分别重点论述各自的系统总体、设备总体知识,各专业及相关学科的基础理论与专业知识,主要设备的基本组成、原理与应用,主要试验方法与工作程序,本学科专业的主要科技成果,国内外的最新研究动态及未来发展方向等。

这套系列教材的使用对象主要是:具有大专以上学历的科技与管理干部,从事试验技术总体、技术管理工作的人员及院校有关专业的师生。

期望这套系列教材能够有益于高技术领域里人才的培养,有益于国防科研试验事业的发展,有益于科学技术的进步。

《国防科研试验工程技术系列教材》

总编审委员会

1999年10月

序

导弹航天测试发射系统是国防科研试验工程的重要组成部分。40多年来,我国导弹、航天飞行器测试发射技术经过几代人开拓发展与经验积累,培养和造就了一支高素质测试发射工程专业队伍,为我国导弹、航天事业的发展作出了巨大贡献,取得了举世瞩目的成就。为使我国的导弹、航天事业不断进步,保持与世界航天测试发射技术同步发展,培养和造就新一代测试发射技术人才,系统地整理和总结40年来测试发射理论与实践成果,编写一套既适应人才培养需要,又对科研试验工作具有指导作用的系列教材,具有十分重要的现实意义和深远的历史意义。

本套教材以具有大专以上学历的测试发射总体人员、工程技术人员和指挥管理人员为主要对象,以导弹航天测试发射工程的基本理论、技术、总体与系统组成为主要内容,以测试发射工程技术为重点,论述力求严谨明确,具有较强的系统性、完整性、实用性和技术前瞻性,既可作为实际工作指导用书,亦可作为相关专业人员的学习参考用书。

本套教材共分14卷。包括:《发射工程学概论》、《运载火箭总体与结构》、《运载火箭控制系统》(上、下册)、《运载火箭推进系统》、《运载火箭遥测系统》、《运载火箭外测与安全系统》、《航天器》、《地地导弹》、《测试技术》、《发射技术》(上、下册)、《测试发射勤务技术》、《液体推进剂》、《发射指挥技术》和《发射试验结果分析与鉴定技术》。

本套教材是几代航天人呕心沥血、无私奉献的共同成果,是长期工作在导弹航天领域科研试验第一线的专家、科技人员理论与实践经验的总结和聪明与才智的结晶。在此,我们谨向他们表示

崇高的敬意。同时,也向参与本套教材编写、修改、审定工作的专家、技术人员和编辑出版工作人员表示衷心的感谢。由于本套教材涉及专业面广、涵盖内容多,疏漏之处在所难免,恳请读者予以指正。

在本套教材的编写过程中,还得到了总装备部首长、机关、试验基地、有关科研院所和型号研制部门的关心与大力支持,在此一并表示感谢。

《国防科研试验工程技术系列教材·
导弹航天测试发射系统》编审委员会
2001年1月

前 言

《航天器》是《国防科研试验工程技术系列教材·导弹航天测试发射系统》中的一卷。本书主要针对航天器技术,从基本概念、理论基础、关键技术和最新发展等方面,系统全面地介绍了航天器的基本类型和特点,阐述了航天器主要分系统的组成、结构、功能和特点;特别是对航天器的轨道理论、热控技术、能源与推进技术、控制技术、测控与通信技术、再入与返回技术、环境控制与生命保障技术、应急救援技术等进行了详细的论述。本书内容注重基础性、先进性和普遍性。

本书共分11章。第1章概论:主要介绍航天器的基本概念、分类、功能与组成;航天器的发展历史与航天器的应用等。第2章航天器空间环境:主要介绍航天器所处的自然环境;航天器内部的微重力环境及其应用;阐述航天器与空间环境的相互作用,特别是空间环境对航天器工作、运行与可靠性的影响。第3章航天器技术基础:主要介绍航天器运动学基础知识与航天器轨道动力学的有关原理和应用问题。第4章航天器热控制技术:重点论述航天器热控制中的被动热控技术和主动热控技术。第5章航天器电源与推进技术:简要介绍航天器电源系统及其相关技术,重点论述航天器推进技术,包括航天器推进系统类型与选择、化学火箭推进技术、电推进技术、其他先进的推进技术等。第6章航天器控制技术:重点论述航天器控制系统的基本原理和关键技术。第7章航天器测控与通信技术:介绍航天器测控与通信系统的软硬件组成与功能;论述航天器数据管理系统及计算机系统组成、接口技术、软硬件要求等。第8章航天器再入与返回技术:介绍再入与返回技术所涉及的基本概念;航天器返回轨道设计分析理论;返回式航

天器气动力和气动热技术;航天器回收与着陆系统的组成、功能与技术。第9章载人航天器环境控制生命保障与应急救生技术:介绍与航天员有关的技术问题;重点论述载人航天器环境控制与生命保障技术,包括系统组成与功能、关键技术、典型系统分析,以及载人航天器应急救生技术等。第10章卫星和空间探测器:主要介绍无人航天器,包括人造卫星和空间无人探测器,重点论述卫星的结构、组成与功能,并对对地观测卫星、中继卫星、空间基准卫星等主要卫星类型及其有效载荷进行介绍;然后介绍空间探测器以及微型卫星与分布式航天器技术。第11章载人航天器:主要介绍载人航天器的组成、结构和功能,并对各类典型系统进行分析,包括载人飞船、空间站、航天飞机、可重复使用天地往返运输系统等。

本书是在导弹航天测试发射系列教材编委会指导下,由国防科学技术大学航天与材料工程学院组织完成的。本书由张育林、吴建军任主编,参加编写工作的还有胡小平、刘文、罗世彬等同志。国防科学技术大学航天与材料工程学院2001级、2002级、2003级百余名博士生通过选修课程“宇航科学与技术进展”提供了本书部分编写资料,博士生魏鹏飞、鄢昌渝、杨乐、李自然,硕士生石杰、黄强等录入了书稿部分文字。另外,在本书编写过程中得到总装备部作战试验局、国防科学技术大学训练部、酒泉卫星发射中心、装备指挥技术学院、太原卫星发射中心、西昌卫星发射中心等单位的大力支持。在此,谨致以衷心感谢。

由于编者水平有限,书中疏误在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2005年12月

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 航天器定义与分类	1
1.1.1 定义和分类	1
1.1.2 功能和作用	4
1.2 航天器系统与关键技术	6
1.2.1 各类航天器的构成	6
1.2.2 主要分系统与功能	10
1.2.3 总体设计要求	15
1.2.4 关键技术	17
1.3 航天器发展简史	17
1.3.1 发展简史	17
1.3.2 发展趋势	22
1.3.3 中国航天器技术的发展	24
1.4 航天器的应用	34
1.4.1 空间通信	34
1.4.2 空间观测与遥感	36
1.4.3 空间导航与定位	37
1.4.4 科学研究	38
1.4.5 军事应用	39
1.5 航天技术对社会发展的影响	41
1.5.1 航天技术与政治经济	41
1.5.2 航天技术与科学技术	42
1.5.3 航天技术与军事和国防	43
第 2 章 航天器空间环境	44
2.1 自然空间环境	44

2.1.1	地球大气	44
2.1.2	地球磁场与静电场	49
2.1.3	电磁辐射	52
2.1.4	粒子辐射	52
2.1.5	微流星及空间碎片	55
2.1.6	无线电噪声	60
2.1.7	空间微重力环境与空间真空环境	60
2.2	航天器内部微重力环境	61
2.2.1	产生机制	61
2.2.2	应用	62
2.3	空间环境对航天器的影响	64
2.3.1	空间热真空环境对航天器的影响	64
2.3.2	空间高能粒子辐射环境对航天器的影响	64
2.3.3	空间碎片环境、空间污染环境对航天器的影响	66
2.3.4	微流星环境对航天器的影响	67
2.3.5	空间等粒子体环境、磁层环境对航天器的影响	67
2.3.6	空间磁场环境与空间微重力环境对航天器的影响	69
2.3.7	空间大气环境、空间原子氧环境对航天器的影响	70
第3章	航天器技术基础	72
3.1	基础知识	72
3.1.1	力学基本定律	72
3.1.2	三种宇宙速度	74
3.1.3	作用于航天器的力和力矩	76
3.2	空间坐标系与轨道要素	77
3.2.1	坐标系	77
3.2.2	二体问题	80
3.2.3	轨道要素和特征参数	85
3.3	航天器轨道动力学基础	86
3.3.1	轨道摄动	86
3.3.2	轨道机动	89
3.4	航天器环绕地球运行的典型轨道	95
3.4.1	大椭圆轨道与圆轨道	95

3.4.2	太阳同步轨道	96
3.4.3	地球同步轨道	97
3.4.4	回归轨道	97
3.4.5	特殊轨道	98
3.4.6	卫星星座	99
3.5	航天器星际飞行轨道	103
3.5.1	地月飞行轨道	103
3.5.2	星际飞行轨道	105
3.6	航天器姿态动力学基础	106
3.6.1	无力矩运动	106
3.6.2	力矩响应	108
3.6.3	旋转动能	109
3.6.4	姿态扰动力矩	110
3.6.5	姿态动力学方程	113
3.6.6	挠性卫星的动力学问题	115
3.7	航天器发射窗口	116
第4章 航天器热控制技术		120
4.1	概述	120
4.1.1	传热方式	120
4.1.2	航天器热控制概念	124
4.1.3	航天器飞行热环境	125
4.1.4	航天器的热平衡	128
4.2	航天器被动热控制技术	131
4.2.1	热控涂层	132
4.2.2	多层隔热材料	135
4.2.3	热管	140
4.2.4	相变材料热控制	141
4.3	航天器主动热控制技术	141
4.3.1	辐射式主动热控制方法	143
4.3.2	传导式主动热控制方法	145
4.3.3	对流主动热控制方法	148
4.3.4	电热热控制方法	151

4.3.5	航天器制冷方法	152
4.4	卫星热结构与热控制	154
4.4.1	卫星热结构类型与热设计	154
4.4.2	卫星热控制材料与热控制装置	154
4.4.3	卫星热控制系统实例	158
4.5	载人航天器热控制	159
4.5.1	热控制系统任务与总体要求	159
4.5.2	热控制系统组成与功能	160
4.5.3	载人航天器热控制系统实例	162
4.6	航天器热控制技术发展趋势	164
第5章	航天器电源与推进技术	167
5.1	航天器电源	167
5.1.1	概念和功能	167
5.1.2	电源系统的组成	168
5.1.3	系统选择与设计要求	171
5.1.4	应用	175
5.1.5	先进的电源技术	177
5.2	航天器推进系统	181
5.2.1	推进系统的分类与主要参数	183
5.2.2	推进系统的要求与选用原则	185
5.2.3	推进系统的设计与实现	190
5.3	化学火箭推进系统	191
5.3.1	液体火箭发动机	192
5.3.2	固体火箭发动机	198
5.3.3	固液混合型火箭发动机	200
5.4	电推进系统	201
5.4.1	电热式推进系统	202
5.4.2	静电式推进系统	206
5.4.3	电磁式推进系统	209
5.5	其他先进的推进技术	213
5.5.1	激光推进	213
5.5.2	系绳推进	219

5.5.3	太阳帆推进	222
5.5.4	反物质推进	226
第6章	航天器控制技术	230
6.1	概述	230
6.2	航天器导航技术	233
6.2.1	惯性导航	234
6.2.2	天文导航	238
6.2.3	GPS 导航	241
6.2.4	组合导航	249
6.3	航天器轨道控制	250
6.3.1	变轨控制与轨道机动	250
6.3.2	轨道保持	254
6.3.3	交会与对接	259
6.3.4	再入与着陆控制	264
6.4	航天器姿态控制	266
6.4.1	姿态控制系统组成与功能	266
6.4.2	姿态控制系统设计要求	266
6.4.3	姿态确定系统(姿态敏感器)	267
6.4.4	姿态稳定控制系统	271
6.4.5	姿态机动控制系统	280
6.5	航天器典型控制系统举例	283
第7章	航天器测控与通信技术	285
7.1	概述	285
7.1.1	电磁波	285
7.1.2	天线	288
7.1.3	空间通信	292
7.2	航天器测控	292
7.2.1	跟踪测轨	292
7.2.2	遥测	293
7.2.3	遥控	304
7.2.4	举例	308
7.3	航天器通信	311