

《国防科研试验工程技术系列教材》

导弹航天测试发射系统

运载火箭推进系统

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

V43
1009



《国防科研试验工程技术系列教材》

导弹航天测试发射系统

运载火箭推进系统

中国人民解放军总装备部
军事训练教材编辑工作委员会



200307134

国防工业出版社

· 北京 ·

200307134

图书在版编目(CIP)数据

运载火箭推进系统/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, 2002.2

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 7-118-02789-8

I. 运... II. 中... III. 火箭—推进系统
IV. V43

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 004506 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 11% 303 千字

2002 年 2 月第 1 版 2002 年 2 月北京第 1 次印刷

印数:1—3000 册 定价:29.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

00000000

《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 (以下按姓氏笔划排列)

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 郑时运 刘庆贵 刘仁生

徐洪亮 常显奇 汪建平

委员 (按姓氏笔划排列)

于建平 王立军 王保顺 刘雨均

李刚 杨乐平 邵发声 陈新华

张贤文 张育林 张泽明 赵民

钱玉民 徐广洲 徐克俊 虞晓明

穆山

主编 邵发声

副主编 徐克俊 穆山 刘雨均 于建平

徐广洲

秘书 张炜 马建林

运载火箭推进系统

主 编 陈新华

主 审 张振鹏

编著者 陈新华 吕广文 许连全 聂万胜

向四桂 郭忠来 庞建国 余浩章

审校者 张振鹏 陈德隆 罗巧军 王爱玲

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。编著该套系列教材,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》、《航天飞行器》、《地地导弹》、《测试技术》、《发射技术》(上、下册)、《测试发射技术勤务系统》、《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

《运载火箭推进系统》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,主要论述了导弹航天测试发射系统中与运载火箭推进系统相关的技术,从某一侧面反映出了我国运载火箭推进技术和推进系统测试技术发展水平。

本书针对导弹航天测试发射,结合运载火箭推进系统的特点,理论联系工程实际,重点论述运载火箭推进系统的工作原理与测试技术。全书共分6章。第1章概论,介绍火箭推进系统的作用、特点与分类,液体和固体运载火箭推进系统的发展概况。第2章基本概念与主要性能参数,介绍推进系统主要性能参数的定义与数学表达式。第3章液体火箭推进系统,简要介绍液体火箭发动机的特点、分类及工作原理,我国几种典型的液体火箭推进系统的组成和工作原理,液体火箭发动机主要部组件的结构特点与工作原理。第4章液体火箭推进剂利用系统,介绍液体火箭推进剂利用系统的组成与工作原理、典型推进剂利用系统控制方程、主要组件工作原理与结构特征。第5章固体火箭推进系统,介绍固体火箭发动机工作原理,固体火箭推进剂性能,装药特点、分类,主要组件工作原理与结构特征,固体火箭推力终止系统和推力矢量控制系统工作原理,我国航天用固体火箭推进系统的特点等。第6章推进系统测试技术,介绍航天发射场可贮存推进剂液体火箭推进系统、液氧/液氢推进剂火箭推进系统、小推力液体火箭推进系统、推进剂利用系统、固体火箭推进系统、火工品等测试方法与测试程序以及测试内容与要求、系统测试接口关系、主要测试设备工作原理等。

本书由装备指挥技术学院、酒泉卫星发射中心、西昌卫星发射

中心、太原卫星发射中心的8名同志编写,分别请北京航空航天大学张振鹏教授、航天科技集团公司陈德隆研究员、罗巧军高级工程师、王爱玲研究员等专家审校。

本书编写工作是在总装备部司令部作试局和军训局领导下进行的,装备指挥技术学院、西昌卫星发射中心、太原卫星发射中心、酒泉卫星发射中心的领导和有关机关给予了大力支持。在此,谨致以衷心谢意。

由于编者水平和学识有限,不足与疏误之处恳请读者不吝赐教。

编 者

2001年11月

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 火箭推进系统的作用、特点与分类	1
1.1.1 作用	1
1.1.2 特点	1
1.1.3 分类	2
1.2 运载火箭推进系统的发展概况	14
1.2.1 液体运载火箭推进系统的发展概况	14
1.2.2 固体运载火箭推进系统的发展概况	17
第 2 章 基本概念与主要性能参数	19
2.1 推力	19
2.1.1 推力室推力	19
2.1.2 真空推力	22
2.1.3 额定推力	22
2.1.4 地面推力	22
2.1.5 发动机推力	23
2.2 冲量与比冲量	23
2.2.1 火箭发动机工作时间	24
2.2.2 冲量	24
2.2.3 比冲量	24
2.2.4 后效冲量	25
2.3 火箭发动机推力室排气速度	26
2.4 运载火箭的理想速度	28
2.4.1 单级火箭飞行速度	28
2.4.2 火箭结构质量和推进剂对火箭理想速度的影响	30
2.4.3 多级火箭的理想速度	31

2.5	推质比	32
2.6	推力系数	33
2.7	特征速度	34
2.8	效率	35
2.8.1	热效率	35
2.8.2	推进效率	36
2.8.3	总效率	36
2.9	推力矢量控制与推力矢量偏差	36
2.10	推进剂质量混合比与混合比偏差	37
2.10.1	混合比	37
2.10.2	混合比偏差	39
第3章	液体火箭推进系统	41
3.1	液体火箭发动机特点与分类	41
3.1.1	特点	41
3.1.2	分类	42
3.2	液体火箭发动机系统工作原理	43
3.2.1	系统组成与定义	43
3.2.2	液体火箭发动机推力产生过程	45
3.2.3	推进剂供应系统	45
3.2.4	吹除、置换和气封系统	48
3.2.5	预冷系统	49
3.2.6	液体火箭发动机的工作过程	50
3.3	推进剂贮箱增压系统	55
3.3.1	气瓶贮气增压系统	55
3.3.2	推进剂汽化增压系统	59
3.3.3	燃气降温增压系统	61
3.4	典型液体运载火箭推进系统工作原理	62
3.4.1	第一子级推进系统	62
3.4.2	第二子级推进系统	67
3.4.3	第三子级推进系统	74
3.4.4	小推力液体火箭推进系统	90
3.5	液体火箭发动机主要部组件结构特点与工作原理	95

3.5.1	推力室	95
3.5.2	涡轮泵	99
3.5.3	燃气发生器	111
3.5.4	涡轮泵启动装置	113
3.5.5	自动器	115
3.5.6	换热器	140
3.5.7	气蚀管	142
3.5.8	导管	144
3.5.9	常平座与机架	147
3.5.10	蓄压器	149
第4章	液体火箭推进剂利用系统	152
4.1	推进剂利用系统组成与工作原理	152
4.1.1	组成与特点	152
4.1.2	工作原理	153
4.2	推进剂利用系统控制方程	154
4.2.1	连续式推进剂流量调节的利用系统控制方程	154
4.2.2	常量式推进剂流量调节的利用系统控制方程	156
4.3	推进剂利用系统主要组件工作原理	157
4.3.1	液位传感器	157
4.3.2	推进剂混合比调节执行组件	159
4.3.3	利用系统控制机	163
第5章	固体火箭推进系统	166
5.1	固体火箭推进系统工作原理	166
5.1.1	固体火箭推进系统组成与特点	166
5.1.2	固体火箭发动机的分类	167
5.1.3	固体火箭推进系统工作原理	168
5.1.4	固体火箭发动机推进剂燃烧特性	169
5.1.5	固体火箭发动机内弹道性能参数	179
5.2	固体火箭推进剂	180
5.2.1	运载火箭与导弹对固体火箭推进剂的要求	180
5.2.2	固体火箭推进剂	181
5.3	固体火箭发动机装药	188

5.3.1	分类	188
5.3.2	典型药柱的特点	191
5.3.3	有关概念与参数的定义	195
5.4	固体火箭发动机主要组件的工作原理与结构特点	196
5.4.1	燃烧室工作原理与结构	196
5.4.2	典型喷管工作原理与结构	202
5.4.3	点火装置与安全保险机构	206
5.5	固体火箭推力终止系统	213
5.5.1	推力终止系统工作原理与分类	213
5.5.2	反向喷管推力终止装置工作原理与结构特点	214
5.6	固体火箭推力矢量控制系统	217
5.6.1	固体火箭推力矢量控制系统分类	217
5.6.2	固体火箭典型推力矢量控制系统	217
5.7	中国航天用固体火箭推进系统	225
5.7.1	FG-02 固体火箭发动机	225
5.7.2	DFH2-1 固体火箭发动机	226
5.7.3	FG-23A 固体火箭发动机	228
5.7.4	FY2-1 固体火箭发动机	229
5.7.5	EPKM 固体火箭发动机	230
5.7.6	FG-47 固体火箭发动机	231
第 6 章	推进系统测试技术	233
6.1	可贮存推进剂液体火箭推进系统测试	233
6.1.1	测试目的与注意事项	233
6.1.2	测试内容与要求	234
6.1.3	系统测试接口关系	243
6.1.4	主要测试设备工作原理	249
6.1.5	气密性检测原理	259
6.1.6	技术区测试方法与测试程序	264
6.1.7	发射区测试方法与测试程序	271
6.2	液氧/液氢推进剂火箭推进系统测试	276
6.2.1	测试内容与测试要求	276
6.2.2	系统测试接口关系	283

6.2.3	主要测试设备工作原理	286
6.2.4	技术区测试方法与测试程序	295
6.2.5	发射区测试方法与测试程序	306
6.3	小推力液体火箭推进系统测试	313
6.3.1	测试内容与要求	314
6.3.2	技术区测试内容与测试程序	314
6.3.3	发射区测试内容与测试程序	323
6.3.4	主要测试设备及工作原理	324
6.4	推进剂利用系统测试	330
6.4.1	测试的主要内容	330
6.4.2	地面综合测试系统设备接口关系	331
6.4.3	主要地面测试设备	332
6.4.4	单元测试	338
6.4.5	系统综合测试	342
6.5	固体火箭推进系统测试	343
6.5.1	测试内容与要求	343
6.5.2	主要测试设备及工作原理	345
6.5.3	发射场测试原理与测试方法	348
6.6	火工品测试	350
6.6.1	测试内容与要求	350
6.6.2	主要测试设备工作原理	352
6.6.3	火工品测试方法	352
6.6.4	火工品安装	355
参考文献		358