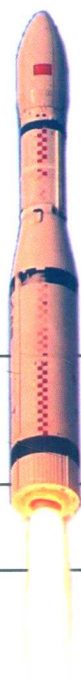


高等学校教材 · 航空、航天、航海系列
TEXTBOOKS FOR HIGHER EDUCATION

固体火箭发动机试验测试

西安航天动力测控技术研究所 编著



西北工业大学出版社

GUTI HUOJIAN FADONGJI SHIYAN CESHI

固体火箭发动机试验测试

西安航天动力测控技术研究所 编著

西北工业大学出版社

【内容简介】 固体火箭发动机研制过程中试验测试是不可或缺的重要环节,在发动机总体性能设计、总体结构设计、部件研制和调试、发动机各系统设计(如控制系统、点火系统、推力矢量系统等)的各个环节中离不开试验。发动机研制中要经过大量的部件、材料、整机、地面试验和飞行试验才能最终确定发动机的性能、结构可靠性和各系统的匹配性。大量的部件试验以及发动机的性能和结构可靠性需要通过地面环境试验和静止试验确定。本书主要论述固体火箭发动机环境试验、固体火箭发动机地面静止试验以及测试技术、固体火箭冲压发动机及其地面模拟试验技术和固体火箭发动机储存寿命试验。

本书适用于高等院校固体火箭发动机相关专业研究生及工程技术人员。

图书在版编目 (CIP) 数据

固体火箭发动机试验测试/西安航天动力测控技术研究所编著. —西安:西北工业大学出版社,2016.8

ISBN 978-7-5612-5048-8

I. ①固… II. ①西… III. ①固体推进剂火箭发动机—发动机试验 IV. ①V435

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 209421 号

策划编辑: 华一瑾

责任编辑: 张 潼

出版发行: 西北工业大学出版社

通信地址: 西安市友谊西路 127 号 邮编: 710072

电 话: (029)88493844 88491757

网 址: www.nwpup.com

印 刷 者: 兴平市博闻印务有限公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 17.5 插页: 4

字 数: 417 千字

版 次: 2016 年 8 月第 1 版 2016 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 118.00 元

“固体火箭发动机技术基础及工程概论”系列教材

编审委员会

主 任 田维平

副主任 张康助 侯 晓

委 员 张钢锤 任全彬 张小平 刘勇琼 龚晓宏

张立武 张永侠 柴玉萍 陈雷声 白向荣

李文岛 周养龙 刘伟凯 王常建 张 翔

赵 阳 史宏斌

编审委员会办公室

主 任 赵 阳

成 员 谢 莉 王苏安 单 云 赵孝彬 马 涛

李迎春 张 琳 拜啸霖 陈迎朝 王建锋

胡媛媛 张 锋 陈 聪

《固体火箭发动机试验测试》

教材编写委员会

主 编 龚晓宏

副 主 编 翟江源

编 委 陈雷声 张晓轮 白向荣 白向林 张秀玲

拜啸霖 李广武 丁佐琳 沈 飞 王建利

程建彬 白西刚 雷娅琴 丁学进 魏 彰

谢俊彦 殷 澍 潘武贤 赵继伟

工作人员 陈迎朝

总 序

航天动力技术研究院(又名中国航天科技集团公司第四研究院)1986年被国务院学位委员会批准为硕士学位授予单位,现有航空宇航科学与技术、化学工程与技术、材料科学与工程、仪器科学与技术4个一级学科硕士学位授权点。

为培养航天事业需要的科技人才,保障硕士研究生培养质量,航天动力技术研究院专门开设了“固体火箭发动机技术基础及工程概论”专业课,按固体火箭发动机设计、推进剂理论与工程、装药与总装工艺、复合材料与工艺、金属件制造技术和固体火箭发动机试验测试等6个部分开展教材编写工作,2010年完成了教材初稿编写,2011年开始使用本教材。经过几年的教学实践,对相关教学内容不断进行完善。2014年邀请西北工业大学、西安交通大学、第二炮兵工程大学相关专业的教授及院内的专家对教材进行了评审,根据他们的意见,又对教材进行了较大的修改。现在6本教材已陆续完稿,包括《固体火箭发动机设计技术基础》《固体火箭推进剂理论与工程》《固体火箭发动机装药与总装工艺学》《固体火箭发动机复合材料与工艺》《固体火箭发动机金属件制造技术》《固体火箭发动机试验测试》,其中《固体火箭推进剂理论与工程》已于2014年5月先期出版。

“固体火箭发动机技术基础及工程概论”系列教材包含固体火箭发动机技术的基础知识、基本理论,融入科研实践和研制经验,参考国外该专业的技术发展,具有鲜明的行业特色。本系列教材不仅可作为高等院校硕士研究生培养专业课教材,也可作为相关技术及管理人员的专业参考书和培训教材。

在编写本系列教材过程中,得到了航天动力技术研究院和院属四十一所、四十二所、四十三所、四〇一所、七四一四厂、七四一六厂有关专家、领导及人力资源部门的通力合作与支持,在这里谨向他们,尤其是技术专家们表示诚挚的谢意!

在本系列教材的编写过程中,我们虽付出大量心血,几经易稿和修改,但难免有疏漏、错误及不足之处,敬请读者提出宝贵意见。

本系列教材编审委员会

2015年7月

代序

——飞向永恒之梦的动力源泉

自古迄今,从走出非洲的遥远祖先,到互联网时代的思辨青年,人类从未停止对神秘宇宙的追问与探寻,从未停止遨游太空的神思和梦想。及至 21 世纪的今天,航天技术的进步与发展,使得人类探索、开发和利用宇宙空间成为现实。从第一个进入太空的地球人尤里·加加林,到第一个踏上月球的地球人阿姆斯特朗,从第一颗人造卫星的发射到载人飞船太空交会对接,在茫茫宇宙中,人类不断延伸着自己生命的触角,不断向深邃的未知领域释放智慧的光芒。

航天技术是当今世界高技术群体中最具影响力的综合性科学技术之一。生命智慧对于宇宙规律的探求使得人类航天技术不断得以突破性发展,人类活动范围从地球物理空间迅速延伸到外太空以至更远的宇宙。航天技术的变革与进步,又反过来影响人类的思维模式,使整个人类自身的面貌和生活方式也发生了深刻的变化。

固体燃料火箭发动机技术作为航天技术的重要组成部分,为火箭或导弹飞行提供充足的动力。如果把航天飞行器比作一只遨游太空的鹏鸟,那么,固体燃料火箭发动机就是这只鹏鸟的心脏,为翱翔于茫茫宇宙波涛之上的鹏鸟提供源源不绝的前进动力。

中国航天技术的突飞猛进,不仅仅昭示着一个现代化科技大国的实力,更彰显了中华民族沉寂了近百年的自强与自信。在实现我国从航天大国向航天强国跨越的过程中,固体火箭发动机技术的发展起着举足轻重的作用。作为固体火箭发动机技术扛鼎单位的航天动力技术研究院,始终以国家强大、民族昌盛为己任,艰苦创业,顽强拼搏。50 多年来,冲破重重险阻,攻克道道难关,走出了一条自力更生、自主创新的中国航天固体动力发展之路,推动我国航天固体动力事业从无到有、从小到大、从弱到强的历史性跨越,圆满完成了以“两弹一星工程”“高新工程”和“载人航天工程”为代表的各项重大任务,为增强国家战略安全能力和综合国力做出了突出贡献。

十八大以来,新一代中共中央领导集体持续倡导人才强国战略,而实现航天强国的夙愿必须依靠大量高素质人力资源。自 1986 年,航天动力技术研究院被国务院学位委员会批准为硕士学位授予单位以来,至今从事学位与研究生教育已 30 年,在多年的工程实践和教学研究中,积累并形成了一系列具有自主知识产权的航天固体动力核心技术。为了更好地做好技术传承,为国家航天事业构建人力资源梯队,培养专业知识精英,我们组织了包括固体火箭发动机设计、推进剂理论与工程、装药与总装工艺、复合材料与工艺、金属件制造技术和固体火箭发动机实验测试等六大部分的教材编写工作,经过 5 年多的教学实践和不断完善,已经形成了一套较为系统的硕士研究生教材。除了凝聚众多固体火箭专业研究人员的智慧结晶之外,这套教材的最大特色在于扎实的技术基础与具体的工程实践紧密结合。

探索一切事物是人类的本性。美国的物理学家 F.J. 戴森说:“在上帝给了我们生命之后,

科技可能是它赐给我们最贵重的一份礼物。”航天技术是科技的一部分，它仍将不断进步成长，并且继续帮助人类摆脱过去的束缚和羁绊。我们要珍惜、善待这份特殊的珍贵之礼，承继敢于探索、勇于献身的精神血脉，薪火相传，把关乎民族自信、国家富强乃至人类发展的航天事业不断推向前进。

我儿时一直存有一个天地之梦，梦想未来人类的飞行，能够像一只自由之鸟，翩翩飞舞于浩瀚无垠的太空，与宇宙万物对话，与造物之主谈心。现在，面对复杂的、全方位无限的未来，我仍无法预知其终点。但我相信，手头的这套教材，是通往天地之梦的一个阶梯，为我们的前行提供动力源泉，扶持我们向着永恒之梦不断追寻。

田维平*

2015年7月

* 田维平，博士，研究员，博导。现任航天动力技术研究院院长，中国宇航学会固体火箭推进专业委员会主任。

前 言

《固体火箭发动机试验测试》是中国航天科技集团公司第四研究院“固体火箭发动机技术基础及工程概论”系列教材的一个分册。全书共有 6 章,分别为绪论、固体火箭发动机地面静止试验、固体火箭发动机地面模拟试验技术、固体火箭发动机强度与环境试验技术、固体火箭发动机安全性试验技术、地面试验测量与控制技术。试验技术是贯穿全书的一条主线,围绕这条主线,各章的内容相互联系形成一个总体,各章的论述又具有相对独立性,可以独立成章。

本书的编著者有从事固体火箭发动机试验及测试技术研究工作几十年的技术专家,也有正在一线工作的专业技术人员,不仅实际经验丰富,理论功底扎实,而且紧跟国际试验技术发展的步伐。本书编写力求比较系统、全面地阐述这个领域内的知识,不仅总结了几十年来积累的实际经验,而且包含了新技术的发展与展望,如果本书能够对正在从事或即将从事本专业的后来者起到入门引路的作用,使他们少走弯路,迅速地进入角色,那么编写者的辛劳就得到最大的报偿。

本书由广大试验测试技术工作者集体创作,编委会仅仅是他们的代表,在此,对他们表示衷心的感谢!

由于笔者的水平有限和知识面的局限性,书中错误与不足,恳请读者指正。

编著者

2016 年 1 月

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 固体火箭发动机及其地面试验	1
1.2 地面试验的地位与作用	1
1.3 地面试验的主要类型	2
1.4 地面试验基地的组成	4
1.5 固体火箭发动机地面试验技术范畴	4
第 2 章 固体火箭发动机地面静止试验	6
2.1 地面静止试验类型和过程	6
2.2 结构与性能试验设施及试验设备	16
2.3 高空模拟试验设施与试验设备	26
2.4 离心过载试验设施与试验设备	47
2.5 地面静止点火特种试验技术介绍	52
2.6 地面静止试验技术发展与展望	57
第 3 章 固体火箭冲压发动机地面模拟试验技术	58
3.1 概述	58
3.2 固体火箭冲压发动机地面模拟试验技术	60
3.3 地面模拟试验技术的发展与展望	76
第 4 章 固体火箭发动机强度与环境试验技术	78
4.1 结构静力试验	78
4.2 振动力学试验技术	138
4.3 温湿度环境试验技术	175
第 5 章 固体火箭发动机安全性试验技术	185
5.1 概述	185
5.2 试验分类	192
5.3 安全性试验评估技术	223
5.4 安全性试验技术的发展与展望	226

第 6 章 地面试验测量与控制技术	229
6.1 试验过程控制	229
6.2 试验控制系统	232
6.3 试验主要参数的测量	234
6.4 测试系统简介	249
6.5 数据处理	253
6.6 试验测量与控制技术展望	265
参考文献	266

第1章 绪 论

1.1 固体火箭发动机及其地面试验

固体火箭发动机是火箭发动机的类型之一,它作为动力系统广泛应用于固体导弹和火箭发射助推。使用化学推进剂的火箭发动机叫作化学火箭发动机。根据化学推进剂的物理状态,将化学火箭发动机分为固体、液体和固液混合火箭发动机。固体火箭冲压发动机是一种特殊的固体燃料火箭发动机,它是固体火箭发动机与冲压发动机组合的新型发动机,因其使用固体推进剂,故有时也将其作为固体火箭发动机的类型之一。

固体火箭发动机试验是发动机研制过程的重要环节,从方案论证到导弹交付部队使用的各个阶段都需要进行试验。不管固体导弹、运载火箭或是卫星用固体火箭发动机,大体而言都要经历方案(模样)、初样、试样(正样)、定型等4个主要研制阶段,各阶段一般均包括研究、设计、试制、试验等基本环节,其中试验则成为固体火箭发动机各研制阶段方案、设计验证及功能考核、性能评价的重要手段和必需环节。

固体火箭发动机试验按照性质不同可分为地面点火试验、强度与环境试验、安全性试验和飞行试验等。相对于飞行试验和环境试验,地面点火试验又称为静止试验或热试车。

本书主要论述地面静止试验(含固体火箭冲压发动机试验)、环境试验、安全性试验等整机地面试验及其测试技术。飞行试验用于考核包括固体火箭发动机在内的导弹或火箭全系统的性能,一般由导弹或火箭总体单位组织,并在专门的发射基地实施,其有关技术内容不在本书论述范围之内。

1.2 地面试验的地位与作用

固体火箭发动机地面试验的作用是在发动机各研制阶段,通过对试制样机的各项试验,对发动机设计所采用的原材料、总体方案和技术工艺进行验证,对发动机结构可靠性、点火特性、推力特性、内弹道性能、推力矢量控制特性、制造工艺等进行单项或综合的考核。在不同研制阶段,地面试验有不同的目的和考核重点。在方案论证阶段,主要考核关键技术的可行性及对比总体技术方案的优劣;在初样阶段,主要考核发动机结构方案的可行性;在试样阶段,主要考核发动机结构可靠性,精确测量发动机性能参数,同时对发动机环境适应性进行评估;在定型阶段,则通过鉴定性试验,重点检验工艺稳定性与可靠性及性能参数的一致性。

1.3 地面试验的主要类型

地面试验包括地面静止试验、强度与环境试验以及安全性(易损性)试验等类型。

1.3.1 地面静止试验

地面静止试验指实施发动机点火的地面试验,也称热试车。由于固体火箭冲压发动机特殊的结构形式和工作原理,其地面点火试验的技术和过程复杂、试验环境模拟难度大,与一般固体火箭发动机地面静止试验相比有诸多特殊之处,因此固体火箭冲压发动机试验将作为特殊的地面静止试验类型在本书第3章单独进行介绍。本章主要介绍常规的固体火箭发动机地面静止试验。

地面静止试验的分类方法有多种。按照发动机安装姿态可分为卧式试验、正立式试验和倒立式试验,按照试车架连接方式可分为滚球式、滚轮式、板簧式、磁悬浮式试验。通常按照试验目的和特点,将发动机地面静止试验分为结构试验(常规试验)、性能试验(高精度试验)、旋转试验、级间分类试验、高空模拟试验、推力矢量控制试验、推力终止试验等。多个试验项目组合进行的,又称为联合试验,并根据项目多少分为二合一、三合一、四合一联试等。

1.3.2 强度与环境试验

强度与环境试验是固体火箭发动机技术和工艺状态地面验证与考核试验的重要组成部分。与地面静止试验考核发动机点火后的工作特性和性能参数不同,强度与环境试验的目的在于考核发动机在非工作状态下的结构强度,验证发动机从推进剂浇铸开始直至点火工作的整个期间内,在各种可能遇到的环境应力下能否正常工作,并发现设计、工艺、材料等各方面存在的问题,为改进设计、工艺提供依据,以提高发动机的结构性能和环境适应能力,延长发动机的使用寿命。

强度与环境试验的项目和要求根据发动机基本设计参数要求和寿命周期环境剖面及其相应的应力和载荷条件决定。其中环境因素可能包括贮存、运输直至点火前经历的各种自然及非自然的环境,如重力、温度、气候条件、机载及舰船等战备值勤环境,运输振动和吊装冲击等。不同型号发动机试验项目会有所差别,一般可分为结构静力试验、振动力学试验、温湿度环境试验、特殊环境试验及复合环境试验等。

结构静力试验考核发动机结构或其零部件在静载荷作用下的强度、刚度、稳定性、应力、以及变形分布情况等静强度特性。结构静力试验包括轴拉、轴压、弯矩、剪切、联合加载、外压和内压等类型。

与静力学试验相对,振动力学试验考核发动机在机械冲击、振动等动力载荷作用下的强度特性。振动力学试验包括振动试验、模态试验、冲击试验、运输试验、离心过载试验等。

温湿度环境试验包括常规温度试验、温度贮存试验、高低温循环试验、温度冲击试验等。

特殊环境试验开展较少,根据型号发动机具体环境,可能包括湿热试验、盐雾试验、霉菌试验、油雾试验、三防试验等。

复合环境试验又称为组合环境试验,主要用于考核发动机在多种类型环境载荷作用下的性能。与多种载荷分时施加、独立作用不同,此类试验能更真实地模拟发动机在特定环境和工作条件下的载荷状态,更加准确地评估发动机对多种载荷响应的相关性和叠加效果,比如高温-轴压复合加载试验,振动-温度循环复合试验等。

强度与环境试验需要根据特定的环境条件和对发动机环境适应能力的要求,分析确定环境应力的种类、量值和时间特性,施加相应的载荷来模拟某种或某几种环境应力单独或共同作用的情况。与静止试验相比,此类试验的特点是发动机处于非工作状态,试验类型多,完成序列试验的周期长,试验过程可控,可以根据需要重复进行,试验项目和顺序可结合发动机环境试验考核要求和目的以及最大限度利用发动机样本等因素统筹确定。除个别试验项目为破坏性试验外,一般发动机产品在完成环境试验后会进行点火试验,以检验此前的试验项目是否对发动机造成隐性损伤,是否影响发动机正常工作。

1.3.3 安全性试验

安全性试验是考核固体火箭发动机安全性能的一系列特殊试验,既不同于静止试验,也不同于常规的环境试验。固体火箭发动机作为导弹武器的动力系统,在拥有强大动力的同时也有因冲击、撞击、跌落、振动、高温、静电、雷击和电磁辐射等外界机械力、环境力引发意外发火、燃烧、爆炸的危险隐患。因此安全性试验主要是模拟发动机寿命周期内各种意外环境因素的激励,考核设计、制造赋予发动机的安全性水平,评估威胁因素对发动机可能的损伤、事故等级及其二次危害,从而对发动机安全性设计改进和性能鉴定提供依据。

安全性试验包括基本安全试验、钝感弹药(IM)试验和附加试验。其中基本安全试验包括28天温湿度试验、振动试验和4天温度试验;附加试验有加速度、气动加热、闪电、电磁干扰、电磁辐射、静电放电、雨淋、太阳辐射等共几十种试验类型;钝感弹药试验包括跌落试验、火箭橇撞击、快速烤燃、慢速烤燃、子弹撞击(枪击)、碎片撞击、聚能射流冲击、破片冲击及殉爆试验等类型。

钝感弹药是指能够可靠完成(指定)任务,但无意中启动时对武器平台、后勤系统和人员的附带损害概率降到最低的弹药。美军为改善弹药贮存和处理的安全性能,最早提出低易损发射药(LOVA)的概念并启动相关研究,实施了包括低易损发动机的钝感弹药发展计划(IMAD)。经过几十年发展,美欧发达国家已普遍通过使用钝感推进剂或特殊结构形式等设计手段,降低发动机对意外激励的敏感程度,实现固体火箭发动机的低易损性,使其满足钝感弹药试验的有关标准。由于钝感弹药试验已经成为考核非核类武器弹药安全性能和低易损程度的主要试验内容和考核评价标准,因此钝感弹药试验也称为(低)易损性试验。

固体火箭发动机安全性试验对发动机潜在的威胁进行评价以反映其易损性,达到减灾目标,其特点是较大的破坏性、较高的危险性和通常激烈的响应程度。从试验实施过程来讲,安全防护、图像监控、危险响应参数测量和危害等级评定是试验的重点内容。因为各种型号发动机所属环境和武器平台的不同,导致威胁可能会有所不同,因此此类试验均需使用危险性评估和系统的威胁分析,以确定适用的试验类型和试验参数。

本书将以安全性试验中的钝感弹药试验为主,具体论述各单项试验内容及试验评估技术。

1.4 地面试验基地的组成

为开展固体火箭发动机试验技术研究、承担武器系统和航天运载固体火箭发动机研制试验任务,许多国家都建有专门的试验基地。完整的试验基地包括试车台、配套和辅助设施、基础设施和保障系统等。大型试验基地会建设有多个不同类型的试车台,如结构试车台、高精度试车台、级间分离试车台、高空模拟试车台等,有的还建设有配套的科研、实验条件。

试车台是试验核心区域,集成了独立开展试验所需主要设施和条件。以结构试车台等常规试车台为例,其构成包括台基及防护墙、承力墩、导流通道、前置操作间、测控工房及设备、摄像间及设备、试车架、吊装设备、台体监控系统、消防及环保设施等。高空模拟试验台在常规试车台的各组成部分之外,还包括试验舱及其辅助系统、扩压器、引射系统、闸板阀、辅助燃气引射系统、供应系统及消音塔等。环境试验台则一般包括试验厂房、环境试验设备等。

为节约投资,有时多个试车台会共用测控工房、供应系统等。测控工房、供应系统与承力墩等试车台主体必须保持一定的安全距离。测控工房配备试验参数测量系统、数据存储处理及显示系统、试验过程控制系统、试验图像显示及记录设备等,承担试验指挥、过程控制、监测和参数测量任务。现代试验基地一般还包括与测量控制中心独立的指挥调度中心。

配套和辅助设施包括计量中心、产品中转贮存厂房和转运工具、工艺设备库等。

基础设施和保障系统包括道路、水电供应系统、安防系统以及试验人员生活服务和保障设施等。

1.5 固体火箭发动机地面试验技术范畴

固体火箭发动机地面试验是一项系统工程,不管是地面静止试验,还是环境试验等其他试验类型,都具有设施庞大、工艺设备多、系统复杂等特点,涉及许多技术领域和学科门类。

静止试验系统除试验台架等设施外,其工艺设备包括控制与能源系统、测控系统、视频系统等。特殊类型试验,如旋转试验和高空模拟试验还分别要有旋转控制系统和抽真空系统。环境试验系统一般由试验台架和工装、加载系统、加载控制系统和参数测量系统构成。主动引射高空模拟试验和固冲发动机自由射流试验还包括引射系统,燃料、气体供应系统,加热系统等。安全性试验需要高速运动系统、子弹或破片击发装置、起爆系统等。其中试车台架和工装设计需要运用机械设计技术、结构强度计算与仿真分析技术,引射系统设计需要运用气动计算和传热计算,加载控制和伺服控制需要运用自动控制技术、液压及传动技术。各类试验测量的参数类型有推力、压强、温度、应变、位移、速度、加速度、振动、噪声、时间、流量、尾焰参数等,且温度、应变参数经常需要测量几十甚至几百个。因此大型试验往往使用多种类型、多达几十套测量系统。参数测量涉及现代测量技术、传感检测技术、电子技术、计量校准技术、计算机技术、仪器仪表技术以及图像技术等。数据处理与分析还要用到数字信号处理技术和现代数理统计技术等。

开展固体火箭发动机地面试验,需要全面研究掌握试验技术,建设完整的软硬件技术条件

和配套设施。在不同时期,需要根据固体火箭发动机研制和生产的试验需求和试验测试技术发展规划,持续开展技术研究和条件建设与改造升级。试验技术研究内容包括试验技术与能力体系研究规划,单项试验方案研究,试验测试单项技术及工艺研究,试验装备与测控系统研制、集成和开发应用研究,试验数据处理与分析技术研究,先进系统化、信息化试验管理技术,等等。不论技术研究、设施条件建设及具体试验过程的组织实施,也都是大量人力、物力资源统筹配备、协调工作的有机工程,需要系统科学的组织管理。

综上所述,固体火箭发动机地面试验技术的学科范畴及专业技术方向覆盖了机械设计及理论,机械工程,机械制造及自动化,材料科学,流体力学,空气动力学,电子科学与技术,计算机科学与技术,控制科学与工程,传感检测技术,光学,信息技术,仪器科学与技术,软件工程,电气工程,制冷技术,系统工程以及管理科学等诸多领域。随着固体火箭发动机新的试验需求的提出和各相关专业技术的发展,试验及其测控技术也将不断发展,需要更多的相关专业技术及跨学科、综合型人才投身该项事业中。

第2章 固体火箭发动机地面静止试验

2.1 地面静止试验类型和过程

2.1.1 地面静止试验概述

固体火箭发动机在设计、制造完毕后,需通过试验来验证发动机的结构和性能参数。通常情况下固体火箭发动机要经过环境试验和地面静止试验的验证后才能进行全弹飞行试验。

固体火箭发动机地面静止试验又称地面点火试验,即通过不同的试验装置(如结构试验架、高精度试验架和离心过载试验架将发动机固定在发动机试验台体上),发动机点火工作,获得发动机的推力、压力、温度和应变等参数,考核发动机的结构可靠性。在整个工作过程中,发动机相对于试验台处于静止状态。

地面静止试验遵照试验实施细则要求,按照试验计划有序开展推力、压力、温度、应变、振动等传感器的校准、安装和连接等工作,进行发动机充气检漏、电发火管检测与安装等工作,进行发动机试验全系统合练,在一切准备就绪后按预先设置的程序点燃固体火箭发动机,使发动机工作期间按指令完成规定的动作,同时进行参数测量,试验进行后分解发动机、测量喉径、称重及处理数据,最终完成发动机试验报告。

由于固体火箭发动机研制过程中存在模样、初样、试样、定型和批生产等诸多研制阶段,固体火箭发动机在各研制阶段都要开展地面静止试验,不同的阶段要求也不尽相同,考核的目的也不尽相同,主要有以下几项:

- 1)考核发动机结构的完整性和合理性;
- 2)考核各分系统的工作可靠性及其匹配关系;
- 3)评定发动机的内弹道性能;
- 4)测得发动机的能量特性;
- 5)测得其他特性参数。

地面静止试验的主要要求如下。

- (1)可靠性高,安全性好

由于造价昂贵,所以用于地面静止试验的发动机数量不可能很多,尤其是大型发动机,这就要求每次试验都充分考虑试验系统的可靠性和安全性,尽可能完整地获得发动机的各项性能参数。

- (2)实用性强,经济性好

固体火箭发动机通过地面试验设备获得各项性能参数,所以试验与测试设备不仅要经济、实用,安装操作方便,还要获得各项性能参数。