

航天发射场 数值分析技术研究与应用

Hangtian Fashechang Shuzhi Fenxi Jishu Yanjiu yu Yingyong

■ 王金安 贾立德 等编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

航天发射场数值分析技术 研究与应用

王金安 贾立德 等编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书是国内第一本全面系统介绍航天发射场数值分析技术研究与应用的专业著作。全书从基本原理、应用方法、典型案例三个方面介绍了结构动力学、计算流体力学、多刚体系统动力学在航天发射场非标机械设备、加注设备、空调设备等专业的典型应用和取得的效果。全书共分为6章,第1章是总论,描述了航天发射场设施设备的组成、特点和未来发展趋势,介绍了数值仿真技术的理论以及在发射场中的应用体系;第2、3章分别介绍了结构动力学的基本原理和有限元分析方法,进而以发射场电缆摆杆结构优化设计与评估以及回转平台结构动力特性评估与优化为背景,重点进行了结构动力学方法和有限元分析方法在发射场典型案例中的应用分析;第4、5章分别介绍了流体与传热的基本原理和CFD分析基本方法,进而以发射场推进剂升降温系统能力评估与优化以及低温推进剂加注过程中的间歇泉效应分析为背景,重点进行了CFD分析方法在发射场典型案例中的应用分析;第6章介绍了多刚体系统动力学的基本原理,重点分析了多刚体动力学方法在发射场脱落电连接器动力学分析中的应用。

本书适用于从事航天发射的总体人员、工程技术人员和指挥管理人员学习使用,也可作为相关科研单位及高等院校的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

航天发射场数值分析技术研究与应用/王金安等编著. —北京:国防工业出版社,2016.5
ISBN 978-7-118-10873-6

I. ①航… II. ①王… III. ①航天器发射场—数值分析 IV. ①V55

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第091637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 100048)
北京京华虎彩印刷有限公司印刷
新华书店经售

*

开本 710×1000 1/16 印张 22 $\frac{3}{4}$ 字数 434千字
2016年5月第1版第1次印刷 印数 1—1500册 定价 88.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

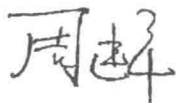
国防书店:(010)88540777 发行邮购:(010)88540776
发行传真:(010)88540755 发行业务:(010)88540717

序

半个多世纪以来,我国航天事业取得了举世瞩目的发展成就,成功发射了十艘“神舟”飞船、一艘目标飞行器和两百多颗卫星,中国已经成为世界上具有重要影响力的航天大国。这一个个的发射成功,离不开航天发射场科研工作人员的艰辛劳动和无私付出。如何确保航天发射场大量设施设备在任务关键时段的可靠性、安全性,提高航天发射场的测试发射保障能力,是一个复杂的工程实际问题,涉及机械、动力、控制、信息等不同学科专业,面临诸多影响因素,需要深入研究并提出解决方法。

长期以来,受客观因素制约,航天发射场相关设施设备的维修保障、可靠性安全性评估主要依据基于经验的定性分析,定量分析少。将数值分析与仿真计算方法应用于航天发射场的维修性、可靠性和安全性分析并将其用于指导工程实际,是近年来开始起步的。本书作者长期从事航天发射场的工程技术工作,有较丰富的实践经验。本书在系统总结我国航天发射场几十年维修保障经验基础上,采用结构有限元分析、流体与传热分析、多刚体系统动力学分析等技术,将数值分析与仿真计算应用到航天发射场的维修保障中,为提高发射场维修保障能力提供了新的思路和途径。

该书紧紧围绕航天发射场的特点,强调工程实践应用,不拘泥于了深奥的理论和繁琐的公式推导,很好地将多学科前沿技术和方法有机地融合进航天发射场的维修保障工作实际中,揭示了航天发射场非标准机械、加注供气、特种空调等众多设施设备的维修保障规律,并详细介绍了大量典型工程应用案例,使读者不仅能学理论、懂方法,还能够很快运用所学知识分析和解决工程实际问题。本书对从事航天发射场工作的工程技术人才具有很好的实用价值,也可作为相关专业的学生和工程技术人员参考书。



2015年11月28日

前 言

随着计算机技术的迅速发展,数值分析与仿真计算为工程设计和科学研究提供了一种全新的技术手段,成为继理论分析和实验分析后的又一种研究分析方法。尤其是随着相应商业软件的推广和应用,数值分析已经成为广大科技工作者和工程技术人员广泛使用的通用分析工具。

航天发射场是一个庞大而复杂的大系统,包含了众多的研究和应用学科。长期以来,航天发射场的很多重要而复杂的技术问题分析乃至技术归零,采用定性分析的多,定量分析的少,经验分析多,精确分析少,以致很大程度上限制了发射场技术能力的提升。针对这一问题,本书结合作者多年来的研究和应用经验,对流动与传热计算、结构有限元分析、多体系统动力学仿真分析三个典型的应用领域进行了全面归纳和整理。介绍了这些领域数值分析仿真的相关理论基础、数值方法和具体应用案例。

全书主要内容分为三大部分。第一部分为结构有限元分析,第二部分为流体与传热分析,第三部分为多体系统动力学分析。一般来讲,每部分中首先介绍相关领域对应的基础知识和基本理论,是仿真计算人员必须掌握的内容;其次,重点介绍仿真计算的基本思路和求解算法,以及应用仿真计算软件需要注意的一些具体事项;最后,介绍仿真计算的典型应用案例。

本书共分为6章。其中,第1章由贾立德和吴应奎编写,第2章由朱福娟和姚聪颖编写,第3章由李建忠、董二奎和孙东侠编写,第4章由贾宝林、周远法和丁磊编写,第5章由贾宝林、郑宏安和董二奎编写,第6章由梁琪、沈海峰和孙国飞编写。张东来、王学东完成了全书的文字校对统稿工作,在此表示感谢。

全书由王金安统稿,由王福通担任主审,郑永煌和涂国勇担任副审。

本书在编写过程中得到了相关领域和单位多位专家的指导和帮助,在此表示衷心感谢。书中参阅了大量国内外相关文献,无法一一列举,在此对其作者一并表示感谢。

由于作者水平有限,书中难免存在不妥之处,恳请读者批评指正。

作者

2015年7月5日

目 录

第 1 章 总论	1
1.1 航天发射场设施设备组成	1
1.2 航天发射场设施设备特点	6
1.3 航天发射场未来发展趋势	7
1.3.1 航天发射场现状	7
1.3.2 航天发射场发展趋势	8
1.4 数值仿真技术理论与发展趋势	9
1.4.1 数值分析技术的基础理论	10
1.4.2 国内外研究现状及发展趋势	11
1.5 航天发射场数值仿真技术体系	14
1.5.1 总体思路	14
1.5.2 体系组成	15
第 2 章 结构分析基本原理	17
2.1 基本概念和原理	17
2.1.1 一些基本概念	17
2.1.2 应力的表示	21
2.1.3 应变的表示	24
2.1.4 广义胡克定律	25
2.1.5 强度理论	27
2.1.6 弹性问题的能量表示	29
2.2 线弹性静力分析模型	30
2.2.1 基本模型方程	31
2.2.2 常用简化模型	35
2.2.3 基本定理和原理	37
2.3 模型方程的求解方法	38
2.3.1 直接法	38
2.3.2 试函数法	40
2.3.3 虚功原理与最小势能原理	42
2.4 结构动力学基本原理	44
2.4.1 结构动力问题的特点	44
2.4.2 结构动力问题的分类	44

2.4.3	结构系统的动力自由度及其离散	45
2.4.4	振动能量耗散与阻尼力	46
2.4.5	建立运动方程的方法综述	46
2.5	多体系统结构动力学基础	48
2.5.1	基本概念与原理	48
2.5.2	动力学方程	68
第3章	结构有限元分析基本方法	84
3.1	有限元分析原理	84
3.1.1	二杆结构计算方法	84
3.1.2	有限元分析基本思路	88
3.1.3	单元性质与特征处理	91
3.1.4	单元载荷与边界处理	98
3.2	结构有限元分析中的常见问题	100
3.2.1	计算模型的选择	100
3.2.2	几何模型的简化	100
3.2.3	离散方式与单元选择	102
3.2.4	边界条件与连接条件	105
3.2.5	收敛性、误差估计与改善精度的方法	109
3.3	其他类型的结构有限元分析	111
3.3.1	材料非线性问题	111
3.3.2	几何非线性问题	113
3.3.3	接触非线性问题	119
3.3.4	结构稳定性问题	121
3.3.5	结构动力学分析	123
3.4	有限元商业软件	127
3.4.1	软件基本构成与操作	127
3.4.2	常用有限元商业软件简介	128
3.5	电缆摆杆结构优化设计与评估	129
3.5.1	电缆摆杆组成结构和负载	130
3.5.2	有限元建模	132
3.5.3	仿真分析	134
3.5.4	试验对比与分析	138
3.6	回转平台结构动力特性评估与优化	140
3.6.1	回转平台结构模型	140
3.6.2	结构动力特性建模	144
3.6.3	结构有限元建模	147

3.6.4	结构动力特性评估	155
第4章	流体与传热的基本原理	164
4.1	流体力学基础知识	164
4.1.1	基本概念	164
4.1.2	流体流动的分类	171
4.1.3	气体动力学基础	172
4.2	传热学基础知识	178
4.2.1	基本传热方式	179
4.2.2	传热学基本方程	180
4.2.3	传热过程与传热系数	181
4.3	流体控制方程	183
4.3.1	基本控制方程	183
4.3.2	控制方程的不同表示	186
4.3.3	方程类型与定解条件	199
4.3.4	雷诺平均方程	203
4.3.5	湍流模型	205
第5章	流体与传热数值计算	212
5.1	流体与传热数值计算方法	212
5.1.1	模型方程的离散与计算	212
5.1.2	流动与传热数值计算方法概述	215
5.1.3	基于通用控制方程的离散过程	217
5.1.4	基于矢量方程的离散过程	221
5.1.5	求解方法	227
5.2	流体与传热计算中的常见问题	229
5.2.1	计算网格	229
5.2.2	边界类型与参数设置	232
5.2.3	边界上的湍流参数	234
5.2.4	收敛条件	236
5.2.5	改善收敛性和计算精度的其他方法	238
5.3	CFD 商业软件	240
5.3.1	CFD 软件通用流程与基本组成	241
5.3.2	常用 CFD 商业软件介绍	242
5.4	基于 CFD 的脐带塔温度保障能力评估	243
5.4.1	脐带塔封闭环境传热的数学模型	246
5.4.2	基于 CFD 的仿真建模	247
5.4.3	小结	259

5.5	基于 CFD 的推进剂升降温系统能力评估与优化	260
5.5.1	调温的数学物理模型	261
5.5.2	基于 CFD 的调温过程仿真分析	262
5.5.3	结论及展望	267
5.6	低温推进剂加注过程中的间歇泉效应分析	268
5.6.1	数学物理模型	268
5.6.2	基于 CFD 的间歇泉效应仿真	274
第 6 章	多刚体系统动力学	287
6.1	多体系统动力学概述	287
6.1.1	多体系统动力学研究现状	287
6.1.2	多体系统模型要素与拓扑描述	292
6.1.3	多体系统动力学计算方法	293
6.2	多刚体系统动力学	295
6.2.1	刚体的运动描述	295
6.2.2	运动学与动力学模型	299
6.2.3	动力学方程的数值方法	304
6.3	刚柔耦合动力学模型	313
6.3.1	柔性体的运动描述	313
6.3.2	刚柔耦合动力学方程	314
6.4	多体系统传递矩阵法	318
6.4.1	经典传递矩阵方法	318
6.4.2	多刚体系统离散时间传递矩阵法	320
6.5	多体系统动力学商业软件	326
6.5.1	动力学分析商业软件 ADAMS 简介	328
6.5.2	ADAMS 软件基本构成与操作	330
6.6	脱落电连接器的多体系统动力学分析	333
6.6.1	对接锁紧及分离过程的分析建模	334
6.6.2	脱落电连接器的三维建模	340
6.6.3	基于 ADAMS 的运动过程仿真分析	343
	参考文献	352

第1章 总论

本章内容是航天发射场数值分析研究与应用的总体概论。首先,简要描述航天发射场设施设备的组成和特点,对航天发射场进行总体描述;其次,总结航天发射场的研究现状,探讨航天发射场的未来发展趋势;再次,对数值仿真技术的基础理论进行简要介绍,并给出国内外相关技术的研究现状和发展趋势;最后,描述数值仿真技术在航天发射场的应用——航天发射场数值仿真技术体系,重点介绍体系的总体思路和组成。本章研究内容为航天发射场数值分析研究与应用提供了理论基础。

1.1 航天发射场设施设备组成

航天发射场系统是保障运载火箭和航天器的装配、测试、加注、发射及相应勤务保障的地面设施设备的总称。航天发射场又称为航天发射中心、航天港、卫星发射基地等,它是航天器进入太空的出发点,绝大多数航天器都是从这里送入太空的。航天发射场承担的主要任务是组织实施航天工程各系统在发射场的试验活动,对运载火箭、航天器及其有效载荷进行发射前的各项测试与检查,并实施点火发射。此外,航天发射场还可以用于火箭发动机试车等单项试验,以及用于推进剂的生产、储存和化验,开展运载火箭和航天器的部分研制试验等工作。

按照区域划分,发射场一般由技术区、发射区、试验指挥区组成,而载人航天发射场还包括航天员区。下面以载人航天发射场为例,介绍发射场设施设备的基本组成。

1. 技术区

技术区是运载火箭、飞船等航天产品在发射前进行技术准备的场所,这里主要完成卸车转载、分解吊装、单元及综合测试保障、远距离测试发射控制等任务。技术区的主要设施包括垂直总装测试厂房、水平转载测试间、飞船总装测试厂房、飞船加注及整流罩装配厂房、活动发射台轨道、轨道转换车、逃逸塔总装测试厂房、火工品储存检测间、测试发射控制楼、变电站、动力站、气瓶库、气象雷达站等,如图 1-1 所示。

垂直总装测试厂房是载人航天发射场的主要设施之一,也是实现“三垂模式”的主要设施。在这里主要进行运载火箭的各子级及助推器的吊装、起竖、对

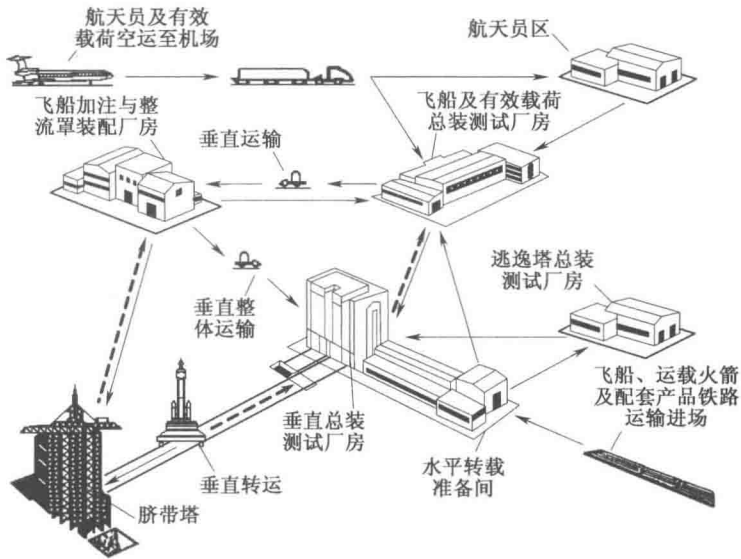


图 1-1 载人航天发射场布局示意图

接、组装和捆绑,测试、安装箭上单元仪器,进行火箭气密性检查和综合测试,航天器与火箭对接安装、联合检查,航天员、飞船、火箭和地面设备的联合检查等。垂直总装测试厂房具备脐带塔和勤务塔的双重功能,设有两个总装测试大厅,每个大厅的进出通道由六扇升降大门和两扇推拉大门组成,如图 1-2 所示。

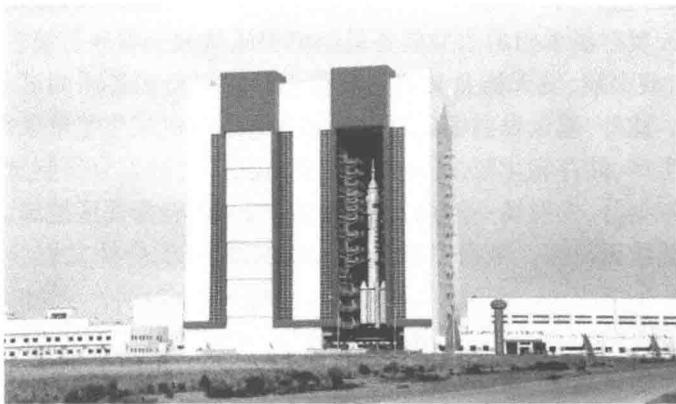


图 1-2 垂直总装测试厂房

水平转载测试间主要完成运载火箭从铁路运输车至厂房支架车的转载,同时完成运载火箭的内、外部检查及单元仪器拆卸工作。水平转载测试间与垂直总装测试厂房连接在一起,配备有桥式吊车、电气、照明等设备。

飞船总装测试厂房主要完成飞船转载、存放、单元测试、舱段级检查、分系统测试、检漏、总装、综合测试和模拟飞行,及安装有效载荷、太阳翼光照试验等

工作。

飞船总装测试厂房采取了多种措施,保证了较高的洁净度要求,如果灰尘或异物落到飞船上,在空间失重状态环境下,会严重干扰仪器设备工作和航天员的生活。厂房大门密封要严,各通风系统都装有高效过滤器;厂房内安装空调系统,除保持一定温度和湿度外,还要保证空气的洁净度;操作人员进入厂房时,要经过清洁室除尘,进入飞船时要换专用服装;厂房或清洁室要保证较之外界略高的气压,以防止灰尘从外界侵入。

飞船加注及整流罩装配厂房,主要完成飞船加注推进剂和充填压缩气体或液体工质,完成飞船整流罩的技术准备和扣罩等工作。

测试发射控制楼是航天发射场对飞船和运载火箭的测试发射实施远程指挥、控制的场所,如图 1-3 所示。在测试发射控制楼内,可以指挥实施飞船和运载火箭的分系统测试、匹配测试、模拟飞行总检查、各种联合检查和发射等。

测试发射控制楼内通常配置有测试发射指挥监控系统,即 C³I 系统。它以计算机、网络和通信、显示设备为核心,以大型实时应用软件为基础,实现航天发射的指挥控制、发射过程的实时监测、试验数据和图像的监视处理、测试发射辅助决策等功能。

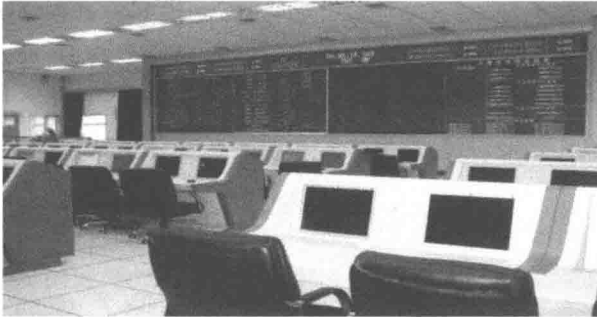


图 1-3 载人航天测试发射控制楼指挥厅

此外,技术区还包括气象、计量、特燃生产与储运等技术勤务系统设施设备。

2. 发射区

发射区承担的主要任务是对飞船、火箭等系统进行功能检查,加注火箭推进剂,航天员进舱,临射检查,瞄准和发射。发射区的主要设施包括脐带塔、火箭推进剂加注系统、活动发射台、废气废液处理系统,以及其他辅助设施。

脐带塔是载人航天发射场的主要设施之一,其功能是为地面设备和航天产品之间的电、气、液管线提供通道或支承,为产品的发射准备提供工作条件。脐带塔由塔体结构、固定平台、测试工作间、回转平台、电缆摆杆系统、液压系统、空调通风系统、供气系统、消防系统及吊车、电梯、航天员紧急撤离滑道等。图 1-4 为载人航天发射场脐带塔。

火箭推进剂加注系统的主要功能是向火箭贮箱加注推进剂,从火箭贮箱泄

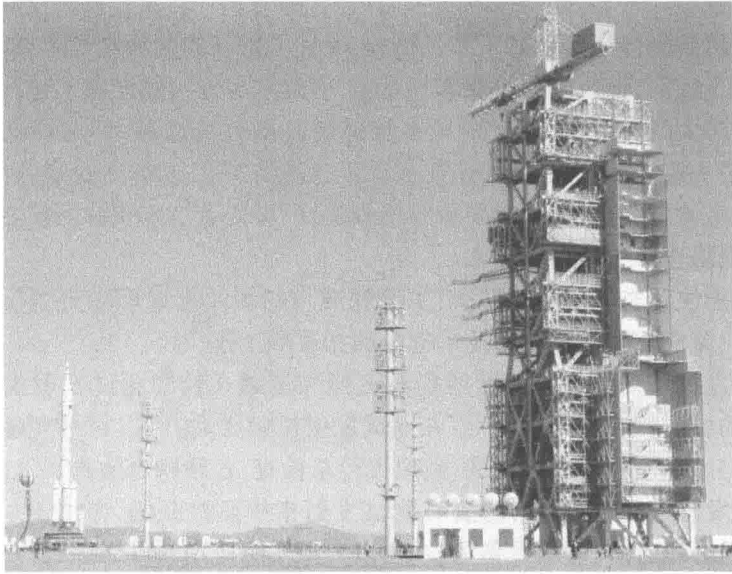


图 1-4 载人航天发射场脐带塔

回推进剂及辅助作业等。推进剂加注系统主要包括氧化剂库房、燃烧剂库房、加注系统外管路和管廊、加注系统器材间等。图 1-5 为航天发射场常用的火箭贮箱推进剂加注流程。推进剂由推进剂贮罐流出,经过出液阀、离心泵、流量计、调节阀、箭上加注活门,进入箭上贮箱,回气管路则通过箭上贮箱的溢出活门直接与推进剂贮罐回气管路相连,形成一个封闭式的加注系统。

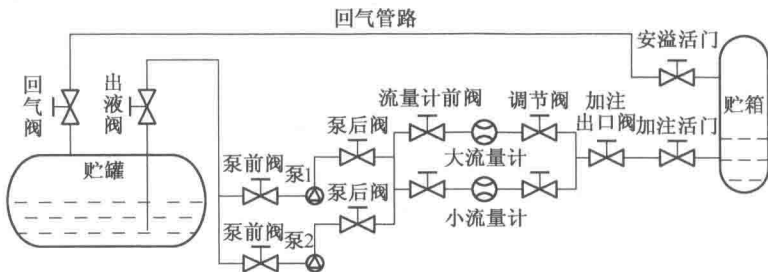


图 1-5 火箭推进剂加注流程

活动发射台是运载火箭、飞船、逃逸塔组合体由垂直总装测试厂房整体垂直转运至发射区的运输设备,如图 1-6 所示。

活动发射台主要由发射装置、行走机构、驱动控制系统、电气系统和液压系统等组成。其中,发射装置与行走机构构成发射台本体,在台面的发射装置上,有回转机构和 4 个带防风拉杆的可微幅升降的支撑臂。驱动行走机构的柴油发电机组、变频调速控制系统等设备,安装在跟随式驱动控制车上。活动发射台可以在轨距为 20m 的无缝重型钢轨上行走,负载时行走速度最高为 28m/min,可根

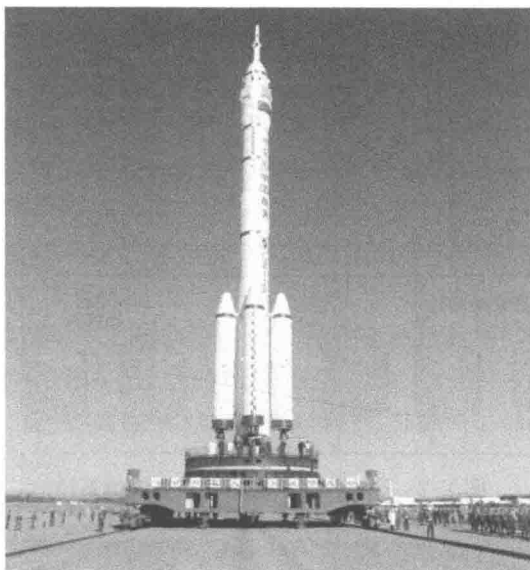


图 1-6 活动发射台

据需要进行无级调速,可以在平均风速为 10m/s 左右的条件下进行安全运输。行走机构所驱动的轮数为 2 组 4 轮,另外还有 2 组 4 轮备份。活动发射台下部装有定位标志探测器,活动发射台到脐带塔后可自动控制减速、止动并精确定位,定位误差为 $\pm 5\text{mm}$ 。对中定位后,应调整 8 个支撑转换装置与地面成刚性支撑,以便将活动发射台本体从运输状态转换为发射状态。

3. 试验指挥区

试验指挥区是运载火箭和飞船上升段飞行测量控制的指挥场所,它负责监控并转发发射场测试发射与测量控制相关的信息。指挥控制中心是试验指挥区的主要设施,承担着实时数据汇集、存储、处理、传输、态势显示等任务,为指挥员观察试验进程、判断任务遂行状况,为参试各系统了解发射过程中的技术状态、执行情况以及应急处置,为逃逸、安控执勤工作的判断、组织、实施和管理等,提供技术支持。指挥控制中心包括中心计算机系统、指挥显示系统、时统、数传、调度、电视、系统管理、安全防护等。指挥控制中心计算机系统的体系结构如图 1-7 所示。

4. 航天员区

航天员区是航天员进入发射场后训练和生活的主要场所,其主要任务是为航天员提供各种模拟训练科目、实施医监医保及提供生活保障等。

航天员区主要由航天员宿舍、航天员餐厅、专业训练用房、飞前准备用房、体能训练用房、医监医保用房、车库、室外体育场及工作人员用房、航天员管理站等组成,如图 1-8 所示。

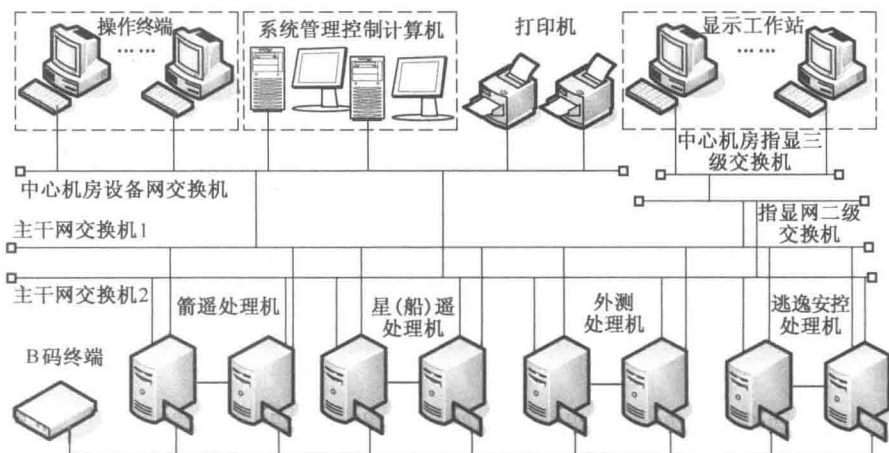


图 1-7 指挥控制中心计算机系统体系结构



图 1-8 航天员区外景

1.2 航天发射场设施设备特点

发射场设施设备是执行航天发射科研试验任务的重要物质基础,特殊的工作环境和工作要求,决定了其与一般的工业设备相比具有显著不同的特点。

1) 种类多,组成复杂

航天发射场地面设备种类繁多,包括非标系统(塔勤、产品运输车、活动发射台)、加注供气系统(包括常规推进剂加注系统、废气和污水处理系统、气体供应系统)、供配电系统(含高低压配电、防雷、接地)、空调系统、给排水系统、消防系统、C³I系统、航天员地面应急救生系统等,涉及机械、化工、电子、电力、通信、软件等多个技术领域,数量庞大,分布范围广。

2) 服役时间长,技术水平参差不齐

航天发射场设施设备在其寿命周期内需要完成多次测试发射任务,设备服役时间长达二三十年。服役时间长的设备在受环境、管理以及设备自身老化、磨损等因素的影响过程中,工作可靠性逐渐下降,以致不能满足使用要求,因而对设备的维修维护要求高。

同时,设施设备的来源十分广泛,既有国外产品,也有国内产品,其中有相当数量的非标产品,技术水平和质量参差不齐,给设施设备的维修保障带来了很大的困难。

3) 工作环境和自然环境严酷

一方面,发射场设施设备大多数工作在室外环境,长期受戈壁滩恶劣气候的影响,设施设备的寿命降低,可靠性下降问题十分突出;另一方面,火箭推进剂的腐蚀、发射过程的振动和冲击等因素也会对设施设备的寿命造成显著影响。

4) 高可靠性高、安全性要求

航天发射的特点决定了发射场设施设备应满足高可靠性、高安全性的要求。例如,载人航天发射任务中,对发射场系统的可靠性要求为 0.95,对航天员安全性的要求为 0.997。这些高可靠性、高安全性的要求,对发射场设施设备的维修保障提出了严峻的挑战。

1.3 航天发射场未来发展趋势

1.3.1 航天发射场现状

20 世纪 50 年代末,为适应导弹武器和大倾角、中低轨道各种试验和应用卫星发射的需要,我国从 1958 年开始兴建第一个运载火箭发射场——酒泉卫星发射中心,研制了包括运载火箭和卫星装配厂房、发射架、勤务塔和发射区相关的设施设备,并于 1970 年 4 月 24 日成功发射了我国第一颗人造地球卫星“东方红 1 号”。后来,为了满足不同类型卫星的发射需要,我国又先后建成了西昌、太原卫星发射中心。

发射塔是航天发射场设施设备的主要组成部分。与一般机械工程设计相比,载人航天发射场机械工程的设计,除应满足航天产品接口条件和发射工艺功能需求外,还需要具有更高的安全性、可靠性、维修性、保障性、测试性和环境适应性。例如,应用于载人航天发射场的机械设备,需要满足 $-40\sim+60^{\circ}\text{C}$ 的环境温度要求;发射台则需要具有抵御强烈振动、噪声、高温气流冲击和腐蚀性气体污染的能力。

截至目前,载人航天发射场机械工程领域的机械设计,已逐渐采用有限元设计理论、最优化设计理论,并逐步引进可靠性设计、维修性设计等新的理论和方法。设计手段则采用了计算机辅助设计实现,并逐步引进三维设计、数值分析设计等先进软件。设计理念也从单一的功能设计,发展为多功能综合设计,除满足机械设计要求的刚强度原则外,还兼顾了人机工程设计、造型设计等多项设计原则。

设备检测评估技术是掌握现有载人航天发射场机械工程设备的技术状态,

科学制定设备建设规划的重要手段。我国载人航天发射场的机械工程设备,根据建设年代和使用年限的不同,目前均处于不同的寿命使用期,其技术状态直接关系到设备的安全使用、维修周期和升级改造的投入。因此,载人航天发射场机械工程设备的检测评估,是载人航天发射场系统近年来面临的一个重要课题。

设备运行数据采集及安全状态监控技术,是确保载人航天发射场机械工程设备处于正常工作状态,以便高可靠性地投入航天发射任务,保障航天发射任务成功的前提,也是满足发射场机械工程设备的远程控制、信息化管理、指挥自动化和网络化建设,改善工作人员办公环境和提高操作安全性的需要。其目的是使操作人员准确掌握设备的工作技术状态、快速诊断设备出现的故障,提高设备的应急维修和技术保障快速反应能力。该技术主要包括机械设备状态检测系统、电视监控系统、通信对讲系统、控制及状态信号显示报警系统、信息化网络系统、计算机及数据库系统等。

可靠性、可维修性及保障性技术是充分发挥发射场机械工程设备设计使用寿命,保障设备处于良好的技术性能,实时满足发射任务保障需求的重要前提。然而,由于发射场机械工程设备的生产建设年限跨度很大,且多数为特殊设计的专用非标准设备,生产批量小、使用频度低、数据积累少,这些原因使相关技术的发展相对较慢。经过多年的工程实践,可维修性及保障性技术方面,目前已经基本形成了一套切实可行的技术管理体系,但对可靠性技术的研究则刚刚起步,目前主要通过机械设备的设计可靠性复核、故障模式影响及危害度分析、故障树分析、开展可靠性验证试验等手段,评价现有系统的可靠性,更换或重新设计存在可靠性隐患的设备,提高设备的可靠性水平。与此同时,通过经常性地组织操作手进行模拟发射操作和维修保养训练,编写应急预案,组织发射前状态检查评审,派专家参与现场任务保障,制订配套设备合格供应商名录,强化合同技术服务范围,以及增加备品备件数量等措施,增强设备的发射任务保障能力。但是遇到大型机械结构故障,人们往往束手无策,因此需要借助于数值仿真技术,将设备通过仿真试验,寻找到故障点,找到相应的解决措施,或者改善设备的性能。

1.3.2 航天发射场发展趋势

纵观国内外载人航天发射场的发展趋势和特点,我们可以看出,随着计算机技术的不断发展,载人航天发射场系统的发展趋势可以概括为以下几点。

(1) 载人航天发射场机械工程的设计方法,将会更加充分地利用数值仿真技术、三维设计技术,利用先进的具有可靠性、维修性、最优化设计的计算机辅助设计方法和手段,并逐步向数字化、精确化、最优化、可视化方向发展。

(2) 载人航天发射场机械工程设备的功能,将逐步向高性能、低成本、高可靠、高度自动化、信息化、智能化方向发展。设备的规格将伴随着火箭及航天飞行器技术的进步,逐步向简约化、模块化、集成化和多行业技术集成融合方向发