



·总装部队军事训练“十二五”统编教材·

航天发射场地面设施设备 综合维修保养

HANGTIAN FASHECHANG DIMIAN SHESHI SHEBEI
ZONGHE WEIXIU BAOZHANG

陆晋荣 主编



国防工业出版社

National Defense Industry Press

014038801

V55
09

总装部队军事训练“十二五”统编教材

航天发射场地面设施 设备综合维修保养

陆晋荣 主 编



国防工业出版社

· 北京 ·



北航

C1726194

108880110

图书在版编目 (CIP) 数据

航天发射场地面设施设备综合维修保障 / 陆晋荣主
编. —北京: 国防工业出版社, 2014. 3

总装部队军事训练“十二五”统编教材

ISBN 978 - 7 - 118 - 09329 - 2

I. ①航... II. ①陆... III. ①航天器发射场 -
地面设施 - 维修 - 教材 IV. ①V55

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 043437 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)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 880 × 1230 1/32 印张 8% 字数 236 千字

2014 年 3 月第 1 版第 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)

国防书店: (010) 88540777

发行邮购: (010) 88540776

发行传真: (010) 88540755

发行业务: (010) 88540717

总装备部军事训练统编教材 编审委员会

(2012)

主任委员 于建平

副主任委员 陈志敏 栗根文 蔡洙虎

委 员 王家伍 张海洋 李恒年

王泽民 姚志军 闫章更

白凤凯 康建勇 姜世忠

黄伟强

秘 书 石根柱 余敬春

航天发射场地面设施设备综合维修保养

主 编 陆晋荣

副 主 编 郑永煌

编写人员 贾立德 贾宝林 李建忠

李 婷 王文化 张桂洪

张 鑫 周秋玲

主 审 王福通

副 主 审 王家伍

序

航天发射场是飞船、卫星、火箭进行总装测试和最终点火发射的场所,航天发射场地面设施设备的可靠性、安全性直接关系到航天产品测试操作质量和成功发射。近五十年来,我国成功发射了几百个航天器,尤其是以天宫一号与神舟飞船交会对接任务为代表的重大航天工程任务,使中国成为世界上具有重要影响力的航天大国。为了确保这一次次发射的圆满成功,我国航天发射场科研、试验人员付出了艰辛的劳动,解决了大量的维修保障难题,确保了航天发射场地面设施设备运行稳定可靠。

本书就是对这些宝贵经验、方法的系统总结和理论升华。本书紧紧抓住航天发射任务的规律和发射场地面设施设备的特点,突出维修保障技术的工程性和实用性,将现代维修保障理论与方法有机融进航天发射场地面设施设备的维修保障工作中,阐明了航天发射场地面设施设备综合维修保障的特点、规律和技术方法,运用大量案例阐释了方法的具体应用问题,使读者不仅能够学理论、懂方法,也能够很快地运用所学知识分析和解决工程实际问题,对加速培养航天发射场综合维修保障技术人才具有重要的意义。

本书是航天发射工程领域一本很好的专著,也是一项很有价值的学术研究成果,对我国航天发射场综合维修保障技术的发展与应用必将产生积极的推动作用。

周建

二零一四年一月七日

前 言

航天发射场综合维修保障是保持和提高地面设施设备的可靠性、安全性,确保航天发射任务圆满成功的重要基础,是适应航天发射工程、保障发射活动成功需要而形成的多学科交叉的综合学科。编著者有幸参加了神舟一号至神舟十号的所有载人航天发射任务和几十次卫星发射任务,主持和参与了数以百计的故障排除工作,圆满完成了航天发射场地面设施设备综合维修保障工作,积累了丰富的工程实践经验。为了系统地总结我国航天发射场综合维修保障工程的经验,将其提炼、升华为理论和方法,历时两年研究和辛勤著述,本书终于付梓。本书是我国航天发射场五十多年综合维修保障实践活动的理论总结,是参加航天发射任务一线工程技术人员集体智慧的结晶。

全书共九章。第1章为绪论,主要介绍航天发射场地面设施设备综合维修保障技术体系的概念、内涵、特点和基本组成。第2章为综合维修保障技术基础,主要介绍与地面设施设备综合维修保障密切相关的可靠性、安全性、维修性基础理论。第3章为综合维修保障分析方法,包括FMEA分析、故障树分析和危险分析。第4章为地面设施设备检修检测策划,主要是对地面设施设备检修检测的概念、要求和基本策划方法进行介绍。第5章为地面设施设备维修策略,主要介绍逻辑决断方法、维修周期和维修级别的确定方法等。第6章为地面设施设备维修质量评估,主要介绍维修质量的影响因素、评估参数和评估方法等。第7章为地面设施设备可靠性评估,主要介绍航天发射场地面设施设备可靠性评估的基本方法、可靠性数据收集、可靠性评估模型等。第8章为地面设施设备风险分析与预控,主要介绍航天发射场地面设施设备风险分析、预控的基本方法和步骤。第9章为地面设施设备软

件维护保障,主要介绍航天发射场地面设施设备软件维护保障的基本特点、软件故障处理、更动维护等。

在本书编写过程中,酒泉卫星发射中心陆晋荣研究员和郑永煌研究员参加了第1、第3、第7章的编写,张桂洪高级工程师参加了第2、第5章的编写,周秋玲工程师和李建忠高级工程师参加了第3、第6章的编写,贾宝林高级工程师和贾立德工程师参加了第4、第8章的编写,王文化、李婷、张鑫工程师分别参加了第2、第7、第9章的编写,郑永煌研究员完成了全书的统稿工作,贾立德工程师承担了全书初稿的排版和校对工作,他们为本书的出版作出了重要贡献。

编著者首先要感谢酒泉卫星发射中心王福通副总工程师、王家伍研究员,对本书提出了许多富有建设性的修改意见;还要感谢上级领导的关心与支持。

由于编著者水平和经验有限,书中难免存在纰漏和错误之处,殷切期望广大读者批评指正。

编著者

2013年5月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 航天发射场地面设施设备组成与特点	1
1.1.1 主要任务	1
1.1.2 基本组成	1
1.1.3 主要特点	4
1.1.4 基本要求	5
1.2 维修保障技术发展现状与趋势	5
1.2.1 发展现状	5
1.2.2 发展趋势	8
1.3 航天发射场地面设施设备综合维修保障技术	10
1.3.1 基本概念	10
1.3.2 基本要求	11
1.3.3 技术体系	12
第2章 综合维修保障技术基础	15
2.1 基本概念	15
2.1.1 可靠性与安全性	15
2.1.2 维修性与可用性	21
2.2 以可靠性为中心的维修	24
2.2.1 基本概念	24
2.2.2 理论要点	26
第3章 综合维修保障分析方法	29
3.1 故障模式、影响及危害性分析方法	29
3.1.1 基本概念	29
3.1.2 分析程序	30

3.1.3	输出结果	33
3.1.4	应用举例	36
3.2	故障树分析方法	41
3.2.1	基本概念	41
3.2.2	故障树结构	41
3.2.3	分析方法	42
3.2.4	应用举例	50
3.3	危险分析方法	52
3.3.1	基本概念	52
3.3.2	分析程序与内容	52
3.3.3	分析报告	57
3.3.4	应用举例	57
第4章	地面设施设备检修检测策划	62
4.1	概述	62
4.1.1	基本概念	62
4.1.2	策划意义	63
4.1.3	策划要求	63
4.2	检修检测策划方法	65
4.2.1	确定检修检测系统与设备	65
4.2.2	分解系统与设备	71
4.2.3	提炼功能和性能指标	75
4.2.4	设计检修检测项目	78
4.2.5	明确检修检测方法	82
4.2.6	不可测项目处理	84
4.3	低压配电系统检修检测策划案例分析	85
4.3.1	确定低压配电检修检测子系统	85
4.3.2	分解低压配电系统设备	86
4.3.3	提炼低压配电系统功能和性能指标	88
4.3.4	设计低压配电系统检修检测项目	91
4.3.5	明确低压配电系统检修检测方法	98
第5章	地面设施设备维修策略	101

5.1	概述	101
5.1.1	基本概念	101
5.1.2	常用维修策略	102
5.1.3	维修策略选择	104
5.2	RCM 分析方法	105
5.2.1	基本程序	106
5.2.2	逻辑决断方法	110
5.2.3	维修周期确定方法	120
5.2.4	维修级别确定方法	127
5.2.5	预防性维修大纲	131
5.3	燃烧剂加注系统流量计维修策略案例分析	138
5.3.1	流量计工作原理	138
5.3.2	流量计 FMEA 分析	139
5.3.3	流量计维修逻辑决断	139
5.3.4	流量计维修周期确定	142
5.3.5	流量计维修级别确定	144
5.3.6	流量计维修大纲建立	144
第6章	地面设施设备维修质量评估	146
6.1	概述	146
6.1.1	基本概念	146
6.1.2	基本要求	147
6.1.3	重要意义	148
6.2	维修质量影响因素分析	149
6.2.1	维修人员	149
6.2.2	维修设备	150
6.2.3	装配工艺	151
6.2.4	维修环境	151
6.2.5	备品备件	152
6.2.6	维修质量管理	152
6.2.7	维修方式	153
6.3	维修质量评估参数	153

6.3.1	参数选择原则	153
6.3.2	参数确定方法	154
6.4	维修质量评估方法	159
6.4.1	评估程序	159
6.4.2	分析方法	165
6.5	桥式吊车维修质量评估案例分析	169
6.5.1	评估对象	169
6.5.2	评估参数选择	170
6.5.3	评估模型与评估方法	171
6.5.4	评估计算	172
6.5.5	评估结果	175
第7章	地面设施设备可靠性评估	176
7.1	概述	176
7.1.1	基本概念	176
7.1.2	基本要求	177
7.1.3	基本方法	177
7.2	可靠性数据	178
7.2.1	可靠性数据分布类型	178
7.2.2	可靠性数据选取方法	178
7.3	可靠性评估模型	180
7.3.1	设备可靠性评估模型	181
7.3.2	系统可靠性评估模型	183
7.3.3	发射场任务可靠性评估模型	187
7.4	脐带塔回转平台任务可靠性评估案例分析	188
7.4.1	系统功能框图	189
7.4.2	任务可靠性框图	189
7.4.3	可靠性数据收集	191
7.4.4	任务可靠度计算	192
第8章	地面设施设备风险分析与预控	196
8.1	概述	196
8.1.1	基本概念	196

8.1.2	基本特征	197
8.1.3	基本思路	198
8.2	风险分析方法	199
8.2.1	风险识别	199
8.2.2	风险评估	204
8.2.3	文档记录	210
8.3	风险预控方法	211
8.3.1	风险计划	211
8.3.2	风险跟踪	213
8.3.3	风险控制	214
8.3.4	风险预控反馈与记录	217
8.4	吊装设备风险分析与预控案例分析	218
8.4.1	吊装设备风险识别	219
8.4.2	吊装设备风险评估	220
8.4.3	吊装设备风险计划	221
8.4.4	吊装设备风险跟踪	222
8.4.5	吊装设备风险控制	224
第9章	地面设施设备软件维护保障	225
9.1	概述	225
9.1.1	基本概念	225
9.1.2	软件特点	227
9.1.3	主要内容	227
9.2	软件正常维护保障	228
9.2.1	软件交接部署	228
9.2.2	软件运行使用	231
9.3	软件故障处理	236
9.3.1	基本概念	236
9.3.2	故障类型	237
9.3.3	故障处理程序	239
9.3.4	故障诊断常用方法	240
9.4	软件更动维护	243

9.4.1	基本概念	243
9.4.2	程序与要求	245
9.4.3	修改软件产生的副作用	247
9.5	实时应用软件故障处理案例分析	249
9.5.1	故障检测	249
9.5.2	故障定位	251
9.5.3	更动维护	252
9.5.4	归零评审	252
参考文献		253

第1章 绪 论

实施综合维修保障的根本目的是确保航天发射场地面设施设备用时可靠、持续可靠,只有这样才能满足航天发射高可靠与高安全要求,才能适应常态化、高密度航天发射的需要。本章介绍了地面设施设备综合维修保障的概念、要求、技术体系,论述了未来发展趋势。

1.1 航天发射场地面设施设备组成与特点

1.1.1 主要任务

航天发射是指利用航天运载工具将卫星、飞船和深空探测器等各类航天器送入太空的活动,具有技术复杂、科技含量高、发射风险大、资金投入多等特点,是世界各国综合国力的象征和科学技术发展水平的标志,也是开发太空资源的基础。

作为航天工程的重要组成部分,航天发射场承担着运载火箭、航天器(卫星、飞船等)及有效载荷在发射场的吊装、转运、推进剂加注、装配测试等技术准备和实施发射的任务,以及提供通信、气象、计量、水暖电、消防等各种地面勤务保障及后勤支持任务。

航天发射场设施设备质量的好坏直接影响航天发射的成功。如果发射场设施设备经常发生故障,或发生故障后得不到有效处置,将直接影响发射技术准备和实施发射的顺利进行,并威胁到产品及参试人员的安全,甚至会导致发射任务失败。

1.1.2 基本组成

按照区域划分,航天发射场一般由技术区、发射区、指挥区组成,而

载人航天发射场则需要增加航天员区。各功能分区又由相应的设施设备构成,以支持各项航天发射技术活动的完成。因此,航天发射场实际上是为保障运载火箭、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综合体。图 1-1 为我国酒泉载人航天发射场布局示意图。

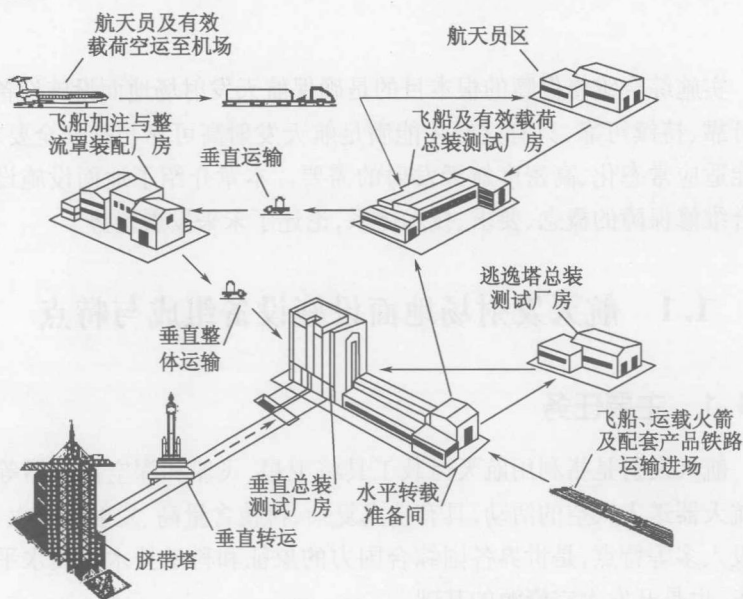


图 1-1 载人航天发射场布局示意图

航天发射场地面设施设备主要包括液体推进剂加注、供气、非标塔勤、指挥监控(C³I)、通信及电视、气象、供配电、空调水暖、消防、计量及特种燃料贮运等系统和各类通用装备。

(1) 液体推进剂加注系统。主要包括工艺设备和控制设备,工艺设备由推进剂贮罐、加(转)注泵、流量计、阀门、工艺管路等组成,控制设备由工控机、可编程控制器、显示屏以及压力、流量、温度、液位等监控网络组成,主要完成推进剂由运输槽车向加注库房的转注和由加注库房向运载火箭的加注任务。

(2) 供气系统。由空气压缩机、液氮气化车、氧气纯化设备、增压设备、配气台、贮存气瓶以及供配气管线组成,主要为航天产品及地勤

系统提供满足需要的不同类型、不同压力的气体,包括氧气、氮气、高纯氮气、空混气以及洁净空气。

(3) 非标塔勤系统。主要包括吊装设备、转运设备、工作平台、发射台、电缆摆杆、非标大门、电梯等。其中,吊装设备包括标准及非标准桥式吊车、塔式吊车、单臂吊车等,主要用于航天产品的吊装、对接及拆卸工作。转运设备包括航天产品专用公路运输车、轨道转换车、活动发射台、转运轨道等,主要用于不同的航天产品以一定的状态在各工作地点之间的运输。工作平台包括厂房活动工作平台、脐带塔活动工作平台等,主要为航天产品的组装、测试、推进剂加注等工作提供必要的工作场所,为各种测试用管路、电缆敷设提供通道等。发射台按不同任务模式分为活动发射台和固定发射台,主要用于航天产品组合体的支撑以及回转、垂直度调整等,活动发射台还具有船箭组合体垂直转运的功能。电缆摆杆的主要功能是为航天产品在发射工位测试时提供电缆、气管等的支撑,在发射时按程序摆开,提供所需要的发射空间。非标大门可分为升降推拉大门、推拉门和卷帘门三大类,主要功能是在航天产品转运时提供必要的通道,在正常工作期间保障厂房的密闭以及消防分区功能。

(4) 指挥监控系统。包括计算机网络、指挥显示设备、控制设备、监视设备等,主要为航天发射技术准备和实施发射提供指挥控制手段。

(5) 通信及电视系统。包括指挥调度、时间统一、数据传输、话音传输、电视图像摄录/传输/显示等设备。为发射过程中各级岗位提供信息采集、传输、显示和沟通的功能。

(6) 气象系统。包括地面观测、高空控测、浅层风测量、雷电监测、气象雷达、卫星云图接收处理,以及天气预报业务和气象保障自动化设备等,为航天发射提供短期、中期及长期天气预报,以及为大气折射指数的修正、高空风修正、加注量计算等提供各种气象要素的测量数据。

(7) 供配电系统。包括低压开关设备、配电线路、用户端配电设备、接地系统设备、配电监测系统设备和大中型不间断电源系统(UPS)等,主要为航天发射任务提供安全、可靠的供配电保障。

(8) 空调水暖系统。包括各种中央空调、分体空调、锅炉设备、冷冻机组、给(排)水泵、送(排)风设备、推进剂调温设备以及各种管路阀