



· 总装部队军事训练“十二五”统编教材 ·



# 航天发射场交互式 电子技术手册开发

HANGTIAN FASHECHANG JIAOHUSHI  
DIANZI JISHU SHOUCHE KAIFA

郑永煌 主编



国防工业出版社

National Defense Industry Press

总装部队军事训练“十二五”统编教材

---

# 航天发射场交互式 电子技术手册开发

郑永煌 主编

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

航天发射场交互式电子技术手册开发 / 郑永煌主编.  
—北京: 国防工业出版社, 2015. 7  
总装部队军事训练“十二五”统编教材  
ISBN 978 - 7 - 118 - 10105 - 8

I. ①航... II. ①郑... III. ①航天器发射场—电子技术—教材 IV. ①V553

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 171938 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 1/8 字数 231 千字

2015 年 7 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 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

(2013)

主任委员	张学宇		
副主任委员	陈志敏	蔡洙虎	
委 员	王福通	张忠华	李恒年
	王泽民	桂业伟	姚志军
	吴颖霞	郝光宇	姜国华
	李业惠	张 渊	田 平
秘 书	石根柱	余敬春	

# 航天发射场交互式 电子技术手册开发

主 编 郑永煌

编写人员 郑永煌 贾立德 贾宝林

李建忠 张光升 朱福娟

王文化

主 审 徐宗昌

# 前 言

交互式电子技术手册 (Interactive Electronic Technical Manual, IETM) 是在科学技术发展的推动和信息化战争军事需求的牵引下产生与发展起来的一项重要的装备保障信息化新技术、新方法和新手段。国内外装备保障实践已经充分证明,应用交互式电子技术手册技术能够极大地提高装备维修保障、装备人员训练和用户技术信息管理的效率与效益。因此,大力发展与应用交互式电子技术手册,对于提高航天发射场基于信息系统的体系保障能力,实现信息化发射场建设目标,具有十分重要的意义。

2007 年以来,编著者主持并完成了航天发射场交互式电子技术手册原型验证系统的设计与开发,并在载人航天交会对接任务和多次卫星发射任务中得到了初步应用,积累了一定的工程实践经验。为系统总结我国航天发射场开展交互式电子技术手册开发与应用的工程经验,尽快推动其广泛应用,编著者历时两年辛勤著述,对航天发射场交互式电子技术手册的概念、系统总体框架、开发中的关键技术等进行了系统总结。

全书共七章。第 1 章为绪论,主要介绍航天发射场的基本任务、特点与组成,航天发射场 IETM 的总体要求,并结合国内外航天发射场的未来发展,阐述了 IETM 在我国航天发射场的应用前景;第 2 章为 IETM 标准体系,主要介绍国内外相关 IETM 标准体系的特点、内容,航天发射场 IETM 标准选择、标准体系框架等;第 3 章为 IETM 信息生成,包括信息组成、特点,以及基于公共源数据库的信息管理等;第 4 章为 IETM 开发平台,主要介绍国内外相关软件平台、航天发射场 IETM 开发平台设计、采用的关键技术及主要特色;第 5 章为可视化建模与仿

真,主要介绍航天发射场可视化信息构成及功能,可视化建模软件、建模过程,基于 SolidWorks 软件的脐带塔三维可视化建模和基于 Visual Graph 图形平台的电控系统原理及实际操作过程二维虚拟仿真;第 6 章为 IETM 交互性设计,包括交互性的概念、交互功能要求、交互界面设计、交互信息组织;第 7 章为 IETM 原型验证系统开发,主要介绍航天发射场 IETM 原型验证系统开发流程、基本组成以及在航天发射任务中的应用实例。

酒泉卫星发射中心郑永煌研究员承担了第 1、2 章的编写,张光升高级工程师承担了第 3 章的编写,朱福娟工程师承担了第 4 章的编写,李建忠高级工程师承担了第 5 章的编写,贾宝林高级工程师承担了第 6 章的编写,贾立德工程师承担了第 7 章的编写,王文化工程师参与了第 5 章的编写。贾立德工程师承担了全书初稿的排版和校对工作,郑永煌研究员完成了全书的统稿工作。

非常感谢装甲兵工程学院徐宗昌教授,酒泉卫星发射中心陆晋荣研究员、王福通高级工程师,总装教材办李国华高级工程师,他们对本书提出了许多富有建设性的修改意见。

IETM 在各领域的研究与应用是一项方兴未艾的工作。本书在编著过程中,参考和引用了国内外同仁的大量宝贵资料,无法一一列举,在此一并表示感谢。

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

编著者

2015 年 2 月

# 目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 航天发射场	1
1.1.1 基本任务与组成	1
1.1.2 基本要求与特点	4
1.1.3 对 IETM 的客观需求	5
1.2 IETM 基本概念与发展情况	6
1.2.1 基本概念	6
1.2.2 发展情况	12
1.3 航天发射场 IETM 基本要求与组成	17
1.3.1 基本要求	17
1.3.2 基本组成	18
1.4 航天发射场 IETM 发展前景	19
第 2 章 IETM 标准体系	21
2.1 国内外标准体系	21
2.1.1 标准体系发展	21
2.1.2 国际标准	23
2.1.3 美国军用标准	28
2.1.4 美国民用航空技术标准	32
2.1.5 国内标准	33
2.2 航天发射场 IETM 标准选择	37
2.2.1 标准选择原则	38
2.2.2 国外主要标准分析对比	39
2.2.3 IETM 标准选定	43
2.3 航天发射场 IETM 标准体系框架	44



2.3.1	总体规划与要求	45
2.3.2	平台架构	46
2.3.3	支撑技术	52
<b>第3章</b>	<b>IETM 信息生成</b>	59
3.1	信息特征与系统结构划分	59
3.1.1	信息特征	59
3.1.2	信息生成	60
3.1.3	系统结构划分	62
3.2	信息组成与生成	68
3.2.1	信息组成	68
3.2.2	技术文件 IETM 信息生成	78
3.2.3	多媒体对象 IETM 信息生成	84
3.3	信息管理	90
3.3.1	公共源数据库	90
3.3.2	数据模块	91
3.3.3	其他信息对象	100
<b>第4章</b>	<b>IETM 开发平台</b>	105
4.1	功能与原理	105
4.1.1	主要功能	105
4.1.2	主要作用	106
4.1.3	组成原理	107
4.2	典型开发平台	109
4.2.1	国外 IETM 开发平台	109
4.2.2	国内 IETM 开发平台	120
4.2.3	IETM 开发平台的选择	121
4.3	航天发射场 IETM 开发平台设计	123
4.3.1	系统功能设计	124
4.3.2	软件建模及实现	127
4.4	关键技术及平台主要特色	141
4.4.1	关键技术	141
4.4.2	平台主要特色	143

4.4.3	运行使用要求	144
<b>第5章</b>	<b>可视化建模与仿真</b>	<b>145</b>
5.1	航天发射场可视化信息构成及功能	145
5.1.1	可视化技术分类与发展	145
5.1.2	航天发射场可视化信息构成	146
5.1.3	机械设备可视化功能	147
5.1.4	电控设备可视化功能	149
5.2	建模软件	150
5.2.1	三维可视化建模软件	150
5.2.2	虚拟操作仿真软件	153
5.3	建模过程	155
5.3.1	三维可视化建模过程	155
5.3.2	虚拟操作仿真建模过程	158
5.4	应用实例	162
5.4.1	脐带塔机械设备三维可视化建模	162
5.4.2	电缆摆杆控制系统虚拟操作仿真	167
5.4.3	脐带塔平台控制系统虚拟操作仿真	169
<b>第6章</b>	<b>IETM 交互性设计</b>	<b>174</b>
6.1	交互性	174
6.1.1	交互性概念	175
6.1.2	交互界面及交互功能	179
6.1.3	交互界面人机特性	181
6.2	交互功能要求	184
6.3	交互界面设计	192
6.3.1	交互界面要求	192
6.3.2	界面布局	196
6.3.3	显示样式	198
6.3.4	组成元素	201
6.3.5	特定显示设计	207
6.4	交互信息组织	209
6.4.1	通过引用的数据交互	209

6.4.2	基于过程数据模块的数据交互 .....	211
6.4.3	集成外部信息系统的信息交互 .....	217
<b>第7章</b>	<b>IETM 原型验证系统开发 .....</b>	<b>221</b>
7.1	开发流程 .....	221
7.1.1	项目需求分析 .....	221
7.1.2	制定项目规范 .....	222
7.1.3	确定信息粒度 .....	222
7.1.4	编制数据模块需求列表 .....	223
7.1.5	编制数据模块及技术插图等信息对象 .....	223
7.1.6	CSDB 内容管理 .....	223
7.1.7	出版物发布 .....	223
7.1.8	业务规则 .....	224
7.2	系统开发 .....	230
7.2.1	编著系统开发 .....	230
7.2.2	阅读系统开发 .....	231
7.2.3	管理系统开发 .....	233
7.2.4	原型验证系统集成 .....	239
7.2.5	IETM 编制过程 .....	240
7.3	应用实例 .....	241
7.3.1	IETM 原型验证系统典型应用 .....	241
7.3.2	基于 IETM 的电缆摆杆水平杆设计优化 .....	242
<b>参考文献</b>	.....	<b>247</b>

# 第 1 章 绪 论

交互式电子技术手册 (Interactive Electronic Technical Manual, IETM) 是一种按标准的数字格式编制, 采用文字、图形、表格、音频和视频等形式, 以人机交互方式提供装备基本原理、操作使用和维修保障等内容 的技术出版物, 是 21 世纪装备综合保障十大要素之一。自美国国防部 20 世纪 80 年代提出相关概念至今的 30 多年中, 在高技术战争装备保障需求的牵引下和飞速发展的现代信息技术推动下, 交互式电子技术手册技术得到了迅速发展和广泛应用, 并逐渐成为装备保障信息化的重要技术手段。

本章着重介绍了航天发射场设施设备的特点, 交互式电子技术手册的基本概念与发展应用情况, 航天发射场交互式电子技术手册的基本要求与发展前景。

## 1.1 航天发射场

### 1.1.1 基本任务与组成

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。

按照区域划分, 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。图 1-1 为我国酒泉载人航天发射场飞行产品物流方向示意图。

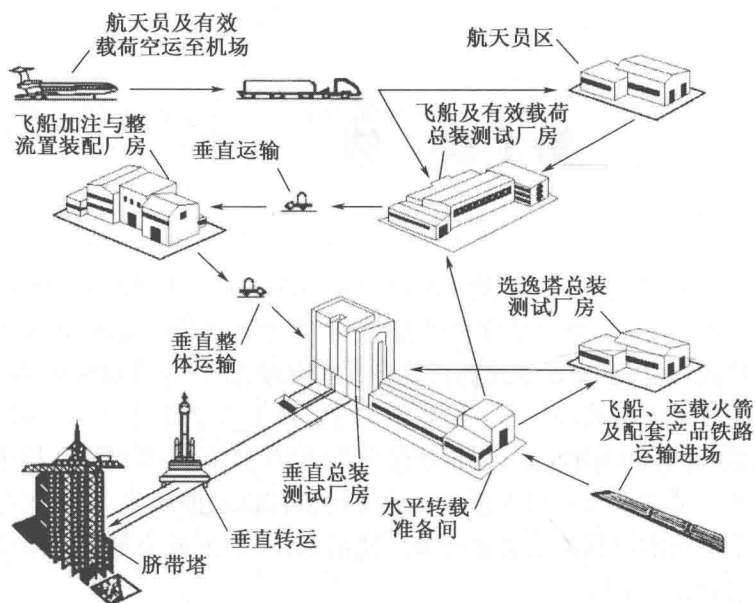


图 1-1 载人航天发射场飞行产品物流方向示意图

按系统区分,航天发射场地面设施设备主要包括加注、供气、塔勤、供配电、空调水暖、消防、指挥控制、通信、气象、计量及特种燃料贮运等系统和各类通用装备。下面简要介绍其中几种系统组成。

(1) 加注系统。包括工艺设备和控制设备。工艺设备由推进剂贮罐、加注泵、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(PLC)、显示屏以及压力、流量、温度、液位等监控网络组成,主要完成推进剂由铁路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、液氮贮罐和气化设备、氧气净化设备、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求的不同类型、不同压力的气体。

(3) 塔勤系统。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起重机、塔式起重机、单梁起重机等,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、活动发射台、轨道转换车、转运轨道等,用于不同航天产品以一定的状态在各工作场所之间的运输。工作平台包括厂房活动工作平台、脐带塔活动工作平台等,为航天产品的组装、测试、推进剂加注等工作提供必要的操作平台,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,活动发射台还具有飞船及火箭组合体垂直运输转场的功能。电缆摆杆主要功能是为航天产品在发射工位测试时提供电缆、空调管路等的支撑,在发射时按程序摆开,提供发射所需要的空间。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进行消防分区。

(4) 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。

(5) 空调水暖系统。包括各种中央空调、分体空调、锅炉设备、制冷机组、水泵、通风设备、推进剂调温设备以及各种管路阀门等,主要为测试发射场所提供满足温度、湿度、洁净度要求的工作环境,按要求对推进剂进行升温或降温处理。

(6) 消防系统。包括联动消防设备、固定消防设备、活动消防设备以及各种探测、报警、监控设备,主要功能是对各试验场所进行火灾探测、监控,必要时启动联动设备,进行隔火、排烟和消防,发射工位的固定消防还要提供发射或紧急关机时导流槽、发射台的水消防。

(7) 指挥控制系统。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。

(8) 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。

(9) 气象系统。包括地面观测、高空探测、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。

### 1.1.2 基本要求与特点

航天发射高投入、高风险和社会影响大的工程属性,决定了对航天发射场具有特殊的要求,设施设备在进行技术准备和实施发射过程中都必须具有高可靠性和高安全性。例如,载人航天发射任务中,发射场系统可靠性要求为0.95,安全性要求为0.997。这些高可靠性、高安全性要求,对航天发射场地面设施设备维修保障提出了严峻挑战。

为了满足这种特殊要求,在航天发射过程中必须及时准确地掌握航天发射场各参试系统的安全性、可靠性现状,科学地把握其变化趋势和发展规律,应用以可靠性为中心的维修理论和策略,提前预测故障、及时发现故障,彻底消除故障隐患,防止突发性故障带来的灾难性后果,保证发射圆满成功。

发射场设施设备作为航天测试发射系统的物质基础,主要具有以下特点:

(1) 典型的非标准特装性质。不同于导弹、坦克等批量生产的武器装备,航天发射场设施设备属于典型的非标准特殊装备,每一套装备都具有较强的专用性,其型号多、数量少、功能专一及保障要求高,如载人航天发射工位脐带勤务塔、卫星发射工位脐带勤务塔等,这就决定了IETM的开发和维护具有较大的自主性和唯一性。不同于其他由厂家或研究所“一次开发、多次使用”的模式,其IETM的开发和维护需要依托发射场岗位人员。

(2) 较高的技术复杂性。航天发射的高风险性要求装备技术先进适用且可靠性高。以电缆摆杆系统为例,技术涵盖机械制造、液压传动、可编程控制器(PLC)、电机电气控制等领域,自1998年服役以来为满足航天发射任务的要求,历经多次重大改造,技术状态不断变化,导致其技术资料的保障极为困难。这对其IETM的维护和更新提出了较高要求。

(3) 人员的流动性较大。当前模式下,航天发射场装备的操作使

用和故障维修人员均为一体,技术素养要求高。但由于体制原因,岗位人员流动性较大、层次结构年轻、思想活跃且容易接受新技术。同时,装备自动化程度越来越高,正朝着智能化、数字化方向发展。这要求装备的 IETM 能保留并体现装备维护经验、操作心得及故障案例,能够较好地应用于装备训练和技巧传承。

### 1.1.3 对 IETM 的客观需求

随着航天技术的不断发展,航天发射场设施设备的复杂程度日益提高,相应地,设施设备的设计图纸、随机文件等资料信息越来越多。与此同时,随着航天任务高密度常态化特征日益显著,每年发射场执行的测试发射任务越来越多,伴随而来的是大量的技术文献和资料信息。

这些技术文献和资料信息,如果全是纸质资料,将浩如烟海,难以及时准确查询使用。根据不完全统计,我国载人航天发射场自建设至今 20 年的历史中,产生了大量的技术文献资料,查询和使用起来非常费时、困难、麻烦。

航天发射场对交互式电子技术手册的客观需求,主要表现为以下几个方面:

(1) 交互式电子技术手册是航天发射场设施设备全寿命管理的客观要求。

20 世纪 70 年代末,我国国防科技部门应用维修工程和维修性工程理论与技术,明确提出设备“全系统全寿命”管理的观点,广泛开展维修理论的研究与应用。其核心就是建立从设备规划论证、设计研制、加工制造、使用维护、维修改造到退役报废的全过程、全寿命管理理念。而伴随着设施设备的全寿命管理,必将产生大量的过程记录文件、信息资料等。对这些文件、资料的有效存储、组织、使用和管理,是能否实现设施设备全寿命管理的关键因素。显然,利用交互式电子技术手册是解决上述问题的一种重要手段。

(2) 交互式电子技术手册是航天发射场信息化建设发展的内在要求。

发射场信息化建设的重要内容之一就是充分利用信息化技术,发



挥设施设备的最大效能。交互式电子技术手册是将发射场重要的技术资料 and 文献资源电子化、无纸化、便捷化的重要手段,通过交互式电子技术手册的开发与应用,能够充分发挥发射场各类重要技术资料、文献资源的作用和效能,也是发射场信息化建设发展的内在要求。

(3) 交互式电子技术手册是航天发射场综合维修保障工程发展应用的必然趋势。

随着航天发射任务高密度、常态化特点日益凸显,对航天发射场设施设备的综合维修保障也提出了新的和更高的要求。需要发射场的综合维修保障向试验任务应急抢修、快速维修等方向发展,这就要求为维修保障提供重要技术支撑的技术资料等资源能够快速、便捷的查询、使用。而在原有纸质条件下,随着技术资料文献的不断增多,在应急抢修、维修情况下,快速使用技术文献资料变得越来越困难。通过设计开发交互式电子技术手册,实现发射场众多技术文献资料的快速查阅、使用,是航天发射场综合维修保障技术发展应用的必然趋势。

## 1.2 IETM 基本概念与发展情况

### 1.2.1 基本概念

#### 1.2.1.1 定义与特征

根据 GJB 6600.1—2008《装备交互式电子技术手册 第1部分:总则》的定义,IETM 是一种按标准的数字格式编制,采用文字、图形、表格、音频和视频等形式,以人机交互方式提供装备基本原理、操作使用和维修保障等技术出版物的。由此定义可以进一步理解 IETM 的以下技术特征:

(1) IETM 是一种按标准的数字格式编制的数字化技术手册(技术出版物),使其能够在台式计算机、笔记本电脑、掌上电脑、穿戴式计算机、嵌入式计算机以及网络上以 Web 形式应用。

(2) IETM 主要是为用户提供装备基本原理、使用操作和维修等内容的技术信息。

(3) IETM 采用文字、图形、表格、音频和视频等多种形态,直观、生