

航天系统电磁兼容性

论文集

主 编 李一鸣

宇航出版社

航天系统电磁兼容性论文集

主 编 李一鸣

副主编 沈家楠 李邦复

编 委

李玉兰 陈新华 钦天钧

王嘉章 吕级三

宇航出版社

内 容 简 介

国外航天系统电磁兼容性研究和工程实践已获得很大成就，达到很高水平，为了对航天系统电磁兼容性各方面的问题全面作一介绍（包括系统电磁兼容性设计、计算机辅助分析、标准与规范、测试与实验设施、航天器与航天运载器、战略与战术导弹的电磁兼容性实践等），从数百篇论文中遴选出41篇，连同4篇综述论文汇编成本书，它基本上反映了国外航天系统电磁兼容性领域发展的概貌与前景，对于从事航天系统研制和电磁兼容性研究的科技人员不失为一本颇有价值的参考书。

航天系统电磁兼容性论文集

主 编 李一鸣

责任编辑 崔素言

宇航出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经销

纺织工业出版社印刷厂印刷

开本：787×1092 1/16 印张：29.875 字数：764千字

1989年3月第1版第1次印刷 印数：1—2000册

ISBN 7-80034-186-0/V·007 定价：8.00元

序

航天型号和系统是非常复杂的大系统工程。在其众多分系统中电子类分系统又占大多数。以用运载器发射卫星这个大系统工程为例,与电子电气有关的分系统在运载器上有制导系统、外测系统、安全自毁系统、姿控系统、发动机控制(包括火工品)、遥测系统、箭地供电系统、地面测试发控系统。在卫星上除上述各系统都存在以外,还有遥控系统、温控系统、太阳能电源系统等。而卫星的有效载荷往往又是各种频率的无线电系统(如通讯或电视通道转发器)。此外,还有庞大的地面测控网(其中包含各种大功率的天线系统)。星上和运载器上的各个电子系统及为数众多的天线都被放置在非常集中而拥挤的卫星本体和仪器舱中。在频带可能从射频到低频,在自然环境中尚需对付静电、雷击、工业火花干扰及各种人为干扰。在这样错综复杂的电磁环境中,每个电子分系统除了本身要能抗住干扰正常工作以外,还不能干扰其他电子系统或产生超标准的电磁污染。这就是系统的电磁兼容需要解决的问题。

过去最使总体和系统设计师头痛的问题之一就是排除系统内或系统之间的电磁干扰问题。以往处理干扰问题往往是兵来将挡、水来土掩式的就事论事的方式。随着型号总体愈来愈复杂,电子类分系统不断增多,这种工作方式早已不适应。50年代末国际上已提出电磁兼容性这个概念,并逐步地用系统的、全面的、预防为主的方式去处理这个问题。也就是从研究确定电磁环境开始,提出从系统到单个设备的EMC指标要求。定了各种EMC标准及规范。在每个设计阶段都认真解决有关EMC的问题。对各个分系统和总体进行计算机辅助EMC分析,并对总体和分系统硬件进行EMC试验,发现问题时要改进设计,使整个型号的电磁兼容性达到指标要求。总之在整个型号研制过程中应象抓可靠性一样抓电磁兼容性,使航天型号在发射时及飞行中不致出现电磁不兼容现象。

我国航天界对电磁兼容性对航天产品的重要性深有体会,并在这方面进行了许多工作。《航天系统电磁兼容性论文集》的出版无疑能够进一步促进这方面工作的开展。《文集》通过编选41篇精选的外国文献,较系统地介绍了航天系统电磁兼容性的各个方面。它对从事航天总体和系统设计和各电子设备的设计人员有参考价值。同时对推动有关部门及有关人员重视电磁兼容性问题起到了一定的作用。

航天工业部总工程师 梁恩礼

1988.6

编者序

航天器、航天运载器及导弹系统都是庞大而复杂的系统。它们由许多相互关联的子系统所组成。从纵向来看,从全系统、子系统、仪器、部件、组件到零件,其间接口很多,关系紧密,而且多数都有机载设备、地面设备及其它检测设备;从横向来看,子系统间、仪器间、电缆间,也存在许多接口或耦合的渠道。从电及电子学的观点来看,所有的系统均由许多“黑匣子”所组成。它们有的产生需要的电磁信号并同时产生不需要的信号;有的接收需要的并同时敏感不需要的信号;有的可能既产生电磁信号,同时又敏感电磁信号。这样,全系统的所有组成部分在执行任务时,能否在系统本身形成的复杂的电磁环境中和谐而有效地工作,就是系统内的电磁兼容性(EMC)问题。航天系统在发射场、在飞行中会遇到各种人为干扰(如:高压线、大型工业设备、广播台、电视台、导航台、雷达站、航区无线电测量站、飞机、其它航天系统等)及自然干扰(如:大气雷电、静电、宇宙电磁干扰等)。全系统能否在这样的电磁环境中正常工作,就是系统间的电磁兼容性问题。

随着航天技术的发展,系统日趋复杂,仪器数量大为增加。电子系统的频带日益加宽,功率逐渐加大,灵敏度逐渐提高;随着电子技术的发展,集成电路集成度的提高,电子计算机及电子技术在航天系统中得到更广泛的应用;加之航天器、航天运载器及导弹的内部空间很小,仪器安装密度越来越高,电缆网愈加复杂,航天系统的电磁兼容性问题也日趋严重。

国外为解决航天系统的电磁兼容性问题,做了大量工作,取得了很大进展,已达到很高的水平。从60年代到现在,国外在这方面发表了大量论文和著作。为了借鉴国外的先进技术与经验,现从美国、欧洲及日本的数百篇技术文献中选出了41篇论文,翻译、编辑出版了这本《航天系统电磁兼容论文集》。在遴选论文时,体现了下列原则:理论紧密联系实际,突出工程应用,力求多收入一些关于航天系统电磁兼容性实践方面的文章;既收入航天器、航天运载器方面的文章,也适当收入一些飞机、导弹以及民用产品方面的文章;为使读者了解国外发展的全貌,既收入80年代发表的文章,也收入了60年代的经典著作;既有规范法设计,也有系统法设计方面的文章;既有测试方法,也有测试设施方面的文章;此外,还收入了电磁兼容性标准、规范,以及抑制电磁干扰方面的文章等。

在本文集中收入的一些文章对型号研制工作会有直接参考价值,如:阿里安运载火箭有效载荷的电磁兼容性问题,OTS卫星的电磁兼容性设计,大力神-双子座载人飞船电磁干扰的监测系统,航天飞机IUS上面级的电磁兼容性监测系统,月球轨道器的电磁兼容性大纲,民兵武器系统的电磁兼容性测试,战术导弹的电磁兼容性测试,C-5飞机的电缆网抑制干扰设计,海军电磁环境的综合考虑,航天飞机通讯系统的电磁兼容及功能测试,以及深空通讯频率的选择等。有的文章对开展电磁兼容性测试有一定参考价值,如:洛克希德公司的电磁兼容性系统级测试,三菱公司的电磁兼容性自动化测试系统,航空电子系统的电磁兼容性自动化测试,以及计算机辅助敏感度测试等。有些文章对建设电磁兼容性实验设施会有帮助,如:欧洲航天研究与技术中心(ESTEC)的电磁兼容性自动化测试设施的检测仪器,法国的一个电磁兼容性测试设施,休斯公司的集中化电磁干扰测试控制及环境实验室中电磁兼容性

与检测仪表工程的关系，以及日本TDK株式会社的用于评价电磁兼容性的电波暗室等。其它一些文章，如：洛克希德公司的MIL-STD-1541规范的实施，休斯公司的电磁兼容性及电磁干扰实用文件的编制，TRW公司的电磁易损性综述，通用动力公司的特殊屏蔽技术，贝尔实验室的数字电路接地问题，模拟电路对射频干扰的敏感度问题，抑制电源线脉冲噪声的措施，以及商用产品的电磁兼容性简易设计等，均有一定的实用价值。此外，还收入了4篇综述文章。

本文集按专题分为下列8个部分：系统的电磁兼容性；计算机辅助电磁兼容性分析，电磁兼容性标准与规范；航天器及航天运载器；战略与战术导弹；电磁兼容性测试；电磁兼容性实验设施；接地、屏蔽及其他。电磁兼容性技术领域颇宽，发展甚快，文献甚多，由于篇幅所限，有些方面的文章，本文集未能收入。

由于编译者的水平所限，书中难免有错误之处，名词术语也会有不当之处，均请读者不吝指正，由于某些原著的影印本质量较差，故书中某些照片不够清晰，亦请读者谅解。

本文集的出版对促进我国航天系统电磁兼容性技术的应用与发展，缩短与外国的差距等方面，会起到一定的作用。

对收入本文集的论文的作者以及对本文集的编辑出版工作提供支持与帮助的单位及个人致以衷心的感谢。对航天工业部梁思礼总工程师为本文集作序，深表谢意。

李一鸣

1988.6

目 录

第1章 系统的电磁兼容性	(1)
国外航天系统电磁兼容性综述.....	(1)
武器系统的电磁兼容性.....	(33)
海军计划中对电磁环境的综合考虑.....	(41)
深空通讯频率选择的方法学.....	(53)
应用布线计划控制C ₀ 飞机上的电磁干扰.....	(70)
模拟电路对射频干扰敏感度的预测与测量.....	(80)
一般化的电磁易损性问题.....	(89)
商用产品电磁兼容性的简单设计方法——步骤1.....	(95)
第2章 计算机辅助电磁兼容性分析	(100)
计算机技术在实现电磁兼容性大纲中的应用.....	(100)
IEMCAP和SEMCAP比较.....	(113)
第3章 电磁兼容性标准与规范	(120)
美国空军MIL-STD-1541规范的实施.....	(120)
系统EMC规范的要求.....	(128)
电磁干扰/电磁兼容性实用文件的编制.....	(136)
第4章 航天器与航天运载器	(141)
“半人马座”和“勘测者”航天器间的电磁兼容性检验.....	(141)
阿里安有效载荷的电磁兼容性.....	(169)
闪电与火箭.....	(176)
静电与火箭	
——静电对火箭飞行的影响及消除静电危害等问题.....	(194)
火箭用电爆器件防雷电、防静电、防射频电磁辐射以及防电磁感应等问题.....	(221)
轨道试验卫星的电磁兼容设计.....	(250)
双子星座载人飞船系统干扰监测器.....	(261)
月球轨道器的电磁兼容性大纲要求.....	(272)
IUS上面级电磁兼容试验用的电压监测仪器系统.....	(285)
航天飞机通信系统兼容性和性能试验.....	(293)
第5章 战略与战术导弹	(311)
民兵导弹武器系统的电磁兼容性试验.....	(311)
用于武器系统电压瞬态值检测的指示器.....	(322)
导弹系统间的电磁兼容性试验.....	(330)
第6章 电磁兼容性测试	(337)
系统级电磁兼容性试验.....	(337)
电磁兼容性自动测试系统.....	(344)

航空电子系统电磁兼容性自动测量.....	(352)
计算机辅助方法用于敏感度测试.....	(358)
第7章 电磁兼容性试验设施.....	(367)
航天器电磁兼容性试验设施的自动测量仪器.....	(367)
法国电磁兼容试验设施.....	(383)
电磁干扰测试集中控制.....	(391)
环境实验室中电磁兼容性与检测仪表工程的关系.....	(402)
用于评价电磁兼容性的电波暗室.....	(411)
电磁兼容性研究设施.....	(426)
第8章 接地、屏蔽及其他	(434)
数字电路接地及内部连接.....	(434)
抗电源线脉冲性噪声的措施.....	(445)
特殊的屏蔽技术.....	(452)
用于电磁屏蔽的各种金属化方法.....	(460)
电磁兼容性和环境应力筛选.....	(467)

第 1 章

系统的电磁兼容性

国外航天系统电磁兼容性综述

李一鸣 李玉兰*

关键词 Aerospace System Electromagnetic Compatibility

摘 要

学习与研究国外航天系统电磁兼容性的理论与实践、经验与教训是很有意义的。本文就这个领域中的故障事例、设计、测试、测量仪器与实验设施、标准及管理等问题,概要作了阐述,供参考借鉴。

引 言

回顾航天系统发展的历史,在早期阶段,一般对可靠性是比较重视的,但是,对于系统的电磁兼容性(EMC)问题的重要性却认识不足。后来由于发生了许多电磁干扰造成的故障,人们才逐渐认识到电磁干扰的严重性及电磁兼容性的必要性。随着航天技术、电子技术及计算机技术的发展,航天系统日趋复杂,采用的电气及电子设备的数量大为增加,运载火箭的仪器舱及空间飞行器中仪器设备的安装密度相应增大,电缆网的复杂程度相应提高,而且电子系统的频带日益加宽,功率逐渐增大,灵敏度逐渐提高。这样,系统的电磁兼容性问题越来越显得重要。为此,研究国外电磁兼容性的理论与实践、经验与教训,并总结自身的经验是很必要的。基于以上考虑,本文在参阅大量文献的基础上,就这个领域中的故障事例,设计、测试、测量仪器与实验设施、标准及管理等问题,概要作些介绍,供研究讨论,参考借鉴。

故 障 事 例

1. 雷电引起的故障

(1) 土星 V-阿波罗12事件

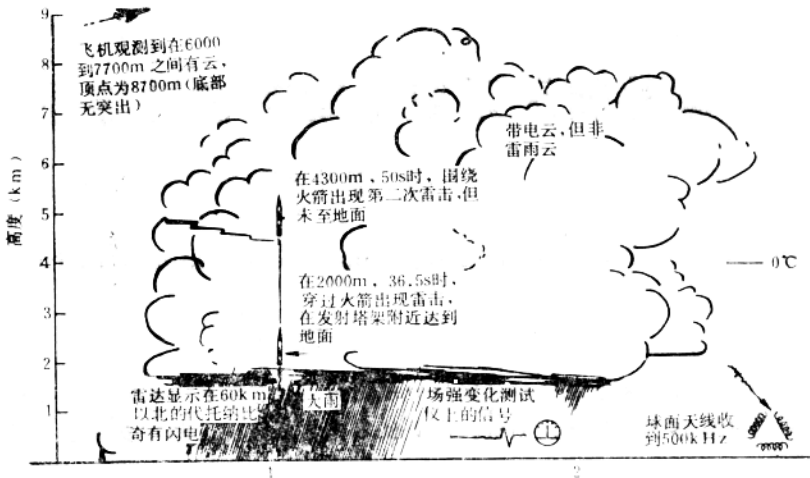
1969年11月14日上午,土星 V-阿波罗12发射后,飞行正常。起飞后36.5s,飞行高度为1920m时,火箭遭到雷击。起飞后52s,飞行高度为4300m时,火箭又遭到第二次雷击。这便

*本文4、5二部分由李玉兰执笔,其余部分由李一鸣执笔。

是轰动一时的大型运载火箭-载人飞船在飞行中诱发雷击的事件。

在发射前后6h,发射台附近并无自然雷电现象。但在240m至450m高度之间及650m至3300m之间各有一层云,天下小雨。在发射时,发射场上空的大气电现象见图1。

故障分析及试验研究的结果表明,此次事故是由于火箭及其火箭发动机火焰所形成的导体(火箭与飞船共长110m,火焰折合导电长度约为200m,总计310m)在飞行中使云层至地面之间及云层至云层之间,人为地诱发了雷电造成的^{[1]、[2]、[3]}。



1. 火箭长度约100m, 导电排气尾长附加200m; 电场增强约950倍。
2. 发射时, 测大气电的无线电探空仪在肯尼迪角以西约60km处测得负电流密度, 表明起电云在形成中。

图1 1969年11月14日阿波罗12发射时的大气电现象

(2) 丘辟特导弹雷击事件

1961年秋,一系列的雷电使部署在意大利的美国的丘辟特导弹武器系统多次遭到严重的损坏。损坏的性质大不相同,甚至系统中隔离较好,原以为与外界环境无关的元件也受到严重的影响。为了研究雷电对系统的效应,模拟雷电效应及防雷技术进行了几项研究试验计划。1962年6月开始对丘辟特导弹系统进行了自然雷击试验,目的是在直接雷击或附近打雷时取得大气物理数据,并对丘辟特系统内部的感应效应进行定量测量。但是,经过八个月,丘辟特试验场未遭到一次雷击,未达到试验目的。1963年1季度,用二种雷电模拟发生器对丘辟特系统进行了试验,获得了许多有益的结果^[4]。

2. 静电放电引起的故障

(1) 民兵导弹飞行故障^[8]

民兵I导弹的遥测试验弹多次发射成功后,1962年开始进行战斗弹状态的飞行试验。前二发弹(代号为FTM-502及FTM-503)均遭到失败。二发弹的故障现象相似,都是在I级发动机关机前炸毁的。一个高度为7.6km,一个为21.8km。在炸毁前,二发弹的制导计算机

均受到脉冲干扰而失灵。1962年12月至1963年4月进行了故障分析与模拟试验,结果表明,故障是由于下列因素造成的。

A.民兵弹头结构为铝合金,为了控制热传导,在设计上头体之间是绝热的,同时却造成了电绝缘。民兵导弹弹头结构与弹体过渡段结构之间的连接情况见图2。

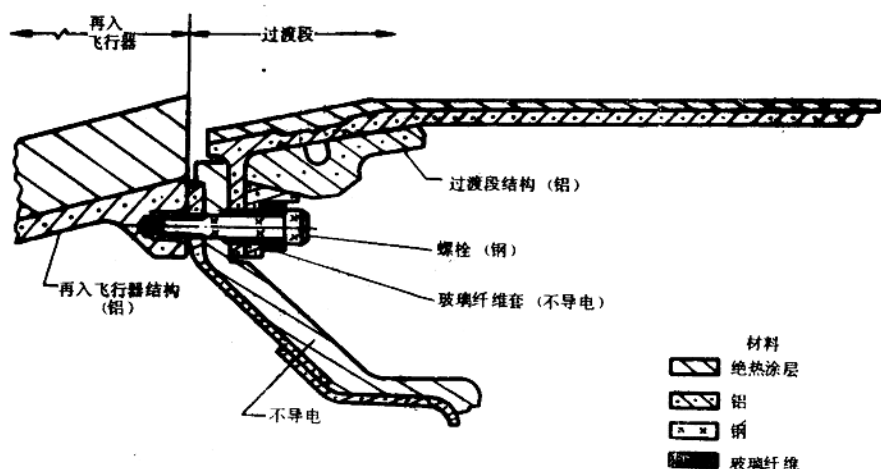


图2 民兵导弹再入飞行器与过渡段之间的连接情况

原来遥测弹状态的弹头安装了许多遥测仪器,有些电缆通往弹体,无意间将弹头与弹体结构连为一个整体。但战斗弹将这些仪器与电缆去掉了,同时无意中也把头体间的连接线也去掉了。这样,二个相互靠近而绝缘的金属体之间如果发生静电火花放电,其干扰脉冲就会使计算机发生故障。

B.大气电场(晴天时,大地表面的电场强度约为 $100\sim 300\text{V/m}$)可使竖立在发射台上的火箭感应大量的电荷。火箭发动机的燃气流也会使火箭充电。火箭飞行中,由于大气摩擦起电作用,可使火箭在短时间内充电到很高的电压。

火箭发动机的燃气流使火箭充电达到很高电位时,火箭末端的电场很强,可能出现电晕放电。

C.当火箭飞行高度增加时,发动机燃气流本身又具有中和火箭电荷的作用。电离层内的离子可以中和掉火箭从低高度带来的电荷,故它可以阻止火箭继续充电。

D.火箭起飞后,随着高度的增加,气压的降低,静电放电所需的电压也随之降低。达到 $30\sim 50\text{km}$ 时,最易出现火花放电。但当高度继续增加时,由于出现中和作用,静电放电所需电压又要增加。到 100km 以上时,产生静电放电的可能性较小。

E.静电放电是一种很强的干扰源,它产生的干扰脉冲对火箭及导弹上的计算机及电子仪器会造成严重的危害。

综上所述,故障是由于导弹飞行到一定高度时,在相互绝缘的弹头结构与弹体结构之间出现了静电放电,它产生的干扰脉冲破坏了计算机的正常工作而造成的。

为了避免出现类似故障,在弹头壳体与弹体壳体间增加搭接地线并提高了计算机的抗干扰能力。此外,在一级发动机底座上安装了45个静电电荷耗散器,在二级发动机上安装了21

个。耗散器的结构见图3。

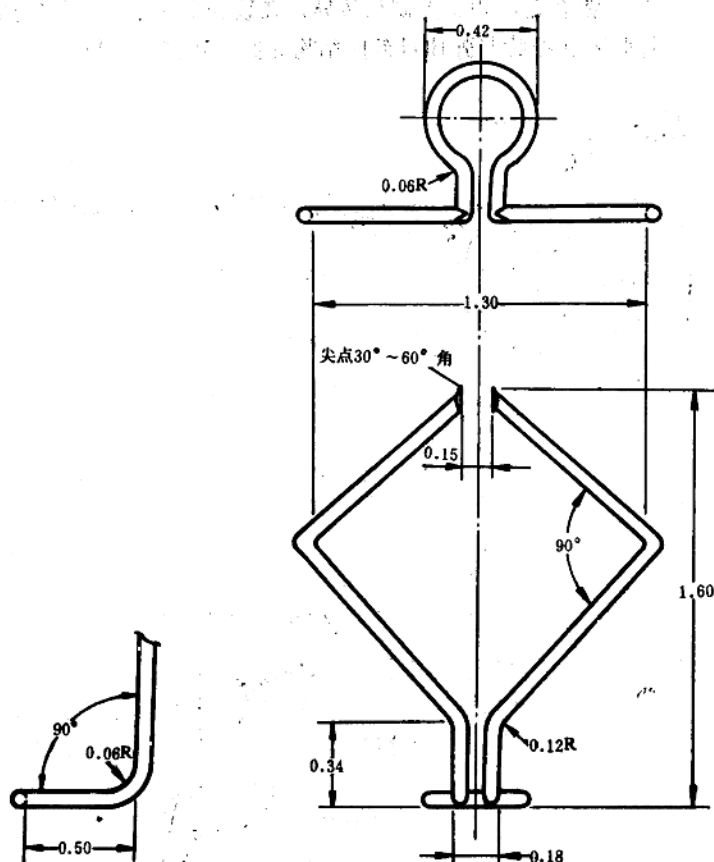


图3 民兵II电晕耗散器

(2) 大力神III C故障

大力神III C运载火箭的C-10火箭在起飞后95s, 飞行高度26km时, 制导计算机发生故障。C-14火箭起飞后76s, 飞行高度为17km时, 制导计算机也发生了故障。故障发生后, 对故障原因进行了分析, 做了大量地面试验, 并利用二发大力神III C火箭(代号C-20及C-21)进行了静电效应试验。最大可能的故障原因是: 制导计算机中采用了液体循环冷却方案。冷却液在外部带有钢丝编织的网套的聚四氟乙烯塑料软管内流动。此钢丝网套软管是用经阳极化处理的铝支架分段固定。由于不是有意识地接地, 故金属网套的不少处因支架阳极化氧化层破裂而接地, 但有几段则未接地。试验结果表明, 当冷却液流动时, 金属网套没有接地的部分与火箭地之间产生电压, 当火箭飞行高度增加, 气压下降到一定值时, 此电压产生的火花放电足以使计算机发生故障^{[8]、[13]}。

(3) 欧罗巴II火箭故障

欧罗巴II火箭的第一发(代号F-11)于1971年11月5日发射。火箭起飞后105s, 高度约

27km,制导计算机发生故障,姿态失控。约1min后,火箭炸毁。故障分析与模拟试验的结果表明,火箭在主动段飞行中,由于几种机理可以产生静电荷。这些电荷逐渐积累并贮存于介质材料的表面。由于气动加热,介质材料温度升高,其电阻值相应减小。对于静电而言,介质材料便从绝缘体(常温时电阻值为 $10^{15}\Omega$)变为导体(120℃时,阻值为 $10^{10}\Omega$)。这样,部分电荷便转移到相邻的未接地的金属体上。当飞行高度增加,气压下降到一定值时,即发生静电放电而引起计算机故障,从而导致飞行失败^{[7]、[13]}。

(4) 侦察兵火箭飞行故障

美国二发侦察兵火箭(代号S-112及S-128)发射后飞行正常。但在Ⅱ级发动机点火后不久均炸毁。事故发生后,进行了故障分析及模拟试验,并利用侦察兵试验火箭S-131R进行了静电测量。在电路设计上,指令自毁电路级间连线与Ⅱ级点火电路共用同一分离插头,点火电路及指令自毁火工品电路是由同一电池供电,而且是共用负母线。初步分析认为,当气压降低到一定值时,在级间分离插头的点火电路接点与自毁电路接点之间出现电弧放电,而且在热分离时,在插头护盖盖好之前,发动机火焰等离子体使此电弧大为加速。这样形成的低电阻电离通道使Ⅱ级自毁系统引爆而失败^{[9]、[13]}。

(5) 德尔它火箭事故

1964年在肯尼迪角发射场,德尔它运载火箭的Ⅲ级X-248发动机发生意外的点火事故,死三人。在塔尔萨城对德尔它火箭进行测试时,也发生过一起Ⅲ级X-248发动机意外点火事故。分析结果表明,在肯尼迪角发射场的事故是由于在操作罩在第三级上的轨道观测卫星上的聚乙烯罩衣时,由于突然移动罩衣,造成静电荷的重新分布,结果使漏电流经过发动机的一个零件达到点火电爆管的壳体而引起误爆。在塔尔萨城发生的事故是由于一个技术员戴着皮手套偶然摩擦发动机喷管的塑料隔板,使发动机点火电爆管引线上感应静电荷而引起的^{[13]、[24]}。

由静电引起的飞行故障事例见表1。

表1

序号	火箭名称	飞行试验 代 号	发射时间 年、月、日	故障出现时间, 起飞后(s)	故障出现 时的高度 (km)	故障原因
1	欧罗巴Ⅱ	F-11	1971.11.5	105	27	计算机阻塞
2	民兵 I	FTM-502	1962.9.28		7.6	计算机故障
3	民兵 I	FTM-503	1962.12.11		21.8	同 上
4	侦察兵	S-112	(64)	70	(38~42)	自毁电爆管误爆
5	侦察兵	S-128	(64)	70	(38~42)	同 上
6	大力神Ⅲ	C-10	(67)	95	26	液体流动产生的 静电放电引起计算 机故障
7	大力神Ⅲ	C-14	(67)	76	17	同 上

3. 射频干扰及电磁干扰引起的故障

(1) 宇宙神导弹爆炸事件

一发宇宙神导弹在起飞后数秒钟即发生爆炸,并使发射台造成严重损坏。这是因为接地汇流条与连接面之间由于连接件紧固不够而产生锈蚀。此锈蚀表面形成了非线性整流结(锈螺栓效应),从而产生了可使指令接收机收到虚假指令信号而引起爆炸^[21]。

(2) 民兵 I 导弹系统故障

民兵 I 导弹系统按 MIL-E-6051C 军标进行测试时,出现了一些由于大的瞬态过程引起的系统问题。比较典型的问题是接至喷管控制装置的大的起动电流(约为 1000A)产生了假的状态显示。这种瞬态过程对系统中设备的影响是在对设备单独进行电磁干扰(EMI)测试时无法发现的。因为,这样大的瞬态幅值及耦合通道在设备级实验室中进行测试时是很难模拟的^[19]。

(3) 土星 I 故障

在对土星 I SA-5 火箭进行发射前测试时,并未向火箭发出自毁指令,但指令自毁接收机却收到了自毁信号。幸好,此时尚未连接爆炸机构。否则,会造成严重后果。经研究发现,这是由于对另外一个火箭发出的自毁信号被土星火箭的一个应答机接收、检波后再转播。此转播信号与二个遥测通道的载频相混频,再与 UHF 多普勒应答机的输出频率相加,最后形成了与指令自毁接收机所需的频率相同的信号。混频作用是由围绕火箭的金属框架与服务结构之间出现的“锈螺栓效应”造成的。重新选择频率以避免产生有害的混频组合并消除锈螺栓效应,以上问题是可以避免的^[21]。

(4) 土星 I S-I-3 级的干扰

当土星 I S-I-3 级进行自动发射程序测试时,在电源母线上出现了很强的干扰,在电缆网中出现了大的瞬态过程。此干扰电平使检测工作难以正常进行。经研究发现,此干扰是箭上发射机的射频能量经过解调及网络作用引起的^[21]。

(5) 其它干扰问题

在运载火箭进行系统测试时,由于电源切换、技术状态变换、继电器或步进电磁元件动作时所引起的瞬态干扰,会对制导计算机、稳定控制电子电路等敏感电路产生干扰而使之不能正常工作。箭上遥测发射机的射频能量经非线性器件检波后对模拟电路产生干扰的事例曾发生多起。箭上发射机、应答机间出现谐波干扰也不乏其例。此外还出现过地面雷达站、电台对箭上系统产生干扰的事例等。

系统电磁兼容性设计与预测^{[21]、[26]}

1. 系统电磁环境分析

为了保证航天系统在研制、生产、试验、使用等各个阶段,均不出现电磁不兼容问题,首先要对可能遇到的所有电磁环境进行调查、勘测、分析、研究。必要时作些调整。

电磁环境由辐射干扰,传导干扰,功能干扰源,非功能干扰源,人为干扰源,自然干扰源所组成。见图 4。



- 1 可能同时为传导干扰源
 - 2 俗称“电磁脉冲效应”
- 电磁脉冲作为特殊干扰源未列入

图4 电磁干扰源

各种干扰的主要性能见表 2。

表2

特 性	类 别	电磁干扰 (EMI)	雷电	静电	射频对火 工品危害 (HERO)	TEMPEST	射频对人的 危害	电磁脉冲 (EMP)
频 率		400MHz ~ 12.5GHz	1kHz~ 5MHz 宽频率	1MHz~ 100MHz (电弧)	包括整个 射频频谱	10kHz ~ 10MHz	10MHz ~ 10GHz	10kHz ~100MHz ~600MHz 频谱很宽
时 间		瞬变持续时间一 般较长	上升时间较 慢,持续时间 比EMP稍长	与雷电相似	—	—	雷达脉冲时 间	上升时间极 短
强 度		中等以上	高	低	中等以上	低	中等以下	极高
生成的模式		系统内、外部的 辐射及传导的电磁 能	电荷分离及 电位差	电荷积累飞 弧	多来自系统 本身的发射天 线	从安全信息 发射及接收装 置漏泄	与 HERO 相同	核爆炸
作用范围		本地	本地	本地	本地	本地	本地	很大
破坏机理		噪音、交叉干 扰、无意产生的信 号	干扰、烧毁	噪音、干扰	绞丝烧断电 爆管爆炸、炸 药爆炸	噪音、不需 要的信息、安 全下降	皮肤、组织 烧伤丧失生殖 力视力丧失	干扰烧毁
备 注								

电磁环境的数据是系统电磁兼容性设计的重要依据。

2.精心选择频谱及频率

无线电频谱是有限的资源。由于频谱的用户日益增多,可供选用的频谱受到越来越多的限制。尤其在某些频段更为突出,信号十分密集。所以,航天系统进行总体方案设计时,对各分系统的频谱、频率及带宽进行选择,既要注意避免系统内相互间的干扰,也要设法避免与周围电磁环境间的干扰。系统电磁兼容性须考虑的最高频率达300GHz。见图 5。

3.制定电磁兼容性大纲、控制计划与试验计划

为了保证系统内及系统间电磁兼容并保证与其它系统性能相协调须制定电磁兼容性大纲。在大纲中应规定系统电磁兼容性要求、须采用的系统及设备电磁兼容性的标准与规范、组织分工职责以及电磁兼容性保证措施等。

根据美国军标MIL-E-6051及MIL-STD-461的要求,须制定电磁兼容性控制计划及试验计划。控制计划的内容包括对系统参数提出要求,如信号电平、功率电平、灵敏度、调制方式、运行程序等;对设备提出电磁干扰及电磁兼容性要求,如减小发射频谱及接收机带宽,控制谐波量、边带及脉冲上升时间,以及对结构、电缆网、电气与电子电路设计等提出

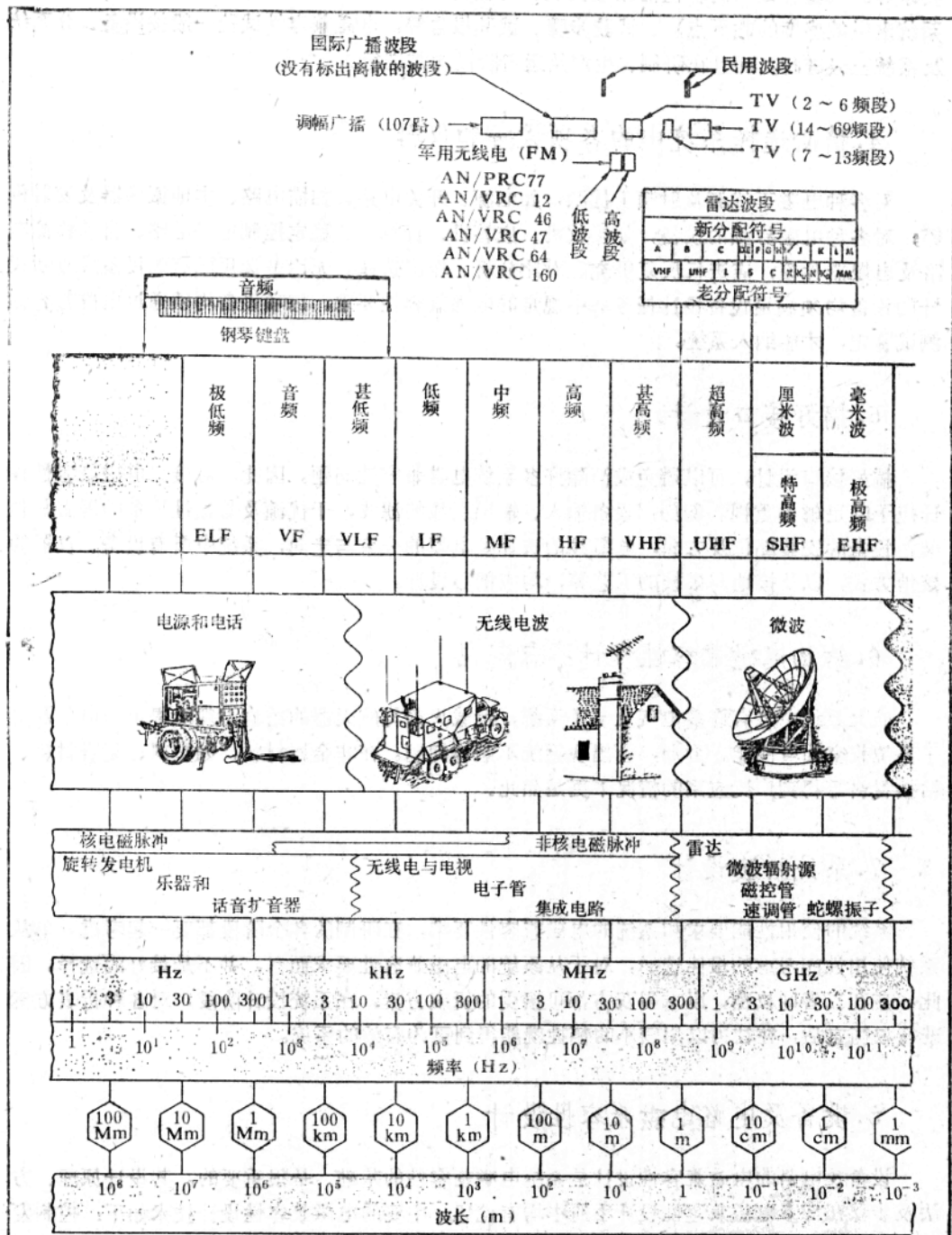


图5 电磁频谱