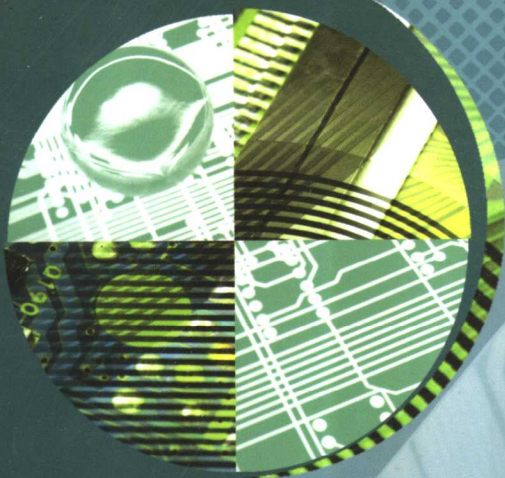


电子设备 结构与工艺



周 旭 编著



北京航空航天大学出版社

电子设备结构与工艺

周 旭 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书从结构与工艺两个方面,以电子设备可靠性研究为主线,将几个相差较远的知识门类有机地融合起来。具体分为电子设备热设计、振动和冲击隔离、防腐蚀设计、电磁兼容性结构设计、电子设备造型设计、电子设备的整机结构、电子设备的组装工艺及电子设备的调试工艺等章节。由于任何电子设备的研制、生产定型和验收均要进行电磁兼容性试验,因此本书着重讨论如何从结构和工艺两方面提高电子设备的电磁兼容性,并以机床数控系统为例,进行了详细阐述。

本书以培养新时代的通才为目标,其内容是未来总工程师的必备知识。

本书既可作为工科大学所有本科专业的教材,也可作为企业的设计、生产及管理人员的自学、参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电子设备结构与工艺/周旭编著. —北京:北京航空航天大学出版社,2004.7

ISBN 7-81077-481-6

I. 电… II. 周… III. ①电子设备—结构②电子设备—生产工艺 IV. TN05

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 046710 号

电子设备结构与工艺

周 旭 编 著

责任编辑 张光斌

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市学院路 37 号(100083) 发行部电话:(010)82317024 发行部传真:(010)82328026

http://www.buaapress.com.cn E-mail:bhpress@263.net

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×1 092 1/16 印张:15.5 字数:397 千字

2004 年 7 月第 1 版 2004 年 7 月第 1 次印刷 印数:5 000 册

ISBN 7-81077-481-6 定价:23.00 元

前 言

当今信息产业正在迅猛发展,新器件、新材料及新工艺不断问世,特别是微电子技术向各个领域的广泛渗透,对传统的结构设计和工艺方法提出了挑战。面对电子产业对结构设计及工艺知识的新需求,编著者根据电子设备自身技术的发展趋势和高校目前宽口径专业设置的现状,结合多年教学实践的经验,将原有教材精心打造成本书。

电子设备的结构设计包含着相当广泛的技术内容。它已成为一门边缘学科,是多门基础学科的综合应用。其范围涉及力学、机械学、材料学、热学、电学、化学、光学、声学、工程心理学、美学和环境科学等。本书并不企图成为上述各门学科的综述,而是以结构设计中最受关注的环境防护为主题,阐述电子设备结构设计和工艺方法的原理和技术。

本书编著者从事机床数控系统的研制、开发和生产达7年之久,后进入大学从事一线教学和科研工作10多年。其中教授“电子设备结构与工艺”课程多年。在本书编写过程中也根据知识的进步和学生的要求,适当地反映了国内外一些先进的科技成果,使之更具实用性和内容的先进性。为了巩固和加深学生对教学内容的理解,在每一章的后面均附有思考题。

本书在学科覆盖面宽这一原教材特色的基础上,调整、归并部分内容,加深理论基础,加强工程意识,反映科技发展新动向,以适应高校教学改革向加强基础、淡化专业的通才培养方向的转变。本书可作为工科大学所有本科专业学生的教材,也可作为企业的设计、生产及管理人員的自学、参考用书。

由于编著者水平有限,误漏、欠妥之处在所难免,竭诚欢迎广大读者批评指正。

周 旭 于南通大学

2004. 3. 10

目 录

第1章 绪 论	1
1.1 电子设备的分类	1
1.2 电子设备的特点	1
1.3 电子设备的结构	2
1.4 电子设备的工艺	4
1.5 电子设备的环境	6
1.6 电子设备的研制.....	13
思考题与练习题	17
第2章 电子设备的可靠性	18
2.1 概 述.....	18
2.2 可靠性的设计原则.....	21
2.3 可靠性的保证措施.....	25
2.4 可靠性的预测技术.....	29
思考题与练习题	30
第3章 电子设备的热设计	31
3.1 概 述.....	31
3.2 电子设备的自然冷却.....	33
3.3 电子设备的强迫风冷.....	37
3.4 电子设备的液体冷却.....	42
思考题与练习题	46
第4章 电子设备的防腐蚀	47
4.1 概 述.....	47
4.2 潮湿侵蚀及其防护.....	49
4.3 生物腐蚀及其防护.....	51
4.4 材料老化及其防护.....	53
4.5 防腐蚀设计.....	55
思考题与练习题	66
第5章 振动和冲击的隔离	67
5.1 概 述.....	67
5.2 单自由度系统的振动.....	69
5.3 多自由度系统的振动.....	73
5.4 隔振和缓冲设计.....	76
思考题与练习题	85

第6章 电子设备的抗干扰	86
6.1 概 述	86
6.2 屏蔽原理	94
6.3 电路的屏蔽	100
6.4 泄漏与防泄漏	104
6.5 馈线干扰的抑制	105
6.6 地线干扰的抑制	109
6.7 数控系统的抗干扰设计	120
思考题与练习题	135
第7章 电子设备的造型	136
7.1 造型设计总论	136
7.2 产品的形态设计	141
7.3 产品的色彩设计	144
思考题与练习题	147
第8章 电子设备的整机结构	148
8.1 概 述	148
8.2 整机机械结构系统	151
8.3 整机组装结构微型化	156
思考题与练习题	157
第9章 印制板的设计与制造	158
9.1 概 述	158
9.2 印制电路板的设计	159
9.3 印制电路板的制造工艺	171
9.4 印制电路板的质量检验	180
9.5 印制电路和互连技术的新发展	181
思考题与练习题	183
第10章 电子设备的焊接技术	184
10.1 焊接的基本知识	184
10.2 手工焊接技术	187
10.3 自动焊接技术	195
10.4 表面安装技术(SMT)	198
思考题与练习题	203
第11章 电子设备的组装工艺	204
11.1 概 述	204
11.2 电子元器件的布局	208
11.3 印制电路板的组装	212
11.4 布线及扎线工艺	216
11.5 组装结构工艺	222
思考题与练习题	225

第 12 章 电子设备的调试工艺	227
12.1 概 述	227
12.2 调试仪器	229
12.3 调试工艺	230
12.4 整机检验	236
思考题与练习题	238
参考文献	239

第1章 绪论

当前,人们把利用电子学原理制成的设备、装置、仪器和仪表等统称为电子设备。例如:通信设备、电视机、电子计算机和电子测量仪器等。

随着电子技术的发展,电子设备正广泛应用于人类生活的各个领域。电子设备的生产与发展是与电子技术的发展密切相关的。新材料的使用、新器件的出现,尤其是大规模和超大规模集成电路的出现和推广应用,以及工艺手段的不断革新,使电子设备在电路上和结构上都产生了巨大的飞跃。以视听设备为例,在近十几年来,电子技术领域出现的数字技术、卫星技术、光纤与激光技术以及信息处理技术等新技术,已经迅速地应用在电子工业生产中,使新一代视听电子产品的面貌为之一新,成为家庭和个人从社会取得各种信息的终端设备。这些设备技术精良、功能齐全、造型优美和使用方便。其部件正朝着高指标、多功能、小型化及低成本等方向发展。

1.1 电子设备的分类

电子设备由于产生、变换、传输和接收的电磁信号的不同,一般分为模拟设备和数字设备。现代电子设备就其功能及用途而言,大致上可以分为三大系统。

1. 广播通信系统 如广播、电视设备,各种有线及无线通信设备等。
2. 信息处理系统 如各种类型的电子计算机及其外围设备、控制设备等。
3. 电子应用系统 如各种电子检测设备、雷达设备、医用电子设备及激光应用设备等。

1.2 电子设备的特点

1.2.1 电子设备的集成度高

电子设备具有“轻、薄、短及小”的特点,它在知识、技术及信息的密集程度上高于其他产品。知识和技术的密集导致物化劳动的密集,因而产品的附加值也高,可以获得较大的经济效益。

1.2.2 电子设备使用广泛

目前电子设备已广泛应用于国防、科技以及人民生活等各个领域,所处的工作环境十分复

杂,往往要在恶劣的条件下工作。

1.2.3 电子设备的可靠性要求高

对军用及航天电子设备而言,可靠性要求非常高,否则会带来不可弥补的损失。例如航天电子设备,在十分复杂的组成中,若某一个元器件或连接点发生故障,就会影响正常工作,甚至会导致导弹、运载火箭和卫星的飞行失控。

1.2.4 电子设备的精度要求高,控制系统复杂

高精度是电子设备的一个特点。例如:卫星通信地面站,要求直径 30 m 的抛物面天线自动跟踪人造卫星不发生超过 1° 的偏差;还要求在一年之内电源不中断,遇到故障能自动换接备用电源等。

1.3 电子设备的结构

20 世纪中叶以来,无线电电子技术得到迅速发展,电子设备的结构设计开始引起世界各工业国的关注。随着电子技术使用范围的推广,设备的功能、体积、重量、运转可靠性以及对各种环境的适应性等诸多问题被纳入结构设计的范畴,使电子设备结构设计逐渐形成一门多学科的综合技术。20 世纪中、后期,伴随着固体电路、集成电路和大规模集成电路的相继出现,电子设备开始向小型、超小型及微型组装方向发展。结构设计中一些传统的设计方法逐步被机电结合、光电结合等新技术所取代。尤其是超大规模集成电路及其衍生的各种功能模块的出现,使许多曾被视为不可逾越的纯机械技术和工艺失去意义,同时也给电子设备的结构设计注入了新的内容。在电子信息产业和计算机技术迅猛发展的时代,电子技术正在向人类活动的各个领域渗透,电子设备已成为一项复杂的系统工程,仅以电路性能作为评价其技术指标的观念已受到挑战,而现有的结构设计方法也面临着新的变革。

目前,电子设备的结构设计大致包括以下内容。

1.3.1 整机组装结构设计

整机组装结构设计也称总体设计。根据产品的技术条件和使用的环境条件,对整机的组装进行系统构思,并对各分系统和功能性单元提出设计要求和规划。具体包括以下内容。

1. 结构单元 包括机柜、机箱(或插入单元)壳体的结构形式、外观造型、装配和安装方式、人工和自动操作方式以及其他附件。

2. 传动和执行装置 信号在传递或控制过程中,某些参数(声、光、电或机械)的调节和控制所必需的各种传动装置、组件和执行元件。

3. 环境防护 包括元件、组件及整机的温度控制,防腐、防潮、防霉、振动与冲击隔离、屏蔽与接地以及接插与互连等。

4. 总体布局 对上述各项规划合理地进行结构布局,以确定相互之间的连接形式和结构尺寸等。

1.3.2 热设计

电子设备的热设计,是指对电子元件、组件以及整机的温升控制。尤其是高密度组装的设备,更需注意其热量的排除。温升控制的方法包括:自然冷却、强迫风冷、强迫液冷、蒸发冷却、温差电致冷及热管传热等各种形式。

1.3.3 结构的静力计算与动态参数设计

对于运载工具中使用或处于运输过程中的设备,应具有足够的强度和刚度。当结构自身不能有效地克服因机械力引起的材料疲劳、结构谐振等对电性能的影响,则应采取隔振与缓冲措施,以避免或减弱上述因素造成的性能下降。

1.3.4 电磁兼容性结构设计

电子设备中的信号处理和传输系统的自动化,要求各系统有可靠的抗干扰能力。这就需要进行诸如电磁屏蔽、接地等电磁兼容性设计,以提高设备对电磁环境的适应性。其措施包括:噪声源的抑制、消除噪声的耦合通道和抑制接收系统的噪声等。

1.3.5 传动和执行装置设计

电子设备在完成信号的产生、放大、变换、发送、接收、显示和控制的过程中,需要对各种参数(声、光、电或机械)进行调节和控制。因此要有相应的传动装置或执行元件来完成这项功能。这里除了常规的机械传动装置设计之外,主要是与声、光及电性能密切相关的转动惯量、传动精度、刚度和摩擦系数等参数的设计。

1.3.6 防腐蚀设计

恶劣的气候条件会引起电子设备中金属和非金属材料发生腐蚀、老化和霉烂,使性能显著下降造成各种损坏。应根据设备所处环境条件的性质、影响因素的种类及作用强度的大小来确定相应的防护措施或防护结构,选择耐腐蚀材料,并研究新的抗腐蚀方法。

1.3.7 连接设计

电子设备中存在着大量的固定、半固定以及活动的电气接点。这些接点的接触可靠性对整机或系统的可靠性有很大的影响。必须正确地设计、选择连接方法和工艺,如焊接、压接及熔接等。同时,还应注意对各种接插件、开关件等活动连接件的选用。

1.3.8 人机工程学在结构设计中的应用

电子设备既要满足电性能指标的要求,又要使设备的操作者感到方便、灵活及安全,外形美观、大方。这样就要求用人机工程学的基本原理来考虑人与设备的相互关系,设计出符合人的生理、心理特点的结构与外形,更好地发挥人和机器的效能。

1.3.9 可靠性试验

可靠性是衡量电子产品质量的极其重要的指标。对于特殊用途的设备,必须根据技术要

求对设备或者模拟设备进行可靠性试验或加速寿命试验,以确认设计的正确性及其可靠性指标。

综上所述,电子设备的结构设计包含着相当广泛的技术内容。它已经成为一门边缘学科,是多门基础学科的综合应用。其范围涉及力学、机械学、材料学、热学、电学、化学、光学、声学、工程心理学、美学及环境科学等。本书并不企图成为上述各门学科的综述,而是以结构设计中最受关注的环境防护为主题,阐述电子设备结构设计和工艺方法的原理和技术。至于其中所涉及的系统、元件、试验及数据处理等诸多问题,可参阅专门的论述。

1.4 电子设备的工艺

任何电子设备,从原材料进厂到成品出厂,是按照特定的工艺规程去完成的。如果我们将同类电子产品的各生产厂家的生产特点和产品特色进行对比,不难发现:一个工厂的工艺状况正是该厂生产管理状况的概括。在国外,生产工艺是极其保密的,例如“可口可乐”品牌历经百年而不衰,就在于其独特的、严格保密的工艺配方,在他们看来,“工艺就是专利,专利就是资本”。在国内,重视设计、轻视工艺的倾向正在得到改变。一般地,企业工艺人员与设计人员的比例对整机来说,应当取 2 : 1,而元件厂应当取 3 : 1。

工艺是企业生产的中心环节,是组织生产和指导生产的一种手段。在产品的设计研制阶段,它的内容是确定产品的制造方案,并完善生产前的技术准备工作。在产品的制造阶段,它的内容是组织和指导符合设计要求的加工生产,直到包装出厂为止。因此,工艺就像一条纽带把企业各个部门、各个生产环节联系起来,成为一个完整的制造体系。

电子设备的工艺形式也是随着电子技术的发展而发展的。我们以其中的结构工艺为例来说明这个问题。大家知道,电子技术始于通信技术,即电报和电话的发明和使用。后来由于电磁波理论的提出与应用,出现了无线电通信,从此,借助电磁信号来传输信息的方法便得到了应用,并且应用范围不断扩大,设备的结构形式也就产生了变化。

早期的电子设备结构与有线通信设备相似,采用木箱结构,电气元件固定在一块绝缘板上,并水平地放在一个木箱上,主要电气元件都突出在绝缘板的外边,箱内主要用于导线连接,安装方式为螺钉连接。

20 世纪 20 年代,真空二极管、三极管出现,以电子管为中心的电子技术得到广泛应用,无线电收音机成为商品。这时的电子设备为一块水平底板放在箱中,箱子表面安装一块装有调节旋钮的胶木板。由于电子管制造技术的进步,通信设备的应用日益扩大(如安装于汽车和舰船上),设备的强度和电磁屏蔽的问题变得十分突出,而不得不在结构设计中加以考虑。

20 世纪 30 年代,电子设备的外壳采用了金属材料,设备结构的基本布局是由一个水平放置的金属底板及一个垂直放置的面板构成机芯,各种元器件布置在金属底板的上面,而把阻容元件及其连线布置在底板的下面,在面板上放置控制器、显示器及输入、输出的接线端子,外面配上机箱。当时大型设备的结构形式是把底板和面板组成的机芯一层层地装入机架内形成一个整体。由于当时所用的电子元器件是电子管、大型电阻和电容,调谐机构为手动,因此体积和重量都很大。

20 世纪 40 年代,较为复杂的电子产品,如电视机、雷达问世。为了防护坦克和飞机上的

电子设备,使之不受气候的影响,研制出密封外壳;为了防止机械过载,研制出减振器,使设备的结构功能进一步得到完善。

晶体管的出现及应用,使电子技术发生了一场革命。电子设备进一步复杂化,对结构提出了新的要求,即要有最小的体积和最轻的重量。因此采用提高集成度的新方法,这就导致了单、双层印制电路板的大量使用,以及同轴电缆和微带传输线的应用。集成电路、微型组件的产生又进一步提高了组装密度,因而设备中小规模和中规模单元块结构出现了。

20世纪80年代,大规模集成电路及超大规模集成电路已经出现,电子设备中为提高可靠性、降低能耗和成本,大量采用集成电路及高密度印制电路板(多层印制板),现在,称之为微电子设备。电子设备进一步向固体化、小型化、高可靠性和多功能等方向发展。

1.4.1 工艺种类

1. 机械加工工艺 它是指整机工厂中的机械类工艺,包括车、钳、刨、铣、镗、磨、插齿、铸造、锻打、冲、挤压及拉伸等。其主要功能是改变材料的几何形状。

2. 表面加工工艺 包括压花、抛光、印刷、油漆、电镀、氧化及铭牌制作工艺。其主要功能是提高表面装饰性,使产品具有富丽堂皇感,同时也起到防腐蚀的作用。

3. 连接工艺 包括烧焊、电焊、点焊、氩弧焊、保护焊、锡焊、铆装、螺装及胶合等工艺。主要功能是将两个或两个以上的零件连接起来。

4. 化学工艺 包括电镀、浸渍、灌注、油漆、胶木化及防氧化工艺等。其主要功能是防腐蚀。

5. 塑料工艺 主要分为压塑、注塑及部分吹塑。

6. 总装工艺 包括总装配和装联、调试、包装以及总装前的准备加工工艺和胶合工艺。

7. 其他工艺 包括检验工艺、老化筛选工艺、热处理工艺、数控工艺及电火花工艺等。

1.4.2 工艺规程

工艺规程的制定是产品制造前、生产技术准备中的重要工作。主要内容有:

1. 规定合理的工艺顺序,确定零件、部件和整机最经济的加工方法。
2. 规定各专业工序的内容和规范,以及各工序的技术要求或工艺细则。
3. 规定或选择工序采用的工具、夹具、模具、设备和测试仪表。
4. 规定质量检验工序和质量检验方法,选择检验工具和量具。
5. 规定运输半成品及产品的合理方法,选择合适的容器和运输工具。
6. 规定安全技术规范。

工艺规程是硬性规定,从事生产的每一个人都必须严格遵守,不得任意改变。即使在某一工艺规程试行中确需更改规程时,也要经过一定的审批手续,得到认可后才能审慎修正。

随着科技进步、生产条件的改变或生产数量的变化,为了提高产品质量和生产效率、降低产品成本,工艺规程可由工艺设计部门重新制订。

1.5 电子设备的环境

1.5.1 环境的分类

环境的种类繁多,不同的研究对象对环境的分类各不相同。电子设备所处的环境,简单地可分为自然环境、工业环境和特殊使用环境。除自然环境之外,工业环境和特殊使用环境一般是人为制造和改变的,故这类环境有时也称为诱发环境。表 1-1 中的环境分类包含了电子设备可能遭遇的各种基本环境。

表 1-1 环境分类

自然环境		工业环境和特殊使用环境(诱发环境)	
温 度	雾 气	温度梯度	加速度
湿 度	辐 射	高 压	高强度噪声
大气压	真 空	瞬态冲击	电磁场
降 雨	磁 场	高能冲击	腐蚀性介质
风 沙	静电场	周期振动	固体粉尘
盐 雾	生物因素	随机振动	

另一种分类方法是根据处于贮存阶段的电子设备面临的环境条件相对较好;而待命的、执行任务的武器系统中的不工作电子设备,要跟随武器系统承受各种恶劣的环境条件,具体可分为 16 类环境。

1. 地面良好环境 电磁干扰,湿度,载荷冲击,温度冲击与循环,霉菌与微生物。
2. 地面固定环境 湿度,电磁干扰,高温,低温,温度冲击与循环,霉菌与微生物,盐雾,太阳辐射。
3. 地面移动环境 温度冲击与循环,载荷冲击,高温,低温,灰尘与砂粒,湿度,泄漏,正弦振动,电磁干扰,随机振动,盐雾,霉菌与微生物,噪声,太阳辐射。
4. 背负环境 温度冲击与循环,泄漏,湿度,载荷冲击,高温,低温,随机振动,霉菌与微生物,正弦振动,盐雾,电磁干扰。
5. 运输机座舱 温度冲击与循环,随机振动,湿度,正弦振动,电磁干扰,载荷冲击,噪声,高温,低温,加速度,飞行高度,霉菌与微生物。
6. 战斗机座舱 随机振动,温度冲击与循环,加速度,湿度,高温,低温,电磁干扰,正弦振动,噪声,载荷冲击,霉菌与微生物。
7. 运输机无人舱 温度冲击与循环,随机振动,高温,低温,载荷冲击,噪声,电磁干扰,湿度,正弦振动,太阳辐射,盐雾,加速度,霉菌与微生物,爆炸性空气。
8. 战斗机无人舱 温度冲击与循环,随机振动,高温,低温,载荷冲击,湿度,正弦振动,电磁干扰,噪声,压力冲击,太阳辐射,盐雾,霉菌与微生物,爆炸性空气。
9. 直升(旋翼)飞机 随机振动,温度冲击与循环,正弦振动,高温,低温,载荷冲击,噪声,

湿度,灰尘与砂粒,电磁干扰,加速度,飞行高度,盐雾,霉菌与微生物。

10. 舰船舱内 湿度,爆炸性空气,随机振动,电磁干扰,正弦振动,载荷冲击,盐雾,温度冲击与循环,加速度,霉菌与微生物,噪声。

11. 潜艇 盐雾,正弦振动,湿度,载荷冲击,霉菌与微生物,随机振动,噪声,电磁干扰,低温,爆炸性空气。

12. 舰船舱外 盐雾,湿度,泄漏,载荷冲击,高温,霉菌与微生物,正弦振动,温度冲击与循环,电磁干扰,压力冲击,太阳辐射,加速度,噪声,爆炸性空气。

13. 无遮盖的水下环境 盐雾,湿度,泄漏,压力冲击,载荷冲击,正弦振动,温度冲击与循环,高温,低温,随机振动,霉菌与微生物,电磁干扰。

14. 水下发射环境 泄漏,载荷冲击,烟火冲击,随机振动,湿度,压力冲击,温度冲击与循环,噪声,盐雾,加速度,正弦振动,高温,低温,霉菌与微生物,电磁干扰。

15. 导弹发射环境 烟火冲击,随机振动,加速度,载荷冲击,温度冲击与循环,噪声,电磁干扰,正弦振动,湿度,高温,低温,压力冲击,飞行高度,宇宙空间模拟,爆炸性空气。

16. 宇宙空间飞行 太阳辐射,宇宙空间模拟,高温,低温,电磁干扰,温度冲击与循环,飞行高度,随机振动。

在以上各类环境中,电子设备面临的主要环境因素是:高温极值,低温极值,温度循环,湿度,大气污染,热冲击,机械冲击和振动,霉菌与微生物,核辐射,电磁场。

1.5.2 环境因素的相互作用

在实际环境中,各种环境因素不是单一的,至少是成对出现的。下面分析各对环境因素的相互作用。

1. 高温和湿度 高温将提高湿气浸透速度。高温提高湿度的锈蚀影响。

2. 高温和低压 当压力降低时,材料的放气现象增强。温度升高,放气速度增大。因此,这两种因素起相互强化的作用。

3. 高温和盐雾 高温将增大盐雾所造成锈蚀的速度。

4. 高温和太阳辐射 增大对有机材料的影响。

5. 高温和霉化 霉化、微生物生长需要一定的高温,但温度在 71℃ 以上,霉化和微生物不能发展。

6. 高温和沙尘 沙尘的腐蚀作用因高温而加速。

7. 高温和臭氧 温度从 150℃ 左右开始,臭氧减少。通常压力下,臭氧不能存在。

8. 高温和冲击振动 相互强化对方的影响。塑料和聚合物要比金属更易受这种综合影响。

9. 高温和爆炸性空气 温度对爆炸性空气的点燃影响很小,但对空气与水蒸气的比例有较大影响。

10. 低温和低压 会加速密封件的漏气。

11. 低温和太阳辐射 低温会减少太阳辐射的影响,反之亦然。

12. 低温和盐雾 低温可以减缓盐雾的侵蚀速度。

13. 低温和湿度 湿度随温度的降低而减小。但低温会造成湿气冷凝。如果温度更低,还会出现霜冻和结冰现象。

14. 低温和沙尘 低温可以增大沙尘的浸透性。
15. 低温和霉化 低温可以减小霉化作用。在 0℃ 以下,霉化现象呈不活动状态。
16. 低温和臭氧 在较低温度下,臭氧影响减小。但随着温度降低,臭氧浓度增大。
17. 低温和冲击振动 低温会强化冲击振动的影响。
18. 低温和爆炸性空气 低温对爆炸性空气的影响是改变空气中水蒸气含量的比例。
19. 湿度和雾化 湿度有助于霉化和微生物的生长,但对它们的影响无促进作用。
20. 湿度和低压 湿度可以增大低压的影响,特别是对电子或电气设备。影响程度取决于温度。
21. 湿度和盐雾 高湿度可以冲淡盐雾浓度,但它对盐的侵蚀作用没有影响。
22. 湿度和振动 将增大电气材料的分解速度。
23. 湿度和沙尘 沙尘对水有自然的附着性,因而这种综合可增大磨蚀作用。
24. 湿度和太阳辐射 湿度可以增大太阳辐射对有机材料的侵蚀作用。
25. 低压和振动 对所有设备都会起强化影响的作用,电子和电气设备尤其明显。
26. 低压和加速度 伴随高温环境,这种综合才有重要性。
27. 盐雾和沙尘 这种综合可增大磨蚀作用。
28. 盐雾和振动 会增大电气材料的分解速度。
29. 沙尘和振动 振动可能增大沙尘的磨蚀效应。
30. 加速度和振动 在高温和低气压下,这种综合会增大各种影响。

1.5.3 环境对电子设备的影响

环境因素造成的设备故障是严重的。1971 年,美国曾对机载电子设备全年的各类故障进行过剖析,结果发现,50% 以上的故障系各种环境因素所致。温度、振动及潮湿环境造成电子设备 43.58% 的故障。环境对电子设备的影响不能不引起我们极大的关注。

美国军方总结了第二次世界大战的教训后,制定了军用标准《军用环境气候极值》。其前言中第一段话是:“在第二次世界大战期间,由于没有从战斗和支援设备工作所处的及所承受的全球气候极值出发,对设备进行充分的设计和试验,以致这些设备失效。有鉴于这种情况,特制定 MIL—STD—210”。这段话明确地指出了气候环境可以造成设备失效,以及针对环境进行设计和试验的必要性。

电子设备最重要的失效原因,可能是各种环境因素造成的腐蚀。潮湿、高温、盐雾、电化学反应及各种污染性杂质等等,都可能造成腐蚀。腐蚀的速率决定于这些环境因素的强弱。例如,相对湿度大于 60% 常常可以引起材料腐蚀速率的显著增加。热应力可能使材料发生裂缝,污染性杂质乘虚而入。

环境因素造成的设备故障和失效可分为两类:

1. 功能故障 指设备的各种功能出现不利的变化,如受环境条件的影响,功能不能正常发挥。但一旦外界因素消失,功能仍能恢复。
2. 永久性损坏 如机械损坏等。

1.5.4 环境对电子设备的要求

电子设备所处的工作环境多种多样。气候条件、机械作用力和电磁干扰,是影响电子设备

的主要因素。必须采取适当的防护措施,将各种不良影响降低到最低限度,以保证电子设备稳定而可靠地工作。

1. 气候环境对电子设备的要求

气候环境主要包括温度、湿度、气压、盐雾、大气污染及日照等因素。对设备的影响主要表现在使电气性能下降,温升过高,运动部位不灵活,结构损坏,甚至不能正常工作。为了减少和防止这些不良影响,对电子设备提出以下要求:

1) 采取散热措施,限制设备工作时的温升,并要求电子设备能够耐受高、低温循环时的冷、热冲击。

2) 采取各种防护措施,防止潮湿、盐雾及大气污染等气候因素对电子设备内元器件及零部件的侵蚀和危害,延长其工作期。

2. 机械环境对电子设备的要求

机械环境是指电子设备在不同的运载工具中使用,所受到的振动、冲击及离心加速度等机械作用。它对设备的影响主要是:元器件损坏失效或电参数改变,结构件断裂或变形过大,金属件的疲劳破坏等。

为了防止机械作用对设备产生的不良影响,对设备提出以下要求:

1) 采取减振缓冲措施,确保设备内的电子元器件和机械零部件,在受到外界强烈振动和冲击的情况下,不致变形和损坏。

2) 提高电子设备的耐冲击、振动能力,保证电子设备的可靠性。

3. 电磁环境对电子设备的要求

电子设备工作的周围空间,充满了由于各种原因所产生的电磁波。外部及内部电磁干扰的存在,使设备输出噪声增大,工作不稳定,甚至完全不能工作。

首先,介绍几个国外航天系统的故障事例。

1) 土星-阿波罗 12 事件

1969 年 11 月 14 日上午,土星-阿波罗 12 火箭——载人飞船发射后,飞行正常。起飞后 36.5 s,飞行高度为 1 920 m 时,火箭遭到雷击。起飞后 52 s,飞行高度为 4 300 m 时,火箭又遭到第二次雷击。这便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。

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 110 m,火焰折合导电长度约 500 m),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所造成的。

2) 大力神 C 运载火箭故障

1967 年大力神 C 运载火箭的 C-10 火箭在起飞后 95 s,飞行高度 26 km 时,制导计算机发生故障。C-14 火箭起飞后 76 s,飞行高度为 17 km 时,制导计算机也发生了故障。经过分析,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网套的聚四氟乙烯软管内流动。此钢丝套软管是用经过阳极化处理的铝支架分段固定的,由于金属网套的不少部位因支架阳极化氧化层破裂而接地。但其有几段未接地,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使计算机发生了故障。

3) 欧罗巴火箭故障

欧罗巴火箭的第一发于 1971 年 11 月 5 日发射。火箭起飞后 105 s,高度约 27 km,制导

计算机发生故障,姿态失控。约 1 min 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产生了静电荷。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变为导体。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。

4) 侦察兵火箭飞行故障

1964 年,美国的侦察兵火箭发射后飞行正常,但在 2 级发动机点火后不久即炸毁。初步分析认为,由于指令自毁电路级间连线与 2 级点火电路共用同一分离插头,点火电路及指令自毁电路是由同一电池供电,而且是共用负母线。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电弧大为加速。这样形成的低电阻电离通道使 2 级自毁系统引爆而失败。

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 3 级发动机发生意外的点火事故,死 3 人。在塔尔萨城对德尔它火箭进行测试时,也发生过一起 3 级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操作罩在第 3 级轨道观测卫星上的聚乙烯罩衣时,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到达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。

6) 宇宙神导弹爆炸事件

一发宇宙神导弹在起飞后数秒即发生爆炸,并造成发射台严重损坏。这是因为接地汇流条与连接面之间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。

其次,我们再介绍一些其他事例。

美国航空无线电委员会曾在一份文件中提到,由于没有采取对电磁骚扰的防护措施,一位旅客在飞机上使用调频收音机,使导航系统的指示偏离 10° 以上。因此,在国际上,对舰载、机载、星载及地面武器、弹药的电磁环境都有严格要求。1993 年美国西北航空公司曾发表公告,限制乘客使用移动电话、调频收音机等,以免骚扰导航系统。

雷击引起的浪涌电压,属于高能电磁骚扰,具有很大的破坏力。1976 年至 1989 年我国南京、茂名及秦皇岛等地的油库以及武汉石化厂,均因遭受雷击引爆原油罐,造成惨剧。1992 年 6 月 22 日傍晚,雷电击中北京国家气象局,造成一定的破坏和损失。因为雷击有直接雷击和感应雷击两种,避雷针只能局部地防护直接雷击,对感应雷击则无能为力。对感应雷击则需采用电磁兼容防护措施。

综上所述,可以看到,电磁骚扰有可能使设备或系统的工作性能偏离预期的指标或使工作性能出现不希望的偏差,即工作性能发生了“降级”。甚至还可能使设备或系统失灵,或导致寿命缩短,或使系统效能发生不允许的永久性下降,严重时,还能摧毁设备或系统。

为了保证设备在电磁干扰的环境中能正常工作,要求采取各种屏蔽措施,提高设备的电磁兼容能力。