

高等职业学校电子信息类、电气控制类专业系列教材

电子产品结构工艺

钟名湖 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

高等职业学校电子信息类、电气控制类专业系列教材

电子产品结构工艺

钟名湖 主编

张裕荣 文沛先 副主编

高等教育出版社

内容简介

本书是高等职业学校电子信息类、电气控制类专业系列教材之一,其主要内容包括电子产品结构工艺基础知识、电子设备的防护设计、电子设备的热设计、电子设备的减振与缓冲、电子设备的电磁兼容性、电子设备的元器件布局与装配、印制电路板的结构设计及制造工艺、电子设备的整机装配与调试、电子产品技术文件与CAPP、电子设备的整机结构等。

本书可作为高等职业学校电子信息类、电气控制类专业教学用书,亦可作为相关行业专业技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电子产品结构工艺/钟名湖主编. —北京:高等教育出版社,2004.7

ISBN 7-04-014932-X

I. 电... II. 钟... III. 电子产品-生产工艺-高等学校:技术学校-教材 IV. TN05

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 057783 号

策划编辑	李宇峰	责任编辑	张春英	封面设计	于涛	责任绘图	朱静
版式设计	王艳红	责任校对	康晓燕	责任印制	孔源		

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-82028899

经 销 新华书店北京发行所
印 刷 北京东光印刷厂

开 本 787×1092 1/16
印 张 21.75
字 数 530 000

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

版 次 2004 年 7 月第 1 版
印 次 2004 年 7 月第 1 次印刷
定 价 26.80 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前言

信息技术的迅猛发展,特别是微电子技术与表面贴装技术的广泛使用,对传统的结构工艺方法提出了新的挑战。本书旨在通过对最新电子设备结构与工艺知识、理论的跟踪介绍,基本反映这一发展进步的主要脉络。本书编者大都具有企业生产经历,积累有较丰富的生产实践经验,因此该书内容具有较强的针对性与实用性。

在本书的编写过程中力求体现以下特色:

(1) 简单但不零散。本书力图以简洁的方式把这一学科的知识传递给学生,使其便于教师教,便于学生学,避免因追求简化而出现不能自圆其说的现象。本书从电子设备的工作环境及可靠性要求入手,引入防护设计(环境防护设计、热设计、减振与缓冲、电磁兼容设计),将防护设计应用到元器件布局与部件、整机设计,内容编排符合逻辑顺序。

(2) 知识面宽但不深。电子产品结构工艺是一门综合性学科,本书仍然保留其涉及内容多、知识面广的特色,既有可靠性、环境防护设计、热设计、减振与缓冲、电磁兼容的理论介绍,又有元器件布局与组装、印制电路板的结构设计及制造工艺、整机的装配与调试工艺、技术文件的编制与管理、微型化结构及整机结构等方面的知识,为拓宽学生的知识面、适应不断变换的工作岗位创造了条件。同时,本书在介绍这些知识时,力求简洁,删除了以往的诸如理论创立背景、理论推导过程以及过多的理论计算等,同时力求浅显,分析介绍的深度以一线工作岗位够用为准,就问题讲问题,不作过多的延伸。

(3) 交叉但不重复。电子产品结构工艺与 EDA 技术、电子产品整机装配实习等课程教材以往存在许多内容的交叉及重复。本书在制定编写大纲时,与上述两门课程的任课教师进行了广泛的讨论,将相关的重叠内容进行了分工,尽管内容介绍有交叉,但避免过多的重复。

(4) 突出“四新”但不拔高。本书注重对目前企业采用的新知识、新技术、新工艺、新方法的收集,如新列入的物理设计中的新理论、微组装(MPT、MCM)技术、基于 SMT 技术的印制电路板的结构设计及制造工艺、自动调试技术、电子产品结构性故障的检测与分析、计算机辅助工艺过程设计(CAPP)、微型化结构等均是目前结构工艺行业新近采用的新知识和先进技术。在介绍时,力求通俗易懂,采用大众化的语言,如微型化结构选用的例子就是已普遍使用的手机,且不涉及其原理,仅就组装方面的知识进行介绍。

(5) 突出实践但兼顾理论。本书以突出实践、介绍目前生产实际的结构工艺为重点,但在内容分析和方法介绍时,始终将基本理论贯穿其中,使理论与实践相得益彰。

书中打“*”号的部分为选学内容,可根据不同的专业情况选用。

本书基础模块和实践模块的教学为 50 学时,学时方案建议如表 0.1。

本书基础模块、实践模块和选修模块的教学为 70 学时,学时方案建议如表 0.2。

表 0.1

序号	内 容	学 时 数			
		合计	理论课	实践课	机动
1	电子设备的工作环境和对设备的要求	4(4)	2(2)		2(2)
2	电子设备的防护设计	4(4)	4(4)		
3	电子设备的热设计	6(8)	6(6)	(2)	
4	电子设备的减振与缓冲	4(4)	2(2)		2(2)
5	电子设备的电磁兼容性	8(6)	8(6)		
6	电子设备的元器件布局与装配	8(6)	6(6)	2	
7	印制电路板的结构设计及制造工艺	10(8)	8(6)	2(2)	
8	电子设备的整机装配与调试	4(4)	4(4)		
9	电子产品技术文件和计算机辅助工艺过程设计	2(2)	2(2)		
10	电子设备的整机结构	0(4)	0(4)		
合 计		50	42(42)	4(4)	4(4)

表 0.2

序号	内 容	学 时 数			
		合计	理论课	实践课	机动
1	电子设备的工作环境和对设备的要求	4(4)	2(2)		2(2)
2	电子设备的防护设计	4(4)	4(4)		
3	电子设备的热设计	10(12)	8(10)	2(2)	
4	电子设备的减振与缓冲	6(8)	4(6)		2(2)
5	电子设备的电磁兼容性	12(10)	10(8)	2(2)	
6	电子设备的元器件布局与装配	8(6)	6(4)	2(2)	
7	印制电路板的结构设计及制造工艺	12(10)	10(8)	2(2)	
8	电子设备的整机装配与调试	6(6)	6(6)		
9	电子产品技术文件和计算机辅助工艺过程设计	4(4)	2(2)	2(2)	
10	电子设备的整机结构	4(6)	4(6)		
合 计		70(70)	56(56)	10(10)	4(4)

表中“学时数”一栏的第一个数字为电子信息类专业学时数,括号中的数字是电气控制类专业的学时数。

本书由南京信息职业技术学院钟名湖主编,南京洛普公司张裕荣、南京信息职业技术学院文沛先为副主编,其中:钟名湖编写第1、2、3、4章及附录;张裕荣编写第6、8章;文沛先编写第5、7、10章;王玫、钟名湖编写第9章,全书由钟名湖统稿。

本书由南京信息职业技术学院龚维蒸审阅,他提出了许多宝贵的修改意见,为提高本书的质量起到了很好的作用,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,欢迎批评指正。

编 者

2004 年 2 月 28 日

目 录

第 1 章 电子设备的工作环境和对其

设备的要求 1

1.1 电子设备结构工艺 1

1.1.1 现代电子设备的特点 1

1.1.2 电子设备的生产工艺和结构设计 2

1.1.3 课程内容 2

1.2 电子设备的工作环境及其对设备的影响 3

1.2.1 气候因素及其对电子设备的影响 3

1.2.2 机械因素及其对设备的影响 6

1.2.3 电磁干扰及其对电子设备的影响 7

1.3 对电子设备的基本要求 7

1.3.1 工作环境对电子设备的要求 7

1.3.2 使用方面对电子设备的要求 7

1.3.3 生产方面对电子设备的要求 8

* 1.4 产品可靠性 9

1.4.1 可靠性概述 9

1.4.2 元器件可靠性与产品可靠性 13

* 1.5 提高电子产品可靠性的方法 15

1.5.1 正确选用电子元器件 15

1.5.2 电子元器件的降额使用 16

1.5.3 采用冗余系统(备份系统) 16

1.5.4 采取有效的环境保护措施 17

1.5.5 进行环境试验 17

1.5.6 设置故障指示和排除系统 17

小结 17

习题 18

第 2 章 电子设备的防护设计 19

2.1 潮湿及生物危害的防护 19

2.1.1 潮湿的防护 19

2.1.2 生物危害的防护 21

2.1.3 防灰尘 23

2.2 金属腐蚀机理及金属腐蚀的危害性 23

* 2.2.1 金属腐蚀的机理 23

2.2.2 金属腐蚀对电子设备的危害性 25

2.2.3 常用金属的耐腐蚀性能 26

2.3 防腐蚀设计 29

2.3.1 防腐蚀覆盖层 29

2.3.2 金属防腐蚀的结构措施 31

2.4 高分子材料的老化与防老化 33

2.4.1 老化及其特征 33

2.4.2 高分子材料的防老化 34

小结 35

习题 35

第 3 章 电子设备的热设计 36

3.1 电子设备的热设计基础 36

3.1.1 热传导 36

3.1.2 对流换热 41

3.1.3 辐射换热 42

3.1.4 复合换热 45

3.2 电子设备的自然散热 47

3.2.1 电子设备自然散热的结构因素 47

3.2.2 元器件的散热及散热器的选用 51

3.3 电子设备的强迫空气冷却 55

3.3.1 强迫空气冷却的基本形式 55

* 3.3.2 通风管道压力损失及结构设计 58

* 3.3.3 通风机的选择及应用 59

3.3.4 结构因素对风冷效果的

影响	62	5.3.6 开关、表头的电磁屏蔽	107
* 3.4 电子设备的其他散热方法	64	5.3.7 旋转调节孔和传动轴的电磁屏蔽	107
3.4.1 液体冷却	64	5.3.8 金属箔带	108
3.4.2 蒸发冷却	66	5.3.9 导电涂料	108
3.4.3 热电制冷与热管	67	5.4 馈线干扰的抑制	109
小结	69	5.4.1 隔离	109
习题	69	5.4.2 滤波	109
第4章 电子设备的减振与缓冲	71	5.4.3 屏蔽	112
4.1 振动与冲击对电子设备的危害	71	5.5 地线干扰及其抑制	113
4.1.1 机械作用的分类	71	5.5.1 地阻抗干扰和抑制	113
4.1.2 振动与冲击对电子设备的危害	72	5.5.2 地环路干扰	114
4.2 减振和缓冲基本原理	72	5.5.3 电子设备的接地	115
4.2.1 隔振的基本原理	73	5.6 电子设备的静电防护	116
4.2.2 隔冲的基本原理	75	5.6.1 静电接地设计	117
4.3 常用减振器及选用	76	5.6.2 电子整机作业过程中的静电防护	119
4.3.1 减振器的类型	76	小结	123
4.3.2 减振器的选用原则	80	习题	123
4.3.3 减振器的合理布置	81	第6章 电子设备的元器件布局与装配	125
4.4 电子设备减振缓冲的结构措施	81	6.1 电子元器件的布局	125
4.4.1 电子设备的总体布局	81	6.1.1 元器件的布局原则	125
4.4.2 元器件的布置和安装	81	6.1.2 布局时的排列方法和要求	126
4.4.3 其他措施	83	6.2 典型单元的组装与布局	127
小结	84	6.2.1 整流稳压电源的组装与布局	127
习题	84	6.2.2 放大器的组成与布局	129
第5章 电子设备的电磁兼容性	85	6.2.3 高频系统的组装与布局	130
5.1 电磁干扰概述	85	6.3 布线与扎线工艺	133
5.1.1 电磁干扰的来源	85	6.3.1 选用导线要考虑的因素	133
5.1.2 电磁干扰的传播	86	6.3.2 布线	136
5.1.3 电磁干扰的主要影响	87	* 6.3.3 线束	137
5.2 屏蔽与屏蔽效果	88	6.4 组装结构工艺	140
5.2.1 电场屏蔽	88	6.4.1 电子设备的组装结构形式	140
5.2.2 磁场屏蔽	94	6.4.2 总体布局原则	141
5.2.3 电磁场的屏蔽	98	6.4.3 组装时的相关工艺性问题	141
5.2.4 电路的屏蔽	100	6.5 电子设备连接方法及工艺	143
* 5.3 抑制电磁干扰的工程措施	102		
5.3.1 接缝的屏蔽	103		
5.3.2 导电衬垫	103		
5.3.3 导电胶带	105		
5.3.4 通风窗口的电磁屏蔽	106		
5.3.5 屏蔽窗	107		

6.5.1 紧固件连接	143
* 6.5.2 连接器连接	145
6.5.3 其他连接方式	149
6.6 表面安装技术	157
6.6.1 安装技术的发展概述	157
6.6.2 表面安装技术	158
6.6.3 表面安装工艺	166
6.6.4 表面安装设备	167
6.6.5 表面安装焊接	169
6.7 微组装技术	169
6.7.1 组装技术的新发展	169
6.7.2 MPT 主要技术	170
6.7.3 MPT 发展	171
6.7.4 微组装焊接技术	172
小结	173
习题	173

第 7 章 印制电路板的结构设计及制造

工艺	175
7.1 印制电路板结构设计的一般原则	175
7.1.1 印制电路板的结构布局设计	175
7.1.2 印制电路板上元器件布线的 一般原则	179
7.1.3 印制导线的尺寸和图形	182
7.1.4 印制电路板的设计步骤和 方法	185
7.2 印制电路板的制造工艺及检测	187
7.2.1 印制电路板的制造工艺 流程	188
7.2.2 印制电路板的质量检验	200
* 7.2.3 手工制作 PCB 的几种 方法	202
7.3 印制电路板的组装工艺	204
7.3.1 印制电路板的分类	204
7.3.2 印制电路板组装工艺的 基本要求	206
7.3.3 印制电路板装配工艺	209
7.3.4 印制电路板组装工艺 流程	210
* 7.4 印制电路板的计算机辅助设计	

(CAD)过程简介	213
7.4.1 软件介绍	214
7.4.2 印制电路板 CAD 设计 流程	214
7.4.3 利用 Protel 99 SE 设计印制 电路板的工艺流程	218
小结	225
习题	226

第 8 章 电子设备的整机装配与

调试	227
8.1 电子设备的整机装配	227
8.1.1 电子设备整机装配原则	227
8.1.2 质量管理点	230
8.2 电子设备的整机调试	230
8.2.1 调试工艺文件	230
8.2.2 调试仪器的选择使用及 布局	231
8.2.3 整机调试程序和方法	232
8.3 电子设备自动调试技术	233
8.3.1 静态测试与动态测试	234
8.3.2 MDA、ICT 与 FT	234
8.3.3 自动测试生产过程	234
8.3.4 自动测试系统硬件与 软件	235
8.3.5 计算机智能自动检测	235
* 8.4 电子设备结构性故障的检测及 分析方法	236
8.4.1 引起故障的原因	236
8.4.2 排除故障的一般程序和 方法	237
8.5 电子整机产品的老化和环境 试验	238
8.5.1 整机产品的老化	239
8.5.2 电子整机产品的环境 试验	239
小结	242
习题	243

第 9 章 电子产品技术文件和计算机

辅助工艺过程设计	244
9.1 概述	244
9.1.1 技术文件的应用领域	244

9.1.2 技术文件的特点	244	10.1.3 底座和面板	289
9.2 设计文件	245	10.1.4 导轨与插箱	292
9.2.1 设计文件种类	247	10.1.5 把手和门锁	294
9.2.2 设计文件的编制要求	248	10.2 电子产品的微型化结构	295
9.2.3 电子整机设计文件简介	250	10.2.1 微型化产品结构特点	295
9.3 工艺文件	256	10.2.2 微型化产品结构设计举例	300
9.3.1 工艺文件的种类和作用	256	10.3 电子设备的人机功能要求	309
9.3.2 工艺文件的编制要求	257	10.3.1 人体特征	309
9.3.3 工艺文件的格式	262	10.3.2 显示器	314
* 9.4 计算机辅助工艺过程设计(CAPP)	272	10.3.3 控制器	316
9.4.1 CAPP 简介	272	小结	318
9.4.2 CAPP 的发展现状和趋势	272	习题	319
9.4.3 CAPP 发展的背景	273	附录 1 绝缘电线、电缆的型号和用途	320
9.4.4 CAPP 软件的基本功能	274	附录 2 XC76 型铝型材散热器截面形状、尺寸和特性曲线	323
9.4.5 CAPP 在企业信息化建设中的应用	277	附录 3 叉指形散热器的型式、尺寸和特性曲线	327
小结	277	附录 4 电子设备主要结构尺寸系列 (GB 3047.1—1982)	331
习题	278	参考文献	335
第 10 章 电子设备的整机结构	279		
10.1 机箱机柜的结构知识	279		
10.1.1 机箱	280		
10.1.2 机柜	285		

第 1 章

电子设备的工作环境和对设备的要求

1.1 电子设备结构工艺

1.1.1 现代电子设备的特点

当前,电子技术广泛应用于国民经济各部门以及日常生活的各个领域。

由于生产和科学技术的发展,新工艺和新材料的应用,超小型化元器件和中大规模、超大规模集成电路的研制和推广,使电子设备在电路和结构上产生了巨大的变化。小型化、超小型化、微型化结构的出现,使得一些传统的设计方法逐渐被机电结合、光电结合的新技术所取代,再加上电子设备要适应更加广泛的用途和恶劣苛刻的工作环境,使得当代电子设备具有了不同于过去的点。这些特点可归纳为以下几方面:

1. 设备组成较复杂、组装密度大

现代电子设备大多要求具有多种功能,设备组成较复杂,元器件、零部件数量多,且要求设备体积小,组装密度大,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,使电子设备的组装密度较过去提高了很多。

2. 设备使用范围广、所处工作环境条件复杂

现代电子设备往往要在恶劣而苛刻的环境条件下工作,有时要承受高温、低温和巨大的温差变化,高湿度和低气压,强烈的冲击和振动,外界的电磁干扰等。这些都会对电子设备的正常工作产生影响。

3. 设备可靠性要求高、寿命长

现代电子设备要求具有较高的可靠性和足够的工作寿命。可靠性低的电子设备将失去使用价值。高可靠性的电子设备,不仅元器件质量要求高,在电路设计和结构设计中都要作出较大的努力。

4. 设备要求高精度、多功能和自动化

现代电子设备往往要求高精度、多功能和自动化,有的还引入了计算机系统,因而其控制系统较为复杂。精密机械广泛地应用于电子设备是现代电子设备的一大特点。自控技术、遥控遥测技术、计算机数据处理技术和精密机械的紧密结合(有的电子设备还要求实现人机交流的智能),使电子设备的精度和自动化程度达到了相当高的水平。

上述电子设备的特点只是相对整体而言,具体到某种设备又各具自己的特点。由于当代电

电子设备具有上述特点,使得对电路设计和结构设计有了更高的要求。设计、生产人员充分了解电子设备的特点,对于确保电子设备的性能、满足使用要求是十分必要的。

1.1.2 电子设备的生产工艺和结构设计

工艺工作是企业生产技术的中心环节,是组织生产和指导生产的一种重要手段。在产品的设计阶段,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;在产品的生产制造阶段,它的主要内容是组织指导符合设计要求的加工生产,直至出厂而采取的必要的技术和管理措施。工艺工作按内容可分为工艺技术和工艺管理。前者是生产实践中劳动技能和应用科学研究成果的积累和总结,是工艺工作的核心;后者是对工艺工作的计划、组织、协调与实施,是保证工艺技术在生产中贯彻和发展的管理科学。工艺技术的实现和发展是由科学的工艺管理工作来保证和实现的。工艺工作将各个部门、各个生产环节联系起来成为一个完整的整体,着眼点是使每项工作操作简单、流畅、高效率、低强度。

设计和制造电子设备,除满足工作性能的要求外,还必须满足加工制造的要求。电路性能指标的实现,要通过具体的产品结构体现出来。电子设备是随着电子技术的发展而发展的,其结构和构成形式也随之发生变化。初期的设备较简陋,考虑的主要问题是电路设计。到20世纪40年代,出现了将复杂设备分为若干部件、树立结构级别的先进想法;为防止气候影响,研制出了密封外壳;为防止机械过载而研制出了减振器,设备结构功能得到了进一步的完善,结构设计成为电子设备设计的内容。随后,由于军用电子技术的发展和野战的需要,结构设计的内容逐步丰富起来。目前,结构设计在电子设备的设计中占有较大的比重,且直接关系到电子设备的性能和技术指标(条件)的实现。电子设备结构设计和生产工艺的任务就是以结构设计为手段,保证所设计的电子设备在既定的工作环境条件和使用要求下,达到技术条件所规定的各项指标,并能稳定可靠地完成预期的功能,即保证电子设备的可靠性。

1.1.3 课程内容

电子产品结构工艺包含了力学、机械学、材料学、热学、电学、化学、美学、环境科学等多门基础学科的内容,是一门综合性的应用型边缘学科。作为一门课程,它的内容只能涉及电子设备结构与工艺的最基本内容,具体包括以下几点:

- (1) 电子设备的工作环境及其对设备的要求;
- (2) 可靠性及提高可靠性的方法;
- (3) 电子产品常用材料的防腐蚀措施;
- (4) 温度对电子设备的影响及散热方法;
- (5) 减振缓冲原理及常用减振器的选用;
- (6) 电磁干扰及其屏蔽、接地技术;
- (7) 电子设备元器件布局与装配;
- (8) 印制电路板的结构与制造工艺;
- (9) 电子设备整机装配与调试;
- (10) 电子产品的微型化结构及整机结构。

1.2 电子设备的工作环境及其对设备的影响

电子设备所处的工作环境,按其成因大体可分为自然环境、工业环境和特殊使用环境。除自然环境外,工业环境和特殊使用环境一般是人为制造和改变的,故也被称为诱发环境。表 1.1 中列举的环境分类包含了电子设备可能遭遇的各种基本环境。

环境因素造成的设备故障是严重的。国外曾对机载电子设备进行故障剖析,结果发现,50%以上的故障是由环境因素所致,其中温度、湿度、振动三项环境因素造成的故障率高达 44%。美国军方总结了二次世界大战的教训后,制定了军用标准《军用气候环境极限》。其前言中第一句话为:“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及所承受的全球气候极值出发对设备进行严格设计和试验,以致这些设备失效。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备设计和试验的必要性。

环境因素造成的设备故障和失效可分为两类:一类是功能故障,指设备的各种功能出现不利的变化,或受环境条件的影响功能不能正常发挥,而一旦外界因素消失,功能仍能恢复;另一类是永久性损坏,如机械损坏等。

表 1.1 电子设备可能遭遇的基本环境

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、低压	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	

电子设备所处的环境虽然复杂多样,但按其对设备的影响划分,归纳起来不外乎三个方面,即气候因素、机械因素、电磁干扰(也称噪声干扰)。

下面分别讨论各种工作环境的特点及对电子设备的影响和要求。

1.2.1 气候因素及其对电子设备的影响

气候因素除温度、湿度、气压等主要因素外,还包括盐雾、大气污染、灰尘、日光照射等因素。

1. 电子设备的环境气候条件

电子设备除在自然气候条件下使用外,还常常在许多不同的运载工具上使用,如汽车、坦克、舰船、飞机、火箭等。运载工具中的设备所处的环境气候条件有些与自然气候条件相同,但运载工具又有其本身的特点,如密封、散热条件差,附近有热源等。例如,超音速飞机飞行在 11 000~12 000 m 高空时,机外气温是 $-55\sim-60\text{ }^{\circ}\text{C}$,由于空气动力增温和机舱密闭的缘故,设备舱的温度可高达 $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。又如,在大气温度为 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的情况下,露天放置的通讯车开机时如关闭门窗,车内温度最高可达 $63.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。因此,运载工具中的设备所处的环境气候条件,在某些方面与自然气

候条件有所不同。

电子设备内部元器件的环境气候条件(又称微气候条件)与设备的气候条件有相同之处,也有不同之处。设备不工作时是相同的,设备工作时特别是高温条件下一般是不相同的。一般来说,由于电子元器件本身的发热将使温度升高。例如,坦克内的温度为 49°C ,坦克中电台内的最高温度为 76°C 。因此,元器件的低温条件要比设备的低温条件好,而高温条件比设备更为恶劣。为了保证设备的可靠性,对元器件应从严要求。其低温条件按设备的低温贮存条件来要求,而高温条件则按元器件本身的最高温度来要求。

设备内部的湿度条件在设备不工作时和周围环境相同;在设备工作时由于设备内部温度升高,其相对湿度有所下降。因此,对元器件来说,其湿度条件应按低温贮存时的湿度来要求。

设备内部的气压条件,对于非密封设备,无论设备是否工作均与外部环境条件相同;对于密封性能可靠的设备,也可以按标准大气压来要求。

2. 气候条件对电子设备的影响

(1) 温度

通常所说的气温是气象台(站)在离地面 $1\sim 2\text{ m}$ 高的百叶箱内测得的。地面的实际气温,由于受到辐射作用,使其高温更高,低温更低。例如我国的最高气温为 48°C ,最低气温为 -50°C ,这是百叶箱内的温度,实际的地面温度则为 70°C 和 -65°C 。

高空的气温随海拔高度而变化。从地面到 $12\ 000\text{ m}$ 高空,气温逐渐降低,其气温平均增减率是:从地面到 $1\ 500\text{ m}$ 高空为 $0.4^{\circ}\text{C}/(100\text{ m})$;从 $1\ 500\text{ m}$ 到 $5\ 000\text{ m}$ 高空为 $0.5^{\circ}\text{C}/(100\text{ m})$; $5\ 000\text{ m}$ 以上为 $0.6\sim 0.7^{\circ}\text{C}/(100\text{ m})$; $12\ 000\sim 35\ 000\text{ m}$ 高空是同温层,是温度大致不变的低温层(温度为 -56.5°C);再向上是电离层,温度随高度增加而逐渐升高,在 $5\times 10^4\sim 6\times 10^4\text{ m}$ 高空,最高温度达 $70\sim 80^{\circ}\text{C}$ 或更高。

设备周围的环境温度从多方面影响设备内部的温度,它将引起设备内部元器件和零件的参数变化,直接影响设备正常工作,甚至于损坏设备。

在同一地点,昼夜气温有变化,沙漠地区昼夜温差很大(达 40°C);在严寒地区,室内外温差也很大;飞机在起飞、降落、高速爬升或俯冲时,温度变化很剧烈。这些都属于高低温交替变化的环境条件。高低温循环变化对设备的影响比仅高温或低温的影响大很多,对电子设备的危害更大。

(2) 湿度

大气中含有水蒸气的微粒,含水多少常用绝对湿度和相对湿度两种方法表示。

绝对湿度是指在一定温度下,单位体积(1 dm^3)空气中的含水量,单位是克每立方分米(g/dm^3)。绝对湿度也可用空气中所含水汽的压强表示,单位是 Pa 。空气中的水汽能凝聚成雾或小水滴时的状态称为饱和状态。随着温度的不同,单位体积空气中的饱和含水量也不同。

相对湿度是指在一定温度下空气中实际含水量与饱和值之比,常用百分率表示。一般,常温($15\sim 35^{\circ}\text{C}$)下正常的相对湿度为 $50\%\sim 80\%$ 。当相对湿度小于 40% 时,认为空气是干燥的;当相对湿度大于 80% 时,认为空气是潮湿的。

当空气的相对湿度大于 65% 时,物体表面均附着一层厚度为 $0.001\sim 0.01\text{ }\mu\text{m}$ 的水膜;当空气中的水分达到饱和时,水膜厚度可增加到 $10\text{ }\mu\text{m}$ 。当相对湿度高于 90% 以上时,湿度增高 1% 对电子设备的影响要比温度增高 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 的影响大。高湿度持续时间越长,产生的影响越大。潮

湿会引起金属腐蚀,降低介质材料的绝缘性能,严重时产品会失效或损坏。

空气的湿度与温度有密切关系,如图 1.1 所示。在绝对湿度不变的情况下,相对湿度随温度的升高而降低,反之就升高。相对湿度达到 100% 时的温度称为露点。在露点以下将出现凝结的水滴,此现象称为凝露现象。凝露对于密封设备尤为重要,例如在密封的空用设备内绝对湿度不变,高空飞行时大气的温度较低,相对湿度会增大,甚至产生凝露。如图 1.1 所示,在 20℃ 时相对湿度为 65% (曲线 II 的 a 点);当冷却到 13℃ 时,其绝对湿度并未改变 (仍为 0.011 g/dm³),但相对湿度却提高到 100%;达到饱和状态 (曲线 I 的 b 点),再继续冷却就会产生凝露;当温度降到 0℃ 时 (曲线 I 的 c 点),每立方分米空气中有 0.066 g 水汽凝结成水滴。

我国东南地区的平均湿度虽然很大,但昼夜温度不同,因此相对湿度也不同。夜间温度偏低,相对湿度较高 (可达 100%);白天温度偏高,相对湿度较低 (约 80%)。因此曾出现通信机白天能正常工作,而到夜间由于相对湿度大,元器件因参数变化而不能正常工作的现象。事实上这也是春、夏季节露水形成的原因。

相对湿度保持不变时,温度越高,水汽对设备的影响就越大。温度高,水汽压力增大,材料的间隙也增大,水分子很容易渗入材料内部而造成危害,因此高温高湿对材料的影响相当严重。特别是当湿热在一定范围内交替变化时,会加速材料的吸潮和腐蚀,造成严重后果。

(3) 气压

在地球的大气层中,气压随高度增加而减少,如表 1.2 所示。

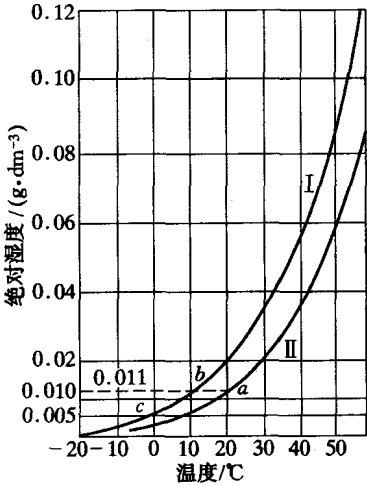


图 1.1 空气湿度与温度的关系曲线
I —— 相对湿度 100% 的饱和曲线
II —— 相对湿度 65% 的饱和曲线

表 1.2 气压、气温与高度的关系

海拔高度/m	0	3 000	3 658	5 000	10 000	17 000
气压/Pa	10×10^4	7×10^4	6.36×10^4	5.33×10^4	2.67×10^4	8 530
气温/℃	15	-4.5	-10	-17.5	-50	-56
海拔高度/m	22 000	27 000	35 000	45 000	70 000	100 000
气压/Pa	4 400	2 000	670	133	6.66	2.3×10^{-2}
气温/℃	-56	-56	-50	4.5	20	-76.3

随着高度的增加,气压降低,气体密度变小,依靠空气对流的散热条件变差,从而使设备的温升提高。据测试,在 5 000 m 高度以下,每升高 100 m,设备温升将提高 0.4%~0.5%。

随着高度的增加,气压降低,用空气作为介质的带电体之间的抗电强度将显著下降。当气压下降到某一数值时,抗电强度最低。但气压继续下降,空气十分稀薄时,因碰撞电离困难,抗电强度又有所增加。试验表明:在 30 000 m 高空,击穿电压比地面下降 11 倍;在 5 000 m 以下,每升高 100 m 击穿电压降低 1%。

低气压对设备的影响表现为:容易击穿;飞弧、电晕现象增多;灭弧困难,燃弧时间延长,影响电接点寿命。

在高空时,密封设备机壳的内侧将受到压力作用,机壳内外的压力差可达 1 个大气压 (101 325 Pa)。在深水中,密封设备机壳的外侧将受到强大压力作用,压力随着设备潜水深度的增加而增加,每 10 m 深度约增加 101 325 Pa。

(4) 盐雾

海水中含有盐分。盐雾是由于海水中的浪花击岸时喷散,或由于气流卷带海水中的盐分而形成的。盐雾颗粒直径在 $1\sim 5\ \mu\text{m}$ 范围内。

盐雾的数量特征有两种表达形式:盐雾含量和盐雾沉积量。

盐雾含量是指单位体积(m^3)海洋空气中的含盐量,单位为 mg/m^3 。

盐雾沉积量是指单位时间内(时、日、月或年)沉积在单位面积(m^2)上的盐量,单位为 $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

对设备有直接影响的是盐雾沉积量。

盐雾对设备的主要影响是对金属材料 and 金属镀层的腐蚀;其对某些绝缘材料也有影响,使材料的表面电阻和抗电强度降低。

(5) 大气污染

在大气中存在多种工业废气,如二氧化硫、氯化氢以及各种化学烟雾等。它和空气中的水分产生化学反应生成各种酸、碱、盐溶液的雾状物,从而引起金属材料的腐蚀和有机材料的性质变化。

(6) 生物危害

湿热地区存在着霉菌,特别在温度为 $25\sim 32\ ^\circ\text{C}$ 、相对湿度为 80% 以上的阴暗不通风的地方,霉菌会很快繁殖。在这种环境下还会使某些昆虫寄生(如白蚁、蟑螂等)。由于霉菌和昆虫的吞噬和繁殖,吸附水分并分泌有害物质,将引起腐蚀的加强、有机材料的损坏、性能的改变,同时阻塞活动部分。

(7) 灰、沙

大气中存在着大量直径为 $0.005\sim 0.02\ \text{mm}$ 的灰尘,含量可达 $20\sim 60\ \text{mm}^3/\text{m}^3$ 。灰尘的成分主要是 SiO_2 (约占 66%~75%)、 Al_2O_3 (约占 11%~17%) 以及少量有机体残余物等。沙漠地区除了灰尘外,还有大量平均直径为 $0.5\ \text{mm}$ 的沙粒。灰、沙进入设备后,会引起活动部分加速磨损并影响电性能。

(8) 日光照射

太阳光中除可见光外,红外线约占 50%,紫外线约占 6%。红外线和紫外线如直接照射到设备上,将产生光化学作用使有机材料老化分解,油漆褪色剥落。设备如长时间受日光照射会引起温度升高而过热。

1.2.2 机械因素及其对设备的影响

电子设备在使用和运输过程中,要受到各种类型的机械作用。这些机械作用可以分为两类:一类是正常的机械磨损,它是设备工作时所固有的,将使设备寿命缩短;另一类机械作用是设备在使用与运输工具中所承受的外部机械力作用,这种作用往往是随机的,主要有振动、碰撞和冲击、离心加速度等,它们会对设备造成严重后果,本书的第 4 章将重点讨论这类作用。

1.2.3 电磁干扰及其对电子设备的影响

在电子设备的内部和外部存在着各种原因产生的电磁波,除设备所欲接收的信号外,其余电磁波均属干扰。根据干扰电磁波产生原因的不同,电磁干扰可分为外部干扰与内部干扰。

电磁干扰的存在,将使设备的性能参数发生变化,如工作失稳,噪声增大,严重时会造成设备无法正常工作。本书第5章将讨论电磁干扰及其屏蔽。

1.3 对电子设备的基本要求

为使电子设备具有较好的使用性能与制造工艺性能,并使其在各种工作环境下能正常可靠地工作,设计和制造电子设备时应满足相应的要求。

1.3.1 工作环境对电子设备的要求

如前所述,工作环境包括气候环境、机械环境和电磁环境,它们影响着设备的性能与寿命。为减少和防止各种因素对设备的不良影响,使其能适应工作环境,对设备提出了以下要求:

1. 气候条件对电子设备的要求

(1) 采取散热措施,保证电子设备的工作温度不会过高,元器件的工作温度不超过允许温度。

(2) 采取防护措施,保证设备内的结构件、零部件不受潮湿、盐雾、大气污染等气候因素的侵蚀。对某些电子设备或部件还应采取密封措施。

2. 机械条件对电子设备的要求

(1) 采取减振缓冲措施,保证设备内的各种元器件、零部件在外界机械条件的作用下不致损坏和失效。

(2) 提高设备的耐振动、抗冲击能力,保证其工作的可靠性。

3. 电磁环境对电子设备的要求

(1) 采取各种屏蔽措施,使电子设备在各种干扰存在的情况下还能有效地工作,从结构上提高电子设备的电磁兼容能力。

(2) 通过合理的布线、线路设计和接地,从电路方面减少电磁干扰对设备的影响。

1.3.2 使用方面对电子设备的要求

电子设备的生产、设计是基于使用的,应充分考虑使用方面对设备的要求。

1. 体积质量要求

电子设备正在向小型化方向发展,体积和质量日益减小,这是电子设备得到广泛应用的原因之一。减小设备的体积和质量不但有经济意义,有时甚至起决定作用。例如对于军用电子设备,减小其体积质量,将直接影响部队的战斗力和装备使用的灵活性,同时对减小体力消耗、提高战斗力有重要作用。研究电子设备的体积质量要求时,应考虑设备的用途、运载工具、机械负荷等因素。另外,对于生产批量很大的产品还要特别考虑经济因素。

描述电子设备体积重量的指标主要有两个:平均密度(质量体积比)和体积填充系数。平均