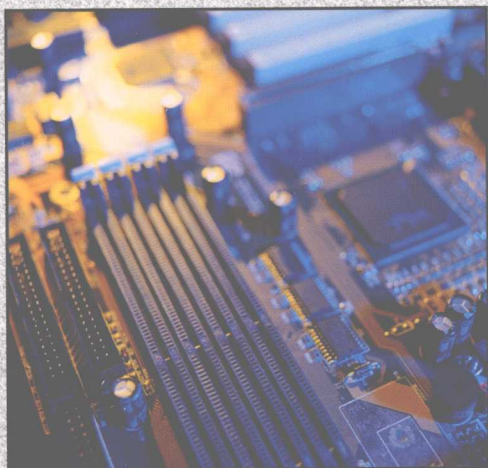


# 现代 电子设备设计 制造手册



Modern Electronic Equipment  
Design and Manufacture  
Handbook

周 旭 编著



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

# 现代电子设备设计制造手册

周 旭 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 提 要

本书涉及整个电子设备的生产过程,根据现行标准和众多设计经验的体会,为解决当今微电子设计领域日益增加的密度问题提供了指导、准则和大量的数据及图示,以现代电子设备可靠性设计、制造技术为主题,首先侧重介绍了电子设备内部和外部环境防护设计的基本原理及相关技术,如电子设备热设计、防腐蚀设计、隔振缓冲设计、电磁兼容设计和整机结构设计等,并以信息设备和电力设备为例,进行详细阐述;然后详细介绍了长三角地区先进的现代电子设备制造技术,尤其是印制电路板设计制造、微电子工艺、设备组装和调试等工艺设计技术知识。

读者对象:本书是企业总工程师的必备知识手册,也十分适合广大从事电气、电子和机电类设备的设计、生产制造的技术人员和技术管理人员参考学习。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

### 图书在版编目(CIP)数据

现代电子设备设计制造手册/周旭编著. —北京:电子工业出版社, 2008.10

ISBN 978-7-121-07410-3

I. 现… II. 周… III. ①电子设备—设计—技术手册②电子设备—制造—技术手册 IV. TN05-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第145149号

策划编辑:刘海艳

责任编辑:沈德雨

印 刷:北京市顺义兴华印刷厂

装 订:三河市双峰印刷装订有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编:100036

开 本:787×1092 1/16 印张:53.5 字数:1488.6千字

印 次:2008年10月第1次印刷

印 数:4000册 定价:118.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 [zltz@phei.com.cn](mailto:zltz@phei.com.cn), 盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

服务热线:(010)88258888。

## 前 言

如今的中国已成为世界电子设备制造中心。中国整个电子设备制造业的结构正在发生新的变化与调整,由上海、苏南、浙北所构成的长江三角洲已经成为中国电子设备制造业热点之最,全球每 10 台计算机中,就有 1.5 台的主板在此生产;全世界每 10 部手机中就有 3 部液晶显示屏在此制造;全球每 2 只鼠标中就有 1 只由此提供……长三角地区拥有世界先进的电子设备设计制造技术,IT 产业成为这里的主导产业。同样,全国各地的电子信息产业也都在迅猛发展,新器件、新材料、新工艺不断问世,特别是日新月异的微电子技术正在向各个领域广泛渗透。在这样的大背景之下,传统的电子设备结构设计和工艺方法受到严峻挑战,中国电子设备制造业迫切需要大量精通各方面知识的设计、制造工程师。

现代电子设备所处的环境主要包括气候环境、机械环境、电磁环境、生物化学环境和核辐射环境等。各种环境因素的影响可能导致电子设备性能降低、失效甚至损坏,必须采取防护措施。本书前半部分以电子设备防护性设计为主线,结合作者多年外企从业经验和国内多次讲学体会,详细介绍了电子设备的可靠性设计技术、热防护设计技术、腐蚀防护设计技术、隔振缓冲设计技术和电磁兼容性设计技术,并以信息设备和电力设备为例详细阐述。

本书后半部分详细介绍了电子设备整机设计制造技术,内容包括电子设备造型设计、整机结构设计、印制电路板组件设计制造技术、微电子工艺、电子设备加工和调试技术等,有力地保证了全书的系统性和完整性。相信本书体现了“一个好的设计师首先是一个好的工艺师”的思想理念。

书中内容尽量避免深奥的理论阐述和公式推导,充分体现了“实用性”这一写作宗旨。本书是环境电磁学、电子与电气工程、无线电和通信工程、信息和计算机技术、仪器和测试技术、机械设计、工业自动化技术、机电一体化技术以及系统可靠性工程等领域专业人员的必备知识手册。

本书主要供电子设备相关企业设计、生产、管理人员参考使用。书中引用了一些前人的成果,在此表示衷心感谢。同时书中错漏、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

Zhou.x@ntu.edu.cn

# 目 录

|                          |       |
|--------------------------|-------|
| 第 1 章 绪论 .....           | (1)   |
| 1.1 电子设备基础知识 .....       | (1)   |
| 1.1.1 电子设备的分类和特点 .....   | (1)   |
| 1.1.2 环境对电子设备的要求 .....   | (2)   |
| 1.2 电子设备设计制造基础 .....     | (6)   |
| 1.2.1 概述 .....           | (6)   |
| 1.2.2 电子设备结构设计基础 .....   | (10)  |
| 1.2.3 电子设备制造材料基础 .....   | (13)  |
| 1.2.4 电子设备制造工艺基础 .....   | (37)  |
| 第 2 章 电子设备可靠性设计 .....    | (49)  |
| 2.1 电子设备可靠性基础 .....      | (49)  |
| 2.1.1 电子设备可靠性的内涵 .....   | (49)  |
| 2.1.2 电子元器件及其可靠性 .....   | (52)  |
| 2.1.3 电子设备的系统可靠性 .....   | (97)  |
| 2.2 可靠性设计方法和措施 .....     | (97)  |
| 2.2.1 可靠性设计方法 .....      | (97)  |
| 2.2.2 可靠性设计措施 .....      | (106) |
| 第 3 章 电子设备热设计 .....      | (116) |
| 3.1 电子设备热设计基础 .....      | (116) |
| 3.1.1 电子设备热环境和散热途径 ..... | (116) |
| 3.1.2 电子设备热设计原则和步骤 ..... | (119) |
| 3.2 电子设备的通风冷却 .....      | (122) |
| 3.2.1 电子设备的自然风冷 .....    | (122) |
| 3.2.2 电子设备的强迫风冷 .....    | (128) |
| 3.3 电子设备的液体冷却 .....      | (133) |
| 3.3.1 液体冷却的类型 .....      | (134) |
| 3.3.2 液体冷却的设备 .....      | (136) |
| 3.4 热电制冷与热管散热技术 .....    | (138) |
| 3.4.1 热电制冷技术 .....       | (138) |
| 3.4.2 热管散热技术 .....       | (140) |
| 第 4 章 电子设备防腐蚀设计 .....    | (144) |
| 4.1 电子设备防腐蚀基础 .....      | (144) |
| 4.1.1 腐蚀效应及环境因素 .....    | (144) |
| 4.1.2 材料耐蚀性及防腐要求 .....   | (146) |
| 4.2 潮湿和盐雾的防护 .....       | (149) |
| 4.2.1 潮湿的侵蚀及防护 .....     | (149) |

|            |                   |       |
|------------|-------------------|-------|
| 4.2.2      | 盐雾的侵蚀及防护          | (154) |
| 4.3        | 金属腐蚀及其防护          | (155) |
| 4.3.1      | 金属腐蚀的机理           | (155) |
| 4.3.2      | 金属防蚀的方法           | (168) |
| 4.4        | 生物腐蚀及其防护          | (186) |
| 4.4.1      | 霉菌腐蚀基础            | (186) |
| 4.4.2      | 霉菌的防护             | (188) |
| 4.5        | 材料老化及其防护          | (190) |
| 4.5.1      | 材料老化基础            | (190) |
| 4.5.2      | 高分子材料的防老化         | (192) |
| <b>第5章</b> | <b>电子设备隔振缓冲技术</b> | (194) |
| 5.1        | 电子设备的机械环境         | (194) |
| 5.1.1      | 概述                | (194) |
| 5.1.2      | 单自由度系统的振动         | (196) |
| 5.1.3      | 多自由度系统的振动         | (198) |
| 5.2        | 振动和冲击的防护          | (200) |
| 5.2.1      | 防护原理和措施           | (201) |
| 5.2.2      | 减振器设计             | (206) |
| 5.2.3      | 隔振缓冲系统的设计         | (210) |
| <b>第6章</b> | <b>电子设备电磁干扰基础</b> | (216) |
| 6.1        | 概述                | (216) |
| 6.1.1      | 电磁场基础             | (216) |
| 6.1.2      | 电磁发射基础            | (219) |
| 6.1.3      | 电磁干扰基本术语          | (228) |
| 6.2        | 电磁干扰源             | (234) |
| 6.2.1      | 电磁干扰源的类型和性质       | (234) |
| 6.2.2      | 各种干扰源产生机理         | (242) |
| 6.2.3      | 电磁干扰源的危害          | (253) |
| 6.3        | 电磁干扰的传播           | (264) |
| 6.3.1      | 电磁干扰的三要素          | (264) |
| 6.3.2      | 电磁干扰的传输途径         | (266) |
| <b>第7章</b> | <b>电子设备干扰防护基础</b> | (271) |
| 7.1        | 概述                | (271) |
| 7.1.1      | 电子设备干扰防护历程        | (271) |
| 7.1.2      | 电子设备干扰防护的内涵       | (273) |
| 7.1.3      | 电子设备防干扰相关机构       | (281) |
| 7.2        | 电磁干扰控制技术          | (285) |
| 7.2.1      | 电磁干扰控制策略          | (285) |
| 7.2.2      | 静电干扰控制技术          | (288) |
| 7.2.3      | 电源干扰控制技术          | (312) |

|             |                     |              |
|-------------|---------------------|--------------|
| 7.2.4       | 电缆线防干扰技术            | (315)        |
| 7.2.5       | 电路干扰控制技术            | (323)        |
| <b>第8章</b>  | <b>屏蔽与滤波技术</b>      | <b>(336)</b> |
| 8.1         | 屏蔽防护设计              | (336)        |
| 8.1.1       | 屏蔽类型及屏蔽效果           | (336)        |
| 8.1.2       | 电场屏蔽                | (337)        |
| 8.1.3       | 磁场屏蔽                | (343)        |
| 8.1.4       | 电磁场屏蔽               | (351)        |
| 8.1.5       | 屏蔽材料的开发和应用          | (365)        |
| 8.2         | 滤波防护设计              | (381)        |
| 8.2.1       | 概述                  | (381)        |
| 8.2.2       | 馈通滤波器               | (384)        |
| 8.2.3       | 电源线滤波器              | (386)        |
| 8.2.4       | 信号线滤波器              | (391)        |
| <b>第9章</b>  | <b>接地与搭接技术</b>      | <b>(397)</b> |
| 9.1         | 接地技术                | (397)        |
| 9.1.1       | 安全接地                | (398)        |
| 9.1.2       | 信号接地                | (402)        |
| 9.1.3       | 特殊电子设备的接地           | (413)        |
| 9.2         | 搭接技术                | (416)        |
| 9.2.1       | 搭接的概念与分类            | (416)        |
| 9.2.2       | 搭接设计和加工             | (419)        |
| <b>第10章</b> | <b>信息及电力设备防护技术</b>  | <b>(425)</b> |
| 10.1        | 信息电子设备防护技术          | (425)        |
| 10.1.1      | 电子战与信息设备防护          | (425)        |
| 10.1.2      | 信息设备防电磁泄漏           | (433)        |
| 10.1.3      | 信息电子设备的雷电防护         | (435)        |
| 10.1.4      | 计算机干扰防护设计           | (448)        |
| 10.1.5      | 移动通信设备防干扰           | (467)        |
| 10.2        | 电力电子设备防护技术          | (475)        |
| 10.2.1      | 晶闸管应用设计             | (476)        |
| 10.2.2      | 整流变压器与变流柜设计         | (481)        |
| <b>第11章</b> | <b>电子设备防干扰管理和认证</b> | <b>(485)</b> |
| 11.1        | 电子设备防干扰预测和管理        | (485)        |
| 11.1.1      | 电子设备防干扰预测技术         | (485)        |
| 11.1.2      | 电子设备防干扰管理的内容        | (495)        |
| 11.2        | 电子设备防干扰标准与认证        | (497)        |
| 11.2.1      | 电子设备防干扰标准           | (497)        |
| 11.2.2      | 电子设备防干扰认证           | (513)        |
| <b>第12章</b> | <b>电子设备整机结构设计</b>   | <b>(524)</b> |

|                         |               |       |
|-------------------------|---------------|-------|
| 12.1                    | 电子设备造型设计      | (524) |
| 12.1.1                  | 电子设备造型设计基础    | (524) |
| 12.1.2                  | 电子设备的形态设计     | (529) |
| 12.1.3                  | 电子设备的色彩设计     | (531) |
| 12.2                    | 整机机械结构设计      | (534) |
| 12.2.1                  | 概述            | (534) |
| 12.2.2                  | 组件结构设计        | (551) |
| <b>第13章 印制基板设计制造技术</b>  |               | (563) |
| 13.1                    | 印制电路板设计技术     | (563) |
| 13.1.1                  | 概述            | (563) |
| 13.1.2                  | 印制电路板上的元器件    | (573) |
| 13.1.3                  | 印制电路板上的导线     | (581) |
| 13.1.4                  | 印制电路板的对外连接    | (592) |
| 13.2                    | 印制基板的制造与检验    | (593) |
| 13.2.1                  | 刚性印制板的制造及检验技术 | (593) |
| 13.2.2                  | 挠性印制板制造及检测技术  | (606) |
| <b>第14章 印制电路板组装焊接技术</b> |               | (613) |
| 14.1                    | 电子组装工艺技术概述    | (613) |
| 14.1.1                  | 电子组装的内容和方法    | (613) |
| 14.1.2                  | 电子组装工艺技术的发展   | (615) |
| 14.2                    | 电子焊接工艺技术基础    | (618) |
| 14.2.1                  | 用于焊接的材料       | (618) |
| 14.2.2                  | 焊接机理和方法       | (629) |
| 14.2.3                  | 通用手工焊接技术      | (631) |
| 14.2.4                  | 焊点的质量及检查      | (640) |
| 14.3                    | 印制板插装焊接技术     | (643) |
| 14.3.1                  | 元器件的安装        | (644) |
| 14.3.2                  | 印制电路板手工焊接技术   | (647) |
| 14.3.3                  | 印制板自动焊接技术     | (650) |
| 14.4                    | 印制板表面安装技术     | (657) |
| 14.4.1                  | 概述            | (657) |
| 14.4.2                  | 印制板表面安装工艺     | (681) |
| <b>第15章 电镀及塑料加工技术</b>   |               | (688) |
| 15.1                    | 电子设备电镀工艺技术    | (688) |
| 15.1.1                  | 概述            | (688) |
| 15.1.2                  | 金属镀前表面处理技术    | (693) |
| 15.1.3                  | 电子设备常用电镀工艺    | (698) |
| 15.2                    | 塑料加工工艺技术      | (706) |
| 15.2.1                  | 塑料成型工艺        | (706) |
| 15.2.2                  | 其他塑料工艺        | (721) |

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| 第 16 章 电子设备整机装配技术 .....    | (725) |
| 16.1 整机通用装配技术 .....        | (725) |
| 16.1.1 概述 .....            | (725) |
| 16.1.2 整机联装接线技术 .....      | (735) |
| 16.2 输配电开关柜装配技术 .....      | (746) |
| 16.2.1 一次母线设计与制造 .....     | (746) |
| 16.2.2 开关柜二次回路接线 .....     | (756) |
| 第 17 章 电子设备调试与检验 .....     | (765) |
| 17.1 电子设备调试检验基础 .....      | (765) |
| 17.1.1 调试内容和步骤 .....       | (765) |
| 17.1.2 调试仪器及其使用 .....      | (770) |
| 17.2 电子设备调试检验技术 .....      | (774) |
| 17.2.1 电气调试的一般方法 .....     | (774) |
| 17.2.2 电子设备振动冲击试验 .....    | (788) |
| 17.2.3 电子设备电磁兼容试验 .....    | (791) |
| 17.3 电子设备调试检验实例 .....      | (826) |
| 17.3.1 高压开关柜的整机检验与调试 ..... | (826) |
| 17.3.2 低压开关柜的整机检验 .....    | (831) |
| 17.3.3 控制屏(台)的出厂检查试验 ..... | (836) |
| 附录 A 电子设备防干扰技术相关缩写 .....   | (840) |
| 附录 B 场强的估算 .....           | (843) |
| 参考文献 .....                 | (846) |

# 第1章 绪 论

## 1.1 电子设备基础知识

当前,人们把利用电子学原理制成的设备、装置、仪器、仪表等统称为电子设备。例如,通信设备、电视机、电子计算机、电子测量仪器等,正广泛应用于人类生活的各个领域。

电子设备的设计制造技术与电子技术的发展密切相关。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推广应用,以及微电子工艺的不断革新,使电子设备在电路上和结构上都产生了巨大的飞跃。

### 1.1.1 电子设备的分类和特点

#### 1.1.1.1 电子设备的分类方法

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。此外还有多种分类方法。

##### 1. 电子设备按功能及用途分类

- (1) 广播、通信系统 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 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 各种电子检测设备、雷达设备、医用电子设备、激光应用设备等。

##### 2. 电子设备防触电保护分类

(1) 0类设备 0类设备是指仅靠基本绝缘作为防触电保护的设备。当设备有能触及的可导电部分时,该部分不与设施固定布线中的保护(接地)线相连接,一旦基本绝缘失效,则其安全性完全取决于使用环境。

(2) I类设备 I类设备是指设备的防触电保护不仅靠基本绝缘,还包括一种附加的安全措施,即将能触及的可导电部分与设施固定布线中的保护(接地)线相连接。

(3) II类设备 II类设备是指设备的防触电保护不仅靠基本绝缘还具备像双重绝缘或加强绝缘这样的附加安全措施。这种设备不采用保护接地的措施,也不依赖于安装条件。II类设备可以具有保持保护接地回路连续性的器件,但其必须在设备内部、按II类设备的要求与能触及的可导电表面绝缘起来。有金属外壳的II类设备必要时可以采取将等电位连接线与外壳连接。

(4) III类设备 III类设备是指设备的防触电保护依靠安全特低电压(SELV)供电,且设备内可能出现的电压不会高于安全特低电压。III类设备不得具有保护接地手段。必要时,可因工作(与保护目的不同)的原因,采取与大地连接的手段,但必须在技术上无损于安全水平。有金属外壳的III类设备必要时可以采取将等电位连接线与外壳连接的手段。

3. 欧盟 WEEE（报废电子、电气设备）指令管辖的电子设备分类（见表 1-1）

表 1-1 WEEE 指令管辖的电子电气设备分类表

| 序 号 | 产 品 类 别    | 产 品 名 称                                                                                                                                          |
|-----|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | 大型家用电器     | 大型制冷器具、冰箱、冷冻箱、其他用于食品制冷、保鲜和储存的大型器具；洗衣机、干衣机、洗碗机、电饭锅、电炉灶、电热板、微波炉、其他用于食品烹饪和加工的大型器具；电加热器、电暖气、其他用于加热房间、床和座椅的大型器具；电风扇、空调器具、其他吹风、换气通风和空调设备               |
| 2   | 小型家用电器     | 真空吸尘器、地毯清扫机、其他清洁器具；用于缝纫、编织及其他织物加工的器具；熨斗和衣服熨烫、压平和其他衣物护理器具；烤面包机、电煎锅；研磨机、咖啡机和开启或密封容器或包装的设备；电刀、剪发、吹发、刷牙、剃须、按摩和其他身体护理器具；电钟、电子表和其他测量、显示或记录时间的设备；电子秤    |
| 3   | 信息和通信设备    | 中央数据处理器、个人计算机、打印机、复印设备、电气电子打字机、台式和袖珍计算器、利用电子方式对信息进行采集、储存、处理、显示或传输的其他产品和设备；用户终端和系统；传真机；电报机；电话；收费电话；无绳电话；移动电话；应答系统；通过电信传输声音、图像或其他信息的产品或设备          |
| 4   | 消费类产品      | 收音机、电视机、录像机；录音机；高保真录音机；功放机；音乐仪器；其他记录或复制声音或图像的产品或设备                                                                                               |
| 5   | 照明设备       | 荧光灯具（家用的照明设备除外）；直型荧光灯；紧凑型荧光灯；高亮度放电灯，包括压力钠灯和金属卤素灯；低压钠灯；其他用于传播或控制光的照明设备（细丝灯泡除外）                                                                    |
| 6   | 电气电子工具     | 电钻；电锯；缝纫机；对木材、金属或其他材料进行车削、铣、沙磨、研磨、锯削、切割、剪切、钻孔、冲孔、折叠、弯曲或类似加工的设备；用于打铆钉、钉子或螺钉或用于去除铆钉、钉子或螺钉的工具；用于焊接或类似用途的工具；对于液体或气体进行喷射、传播、分散或其他处理的设备；用于割草或其他园艺操作的工具 |
| 7   | 玩具、休闲和运动设备 | 电动火车或赛车；手持电子游戏机；电子游戏机；用于骑自行车、潜水、跑步、划船等的测量装置；带有电子或电气元件的运动设备；投币机                                                                                   |
| 8   | 医用设备       | 放射治疗设备；心脏用设备；透视装置；肺呼吸机；核医疗设备；玻璃容器内诊断用实验室设备；分析仪；冷冻机；生殖试验设备；其他用于探索、预防、监控、处理、缓解疾病、伤痛的设备                                                             |
| 9   | 监测和控制仪器    | 烟雾探测器；发热调节器；温控器；家用或实验室设备用测量、称重或调节器具；工业安装（如在控制板上）中所用的其他监控仪器                                                                                       |
| 10  | 自动售卖机      | 热饮料自动售卖机；瓶装或罐装热或冷饮料自动售卖机；固体产品自动售卖机；钱票自动售卖机；所有自动送出各类产品的器具                                                                                         |

1.1.1.2 电子设备的一般特点

（1）集成度高 电子设备具有“轻、薄、短、小”的特点，它在知识、技术和信息的密集程度等方面均高于其他产品。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，可以获得较高的经济效益。

（2）使用广泛 目前电子设备已广泛应用于国防、科技、国民经济各个部门以及人民生活的各个领域，所处的工作环境十分复杂，往往要在恶劣的条件下工作。

（3）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触点发生故障，就会影响整台设备的正常工作，甚至会导致导弹、运载火箭和卫星的飞行失控。

（4）精度要求高，控制系统复杂 例如，卫星通信地面站，要求直径 30m 的抛物面天线自动跟踪人造卫星不发生偏差；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。

1.1.2 环境对电子设备的要求

电子设备所处的环境大体上可分为自然环境、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可人为制造和改变的，故这类环境有时也称为诱发环境。

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；而温度、振动、湿度三项环境造成的故障率则高达 44%。

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,其功能不能正常发挥。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。

电子设备除了在满足技术性能要求能正常而可靠地工作外,在设计和制造电子设备时还应满足以下基本要求。

### 1.1.2.1 工作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。

#### 1. 气候环境对电子设备的要求

气候环境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,直至不能正常工作。为了减少和防止这些不良影响,电子设备必须做到:

(1) 采取散热措施,限制设备工作时的温升,并能够耐受高、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、空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,延长其寿命。

#### 2. 机械环境对电子设备的要求

机械环境,是指电子设备被运载或使用时,所受到的振动、冲击、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;金属件疲劳、破坏等。为了防止机械作用对设备产生不良影响,必须采取减振缓冲措施,确保电子设备内电子元件和机械零部件,在受到外界强烈振动和冲击的情况下,不致变形和损坏,保证其工作的可靠性。

#### 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有可能使设备或系统的工作性能偏离预期的指标,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,或使系统效能发生非预期的永久性下降,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,要求采取各种措施,提高设备的电磁兼容能力。

### 1.1.2.2 使用环境对电子设备的要求

#### 1. 对设备体积、重量的要求

##### (1) 三种主要因素

① 设备用途因素。对于军用电子设备,减小其体积、重量就直接影响着部队的战斗力和设备使用的灵活性,同时对减少战士体力消耗,提高战斗力有着重要的战术意义。如野战部队背负式通信机,其宽度不应超过人的双肩宽度(平均约为400mm),高度为背负时不能碰到臀部(平均约为500mm),其重量不超过18kg。又如人造卫星使用的电子设备,其体积、重量有极严格的要求,任何一部分体积增大,就意味着减少其他设备的体积。此外,卫星的重量和发射火箭的起飞重量有严格的比例。卫星的重量每增加1kg,火箭的燃料就多耗费数吨。

② 运载工具因素。各种运载工具如汽车、坦克、飞机、舰船等,由于安装各种设备的空间有限和操纵控制的需要,对电子设备的体积重量有较严格的要求。一般来说,航空设备的要求最高,其次是各种车辆,再次是各种舰船。飞机座舱容积有限,所用的各种电子设备,往往都将分

机或部件的体积重量尽可能做得很小, 仅把设备的控制和指示部分安装在飞行员的座舱内, 其他部分则安装在飞机的各个部位, 各部分之间用电缆连接。汽车、坦克用电子设备的体积要求和空用相似, 重量要求则可放宽。

电子设备工作时, 为了减少冲击、碰撞、振动和加速度的破坏作用, 减少其体积、重量, 会收到良好的效果。因为当重量减少时其质量也将减小, 如果施加的加速度一定, 则对设备的破坏力就会减小。

③ 经济成本因素。为了节省原材料和降低生产费用, 应力求使电子设备的体积小、重量轻。

## (2) 表征设备体积、重量的指标

① 平均密度(重量体积比)。设备的总重量与总体积之比, 称为设备的平均密度。设备的平均密度对结构设计有直接影响。当平均密度为  $0.5\text{kg}/\text{dm}^3$  时, 结构设计不会遇到很大困难; 当平均密度为  $1.5\sim 1.7\text{kg}/\text{dm}^3$  时, 结构设计需要精心安排; 当平均密度为  $2\sim 2.2\text{kg}/\text{dm}^3$  时, 结构设计需要应用特殊材料(如高强度轻金属合金)、高稳定元器件和采用新工艺、新结构; 当平均密度达到  $2.5\text{kg}/\text{dm}^3$  时, 结构设计将很困难。

② 体积填充系数。设备内全部零部件的体积总和与机箱(柜)内部容积的比值。

设备的平均密度和体积填充系数, 标志着设备紧凑性的程度。平均密度越高, 体积填充系数越大, 则设备的紧凑性越高。

## (3) 高紧凑性产生的矛盾

现代电子设备都希望有较高的紧凑性, 但追求紧凑性会产生一系列矛盾, 这主要表现在以下几方面:

① 设备温升限制。这是绝大多数设备(尤其是大功率设备)提高紧凑性时遇到的最大困难。若设备的平均密度增大, 则单位体积发热量增加。为了保证设备正常工作, 就需要采用一套冷却系统, 而冷却系统本身具有一定的体积和重量, 这样反而提高了设备的总体积和总重量。

② 分布参数限制。随着紧凑性提高, 元器件间距变小, 这会导致设备电磁兼容性能下降, 尤其是超高频和高压设备, 由于分布电容增大, 容易产生自激和脉冲波形变坏。由于元器件之间距离小, 还容易产生短路和击穿。

③ 装配和维修困难。平均密度和体积填充系数增大, 给生产时的装配和使用时的维护、修理带来一定困难, 降低了设备的可靠性。

④ 产品成本增加。紧凑性高的设备, 在整机结构方面要求有较高的零件加工精度和装配精度, 因而提高了产品成本。

## 2. 操纵和维护人员对设备的要求

### (1) 操纵人员对电子设备的要求

- ① 为操纵者创造良好的工作条件。
- ② 设备操作简单, 操纵者能很快进入工作状态, 不需要很熟练的操作技术。
- ③ 设备安全可靠, 有保险装置。当操纵者发生误操作时, 不会损坏设备, 更不能危及人身安全。
- ④ 控制机构轻便, 尽可能减少操纵者的体力消耗。读数指示系统清晰、便于观察, 且长时间观察不易疲劳, 也不损伤视力。

### (2) 维护人员对电子设备的要求

- ① 在发生故障时, 便于打开维修或能迅速更换备用件。例如, 采用插入式和折叠式结构、快速装拆结构, 以及可换部件式结构等。
- ② 可调元件、测试点应布置在设备的同一面; 经常更换的元器件应布置在易于装拆的部位;

对于电路单元应尽可能采用印制板并用插座与系统连接。

③ 元器件的组装密度不宜过大,即体积填充系统在可能的条件下应取低一些(一般最好不超过0.3),以保证元器件间有足够的空间,便于装拆和维修。

④ 设备应具有过负荷保护装置(如过电流、过电压保护),危险和高压处应有警告标志和自动安全保护装置等,以确保维修安全。

⑤ 设备最好具备监测装置和故障预报装置,能使操纵者尽早地发现故障或预测失效元器件,及时更换维修,以缩短维修时间,并防止大故障出现。

### 1.1.2.3 制造环境对电子设备的要求

#### 1. 生产条件对电子设备的要求

生产厂的设备情况、技术和工艺水平、生产能力和生产周期,以及生产管理水平等因素都属于生产条件。

生产条件对产品的要求,一般有以下几个方面:

(1) 设备中的零件、部件、元器件,其品种和规格应尽可能地少,尽量使用由专业厂生产的通用零件、部件或产品。因为这样便于生产管理,有利于提高产品质量,并降低成本。

(2) 设备中的机械零、部件必须具有较好的结构工艺性,能够采用先进的工艺方法和流程,使得原材料消耗低、加工工时短。例如零件的结构、尺寸和形状便于实现工序自动化;以无屑加工代替切削加工,即提高冲制件、压塑件的数量和比例等。

(3) 设备中的零、部件和元器件及其各种技术参数、形状、尺寸等,应最大限度地标准化和规格化。还应尽可能采用生产厂以前曾经生产过的零、部件,充分利用生产厂的先进经验,使产品具有兼容性。

(4) 设备所使用的原材料,其品种、规格越少越好,应尽可能少用或不用贵重材料,立足于使用国产材料和来源多、价格低的材料。

(5) 设备(含零、部件)的加工精度要与技术条件要求相适应,不允许无根据地追求高精度。在满足产品性能指标的前提下,其精度等级应尽可能低,装配也应简易化,尽量不搞选配和修配,力求减少装配工人的体力消耗,同时也便于自动流水线生产。

#### 2. 经济性对电子设备的要求

电子设备的经济性有两方面的内容,即使用经济性和生产经济性。使用经济性包括设备在使用、储存和运输过程中所消耗的费用,其中维护费所占的比例最大,电源费用次之。

生产经济性是指生产成本,包括生产准备费用、原材料和辅助材料费用、工资和附加费用、管理费用等。

为了提高产品的经济性,在设计阶段就应充分考虑以下几个方面。

(1) 研究产品与部件技术条件,分析产品设计参数,正确制订设计方案。

(2) 根据产量确定产品结构形式和生产类型。产量的大小决定着生产批量的规模,生产批量不同,其生产方式类型也不同,因而其生产经济性也不同。

(3) 运用价值工程观念,在保证产品性能的条件下,按最经济的生产方法设计零、部件;在满足产品技术要求的条件下,选用最经济、合理的原材料和元器件,以求降低产品的生产成本。

(4) 全面构思、周密设计产品的结构,使产品具有良好的操纵、维护性能和使用性能,以降低设备的维护费用和使用费用。

## 1.2 电子设备设计制造基础

### 1.2.1 概述

#### 1.2.1.1 电子设备设计制造的依据

(1) 电子设备的性能指标 电子设备的性能指标包括电性能指标和机械性能指标。前者主要是指电信号幅度的标量(如灵敏度、输出功率等)、电信号频率的标量(如频率的精度、准确度、稳定度等)和电信号的波形标量(如调制度、非线性失真、噪声抑制等)。后者主要是指各类移动、旋动、传动的精度(如随动系统的跟踪度、定位系统的精度等)及其结构强度。此外,不同设备尚有一些特殊的性能指标和运输、储存条件。

(2) 设备的环境条件 设备的环境条件,主要指气候条件、机械作用力条件、化学物理条件(如金属的腐蚀、非金属的老化、酸碱粉尘、盐雾侵蚀、生物霉菌等)和电磁污染条件(各种干扰信号的侵入和辐射)。

(3) 设备的使用要求 设备的使用要求,主要包括对设备体积、重量、操作控制和维护的要求。

(4) 设备可靠性和寿命要求 设备的无故障工作时间长,承受过负荷的能力强。

(5) 设备制造的工艺性和经济性要求 设备制造的工艺性和经济性要求是既易于组织生产又造价低廉。设计应根据产品的用途性质(军用、民用、高可靠性、一般可靠性)、使用场合和产品自身的级别,参照国内外同类型先进产品型号,进行设计方案的论证;应致力于性能价格比的提高,不要盲目追求高性能、高精度指标,使制造工艺复杂、成本增高。

#### 1.2.1.2 电子设备设计制造的顺序

##### 1. 预研阶段

预研阶段的工作,一般按拟订研究方案、试验研究两道程序进行。

(1) 拟订研究方案 其目的是确定研究工作的方向和途径,其主要工作内容如下:

- ① 搜集国内、外有关的技术文献、情报资料,必要时调查、研究实际使用中的技术要求。
- ② 编制研究任务书,拟订研究方案,提出专题研究课题,明确其主要技术要求。
- ③ 审查、批准研究任务书和研究方案。

(2) 试验研究 其目的是为了通过研究探索工作,以解决关键技术课题,得出准确、可靠的数据和结论,其主要工作内容是:

- ① 对已确定的各专项研究课题,进行理论分析、计算,探讨解决的途径,减少盲目性。
- ② 设计、制造试验研究需用的零件、部件、整件、必要的专用设备和仪器。
- ③ 展开试验研究工作,详细观察、记录和分析试验的过程与结果,掌握第一手资料。
- ④ 整理试验研究的各种原始记录,进行全面分析,编写预研工作报告。

(3) 预研工作完成时应达到的条件

- ① 具备整理成册的各种试验数据记录、各项专题的试验研究报告等原始资料。
- ② 具备预研报告书。

## 2. 设计性试制阶段

凡自行设计或测绘试制的产品,一般都要经过设计性试制阶段,其工作程序一般分为下列几项。

### (1) 论证产品设计方案,下达设计任务书

① 搜集国内、外有关产品的设计、试制、生产的情报资料及样品。

② 调研实际使用中设备的技术要求,确定试制产品目标。

③ 会同使用部门编制设计任务书草案,同时提出产品设计方案,论证主要技术指标,批准下达设计任务书。

### (2) 进行初步设计和理论计算

① 进行理论计算,按计算结果,对产品或整个体系的各个部分合理分配参数。

② 通过必要的试验,进一步落实设计方案,提出线路、结构和工艺技术等关键环节的解决方案。

③ 编制初步设计文件。

④ 对需用的人力、物力进行概算。

### (3) 进行技术设计

① 根据对技术指标的修正意见,进一步调整分配各部分的参数。

② 拟定标准化综合要求。

③ 编制技术设计文件。

④ 对结构设计进行工艺性审查,制订工艺方案。

### (4) 进行样机制造

① 编制产品设计工作图纸与必要的工艺文件。

② 设计制造必要的工艺装置和专用设备。

③ 试验掌握关键工艺和新工艺。

④ 制造零、部、整件与样机。

⑤ 对样机进行调整,进行性能试验和环境试验,对是否可提交现场试验做出结论。

### (5) 现场试验与鉴定

① 现场试验检查产品是否符合设计任务书规定的主要性能指标与使用要求;通过试验编写技术说明书。

② 组织鉴定,对能否设计定型做出结论。

### (6) 设计性试制工作结束时应达到下列要求:

① 具备产品设计方案的论证报告、初步设计文件、技术设计文件。

② 具备产品设计工作图纸及技术条件。

③ 具备产品工艺方案及必要的工艺文件。

④ 具备整理成册的各种试验的原始资料、试验方法与规程。

⑤ 具备必要的专用工艺装置、设备及其设计图纸。

⑥ 具备对设备结构的工艺性审查报告、标准化审查报告及产品的技术经济分析报告。

⑦ 具备一定数量的样机及现场试验报告。

⑧ 具备产品需用的原材料、协作配套件及外购件汇总表。

## 3. 生产性试制阶段

### (1) 主要内容

① 修改产品设计文件,修改与补充生产工艺文件。

② 培训人员,必要时调整工艺装置,组织生产线,补充设计和制造工艺装置、专用设备。

③ 按照设计文件、工艺文件,使用工艺装置、专用设备制造零件,进行装配、调试,考验各种文件及装置的适用性及合理性。

④ 做好原始记录,统计分析各种技术定额。

⑤ 拟订正式生产时的工时及材料消耗定额,计算产品劳动量及成本。

(2) 生产性试制工作结束应达到的条件

① 具备修改过的产品设计文件及工艺文件。

② 具备满足成批生产需要的工艺装置、专用设备及其设计图纸。

③ 根据需要,已经选定标准样机与样件。

④ 已经初步确定成批生产时的流水线和劳动组织。

⑤ 具有符合技术条件的小批量生产产品,提出了产品成本概算。

#### 4. 产品的鉴定、定型

鉴定的目的在于对一个阶段工作做出全面的评价和结论。审查时一般应邀请使用部门、研究设计单位和有关单位的代表参加。重要产品的鉴定结论应报上级机关批准。

(1) 申请设计定型的标准 产品的主要性能稳定,经现场试验(或试用)符合设计指标和使用要求;主要配套产品和主要原料可在国内解决;具备了规定的产品设计文件和技术条件。

(2) 申请生产定型的标准 具备生产条件,生产工艺经过考验,所生产的产品性能稳定;产品经试验后符合技术条件;具备了生产与验收的各种技术文件。

#### 5. 整机批量制造

(1) 原材料、元器件检验,理化分析和例行试验

工厂为保证产品质量,对进厂的原材料、辅助材料 and 外购元器件都要进行入厂质量检验。例如,原材料的理化分析、关键(或主要)元器件的例行试验。这些工作由检验部门根据供应部门提供的元器件、原材料进行。

(2) 主要元器件的老化筛选

为剔除早期失效的元器件和提高元器件的上机率,对主要元器件(特别是半导体器件)应进行老化筛选,其主要内容有高低温冲击、高温储存、带电负荷等。

(3) 零件制造

电子整机所用的零件分通用零件(包括标准零件)和专用零件两种。一般通用零件和标准零件都是外购,专用零件则由本厂自制。民用电子设备的专用零件数量不多,而军用和专用电子设备的专用零件数量较多。因此,整机厂一般都具有一定的机械加工能力,特别是模具制造能力。

(4) 通用工艺处理

通用工艺处理包括对已制造好的零件、机箱、机架、机柜、外壳、印制板、旋钮和度盘等进行电镀、油漆、丝网漏印、化学处理、热处理加工,以便提高这些零件的耐腐蚀性,并增强外观的装饰性。

(5) 组件装校

一般专用组件的装校都由专业车间进行,也可由总装车间承担。无论采取哪种方式,其目的都是使组件具有完整的独立功能。组件装配完毕之后,须对其进行调整和测试,以求得性能达标。

(6) 总装

总装包括总装前的准备、总装流水、调试、负荷试验和检验包装等工序。

① 准备加工。在流水线生产和调试以前,先将各种原材料、元器件等进行加工处理,称为