



中等职业教育国家规划教材（电子与信息技术专业）
全国中等职业教育教材审定委员会审定

电子产品结构工艺

专业主编
责任主审

任德齐
吴锡龙

主编
审稿

吴汉森
吴锡龙

戴善荣



05-43
5



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

中等职业教育国家规划教材（电子与信息技术专业）

电子产品结构工艺

专业主编 任德齐 主编 吴汉森
责任主审 吴锡龙 审稿 吴锡龙 戴善荣

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是根据教育部《电子产品结构工艺》教学大纲编写的,内容包括:电子产品结构工艺基础、电子产品的防护、印制电路板、电子产品装配工艺、表面安装及微组装技术、电子设备调试工艺、电子产品技术文件、电子产品结构微型化。本书适于作为中等职业学校电子技术类教材使用。

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

电子产品结构工艺/吴汉森主编. —北京:电子工业出版社, 2002.6

中等职业教育国家规划教材(电子与信息技术专业)

ISBN 7-5053-7232-7

I. 电... II. 吴... III. 电子产品-结构-专业学校-教材 IV. TN03

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 034320 号

责任编辑:吕 迈

印 刷:北京人卫印刷厂

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:9.5 字数:249 千字

版 次:2002 年 6 月第 1 版 2002 年 6 月第 1 次印刷

印 数:6000 册 定价:12.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010) 68279077

中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》（教职成[2001]1 号）的精神，教育部组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从 2001 年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁发的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲（课程教学基本要求）编写，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为教材选用提供比较和选择，满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司
2001 年 10 月

前 言

本书是中等职业教育国家规划教材,是根据教育部颁布的中等职业学校《电子产品结构工艺》教学大纲编写的,并经全国中职电子技术类专业教学指导委员会审定通过,可作为中等职业学校电子技术类专业的教材。

目前我国正处在建立社会主义市场经济体制和实现现代化建设战略目标的关键时期,国民经济和社会的发展不仅需要高层次人才,也需要高素质的劳动者。毫无疑问,中等职业技术教育承担了这一历史重任。本教材是基于培养学生的实践与创新能力这个目标而编写的。在内容的选取上,贯彻以能力为本的教学思想,并从我国电子科技和生产情况出发,使本书成为适合 21 世纪中职培养目标需要的电子与信息技术专业教材。

本课程的参考学时数为 50~70 学时。主要包括:电子产品结构工艺基础、电子产品的防护、印制电路板的设计制作、电子产品装配工艺、表面安装及微组装技术、电子设备调试工艺、电子产品技术文件、电子产品结构微型化。在教学中,除注意加强理论联系实际之外,还可根据本地区电子工业生产的特点及需要,对教学内容做适当增删。

本书由上海电子技术学校高级讲师吴汉森和贵州无线电工业学校龙立钦老师编写,吴汉森老师统编全稿。在编写过程中,还得到王均铭高级讲师和钟明湖高级讲师的大力支持,在此表示诚挚的感谢。

由于水平有限,书中难免存在不当之处,殷切希望广大读者批评指正。

编 者
2002 年 1 月

目 录

第 1 章 电子产品结构工艺基础	(1)
1.1 概述	(1)
1.1.1 电子产品的特点	(1)
1.1.2 电子产品工艺与生产	(1)
1.1.3 电子产品结构工艺发展简况	(2)
1.1.4 本课程的任务	(3)
1.2 对电子产品的基本要求	(3)
1.2.1 工作环境对电子设备的要求	(3)
1.2.2 电子产品的生产及使用要求	(4)
1.3 电子产品的可靠性	(6)
1.3.1 可靠性概述	(6)
1.3.2 可靠性设计的基本原则	(9)
1.3.3 提高电子产品可靠性的途径	(11)
本章小结	(13)
习题 1	(13)
第 2 章 电子产品的防护	(14)
2.1 气候因素的防护	(14)
2.1.1 潮湿的防护	(14)
2.1.2 盐雾和霉菌的防护	(18)
2.1.3 金属的防护	(21)
2.2 电子产品的散热及防护	(23)
2.2.1 热的传导方式	(23)
2.2.2 散热防热的主要措施	(25)
2.2.3 功率晶体管及集成电路芯片的散热	(28)
2.3 机械因素的隔离	(29)
2.3.1 减振和缓冲的基本原理	(30)
2.3.2 减振和缓冲的一般措施	(33)
2.4 电磁干扰的屏蔽	(36)
2.4.1 电场的屏蔽	(37)
2.4.2 磁场的屏蔽	(37)
2.4.3 电磁场的屏蔽	(39)
2.4.4 屏蔽的结构形式与安装	(39)
本章小结	(45)
习题 2	(45)
实训项目 典型电子产品解剖	(45)
第 3 章 印制电路板	(47)
3.1 概述	(47)
3.1.1 印制电路板的类型和特点	(47)
3.1.2 敷铜箔板的种类及性能	(47)

3.1.3 印制电路板互联	(48)
3.2 印制电路板的设计基础	(48)
3.2.1 印制电路板的设计内容及要求	(48)
3.2.2 印制电路板的布局	(49)
3.2.3 印制电路板的设计过程及方法	(54)
3.3 印制电路板的制造与检验	(56)
3.3.1 印制电路板的制造工艺简介	(56)
3.3.2 印制电路板的质量检验	(58)
3.3.3 印制电路板的手工制作	(59)
3.4 印制电路 CAD 简介	(59)
3.4.1 CAD 软件简介	(59)
3.4.2 CAD 与 EDA	(61)
3.5 印制电路的新发展	(62)
3.5.1 多层印制电路板	(63)
3.5.2 特殊印制电路板	(63)
本章小结	(65)
习题 3	(65)
实训项目 印制电路板设计	(66)
第 4 章 电子产品装配工艺	(67)
4.1 装配工艺技术基础	(67)
4.1.1 组装特点及技术要求	(67)
4.1.2 组装方法	(68)
4.1.3 连接方法	(68)
4.1.4 布线及扎线	(69)
4.2 印制电路板的组装	(73)
4.2.1 组装工艺	(73)
4.2.2 组装工艺流程	(76)
4.3 整机组装	(77)
4.3.1 整机组装的结构形式及工艺要求	(77)
4.3.2 常用零部件装配工艺	(79)
4.3.3 整机联装	(81)
本章小结	(81)
习题 4	(82)
实训项目 印制电路板组装	(82)
第 5 章 表面安装及微组装技术	(83)
5.1 概述	(83)
5.1.1 组装工艺技术的发展	(83)
5.1.2 表面安装技术的特点	(84)
5.2 表面安装元器件	(84)
5.2.1 表面安装元器件的分类	(85)
5.2.2 表面安装元件	(85)
5.2.3 表面安装器件	(88)
5.3 表面安装技术	(90)
5.3.1 表面安装工艺	(90)

5.3.2	表面安装印制电路板 SMB	(91)
5.3.3	表面安装材料	(94)
5.3.4	表面安装焊接	(94)
5.4	微组装技术	(95)
5.4.1	微组装技术简介	(95)
5.4.2	微组装焊接技术	(97)
	本章小结	(98)
	习题 5	(98)
	实训项目 参观表面安装生产现场	(99)
第 6 章	电子产品调试工艺	(100)
6.1	概述	(100)
6.1.1	调整、调试与产品生产	(100)
6.1.2	调试仪器的选择与配置	(101)
6.1.3	调整与测试的安全	(103)
6.2	调试工艺技术	(104)
6.2.1	调试工作的一般程序	(104)
6.2.2	产品的调整方法	(106)
6.2.3	产品调试技术	(108)
6.2.4	自动测试技术简介	(109)
6.3	整机检测与维修	(111)
6.3.1	整机检测方法	(111)
6.3.2	故障检测与维修	(112)
	本章小结	(114)
	习题 6	(115)
	实训项目 整机性能测试	(115)
第 7 章	电子产品技术文件	(116)
7.1	概述	(116)
7.1.1	技术文件与产品生产	(116)
7.1.2	技术文件的分类及特点	(116)
7.2	设计文件	(117)
7.2.1	设计文件的组成及完整性	(117)
7.2.2	常用设计文件介绍	(122)
7.3	工艺文件	(124)
7.3.1	工艺工作简介	(124)
7.3.2	工艺文件内容及编制方法	(125)
7.3.3	常见工艺图表简介	(129)
7.4	技术文件自动处理系统简介	(130)
7.4.1	计算机绘图	(130)
7.4.2	工程图处理与管理系统	(130)
	本章小结	(131)
	习题 7	(131)
	实训项目 技术文件的绘制	(132)
第 8 章	电子产品结构微型化	(133)
8.1	电子产品结构系统	(133)

8.1.1 对电子产品结构基本要求·····	(133)
8.1.2 结构设计的一般方法·····	(134)
8.2 电子产品结构微型化·····	(135)
8.2.1 微型化结构特点·····	(136)
8.2.2 微型化结构设计的基本因素·····	(136)
8.2.3 典型微型化结构分析·····	(136)
8.3 人机系统简介·····	(137)
8.3.1 人机关系·····	(137)
8.3.2 控制与显示·····	(138)
本章小结 ·····	(143)
习题 8 ·····	(143)
参考文献·····	(144)

第1章 电子产品结构工艺基础

1.1 概述

1.1.1 电子产品的特点

随着时代的进步和电子科学技术的发展,电子产品不仅渗透到国民经济的各个领域和社会生活的各个方面,而且已经成为现代信息社会的重要标志。以视听电子产品为例,电子技术领域出现的数字技术、卫星技术、光纤及激光技术、信息处理技术等新技术都迅速地应用到电子工业生产中,使新一代的视听电子产品面貌为之一新。特别是近若干年来,电视、音响产品已不再局限于作为文化娱乐的工具,而成为家庭和个人自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、使用方便。

现代电子产品种类繁多且又各具特点,这里不可能详加叙述,仅就其整体而言,择较为突出的几点归纳如下。

(1) 电子产品具有“轻、薄、短、小”的特点,使它在知识、技术、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,因而产品附加价值也高。正因为如此,电子设备的应用可以大大提高生产效率和工作效率,降低能源消耗,获得较大的经济效益。

(2) 电子产品使用广泛。目前已广泛应用于国防、科技、国民经济各个部门以及人民生活等各个领域,并且用于高空、地下、沙漠、海洋。因此,工作环境十分复杂,往往要在恶劣气候等条件下工作。

(3) 电子产品的可靠性要求高,对军用及航天设备,可靠性要求更高,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。

(4) 电子产品的精度要求高,控制系统复杂。当代科学技术的许多进步和人类征服自然的辉煌成绩,往往都是由电子设备的高精度和高度自动化带来的成果。例如卫星通信地面站要求直径30米的抛物面天线自动跟踪数万千米高空的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 电子产品工艺与生产

任何电子产品,从原材料进厂到成品出厂,往往要经过千百道工序的生产过程,而在这一生产过程中,有80%以上工作是由具有一定技能的工人,操作一定的工装设备,按照特定的工艺规程方法去完成的。这些生产活动都是工艺要素的有机结合,任何企业在生产中都离不开工艺工作这一环节。企业的生产活动是和企业的经济利益密切结合在一起的。市场上产品的竞争,实质上是企业生产能力的竞争。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做一对比,不难发现,一个工厂的状况正是该厂生产管理状况的概括。人们

常说：生产方式无不是该国、该地区、该企业的传统工艺特点的总和。

什么是工艺工作呢？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。在产品的设计研制阶段，它的工作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，它的工作内容是组织和指导符合设计要求的加工生产，直到包装出厂为止而采取的一切必要的技术和管理措施。因此，工艺工作就像一条纽带把企业各个部门，把生产各个环节联系起来，成为一个完整的制造体系。

工艺工作的内容又可分为工艺技术和工艺管理两大方面。工艺技术是生产实践中劳动技能及应用和应用科学研究成果的积累和总结。提高工艺技术水平是工艺工作的中心。但是，任何先进的技术又都是通过管理工作的保证才得以实现和发展的。工艺管理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实际中贯彻和不断发展的管理科学。

由于工艺工作是解决企业的产品怎样制造，采用什么方法，利用什么生产资料去制造的综合性活动，所以工艺工作的水平高低，直接决定了在一定设计条件下，能制造出多少种，能制造出什么水平的产品。这说明工艺就是生产力的基本要素，是生产力中的因素。马克思指出：“各种经济时代的区别不在于生产什么，而在于怎样生产，用什么手段进行生产。”这是马克思对生产力和生产关系的精辟概括，也充分说明工艺对人类的生活动，对人类社会发展的重大作用。在当今新技术革命的年代，它更显得重要。

生产实践证明，无论产品多么复杂，劳动技能要求多么高，任何装配操作都可以分解成一些简单操作动作的组合。因此，采用先进的技术（工装、工具、设备等），拟定良好的工作方法（取消不必要的工艺，合并工序工步，调整工序的顺序，简化所需的工序等），改善工作环境（工作台凳、光线适宜、场地布置合理等），以使每一工作的操作简单、流畅、高效率、低强度，这就是工艺工作的着眼点。

1.1.3 电子产品结构工艺发展简况

电子产品箱柜结构形式也是随着电子技术的发展而发展的。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实用，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，设备构成形式也就产生了变化。

早期的电子产品结构与有线通信产品相似，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，主要电气元件都在绝缘板的外边，箱内主要用裸导线连接，安装方式为螺钉连接。

在 20 世纪 20 年代，由于真空二、三极管的出现，大大推动了电子技术的发展，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。这时的电子产品为一块水平底板放在箱中，箱前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，通信产品的应用日益扩大（如安装于汽车和舰船上），产品的强度和电磁屏蔽的问题变得十分突出，因而不得不在结构设计中加以考虑。

在 20 世纪 30 年代，电子设备的外壳采用了金属材料，产品结构的布局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，把阻容元件及其之间的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用角铁焊接而成的机架，把由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、电容,手动调谐机构,因此体积和重量都很大。

在 20 世纪 40 年代,较为复杂的电子产品如电视机、雷达的问世,以及短波通信的发展,产品体积庞大,笨重,已不适应实际需要,因而出现了将复杂的设备分为若干简单部件及树立起结构级别的先进想法。为了防护坦克和飞机上的电子产品使之不受气候的影响,而研制出密封外壳,为了防止机械过载而研制出减震器,使设备结构功能进一步完善。

进入 20 世纪 50 年代,由于晶体管的出现及应用,使电子技术发生了一场革命,电子产品进一步的复杂化,对结构提出了新的要求,即要有最小的体积和重量。采用提高集成度的新方法,导致了单、双层印制电路板的大量使用,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。

从 20 世纪 60 年代开始,电子元器件出现了飞速发展,大约每 10 年就有一次飞跃。在 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,在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),这就是现在称之为的微电子设备,使电子设备向固体化、小型化、高可靠性和多功能等方向发展,产品结构也随之向更高层次过渡。

1.1.4 本课程的任务

设计和制造出优良的电子产品,除了应满足其工作性能的要求之外,还必须满足加工制造的要求。电路性能指标的实现,最终都要通过具体的结构体现出来,这就是本课程所要讨论的主要内容。全书共八章,介绍了电子产品结构工艺基础、电子产品的防护、电子设备的制造工艺、电子设备的机械结构工艺等。

本课程对于从事电子产品设计与制造的人员是很重要的。在实际工作中,电路设计与结构设计关系十分密切,在有些情况下很难分清楚,尤其是微电子设备的制造,有时电路与结构就是一个完美的统一体。因此,电路设计人员掌握和了解结构工艺的知识,不仅对电路设计有益,而且密切与结构设计人员的配合,解决在设计过程中可能出现的电路与结构的矛盾,也是很有益的。

本课程所涉及的知识面较广,在学习本课程之前,应具备理化基本知识,机械基础、元件材料、电子线路及有关专业方面的知识。在学习过程中,要多接触生产实际,多了解各类产品构造及使用特点,把实际知识与书本知识结合起来,才能学好这门课。

1.2 对电子产品的基本要求

制造电子产品的出发点是基于用户的需要。显然,电子产品除了在满足技术性能要求下能正常而可靠地工作外,在设计和制造电子产品时还应满足其他基本要求。

1.2.1 工作环境对电子设备的要求

电子产品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可靠地工作。

1. 气候条件对电子产品的要求

气候条件主要包括温度、湿度、气压、盐雾、大气污染、灰尘砂粒及日照等因素。它们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，对电子产品提出以下要求：

(1) 采取散热措施，限制设备工作时的温升，保证在最高工作温度条件下，设备内的元器件所承受的温度不超过其最高极限温度，并要求电子设备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、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. 机械条件对电子产品的要求

机械条件是指电子产品在不同的运载工具中使用，所受到的振动、冲击、离心加速度等机械作用。它对产品的影响主要是：元器件损坏失效或电参数改变；结构件断裂或变形过大；金属件的疲劳等。为了防止机械作用对产品产生的不良影响，对产品提出以下要求：

(1) 采取减振缓冲措施，确保产品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条件下不致变形和损坏。

(2) 提高电子产品的耐冲击、耐振动能力，保证电子产品的可靠性。

3. 电磁干扰对电子产品的要求

电子产品工作的周围空间充满了由于各种原因所产生的电磁波，造成外部及内部干扰。电磁干扰的存在，使产品输出噪声增大，工作不稳定，甚至完全不能工作。

为了保证产品在电磁干扰的环境中能正常工作，要求采取各种屏蔽措施，提高产品的电磁兼容能力。

1.2.2 电子产品的生产及使用要求

1. 使用要求

(1) 产品的体积与重量

电子产品得以广泛使用的重要原因之一是体积小、重量轻，因此减小产品的体积和重量，具有非常重要的意义。在某些情况下，设备的体积和重量起着决定性的作用，如军用电子产品，减小其体积重量就直接影响着部队的战斗力和装备使用的灵活性。

各种不同用途对体积重量提出了不同的要求，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。又如人造卫星上用的电子产品，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。

各种运载工具如汽车、坦克、飞机、舰船等，由于安装各种产品的空间有限和操纵控制的需要，对电子产品的体积重量有较严格的要求。一般说来，空用设备的要求最高，其次是各种车辆，再次是各种舰船。飞机座舱容积有限，所用的各种电子产品的体积重量尽可能做得小。汽车、坦克用电子产品的体积要求和空用相似，重量要求则可放宽。舰船则要求更

宽。

电子产品工作时，会受到各种机械因素的影响。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，则对产品的破坏力就会减小。

(2) 产品的操作与维修

电子产品的操纵性能如何，是否便于维护修理，直接影响到产品的可靠性。因此，在结构设计时必须全面考虑。

对电子产品的操纵要求，随具体产品和使用场所而变化。原则上可归纳为以下几点要求：

①为操纵者创造良好的工作条件。例如设备不会产生令人厌恶的噪声，且色彩调和，给人以好感。安装位置要适当，令操作者精神安宁、注意力集中，从而提高工作质量。

②设备操作简单，能很快进入工作状态。

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。

电子设备维护修理是否方便，尤其对于军用产品甚为重要，所以在产品设计时，必须充分考虑维护修理要求。从维护方便出发，对结构设计提出以下要求：

①在发生故障时，便于打开维修或能迅速更换备用件。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（如高压自动断路门开关）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。

2. 生产要求

(1) 生产条件对电子产品的要求

任何电子产品在它的研制阶段之后都要投入生产。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。产品如要顺利地投产，必须满足生产条件对它的要求，否则，就不可能生产出优质的产品，甚至根本无法投产。

生产条件对产品的要求，一般有以下几个方面：

①产品中的零件、部件、元器件的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产品中的机械零部件，必须具有较好的结构工艺，能够采用先进的工艺方法和流程。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。提高冲制件、压塑件的数量和比例等等。

③产品中的零部件、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，使产品具有继承性。

④产品所使用的原材料，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产品（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生产。

（2）经济性对电子产品的要求

电子产品的经济性有两方面的内容：使用经济性和生产经济性。

使用经济性包括产品在使用、贮存和运输过程中所消耗的费用，其中维修费所占的比例最大，电源费次之。

生产经济性是指生产成本。它包括生产准备费用、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，研讨和保证产品性能和使用条件，正确制定设计方案，这是实现产品经济性的首要环节。

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，其生产方式的类型也不同，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，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修性能和使用性能，以降低设备的维修费用和使用费用。

1.3 电子产品的可靠性

1.3.1 可靠性概述

可靠性是反映任何产品，包括电子产品质量好坏的综合性指标，了解、掌握和使用可靠性技术，不仅与设计、研制、生产有密切关系，而且对产品的使用、保管和维修亦同样重要。可靠性研究始于 20 世纪初期，经不断努力，直到 20 世纪 50 年代才奠定了可靠性研究的基础。20 世纪 60 年代后，可靠性普及到质量统计和质量管理，现在更是上升到质量保证体系，其地位日趋重要。

1. 可靠性概念

可靠性是指产品在规定的时间内和规定的条件下，完成规定功能的能力。可靠性是产品质量的一个重要方面，通常所说的产品质量好，包含两层意思：一是达到预期的技术指标；二是在使用过程中很可靠。如果产品的技术指标先进，但可靠性差，就会失去实际使用价值。

产品的可靠性是与“规定的条件”分不开的。规定条件包括使用时的应力条件（电气的

和机械的)、工作环境和维护条件、贮存条件等。规定条件不同,产品的可靠性也不同。例如,同一个半导体器件,使用时的输出功率不同,其可靠性也不同。一般的规律是使用输出功率越小,其可靠性越高。又如,同一台电子产品在实验室使用和野外使用,其可靠性相差很大。一般说来,环境条件越恶劣,产品的可靠性越低。

产品的可靠性还与“规定的时间”密切相关。一般说来,产品经过老化后,有一个较长的稳定使用期,以后随着时间的延长可靠性下降,时间越长,可靠性越低。

产品的可靠性是以完成“规定的功能”来衡量的。一个产品往往具有若干项规定的功能,这里所说的完成规定的功能是指全部,而不是其中一部分。产品只有完成规定的全部功能,才能被认为可靠。

产品在工作中常常因各种偶然因素,如元器件突然损坏,应力(电负荷、温度、机械影响等)突然改变,维护或使用不当等的影响而失效。由于这些失效的原因具有偶然性,所以对某一个具体的产品,在规定的条件和时间内能否完成规定的功能,是无法预先知道的,这是一个随机事件。大量随机事件中,包含着一定的规律性,随机事件发生的可能性大小可以用概率来表示,即我们虽无法准确地知道产品出现失效的时刻,但可以求出产品在规定的条件和时间内完成规定功能的概率,所以,产品的可靠性可以用概率的形式表示。

2. 可靠性主要指标

(1) 可靠度(不失效率)

可靠度是指产品在规定条件下和规定时间内,完成规定功能的概率,通常用 $R(t)$ 表示。

$$R(t) = \frac{N-n}{N} \times 100\%$$

式中 $R(t)$ ——产品在时间 t 内正常工作的概率;

N ——试验样品数;

n ——规定试验时间 t 内故障数。

试验样品按规定抽取,不可能无穷多,一般有足够数量即可。其物理意义是:在试验总数中扣除产品故障数,亦即到某个试验期时,仍然完好的产品数与试验产品总数的比例,即完好产品(不失效)的概率。

由于 $R(t)$ 是一个概率,其值为

$$0 \leq R(t) \leq 1$$

在试验开始时, $R(0) = 1$, 产品全部完好,随着试验期的延长, $R(t) < 1$, 即出现了失效产品。试验一直延续下去,直到 $R(\infty) = 0$, 产品全部到达寿命终止期。因此, $R(t)$ 越接近于 1, 表示可靠度越大。

(2) 故障率

故障率是指产品在规定条件下和规定时间内,失去规定功能的概率。通常用 $F(t)$ 表示。它与可靠度是对立事件。二者的关系是:

$$F(t) + R(t) = 1$$

因此

$$F(t) = \frac{n}{N} \times 100\%$$

$F(t)$ 越接近于 1, 表示产品故障率越高。

(3) 平均寿命

对于不可修复和可修复产品, 其平均寿命有不同含意。对不可修复的产品, 它是指产品发生前的工作或储存时间的平均值, 记做 MTTF。

$$\text{MTTF} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i$$

式中 N ——试验样品数;

t_i ——第 i 个产品无故障工作时间。

对可修复的产品而言, 平均寿命是指两次相邻故障间隔时间的平均值, 即平均无故障工作时间, 记做 MTBF。

$$\text{MTBF} = \frac{T}{n} = \frac{\sum_{i=1}^N T_i}{\sum_{i=1}^N n_i}$$

式中 T ——总运行时间;

n ——故障的次数。

(4) 失效率 (瞬时失效率)。

失效率是指产品工作到 t 时刻后的一个单位时间内的失效数与在 t 时刻尚能正常工作的产品数之比, 用 $\lambda(t)$ 表示, 即

$$\lambda(t) = \frac{n(t + \Delta t) - n(t)}{[N - n(t)] \Delta t}$$

式中 N ——试验样品数;

$n(t)$ ——到时刻 t 时的失效数;

$n(t + \Delta t)$ —— t 时刻后, 在 Δt 时间间隔内失效数。

失效率越低, 产品的可靠性越高, $\lambda(t)$ 用单位时间的百分数表示。常用 $1 \times 10^{-6}/1000\text{h}$ (或 $1 \times 10^{-9}/\text{h}$) 做失效率单位。意即 100 万个元件工作 1000 小时后, 出现一个失效元件, 称为 1 菲特。

(5) 平均修复时间

该项指标反映了产品的可维修度, 是指平均一次故障所需的修复时间。记做 MTTR。

$$\text{MTTR} = \frac{T_R}{n} = \frac{\sum_{i=1}^N T_{Ri}}{n}$$

式中 n ——故障次数;

T_R ——修复时间总和。

3. 可靠性分类

产品的可靠性可分为以下三类:

(1) 固有可靠性

固有可靠性是指产品在设计、制造时内在的可靠性。影响固有可靠性的因素很多, 对电子产品来说, 主要有产品的复杂程度, 电路和元器件的选择与应用, 元器件的工作参数及其可靠程度, 机械结构和制造工艺等。对元器件来说, 主要有原材料的品质、制造工艺、工作参数等。必须指出, 产品的固有可靠性在很大程度上依赖于元器件的可靠性。产品越复杂,