

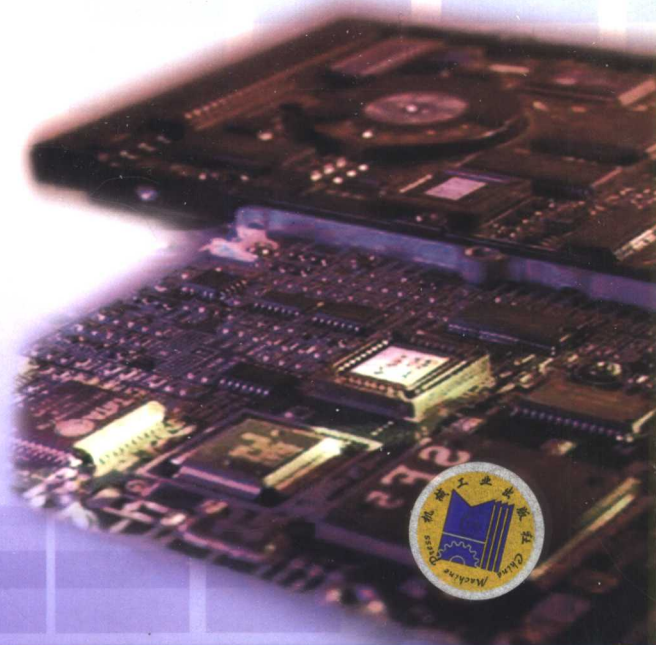


中等职业教育“十一五”规划教材

(电子信息类专业)

电子整机产品 制造技术

杨海祥 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



中等职业教育“十一五”规划教材
(电子信息类专业)

电子整机产品制造技术

主 编 杨海祥
副主编 范荣欣
参 编 熊建云 高旅明 杨国华
 缪彩琴 谢利民
主 审 宣仲兴



机械工业出版社

现代电子制造业是当前迅猛发展的行业,本书全面系统地介绍了电子整机产品制造所必需的知识。依次介绍了常用电子元器件、新特电子元器件的识别与检测,常用电子材料与零部件,PCB技术,整机产品技术文件,电路识图方法,准备工序,现代焊接技术和工艺(表面贴装工艺和技术,回流焊技术),整机产品总装、调试和维护方法,整机产品的防护与包装,常用仪器仪表的使用,常用工具与专用设备。整机产品的品质检验、ISO9000认证和3C强制认证等。本书描述了电子整机产品制造全过程,是电子整机产品制造技术指南。

本书可作为三年制中职电子技术应用、电子与信息技术、电气技术及相关专业的通用教材,也可作为五年制高职高专电子技术应用的选修课教材,还可作为电子类有关企业员工和工程技术人员的培训教材及中职电子类实训教师的技术参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电子整机产品制造技术/杨海祥主编. —北京:机械工业出版社, 2005.9

中等职业教育“十一五”规划教材(电子信息类专业)

ISBN 7-111-17243-4

I. 电... II. 杨... III. 电子设备—生产工艺—专业学校—教材 IV. TN05

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第095038号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:于宁 版式设计:张世琴 责任校对:刘志文

封面设计:马精明 责任印制:陶湛

北京铭成印刷有限公司印刷

2005年9月第1版第1次印刷

787mm×1092mm 1/16·17印张·1插页·413千字

定价:25.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

封面无防伪标均为盗版

前 言

教育部等六部委在“制造业和现代服务业技能型紧缺人才培养培训计划”中明确提出了,职业教育要“以就业为导向,以能力为本位”的理念,它不仅对电子技术应用专业技能型紧缺人才的培养,提出了新的要求,而且对整个职业教育的教学改革,都具有十分重要的指导意义。中等职业教育要培养电子类专业技能型紧缺人才,必须面向企业实际,现代电子整机产品制造中已经出现很多新知识、新技术、新工艺和新方法,并被广泛应用。同时,职业教育课程改革的呼声越来越强烈,在各个学校教学中,课程改革已处于中心地位,开发和编写模块化、系列化、整合式教材已势在必行,是职业教育发展的需要。为此,我们组织了长期从事电子类专业教学、有丰富的理论与实践经验和较强技能的“双师型”教师编写了本教材。

现行教材的知识陈旧,缺乏系统性、整体性,它与现代电子制造业相脱节,已不能满足新教学大纲的要求,已不能适应现代电子整机产品制造业人才培养的需求。

本教材在编写过程中体现职教特色,以能力培养为主线,是培养学生具有现代电子整机产品制造业职业能力的模块化、系列化、整合式教材。本教材的特色如下:

新——力求体现现代电子整机产品制造中新知识、新技术、新工艺、新方法,使教材以全新的面貌出现。为此,我们在教材中专门介绍了新知识(如表面贴装器件、电子模块应用与检测技术、静电防护技术、质量管理体系等),新技术(如回流焊技术、PCB技术),新工艺(如表面贴装工艺、现代电子整机产品制造工艺流程),新方法(如电子整机产品制造设备使用方法、故障查找技术、调试技术等)等。

低——起点低。我们根据学生的实际和认知规律,从常用元器件的识别和检测入手,到电子整机产品制造流程中的每一个环节,都由浅入深,循序渐进地叙述。

基——体现5种基本方法。即常用元器件、材料与零部件的识别和基本检测方法,电子整机产品组装的基本工艺和方法,整机产品调试的基本方法,整机产品故障查找基本方法,电子整机产品质量管理的基本方法。

实——本教材是在实际课堂教学经验总结的基础上提炼出来的精华，因此具有很强的针对性和教学的可操作性。同时，采用模块化、系列化，在培养学生的实践能力方面，本书专门安排了一个实训模块。

精——内容精、文字精，电气图形、文字符号采用国家标准，确保教材内容的准确性、严密性和科学性。

本书以三年制中职电子技术应用专业为主，教学时数为120学时，各校可根据专业方向的不同，对教学内容和学时作适当的调整。

本书由江苏省无锡机电高等职业技术学校高级教师杨海祥担任主编，并统稿，范荣欣担任副主编。其中杨海祥编写第1章、第10章、第12章、第13章和第14章(实训1、实训2、实训4)，缪彩琴编写第2章，谢利民编写第3章，高旅明编写第4章、第5章和第14章(实训3)，范荣欣编写第8章、第9章、第14章(实训5)和附录，第6章由江苏省无锡商业职业技术学院杨国华编写，第7章、第11章由四川信息职业技术学院熊建云编写。本书特邀请长期从事电子整机产品制造的专家，无锡市路通电子有限公司高级工程师宣仲兴担任主审，他对书稿进行了认真的审阅，还为本书编写了绪论。

本书在编写过程中得到了江苏省无锡机电高等职业技术学校领导孙俊台、颜燕雁、张旭的大力支持，同时，对于编者参考的有关文献的作者，在此一并致谢。

由于作者水平有限，书中疏漏及缺点难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第1模块 基础知识

绪论 电子整机产品制造概论	2	第2章 常用电子材料与零件	42
第1章 常用电子元器件的识别与检测	7	2.1 线材	42
1.1 电阻器的识别与检测	7	2.2 绝缘材料	44
1.2 电容器的识别与检测	12	2.3 磁性材料	46
1.3 电感器的识别与检测	17	2.4 焊接材料	47
1.4 微型继电器的识别与检测	19	2.5 其他材料与配件	51
1.5 晶体管的识别与检测	20	本章小结	56
1.6 集成电路的识别与检测	24	思考题	56
1.7 压电器件的识别与检测	27	第3章 印制电路板的设计与制作	57
1.8 光电器件的识别与检测	29	3.1 印制电路板简介	57
1.9 电声与显示器件识别与检测	31	3.2 印制电路板的排版布局	57
1.10 贴片器件的识别与检测	34	3.3 焊盘及导线的设计	61
1.11 电子模块	36	3.4 印制电路板的制造工艺简介	68
本章小结	40	3.5 PCB的计算机辅助设计	73
思考题	41	本章小结	77
		思考题	77

第2模块 工艺与技术文件

第4章 预加工制造工艺技术	80	4.7 清洁工艺	90
4.1 准备工序加工的基础知识	80	本章小结	93
4.2 导线加工工艺	81	思考题	93
4.3 浸锡工艺	84	第5章 安装工艺	94
4.4 元器件引脚成形工艺	85	5.1 安装的基础知识	94
4.5 打印标记工艺	86	5.2 螺装工艺	95
4.6 组合件加工工艺	88	5.3 粘接工艺	98

5.4 其他工艺	100
5.5 拆装工艺	104
本章小结	106
思考题	107
第6章 焊接工艺	108
6.1 焊接的基础知识	108
6.2 手工焊接工艺	117
6.3 补焊与拆焊工艺	121
6.4 波峰焊工艺	122

第3模块 常用仪器仪表与工具

第8章 电子电路识图方法	152
8.1 电子电路识图基础	152
8.2 电子电路图的分类	153
8.3 电子电路识读	155
本章小结	160
思考题	160
第9章 常用电子产品测试仪器	161
9.1 如何正确使用万用表	161
9.2 如何正确使用示波器	167
9.3 如何正确使用信号发生器	178

第4模块 总装、调试与品质检验

第11章 整机产品总装与调试	200
11.1 整机产品总装工艺	200
11.2 整机产品调试	202
11.3 整机产品检验	209
本章小结	212
思考题	213
第12章 电子整机产品的质量 管理	214
12.1 质量的基本概念	214
12.2 电子整机产品生产过程和全面 质量管理	215

6.5 表面贴装技术与工艺	124
本章小结	129
思考题	130

第7章 技术文件

7.1 设计文件	131
7.2 工艺文件	138
本章小结	149
思考题	149

9.4 如何正确使用毫伏表	182
9.5 如何正确使用计数器	184
本章小结	188
思考题	189

第10章 电子整机产品常用组装工具 与专用设备

10.1 常用组装工具	190
10.2 电子整机产品制造专用设备	192
10.3 自动插件机	195
本章小结	196
思考题	196

12.3 ISO9000 系列国际质量标准	218
12.4 3C 强制认证	222
本章小结	223
思考题	224

第13章 电子整机产品故障检修 与维护

13.1 整机电路故障产生的原因	225
13.2 整机电路故障查找的一般程序	226
13.3 整机电路故障查找的原则	227
13.4 整机设备故障查找的注意事项	228
13.5 故障查找的方法与技巧	230
13.6 电子整机产品的日常维护	237

本章小结	238	思考题	238
------------	-----	-----------	-----

第3模块 实验训练

第14章 电子整机产品制造技术实践		与整机调试	252
训练	240	附录	255
14.1 实训1: 常用电子元器件的识别与 质量检测	240	附录A 90××系列晶体三极管性能 及电气参数	255
14.2 实训2: 印制电路板制作	245	附录B 国内晶体管、集成电路型号、 参数表	256
14.3 实训3: 导线加工	246	参考文献	263
14.4 实训4: 手工焊接与 SMT 焊接 技术训练	249		
14.5 实训5: 常用仪器仪表、工具使用			

第 1 模块

基 础 知 识

绪论 电子整机产品制造概论

第 1 章 常用电子元器件的识别与检测

第 2 章 常用电子材料与零件

第 3 章 印制电路板的设计与制作

绪论

电子整机产品制造概论

1. 电子整机产品制造技术的发展史

科技进步, 电子技术的飞速发展, 正在推动现代电子整机产品的深刻变革。新知识、新器件、新工艺及先进的制造技术持续提升电子整机产品的性能和使用价值。超小型移动电话(手机)、超薄型笔记本电脑、高清数字电视机、精美的 DVD 等等, 通信类、计算机类、视听类电子整机产品真实地反映了这种发展趋势。电子整机制造技术无疑是知识经济时代的产物; 电子整机产品制造业早已成为国民经济的重要组成部分。因此, 研究电子整机产品制造技术, 培养电子产品制造技能型人才, 具有重要的经济和社会意义。

半个世纪以来, 电子整机产品制造技术的发展过程, 是人类认识世界、改造世界、创造现代物质文明的一个真实写照, 是人类在长期实践中智慧的结晶。让我们回顾一下电子整机产品制造的发展过程。

1) 真空管时代, 电子管整机产品制造技术很简陋、粗糙。一般由操作工用大功率烙铁将带引线的电子元器件、接插件等电子材料搭焊(或勾焊)在机架的接线板上, 裸铜线(或镀银铜线)、绝缘导线将各元器件引脚沟通, 形成电路, 装入铁制或木制外壳, 组成整机。例: 如一台五灯电子管收音机的重量有几公斤, 则其体积比 35cm 电视机还大。

2) 晶体管时代。随着科技的进步, 晶体二极管、三极管、场效应晶体管广泛应用。电子整机产品的体积、重量、外形结构发生了突破性进展, 制造技术随之飞速发展。几十、几百个电阻、电容、线圈、接插件等电子材料集中插装在印制电路板(PCB)上, PCB 上的铜箔作为连接线, 焊接工艺采用半自动、全自动波峰焊或浸焊, 一次完成 PCB 上全部元器件的焊接。这块装有集成电路和电子元器件的印制电路板(PCB), 就构成电子整机的机芯(或称主板)。因此, 电子整机产品的结构, 具有轻、薄、小的特点。电子整机产品制造方式变为流水作业, 从而实现规模化生产。

3) 超大规模集成电路, 贴片元器件(无引线元器件)时代。奔腾 III CPU 芯片面积仅为一枚硬币大小, 集成了约 2800 万晶体管; 用于计算机的 CPU 的面积约 $50\text{mm} \times 50\text{mm}$, 有 400 余根引出脚, 装配在 PCB 上, 印制线间距仅为 1.2mm。集成度之高, 令人惊叹。

电阻、电容、电感、电位器、半导体管等分立元器件无引出线, 外形呈片状、柱状, 称之为表面贴装元器件(SMD), 其外形尺寸仅为 $1\text{mm} \times 0.5\text{mm}$, 采用表面贴装技术(SMT), 由高速贴片机(每秒贴片 4~10 个)将 SMD 贴装在 PCB 上, 经二次自动波峰焊接或回流焊接, 完成 PCB 装配。正是由于元器件制造技术的创新, 带来了电子整机产品制造技术的一场革命。电子整机产品的高密度装配靠手工是无法完成的, 必须借

助于如高速贴片机、自动焊接机等先进的装备和先进的制造技术才能实现。与此同时,电子整机产品高精度、高密度、高质量的制造技术,要求操作人员必须掌握新知识、新技能、新工艺和新技术。

只有电子整机产品制造技术高速进步,才促使砖头型的大哥大变成掌中精巧的手机,从第一台 30t 重的 ENIAC 计算机到超薄型笔记本电脑才成为现实,才能给人类带来无与伦比的物质文明享受。

电子整机产品制造技术是一门知识性、创造性、实践性很强的技术,主要包含了电子材料与元器件技术、PCB 技术、总装配技术、焊接技术、整机电性能调试技术及电子测量等技术。具体说,电子整机产品制造技术是按设计的电路原理图、工艺流程,将各种电子零部件通过焊接、组装“合拢”成一台电子整机,并经调试、检测,使之成为具有独立功能的电子整机产品,它是一门应用性技术。

2. 现代电子整机产品制造技术具有的几项关键技术

(1) SMT 表面贴装技术 一个微处理器引线脚约有 400 ~ 500 个,密集在 225mm^2 面积内,PCB 上插脚密度高达 $2\text{个}/\text{mm}^2$,某些手机 PCB 主板上元器件装配密度达到 $10\text{个}/\text{cm}^2$ 。

一个贴片元件(SMD)的外形尺寸约为 $1.0\text{mm} \times 0.5\text{mm}$,PCB 设计要求焊盘间距小于 0.5mm 。丝网印刷的交点、不锈钢网印刷的锡浆焊点,精度控制在 0.1mm 以内;PCB 上元器件的贴装精度要求 0.05mm 以内。可见对于高密度、高精度的装配要求,依靠传统的手工装配技术是无法完成的。现代制造技术中采用先进的 SMT 表面贴装技术,即借助于具有光定位功能的高速自动贴片机,PCB 高精度定位系统,才能实现元器件安装平面化。

(2) 印制板(PCB)焊接技术 PCB 有单面、双面、多层之分,为了便于 PCB 设计和获得良好的高频特性等技术指标,常常采用双面印制板;元器件分布在 PCB 的两面或分布在 PCB 的同一面,采用 PCB 金属孔工艺连接两面的印制线,构成通路。特别要说明的是 SMD 分布在 PCB 两面,同时还需安装带引线的元器件或接插件等,焊接工艺流程较为复杂。一般采用波峰焊技术或回流焊技术,或同时采用这两种焊接技术。无论哪一种焊接技术均要求保证高质量的元器件焊接,要尽量减少出现虚焊、漏焊以及短路现象。因此,控制焊接工艺参数,例如:锡槽温度、助焊剂比重、PCB 传递速度、焊接时间、炉温曲线等极为重要。事实证明,电子整机产品可靠性、稳定性受焊接质量影响很大,焊接技术属于电子整机产品制造的关键技术之一。

(3) 电子整机调试技术 电子整机产品电性能技术指标中,一些技术指标是由设计保证的,还有一些技术指标,必须通过对电路参数的调整才能达到。例如:调整电阻值、电容值、电感等来满足放大器增益、幅频特性曲线等技术要求。由于电子电路的非直观性、闭环性、技术参数的相关性,给调试技术带来一定的难度。在调整电路某项参数时,还应综合考虑对其他技术指标的影响。例如:增益与噪声,带宽与选择性,电平与 CSO(Composite Second Order,二阶失真)、CTB(Composite Triple Beat,三阶失真)等相互关联因素。

在电子整机制造中,会因各种装配原因,如接地不良、漏焊、装错元器件等,导致电子整机电性能达不到技术标准,甚至导致电子整机工作不稳定、不可靠,严重影响产品质量。因此,要求调试人员在熟悉整机电原理图、掌握一定的电路知识和技能的基础上对上述现象进行正确判断、综合分析、排除故障。

在电子整机调试中,往往由于调试系统的差异导致调试后产品性能指标的不一致性,甚至制造出不合格产品。特别是对于高频电子产品,调试时电子仪器的精度、连接器、连接线,包括地线长短、走向等都很重要。按调试技术规范,应定期对调试系统进行校正、检定,使之符合电子整机产品的技术标准,避免电子整机产品在交付验收中的不一致性。

(4) ESD(Electrostatic Discharge,静电放电)防护技术 ESD 静电器件在电子产品中应用很普通,人们越来越认识到 ESD 防护的重要性。由于 ESD 对静电非常敏感,在无防护情况下,ESD 易被人体带的静电、空气中的静电击伤、损毁,严重影响电子产品的可靠性。因此,防静电技术已成为当今电子整机产品制造中一项不可缺少的技术。

按 ESD 防护技术要求,必须建立一个电阻 $\leq 4\Omega$ 的接地网(二级标准),工作台面铺设防静电台垫,地面铺设防静电地板,操作人员身着防静电服,佩带防静电手腕带、手套,使用防静电烙铁等。在拿取 ESD 时,不能随意拔下引线短接夹,不应在无防护措施下,人身任何部位接触 ESD 引线,因为静电会击穿电子元件。

(5) 电子整机产品的一致性、可靠性 一般电子整机产品制造具有大批量流水作业,规模化的特点。一个企业,每天生产量数以万计,尤其是如电视机、DVD 等电子消费类产品,每一个批次投料高达几十、十几万套(台),甚至更大。因此,保持产品质量的一致性、可靠性十分重要,是电子整机制造技术的关键之一。产品制造部的工程师根据产品设计要求,制定合理的工艺流程,编制各道工序的工艺文件(作业指导书)或操作规范,培训操作工人,并要求每个上岗操作工严格遵守工艺纪律,严格按有效技术文件、工艺文件进行检验,使制造全过程处于受控状态。

在设计制造流程时,工序细分及编排序列,不仅考虑平衡工序工作量,而且通过合理的配置与应用先进制造技术,降低产品制造的差异,差错率,从而提高产品的一致性、可靠性和经济性。

电子整机产品生产过程中会对影响产品的一致性、可靠性的过程参数、工艺参数以及产品质量特性,按技术文件进行监测和控制。通常做法是采用标准测试件(经权威计量机构检定)或样件(样机),以及仪器设备自动检测进行系统监测,确认调试系统、检测系统合格后,投入批量生产。此外,为保证本批次产品的一致性、可靠性,必须在本批产品投入的首件和末件或者在每天作业开始和结束时重复一次监控程序,若末次监测结果不合格,则判定本批产品不合格。必须返工,进行再次确认。

众所周知,提高电子产品可靠性的一个重要途径就是通过加电老化程序。有些元器件,如半导体器件、光器件、功率模块等,加电工作早期,50~200h 内失效率较高,也就是说电子产品存在早期失效现象。为此,在电子整机制造过程中(在调试之前或之后)将产品置于常温或高温下,加电加载(半或全负荷)连续工作 24~50h,或更长(根据对产品可靠性的要求),这个过程称为整机老化。经过老化后的整机产品,因剔除了包括早期失效在内的各种不良因素,而更具有高的稳定性和可靠性。

3. 电子整机制造流程

电子整机制造过程按顺序分为:电子元器件、材料的采购,整套元器件加工准备工序,元器件装配工序,焊接工序,整机总装工序,整机调试工序,老化工序,检测工序,整机包装工序,入库工序。一般在电装工序后,设置检验工序,对电装质量的检验设置一个或若干个专检岗位,以保证电装的直通率。简而言之,电子整机制造主要过程就是:电装、焊接、

调试、检测。

一般来说,电子元器件材料必须进行成形、浸锡、组合件加工等准备工作。电子元器件通常插装或贴装在一块或若干块 PCB 上,插装有流水作业手工方式,也有采用自动插件机的机械方式。电子元器件插装(贴装)在 PCB 上,必须将元器件的引线或电极(无引线元器件)牢固锡焊在 PCB 焊盘上,或用电烙铁一个点一个点地焊接,或将插装有元器件的 PCB 送入自动波峰焊机或回流焊机一次性焊接。由于焊接过程中会出现搭焊、虚焊、漏焊等现象,因此,检查焊点质量、补焊和焊接修正等是不可缺少的。进入电子整机的电装工序,按整机要求,将 PCB 电子部件,整件“合拢”安装在一个机框内,用导线或电缆线连接,沟通电子线路。调试工序是将电子整机加电,调整其电路参数,使电性能指标达到要求的过程,涉及到调试仪器、夹具、连接器等组成的调试系统及校验确认,涉及到调试方法与步骤等等,是电子整机产品制造中最重要的一环之一。电子整机产品制造过程中,整机调试完成后,加电、加负载(即称为老化工艺)连续工作几十小时,剔除不合格产品。

电子整机技术要求(技术标准)规定,产品的外观、电性能指标必须符合产品标准,否则不允许入库,不允许出厂,不允许销售。因此,电子产品在入库前,必须经质量检验部门进行检测、确认合格并签发合格证后,才能入库、出厂。

电子整机产品的包装,必须保证产品在搬运、存储、运输过程中不因包装原因造成损坏及包装本身的完好。包装操作必须做到数量、规格正确,附件、操作文件、装箱清单等一应俱全,一般采用封装带封口。

4. 电子整机产品制造流程图

电子整机产品制造流程图如图 0-1 所示。电子产品技术日新月异,新器件、新材料层出不穷。从事电子产品制造的工程技术人员,在长期的生产实践中累积的丰富经验及研究成果,有效应用于电子整机产品的制造流程,不断推动着制造技术的发展。

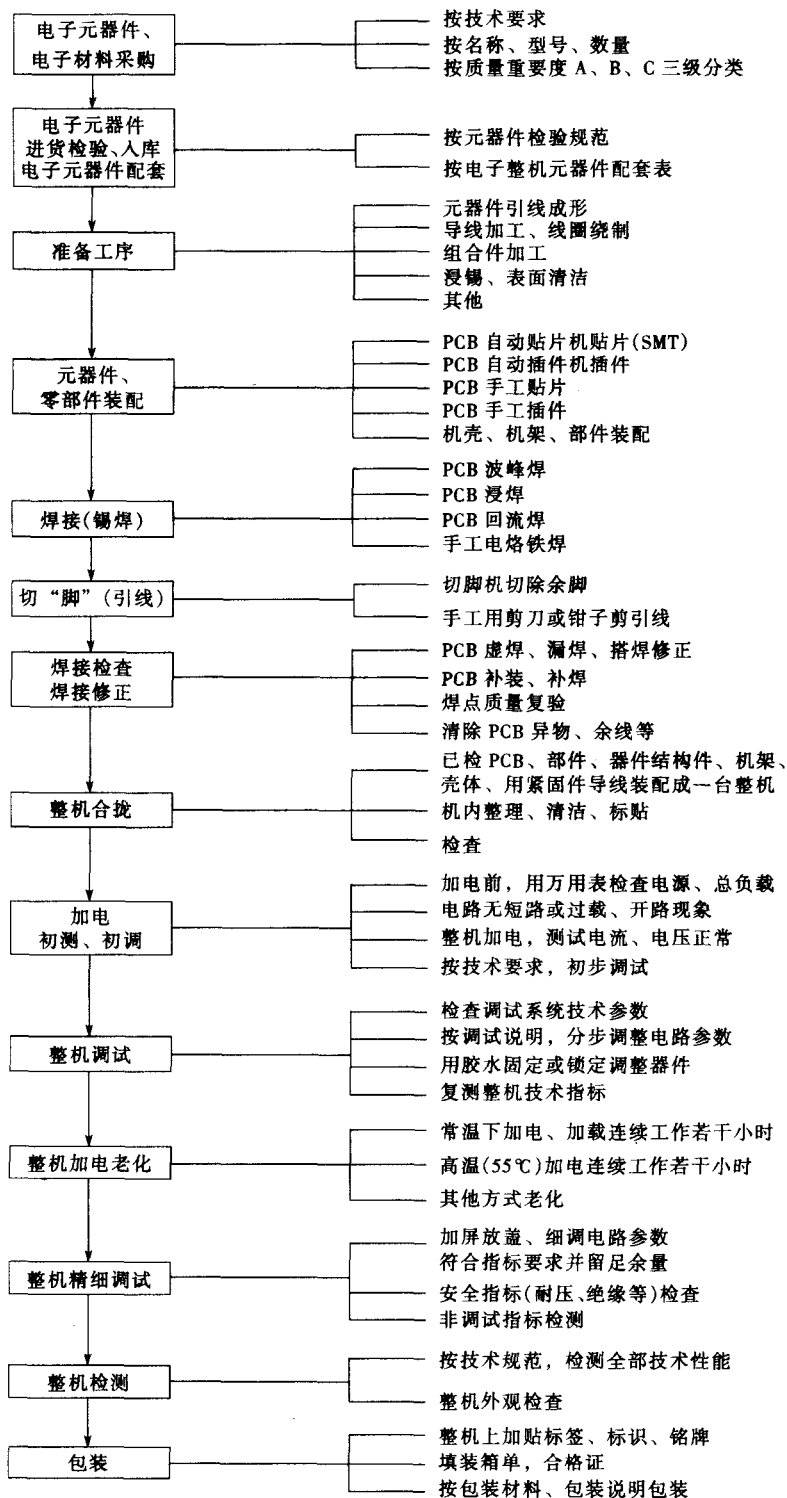


图 0-1 电子整机产品制造流程图

第 1 章

常用电子元器件的识别与检测

电子整机产品由许多电子元器件组成。电子元器件是电子整机产品中的基本单元。它在电子整机产品中具有独立的电气功能，其性能和质量对电子整机产品的品质影响很大。因此，从事电子整机产品制造的技术人员，必须熟悉和掌握各种元器件的性能、识别与检测方法。

1.1 电阻器的识别与检测

电阻器是在电子整机产品中应用最广泛的元件之一，在电路中起分压、分流、阻尼、限流、负载等作用。

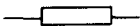
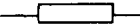
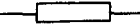
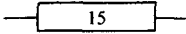
1.1.1 电阻器的种类

电阻器按其结构可分为固定电阻和可变电阻。

1. 固定电阻

固定电阻的种类很多。电子整机产品中经常用到的有：色环电阻、线绕电阻(RX)、熔断电阻(保险电阻器)、大功率水泥电阻等几种。按材料分有：碳膜电阻(RT)、金属膜电阻(RJ)、氧化膜电阻(RY)，它们的外型标志、电路符号见表 1-1。

表 1-1 固定电阻器的外型标志及符号

名 称	文 字 符 号	图 形 符 号	实物外形标志
色环电阻	R		
线绕电阻	RX		
大功率水泥电阻	RX		

(1) 色环电阻的标识 色环电阻常见的标识有四色环法和五色环法两种。四色环法一般用于普通电阻器的标注，五色环法用于精密电阻器的标注。四色环电阻器的标识含义如下：从左向右第一环、第二环表示其有效值，第三环表示倍率，第四环表示允许误差。如图 1-1 所示。四色环电阻器中的颜色标识含义见表 1-2。

五色环电阻器的标识含义如下：从左向右第一环、第二环、第三环表示其有效值，第四环表示倍率，第五环表示允许误差。如图 1-2 所示。

例如：图 1-1 中，用四个色环表示阻值及误差的电阻器，四个色环的颜色分别是黄、紫、橙、金，则表示该电阻器的阻值是 47000Ω ($47k\Omega$)，误差为 $\pm 5\%$ 。

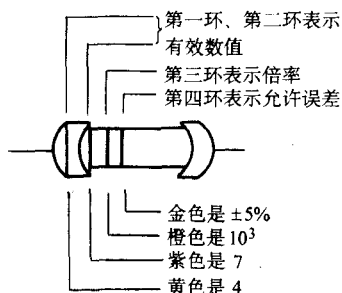


图 1-1 四色环电阻器的标注

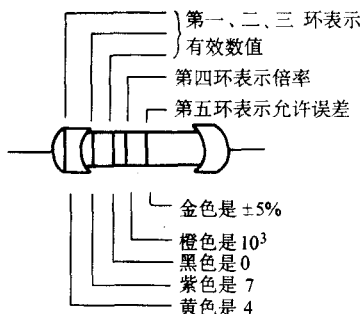


图 1-2 五色环电阻器的标注

表 1-2 色环电阻器的标识

颜 色	有 效 数 字	倍 率	允 许 误 差	颜 色	有 效 数 字	倍 率	允 许 误 差
黑	0	10^0		紫	7	10^7	$\pm 0.1\%$
棕	1	10^1	$\pm 1\%$	灰	8	10^8	—
红	2	10^2	$\pm 2\%$	白	9	10^9	—
橙	3	10^3	$\pm 4\%$	金	—	10^{-1}	$\pm 5\%$
黄	4	10^4		银	—	10^{-2}	$\pm 10\%$
绿	5	10^5	$\pm 0.5\%$	无色	—		$\pm 20\%$
蓝	6	10^6	$\pm 0.2\%$				

例如：图 1-2 中，用五个色环表示阻值及误差的电阻器，五个色环的颜色分别是黄、紫、黑、橙、金，则表示该电阻器的阻值是 470000Ω ($470k\Omega$)，误差为 $\pm 5\%$ 。

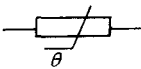
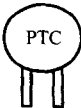
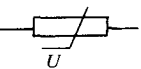
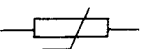
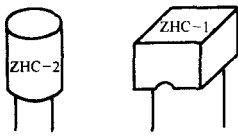
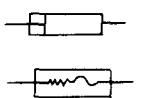
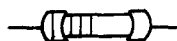
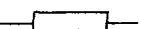
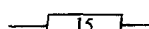
(2) 线绕电阻 线绕电阻是用镍铬合金、锰铜合金等电阻丝绕在绝缘材料的支架上制成的。见表 1-1 中固定电阻器的外形标志。线绕电阻的特点是能承受较大的电功率，可以在 300°C 左右的高温连续工作；它的热稳定性好。

水泥电阻是用陶瓷绝缘材料做成的功率线绕电阻，它具有散热好、功率大、绝缘性能佳等特点。

2. 敏感性电阻器

在电子整机产品中除了大量采用的一般电阻器之外，还有一些具有某些敏感性的电阻器。它可分为热敏电阻器、压敏电阻器、湿敏电阻器和熔断电阻器。它们的外形标志、电路符号见表 1-3。

表 1-3 敏感性电阻器外型标志及电路符号

名 称	文 字 符 号	图 形 符 号	实物外形标志
热敏电阻	RT		
压敏电阻	RV		
湿敏电阻	ZHC		
保险电阻	RRD		
大功率电阻	RX		

(1) RT 热敏电阻器 RT 热敏电阻器是以钛酸钡为主要原料,辅以微量的锶、钛、铝等化合物,经过加工制成的具有正温度系数的电阻器。所谓正温度系数的电阻器,就是当温度上升到某一个数值时,其阻值随温度迅速增加。

(2) NTC 功率热敏电阻器 NTC 功率热敏电阻器,是一种通过强电流产生负温度系数的电阻器。所谓负温度系数的电阻器,就是通过电阻器的电流大到某一个数值时,其阻值随温度迅速下降。

(3) RV 压敏电阻器 压敏电阻器是一种半导体陶瓷元件。这种电阻器的特点是,当加到压敏电阻器的两端的电压较小时,流过它的电流很小;当加到压敏电阻器的两端的电压大到一定值时,流过它的电流会迅速上升。

(4) ZHC 湿敏电阻器 湿敏电阻器是电阻值随湿度的变化而变化的一种元件。

湿敏电阻器 ZHC 系列有两种。ZHC-1 为长方形,外壳采用耐高温塑料制成;ZHC-2 为圆柱形,外壳为铜材料制成。湿敏电阻器电阻值随湿度增加而减小。

(5) RRD 熔断电阻 熔断电阻(保险电阻器)是近代电子整机产品中大量采用的一种新型元件,它集电阻器与熔断器(旧称保险丝)于一体,电路正常工作时,它作为一般电阻器使用,一旦电路出现异常(过电流)时,它立即熔断,在电路中起保护作用。

3. 电位器(可变电阻器)

电位器是一种可以人为地将阻值连续调整变化的电阻器。它有三个引出脚,一般中间的