

高等学校教材

# 电子技术工艺基础

清华大学电子工艺实习教研组

王天曦 李鸿儒 编著

清华大学出版社

(京)新登字 158 号

## 内 容 简 介

本书以基本工艺知识和电子装配基本技术为主,对电子产品制造过程及典型工艺作了全面介绍,包括安全用电、焊接技术、电子元器件、印制电路板、装配与连接技术、表面安装技术、调试与检测技术、电子技术文件等内容,是一本很有实用价值的教科书。

作者有二十余年电子技术工作经验,经历了十二年电子工艺实习教学实践,编写本教材历时三年,经数次修改,使本书内容充实、详略得当、可读性强,信息量大;兼有实用性、资料性和先进性,书中涵有大量来自生产实践的经验。本书文字流畅,插图丰富、精美,直观效果很好,与同类书比,本书确有独到之处。

本书既可作为各类理工科学生参加电子工艺实习的教材,亦可作为电子科技创新实践、课程设计、毕业实践等活动的实用指导书,同时也可供职业教育、技术培训及有关技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

电子技术工艺基础/王天曦,李鸿儒编著.-北京:清华大学出版社,2000

ISBN 7-302-03947-X

. 电... . 王... . 李... . 电子技术-工艺学 . TN05

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 34502 号

出 版 者: 清华大学出版社(北京清华大学学研楼, 邮编 100084)

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

责任编辑: 魏荣桥

印 刷 者: 北京市清华园胶印厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 787× 960 1/16 印张: 18.75 字数: 410 千字

版 次: 2000 年 6 月第 1 版 2000 年 6 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-03947-X/TN · 110

印 数: 0001 ~ 6000

定 价: 21.50 元

# 前 言

本书是为理工科院校学生参加电子工艺实习而编写的教材,也可作为其它学校或有关部门技术培训参考。

创新精神和实践能力是对新时期高素质人才的基本要求。清华大学自 1987 年在全校大多数理工科学生中开设电子工艺实习以来,十几年中不断发展完善,这门课程深受学生的欢迎。许多院校也先后以不同形式开设了这门课并使用过本教材,收到良好效益。随着知识经济的深入和信息技术的飞速发展,实践环节的重要性与日俱增,编写高质量教材是保证教学稳定发展的基本建设,也是我们多年来努力的方向。

电子工艺实习是以学生自己动手,掌握一定操作技能和制作一两种实际产品为特色的,它既不同于培养劳动观念的公益劳动,又不同于让学生自由发挥的科技创新活动。它既是基本技能和工艺知识的入门向导,又是创新实践的开始和创新精神的启蒙。要构筑这样一个基础扎实、充满活力的实践平台,仅靠课堂讲授和动手训练是不够的,需要有一本既能指导学生实习,又能开阔眼界;既是教学的参考书,又是指导实践的实用资料。本教材就是立足于这个目标,并做了切实的努力。

本书在内容编排上打破传统学科体系,主要考虑教学实践的要求,例如:不在电子工艺内容之列的“安全用电”被安排在第 1 章,其重要性不言而喻。对工艺技术中很重要的质量控制及经济成本内容,则根据教学实践的经验没有单列,而是融合贯穿到具体工艺知识和过程中。实践证明是可行的、有效的。

在内容选取上考虑到我国电子科技及生产技术的国情及各行业应用电子技术的差异,在高新技术与传统技术,规模生产与研制开发,机械化、自动化与手工操作等方面统筹兼顾,合理安排,使本书既是电子工艺基础训练的教材,也是从事电子技术实践和创新的实用指导书。

由于技术的发展,现在可以说出书并不难,但出好书难,出有真知灼见的书更难,而出工艺方面的书则是难上加难。难就难在工艺技术是实实在在的东西,每个细节都要在长期实践的基础上经得住推敲;难就难在工艺方面的事是做起来容易,写起来难,为一个过程的描述就要绞尽脑汁;难就难在后面的内容还没写好,前面的内容有的已经“过时”……写书的艰辛、出书的苦衷,不亲身经历难以体会。尽管这本书有缺憾和不足,但编者确实费了心,尽了力。本书出版如果能对培养人才起到应有的作用,对同行和后来者有所启迪,就是编者最大的欣慰。

本书是在 1987 年清华大学电子工艺教学组编的《电子工艺学》讲义(由王天曦、李鸿儒主编,戈更新、何江、杨兴华编写部分内容,并绘制插图)的基础上修订的,有 95%

以上的内容都重写了。

编著本书时得到清华大学科教仪器厂大力支持,杨兴华、彭进绘制了部分插图,赵银华、董宝光、陈凯参加了部分图文工作,何江为本书提供了有益的建议。

本书编著者长期以来从事电子产品的研制、开发和生产,近十几年又直接组织实施电子工艺实践教学,对工艺技术有深刻认识,对教学规律有深入理解,丰富的实践经验与严谨的教学要求有机结合是本书的特色。但由于编者时间、精力及水平有限,书中错误和不足之处难免,欢迎读者批评指正。

作 者

# 目 录

第 1 章 安全用电.....	1
1.1 人身安全 .....	1
1.1.1 触电危害.....	1
1.1.2 触电原因.....	3
1.1.3 防止触电.....	4
1.2 设备安全 .....	6
1.2.1 设备接电前检查.....	6
1.2.2 电器设备基本安全防护.....	6
1.2.3 设备使用异常的处理.....	7
1.3 电气火灾 .....	8
1.4 用电安全技术简介 .....	8
1.4.1 接地和接零保护.....	8
1.4.2 漏电保护开关 .....	10
1.4.3 过限保护 .....	11
1.4.4 智能保护 .....	13
1.5 电子装接操作安全.....	13
1.5.1 用电安全 .....	14
1.5.2 机械损伤 .....	14
1.5.3 防止烫伤 .....	15
1.6 触电急救与电气消防.....	16
1.6.1 触电急救 .....	16
1.6.2 电气消防 .....	16
第 2 章 焊接技术 .....	17
2.1 焊接技术与锡焊.....	17
2.2 锡焊机理.....	18
2.3 锡焊工具与材料.....	20
2.3.1 电烙铁 .....	21
2.3.2 焊料 .....	26
2.3.3 焊剂 .....	29

2.4	手工锡焊基本操作.....	32
2.4.1	焊接操作姿势与卫生 .....	32
2.4.2	五步法训练 .....	33
2.5	手工锡焊技术要点.....	34
2.5.1	锡焊基本条件 .....	34
2.5.2	手工锡焊要点 .....	35
2.5.3	锡焊操作要领 .....	36
2.6	实用锡焊技艺.....	38
2.6.1	印制电路板安装与焊接 .....	38
2.6.2	导线焊接 .....	41
2.6.3	几种易损元器件的焊接 .....	44
2.6.4	几种典型焊点的焊法 .....	46
2.6.5	拆焊 .....	48
2.7	焊接质量及缺陷.....	50
2.7.1	焊点失效分析 .....	50
2.7.2	对焊点的要求及外观检查 .....	50
2.7.3	焊点通电检查及试验 .....	52
2.7.4	常见焊点缺陷及质量分析 .....	53
2.8	工业生产锡焊技术.....	55
2.8.1	浸焊与波峰焊 .....	55
2.8.2	电子焊接技术的发展 .....	56
第3章 电子元器件 .....		58
3.1	电抗元件.....	58
3.1.1	电抗元件的标称值与标志 .....	58
3.1.2	电阻器 .....	62
3.1.3	电位器 .....	67
3.1.4	电容器 .....	69
3.1.5	电感器 .....	74
3.1.6	变压器 .....	83
3.2	机电元件.....	85
3.2.1	开关 .....	86
3.2.2	连接器 .....	87
3.2.3	继电器 .....	94
3.3	半导体分立器件.....	95

3.3.1	半导体分立器件的分类与命名 .....	95
3.3.2	常用半导体分立器件外形封装及引脚排列.....	100
3.4	集成电路 .....	101
3.4.1	集成电路分类.....	102
3.4.2	集成电路命名与替换.....	104
3.4.3	集成电路封装与引脚识别.....	105
3.5	电子元器件选用 .....	106
3.5.1	质量控制.....	107
3.5.2	统筹兼顾.....	107
3.5.3	合理选择.....	109
3.5.4	设计简化.....	109
3.5.5	降额使用.....	109
3.6	电子元器件检测与筛选 .....	110
3.6.1	外观质量检查.....	110
3.6.2	电气性能筛选.....	111
3.6.3	参数性能检测.....	112
第4章	印制电路板.....	113
4.1	印制电路板及互连 .....	113
4.1.1	概况.....	113
4.1.2	敷铜板.....	115
4.1.3	印制电路板互连.....	116
4.2	印制电路板设计基础 .....	119
4.2.1	设计要求与整体布局.....	119
4.2.2	元器件排列及安装尺寸.....	122
4.2.3	印制电路.....	125
4.2.4	焊盘与孔.....	128
4.3	印制板设计技巧 .....	130
4.3.1	印制板散热设计.....	130
4.3.2	印制板地线设计.....	132
4.3.3	电磁干扰及抑制.....	134
4.4	印制板设计过程与方法 .....	137
4.4.1	设计准备及外型机构草图.....	138
4.4.2	设计入门——单线不交叉图.....	139
4.4.3	设计布局.....	140

4.4.4	设计布线	141
4.4.5	制版底图绘制及制板工艺图	141
4.4.6	印制板加工技术要求	143
4.5	印制板制造与检验	144
4.5.1	印制板制造工艺简介	144
4.5.2	印制板检验	146
4.5.3	印制板手工制作	147
4.6	印制电路板 CAD 简介	148
4.6.1	CAD 软件简介	149
4.6.2	Protel 设计要点	150
4.6.3	第三代 CAD 与 EDA	153
4.7	印制电路板新发展	154
<b>第 5 章</b>	<b>装配与连接</b>	<b>158</b>
5.1	安装技术	158
5.1.1	安装技术基础	158
5.1.2	紧固安装	160
5.1.3	典型零部件安装	165
5.2	导线配置	168
5.2.1	安装导线及绝缘材料选用	168
5.2.2	扁平电缆	170
5.2.3	线束	171
5.2.4	屏蔽线及同轴电缆	174
5.3	其他连接方法	177
5.3.1	压接	177
5.3.2	绕接	178
5.3.3	黏接	181
5.3.4	铆接	183
<b>第 6 章</b>	<b>表面安装与微组装技术</b>	<b>186</b>
6.1	安装技术与表面安装	186
6.1.1	安装技术综述	186
6.1.2	表面安装技术	187
6.1.3	表面安装技术关键	188
6.2	表面安装元器件	189

6.2.1	分类.....	189
6.2.2	表面安装元件.....	190
6.2.3	表面安装器件.....	193
6.3	表面安装技术简介 .....	196
6.3.1	表面安装印制电路板.....	196
6.3.2	表面安装材料.....	203
6.3.3	表面安装工艺.....	204
6.3.4	表面安装设备.....	206
6.3.5	表面安装焊接.....	208
6.3.6	手工 SMT 简介 .....	211
6.4	微组装技术 .....	212
6.4.1	组装技术的新发展.....	212
6.4.2	MPT 主要技术 .....	213
6.4.3	MPT 的发展 .....	213
6.4.4	微电子焊接技术.....	214
第 7 章	调试与检测.....	216
7.1	调试与检测基础 .....	216
7.1.1	调试与检测技术.....	216
7.1.2	调试与检测仪器.....	217
7.1.3	虚拟仪器与 V XI 仪器 .....	218
7.1.4	仪器选择与配置.....	220
7.1.5	仪器的使用.....	221
7.2	调试与检测安全 .....	223
7.2.1	供电安全.....	223
7.2.2	测量仪器安全.....	224
7.2.3	操作安全.....	224
7.3	调试技术 .....	225
7.3.1	调试概述.....	225
7.3.2	样机调试.....	227
7.3.3	产品调试.....	230
7.3.4	自动测量调试简介.....	233
7.3.5	整机检测.....	234
7.4	故障检测方法 .....	236
7.4.1	观察法.....	236

7.4.2	测量法.....	237
7.4.3	跟踪法.....	240
7.4.4	替换法.....	242
7.4.5	比较法.....	243
7.4.6	计算机智能自动检测.....	244
<b>第8章</b>	<b>电子技术文件.....</b>	<b>246</b>
8.1	电子技术文件概述 .....	246
8.1.1	两类不同应用领域.....	246
8.1.2	基本要求.....	247
8.1.3	分类及特点.....	247
8.2	产品技术文件 .....	249
8.2.1	产品技术文件特点.....	249
8.2.2	设计文件.....	250
8.2.3	工艺文件.....	252
8.3	图形符号及说明 .....	254
8.3.1	常用符号.....	254
8.3.2	有关符号的规定.....	254
8.3.3	元器件代号.....	255
8.3.4	下脚标码.....	255
8.3.5	元器件参数标注.....	255
8.4	原理图简介 .....	256
8.4.1	系统图.....	256
8.4.2	电路图.....	257
8.4.3	逻辑图.....	261
8.4.4	流程图.....	264
8.4.5	功能表图.....	266
8.4.6	图形符号灵活运用.....	268
8.5	工艺图简介 .....	268
8.5.1	实物装配图.....	269
8.5.2	印制板图.....	269
8.5.3	印制板装配图.....	269
8.5.4	布线图.....	271
8.5.5	机壳底板图.....	272
8.5.6	面板图.....	273

8.5.7	元器件明细表及整件汇总表.....	275
8.6	电子技术文件计算机处理系统简介 .....	275
8.6.1	计算机绘图.....	276
8.6.2	工程图处理与管理系统.....	276
附录 1	电气图形符号国家标准 .....	278
附录 2	国内外部分电气图形符号对照 .....	283
附录 3	电气图形常用文字符号 .....	284
参考文献	.....	288

# 第 1 章 安全用电

安全是人类生存的基本需求之一,也是人类从事各种活动的基本保障。用电安全则是现代人无可回避的安身立业基本常识。从家庭到办公室,从娱乐场所到工矿企业,从学校到公司,几乎没有不用电的场所。电是现代物质文明的基础,同时又是危害人类的肇事者之一,如同现代交通工具把速度和效率带给人类的同时,也让交通事故这个恶魔闯进现代文明一样,电气事故是现代社会不可忽视的灾害之一。

从使用电能开始,科技工作者就为减少、防止电气事故而不懈努力。长期实践中,人们总结积累了安全用电的经验。但是,人不能事事都去实践,特别是对安全事故而言。应该记取前人的经验教训,掌握必要的知识,防患于未然。一旦发生事故,只能总结经验教训以警示后来人。

安全技术,涉及广泛,本章安全用电的讨论只是针对一般工作生活环境而言,至于特殊场合,例如高压、矿井等用电安全不在讨论之列。限于本书篇幅,即使一般环境,也只能就最基本最常见的用电安全问题进行讨论。

## 1.1 人身安全

人是世间万物最宝贵的。安全保护首先保护人身安全。

人体是可以导电的。电流经过人体会对人身造成伤害,这就是所谓触电。

触电事先无预兆,一旦发生,顷刻之间就会产生严重后果,而且难以自救。

### 1.1.1 触电危害

触电对人体危害主要有电伤和电击两种。

#### 一、电伤

电伤是由于发生触电而导致的人体外表创伤。通常有以下三种:

##### 1. 灼伤

由于电的热效应而灼伤人体皮肤、皮下组织、肌肉,甚至神经。灼伤引起皮肤发红、起泡、烧焦、坏死。

##### 2. 电烙印

电烙印是由电流的机械和化学效应造成人体触电部位的外部伤痕,通常是皮肤表面的肿块。

### 3. 皮肤金属化

这种化学效应是由于带电体金属通过触电点蒸发进入人体造成的,局部皮肤呈现相应金属的特殊颜色。

触电对人体造成的电伤一般是非致命的,真正危害人体生命的是电击。

## 二、电击

电流通过人体,严重干扰人体正常生物电流,造成肌肉痉挛(抽筋)、神经紊乱,导致呼吸停止,心脏室性纤颤,严重危害生命。

## 三、影响触电危险程度的因素

### 1. 电流的大小

人体内是存在生物电流的,一定限度的电流不会对人造成损伤。一些电疗仪器就是利用电流刺激达到治疗目的的。电流对人体的作用如表 1.1 所示。

表 1.1 电流对人体作用

电流(mA)	对人体的作用
< 0.7	无感觉。
1	有轻微感觉。
1 ~ 3	有刺激感,一般电疗仪器取此电流。
3 ~ 10	感到痛苦,但可自行摆脱。
10 ~ 30	引起肌肉痉挛,短时间无危险,长时间有危险。
30 ~ 50	强烈痉挛,时间超过 60 秒即有生命危险。
50 ~ 250	产生心脏室性纤颤,丧失知觉,严重危害生命。
> 250	短时间内(1 秒以上)造成心脏骤停,体内造成电灼伤。

### 2. 电流种类

电流种类不同对人体损伤也不同。直流电一般引起电伤,而交流电则电伤与电击同时发生,特别是 40 ~ 100Hz 交流电对人体最危险。不幸的是人们日常使用的工频市电(我国为 50Hz)正是在这个危险的频段。当交流电频率达到 20000Hz 时对人体危害很小,用于理疗的一些仪器采用的就是这个频段。

### 3. 电流作用时间

电流对人体的伤害同作用时间密切相关。可以用电流与时间乘积(也称电击强度)来表示电流对人体的危害。触电保护器的一个主要指标就是额定断开时间与电流乘积 < 30mAS。实际产品可以达到 < 3mAS,故可有效防止触电事故。

#### 4. 人体电阻

人体是一个不确定的电阻。皮肤干燥时电阻可呈现 100 千欧以上,而一旦潮湿,电阻可降到 1 千欧以下。

人体还是一个非线性电阻,随着电压升高,电阻值减小。表 1.2 给出人体电阻值随电压的变化。

表 1.2 人体电阻值随电压的变化

电压(V)	1.5	12	31	62	125	220	380	1000
电阻(k )	> 100	16.5	11	6.24	3.5	2.2	1.47	0.64
电流(mA)	忽略	0.8	2.8	10	35	100	268	1560

### 1.1.2 触电原因

人体触电,主要原因有两种:直接或间接接触带电体以及跨步电压。前者又可分为单极接触和双极接触。

#### 一、单极接触

一般工作和生活场所供电为 380/220V 中性点接地系统,当处于地电位的人体接触带电体时,人体承受相电压如图 1.1 所示。

这种接触往往是人们粗心大意、忽视安全造成的。图 1.2 是几个发生触电事故的实例。

图 1.3 所示是有人在实验室用调压器取得低电压做实验而发生触电。

图 1.1 单极接触触电示意图

图 1.2 触电示例

如果碰巧电源插座的零线插到调压器 2 端,则不会触电,当然这是侥幸的。

图 1.3 错误使用自耦调压器

## 二、双极接触

人体同时接触电网的两根相线发生触电,如图 1.4 所示。这种接触电压高,大都是在带电工作时发生的,而且一般保护措施都不起作用,因而危险极大。

图 1.4 双极接触触电示意图

图 1.5 跨步电压使人触电

## 三、静电接触

在检修电器或科研工作中有时发生电器设备已断开电源,但在接触设备某些部分时发生触电,这在一部分有高压大容量电容器的情况下有一定危险。特别是质量好的电容器能长期储存电荷,容易被忽略。

## 四、跨步电压

在故障设备附近,例如电线断落在地上,在接地点周围存在电场,当人走进这一区域时,将因跨步电压而使人触电,如图 1.5 所示。

### 1.1.3 防止触电

防止触电是安全用电的核心。没有一种措施或一种保护器是万无一失的。最保险的钥匙掌握在你手中,即安全意识和警惕性。以下几点是最基本最有效的安全措施。

## 一、安全制度

在工厂企业、科研院所、实验室等用电单位,几乎无一例外地订有各种各样的安全用电制度。这些制度绝大多数都是在科学分析基础上制定的,也有很多条文是在实际中总结出的经验,可以说很多制度条文是惨痛的教训换来的。作为本书对读者第一项忠告:在你走进车间、实验室等一切用电场所时,千万不要忽略安全用电制度,不管这些制度粗看起来如何“不合理”,如何“妨碍”工作。

## 二、安全措施

预防触电的措施很多,有关安全技术将在后面作为共同问题进行讨论,这里提出的几条措施都是最基本的安全保障。

1. 对正常情况下带电的部分,一定要加绝缘防护,并且置于人不容易碰到的地方。例如输电线、配电盘、电源板等。
2. 所有金属外壳的用电器及配电装置都应该装设保护接地或保护接零。对目前大多数工作生活用电系统而言是保护接零。
3. 在所有使用市电场所装设漏电保护器。
4. 随时检查所用电器的插头、电线,发现破损老化及时更换。
5. 手持电动工具尽量使用安全电压工作。我国规定常用安全电压为 36V 或 24V,特别危险场所用 12V。

## 三、安全操作

1. 任何情况下检修电路和电器都要确保断开电源,仅仅断开设备上开关是不够的,还要拔下插头。
2. 不要湿手开关、插拔电器。
3. 遇到不明情况的电线,先认为它是带电的。
4. 尽量养成单手操作电工作业。
5. 不在疲倦、带病等不利状态下从事电工作业。
6. 遇到较大体积的电容器先行放电,再进行检修。

## 四、安全产品

理论上讲进入市场的产品都应该是安全性能有保证的,但实际社会中,一些不合格产品往往给用户造成安全事故。作为用户选择由国家安全检验权威部门即中国电工产品认证委员会(CCEE)检测通过的产品,是安全的根本保证。该委员会是国际电工委员会电工产品安全认证组织(IECEE)批准的国家认证组织,检测标准符合国际标准,并有统一的认证标志,如图 1.6 所示。

图 1.6 CCEE 认证标志

## 1.2 设备安全

设备安全是个庞大的题目。各行各业、各种不同设备都有其安全使用问题。我们这里讨论的,仅限于一般范围工作、学习、生活场所的用电仪器,设备及家用电器的安全使用。即使是这些设备,这里涉及的也是最基本的安全常识。

### 1.2.1 设备接电前检查

将用电设备接入电源,这个问题似乎很简单,其实不然。有的数十万元昂贵设备,接上电源一瞬间变成废物;有的设备本身故障引起整个供电网异常,造成难以挽回损失。问题何在?

——用电器不一定是接 AC 220V/50Hz 电源。我国市电标准为 AC 220V/50Hz,但是世界上不同国家不一样,有 AC110V, AC120V, AC115V, AC127V, AC225V, AC230V, AC240V 等电压,电源频率有 50/60Hz 两种。有些小型设备要求低压直流如 5V, 9V, 17V 等。

——环境电源不一定是 220V,特别对工厂企业、科研院所,有些地方需要 AC380V,有些地方需要 AC36V,有的地方可能需要 DC12V。

——新的设备不等于是没问题的设备。且不说假冒伪劣,即使一台合格产品,在运输、搬动中也有可能出问题。

因此,建议设备接电前“三查”:

(1) 查设备铭牌:按国家标准,设备都应在醒目处有该设备要求电源电压、频率、电源容量的铭牌或标志。小型设备的说明也可能在说明书中。

(2) 查环境电源:电压、容量是否与设备吻合。

(3) 查设备本身:电源线是否完好,外壳是否可能带电。一般用万用表进行如图 1.7 所示的简单检测用电设备。

### 1.2.2 电器设备基本安全防护

所有使用交流电源的电器设备(包括家用电器、工业电气设备、仪器仪表等)均存在绝缘损坏而漏电的问题,按电工标准将电器设备分为四类,各类电器设备特征及安全防护见表 1.3。