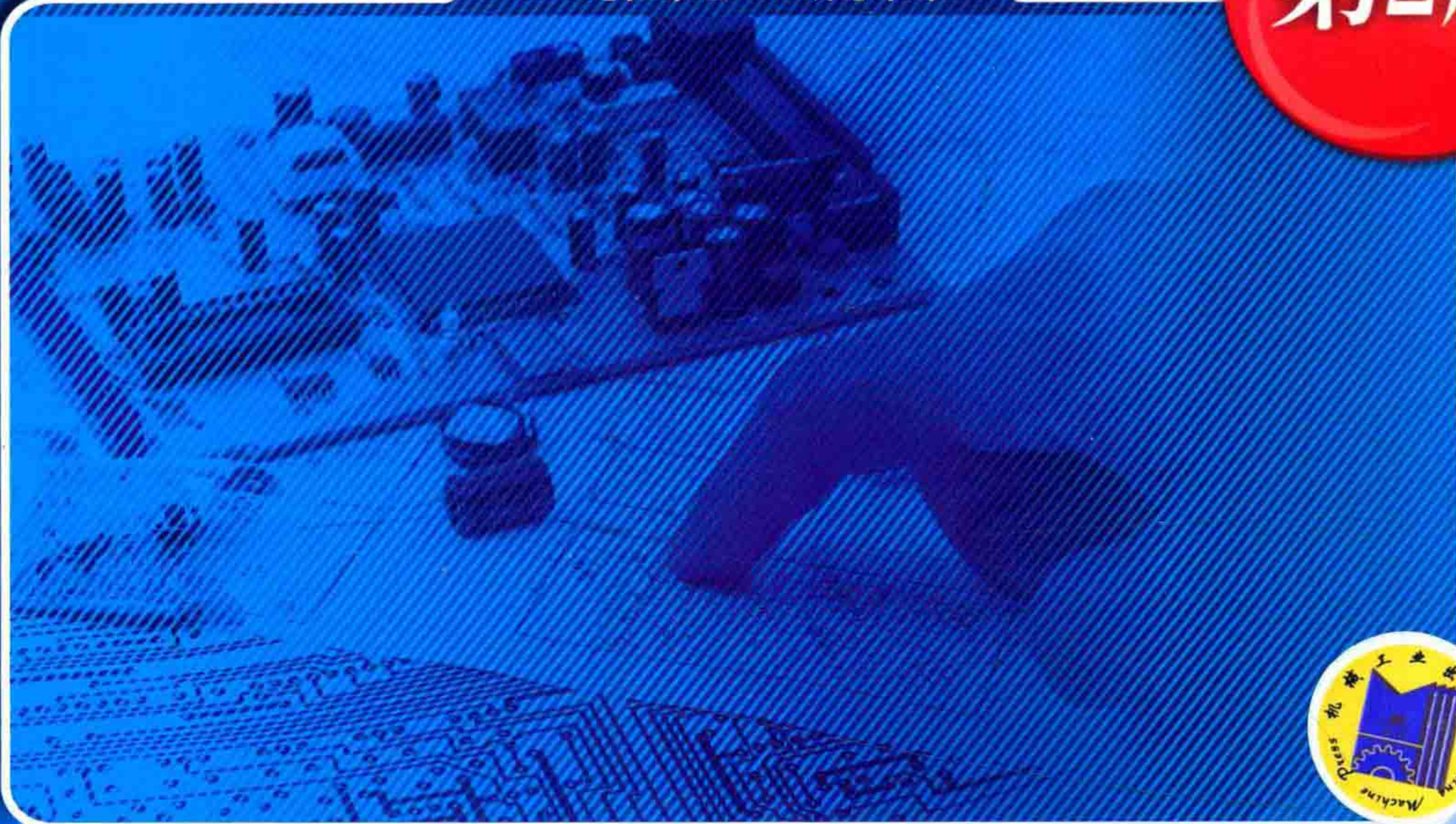


电子产品 工艺与装配 技能实训

王雅芳 编著

第2版



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

电子产品工艺与装配技能实训

第2版

王雅芳 编著



机械工业出版社

本书主要内容包括常用工具设备与材料、常用电子元器件、电子元器件装配前的准备、电子元器件的焊接工艺、印制电路板的设计与制作、电子产品的安装工艺、电子产品的调试工艺、电子产品的检验工艺、技能综合实训等生产装配工艺中的知识与技巧，可以对初学者及行业人员有较好的启发作用。本书在编写过程中，遵循“精选内容、加强实践、培养能力、突出应用”的原则。本书可作为工科院校电子信息类专业学生实用教材，以及课程实践、毕业设计和各类企业培训的辅导教材，也可作为从事电子产品装配的工程技术人员及广大电子爱好者学习的参考资料。

图书在版编目（CIP）数据

电子产品工艺与装配技能实训/王雅芳编著. —2 版. —北京：机械工业出版社，2018.3
ISBN 978-7-111-59144-3

I. ①电… II. ①王… III. ①电子产品－生产工艺②电子产品－装配(机械) IV. ①TN05

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2018）第 027692 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）
策划编辑：张俊红 责任编辑：闫洪庆
责任校对：刘秀芝 封面设计：路恩中
责任印制：张 博
三河市宏达印刷有限公司印刷
2018 年 4 月第 2 版第 1 次印刷
184mm × 260mm · 14.5 印张 · 380 千字
标准书号：ISBN 978-7-111-59144-3
定价：49.90 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务	网络服务
服务咨询热线：010-88361066	机工官网： www.cmpbook.com
读者购书热线：010-68326294	机工官博： weibo.com/cmp1952
010-88379203	金书网： www.golden-book.com
封面无防伪标均为盗版	教育服务网： www.cmpedu.com

Preface 前言

随着科学技术的发展和电子技术的进步,电子产品已渗透到各个领域,处处可见电子产品的应用。电子设备广泛地应用于通信、广播、电视、导航、无线电定位、自动控制、遥控遥测、计算机技术、家用电器、办公自动化设备、教学仪器、高科技产品等方面,电子装配工艺也日新月异。现代电子产品的制造业需要很多生产、加工、安装、调试等方面的操作技能人才。产品的性能和质量有赖于生产第一线技术人员、操作人员的技术素质,各种电子工厂都需要技能型的人才。本书采纳了当前电子行业先进的电子产品工艺等技术,并结合了电子制造业、电路设计与制板、现代电子设备的管理与维修等就业岗位群的实际需要以及专业基本素养要求,编写时力求突出内容的实用性和新颖性,注重新技术和新工艺的介绍。

本书实例丰富、结构合理、内容翔实,根据职业教育的特点,充分考虑技能工作的重要性、主动学习的积极性,以图文并茂的形式,形象、直观地介绍了电子产品装调的基本工艺和操作技能,为了适应国家对职业教育课程改革的要求,本书力在贴近“基于工作过程的课程体系”进行编写。本书的特点有:

- 1) 以电子产品设计知识为依据,以训练综合素质为基础,以提高能力为本位;
- 2) 以社会需求为基本依据,以就业为导向;
- 3) 反映电子领域的新知识、新技术、新材料、新工艺、新方法、新设备;
- 4) 工作过程可以体系立体化。

本书在修订过程中,增加了思考练习题,除对文字内容以不同方式加深理解和增强实践联系外,部分图形、电路的内容也进行了修改、更名,全书仍保留第1版的系统风格、结构。另外本书配套了电子课件及习题解答,凡选购本书30册以上当作教材使用的教师类读者,均可与我们联系索取这些文件,联系的电子信箱是 buptzjh@163.com。

本书由福建水利电力职业技术学院的王雅芳老师编写完成,在资料收集和技术交流方面,得到了许多学校与企业专家们的大力支持,在此表示诚挚感谢。本书主要参考的文献包括韩广兴老师编写的《电子产品装配技术与技能实训教程》、白秉旭老师编写的《新编电子装配工艺项目教程》、陈振源老师编写的《常用电子元器件检测与应用》、王国明老师编写的《常用电子元器件检测与应用》、马全喜老师编写的《电子元器件与电子实习》,以及作者本人以前编写的《电子元器件基础及电子实验实训》。这里专门提前在前言中将这些文献列写出来,表达作者衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有不妥之处,敬请广大读者批评指正。

作 者

Contents 目录

前言

第①章 常用工具设备与材料	1
★1.1 电子产品装配常用工具	1
★1.2 常用的专用设备	5
★1.3 材料选用	8
★1.4 思考练习题	13
第②章 常用电子元器件	14
★2.1 电子元器件的主要参数	14
2.1.1 特性参数	14
2.1.2 规格参数	14
2.1.3 质量参数	16
★2.2 电阻器	16
2.2.1 认识固定电阻器	17
2.2.2 常用固定电阻器	22
★2.3 电容器	29
★2.4 电感器和变压器	36
★2.5 半导体器件	41
★2.6 集成电路	48
★2.7 开关件和接插件	55
★2.8 电声器件	58
★2.9 表面安装元器件	61
★2.10 光电器件	63
★2.11 常用传感器件	64
★2.12 思考练习题	67
第③章 电子元器件装配前的准备	68
★3.1 识图	68
3.1.1 电路原理图	68
3.1.2 逻辑电路图	70
3.1.3 电路框图	71
3.1.4 电路接线图	71
3.1.5 产品工程图	72

3.1.6 整机装配图	73
3.1.7 机壳底板图和设备面板图	74
★3.2 导线的加工	75
3.2.1 剪裁	75
3.2.2 剥头	75
3.2.3 捻头	76
3.2.4 搪锡	76
3.2.5 清洗	76
3.2.6 印标记	76
3.2.7 屏蔽导线或同轴电缆的加工	77
3.2.8 线束的加工	78
★3.3 元器件引线的成形加工	79
3.3.1 元器件引线的加工	80
3.3.2 元器件引线成形的方法	81
3.3.3 连续结的捆扎	82
★3.4 思考练习题	83
第④章 电子元器件的焊接工艺	84
★4.1 焊接的基本知识	84
4.1.1 焊接物理过程	84
4.1.2 元器件的焊接性	84
★4.2 手工焊接工具	85
★4.3 焊接材料	88
4.3.1 锡铅合金焊料	88
4.3.2 助焊剂	89
4.3.3 阻焊剂	90
★4.4 手工焊接技术及工艺要求	91
4.4.1 手工电烙铁焊接技能	91
4.4.2 印制电路板的焊接	94
4.4.3 焊点的质量分析	98
★4.5 拆焊	100
★4.6 表面安装技术	101
4.6.1 表面安装技术的一般过程	101
4.6.2 工业自动焊接技术	102
★4.7 其他连接方式	104

★4.8	思考练习题	106	★7.2	电子产品的调试方法	135
			7.2.1	观察法	136
			7.2.2	测量电阻法	136
			7.2.3	测量电压法	136
			7.2.4	替代法	137
			7.2.5	比较（短接）法	137
			7.2.6	信号注入（波形观察）法	137
			7.2.7	TTL 集成电路使用	
				应注意的问题	138
			★7.3	调试的安全措施	139
			7.3.1	调试的安全	139
			7.3.2	测试仪表和方法	141
			★7.4	整机调试过程中的故障查找	
				及处理	144
			7.4.1	故障	144
			7.4.2	故障处理	145
			7.4.3	常用的故障查找方法	145
			★7.5	实际电子产品的调试实例	146
			7.5.1	基板调试	146
			7.5.2	整体调试	149
			★7.6	思考练习题	150
第⑧章 电子产品的检验工艺..... 151					
			★8.1	仪器、仪表的使用方法	151
			8.1.1	万用表	151
			8.1.2	双踪示波器	155
			8.1.3	电子毫伏表	158
			★8.2	电子元器件的测量方法	158
			8.2.1	电阻器的检测方法	158
			8.2.2	电容器的检测方法	160
			8.2.3	电感器的检测方法	161
			8.2.4	变压器的检测方法	162
			8.2.5	二极管的简易测试方法	162
			8.2.6	晶体管的检测方法	164
			8.2.7	场效应晶体管的检测方法	164
			8.2.8	晶闸管的检测方法	166
			8.2.9	传感器件的检测方法	167
			★8.3	整机检验	168
			8.3.1	检验的概念与依据	168
			8.3.2	检验的分类	168
			★8.4	思考练习题	169
第⑨章 技能综合实训..... 170					
			★9.1	基础训练	170
★4.8 思考练习题 106					
第⑤章 印制电路板的设计与制作 107					
★5.1 覆铜板的种类和特点 107					
5.1.1 印制电路板的种类 107					
5.1.2 印制电路板的特点 108					
★5.2 印制电路板的设计 108					
5.2.1 印制电路板设计的要求 109					
5.2.2 印制电路板的设计步骤与方法 ... 109					
5.2.3 印制电路板的布局 111					
5.2.4 印制电路板图的计算机辅助					
设计（CAD） 115					
5.2.5 工业印制电路板的设计 116					
★5.3 印制电路板的制作及检验 117					
5.3.1 手工自制电路板 117					
5.3.2 工业制板 119					
5.3.3 印制电路板质量检测 123					
★5.4 思考练习题 123					
第⑥章 电子产品的安装工艺..... 124					
★6.1 安装工艺的要求 124					
★6.2 电子产品安装工具的使用 126					
6.2.1 紧固安装 126					
6.2.2 电子产品的其他安装方法 127					
6.2.3 电子产品的整机安装 128					
★6.3 电子产品的整机结构形式与设计 ... 129					
6.3.1 结构形式 129					
6.3.2 结构设计要求 129					
6.3.3 抗干扰措施 129					
★6.4 电子产品的装配工艺流程 130					
6.4.1 总装的内容 130					
6.4.2 总装的顺序和要求 130					
6.4.3 装配的分级 131					
6.4.4 装配的工艺流程 131					
6.4.5 生产流水线 131					
★6.5 总装的质量检查 132					
6.5.1 外观检查 132					
6.5.2 安全性检查 132					
★6.6 思考练习题 132					
第⑦章 电子产品的调试工艺..... 133					
★7.1 调试的目的、内容和步骤..... 133					
7.1.1 调试概述 133					
7.1.2 调试的准备工作和流程 134					

9.1.1	RLC 的识别与检测	170	9.2.6	光控电子开关的设计制作	190
9.1.2	二极管和晶体管的识别与检测 ...	171	9.2.7	触摸式台灯电路的设计制作	192
9.1.3	集成电路、桥堆、晶闸管等 的识别与检测	173	9.2.8	气体烟雾报警器的设计制作	193
9.1.4	开关、接插件、电声器件等 元器件的检测	173	9.2.9	水位检测电路的设计制作	195
9.1.5	电线电缆的端头处理与加工	174	9.2.10	传感器元件电路的设计制作	195
9.1.6	传感器的识别与检测	175	9.2.11	数字显示频率计电路的 设计制作	197
9.1.7	手工自制简易印制电路板	177	9.2.12	指针式万用表的安装调试	199
9.1.8	手工焊接训练	178	9.2.13	数字万用表的装调实训	200
9.1.9	电烙铁拆焊训练	179	9.2.14	集成时基电路 555 的设计 应用实训	203
9.1.10	表面安装元器件的焊接和 拆焊综合训练	180	9.2.15	交通信号控制系统的 装调实训	204
★9.2	课题实训	182	9.2.16	集成功率放大电路的 装调实训	207
9.2.1	晶体管电源的设计制作	182	9.2.17	调频对讲机的测试实训	209
9.2.2	停电报警器的设计制作	183	9.2.18	收音机的安装与调试实训	211
9.2.3	简易直流充电电源的设计制作 ...	184	9.2.19	数字实时时钟的装调实训	221
9.2.4	充电器和稳压电源两用 电路的装调实训	186			
9.2.5	定时开关电路的设计制作	189	附录	考试卷	223

第①章 常用工具设备与材料

在装配电子整机产品时，经常要用到各种工具，掌握常用工具的特点、使用方法及基本操作技能，才能顺利地各种电子电气设备及家用电器产品的装配和维修。电子产品常用的工具可划分为板件加工、安装焊接和检测调试三大类：板件加工类工具主要有锥子、钢板尺、刻刀、螺钉旋具、钢丝钳、手钢锯、小钢锉、锤子、手电钻等，安装焊接类工具主要有镊子、铅笔刀、剪刀、尖嘴钳、偏口钳、剥线钳、热熔胶枪、电烙铁等，检测调试类工具主要有测电笔、万用表、检验台等。

★1.1 电子产品装配常用工具

常用工具是指既可用于电子产品装配，又可用于其他机械装配的通用工具，如钳口工具、螺钉旋具（俗称螺丝刀）、镊子等。

钳口工具的种类很多，按用途分为尖嘴钳、斜口钳、钢丝钳、剥线钳等，其绝缘柄耐压应为1000V以上。国标规定工具尺寸规格一般用其长度毫米描述，通俗用英寸描述，钳子使用最多的是5英寸（127mm）。

1. 钳口工具

(1) 尖嘴钳

尖嘴钳如图 1-1 所示。主要用来夹小螺钉帽，绞合硬钢线，其尖口作剪断导线之用。也用在焊点上网绕导线和元器件引线，或用于布线，以及元器件引线成形、布线等。尖嘴钳一般都带有塑料套柄，使用方便，且能绝缘。

注意：不允许用尖嘴钳装拆螺母，不允许使用尖嘴钳敲击他物。严禁使用塑料柄破损、开裂的尖嘴钳在非安全电压下操作。

(2) 钢丝钳（平口钳）

钢丝钳如图 1-2 所示。它主要用于拉直裸导线，将较粗的导线及较粗的元器件引线成形。钢丝钳铡口主要用于夹持和拧断金属薄板及金属丝等，有铁柄和绝缘柄两种。带绝缘柄的钢丝钳可在带电的场合使用，工作电压一般在 500V，有的则可耐压 5000V。常用规格有 150mm、175mm 和 200mm 几种。

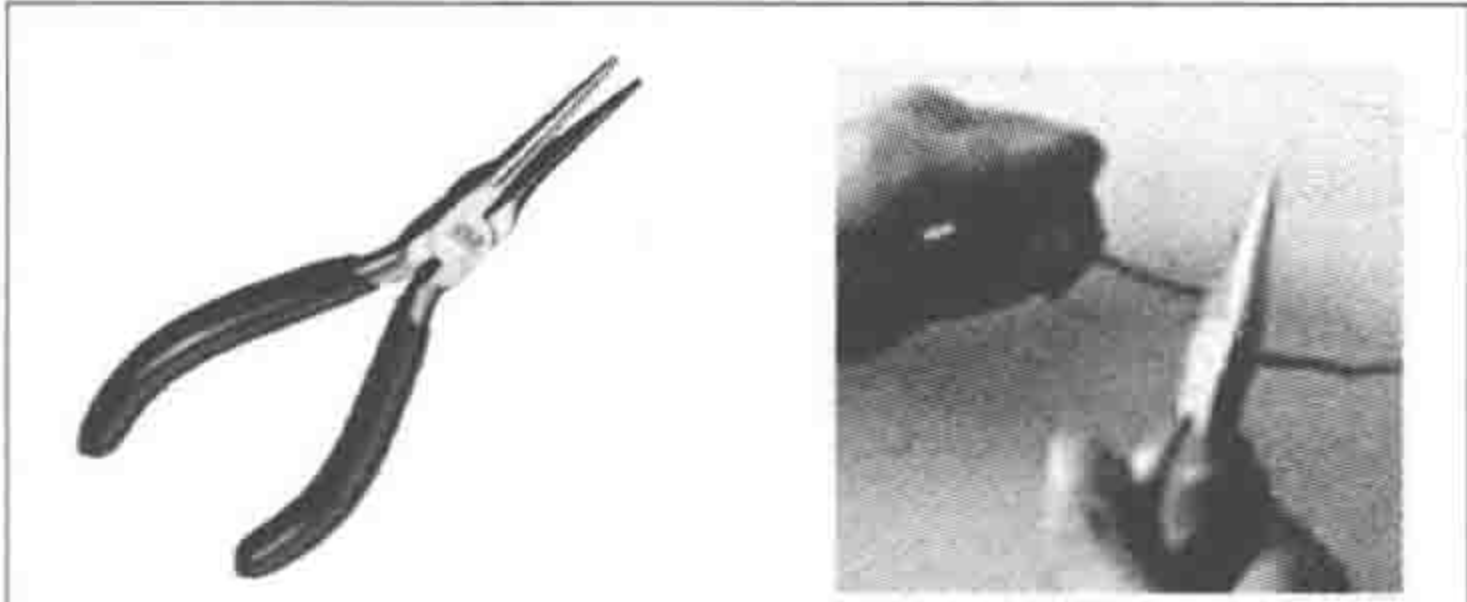


图 1-1 尖嘴钳

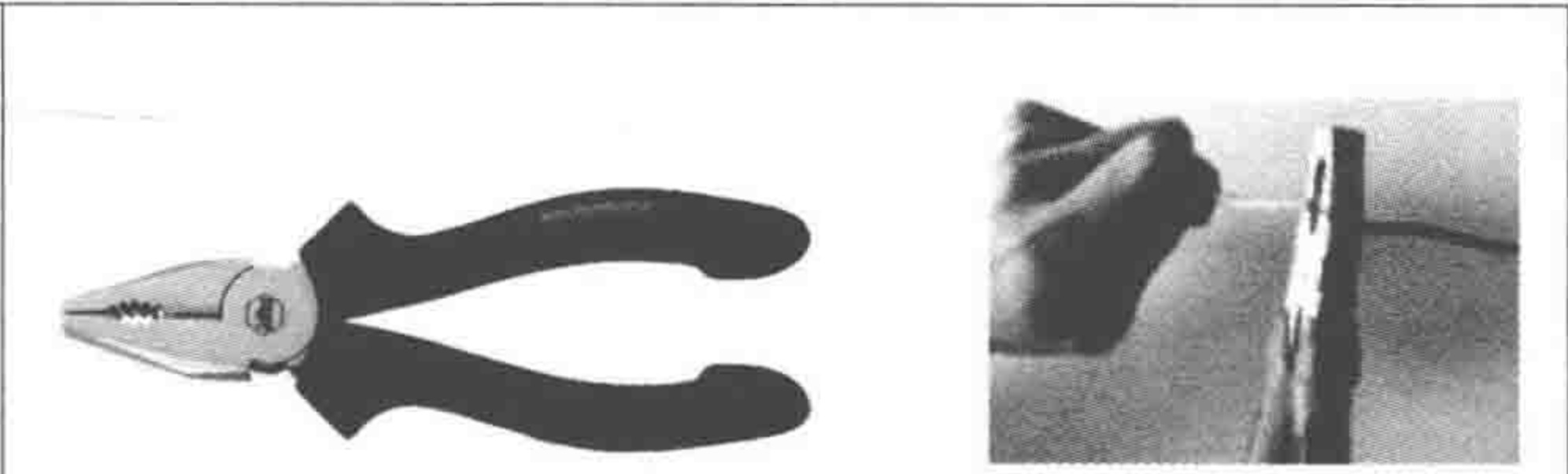


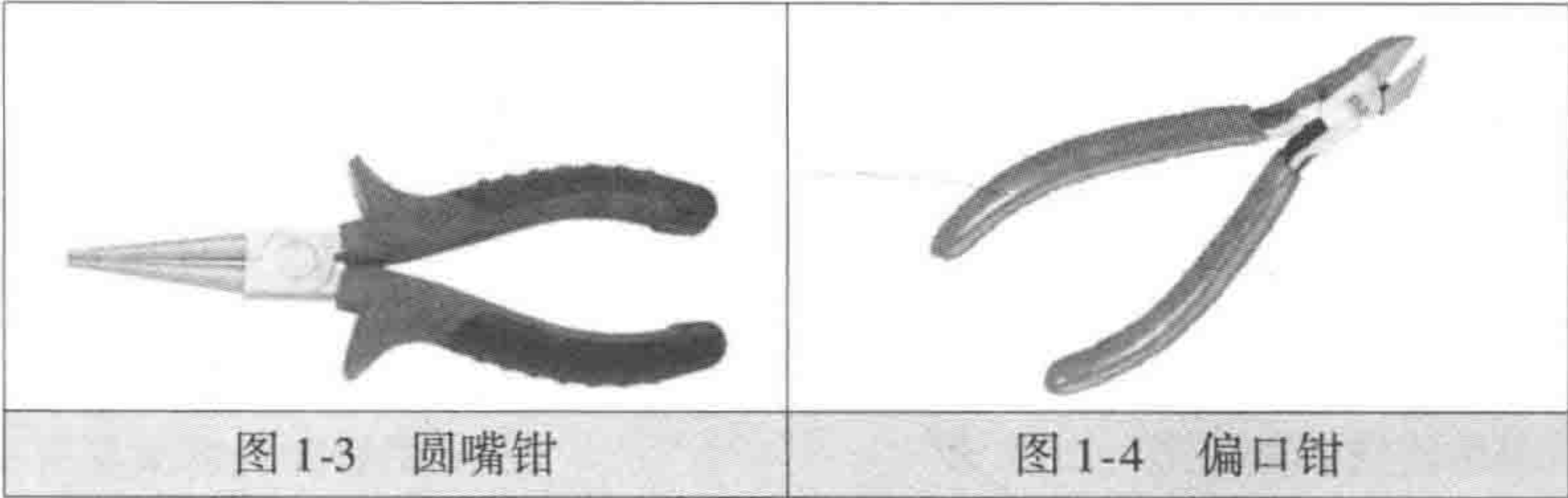
图 1-2 钢丝钳

(3) 圆嘴钳

圆嘴钳如图 1-3 所示。由于钳子口呈圆锥形，可以方便地将导线端头、元器件的引线弯绕成圆环形，安装在螺钉及其他部位上。

(4) 偏口钳

偏口钳又称斜口钳，如图 1-4 所示。它主要用于剪切细导线、元器件引脚或修剪焊接后多余的线头。尤其适用于剪掉焊接点上网绕导线后多余的线头及印制电路板安放插件的过长的引线，还常用来代替一般剪刀剪切绝缘套管、尼龙扎线卡等。剪线时，要使钳头朝下，在不变动方向时可用另一只手遮挡，防止剪下的线头飞出伤眼。

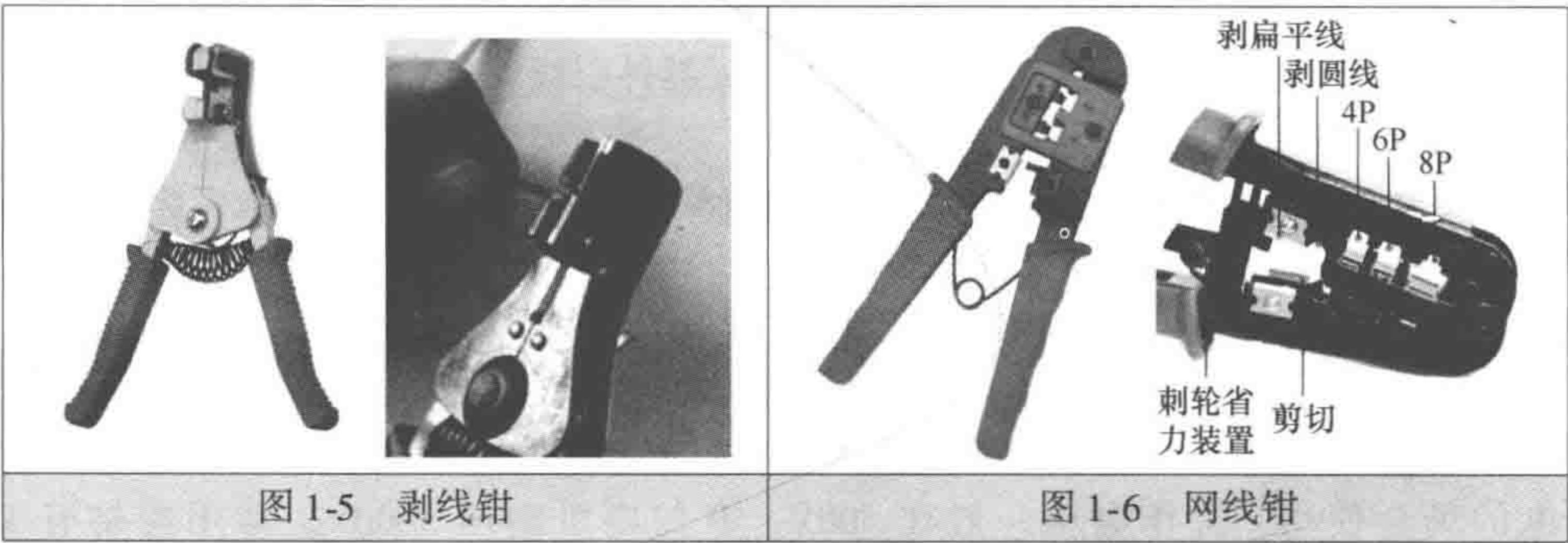


(5) 剥线钳

剥线钳是用来剥削直径 3mm 及以下绝缘导线的塑料或橡胶绝缘层等线材的端头表面绝缘层的专用工具，其外形如图 1-5 所示。它由钳口和手柄两部分组成。剥线钳钳口分有 0.5 ~ 3mm 的多个直径切口，用于不同规格线芯线直径相匹配，切口过大难以剥离绝缘层，切口过小会切断芯线。剥线钳也装有绝缘套。切勿使刀口剪伤内部的金属芯线，常用规格有 140mm、180mm 两种。

(6) 网线钳

网线钳是用来卡住 BNC 连接器外套与基座的，它有一个用于压线的六角缺口，如图 1-6 所示。一般这种压线钳也同时具有剥线、剪线功能。它可以用来加工网线和电话线，主要用来给网线或者电话线加装水晶头。



2. 紧固工具

紧固工具包括螺钉旋具、热熔胶枪、风剪、螺母旋具、扳手、手锤、镊子等。

螺钉旋具（俗称螺丝刀）是用来紧固或拆卸螺钉的工具，它的种类很多，按头部形状的不同，分为一字形和十字形两种，又分为手动、自动、电动和风动等形式。主要用于拧动螺钉及调整可调元件的可调部分。螺钉旋具俗称改锥、起子。电工用螺钉旋具有 100mm、150mm 和 300mm 几种。十字形螺钉旋具按照其头部旋动螺钉规格的不同分为 I、II、III、IV 几个型号，分别用于旋动 2 ~ 2.5mm、3 ~ 5mm、6 ~ 8mm、10 ~ 12mm 的螺钉。

(1) 一字形螺钉旋具

一字形螺钉旋具如图 1-7 所示。

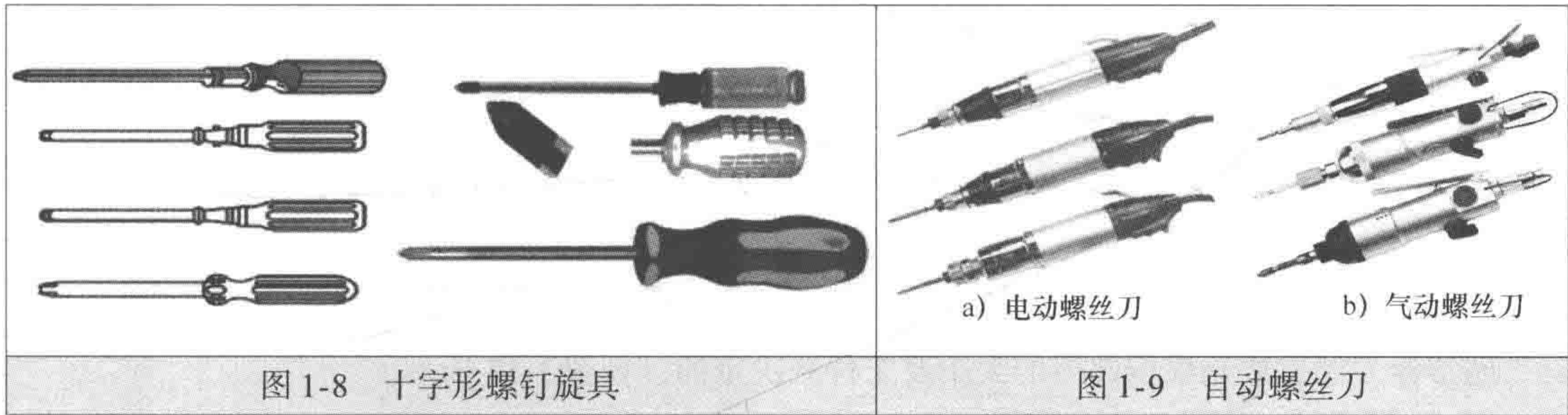
(2) 十字形螺钉旋具

十字形螺钉旋具如图 1-8 所示。



(3) 自动螺丝刀

自动螺丝刀有电动螺丝刀（电动改锥）和气动螺丝刀（气动改锥）两大类，适合在批量大、要求装配一致性好的流水线生产中使用。自动螺丝刀可以根据生产岗位旋转螺钉的规格，安装对应的螺丝刀头，如图 1-9 所示。



(4) 机动螺丝刀

机动螺丝刀如图 1-10 所示。手持带自动的方式可以方便携带操作。

(5) 螺母旋具

螺母旋具适用于装拆外六角螺母或螺钉，比使用扳手效率高、省力，不易损坏螺母或螺钉，如图 1-11 所示。

(6) 热熔胶枪

热熔胶枪装上白色胶条，通电加热后会使胶料熔化，轻按扳机即能挤出热熔胶，广泛用于电子元器件的固定及塑料导线的固定，如图 1-12 所示。



(7) 风剪

风剪如图 1-13 所示。印制电路板装配焊接以后，元器件的引线数量较多需要剪断时，使用风剪可以大大提高工作效率，减轻劳动强度。

(8) 扳手

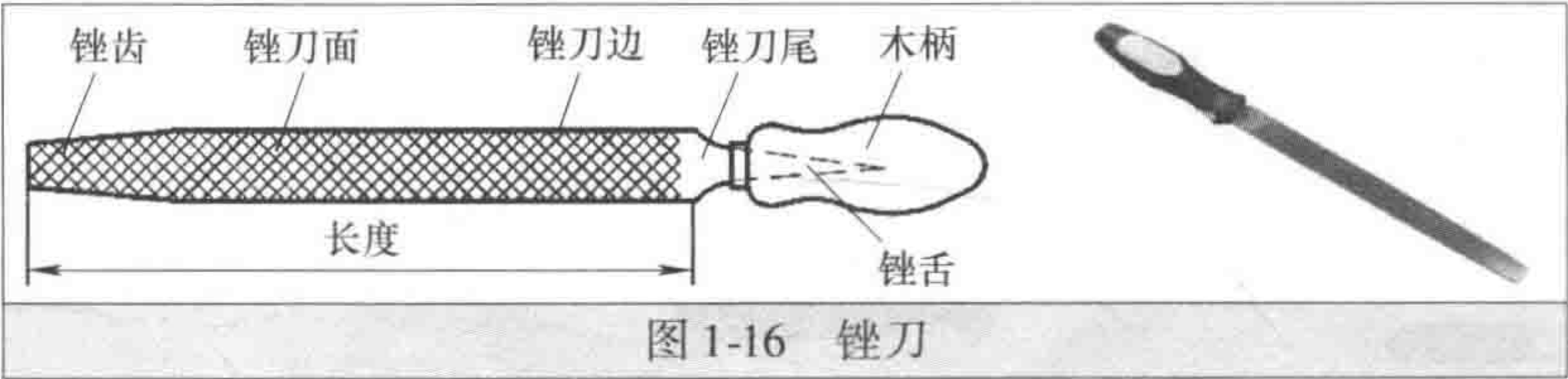
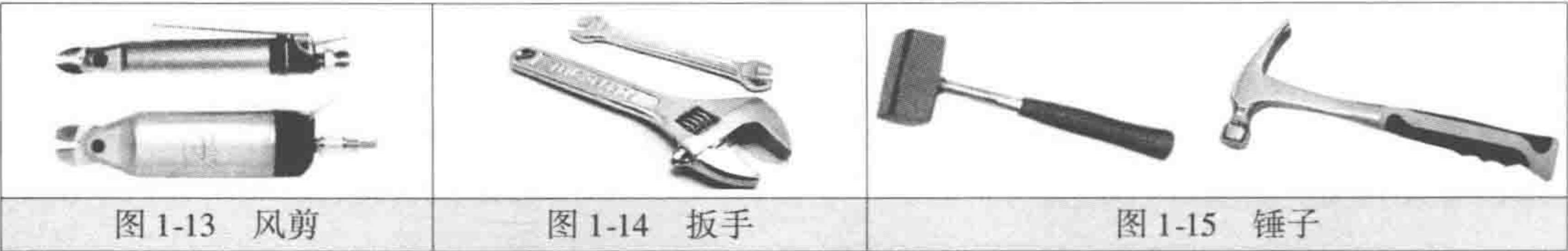
扳手有呆扳手、套筒扳手、活扳手三类，是紧固或拆卸螺栓、螺母的常用工具，如图 1-14 所示。

(9) 锤子

锤子俗称榔头，是用于凿削和装拆机械零件等操作的辅助工具。使用锤子时，用力要适当，要特别注意安全，如图 1-15 所示。

(10) 锉刀

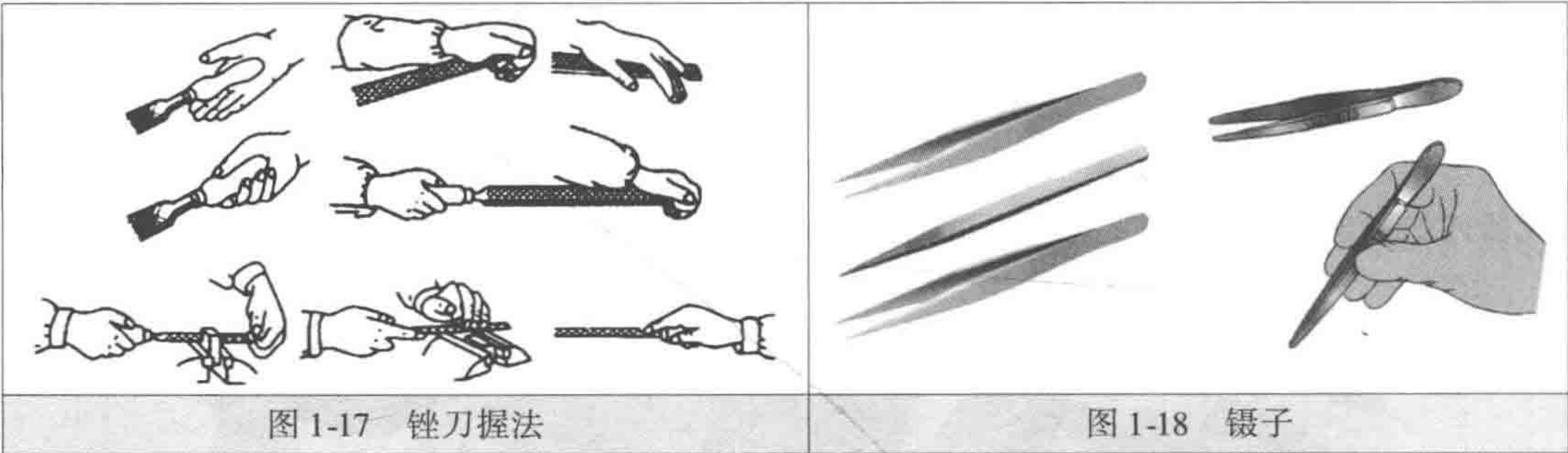
如图 1-16 所示，钳工锉刀由于加工面形状不同，要选用不同截面形状的锉刀。异形锉用于加工零件的特殊表面，很少应用。



通常锉刀的握法是根据锉刀的大小及工件来决定的，如图 1-17 所示。

(11) 镊子

在电子产品制作和修理过程中，常用镊子夹取微小的器件。尤其是在修理仪表的表头和收音机中周变压器等一些精细的物件时，更离不开镊子。在焊接时可用镊子夹持导线和元器件使它们固定不动，夹住元器件的引脚还能帮助散热，如图 1-18 所示。



在焊接小零件时，用手扶拿会烫手，既不方便，有时还容易引起短路。一般使用的镊子有两种：一种是用铝合金制成的尖头镊子，它不易磁化，可用来夹持怕磁化的小元器件；另一种是不锈钢制成的平头镊子，它的硬度较大，除了可用来夹持元器件引脚外，还可以帮助加工元器件引脚，做简单的成形工作。

(12) 小型螺钉旋具

小型螺钉旋具（起子）主要用于小型或微型螺钉的装拆，有时也用于小型可调元器件的调整，如图 1-19 所示。



3. 绕接工具

(1) 绕接器

绕接是用绕接器，将一定长度的单股芯线高速地绕到带棱角的接线柱上，形成牢固的电气连接。绕接器是无锡焊接中进行绕接操作的专用工具。目前常用的绕接器有手动及电动两种，如图 1-20 所示。绕接通常用于接线柱和导线的连接。

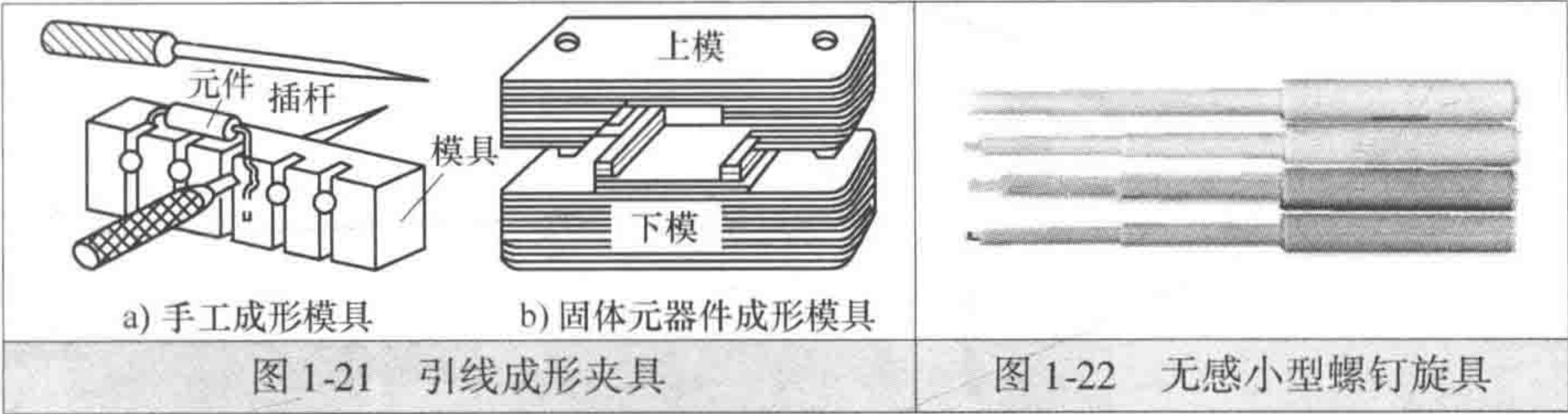


(2) 元器件引线成形夹具

元器件引线成形夹具是用于不同元器件的引线成形的专用夹具，如图 1-21 所示。

(3) 无感小型螺钉旋具

无感小型螺钉旋具是用非磁性材料（如有机玻璃或胶木等非金属材料）制成的、用于调整高频谐振回路电感与电容的专用旋具，如图 1-22 所示。



★1.2 常用的专用设备

专门为整机装配加工而生产制造的设备统称为电子整机装配专用设备。

常用的电子整机装配专用设备包括波峰焊接机、超声波清洗机、回流焊机、自动插件机、引线自动成形机、切脚机、自动切剥机、显影设备等，使用这些专用设备，既可提高生产效率、保证成品的一致性，又可减轻劳动强度。

1. 波峰焊接机

波峰焊接机是利用焊料波峰接触被焊件，形成浸润焊点、完成焊接过程的焊接设备。波峰焊接机适用于印制电路板的焊接，如图 1-23 所示。

2. 超声波清洗机

超声波清洗机是用于清洗残留污物的清洗设备，主要适用于一般方法难于清洗干净及形状复杂、清洗不便的元器件清除油类等污物，如图 1-24 所示。

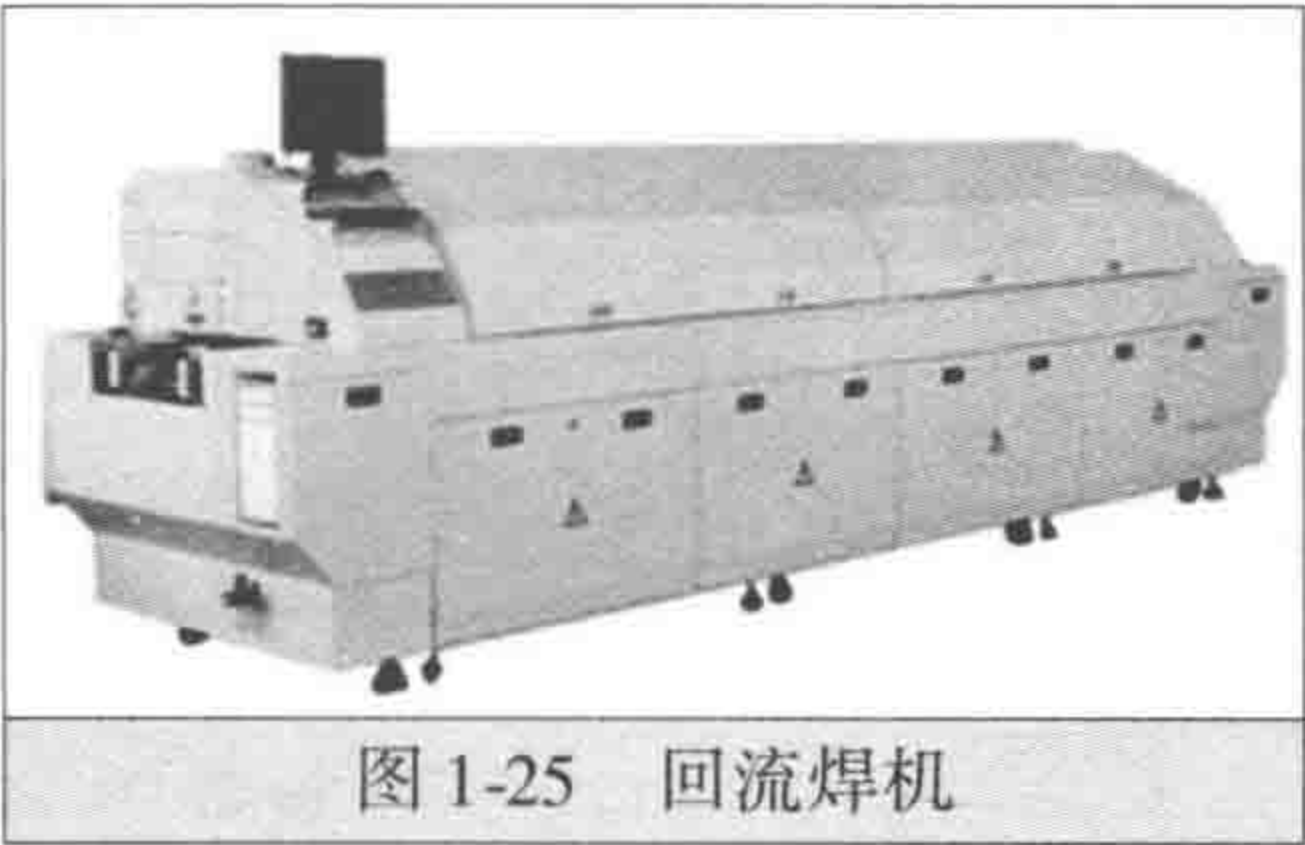


3. 回流焊机

回流焊机主要由炉体、上下加热源、PCB 传送装置、空气循环装置、冷却装置、排风装置、温度控制装置以及计算机控制系统组成，如图 1-25 所示。回流焊的核心环节是将预敷的焊料熔融、再流、浸润。

4. 自动插件机

插件机是指各类能在电子整机印制电路板上自动、正



确装插元器件的专用设备。自动插件技术（Auto-Insert Technology）是通孔安装技术（Through-hole Technology）的一部分，是运用自动插件设备将电子元器件插装在印制电路板的导电通孔内。自动插件机是完成此项工作的主要设备，如图 1-26 所示。

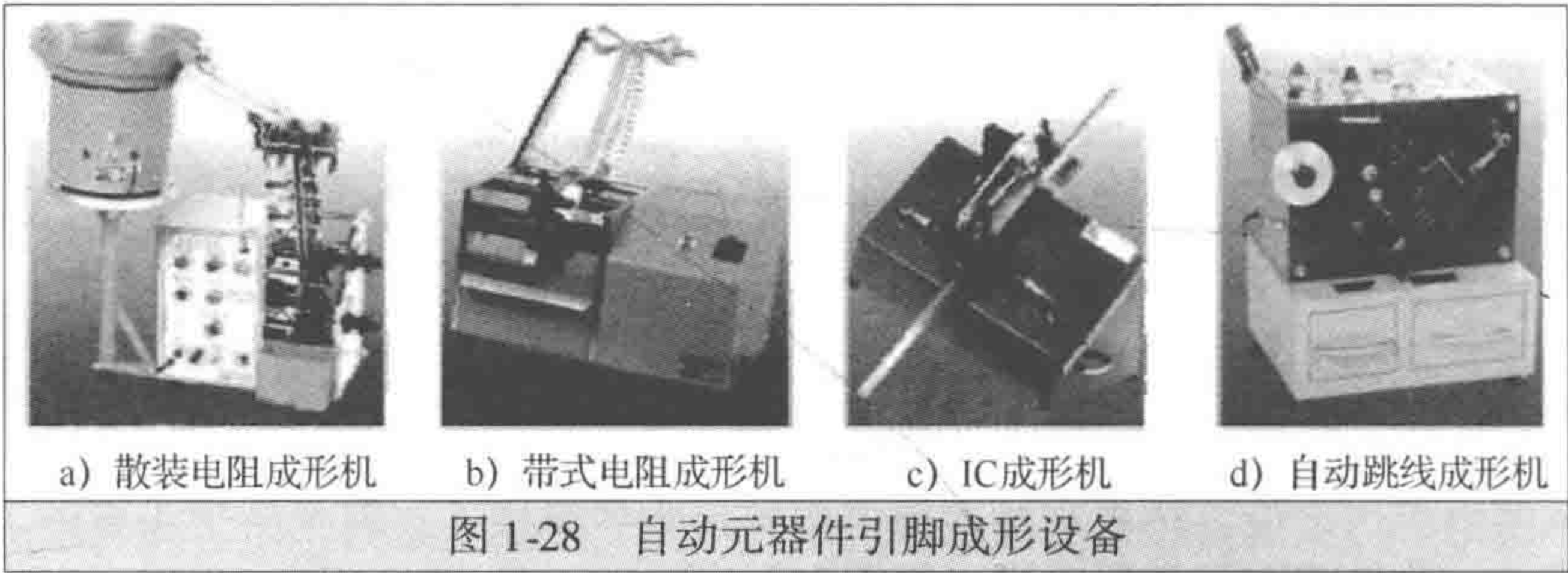
5. 自动切脚机

自动切脚机用于切除电路板上的元器件多余引脚，如图 1-27 所示。



6. 自动元器件引脚成形设备

自动元器件引脚成形设备是一种能将元器件的引线按规定要求自动快速地弯成一定形状的专用设备，如图 1-28 所示。



7. 自动 SMT 设备

自动 SMT 设备是在电路板上安装 SMT 元器件的设备的总称，如图 1-29 所示。

8. 在线测试仪

在线测试仪是对已装配完成的电路板进行电气功能和性能综合、快速测试的智能型设备，如图 1-30 所示。

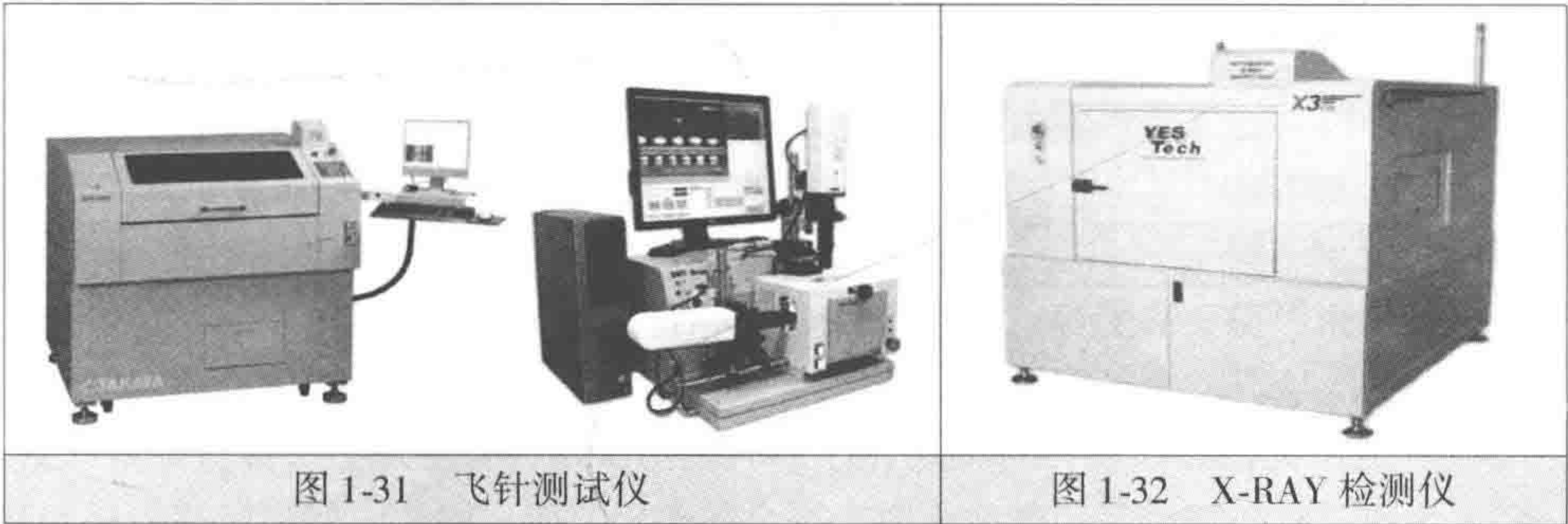


9. 飞针测试仪

飞针测试仪可测试 N-Ti 膜板、碳油板、沉金板、沉锡板等各种 PCB 的质量参数，方便检测人员分析出现问题的原因，加快处理问题速度，如图 1-31 所示，包括针插式和 SMT。

10. X-RAY 检测仪

X-RAY 检测仪用于检测电子零件内部缺陷及 BGA、CSP Short 最优化检测，配合可编程序工作台可以实现自动检测，如图 1-32 所示。



11. 显影设备

显影设备如图 1-33 所示。显影步骤包括在覆铜板和引脚焊盘等动作，在板上制作过程中使用。多次重复使用，并不影响功能。

12. 小型手工 SMT 设备

小型手工 SMT 设备是完成表面贴装过程的设备，如图 1-34 所示。通常小型手工 SMT 设备至少可完成包括裁板后的丝网印刷、焊膏分配、焊锡处理（如真空吸笔）、台式回流焊、热风焊接、检测等几个步骤。



13. 小型 PCB（电路板）快速加工系统

小型 PCB 快速加工系统是针对开发样机及电子制作等少量印制电路板的快速加工而用的，如图 1-35 所示。

首先通过计算机软件制作出覆铜板上电路层，黑白激光打印机打印图层到转印纸上，裁好板形的覆铜板用转印图覆盖住，运行热转印机，把打印出来的腐蚀图转印到覆铜板上。快速通过腐蚀，留下显示线路的覆铜板，清洗后手动或自动钻孔即完成制作。



★1.3 材料选用

电子整机产品是由不同的电子元器件和各种相应的材料组合而成的。

电子产品中的基本材料是指：整机产品中除元器件、零部件等以外的常用的绝缘材料、电线、电缆、塑料、漆料、胶黏剂等。了解这些材料的种类、性能和特点，掌握正确选用的方法，这对于优化生产工艺、保证产品质量是至关重要的。

1. 导电材料

导电材料主要是金属材料，又称导电金属。用作导电材料的金属除应具有高导电性外，还应有足够的机械强度，不易氧化，不易腐蚀，容易加工和焊接。

导电材料按用途一般可分为高电导材料、高电阻材料和导线材料。

(1) 高电导材料

高电导材料是指某些具有低电阻率的导电金属。常见金属的导电能力顺序为银、铜、金、铝。由于金银价格高，仅在一些特殊场合使用。电子工业中常用的高电导材料为铜、铝及它们的合金。

1) 铜 (Cu) 及合金。纯铜呈紫红色，故又称紫铜。它有良好的导电性和导热性，不易氧化和腐蚀，机械强度较高，有良好的延展性和可塑性，易于机械加工，便于焊接。

铜有很好的耐腐蚀性，在室温、干燥的条件下，几乎不氧化。但在潮湿空气中，铜会产生铜绿；在腐蚀气体中会受腐蚀。

纯铜的硬度不够高，耐磨性不好，所以对于某些特殊用途的导电材料，需要在铜的成分中适当加入其他元素构成铜合金。

2) 铝 (Al) 及其合金。铝是一种白色的轻金属，具有良好的导电性和导热性，易进行机械加工，其导电能力仅次于铜，但密度小于铜。其化学性质活泼，在常温下的空气中表面很快氧化生成一层极薄的氧化膜，这层氧化膜能阻止铝的进一步氧化，起到一定的保护作用。其缺点是，熔点很高、不易还原、不易焊接，并且机械强度低。所以，在纯铝中加入硅、镁等杂质构成铝合金以提高其机械强度。

铝合金的机械强度比铝高，有足够的可塑性和耐腐蚀性。

铝硅合金又称硅铝明，流动性好，收缩率小，耐腐蚀，易焊接，可代替细金丝用于连接线。

3) 金 (Au) 及其合金。金具有良好的导电性和导热性，在空气中不氧化，抗硫化性也好，

但价格高，主要用作金属接点的电镀材料。金的硬度较低，常用的是加入各种硬化元素的金基合金。

金基合金具有良好的抗有机污染的能力，常用于要求较高的电接触元器件中做弱电流小功率接点。其中金镍合金的硬度和耐磨性均高于纯金，常用在要求使用寿命长、小负载、小接触压力的接点，如各种继电器、波段开关等。

4) 银（Ag）及其合金。银的导电性和导热性很好，易于加工成形，其氧化膜也能导电，并能抵抗有机物污染。与其他贵重金属相比，银的价格比较便宜。但其耐磨性差，容易硫化，其硫化物不易导电，也不易清除。为此，常采用银铜、银镁镍等合金。

银合金比银具有良好的机械性能，银铅锌、银铜的导电性能与银相近，而强度、硬度和抗硫化性均有所提高。

5) 铂族金属及其合金。铂不会氧化，也不易形成高阻薄膜，接触电阻低而且稳定，耐磨性能良好，但纯铂的硬度不高，价格昂贵。铂基合金耐磨性好、硬度高、使用寿命长，常用的是铂铱合金。与铂基合金相近的材料有钯银、钯铜、钯铱合金等。

6) 层状复合材料。层状复合材料是由两种以上的金属材料所形成的面结合材料。层状复合材料的基体材料采用钢铁、黄铜、镍等价廉的金属，而表面的电接触材料则选用金、银、铂、钯及其合金，这样既有利于节约贵金属，又可满足不同的技术要求，提高产品的可靠性和稳定性。在开关、连接器、电刷等弱电接触元器件中广泛采用。

(2) 高电阻材料

高电阻材料是指某些具有高电阻率的导电金属。常用的高电阻材料大都是铜、镍、铬、铁等合金。

1) 锰铜。锰铜是铜、镍、锰的合金，具有特殊的褐红色光泽，电阻率低，主要用于电桥、电位差计、标准电阻及分流器、分压器。

2) 康铜。康铜是铜、镍合金，其机械强度高，抗氧化和耐腐蚀性好，工作温度较高。康铜丝在空气中加热氧化，能在其表面形成一层附着力很强的氧化膜绝缘层。康铜主要用于电流、电压调节装置。

3) 镍铬合金。镍铬合金是一种电阻率大的合金，具有良好的耐高温性能，常用来制造线绕电阻器、电阻式加热器及电炉丝。

4) 铁铬铝合金。铁铬铝合金是以铁为主要成分，加入少量的铬和铝来提高材料的电阻率和耐热性。其脆性较大，不易拉成细丝，但价格低，常制成带状或直径较大的电阻丝。

(3) 导线

导线是能够导电的金属线，是电能和电磁信号的传输载体。在电子工业中，常用的连接导线有电线和电缆两大类，它们又可分为裸线、电磁线、绝缘电线电缆、通信电缆等，如图 1-36 所示。导线一般由导体芯线和绝缘体外皮组成。导体材料主要有铜线和铝线，纯铜线的表面很容易氧化，一般导线是在铜线表面镀耐氧化金属。镀锡能提高可焊性，高频导线镀银能提高电性能，镀镍能提高耐热性能。

1) 导线选用。导线的粗细标准，

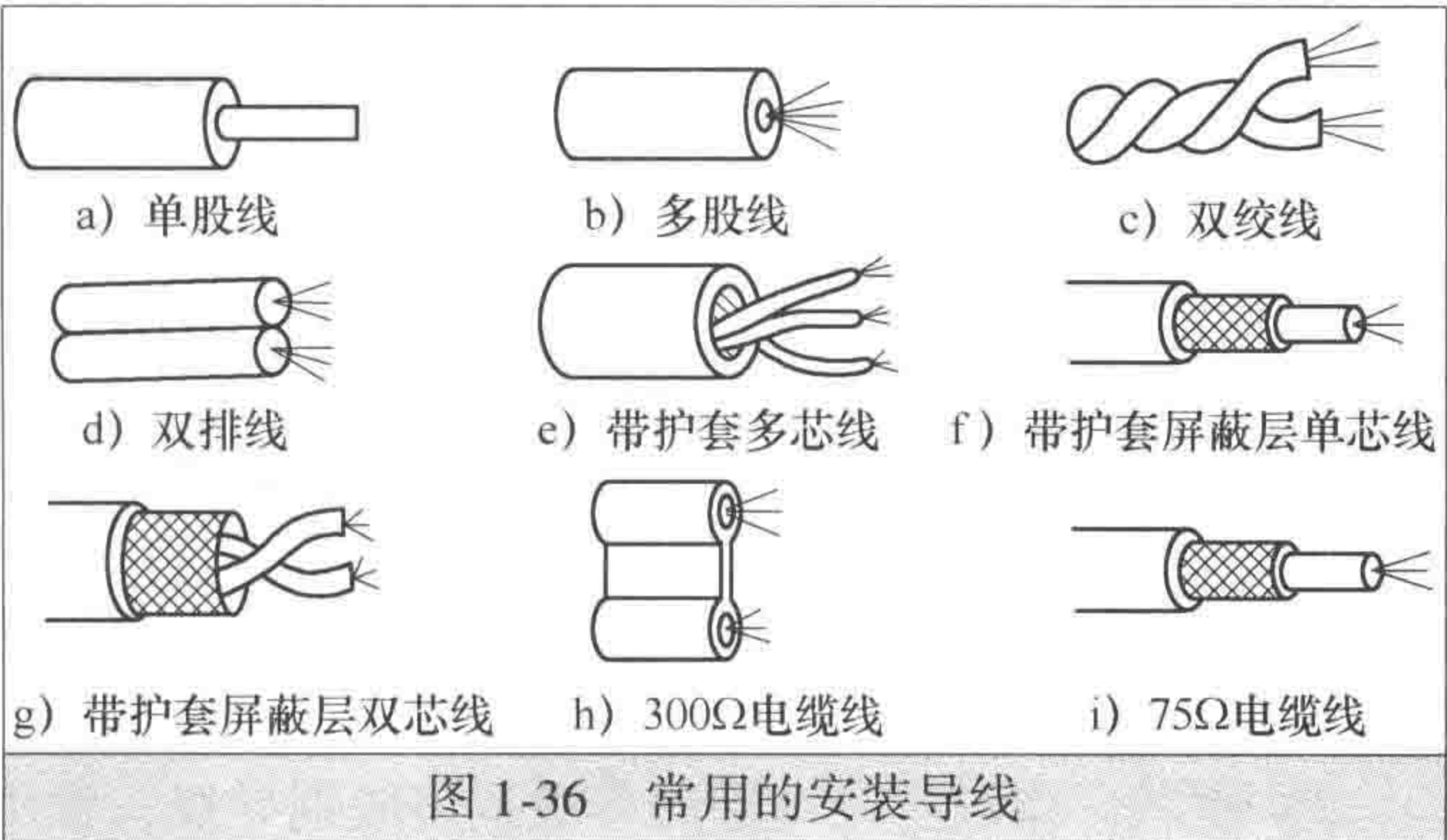


图 1-36 常用的安装导线

有线号和线径两种表示方法。按导线的粗细排列成一定号码，线号越大，其线径越小。英、美等国家采用线号制；中国采用线径制，用导线直径的毫米（mm）数表示线规。安装导线有各单色和基色底上带花纹两种。习惯的导线常见颜色分配见表 1-1。

表 1-1 导线常见连接颜色分配

电 路 类 型		导 线 颜 色
三相交流电路	A 相	红色
	B 相	绿色
	C 相	蓝色
	零线或中性线	淡蓝
	安全接地	绿底黄纹
一般交流电路		①白②灰
接地线路		①绿②绿底黄纹
直流电路	+	①红②棕
	地	①黑②紫
	-	①青②白底青纹
晶体管电路	B	①黄②橙
	C	①青②绿
	E	①红②棕
	阳极	红色
	阴极	绿色
声音电路	左声道	①白②灰
	右声道	①红②橙
指示灯电路		青色

导线选用分为电路条件、环境条件、机械强度几个方向。

电路条件：导线标志的试验电压是表示导线加电 1min 不发生放电现象的耐压特性。实际使用中，工作电压应该大约为试验电压的 1/3 ~ 1/5。

- ① 允许电流。指常温下工作的电流值，导线在电路中工作时的电流要小于允许电流。
- ② 导线电阻的电压降。在导线很长时，要考虑导线电阻对电压的影响。
- ③ 额定电压与绝缘性。使用时，电路的最大电压应低于额定电压，以保证绝缘性能和使用安全。
- ④ 频率特性。对不同的频率选用不同线材，要考虑高频信号的趋肤效应。
- ⑤ 特性阻抗。在射频电路中还应考虑导线的特性阻抗，保证电路的阻抗匹配，以防止信号的反射波。

环境条件：

- ① 温度。由于环境温度的影响，会使导线的绝缘层变软或变硬，以致变形、开裂，造成短路。
- ② 湿度。环境潮湿会使导线的芯线氧化，绝缘层老化。
- ③ 气候。恶劣的气候会加速导线的老化。
- ④ 化学药品。许多化学药品都会造成导线腐蚀和氧化。选用线材应能适应环境的温度、湿度及气候的要求。一般情况下导线不要与化学药品及日光直接接触。

机械强度：所选择的导线应具备良好的拉伸强度、耐磨损性和柔软性，质量要轻，以适应环境的机械振动等条件。

2) 裸线。指没有绝缘层的单股或多股铜导线，常用有单股或多股铜线、镀锡铜线、电阻合