

# 电子元器件 手工焊接技术

王春霞 朱延枫 编著

DIANZI YUANQIJIAN SHOUGONG HANJIE JISHU



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

013032785

TN605  
20

# 电子元器件手工焊接技术

王春霞 朱延枫 编著



机械工业出版社

TN605  
20



北航

C1640830

013032782

本书从最基本的焊接知识、焊机机理及焊接材料开始,介绍了电子产品手工焊接工具、拆焊工具及相关设备,详细介绍了焊接技术与焊接工艺,以及导线、端子、印制电路板的焊接、拆焊方法,焊接质量检验及缺陷分析,常用的仪器仪表,常用电子元器件,并以焊接收音机为例详细介绍了焊接过程。本书还简单介绍了工业生产中电子元器件的焊接工艺、无铅钎料、焊接技术。

本书是电子爱好者必备的参考资料,同时也可以作为相关专业大中专院校师生实习实训的参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

电子元器件手工焊接技术/王春霞,朱延枫编著. —北京:机械工业出版社, 2013.3

ISBN 978-7-111-41523-7

I. ①电… II. ①王…②朱… III. ①电子元件-焊接②电子器件-焊接 IV. ①TN05

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第031281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:罗莉 责任编辑:罗莉

版式设计:霍永明 责任校对:张晓蓉

封面设计:陈沛 责任印制:张楠

北京京丰印刷厂印刷

2013年4月第1版第1次印刷

184mm×260mm·14.5印张·353千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-41523-7

定价:35.00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

社服务中心:(010) 88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

# 前 言

随着电子行业的迅速发展,焊接技术也得到了迅速的发展,在医疗、通信、航空航天等各种电子领域中广泛应用,焊接质量的好坏直接影响到这些电子产品的质量与性能,尤其是各种精密的设备中。

对于广大电子爱好者以及广大高等院校学生来说,经常会自己设计电路并自己动手焊接印制电路板上的元器件,如果设计出现问题还需要对其进行拆焊等,这都需要用到手工焊接操作。很多情况下设计电路不成功的原因都是焊接质量问题,一个焊点不可靠就会导致整个设计出现问题,需要花费大量时间去检查,既费时又费力,还经常不能查出问题所在,因此必须掌握手工焊接技术,熟练进行手工焊接操作,才能保证焊接质量,在手工制作和维修时才能保证电子产品焊接的可靠性,提高工作效率。

本书从焊接机理及焊接材料最基本的焊接知识开始,介绍了电子产品手工焊接工具、拆焊工具及相关设备,详细介绍了焊接技术与焊接工艺,导线、端子及印制电路板的焊接、拆焊方法,焊接质量检验及缺陷分析,常用的仪器仪表,常用电子元器件,并以焊接收音机电路为例详细介绍了焊接过程。简单介绍了工业生产中电子元器件的焊接工艺,无铅钎料、焊接技术。本书中配有大量插图介绍,使得读者更能容易理解掌握,适合于电子爱好者和初学者及相关专业大中专院校师生阅读和参考。

本书由王春霞拟定编写大纲和编写目录,负责具体安排,并编写第1~4章、第8章、第10章;朱延枫编写第5~7章、第9章、第11章。

本书在写作过程中得到了陈永真老师的指导与帮助,插图的制作得到了李洋洋的帮助,在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中参考了大量的参考资料,学习并借鉴了一些编写的思想,在此向这些作者致以衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在错误与不足,恳请广大读者批评指正,以便今后修订提高。

编 者

# 目 录

前言	2.3.2 放大镜	35
第1章 焊接机理及焊接材料	2.3.3 显微镜	36
1.1 钎焊及其特点	2.4 引线切断打弯工具	36
1.2 焊接机理	2.4.1 剥线钳	36
1.2.1 钎料的润湿作用	2.4.2 尖嘴钳	36
1.2.2 表面张力	2.4.3 斜嘴钳	37
1.2.3 毛细管现象	2.4.4 平嘴钳	37
1.2.4 扩散	2.4.5 螺钉旋具	37
1.2.5 焊接界面结合层	2.4.6 镊子	37
1.3 锡铅钎料介绍	2.5 其他焊接用相关工具	37
1.3.1 软钎料	2.5.1 热熔胶枪	37
1.3.2 硬钎料	2.5.2 焊锡锅	39
1.3.3 钎料的编号	2.5.3 防静电手环	39
1.4 助焊剂	2.5.4 吸烟仪	40
1.4.1 助焊剂的功能	2.5.5 绝缘小板	40
1.4.2 助焊剂的要求	第3章 焊接技术与焊接工艺	41
1.4.3 助焊剂的分类	3.1 焊接预备知识	41
1.4.4 助焊剂的选用	3.1.1 钎焊简介	41
1.5 焊锡膏	3.1.2 钎料的选择	41
1.5.1 焊锡膏的组成	3.1.3 电烙铁及烙铁头的选择	41
1.5.2 焊锡膏使用的注意事项	3.2 手工焊接基本操作方法	41
1.6 阻焊剂	3.2.1 电烙铁的握法	41
第2章 电子产品手工焊接工具、拆焊	3.2.2 焊锡丝的拿法	42
工具及焊接相关设备	3.2.3 电烙铁加热焊件的方法	43
2.1 手工焊接工具	3.2.4 焊锡熔化的方法	43
2.1.1 电烙铁	3.2.5 移开电烙铁的方法	43
2.1.2 烙铁头	3.2.6 焊接姿势	44
2.1.3 电烙铁使用注意事项、维修及 选用	3.2.7 焊接步骤	44
2.1.4 烙铁架	3.3 焊接前的准备工作	46
2.2 拆焊工具	3.3.1 焊接工具及辅助工具的准备	46
2.2.1 手动吸锡器	3.3.2 焊接之前的清洁工作	46
2.2.2 吸锡球	3.3.3 元器件镀锡	46
2.2.3 吸锡带	3.3.4 元器件引线成形	47
2.2.4 热风枪	3.3.5 元器件的插装	47
2.3 焊接检验用的仪器与工具	3.3.6 安全准备	48
2.3.1 润湿性测量器	3.4 焊接过程中的注意事项	48
	3.4.1 电烙铁使用时的注意事项	49

3.4.2 烙铁头的修整 .....	49	4.5 印制电路板的焊接 .....	81
3.4.3 电烙铁的保养 .....	49	4.5.1 印制电路板焊接时电烙铁的选择 .....	81
3.4.4 焊接操作的基本要领 .....	49	4.5.2 印制电路板上着烙铁的方法 .....	82
3.4.5 焊接之后的处理 .....	51	4.5.3 印制电路板上元器件的焊接 .....	82
3.5 焊点 .....	51	4.5.4 贴片元器件的焊接方法 .....	82
3.5.1 焊点形成的必要条件 .....	51	4.5.5 集成电路的焊接 .....	85
3.5.2 焊点的质量要求 .....	52	4.5.6 塑封元器件的焊接 .....	85
3.5.3 合格焊点 .....	53	4.5.7 簧片类元器件的焊接 .....	86
3.5.4 不合格焊点 .....	53	4.5.8 瓷片电容、发光二极管、中周等元 器件的焊接 .....	86
3.5.5 焊点不良的修补 .....	53	4.5.9 微型元器件的焊接方法 .....	86
3.5.6 避免不合格焊点的操作方法 .....	53	4.5.10 拆焊 .....	86
3.6 焊接顺序 .....	53	<b>第5章 焊接质量检验及缺陷分析</b> .....	88
3.7 松香助焊剂的使用 .....	54	5.1 焊接检验 .....	88
3.8 不能进行焊接的原因 .....	54	5.1.1 焊接缺陷 .....	88
3.9 焊接过程中的注意事项 .....	54	5.1.2 焊接的外观检验 .....	88
3.10 拆焊技术 .....	55	5.1.3 外观检验的判断标准 .....	89
3.10.1 拆焊原则 .....	55	5.1.4 焊接的电性能检验 .....	89
3.10.2 拆焊工具 .....	55	5.2 接线柱布线的焊接缺陷 .....	91
3.10.3 拆焊插件方法 .....	55	5.2.1 与环境有关的焊接缺陷 .....	91
3.10.4 拆焊注意事项 .....	57	5.2.2 容易产生电气故障的焊接缺陷 .....	92
<b>第4章 导线、端子及印制电路板的 焊接、拆焊方法</b> .....	58	5.3 印制电路板的焊接缺陷 .....	93
4.1 导线的焊接方法及技巧 .....	58	5.3.1 与环境条件有关的焊接缺陷 .....	93
4.1.1 导线的种类 .....	58	5.3.2 容易产生电气故障的焊接缺陷 .....	95
4.1.2 剥取导线绝缘覆皮的方法 .....	58	5.3.3 其他缺陷 .....	97
4.1.3 线端加工 .....	60	5.4 焊接缺陷的排除 .....	97
4.1.4 导线的焊接方法 .....	61	5.4.1 制造过程中焊接缺陷的分类 .....	97
4.1.5 导线与导线的焊接方法 .....	62	5.4.2 排除焊接缺陷的措施 .....	98
4.1.6 导线与接线柱、端子的焊接方法 .....	63	<b>第6章 工业生产中电子元器件的焊接 工艺简介</b> .....	99
4.1.7 尖嘴钳在导线绕接和钩接中的使用 方法 .....	69	6.1 浸焊 .....	99
4.1.8 热缩管的使用和绝缘胶布的使用 .....	70	6.1.1 浸焊的特点 .....	99
4.1.9 检查和整理 .....	71	6.1.2 浸焊的工艺流程 .....	99
4.1.10 把线的制作方法 .....	71	6.2 波峰焊接 .....	100
4.2 检查和整理 .....	72	6.2.1 波峰焊接的特点 .....	100
4.3 印制电路板的设计 .....	72	6.2.2 波峰焊接的工艺流程 .....	101
4.3.1 印制电路板的设计过程 .....	73	6.3 回流焊接 .....	102
4.3.2 解决问题的实践法则 .....	76	6.3.1 回流焊接的特点 .....	102
4.3.3 设计规则检查 .....	77	6.3.2 回流焊接的工艺流程 .....	102
4.4 印制电路板元器件引线成形及元器件 插装 .....	77	6.4 表面安装技术 .....	103
4.4.1 印制电路板上元器件引线成形 .....	77	6.4.1 表面安装技术的特点 .....	103
4.4.2 印制电路板上元器件的插装 .....	80	6.4.2 表面安装技术的工艺流程 .....	104

6.5 接触焊接 .....	104	8.5.9 外测频功能检查 .....	158
6.5.1 接触焊接的特点 .....	104	8.5.10 注意事项 .....	158
6.5.2 接触焊接的种类 .....	105	8.5.11 检修 .....	158
<b>第7章 焊接操作的安全卫生与安全措施</b> .....	108	<b>第9章 常见电子元器件介绍</b> .....	159
7.1 用电安全 .....	108	9.1 电阻、电感和电容 .....	159
7.1.1 触电对人体的危害 .....	108	9.1.1 固定电阻器 .....	159
7.1.2 用电安全知识 .....	110	9.1.2 电位器 .....	165
7.2 焊接的安全卫生问题 .....	111	9.1.3 电容器 .....	168
7.2.1 日、美关于焊接操作中对人体危害的研究 .....	111	9.1.4 电感器 .....	173
7.2.2 关于焊接操作的安全卫生的相关禁令及行业标准 .....	116	9.1.5 变压器 .....	175
7.2.3 焊接的安全措施 .....	117	9.2 常用电气元器件 .....	177
<b>第8章 常用仪器仪表介绍</b> .....	119	9.2.1 开关 .....	177
8.1 MF47 型万用表 .....	119	9.2.2 继电器 .....	179
8.1.1 MF47 型万用表的特点 .....	119	9.2.3 插头和插座 .....	180
8.1.2 MF47 型万用表的使用方法 .....	121	9.3 半导体分立器件 .....	181
8.2 数字万用表 .....	129	9.3.1 半导体分立器件的分类及型号命名 .....	181
8.2.1 数字万用表的技术指标 .....	129	9.3.2 二极管 .....	183
8.2.2 数字万用表的使用方法 .....	132	9.3.3 晶体管 .....	186
8.3 YB4328/YB4328D 型双踪示波器 .....	136	9.3.4 场效应晶体管 .....	187
8.3.1 YB4328/YB4328D 型示波器原理 .....	137	9.3.5 晶闸管 .....	189
8.3.2 正弦信号 .....	139	9.4 光电元器件 .....	191
8.3.3 各控件在示波器上的位置及使用时的合适位置 .....	140	9.4.1 光敏电阻器 .....	191
8.3.4 电气物理量的示波器测量 .....	144	9.4.2 光敏二极管 .....	192
8.4 AS2173D/AS2173E 系列交流毫伏表 .....	148	9.4.3 发光二极管 .....	193
8.4.1 工作特性 .....	148	9.5 电声元器件 .....	194
8.4.2 工作原理 .....	149	9.5.1 扬声器 .....	195
8.4.3 使用方法 .....	150	9.5.2 传声器 .....	198
8.5 SP1641D/SP1641E/SP1641B 型函数信号发生器/计数器 .....	151	9.6 集成电路 .....	198
8.5.1 主要特征 .....	152	9.6.1 集成电路的分类 .....	199
8.5.2 技术参数 .....	152	9.6.2 集成电路的封装与引线的识别方法 .....	199
8.5.3 频率计数器 .....	153	9.6.3 集成电路的命名方法 .....	200
8.5.4 其他 .....	154	9.6.4 集成电路的质量判别及代用 .....	201
8.5.5 工作原理 .....	154	<b>第10章 焊接实例：HX108-2型超外差式收音机的焊接、调试及收音</b> .....	202
8.5.6 整机面板说明 .....	154	10.1 收音机的技术指标及工作原理 .....	202
8.5.7 自校检查 .....	157	10.1.1 技术指标 .....	202
8.5.8 函数信号输出 .....	157	10.1.2 工作原理 .....	202
		10.2 HX108-2型收音机各部分电路的作用、构成及工作原理 .....	203

10.3 元器件的作用及检测 .....	204	10.7 检测修理方法 .....	214
10.4 焊接 .....	206	10.7.1 常用检查方法 .....	214
10.4.1 焊接工具的准备 .....	206	10.7.2 修理方法 .....	215
10.4.2 元器件的分类 .....	206	<b>第 11 章 无铅焊钎料、焊接工艺简介</b> ...	218
10.4.3 元器件准备 .....	208	11.1 无铅钎料简介 .....	218
10.4.4 组合件准备 .....	208	11.1.1 无铅钎料替代锡铅钎料应满足的 条件 .....	218
10.4.5 找出“特殊元器件”在印制电路 板上的位置 .....	209	11.1.2 几种无铅钎料的介绍 .....	218
10.4.6 焊接 .....	209	11.2 无铅焊接工具简介 .....	219
10.4.7 检查 .....	211	11.3 无铅焊接工艺简介 .....	219
10.5 收音机的调试方法 .....	213	11.3.1 无铅回流焊接工艺 .....	219
10.5.1 晶体管静态工作点的测量 .....	213	11.3.2 无铅波峰焊接工艺 .....	220
10.5.2 频率调整方法 .....	213	11.4 无铅焊接易出现的问题 .....	220
10.5.3 后盖装配 .....	214	<b>参考文献</b> .....	221
10.6 组装调整中易出现的问题 .....	214		



# 第 1 章 焊接机理及焊接材料

19 世纪 80 年代，焊接技术只局限于铁匠锻造上，在其他领域中还没有涉及焊接技术。但是随着工业化的发展和两次世界大战的爆发，对现代焊接的快速发展产生了影响。基本焊接方法有电阻焊、气焊和电弧焊，这几种焊接方法都是在第一次世界大战前发明的。到 20 世纪早期，气体焊接切割在制造和修理工作中占主导地位。过些年后，电焊得到了同样的认可。随着电子产品在各个领域如医疗、通信、航空航天以及各种电子设备中的广泛应用，锡焊接技术也越来越占据主导地位，锡焊接的好坏直接影响到电子产品的质量、性能。

## 1.1 钎焊及其特点

钎焊就是利用熔点比母材低的金属经过加热熔化后，渗入焊件接缝间隙内，与母材结合到一起实现连接的焊接方法，在这个过程中母材是不熔化的。其中熔点比母材低的金属称为钎料。电子工业中是利用熔点较低的锡合金将其他熔点比较高的个体金属连接在一起，因此电子产品中的焊接称为锡钎焊，本书中未作特别说明所写的焊接均指锡钎焊。

钎料从温度上可以分为硬钎料和软钎料，软钎料的熔点在  $450^{\circ}\text{C}$  以下，硬钎料的熔点在  $450^{\circ}\text{C}$  以上。根据硬钎料和软钎料将焊接分为硬钎焊和软钎焊两类。但是不管是硬钎焊还是软钎焊，它们在焊接金属的时候母材都是不熔化的。不对焊件施加压力，这也是钎焊和熔焊、压焊的区别所在。

锡钎焊是最早得到广泛应用的电子产品的焊接方法之一。锡钎焊熔点低，适合半导体等电子材料的连接，适用范围广，焊接方法简单，容易形成焊点，并且焊点有足够的强度和电气性能，成本低并且操作简单方便。锡钎焊过程可逆，易于拆焊。锡钎焊技术操作简单，感觉小孩子都可以做好，在工作中很容易被轻视，但是如果电子产品中有一个焊点有问题那么就会导致整个装置出问题，所以锡钎焊不容忽视，锡钎焊技术也是一门需要大家学习的技术。

## 1.2 焊接机理

焊接的过程就是用熔化的钎料将母材金属与固体表面结合到一起的过程。使用一般常用的锡-铅系列钎料焊接铜和黄铜等金属时，钎料就在金属表面产生润湿，作为钎料成分之一的锡金属就会向母材金属里扩散，在界面上形成合金层，即金属化合物，使两者结合在一起。在结合处形成的合金层，因钎料成分、母材性质、加热温度及表面处理等而不同，单纯根据一个条件下结论是片面的。下面分别对上述几个概念进行阐述。

### 1.2.1 钎料的润湿作用

钎料的润湿与润湿力。举个非常简单的例子，在光滑清洁的玻璃板上滴一滴水，水滴可

在玻璃板上完全铺开，水对玻璃板完全润湿；如果滴的是一滴油，那么油滴会形成一球块，虽然油滴在玻璃板上也有铺开，但是却是有限铺开，而不是完全铺开，这时我们说油滴在玻璃板上能润湿；如果滴一滴水银，那么水银将形成一个球体在玻璃板上滚动，这时我们说水银对玻璃不润湿。钎料对母材的润湿与铺展也是一样的道理，焊接中的“润湿”就是熔化的钎料在准备接合的固体金属表面进行充分的扩散，形成均匀、平滑、连续并且附着固定的合金的过程。润湿必须具备一定的条件：首先熔化的钎料即液态钎料与母材之间应能相互溶解，两种原子之间有良好的亲和力，这样钎料才能很好地填充焊缝间隙和润湿焊件金属；其次钎料和金属表面必须“清洁”，只有这样，钎料与母材原子才能接近到能够相互吸引结合的距离，“清洁”指的是钎料与母材两者表面没有氧化层，没有污染。

固体金属表面的钎料润湿情况如图 1-1 所示。

当固液气三相达到平衡时，可由众所周知的杨氏公式 (YOING) 来表示，如式 (1-1) 所示。

$$B_{SV} = C_{SL} + A_{LV} \cos\theta \quad (1-1)$$

式中  $B_{SV}$ ——固体和气体之间的界面张力，即固体金属和气体之间的界面张力，称为润湿力；

$C_{SL}$ ——固体和液体之间的界面张力，即熔化钎料和固体金属之间的界面张力；

$A_{LV}$ ——液体和气体之间的界面张力，即熔化钎料的表面张力；

$\theta$ ——钎料附在铜板上的接触角，也叫润湿角。即钎料和母材之间的界面与钎料表面切线之间的夹角。润湿角越小，润湿力越大。

钎料的润湿效果图如图 1-2 所示，其中  $\theta$  的大小反应润湿情况。 $\theta = 0^\circ$  表示钎料完全润湿母材； $0^\circ < \theta < 90^\circ$  表示润湿效果良好，钎料润湿母材； $\theta = 90^\circ$  是润湿效果好坏的界限，表示润湿效果不太好； $90^\circ < \theta < 180^\circ$  表示润湿效果差，钎料不润湿母材； $\theta = 180^\circ$  表示钎料完全不润湿母材。通常电子产品焊接中焊点的最佳润湿角： $\text{Cu—Pb/Sn}$  为  $15^\circ \sim 45^\circ$ 。

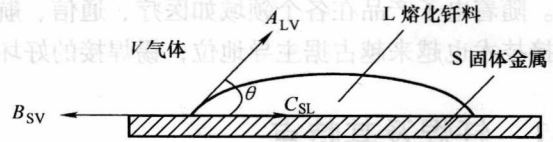


图 1-1 固体金属表面的钎料润湿

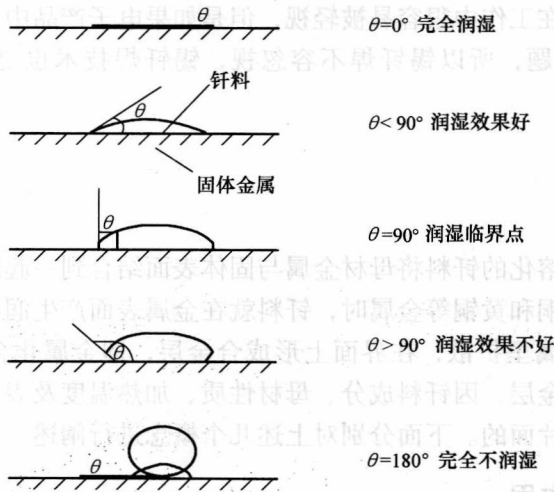


图 1-2 钎料的结合状态和润湿效果

### 1.2.2 表面张力

多相体系中相之间存在着界面，在不同相共同存在的体系中，由于相界面分子与体相分子之间的作用力不同，导致液体表面积具有自动收缩的趋势，结果在表面切线方向上有一种缩小表面的力作用着，这个力即为表面张力。表面张力是物质的特性，其大小与温度和界面两相物质的性质有关。表面张力的方向和液面相切，并和两部分的分界线垂直。如果液面是平面，表面张力就在这个平面上；如果液面是曲面，表面张力就在这个曲面的切面上。

熔融钎料在母材金属表面也有表面张力现象，表面张力与润湿力的方向相反，是一个不利于焊接的重要因素。在自动化焊接生产线上，表面张力如果不平衡，焊接后会出现元器件位置偏移、吊桥、桥接等焊接缺陷，但是表面张力是物质的本性，是物理特性，不能消除，只能对其进行改变，尽量减小表面张力，从而提高钎料的润湿力，达到改善焊接性能的效果。

锡铅合金配比与表面张力和粘度的关系（280°测试）见表1-1。

表1-1 锡铅合金配比与表面张力和粘度关系

配比 (%)		表面张力/(N/cm)	粘度/(mPa·s)
Sn	Pb		
0	100	$1.39 \times 10^3$	2.44 (390℃)
20	80	$4.67 \times 10^3$	2.72
30	70	$4.7 \times 10^3$	2.45
50	50	$4.76 \times 10^3$	2.19
63	37	$4.9 \times 10^3$	1.97
80	20	$5.14 \times 10^3$	1.92

为了改善焊接性能，必须降低表面张力和粘度。降低表面张力和粘度的措施如下：

#### 1. 提高焊接温度

表面张力一般随着温度的升高而降低，因此采用提高温度的方法可以降低粘度和表面张力。

#### 2. 改善钎料的合金成分

选择合适的金属比例，Sn的表面张力很大，不利于焊接，但是如果其中加入Pb，随着Pb的含量增加，表面张力降低，改善了焊接性能。其中锡铅的比例为：Sn含量为63%，Pb含量为37%，此时表面张力明显减小，这也是钎料中最合适的锡铅比例。

粘度和表面张力与温度的关系如图1-3和图1-4所示。

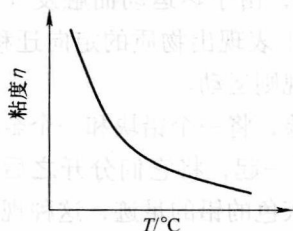


图 1-3 温度对粘度的影响

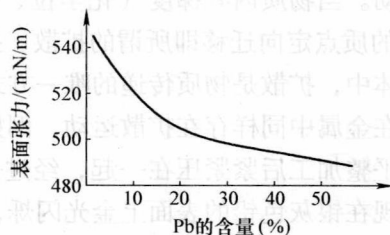


图 1-4 250°C 时 Pb 含量与表面张力的关系

### 3. 增加活性剂

在电子产品焊接中加入助焊剂，能去掉钎料表面的氧化层，还能有效地降低钎料的表面张力。

### 4. 改善焊接环境

采用不同的气体保护，介质不同，钎料表面张力不同，例如采用氮气保护焊接可以减少高温氧化，提高润湿性。

## 1.2.3 毛细管现象

毛细管现象又称虹吸现象，将毛细管插入水中时，水会进入毛细管，使得毛细管中的液位要高于水平面，固体金属在液体中也有毛细管现象，如图 1-5 所示，它是液体在狭窄间隙中流动时所表现出来的固有特性。液体在毛细管作用下上升或下降的高度表达式见式 (1-2)。

$$h = \frac{2\sigma\cos\theta}{g\rho r} \quad (1-2)$$

式中  $h$  ——毛细管中液面的高度；

$\sigma$  ——液体与气相之间（钎料）的表面张力；

$\theta$  ——润湿角；

$g$  ——当地的重力加速度；

$\rho$  ——液体（钎料）的密度；

$r$  ——毛细管半径。

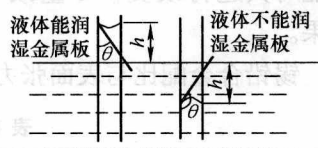


图 1-5 固体金属在液体中的毛细管现象

由此可以看出液体在毛细管中上升或者下降的高度与表面张力成正比，与液体的密度，当地的重力加速度成反比，与毛细管的直径成反比。在焊接过程中，为了获得良好的焊接效果，通常需要钎料完全填满两个焊件的缝隙，由于焊件的缝隙都很小，钎料在缝隙中流动就是一种毛细管现象，钎料是否能充分地填满缝隙，取决于它的毛细管特性。其中  $\theta < 90^\circ$  即  $\cos\theta > 0$  时，液体在毛细管中上升； $\theta > 90^\circ$  即  $\cos\theta < 0$  时，液体在毛细管中下降；只有当  $\cos\theta > 0$ ， $h > 0$  时液态钎料才能流入缝隙。 $\theta$  越小， $h$  值越大，液态钎料填充的缝隙越长，反之，液态钎料不能流入到缝隙中。由此可知，液态钎料能否流入缝隙取决于它对母材的润湿性。

## 1.2.4 扩散

首先举两个最简单的例子，在房间中某处打开香水的瓶子，过一会整个房间都会有香水的味道；将一滴红墨水滴入一个装满清水的杯子，很快一杯水就变红了；这两种现象都是扩散现象。

扩散是物质内质点运动的基本方式，当温度高于绝对零度时，任何物质内的质点都在做热运动。当物质内有梯度（化学位、浓度、应力梯度等）存在时，由于热运动而触发（导致）的质点定向迁移即所谓的扩散。扩散是一种传质过程，宏观上表现出物质的定向迁移。在固体中，扩散是物质传递的唯一方式，扩散的本质是质点的无规则运动。

在金属中同样存在扩散运动，例如我们在物理学中的一个实验，将一个铅块和一个金块表面平整加工后紧紧压在一起，经过一段时间后两者“粘”在了一起，将它们分开之后我们发现在银灰色铅的表面上金光闪烁，而在金块的表面上也有银灰色的铅的足迹，这种现象说明两种金属接近到一定距离是能相互“入侵”的，界面晶体紊乱导致部分原子从一个晶格点阵移动到另一个晶格点阵，交换了位置，这就是金属学上的扩散。

金属之间扩散要满足两个基本条件：

(1) 距离要足够小：即两种金属必须接近到足够小的距离，这样两种金属原子之间的引力才能产生作用，才能达到金属扩散的要求，如果金属表面不够平整光滑，不够清洁，有氧化物，那么就不能实现扩散，这也就是为什么电子产品焊接时必须加入助焊剂，防氧化剂，其目的就是为了清除母材表面的氧化物。

(2) 温度：在一定温度下金属分子才会有动能，才能使得扩散进行下去，理论上“绝对零度”时是不可能进行扩散运动的，温度必须达到一定值时扩散运动才会比较活跃。

总体来说，扩散可分为两大类：自扩散和化学扩散。自扩散指的是同种金属间的原子移动，化学扩散指的是异种原子间的扩散。而从现象上扩散可分为三大类：晶内扩散、晶界扩散和表面扩散。

焊接中的扩散程度因钎料的成分和母材金属的种类及不同的加热温度而异。扩散可分为表面扩散、晶界扩散、体扩散和选择扩散几种类型，如图 1-6 所示。

### 1. 表面扩散

在结晶表面和空间交界上，熔化的钎料原子总是易沿着被焊接金属结晶表面流动、扩散，这种扩散叫做表面扩散。

对于锡铅焊接来说，锡-铅钎料在焊接金属时，锡在其表面上有选择地扩散，由于铅的加入，使得表面张力下降，还会促进扩散，这也是表面扩散。

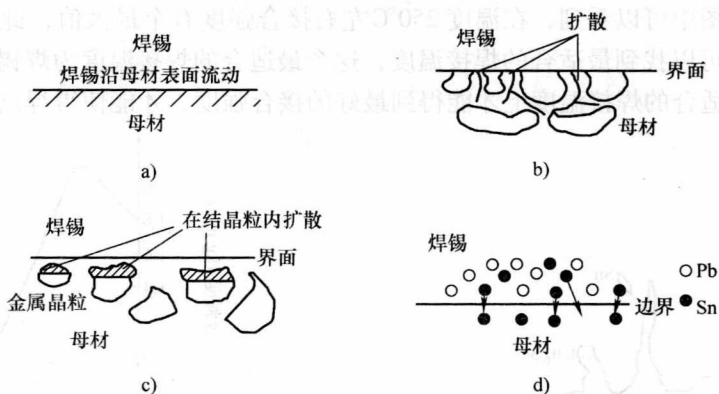


图 1-6 扩散图

a) 表面扩散 b) 晶界扩散 c) 体扩散 d) 选择扩散

### 2. 晶界扩散

熔化的钎料原子向固体金属的晶粒扩散，叫做晶界扩散，也叫晶粒扩散。在金属内部的粒界上，扩散很容易，所以在低温下晶界扩散的速度也比较快。

### 3. 体扩散

熔化的钎料扩散到晶粒中去的过程叫做体扩散，也叫晶内扩散。

这种扩散在母材内部的晶粒上形成了另外一种不同成分的合金，沿不同的结晶方向，扩散程度也不相同。由于扩散在母材内部形成各种组成的合金，在不同的条件下，晶型也会发生变化。

### 4. 选择扩散

用两种以上的金属元素组成的钎料焊接时，在结合的时候，钎料的金属元素之中仅有一种元素扩散得快，或者是仅是一种元素扩散，其余的元素都处于不扩散状态，这种扩散叫做

选择性扩散。这是熔化的金属自身的扩散方式。

在锡焊接中，用锡-铅钎料焊接金属时，钎料中的锡向固体金属中扩散，而铅的作用是减小表面张力，不进行扩散，这就是选择扩散。

影响扩散的因素分为外在因素和内在因素。外在因素有温度、杂质（第三组元）、气氛及固溶体类型等的影响；内在因素有扩散物质的性质、原子键力的影响、晶体结构的影响等。

### 1.2.5 焊接界面结合层

焊接时，熔化的钎料向母材金属组织扩散，同时，母材金属也向钎料中扩散溶解，这种钎料和母材金属相互扩散的结果使得在温度冷却到室温时，钎料和母材金属界面上形成由钎料、合金层和母材层组成的接头结构，此结构决定焊接的结合强度。其中的合金层是钎料在母材界面上生成的，称为“界面层”，钎料层和母材层称为“扩散层”。

合金层的金属成分有很多种，由于锡向铜中扩散，铅不扩散，因此形成铜-锡-铜组合，形成的合金示意图如图 1-7 所示，锡焊接中把 250~300℃ 称为低温焊接，此时在结合层处生成  $\text{Cu}_3\text{Sn}$ 、 $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ ，温度高于 300℃ 时称为高温焊接，此时除了生成前两种合金之外还生成  $\text{Cu}_{11}\text{Sn}_8$  以及很多尚未弄清楚的金属间化合物。这些合金在结合焊件中起着关键作用，合金的结合强度直接关系到焊点的可靠性。

用含锡 63%，含铅 37% 的焊锡焊接铜棒，它们接合面的接合强度和加热温度的曲线如图 1-8 所示，从图中可以看到，在温度 250℃ 左右接合强度有个最大值，此前此后接合强度都会降低，由此可以找到最适合的焊接温度，这个最适合的焊接温度为焊锡的熔点向上浮动 40~50℃，在最适合的焊接温度上才能得到最好的接合强度，才能使得焊点最为牢固可靠。

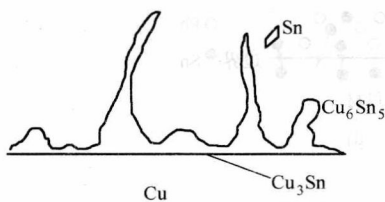


图 1-7 形成合金示意图

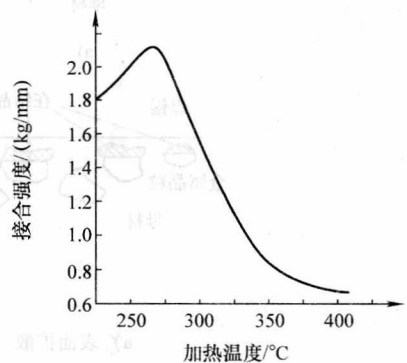


图 1-8 加热温度和接合强度关系曲线

合金层最佳厚度为 1.2~3.5 $\mu\text{m}$ ，当厚度小于 0.5 $\mu\text{m}$  时合金层太薄，几乎没有抗拉强度，当厚度大于 4 $\mu\text{m}$  时，合金层的厚度太厚，结合处几乎没有弹性，抗拉强度也很小。合金层的质量与厚度有关。影响合金层质量的因素有钎料的合金成分和氧化程度、助焊剂的质量、母材的氧化程度、焊接温度和时间，只有这些条件都满足了，才能获得良好的焊接效果，因此在焊接过程中，我们要选择合适的钎料。助焊剂能有效地净化母材表面，消除母材表面的氧化物，清除杂质，提高润湿性，同时掌握好最佳的焊接温度和时间。

## 1.3 锡铅钎料介绍

钎料是易熔金属，在焊接过程中，钎料在母材表面形成合金，将连接点连在一起，钎料

的性能在很大程度上决定了焊接接头的质量,为了使钎料能够满足焊接要求,钎料金属必须满足以下要求:

(1) 钎料必须由与母材金属不同的金属组成,钎料的熔点要比母材金属的熔点低,熔化温度合适,一般钎料的熔点应该至少低于母材金属熔点几十度以上。

(2) 钎料在熔化温度时必须能很好地润湿母材金属,要具有良好的流动性,同时与母材金属之间要有良好的扩散能力和溶解能力,能很好地填充焊缝间隙,获得牢固的接头。

(3) 钎料组成成分要稳定、均匀、不应有对母材有害的元素存在。

(4) 钎料的热膨胀系数应与焊件金属接近,从而避免焊缝产生裂纹,钎料还应不易被氧化,满足焊接接头性质的要求。

钎料从温度上可以分为硬钎料和软钎料。

### 1.3.1 软钎料

软钎料的熔点在 $450^{\circ}\text{C}$ 以下,主要是以锡、铅、铋、镉、锌为基本原料的合金。软钎料特点是熔点低、塑性好、抗疲劳性能好、强度低。软钎料对应软焊接,主要用于焊接强度要求不高,工作温度不高的焊件,如焊接钢、铜、铝等及其合金。软钎料的熔化温度范围如图1-9所示。

常用软钎料有锡铅钎料,低熔点软钎料,耐热软钎料等,在电子产品焊接中主要采用锡铅钎料,下面对锡铅钎料做具体介绍。

#### 1. 锡铅钎料

了解锡铅钎料首先要了解锡和铅的温度特性,纯锡是一种质软的金属,高于 $13.2^{\circ}\text{C}$ 时是银白色金属,低于 $13.2^{\circ}\text{C}$ 时是灰色金属,低于 $-40^{\circ}\text{C}$ 时变成粉末状,熔点是 $232^{\circ}\text{C}$ ;常温下抗氧化性强,并且容易同多数金属形成金属化合物;纯锡质脆,低温机械性能差。纯铅是一种浅青白色软金属,熔点是 $327^{\circ}\text{C}$ ,塑性好,有较高抗氧化性和抗腐蚀性;铅属于对人体有害的重金属,在人体中积蓄能引起铅中毒;铅的机械性能也很差。

锡铅两种金属各有各的优缺点,但是锡铅合金却具备了两者都不具有的优点,而且两者合金的熔点温度与两种金属在合金中所占的比例有关,比例不同,熔点不同,性能也随之变化。

焊接过程中锡与母材金属形成合金,但是铅在任何情况下几乎都不起反应,那么为什么还要加入铅呢?这是因为加入铅之后可以获得锡和铅都不具有的良好特性,有利于焊接操作,其特点如下:

(1) 加入铅之后可以降低熔点。纯锡的熔点是 $232^{\circ}\text{C}$ ,铅的熔点是 $327^{\circ}\text{C}$ ,而锡铅钎料的熔点是 $183^{\circ}\text{C}$ (锡占63%,铅占37%时)。

(2) 可以改善机械特性。锡铅钎料的抗拉强度剪切度都比两者单独时要大很多,使得机械特性得到改善。

(3) 可以降低界面张力。界面张力降低,钎料的润湿性能就相应得到改善,增加了流动性;表面张力和粘度的关系见表1-1。

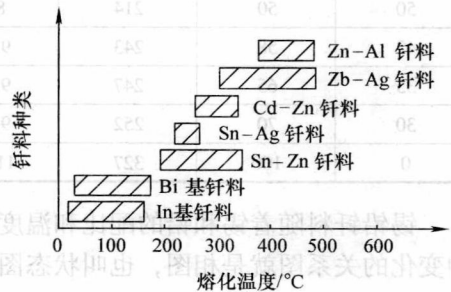


图 1-9 软钎料的熔化范围

(4) 增加了钎料的抗氧化能力，减少了氧化量。

(5) 节约成本。锡是很贵的金属，但是铅却很便宜，加入铅之后可以降低钎料的价格，节约成本。

锡铅含量不同，锡铅钎料的物理特性则不同，不同锡铅含量的钎料物理特性见表 1-2。

表 1-2 锡铅钎料的物理特性

特性		熔点 /℃	比重 / (g/cm <sup>3</sup> )	电导率 (以铜为 100%)	抗拉强度 / (kg/mm <sup>2</sup> )	延伸率 (%)	剪切强度 / (kg/mm <sup>2</sup> )
锡钎含量 (%)	锡						
100	0	232	7.29	13.9	1.49	55	2.02
95	5	222	7.40	13.6	3.15	47	3.15
60	40	188	8.45	11.6	5.36	30	3.47
50	50	214	8.8	10.7	4.73	40	3.15
42	58	243	9.15	10.2	4.41	38	3.15
35	65	247	9.45	9.7	4.57	25	3.36
30	70	252	9.73	9.3	4.73	22	3.47
0	100	327	11.34	7.91	1.42	39	1.39

锡铅钎料随着锡和铅的配比和温度变化，其固相、液相等金属状态也随之发生变化，这种变化的关系图就是相图，也叫状态图。锡铅钎料的状态图如图 1-10 所示。

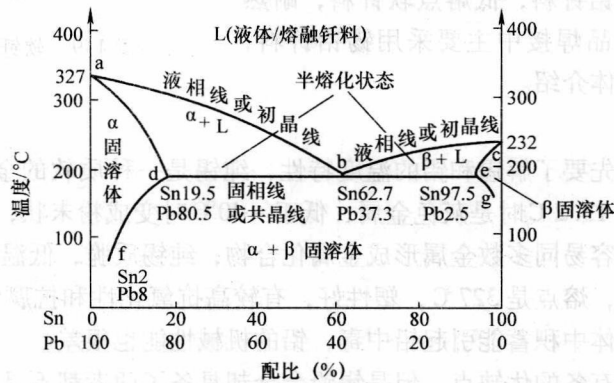


图 1-10 锡铅系钎料状态图

在详细介绍状态图之前先了解几个概念：共晶反应是一种液相在恒温下同时结晶出两种不同成分和不同晶体结构的反应，发生共晶反应的这一点就是共晶点，反应所生成的两种固相机械地混合在一起，形成有固定化学成分的基本组织，统称为共晶体。把以铅为溶剂，锡为溶质时，即锡溶于铅中形成的固溶体称为 α 固溶体；以锡为溶剂，铅为溶质，即铅溶于锡中形成的固溶体称为 β 固溶体。

如图 1-10 所示，a 点是铅的熔点，温度为 327℃，c 点是锡的熔点，温度为 232℃，b 点是共晶点。共晶点时 b 点合金的熔点和凝固点相同，此时的锡铅比重为锡占 62.7%、铅占 37.3%，该点合金熔点、凝固点均为 183℃，这种比例的合金熔点低，结晶间隔短，流动性好，机械强度高。如图 1-10 所示有三个单相区分别为 α 相、β 相、L 相，其中 L 相是具有共晶成分的液体，是熔化的钎料液体，在共晶点发生共晶反应时这三相是共存的；有三个双



相区： $\alpha + L$ 相、 $\beta + L$ 相、 $\alpha + \beta$ 相。其中 a、b、c 为液相线，也叫液相温度线或者是初晶线，不管合金的配比如何，在该液相线以上部分均为熔化的液体。其中 adbec 线为固相线，在固相线和液相线之间的部分为半熔化状态的钎料。在固相线 adbec 以下的钎料为固体。dbe 水平线是固相线，也称为共晶反应线，成分在 de 之间的合金平衡结晶时都会发生共晶反应，df 线为  $\alpha$  固溶体的溶解度线，eg 线为  $\beta$  固溶体的溶解度线。

锡铅钎料的相图是以共晶型转变为主要结晶方式的相图，在靠近组元两端各有一个有限固溶的均晶型结晶区域。 $\alpha$  固溶体的最大溶解度在 d 点； $\beta$  固溶体的最大溶解度在 e 点。固溶体  $\alpha$  和固溶体  $\beta$  相交在共晶点 d，在共晶点处成分比例的合金当冷却到该点所对应的温度即共晶温度时，共同结晶出 d 点成分的  $\alpha$  固溶体和在 e 点成分的  $\beta$  固溶体。发生共晶反应时有三相共存，它们各自的成分是确定的，反应在恒温下平衡地进行。从图 1-10 中我们可以看到，当熔化的钎料从液体状态的温度下降到液相线以下，固相线以上的温度区域时，熔化的钎料开始凝固，该区间的钎料处于半熔化状态，当下降到固相线时完全凝固。反过来，当把固体钎料缓缓加热时，钎料首先从固相线以下慢慢过渡到固相线以上，从固体状态进入半熔化状态，然后温度上升，当到达液相线的温度时，钎料完全熔化。这就是钎料从固体到液体，从液体到固体的变化过程。

下面详细介绍冷却时钎料组成不同的几种情况。

(1) 钎料含锡量低于 19.5%。如图 1-11 所示，当含锡量低于 19.5% 时，即在  $S_0 \sim S_1$  范围内，设该范围内有含锡量为  $S_{01}$  的钎料，当温度高于  $t_{11}$  时，该钎料处于熔化状态，降低温度，当温度到达  $t_{11}$  时，即温度到达液相线上时开始析出  $\alpha$  固溶体，此时的钎料状态为半熔化状态，继续降温，当温度到达固相线上一点温度  $t_{12}$  时，完全凝固，此时得到均一的  $\alpha$  固溶体组织，继续降温，当温度到达  $\alpha$  固溶线下限 df 上一点温度  $t_{13}$  时，在另一端开始析出  $\beta$  固溶体，从  $\alpha$  相中析出的  $\beta$  固溶体降低了  $\alpha$  相中锡的含量。从固态  $\alpha$  相中析出的  $\beta$  相称为二次  $\beta$ ，记做  $\beta_{II}$ ，这是二次结晶的结果。继续降温， $\beta$  固溶体继续增加，其中  $\alpha$  固溶体和  $\beta$  固溶体的析出浓度随 df 线变化，常温下为  $\alpha$  固溶体和  $\beta$  固体两种形式。

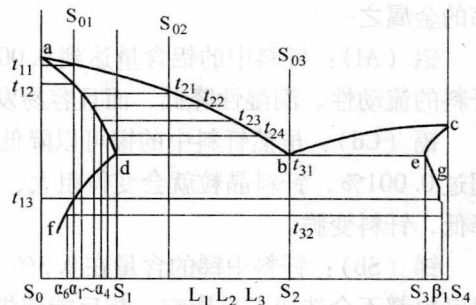


图 1-11 状态说明图

(2) 含锡量在 19.5% ~ 63%。如图 1-11 所示，当含锡量高于 19.5% 时，即在  $S_1 \sim S_2$  范围内，设该范围内有含锡量为  $S_{02}$  的钎料，当温度高于  $t_{21}$  时钎料处于熔化状态，降低温度当温度到达  $t_{21}$  时，即到达液相线上一点时，开始析出初晶  $\alpha$  固溶体。此时析出的钎料成分为  $\alpha_1$ ，随着温度下降到  $t_{22}$ 、 $t_{23}$ ，钎料中  $\alpha$  固溶体成分变为  $\alpha_2$ 、 $\alpha_3$ 。另一方面，正在凝固的熔化的钎料成分变成  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ ，可以看到，凝固的钎料成分是由初晶点 x 向着 d 变化的，而熔化钎料的成分是由  $t_{21}$  向着 d 变化的。当到达共晶反应线上一点  $t_{24}$  时，析出  $\alpha_4$  和  $\beta$  成分，此时钎料完全凝固，温度继续降低，低于共晶反应线的温度  $t_{24}$  时开始从  $\alpha$  固溶体中析出  $\beta$  固溶体  $\beta_{II}$ ，常温钎料成分变成  $\alpha_f$  和  $\beta_g$ 。

(3) 含锡量为 63% 时，如图 1-11 所示，含锡量为 63% 时的钎料，在温度高于  $t_{31}$  时，钎料处于熔化状态的，当温度降低到  $t_{31}$  时，即到达共晶点温度时同时析出  $\alpha$  相和  $\beta$  相并且同时完全凝固。当温度继续下降到  $t_{32}$  时，凝固钎料的比例变为  $\alpha_1$  相和  $\beta_1$  相，常温时为  $\alpha_f$  和  $\beta_g$ 。