

电子元器件 手工焊接技术

朱延枫 王春霞 王俊生 编著

第2版

///
NZI YUANQIJIAN SHOUGONG HANJIE JISHU

- ★ 内容全面，手把手教你焊接基础
- ★ 步骤详细，巧用辅助工具小窍门
- ★ 图示讲解，零基础动手装配实践



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

电子元器件手工焊接技术

第2版

朱延枫 王春霞 王俊生 编著



机械工业出版社

本书从最基本的焊接知识、焊接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,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,常用电子元器件,电子装连技术,电子产品整机装配工艺以及常用的仪器仪表使用方法,并以收音机焊接为例详细介绍了焊接及装配过程。

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/朱延枫,王春霞,王俊生编著. —2版. —北京:机械工业出版社,2014.9

ISBN 978-7-111-47732-7

I. ①电… II. ①朱…②王…③王… 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(2014)第191784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:赵颖喆 责任校对:丁丽丽

封面设计:陈沛 责任印制:刘岚

北京诚信伟业印刷有限公司印刷

2014年11月第2版第1次印刷

184mm×260mm·13.75印张·331千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-47732-7

定价:39.00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 封面防伪标均为盗版

第 2 版 前 言

本书为《电子元器件手工焊接技术》的修订本，新版本的内容更加适合广大电子爱好者以及广大高等院校学生，为广大电子爱好者及广大高等院校学生掌握手工焊接技术，熟练进行手工焊接操作，合理完成整机装配及组装提供了参考。

与第1版对比，修订本加强和充实了电子装连技术及电子产品整机装配工艺，并调整了部分章节顺序。本书变动较大的地方有：增加了第2章第5节紧固工具，第8章电子装连技术，第9章电子产品整机装配工艺；删除了第1版第4章第3节印制电路板的设计，第6章工业产品电子元器件的焊接工艺简介，第8章第5节 SP1641D/SP164E/SP1641B 型函数信号发生器/计数器，第11章无铅焊钎料、焊接工艺简介；将第1版第7章改为第6章，第8章改为第10章，第9章改为第7章，第10章改为第11章。经过增加及删除的改动之后，更适合于电子爱好初学者及广大的大中专院校的师生阅读及参考，是其必备的参考用书。

本书由辽宁工业大学王春霞拟定编写大纲和编写目录，负责工作安排，并编写第1章，第2章2.1~2.5节，第3章，第4章，第11章；辽宁工业大学朱延枫编写第5章，第6章，第7章，第9章，第10章；辽宁工业大学王俊生编写第8章，第2章2.6节。

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，本书虽然在第1版的基础上做了修订，但是书中难免存在错误与不足之处，恳请广大读者批评指正，以便今后修订提高。

作 者

于辽宁工业大学

第 1 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得到了广泛的应用，焊接质量的好坏直接影响到这些电子产品的质量与性能，尤其是在各种精密的设备中。

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，很多时候查不出问题所在，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，才能在手工制作和维修时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，使得读者更容易理解和掌握知识要点，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之处，恳请广大读者批评指正，以便今后修订提高。

作 者

于辽宁工业大学

目 录

第2版前言

第1版前言

第1章 焊接机理及焊接材料 1

1.1 钎焊及其特点 1

1.2 焊接机理 1

1.2.1 钎料的润湿作用 2

1.2.2 表面张力 2

1.2.3 毛细管现象 4

1.2.4 扩散 4

1.2.5 焊接界面结合层 6

1.3 锡铅钎料介绍 7

1.3.1 软钎料 7

1.3.2 硬钎料 11

1.3.3 钎料的编号 11

1.4 钎剂 14

1.4.1 钎剂的功能 14

1.4.2 钎剂的要求 14

1.4.3 钎剂的分类 15

1.4.4 钎剂的选用 17

1.5 焊锡膏 18

1.5.1 焊锡膏的组成 18

1.5.2 焊锡膏使用的注意事项 18

1.6 阻钎剂 20

第2章 电子产品手工焊接、拆焊、 装配工具及相关设备 21

2.1 手工焊接工具 21

2.1.1 电烙铁 21

2.1.2 烙铁头 24

2.1.3 电烙铁使用注意事项、维修 及选用 28

2.1.4 烙铁架 30

2.2 拆焊工具 31

2.2.1 手动吸锡器 31

2.2.2 吸锡球 32

2.2.3 吸锡带 32

2.2.4 热风枪 33

2.3 焊接检验用的仪器与工具 35

2.3.1 润湿性测量器 35

2.3.2 放大镜 35

2.3.3 显微镜 35

2.4 引线切断打弯工具 36

2.4.1 剥线钳 36

2.4.2 尖嘴钳 36

2.4.3 斜嘴钳 36

2.4.4 平嘴钳 37

2.4.5 镊子 37

2.5 紧固工具 37

2.5.1 螺钉旋具 37

2.5.2 螺母旋具 37

2.5.3 扳手 38

2.6 其他相关工具 40

2.6.1 热熔胶枪 40

2.6.2 焊锡锅 41

2.6.3 防静电手环 41

2.6.4 吸烟仪 42

2.6.5 绝缘小板 42

第3章 焊接技术与焊接工艺	43	3.9 焊接过程中的注意事项	56
3.1 焊接预备知识	43	3.10 拆焊技术	57
3.1.1 钎焊简介	43	3.10.1 拆焊原则	57
3.1.2 钎料的选择	43	3.10.2 拆焊工具	57
3.1.3 电烙铁及烙铁头的选择	43	3.10.3 拆焊插件方法	57
3.2 手工焊接基本操作方法	43	3.10.4 拆焊注意事项	59
3.2.1 电烙铁的握法	44	第4章 导线、端子及印制电路板元器件	
3.2.2 焊锡丝的拿法	44	的插装、焊接及拆焊方法	60
3.2.3 电烙铁加热焊件的方法	45	4.1 导线的焊接方法及技巧	60
3.2.4 焊锡熔化的方法	45	4.1.1 导线的种类	60
3.2.5 移开电烙铁的方法	46	4.1.2 剥取导线绝缘覆皮的方法	60
3.2.6 焊接姿势	46	4.1.3 线端加工	62
3.2.7 焊接步骤	46	4.1.4 导线的焊接方法	64
3.3 焊接前的准备工作	48	4.1.5 导线与导线的焊接方法	64
3.3.1 焊接工具及辅助工具的准备	48	4.1.6 导线与接线柱、端子的焊接方法	65
3.3.2 焊接之前的清洁工作	48	4.1.7 尖嘴钳在导线绕接和钩接中的使用方法	71
3.3.3 元器件镀锡	48	4.1.8 热缩管的使用和绝缘胶布的使用	72
3.3.4 元器件引线成形	49	4.1.9 检查和整理	73
3.3.5 元器件的插装	49	4.1.10 把线的制作方法	73
3.3.6 安全准备	50	4.2 检查和整理	74
3.4 焊接过程中的注意事项	50	4.3 印制电路板元器件引线成形及元器件插装	74
3.4.1 电烙铁使用时的注意事项	51	4.3.1 印制电路板上元器件引线成形	74
3.4.2 烙铁头的修整	51	4.3.2 印制电路板上元器件的插装	77
3.4.3 电烙铁的保养	51	4.4 印制电路板的焊接	79
3.4.4 焊接操作的基本要领	51	4.4.1 印制电路板焊接时电烙铁的选择	79
3.4.5 焊接之后的处理	52	4.4.2 印制电路板上着烙铁的方法	79
3.5 焊点	53	4.4.3 印制电路板上元器件的焊接	80
3.5.1 焊点形成的必要条件	53	4.4.4 贴片元器件的焊接方法	80
3.5.2 焊点的质量要求	54		
3.5.3 合格焊点	55		
3.5.4 不合格焊点	55		
3.5.5 焊点不良的修补	55		
3.5.6 避免不合格焊点的操作方法	55		
3.6 焊接顺序	55		
3.7 松香钎剂的使用	56		
3.8 不能进行焊接的原因	56		

4.4.5 集成电路的焊接	82	6.2.3 焊接的安全措施	105
4.4.6 塑封元器件的焊接	83		
4.4.7 簧片类元器件的焊接	83	第7章 常见电子元器件介绍	107
4.4.8 瓷片电容、发光二极管、 中周等元器件的焊接	84	7.1 电阻、电感和电容	107
4.4.9 微型元器件的焊接方法	84	7.1.1 固定电阻器	107
4.4.10 拆焊	84	7.1.2 电位器	113
第5章 焊接质量检验及缺陷分析	85	7.1.3 电容器	116
5.1 焊接检验	85	7.1.4 电感器	121
5.1.1 焊接缺陷	85	7.1.5 变压器	123
5.1.2 焊接的外观检验	85	7.2 常用电气元器件	125
5.1.3 外观检验的判断标准	86	7.2.1 开关	125
5.1.4 焊接的电性能检验	86	7.2.2 继电器	127
5.2 接线柱布线的焊接缺陷	88	7.2.3 插头和插座	128
5.2.1 与环境有关的焊接缺陷	88	7.3 半导体分立器件	129
5.2.2 容易产生电气故障的 焊接缺陷	89	7.3.1 半导体分立器件的分类 及型号命名	129
5.3 印制电路板的焊接缺陷	90	7.3.2 二极管	131
5.3.1 与环境条件有关的 焊接缺陷	90	7.3.3 晶体管	134
5.3.2 容易产生电气故障的 焊接缺陷	92	7.3.4 场效应晶体管	135
5.3.3 其他缺陷	94	7.3.5 晶闸管	137
5.4 焊接缺陷的排除	94	7.4 光电元器件	139
5.4.1 制造过程中焊接缺陷的 分类	94	7.4.1 光敏电阻器	139
5.4.2 排除焊接缺陷的措施	95	7.4.2 光敏二极管	140
第6章 焊接操作的安全卫生与安全 措施	96	7.4.3 发光二极管	141
6.1 用电安全	96	7.5 电声元器件	142
6.1.1 触电对人体的危害	96	7.5.1 扬声器	143
6.1.2 用电安全知识	98	7.5.2 传声器	146
6.2 焊接的安全卫生问题	99	7.6 集成电路	146
6.2.1 日、美关于焊接操作中 对人体危害的研究	99	7.6.1 集成电路的分类	147
6.2.2 关于焊接操作的安全卫生 的相关禁令及行业标准	104	7.6.2 集成电路的封装与引线的 识别方法	147
		7.6.3 集成电路的命名方法	148
		7.6.4 集成电路的质量判别及 代用	149
		第8章 电子装连技术	150
		8.1 电子设备装配的基本要求	150
		8.2 螺装	150
		8.2.1 螺钉	150

8.2.2 螺钉连接	151	测量	187
8.3 铆接	153	10.4 AS2173D/AS2173E 系列	
8.4 粘接	154	交流毫伏表	191
8.5 压接	155	10.4.1 工作特性	192
8.6 绕接	157	10.4.2 使用方法	193
第9章 电子产品整机装配工艺	158	第11章 焊接实例：HX108-2型超	
9.1 整机装配过程中的注意事项	158	外差式收音机的焊接、调试	
9.2 整机装配的顺序和原则	159	及收音	195
9.2.1 整机装配的顺序	159	11.1 收音机的技术指标及工作	
9.2.2 整机装配的原则	160	原理	195
9.3 整机装配工艺流程	160	11.1.1 技术指标	195
9.3.1 装配准备	161	11.1.2 工作原理	195
9.3.2 装联过程	162	11.2 HX108-2型收音机各部分电路	
9.3.3 整机总装	162	的作用、构成及工作原理	196
9.4 电子产品装配过程中的静电		11.3 元器件的作用及检测	198
防护	163	11.4 焊接	199
9.4.1 静电及静电的产生	163	11.4.1 焊接工具的准备	199
9.4.2 静电放电	163	11.4.2 元器件的分类	200
9.4.3 静电放电对电子产品的		11.4.3 元器件准备	201
损伤	164	11.4.4 组合件准备	202
9.4.4 静电防护的目的和原则	164	11.4.5 找出“特殊元器件”在印制	
9.4.5 静电防护的具体措施	165	电路板上的位置	202
第10章 常用仪器仪表介绍	167	11.4.6 焊接	202
10.1 MF47型万用表	167	11.4.7 检查	204
10.1.1 MF47型万用表的特点	167	11.5 收音机的调试方法	206
10.1.2 MF47型万用表的使用		11.5.1 晶体管静态工作点的	
方法	168	测量	206
10.2 数字万用表	176	11.5.2 频率调整方法	206
10.2.1 数字万用表的技术指标	176	11.5.3 后盖装配	207
10.2.2 数字万用表的使用方法	179	11.6 组装调整中易出现的问题	207
10.3 YB4328/YB4328D型双踪		11.7 检测修理方法	208
示波器	183	11.7.1 常用检查方法	208
10.3.1 各控件在示波器上的位置		11.7.2 修理方法	209
及使用时的合适位置	183	参考文献	211
10.3.2 电气物理量的示波器			

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°C 以下, 硬钎料的熔点在 450°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；

θ ——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 θ 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： Cu—Pb/Sn 为 $15^\circ \sim 45^\circ$ 。

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

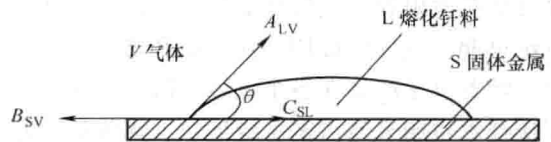


图 1-1 固体金属表面的钎料润湿

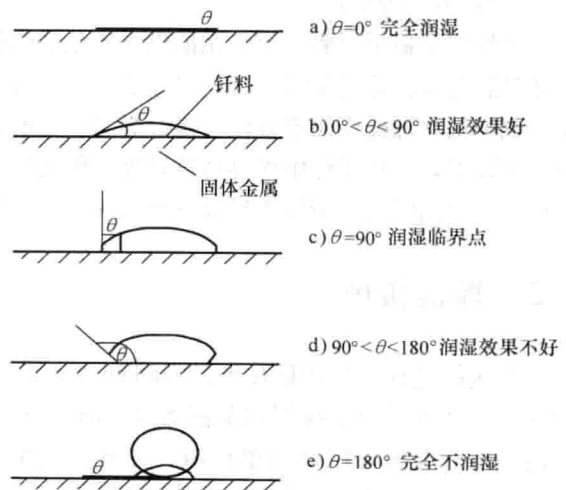


图 1-2 钎料的结合状态和润湿效果

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	1.39×10^3	2.44 (390°C)
20	80	4.67×10^3	2.72
30	70	4.7×10^3	2.45
50	50	4.76×10^3	2.19
63	37	4.9×10^3	1.97
80	20	5.14×10^3	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。

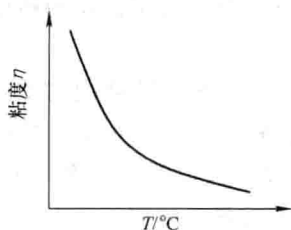


图 1-3 温度对粘度的影响

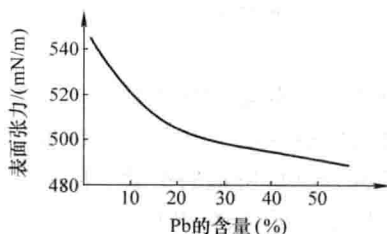


图 1-4 250°C 时 Pb 含量与表面张力的关系

3. 增加活性剂

在电子产品焊接中加入钎剂, 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)。

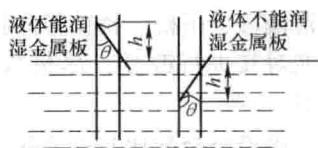


图 1-5 固体金属在液体中的毛细管现象

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

式中 h ——毛细管中液面的高度;

σ ——液体与气相之间 (钎料) 的表面张力;

θ ——润湿角;

g ——当地的重力加速度;

ρ ——液体 (钎料) 的密度;

r ——毛细管半径。

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。 θ 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, 过一会儿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钎剂，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。

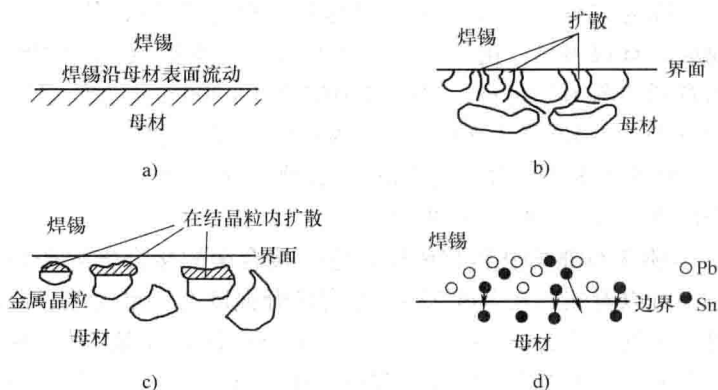


图 1-6 扩散图

a) 表面扩散 b) 晶界扩散 c) 体扩散 d) 选择扩散

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。

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 Cu_3Sn 、 Cu_6Sn_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 $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ 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。

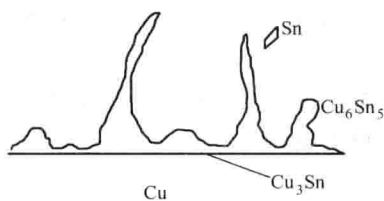


图1-7 形成合金示意图

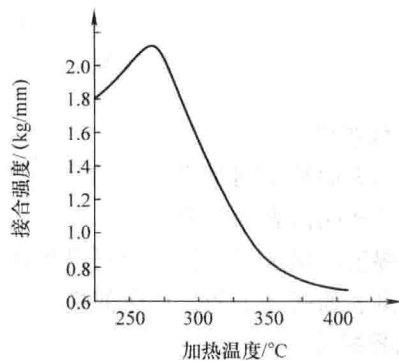


图1-8 加热温度和接合强度关系曲线

合金层最佳厚度为1.2~3.5 μm ，当厚度小于0.5 μm 时合金层太薄，几乎没有抗拉强度，当厚度大于4 μm 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、钎剂的质量、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。钎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°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°C 时是银白色金属，低于 13.2°C 时是灰色金属，低于 -40°C 时变成粉末状，熔点是 232°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°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优秀特性，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°C ，铅的熔点是 327°C ，而锡铅钎料的熔点是 183°C （锡占63%，铅占37%时）。

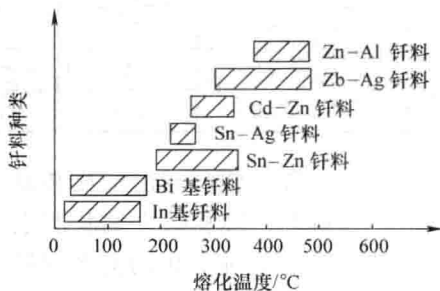


图 1-9 软钎料的熔化温度范围

(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。

(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 /°C	比重 /(g/cm ³)	电导率 (以铜为 100%)	抗拉强度 /(kg/mm ²)	延伸率 (%)	剪切强度 /(kg/mm ²)
锡钎含量(%)	铅						
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。

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,c 点是锡的熔点,温度为 232°C,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°C,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

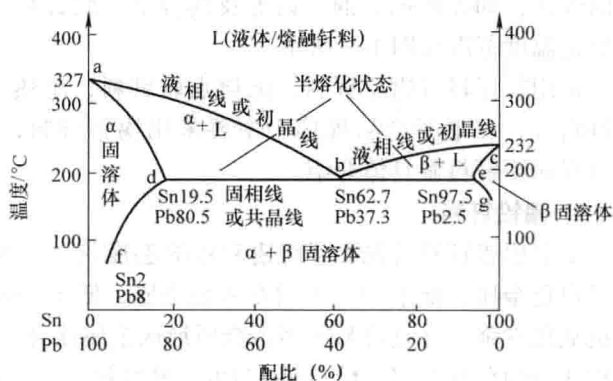


图 1-10 锡铅系钎料状态图