

X

# 锡焊和焊料

## 可靠连接的分析 和 材料、设计、制造

(美) 霍华德·H·曼科 著

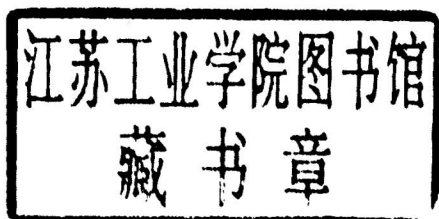
雷云山 译

人民邮电出版社

# 锡 焊 和 焊 料

可靠连接的分析 and 材料、设计、制造

【美】 霍华德 H·曼科 著  
雷云山 译



人民邮电出版社

**Solders and Soldering**  
*Materials, Design, Production, and*  
*Analysis for Reliable Bonding*  
*Second Edition.*

**HOWARD H. MANKO**

1979

**McGRAW-HILL BOOK COMPANY**

**锡 焊 和 焊 料**

可靠连接的分析 and 材料、设计、制造

[美]霍华德 H·曼科 著

雷云山 译

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本：850×1168 1/32 1986年8月 第一版  
印张：12 28/32 页数：206 1986年8月河北第1次印刷  
字数：334 千字 印数：1—3,000 册

统一书号：15045·总3233—有5471

定价：2.85 元

## 内 容 简 介

本书译自国际电工委员会软钎焊工作组专家霍华德H·曼科著《*Solders and soldering*》第二版。

书中介绍了锡焊的理论基础，以帮助读者理解锡焊过程、产生连接强度的机理、锡焊的优点及其局限性；还介绍了为获得可靠锡焊点而必需的选择材料的方法、锡焊接头设计和锡焊生产技术。这些内容将有助于设计师和工程师科学地规划设计新装配件。

本书论及了锡焊生产设备、锡焊工艺守则和锡焊技术。其中包括科学的手工锡焊方法以及诸如印刷电路板波动焊这样一些与自动锡焊过程有关的内容。还讨论了质量检查标准和质量控制措施，其中包括完整的实验室技术员守则。

本书中各以一章的篇幅对润湿机理、焊接接头形成物理过程、焊剂的化学性质和物理性质、焊料冶金学和锡焊合金、锡焊点的形成顺序、锡焊点的电气和机械设计等作了权威性的论述。

主要读者对象是电子和机械工程师、负责锡焊产品的生产工程师、检查员、质量控制人员、从事微电子学研究和发展的科技人员。

## 前 言

本书的目的，是以适当的广度介绍新的锡焊技术知识。作者力求使本书介绍的技术内容正确和最新，并采用了广大锡焊专业人员能够接受的论述方式。其中包括产品或系统设计师、生产工程师、质量控制人员、代理商、锡焊操作工人和大学生。本书包括理论和实践两个方面的内容，由于它为理解锡焊打下了牢固的技术基础，所以希望本书的出版能有助于进一步提高锡焊的可靠性。

有三个令人信服的理由说明，为什么在可以预见的将来锡焊不会被取代。按其重要性的顺序来说，这三个理由是焊料的应力连接能力，锡焊的经济性和可靠性，便于操作、修整和检查。下面，我们来分别论述这三个理由：

**应力连接** 在室温下\*，纯焊料是可塑的自退火合金，它能够在不产生加工硬化现象的条件下或在因应力循环作用而疲劳损坏的条件下吸收应力。这个独特的性能，使其能在不对设计提出一些机械装配件的典型技术要求的条件下，连接具有不同膨胀系数、刚性和强度的材料。例如，普通印刷电路板的设计就违背了有关应力集中、材料强度、负荷分布和耐振动性能等方面的所有结构设计原则。如果没有锡焊连接方法及其应力连接能力，就不可能有今天众所周知的印刷电路板。采用其它非应力屈服型焊接方法，例如：硬钎焊或其它焊接方法，都可能引起层压板损坏、线路条脱落和板上元件的玻璃——金属间密封的破坏。

**经济性和可靠性** 因为可以在较低的温度下进行锡焊，所以塑料和被焊组件通常不会因为受热而变形和发生性能劣化现象，锡焊是很经济的焊接方式。因为锡焊所采用的设备简单、材料便宜和锡焊过程可控，所以锡焊方法特别经济。

但是，只有当把经济性和高可靠性联系在一起考虑时，才能收

\* 在极低温度下，应力连接能力降低。

到真正的经济效果。过去，因设计、操作不当和对于作为一门工艺技术

的锡焊缺乏全面了解，人们在可靠性方面曾陷入了困境。由于严肃认真地对待了上述问题，大多数大型企业的锡焊可靠性已达到了其它任何已知连接方法不能达到的水平。由于采取了某种措施，象国际商用机器公司（IBM）这样一些公司的自动锡焊可靠性已达到了每100000个焊点只修整一个焊点的水平；北美飞机公司 *Autonetics* 分部的报告称，在生产民兵式导弹的过程中，锡焊可靠性已达到了150亿焊点——小时无故障的水平。达到这样的可靠性水平是不容易的，为此必须在一开始就在设计和规划方面采取各种保证措施，并认真地控制整个锡焊生产过程。

便于操作、修整和检查。和其它冶金连接方法相比，锡焊操作容易、所采用的工具和技术简单。例如，利用只需要一个人操作的波峰锡焊设备，就能够高度均匀地锡焊大量处于同一平面上的焊点。在适当指导和培训操作工人、选用适当材料的条件下，甚至效率比较低的手工锡焊也能达到很高的可靠性。

便于修整焊点是锡焊的另一个优点，这是与其它冶金连接方法不同的独特之处。只有锡焊是真正的可逆过程，所以锡焊点易于修整。技术不太熟练的工人就能胜任焊点修整、更换元件、校正制造缺陷和现场维修工作。采用正确的方法和材料修整过的焊点，和原来的好焊点一样。

最后一点，不管怎样强调能够百分之百地肉眼检查的重要意义也不会过分，这是优点，而不是缺点。按正确标准进行的最终检查和生产过程中的质量控制检查是很重要的，因为这种检查可以在实际上不影响焊点的情况下百分之百地进行，所以其意义就特别重大。

便于操作、维修和检查的这些优点，也常常成为导致锡焊工艺没落的原因。很不幸，生产管理部门通常很少注意装配生产中锡焊这个工艺过程，从而犯了一个根本性的错误。这最终将导致锡焊可靠性不高。我有时这样想，如果锡焊是一种操作复杂的较困难生产

技术，不知能否引起人们的关注。如果我们不能可靠和经济地进行锡焊，那么就是犯了这样一个根本性的错误。

锡焊是圣经（以赛亚书41：7）中提到的一种古老的连接方法。现在还有约5000年前在小亚细亚和其后在埃及、希腊及罗马利用锡焊方法的证据〔1〕。在不久的将来，看来只要我们还是利用导线、半导体器件和绝缘材料，基于电脉冲和磁脉冲的原理制造电路，锡焊就是必不可少的技术手段。象纤维光学和射流等这样一些新技术，还没有发展到预期水平。我认为，下一个真正的技术革命将和生物大脑神经型系统有关。一旦理解了人体的这些不可思议的功能机理，我们就能抛弃笨重的金属——电气技术。但在该时刻到来之前，我们还必须采用锡焊技术。

如欲适当地感谢对本书作出贡献的人们，可能必须另辟许多篇幅列出我读过的论文、参加过的讲座和专题讨论会，就该领域技术问题与人们进行的通信和讨论、以及就有关锡焊的理论和方法交换的意见。但是，要特别感谢我在国际商用机器公司（IBM）（纽约州、波基普西）和阿尔法金属公司（新泽西州、泽西城）工作时的同事，感谢他们对本书第一版的写作所给予的帮助和合作。而且，还要感谢Hollis工程公司（新罕布什尔州、纳休阿）、Hexacon电气公司（新泽西州、罗塞尔、帕克）的技术人员和国际电工委员会（IEC第三工作组——锡焊），感谢他们在第二版写作过程中给予的帮助。

---

〔1〕Jochem Wolters, "Zur Geschichte der Lottechnik," Degussa, Hanau, West Germany, 1977.

# 目 录

## 前言

### 第一章 锡焊接头的形成

- 1-1 冶金连接····· ( 1 )
- 1-2 连接方法的分类····· ( 2 )
- 1-3 润湿的作用····· ( 3 )
- 1-4 焊料——焊剂——基体金属系统····· ( 5 )
- 1-5 固着面积和其它校正因素····· ( 8 )
- 1-6 润湿、可溶性和金属间化合物的形成····· ( 10 )
- 1-7 焊料接头····· ( 11 )
- 1-8 焊料接头的形成次序····· ( 12 )
- 1-9 基体金属····· ( 12 )
- 1-10 焊剂的作用····· ( 13 )
- 1-11 加入焊料····· ( 13 )
- 1-12 被焊表面的净度和腐蚀····· ( 14 )
- 1-13 锡铅焊料在有氯元素情况下的  
    循环腐蚀过程····· ( 15 )
- 1-14 一般净度分析····· ( 16 )

### 第二章 焊剂的化学性质

- 历史考究····· ( 19 )
- 2-1 引言····· ( 19 )
- 2-2 化学活性····· ( 19 )
- 2-3 热稳定性····· ( 20 )
- 2-4 焊剂的活化温度和去活化温度····· ( 22 )
- 2-5 润湿能力····· ( 23 )
- 2-6 漫流活性····· ( 23 )



2-7	各种因素的相对重要性	( 23 )
2-8	电化学活性	( 25 )
	工业和工程方面的考虑	( 26 )
2-9	实用的焊剂	( 26 )
2-10	时间	( 26 )
2-11	温度	( 26 )
2-12	腐蚀	( 26 )
2-13	安全性	( 28 )
2-14	经济性	( 29 )
	焊剂材料	( 29 )
2-15	可采用的焊剂材料	( 29 )
2-16	第一组——无机材料	( 30 )
2-17	第二组——有机材料(非松香基)	( 34 )
2-18	松香型有机焊剂	( 34 )
2-19	水白松香焊剂	( 35 )
2-20	活性松香焊剂	( 35 )
2-21	松香简介	( 40 )
2-22	颜色、腐蚀和焊剂	( 42 )
2-23	焊剂和腐蚀	( 44 )
2-24	颜色的同一性	( 45 )

### 第三章 焊料冶金学

	锡、铅及其相图的理论基础	( 46 )
3-1	冶金学的导言	( 46 )
3-2	相图	( 48 )
3-3	铅、锡及其合金	( 52 )
3-4	元素锡	( 53 )
3-5	元素铅	( 54 )
3-6	锡——铅合金系	( 55 )
3-7	锡——铅相图	( 56 )

焊料合金中的杂质·····	( 65 )
3-8 锡——铅合金系的杂质种类·····	( 65 )
3-9 按纯度划分的焊料品位·····	( 66 )
3-10 金属杂质对锡——铅焊料物理性质的影响·····	( 72 )
3-11 金属杂质对锡——铅焊料润湿性能的影响·····	( 74 )
3-12 高含量添加合金元素对低共熔锡——铅焊料微观结构的影响·····	( 76 )
3-13 焊料的实际污染途径·····	( 78 )
锡铅焊料的性质和应用·····	( 85 )
3-14 焊料体和焊料接头的比较·····	( 85 )
3-15 物理性质、数据的精度和附加资料来源·····	( 87 )
3-16 焊料体在室温下的性能·····	( 88 )
3-17 焊料的蠕变性能·····	( 91 )
3-18 非室温下焊料的物理性能·····	( 96 )
3-19 焊料接头的性质·····	( 100 )
锡焊用合金系·····	( 114 )
3-20 含铈的锡——铅焊料及其性能·····	( 114 )
3-21 含铈的实用焊料合金·····	( 119 )
3-22 用作为焊料的易熔合金·····	( 122 )
3-23 含铋和镉的低温焊料·····	( 124 )
3-24 凝固后的收缩和膨胀现象·····	( 128 )
3-25 中温钢基焊料·····	( 131 )
3-26 含银焊料·····	( 136 )
3-27 用于锡焊的其它合金·····	( 139 )
<b>第四章 锡焊接头的设计</b>	
4-1 设计锡焊接头的必要性·····	( 142 )
材料选择·····	( 143 )
4-2 材料选择的概要·····	( 143 )

4-3	基体金属选择	( 143 )
4-4	正确选用焊剂	( 147 )
4-5	正确选用焊料	( 150 )
4-6	评定材料的配合使用性能	( 163 )
	接头的几何形状	( 165 )
4-7	结构锡焊接头和电气锡焊接头	( 165 )
	结构锡焊接头	( 166 )
4-8	考虑机械强度的锡焊	( 166 )
4-9	基本的结构接头	( 166 )
4-10	某些结构方面的一般性分析	( 168 )
4-11	锡焊接头的强度分析	( 170 )
4-12	评定提出的设计方案	( 178 )
4-13	结构锡焊接头设计问题的示例	( 179 )
	电气连接	( 182 )
4-14	锡焊连接的电气性质	( 182 )
4-15	基本锡焊接头形状的计算	( 190 )
4-16	锡焊连接的电阻分析	( 191 )
4-17	电气锡焊接头的设计	( 192 )
4-18	电气接头设计示例	( 193 )
<b>第五章 锡焊设备和生产技术</b>		
5-1	绪言	( 198 )
5-2	编制锡焊工艺和制定技术标准	( 198 )
	焊前净化	( 201 )
5-3	表面情况和贮存	( 201 )
5-4	清除杂质	( 203 )
5-5	清除热处理氧化皮和严重腐蚀层	( 203 )
5-6	剥离电气绝缘	( 206 )
5-7	磨掉锈蚀层	( 208 )
	涂焊剂操作及其所采用的设备	( 211 )

5-8	10种施用焊剂的方法	( 211 )
5-9	焊剂的滞留时间和温度	( 219 )
	锡焊操作和设备	( 221 )
5-10	锡焊设备的分类	( 221 )
	传热	( 222 )
5-11	传热的定义	( 222 )
5-12	锡焊烙铁	( 222 )
5-13	利用加热板锡焊	( 223 )
5-14	锡焊锅	( 224 )
5-15	拖曳锡焊	( 232 )
5-16	焊料波	( 232 )
5-17	焊料阶流	( 234 )
5-18	喷射焊料流	( 235 )
	对流	( 235 )
5-19	对流的定义	( 235 )
5-20	火燃锡焊	( 236 )
5-21	炉内加热锡焊	( 238 )
5-22	在高温气体覆盖下的锡焊方法	( 239 )
5-23	焊料的软熔	( 242 )
5-24	汽相锡焊	( 245 )
	辐射	( 247 )
5-25	辐射的定义	( 247 )
5-26	非聚焦辐射	( 247 )
5-27	聚焦光	( 248 )
5-28	激光束锡焊	( 250 )
	特殊锡焊装置	( 251 )
5-29	特殊锡焊装置的概要	( 251 )
5-30	电阻式锡焊	( 251 )
5-31	感应锡焊	( 254 )

5-32	超声波锡焊	( 257 )
	锡焊设备用的结构材料	( 261 )
5-33	所要求的性质	( 261 )
5-34	液态锡焊元素对结构材料的影响	( 261 )
5-35	高温下应用的弹性材料	( 262 )
5-36	热屏蔽和散热	( 263 )
	锡焊后净化	( 264 )
5-37	绪言	( 264 )
5-38	清除焊剂残留物的重要性	( 265 )
5-39	可溶于水的焊剂残留物	( 266 )
5-40	水基洗涤剂	( 267 )
5-41	水基化学反应	( 267 )
5-42	可溶于溶剂的残留物	( 268 )
5-43	利用超声波净化的优点	( 269 )
5-44	保护涂层	( 271 )
<b>第六章 特殊应用</b>		
6-1	绪言	( 273 )
	特殊表面的锡焊	( 273 )
6-2	铝及其合金	( 273 )
6-3	铍青铜的锡焊	( 278 )
6-4	陶瓷和金属间的焊接	( 279 )
6-5	铜和铜合金	( 280 )
6-6	玻璃——金属焊接	( 281 )
6-7	金和贵金属及其薄膜	( 282 )
6-8	铁和钢	( 283 )
6-9	铅及其合金	( 284 )
6-10	镁	( 286 )
6-11	镍及其合金	( 286 )
6-12	银及银合金	( 288 )

6-13	锡	( 288 )
	印刷电路板锡焊	( 289 )
6-14	印刷电路板	( 289 )
6-15	印刷电路板设计中有关锡焊方面的考虑	( 290 )
6-16	印刷电路板装配和锡焊生产线的概要	( 293 )
	特殊锡焊技术	( 300 )
6-17	无热电效应焊料	( 300 )
6-18	低温锡焊	( 301 )
6-19	高温锡焊	( 301 )
6-20	膨胀型焊料	( 302 )

## 第七章 手工锡焊和锡焊烙铁

7-1	绪言	( 305 )
7-2	结构细节	( 307 )
7-3	可采用的工业用电烙铁	( 311 )
7-4	锡焊烙铁头	( 312 )
7-5	锡焊烙铁的数学模型	( 316 )
7-6	基本原则	( 317 )
7-7	焊点形成过程中各种现象的发生顺序	( 319 )
7-8	数学模型的理论基础	( 321 )
7-9	被焊工件	( 322 )
7-10	锡焊烙铁	( 324 )
7-11	与所从事锡焊工作任务相匹配的烙铁	( 328 )
7-12	工业用锡焊烙铁的评价方法	( 332 )
7-13	实验室实验和评定方法	( 333 )
7-14	为工业锡焊任务选用电烙铁	( 338 )
7-15	烙铁头的选择	( 341 )
7-16	工业生产中使用的辅助锡焊工具	( 343 )
7-17	锡焊烙铁的维护和注意事项	( 346 )
7-18	手工锡焊	( 348 )

7-19	操作人员培训和技术标准	( 351 )
<b>第八章 锡焊点的质量和检查</b>		
8-1	锡焊过程中质量控制的作用	( 352 )
	质量控制方案	( 353 )
8-2	保证可靠性的三个步骤	( 353 )
8-3	第一步: 材料的选择和进厂检查	( 353 )
8-4	第二步: 几何形状设计和技术标准	( 359 )
8-5	第三步: 锡焊操作	( 360 )
	最终检查	( 362 )
8-6	目视检查的优点	( 362 )
8-7	接触角	( 363 )
8-8	允许的极限情况	( 367 )
8-9	焊点的可检查性和大小	( 369 )
8-10	净度	( 370 )
	质量循环	( 372 )
8-11	质量循环包括的要素	( 372 )
8-12	第一阶段: 采购和验收	( 372 )
8-13	第二阶段: 存贮和传送	( 374 )
8-14	第三阶段: 锡焊前检查	( 375 )
8-15	锡焊和最终检查	( 376 )
	特殊质量检验	( 376 )
8-16	可焊性和老化实验	( 376 )
8-17	浸入实验方法	( 378 )
8-18	数值实验方法	( 379 )
8-19	表面的老化	( 381 )
8-20	可焊性的解释	( 382 )
8-21	表面净度和电子污染	( 383 )
8-22	离子污染的测量	( 384 )
8-23	离子测量仪器	( 385 )

焊点的物理实验	( 387 )
8-24 一般考虑	( 387 )
8-25 焊点的拉伸和剪切	( 387 )
8-26 锡焊点的蠕变强度	( 388 )
8-27 锡焊装配件的振动	( 389 )
8-28 环境实验	( 389 )
金相检验	( 391 )
8-29 一般说明	( 391 )
8-30 安装试样	( 391 )
8-31 抛光指南	( 392 )
8-32 腐蚀	( 392 )



# 第一章 锡焊接头的形成

## 1-1 冶金连接

尽管锡焊是一种众所周知的焊接方法，并已广泛地应用了许多年，但普通工程师和锡焊操作人员仍然发现难于给锡焊下一个适当的定义。但在本书所介绍的内容基础上，可如下定义锡焊：

锡焊 采用熔点低于 $600^{\circ}\text{F}$ ( $315^{\circ}\text{C}$ )<sup>(1)</sup>的填充金属(焊料)，既不需要借助于扩散，也不必利用基体金属形成的金属间化合物，而靠润湿作用达到连接目的的冶金连接方法。

下面，我们稍微详细地分析该定义。一般说来，冶金连接就是在金属间建立起金属连续性的连接方法。其它冶金连接方法包括硬钎焊、焊接以及利用这些方法的结合最近发展起来的新焊接方法，例如扩散焊和热压焊。上面谈到的极限锡焊温度 $600^{\circ}\text{F}$ 是人为规定的，许多人把锡焊上限温度考虑为 $800^{\circ}\text{F}$ ( $427^{\circ}\text{C}$ )。对照锡焊的定义，可如下定义硬钎焊：

硬钎焊：采用熔点温度在 $800^{\circ}\text{F}$ 以上的填充金属，靠润湿和扩散作用获得连接强度的冶金连接方法。

在同样条件下，把焊接定义为：

焊接 靠基体金属扩散作用，采用或不采用填充金属形成接头的冶金连接方法。

下面，我们来比较这三种主要的焊接方法(见表1)。在形成接头的过程中，锡焊产生的热变形小，硬钎焊产生的热变形大，结构焊接产生的热变形非常大。对于电子元件焊接，如果施焊时间短，则产生的热变形也很小。

(1)以摄氏温标表示的等效温度为近似值。