

# 电子设备装联工艺基础

航空航天工业部教育司组织编写

主编 华 苇

编者 华 苇 魏虎章 冯维锦 编

## 内 容 简 介

本书全面介绍了有关电子设备装联方面的基础知识。全书内容包括：装联工艺技术的发展概况，常用元器件和材料，装联前的准备，手工焊接技术，自动焊接技术，装配技术，产品的调试，电子设备的防护措施及设计和工艺文件介绍等。

本书可作为电子设备装联技术工人和无线电专业技工学校学生的培训教材，也可供有关技术人员参考。

### 电子设备装联工艺基础

航空航天工业部教育司组织编写

主编 华 菁

责任编辑 易 新

\*

宇航出版社出版

北京和平里滨河路1号 邮政编码100013

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经销

人民交通出版社印刷厂印刷

\*

开本：787×1092<sup>1</sup>/<sub>32</sub> 印张：9.625 字数：219千字

1992年10月第1版第1次印刷 印数：1—4300册

ISBN 7 80034-404-5/TN·033 定价：6.50元

## 前 言

随着电子科学技术的飞快发展，电子设备的小型化和装联密度的提高，对电子元器件的可靠性、装联质量的要求越来越高。因此，对无线电技术工人的专业知识和操作技能提出了更高更新的要求。编写本书的目的旨在对初、中级无线电技术工人系统地介绍电子装联技术的基本知识、基本技能和方法，以提高他们的专业知识水平和操作技能，保证航天电子设备的可靠性。

本书的编审工作是在航空航天工业部教育司的直接领导下进行的。教育司先后组织了航天系统各研究院、上海航天局和708所的有关高级工程师、研究员等数十人，对本书大纲和书稿进行了编审和修改。以后，200厂刘正川总工程师又对本书进行了修改补充。本书系统地介绍了电子装联工艺的焊接、压接和绕接、装配和调试以及常用元器件和材料、元器件引线成形、搪锡、导线束和电缆的加工制作、清洗和环境防护等内容。

本书在编写过程中，得到了航天系统各研究院、宇航出版社等许多同志的大力支持和协助，部教育司尹惠芬同志做了大量的组织工作，在此谨表感谢。

由于时间仓促和经验不足，书中难免有不足之处，敬请广大读者提出意见。

编 者

1991年10月

量的关键,所以本书以第二、三章为重点。

复旦大学计算机系的部分教师和研究生在图书馆、企事业管理、办公室自动化、银行、运动会数据管理等试验性或实际的系统中使用了本书介绍的各种方法,实践证明这些方法是切实可行的,它们使开发工作纪律化地进行,因而减少了开发所需的人力和时间,并提高了软件的质量。

本书内容通俗易懂,可以供有一定实际经验的软件开发人员自学,也可作为高等院校计算机专业“软件工程”课的教材。本书内容可作40学时讲授,如果能选择一个规模适度的软件开发课题与讲课并行进行,可以获得较好的教学效果。

本人在美国玛利兰大学进修期间,得到该校叶祖尧教授的热情指导,为本书的编写奠定了基础。朱三元同志仔细地审阅了全稿。谨此对他们表示衷心的感谢。本书不当之处恳请读者不吝指教。

编者

1984年

# 目 录

## 第一章 概述

- 一、电子技术的发展概况.....(1)
- 二、装联工艺技术的发展概况.....(2)
- 三、装联工艺技术的发展特点.....(3)
- 四、装联质量和电子设备可靠性.....(6)
- 五、电子设备装联的一般工艺程序.....(8)

思考题.....(8)

## 第二章 常用元器件和材料.....(9)

### 第一节 常用元器件.....(9)

- 一、电阻器.....(9)
- 二、电容器.....(17)
- 三、电感器.....(20)
- 四、半导体分立器件.....(22)
- 五、光电耦合器.....(28)
- 六、半导体集成电路.....(29)
- 七、继电器.....(31)
- 八、电连接器.....(34)
- 九、开关.....(36)
- 十、指示灯.....(38)

### 第二节 常用导线和非金属材料.....(39)

- 一、电线、电缆.....(39)
- 二、绝缘材料.....(44)
- 三、电子设备常用绝缘材料介绍.....(46)
- 四、覆铜箔层压板.....(48)
- 五、热收缩管.....(50)

六、漆料·····	(51)
七、有机溶剂·····	(52)
思考题·····	(54)
<b>第三章 装配前的准备</b> ·····	(55)
<b>第一节 元器件的质量检查</b> ·····	(55)
一、外观检查·····	(55)
二、元器件的筛选和老炼·····	(56)
三、元器件引线的可焊性检查·····	(61)
<b>第二节 搪锡技术</b> ·····	(65)
一、搪锡准备·····	(65)
二、搪锡方法·····	(66)
三、搪锡的质量要求·····	(68)
<b>第三节 元器件引线的成形</b> ·····	(69)
一、引线成形的基本要求·····	(69)
二、引线成形的方法·····	(71)
三、引线成形的技术要求·····	(71)
<b>第四节 导线束的制作</b> ·····	(73)
一、导线束绑扎的技术要求·····	(73)
二、导线束的制作方法·····	(74)
三、绑扎结扣的要求和方法·····	(77)
四、导线束的防护·····	(78)
五、屏蔽导线的端头处理·····	(79)
<b>第五节 电缆制作</b> ·····	(83)
一、电缆制作的一般要求·····	(84)
二、加工工艺·····	(85)
思考题·····	(90)
<b>第四章 手工焊接技术</b> ·····	(91)
<b>第一节 焊接机理的分析</b> ·····	(91)
一、焊料的润湿作用·····	(92)
二、焊点形成的作用力·····	(93)
三、金属间的扩散现象·····	(94)

第二节 焊接材料	(95)
一、焊料	(95)
二、焊剂	(102)
第三节 焊接工具——电烙铁	(105)
一、电烙铁的结构和工作原理	(105)
二、电烙铁的种类	(106)
三、电烙铁的选定和温度控制	(108)
四、烙铁头的防护	(109)
五、电烙铁的使用和维护	(110)
第四节 手工焊接工艺	(111)
一、保证焊接质量的条件	(111)
二、手工焊接的工艺流程和方法	(112)
三、导线和接线端子的焊接	(116)
四、印制电路板的焊接	(120)
思考题	(128)
第五章 自动焊接技术	(129)
第一节 波峰焊接技术	(129)
一、波峰焊接的工作原理	(129)
二、波峰焊接工艺流程	(130)
三、电磁泵波峰焊接机	(137)
第二节 自动焊接工艺及特点	(139)
一、一次焊接法	(139)
二、二次焊接法	(140)
三、手工焊接和自动焊接比较	(141)
四、一次焊接和二次焊接比较	(142)
第三节 表面安装技术简介	(143)
一、表面安装技术的优点	(143)
二、表面安装的工艺流程	(144)
三、焊接工艺	(144)
第四节 焊接质量的评定	(149)
一、焊点的质量标准	(149)

二、焊接质量的检查方法 .....	(150)
三、焊接缺陷的分析 .....	(150)
四、焊点的解焊 .....	(153)
第五节 焊点的清洗 .....	(155)
一、清洗剂的选择 .....	(155)
二、清洗方法 .....	(156)
思考题 .....	(159)
<b>第六章 其他连接技术</b> .....	(160)
<b>第一节 压接技术</b> .....	(160)
一、压接原理 .....	(161)
二、压接工具、导线和端子 .....	(163)
三、O型端子压接工艺 .....	(165)
四、插头座端子压接工艺 .....	(171)
五、带状电缆压接工艺 .....	(172)
<b>第二节 绕接技术</b> .....	(174)
一、绕接原理 .....	(175)
二、绕接工具、导线和端子 .....	(176)
三、绕接点及布线要求 .....	(178)
四、操作工艺过程 .....	(179)
五、绕接质量检查 .....	(180)
六、绕接注意事项 .....	(183)
<b>第三节 胶接技术</b> .....	(185)
一、胶接的一般工艺过程 .....	(185)
二、几种常用胶粘剂的胶接工艺 .....	(188)
思考题 .....	(192)
<b>第七章 装配技术</b> .....	(193)
<b>第一节 装配件的质量要求</b> .....	(193)
一、金属零件的质量要求 .....	(193)
二、非金属零件的质量要求 .....	(194)
三、印制电路板的质量要求 .....	(194)
四、接线板的质量要求 .....	(195)



五、螺纹零件的质量要求 .....	(196)
六、减震器的质量要求 .....	(196)
第二节 螺纹连接工艺 .....	(197)
一、螺纹的种类和用途 .....	(197)
二、螺纹连接的形式 .....	(197)
三、常用紧固件 .....	(199)
四、装配工具的选用 .....	(204)
五、螺纹连接的紧固方法 .....	(207)
第三节 整机装配工艺 .....	(209)
一、装配技术要求 .....	(209)
二、螺纹连接的防松措施 .....	(210)
三、整机的质量检查 .....	(213)
思考题 .....	(215)
第八章 产品的调试 .....	(217)
第一节 测量和测量仪器 .....	(217)
一、测量概述 .....	(217)
二、常用电子测量仪器简介 .....	(222)
第二节 调试的程序和方法 .....	(240)
一、调试概述 .....	(240)
二、调试前的准备 .....	(241)
三、调试的一般程序 .....	(242)
四、调试的一般方法和特点 .....	(244)
第三节 产品加电老炼 .....	(246)
一、老炼的目的和要求 .....	(246)
二、加电老炼试验 .....	(247)
三、老炼数据的处理与分析 .....	(248)
思考题 .....	(248)
第九章 电子设备的防护措施 .....	(249)
第一节 气候环境的影响 .....	(249)
一、气候环境对电子设备的影响 .....	(249)
二、环境防护的技术要求 .....	(251)

第二节 防护工艺 .....	(251)
一、喷涂防护工艺 .....	(252)
二、灌封工艺 .....	(255)
三、除氧封存工艺 .....	(257)
四、DJB823保护剂浸涂工艺 .....	(258)
第三节 电子设备多余物控制 .....	(259)
一、多余物的分类 .....	(259)
二、产生多余物的主要因素 .....	(260)
三、对多余物控制的方法和措施 .....	(261)
思考题 .....	(262)
第十章 设计文件和工艺文件 .....	(263)
第一节 设计文件 .....	(263)
一、产品的分类及研制阶段 .....	(263)
二、设计文件的完整性及编号方法 .....	(266)
三、常用设计文件介绍 .....	(267)
第二节 工艺文件 .....	(281)
一、工艺工作的内容 .....	(283)
二、工艺文件的分类及其完整性 .....	(284)
三、工艺文件编制要求 .....	(286)
四、电子设备装联工艺文件 .....	(287)
思考题 .....	(290)

# 第一章 概 述

电子设备的装联工艺技术是将数量众多的电子元器件、金属或非金属零部件、紧固件及各种规格的导线，按设计文件规定的技术要求，装配连接成整件或整机。

本书主要叙述电子设备装联各生产工序的制造工艺，质量保证措施，从而掌握装联工艺的基本知识和操作技能。

## 一、电子技术的发展简况

电子技术的飞速发展，促进了电子设备装联工艺技术的进步。

电子技术发端于通信技术，即电报和电话的发明和使用。由1864年英国麦克斯韦提出电磁波理论，从而出现了无线电通信，1883年爱迪生发现爱迪生效应，1904年英国弗莱明发明真空二极管，到1906年美国德福斯特发明真空三极管，以电子管为中心的电子技术，大约经历了40年。在这期间有不少电子产品问世，诸如收音机、电视机、雷达、电子计算机等；通信方面也出现了自动交换机、载波通信、短波通信等。

1947年贝尔研究所发明了晶体管，使电子技术发生了一

9310015 · 1 ·

场革命。此后，1958年出现集成电路，1967年诞生大规模集成电路，1978年研制成超大规模集成电路，大约每十年就有一次飞跃。特别是60年代中期以来，随着表面安装元件的出现和应用，表面安装技术(SMT)应运而生，从根本上动摇了传统的装联工艺。

总之，随着半导体器件、集成电路和高密度印制电路板在电子设备中的广泛应用，使电子设备向固体化、小型化、可靠性和多功能等方向发展。为适应这种变化，必将导致装联工艺技术和提高。

## 二、装联工艺技术的发展概况

装联工艺技术的发展过程，见表1-1。

从表1-1中可以看出：一种新型电子元器件的出现和应用必然会促进装联工艺技术的变化。从电子管为有源元件，采用手工焊接开始，经过半导体二、三极管阶段，继而进入集成电路阶段。第三阶段的特点是自动插装技术开始得到应用，用波峰焊接工艺焊接印制电路板。随着大规模集成电路和表面安装元件的出现和应用，使装联工艺进入高密度组装阶段，即第四发展阶段。这一阶段的特点是元器件穿孔安装和表面安装共存，采用全自动插装机和贴装机完成元器件的安装，同时在完善波峰焊接技术的基础上，出现了再流焊接工艺，以适应表面安装元件焊接的需要。目前装联工艺技术正萌发第五阶段，即采用超大规模集成电路、复合表面安装元件，利用微电子焊接技术，机械手装配技术和CAD/CAM技术，在多层陶瓷基板上进行多层混合装联，实现元器件和基板的一体化、模块化。

表1-1 装联技术的发展阶段

阶段 项目	一	二	三	四	五
元器件	电子管、大型元件	半导体二极管、三极管、小型和大型元件	中、小规模集成电路、半导体二、三极管、小型元件	大规模集成电路、表面安装元件	超大规模集成电路、复合表面安装元件
布线	电线、电缆手工布线	单、双面印制电路板布线	双面和多层印制电路板布线	高密度印制电路板、挠性印制电路板布线	高密度印制电路板布线，元器件和基体一体化
焊接材料	锡铅焊料，松香焊剂	锡铅焊料，活性松香焊剂	锡铅焊料，膏状焊料，活性焊剂	膏状焊料	膏状焊料
连接工艺	电烙铁手工焊接，手工连接	手工插装，半自动插装，手工焊接，浸焊	自动插装，波峰焊和再流焊	机械手插装和自动贴装，再流焊	再流焊，微电子焊接
测试	通用仪器，仪表人工测试	通用仪器，仪表人工测试	数字式仪表，在线测试，自动测试	智能式仪表，在线测试和计算机辅助测试	计算机辅助测试

### 三、装联工艺技术的发展特点

#### (一) 连接工艺的多样化

焊接是电子设备实现电气连接的主要连接工艺。手工电烙铁焊接在航天电子设备焊接中占有重要地位。为了适应小型元器件和高密度印制电路板的手工焊接，广泛采用了温度自动控制电烙铁。焊料、焊剂的系列化、标准化也取得了很大的进展，性能优良的多芯焊锡丝和抗氧化焊料得到推广和应用，从而大大提高了手工焊接的质量。

自动焊接技术，特别是波峰焊接的广泛使用，保证了焊接的可靠性和一致性，也大大提高了生产效率，显示了手工焊接无法比拟的优点。

除焊接外，压接、绕接、胶接等连接工艺越来越受到重视，应用日益广泛。压接可用于高温和大电流接点的连接，电缆和电连接器的连接；绕接可用于高密度接线端子的连接，印制电路板接插件的连接；胶接主要用于非电气接点的连接，如金属或非金属零件的粘接，采用导电胶也可实现电气连接。

## （二）装联工具和设备

电子设备的小型化，促进了装联工具 and 设备的不断改进，采用小巧、精密和专用的工具和设备，可保证装联质量。

过去一直使用钳子、镊子等工具对元器件引线进行手工成形，其效率低、精度和一致性差，而且容易损伤引线。采用专用工具、设备和模具成形，可以提高成形质量和效率。如采用手动成形钳，手动、电动、气动成形机，扁平封装集成电路引线成形模具等。

过去通常用斜口钳、剪刀等工具进行导线端头处理，加工质量无法保证，经常发生伤线、断线等现象。为避免上述缺陷，可采用自动剥线捻头机。对氟塑料导线、聚酰亚胺导线等新型导线，绝缘层无法用热剥方法剥除，可以采用专用剥线钳。

搪锡工具改变了过去大功率焊料槽搪锡工艺。如采用结构小巧、温度可控的小型焊料槽，使用超声波搪锡机。

机械装配工具，逐步淘汰了传统采用的钳工工具，向结构小巧，钳口精细和手感舒适的方向发展。电动或气动工具在成批生产的流水线上已得到广泛应用。

### (三) 检测技术的自动化

电子设备装联质量的检查和电气性能的测试，正在向自动化方向发展。

电气连接是否正确，采用人工检测的方法效率低，并带有人为误差，容易造成错检或漏检，特别是装配密度高，元器件小型化的电子设备和印制电路板组装件，人工检测越来越困难。而采用计算机控制的在线测试仪可以根据预先设置的程序，快速正确地判别连接的正确性和装联后元器件参数的变化。

元器件引线的可焊性直接关系到焊接能否顺利进行，影响焊接质量。过去一直用搪锡工艺保证，但随着自动插装技术的应用，特别是编带元件的使用，搪锡工艺会越来越少。为保证焊接的顺利进行，可以用可焊性测试仪，预先测定引线可焊性水平，达到规定要求的元器件才能安装焊接。这种测试有多种方法，其中润湿秤量法是一种先进的自动化测量方法，得到广泛应用。

在进行焊点质量检查时，人工目检无法发现焊点内部的缺陷。随着自动化测试技术的发展，焊点自动检测的方法和设备已经发明，将会在生产中得到应用。

现在已逐步采用计算机辅助测试(CAT)来进行整机的测试和调试。测试用的仪器仪表已大量使用高精度、数字化智能产品，使测试精度和速度大大提高。

### (四) 新工艺、新技术的应用

在航天电子设备的装联过程中，新工艺、新技术及新材料的应用，促进了产品质量的提高。

对焊点和印制电路板组装件的清洗已普遍采用气相清洗

工艺，提高了清洗质量和效率。焊接材料采用活性氯化松香焊锡丝，代替传统使用的普通松香焊锡丝，抗氧化焊料在波峰焊和搪锡中也得到应用。

对整机和印制电路板的防护处理，除采用环氧树脂外，硅橡胶等新型灌封材料的应用越来越广泛。同时，表面防护采用喷橡 S01-3 聚胺酯绝缘清漆及其他绝缘清漆工艺，提高了产品防潮、防盐雾、防霉菌等能力。

连接导线除采用聚氯乙烯绝缘导线外，新型导线，如氟塑料绝缘导线、聚酰亚胺绝缘导线、镀膜导线在产品中得到越来越多的应用，这对提高连接可靠性，减轻质量和缩小体积起到一定的作用。

#### 四、装联质量和电子设备可靠性

一台电子设备由众多的电子元器件、连接导线和印制电路板组成。如某一元器件或连接点发生故障，就会影响产品的正常工作，甚至会导致导弹、运载火箭和卫星的飞行失败。从大量故障分析，大约有 40% 左右的故障与装联质量有关。因此，合理的装联工艺和先进的装联技术是提高航天电子设备可靠性的重要途径。

由于特殊的使用环境和技术要求，航天电子设备，与其他电子设备相比有许多不同的特点：如使用和贮存的环境条件恶劣，要经受各种气候环境和力学环境的考验，对产品结构和环境防护都要有严格要求；产品结构紧凑，体积小，质量轻，安装密度高；元器件在安装前需经严格测试、筛选和老炼；对产品电气参数的稳定性和精度要求较高等等。

针对上述要求和特点，为保证航天电子设备长期贮存，一次使用的要求，对装联过程中每一道加工工序，必须制订严格的工艺规程和操作工艺细则，从而保证电子设备装联质



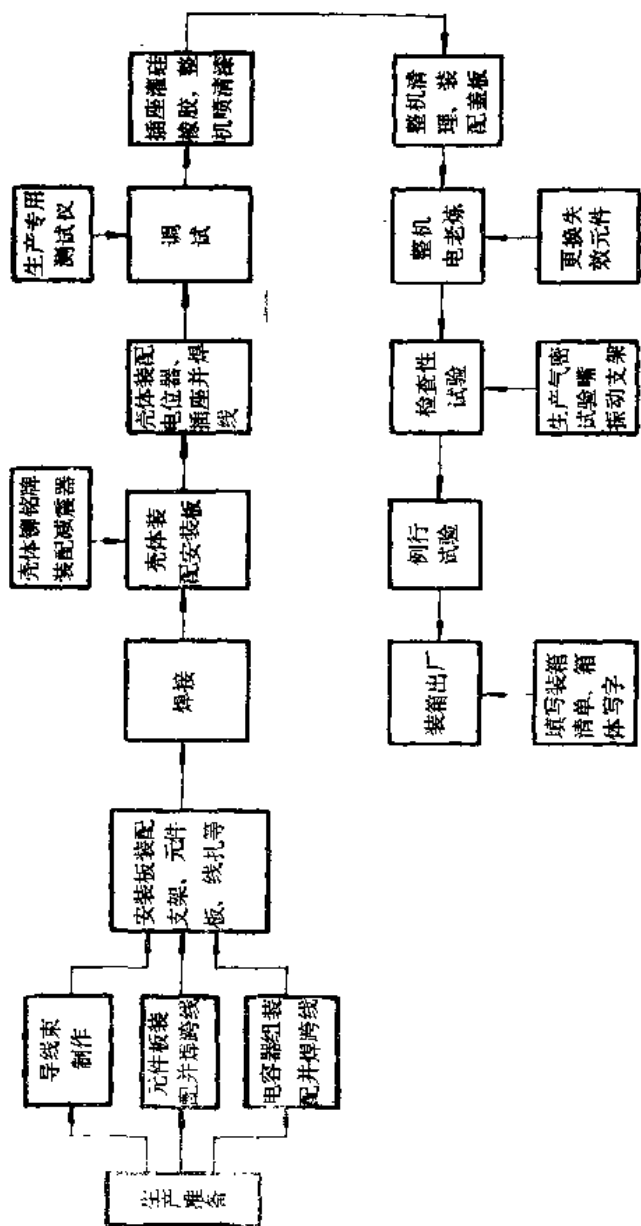


图1-1 电子设备装配工艺流程