

PRINTED CIRCUIT BOARD
DESIGN AND MANUFACTURING TECHNOLOGY

印制电路板 设计制造技术

周旭 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

印制电路板 设计制造技术

周 旭 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书内容包括印制电路板组件的整个设计、制造和组装过程,从 PCB 常规设计、可靠性设计、热设计、电磁兼容性设计、可制造性设计、可测试性设计、可维修性设计、布局设计、布线设计、制作工艺、组装工艺直至最终的测试及维修工艺,回避了复杂的理论,为解决当今微电子设计领域日益增加的布线密度问题提供了指导和准则,并根据对现行标准和众多设计经验的体会,提供了大量的印制板设计制造数据和图示,力求图文并茂,内容详实,通俗易懂。

本书具有新颖性和实用性,列举了大量工程案例,包括 PCB 设计系统软件的应用。

本书可供电力、电子信息、电气及其自动化等专业的技术人员作为电磁兼容性分析、测试和设计的参考和指南。

图书在版编目 (CIP) 数据

印制电路板设计制造技术 / 周旭编著. —北京: 中国电力出版社, 2012.3

ISBN 978-7-5123-2767-2

I. ①印… II. ①周… III. ①印刷电路板(材料)—设计 IV. ①TN410.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 036853 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2012 年 6 月第一版 2012 年 6 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 20.25 印张 491 千字

印数 0001—3000 册 定价 39.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前言

印制电路板（Printing Circuit Board, PCB）是电子产品必不可少的组成部分，不但能完成互连，而且为电子元器件和机电部件提供了必要的机械支撑。由于印制电路板具有统一性和互换性，因此简化了装配过程，缩短了生产周期，便于自动化生产，对于批量生产的电子设备，其优点尤为突出。

印制电路板的设计是根据设计人员的意图，将电路原理图转换成印制板图，确定加工技术要求的过程。如果印制电路板设计得当，它将具有减少骚扰和提高抗扰度的优点；如果印制电路板设计不当，将使载有小功率、高精度度、快速逻辑或连接到高阻抗终端的一些导线受到寄生阻抗或介质吸收的影响，致使印制电路板发生电磁兼容性问题。

PCB 从早期的单面板、双面板到后来的多层板，层数越来越多，密度也越来越高。随着表面安装技术的应用日益广泛，用于安装表贴元器件的印制电路板结构越来越复杂，安装的要求越来越繁多，印制电路板设计需要考虑的因素也随之大量增加，印制电路板的设计制造工艺已成为广大印制电路板设计人员十分关注和必须考虑的问题。

近年来，越来越多的电子工程师关注到 PCB 的设计和制造技术，PCB 设计涉及热设计、可制造性设计、可靠性设计、可测试性设计、电源完整性、信号完整性、电磁兼容性等多个领域。要设计好一块 PCB 需要丰富的电子线路设计知识。

在当前电子设备组装中，印制电路板的组装是整机组装的关键环节。由于电子元器件种类繁多，外形不同，引出线引脚也多种多样，所以印制电路板的组装方法会有所差异，必须根据产品结构的特点、装配密度，以及产品的使用方法、要求来决定。本书详细介绍了印制电路板的各种最新组装技术。

本书有助于解决印制电路板布局、制作、组装以及测试方面的问题。对于致力于印制电路板制作的人员而言，无论从设计方案、产品质量以及可靠性方面，这都是一个有价值的参考工具。它也为电子工业领域中有意了解当今世界电子发展面临挑战的人员提供了一个理想的自学参考。

编著者有着 30 年丰富的印制电路板设计、制造经验，为全国的军工及地方单位举办了百余场印制电路板设计制造高端技术培训。本书以印制电路板设计制造高端技术的实际应用为基础，利用数据和图表来说明技术原理，省略了繁琐的公式推导和论证。

编著本书时，由于编著者水平有限，误漏、欠妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

联系方式：z88691@yahoo.com.cn

周 旭
于南通大学

前言

第 1 章 印制电路板的类型	1
1.1 按布线层数划分	1
1.1.1 单面印制电路板	1
1.1.2 双面印制电路板	1
1.1.3 多层印制电路板	1
1.2 按机械特性划分	2
1.2.1 刚性板	2
1.2.2 软印制电路板	2
1.2.3 刚—挠特种基板	4
第 2 章 印制电路板上的元器件	6
2.1 插装元器件	6
2.1.1 固定电阻器	6
2.1.2 电位器	13
2.1.3 电容器	16
2.1.4 电感器	22
2.1.5 晶体二极管	27
2.1.6 七段字符显示器	30
2.1.7 晶体三极管	31
2.1.8 场效应晶体管	33
2.1.9 晶闸管	33
2.1.10 光耦合器	34
2.1.11 变压器	34
2.1.12 继电器	36
2.1.13 保险元件	40
2.1.14 晶体振荡器	40
2.1.15 霍尔器件	41
2.1.16 集成电路	41
2.1.17 三端固定集成稳压电路	46
2.1.18 开关	47
2.1.19 插接件	49
2.2 表面安装元器件	52

2.2.1	概述	52
2.2.2	表面安装电阻器和电位器	53
2.2.3	表面安装电容器	55
2.2.4	表面安装电感器	56
2.2.5	表面安装半导体器件	57
2.2.6	SMT 元器件的选用	62
第 3 章 印制电路板设计		65
3.1	印制电路板材料设计	65
3.1.1	覆铜板的组成	65
3.1.2	覆铜板的非电技术指标	69
3.1.3	常用覆铜板的性能特点	70
3.2	印制电路板形状和尺寸设计	70
3.2.1	确定印制电路板的外形及结构	70
3.2.2	印制电路板尺寸设计	71
3.3	PCB 电磁兼容性设计	72
3.3.1	印制电路板上的干扰	72
3.3.2	叠层设计	74
3.3.3	接地设计	76
3.3.4	滤波	79
3.3.5	屏蔽	80
3.3.6	模拟、数字混合线路板的设计	80
3.3.7	电源完整性 (PI) 设计	81
3.3.8	PCB 板的信号完整性设计	83
3.3.9	ESD 防护设计	87
3.4	印制电路板布局设计	88
3.4.1	印制电路板布局应具备的条件	88
3.4.2	布局的原则	89
3.4.3	元器件布局	90
3.4.4	基准点设计	93
3.4.5	布局可制造性要求	94
3.5	印制电路板导线的布设	98
3.5.1	PCB 板布线的一般原则	98
3.5.2	印制电路板的对外连接	101
3.5.3	印制导线的尺寸和图形	101
3.5.4	走线的可制造性设计	105
3.6	印制电路板上的孔与焊盘设计	106
3.6.1	定位孔的绘制与定位方法	106
3.6.2	器件孔	107

3.6.3	过孔	107
3.6.4	焊盘设计	108
3.7	阻焊与丝印设计	111
3.7.1	阻焊设计	111
3.7.2	丝印设计	111
3.8	多层板结构设计	112
3.8.1	层压多层板设计	112
3.8.2	BUM (积层法多层板) 设计	112
3.9	印制电路板安规和热设计	113
3.9.1	印制电路板安规设计	113
3.9.2	印制电路板热设计	115
3.10	印制电路板测试性与维修性设计	116
3.10.1	印制电路板测试性设计	116
3.10.2	印制电路板可维修性设计	119
3.11	印制电路板设计评审	119
3.12	PCB 设计软件应用	120
3.12.1	Allegro 主界面介绍	120
3.12.2	焊盘设计	125
3.12.3	封装设计	132
3.12.4	模板设计	145
3.12.5	设计规则和设计环境	149
3.12.6	PCB 布局设计	156
3.12.7	PCB 布线设计	158
第 4 章	印制电路板制造技术	168
4.1	概述	168
4.1.1	印制电路板制造方法	168
4.1.2	印制电路板制造工艺流程	168
4.1.3	工艺准备和审查	170
4.2	图形制作及转移技术	171
4.2.1	原版底片及其制作方法	171
4.2.2	印制电路板的印制和蚀刻	173
4.3	印制电路板的机械加工	176
4.3.1	落料	176
4.3.2	钻孔	176
4.4	印制电路板的电镀	177
4.4.1	铜箔的表面处理	177
4.4.2	印制电路板电镀多种表面涂覆工艺	178
4.5	印制电路板的质量检验	182

4.5.1	目视检验	182
4.5.2	连通性	183
4.5.3	绝缘电阻	183
4.5.4	可焊性	183
4.5.5	镀层附着力	183
4.6	挠性印制电路板制造技术	183
4.6.1	原图审查、修改与光绘	183
4.6.2	基材的准备	184
4.6.3	数控钻孔	185
4.6.4	孔金属化工艺	187
4.6.5	图形工艺	188
4.6.6	覆盖保护膜	193
4.6.7	后续工艺	196
第5章	印制电路板组装技术	198
5.1	概述	198
5.1.1	印制电路板组装方式	198
5.1.2	表面安装技术(SMT)	199
5.1.3	焊接基础	203
5.1.4	黏结剂	225
5.2	元器件焊接前的准备	227
5.2.1	元器件的引线成形	227
5.2.2	镀锡	229
5.2.3	元器件的安装	229
5.2.4	SMT点胶及印刷技术	232
5.2.5	贴片技术	237
5.3	手工焊接技术	248
5.3.1	手工焊接类型	248
5.3.2	常用手工焊接工具	248
5.3.3	焊接工艺	252
5.3.4	焊接质量	259
5.4	印制电路板浸焊技术	262
5.4.1	手工浸焊	262
5.4.2	机器浸焊	263
5.4.3	浸焊设备	264
5.5	波峰焊接技术	264
5.5.1	波峰焊设备	264
5.5.2	波峰焊接工艺	268
5.6	再流焊接技术	272

5.6.1	再流焊的特点和工艺流程	272
5.6.2	再流焊设备	273
5.6.3	再流焊的分类	274
5.6.4	再流焊工艺控制	277
5.7	引线键合技术	282
5.7.1	引线键合的种类	282
5.7.2	引线键合的机理	283
5.7.3	引线键合的设备与工作原理	284
5.7.4	引线键合的判定依据	286
5.7.5	引线键合的失效	288
5.7.6	提高引线键合强度的对策	289
5.8	印制电路板组件的清洗和无铅技术	289
5.8.1	清洗和免清洗焊接技术	289
5.8.2	无铅技术	291
第 6 章	印制电路板装配环境	295
6.1	安全用电	295
6.1.1	安全操作	295
6.1.2	触电保护	297
6.2	静电防护	298
6.2.1	概述	298
6.2.2	静电防护措施	302
第 7 章	印制电路板组件测试及维修	304
7.1	印制电路板组件检测技术	304
7.1.1	光学检测	304
7.1.2	在线检测 (ICT)	305
7.1.3	X 射线检测	305
7.2	调试技术	306
7.2.1	概述	306
7.2.2	调试工艺	308
7.3	PCB 组件维修技术	312
7.3.1	SMT 维修工作站	312
7.3.2	拆焊工艺	312

印制电路板的类型

电子元器件和机电部件都有电触点，为了实现它们的电气连通，必须用导体将两个触点连接起来。互连的方法主要有立体互连（如用分立导线、电缆、接插件等）和平面互连（也叫印制电路板互连）两类。印制电路板（PCB）是在一块不导电的平板上，支撑着按照一定图形排列的导体阵列。在目前的电子设备中，印制电路板互连占有主要地位。

1.1 按布线层数划分

1.1.1 单面印制电路板

单面印制电路板是只在厚度为 0.2~5mm 的绝缘基板上的一面覆铜，另一面没有覆铜的电路板。单面印制电路板只能在覆铜的一面布线，另一面放置元器件。它具有不需要打过孔、成本低等优点，适用于对电性能要求不高的电路。

1.1.2 双面印制电路板

双面印制电路板在厚度为 0.2~5mm 绝缘基板的顶层和底层两面都有覆铜，双面板的两面都可以布线，一般需要由金属化过孔连通两面的布线。双面印制电路板可用于比较复杂的电路，适用于电性能要求较高的通信设备、计算机和电子仪器。

1.1.3 多层印制电路板

随着超大规模集成电路的应用，印制电路板上元器件安装密度越来越高，信号传输的速度也越来越快，单、双面印制电路板已满足不了这些要求，因此多层印制被日益广泛地应用在各种电子设备中。

在绝缘基板上制成三层以上印制电路的印制电路板称为多层印制电路板。它是在垂直叠层上使用了一系列的层压、走线和预浸处理的多层结构，其厚度一般为 1.2~2.5mm。除了钻孔、孔金属化、制板、图形镀铜、铜锡合金等基本采用双面板工艺外，还具有独特的加工工艺，如层与层之间定位、叠压等。多层印制电路板先将各内层板制出图形并蚀成导电图形，进行清洁处理和氧化处理后，再用事先钻好的孔定位。为了把夹在绝缘基板中间的电路引出，多层印制电路板上安装元件的孔需要金属化，即在小孔内表面涂覆金属层，使之与夹在绝缘基板中间的印制电路接通。

多层印制电路板的优点：

- (1) 使用多层板能加强电源线和地线的去耦合。
- (2) 与集成电路块配合使用，可以减小产品的体积与重量。

(3) 所有各层可同时制作, 且通过对穿通孔金属化能同时实现层间连接。由于层数多, 从而能采用屏蔽层、信号层和电源电路层进行安装。

多层印制电路板的缺点:

(1) 由于必须将金属淀积到导线和介质端面上, 因此确保可靠的层间连接很复杂。

(2) 导线金属和基底介质的膨胀系数不同, 对热作用和机械作用很灵敏。要求层间配合及制造底板的精度高, 工艺过程复杂。

1.2 按机械特性划分

1.2.1 刚性板

刚性板处于平展状态, 具有一定的机械强度。酚醛树脂、环氧树脂、聚四氟乙烯等覆铜箔板都属刚性板。

1.2.2 软印制电路板

软印制电路板的基材是软的层状塑料或其他质软膜性材料, 如聚酯绝缘材料, 其厚度为 0.25~1mm。它自身在空间可以端接、排接到任意规定的位置。其突出的优点是能弯曲、折叠, 能连接到刚性板及活动部件, 从而能立体布线, 实现三维空间互连, 体积小和质量轻, 装配方便, 适用于空间小、组装密度高的电子设备。因此广泛用于电子计算机、通信、仪表等电子设备。

(1) 单面软性 PCB。单面软性 PCB 所用的绝缘基底材料有聚酯、聚酰亚胺、聚四氟乙烯、软性环氧—玻璃布等。单面软性 PCB 又可进一步分为如下四类:

1) 无覆盖层单面连接。这类软性 PCB 的导线图形在绝缘基材上, 导线表面无覆盖层, 像通常的单面刚性 PCB 一样。这类产品是最廉价的一种, 通常用在非要害且有环境保护的应用场合。其互连是用锡焊、熔焊或压焊来实现的。

2) 有覆盖层单面连接。有覆盖层单面连接只是在导线表面多了一层覆盖层, 覆盖时需把焊盘露出来。它是单面软性 PCB 中应用最多、最广泛的一种, 在汽车仪表、电子仪器中广泛使用。

3) 无覆盖层双面连接。这类的连接盘接口在导线的正面和背面均可连接。为了做到这一点, 在焊盘处的绝缘基材上开一个通路孔, 这个通路孔可在绝缘基材的所需位置上通过冲制、蚀刻或其他机械方法制成。它用于两面安装元器件和需要锡焊的场合, 通路处焊盘区无绝缘基材, 此类焊盘区通常用化学方法去除。

4) 有覆盖层双面连接。有覆盖层双面连接表面有一层覆盖层, 覆盖层有通路孔, 其两面都能端接, 且仍保持覆盖层。这类软性 PCB 由两层绝缘材料和一层金属导体制成, 用于需要覆盖层与周围装置相互绝缘, 且自身相互绝缘, 末端需要正、反面都连接的场合。

(2) 双面软性 PCB。双面软性 PCB 按有、无金属化孔和有、无覆盖层分为无金属化孔、无覆盖层的, 无金属化孔、有覆盖层的, 有金属化孔、无覆盖层的, 有金属化孔、有覆盖层的四类软性 PCB。

(3) 多层软性 PCB。采用多层层压技术, 可制成多层软性 PCB。最简单的多层软性 PCB

是在单面 PCB 两面覆有两层铜屏蔽层而形成的三层软性 PCB。这种三层软性 PCB 在电特性上相当于同轴导线或屏蔽导线。最常用的多层软性 PCB 结构是四层结构，用金属化孔实现层间互连，中间两层一般是电源层和接地层。

多层软性 PCB 的优点是基材薄膜质量轻并有优良的电气特性，如低的介电常数。用聚酰亚胺薄膜为基材制成的多层软性 PCB 板，比刚性环氧玻璃布多层 PCB 板的质量约轻 1/3，但它失去了单面、双面软性 PCB 优良的可挠性，大多数此类产品是不要求可挠性的。

多层软性 PCB 可进一步分成如下类型：

1) 在挠性绝缘基材上构成多层 PCB，其成品规定为可以挠曲。这种结构通常是把许多单面或双面微带可挠性 PCB 的两面端黏结在一起，但其中心部分并未黏结在一起，从而具有高度可挠性。为了具有所希望的电气特性，如特性阻抗性能和它所互连的刚性 PCB 相匹配，多层软性 PCB 部件的每个线路层，必须在接地面上设计信号线。为了具有高度的可挠性，导线层上可用一层薄的、适合的涂层，如聚酰亚胺，代替一层较厚的层压覆盖层。金属化孔使可挠性线路层之间实现所需的互连。这种多层软性 PCB 最适合用于要求可挠性、高可靠性和高密度的设计中。

2) 在挠性绝缘基材上构成多层 PCB，其成品未规定可以挠曲。这类多层软性 PCB 是用软性绝缘材料，如聚酰亚胺薄膜，层压制成多层板，层压后失去了固有的可挠性。当设计要求最大限度地利用薄膜的绝缘特性，如低的介电常数、厚度均匀介质、较轻的质量和能连续加工等特性时，就采用这类软性 PCB。

3) 在软性绝缘基材上构成多层 PCB。虽然它用软性材料制造，但因受电气设计的限制，如为了所需的导体电阻，要求用厚的导体，或为了所需的阻抗或电容，要求在信号层和接地层之间有厚的绝缘隔离，所以在成品应用时它已成型，并在应用中不能再挠曲。一般用于航空电子设备单元内部布线中。

(4) 优点。

1) 可挠性。应用软性 PCB 的一个显著优点是它能更方便地在三维空间走线和装连，也可卷曲或折叠起来使用。只要在容许的曲率半径范围内卷曲，可经受几千至几万次使用而不至损坏。

2) 减小体积。在组件装连中，同使用导线电缆相比，软性 PCB 的导体截面薄而扁平，减少了导线尺寸，并可沿着机壳成形，使设备的结构更加紧凑、合理，减小了装连体积；与刚性 PCB 相比，空间可节省 60%~90%。

3) 减轻质量。在同样体积内，软性 PCB 与导线电缆相比，在相同载流量下，其质量可减轻约 70%；与刚性 PCB 相比，质量减轻约 90%。

4) 装连的一致性。用软性 PCB 装连，消除了用导线电缆接线时的差错。只要加工图纸经过校对通过后，所有生产出来的挠性电路都是相同的，装连接线时不会发生错接。

5) 增加了可靠性。当采用软性 PCB 装连时，可在 X、Y、Z 三个平面上布线，减少了转接互连，使整个系统的可靠性增加，方便故障检查。

6) 电气参数设计可控性。根据使用要求，设计师在进行软性 PCB 设计时，可控制电容、电感、特性阻抗、延迟和衰减等，能设计成具有传输线的特性。这些参数与导线宽度、厚度、间距、绝缘层厚度、介电常数、损耗角正切等有关，这在采用导线电缆时是难以办到的。

7) 末端可整体锡焊。软性 PCB 像刚性 PCB 一样，具有终端焊盘，可消除导线的剥头和

搪锡,从而节约了成本。终端焊盘与元器件、插头连接,可用浸焊或波峰焊来代替每根导线的手工锡焊。

8) 材料使用可选择。软性 PCB 可根据不同的使用要求,选用不同的基底材料来制造。例如,在要求成本低的装连应用中可使用聚酯薄膜;要求具有优良的性能,可使用聚酰亚薄膜。

9) 低成本。用软性 PCB 装连,能使总的成本降低。因为软性 PCB 的导线参数的一致性,且实行整体端接,消除了电缆导线装连时经常发生的错误和返工,且软性 PCB 的更换比较方便。软性 PCB 的应用使结构设计简化,它可直接黏附到构件上,减少线夹和其固定件。对于需要有屏蔽的导线,用软性 PCB 价格较低。

10) 加工的连续性。由于软性覆箔板可连续成卷状供应,因此可实现软性 PCB 的连续生产,这也有利于降低成本。

(5) 缺点。

1) 一次性初始成本高。由于软性 PCB 是为特殊应用而设计、制造的,所以开始的电路设计、布线和照相底版所需的费用较高。

2) 软性 PCB 的更改和修补比较困难。软性 PCB 一旦制成后,要更改必须从底图或编制的光绘程序开始,因此不易更改。其表面覆盖一层保护膜,修补前要去除,修补后又要复原,比较困难。

3) 尺寸受限制。软性 PCB 通常用间歇法工艺制造,受到生产设备尺寸的限制,不能做得很长、很宽。

4) 操作不当易损坏。装连人员操作不当易引起软性电路的损坏,其锡焊和返工需要经过训练的人员操作。

1.2.3 刚一挠特种基板

刚一挠特种基板是利用挠性基材在不同区域与刚性基材结合而制成的电子基板,如图 1-1 所示。在刚挠结合区,挠性基材与刚性基材上的导电图形通常都进行互连。刚一挠特种基板可以连接不同平面间的电路,可以折叠、卷缩、弯曲,也可以连接活动部件,实现三维布线。刚一挠特种基板技术解决了许多封装上受限制的问题,提高了连接的密度,并应用到底板和子、母板上,它使电子设备的质量减轻、体积减小、可靠性提高,降低了组装成本,提高了维修速度。刚、挠相结合可以替代接插件,保证在振动、冲击、潮湿等恶劣环境下电子设备的高可靠性。

刚一挠特种基板可分为五种类型和两个类别。

(1) 五种类型。

1) 1 型板。有增强层的挠性单面板。

2) 2 型板。有增强层的金属化孔双面板。

3) 3 型板。有增强层的金属化孔多层板。

4) 4 型板。有金属化孔的刚一挠结合多层电子基板。该类型通常是在一块或两块刚性 PCB 上,包含有构成整体所必不可少的软性 PCB。软性 PCB 层被层压在刚性多层 PCB 内,这是为了具有特殊电气要求或为了要延伸到刚性电路外面。这类产品在以压缩质量和体积为关键,且要保证高可靠性、高密度组装和优良电气特性的电子设备中得到了广泛的应用。

刚—挠性混合多层印制电路板结构如图 1-2 所示。

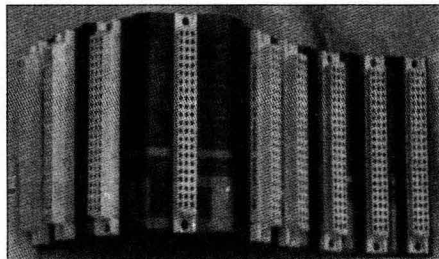


图 1-1 刚—挠特种基板

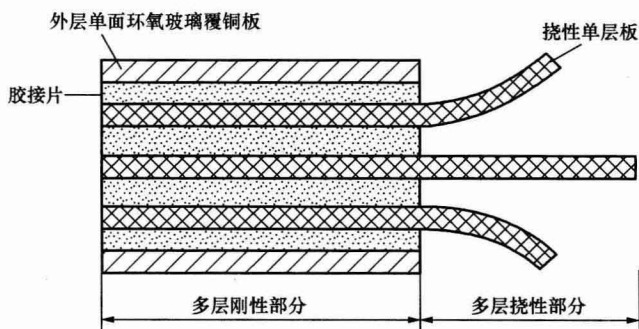


图 1-2 刚—挠性混合多层印制电路板结构

每单层挠性板均可单独自由挠曲，多层刚性部分有金属化孔。金属化孔把各层（包括挠性层）用电气互连起来。刚性—软性多层 PCB 也可把许多单面或双面软性 PCB 的末端粘合压制在一起成为刚性部分，而中间不粘合成为软性部分。这类 PCB 越来越多地用在要求超高封装密度、优良电气特性、高可靠性和严格限制体积的场合。

5) 5 型板。组合式刚—挠电子基板。其刚性印制电路板与挠性印制电路板结合成一个整体，无金属化孔连接，层数多于一层。

五中类型中，4 型板结构最复杂，制造难度最大。

(2) 两种类别。

1) A 类。能在安装过程中经受挠曲。

2) B 类。能经受连续的弯曲，通常是单层导体的挠性印制电路板。

刚—挠特种基板的制作包括刚性层的制作、挠性层的制作、刚性层与挠性层的层压以及刚—挠特种基板外层图形的制作。

第 2 章

印制电路板上的元器件

电子元器件是组成电子整机的最小单元，在电子整机中具有独立的作用。对于工程技术人员来说，深入地认识电路元器件和正确地选用电路元器件，是实现电路功能的基本条件，对 PCB 的装配质量及可靠性起着重要的保证作用。

2.1 插装元器件

2.1.1 固定电阻器

物体对通过电流的阻碍作用称为电阻，利用这种阻碍作用做成的元件称为电阻器，简称电阻，在电路中用英文符号 R 表示。电阻的度量单位是 Ω （欧姆），实际应用中常用 $k\Omega$ 和 $M\Omega$ 。

固定电阻器是指电阻值不能调节的电阻器，用电阻率较大的材料制成，是一种耗能元件。电阻器在电路中的主要作用为分流、限流、分压、偏置等。

2.1.1.1 固定电阻器的分类

2.1.1.1.1 按制造材料分

(1) 线绕电阻器。线绕电阻器是在磁管上用锰铜丝或镍铬合金丝绕制而成的，为防潮并防止线圈松动，将其外层用披釉（玻璃釉或珐琅）或漆加以保护。

线绕电阻器可分为精密型和功率型两类。精密型线绕电阻器特别适用于测量仪表或其他高精度的电路，其一般精度为 $\pm 0.01\%$ ，最高可达到 $\pm 0.005\%$ 以上，温度系数小于 $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ，长期工作稳定可靠，阻值范围是 $0.1\Omega \sim 5M\Omega$ 。功率型线绕电阻器的额定功率在 $2W$ 以上，最大功率可达 $500W$ ，阻值范围是 $0.1\Omega \sim 1M\Omega$ ，精度为 $\pm 5\% \sim \pm 20\%$ 。

(2) 薄膜电阻器。薄膜电阻器是用蒸发的方法将一定电阻率材料蒸镀于绝缘材料表面制成的。

1) 碳膜电阻器。碳膜电阻器是用结晶碳沉积在磁棒上或瓷管上制成的，改变碳膜的厚度和用刻槽的办法变更碳膜长度可以得到不同的阻值。主要特点是成本低、高频特性好，阻值范围是 $1\Omega \sim 10M\Omega$ ，温度系数为负值。额定功率为 $0.125 \sim 10W$ ，精度为 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 。

2) 金属膜电阻器。金属膜电阻器是在陶瓷骨架表面，经真空高温或烧渗工艺蒸发沉积一层金属膜或合金膜制成的。刻槽和改变金属膜的厚度可以精确控制阻值。其工作环境温度范围大（ $-55 \sim 125^{\circ}\text{C}$ ）、温度系数小、稳定性好、噪声低、体积小（与相同体积的碳膜电阻相比，额定功率要大一倍左右），价格比碳膜电阻稍贵一些。

这种电阻广泛用在仪器、仪表及通信设备以及稳定性及可靠性有较高要求的电路中，额

定功率有 0.125、0.25、0.5、1、2、5W 等，标称阻值在 $1\Omega\sim 100M\Omega$ 之间，精度可达 0.5%~0.05%。

3) 金属氧化膜电阻器。金属氧化膜电阻器是在高温条件下，在陶瓷本体的表面上经化学反应形式生成以二氧化锡为主体的金属氧化层制成的。膜层比金属膜和碳膜电阻都厚得多，并与基体附着力强，因而有极好的高频、高温和过负荷性能；机械性能好，坚硬、耐磨；在空气中不会再氧化，化学稳定性好；额定功率可达 25W~50kW。金属氧化膜电阻阻值范围较窄 ($1\Omega\sim 200k\Omega$)。

4) 合成膜电阻器。合成膜电阻器可制成高压型和高阻型。高压型的外形大多是一根无引线的电阻长棒，表面涂红色；耐压高的，其长度更长。阻值范围是 $47\sim 1000M\Omega$ ，精度等级为 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ ，耐压分成 10kV 和 35kV 两挡。

高阻型的电阻体封装在真空玻璃管内，防止合成膜受潮或氧化，提高阻值的稳定性。阻值范围为 $10M\Omega\sim 10T\Omega$ ，允许偏差为 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 。

(3) 金属玻璃釉电阻器。金属玻璃釉电阻器是将金属粉和玻璃釉粉混合，采用丝网印刷法印在基板上制成的。其耐潮湿、高温、温度系数小，主要应用于厚膜电路。片状电阻是金属玻璃釉电阻的一种形式，电阻体是高可靠的钉系列玻璃釉材料经过高温烧结而成的，电极采用银钯合金浆料。该类电阻器体积小、精度高、稳定性好，由于其为片状元件，所以高频性能好。

(4) 水泥电阻器。水泥电阻器实际上是封装在陶瓷外壳里，并用水泥填充固化的一种线绕电阻，如图 2-1 所示。水泥电阻内的电阻丝和引脚之间采用压接工艺，如果负载短路，压接点会迅速熔断，起到保护电路的作用。水泥电阻功率大、散热好，具有良好的阻燃、防爆特性和高达 $100M\Omega$ 的绝缘电阻，广泛使用在开关电源和功率输出电路中。

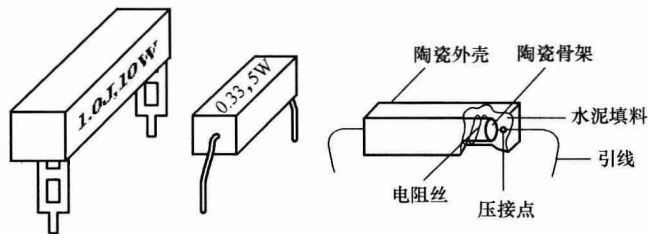


图 2-1 水泥电阻

2.1.1.1.2 按用途分

(1) 普通型。指能适应一般技术要求的电阻，额定功率范围为 0.05~2W，阻值为 $1\Omega\sim 22M\Omega$ ，允许误差 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 等。

(2) 精密型。有较高精密度及稳定性的电阻，功率一般不大于 2W，标称值在 $0.01\Omega\sim 20M\Omega$ 之间，精度在 $\pm 2\%\sim \pm 0.001\%$ 之间分挡。

(3) 高频型。电阻自身电感量极小，常称为无感电阻。用于高频电路，阻值小于 $1k\Omega$ ，功率范围宽，最大可达 100W。

(4) 高压型。用于高压装置中的电阻，功率在 0.5~15W 之间，额定电压可达 35kV 以上，标称阻值可达 $1G\Omega$ 。

(5) 高阻型。阻值在 $10\text{M}\Omega$ 以上, 最高可达 $10^{14}\Omega$ 。

(6) 电阻网络(电阻排)。综合掩膜、光刻、烧结等工艺技术, 在一块基片上制成多个参数、性能一致的电阻, 连接成电阻网络, 也叫集成电阻。

(7) 敏感电阻。各类敏感电阻, 按其信息传输关系可分为缓变型和突变型两种, 广泛应用于检测和自动化控制等技术领域。

1) 压敏电阻。主要有氧化锌、碳化硅和氧化锌压敏电阻。

2) 湿敏电阻。湿敏电阻由感湿层、电极、绝缘体组成。氯化锂湿敏电阻随湿度上升而电阻减小, 缺点为测试范围小、特性重复性不好、受温度影响大。碳湿敏电阻缺点为低温灵敏度低、阻值受温度影响大, 较少使用。氧化物湿敏电阻性能较优越, 可长期使用, 受温度影响小, 阻值与湿度变化呈线性关系。

3) 光敏电阻。光敏电阻大多是由半导体材料制成的, 它利用半导体的光导电特性使电阻器的阻值随入射光线的强弱发生变化。当入射光线增强时, 电阻值明显减小; 当入射光线减弱时, 阻值显著增大。

4) 气敏电阻。气敏电阻利用某些半导体吸收某种气体后发生氧化还原反应制成, 主要成分是金属氧化物, 主要品种有金属氧化物气敏电阻、复合氧化物气敏电阻、陶瓷气敏电阻等。

5) 力敏电阻。力敏电阻是一种阻值随压力变化而变化的电阻, 可制成各种力矩计、半导体话筒、压力传感器等。主要品种有硅力敏电阻器、硒碲合金力敏电阻器, 相对而言, 合金力敏电阻器具有更高灵敏度。

6) 热敏电阻。热敏电阻的电阻值会随着本体温度的变化呈现出阶跃性的变化, 具有半导体特性。热敏电阻按照温度系数的不同分为正温度系数热敏电阻(简称 PTC 热敏电阻)和负温度系数热敏电阻(简称 NTC 热敏电阻)。

超过一定的温度(居里温度)时, PTC 热敏电阻的电阻值随着温度的升高呈阶跃性增高。一般情况下, 有机高分子 PTC 热敏电阻适用于过流保护, 陶瓷 PTC 热敏电阻可适用于各种用途。

NTC 热敏电阻的电阻值随着温度的升高呈阶跃性减小。NTC 热敏电阻以锰、钴、镍和铜等金属氧化物为主要材料, 采用陶瓷工艺制造而成。温度低时, 这些氧化物材料的载流子数目少, 所以其电阻值较高; 随着温度的升高, 载流子数目增加, 所以电阻值降低。

7) 熔断电阻器。熔断电阻器俗称熔丝电阻器, 是一种具有熔断丝及电阻器作用的双功能元件。在正常情况下具有普通电阻器的功能, 一旦电路出现故障时, 该电阻器因过负荷会在规定的时间内熔断开路, 从而起到保护其他电路的作用。熔断电阻器多为灰色, 用色环或数字表示电阻值。熔断电阻的熔断时间一般为 10s。熔断电阻器的常用型号有 RF10、RF11、RRD0910、RRD0911 等。RF10 型表面涂有灰色不燃涂料, 其电阻值用色环表示。RF11 的阻值用字母表示, 也有的只标功率不标阻值。

与传统的熔断器和其他保护装置相比, 熔断电阻器具有结构简单、使用方便、熔断功率小、熔断时间短等优点, 广泛用于电子设备中。

8) 磁敏电阻。磁敏电阻是利用磁电效应能改变电阻器的电阻值的原理制成的, 其阻值会随穿过它的磁通量密度的变化而变化。它的显著特点是, 在弱磁场中阻值与磁场强度的关系呈平方关系, 并有很高的灵敏度。