

# 挠性 印制电路技术

陈 兵 柴志强 编著



 科学出版社  
[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

# 挠性印制电路技术

陈 兵 柴志强 编著

科 学 出 版 社

北 京

## 内 容 简 介

挠性印制电路是目前最重要的电子互连技术之一。本书主要介绍挠性印制电路基础、挠性印制电路材料、挠性印制电路设计、挠性印制电路的制造工艺、高密度挠性印制电路及挠性印制电路的性能要求。

本书可供从事挠性印制电路研究的科技人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

挠性印制电路技术 / 陈兵, 柴志强编著. —北京: 科学出版社, 2005

ISBN 7-03-015181-X

I. 挠… II. ①陈…②柴… III. 印刷电路 IV. TN41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 021176 号

责任编辑: 童安齐 何舒民 / 责任校对: 柏连海  
责任印制: 吕春珉 / 封面设计: 耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2005年6月第 一 版 开本: 850×1168 1/32

2006年3月第二次印刷 印张: 8 1/2

印数: 1 201-2 400 字数: 200 000

定 价: 20.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈路通〉)

(销售部电话: 010-62136131 编辑部电话: 010-62137026)(BA03)

## 前 言

挠性印制电路(FPC)作为一种特殊的电子互连技术,有着十分显著的优越性。它具有轻、薄、短、小、结构灵活的特点,除可静态弯曲外,还能作动态弯曲、卷曲和折叠等。挠性印制电路是当今最重要的互连技术之一,几乎每一类电子产品中都有其应用,包括从简单的玩具和游戏机到手机和计算机再到高复杂的宇航电子仪器等,可以肯定地说你所拥有的产品中有许多是利用挠性印制电路来进行电子互连的。

挠性印制电路是现代电子互连技术中出现最早的技术之一,早在 1898 年发表的英国专利中记载有在石蜡纸基板上制作的平面导体。几年后托马斯·爱迪生在与助手的实验记录中描述的概念使人联想到现在的厚膜技术。在 20 世纪的前半个世纪,科研工作者设想和发展了多种新的方法来使用挠性电子互连技术,直到用于汽车仪表盘仪器线路的连接,才推动了挠性印制电路的批量生产。80 年代电子产品的急速发展,对挠性印制电路的需求大幅度地扩大,特别是在通信产品、视频产品、个人电脑和外围产品以及办公设备等范围的实际应用。20 世纪 80 年代末到 90 年代初期间,许多挠性印制电路生产厂都开发出了新的产品,提高了生产效率、降低了成本、节约了能源,促进了挠性印制电路技术的高速发展。近年来高密度互连(HDI)趋势在挠性印制电路上兴起,而顺应此发展的最显著地方是间距走向更密集,HDI 挠性印制电路的高速成长,且芯片直接在挠性板上封装(COF)将取代带式自动接合技术(TAB)封装,挠性印制电路将有更广泛的应用。

早期挠性印制电路主要应用在汽车仪表、小型或薄形电子机构及刚性 PCB 间的连接等领域。20 世纪 70 年代末期则逐渐应用

在计算机、照相机、打印机、汽车音响等电子资讯产品。目前日本挠性印制电路应用市场仍以消费性电子产品为主,而美国则由以往的军事用途逐渐转成消费性民用用途。挠性印制电路下游应用极为广泛,信息产品包括笔记本电脑(NB)、硬盘驱动器(HDD)、掌上电脑(PDA),通信产品有手机、无线通信,视讯产品有摄录放映机,消费性电子产品有照相机,显示器有液晶显示器(LCD)、等离子体显示器(PDP)等。其中应用于NB、手机及LCD显示器的挠性印刷电路是市场成长最快速的领域。

我国挠性印制电路的研制与应用起步较晚,总体来说技术水平还较落后,产品主要集中在单面板和双面板。但近年来随着美国、日本和中国台湾等公司的涌入,对国内挠性印制电路市场产生了一定的冲击,同时也刺激了国内挠性印制电路技术的提升。虽然我国挠性印制电路的研制与应用起步较晚,但近几年发展十分迅速,根据CPCA的统计数据表明,挠性印制电路产量从1998年的25万 $\text{m}^2$ 发展到2003年的587.43万 $\text{m}^2$ ,产值从1998年的0.50亿元发展到2003年的51.49亿元。FPC占整个印制电路产值的比例目前达到10%。

因此,向工程技术人员普及挠性印制电路的基本技术是十分必要的。目前,国内还十分缺乏该方面的技术资料,为此我们编写了本书。希望本书的出版,对工程技术人员能有所裨益,为提高我国的挠性印制电路制作技术做出微薄的贡献。

由于我们的知识水平所限,再加上挠性印制电路技术的发展日新月异,书中难免会有不完善之处,欢迎专家、读者批评指正。

本书在编写中,参阅了大量参考资料,在此对其作者表示感谢。此外,本书还得到安捷利(番禺)电子实业有限公司的全力支持,在此深表谢意!

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 挠性印制电路基础</b> .....	1
1.1 挠性印制电路 .....	1
1.2 挠性印制电路的特性 .....	2
1.3 分类 .....	6
1.4 挠性印制电路的发展过程.....	14
1.5 挠性印制电路的应用.....	16
1.6 TAB 与 FPC 技术比较 .....	21
1.7 挠性印制电路市场动态.....	26
1.8 未来的挠性印制电路.....	36
1.9 刚挠结合板的发展动态.....	39
<b>第 2 章 挠性印制电路材料</b> .....	42
2.1 导体层.....	42
2.2 绝缘基材.....	45
2.3 黏结层.....	57
2.4 覆盖层.....	60
2.5 增强板.....	64
2.6 无黏结层的挠性基材.....	64
2.7 刚挠结合印制电路中的材料.....	75
2.8 挠性层压板分类及规格.....	76
<b>第 3 章 挠性印制电路设计</b> .....	78
3.1 概述.....	78
3.2 挠性印制电路的结构.....	81
3.3 材料的选择.....	84
3.4 挠性印制电路设计的考虑事项.....	94

3.5	设计应考虑的结构形式	96
3.6	弯曲性能	107
3.7	电性能的设计	108
3.8	关于公差要求	111
<b>第4章</b>	<b>挠性印制电路的制造工艺</b>	<b>112</b>
4.1	双面挠性印制电路的制造工艺	112
4.2	多层挠性印制电路的制造工艺	177
4.3	刚挠结合印制电路的制造工艺	185
4.4	Roll-to-Roll 工艺技术	199
<b>第5章</b>	<b>高密度挠性印制电路技术</b>	<b>203</b>
5.1	高密度挠性印制电路市场的发展动态	203
5.2	高密度的 IC 封装形式	210
5.3	高密度挠性印制电路技术的发展趋势	221
5.4	高密度挠性印制电路对材料的要求	222
5.5	高密度挠性印制电路制作技术	228
<b>第6章</b>	<b>挠性及刚挠印制电路的性能要求</b>	<b>250</b>
6.1	挠性印制电路标准简介	250
6.2	物料进厂检查	252
6.3	成品板检验	253
6.4	试验方法	261
<b>附录</b>	<b>缩略语</b>	<b>264</b>
<b>参考文献</b>		<b>266</b>

# 第 1 章 挠性印制电路基础

挠性印制电路作为一种特殊的电子互连技术有着十分显著的优越性。它具有轻、薄、短、小、结构灵活的特点,除可静态弯曲外,还能作动态弯曲、卷曲和折叠等。挠性印制电路的功能可区分为四种,分别为引脚线路(lead line)、印制电路(printed circuit)、连接器(connector)以及多功能整合系统(integration of functions),用途涵盖了电脑、电脑周边辅助系统、医疗器械,以及军事和航天、消费性民用电器等汽车等领域。

随着微电子技术的日新月异,电子设备越来越向着轻、薄、短、小且多功能化的方向发展。推动其发展的主要是大众化消费类电子产品,如电子计算机用的硬盘驱动器(HDD)、软盘驱动器、手机、笔记本电脑、数码照相机、数码摄录机、掌上电脑(PDA)、液晶显示器(LCD)、等离子体电视等,特别是高密度互连结构(HDI)用的挠性印制电路的应用,将极大地带动挠性印制电路技术的迅猛发展。

## 1.1 挠性印制电路

### 1.1.1 挠性印制电路

在 IPC-T-50 中对挠性印制电路(FPC)的定义是使用挠性的基材制作的单层、双层或多层线路的印制电路,可以有覆盖层,也可以没有覆盖层。图 1.1 是挠性印制电路板。



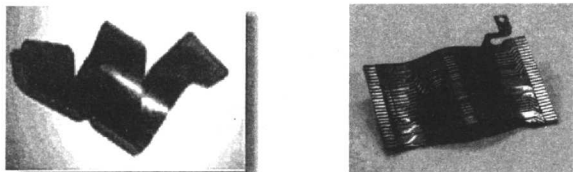


图 1.1 挠性印制电路

### 1.1.2 刚挠结合印制电路

刚挠结合印制电路由刚性和挠性基板有选择地层压在一起组成,结构紧密,以金属化孔形成导电连接。每块刚挠结合印制电路上有一个或多个刚性区和一个或多个挠性区。图 1.2 是典型刚挠结合印制电路。

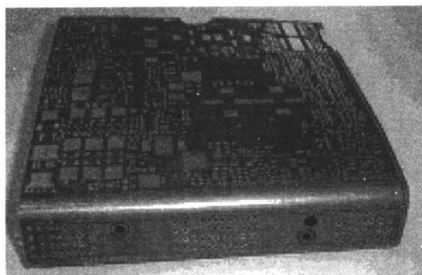


图 1.2 刚挠结合印制电路

## 1.2 挠性印制电路的特性

挠性印制电路能够得到广泛的应用,主要是其具有以下特点:

1) 挠性印制电路体积小、质量轻,适应便携式产品(图 1.3)设计趋势。挠性印制电路板最初的设计是用于替代体积较大的线束导线。在目前的接插电子器件装配板上,挠性印制电路通常是满足小型化和移动要求的唯一解决方法。对于既薄又轻,且结构紧凑复杂的器件而言,其设计解决方案包括从单面导电线路到复杂的多层三维组装。挠性组装的总质量和体积比传统的圆导线线束方法

要减少 70%。挠性印制电路还可以通过使用增强材料或衬板的方法增加其强度,以取得附加的机械稳定性。



图 1.3 便携式产品

2) 挠性印制电路可移动、弯曲、扭转。挠性印制电路可移动、弯曲、扭转(图 1.4)而不会损坏导线,可以遵从不同形状和特殊的封装尺寸,其仅有的限制是体积空间问题。由于可以承受数万次的动态弯曲,因此挠性印制电路可很好地适用于连续运动或定期运动的内连系统中,而成为最终产品功能的一部分。

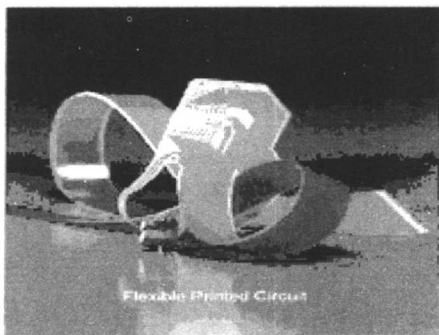


图 1.4 挠性印制电路可移动、弯曲、扭转

3) 挠性印制电路具有优良的电性能、介电性能及耐热性。挠性印制电路提供了优良的电性能。均匀的介质层和导电层,有利的介质常数,在相对平整的基材表面制作精细线宽和间距的能力,这

一切都有利于阻抗控制、信号速度和布线能力；良好的热性能使组件易于降温；较高的玻璃转化温度或熔点使得组件在更高的温度下运行良好。

4) 挠性印制电路具有更高的装配可靠性。挠性印制电路减少了内连所需的硬件，如传统的电子封装上常用的焊点、中继线、底板线路及线缆，使挠性印制电路可以提供更高的装配可靠性(图 1.5)。

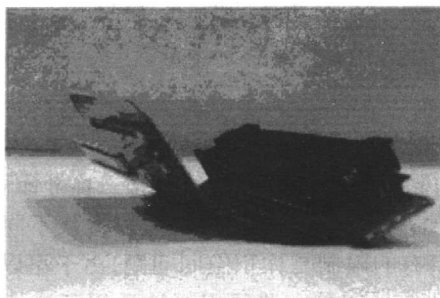


图 1.5 高的装配可靠性

5) 挠性印制电路可以进行三维(3D)互连安装。许多电子设备有很多的输入和输出阵列，常常需要占据不止设备的一个面，这样就需要三维的互连结构进行互连。挠性印制电路在二维上进行设计和制作，但可以进行三维的安装(图 1.6)。

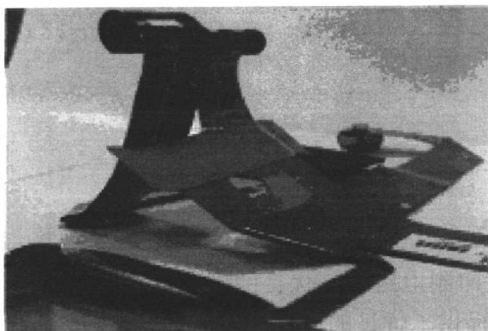


图 1.6 三维(3D)互连安装

6) 挠性印制电路有利于热扩散。从热方面考虑,挠性印制电路能够满足热处理的需求,由于薄的介质层,有短的传热通道,因此它有较宽范围的散热选择,并且从高的面积/体积比中受益。

7) 低成本。用挠性印制电路(FPC)进行装连能使总的成本有所降低。这是由于FPC导线各种参数的一致性,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,且改作FPC的更换比较方便;改作FPC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,使用FPC价格较低;由于挠性覆箔基材可连续成卷状供应,因此可以实现FPC的连续生产,这也有利于降低制作成本。

8) 高密度布线。挠性印制电路有相对平整的基材表面,适合高密度布线(图1.7),制作精细的线宽和间距的能力可达到 $25\mu\text{m}/25\mu\text{m}$ 。

9) 可连续卷式生产。挠性覆箔基材可连续成卷状供应(图1.8),

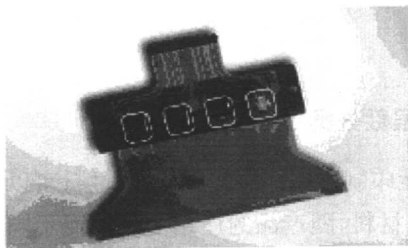


图 1.7 高密度布线

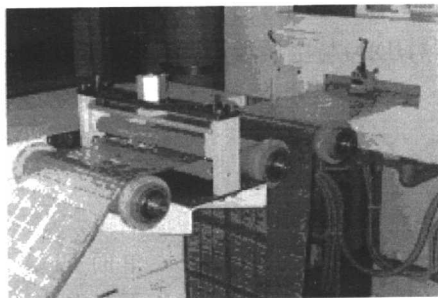


图 1.8 可连续卷式生产

可实现 FPC 的自动化连续生产,适合大批量生产,便于控制和降低制作成本。

挠性印制电路除了有上述优点之外,还存在一些局限之处。如一次性初始成本高,由于 FPC 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。除非有特殊需要应用 FPC 外,通常少量应用时,最好不采用;FPC 的更改和修补比较困难,FPC 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,修补前要去掉,修补后又要复原,这是比较困难的工作;尺寸受限制,FPC 在目前还不是很普遍的情况下,通常用间歇法工艺制造,因此受到生产设备尺寸的限制,不能做得很长、很宽;装连人员操作不当易引起挠性印制电路的损坏,其锡焊和返工需要经过训练的人员操作。

## 1.3 分 类

### 1.3.1 按线路层数分类

1) 单面挠性印制电路。包含一个导电层,可以有或无增强层。所用的绝缘基底材料,随产品的应用的不同而不同。一般常用的绝缘材料有聚酯、聚酰亚胺、聚四氟乙烯、挠性环氧-玻璃布等。其特点是结构简单,制作方便,其质量也容易控制。主要用于超扭转向列型液晶显示器 (STN-LCD)、软盘驱动器 (FDD) 与主机板连接用、硬盘驱动器 (HDD) 与主机板连接用、手机及掌上电脑 (音量按键、麦克风与液晶显示器面板连接用) 的连接板、汽车仪表、电子仪器。图 1.9 是单面挠性印制电路。

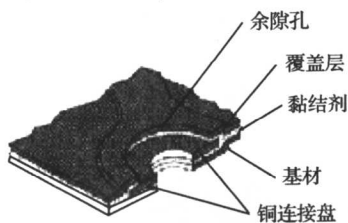


图 1.9 单面挠性印制电路

键、麦克风与液晶显示器面板连接用) 的连接板、汽车仪表、电子仪器。图 1.9 是单面挠性印制电路。

单面 FPC 又可进一步分为如下四类:

(1) 无覆盖层单面连接。这类 FPC 的导线图形在绝缘基材上,导线表面无覆盖层,像通常的单面刚性印制电路一样。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。它常用在早期的电话机中。图 1.10 是无覆盖层单面连接。

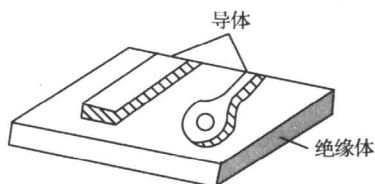


图 1.10 无覆盖层单面连接

(2) 有覆盖层单面连接。这类和前类相比,只是根据客户要求在导线表面多了一层覆盖层。覆盖时需要把焊盘露出来,简单的可在端部区域不覆盖。要求精密的则可采用余隙孔形式。它是单面 FPC 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。图 1.11 是有覆盖层单面连接,图 1.12 是有覆盖层的单面板结构图。

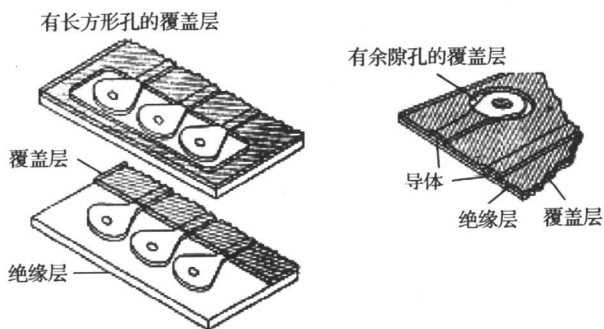


图 1.11 有覆盖层单面连接

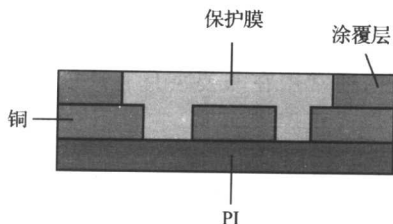


图 1.12 有覆盖层的单面板结构图

(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先冲制、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。图 1.13 是无覆盖层双面连接。

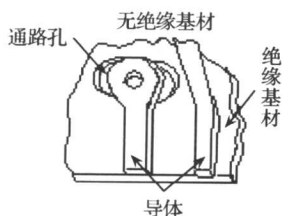


图 1.13 无覆盖层双面连接

(4) 有覆盖层双面连接。这类与前类不同处是表面有一层覆盖层。但覆盖层有通路孔,也允许其两面都能端接,且仍保持覆盖层。这类 FPC 由两层绝缘材料 and 一层金属导体制成,被用在需要覆盖层与周围装置相互绝缘,并自身又要相互绝缘,末端又需要正、反面都连接的场合。图 1.14 是有覆盖层双面连接。图 1.15 是有覆盖层双面连接的单面板。

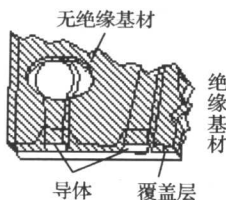


图 1.14 有覆盖层  
双面连接

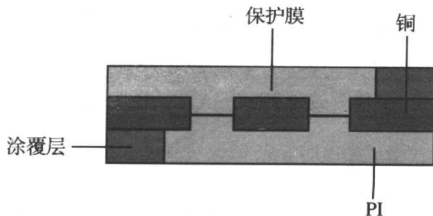


图 1.15 有覆盖层双面连接的单面板

2) 双面挠性印制电路。指包含两层具有镀通孔的导电层,可以有或无增强层。双面 FPC 的应用和优点与单面 FPC 相同,其主要优点是增加了单位面积的布线密度。总厚度比单面板厚,柔软度要低,结构比单面板要复杂。需经过钻孔、化学镀、电镀制作导通孔的处理,工艺控制难度较高。它可按有、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。

无覆盖层的双面 FPC 较少应用,双面 FPC 主要作为薄膜晶体管液晶显示器(TFT-LCD)、笔记型计算机的液晶显示屏与主机板的连接板、面板连接键盘、通信产品(手机)的连接板。

图 1.16 是双面挠性印制电路,图 1.17 是双面挠性印制电路剖面图。

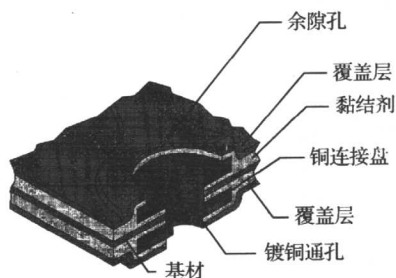


图 1.16 双面挠性印制电路

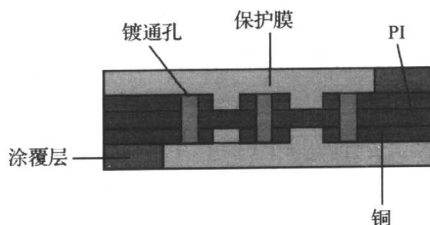


图 1.17 双面挠性印制电路剖面图



此外,为了满足动态挠曲要求的双面板,其结构与普通的双面板不同,由两个单面板压合而成,在要求动态挠曲的部分由于无胶而形成分离的结构,如图 1.18 所示。

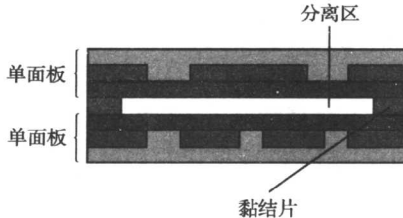


图 1.18 动态挠曲要求的双面挠性印制电路

3) 多层挠性印制电路。多层挠性印制电路是将三层或更多层的单面挠性印制电路或双面挠性印制电路层压在一起,通过钻孔、电镀形成金属化孔,在不同层间形成了导电的通路,可以有或无增强层。其结构形式更复杂,工艺路线更加复杂,质量更难控制。尽管设计成这种挠性类型导电层的数量可以是无限的,但是,在设计布局时,为了保证装配方便,应当考虑到装配尺寸、层数与挠性的相互影响。多层 FPC 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 FPC 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 FPC 优良的可挠性,大多数此类产品是不要求可挠性的,其可挠曲度较差,应用范围较小。主要作为高性能的笔记本电脑的零组件与主机板的连接板、多功能手机的连接板等。

最简单的多层 FPC 是在单面 FPC 两面覆有两层铜屏蔽层而形成的三层 FPC。这种三层 FPC 在电特性上相当于同轴导线或屏蔽导线。最常用的多层 FPC 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。

图 1.19 是多层挠性印制电路。

多层 FPC 可进一步分成如下类型: