

# DKBA

## 华为技术有限公司内部技术规范

DKBA1338-2004.07

---

### 柔性印制电路板（FPC）设计规范

2004 年 11 月 1 日发布 2004 年 11 月 1 日实施

---

华为技术有限公司

Huawei Technologies Co., Ltd.

版权所有 侵权必究  
All rights reserved

修订声明 Revision declaration

本规范拟制与解释部门：

本规范的相关系列规范或文件：无  
相关国际规范或文件一致性：本规范参考了“IPC-2223 Sectional Design Standard for Flexible Printed Boards”及其他相关规范和技术文件。它和这些规范及技术文件的关系为非等效。主要差异为：按照公司实际应用情况和业界技术状况，对部分内容做了补充和修正。  
替代或作废的其它规范或文件：无  
相关规范或文件的相互关系：  
本规范版本升级更改主要内容：第一版，无升级更改信息。

本规范主要起草专家：中央硬件部互连设计部：  
本规范主要评审专家：中央硬件部互连设计部：  
制造技术中心工艺技术管理部：  
手机开发部：  
采购策略中心：

本规范历次修订情况：

规范号 Doc No.	主要起草专家	主要评审专家
DKBA1338-2004.07		

## 目 录 Table of Contents

1	柔性板介绍.....	8
1.1	柔性板定义.....	8
1.2	柔性板的优缺点.....	8
1.3	柔性板的应用场合.....	9
1.4	柔性板层压结构.....	9
1.4.1	普通柔性板层压结构.....	9
1.4.2	软硬结合板(RIGID FLEX)层压结构.....	10
2	柔性板材料.....	11
2.1	介质(Dielectrics).....	12
2.1.1	聚酰亚胺(Polyimide).....	13
2.1.2	聚酯(Polyester).....	13
2.2	导体.....	13
2.2.1	铜箔(Copper foil).....	13
2.2.2	其它导体.....	14
2.3	胶(Adhesive).....	14
2.3.1	丙烯酸胶(Acrylic)、改良丙烯酸胶(Modified Acrylic).....	15
2.3.2	改良环氧树脂胶(Modified Epoxy Adhesives).....	15
2.3.3	酚丁缩醛胶(Phenolic Butyrals Adhesives).....	16
2.3.4	增强胶(Reinforce Adhesives).....	16
2.3.5	压敏胶(Pressure Sensitive Adhesive).....	16
2.4	无胶压合材料(Adhesiveless Laminates).....	16
2.5	覆盖层(Cover Layer).....	16
2.5.1	覆盖膜(Cover Film).....	16
2.5.2	阻焊油墨(Solder Mask).....	17
2.5.3	覆盖膜与油墨的区别.....	17
2.6	补强板(Stiffener).....	17
3	柔性板设计特点和流程.....	18
3.1	柔性板设计特点.....	18
3.2	柔性板设计流程.....	18
4	设计要求分析.....	19
4.1	柔性要求.....	19
4.2	安装方式.....	19
4.3	阻抗、屏蔽要求.....	19
4.4	时序分析、信号质量要求.....	20
4.5	导电能力要求.....	20
4.6	环保要求.....	20
5	成本分析.....	20
5.1	柔性板的成本构成.....	20
5.2	实现方案成本分析.....	21
5.3	拼板方式.....	23
6	结构设计.....	23
6.1	准备工作.....	23
6.2	结构布局效率（考虑最终拼版方式）.....	23
6.3	应力抵消设计.....	24
6.4	FPC 弯曲应力类型.....	25

6.5	弯曲半径计算 .....	26
6.5.1	单面板弯曲半径计算 .....	26
6.5.2	双面板弯曲半径计算 .....	27
6.5.3	弯曲半径粗略估算方式 .....	28
6.6	各层弯曲长度不同设计方法 .....	28
6.7	结构其它考虑点 .....	30
7	电气设计 .....	31
7.1	原理图设计注意事项 .....	31
7.2	导电能力 .....	31
7.3	阻抗控制 .....	32
7.3.1	参考柔性板层叠结构及材料厚度 .....	32
7.3.2	阻抗控制方式 .....	34
7.4	屏蔽控制 .....	35
7.5	电源地设计基本要求 .....	36
7.6	串扰控制 .....	36
7.7	时序控制 .....	36
8	布局、布线和覆盖膜设计 .....	37
8.1	厂家加工能力 .....	37
8.2	布局设计 .....	38
8.3	布线设计 .....	38
8.3.1	布线基本要求 .....	38
8.3.2	布线对柔性的影响 .....	38
8.3.3	镀金、镀铅锡对布线和焊盘位置要求 .....	39
8.3.4	布线抵抗撕裂方法 .....	39
8.4	覆盖膜设计 .....	40
8.4.1	覆盖膜设计要求 .....	40
8.4.2	覆盖膜加工能力 .....	40
8.4.3	覆盖膜覆压焊盘设计 .....	41
8.5	银浆屏蔽层设计方法 .....	42
8.5.1	银浆屏蔽层的层压设置和各层命名方式 .....	42
8.5.2	银浆层的接地方式和过孔设置 .....	42
9	柔性板加工 .....	43
9.1	加工周期 .....	43
9.2	FPC 加工对柔性影响 .....	44
9.3	柔性板常用表面处理方式 .....	44
9.3.1	化学镍金—ENIG .....	44
9.3.2	电镀铅锡—Tin – Lead Plating .....	45
9.3.3	选择性电镀金—SEG .....	45
9.3.4	有机可焊性保护层 —OSP .....	45
9.3.5	热风整平—HASL .....	45
9.4	器件组装对加工要求 .....	46
10	柔性板标注 .....	46
11	参考实例 .....	46
12	参考文献 Reference Document .....	47

## 表目录 List of Tables

表 1	几种常用基材特性比较 .....	12
-----	------------------	----

表 2 金属薄膜的特性比较 .....	14
表 3 常用粘胶的特性比较（一） .....	14
表 4 常用粘胶的特性比较（二） .....	15
表 5 0.5oz 和 1.0oz 铜厚常用走线宽度在允许 10℃ 温升时的载流能力表.....	31
表 6 单面 FPC 层叠结构及材料厚度.....	32
表 7 双面 FPC 层叠结构及材料厚度.....	33
表 8 双面 FPC+双面银浆层叠结构及材料厚度.....	33
表 9 双面 FPC+单面银浆层叠结构及材料厚度.....	33
表 10 带状线阻抗计算例子 .....	34
表 11 厂家加工能力表 .....	37
表 12 银浆设计各层命名和物理结构表.....	42
表 13 柔性板加工周期表.....	43

图目录 List of Figures

图 1 柔性板在手机中应用图例.....	9
图 2 N 层柔性板层压结构示意图 .....	10
图 3 软硬结合板层压结构 .....	11
图 4 电解铜和压延铜微粒结晶结构示意图.....	13
图 5 柔性板设计流程图.....	18
图 6 “软板+连接器+硬板”实现方式图例 .....	21
图 7 “软板+Hotbar+硬板”实现方式图例 .....	22
图 8 “全部软板”实现方式图例 .....	22
图 9 合理的结构外形设计提高拼版利用率.....	23
图 10 FPC 结构设计准备工作示意图 .....	23
图 11 用折叠方式提高结构布局效率 .....	24
图 12 用折叠方式延长柔性板长度的方法 .....	24
图 13 FPC 板边内角最小半径要求示意图 .....	25
图 14 FPC 上的裂缝或开槽终止于圆孔要求的示意图.....	25
图 15 FPC 板边转角除加走线以防撕裂.....	25
图 16 FPC 弯曲应力类型示意图.....	25
图 17 单面 FPC 最小弯曲半径示意图.....	26
图 18 双面 FPC 最小弯曲半径示意图.....	27
图 19 弯曲半径粗略估算示意图.....	28
图 20 各层弯曲长度不同设计示意图 .....	28
图 21 弯曲区域尽量安排在 FPC 宽度均匀区域.....	30
图 22 用点胶方式固定 FPC 和硬板、补强板.....	30
图 23 用加固条的方式来固定 FPC .....	30
图 24 良好的信号排序使得过孔减少、走线顺畅 .....	31
图 25 铜皮的横截面积与载流量的关系.....	32
图 26 采用 “Coated Microstrip” 微带线模型计算阻抗.....	34
图 27 网格屏蔽层示意图.....	35
图 28 弯曲区域内走线方向和密度 .....	39
图 29 弯曲区域的轴线和交错走线方式.....	39
图 30 沿转弯地方加走线抗撕裂方法 .....	40
图 31 焊盘示意图.....	40
图 32 覆盖膜最小间距和整体开窗示意图 .....	41
图 33 覆盖膜覆压焊盘设计 .....	41

图 34 盘趾设计形式 .....41

图 35 银浆层接地方式示意图 .....43

图 36 银浆层非接地过孔处理方式示意图 .....43

图 37 过孔焊盘泪滴处理示意图 .....44

图 38 三层板表面覆银浆层的设计实例 .....46

# 柔性印制电路板(FPC)设计规范

**范 围 Scope:**

本规范规定了我司互连设计开发人员参与柔性印制电路板的设计过程和必须遵守的设计原则。  
本规范适用于我司设计生产的所有柔性印制电路板（简称 FPC）。

**简 介 Brief introduction:**

随着产品向小型化方向发展，柔性板因其固有的轻、薄、柔性等优点，获得越来越广泛的应用。相对于普通硬板而言，柔性板的设计难度更大。因为在比较薄的情况下获得相同的电气性能难度就较大；而且设计时除了考虑电性互连实现方式外，也要关注柔性、可靠性等结构要求。另外，柔性板选材、加工方式和精度等对最终成品的价格、供货周期影响很大。这样要求设计者在设计时也要非常关注成本分析。既要考虑电气性能，又要考虑结构，还要考虑价格和供货周期等等。对互连设计者提出了更高的要求。

本规范介绍了柔性板的构成和选材方式；说明了设计过程和需要关注的方面；规定了结构设计、电气设计的基本要求；还做了成本分析等等。

**关键词 Key words:**

FPC  
PCB

**引用文件:**

下列文件中的条款通过本规范的引用而成为本规范的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本规范，然而，鼓励根据本规范达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本规范。

序号 No.	文件编号 Doc No.	文件名称 Doc Title
1	IPC-2223	Sectional Design Standard for Flexible Printed Boards
2	Q/DKBA3128.2-2003	柔性 PCB 工艺设计规范

**术语和定义 Term&Definition:**

缩略语 Abbreviations	英文全名 Full spelling	中文解释 Chinese explanation
FPC	Flexible Printed Circuit	柔性印制电路板
PCB	Printed Circuit Board	印制电路板
PI	Polyimide	聚酰亚胺

# 1 柔性板介绍

## 1.1 柔性板定义

柔性电路板，又称挠性板，是由在柔性介质表面制作有导体线路来组成，可以包含或不包含覆盖层。一般导体与柔性介质之间是用胶粘接的，尽管目前也有无胶铜箔材料。柔性板介质的介电常数比较低，可以给导体提供良好的绝缘和阻抗性能。同时柔性介质很薄并具有柔性，它同样具有良好的抗拉力、多功能性和散热性能。

不像普通 PCB（硬板），FPC 能够以很多种方式进行弯曲、折叠或重复运动。为了挖掘 FPC 的全部潜能，设计者可以使用多种结构来满足各种需求，如单面板、双面板，多层板和软硬结合板等。

目前市场上存在两种类型的柔性板：印制（蚀刻）的和丝印的。丝印的柔性板又称聚合物厚膜（Polymer Thick Film，简称 PTF）柔性板。与普通的印制蚀刻技术不一样，PTF 技术是采用其它工序直接在介质薄膜上丝印导电油墨作为导体。虽然 PTF 柔性板的应用场合不断扩大（如很流行的薄膜开关），但是印制的柔性板还是这两种中使用最广的。本设计规范中主要关注印制的柔性电路板（Flexible Printed Circuit，简称 FPC）的结构和设计方法。本规范中提到的柔性板也就是指柔性印制电路板。

## 1.2 柔性板的优缺点

相对于普通 PCB（硬板）、导线或电缆而言，柔性板具有下列优点：

- Ø 柔性，可以满足三维立体、动态需求
- Ø 厚度薄，体积小，重量轻
- Ø 加工成本低，组装方便

特别地，相对于普通电缆或屏蔽电缆的其它优点是：

- Ø 机械特性、电气特性一致性高（相对于电缆）
- Ø 高密度
- Ø 良好阻抗控制能力
- Ø 连接点比较少

同时它的不足是：

- 2 难以维修
- 2 需要额外支撑
- 2 阻抗一致性较差
- 2 尺寸稳定性不够好（相对硬板）



1.3 柔性板的应用场合

在不同的应用场合，柔性板设计也是不一样的。在设计文件中，最好规定着计划的用途和设计验证需要的测试条件。下面是一些典型的应用类型：

- 类型 A：能够承受安装时的柔性需要（安装时柔性）。
- 类型 B：能够承受设计文件中规定的连续柔性弯曲次数（动态柔性）。
- 类型 C：高温环境（高于 105℃）。
- 类型 D：UL 认证。
- 类型 E：轻、小、薄的设计需要。

上面几种类型可以单独也可以组合使用。

因为柔性板特有的特性，它在汽车、便携机、手机、通信、医疗、航天等众多领域获得了广泛的应用。比如手机中用到柔性板的部分如下图所示：

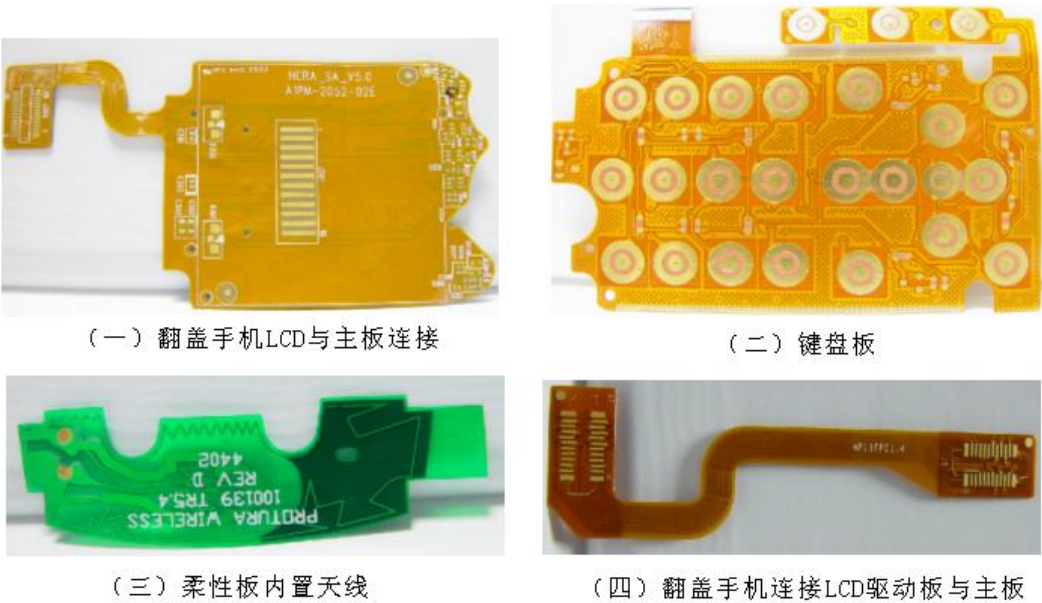


图1 柔性板在手机中应用图例

1.4 柔性板层压结构

1.4.1 普通柔性板层压结构

通常 N 层柔性板的定义是指柔性板中包含了 N 层铜箔构成的线路，不包含银浆等用丝印方式形成的导电层数。为了方便说明起见，若不考虑基材和介质的组合方式，而是只分析柔性板的横截面图，则 N 层柔性板 ( $N=n+1$ ) 可以表示为在单面板 (1 层) 结构的中间插入 n 层压合了胶和介质的铜箔。当  $n=0$  时， $N=1$ ，表示单面板。当  $n=1$  时， $N=2$ ，表示双面板，依次类推。层压结构如下图所示：

## N层柔性板层压结构截面示意图

$$N = 1 + n$$

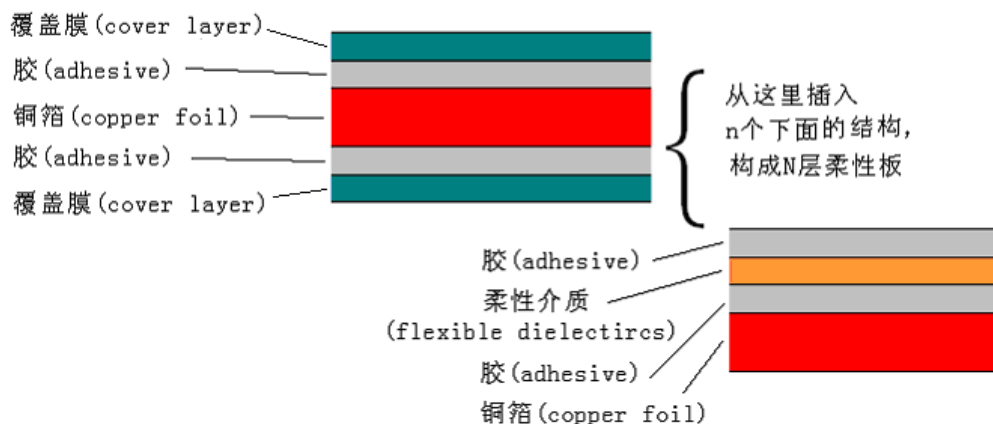


图2 N层柔性板层压结构示意图

注：

- 1，当印刷有银浆层时，再在上图的层压结构最外面增加银浆层和带胶的覆盖膜层。
- 2，在某些场合表面覆盖膜可以换成油墨阻焊层，这种情况下与覆盖膜相邻的胶可以没有。
- 3，还有一些称为“假多层板”或者是“分层板”的 **FPC**，是指铜箔层之间少了某层胶，或者只是局部有胶。这样铜箔层没有完全压合粘在一起，而是分开着的。这种设计也叫“**air cap**”设计。

从上图中也可以看出，柔性板和硬板从层压结构上的区别是前者的介质和铜箔间多了胶合层。当然，它们最大区别应该是所采用的材料特性不同。另外，因为材料和加工工艺不一样，柔性板可以做成单数层，如 3，5 层等。

在“**air cap**”设计时，因为胶层少了，单板的厚度下降了，提高了 **FPC** 的柔性。另外假多层方式还可以降低单板加工层数，同时降低了加工成本。比如在双面板外面粘一个单面铺铜接地板做屏蔽层，构成假三层板。

### 1.4.2 软硬结合板(RIGID FLEX)层压结构

在大多数情况下，柔性板主要是用来与不共面的硬板进行连接。柔性板与硬板之间常见的连接方式有：连接器，**HOTBAR** 等。在一些高性能应用场合，可以把硬板和软板直接做在一起，构成软硬结合板(**RIGID FLEX**)。它的层压结构如下图所示：

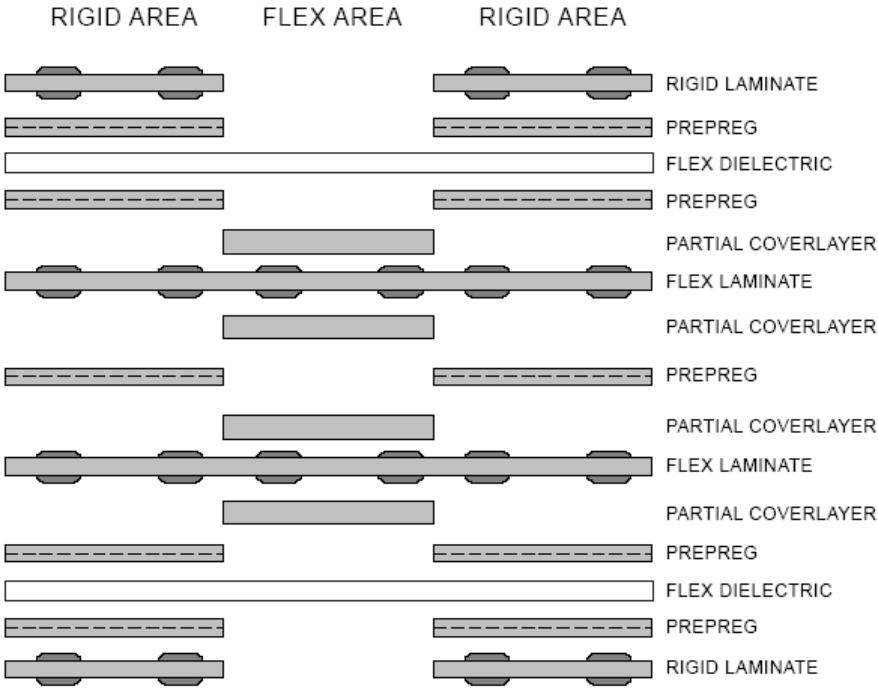


图3 软硬结合板层压结构

软硬结合板加工难度大。它对加工厂家的要求很高，既要求有硬板加工能力，又要有柔性板加工能力。目前国内能加工的厂家比较少，我司的供应商中苏州佳通是其中之一。需要采用该方法设计的时候需要与加工厂家认真沟通，共同完成。

2 柔性板材料

在柔性板设计中，材料的类型和结构非常重要。它主要决定着柔性板的柔软性、电气特性和其它机械特性等；对柔性板的价格起着重要的作用。我们必须在设计图纸中规定好所有的材料。为了起到更好的说明作用，建议用横截面示意图来表示柔性板的层压结构。

FPC 加工厂家可选的柔性覆铜介质和带胶的介质薄膜应该符合 IPC-MF-150，IPC-FC-231 和 IPC-FC-232，或者符合 IPC-FC-241 和 IPC-FC-232 规定。这些 IPC 规范把各种材料按照自然特性分类出来。从众多材料中选择适合的材料必须考虑下列几点：

- Ø 潮敏特性
- Ø 阻燃特性
- Ø 电气特性
- Ø 机械特性
- Ø 热冲击特性

设计者和 FPC 加工厂家必须依据成本、性能和可制造性来选择材料。

## 2.1 介质(Dielectrics)

根据需求的不同，柔性电路板使用的板材也不一样。可以从应用的场合及成本等方面加以综合考虑。常用的有 Polyimide（聚酰亚胺，分有胶和无胶）和 Polyester（聚酯）。这几种材料的特性比较如下表所示：

表1 几种常用基材特性比较

	Polyester（有胶）	Polyimide（有胶）	Polyimide（无胶）
机械特性			
柔软性（半径约2.0mm）	一般	好	优
热成型	可以	不行	不行
MODULUS	2800MPa~5500 MPa	2500MPa	4000MPa
撕裂力度	800g	500g	500g
剥离强度（空气中）	1050N/M	1750N/M	1225N/M
化学/环境特性			
蚀刻（>20%）	优	差	好
UV	PET：差 PEN：一般	好	优
UL认证/最大工作温度	85°~165°	85°~165°	105°~200°
阻燃	VTM-0（用FR胶）	VTM-0（用FR胶）	VTM-0
电气特性			
介电常数（1MHz）	3.4	3.5	3.3
绝缘强度	4-5KV/25μm	3-5KV/25μm	5KV/25μm
绝缘阻抗	10 <sup>3</sup> Ω—cm	10 <sup>3</sup> Ω—cm	10 <sup>3</sup> Ω—cm
热特性			
焊接	5秒@246°~260°	5秒@288°（需要预烘烤）	5秒@288°（不需要预烘烤）
加工、装配特性			
通孔成型	有限制	优	优
表面安装（IR回流焊）	PEN-可以 PET-不可以	好~优	优
Wire bonding	不行	某些胶可以	优
Chip(直接粘附)	差	一般~优	优

注：表中只是一些典型值，不同供应商的材料可能有差异。具体值请咨询加工厂家。

### 2.1.1 聚酰亚胺(Polyimide)

聚酰亚胺（简称 PI）是柔性电路加工中最常用的热固化绝缘材料。材料的厚度范围一般是  $12.5\mu\text{m}$ （0.5mil）至  $125\mu\text{m}$ （5mil），部分厂家可以提供 7mil 厚度的。常用的规格是  $25\mu\text{m}$ （1mil）和  $12.5\mu\text{m}$ （0.5mil）。Polyimide 薄膜，比如 DuPont（杜邦）公司的“Kapton®”薄膜，具有优异的柔软性能，良好的尺寸稳定性，可以工作在很宽的温度范围。而且，它还是阻燃材料，具有突出的抵抗焊接温度性能，在焊接条件下电性能丝毫不损。

### 2.1.2 聚酯(Polyester)

Polyester 是由 polyethylene terephthalate（简写 PET，聚对苯二甲酸乙二醇酯）来制成的，比如 DuPont（杜邦）公司的“Mylar®”薄膜。它应用于柔性板的厚度范围一般是  $25\mu\text{m}$ （1mil）～ $125\mu\text{m}$ （5mil）。它和 Polyimide 一样具有极好的柔软性和电气性能。但是它在制程过程的尺寸稳定性比 Polyimide 的稍微差些。另外，它的抗撕裂能力也较差，对焊接温度也比较敏感。

## 2.2 导体

柔性板导体材料的选择主要取决于特定应用条件下的材料性能。特别是在动态使用情况下，柔性板不停地折叠或伸展，就需要具备有长疲劳寿命的薄的材料。柔性板导体一般有铜箔、铜镍合金和导电涂料等。

### 2.2.1 铜箔(Copper foil)

在柔性板中最常用、最经济的导体材料是铜箔。铜箔主要分为电解铜箔（ED, Electrodeposited copper）和压延铜箔（RA, Rolled—Annealed copper）。

**电解铜箔**，是采用电镀方式形成。其铜微粒结晶状态为垂直柱状，易在蚀刻时形成垂直的线条边缘，有利于精细线路的制作；但因为柱状结构易发生断裂，所以在经常弯曲时容易断裂。

**压延铜箔**，是柔性板制造中使用最多的铜箔。其铜微粒结晶呈水平轴状结构，它比电解铜更能适应多次重复挠曲。但是因为压延铜表面比较光滑，在粘胶的那一面需要特殊处理。



图4 电解铜和压延铜微粒结晶结构示意图

## 2.2.2 其它导体

除了铜箔以外，柔性板的其它导体材料还有铜镍合金（比如 **Constantan**）和导电涂料。导电涂料是导电材料（如银，碳等）混合聚合物粘接剂（如树脂）构成的浆状物。导电涂料印刷在介质表面，然后再覆盖起来。例如银浆，如果覆盖绝缘好的话，它的导电性能也是非常不错的。导电涂料与铜箔相比电气性能稍逊，阻抗系数也比较高，在某些应用柔性场合不适合用它做导体。

下表列出各种金属薄膜的特性比较。

表2 金属薄膜的特性比较

Metal Foils	Resistance cm*10 <sup>6</sup>	Temperature Coefficient Of Resistance	Thermal Conductivity W/m*K	Tensile Strength (psi)	Elongation (annealed) %
压延铜	1.67	0.00393	393	32000	20
电解铜	1.77	0.00382	393	25000	12
铝	4.33	0.0039	255	16000	30
不锈钢	75	-	6	90000	40
铍铜 (Beryllium Copper)	1.72	-	83	60000* 200000**	35-60* 1-4**

\*---Annealed Dead Soft

\*\*\*---Heat Treated Full Hard

## 2.3 胶(Adhesive)

在柔性板设计时，选择合适的胶来粘接导体和介质也是非常重要的。它必须保证 **FPC** 在加工时不脱胶或不过多地溢胶。柔性板常用的胶有丙烯酸 (**acrylic**)，改良环氧树脂 (**modified epoxy**)，酚丁缩醛 (**Phenolic Butyrals**)，增强胶，压敏胶等等。下表列举了几种胶的特性。

表3 常用粘胶的特性比较（一）

Adhesive Type	Peel Strength Post solder	Adhesive Flow Mils/mil	Moisture Absorption Max%	Surface Resistivity Min	Dissipation Factor @1MHz	Dielectric Constant @1MHz
Polyester	N/A*	10mils max	2.0	10 <sup>4</sup>	0.02	4.0max
Acrylic	7.01b/in min	5mils max	6.0	10 <sup>5</sup>	0.05	4.0max
Epoxy	8.01b/in min	5mils max	4.0	10 <sup>4</sup>	0.06	4.0max

Polyimide	5.01b/in min	5mils max	3.0	10 <sup>5</sup>	0.010	4.0max
Butyral: Phenolic	5.01b/in min	5mils max	2.0	10 <sup>4</sup>	0.025	3.0max

\*Because polyester is considered not suitable for soldering the requirement does not apply.Nominal value for minimum peel strength of polyester adhesives is 4.01b/in.

表4 常用粘胶的特性比较（二）

PROPERTY	ACRYLIC	MODIFIED EPOXY	BUTYRAL PHENOLIC
Chemical resistance	C	B	A
Temperature resistance	A	C	C
Electrical properties	C	B	A
Bond strength	A	C	D
Flexibility	B	C	A
Moisture absorption	C	B	B

SCALE SYSTEM: A=Excellent; B=Very good; C=Good; D=Fair; E=Low; F=Poor.

2.3.1 丙烯酸胶(Acrylic)、改良丙烯酸胶(Modified Acrylic)

丙烯酸胶(Acrylic adhesives)及其改良胶(Modified Acrylic Adhesives)是一种热固化材料。材料厚度一般有 12.5μm（0.5mil）至 100μm（4mil），常用的是 0.5mil 和 1mil。它广泛应用于高温柔性场合（如需要铅锡焊接操作），保证在这些应用场合下不脱胶或起泡。它还具有优良的抗化学作用特性，可以抵抗加工过程中化学物质和溶剂的影响。

与传统的丙烯酸胶不一样，改良丙烯酸胶具有部分类似热塑性材料的特性。它是用局部横向耦合的方式来改良材料的。当温度大于它的玻璃转化温度时（T<sub>g</sub>），胶就粘到铜或介质上。因为材料的局部横向耦合结构，胶可以在需要时重复粘接。像 Rogers 公司的“R/Flex<sup>®</sup> 2005”或 Dupont 公司的“Pyrallux<sup>®</sup> LF”材料中用的胶就用了改良丙烯酸胶。

2.3.2 改良环氧树脂胶(Modified Epoxy Adhesives)

改良环氧树脂胶具有低的温度膨胀系数，经常应用于多层柔性板或软硬结合板。环氧树脂是一种热固化材料，在它里面加入其它聚合物来得到增加柔性的改良环氧树脂胶。改良环氧树脂胶具有极好的 Z 轴膨胀系数特性，还具有高的粘合力，低的潮湿吸收率，以及抵制加工过程化学溶剂的抗化学作用特性。

### 2.3.3 酚丁缩醛胶(Phenolic Butyrals Adhesives)

酚丁缩醛，如 Rogers 公司的“R/Flex® 10000”胶，与环氧树脂一样的也具有热固化特性。除此之外，它的柔性特性增强了，更适合于动态柔性应用。但是它不能粘接聚酰亚胺介质和环氧树脂胶。

### 2.3.4 增强胶(Reinforce Adhesives)

增强胶是在玻璃纤维中注入环氧树脂或聚酰亚胺树脂来构成的。它最常用于多层 FPC 或软硬板的层间粘合。

**注入环氧树脂的玻璃纤维**，又称半固化片，在软硬结合板中可以用作胶或用作基材薄膜。它与改良丙烯酸胶不同的是因为它的低热膨胀系数（thermal expansion coefficient，简写 CTE）和高玻璃转化温度（ $T_g$ ），显著改善了多层 FPC 中的 Z 轴稳定性。

**注入聚酰亚胺树脂的玻璃纤维**，更加增加了软硬结合板金属化孔的 Z 轴稳定性。它的 CTE 和  $T_g$  比注入环氧树脂的还要好。但是它价钱更贵，生命周期也较短。

### 2.3.5 压敏胶(Pressure Sensitive Adhesive)

压敏胶（Pressure sensitive adhesives，简称 PSA），可能是 FPC 加工中最简单和最便宜的胶。正如名字代表的一样，压敏胶不需要特殊的压合过程，可以手工粘贴到介质表面。因为它对温度和多种化学物质敏感，所以它不能用来胶合介质和铜箔。因此压敏胶的主要用途是粘接补强板或把硬板粘到软板上。

## 2.4 无胶压合材料(Adhesiveless Laminates)

随着高密度 FPC 的发展，对可靠性和尺寸稳定性要求也越来越高。一些主要的材料供应商如 Dupont, Nippon Steel 等提供了一种称为无胶压合的材料。无胶压合材料解决了生产过程中与胶相关的问题（如压合时容易出现胶厚度不均匀、溢胶等），而且厚度减薄了。

## 2.5 覆盖层(Cover Layer)

覆盖层一般是介质薄膜和胶的压合体，或者是柔性介质的涂层。非导体薄膜或涂层可以选择地覆盖到 FPC 表面，起到避免玷污、潮湿、刮痕等保护作用。常见的保护层有覆盖膜（cover film）和阻焊(Solder mask)。

### 2.5.1 覆盖膜(Cover Film)

覆盖膜是介质薄膜和胶的压合体。它所用的胶与前面介绍的一样，厚度一般是 25 $\mu$ m。当然也有无胶覆盖膜材料。而介质薄膜和基材介质的一样，主要有下面两种：



1.聚酰亚胺（Polyimide），介质厚度范围一般有 25 $\mu$ m，50 $\mu$ m～125 $\mu$ m。它的特性与基材介质中介绍的一样，主要是柔软性好，耐高温。

2.聚酯（Polyester），介质厚度范围一般有（25 $\mu$ m/50 $\mu$ m/75 $\mu$ m）。它的特性与基材介质中介绍的一样，主要是相对便宜，柔曲度好，但不耐高温。

### 2.5.2 阻焊油墨(Solder Mask)

在某些特定的应用场合，柔性板可以和普通硬板一样使用阻焊油墨来做导体的保护、绝缘层。油墨的颜色多种多样，适合多种使用环境。如摄像头连接的柔性板用黑色油墨避免反光。另外油墨价格便宜，可以采用印刷方式加工，总成本很低。但是它柔性没有覆盖膜的高。

### 2.5.3 覆盖膜与油墨的区别

#### 1，覆盖膜

优点：弯曲性能好；厚度较厚，保护、绝缘强度较高。

缺点：含有胶的覆盖膜压合时会溢胶，不适合于小焊盘。焊盘阻焊开窗一般都是钻孔方式；对于实现直角、方形等开窗需要额外开模或用镭射切割等方式，难度较大。总成本比较贵。

#### 2，油墨

优点：厚度薄，适合于要求薄而且柔性要求不是很高的场合。颜色多种多样。采用印刷方式加工，简单。不存在溢胶的问题，适合细间距焊盘。总成本便宜（是 PI 覆盖膜 1/4 或更少）。

缺点：因为比较薄，绝缘强度没有 PI 覆盖膜的高。弯折性能较差，一般少于 1 万次，对于动态要求很高的场合就不太适合。

## 2.6 补强板(Stiffener)

在有器件焊接等很多应用场合中，柔性板需要用补强板（Stiffener，又称加强板）来获得外部支撑。补强板材料有 PI 或 Polyester 薄膜，玻璃纤维，聚合物材料，钢片，铝片等等。

1，PI 或 Polyester 薄膜，它们是柔性板补强板常用材料。常用的厚度是 125 $\mu$ m(5mil)，可以获得一些硬度。

2，玻璃纤维（如 FR4），它们也是补强板常用材料。玻璃纤维补强板的硬度比 PI 或 Polyester 的高，用于要求更硬一些的地方。厚度范围一般是 125 $\mu$ m（5mil）～3.175mm（125mil）。但是它的加工相对 PI 的困难，而且可能不是某些柔性板加工厂家的常备材料。

3，聚合物(Polyetherimide)，如塑料等。它的吸水率低，耐高压和高温。

4，钢片、铝片，支撑硬度高，而且还可以散热。设计中的硬度或散热是主要的关心指标。

### 3 柔性板设计特点和流程

#### 3.1 柔性板设计特点

相对于普通硬板而言，柔性板的设计难度更大。因为在比较薄的情况下获得相同的电气性能难度就较大，而且设计时除了考虑电性互连实现方式外，也要关注柔性、可靠性等结构要求。另外，柔性板选材、加工方式和精度等对最终成品的价格、供货周期影响很大。这要求设计者也要非常关注成本分析。既要考虑电气性能，又要考虑结构，还要考虑价格和供货周期等等。对互连设计者提出了更高的要求。

#### 3.2 柔性板设计流程

互连设计工程师活动内容：根据柔性要求和应用场合，提供恰当的互连设计方案，与原理图设计者、结构工程师和工艺工程师一起确定单板的原理图连线、结构要素图和器件安装要求，完成布局布线工作并投板。柔性板回板以后一般都要进行验证。设计流程如下图所示：

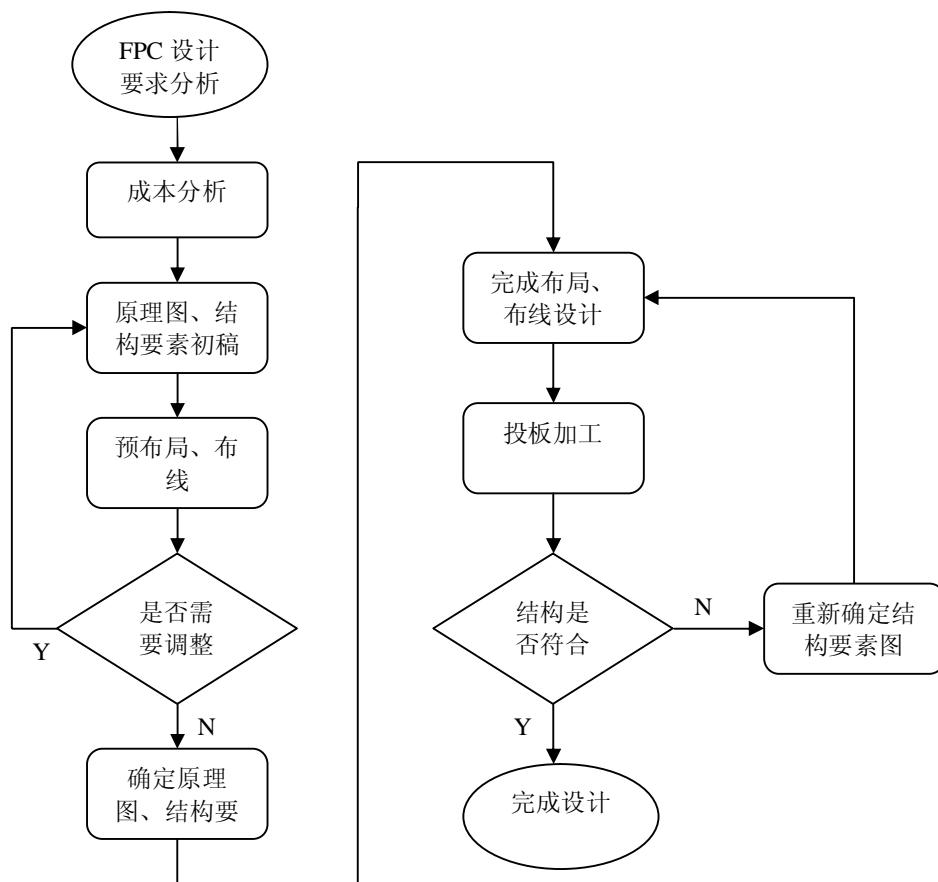


图5 柔性板设计流程图

## 4 设计要求分析

进行设计要求分析，主要是了解产品对折叠次数、弯曲最小半径、应用环境、固定方式、器件组装类型和电路信号类型、性能要求的要求。以便确定柔性板材料选型、层压结构和加工方式等等。

### 4.1 柔性要求

根据应用需要，确定适合的柔性要求。部分柔性板只是满足不共面连接等的需要，只需要在安装时弯曲一次，安装好以后就固定了。而在部分产品中，比如翻盖手机中通过转轴的柔性板，柔性板就要求一定的弯曲次数。而要求最高的是在硬盘磁头等场合中使用的柔性板，需要更长时间往复弯曲运动。综合起来看，柔性要求可以概括成下列四种：

- Ø 弯曲一次(flex one time)
- Ø 弯曲安装(flex to install application)
- Ø 动态柔性(dynamic flex application)
- Ø 碟机驱动头应用场合(disk driver application)

柔性要求不一样，选择不同的设计方案、加工板材和加工方式。

### 4.2 安装方式

柔性板与硬板之间的互连方式主要有下面几种：

- Ø 板对板连接器
- Ø 连接器加金手指
- Ø Hotbar
- Ø 软硬结合板

考虑采用哪种方式时，需要综合考虑互连高度、有效面积和连接器、加工和组装等成本。还有不同的互连对加工精度的要求。

一般最常用的是板对板连接器，连接器可用表贴、插件和压接型等等。但是该方式 FPC 需要贴补强板；组装后比较高；而且连接器价格、组装成本也不低。连接器加金手指方式可以提高互连密度，一般也比较薄；但是金手指加工精度要求较高。而 HOTBAR 尽管需要特殊的组装设备，它应用得也越来越普遍了。

### 4.3 阻抗、屏蔽要求

根据应用需要，确定是否需要进行阻抗控制和屏蔽。阻抗、屏蔽的实现方式也应与柔性要求综合考虑。当柔性要求不高时，可以采用实心铜皮、厚介质来实现。而柔性要求较高时，需要用铜皮网格、银浆网格等来实现。

#### 4.4 时序分析、信号质量要求

当柔性板中走线长度足够长时，就需要分析柔性板的走线延迟；或者因为信号传输过程引起的衰减、失真等问题。有些时候需要增加驱动、匹配或均衡、隔离等技术来保证信号质量要求。

在安排连接器上管脚的信号排序时，需要考虑大电流信号、高速信号、高压信号等对其它信号的影响。同时需要合理安排地管脚，使得回流路径合理。

#### 4.5 导电能力要求

设计 FPC 时，需要对信号的电流大小进行充分的评估。FPC 走线宽度、铜皮厚度必须满足载流能力及其裕量要求。特别是电源、地等大电流，需要适当安排连接器管脚个数和走线根数、宽度等。当 FPC 上导线或器件温升较高时，可以考虑把 FPC 贴到铝基板、铜片等上面，使其充分散热。

#### 4.6 环保要求

欧盟 2003 年 1 月 27 日正式颁布 RoHS 指令(Restriction of Hazardous Substances)，限制了相关产品对有毒材料的使用。并将于 2006 年 7 月 1 日要求制造商开始执行。针对 FPC 设计来说，要求使用到的介质不能使用有卤素成分。目前有些板材供应商已经生产出无卤素材料。如 Dupont 公司的“Pyrallux® LF”系列板材。

### 5 成本分析

#### 5.1 柔性板的成本构成

##### 1，材料费

一般来说材料费约占 FPC 总费用的 30%。不同厂家的材料价格相差很大。一般国内的材料（如典邦、九江）比较便宜，但是性能一般。台湾的材料（如台虹、律胜）比较物美价廉，目前国内柔性板厂家加工低层数 FPC 多用台湾板材。而日本的材料（如日立、东芝，新日铁 Nippon Steel）较贵。美国的材料（如 Dupont, Rogers）最贵种类，性能也最好，适用于多层和高性能要求场合。

还有不同类型的基材、胶和介质的价格相差也较大。一般来说 Polyimide 的比 Polyester 的贵，丙烯酸胶（acrylic）比改良环氧树脂胶（modified epoxy）贵。无胶材料比有胶材料贵很多。

另外目前加工厂家为了从节省成本考虑，一般是用较贵的介质板材与较便宜的胶搭配使用的。

在进行普通要求的 FPC 设计时（如两层板弯曲 10 万次以上），最好在设计文件中注明应用场合和柔性要求，由厂家根据材料备料情况和性价比来选用材料。但是在高性能设计时必须规定清楚胶、介质和基材的厂家型号、厚度等等。

##### 2，工程费。

##### 3，组装费。柔性板加工厂家一般也能提供器件组装业务。该费用包括元器件费用和组装费用。

4，良品率。一般良品率的高低也影响到产品价格。报废部分最终体现到价格上。

#### 5，模具费

FPC 的外形需要用模具来冲压。一般模具分刀模和钢模。因为两种模具使用的次数和加工精度不同，它们的费用也不一样。普通的刀模一般能使用几百次到 3000 次左右，加工外形精度约  $\pm 0.2\text{mm}$ ；刀模价格一般几百元。而钢模一般能用 1000 次以上，多的可以用 50 万次左右；它的精度可达  $\pm 0.05\text{mm}$ ，价格从几百元到几万元不等。在设计时外形遵循能简不繁的原则，避免使用复杂的模具。

#### 6，营运费

不同的公司费用不一样。

#### 7，供货周期

设计时要考虑 FPC 的加工周期。紧急供货一般也导致价格上升。

#### 8，运费

需要考虑加工地点对运费和供货周期的影响。

#### 9，采购量

采购量的多少对 FPC 的单价影响很大。

## 5.2 实现方案成本分析

为了实现不共面的信号之间互连，可以采用下面几种实现方案：

1，软板+连接器+硬板。为了实现不共面信号互连，可以采用 FPC 通过连接器与硬板连接。如下图所示：

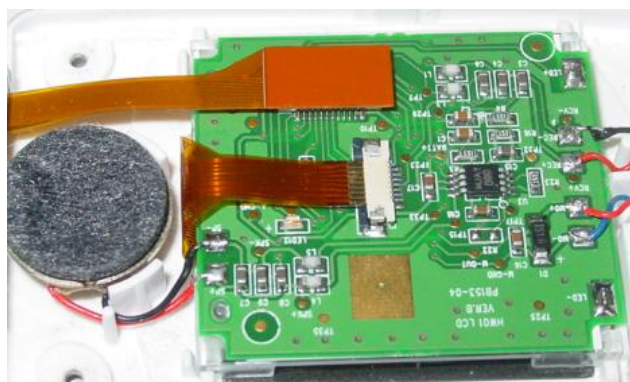


图6 “软板+连接器+硬板”实现方式图例

其中为了省一个连接器和提高互连密度，可以采用 FPC 上的金手指直接与连接器互连（如上图）。

优点：柔性板面积小，FPC 成本较低；而且连接器便于拆装维护等等。

缺点：需要多两个连接器（若用金手指方式的则只多一个连接器）；厚度变厚；连接器连接可靠性差等。

## 2，软板+Hotbar+硬板

某些情况下软板可以采用 Hotbar（热压）方式与硬板焊接。如下图所示：

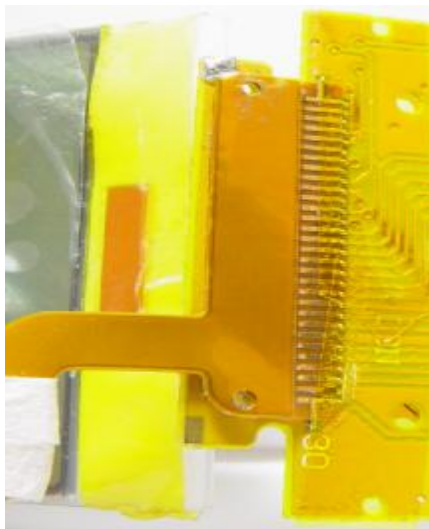


图7 “软板+Hotbar+硬板”实现方式图例

采用 Hotbar 方式时，一般要求 FPC 用电镀铅锡（Tin-Lead Plating）表面处理，在 FPC 焊盘上镀上一定厚度的铅锡。它与硬板对应焊盘对位以后，用热压设备把 FPC 上的铅锡融化即可与硬板焊接起来。

优点：连接比连接器可靠；组装厚度变薄；节省了连接器成本；总成本相对低廉。

缺点：需要特殊设备；维修相对困难。

3，全部软板。像下图所示的手机的 LCD 驱动板和通过转轴 FPC 就做成一体。

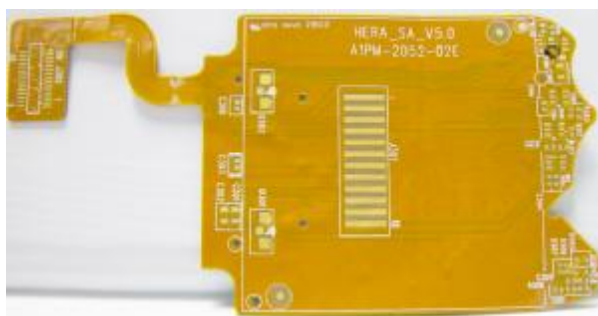


图8 “全部软板”实现方式图例

优点：组装厚度可以做到最薄；连接可靠性高；

缺点：价格相对较贵。

## 4，软硬结合板

在某些情况下可以制作软硬结合板（Rigid-Flex）来实现不共面互连。

优点：节省连接器；连接可靠性高。

缺点：加工复杂；成本高。

### 5.3 拼板方式

在进行 FPC 设计时，一定要尽量优化外形，使得拼版合理，尽量提高板材利用率。

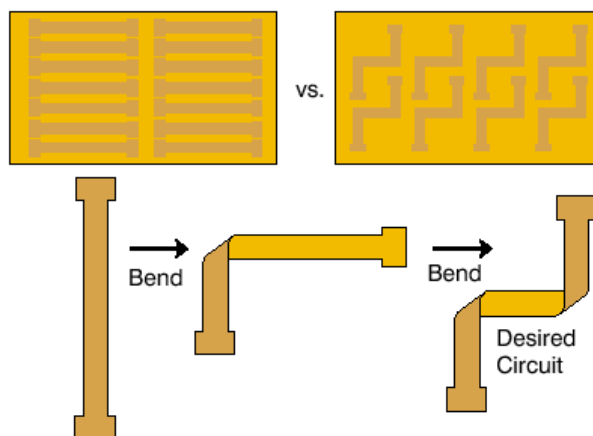


图9 合理的结构外形设计提高拼版利用率

## 6 结构设计

### 6.1 准备工作

在设计周期中应该包含全尺寸、三维的设计模型，以保证柔性电路、硬板的尺寸和布局正确性。该模型可以是 PRO-E 绘制的，也可以是根据实际物品形状搭建的。



图10 FPC 结构设计准备工作示意图

### 6.2 结构布局效率（考虑最终拼版方式）

柔性板设计可能需要由不同大小的片状构成，这些片状的位置最终决定的柔性板的大小。若能合理地布局 FPC 组成部分的位置，将可以提升最终拼版效率（参考下图），从而减少加工成本和材料使用。因此，设计者最好要考虑使用折叠方式来提高布局效率。当然这样做将会引起最后折叠组装的人力成本提升等等。

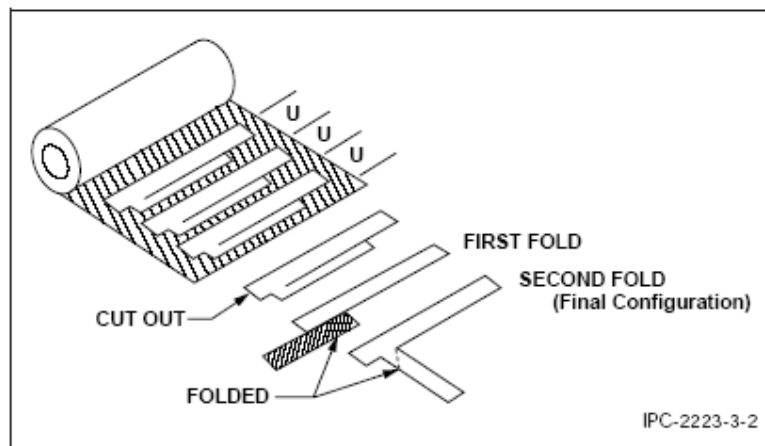


图11 用折叠方式提高结构布局效率

结构设计也要考虑拼版柔性板加工的 **WORKING PANEL** 的利用率及其最大值对结构尺寸的影响。典型的 **PANEL** 尺寸是：460mmx610mm 和 310mmx460mm。由于 **WORKING PANEL** 值主要受加工厂家曝光机的大小限制，不同厂家的最大 **PANEL** 大小可能不一样。当前佳通的最大值是：500mmx610mm，伯乐的是 457mmx686mm。国内有些厂家如 **M-FLEX**（苏州维讯）宣传资料中称其最大 **working panel** 可以达 72"x24"(1828.8mmx609.6mm)，这有待我们进一步考察、开发新供应商。

当需要的实际长度比厂家最大 **panel** 值大时，可以采用折叠的方式把柔性板延长(如下图所示)。或者用连接器把两块柔性板连接起来。



图12 用折叠方式延长柔性板长度的方法

### 6.3 应力抵消设计

柔性板轮廓外形上内角的最小半径是 1.6mm。半径越大可靠性越高，防撕裂的能力也越强。

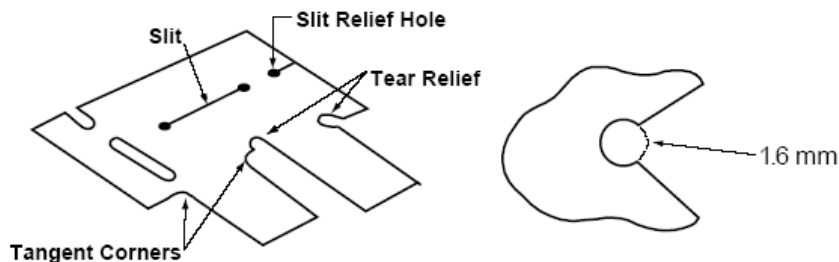




图13 FPC 板边内角最小半径要求示意图

FPC 上的裂缝或开槽的必须终止于一个不小于 1.5mm 直径的圆孔，如下图图所示。在相邻两部份的 FPC 需要单独移动的情况下就有此要求。



图14 FPC 上的裂缝或开槽终止于圆孔要求的示意图

在 FPC 外形转角的地方可以增加一条靠近板边的走线，以防止 FPC 容易被撕裂。

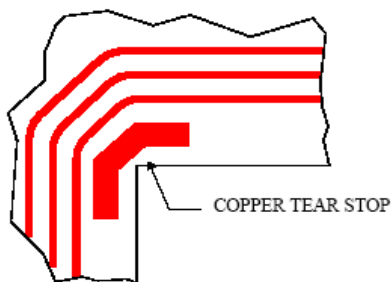


图15 FPC 板边转角除加走线以防撕裂

#### 6.4 FPC 弯曲应力类型

在 FPC 在弯曲时，其中心线两边所受的应力类型是不一样的。弯曲曲面的内侧是压力，外侧是拉力。所受应力的大小与 FPC 的厚度和弯曲半径有关。过大的应力会使得 FPC 分层、铜箔断裂等等。因此在设计时应合理安排 FPC 的层压结构，使得弯曲面中心线两端层压尽量对称。同时还要根据不同的应用场合来计算最小弯曲半径。

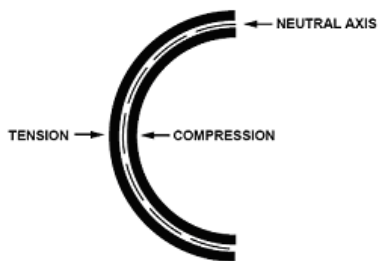


图16 FPC 弯曲应力类型示意图

## 6.5 弯曲半径计算

### 6.5.1 单面板弯曲半径计算

对单面柔性电路板的最小弯曲如下图所示：

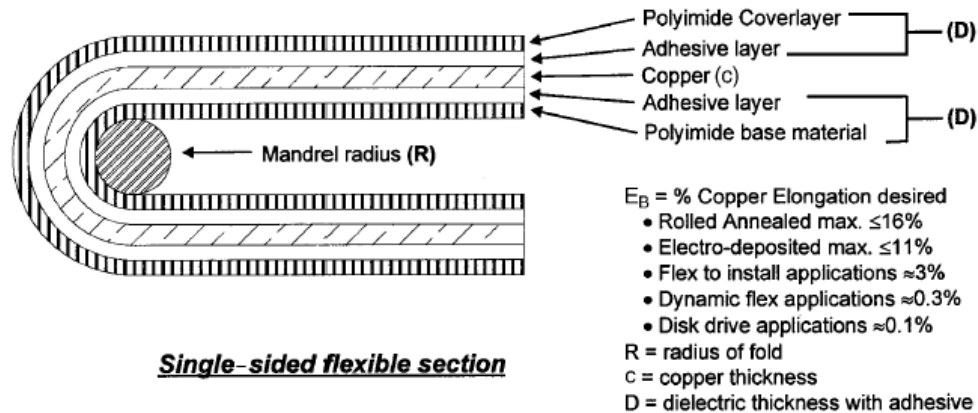


图17 单面 FPC 最小弯曲半径示意图

它的最小弯曲半径可以由下面公式计算：

$$R = (c / 2)[(100 - E_B) / E_B] - D$$

其中：

$R$ =最小弯曲半径，单位  $\mu\text{m}$

$c$ =铜皮厚度，单位  $\mu\text{m}$

$D$ =覆盖膜厚度，单位  $\mu\text{m}$

$E_B$ =铜皮变形量，以百分数衡量

不同类型铜，铜皮变形量不同。压碾铜的铜皮变形量最大值是 $\leq 16\%$ ，电解铜的铜皮变形量最大值是 $\leq 11\%$ 。而且在不同的使用场合，同一材料的铜皮变形量取值也不一样。对于一次性弯曲的场合，使用折断临界状态的极限值（对延碾铜，该值为 $16\%$ ）。对于弯曲安装设计情况，使用 IPC-MF-150 规定的最小变形值（对延碾铜，该值为 $10\%$ ）。对于动态柔性应用场合，铜皮变形量用 $0.3\%$ 。而对于磁头应用，铜皮变形量用 $0.1\%$ 。通过设置铜皮允许的变形量，就可以算出弯曲的最小半径。

例：

50 $\mu\text{m}$  聚酰亚胺，25 $\mu\text{m}$  胶，35 $\mu\text{m}$  铜

因此， $D=75\mu\text{m}$ ,  $c=35\mu\text{m}$

柔性板的总厚度  $T=185\mu\text{m}$

一次性弯曲，用 $16\%$   $R=16.9\mu\text{m}$ , 或  $R/T=0.09$

弯曲安装，用 10%       $R=0.08\mu\text{m}$ ,或  $R/T=0.45$   
 动态弯曲，用 0.3%       $R=5.74\mu\text{m}$ ,或  $R/T=31$

### 6.5.2 双面板弯曲半径计算

双面柔性电路的最小弯曲如下图所示，

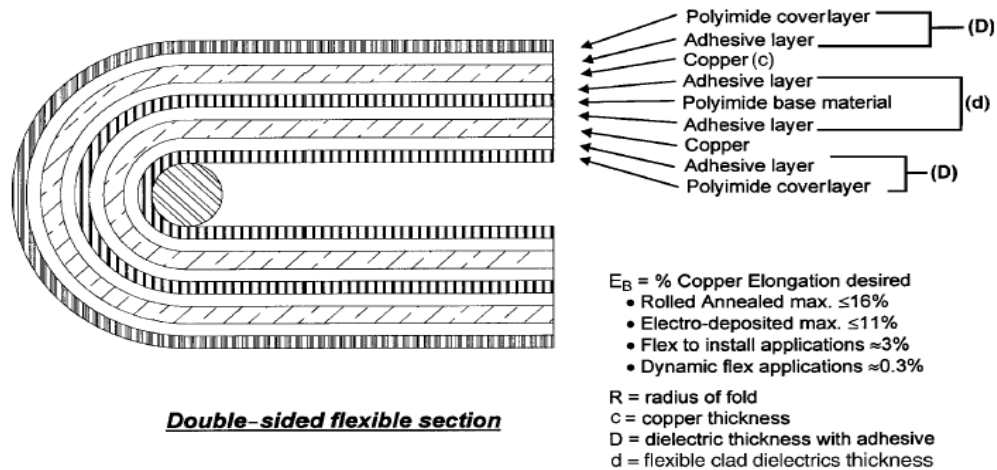


图18 双面 FPC 最小弯曲半径示意图

弯曲半径按照下面等式计算：

$$R = (d/2 + c)[(100 - E_B) / E_B] - D$$

其中：

$R$ =最小弯曲半径，单位  $\mu\text{m}$

$c$ =铜皮厚度，单位  $\mu\text{m}$

$D$ =覆盖膜厚度，单位  $\mu\text{m}$

$E_B$ =铜皮变形量，以百分数衡量。 $E_B$ 的取值与上面的一样。

$d$ =层间介质厚度，单位  $\mu\text{m}$

例：

基材厚度：50 $\mu\text{m}$  聚酰亚胺；2x25 $\mu\text{m}$  胶；2x35 $\mu\text{m}$  铜

则  $d=100\mu\text{m}$ ； $c=35\mu\text{m}$

覆盖膜厚度：25 $\mu\text{m}$  聚酰亚胺；50 $\mu\text{m}$  胶

则  $D=75\mu\text{m}$

总厚：  $T=2D+d+2c=320\mu\text{m}$

从方程 2 中：

一次性弯曲， $E_B=16\%$   $R=0.371\mu\text{m}$ ， $R/T=1.16$

弯曲安装， $E_B=10\%$       $R=0.690\mu\text{m}$ ， $R/T=2.15$   
动态弯曲， $E_B=0.3\%$       $R=28.17\mu\text{m}$ ， $R/T=88$

6.5.3 弯曲半径粗略估算方式

弯曲半径等于 10 倍的板厚：  
 $R=10\times T$ 。

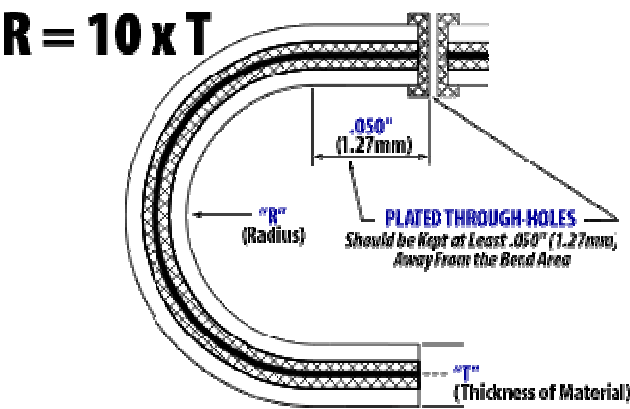


图19 弯曲半径粗略估算示意图

6.6 各层弯曲长度不同设计方法

在某些应用场合中，如当两层或更多层 FPC 的两端都分别固定于同一端点，最小弯 90 度；而且单层不折成“S”形状时，可以把各层设计成不同长度再组合起来，从而减少弯曲应力，如下图所示。

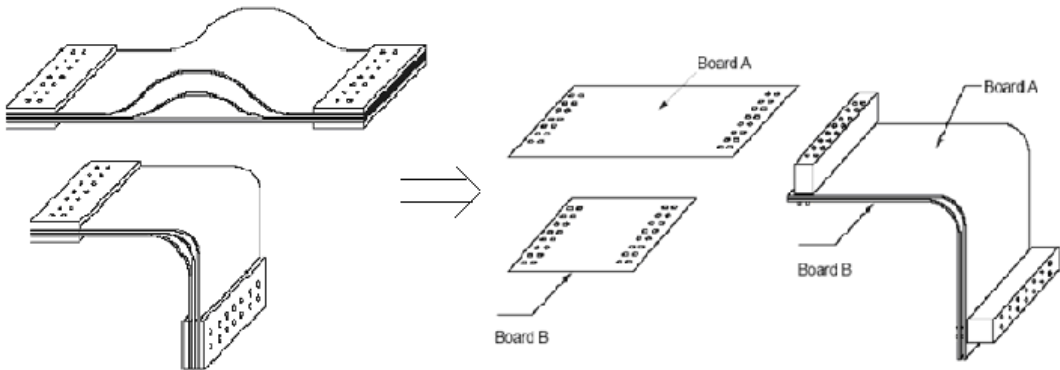


图20 各层弯曲长度不同设计示意图

- 首先假设
- 每一层的转弯半径是一样的
- 转弯半径假设成圆弧
- 各层的厚度一致，层与层之间间隙很小、均匀

等效转弯半径是每一层的中心线  
半径大小是两点间的最大值  
有时后需要决定多层 FPC 到连接点间的不同长度

每一层的长度可以通过下面方法计算出来。

弧线长度计算

基本弯曲长度或圆弧长度计算如下：

$$L_0 = 2 \cdot \pi \cdot r_0 \cdot \Phi / 360$$

式中，

$L_0$  = 长度

$r_0$  = 第一层基本的内侧弯曲半径

$\Phi$  = 角度大小

换算成：

$$L_0 = 2 \cdot 3.1416 \cdot r_0 \cdot \Phi / 360 = 0.0175 r_0 \Phi$$

接着第一层有效弯曲半径是：

$$r_1 = r_0 + T_L / 2$$

式中  $T_L$  是该层 FPC 的总厚度，包含覆盖膜。有效弯曲半径式是从圆点到弯曲层中心线距离。

这样推出弯曲柔性板第一层的弧线长度是：

$$L_1 = 0.0175 r_1 \Phi$$

当其他层叠加到第一层上时，第  $n$  层有效半径为：

$$r_n = r_1 + [(T_L + G)(n-1)]$$

式中：

$G$  = 连接处胶的厚度。

$n$  = 层数

注意：只有在层与层之间用胶来压合在一起时才计算胶的厚度。当分层设计时， $G=0$ 。

最后任意一层与第一层之间的长度差为：

$$\Delta L = L_n - L_1 = 0.0175 \Phi [(T_L + G)(n-1)]$$

注意：等式中弯曲半径 ( $r$ ) 已经抵消了。 $\Delta L$  只由弯曲角度、柔性板厚度和相邻层胶接点厚度来决定。

多层 FPC 或软硬结合板当应用于急剧弯曲场合（半径/厚度比  $< 6$ ）时，就需要用不等长度设计来实现。当然这样设计将会导致成本增加，因为所用工具复杂了，制程更加困难了，成品率也会降低了。

## 6.7 结构其它考虑点

1, 为了能够更好地防止撕裂, FPC 外形上直线转角之间应该用圆弧过渡, 同时直线和圆弧应该相切。

2, 穿过弯曲区域需要预留一定的空间, 避免结构干涉。如穿过手机转轴的 FPC 边缘离转轴孔壁至少 0.5mm。

3, 为了达到更好的柔性, 弯曲区域的选取一般选在宽度均匀的区域, 尽量避免弯曲区域中 FPC 宽度变化、走线密度不均匀。

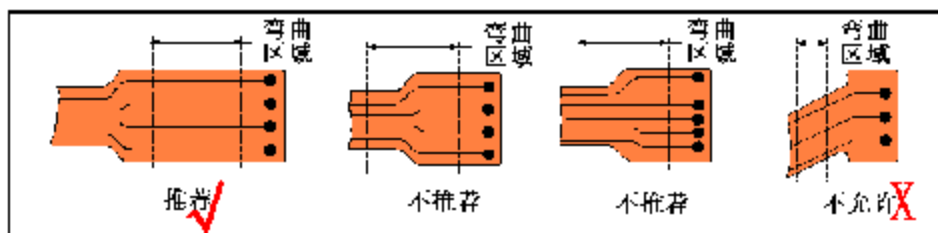


图21 弯曲区域尽量安排在 FPC 宽度均匀区域

4, 点胶固定。在软硬结合板或需要 FPC 牢靠地固定到补强板上防止撕裂的场合, 需要用点胶方式来固定 FPC 和硬板、补强板部分。

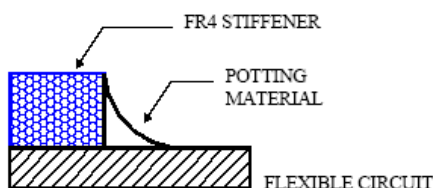


图22 用点胶方式固定 FPC 和硬板、补强板

5, 加固定条或者用胶粘住。为了保证装配、运动的拉力不影响柔性板性能, 可以采用加固定条或粘胶纸的方式来加固。

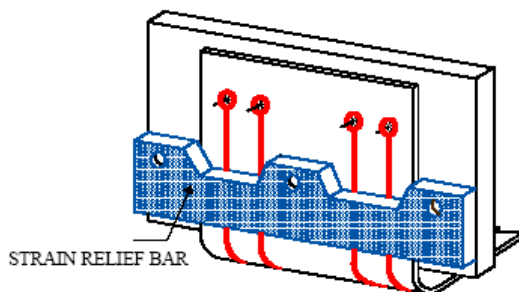


图23 用加固条的方式来固定 FPC

7 电气设计

7.1 原理图设计注意事项

目前我司柔性板主要是应用在不共面硬板间的信号互连，而且柔性板与硬板是通过连接器连接的（可以把 Hotbar 连接当作一种特殊的连接器）。设计时应把柔性板及其相连的硬板当作一个小系统，连接器上的信号除了保证合理的电性能外，还要考虑柔性板的走线方式。良好的连接器信号排序可以使得 FPC 设计时过孔减少，走线顺畅，从而减少 FPC 单板面积，并提高 FPC 柔性。如下图所示：



图24 良好的信号排序使得过孔减少、走线顺畅

因此，在设计 FPC 原理图设计时，一般是先提供原理图初稿给互连工程师；在根据走线需要调整原理图连接器信号排序。还有一般是优先保证 FPC 信号连接关系，再确定硬板上信号连接关系。

7.2 导电能力

柔性板的线宽、铜厚和过孔大小应当优先考虑其载流能力。载流能力还与应用环境、散热条件和允许的温升有关。一般 FPC 常用的铜箔厚度有 0.5oz 和 1.0oz，设计中常用的线宽是 4mil~10mil，它们在允许 10℃ 温升最大载流能力请参考下表（根据 IPC-D-275 规范计算）：

表5 0.5oz 和 1.0oz 铜厚常用走线宽度在允许 10℃ 温升时的载流能力表

线宽（mil）		4	5	6	7	8	9	10	18	28
0.5oz	10℃ 温升 电流（A）	0.342	0.397	0.449	0.498	0.545	0.59	0.633	0.941	1.267
	该电流下直流 压降 (mV/inch)	70.2	65.2	61.5	58.4	55.9	53.8	52.0	42.9	37.3
1.0oz	10℃ 温升 电流（A）	0.545	0.663	0.716	0.794	0.869	0.941	1.01	1.5	2.0
	该电流下直流 压降 (mV/inch)	70.2	65.2	61.5	58.4	55.9	53.8	52.0	42.9	37.3

其它情况的载流能力可以参考下图：

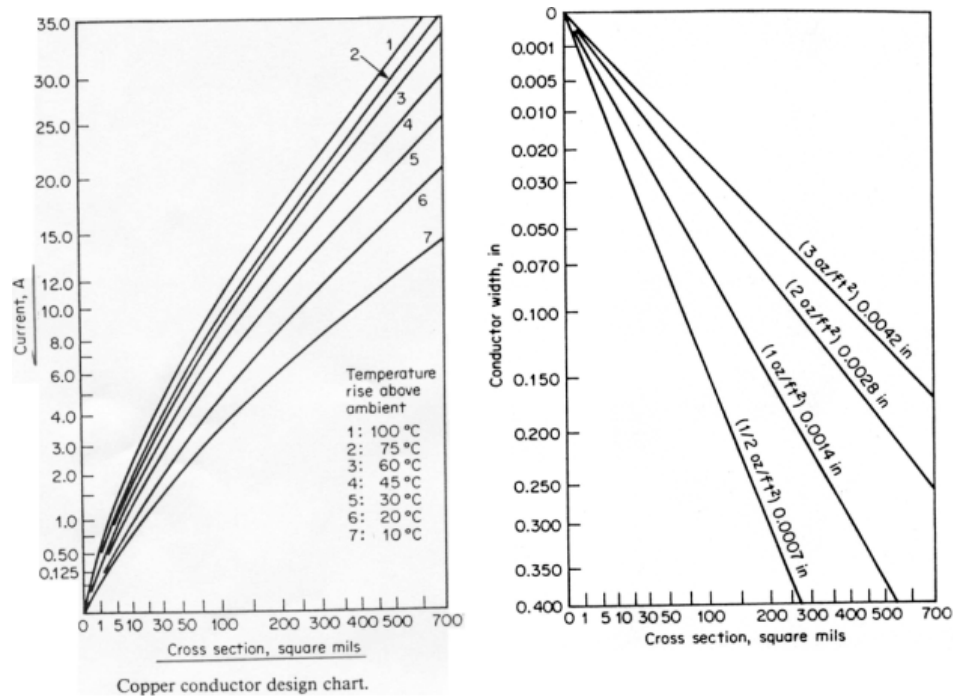


图25 铜皮的横截面积与载流量的关系

不管用压延铜还是电解铜，FPC 载流能力的计算方法与硬板的一样。只是从柔性考虑 FPC 用的铜箔比较薄；而且在柔性要求高的场合，FPC 表层铜箔采用局部电镀方式。当采用局部电镀方式时 FPC 表层铜箔厚度就不用补偿了。

7.3 阻抗控制

7.3.1 参考柔性板层叠结构及材料厚度

在设计中常用到单面板、双面板、双面板+银浆层等等。在需要进行阻抗控制时，双面板或双面板+银浆层可以根据设计需要自行组合构成微带线和带状线。下面表中列举了用 Dupont 公司“Pyrалux® FR”系列的基材和介质+胶来构成的柔性板。表中所用基材的铜厚都是 0.5oz，电镀后的厚度是 1.2mil。其它型号或其它公司的材料请根据设计需求来选择。

表6 单面 FPC 层叠结构及材料厚度

各层定义	层压材料描述	材料厚度 (in inch):	杜邦板材型号
Coverlayer Top	Polyimide Coverlayer	0.0010	FR0110
Artwork Top	Adhesive	0.0010	
	Base+Plating Copper	0.0012	FR8510
	Adhesive	0.0010	
Coverlayer Bottom	Polyimide Base Material	0.0010	
Total Thickness		0.0052	



表7 双面 FPC 层叠结构及材料厚度

各层定义	层压材料描述	材料厚度 (in inch):	杜邦板材型号
Coverlayer Top	Polyimide Coverlayer	0.0010	FR0110
	Adhesive	0.0010	
Artwork Top	Base+Plating Copper	0.0012	FR8515
	Adhesive	0.0010	
	Polyimide Base Material	0.0010	
	Adhesive	0.0010	
Artwork Bottom	Base+Plating Copper	0.0012	FR0110
	Adhesive	0.0010	
Coverlayer Bottom	Polyimide Coverlayer	0.0010	
	Total Thickness	0.0094	

表8 双面 FPC+双面银浆层叠结构及材料厚度

各层定义	层压材料描述	材料厚度 (in inch):	杜邦板材型号
Coverlayer Top	Polyimide Coverlayer	0.0010	FR0110
	Adhesive	0.0010	
Silver Paste Top	Silver Shielding	0.0010	SILVER
Coverlayer02	Polyimide Coverlayer	0.0020	FR0220
	Adhesive	0.0020	
Artwork Top	Base Copper+ED copper	0.0012	FR8515
	Adhesive	0.0010	
	Polyimide Base Material	0.0010	
	Adhesive	0.0010	
Artwork Bottom	Base Copper+ED copper	0.0012	FR0220
	Adhesive	0.0020	
Coverlayer03	Polyimide Coverlayer	0.0020	SILVER
Silver Paste Bottom	Silver Shielding	0.0010	
	Adhesive	0.0010	FR0110
Coverlayer Bottom	Polyimide Coverlayer	0.0010	
	Total Thickness	0.0194	

表9 双面 FPC+单面银浆层叠结构及材料厚度

各层定义	层压材料描述	材料厚度 (in inch):	杜邦板材型号
Coverlayer Top	Polyimide Coverlayer	0.0010	FR0110
	Adhesive	0.0010	
Silver Paste Top	Silver Shielding	0.0010	SILVER
Coverlayer02	Polyimide Coverlayer	0.0020	FR0220
	Adhesive	0.0020	
Artwork Top	Base Copper+ED copper	0.0012	FR8515
	Adhesive	0.0010	
Coverlayer Bottom	Polyimide Base Material	0.0010	

	Adhesive	0.0010	
Ground Layer	Base Copper+ED copper	0.0012	
	Adhesive	0.0010	FR0110
	Polyimide Coverlayer	0.0010	
	Total Thickness	0.0144	

7.3.2 阻抗控制方式

柔性板的层压结构比较灵活。可以用双面板、三层板或它们表面再覆银浆的方式来构成微带线和带状线；具体结构可以参考前面表 6～表 9。确定层压结构以后，可以使用 Polar 软件来计算走线阻抗。

当 Coverlayer 采用覆盖膜形式而不用绿油时，微带线模型应该采用“Coated Microstrip”形式。否则，计算的阻抗值就会相差较大。

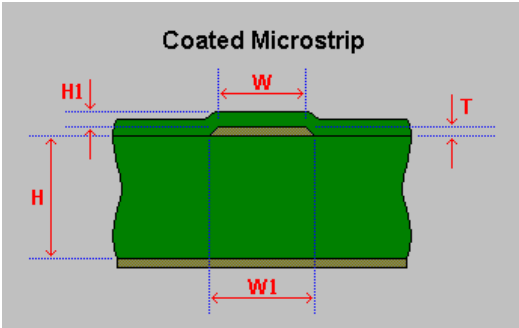


图26 采用“Coated Microstrip”微带线模型计算阻抗

FPC 常用的介质是 Polyimide，它的介电常数是 3.5（1MHz）。如采用上面“表 7”的双面板结构来构成微带线的话，5mil 线宽阻抗可以控制在 49 欧左右。

与硬板相比，柔性板各层之间的介质一般比较薄，使得走线更加靠近参考平面。这样对阻抗的影响就是阻抗值偏低。如按照表 9 所示的层压结构，假设银浆和铜箔都是实心时，线宽 6mil 的带状线的阻抗计算是 33 欧。如下表所示：

表10 带状线阻抗计算例子

Silver Paste		Gnd
W		D1=4MIL
	Signa	T =1.2MIL
		D2=3MIL
COPPER		Gnd
Copper Thickness(T)=1.2MIL		
Line Width=6mil		
Dielectric(D1)=4mil		
Dielectric(D2)=3mil		

更大的线宽需要达到同样的阻抗要求时，可以采用两种方式来实现，一是增加介质厚度或胶厚，二是采用网格形状的参考平面。前者会影响 FPC 的柔软性。采用网格参考平面，即可实现相应的阻抗要求，柔性也得到改善，但是阻抗的计算就会很复杂。网格对阻抗的影响是在厚度一定的情况下网格孔越大（含铜量越少）阻抗越大，而在实心参考平面时的阻抗最小。目前可以用 HFSS 等软件仿真得到阻抗值，或者提出要求请厂家根据经验或专利来控制。

一般可控制的单线阻抗为：25-100 ohm。

差分阻抗为：75-125ohm。

## 7.4 屏蔽控制

当柔性板有 EMI 控制要求时，可以增加屏蔽层来实现要求。屏蔽层可以是实心铜皮、铜皮网格和银浆网格等。

实心铜皮：是最普通的屏蔽方式。铜皮可以在 FPC 的一边或者两边都有，也可以只覆盖了需要屏蔽的那部分区域。当以实心铜皮为参考层时阻抗控制比较简单，可以直接用软件计算。但是实心铜皮会增加 FPC 的层数，使得 FPC 加工难度变大；它还增加 FPC 的硬度，柔性变差；铜皮屏蔽层也会使得 FPC 变厚，影响最小弯曲半径。

铜皮网格：铜皮可以在 FPC 的一边或者两边都有，也可以只覆盖了需要屏蔽的那部分区域。当使用铜皮网格时，因为铜量变少，比实心铜皮时的柔性提高了；但是铜皮网格一样会增加 FPC 的层数，使得 FPC 加工难度变大；铜皮屏蔽层也会使得 FPC 变厚，影响最小弯曲半径。当以实心铜皮为参考层时阻抗控制比较简单，可以直接用软件计算。



图27 网格屏蔽层示意图

银浆或银浆网格：当频率高于 1MHz 时，银浆的屏蔽效果等效于铜箔的。银浆采用丝印的方式印刷在单面板或多层板的表面（可以只单面印刷）。另外银浆的表面需要有覆盖膜来绝缘。采用银浆的好处是电路的层数没有增加，制造方便，成本低廉。但是银浆比较脆，它不适合动态弯曲要求高或者弯曲半径很小的场合。

## 7.5 电源地设计基本要求

1, 柔性板上的电源和地线的宽度至少应满足载流能力要求。可以根据相应的电流大小和允许温升值来选择适当的线宽值（参考第 7.2 节“导电能力”）。当所承载的电流较大时，应加粗线宽或多几根走线，以及加厚铜箔等。加厚走线对柔性电路板的柔性有较大的影响，需要有折中的考虑。

2, 从屏蔽以及阻抗控制参考平面等方面考虑，可以在柔性电路板的一面或两面均匀地涂上银浆。但银浆由于自身的特性(如电阻较大等)不可以作为大电流回路。

3, 高速信号设计时，应合理安排尽量多的地连接管脚。使得信号回路的环路尽可能小。

4, 当没有地参考平面时（如单面板中），可以在两信号走线中间走一根地线作为回流路径。

5, 在不影响柔性的情况下，可以在上下层地走线或平面上打一些接地过孔来改善地噪声。

6, 多层板 FPC 中，信号线尽量靠近地平线布线。

## 7.6 串扰控制

关键网络的串扰，可通过搭建模型进行仿真，得出满足器件串扰要求的最小信号线间距。在设计时可设网络的间距规则，或设 **Max Parallelism**（信号线平行多长的则间距应多大的列表），作为规则输入到软件中。

控制串扰的主要手段：加大线间距，包地隔离等。

## 7.7 时序控制

满足建立时间和保持时间是时序电路的基本要求。时序计算的基本公式如下：

$$T_{propmax} = T_{cycle} - T_{min\_setup} - T_{max\_out\_valid} \pm T_{skew} - T_{jitter} - T_{crosstalk}$$

$$T_{propmin} = T_{min\_in\_hold} - T_{out\_hold} \pm T_{skew} + T_{jitter} + T_{crosstalk}$$

其中：

$T_{propmax}$  为传输线允许的最大传输延时；

$T_{propmin}$  为传输线允许的最小传输延时；

$T_{cycle}$  为时钟周期；  $T_{min\_setup}$  为输入器件的最小建立时间；

$T_{max\_out\_valid}$  为输出器件的最大输出有效时间，有的资料定义为  $T_{co}$ ；其含义为时钟边沿到达到有效数据输出所需要的一段时间差；

$T_{skew}$  为输入输出器件时钟输入 PIN 处的相对延时，即时钟相差；

$T_{jitter}$  为时钟抖动引入的延时，这种延时可能造成时钟周期的变化；

$T_{crosstalk}$  为总线的同步串扰引入的延时；

$T_{min\_in\_hold}$  为输入器件的最小保持时间；

$T_{out\_hold}$  为输出器件的输出保持时间。

在器件的数据手册中可得到相关的参数，通常  $T_{jitter}$   $T_{crosstalk}$  近似为 0.5ns。通过计算可得到传输线允许的最大传输延时，最小传输延时。

通过静态时序分析可以对芯片的器件选型以及布局布线进行指导，一般的地，建立时间的要求决定了同步电路传输线的最大走线长度，而保持时间的要求决定了同步电路传输线的最小走线长度，器件的建立和保持时间是针对输入信号的器件而言的。

## 8 布局、布线和覆盖膜设计

### 8.1 厂家加工能力

表11 厂家加工能力表

	最小值	常规能力	最大值
尺寸大小		19.7" x 24" (500 mm x 610 mm)	
线宽/线间距 (mil)	3.0	4.0~6.0	
钻孔直径 (mil)	10	12, 14	
过孔大小 (mil)		10, 12	
孔环宽度 (mil)		10	
孔中心间距 (mil)		20	
对位精度 (mil)		3	
介质厚度 (mil)		0.5, 1, 2	3, 5, 7
胶厚度 (mil)	无胶	0.5, 1, 2	
铜箔厚度 (oz)	1/3	0.5, 1.0, 2.0	3.0
走线到板边距离 (mm)		0.25~0.5	
过孔到板边距离 (mm)		0.25~0.5	
加工尺寸精度 (mm)	±0.05	±0.10	
加工层数		1~2	6

说明：

注意不能完全根据加工厂家的极限能力来设计 FPC，可以根据设计情况适当增加裕量。否则成品率会降低，转而 FPC 成本变高。

3mil 最小线宽/线间距一般只是在单面板制作。双面板以上一般最小值是 4mil。

加工尺寸精度若用刀模时，精度一般是 $\pm 0.20\text{mm}$ 。

上面的值会根据厂家加工能力进步而变化。而且部分参数在不同厂家会不一样。当用极限值设计时需要与相关加工厂家沟通。

## 8.2 布局设计

1，开始之前一定要了解柔性板的作用和互连关系，确认连接器等关键器件的封装尺寸和管脚定义顺序。

2，一般直接把 DXF 格式的结构要素图直接导入设计软件中，用“change”命令获得 FPC 板框。

3，根据结构要素图规定的位置定位连接器、定位孔等关键器件。要注意关键器件的第一脚方向和中心位置等等。

4，根据电路信号流向和连接关系布局好其它器件。

5，布局必须满足公司 DFM，DFT 相关规范的要求。

## 8.3 布线设计

### 8.3.1 布线基本要求

- 1，通过调整原理图连接关系和器件布局等方式，优先保证信号走线顺畅、换层过孔最少。
- 2，线宽、线间距以及过孔的设置至少应满足可加工性要求。

### 8.3.2 布线对柔性的影响

为了得到最大的动态弯曲次数（对于应用场合 B）和得到弯曲安装（应用场合 A）的最高可靠性，在弯曲区域的导体必须符合下面的考虑：

- 2 导体与弯曲方向垂直。
- 2 导体应均匀地穿过弯曲区域。
- 2 导体尽量布满弯曲区域面积。
- 2 在弯曲区域不能有额外的电镀金属（弯曲区域导线不电镀）。
- 2 线宽保持一致。
- 2 双面板的走线不能重叠一起构成“1”状。
- 2 在弯曲区域的层数尽量减少。
- 2 弯曲区域不能有过孔和金属化孔。
- 2 弯曲中心轴应当设置在导体的中心。导体两边的材料系数和厚度尽量一致。这一点在动态弯曲的应用场合下非常重要。可以采用覆盖膜和交错走线等设计方法来尽量满足这一要求。

如下图所示，在动态弯曲区域内柔性板外形保持一致，否则走线密度发生变化影响弯曲性能。另外为了得到更好的动态弯曲性能，在弯曲区域走线分布要均匀，垂直于弯曲方向。

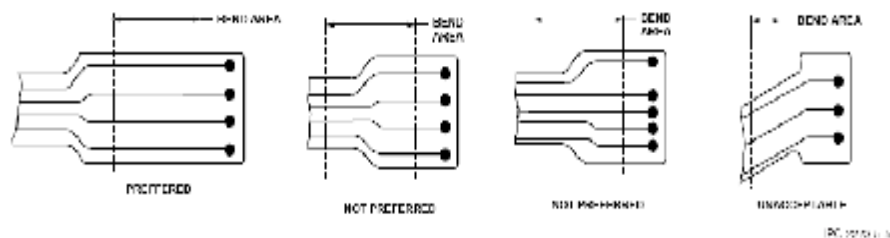


图28 弯曲区域内走线方向和密度

同时，弯曲区域的轴线和交错走线方式如下图所示：

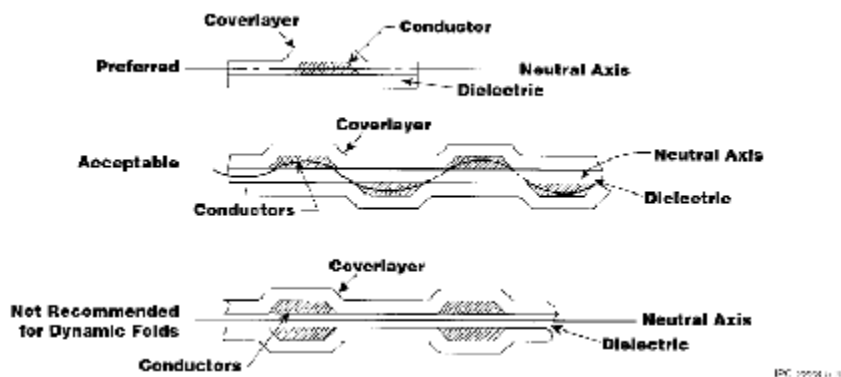


图29 弯曲区域的轴线和交错走线方式

### 8.3.3 镀金、镀铅锡对布线和焊盘位置要求

电镀金、镀铅锡在金手指设计或者 Hotbar 加工时经常采用。电镀工艺要求需要电镀的走线或焊盘（一般是焊盘）必须有一端引到板边。

### 8.3.4 布线抵抗撕裂方法

沿着板边转弯的地方加一根走线可以起到抵抗外力撕裂的作用。

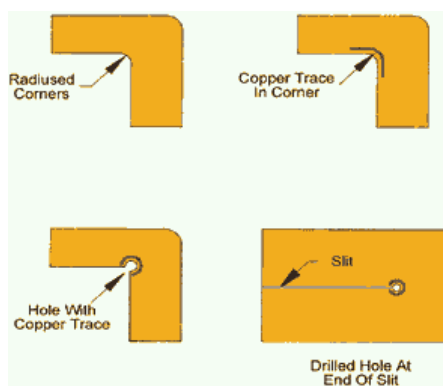


图30 沿转弯地方加走线抗撕裂方法

## 8.4 覆盖膜设计

在柔性板中覆盖膜的作用是起绝缘作用，并保护导体避免玷污、潮湿和刮伤等。它的作用与油墨阻焊层基本一样。但是油墨阻焊层是用印刷的方式或大面积印刷再曝光的方式来实现的，而覆盖膜则是像铜箔的一样用层压粘贴方式来粘到导体表面。同时要在覆盖膜上开孔（如焊盘），一般需要使用钻孔或冲压的方式。另外在通常的有胶加工工艺中，压合过程会出现溢胶现象，开孔上可能会残留胶。用钻孔方式，会溢胶，压合覆盖膜时会有位置偏移，这些是覆盖膜设计中需要考虑的最首要的问题。

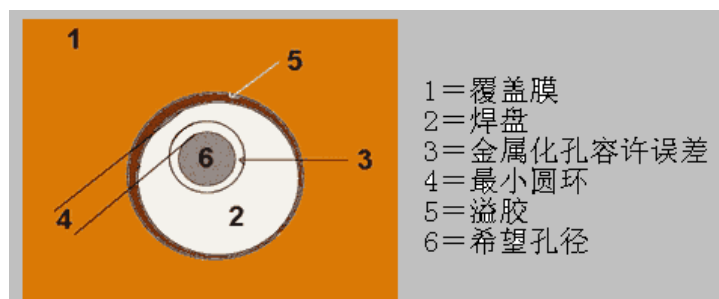


图31 焊盘示意图

### 8.4.1 覆盖膜设计要求

- 1, 尽量减少覆盖膜开窗（coverlay access）数量。像有些过孔和金属化孔可以设计成全覆盖的形式（类似阻焊不开窗）。
- 2, 开小窗口时，优选圆形覆盖膜开窗，次选椭圆形的，避免方形开窗。

### 8.4.2 覆盖膜加工能力

- 1, 覆盖膜最小的钻孔或冲孔为 0.25mm（根据厂家钻孔能力不同改变）。
- 2, 覆盖膜孔的边缘间距应大于 0.25mm（IPC-2223 规范；若小于该值需要采取镭射切割等其它工艺）。

在密焊盘间距设计时，覆盖膜开窗间距可能无法满足 0.25mm（10mil）要求，则采用焊盘周围覆盖膜整体开窗的方式或阻焊油墨的方式实现。



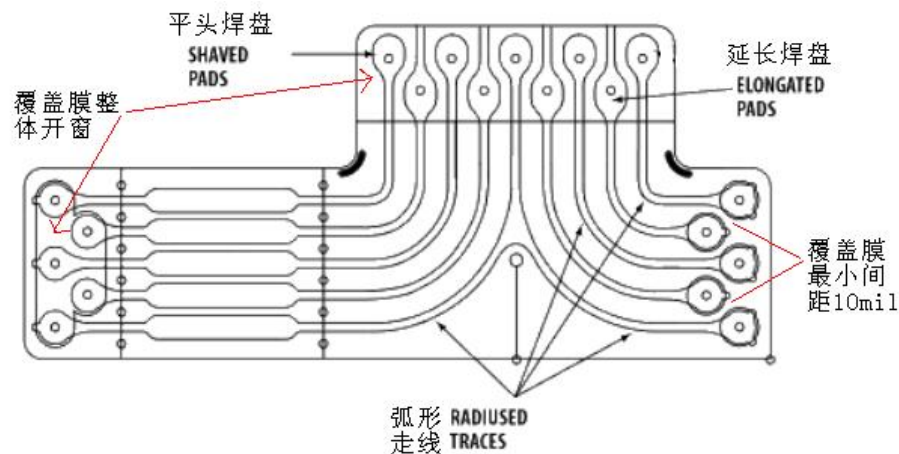


图32 覆盖膜最小间距和整体开窗示意图

### 8.4.3 覆盖膜覆压焊盘设计

在高性能要求场合，可以采用覆盖膜覆压焊盘设计（称该焊盘为“阻焊定义焊盘”）来增加焊盘的附着力，提高可靠性。一般要求焊盘比覆盖膜开窗大 0.36mm（每边大 0.18mm）以上。

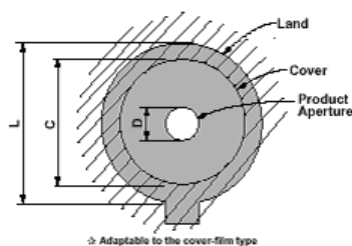


图33 覆盖膜覆压焊盘设计

当无法采用覆盖膜覆压焊盘设计方式时，可以设计成下图所示的盘趾形式。图中盘趾应伸进覆盖膜大于 0.18mm。

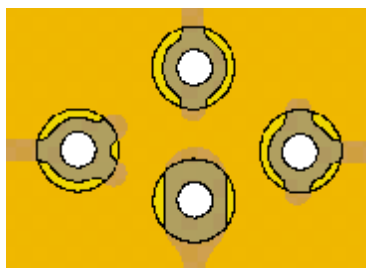


图34 盘趾设计形式

对于小焊盘或者孤立焊盘必须采取上面两种方式来提高焊盘可靠性。当然，加工厂家一般做一些处理（如覆盖膜压到与焊盘相连的泪滴焊盘、走线上）来达到或接近上面的要求的。

8.5 银浆屏蔽层设计方法

8.5.1 银浆屏蔽层的层压设置和各层命名方式

在物理结构上，银浆层一般覆盖在铜导线外面。但是在 Allegro、Power PCB 等设计软件中，Artwork Top 和 Artwork Bottom 层只能定义成铜箔层。因为该两层代表着器件焊接（焊盘）所在的面，而在银浆层是不能焊接器件的。因此，在设计软件中只能把银浆层设置成内层信号层，最后在光绘文件的 Drill Chart 层中指明各导体层的顺序。

另外，银浆层是覆盖在覆盖膜上的，它的表面又需要增加覆盖膜来绝缘和保护。所以与没有银浆层的 FPC 相比，多一层银浆就会增加一层覆盖膜。下表中表示了双面板的表面都覆盖银浆屏蔽层时的物理结构和各层的命名方法。

表12 银浆设计各层命名和物理结构表

各层命名	各层物理结构
COVERLAY TOP	Polyimide Coverlayer Adhesive
SILVER PASTE TOP	Silver Shielding
COVERLAY02	Polyimide Coverlayer Adhesive
ARTWORK TOP	Base Copper+ED copper Adhesive Polyimide Base Material Adhesive
ARTWORK BOTTOM	Base Copper+ED copper Adhesive
COVERLAYER03	Polyimide Coverlayer
SILVER PASTE BOTTOM	Silver Shielding Adhesive
COVERLAY BOTTOM	Polyimide Coverlayer

8.5.2 银浆层的接地方式和过孔设置

当用银浆做屏蔽层时，银浆要接地才能实现屏蔽效果。接地有多种方法，第一是打接地过孔让银浆直接覆盖到过孔焊盘上，从而与地层相连。当采用该方法时银浆会灌到过孔里面。因为银浆灌到过孔里面不会很均匀，而且银浆只与过孔焊盘连接接触面积比较小，所以在可能的情况下一般采用第二种方法。第二种如下图所示，在走线层走一些较粗的地线或铺接地铜皮，然后把这些粗走线或铜皮上的覆盖膜开窗，这样银浆就会流到覆盖膜开窗下的接地走线或铜皮上，构成良好连接。同时为了避免银浆灌到过孔内，一般这些覆盖膜开窗的区域外面打接地过孔。

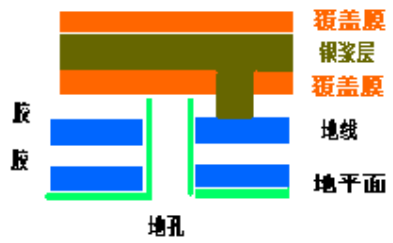


图35 银浆层接地方式示意图

要注意的是非接地的过孔不能打在银浆层下的覆盖膜开窗中，以免引起短路。PCB 设计中需要编辑过孔的焊盘去掉相关的阻焊开窗层（solder mask）。处理方式如下图所示：

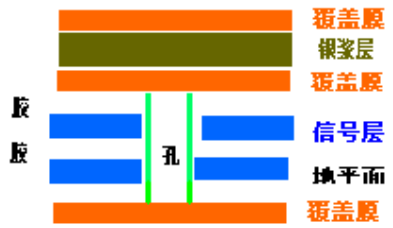


图36 银浆层非接地过孔处理方式示意图

9 柔性板加工

9.1 加工周期

下表的 FPC 加工周期表示苏州佳通厂家目前的加工能力，其它厂家的也基本类似。在实际情况中，FPC 的回板时间受下列因素影响很大：设计难度、加工量、加工厂家的产能、原材料备料情况、对产品的重视程度和客户关系等等。具体单板回板时间需要与加工厂家具体沟通。

表13 柔性板加工周期表

		正常时间	产能紧张时间
研发样品	单面板	5 days	7 days
	双面板	7 days	9 days
	多层板	14-21 days	21 days
量产	单面板	2-3 weeks	3-4 weeks
	双面板	3-4 weeks	4-5 weeks
	多层板	4-5 weeks	5-6 weeks

## 9.2 FPC 加工对柔性影响

### 1，材料

不同板材厂家的材料性能差别很大。在性能要求高的场合，设计文件中需要注明柔性板基材、覆盖膜和胶的生产厂家、型号等等。

### 2，加工工艺

不同柔性板加工厂家的生产工艺不一样，产品性能也有不同。

### 3，选择电镀

电镀上电解铜的柔性没有压延铜的好。在柔性要求高时，需要标明弯曲区域并注明保护弯曲区域不电镀（选择性电镀）。

### 4，分层

当柔性要求高时，两层和多层板一般采用分层（air cap）设计。弯曲区域各层之间没有胶粘接，而是分开。这样可以减少弯曲应力。

### 5，泪滴焊盘处理

柔性板中走线和过孔的焊盘一般都需要进行泪滴处理(Tear Drop 或 Fillet)。这样可以提高产品的可靠性。当设计软件不容易实现泪滴处理时，可以在设计文件中标明，要求加工厂家处理。



图37 过孔焊盘泪滴处理示意图

### 6，覆盖膜和胶的选择性删除

在局部需要的柔性而其它部分需要有一定硬度的多层柔性板设计时，在柔性区域可以安排走线尽量集中到一层，而其它多余的层和覆盖膜、胶可以注明删除掉。这样可以减小柔性区域厚度，提高柔性。

## 9.3 柔性板常用表面处理方式

### 9.3.1 化学镍金—ENIG

化学镍金（ENIG），又称化镍浸金。英文描述为 Electroless Nickel and Immersion Gold。一般在 PCB 铜金属面采用的非电解镍层厚度为  $2.5\mu\text{m}\sim 5.0\mu\text{m}$ ，浸金（99.9%的纯金）层的厚度一般为  $0.05\mu\text{m}\sim 0.1\mu\text{m}$ 。

优点：表面平整，保存时间较长，易于焊接；适合细间距元件和厚度较薄的 PCB。对于 FPC，因为厚度较薄，比较适合采用。

缺点：不环保

### 9.3.2 电镀铅锡— Tin – Lead Plating

特点：可以直接给焊盘加上平整的铅锡，可焊性好、均匀性好。对于某些加工工艺如 HOTBAR，FPC 上一定采用该方式。

缺点：铅容易氧化，保存时间较短；需要拉电镀导线；而且不环保。

### 9.3.3 选择性电镀金—SEG

英文描述为 Selective Electroplated Gold，选择性电镀金指 PCB 局部区域用电镀金，其它区域用另外的一种表面处理方式。电镀金是指在 PCB 铜表面先用涂敷镍层，后电镀金层。镍层的厚度为 2.5~5.0 $\mu\text{m}$ ，金层的厚度为一般为 0.05~1.0 $\mu\text{m}$ 。

优点：金镀层较厚，抗氧化和耐磨性能强。“金手指”一般采用此表面处理方式。但是在表面处理方式可选的前提下，尽量不使用电镀金的表面处理方式，以减少氰化物污染。

### 9.3.4 有机可焊性保护层 —OSP

英文描述为 Organic Solderability Preservatives，此工艺是指在裸露的 PCB 铜表面用特定的有机物进行表层覆盖，目前我司推荐的有机保护层为 Enthone's Entek Plus Cu-106A 或 Enthone's Entek Plus Cu-106AX，其厚度要求为 0.2 $\mu\text{m}$ ~ 0.5 $\mu\text{m}$ 。

优点：能提供非常平整的 PCB 表面，符合环保要求。适合于细间距元件的 PCB。缺点：需要采用常规波峰焊和选择性波峰焊焊接工艺的 PCBA，不允许使用 OSP 表面处理方式。

### 9.3.5 热风整平—HASL

英文描述：Hot Air Solder Leveling。该工艺是指在 PCB 最终裸露金属表面覆盖 63/37 的锡铅合金。热风整平锡铅合金镀层的厚度要求为 1 $\mu\text{m}$  至 25 $\mu\text{m}$ 。

热风整平工艺对于控制镀层的厚度和焊盘图形较为困难，不推荐使用于有细间距元件的 PCB，原因是细间距元件对焊盘平整度要求高；热风整平工艺的热冲击对于厚度很薄的 FPC 影响较大，不推荐采用该表面处理方式。

镀镍软金--- Bondable Gold/Nickel Plating

特点：适于超声波焊

镀镍硬金---Hard Gold/Nickel Plating

特点：适于多种连接方式

对于采用何种表面处理应考虑厂家的加工能力以及成本应用场合等各种因素。

9.4 器件组装对加工要求

电镀要求：焊盘与板边平齐。

表面处理：单板薄时，不选择 HASL 处理方式。

10 柔性板标注

柔性板设计文件中需要标注的内容有：

- 2 尺寸标注。
- 2 设计者、设计时间和联系方式。
- 2 层数。
- 2 厚度。
- 2 表面处理方式。
- 2 应用场合、测试条件。
- 2 弯曲次数要求。
- 2 柔性区域（弯折区域）。
- 2 分层（air cap）的区域和位置。
- 2 材料厚度、厂家。
- 2 层压结构。
- 2 剖面图。
- 2 阻抗控制要求。
- 2 补强板描述（材料、形状、位置、厚度）。
- 2 后面是否需要背胶。
- 2 选择电镀区域。
- 2 要求厂家进行焊盘泪滴处理。

上面的内容可以根据设计需要选择性使用，或者另外增加。

11 参考实例

下面以一块三层板表面再覆银浆的单板为例说明柔性板设计输出文件与硬板的不同。其层结构如下图所示：

图38 三层板表面覆银浆层的设计实例

REFERENCE STACK UP	
MATERIAL	LAYER NAME
Air	
Polyimide coverlayer	COVERLAYER TOP
Adhesive	

Silver Epoxy	SILVER PASTE TOP
Adhesive	
Polyimide coverlayer	COVERLAYER02
Adhesive	
Copper	ARTWORK TOP
Adhesive	
Polyimide Base Material	
Adhesive	
Copper	ARTWORK LAYER02
Adhesive	
Polyimide Base Material	
Adhesive	
Copper	ARTWORK BOTTOM
Adhesive	
Polyimide coverlayer	COVERLAYER03
Adhesive	
Silver Epoxy	SILVER PASTE BOTTOM
Adhesive	
Polyimide coverlayer	COVERLAYER BOTTOM
Air	

柔性板输出的光绘文件包括：

ASM : adt.art adb.art

SMD : pastbotm.art pasttop.art

CAM : meshtop.art meshbotm.art（银浆层）、art01.art art02.art art03.art coverbotm.art

Covertop.art drill.art cover02.art cover03.art silktop.art silkbotm.art

可以发现与硬板的光绘文件相比，柔性板的 CAM 文件中没有阻焊文件，阻焊文件由 coverbotm.art Covertop.art 取代，另外增加了 cover02.art cover03.art，这些都与柔性板的加工过程有关。可以参看前面的内容体会一下。

具体情况可以参考以下单板：



hl12fpc1.zip

## 12 参考文献 Reference Document

序号 No.	文献编号或出处 Doc No.	文献名称 Doc Title
1	IPC-2223	Sectional Design Standard for Flexible Printed Boards
2	Q/DKBA1067.1-2003.09	印制电路板(PCB)设计规范 V2.1