

QJ

中华人民共和国航天行业标准

FL 6114

QJ 3103A—2011

代替 QJ 3103—1999

印制电路板设计要求

Design requirement for printed circuit board

2011—07—19 发布

2011—10—01 实施

国家国防科技工业局 发布

目次

前言.....	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 设计依据和设计准则.....	1
4.1 设计依据.....	1
4.2 设计准则.....	1
4.2.1 电气连接的正确性.....	1
4.2.2 可靠性.....	2
4.2.3 可制造性 (DFM)	2
4.2.4 经济性.....	2
4.2.5 环境适应性和环保型.....	2
5 设计内容.....	2
5.1 材料及选用原则.....	2
5.1.1 材料.....	2
5.1.2 材料选用的原则.....	4
5.2 印制板表面镀层和涂覆层.....	5
5.2.1 金属镀层和涂覆层.....	5
5.2.2 非金属涂覆层.....	6
5.3 印制板的结构尺寸.....	7
5.3.1 印制板的基本尺寸要素.....	7
5.3.2 形状和尺寸.....	7
5.3.3 厚度.....	8
5.3.4 孔的尺寸及公差.....	9
5.3.5 孔位和图形位置.....	10
5.3.6 连接盘 (焊盘)	13
5.3.7 印制导线的宽度和间距.....	14
5.3.8 边缘连接方式、接插区域和印制插头.....	15
5.3.9 槽和缺口.....	16
5.4 电气性能.....	16
5.4.1 电阻.....	17
5.4.2 电流负载能力.....	18
5.4.3 绝缘电阻.....	21
5.4.4 抗电强度 (耐电压)	22
5.4.5 其它电气性能.....	24
5.5 机械性能.....	27
5.5.1 导电图形的附着强度.....	27
5.5.2 翘曲度.....	27
5.6 印制板的热设计.....	27
5.6.1 概述.....	27
5.6.2 热设计的内容和要求.....	27
5.7 印制板图设计.....	29
5.7.1 印制板图设计内容和流程.....	29
5.7.2 布设总图的设计.....	30

QJ 3103A—2011

5.7.3 布局.....	32
5.7.4 布线.....	33
5.7.5 非导电图形设计.....	38
5.7.6 附连测试板图形设计.....	39
5.7.7 机械加工图.....	44
5.7.8 印制板安装图.....	44
附录 A (资料性附录) 多层印制板 (10 层) 测试图形 D.....	45

前 言

本标准代替QJ 3103—1999《印制电路板设计规范》。

本标准与QJ 3103—1999相比主要有以下变化：

- 增加了有关环境保护考虑的设计内容；
- 增加表面安装焊盘设计的内容；
- 修订了翘曲度、导线最小宽度和间距等一些技术要求的指标，以适应表面安装和布线密度高的需要；
- 增加了考虑导线厚度、宽度时，应控制选材和导体厚度的内容；
- 为适应高速电路用印制板的设计需要，增加了布线的高速设计规则和考虑电磁兼容问题的设计内容以及高速电路印制板用基材的相关参数；
- 增加了表面安装选用基材的种类和参数及焊盘涂镀层设计要求；
- 为提高印制板可靠性，增加了附连测试图形设计的要求；
- 为适应特性阻抗设计考虑导线静态电阻和计算互连电阻时使用，增加了导线电阻计算图表；
- 增加了印制板热设计的相关内容，包括印制板基材的耐热性能、散热性印制板的结构（如冷板印制板、金属芯印制板）；
- 修订并充实了可制造性内容；
- 修改和增加了布线的图形拓扑结构；
- 修订人工设计的内容，增加了计算机辅助设计（CAD）流程。

本标准的附录A为资料性附录。

本标准由中国航天科技集团公司提出。

本标准由中国航天标准化研究所归口。

本标准起草单位：中国航天标准化研究所、中国航天科技集团公司第九研究院200厂、中国航天科技集团公司第一研究院第十二研究所、中国航天科技集团公司第五研究院第五〇二研究所。

本标准主要起草人：姜培安、张伟、范清远、高文文。

本标准于1980年首次发布，1988年4月第一次修订，1999年2月第二次修订。

印制电路板设计要求

1 范围

本标准规定了刚性印制电路板（以下简称印制板）的设计依据、设计准则和设计内容。

本标准适用于航天电子电气产品用的刚性印制板，不适用于高密度互连印制板和微波印制板。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包含勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准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标准。

GB/T 1360 印制电路网格体系

GB/T 2036 印制电路术语

GB/T 3131—2001 锡铅钎料

GB/T 9491—2002 锡焊用液态焊剂(松香基)

GJB 2142 印制线路板用覆金属箔层压板总规范

GJB/Z 50.1—1993 军用印制电路板及其基材系列型谱 印制电路用覆箔基材

QJ 165 航天电子电气产品安装通用技术要求

QJ 201 印制电路板通用规范

QJ 831 航天用多层印制电路板通用规范

QJ 832 航天用多层印制电路板试验方法

QJ 978 航天电子产品装配图简化画法

SJ 20671 印制板组装件用电绝缘化合物

3 术语和定义

GB/T 2036确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1

综合测试板 complex test pattern board

采用与成品板相同材料和工艺制作的、有两种或两种以上测试图形组合的专供印制板的性能试验或鉴定试验的印制板。

4 设计依据和设计准则

4.1 设计依据

航天用印制板的设计应依据航天电子电气产品设计任务书和印制板的电路图进行。

4.2 设计准则

4.2.1 电气连接的正确性

印制板上印制导线连接的逻辑关系应与电路图或网络表的逻辑关系一致。对因结构要求、电气性能要求、工艺要求或其它物理性能要求，不宜在印制板上布设的导线，应在印制板的电气安装图或布设总图中规定要求。

QJ 3103A—2011

4.2.2 可靠性

可靠性是航天用印制板的重要特性，印制板的结构、基材选用、布局、布线、印制导线宽度和导线间距、导通孔（过孔）、焊盘图形设计、介质层厚度、铜箔厚度及印制板制造和安装工艺等因素都会影响印制板的可靠性。设计时应综合考虑以上因素，并应根据印制板在整机产品中的重要程度，留有适当的安全系数。

4.2.3 可制造性（DFM）

印制板设计的可制造性包括印制板制造和电子装联两项工艺的要求，同时应考虑测试和维修的工艺要求。印制板的制造工艺主要考虑板的厚度、尺寸、导体层数、导线精度、导线最小宽度和间距、互连方式（通孔、埋孔和盲孔）、最小孔径、板厚与孔径比等因素。

4.2.4 经济性

设计应考虑印制板的制造和安装成本，在选用设计方法、确定基材、选择制造工艺时，应尽量做到最佳性价比，在满足可靠性和使用要求的前提下，力求成本最低。

4.2.5 环境适应性和环保型

印制板的材料和结构应能适应航天电子电气产品的使用环境要求，应最大限度采用可再生、回收或环保型材料。

5 设计内容

5.1 材料及选用原则

5.1.1 材料

5.1.1.1 覆铜箔层压板

5.1.1.1.1 概述

覆铜箔层压板是印制板采用的基材，其品种符号应符合GJB/Z 50.1—1993的规定；技术要求应符合GJB 2142的规定。应根据印制板的不同使用要求，从5.1.1.1.2~5.1.1.1.5各类基材中选取合适的基材。各类基材中GF型(FR4)、GT型、GX型除具有上述同类基材的相应性能外，还具有阻燃性能，对单个电子元器件偶然过热引起的着火危险和印制板着火蔓延具有一定的抵抗能力，适用于有防火要求的印制板。

5.1.1.1.2 覆铜箔环氧玻璃布层压板（GE型或GF型）

该基材是以环氧树脂为粘合剂，玻璃纤维布为增强材料的层压板，其机械性能、尺寸稳定性、抗冲击性能较好，电性能优良，工作温度较高，受环境温度影响较小，有不同玻璃化转变温度范围（125℃~200℃）的多个品种。电子装联采用较高的焊接温度时（如无铅焊接），应选用玻璃化转变温度较高（≥170℃）的基材。在考虑印制板用的阻燃性基材时，应优选无卤素型的环保材料，其玻璃化转变温度也相对较高一些，但是成本较普通的环氧玻璃布层压板高。

5.1.1.1.3 高性能覆铜箔层压板

高性能覆铜箔层压板包括改性环氧树脂、氰酸酯树脂、双马来酰胺三嗪/环氧（BT树脂）和聚酰亚胺与玻璃布层压制成的层压板基材。这些材料具有电性能优良、介电常数和介质损耗较低、耐化学性和耐高温等特性，通常用于高速电路用的印制板，是适合航天高可靠产品用的印制板基材。但价格昂贵，有的基材需要特殊的加工工艺。选用时应根据产品的需要和具体材料的特性确定采用的品种。

QJ 3103A—2011

5.1.1.1.4 覆铜箔聚四氟乙烯玻璃布层压板 (GT 型或 GX 型)

该基材是以聚四氟乙烯为粘合剂,玻璃纤维布为增强材料的层压板,其介电常数低、耐高温、耐潮湿、化学稳定性好,工作温度范围宽,是比较理想的高频、微波电子设备用的印制板基材。但价格昂贵,需要特殊的加工工艺。

5.1.1.1.5 特殊覆铜箔材料

当对印制板的热膨胀系数要求严格时,可采用覆铜箔因瓦、覆铜箔环氧芳香聚酰胺布增强层压板、覆铜箔聚酰亚胺芳香聚酰胺布层压板或聚酰亚胺石英玻璃纤维布层压板、陶瓷基板和铝基板等特殊覆铜箔材料。这些材料有较高的尺寸稳定性,能满足特殊要求,但价格昂贵,不易采购,需要特殊的加工工艺,聚酰亚胺树脂的基材吸湿性较大,焊接前应进行预烘处理,焊后应进行敷形涂覆。

5.1.1.1.6 覆铜箔层压板的主要性能指标

5.1.1.1.6.1 覆铜箔层压板的厚度与铜箔厚度

单、双面覆铜箔层压板的标称厚度及允许偏差见表1。铜箔单位面积的重量与厚度的允许偏差见表2。多层印制板用的薄型覆铜箔层压板,其厚度标称值是尺寸范围,不是固定的值。其铜箔厚度及覆铜箔的方式(单面铜箔有胶粘接、单面铜箔无胶粘接、双面铜箔有胶粘接、双面铜箔无胶粘接)应由供需双方协商。

表1 单、双面覆铜箔层压板的标称厚度及允许偏差

单位为毫米

标称厚度	单点厚度偏差	
	精度高	精度低
0.2	—	—
0.5	±0.07	—
0.7	±0.09	—
0.8	±0.09	±0.15
(1.0)	±0.11	±0.17
(1.2)	±0.12	±0.18
(1.5)	±0.12	±0.18
1.6	±0.14	±0.20
2.0	±0.15	±0.25
2.4	±0.18	±0.25
3.2	±0.20	±0.30
6.4	±0.30	±0.56

注:括号中的值为非优选值。

表2 铜箔单位面积的重量与厚度的允许偏差

单位面积铜箔的重量			相应铜箔的厚度		
标称值 g/m ²	偏差		标称值	μm	
	精度高	精度低		精度高	精度低
152	±5%	±10%	18	±2.5	±5
230	±5%	±10%	25	±2.5	±5
305	±5%	±10%	35	±2.5	±5
610	±5%	±10%	70	±4.0	±8
915	±5%	±10%	105	±5.0	±10

5.1.1.1.6.2 其它性能

除5.1.1.1.6.1的规定外,覆铜箔层压板的性能还有剥离强度、翘曲度(弓曲、扭曲)、绝缘电阻、耐电压、介电常数、介质损耗角正切值(损耗因子)、玻璃化转变温度、热膨胀系数、热分解温度、

QJ 3103A—2011

吸湿率、燃烧性(阻燃性)等,其技术要求应符合GJB 2142和相关标准的要求。基材常见介质材料的典型性能参见表3。

表3 基材常见介质材料的典型性能

性能	材料					
	FR4 的 绝缘基材	多功能 环氧树脂	高性能 环氧树脂	双马来酰胺三嗪/环氧 (BT 树脂)	聚酰亚胺	氰酸酯
电气击穿强度 V/mm	39.4×10^3	51.2×10^3	70.9×10^3	47.2×10^3	70.9×10^3	65×10^3
体积电阻率 $\Omega \cdot m$	4×10^6	3.8×10^6	4.9×10^6	4×10^6	2.1×10^6	1.0×10^6
介电常数	3.9	3.5	3.4	2.9	3.5~3.7	2.8
损耗因子 $\tan\delta$	0.022	0.019	0.012	0.015	0.01	0.004
吸湿率 %	1.3	0.1	0.3	1.3	0.5	0.8
玻璃化转变温度 $^{\circ}C$	110~140	130~160	165~190	175~200	220~280	180~260
X、Y 向热膨胀率 ppm	16~19	14~18	14~18	15	8~18	15
低于玻璃化转变温度时 Z 向热膨胀率 ppm	50~85	44~80	44	70	35~70	81

介电常数是指树脂的介电常数值,有增强材料时介电常数值升高。通常 FR4 基材的介电常数为 4.2~5.4; 玻璃布/聚酰亚胺为 4.0~4.7; 石英玻璃布/聚酰亚胺为 3.0~3.7; 玻璃布/BT 树脂为 4.0~4.7; 玻璃布/氰酸酯为 4.0~4.7。具体的数值需查材料供应商的说明资料。

电气击穿强度值通常是在层压板厚度为 0.125mm 时测得,随厚度增加耐电压值提高,在高电压时不完全呈线性关系。使用的最小介质厚度应不小于 0.9mm。

温度高于玻璃化转变温度时,基材 Z 向热膨胀率会增加 3 倍~4 倍,FR4 基材的热膨胀率为 230ppm~390ppm; 其它基材其他基材在高于玻璃化转变温度时,基材 Z 向热膨胀率需查材料供应商的说明资料。

5.1.1.2 多层印制板用粘结材料(半固化片/预浸材料)

用于多层印制板层间粘结的半固化片,是用玻璃布等增强材料预浸渍环氧树脂,烘干固化到半固化阶段(B阶段树脂)的薄片。根据印制板层间介质厚度要求,叠加适当数量的半固化片,添加在两个有导电图形的薄型印制板层之间,经过加热、层压固化后,形成多层印制板的中间绝缘层。生产工艺和设计结构对半固化片性能有严格要求,其技术要求应符合GJB 2142的规定。选用时注意应与制作多层印制板内外层导电图形所用的覆铜箔基材的树脂和增强材料一致或相互兼容。

5.1.1.3 焊料

印制板表面热风整平涂层用的焊料,不应采用纯锡,焊料中锡的重量百分比含量应不大于97%。

5.1.2 材料选用的原则

设计印制板时,应根据GJB/Z 50.1—1993中4.4和下列因素选择合适的基材:

- a) 印制板的类型;

- b) 制造工艺;
- c) 工作及储存环境;
- d) 机械性能要求;
- e) 电气性能要求;
- f) 特殊性能要求(耐热性、阻燃性、介电常数和介质损耗等);
- g) 表面安装(SMT)用印制板基材应考虑与安装的元器件热膨胀系数相匹配。

选择基材时应在满足产品关键特性要求的基础上兼顾其它性能。

5.2 印制板表面镀层和涂覆层

5.2.1 金属镀层和涂覆层

5.2.1.1 概述

印制板表面的金属镀层和涂覆层主要用于保护焊盘的可焊性和提高导线的导电性能,同时起到减少印制导线受环境侵蚀的作用。当需要涂覆时,印制板的外层导电图形(包括镀覆孔、连接盘等暴露的表面)都应被焊料或其它需要的金属镀、涂层覆盖。在任何两种金属镀、涂层的交界处,不应有直接裸露铜底层的现象。当采用热风整平技术涂覆焊料时,印制板的镀覆孔(金属化孔)壁及连接盘(焊盘)应被焊料所覆盖,其余部位应被阻焊膜覆盖(印制插头触点和其它接触点除外)。

5.2.1.2 锡铅合金或锡合金镀层

该镀层是阳极性镀层,用来提高焊盘的可焊性和保护铜金属底层的耐蚀性,其厚度取决于所采用的镀覆工艺。纯锡镀层容易生长锡须,会使绝缘下降或短路,所以通常采用锡铅合金或锡合金(无铅焊接时镀层采用锡合金)。当采用电镀锡铅合金时,镀层厚度一般为 $7\mu\text{m}\sim 11\mu\text{m}$ 。为提高耐氧化性和可焊性需要热熔,热熔后在焊盘与孔壁的交界处厚度较薄,但应覆盖铜层。锡铅合金的成分中,锡含量在 $60\%\sim 70\%$ 之间,最佳锡含量为 $61\%\sim 63\%$ 。该镀层的缺点是电镀锡铅时,合金的比例难于控制,其表面与阻焊膜结合力差,焊接时阻焊膜容易脱落。该镀层适用于布线密度不高,采用通孔安装并且不需要阻焊膜的印制板。

5.2.1.3 焊料涂层

该涂层是采用热风整平工艺将符合GB/T 3131—2001中的S—Sn60PbAA或S—Sn63PbAA的焊料涂覆在焊盘和金属化孔中,其余导体上的铜被阻焊膜覆盖。其涂层厚度无严格要求,应完全覆盖铜表面,涂层表面应较平整、可焊,不应使金属化孔的孔径减小到最小孔径要求。由于焊料表面张力的作用和热风整平时重力的影响,其表面的平整度与表面安装元器件的共面性较差,主要用于通孔安装和有引线表面安装器件的印制板。对尺寸较大的表面安装器件或无引线表面安装器件(如QFP、BGA等)进行表面安装的印制板,热风整平时应采用平整性较好的薄涂层。

5.2.1.4 铜镀层

铜镀层主要用于印制板的图形电镀或金属化孔壁铜层的电镀加厚层。铜的纯度应不低于 99.9% ,平均厚度应不小于 $25\mu\text{m}$,最薄处应不小于 $20\mu\text{m}$,伸长率应不低于 12% 。如果用铜层作为可焊性镀层,则应在焊盘的铜层上涂覆助焊剂或有机可焊性保护剂(OSP)等可焊性保护涂层,但对于生产周期长、焊前储存期长或需要多次焊接的印制板,不宜采用有机可焊性保护剂保护的铜镀层。

5.2.1.5 金镀层

金镀层抗氧化性强、可剪性好、接触电阻小、表面平整,通常在镍底层上镀金。主要用于印制接触点和采用热压焊或超声焊接的部位,用于接触点部位的金镀层应采用较厚的硬金镀层。

QJ 3103A—2011

在需要锡焊的焊盘上的金镀层应选用较薄的纯金（软金）镀层，并严格控制镀层厚度在规定的范围之内。

注：金能与焊料中的锡形成金锡间化合物，较厚的金层溶于焊料中，会改变焊料的成分，使焊点变脆（金脆），影响焊接质量，所以焊盘上的金镀层应薄；但是过薄的金层孔隙率大，长期暴露在空气中或受湿热环境影响时，底层的镍易被氧化，会使可焊性下降，所以应严格控制镀金层厚度在规定的范围内。

镀金层分为电镀金和化学镀金（浸金）两种类型。电镀较薄的软金镀层适用于表面安装焊盘；浸金镀层也适用于表面安装焊盘，但镀层太薄、焊前储存期短，不适用于储存环境潮湿、生产周期较长的印制板。不同镀金层的适用范围和厚度见表4。

表4 不同金层的厚度和用途

单位为微米

镀层种类	厚度	用途
电镀硬金	≥ 1.3	用于非焊接的印制触点和接触连接区
电镀软金	0.13~0.45	锡焊部位和SMT焊盘
	≥ 0.05	超声金属线焊接区
	≥ 0.8	热压焊接区
浸金	0.05~0.23	SMT焊盘（焊前储存期短）

5.2.1.6 镍镀层

电镀金之前在铜层上先镀一层低应力的镍，以便在铜和金之间形成阻挡层，防止铜通过金层的孔隙向外扩散而被腐蚀，提高金镀层的防护能力和耐磨性。镍层的厚度通常为 $2\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}$ ，主要用于印制接触点。电镀薄金可用于表面安装印制板的焊盘。化学镀镍/金镀层（ENIG）不能用于焊接前储存时间较长和有湿热环境的场合，化学镍通常是含有磷的磷镍层，有一定抗腐蚀能力，厚度为 $3\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}$ 。

5.2.1.7 镍层镀铬

在镀镍层上镀金后再镀铬，主要用于印制接触点和码盘等的接触滑环上，可提高镀层的防护性和耐磨性。

5.2.2 非金属涂覆层

5.2.2.1 可焊性保护涂层

可焊性保护涂层用于保护导电图形或焊盘的可焊性，是暂时性保护层，焊接后应除去或自行分解。常用的有：

- GB/T 9491—2002 中规定的纯松香基焊剂（R 型）涂层或中等活性松香基焊剂（RMA 型）涂层，用于焊接前储存时间短、图形简单的试验用印制板；
- 有机可焊性保护剂（OSP），涂覆于印制板的铜焊盘表面，形成憎水型防氧化保护膜，能保护铜表面的可焊性，涂层平整、成本低，适合于焊接前储存时间短，反复焊接次数少的表面安装印制板，一般在产品模样阶段可以使用。

5.2.2.2 阻焊涂层

阻焊涂层是用于保护导电图形在规定的区域焊接以及防止非焊接区的导电图形被焊料桥接的涂层，该涂层焊接后不需去除，作为一种永久的保护层，能提高表层的耐电压性能，具有防尘和一定的绝缘性能，但不能代替需要进行绝缘处理的绝缘层。

5.2.2.3 保护性涂层

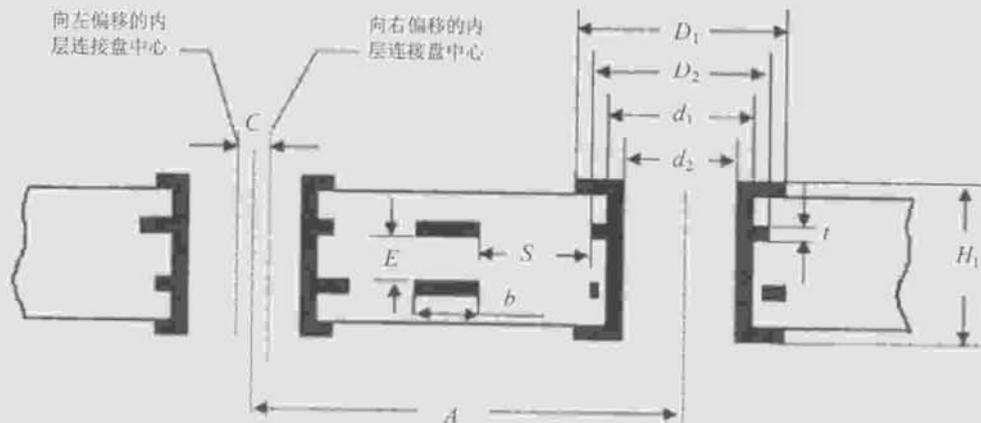
保护性涂层用于提高或保护印制板的电性能，可以在焊接前或焊接后涂覆。焊接前涂覆通常采用DJ823固体保护膜，涂覆在印制插头或接触片部位。焊接后涂覆通常采用SJ 20671规定的合适的敷形涂覆层。

QJ 3103A—2011

5.3 印制板的结构尺寸

5.3.1 印制板的基本尺寸要素

印制板的基本尺寸要素见图1（垂直剖切图）。



A —孔中心距离； b —内层导体宽度； C —层间重合度； D_1 —表面连接盘直径；
 D_2 —内层连接盘直径； d_1 —钻孔直径； d_2 —孔金属化后直径； E —层间间距；
 H_1 —印制板厚度； S —内层导线间距； t —导体厚度

图1 印制板的基本尺寸要素

5.3.2 形状和尺寸

印制板的形状原则上可以是任意的，但考虑到整机空间的限制和加工方便，在满足布局空间要求的前提下，力求形状简单。一般为长宽比例不太悬殊的长方形。面积较大或长宽比例较大的印制板，由于容易产生翘曲变形，应采用多设支撑点或增加金属边框和其它加固措施。

印制板的外形尺寸应根据需要而定，但不应超过加工的极限值，外形尺寸太小的板，需要进行拼板设计（即多件拼接在一起，制作后分割为单件）。因为印制板的基材是金属与塑料的复合型层压材料，其外形的尺寸公差应按塑料加工公差，不宜要求过严。

为了减少对印制板测试和安装时的夹具种类和提高拼板时的材料利用率，宜采用标准化的印制板尺寸。印制板标准化尺寸参见图2、表5。

QJ 3103A—2011

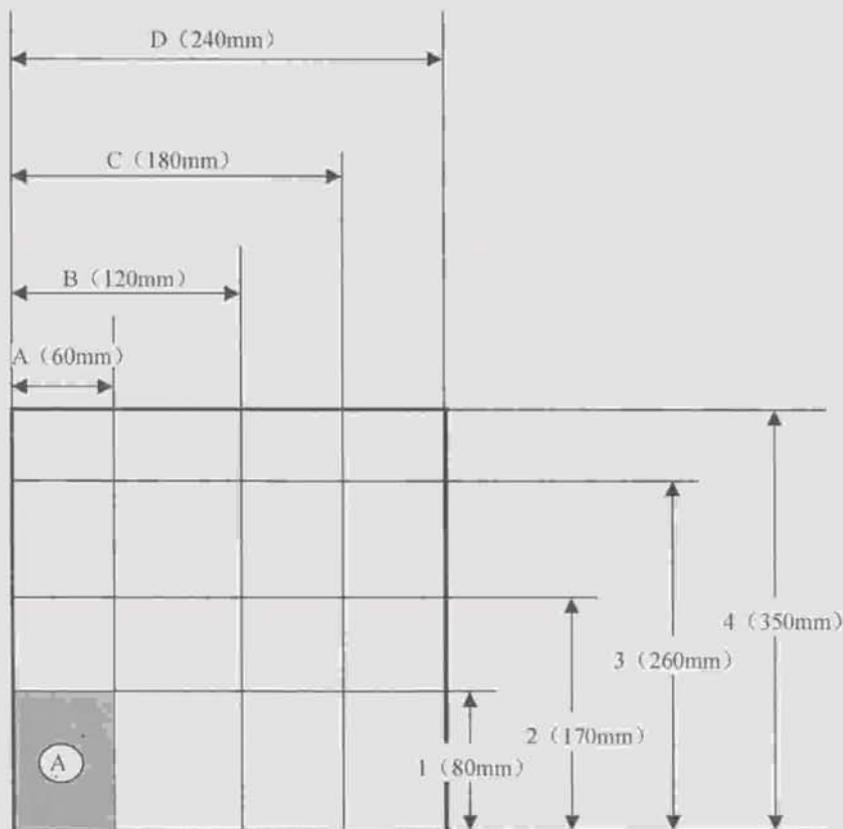


图2 印制板标准化尺寸

表5 印制板标准化尺寸

单位为毫米

印制板代号	印制板尺寸 ^a						
A1	60×80	B1	120×80	C1	180×80	D1	240×80
A2	60×170	B2	120×170	C2	180×170	D2	240×170
A3	60×260	B3	120×260	C3	180×260	D3	240×260
A4	60×350	B4	120×350	C4	180×350	D4	240×350 ^b

^a偏差为±0.4mm。
^b不推荐为最佳尺寸。

5.3.3 厚度

5.3.3.1 印制板厚度

印制板的厚度应根据印制板的功能和所安装的元器件的重量、与之相匹配的边缘连接器(如插座)的规格尺寸、印制板的面积及其所承受的机械负荷来确定。对卫星、火箭、导弹上用的印制板,在其厚度能满足安全使用的前提下,不宜过厚,以免增加整机的重量。

5.3.3.2 多层印制板中间绝缘层的厚度

多层印制板中间各导电层之间绝缘层的厚度,应根据其电气性能和结构要求来确定。在两相邻的导电层之间,至少应有0.09mm厚的绝缘材料,并且所用的粘结片不应少于两片。

QJ 3103A—2011

5.3.4 孔的尺寸及公差

5.3.4.1 非镀覆孔（非金属化孔）的尺寸

非金属化孔如果作为元件安装孔，其标称直径应按所安装元件的引线（引脚）标称直径再增加0.1mm。优选的标称孔径及公差见表6。如果只作机械安装用的孔，应按所安装机械零件的尺寸和最大公差值确定其尺寸和公差。每根引线支撑重量超过7.0g的轴向元件或每根引线支撑重量超过3.5g的径向元件，除考虑元件安装孔尺寸外还应考虑设置支撑和加固元件所需的孔及尺寸。

表6 优选的标称孔径及公差

单位为毫米

孔标称直径	公差
0.4、0.5、0.6、0.8、0.9	±0.05
1.0、1.2、1.6、2.0	±0.10

5.3.4.2 镀覆孔（金属化孔）的尺寸

5.3.4.2.1 在同一块印制板上应尽量减少金属化孔直径的种类。印制板厚度与金属化孔直径之比一般不宜大于6:1。

5.3.4.2.2 只作为贯穿连接的导通孔（又称过孔），在满足布线要求和5.3.6.2中规定的连接盘最小尺寸的前提下，孔径尺寸可以减小，对其公差不做严格要求。双面印制板上的过孔，在进行电子装联时，根据不同的焊接工艺，可以采用焊料填充，以提高互连的可靠性；多层印制板上的过孔，通常不需要焊接或焊料堵孔，以减少焊接温度对过孔的冲击。

5.3.4.2.3 用作安装元器件的金属化孔的尺寸，应按元器件引线（引脚）的最大和最小直径以及5.3.4.5的因素来确定。金属化孔最大直径和最小直径与引线尺寸的关系应符合表7的规定。

表7 金属化孔最大直径和最小直径与引线尺寸的关系

引线直径与孔直径的关系	孔直径的选择范围	
	一般	较高
引线最小直径与孔最大直径	孔最大直径比引线最小直径大0.7mm 以内	孔最大直径比引线最小直径大0.6mm以内
引线最大直径与孔最小直径	孔最小直径比引线最大直径大0.2mm 以上	孔最小直径比引线最大直径大0.15mm 以上

5.3.4.2.4 金属化孔壁铜层的平均厚度应不小于25μm，最小厚度应不小于20μm，在满足此条件的前提下镀层厚度偏差最大为50%（过孔的孔壁铜层厚度允许偏厚），但是对于元件孔应不影响元器件引线的插入。

5.3.4.3 异形孔的尺寸

应尽量避免使用异形孔，必要时可以用长方形孔代替其它异形孔。在同一块印制板上异形孔的种类应尽量少，并且一般不要求金属化。长方形孔优选的标称尺寸及公差见表8。

表8 长方形孔优选的标称尺寸及公差

单位为毫米

标称尺寸	允许公差
1×2、1×3、1×4、1×5、……、1×n、2×4、2×5、……、2×n	±0.10

注：n为不大于10的正整数。

5.3.4.4 通孔、盲孔和埋孔尺寸

通孔、盲孔和埋孔都属于过孔，都要求金属化。通孔的孔径在满足印制板厚度与孔径比不大于6:1的前提下，尽量减小孔的直径，并且孔壁铜镀层平均厚度应符合5.3.4.2.4的要求。盲孔和埋孔的孔径一般应不小于φ0.3mm，盲孔和大于两层的埋孔孔壁铜镀层平均厚度应符合5.3.4.2.4的要求。若要采用孔径小于φ0.3mm的盲孔和埋孔，其孔壁铜层厚度可参见表9。

QJ 3103A—2011

表9 孔径小于 $\Phi 0.3\text{mm}$ 盲孔和埋孔的铜层厚度

单位为微米

孔的类型	孔壁厚度	
埋孔	平均最小厚度	15
	最薄处厚度	13
盲孔	平均最小厚度	12
	最薄处厚度	10

5.3.4.5 元件孔与插入元件引线后的间隙

元件孔插入元件引线后应留有一定的间隙，以便于焊接时焊料的流动，其间隙的大小按公式(1)计算。

$$d_1 - d_0 > 2(\delta_1 + \delta_2) + \Delta_1 + \Delta_2 \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中：

d_1 ——钻孔标称直径，单位为毫米（mm）；

d_0 ——元件引线标称直径，单位为毫米（mm）；

δ_1 ——金属化孔壁厚度，单位为毫米（mm）；

δ_2 ——元件引线搪锡层厚度，单位为毫米（mm）；

Δ_1 ——钻孔孔径偏差，单位为毫米（mm）；

Δ_2 ——元件引线直径偏差，单位为毫米（mm）。

通常 $d_1 - d_0$ 的值取 $0.2\text{mm} \sim 0.4\text{mm}$ ，有金属化的孔取 $0.3\text{mm} \sim 0.4\text{mm}$ 。对于矩形引线， d_0 为矩形引线的横截面的对角线尺寸，且在矩形引线厚度方向，孔与矩形引线的间隙应不大于 0.7mm ，如图3所示，图中尺寸 M 与尺寸 N 的和应不大于 0.7mm 。

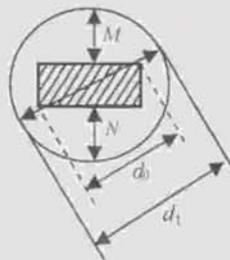


图3 矩形引线与元件孔间隙尺寸

5.3.4.6 压配合连接孔

如果印制板上需要采用压配合连接件，则安装连接件的导通孔直径应略小于连接件插入孔中部分的直径，具体尺寸应符合压配合连接件的配合公差要求。

5.3.5 孔位和图形位置

5.3.5.1 坐标网格

孔位和导电图形位置设计时，应优先选用符合GB/T 1360规定的坐标网格系统。基本格子为 2.54mm ，辅助格子为 1.27mm 和 0.635mm 。当元器件的节距小于 0.635mm 时，坐标格为 0.5mm 、 0.4mm 或更小。

5.3.5.2 参考基准

为便于制造和检验图形定位，宜使用参考基准。在同一块板上有几个图形时，所有图形都应使用相同的参考基准。参考基准一般由设计确定，通常的方法是采用两条正交的直线，其交点为坐标原点。当在印制板外形线内设置参考基准时，应标出参考基准到印制板各边缘的尺寸及公差，见图4。

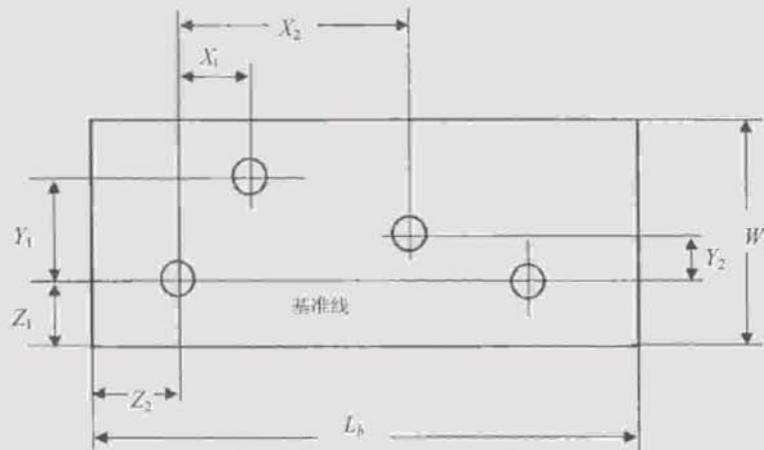


图4 参考基准

5.3.5.3 元器件定位基准

对有方向或极性要求的元器件，应设置金属或丝网印制的定位基准标识。对表面安装元器件应设置丝网印制的定位基准标识或光学定位标识，当采用丝网印制时，一般可用器件的外形去掉一角或数字位置编号；当采用光学定位标识时，金属标识与图形同时设置在印制板的元件面上，在一个角或三个角各设置直径为 $\phi 1.2\text{mm} \sim \phi 1.6\text{mm}$ 的圆形或边长为 $2\text{mm} \times 2\text{mm}$ 的方形定位标识，在较大尺寸的器件或小节距器件的焊盘图形对角线上各设置一个定位基准标识，如图5所示。光学定位的金属标识上不应有阻焊膜覆盖。

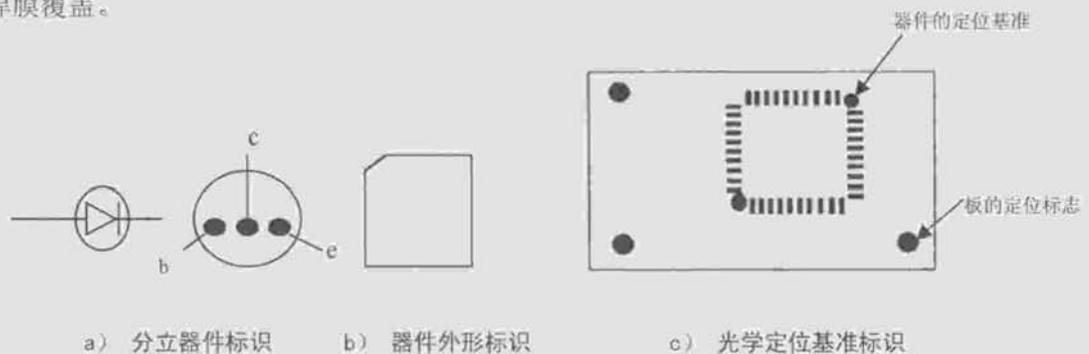


图5 定位基准标识

5.3.5.4 孔中心位置及公差

元件孔和机械安装孔的中心应位于坐标网格的交点上，以便于计算机辅助制造和测试。当元件孔和安装孔成组作圆形排列时，同组元件孔的共同排列中心应位于网格的交点上，并且安装孔中至少有一个孔的中心位于上述同一网格的交点上，见图6。

QJ 3103A—2011

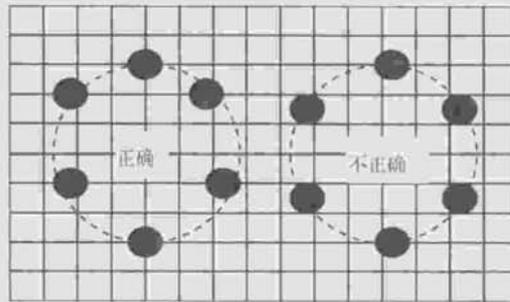


图6 圆形排列的成组孔与网格交点的关系

当不需要金属化的元件孔、安装孔成组作非圆形排列时，至少应有一个孔的中心位于网格的交点上，并且其它孔至少有一个孔的中心位于上述交点的同一坐标线上，见图7。

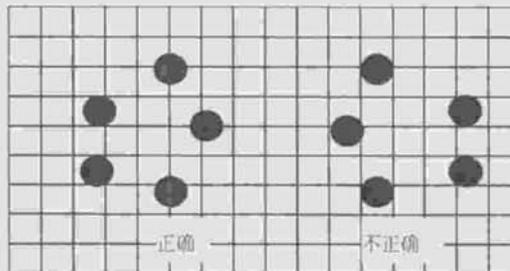


图7 非圆形排列的成组孔与网格交点的关系

在满足5.3.5.6和5.3.6.2要求的前提下，元件孔、导通孔的中心位置的公差一般不大于0.2mm。

安装孔以及其它相互之间有尺寸配合要求的孔，其公差宜按表10的规定选取。在满足使用的条件下，尽量避免选用高公差。

表10 孔的公差要求

单位为毫米

精度要求	孔的公差	
	规定的孔位置与参考基准之间的距离不大于 150	规定的孔位置与参考基准之间的距离大于 150
高	±0.05	±0.1
较高	±0.10	±0.2
较低	±0.20	±0.4

5.3.5.5 孔间距

任意两个相邻的机械安装孔的边缘之间的最小距离应大于印制板的厚度。

5.3.5.6 孔边缘与印制板边缘的距离

孔边缘与印制板边缘的最小距离应大于印制板的厚度。

5.3.5.7 孔与连接盘的错位

孔与连接盘之间容易产生错位，采用5.3.5.2的参考基准后，只能减少错位量，但不能完全消除错位。对要求连接盘包围的孔，其错位程度应不使连接盘最小环宽小于0.1mm。对于不需要金属化的较

QJ 3103A—2011

大的机械安装孔，可以在连接盘中心设置钻孔导向点，以提高钻孔的位置精度，导向点应是与连接盘同心的圆环，并小于钻孔的直径，通常钻孔导向点直径为 $\phi 0.3\text{mm} \sim \phi 0.4\text{mm}$ 。

5.3.6 连接盘（焊盘）

5.3.6.1 连接盘形状

常用连接盘的形状有圆形、方形、长方形、椭圆形和切割圆形等。应根据器件焊接端子的匹配要求、布线密度和制造工艺需要的不同来选择连接盘的形状。

元器件安装孔、导通孔（过孔）和多层印制板内层的连接盘，一般采用圆形连接盘。

在印制板表层的焊盘应根据器件引脚的匹配要求和布线密度需要，选定不同的形状，通孔安装的焊盘一般采用圆形、长方形或方形焊盘，双列直插式器件的焊盘通常可采用圆形、椭圆形或切割圆形焊盘；具体形状取决于两焊盘间的布线密度。

表面安装器件焊盘应根据器件引出端子的不同而不同，对J形引线小外形封装器件（SOJ）、翼形引线小外形封装器件（SOP）、方形扁平封装器件（QFP）和片式表面安装元件通常为成组的长方形焊盘；对于球栅阵列（BGA）类器件通常为成组的圆形焊盘，各类表面安装焊盘上不应设置过孔。常用的焊盘形状见图8。

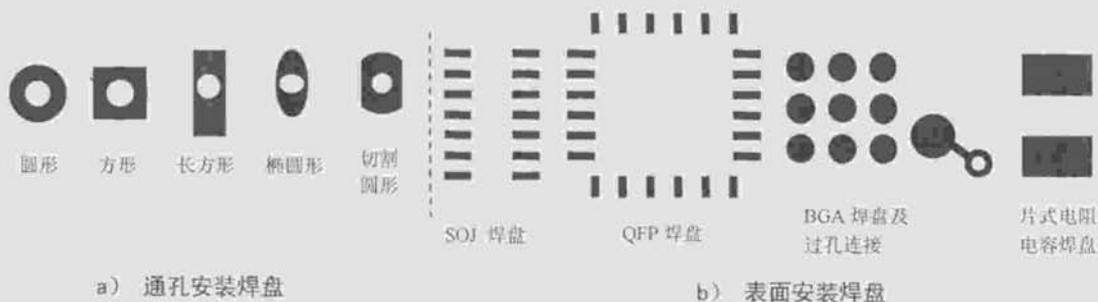


图8 常用的焊盘形状

在焊盘尺寸较小时，为防止焊盘破坏，提高连接的可靠性，可以采用改进型的焊盘。通常有三种（见图9）：

- 在焊盘与导线的连接处加斜边线，增加连接区域形成泪滴型；
- 在长方形焊盘上从焊盘的拐角引出导线，形成拐角引出型；
- 在导线与焊盘的连接处增加与焊盘叠合的小圆，形成锁眼型。



图9 改进型的焊盘

5.3.6.2 连接盘尺寸

5.3.6.2.1 概述

QJ 3103A—2011

连接盘（焊盘）尺寸的确定，应考虑元器件引脚匹配的需要、钻孔方式、最小环宽要求、层间允许的偏差以及印制导线宽度允许的偏差等因素。为了便于加工和保证焊接的可靠性，焊盘的尺寸应适当大一些。多层印制板内层连接盘直径应比同轴金属化孔的直径至少大0.30mm，无支撑孔周围的连接盘最小直径应比钻孔的最大直径大0.5mm~0.8mm。印制板表面的焊盘应根据通孔安装元器件和表面安装元器件的不同，按5.3.6.2.2和5.3.6.2.3要求设计。

5.3.6.2.2 通孔安装的焊盘尺寸

通孔安装焊盘环绕金属化孔周围的圆形连接盘最小直径按公式（2）计算。

$$D = d_z + 2W_{mn} + \Delta P \dots\dots\dots(2)$$

式中：

D ——连接盘最小直径，单位为毫米（mm）；

d_z ——钻孔最大直径，单位为毫米（mm）；

W_{mn} ——允许最小的环宽（金属化孔为0.13mm，非金属化孔为0.30mm），单位为毫米（mm）；

ΔP ——允许的孔位置偏移，或要求凹蚀时多层印制板的最大凹蚀深度的2倍，单位为毫米（mm）。

一般连接盘的最小直径可参照表11选取。

表11 连接盘的最小直径

单位为毫米

钻孔直径	连接盘最小直径
0.3~0.5	1.0~1.2
0.6	1.2~1.5
0.8	1.5~1.6
0.9~1.1	1.4~1.6
1.2~1.5	1.8~2.4
1.6	2.2~2.6
1.8	2.4~2.8
2.0	2.8~3.0

5.3.6.2.3 表面安装焊盘尺寸

表面安装焊盘尺寸设计应综合考虑下列因素：

- a) 选定的表面安装元器件供应商提供的元器件引脚或焊接端子的形状、节距尺寸和公差；
- b) 焊盘图形位置偏差一般为 0.025mm~0.05mm 或更小；
- c) 印制板手工安装偏差一般不大于 0.1mm，机械安装偏差一般不大于 0.01mm；
- d) 应能满足焊接的要求；
- e) 表面安装的 BGA 类器件的焊盘直径尺寸，通常应比器件上相对应的焊球直径尺寸小 10%；如果焊盘密度高、尺寸小，其直径可以等于器件的焊球直径，必要时用阻焊膜限定。

5.3.7 印制导线的宽度和间距

5.3.7.1 印制导线的宽度

印制导线宽度的设计通常应在其预计所承受的电流大小考虑线宽。印制导线的载流量与导线的宽度、厚度有关，还受导体的散热条件的影响。另外，还应考虑工作时导线温度的升高（简称温升）对基材铜箔附着力的影响，导线越宽，在同样电流下导线的温升越小。设计时应按5.4.2.1和5.4.2.2规定确定导线宽度。为了便于加工和保证产品可靠性，在布线空间允许的情况下应尽量设计宽一些，最小

QJ 3103A—2011

导线宽度应不小于0.13mm。导线宽度的精度还受设计的精度、光绘照相底版、加工工艺方法及导体厚度的影响。如果对成品印制板的导线宽度公差有严格要求，在布设总图中应有明确规定。当基材铜箔标称厚度为35 μ m时，导线宽度公差的选择不应超过表12的规定（有特性阻抗要求的导线除外）。

表12 导线宽度公差选择

单位为毫米

镀覆层状态	导线宽度公差			
	精度高	精度较高	精度一般	精度较低
无镀覆层	+0.03	+0.03	+0.03	+0.03
	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05
有镀覆层	+0.03	+0.03	+0.03	+0.03
	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05

用其它标称厚度的铜箔制作印制导线时，应根据铜箔厚度的减少适当提高宽度公差，根据铜箔厚度的增加适当减低宽度公差。加工后的成品印制板导线宽度及公差应符合QJ 831的规定。

5.3.7.2 印制导线间距

相邻印制导线之间的距离应满足5.4.3和5.4.4的电气安全要求，为便于加工和保证产品的可靠性，外层导线的最小间距应不小于0.13mm，内层导线最小间距应不小于0.10mm。相邻的高速信号印制导线之间的距离应不小于导线宽度的二倍（2W原则）。在布线空间允许的条件下应适当加宽导线间距。其间距的公差应符合QJ 201和QJ 831的规定。

5.3.8 边缘连接方式、接插区域和印制插头

5.3.8.1 边缘连接方式

印制板对外电气连接通常采用边缘连接器来实现，不同的连接方式对印制板的连接区有不同的设计要求。常用的方式有：

- 印制插头—插座式连接：该连接方式是印制板本身设计有印制插头，直接与专用插座进行插拔的方式，这种方式使用方便，成本低，对印制插头接触片的设计、制造精度和板的翘曲度要求比较高，适用于工作时震动较小，对印制板需要经常插拔或更换的场合；
- 插针—插座式连接：该连接方式是采用专用的能相互插拔匹配的外接连接器进行连接的方式，连接器与印制板的连接是通过连接器的插座部分的插针插入印制板边缘相应的插孔中，并焊接到印制板上，这种连接方式可靠性较印制插头—插座式高，插拔方便，但是成本高，增加整机的重量；
- 永久性连接：该连接方式是将外连接的导线或焊有插针的导线，直接焊接在印制板边缘的连接孔中实现连接，是永久性连接方式，可靠性高，对印制板表面元件插孔的位置精度要求不高，适用于卫星、火箭、导弹等产品上的印制板或工作时印制板不需插拔的场合，缺点是不便于维修。

5.3.8.2 接插区域

接插区域是印制板与相应的连接器相连接的部位，其尺寸应与连接器相匹配，在接插区的长度方向对印制板的翘曲度应有较严格的要求，应注明其尺寸和公差，并应考虑印制板的厚度与连接器的匹配。

对于印制插头—插座式连接方式，印制板的厚度及公差对接触的可靠性有重要影响，一般印制插头处印制板的厚度比插座相对的接触片之间的间距大0.2mm~0.3mm。接触片的位移最大不应超过接触片宽度的五分之一。对于插针—插座式连接方式，安装定位孔应与插针—插座式连接器的定位要求一致。

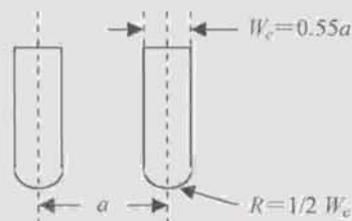
QJ 3103A—2011

5.3.8.3 印制插头

5.3.8.3.1 印制插头及接触片

印制插头应根据与其相匹配的插座的尺寸、公差等数据以及安装要求进行设计。布设总图中应标出接触片的中心距离、宽度、长度和公差要求以及接触片表面的镀覆层要求,如果有定位槽、定位口,还应标明定位槽、定位口位置尺寸和公差。

印制接触片的形状和尺寸应与插座的接触片相对应,接触片的宽度一般为插座上相邻接触弹簧片中心距离的0.55倍,接触片的插入端最好为半圆形,其半径为接触片宽度的二分之一,见图10。



a —插座接触片中心距离; W_c —插头接触片宽度; R —插入端圆弧半径

图10 印制插头接触片

为了减少设计的累计误差,一般以定位基准边为基准,依次向一侧定出各个接触片的中心位置。正反面接触片的相对位置,应与相匹配的插头座弹簧接触片的位置及公差一致。

5.3.8.3.2 印制接触片的工艺导线设计

为保证印制接触片在电镀镀层时导电,需要在印制板的外形线以外靠近板的边缘附加电镀工艺导线,把每个接触片连成导电通路,具体位置和尺寸见图11。工艺导线可以由工艺人员设计,也可在印制插头设计时一起进行,当电镀完成后,在加工印制板外形时去除(沿虚线去除),然后将边缘倒角去除毛刺。

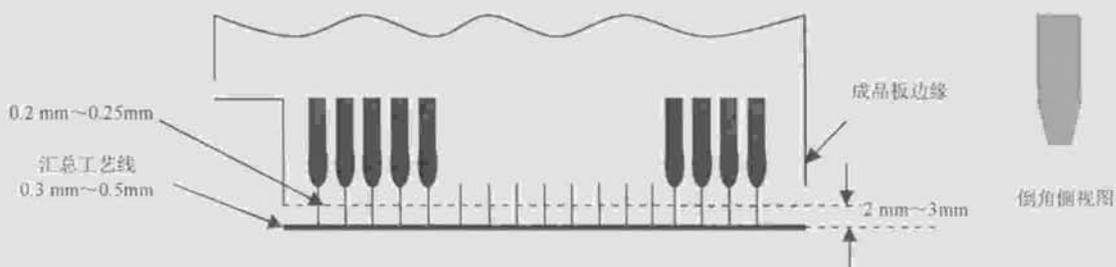


图11 附加的工艺导线设计

5.3.9 槽和缺口

印制板上的槽和缺口作为定位或安装其它零件使用,原则上可以为任意形状,但设计时应考虑在所用的印制板基材上加工槽和缺口的难易程度及加工后对印制板的机械强度影响。其形状应尽量简单、尺寸不宜太大、种类尽量减少,尺寸最小偏差为 $\pm 0.1\text{mm}$ 。印制插头部位的定位槽或缺口的位置和尺寸误差要求较高,布设总图中应注明尺寸和公差。

5.4 电气性能

5.4.1 电阻

5.4.1.1 印制导线电阻

印制导线的电阻符合欧姆定律，在静态下导线电阻比较小，所以一般情况下设计时可以不考虑电阻值，当需要考虑时，应由导线长度、宽度和厚度、导体的电阻率及允许的导线温升限定值来确定，对于不同厚度的铜导线可以用图12进行估算。图中给出了每10mm长导线的电阻与导线宽度、厚度和温度之间的关系。

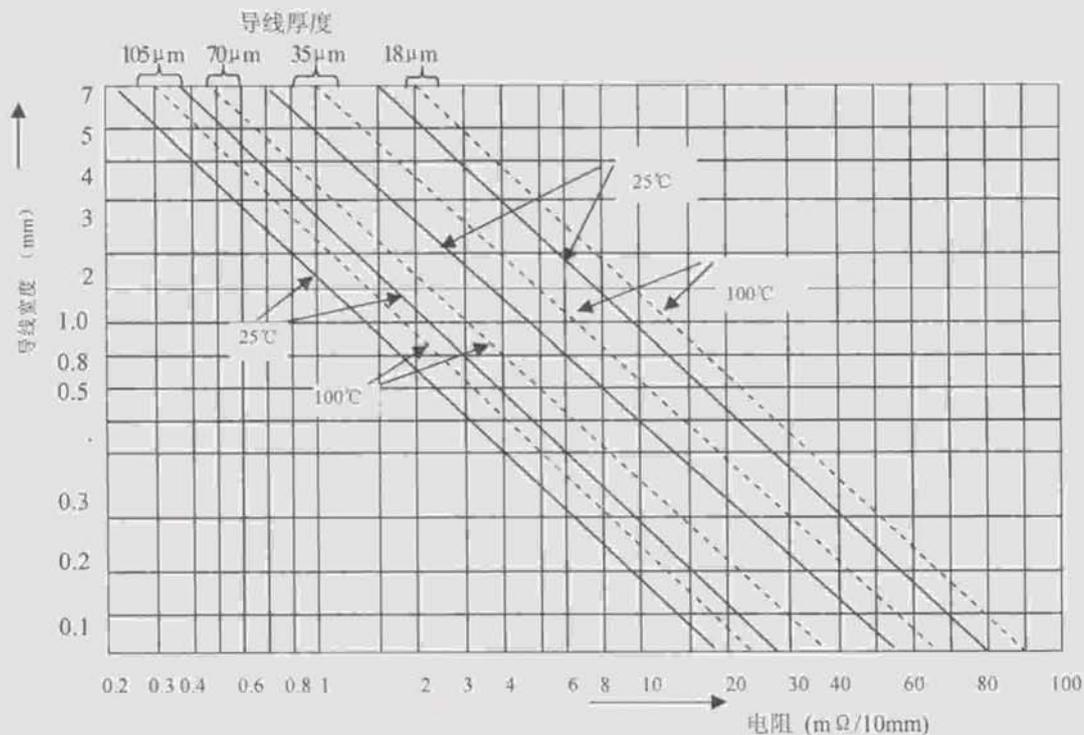


图12 导线电阻与导线宽度、厚度和温度的关系

低电阻率材料的镀层（如金属化孔壁的铜镀层、镀铜导线上的加厚铜层或导线上较厚的金镀层等）对导线电阻有减小的趋势。如导线上有较厚的铜镀层，在计算导线电阻时，应与印制板基材上的铜箔厚度加在一起作为铜层厚度。印制导线上的锡铅涂层或镍镀层，虽然有一定厚度，也会使导线电阻减小，但是由于这两种镀层电阻率比较大，对导线电阻减小的影响不大，只有在高速或高频电路用的印制板中才需考虑附加镀层对导线电阻的影响。

5.4.1.2 互连电阻

互连电阻及其变化率是反映印制板可靠性和加工质量的重要特性，该电阻由以下各部分组成：

- 同一网络中串联的金属化孔电阻；
- 导线电阻；
- 金属化孔壁与内层导线连接的界面电阻；
- 导线镀层电阻。

正常情况下金属化孔壁与内层导线连接的界面电阻很小，互连电阻主要由其它三项决定，但是一旦有较大变化，通常是金属化孔壁与内层导线连接的界面电阻变化引起的质量问题。因此，对高可靠的印制板设计应明确提出对互连电阻变化的检验要求。

5.4.1.3 金属化孔电阻

QJ 3103A—2011

金属化孔电阻是孔壁镀层的质量和厚度的反映,电阻随孔壁铜层厚度和孔径的增加而变小,一般孔电阻值很小,为几百微欧。这是检查金属化孔可靠性的重要指标,对高可靠的印制板设计应明确提出对金属化孔电阻的检验要求。金属化孔电阻与印制板的厚度、孔径、孔壁铜层厚度、加工质量有关,对于板厚度为1.6mm的不同铜镀层厚度的孔电阻可用图13进行估算,其它厚度的印制板和不同孔径的孔电阻可按QJ 832中公式计算。孔径为 $\phi 0.6\text{mm}$ 以下的镀覆孔不检测孔电阻,只要求孔壁铜层厚度。

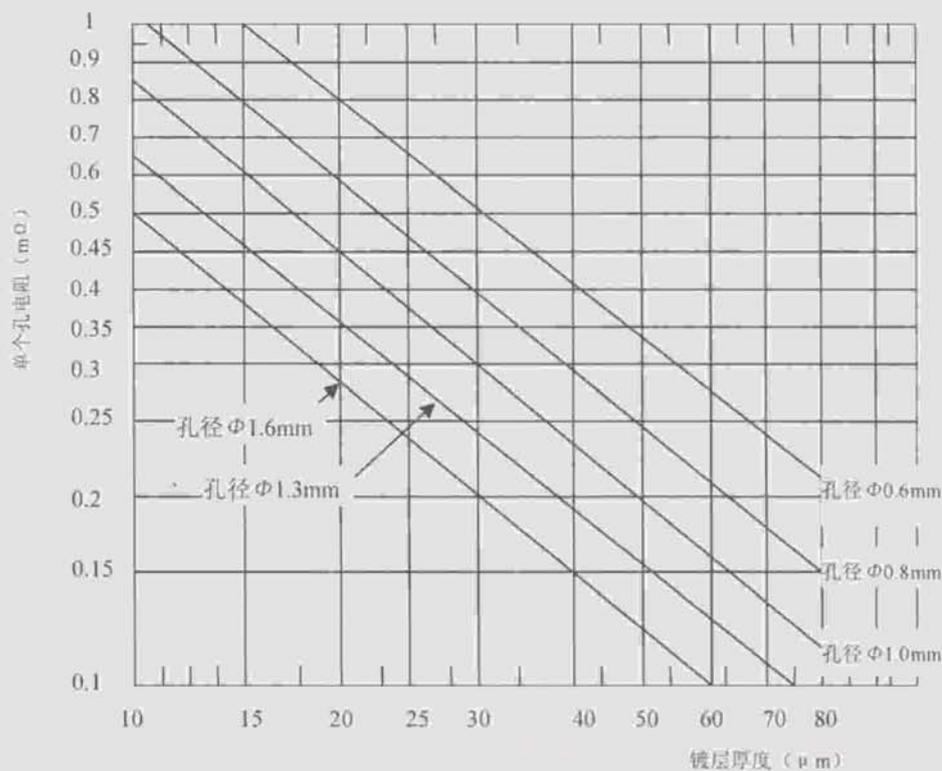


图13 金属化孔镀层厚度与孔电阻的关系

5.4.2 电流负载能力

5.4.2.1 表层连续电流

印制导线的电流负载能力受印制板最高安全工作温度的限制,在电流负载能力要求严格的情况下,应由印制板导线通过电流时的温升来确定;在一般场合下,可按设计预计的允许最高工作温升来估算。当导线的厚度已知时,通过试验得出不同宽度导线的电流负载能力与温升之间的关系,如图14所示,可以用图14按导线铜层厚度和允许的温升来确定印制导线的宽度和电流负载能力大小。

QJ 3103A—2011

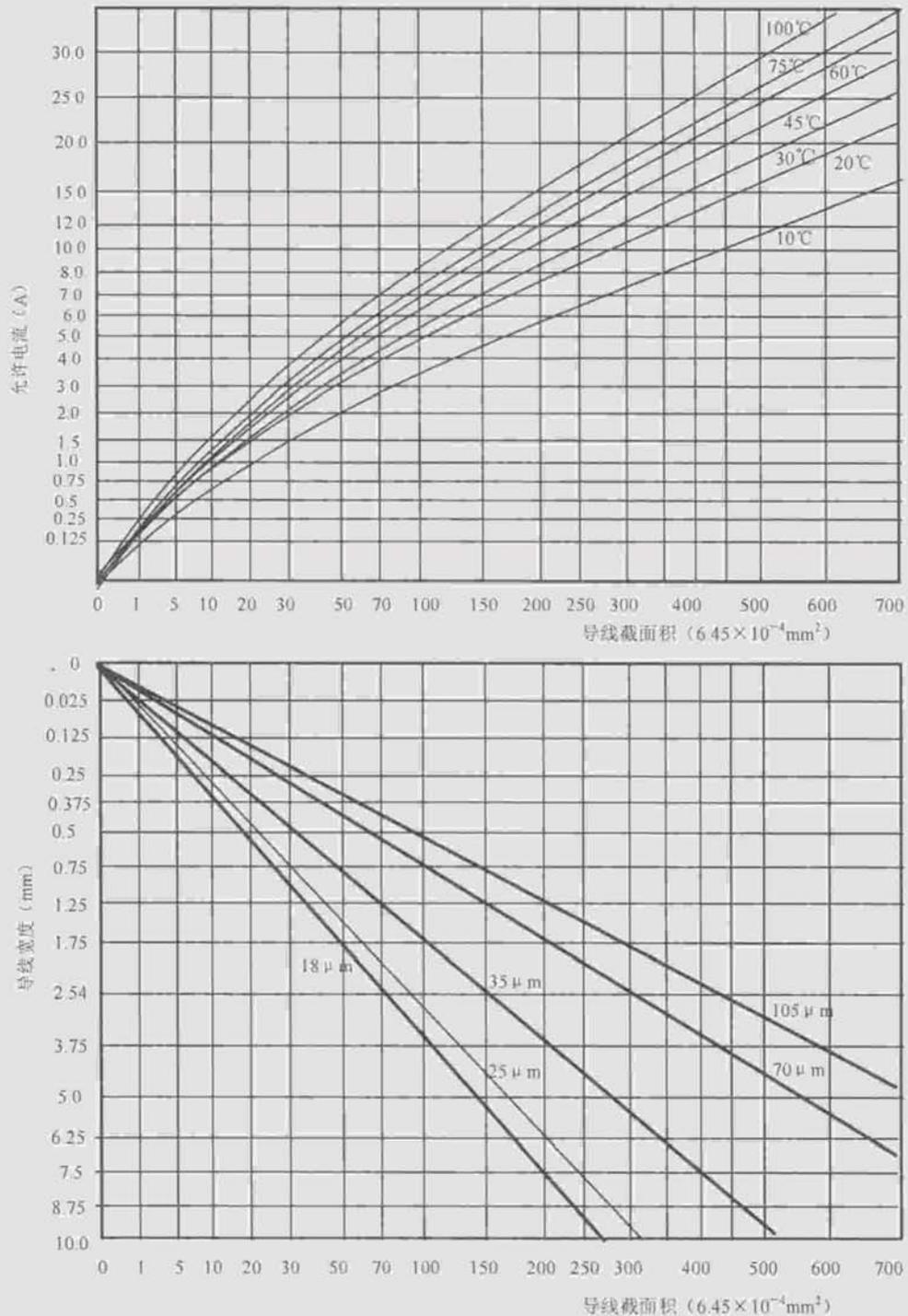


图14 导线宽度、横截面积与允许电流和温升的关系

考虑到制作工艺、基材铜箔厚度、导线宽度在允许范围内的变化（见表13和表14），在采用图14时，应注意图14中所示的曲线已比实际测量值降低了10%。从安全使用考虑，宜在下列情况下将从图14得出的数值再降低15%使用：

- a) 印制板的厚度在1.6mm以下；
- b) 如果采用表面涂覆层；

QJ 3103A—2011

c) 导线间距小于导线宽度。

表13 外层导线厚度变化

单位为微米

基底铜箔厚度	最小铜厚	加电镀层(25 μm)后的最小厚度	加工中可减小的最大值	加工后外层导体厚度最小值
8.50	7.70	32.70	1.50	31.2
12.00	10.80	35.80	1.50	34.3
17.10	15.40	40.40	2.00	38.4
34.30	30.90	55.90	3.00	52.9
68.60	61.70	86.70	3.00	83.7

考虑初始铜箔厚度时, 应选用供应商提供的标称值。
基底铜箔厚度小于17.10 μm 时不应返工, 不小于17.10 μm 时可返工一次。

表14 内层导线厚度变化

单位为微米

基底铜箔厚度	最小铜厚	加工中允许减小的最大值	加工后外层导体厚度最小值
8.50	7.70	1.50	6.2
12.00	10.80	1.50	9.3
17.10	15.40	4.00	11.4
34.30	30.90	6.00	24.9
68.60	61.70	6.00	55.7

基底铜箔厚度小于17.10 μm 时不应返工, 不小于17.10 μm 时可返工一次。

5.4.2.2 内层连续电流

多层印制板中同样厚度和宽度的印制导线, 其内层导线和表层导线的负载电流基本上是相同的, 但是在实际应用的条件下, 内层散热不如表层导线的散热好, 并且内层的热量要通过印制板的绝缘材料和其它层导线来散发, 不但散热效果差, 还会引起整个印制板的温度升高, 降低多层印制板的层间结合力, 严重时会影响元器件的正常工作, 因此应按表层的电流负载能力降额一半使用。

导线宽度、横截面积与允许电流和温度的关系见图14。

5.4.2.3 冲击电流

电流使印制导线发热的程度取决于导线的电阻、电流的大小和持续时间以及冷却的条件等。在没有强制冷却的情况下, 冷却效果受印制板基材类型的影响。

导线电流过载会使导线温升大大提高, 同时产生大量的热量, 这不仅会使导线与绝缘基材之间的结合强度降低, 而且由于局部热膨胀使印制板承受相当大的机械应力, 以致破坏印制板。不同宽度和厚度的导线所允许的冲击电流与持续时间的关系见图15。

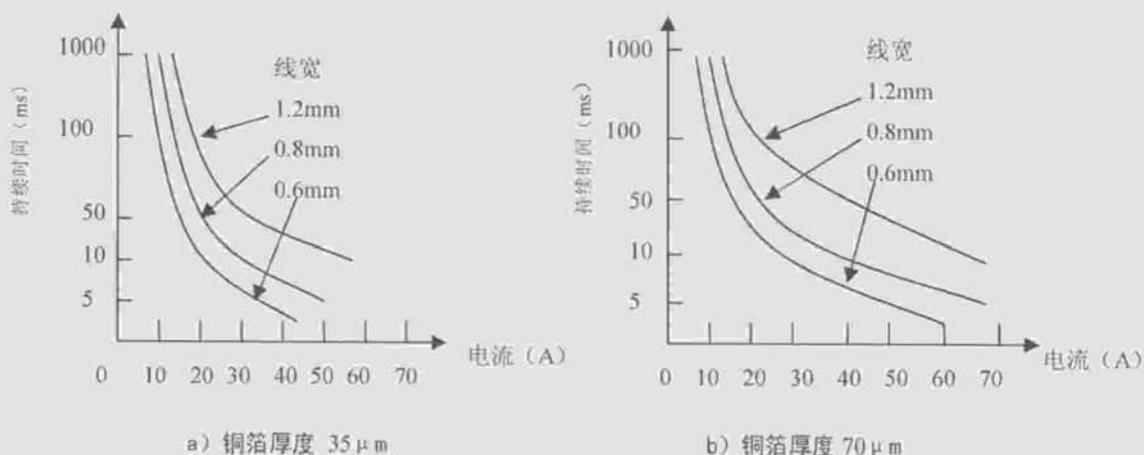


图15 导线宽度、厚度与冲击电流和持续时间关系

5.4.3 绝缘电阻

5.4.3.1 表层绝缘电阻

表层绝缘电阻（印制板表面层的绝缘电阻）由导电图形、绝缘介质（包括基材和空气介质）、印制板加工工艺以及环境的温度、湿度和表面污染等因素决定。相邻导线平行走线的长短也会影响表层绝缘电阻。因此，应尽量避免导线平行走线距离过长，特别是间距较小的平行导线。两相邻印制导线之间的绝缘电阻可按公式（3）计算。

$$R_s = 160 R_{ms} \frac{W}{L} \dots\dots\dots(3)$$

式中：

- R_s ——导线之间预计的最小绝缘电阻，单位为兆欧（ $M\Omega$ ）；
- R_{ms} ——规定温度下材料的最小绝缘电阻，单位为兆欧（ $M\Omega$ ）；
- W ——平行导线间距，单位为毫米（mm）；
- L ——导线平行段长度，单位为毫米（mm）。

实际上印制导线平行段的的设计间距可能是不均匀的，此时应按公式（4）计算 W/L 的平均值。

$$\frac{1}{W/L} = \frac{1}{W_1/L_1} + \frac{1}{W_2/L_2} + \dots + \frac{1}{W_n/L_n} \dots\dots\dots(4)$$

式中：

- W_1, W_2, \dots, W_n ——各平行段的间距，单位为毫米（mm）；
- L_1, L_2, \dots, L_n ——相应各平行段长度，单位为毫米（mm）。

印制板在焊接前和焊接后表面的污染对其表层绝缘电阻有较大影响，对布线密度较高、可靠性要求高的印制板，其表面的清洁度应有较高的要求。

5.4.3.2 内层绝缘电阻

多层印制板内层两相邻导体间的绝缘电阻，应按公式（3）和公式（4）计算，由于在内层受大气环境和表面污染较少，主要由绝缘材料的性能和导线间距决定。

5.4.3.3 层间绝缘电阻

QJ 3103A—2011

相邻两导线层之间的绝缘电阻,主要由绝缘材料的性能和导线层间距离决定。层间绝缘电阻值接近印制板基材的体积电阻值。当层间距离过小时,其绝缘电阻会下降,设计过程中需要考虑具体的值时,应通过测量来确定层间最小间距。

5.4.4 抗电强度(耐电压)

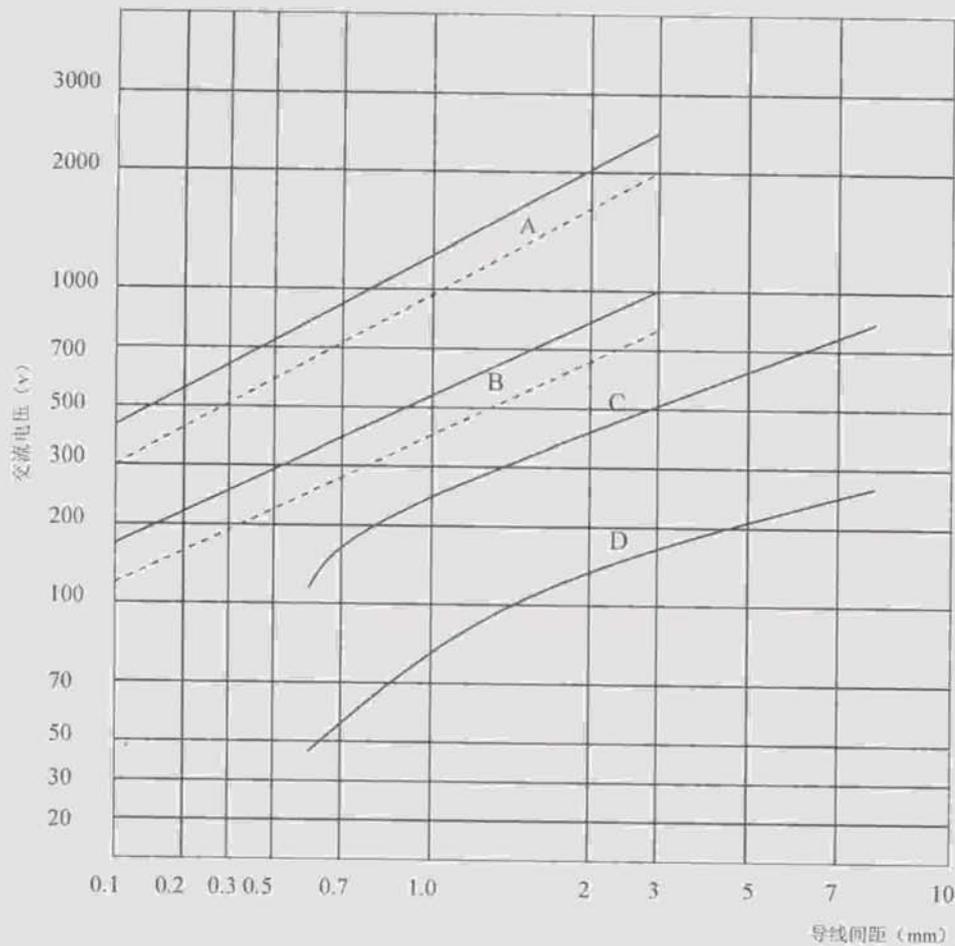
相邻导体之间的耐电压值是指相邻印制导线之间、导线与焊盘之间、焊盘与焊盘之间的耐电压值。印制导线之间允许的耐电压值,是导体之间的最小电气间距再加一定的系数,它主要受基材的类型、表面涂覆层、导线侧面的整齐程度、导线间距、表面离子污染、布线结构及环境条件等因素影响。同时还取决于使用时要求的安全系数。表15给出在表面没有任何绝缘涂覆层时和有阻焊涂覆层时的允许工作电压,印制板表面的阻焊层或焊接后的敷形涂覆层可以适当提高导体之间的耐电压。

表15 导体之间最小电气间距

导体之间电压值 (DC或AC峰值) V	最小导体间距 mm			
	内层导体	无涂层外层导体	外层无涂覆层导线 (海拔 3050m 以上)	外层有永久涂层导体
0~15	0.1	0.64	0.64	0.13
16~30	0.1	0.64	0.64	0.13
31~50	0.1	0.64	0.64	0.13
51~100	0.1	0.64	1.5	0.13
101~150	0.2	0.64	3.2	0.4
151~170	0.2	1.25	3.2	0.4
171~250	0.2	1.25	6.4	0.4
251~300	0.2	1.25	12.5	0.4
301~500	0.25	2.5	12.5	0.8
>500 每伏增加	0.0025	0.005	0.025	0.003

常用的以环氧玻璃布为基材的印制板导体之间的最小电气间距见表15。其它基材的印制板耐电压值与表15会有差异,应根据基材材料的电气参数参考表15确定。在没有规定允许电压的情况下,可参照图16的电压与导线间距的关系曲线来确定(此图只适用于无涂覆层、环氧玻璃布基材的印制板,其中实线为在海拔1000m以下室内测得,虚线为室外测得的数据)。

QJ 3103A—2011



A—局部放电电压；B—工作电压减至局部放电电压的40%；C—海拔高度3050m以上，工作电压减至局部放电电压的20%；D—海拔高度15000m以上，工作电压减至局部放电电压的9%

图16 电压与导线间距的关系

在低气压条件下，印制导线之间的耐电压值比正常大气条件下明显降低，在空气介质中最低放电的气压值在0.06kPa~0.133kPa附近。最低耐电压特性符合巴申定律，即导线之间的最低放电电压与导线的间距和大气压强的乘积成正比，并与气体介质的成分有关。几种不同间距的印制导线，在空气介质的低气压条件下放电情况的巴申曲线如图17所示，设计过程中需要考虑具体的耐电压值时，应根据实际的导线间距通过试验测量来确定。

QJ 3103A—2011

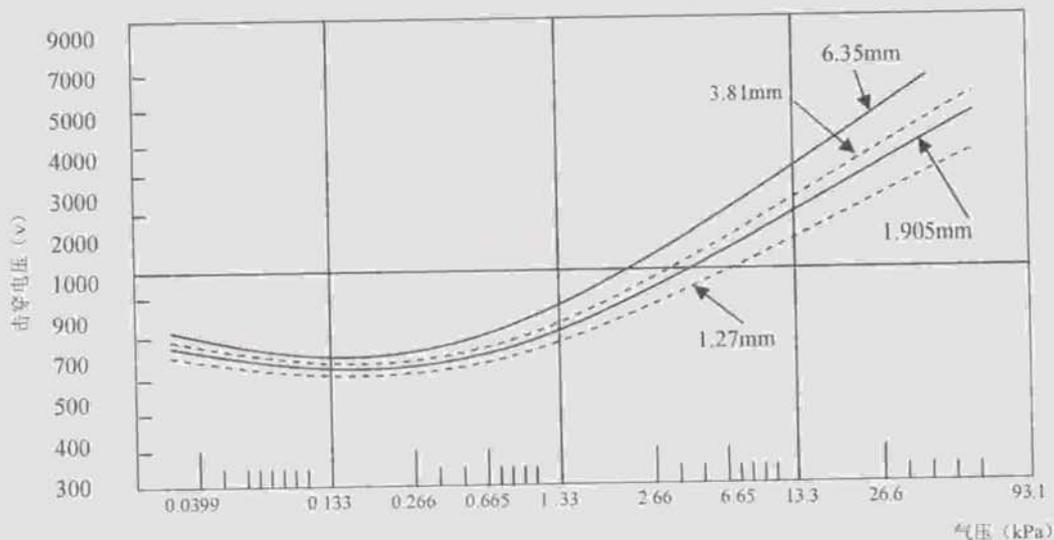


图17 低气压条件下耐电压与气压和导线间距的关系

多层印制板相邻层之间允许的电压（层间耐电压）取决于介质材料的介电强度和绝缘层的厚度，指标可从所选材料的技术资料中查出。

5.4.5 其它电气性能

5.4.5.1 特性阻抗

印制导线在低频电路中呈现电阻特性。在声频以上的高频、高速电路中作为信号传输线时，则呈现有特性阻抗（包括纯电阻、容抗和感抗），并且随频率或速度的提高，其中的感抗成分越来越大，甚至会超过导线的电阻，这时应考虑特性阻抗与电路的匹配并控制阻抗在需要的范围内，如果信号沿印制导线传播时所受的瞬态阻抗发生变化，则会引起信号失真，造成信号不完整或传输时间延迟。在设计此类电路用的印制板时，应考虑特性阻抗可控制的布局和布线形式。常用的印制电路的传输导线布线形式有微带状线（又称微带线）和带状线。

微带线是用绝缘介质将印制导线与接地面（线）隔开，信号线与接地面成镜像排列。带状线是传输信号的印制导线位于介质层中间，信号线与上下层接地面成镜像排列。

微带线和带状线结构型式的剖切示意图如图18所示，图中带状线是多层印制板的布线结构，分布在内层；微带线是双面印制板和多层印制板的外层部分布线结构。

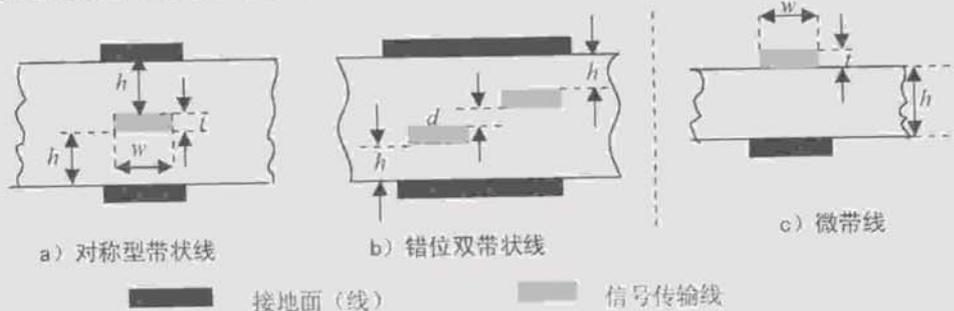


图18 传输线结构型式

QJ 3103A—2011

微带线的特性阻抗由印制导线的宽度和厚度、介质层的厚度（双面板为绝缘基材的厚度）和介电常数来确定，当印制导线宽度与印制导线厚度之比在0.1~3之间，相对介电常数为1~5范围内时，其特性阻抗按公式（5）计算。

带状线的特性阻抗由印制导线的宽度和厚度、介质层的厚度和介电常数来确定，对称型带状线和双带状线的特性阻抗按公式（5）计算。

$$Z_0 = \begin{cases} \frac{87}{\sqrt{\epsilon_r + 1.41}} \ln \frac{5.98h}{0.8w + t} & \text{(微带线的特性阻抗)} \\ \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln \frac{4(2h+t)}{2.4(0.8w+t)} & \text{(对称型带状线的特性阻抗)} \\ \frac{80}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln \left[\frac{1.9(2h+t)}{0.8w+t} \right] \times \left[1 - \frac{h}{4(h+d+t)} \right] & \text{(双带状线的特性阻抗)} \end{cases} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

Z_0 ——特性阻抗，单位为欧姆（Ω）；

ϵ_r ——基材绝缘介质的相对介电常数；

h ——印制导线与接地面之间的介质层厚度，单位为毫米（mm）；

w ——印制导线宽度，单位为毫米（mm）；

t ——印制导线的厚度，单位为毫米（mm）；

d ——内层两相邻层导线间的介质层厚度，单位为毫米（mm）。

从公式（5）可以看出介质材料的介电常数平方根与特性阻抗值成反比，印制导线的宽度越宽，信号线距离电源或接地面越近，传输导线的特性阻抗就越小。所以设计时可以通过改变材料的介电常数、绝缘层的距离、导线的宽度和厚度来控制特性阻抗的大小。

5.4.5.2 电感和电容

印制导线的电感量，受导线的几何形状、信号的频率和速度及有无相邻的其它导线等因素影响，一般信号速度或频率越高，其电感量越大。镀覆孔的电感与孔的长度成正比。

印制导线间的电容，受导线间介质材料的性能和厚度、导线的表面积和相邻导线的侧面积以及导线平行走线的长度等因素影响，使用时通常以阻抗的形式表现出来。当设计需要确切值时，可由测量来确定。

5.4.5.3 传输延迟

印制导线的传输延迟与电磁波的速度成反比。传输延迟还与印制导线的长度和绝缘基材的介电常数有关（与印制导线长度及 $\sqrt{\epsilon_r}$ 成正比），在高频、高速电路用印制板中，信号传输导线的设计应考虑以上因素并通过计算确定，否则会对电路系统的时序产生影响，通常应将传输延迟控制在每米5ns~8ns范围内。

对于带状线和微带线结构，由于导线周围的介质多少不同，两者的传输延迟计算有所区别，通常可以有简化的公式计算，每米长度的微带线的传输延迟简化计算和每米长度的带状线的传输延迟简化计算见公式（6）。

$$T_{pd} = \begin{cases} 3.33 \times \sqrt{0.47\epsilon_r + 0.67} & \text{(微带线的简化计算公式)} \\ 3.33 \times \sqrt{\epsilon_r} & \text{(带状线的简化计算公式)} \end{cases} \dots\dots\dots (6)$$

QJ 3103A—2011

式中:

T_{pd} ——传输延迟, 单位为纳秒 (ns)。

在高速数字电路中, 应尽量减少传输延迟, 通常采取以下措施:

- a) 缩短印制导线的长度, 减少同一信号线中负载的数量;
- b) 选用介电常数较低并与特性阻抗要求匹配的介质基材;
- c) 优化布线的结构, 在电路中采用合适的端接技术。

5.4.5.4 串扰特性

串扰是两条信号线之间距离相近产生的耦合, 在信号线之间的互感和互容而引起的噪声, 在高频、高速电路的印制板设计时, 应给以高度重视, 否则会影响信号的完整性。通常采取的措施是: 尽量适当增加两相邻信号导线的间距, 减少相邻导线的平行长度或采用地线屏蔽等方法。一般相邻导线之间的最小间距不小于二倍导线的宽度 (即 $2W$ 原则)。如果导线中心间距为线宽的三倍 (又称 $3W$ 原则), 其串扰会大大降低, 基本上不会影响信号的正常传输。屏蔽方式和 $2W$ 原则如图 19 所示。

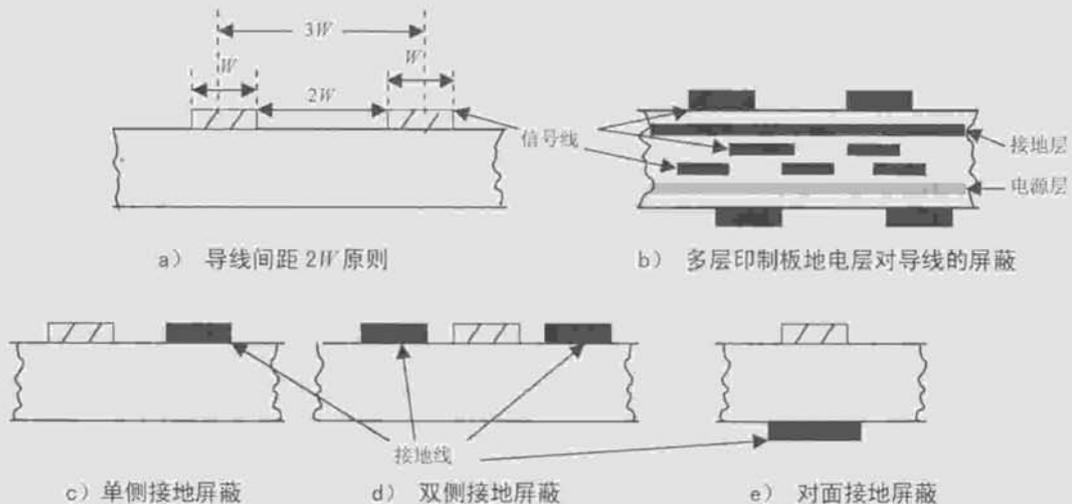


图19 线间距 $2W$ 原则和屏蔽方式

为减小串扰可以在信号线的一侧或两侧或相邻层对面布设地线, 多层印制板可以单设屏蔽层, 内层的大面积电源层或接地层均对相邻的信号线层有屏蔽作用。

5.4.5.5 衰减和损耗

信号沿印制板的传输线传送时, 由于绝缘介质损耗 (α_d)、导线阻抗损耗 (α_i) 和辐射损耗 (α_r), 会使信号强度衰减。在高频、高速电路中, 必要时应对印制板传输线的衰减常数进行测定或计算。印制板基材的介质损耗可按公式 (7) 计算。

$$\alpha_d = \frac{\pi}{\lambda_g} \tan \delta \dots\dots\dots(7)$$

式中:

α_d ——绝缘介质损耗, 单位为分贝每米 (dB/m);

π ——圆周率, $\pi=3.14$;

λ_g ——导体内波长, 单位为米 (m);

QJ 3103A—2011

$\tan \delta$ ——损耗因子（基材的介质损耗角正切值）。

从公式（7）中可以看出介质损耗角正切值越小损耗就越小，所以选择介质损耗角正切值较小的基材是减少损耗的有效途径之一。

5.5 机械性能

5.5.1 导电图形的附着强度

5.5.1.1 印制导线的剥离强度

印制板的导线与基材之间的剥离强度与导线的宽度、环境温度、覆铜箔基材性能、印制板的加工工艺、表面涂覆层以及加工、焊接过程中温度造成的应力等因素有关，它影响印制板的安装和使用的可靠性。在设计选择覆铜箔基材时，应注意基材的剥离强度指标，成品板导线的剥离强度应符合QJ 831的要求。

5.5.1.2 连接盘（焊盘）的拉脱强度

连接盘与基材之间的粘合强度用拉脱强度来表示，它与连接盘的面积、覆铜箔基材性能、环境温度、制造工艺及焊接的温度等造成的应力有关，把连接盘从基材上拉脱所需的力与连接盘的面积成正比，但不是完全的线性关系，尤其对于较小面积的焊盘。焊盘的拉脱强度一般都能达到相应元器件引线的抗张强度，因此符合QJ 831规定的拉脱强度都能满足要求，除特殊需要不另作规定。焊接的温度和时间超出所选基材的承受力，焊盘的拉脱强度会显著下降甚至被破坏，不正确的反复焊接也会降低焊盘拉脱强度。

5.5.2 翘曲度

印制板的翘曲度大小对印制板的安装有重要影响，由此造成的应力会使焊接失效，还会减少整机中印制板与印制板之间的间距。印制板的翘曲与基材的质量、设计布线时导电图形铜箔分布的均匀性及多层印制板导电层的结构和制造工艺等因素有关。设计时应按5.7.3和5.7.4的规定布局、布线。

对成品板的翘曲度，设计时在布设总图中应根据下列要求注明（如不注明，翘曲度按不大于0.75%要求）：

- a) 安装有陶瓷基板的器件（如CBGA）或长寿命、高可靠要求的印制板翘曲度应不大于0.5%；
- b) 表面安装或混合安装用印制板翘曲度应不大于0.75%；
- c) 一般用途和通孔安装用印制板翘曲度应不大于1.5%。

5.6 印制板的热设计

5.6.1 概述

印制板的热设计是在对功率较大的印制板设计时，根据经验或采用专用软件，对印制板上的元器件功率和材料、环境等状态建立模型，进行热量分布的分析，以便设计时有针对性地采取散热、防热措施。设计时至少应考虑选择合适的基材、印制板制造、安装焊接和使用过程中以及环境等因素对印制板的影响等内容。

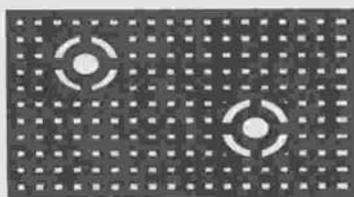
5.6.2 热设计的内容和要求

5.6.2.1 根据热分析的结果选择适当的耐热和阻燃性基材，对安装功率较大的分立器件而又没有以机械形式安装散热器的印制板，可以采用具有冷板的印制板（在普通成品板上粘有预留焊接窗口图形的氧化处理后的铝板），用于表面安装的多层印制板可以采用金属芯印制板或铝基板，加快印制板上功率器件的热量散发。

QJ 3103A—2011

5.6.2.2 发热量过大的元器件不应贴板安装，并应外加散热器和散热板。散热器的材料应选择导热系数高的铝或铜等金属，为了减少元件体与散热器之间的热阻，必要时可以涂覆导热绝缘脂。对体积小的电源模块一类发热量大的产品，可以将元器件的接地外壳通过导热脂等导热材料与模块的金属外壳接触散热。

5.6.2.3 对印制板表面较大的导电面积（大于 $25\text{mm}\times 25\text{mm}$ ）应采用网格式的窗口以减少焊接过程中对热量的吸收，如果有焊盘，应进行热隔离并保持电气连接，可以避免大的导电面积在焊接时因热量积累而起泡，多层印制板内层地、电层铜箔面上如果有连接盘，也应进行热隔离，在焊接时减小散热速度，使热量集中在焊盘上，以有利于焊接。但作为微带线和带状线的镜像接地面，不能开网格式的窗口，以免引起导线特性阻抗的变化。热隔离焊盘见图 20。



a) 表面层焊盘的散热面的网状设计



b) 内层接地、电源面上的连接盘（花盘）

图20 大导电面积的散热窗口和隔热焊盘设计

5.6.2.4 布局时应将电解电容、晶体振荡器和热敏电阻等对热敏感或怕热元件远离大功率发热元件（如大功率 MOS 器件、CPU、VLSI、DC/DC 转换模块等）。

5.6.2.5 多层印制板的内层接地面和电源面宜设计成网状并靠近板的边缘，可以降低因导电面发热而引起的铜箔鼓泡、起翘或多层印制板的内层分层。但是高速、高频电路信号线的镜像层铜箔或接地面和微波电路的接地面不应设计成网状，因为这会破坏信号回路的连续性，改变特性阻抗，容易引起电磁兼容问题。

5.6.2.6 对特大功率的器件，可以利用热管技术通过传导冷却的方式给元器件体散热。对于在高真空条件下工作的印制板，没有空气对流，采用热管技术是一种有效的散热方式。

5.6.2.7 在低温下长期工作的印制板，应根据温度降低的程度和元器件的工作温度要求，采取适当的加热型印制板升温。

5.6.2.8 对于面积较大的连接盘（焊盘）和大面积铜箔（大于 $\Phi 25\text{mm}$ ）上的焊点，应设计焊盘隔热环（俗称“花盘”），在保持焊盘与导电面电气连接的同时，将焊盘周围的部分导体蚀刻掉，形成隔热区。焊盘与导电面电气连接的导电连接通道的总宽度以连接盘（焊盘）直径的 60% 为宜，每条连接通道（辐条或散热条）的宽度为连接通道的总宽度除以通道数（见示例）。目的是防止焊接热量散失过快，使热量集中在焊盘上，保证焊点质量。在焊接时可减少加热焊盘的时间，避免因大面积铜箔热传导过快、使板内累计热量过多引起基材起泡、鼓胀等现象。但隔热环上的导电连接通道的总面积，不应小于该金属化孔传输电流所需的面积。如果计算出的每条连接通道的宽度小于制造工艺极限值，应减少通道数量使连接通道宽度达到可制造性要求（例如示例中计算 4 条通道的宽度为 0.12mm 时，如果是工艺极限，可以改为 3 条通道，则为 0.16mm ，就可以制造）。连接盘上的隔热环见图 21。

示例：

QJ 3103A—2011

有2条连接通道,则通道宽度应为焊盘直径的60%除以2,多通道依此类推。

假设连接盘直径为0.8mm(设计值加制造公差),则连接通道的总宽度为0.48mm(即0.8mm的60%);按两条通道则每条宽度为0.24mm(即0.48mm除以2);有3条通道则每条宽度为0.16mm(即0.48mm除以3);有4条通道则每条宽度为0.12mm(即0.48mm除以4)。



图21 连接盘上的隔热环

5.6.2.9 同一元器件的表面安装焊盘尺寸应均匀一致,保持焊盘的热容量一致,使焊接时焊盘温升相同,从而保证焊接质量。

5.6.2.10 表面安装的阻、容元件的焊盘,如果有一端设置焊盘,另一端需要接地时,不应直接用大面积接地面作为焊盘,需要将接地面设计成图22所示的热隔离焊盘,保持元件两端焊盘尺寸相近,避免焊接时一端起翘。焊盘的连接通道宽度设计同5.6.2.8。

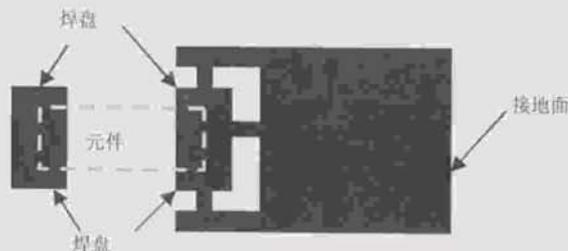


图22 片式电阻电容在较大接地面上的热隔离焊盘

5.6.2.11 外加的散热器与印制板的接地面相接触,除用必要的机械连接外,应在散热器与接地面之间涂覆导热脂或导热绝缘垫,以减少热阻,提高散热效果。

5.6.2.12 元器件布局时在板上应留出通风散热的通道(见图23),通风入口处不应设置过高的元件,以免影响散热。空气自然对流冷却时,将元器件按长度方向纵向排列;采用强制风冷时,元器件横向排列。发热量大的元件设置在气流的末端;对热敏感或发热量小的元件设置在冷却气流的前端(入风口处),避免空气提前预热,降低冷却效果。强制风冷的方式应由整机设计时总体考虑。

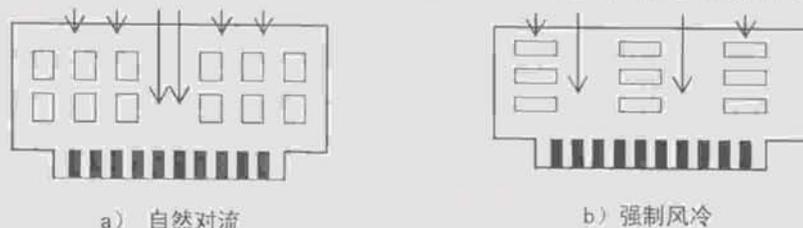


图23 空气冷却的元器件排列方式

5.6.2.13 合理布置印制板在机箱中的位置和方向,保证发热量大的元器件处在上方。

5.7 印制板图设计

5.7.1 印制板图设计内容和流程

印制板图是根据电路图或逻辑图(网络表)和使用要求而设计的一系列图纸或文件,通常包括:

QJ 3103A—2011

- a) 布设总图（或计算机辅助设计产生的网络表）；
- b) 导电图形（照相底图或计算机辅助设计产生的导电图形数据）；
- c) 阻焊图（可以由网络表生成）；
- d) 标识字符图（可以由网络表生成）；
- e) 机械加工图（包括钻孔图、外形加工图、机械零件安装图）；
- f) 印制板电气安装图。

印制板图的设计流程见图24。

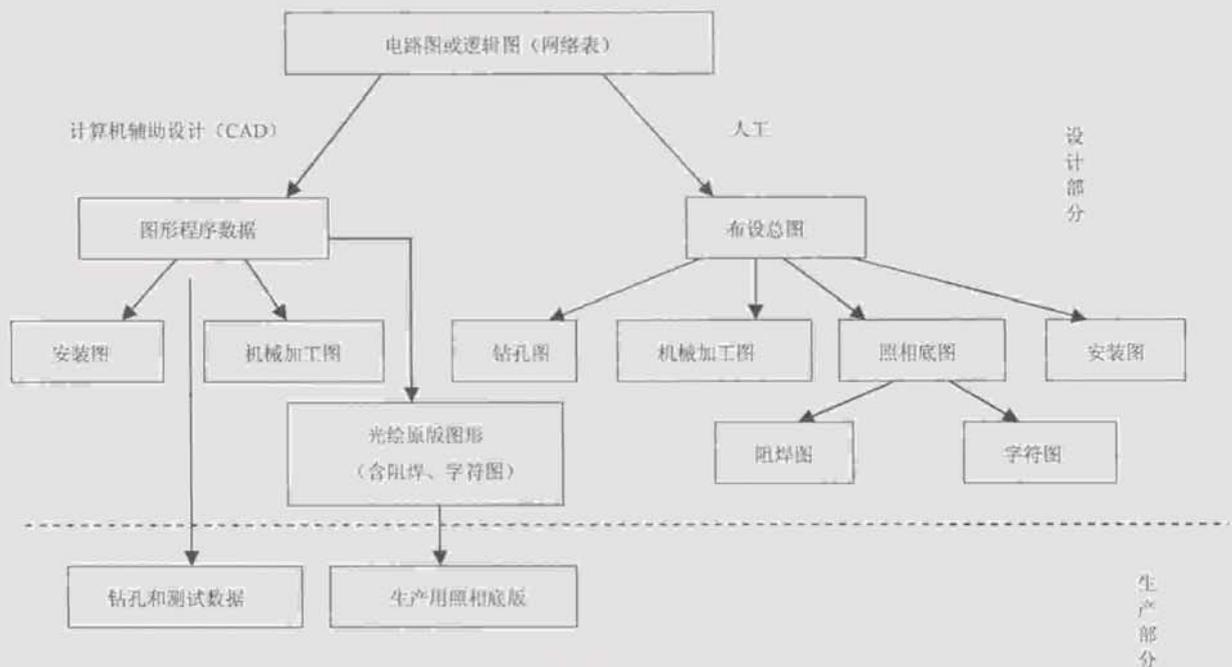


图24 印制板图设计总流程

5.7.2 布设总图的设计

5.7.2.1 布设总图的形式

5.7.2.1.1 概述

布设总图是根据电路图和逻辑图要求，标出印制板上所有图形中各要素排布的坐标网格位置和尺寸范围，包括导电图形和非导电图形的排布、元器件外形投影尺寸、孔和连接盘（焊盘）位置及制造印制板时应说明的要求。可以用一张或多张图表明（计算机辅助设计产生的电子文件称为“layer”层）在第一张（层）图上，设计印制板的形状、尺寸、所有孔的位置、孔壁、孔径及公差等数据，其余各张（层）布线图应确定每层导电图形的形状、位置等。多层印制板从元件面（顶层）依次顺序排列到焊接面（底层或表面安装元件少的面）。如果元件面没有导线或连接盘，则可把下一层作为第一层。

布设总图通常采用计算机辅助设计的电路图生成的网络表，按设计规则进行布局、布线，产生电子数据文件，也可以人工在坐标网格图上设计，作为产生照相底图（又称黑白放大图）的依据。

5.7.2.1.2 人工设计

布设总图的人工设计时，应在尺寸稳定的坐标网格纸上进行，准确地标出导电图形与非导电图形及连接盘、孔等要素的位置、形状和尺寸，依此图可绘制放大的照相底图。此法精度不高，只适合于图形简单、层数少、布线密度不高的印制板，目前广泛被计算机辅助设计所代替。

QJ 3103A—2011

5.7.2.1.3 计算机辅助设计

计算机辅助设计(CAD)可采用CAD工作站或微机利用专用设计软件进行。它是根据CAD的电路图生成逻辑图和网络表,通过专用或自建的元件库,按本标准和相关规定的设计规则进行印制板的布局、布线,并输入图形尺寸、孔径、基材型号、表面涂覆要求等印制板加工所需数据,再经检查(或仿真)、修改,确认后产生印制板布设总图的电子文件,最后可以输出光绘文件或打印加工需要的图样资料。光绘数据通过生产厂商的光绘设备制造出各种导电图形和非导电图形的原版图形,供生产使用。印制板CAD的一般流程见图25。不同的设计软件由于功能不同,程序可能有差异,可按所用软件程序进行操作,但应能包括设计规则设置、布局、布线、设计规则(CRD)检查、人工干预和设计输出等基本流程。高速电路印制板设计,在没有仿真功能软件的情况下,应采用人工干预和制作试验印制板确认设计的效果。

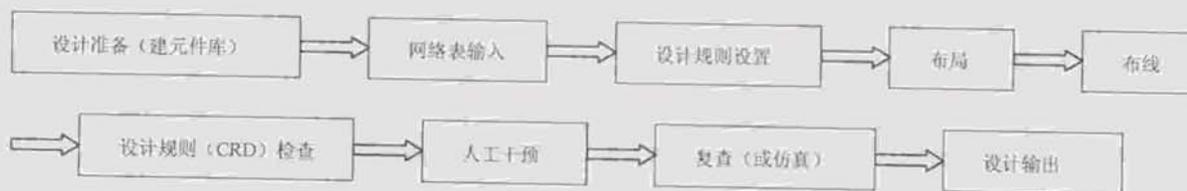


图25 印制板 CAD 设计基本流程

印制板CAD的专用设计软件品种很多(如protel、power PCB、MentorPCB、Valor等),发展也很快,应选择能与印制板制造厂的计算机辅助制造和辅助测试系统兼容的软件。具体操作程序按相应设计软件的操作说明进行。

5.7.2.2 导电图形设计

5.7.2.2.1 元件面和焊接面

通孔安装的印制板,安装元器件的面作为元件面为第一层,标识为“CS”,焊接面为最后一层,标识为“SS”。在两面都有元器件的表面安装用印制板,以安装元器件多的一面为元件面,多层印制板从元件面开始依次排列,各层应注明层次序号。

5.7.2.2.2 孔和图形的位置

孔和导电图形的位置应符合5.3.5的规定。

5.7.2.2.3 布线区域

印制板的布线区域应根据元器件的类型、印制板的制造工艺极限、安装的导轨、导槽和安装工艺要求来确定。印制板的图号标识、定位标识应设置在布线区边缘醒目位置,并在印制板的外形线以内。具体按以下规定:

- a) 导电图形与外形尺寸边缘的距离至少应大于板的厚度,并考虑焊接时夹持的工艺边宽度要求;多层印制板内层导电图形与外形边缘尺寸的距离一般应大于1.25mm,接地层根据接地需要可以靠近板的边缘,也可以离开边缘;
- b) 印制导线与安装的导轨或导槽的距离,应根据安装要求及用途而定;为避免安装时划伤导线,一般印制导线边缘与导槽距离应大于2.5mm;印制导线距机械安装孔的距离应大于最小电气间距要求;

QJ 3103A—2011

- c) 在确定焊盘的位置时,应考虑元器件安装后其外形与印制板边缘的距离,根据周围的安装空间而定,与其它安装件或机壳距离应不小于最小电气间距要求;当采用波峰焊或回流焊时,通常应保证安装后元器件外形边缘与印制板边缘距离不小于 5mm。

5.7.3 布局

5.7.3.1 布局通用规则

布局应根据电路特性要求和以下规则进行:

- 符合整机设计规定的安装空间整体规划要求;
- 考虑元器件分布的均匀性和美观性,如果印制板是长方形,则元器件排列方向应尽量与板的长边平行,尽量使元器件的质心位于印制板的中心部位,同一块印制板上元器件的总重量应不超过印制板在使用条件下的最大机械负荷;
- 相互有关联的电路单元和元器件应尽量靠近布局,同一电路单元的元器件应相对集中,以利于最短走线和节省布线空间;
- 各功能电路应以电路的核心器件为中心,外围元件围绕核心器件进行布局;
- 元器件排布顺序尽量按输入输出关系排列;
- 考虑电磁兼容问题,根据电路工作频率和器件的特性合理分配布设区域;
- 布局时应尽量使布线走线距离最短,使信号线与回线之间形成的环路面积最小;
- 考虑热设计要求;
- 考虑可制造性要求,方便元器件的安装、检验和维修。

5.7.3.2 布局的具体要求

根据具体的电路特性,布局时的具体要求为:

- a) 按电路工作时相对的频率和速度高低分区布局,高频、高速区靠近板的边缘连接输入端,按高低顺序依次远离输入端(见图 26);但高频、高速元器件不应紧靠连接器,同时应保证噪声元器件和非噪声元器件之间有一定的距离;



图26 电路功能分布区

- 数字电路与模拟电路器件分开布局,模拟小信号器件应远离有电磁辐射的元器件;
- 时钟、高频振荡器、CPU 等容易产生电磁辐射的器件,应远离其它对电磁敏感的元器件;
- 对较大的继电器、大电流开关器件等应采取屏蔽措施;
- 去耦电容应尽量靠近地线或接地面布设,并且连接线应尽量短,最好采用片式电容,以减少引线或连接导线的电感;
- DC/DC 变换器、开关元件和整流器应尽可能靠近变压器放置,使其走线长度最小;
- 防电磁干扰的滤波器应尽可能靠近电磁干扰(EMI)源,并放置在同一块印制板上;
- 在整流电路中尽可能靠近整流二极管放置调压元件和滤波电容;

QJ 3103A—2011

- i) 热敏元器件和对温度敏感的元件(如热敏二极管、电解电容等)应远离热源区;发热量大或大功率器件如需外加散热器,应预留散热器安装位置;对于易发热的元件(如电源变压器、大功率管和电阻、可控硅等)应尽量靠近机壳框架(金属框架具有一定的散热作用);
- j) 在大功率器件(如CPU)周围2mm以内和BGA器件5mm以内不再布设其它元器件,便于散热和维修;
- k) 如果需要专用测试点,应在被测器件的焊盘上并联设置测试点,不应用表面安装焊盘的焊点做专用测试点;
- l) 表面安装元器件的布局应考虑其焊接方式,当采用波峰焊时,元器件的焊接端子的排列方向应一致,防止焊接时产生“阴影效应”而影响产品质量;
- m) 重量超过15g的元器件或每个引脚承重7g以上的元器件,应根据不同的固定方式留出加固空间,较重的元器件(如较大的变压器、继电器等)不宜在印制板上直接焊接;
- n) 电路元件和信号通路的布局应最大限度地减少无用信号相互耦合。

5.7.4 布线

5.7.4.1 布线层的设置和分配

5.7.4.1.1 印制板布线层数的设置

印制板布线层数的设置应根据以下因素确定:

- a) 印制板上导线布线空间的大小:同样尺寸的印制板布线空间由小到大的顺序是单面布线、双面布线、多层布线;
- b) 布线的密度需要:布线密度要求高,应以双面布线和多层布线为主,以提高布线的数量,并且容易采取电磁兼容措施;
- c) 电磁兼容性要求:多层印制板的电磁兼容性优于双面板和单面板,当电路的工作频率大于5MHz或电路中器件开关的边沿速率小于5ns时,应优先考虑多层布线(“55规则”),即高速电路用印制板通常采用多层布线,信号线的特性阻抗容易控制,可以充分利用多层印制板的电源层和接地层降低供电线路阻抗,抑制公共阻抗噪声,并能加大信号与接地面之间的分布电容,抑制射频辐射;
- d) 最佳性价比:确定布线层数时应考虑性价比,一般多层印制板成本高于双面板和单面板,但是布线数量和电磁兼容性远优于单、双面印制板。

5.7.4.1.2 布线层的分配

各布线层的分配原则为:

- a) 单面印制板信号线、电源线、接地线在同一层;
- b) 双面板信号线可以在两面(层),地线和电源线的总线分别在两面呈镜像排布,其支线可以通过金属化孔连接到另外一面需要接地或接电源的印制导线上,最好呈网格格式分布;
- c) 多层印制板通常在内层设置接地面(层)或电源面(层),信号线的最佳布线是靠近接地层或电源层的两个外表面层,或与接地层、电源层相邻的各内层,各层需要接地或接电源的导线通过金属化的导通孔与接地层或电源层进行电气连接。

5.7.4.2 布线要求

5.7.4.2.1 布线顺序

- 5.7.4.2.1.1 确定了布线层后,对数字电路应先考虑接地或电源层的结构和位置。

QJ 3103A—2011

5.7.4.2.1.2 同一布线层布线的顺序为：地线→电源线→信号线（先高频后低频）。

5.7.4.2.1.3 信号线的布线顺序为：模拟小信号线→对串扰特别敏感的信号线→系统时钟线和对传输延迟要求严格的导线→一般信号线→静态电位线→辅助线。

5.7.4.2.2 具体要求

5.7.4.2.2.1 各层印制导线铜箔面积应尽量均衡，同一层印制导线分布应均匀，如果有布线稀少的层，应布设大面积地线以平衡铜箔的面积，以防印制板受热后翘曲。

5.7.4.2.2.2 布线密度较低时，应适当加宽导线宽度和间距。

5.7.4.2.2.3 相邻层印制导线应相互垂直或交叉走线，如果有平行走线也应尽量减少导线的平行长度。

5.7.4.2.2.4 同一对差分电路信号导线，应相互靠近，最小导线间距在大于工艺极限值的条件下应尽量减小，以提高差分导线的耦合效果，保证信号的稳定性。为防止不同差分信号导线对之间信号相互干扰，不同差分信号导线对之间的距离应不小于导线宽度的二倍（2W 原则）。

5.7.4.2.2.5 避免环路布线以减少电磁辐射，任何信号线都不应形成环路，如果不可避免出现环路，应保持走线环路最小，尽量减少相应的环路面积。

5.7.4.2.2.6 保持最短走线，尽量减少两连接节点之间的走线长度和相邻信号线平行走线长度。

5.7.4.2.2.7 高速电路中的同一条信号线宽度应均匀，必要时应注明线宽公差，以免引起特性阻抗变化。

5.7.4.2.2.8 多层印制板中高速信号线应与接地层或电源层作为相邻层，并成镜像排列。

5.7.4.2.2.9 对电磁辐射敏感的信号线可以布设在两接地层之间，在印制板表层的电磁敏感信号线可以在信号线的两侧布设地线屏蔽，也可以在导线上面采用屏蔽涂覆层。

5.7.4.2.2.10 有特性阻抗要求的信号线应避免跨越相邻镜像层导体上的绝缘沟槽（接地层、电源层上或隔离环的绝缘沟槽），以免产生沟槽效应而引起阻抗不连续，见图 27。如果信号线需要通过两个分割的接地区，应在接地区域的相连部位（又称“桥”）上面通过，也可以采用光电耦合器或变压器直接跨越分割的沟槽。

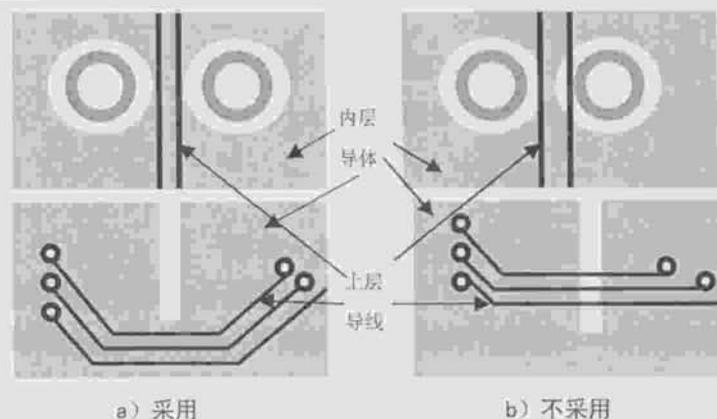


图27 跨越沟槽方式

5.7.4.2.2.11 印制导线的拐弯处角度应大于 90° ，避免成锐角，如果角度小于 90° ，导线拐弯处的外缘应成圆弧形，见图 28。

QJ 3103A—2011



图28 印制导线拐弯处形状

5.7.4.2.2.12 数字电路信号线与模拟电路信号线应保持较宽的间距，或在两者中间布设接地线隔离（见图29），敏感的模拟信号线应尽可能远离数字信号和射频信号线。

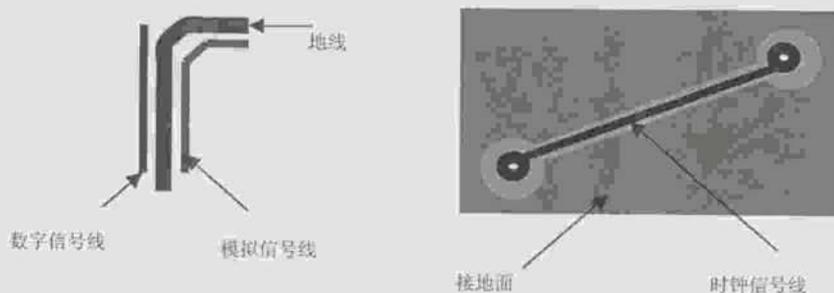


图29 各种信号线的屏蔽布设

5.7.4.2.2.13 低电平信号通道不应靠近高电平信号通道和无滤波的电源线以及能产生瞬态过冲的电路。

5.7.4.2.2.14 时钟信号线或振荡电路信号线尽量在同一层走线，减少时钟信号线上的过孔并应远离模拟电路信号线或其它对电磁敏感的信号线。必要时用接地面（线）将时钟信号线包围，见图29。

5.7.4.2.2.15 从电子装联的工艺性考虑，导线与焊盘的连接处应减少热传导面积，使热量集中在焊盘上以提高焊接的可靠性。对通孔安装焊盘与导线的连接形式应参照图30a）布线；对表面安装焊盘与导线的连接处应从焊盘中心线连接，在同一组焊盘上引出的导线宽度应尽量一致，引出导线的宽度不小于焊盘宽度时，在焊盘与较宽导线的导线连接处应采用局部长度不小于0.64mm、宽度不小于0.13mm的较细线连接（俗称“缩颈”），见图30b）。但对阻抗连续性要求严格的信号线不应使用“缩颈”。

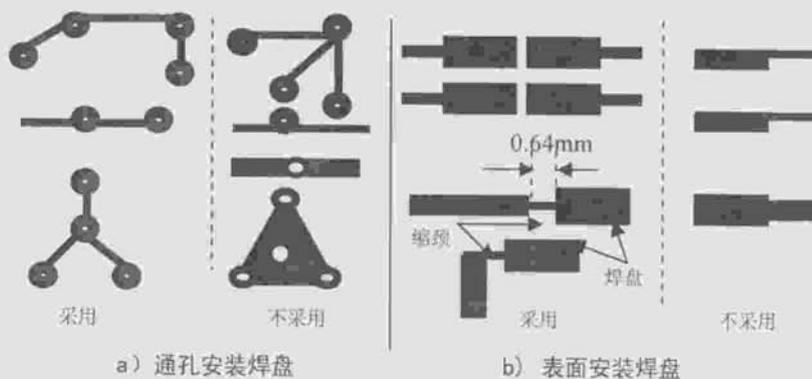


图30 导线与焊盘的连接

QJ 3103A—2011

5.7.4.2.2.16 双列直插式器件、小型开关、SOP 型器件和 SOJ 型器件的焊盘在同一块印制板上，排列的方向应尽量一致，有利于波峰焊时印制板能垂直焊盘排列方向运行，以减少桥连的可能性。见图 31。



图31 焊盘的排列方向与焊接的运行方向

5.7.4.2.2.17 高电压或大功率元器件的走线应远离小功率器件走线和模拟小信号线，在功率变压器、继电器等能产生较强磁场的器件附近布线应避免走线方向切割磁力线。

5.7.4.2.2.18 保证印制板中的时钟发生器、晶体振荡器和 CPU 的时钟输入端等尽量靠近，同时应远离其他低频器件。

5.7.4.2.2.19 应尽量减少高速高频电路信号线上的过孔数量。

5.7.4.2.2.20 高频电路尽量使用贴片式电容以减小寄生电感，去耦电容之间不应共用过孔，可打多个过孔接电源或地，电容的过孔应尽量靠近焊盘。

5.7.4.2.2.21 对数据总线、地址总线或控制总线的布线应尽量长度相同，并且还应尽量短。

5.7.4.2.2.22 传送高速信号、高频信号和敏感信号的路径上应尽量避免短接线和分叉线。

5.7.4.2.3 电源线和接地线（层）设计

5.7.4.2.3.1 电源线的设计

根据各种元器件的参数和设计要求，估算相应电源线路中的电流（包括作为电源分配系统的地线中电流），确定选择的导线宽度。一般应在布线空间允许的范围内尽量加宽电源和接地导线。

保证印制板中电源线、地线的走向与数据传输方向一致，以增强印制板的抗噪声能力。

印制板的地线和电源线的主干线应尽量分布在双面板的两面，成镜像排列，多层印制板应设置接地面和电源面（层），布设在内层相邻的两层，有利于呈现较低的波阻抗，减少地噪声和电源噪声。

同一电源层如果需要几种不同的电位电源，也可以用去除铜箔的绝缘沟槽将其隔离成几个孤立的不同电源区域，见图32。绝缘沟槽宽度应不小于5.4.4规定的最小电气间距要求。



图32 电源面的分割示例

在频率很高的情况下，为降低干扰，除了外加滤波电容外，印制板电源线、地线的走线应短而宽，并保持宽度、厚度均匀，以使电源线、地线和印制板走线对高频信号保持低阻抗。

5.7.4.2.3.2 接地线的设计

接地线和接地面作为电源分配系统，可为电源提供基准电位；在考虑电磁兼容时使用接地线或接地面时可以作为屏蔽地；在高速电路中，接地面又可为高速信号提供一个交流参考面。

QJ 3103A—2011

低频电路中的地线应尽量采用单点接地，实际布线有困难时，可以部分串联后再并联单点接地；高频电路中的地线一般应采用多点接地。

如果印制板上的接地线的布线很窄，接地电位将会随着电流的变化而变化，从而减低电路的抗噪性能。所以应尽量加宽地线，使之能通过的电流为电路额定电流的三倍以上。接地线干线一般应在2mm~3mm以上。

对印制板进行接地层分区时，应把高带宽的噪声电路和低频电路分开；并尽量使干扰电流不通过公共的接地回路影响到其它电路。

接地线或接地层一般可以靠近板的边缘布设，但电源线或电源面导体不应靠近板的边缘，至少保持与边缘0.2mm以上的距离。多层印制板的电源层导体距板边缘的尺寸应比接地层导体距板边缘的尺寸大，两者相差至少为其间绝缘层厚度的20倍（即“20H”规则），见图33。这样既有利于降低接地层与电源层在印制板边缘的电磁辐射，又可避免加工时印制板边缘的金属毛刺造成接地层与电源层的短路。



图33 地、电层边缘尺寸

多层印制板的内层也可以设置接地层与电源层共用面，但接地导体和电源导体之间需要用去除铜箔的绝缘沟槽分开。

数字电路与模拟电路尽量不共用同一条地线，在其地线与对外接地线连接处，只可有一个公共接点。在多层印制板中，如果数字电路、模拟电路采用同一接地层，可以在公共接地层上用去除部分铜箔的绝缘沟槽将其隔离，但可以保留一处连接（见图34），绝缘沟槽的宽度应不小于0.25mm。



图34 接地面的分割

多层印制板的地、电层上如果有不需要与其进行电气连接的过孔，应在孔周围设置绝缘隔离环，隔离环的宽度应不小于0.13mm（见图35），但是隔离环不应过宽，过宽的隔离环容易使相邻的上一层高速信号线通过该区域时引起阻抗不连续，影响信号的完整性。

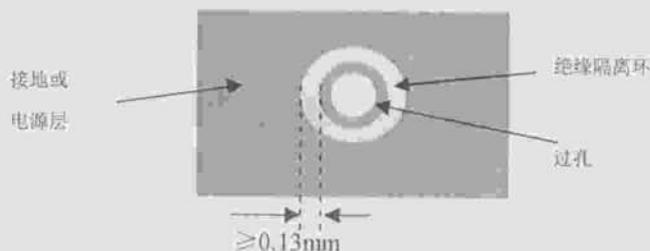


图35 地、电层上的绝缘隔离环

保证印制板上的高功率区至少有一整块地，同时最好保证上面没有过孔，地线上的覆铜越多越好。

QJ 3103A—2011

对高速电路用的多层印制板，在布线层不多的情况下，宁肯增加接地层与电源层，也要尽量减少接地面和电源面的分割，这样可以减少沟槽效应对信号线特性阻抗的影响，提高布线的自由度。

在多层印制板的内、外层，若有较大的没有布线的区域，应铺铜箔并接地，用以提高电磁屏蔽性，平衡各导电层的铜箔面积，减低印制板的翘曲。

5.7.5 非导电图形设计

5.7.5.1 阻焊图形

当印制板需要阻焊涂覆时，应设计阻焊图形作为焊接时限定焊接区域和防止焊料粘附到不需焊接的部位，并有一定的防尘和绝缘作用（但不能作为绝缘层使用）。其设计要求如下：

- 阻焊膜应覆盖除接触点和焊盘以外的所有导电图形，焊盘和触点部位的窗口位置应与导电图形焊盘或触点的位置对应一致；其偏移量应符合 QJ 831 的相关规定；
- 阻焊膜上的焊盘和触点（测试点）窗口，在布线密度低时一般大于焊盘和触点的直径或外形尺寸的 10%~20%，但不应包容相邻的导线或焊盘；布线密度高时，应等于焊盘或触点尺寸；
- 过孔是否用绝缘材料填充或阻焊膜覆盖，应视产品需要而定；
- 需要散热或接地部位不应有阻焊膜覆盖；
- 在安装电位器的接地面上，当面积较大时，其接地环上应用阻焊分离保护，在焊接环上应开多个较小的窗口（直径为 2mm~3mm），见图 36；
- BGA 焊盘上的焊接窗口，可根据节距大小和焊盘尺寸，采用大于焊盘（铜箔限定的焊盘）或小于焊盘（阻焊膜限定的焊盘）的窗口，阻焊膜需覆盖过孔。见图 37。

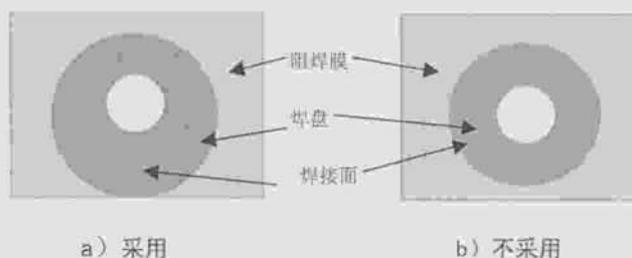


图36 接地面积较大时焊盘上焊接窗口

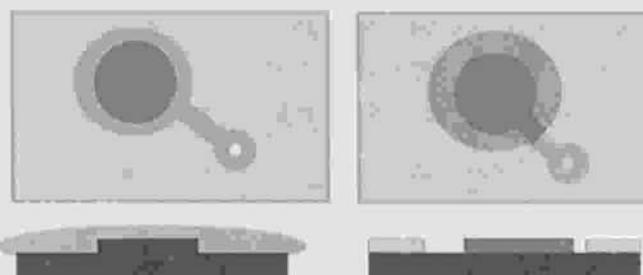


图37 BGA 焊盘的阻焊膜设计

5.7.5.2 标记字符

为了便于安装，印制板上应设置元器件标识、极性标识、代号等，当需要时应设置印制板的图号、代号或名称。标记字符的线宽不小于0.17mm，字符大小可根据空间位置和美观程度确定，通常字符

QJ 3103A—2011

高度与宽度之比为1.4:1。标记字符的位置应与印制板导电图形的相关位置对应，需安装元器件的位置和符号应与印制板安装图标注一致，但不应落在焊盘的焊接部位上。

5.7.5.3 位置标记图形

为了便于确定双面印制板和多层印制板的各层导电图形的位置及重合度，在靠近图形边框线的外侧应设置定位标记，其形状根据加工要求不同而有所区别，一般宜采用图38所示形状，尺寸见表16。

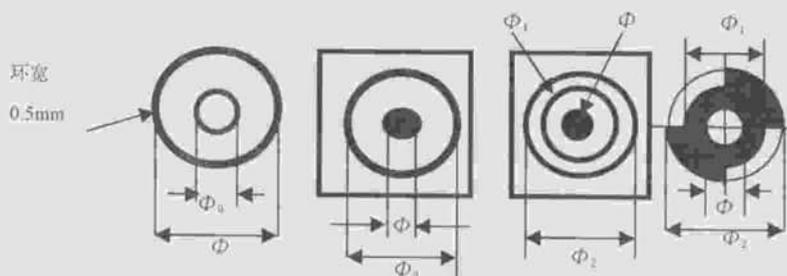


图38 定位标记形状

表16 定位标记尺寸

单位为毫米

直径	双面板	多层印制板
Φ	3	6
Φ_0	0.5~0.8	0.5~0.8
Φ_1	3.5	6.5
Φ_2	5	8

5.7.5.4 定位形式

若设置定位标记，一般采用三个标记偏置定位的形式，定位标识应靠近印制板的边框线外侧，与边线距离不小于板的厚度。对面积较大的多层印制板可采取三孔或四槽定位（见图39），具体可根据制造工艺而定。

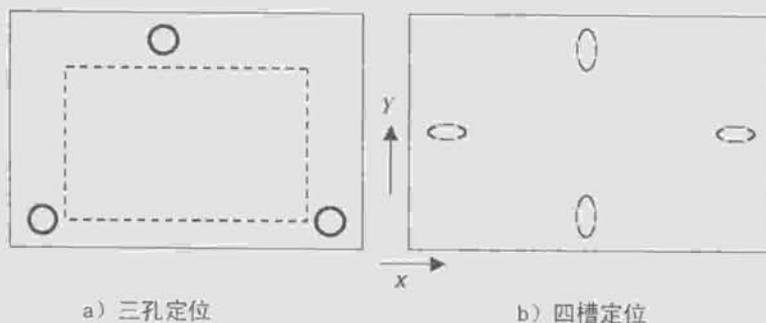


图39 定位孔的设置形式

5.7.6 附连测试板图形设计

5.7.6.1 概述

在双面和多层印制板靠近板的边缘外侧或在拼板的边缘，应根据测试和检验的需要设置附连测试图形，以便对印制板的有关性能测试及产品质量一致性进行追溯。该图形可以设计成标准测试图形供印制板生产商选用，或将其多种测试图形组合在一起，制作综合测试板，作为对印制板生产商的产品能力认证或鉴定时使用。

QJ 3103A—2011

5.7.6.2 附连测试图形

5.7.6.2.1 图形上的标识

附连测试图形上的标识应在图形的一端，并且应标明以下内容以便于追溯：

- a) 印制板的名称、代号；
- b) 追溯跟踪标识；
- c) 生产批号；
- d) 承制方代号（由生产方定）。

5.7.6.2.2 测试图形

5.7.6.2.2.1 测试图形 A

图形A是圆形连接盘（焊盘）组，见图40。用于孔可焊性和显微剖切的各项测试，应符合以下要求：

- a) 每一层相对应的位置上都应设计连接盘，多层印制板的接地面、电源面也应设置无功能连接盘（与地、电面有隔离环）；
- b) 连接盘的形状和中心距离（标准中心距离为 2.54mm）应均匀摆放在板的中间并包括一组所设计的印制板中最小的连接盘和中心距离；
- c) 连接盘中的标称孔径一般为 $\Phi 0.8\text{mm}$ （盘径 1.6mm）、 $\Phi 0.6\text{mm}$ （盘径 1.2mm）， $\Phi 0.3\text{mm}$ （盘径 0.8mm）或所设计的印制板中最小孔径；
- d) 表面需要印制阻焊膜，焊盘部位应留出窗口。

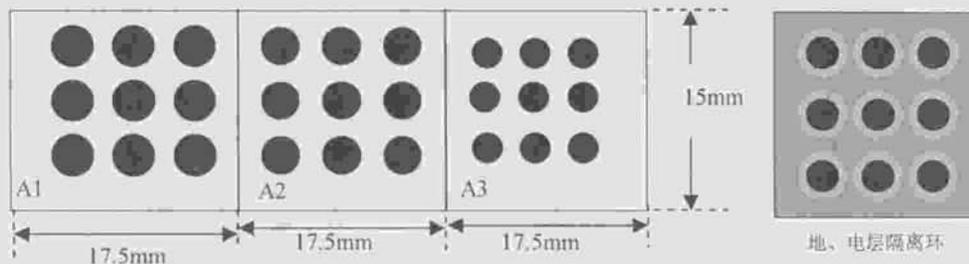


图40 测试图形 A

5.7.6.2.2.2 测试图形 B

图形B是表面安装焊盘拉脱强度和剥离强度测试图形的组合，见图41。只设置在表层，没有阻焊膜，多层印制板的内层没有此图形。表面安装焊盘图形中的虚线表示焊盘中心位置，在产品中没有此线。实际应用中可以对此图形进行裁剪，选择与所附连的印制板焊盘尺寸相近尺寸的图形，做产品能力认证的综合试验图形时应采用完整的图形。没有表面安装焊盘的印制板只做剥离强度的测试图形C。

QJ 3103A—2011

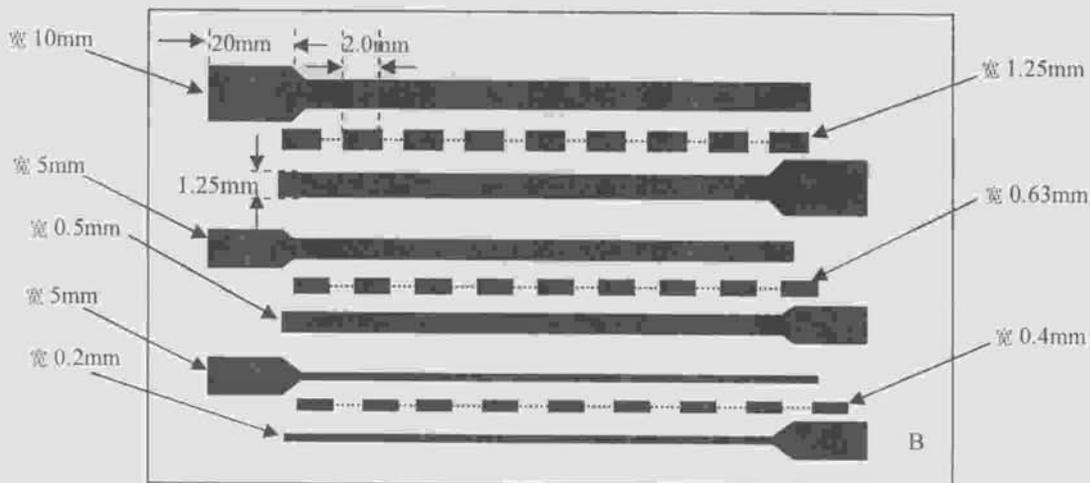


图41 测试图形 B

5.7.6.2.2.3 测试图形 C

图形C是印制板的剥离强度和镀层附着力测试图形，其形状和尺寸见图42。图形C只在表层，不需要阻焊膜。

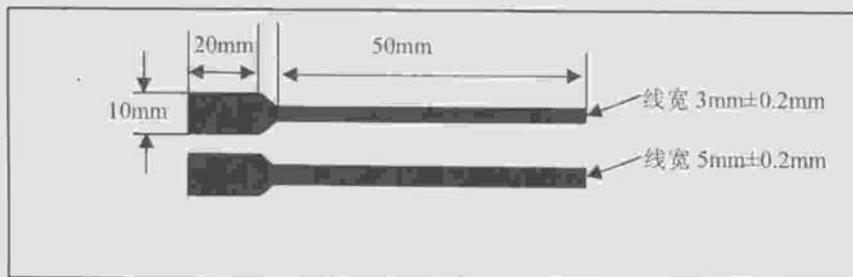


图42 测试图形 C

5.7.6.2.2.4 测试图形 D

图形D用于测试多层印制板的互连电阻、短路和电路的完善性，见图43。图中实线为表层图形，虚线为各内层导线通过金属化孔互连，按多层印制板的各层分布，每一内层都应有导线，根据层数分配每层可以有1~3根线（见图43虚线所示），在接地面或电源面上的导线应采取隔离措施。焊盘、孔径、线宽和隔离环宽等尺寸见表17，形状、连接关系见图43。当多层印制板为10层时，测试图形D还可参照附录A进行设计。

表17 产品认证时连接盘、孔径、导线宽和隔离环宽

单位为毫米

连接盘直径	孔直径	连接导线宽	内层隔离环宽
$\phi 1.6$	$\phi 0.8$	0.6~0.65	≥ 0.25
$\phi 1.2$	$\phi 0.6$	0.3~0.35	≥ 0.20
$\phi 0.8$	$\phi 0.3$	0.13~0.20	≥ 0.15

QJ 3103A—2011

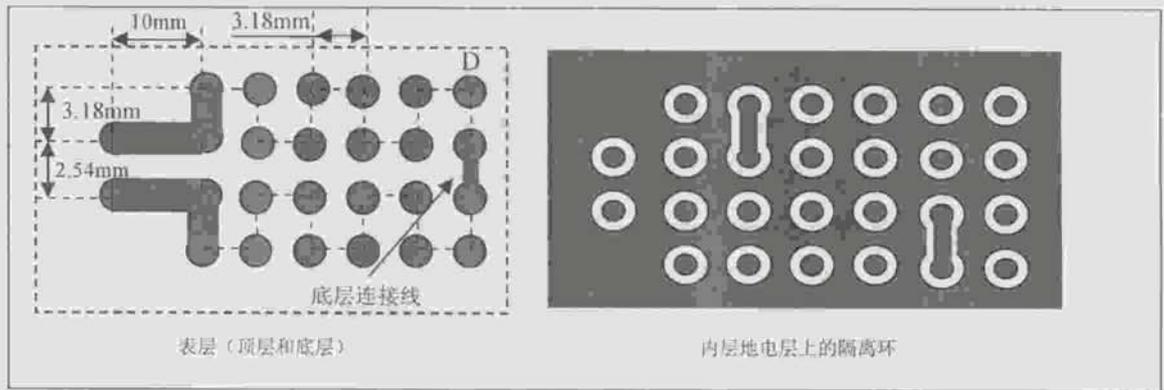


图43 测试图形 D

5.7.6.2.2.5 测试图形 E

图形E用于测试印制板的绝缘电阻和耐电压,见图44。各层图形一样,只是连接点按序号每层顺序向后顺延(虚线表示内层连接),在接地或电源层上应进行绝缘隔离(隔离环宽应大于0.2mm),导线宽度和间距均为0.635mm,其它尺寸及连接关系见图44。 n 表示印制板的层数,认证几层就制作几层。

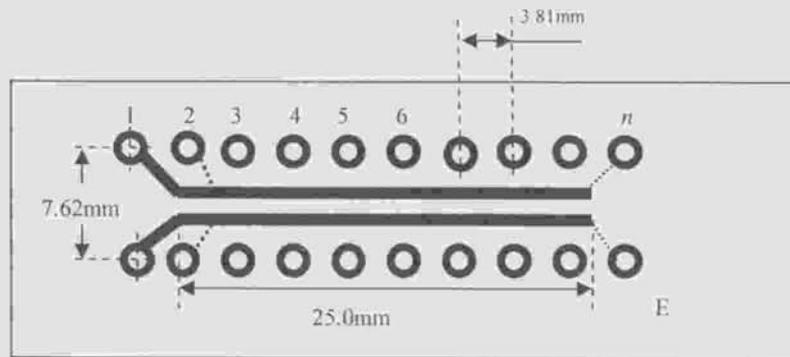
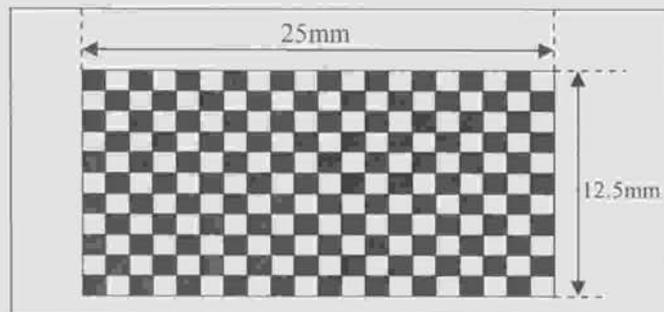


图44 测试图形 E

5.7.6.2.2.6 测试图形 G

图形G用于测试印制板阻焊膜的附着力,图形和尺寸见图45(图中黑色为铜箔,白色无铜箔)。图形表面上需印制与产品能力认证的印制板相同的阻焊膜。



黑白相间的方格尺寸为 1.25mm×1.25mm

图45 测试图形 G

QJ 3103A—2011

5.7.6.2.2.7 测试图形 M

图形M用于测试表面安装焊盘的可焊性,图形和尺寸见图46。图形M只在印制板的表层设置,内层没有图形,其表面无阻焊膜。

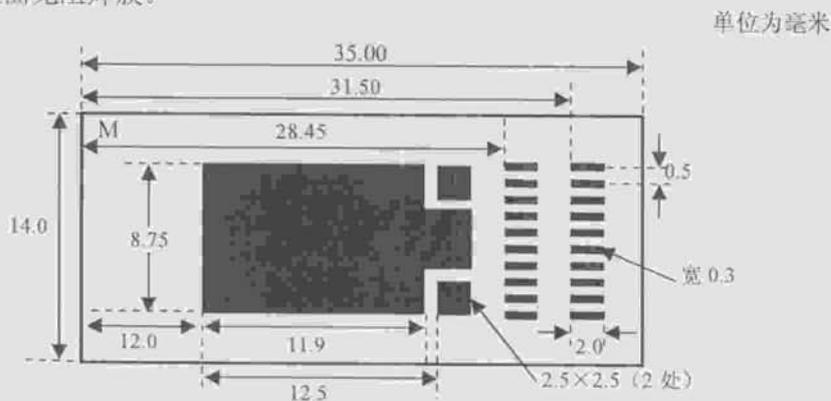


图46 测试图形 M

5.7.6.2.2.8 测试图形 N

图形N是印制板表面和内层耐电压测试的梳形图形,见图47。黑色实线表示第一层,虚线为各内层和底层连接盘与梳形图形的连接方式,每层有一套梳形图形。多层印制板如果是 n 层,则梳形图形上就可以设置 n 对连接盘(序号1~ n),每一个序号对应一组图形。

梳形图形的导线宽度和间距均为0.3mm。当做产品能力认证时,如果所认证印制板上导电图形中的最小导线宽度和间距比0.3mm小,则设计梳形图形的导线宽度和间距时应与所认证印制板上导电图形中的最小导线宽度和间距相一致。

梳形图形连接盘上孔的标准孔径为 $\Phi 0.8\text{mm}$,产品能力认证时可采用 $\Phi 0.6\text{mm}$ 的孔。

如果用此图做耐离子迁移性试验(CAF),则梳形图形电极部分的导线宽度和间距应小于0.15mm或等于所附连印制板上最小导线宽度和间距。

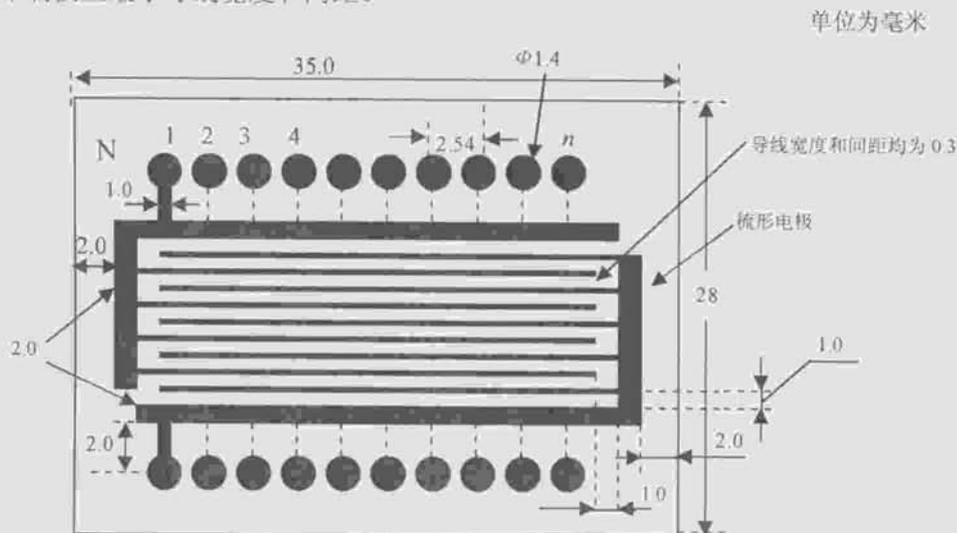


图47 测试图形 N

5.7.6.2.2.9 特性阻抗测试图形

对于有特性阻抗要求的印制板,应设置专用特性阻抗测试试样,试样和印制板应有相同的层数和相同阻抗的传输线结构。

QJ 3103A—2011

阻抗值的大小通常应根据电路匹配的需要,按下列阻值选择:

- a) $50 (1\pm 5\%) \Omega$ 、 $75 (1\pm 5\%) \Omega$;
- b) $50 (1\pm 10\%) \Omega$ 、 $75 (1\pm 10\%) \Omega$;
- c) $100 (1\pm 5\%) \Omega$ 、 $150 (1\pm 5\%) \Omega$;
- d) $100 (1\pm 10\%) \Omega$ 、 $150 (1\pm 10\%) \Omega$ 。

阻抗传输线的长度一般为150mm或75mm。

5.7.7 机械加工图

机械加工图是印制板生产中进行机械加工的依据,它可以从电子版的布设总图中提取,其内容至少应包括:

- a) 导电图形与印制板外形的相对位置(可用 5.3.5.2 参考基准标明);
- b) 印制板的外形尺寸及公差;
- c) 所有的孔(含安装孔)、槽、缺口等机械加工要素的位置、尺寸和公差;
- d) 元件孔、导通孔(包括通孔、埋孔和盲孔)的尺寸;
- e) 其它要求。

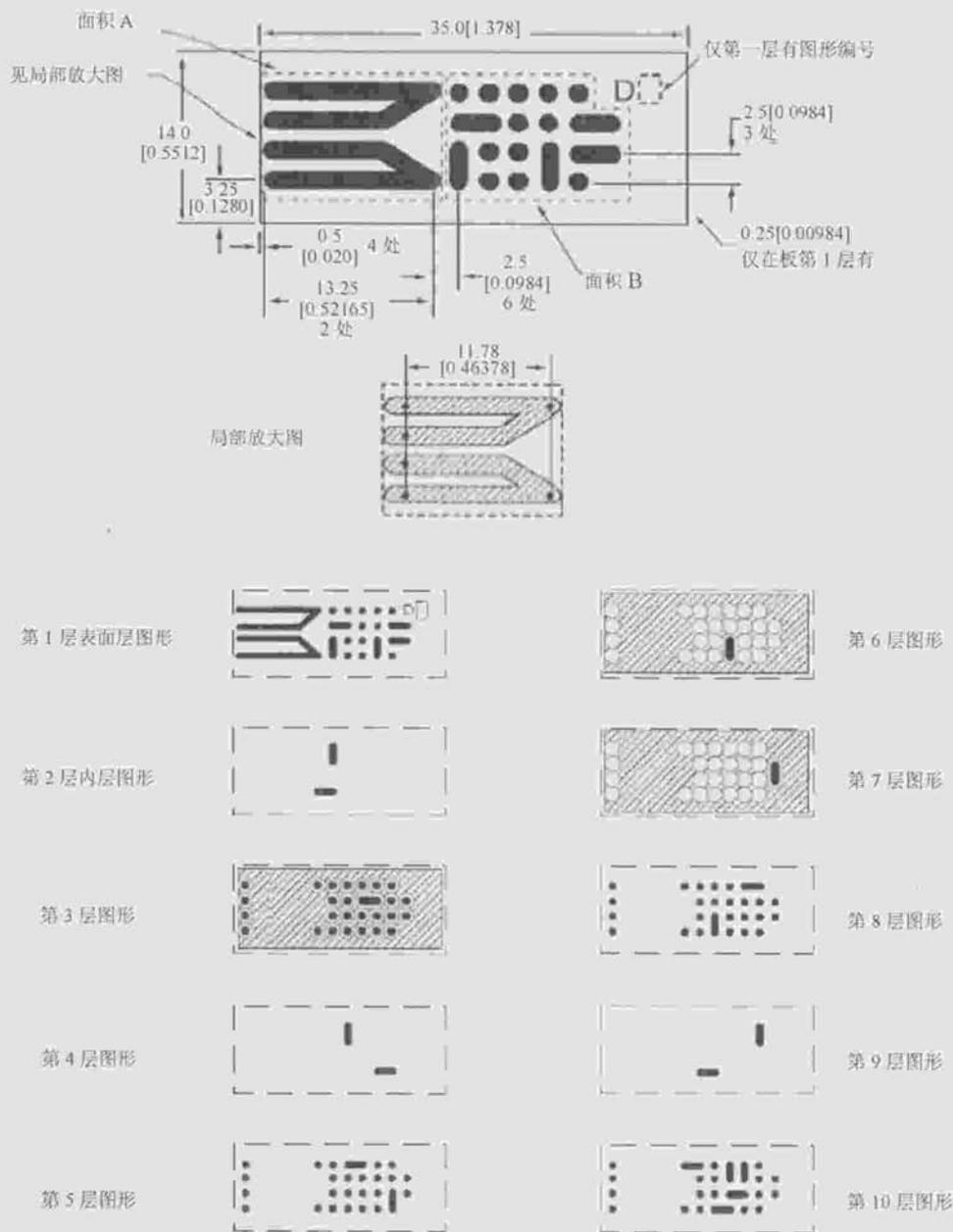
5.7.8 印制板安装图

印制板安装图所注明的元器件的安装位置和标记符号应与印制板上的标记字符图一致,选择的安装方式应符合QJ 165的要求,编制应符合QJ 978的要求。

QJ 3103A—2011

附录 A
(资料性附录)
多层印制板 (10 层) 测试图形 D

10 层印制板的测试图形 D 见图 A.1。



注：方括号内的尺寸以英寸为单位，括号外的尺寸以毫米为单位。

图 A.1 10 层印制板的测试图形 D

中华人民共和国航天行业标准
印制电路板设计要求
QJ 3103A—2011

*

中国航天标准化研究所出版
北京市丰台区小屯路 89 号
邮政编码：100071

中国航天标准化研究所
印务发行部印刷、发行

版权专有 不得翻印

*

2011 年 10 月出版
定价：38 元