

# 开关电源 PCB 安全设计

■ (漳州师范学院,漳州 363000) 张国金 许陵 洪少晖

**摘要:**本文的设计基于中国国家强制性产品认证即 3C 认证),主要从开关电源的内部结构方面来阐述其安全规定要求。电源的中国安全认证标准为 GB4943-2001《信息技术设备的安全》,主要包括 PCB(即印制电路板)上初次级电路之间,高频开关变压器的初次级线圈之间的电气间隙如何设计才能满足加强绝缘的要求,铜箔走线的载流量、安全标识怎样达到国家安全认证。

**关键词:**3C;PCB;开关电源;电气间隙;载流量

## 1. 引言

开关电源是一种体积小、重量轻的高效节能电源。近年来被广泛地应用到计算机、通讯设备、控制设备及家用电器等设备中。作为一名合格的开关电源设计工程师,在进行产品设计时,除了应该尽可能地考虑如何满足产品的性能要求外,还必须熟悉开关电源的安全规定要求。如中国的 3C 认证,美国的 UL 认证,欧盟的 CE 认证,日本的 PSE,德国的 GS 等。其中 3C 认证具有强制性。根据国家强制性产品认证的有关文件规定,自 2003 年 5 月 1 日起,列入第一批实施 3C 认证目录内的 19 类 132 种产品如未获得 3C 标志就不能出厂销售、进口和在经营性活动中

使用,出口产品也要获得相应的安全规定认证才能在国外市场流通。本文主要从 PCB 板设计来研究开关电源的安全规范。

## 2. 技术要求

### 2.1. 印制板基板材料的选择

印制板选择必须考虑到电气和机械特性的安全问题,电气特性是指基板材料的绝缘电阻、抗电弧性、印制导线电阻、击穿强度、介电常数及电容等。机械特性是指基板材料的吸水性、热膨胀系数、耐热性、抗挠曲强度、抗冲击强度、抗剪强度和硬度。

### 2.1.1. 基板材料的分类

一般印制板的基板材料可分为两大类：刚性基板材料和柔性基板材料。而一般刚性基板材料主要是覆铜板。在此主要分析覆铜板的性能，从而探讨在电子产品的 PCB 设计过程中将如何选择基板材料。

### 2.1.2. 各基板材料的性能差异

纸基覆铜板（适用于制作单面印制板基板材料）：所用铜箔标称厚度一般为 0.035mm 规格；基板的常用厚度规格为 0.8mm、1.0mm、1.2mm、1.6mm、2.0mm。厚度主要是考虑板对其上安装的所有元器件质量的安全承受能力和使用中承受的机械安全负荷能力。一般纸基覆铜板与环氧布基覆铜板相比，机械强度低，易吸水及耐高温性能差，表面绝缘电阻较低。

环氧玻璃纤维布基覆铜板：环氧玻璃纤维布基覆铜板有四种型号：G10（不阻燃）、G11（保留热强度，不阻燃）、FR-4（阻燃）、FR-5（保留热强度，阻燃）。常用的铜箔厚度为 0.018mm、0.035mm、0.070mm 三种。此类板电气及机械性能好，既耐化学溶剂，又耐高温耐潮湿，表面绝缘

电阻高。

### 2.2 电气间隙要求

电气间隙的尺寸应使进入设备的瞬态过电压和设备内部产生的峰值电压不能使其击穿。

#### 2.2.1 一次电路与二次电路之间的绝缘最小电气间隙

对于交流供电系统，表 1、表 2 中的电网电源电压为相线—中线的电压

表 1 一次电路与二次电路之间的绝缘最小电气间隙 (mm)

工作电压 (有效值) (V)	额定电压电 压 (有效值) (V)	污染等级 1 和 2						污染等级 3						污染等级 1, 2 和 3						
		≤150V			>150V			≤300V			>300V~≤600V			≥600V~≤4000V						
		F	B/S	R	F	B/S	R	F	B/S	R	F	B/S	R	F	B/S	R				
71	50	0.4 (0.5)	1.0 (1.0)	2.0 (1.0)	0.8 (0.8)	1.3 (0.8)	2.6 (1.6)	1.0 (1.5)	2.0 (3.0)	4.0 (3.0)	1.3 (1.5)	2.0 (3.0)	4.0 (3.0)	2.0 (3.0)	3.2 (3.0)	6.4 (6.0)				
210	150	0.5 (0.5)	1.0 (1.0)	2.0 (1.0)	0.8 (0.8)	1.3 (0.8)	2.6 (1.6)	1.4 (1.5)	2.0 (3.0)	4.0 (3.0)	1.5 (1.5)	2.0 (3.0)	4.0 (3.0)	2.0 (3.0)	3.2 (3.0)	6.4 (6.0)				
420	300	F1.5, B/S2.0(1.5), R4.0(3.0)										2.5 (3.0)				3.2 (3.0)	6.4 (6.0)			
840	600	F1.5, B/S2.0(1.5), R4.0(3.0)																		
1400	1000	F/B/S4.2 R6.4																		
2800	2000	F/B/S/R 8.4																		
7000	5000	F/B/S/R 17.5																		
9800	7000	F/B/S/R 25																		
14000	10000	F/B/S/R 37																		
28000	20000	F/B/S/R 80																		
42000	30000	F/B/S/R 130																		

(1) 表中的数值适用于功能绝缘 (F)、基本绝缘 (B)、附加绝缘 (S) 和加强绝缘 (R)。  
(2) 只有在制造时执行有效的质量控制程序，以提供至少相当于如 GB4943-2001 附录 R2 中示例的可靠等级时，括号中的数值才适用于基本绝缘、附加绝缘和加强绝缘，特别对于加强绝缘，应承受例行的抗电强度试验。  
(3) 对于 2800V 和 4200V 峰值或直流值之间的电压，可以在最靠近的两点之间使用线性内插法。所计算的间隙值进位到小数点后 1 位。

例如，当其电网电源电压输入为市电 220VAC，其峰值电压  $UI=1.414 \times 220 \approx 311V$ 。由表 1 加粗处可得：选用污染等级 2 且符合加强绝缘的要求进行设计，则其一次电路与二次电路之间的最小间隙为 4.0mm，为了符合单一故障时能满足电气间隙的安规要求，设计采用大于

最小间隙的间隙值。除变压器以外的一次电路与二次电路的电气间隙设计为 $\geq 4.0\text{mm}$ (变压器的输入-输出间的电气隔离距离设计为 $\geq 6.0\text{mm}$ )。

### 2.2.2 一次电路的电气间隙

由于一次电路的绝缘要求同一次电路与二次电路之间的绝缘要求相同,所以一次电路的电气间隙也应符合表1的最小尺寸的要求。

### 2.2.3 二次电路的电气间隙

二次电路的电气间隙应符合表2中最小尺寸要求。

例如,二次电路的工作电压 $\leq 50\text{V}$ ,由表2加粗处可知:如果二次电路的设计采用污染等级2,且设计符合加强绝缘的安规要求,则其二次电路的最小电气间隙可查表得为2.0mm。

总之,可以通过上述表格中的相应内容对开关电源电路的各个部分的电气间隙进行合理的设置,使之达到国家标准要求。如果由于印制板的面积有限而不能达到上述要求,可在两个导电零部件之间开一条槽,利用空气间隙来使电气间隙达到国家标准要求。

### 2.3 铜箔宽度与电流的关系

表2 二次电路的最小电气间隙

工作电压 $\leq$		额定电源电压 $\leq 150\text{V}$ 峰值 $\leq 800\text{V}$						额定电源电压 $>150\text{V} - \leq 300\text{V}$ (二次电路瞬态额定值 1500V)						额定电源电压 $>300\text{V} - \leq 600\text{V}$ (瞬态额定值 4000V)					
V 峰值	V 有效值	污染等级 1 和 2			污染等级 3			污染等级 1 和 2			污染等级 3			污染等级 1, 2 和 3					
		F	B/S	R	F	B/S	R	F	B/S	R	F	B/S	R	F	B/S	R			
71	50	0.4 (0.2)	0.7 (0.2)	1.4 (0.4)	1.0 (0.8)	1.3 (0.8)	2.6 (1.6)	0.7 (0.5)	1.0 (0.5)	2.0 (1.0)	1.0 (0.8)	1.3 (0.8)	2.6 (1.6)	1.7 (1.5)	2.0 (1.5)	4.0 (3.0)			
		0.6 (0.2)	0.7 (0.2)	1.4 (0.4)	1.0 (0.8)	1.3 (0.8)	2.6 (1.6)	0.7 (0.5)	1.0 (0.5)	2.0 (1.0)	1.0 (0.8)	1.3 (0.8)	2.6 (1.6)	1.7 (1.5)	2.0 (1.5)	4.0 (3.0)			
140	100	0.6 (0.2)	0.7 (0.2)	1.4 (0.4)	1.0 (0.8)	1.3 (0.8)	2.6 (1.6)	0.7 (0.5)	1.0 (0.5)	2.0 (1.0)	1.0 (0.8)	1.3 (0.8)	2.6 (1.6)	1.7 (1.5)	2.0 (1.5)	4.0 (3.0)			
		0.6 (0.2)	0.9 (0.2)	1.8 (0.4)	1.0 (0.8)	1.3 (0.8)	2.6 (1.6)	0.7 (0.5)	1.0 (0.5)	2.0 (1.0)	1.0 (0.8)	1.3 (0.8)	2.6 (1.6)	1.7 (1.5)	2.0 (1.5)	4.0 (3.0)			
210	150	0.6 (0.2)	0.9 (0.2)	1.8 (0.4)	1.0 (0.8)	1.3 (0.8)	2.6 (1.6)	0.7 (0.5)	1.0 (0.5)	2.0 (1.0)	1.0 (0.8)	1.3 (0.8)	2.6 (1.6)	1.7 (1.5)	2.0 (1.5)	4.0 (3.0)			
		280	200	F1.1(0.8) B/S1.4(0.8) R2.8(1.6)										1.7 (1.5)	2.0 (1.5)	4.0 (3.0)			
420	300	F1.6(1.0) B/S1.9(1.0) R3.8(2.0)						F/B/S2.5 R5.0						1.7 (1.5)	2.0 (1.5)	4.0 (3.0)			
		700	500	F/B/S3.2 R5.0						F/B/S4.2 R5.0									
840	600	F/B/S8.4 R17.5						F/B/S/R8.4											
		1400	1000	F/B/S/R17.5						F/B/S/R25									
2800	2000																		
7000	5000																		
9800	7000																		

(1) 表中的数值适用于功能绝缘(F),基本绝缘(B),附加绝缘(S),和加强绝缘(R)。

(2) 只有在制造时执行有效的质量控制程序,以提供至少相当于如GB4943-2001附录R2中示例的可靠等级时,括号中的数值才适用于基本绝缘、附加绝缘和加强绝缘,特别对于加强绝缘,应承受例行的抗电强度试验。

(3) 对于2800V和4200V峰值或直流值之间的工作电压,可以在最靠近的两点之间使用线性内插法。所计算的间隙值进位到小数点后1位。

(4) 表中的数值适用于已可靠接地的,而且有容性滤波的能将交流电压中纹波电压峰值限制在10%的直流二次电路。

(5) 如果设备中的瞬态电压超过了这个值,应使用较高的值。

(6) 如果间隙通路是如下的情况,则不要求符合8.4mm或大于8.4mm的间隙值:

——完全通过空气;或

——整个地或部分地沿着I组材料的绝缘材料的表面

——其有效值等于1.06倍峰值工作电压的交流试验电压;或

——上述交流试验电压峰值的直流试验电压

由于覆铜板厚度有限，在需要流过较大电流的条状铜箔中，应考虑铜箔的载流量问题。仍以典型的0.03mm厚度的为例，如果将铜箔的载流量作为宽为W(mm)，长度为L(mm)的条状导线，其电阻为 $0.0005L/W(\Omega)$ 。另外，铜箔的载流量还与印刷电路板上安装的元件种类，数量以及散热条件有关。在考虑到安全的情况下，一般可按经验公式 $0.15 \times W(A)$ 来计算铜箔的载流量，然后通过等截面积法将铜芯载流量转化为铜箔走线的载流量，塑料绝缘电线明敷设的载流量如表3所示。

表3 塑料绝缘电线明敷设的载流量

截面 mm <sup>2</sup>	温度(℃) 铜芯(BP、HVR型)			
	25℃	30℃	35℃	40℃
1	20	19	18	17
1.5	25	24	23	22
2.5	34	32	30	28
4	45	42	40	37
6	52	55	52	48

例如，使用0.07mm厚度的环氧玻璃纤维布基覆铜箔板，根据表3，假设35℃下，那么30A的电流所需要的截面积为2.5mm<sup>2</sup>。利用等截面积法可知： $0.07mm \times d(\text{线宽}) = S = 2.5mm^2$ ，可得： $2.5mm^2$ 的铜芯截面积可相当于0.07mm厚度，宽度 $d = 2.5 / 0.07(\text{mm}) \approx 36\text{mm}$ 的铜箔走线，此种板的铜箔载流量大约为0.81A/mm。如果由于PCB板的空间有限，无法按以上值来达到标准的铜箔走线宽度要求，一定程度上可用在铜箔走线上镀上一层锡的方法来改善，即增加铜箔走线的厚度。

### 3. 印制电路板结构的选择

原理图如图1所示，根据要求不同分析如下。

#### 3.1 采用单面电路印制板

单面板制造简单，装配方便，适用于一般电路要求。不适用于要求高组装密度或复杂的电路。

#### 3.1.1 面积尺寸足够时

当电路组件数量不多，而且电路板尺寸较大的情况下，元器件采用平放较好；对于1/4W以下的电阻平放时，两个焊盘间的距离一般取10.0mm，1/2W的电阻平放时，两焊盘的间距一般取13.0mm；二极管平放时，1N400X系列整流管，一般取8.0mm；1N540X系列整流管，一般取10.0~13.0mm。

电气间隙按照标准间隙要求设计，由电气间隙要求表1、2可知：其一次电路的电气间隙为≥4.0mm；一次电路与二次电路之间设计为≥4.0mm，特别是变压器的输入与输出端间的电气隔离距离设计为≥6.0mm；二次电路则为≥2.0mm。

选用普通的纸基覆铜板，由于其铜箔厚度为0.035mm，根据2.3铜箔走线的载流量的分析可得，其载流量约为0.42A/mm。由原理图1可得，因为其一次电路的电流很小，只有几百mA至1A。其一次电路的铜箔走线可为2mm以上的宽度即可，由于输出为15V/2A，则其二次电路的输出部分铜箔走线宽可为5mm。

#### 3.1.2 面积有限时

PCB图如图2所示，当电路组件数较多，而且电路板尺寸不大的情况下，一般是采用竖放，竖放时两个焊盘的距离一般取5.0~10.0mm。

由于基板面积有限，在设计电气间隙的时候没办法按标准值来设计，这时候可以通过穿孔，利用空气间隙来增加本来不够要求的电气间隙。如PCB图2上的线段所标识。

同样的其一次电路的铜箔走线宽度也为2mm以上的宽度即可，二次电路走线宽度为

4mm 以上。也可以适当的减小走线宽度，并在走线上镀上一层焊锡。

### 3.2 采用双面板电路印制板

双面印制电路的布线密度较高，能减少设备的体积。以下采用环氧玻璃纤维布基覆铜箔板为基板的双面板，由两种基板的不同性能，可得出如下结论：

(1) 此设计采用铜箔厚度为 0.07mm 的环氧基板，根据 2.3 铜箔走线的载流量的分析，其载流量约为 0.81A/mm。也就是说 1mm 的线宽可走大概 1A 的电流。

(2) 由于环氧玻璃纤维布基覆铜箔板表面绝缘电阻较大，电气特性好，可在设计过程中电气间隙的大小可比单面板稍微小一些；而且由于双面板可两面走线，相同电流铜箔走线宽度也比相同铜箔厚度的单面板小一倍。其不同层的走线可以交叉，因此更容易布线。

(3) 将大组件及电网接入口设计在同一面，其他的放在另外一面，这有利于开关电源的抗干扰性能。

### 4. 结束语

不合理的 PCB 设计会影响开关电源的安全性。为了确保电源使用中的可靠性和安全性，国内外在对电源元件的选择、材料的绝缘性、阻燃性等方面都有严格规定的安全标准。而设计工程师也必须得按照安全认证标准来设计开关电源，通过的认证规格越多，说明电源的质量和安全性越高。

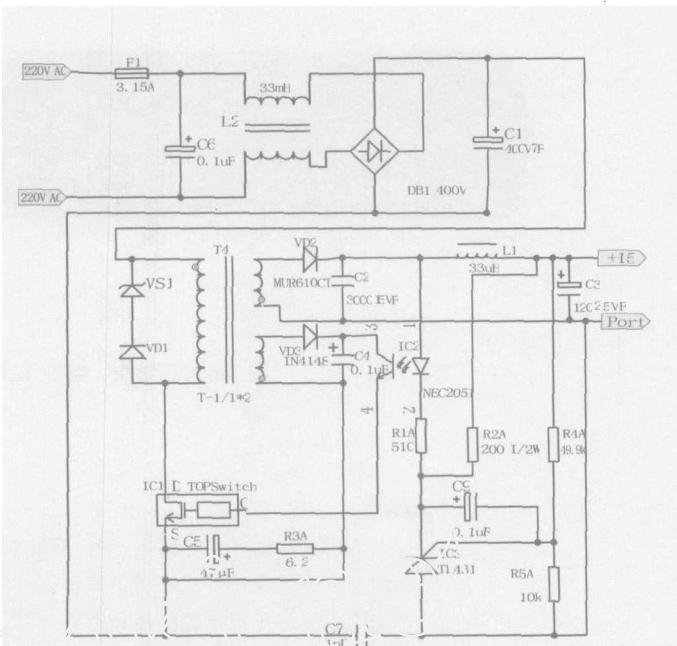


图 1 原理图

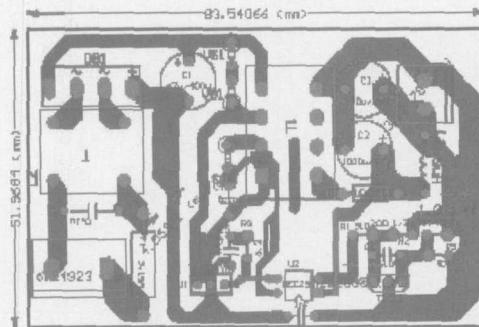


图 2 PCB 图

### 参考文献：

- [1] 李兰芬, 王莹, 贾真起草. 中华人民共和国国家标准 GB 4943-2001《信息技术设备的安全》[S]. 北京: 中国标准出版社出版, 2002.03 第一版.
- [2] 刘胜利, 编著. 高频开关电源实用新技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.01, 第一版.
- [3] 勒计全, 顾仲忻, 周劲军, 徐有升, 编著. 实用电工手册[M]. 河南科学技术出版社出版, 2000.03, 第二版.
- [4] 金鸿, 陈森, 编著. 印制电路技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.09, 第二版.