

# 安规基本概念 (爬电距离及固体绝缘)



Prepared by:

Jeff Ji 冀保峰

SHH

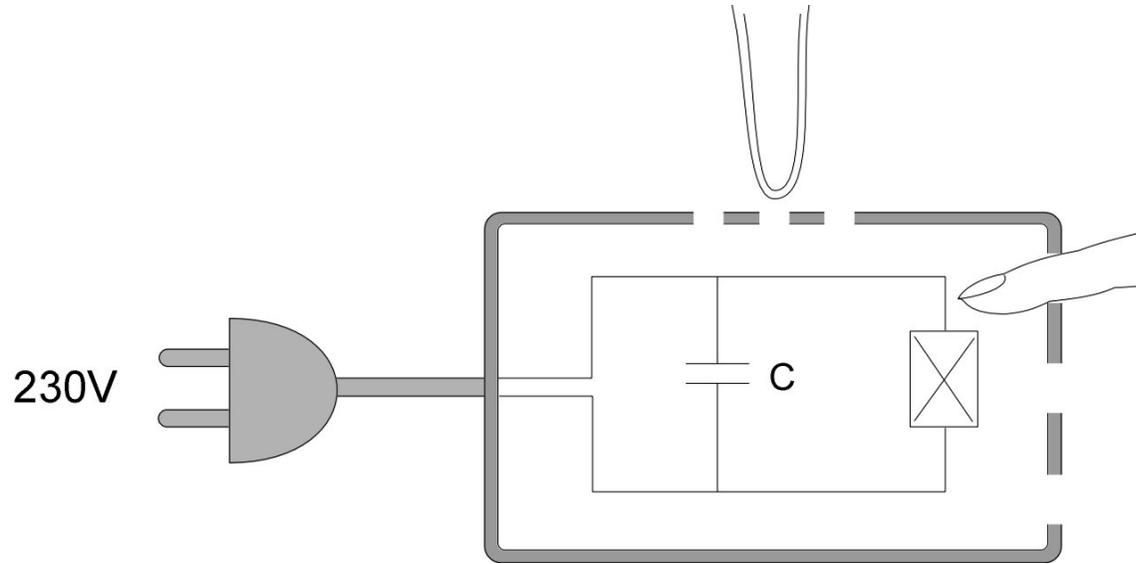
TÜV SÜD Certification and  
Testing (China) Co., Ltd.  
Guangzhou Branch

标准中定义的危险种类有如下7大类:

- 电击 (Electric shock)
- 能量危险 (Energy hazards)
- 火灾 (fire) 及热 (Heat) 的危险
- 机械危险 (Mechanical hazards)
- 辐射危险 (Radiation hazards)
- 化学危险 (Chemical hazards)

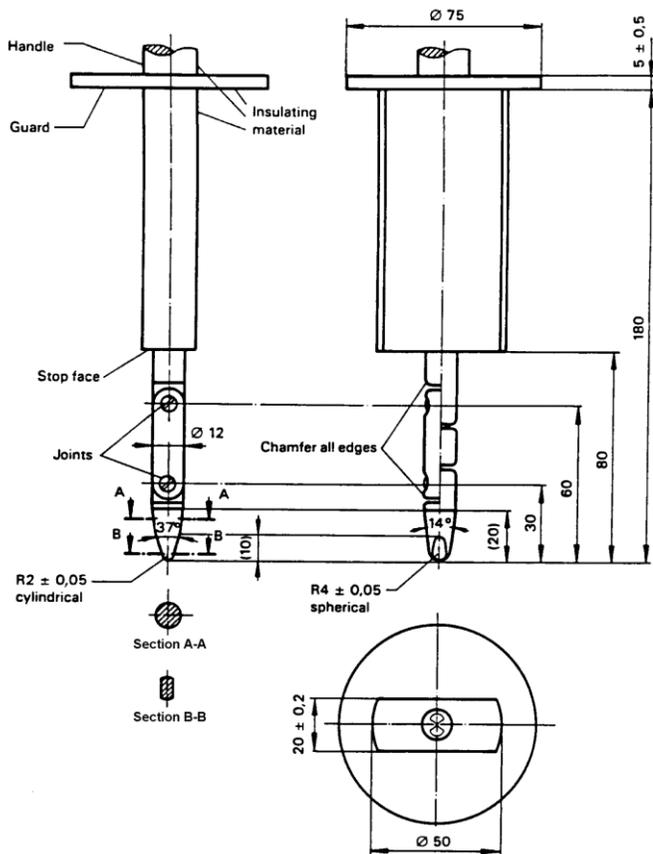
由于以上危险的存在, 作为设计人员/安规工作人员, 我们要求考虑在下列情形下是否有危险存在:

- 正常工作条件下
- 产品的非正常操作
- 元器件故障
- 产品使用的环境 (如使用的环境温度, 使用的海拔高度等)



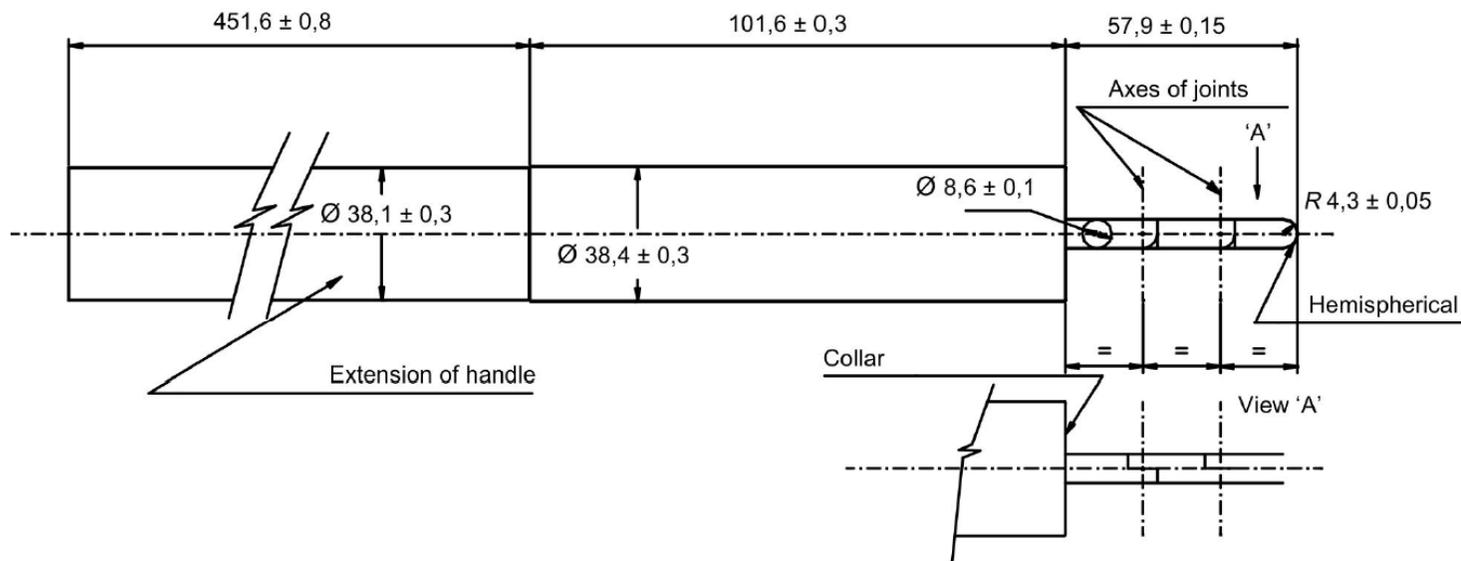
1. 手指可通过产品上的孔接触到带危险电压的零部件
2. 外部的小导体(如手链)可通过小孔接触带有危险电压的导体
3. 带危险电压的元件与安全低电压之间的绝缘被击穿, 使可接触的零部件带上危险电压
4. 电容的放电

# 测量防触电使用到的常用测试手指 测试手B



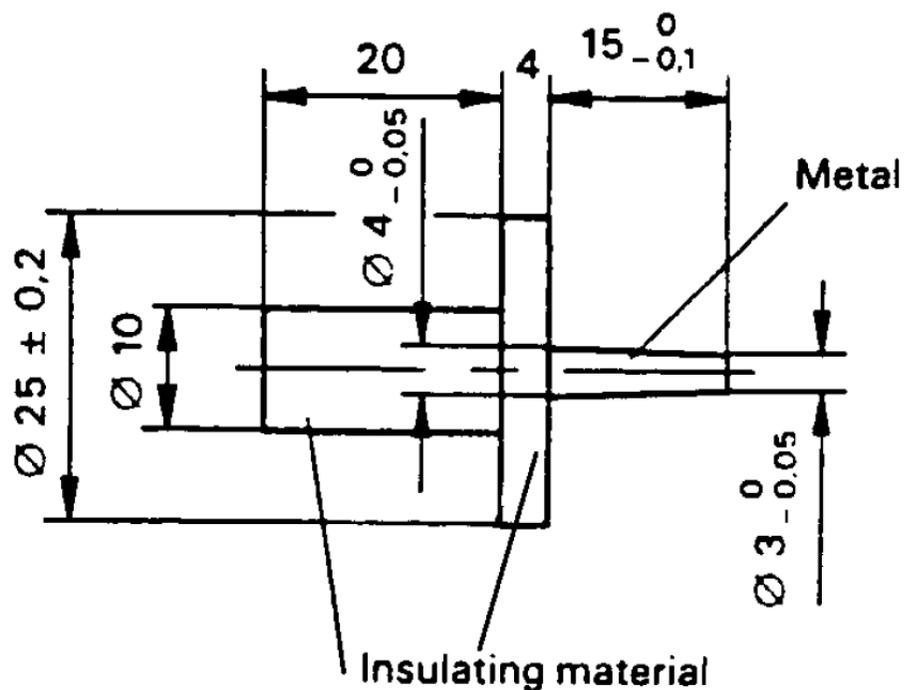
•测试手指B在20N的力下所能触及的所有位置（包括产品内部）都是易接触部件或表面，如果该部件或者表面是金属电镀等导体，则包括其所扩展的所有位置。这些部件，表面或者位置，到带电体需要至少满足加强绝缘或者双重绝缘的要求

• 测量防触电使用到的常用测试手指 测试手指18

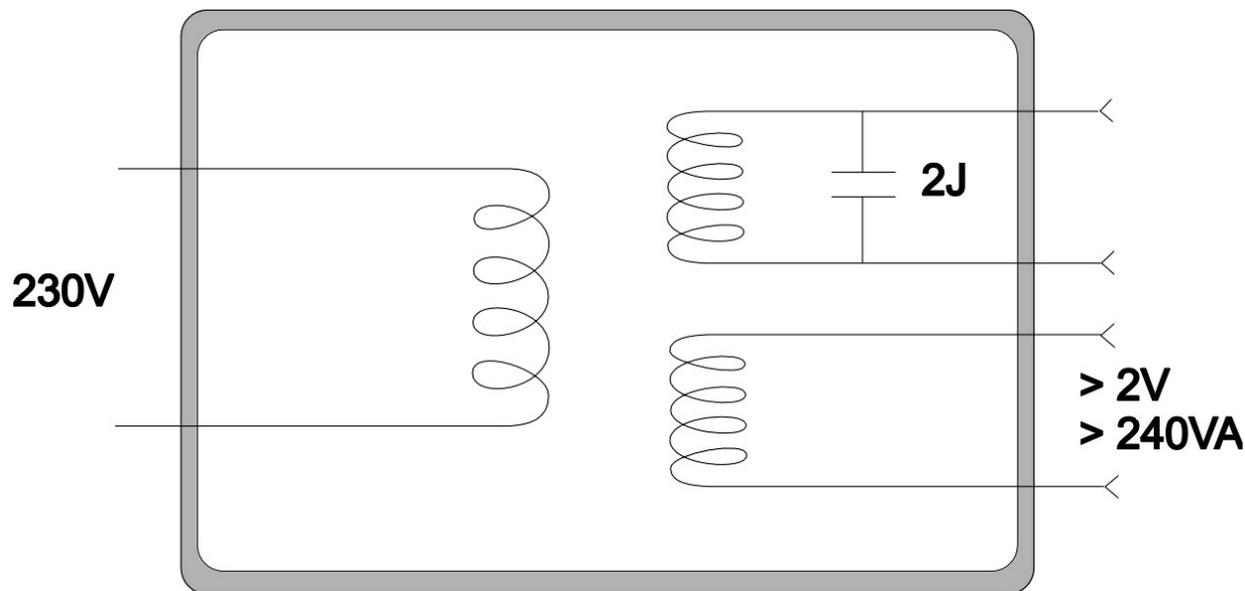


•测试手指18在10N的力下所能触及的所有位置（包括产品内部）都是易接触或表面，如果该部件或者表面是金属电镀等导体，则包括其所扩展的所有位置。这些部件，表面或者位置，到带电体需要至少满足加强绝缘或者双重绝缘的要求

- 测量防触电使用到的常用测试手指 测试销13



- 测试销13，在不明显的力下（1N），不可以触及导电体



虽然输出电压很低, 但假设输出端的导体发生短路, 有可能产生过量的能量释放, 乃至发生爆炸。

## 火灾的危险:

- 电器产品的最大危险是火灾, 产品自燃并扩展至周围环境, 造成巨大的人员伤亡和财产损失
- 塑料是引起火灾的主要原因, 如塑料没经过防火处理, 将会是主要起火源
- 过载、元件失效、绝缘击穿、连接松动都可能产生导致着火温度, 如无保护措施, 将会引起火灾

## 热的危险:

- 如可接触部件的温升过高, 会烫伤使用者
- 设备中的元配件, 长期处于过高温环境对其性能有影响
- 绝缘材料在高温的环境中, 会发生的绝缘性能下降, 甚至熔解的危险

- 锐利的边缘对人体的伤害和元件的损害
- 运动部件(如风扇的叶片)如可触及, 有可能对使用使用者造成伤害
- 如摆放的不平稳, 设备易翻倒, 导致对使用者和周围环境造成伤害
- 外壳材料强度不够, 易受力破裂而造成危险带电部件可触及
- 电源线固定不可靠, 如以外力拉出, 造成触电危险

- X线的辐射: CRT(显像管)应小于  $<0.5\text{mR/H}$  (毫伦姆)
- 激光辐射危险: CD/DVD的镭射光头一般要求为1类, 除非有专门的保护装置并有警告标识
- 化学危险: 有毒的气体, 液体, 粉尘等

产品在以下非正常条件发生时, 仍然能保持其安全性:

\* 每次只假设仅有一种非正常条件发生

## 元件失效:

标准中假设电子元件并不可靠, 有一些元器件在使用的过程中有可能失效, 如电阻、电容 (不包括有认证的X或Y电容)、二级管、IC等的短路或开路;

## 错误使用:

使用者可能不正确使用设备或不按说明书使用, 如:

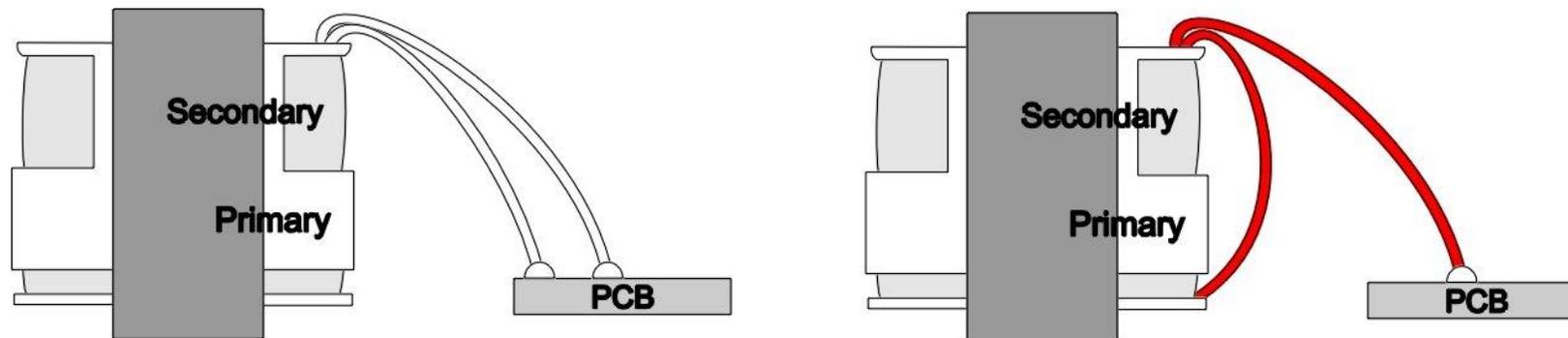
- 没有给设备足够的散热空间, 或散热孔意外被挡住, 造成温度过高;
- 短时工作的设备, 使用者没有注意其额定工作时间, 连续工作, 造成温度过高;
- 变压器的输出端短路和超载;
- 电机过载或发生堵转。

## 绝缘失效:

- 仅有单一绝缘保护被认为是不可靠, 所以产品对触电的防护不能仅依赖单一绝缘;
- 必须提供附加的保护措施, 如保护接地或附加绝缘;
- 当然, 提供单独的有超强性能的加强绝缘保护可接受

## 连接失效:

焊锡连接有可能出现失效的情况. 如:



- 应在连接处,除了锡焊外, 还要提供额外的固定保护, 如使用线扎, 滴胶或钩焊等

# 防触电保护类别

## I类器具(Class I equipment):

- 产品通过基本绝缘加上保护接地实现触电防护。
- 产品符号：没有，但是保护接地端子必须标识 
- 要求：金属部件和危险带电件之间有基本绝缘隔离并且金属部件和保护接地之间可靠连接。例子：具有金属外壳的电器；

## II类器具(Class II equipment):

- 产品通过基本绝缘加上附加绝缘的双重绝缘, 或通过加强绝缘实现触电防护。 
- 产品符号：
- 要求：必须有两层独立的绝缘组成的双重绝缘或者加强绝缘。例子：具有塑料外壳的电器。

## III类器具(Class III equipment):

- 产品符号：
- 产品通过安全低电压(SELV)。

安全特低电压的范围：IEC/EN60335：电压不超过42.4V交流峰值或直流42.4V 例如：由电池供电的产品，以及通过安全隔离变压器提供电源的产品；

## **功能绝缘**

保障设备的正常使用所需的绝缘，它不提供防触电保护，但是有降低燃烧和起火可能性

## **基本绝缘**

加在带电部件上提供防止触电基本保护的绝缘

## **附加绝缘**

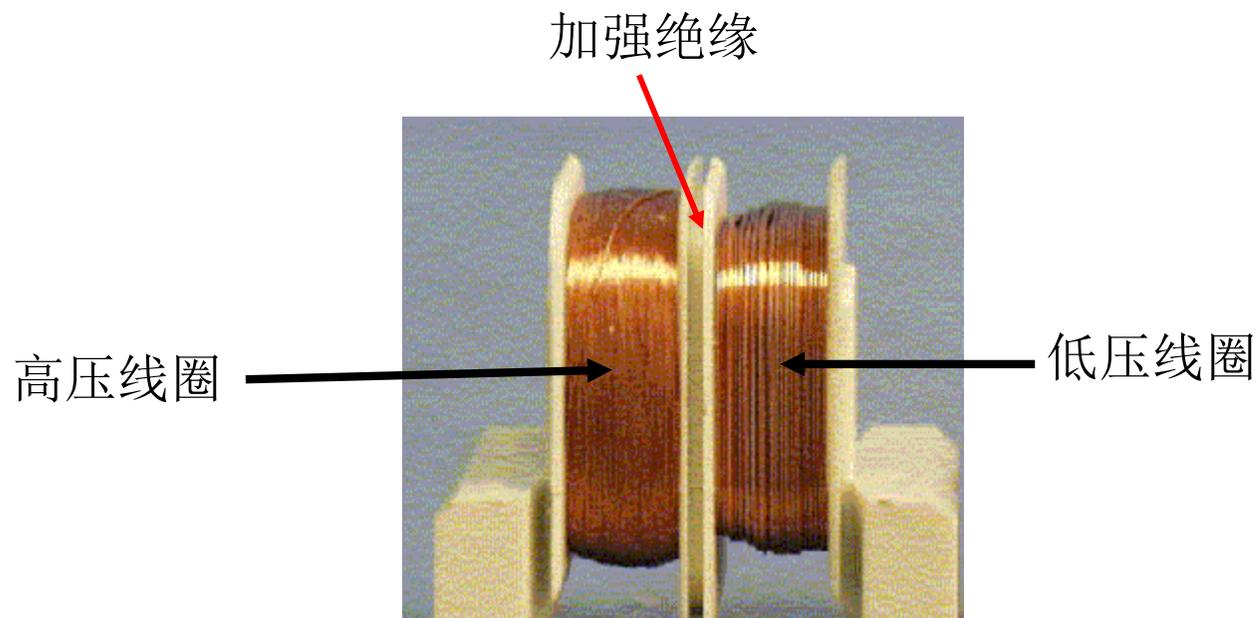
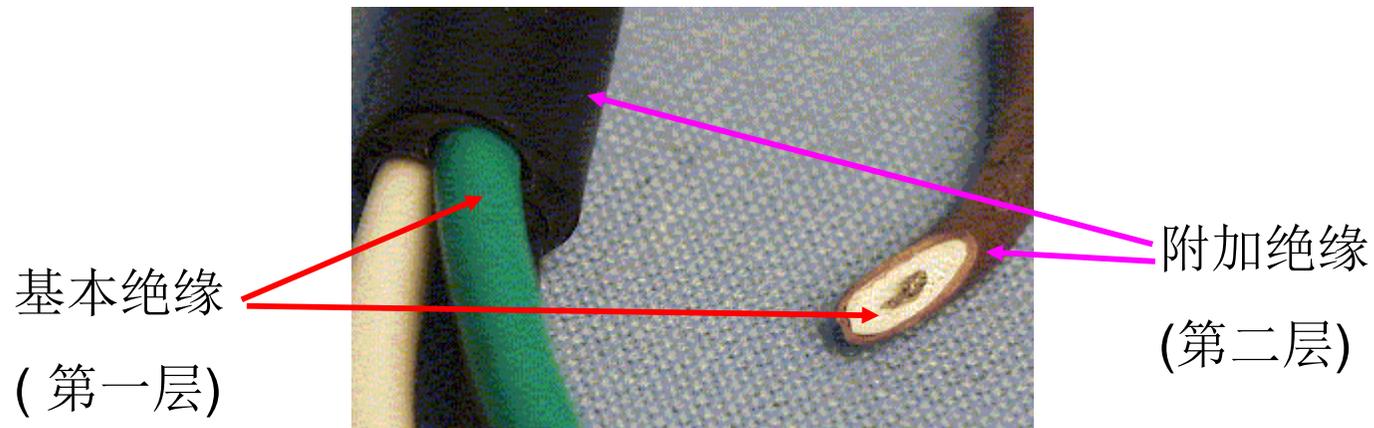
当基本绝缘失效时为防止触电而提供保护的独立的绝缘

## **双重绝缘**

由基本绝缘和附加绝缘组成的绝缘

## **加强绝缘**

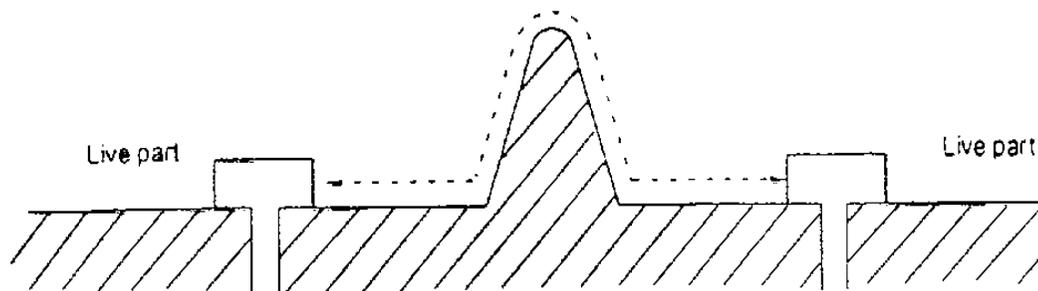
加在带电部件上的一种单一绝缘系统，它提供相当于双重绝缘的防触电保护等级



# 实现绝缘的方式（距离方式）

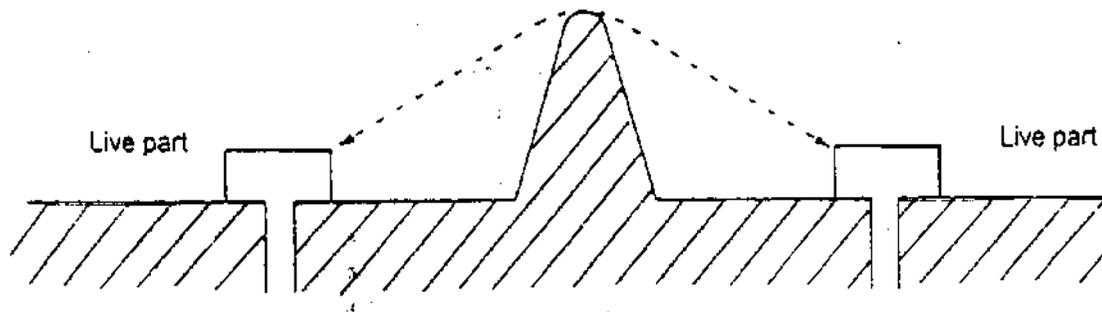
## 爬电距离 (Clearance)

带电部件之间或带电部件与可接触表面之间沿绝缘体表面的最短距离



## 空间间隙 (Creepage)

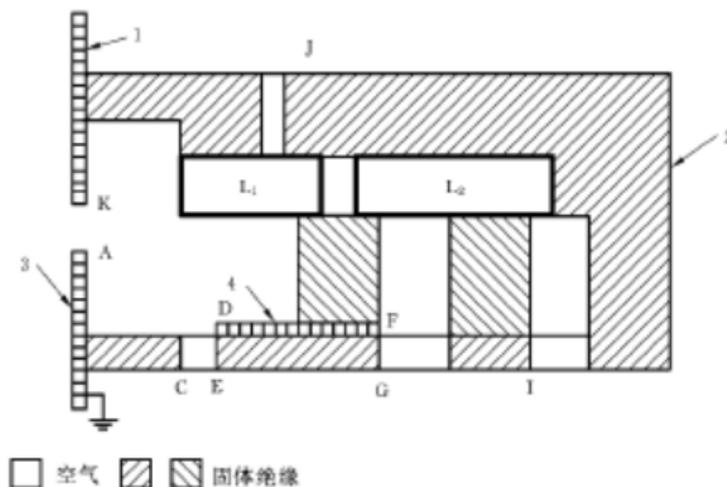
带电部件之间或带电部件与可接触表面之间的最短距离



**Note:** 电气间隙小于或是等于爬电距离。

## 固体绝缘 (solid insulation)

1. 通过材料厚度来保证绝缘可靠性  
例如：外壳，灯罩，套管
  
2. 通过材料层数来保证绝缘的可靠性  
例如：PTC的薄膜绝缘胶纸，套管



## 关键词

- 1: 未接地的可触及金属部件;
- 2: 外壳;
- 3: 已接地的可触及金属部件;
- 4: 未接地的不可触及金属部件。

带电部件  $L_1$  和  $L_2$  彼此分开, 并且部分带电体被一有孔的塑料外壳包围, 部分被空气包围, 并接触到固体绝缘。在该结构中还带有一片不可触及的金属片。有两个金属盖子, 其中一个接地。

绝缘类型	电气间隙
基本绝缘	$L_1A$
	$L_1D$
	$L_2F$
功能绝缘	$L_1L_2$
附加绝缘	DE
	FG
加强绝缘	$L_1K$
	$L_1J$
	$L_2I$
	$L_1C$

注: 如果  $L_1D$  或  $L_2F$  的电气间隙满足对加强绝缘的电气间隙的要求, 可不测量附加绝缘 DE 或 FG 的电气间隙。

图 11 电气间隙的示例

表 15 额定脉冲电压

额定电压/V	额定脉冲电压/V		
	过电压类别 I	过电压类别 II	过电压类别 III
≤50	330	500	800
>50 且 ≤150	800	1 500	2 500
>150 且 ≤300	1 500	2 500	4 000

注 1: 对于多相器具,以相线对中性线或相线对地线的电压作为额定电压。  
注 2: 这些值是基于器具不会产生高于所规定的过电压的假设。如果产生更高的过电压,电气间隙必须相应增加。

表 16 最小电气间隙

额定脉冲电压/V	最小电气间隙 <sup>a</sup> /mm
330	0.5 <sup>b,c</sup>
500	0.5 <sup>b,c</sup>
800	0.5 <sup>b,c</sup>
1 500	0.5 <sup>c</sup>
2 500	1.5
4 000	3.0
6 000	5.5
8 000	8.0
10 000	11.0

a 规定值仅适用于空气中电气间隙。  
b 出于实际操作的情况,不采用 GB/T 16935.1(idt IEC 60664-1)中规定的更小电气间隙,例如批量产品的公差。  
c 污染等级为 3 时,该值增加到 0.8 mm。

•基本绝缘、附加绝缘,及功能绝缘的最小电气间隙要求

•加强绝缘的最小电气间隙要求

•备注: 如果结构中距离受磨损,变形,部件运动或装配影响是,则额定脉冲电压为1500V或者更高时所对应的**电气间隙要增加0.5mm**

- **污染等级1:**  
适用于被密封或能隔绝灰尘和潮气的元器件和组件
- **污染等级2:**  
一般适用于大多数场合使用的设备。
- **污染等级3:**  
适用于设备的局部环境受导电物污染的地方，或受干的非导电物污染的地方，这种干的污染物在达到所预料的凝露情况下可能会导电。

表 17 基本绝缘的最小爬电距离

工作电压/V	爬电距离/mm						
	污染等级 1	污染等级 2			污染等级 3		
		材料组			材料组		
		I	II	III a/ III b	I	II	III a/ III b
≤50	0.2	0.6	0.9	1.2	1.5	1.7	1.9 <sup>a</sup>
>50且≤125	0.3	0.8	1.1	1.5	1.9	2.1	2.4
>125且≤250	0.6	1.3	1.8	2.5	3.2	3.6	4.0
>250且≤400	1.0	2.0	2.8	4.0	5.0	5.6	6.3
>400且≤500	1.3	2.5	3.6	5.0	6.3	7.1	8.0
>500且≤800	1.8	3.2	4.5	6.3	8.0	9.0	10.0
>800且≤1 000	2.4	4.0	5.6	8.0	10.0	11.0	12.5
>1 000且≤1 250	3.2	5.0	7.1	10.0	12.5	14.0	16.0
>1 250且≤1 600	4.2	6.3	9.0	12.5	16.0	18.0	20.0
>1 600且≤2 000	5.6	8.0	11.0	16.0	20.0	22.0	25.0
>2 000且≤2 500	7.5	10.0	14.0	20.0	25.0	28.0	32.0
>2 500且≤3 200	10.0	12.5	18.0	25.0	32.0	36.0	40.0
>3 200且≤4 000	12.5	16.0	22.0	32.0	40.0	45.0	50.0
>4 000且≤5 000	16.0	20.0	28.0	40.0	50.0	56.0	63.0
>5 000且≤6 300	20.0	25.0	36.0	50.0	63.0	71.0	80.0

注 2: 对于不会发生漏电起痕的玻璃、陶瓷和其他无机绝缘材料,爬电距离不必大于相应的电气间隙。  
注 3: 除了隔离变压器的次级电路,工作电压不认为小于器具的额定电压。

<sup>a</sup> 如果工作电压不超过 50 V,允许使用材料组 III b。

•右图中的数据为最小的基本绝缘爬电距离

•附加绝缘的最小的爬电距离要求等于基本绝缘

•加强绝缘的最小的爬电距离要求等于2倍的基本绝缘

•备注2, 不适用于附加绝缘和加强绝缘

- 材料组 I:  $600 \leq CTI$ ;
- 材料组 II:  $400 \leq CTI < 600$ ;
- 材料组 III a:  $175 \leq CTI < 400$ ;
- 材料组 III b:  $100 \leq CTI < 175$ ;

这些 CTI 值根据 IEC 60112 使用溶液 A 得到。如果不知道材料的 CTI 值,按附录 N 在规定的 CTI 值进行耐漏电起痕指数(PTD)试验,以确定材料组。

表 18 功能性绝缘的最小爬电距离

工作电压/V	爬电距离/mm						
	污染等级 1	污染等级 2			污染等级 3		
		材料组			材料组		
		I	II	III a/ III b	I	II	III a/ III b
≤50	0.2	0.6	0.8	1.1	1.4	1.6	1.8 <sup>a</sup>
>50且≤125	0.3	0.7	1.0	1.4	1.8	2.0	2.2
>125且≤250	0.4	1.0	1.4	2.0	2.5	2.8	3.2
>250且≤400 <sup>b</sup>	0.8	1.6	2.2	3.2	4.0	4.5	5.0
>400且≤500	1.0	2.0	2.8	4.0	5.0	5.6	6.3
>500且≤800	1.8	3.2	4.5	6.3	8.0	9.0	10.0
>800且≤1 000	2.4	4.0	5.6	8.0	10.0	11.0	12.5
>1 000且≤1 250	3.2	5.0	7.1	10.0	12.5	14.0	16.0
>1 250且≤1 600	4.2	6.3	9.0	12.5	16.0	18.0	20.0
>1 600且≤2 000	5.6	8.0	11.0	16.0	20.0	22.0	25.0
>2 000且≤2 500	7.5	10.0	14.0	20.0	25.0	28.0	32.0
>2 500且≤3 200	10.0	12.5	18.0	25.0	32.0	36.0	40.0
>3 200且≤4 000	12.5	16.0	22.0	32.0	40.0	45.0	50.0
>4 000且≤5 000	16.0	20.0	28.0	40.0	50.0	56.0	63.0

注 1: 对于工作电压小于 250 V 且污染等级 1 和 2 的 PTC 电热元件, PTC 材料表面上的爬电距离不必大于相应的电气间隙, 但其端子间的爬电距离按本规定。

注 2: 对于不会发生漏电起痕的玻璃、陶瓷和其他无机绝缘材料, 爬电距离不必大于相应的电气间隙。

<sup>a</sup> 如果工作电压不超过 50 V, 允许使用材料组 III b。

——材料组 I:  $600 \leq \text{CTI}$ ;

——材料组 II:  $400 \leq \text{CTI} < 600$ ;

——材料组 III a:  $175 \leq \text{CTI} < 400$ ;

——材料组 III b:  $100 \leq \text{CTI} < 175$ ;

这些 CTI 值根据 IEC 60112 使用溶液 A 得到。如果不知道材料的 CTI 值, 按附录 N 在规定的 CTI 值进行耐漏电起痕指数 (PTD) 试验, 以确定材料组。

通过测量和视检确定其是否合格。

在装配时可拧紧到不同位置的部件,如六角螺母之类,和可活动部件要被置于最不利的位置上。

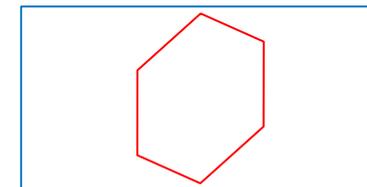
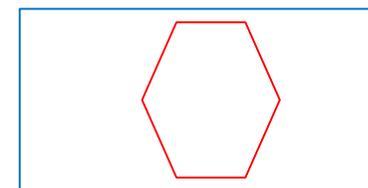
除电热元件的裸露导线外,测量时施加一个作用力于裸露导线和易触及表面以尽量减少电气间隙。

该作用力数值如下:

——对裸露导线,为 2 N。

——对易触及表面,为 30 N。

该力通过 IEC 61032 的 B 型试验探棒施加。窄孔假定为被金属平板盖住。



## 6.2 电气间隙和爬电距离的测量

下列举例中的尺寸  $X$  是根据相应的污染等级规定的最小值。

污 染 等 级	尺寸 $X$ 的最小值
1	0,25 mm
2	1,0 mm
3	1,5 mm

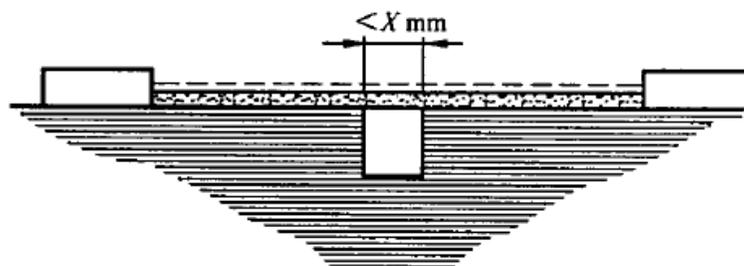
如果有关的电气间隙小于 3 mm, 则尺寸  $X$  的最小值可减小至该电气间隙的 1/3。

测量爬电距离和电气间隙的方法示于以下例 1~例 11 中, 这些举例对在气隙和槽之间或在各种绝缘型式之间没有区别。

可作以下假定:

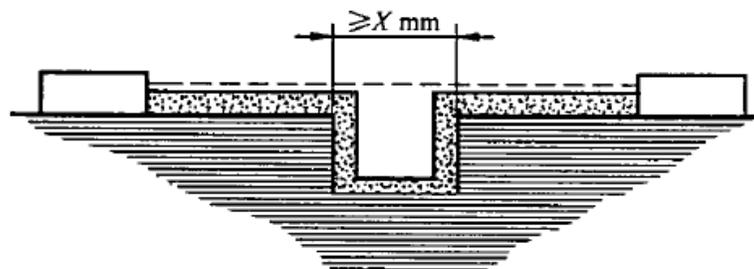
- 假定任意凹槽被长度等于规定宽度为  $X$  的绝缘接线在最不利的位置下桥接(见例 3);
- 当横跨槽的顶部的距离为  $X$  或更大时, 沿着槽的轮廓测量爬电距离(见例 2);
- 假定相对运动的部件处于最不利的位置时, 测定它们之间的爬电距离和电气间隙。

## 例 1



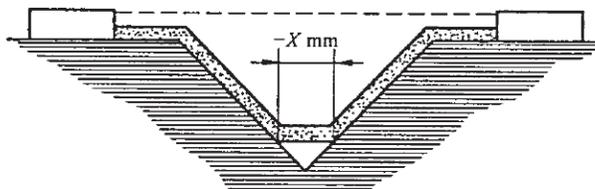
条件：所考虑的路径包括宽度小于  $X$  mm 而深度为任意的平行边或收敛形边的槽。  
规则：爬电距离和电气间隙如图所示，直接跨过槽测量。

## 例 2



条件：所考虑的路径包括任意深度而宽度等于或大于  $X$  mm 的平行边的槽。  
规则：电气间隙是“虚线”距离，爬电路径沿着槽的轮廓。

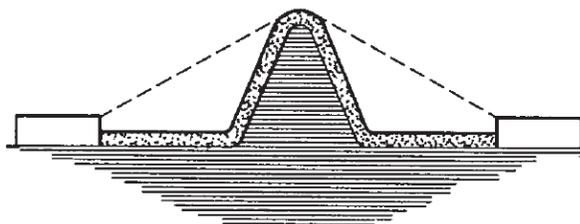
## 例 3



条件:所考虑的路径包括一个宽度大于  $X$  mm 的 V 形槽。

规则:电气间隙是“虚线”的距离,爬电路径沿着槽的轮廓但被  $X$  mm 接线把槽底“短路”。

## 例 4



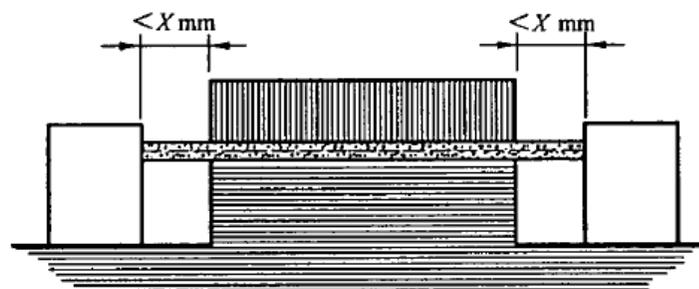
条件:所考虑的路径包括一条筋。

规则:电气间隙是通过筋顶的最短直接空气途径。爬电路径沿着筋的轮廓。

----- 电气间隙

 爬电距离

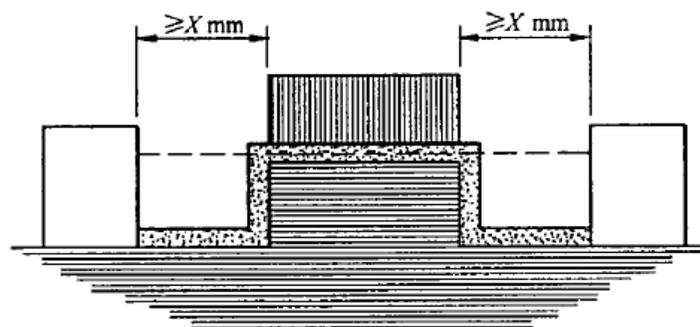
## 例 5



条件: 所考虑的路径包括一未黏合的接缝以及每边的宽度小于  $X$  mm 的槽。

规则: 爬电距离和电气间隙的路径是所示的“虚线”距离。

## 例 6

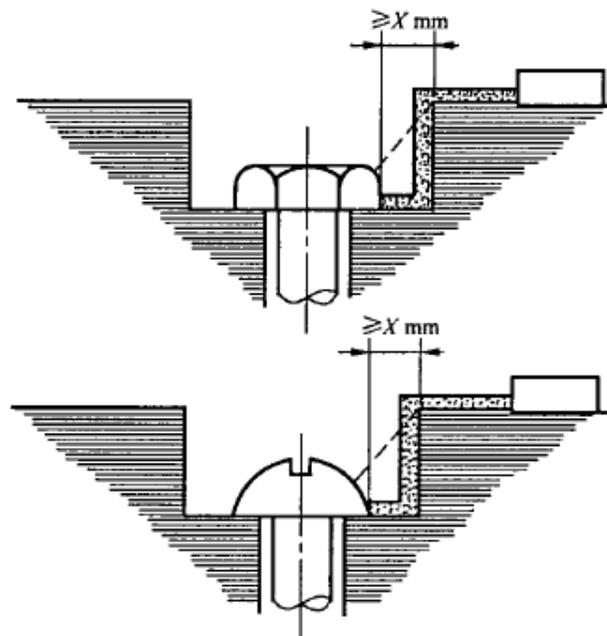


条件: 所考虑的路径包括一未黏合的接缝以及每边的宽度等于或大于  $X$  mm 的槽。

规则: 电气间隙为“虚线”距离, 爬电路径沿着槽的轮廓。



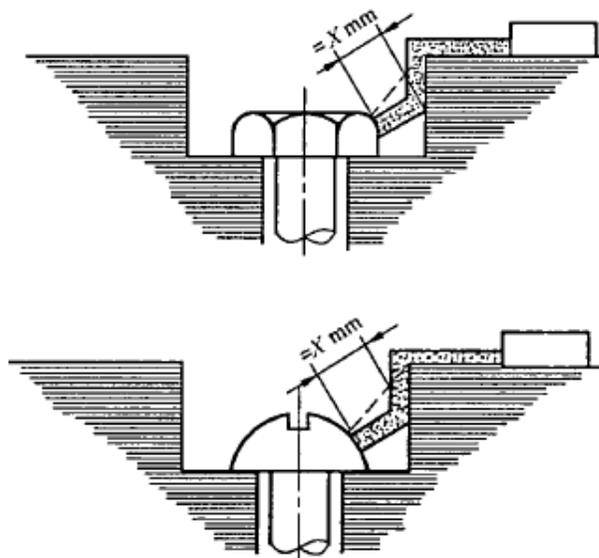
例 9



螺钉头与凹壁之间的间隙足够宽应加以考虑。

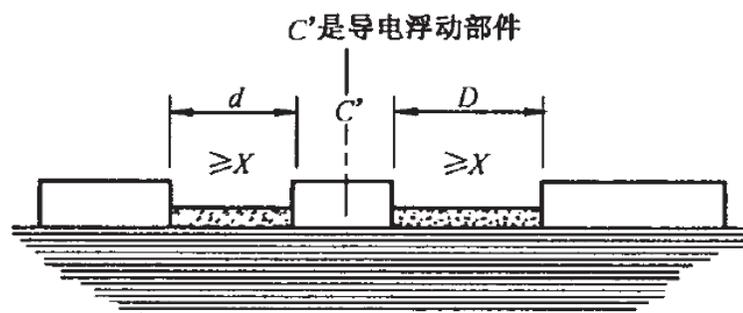
例 9

## 例 10



螺钉头与凹壁之间的间隙过分窄小而不被考虑。  
当距离等于  $X \text{ mm}$  时,测量从螺钉至壁的爬电距离。

## 例 11



电气间隙是距离  $d+D$

爬电距离也是  $d+D$

----- 电气间隙

 爬电距离

## 通过致密的无缝隙裂纹的固体绝缘材料对带电体进行防护

固体绝缘材料做为**基本绝缘**，没有厚度要求，只需要进行**1250V**的耐压测试

备注：单层内部线只可以作为基本绝缘，并且要求通过**15min**的**2000V**耐压测试

固体绝缘材料做为**附加绝缘**：

1. 厚度满足 **1mm**的要求，或者
2. 如果是薄膜材料，至少两层包裹，并且每层进行 **1750V**的耐压测试

备注：云母或者鳞片状结构的材料，不可以作为附加绝缘（除了**60335-2-45**的产品）

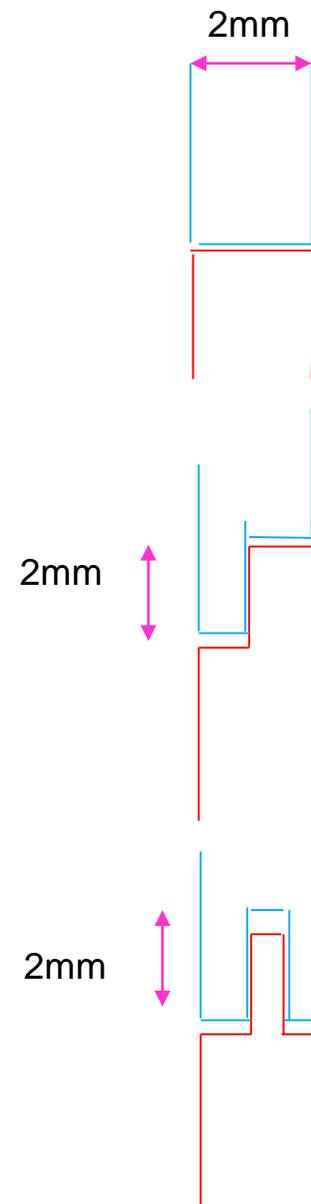
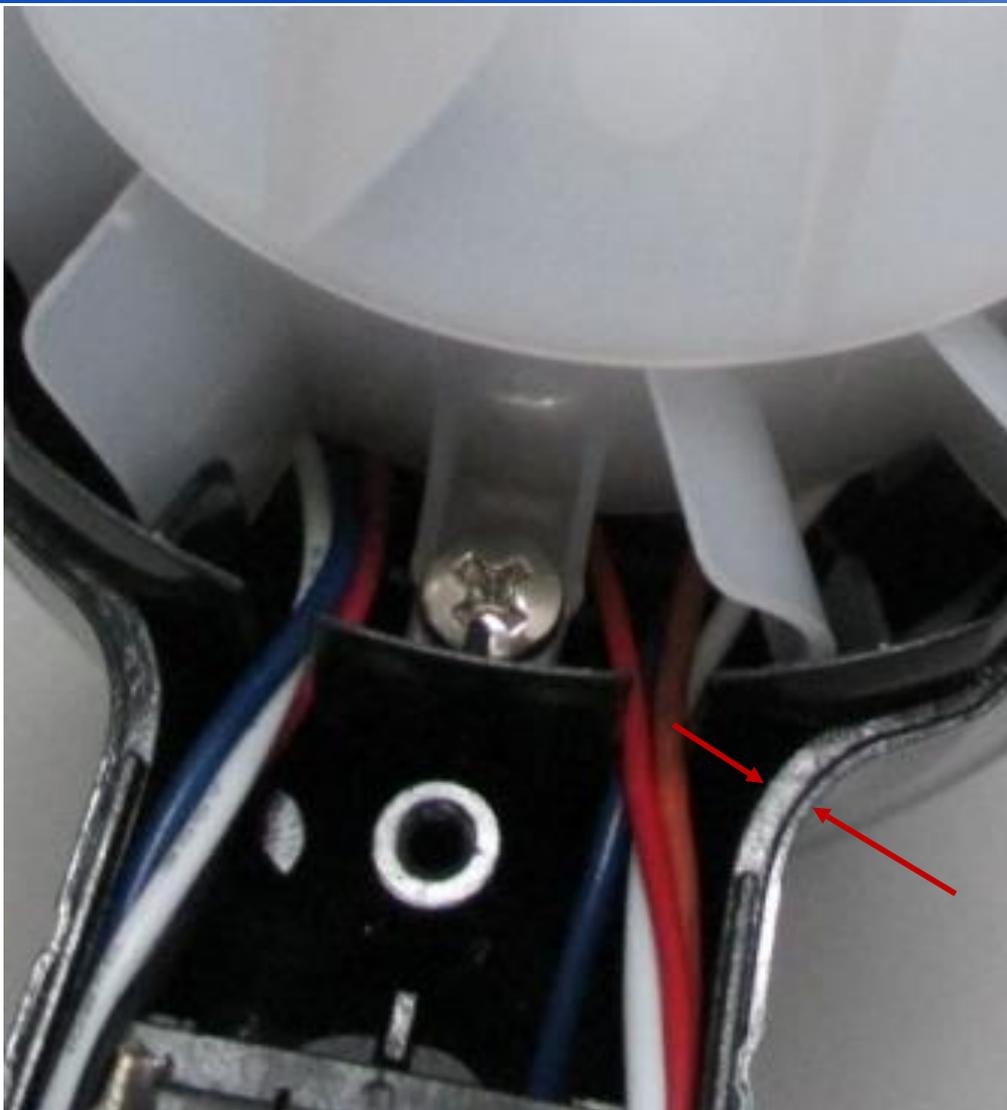
固体绝缘材料做为**加强绝缘**:

1. 厚度满足 2mm的要求, 或者
2. 如果是薄膜材料, 至少三层包裹, 并且每层进行 1750V的耐压测试

备注: 云母或者鳞片状结构的材料, 不可以作为加强绝缘 (除了 60335-2-45的产品)

再满足以下情况下固体绝缘材料做为**附加绝缘**或者**加强绝缘**厚度可以减小:

1. 通过IEC 60068-2-2的干热测试, 48h, 测试温度为cl19章中的最高温度 +50度, 同时
2. 进行耐压测试, 热态和冷态都需要进行耐压测试

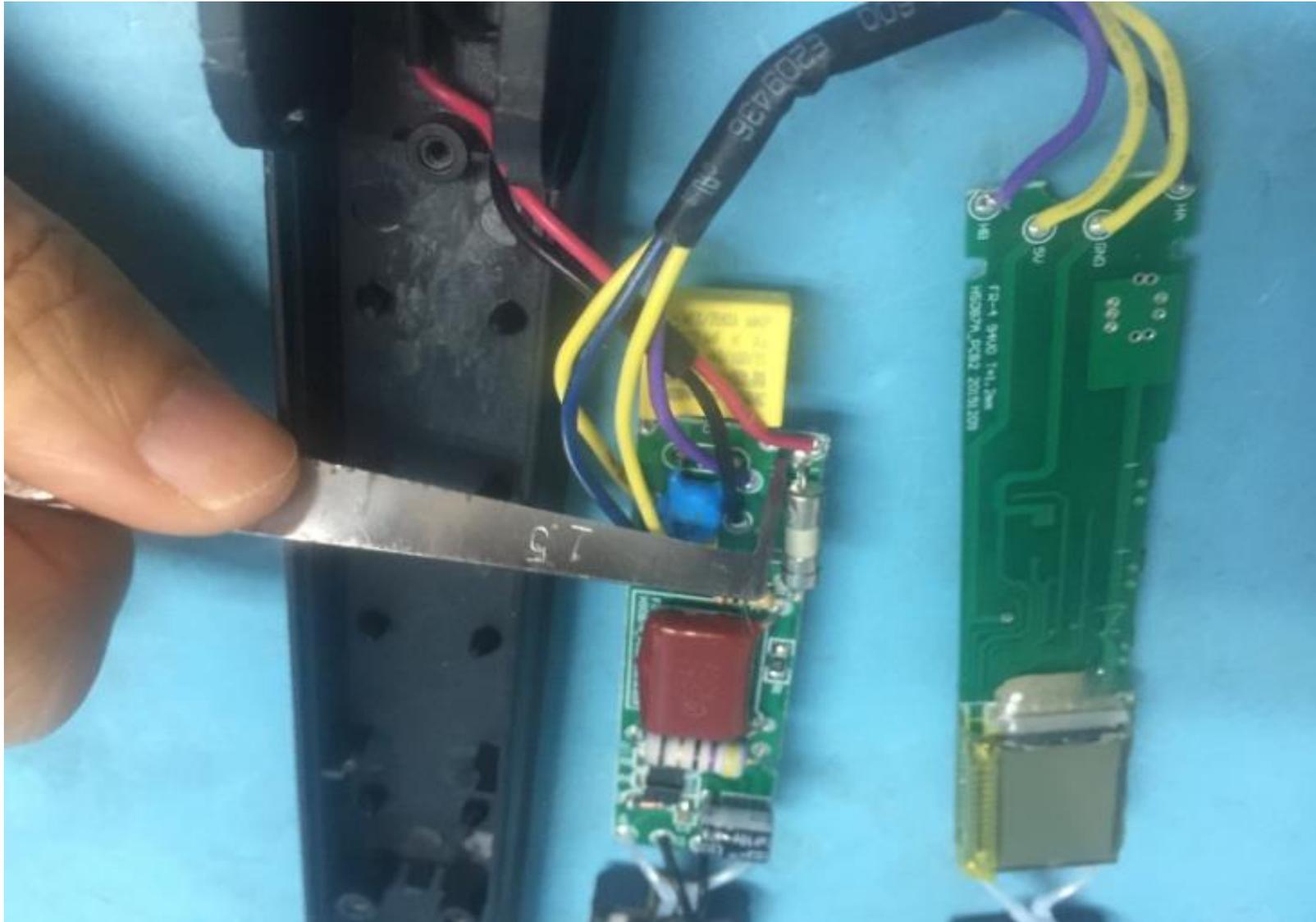


材料厚度 2mm  
Cr. 2mm  
Cl. 2mm

材料厚度 2mm  
凸起高度 2mm  
Cr. 4mm  
Cl. 4mm

材料厚度 2mm  
凸起高度 2mm  
Cr. ? mm  
Cl. ? mm













- 功能地 (Functional Earthing):  
设备上不是为了安全作用的接地点
- 保护地端子 (Protective Earthing) :  
用于连接到建筑物接地桩的端子
- 保护搭接 (Protective Bonding):  
与保护地通路相联接, 实现安全保护地功能
- 接触电流 (Touch Current):  
流经人体的电流

## 接地和连接保护措施

### 绝缘的颜色

随设备一起提供的电源线中的保护接地导体的绝缘应是黄绿双色。

### 保护接地导体和保护连接导体中的元器件

保护接地导体和保护连接导体中不应串接开关或过流保护装置。

### 耐腐蚀

保护接地端子和连接端接触的导电零部件，在随设备提供的说明书中所规定的工作、贮存或运输环境条件下不应由于电化学作用而受到明显腐蚀，耐腐蚀性可通过适当的电镀或涂覆处理来实现。

- 机械外壳：减小机械伤害和物理伤害的外壳
- 防火外壳：防止火焰蔓延的外壳
- 电气外壳：限制接触危险电压或者危险能量的外壳
- 装饰件：设备外壳的一个器件，不起安全作用

## 设备分类：按可移动性

- 可移动式设备(Movable Equipment):  
→ 不超过18kg, 不固定或者有轮子便于移动
- 可运送式设备(Transportable Equipment):  
→ 由使用者携带使用的可移动式设备, 如手提电脑
- 手持式设备(Hand-Held Equipment):  
→ 可移动设备, 手持使用。如电吹风
- 固定式设备(Stationary Equipment): → 使用时, 不可移动
- 嵌入式设备(Building-in Equipment): 如内置电源
- 直插式设备(Direct Plug-in Equipment): 如直插式适配器

# 几种安规电路

- 交流电网电源(AC Mains Supply):  
→给设备供电的外部交流供电系统
- 一次电路(Primary Circuit):  
→直接和交流电网电源相连的电路
- 二次电路(Secondary Circuit):  
→不与一次电路直接连接, 而是通过隔离装置或电池供电的电路
- 安全隔离低电压电路(SELV)  
→做了适当的设计和保护的二次电路, 使得在正常条件或单一故障条件下, 其输出电压小于42.4Vac和42.4Vdc, 且通过双重绝缘或加强绝缘与电网电源隔离
- 保护阻抗限流电路  
→做了适当的设计和保护的电路, 使得在正常条件或单一故障条件下, 从该电路流出的电流值是非危险的电流值

## 材料可燃性

材料的可燃性分级 flammability classification of materials

防火材料等级有如下几个等级：5V，V-0，V-1，V-2，HB

它们的防火性能比较：5V级优于V-0级

V-0级优于V-1级，

V-1级优于V-2级，

V-2级优于HB级

备注：以上提到的防火不是基于UL 94的要求，而是基于IEC 60695-11-10的要求，

<https://iq.ulprospector.com/en/profile?e=123047>

# Thank You!



Contact: Jeff Ji

E-mail: [jeff.ji@tuv-sud.cn](mailto:jeff.ji@tuv-sud.cn)

Tel: 020-3815 3363

# QUESTION TIME

