

【文章编号】 1004-1540(2007)01-0083-05

电子产品检测中电气间隙和爬电距离的确定

郑虹¹, 张健²

(1. 杭州市质量技术监督检测院, 浙江 杭州 310004; 2. 福建省中心检验所, 福建 福州 350002)

【摘要】 不同的安全标准对电气间隙和爬电距离有不同要求, 其限值的求法和结果不尽相同. 今以一开关电源电路为例, 介绍在不同标准下如何根据工作电压情况对最小电气间隙和爬电距离值进行确定.

【关键词】 电气间隙; 爬电距离; 功能绝缘; 基本绝缘; 加强绝缘

【中图分类号】 TM930.12

【文献标识码】 A

Determination of the minimum clearance and minimum creepage distance for electronic equipment in safety examinations

ZHENG Hong¹, ZHANG Jian²

(1. Hangzhou Institute of Calibration and Testing for Quality and Technical Supervision, Hangzhou 310004, China;
2. Fujian Provincial Central Inspection Institute, Fuzhou 350002, China)

Abstract: Different safety standards have different requirements for the clearance and creepage distance of the limits of different calculation methods and results. In this paper, a switch power circuit is given as an example to introduce how to confirm the minimum clearance and creepage distance with working voltage on different safety standards.

Key words: clearance; creepage distance; functional insulation; basic insulation; reinforced insulation

对于各种通过电网供电的电子产品, 首要电气安全性能是防止使用过程中产生触电, 为此世界各国均制定了详细的安全标准并强制实行. 其中重要的也是最基本的两项要求是电气间隙和爬电距离, 分别考核的是对跨接于绝缘上的瞬态过电压或重复峰值电压的防范能力和绝缘在给定的工作电压和污染等级下的耐受能力. 尽管各标准中都详细规定了电气间隙和爬电距离的具体要求, 但检测合格的标准却不尽相同. 因而在检测过

程中, 被测试样品是否符合要求应根据具体标准区别对待.

本文以一开关电源电路为例, 介绍在不同标准下如何根据工作电压情况对最小电气间隙和爬电距离值进行确定.

1 最小电气间隙和爬电距离的确定

1.1 样品基本参数及工作条件

被测样品为某型号的开关电源电路, II类结构.

【收稿日期】 2006-09-08

【作者简介】 郑虹(1969-), 女, 浙江杭州人, 高级工程师. 主要从事家电及电子产品的检测与研究.

(1)规格参数

输入电压:100~240 V_{AC};

污染等级:2;

过电压类别:II;

材料组:III a 或 III b;

(2)样品工作条件通过实际测量获得.分一次电路侧工作电压及一次电路侧和二次电路侧之间最大工作电压.

a. 开关电源 L-N(熔断器之前)之间测得工作电压为: $340 V_{\text{peak}}/240 V_{\text{r.m.s}}$;

b. 开关电源变压器初级与次级任意两点间测得最大工作电压为: $625 V_{\text{peak}}/269 V_{\text{r.m.s}}$.

1.2 最小电气间隙的确定

电气间隙指在两个导电零部件之间或导电零部件与设备界面之间测得的最短空间距离.

根据 GB 4943-2001(eqvIEC 60950:1999)^[1],被测样品 L-N(熔断器之前)之间的绝缘为一次电路的绝缘,属功能绝缘,且 L-N 之间的工作电压为 $340 V_{\text{peak}}/240 V_{\text{r.m.s}}$,小于或等于工作电压的峰值,因此应参照 GB 4943-2001(eqvIEC 60950:1999)中给定的表 2H(如本文中表 1 所示),选取“ $420 V_{\text{peak}}/300 V_{\text{r.m.s}}$ ”行,在“额定电源电压>150 V~≤300 V(瞬态电压 2 500 V),污染等级 2”列中,查得其对应功能绝缘的最小电气间隙应为 1.5 mm.

表 1 GB 4943-2001(eqvIEC 60950:1999)^[1]中给出的表 2H

工作电压小于和等于		额定电源电压≤150 V (瞬态电压值 1 500 V)						额定电源电压>150 V~<300 V (瞬态电压值 2 500 V)						额定电源电压 >300 V~≤600 V (瞬态电压值 400 V)		
V(峰值或 V(有效值) 直流值) (正弦)		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	1.0 (0.5)	2.0 (1.0)	0.8	1.3 (0.8)	2.6 (1.6)	1.0	2.0 (1.5)	4.0 (3.0)	1.3	2.0 (1.5)	4.0 (3.0)	2.0	3.2 (3.0)	6.4 (6.0)
210	150	0.5	1.0 (0.5)	2.0 (1.0)	0.8	1.3 (0.8)	2.6 (1.6)	1.4	2.0 (1.5)	4.0 (3.0)	1.5	2.0 (1.5)	4.0 (3.0)	2.0	3.2 (3.0)	6.4 (6.0)
420	300		F1.5,B/S2.0(1.5)			R4.0(3.0)								2.5	3.2 (3.0)	5.4 (6.0)
840	600		F3.0,B/S3.2(3.0)			R6.4(6.0)										
1 400	1 000		F/B/S4.2			R6.4										
2 800	2 000		F/B/S/R			8.4										
7 000	5 000		F/B/S/R			17.5										
9 800	7 000		F/B/S/R			25										
14 000	10 000		F/B/S/R			37										
28 000	20 000		F/B/S/R			80										
42 000	30 000		F/B/S/R			130										

(1) 表中的数值适用于功能绝缘(F),其中绝缘(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,特别应指出,对双重绝缘或加强绝缘,应承受例行的抗电强度试验.

(3) 对在 2800 V 和 4200 V 峰值和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.

对于变压器初次级之间的最小电气间隙,标准规定变压器初级与次级之间的绝缘属于加强绝缘,又由于变压器初级与次级之间的工作电压为 $625 V_{\text{peak}}/269 V_{\text{r.m.s}}$,其峰值超过额定电源电压峰值(存在谐振电压),因此其最小电气间隙应为表 2H 中绝缘工作电压等于额定电源电压对

应的最小电气间隙加上表 2J(表 2)中适用的附加电气间隙.根据表 1 中 2H 及表 2 中 2J,对应加强绝缘的最小电气间隙为 4.0 mm,在 $625 V_{\text{peak}}$ 峰值工作电压下,相应的加强绝缘的附加电气间隙为 0.6 mm,因此变压器初级与次级间最小电气间隙应为 $4.0+0.6=4.6$ mm.

表 2 GB 4943—2001 (eqvIEC 60950:1999)^[1]

中给出的表 2J

额定电源电压 ≤150 V		额定电源电压 >150 V~ ≤300 V		附加的间隙 mm	
污染等级 1 和 2	污染等级 3	污染等级 1, 2 和 3	功能绝 缘,基本 绝缘或附 加绝缘	加强 绝缘	
最大的峰值 工作电压, V	最大的峰值 工作电压, V	最大的峰值 工作电压, V			
210(210)	210(210)	420(420)	0	0	
298(288)	294(293)	493(497)	0.1	0.2	
368(366)	379(376)	567(575)	0.2	0.4	
474(444)	463(459)	640(652)	0.3	0.6	
562(522)	547(541)	713(729)	0.4	0.8	
650(600)	632(624)	787(807)	0.5	1.0	
738(678)	715(707)	860(884)	0.6	1.2	
826(756)	800(790)	933(961)	0.7	1.4	
914(839)		1006(1039)	0.8	1.6	
1002(912)		1080(1116)	0.9	1.8	
1090(990)		1153(1193)	1.0	2.0	
		1226(1271)	1.1	2.2	
		1300(1348)	1.2	2.4	
		—(1425)	1.3	2.6	

在下列情况下,应使用括号中的数值:

- 当表 2H 的括号中的数值按照表 2H 的注 2) 使用时;和
- 对于功能绝缘

IEC 60950-1:2001^[2] 中关于电气间隙的要求 IEC 60950:1999 相同,所以最小电气间隙的计

算结果与 GB 4943-2001 (eqvIEC 60950:1999)^[1] 相同而在 GB 8898-2001 (eqvIEC 60065:1998)^[3] 中,最小电气间隙的表示方法与 GB 4943-2001 (eqvIEC 60950:1999)^[1] 和 IEC 60950-1:2001^[2] 不同,采用了图 1 的曲线表示方法. 根据该图中曲线 A(基本或附加绝缘)可查得被检测样品 L-N 之间的电气间隙为 3.0 mm. 而对于变压器初级与次级之间,根据该图中曲线 B(加强绝缘)可查得被检测样品变压器初级与次级之间的电气间隙为 6.0 mm.

在 IEC 60065:2001^[4] 中,电子产品 L-N 之间的绝缘为与电网电源导电连接部件之间的绝缘,按基本绝缘要求. 对本文列举的被测样品,其 L-N(熔断器之前)之间的工作电压为 340 V_{peak}/240 V_{r.m.s}, 小于或等于工作电压的峰值,因此应符合表 3 中的表 8, 在表中选取“420 V_{peak}/300 V_{r.m.s}”行,“额定电源电压>150 V~≤300 V(瞬态电压 2500 V),污染等级 2”列,查得其对应基本绝缘的最小电气间隙为 2.0 mm. 在 IEC 60065:2001 标准中,对变压器初级与次级之间最小电气间隙的要求与 GB 4943-2001 (eqvIEC 60950:1999)的要求基本相同,见表 3、表 4, 因此可参照 GB 4943-2001 (eqvIEC 60690:1999)方法,计算出其最小电气间隙为 4.6 mm.

表 3 IEC 60065:2001^[4] 中给出的表 8 一次电路与二次电路之间绝缘的最小电气间隙

mm

工作电压小于和等于		额定电源电压≤150 V (瞬态电压值 1500 V)				额定电源电压>150 V≤300 V (瞬态电压值 2500 V)		额定电源电压>300 V≤600 V (瞬态电压值 4000 V)	
V(峰值或 直流值)	V(有效值) (正弦)	污染等级 1 和 2		污染等级 3		污染等级 1, 2 和 3		污染等级 1, 2 和 3	
		B/S	R	B/S	R	B/S	R	B/S	R
210	150	1.0(0.5)	2.0(1.0)	1.3(0.8)	2.6(1.6)	2.0(1.5)	4.0(3.0)	3.2(3.0)	6.4(6.0)
420	300			B/S 2.0(1.5)	R4.0(3.0)			3.2(3.0)	6.4(6.0)
840	600			B/S 3.2(3.0)	R6.4(6.0)				
1400	1000			B/S 4.2	R6.4				
2800	2000			B/S/R	8.4				
7000	5000			B/S/R	17.5				
9800	7000			B/S/R	25				
14000	10000			B/S/R	37				
28000	20000			B/S/R	80				
42000	30000			B/S/R	130				

注:(1) 表中的数值适用于: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附录 M 示例的可靠等级时,括号中的数值适用于基本绝缘\附加绝缘和加强绝缘,特别指出,对双重绝缘或加强绝缘,应承受例行的抗电强度试验.

(3) 对在 420 V 峰值或直流值和 42000 V 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 0.1 mm.

(4) 关于如何确定污染等级,见 13.1 条款.

表4 IEC 60065:2001^[4]中给出的表9 峰值电压超过电源电压峰值的一次电路以及一次电路与二次电路之间绝缘的附加间隙 mm

额定电源电压 ≤150 V		额定电源电压 >150 V≤ 300V	附加的间隙 mm	
污染等级 1和2	污染等级3	污染等级 1,2和3	基本绝缘 或附加 绝缘	加强 绝缘
最大的峰值 工作电压 V	最大的峰值 工作电压 V	最大的峰值 工作电压 V		
210(210)	210(210)	420(420)	0	0
298(288)	294(293)	493(497)	0.1	0.2
386(366)	379(376)	567(575)	0.2	0.4
474(444)	463(459)	640(652)	0.3	0.6
562(522)	547(541)	713(729)	0.4	0.8
650(600)	632(624)	787(807)	0.5	1.0
738(678)	715(707)	860(884)	0.6	1.2
826(756)	800(790)	933(961)	0.7	1.4
914(839)		1006(1039)	0.8	1.6
1002(912)		1080(1116)	0.9	1.8
1090(990)		1153(1193)	1.0	2.0
		1226(1271)	1.1	2.2
		1300(1348)	1.2	2.4
		—(1425)	1.3	2.6

注:(1) 根据表8注2中的说明,上述表中括号的数值将根据表8来确定。

(2) 上述表中小于或等于2000 V的工作电压,允许使用内插法来确定。更高的电压可参见IEC 60664-1表4。

(3) 允许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0.1 mm。

(4) 关于如何确定污染等级,见13.1条款。

1.3 最小爬电距离的确定

爬电距离指沿绝缘表面测得的两个导电零部件之间或导电零部件与设备防护界面之间的最短路径。

根据GB 4943-2001(eqvIEC 60950:1999)^[1]要求,被测样品L-N(熔断器之前)之间的最小爬电距离应符合表2L。因L-N(熔断器之前)之间工作电压240 V_{r.m.s}介于表2L中200 V_{r.m.s}和250 V_{r.m.s}之间,因而其最小爬电距离可用插值方法计算得出。

当采用线性插值方法时240 V_{r.m.s}功能绝缘最小爬电距离=2.0+(240-200)×(2.5-2.0)/(250-200)=2.4(mm)

在试验结果评定中,若从最大安全性的角度

出发,通常可将小于420 V_{peak}/250 V_{r.m.s}的工作电压,按420 V_{peak}及250 V_{r.m.s}的上限值要求进行处理,因此将被测样品L-N(熔断器之前)之间的最小爬电距离定为2.5 mm。

根据上述标准,变压器初级与次级间的最小爬电距离应符合表5中的2L,因工作电压269 V_{r.m.s}介于250 V_{r.m.s}和300 V_{r.m.s}之间,同样可用线性内插法计算。由表2L查出250 V_{r.m.s}和300 V_{r.m.s}(污染等级2,材料组Ⅲa或Ⅲb)对应基本绝缘的爬电距离为2.5 mm和3.2 mm,根据线性内插法,269 V_{r.m.s}基本绝缘最小爬电距离=2.5+(269-250)×(3.2-2.5)/(300-250)=2.766(mm)。

表5 GB 4943-2001(eqvIEC 60950:1999)^[1]中给出的表2L

工作电 压 V(有 效值或 直流值)	功能绝缘、基本绝缘和附加绝缘						
	污染等级1		污染等级2		污染等级3		
	材料组别		材料组别		材料组别		
	I,II,Ⅲa 或Ⅲb	I	II	Ⅲa 或Ⅲb	I	II	Ⅲa 或Ⅲb
≤50		0.6	0.9	1.2	1.5	1.7	1.9
100		0.7	1.0	1.4	1.8	2.0	2.2
125		0.8	1.1	1.5	1.9	2.1	2.4
150		0.8	1.1	1.6	2.0	2.2	2.5
200	从相应的表 中选用相应 的电气间隙	1.0	1.4	2.0	2.5	2.8	3.2
250		1.3	1.8	2.5	3.2	3.6	4.0
300		1.6	2.2	3.2	4.0	4.5	5.0
400		2.0	2.8	4.0	5.0	5.6	6.3
600		3.2	4.5	6.3	8.0	9.6	10.0
800		4.0	5.6	8.0	10.0	11.0	12.5
1000		5.0	7.1	10.0	12.5	14.0	16.0

注:允许在最接近的两点间使用线性内插法,计算的间隙值进位到小数点后1位。

因变压器初级与次级之间为加强绝缘,根据标注规定,其最小爬电距离应为2×2.766=5.532(mm),保留小数点后一位为5.6 mm。

在IEC 60950-1:2001^[2]中,与最小电气间隙的规定相似,该标准关于最小爬电距离的规定与IEC 60950:1999^[2]相同,所以爬电距离的计算过程和结果与GB 4943-2001(eqvIEC 60950:1999)一致。

在标准GB 8898-2001(eqvIEC 60065:1998)^[3]中,最小爬电距离采用了和电气间隙相同的要求。

根据被测样品的工作条件和标准中图 9(如本文中图 1 中所示),可以确定 L-N 之间在 $340 V_{peak}$ (取 $354 V_{peak}$) 工作条件下对应的最小爬电距离为 3.0 mm,变压器初级与次级之间在 $629 V_{peak}$ 工作条件下对应的最小爬电距离为 6.0 mm.

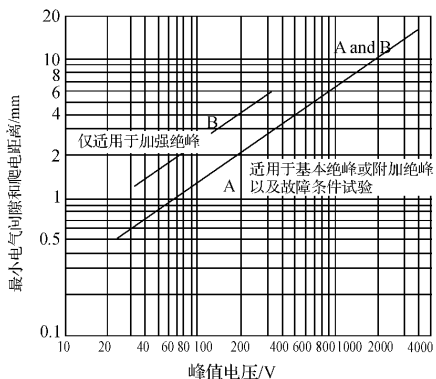


图 1 GB 8898-2001 (eqvIEC 60065:1998) 中最小电气间隙与爬电距离与峰值电压的关系图

在标准 IEC 60065:2001 中对 L-N(熔断器之前)之间和变压器初级之间最小爬电距离的要求与 GB 4943-2001 (eqvIEC 60950:1999) 中的要求基本相同,见表 6,因此可参照 GB 4943-2001 (eqvIEC 60950:1999) 的方法,计算出其最小爬电距离分别为 2.5 mm 和 5.6 mm.

表 6 IEC 60065:2001 中给出的表 11

最小爬电距离 mm

工作电压小于和等于(有效值或直流值)	功能绝缘、基本绝缘和附加绝缘						
	污染等级 1		污染等级 2		污染等级 3		
	材料组别		材料组别		材料组别		
	I, II, III a 或 III b	I	II	III a 或 III b	I	II	III a 或 III b
≤50		0.6	0.9	1.2	1.5	1.7	1.9
100		0.7	1.0	1.4	1.8	2.0	2.2
125		0.8	1.1	1.5	1.9	2.1	2.4
150		0.8	1.1	1.6	2.0	2.2	2.5
200		1.0	1.4	2.0	2.5	2.8	3.2
250	a	1.3	1.8	2.5	3.2	3.6	4.0
300		1.6	2.2	3.2	4.0	4.5	5.0
400		2.0	2.8	4.0	5.0	5.6	6.3
600		3.2	4.5	6.3	8.0	9.6	10.0
800		4.0	5.6	8.0	10.0	11.0	12.5
1000		5.0	7.1	10.0	12.5	14.0	16.0

(1) 允许在最靠近的两之间使用线性内插法,所计算的间隙

值进位到 0.1 mm.

- (2) 更高的电压可参见 IEC 60664-1 表 4.
- (3) 对于加强绝缘,最小爬电距离值是表中基本绝缘值的两倍.
- (4) 关于如何确定污染等级,见 13.1 条款.

2 结 语

综合以上各标准所得最小电气间隙和爬电距离的计算结果列入表 7 中.

表 7 各不同标准下最小电气间隙和爬电距离计算结果比较

电气间隙和爬电距离的位置:	U_{peak} /V	$U_{r.m.s}$ /V	绝缘	电气间隙要求值/mm	爬电距离要求值/mm	标准
L-N(熔断器之前)	340	240	功能绝缘	1.5	2.5	GB 4943-2001 (eqvIEC 60950:1999)
			功能绝缘	1.5	2.5	IEC 60950-1:2001
			(注 1)	3.0	3.0	GB 8898-2001 (eqvIEC 60065:1998)
			(注 2)	2.0	2.5	IEC 60065:2001
变压器初级与次级(最大)	625	269	加强绝缘	4.6	5.6	GB 4943-2001 (eqvIEC 60950:1999)
			加强绝缘	4.6	5.6	IEC 60950-1:2001
				6.0	6.0	GB 8898-2001 (eqvIEC 60065:1998)
				4.6	5.6	IEC 60065:2001

注:(1) GB 8898-2001 中未具体定义直接与电网电源连接的不同极性的零部件之间的绝缘,但规定其电气间隙和爬电距离应符合基本绝缘的要求.

(2) IEC 60065:2001 中未具体定义直接与电网电源连接的不同极性的零部件之间的绝缘,但规定其电气间隙和爬电距离应符合基本绝缘的要求.

由表 7 中可看出对于同一电路,不同标准间最小电气间隙和爬电距离的限值是不同的.其中以 GB 8898-2001 (eqvIEC 60065:1998)^[3] 要求最为苛刻,而其他几个标准大致相同.一个电子产品在电气间隙和爬电距离两项性能指标上是否达到要求,应视所参照的标准而定.因此,试验室在测试器具电气间隙和爬电距离时,必须分清设备的类别和适用标准的具体版本,先测量出器具各

部位间的工作电压的峰值和真有效值,并分析工作电压的波形,然后通过查表或用叠加法和内插法计算出最小电气间隙和爬电距离的限值,再以此为依据来判定器具各部位间电气间隙和爬电距离是否符合相应标准的要求。

【参 考 文 献】

[1] 中国电子技术标准化研究所. GB 4943—2001(eqvIEC 60950; 1999)信息技术设备的安全[S]. 北京:中国标准化出版

社,2001.

- [2] IEC TECHNICAL COMMITTEE 92. IEC 60950-1;2001, Information technology equipment-Safety-General requirements[S]. IEC,2001.
- [3] 中国电子技术标准化研究所. GB 8898-2001(eqvIEC 60065; 1998)音频、视频及类似电子设备安全要求[S]. 中国标准化出版社,2001.
- [4] IEC TECHNICAL COMMITTEE 74. IEC 60065;2001, Audio, video and similar electronic apparatus-Safety requirements[S]. IEC,2001.

我校六名教授入选省重大科技专项专家组

近日,省科技厅在杭州召开会议,宣布组建浙江省重大科技专项咨询专家组.省内外 197 位专家组成的 26 个重大科技专项专家组,将承担专家的咨询和决策任务,在浙江省重大科技专项设立与项目管理实施中发挥重要作用,进一步提高科技项目决策和管理的科学性,保障重大科技专项目标的顺利实现。

我校共有 6 位教授入选重大科技专项专家组.蒋家新教授被聘为农产品(食品)精深加工技术专项专家;陈乐教授被聘为重大机电装备专项专家;葛洪良教授被聘为纳米技术攻关及示范应用专项专家;金尚忠教授被聘为重大应用电子技术和新型电子元器件专项专家;李青教授被聘为重大自然灾害预警和应急处置技术专项专家;楼纪东教授被聘为生物制药技术专项专家。

(科技处)