



中华人民共和国国家标准

GB/T 311.6—2005/IEC 60052:2002
代替 GB/T 311.6—1983

高电压测量标准空气间隙

Voltage measurement by means of standard air gaps

(IEC 60052:2002, IDT)

杭州高电

专业高试铸典范

Professional high voltage test

高压测量仪器智造 电力试验工程服务

2005-02-06 发布

2005-12-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会

发布

目 次

前言	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 标准球间隙	1
3.1 对球电极的要求	1
3.2 测量用球间隙的一般布置	1
3.3 球间隙布置的连接线	2
4 球间隙的使用	3
4.1 球电极表面状况	3
4.2 照射	3
4.3 电压测量	3
5 表 2 和表 3 中的放电电压值	4
5.1 表 2 和表 3 中数值的准确度	4
5.2 大气密度校正因数	4
5.3 湿度校正因数	5
6 测量直流电压的标准——棒对棒间隙	9
6.1 棒对棒间隙的典型布置	9
6.2 参考电压值	9
6.3 校准方法	9
7 用标准空气间隙例行校核认可的测量系统	9
附录 A (资料性附录) 试验校准的范围	13
附录 B (资料性附录) 由一些国家标准和其他资料来源获得表 2 和表 3 放电电压值的方法	14
附录 C (资料性附录) 照射源	15
附录 D (资料性附录) 球间隙的校准和不确定度	16
参考文献	17

前 言

本标准是根据 IEC 60052:2002《高电压测量标准空气间隙》对 GB 311.6—1983《高电压试验技术 第 6 部分：测量球隙》进行修订的。本标准等同采用 IEC 60052:2002。

本标准和 GB 311.6—1983 相比，技术上作了较大改动，“范围”内增加了操作冲击电压，增加了测量直流电压的标准棒对棒间隙，大气条件校正采用的方法增加了对大气湿度的校正等。

本标准从实施之日起，代替 GB 311.6—1983。

本标准的附录 A、附录 B、附录 C、附录 D 均为资料性附录。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由全国高压试验技术和绝缘配合标委会高压试验分委会归口。

本标准起草单位：武汉高压研究所。

本标准主要起草人：万启发、雷民、王建生、钟连宏、谷莉莉、陈勇、张祥贵、高骏。

本标准 1964 年首次发布，1983 年第一次修订后编号为 GB 311.6—1983。

高电压测量标准空气间隙

1 范围

本标准规定测量电压用标准空气间隙的制造与使用,并适用于下列电压峰值的测量:

- a) 工频交流电压;
- b) 标准雷电冲击全波电压;
- c) 操作冲击电压;
- d) 直流电压。

按照本标准制作和使用的空气间隙,主要用作高压测量系统的性能检验。

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(不包括勘误的内容)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 16927.1—1997 高电压试验技术 第一部分:一般试验要求(eqv IEC 60060-1:1989)

GB/T 16927.2—1997 高电压试验技术 第二部分:测量系统(eqv IEC 60060-2:1994)

3 标准球间隙

标准球间隙是指按照本标准布置安装的一种峰值电压测量装置,两个球电极间相距最近的点称为放电点。图1和图2分别表明了两种典型的球间隙布置方式:1)垂直布置;2)水平布置。

3.1 对球电极的要求

标准球间隙包括两个直径 D 相同的金属球电极及球杆、操纵机构、绝缘支撑物以及连接到被测电压处的引线。球电极直径(以 D 表示)的标准尺寸数为:2—5—6.25—10—12.5—15—25—50—75—100—150和200 cm。两个球电极之间的距离称为球间隙距离(以 S 表示)。

球电极一般用紫铜或黄铜制造;当用铝制造时,在放电点区域(以放电点为中心直径为 $0.3D$ 的球面区域)必须用紫铜或黄铜镶嵌。球面要光滑,曲率要均匀。

通常,仅仅当球电极第一次使用时才需要合适的仪器(如球面计)检测球电极的形状和尺寸。

球电极的直径与所规定的标准之间的偏差,在球电极的任何地方都不大于2%。在放电点区域的球电极表面应避免表面不规则性,表面粗糙度 R_{\max} 须小于 $10\ \mu\text{m}$ 。使用球间隙时,对表面的检查通常用触摸和目测方法。不相邻的半球上小的损伤不影响球间隙的放电特性。

3.2 测量用球间隙的一般布置

3.2.1 垂直间隙

当球间隙垂直布置时,高压球的球柄应无锐边和尖角,在等于 D 的长度上,柄的直径应不超过 $0.2D$ 。如果在球柄的端部采用电晕屏蔽球,则屏蔽球的最大直径应不大于 $0.5D$,且与高压球放电点的距离至少应为 $2D$ 。

接地球的球柄和传动机构的影响较小,其尺寸大小不太重要。

图1给出了典型垂直球间隙布置及各元件的尺寸范围。

3.2.2 水平间隙

当球间隙水平布置时,典型球间隙的尺寸范围由图2给出。

3.2.3 球间隙的高度

在实验室水平地面上,高压球极放电点的高度 A 应在表1给出的范围内。

如果球间隙的接地球极安装在天花板上且距离天花板与离其他接地平面的距离相比是最近的(如

墙壁和地平面都处于相当远的距离),则天花板应视为水平面,由此水平面向下测定 A 。

3.2.4 球间隙周围的净空距离

高压球极的放电点到任何周围物体(如天花板、墙以及任何带电或接地的设备)和由导体材料制成的支持构架的距离应不小于表 1 中的 B 值。除非 B 大于 $2D$ 。

由绝缘材料制成的球极支架,如果干燥清洁,且仅当球间隙用于测量交流和冲击电压时,可以不受上述要求的限制。高压球放电点与支架的距离可以小于表 1 中规定的值,但也不得小于 $1.6D$ 。

表 2 及表 3 中的放电电压峰值,对球极周围净空距离处于表 1 的范围内时有效。

表 1 高压球极的放电点到任何周围物体的距离

球径 D/cm	A 的最小值 (A_{min})	A 的最大值 (A_{max})	B 的最小值 (B_{min})
6.25	$7D$	$9D$	14S
10~15	$6D$	$8D$	12S
25	$5D$	$7D$	10S
50	$4D$	$6D$	8S
75	$4D$	$6D$	8S
100	$3.5D$	$5D$	7S
150	$3D$	$4D$	6S
200	$3D$	$4D$	6S

注 1: 如果试验条件不能满足表中的 A_{min} 和 B_{min} 的要求,但能确认其性能符合 3.3 节的规定,这类球间隙也可以使用。

注 2: 在试验电压下,回路布置应满足:

- 无对其他物体击穿性放电;
- 在由 B 确定的空间内,没有从高压引线或球柄发出的可见先导放电;
- 没有从接地物发出的延伸到由 B 确定空间的可见放电。

3.3 球间隙布置的连接线

球间隙的布置应按照 GB/T 16927.1—1997 规定的要求布置连接线。

3.3.1 工作接地

通常,一个球电极需要直接接地。为了某种需要也可以在球电极与地之间接一个低阻值的分流器。

3.3.2 高压引线

高压引线(包括串联电阻)应该连接到距离高压球电极放电点不小于 $2D$ 的球杆上。

在如图 1 和图 2 所示的以 B 为半径的范围内,高压引线(包括串联电阻)通常不得穿过 X 平面(距离高压球电极放电点 $2D$ 的平面)。

3.3.3 用于测量交流电压和直流电压的保护电阻

为了尽量减小球电极表面的烧伤和防止电压振荡使放电不稳定,必须与高压球电极串联一个 $0.1 M\Omega \sim 1 M\Omega$ 的保护电阻。在这个阻值范围内其测量时的电压降可以忽略不计。

保护电阻必须尽可能靠近球电极并直接与球电极相连。

如果试验回路出现刷状放电时,串联电阻对阻尼振荡和抑制过电压的作用显得特别重要。如果不仅试验回路而且连试品都未出现这类放电,则电阻值可以减小到不使球电极过度烧蚀的值。

3.3.4 用于测量冲击电压的保护电阻

试验时有时需要用串联电阻以降低球间隙放电电压截断时的下降陡度。当大直径的球电极放电时,为了阻尼测量回路的振荡也需要在回路中串联电阻。对于较小球电极,除非有较长的引线,否则不需要串联电阻。

电阻器应采用无感结构的电阻,电感不超过 $30 \mu H$,阻值不大于 500Ω 。

回路中电阻的安装位置见 3.3.3。

4 球间隙的使用

球间隙是 IEC 标准测量装置。惯用偏差 z (GB/T 16927.1—1997) 在工频交流和雷电冲击电压下小于 1%；在操作冲击电压下小于 1.5%。惯用偏差 z 的大小受球电极表面状况、自由电子（充分照射）的存在和测量方法的影响。

4.1 球电极表面状况

球电极表面特别是放电点附近必须保持清洁和干燥，但不必抛光。由于长期使用，球电极表面变得粗糙和起痕。这时可以用细砂纸磨擦和用不起毛的布清去灰尘；油迹需用溶剂清除。如果球电极变得非常粗糙或痕迹很深，必须进行修理和更换。

相对湿度较高的潮湿空气可能使球电极放电点的表面结露而影响测量结果的稳定性。

球电极放电点区域之外的轻微损坏不会影响球间隙的放电特性。

4.2 照射

球电极的放电电压受加压瞬间间隙中自由电子的影响。标准球间隙在规定的惯用偏差 z 不能满足要求时必须进行照射。

通常，冲击电压发生器间隙发出的光对球间隙的直接照射或工频交流出现电晕的情况下可以不需要照射。

有两种情况是必须采取照射的：

- 1) 测量低于 50 kV 峰值电压，无论球电极直径大小；
- 2) 球电极直径 12.5 cm 及其以下，无论测量电压大小。附加照射的布置方法见附录 C。

如果没有照射源，表 2 和表 3 中的值将存在较大的不确定度。

4.3 电压测量

用球间隙作为标准空气间隙测量试验回路中的电压时，就要建立被测电压与控制回路中电压表指示之间的关系，或者建立被测电压和适当的测量系统低压侧相连的测量装置上得到的电压峰值之间的关系。球电极之间的间距将由与电压测量的总不确定度相一致的方法来测量。如果回路有任何变化（它不同于球电极之间间隙的微小的变化），这种关系将变化，除非有证据证明它们之间的关系没有变化。

4.3.1 工频交流电压峰值测量

初始加电压时，电压的幅值应足够低以便不要引起放电。然后缓慢地升高电压，以便准确读取间隙放电瞬间低压侧电压表的读数。

连续放电至少 10 次，求取放电电压平均值和惯用偏差 z 。惯用偏差 z 的值应小于放电电压平均值的 1%。

相邻两次放电的间隔时间应不小于 30 s。

4.3.2 雷电冲击全波和操作冲击电压峰值测量

应确定 50% 放电电压 U_{50} 和惯用偏差 z 。对雷电冲击全波电压，惯用偏差 z 应不大于 1%，对操作冲击电压，惯用偏差应不大于 1.5%。

可以采用多级法确定上述数值。以预期放电电压的 1% 左右为级差，施加五级电压，每级加压至少 10 次以获取 U_{50} 和检验惯用偏差。

也可用升降法求取需要的数值，试验中以预期的 U_{50} 电压的 1% 左右为电压级，加压次数最少为 20 次。

对雷电冲击电压，惯用偏差判据的检验应以 $U_{50} - 1\%$ 的电压水平加电压 15 次，对操作冲击则以 $U_{50} - 1.5\%$ 的电压加电压 15 次，加压过程中放电不应多于 2 次。

相邻两次放电的间隔时间不能小于 30 s。

注：在某种试验中，如果球间隙要在一定的间隙范围内使用，应在最小和最大间隙距离下检验惯用偏差。

4.3.3 直流电压测量

通常不推荐将球间隙用作直流电压测量。因为当空气中有灰尘或纤维性物质时,球间隙在直流电压下的放电出现不稳定和放电电压较低。在湿度范围为 1 g/m³~13 g/m³ 时,推荐用棒对棒间隙测量直流电压。

如果没有棒对棒间隙,推荐按以下步骤使用球间隙:使间隙的空气流通,间隙中的风速保持至少 3 m/s,然后从较低电压开始升压。缓慢地升高电压,以便准确读取间隙放电瞬间低压侧电压表的读数。

放电最稳定的电压值如表 2 所示。

注:球间隙放电电压不确定的特点,可能要求施加很多次电压试验,直到确定稳定的电压为止。

5 表 2 和表 3 中的放电电压值

在标准大气条件下不同球间隙距离的放电电压值由表 2 和表 3 中给出。

标准大气条件为:

气温 $t_0 = 20^\circ\text{C}$

气压 $b_0 = 101.3 \text{ kPa}$

表 2 和表 3 中的放电电压值是在绝对湿度为 5 g/m³~12 g/m³(平均 8.5 g/m³)的条件下获得的。

表 2 给出了下列电压的放电电压峰值(冲击电压为 U_{50}),单位为 kV:

- 工频交流电压;
- 负极性雷电冲击全波和操作冲击电压;
- 正负极性的直流电压。

表 3 给出了下列电压的放电电压峰值(冲击电压为 U_{50}),单位为 kV:

- 正极性雷电冲击全波和操作冲击电压。

表 2 和表 3 中的结果不适用于低于 10kV 以下的冲击电压测量。

注:附录 A 和附录 B 给出了表 2 和表 3 中电压值的实验电压范围,其不确定度在 5.1 给出的限度内。

5.1 表 2 和表 3 中数值的准确度

表 2 和表 3 中的电压值可以作为国际一致同意的参考测量标准。

5.1.1 交流和冲击电压

表 2 和表 3 中的放电电压值,在不低于 95%置信度的水平下其不确定度为 3%。

表 2 和表 3 中给出了间隙在 0.5D 和 0.75D 之间的间隙距离对应的一些放电电压值(括号中的数值),这些值的置信度水平未确定。

如果间隙与球径之比非常小,则很难对球间隙进行准确的测量和调整,建议球间隙不小于 0.05D。

5.1.2 直流电压

目前没有足够的资料来评价直流电压值的不确定度。

5.2 大气密度校正因数

在大气条件与前述规定不同时,与给定间隙距离对应的放电电压值可由表 2、表 3 中的电压值乘以校正因数后求得。相对大气密度校正因数即相对大气密度 δ 由式(1)计算:

$$\delta = (b/b_0)(273 + t_0)/(273 + t) \dots\dots\dots(1)$$

式中:

- δ ——大气密度校正因数;
- b ——测量时的大气压力, kPa(mbar);
- b_0 ——参考标准大气压力, 101.3 kPa(1 013 mbar);
- t ——测量时的大气温度, $^\circ\text{C}$;
- t_0 ——参考标准大气温度, 20°C 。

5.3 湿度校正因数

球间隙的放电电压随绝对湿度的增加以 0.2%/(g/m³) 的比率增加。

表 2 和表 3 中的放电电压值是在平均绝对湿度为 8.5 g/m³ 下获得的, 在进行测量时表 2 和表 3 中的放电电压值必须进行湿度校正, 即表 2 和表 3 中的放电电压值乘以湿度校正因数 k 。湿度校正因数 k 由式(2)计算:

$$k = 1 + 0.002(h/\delta - 8.5) \dots\dots\dots(2)$$

式中:

h ——测量时的绝对湿度, g/m³;

δ ——测量时的相对大气密度。

表 2 放电电压峰值(对冲击电压为 U_{50} 值)kV, 适用于工频交流电压、负极性雷电冲击全波和操作冲击电压、正负极性直流电压

球间隙距离/ cm	球径/cm											
	2	5	6.25	10	12.5	15	25	50	75	100	150	200
0.05	2.8											
0.10	4.7											
0.15	6.4											
0.20	8.0	8.0										
0.25	9.6	9.6										
0.30	11.2	11.2										
0.40	14.4	14.3	14.2									
0.50	17.4	17.4	17.2	16.8	16.8	16.8						
0.60	20.4	20.4	20.2	19.9	19.9	19.9						
0.70	23.2	23.4	23.2	23.0	23.0	23.0						
0.80	25.8	26.3	26.2	26.0	26.0	26.0						
0.90	28.3	29.2	29.1	28.9	28.9	28.9						
1.0	30.7	32.0	31.9	31.7	31.7	31.7	31.7					
1.2	(35.1)	37.6	37.5	37.4	37.4	37.4	37.4					
1.4	(38.5)	42.9	42.9	42.9	42.9	42.9	42.9					
1.5	(40.0)	45.5	45.5	45.5	45.5	45.5	45.5					
1.6		48.1	48.1	48.1	48.1	48.1	48.1					
1.8		53.0	53.5	53.5	53.5	53.5	53.5					
2.0		57.5	58.5	59.0	59.0	59.0	59.0	59.0	59.0			
2.2		61.5	63.0	64.5	64.5	64.5	64.5	64.5	64.5			
2.4		65.5	67.5	69.5	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0			
2.6		(69.0)	72.0	74.5	75.0	75.5	75.5	75.5	75.5			
2.8		(72.5)	76.0	79.5	80.0	80.5	81.0	81.0	81.0			
3.0		(75.5)	79.5	84.0	85.0	85.5	86.0	86.0	86.0	86.0		
3.5		(82.5)	(87.5)	95.0	97.0	98.0	99.0	99.0	99.0	99.0		
4.0		(88.5)	(95.0)	105	108	110	112	112	112	112		
4.5			(101)	115	119	122	125	125	125	125		
5.0			(107)	123	129	133	137	138	138	138	138	
5.5				(131)	138	143	149	151	151	151	151	
6.0				(138)	146	152	161	164	164	164	164	

表 2(续)

球间隙距离/ cm	球径/cm											
	5	6.25	10	12.5	15	25	50	75	100	150	200	
6.5			(144)	(154)	161	173	177	177	177	177		
7.0			(150)	(161)	169	184	189	190	190	190		
7.5			(155)	(168)	177	195	202	203	203	203		
8.0				(174)	(185)	206	214	215	215	215		
9.0				(185)	(198)	226	239	240	241	241		
10				(195)	(209)	244	263	265	266	266	266	266
11					(219)	261	286	290	292	292	292	292
12					(229)	275	309	315	318	318	318	318
13						(289)	331	339	342	342	342	342
14						(302)	353	363	366	366	366	366
15						(314)	373	387	390	390	390	390
16						(326)	392	410	414	414	414	414
17						(337)	411	432	438	438	438	438
18						(347)	429	453	462	462	462	462
19						(357)	445	473	486	486	486	486
20						(366)	460	492	510	510	510	510
22							489	530	555	560	560	560
24							515	565	595	610	610	610
26							(540)	600	635	655	660	660
28							(565)	635	675	700	705	705
30							(585)	665	710	745	750	750
32							(605)	695	745	790	795	795
34							(625)	725	780	835	840	840
36							(640)	750	815	875	885	885
38							(655)	(775)	845	915	930	930
40							(670)	(800)	875	955	975	975
45								(850)	945	1 050	1 080	1 080
50								(895)	1 010	1 135	1 180	1 180
55								(935)	(1 060)	1 210	1 260	1 260
60								(970)	(1 110)	1 280	1 340	1 340
65									(1 160)	1 340	1 410	1 410
70									(1 200)	1 390	1 480	1 480
75									(1 230)	1 440	1 540	1 540
80										(1 490)	1 600	1 600
85										(1 540)	1 660	1 660
90										(1 580)	1 720	1 720
100										(1 660)	1 840	1 840
110										(1 730)	(1 940)	(1 940)
120										(1 800)	(2 020)	(2 020)
130											(2 100)	(2 100)
140											(2 180)	(2 180)
150											(2 250)	(2 250)

表 3 放电电压峰值(冲击电压为 U_{50} 值)kV,适用于正极性雷电冲击全波和操作冲击电压

球间隙距离/ cm	球径/cm											
	2	5	6.25	10	12.5	15	25	50	75	100	150	200
0.05												
0.10												
0.15												
0.20												
0.25												
0.30	11.2	11.2										
0.40	14.4	14.3	14.2									
0.50	17.4	17.4	17.2	16.8	16.8	16.8						
0.60	20.4	20.4	20.2	19.9	19.9	19.9						
0.70	23.2	23.4	23.2	23.0	23.0	23.0						
0.80	25.8	26.3	26.2	26.0	26.0	26.0						
0.90	28.3	29.2	29.1	28.9	28.9	28.9						
1.0	30.7	32.0	31.9	31.7	31.7	31.7	31.7					
1.2	(35.1)	37.8	37.6	37.4	37.4	37.4	37.4					
1.4	(38.5)	43.3	43.2	42.9	42.9	42.9	42.9					
1.5	(40.0)	46.2	45.9	45.5	45.5	45.5	45.5					
1.6		49.0	48.6	48.1	48.1	48.1	48.1					
1.8		54.5	54.0	53.5	53.5	53.5	53.5					
2.0		59.5	59.0	59.0	59.0	59.0	59.0	59.0	59.0			
2.2		64.0	64.0	64.5	64.5	64.5	64.5	64.5	64.5			
2.4		69.0	69.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0			
2.6		(73.0)	73.5	75.5	75.5	75.5	75.5	75.5	75.5			
2.8		(77.0)	78.0	80.5	80.5	80.5	81.0	81.0	81.0			
3.0		(81.0)	82.0	85.5	85.5	85.5	86.0	86.0	86.0	86.0		
3.5		(90.0)	(91.5)	97.5	98.0	98.5	99.0	99.0	99.0	99.0		
4.0		(97.5)	(101)	109	110	111	112	112	112	112		
4.5			(108)	120	122	124	125	125	125	125		
5.0			(115)	130	134	136	138	138	138	138	138	
5.5				(139)	145	147	151	151	151	151	151	
6.0				(148)	155	158	163	164	164	164	164	
6.5				(156)	(164)	168	175	177	177	177	177	

表 3(续)

球间隙距离/ cm	球径/cm											
	5	6.25	10	12.5	15	25	50	75	100	150	200	
7.0			(163)	(173)	179	187	189	190	190	190		
7.5			(170)	(181)	187	199	202	203	203	203		
8.0				(189)	(196)	211	214	215	215	215		
9.0				(203)	(212)	233	239	240	241	241		
10				(215)	(226)	254	263	265	266	266	266	266
11					(238)	273	287	290	292	292	292	292
12					(249)	291	311	315	318	318	318	318
13						(308)	334	339	342	342	342	342
14						(323)	357	363	366	366	366	366
15						(337)	380	387	390	390	390	390
16						(350)	402	411	414	414	414	414
17						(362)	422	435	438	438	438	438
18						(374)	442	458	462	462	462	462
19						(385)	461	482	486	486	486	486
20						(395)	480	505	510	510	510	510
22							510	545	555	560	560	560
24							540	585	600	610	610	610
26							570	620	645	655	660	660
28							(595)	660	685	700	705	705
30							(620)	695	725	745	750	750
32							(640)	725	760	790	795	795
34							(660)	755	795	835	840	840
36							(680)	785	830	880	885	885
38							(700)	(810)	865	925	935	935
40							(715)	(835)	900	965	980	980
45								(890)	980	1 060	1 090	1 090
50								(940)	1 040	1 150	1 190	1 190
55								(985)	(1 100)	1 240	1 290	1 290
60								(1 020)	(1 150)	1 310	1 380	1 380
65									(1 200)	1 380	1 470	1 470
70									(1 240)	1 430	1 550	1 550
75									(1 280)	1 480	1 620	1 620
80										(1 530)	1 690	1 690
85										(1 580)	1 760	1 760
90										(1 630)	1 820	1 820
100										(1 720)	1 930	1 930
110										(1 790)	(2 030)	(2 030)
120										(1 860)	(2 120)	(2 120)
130											(2 200)	(2 200)
140												(2 280)
150												(2 350)

6 测量直流电压的标准——棒对棒间隙

6.1 棒对棒间隙的典型布置

棒对棒间隙的典型布置如图 3(a) (垂直间隙)或图 3(b) (水平间隙)所示。

棒电极应以钢或黄铜材料制造,截面为 15 mm×25 mm 的长方形,且两根棒电极必须布置在一条轴线上。棒电极的端部为直角且棱边不在轴线上。

高压棒电极的端部到接地体和墙壁(不包括接地平板)的距离应不小于 5 m。

6.2 参考电压值

标准大气条件下无论是垂直间隙还是水平间隙的正、负极性直流放电电压都可由式(3)给出:

$$U_0 = 2 + 0.534d \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中:

U_0 ——放电电压, kV;

d ——间隙距离, mm。

由式(3)计算的放电电压 U_0 , 在置信度不低于 95% 的水平下的不确定度为 3%。其适用的范围间隙距离为 250 mm~2 500 mm, 且湿度为 1 g/m³~13 g/m³。

棒对棒间隙不能在间隙距离小于 250 mm 时用作认可的测定装置, 因为此时没有预放电柱。距离大于 2 500 mm 时由于没有足够的试验来验证, 因此也不能作为标准测量装置来使用。

6.3 校准方法

设定棒电极距离 d , 并对间隙施加电压。大约在 1 min 左右将电压升至放电电压的 75%~100%。在校准状态下, 读取待校准测量装置在间隙火花放电瞬间的电压值, 经过标准大气条件校正, 取 10 次的平均值由式(3)给出。这个电压必须考虑实际大气条件的大气密度 δ (参见 5.2) 和湿度校正因数 k 。湿度校正因数 k 由式(4)给出:

$$k = 1 + 0.014(h/\delta - 11) \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中:

h ——测量时的绝对湿度, g/m³;

δ ——测量时的大气相对密度。

式(4)适用的范围为 1 g/m³~13 g/m³。

实际大气温度 t 、气压 b 和湿度 h 条件下的放电电压 U 可以由式(5)转换到标准参考大气条件下的值:

$$U_0 = U/(\delta \times k) \quad \dots\dots\dots(5)$$

式中:

U ——测量时的放电电压值, kV;

δ ——密度校正因数;

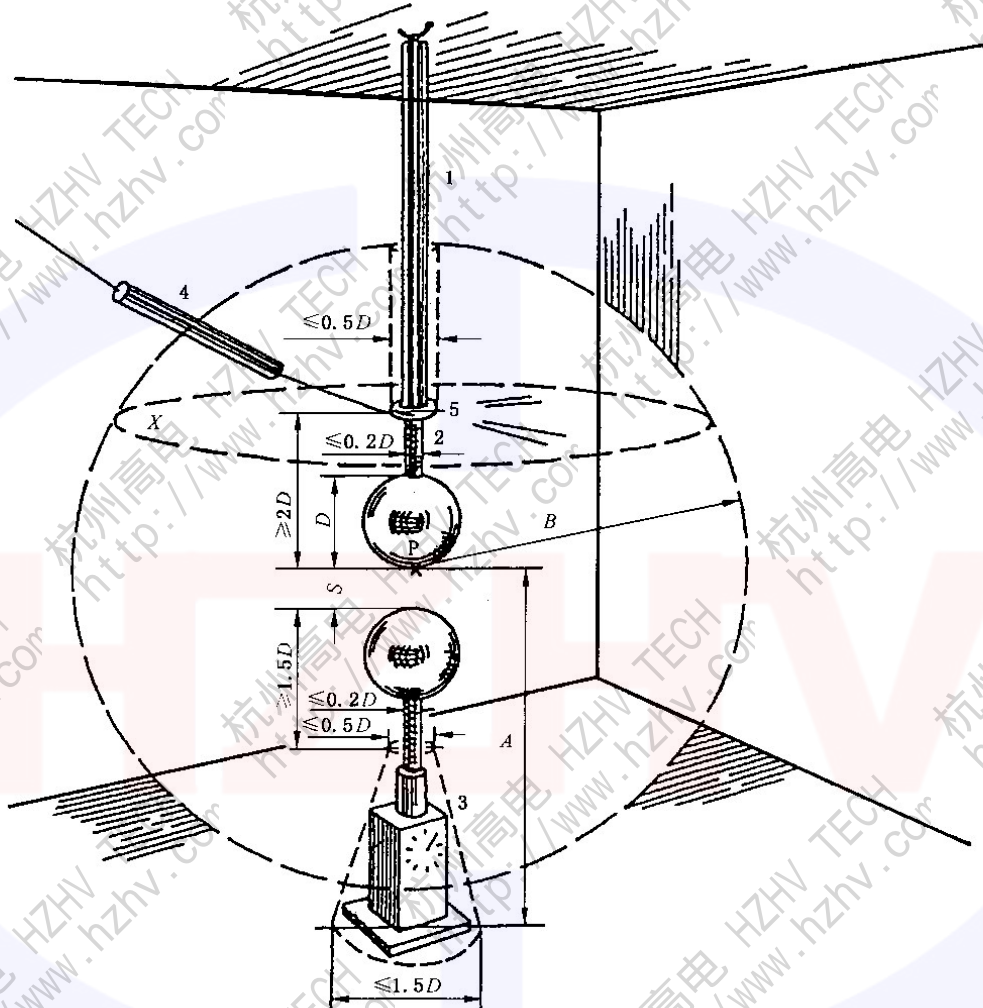
k ——湿度校正因数。

7 用标准空气间隙例行校核认可的测量系统

当例行反复校核同一认可的测量系统时, 在任何大气条件下检测经校正到标准参考大气条件后的放电电压值, 可以认为不确定度小于 3%。

然而, 当对同一认可系统的特性检验重复进行时, 相继测量值之间的差别在对所有大气条件进行校正后, 可望显著小于 3%。

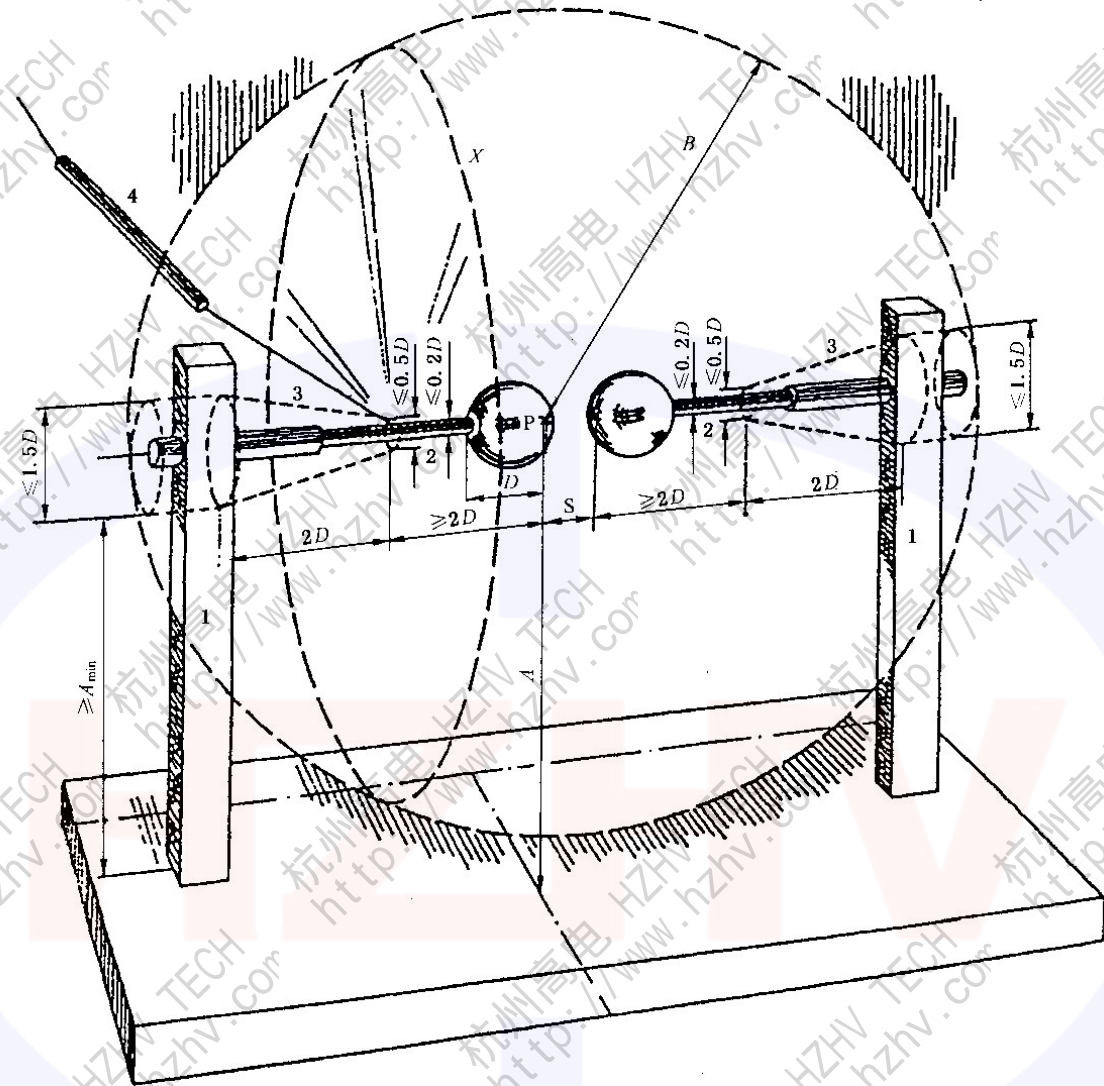
单位为 mm



- 1—绝缘支架；
- 2—球柄；
- 3—传动机构；
- 4—带串联电阻的高压引线；
- 5—均压罩(图视最大尺寸)；
- P—高压球极放电点；
- A—相对地平面 P 点的高度；
- B—无外结构的空半径；
- X—距 P 点为 B 的范围内元件 4 不应穿过的平面。

图 1 球间隙垂直布置图

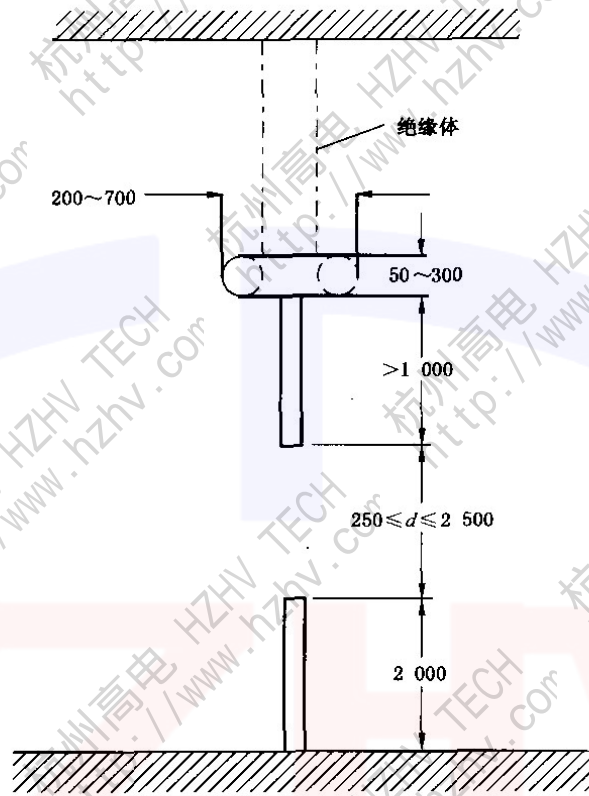
单位为 mm



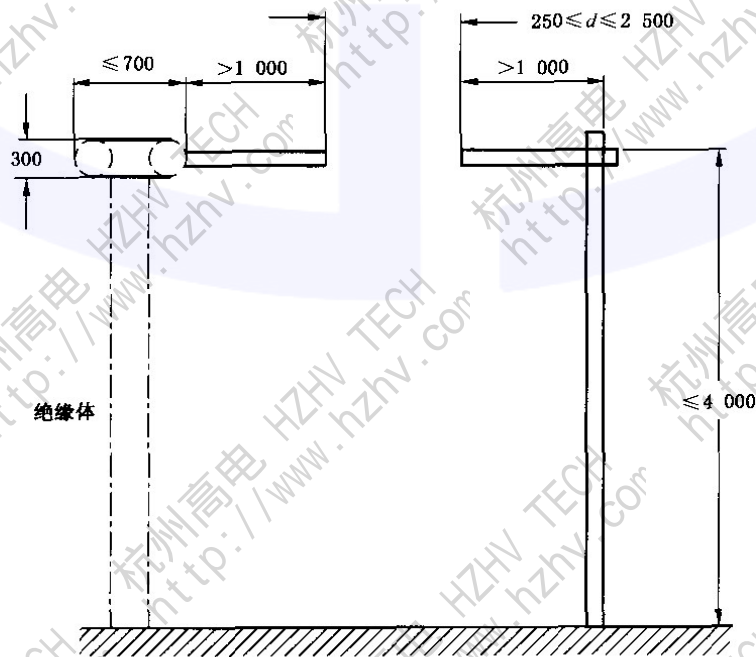
- 1—绝缘支架；
- 2—球柄；
- 3—传动机构；
- 4—带串联电阻的高压引线；
- 5—均压罩(图视最大尺寸)；
- P—高压球极放电点；
- A—相对地平面 P 点的高度；
- B—无外结构的空半径；
- X—距 P 点为 B 的范围内元件 4 不应穿过的平面。

图 2 球间隙水平布置图

单位为 mm



a) 垂直布置



b) 水平布置

图 3 棒对棒间隙布置

附录 A
(资料性附录)
试验校准的范围

表 2 和表 3 中的数据部分引用了表 A.1 中参考文献的试验结果。比表 A.1 中参考文献给出数值更高的电压没有进行验证。

表 A.1 球间隙试验校准

电压类型	最高电压/kV (峰值)	参 考 文 献
工频交流电压	1 700	Transactions AIEE, Vol(1952), Part III, p. 455
工频交流电压	1 400	JIEE, Vol. 82, (1938), P. 655
正极性直流电压(球间隙)	800	Zeit. techn. Phys. 18(1937), P. 209
负极性直流电压(球间隙)	1 300	Zeit. techn. Phys. 18(1937), P. 209
正、负极性直流电压(球间隙)	1 300	ELECTRA No. 117, March 1988, P. 23-24
正极性雷电冲击电压	2 580	Transactions AIEE, Vol(1952), Part III, P. 455
负极性雷电冲击电压	2 410	Transactions AIEE, Vol(1952), Part III, P. 455
正、负极性操作冲击电压	1 200	ELECTRA No. 136, June 1991, P. 91-95
高频交流电压		E. T. Z. Vol 60(1939), P. 92(见注 1)
等幅高频交流电压	见注 2	J. AIEE, Vol. 46(1927), P. 1314 Arch. Elektr, Vol. 14(1924), P. 491 Arch. Elektr, Vol. 24(1930), P. 525 Arch. Elektr, Vol. 25(1931), P. 322 Arch. Elektr, Vol. 26(1932), P. 123
不等幅高频交流电压	同上	Ann. Phys. 19(1906), P. 1016 Arch. Elektr, Vol. 16(1926), P. 496 Arch. Elektr, Vol. 20(1928), P. 99
<p>注 1: 本资料包括阻尼和准阻尼的高频电压校正,它是在一定电压和频率范围内进行的。表中其他参考资料给出了单项校正的细节。</p> <p>注 2: 由这些参考文献的结果可知,它们是不完整的有时是相互矛盾的,看来表 2 可用于测量不衰减高频电压的误差不大,其频率可达 20 kHz,但电压仅能适用到 15 kV。频率再高,适用的电压要降低。</p>		

资料还说明,表 3 可用于测量逐渐衰减交流电压频率达 500 kHz,但电压仍然不超过 15 kV。

附录 B

(资料性附录)

由一些国家标准和其他资料来源获得表 2 和表 3 放电电压值的方法

在 1956 年 IEC 第 42 技术委员会(TC-42)慕尼黑会议上,通过了被国际接受的放电电压表。

新表中的放电电压值为以下资料来源的平均值:

1. 1939 年 7 月在巴黎 IEC 认可的放电电压值;
2. A. S. A 标准 C68.1 中的放电电压值(1953)(经温度调整后的值)。

平均值的计算产生了少数异常值,特别是在球径减小时,小间隙距离下的放电电压变化相当不规则。

这些异常值已尽可能剔除以免引入其他的矛盾。

但也有一些例外,如:

- 1) A. S. A 标准中无直径为 2,5,10,15 cm 球间隙的数据。IEC 1939 年的 5,10,15 cm 球的值引入目前的表中时,除上面提到的小的调整外,未作任何变动。
- 2) IEC 1939 年同意的文件中,直径 2 cm 球的数值,对正冲击电压不适用,后来发现从小距离直到 1 cm 也不准确。因而引入以发表在 JIEE, Vol. 95(1948) Pt. II, P. 309 上的数据为基础的新的校正值,不过,这些放电电压值对于测量低于 10 kV 的两种极性冲击电压不适用。对于后一论点的证明,见 Proc. IEE, Vol. 101(1954), Pt. II, P. 428。
- 3) IEC 1939 年高于 1400 kV 电压的数据和最近在美国测得的数值相比,据认为可靠性较低,因而本表采用美国的数据(见 A. S. A. C68.1, 1953 及 Trans. AIEE, Vol. 71(1952), Pt. III, P. 455)。表 2、表 3 中的数字已如表 B.1 所示进行了归整。

表 B.1 表 2、表 3 中数值的归整

数值 kV	归整 kV
<50	0.1
50~100	0.5
100~500	1
500~1 000	5
>1 000	10

附 录 C
(资料性附录)
照 射 源

对于交流电压,可由回路中的电晕获得照射,然而由于其他原因,例如局部放电测量常常不希望出现电晕,因此建议用附加照射。

对于冲击电压,球间隙直接由冲击发生器放电间隙发出的光进行照射可能就够了。

可由水银石英灯(石英管水银蒸汽)获得额外的间隙照射,光的光谱处在远紫外波段(UVC)。水银石英灯的光谱落在紫外 UVA 和 UVB 波段者,通常照射不足,故不予推荐。灯的功率和对间隙的具体距离影响照射效果。

间隙的外加照射也可由负极性直流电晕的预放电获取。

附录 D
(资料性附录)

球间隙的校准和不确定度

表 2 及表 3 中 3% 的不确定度是在估算用球间隙测量电压时总不确定度控制性限值。

不确定度的数值考虑包括影响可达 1% 的表中电压值收整在内的许多因素。对高于 10 kV 的电压,这就引入 0.5% 的误差,电压低于 10 kV,误差还要大。不确定度可通过球隙内部校准程序而显著减小。球隙的内校由实验室用适当的标准测量系统在校准实验室的“认可测量系统”时进行。

在一定球距范围根据新校准的测量系统测得的电压对球隙作校正可视为实验室对球隙进行“内校”。校正的总不确定度应明显小于与表 2、表 3 相关之值。

从校准时起,如果条件保持不变,则测量系统与球隙测得值之间随后的任何差值均应用来对其一致性进行估算。估算时可使用由校正过程中得到的减低了的不确定度,以说明测量系统的可能误差。

参 考 文 献

- [1] KUFFEL, E. The effect of irradiation on the breakdown voltage of sphere-gaps in air under direct and alternating voltages, Proceedings IEE, Vol. 106, 1959, P. 133-139
- [2] ALLIBONE, T. E. DRING, D. Influence of radiation on sparkover of sphere-gaps and crossed-cylinder gaps stressed with impulse voltages, Proceedings IEE, Vol. 120, 1973, P. 815-821
- [3] KACHLER, A. J. Contribution to the problem of impulse voltage measurement by means of sphere-gaps, ISH Zurich, 1975, P. 217-221
- [4] GOURGOULIS, D. E. STASSINOPPOULOS, Influence of irradiation on impulse breakdown of sphere-gaps and sphere-rods, Proceedings IEE Sci. Meas. Technol 1988, Vol. 145, No. 3, P147-151
- [5] FESER, K. HUGHES, R. C. Measurement of direct voltage by rod-rod-gap-gap. Electra No. 117, March 1988, P. 23-24

附录 A 的参考文献

- [6] HAGENGUTH, J. H. ROHLFS, A. F. DEGNAN, W. J. Sixty-Cycle and impulse Spark-over of Large Gap Spacings, Transactions AIEE Vol. 71 Part III, January 1952, P455-460.
- [7] EDWARDS, F. S, SMEE, J, F. The Calibration of the Sphere Spark-Gap for Voltage Measurement up to one million volts (effective) at 50 cycles, Journal, Institution of Electrical Engineers, Vol. 82, 1938, P. 655-669
- [8] BOUWERS, V. A, KUNTKE, A. Ein Generator fur drei Millionen Volt Gleichspannung, Zeitschrift fur technische Physik, Vol. 18, 1937, P. 209-219
- [9] HAGENGUTH, J. H. ROHLFS, A. F. DEGNAN, W. J. Sixty-Cycle and impulse Spark-over of Large Gap Spacings, Transactions AIEE Vol. 71 Part III, January 1952, P. 455-460
- [10] GOCKENBACH, E. Measurement of Standard Switching Impulse Voltages by Means of Sphere-gaps (One Sphere Earthed), Electra No. 136, June 1991, P. 91-95
- [11] JACOTTET, V. P. Zur Frage der Messung von Hochfrequenzspannungen und Stoßspannungen kützrdyrt Dauer mit der Kugelfunkenstrecke, Elektrotechnische Zeitschrift, Vol. 60, Jan. 1939, P. 92-97
- [12] REUKEM, L. E. The Relation Between Frequency and Spark-Over Voltage in a Sphere-Gap Voltmeter, Journal of the American Institute of Electrical Engineers, Vol. 46, 1927, P1314-1321
- [13] GOEBELER, E. Über die dielektrischen Eigenschaften der Luft und einiger fester Isoliermaterialien bei hochgespannter Hochfrequenz, Arch. Elektr, Vol. 14, 1925, P. 491-510
- [14] KAMPSCHUL TE, J. Luftdurchschlag Überschlag mit Wechselspannung von 50 und 100 000 Hertz, ARCH, Elektr, Vol. 24, 1930, P. 525-551
- [15] LASSSEN, H. EINLEITUNG, A. Frequenzabhängigkeit der Funkenspannung in Luft, Arch Elektr, Vol. 25, 1931, P. 322-332
- [16] MISERE, F. Luftdurchschlag bei Nieduerfrequenz und Hochfrequenz an verschiedenen Elektroden, Arch. Elektr, Vol. 26, 1932, P. 123-126
- [17] ALGERMISSSEN, V. J. Verhältnis von Schlagweite und Spannung bei schnellen Schwing-

- ungen, Annalen der Physik, Vol. 19, 1906, P. 1016-1029
- [18] ROGOWSKL, W. Townsends Theorie und der Durchschlag der Luft bei Stossspannungen, Arch. Elektr. Vol. 16, 1926, P. 496-508
- [19] ROGOWSKL, W. Stossspannung und Durchschlag bie Gasen, Arch. Elektr. Vol. 20, 1928, P. 99-106
- [20] American standard for measurement of voltage in dielectric tests, ASA Std. C68.1, 1953
- [21] COOPER, R., GARFITT, D. E. M. MEEK, J. M. The calibration of 2-cm diameter spheregaps, journal, Institution of Electrical Engineers, Vol. 95 Part II, 1948, P. 309-311
- [22] HARDY, D. R. BROAOBENT, T. E. The effect of irradiation on the calibration of 2-cm-diameter sphere-gaps, Proceedings IEE, Vol. 101 Part II, 1954, P. 438-440.