

空气微小间隙放电的伏距特性

刘 刚

(湖北省武汉市新洲区防雷中心, 武汉 430400)

电阻电压降的空气击穿强度为 500KV/m 已是共识, 然而笔者在研制“低压电源避雷绝缘子”专利产品过程中, 发现小间隙的电阻电压降的空气击穿强度大大高于此值, 于是就对空气微小间隙放电的伏距特性进行了测试研究。发现了空气间隙放电的伏距特性随着间隙的增大由非线性变化区段发展到线性变化区段的规律。500KV/m 只是间隙无限增大时空气击穿强度无限趋近的最低值, 与小间隙的空气击穿强度严重不符。下面对研究情况作一简介。

1 测试方法

用直流 1mA、100V/s 的升压速度测试。正极为尖端, 负极为平端, 电极距离从 0 开始, 每增大 1dmm (忽米, 1dmm=0.01mm), 测出放电电压值, 共测得 1-60dmm 的 60 个放电电压值 (见表 1)。

表 1 0-60dmm 间隙放电电压值

1	0	11	956	21	1433	31	1702	41	1766	51	1816
2	264	12	1021	22	1479	32	1709	42	1773	52	1819
3	374	13	1069	23	1522	33	1716	43	1777	53	1826
4	485	14	1126	24	1560	34	1721	44	1783	54	1832
5	580	15	1178	25	1606	35	1729	45	1789	55	1837
6	672	16	1226	26	1643	36	1735	46	1793	56	1843
7	737	17	1268	27	1660	37	1743	47	1796	57	1845
8	792	18	1311	28	1673	38	1750	48	1801	58	1852
9	848	19	1376	29	1685	39	1757	49	1806	59	1858
10	909	20	1401	30	1694	40	1761	50	1811	60	1862

2 伏距特性分析

2.1 伏距特性总体趋势 随着间隙的增大, 空气击穿强度减小。从各距离放电电压与间隙距离的比值 (见表 2) 很明显的看出这种趋势, 60dmm 比 2dmm 空气击穿强度下降了 4 倍多。

2.2 伏距极值 空气的最小放电 (不发生极间短路) 距离是 2dmm, 最强击穿强度是 132V/dmm, 将此强度以 1m 的间距表示, 为 13200KV/m, 是 500KV/mm 的 26.4 倍。

2.3 伏距特性发展区段

第一区段: 间隙距离 0-1.5dmm, 电极仍短路或偶尔有放电现象发生, 是由电晕放电到火花放电的过渡区段。

第二区段：间隙距离为 2-40dmm，随着间隙距离的增大，放电电压增幅减小，为伏距特性非线性发展区段（见表 3），其中 30-40dmm 段由非线性特性向线性特性过渡速度很快。

第三区段：间隙距离 ≥ 40 dmm，随着间隙距离的增大，放电电压增幅总体稳定，平均为 5V/dmm，为伏距特性线性发表区段（见表 3）。

表 2 1-60dmm 间隙空气击穿强度表 (V/dmm)

1	0	11	87	21	68	31	55	41	43	51	36
2	132	12	85	22	67	32	53	42	42	52	35
3	125	13	82	23	66	33	52	43	41	53	34
4	121	14	80	24	65	34	51	44	41	54	34
5	116	15	79	25	64	35	49	45	40	55	33
6	112	16	77	26	63	36	48	46	39	56	33
7	105	17	75	27	61	37	47	47	38	57	32
8	99	18	73	28	60	38	46	48	38	58	32
9	94	19	72	29	58	39	45	49	37	59	31
10	91	20	70	30	56	40	44	50	36	60	31

表 3 1-60dmm 距离内间隙每增加 1dmm 时放电电压增加值

1	0	11	47	21	32	31	8	41	5	51	5
2	264	12	65	22	46	32	7	42	7	52	3
3	110	13	48	23	43	33	7	43	4	53	7
4	111	14	57	24	38	34	5	44	6	54	6
5	95	15	52	25	46	35	8	45	6	55	5
6	92	16	48	26	37	36	6	46	4	56	6
7	65	17	42	27	17	37	8	47	3	57	2
8	55	18	43	28	13	38	7	48	5	58	7
9	56	19	65	29	12	39	7	49	5	59	6
10	61	20	25	30	9	40	4	50	5	60	4

2.4 伏距特性非线性发展区段的伏距关系

在 2-40dmm 区段距离内，击穿电压与击穿距离之间存在降指数函数关系，即 $U=S^X$ （ U 为击穿电压， S 为击穿距离），指数 X 随 S 的增大而减小。

2.5 伏距特性线性发展区段的伏距关系

在 ≥ 40 dmm 的区段内，击穿电压是正比于距离加一个常量。由于 ≥ 40 dmm 的区段内，距离每增加 1dmm，击穿电压增加 5V，因此从 40dmm 的击穿电压中就能找到这个常量。这个常量就是 $1761V-5V/dmm \times 40dmm = 1761V - 200V = 1561V$ ，取整数为 1560V，由此可以得出 ≥ 40 dmm 的伏距关系式 $U=1560+5S$ ($S \geq 40dmm$)。为了平时计算方便，将距离的单位改为 mm，并以 L 表示，则该公式为 $U=1560+500L$ ($L \geq 0.4mm$)，或 $L=(U-1560)/500$ (mm)。从公式 $U=1560+500L$ 中可以看出，当 $L \rightarrow \infty$ 时， $U \rightarrow 500KV/m$ 。

3 研究微小间隙空气放电伏距特性的意义

3.1 理论意义

微小间隙空气放电伏距特性的发现，使人们对电阻电压降空气击穿强度的客观规律的认识更加全面。它证明了空气击穿强度不仅与空气的气压、温度、湿度及电极形状有关，而且与电极距离有关。它还证明了 500KV/m 的空气击穿强度值只是大间隙空气击穿强度的趋近值，把它运用于小间

隙放电的伏距关系计算是不妥的，间隙越小，误差越大，其计算结果会与实际情况存在天壤之别。

3.2 技术意义

微小间隙放电的伏距特性为确定放电间隙提供了理论和实验数据的依据。间隙型避雷器因存在工频续流，保护电压不稳定，响应速度慢而逐步被氧化锌避雷器所取代，但间隙型避雷器的大通流量，不漏电及其低廉的成本是氧化锌避雷器不可与之相比的。目前，用于低压线路保护的空气间隙型避雷器的诸多缺陷与保护间隙过大有关（如用多个 0.5mm 间隙串联而成）。按照本文所提供的资料，低压电源避雷器的放电间隙应该大大缩小；用于高压线路的放电间隙如与本文提供的公式计算的结果高出太多，也应考虑缩小（见表 4）。

表 4 避雷器间隙的最小值

电压类别	低 压		高 压				
	0.22-0.38	1	3	6	10	20	35
额定电压 (kv)	0.22-0.38	1	3	6	10	20	35
限制电压 (kv)	0.57	1.5	4.5	9	15	30	52.5
间隙距离 (mm)	0.05	0.23	5.88	14.88	26.88	56.88	101.88

从表中可以看出，用于 0.22-0.38kv 线路保护的避雷器的间隙只要 0.05mm，但如此小的间隙受材料热胀冷缩的影响会使间距产生变动而影响放电电压的稳定性。这就需要低膨胀系数的材料配合，或适当加大间隙距离。正确地设计放电间隙的距离并以其它技术措施相配合，可以显著地改善间隙型避雷器的保护性能。生产出符合 III、IV 类防护要求的间隙型低压避雷器是容易做到的。