

王能辉. 雷电防护装置间隔距离的推导计算[J]. 陕西气象, 2024(3): 75-78.

文章编号: 1006-4354(2024)03-0075-04

雷电防护装置间隔距离的推导计算

王能辉

(陕西秦盾防雷技术有限公司, 西安 710015)

摘要:《建筑物防雷设计规范》GB 50057—2010 中给出了雷电防护装置的间隔距离计算公式, 但是没有给出推导过程。为了在不同的雷电防护项目应用中因地制宜地计算间隔距离, 有效预防和减少雷击被保护物的风险, 本文对该规范中的计算公式进行了详细的推导, 并结合案例具体说明, 方便从业者更好地理解 and 执行《建筑物防雷设计规范》GB 50057—2010 中关于间隔距离的计算, 对防雷工作具有一定的参考价值。

关键词: 雷电防护装置; 间隔距离; 推导计算

中图分类号: TU895

文献标识码: A

近年来, 随着城市化的快速发展和科技水平的不断提高, 尽管建筑物上安装的雷电防护装置越来越完善, 但建筑物之间的距离越来越小, 往往未兼顾周围金属物体的间隔距离要求, 建筑物在泄放雷电过电压时, 将会对周围设备及设施产生雷击风险。随着各种新设备、新工艺广泛应用, 对雷电防护装置间隔问题提出了更高的要求。只有理解并掌握雷电防护装置间隔距离计算, 才是做好雷电防护装置设计、施工和检测工作的基础, 才能有效预防和减少雷击被保护物的风险, 从而达到防雷减灾的目的。《建筑物防雷设计规范》GB 50057—2010(简称《规范》)给出了雷电防护装置的间隔距离计算公式, 但是推导过程的表述尚存在一定不足。本文对间隔距离的计算公式进行了详细的推导, 并结合案例具体说明。旨在提高从业者对间隔距离计算公式的理解能力, 为从业者更好地执行该规范提供参考。

1 第一类防雷建筑物雷电防护装置间隔距离计算

1.1 雷电防护装置 h_X 高度上的电位差计算

因为雷电防护装置(独立接闪杆、引下线和接地装置)材料本身存在电感和电阻, 当雷电流流经雷电防护装置时产生电感降压和电阻降压, 而电

感降压和电阻降压作用在引下线和接地装置上, 使其在 h_X 处与相邻近的被保护建筑物或与其有联系的金属物之间产生高电位差, 具体计算公式^[1]为:

$$U = U_R + U_L = IR_i + L_0 h_X di/dt. \quad (1)$$

公式(1)中, U 为雷电防护装置距离地面 X 高度上的电位差, h_X 为雷电防护装置在此高度泄放电流时, 与需要保护的装置或建筑物做间隔距离的位置高度, U_R 为雷电流流过雷电防护装置时接地装置上的电阻电压降(kV); U_L 为雷电流流过雷电防护装置时引下线上的电感电压降(kV); R_i 为接地装置的冲击接地电阻(Ω); di/dt 为雷电流的陡度(kA/ μ s); I 为雷电流幅值(kA); L_0 为引下线的单位长度电感(μ H/m), 本文中取为 1.5 μ H/m。

1.2 间隔距离计算

当有雷电流通过时, 间隔距离 S_{a1} 按电阻电压降和电感电压降求出的距离相加而得, 对应的公式是:

$$S_{a1} = IR_i/E_R + (L_0 h_X di/dt)/E_L. \quad (2)$$

E_R 为电阻电压降在空气中的击穿强度(kV/m), 取 500 kV/m; E_L 为电感电压降在空气中的击穿强度(kV/m)。

收稿日期: 2023-06-25

作者简介: 王能辉(1984—), 男, 安徽合肥人, 汉族, 大学本科, 工程师, 从事雷电防御工作。

在计算间隔距离时,雷电流参量应根据表 1~表 2 的规定取值^[1]。

表 1 各类防雷建筑物首次正极性雷击的雷电流参量

雷电流参数	一类	二类	三类
幅值 I/kA	200	150	100
波头时间 $T_1/\mu\text{s}$	10	10	10
半值时间 $T_2/\mu\text{s}$	350	350	350
电荷量 Q_s/C	100	75	50
单位能量 $(W/R)/(\text{MJ}/\Omega)$	10.0	5.6	2.5

表 2 各类防雷建筑物首次负极性以后雷击的雷电流参量

雷电流参数	一类	二类	三类
幅值 I/kA	50.0	37.5	25.0
波头时间 $T_1/\mu\text{s}$	0.25	0.25	0.25
半值时间 $T_2/\mu\text{s}$	200	200	200
平均陡度 $(I/T_1)/(\text{kA}/\mu\text{s})$	100	75	50

1.2.1 地上部分 对于第一类防雷建筑物,当 $h_x < 5R_i$ (表达式来源于《规范》, h_x 和 R_i 代表数值大小,下面类似情况同理)时,根据公式(2)和表 1, $I = 200 \text{ kA}$, $T_1 = 10 \mu\text{s}$ 时^[1], $E_L = 600(1 + 1/10) = 660 \text{ kV/m}^{[2-5]}$, 得出: $S_{al} \geq 200R_i/500 + (1.5h_x \times 200/10)/660 \geq 0.4R_i + 0.045 5h_x$ 。为方便计算,简化得出

$$S_{al} \geq 0.4(R_i + 0.1h_x)。 \quad (3)$$

当 $h_x \geq 5R_i$, 据公式(2)和表 2, $I = 50 \text{ kA}$, $T_1 = 0.25 \mu\text{s}$ 时, $E_L = 600(1 + 1/0.25) = 3000 \text{ kV/m}^{[2-5]}$, 得出: $S_{al} \geq 50R_i/500 + (1.5h_x \times 200/10)/3000$, 即

$$S_{al} \geq 0.1(R_i + h_x)。 \quad (4)$$

1.2.2 地下部分 雷电流流经接地装置时,对周围土壤的临界击穿场强与土壤类型、密度、均匀程度、空气间隙、含水量等因素有关。土壤不同,临界击穿场强 E_c 从几十到上千 kV/m 不等,重庆大学曾永林教授给出的土壤击穿场强^[6-7]如表 3 所示。

南非学者 Oettle 提出土壤的起始击穿场强 E_c 与土壤电阻率 ρ 的关系^[7]为:

$$E_c = 241\rho^{0.215}, \quad (5)$$

式中, E_c 的单位为 kV/m , ρ 的单位为 $\Omega \cdot \text{m}$ 。

表 3 土壤击穿场强

土壤类别	土壤电阻率 $/(\Omega \cdot \text{m})$	临界击穿强度 $/(\text{kV} \cdot \text{m})$
粘土	70	7.4
	120	8.2
	140	10.4
	160	9.0
	250	8.4
	1 000	14.4
	2 700	16.0
腐殖土	22	4.6
	35	9.6
	90	9.2
	105	4.2
	350	5.8
砂土	550	7.2
	95~3 400	12.8~13.8

国际大电网会议(international council on large electric systems, CIGRE)1994 年的工作组报告中建议,临界击穿场强 E_c 取 $400 \text{ kV/m}^{[7]}$, 但并没有对此作任何解释。电气与电子工程师协会(institute of electrical and electronics engineers, IEEE)的一个工作组没有推荐任何值,只是引用了 Oettle 提出的 $1000 \text{ kV/m}^{[7]}$ 。在《规范》中,接地装置在土壤中的击穿强度与空气中的击穿强度相同,为 $500 \text{ kV/m}^{[1-3]}$ 。根据表 1,对于第一类防雷建筑物, $I = 200 \text{ kV}$, $h_x = 0 \text{ m}$, 独立的接闪杆的接地装置与土壤中其他管线、电缆间的间隔距离可根据公式(2)简化为 $S_{el} \geq IR_i/E_R = 200 R_i/500$, 即

$$S_{el} \geq 0.4R_i, \quad (6)$$

式中, S_{el} 表示土壤中的间隔距离。

案例 1: 一个储存炸药的建筑物,尺寸为长 16.7 m , 宽 5.6 m , 高 6.3 m , 在距离该建筑物外墙 3.3 m 远处安装有一支 20 m 高独立接闪杆进行保护。经检测并换算,该独立接闪杆的冲击接地电阻值为 8.6Ω 。该接闪杆与炸药库的地上间隔距离和地下间隔距离满足规范要求吗?

地上间隔距离: $h_x = 6.3 < 5R_i = 5 \times 8.6 = 43$,

根据公式(3)计算 $S_{a1} = 0.4(8.6 + 0.1 \times 6.3) = 3.69$ 。接闪杆距离建筑物外墙为 $3.3 < 3.69$, 因此, 该接闪杆与建筑物的地上间隔距离不满足规范要求。

地下间隔距离: 根据公式(6)计算得出 $S_{e1} = 0.4 \times 8.6 = 3.44$ 。因为接闪杆入地点的接地装置距离建筑物外墙为 3.3 m , 即 $3.3 < 3.44$, 因此, 该接闪杆与建筑物的地下间隔距离不满足规范要求。

2 第二类、第三类防雷建筑物雷电防护装置间隔距离计算

根据《规范》^[2] 要求, 参照《雷电防护第三部分: 建筑物的物理损坏和生命危险》GB/T 21714.3-2015 第 3 部分 6.3 中规定, 外部雷电防护装置 LPS 的电气绝缘间隔距计算^[8]为:

$$S_{a2}(S_{a3}) = k_1 k_c l_X / k_m \quad (7)$$

式中: S_{a2} 表示第二类防雷建筑物空气中的间隔距离(单位 m); S_{a3} 表示第三类防雷建筑物空气中的间隔距离(单位 m); k_1 为各类防雷建筑物的取值(见表 4)^[8]; k_c 为分流系数, 按《规范》附录 E 取值; l_X 为引下线计算点到等电位连接点的长度(m), 连接点即金属物或电气和电子系统线路与雷电防护装置之间直接或通过电涌保护器相连之点, 根据实际测量数据取值; k_m 为电气绝缘材料系数^[8-11](见表 5)。

表 4 各类防雷建筑物的取值 k_1

防雷分类	k_1
第一类	0.08
第二类	0.06
第三类	0.04

表 5 电气绝缘材料系数 k_m

材料	k_m
空气	1.0
混凝土、砖	0.5

注: 有多个成系列的绝缘材料时, 最好取较低的 k_m 。

2.1 第二类防雷建筑物的间隔距离计算

对于第二类防雷建筑物, 公式(7)中, k_1 取值

0.06 , k_c 根据实际测量数据取值, k_m 空气中取 1。则公式简化为:

$$S_{a2} = 0.06 k_c l_X \quad (8)$$

当实际距离大于 S_{a2} 时, 可不做防高电位反击措施; 当实际距离小于 S_{a2} 时, 一般应采取防止高电位反击的有效措施。

2.2 第三类防雷建筑物的间隔距离计算

对于第三类防雷建筑物, 公式(7)中, k_1 取值 0.04 , k_c 根据实际测量数据取值, k_m 空气中取 1。则公式简化为:

$$S_{a3} = 0.04 k_c l_X \quad (9)$$

当实际距离大于 S_{a3} 时, 可不做防高电位反击措施; 当实际距离小于 S_{a3} 时, 一般应采取防止高电位反击的有效措施。

案例 2: 有一栋 11 层的第三类防雷建筑物, 1~3 层为办公及商铺用房, 4~11 层为住宅, 现因屋面改造, 沿四周重新做一圈接闪带后, 围绕大楼共设置了 4 条专设引下线, 其中一条引下线在距离地面 9.5 m 处与一条电缆线交叉而过, 交叉点处引下线与电缆线的垂直距离为 0.16 m , 电缆经过安装在距离地面 0.7 m 处的配电箱内的电涌保护器, 并引入大楼, 该引下线与电缆的间隔距离符合要求吗?

建筑物为第三类防雷建筑物, 接闪器为接闪带且闭合, 引下线为 4 条, 根据《规范》附录 E, 分流系数 $k_c = 0.44$, 引下线计算点到连接点的长度为 $l_X = 9.5 - 0.7 = 8.8 \text{ m}$, 根据公式(9), 引下线与电缆的间隔距离应不小于 $0.04 k_c l_X = 0.04 \times 0.44 \times 8.8 = 0.15 \text{ m}$ 才能符合要求, 实际上引下线与电缆的间隔距离为 $0.16 \text{ m} > 0.15 \text{ m}$, 因此该引下线与电缆的间隔距离符合规范要求, 不需要做防高电位反击措施。

3 结语

只有理解并掌握雷电防护装置间隔距离的计算公式的推导和计算, 才能在雷电防护装置设计、施工和检测工作中因地制宜地确定各种设备设施与雷电防护装置的间隔距离, 防范雷击事故发生。同时, 随着科技不断发展, 新的设备和设施不断应用, 将对间隔距离计算提出更高的要求。只有在今后的工作和实践中不断摸索、总结, 才能更好地

做好雷电防护工作,保障人民生命财产安全。

参考文献:

- [1] 建筑物防雷设计规范:GB 50057—2010[S]. 北京:中国计划出版社,2010.
- [2] 林维勇. 建筑物防雷的安全距离计算式[J]. 建筑电气,1991(4):21-24.
- [3] 高建文,杨东亮,李全景,等. 防雷安全距离的分类探讨[J]. 现代农业科技,2010(16):22.
- [4] 丘志彪. 建筑物防雷的分类与安全距离[J]. 气象研究与应用,2011(12):83-86.
- [5] 郑江,林苗. 避雷带(短针)接闪点与防雷建筑的安全距离[J]. 建筑电气,2004(2):16-18.
- [6] 曾永林. 接地技术[M]. 北京:水利电力出版社,1979.
- [7] 郑智慧,邢鹏翔,蓝磊,等. 输电杆塔接地体对埋地油气管道的临界击穿场强试验研究[J]. 电磁避雷器,2020(3):81-85.
- [8] 雷电防护第三部分:建筑物的物理损坏和生命危险:GB/T 21714.3—2015[S]. 北京:中国标准出版社,2015.
- [9] 侯彪. 防雷工程中的安全间距[J]. 煤气与热力,2016,36(4):A38-A42.
- [10] 邹德全,吴进忠,舒国勇,等. 独立防雷装置间隔距离计算公式[J]. 气象科技,2016(2):148-151.
- [11] 陈军. 间隔距离问题研究[J]. 建筑电气,2013(2):70-72.