

梁忠武,周睿,黄耀磊,等.关于高层建筑防侧击雷等电位连接圆钢用材规格的探讨[J].陕西气象,2020(2):55-58.

文章编号:1006-4354(2020)02-0055-04

关于高层建筑防侧击雷等电位连接圆钢用材规格的探讨

梁忠武¹,周睿²,黄耀磊¹,尹娟¹,周国军¹

(1. 湘西土家族苗族自治州气象灾害防御技术中心,湖南吉首市 416000;

2. 永顺县气象局,湖南永顺县 416700)

摘要:利用《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)中的雷击距理论公式和热力学中的有关焦耳定律公式,计算了侧击雷的雷电流特征及侧击雷防护等电位连接圆钢用材规格,分析探讨了等电位连接圆钢用材规格随建筑高度的变化关系。结果表明:建筑物高度越高,遭受的侧击雷电流幅值也越大;随着建筑高度的增加,防侧击雷等电位连接所需最大圆钢直径也将增大,它们之间基本呈线性增长关系。本文的研究结果可为高层建筑侧击雷防护节省圆钢用材提供理论指导。

关键词:高层建筑;侧击雷;雷电流幅值;等电位连接;圆钢直径

中图分类号:X43:S429

文献标识码:B

现代城市快速发展,高层建筑大量涌现。同时,全球气候变暖,极端天气气候事件频发,致使雷击事故时有发生。高层建筑不仅会遭受雷电直击,还会遭到雷电侧击,形成所谓的侧击雷。高层建筑一旦遭到侧击雷,轻则造成建筑侧面的门窗、幕墙、护栏、外挂空调损坏,重则可能造成相关人员的伤亡。高层建筑侧击雷防护是雷电安全工程的重要内容,直接关系到建筑雷电防护的有效性。侧击雷防护中,金属门窗、护栏等的等电位连接用材起到泄放雷电流的作用,如果等电位连接用材规格偏小,由于雷电的热效应将导致连接用材的融化,因而等电位连接用材规格的合理性直接关系到能否有效泄放雷电流,进而影响到侧击雷防护的有效性,所以防侧击雷等电位连接用材的研究显得尤为重要。

关于侧击雷的防护研究,邓峰等^[1-3]研究了玻璃幕墙、金属门窗、外挂空调等的侧击防护技术,李家启等^[4-5]研究了雷击绕击率特征及侧击雷雷电流幅值随建筑高度的变化情况,而关于侧击雷

防护中等电位连接用材规格的研究较少。徐泽芳等^[6-7]研究探讨了防雷引下线的截面积,在《建筑物防雷设计规范》(GB 50057—2010)(下文简称GB50057)^[8]中也只给出了等电位连接用材规格的一般要求。在不同建筑高度的情况下,由于侧击雷雷电流幅值大小的不同必然导致所需等电位连接用材规格的不同。通过理论计算分析侧击雷的雷电流幅值随建筑高度的变化,以及防侧击雷等电位连接用材(圆钢)规格随建筑高度的变化,这将对高层建筑防侧击雷等电位连接施工以及降低防护成本起到重要的指导意义。

1 侧击雷及防侧击雷用材的相关要求

根据 GB50057,击距与雷电流强度存在以下关系 $h_r = 10I^{0.65}$, $h_r(m)$ 为击距,即滚球半径(下统称为滚球半径), $I(kA)$ 为雷电流强度。每一个雷电流强度对应一个滚球半径,当雷电先导头部发展到离地面物体的距离等于或大于该雷电流强度对应的滚球半径临界值时,雷电流将被接闪。由规范对第一、二、三类防雷建筑物定义的滚球半径

收稿日期:2019-09-09

作者简介:梁忠武(1988—),男,汉族,湖南耒阳人,硕士,工程师,从事雷电物理和雷电防护技术研究。

(30、45、60 m),可分别计算出对应的有效拦截雷电流幅值为 5、10、16 kA^[8]。当雷电流幅值高于有效拦截雷电流幅值时,滚球半径大于临界值,雷电将击于接闪器;雷电流小于有效拦截雷电流幅值时,雷电将绕开接闪器击于被保护物,雷电绕开屋顶接闪器而击于被保护物的侧面时,形成侧击雷,所以侧击雷也可以被看作是一种绕击雷。从以上定义也可以看出相对于直击雷,侧击雷的雷电流幅值相对较小,这也决定了侧击雷防护用材区别于直击雷。

在直击雷防护中,规范明确规定用作接闪与引下雷电流的圆钢直径不少于 8 mm,防侧击雷主要考虑高层建筑金属门窗、护栏的等电位连接用材,GB50057 要求用作等电位连接的圆钢截面积不少于 50 mm²,这样一个规定比较笼统且不够具体。

2 侧击雷的雷电流幅值计算分析

当建筑的高度低(小)于滚球半径时,建筑遭受小于滚球半径所对应雷电流的侧击,雷击电流相对较小(有效拦截雷电流幅值以下);但当建筑的高度高(大)于滚球半径时,高出滚球半径部分遭受侧击雷的雷电流幅值不可预知。这种侧击雷对应的雷电流幅值有多大,其与建筑的高度又有何关系,需要进行计算分析。测量研究表明,自然雷电流幅值大概在 200 kA 以内^[9-10]。

选取 GB50057 中规定的第二类防雷建筑物,考虑到滚球半径以下高度部分侧击雷电流的幅值规范已给出,本文侧重分析二类防雷建筑对应滚球半径以上高度部分侧击雷电流幅值的变化,即以防侧击雷起始高度(45 m)对应的雷电流幅值(10 kA)为最小临界值开始计算分析,并且假定屋面有直击雷防护装置。

根据击距与雷电流强度关系可以得出: $I = (h_r/10)^{1.54}$ 。如图 1 所示,滚球 H_1 的滚球半径 h_r 对应的雷电流为 I_0 ,滚球 H_2 的滚球半径 h 对应的雷电流为 I_1 ,因此,当 $I < I_0$ 时, h_r 高度以下可能遭受雷电流的绕击,即小于 I_0 的雷电流会绕击于 AB 高度部分;当 $I < I_1$ 时, h 高度以下可能遭受雷电流的绕击,即小于 I_1 的雷电流会绕击于 BC 高度部分;当 $I_0 < I < I_1$, $h - h_r$ 高度部分(图 1 中 AC

高度部分)可能遭受雷电流的绕击,击于 AC 高度部分的雷电流为 $I_0 \sim I_1$ 即为本文要研究的侧击雷雷电流幅值范围。

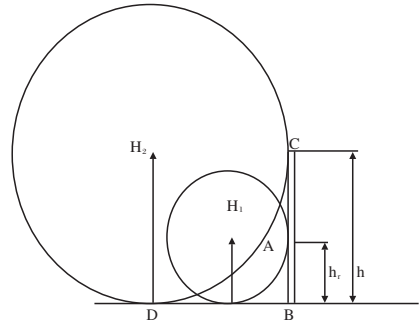


图 1 建筑物滚球半径与保护范围示意图

(图中 H_1 代表小的滚球,其滚球半径为 h_r ,对应图中 A 点高度; H_2 代表大的滚球,其滚球半径为 h ,对应图中 C 点高度;B 点位于地面,A、B、C 处于同一垂直线。)

若取建筑高度 h 为 100 m,滚球半径 h_r 为 45 m,可计算出 $I_0 \approx 10$ kA, $I_1 \approx 35$ kA。即建筑高度低于 45 m 部分遭受绕击雷的雷电流幅值范围为: $0 \text{ kA} < I < 10 \text{ kA}$;低于 100 m 部分建筑遭受绕击或侧击的幅值范围为: $0 \text{ kA} < I < 35 \text{ kA}$;建筑高度高于 45 m 部分遭受侧击雷的雷电流幅值范围为: $10 \text{ kA} < I < 35 \text{ kA}$ 。

为进一步得到建筑高度与侧击雷雷击电流幅值之间的关系,本文针对不同建筑高度进行计算,结果如图 2 所示。

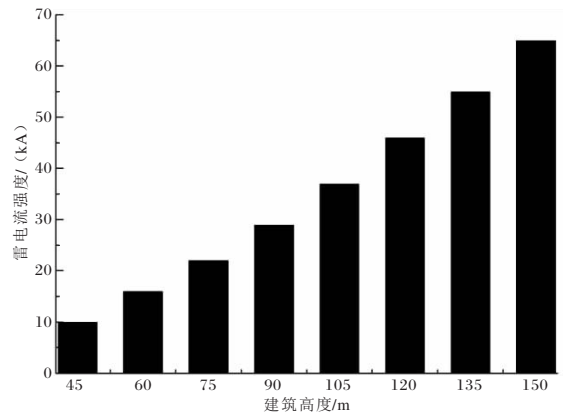


图 2 二类防雷建筑侧击雷雷电流幅值区间随建筑物高度的变化

从图 2 可以看出,在滚球半径以上高度部分,遭受侧击雷雷电流幅值范围随着建筑高度的增高

而增大。对于二类建筑,在 90 m 处,其遭受侧击雷电流幅值区间在 10~30 kA;在 150 m 处,其遭受侧击雷雷电流幅值区间在 10~65 kA。侧击雷雷电流幅值随建筑高度的增高而增大将导致防侧击雷所需材料规格的变化。

3 防侧击雷等电位连接用材截面积的计算分析

雷电流通过金属导体时,若金属导体的截面积不够大,可能使导体融化,甚至引发火灾。在侧击雷的作用下,等电位连接导体的截面积应满足一定规格要求,才能保证泄流的有效性。以上的计算表明,随着建筑高度的增加侧击雷电流幅值也会增大,最终也将导致所需导体材料规格的变化,通过理论计算分析等电位连接用材规格的变化。

考虑首次雷击的情形,并假定雷电流以同样的波形重复 5 次,一次雷电平均包括 3~4 次放电^[11-12]。因此,在单位长度的钢筋里由一次雷电产生的总热量^[6,13-14]为

$$\sum Q = 5 \int_0^t 10^6 i^2 \rho S^{-1} dt = 5 \rho S^{-1} \int_0^t 10^6 i^2 dt. \quad (1)$$

式(1)中 i 为随时间变化的雷电流(kA), ρ 为钢筋的平均电阻率($\Omega \cdot \text{mm}$), S 为钢筋的截面积(mm^2), t 为时间变量(s)。

雷电流波形采用半余弦波^[6],将(1)式右边的积分式分两部分进行积分可得到 $\sum Q = 6\,569.42 \rho S^{-1} I_m^2$ 。

单位长度(1 mm)钢筋里的内能变量为

$$Q' = CgS\Delta T. \quad (2)$$

式(2)中 C 为钢筋的平均比热容,取 $0.458 \text{ J/g} \cdot \text{ }^\circ\text{C}$; g 为钢筋的密度 $7.85 \times 10^{-3} \text{ g/mm}^3$; ΔT 为从正常温度升高到某一温度的温度增量($^\circ\text{C}$)。

根据(1)、(2)式 计算得到

$$S = I_m \sqrt{\frac{6\,569.42\rho}{Cg\Delta T}}. \quad (3)$$

钢升高到某温度时的电阻率 ρ_1 可按下式计算

$$\rho_1 = \rho_0 (1 + 4.5 \times 10^{-3} \Delta T + 5.8 \times 10^{-6} \Delta T^2). \quad (4)$$

式中 ρ_0 为钢在正常温度(设为 $40 \text{ }^\circ\text{C}$)时的电阻率,可为 $(12 \sim 16) \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{mm}$,计算时取 $\rho_0 = 14 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{mm}$ 。

侧击雷电流流过圆钢后,其最高温度按 $80 \sim$

$100 \text{ }^\circ\text{C}$ 考虑,考虑侧击雷的分流系数 $K_c = 0.44$ (等同于多根引下线的形式),则有

$$S = 0.44 I_m (6\,569.42 \rho / Cg\Delta T)^{1/2} = \pi (d/2)^2. \quad (5)$$

式(5)中 d 为圆钢直径。

如果钢的最终温度按 $100 \text{ }^\circ\text{C}$ 计算,则 $\Delta T = 60 \text{ }^\circ\text{C}$,计算得到 $d = 1.15 (I_m)^{1/2}$;如果钢的最终温度按 $80 \text{ }^\circ\text{C}$ 计算,则 $\Delta T = 40 \text{ }^\circ\text{C}$,计算得到 $d = 1.26 (I_m)^{1/2}$ 。

结合本文第 2 部分中关于建筑高度与侧击雷最大雷电流幅值的关系,可以计算得到不同高度的建筑防侧击雷等电位连接圆钢用材所需的最大规格,计算结果如表 1 所示。从表 1 可以看出,随着建筑高度的增加,防侧击雷等电位连接所需圆钢的最大直径也在增大,不同于规范中对引下线最小规格 $d = 8 \text{ mm}$ 的要求,防侧击雷等电位连接所需圆钢最大直径可能小于 8 mm 也可能大于 8 mm ,例如当建筑高度在 90 m 时,所需的最大圆钢直径约在 7 mm ;当建筑高度达到 150 m 时,所需的最大圆钢直径约在 10 mm 。如果考虑第二类防雷建筑物的最大雷电流 150 kA (当作侧击雷电流),当钢的允许温度增量为 $60 \text{ }^\circ\text{C}$ 时,可计算得到圆钢直径 $d = 14.08 \text{ mm}$ 是最大值;当钢的允许温度增量为 $40 \text{ }^\circ\text{C}$ 时,圆钢直径 $d = 15.43 \text{ mm}$ 是最大值。

表 1 不同建筑高度下防侧击雷等电位

建筑物高度/m	连接圆钢最大直径 mm	
	$d(\Delta T = 60 \text{ }^\circ\text{C})$	$d(\Delta T = 40 \text{ }^\circ\text{C})$
45	3.66	4.01
60	4.57	5.00
75	5.43	5.95
90	6.24	6.84
105	7.03	7.70
120	7.79	8.54
135	8.53	9.35
150	9.25	10.14

4 结论与讨论

利用 GB50057 中击距与雷电流之间的关系及热力学相关定律,计算分析了侧击雷的雷电流

幅值随建筑高度的变化,以及防侧击雷等电位连接圆钢用材规格随建筑高度的变化,得到以下结论。

(1)建筑高度越高,侧击雷的雷电流幅值范围越大,遭受的侧击雷雷电流幅值将越大。

(2)建筑高度越高,防侧击雷等电位连接圆钢用材所需直径越大,并且防侧击雷等电位连接的最大圆钢直径与建筑高度之间基本上呈线性增长关系。

(3)考虑二类防雷建筑物,分流系数为 0.44 时,以 150 kA 作为最大侧击雷电流,当钢的允许温度增量为 60 °C 时,圆钢直径与雷电流关系式为 $d=1.15(I_m)^{1/2}$,圆钢直径 $d=14.08$ mm 是最大值,当钢的允许温度增量为 40 °C 时,圆钢直径与雷电流关系式为 $d=1.26(I_m)^{1/2}$,圆钢直径 $d=15.43$ mm 是最大值。

(4)实际高楼里的钢筋是成网状链接的,雷电流的散流更为复杂,本文计算分析时进行了简化,因而本文研究得到的圆钢直径和实际所需圆钢直径可能存在一定差异,有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 邓锋,吴少丰.高层建筑防侧击雷问题的讨论[J].广东气象,2002(S1):19-20.
- [2] 邵志明.玻璃幕墙防护侧击雷的施工方法[J].内蒙古气象,2009(2):47-48.
- [3] 李霞,肖稳安,朱贵刚.高层建筑分体式空调室外机的雷电防护[J].南京气象学院学报,2005,28(2):219-224.
- [4] 李家启.基于闪电定位系统的雷击建筑物绕击率分析与区划[J].气象科技,2013,41(2):412-416.
- [5] 周国军,梁忠武,尹娟,等.基于 GB50057 的侧击雷电流特征分析[J].气象科技,2017,45(4):767-770.
- [6] 徐泽芳.防雷引下线截面积的确定方法[J].科技资讯,2008,33(58):248-249.
- [7] 李维时,庞传贵.雷电成因及防雷引下线截面积的探讨[J].防雷接地,2012,1(17):70-72.
- [8] 中国机械工业联合会.GB50057—2010 建筑物防雷设计规范[S].北京:中国计划出版社,2011.
- [9] 陈家宏,童雪芳,谷山强,等.雷电定位系统测量的雷电流幅值分布特征[J].高电压技术,2008,34(9):1893-1897.
- [10] 李瑞芳,吴广宁,曹晓斌,等.雷电流幅值概率计算公式[J].电工技术学报,2011,26(4):161-167.
- [11] 肖稳安,张小青.雷电与防护技术基础[M].北京:气象出版社,2006:22.
- [12] 郭在华,刘俊,覃彬全,等.防雷装置与器件[M].北京:电子工业出版社,2017:11.
- [13] 全蜀.超高层建筑利用钢结构防雷雷电效应研究[J].建筑电气,2015(1):55-57.
- [14] 刘俊.建筑物金属结构雷电流热效应计算研究[J].建筑电气,2014(6):30-33.