

建筑物金属构架对近区雷击的磁场屏蔽效果

傅正财 吴 斌 徐 霖 (上海交通大学电气工程系 200030)

摘 要 基于电路法计算分析近区雷击时建筑物金属构架的磁场屏蔽效果, 并进行了实验验证。研究表明, 金属构架对脉冲磁场有屏蔽效果。磁场屏蔽系数以构架网格为单位呈阶梯式分布, 其效果是使得建筑物内的磁场分布趋于均匀。

关键词 近区雷击 磁场屏蔽 建筑物金属构架 电路法

1 引言

国内外对建筑物遭直接雷击时室内的磁场分布已经有很多的研究。但对非直接雷击情况下建筑物内的电磁环境的研究相对较少。实际上在现代城市建筑群中雷击邻近的高层建筑物以及雷击点在建筑物附近的所谓近区雷击现象比直接雷击更频繁。另外, 当建筑物有独立的防雷引下线时实际上也属于一种邻近雷击的特例。通常认为, $r \ll \lambda/2\pi$ 的区域为近场区。当雷击建筑物附近时, 按 $2.6/40\mu\text{s}$ 、 $8/20\mu\text{s}$ 和 $10/350\mu\text{s}$ 的雷击电流波形考虑, 其近区场的范围约为 $r < 497\text{m}$ 、 1528m 和 1910m 。

本文按距离建筑物 500m 的范围讨论近区雷击产生的磁场。在此条件下雷电通道对建筑物内的电磁环境的影响主要是静电场和感应场的作用, 可以通过适当简化, 将雷电放电通道模拟成直载流线, 引入电路法来计算建筑物金属构架上的感应电流分布, 在此基础上计算室内的磁场分布和金属构架的屏蔽效果。

2 数值计算及其实验验证

图 1 为雷电通道或防雷引下线的分段和建筑物金属构架之间的耦合关系示意图。图中, L_s 、 R_s 、 C_{s1} 和 C_{s2} 分别为其等效电感、电阻和对地电容, L_m 、 C_{m1} 和 C_{m2} 分别为相互间的互电感和互电容。在计算金属构架上的感应电流分布时, 各分段支路之间的耦合作用必须考虑。因为雷电通道和金属构架之间的电磁耦合作用, 金属构架上产生感应电流。

数值计算采用考虑全耦合作用的电路法, 雷电流采用双指数波形。电路法已有很多文献介绍, 在此不作介绍。分支导体的分段长度不超过雷电流最

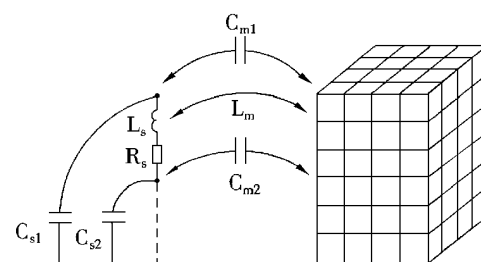


图 1 近区雷击时的电感耦合和电容耦合

大频谱分量对应波长的 $1/10$ 。每个分段导体采用耦合 π 型集中参数电路来模拟, 并考虑大地的镜像作用。自电感、互电感采用考虑大地影响的复数透入深度的 Neumann 积分公式计算; 自电容、互电容采用平均电位法来计算。先求各支路的暂态电流分布。然后应用麦克斯维方程和毕奥—沙伐定律求解磁场分布。

为验证计算结果, 实验室搭建的建筑物金属构架比例模型如图 2 所示。直径 1cm 的圆钢焊接成尺寸为 $2\text{m} \times 2\text{m} \times 2\text{m}$ 的共有 260 条支路构架, 底部牢固焊接在面积为 $2.4\text{m} \times 2.4\text{m}$ 厚度为 1.5mm 厚的钢板上。雷电通道或独立防雷引下线用高 2.5m 的圆钢模拟, 通过铜带引入冲击电流。圆钢的电导率取 $\sigma = 9.78 \times 10^6 \text{S/m}$ 。

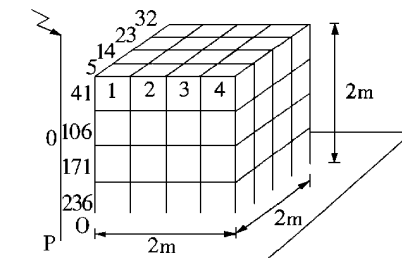


图 2 260 支路金属构架比例模型

注: 0—0 号支路(近区雷击通道); P—近区雷击点; O—坐标原点。

建筑电气 2005 年 第 1 期

根据图 2 的模型结构和参数建立数值计算的电路模型, 编制 Fortran 程序计算近区雷击时构架上的感应电流和内部磁场分布。主放电电路的冲击电流用分流器测量, 金属构架上的感应电流用罗果夫斯基线圈测量, 构架内的磁场用自制的经过校核的磁场探测线圈测量。

由于支路数多, 选取 12 条主要支路进行实验测量, 测量支路的编号见图 2。磁场测量点选在构架内正对引下线圆钢的对角线上均匀取 24 个点, 测量高度为 0.75m。因每次施加的冲击电流有一定的分散性, 电流测量时考虑支路感应电流(I_r)与施加电流(I_s)的比值, 磁场测量时考虑各测点的磁感应强度与施加电流的比值。按实验中实际产生的峰值为 5kA 波形为 7.4/18.2 μ s 的模拟雷电流进行计算。计算中考虑了引线对电流分布的影响。计算值和测量值比较于图 3 和图 4。电流的最大偏差小于 10%。在模型的中间部分, 由于线圈的定位困难且磁场很小, 磁场计算值与测量值的偏差较大。从图中可见, 总的来说计算具有很好的准确度, 电流分布和磁场的计算值与实测值相符。说明这种电路法计算近区雷击对建筑物内的磁场分布是有效的, 可用于分析金属构架的磁场屏蔽效果。

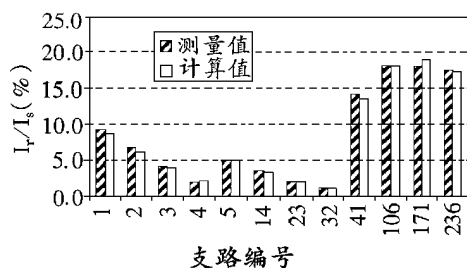


图 3 感应电流分布的计算值与测量值

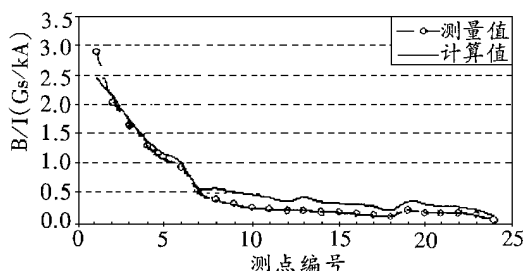


图 4 磁感应强度测量值和计算值

3 金属构架的磁场屏蔽效果分析

验证了数值计算的有效性, 计算研究近区雷击时建筑物金属构架的屏蔽效果。计算模型见图 2, 设建筑物尺寸为 20m $\times$ 20m $\times$ 20m, 雷击点坐标位

置为(-0.5m,-0.5m)。图 5 和图 6 分别给出了在 $h=10$ m 处的磁场分布和沿对角线上的磁场屏蔽系数(定义为有建筑物存在和没有建筑物存在时同一点上的磁感应强度峰值之比)。可见磁场屏蔽系数具有和磁场分布相反的分布特点, 在靠近雷击点的区域, 磁场强度大, 屏蔽系数小, 即屏蔽效果好; 在远离雷击点的区域, 磁场强度小, 屏蔽系数大, 即屏蔽效果减弱。屏蔽系数具有以构架网格为单位, 呈阶梯式分布的特点。由于导体上感应电流的作用, 在垂直导体附近有一个跃变的过程。靠向雷击点的区域屏蔽系数显著减小, 而背离雷击点的区域屏蔽系数显著增加。而在相邻的两个垂直导体之间, 屏蔽系数基本保持不变。屏蔽系数随着网格位置变化, 呈阶梯式上升。

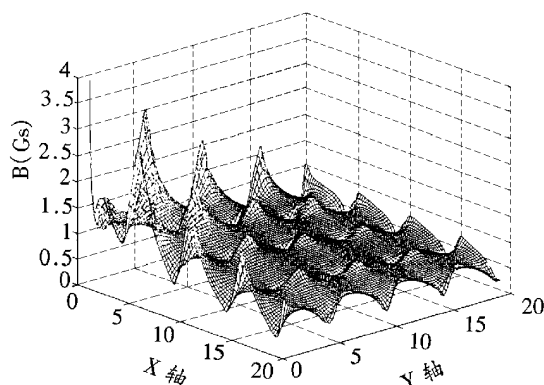


图 5 $h=10$ m 处磁场分布

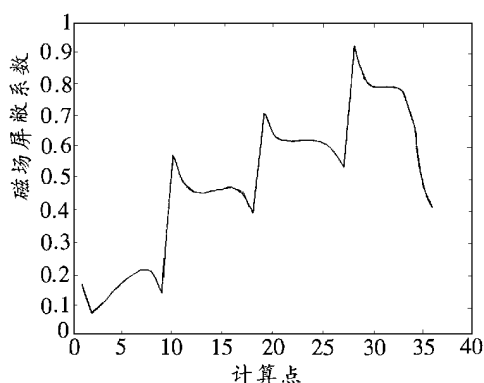


图 6 $h=10$ m 处对角线上磁场屏蔽系数

从图 6 中可见, 金属构架对近区雷击产生的脉冲磁场是有屏蔽效果的, 其屏蔽系数呈阶梯式递增分布的结果是使得构架内的磁场分布趋于均匀, 实际上就是起到了法拉第笼的作用。

在整个 $h=10$ m 的平面上, 磁场屏蔽系数的分布则如图 7 所示。

钢筋混凝土卫星发射脐带塔防雷过压保护

杨振国 (北京市海淀区 63926 部队 100085)

摘 要 详细介绍了钢筋混凝土卫星发射脐带塔防雷电干扰的成功经验,采用外部防雷和内部防雷相结合的综合防雷方案,提高了火箭和卫星防雷击的可靠性,保证了电源供电系统和自动化信息系统免受雷电的袭击。

关键词 雷电危害 外部防雷 内部防雷 浪涌保护器 等电位连接

在钢筋混凝土卫星发射脐带塔中,大量的科学试验数据通过高速电脑、自动化设备以及通讯设备,这些敏感电子设备的集成度高,工作电压却很低,因而它们受到过压特别是雷电袭击而受到损害的可能性就大大增加。其后果可能使整个系统的运行中断,并造成难以估算的经济损失,雷电和浪涌过电压对钢筋混凝土卫星发射脐带塔构成了严重威胁。

1 雷电过电压及对钢筋混凝土卫星发射脐带塔的危害

1.1 雷击造成危险过电压

雷击中心 1.5 ~ 3km 范围内都可能产生 100kV 以上的危险过电压,损害钢筋混凝土卫星发射脐带塔上的电气和电子设备。近年来随着航天技术的发展,大量数据设备和精密仪器的应用范围日益广泛,雷电损害造成的事故有逐年上升的趋势。

参 考 文 献

- 1 S.Cristina and A.Orlandi.Calculation of the induced effects due to a lightning stroke, IEE Proceedings-Part B, 1992, vol.139: 47 ~ 55
- 2 Y.Du, S.Chen, J.Burnett.Experimental and numerical evaluation of surge current distribution in building during a direct lightning stroke.The Hong Kong Institution of Engineers Transactions, 2001, Vol.8, No.1:1 ~ 6
- 3 张小青,陈水明,吴维韩.建筑物钢结构中考虑参数频变特性的雷电暂态响应,清华大学学报(自然科学版),1997,37(6):103 ~ 107
- 4 王庆,傅正财,杜亚平.导电构架对雷击建筑物时室内磁场分布的影响,建筑电气,2001,20(3):29 ~ 34

Shielding Effect of the Building Metal Cage Against Magnetic Fields Excited by Near Lightning Strokes

Fu Zhengcai Wu Bin Xu Lin

(Dept.of Electrical Engineering, Shanghai Jiaotong University 200030 China)

Abstract The shielding effect of the building metal cage against magnetic field excited by a near-field lightning strike is investigated based on circuit approach simulations.The effectiveness of the simulation is evaluated by experimental measurements.The results show that the metal cage does have shielding effect against the LEMP.Due to the effect of the induced current,the shielding factor curve features a cascade distribution.The effect is to homogenize magnetic field distribution inside the building.

Key words Near-field lightning strike Building metal cage Shielding effect

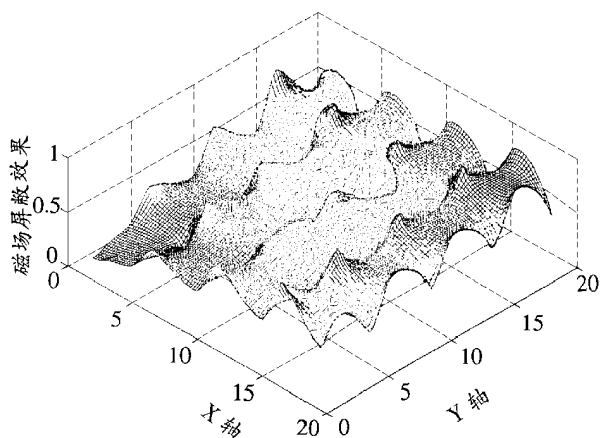


图7 h = 10m 平面上的磁场屏蔽系数分布

4 结论

建筑物的金属构架对近区雷击产生的脉冲磁场有一定的屏蔽作用。其屏蔽系数具有与磁场分布相反的特点,离雷击点近屏蔽效果好,离雷击点远处屏蔽效果较差。这种屏蔽作用的效果是使得建筑物内磁场分布趋向均匀。随着距离雷击点位置的增大,磁场屏蔽系数曲线有以构架网格为单位呈阶梯式分布的特点,在垂直导体附近屏蔽系数有跃变,而在相邻导体之间,屏蔽系数基本保持不变。