

任恒,龚家军,王琼,等. 基于 Matlab 软件研究法拉第笼在防雷技术中的应用[J]. 陕西气象,2017(3):12-14.

文章编号:1006-4354(2017)03-0012-03

基于 Matlab 软件研究法拉第笼在防雷技术中的应用

任 恒,龚家军,王 琼,吕蓓蓓

(十堰市气象局,湖北十堰 442000)

摘 要:目前针对法拉第笼在防雷技术中的应用方面的研究较笼统,大都是根据国际电工委员会(International Electro Technical Commission)的相关公式进行简单定性分析,缺乏针对性的量化分析。本文利用公式以及 matlab 仿真软件,主要研究了有无法拉第笼屏蔽存在时,建筑物距雷击点 0~250 m 范围内建筑物内空间磁场变化情况。结果显示:(1)有无法拉第笼,雷击产生的电磁场强度在传播过程中均存在一定的衰减。(2)有法拉第笼时,在没有其他雷电电磁脉冲防护的情况下,建筑物距雷击点 0~48 m 的范围内,将会对其中的计算机造成永久性损坏;大于 48 m 小于 187.2 m 的范围内,将会造成计算机假性损坏;大于 187.2 m 小于 468.1 m 的范围内,将会造成计算机误动作。法拉第笼的屏蔽效果十分明显。

关键词:法拉第笼;雷电电磁脉冲;分流;屏蔽;安全距离

中图分类号:P49

文献标识码:A

现代防雷体系包括防直击雷和防雷击电磁脉冲(LEMP),防雷击电磁脉冲主要是针对一些电磁效应敏感的现代化的电子设备,通过拦截、疏导最后泄放入地的一体化系统方式防止电磁脉冲对电子信息设备造成损害。100 多年前的物理学家 J. C. 麦克斯韦就主张用金属法拉第笼作为防雷措施,防雷性能比常用的方法更加安全可靠,并可节约大量的财力和物力^[1]。现在大多数建筑为钢架或钢筋混凝土结构,已经非常接近法拉第笼了,因此比较容易实现法拉第笼防雷击电磁脉冲,同时也经济许多。

目前,关于法拉第笼在防雷技术应用方面的研究大多很笼统,分析都是根据国际电工委员会(International Electro Technical Commission,简称 IEC)的相关公式,结合法拉第笼原理,简单定性分析法拉第笼在分流、均流和防雷击电磁脉冲两方面的作用,缺乏必要的量化分析,同时以往的研究大多也没有应用仿真软件,对有无法拉第笼时的情况进行具体对比分析。因此,本文主要是

通过将雷击的雷电流参量数值代入相关公式中,通过计算来对比有无法拉第笼在雷击电磁脉冲防护效果上的差异。研究所得结论,对感应雷防护工程工作具有一定的借鉴意义。

1 法拉第笼原理

法拉第笼就是笼型结构的良导体。实验表明,通过特斯拉线圈产生几万伏特高压加在法拉第笼上,在笼里面的人仍安然无恙。这是因为金属法拉第笼本身是一个等势体,人在里面不会产生电势差,也就不会有电流,因此人会很安全。法拉第笼在防雷中的应用主要体现在两个方面:(1)由静电平衡的原理,法拉第笼本身是一个等势体,内部电势处处为零,在比较理想的环境下,内部电场几乎为零,起到屏蔽电磁场、雷电电磁脉冲的作用;(2)法拉第笼内的钢筋会对雷击电流起到均流分流的作用。此外,如图 1 所示,常见的情况下,雷电流会对称流过法拉第笼内的钢筋,由物理学中的右手定则可知,内部的电磁场会互相抵消,因此大大降低了电磁场的大小^[2]。

收稿日期:2016-09-22

作者简介:任恒(1975—),男,湖北房县人,汉族,学士,工程师,主要从事雷电防御工作。

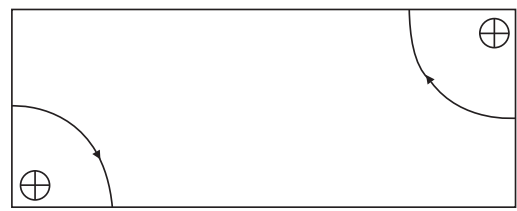


图 1 法拉第笼内部电磁场相互抵消示意图

2 有无法拉第笼时磁场强度分析

2.1 无法拉第笼

雷击建筑物时,若无法拉第笼防护,那么雷击点附近的电磁场无衰减,应按安培环路定律来计算^[3]

$$H_0 = i_0 / (2\pi S_a)。$$
 (1)

公式中, H_0 表示没有法拉第笼屏蔽产生的没有衰减的磁场强度(A/m), i_0 表示最大雷电流(A), S_a 表示雷击点与法拉第笼屏蔽整个立体空间的平均距离(m)。

一般取首次正极性雷击的雷电流强度为 200 kA^[3],假设雷击点与没有屏蔽建筑立体空间之间的平均距离为 100 m^[4],代入公式 1 得到 $H_0 = 318.3$ A/m,进一步计算得到雷电电磁感应强度约为 4 Gs。按 1971 年美国通用研究公司(General Research Corporation)R. D. 希尔利用仿真试验建立的模型证明:对无屏蔽的计算机,当雷电干扰当磁感应强度为 0.03 Gs 时,电子计算机设备会产生误动作;为 0.75 Gs 时,电子计算机设备会产生假性破坏;为 2.4 Gs 时,电子计算机设备会产生永久性损坏^[5]。

使用 Matlab 软件,取雷电流强度为 200 kA,模拟建筑物距雷击点 0~250 m 范围建筑物内空间磁场强度变化趋势(见图 2)。由图 2 可以看出,随着与雷击点距离的增加,其磁场强度呈递减的变化趋势。进一步计算发现,在距雷击点 0~132 m 的范围内,建筑物内空间电磁感应强度大于 2.4 Gs,且变化幅度较大,若没有其他雷击电磁脉冲防护将会对其中的计算机产生永久性损坏;在距雷击点 133~250 m 范围内,电磁感应强度为 2.39~1.27 Gs,变化幅度较小。

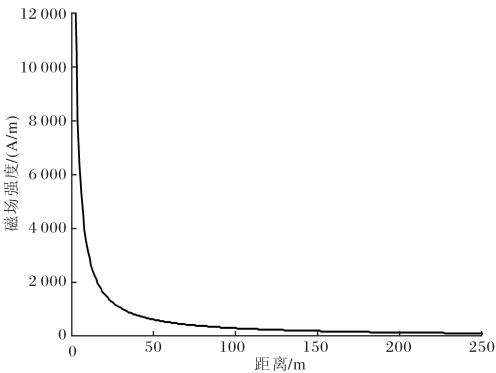


图 2 无法拉第笼时磁场强度随距离的变化趋势

2.2 有法拉第笼

雷击建筑物时,雷击点在格栅形法拉第笼以外的情况下,此时法拉第笼会产生屏蔽效应,在法拉第笼空间之内,即在 LPZ1(雷电防护 1 区)区内的磁场强度应按以下公式计算^[3]

$$H_1 = H_0 / 10^{SF/20}。$$
 (2)

其中, H_1 表示法拉第笼空间屏蔽内的磁场强度(A/m), SF 表示屏蔽系数,取值参考表 1。

表 1 屏蔽系数 SF 取值

材料	铜 / 铝	钢 ^③
SF	$20\log(8.5/\omega)$	$20\log[(8.5/\omega) / \sqrt{1 + 18 \times 10^{-6}/r^2}]$

注: r 为材料的半径,单位 mm;本文主要研究法拉第笼对首次正极性雷击磁场的屏蔽效应,磁场的频率为 25 kHz。

公式 2 仅对在各 LPZ 区(雷电防护区)内距屏蔽层有一定安全距离的安全空间内才有效,安全距离应按下列公式^[3] 计算。

当 $SF \geq 10$ 时, $d_{s/1} = \omega^{SF/10}$; (3)

当 $SF < 10$ 时, $d_{s/1} = \omega。$ (4)

式中, $d_{s/1}$ 表示安全距离(m), ω 表示法拉第笼屏蔽网格宽度(m)。

取雷电流强度为 200 kA,假设屏蔽网格宽度为 3 m 的格栅形屏蔽空间,且网格材料为铜/铝,使用 Matlab 软件模拟建筑物距雷击点 0~250 m 范围建筑物内空间磁场变化趋势(见图 3)。由图 3 可以看出,随着与雷击点距离的增加,其磁场强度呈递减变化趋势。进一步计算发现,在距雷击

点 0~48 m 范围内,其电磁感应强度大于 2.4Gs,若没有其他雷击电磁脉冲防护将会对其中的计算机产生永久性损坏;在距雷击点 100 m 范围之外,磁场强度变化幅度较小,且不会对计算机造成永久性损坏。但在现实情况中,单单只靠法拉第笼的一次屏蔽很难达到较好的屏蔽效果,必须在后续的防雷区再加几层屏蔽。

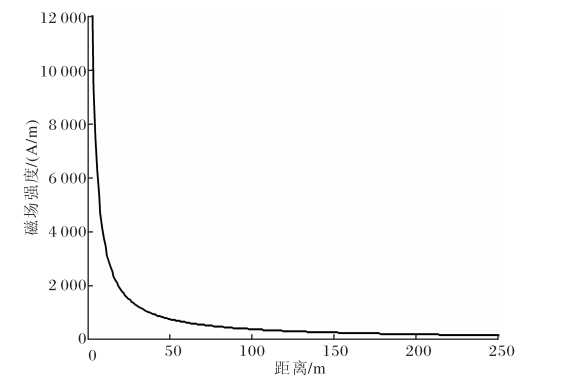


图 3 存在法拉第笼时磁场强度随距离的变化趋势

图 2 和图 3 主要体现了法拉第笼的屏蔽效果。从数学角度考虑,得到的曲线下面的覆盖面积体现了屏蔽能力的大小,面积越小,屏蔽能力越强,明显图 3 中曲线下面的覆盖面积比图 2 小的多,说明法拉第笼的屏蔽效果较好。

3 有无法拉第笼时建筑物与雷击点距离比较

在雷电流强度为 200 kA 情况下,计算建筑物内空间电磁感应强度分别为 0.03、0.75、2.4 Gs 时,雷击点与建筑物的距离(见表 2)。从表 2 可以看出,没有法拉第笼存在时,在没有其他雷电电磁脉冲防护的情况下,建筑物距雷击点 0~132 m 的范围内,将会对其中的计算机造成永久性损坏;超过 132 m 小于 530.5 m 的范围内,将会造成计算机假性损坏;大于 530.5 m 小于 1 326.3 m 的范围内,将会造成计算机误动作。有法拉第笼时,在没有其他雷电电磁脉冲防护的情况下,建筑物距雷击点 0~48 m 的范围内,将会对其中的计算机造成永久性损坏;大于 48 m 小于 187.2 m 的范围内,将会造成计算机假性损坏;大于 187.2 m 小于 468.1 m 的范围内,将会造成计算机误动作。

有法拉第笼存在时,屏蔽效果比无法拉第笼存时增加了 2.8 倍左右,法拉第笼的屏蔽效果十分明显。

表 2 有无法拉第笼建筑物与雷击点的距离 m			
有无法拉第笼	2.4 Gs	0.75 Gs	0.03 Gs
无	132	530.5	1 326.3
有	48	187.2	468.1

4 结论

利用 Matlab 软件,从定量的角度研究计算了建筑物有无法拉第笼时,雷击点距离建筑物水平距离 0~250 m 范围内的磁场变化情况。得出主要结论。

(1)无论有无法拉第笼,雷击产生的电磁场强度在传播过程中均存在一定的衰减。

(2)有法拉第笼时,在没有其他雷电电磁脉冲防护的情况下,建筑物距雷击点 0~48 m 的范围内,将会对其中的计算机造成永久性损坏;大于 48 m 小于 187.2 m 的范围内,将会造成计算机假性损坏;大于 187.2 m 小于 468.1 m 的范围内,将会造成计算机误动作。法拉第笼的屏蔽效果十分明显。

参考文献:

[1] 虞昊,臧庚媛,张勋文. 现代防雷基础[M]. 北京:清华大学出版社,1995:200.

[2] 冀全利,李永敏. 法拉第笼式避雷网在建筑工程中的探索及应用[J]. 房材与应用,2006,32(4):52-54.

[3] GB 50057—2010 建筑物防雷设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2011:46-81.

[4] Perkins M P, Ong M M, Brown C G, et al. Analysis of Conductor Impedances Accounting for Skin Effect and Nonlinear Permeability[R]. Office of Scientific & Technical Information Technical Reports, 2011:420-425.

[5] 虞昊,臧庚媛,张勋文. 现代防雷基础[M]. 北京:清华大学出版社,1995:216.