



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103543386 A

(43) 申请公布日 2014. 01. 29

(21) 申请号 201310483383. 8

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2013. 10. 16

G01R 31/08 (2006. 01)

(71) 申请人 清华大学

地址 100084 北京市海淀区清华园 1 号

申请人 国家电网公司

华北电力科学研究院有限责任公司

华北电网有限公司

(72) 发明人 余占清 王运超 王泽众 彭珑

李雨 赵媛 陈水明 何金良

曾嵘 端木林楠 牛晓民 王萍

(74) 专利代理机构 北京清亦华知识产权代理事
务所（普通合伙） 11201

代理人 罗文群

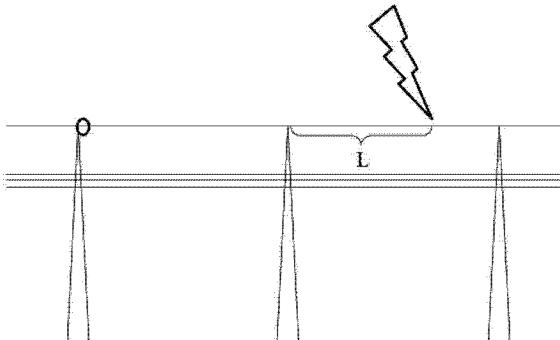
权利要求书1页 说明书6页 附图4页

(54) 发明名称

一种输电线路的雷击定位方法

(57) 摘要

本发明涉及一种输电线路的雷击定位方法，属于高电压试验设备及测量技术领域。本方法通过查询雷电流在线监测系统监测数据，获取击中杆塔的雷电流经杆塔和输电线路分流后，通过该监测系统的雷电流传感器的电流幅值、电流波形、上升时间、半波时间；通过查询雷电定位系统监测数据，取得同时刻同区域的雷击时间、雷击区域、雷电流幅值、雷电回击次数数据；结合仿真计算得出的雷电波形经过杆塔后的衰减关系，及雷击点距离杆塔不同位置的电流分流关系，考虑雷电定位系统的误差，得出雷击点的位置区间。本方法定位精度高，有利于线路雷击损坏的快速查找和修复；并保证了数据有效性和可靠性，节省了输电线路雷击故障的查找和线路修复时间。



1. 一种输电线路雷击定位方法,其特征在于该方法包括以下步骤:

(1) 从雷电流在线监测系统中获取雷电流在线监测系统所安装的杆塔的位置 P_1 、雷击时间 t_1 、以及击中杆塔的雷电流经杆塔和输电线路分流后通过在线监测系统中雷电流传感器的雷电流特征参数,雷电流特征参数包括雷电流的电流幅值 I_1 、雷电流波形、上升时间 t_{up1} 和半波时间 t_{hl1} ,并从雷电流波形中,得到波峰次数 N_1 ;

(2) 从雷电定位系统中获取监测数据,监测数据包括同时刻同区域的雷击时间 t_2 、雷电流击中区域 P_2 、雷电流幅值 I_2 和雷电回击次数 N_2 ;

(3) 将上述雷电流在线监测系统中获取的雷击时间 t_1 、雷电流在线监测系统所安装的杆塔的位置 P_1 、雷电流特征参数中的电流幅值 I_1 和波形中的波峰次数 N_1 ,与雷电定位系统监测数据中的雷击时间 t_2 、雷电流击中区域 P_2 、雷电流幅值 I_2 、雷电回击次数 N_2 进行比对,若同时满足 t_1 与 t_2 相差 1 毫秒以内、 P_1 位于区域 P_2 内、 N_1 与 N_2 相同,且 I_1 小于 I_2 ,则判定雷电流在线监测系统记录的数据和雷电定位系统记录的数据由同一雷电引起;

(4) 根据雷电击中输电线路时,输电线路中,地线上的雷电流幅值 I 、上升时间 t_{up} 和半波时间 t_h 与雷击点和观测点之间的杆塔数量及杆塔间线路的段数的理论关系表和理论关系曲线,将上述雷电流幅值 I_1 与雷电流幅值 I_2 的比值 I_1/I_2 、上升时间 t_{up1} 和半波时间 t_{hl1} 代入上述理论关系表和理论关系曲线中,检索到雷电流在线监测系统所在位置与雷电流击中输电线路的位置之间的杆塔数量 G 和线路的段数 D ;

(5) 通过对雷击线路的仿真计算,得到雷电流沿线路传播时,经过 G 个杆塔和 D 段线路产生幅值衰减后的雷电流幅值占衰减前的雷电流幅值的百分比 Q ,将上述雷电流在线监测系统测量的雷电流幅值 I_1 除以 Q ,得出衰减前距雷电流击中线路位置最近处杆塔的雷电流幅值 $I_0 : I_0 = I_1/Q$;

(6) 根据雷电击中输电线路杆塔之间的地线时,雷电流沿地线向两侧分流比例与雷击点距两侧杆塔的距离之间的理论关系表,将上述雷电流幅值 I_0 和 I_2 的比例 I_0/I_2 代入该理论关系表中,检索到雷电流击中位置与最近杆塔的距离 L ,若 L 为 0,则判定雷电流直接击中杆塔,若 L 不为 0,则判定雷电流击中杆塔之间的线路;

(7) 利用下式,计算得到雷电流击中输电线路位置与雷电流在线监测系统位置之间的距离 $S : S = G \times A + L$,其中, A 为从电力系统的输电线路数据中得到雷电流在线监测系统所在位置处的杆塔之间的平均距离;

(8) 对上述雷电流幅值的测量值 I_2 分别增加 50% 和减少 50% 后,分别重复步骤(4)至步骤(7),从得到的雷电流击中输电线路位置与雷电流在线监测系统位置之间的距离 S 中,将最大值 S_{MAX} 和最小值 S_{MIN} 分别定义为雷电流击中输电线路位置与雷电流在线监测系统之间距离的上限和下限;

(9) 根据上述步骤(8)的最小值 S_{MIN} 和最大值 S_{MAX} ,得到雷电流击中输电线路位置所在的线段 $[S_{MIN}, S_{MAX}]$,记该线段的中点为 S_{AV} ,再根据上述雷电流在线监测系统所安装的杆塔的位置 P_1 ,得到雷电流击中输电线路的位置 $P_0 : P_0 = P_1 + S_{AV}$,将 P_0 与雷电定位系统监测的雷击区间 P_2 进行比较,若 P_0 处于区域 P_2 内,则将 P_0 作为雷击线路的位置,用于雷击故障修复和线路维护,若 P_0 处于区域 P_2 外,则结束定位计算。

一种输电线路的雷击定位方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种输电线路的雷击定位方法，属于高电压试验设备及测量技术领域。

背景技术

[0002] 据不完全统计，我国每年因雷击造成人员伤亡达 3000 ~ 4000 人，财产损失更是达到惊人的 200 亿元，雷电灾害已成为破坏性日趋严重的气象灾害之一。雷电带来的电磁暂态现象属于电磁污染范围，而电磁污染是世界公认的继水质污染、大气污染、噪声污染之后的第四大污染。随着工农业生产和人民生活的现代化，对铁路、航空、金融、电力、电信、电视、网络等服务系统和设施可靠性及服务质量要求也越来越高，人类活动对这些公用事业的依赖性也越来越大，对雷电防护提出了更高的要求，因此对雷电流准确测量显得越来越重要。

[0003] 从电力系统的角度出发，雷电已经成为了电力系统故障的最主要原因，无论是线路、变电站还是用电设备，如何使它们能够更好地抵御雷电和雷电感应产生的电磁暂态过程的冲击是电力系统雷电防护中最为关心的问题，这需要建立在对雷电的放电过程和雷电流的各项参数有充分认识和了解的基础上。

[0004] 目前对雷电流特征参数的研究大都依靠模拟和仿真的方法，而对自然界的雷电流特征参数，包括波形、幅值、上升时间、持续时间等都缺少实际数据。如何能够获得真实的雷电流数据，这对于雷电放电过程的认识和雷电流及其空间场的研究都十分有意义。而获得自然界雷电参数最直接的方法就是测量，以现在最常见的人工火箭引雷或者自然雷直击高大物体为例，都是将测量装置的探头置于雷电流入地通道上，而将主机置于通道附近或者室内进行测量和记录的。但由于雷电流幅值往往很高，基本为千安培量级，且上升沿往往只有几百纳秒到几微秒，所以选择什么样的测量探头能够满足大的动态测量范围和宽的频率响应是最为关心的问题，罗氏线圈是目前比较通用的选择，它可以满足上述两点的要求，而且它的性能已经为很多实验所证实。

[0005] 因为雷电是一种随机程度很高的自然现象，所以要大量的测量雷电流参数，最好的方法就是大量的安装测量装置，但是受到各种实际条件的制约，这样的做法显然是不合适的，所以在测量装置安装地点的选择上首先要考虑以往的雷电活动规律，特别是雷击点的分布规律和雷击次数的统计规律。根据不同的雷电活动强度可以将测量地点划分为多雷击区域和少雷击区域，比如通信基站的信号塔，广播电视台发射塔这些独立、高大的建筑物，以及容易遭受雷击的输电线路的局部和某些变电站，这些都属于高雷击区域。所以在这些地点安装相对较复杂，数据记录能力较强的测量装置。而在其它的少雷击区域可以选择记录功能较单一(只记录幅值)，结构较为简单，造价较低的测量装置。这样可以充分利用可用的测量资源，最大限度地测量和收集自然界雷电流的参数信息。

[0006] 当雷电击中杆塔或输电线路时，雷击点所处的线路中，会有幅值很大的雷电流通过，可能造成线路损坏。同时，雷击点临近的绝缘子处可能会发生闪络，发生闪络后，雷电流

流过闪络区域,会发出热量烧蚀绝缘子,影响绝缘子的强度和绝缘特性。如能通过技术手段对雷击杆塔或输电线路进行定位,可以实现对由雷击损坏的线路进行快速查找和修复。

发明内容

[0007] 本发明目的是提出一种输电线路的雷击定位方法,依据上述雷电定位系统和雷电流在线监测系统给出的测量数据,计算雷击线路故障发生的雷击位置,为电力系统由雷击造成的线路损坏的快速查找和修复提供位置依据。

[0008] 本发明提出的输电线路雷击定位方法,包括以下步骤:

[0009] (1)从雷电流在线监测系统中获取雷电流在线监测系统所安装的杆塔的位置 P_1 、雷击时间 t_1 、以及击中杆塔的雷电流经杆塔和输电线路分流后通过在线监测系统中雷电流传感器的雷电流特征参数,雷电流特征参数包括雷电流的电流幅值 I_1 、雷电流波形、上升时间 t_{up1} 和半波时间 t_{hl1} ,并从雷电流波形中,得到波峰次数 N_1 ;

[0010] (2)从雷电定位系统中获取监测数据,监测数据包括同时刻同区域的雷击时间 t_2 、雷电流击中区域 P_2 、雷电流幅值 I_2 和雷电回击次数 N_2 ;

[0011] (3)将上述雷电流在线监测系统中获取的雷击时间 t_1 、雷电流在线监测系统所安装的杆塔的位置 P_1 、雷电流特征参数中的电流幅值 I_1 和波形中的波峰次数 N_1 ,与雷电定位系统监测数据中的雷击时间 t_2 、雷电流击中区域 P_2 、雷电流幅值 I_2 、雷电回击次数 N_2 进行比对,若同时满足 t_1 与 t_2 相差 1 毫秒以内、 P_1 位于区域 P_2 内、 N_1 与 N_2 相同,且 I_1 小于 I_2 ,则判定雷电流在线监测系统记录的数据和雷电定位系统记录的数据由同一雷电引起;

[0012] (4)根据雷电击中输电线路时,输电线路中,地线上的雷电流幅值 I 、上升时间 t_{up} 和半波时间 t_{hl} 与雷击点和观测点之间的杆塔数量及杆塔间线路的段数的理论关系表和理论关系曲线,将上述雷电流幅值 I_1 与雷电流幅值 I_2 的比值 I_1/I_2 、上升时间 t_{up1} 和半波时间 t_{hl1} 代入上述理论关系表和理论关系曲线中,检索到雷电流在线监测系统所在位置与雷电流击中输电线路的位置之间的杆塔数量 G 和线路的段数 D ;

[0013] (5)通过对雷击线路的仿真计算,得到雷电流沿线路传播时,经过 G 个杆塔和 D 段线路产生幅值衰减后的雷电流幅值占衰减前的雷电流幅值的百分比 Q ,将上述雷电流在线监测系统测量的雷电流幅值 I_1 除以 Q ,得出衰减前距雷电流击中线路位置最近处杆塔的雷电流幅值 I_0 : $I_0=I_1/Q$;

[0014] (6)根据雷电击中输电线路杆塔之间的地线时,雷电流沿地线向两侧分流比例与雷击点距两侧杆塔的距离之间的理论关系表,将上述雷电流幅值 I_0 和 I_2 的比例 I_0/I_2 代入该理论关系表中,检索到雷电流击中位置与最近杆塔的距离 L ,若 L 为 0,则判定雷电流直接击中杆塔,若 L 不为 0,则判定雷电流击中杆塔之间的线路;

[0015] (7)利用下式,计算得到雷电流击中输电线路位置与雷电流在线监测系统位置之间的距离 S : $S=G \times A+L$,其中, A 为从电力系统的输电线路数据中得到雷电流在线监测系统所在位置处的杆塔之间的平均距离;

[0016] (8)对上述雷电流幅值的测量值 I_2 分别增加 50% 和减少 50% 后,分别重复步骤(4)至步骤(7),从得到的雷电流击中输电线路位置与雷电流在线监测系统位置之间的距离 S 中,将最大值 S_{MAX} 和最小值 S_{MIN} 分别定义为雷电流击中输电线路位置与雷电流在线监测系统之间距离的上限和下限;

[0017] (9) 根据上述步骤(8)的最小值 S_{MIN} 和最大值 S_{MAX} , 得到雷电流击中输电线路位置所在的线段 $[S_{\text{MIN}}, S_{\text{MAX}}]$, 记该线段的中点为 S_{AV} , 再根据上述雷电流在线监测系统所安装的杆塔的位置 P_1 , 得到雷电流击中输电线路的位置 $P_0 : P_0 = P_1 + S_{\text{AV}}$, 将 P_0 与雷电定位系统监测的雷击区间 P_2 进行比较, 若 P_0 处于区域 P_2 内, 则将 P_0 作为雷击线路的位置, 用于雷击故障修复和线路维护, 若 P_0 处于区域 P_2 外, 则结束定位计算。

[0018] 本发明提出的输电线路的雷击定位方法, 其优点是:

[0019] (1) 本发明综合了雷电定位系统和雷电流在线监测系统给出的测量数据, 计算雷击线路的位置和该雷击的雷电流波形参数, 为电力系统由雷击造成的线路损坏的快速查找和修复提供位置依据, 其定位精度高于单独由雷电定位系统或雷电流在线监测系统给出的雷电定位结果, 定位误差小于一至两个杆塔的距离, 对线路雷击损坏的快速查询和修复, 具有参考意义。

[0020] (2) 本发明提出的定位方法, 考虑了雷电定位系统的测量误差, 通过雷电定位系统和雷电流在线监测系统互相比对, 减小定位误差, 得出雷电定位的距离区间, 保证了数据的有效性和可靠性, 节省了输电线路雷击故障的查找和线路修复时间。

附图说明

[0021] 图 1 为雷电流击中杆塔顶部或杆塔之间示意图。

[0022] 图 2 为雷电流击中杆塔之间线路不同位置示意图。

[0023] 图 3 为输电线路中地线上的雷电流幅值 I 与雷击点和观测点间的杆塔数量的关系。

[0024] 图 4 为输电线路中地线上的雷电流上升时间 t_{up} 与雷击点和观测点间的杆塔数量的关系。

[0025] 图 5 为输电线路中地线上的雷电流半波时间 t_h 与雷击点和观测点间的杆塔数量的关系。

[0026] 图 6 为雷电流沿地线向一侧分流比例与雷击点相对该侧杆塔距离的关系。

[0027] 图 7 为考虑雷电定位系统误差后根据雷电流幅值判断雷击点的位置示意图。

具体实施方式

[0028] 本发明提出的输电线路雷击定位方法, 包括以下步骤:

[0029] (1) 从雷电流在线监测系统中获取雷电流在线监测系统所安装的杆塔的位置 P_1 、雷击时间 t_1 、以及击中杆塔的雷电流经杆塔和输电线路分流后通过在线监测系统中雷电流传感器的雷电流特征参数, 雷电流特征参数包括雷电流的电流幅值 I_1 、雷电流波形、上升时间 $t_{\text{up}1}$ 和半波时间 t_{h1} , 并从雷电流波形中, 得到波峰次数 N_1 ;

[0030] (2) 从雷电定位系统中获取监测数据, 监测数据包括同时刻同区域的雷击时间 t_2 、雷电流击中区域 P_2 、雷电流幅值 I_2 和雷电回击次数 N_2 ;

[0031] (3) 将上述雷电流在线监测系统中获取的雷击时间 t_1 、雷电流在线监测系统所安装的杆塔的位置 P_1 、雷电流特征参数中的电流幅值 I_1 和波形中的波峰次数 N_1 , 与雷电定位系统监测数据中的雷击时间 t_2 、雷电流击中区域 P_2 、雷电流幅值 I_2 、雷电回击次数 N_2 进行比对, 若同时满足 t_1 与 t_2 相差 1 毫秒以内、 P_1 位于区域 P_2 内、 N_1 与 N_2 相同, 且 I_1 小于 I_2 , 则

判定雷电流在线监测系统记录的数据和雷电定位系统记录的数据由同一雷电引起；

[0032] (4) 根据雷电击中输电线路时, 输电线路中, 地线上的雷电流幅值 I 、上升时间 t_{up} 和半波时间 t_h 与雷击点和观测点之间的杆塔数量及杆塔间线路的段数的理论关系表和理论关系曲线, 将上述雷电流幅值 I_1 与雷电流幅值 I_2 的比值 I_1/I_2 、上升时间 t_{up1} 和半波时间 t_{h1} 代入上述理论关系表和理论关系曲线中, 检索到雷电流在线监测系统所在位置与雷电流击中输电线路的位置之间的杆塔数量 G 和线路的段数 D ;

[0033] (5) 通过对雷击线路的仿真计算, 得到雷电流沿线路传播时, 经过 G 个杆塔和 D 段线路产生幅值衰减后的雷电流幅值占衰减前的雷电流幅值的百分比 Q , 将上述雷电流在线监测系统测量的雷电流幅值 I_1 除以 Q , 得出衰减前距雷电流击中线路位置最近处杆塔的雷电流幅值 $I_0 : I_0 = I_1/Q$;

[0034] (6) 根据雷电击中输电线路杆塔之间的地线时, 雷电流沿地线向两侧分流比例与雷击点距两侧杆塔的距离之间的理论关系表, 将上述雷电流幅值 I_0 和 I_2 的比例 I_0/I_2 代入该理论关系表中, 检索到雷电流击中位置与最近杆塔的距离 L , 若 L 为 0, 则判定雷电流直接击中杆塔, 若 L 不为 0, 则判定雷电流击中杆塔之间的线路 ;

[0035] (7) 利用下式, 计算得到雷电流击中输电线路位置与雷电流在线监测系统位置之间的距离 $S : S = G \times A + L$, 其中, A 为从电力系统的输电线路数据中得到雷电流在线监测系统所在位置处的杆塔之间的平均距离 ;

[0036] (8) 对上述雷电流幅值的测量值 I_2 分别增加 50% 和减少 50% 后, 分别重复步骤(4)至步骤(7), 从得到的雷电流击中输电线路位置与雷电流在线监测系统位置之间的距离 S 中, 将最大值 S_{MAX} 和最小值 S_{MIN} 分别定义为雷电流击中输电线路位置与雷电流在线监测系统之间距离的上限和下限 ;

[0037] (9) 根据上述步骤(8)的最小值 S_{MIN} 和最大值 S_{MAX} , 得到雷电流击中输电线路位置所在的线段 $[S_{MIN}, S_{MAX}]$, 记该线段的中点为 S_{AV} , 再根据上述雷电流在线监测系统所安装的杆塔的位置 P_1 , 得到雷电流击中输电线路的位置 $P_0 : P_0 = P_1 + S_{AV}$, 将 P_0 与雷电定位系统监测的雷击区间 P_2 进行比较, 若 P_0 处于区域 P_2 内, 则将 P_0 作为雷击线路的位置, 用于雷击故障修复和线路维护, 若 P_0 处于区域 P_2 外, 则结束定位计算。

[0038] 本发明定位方法中, 输电线路中地线上的雷电流幅值、上升时间和半波时间与雷击点与观测点的距离的关系为, 随着雷电流经过杆塔数量的增加, 雷电波波形上升时间逐渐变短, 幅值逐渐变小, 半波时间变长, 具体计算结果如下 :

[0039] 使用国家电网公司出版的《输电线路设计标准手册》作为仿真的设计标准, 其中杆塔采用二分裂式酒杯塔, 整个输电线路包含 11 个典型杆塔, 线路末端各设置为 1000km (即线路为无穷长)。档距均为 400m。三相导线采用 LGJ-50, 水平排列, 均距 7.5m, 两塔头同三相导线的垂直距离为 5.7m, 三相导线距离地面 20m, 导线为二分裂, 分裂间距 0.4572m, 导线半径 0.02m, 电阻率 0.03984 Ω / km, 垂驰 12m; 接地线半径 0.0057m, 电阻率为 2.8645 Ω / km, 垂驰 7m。

[0040] 雷电流击中杆塔顶部或杆塔之间的示意图和雷击杆塔之间线路不同位置的示意图分别如图 1 和图 2 所示。

[0041] 雷电流采用标准雷电流波形进行计算, 得出当雷击塔顶或杆塔之间的线路时, 如图 1 所示, 通过仿真计算, 得到通过临近几个杆塔的雷电流仿真波形, 其总体规律如表 1 所

示。

[0042] 表 1 雷电波形经过杆塔后衰减数据

[0043]

录波位置	经过杆塔数	经过线路 的段数	幅值 (kA)	幅值百分数	上升时间 (us)	半波时间 (us)
雷电流	—	—	49.0	98.0%	2.6	50
雷击点右侧地线	0	0	24.4	48.8%	4.0	52
经过 1 个塔之后	0	1	24.3	48.6%	3.5	53
经过 2 个塔之前	1	1	3.5	7.0%	43	145
经过 2 个塔之后	1	2	3.3	6.6%	45	145
经过 3 个塔之前	2	2	1.6	3.2%	75	195
经过 3 个塔之后	2	3	1.4	2.8%	78	195
经过 4 个塔之前	3	3	0.3	0.6%	80	200

[0044] 在雷电流传播过程中, 经过杆塔时, 雷电流幅值占衰减前雷电流幅值的百分数、上升时间和半波时间会发生明显变化, 而经过杆塔间的路线时, 其雷电流幅值、上升时间和半波时间变化不明显。雷电流幅值、上升时间和半波时间随经过的杆塔数量的变化分别如图 3、图 4 和图 5 所示。

[0045] 雷电流击中杆塔之间的线路时, 雷电流沿地线向两侧分流比例与雷击点相对两侧杆塔距离的关系为, 当雷电流击中两个杆塔之间的线路中央时, 雷电流沿地线向两侧以各 50% 进行分流, 雷电流经过杆塔时, 雷电流幅值和上升时间均有明显变化, 经过线路传播时, 在电晕影响较小的情况下, 雷电流幅值和上升时间变化不明显; 雷电流击中杆塔之间的线路不同位置时, 距离雷击点较近的杆塔将分流得到更大比例的雷电流, 距离越近, 分流比例越大, 通过该曲线可反推得雷击位置;

[0046] 使用电路仿真软件进行计算, 得出雷击点距离杆塔不同位置的雷电流在线监测系统的传感器处, 监测到的雷电流数据如表 2 所示。

[0047] 表 2 雷击点距离杆塔不同位置监测到的雷电流数据

[0048]

雷击点距离 X(m)	另一侧距离 (m)	峰值 (kA)	峰值占雷电峰值比 例	上升时间 (us)	半波时间 (us)
0	400	48	96%	2.6	50
50	350	46	92%	2.6	50
100	300	40	80%	2.6	50
150	250	32	64%	2.6	50
200	200	24	48%(左右均分)	2.6	50
250	150	21	42%	2.6	50
300	100	17	34%	2.6	50
350	50	12.5	25%	5.0	50
400	0	5	10%	30	50

[0049] 对表 2 的结果进行总结,如图 6 所示:

[0050] 由图 6 及表 2 可见,随着雷击位置与雷电流在线监测系统的传感器的距离逐渐增大时,采集到的雷电流幅值基本呈线性递减的趋势,而其上升时间和半波时间变化不大。

[0051] 当考虑了雷电定位系统正负 50% 的误差后,可做出两条误差上下限的直线与雷击位置和雷电流在线监测系统的传感器的距离的关系曲线相交,相交的两点即为雷电定位与雷电流在线监测系统的传感器的距离的误差上限和误差下限,两点之间的距离区间为该雷电的定位区间,如图 7 所示。

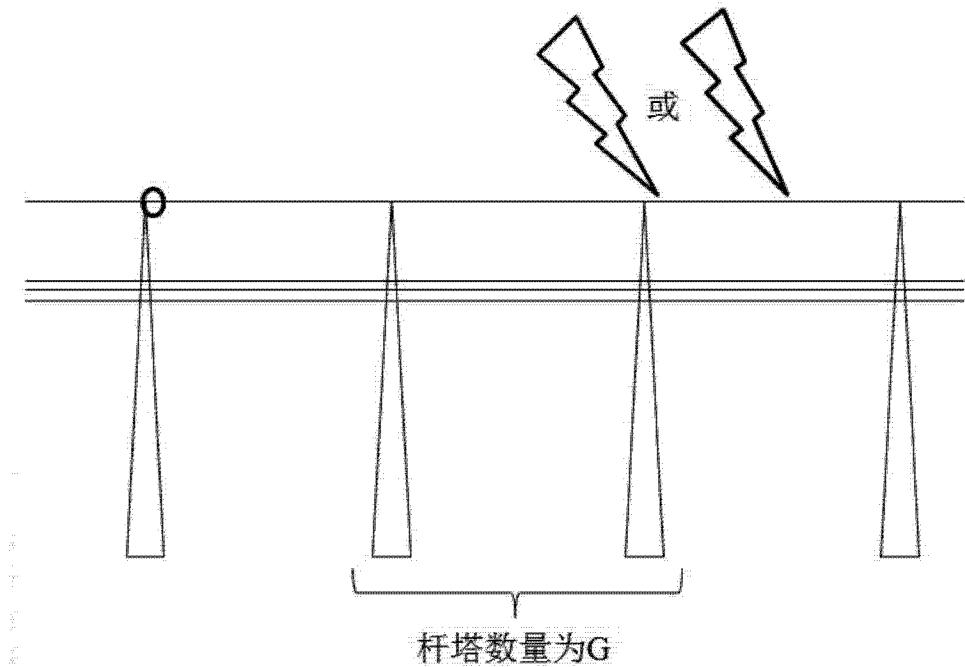


图 1

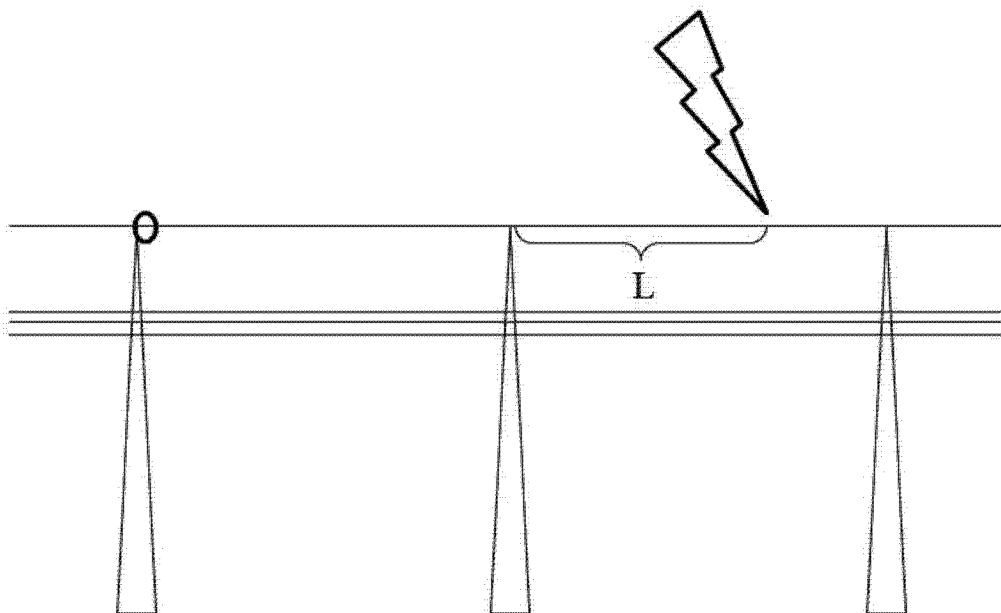


图 2

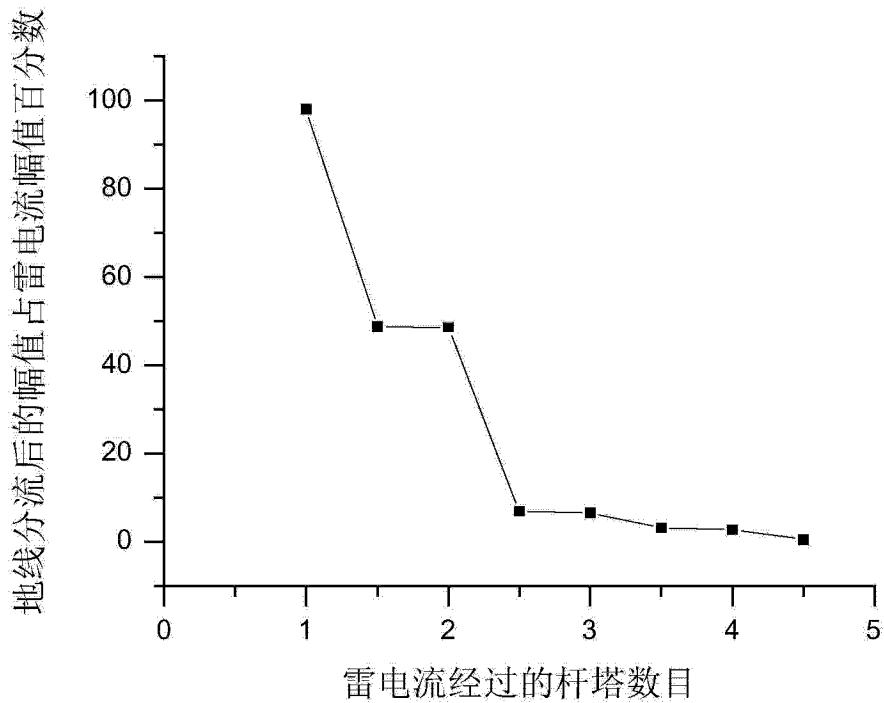


图 3

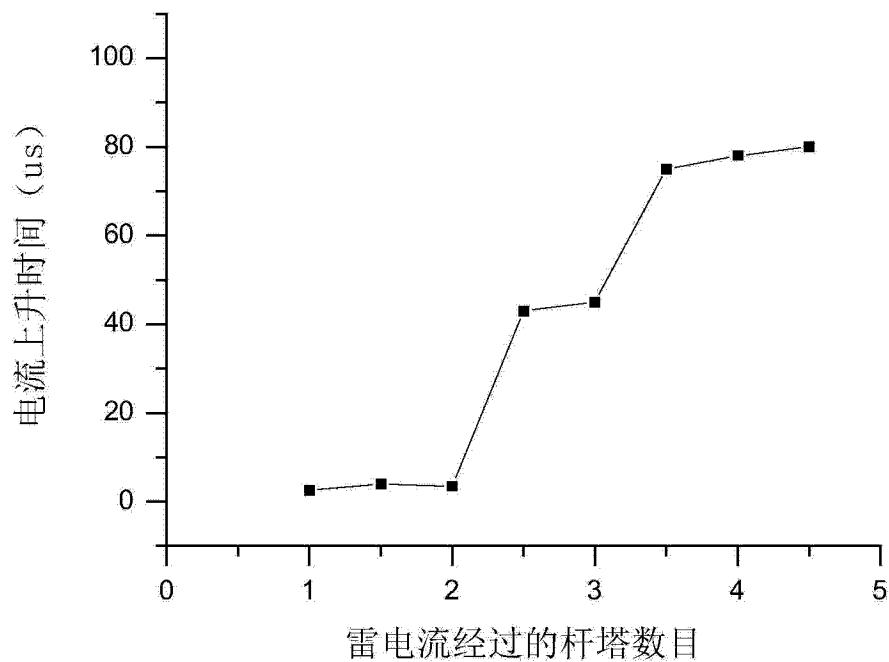


图 4

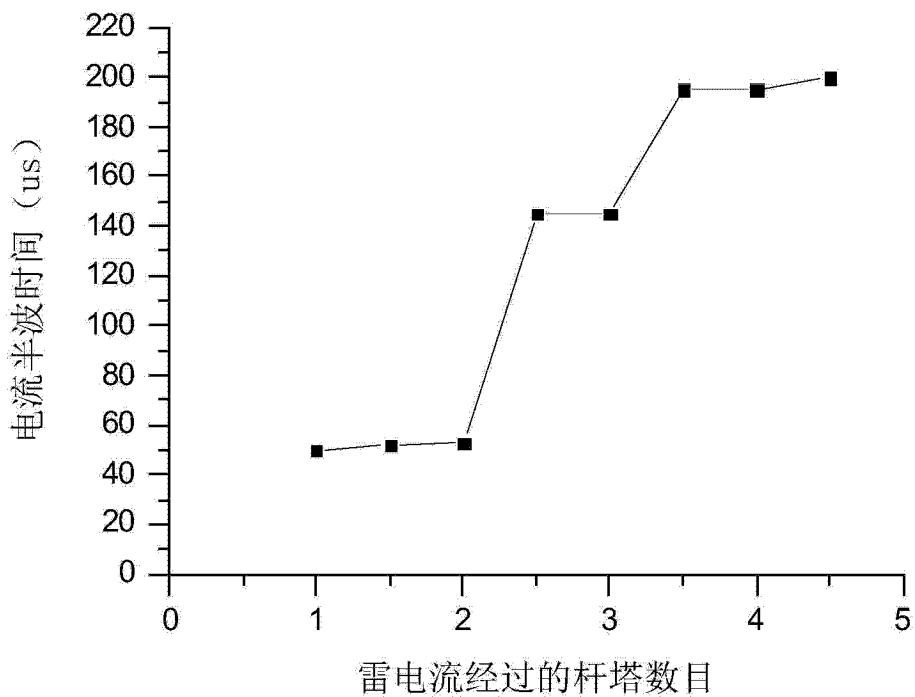


图 5

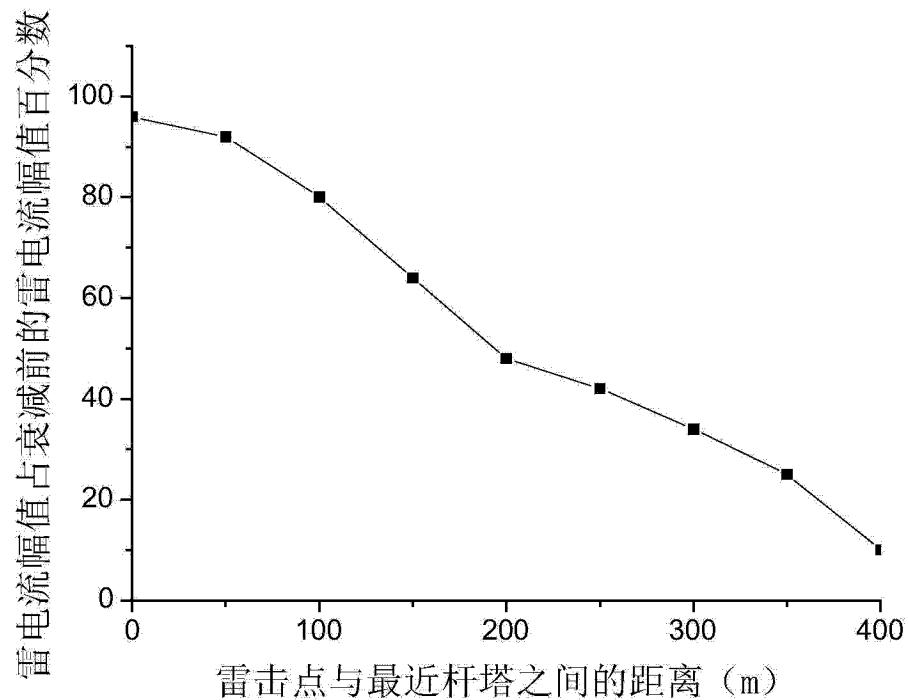


图 6

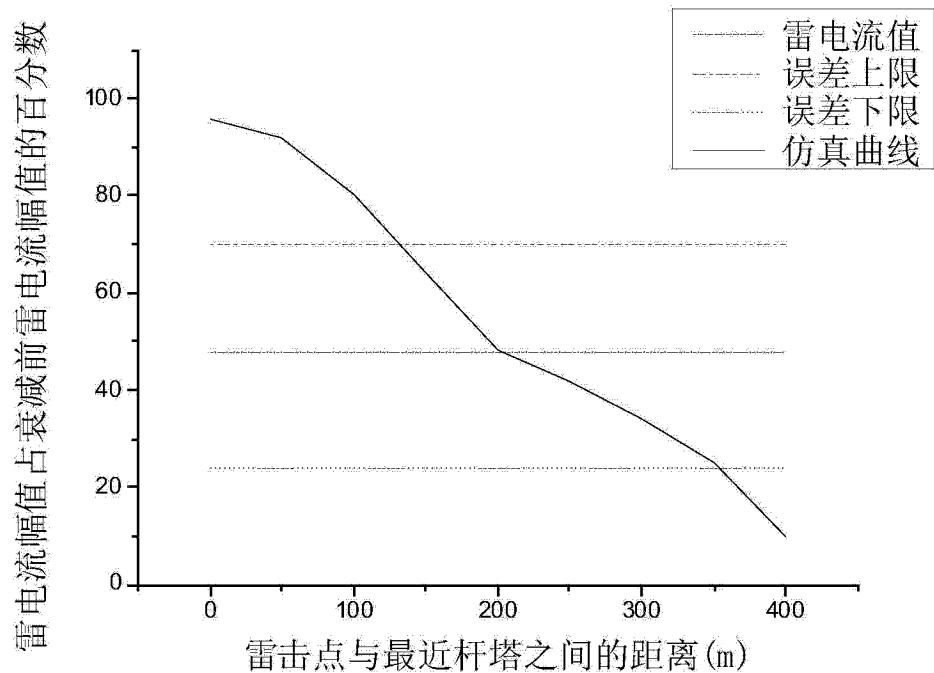


图 7