(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 112821094 A
(43)申请公布日 2021.05.18

(21)申请号 202110012089.3
(22)申请日 2021.01.06
(71)申请人 广东电网有限责任公司惠州供电局
地址 516001 广东省惠州市惠城区惠州大道中19号
申请人 清华大学
(72)发明人 曾力 王云龙 高士森 温慧玲 李谦 张波 张云 郭琳 黄穗雯 吴卓 王俊星 宋伟 曹艳川 何金良 胡军
(74)专利代理机构 北京品源专利代理有限公司 11332
代理人 胡彬
(51)Int.Cl.
H01R 4/66(2006.01)
G01R 27/20(2006.01)

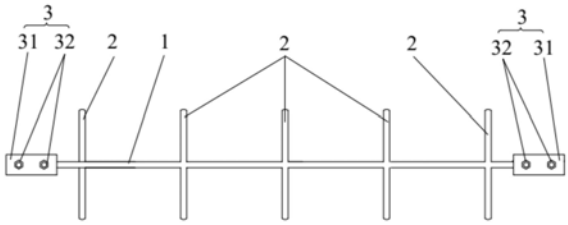
权利要求书2页 说明书8页 附图8页

(54)发明名称

一种降低冲击接地阻抗的接地装置及方法

(57)摘要

本发明涉及高电压技术领域，公开一种降低冲击接地阻抗的接地装置及方法。本发明提供的降低冲击接地阻抗的接地装置，将第二导体与第一导体呈夹角设置，且第二导体设置多个，这种设置方式增大了电流通过接地装置流入大地时的放电区域范围，提高了接地装置周围土壤的散流效率，有效降低了杆塔的冲击接地阻抗；通过设置连接件，使接地装置的搬运和安装更方便，提高施工效率，降低作业人员的劳动强度。本发明提供的降低冲击接地阻抗的方法，能够方便快捷地计算得出接地装置的设计方案，获得满足杆塔要求所需的接地单元的最少数量，提高接地装置设计方案的计算效率。同时接地装置的设计方案计算过程不受设计人员的主观影响，使计算结果更准确可靠。



CN 112821094 A

1.一种降低冲击接地阻抗的接地装置,其特征在于,包括若干个依次相连的接地单元,所述接地单元包括第一导体(1)、第二导体(2)和两个连接件(3);

所述第二导体(2)与所述第一导体(1)呈夹角设置,所述第二导体(2)沿所述第一导体(1)的长度方向设置有多个;

所述连接件(3)设置于所述第一导体(1)的端部,用于连接相邻两个所述接地单元的第一导体(1)。

2.根据权利要求1所述的降低冲击接地阻抗的接地装置,其特征在于,所述连接件(3)包括连接板(31)和紧固件(32),所述连接板(31)设置于所述第一导体(1)的端部,所述紧固件(32)能够锁紧相邻两个所述接地单元的连接板(31)。

3.根据权利要求1所述的降低冲击接地阻抗的接地装置,其特征在于,所述紧固件(32)包括锁紧螺栓和螺母,所述连接板(31)上设置有安装孔,所述锁紧螺栓贯穿所述安装孔,并与所述螺母螺纹连接。

4.根据权利要求1所述的降低冲击接地阻抗的接地装置,其特征在于,多个所述第二导体(2)均匀分布于所述第一导体(1)上。

5.根据权利要求4所述的降低冲击接地阻抗的接地装置,其特征在于,每个所述第二导体(2)均与所述第一导体(1)呈90度夹角。

6.一种降低冲击接地阻抗的方法,采用如权利要求1-5任一项所述的接地装置,其特征在于,包括以下步骤:

S1、获取杆塔所在地区的土壤参数,建立土壤模型,根据杆塔参数和接地装置参数建立杆塔模型和接地装置模型;

S2、基于土壤模型、杆塔模型和接地装置模型,设定杆塔接地装置的冲击接地阻抗限值Z_{max},并给定接地装置模型的初始参数;

S3、假设在杆塔上设置x个接地单元,对应的杆塔的冲击接地阻抗值为第x冲击接地阻抗值Z_x,其中x为大于等于0的整数;

S4、获得第x冲击接地阻抗值Z_x,并将获得的第x冲击接地阻抗值Z_x与杆塔的冲击接地阻抗限值Z_{max}进行比较;

S5、当Z_x小于等于Z_{max}时,第x冲击接地阻抗值对应的x即为目标结果;

当Z_x大于Z_{max}时,将x增加一个步长h并重新执行S4至S5步骤,其中h为大于等于1的整数;

S6、依据目标结果的x,将x个接地单元测试样品安装于杆塔上进行冲击接地阻抗测试试验,并将测试结果与普通接地装置的结果进行比较。

7.根据权利要求6所述的降低冲击接地阻抗的方法,其特征在于,S4中获得第x冲击接地阻抗值的方法包括以下步骤:

H1、将接地装置分成若干导体段,设导体段的数量为n;

H2、依据n段导体段对应产生的漏电流在第k段导体段的中点产生的电位,获得第k段导体段的轴向电流,其中$1 \leqslant k \leqslant n$;

H3、根据基尔霍夫电流定律和第k段导体段的周向电流,获得n段导体段产生的漏电流,即接地装置的漏电流;

H4、依据接地装置模型的初始参数以及接地装置的漏电流获得接地装置单位电流下的冲击电位升,以获得接地装置的冲击接地阻抗。

8.根据权利要求6所述的降低冲击接地阻抗的方法，其特征在于，通过电磁探测法获得杆塔所在地区的土壤参数。

9.根据权利要求6所述的降低冲击接地阻抗的方法，其特征在于，第x冲击接地阻抗值对应于杆塔以及安装于杆塔上的x个接地单元的整体。

10.根据权利要求9所述的降低冲击接地阻抗的方法，其特征在于，将x个接地单元分为四组，并分布于杆塔的周向。

一种降低冲击接地阻抗的接地装置及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及高电压技术领域，尤其涉及一种降低冲击接地阻抗的接地装置及方法。

背景技术

[0002] 输电线路是电力系统的重要组成部分，雷击输电线路引起的故障是输电线路故障的首要原因。接地装置是杆塔雷电防护的重要设施，其散流性能直接影响杆塔的抗雷击能力。接地装置的冲击接地阻抗越低，意味着雷电流可以更容易地释放到大地，从而确保杆塔设备和人员的安全。因此，接地装置的冲击接地阻抗是输电线路防雷需要考虑的重要参数之一，降低接地装置冲击接地阻抗是改善杆塔防雷击效果，保护输电线路的最为有效的措施，对电力系统的安全运行起着十分重要的作用。

[0003] 目前，在对杆塔的接地装置进行设计施工时，通常采用不断增加接地装置的接地极长度的方法来降低冲击接地阻抗，但是，由于雷电流的频率远高于电源频率，导致接地极的电感效应明显增强。受电感效应的影响，接地极中的冲击电流很难向末端流动，大部分的电流都会在注入点附近流入大地。因此，不断增加接地极的长度虽然能降低接地装置的工频接地阻抗，但是并不能有效地降低冲击接地阻抗。当不符合设计要求(即接地装置的冲击接地阻抗大于极限值)时，一般会根据经验加大接地极的直径和长度直至满足要求。这种根据经验设计和施工的方法显然不能够适应当前输电线路的投运和施工现状，存在很多缺点。比如接地极选取较小的直径和长度时，需要多次重复设计计算才能得出满足要求的设计方案，计算过程繁琐，效率低。若接地极直接选取较大的直径和长度时，虽然能很快得到设计方案，但该设计方案的接地极的直径和长度较大，因此，接地装置的重量较大，搬运不方便。并且，现有的接地装置的设计主要依靠经验，缺乏理论支持，设计过程易受设计人员的主观影响。此外，现有的接地装置在施工时，一般采用焊接连接，安装拆卸不方便。

发明内容

[0004] 基于以上问题，本发明的一个目的在于提供一种降低冲击接地阻抗的接地装置，能够有效降低杆塔的冲击接地阻抗，并且，接地装置在施工时搬运和安装方便。

[0005] 本发明的另一个目的在于提供一种降低冲击接地阻抗的方法，能够方便快捷地计算得出接地装置的设计方案，获得满足杆塔要求所需的接地单元的最少数量，提高计算效率。

[0006] 为达上述目的，本发明采用以下技术方案：

[0007] 第一方面，提供一种降低冲击接地阻抗的接地装置，包括若干个依次相连的接地单元，所述接地单元包括第一导体、第二导体和两个连接件；

[0008] 所述第二导体与所述第一导体呈夹角设置，所述第二导体沿所述第一导体的长度方向设置有多个；

[0009] 所述连接件设置于所述第一导体的端部，用于连接相邻两个所述接地单元的第一

导体。

[0010] 作为本发明的降低冲击接地阻抗的接地装置的优选方案，所述连接件包括连接板和紧固件，所述连接板设置于所述第一导体的端部，所述紧固件能够锁紧相邻两个所述接地单元的连接板。

[0011] 作为本发明的降低冲击接地阻抗的接地装置的优选方案，所述紧固件包括锁紧螺栓和螺母，所述连接板上设置有安装孔，所述锁紧螺栓贯穿所述安装孔，并与所述螺母螺纹连接。

[0012] 作为本发明的降低冲击接地阻抗的接地装置的优选方案，多个所述第二导体均匀分布于所述第一导体上。

[0013] 作为本发明的降低冲击接地阻抗的接地装置的优选方案，每个所述第二导体均与所述第一导体呈90度夹角。

[0014] 第二方面，提供一种降低冲击接地阻抗的方法，包括以下步骤：

[0015] S1、获取杆塔所在地区的土壤参数，建立土壤模型，根据杆塔参数和接地装置参数建立杆塔模型和接地装置模型；

[0016] S2、基于土壤模型、杆塔模型和接地装置模型，设定杆塔接地装置的冲击接地阻抗限值Z_{max}，并给定接地装置模型的初始参数；

[0017] S3、假设在杆塔上设置x个接地单元，对应的杆塔的冲击接地阻抗值为第x冲击接地阻抗值Z_x，其中x为大于等于0的整数；

[0018] S4、获得第x冲击接地阻抗值Z_x，并将获得的第x冲击接地阻抗值Z_x与杆塔的冲击接地阻抗限值Z_{max}进行比较；

[0019] S5、当Z_x小于等于Z_{max}时，第x冲击接地阻抗值对应的x即为目标结果；

[0020] 当Z_x大于Z_{max}时，将x增加一个步长h并重新执行S4至S5步骤，其中h为大于等于1的整数；

[0021] S6、依据目标结果的x，将x个接地单元测试样品安装于杆塔上进行冲击接地阻抗测试试验，并将测试结果与普通接地装置的结果进行比较。

[0022] 作为本发明的降低冲击接地阻抗的方法的优选方案，S4中获得第x冲击接地阻抗值的方法包括以下步骤：

[0023] H1、将接地装置分成若干导体段，设导体段的数量为n；

[0024] H2、依据n段导体段对应产生的漏电流在第k段导体段的中点产生的电位，获得第k段导体段的轴向电流，其中$1 \leqslant k \leqslant n$；

[0025] H3、根据基尔霍夫电流定律和第k段导体段的周向电流，获得n段导体段产生的漏电流，即接地装置的漏电流；

[0026] H4、依据接地装置模型的初始参数以及接地装置的漏电流获得接地装置单位电流下的冲击电位升，以获得接地装置的冲击接地阻抗。

[0027] 作为本发明的降低冲击接地阻抗的方法的优选方案，通过电磁探测法获得杆塔所在地区的土壤参数。

[0028] 作为本发明的降低冲击接地阻抗的方法的优选方案，第x冲击接地阻抗值对应于杆塔以及安装于杆塔上的x个接地单元的整体。

[0029] 作为本发明的降低冲击接地阻抗的方法的优选方案，将x个接地单元分为四组，并

分布于杆塔的周向。

[0030] 本发明的有益效果为：

[0031] 本发明提供的降低冲击接地阻抗的接地装置，包括若干个依次相连的接地单元，接地单元包括第一导体、第二导体和两个连接件；第二导体与第一导体呈夹角设置，且第二导体沿第一导体的长度方向设置有多个。这种设计方式增大了电流通过接地装置流入大地时的放电区域范围，提高了接地装置周围土壤的散流效率，可以有效降低杆塔的冲击接地阻抗，提高输电线路的安全性。通过设置连接件，可以将相邻两个接地单元的第一导体连接，进而将若干个接地单元连接起来，这种可拆卸式连接方式，使得接地装置在施工过程中的搬运和安装更方便，提高施工效率，并降低作业人员的劳动强度。

[0032] 本发明提供的降低冲击接地阻抗的方法，包括以下步骤：S1、获取杆塔所在地区的土壤参数，建立土壤模型，根据杆塔参数和接地装置参数建立杆塔模型和接地装置模型；S2、基于土壤模型、杆塔模型和接地装置模型，设定杆塔接地装置的冲击接地阻抗限值Z_{max}，并给定接地装置模型的初始参数；S3、假设在杆塔上设置x个接地单元，对应的杆塔的冲击接地阻抗值为第x冲击接地阻抗值Z_x，其中x为大于等于0的整数；S4、获得第x冲击接地阻抗值Z_x，并将获得的第x冲击接地阻抗值Z_x与杆塔的冲击接地阻抗限值Z_{max}进行比较；S5、当Z_x小于等于Z_{max}时，第x冲击接地阻抗值对应的x即为目标结果；当Z_x大于Z_{max}时，将x增加一个步长h并重新执行S4至S5步骤，其中h为大于等于1的整数；S6、依据目标结果的x，将x个接地单元测试样品安装于杆塔上进行冲击接地阻抗测试试验，并将测试结果与普通接地装置的结果进行比较。本发明提供的降低冲击接地阻抗的方法，能够方便快捷地计算得出接地装置的设计方案，获得满足杆塔要求所需的接地单元的最少数量，提高接地装置设计方案的计算效率。同时，接地装置的设计方案计算过程不受设计人员的主观影响，使得计算结果更准确可靠。

附图说明

[0033] 为了更清楚地说明本发明实施例中的技术方案，下面将对本发明实施例描述中所需要使用的附图作简单的介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据本发明实施例的内容和这些附图获得其他的附图。

[0034] 图1是本发明具体实施方式提供的降低冲击接地阻抗的接地装置的接地单元的结构示意图；

[0035] 图2是本发明具体实施方式提供的降低冲击接地阻抗的接地装置加装于杆塔上的结构示意图；

[0036] 图3是本发明具体实施方式提供的降低冲击接地阻抗的方法的流程图；

[0037] 图4是本发明具体实施方式提供的获得第x冲击接地阻抗值的方法的流程图；

[0038] 图5是本发明具体实施方式提供的第k段导体段的电流示意图；

[0039] 图6是本发明具体实施方式提供的n段导体段的局部连接示意图；

[0040] 图7是本发明具体实施方式提供的n段导体段的局部连接电路图；

[0041] 图8是本发明具体实施方式提供的降低冲击接地阻抗的方法的求解计算循环流程图；

[0042] 图9是本发明具体实施方式提供的杆塔冲击接地阻抗试验实测获得的冲击电流波形图；

[0043] 图10是本发明具体实施方式提供的杆塔冲击接地阻抗试验实测获得的冲击电压波形图。

[0044] 图中：

[0045] 1-第一导体;2-第二导体;3-连接件；

[0046] 31-连接板;32-紧固件。

具体实施方式

[0047] 为使本发明解决的技术问题、采用的技术方案和达到的技术效果更加清楚，下面将结合附图对本发明实施例的技术方案作进一步的详细描述，显然，所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

[0048] 在本发明的描述中，需要说明的是，术语“中心”、“上”、“下”、“左”、“右”、“竖直”、“水平”、“内”、“外”等指示的方位或位置关系为基于附图所示的方位或位置关系，仅是为了便于描述本发明和简化描述，而不是指示或暗示所指的装置或元件必须具有特定的方位、以特定的方位构造和操作，因此不能理解为对本发明的限制。此外，术语“第一”、“第二”、仅用于描述目的，而不能理解为指示或暗示相对重要性。其中，术语“第一位置”和“第二位置”为两个不同的位置。

[0049] 在本发明的描述中，需要说明的是，除非另有明确的规定和限定，术语“安装”、“相连”、“连接”应做广义理解，例如，可以是固定连接，也可以是可拆卸连接;可以是机械连接，也可以是电连接;可以是直接相连，也可以通过中间媒介间接相连，可以是两个元件内部的连通。对于本领域的普通技术人员而言，可以具体情况理解上述术语在本发明中的具体含义。

[0050] 下面结合附图并通过具体实施方式来进一步说明本发明的技术方案。

[0051] 实施例一

[0052] 如图1至图2所示，本实施例提供一种降低冲击接地阻抗的接地装置，包括若干个依次相连的接地单元，接地单元包括第一导体1、第二导体2和两个连接件3;第二导体2与第一导体1呈夹角设置，第二导体2沿第一导体1的长度方向设置有多个;连接件3设置于第一导体1的端部，用于连接相邻两个接地单元的第一导体1。

[0053] 本实施例提供的降低冲击接地阻抗的接地装置，将第二导体2与第一导体1呈夹角设置，且第二导体2沿第一导体1的长度方向设置多个。这种设计方式增大了电流通过接地装置流入大地时的放电区域范围，提高了接地装置周围土壤的散流效率，可以有效降低杆塔的冲击接地阻抗，提高输电线路的安全性。通过设置连接件3，可以将相邻两个接地单元的第一导体1连接，进而将若干个接地单元连接起来，这种可拆卸式连接方式，使得接地装置在施工过程中的搬运和安装更方便，提高施工效率，并降低作业人员的劳动强度。

[0054] 可选地，连接件3包括连接板31和紧固件32，连接板31设置于第一导体1的端部，紧固件32能够锁紧相邻两个接地单元的连接板31。在施工现场安装接地装置时，首先，将相邻两个接地单元的连接板31依次对接，再通过紧固件32将相邻两个接地单元的第一导体1上

的连接板31固定在一起，即可将两个接地单元连接起来。若干个接地单元按照上述方法依次连接，就构成了杆塔的一个接地装置，相比于现有技术中焊接的连接方式，这种可拆卸的连接方式，安装和拆卸都很方便，能够提高施工效率。并且接地装置为分段式的设计，可以根据需要选择所需接地单元的数量，使得接地装置的运输更加便捷。

[0055] 可选地，紧固件32包括锁紧螺栓和螺母，连接板31上设置有安装孔，锁紧螺栓贯穿安装孔，并与螺母螺纹连接。安装时，将相邻两个接地单元第一导体1上的连接板31部分重叠在一起，使得两个第一导体1的连接板31上的安装孔重合，再将锁紧螺栓穿过安装孔，通过旋拧螺母，即可锁紧相邻两个接地单元的连接板31，从而使两个接地单元连接。

[0056] 如图1所示，可选地，多个第二导体2均匀分布于第一导1体上。这种分布方式能够增大冲击电流通过接地装置流入大地时的放电区域范围，从而提高接地装置周围土壤的散流效率，进而降低杆塔的冲击接地阻抗，保证杆塔输电线路的安全。

[0057] 本实施例中，优选地，第一导体1和第二导体2均采用圆钢材料制备而成，其直径均为0.012m。在其他实施例中，也可以根据杆塔的冲击接地阻抗限值Z_{max}的不同，加工不同直径的第一导体1和第二导体2，只要能够满足杆塔的冲击接地阻抗要求即可，这里不对第一导体1和第二导体2的直径做特别限定。

[0058] 本实施例中，优选地，第一导体1和第二导体2的长度分别为0.9m和0.2m，相邻两个第二导体2之间的间距为0.2m。在其他实施例中，也可以根据杆塔的冲击接地阻抗限值Z_{max}的不同，改变第一导体1和第二导体2的长度以及相邻两个第二导体2之间的间距，只要能够满足杆塔的冲击接地阻抗要求即可，这里不对其作特别限定。

[0059] 如图1所示，在本实施例中，可选地，每个第二导体2均与第一导体1呈90度夹角，第二导体2与第一导体1的相交点为第二导体2的中心位置。第二导体2和第一导体1呈90度夹角，能够最大限度地增大接地装置的放电区域范围，有效提高接地装置周围土壤的散流效率。

[0060] 实施例二

[0061] 如图3至图8所示，本实施例提供了一种降低冲击接地阻抗的方法，其中与实施例一相同或相应的零部件采用与实施例一相应的附图标记。为简便起见，仅描述实施例二与实施例一的区别点。

[0062] 如图3所示，在本实施例中，采用实施例一中的接地装置，该降低冲击接地阻抗的方法包括以下步骤：

[0063] S1、获取杆塔所在地区的土壤参数，建立土壤模型，根据杆塔参数和接地装置参数建立杆塔模型和接地装置模型；

[0064] S2、基于土壤模型、杆塔模型和接地装置模型，设定杆塔接地装置的冲击接地阻抗限值Z_{max}，并给定接地装置模型的初始参数；

[0065] S3、假设在杆塔上设置x个接地单元，对应的杆塔的冲击接地阻抗值为第x冲击接地阻抗值Z_x，其中x为大于等于0的整数；

[0066] S4、获得第x冲击接地阻抗值Z_x，并将获得的第x冲击接地阻抗值Z_x与杆塔的冲击接地阻抗限值Z_{max}进行比较；

[0067] S5、当Z_x小于等于Z_{max}时，第x冲击接地阻抗值对应的x即为目标结果；

[0068] 当Z_x大于Z_{max}时，将x增加一个步长h并重新执行S4至S5步骤，其中h为大于等于1的

整数；

[0069] S6、依据目标结果的x，将x个接地单元测试样品安装于杆塔上进行冲击接地阻抗测试试验，并将测试结果与普通接地装置的结果进行比较。

[0070] 本实施例中，x取0时，表示杆塔上不加装接地装置，此时获得的冲击接地阻抗值为杆塔自身的冲击接地阻抗。

[0071] 在步骤S1中通过电磁探测法获得杆塔所在地区的土壤参数。具体地，土壤参数包括表层和深层土壤的电阻率分布。杆塔参数和接地装置参数包括杆塔和接地装置的材质和尺寸，以及接地装置的埋地深度和入地电流。

[0072] 在步骤S2中，杆塔的冲击接地阻抗限值Z_{max}为杆塔所允许的最大冲击接地阻抗值，只有杆塔的冲击接地阻抗小于等于Z_{max}时，才能够保证杆塔使用时的安全性，这里的最大冲击接地阻抗值可以是现有技术中设定的标准值，也可以是工作人员根据实际情况，综合考虑多种安全因素人为设定的最大值。接地装置模型的初始参数包括接地装置的材质和电阻率，依据接地装置的材质和电阻率以及计算得到的接地装置的泄漏电流，能够获得接地装置在单位电流下的冲击电位升，即为接地装置的冲击接地阻抗。

[0073] 如图4所示，可选地，在步骤S4中获得第x冲击接地阻抗值的方法包括以下步骤：

[0074] H1、将接地装置分成若干导体段，设导体段的数量为n；

[0075] H2、依据n段导体段对应产生的漏电流在第k段导体段的中点产生的电位，获得第k段导体段的轴向电流，其中1≤k≤n；

[0076] H3、根据基尔霍夫电流定律和第k段导体段的轴向电流，获得n段导体段产生的漏电流，即接地装置的漏电流；

[0077] H4、依据接地装置模型的初始参数以及接地装置的漏电流获得接地装置单位电流下的冲击电位升，以获得接地装置的冲击接地阻抗。

[0078] 具体地，本实施例采用数值计算的方法来求解杆塔及接地装置的冲击接地阻抗，例如，通过CDEGS软件计算，其原理如下：

[0079] 接地装置可以看作是由一段段导体连接起来的埋地金属导体，由于埋地导体周围土壤中任一点的电位是由所有导体的泄漏电流共同产生的，因此，在计算杆塔的接地装置的电位时，需要求出每段导体的漏电流分布。

[0080] 首先将接地装置分段，分段后的导体段越短，计算得到的漏电流分布及导体段的电位分布与实际情况越接近。同时，当分割得到的每一导体段足够小时，可以认为漏电流从这一导体段的中点集中流出。每一导体段都满足基尔霍夫电流定律：$I_k^- + I_k^+ + I_k^s = I_k^l$，如图5所示。

[0081] 图5中I_k^l是该段导体段的漏电流，I_k^s是该段导体段的注入电流。以每一导体段的交点为一个局部计算中心，交点连接的导体段作为一个局部导体网络，建立局部导体电路图。局部导体的示意图如图6所示。依照图6建立局部导体的电路图如图7所示。图7中Φ_1、Φ_2、…、Φ_k、…、Φ_q是整个接地装置的导体网络中所有导体的漏电流在各段导体段中点上产生的电位，$Z_{1\text{-}1}$、$Z_{2\text{-}2}$、…、$Z_{k\text{-}k}$、…、$Z_{q\text{-}q}$分别为第1、2、…、k、…、q段导体段的起点到中点之间的自阻抗，$R_{1\text{-}out}$、$R_{2\text{-}out}$、…、$R_{k\text{-}out}$、…、$R_{q\text{-}out}$是第1、2、…、k、…、q段导体段包覆的绝缘层电阻。

[0082] 图7中所有的电压源Φ_1、Φ_2、…、Φ_k、…、Φ_q都是漏电流I_1^l、I_2^l、…、I_k^l、…、I_q^l

的函数，电路图中的电流是电压源和电阻的函数，所以电路图中的电流是漏电流和电阻的函数，电路图中的电流和对应每一导体段的漏电流满足基尔霍夫电流定律，每一导体段都可以得到一个只包含漏电流和电阻的方程。所有导体段的方程组合起来可以得到一个只含漏电流和电阻的方程组，求解这个方程组就可以求出所有导体段的漏电流分布。由于埋地导体周围土壤中任一点的电位是由所有导体的泄漏电流共同产生的，因此就可以求出漏电流的分布。再根据接地装置的材质、电阻率参数以及计算得到的接地装置的泄漏电流，得到接地装置单位电流下的冲击电位升，就可以得出杆塔及接地装置整体的冲击接地阻抗。上述计算方法也可参照专利CN105975768B中的详细介绍。

[0083] 其中，在步骤H1中，接地装置包括若干个依次相连的接地单元，接地单元包括呈夹角设置的第二导体2和第一导体1，第二导体2设置有多个，将每一个接地单元的第一导体1和多个第二导体2都分成若干导体段，n段导体段包括若干个接地单元的第一导体1和多个第二导体2分成的若干导体段的总和。

[0084] 在步骤S5中，将x个接地单元加装于杆塔上，并通过数值计算方法计算杆塔及x个接地单元的冲击接地阻抗值Z_x，并将计算得到的Z_x与Z_{max}进行比较，当判断得到Z_x小于等于Z_{max}时，则接地单元的数量x即为目标结果。当判断得到Z_x大于Z_{max}时，则将接地单元的数量x增加一个步长h，再重新执行S4至S5步骤，直至找到能够满足冲击接地阻抗值小于等于Z_{max}的接地单元的数量x，结束循环。如图8所示，给出了计算过程中循环判断的流程示意图。

[0085] 本实施例中，优选地，步骤S5中的步长h为1。步长h取1可以保证计算所得的满足要求的接地单元数量x为最少数量，能够减少接地单元使用的数量，节约成本。当然，在其他实施例中，步长h也可以取2、3、4等整数，同样可以得到满足杆塔冲击接地阻抗限值要求的接地单元数量。需要说明的是，步长h选取的越大，计算所得的能够满足要求的接地单元数量x越多。

[0086] 在步骤S6中，依据目标结果的接地单元数量，选择x个接地单元安装于杆塔上进行冲击接地阻抗测试试验，并将测试结果与普通接地装置的结果进行比较。

[0087] 可选地，本实施例中，第x冲击接地阻抗值对应于杆塔以及安装于杆塔上的x个接地单元的整体。即，在计算冲击接地阻抗时，是对整个杆塔和x个接地单元的整体进行计算的，因此，当计算得到的第x冲击接地阻抗值小于杆塔的最大冲击接地阻抗值时，对应的接地单元的数量x即满足要求，将x个接地单元加装于杆塔上之后就能够满足输电线路的安全要求。

[0088] 如图2所示，本实施例中，可选地，将x个接地单元分为四组，并分布于杆塔的周向。在现场施工时，首先将每组中的若干个接地单元通过连接件3依次连接，构成一个接地装置，然后将每一个接地装置分别与杆塔连接，以进行实际测试试验。在其他实施例中，也可以将x个接地单元分为5组、6组等，根据实际情况改变分组。

[0089] 本实施例提供的降低冲击接地阻抗的方法，操作者只需输入土壤参数、杆塔、接地装置参数等，根据已知数据来建立模型，即可通过计算机计算得出接地装置的设计方案，获得满足杆塔要求所需的接地单元的最少数量，有效提高了接地装置设计方案的计算效率。同时，接地装置的设计方案计算过程不受设计人员的主观影响，使得计算结果更准确可靠。

[0090] 为了更直观地比较本实施例提供的接地装置与普通接地装置降低冲击接地阻抗的效果，下面给出将本实施例提供的接地装置和普通接地装置加装于杆塔上后，进行测试

试验得到的对比结果。

[0091] 示例

[0092] 选择某220kV输电线路的杆塔，进行实际测试试验，选取的测试杆塔如图2所示。首先对该杆塔的普通接地装置进行测试，普通接地装置为直径0.012m的圆钢，其长度为L＝50m，如表1所示。在杆塔的普通接地装置引下线处通过冲击发生器注入冲击电流，然后，经测量获得杆塔的普通接地装置的实测冲击电流为3.54kA，实测冲击电压为23.2kV。因此，计算得到杆塔的普通接地装置的冲击接地阻抗值为6.55Ω。

[0093] 将加装在杆塔上的普通接地装置替换为与其材料相同的本实施例提供的接地装置，第一导体1和第二导体2的材料均为直径0.012m的圆钢，具体尺寸如表1所示，其中，Φ表示圆钢的直径，L1、L2、L3分别表示第一导体1的长度、第二导体2的长度和相邻两个第二导体2之间的间距，多个接地装置连接之后的总长度保持与普通接地装置长度相同，均为50m。安装完成后，再在杆塔的接地装置引下线处通过冲击发生器注入与上述普通接地装置相同的冲击电流，然后，经测量获得杆塔的本实施例提供的接地装置的实测冲击电流为3.68kA，实测冲击电压为18.5kV。因此，杆塔加装本实施例提供的接地装置后，计算获得的冲击接地阻抗值为5.03Ω。

[0094] 表1普通接地装置与本实施例的接地装置的尺寸表

[0095]

接地装置形式	直径	长度
普通接地装置	Φ＝0.012m	L＝50m
本实施例的接地装置	Φ＝0.012m	L1＝0.9m;L2＝0.2m;L3＝0.2m

[0096] 表2给出的是在杆塔上加装普通接地装置后和加装本实施例提供的接地装置后的实测结果对比表，从对比结果可以看出，与杆塔的普通接地装置相比，在加装本实施例提供的接地装置后，杆塔的冲击接地阻抗明显降低。表明本实施例提供的接地装置能够对杆塔起到降低冲击接地阻抗的作用。

[0097] 如图9所示，给出的是在杆塔上加装普通接地装置和加装本实施例提供的接地装置后的实测冲击电流对比图，图10给出的是两者的实测冲击电压对比图。

[0098] 表2普通接地装置与本实施例的接地装置的实测结果对比表

[0099]

	实测冲击电流(A)	实测冲击电压(V)	冲击接地阻抗(Ω)
普通接地装置	3540	23200	6.55
本实施例的接地装置	3680	18500	5.03

[0100] 注意，上述仅为本发明的较佳实施例及所运用技术原理。本领域技术人员会理解，本发明不限于这里的特定实施例，对本领域技术人员来说能够进行各种明显的变化、重新调整和替代而不会脱离本发明的保护范围。因此，虽然通过以上实施例对本发明进行了较为详细的说明，但是本发明不仅仅限于以上实施例，在不脱离本发明构思的情况下，还可以包括更多其他等效实施例，而本发明的范围由所附的权利要求范围决定。

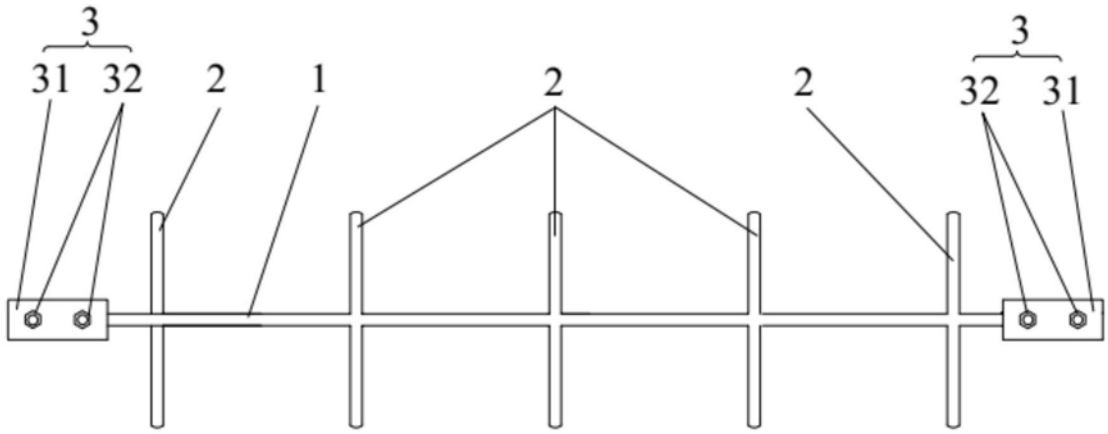


图1

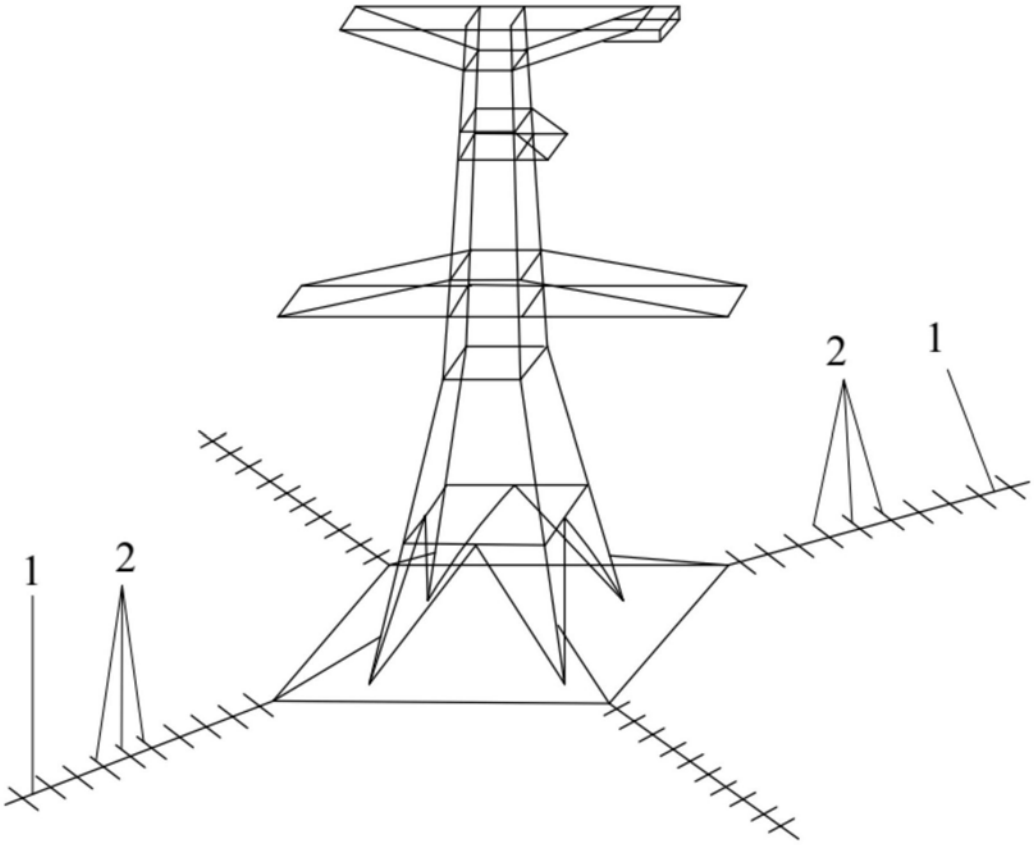


图2

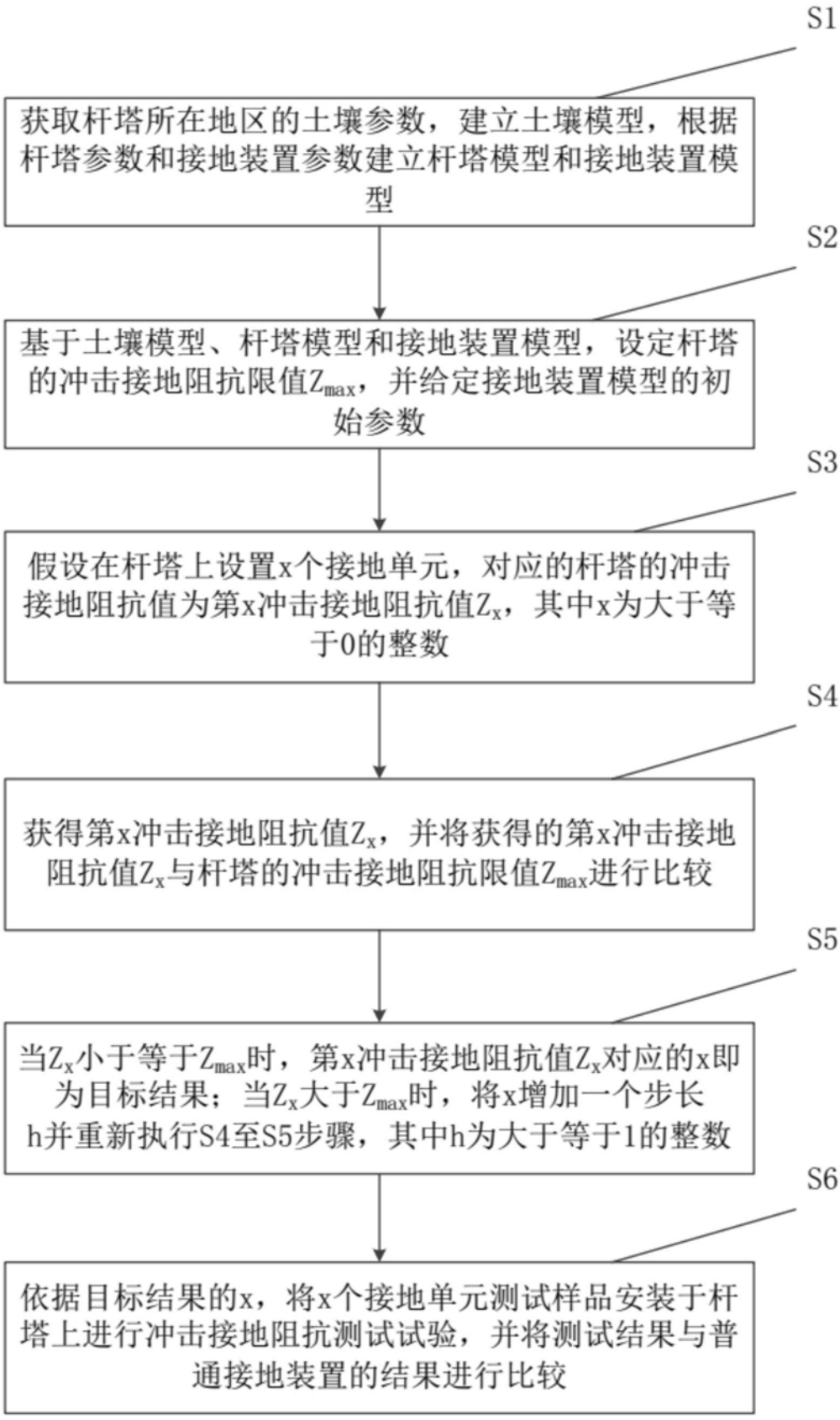

S1
获取杆塔所在地区的土壤参数，建立土壤模型，根据杆塔参数和接地装置参数建立杆塔模型和接地装置模型
S2
基于土壤模型、杆塔模型和接地装置模型，设定杆塔的冲击接地阻抗限值Z_{max}，并给定接地装置模型的初始参数
S3
假设在杆塔上设置x个接地单元，对应的杆塔的冲击接地阻抗值为第x冲击接地阻抗值Z_x，其中x为大于等于0的整数
S4
获得第x冲击接地阻抗值Z_x，并将获得的第x冲击接地阻抗值Z_x与杆塔的冲击接地阻抗限值Z_{max}进行比较
S5
当Z_x小于等于Z_{max}时，第x冲击接地阻抗值Z_x对应的x即为目标结果；当Z_x大于Z_{max}时，将x增加一个步长h并重新执行S4至S5步骤，其中h为大于等于1的整数
S6
依据目标结果的x，将x个接地单元测试样品安装于杆塔上进行冲击接地阻抗测试试验，并将测试结果与普通接地装置的结果进行比较

图3

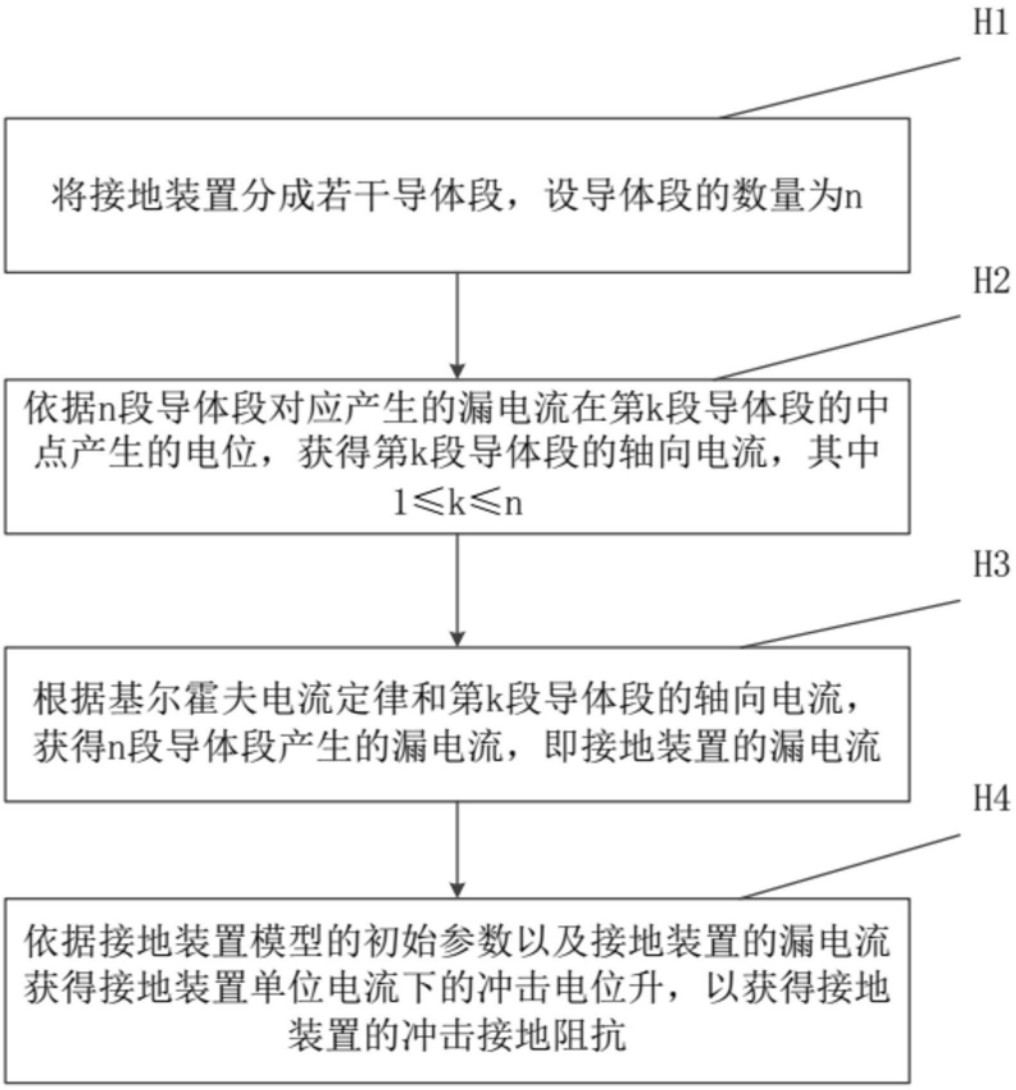

H1
将接地装置分成若干导体段，设导体段的数量为n
H2
依据n段导体段对应产生的漏电流在第k段导体段的中点产生的电位，获得第k段导体段的轴向电流，其中1≤k≤n
H3
根据基尔霍夫电流定律和第k段导体段的轴向电流，获得n段导体段产生的漏电流，即接地装置的漏电流
H4
依据接地装置模型的初始参数以及接地装置的漏电流获得接地装置单位电流下的冲击电位升，以获得接地装置的冲击接地阻抗

图4

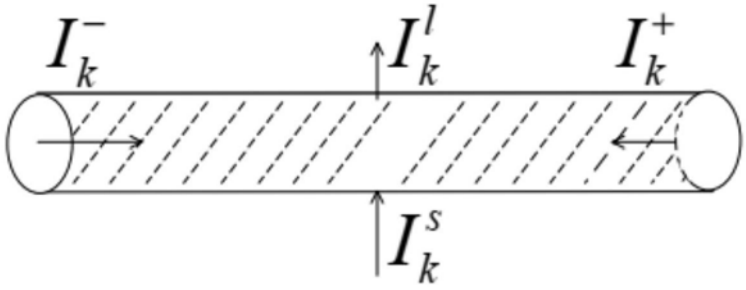

I_k^-
I_k^l
I_k^+
I_k^s

图5

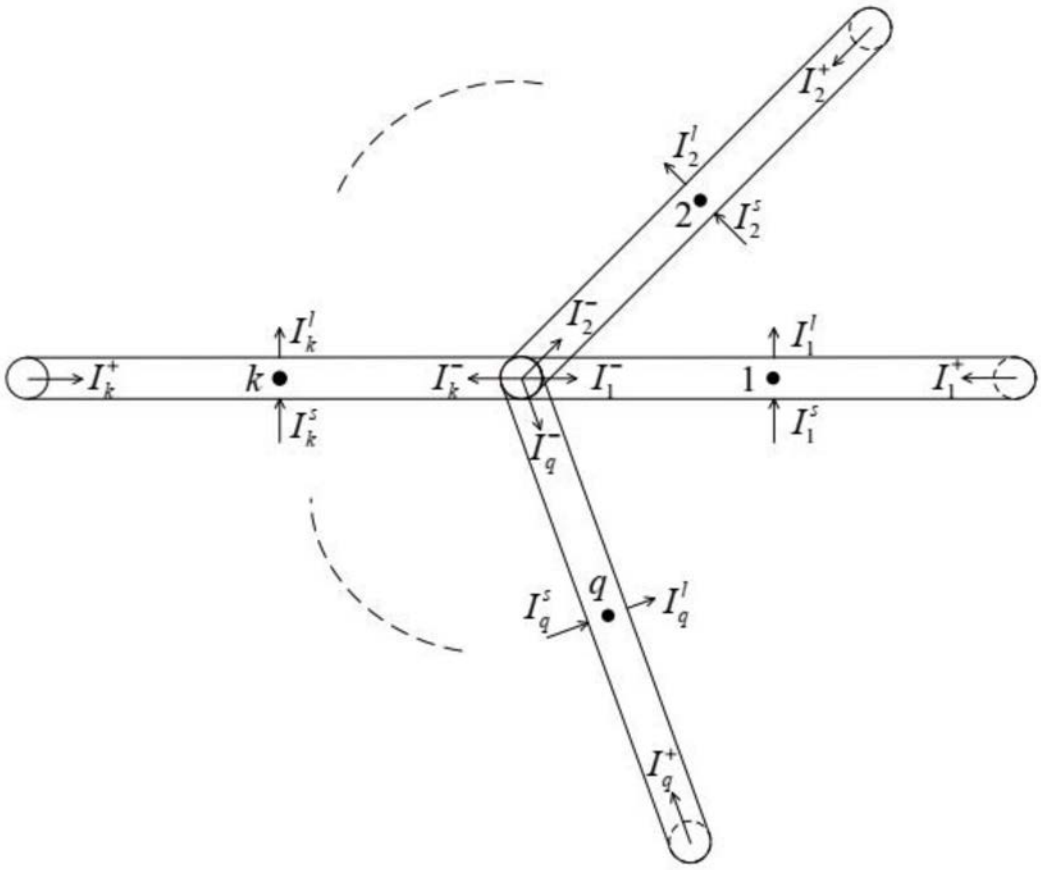


图6

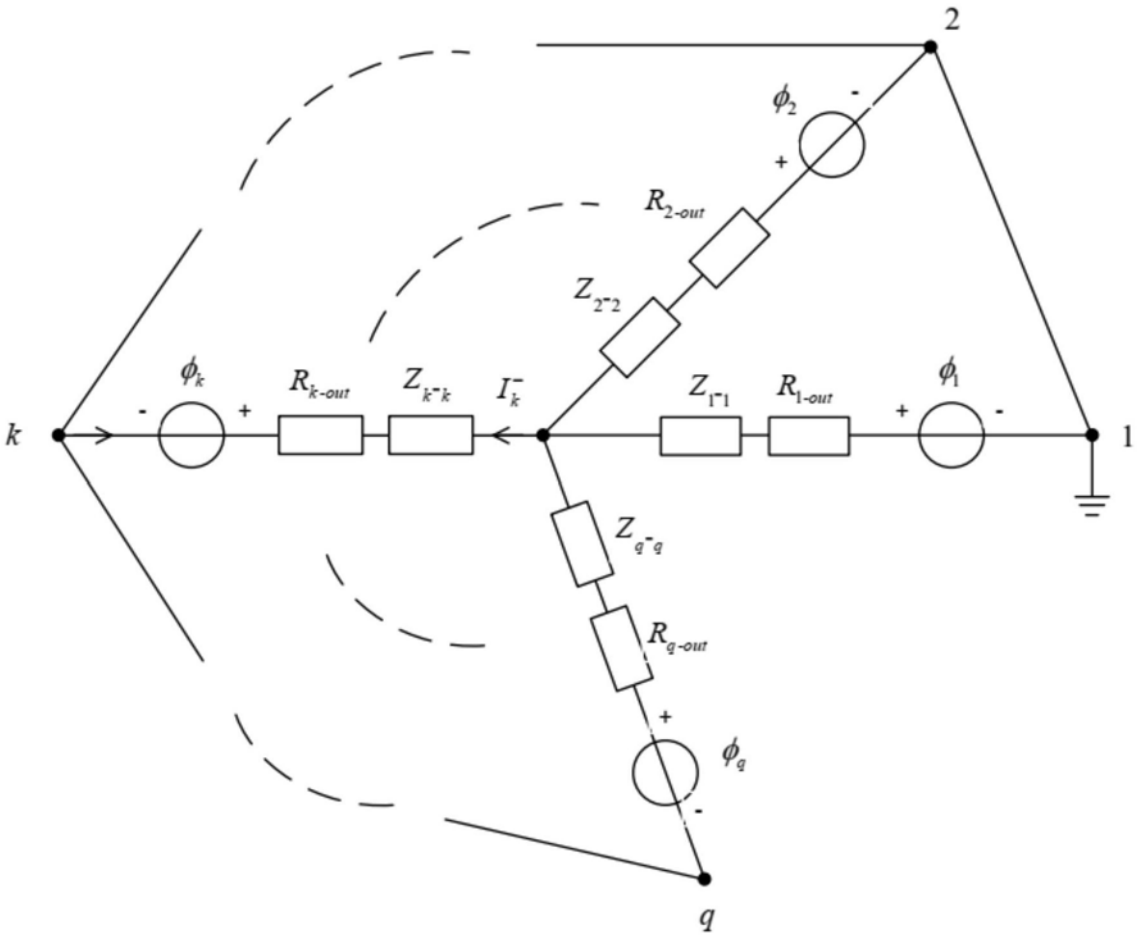

2
ϕ_2
-
+
$R_{2\text{-}out}$
$Z_{2\text{-}2}$
ϕ_k
$R_{k\text{-}out}$
$Z_{k\text{-}k}$
I_k
$Z_{1\text{-}1}$
$R_{1\text{-}out}$
ϕ_1
k
1
$Z_{q\text{-}q}$
$R_{q\text{-}out}$
ϕ_q
q

图7

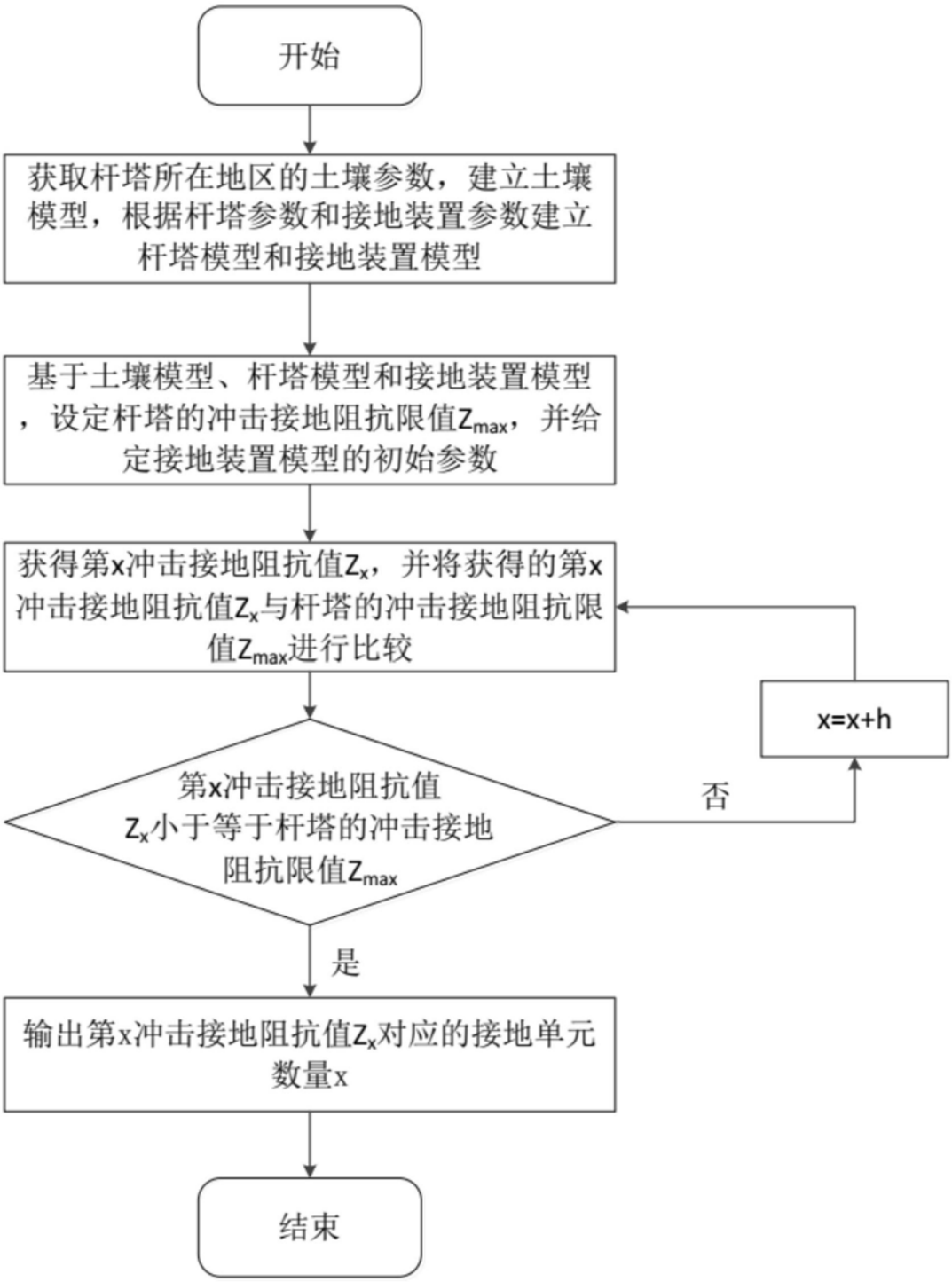

开始
获取杆塔所在地区的土壤参数，建立土壤模型，根据杆塔参数和接地装置参数建立杆塔模型和接地装置模型
基于土壤模型、杆塔模型和接地装置模型，设定杆塔的冲击接地阻抗限值Z_{max}，并给定接地装置模型的初始参数
获得第x冲击接地阻抗值Z_x，并将获得的第x冲击接地阻抗值Z_x与杆塔的冲击接地阻抗限值Z_{max}进行比较
x=x+h
第x冲击接地阻抗值Z_x小于等于杆塔的冲击接地阻抗限值Z_{max}
否
是
输出第x冲击接地阻抗值Z_x对应的接地单元数量x
结束

图8

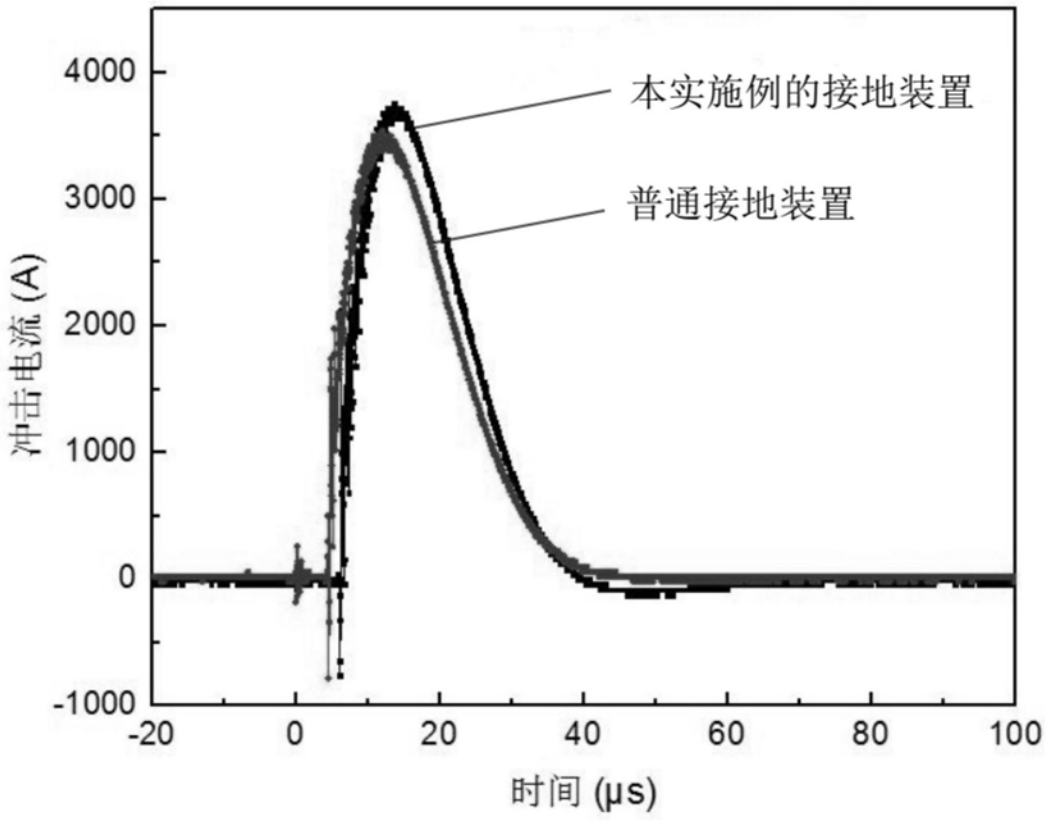

本实施例的接地装置
普通接地装置
冲击电流 (A)
时间 (μs)
4000
3000
2000
1000
0
-1000
-20
0
20
40
60
80
100

图9

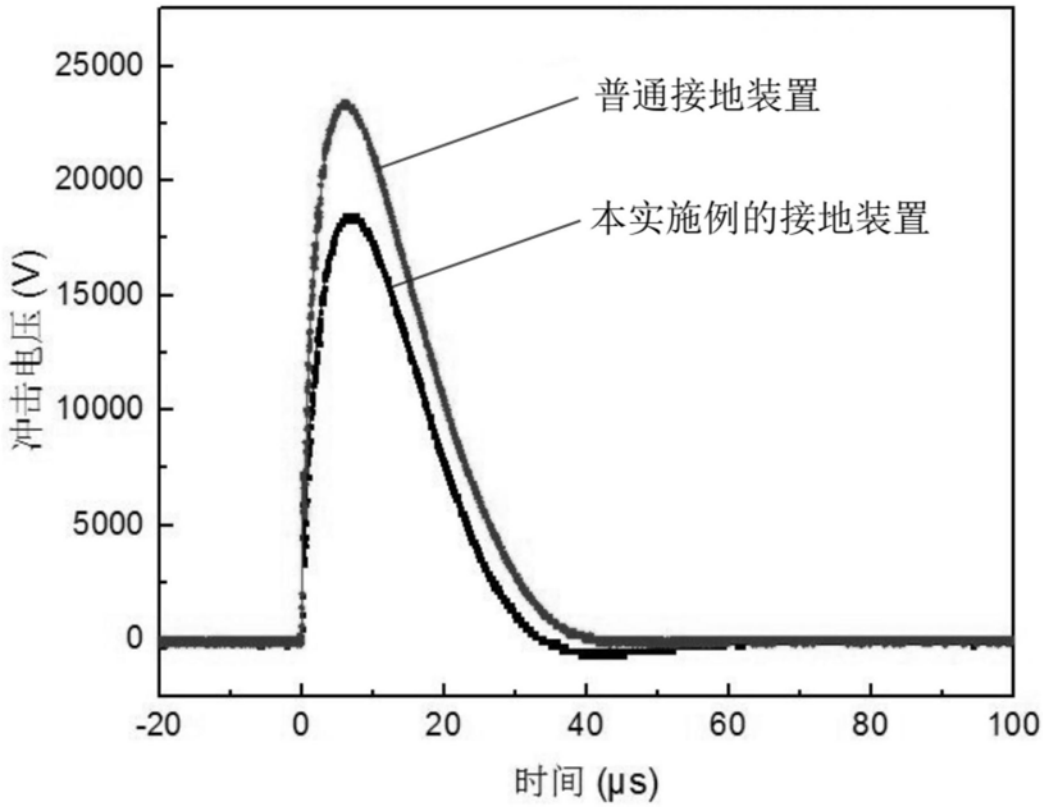

普通接地装置
本实施例的接地装置
冲击电压 (V)
时间 (μs)
25000
20000
15000
10000
5000
0
-20
0
20
40
60
80
100

图10