



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103647270 B

(45) 授权公告日 2015. 09. 09

(21) 申请号 201310684753. 4

(22) 申请日 2013. 12. 13

(73) 专利权人 国家电网公司

地址 100031 北京市西城区西长安街 86 号

专利权人 中国电力工程顾问集团有限公司

电力规划设计总院

中国电力工程顾问集团东北电力

设计院有限公司

中国电力工程顾问集团华东电力

设计院有限公司

中国电力工程顾问集团中南电力

设计院有限公司

中国电力工程顾问集团西北电力

设计院有限公司

中国电力工程顾问集团西南电力

设计院有限公司

中国电力工程顾问集团华北电力

设计院有限公司

(72) 发明人 韩志军 孙涛 李勇伟 苗桂良

贾江波 高福军 陈光 傅光
张国良 张福生 纪新元 陈兴哲
杨振国 孟宪彬 张广玉 薛春林
范峥 王子瑾 徐大成 黄欲成
马凌 陈建忠 朱永平 郝阳
罗鹰 梁明 周唯 杨宇 范龙文
马志坚

(74) 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127

代理人 任默闻

(51) Int. Cl.

H02J 1/00(2006. 01)

G06F 19/00(2011. 01)

审查员 刘勇

权利要求书3页 说明书10页 附图8页

(54) 发明名称

±800kV 特高压直流线路接地的设置方法及系统

(57) 摘要

本发明提供一种 ±800kV 特高压直流线路接地的设置方法及系统,方法包括:获取 ±800kV 特高压直流线路对应的线路雷电活动数据、地形分布数据、海拔高度数据、线路参数、杆塔型式以及接地电阻;根据线路参数、杆塔型式以及地形分布数据确定全线平均绕击闪络率;根据线路雷电活动数据、杆塔型式、接地电阻和海拔高度数据确定全线平均反击闪络率;根据通流导体、混凝土电阻率、土壤电阻率、基础根开、基础埋深、钢筋布置确定杆塔基础自然接地电阻;根据杆塔基础自然接地电阻、可接受的反击闪络率设置所述 ±800kV 特高压直流线路的人工水平接地体。节省了接地钢材,实现差异化接地设计。



1. 一种 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流线路接地的设置方法,其特征是,所述的方法具体包括:

获取 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流线路对应的线路雷电活动数据、地形分布数据、海拔高度数据、线路参数、杆塔型式以及接地电阻;

根据所述的线路参数、杆塔型式以及地形分布数据确定全线平均绕击闪络率;

根据所述的线路雷电活动数据、杆塔型式、接地电阻和海拔高度数据确定全线平均反击闪络率;

根据所述的全线平均绕击闪络率以及全线平均反击闪络率设定可接受的反击闪络率;

获取通流导体、混凝土电阻率、土壤电阻率、基础根开、基础埋深、钢筋布置;

根据所述的通流导体、混凝土电阻率、土壤电阻率、基础根开、基础埋深、钢筋布置确定杆塔基础自然接地电阻;

根据所述的杆塔基础自然接地电阻、可接受的反击闪络率设置所述 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流线路的人工水平接地体;根据所述的线路参数、杆塔型式以及地形分布数据确定全线平均绕击闪络率具体包括:

根据所述的线路参数确定极间距;

根据所述的地形分布数据确定地面倾斜角;

根据所述的杆塔型式确定地线保护角;

根据所述的极间距、地线保护角以及地面倾斜角确定正极性极线的绕击闪络率;

根据所述的极间距、地线保护角以及地面倾斜角确定负极性极线的绕击闪络率;

根据所述的线路雷电活动数据、地形分布数据、正极性极线的绕击闪络率以及负极性极线的绕击闪络率确定全线平均绕击闪络率;根据所述的线路雷电活动数据、杆塔型式、接地电阻和海拔高度确定全线平均反击闪络率具体包括:

根据所述的线路雷电活动数据确定雷电流波形;

根据所述的杆塔型式确定塔高、塔基半径;

根据所述的塔高、塔基半径确定杆塔波阻抗;

获取杆塔波速;

获取导线对地平均高度、雷电流陡度、地线对地平均高度、导线和地线间的耦合系数;

根据所述的导线对地平均高度、雷电流陡度、地线对地平均高度、导线和地线间的耦合系数确定雷击塔顶时导线上的感应电压分量;

获取海拔高度数据和接地电阻要求值;

根据所述的雷电流波形、杆塔波阻抗、杆塔波速、雷击塔顶时导线上的感应电压分量、接地电阻要求值和海拔高度数据确定反击闪络率;

对全线的反击闪络率进行加权平均确定全线平均反击闪络率;根据所述的杆塔基础自然接地电阻、可接受的反击闪络率设置所述 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流线路的人工水平接地体具体包括:

根据可接受的反击闪络率确定冲击接地电阻预期限值;

获取特高压杆塔基础的冲击系数;

根据所述的冲击接地电阻预期限值以及所述的冲击系数确定可接受的反击闪络率下的工频接地电阻;

判断所述的杆塔基础自然接地电阻是否小于所述的工频接地电阻；

当判断为是时,所述 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流线路无需设置人工水平接地体。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,其特征是,根据所述的冲击接地电阻预期限值以及所述的冲击系数确定可接受的反击闪络率下的工频接地电阻具体通过如下公式进行:

工频接地电阻 = 冲击接地电阻预期限值 / 冲击系数。

3. 一种 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流线路接地的设置系统,其特征是,所述的系统具体包括:

第一获取装置,用于获取 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流线路对应的线路雷电活动数据、地形分布数据、海拔高度数据、线路参数、杆塔型式以及接地电阻;

全线平均绕击闪络率确定装置,用于根据所述的线路参数、杆塔型式以及地形分布数据确定全线平均绕击闪络率;

全线平均反击闪络率确定装置,用于根据所述的线路雷电活动数据、杆塔型式、接地电阻和海拔高度确定全线平均反击闪络率;

可接受的反击闪络率设定装置,用于根据所述的全线平均绕击闪络率以及全线平均反击闪络率设定可接受的反击闪络率;

第二获取装置,用于获取通流导体、混凝土电阻率、土壤电阻率、基础根开、基础埋深、钢筋布置;

杆塔基础自然接地电阻确定装置,用于根据所述的通流导体、混凝土电阻率、土壤电阻率、基础根开、基础埋深、钢筋布置确定杆塔基础自然接地电阻;

设置装置,用于根据所述的杆塔基础自然接地电阻、可接受的反击闪络率设置所述 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流线路的人工水平接地体;所述的全线平均绕击闪络率确定装置具体包括:

极间距确定单元,用于根据所述的线路参数确定极间距;

地面倾斜角确定单元,用于根据所述的地形分布数据确定地面倾斜角;

地线保护角确定单元,用于根据所述的杆塔型式确定地线保护角;

正极性极线的绕击闪络率确定单元,用于根据所述的极间距、地线保护角以及地面倾斜角确定正极性极线的绕击闪络率;

负极性极线的绕击闪络率确定单元,用于根据所述的极间距、地线保护角以及地面倾斜角确定负极性极线的绕击闪络率;

全线平均绕击闪络率确定单元,用于根据所述的线路雷电活动数据、地形分布数据、正极性极线的绕击闪络率以及负极性极线的绕击闪络率确定全线平均绕击闪络率;所述的全线平均反击闪络率确定装置具体包括:

雷电流波形确定单元,用于根据所述的线路雷电活动数据确定雷电流波形;

塔高确定单元,用于根据所述的杆塔型式确定塔高、塔基半径;

杆塔波阻抗确定单元,用于根据所述的塔高、塔基半径确定杆塔波阻抗;

杆塔波速获取单元,用于获取杆塔波速;

获取单元,用于获取导线对地平均高度、雷电流陡度、地线对地平均高度、导线和地线间的耦合系数;

感应电压分量确定单元,用于根据所述的导线对地平均高度、雷电流陡度、地线对地平均高度、导线和地线间的耦合系数确定雷击塔顶时导线上的感应电压分量;

海拔高度获取单元,用于获取海拔高度数据和接地电阻要求值;

反击闪络率确定单元,用于根据所述的雷电流波形、杆塔波阻抗、杆塔波速、雷击塔顶时导线上的感应电压分量、接地电阻和海拔高度确定反击闪络率;

全线平均反击闪络率确定单元,用于对全线的反击闪络率进行加权平均确定全线平均反击闪络率;所述的设置装置具体包括:

冲击接地电阻预期限值确定单元,用于根据可接受的反击闪络率确定冲击接地电阻预期限值;

冲击系数单元,用于获取特高压杆塔基础的冲击系数;

工频接地电阻确定单元,用于根据所述的冲击接地电阻预期限值以及所述的冲击系数确定可接受的反击闪络率下的工频接地电阻;

判断单元,用于判断所述的杆塔基础自然接地电阻是否小于所述的工频接地电阻;

设置单元,用于当所述的判断单元判断为是时,所述 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流线路无需设置人工水平接地体。

4. 根据权利要求 3 所述的系统,其特征是,所述的工频接地电阻确定单元通过如下公式进行:

工频接地电阻 = 冲击接地电阻预期限值 / 冲击系数。

±800kV 特高压直流线路接地的设置方法及系统

技术领域

[0001] 本发明关于特高压输电线路设计技术领域,特别是关于 ±800kV 特高压直流线路的设计技术,具体的讲是一种 ±800kV 特高压直流线路接地的设置方法及系统。

背景技术

[0002] 输电线路杆塔良好的接地可确保故障电流顺利泄放,且不产生高电位差危及设备和人身安全,是防止雷电和静电危害等必不可少的措施。接地体为在系统、装置或设备的给定点与接地极或接地网之间提供导电通路或部分导电通路的导体。

[0003] 为了提高反击耐雷水平、降低闪络率,国内外的现有技术中一般采用加装人工水平接地体的方式来降低杆塔的接地电阻。110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范中关于杆塔接地的要求如下:有地线的杆塔应接地,在雷季干燥时,每基杆塔不连地线的工频电阻,不宜大于下表规定的数值。工频接地电阻要求如表 1 所示。

[0004] 表 1

[0005]

土壤电阻率(欧·米)	100 及以下	100 ~ 500	500 ~ 1000	1000 ~ 2000	2000 以上
工频接地电阻(欧)	10	15	20	25	30

[0006] 在 110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范中有关于杆塔接地的要求,由于超高压线路的杆塔基础和人工水平接地体的尺寸相对特高压线路较小,接地电阻不满足要求时一般采用加装人工水平接地体的方式来降低杆塔的接地电阻。特高压杆塔的人工水平接地体尺寸较大,安装和维护需消耗大量的人力、物力及财力,且由于特高压杆塔基础尺寸和埋深较大,基础内钢筋众多,基础本身的散流能力较强,因此上述 110kV ~ 750kV 架空输电线路设计规范中有关于杆塔接地的要求无法应用于 ±800kV 特高压直流线路,现有技术中还没有 ±800kV 特高压直流线路关于杆塔接地的设置方案。

发明内容

[0007] 为了解决现有技术中由于特高压杆塔的人工水平接地体尺寸大,安装和维护需消耗大量的人力、物力及财力,特高压杆塔基础尺寸和埋深较大,基础内钢筋众多,基础本身的散流能力较强而无法应用于 ±800kV 特高压直流线路的问题,本发明提供了一种特高压直流线路接地的设置方法及系统,充分利用杆塔基础的自然接地作用,使自然接地电阻满足接地电阻限值要求,从而可以取消人工水平接地体,不仅节省了接地钢材,实现差异化接地设计,而且提高了技术的经济性。

[0008] 本发明的目的之一是,提供一种 ±800kV 特高压直流线路接地的设置方法,包括:获取 ±800kV 特高压直流线路对应的线路雷电活动数据、地形分布数据、海拔高度数据、线路参数、杆塔型式以及接地电阻;根据所述的线路参数、杆塔型式以及地形分布数据确定全线平均绕击闪络率;根据所述的线路雷电活动数据、杆塔型式、接地电阻和海拔高度数据确

定全线平均反击闪络率 ;根据所述的全线平均绕击闪络率以及全线平均反击闪络率设定可接受的反击闪络率 ;获取通流导体、混凝土电阻率、土壤电阻率、基础根开、基础埋深、钢筋布置 ;根据所述的通流导体、混凝土电阻率、土壤电阻率、基础根开、基础埋深、钢筋布置确定杆塔基础自然接地电阻 ;根据所述的杆塔基础自然接地电阻、可接受的反击闪络率设置所述 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流线路的人工水平接地体。

[0009] 本发明的目的之一是,提供了一种 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流线路接地的设置系统,包括 :第一获取装置,用于获取 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流线路对应的线路雷电活动数据、地形分布数据、海拔高度数据、线路参数、杆塔型式以及接地电阻 ;全线平均绕击闪络率确定装置,用于根据所述的线路参数、杆塔型式以及地形分布数据确定全线平均绕击闪络率 ;全线平均反击闪络率确定装置,用于根据所述的线路雷电活动数据、杆塔型式、接地电阻和海拔高度确定全线平均反击闪络率 ;可接受的反击闪络率设定装置,用于根据所述的全线平均绕击闪络率以及全线平均反击闪络率设定可接受的反击闪络率 ;第二获取装置,用于获取通流导体、混凝土电阻率、土壤电阻率、基础根开、基础埋深、钢筋布置 ;杆塔基础自然接地电阻确定装置,用于根据所述的通流导体、混凝土电阻率、土壤电阻率、基础根开、基础埋深、钢筋布置确定杆塔基础自然接地电阻 ;设置装置,用于根据所述的杆塔基础自然接地电阻、可接受的反击闪络率设置所述 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流线路的人工水平接地体。

[0010] 本发明的有益效果在于,提供了一种 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流线路接地的设置方法及系统,解决了现有技术中由于特高压杆塔的人工水平接地体尺寸大,安装和维护需消耗大量的人力、物力及财力,特高压杆塔基础尺寸和埋深较大,基础内钢筋众多,基础本身的散流能力较强而无法应用于 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流线路的问题,充分利用杆塔基础的自然接地作用,使自然接地电阻满足接地电阻限值要求,从而可以取消人工水平接地体,不仅节省了接地钢材,实现差异化接地设计,而且提高了技术的经济性。

[0011] 为了让本发明的上述和其他目的、特征和优点能更明显易懂,下文特举较佳实施例,并配合所附图式,作详细说明如下。

附图说明

[0012] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,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,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0013] 图 1 为本发明实施例提供的一种 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流线路接地的设置方法的流程图 ;

[0014] 图 2 为图 1 中的步骤 S102 的具体流程图 ;

[0015] 图 3 为图 1 中的步骤 S103 的具体流程图 ;

[0016] 图 4 为图 1 中的步骤 S107 的具体流程图 ;

[0017] 图 5 为本发明实施例提供的一种 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流线路接地的设置系统的结构框图 ;

[0018] 图 6 为本发明实施例提供的一种 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流线路接地的设置系统中全线平均绕击闪络率确定装置 200 的结构框图 ;

[0019] 图7为本发明实施例提供的一种 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流线路接地的设置系统中全线平均反击闪络率确定装置300的结构框图；

[0020] 图8为本发明实施例提供的一种 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流线路接地的设置系统中设置装置700的结构框图。

具体实施方式

[0021] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,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,本领域普通技术人员在没有做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。

[0022] 本发明提出一种 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流线路仅依靠杆塔基础自然接地,免人工水平接地体的计算分析方案。根据线路雷电活动情况、地形分布、海拔高度、线路参数、杆塔型式和土壤电阻率计算线路绕击闪络率和反击闪络率。在对特高压杆塔基础反击闪络率和冲击接地电阻预期限值计算基础上,对冲击系数进行分析,提出在预期反击闪络率目标下,免人工水平接地体的工频接地电阻预期限值。考虑通流导体、混凝土电阻率、基础根开、基础埋深、钢筋布置等影响,采用数值方法对各种典型特高压杆塔基础的自然接地电阻进行仿真计算,提出自然接地电阻即可以满足接地电阻限值要求的土壤电阻率范围。当杆塔基础的尺寸较大时,其自然接地电阻会相应减小,满足接地电阻限值要求时的土壤电阻率范围可适当放宽。

[0023] 相关术语解释

[0024] 接地体:在系统、装置或设备的给定点与接地极或接地网之间提供导电通路或部分导电通路的导体。

[0025] 特高压杆塔的人工水平接地体尺寸大,安装和维护需消耗大量的人力、物力及财力。由于特高压杆塔基础尺寸和埋深较大,基础内钢筋众多,基础本身的散流能力较强。本专利提供一种 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流线路充分利用杆塔基础的自然接地作用,使自然接地电阻满足接地电阻限值要求,从而可以取消人工水平接地体的计算分析方法。节省了接地钢材,实现差异化接地设计,提高了技术经济性。

[0026] 特高压直流工程杆塔的人工水平接地体尺寸大,安装和维护需消耗大量的人力、物力及财力。由于特高压杆塔基础尺寸和埋深较大,基础内钢筋众多,基础本身的散流能力较强,在雷暴日水平和雷电流幅值较低的地区,通过计算分析可以确定工频接地电阻预期限值和满足此限值要求的土壤电阻率范围,满足上述条件的特高压直流线路杆塔可以不安装人工水平接地体,从而节省了接地钢材,实现差异化接地设计,提高了技术经济性,本发明正是提供了这种计算分析方法。

[0027] 本发明提供了一种 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流线路人工水平接地体的设置方法,由图1可知,该方法具体包括:

[0028] S101:获取 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流线路对应的线路雷电活动数据、地形分布数据、海拔高度数据、线路参数、杆塔型式以及接地电阻;

[0029] S102:根据所述的线路参数、杆塔型式以及地形分布数据确定全线平均绕击闪络率,图2为该步骤的具体流程图,由图2可知,该步骤具体包括:

- [0030] S201:根据所述的线路参数确定极间距；
- [0031] S202:根据所述的地形分布数据确定地面倾斜角；
- [0032] S203:根据所述的杆塔型式确定地线保护角；
- [0033] S204:根据所述的极间距、地线保护角以及地面倾斜角确定正极性极线的绕击闪络率。在具体的实施方式中,根据典型塔型,当极间距 22m,地面倾斜角 20° 时,可采用改进后的电气几何模型方法计算正极性极线的绕击闪络率。
- [0034] S205:根据所述的极间距、地线保护角以及地面倾斜角确定负极性极线的绕击闪络率。在具体的实施方式中,根据典型塔型,当极间距 22m,地面倾斜角 20° 时,可采用改进后的电气几何模型方法计算负极性极线的绕击闪络率。
- [0035] S206:根据所述的线路雷电活动数据、地形分布数据、正极性极线的绕击闪络率以及负极性极线的绕击闪络率确定全线平均绕击闪络率。
- [0036] 由图 1 可知,该方法还包括：
- [0037] S103:根据所述的线路雷电活动数据、杆塔型式、接地电阻和海拔高度数据确定全线平均反击闪络率,图 3 为该步骤的具体流程图,由图 3 可知,该步骤具体包括：
- [0038] S301:根据所述的线路雷电活动数据确定雷电流波形；
- [0039] S302:根据所述的杆塔型式确定塔高、塔基半径；
- [0040] S303:根据所述的塔高、塔基半径确定杆塔波阻抗；
- [0041] S304:获取杆塔波速,波在塔身上和杆塔上的传播速度均为光速。
- [0042] S305:获取导线对地平均高度、雷电流陡度、地线对地平均高度、导线和地线间的耦合系数；
- [0043] S306:根据所述的导线对地平均高度、雷电流陡度、地线对地平均高度、导线和地线间的耦合系数确定雷击塔顶时导线上的感应电压分量；
- [0044] S307:获取海拔高度数据和接地电阻要求值；
- [0045] S308:根据所述的雷电流波形、杆塔波阻抗、杆塔波速、雷击塔顶时导线上的感应电压分量、接地电阻要求值和海拔高度数据确定反击闪络率；
- [0046] S309:对全线的反击闪络率进行加权平均确定全线平均反击闪络率。
- [0047] 步骤 S103 在确定全线平均反击闪络率时,考虑了如下因素：
- [0048] (1) 不同塔头结构对反击耐雷水平的影响
- [0049] 采用 EMTP 程序建模计算典型杆塔的反击耐雷水平。不同塔头结构的情况下,线路耐雷水平相差不大,即不同的塔头结构对杆塔的反击耐雷水平的影响不大。
- [0050] (2) 不同接地电阻对反击耐雷水平的影响
- [0051] 特高压杆塔的根开较大,杆塔的基础较深,杆塔的冲击接地电阻一般较低。对于少雷区其雷电流幅值较小,雷电流幅值概率分布按式(1.1)进行计算,故虽然土壤电阻率较大,杆塔的接地电阻较高,但其反击跳闸率计算结果仍在相对较低的水平。

$$[0052] \quad \lg P = -\frac{i_0}{44} \quad (1.1)$$

[0053] 在西北外的其它地区,雷电流幅值概率分布按式(1.2)进行计算,其它条件相同的情况下,其反击跳闸率计算结果比西北地区的要大得多,这主要是由于较大的雷电流幅值概率将反击跳闸率提高到了一个相对较高的水平,此时就需要通过降低杆塔的接地电阻来

限制线路的反击跳闸率。

$$[0054] \quad \lg P = -\frac{i_0}{88} \quad (1.2)$$

[0055] 随杆塔接地电阻的增加,线路耐雷水平明显下降,反击闪络率明显增加。

[0056] (3) 不同海拔高度对反击耐雷水平的影响

[0057] 随着海拔高度的增加,线路耐雷水平下降,反击闪络率增加较大。

[0058] 根据上述计算结果,考虑最严重的计算条件,可得出满足反击闪络率要求的杆塔冲击接地电阻值。

[0059] 由图 1 可知,该方法还包括:

[0060] S104:根据所述的全线平均绕击闪络率以及全线平均反击闪络率设定可接受的反击闪络率;

[0061] S105:获取通流导体、混凝土电阻率、土壤电阻率、基础根开、基础埋深、钢筋布置;

[0062] S106:根据所述的通流导体、混凝土电阻率、土壤电阻率、基础根开、基础埋深、钢筋布置确定杆塔基础自然接地电阻。

[0063] 在具体的实施方式中,考虑通流导体、混凝土电阻率、基础根开、基础埋深、钢筋布置等影响,采用数值方法对各种典型特高压杆塔基础的自然接地电阻进行仿真计算,计算工具为 CDEGS 软件包。土壤电阻率对接地电阻的影响较大,近似呈线性关系。经计算得出不同土壤电阻率,不同混凝土电阻率及不同基础根开的工频接地电阻值。

[0064] 对于柱状型基础,其地下钢筋长度对自然接地电阻的影响较大,对于平板型基础,水平方向的尺寸变化对接地电阻影响较大。若柱状型基础的地下柱长和柱径增加,平板型基础水平方向和垂直方向上尺寸增大,杆塔基础的自然接地电阻会相应减小,满足接地电阻限值要求时的土壤电阻率范围可适当放宽。

[0065] S107:根据所述的杆塔基础自然接地电阻、可接受的反击闪络率设置所述 ±800kV 特高压直流线路的人工水平接地体。图 4 为该步骤的具体流程图,由图 4 可知,该步骤具体包括:

[0066] S401:根据可接受的反击闪络率确定冲击接地电阻预期限值;

[0067] S402:获取特高压杆塔基础的冲击系数。

[0068] 在具体的实施方式中,自然接地体冲击系数的一般规定为:

[0069] 现行电力行业标准《交流电气装置的接地》中指出,杆塔自然接地极的效果仅在 $\rho \leq 300 \Omega \cdot m$ 才加以考虑,其冲击系数为

$$[0070] \quad \alpha = \frac{1}{1.35 + \alpha_i I_i^{1.5}} \quad (1.3)$$

[0071] 式中, α_i ——对钢筋混凝土杆、钢筋混凝土桩和铁塔的基础(一个塔脚)为 0.053,对装配式钢筋混凝土基础(一个塔脚)和拉线盘(带拉线棒)为 0.038。铁塔的各基础间冲击利用系数 0.4 ~ 0.5。

[0072] 垂直接地体尺寸增加一倍时冲击系数的变化为:

[0073] 电力行业《电力设备接地设计技术规程》中提出集中的垂直接地体冲击系数的估算式:

$$[0074] \quad \alpha = \frac{1}{0.9 + 0.9 * \frac{(I\rho)^{0.8}}{I^{1.2}}} \quad (1.4)$$

[0075] 该式是用简单形状和小尺寸的半球形、水平及垂直接地体在小电流下的试验值，然后运用外插等方法得到。

[0076] 依据此式，长度增加一倍时冲击系数增加倍数 $\frac{\alpha(\text{长为}2L)}{\alpha(\text{长为}L)} < 2.3$ 倍。此时，20kA 冲

击电流下，特高压线路杆塔基础冲击系数 $< 0.3 * 2.3 = 0.69$ 。本发明中特高压杆塔基础的冲击系数近似取 0.7。

[0077] S403：根据所述的冲击接地电阻预期限值以及所述的冲击系数确定可接受的反击闪络率下的工频接地电阻，工频接地电阻 = 冲击接地电阻预期限值 / 冲击系数，结合不同土壤电阻率对雷电反击性能的影响情况，得出不同地区的接地电阻限值。

[0078] S404：判断所述的杆塔基础自然接地电阻是否小于所述的工频接地电阻；

[0079] S405：当判断为是时，所述 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流线路无需设置人工水平接地体。

[0080] 如上即为本发明提供一种 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流线路接地的设置方法，线路耐雷性能的计算包括线路雷电绕击计算和线路雷电反击计算。根据线路雷电活动情况、地形分布、海拔高度、线路参数、杆塔型式和土壤电阻率等参数，采用改进后的电气几何模型方法进行雷电绕击闪络率计算，采用 EMTP 程序建模进行雷电反击闪络率计算。

[0081] 本发明还提供了一种 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流线路人工水平接地体的设置系统，由图 5 可知，该系统具体包括：

[0082] 第一获取装置 100，用于获取 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流线路对应的线路雷电活动数据、地形分布数据、海拔高度数据、线路参数、杆塔型式以及接地电阻；

[0083] 全线平均绕击闪络率确定装置 200，用于根据所述的线路参数、杆塔型式以及地形分布数据确定全线平均绕击闪络率，图 6 为全线平均绕击闪络率确定装置的具体结构框图，由图 6 可知，全线平均绕击闪络率确定装置具体包括：

[0084] 极间距确定单元 201，用于根据所述的线路参数确定极间距；

[0085] 地面倾斜角确定单元 202，用于根据所述的地形分布数据确定地面倾斜角；

[0086] 地线保护角确定单元 203，用于根据所述的杆塔型式确定地线保护角；

[0087] 正极性极线的绕击闪络率确定单元 204，用于根据所述的极间距、地线保护角以及地面倾斜角确定正极性极线的绕击闪络率。在具体的实施方式中，根据典型塔型，当极间距 22m，地面倾斜角 20° 时，可采用改进后的电气几何模型方法计算正极性极线的绕击闪络率。

[0088] 负极性极线的绕击闪络率确定单元 205，用于根据所述的极间距、地线保护角以及地面倾斜角确定负极性极线的绕击闪络率。在具体的实施方式中，根据典型塔型，当极间距 22m，地面倾斜角 20° 时，可采用改进后的电气几何模型方法计算负极性极线的绕击闪络率。

[0089] 全线平均绕击闪络率确定单元 206，用于根据所述的线路雷电活动数据、地形分布数据、正极性极线的绕击闪络率以及负极性极线的绕击闪络率确定全线平均绕击闪络率。

[0090] 由图 5 可知,该系统还包括:

[0091] 全线平均反击闪络率确定装置 300,用于根据所述的线路雷电活动数据、杆塔型式、接地电阻和海拔高度数据确定全线平均反击闪络率,图 7 为全线平均反击闪络率确定装置的具体结构框图,由图 7 可知,全线平均反击闪络率确定装置具体包括:

[0092] 雷电流波形确定单元 301,用于根据所述的线路雷电活动数据确定雷电流波形;

[0093] 塔高确定单元 302,用于根据所述的杆塔型式确定塔高、塔基半径;

[0094] 杆塔波阻抗确定单元 303,用于根据所述的塔高、塔基半径确定杆塔波阻抗;

[0095] 杆塔波速获取单元 304,用于获取杆塔波速,波在塔身上和杆塔上的传播速度均为光速。

[0096] 获取单元 305,用于获取导线对地平均高度、雷电流陡度、地线对地平均高度、导线和地线间的耦合系数;

[0097] 感应电压分量确定单元 306,用于根据所述的导线对地平均高度、雷电流陡度、地线对地平均高度、导线和地线间的耦合系数确定雷击塔顶时导线上的感应电压分量;

[0098] 海拔高度获取单元 307,用于获取海拔高度数据和接地电阻要求值;

[0099] 反击闪络率确定单元 308,用于根据所述的雷电流波形、杆塔波阻抗、杆塔波速、雷击塔顶时导线上的感应电压分量、接地电阻要求值和海拔高度数据确定反击闪络率;

[0100] 全线平均反击闪络率确定单元 309,用于对全线的反击闪络率进行加权平均确定全线平均反击闪络率。

[0101] 全线平均反击闪络率确定装置在确定全线平均反击闪络率时,考虑了如下因素:

[0102] (1) 不同塔头结构对反击耐雷水平的影响

[0103] 采用 EMTP 程序建模计算典型杆塔的反击耐雷水平。不同塔头结构的情况下,线路耐雷水平相差不大,即不同的塔头结构对杆塔的反击耐雷水平的影响不大。

[0104] (2) 不同接地电阻对反击耐雷水平的影响

[0105] 特高压杆塔的根开较大,杆塔的基础较深,杆塔的冲击接地电阻一般较低。对于少雷区其雷电流幅值较小,雷电流幅值概率分布按式(1.1)进行计算,故虽然土壤电阻率较大,杆塔的接地电阻较高,但其反击跳闸率计算结果仍在相对较低的水平。

$$[0106] \quad \lg P = -\frac{i_0}{44} \quad (1.1)$$

[0107] 在西北外的其它地区,雷电流幅值概率分布按式(1.2)进行计算,其它条件相同的情况下,其反击跳闸率计算结果比西北地区的要大得多,这主要是由于较大的雷电流幅值概率将反击跳闸率提高到了一个相对较高的水平,此时就需要通过降低杆塔的接地电阻来限制线路的反击跳闸率。

$$[0108] \quad \lg P = -\frac{i_0}{88} \quad (1.2)$$

[0109] 随杆塔接地电阻的增加,线路耐雷水平明显下降,反击闪络率明显增加。

[0110] (3) 不同海拔高度对反击耐雷水平的影响

[0111] 随着海拔高度的增加,线路耐雷水平下降,反击闪络率增加较大。

[0112] 根据上述计算结果,考虑最严重的计算条件,可得出满足反击闪络率要求的杆塔冲击接地电阻值。

[0113] 由图 5 可知,该系统还包括:

[0114] 可接受的反击闪络率设定装置 400,用于根据所述的全线平均绕击闪络率以及全线平均反击闪络率设定可接受的反击闪络率;

[0115] 第二获取装置 500,用于获取通流导体、混凝土电阻率、土壤电阻率、基础根开、基础埋深、钢筋布置;

[0116] 杆塔基础自然接地电阻确定装置 600,用于根据所述的通流导体、混凝土电阻率、土壤电阻率、基础根开、基础埋深、钢筋布置确定杆塔基础自然接地电阻。

[0117] 在具体的实施方式中,考虑通流导体、混凝土电阻率、基础根开、基础埋深、钢筋布置等影响,采用数值方法对各种典型特高压杆塔基础的自然接地电阻进行仿真计算,计算工具为 CDEGS 软件包。土壤电阻率对接地电阻的影响较大,近似呈线性关系。经计算得出不同土壤电阻率,不同混凝土电阻率及不同基础根开的工频接地电阻值。

[0118] 对于柱状型基础,其地下钢筋长度对自然接地电阻的影响较大,对于平板型基础,水平方向的尺寸变化对接地电阻影响较大。若柱状型基础的地下柱长和柱径增加,平板型基础水平方向和垂直方向上尺寸增大,杆塔基础的自然接地电阻会相应减小,满足接地电阻限值要求时的土壤电阻率范围可适当放宽。

[0119] 设置装置 700,用于根据所述的杆塔基础自然接地电阻、可接受的反击闪络率设置所述 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流线路的人工水平接地体。图 8 为设置装置的具体结构框图,由图 8 可知,设置装置具体包括:

[0120] 冲击接地电阻预期限值确定单元 701,用于根据可接受的反击闪络率确定冲击接地电阻预期限值;

[0121] 冲击系数单元 702,用于获取特高压杆塔基础的冲击系数。

[0122] 在具体的实施方式中,自然接地体冲击系数的一般规定为:

[0123] 现行电力行业标准《交流电气装置的接地》中指出,杆塔自然接地极的效果仅在 $\rho \leq 300 \Omega \cdot \text{m}$ 才加以考虑,其冲击系数为

$$[0124] \quad \alpha = \frac{1}{1.35 + \alpha_i I_i^{1.5}} \quad (1.3)$$

[0125] 式中, α_i ——对钢筋混凝土杆、钢筋混凝土桩和铁塔的基础(一个塔脚)为 0.053,对装配式钢筋混凝土基础(一个塔脚)和拉线盘(带拉线棒)为 0.038。铁塔的各基础间冲击利用系数 0.4 ~ 0.5。

[0126] 垂直接地体尺寸增加一倍时冲击系数的变化为:

[0127] 电力行业《电力设备接地设计技术规程》中提出集中的垂直接地体冲击系数的估算式:

$$[0128] \quad \alpha = \frac{1}{0.9 + 0.9 * \frac{(I\rho)^{0.8}}{l^{1.2}}} \quad (1.4)$$

[0129] 该式是用简单形状和小尺寸的半球形、水平及垂直接地体在小电流下的试验值,然后运用外插等方法得到。

[0130] 依据此式,长度增加一倍时冲击系数增加倍数 $\frac{\alpha(\text{长为}2L)}{\alpha(\text{长为}L)} < 2.3$ 倍。此时,20kA冲击

电流下,特高压线路杆塔基础冲击系数 $< 0.3 \times 2.3 = 0.69$ 。本发明中特高压杆塔基础的冲击系数近似取0.7。

[0131] 工频接地电阻确定单元703,用于根据所述的冲击接地电阻预期限值以及所述的冲击系数确定可接受的反击闪络率下的工频接地电阻,工频接地电阻 = 冲击接地电阻预期限值 / 冲击系数,结合不同土壤电阻率对雷电反击性能的影响情况,得出不同地区的接地电阻限值。

[0132] 判断单元704,用于判断所述的杆塔基础自然接地电阻是否小于所述的工频接地电阻;

[0133] 设置单元705,用于当所述的判断单元判断为是时,所述 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流线路无需设置人工水平接地体。

[0134] 下面结合具体的实施例,详细介绍本发明的技术方案。依托哈密~郑州 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流输电线路工程,用本发明的方案计算分析后的结论如下:

[0135] (1)西北地区反击闪络率低于0.028次/100km·a,非西北地区反击闪络率低于0.043次/100km·a的预期目标下,冲击系数为0.7时,西北地区工频接地电阻限值为55 Ω ,非西北地区工频接地电阻限值为20 Ω 。

[0136] (2)对于掏挖基础和岩石基础,当非西北地区土壤电阻率 $< 500\Omega \cdot \text{m}$,西北地区土壤电阻率 $< 1500\Omega \cdot \text{m}$ 时,自然接地电阻可分别控制在20 Ω 以下和55 Ω 以下,此时不装设人工水平接地体即可以满足反击要求。对于柔性基础,当非西北地区土壤电阻率 $< 500\Omega \cdot \text{m}$,西北地区土壤电阻率 $< 2000\Omega \cdot \text{m}$ 时,自然接地电阻可分别控制在20 Ω 以下和55 Ω 以下,可不装设人工水平接地体。

[0137] (3)当基础尺寸相对较大时,取消水平接地体的土壤电阻率范围可适当放宽。掏挖基础和岩石基础等柱状型基础桩长在6m以上(或桩径在1.5m以上),西北地区土壤电阻率 $< 2000\Omega \cdot \text{m}$ 时,自然接地电阻可控制在55 Ω 以下,可不装设水平接地体。转角塔柔性基础及地下埋深在7.5m以上,或者下部边长在8m以上的直线型柔性基础,西北地区土壤电阻率 $< 3000\Omega \cdot \text{m}$,自然接地电阻可控制在55 Ω 以下,可不装设水平接地体。

[0138] 综上所述,本发明提供一种 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流线路接地的设置方法以及系统,特高压直流工程杆塔的人工水平接地体尺寸大,安装和维护需花费大量的人力、物力及财力。由于特高压杆塔基础尺寸和埋深较大,基础内钢筋众多,基础本身的散流能力较强,在雷暴日水平和雷电流幅值较低的地区,通过本发明的计算分析方法可以确定工频接地电阻预期限值和满足此限值要求的土壤电阻率范围,满足上述条件的特高压直流线路杆塔可以不安装人工水平接地体,从而节省了接地钢材,节约线路用地,减小对周边环境和农业生产的影响,免接地运行维护,有利于环保、民生,实现差异化接地设计,同时也降低了工程整体投资,具有更好的经济效益和社会效益。

[0139] 本发明的关键点和保护点是 $\pm 800\text{kV}$ 特高压直流线路仅依靠杆塔基础自然接地,免人工水平接地体的计算分析方法。

[0140] (1)根据线路雷电活动情况、地形分布、海拔高度、线路参数、杆塔型式和土壤电阻率计算线路绕击闪络率和反击闪络率的方法。

[0141] (2) 冲击接地电阻预期限值、冲击系数和工频接地电阻预期限值的取值方法。

[0142] (3) 考虑通流导体、混凝土电阻率、基础根开、基础埋深、钢筋布置等影响,各种典型特高压杆塔基础的自然接地电阻的计算方法。

[0143] (4) 当杆塔基础的尺寸增大时,其自然接地电阻会相应减小,满足接地电阻限值要求时的土壤电阻率范围取值方法。

[0144] (5) 节省了接地钢材,节约线路用地,减小对周边环境和农业生产的影响,免接地运行维护,有利于环保、民生,实现差异化接地设计,同时也降低了工程整体投资,具有更好的经济效益和社会效益。

[0145] 本领域普通技术人员可以理解实现上述实施例方法中的全部或部分流程,可以通过计算机程序来指令相关的硬件来完成,所述的程序可存储于一般计算机可读取存储介质中,该程序在执行时,可包括如上述各方法的实施例的流程。其中,所述的存储介质可为磁碟、光盘、只读存储记忆体(Read-Only Memory, ROM)或随机存储记忆体(Random Access Memory, RAM)等。

[0146] 本领域技术人员还可以了解到本发明实施例列出的各种功能是通过硬件还是软件来实现取决于特定的应用和整个系统的设计要求。本领域技术人员可以对于每种特定的应用,可以使用各种方法实现所述的功能,但这种实现不应被理解为超出本发明实施例保护的范围。

[0147] 本发明中应用了具体实施例对本发明的原理及实施方式进行了阐述,以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想;同时,对于本领域的一般技术人员,依据本发明的思想,在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处,综上所述,本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

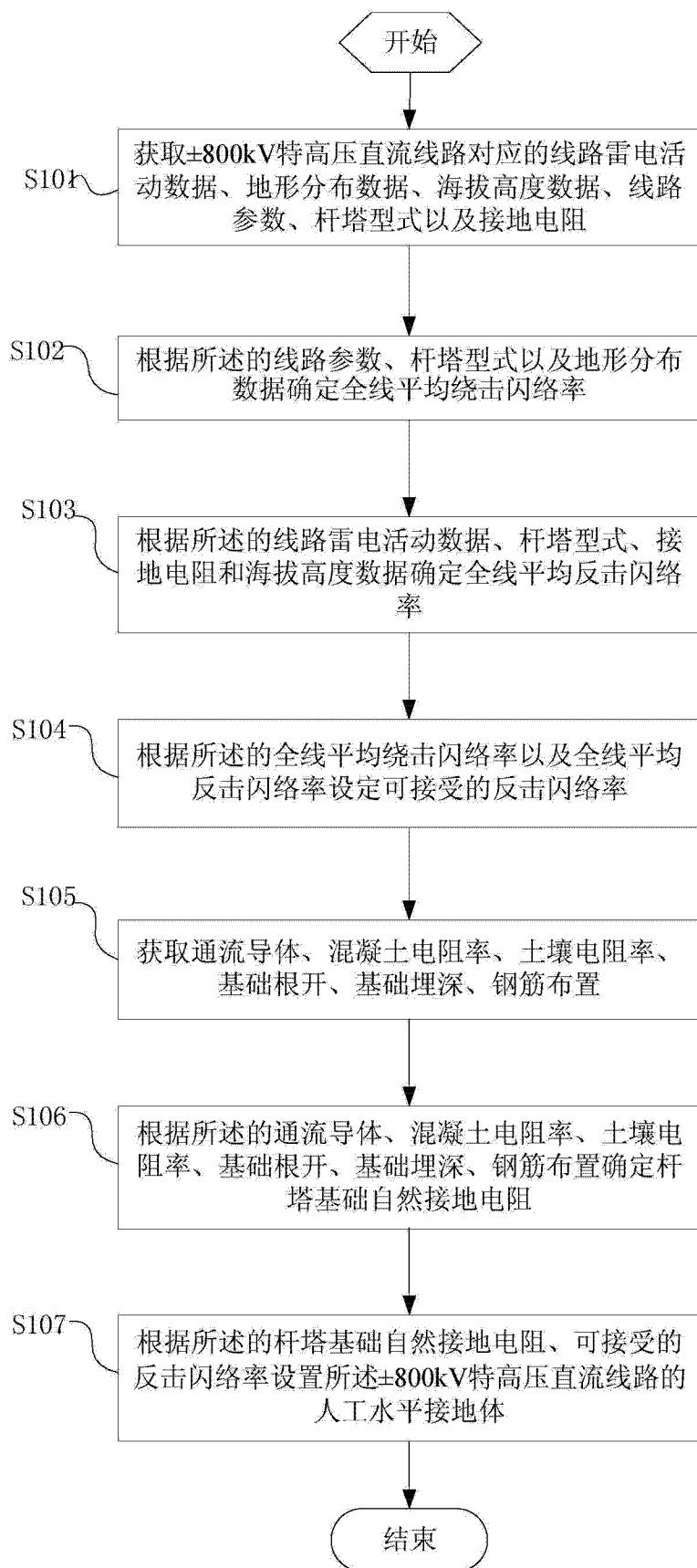


图 1

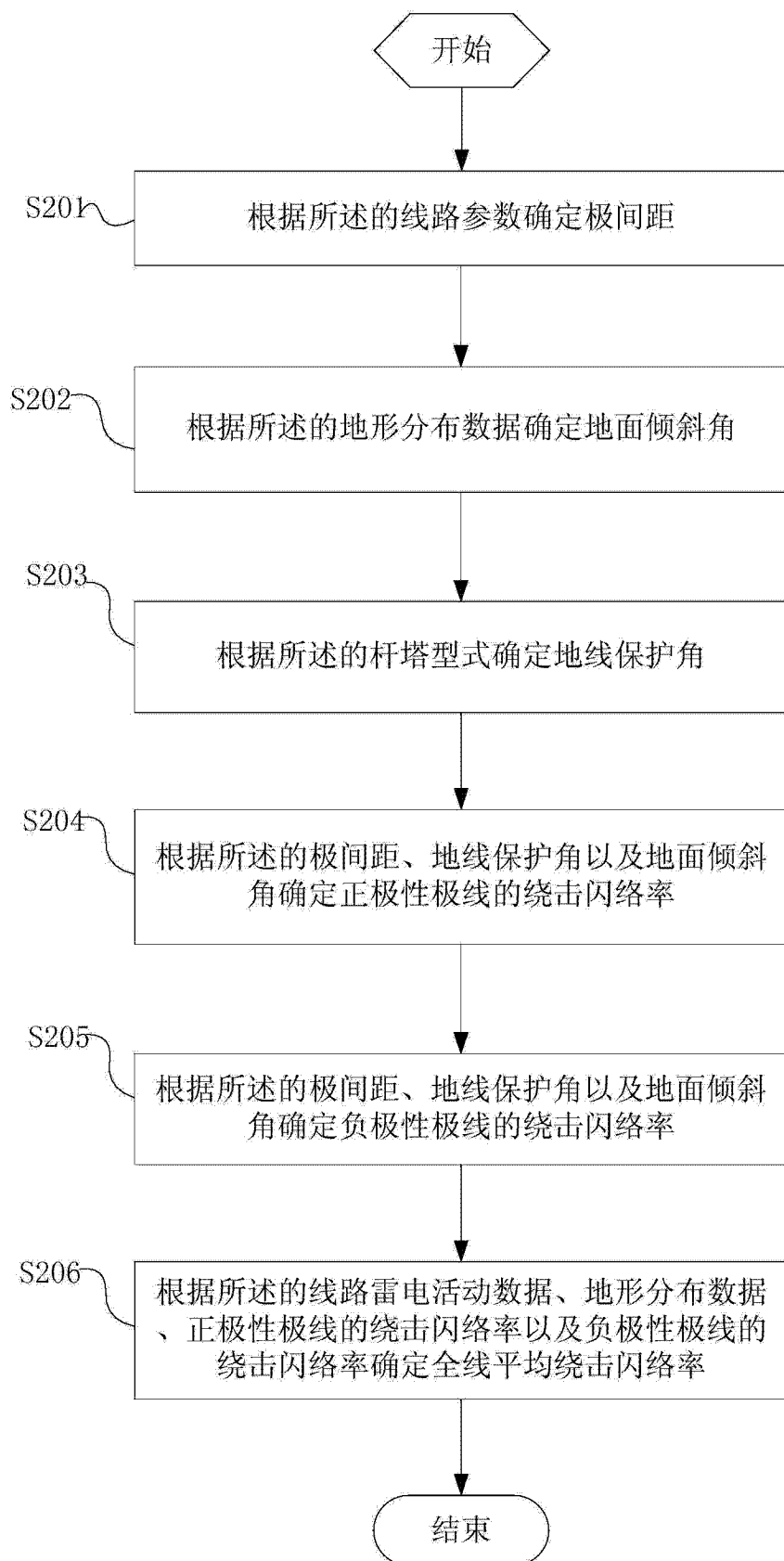


图 2

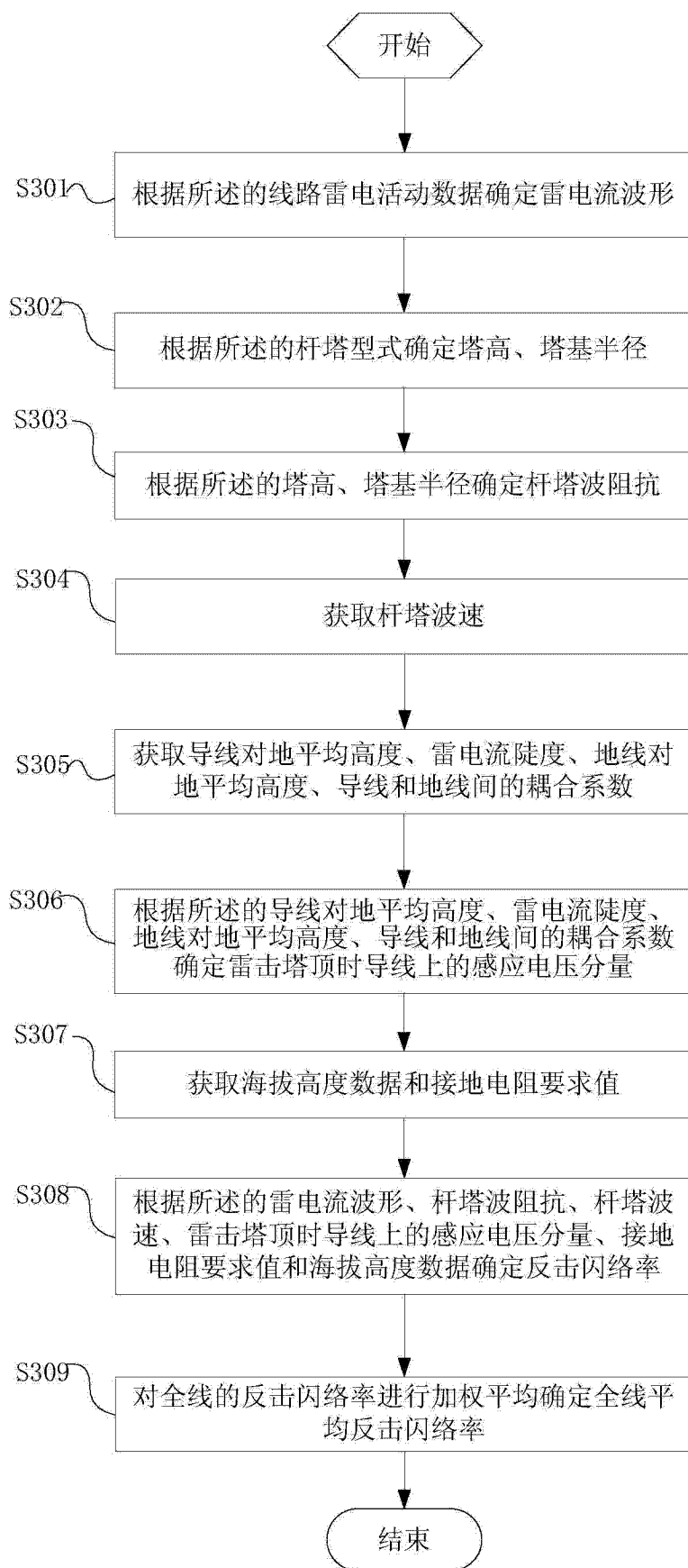


图 3

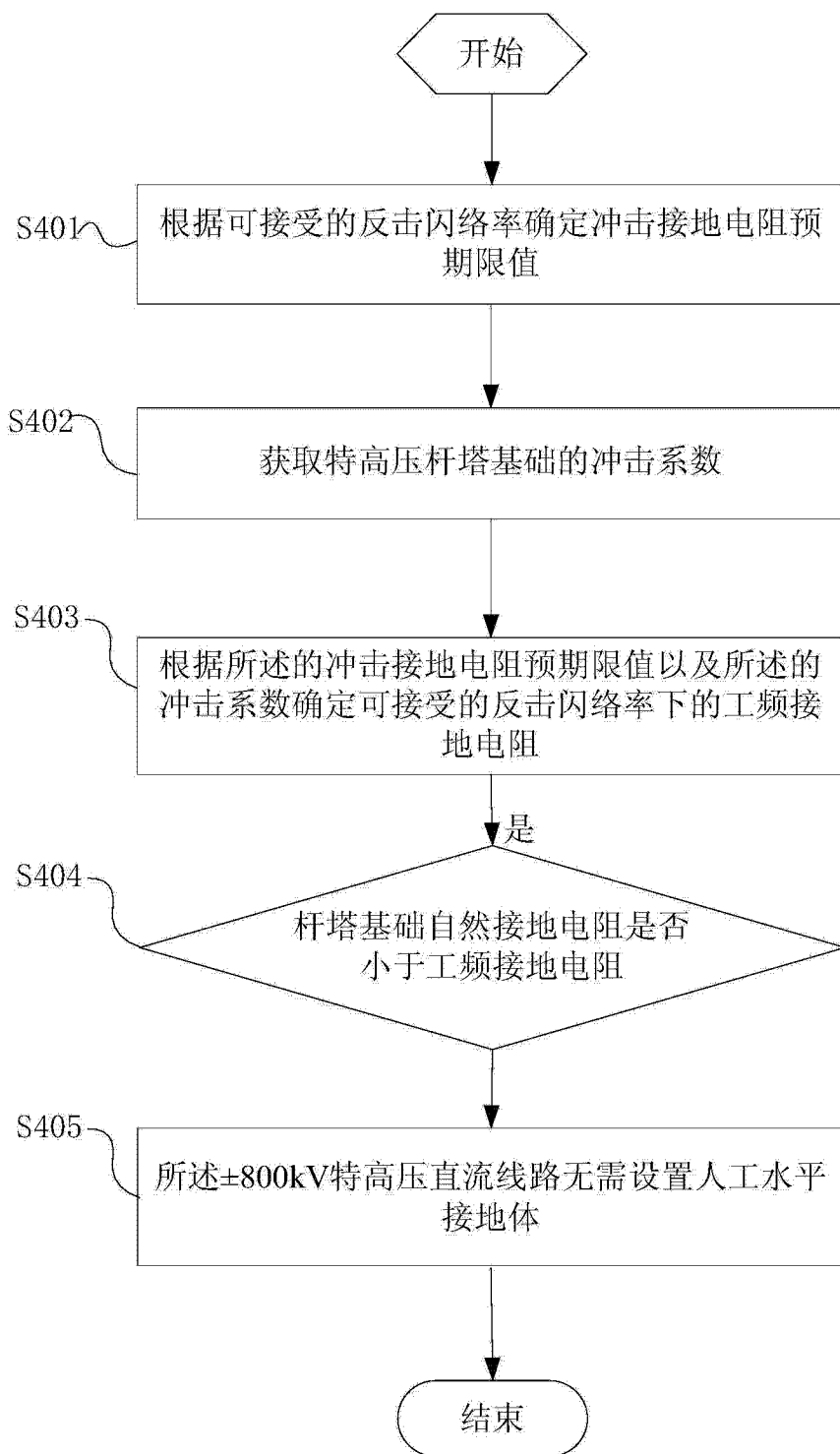


图 4

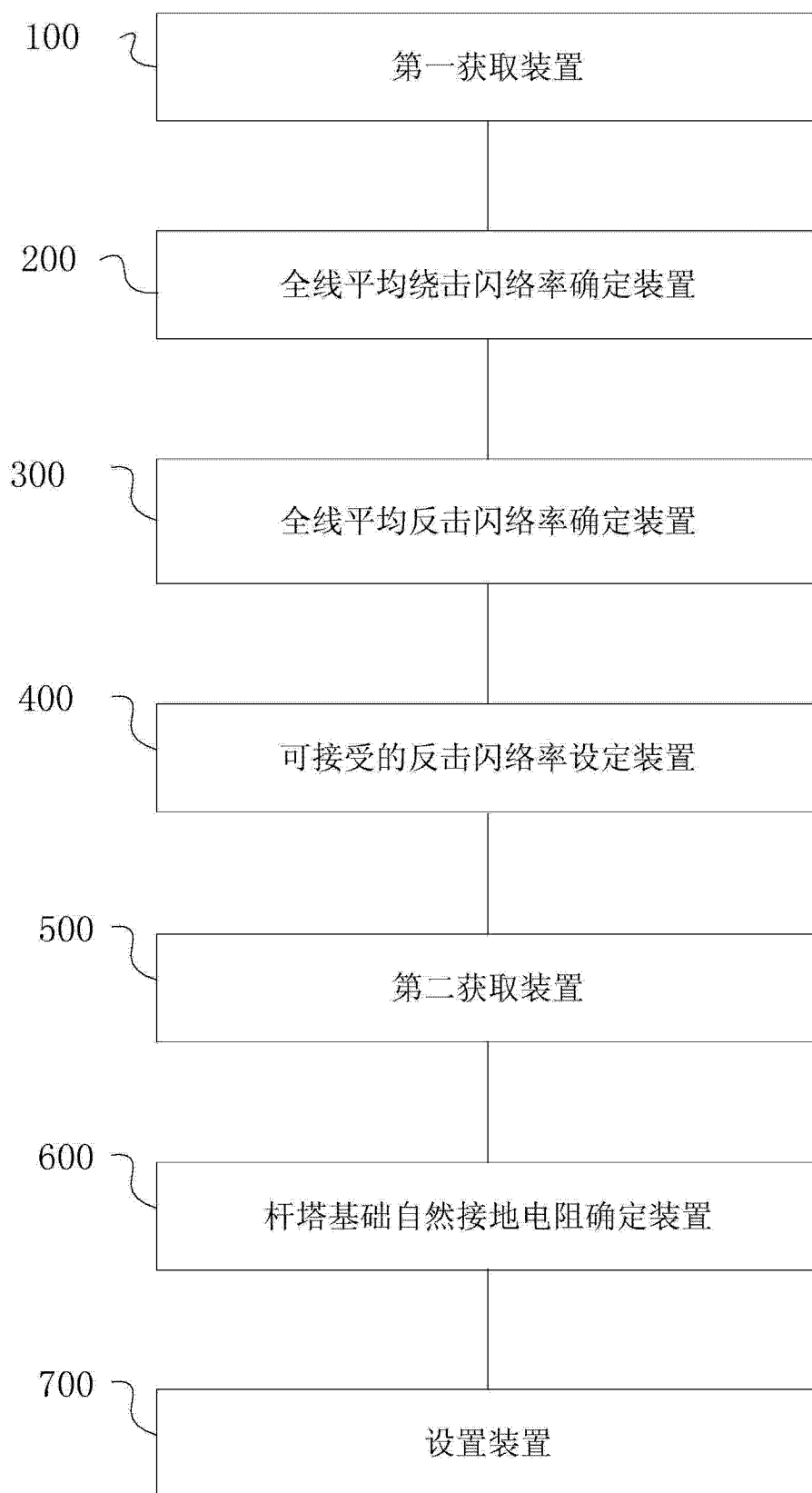


图 5

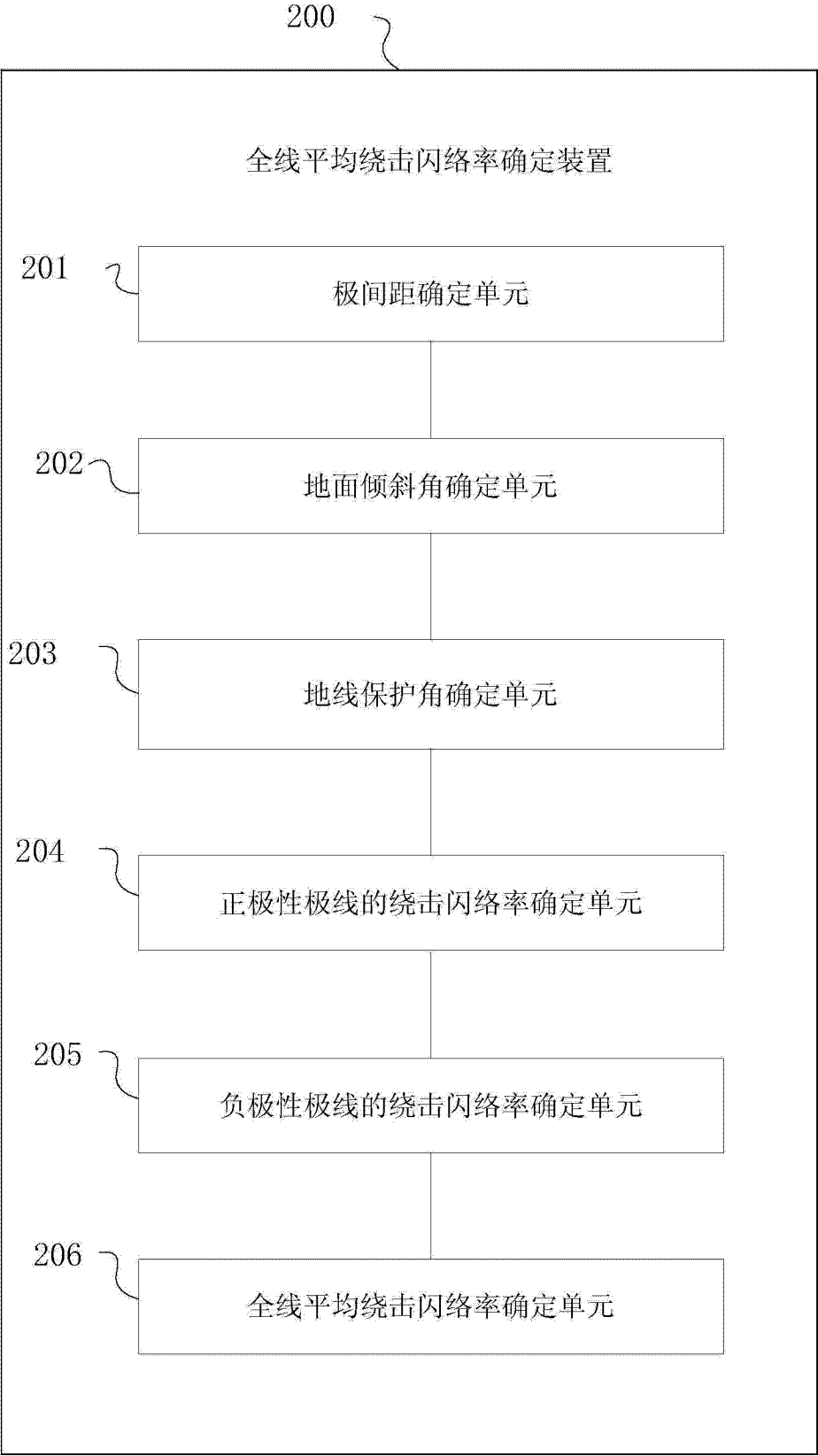


图 6

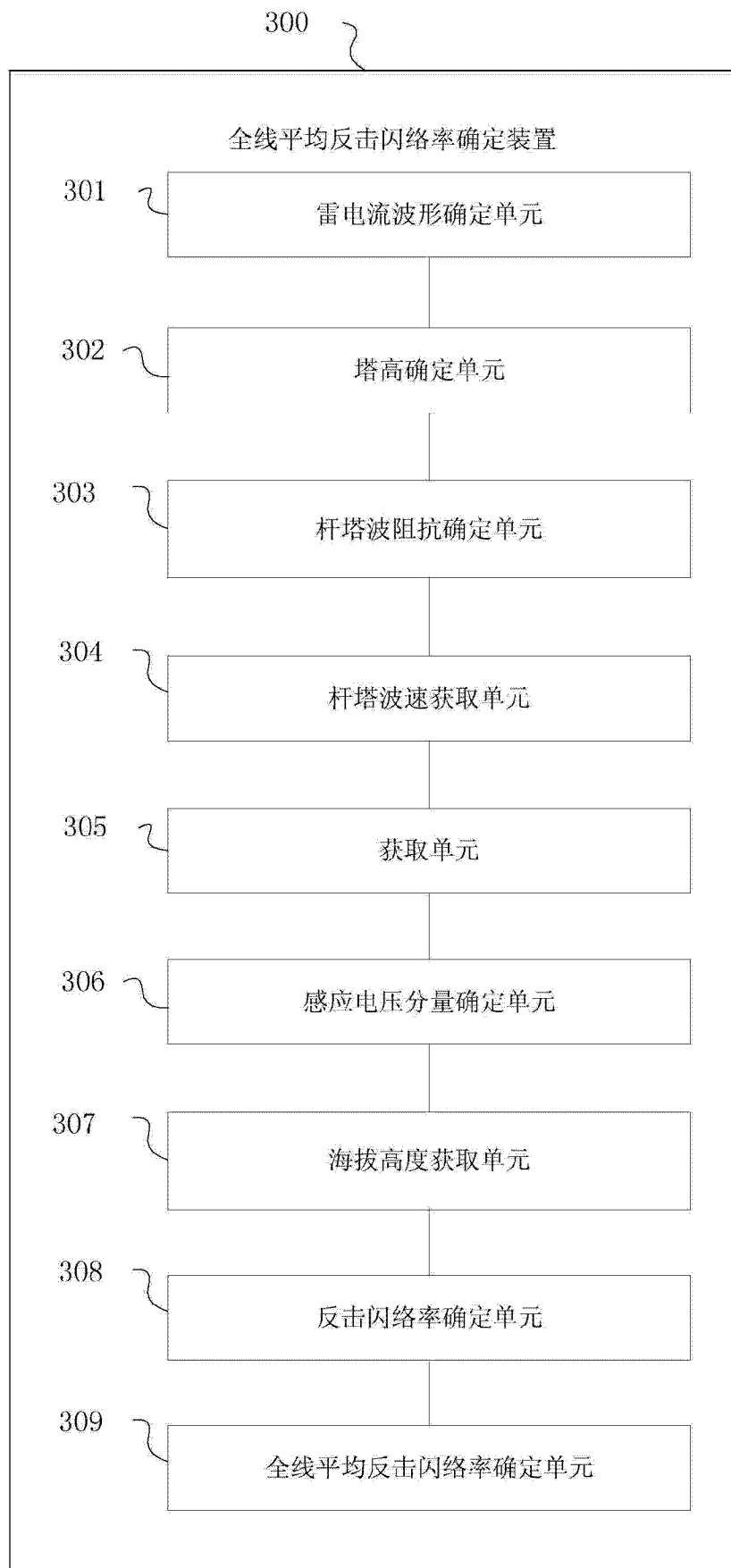


图 7

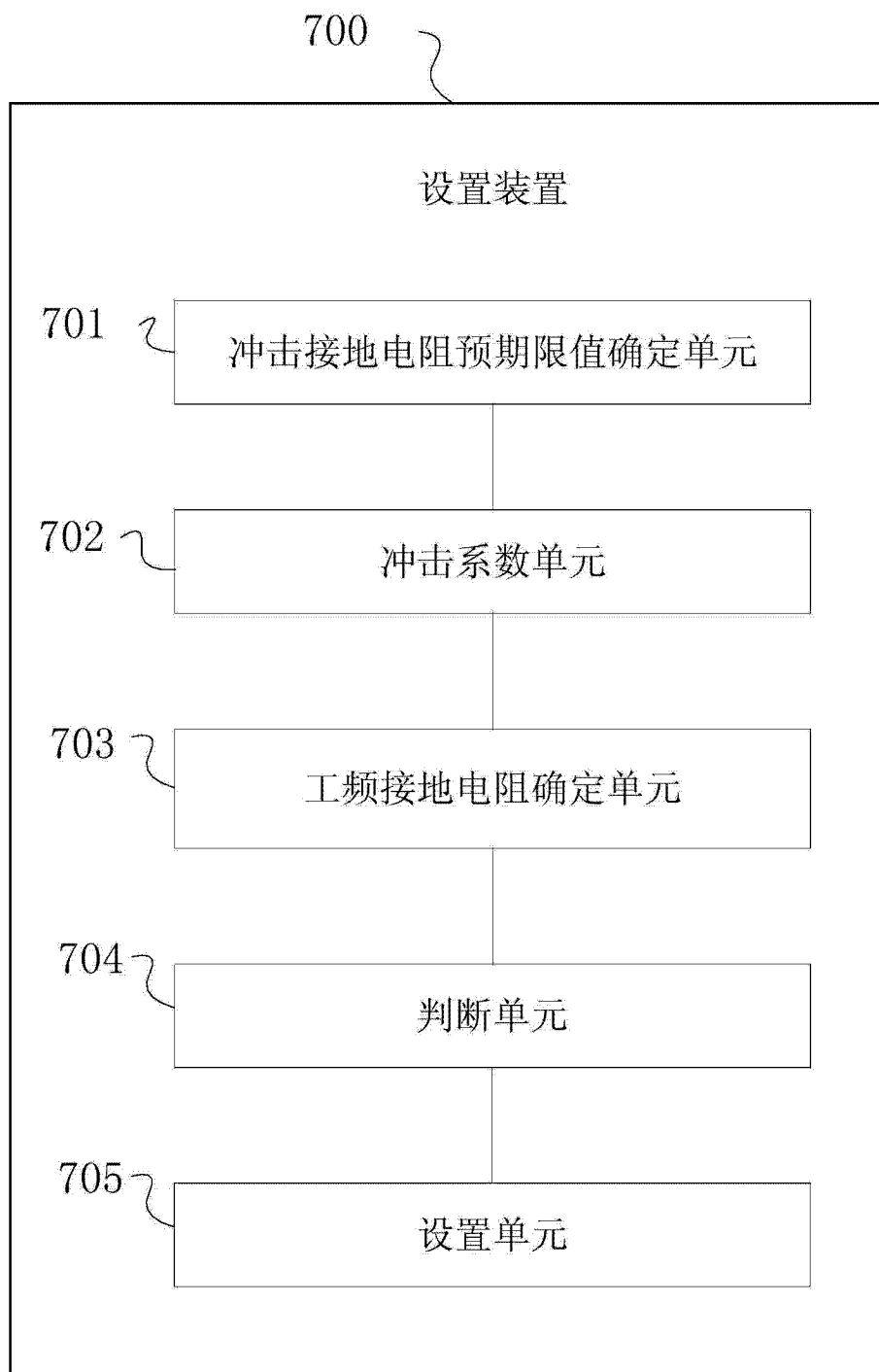


图 8