



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114465026 B

(45) 授权公告日 2023. 07. 21

(21) 申请号 202111585037.1

(22) 申请日 2021.12.22

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 114465026 A

(43) 申请公布日 2022.05.10

(73) 专利权人 西北核技术研究所

地址 710024 陕西省西安市灞桥区平峪路  
28号

(72) 发明人 周文渊 丛培天 张新彪 呼义翔  
郭晓强 孙剑锋

(74) 专利代理机构 西安智邦专利商标代理有限公司 61211

专利代理师 王少文

(51) Int. Cl.

H01R 4/66 (2006.01)

H01R 4/58 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 107910663 A, 2018.04.13

CN 204131109 U, 2015.01.28

CN 111541121 A, 2020.08.14

CN 103474790 A, 2013.12.25

CN 203607555 U, 2014.05.21

CN 205543271 U, 2016.08.31

CN 205875130 U, 2017.01.11

CN 103928771 A, 2014.07.16

JP 2011034885 A, 2011.02.17

韩志萍, 袁泉, 朱江. 垂直接地极对发电厂、  
变电所地网接地电阻的影响分析. 西北电力技  
术. 2005, (01), 全文.

东方; 王文德;. 变电站接地网雷电冲击参数  
计算. 东北电力技术. 2010, (10), 全文.

刘建辉. 接地装置. 电气时代. 2001, (12), 全  
文.

张毅; 杨昶; 李承阳; 鲁志伟;. 风机接地装置  
的冲击特性研究. 电瓷避雷器. 2020, (04), 全文.

宋雅楠; 王林; 黄帅; 赵军; 付超; 扈海泽; 袁  
雪琼; 李臻奇;. 500kV变电站局部接地改造. 电瓷  
避雷器. 2016, (02), 全文.

刘铸;. 接地网四种典型设计的分析与验证.  
电子技术与软件工程. 2020, (01), 全文.

刘泽西; 王勇; 谢新萍; 刘小丽;. 接地装置模  
拟试验研究. 现代建筑电气. 2010, (12), 全文.

审查员 王萌

权利要求书3页 说明书8页 附图2页

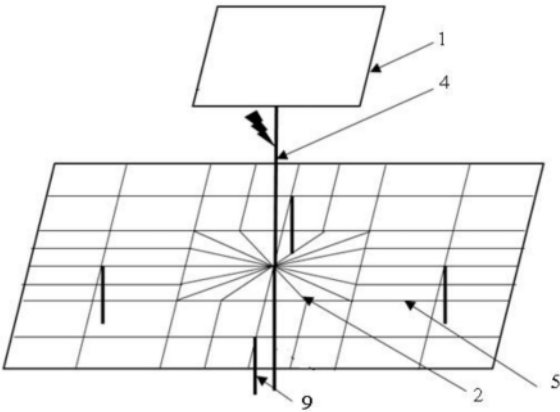
(54) 发明名称

一种冲击电流接地装置及方法

(57) 摘要

本发明涉及脉冲功率装置接地, 特别涉及一  
种冲击电流接地装置及方法, 解决现有接地装置  
和方法不能满足脉冲功率装置工作瞬间外壳上  
产生的百ns、数kA冲击电流的接地要求, 造成测  
量干扰、设备异常或绝缘击穿的技术问题。该冲  
击电流接地装置, 包括埋地的接地体、引下板、设  
置在引下板下方的接地网以及设置在接地网下方  
的多个接地极; 引下板将特定前沿的冲击电流  
导入放射网; 接地网包括放射网、设置在放射网  
周围的水平接地网多个接地极; 放射网包括呈放  
射状分布的m根放射引线,  $m \geq 4$ , 构成, 接地极设  
置在水平接地网下方; 实现减小脉冲功率装置接

地电感、冲击接地电阻及降低接地点冲击电压,  
进而达到减小干扰、保护脉冲功率装置。



1. 一种冲击电流接地装置,包括埋地的接地体,其特征在于:

所述接地体包括引下板、设置在引下板下方的接地网以及多个接地极;所述引下板用于设置在脉冲功率装置外壳(1)的正下方且与脉冲功率装置外壳(1)连接,将特定前沿的冲击电流导入接地网;

所述接地网包括放射网、设置在放射网周围的水平接地网(5);

所述放射网用于将电流快速均匀散布至水平接地网(5);所述放射网包括呈放射状分布的 $m$ 根放射引线(2), $m \geq 4$ ,每根放射引线(2)一端连接于引下板上;每根放射引线(2)的有效截面周长 $D2 \geq$ 接地网导线的有效截面周长 $D3$ ;  $m$ 根放射引线(2)的有效截面周长之和 $D2 \times m \geq$ 引下板的有效截面周长 $D1$ ;

所述引下板的有效截面周长 $D1 = 2 \times (b+c)$ ;

所述每根放射引线(2)的有效截面周长 $D2 = n \times \pi \times d_1$ ;其中: $b$ 为引下板的厚度, $c$ 为引下板的宽度, $d_1$ 为单根放射引线(2)线径, $n$ 为放射引线(2)表面系数,对于单芯放射引线(2), $n$ 的取值为1;对于多芯放射引线(2), $n$ 的取值为1.5~5; $m$ 为放射引线(2)的数量;多个所述接地极垂直设置在引下板或放射网或水平接地网(5)下方;

所述水平接地网(5)用于将电流向远处均匀散布,并引入接地极;所述水平接地网(5)包括由内到外依次嵌套连接的第一水平接地网(6)、第二水平接地网(7)和第三水平接地网(8);所述第一水平接地网(6)、第二水平接地网(7)和第三水平接地网(8)的网格密度不等;每根放射引线(2)另一端连接在第一水平接地网(6)内边缘交叉点处;

所述接地极用于将电流向下散流,并增大散流面积;

所述引下板包括垂直引下板(4)和水平引下板(3),所述垂直引下板(4)中心在第一水平接地网(6)的投影距离第一水平接地网(6)外边缘的最短距离等于接地体的有效总长度 $l_g$ :

$$l_g = k\sqrt{\rho}$$

式中: $k$ 为冲击电流的冲击系数,取值范围为0.5-2,  $\rho$ 为土壤电阻率;

则所述第一水平接地网(6)的外边缘边长  $A1 = 2l_g$ ;

所述第二水平接地网(7)的外边缘边长  $A2$ ;

当第二水平接地网(7)散流50%的冲击电流时: $S_{\text{第二水平接地网}} = S_{\text{第一水平接地网}}$ ,则 $S_{\text{第二水平接地网}} = 2l_g \times 2l_g$ ;

第二水平接地网(7)的外边缘边长

$$A2 = \sqrt{S_{\text{第一水平接地网}} + S_{\text{第二水平接地网}}} = \sqrt{2 \times S_{\text{第一水平接地网}}} = \sqrt{2 \times 2l_g \times 2l_g} = \sqrt{8}l_g;$$

所述第三水平接地网(8)用于实现工频电流泄放,其外边缘边长 $A3$ 根据以下公式计算:

$$R_g = 0.5 \times \frac{\rho}{\sqrt{S}} < 0.5 \Omega,$$

式中: $R_g$ 为工频接地电阻; $S$ 为接地网面积, $S = A3 \times A3$ ; $\rho$ 为土壤电阻率;

则第三水平接地网(8)的外边缘边长  $A3 = \sqrt{S}$ 。

2. 根据权利要求1所述的一种冲击电流接地装置,其特征在于:所述垂直引下板(4)和水平引下板(3)的中部形成L型背靠背结构,所述放射引线(2)的一端连接在水平引下板(3)上。

3. 根据权利要求2所述的一种冲击电流接地装置,其特征在于:所述接地极包括多个接地深井(10)和多个短接地极(9);

所述多个接地深井(10)设置在水平引下板(3)或放射网的下方;

每个接地深井(10)中设置有相对长度的深井接地极且深井接地极的上端连接在水平引下板(3)上,所述每个接地深井(10)的腔体中灌注降阻剂(11);

所述多个短接地极(9)设置在水平接地网(5)的下方且短接地极(9)的上端连接在水平接地网(5)的网格交叉点处。

4. 根据权利要求1至3任一所述的一种冲击电流接地装置,其特征在于:所述第一水平接地网(6)、第二水平接地网(7)和第三水平接地网(8)一体制成,且所述第一水平接地网(6)、第二水平接地网(7)和第三水平接地网(8)的内外轮廓均为正方形。

5. 根据权利要求4所述的一种冲击电流接地装置,其特征在于:所述垂直引下板(4)和水平引下板(3)材料均为铜板;所述放射引线(2)采用多芯铜绞线。

6. 一种冲击电流接地方法,其特征在于,包括以下步骤:

S1、在脉冲功率装置外壳(1)的正下方设置引下板,引下板由垂直设置的垂直引下板(4)和水平引下板(3)形成L型背靠背结构;

S2、在引下板的下方中心区域设置放射网,所述放射网包括呈放射状分布的m根放射引线(2);放射引线(2)的数量m依据以下条件确定:m根放射引线(2)的有效截面周长之和 $D2 \times m \geq$ 引下板的有效截面周长 $D1$ ;

所述引下板的有效截面周长 $D1 = 2 \times (b+c)$ ;

所述每根放射引线(2)的有效截面周长 $D2 = n \times \pi \times d_1$ ;其中:b为引下板的厚度,c为引下板的宽度, $d_1$ 为单根放射引线(2)线径,n为放射引线(2)表面系数,对于单芯放射引线(2),n的取值为1;对于多芯放射引线(2),n的取值为1.5~5;m为放射引线(2)的数量;

S3、在放射网的外围设置由接地网导线构成的水平接地网(5),所述水平接地网(5)包括由内到外依次嵌套连接的第一水平接地网(6)、第二水平接地网(7)和第三水平接地网(8),且所述第一水平接地网(6)、第二水平接地网(7)和第三水平接地网(8)均为正方形;

所述第一水平接地网(6)、第二水平接地网(7)和第三水平接地网(8)网格密度不等;所述接地网导线满足以下要求:

每根放射引线(2)的有效截面周长 $D2 \geq$ 接地网导线的有效截面周长 $D3$ ;

将每根放射引线(2)的一端连接于水平引下板(3)上,另一端连接在第一水平接地网(6)内边缘交叉点处;

3.1) 所述垂直引下板(4)中心在到第一水平接地网(6)的投影距离第一水平接地网(6)外边缘的最短距离等于接地体的有效总长度  $l_g$ :  $l_g = k\sqrt{\rho}$

式中:k为冲击电流的冲击系数,取值范围为0.5~2,  $\rho$ 为土壤电阻率;

则所述第一水平接地网(6)的外边缘边长  $A1 = 2l_g$ ;

3.2) 计算所述第二水平接地网(7)的外边缘边长  $A2$ ;

当第二水平接地网(7)散流50%的冲击电流时： $S_{\text{第二水平接地网}}=S_{\text{第一水平接地网}}$ ，则  $S_{\text{第二水平接地网}}=2l_g \times 2l_g$ ；

第二水平接地网(7)的外边缘边长

$$A2 = \sqrt{S_{\text{第一水平接地网}} + S_{\text{第二水平接地网}}} = \sqrt{2 \times S_{\text{第一水平接地网}}} = \sqrt{2 \times 2l_g \times 2l_g} = \sqrt{8}l_g;$$

3.3) 所述第三水平接地网(8)用于实现工频电流泄放,其外边缘边长A3根据以下公式计算:

$$R_g = 0.5 \times \frac{\rho}{\sqrt{S}} < 0.5 \Omega,$$

式中: $R_g$ 为工频接地电阻; $S$ 为接地网面积, $S=A3 \times A3$ ; $\rho$ 为土壤电阻率;

则第三水平接地网(8)的外边缘边长  $A3 = \sqrt{S}$ ;

S4、在水平引下板(3)下方的中心和周围设置接地深井(10),在接地深井(10)的中心安装相对长度的深井接地极,并在深井接地极周围灌注降阻剂(11);所述深井接地极的上端连接水平引下板(3);

4.1) 计算接地深井(10)的深度 $l_4$ ,其取值范围为  $l_g < l_4 < 2\sqrt{\rho}$ ;

4.2) 计算接地深井(10)的有效截面周长 $D4=\pi d_2$ ;

式中: $d_2$ 为接地深井(10)的直径;

S5、在水平接地网(5)的下方设置短接地极(9),所述短接地极(9)的上端连接水平接地网(5)的网格交叉点处。

7. 根据权利要求6任一所述的一种冲击电流接地方法,其特征在于:步骤S3中,所述第一水平接地网(6)、第二水平接地网(7)和第三水平接地网(8)一体制成。

8. 根据权利要求7所述的一种冲击电流接地方法,其特征在于,所述S3中,所述垂直引下板(4)和水平引下板(3)材料均为铜板;所述放射引线(2)采用多芯铜绞线,所述短接地极(9)采用角钢材质,设置在距离第一水平接地网(6)内轮廓1-1.5m的网格交叉点下方。

## 一种冲击电流接地装置及方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及脉冲功率装置接地,特别涉及一种冲击电流接地装置及方法。

### 背景技术

[0002] 随着近年来脉冲功率技术的迅速发展,脉冲功率装置展现出功率高,装置大,多台并联运行的特点,装置输出电压和电流逐步提高,例如中物院用于闪光照相的“神龙二号”最高电压可达20MV,用于Z箍缩研究的“聚龙一号”电流可达10MA,电功率水平可达10TW(丛培天,中国脉冲功率科技进展简述[J].强激光与粒子束,2020,32(2):025002-1-11)。这类大型脉冲功率装置运行时,由于杂散电容、开关放电等因素,将在装置上感应出瞬时高压,造成供电系统、控制系统、装置部件及其他测试测量设备损坏;空间强电磁辐射耦合到供电线路,造成供电线路出现欠压或过压,从而造成设备故障或损坏。因此,必须通过接地系统,将装置高压放电产生的冲击电流快速导入大地,为装置提供稳定的地电位。

[0003] 目前关于地网冲击接地电阻的研究主要集中在输电线路、风机及大型建筑物的防雷接地方面,关注重点是将输电塔杆或风机等大型设备遭受雷击时的电流导入大地。公开号为CN106451030A的中国专利“一种降低地网冲击接地电阻的装置及方法”,专利号CN204632938U的中国专利“一种用于风电机组的多散流臂接地装置”,专利号为CN204696252U的中国专利“一种树枝状接地极”均利用了雷击高压对土壤放电,通过增加针状电极,扩大散流面积来降低接地电阻。以上方法在同等面积情况下,对降低冲击接地电阻有一定帮助,但发生火花效应的前提是地网与土壤之间的局部电场强度已达到土壤耐压强度,这意味着接地点的电压已达到kV以上,连接在接地点的设备均已超过其耐压等级,将造成设备损坏。因此,通过增加针状电极泄流的方法并不适用于接地点有控制或测量设备连接的脉冲功率装置接地。

[0004] 脉冲功率装置是一种利用电容或电感进行初级储能,通过开关放电、脉冲形成、压缩和汇聚,输出指定电脉冲波形的装置。其输出前沿可达ns量级,幅值可达数十MV,装置外壳通常通过引下线与地网相连;在脉冲功率装置运行瞬间,脉冲功率装置的外壳上可产生前沿数十ns,数kA、百ns量级宽度的脉冲电流,并通过引下线导入地网;与雷电流接地相比,其要求接地体电流的速度快、电流大、持续时间短,因此,传统接地方法已无法满足脉冲功率装置接地要求。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的是解决现有接地装置和方法不能满足脉冲功率装置工作瞬间外壳上产生的百ns、数kA冲击电流的接地要求,造成测量干扰、设备异常或绝缘击穿的技术问题,而提供一种冲击电流接地装置及方法,实现减小脉冲功率装置接地电感、冲击接地电阻及降低接地点冲击电压,进而达到减小干扰、保护脉冲功率装置及各电气系统,提高脉冲功率装置运行电压等级,保证脉冲功率装置稳定运行。

[0006] 为解决上述技术问题,本发明所采用的技术方案为:

[0007] 一种冲击电流接地装置,包括埋地的接地体,其特殊之处在于:

[0008] 接地体包括引下板、设置在引下板下方的接地网以及多个接地极;引下板用于设置在脉冲功率装置外壳的正下方且与脉冲功率装置外壳连接,将特定前沿的冲击电流导入接地网;

[0009] 接地网包括放射网、设置在放射网周围的水平接地网;

[0010] 放射网用于将电流快速均匀散布至水平接地网;放射网包括呈放射状分布的 $m$ 根放射引线, $m \geq 4$ ,每根放射引线一端连接于引下板上,另一端连接在水平接地网内边缘交叉点处;

[0011] 多个接地极垂直设置在引下板或放射网或水平接地网下方;

[0012] 水平接地网用于将电流向远处均匀散布,并引入接地极;

[0013] 接地极用于将电流向下散流,并增大散流面积。

[0014] 进一步地,所述引下板包括垂直引下板和水平引下板,垂直引下板和水平引下板的中部形成L型背靠背结构,放射引线的一端连接在水平引下板上。

[0015] 进一步地,所述水平接地网包括由内到外依次嵌套连接的第一水平接地网、第二水平接地网和第三水平接地网;

[0016] 第一水平接地网、第二水平接地网和第三水平接地网的网格密度不等;

[0017] 每根放射引线另一端连接在第一水平接地网内边缘交叉点处。

[0018] 进一步地,所述接地极包括多个接地深井和多个短接地极;所述接地深井设置在水平引下板或放射网的下方;每个接地深井中设置有相对长度的深井接地极,所述每个接地深井的腔体中灌注降阻剂;

[0019] 多个短接地极设置在水平接地网的下方且短接地极的上端连接在水平接地网的网格交叉点处。

[0020] 进一步地,所述第一水平接地网、第二水平接地网和第三水平接地网一体制成,且所述第一水平接地网、第二水平接地网和第三水平接地网的内外轮廓均为正方形。

[0021] 进一步地,所述垂直引下板和水平引下板材料均为铜板;放射引线采用多芯铜绞线。

[0022] 本发明还提供一种冲击电流接地方法,其特殊之处在于,包括以下步骤:

[0023] S1、在脉冲功率装置外壳的正下方设置引下板,引下板由垂直设置的垂直引下板和水平引下板形成L型背靠背结构;

[0024] S2、在引下板的下方中心区域设置放射网,所述放射网包括呈放射状分布的 $m$ 根放射引线;放射引线的数量 $m$ 依据以下条件确定: $m$ 根放射引线的有效截面周长之和 $D2 \times m \geq$ 引下板的有效截面周长 $D1$ ;

[0025] 引下板的有效截面周长 $D1 = 2 \times (b+c)$ ;

[0026] 每根放射引线的有效截面周长 $D2 = n \times \pi \times d_1$ ;其中: $b$ 为引下板的厚度, $c$ 为引下板的宽度, $d_1$ 为单根放射引线线径, $n$ 为放射引线表面系数,对于单芯放射引线, $n$ 的取值为1;对于多芯放射引线, $n$ 的取值为1.5~5; $m$ 为放射引线的数量;

[0027] S3、在放射网的外围设置由接地网导线构成的水平接地网,所述水平接地网包括由内到外依次嵌套连接的第一水平接地网、第二水平接地网和第三水平接地网;

[0028] 第一水平接地网、第二水平接地网和第三水平接地网网格密度不等;所述接地网

导线满足以下要求:

[0029] 每根放射引线的有效截面周长 $D2 \geq$ 接地网导线的有效截面周长 $D3$ ;

[0030] 将每根放射引线的一端连接于水平引下板上,另一端连接在第一水平接地网内边缘交叉点处;

[0031] S4、在水平引下板下方的中心和周围设置接地深井,在接地深井的中心安装相对长度的深井接地极,并在深井接地极周围灌注降阻剂,深井接地极的上端连接水平引下板;

[0032] 4.1) 计算接地深井的深度 $l_4$ ,其取值范围为 $L_e < l_4 < 2\sqrt{\rho}$ ;

[0033] 4.2) 计算接地深井的有效截面周长 $D4 = \pi d_2$ ;

[0034] 式中: $d_2$ 为接地深井的直径;

[0035] S5、在水平接地网(5)的下方设置短接地极(9),所述短接地极(9)的上端连接水平接地网(5)的网格交叉点处。

[0036] 优选地,所述S3中,第一水平接地网、第二水平接地网和第三水平接地网均为正方形;

[0037] 3.1) 第一水平接地网的外边缘到垂直引下板中心的最短距离等于接地体的有效总长度 $l_e$ ;

[0038]  $l_e = k\sqrt{\rho}$

[0039] 式中: $k$ 为冲击电流的冲击系数,取值范围为0.5-2, $\rho$ 为土壤电阻率;

[0040] 则所述第一水平接地网的外边缘边长 $A1 = 2l_e$ ;

[0041] 3.2) 计算所述第二水平接地网的外边缘边长 $A2$ ;

[0042] 当第二水平接地网散流50%的冲击电流时: $S_{\text{第二水平接地网}} = S_{\text{第一水平接地网}}$ ,则 $S_{\text{第二水平接地网}} = 2l_e \times 2l_e$ ;

[0043] 第二水平接地网的外边缘边长

[0044]  $A2 = \sqrt{S_{\text{第一水平接地网}} + S_{\text{第二水平接地网}}} = \sqrt{2 \times S_{\text{第一水平接地网}}} = \sqrt{2 \times 2l_e \times 2l_e} = \sqrt{8}l_e$ ;

[0045] 3.3) 所述第三水平接地网用于实现工频电流泄放,其外边缘边长 $A3$ 根据以下公式计算:

[0046]  $R_g = 0.5 \times \frac{\rho}{\sqrt{S}} < 0.5 \Omega$

[0047] 式中: $R_g$ 为工频接地电阻; $S$ 为接地网面积, $S = A3 \times A3$ ; $\rho$ 为土壤电阻率;

[0048] 则第三水平接地网(8)的外边缘边长 $A3 = \sqrt{S}$ 。

[0049] 优选地,步骤S3中,第一水平接地网、第二水平接地网和第三水平接地网一体制成。

[0050] 优选地,步骤S3中,垂直引下板和水平引下板材料均为铜板;放射引线采用多芯铜绞线,短接地极采用角钢材质,设置在距离第一水平接地网(6)内轮廓1-1.5m的网格交叉点下方。与现有技术相比,本发明技术方案的有益效果是:

[0051] 本发明一种冲击电流接地装置,采用特定前沿的冲击电流入地时特征和接地体的阻抗特征作为接地体设置依据,并根据接地体的有效总长度对水平接地网的网格密度进行设置,提出了非均匀水平接地网的设置方法,以及多根垂直接地的安装位置,可有效降低脉

冲功率装置接地电感、冲击接地电阻及接地点冲击电压,进而达到减小干扰、保护脉冲功率装置及各电气设备的目的。本发明冲击电流接地方法可提高脉冲功率装置运行电压等级,节约接地体的材料,并保障脉冲功率装置的正常运行。

### 附图说明

[0052] 图1为本发明一种冲击电流接地装置的结构示意图;

[0053] 图2为本发明一种冲击电流接地装置的水平接地网和多个接地极的结构示意图;

[0054] 图3为本发明一种冲击电流接地装置的引下板的结构示意图;

[0055] 图4为本发明一种冲击电流接地装置的接地极结构示意图。

[0056] 图中附图标记为:

[0057] 1-脉冲功率装置外壳,2-放射引线,3-水平引下板,4-垂直引下板,5-水平接地网,6-第一水平接地网,7-第二水平接地网,8-第三水平接地网,9-短接地极,10-接地深井,11-降阻剂。

### 具体实施方式

[0058] 下面将结合附图对本发明的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例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的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。

[0059] 如图1所示,一种冲击电流接地装置,包括埋地的接地体,接地体包括引下板、设置在引下板下方的接地网以及多个接地极;引下板用于设置在脉冲功率装置外壳1的正下方且与脉冲功率装置外壳1连接,将特定前沿的冲击电流导入放射网;

[0060] 接地网设置有放射网、及设置在放射网周围的水平接地网5;

[0061] 放射网用于将电流快速均匀散布至水平接地网5;放射网包括呈放射状分布的m根放射引线,  $m \geq 4$ , 每根放射引线2一端连接于引下板上,另一端连接在水平接地网5内边缘交叉点处;多个接地极垂直设置在引下板或放射网或水平接地网5下方;水平接地网5用于将电流向远处均匀散布,并引入接地极;接地极用于将电流向下散流,并增大散流面积。

[0062] 引下板包括垂直引下板4和水平引下板3,垂直引下板4和水平引下板3的中部形成L型背靠背结构,且垂直引下板4和水平引下板3材料均为铜板;放射引线2的一端连接在水平引下板3上,放射引线2采用多芯铜绞线。

[0063] 水平接地网5设置有由内到外依次嵌套的第一水平接地网6、第二水平接地网7和第三水平接地网8;第一水平接地网6、第二水平接地网7和第三水平接地网8的网格密度不等,且均为正方形;每根放射引线2另一端连接在第一水平接地网6内边缘交叉点处。

[0064] 接地极包括多个接地深井10和多个短接地极9;接地深井10设置在水平引下板3或放射网的下方;

[0065] 每个接地深井10中设置有相对长度的深井接地极,每个接地深井10的腔体中灌注降阻剂11;多个短接地极9设置在水平接地网5的下方且短接地极9的上端连接在水平接地网5的网格交叉点处。

[0066] 本发明台提供了一种冲击电流接地方法,包括以下步骤:

[0067] S1、在脉冲功率装置外壳1的正下方设置引下板,引下板由垂直设置的垂直引下板4和水平引下板3,在水平引下板3的中部形成L型背靠背结构,且垂直引下板4和水平引下板3材料均为铜板;

[0068] 如图4所示,地面混凝土层200mm,垫层厚度400mm,所以接地体的埋深最小为600mm,故设置引下板垂直部分长度中 $l_1$ 为600mm,从施工、设备连接的因素考虑,设置宽度为400mm,两板对折后其有效宽度为800mm,计算得到引下板的电感为0.1uH。

[0069] S2、在引下板的下方中心区域设置放射网,放射网呈放射状分布的m根放射引线2;每根放射引线2一端连接于引下板上,为实现引下板(即铜排)的可靠连接,放射引线2采用多芯铜绞线。放射引线2的数量m依据以下条件确定:

[0070] m根放射引线2的有效截面周长之和 $D2 \times m \geq$ 引下板的有效截面周长 $D1$ ;

[0071] 引下板的有效截面周长 $D1 = 2 \times (b+c)$ ;

[0072] 每根放射引线2的有效截面周长 $D2 = n \times \pi \times d_1$ ;其中:b为引下板的厚度,c为引下板的宽度, $d_1$ 为单根放射引线2线径,n为放射引线2表面系数,对于单芯放射引线2,n的取值为1;对于多芯放射引线2,n的取值为1.5~5;m为放射引线2的数量;

[0073] S3、在放射网的外围设置由接地网导线构成的水平接地网5,所述水平接地网5包括由内到外依次嵌套连接的第一水平接地网6、第二水平接地网7和第三水平接地网8;第一水平接地网6、第二水平接地网7和第三水平接地网8网格密度不等;第一水平接地网6、第二水平接地网7和第三水平接地网8均为正方形;接地网导线满足以下要求:

[0074] 每根放射引线2的有效截面周长 $D2 \geq$ 接地网导线的有效截面周长 $D3$ ;

[0075] 将每根放射引线2的一端连接于水平引下板3上,另一端连接在第一水平接地网6内边缘交叉点处;

[0076] 如图2、图3所示,本实施例中,垂直引下板4用于将特定前沿的冲击电流快速引入地网,水平引下板3用于连接多个放射引线2,垂直引下板4和水平引下板3可采用同一铜板折弯制作;引下板的双L型背靠背结构,为一张铜板折弯后的两个部位,垂直引下板4与水平引下板3,因此单侧L型引下板具有相同的有效截面周长;为实现脉冲电流有效传导应满足:

[0077] m根放射引线2的有效截面周长之和 $D2 \times m \geq$ 引下板的有效截面周长 $D1$ ;

[0078] 从S1中获得单L型引下板有效截面周长为808mm,步骤S2中计算得到240平方线缆的有效截面周长为109.8mm,可知8根放射引线2的总有效截面周长 $= 8 \times 109.8 = 877.6\text{mm} \geq 808\text{mm}$ ,满足要求。

[0079] 每根240平方型号的放射引线2及焊接模具宽度约100mm,放射引线2在引下板的两侧排布,其单侧排布4根,故水平引下板3长度为400mm,宽度为400mm。

[0080] 由于高频电流的“趋肤效应”,根据趋肤效应计算公式:

$$[0081] \quad \Delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu \gamma}} \quad (1)$$

[0082] 式中: $\Delta$ 为穿透深度, $\omega = 2\pi f$ ,f为电流频率, $\mu$ 为磁导率, $\gamma$ 为材料电导率;

[0083] 本实施例以铜为例,当 $\mu = 1$ , $\gamma = 5.7E7$ ,且 $f = 5\text{MHz}$ 的电流通过引下板时,引下板的趋肤深度为0.03mm;可见,当特定前沿的冲击电流通过时,只利用了引下板表面极浅的部分;因此,引下板采用宽而薄的铜板。

[0084] 根据平板导体的电感计算公式:

$$[0085] \quad L_{\text{矩}} = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \left( \ln \frac{2l}{b+c} + \frac{1}{2} \right) \quad (2)$$

[0086] 式中： $b$ 为铜板厚度， $c$ 为铜板宽度， $l$ 为导体长度， $\mu_0$ 为真空磁导率；

[0087] 计算得到引下板的电感为0.19uH，引下板的体积为 $9.6\text{E-}4\text{m}^3$ ，推导引下板的可采用长度为0.6m，厚度为4mm，宽度为0.4m的铜板。

[0088] 而根据圆截面导体的电感计算公式：

$$[0089] \quad L_{\text{圆}} = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \left( \ln \frac{2l}{r} - \frac{3}{4} \right) \quad (3)$$

[0090] 式中： $r$ 为截面半径， $l$ 为导体长度， $\mu_0$ 为真空磁导率；

[0091] 当圆形截面导体在导体长度为0.6m，电感为0.19uH时，得到其半径 $r$ 为0.11m，体积为 $0.023\text{m}^3$ ；

[0092] 将平板导体与圆形截面导体，计算比较圆形截面导体与平板导体的体积，圆形截面导体是平板导体体积的23.7倍；可见，使用宽且薄的铜材引下板，材料成本大为降低。

[0093] 因为接地网用材较多，经费使用量大，所以应根据项目建设实际情况，选定接地网中放射网的材料及尺寸，其中单根放射引线2的有效截面周长 $D2 \geq$ 水平接地网5的接地网导线的有效截面周长 $D3$ ，以确保具有良好的散流能力。

[0094] 综合考虑建筑结构影响，引下板采用铜材，其设置方法为：

[0095] (1)降低长度 $l$ ，通常从装置下方垂直连接；

[0096] (2)满足防腐要求条件下，降低引下板的厚度 $b$ ，即可降低材料成本；若引下板使用铜材，可设置引下板的厚度 $b$ 为4mm；

[0097] (3)增加引下板的宽度 $c$ ，可降低引下板的电感；考虑材料费用和施工难度，引下板的宽度 $c \geq 400\text{mm}$ ；

[0098] (4)计算引下板的有效截面周长为 $2 \times (b+c) = 808\text{mm}$ ；

[0099] (5)如图3所示，采用双L型的引下板，并用背靠背的方式连接，可进一步减小引下板的电感。

[0100] 水平接地网5的网格采用非均匀网格设置，从中心到周边，其网格密度逐渐减小。水平接地网5的网格加密能够降低电感，进而可有效降低冲击电阻，但过密的水平接地网5会急剧增加建设成本；由于引下板周边的电感对冲击电阻的影响较大，远处电感对冲击电阻影响较小；因此基于以上两个方面的考虑，接地网的中心区域为放射网，外沿为水平接地网5，水平接地网5设置为非等宽且依次连接的第一水平接地网6、第二水平接地网7和第三水平接地网8，其间距依次为1米、2米和3米；

[0101] 接地网采用 $4\text{mm} \times 40\text{mm}$ 扁铜，其有效截面周长为88mm，因此，水平接地网5的有效截面周长为88mm；当选用240平方线缆型号， $n$ 的取值为2，单根放射引线2线径 $d_1$ 为17.48mm，单根放射引线2的有效截面周长 $D2 = 2\pi d = 109.8\text{mm}$ ；单根放射引线2的有效截面周长大于水平接地网5的接地网导线的有效截面周长 $D3$ 。3.1) 第一水平接地网6的外边缘到垂直引下板4中心的最短距离等于接地体的有效总长度 $L_e$ ，接地体有效长度是指特定前沿的冲击电流入地时，电流散流达到一定程度的导体长度，具体而言，即导体上散流达到注入电流的95%时的导体长度；

[0102] 对于快前沿冲击电流，接地体的有效总长度 $l_e$ ： $l_e = k\sqrt{\rho}$

[0103] 式中: $k$ 为冲击电流的冲击系数,受冲击电流的波头时间、导体有效截面积影响,通常取值范围为 $0.5\sim 2$ , $\rho$ 为土壤电阻率;则所述第一水平接地网6的外边缘边长 $A1=2l_e$ ;

[0104] 常规地网施工,接地体材料采用正交连接,接地网的外轮廓为正方形。本实施例中,第一水平接地网6的外轮廓为正方形,引下板位于第一水平接地网6的正方形中心。

[0105] 本实施例中,当在湿陷性黄土地区时,土壤电阻率 $\rho$ 为 $50\ \Omega\cdot m$ ,冲击系数 $k$ 为1,计算得到导体有效长度为 $7.1m$ ;单侧水平引下板3上连接8根放射引线2,采用双L型背靠背结构的引下板时,共有16根放射引线2均匀分布并连接在水平引下板3的4个边上,16根放射引线2均为有效散流;每条放射引线2连接在1米间距的第一水平接地网6交叉点上,因此,1米间距的第一水平接地网6尺寸为 $4m\times 4m$ 。

[0106] 由S3.1可知,对于特定快前沿冲击电流,导体有效长度内可实现95%电流散流,故引下板到第一水平接地网6最外边的最近距离 $l_2$ 应(即当没有垂直引下板4部分时)等于接地体的有效总长度 $l_e$ ,所以第一水平接地网6外轮廓边长(即为水平引下板3和第一水平接地网6的边长)为 $2l_e=14.2m$ 。

[0107] 3.2) 计算所述第二水平接地网7的外边缘边长 $A2$ ;

[0108] 由于特定快前沿冲击电流,第一水平接地网6可实现95%散流;但对于慢前沿冲击电流,其接地体的有效总长度 $l_e$ 值更大,则需要更大面积的散流接地体;因此采用第二水平接地网7进行散流,。

[0109] 本实施例中设置50%的冲击电流在第二水平接地网7中散流(从引下板、放射网至第二水平接地网7),因此当第二水平接地网7散流50%的冲击电流时: $S_{\text{第二水平接地网}} = S_{\text{第一水平接地网}}$ ,则 $S_{\text{第二水平接地网}} = 2l_e \times 2l_e$ ;

[0110] 第二水平接地网7的外边缘边长 $A2 = \sqrt{S_{\text{第一水平接地网}} + S_{\text{第二水平接地网}}} = \sqrt{2 \times S_{\text{第一水平接地网}}} = \sqrt{2 \times 2l_e \times 2l_e} = \sqrt{8}l_e = 40.1m \approx 40m$ 。

[0111] 3.3) 第三水平接地网8用于实现工频电流泄放,其外边缘边长 $A3$ 根据以下公式计算:

$$[0112] \quad R_g = 0.5 \times \frac{\rho}{\sqrt{S}} < 0.5\ \Omega$$

[0113] 式中: $R_g$ 为工频接地电阻; $S$ 为接地网面积, $S=A3 \times A3$ ; $\rho$ 为土壤电阻率;

[0114] 则第三水平接地网8的外边缘边长 $A3 = \sqrt{S}$ 。本实施例中, $\rho=50\ \Omega\cdot m$ ,要求 $R_g < 0.5\ \Omega$ ,根据公式(4)计算的 $S > 50^2 = 2500m^2$ ;由于所有水平导体(放射引线2、第一水平接地网6、第二水平接地网7以及第三水平接地网8)均参与散流,故第三水平接地网8边长为 $50m$ 。

[0115] S4、为进一步增加接地面积,在水平引下板3下方的中心和周围设置接地深井10,接地深井10采用机械打孔,在接地深井10的中心安装相对长度的深井接地极,并在接地深井周围灌注降阻剂11,能够有效增加散流面积,深井接地极的上端连接水平引下板3。

[0116] 4.1) 计算接地深井10的深度 $l_4$ ,其取值范围为 $L_e < l_4 < 2\sqrt{\rho}$ ;

[0117] 4.2) 计算接地深井10的有效截面周长 $D4 = \pi d_2$ ;

[0118] 式中: $d_2$ 为接地深井10的直径;

[0119] S5、在距离所述第一水平接地网6外轮廓1~1.5m处设置短接地极9,短接地极9的上端连接水平接地网5的网格交叉点下方,其长度 $l_3$ 取值范围为1~1.5米。

[0120] 根据步骤3.1可知,对于特定前沿脉冲电流,接地体的有效长度 $L_e$ 可实现95%电流散流,故接地深井10的深度应大于接地体的有效长度 $L_e$ 值。

[0121] 本实施例中,接地深井10的最小深度(从引下板的最低点开始计算)为7.1m;但考虑到慢前沿脉冲电流接地体的有效长度 $L_e$ 值更大,并综合考虑建设成本,接地深井10的深度 $l_4$ 最大为 $2\sqrt{\rho}$ ,本实施例中为 $2\sqrt{50}=14.1$ 米;故在本实施例中,接地深井10的深度 $l_4$ 满足 $7.1m < l_4 < 14.1m$ ;在本实施例中,接地深井10的深度 $l_4$ 取10米。

[0122] 为增大接地深井10的散流能力,在接地极与土壤中间灌注降阻剂11,从而形成一体式散流井,并有效增加散流面积。通常接地极直径为40mm,有效截面周长 $\pi d = 3.14 \times 40 = 125.6mm$ 。当接地深井10的直径为150mm时,其有效截面周长 $D4 = \pi d_2 = 3.14 \times 150 = 471mm$ ,散流面积扩大3.75倍;在本实施例中,接地深井10直径设置为150mm。

[0123] 设置引下板周围的接地深井10,接地深井10具有较好的散流能力,因此在引下板周围设置有多个接地深井10,其深度和直径与中心接地深井10相同,水平间隔距离为1~3m,引下板周围接地深井10数为4个,与中心接地深井10的水平间隔为2m。

[0124] 为进一步增加散流能力,在距离第一水平接地网6外轮廓1~1.5m处,建设有多个短接地极9;短接地极9长度 $l_3$ 通常为1~1.5m,可采用角钢等材质,由人工扎入土壤中,无需铺设降阻剂11。

[0125] 在施工时,对水平接地网5周边沟道铺设降阻剂11,用于提高散流面积,降低水平接地网5接触电阻;在接地深井10施工时,接地深井10直径可设计为180~200mm,中空部分灌注降阻剂11,用于提高散流面积。

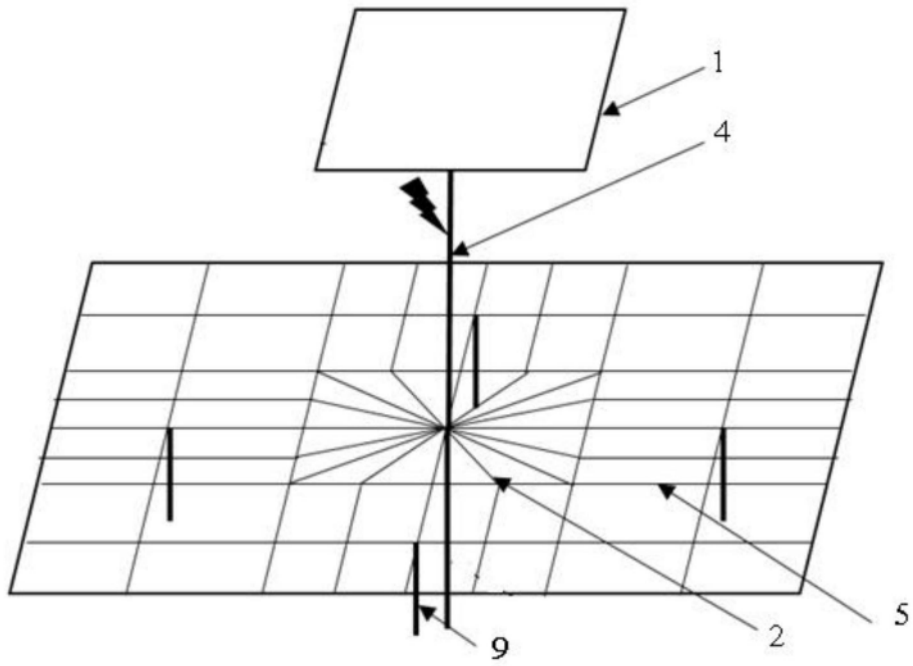


图1

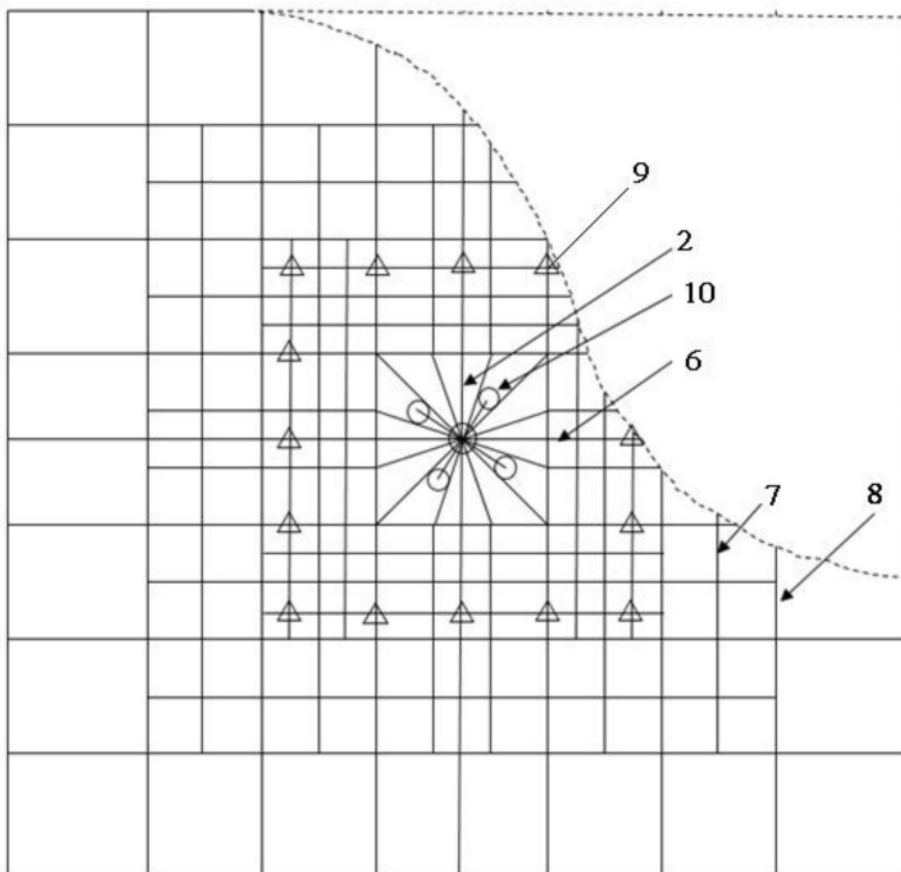


图2

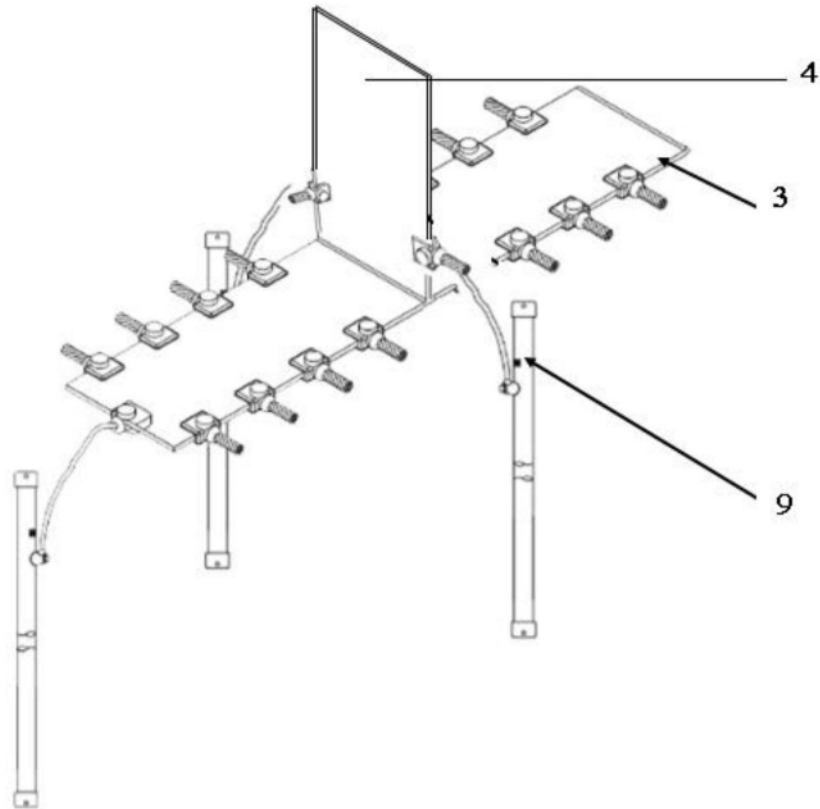


图3

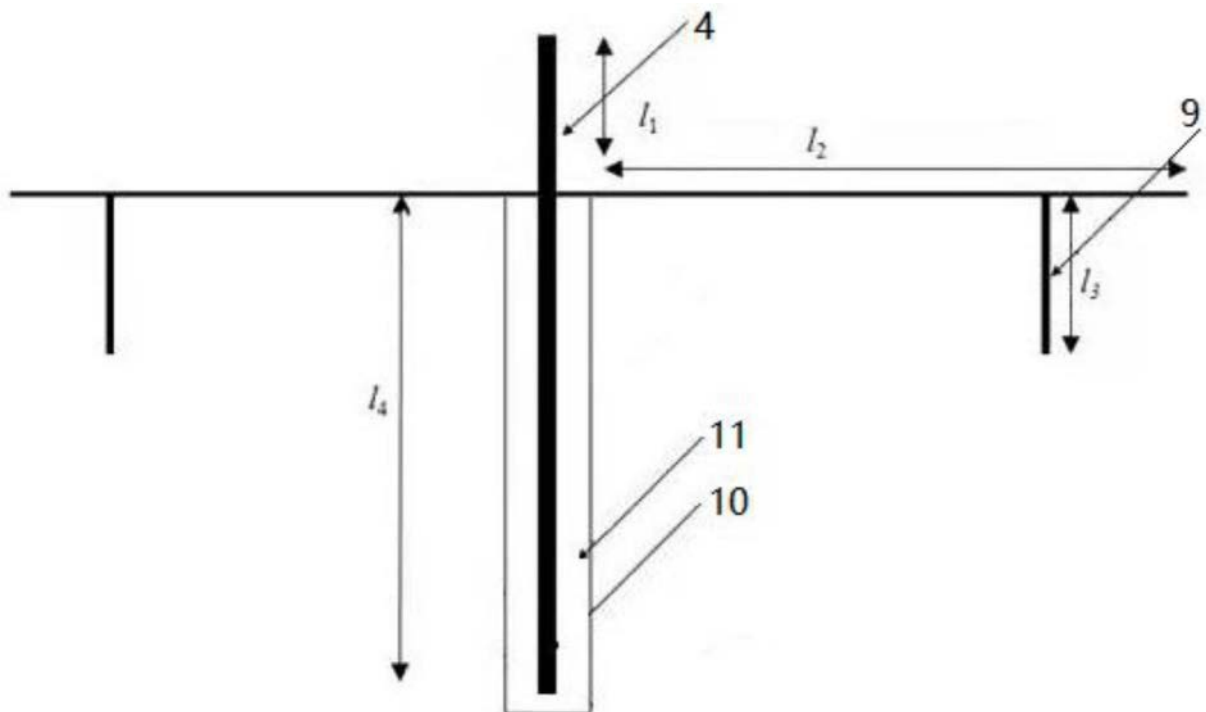


图4