



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 109119931 B

(45)授权公告日 2020.01.24

(21)申请号 201810886319.7

(22)申请日 2018.08.06

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 109119931 A

(43)申请公布日 2019.01.01

(73)专利权人 四川大学
地址 610000 四川省成都市一环路南一段
24号
专利权人 深圳大学

(72)发明人 莫思特 谢和平 刘天琪 李碧雄

(74)专利代理机构 成都睿道专利代理事务所
(普通合伙) 51217
代理人 潘育敏

(51)Int.Cl.
H02G 1/02(2006.01)

(56)对比文件

- CN 107179332 A, 2017.09.19,
- CN 108366442 A, 2018.08.03,
- CN 106304436 A, 2017.01.04,
- CN 107830945 A, 2018.03.23,
- CN 104779571 A, 2015.07.15,
- CN 106300199 A, 2017.01.04,
- CN 202094584 U, 2011.12.28,
- CN 1332684 A, 2002.01.23,
- RU 2356148 C1, 2009.05.20,

审查员 雷鑫水

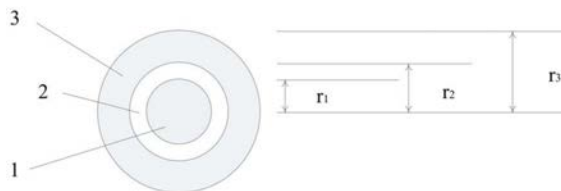
权利要求书3页 说明书7页 附图1页

(54)发明名称

基于自制热导线的输电线路在线防冰融冰热量计算方法

(57)摘要

基于自制热导线的输电线路在线防冰融冰热量计算方法。含在线防冰工作状态和融冰工作状态热量计算。在防冰工作状态中,计算升温阶段和保温阶段的所需热量;升温阶段计算导线升温到1℃需要的热量、导线溶解未来 T_s 分钟内预测结冰需要的热量和导线外的对流散热热量,保温阶段计算导线融解未来 T_s 分钟内预测结冰需要的热量和导线外的对流散热热流量。在融冰工作状态分别计算升温阶段和融冰阶段的所需热量:升温阶段计算导线升温所需热量、外部冰升温到0℃所需的热量和对流散热热流量,融冰阶段计算融冰所需热量,预测未来 T_w 分钟覆冰需要的融冰热量,抵抗对流散热所需热量之和。本发明准确计算导线的融冰功率,指导电力输电线路在线防冰融冰工作状态。



1. 一种基于自制热导线的输电线路在线防冰融冰热量计算方法,所述自制热导线含内导体、嵌入材料和外导体三部分,自制热导线安装有传感器,输电线路工作时传感器感知输电线路温度和输电线路当前覆冰状态,预测输电线路未来覆冰状态,当导线覆冰时自动实施融冰工作,当导线没有覆冰但预测到未来可能覆冰时,实施防冰工作;

其特征在于:按照自制热导线的防冰工作状态和融冰工作状态两种情况,分别进行在线防冰工作状态热量和融冰工作状态热量计算;

当预测未来可能会覆冰时,启动防冰工作状态热量计算,防冰工作状态分两个阶段,升温阶段和保温阶段;当输电导线温度小于 1°C 时,防冰工作状态在升温阶段,当输电导线温度大于等于 1°C 时,防冰工作状态在保温阶段,设防冰工作升温阶段工作时间为 T_s 分钟;

当自制热导线传感器判断有覆冰时,启动融冰工作状态热量计算,融冰工作状态分为升温阶段和融冰阶段;升温阶段是指自制热导线从启动融冰开始到 0°C 的过程,融冰阶段是指导线升温到 0°C 后,启动融冰的过程;设升温阶段需要的时间为 T_u 分钟,融冰过程需要的时间为 T_w 分钟;

将1米长的自制热导线称为单位自制热导线,热量计算时,先计算单位自制热导线的所需热量,然后按照需要计算任意长度自制热导线的输电线路总热量需求;

在防冰工作状态的两个阶段中,分别计算升温阶段和保温阶段的所需热量为:

升温阶段需要计算的热量有三部分:导线升温到 1°C 需要的热量、导线融解未来 T_s 分钟内预测覆冰需要的热量和导线外的对流散热热量,三部分的总和为防冰工作升温阶段需要的热量;

在防冰工作状态的保温阶段:当导线温度升至 1°C 时,进入保温阶段,保温阶段的防冰热量有两部分:导线融解未来 T_s 分钟内预测结冰需要的热量和导线外的对流散热热流量;

在融冰工作状态的两个阶段中,分别计算升温阶段和融冰阶段的所需热量为:

在融冰工作状态的升温阶段中,热量计算包括导线升温所需热量、外部冰升温到 0°C 所需的热量和对流散热热流量,三部分的总和为融冰工作升温阶段需要的热量;

在融冰工作状态中融冰阶段所需热量计算为:当传感器测量到导线温度到了 0°C ,开始计算融冰阶段热量,融冰过程需要的时间按 T_w 分钟来计算,融冰阶段热量包括融冰所需热量,预测未来 T_w 分钟覆冰需要的融冰热量,和抵抗对流散热所需热量之和;

任意长度自制热导线的输电线路热量需求为导线以米为单位的实际长度乘以单位自制热导线需要的热量。

2. 如权利要求1所述的基于自制热导线的输电线路在线防冰融冰热量计算方法,其特征在于:单位自制热导线防冰工作升温阶段需要计算的热量计算步骤是:

1) 单位自制热导线升温到 1°C 需要的热量计算:

设在加热升温前,自制热导线中的内导体、嵌入材料、外导体具有相同的温度,设升温前导线温度为 t_1 , $t_1 < 1^{\circ}\text{C}$,设导线升温到 1°C 需要的热量:内导体升温需要的热量为 Q_{1t} 、嵌入材料升温需要的热量为 Q_{2t} 、外导体升温需要的为 Q_{3t} ,三个热量之和为 Q_{up} ; Q_{1t} 、 Q_{2t} 、 Q_{3t} 计算方法如式(3-1),

$$\left. \begin{aligned} Q_{1t} &= c_1 \rho_1 \pi r_1^2 (l - t_1) \\ Q_{2t} &= c_2 \rho_2 \pi (r_2^2 - r_1^2) (l - t_1) \\ Q_{3t} &= c_3 \rho_3 \pi (r_3^2 - r_2^2) (l - t_1) \\ Q_{up} &= Q_{1t} + Q_{2t} + Q_{3t} \end{aligned} \right\} \quad (3-1)$$

式中, r_1 表示自制导线内导体的半径, r_2 表示嵌入材料包裹内导体后的半径, r_3 表示外导体包裹嵌入材料后整个导线的半径, r_1 、 r_2 、 r_3 的单位为米;自制导线内导体的比热容为 c_1 , 嵌入材料比热容为 c_2 , 外导体比热容为 c_3 ;比热容单位为焦耳每千克摄氏度;内导体的密度为 ρ_1 , 嵌入材料密度为 ρ_2 , 外导体密度为 ρ_3 ;密度单位为千克每立方米;

2) 单位自制热导线融解未来 T_s 分钟内预测覆冰需要的热量计算:

设单位自制热导线未来 T_s 分钟覆冰重量为 g_{12} , 且假设刚结冰的覆冰层温度为 0 度, 设冰的融化热为 L_m , L_m 单位为焦耳每千克; 则融解这些冰需要消耗的能量 Q_m 如式 (3-2) 所示:

$$Q_m = g_{12} \cdot L_m \quad (3-2)$$

3) 单位自制热导线外的对流散热计算:

设环境温度为 t_c °C, 空气与自融冰导体的表面传热系数为 h , 表面传热系数 h 单位为瓦每平方米 °C, 每 T_s 分钟单位自制热导线对流传热的平均热流量 Φ_s 为 $\Phi_s = \pi r_3 h (1 - t_c)$ (3-3)

4) 升温阶段, 单位自制热导线每 T_s 分钟所需热量导线防冰需要的总热量 Q_{all} 为:

$$Q_{all} = Q_{up} + Q_m + \Phi_s \times T_s \times 60 \quad (3-4)$$

单位自制热导线防冰工作保温阶段的热量计算是:

当导线温度升至 1 °C 时, 进入保温阶段, 保温阶段的防冰热量有两部分: 导线融解未来 T_s 分钟内预测结冰需要的热量和导线外的对流散热, 在保温阶段导线温度为 1 度, 保温阶段每 T_s 分钟单位自制热导线所需热量 Q_{on} 为:

$$Q_{on} = g_{12} \cdot L_m + 2\pi r_3 h (1 - t_c) \times T_s \times 60 \quad (3-5)$$

3. 如权利要求 1 所述的基于自制热导线的输电线路在线防冰融冰热量计算方法, 其特征在于: 单位自制热导线融冰工作状态中升温阶段所需热量计算步骤为:

1) 单位自制热导线升温 1 °C 所需热量

导线升温 1 °C 所需热量为内导体升温 1 °C 需要的热量 Q_{1a} 、制热材料升温 1 °C 需要的热量 Q_{2a} 、外导体升温 1 °C 需要的热量 Q_{3a} 之和, Q_{1a} 、 Q_{2a} 、 Q_{3a} 计算方法如式 (3-6)

$$\left. \begin{aligned} Q_{1a} &= c_1 \rho_1 \pi r_1^2 \\ Q_{2a} &= c_2 \rho_2 \pi (r_2^2 - r_1^2) \\ Q_{3a} &= c_3 \rho_3 \pi (r_3^2 - r_2^2) \end{aligned} \right\} \quad (3-6)$$

2) 单位自制热导线的冰升温 1 °C 所需热量

设预测未来 T_u 分钟每米导线覆冰重量为 g_{22} , 传感器测量的当前每米冰重为 g_s , 冰的比热容为 c_i , 则冰升温 1 °C 所需热量 Q_{ia} 为

$$Q_{ia} = (0.5g_{22} + g_s) \cdot c_i \quad (3-7)$$

3) 单位自制热导线对流散热热流量

根据式 (3-8a), 通过 $(0.5g_{22} + g_s)$ 计算覆冰厚度, 假设覆冰厚度为 b , 则根据牛顿冷却公

式,单位自制热导线对流传热的平均热流量 Φ_s 为

$$b = \sqrt{r_3^2 + \frac{0.5g_{22} + g_s}{\pi\rho_i}} - r_3 \quad (3-8a)$$

$$\Phi_s = \pi (r_3 + b) h (0 - t_c) \quad (3-8b)$$

ρ_i 为冰的密度,单位为千克每立方米;

4) 升温阶段单位自制热导线所需的总热量

设升温开始时导线温度为 t_c °C,升温时间为 T_u 分钟,升温阶段单位自制热导线所需热量 Q_a 为:

$$Q_a = -t_c (Q_{1a} + Q_{2a} + Q_{3a} + Q_{ia}) + \Phi_s \times T_u \times 60 \quad (3-9)$$

在融冰工作状态中融冰阶段单位自制热导线所需热量计算步骤为:

1) 单位自制热导线融冰所需热量:

传感器测量的当前每米冰重为 g_m ,设预测未来 T_w 分钟每米覆冰重量为 g_{32} ,

设融冰所需热量为 Q_{aw} ,则融冰所需热量为:

$$Q_{aw} = (g_{32} + g_m) \cdot L_m \quad (3-10)$$

2) 单位自制热导线抵抗对流散热所需热量:

根据式(3-11a),通过 $(g_{32} + g_m)$ 计算覆冰厚度,假设覆冰厚度为 c ,则单位自制热导线对流传热的热流量 Φ_{sw} 为

$$c = \sqrt{r_3^2 + \frac{g_{32} + g_m}{\pi\rho_i}} - r_3 \quad (3-11a)$$

$$\Phi_{sw} = 2\pi (r_3 + c) h (0 - t_c) \quad (3-11b)$$

3) 单位自制热导线所需热量总计

在 T_w 分钟内,单位自制热导线融冰阶段所需总热量 Q_{as} 为:

$$Q_{as} = Q_{aw} + \Phi_{sw} \times T_w \times 60 \quad (3-12)$$

4. 如权利要求1所述的基于自制热导线的输电线路在线防冰融冰热量计算方法,其特征在于:所述任意长度自制热导线的输电线路热量需求为以米为单位的导线长度乘以单位自制热导线需要的热量,具体计算为:

设输电线路长度为 LL 米,则输电线路总功率计算方法为:

(1) 每 T_s 分钟防冰工作升温阶段所需热量 Q_{La11}

$$Q_{La11} = Q_{a11} \times LL;$$

(2) 每 T_s 分钟防冰工作保温阶段所需热量 Q_{Lon}

$$Q_{Lon} = Q_{on} \times LL;$$

(3) 每 T_u 分钟融冰工作升温阶段所需热量 Q_{La}

$$Q_{La} = Q_a \times LL;$$

(4) 每 T_w 分钟融冰工作融冰阶段所需热量 Q_{Las}

$$Q_{Las} = Q_{as} \times LL。$$

基于自制热导线的输电线路在线防冰融冰热量计算方法

(一) 技术领域

[0001] 本发明涉及一种电力输电线的在线融冰方法,特别是一种基于自制热导线的输电线路在线防冰融冰热量计算方法。

(二) 背景技术

[0002] 随着社会经济的发展,在不断增加电力负荷应用的环境下,对裸露在外的电力线路要求愈来愈高。而在寒冷的冬季,不少地区的线路都会结冰,造成线路的损坏。当结冰超过线路的承受力时,就会发生断线等严重事故。所以,冬季的电力输电线除冰是必不可少,十分重要的。在现有技术中,融冰技术在不断提高。申请号CN201610867150.1《一种自融冰导体以及融冰设备》和申请号CN201810370549.8《嵌入绝缘导热材料的自制热导体和制热设备及其实现方法》公开了两种不同类型的输电线路在线融冰方法,且融冰效果较以前有大幅度提高。但是,上述两发明都没有进一步说明在线防冰融冰具体需要的功率,还不能准确控制自融冰导线的融冰功率和融冰工况。本发明公开了一种防冰融冰需要的功率计算方法,提供防冰融冰所需电源的工作状态,能够对电力输电线融冰工作状态进行精确控制。

(三) 发明内容

[0003] 本发明的目的是在申请号CN201610867150.1《一种自融冰导体以及融冰设备》和申请号CN201810370549.8《嵌入绝缘导热材料的自制热导体和制热设备及其实现方法》的基础上对电力输电线的融冰技术进一步提高。

[0004] 申请号CN201810370549.8和申请号CN201810370549.8公开的发明中,其输电导线均可以实施防冰与融冰工作。输电导线工作时,安装有传感器,并有覆冰预测技术。输电线路安装的传感器,感知输电线路温度和输电线路当前覆冰状态,且输电线路覆冰预测技术预测输电线路未来覆冰状态。当输电线路覆冰时,启动输电线路融冰工作。当预测未来输电线路可能覆冰时,则启动输电线路防冰工作。启动防冰工作需计算防冰过程中需要的热量,启动融冰需要计算融冰过程中所需热量。而在上述两个发明中,尚未给出防冰融冰过程的热量计算方法。本发明提供了一种输电线路融冰工作和输电线路防冰工作在一段时间内需要热量计算方法。通过热量计算,准确给出输电线路防冰融冰工作所需热量,指导电力输电线防冰融冰所需的工作状态。

[0005] 本发明的目的是这样达到的:

[0006] 一种基于自制热导线的输电线路在线防冰融冰热量计算方法,所述自制热导线含内导体、嵌入材料和外导体三部分,嵌入材料可以是自制热材料或自加热材料,也可以是绝缘材料。自制热导线安装有传感器,输电线路工作时传感器感知输电线路温度和输电线路当前覆冰状态,预测输电线路未来覆冰状态,当导线覆冰时自动实施融冰工作,当导线没有覆冰但预测到未来可能覆冰时,实施防冰工作。

[0007] 其特征在于:按照自制热导线的防冰工作状态和融冰工作状态两种情况,分别进行在线防冰工作状态热量和融冰工作状态热量计算。

[0008] 当预测未来可能会覆冰时,启动防冰工作状态热量计算,防冰工作状态分两个阶段,升温阶段和保温阶段;当输电导线温度小于1℃时,防冰工作状态在升温阶段,当输电导线温度大于1℃时,防冰工作状态在保温阶段,设防冰工作升温阶段工作时间为 T_s 分钟。

[0009] 当自制热导线传感器判断有覆冰时,启动融冰工作状态热量计算,融冰工作状态分为升温阶段和融冰阶段;升温阶段是指自制热导线从启动融冰开始到0℃的过程,融冰阶段指导线升温到0℃后,启动融冰的过程;设升温阶段需要的时间为 T_u 分钟,融冰过程需要的时间为 T_w 分钟。

[0010] 将1米长的自制热导线称为单位自制热导线,热量计算时,先计算单位自制热导线的所需热量,然后按照需要计算任意长度自制热导线的输电线路总热量需求。

[0011] 在防冰工作状态的两个阶段中,分别计算升温阶段和保温阶段的所需热量:

[0012] 升温阶段需要计算的热量有三部分:导线升温到1℃需要的热量、导线融解未来 T_s 分钟内预测覆冰需要的热量和导线外的对流散热热量,三部分的总和为防冰工作升温阶段需要的热量。

[0013] 在防冰工作状态的保温阶段:当导线温度升至1℃时,进入保温阶段,保温阶段的防冰热量有两部分:导线融解未来 T_s 分钟内预测结冰需要的热量和导线外的对流散热热流量。

[0014] 在融冰工作状态的两个阶段中,分别计算升温阶段和融冰阶段的所需热量:

[0015] 在融冰工作状态的升温阶段中,热量计算包括导线升温所需热量、外部冰升温到0℃所需的热量和对流散热热流量,三部分的总和为融冰工作升温阶段需要的热量。设升温时间为 T_u 分钟。

[0016] 在融冰工作状态中融冰阶段所需热量计算为:当传感器测量到导线温度到了0℃,开始计算融冰阶段热量,融冰过程需要的时间按 T_w 分钟来计算,融冰阶段热量包括融冰所需热量,预测未来 T_w 分钟覆冰需要的融冰热量,和抵抗对流散热所需热量之和。任意长度自制热导线的输电线路热量需求为以米为单位的导线实际长度乘以单位自制热导线需要的热量。

[0017] 防冰工作升温阶段需要计算单位自制热导线的所需热量的热量计算步骤是:

[0018] 1) 单位自制热导线升温到1℃需要的热量计算:

[0019] 设在加热升温前,自制热导线中的内导体、嵌入材料、外导体具有相同的温度,设升温前导线温度为 t_1 , $t_1 < 1^\circ\text{C}$,则导线升温到1℃需要的热量为内导体升温需要的热量 Q_{1t} 、嵌入材料升温需要的热量 Q_{2t} 、外导体升温需要的热量 Q_{3t} 之和 Q_{up} ; Q_{1t} 、 Q_{2t} 、 Q_{3t} 计算方法如式(3-1),

$$\left. \begin{aligned}
 Q_{1t} &= c_1 \rho_1 \pi r_1^2 (1 - t_1) \\
 Q_{2t} &= c_2 \rho_2 \pi (r_2^2 - r_1^2) (1 - t_1) \\
 Q_{3t} &= c_3 \rho_3 \pi (r_3^2 - r_2^2) (1 - t_1) \\
 Q_{up} &= Q_{1t} + Q_{2t} + Q_{3t}
 \end{aligned} \right\} \quad (3-1)$$

[0021] 式中, r_1 表示自制导线内导体的半径, r_2 表示嵌入材料包裹内导体后的半径, r_3 表示外导体包裹嵌入材料后整个导线的半径, r_1 、 r_2 、 r_3 的单位为米;自制导线的内导体的比热

容为 c_1 , 嵌入材料比热容为 c_2 , 外导体比热容为 c_3 , 比热容单位为焦耳每千克摄氏度; 内导体的密度为 ρ_1 , 嵌入材料密度为 ρ_2 , 外导体密度为 ρ_3 ; 密度单位为千克每立方米;

[0022] 2) 单位自制热导线融解未来 T_s 分钟内预测覆冰需要的热量计算:

[0023] 设未来 T_s 分钟覆冰重量为 g_{12} , 且假设刚结冰的覆冰层温度为0度, 设冰的融化热为 L_m , L_m 单位为焦耳每千克; 则融解这些冰需要消耗的能量 Q_m 如式(3-2)所示;

$$[0024] \quad Q_m = g_{12} \cdot L_m \quad (3-2)$$

[0025] 3) 单位自制热导线外的对流散热计算:

[0026] 设环境温度为 t_c °C, 空气与自融冰导体的表面传热系数为 h , 表面传热系数 h 单位为瓦每平方米°C, 每 T_s 分钟单位自制热导线对流传热的平均热流量 Φ_s 为

$$[0027] \quad \Phi_s = \pi r_3 h (1 - t_c) \quad (3-3)$$

[0028] 4) 升温阶段, 单位自制热导线每 T_s 分钟防冰需要的总热量 Q_{all} 为:

$$[0029] \quad Q_{all} = Q_{up} + Q_m + \Phi_s \times T_s \times 60 \quad (3-4)$$

[0030] 单位自制热导线防冰工作保温阶段的热量计算是:

[0031] 当导线温度升至1°C时, 进入保温阶段, 保温阶段的防冰热量有两部分: 导线融解未来 T_s 分钟内预测结冰需要的热量和导线外的对流散热, 在保温阶段导线温度为1度, 保温阶段每 T_s 分钟单位自制热导线所需热量 Q_{on} 为:

$$[0032] \quad Q_{on} = g_{12} \cdot L_m + 2\pi r_3 h (1 - t_c) \times T_s \times 60 \quad (3-5)$$

[0033] 单位自制热导线融冰工作状态中升温阶段所需热量计算步骤为:

[0034] 1) 单位自制热导线升温1°C所需热量

[0035] 导线升温1°C所需热量为内导体升温1°C需要的热量 Q_{1a} 、制热材料升温1°C需要的热量 Q_{2a} 、外导体升温1°C需要的热量 Q_{3a} 之和, Q_{1a} 、 Q_{2a} 、 Q_{3a} 计算方法如式(3-6)

$$[0036] \quad \left. \begin{aligned} Q_{1a} &= c_1 \rho_1 \pi r_1^2 \\ Q_{2a} &= c_2 \rho_2 \pi (r_2^2 - r_1^2) \\ Q_{3a} &= c_3 \rho_3 \pi (r_3^2 - r_2^2) \end{aligned} \right\} \quad (3-6)$$

[0037] 2) 单位自制热导线的冰升温1°C所需热量

[0038] 设预测未来 T_u 分钟每米导线覆冰重量为 g_{22} , 传感器测量的当前每米冰重为 g_s , 冰的比热容为 c_i , 则冰升温1°C所需热量 Q_{ia} 为

$$[0039] \quad Q_{ia} = (0.5g_{22} + g_s) \cdot c_i \quad (3-7)$$

[0040] 3) 单位自制热导线对流散热热流量

[0041] 根据式(3-8a), 通过 $(0.5g_{22} + g_s)$ 计算覆冰厚度, 假设覆冰厚度为 b , 则根据牛顿冷却公式, 单位自制热导线对流传热的平均热流量 Φ_s 为

$$[0042] \quad b = \sqrt{r_3^2 + \frac{0.5g_{22} + g_s}{\pi \rho_i}} - r_3 \quad (3-8a)$$

$$[0043] \quad \Phi_s = \pi (r_3 + b) h (0 - t_c) \quad (3-8b)$$

[0044] ρ_i 为冰的密度, 单位为千克每立方米;

[0045] 4) 升温阶段单位自制热导线所需的总热量

[0046] 设升温开始时导线温度为 t_c °C, 升温时间为 T_u 分钟, 升温阶段单位自制热导线的所需热量 Q_a 为:

[0047] $Q_a = -t_c (Q_{1a} + Q_{2a} + Q_{3a} + Q_{ia}) + \Phi_s \times T_u \times 60$ (3-9)

[0048] 在融冰工作状态中融冰阶段单位自制热导线所需热量计算步骤为:

[0049] 1) 单位自制热导线融冰所需热量:

[0050] 传感器测量的当前每米冰重为 g_m , 设预测未来 T_w 分钟每米覆冰重量为 g_{32} ,

[0051] 设融冰所需热量为 Q_{aw} , 则融冰所需热量为:

[0052] $Q_{aw} = (g_{32} + g_m) \cdot L_m$ (3-10)

[0053] 2) 单位自制热导线抵抗对流散热所需热量:

[0054] 根据式(3-11a), 通过 $(g_{32} + g_m)$ 计算覆冰厚度, 假设覆冰厚度为 c , 则单位自制热导线对流传热的热流量 Φ_{sw} 为

[0055] $c = \sqrt{r_3^2 + \frac{g_{32} + g_m}{\pi \rho_i}} - r_3$ (3-11a)

[0056] $\Phi_{sw} = 2\pi (r_3 + c) h (0 - t_c)$ (3-11b)

[0057] 3) 单位自制热导线所需热量总计

[0058] 在 T_w 分钟内, 单位自制热导线融冰所需总热量 Q_{as} 为:

[0059] $Q_{as} = Q_{aw} + \Phi_{sw} \times T_w \times 60$ (3-12)

[0060] 所述任意长度自制热导线的输电线路热量需求为以米为单位的导线长度乘以单位自制热导线需要的热量, 具体计算为:

[0061] 设输电线路长度为 LL 米, 则输电线路总功率计算方法为:

[0062] (1) 每 T_s 分钟防冰工作升温阶段所需热量 Q_{La11}

[0063] $Q_{La11} = Q_{a11} \times LL$

[0064] (2) 每 T_s 分钟防冰工作保温阶段所需热量 Q_{Lon}

[0065] $Q_{Lon} = Q_{on} \times LL$

[0066] (3) 每 T_u 分钟融冰工作升温阶段所需热量 Q_{La}

[0067] $Q_{La} = Q_a \times LL$

[0068] (4) 每 T_w 分钟融冰工作融冰阶段所需热量

[0069] $Q_{Las} = Q_{as} \times LL$

[0070] 本发明的积极效果是:

[0071] 在发明专利《一种自融冰导体及其融冰设备》和发明专利《嵌入绝缘导热材料的自制热导体和制热设备及其实现方法》中公开了两种不同类型的自融冰输电导线设计方案。但是, 没有说明防冰融冰热量计算方法。本发明公开一种基于自制热导线的防冰融冰热量计算方法。通过防冰融冰热量计算, 准确给出输电线路防冰融冰工作所需热量, 准确控制自融冰导线的融冰功率, 指导计算分析电力输电线防冰融冰所需的工作状态。

(四) 附图说明

[0072] 附图是本发明的自制热导线结构截面图。

[0073] 图中1为内导体, 2为嵌入材料, 3为外导体。嵌入材料是加热材料或是绝缘材料。 r_1 表示内导体的半径, r_2 表示嵌入材料包裹内导体后的半径, r_3 表示外导体包裹嵌入材料后整个导线的半径, r_1 、 r_2 、 r_3 的单位为米。

(五) 具体实施方式

[0074] 本发明是在申请号CN201810370549.8和申请号CN201810370549.8基础上实施的进一步实施的发明。在前述两发明中，其输电导线均可以实施在线防冰与融冰工作。输电导线工作时，安装有传感器，并有覆冰预测技术。输电线路安装的传感器，能感知输电线路温度和输电线路当前覆冰状态，且具有输电线路覆冰预测技术预测输电线路未来覆冰状态。当输电线路覆冰时，启动输电线路融冰工作。当预测未来输电线路可能覆冰时，则启动输电线路防冰工作。

[0075] 本发明按照自制热导线的防冰工作状态和融冰工作状态两种情况，分别进行在线防冰工作状态热量和融冰工作状态热量计算。

[0076] 将1米长的自制热导线称为单位自制热导线，热量计算时，先计算单位自制热导线的所需热量，然后按照需要计算任意长度自制热导线的输电线路总热量需求。当预测未来可能会覆冰时，启动防冰工作状态热量计算，防冰工作状态分两个阶段，升温阶段和保温阶段；当输电导线温度小于1℃时，防冰工作状态在升温阶段，当输电导线温度大于1℃时，防冰工作状态在保温阶段，设防冰工作升温阶段工作时间为 T_s 分钟。单位自制热导线防冰工作升温阶段需要计算的热量计算步骤是：

[0077] 1) 单位自制热导线升温到1℃需要的热量计算：

[0078] 设在加热升温前，自制热导线中的内导体、嵌入材料、外导体具有相同的温度，设导线实时温度为 t_1 ， $t_1 < 1^\circ\text{C}$ ，则导线升温到1℃需要的热量为内导体升温需要的热量 Q_{1t} 、嵌入材料升温需要的热量 Q_{2t} 、外导体升温需要的热量 Q_{3t} 之和 Q_{up} ； Q_{1t} 、 Q_{2t} 、 Q_{3t} 计算方法如式(3-1)，

$$\left. \begin{aligned}
 Q_{1t} &= c_1 \rho_1 \pi r_1^2 (1 - t_1) \\
 Q_{2t} &= c_2 \rho_2 \pi (r_2^2 - r_1^2) (1 - t_1) \\
 Q_{3t} &= c_3 \rho_3 \pi (r_3^2 - r_2^2) (1 - t_1) \\
 Q_{up} &= Q_{1t} + Q_{2t} + Q_{3t}
 \end{aligned} \right\} \quad (3-1)$$

[0080] 式中， r_1 表示自制导线内导体的半径， r_2 表示嵌入材料包裹内导体后的半径， r_3 表示外导体包裹嵌入材料后整个导线的半径， r_1 、 r_2 、 r_3 的单位为米；自制导线的内导体的比热容为 c_1 ，嵌入材料比热容为 c_2 ，外导体比热容为 c_3 ，内导体的密度为 ρ_1 ，嵌入材料密度为 ρ_2 ，外导体密度为 ρ_3 ；

[0081] 2) 单位自制热导线融解未来 T_s 分钟内预测覆冰需要的热量计算：

[0082] 设单位自制热导线未来 T_s 分钟覆冰重量为 g_{12} ，且假设刚结冰的覆冰层温度为0度，设冰的融化热为 L_m ， L_m 单位为焦耳每千克；则融解这些冰需要消耗的能量 Q_m 如式(3-2)所示；

$$[0083] \quad Q_m = g_{12} \cdot L_m \quad (3-2)$$

[0084] 3) 单位自制热导线外的对流散热计算：

[0085] 设环境温度为 t_c ℃，空气与自融冰导体的表面传热系数为 h ，表面传热系数 h 单位为瓦每平方米℃，每 T_s 分钟单位自制热导线对流传热的平均热流量 Φ_s 为 $\Phi_s = \pi r_3 h (1 - t_c)$ (3-3)

[0086] 4) 升温阶段，单位自制热导线每 T_s 分钟防冰需要的总热量 Q_{all} 为：

[0087] $Q_{a11} = Q_{up} + Q_m + \Phi_s \times T_s \times 60$ (3-4)

[0088] 单位自制热导线防冰工作保温阶段的单位自制热导线热量计算是：

[0089] 当导线温度升至1℃时，进入保温阶段，保温阶段的防冰热量有两部分：导线融解未来 T_s 分钟内预测结冰需要的热量和导线外的对流散热，在保温阶段导线温度为1度，保温阶段每 T_s 分钟单位自制热导线所需热量 Q_{on} 为：

[0090] $Q_{on} = g_{12} \cdot L_m + 2\pi r_3 h (1 - t_c) \times T_s \times 60$ (3-5)

[0091] 当自制热导线传感器判断有覆冰时，启动融冰工作状态热量计算，融冰工作状态分为升温阶段和融冰阶段；升温阶段是指自制热导线从启动融冰开始到0℃的过程，融冰过阶段指导线升温到0℃后，启动融冰的过程；设升温阶段需要的时间为 T_u 分钟，融冰过程需要的时间为 T_w 分钟。

[0092] 在融冰工作状态的两个阶段中，分别计算升温阶段和融冰阶段的所需热量：

[0093] 在融冰工作状态的升温阶段中，热量计算包括导线升温所需热量、外部冰升温所需的热量和对流散热热流量，三部分的总和为融冰工作升温阶段需要的热量。

[0094] 在融冰工作状态中融冰阶段所需热量计算为：当传感器测量到导线温度到了0℃，开始计算融冰阶段热量，融冰过程需要的时间按 T_w 分钟来计算，融冰阶段热量包括融冰所需热量，预测未来 T_w 分钟覆冰需要的融冰热量，和抵抗对流散热所需热量之和。融冰工作状态中升温阶段所需热量计算步骤为：

[0095] 1) 单位自制热导线升温1℃所需热量

[0096] 导线升温1℃所需热量为内导体升温1℃需要的热量 Q_{1a} 、制热材料升温1℃需要的热量 Q_{2a} 、外导体升温1℃需要的热量 Q_{3a} 之和， Q_{1a} 、 Q_{2a} 、 Q_{3a} 计算方法如式(3-6)

$$\left. \begin{aligned}
 Q_{1a} &= c_1 \rho_1 \pi r_1^2 \\
 Q_{2a} &= c_2 \rho_2 \pi (r_2^2 - r_1^2) \\
 Q_{3a} &= c_3 \rho_3 \pi (r_3^2 - r_2^2)
 \end{aligned} \right\} \quad (3-6)$$

[0098] 2) 单位自制热导线的冰升温1℃所需热量

[0099] 设预测未来 T_u 分钟每米导线覆冰重量为 g_{22} ，传感器测量的当前每米冰重为 g_s ，冰的比热容为 c_i ，则冰升温1℃所需热量 Q_{ia} 为

[0100] $Q_{ia} = (0.5g_{22} + g_s) \cdot c_i$ (3-7)

[0101] 3) 单位自制热导线对流散热热流量

[0102] 根据式(3-8a)，通过 $(0.5g_{22} + g_s)$ 计算覆冰厚度，假设覆冰厚度为 b ，则根据牛顿冷却公式，单位自制热导线对流传热的平均热流量 Φ_s 为

[0103] $b = \sqrt{r_3^2 + \frac{0.5g_{22} + g_s}{\pi \rho_i}} - r_3$ (3-8a)

[0104] $\Phi_s = \pi (r_3 + b) h (t_1 - t_c)$ (3-8b)

[0105] ρ_i 为冰的密度，单位为千克每立方米

[0106] 4) 单位自制热导线升温阶段所需的总热量

[0107] 设升温开始时导线温度为 t_c ℃，升温时间为 T_u 分钟，升温阶段所需热量 Q_a 为：

[0108] $Q_a = -t_c (Q_{1a} + Q_{2a} + Q_{3a} + Q_{ia}) + \Phi_s \times T_u \times 60$ (3-9)

[0109] 在融冰工作状态中融冰阶段单位自制热导线所需热量计算步骤为：

[0110] 1) 单位自制热导线融冰所需热量:

[0111] 传感器测量的当前每米冰重为 g_m , 设预测未来 T_w 分钟每米覆冰重量为 g_{32} , 设融冰所需热量为 Q_{aw} , 则融冰所需热量为:

$$[0112] \quad Q_{aw} = (g_{32} + g_m) \cdot L_m \quad (3-10)$$

[0113] 2) 单位自制热导线抵抗对流散热所需热量:

[0114] 根据式(3-11a), 通过 $(g_{32} + g_m)$ 计算覆冰厚度, 假设覆冰厚度为 c , 则单位自制热导线对流传热的热流量 Φ_{sw} 为

$$[0115] \quad c = \sqrt{r_3^2 + \frac{g_{32} + g_m}{\pi \rho_i}} - r_3 \quad (3-11a)$$

$$[0116] \quad \Phi_{sw} = 2\pi (r_3 + c) h (t_1 - t_c) \quad (3-11b)$$

[0117] 3) 单位自制热导线所需热量总计:

[0118] T_w 分钟内, 单位自制热导线融冰所需总热量 Q_{as} 为:

$$[0119] \quad Q_{as} = Q_{aw} + \Phi_{sw} \times T_w \times 60 \quad (3-12)$$

[0120] 本发明的方法, 在热量计算时, 先计算单位自制热导线的所需热量, 然后按照需要计算任意长度自制热导线的输电线路总热量需求。

[0121] 设输电线路长度为 LL 米, 则输电线路总功率计算方法为:

[0122] (1) 在 T_s 分钟内, 防冰工作升温阶段所需热量 Q_{La11}

$$[0123] \quad Q_{La11} = Q_{a11} \times LL;$$

[0124] (2) 每 T_s 分钟防冰工作保温阶段所需热量 Q_{Lon}

$$[0125] \quad Q_{Lon} = Q_{on} \times LL;$$

[0126] (3) 在 T_u 分钟内, 融冰工作升温阶段所需热量 Q_{La}

$$[0127] \quad Q_{La} = Q_a \times LL;$$

[0128] (4) 在 T_w 分钟内, 融冰工作融冰阶段所需热量 Q_{Las}

$$[0129] \quad Q_{Las} = Q_{as} \times LL。$$

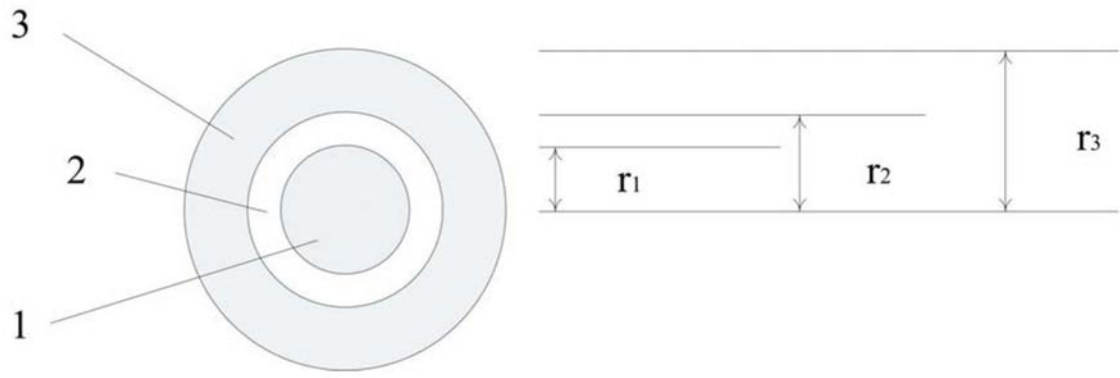


图1