(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 103457225 A
(43)申请公布日 2013.12.18

(21)申请号 201310443076.7

(22)申请日 2013.09.25

(71)申请人 大连融科储能技术发展有限公司
地址 116025 辽宁省大连市高新园区信达街22号

(72)发明人 赵海军 张华民 马相坤 邵家云

(74)专利代理机构 大连东方专利代理有限责任公司 21212
代理人 姜玉蓉 李洪福

(51)Int.Cl.
H02G 7/16(2006.01)

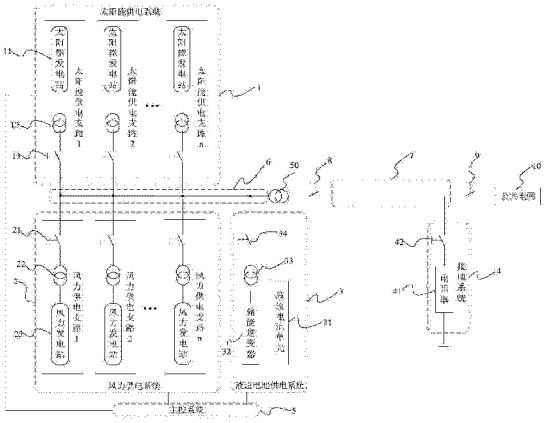
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54)发明名称

基于液流电池的交流融冰方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于液流电池的交流融冰方法，包括如下步骤：将需融冰输电线路末端与包括电阻器和第六开关单元的接地系统相连接；主控系统计算出防止需融冰输电线路覆冰的临界电流；主控系统得出所需融冰功率；闭合第三开关单元、闭合连接高压母线和需融冰输电线路始端的开关单元、以及闭合第六开关单元；主控系统控制液流电池供电系统输出功率达到所需融冰功率P；主控系统计算融冰所需时间；主控系统判断是否达到融冰所需时间，是则断开第六开关单元；本发明通过将需融冰输电线路末端连接接地系统，需融冰输电线路始端采用液流电池供电系统结合太阳能供电系统或风力供电系统作为融冰交流电源，既节能又实用、使用方便。



CN 103457225 A

1. 一种基于液流电池的交流融冰方法，其特征在于包括如下步骤：

S1：将需融冰输电线路末端与包括电阻器(41)和第六开关单元(42)的接地系统(4)相连接；所述电阻器(41)一端接地，另一端通过第六开关单元(42)与需融冰输电线路末端相连接，执行 S2；

S2：主控系统(5)根据公式$I_C=(D/\rho)\left[(t_s-t)(\pi h+\pi\sigma\varepsilon t^3+2EVWc_w+2EVW_EL_V\right]$计算出防止需融冰输电线路覆冰的临界电流 I_C，其中 D 为需融冰输电线路的导线直径、ρ 为需融冰输电线路的导线电阻率、t_s 为需融冰输电线路的导线表面温度、h 为对流换热系数、σ 为 StefSn-BoltcomSnn 常数、ε 为需融冰输电线路的导线黑度、E 为需融冰输电线路的导线对空气中过冷却水滴的捕获系数、V 为湿空气或过冷却水滴的移动均匀速度、W 为湿空气或过冷却水滴的含湿量、t 为湿空气或过冷却水滴的温度、c_w 为水的比定压热容、W_E 为在需融冰输电线路的导线表面蒸发的液体份额、L_V 为水的汽化潜热，执行 S3；

S3：主控系统(5)根据计算出的临界电流 I_C、以及当前环境温度下的需融冰输电线路电阻与电阻器(41)电阻的和值 R 得出所需融冰功率 $P=I_C^2R$，执行 S4；

S4：闭合第三开关单元(34)、闭合连接高压母线(6)和需融冰输电线路始端的开关单元、以及闭合第六开关单元(42)，执行 S5；

S5：主控系统(5)控制液流电池供电系统(3)输出功率达到所需融冰功率 P；所述液流电池供电系统(3)包括依次串接的液流电池单元(31)、储能逆变器(32)、第三变压器(33)和第三开关单元(34)，该液流电池供电系统(3)输出端连接高压母线(6)；执行 S6；

S6：主控系统(5)根据公式$T=\dfrac{\left[c_i(273.15-T_a)+L_F\right]\rho_iR_i(2R_0-\pi R_i/2)}{I_C{}^2R_e}$计算融冰所需时间 T，其中 c_i 为冰的比热、T_a 为气温、L_F 为水凝固释放出的潜热、ρ_i 为冰的密度、R_0 为需融冰输电线路覆冰后导线平均半径、R_i 为需融冰输电线路不覆冰时导线半径、I_C 为融冰电流即所述的防止需融冰输电线路覆冰的临界电流、R_e 为单位长导线在零度时的电阻，执行 S7；

S7：主控系统(5)判断是否达到融冰所需时间 T，是则执行 S8，否则执行 S7；

S8：断开第六开关单元(42)。

2. 根据权利要求 1 所述的一种基于液流电池的交流融冰方法，其特征在于所述方法在步骤 S3 之后还包括如下步骤：

C1：主控系统(5)判断液流电池供电系统(3)的额定功率是否大于等于所需融冰功率 P，是则执行 S4，否则执行 C2；

C2：主控系统(5)启动太阳能供电系统(1)或风力发电系统(2)；所述太阳能供电系统(1)由多个相互并联的太阳能供电支路构成；所述风力供电系统(2)由多个相互并联的风力供电支路构成；每一所述太阳能供电支路包括太阳能发电站(11)、第一变压器(12)和第一开关单元(13)；每一所述风力供电支路包括风力发电站(23)、第二变压器(22)和第二开关单元(21)；所述太阳能供电系统(1)输出端和风力供电系统(2)输出端连接高压母线(6)，执行 C3；

C3：闭合第一开关单元(13)或第二开关单元(21)，闭合第三开关单元(34)，闭合连接高压母线(6)和需融冰输电线路始端的开关单元，以及闭合第六开关单元(42)，执行 C4；

C4：主控系统(5)控制太阳能供电系统(1)或风力发电系统(2)输出功率结合液流电池

供电系统(3)输出功率共同达到所需融冰功率P,执行S6。

3. 根据权利要求2所述的一种基于液流电池的交流融冰方法,其特征在于所述需融冰输电线路为高压输配电线路(7)、太阳能供电支路或风力供电支路;

当需融冰输电线路为高压输配电线路(7)时,所述连接高压母线(6)和需融冰输电线路始端的开关单元为第四开关单元(8),所述高压输配电线路(7)始端通过第四开关单元(8)连接高压母线(6),所述高压输配电线路(7)末端通过第五开关单元(9)与公共电网(10)相连接;

当需融冰输电线路为太阳能供电支路时,所述连接高压母线(6)和需融冰输电线路始端的开关单元为第一开关单元(13);

当需融冰输电线路为风力供电支路时,所述连接高压母线(6)和需融冰输电线路始端的开关单元为第二开关单元(21)。

4. 根据权利要求3所述的一种基于液流电池的交流融冰方法,其特征在于通过高压母线(6)相互连接的所述太阳能供电系统(1)、风力供电系统(2)和液流电池供电系统(3),与通过高压输配电线路(7)连接高压母线(6)的公共电网(10)构成并网运行的微电网系统。

5. 根据权利要求3所述的一种基于液流电池的交流融冰方法,其特征在于当需融冰输电线路为高压输配电线路(7)时,步骤S1之前还具有如下步骤:

断开第一开关单元(13)、第二开关单元(21)、第三开关单元(34)、第四开关单元(8)和第五开关单元(9)。

6. 根据权利要求3所述的一种基于液流电池的交流融冰方法,其特征在于当需融冰输电线路为太阳能供电支路时,步骤S1之前还具有如下步骤:

断开第一开关单元(13)、第二开关单元(21)、第三开关单元(34)、第四开关单元(8)、以及第一变压器(12)与太阳能发电站(11)之间的连接;所述太阳能供电支路断开太阳能发电站(11)的连接处作为需融冰输电线路末端。

7. 根据权利要求3所述的一种基于液流电池的交流融冰方法,其特征在于当需融冰输电线路为风力供电支路时,步骤S1之前还具有如下步骤:

断开第一开关单元(13)、第二开关单元(21)、第三开关单元(34)、第四开关单元(8)、以及第二变压器(22)与风力发电站(23)之间的连接;所述风力供电支路断开风力发电站(23)的连接处作为需融冰输电线路末端。

8. 根据权利要求3所述的一种基于液流电池的交流融冰方法,其特征在于可以将需融冰输电线路末端的每一相分别与接地系统(4)相连接。

9. 根据权利要求3所述的一种基于液流电池的交流融冰方法,其特征在于可以将需融冰输电线路末端的两相或三相短接到一起再与接地系统(4)相连接。

10. 根据权利要求3所述的一种基于液流电池的交流融冰方法,其特征在于所述第四开关单元(8)与高压母线(6)之间还设置有第四变压器(50);所述第一开关单元(13)、第二开关单元(21)、第三开关单元(34)、第四开关单元(8)、第五开关单元(9)和第六开关单元(42)为手动开关或开关柜。

基于液流电池的交流融冰方法

技术领域

[0001] 本发明涉及输电线路融冰技术领域，具体为一种基于液流电池的交流融冰方法。

背景技术

[0002] 中国是世界上输电线路覆冰最严重的国家之一，严重覆冰会导致输电线路机械和电气性能急剧下降，从而导致覆冰事故的发生。我国湖南、湖北、贵州、江西、云南、四川、河南和陕西等省都曾发生过输电线路覆冰事故，覆冰事故已严重威胁了我国电力系统的安全运行，并造成了巨大的经济损失。

[0003] 导线覆冰的主要危害如下：

[0004] 1、过荷载：导线覆冰厚度的实际重量超过设计值很多，从而导致架空输电线路出现机械和电气方面的事故；

[0005] 2、不同期脱冰或不均匀覆冰事故：相邻档导线不均匀覆冰或不同期脱冰产生张力差，使导线、地线在线夹内滑动，严重时将使导线外层铝股在线夹出口处全部断裂、钢芯抽动；

[0006] 3、绝缘子串冰闪事故：绝缘子覆冰或被冰凌桥接后，绝缘强度下降，泄漏距离缩短，融冰时绝缘子的局部表面电阻增加，形成闪络事故，闪络发展过程中持续电弧烧伤绝缘子，引起绝缘子绝缘强度降低；

[0007] 4、导线覆冰舞动事故：导线因不均匀覆冰而在风的作用下产生舞动，覆冰导线的低频高幅舞动造成金具损坏、导线断股、相间短路、杆塔倾斜或倒塌等严重事故。

[0008] 因此，有效实用的融冰方法对减轻输电线路冬季受冰雪袭击具有重要意义，现有技术中的融冰方法主要为各类热力融冰方法，热力融冰法的基本原理是在线路上通以高于正常电流密度的传输电流以获得焦耳热进行融冰，前期研究主要包括：1982 年 PohlmSn 和 LSnders 采用的高电流密度熔冰；1976 年以来中国和 1993 年以来加拿大 MSnitobS 水电局采用的短路电流熔冰以及 1987 ～ 1990 年日本 YSsui、YSmSmoto 和 Fuji 等研制的电阻性铁磁线，目前国内 220kV 及以下输电线路，除了在电力线路设计和施工中采用“避、改、抗、防”等措施外，对于发生在大范围的输电线路覆冰问题，导线的热力融冰方法是最有效的方法。

[0009] 其中，交流融冰技术的原理是将覆冰线路作为负载施加交流电源，提供融冰电流加热导线使覆冰融化，现有技术中的交流融冰方法存在如下问题：采用发电机组提供融冰电源虽可减少投资但却受发电机组容量与融冰所需容量的限制，大多数情况都不满足需求；采用系统电源作为融冰电源使用条件受限，在电网故障以及解列的情况下系统电源断电，无法使用。

发明内容

[0010] 本发明针对以上问题的提出，而研制一种基于液流电池的交流融冰方法。

[0011] 本发明的技术手段如下：

[0012] 一种基于液流电池的交流融冰方法，包括如下步骤：

[0013] S1：将需融冰输电线路末端与包括电阻器和第六开关单元的接地系统相连接；所述电阻器一端接地，另一端通过第六开关单元与需融冰输电线路末端相连接，执行 S2；

[0014] S2：主控系统根据公式 $I_C = (D/\rho)[(t_s-t)(\pi h+\pi\sigma\varepsilon t^3+2EVWc_w+2EVW_EL_V]$ 计算出防止需融冰输电线路覆冰的临界电流 I_C，其中 D 为需融冰输电线路的导线直径、ρ 为需融冰输电线路的导线电阻率、t_s 为需融冰输电线路的导线表面温度、h 为对流换热系数、σ 为 StefSn-BoltcomSnn 常数、ε 为需融冰输电线路的导线黑度、E 为需融冰输电线路的导线对空气中过冷却水滴的捕获系数、V 为湿空气或过冷却水滴的移动均匀速度、W 为湿空气或过冷却水滴的含湿量、t 为湿空气或过冷却水滴的温度、c_w 为水的比定压热容、W_E 为在需融冰输电线路的导线表面蒸发的液体份额、L_V 为水的汽化潜热，执行 S3；

[0015] S3：主控系统根据计算出的临界电流 I_C、以及当前环境温度下的需融冰输电线路电阻与电阻器电阻的和值 R 得出所需融冰功率 $P = I_C^2R$，执行 S4；

[0016] S4：闭合第三开关单元、闭合连接高压母线和需融冰输电线路始端的开关单元、以及闭合第六开关单元，执行 S5；

[0017] S5：主控系统控制液流电池供电系统输出功率达到所需融冰功率 P；所述液流电池供电系统包括依次串接的液流电池单元、储能逆变器、第三变压器和第三开关单元，该液流电池供电系统输出端连接高压母线；执行 S6；

[0018] S6：主控系统根据公式 $T=\dfrac{[c_i(273.15-T_a)+L_F]\rho_iR_i(2R_0-\pi R_i/2)}{I_C^2R_e}$ 计算融冰所需时间 T，其中 c_i 为冰的比热、T_a 为气温、L_F 为水凝固释放出的潜热、ρ_i 为冰的密度、R_0 为需融冰输电线路覆冰后导线平均半径、R_i 为需融冰输电线路不覆冰时导线半径、I_C 为融冰电流即所述的防止需融冰输电线路覆冰的临界电流、R_e 为单位长导线在零度时的电阻，执行 S7；

[0019] S7：主控系统判断是否达到融冰所需时间 T，是则执行 S8，否则执行 S7；

[0020] S8：断开第六开关单元；

[0021] 进一步地，所述方法在步骤 S3 之后还包括如下步骤：

[0022] C1：主控系统判断液流电池供电系统的额定功率是否大于等于所需融冰功率 P，是则执行 S4，否则执行 C2；；

[0023] C2：主控系统启动太阳能供电系统或风力发电系统；所述太阳能供电系统由多个相互并联的太阳能供电支路构成；所述风力供电系统由多个相互并联的风力供电支路构成；每一所述太阳能供电支路包括太阳能发电站、第一变压器和第一开关单元；每一所述风力供电支路包括风力发电站、第二变压器和第二开关单元；所述太阳能供电系统输出端和风力供电系统输出端连接高压母线，执行 C3；

[0024] C3：闭合第一开关单元或第二开关单元，闭合第三开关单元，闭合连接高压母线和需融冰输电线路始端的开关单元，以及闭合第六开关单元，执行 C4；

[0025] C4：主控系统控制太阳能供电系统或风力发电系统输出功率结合液流电池供电系统输出功率共同达到所需融冰功率 P，执行 S6；

[0026] 进一步地，所述需融冰输电线路为高压输配电线路、太阳能供电支路或风力供电支路；

[0027] 当需融冰输电线路为高压输配电线路时，所述连接高压母线和需融冰输电线路始

端的开关单元为第四开关单元，所述高压输配电线路始端通过第四开关单元连接高压母线，所述高压输配电线路末端通过第五开关单元与公共电网相连接；

[0028] 当需融冰输电线路为太阳能供电支路时，所述连接高压母线和需融冰输电线路始端的开关单元为第一开关单元；

[0029] 当需融冰输电线路为风力供电支路时，所述连接高压母线和需融冰输电线路始端的开关单元为第二开关单元；

[0030] 进一步地，通过高压母线相互连接的所述太阳能供电系统、风力供电系统和液流电池供电系统，与通过高压输配电线路连接高压母线的公共电网构成并网运行的微电网系统；

[0031] 进一步地，当需融冰输电线路为高压输配电线路时，步骤 S1 之前还具有如下步骤：

[0032] 断开第一开关单元、第二开关单元、第三开关单元、第四开关单元和第五开关单元；

[0033] 进一步地，当需融冰输电线路为太阳能供电支路时，步骤 S1 之前还具有如下步骤：

[0034] 断开第一开关单元、第二开关单元、第三开关单元、第四开关单元、以及第一变压器与太阳能发电站之间的连接；所述太阳能供电支路断开太阳能发电站的连接处作为需融冰输电线路末端；

[0035] 进一步地，当需融冰输电线路为风力供电支路时，步骤 S1 之前还具有如下步骤：

[0036] 断开第一开关单元、第二开关单元、第三开关单元、第四开关单元、以及第二变压器与风力发电站之间的连接；所述风力供电支路断开风力发电站的连接处作为需融冰输电线路末端；

[0037] 进一步地，可以将需融冰输电线路末端的每一相分别与接地系统相连接；

[0038] 进一步地，可以将需融冰输电线路末端的两相或三相短接到一起再与接地系统相连接；

[0039] 进一步地，所述第四开关单元与高压母线之间还设置有第四变压器；所述第一开关单元、第二开关单元、第三开关单元、第四开关单元、第五开关单元和第六开关单元为手动开关或开关柜。

[0040] 由于采用了上述技术方案，本发明提供的基于液流电池的交流融冰方法，通过将需融冰输电线路末端连接接地系统，需融冰输电线路始端采用液流电池供电系统作为融冰交流电源，既节能又实用、使用方便，不仅能够解决现有技术采用发电机组提供融冰电源受发电机组容量与融冰所需容量限制的问题，同时避免了采用系统电源作为融冰电源在电网故障以及解列的情况下系统电源断电导致无法使用的问题，有效保证输电线路在冰雪严寒的天气下的安全与稳定；采用主控系统合理控制融冰电流和融冰时间，融冰过程安全可靠；另外，还可以结合太阳能供电系统、风力发电系统与液流电池供电系统共同提供融冰功率，同时液流电池供电系统与太阳能供电系统、风力发电系统和公共电网构成并网运行的微电网系统，不仅便于不需融冰时的正常供电，也有利于提高融冰功率，进而延长了能够实现融冰的需融冰输电线路的长度，应用范围广。

附图说明

[0041] 图 1、图 2 是本发明所述方法的流程图；

[0042] 图 3 是本发明所述方法的系统框图。

[0043] 图中：1、太阳能供电系统，2、风力供电系统，3、液流电池供电系统，4、接地系统，5、主控系统，6、高压母线，7、高压输配电线路，8、第四开关单元，9、第五开关单元，10、公共电网，11、太阳能发电站，12、第一变压器，13、第一开关单元，21、第二开关单元，22、第二变压器，23、风力发电站，31、液流电池单元，32、储能逆变器，33、第三变压器，34、第三开关单元，41、电阻器，42、第六开关单元，50、第四变压器。

具体实施方式

[0044] 如图 1、图 2 和图 3 所示的一种基于液流电池的交流融冰方法，包括如下步骤：

[0045] S1：将需融冰输电线路末端与包括电阻器 41 和第六开关单元 42 的接地系统 4 相连接；所述电阻器 41 一端接地，另一端通过第六开关单元 42 与需融冰输电线路末端相连接，执行 S2；

[0046] S2：主控系统 5 根据公式 $I_C = (D/\rho)[(t_s-t)(\pi h+\pi\sigma\varepsilon t^3+2EVWc_w+2EVW_EL_V]$ 计算出防止需融冰输电线路覆冰的临界电流 I_C，其中 D 为需融冰输电线路的导线直径、ρ 为需融冰输电线路的导线电阻率、t_s 为需融冰输电线路的导线表面温度、h 为对流换热系数、σ 为 StefSn-BoltcomSnn 常数、ε 为需融冰输电线路的导线黑度、E 为需融冰输电线路的导线对空气中过冷却水滴的捕获系数、V 为湿空气或过冷却水滴的移动均匀速度、W 为湿空气或过冷却水滴的含湿量、t 为湿空气或过冷却水滴的温度、c_w 为水的比定压热容、W_E 为在需融冰输电线路的导线表面蒸发的液体份额、L_V 为水的汽化潜热，执行 S3；

[0047] S3：主控系统 5 根据计算出的临界电流 I_C、以及当前环境温度下的需融冰输电线路电阻与电阻器 41 电阻的和值 R 得出所需融冰功率 $P = I_C^2R$，执行 S4；

[0048] S4：闭合第三开关单元 34、闭合连接高压母线 6 和需融冰输电线路始端的开关单元、以及闭合第六开关单元 42，执行 S5；

[0049] S5：主控系统 5 控制液流电池供电系统 3 输出功率达到所需融冰功率 P；所述液流电池供电系统 3 包括依次串接的液流电池单元 31、储能逆变器 32、第三变压器 33 和第三开关单元 34，该液流电池供电系统 3 输出端连接高压母线 6；执行 S6；

[0050] S6：主控系统 5 根据公式 $T=\dfrac{[c_i(273.15-T_a)+L_F]\rho_iR_i(2R_0-\pi R_i/2)}{I_C{}^2R_e}$ 计算融冰所需时间 T，其中 c_i 为冰的比热、T_a 为气温、L_F 为水凝固释放出的潜热、ρ_i 为冰的密度、R_0 为需融冰输电线路覆冰后导线平均半径、R_i 为需融冰输电线路不覆冰时导线半径、I_C 为融冰电流即所述的防止需融冰输电线路覆冰的临界电流、R_e 为单位长导线在零度时的电阻，执行 S7；

[0051] S7：主控系统 5 判断是否达到融冰所需时间 T，是则执行 S8，否则执行 S7；

[0052] S8：断开第六开关单元 42；

[0053] 进一步地，所述方法在步骤 S3 之后还包括如下步骤：

[0054] C1：主控系统 5 判断液流电池供电系统 3 的额定功率是否大于等于所需融冰功率 P，是则执行 S4，否则执行 C2；；

[0055] C2：主控系统 5 启动太阳能供电系统 1 或风力发电系统 2；所述太阳能供电系统 1 由多个相互并联的太阳能供电支路构成；所述风力供电系统 2 由多个相互并联的风力供电支路构成；每一所述太阳能供电支路包括太阳能发电站 11、第一变压器 12 和第一开关单元 13；每一所述风力供电支路包括风力发电站 23、第二变压器 22 和第二开关单元 21；所述太阳能供电系统 1 输出端和风力供电系统 2 输出端连接高压母线 6，执行 C3；

[0056] C3：闭合第一开关单元 13 或第二开关单元 21，闭合第三开关单元 34，闭合连接高压母线 6 和需融冰输电线路始端的开关单元，以及闭合第六开关单元 42，执行 C4；

[0057] C4：主控系统 5 控制太阳能供电系统 1 或风力发电系统 2 输出功率结合液流电池供电系统 3 输出功率共同达到所需融冰功率 P，执行 S6；

[0058] 进一步地，所述需融冰输电线路为高压输配电线路 7、太阳能供电支路或风力供电支路；当需融冰输电线路为高压输配电线路 7 时，所述连接高压母线 6 和需融冰输电线路始端的开关单元为第四开关单元 8，所述高压输配电线路 7 始端通过第四开关单元 8 连接高压母线 6，所述高压输配电线路 7 末端通过第五开关单元 9 与公共电网 10 相连接；当需融冰输电线路为太阳能供电支路时，所述连接高压母线 6 和需融冰输电线路始端的开关单元为第一开关单元 13；当需融冰输电线路为风力供电支路时，所述连接高压母线 6 和需融冰输电线路始端的开关单元为第二开关单元 21；进一步地，通过高压母线 6 相互连接的所述太阳能供电系统 1、风力供电系统 2 和液流电池供电系统 3，与通过高压输配电线路 7 连接高压母线 6 的公共电网 10 构成并网运行的微电网系统；进一步地，当需融冰输电线路为高压输配电线路 7 时，步骤 S1 之前还具有如下步骤：断开第一开关单元 13、第二开关单元 21、第三开关单元 34、第四开关单元 8 和第五开关单元 9；进一步地，当需融冰输电线路为太阳能供电支路时，步骤 S1 之前还具有如下步骤：断开第一开关单元 13、第二开关单元 21、第三开关单元 34、第四开关单元 8、以及第一变压器 12 与太阳能发电站 11 之间的连接；所述太阳能供电支路断开太阳能发电站 11 的连接处作为需融冰输电线路末端；进一步地，当需融冰输电线路为风力供电支路时，步骤 S1 之前还具有如下步骤：断开第一开关单元 13、第二开关单元 21、第三开关单元 34、第四开关单元 8、以及第二变压器 22 与风力发电站 23 之间的连接；所述风力供电支路断开风力发电站 23 的连接处作为需融冰输电线路末端；进一步地，可以将需融冰输电线路末端的每一相分别与接地系统 4 相连接；进一步地，可以将需融冰输电线路末端的两相或三相短接到一起再与接地系统 4 相连接；进一步地，所述第四开关单元 8 与高压母线 6 之间还设置有第四变压器 50；所述第一开关单元 13、第二开关单元 21、第三开关单元 34、第四开关单元 8、第五开关单元 9 和第六开关单元 42 为手动开关或开关柜。

[0059] 实际使用时，融冰范围可以是发电厂内或发电厂外中任意输配电线路，可以根据需融冰输电线路的长短，将需融冰输电线路分段进行融冰，计算融冰电流限值时，也可根据环境温度下导线最高允许温度按 70℃考虑所允许的长期运行电流与环境温度修正系数之积得到覆冰时最大融冰电流的大小，以 LGL-120 导线为例，当环境温度为 25℃时，导线温度按 70℃计算，导线长期允许电流为 380A，当环境温度不是 25℃时乘以修正系数 K_t，其中修正系数的计算公式为 $K_t=\sqrt{(Q_1-Q_e)/(Q_1-Q_s)}$，$Q_1$ 为导线最高温度；Q_e 为当前环境温度；Q_s 为标准温度；另外，需融冰输电线路的导线黑度 ε 当新导线取值为 0.23 ～ 0.43，旧导线

取值为 0.9，液流电池供电系统包括依次串接的液流电池单元、储能逆变器、第三变压器和第三开关单元，所述液流电池供电系统输出端连接高压母线，其中液流电池单元包括液流电池电堆、电解液泵和电池管理系统等，液流电池供电系统、太阳能供电系统、风力发电系统以及公共电网构成并网运行的微电网系统，液流电池供电系统通过其包括的储能逆变器可以将太阳能或风能储存至液流电池，液流电池中储存的能量也可以通过储能逆变器释放至高压母线，故形成了以液流电池作为主要融冰电源，以及作为太阳能发电系统与风力发电系统的支撑电源，应用范围广，根据主控系统计算出的融冰电流和融冰时间来控制融冰过程，安全可靠；所述太阳能供电系统由多个相互并联的太阳能供电支路构成，多个太阳能供电支路可以同时工作也可以单独工作，当停止工作时在冰雪天气较长的供电支路有可能出现覆冰现象；所述风力供电系统由多个相互并联的风力供电支路构成，多个风力供电支路可以同时工作也可以单独工作，当停止工作时在冰雪天气较长的供电支路有可能出现覆冰现象；每一所述太阳能供电支路包括太阳能发电站、第一变压器和第一开关单元；每一所述风力供电支路包括风力发电站、第二变压器和第二开关单元；当对高压输配电线路进行融冰时，若液流电池供电系统的额定功率小于融冰功率，则启动太阳能供电系统或风力供电系统以补充融冰功率与液流电池供电系统的额定功率的功率差值，同时系统正常工作时即不融冰时，液流电池供电系统可以储能太阳能或风能，当对太阳能供电支路进行融冰时，若液流电池供电系统的额定功率小于融冰功率，则可以启动风力供电系统或太阳能供电系统中的其他太阳能供电支路以便补充融冰功率不足的部分，当对风力供电支路进行融冰时，若液流电池供电系统的额定功率小于融冰功率，则可以启动太阳能供电系统或风力供电系统中的其他风力供电支路以便补充融冰功率不足的部分，主控系统根据计算出的临界电流 I_C、当前环境温度下的需融冰输电线路电阻与电阻器电阻的和值 R 得出所需融冰功率 $P = I_C^2R$，其中 R 为需融冰输电线路电阻值与电阻器电阻值相加得到的阻值和；本发明提供的基于液流电池的交流融冰方法，通过将需融冰输电线路末端连接接地系统，需融冰输电线路始端采用液流电池供电系统作为融冰交流电源，既节能又实用、使用方便，不仅能够解决现有技术采用发电机组提供融冰电源受发电机组容量与融冰所需容量限制的问题，同时避免了采用系统电源作为融冰电源在电网故障以及解列的情况下系统电源断电导致无法使用的问题，有效保证输电线路在冰雪严寒的天气下的安全与稳定；采用主控系统合理控制融冰电流和融冰时间，融冰过程安全可靠；另外，还可以结合太阳能供电系统、风力发电系统与液流电池供电系统共同提供融冰功率，同时液流电池供电系统与太阳能供电系统、风力发电系统和公共电网构成并网运行的微电网系统，不仅便于不需融冰时的正常供电，也有利于提高融冰功率，进而延长了能够实现融冰的需融冰输电线路的长度，应用范围广。

[0060] 以上所述，仅为本发明较佳的具体实施方式，但本发明的保护范围并不局限于此，任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内，根据本发明的技术方案及其发明构思加以等同替换或改变，都应涵盖在本发明的保护范围之内。

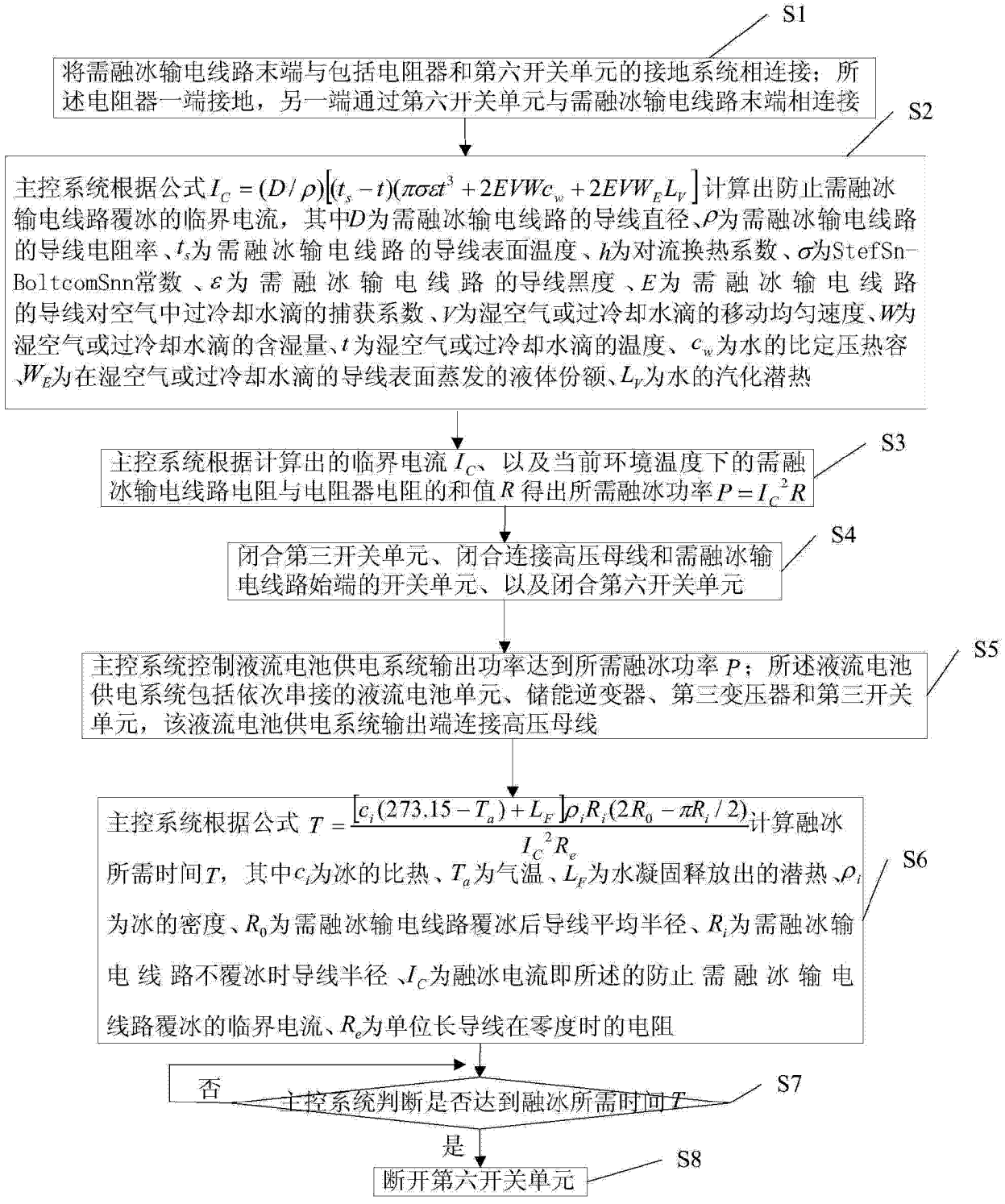

S1
将需融冰输电线路末端与包括电阻器和第六开关单元的接地系统相连接；所述电阻器一端接地，另一端通过第六开关单元与需融冰输电线路末端相连接
S2
主控系统根据公式$I_C=(D/\rho)\left[(t_s-t)(\pi\sigma\varepsilon t^3+2EVWc_w+2EVW_EL_V\right]$计算出防止需融冰输电线路覆冰的临界电流，其中$D$为需融冰输电线路的导线直径、$\rho$为需融冰输电线路的导线电阻率、$t_s$为需融冰输电线路的导线表面温度、$h$为对流换热系数、$\sigma$为StefSn-BoltcomSnn常数、$\varepsilon$为需融冰输电线路的导线黑度、$E$为需融冰输电线路的导线对空气中过冷却水滴的捕获系数、V为湿空气或过冷却水滴的移动均匀速度、W为湿空气或过冷却水滴的含湿量、t为湿空气或过冷却水滴的温度、c_w为水的比定压热容、W_E为在湿空气或过冷却水滴的导线表面蒸发的液体份额、L_V为水的汽化潜热
S3
主控系统根据计算出的临界电流I_C、以及当前环境温度下的需融冰输电线路电阻与电阻器电阻的和值R得出所需融冰功率$P=I_C^2R$
S4
闭合第三开关单元、闭合连接高压母线和需融冰输电线路始端的开关单元、以及闭合第六开关单元
S5
主控系统控制液流电池供电系统输出功率达到所需融冰功率P；所述液流电池供电系统包括依次串接的液流电池单元、储能逆变器、第三变压器和第三开关单元，该液流电池供电系统输出端连接高压母线
S6
主控系统根据公式$T=\frac{\left[c_i(273.15-T_a)+L_F\right]\rho_iR_i(2R_0-\pi R_i/2)}{I_C^2R_e}$计算融冰所需时间$T$，其中$c_i$为冰的比热、$T_a$为气温、$L_F$为水凝固释放出的潜热、$\rho_i$为冰的密度、$R_0$为需融冰输电线路覆冰后导线平均半径、$R_i$为需融冰输电线路不覆冰时导线半径、$I_C$为融冰电流即所述的防止需融冰输电线路覆冰的临界电流、R_e为单位长导线在零度时的电阻
否
主控系统判断是否达到融冰所需时间T
S7
是
断开第六开关单元
S8

图 1

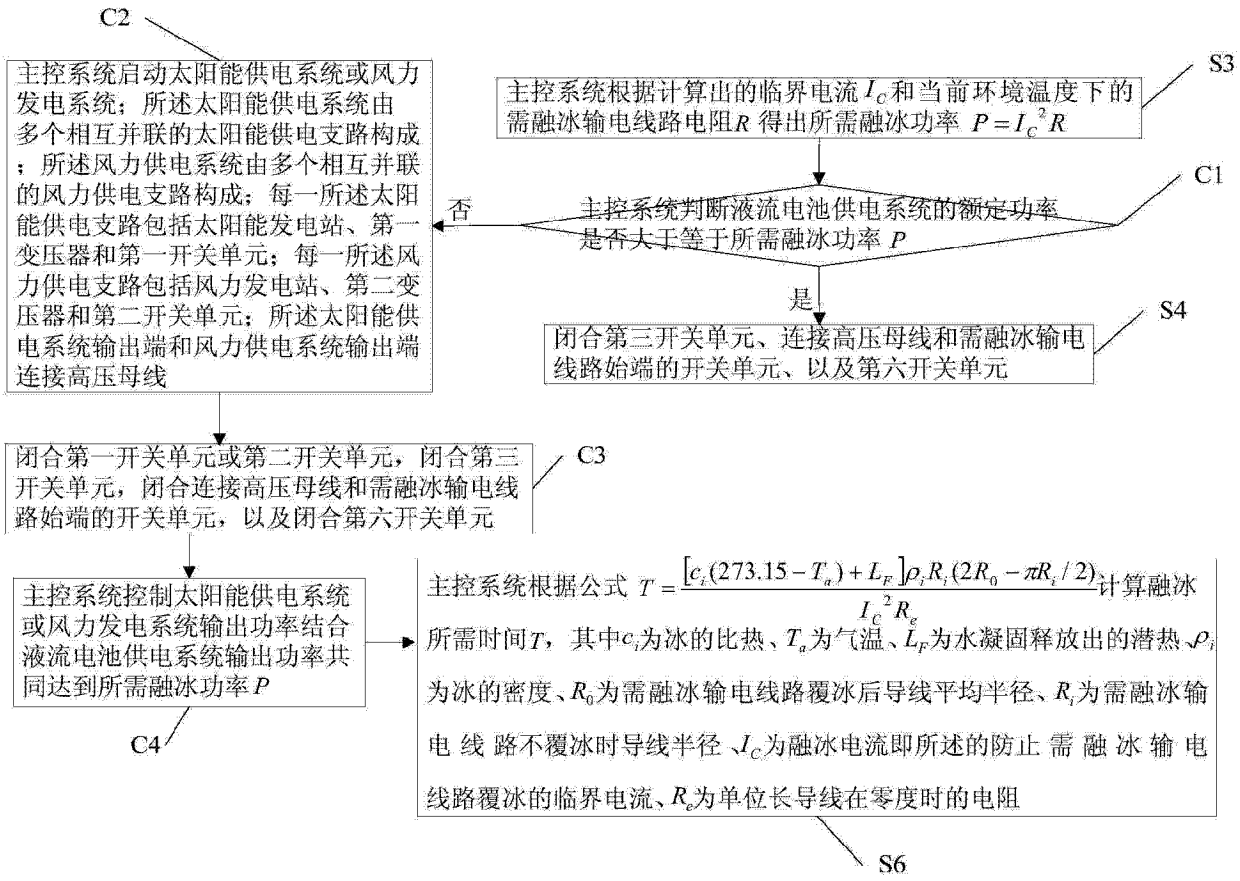

C2
主控系统启动太阳能供电系统或风力发电系统；所述太阳能供电系统由多个相互并联的太阳能供电支路构成；所述风力供电系统由多个相互并联的风力供电支路构成；每一所述太阳能供电支路包括太阳能发电站、第一变压器和第一开关单元；每一所述风力供电支路包括风力发电站、第二变压器和第二开关单元；所述太阳能供电系统输出端和风力供电系统输出端连接高压母线
主控系统根据计算出的临界电流 I_C 和当前环境温度下的需融冰输电线路电阻 R 得出所需融冰功率 $P=I_C^2R$
S3
主控系统判断液流电池供电系统的额定功率是否大于等于所需融冰功率 P
C1
否
是
闭合第三开关单元、连接高压母线和需融冰输电线路始端的开关单元、以及第六开关单元
S4
闭合第一开关单元或第二开关单元，闭合第三开关单元，闭合连接高压母线和需融冰输电线路始端的开关单元，以及闭合第六开关单元
C3
主控系统控制太阳能供电系统或风力发电系统输出功率结合液流电池供电系统输出功率共同达到所需融冰功率 P
C4
主控系统根据公式 $T=\frac{[c_i(273.15-T_a)+L_F]\rho_i R_i(2R_0-\pi R_i/2)}{I_C^2 R_e}$ 计算融冰所需时间 T，其中 c_i 为冰的比热、T_a 为气温、L_F 为水凝固释放出的潜热、ρ_i 为冰的密度、R_0 为需融冰输电线路覆冰后导线平均半径、R_i 为需融冰输电线路不覆冰时导线半径、I_C 为融冰电流即所述的防止需融冰输电线路覆冰的临界电流、R_e 为单位长导线在零度时的电阻
S6

图 2

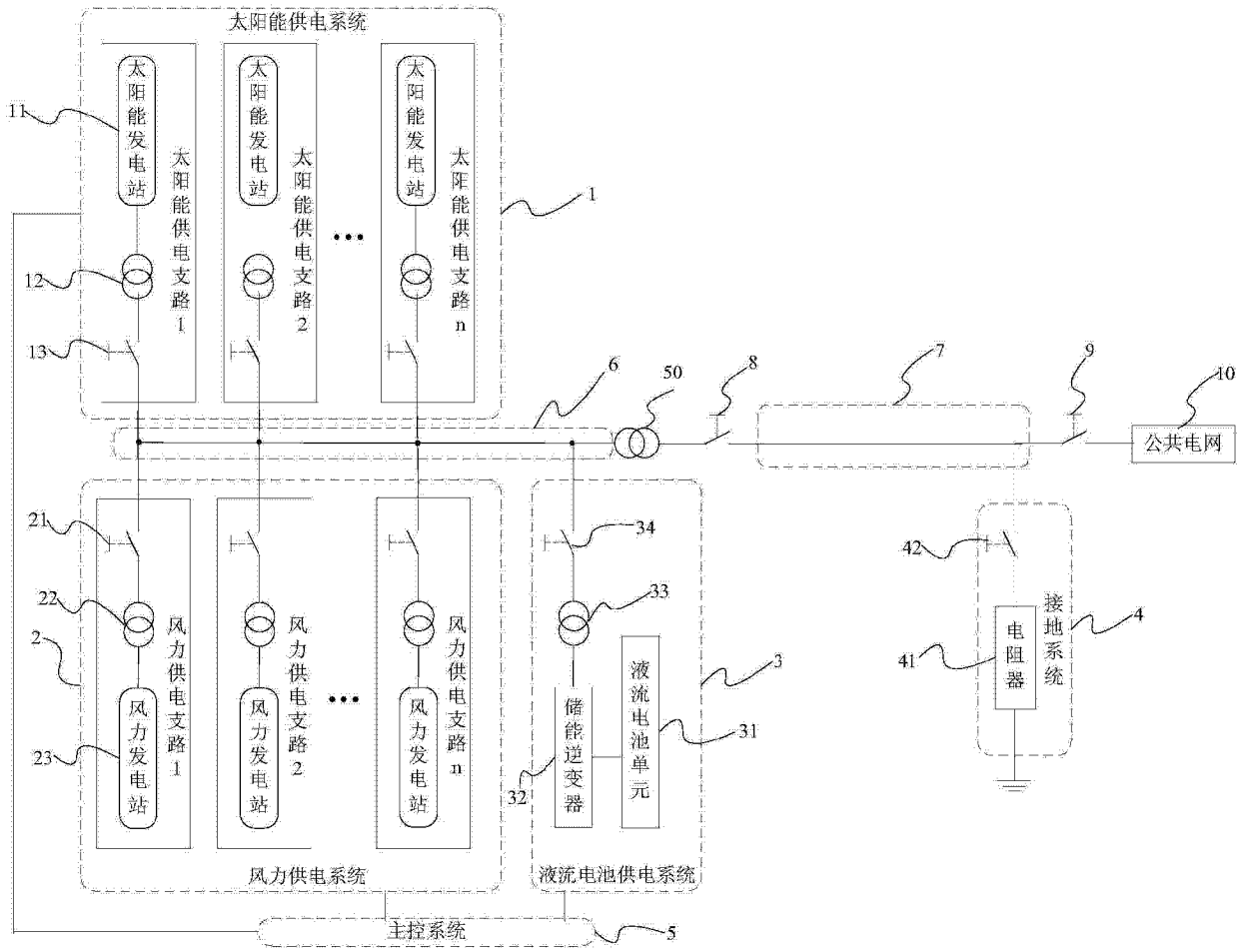

太阳能供电系统
太阳能发电站
太阳能供电支路1
太阳能供电支路2
太阳能供电支路n
11
12
13
1
6
50
8
7
9
10
公共电网
21
22
2
23
风力供电支路1
风力供电支路2
风力供电支路n
风力发电站
风力供电系统
34
33
储能逆变器
液流电池单元
3
31
32
液流电池供电系统
42
41
电阻器
接地系统
4
主控系统
5

图 3