



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 111755642 A

(43) 申请公布日 2020. 10. 09

(21) 申请号 202010574467.2

H01M 10/659 (2014.01)

(22) 申请日 2020.06.22

F28D 20/02 (2006.01)

(71) 申请人 中国科学院电工研究所

B01D 46/00 (2006.01)

地址 100190 北京市海淀区中关村北二条6号

B01D 53/26 (2006.01)

(72) 发明人 王哲 赵勇 陈卓 国建鸿  
杨子龙 王一波

(74) 专利代理机构 北京科迪生专利代理有限责  
任公司 11251

代理人 关玲

(51) Int. Cl.

H01M 2/10 (2006.01)

H01M 10/613 (2014.01)

H01M 10/6562 (2014.01)

H01M 10/6567 (2014.01)

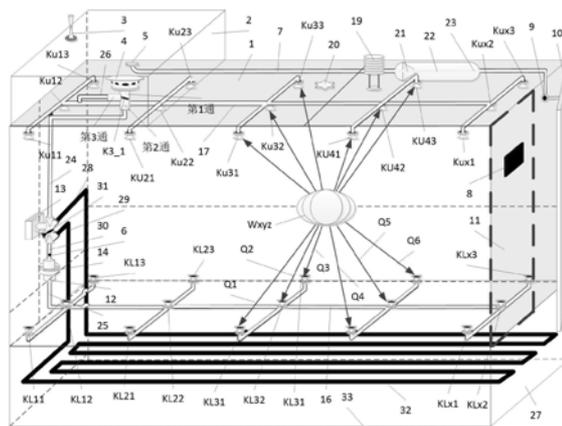
权利要求书8页 说明书17页 附图4页

(54) 发明名称

用于高海拔地区的相变换热电气设备密封舱系统

(57) 摘要

一种用于高海拔地区的相变换热电气设备密封舱系统,由密封舱、富氧制备单元、双向气流控制单元、换热单元、控制气流单元、温度传感器和控制器组成。密封舱为保温、防水、气密、承压的舱体。双向气流控制单元安装在密封舱内底部转角处;控制气流单元分别安装在密封舱内顶部和底部;换热单元置于密封舱外,密封舱内气体通过换热器与水体或相变材料换热;富氧制备单元除富氧空气袋以外,都置于密封舱内顶部靠近边缘一侧;温度传感器分布安放在密封舱内电气设备上;控制器嵌入密封舱舱门上,接收传感器数据和设备控制。通过压缩空气、相变材料换热、膜氮氧分离装置、定向控温等技术,防尘、防火、提高换热效率,电气设备无降额工作。



1. 一种用于高海拔地区的相变换热电气设备密封舱系统,其特征在于,所述的密封舱系统由密封舱(1)、双向气流控制单元、换热单元、富氧制备单元、控制气流单元、传感器组和控制器(8)组成;

所述的密封舱(1)保温、防水、气密、承压,依据地理环境水平安装;

所述的双向气流控制单元安装在密封舱(1)内底部转角处,分别与换热单元的上进出气口(28)、下进出气口(29)和控制气流单元连接;

所述的控制气流单元分为上控气流组(17)和下控气流组(16),上控气流组(17)和下控气流组(16)分别安装在密封舱(1)内的顶部和底部;

所述的换热单元置于密封舱(1)外靠近密封舱(1)处,密封舱(1)内的气体通过换热单元的上进出气口(28)和下进出气口(29)进入浸泡在水体或相变材料(27)中的换热器(32)内循环换热,调节密封舱(1)内电气设备(18)温度;

所述的富氧制备单元除富氧空气袋(2)置于密封舱(1)外顶部以外,其余部件均置于密封舱(1)内顶部靠近边缘一侧,富氧空气袋(2)安放在密封舱(1)右侧顶部,置于高海拔环境中;

所述的传感器组分别安装在密封舱(1)内的顶部和电气设备(18)上,经通讯线路与控制器(8)连接,输出传感器数据;

所述的控制器(8)嵌入密封舱舱门(11)上,通过数据输入、输出接口分别与所有的传感器及双向气流控制单元、富氧制备单元和控制气流单元的设备连接。

2. 按照权利要求1所述的电气设备密封舱系统,其特征在于:所述的双向气流控制单元由五通贯通阀门、双向调速风机(14)、空气过滤器(13)、气体流量传感器(6)和空气除湿器(12)组成;

所述的五通贯通阀门中的第1通道与空气过滤器(13)的出口连接,空气过滤器(13)的入口位于密封舱(1)外,将进入密封舱(1)内的气体过滤;五通贯通阀门中的第2通道与换热单元的上进出气口(28)连接,换热单元的下进出气口(29)与五通贯通阀门中的第3通道连接;五通贯通阀门中的第4通道经输气管道(30)与双向调速风机(14)的一端连接;五通贯通阀门中的第5通道经输气管道(24)与控制气流单元三通阀门的第2通道连接;五通贯通阀门上还安装有贯通阀门(31),当需要经换热器(32)换热时,贯通阀门(31)关闭,在换热单元的上进出气口(28)与下进出气口(29)之间形成气压差,气流经换热单元换热;当不需要经换热器换(32)热时贯通阀门(31)打开,使五通贯通阀门中的换热单元的上进出气口(28)与下进出气口(29)贯通,形成等气压,气流停止流动,不与换热单元换热;

双向调速风机(14)的一端通过输气管道(30)与五通贯通阀门中的第4通道连接,该输气管道上安装有气体流量传感器(6);双向调速风机(14)的另一端与空气除湿器(12)的一端连接,空气除湿器(12)的另一端与下控气流组(16)的一端连接;其中,气体流量传感器(6)数据输出端经数据线与控制器(8)连接;控制器(8)通过气体流量传感器(6)监测双向调速风机(14)的气流方向及流量,并依据测温点与控温关联函数控制双向调速风机(14)排气方向和流量。

3. 按照权利要求1所述的电气设备密封舱系统,其特征在于:所述的换热单元由换热器(32)和换热水体或相变材料(27)组成;换热水体或相变材料(27)放置在保温罐体(33)内,换热器(32)浸泡在换热水体或相变材料(27)中;换热器(32)有上进出气口(28)和下进出气

口(29),上进出气口(28)与五通贯通阀门中的第2通道连接,下进出气口(29)与五通贯通阀门中的第3通道连接;密封舱(1)内的气体经换热器(32)与换热水体或相变材料(27)交换热量,调节密封舱(1)内的气体温度;

热气流换热时,热气流经换热单元的下进出气口(29)进入,经换热器(32)与换热水体或相变材料(27)交换热量,交换出的冷空气流由换热单元的上进出气口(28)排出,在密封舱(1)内形成由上至下的空气对流;

冷气流换热时,冷空气流经换热单元的上进出气口(28)进入,经换热器(32)与换热水体或相变材料(27)交换热量,交换出的热气流由换热单元的下进出气口(29)排出,在密封舱(1)内形成由下至上的空气对流,实现密封舱(1)与换热单元的热交换。

4.按照权利要求1所述的电气设备密封舱系统,其特征在于:所述的富氧制备单元由富氧空气袋(2)、膜氮氧分离装置(4)、富氧空气瓶(22)、富氧空气输出管道(7)和减压排气阀(3)组成;富氧空气袋(2)具有保温功能;富氧空气瓶(22)安装在密封舱(1)内靠近顶部一侧,富氧空气瓶(22)的两端有进气口(21)和出气口(23),进气口(21)内有气体逆止阀;膜氮氧分离装置(4)安装在密封舱(1)顶部与富氧空气袋(2)底部之间,膜氮氧分离装置(4)的上部置于富氧空气袋(2)内,膜氮氧分离装置(4)的下部与控制气流单元中三通阀门连接;膜氮氧分离装置(4)利用密封舱(1)内的压缩空气的压力与富氧空气袋(2)环境压力差,降低密封舱(1)内空气含氧量;分离出的富氧空气被压缩到富氧空气袋(2)和富氧空气瓶(22)中;

减压排气阀(3)安装在富氧空气袋(2)的上部,暴露于大气环境中,减压排气阀(3)的底部与富氧空气袋(2)内部连通,减压排气阀(3)的控制端与控制器(8)连接,接受控制器(8)控制和富氧空气袋(2)内气体压力大小控制打开或关闭;富氧空气输出管道(7)沿密封舱(1)内顶部一侧铺设,富氧空气输出管道(7)的一端与富氧空气袋(2)底部出气口(5)连接,富氧空气输出管道(7)的另一端接入密封舱(1)内顶部同侧的富氧空气瓶(22)的进气口(21),富氧空气瓶(22)的出气口(23)经富氧空气输出管道与分别安装在密封舱(1)门内的富氧排气阀门(9)和门外的富氧排气阀门(10)连接。

5.按照权利要求1所述的电气设备密封舱系统,其特征在于:所述的控制气流单元由上控气流组(17)、下控气流组(16)和三通阀组成;上控气流组(17)有进排气阀 $K_{uxy}$ ,下控气流组(16)有进排气阀 $K_{lxy}$ ;其中,三通阀内含有切换阀门 $K_{3-1}$ ;三通阀的第1通道与富氧制备单元的膜氮氧分离装置(4)连接;三通阀的第2通道与输气管道(24)的一端连接,输气管道(24)的另一端与五通贯通阀中第5通道连接;三通阀的第3通道与上控气流组(17)连接;

上控气流组(17)为树状结构,主干管道(26)与三通阀的第3通道连接;每条树状分支管道末端都装有一个进排气阀 $K_{uxy}$ ,多条树状分支管道末端的进排气阀 $K_{uxy}$ 均吊挂在密封舱(1)内顶部;其中,上控气流组(17)中的主干管道(26)上安装有气体流速传感器(6);

下控气流组(16)为树状结构,主干管道(25)与空气除湿器(12)的一端连接,空气除湿器(12)的另一端与双向调速风机(14)的一端连接,每条树状分支管道末端都装有一个进排气阀 $K_{lxy}$ ,多条树状分支管道末端的进排气阀 $K_{lxy}$ 均铺设在密封舱(1)内的底部;

所述的上控气流组(17)的进排气阀门 $K_{uxy}$ 和下控气流组(16)的进排气阀门 $K_{lxy}$ 都与控制器(8)连接,并依据密封舱(1)内每台电气设备(18)的最佳控温范围,控制上控气流组(17)中对应的进排气阀门 $K_{uxy}$ 和下控气流组(16)中对应的进排气阀门 $K_{lxy}$ 打开或关闭;

上控气流组 (17) 通过三通阀门 $K_{3-1}$ 的切换,经过五通贯通阀、换热单元、双向调速风机 (14)、空气除湿器 (12) 与下控气流组 (16) 连接;在双向调速风机 (14) 作用下,控制密封舱 (1) 内空气对流,气流经过下控气流组 (16)、密封舱 (1) 内、上控气流组 (17)、三通阀、换热单元、双向调速风机 (14) 到达空气除湿器 (12),实现气流内循环;

当上控气流组 (17) 通过三通阀门 $K_{3-1}$ 的切换与富氧制备单元的膜氮氧分离装置 (4) 连接时,在双向调速风机 (14) 排气作用下,密封舱 (1) 外的空气经过双向气流控制单元的空气过滤器 (13)、五通贯通阀、换热单元、双向调速风机 (14)、空气除湿器 (12)、下控气流组 (16)、密封舱 (1) 内换热,然后经过上控气流组 (17)、三通阀门 $K_{3-1}$ 、富氧制备单元的膜氮氧分离装置 (4)、富氧空气袋 (2) 和富氧空气瓶 (22),经减压排气阀 (3) 排出,实现气流外循环;

如此,在密封舱 (1) 内有气流内循环和气流外循环两种工作模式,两种工作模式通过三通阀门 $K_{3-1}$ 的切换实现。

6. 按照权利要求5所述的电气设备密封舱系统,其特征在于:当执行气流内循环工作模式时,控制器 (8) 控制三通阀门 $K_{3-1}$ 的切换,断开上控气流组 (17) 与膜氮氧分离装置 (4) 的气流通路、关闭双向气流控制单元的空气过滤器 (13) 输入通路,接通上控气流组 (17) 经五通贯通阀、换热单元、双向调速风机 (14)、空气除湿器 (12) 到下控气流组 (16) 的气流通路,上控气流组 (17) 中某个排气阀门 $K_{uxy}$ 和下控气流组 (16) 中某个排气阀门 $K_{lxy}$ 打开时,气流在双向调速风机 (14) 的作用下加速对对应区域的气体扰动,实现对该区域内电气设备 (18) 的温度调节;

此时空气对流通路为:三通阀门 $K_{3-1}$ →五通贯通阀→换热单元→双向调速风机 (14) 排气→空气除湿器 (12)→下控气流组 (16)→密封舱 (1) 内→上控气流组 (17)→三通阀门 $K_{3-1}$ ,箭头所示为空气流动方向。

7. 按照权利要求5所述的电气设备密封舱系统,其特征在于:当执行气流外循环工作模式时,控制器 (8) 控制三通阀门 $K_{3-1}$ 的切换,接通上控气流组 (17) 与膜氮氧分离装置 (4) 气流通路,断开上控气流组 (17) 与五通贯通阀的气流通路;同时打开空气过滤器 (13),建立五通贯通阀与密封舱 (1) 外空气输入通路;此时密封舱 (1) 外的气体经空气过滤器 (13) 过滤、五通贯通阀、双向调速风机 (14) 排气、空气除湿器 (12)、下控气流组 (16) 通入密封舱 (1) 内,再由上控气流组 (17)、三通阀门到膜氮氧分离装置 (4),排出富氧气体;

当上控气流组 (17) 所有的进排气阀门 $K_{uxy}$ 和下控气流组 (16) 所有的进排气阀门 $K_{lxy}$ 打开时,在双向调速风机 (14) 排气的帮助下,密封舱 (1) 外的空气快速通入密封舱 (1) 内,并在控制器 (8) 的控制下,使密封舱 (1) 内的压力保持在 $\alpha P_{N0} \sim 100 KPa$ 范围内, $\alpha$ 为空气密度比值系数, $P_{N0}$ 为密封舱 (1) 所处环境的大气压力,氮气含量 $N_2 \geq 86\%$ ,同时在富氧空气袋 (2) 和富氧空气瓶 (22) 获得富氧空气;

空气对流通路为:密封舱 (1) 外的空气→五通贯通阀→双向调速风机 (14) 排气引风→空气过滤器 (13)→空气除湿器 (12)→下控气流组 (16)→密封舱 (1) 内→上控气流组 (17)→三通阀→膜氮氧分离装置 (4)→富氧空气袋 (2) 和富氧空气瓶 (22)→减压排气阀 (3),箭头所示为空气流动方向。

8. 按照权利要求1所述的电气设备密封舱系统,其特征在于:所述的传感器组包括温度传感器、气压差传感器 (19) 和氮气传感器 (20);

温度传感器依据密封舱 (1) 内电气设备 (18) 的属性和摆放位置,安装在每台电气设备

(18)的关键换热监控点上,每个温度传感器的数据输出端通过数据线与控制器(8)连接;气压差传感器(19)和氮气传感器(20)安装于密封舱(1)顶部的中心位置,气压差传感器(19)的数据输出端和氮气传感器(20)的数据输出端通过通讯线与控制器(8)连接,监测密封舱(1)内、外气压差的变化和湿度H%、氮气的含量N<sub>2</sub>%;氮气传感器(20)中包含湿度传感器。

9.按照权利要求1所述的电气设备密封舱系统,其特征在于:所述的控制器(8)由CPU组成;控制器(8)的输入接口通过数据线与温度传感器、气压差传感器(19)和氮气传感器(20)的输出接口连接;控制器(8)的输出接口通过控制线与控制气流单元中每个排气阀门K<sub>xy</sub>、减压排气阀(3)、双向调速风机(14)、五通贯通阀、三通阀、空气除湿器(12)连接。

10.按照权利要求1所述的电气设备密封舱系统,其特征在于:所述的控制器(8)对所述电气设备密封舱系统的控制过程如下:

#### 1) 建立测温点与控温关联函数

依据密封舱(1)内电气设备(18)的摆放位置、换热监测点位置坐标、密封舱(1)内压力与富氧空气袋(2)内压力之差P<sub>dff</sub>、气流流速FR、湿度H%,建立测温点与控温关联函数f(W<sub>xyz</sub>,K<sub>uxz</sub>,K<sub>lxz</sub>,P<sub>dff</sub>,FR,H%);

#### 2) 气流外循环工作模式下控制方法

##### ①密封舱舱门(11)处于打开状态时

控制器(8)检测到P<sub>N0</sub>=P<sub>Ni</sub>时,控制减压排气阀(3)排空富氧空气袋(2)内的气体;

##### ②密封舱舱门(11)处于关闭状态时

当控制器(8)监测到密封舱舱门(11)关闭,控制空气过滤器(13)打开,控制器(8)执行气流外循环工作模式;由于P<sub>0i</sub><P<sub>Ni</sub>,密封舱(1)内空气通过膜氮氧分离装置(4)实现氮氧分离,氮气保留在密封舱(1)内,富氧空气被压缩到富氧空气袋(2)中;

##### ③气流外循环和内循环工作模式转换

当控制器(8)监测到密封舱(1)内N<sub>2</sub>>86%,并且 $\alpha P_{N0} \leq P_{Ni} \leq 100\text{KPa}$ 时,富氧空气袋(2)内压力P<sub>B</sub>>P<sub>0i</sub>≤P<sub>Ni</sub>,此时控制器(8)执行气流内循环工作模式,为电气设备(18)换热;

#### 3) 气流内循环工作模式下的控制方法

##### ①电气设备(18)定向换热

气流内循环工作模式下对电气设备(18)的吸热模式和放热模式如下:

##### ➤吸热模式

控制器(8)监测到某一测温点的温度W<sub>xyz</sub>≥δ<sub>u</sub>W<sub>su</sub>时,依据测温点与控温关联函数f(W<sub>xyz</sub>,K<sub>uxz</sub>,K<sub>lxz</sub>,P<sub>dff</sub>,FR,H%),控制气流单元打开电气设备(18)测温点对应的进排气阀门,气体经换热单元换热后在压力作用下,气流在温度W<sub>xyz</sub>测温点所在的电气设备(18)上产生由上至下定向对流空气,实现对温度W<sub>xyz</sub>的测温点所在电气设备(18)的定向吸热;

##### ➤放热模式

控制器(8)监测到某一测温点温度W<sub>xyz</sub>≤δ<sub>l</sub>W<sub>sl</sub>时,依据测温点与控温关联函数f(W<sub>xyz</sub>,K<sub>uxz</sub>,K<sub>lxz</sub>,P<sub>dff</sub>,FR,H%),打开气流单元对应的进排气阀门,气体经换热单元换热后,在压力作用下,在温度W<sub>xyz</sub>测温点所在的电气设备(18)上产生由下至上定向的对流空气,对温度W<sub>xyz</sub>测温点所在的电气设备(18)定向供热;

##### ②气流内循环和外循环工作模式转换

当密封舱(1)内压力 $\alpha P_{N0} \leq P_{Ni} \leq 100\text{KPa}$ 、P<sub>0i</sub><P<sub>Ni</sub>时,由气流内循环工作模式转换为气流

外循环工作模式；

当密封舱(1)内压力 $P_{Ni} < \alpha P_{N0}$ 时,减压排气阀(3)排气,使 $P_{Ni} > \lambda P_{0i}$ ,确保气流外循环工作模式执行；

所述的定向换热是通过控制气流的路径和方向,约束气流只在被换热的电气设备上流过,对电气设备定位换热；

$f(W_{xyz}, K_{uxz}, K_{lxz}, P_{dff}, FR, H\%)$ 为测温点与控温关联函数； $H\%$ 为密封舱(1)内的湿度； $FR$ 为控制气流单元气流流速； $W_{xyz}$ 为某个测温点的温度传感器测得的温度, $x, y, z$ 分别代表上、下控气流组和温度传感器的位置坐标, $(x, y, z) \geq 1, x, y, z$ 为整数； $K_{uxy}$ 为上控气流组(17)中的进排气阀门； $K_{lxy}$ 为下控气流组(16)中的进排气阀门； $P_{dff}$ 为密封舱(1)内压力与富氧空气袋(2)内压力之差； $W_{S1}$ 为电气设备(18)工作温度下限； $W_{SU}$ 为电气设备(18)工作温度上限； $\delta_u$ 为换热上限系数, $0 < \delta_u \leq 1$ ； $\delta_l$ 为换热下限系数 $0 < \delta_l \leq 1$ ； $N_2$ 为氮气； $\alpha$ 为空气密度比值系数； $P_{Ni}$ 为密封舱(1)内的压力； $P_{Nmax}$ 为密封舱(1)内的压力上限值； $P_{0i}$ 为富氧空气袋(2)内部压力； $P_{0x}$ 为富氧空气瓶(22)内压力； $P_{\beta}$ 为减压排气阀(3)的限压阈值； $P_{N0}$ 为密封舱(1)所处环境的大气压力。

11.按照权利要求10所述的电气设备密封舱系统,其特征在于:建立测温点与控温关联函数的方法如下:

依据密封舱(1)内电气设备(18)的摆放位置及电气设备(18)换热监测点位置坐标安装温度传感器,建立温度传感器测量的每个测温点与上控气流组(17)的进排气阀门 $K_{uxy}$ 和下控气流组(16)的进排气阀门 $K_{lxy}$ 的关联关系,通过对密封舱内(1)压力 $P_{Ni}$ 与富氧空气袋(2)内压力 $P_{0i}$ 的差 $P_{dff} = P_{Ni} - P_{0i}$ 、气流流速 $FR$ 、湿度 $H\%$ 、对电气设备(18)换热监测点的气体换热仿真,得到测温点与控温关联函数 $f(W_{xyz}, K_{uxz}, K_{lxz}, P_{dff}, FR, H\%)$ ；控制器(8)实时监测温度传感器、氮气传感器(20)、气体流速传感器(6)、空气湿度、气压传感器(19)的数据,并依据密封舱(1)内的氮气含量 $N_2$ 百分比、压力 $P_{Ni}$ 、气体流速 $FR$ 、每个测温点检测的温度 $W_{xyz}$ 和富氧空气袋(2)内的压力 $P_{0i}$ ,制定对应的控制策略；

其中, $f(W_{xyz}, K_{uxz}, K_{lxz}, P_{dff}, FR, H\%)$ 为测温点与控温关联函数； $H\%$ 为密封舱(1)内湿度； $FR$ 为控制气流单元气流流速； $W_{xyz}$ 为某个测温点的温度传感器测得的温度, $x, y, z$ 分别代表上控气流组(17)、下控气流组(16)和温度传感器的位置坐标, $(x, y, z) \geq 1, x, y, z$ 为整数； $K_{uxy}$ 为上控气流组(17)的进排气阀门； $K_{lxy}$ 为下控气流组(16)的进排气阀门； $P_{dff}$ 为密封舱(1)内压力与富氧空气袋(2)内压力之差。

12.按照权利要求10所述的电气设备密封舱系统,其特征在于:气流外循环工作模式下的控制过程如下:

控制器(8)控制三通阀中的切换阀门 $K_{3-1}$ ,接通上控气流组(17)与膜氮氧分离装置(4)气流通路,断开上控气流组(17)经三通阀、双向调速风机(14)、空气除湿器(12)与下控气流组(16)的气流通路,此时由于五通贯通阀门(31)处于打开状态,将换热单元的上进排气口(28)和下进排气口(29)贯通,使得上进排气口(28)和下进排气口(29)之间的气体压力相等,气体无法进入换热单元的换热器(32)内；控制器(8)通过氮气传感器(20)、气压差传感器(19)和温度传感器,实时监测分析密封舱(1)内的压力 $P_{Ni}$ 、富氧空气袋(2)内的压力 $P_{0i}$ 、平均温度 $W_{avg}$ 和密封舱(1)内的空气中氮气含量 $N_2\%$ ；

气流外循环工作模式下气流循环通路为:

密封舱(1)外空气→空气过滤器(13)→五通贯通阀→双向调速风机(14)调速向下排气→空气除湿器(12)→下控气流组(16)→密封舱(1)内→上控气流组(17)→三通阀→膜氮氧分离装置(4)→富氧空气袋(2)和富氧空气瓶(22)→减压排气阀(3),箭头所示为气流流动方向;

具体如下:

1) 密封舱舱门(11)处于开放状态时

控制器(8)通过气压差传感器(19)检测到密封舱(1)内外压力相等,即 $P_{N0}=P_{Ni}$ ,此时控制器(8)控制减压排气阀(3)打开,将富氧制备单元的富氧空气袋(2)的气体排空;此时由于富氧空气瓶(22)气体逆止阀(21)的作用,富氧空气瓶(22)内的压力 $P_{OX}$ 保持与富氧空气袋(2)气体最大压力 $P_{O_{i\_max}}$ 时刻的压力相等,即 $P_{OX}=P_{O_{i\_max}}$ ,为工作人员供氧;

2) 密封舱舱门(11)处于关闭状态时

当控制器(8)监测到密封舱舱门(11)关闭时,控制器(8)控制双向调速风机(14)排气,密封舱(1)外的气体经空气过滤器(13)过滤和空气除湿器(12)除湿,向密封舱(1)内通入空气,提高密封舱(1)内的空气密度,降低氧气含量;由于富氧制备单元的富氧空气袋(2)气体压力 $P_{O_i}$ 为该环境的大气压力 $P_{N0}$ ,即 $P_{O_i}=P_{N0}$ ,密封舱(1)内压入气压力 $P_{Ni}$ 大于富氧空气袋(2)气体压力 $P_{O_i}$ ,即 $P_{O_i}<P_{Ni}$ ,密封舱(1)内压入的空气,通过富氧制备单元的膜氮氧分离装置(4),将氮气隔离保留在密封舱(1)内,富氧空气被压缩到富氧空气袋(2)中;

3) 气流外循环和气流内循环工作模式转换

当控制器(8)监测到密封舱(1)内压力 $\alpha P_{N0} \leq P_{Ni} \leq 100\text{KPa}$ 和氮气含量 $N_2 \geq 86\%$ 时,此时富氧空气袋(2)和富氧空气瓶(22)内的氧气含量增加为 $O_2 \geq 29\%$ ,富氧空气袋(2)内压力 $P_{O_i}$ 分别小于等于密封舱(1)内的压力 $P_{Ni}$ 和减压排气阀(3)的限压阈值 $P_{\beta}$ ,即 $P_{\beta} > P_{O_i} \leq P_{Ni}$ ;此时,控制气流外循环工作模式转换到气流内循环工作模式,并将五通贯通阀中的贯通阀(31)关闭,密封舱(1)内的气体经换热单元换热;

富氧空气袋(2)气体压力 $P_{O_i}$ 大于富氧空气瓶(22)内的压力 $P_{OX}$ 时,即 $P_{O_i} > P_{OX}$ ,富氧空气自动压缩到富氧空气瓶(22)中,保持富氧空气瓶(22)的气体压力 $\alpha P_{N0} \leq P_{OX} \leq 100\text{KPa}$ ;

其中, $N_2$ 为氮气; $O_2$ 为氧气; $P_{O_i}$ 为富氧空气袋(2)内部的压力; $P_{Ni}$ 为密封舱(1)内的压力; $P_{\beta}$ 为减压排气阀(3)的限压阈值; $\alpha$ 为空气密度比值系数; $W_{avg}$ 为温度传感器检测到的平均温度; $P_{OX}$ 为富氧空气瓶(22)内压力; $W_{SU}$ 为电气设备(18)工作温度上限; $P_{O_{i\_max}}$ 为富氧空气袋(2)气体最大压力; $P_{N0}$ 为密封舱(1)所处环境的大气压力。

13. 按照权利要求10所述的电气设备密封舱系统,其特征在于:气流内循环工作模式下的控制过程如下:

控制器(8)控制三通阀切换,断开上控气流组(17)与膜氮氧分离装置(4)的气流通路,接通上控气流组(17)经三通阀、五通贯通阀、双向调速风机(14)、空气除湿器(12)与下控气流组(16)的气流通路;关闭空气过滤器(13)进气通道和五通贯通阀中的贯通阀(31),使密封舱(1)内的气体经换热单元换热;控制器(8)通过氮气传感器(20)、气压差传感器(19)和温度传感器,实时监测分析密封舱(1)内的压力 $P_{Ni}$ 、富氧空气袋(2)内的压力 $P_{O_i}$ 、平均温度 $W_{avg}$ 和密封舱(1)内的空气中氮气含量 $N_2\%$ ;

气流内循环工作模式下对电气设备(18)的吸热模式和放热模式的控制过程具体如下:

1) 当执行电气设备(18)吸热模式时,控制器(8)监测到某一测温点的温度 $W_{xyz}$ 大于等于

电气设备(18)工作温度的上限值 $W_{SU}$ 与换热上限系数 $\delta_u$ 的乘积,即 $W_{xyz} \geq \delta_u W_{SU}$ 时,控制器(8)依据电气设备(18)工作温度的上限值 $W_{SU}$ 、测温点与控温关联函数 $f(W_{xyz}, K_{uxz}, K_{lxz}, P_{dff}, FR, H\%)$ ,控制双向调速风机(14)向上调速排气,打开上控气流组(17)中与测温点所在电气设备(18)对应的一个或多个进排气阀 $K_{uxz}$ ,将气体排出,打开下控气流组(16)中与测温点所在电气设备(18)对应的一个或多个进排气阀 $K_{lxz}$ ,将气体吸入;经空气除湿器(12)除湿、换热单元将气体换热,此时,在温度 $W_{xyz}$ 测温点所在的电气设备(18)周围产生由上至下的定向对流空气,加速该区域气体扰动散热,降低该电气设备(18)的温度;

气流循环路径为:双向调速风机(14)向上排气→五通贯通阀→换热单元→三通阀→上控气流组(17)→密封舱(1)内吸热→下控气流组(16)→空气除湿器(12)→双向调速风机(14),箭头所示为气流流动方向;

2)当执行电气设备(18)放热时,控制器(8)监测到某一测温点的温度 $W_{xyz}$ 小于等于电气设备(18)工作温度的下限值 $W_{S1}$ 与换热下限系数 $\delta_l$ 的乘积,即 $W_{xyz} \leq \delta_l W_{S1}$ 时,控制器(8)依据电气设备(18)工作温度的下限值 $W_{S1}$ 、测温点与控温关联函数 $f(W_{xyz}, K_{uxz}, K_{lxz}, P_{dff}, FR, H\%)$ ,控制双向调速风机(14)调速向下排气,将换热单元内的换热器(32)气体经空气除湿器(12)除湿,打开下控气流组(16)中与测温点所在电气设备(18)对应的一个或多个进排气阀 $K_{lxz}$ ,将气体排出,打开上控气流组(17)中与测温点所在电气设备(18)对应的一个或多个进排气阀 $K_{uxz}$ ,将气体吸入;此时,在温度 $W_{xyz}$ 测温点所在的电气设备(18)周围产生由下至上的定向对流空气,加速该区域气体扰动放热,提高了该电气设备(18)的温度;

气流循环路径为:双向调速风机(14)调速向下排气→空气除湿器(12)→下控气流组(16)→密封舱(1)内放热→上控气流组(17)→三通阀→五通贯通阀→换热单元→双向调速风机(14),箭头所示为气流流动方向;

在没有其它电气设备(18)遮档的条件下,对温度 $W_{xyz}$ 测温点所在的电气设备(18)换热时,控制器(8)依次打开所述电气设备(18)上方的上控气流组(17)进排气阀 $K_{uxy}$ 及下方的下控气流组(16)的进排气阀 $K_{Lxy}$ ,顺序如下:

①打开上控气流组(17)的第一进排气阀 $K_{U43}$ 和下控气流组(16)的第一进排气阀 $K_{L31}$ ,产生通过温度 $W_{xyz}$ 测温点所在的电气设备(18)的气流 $Q_1$ ;

②打开上控气流组(17)的第二进排气阀 $K_{U42}$ 和下控气流组(16)的第二进排气阀 $K_{L32}$ ,产生通过温度 $W_{xyz}$ 测温点所在的电气设备(18)的气流 $Q_2$ ;

③打开上控气流组(17)的第三进排气阀 $K_{U41}$ 和下控气流组(16)的第三进排气阀 $K_{L33}$ ,产生通过温度 $W_{xyz}$ 测温点所在的电气设备(18)的气流 $Q_3$ ;

④打开上控气流组(17)的第四进排气阀 $K_{U33}$ 和下控气流组(16)的第四进排气阀 $K_{L41}$ ,产生通过温度 $W_{xyz}$ 测温点所在的电气设备(18)的气流 $Q_4$ ;

⑤打开上控气流组(17)的第五进排气阀 $K_{U32}$ 和下控气流组(16)的第五进排气阀 $K_{L42}$ ,产生通过温度 $W_{xyz}$ 测温点所在的电气设备(18)的气流 $Q_5$ ;

⑥打开上控气流(17)组的第六进排气阀 $K_{U31}$ 和下控气流组(16)的第六进排气阀 $K_{L43}$ ,产生通过温度 $W_{xyz}$ 的测温点所在的电气设备(18)的气流 $Q_6$ ;

### 3) 气流内循环和气流外循环工作模式转换

当控制器(8)监测到密封舱(1)内压力 $P_{Ni} < \alpha P_{N0}$ 、氮气含量 $N_2 < 86\%$ 和富氧空气袋(2)内压力 $P_{Oi}$ 大于等于密封舱(1)内压力 $P_{Ni}$ ,即 $P_{Oi} \geq P_{Ni}$ 时,控制器(8)将气流内循环工作模式转换

为气流外循环工作模式,同时控制器(8)控制富氧制备单元的减压排气阀(3)排气,使密封舱(1)气体压力 $P_{Ni}$ 大于富氧气袋(2)内的气体压力 $P_{Oi}$ 与压力控温系数 $\lambda$ 乘积,即 $P_{Ni} > \lambda P_{Oi}$ ;此时,富氧空气瓶(22)内压力 $P_{Ox}$ 等于富氧空气袋(2)内最大时刻的压力 $P_{Oi\_max}$ ,即 $P_{Ox} = P_{Oi\_max}$ ;

其中, $W_{xyz}$ 为某个测温点的温度传感器测得的温度, $x$ 、 $y$ 、 $z$ 分别代表上控气流组(17)、下控气流组(16)和温度传感器位置坐标, $(x, y, z) \geq 1$ , $x$ 、 $y$ 、 $z$ 为整数; $W_{S1}$ 为电气设备(18)工作温度下限; $W_{Su}$ 为电气设备(18)工作温度上限; $\delta_u$ 为换热上限系数, $0 < \delta_u \leq 1$ ;  $\delta_l$ 为换热下限系数 $0 < \delta_l \leq 1$ ;  $N_2$ 为氮气; $P_{Ni}$ 为密封舱1内的压力; $P_{Oi}$ 为富氧空气袋(2)的内部压力; $P_{Ox}$ 为富氧空气瓶(22)内压力; $P_{No}$ 为密封舱(1)所处环境的大气压力; $H\%$ 为密封舱(1)内的湿度; $FR$ 为控制气流单元气流流速; $P_{Oi\_max}$ 为富氧空气袋(2)气体最大压力; $\lambda$ 为压力控温系数,该压力控温系数依据温度传感器检测到的平均温度 $W_{avg}$ 、压力比值系数 $P_\lambda$ 和测温点与控温关联函数 $f(W_{xyz}, K_{uxz}, K_{lxz}, P_{dff}, H\%)$ 得到: $\lambda = W_{arg} \cdot P_\lambda \cdot f(W_{xyz}, K_{uxz}, K_{lxz}, P_{dff}, H\%)$ ;

在富氧空气袋(2)容积 $V_{Oi}$ 、富氧空气瓶(22)的容积 $V_{Ox}$ 和密封舱(1)容积 $V_{Ni}$ 一定时,密封舱(1)内的氮气含量 $N_2\%$ 取决于压力比值系数 $P_\lambda$ ,压力比值系数 $P_\lambda$ 为富氧空气袋(2)内压力 $P_{Oi}$ 与密封舱(1)内的压力 $P_{Ni}$ 之比和膜氮氧分离装置(4)的氮氧分离效率 $\eta\%$ 的乘积,即

$$P_\lambda = \frac{P_{Ni}}{P_{Oi}} \eta\%$$

压力比值系数 $P_\lambda$ 越大,密封舱(1)内产生的氮气含量越高,换热速度越快,反之密封舱(1)内产生的氮气含量越低,换热速度越慢。

## 用于高海拔地区的相变换热电气设备密封舱系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种密封舱。

### 背景技术

[0002] 众所周知,高海拔地区空气稀薄,空气密度越小,大气压降低,使得空气粘性系数增加,空气分子数减少,分子碰触减少,从而导致空气对流传热量减少。

[0003] 海拔每升高1000米,气温约下降6.5℃,大气压力降低约11KPa。5000m的高度,大气含氧量和大气压力均为平原地区的60%左右,放热系数比海平面上的值降低21%,对流传热传递的热量也下降21%,将导致产品温升的增加。

[0004] 依据巴森定律介质的绝缘强度随着气压变化成凹形曲线,即在大气环境下,海拔升高或气压越低绝缘强度越低,直流与交流电弧的飞弧距离随海拔升高或气压降低而增加。

[0005] 国家标准GB11022《高压开关设备和控制设备标准的功用技术要求》中“正常和特殊使用条件”,其中超过海拔超过1000米为特殊使用条件。国家标准GBT3859.1-2013第5.3.1.4中规定“如果在海拔超过1000米地点运行,应降额使用设备容量”,设备的降额使用会使得制造和应用成本、费用的增加。

[0006] 高海拔地区一般采用集装箱或在户内安放电气设备。集装箱的空间小,电气设备安装密度高,因此换热成为保证电气设备可靠工作的关键点之一,随着海拔的增高,空气密度进一步降低,空气压缩、换热效率大大降低,快速有效的换热显得尤为重要。又由于高海拔地区昼夜温差大,使集装箱内的空气白天膨胀排出空气,夜间收缩吸进粉尘和潮湿的空气,造成电气设备绝缘度下降,这是非常大的安全隐患,因此防尘也成为保证电气设备可靠工作的关键点之一。

[0007] 目前多采用空调或风扇散形排风形成气体对流,由于电气设备的排列方式导致气流流动受阻,不能对所有需要换热电气设备均匀有效的控温。随着电气设备摆放密度的增加,有效的换热可能性大大降低。尤其是空调控温是对箱内所有电气设备部件进行控温,而不需要控温的电气设备部件也在消耗能量,造成控温功耗的浪费。同时,空调电机长时间的机械转动导致寿命降低、粉尘污染导致绝缘度降低,火灾可能伴随发生。

[0008] 近年来新能源技术兴起促进储能技术的快速发展,大型电池储能柜是典型应用之一。然而储能电池柜的火灾、爆炸多出现于报端,除电池自身原因外,还有控温效果差、粉尘聚集降低绝缘强度、满足燃烧空气的环境等原因。而目前的几种应对措施,如集装箱式储能自动消防系统,采用传感器等检测装置检测温度、冒烟和燃烧等事故发生后才采取消防措施控制火情,多为事后被动式消防系措施,此时已造成一定的财产损失。因此亟需一种主动式消防系统来解决储能系统安全防护的问题,减少或避免火灾事故的发生。

[0009] 为降低电气设备在高海拔地区的使用的成本,防尘、防火、提高电气设备的安装密度,同时为工作人员提供必要的富氧空气,由此提出一种适用于高海拔地区电气设备密封舱系统。

## 发明内容

[0010] 本发明的目的是克服现有技术的缺点,为降低电气设备在高海拔地区的使用成本,防尘、防火、提高电气设备的安装密度,同时为工作人员提供必要的富氧空气,本发明提出一种用于高海拔地区的相变换热电气设备密封舱系统。

[0011] 高海拔地区空气稀薄,昼夜温差大,换热效率低,为快速提升密封舱空气密度、降低氧气含量和对电气设备精准高效换热,本发明采用空气压缩技术、定向控温技术、显热或潜热换热技术和膜氮氧分离技术:

[0012] 本发明基于空压机对密封舱内压入空气,使密封舱内形成正压空气环境,空气压力控制在80KPa到100KPa之间,提高密封舱内空气密度。

[0013] 本发明基于巴森定律:气体绝缘击穿电压 $U_f$ 与气体的压力 $P_a$ 和电极间隙 $d$ 的乘积的函数关系: $U_f=f(P_a*d)$ ,对于气温并非恒定的情况应为 $U_f=f(\alpha*d)$ , $\alpha$ 为气体的相对密度。通过增加一定的空气密度,提高气体绝缘击穿电压 $U_f$ 。

[0014] 本发明基于空气由高压向低压流动原理,通过改变密封舱内某一位置的上、下气压差,快速扰动该位置局部的气流,改变传统密封舱内全面换热的方法,实现局部定向换热降低换热成本。所述的定向换热是通过控制气流的路径和方向,约束气流只在被换热的电气设备上流过,对电气设备进行定向和换热。

[0015] 本发明基于显热或潜热换热技术,利用水体比热容 $4.2 \times 10^3 \text{J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ 大和相变材料变化储热的特点,采用换热器经水体或相变材料对密封舱内气体换热,保证密封舱电气设备工作在理想状态下。

[0016] 本发明基于压缩空气在富氧空气袋内气压与环境压力和密封舱压缩空气压力的关系和密封舱内外富氧空气袋之间的压力差的关系,采用膜氮氧分离技术将氮气和氧气分离。氧气的分子的尺寸为 $2.8 \times 3.9$ ,相比于氮气的分子尺寸 $3.0 \times 4.1$ 小,氧气在一种高分子膜内的扩散速率大于氮气,当压缩到密封舱内的空气通过安装在密封舱内与富氧空气袋之间的高分子膜时,大部份氮气被隔绝在密封舱内,富氧的空气压缩到富氧空气袋和富氧空气瓶内。将密封舱内氮气78%与氧气21%的占比控制在氮气 $>86\%$ 、氧气 $<14\%$ 的范围内,降低密封舱内空气中氧气的含量,使之不具备燃烧条件,避免火灾发生。同时,富氧空气袋内获得的富氧空气可为人员供氧。

[0017] 本发明可保障低海拔应用的电气设备在高海拔密封舱内正常工作,同时可防火、防尘、防水。

[0018] 本发明用于高海拔地区的相变换热电气设备密封舱系统由密封舱、富氧制备单元、双向气流控制单元、换热单元、控制气流单元、传感器组 and 控制器组成。

[0019] 所述的密封舱保温、防水、气密、承压,可依据地理环境水平安装。

[0020] 所述的双向气流控制单元安装在密封舱内底部转角处,分别与换热单元的上下进出气口和控制气流单元连接。

[0021] 所述的控制气流单元分为上控气流组和下控气流组,分别安装在密封舱内的顶部和底部。

[0022] 所述的换热单元置于密封舱外靠近密封舱处,如密封舱外部下方。密封舱内的气体通过换热单元的上进出气口和下进出气口进入浸泡在水体或相变材料中的换热器内循环换热,调节密封舱内电气设备温度。

[0023] 所述的富氧制备单元除富氧空气袋置于密封舱外顶部以外,其余部件均置于密封舱内顶部靠近顶部边缘一侧,富氧空气袋安放在密封舱右侧顶部,置于高海拔环境中。

[0024] 所述传感器组分别安装在密封舱内顶部和电气设备上,经通讯线路与控制器连接,输出传感器数据。

[0025] 所述的控制器嵌入密封舱舱门上,通过数据输入、输出接口经通讯线和控制线分别与传感器及双向气流控制单元、富氧制备单元和控制气流单元的设备连接。

[0026] 所述的双向气流控制单元由五通贯通阀门、双向调速风机、空气过滤器、气体流量传感器和空气除湿器组成。

[0027] 所述的五通贯通阀门中的第1通道与空气过滤器的出口连接,空气过滤器的入口置于密封舱外,将进入密封舱内的气体过滤;五通贯通阀门中的第2通道与换热单元的上进出气口连接,换热单元的下进出气口与五通贯通阀门中的第3通道连接;五通贯通阀门中的第4通道经输气管道与双向调速风机的一端连接;五通贯通阀门中的第5通道经输气管道与控制气流单元三通阀门中的第2通道连接;五通贯通阀门上还安装有贯通阀门,当需要经换热器换热时,贯通阀门关闭,在换热单元的上进出气口与下进出气口之间形成气压差,气流经换热单元换热;当不需要经换热器换热时贯通阀门打开,使五通贯通阀门中的换热单元的上进出气口、下进出气口贯通,形成等气压,气流停止流动不与换热单元换热。

[0028] 双向调速风机的上端通过输气管道与五通贯通阀门中的第4通道连接,该输气管道上安装有气体流量传感器;双向调速风机的下端与空气除湿器的一端连接,空气除湿器的另一端与下控气流组的一端连接。其中,气体流量传感器数据输出端经数据线与控制器连接。控制器通过气体流量传感器监测双向调速风机的气流方向及流量,并依据系统的仿真函数控制双向调速风机排气方向和流量。

[0029] 所述的换热单元由换热器和换热水体或相变材料组成。换热水体或相变材料放置在保温罐体内。换热器浸泡在换热水体或相变材料中。换热器有上进出气口和下进出气口二个端口,上进出气口与五通贯通阀门中的第2通道连接,下进出气口与五通贯通阀门中的第3通道连接;通过换热器与换热水体或相变材料的交换热量,调节密封舱内气体的温度。

[0030] 热气流换热时,热气流经换热单元的下进出气口进入,经换热器与换热水体或相变材料交换热量,交换出的冷空气流由换热单元的上进出气口排出,在密封舱内形成由上至下的空气对流。

[0031] 冷气流换热时,冷空气流经换热单元的上进出气口进入,经换热器与换热水体或相变材料交换热量,交换出的热气流由换热单元的下进出气口排出,在密封舱内形成由下至上的空气对流,实现密封舱与换热单元的热交换。

[0032] 所述的富氧制备单元由富氧空气袋、膜氮氧分离装置、富氧空气瓶、富氧空气输出管道和减压排气阀组成。富氧空气袋具有保温功能,安放在密封舱右侧顶部,置于高海拔环境中。富氧空气瓶安装在密封舱内靠近顶部一侧,富氧空气瓶两端有进气口和出气口,进气口内含有气体逆止阀。膜氮氧分离装置安装在密封舱顶部与富氧空气袋底部之间,膜氮氧分离装置的上部置于富氧空气袋内,膜氮氧分离装置的下部与控制气流单元中的三通阀门连接,膜氮氧分离装置利用密封舱内的压缩空气压力与富氧空气袋环境压力差,降低密封舱内空气含氧量。分离出的富氧空气被压缩到富氧空气袋和富氧空气瓶中。

[0033] 减压排气阀安装在富氧空气袋的上部,暴露于大气环境中,减压排气阀的底部与

富氧空气袋的内部连通,减压排气阀的控制端与控制器连接,接受控制器控制和富氧空气袋内气体压力控制打开或关闭。富氧空气输出管道沿密封舱内顶部一侧铺设,富氧空气输出管道的一端与富氧空气袋底部出气口连接,富氧空气输出管道的另一端接入密封舱内顶部同侧的富氧空气瓶的进气口,富氧空气瓶的出气口经富氧空气输出管道与分别安装在密封舱舱门内外的富氧排气阀门连接。当工作人员需要富氧空气时,将呼吸面罩接头与富氧排气阀门连接即可。由于富氧空气瓶进气口内有气体逆止阀,富氧空气瓶内的气压随着富氧空气袋气压增加而增加,但不随富氧空气袋气压力下降而下降。

[0034] 所述的控制气流单元由上控气流组、下控气流组、多个进排气阀和三通阀组成。其中,三通阀内含有切换阀门 $K_{3\_1}$ 。三通阀的第1通道与富氧制备单元的膜氮氧分离装置连接;三通阀的第2通道与输气管道的一端连接;输气管道的另一端与五通贯通阀中第5通道连接,输气管道位于五通贯通阀与三通阀之间;三通阀的第3通道与上控气流组连接。

[0035] 上控气流组为树状结构,主干管道与三通阀的第3通道连接,每条树状分支管道末端都装有一个进排气阀 $K_{uxy}$ ,多条树状分支管道末端的进排气阀 $K_{uxy}$ 均吊挂在密封舱内顶部。

[0036] 下控气流组为树状结构,主干管道与除湿器的一端连接,除湿器的另一端与双向调速风机的一端连接,每条树状分支管道末端都装有一个进排气阀 $K_{lxy}$ ,多条树状分支管道末端的进排气阀 $K_{lxy}$ 均铺设安装在密封舱内底部。

[0037] 控制气流单元中所有的进排气阀门都与控制器连接,控制器依据密封舱内每台电气设备的最佳控温范围,控制对应排气阀门的开启或关闭。

[0038] 上控气流组通过三通阀的切换经五通贯通阀与三通阀之间的输气管道、五通贯通阀、换热单元、双向调速风机、除湿器与下控气流组连接。在双向调速风机的作用下,控制密封舱的气体经过下控气流组、密封舱内、上控气流组、三通阀、五通贯通阀、换热单元、双向调速风机到除湿器,实现气流内循环。

[0039] 当上控气流组通过三通阀的切换与富氧制备单元的膜氮氧分离装置连接时,在双向调速风机排气作用下,密封舱外的空气经过双向气流控制单元中的空气过滤器、五通贯通阀、双向调速风机、除湿器、下控气流组、在密封舱内换热,然后经过上控气流组、三通阀、富氧制备单元的膜氮氧分离装置、富氧空气袋和富氧空气瓶,经减压排气阀排出,实现气流外循环。

[0040] 如此,在密封舱内有气流内循环和气流外循环两种工作模式,两种工作模式通过三通阀的切换实现。

[0041] 当执行气流内循环工作模式时,控制器分别控制三通阀 $K_3$ 的切换,断开上控气流组与膜氮氧分离装置的气流通路、关闭双向气流控制单元的空气过滤器输入通路,接通上控气流组经五通贯通阀、换热单元、双向调速风机、除湿器与下控气流组的气流通路,上控气流组中一个或多个排气阀门 $K_{uxy}$ 和下控气流组中一个或多个排气阀门 $K_{lxy}$ 打开时,气流在双向调速风机作用下加速对对应区域的气体扰动,实现对该区域内的电气设备温度调节。

[0042] 此时空气对流通路为:三通阀→五通贯通阀→换热单元→双向调速风机排气→除湿器→下控气流组→密封舱内→上控气流组→三通阀。

[0043] 当执行气流外循环工作模式时,控制器分别控制三通阀 $K_3$ 的切换,接通上控气流组与膜氮氧分离装置气流通路,断开上控气流组与五通贯通阀的气流通路,同时打开空气

过滤器,建立五通贯通阀与密封舱外的空气输入通路。此时密封舱外气体经空气过滤器过滤、五通贯通阀、双向调速风机排气、除湿器、下控气流组压入密封舱内,再由上控气流组、三通阀门到膜氮氧分离装置排出富氧气体。

[0044] 当上控气流组所有的进排气阀门 $K_{uxy}$ 和下控气流组所有的进排气阀门 $K_{lxy}$ 打开时,在双向调速风机排气的作用下,密封舱外的空气快速压入密封舱内,并在控制器的控制下,分别使密封舱内的压力保持在 $\alpha P_{N0} \sim 100\text{KPa}$ 范围内, $\alpha$ 为空气密度比值系数, $P_{N0}$ 为密封舱所处环境的大气压力,氮气含量 $N_2 \geq 86\%$ ,同时富氧空气袋和富氧空气瓶中获得富氧空气。

[0045] 空气对流通路为:密封舱外的空气 $\rightarrow$ 空气过滤器 $\rightarrow$ 五通贯通阀 $\rightarrow$ 双向调速风机向下排气 $\rightarrow$ 空气除湿器 $\rightarrow$ 下控气流组 $\rightarrow$ 密封舱内 $\rightarrow$ 上控气流组 $\rightarrow$ 三通阀 $\rightarrow$ 膜氮氧分离装置 $\rightarrow$ 富氧空气袋和富氧空气瓶 $\rightarrow$ 减压排气阀。

[0046] 如此提高气体密度、降低密封舱内氧气浓度,同时富氧空气袋和富氧空气瓶中获得富氧空气。

[0047] 所述的传感器组包括温度传感器、气压差传感器和氮气传感器。温度传感器依据密封舱内电气设备的属性和摆放位置,安装在每台电气设备的关键换热监控点上,每个温度传感器的数据输出端通过数据线与控制器连接。气压差传感器和氮气传感器安装于密封舱顶部中心位置,气压差传感器的数据输出端和氮气传感器的数据输出端通过通讯线与控制器连接,监测密封舱内、外气压差的变化和湿度、氮气的含量。其中氮气传感器中包含湿度传感器。所述的控制器由CPU组成。控制器的输入接口通过数据线与所有的传感器输出口连接,控制器的输出接口通过控制线与所有的阀门、双向调速风机、五通贯通阀、三通阀、空气过滤器、空气除湿器连接。

[0048] 所述的控制器对所述电气设备密封舱系统的控制过程如下:

[0049] 1) 建立测温点与控温关联函数

[0050] 依据电气设备的摆放位置、换热监测点位置坐标、密封舱内与富氧空气袋内压力差 $P_{dff}$ 、气流流速 $FR$ 、湿度 $H\%$ 建立测温点与控温关联函数: $f(W_{xyz}, K_{uxz}, K_{lxz}, P_{dff}, FR, H\%)$ 。

[0051] 2) 气流外循环工作模式下的控制过程

[0052] ①密封舱舱门处于打开状态时

[0053] 控制器检测到 $P_{N0} = P_{Ni}$ 时,控制减压排气阀排空富氧空气袋内的气体。

[0054] ②密封舱舱门处于关闭状态时

[0055] 当控制器监测到密封舱舱门关闭,打开过滤器,执行气流外循环工作模式;由于 $P_{0i} < P_{Ni}$ ,密封舱内空气通过膜氮氧分离装置实现氮氧分离,氮气保留在密封舱内,富氧空气被压缩到富氧空气袋中。

[0056] ③气流外循环和气流内循环工作模式转换

[0057] 当控制器监测到密封舱内 $N_2 > 86\%$ 并且 $\alpha P_{N0} \leq P_{Ni} \leq 100\text{KPa}$ 时,富氧空气袋内压力 $P_B > P_{0i} \leq P_{Ni}$ ,此时控制器执行气流内循环工作模式,为电气设备换热。

[0058] 3) 气流内循环工作模式下控制过程

[0059] ①电气设备定向换热

[0060] 气流内循环工作模式下对电气设备的吸热模式和放热模式如下:

[0061] ▶ 吸热模式

[0062] 控制器监测到某一测温点温度 $W_{xyz} \geq \delta_u W_{su}$ 时,依据测温点与控温关联函数 $f(W_{xyz},$

$K_{uxz}, K_{lxz}, P_{dff}, FR, H\%$ ), 控制气流单元打开测温点所在电气设备对应的进排气阀门, 气体经换热单元换热后, 在压力的作用下, 气流在温度 $W_{xyz}$ 测温点所在的电气设备上产生由上至下定向对流空气, 实现对温度 $W_{xyz}$ 测温点所在电气设备的定位吸热。

[0063] ▶放热模式

[0064] 控制器监测到某一测温点温度 $W_{xyz} \leq \delta_1 W_{s1}$ 时, 依据测温点与控温关联函数 $f(W_{xyz}, K_{uxz}, K_{lxz}, P_{dff}, FR, H\%)$ , 控制气流单元打开测温点所在电气设备对应的进排气阀门, 气体经换热单元换热后在压力的作用下, 在温度 $W_{xyz}$ 测温点的电气设备上产生由下至上定向的对流空气, 实现对温度 $W_{xyz}$ 测温点的定向放热。

[0065] ②气流内循环和气流外循环工作模式转换

[0066] 当密封舱内压力 $\alpha P_{N0} \leq P_{Ni} \leq 100KPa, P_{Oi} < P_{Ni}$ 时, 由气流内循环工作模式转换为执行气流外循环工作模式。

[0067] 当密封舱内压力 $P_{Ni} < \alpha P_{N0}$ 时, 减压排气阀排气, 使 $P_{Ni} > \lambda P_{Oi}$ , 确保气流外循环工作模式高效的执行。

[0068] 所述的定向换热是通过控制气流的路径和方向, 约束气流只在被换热的电气设备上流过, 对电气设备定向换热。

[0069] 其中,  $f(W_{xyz}, K_{uxz}, K_{lxz}, P_{dff}, FR, H\%)$ 为测温点与控温关联函数;  $H\%$ 为密封舱内的湿度;  $FR$ 为控制气流单元气流流速;  $\delta_u$ 为换热上限系数,  $0 < \delta_u \leq 1$ ;  $\delta_l$ 为换热下限系数 $0 < \delta_l \leq 1$ ;  $W_{xyz}$ 为某个测温点的温度传感器测得的温度,  $x, y, z$ 分别代表上、下控气流组和温度传感器的位置坐标,  $(x, y, z) \geq 1, x, y, z$ 为整数;  $K_{uxy}$ 为上控气流组的进排气阀门;  $K_{lxy}$ 为下控气流组的进排气阀门;  $\alpha$ 为空气密度比值系数;  $P_{dff}$ 为密封舱内与富氧空气袋内压力差;  $W_{s1}$ 为电气设备工作温度下限;  $W_{su}$ 为电气设备工作温度上限;  $P_{Ni}$ 为密封舱内的压力;  $P_{Nmax}$ 为密封舱内的压力上限值;  $P_\beta$ 为减压排气阀的限压阈值;  $P_{Oi}$ 为富氧空气袋内部压力;  $P_{Ox}$ 为富氧空气瓶内压力;  $P_{N0}$ 为密封舱所处环境的大气压力。

[0070] 控制器对本发明密封舱系统的控制过程具体如下:

[0071] 1、建立测温点与控温关联函数

[0072] 依据密封舱内电气设备的摆放位置及电气设备换热监测点位置坐标安装温度传感器。建立每个测温点与上控气流组的进排气阀门 $K_{uxy}$ 和下控气流组的进排气阀门 $K_{lxy}$ 的关联关系, 通过对密封舱内压力 $P_{Ni}$ 与富氧空气袋内压力 $P_{Oi}$ 的差 $P_{dff} = P_{Ni} - P_{Oi}$ , 以及气流流速 $FR$ 、湿度 $H\%$ 对电气设备换热监测点的气体换热仿真, 得到测温点与控温关联函数 $f(W_{xyz}, K_{uxz}, K_{lxz}, P_{dff}, FR, H\%)$ 。

[0073] 控制器实时监测所有的传感器数据, 并依据密封舱内的氮气含量 $N_2$ 百分比、压力传感器 $P_{Ni}$ 、气体流速传感器 $FR$ 、每个温度传感器测温点温度 $W_{xyz}$ 和富氧气袋内的压力 $P_{Oi}$ , 制定对应的控制策略。

[0074] 其中,  $f(W_{xyz}, K_{uxz}, K_{lxz}, P_{dff}, FR, H\%)$ 为测温点与控温关联函数;  $H\%$ 为密封舱内的湿度;  $FR$ 为控制气流单元气流流速;  $W_{xyz}$ 为某个测温点的温度传感器测得的温度,  $x, y, z$ 分别代表上控气流组、下控气流组和温度传感器位置坐标,  $(x, y, z) \geq 1, x, y, z$ 为整数;  $K_{uxy}$ 为上控气流组的进排气阀门;  $K_{lxy}$ 为下控气流组的进排气阀门;  $P_{dff}$ 为密封舱内与富氧空气袋内压力差。

[0075] 2、气流外循环工作模式下的控制过程

[0076] 控制器控制三通阀中的切换阀门,接通上控气流组与膜氮氧分离装置的气流通路,断开上控气流组经三通阀、双向调速风机、空气除湿器与下控气流组的气流通路,此时由于五通贯通阀门处于打开状态,换热单元的上进排气口和下进排气口贯通,使得上进排气口和下进排气口之间的气体压力相等,气体无法进入换热单元的换热器中。控制器通过氮气传感器、气压差传感器和温度传感器,实时监测分析密封舱内的气体压力 $P_{Ni}$ 、富氧空气袋内的气体压力 $P_{Oi}$ 、平均温度 $W_{avg}$ 、和密封舱内的空气中氮气含量 $N_2\%$ 。

[0077] 气流外循环工作模式下气流循环通路为:密封舱外空气→空气过滤器→五通贯通阀→双向调速风机调速排气→空气除湿器→下控气流组→密封舱内→上控气流组→三通阀→膜氮氧分离装置→富氧空气袋和富氧空气瓶→减压排气阀,箭头所示为气流流动方向。

[0078] 具体如下:

[0079] 1) 密封舱舱门处于开放状态时

[0080] 控制器通过气压差传感器检测到密封舱内外压力相等,即 $P_{N0}=P_{Ni}$ ,此时控制器控制减压排气阀打开,将富氧制备单元的富氧空气袋的气体排空。此时由于富氧空气瓶气体逆止阀的作用,富氧空气瓶内的压力 $P_{OX}$ 保持与富氧空气袋气体最大压力 $P_{Oi\_max}$ 时刻的压力相等,即 $P_{OX}=P_{Oi\_max}$ ,提供工作人员供氧。

[0081] 2) 密封舱舱门处于关闭状态时

[0082] 当控制器监测到密封舱舱门关闭,控制器控制双向调速风机排气,密封舱外的气体经过空气滤器过滤和空气除湿器除湿,向密封舱内压入空气,提高密封舱内的空气密度,降低密封舱内氧气含量。由于富氧制备单元的富氧空气袋气体压力 $P_{Oi}$ 为该环境的大气压力 $P_{N0}$ ,即 $P_{Oi}=P_{N0}$ ,密封舱内通入气体的压力 $P_{Ni}$ 大于富氧空气袋气体压力 $P_{Oi}$ ,即 $P_{Oi}<P_{Ni}$ ,密封舱内通入的空气通过富氧制备单元的膜氮氧分离装置,将氮气隔离保留在密封舱内,富氧空气被压缩到富氧空气袋中。

[0083] 3) 气流外循环和气流内循环工作模式转换

[0084] 当控制器监测到密封舱内压力 $\alpha P_{N0}\leq P_{Ni}\leq 100\text{KPa}$ 和氮气含量 $N_2\geq 86\%$ 时,此时富氧空气袋和富氧空气瓶内的空气中氧气含量增加为 $O_2\geq 29\%$ ,富氧空气袋内的气体压力 $P_{Oi}$ 分别小于等于密封舱内的气体压力 $P_{Ni}$ 和减压排气阀限压阈值 $P_\beta$ ,即 $P_\beta>P_{Oi}\leq P_{Ni}$ 。此时,控制气流外循环工作模式转换到气流内循环工作模式,并将五通贯通阀中的贯通阀关闭,密封舱内的气体经换热单元换热。

[0085] 富氧空气袋气体压力 $P_{Oi}$ 大于富氧空气瓶内的压力 $P_{OX}$ 时,即 $P_{Oi}>P_{OX}$ ,富氧空气自动压缩到富氧空气瓶中,保持富氧空气瓶的气体压力 $\alpha P_{N0}\leq P_{OX}\leq 100\text{KPa}$ 。

[0086] 其中, $N_2$ 为氮气; $O_2$ 为氧气; $P_{Oi}$ 为富氧空气袋的内部压力; $P_{Ni}$ 为密封舱内的压力; $\alpha$ 为空气密度比值系数; $P_\beta$ 为减压排气阀限压阈值; $W_{avg}$ 为测温点的温度传感器检测到的平均温度; $P_{OX}$ 为富氧空气瓶内压力; $P_{N0}$ 为密封舱所处环境的大气压力; $W_{SU}$ 为电气设备工作上限温度; $P_{Oi\_max}$ 为富氧空气袋气体最大压力。

[0087] 由此提高密封舱内气体密度和降低密封舱内氧气含量,同时富氧空气袋和富氧空气瓶内均获得富氧空气。

[0088] 3、气流内循环工作模式下的控制过程

[0089] 控制器控制三通阀切换,断开上控气流组与膜氮氧分离装置的气流通路,接通上

控气流组经三通阀、五通贯通阀、双向调速风机、空气除湿器与下控气流组的气流通路,关闭过滤器进气通道和五通贯通阀中的贯通阀,使密封舱内的气体经换热单元中的换热器换热。控制器通过氮气传感器、气压差传感器和温度传感器,实时监测分析密封舱内的压力 $P_{Ni}$ 、富氧空气袋内的压力 $P_{Oi}$ 、平均温度 $W_{avg}$ 和密封舱内的空气中氮气含量 $N_2\%$ 。

[0090] 气流内循环工作模式下,对电气设备有吸热和放热两种工作模式:

[0091] 1) 当执行电气设备吸热工作模式时,控制器监测到某一测温点的温度 $W_{xyz}$ 大于等于电气设备工作温度的上限值 $W_{Su}$ 与换热上限系数 $\delta_u$ 的乘积,即 $W_{xyz} \geq \delta_u W_{Su}$ 时,控制器依据电气设备工作温度的上限值 $W_{Su}$ 、测温点与控温关联函数 $f(W_{xyz}, K_{uxz}, K_{lxz}, P_{dff}, FR, H\%)$ ,控制器控制双向调速风机调速向上排气,打开上控气流组中与测温点所在电气设备对应的一个或多个进排气阀,将气体排出,打开下控气流组中与测温点所在电气设备对应的一个或多个进排气阀,将气体吸入,经空气除湿器除湿、换热单元将气体换热。此时,在温度 $W_{xyz}$ 测温点的电气设备周围产生由上至下的定向换热对流空气,加速该区域气体扰动散热,降低该电气设备的温度。

[0092] 气流循环路径为:双向调速风机向上排气→五通贯通阀→换热单元→三通阀→上控气流组→密封舱内吸热→下控气流组→空气除湿器→双向调速风机,箭头所示为气流流动方向。

[0093] 2) 当执行电气设备放热工作模式时,控制器监测到某一测温点的温度 $W_{xyz}$ 小于等于电气设备工作温度的下限值 $W_{Sl}$ 与换热下限系数 $\delta_l$ 的乘积,即 $W_{xyz} \leq \delta_l W_{Sl}$ 时,控制器依据电气设备工作温度的下限值 $W_{Sl}$ 、测温点与控温关联函数 $f(W_{xyz}, K_{uxz}, K_{lxz}, P_{dff}, FR, H\%)$ 和空气热对流原理,通过控制双向调速风机调速向下排气,将换热单元内的换热气体经空气除湿器除湿,打开下控气流组中与测温点所在电气设备对应的一个或多个进排气阀,将气体排出,打开上控气流组中与测温点所在电气设备对应的一个或多个进排气阀,将气体吸入,此时,在温度 $W_{xyz}$ 测温点所在的电气设备周围产生由下至上的定向换热对流空气,加速该区域气体扰动放热,提高了该电气设备的温度。

[0094] 气流循环路径为:双向调速风机调速向下排气→空气除湿器→下控气流组→密封舱内放热→上控气流组→三通阀→五通贯通阀→换热单元→双向调速风机,箭头所示为气流流动方向。

[0095] 具体如:在没有其它电气设备遮挡的情况下,对温度 $W_{xyz}$ 测温点所在的电气设备换热时,控制器依次打开所述电气设备上方的上控气流组进排气阀 $K_{uxy}$ 及下方的下控气流组进排气阀 $K_{lxy}$ ,顺序如下:

[0096] ①打开上控气流组的第一进排气阀 $K_{U43}$ 和下控气流组的第一进排气阀 $K_{L31}$ ,产生通过温度 $W_{xyz}$ 测温点所在的电气设备的气流 $Q_1$ ;

[0097] ②打开上控气流组的第二进排气阀 $K_{U42}$ 和下控气流组的第二进排气阀 $K_{L32}$ ,产生通过温度 $W_{xyz}$ 测温点所在的电气设备的气流 $Q_2$ ;

[0098] ③打开上控气流组的第三进排气阀 $K_{U41}$ 和下控气流组的第三进排气阀 $K_{L33}$ ,产生通过温度 $W_{xyz}$ 测温点所在的电气设备的气流 $Q_3$ ;

[0099] ④打开上控气流组的第四进排气阀 $K_{U33}$ 和下控气流组的第四进排气阀 $K_{L41}$ ,产生通过温度 $W_{xyz}$ 测温点所在的电气设备的气流 $Q_4$ ;

[0100] ⑤打开上控气流组的第五进排气阀 $K_{U32}$ 和下控气流组的第五进排气阀 $K_{L42}$ ,产生通

过温度 $W_{xyz}$ 测温点所在的电气设备的气流 $Q_5$ ;

[0101] ⑥打开上控气流组的第六进排气阀 $K_{U31}$ 和下控气流组的第六进排气阀 $K_{L43}$ ,产生通过温度 $W_{xyz}$ 测温点所在的电气设备的气流 $Q_6$ 。

[0102] 3) 气流内循环和气流外循环工作模式转换

[0103] 当控制器监测到密封舱内压力 $P_{Ni} < \alpha P_{N0}$ 、氮气含量 $N_2 < 86\%$ 和富氧空气袋内压力 $P_{Oi}$ 大于等于密封舱内压力 $P_{Ni}$ ,即 $P_{Oi} \geq P_{Ni}$ 时,控制器将气流内循环工作模式转换到气流外循环工作模式,同时控制器控制富氧制备单元的减压排气阀排气,使密封舱气体压力 $P_{Ni}$ 大于富氧气袋内的气体压力 $P_{Oi}$ 与压力控温系数 $\lambda$ 乘积,即 $P_{Ni} > \lambda P_{Oi}$ 。此时,富氧空气瓶内压力 $P_{Ox}$ 等于富氧空气袋内最大时刻的压力 $P_{Oi\_max}$ ,即 $P_{Ox} = P_{Oi\_max}$ 。

[0104] 如此可确保气流外循环工作模式高效的执行,同步提高密封舱气体的压力增加气体密度,降低氧气含量,保证精准控温。

[0105] 其中, $W_{xyz}$ 为测温点的温度传感器测得的温度, $x$ 、 $y$ 、 $z$ 分别代表上控气流组、下控气流组和温度传感器的位置坐标, $(x, y, z) \geq 1$ , $x$ 、 $y$ 、 $z$ 为整数; $W_{S1}$ 为电气设备工作温度下限; $W_{Su}$ 为电气设备工作温度上限; $N_2$ 为氮气; $P_{Ni}$ 为密封舱内的压力; $P_{Oi}$ 为富氧空气袋的内部压力; $P_{Ox}$ 为富氧空气瓶内压力; $P_{N0}$ 为密封舱所处环境的大气压力; $\delta_u$ 为换热上限系数, $0 < \delta_u \leq 1$ ; $\delta_l$ 为换热下限系数 $0 < \delta_l \leq 1$ ; $\alpha$ 为空气密度比值系数; $H\%$ 为密封舱内湿度; $FR$ 为控制气流单元气流流速; $P_{Oi\_max}$ 为富氧空气袋气体最大压力; $\lambda$ 为压力控温系数,依据温度传感器检测到的平均温度 $W_{avg}$ 、压力比值系数 $P_\lambda$ 和测温点与控温关联函数 $f(W_{xyz}, K_{uxz}, K_{lxz}, P_{dff}, H\%)$ ,得到 $\lambda = W_{arg} \cdot P_\lambda \cdot f(W_{xyz}, K_{uxz}, K_{lxz}, P_{dff}, H\%)$ 。

[0106] 在富氧空气袋容积 $V_{Oi}$ 、富氧空气瓶的容积 $V_{Ox}$ 和密封舱容积 $V_{Ni}$ 一定时,密封舱内的氮气含量 $N_2\%$ 多少,取决于压力比值系数 $P_\lambda$ ,压力比值系数 $P_\lambda$ 为富氧空气袋内压力 $P_{Oi}$ 与密封舱内的压力 $P_{Ni}$ 之比与膜氮氧分离装置的氮氧分离效率 $\eta\%$ 的乘积,即 $P_\lambda = \frac{P_{Ni}}{P_{Oi}} \eta\%$ ,压力比

值系数 $P_\lambda$ 越大,密封舱内产生的氮气含量越高,换热速度越快,反之密封舱内产生的氮气含量越低,换热速度越慢。

[0107] 本发明密封舱系统具有以下特点:

- [0108] • 采用显热或潜热换热技术,解决高海拔空气稀薄换热效率低的问题;
- [0109] • 优化控制排气路径,实现精准控温降低能耗;
- [0110] • 采用低含氧量,避免火灾发生;
- [0111] • 密封舱正压工作,避免粉尘进入,提高绝缘强度;
- [0112] • 干燥空气,避免绝缘度的降低;
- [0113] • 可使高海拔地区的电气设备免降额工作,降低成本费用;
- [0114] • 富氧空气可提供高海拔工作人员供氧;
- [0115] • 冗余度高、代偿能力强,与空调、风扇比较寿命长;

## 附图说明

[0116] 图1本发明用相变换热电气设备密封舱系统结构图;

[0117] 图2本发明相变换热电气设备密封舱系统设备安放示意图;

[0118] 图3本发明相变换热电气设备密封舱系统的三通阀门结构示意图;

[0119] 图4本发明相变换热电气设备密封舱系统的五通阀门结构示意图；

[0120] 图5本发明相变换热电气设备密封舱系统控制方法流程图。

### 具体实施方式

[0121] 以下结合附图和具体实施方式进一步说明本发明。

[0122] 如图1和图2所示,本发明用于高海拔地区的相变换热电气设备密封舱系统由密封舱1、双向气流控制单元、换热单元、控制气流单元、富氧制备单元、传感器组和控制单元8组成。

[0123] 所述的密封舱1保温、防水、气密、承压,可依据地理环境水平安装。

[0124] 所述的双向气流控制单元安装在密封舱1内底部转角处,分别与换热单元的上进口气口28、下进口气口29和控制气流单元连接。

[0125] 所述的控制气流单元分为上控气流组17和下控气流组16,上控气流组17和下控气流组16分别安装在密封舱1内的顶部和底部。

[0126] 所述的换热单元置于密封舱1外靠近密封舱1处,图1所示的换热单元位于密封舱1外,在密封舱1底部的下方。密封舱1内的气体通过换热单元的上进口气口28和下进口气口29进入浸泡在水体或相变材料27中的换热器32内循环换热,调节密封舱1内电气设备18的温度。

[0127] 所述的富氧制备单元除富氧空气袋2置于密封舱1外顶部以外,其余部件均置于密封舱1内顶部和靠近顶部边缘一侧,富氧空气袋2安放在密封舱1右侧顶部,置于高海拔环境中。

[0128] 所述的传感器组分别安装在密封舱1内顶部和电气设备18上,经通讯线路与控制单元8连接,输出传感器数据。

[0129] 所述的控制单元8嵌入在密封舱舱门11上,通过数据输入、输出接口分别与所有的传感器及双向气流控制单元、富氧制备单元和控制气流单元的设备连接。

[0130] 如图4所示所述的双向气流控制单元由五通贯通阀门、双向调速风机14、空气过滤器13、气体流量传感器6和空气除湿器12组成。

[0131] 所述的五通贯通阀门中的第1通道与空气过滤器13的出口连接,空气过滤器13的入口位于密封舱1外,将进入密封舱1内的气体过滤;五通贯通阀门中的第2通道与换热单元的上进口气口28连接,换热单元的下进口气口29与五通贯通阀门中的第3通道连接;五通贯通阀门中的第4通道经输气管道30与双向调速风机14的一端连接;五通贯通阀门中的第5通道经输气管道24与控制气流单元三通阀门中的第2通道连接;五通贯通阀门上还安装有贯通阀门31,当需要经换热器32换热时,贯通阀门31关闭,在换热单元的上进口气口28与下进口气口29之间形成气压差,气流经换热单元换热;当不需要经换热器32换热时贯通阀门31打开,使五通贯通阀门中的换热单元的上进口气口28与下进口气口29贯通,形成等气压,气流停止流动,不与换热单元换热。

[0132] 双向调速风机14的上端通过输气管道30与五通贯通阀门中的第4通道连接,该输气管道上安装有气体流量传感器6;双向调速风机14的下端与空气除湿器12的一端连接,空气除湿器12的另一端与下控气流组16的一端连接。其中,气体流量传感器6数据输出端经数据线与控制单元8连接。控制单元8通过气体流量传感器6监测双向调速风机14的气流方向及流

量,并依据系统的仿真函数控制双向调速风机14排气方向和流量。

[0133] 所述的换热单元由换热器32和换热水体或相变材料27组成。换热水体或相变材料27放置在保温罐体33内,换热器32浸泡换热水体或相变材料27内。换热器32有上进出口28和下进出口29,上进出口28与五通贯通阀门中的第2通道连接,下进出口29与五通贯通阀门中的第3通道连接;密封舱1内气体经换热器32与换热水体或相变材料27交换热量,调节密封舱1内的气体温度。

[0134] 热气流换热时,热气流经换热单元的下进出口29进入,经换热器32与换热水体或相变材料27交换热量,交换出的冷空气流由换热单元的上进出口28排出,在密封舱1内形成由上至下的空气对流;

[0135] 冷气流换热时,冷空气流经换热单元的上进出口28进入,经换热器32与换热水体或相变材料27交换热量,交换出的热气流由换热单元的下进出口29排出,在密封舱1内形成由下至上的空气对流,实现密封舱1与换热单元的热交换。

[0136] 所述的富氧制备单元由富氧空气袋2、膜氮氧分离装置4、富氧空气瓶22、富氧空气输出管道7和减压排气阀3组成。富氧空气袋2具有保温功能,安放在密封舱1右侧顶部,置于高海拔环境中。富氧空气瓶22安装在密封舱1内靠近顶部一侧,富氧空气瓶22的两端分别有进气口21和出气口23,进气口21内含有气体逆止阀。膜氮氧分离装置4安装在密封舱1顶部与富氧空气袋2底部之间,膜氮氧分离装置4的上部置于富氧空气袋2内,膜氮氧分离装置4的下部与控制气流单元的三通阀门连接,膜氮氧分离装置4利用密封舱1内的压缩空气的压力与富氧空气袋2环境压力差,降低密封舱1内空气含氧量。分离出的富氧空气被压缩到富氧空气袋2和富氧空气瓶22中。

[0137] 减压排气阀3安装在富氧空气袋2的上部,暴露于大气环境中,减压排气阀3的底部与富氧空气袋2内部连通,减压排气阀3的控制端与控制器8连接,接受控制器8控制和富氧空气袋2内气体压力的控制打开或关闭。富氧空气输出管道7沿密封舱1内顶部的一侧铺设,富氧空气输出管道7的一端与富氧空气袋2底部出气口5连接,富氧空气输出管道7的另一端接入密封舱1内顶部同侧的富氧空气瓶22的进气口21,富氧空气瓶22的出气口23经富氧空气输出管道与分别安装在密封舱舱门11内的富氧排气阀门9和门外的富氧排气阀门10连接。当工作人员需要富氧空气时,将呼吸面罩接头与富氧排气阀门连接即可。由于富氧空气瓶22进气口21内有气体逆止阀,富氧空气瓶22内的气压随着富氧空气袋2气压增加而增加,但不随富氧空气袋2气压力下降而下降。

[0138] 如图3所示,所述的控制气流单元由上控气流组17、下控气流组16和三通阀 $K_{3-1}$ 组成。上控气流组17有进排气阀 $K_{uxy}$ 、下控气流组16有进排气阀 $K_{lxy}$ 。其中,三通阀内含有切换阀门 $K_{3-1}$ 。三通阀的第1通道与富氧制备单元的膜氮氧分离装置4连接;三通阀的第2通道与输气管道24的一端连接;输气管道24的另一端与五通贯通阀中第5通道连接,输气管道24位于五通贯通阀与三通阀之间;三通阀的第3通道与上控气流组17连接。

[0139] 上控气流组17为树状结构,主干管道26与三通阀的第3通道连接,每条树状分支管道末端都装有一个进排气阀 $K_{uxy}$ ,多条树状分支管道末端的进排气阀 $K_{uxy}$ 均吊挂在密封舱1内顶部。

[0140] 下控气流组16为树状结构,主干管道25与空气除湿器12的一端连接,空气除湿器12的另一端与双向调速风机14的一端连接,每条树状分支管道末端都装有一个进排气阀

$K_{1xy}$ , 多条树状分支管道末端的进排气阀门 $K_{1xy}$ 均铺设在密封舱1内的底部。

[0141] 控制气流单元的上控气流组17的进排气阀门 $K_{uxy}$ 和下控气流组16的进排气阀门 $K_{1xy}$ 都与控制器8连接,并依据密封舱1内每台电气设备18的最佳控温范围,控制上控气流组17中对应的进排气阀门 $K_{uxy}$ 和下控气流组16中对应的进排气阀门 $K_{1xy}$ 打开或关闭。

[0142] 上控气流组17通过三通阀门 $K_{3-1}$ 的切换经过五通贯通阀、换热单元、双向调速风机14、空气除湿器12与下控气流组16连接。在双向调速风机14的作用下,控制密封舱1内的气体经过下控气流组16、密封舱1内、上控气流组17、三通阀、换热单元、双向调速风机14到达空气除湿器12,实现气流内循环。

[0143] 当上控气流组17通过三通阀门 $K_{3-1}$ 的切换与富氧制备单元的膜氮氧分离装置4连接,在双向调速风机14排气的作用下,密封舱1外的空气经过双向气流控制单元的空气过滤器13、五通贯通阀、换热单元、双向调速风机14、空气除湿器12、下控气流组16、密封舱1内换热,再经过上控气流组17、三通阀门 $K_{3-1}$ 、富氧制备单元的膜氮氧分离装置4、富氧空气袋2和富氧空气瓶22,经减压排气阀3排出,实现气流外循环。

[0144] 由此,在密封舱1内有气流内循环和气流外循环两种工作模式,两种工作模式通过三通阀门 $K_{3-1}$ 的切换实现。

[0145] 当执行气流内循环工作模式时,控制器8分别控制三通阀门 $K_{3-1}$ 的切换,断开上控气流组17与膜氮氧分离装置4的气流通路,关闭双向气流控制单元的空气过滤器13输入通路,接通上控气流组17经五通贯通阀、换热单元、双向调速风机14、空气除湿器12与下控气流组16的气流通路,上控气流组17中某个排气阀门 $K_{uxy}$ 和下控气流组16中某个排气阀门 $K_{1xy}$ 打开时,气流在双向调速风机14的作用下加速对对应区域的气体扰动,实现对该区域内的电气设备18温度调节。

[0146] 此时空气对流通路为:三通阀门 $K_{3-1}$ →五通贯通阀→换热单元→双向调速风机14排气→空气除湿器12→下控气流组16→密封舱1内→上控气流组17→三通阀门 $K_{3-1}$ 。

[0147] 当执行气流外循环工作模式时,控制器8控制三通阀门 $K_{3-1}$ 的切换,接通上控气流组17与膜氮氧分离装置4气流通路,断开上控气流组17与五通贯通阀的气流通路。同时打开空气过滤器13,建立五通贯通阀与密封舱1外的空气输入通路。此时密封舱1外的空气经空气过滤器13过滤、五通贯通阀、双向调速风机14排气、空气除湿器12、下控气流组16压入密封舱1内,再由上控气流组17、三通阀到膜氮氧分离装置4排出富氧气体。

[0148] 当上控气流组17所有的进排气阀门 $K_{uxy}$ 和下控气流组16所有的进排气阀门 $K_{1xy}$ 打开时,在双向调速风机14排气的作用下,密封舱1外的空气快速压入密封舱1内,并在控制器8的控制下,使密封舱1内的压力保持在 $\alpha P_{N0} \sim 100 KPa$ 范围内, $\alpha$ 为空气密度比值系数, $P_{N0}$ 为密封舱1所处的环境海拔大气压力;氮气含量 $N_2 \geq 86\%$ ,同时在富氧空气袋2和富氧空气瓶22获得富氧空气。

[0149] 空气对流通路为:密封舱外的空气→五通贯通阀→双向调速风机14排气→空气过滤器13→空气除湿器12→下控气流组16→密封舱1内→上控气流组17→三通阀→膜氮氧分离装置4→富氧空气袋2和富氧空气瓶22→减压排气阀3。

[0150] 由此提高气体密度、降低密封舱1内氧气浓度,同时富氧空气袋2和富氧空气瓶22获得富氧空气。

[0151] 所述的传感器组包括温度传感器、气压差传感器19和氮气传感器20;温度传感器

依据密封舱1内电气设备18的属性和摆放位置,安装在每台电气设备18的关键换热监控点上,每个温度传感器测温点测得的温度 $W_{xyz}$ 的数据输出端通过数据线与控制器8连接。气压差传感器19和氮气传感器20安装于密封舱1顶部的中心位置,气压差传感器19的数据输出端和氮气传感器20的数据输出端通过通讯线缆与控制器8连接,监测密封舱1内、外气压差的变化和湿度 $H\%$ 、氮气的含量 $N_2\%$ 。其中,氮气传感器20中包含湿度传感器。

[0152] 所述的控制器8由CPU组成;控制器8的输入接口通过数据线与每个温度传感器、气压差传感器19和氮气传感器20输出接口连接;控制器8的输出接口通过控制线与控制气流单元中每个排气阀门 $K_{xy}$ 、减压排气阀3、双向调速风机14、五通贯通阀、三通阀、空气过滤器13、空气除湿器12连接。

[0153] 所述的控制器对所述电气设备密封舱系统的控制过程如下:

[0154] 1) 建立测温点与控温关联函数

[0155] 依据密封舱1内电气设备18的摆放位置、测温点位置坐标、密封舱1内与富氧空气袋2内压力差 $P_{dff}$ 、气流流速 $FR$ 、湿度 $H\%$ ,建立测温点与控温关联函数: $f(W_{xyz}, K_{uxz}, K_{lxz}, P_{dff}, FR, H\%)$ 。

[0156] 2) 气流外循环工作模式下控制方法

[0157] ①密封舱舱门11处于打开状态时

[0158] 控制器8检测到 $P_{N0} = P_{Ni}$ 时,控制减压排气阀3排空富氧空气袋2的气体。

[0159] ②密封舱舱门11处于关闭状态时

[0160] 当控制器8监测到密封舱舱门11关闭,控制空气过滤器13打开,控制器8执行气流外循环工作模式;由于 $P_{0i} < P_{Ni}$ ,密封舱1内空气通过膜氮氧分离装置4实现氮氧分离,氮气保留密封舱1内,富氧空气被压缩到富氧空气袋2中。

[0161] ③气流外循环和内循环工作模式转换

[0162] 当控制器8监测到密封舱1内 $N_2 > 86\%$ 和 $\alpha P_{N0} \leq P_{Ni} \leq 100KPa$ 时,富氧空气袋2内压力 $P_B > P_{0i} \leq P_{Ni}$ ,此时控制器8执行气流内循环工作模式,为电气设备18换热。

[0163] 3) 内气流循环工作模式下的控制方法

[0164] ①电气设备18定向换热

[0165] 气流内循环工作模式下对电气设备18的吸热模式和放热模式的控制过程如下

[0166] ▶ 吸热模式

[0167] 控制器8监测到某一测温点的温度 $W_{xyz} \geq \delta_u W_{su}$ 时,依据测温点与控温关联函数 $f(W_{xyz}, K_{uxz}, K_{lxz}, P_{dff}, FR, H\%)$ ,控制气流单元打开电气设备18测温点对应的进排气阀门,在经换热单元换热后的气体压力作用下,气流在温度 $W_{xyz}$ 测温点所在的电气设备18上产生由上至下定向对流空气,实现对温度 $W_{xyz}$ 的测温点所在电气设备18的定向吸热。

[0168] ▶ 放热模式

[0169] 控制器8监测某一测温点温度 $W_{xyz} \leq \delta_l W_{sl}$ 时,依据测温点与控温关联函数 $f(W_{xyz}, K_{uxz}, K_{lxz}, P_{dff}, FR, H\%)$ ,控制气流单元打开对应的进排气阀门,在经换热单元换热后的气体压力作用下,在温度 $W_{xyz}$ 测温点所在的电气设备18上产生由下至上定向的对流空气,实现对温度 $W_{xyz}$ 测温点所在电气设备18的定向供热。

[0170] ②气流内循环和外循环工作模式转换

[0171] 当密封舱1内压力 $\alpha P_{N0} \leq P_{Ni} \leq 100KPa$ 、 $P_{0i} < P_{Ni}$ 时,由气流内循环工作模式转换为气

流外循环工作模式。

[0172] 当密封舱1内压力 $P_{Ni} < \alpha P_{No}$ 时,减压排气阀3排气,使 $P_{Ni} > \lambda P_{oi}$ ,确保气流外循环工作模式的执行。其中, $f(W_{xyz}, K_{uxz}, K_{lxz}, P_{dff}, FR, H\%)$ 为测温点与控温关联函数; $H\%$ 为密封舱内湿度; $FR$ 为控制气流单元气流流速; $W_{xyz}$ 为某个测温点的温度传感器测得的温度, $x, y, z$ 分别代表上、下控气流组和温度传感器位置坐标, $(x, y, z) \geq 1, x, y, z$ 为整数; $K_{uxy}$ 为控上气流组17某个排气阀门; $K_{lxy}$ 为下控气流组16某个排气阀门; $\delta_u$ 为换热上限系数, $0 < \delta_u \leq 1$ ;  $\delta_l$ 为换热下限系数 $0 < \delta_l \leq 1$ ;  $\alpha$ 为空气密度比值系数; $P_{dff}$ 为密封舱内与富氧空气袋内压力差; $W_{S1}$ 为电气设备18工作温度下限; $W_{Su}$ 为电气设备18工作温度上限; $P_{Ni}$ 为密封舱1内的压力; $P_{Nmax}$ 为密封舱1内的压力上限值; $P_{oi}$ 为富氧空气袋2内部压力; $P_{ox}$ 为富氧空气瓶22内压力; $P_{No}$ 为密封舱1所处的环境海拔大气压力; $P_\beta$ 为减压排气阀3的限压阈值。

[0173] 所述的定向换热是通过控制气流的路径和方向,约束气流只在被换热的电气设备上流过,对电气设备定向换热。

[0174] 如图5所示,本发明密封舱系统的控制方法具体如下:

[0175] 1、建立测温点与控温关联函数

[0176] 依据密封舱1内电气设备18的摆放位置及电气设备测温点位置坐标安装温度传感器,建立温度传感器测量的每个测温点与上控气流组17的进排气阀门 $K_{uxy}$ 和下控气流组16的进排气阀门 $K_{lxy}$ 的关联关系,通过密封舱内1压力 $P_{Ni}$ 与富氧空气袋2内压力 $P_{oi}$ 的差 $P_{dff} = P_{Ni} - P_{oi}$ 、气流流速 $FR$ 、湿度 $H\%$ 对电气设备18换热监测点的气体换热仿真,得到测温点与控温关联函数 $f(W_{xyz}, K_{uxz}, K_{lxz}, P_{dff}, FR, H\%)$ 。

[0177] 控制器8实时监测温度传感器、氮气传感器20、气体流速传感器6、空气湿度传感器、气压传感器19的数据,并依据密封舱1内的氮气含量 $N_2$ 百分比、压力 $P_{Ni}$ 、气体流速 $FR$ 、每个温度传感器测温点的温度 $W_{xyz}$ 和富氧空气袋内的压力 $P_{oi}$ ,分析、判断、制定对应的控制策略。

[0178] 其中, $f(W_{xyz}, K_{uxz}, K_{lxz}, P_{dff}, FR, H\%)$ 为每个温度传感器的测温点与控制气流单元的仿真函数; $H\%$ 为密封舱内湿度; $FR$ 为控制气流单元气流流速; $W_{xyz}$ 为某个测温点的温度传感器测得的温度, $x, y, z$ 分别代表上控气流组、下控气流组和温度传感器位置坐标, $(x, y, z) \geq 1, x, y, z$ 为整数; $K_{uxy}$ 为控上气流组17某个排气阀门; $K_{lxy}$ 为下控气流组16某个排气阀门; $P_{dff}$ 为密封舱1内与富氧空气袋2内压力差。

[0179] 2、气流外循环工作模式下的控制方法

[0180] 控制器8控制三通阀中的切换阀门 $K_{3_1}$ ,接通上控气流组17与膜氮氧分离装置4的气流通路,断开上控气流组17经三通阀、双向调速风机14、空气除湿器12与下控气流组16的气流通路,此时由于五通贯通阀门31处于打开状态,换热单元的上进排气口28和下进排气口29贯通,使得上进排气口28和下进排气口29之间的气体压力相等,气体无法进入换热单元的换热器32中。控制器8通过氮气传感器20、气压差传感器19和温度传感器,实时监测分析密封舱1内的压力 $P_{Ni}$ 、富氧空气袋2内的压力 $P_{oi}$ 、平均温度 $W_{avg}$ 、和密封舱1内的空气中氮气含量 $N_2\%$ 。

[0181] 气流外循环工作模式下气流循环通路为:

[0182] 密封舱1外空气→空气过滤器13→五通贯通阀→双向调速风机14调速引风→空气除湿器12→下控气流组16→密封舱1内→上控气流组17→三通阀→膜氮氧分离装置4→富氧空气袋2和富氧空气瓶22→减压排气阀3,箭头所示为气流流动方向。

[0183] 具体如下：

[0184] 1) 密封舱舱门11处于开放状态时

[0185] 控制器8通过气压差传感器19检测到密封舱1内外压力相等，即 $P_{N0} = P_{Ni}$ ，此时控制器8控制减压排气阀3打开，将富氧制备单元的富氧空气袋2的气体排空。此时由于富氧空气瓶22气体逆止阀的作用，富氧空气瓶22内的压力 $P_{OX}$ 保持与富氧空气袋2气体最大压力 $P_{0i\_max}$ 时刻的压力相等，即 $P_{OX} = P_{0i\_max}$ ，为工作人员供氧。

[0186] 2) 密封舱舱门11处于关闭状态时

[0187] 当控制器8监测到密封舱舱门11关闭时，控制器8控制双向调速风机14排气，密封舱1外的气体经空气过滤器13过滤和空气除湿器12除湿，向密封舱1内通入空气，提高密封舱1内的空气密度，降低密封舱1内氧气含量。由于富氧制备单元的富氧空气袋2气体压力 $P_{0i}$ 为该环境的大气压力 $P_{N0}$ ，即 $P_{0i} = P_{N0}$ ，密封舱1内的气压 $P_{Ni}$ 大于富氧空气袋2气体压力 $P_{0i}$ ，即 $P_{0i} < P_{Ni}$ ，密封舱1内通入的空气通过富氧制备单元的膜氮氧分离装置4，将氮气隔离，保留在密封舱1内，富氧空气被压缩到富氧空气袋2中。

[0188] 3) 气流外循环和气流内循环工作模式转换

[0189] 当控制器8监测到密封舱1内压力 $\alpha P_{N0} \leq P_{Ni} \leq 100\text{KPa}$ 和氮气含量 $N_2 \geq 86\%$ 时，此时富氧空气袋2和富氧空气瓶22内的空气中氧气含量增加为 $O_2 \geq 29\%$ ，富氧空气袋2内气体压力 $P_{0i}$ 分别小于等于密封舱1内的压力 $P_{Ni}$ 和减压排气阀3的限压阈值 $P_\beta$ ，即 $P_\beta > P_{0i} \leq P_{Ni}$ 。此时，控制气流外循环工作模式转换到气流内循环工作模式，并将五通贯通阀中的贯通阀31关闭，密封舱1内的气体经换热单元换热。

[0190] 富氧空气袋2气体压力 $P_{0i}$ 大于富氧空气瓶22内的压力 $P_{OX}$ 时，即 $P_{0i} > P_{OX}$ ，富氧空气自动压缩到富氧空气瓶22中，保持富氧空气瓶22的气体压力为 $\alpha P_{N0} \leq P_{OX} \leq 100\text{KPa}$ 。

[0191] 其中， $N_2$ 为氮气； $O_2$ 为氧气； $P_{0i}$ 为富氧空气袋2内部的压力； $P_{Ni}$ 为密封舱1内的压力； $P_\beta$ 为减压排气阀3的限压阈值； $\alpha$ 为空气密度比值系数； $W_{avg}$ 为温度传感器检测到的平均温度； $P_{OX}$ 为富氧空气瓶22内压力； $W_{SU}$ 为电气设备18工作温度上限； $P_{0i\_max}$ 为富氧空气袋2气体最大压力； $P_{N0}$ 为密封舱1所处的环境大气压力。

[0192] 由此提高密封舱1内气体密度和降低密封舱1内氧气的浓度，同时富氧空气袋2和富氧空气瓶22内均获得富氧空气。

[0193] 3、气流内循环工作模式下的控制方法

[0194] 控制器8控制三通阀切换，断开上控气流组17与膜氮氧分离装置4的气流通路，接通上控气流组17经三通阀、五通贯通阀、双向调速风机14、空气除湿器12与下控气流组16的气流通路，关闭空气过滤器13进气通道和五通贯通阀中的贯通阀31，使密封舱1内的气体经换热单元的换热器32换热。控制器8通过氮气传感器20、气压差传感器19和温度传感器，实时监测分析密封舱1内的压力 $P_{Ni}$ 、富氧空气袋2内的压力 $P_{0i}$ 、平均温度 $W_{avg}$ 和密封舱1内的空气中氮气含量 $N_2\%$ 。

[0195] 气流内循环工作模式为对电气设备18吸热模式和放热模式两种：

[0196] 1) 当执行电气设备18吸热模式时，控制器8监测到某一测温点的温度 $W_{xyz}$ 大于等于电气设备18工作温度的上限值 $W_{SU}$ 与换热上限系数 $\delta_u$ 的乘积，即 $W_{xyz} \geq \delta_u W_{su}$ 时，控制器8依据电气设备18工作温度的上限值 $W_{SU}$ 、测温点与控温关联函数 $f(W_{xyz}, K_{uxz}, K_{lxz}, P_{dff}, FR, H\%)$ ，控制双向调速风机14向上调速排气，打开上控气流组17中与测温点所在电气设备18对应的一

个或多个进排气阀 $K_{uxz}$ ,将气体排出,打开下控气流组16中与测温点所在电气设备18对应的一个或多个进排气阀 $K_{lxz}$ ,将气体吸入,再经空气除湿器12除湿、换热单元将气体换热。此时,在温度 $W_{xyz}$ 测温点所在的电气设备18周围,产生由上至下的定向对流空气,加速该区域气体扰动散热,降低该电气设备18的温度。

[0197] 气流循环路径为:双向调速风机14向上排风→五通贯通阀→换热单元→三通阀→上控气流组17→密封舱1内吸热→下控气流组16→空气除湿器12→双向调速风机14,箭头所示为气流流动方向。

[0198] 2) 当执行电气设备18放热时,控制器8监测到某一测温点的温度 $W_{xyz}$ 小于等于电气设备18工作温度的下限值 $W_{s1}$ 与换热下限系数 $\delta_1$ 的乘积,即 $W_{xyz} \leq \delta_1 W_{s1}$ 时,控制器8依据电气设备工作温度的下限值 $W_{s1}$ 、测温点与控温关联函数 $f(W_{xyz}, K_{uxz}, K_{lxz}, P_{dff}, FR, H\%)$ ,控制双向调速风机14调速向下排风,将换热单元内的换热气体经空气除湿器12除湿,打开下控气流组16中与测温点所在电气设备18对应的一个或多个进排气阀 $K_{lxz}$ ,将气体排出,打开上控气流组17中与测温点所在电气设备18对应的一个或多个进排气阀 $K_{uxz}$ ,将气体吸入,此时,在温度 $W_{xyz}$ 测温点的电气设备18周围产生由下至上的定向对流空气,加速该区域气体扰动放热,提高了该电气设备18的温度。

[0199] 气流循环路径为:双向调速风机14调速向下排气→空气除湿器12→下控气流组16→密封舱1内放热→上控气流组17→三通阀→五通贯通阀→换热单元→双向调速风机14,箭头所示为气流流动方向。

[0200] 具体如,在没有其它电气设备18遮挡的条件下,对温度 $W_{xyz}$ 测温点所在的电气设备18换热时,控制器8依次打开所述电气设备18上方的上控气流组17进排气阀 $K_{uxy}$ 及下方的下控气流组16进排气阀 $K_{Lxy}$ ,顺序如下:

[0201] ①打开上控气流组17的第一进排气阀 $K_{U43}$ 和下控气流组16的第一进排气阀 $K_{L31}$ ,产生通过温度 $W_{xyz}$ 测温点所在的电气设备18的气流 $Q_1$ ;

[0202] ②打开上控气流组17的第二进排气阀 $K_{U42}$ 和下控气流组16的第二进排气阀 $K_{L32}$ ,产生通过温度 $W_{xyz}$ 测温点所在的电气设备18的气流 $Q_2$ ;

[0203] ③打开上控气流组17的第三进排气阀 $K_{U41}$ 和下控气流组16的第三进排气阀 $K_{L33}$ ,产生通过温度 $W_{xyz}$ 测温点所在的电气设备18的气流 $Q_3$ ;

[0204] ④打开上控气流组17的第四进排气阀 $K_{U33}$ 和下控气流组16的第四进排气阀 $K_{L41}$ ,产生通过温度 $W_{xyz}$ 测温点所在的电气设备18的气流 $Q_4$ ;

[0205] ⑤打开上控气流组17的第五进排气阀 $K_{U32}$ 和下控气流组16的第五进排气阀 $K_{L42}$ ,产生通过温度 $W_{xyz}$ 测温点所在的电气设备18的气流 $Q_5$ ;

[0206] ⑥打开上控气流组17的第六进排气阀 $K_{U31}$ 和下控气流组16的第六进排气阀 $K_{L43}$ ,产生通过温度 $W_{xyz}$ 的测温点所在的电气设备18的气流 $Q_6$ 。

[0207] 3) 气流内循环和气流外循环工作模式转换

[0208] 当控制器8监测到密封舱1内压力 $P_{Ni} < \alpha P_{N0}$ 、氮气含量 $N_2 < 86\%$ 和富气流氧空气袋2内压力 $P_{Oi}$ 大于等于密封舱1内压力 $P_{Ni}$ ,即 $P_{Oi} \geq P_{Ni}$ 时,控制器8将内循环工作模式转换为气流外循环工作模式,同时控制器8控制富氧制备单元的减压排气阀3排气,使密封舱1气体压力 $P_{Ni}$ 大于富氧气袋2内的气体压力 $P_{Oi}$ 与压力控温系数 $\lambda$ 乘积,即 $P_{Ni} > \lambda P_{Oi}$ 。此时,富氧空气瓶22内压力 $P_{Ox}$ 等于富氧空气袋2内最大时刻的压力 $P_{Oi\_max}$ ,即 $P_{Ox} = P_{Oi\_max}$ 。

[0209] 确保气流外循环工作模式高效执行,同步提高密封舱1气体的压力增加空气密度,降低氧气含量,保证精准控温。

[0210] 其中, $W_{xyz}$ 为某一测温点的温度传感器测得的温度, $x$ 、 $y$ 、 $z$ 分别代表温度传感器的位置坐标, $(x, y, z) \geq 1$ ,为整数; $W_{S1}$ 为电气设备18工作温度下限; $W_{SU}$ 为电气设备18工作温度上限; $\delta_u$ 为换热上限系数, $0 < \delta_u \leq 1$ ; $\delta_l$ 为换热下限系数 $0 < \delta_l \leq 1$ ; $N_2$ 为氮气; $P_{Ni}$ 为密封舱1内的压力; $P_{Oi}$ 为富氧空气袋2的内部压力; $P_{OX}$ 为富氧空气瓶22内压力; $P_{N0}$ 为密封舱1所处的环境大气压力; $H\%$ 为密封舱1内湿度; $FR$ 为控制气流单元气流流速; $P_{Oi\_max}$ 为富氧空气袋2气体最大压力; $\lambda$ 为压力控温系数,依据温度传感器检测到的平均温度 $W_{avg}$ 、压力比值系数 $P_\lambda$ 和测温点与控温关联函数 $f(W_{xyz}, K_{uxz}, K_{lxz}, P_{dff}, H\%)$ ,得到 $\lambda = W_{arg} \cdot P_\lambda \cdot f(W_{xyz}, K_{uxz}, K_{lxz}, P_{dff}, H\%)$ 。

[0211] 在富氧空气袋2容积 $V_{Oi}$ 、富氧空气瓶22的容积 $V_{OX}$ 和密封舱1容积 $V_{Ni}$ 一定时,密封舱1内的氮气含量 $N_2\%$ 取决于压力比值系数 $P_\lambda$ ,压力比值系数 $P_\lambda$ 为富氧空气袋2内压力 $P_{Oi}$ 与密封舱1内的压力 $P_{Ni}$ 之比与膜氮氧分离装置4的氮氧分离效率 $\eta\%$ 的乘积,即 $P_\lambda = \frac{P_{Ni}}{P_{Oi}} \eta\%$ ,压力比值系数 $P_\lambda$ 越大,密封舱1内产生的氮气含量越高,换热速度越快,反之密封舱1内产生的氮气含量越低,换热速度越慢。

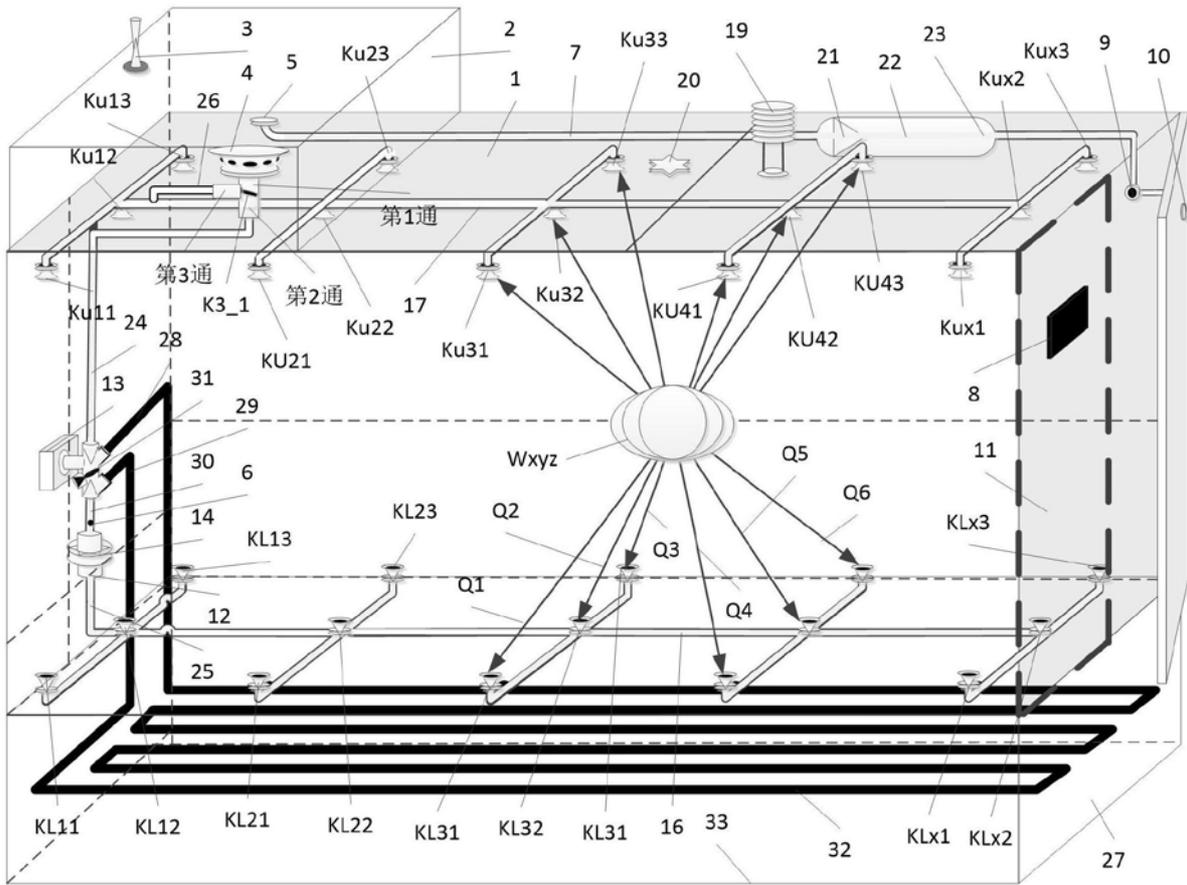


图1

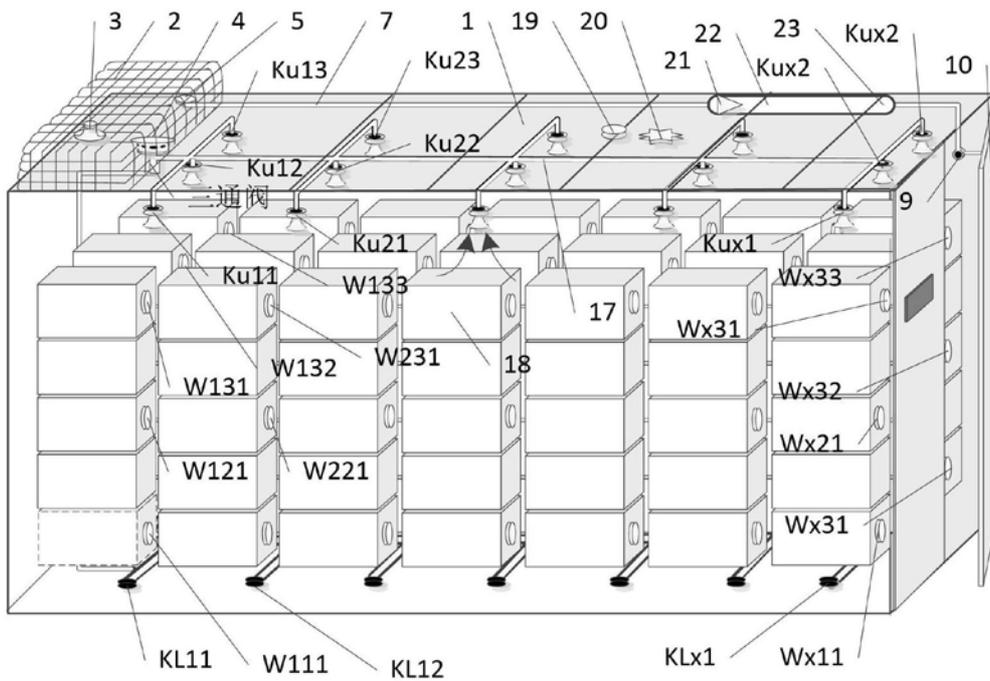


图2

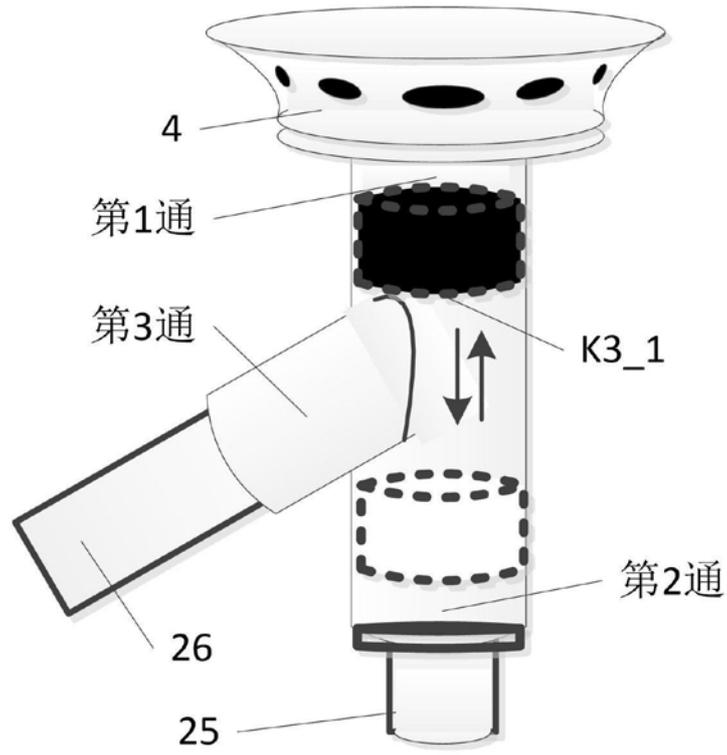


图3

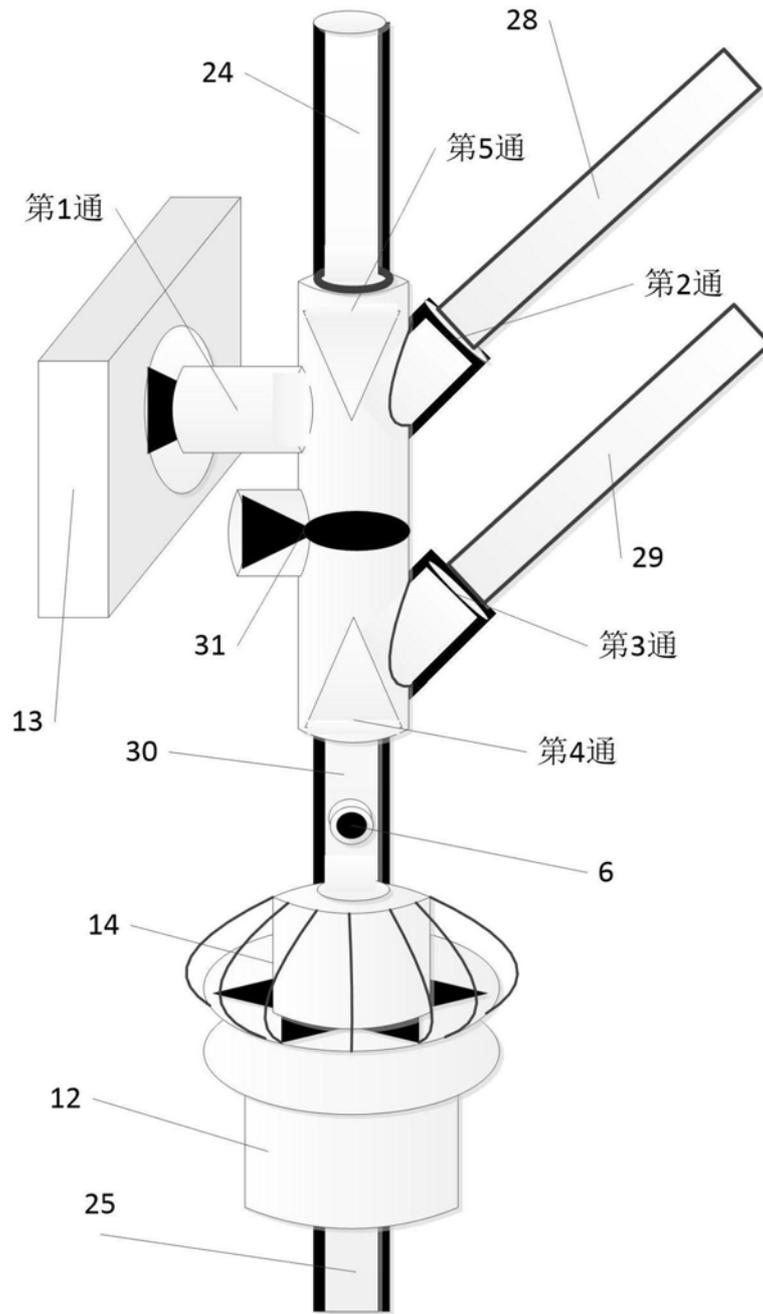


图4

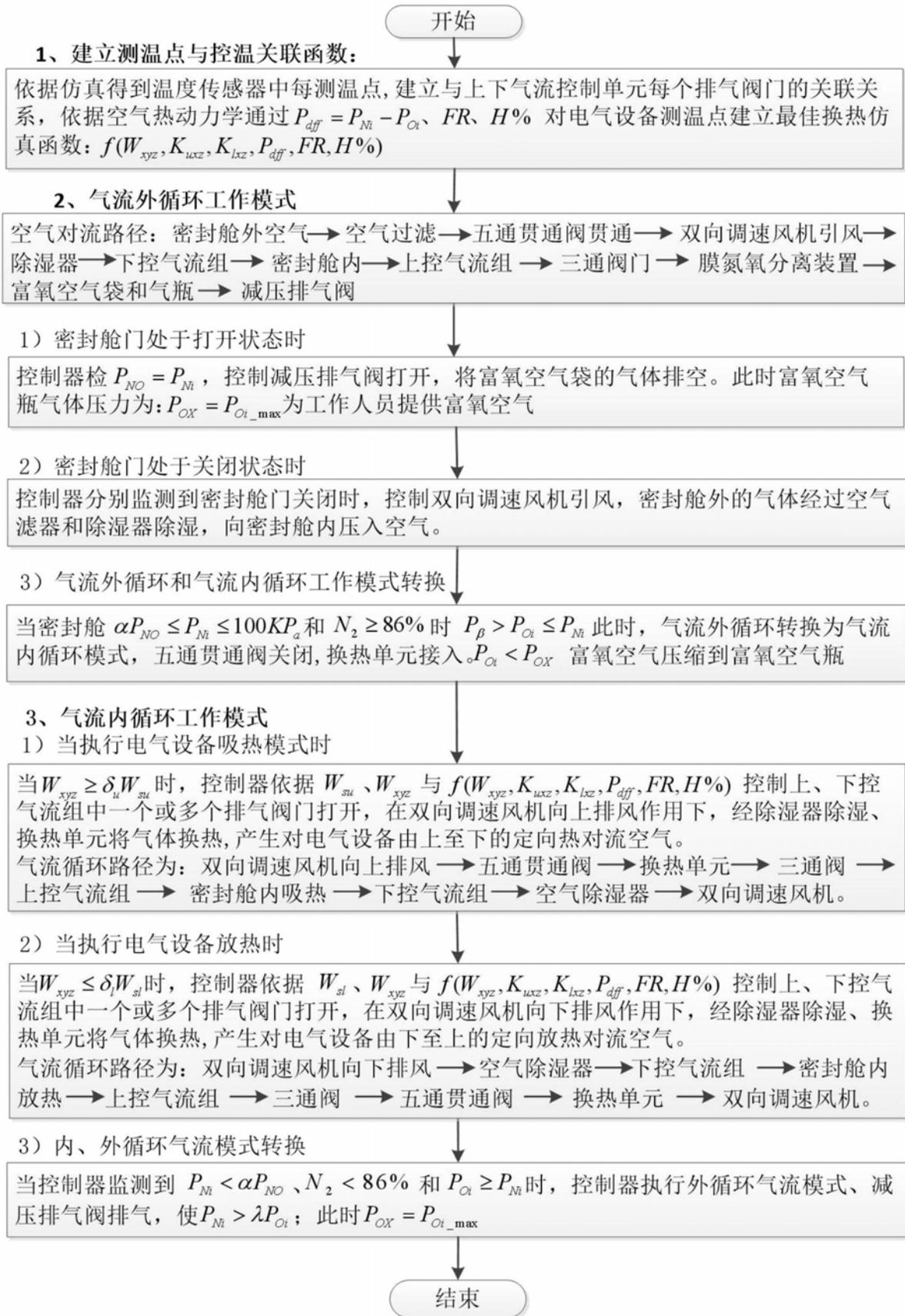


图5