



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 111755644 A

(43) 申请公布日 2020. 10. 09

(21) 申请号 202010575689.6

(22) 申请日 2020.06.22

(71) 申请人 中国科学院电工研究所

地址 100190 北京市海淀区中关村北二条6号

申请人 国网湖北省电力有限公司

(72) 发明人 曹睿 王环 王哲 黄新科 陈卓 王一波

(74) 专利代理机构 北京科迪生专利代理有限公司 11251

代理人 关玲

(51) Int. Cl.

H01M 2/10 (2006.01)

H01M 10/42 (2006.01)

H01M 10/48 (2006.01)

H01M 10/613 (2014.01)

H01M 10/615 (2014.01)

H01M 10/627 (2014.01)

H01M 10/633 (2014.01)

H01M 10/635 (2014.01)

H01M 10/6563 (2014.01)

H01M 10/6566 (2014.01)

G06F 30/20 (2020.01)

G06F 119/08 (2020.01)

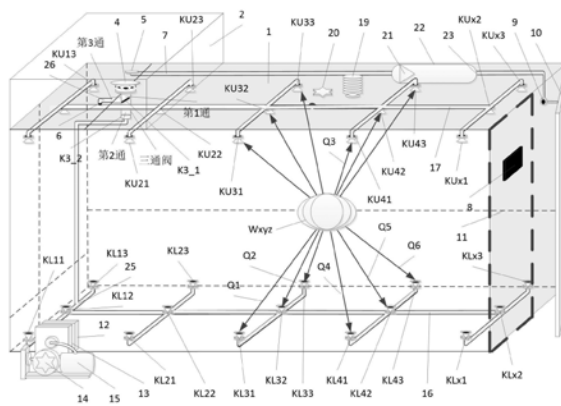
权利要求书8页 说明书17页 附图3页

(54) 发明名称

适用于高海拔地区的电气设备密封舱系统

(57) 摘要

一种适用于高海拔地区的电气设备密封舱系统,由密封舱、富氧制备单元、压缩空气单元、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。压缩空气单元除空压机外都安装在密封舱内底部;控制气流单元分别安装在密封舱内顶部和底部;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;温度传感器布置在密封舱内电气设备上;控制器嵌入密封舱舱门上,接收传感器数据和对设备进行控制。本发明利用密封舱内外气压差,通过膜氮氧分离装置降低舱内氧气含量,分离出富氧空气压缩到氧空气袋内,实现防火和富氧空气制备,可用于低海拔地区的电气设备在高海拔密封舱内正常工作,并可防火、防尘、防水。



1. 一种适用于高海拔地区的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)、富氧制备单元、压缩空气单元、控制气流单元、温度传感器和控制器(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;

所述的压缩空气单元除空压机(14)外均安装在密封舱(1)内底部,空压机(14)置于密封舱(1)外;

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;

所述的温度传感器安装在密封舱(1)内的电气设备(18)上,经通讯线路与控制器(8)连接,输出温度数据;

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受控的压缩空气单元、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)的两侧分别有进气口(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)的顶部与富氧空气袋(2)的底部之间,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;所述的膜氮氧分离装置(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)的开闭受富氧空气袋(2)内气体压力控制;减压排气阀(3)的控制端与控制器(8)连接,控制器(8)控制减压排气阀(3)的开闭;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)和密封舱舱门(11)外的富氧排气阀门(10)连接。

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:所述的压缩空气单元由空压机(14)、空气过滤器(13)、电加热器(12)、氮气传感器(20)和气压差传感器(19)组成;空压机(14)的控制端通过控制电缆与控制器(8)连接;空气过滤器(13)与电加热器(12)置于密封舱(1)底部靠近转角处,空气过滤器(13)的进气口与空压机(14)的减压阀连接,空气过滤器(13)的出气口与电加热器(12)的空气进口连接,电加热器(12)的空气出口与下控气流组(16)的主干管道(25)连接;空压机(14)内还含有压缩空气瓶(15)和减压阀;空压机(14)将空气压缩到压缩空气瓶(15)中,压缩空气瓶(15)的气体经减压阀排出;

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%、氮气含量N<sub>2</sub>%;氮气传感器(20)中包含湿度传感器。

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:所述的控制气流单元由上控气流组(17)、下控气流组(16)、三通阀、上控气流组(17)的进排气阀K<sub>uxy</sub>、下控气流组(16)的进排气阀K<sub>lxy</sub>和轴流风机K<sub>3-2</sub>组成;其中,三通阀内含有切换阀门K<sub>3-1</sub>和轴流风机K<sub>3-2</sub>;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通道与轴流风机K<sub>3-2</sub>的一端连接,轴流风机K<sub>3-2</sub>的另一端与下控气流组(16)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<sub>uxy</sub>,多条树状分支管道末端的进排气阀K<sub>uxy</sub>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)分别与电加热器(12)空气出口和轴流风机的一端连接,每条树状分支管道末端都装有一个进排气阀K<sub>lxy</sub>,多条树状分支管道末端的进排气阀K<sub>lxy</sub>均铺设在密封舱(1)内的底部;

控制气流单元的上控气流组(17)中所有进排气阀K<sub>uxy</sub>和下控气流组(16)中所有进排气阀K<sub>lxy</sub>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)中与测温点所在电气设备(18)对应的进排气阀K<sub>uxy</sub>和下控气流组(16)中与测温点所在电气设备(18)对应的进排气阀K<sub>lxy</sub>打开或关闭;

上控气流组(17)通过三通阀门K<sub>3-1</sub>的切换,经过轴流风机K<sub>3-2</sub>与下控气流组(16)连接;在轴流风机K<sub>3-2</sub>作用下,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)、三通阀到达轴流风机K<sub>3-2</sub>,实现气流内循环;

当上控气流组(17)通过三通阀门K<sub>3-1</sub>的切换与富氧制备单元的膜氮氧分离装置(4)连接,在压缩空气单元排气的作用下,密封舱(1)内空气对流,密封舱(1)外的空气经过压缩空气单元的空气过滤器(13)和电加热器(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<sub>3-1</sub>切换、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),再经减压排气阀(3)排出,实现气流外循环;

由此,通过三通阀门K<sub>3-1</sub>的切换实现密封舱(1)内的气流内循环和气流外循环两种循环换热工作模式。

5.按照权利要求4所述的电气设备密封舱系统,其特征在于:当执行气流内循环换热工作模式时,控制器(8)控制三通阀门K<sub>3-1</sub>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,接通上控气流组(17)与下控气流组(16)的气流通路,上控气流组(17)中的某个进排气阀K<sub>uxy</sub>和下控气流组(16)中的某个进排气阀K<sub>lxy</sub>打开时,气流在轴流风机K<sub>3-2</sub>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<sub>3-1</sub>→轴流风机K<sub>3-2</sub>排气→下控气流组(16)→密封舱(1)内→上控气流组(17)→三通阀门K<sub>3-1</sub>,箭头所示为空气流动方向;

当执行气流外循环换热工作模式时,控制器(8)控制三通阀门K<sub>3-1</sub>的切换,接通上控气流组(17)与膜氮氧分离装置(4)气流通路,同时轴流风机K<sub>3-2</sub>停止工作,断开与下控气流组(16)的气流通路;此时空压机(14)中的压缩空气瓶(15)将压缩空气经减压阀减压、空气过滤器(13)过滤,经电加热器(12)进入下控气流组(16);

当上控气流组 (17) 中的某个进排气阀  $K_{uxy}$  和下控气流组 (16) 中的某个进排气阀  $K_{lxy}$  打开时, 压缩空气进入密封舱 (1) 内, 并在控制器 (8) 的控制下使密封舱 (1) 内的压力保持在  $\alpha P_{N0} \sim 100\text{KPa}$  范围内,  $\alpha$  为空气密度比值系数,  $P_{N0}$  为密封舱 (1) 所处的环境的大气压力; 此时在压缩空气单元排气压力与密封舱 (1) 之间的压力差的作用下或密封舱 (1) 与富氧气空气袋 (2) 之间的气压差作用下, 加速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, 同时在富氧空气袋 (2) 和富氧空气瓶 (22) 获得富氧空气;

其中, 当控制器 (8) 监测到密封舱 (1) 某一测温点的温度  $W_{xyz}$  小于电气设备下限温度  $W_{S1}$  与换热下限系数  $\delta_1$  的乘积, 即  $W_{xyz} < \delta_1 W_{S1}$  时, 电加热器 (12) 工作, 加热空气, 保障密封舱 (1) 内电气设备 (18) 的正常工作温度;

空气对流通路为: 压缩空气单元排气  $\rightarrow$  空气过滤器 (13)  $\rightarrow$  电加热器 (12)  $\rightarrow$  下控气流组 (16)  $\rightarrow$  密封舱 (1) 内  $\rightarrow$  上控气流组 (17)  $\rightarrow$  三通阀  $\rightarrow$  膜氮氧分离装置 (4)  $\rightarrow$  富氧空气袋 (2) 和富氧空气瓶 (22)  $\rightarrow$  减压排气阀 (3), 箭头所示为气流流动方向。

6. 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每个温度传感器、气压差传感器 (19) 和氮气传感器 (20) 的输出端口连接; 控制器 (8) 的输出接口通过控制线与控制气流单元的进排气阀  $K_{xy}$ 、减压排气阀 (3)、空压机 (14)、电加热器 (12) 连接。

7. 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) 内电气设备的摆放位置、换热监测点位置坐标、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  $f(W_{xyz}, K_{uxz}, K_{lxz}, P_{dff}, FR, H\%)$ ;

#### 2) 气流内循环换热工作模式下的控制过程;

##### ① 电气设备定向换热

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  $f(W_{xyz}, K_{uxz}, K_{lxz}, P_{dff}, FR, H\%)$ , 控制气流单元打开上控气流组 (17) 和下控气流组 (16) 对应的进排气阀, 气流在轴流风机  $K_{3-2}$  作用下, 在温度为  $W_{xyz}$  的测温点所在电气设备 (18) 上产生定向对流空气, 加速该区域气体扰动;

所述定向换热是通过控制气流的路径和方向, 约束气流只在该温度  $W_{xyz}$  的测温点所在电气设备 (18) 上流过, 对电气设备 (18) 定向换热;

##### ② 气流内循环和气流外循环换热工作模式转换

当密封舱 (1) 内压力  $\alpha P_{N0} \leq P_{Ni} \leq 100\text{KPa}$ 、 $P_{0i} < P_{Ni}$ , 控制器 (8) 监测到温度传感器测得的平均温度  $W_{avg}$  接近密封舱 (1) 内压力  $P_{Ni}$  与压力上限值  $P_{Nmax}$  之比  $\frac{P_{Ni}}{P_{Nmax}}$ 、电气设备 (18) 工作温

度的上限值  $W_{Su}$  和温差系数  $\beta$  三者的乘积, 即  $W_{avg} \xrightarrow{\text{趋近}} \beta \frac{W_{Su} P_{Ni}}{P_{Nmax}}$  时, 所述的电气设备 (18) 密

封舱 (1) 由气流内循环换热工作模式转换为气流外循环换热工作模式;

当压力  $\alpha P_{N0} > P_{Ni}$  时, 减压排气阀 (3) 排气, 使  $P_{Ni} > \lambda P_{0i}$ , 确保气流外循环换热工作模式的执行;

## 3) 气流外循环换热工作模式下的控制过程

## ①密封舱舱门(11)处于打开状态时

控制器检测到 $P_{N0}=P_{Ni}$ 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,某一测温点温度传感器测得的温度 $W_{xyz}$ 小于电气设备工作温度下限 $W_{S1}$ 与换热下限系数 $\delta_1$ 的乘积,即 $W_{xyz}<\delta_1W_{S1}$ 时,控制器(8)控制压缩空气单元排气,气体经过滤和加热,向密封舱(1)内通入热空气;由于 $P_{0i}<P_{Ni}$ ,密封舱(1)内的空气通过膜氮氧分离装置(4)将氮氧分离,在密封舱(1)内保留氮气,富氧空气被压缩到富氧空气袋(2)中;当 $P_{0i}>P_{0x}$ ,富氧空气自动压缩到富氧空气瓶(22)中;

当控制器(8)监测到 $W_{xyz}\geq\delta_1W_{S1}$ 时,电加热器(12)停止工作;

## ③电气设备定向换热

当控制器(8)监测到密封舱(1)内某个测温点的温度 $W_{xyz}\geq\delta_uW_{Su}$ 时,控制器(8)依据测温点与控温关联函数 $f(W_{xyz},K_{uxz},K_{lxz},P_{dff},FR,H\%)$ ,控制打开气流单元测温点所在的电气设备对应的进排气阀,此时在压缩空气单元排气压力作用下,气流在该温度 $W_{xyz}$ 的测温点所在的电气设备(18)上产生定向对流空气,加速对对应区域的气体扰动;

## ④降低密封舱内的空气中氧气含量

当控制器(8)监测到密封舱(1)内 $N_2<86\%$ 、 $P_{0i}\geq P_{Ni}$ 时,控制减压排气阀(3)排气,使 $P_{Ni}>\lambda P_{0i}$ ;此时富氧空气瓶(22)内压力 $P_{0x}=P_{0i\_max}$ ;

## ⑤气流外循环和气流内循环换热工作模式转换

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,此时富氧空气袋(2)内压力 $P_\beta>P_{0i}\leq P_{Ni}$ ,控制器(8)执行气流内循环换热工作模式,为电气设备(18)换热;

其中, $f(W_{xyz},K_{uxz},K_{lxz},P_{dff},FR,H\%)$ 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; $K_{uxy}$ 为上控气流组(17)的进排气阀; $K_{lxy}$ 为下控气流组(16)的进排气阀; $x,y,z$ 分别代表上、下控气流组和温度传感器位置坐标, $x,y,z$ 为整数, $(x,y,z)\geq 1$ ; $P_{dff}$ 为密封舱内与富氧空气袋内压力差; $\alpha$ 为空气密度比值系数; $\delta_u$ 为换热上限系数, $0<\delta_u\leq 1$ ; $\delta_1$ 为换热下限系数 $0<\delta_1\leq 1$ ; $W_{S1}$ 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; $\beta$ 为温差系数,为定值 $\beta\leq 1$ ; $N_2$ 为氮气; $P_{Ni}$ 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)压力阈值; $P_{N0}$ 为密封舱(1)所处环境的大气压力。

8.按照权利要求7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)内电气设备的摆放位置及电气设备(18)换热监测点坐标位置安装温度传感器,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 $K_{uxy}$ 和下控气流组(16)的进排气阀 $K_{lxy}$ 的关联关系,通过对密封舱(1)内压力 $P_{Ni}$ 与富氧空气袋(2)内压力 $P_{0i}$ 的差,即 $P_{dff}=P_{Ni}-P_{0i}$ 、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)实时监测测温点温度,以及氮气传感器(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 $W_{xyz}$ 和富氧气袋内的压力 $P_{0i}$ ,给出对应的控制策略;

其中, $H\%$ 为密封舱内湿度; $FR$ 为控制气流单元气流流速; $W_{xyz}$ 为测温点的温度传感器测得温度; $K_{uxy}$ 为上控气流组(17)的进排气阀; $K_{lxy}$ 为下控气流组(16)的进排气阀; $x,y,z$ 分别代表上、下控气流组和温度传感器位置坐标, $x,y,z$ 为整数, $(x,y,z) \geq 1$ ; $P_{dff}$ 为密封舱(1)内与富氧空气袋内压力之差。

9.按照权利要求7所述的电气设备密封舱系统,其特征在于:气流内循环换热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 $K_{3-1}$ 断开上控气流组(17)与膜氮氧分离装置(4)气流通路,接通上控气流组(17)与下控气流组(16)的气流通路,轴流风机 $K_{3-2}$ 工作;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 $N_2\%$ ;

气流内循环通路为:三通阀→轴流风机 $K_{3-2}$ 排气→下控气流组(16)→密封舱(1)内吸热→上控气流组(17)→三通阀,箭头所示为空气流动方向。

10.按照权利要求7所述的电气设备密封舱系统,其特征在于:所述的电气设备(18)定向换热的过程如下:

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 $f(W_{xyz}, K_{uxz}, K_{lxz}, P_{dff}, FR, H\%)$ ,控制打开上控气流组(17)中与测温点所在电气设备对应的进排气阀 $K_{uxy}$ ,将气体排出,控制打开下控气流组(16)中与测温点所在电气设备对应的进排气阀 $K_{lxy}$ ,将气体吸入,并控制轴流风机 $K_{3-2}$ 的排气流速,气流在轴流风机 $K_{3-2}$ 作用下,在温度 $W_{xyz}$ 的测温点所在电气设备(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,降低该电气设备(18)的温度;

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:

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 $Q_6$ 。

11.按照权利要求7所述的电气设备密封舱系统,其特征在于:气流内循环和气流外循环换热工作模式转换过程如下:

当密封舱(1)内压力 $P_{Ni}$ 大于等于环境大气压力 $P_{No}$ 与空气密度比值系数 $\alpha$ 的乘积,并小于等于 $100\text{KPa}$ ,即 $\alpha P_{No} \leq P_{Ni} \leq 100\text{KPa}$ ,且富氧制备单元的富氧空气袋(2)内的压力 $P_{Oi} < P_{Ni}$ 时,控制器(8)监测到温度传感器测得的平均温度 $W_{avg}$ 接近密封舱(1)内压力 $P_{Ni}$ 与压力上限值

$P_{Nmax}$ 之比 $\frac{P_{Ni}}{P_{Nmax}}$ 、电气设备(18)工作温度的上限值 $W_{SU}$ ,及温差系数 $\beta$ 三者的乘积,即 $W_{avg} \xrightarrow{\text{趋近}} \beta \frac{W_{SU} P_{Ni}}{P_{Nmax}}$ 时,为提高换热效率,控制所述的电气设备密封舱由气流内循环换热

工作模式转换执行气流外循环换热工作模式,通过压缩空气单元空压机(14)内的压缩空气瓶(15)中冷空气置换密封舱(1)内的热空气;

此时,当控制器(1)监测到气压差传感器(19)所示其所在的密封舱(1)内压力 $P_{Ni} < \alpha P_{No}$ 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 $P_{Ni}$ 大于富氧空气袋(2)内的气体压力 $P_{Oi}$ 与压力控温系数 $\lambda$ 乘积,即 $P_{Ni} > \lambda P_{Oi}$ ,确保气流外循环换热工作模式有效执行,同步提高密封舱(1)气体的压力,增加气体密度,保证控温效果;

其中, $W_{xyz}$ 为测温点的温度传感器测得的温度, $x, y, z$ 分别代表温度传感器位置的坐标, $x, y, z$ 为整数, $(x, y, z) \geq 1$ ;  $W_{S1}$ 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;  $\beta$ 为温差系数,为定值,  $\beta \leq 1$ ;  $\delta_u$ 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;  $P_{Nmax}$ 为密封舱(1)内的压力上限值;  $\alpha$ 为空气密度比值系数;  $P_{Oi}$ 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。

12. 按照权利要求7所述的电气设备密封舱系统,其特征在于:气流外循环换热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)的气流通路,断开上控气流组(17)与下控气流组(16)的气流通路,轴流风机 $K_{3-2}$ 停止工作;控制器(8)通过氮气传感器(20)、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 $N_2\%$ ;

气流外循环通路为:压缩空气单元排气→空气过滤(13)→电加热器(12)→下控气流组(16)→密封舱(1)内吸热→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。

13. 按照权利要求7或12所述的电气设备密封舱系统,其特征在于:密封舱舱门(11)处于打开状态时,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 $P_{No} = P_{Ni}$ 时,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 $P_{Oi\_max}$ 时刻的压力相等,即 $P_{Ox} = P_{Oi\_max}$ ,提供工作人员供氧;空压机(14)依据设定的压缩空气瓶(15)的压力值自动启停工作。

14. 按照权利要求7或12所述的电气设备密封舱系统,其特征在于:当控制器(8)监测到密封舱舱门(11)处于关闭状态,某一测温点的温度传感器测得的温度 $W_{xyz}$ 小于电气设备(18)的工作温度下限 $W_{S1}$ 与换热下限系数 $\delta_l$ 的乘积,即 $W_{xyz} < \delta_l W_{S1}$ 时,控制器(8)控制压缩空气单元排气,经压缩空气单元的过滤器(13)过滤和电加热器(12)加热,向密封舱(1)内

通入空气,使密封舱(1)内的温度升高;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)内压缩空气压力 $P_{Ni}$ 大于富氧空气袋(2)气体压力 $P_{0i}$ ,即 $P_{0i}<P_{Ni}$ ,密封舱(1)内的压缩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;当富氧空气袋(2)气体压力 $P_{0i}$ 大于富氧空气瓶(22)内的压力 $P_{0X}$ 时,即 $P_{0i}>P_{0X}$ ,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 $\alpha P_{N0}\leq P_{0X}\leq 100\text{KPa}$ ;

当控制器(8)监测到各测温点的温度 $W_{xyz}$ 均大于等于电气设备(18)的工作温度下限 $W_{S1}$ ,即 $W_{xyz}\geq\delta_1 W_{S1}$ 时,令电加热器(12)停止工作;

其中, $W_{S1}$ 为电气设备(18)工作温度下限; $P_{Ni}$ 为密封舱(1)内的压力; $P_{0i}$ 为富氧空气袋(2)内部的压力; $\alpha$ 为空气密度比值系数; $\delta_u$ 为换热上限系数, $0<\delta_u\leq 1$ ; $\delta_l$ 为换热下限系数 $0<\delta_l\leq 1$ ; $P_{0X}$ 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。

15.按照权利要求7所述的电气设备密封舱系统,其特征在于:电气设备(18)定向换热过程如下:

当控制器(8)监测到密封舱(1)内某一测温点的温度 $W_{xyz}$ 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 $W_{SU}$ 和测温点与控温关联函数 $f(W_{xyz},K_{uxz},K_{lxz},P_{dff},FR,H\%)$ ,打开上控气流组(17)中与测温点所在电气设备对应的进排气阀 $K_{uxy}$ ,将气体吸入,打开下控气流组(16)中与测温点所在电气设备对应的进排气阀 $K_{lxy}$ ,将气体排出,此时在压缩空气单元排气压力与密封舱(1)之间的压力差的作用下,或在密封舱(1)与富氧空气袋(2)之间的气压差作用下,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,加速对应区域的气体扰动,实现对该测温点所在的电气设备(18)温度调节,同时降低密封舱(1)内氧气含量,为富氧制备单元的富氧空气袋(2)和富氧空气瓶(22)提供富氧空气。

16.按照权利要求7或15所述的电气设备密封舱系统,其特征在于:降低密封舱(1)内的空气中氧气含量的过程如下:

当控制器(8)监测到密封舱(1)内的氮气含量 $N_2<86\%$ ,富氧空气袋(2)内压力 $P_{0i}$ 大于等于密封舱(1)内压力 $P_{Ni}$ ,即 $P_{0i}\geq P_{Ni}$ 时,控制器(8)控制减压排气阀(3)排气,使密封舱(1)气体压力 $P_{Ni}$ 大于富氧空气袋(2)内的气体压力 $P_{0i}$ 与压力与控温系数 $\lambda$ 的乘积,即 $P_{Ni}>\lambda P_{0i}$ ;此时富氧空气瓶(22)内压力 $P_{0X}$ 等于富氧空气袋(2)内最大时刻的压力 $P_{0i\_max}$ ,即 $P_{0X}=P_{0i\_max}$ ;

其中, $P_{0i\_max}$ 为富氧空气袋(2)气体最大压力; $\alpha$ 为空气密度比值系数; $\lambda$ 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 $\lambda=W_{arg}\cdot P_\lambda\cdot f(W_{xyz},K_{uxz},K_{lxz},P_{dff},H\%)$ ;

在富氧空气袋(2)容积 $V_{0i}$ 、富氧空气瓶(22)的容积 $V_{0X}$ 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 $P_\lambda$ ,所述的压力比值系数 $P_\lambda$ 为富氧空气袋(2)内压力 $P_{0i}$ 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 $P_\lambda=\frac{P_{Ni}}{P_{0i}}\eta\%$ ,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。

17.按照权利要求7所述的电气设备密封舱系统,其特征在于:气流外循环和气流内循



环换热工作模式转换过程如下：

当控制器(8)监测到密封舱(1)内的空气氮气含量 $N_2 > 86\%$ ，并且密封舱(1)内压力 $\alpha P_{N0} \leq P_{Ni} \leq 100\text{KPa}$ 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)压力阈值 $P_\beta$ ，即 $P_\beta > P_{0i} \leq P_{Ni}$ ，此时控制器(8)执行气流内循环换热工作模式，为电气设备(18)换热；

其中， $N_2$ 为氮气； $O_2$ 为氧气； $P_{0i}$ 为富氧空气袋(2)内部压力； $P_{Ni}$ 为密封舱(1)内的压力； $P_\beta$ 为减压排气阀(3)的压力阈值； $W_{\text{avg}}$ 为温度传感器检测到的平均温度； $P_{0X}$ 为富氧空气瓶(22)内压力； $P_{N0}$ 为密封舱(1)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。

## 适用于高海拔地区的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。

[0006] 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。

[0007] 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。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。

[0008] 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。

[0009] 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。

[0010] 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

[0011] 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电气设备密封舱系统。

[0012] 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的高效换热,本发明采用了空气压缩技术、定向控温技术和膜氮氧分离技术:

[0013] 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。

[0014] 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 $U_f$ 。

[0015] 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,提高换热效率。所述的定向换热,是通过控制气流的路径和方向,约束气流在指定的电气设备上流过,对电气设备精准定向换热。

[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电气设备密封舱系统由密封舱、富氧制备单元、压缩空气单元、控制气流单元、温度传感器和控制器组成。

[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] 所述的压缩空气单元除空压机外均安装在密封舱内底部,空压机置于密封舱外。

[0021] 所述的控制气流单元分为上控气流组和下控气流组,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。

[0023] 所述温度传感器安装在密封舱内的电气设备上,经通讯线路与控制器连接,输出温度数据。

[0024] 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受控的压缩空气单元、富氧制备单元和控制气流单元的设备连接。

[0025] 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,富氧空气瓶两侧分别有进气口和出气口,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,利用密封舱内的压缩空气压力与富氧空气袋环境压力差,通过膜氮氧分离装置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。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,减压排气阀的开闭受富氧空气袋内气体压力控制。减压排气阀的控制端与控制器连接,控制器控制减压排气阀的开闭。富氧空气输出管道沿密封舱内顶部的一侧铺设,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。

[0026] 所述的压缩空气单元由空压机、空气过滤器、电加热器、氮气传感器和气压差传感器组成。空压机的控制端通过控制电缆与控制器连接;空气过滤器与电加热器置于密封舱底部靠近转角处,空气过滤器的进气口与空压机的减压阀连接,空气过滤器的出气口与电加热器的空气进口连接,电加热器的空气出口与下控气流组的主干管道连接。空压机内还含有压缩空气瓶和减压阀。空压机将空气压缩到压缩空气瓶中,压缩空气瓶气体经减压阀排出。

[0027] 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。

[0028] 所述的控制气流单元由上控气流组、下控气流组、三通阀、多个进排气阀和轴流风机组成。其中,三通阀内含有切换阀门。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通道与轴流风机的一端连接,轴流风机的另一端与下控气流组连接;三通阀的第3通道与上控气流组连接。

[0029] 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。其中,上控气流组中的主干管道上安装有气体流速传感器。

[0030] 下控气流组为树状结构,主干管道分别与电加热器空气出口和轴流风机的一端连接,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。

[0031] 控制气流单元中所有的进排气阀都与控制器连接,控制器依据密封舱内每台电气设备的最佳控温范围,控制对应进排气阀的开启或关闭。

[0032] 上控气流组通过三通阀的切换经轴流风机与下控气流组连接。在轴流风机作用下,密封舱内空气对流,气流经过下控气流组、密封舱内、上控气流组、三通阀到轴流风机,实现气流内循环。

[0033] 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,在压缩

空气单元排气的作用下,密封舱内空气对流,密封舱外空气经过压缩空气单元的空气过滤器和电加热器、下控气流组、在密封舱内换热,再经过上控气流组、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,再经减压排气阀排出,实现气流外循环。

[0034] 由此,在密封舱内有气流内循环和气流外循环两种换热模式,两种循环换热工作模式通过三通阀的切换实现。

[0035] 当执行气流内循环换热工作模式时,控制器控制三通阀的切换,断开上控气流组与膜氮氧分离装置的气流通路,接通上控气流组与下控气流组的气流通路,上控气流组中某个进排气阀 $K_{uxy}$ 和下控气流组中某个进排气阀 $K_{lxy}$ 打开时,气流在轴流风机作用下加速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。

[0036] 此时空气对流通路为:三通阀→轴流风机向下排气→下控气流组→密封舱内→上控气流组→三通阀,箭头所示为气流流动方向。

[0037] 当执行气流外循环换热工作模式时,控制器控制三通阀门 $K_{3-1}$ 的切换,接通上控气流组与膜氮氧分离装置气流通路,同时停止轴流风机 $K_{3-2}$ 的工作,断开与下控气流组的气流通路。此时空压机中的压缩空气瓶将压缩空气经减压阀减压、空气过滤器过滤,经电加热器进入下控气流组。当上控气流组中某个进排气阀 $K_{uxy}$ 和下控气流组中某个进排气阀 $K_{lxy}$ 打开时,压缩空气进入密封舱内,并在控制器的控制下,使密封舱内的压力保持在 $\alpha P_{N0} \sim 100KPa$ 范围内, $\alpha$ 为空气密度比值系数, $P_{N0}$ 为密封舱所处的环境的大气压力。此时在压缩空气单元排气压力与密封舱之间的压力差的作用下或密封舱与富氧空气袋之间气压差的作用下,加速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,同时富氧空气袋和富氧空气瓶中获得富氧空气。

[0038] 其中,当控制器监测到密封舱内某一测温点的温度 $W_{iii}$ 低于电气设备温度下限 $W_{S1}$ 时,控制器令电加热器工作,加热空气,保障密封舱内电气设备正常工作温度。由于高海拔环境温度低,无需对密封舱制冷控制。

[0039] 空气对流通路为:压缩空气单元排气→空气过滤器→电加热器→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。

[0040] 由此提高气体密度、扰动电气设备所在某一区域的气体、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。

[0041] 所述的温度传感器依据密封舱电气设备的摆放位置和属性,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。

[0042] 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阀门、空压机、电加热器连接。

[0043] 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:

[0044] 1) 建立测温点与控温关联函数

[0045] 依据密封舱内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 $f(W_{xyz}, K_{uxz}, K_{lxz}, P_{dff}, FR, H\%)$ 。

[0046] 2) 气流内循环换热工作模式下的控制过程

[0047] ①电气设备定向换热

[0048] 控制器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 $f(W_{xyz}, K_{uxz}, K_{lxz}, P_{dff}, FR, H\%)$ ,控制气流单元打开测温点所在电气设备对应的进排气阀,气流在轴流风机 $K_{3-2}$ 作用下,在温度 $W_{xyz}$ 的测温点所在电气设备上,产生定向对流空气,加速该区域气体扰动。所述定向换热是通过控制气流的路径和方向,约束气流只在该温度 $W_{xyz}$ 的测温点所在的电气设备上流过,对电气设备定向换热。

[0049] ②气流内循环和气流外循环换热工作模式转换

[0050] 当密封舱的压力 $\alpha P_{N0} \leq P_{Ni} \leq 100\text{KPa}$ 、 $P_{0i} < P_{Ni}$ ,监测到温度传感器测得的平均温度 $W_{avg}$ 接近密封舱内压力 $P_{Ni}$ 与压力上限值 $P_{Nmax}$ 之比 $\frac{P_{Ni}}{P_{Nmax}}$ 、电气设备工作温度的上限值 $W_{su}$ 和

温差系数 $\beta$ 三者的乘积,即 $W_{avg} \xrightarrow{\text{趋近}} \beta \frac{W_{su} P_{Ni}}{P_{Nmax}}$ 时,所述的电气设备密封舱由气流内循环换热工作模式转换为气流外循环换热工作模式。

[0051] 当压力 $\alpha P_{N0} > P_{Ni}$ 时,减压排气阀排气,使 $P_{Ni} > \lambda P_{0i}$ ,确保气流外循环换热工作模式的高效执行。

[0052] 3) 气流外循环换热工作模式下的控制过程

[0053] ①密封舱舱门处于打开状态时

[0054] 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;

[0055] ②密封舱舱门处于关闭状态时

[0056] 当控制器监测到密封舱舱门关闭,温度传感器测得的某一测温点的温度 $W_{xyz}$ 小于电气设备工作温度下限 $W_{s1}$ 与换热下限系数 $\delta_1$ 的乘积,即 $W_{xyz} < \delta_1 W_{s1}$ 时,控制器控制压缩空气单元排气,气体经过滤和加热,向密封舱内压入热空气;由于 $P_{0i} < P_{Ni}$ ,密封舱内的空气通过膜氮氧分离装置将氮氧分离,氮气保留在密封舱内,富氧空气被压缩到富氧空气袋中。

[0057] 当控制器监测到 $W_{xyz} \geq \delta_1 W_{s1}$ 时,电加热器停止工作。

[0058] ③电气设备定向换热

[0059] 当控制器监测到密封舱内某一测温点的温度传感器测得的温度 $W_{xyz}$ 大于等于设备工作温度上限值 $W_{su}$ 与换热上限系数 $\delta_u$ 的乘积,即 $W_{xyz} \geq \delta_u W_{su}$ 时,控制器依据测温点与控温关联函数 $f(W_{xyz}, K_{uxz}, K_{lxz}, P_{dff}, FR, H\%)$ ,控制打开气流单元测温点所在的电气设备对应的进排气阀,此时在压缩空气单元排气压力与密封舱内的压力差的作用下,气流在温度 $W_{xyz}$ 测温点的电气设备上产生定向对流空气,加速对应区域的气体扰动。

[0060] ④降低密封舱内的空气中氧气含量

[0061] 当控制器监测到密封舱内 $N_2 < 86\%$ 、 $P_{0i} \geq P_{Ni}$ 时,控制减压排气阀排气,使 $P_{Ni} > \lambda P_{0i}$ ;此时富氧空气瓶内压力 $P_{0x} = P_{0i\_max}$ 。

[0062] ⑤气流外循环和气流内循环换热工作模式转换

[0063] 当控制器监测到密封舱内 $N_2 > 86\%$ 和 $\alpha P_{N0} \leq P_{Ni} \leq 100\text{KPa}$ 时,此时富氧空气袋内压力 $P_{\beta} > P_{0i} \leq P_{Ni}$ ,此时控制器执行气流内循环换热工作模式,为电气设备换热。

[0064] 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; $W_{xyz}$ 为测温点的温度传感器测得的温度; $K_{uxy}$ 为上控气流组的进排气阀; $K_{lxy}$ 为下控气流组的进排气阀, $x, y, z$ 分别代表上、下控气流组和温度传感器位置坐标, $x, y, z$ 为整数, $(x, y, z) \geq 1$ ;  $\delta_u$ 为换热上限系数, $0 < \delta_u \leq 1$ ;  $\delta_1$ 为换热下限系数 $0 <$

$\delta_1 \leq 1$ ;  $\alpha$ 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;  $W_{S1}$ 为电气设备工作温度下限;  $W_{SU}$ 为电气设备工作温度上限;  $\beta$ 为温差系数, 为定值,  $\beta \leq 1$ ;  $P_{Ni}$ 为密封舱内的压力;  $P_{Nmax}$ 为密封舱内的压力上限值;  $P_{\beta}$ 为减压排气阀压力阈值;  $P_{0i}$ 为富氧空气袋内部压力;  $P_{0x}$ 为富氧空气瓶内压力;  $P_{N0}$ 为密封舱所处环境的大气压力。

[0065] 控制器对本发明密封舱系统的控制过程具体如下:

[0066] 1、建立测温点与控温关联函数

[0067] 依据密封舱内电气设备的摆放及电气设备换热监测点安装温度传感器, 建立每个测温点温度  $W_{xyz}$  与上控气流组的进排气阀  $K_{uxy}$  和下控气流组的进排气阀  $K_{lxy}$  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  $P_{0i}$  的差, 即  $P_{dff} = P_{Ni} - P_{0i}$ , 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  $f(W_{xyz}, K_{uxz}, K_{lxz}, P_{dff}, FR, H\%)$ 。

[0068] 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  $P_{Ni}$ 、气体流速  $FR$ 、每个温度传感器测温点温度  $W_{xyz}$  和富氧空气袋内的压力  $P_{0i}$ , 制定对应的控制策略。

[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;  $W_{xyz}$  为测温点温度传感器测得的温度;  $K_{uxy}$  为上控气流组的某个进排气阀;  $K_{lxy}$  为下控气流组的某个进排气阀,  $x, y, z$  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;  $P_{dff}$  为密封舱内压力与富氧空气袋内压力之差。

[0070] 2、气流内循环换热工作模式下的控制过程

[0071] 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, 接通上控气流组与下控气流组的气流通路, 轴流风机工作。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  $P_{0i}$ 、平均温度  $W_{avg}$  和密封舱内的空气中氮气含量  $N_2\%$ 。

[0072] 气流内循环换热工作模式下气流内循环通路为:

[0073] 三通阀 → 轴流风机排气 → 下控气流组 → 密封舱内吸热 → 上控气流组 → 三通阀, 箭头所示为气流流动方向。

[0074] 具体如下:

[0075] 1) 电气设备定向换热

[0076] 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  $f(W_{xyz}, K_{uxz}, K_{lxz}, P_{dff}, FR, H\%)$ , 打开上控气流组中与测温点所在电气设备对应的进排气阀, 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进排气阀, 将气体吸入, 并控制轴流风机的排气流速。气流在轴流风机作用下, 在温度  $W_{xyz}$  测温点所在的电气设备周围产生对电气设备由上至下的定向换热对流空气, 加速该区域气体扰动, 降低该电气设备的温度。

[0077] 具体如: 在没有其它电气设备遮档的条件下, 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:

[0078] 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 $Q_1$ ;

[0079] 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 $Q_2$ ;

[0080] 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 $Q_3$ ;

[0081] 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 $Q_4$ ;

[0082] 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 $Q_5$ ;

[0083] 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 $W_{xyz}$ 的测温点所在的电气设备的气流 $Q_6$ 。

[0084] 2) 气流内循环和气流外循环换热工作模式转换

[0085] 当密封舱内压力大于等于环境大气压力 $P_{N0}$ 与空气密度比值系数 $\alpha$ 的乘积,并小于等于 $100\text{KPa}$ ,即 $\alpha P_{N0} \leq P_{Ni} \leq 100\text{KPa}$ ,且富氧制备单元的富氧空气袋内的压力 $P_{0i} < P_{Ni}$ 时,控制器监测到温度传感器侧得的平均温度 $W_{avg}$ 接近密封舱内压力 $P_{Ni}$ 与压力上限值 $P_{Nmax}$ 之比

$\frac{P_{Ni}}{P_{Nmax}}$ 、电气设备工作温度的上限值 $W_{SU}$ 、以及温差系数 $\beta$ 三者的乘积,即

$W_{avg} \xrightarrow{\text{趋近}} \beta \frac{W_{SU} P_{Ni}}{P_{Nmax}}$ 时,为提高换热效率,控制所述的电气设备密封由气流内循环换热工作

模式转换为气流外循环换热工作模式,通过压缩空气单元空压机内的压缩空气瓶中冷空气置换密封舱内的热空气。

[0086] 此时,当控制器监测到气压差传感器中,密封舱内压力 $\alpha P_{N0} > P_{Ni}$ 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 $P_{Ni}$ 大于富氧空气袋内的气体压力 $P_{0i}$ 与压力控温系数 $\lambda$ 乘积,即 $P_{Ni} > \lambda P_{0i}$ ,确保气流外循环换热工作模式的高效执行,同步提高密封舱气体的压力,增加气体密度,保证精准控温。

[0087] 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、下控气流组和温度传感器位置三维坐标, $x$ 、 $y$ 、 $z$ 为整数, $(x, y, z) \geq 1$ ;  $W_{S1}$ 为电气设备工作下限温度; $W_{SU}$ 为电气设备工作温度上限; $\beta$ 为温差系数定值,为 $\beta \leq 1$ ;  $N_2$ 为氮气; $P_{Ni}$ 为密封舱内的压力; $P_{Nmax}$ 为密封舱内的压力上限值; $P_{0i}$ 为富氧空气袋的内部压力; $P_{0X}$ 为富氧空气瓶内压力; $\delta_u$ 为换热上限系数, $0 < \delta_u \leq 1$ ;  $\delta_l$ 为换热下限系数 $0 < \delta_l \leq 1$ ;  $P_{N0}$ 为密封舱所处环境的大气压力; $H\%$ 为密封舱内湿度; $FR$ 为控制气流单元气流流速; $\alpha$ 为空气密度比值系数,即密封舱内目标空气密度与环境空气密度之比。

[0088] 3、气流外循环换热工作模式下的控制过程

[0089] 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,断开上控气流组与下控气流组的气流通路,停止轴流风机工作。控制器通过氮气传感器、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 $P_{0i}$ 、平均温度 $W_{avg}$ 和密封舱内的空气中氮气含量 $N_2\%$ 。

[0090] 气流外循环换热工作模式下的气流外循环通路为:压缩空气单元排气→空气过滤



→电加热器→下控气流组→密封舱内吸热→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。具体如下:

[0091] 1) 密封舱舱门处于开放状态时

[0092] 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内的气体排空。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 $P_{0i\_max}$ 时刻的压力相等,即 $P_{OX}=P_{0i\_max}$ ,可提供工作人员供氧需求。空压机依据设定的压缩空气瓶的压力值自动启停工作。

[0093] 2) 密封舱舱门处于关闭状态时

[0094] 当控制器监测到密封舱舱门关闭和某一测温点的温度 $W_{xyz}$ 小于电气设备的工作温度下限值 $W_{S1}$ 与换热下限系数 $\delta_1$ 的乘积,即 $W_{xyz}<\delta_1 W_{S1}$ 时,控制器控制压缩空气单元排气,经压缩空气单元的过滤器过滤空气和电加热器加热,向密封舱内压入空气,使密封舱内的温度升高。由于富氧制备单元的富氧空气袋气体压力 $P_{0i}$ 为该环境的大气压力 $P_{N0}$ ,即 $P_{0i}=P_{N0}$ ,密封舱内压缩空气压力 $P_{Ni}$ 大于富氧空气袋气体压力 $P_{0i}$ ,即 $P_{0i}<P_{Ni}$ ,密封舱内的压缩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。当富氧空气袋气体压力 $P_{0i}$ 大于富氧空气瓶内的压力 $P_{OX}$ 时,即 $P_{0i}>P_{OX}$ ,富氧空气自动压缩到富氧空气瓶中,保持富氧空气瓶的气体压力 $\alpha P_{N0}\leq P_{OX}\leq 100\text{KPa}$ 。

[0095] 当控制器监测到各测温点温度 $W_{xyz}$ 均大于等于电气设备的工作温度下限值 $W_{S1}$ 与换热下限系数 $\delta_1$ 的乘积,即 $W_{xyz}\geq\delta_1 W_{S1}$ 时,令电加热器停止工作。

[0096] 其中, $W_{S1}$ 为电气设备工作温度下限; $\delta_u$ 为换热上限系数, $0<\delta_u\leq 1$ ; $\delta_l$ 为换热下限系数, $0<\delta_l\leq 1$ ; $P_{Ni}$ 为密封舱内的压力; $P_{0i}$ 为富氧空气袋的内部压力; $P_{OX}$ 为富氧空气瓶内压力; $W_{SU}$ 为电气设备工作温度上限; $P_{0i\_max}$ 为富氧空气袋气体最大压力; $P_{N0}$ 为密封舱所处环境的大气压力。

[0097] 3) 电气设备定向换热

[0098] 当控制器监测到密封舱内某一测温点的温度 $W_{xyz}$ 接近电气设备工作温度的上限值 $W_{SU}$ 时,控制器依据电气设备工作温度的上限值 $W_{SU}$ 和测温点与控温关联函数 $f(W_{xyz}, K_{uxz}, K_{lxz}, P_{dff}, FR, H\%)$ ,打开上控气流组中与测温点所在电气设备对应的进排气阀,将气体吸入,打开下控气流组中与测温点所在电气设备对应进排气阀,将气体排出。此时在压缩空气单元排气压力与密封舱之间的压力差的作用下,或在密封舱与富氧空气袋之间的气压差作用下,在温度 $W_{xyz}$ 的测温点所在电气设备周围,产生由下至上的定向对流空气,加速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,同时降低密封舱内氧气含量,为富氧制备单元的富氧空气袋和富氧空气瓶内提供富氧空气。

[0099] 具体如:在没有其它电气设备遮档的条件下,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:

[0100] 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 $Q_1$ ;

[0101] 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 $Q_2$ ;

[0102] 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 $Q_3$ ;

[0103] 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 $Q_4$ ;

[0104] 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 $Q_5$ ;

[0105] 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 $W_{xyz}$ 的测温点所在的电气设备的气流 $Q_6$ 。

[0106] 4)降低密封舱内的空气中氧气含量

[0107] 当控制器监测到密封舱内的空气氮气含量 $N_2 < 86\%$ ,富氧空气袋内压力 $P_{O_i}$ 大于等于密封舱内压力 $P_{N_i}$ ,即 $P_{O_i} \geq P_{N_i}$ 时,控制器控制减压排气阀排气,使密封舱气体压力 $P_{N_i}$ 大于富氧空气袋内的气体压力 $P_{O_i}$ 与压力与控温系数 $\lambda$ 的乘积,即 $P_{N_i} > \lambda P_{O_i}$ 。此时富氧空气瓶内压力 $P_{O_X}$ 等于富氧空气袋内最大时刻的压力 $P_{O_i\_max}$ ,即 $P_{O_X} = P_{O_i\_max}$ 。

[0108] 其中, $P_{O_i\_max}$ 为富氧空气袋气体最大压力; $\alpha$ 为空气密度比值系数; $\lambda$ 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:

[0109]  $f(W_{xyz}, K_{uxz}, K_{lxz}, P_{dff}, H\%)$

[0110] 得到 $\lambda = W_{arg} \cdot P_\lambda \cdot f(W_{xyz}, K_{uxz}, K_{lxz}, P_{dff}, H\%)$ 。

[0111] 在富氧空气袋容积 $V_{O_i}$ 、富氧空气瓶的容积 $V_{O_X}$ 和密封舱容积 $V_{N_i}$ 一定时,密封舱内的氮气含量 $N_2\%$ 取决于压力比值系数 $P_\lambda$ ,压力比值系数 $P_\lambda$ 为富氧空气袋内压力 $P_{O_i}$ 与密封舱内的

的压力 $P_{N_i}$ 之比与膜氮氧分离装置的氮氧分离效率 $\eta\%$ 的乘积,即 $P_\lambda = \frac{P_{N_i}}{P_{O_i}} \eta\%$ ,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。

[0112] 5)气流外循环和气流内循环换热工作模式转换

[0113] 当控制器监测到密封舱内的空气氮气含量 $N_2 > 86\%$ 和密封舱内压力 $\alpha P_{N_0} \leq P_{N_i} \leq 100KPa$ 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 $O_2 \geq 29\%$ ,富氧空气袋内压力 $P_{O_i}$ 分别小于等于密封舱内的压力 $P_{N_i}$ 和减压排气阀压力阈值 $P_\beta$ ,即 $P_\beta > P_{O_i} \leq P_{N_i}$ ,此时控制器执行气流内循环换热工作模式,为电气设备换热。

[0114] 其中, $N_2$ 为氮气; $O_2$ 为氧气; $P_{O_i}$ 为富氧空气袋内部的压力; $P_{N_i}$ 为密封舱内的压力; $P_\beta$ 为减压排气阀压力阈值; $W_{avg}$ 为测温点温度传感器检测到的平均温度; $P_{O_X}$ 为富氧空气瓶内压力; $P_{N_0}$ 为密封舱所处环境的海拔大气压力; $\alpha$ 空气密度比值系数。

[0115] 由此提高气体密度、精准扰动某一区域的气体、降低密封舱内氧气浓度,同时富氧空气袋和富氧空气瓶内均获得富氧空气。

[0116] 本发明密封舱系统具有以下特点:

- [0117] • 优化控制排气路径,实现精准控温降低能耗;
- [0118] • 低含氧量避免火灾发生;
- [0119] • 密封舱正压工作,避免了粉尘进入,提高了绝缘强度;
- [0120] • 干燥空气避免了绝缘度的降低;
- [0121] • 高海拔电气设备免降额工作,降低了成本费用;

- [0122] • 富氧空气可供高海拔工作人员供氧,保证基本呼吸需求;
- [0123] • 冗余度高、代偿能力强,与空调、风扇比较寿命长。

### 附图说明

- [0124] 图1本发明电气设备密封舱系统结构图;
- [0125] 图2本发明设备安放示意图;
- [0126] 图3本发明的三通阀门结构示意图;
- [0127] 图4本发明控制过程流程图。

### 具体实施方式

- [0128] 以下结合附图和具体实施方式进一步说明本发明。
- [0129] 如图1和图2所示,本发明用于高海拔地区的电气设备密封舱系统由密封舱1、控制气流单元、富氧制备单元、压缩空气单元、温度传感器和控制器8组成。
- [0130] 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。
- [0131] 所述的压缩空气单元除空压机14外都安装在密封舱1内底部,空压机14置于密封舱1外。
- [0132] 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。
- [0133] 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。
- [0134] 所述的温度传感器安装在密封舱1内电气设备18上,经通讯线路与控制器8连接,输出温度数据。
- [0135] 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受控的压缩空气单元、富氧制备单元和控制气流单元的设备连接。
- [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22两侧分别有进气口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三通阀门连接,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,通过膜氮氧分离装置4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的开闭受富氧空气袋2内气体压力控制。减压排气阀3的控制端与控制器8连接,控制器8控制减压排气阀3的开闭。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和密封舱舱门11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。

[0137] 所述的压缩空气单元由空压机14、空气过滤器13、电加热器12、氮气传感器20和气压差传感器19组成。空压机14的控制端通过控制电缆与控制器8连接；空气过滤器13与电加热器12置于密封舱1底部靠近转角处，空气过滤器13的进气口与空压机的减压阀连接，空气过滤器13的出气口与电加热器12的空气进口连接，电加热器12的空气出口与下控气流组16的主干管道25连接。空压机14内还含有压缩空气瓶15和减压阀。空压机14将空气压缩到压缩空气瓶15中，压缩空气瓶15气体经减压阀排出。

[0138] 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<sub>2</sub>%。其中，氮气传感器20中包含湿度传感器。

[0139] 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、三通阀、上控气流组17进排气阀K<sub>uxy</sub>、下控气流组16进排气阀K<sub>lxy</sub>和轴流风机K<sub>3-2</sub>组成。其中，三通阀内含有切换阀门K<sub>3-1</sub>。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通道与轴流风机K<sub>3-2</sub>的一端连接，轴流风机K<sub>3-2</sub>的另一端与下控气流组16连接；三通阀的第3通道与上控气流组17连接。

[0140] 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<sub>uxy</sub>，多条树状分支管道末端的进排气阀K<sub>uxy</sub>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。

[0141] 下控气流组16为树状结构，主干管道25分别与电加热器12的空气出口和轴流风机的一端连接，每条树状分支管道末端都装有一个进排气阀K<sub>lxy</sub>，多条树状分支管道末端的进排气阀K<sub>lxy</sub>均铺设在密封舱1内的底部。

[0142] 控制气流单元的上控气流组17中所有进排气阀K<sub>uxy</sub>和下控气流组16中所有进排气阀K<sub>lxy</sub>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中与测温点所在电气设备18对应的进排气阀K<sub>uxy</sub>和下控气流组16中与测温点所在电气设备18对应的进排气阀K<sub>lxy</sub>打开或关闭。

[0143] 上控气流组17通过三通阀门K<sub>3-1</sub>的切换经过轴流风机K<sub>3-2</sub>与下控气流组16连接。在轴流风机K<sub>3-2</sub>作用下，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、三通阀到达轴流风机K<sub>3-2</sub>，实现气流内循环。

[0144] 当上控气流组17通过三通阀门K<sub>3-1</sub>的切换与富氧制备单元的膜氮氧分离装置4连接，在压缩空气单元排气的作用下，密封舱1内空气对流，密封舱1外的空气经过压缩空气单元的空气过滤器13和电加热器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<sub>3-1</sub>切换、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，再经减压排气阀3排出，实现气流外循环。

[0145] 由此，在密封舱1内有气流内循环和气流外循环两种换热工作模式，两种循环换热工作模式通过三通阀门K<sub>3-1</sub>的切换实现。

[0146] 当执行气流内循环换热工作模式时，控制器8控制三通阀门K<sub>3-1</sub>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，接通上控气流组17与下控气流组16的气流通路，

上控气流组17中某个进排气阀 $K_{uxy}$ 和下控气流组16中某个进排气阀 $K_{lxy}$ 打开时,气流在轴流风机 $K_{3-2}$ 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。

[0147] 此时空气对流通路为:三通阀门 $K_{3-1}$ →轴流风机 $K_{3-2}$ 向下排气→下控气流组16→密封舱1内→上控气流组17→三通阀门 $K_{3-1}$ ,箭头所示为气流流动方向。

[0148] 当执行气流外循环换热工作模式时,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,同时停止轴流风机 $K_{3-2}$ 工作,断开与下控气流组16的气流通路。此时空压机14中的压缩空气瓶15将压缩空气经减压阀减压、空气过滤器13过滤,经电加热器12进入下控气流组16。

[0149] 当上控气流组17中某个进排气阀 $K_{uxy}$ 和下控气流组16中某个进排气阀 $K_{lxy}$ 打开时,压缩空气进入密封舱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所处的环境的大气压力。此时在压缩空气单元排气压力与密封舱1之间的压力差的作用下,或密封舱1与富氧空气袋2之间的气压差作用下,加速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,同时在富氧空气袋2和富氧空气瓶22获得富氧空气。

[0150] 其中,当控制器8监测到密封舱1某一测温点的温度 $W_{xyz}$ 低于电气设备温度下限 $W_{S1}$ 时,电加热器12工作,加热空气,保障密封舱1内电气设备18正常工作温度。由于高海拔环境温度低,无需对密封舱1制冷控制。

[0151] 空气对流通路为:压缩空气单元排气→空气过滤器13→电加热器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。

[0152] 由此提高气体密度、定向扰动某一区域的气体、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。

[0153] 所述的温度传感器依据密封舱1电气设备18的摆放位置和属性,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。

[0154] 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中、气压差传感器19和氮气传感器20的输出口连接;控制器8的输出接口通过控制线与控制气流单元的进排气阀、减压排气阀3、空压机14、电加热器12连接。

[0155] 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:

[0156] 1) 建立测温与控温度关联函数

[0157] 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 $f(W_{xyz}, K_{uxz}, K_{lxz}, P_{dff}, FR, H\%)$ 。

[0158] 2) 气流内循环换热工作模式下控制过程

[0159] ①电气设备定向换热

[0160] 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 $f(W_{xyz}, K_{uxz}, K_{lxz}, P_{dff}, FR, H\%)$ ,控制气流单元打开上控气流组17和下控气流组16对应的进排气阀,气流在轴流风机 $K_{3-2}$ 作用下,在温度 $W_{xyz}$ 测温点所在的电气设备18上产生定向对流空气,加速该区域气体扰动。所述的定向换热,是通过控制气流的路径和方向,约束气流只在温度 $W_{xyz}$ 测温点所在的电气设备18上流过,对电气设备18定向换热。

[0161] ②气流内循环和气流外循环换热工作模式转换

[0162] 当密封舱内压力 $\alpha P_{N0} \leq P_{Ni} \leq 100\text{KPa}$ 、 $P_{0i} < P_{Ni}$ 时,控制器8监测到温度传感器测得的

平均温度 $W_{avg}$ 接近密封舱1内压力 $P_{Ni}$ 与力上限值 $P_{Nmax}$ 之比 $\frac{P_{Ni}}{P_{Nmax}}$ 、电气设备18工作温度的上

限值 $W_{su}$ 和温差系数 $\beta$ 三者的乘积,即 $W_{avg} \xrightarrow{\text{趋近}} \beta \frac{W_{su} P_{Ni}}{P_{Nmax}}$ 时,所述的电气设备密封舱由气

流内循环换热工作模式转换为气流外循环换热工作模式。

[0163] 当压力 $\alpha P_{N0} > P_{Ni}$ 时,减压排气阀3排气,使 $P_{Ni} > \lambda P_{0i}$ ,确保气流外循环换热工作模式有效的执行。

[0164] 3) 气流外循环换热工作模式下的控制过程

[0165] ①密封舱舱门11处于开放状态时

[0166] 控制器检测到 $P_{N0} = P_{Ni}$ 时,控制减压排气阀3排空富氧空气袋2的气体。

[0167] ②密封舱舱门11处于关闭状态时

[0168] 当控制器8监测到密封舱舱门11关闭,温度传感器某一测温点的温度 $W_{xyz}$ 小于电气设备工作温度下限值 $W_{s1}$ 与换热下限系数 $\delta_1$ 的乘积,即 $W_{xyz} < \delta_1 W_{s1}$ 时,控制器8控制压缩空气单元排气,气体经过滤和加热,向密封舱1内通入热空气;由于 $P_{0i} < P_{Ni}$ ,压缩空气通过膜氮氧分离装置4降低密封舱1内的氧气含量,富氧空气被压缩到富氧空气袋2中。当 $P_{0i} > P_{0x}$ ,密封舱1内的空气通过膜氮氧分离装置4将氮氧分离,氮气保留,富氧空气被压缩到富氧空气袋2中。当控制器8监测到 $W_{xyz} \geq \delta_1 W_{s1}$ 时,电加热器12停止工作。

[0169] ③电气设备定向换热

[0170] 当控制器8监测到密封舱1内某个测温点的温度 $W_{xyz} \geq \delta_u W_{su}$ 时,控制器8依据测温点与控温关联函数 $f(W_{xyz}, K_{uxz}, K_{1xz}, P_{dff}, FR, H\%)$ ,控制打开气流单元测温点所在电气设备对应的进排气阀,此时在压缩空气单元排气压力的作用下,气流在温度 $W_{xyz}$ 的测温点所在的电气设备18上产生定向对流空气,加速对应区域的气体扰动。

[0171] ④降低密封舱内的空气中氧气含量

[0172] 当控制器8监测到密封舱1内 $N_2 < 86\%$ 、 $P_{0i} \geq P_{Ni}$ 时,控制减压排气阀3排气,使 $P_{Ni} > \lambda P_{0i}$ ;此时富氧空气瓶22内压力 $P_{0x} = P_{0i\_max}$ 。

[0173] ⑤气流外循环和气流内循环换热工作模式转换

[0174] 当控制器8监测到密封舱1内 $N_2 > 86\%$ 和 $\alpha P_{N0} \leq P_{Ni} \leq 100\text{KPa}$ 时,此时富氧空气袋2内压力 $P_{\beta} > P_{0i} \leq P_{Ni}$ ,此时控制器8执行气流内循环换热工作模式,为电气设备18换热。

[0175] 其中, $f(W_{xyz}, K_{uxz}, K_{1xz}, P_{dff}, FR, H\%)$ 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; $W_{xyz}$ 为测温点的温度传感器中测得的温度; $x, y, z$ 分别代表上、下控气流组和温度传感器位置的坐标, $x, y, z$ 为整数, $(x, y, z) \geq 1$ ;  $K_{uxy}$ 为控上气流组17的进排气阀; $K_{1xy}$ 为下控气流组16的进排气阀; $P_{dff}$ 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; $\delta_u$ 为换热上限系数, $0 < \delta_u \leq 1$ ;  $\delta_1$ 为换热下限系数, $0 < \delta_1 \leq 1$ ;  $\alpha$ 为空气密度比值系数; $\beta$ 为温差系数,为定值, $\beta \leq 1$ ;  $N_2$ 为氮气; $P_{Ni}$ 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; $P_{N0}$ 为密封舱1所处的环境的大气压力; $H\%$ 为密封舱1内湿度; $FR$ 为控制气流单元气流流速; $O_2$ 为氧气; $P_{\beta}$ 为减压排气阀3的压力阈值;。

[0176] 如图4所示,控制器8对本发明密封舱系统的控制过程具体如下:

[0177] 1、建立测温点与控温关联函数

[0178] 依据密封舱1内电气设备的摆放位置及电气设备18换热监测点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 $K_{uxy}$ 和下控气流组16的进排气阀 $K_{lxy}$ 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 $P_{0i}$ 的差,即 $P_{dff} = P_{Ni} - P_{0i}$ 、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 $f(W_{xyz}, K_{uxz}, K_{lxz}, P_{dff}, FR, H\%)$ 。

[0179] 控制器8实时监测温度、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,并依据密封舱内1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 $W_{xyz}$ 和富氧气袋内的压力 $P_{0i}$ ,分析判断给出对应的控制策略。

[0180] 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; $W_{xyz}$ 为测温点的温度传感器测得的温度; $K_{uxy}$ 为控上气流组17的进排气阀; $K_{lxy}$ 为下控气流组16的进排气阀;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; $P_{dff}$ 为密封舱内与富氧空气袋内压力差。

[0181] 2、气流内循环换热工作模式下的控制过程

[0182] 控制器8控制三通阀中的切换阀门 $K_{3-1}$ 的切换,断开上控气流组17与膜氮氧分离装置4气流通路,接通上控气流组17与下控气流组16的气流通路,轴流风机 $K_{3-2}$ 工作。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内的压力 $P_{Ni}$ 、富氧空气袋内的压力 $P_{0i}$ 、平均温度 $W_{avg}$ 、和密封舱内的空气中氮气含量 $N_2\%$ 。

[0183] 气流内循环通路为:三通阀→轴流风机 $K_{3-2}$ 排气→下控气流组16→密封舱1内吸热→上控气流组17→三通阀,箭头所示为气流流动方向。

[0184] 具体如下:

[0185] 1) 电气设备定向换热

[0186] 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 $f(W_{xyz}, K_{uxz}, K_{lxz}, P_{dff}, FR, H\%)$ ,打开上控气流组17中与测温点所在电气设备对应的一个或多个进排气阀 $K_{uxy}$ ,将气体排出,打开下控气流组16中与测温点所在电气设备对应的一个或多个进排气阀 $K_{lxy}$ ,将气体吸入,并控制轴流风机 $K_{3-2}$ 的排气流速。气流在轴流风机 $K_{3-2}$ 作用下,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,降低该电气设备18的温度。

[0187] 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上方的上控气流组17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:

[0188] 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 $Q_1$ ;

[0189] 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 $Q_2$ ;

[0190] 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 $Q_3$ ;

[0191] 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 $Q_4$ ;

[0192] 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 $Q_5$ ;

[0193] 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 $Q_6$ 。

[0194] 2) 气流内循环和气流外循环换热工作模式转换

[0195] 当密封舱1内压力 $P_{Ni}$ 大于等于环境大气压力 $P_{N0}$ 与空气密度比值系数 $\alpha$ 的乘积,并小于等于 $100\text{KPa}$ ,即 $\alpha P_{N0} \leq P_{Ni} \leq 100\text{KPa}$ ,且富氧制备单元的富氧空气袋2内的压力 $P_{0i} < P_{Ni}$ 时,控制器8监测到温度传感器测得的平均温度 $W_{avg}$ 接近密封舱1内压力 $P_{Ni}$ 与压力上限值

$P_{Nmax}$ 之比 $\frac{P_{Ni}}{P_{Nmax}}$ 、电气设备18工作温度的上限值 $W_{SU}$ ,以及温差系数 $\beta$ 三者的乘积,即 $W_{avg} \xrightarrow{\text{趋近}} \beta \frac{W_{SU} P_{Ni}}{P_{Nmax}}$ 时,为提高换热效率,所述的电气设备密封舱由气流内循环换热工作

模式转换为执行气流外循环换热工作模式,通过压缩空气单元空压机14内的压缩空气瓶15中冷空气置换密封舱1内的热空气。此时,当控制器1监测到压差传感器19密封舱1内压力 $P_{Ni} < \alpha P_{N0}$ 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 $P_{Ni}$ 大于富氧空气袋2内的气体压力 $P_{0i}$ 与压力控温系数 $\lambda$ 乘积,即 $P_{Ni} > \lambda P_{0i}$ ,确保气流外循环换热工作模式高效的执行,同步提高密封舱1内气体的压力,增加气体密度,保证控温效果。

[0196] 其中, $W_{xyz}$ 为测温点的温度传感器测得的温度; $K_{uxy}$ 为上控气流组17的进排气阀; $K_{lxy}$ 为下控气流组16的进排气阀; $x, y, z$ 分别代表上、下控气流组和温度传感器位置坐标, $x, y, z$ 为整数, $(x, y, z) \geq 1$ ;  $\delta_u$ 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; $W_{S1}$ 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; $\beta$ 为温差系数,为定值, $\beta \leq 1$ ;  $N_2$ 为氮气; $P_{Ni}$ 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; $P_{N0}$ 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。

[0197] 3、气流外循环换热工作模式下的控制过程

[0198] 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与下控气流组16的气流通路,停止轴流风机 $K_{3-2}$ 工作。控制器8通过氮气传感器20、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 $N_2\%$ 。

[0199] 气流外循环通路为:压缩空气单元排气→空气过滤13→电加热器12→下控气流组16→密封舱1内吸热→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。

[0200] 1) 密封舱舱门11处于打开状态时

[0201] 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 $P_{N0} = P_{Ni}$ 时,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。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 $P_{0X}$ 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 $P_{0X} = P_{0i\_max}$ ,提供工作人员供氧。空压机14依据设定的压缩空气瓶15的



压力值自动启停工作。

[0202] 2) 密封舱舱门11处于关闭状态时

[0203] 当控制器8监测到密封舱舱门11关闭,温度传感器中某一测温点的温度 $W_{xyz}$ 小于电气设备18的工作温度下限 $W_{S1}$ 与换热下限系数 $\delta_1$ 的乘积,即 $W_{xyz} < \delta_1 W_{S1}$ 时,控制器8控制压缩空气单元排气,经压缩空气单元的空气过滤器13过滤和电加热器12加热,向密封舱1内压入空气,使密封舱1内的温度升高。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内压缩空气压力 $P_{Ni}$ 大于富氧空气袋2气体压力 $P_{0i}$ ,即 $P_{0i} < P_{Ni}$ ,密封舱1内的压缩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。当富氧空气袋2气体压力 $P_{0i}$ 大于富氧空气瓶22内的压力 $P_{0X}$ 时,即 $P_{0i} > P_{0X}$ ,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 $\alpha P_{N0} \leq P_{0X} \leq 100 \text{KPa}$ 。

[0204] 当控制器8监测到各测温点温度 $W_{xyz}$ 均大于等于电气设备18的工作温度下限 $W_{S1}$ 与换热下限系数 $\delta_1$ 的乘积,即 $W_{xyz} \geq \delta_1 W_{S1}$ 时,令电加热器12停止工作。

[0205] 其中, $W_{S1}$ 为电气设备18工作温度下限; $\delta_u$ 为换热上限系数, $0 < \delta_u \leq 1$ ;为换热下限系数, $0 < \delta_l \leq 1$ ;  $P_{Ni}$ 为密封舱1内的压力; $P_{0i}$ 为富氧空气袋2的内部压力; $P_{0X}$ 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所处的环境的大气压力。

[0206] 3) 电气设备定向换热

[0207] 当控制器8监测到密封舱1内某一测温点的温度 $W_{xyz}$ 接近电气设备18工作温度的上限值 $W_{Su}$ 时,控制器8依据电气设备18工作温度的上限值 $W_{Su}$ 和测温点与控温关联函数 $f(W_{xyz}, K_{uxz}, K_{lxz}, P_{diff}, FR, H\%)$ ,打开上控气流组17中与测温点所在电气设备对应的一个或多个进排气阀 $K_{uxy}$ 将气体吸入,打开下控气流组16中与测温点所在电气设备对应的一个或多个进排气阀 $K_{lxy}$ ,将气体排出,此时在压缩空气单元排气压力与密封舱1之间的压力差的作用下,或密封舱1与富氧空气袋2之间的气压差作用下,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,加速对应区域的气体扰动,实现对该区域内的电气设备18的温度调节,同时降低密封舱1内氧气含量,为富氧制备单元的富氧空气袋2和富氧空气瓶22内提供富氧空气。

[0208] 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上方的上控气流组17 $K_{uxy}$ 及下方的下控气流组16进排气阀 $K_{lxy}$ ,顺序如下:

[0209] 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 $Q_1$ ;

[0210] 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 $Q_2$ ;

[0211] 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 $Q_3$ ;

[0212] 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 $Q_4$ ;

[0213] 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 $Q_5$ ;

[0214] 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 $Q_6$ 。

[0215] 4)降低密封舱内的空气中氧气含量

[0216] 当控制器8监测到密封舱1内的氮气含量 $N_2 < 86\%$ ,富氧空气袋2内压力 $P_{O_i}$ 大于等于密封舱1内压力 $P_{N_i}$ ,即 $P_{O_i} \geq P_{N_i}$ 时,控制器8控制减压排气阀3排气,使密封舱1气体压力 $P_{N_i}$ 大于富氧空气袋2内的气体压力 $P_{O_i}$ 与压力与控温系数 $\lambda$ 的乘积,即 $P_{N_i} > \lambda P_{O_i}$ 。此时富氧空气瓶22内压力 $P_{O_X}$ 等于富氧空气袋2内最大时刻的压力 $P_{O_i\_max}$ ,即 $P_{O_X} = P_{O_i\_max}$ ;

[0217] 其中, $P_{O_i\_max}$ 为富氧空气袋2气体最大压力; $\alpha$ 为空气密度比值系数; $\lambda$ 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:

[0218]  $\lambda = W_{arg} \cdot P_\lambda \cdot f(W_{xyz}, K_{uxz}, K_{lxz}, P_{dff}, H\%)$ 。

[0219] 在富氧空气袋2容积 $V_{O_i}$ 、富氧空气瓶22的容积 $V_{O_X}$ 和密封舱1容积 $V_{N_i}$ 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 $P_{O_i}$ 与密封舱1内的压力 $P_{N_i}$ 之比和与膜氮氧分离装置4的氮氧分离效率 $\eta\%$ 的乘积,即 $P_\lambda = \frac{P_{N_i}}{P_{O_i}} \eta\%$ ,

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。

[0220] 5)气流外循环和气流内循环换热工作模式转换

[0221] 当控制器8监测到密封舱1内的空气氮气含量 $N_2 > 86\%$ ,以及密封舱1内压力 $\alpha P_{N_0} \leq P_{N_i} \leq 100KPa$ 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内压力 $P_{O_i}$ 分别小于等于密封舱1内的压力 $P_{N_i}$ 和减压排气阀3压力阈值 $P_\beta$ ,即 $P_\beta > P_{O_i} \leq P_{N_i}$ ,此时控制器8执行气流内循环换热工作模式,为电气设备18换热。

[0222] 其中, $N_2$ 为氮气; $O_2$ 为氧气; $\alpha$ 为空气密度比值系数; $P_{O_i}$ 为富氧空气袋2内部压力; $P_{N_i}$ 为密封舱1内的压力; $P_\beta$ 为减压排气阀3压力阈值; $W_{avg}$ 为温度传感器检测到的平均温度; $P_{O_X}$ 为富氧空气瓶22内压力; $P_{N_0}$ 为密封舱1所处的环境大气压力。

[0223] 由此提高气体密度、精准扰动某一区域的气体、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均获得富氧空气。

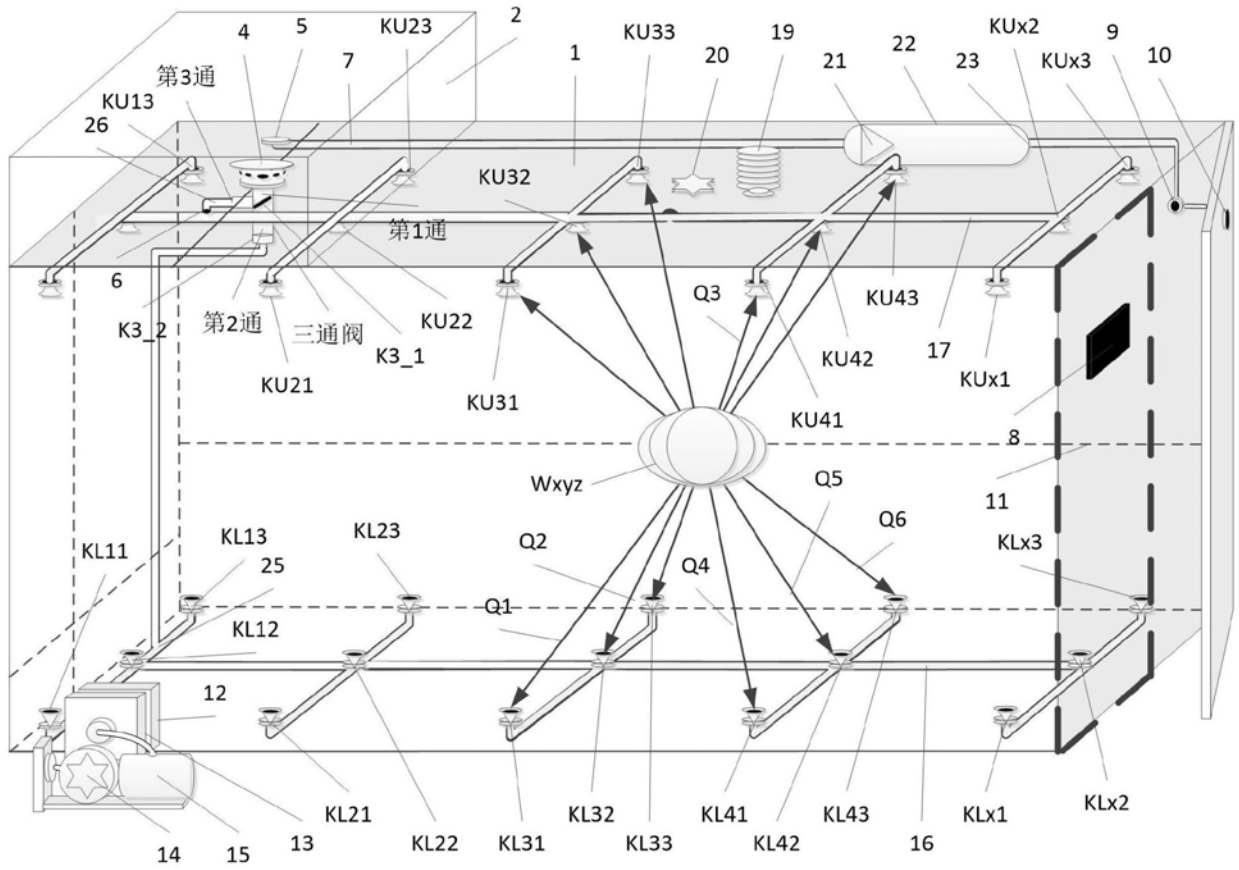


图1

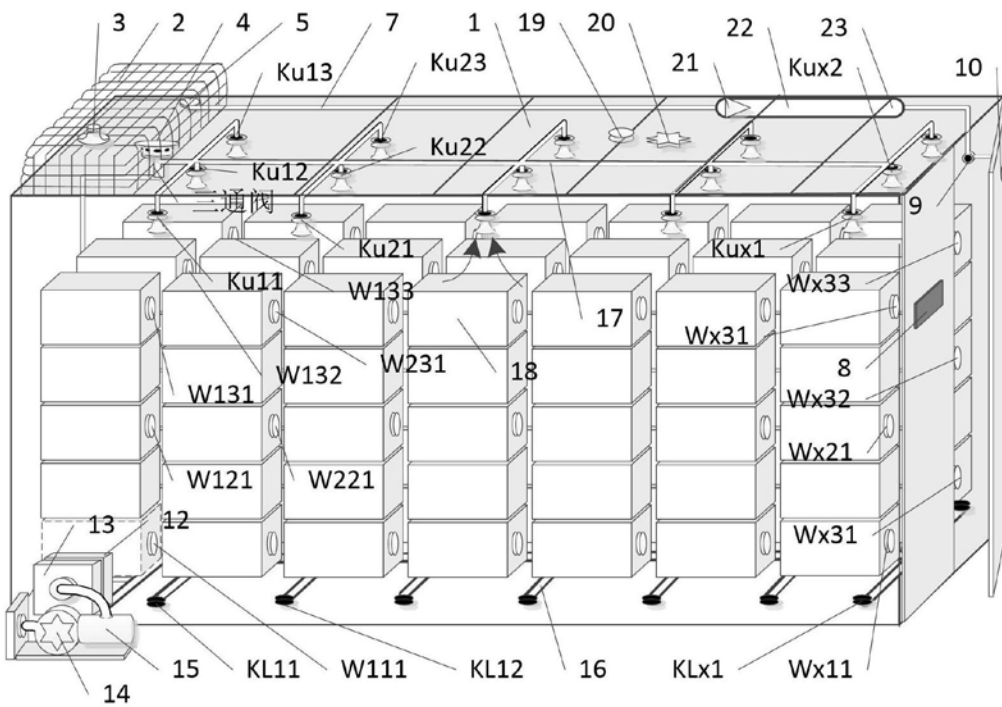


图2

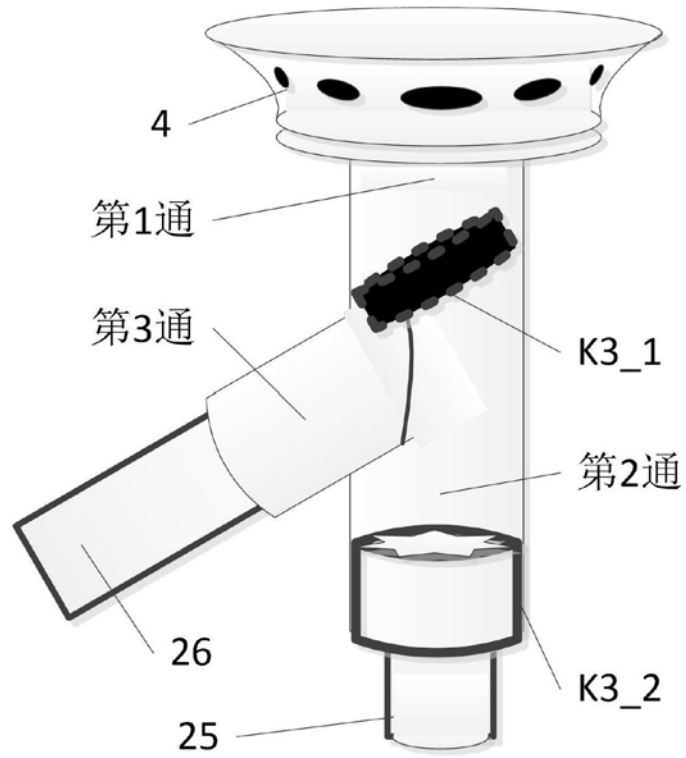


图3

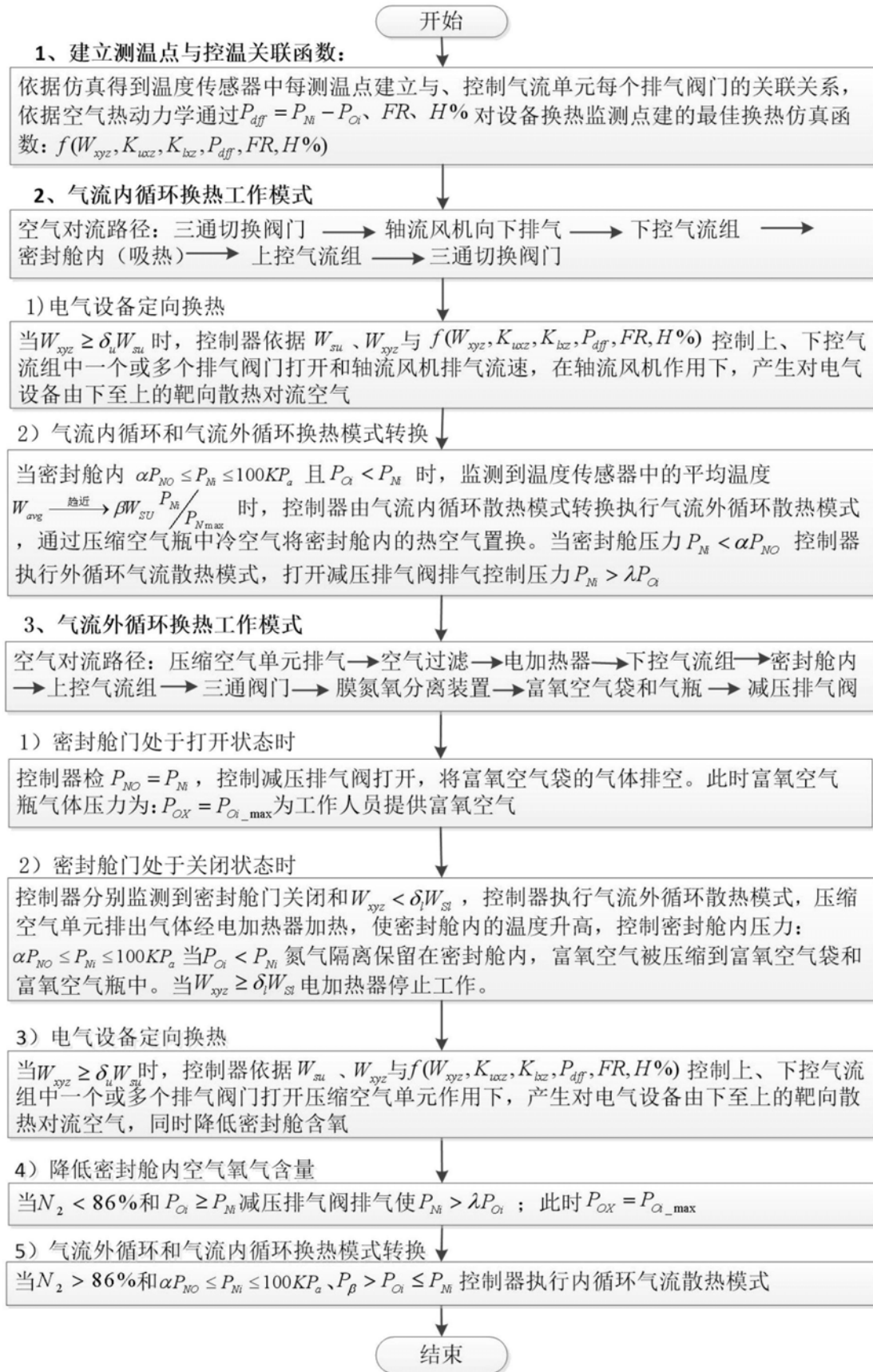


图4