

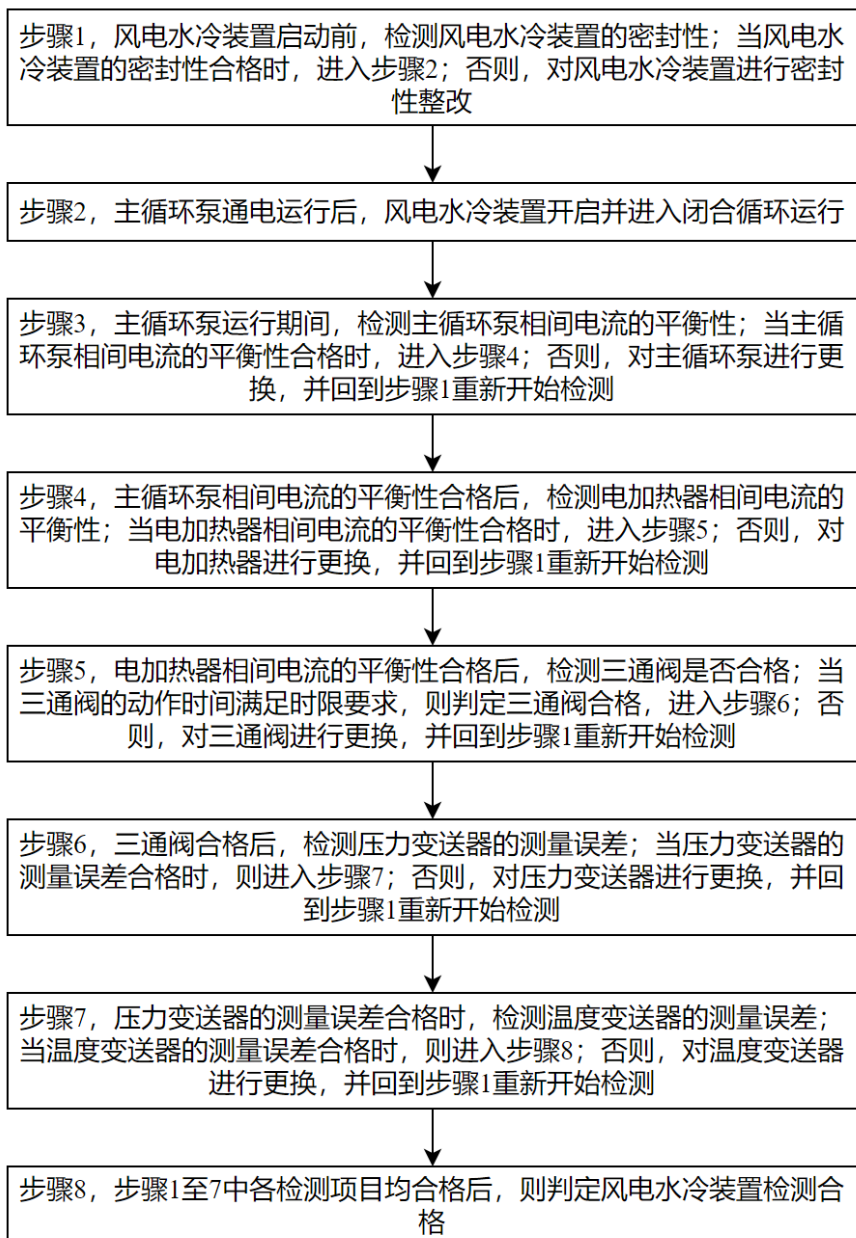
## 说明书摘要

---

一种用于风电水冷装置的功能性测试方法及系统,在风电水冷装置满足密封性条件时,开启水冷装置;在水冷装置闭合循环运行过程中,依次检测主循环泵和电加热器的相间电流平衡性、三通阀的动作性能、压力变送器和温度变送器的测量误差,实现对风电类水冷装置进行密封性检测、主循环泵、电加热器、三通阀、变送器等关键部件自动进行功能检测,以满足出厂测试要求,同时记录自动检测过程中的主要数据,并自动判断检测结果,自动生成风电水冷装置的出厂报告。本发明的方法及系统,能够提高风电类水冷产品检测试验效率,提高检测精度及自动化程度,提高风电水冷装置生产企业的出厂检测效率,保证企业产能,为企业争取更大的竞争优势和经济效益。

,

## 摘要附图



## 权 利 要 求 书

---

1. 一种用于风电水冷装置的功能性测试方法，其特征在于，

在风电水冷装置满足密封性条件时，开启水冷装置；在水冷装置闭合循环运行过程中，依次检测主循环泵和电加热器的相间电流平衡性、三通阀的动作性能、压力变送器和温度变送器的测量误差。

2. 根据权利要求 1 所述的用于风电水冷装置的功能性测试方法，其特征在于，

所述方法包括：

步骤 1，风电水冷装置启动前，检测风电水冷装置的密封性；当风电水冷装置的密封性合格时，进入步骤 2；否则，对风电水冷装置进行密封性整改；

步骤 2，主循环泵通电运行后，风电水冷装置开启并进入闭合循环运行；

步骤 3，主循环泵运行期间，检测主循环泵相间电流的平衡性；当主循环泵相间电流的平衡性合格时，进入步骤 4；否则，对主循环泵进行更换，并回到步骤 1 重新开始检测；

步骤 4，主循环泵相间电流的平衡性合格后，检测电加热器相间电流的平衡性；当电加热器相间电流的平衡性合格时，进入步骤 5；否则，对电加热器进行更换，并回到步骤 1 重新开始检测；

步骤 5，电加热器相间电流的平衡性合格后，检测三通阀是否合格；当三通阀的动作时间满足时限要求，则判定三通阀合格，进入步骤 6；否则，对三通阀进行更换，并回到步骤 1 重新开始检测；

步骤 6，三通阀合格后，检测压力变送器的测量误差；当压力变送器的测量误差合格时，则进入步骤 7；否则，对压力变送器进行更换，并回到步骤 1 重新开始检测；

步骤 7，压力变送器的测量误差合格时，检测温度变送器的测量误差；当温度变送器的测量误差合格时，则进入步骤 8；否则，对温度变送器进行更换，并回到步骤 1 重新开始检测；

步骤 8，步骤 1 至 7 中各检测项目均合格后，则判定风电水冷装置检测合格。

3. 根据权利要求 2 所述的用于风电水冷装置的功能性测试方法，其特征在于，

步骤 1 包括：

## 权 利 要 求 书

步骤 1.1, 分别在风电水冷装置的密封性检测开始时刻 $t_1$ 和检测结束时刻 $t_2$ , 采集接在外管路上的基准压力变送器的压力值;

步骤 1.2, 将检测开始时刻的压力值 $p_1$ 和检测结束时刻的压力值 $p_2$ 之间的差值百分比 $\Delta p$ , 与压降允许百分比值 $p_0$ 进行比较, 其中,  $p_0$ 取值为 5%;

步骤 1.3, 当 $\Delta p \leq p_0$ 时, 则判定风电水冷装置的密封性合格, 进入步骤 2; 反之, 当 $\Delta p > p_0$ 时, 则判定风电水冷装置的密封性不合格, 对风电水冷装置各管路的连接处进行密封性检查并重装管路。

4. 根据权利要求 2 所述的用于风电水冷装置的功能性测试方法, 其特征在于,

步骤 3 包括:

步骤 3.1, 检测周期内, 采集主循环泵的相间电流 $i_{p\_ab}$ 、 $i_{p\_bc}$ 、 $i_{p\_ac}$ ;

步骤 3.2, 根据主循环泵的相间电流 $i_{p\_ab}$ 、 $i_{p\_bc}$ 、 $i_{p\_ac}$ , 以如下关系式计算得到主循环泵相间不平衡电流最大百分比值 $i_{p\_max}$ :

$$i_{p\_max} = \frac{\max(i_{p\_ab}, i_{p\_bc}, i_{p\_ac}) - \min(i_{p\_ab}, i_{p\_bc}, i_{p\_ac})}{\max(i_{p\_ab}, i_{p\_bc}, i_{p\_ac})} \times 100\%$$

步骤 3.3, 当 $i_{p\_max} \leq i_{p0}$ 时, 则判定主循环泵相间电流的平衡性合格, 进入步骤 4, 其中,  $i_{p0}$ 为主循环泵相间不平衡电流允许百分比值,  $i_{p0}$ 取值为 10%; 反之, 当 $i_{p\_max} > i_{p0}$ 时, 则判定主循环泵相间电流的平衡性不合格, 对风电水冷装置的主循环泵进行更换, 并重复步骤 3.1 至 3.3。

5. 根据权利要求 2 所述的用于风电水冷装置的功能性测试方法, 其特征在于,

步骤 4 包括:

步骤 4.1, 检测周期内, 采集电加热器的相间电流 $i_{h\_ab}$ 、 $i_{h\_bc}$ 、 $i_{h\_ac}$ ;

步骤 4.2, 根据电加热器的相间电流 $i_{h\_ab}$ 、 $i_{h\_bc}$ 、 $i_{h\_ac}$ , 以如下关系式计算得到电加热器相间不平衡电流最大百分比值 $i_{h\_max}$ :

$$i_{h\_max} = \frac{\max(i_{h\_ab}, i_{h\_bc}, i_{h\_ac}) - \min(i_{h\_ab}, i_{h\_bc}, i_{h\_ac})}{\max(i_{h\_ab}, i_{h\_bc}, i_{h\_ac})} \times 100\%$$

## 权 利 要 求 书

步骤 4.3, 当 $i_{h\_max} \leq i_{h0}$ 时, 则判定电加热器相间电流的平衡性合格, 进入步骤 5, 其中,  $i_{h0}$ 为电加热器相间不平衡电流允许百分比值,  $i_{h0}$ 取值为 10%; 反之, 当 $i_{h\_max} > i_{h0}$ 时, 则判定电加热器相间电流的平衡性不合格, 对风电水冷装置的电加热器进行更换, 并重复步骤 4.1 至 4.3。

6. 根据权利要求 2 所述的用于风电水冷装置的功能性测试方法, 其特征在于,

步骤 5 包括:

步骤 5.1, 检测三通阀从全关状态到达开限位所用的开动作时间 $\tau_{on}$ ;

步骤 5.2, 检测三通阀从全开状态达到关限位所用的关动作时间 $\tau_{off}$ ;

步骤 5.3, 当 $\tau_{on} \leq \tau_1$ 且 $\tau_{off} \leq \tau_2$ 时, 即三通阀的开动作时间和关动作时间同时满足时限要求, 则判定三通阀合格, 进入步骤 6, 其中,  $\tau_1$ 为三通阀的开动作时限,  $\tau_2$ 为三通阀的关动作时限,  $\tau_1$ 和 $\tau_2$ 的取值均为 30 秒; 反之, 三通阀的任一动作时间不满足时限要求, 或者开动作时间和关动作时间都不满足时限要求, 则判定三通阀不合格, 对风电水冷装置三通阀进行更换并重复步骤 5.1 至 5.3。

7. 根据权利要求 2 所述的用于风电水冷装置的功能性测试方法, 其特征在于,

步骤 6 包括:

步骤 6.1, 风电水冷装置外接管路上, 安装基准压力变送器; 基准压力变送器的测量误差为 0;

步骤 6.2, 同时采集基准压力变送器的压力基准值 $p_b$ 和压力变送器的压力测量值 $p_m$ ; 将压力基准值 $p_b$ 与压力测量值 $p_m$ 之间的差值 $\Delta p_m$ , 与压力偏差允许值 $p_{m0}$ 进行比较, 其中 $p_{m0}$ 取值为 0.1bar;

步骤 6.3, 当 $\Delta p_m \leq p_{m0}$ 时, 则判定压力变送器的测量误差合格, 进入步骤 7; 反之, 当 $\Delta p_m > p_{m0}$ 时, 则判定压力变送器的测量误差不合格, 对压力变送器进行更换, 并重复步骤 6.1 至 6.3。

8. 根据权利要求 2 所述的用于风电水冷装置的功能性测试方法, 其特征在于,

步骤 7 包括:

步骤 7.1, 风电水冷装置运行期间, 采集第一温度变送器的温度测量值 $T_1$ 和

第二温度变送器的温度测量值 $T_2$ ;

步骤 7.2, 以第一温度变送器的温度测量值 $T_1$ 和第二温度变送器的温度测量值 $T_2$ 之间的差值 $\Delta T$ , 与温度偏差允许值 $T_0$ 进行比较,  $T_0$ 取值为  $1^{\circ}\text{C}$ ;

步骤 7.3, 当 $\Delta T \leq T_0$ 时, 则判定第一温度变送器和第二温度变送器的测量误差均合格, 进入步骤 7; 反之, 当 $\Delta T > T_0$ 时, 则判定第一温度变送器和第二温度变送器的测量误差均不合格, 对温度变送器进行更换, 并重复步骤 7.1 至 7.3。

9. 利用权利要求 1 至 8 任一项所述的用于风电水冷装置的功能性测试方法而实现的一种用于风电水冷装置的功能性测试系统, 其特征在于,

系统包括: PLC 控制器, 密封性检测模块, 主循环泵检测模块, 电加热器检测模块, 三通阀检测模块, 压力变送器检测模块, 温度变送器检测模块;

PLC 控制器与密封性检测模块, 主循环泵检测模块, 电加热器检测模块, 三通阀检测模块, 压力变送器检测模块和温度变送器检测模块之间通过 Modbus 通讯网络实现数据传输;

在当前检测项目下, PLC 控制器接收当前检测项目对应的检测模块发送来的检测数据, 并根据程序逻辑判定当前检测项目是否合格; 若当前检测项目合格, 则进入下一检测项目, PLC 控制器向下一检测项目对应的检测模块发送启动信号, 该检测模块接收到启动信号好, 进入检测状态; 若当前检测项目不合格, 则暂停检测流程, PLC 控制器向操作人员发送预警。

10. 根据权利要求 9 所述的用于风电水冷装置的功能性测试系统, 其特征在于,

密封性检测模块, 用于在风电水冷装置启动前, 检测风电水冷装置的密封性;

密封性检测模块包括风电水冷装置的外接管路, 基准压力变送器; 其中, 基准压力变送器安装在外接管路内;

基准压力变送器, 将风电水冷装置的密封性检测开始时刻的压力值 $p_1$ 和检测结束时刻的压力值 $p_2$ 传输给 PLC 控制器; PLC 控制器, 比较压力值 $p_1$ 和 $p_2$ 之间的差值 $\Delta p$ , 与压降允许值 $p_0$ 的关系, 当 $\Delta p \leq p_0$ 时, 则判定风电水冷装置的密封性合格; 反之, 当 $\Delta p > p_0$ 时, 则判定风电水冷装置的密封性不合格。

11. 根据权利要求 9 所述的用于风电水冷装置的功能性测试系统, 其特征在于,

主循环泵检测模块，用于在密封性检测合格后，检测主循环泵相间电流的平衡性；主循环泵检测模块包括电流互感器；其中电流互感器串联在主循环泵的电源回路中；

电流互感器，将主循环泵的相间电流传输给 PLC 控制器；PLC 控制器，计算得到主循环泵相间不平衡电流最大值 $i_{p\_max}$ ，并比较 $i_{p\_max}$ 与主循环泵相间不平衡电流允许值 $i_{p0}$ 的关系；当 $i_{p\_max} \leq i_{p0}$ 时，则判定主循环泵相间电流的平衡性合格；反之，当 $i_{p\_max} > i_{p0}$ 时，则判定主循环泵相间电流的平衡性不合格。

12. 根据权利要求 9 所述的用于风电水冷装置的功能性测试系统，其特征在于，

电加热器检测模块，用于在主循环泵检测合格后，检测电加热器相间电流的平衡性；电加热器检测模块包括电流互感器；其中电流互感器串联在电加热器的电源回路中；

电流互感器，将电加热器的相间电流传输给 PLC 控制器；PLC 控制器，计算得到电加热器相间不平衡电流最大值 $i_{h\_max}$ ，并比较 $i_{h\_max}$ 与电加热器相间不平衡电流允许值 $i_{h0}$ 的关系；当 $i_{h\_max} \leq i_{h0}$ 时，则判定电加热器相间电流的平衡性合格；反之，当 $i_{h\_max} > i_{h0}$ 时，则判定电加热器相间电流的平衡性不合格。

13. 根据权利要求 9 所述的用于风电水冷装置的功能性测试系统，其特征在于，

三通阀检测模块，用于在电加热器检测合格后，检测三通阀的动作时间；由 PLC 控制器控制三通阀的开启和关闭，并接收三通阀的全关状态反馈信号、全开状态反馈信号、开限位反馈信号和关限位反馈信号；

当同时满足以下两个条件时，则判定三通阀合格：

1) PLC 控制器接收到三通阀的全关状态反馈信号后，以发送三通阀开启指令为起点时刻，在三通阀的开动作时限内，PLC 控制器接收到开限位反馈信号；

2) PLC 控制器接收到三通阀的全开状态反馈信号后，以发送三通阀关闭指令为起点时刻，在三通阀的关动作时限内，PLC 控制器接收到关限位反馈信号；

否则，上述任一条件不满足，或者两个条件都不满足，则判定三通阀不合格。

14. 根据权利要求 9 所述的用于风电水冷装置的功能性测试系统，其特征在

于，

压力变送器检测模块，用于在三通阀检测合格后，对压力变送器的测量误差进行检测；压力变送器检测模块包括风电水冷装置的外接管路，基准压力变送器；其中，基准压力变送器安装在外接管路内；

PLC 控制器，同时采集基准压力变送器的压力基准值 $p_b$ 和压力变送器的压力测量值 $p_m$ ；将压力基准值 $p_b$ 与压力测量值 $p_m$ 之间的差值 $\Delta p_m$ ，与压力偏差允许值 $p_{m0}$ 进行比较；当 $\Delta p_m \leq p_{m0}$ 时，则判定压力变送器的测量误差合格；反之，当 $\Delta p_m > p_{m0}$ 时，则判定压力变送器的测量误差不合格。

15. 根据权利要求 9 所述的用于风电水冷装置的功能性测试系统，其特征在于，

温度变送器检测模块，用于压力变送器的测量误差检测合格后，对温度变送器的测量误差进行检测；

PLC 控制器采集第一温度变送器的温度测量值 $T_1$ 和第二温度变送器的温度测量值 $T_2$ ；以第一温度变送器的温度测量值 $T_1$ 和第二温度变送器的温度测量值 $T_2$ 之间的差值 $\Delta T$ ，与温度偏差允许值 $T_0$ 进行比较；当 $\Delta T \leq T_0$ 时，则判定第一温度变送器和第二温度变送器的测量误差均合格；反之，当 $\Delta T > T_0$ 时，则判定第一温度变送器和第二温度变送器的测量误差均不合格。



## 一种用于风电水冷装置的功能性测试方法及系统

### 技术领域

本发明涉及风电机组冷却装置的试验检测技术领域，更具体地，涉及一种用于风电水冷装置的功能性测试方法及系统。

### 背景技术

随着新能源时代的到来，风力发电越来越备受关注，风电类水冷装置的需求也越来越大。风力发电机组的水冷系统的，包括水泵、三通阀、加热器、散热风扇、变流器、补气罐和储液罐。其中，水泵主要用于推动水冷液的循环；三通阀主要用于切换水冷系统的内循环和外循环，其中内循环主要用于加热，外循环用于散热；加热器用于加热水冷液；散热风扇用于外循环的散热。在低温时，关闭三通阀，开启加热器和水泵，从而水冷液流经三通阀、水泵、加热器，进而水冷液进行内循环加热，可以为风力发电机组的变流器进行除湿和预热；在高温时，打开三通阀，开启水泵和散热风扇，水冷液流经三通阀、散热器，进而水冷液进行外循环散热，可以为风力发电机组的变流器进行降温，进而保证变流器的绝缘栅双极型晶体管（Insulated Gate Bipolar Transistor, IGBT）的稳定运行。

在风电类水冷产品的出厂试验过程中，其中检验内容主要包括：管路检测、密封性检测、绝缘耐压检测、水泵、加热器、三通阀等部件的功能检测、仪器仪表检测和外观检测等。

现有技术1(CN 106706353 B)“风力发电机组水冷系统的检测方法和装置”，方法包括：在水冷系统满足水冷自检条件时，获取环境温度和冷却系统中的冷却液温度；在确定环境温度小于第一预设温度时，依次开启冷却系统的加热检测、冷却系统的散热检测；在确定环境温度大于第一预设温度，且冷却液温度减去环境温度得到的差值大于预设温度差值时，依次开启冷却系统的散热检测、冷却系统的加热检测。现有技术1还提供一种针对风力发电机组的水冷系统进行检测的装置，针对冷却系统的散热、加热功能进行检测，进而防止冷却系统出现问题以及风力发电机组故障停机，进而避免变流器湿度大以及IGBT上电炸毁，保证风力发电机组的正常运行。

现有技术 2（CN 102538871 A）“风力发电水冷装置测试平台”，包括上位机、交换机、PLC、触摸屏及端子，上位机、PLC 及触摸屏分别与交换机通过以太网接口连接，水冷装置中的设备及仪表通过端子与 PLC 进行连接。触摸屏通过交换机向水冷装置中的设备发出指令，PLC 接收指令并控制水冷装置中的设备，PLC 采集设备及仪表信息并通过交换机上传给上位机，上位机进行信息采集、设备监控和报表生成，该方法代替了原来的人工测试方法，减少人为的错检、漏检，更客观反应产品的质量状况。本发明提供的风力发电水冷装置测试平台，代替了原来的人工测试方法，减少人为的错检、漏检，更客观反应产品的质量状况。

以现有技术 1 和 2 为代表，对风力发电机组水冷装置及其部件进行功能性测试时，仍然需要人工操作，面对风电类水冷装置越来越大的市场需求，人工检测耗时耗力，明显影响该类产品的产能，随着风电类水冷产品的需求规模不断增加，需求与产出的矛盾不断增加，将影响到风力发电行业及风电类水冷产品的效益。

因此，需要研究一种用于风电水冷装置的功能性测试系统及方法，以提高风电水冷装置生产企业的出厂检测效率，保证企业产能，为企业争取更大的竞争优势和经济效益。

### 发明内容

为解决现有技术中存在的不足，本发明的目的在于，提供一种用于风电水冷装置的功能性测试方法及系统，用于对风电类水冷装置进行密封性检测、主循环泵、电加热器、三通阀、变送器等关键部件自动进行功能检测，以满足出厂测试要求，同时记录自动检测过程中的主要数据，并自动判断检测结果，且能自动生成风电水冷装置的出厂报告。

本发明采用如下的技术方案。

本发明提出一种用于风电水冷装置的功能性测试方法，在风电水冷装置满足密封性条件时，开启水冷装置；在水冷装置闭合循环运行过程中，依次检测主循环泵和电加热器的相间电流平衡性、三通阀的动作性能、压力变送器和温度变送器的测量误差。

所述方法包括：

步骤 1, 风电水冷装置启动前, 检测风电水冷装置的密封性; 当风电水冷装置的密封性合格时, 进入步骤 2; 否则, 对风电水冷装置进行密封性整改;

步骤 2, 主循环泵通电运行后, 风电水冷装置开启并进入闭合循环运行;

步骤 3, 主循环泵运行期间, 检测主循环泵相间电流的平衡性; 当主循环泵相间电流的平衡性合格时, 进入步骤 4; 否则, 对主循环泵进行更换, 并回到步骤 1 重新开始检测;

步骤 4, 主循环泵相间电流的平衡性合格后, 检测电加热器相间电流的平衡性; 当电加热器相间电流的平衡性合格时, 进入步骤 5; 否则, 对电加热器进行更换, 并回到步骤 1 重新开始检测;

步骤 5, 电加热器相间电流的平衡性合格后, 检测三通阀是否合格; 当三通阀的动作时间满足时限要求, 则判定三通阀合格, 进入步骤 6; 否则, 对三通阀进行更换, 并回到步骤 1 重新开始检测;

步骤 6, 三通阀合格后, 检测压力变送器的测量误差; 当压力变送器的测量误差合格时, 则进入步骤 7; 否则, 对压力变送器进行更换, 并回到步骤 1 重新开始检测;

步骤 7, 压力变送器的测量误差合格时, 检测温度变送器的测量误差; 当温度变送器的测量误差合格时, 则进入步骤 8; 否则, 对温度变送器进行更换, 并回到步骤 1 重新开始检测;

步骤 8, 步骤 1 至 7 中各检测项目均合格后, 则判定风电水冷装置检测合格。

优选地, 步骤 1 包括:

步骤 1.1, 分别在风电水冷装置的密封性检测开始时刻 $t_1$ 和检测结束时刻 $t_2$ , 采集接在外管路上的基准压力变送器的压力值;

步骤 1.2, 将检测开始时刻的压力值 $p_1$ 和检测结束时刻的压力值 $p_2$ 之间的差值百分比 $\Delta p$ , 与压降允许百分比值 $p_0$ 进行比较, 其中,  $p_0$ 取值为 5%;

步骤 1.3, 当 $\Delta p \leq p_0$ 时, 则判定风电水冷装置的密封性合格, 进入步骤 2; 反之, 当 $\Delta p > p_0$ 时, 则判定风电水冷装置的密封性不合格, 对风电水冷装置各管路的连接处进行密封性检查并重装管路。

优选地, 步骤 3 包括:

步骤 3.1, 检测周期内, 采集主循环泵的相间电流 $i_{p_{ab}}$ 、 $i_{p_{bc}}$ 、 $i_{p_{ac}}$ ;

步骤 3.2, 根据主循环泵的相间电流 $i_{p\_ab}$ 、 $i_{p\_bc}$ 、 $i_{p\_ac}$ , 以如下关系式计算得到主循环泵相间不平衡电流最大百分比值 $i_{p\_max}$ :

$$i_{p\_max} = \frac{\max(i_{p\_ab}, i_{p\_bc}, i_{p\_ac}) - \min(i_{p\_ab}, i_{p\_bc}, i_{p\_ac})}{\max(i_{p\_ab}, i_{p\_bc}, i_{p\_ac})} \times 100\%$$

步骤 3.3, 当 $i_{p\_max} \leq i_{p0}$ 时, 则判定主循环泵相间电流的平衡性合格, 进入步骤 4, 其中,  $i_{p0}$ 为主循环泵相间不平衡电流允许百分比值,  $i_{p0}$ 取值为 10%; 反之, 当 $i_{p\_max} > i_{p0}$ 时, 则判定主循环泵相间电流的平衡性不合格, 对风电水冷装置的主循环泵进行更换, 并重复步骤 3.1 至 3.3。

优选地, 步骤 4 包括:

步骤 4.1, 检测周期内, 采集电加热器的相间电流 $i_{h\_ab}$ 、 $i_{h\_bc}$ 、 $i_{h\_ac}$ ;

步骤 4.2, 根据电加热器的相间电流 $i_{h\_ab}$ 、 $i_{h\_bc}$ 、 $i_{h\_ac}$ , 以如下关系式计算得到电加热器相间不平衡电流最大百分比值 $i_{h\_max}$ :

$$i_{h\_max} = \frac{\max(i_{h\_ab}, i_{h\_bc}, i_{h\_ac}) - \min(i_{h\_ab}, i_{h\_bc}, i_{h\_ac})}{\max(i_{h\_ab}, i_{h\_bc}, i_{h\_ac})} \times 100\%$$

步骤 4.3, 当 $i_{h\_max} \leq i_{h0}$ 时, 则判定电加热器相间电流的平衡性合格, 进入步骤 5, 其中,  $i_{h0}$ 为电加热器相间不平衡电流允许百分比值,  $i_{h0}$ 取值为 10%; 反之, 当 $i_{h\_max} > i_{h0}$ 时, 则判定电加热器相间电流的平衡性不合格, 对风电水冷装置的电加热器进行更换, 并重复步骤 4.1 至 4.3。

优选地, 步骤 5 包括:

步骤 5.1, 检测三通阀从全关状态到达开限位所用的开动作时间 $\tau_{on}$ ;

步骤 5.2, 检测三通阀从全开状态达到关限位所用的关动作时间 $\tau_{off}$ ;

步骤 5.3, 当 $\tau_{on} \leq \tau_1$ 且 $\tau_{off} \leq \tau_2$ 时, 即三通阀的开动作时间和关动作时间同时满足时限要求, 则判定三通阀合格, 进入步骤 6, 其中,  $\tau_1$ 为三通阀的开动作时限,  $\tau_2$ 为三通阀的关动作时限,  $\tau_1$ 和 $\tau_2$ 的取值均为 30 秒; 反之, 三通阀的任一动作时间不满足时限要求, 或者开动作时间和关动作时间都不满足时限要求, 则判定三通阀不合格, 对风电水冷装置三通阀进行更换并重复步骤 5.1 至 5.3。

优选地, 步骤 6 包括:

步骤 6.1, 风电水冷装置外接管路上, 安装基准压力变送器; 基准压力变送器的测量误差为 0;

步骤 6.2, 同时采集基准压力变送器的压力基准值 $p_b$ 和压力变送器的压力测量值 $p_m$ ; 将压力基准值 $p_b$ 与压力测量值 $p_m$ 之间的差值 $\Delta p_m$ , 与压力偏差允许值 $p_{m0}$ 进行比较, 其中 $p_{m0}$ 取值为0.1bar;

步骤 6.3, 当 $\Delta p_m \leq p_{m0}$ 时, 则判定压力变送器的测量误差合格, 进入步骤 7; 反之, 当 $\Delta p_m > p_{m0}$ 时, 则判定压力变送器的测量误差不合格, 对压力变送器进行更换, 并重复步骤 6.1 至 6.3。

优选地, 步骤 7 包括:

步骤 7.1, 风电水冷装置运行期间, 采集第一温度变送器的温度测量值 $T_1$ 和第二温度变送器的温度测量值 $T_2$ ;

步骤 7.2, 以第一温度变送器的温度测量值 $T_1$ 和第二温度变送器的温度测量值 $T_2$ 之间的差值 $\Delta T$ , 与温度偏差允许值 $T_0$ 进行比较,  $T_0$ 取值为 1℃;

步骤 7.3, 当 $\Delta T \leq T_0$ 时, 则判定第一温度变送器和第二温度变送器的测量误差均合格, 进入步骤 7; 反之, 当 $\Delta T > T_0$ 时, 则判定第一温度变送器和第二温度变送器的测量误差均不合格, 对温度变送器进行更换, 并重复步骤 7.1 至 7.3。

一种用于风电水冷装置的功能性测试系统, 系统包括: PLC 控制器, 密封性检测模块, 主循环泵检测模块, 电加热器检测模块, 三通阀检测模块, 压力变送器检测模块, 温度变送器检测模块;

PLC 控制器与密封性检测模块, 主循环泵检测模块, 电加热器检测模块, 三通阀检测模块, 压力变送器检测模块和温度变送器检测模块之间通过 Modbus 通讯网络实现数据传输;

在当前检测项目下, PLC 控制器接收当前检测项目对应的检测模块发送来的检测数据, 并根据程序逻辑判定当前检测项目是否合格; 若当前检测项目合格, 则进入下一检测项目, PLC 控制器向下一检测项目对应的检测模块发送启动信号, 该检测模块接收到启动信号好, 进入检测状态; 若当前检测项目不合格, 则暂停检测流程, PLC 控制器向操作人员发送预警。

密封性检测模块, 用于在风电水冷装置启动前, 检测风电水冷装置的密封性;

密封性检测模块包括风电水冷装置的外接管路, 基准压力变送器; 其中, 基

准压力变送器安装在外接管路内；

基准压力变送器，将风电水冷装置的密封性检测开始时刻的压力值 $p_1$ 和检测结束时刻的压力值 $p_2$ 传输给 PLC 控制器；PLC 控制器，比较压力值 $p_1$ 和 $p_2$ 之间的差值 $\Delta p$ ，与压降允许值 $p_0$ 的关系，当 $\Delta p \leq p_0$ 时，则判定风电水冷装置的密封性合格；反之，当 $\Delta p > p_0$ 时，则判定风电水冷装置的密封性不合格。

主循环泵检测模块，用于在密封性检测合格后，检测主循环泵相间电流的平衡性；主循环泵检测模块包括电流互感器；其中电流互感器串联在主循环泵的电源回路中；

电流互感器，将主循环泵的相间电流传输给 PLC 控制器；PLC 控制器，计算得到主循环泵相间不平衡电流最大值 $i_{p\_max}$ ，并比较 $i_{p\_max}$ 与主循环泵相间不平衡电流允许值 $i_{p0}$ 的关系；当 $i_{p\_max} \leq i_{p0}$ 时，则判定主循环泵相间电流的平衡性合格；反之，当 $i_{p\_max} > i_{p0}$ 时，则判定主循环泵相间电流的平衡性不合格。

电加热器检测模块，用于在主循环泵检测合格后，检测电加热器相间电流的平衡性；电加热器检测模块包括电流互感器；其中电流互感器串联在电加热器的电源回路中；

电流互感器，将电加热器的相间电流传输给 PLC 控制器；PLC 控制器，计算得到电加热器相间不平衡电流最大值 $i_{h\_max}$ ，并比较 $i_{h\_max}$ 与电加热器相间不平衡电流允许值 $i_{h0}$ 的关系；当 $i_{h\_max} \leq i_{h0}$ 时，则判定电加热器相间电流的平衡性合格；反之，当 $i_{h\_max} > i_{h0}$ 时，则判定电加热器相间电流的平衡性不合格。

三通阀检测模块，用于在电加热器检测合格后，检测三通阀的动作时间；由 PLC 控制器控制三通阀的开启和关闭，并接收三通阀的全关状态反馈信号、全开状态反馈信号、开限位反馈信号和关限位反馈信号；

当同时满足以下两个条件时，则判定三通阀合格：

1) PLC 控制器接收到三通阀的全关状态反馈信号后，以发送三通阀开启指令为起点时刻，在三通阀的开动作时限内，PLC 控制器接收到开限位反馈信号；

2) PLC 控制器接收到三通阀的全开状态反馈信号后，以发送三通阀关闭指令为起点时刻，在三通阀的关动作时限内，PLC 控制器接收到关限位反馈信号；

否则，上述任一条件不满足，或者两个条件都不满足，则判定三通阀不合格。

压力变送器检测模块，用于在三通阀检测合格后，对压力变送器的测量误差进行检测；压力变送器检测模块包括风电水冷装置的外接管路，基准压力变送器；其中，基准压力变送器安装在外接管路内；

PLC 控制器，同时采集基准压力变送器的压力基准值 $p_b$ 和压力变送器的压力测量值 $p_m$ ；将压力基准值 $p_b$ 与压力测量值 $p_m$ 之间的差值 $\Delta p_m$ ，与压力偏差允许值 $p_{m0}$ 进行比较；当 $\Delta p_m \leq p_{m0}$ 时，则判定压力变送器的测量误差合格；反之，当 $\Delta p_m > p_{m0}$ 时，则判定压力变送器的测量误差不合格。

温度变送器检测模块，用于压力变送器的测量误差检测合格后，对温度变送器的测量误差进行检测；

PLC 控制器采集第一温度变送器的温度测量值 $T_1$ 和第二温度变送器的温度测量值 $T_2$ ；以第一温度变送器的温度测量值 $T_1$ 和第二温度变送器的温度测量值 $T_2$ 之间的差值 $\Delta T$ ，与温度偏差允许值 $T_0$ 进行比较；当 $\Delta T \leq T_0$ 时，则判定第一温度变送器和第二温度变送器的测量误差均合格；反之，当 $\Delta T > T_0$ 时，则判定第一温度变送器和第二温度变送器的测量误差均不合格。

本发明有益效果，与现有技术相比，本发明提出的用于风电水冷装置的功能性测试方法及系统，能够提高风电类水冷产品检测试验效率，提高检测精度及自动化程度提高风电水冷装置生产企业的出厂检测效率，保证企业产能，为企业争取更大的竞争优势和经济效益。

在常规检测过程中，通常采用万用表手动量取主泵间、电加热器间的电流大小，并通过人为读取数值并记录。本发明使用电流互感器及仪表，测量主泵、电加热器运行时的电流大小，并通过 Modbus 通讯，将电路值传值 PLC 并记录，实现主循环泵的自动化检测功能。

采用 PLC 控制电动三通阀开、关，并在规定时间内 PLC 接收到开、关限位反馈信号则判断三通阀功能合格。采用 PLC 检测外管路上标准压力变送器及风电水系统本体上压力变送器的值，并通过程序逻辑判断是否合格。采用 PLC 检测两个温度变送器的值，并通过程序逻辑判断是否合格。避免了人工测量的介入，有利于实现检测全流程的程序化控制，提高检测自动化程度；从而保障了检测的准确性和可靠性，提高了检测效率。

采用 PLC、组态王等搭建测试平台。PLC 主要控制各器件的启动、停止，同

时采集各器件的反馈信号，并通过程序逻辑判断该检测是否合格；组态王作为上位机系统与 PLC 通讯，主要用于显示 PLC 采集的数据和判断是否合格的结果，最后通过组态王打印风电水冷系统的出厂测试报告。

风电类水冷产品在自动检测过程中，能够记录检测主要数据，实时判断检测项目是否合格，及时向操作人员发送不合格预警，避免出现错检和漏检，最终还能自动输出检测报告。

### 附图说明

图 1 是一种用于风电水冷装置的功能性测试方法的步骤框图。

### 具体实施方式

下面结合附图对本申请作进一步描述。以下实施例仅用于更加清楚地说明本发明的技术方案，而不能以此来限制本申请的保护范围。

本发明提出一种用于风电水冷装置的功能性测试方法，在风电水冷装置满足密封性条件时，开启水冷装置；在水冷装置闭合循环运行过程中，依次检测主循环泵和电加热器的相间电流平衡性、三通阀的动作性能、压力变送器和温度变送器的测量误差。

如图 1，所述方法包括步骤 1 至 8。

步骤 1，风电水冷装置启动前，检测风电水冷装置的密封性；当风电水冷装置的密封性合格时，进入步骤 2；否则，对风电水冷装置进行密封性整改。

具体地，步骤 1 包括：

步骤 1.1，分别在风电水冷装置的密封性检测开始时刻 $t_1$ 和检测结束时刻 $t_2$ ，采集接在外管路上的基准压力变送器的压力值；

步骤 1.2，将检测开始时刻的压力值 $p_1$ 和检测结束时刻的压力值 $p_2$ 之间的差值百分比 $\Delta p$ ，与压降允许百分比值 $p_0$ 进行比较，其中， $p_0$ 取值为 5%；

步骤 1.3，当 $\Delta p \leq p_0$ 时，则判定风电水冷装置的密封性合格，进入步骤 2；反之，当 $\Delta p > p_0$ 时，则判定风电水冷装置的密封性不合格，对风电水冷装置各管路的连接处进行密封性检查并重装管路。

步骤 2，主循环泵通电运行后，风电水冷装置开启并进入闭合循环运行。



步骤 3，主循环泵运行期间，检测主循环泵相间电流的平衡性；当主循环泵相间电流的平衡性合格时，进入步骤 4；否则，对主循环泵进行更换，并回到步骤 1 重新开始检测。

具体地，步骤 3 包括：

步骤 3.1，检测周期内，采集主循环泵的相间电流 $i_{p\_ab}$ 、 $i_{p\_bc}$ 、 $i_{p\_ac}$ ；

步骤 3.2，根据主循环泵的相间电流 $i_{p\_ab}$ 、 $i_{p\_bc}$ 、 $i_{p\_ac}$ ，以如下关系式计算得到主循环泵相间不平衡电流最大百分比值 $i_{p\_max}$ ：

$$i_{p\_max} = \frac{\max(i_{p\_ab}, i_{p\_bc}, i_{p\_ac}) - \min(i_{p\_ab}, i_{p\_bc}, i_{p\_ac})}{\max(i_{p\_ab}, i_{p\_bc}, i_{p\_ac})} \times 100\%$$

步骤 3.3，当 $i_{p\_max} \leq i_{p0}$ 时，则判定主循环泵相间电流的平衡性合格，进入步骤 4，其中， $i_{p0}$ 为主循环泵相间不平衡电流允许百分比值， $i_{p0}$ 取值为 10%；反之，当 $i_{p\_max} > i_{p0}$ 时，则判定主循环泵相间电流的平衡性不合格，对风电水冷装置的主循环泵进行更换，并重复步骤 3.1 至 3.3。

步骤 4，主循环泵相间电流的平衡性合格后，检测电加热器相间电流的平衡性；当电加热器相间电流的平衡性合格时，进入步骤 5；否则，对电加热器进行更换，并回到步骤 1 重新开始检测。

具体地，步骤 4 包括：

步骤 4.1，检测周期内，采集电加热器的相间电流 $i_{h\_ab}$ 、 $i_{h\_bc}$ 、 $i_{h\_ac}$ ；

步骤 4.2，根据电加热器的相间电流 $i_{h\_ab}$ 、 $i_{h\_bc}$ 、 $i_{h\_ac}$ ，以如下关系式计算得到电加热器相间不平衡电流最大百分比值 $i_{h\_max}$ ：

$$i_{h\_max} = \frac{\max(i_{h\_ab}, i_{h\_bc}, i_{h\_ac}) - \min(i_{h\_ab}, i_{h\_bc}, i_{h\_ac})}{\max(i_{h\_ab}, i_{h\_bc}, i_{h\_ac})} \times 100\%$$

步骤 4.3，当 $i_{h\_max} \leq i_{h0}$ 时，则判定电加热器相间电流的平衡性合格，进入步骤 5，其中， $i_{h0}$ 为电加热器相间不平衡电流允许百分比值， $i_{h0}$ 取值为 10%；反之，当 $i_{h\_max} > i_{h0}$ 时，则判定电加热器相间电流的平衡性不合格，对风电水冷装置的电加热器进行更换，并重复步骤 4.1 至 4.3。

步骤 5，电加热器相间电流的平衡性合格后，检测三通阀是否合格；当三通

阀的动作时间满足时限要求，则判定三通阀合格，进入步骤 6；否则，对三通阀进行更换，并回到步骤 1 重新开始检测。

具体地，步骤 5 包括：

步骤 5.1，检测三通阀从全关状态到达开限位所用的开动作时间 $\tau_{on}$ ；

步骤 5.2，检测三通阀从全开状态达到关限位所用的关动作时间 $\tau_{off}$ ；

步骤 5.3，当 $\tau_{on} \leq \tau_1$ 且 $\tau_{off} \leq \tau_2$ 时，即三通阀的开动作时间和关动作时间同时满足时限要求，则判定三通阀合格，进入步骤 6，其中， $\tau_1$ 为三通阀的开动作时限， $\tau_2$ 为三通阀的关动作时限， $\tau_1$ 和 $\tau_2$ 的取值均为 30 秒；反之，三通阀的任一动作时间不满足时限要求，或者开动作时间和关动作时间都不满足时限要求，则判定三通阀不合格，对风电水冷装置的三通阀进行更换并重复步骤 5.1 至 5.3。

步骤 6，三通阀合格后，检测压力变送器的测量误差；当压力变送器的测量误差合格时，则进入步骤 7；否则，对压力变送器进行更换，并回到步骤 1 重新开始检测。

具体地，步骤 6 包括：

步骤 6.1，风电水冷装置外接管路上，安装基准压力变送器；基准压力变送器的测量误差为 0；

步骤 6.2，同时采集基准压力变送器的压力基准值 $p_b$ 和压力变送器的压力测量值 $p_m$ ；将压力基准值 $p_b$ 与压力测量值 $p_m$ 之间的差值 $\Delta p_m$ ，与压力偏差允许值 $p_{m0}$ 进行比较，其中 $p_{m0}$ 取值为0.1bar；

步骤 6.3，当 $\Delta p_m \leq p_{m0}$ 时，则判定压力变送器的测量误差合格，进入步骤 7；反之，当 $\Delta p_m > p_{m0}$ 时，则判定压力变送器的测量误差不合格，对压力变送器进行更换，并重复步骤 6.1 至 6.3。

步骤 7，压力变送器的测量误差合格时，检测温度变送器的测量误差；当温度变送器的测量误差合格时，则进入步骤 8；否则，对温度变送器进行更换，并回到步骤 1 重新开始检测。

具体地，步骤 7 包括：

步骤 7.1，风电水冷装置运行期间，采集第一温度变送器的温度测量值 $T_1$ 和第二温度变送器的温度测量值 $T_2$ ；

步骤 7.2，以第一温度变送器的温度测量值 $T_1$ 和第二温度变送器的温度测量

值 $T_2$ 之间的差值 $\Delta T$ ，与温度偏差允许值 $T_0$ 进行比较， $T_0$ 取值为 $1^\circ\text{C}$ ；

步骤 7.3，当 $\Delta T \leq T_0$ 时，则判定第一温度变送器和第二温度变送器的测量误差均合格，进入步骤 7；反之，当 $\Delta T > T_0$ 时，则判定第一温度变送器和第二温度变送器的测量误差均不合格，对温度变送器进行更换，并重复步骤 7.1 至 7.3。

步骤 8，步骤 1 至 7 中各检测项目均合格后，则判定风电水冷装置检测合格。

一种用于风电水冷装置的功能性测试系统，系统包括：PLC 控制器，密封性检测模块，主循环泵检测模块，电加热器检测模块，三通阀检测模块，压力变送器检测模块，温度变送器检测模块；

PLC 控制器与密封性检测模块，主循环泵检测模块，电加热器检测模块，三通阀检测模块，压力变送器检测模块和温度变送器检测模块之间通过 Modbus 通讯网络实现数据传输；

在当前检测项目下，PLC 控制器接收当前检测项目对应的检测模块发送来的检测数据，并根据程序逻辑判定当前检测项目是否合格；若当前检测项目合格，则进入下一检测项目，PLC 控制器向下一检测项目对应的检测模块发送启动信号，该检测模块接收到启动信号好，进入检测状态；若当前检测项目不合格，则暂停检测流程，PLC 控制器向操作人员发送预警。

密封性检测模块，用于在风电水冷装置启动前，检测风电水冷装置的密封性；

密封性检测模块包括风电水冷装置的外接管路，基准压力变送器；其中，基准压力变送器安装在外接管路内；

基准压力变送器，将风电水冷装置的密封性检测开始时刻的压力值 $p_1$ 和检测结束时刻的压力值 $p_2$ 传输给 PLC 控制器；PLC 控制器，比较压力值 $p_1$ 和 $p_2$ 之间的差值 $\Delta p$ ，与压降允许值 $p_0$ 的关系，当 $\Delta p \leq p_0$ 时，则判定风电水冷装置的密封性合格；反之，当 $\Delta p > p_0$ 时，则判定风电水冷装置的密封性不合格。

主循环泵检测模块，用于在密封性检测合格后，检测主循环泵相间电流的平衡性；主循环泵检测模块包括电流互感器；其中电流互感器串联在主循环泵的电源回路中；

电流互感器，将主循环泵的相间电流传输给 PLC 控制器；PLC 控制器，计算得到主循环泵相间不平衡电流最大值 $i_{p\_max}$ ，并比较 $i_{p\_max}$ 与主循环泵相间不平衡电流允许值 $i_{p0}$ 的关系；当 $i_{p\_max} \leq i_{p0}$ 时，则判定主循环泵相间电流的平衡

性合格；反之，当 $i_{p\_max} > i_{p0}$ 时，则判定主循环泵相间电流的平衡性不合格。

电加热器检测模块，用于在主循环泵检测合格后，检测电加热器相间电流的平衡性；电加热器检测模块包括电流互感器；其中电流互感器串联在电加热器的电源回路中；

电流互感器，将电加热器的相间电流传输给 PLC 控制器；PLC 控制器，计算得到电加热器相间不平衡电流最大值 $i_{h\_max}$ ，并比较 $i_{h\_max}$ 与电加热器相间不平衡电流允许值 $i_{h0}$ 的关；当 $i_{h\_max} \leq i_{h0}$ 时，则判定电加热器相间电流的平衡性合格；反之，当 $i_{h\_max} > i_{h0}$ 时，则判定电加热器相间电流的平衡性不合格。

三通阀检测模块，用于在电加热器检测合格后，检测三通阀的动作时间；由 PLC 控制器控制三通阀的开启和关闭，并接收三通阀的全关状态反馈信号、全开状态反馈信号、开限位反馈信号和关限位反馈信号；

当同时满足以下两个条件时，则判定三通阀合格：

1) PLC 控制器接收到三通阀的全关状态反馈信号后，以发送三通阀开启指令为起点时刻，在三通阀的开动作时限内，PLC 控制器接收到开限位反馈信号；

2) PLC 控制器接收到三通阀的全开状态反馈信号后，以发送三通阀关闭指令为起点时刻，在三通阀的关动作时限内，PLC 控制器接收到关限位反馈信号；

否则，上述任一条件不满足，或者两个条件都不满足，则判定三通阀不合格。

压力变送器检测模块，用于在三通阀检测合格后，对压力变送器的测量误差进行检测；压力变送器检测模块包括风电水冷装置的外接管路，基准压力变送器；其中，基准压力变送器安装在外接管路内；

PLC 控制器，同时采集基准压力变送器的压力基准值 $p_b$ 和压力变送器的压力测量值 $p_m$ ；将压力基准值 $p_b$ 与压力测量值 $p_m$ 之间的差值 $\Delta p_m$ ，与压力偏差允许值 $p_{m0}$ 进行比较；当 $\Delta p_m \leq p_{m0}$ 时，则判定压力变送器的测量误差合格；反之，当 $\Delta p_m > p_{m0}$ 时，则判定压力变送器的测量误差不合格。

温度变送器检测模块，用于压力变送器的测量误差检测合格后，对温度变送器的测量误差进行检测；

PLC 控制器采集第一温度变送器的温度测量值 $T_1$ 和第二温度变送器的温度测量值 $T_2$ ；以第一温度变送器的温度测量值 $T_1$ 和第二温度变送器的温度测量值 $T_2$ 之间的差值 $\Delta T$ ，与温度偏差允许值 $T_0$ 进行比较；当 $\Delta T \leq T_0$ 时，则判定第一温度

## 说明书

---

变送器和第二温度变送器的测量误差均合格；反之，当 $\Delta T > T_0$ 时，则判定第一温度变送器和第二温度变送器的测量误差均不合格。

本发明申请人结合说明书附图对本发明的实施示例做了详细的说明与描述，但是本领域技术人员应该理解，以上实施示例仅为本发明的优选实施方案，详尽的说明只是为了帮助读者更好地理解本发明精神，而并非对本发明保护范围的限制，相反，任何基于本发明的发明精神所作的任何改进或修饰都应当落在本发明的保护范围之内。

## 说明书附图

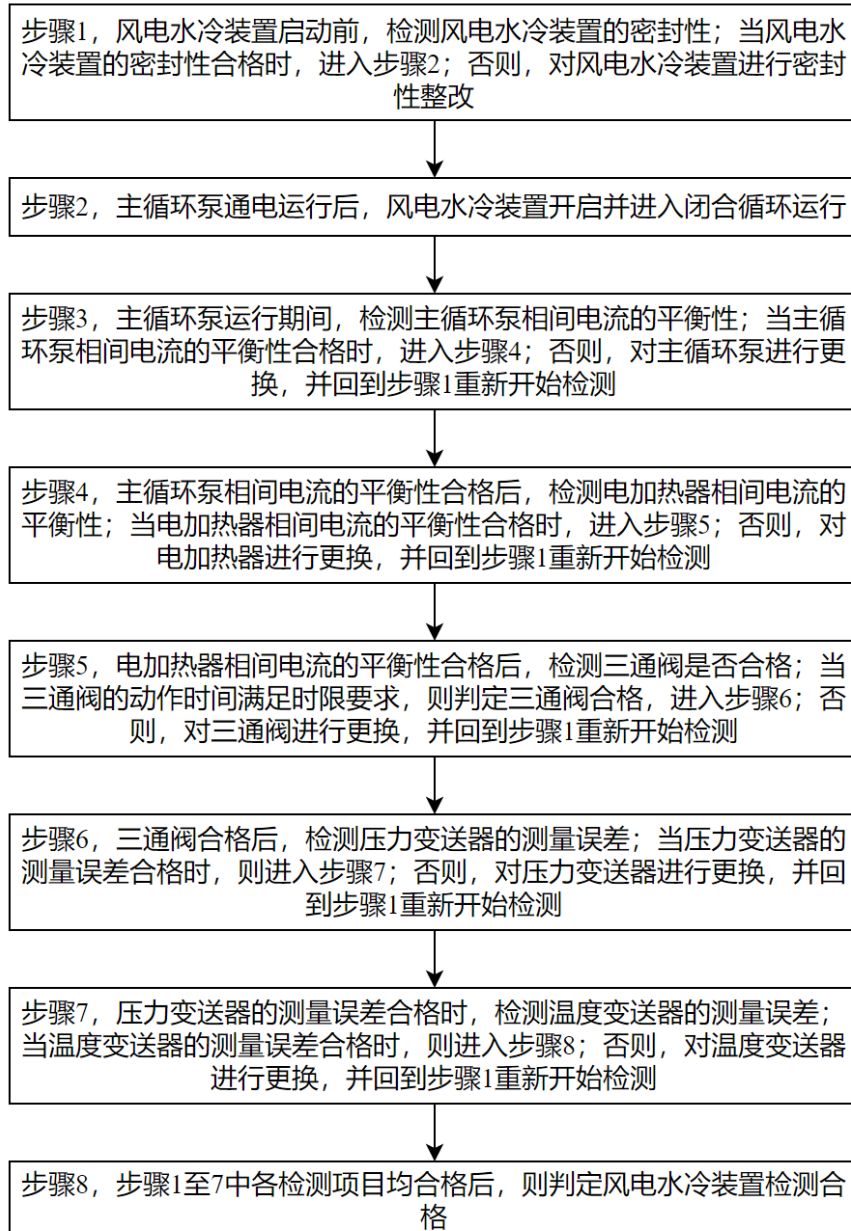


图 1