



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114112361 A

(43) 申请公布日 2022. 03. 01

(21) 申请号 202111426276.2

(22) 申请日 2021.11.27

(71) 申请人 中国科学院合肥物质科学研究院  
地址 230031 安徽省合肥市蜀山区蜀山湖  
路350号

(72) 发明人 程伟华 许智龙 孙亮 许孙龙  
陈怀军

(74) 专利代理机构 安徽省合肥新安专利代理有  
限责任公司 34101  
代理人 陆丽莉 何梅生

(51) Int. Cl.  
G01M 13/00 (2019.01)  
G05B 19/042 (2006.01)

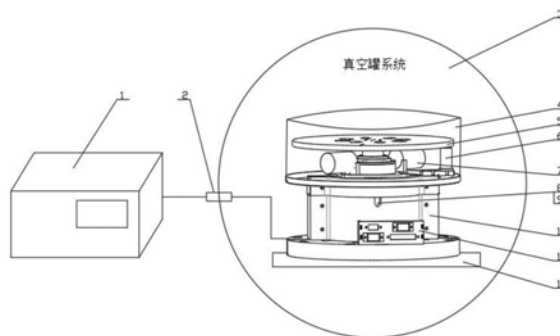
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

一种空间转动部件寿命试验装置及控制方法

(57) 摘要

本发明公开了一种空间转动部件寿命试验装置及控制方法,是应用于空间载荷活动部件的工作寿命模拟和预测;用空间在轨载荷活动件作为被测件,通过放置于真空罐系统中的专用工装加载霍尔组件、模拟负载、接插件组件、油气逸出评估组件、热敏组件及振动噪声监测组件等分别实现转动部件的驱动、相关寿命试验参数的在线监测及对载荷性能的影响试验。本发明能模拟出空间在轨载荷活动部件的工作条件,从而增加试验可靠性,外部一体化试验控制箱同时降低能耗,并提高自动化控制性能。



1. 一种空间转动部件的寿命试验装置,其特征是,在真空罐系统(3)中设置有一安装底板(12),在所述安装底板(12)的安装面上粘贴有导热垫,在所述导热垫上通过法兰安装有专用工装(10);所述专用工装(10)为两半型结构,并通过定位销和螺钉进行连接;

在两半型结构的专用工装(10)内安装有转动部件,且在所述转动部件与所述专用工装(10)之间的贴合面上粘贴导热垫;

在所述转动部件的轴伸端固定有模拟负载(5);在所述模拟负载(5)的下表面上安装有磁钢,在所述模拟负载(5)与专用工装(10)之间设置有霍尔组件(6),且与所述磁钢的位置相对应;

在所述转动部件的轴伸端四周的法兰上安装有油气逸出评估组件(7);

在专用工装(10)上安装有用于密封所述负载组件(5)、霍尔组件(6)及油气逸出评估组件(7)的罩壳组件(4);

在所述转动部件的轴承所对应的外壳处、所述专用工装(10)底部的法兰面上以及所述真空罐系统(3)中分别设置有热敏组件(8);

在专用工装(10)的侧壁上,并处于所述罩壳组件(4)的下方安装有振动噪声监测组件(9)及接插件组件(11);所述接插件组件(11)上连接有转动部件的控制线缆及各监测装置线缆;

在所述真空罐系统(3)的外部设置有一体化试验控制箱(1),其线缆通过真空罐系统(3)罐壁上的转接头(2)与所述接插件组件(11)进行连接。

2. 一种基于权利要求1所述的空间转动部件的寿命试验装置的控制方法,其特征是按如下步骤进行:

步骤1、利用所述真空罐系统(3)为所述转动部件的寿命试验提供测试所需的真空环境及真空度;并所述一体化试验控制箱(1)利用精密真空计对所述真空环境进行真空度采集;

步骤2、所述一体化试验控制箱(1)将控制信号通过转接头(2)发送给所述接插件组件(11);由所述接插件组件(11)将所述控制信号通过控制线缆传输给所述转动部件,以驱动所述转动部件按所述控制信号设定的转速和工作模式带动所述负载组件(5)进行转动,用于模拟转动部件及其负载组件(5)的实际工作状态;

步骤3、以所述霍尔组件(6)中的霍尔位置传感器发出的零位信号的下降沿为计时基准,利用所述一体化试验控制箱(1)采集同一个霍尔位置传感器在相邻两次零位信号下降沿出现的时间间隔,从而得到所述模拟负载(5)转动一圈所需要的时间,并作为所述转动部件的转速周期,进而得到寿命试验在当前时间窗口内N个转速周期的转动周期稳定度 $\Delta T = (T_{MAX} - T_{MIN}) / T_{AVG}$ ,其中, $T_{MAX}$ 表示寿命试验在当前时间窗口内转速周期的最大值, $T_{MIN}$ 表示寿命试验在当前时间窗口内转速周期的最小值, $T_{AVG}$ 表示寿命试验在当前时间窗口内转速周期的平均值;

设定误差范围为U,若 $T_{MAX} > +U$ 或 $T_{MIN} < -U$ ,则表明当前时间窗口内的转动周期稳定度 $\Delta T$ 不在预期范围内;

步骤4、所述油气逸出评估组件(7)利用放置在转动部件轴伸端轴承四周的平板镜片采集逸出的油气,并在寿命试验开始前和结束后分别采用分光光度计检测平板镜片相应波段的光谱透过率,用于对比和评估转动部件油气逸出对在轨载荷光学性能的影响;

步骤5、所述一体化试验控制箱(1)利用所述热敏组件(8)检测所述真空罐系统(3)的内

部、所述转动部件的轴承所对应的外壳处以及所述专用工装(10)底部的法兰面上的温度信号;

所述一体化试验控制箱(1)利用所述振动噪声监测组件(9)检测所述专用工装(10)及所述转动部件上的振动噪声信号;

所述一体化试验控制箱(1)利用AD与电流传感器采集转动部件的输出电流及电压信号;

步骤6、所述一体化试验控制箱(1)将所采集的信号分别与相应设定的阈值进行比对:

步骤6.1:温度比对:

令初始控制点温度参数为 $T_{ck}$ ,并伴随时间计算温度增长斜率 $K_s$ :

当 $K_s > -\delta$ 且 $K_s < \delta$ 时,表示温度变化趋于平缓,并记录寿命试验的当前时刻为稳定运行时刻 $R_0$ ;

当寿命试验的运行时间 $> R_0$ , $K_s < -\delta$ 且 $K_s > \delta$ 时,表示温度变化发生较大变化,并判断当前温度 $T_{mp}$ 是否大于设定阈值 $T_{ct}$ ,若是,则立即停机并发出错误提示,否则,发出警告信息;

步骤6.2:转速比对:

令寿命试验启动时刻至 $R_0$ 的时间范围内的最大转速记为 $\Delta T_x$ ,最小转速记为 $\Delta T_m$ ;

若当前转速 $T_i = 0$ 时,则立即停机并发出警告提示;

若当前转速 $T_i < \Delta T_m - \gamma$ ,则发出低速度警告提示; $\gamma$ 表示增量;

若当前转速 $T_i > \Delta T_x + \gamma$ 时,则立即停机并发出警告提示;

步骤6.3:电流及电压比对:

令电压电流的时间窗口为 $W$ ,且 $W = W_e - W_s$ ;其中, $W_e$ 为当前时间点, $W_s$ 为开始时间点;

若在时间窗口 $W$ 内,电压的波动大于设定的电压阈值 $V_{max}$ 或电流的波动大于设定的电流阈值 $A_{max}$ ,则立即停机并发出错误提示。

## 一种空间转动部件寿命试验装置及控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于机电测试技术领域,具体的说是一种空间转动部件寿命试验装置及控制方法。

### 背景技术

[0002] 转动部件是空间载荷的关键部件,其真空寿命试验的主要目的是考核转动部件主要零部件在真空环境下长期稳定工作的性能、可靠性和寿命;同时考核设计的合理性,对过程中暴露的问题及时修正,因此需要一套完整、有效地针对转动部件实际在轨工况的测试方法。

[0003] 到目前为止,空间转动部件的寿命试验都是测试局部的一些参数,无法完全模拟出实际在轨的工况,且整体寿命试验系统比较庞大;而寿命试验操作人员则需要面对繁杂的地检测试设备,需要经常性的进行自主判断寿命试验的各项数据是否正常,寿命试验产生的大量数据造成特征识别的工作量大;另外由于空间转动部件寿命试验的专业性和复杂性,易造成寿命试验操作人员出现各种操作失误,造成寿命试验的非正常终止。由于寿命试验时间很长(除了加速寿命试验,其余通常至少有几年时间),如果无法及时、全面有效地考核转动部件需要的各项指标参数,会造成巨大的资源浪费和时间损失,同时无法对空间载荷的正常工作寿命做出准确的验证。

### 发明内容

[0004] 本发明是为了解决上述现有技术存在的不足之处,提出一种空间转动部件寿命试验装置及控制方法,以期能模拟出空间在轨载荷活动部件的实际工况,并全面有效地采集完整的监测数据,增加试验可靠性;同时降低能耗,简化试验控制装置并提高自动化控制性能。

[0005] 本发明为达到上述发明目的,采用如下技术方案:

[0006] 本发明一种空间转动部件的寿命试验装置的特点是,在真空罐系统中设置有一安装底板,在所述安装底板的安装面上粘贴有导热垫,在所述导热垫上通过法兰安装有专用工装;所述专用工装为两半型结构,并通过定位销和螺钉进行连接;

[0007] 在两半型结构的专用工装内安装有转动部件,且在所述转动部件与所述专用工装之间的贴合面上粘贴导热垫;

[0008] 在所述转动部件的轴伸端固定有模拟负载;在所述模拟负载的下表面上安装有磁钢,在所述模拟负载与专用工装之间设置有霍尔组件,且与所述磁钢的位置相对应;

[0009] 在所述转动部件的轴伸端四周的法兰上安装有油气逸出评估组件;

[0010] 在专用工装上安装有用于密封所述负载组件、霍尔组件及油气逸出评估组件的罩壳组件;

[0011] 在所述转动部件的轴承所对应的外壳处、所述专用工装底部的法兰面上以及所述真空罐系统中分别设置有热敏组件;

[0012] 在专用工装的侧壁上,并处于所述罩壳组件的下方安装有振动噪声监测组件及接插件组件;所述接插件组件上连接有转动部件的控制线缆及各监测装置线缆;

[0013] 在所述真空罐系统的外部设置有一体化试验控制箱,其线缆通过真空罐系统罐壁上的转接头与所述接插件组件进行连接。

[0014] 本发明一种基于所述的空间转动部件的寿命试验装置的控制方法的特点是按如下步骤进行:

[0015] 步骤1、利用所述真空罐系统为所述转动部件的寿命试验提供测试所需的真空环境及真空度;并所述一体化试验控制箱利用精密真空计对所述真空环境进行真空度采集;

[0016] 步骤2、所述一体化试验控制箱将控制信号通过转接头发送给所述接插件组件;由所述接插件组件将所述控制信号通过控制线缆传输给所述转动部件,以驱动所述转动部件按所述控制信号设定的转速和工作模式带动所述负载组件进行转动,用于模拟转动部件及其负载组件的实际工作状态;

[0017] 步骤3、以所述霍尔组件中的霍尔位置传感器发出的零位信号的下降沿为计时基准,利用所述一体化试验控制箱采集同一个霍尔位置传感器在相邻两次零位信号下降沿出现的时间间隔,从而得到所述模拟负载转动一圈所需要的时间,并作为所述转动部件的转速周期,进而得到寿命试验在当前时间窗口内N个转速周期的转动周期稳定度  $\Delta T = (T_{MAX} - T_{MIN}) / T_{AVG}$ ,其中, $T_{MAX}$ 表示寿命试验在当前时间窗口内转速周期的最大值, $T_{MIN}$ 表示寿命试验在当前时间窗口内转速周期的最小值, $T_{AVG}$ 表示寿命试验在当前时间窗口内转速周期的平均值;

[0018] 设定误差范围为U,若 $T_{MAX} > +U$ 或 $T_{MIN} < -U$ ,则表明当前时间窗口内的转动周期稳定度  $\Delta T$ 不在预期范围内;

[0019] 步骤4、所述油气逸出评估组件利用放置在转动部件轴伸端轴承四周的平板镜片采集逸出的油气,并在寿命试验开始前和结束后分别采用分光光度计检测平板镜片相应波段的光谱透过率,用于对比和评估转动部件油气逸出对在轨载荷光学性能的影响;

[0020] 步骤5、所述一体化试验控制箱利用所述热敏组件检测所述真空罐系统的内部、所述转动部件的轴承所对应的外壳处以及所述专用工装底部的法兰面上的温度信号;

[0021] 所述一体化试验控制箱利用所述振动噪声监测组件检测所述专用工装及所述转动部件上的振动噪声信号;

[0022] 所述一体化试验控制箱利用AD与电流传感器采集转动部件的输出电流及电压信号;

[0023] 步骤6、所述一体化试验控制箱将所采集的信号分别与相应设定的阈值进行比对:

[0024] 步骤6.1:温度比对:

[0025] 令初始控制点温度参数为 $T_{ck}$ ,并伴随时间计算温度增长斜率 $K_s$ :

[0026] 当 $K_s > -\delta$ 且 $K_s < \delta$ 时,表示温度变化趋于平缓,并记录寿命试验的当前时刻为稳定运行时刻 $R_0$ ;

[0027] 当寿命试验的运行时间 $> R_0$ , $K_s < -\delta$ 且 $K_s > \delta$ 时,表示温度变化发生较大变化,并判断当前温度 $T_{mp}$ 是否大于设定阈值 $T_{ct}$ ,若是,则立即停机并发出错误提示,否则,发出警告信息;

[0028] 步骤6.2:转速比对:

- [0029] 令寿命试验启动时刻至R0的时间范围内的最大转速记为 $\Delta T_x$ ,最小转速记为 $\Delta T_m$ ;
- [0030] 若当前转速 $T_i=0$ 时,则立即停机并发出警告提示;
- [0031] 若当前转速 $T_i < \Delta T_m - \gamma$ ,则发出低速度警告提示; $\gamma$ 表示增量;
- [0032] 若当前转速 $T_i > \Delta T_x + \gamma$ 时,则立即停机并发出警告提示;
- [0033] 步骤6.3:电流及电压比对:
- [0034] 令电压电流的时间窗口为W,且 $W=W_e - W_s$ ;其中, $W_e$ 为当前时间点, $W_s$ 为开始时间点;
- [0035] 若在时间窗口W内,电压的波动大于设定的电压阈值 $V_{max}$ 或电流的波动大于设定的电流阈值 $A_{max}$ ,则立即停机并发出错误提示。
- [0036] 与现有技术相比,本发明的有益效果在于:
- [0037] 1、本发明采用一种新型的空间转动部件真空寿命试验装置和控制方法,有效地解决现有寿命试验无法全面评估转动部件所有指标参数,以及地检设备繁杂、寿命试验系统庞大的缺陷;利用集成化的试验装置及优化的控制方法,提高了寿命试验的效率和兼容性,降低了寿命试验操作人员操作试验装置及对大量数据进行分析判断的复杂性,达到了充分考核空间转动部件在轨工作寿命的目的,从而确保了在轨载荷长寿命周期工作的可靠度;
- [0038] 2、本发明通过精巧设计将寿命试验控制箱和试验装置分别进行了整合,占地面积小、安全可靠、适应性强且充分利用资源,同时可满足其他同类产品在各场合下的测试需求(测试指标需求可随意组合),柔性化及可视化程度高;
- [0039] 3、本发明改进了寿命试验控制策略,通过优化的算法实现了一体化试验控制箱对整个寿命试验过程的自主控制,减轻了寿命试验操作人员的负担及人为因素对寿命试验的干扰。

## 附图说明

- [0040] 图1为本发明试验装置组成示意图;
- [0041] 图2为本发明电子学框图;
- [0042] 图中标号:1一体化试验控制箱;2转接头;3真空罐系统;4罩壳组件;5模拟负载;6霍尔组件;7油气逸出评估组件;8热敏组件;9振动噪声监测组件;10专用工装;11接插件组件;12安装底板。

## 具体实施方式

- [0043] 本实施例中,一种空间转动部件的寿命试验装置,如图1所示,是在真空罐系统3中设置有一安装底板12,在安装底板12的安装面上粘贴有导热垫,在导热垫上通过法兰安装有专用工装10,目的是使得专用工装上的热量与安装底板进行交换,最终达到整个试验装置温度的平衡;专用工装10为两半型结构,并通过定位销和螺钉进行连接,此种结构形式便于对转动部件进行安装;
- [0044] 在两半型结构的专用工装10内安装有转动部件,且在转动部件与专用工装10之间的贴合面上粘贴导热垫,目的是将转动部件运转时产生的热量传递到专用工装上;
- [0045] 在转动部件的轴伸端固定有模拟负载5;在模拟负载5的下表面上安装有磁钢,在

模拟负载5与专用工装10之间设置有霍尔组件6,且与磁钢的位置相对应,模拟转动部件实际在轨运转工况;

[0046] 在转动部件的轴伸端四周的法兰上安装有油气逸出评估组件7,用于评估转动部件内部使用轴承油气逸出对在轨光学载荷性能的影响;

[0047] 在专用工装10上安装有用于密封负载组件5、霍尔组件6及油气逸出评估组件7的罩壳组件4,用于模拟转动部件负载组件实际在载荷上的安装结构,确保油气逸出评估组件采集的准确性;

[0048] 在转动部件的轴承所对应的外壳处、专用工装10底部的法兰面上以及真空罐系统3中分别设置有热敏组件8,用于监测轴承处及整个试验装置的温度变化情况;

[0049] 在专用工装10的侧壁上,并处于罩壳组件4的下方安装有振动噪声监测组件9及接插件组件11;接插件组件11上连接有转动部件的控制线缆及各监测装置线缆;

[0050] 在真空罐系统3的外部设置有一体化试验控制箱1,其线缆通过真空罐系统3罐壁上的转接头2与接插件组件11进行连接,实现对试验装置工作的控制。

[0051] 本实施例中,如图2所示,一种空间转动部件的寿命试验装置的控制方法是按如下步骤进行:

[0052] 步骤1、利用真空罐系统3为转动部件的寿命试验提供测试所需的真空环境及真空度,模拟转动部件在轨工作环境;并一体化试验控制箱1利用精密真空计对真空环境进行真空度采集,判断真空度数值是否符合寿命试验细则要求;

[0053] 步骤2、一体化试验控制箱1将控制信号通过转接头2发送给接插件组件11,以建立真空罐系统内部和外部的通讯;由接插件组件11将控制信号通过控制线缆传输给转动部件,以驱动转动部件按控制信号设定的转速和工作模式带动负载组件5进行转动,用于模拟转动部件及其负载组件5的实际工作状态;

[0054] 步骤3、以霍尔组件6中的霍尔位置传感器发出的零位信号的下降沿为计时基准,利用一体化试验控制箱1采集同一个霍尔位置传感器在相邻两次零位信号下降沿出现的时间间隔,从而得到模拟负载5转动一圈所需要的时间,并作为转动部件的转速周期,进而得到寿命试验在当前时间窗口内N个转速周期的转动周期稳定度 $\Delta T = (T_{MAX} - T_{MIN}) / T_{AVG}$ ,其中, $T_{MAX}$ 表示寿命试验在当前时间窗口内转速周期的最大值, $T_{MIN}$ 表示寿命试验在当前时间窗口内转速周期的最小值, $T_{AVG}$ 表示寿命试验在当前时间窗口内转速周期的平均值;

[0055] 设定误差范围为U,若 $T_{MAX} > +U$ 或 $T_{MIN} < -U$ ,则表明当前时间窗口内的转动周期稳定度 $\Delta T$ 不在预期范围内;通过与在轨载荷实际工作的需求指标进行对比,判断转动部件当前的转动状态是否可以继续试验以进一步验证或者人为终止试验;

[0056] 步骤4、油气逸出评估组件7利用放置在转动部件轴伸端轴承四周的平板镜片采集逸出的油气,并在寿命试验开始前和结束后分别采用分光光度计检测平板镜片相应波段的光谱透过率,用于对比和评估转动部件油气逸出对在轨载荷光学性能的影响,能够比较真实的反映油气在镜片上形成的油膜对各波段光谱透过率的影响程度,从而达到评估在轨光学载荷在工作寿命周期内性能的变化以及后续载荷设计改进的目的;

[0057] 步骤5、一体化试验控制箱1利用热敏组件8检测真空罐系统3的内部、转动部件的轴承所对应的外壳处以及专用工装10底部的法兰面上的温度信号,以监测整个试验装置温度的变化情况;

- [0058] 一体化试验控制箱1利用振动噪声监测组件9检测专用工装10及转动部件上的振动噪声信号;
- [0059] 一体化试验控制箱1利用AD与电流传感器采集转动部件的输出电流及电压信号;
- [0060] 步骤6、一体化试验控制箱1将所采集的信号分别与相应设定的阈值进行比对;
- [0061] 步骤6.1:温度比对:
- [0062] 令初始控制点温度参数为 $T_{ck}$ ,并伴随时间计算温度增长斜率 $K_s$ ;
- [0063] 当 $K_s > -\delta$ 且 $K_s < \delta$ 时,表示温度变化趋于平缓,并记录寿命试验的当前时刻为稳定运行时刻 $R_0$ ;
- [0064] 当寿命试验的运行时间 $> R_0$ , $K_s < -\delta$ 且 $K_s > \delta$ 时,表示温度变化发生较大变化,并判断当前温度 $T_{mp}$ 是否大于设定阈值 $T_{ct}$ ,若是,则立即停机并发出错误提示,否则,发出警告信息;
- [0065] 步骤6.2:转速比对:
- [0066] 令寿命试验启动时刻至 $R_0$ 的时间范围内的最大转速记为 $\Delta T_x$ ,最小转速记为 $\Delta T_m$ ;
- [0067] 若当前转速 $T_i = 0$ 时,则立即停机并发出警告提示;
- [0068] 若当前转速 $T_i < \Delta T_m - \gamma$ ,则发出低速度警告提示; $\gamma$ 表示增量;
- [0069] 若当前转速 $T_i > \Delta T_x + \gamma$ 时,则立即停机并发出警告提示;
- [0070] 步骤6.3:电流及电压比对:
- [0071] 令电压电流的时间窗口为 $W$ ,且 $W = W_e - W_s$ ;其中, $W_e$ 为当前时间点, $W_s$ 为开始时间点;
- [0072] 若在时间窗口 $W$ 内,电压的波动大于设定的电压阈值 $V_{max}$ 或电流的波动大于设定的电流阈值 $A_{max}$ ,则立即停机并发出错误提示。
- [0073] 通过与各采集参数设定阈值的比对,目的是实现一体化试验控制箱对整个转动部件寿命试验过程的自主控制。
- [0074] 图2为本空间转动部件寿命试验装置的电子学框图,本装置优点是:
- [0075] (1)集成度高,便于携带进行外场试验;
- [0076] (2)各模块耦合度低,可根据不同测试需求进行组合;
- [0077] (3)扩展性强,装置预留了通信、采集输入、触发输出与集联端口,便于后期加装外置传感器扩展装置;
- [0078] (4)装置集成触摸屏输入装置,可配合软件进行测试状态显示、现场数据预处理与转动部件寿命试验数据分析。



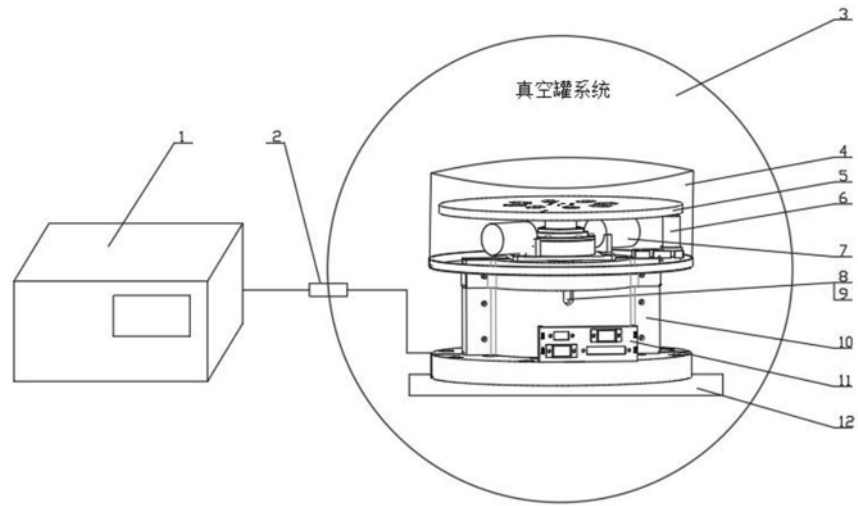


图1

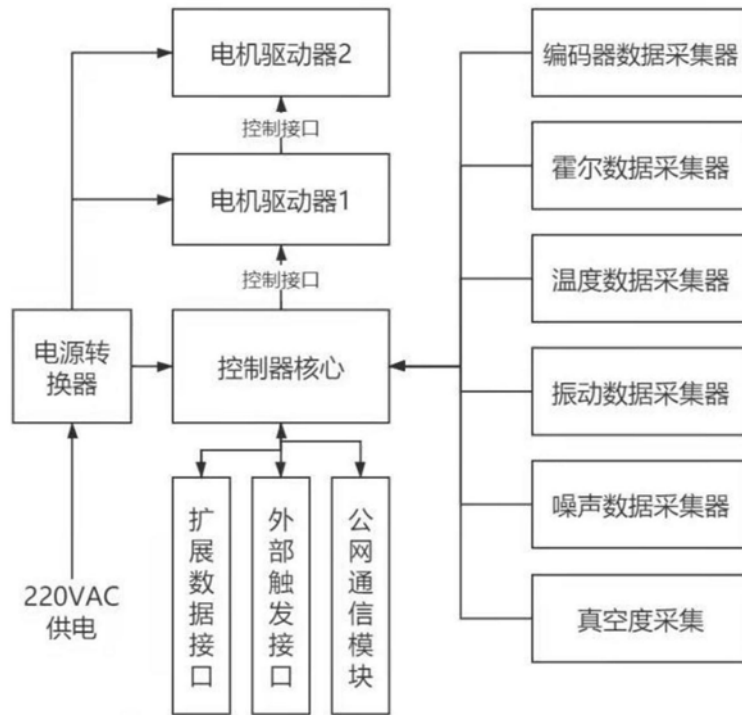


图2