

(19)中华人民共和国国家知识产权局



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104142229 B

(45)授权公告日 2017.08.04

(21)申请号 201310173778.8

审查员 朱冰冰

(22)申请日 2013.05.10

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104142229 A

(43)申请公布日 2014.11.12

(73)专利权人 中科风电(北京)有限公司

地址 100036 北京市海淀区西翠路17号院  
24号楼5层

(72)发明人 蔡志航 宋永强 任丽娜 刘亚斌  
李新华

(74)专利代理机构 北京瑞恒信达知识产权代理  
事务所(普通合伙) 11382

代理人 苗青盛 王凤华

(51)Int.Cl.

G01M 13/00(2006.01)

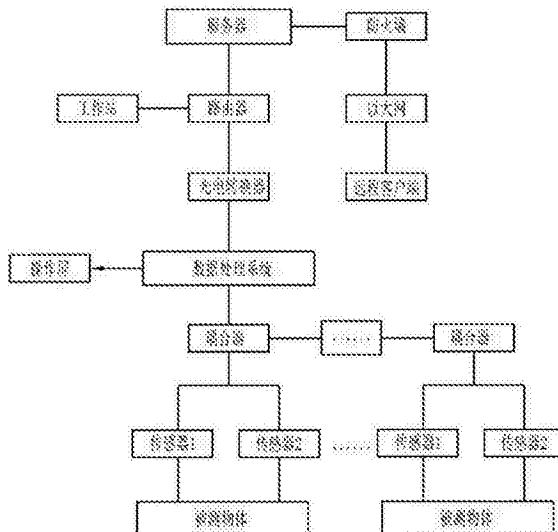
权利要求书1页 说明书5页 附图5页

(54)发明名称

一种风力发电机组法兰螺栓在线监测及故  
障诊断系统

(57)摘要

本申请提供一种风力发电机组法兰螺栓在  
线监测及故障诊断系统,包括:安装在法兰部  
位的传感器,和传感器连接的数据采集和处理  
设备,以及监控风力机组内各个监测点的工作状  
态的服务器所属的监控系统。



1. 一种风力发电机组法兰螺栓在线监测及故障诊断系统,包括:安装在法兰部位的传感器,和传感器连接的数据采集和处理设备,光电转换器以及监控风电机组内各个监测点工作状态的服务器所属的监控系统,

其中,数据采集和处理设备包括数据处理系统,用于对传感器采集的数据进行数据处理和分析;

其中,所述光电转换器用于将电信号转换成光信号,以利于远程传输,

其中,数据处理系统用于:

采用混沌动力学理论对监测的数据进行处理和分析,得到风电机组正常工作频域和时域的曲线或数值,将所述曲线或数值作为故障判定的边界值;并将边界条件进行分级为一级报警设定值和二级报警设定值;

基于从传感器得到实时监测的数据,通过以混沌动力学理论为核心算法进行数据处理和分析,然后与边界值进行对比发出对应警报信息。

2. 根据权利要求1所述的在线监测及故障诊断系统,其中,传感器安装在法兰部位,用于采集法兰及法兰螺栓的振动加速度数据和法兰螺栓转角数据。

3. 根据权利要求1所述的在线监测及故障诊断系统,其中,服务器所属的监控系统用于故障报警、故障状态提示和位置提示;服务器所属的监控系统还用于存储数据并生成报表,进行趋势分析。

4. 根据权利要求2所述的在线监测及故障诊断系统,其中,传感器包括角位移传感器和加速度传感器,角位移传感器用来测量法兰螺栓与螺母的相对转动量,监测单个法兰螺栓副的故障问题;加速度传感器用来测量法兰螺栓在拧紧力矩减小过程中动态响应发生的变化量,以监测法兰位置的整体状态。

5. 根据权利要求4所述的在线监测及故障诊断系统,其中,角位移传感器安装在法兰螺栓副的螺母端位置,通过螺母的侧边和法兰螺栓的伸出部分连接;

角位移传感器本体通过工装与法兰螺栓头连接作为固定部分,角位移传感器转轴与螺母连接作为转动部分。

6. 根据权利要求4所述的在线监测及故障诊断系统,其中,加速度传感器安装在法兰水平面上或者立面上,用来测量法兰螺栓副在预紧力矩减小过程中动态响应发生的变化量,以确定失效法兰螺栓所在的法兰区域;

加速度传感器监测不转动的法兰和相对转动的法兰的工作状态。

7. 根据权利要求4所述的在线监测及故障诊断系统,其中,传感器布置方式包括:

仅安装加速度传感器,采用法兰位置均匀布置和不均匀布置两种;或者

仅布置角位移传感器,在每个待测的法兰螺栓上安装角位移传感器;或者

安装加速度传感器,在加速度传感器之间,选择性的安装角位移传感器。

## 一种风力发电机组法兰螺栓在线监测及故障诊断系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及在线监测及故障诊断技术,更具体地,本发明涉及一种风力发电机组法兰螺栓在线监测及故障诊断系统。

### 背景技术

[0002] 随着风电产业的迅速发展,风电机组装机规模的不断扩大,风电机组的运行事故发生率也在大幅上升,其中一部分事故是由于法兰螺栓的失效而引起的。风电机组螺栓失效所造成的危害很大,其结果常常会导致风电机组的重要部件不能工作,甚至整体倾覆。这种事故的出现将会对风电机组内进行维护的工作人员造成严重伤害,同时给国家和企业造成巨大的经济损失。截止2011年底,全国累计安装风电机组45894台。我国90%以上主机厂的风电机组技术为国外引进技术,风电机组在原始设计时,关于螺栓的要求是按照国外标准进行的,同时也有着严格安装工艺要求。国内主机厂在螺栓选用时几乎都在国内采购,而国内的螺栓质量与国外还存在一定差距,加上安装工艺问题,导致了国内风电机组螺栓故障成为普遍现象。目前,各个风场工作人员对螺栓的检查只进行定期检查(半年抽检和一年全检),无法实时监测到螺栓的工作状态及相应的故障诊断分析。然而风力发电机组法兰螺栓在线监测及故障诊断系统可以解决此类问题。

[0003] 在风力发电机组中,塔筒与基础、塔筒之间、塔筒与机舱、主轴与轮毂以及叶片与轮毂之间均采用法兰连接方式,这些位置的法兰螺栓在正常工作时受到较大的交变载荷作用。虽然在设计过程中对此已经做了严格的要求,但因法兰螺栓的质量参差不齐,实际安装工艺的不同,法兰结构的差异等原因,导致法兰螺栓存在不同程度的隐患。经过长期运行,部分螺栓出现松动或断裂的情况无法避免,这给风电机组的安全可靠运行带来了隐患。因此要求有一种系统能实时监测螺栓的工作状态,当螺栓发生松动、断裂、拉伸或出现该趋势时,能及时报警并确定故障点的位置,提示工作人员及时维护。

[0004] 在中国专利申请号为201010539421.3、发明名称为一种螺栓故障监测系统和监测方法中,将应变片贴在法兰面上或法兰与筒体连接处,通过应变片测得法兰相应位置的载荷信号,将载荷信号传输给控制元件,并与控制元件中预先设定的载荷阈值进行比较,当载荷超过预定载荷阈值时,报警元件发出警告信号。这种结构对应变片的粘贴工艺和应用环境(比如温度、湿度)有严格要求,而且普通应变片的寿命较短;若进行更换时操作不方便,也会损伤法兰的防腐表面。并且在该测试方法中,没有提出数据的分析方法,整个系统的信号传输、集成及监控方法。

[0005] 另外,现有技术中还有针对风电机组塔筒螺栓松动长期监测分级报警系统,其中,在塔筒每层法兰的东、南、西及北方向均匀布置4个螺栓防松报警器并进行编号,通过电路形成两级报警回路。使用信号线将该电路信号传输到总控制中心,在总控制中心通过两个操作面板读取在线监测的每台风电机组中各个塔筒法兰的状态。当在线监测的法兰螺栓出现故障时,在总控制中心可以很明确的看到故障点所在的风电机组编号,法兰编号和方向编号,并出现了几级报警,指导现场维护人员去维护。该系统存在的缺点为:a. 不能确定其

它法兰螺栓是否故障; b. 没有详细说明每层法兰之间的线路连接方式以及如何与总控制中心连接; c. 不能完全包含螺栓的失效状态(比如:螺栓直接拉断而没有旋转); d. 仅涉及到监测塔筒法兰螺栓工作状态。

## 发明内容

[0006] 为克服现有技术的上述缺陷,本发明提出一种风力发电机组法兰螺栓监测及故障诊断系统。

[0007] 本发明提出了一种风力发电机组法兰螺栓在线监测及故障诊断系统,包括:安装在法兰部位的传感器,和传感器连接的数据采集和处理设备,以及监控风电机组内各个监测点工作状态的服务器所属的监控系统。

[0008] 本发明的系统可以将实时采集的信息进行处理并分析,提前预报故障并提示故障螺栓的状态和位置,解决目前风力发电机组螺栓故障多,故障定位复杂(由于连接螺栓较多,需逐一排查),故障未得到及时跟踪且故障发生时状态无法判断而造成机组部件损坏以至整个风力发电机组失效的问题。

[0009] 相对于风电机组出现危险来说,增加法兰螺栓在线监测及故障诊断系统的成本是微小的。以目前已安装的主流1.5MW风电机组为例,单台整机的造价约为550万,而本申请系统的市场估价为单台风电机组在8万元以内,具有广阔的市场前景。

[0010] 通过该系统在风场的实施,对提高风力发电机组的可利用率、有计划的进行法兰螺栓及其相关部件的维护、提高风能利用率等能起到重要的作用,并可增加风电场的正常运行时间、优化机组运行工况、降低风力发电机组的维修费用和提高风力发电机组运行的安全性。

## 附图说明

[0011] 图1为根据本发明的第一实施例的系统结构图;

[0012] 图2为图1所示系统的逻辑图;

[0013] 图3为角位移传感器结构示意图;

[0014] 图4为角位移传感器结构示意图;

[0015] 图5为传感器布置示意图;

[0016] 图6为加速度传感器布置示意图;

[0017] 图7为根据本发明的第二实施例的系统结构图。

[0018] 如图所示,为了能明确实现本发明的实施例的结构,在图中标注了特定的结构和器件,但这仅为示意需要,并非意图将本发明限定在该特定结构、器件和环境中,根据具体需要,本领域的普通技术人员可以将这些器件和环境进行调整或者修改,所进行的调整或者修改仍然包括在后附的权利要求的范围中。

## 具体实施方式

[0019] 下面结合附图和具体实施例对本发明提供的一种风力发电机组法兰螺栓长期在线监测及故障诊断系统进行详细描述。

[0020] 在以下的描述中,将描述本发明的多个不同的方面,然而,对于本领域内的普通技

术人员而言,可以仅仅利用本发明的一些或者全部结构或者流程来实施本发明。为了解释的明确性而言,阐述了特定的数目、配置和顺序,但是很明显,在没有这些特定细节的情况下也可以实施本发明。在其他情况下,为了不混淆本发明,对于一些众所周知的特征将不再进行详细阐述。

[0021] 图1示出一种风力发电机组法兰螺栓长期在线监测及故障诊断系统,如图1所示,该系统能够定位故障螺栓的失效状态和位置,其监测内容包含了螺栓的所有失效模式。其中,该系统包括安装在法兰部位的传感器,数据采集和处理设备,光电转换器和服务器所属监控系统。

[0022] 其中,将传感器安装在法兰部位,采集法兰及螺栓的工作状态数据,该数据包括振动加速度和法兰螺栓转角数据。

[0023] 数据采集和处理设备,用于获取传感器采集的数据并且进行数据处理分析。该数据采集和处理设备包括两种实现方式,其中一种如图1所示,包括耦合器和数据处理系统,采集数据通过耦合器传送到数据处理系统进行数据处理和分析。另一种如图7所示,包括数据采集仪和采集模块或PC机和数据采集卡,采集数据通过数据采集仪或PC机内的数据处理系统进行数据处理和分析。

[0024] 其中,数据处理系统用于采集传感器的信号,进行数据处理和数据分析。数据处理系统包含PLC、数据采集模块、开关、备用电源(UPS)、防雷模块及数据分析软件等。

[0025] 其中,光电转换器,用于将电信号转换成光信号,以用于远程传输,避免信号衰减。进一步可加装路由器,以使整个风场的风电机组之间、中控室与各风电机组之间的信息通畅,构成一个包含所有风电机组和中控室服务器、工作站的局域网络。

[0026] 其中,服务器所属的监控系统用于监控风电机组内各个监测点的工作状态。若风电机组内某个法兰螺栓副出现故障,服务器所属的监控系统将立刻进行故障报警、故障状态提示和位置提示,引导工作人员及时进行现场维护。该服务器所属的监控系统还包含长期存储数据并生成报表,进行趋势分析等功能。工作人员也可自己根据监控系统的数据报表、趋势图及风场环境等参数综合判断各监测点的变化趋势,发现监测点是否将要发生故障,并能很明确的找到即将发生故障处法兰螺栓的状态和位置,引导作业人员提前进行维护。

[0027] 其中,风电机组每个法兰上的多个传感器通过屏蔽信号线与数据处理系统进行连接;数据处理系统内部,数据处理系统与光电转换器之间,路由器与服务器之间均采用通讯线进行连接;光电转换器与路由器之间采用光纤连接,以避免在传输过程数据的衰减、外界干扰。

[0028] 在实际使用中,如果数据处理系统与路由器和服务器距离较短时,可以不用光电转换器。

[0029] 数据处理系统通过光电转换器、路由器将数据分析结果传输给服务器,工作站或远程客户端通过浏览安装在服务器上的监控系统实时监测风电机组各个法兰位置的状态数据,给工作人员报警提示并指明故障所在的风电机组、法兰和具体位置编号。监测软件也能通过累计的数据进行分析,判定故障原因,预测螺栓工作趋势,预报螺栓剩余寿命。

[0030] 其中数据处理系统还用于故障检测和判定,具体地,如图2所示,首先,采用混沌动力学理论对前期监测的数据进行处理,得到风电机组正常工作频域和时域的曲线或数值,

将该结果作为以后故障判定的边界值,随后通过风场一段时间数据积累对前期计算的边界条件进行优化。边界条件储存在数据处理系统中,根据螺栓失效的过程,将边界条件分为预紧力减小和螺栓失效两个阶段,并设定为一级报警设定值和二级报警设定值。在实际应用中,数据处理系统从传感器得到实时监测的数据,通过以混沌动力学理论为核心算法进行数据处理和分析,然后与边界值进行对比。若分析结果超过一级报警设定值,系统进行一级报警并显示黄灯亮;若分析结果超过二级报警设定值,系统进行二级报警并显示红灯亮;若分析结果为正常值,系统故障显示处为绿灯不报警。

[0031] 传感器包括角位移传感器和加速度传感器,其中,角位移传感器用来测量法兰螺栓与螺母的相对转动量,加速度传感器用来测量螺栓在拧紧力矩减小过程中动态响应发生的变化量。其中,角位移传感器安装在法兰螺栓副的螺母端位置,加速度传感器安装在法兰面上。角位移传感器可以监测单个螺栓副的故障问题,加速度传感器监测法兰位置的整体状态。

[0032] 其中,采用角位移传感器测量法兰螺栓工作状态的机理为:当法兰螺栓的拧紧力矩逐渐减小时,螺栓和螺母之间会发生相对转动,通过将角位移传感器安装在其工装上并与螺栓连接来监测螺栓和螺母的相对转动量。

[0033] 角位移传感器工装安装在法兰螺栓副的螺母侧,通过螺母的侧边(六面边)和螺栓的伸出部分连接。角位移传感器本体通过工装与螺栓头连接作为固定部分;角位移传感器转轴与螺母连接作为转动部分。

[0034] 角位移传感器在实际应用中可选用精密角位移传感器或电位器,使用量程可选用单圈或多圈。其工作原理为:角位移传感器接入电路中,通过传感器本体和转轴的相对转动,将角位移量转化为电流或电压的模拟量信号输出。

[0035] 根据法兰螺栓副相对角位移量的测量精度,将其传感器工装结构分为以下两种。第一种角位移传感器工装结构的示意图见图3,如图3所示,具体为传感器1与旋转座3通过紧固件连接拧紧,将固定座5放入旋转座3内,用M3×12螺栓2将旋转座3、固定座5和旋转环8拧紧。挡块6插入传感器旋转轴并压入固定座5底部,用内六角平端紧固螺钉7顶紧传感器旋转轴。螺母套4通过螺栓头放到法兰螺母上,将已组装好的组件拧紧在法兰螺栓螺纹上,调整螺母套4使M6×55螺栓10穿过弹簧9与螺母套4拧紧。通过旋转挡块6将传感器1调零。增加弹簧9是为了保证整体结构的长期稳定。当螺栓和螺母发生相对转动时,螺母套4带动旋转座和角位移传感器本体旋转,固定座5和挡块6不转动,使得角位移产生转动量。

[0036] 第二种角位移传感器工装的结构示意图见图4,具体为传感器11穿过保护罩13与小齿轮14紧配合,用弹性挡圈15定位,然后用3-M3×8螺钉12拧紧固定传感器11。带齿螺母套19放在法兰螺母上并与之配合。在法兰螺栓伸出部分拧入固定座17,将已装配好的传感器部分放入法兰螺母的带齿螺母套19上,保证齿轮啮合顺畅,最后用3-M3×8沉头螺钉18和M4×12螺钉定位。该结构原理为:螺栓与螺母发生相对转动时,相对转动量按照传动比数传输给角位移传感器,提高监测法兰螺母转角变化的灵敏度。该结构可采用金属结构,也可以采用非金属结构。

[0037] 其中,加速度传感器用来采集法兰螺栓副附近的加速度幅值变化量传输给数据处理系统。加速度传感器的选型和安装取决于风电机组各部套的固有频率值、受力状态、冲击应力、工作环境、供电方式和法兰及法兰螺栓的实际安装情况等。

[0038] 根据理论模型计算的结果,塔架的固有频率范围不超过0.4~0.6Hz,叶轮的不平衡振动频率为0.15~0.3Hz。加速度传感器安装在不转动位置时,选用压电式加速度传感器或惯性摆式电容传感器等;加速度传感器安装在相对转动位置时,可选用电涡流式位移振幅传感器或相对电容式传感器等。加速度传感器的安装采用磁座安装,也可以采用螺栓固定。

[0039] 其中,加速度传感器在法兰位置的布置形式是取决于加速度传感器测量范围、法兰所在的位置和所在风场的主风向,可以采用均匀布置和不均匀布置的方式。而角位移传感器仅安装在单个法兰螺栓上。

[0040] 具体的布置方式可以选用以下几种:1),只安装加速度传感器22;实际布置时可以采用法兰位置均匀布置和不均匀布置两种;2),只布置角位移传感器21;在每个待测的法兰螺栓上安装角位移传感器;3)、采用第1)种布置方式,同时在加速度传感器之间,选择性的安装角位移传感器。可以全布置,也可以部分布置,如图5所示。

[0041] 见图6所示,加速度传感器22的具体布置位置可以选择在法兰水平面上,也可以选择安装在法兰立面上。安装时可优选磁座安装传感器,条件允许的情况下也可以采用螺钉安装传感器。

[0042] 数据处理系统的数据分析理论和处理方式

[0043] 数据处理系统的数据分析基于混沌动力学理论,采用相关系数、谱分析、相空间重构(延迟时滞法)、关联维数、Kolmogorov熵(柯尔莫格罗夫熵)、Lypapunov指数(李亚普诺夫指数)、s值等混沌工具判断系统的振动特性。采用相平面变量寻找定量特征值,用于判断是否偏离正常工作状态。其分析结果包括时序曲线、二维图形(或称为吸引子)等。

[0044] 数据处理系统的软件部分包含数据采集、数据处理和数据分析等功能。数据采集采用加速度和角位移监测法兰工作数据过数据采集模块和耦合器传递给PLC实现;数据处理通过PLC自带软件完成;数据分析软件是根据混沌动力学理论编制数据分析计算程序,并通过数据处理系统实现数据的累积和输出。

[0045] 另外,可以将每个法兰位置的多个传感器数据传输到该平台的数据采集仪的采集模块内,数据采集仪对数据进行数据整理,然后通过光电转换器和路由器传输给服务器。在服务器上安装数据采集仪的数据处理软件、数据分析系统软件和数据监控系统软件实现数据的监控和故障诊断功能。

[0046] 还可以将每个法兰位置的多个传感器数据传输到该平台PC机的数据采集卡上,PC机进行数据采集和数据处理分析,然后通过光电转换器和路由器传输给服务器。在服务器上安装数据监控系统软件实现数据的监控和故障诊断功能。

[0047] 最后应说明的是,以上实施例仅用以描述本发明的技术方案而不是对本技术方法进行限制,本发明在应用上可以延伸为其他的修改、变化、应用和实施例,并且因此认为所有这样的修改、变化、应用、实施例都在本发明的精神和教导范围内。

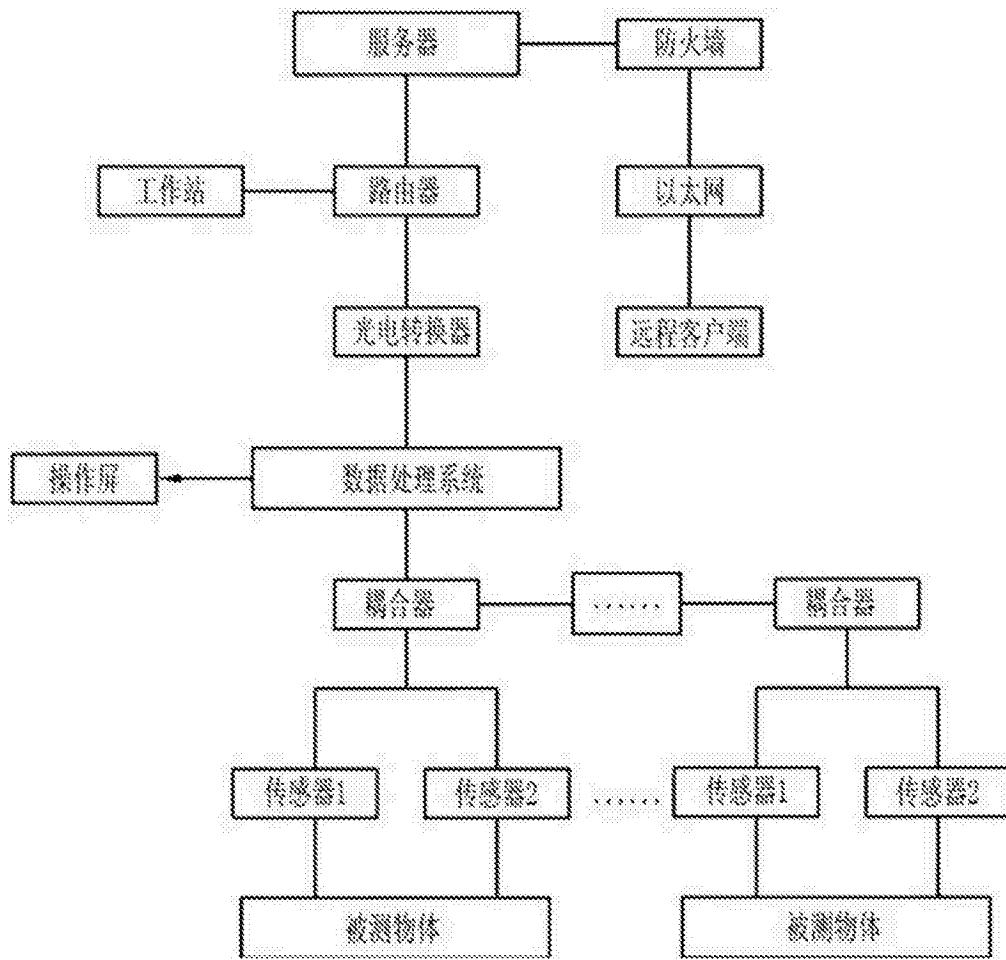


图1

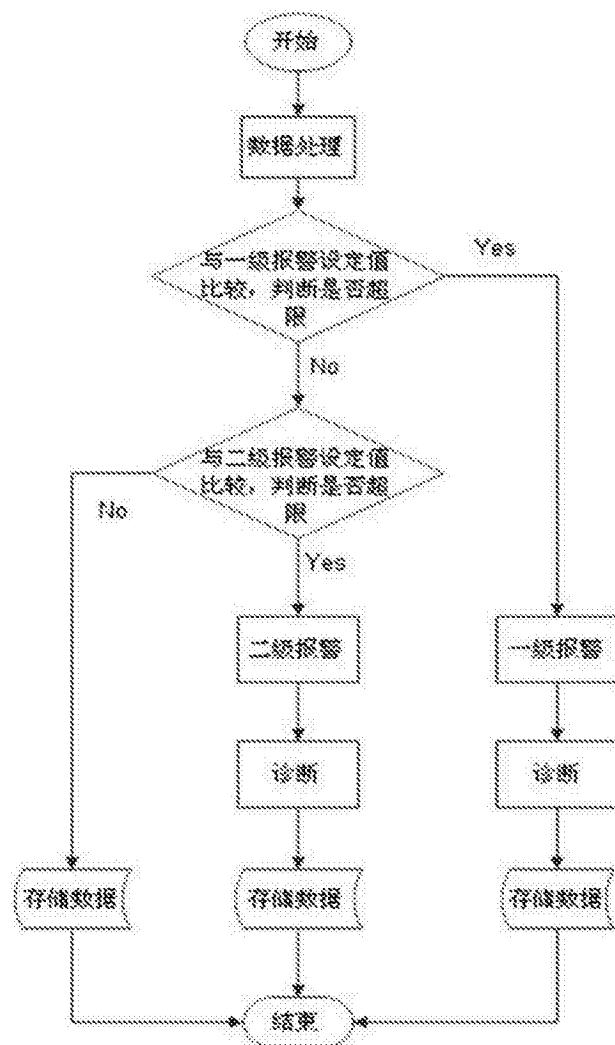


图2

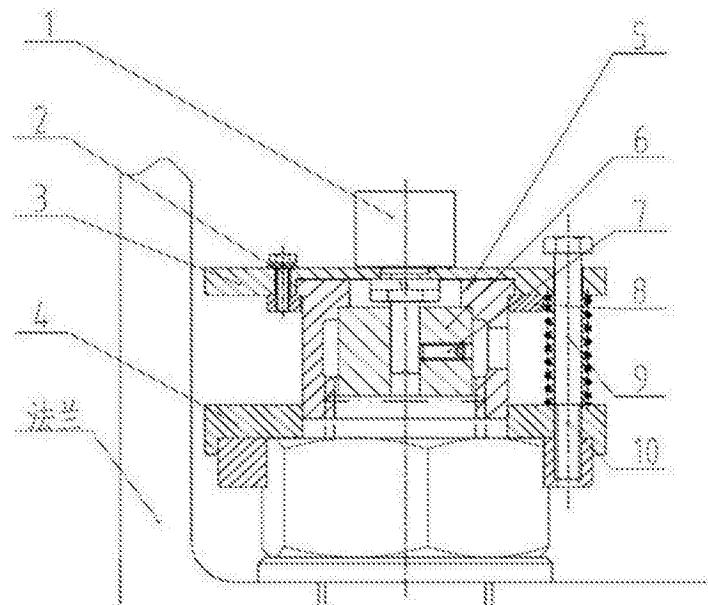


图3

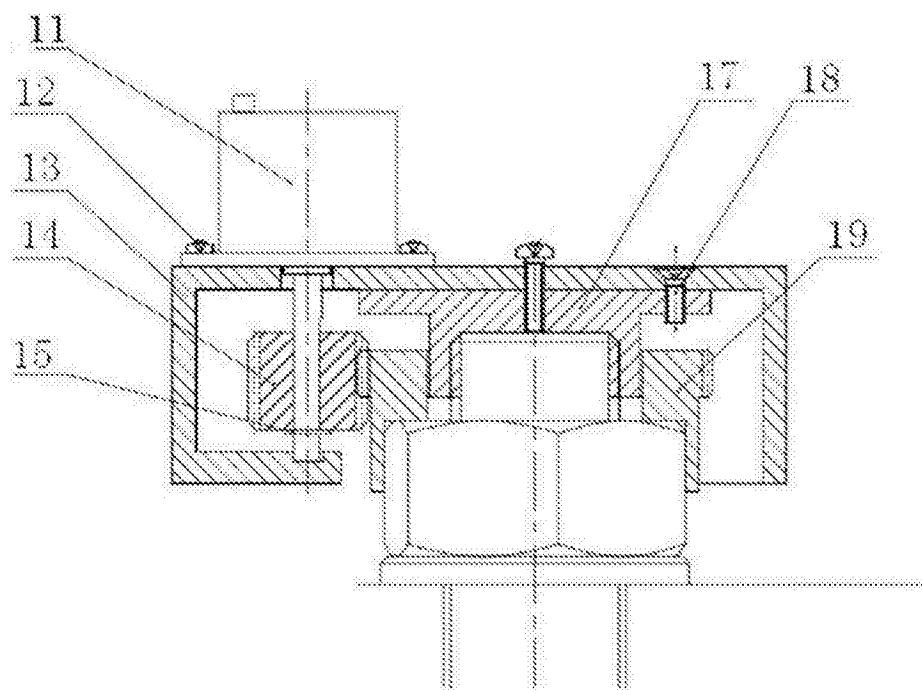


图4

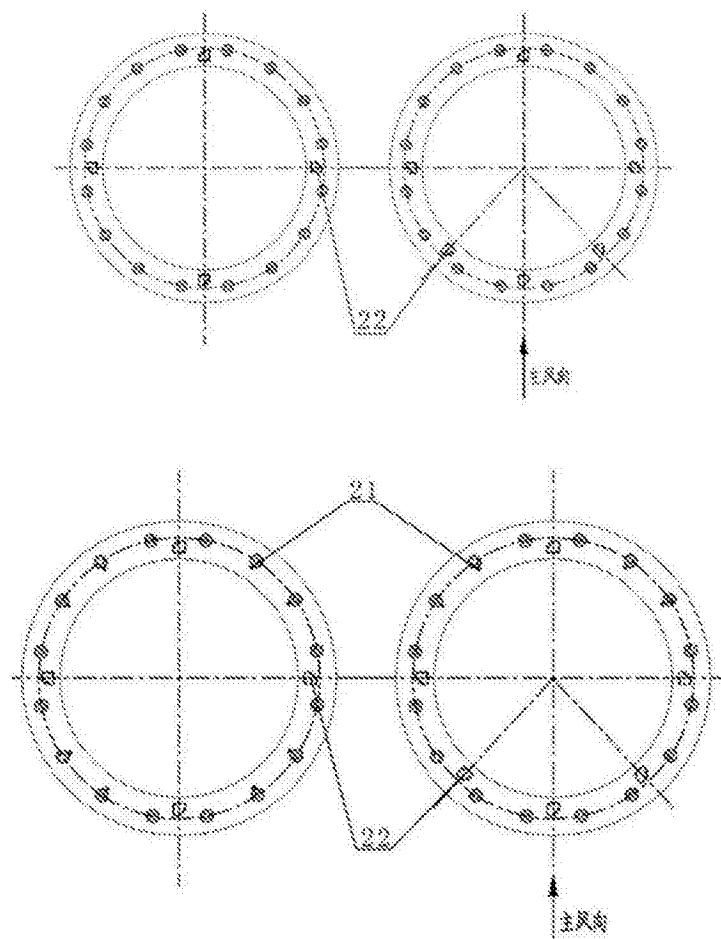


图5

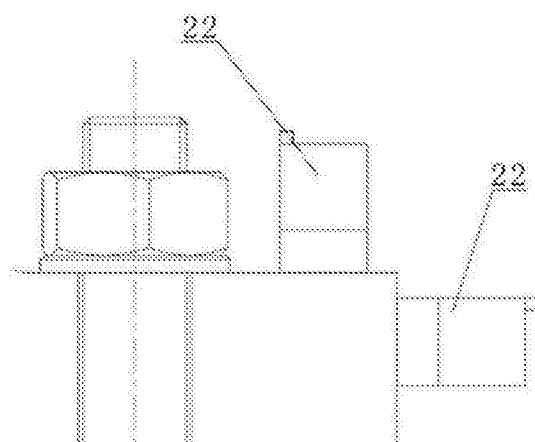


图6

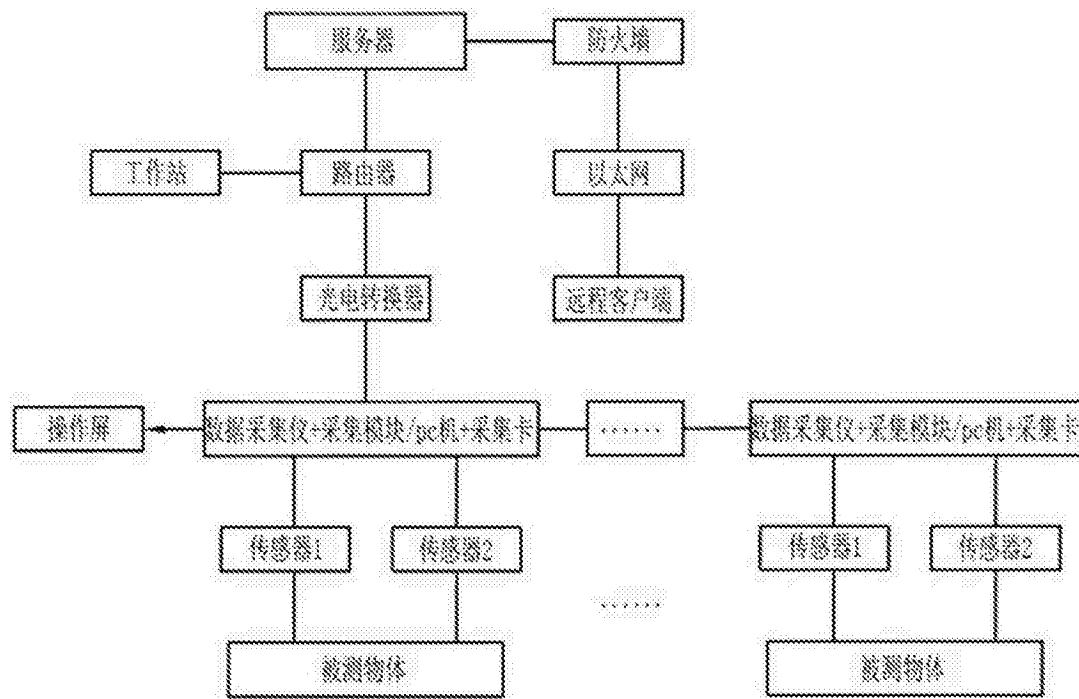


图7