



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105699074 A

(43) 申请公布日 2016. 06. 22

(21) 申请号 201610203001. 5

(22) 申请日 2016. 04. 01

(71) 申请人 山东大学

地址 250061 山东省济南市历下区经十路  
17923 号

(72) 发明人 唐委校 甄天辉 李帅

(74) 专利代理机构 济南圣达知识产权代理有限  
公司 37221

代理人 赵敏玲

(51) Int. Cl.

G01M 13/02(2006. 01)

G01M 10/00(2006. 01)

G01M 7/02(2006. 01)

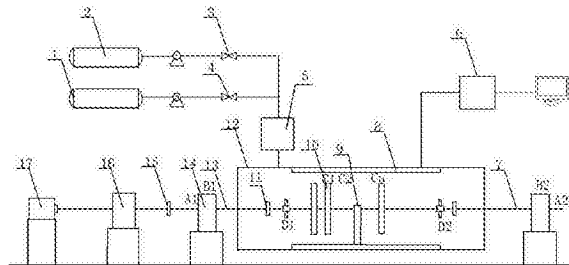
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54) 发明名称

一种叶片-转子系统流固耦合动态特性试验装置

(57) 摘要

本发明公开了一种叶片-转子系统流固耦合动态特性试验装置,包括试验筒体,在试验筒体外部设有与为其内部输送流体介质的流体储存输送系统;所述的试验筒体内设有转子结构,驱动装置通过传动装置驱动所述的转子结构旋转,在试验筒体内壁上安装有测量叶片振动位移的位移传感器 I,在传动装置上安装有测量传动轴的振动加速度的加速度传感器 I 和测量传动轴振动位移的位移传感器 II,在试验筒体内安装有测量转子转轴振动加速度的加速度传感器 II;所述的位移传感器 I、加速度传感器 I、位移传感器 II、加速度传感器 II 均与数据处理系统相连,所述的数据处理系统根据各个传感器的数据分析在不同工况下叶片-转子系统流固耦合状态下的振动特性。



1. 一种叶片-转子系统流固耦合动态特性试验装置,其特征在于:包括试验筒体,在试验筒体外部设有与其内部输送流体介质的流体储存输送系统;所述的试验筒体内设有转子结构,驱动装置通过传动装置驱动所述的转子结构旋转,在试验筒体内壁上安装有测量叶片振动位移的位移传感器I,在传动装置上安装有测量传动轴的振动加速度的加速度传感器I和测量传动轴振动位移的位移传感器II,在试验筒体内安装有测量转子转轴振动加速度的加速度传感器II;所述的位移传感器I、加速度传感器I、位移传感器II、加速度传感器II均与数据处理系统相连,所述的数据处理系统根据各个传感器的数据分析在不同工况下叶片-转子系统流固耦合状态下的振动特性。

2. 如权利要求1所述的试验装置,其特征在于:所述的驱动装置包括一个电动机和电动机控制器,电动机的输出端连接一个变速器,叶片-转子系统的两端通过联轴器与两传动轴相连,一端传动轴通过联轴器与增速器输出轴相连,两传动轴分别设有轴承支座支撑。

3. 如权利要求1所述的试验装置,其特征在于:所述的试验筒体内部设有支承。

4. 如权利要求1所述的试验装置,其特征在于:在试验筒体内壁沿轴向安装有4条导轨,沿试验筒体的周向每隔90度安装一个导轨,所述的导轨用来安装和调节固定位移传感器I,位移传感器I安装在通过螺纹固定在导轨的滑块上,滑块通电后产生磁性,固定滑块位置,断电后可调节滑块位置。

5. 如权利要求1所述的试验装置,其特征在于:所述试验筒体的两侧端盖可拆卸,用于调节筒体内部传感器位置;试验筒体和传动轴同轴线安装,在试验筒体和传动轴接触位置设有密封装置。

6. 如权利要求1所述的试验装置,其特征在于:所述流体储存输送系统包括并联的气体气瓶和液体储罐,所述的气体气瓶和液体储罐分别与控制器的输入端相连,且其各自连接的回路上串联有控制阀门以及仪表,控制器的输出端与筒体内部连通。

7. 如权利要求1所述的试验装置,其特征在于:位移传感器II为电涡流传感器,其通过螺纹固定在传感器支架上,测量轴的振动位移。

8. 如权利要求1所述的试验装置,其特征在于:加速度传感器I通过磁性接头固定在轴承座上测量传动轴的振动加速度,传感器所获得的信号经过软件的分析处理以获得具体参数和相关的图谱。

9. 如权利要求1所述的试验装置,其特征在于:所述的加速度传感器I安装在筒外,测量传动轴的振动加速度,其通过磁性接头固定在前后轴承座上。

## 一种叶片-转子系统流固耦合动态特性试验装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种叶片-转子系统流固耦合动态特性试验装置,属于叶轮旋转机械振动技术领域。

### 背景技术

[0002] 随着科学的进步和技术的发展,高速旋转机械是一类被广泛使用的机械设备,旋转机械在它实现自身价值的同时,也伴随着诸多的问题,如喘振、失速、破坏等。这些问题的产生主要归结于流体与叶片-转子系统的相互作用,即流固耦合。流体介质运动导致转子系统的振动,产生一定的位移或加速度乃至改变转子自身结构;在转子运动状态改变的同时也会改变流体介质的流场。

[0003] 存在流固耦合的旋转机械设备中,叶片-转子系统因经受流体的冲击,寿命往往会受到影响。为了获得转子系统的动态特性参数,系统地分析在介质环境中流体与转子系统产生的相互耦合,从而改变结构优化叶片-转子系统,达到稳定流场、减少振动的效果,设计一种获得流固耦合状态下的叶片-转子动态特性及振动响应的试验装置。

[0004] 叶片-转子系统的动态特性一般指结构的自振周期或自振频率、振型和阻尼。本发明中的动态特性是指固有频率、模态阻尼、模态质量、模态刚度、频响特性及振动响应等。

[0005] 传统的研究叶片-转子系统振动特性的方法存在一些明显的不足,有的研究将流场和叶片的变形不能联系起来,忽略了流场和叶片变形的相互影响。如公开号为CN102410916、CN101122541、CN102156035A和CN103353383A等专利,公开号为CN102410916的专利,包括条形弹性体和第一架台,第一磁铁、电磁铁、交流信号发生器和开关,第二架台、第二磁铁和第三磁铁,条形弹性体的振动参数采集装置和频谱测量装置;条形弹性体首端连接在第一架台上部;所述第一磁铁连接在条形弹性体上;所述电磁铁上的线圈通过开关连接交流信号发生器;电磁铁对应置于所述第一磁铁下方;所述第三磁铁连接在第二架台的上部;所述第二磁铁连接在条形弹性体的尾端;所述条形弹性体的尾端指向所述第三磁铁;所述条形弹性体的振动参数采集装置采集条形弹性体的振动参数后,再传给频谱测量装置;所述第一磁铁和第二磁铁的重量和小于使条形弹性体产生形变的力,用条形弹性体模拟汽轮机叶片振动。公开号为CN101122541的专利,方法步骤是:分析叶片受力振动状况,建立叶片激振力数学模型;由振源向叶片施加一激振力,调整该激振力的频率,直到叶片与振源共振,测量叶片在该激振力作用下的振动特性参数值;根据测量获得的振动特性参数值,计算叶片阻尼特性参数,包括模态阻尼比、阻尼器接触刚度、叶片动应力。装置包括试验台及布置在该试验台上的叶片夹持机构、激振发生器、振动参数检测器和数据处理系统;激振发生器固定在试验台上,其激振头与叶片固定连接;振动参数检测器对应叶片,将叶片的振动信号转换成电信号,输入数据处理系统。公开号为CN102156035A的专利,一种具有围带阻尼块和叶根楔形阻尼块的汽轮机叶片振动特性试验测量装置。包括试验基础台架、叶根接触面压力载荷施加机构、叶片根部楔形阻尼块及围带部分阻尼块的离心力施加机构、激振力施加机构和振动参数测量机构。通过叶片根部接触面压力载荷施加机构对叶

片根部接触面处施加压力载荷,并采用贴有应变片的标准试件来测量所施加的压力载荷;利用钢丝滑轮结构对叶根楔形阻尼块和围带阻尼块施加对应的离心力载荷,并采用静态力传感器测量所施加的阻尼块离心力;激振器与叶片的叶身部分连接并对叶片施加激振力;所测量的振动参数对应于叶片的振动位移响应,通过位移传感器测量叶片的振动位移响应,通过力传感器和位移传感器检测力信号和位移信号。公开号为CN103353383A的专利,汽轮机模拟叶轮振型测试实验装置,涉及一种实验装置,所述装置包括汽轮机模拟叶轮、信号发生器、信号放大器、激振器、电磁拾振器、示波器,其特征在于,信号发生器的功率输出端经屏蔽线与信号放大器直接相连,信号发生器的输出端与激振器相连,激振器与汽轮机模拟叶轮相安装一起,在汽轮机模拟叶轮的上面安装有电磁拾振器,电磁拾振器的信号与示波器的X通道相连,示波器的Y通道与信号发生器的频率输出端相连接;针对现今火力发电厂汽轮机组叶轮振动情况,用模拟叶轮的方法测量汽轮机叶轮的固有频率和振型的变形式,进而可以利用实验装置测量的叶轮振型分析火力发电厂汽轮机中叶轮振动的特性。但该试验装置没有涉及到流体环境对叶片振动特性的影响。

[0006] 有些专利涉及到在流固耦合状态下叶片振动特性的预测方法,没有完善的试验装置测量叶片-转子系统流固耦合振动特性,如公开号为CN103853884A的专利,涉及一种水轮机活动导叶振动特性预测方法,利用设计工况流量作为流体计算的进口边界条件,求得导叶初始设计构型下的稳态流场作为流场初值条件;在一个时间步内交替调用结构计算模块和流体计算模块,满足收敛条件后,流体和结构计算整体同步向前推进;通过界面信息交换模块传递流固边界信息;输出时间历程上的结构振动位移。

[0007] 有的专利涉及到采用非接触式测量方法,但是试验装置不能同时测量多级不同规格叶片或者多跨转子的振动特性。如公开号CN1938570的专利,本发明的方法和所属装置利用叶轮工作,在该叶轮的至少一个位置上设置光量子发射物质,辐射源,其对旋转的叶轮和设置在叶轮上的物质进行辐射,传感器,用于获得该物质发射的光量子,分析电路,用于分析传感器的信号以确定叶轮的振动特性。

[0008] 国外也有涉及到叶轮的振动测量方法,如公开号US5761956公开了一种用于确定燃气轮机的旋转叶轮的振动的光学测量方法,其中检测从敷设的陶瓷测标向叶轮机体发射的不同红外线热辐射。但该测量方法由于红外线热辐射所需要的高温要在燃气轮机运行一定时间之后才能使用,在燃气轮机启动过程中无法监测振动特性。

[0009] 旋转机械的应用越来越广泛,功率和速度大幅度提高,截止到目前没有完整的试验装置可以获取不同规格的叶片-转子系统流固耦合模态特性和振动响应。

## 发明内容

[0010] 本发明的目的是为克服上述现有技术的不足,公开了一种叶片-转子系统流固耦合动态特性试验装置,该试验装置可以得到不同规格的叶片-转子系统的模态特性和振动响应。叶片-转子系统流固耦合动态特性试验装置主要具有两大功能:(1)测试不同流速的流体介质下,不同转速的叶片-转子系统流固耦合模态特性(固有频率和阻尼比);(2)测试不同流速的流体介质下,不同转速的叶片-转子系统受到电机激励时的振动响应。

[0011] 为实现上述目的,本发明采用的技术方案如下:

[0012] 一种叶片-转子系统流固耦合动态特性试验装置,包括试验筒体,在试验筒体外部

设有与为其内部输送流体介质的流体储存输送系统；所述的试验筒体内设有转子结构，驱动装置通过传动装置驱动所述的转子结构旋转，在试验筒体内壁上安装有测量叶片振动位移的位移传感器I，在传动装置上安装有测量传动轴的振动加速度的加速度传感器I和测量传动轴振动位移的位移传感器II，在试验筒体内安装有测量转子转轴振动加速度的加速度传感器II；所述的位移传感器I、加速度传感器I、位移传感器II、加速度传感器II均与数据处理系统相连，所述的数据处理系统根据各个传感器的数据分析在不同工况下叶片-转子系统流固耦合状态下的振动特性。

[0013] 进一步的，所述的驱动装置包括一个电动机和电动机控制器，电动机的输出端连接一个变速器，叶片-转子系统的两端通过联轴器与两传动轴相连，一端传动轴通过联轴器与增速器输出轴相连，两传动轴分别设有轴承支座支撑。

[0014] 传动轴起连接转子和传动扭矩的作用；电动机提供旋转力；由联轴器连接转子，实现预期转动；变速器与电机控制器则可以调节转速。

[0015] 进一步的，所述的试验筒体内部设有支承，为了支承多跨转子，实现多跨转子的试验。

[0016] 进一步的，在试验筒体内壁沿轴向安装有4条导轨，沿试验筒体的周向每隔90度安装一个导轨，所述的导轨用来安装和调节固定位移传感器I，位移传感器I安装在通过螺纹固定在导轨的滑块上，滑块通电后产生磁性，固定滑块位置，断电后可调节滑块位置。

[0017] 进一步，所述的位移传感器I为激光位移传感器。

[0018] 进一步的，为了满足试验不同规格的叶片-转子；试验筒体两侧端盖可拆卸，方便调节筒体内部传感器位置；试验筒体和传动轴同轴线安装，在试验筒体和传动轴接触位置设有密封装置。

[0019] 进一步的，流体储存输送系统将介质以一定流速、压力输送到试验筒体中的系统，流体储存输送系统包括并联的气体气瓶和液体储罐，所述的气体气瓶和液体储罐分别与控制器的输入端相连，且其各自连接的回路上串联有控制阀门以及仪表，控制器的输出端与筒体内部连通。液体储罐，是用于储存液态介质(如水)的设备；气体气瓶用来储存气体，传输管线、阀门是将液体储罐、气体气瓶中的介质输送至试验装置主体，并能控制流量；仪表是用于控制介质的压力、温度等参数处于额定范围。

[0020] 进一步的，数据采集处理系统，是测量信号进而处理形成一定数据的处理系统。系统由传感器、激振器、电荷放大器、数据采集仪、信号分析仪等组成。

[0021] 进一步的，位移传感器II为电涡流传感器，其通过螺纹固定在传感器支架上，测量轴的振动位移；加速度传感器I通过磁性接头固定在轴承座上测量传动轴轴的振动加速度，传感器所获得的信号经过软件的分析处理以获得具体参数和相关的图谱。

[0022] 本发明通过模拟叶片-转子系统不同的工作环境，可以获取不同规格叶片-转子系统的模态特性以及对不同激励下的振动特性进行分析，从而改变结构优化叶片-转子系统，达到稳定流场、减少振动等效果。

[0023] 本发明可广泛用于电力、化工、航空、水利等行业的旋转机械，尤其对于核电、船舶、飞机、精密机械装备等轻量化、噪声、稳定性和可靠性要求高、安装空间狭小、工作环境恶劣苛刻等行业领域，有十分广阔的推广应用前景。

## 附图说明

[0024] 图1是本发明试验装置的功能框图；

[0025] 图2是本发明试验装置布置图；

[0026] 附图中各标号的含义为：1. 气体储罐，2. 液体储罐，3. 阀门1，4. 阀门2，5. 控制器，6. 数据处理系统，7. 传动轴，8. 导轨，9. 筒内支撑，10. 叶片-转子，11. 联轴器，12. 试验筒体，13. 传动轴，14. 轴承支座，15. 联轴器16. 增速器，17. 驱动电机。

[0027] 图中：A1、A2筒外加速度传感器布置点，B1、B2电涡流位移传感器布置点，C1、C2…Cn(n为叶轮的个数)激光位移传感器，D1、D2筒内加速度传感器。

## 具体实施方式

[0028] 下面结合附图和实施例对本发明进一步说明。

[0029] 本发明分为转子支撑驱动系统、流体储存输送系统、试验筒体和数据采集处理系统四大部分。通过转子系统在试验筒体中的转动，由流体储存输送系统输送流体介质到试验筒体，由数据采集处理系统收集数据来完成实验。试验装置可以实现不同种类叶片-转子以不同转速转动，在不同工况下叶片-转子系统流固耦合状态下的振动特性。

[0030] 转子支承驱动系统是本装置的主体部分，主要包括试验转子、传动轴、轴承、电动机、联轴器、电机控制器、变速器等组成。叶片-转子为试验对象，为不同规格的叶片-转子(叶轮为n个，每个叶轮有m个叶片)；传动轴起连接转子和传动扭矩的作用；试验筒体内支承是为了支承多跨转子，实现多跨转子的试验。电动机提供旋转力；由联轴器连接转子，实现预期转动；变速器与电机控制器则可以调节转速。

[0031] 增速器的输出轴、联轴器、传动轴、试验叶片-转子、筒体内支撑、轴承同轴线布置，驱动电机与增速器的输入轴连接，叶片-转子两端通过联轴器与两传动轴相连，一端传动轴通过联轴器与增速器输出轴相连，两传动轴分别设有轴承支座支撑。

[0032] 试验筒体是转子与流体发生流固耦合的主要场所，它包括筒壳、端盖及法兰、密封装置、支承座等几部分。试验筒体承载转子，并通入不同的流体，承受试验压力，属于压力容器一类。试验筒体内壁上设有4条传感器调节轨道，轨道上设有刻度，沿周向每90°方向安装，分别为了满足试验不同规格的叶片-转子；试验筒体两侧端盖可拆卸，方便调节筒体内部传感器位置；试验筒体和传动轴同轴线安装，在试验筒体和传动轴接触位置设有密封装置。

[0033] 试验筒体内设有支撑结构，为了实现多跨转子的实验，筒体内支撑和转轴之间设有轴承，按照支撑数量，试验装置可以试验多跨转子，按照叶片的级数，试验装置可以试验多级叶片的转子，筒体内支撑与试验筒体上的垫块通过螺纹连接，可以在轴向进行移动安装。

[0034] 轨道沿试验筒体轴向安装4条，轨道在试验筒体周向上每90度安装，在轨道上标有刻度，导轨上的滑块有通电开关，当打开开关时，滑块产生磁性可以固定在导轨上不能移动，当关闭开关时滑块可以在轨道上进行移动。

[0035] 流体储存输送系统是用来储存流体介质，并且将介质以一定流速、压力输送到试验筒体中的系统。该系统由气体气瓶、储罐、传输管线、阀门、水泵和压缩机、仪表以及压力

和温度控制器等组成。储罐,是用于储存液态介质(如水)的设备;传输管线、阀门是将储罐中介质输送至试验装置主体,并能控制流量;水泵与压缩机则是提升介质压力所必须的设备,水泵和压缩机用来提升流体介质的压力;仪表是用于控制介质的压力、温度等参数处于额定范围;分别通过阀门和压力控制器控制流体的流量和压力。

[0036] 数据采集处理系统,是测量信号进而处理形成一定数据的处理系统。系统由传感器、激振器、电荷放大器、数据采集仪、信号分析仪等组成。激光位移传感器通过螺纹安装在导轨滑块上,测量叶片的振动位移,电涡流传感器通过螺纹固定在传感器支架上,测量轴的振动位移,加速度传感器通过磁性接头固定在轴承座上测量传动轴轴的振动加速度,传感器所获得的信号经过软件的分析处理以获得具体参数和相关的图谱。

[0037] 具体的叶片-转子系统流固耦合动态特性试验装置的功能框图如图所示,具体的试验装置如图2所示,装置运行时驱动电机17旋转,驱动电机17与增速器16的输入轴相连接以改变转速,传动轴13与增速器16的输出轴通过联轴器15联接,传动轴11与叶片-转子系统10通过联轴器11联接,传动轴11、传动轴6,试验筒体12和轴承支座14同轴线安装,在试验筒体12内壁沿轴向安装有4条导轨8,导轨8用来安装和调节固定激光传感器,4条导轨8沿周向每90度安装,试验筒体12内部设有筒内支撑19,试验装置需要在不同的工况下运行,通过改变流体介质的类型、流量和压力,打开阀门3,关闭阀门4,流体储罐2通过泵向试验筒体12输送流体介质,打开阀门4关闭阀门3,气体储罐通过压缩机向试验筒体输送气体介质,通过控制器5改变介质的流量和压力,模拟了叶片-转子系统不同转速不同介质下的工作环境。

[0038] 试验筒体,转子支撑驱动系统的两个传动轴穿过试验筒体端盖法兰的中心,在试验筒体与传动轴连接部位有密封装置,试验筒体法兰采用长颈对焊法兰,筒体支座采用重型鞍座,试验筒体在上下方向上分别开孔,通过法兰连接接管从而和流体储运系统相连接,在筒体内壁上安装4条轨道。

[0039] 在A1和A2处安装筒外加速度传感器,测量传动轴的振动加速度,通过磁性接头固定在前后轴承座上。

[0040] 在B1和B2处安装电涡流位移传感器,测量传动轴的振动位移,通过螺纹固定在传感器支架上,垂直90°安装两个位移传感器。

[0041] 在C1、C2...Cn(叶轮的个数为n个)安装激光位移传感器,测量叶片的振动位移,激光传感器安装在通过螺纹固定在导轨8的滑块上,滑块通电后产生磁性,固定滑块位置,断电后可调节滑块位置。

[0042] 在D1和D2处安装筒内加速度传感器,测量转轴的振动加速度,试验装置运行时通过传感器获取数据信号,通过数据处理系统6分析处理以获得具体的参数和相关的图谱。

[0043] 上述实施方式只是为说明本发明的基本结构和工作原理而举的实例,并非是对本发明的实施方式的限定;对于本领域的技术人员来说,本发明可以有多种更改和变化,凡是在本发明技术方案的思想范围内所做的更改和变化均在本发明的保护范围之内。

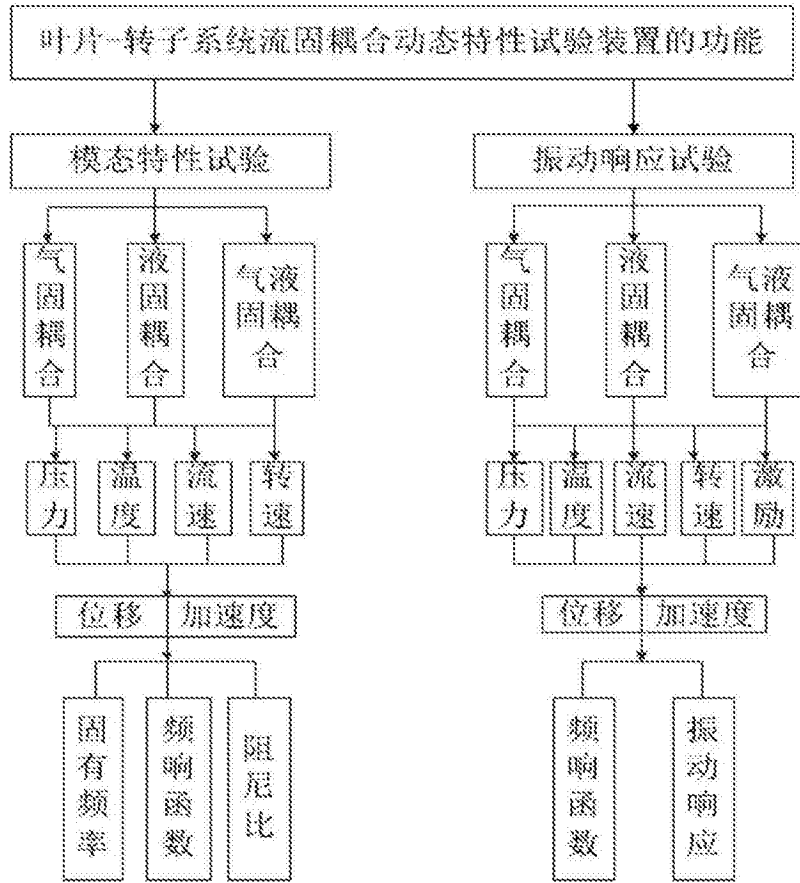


图1

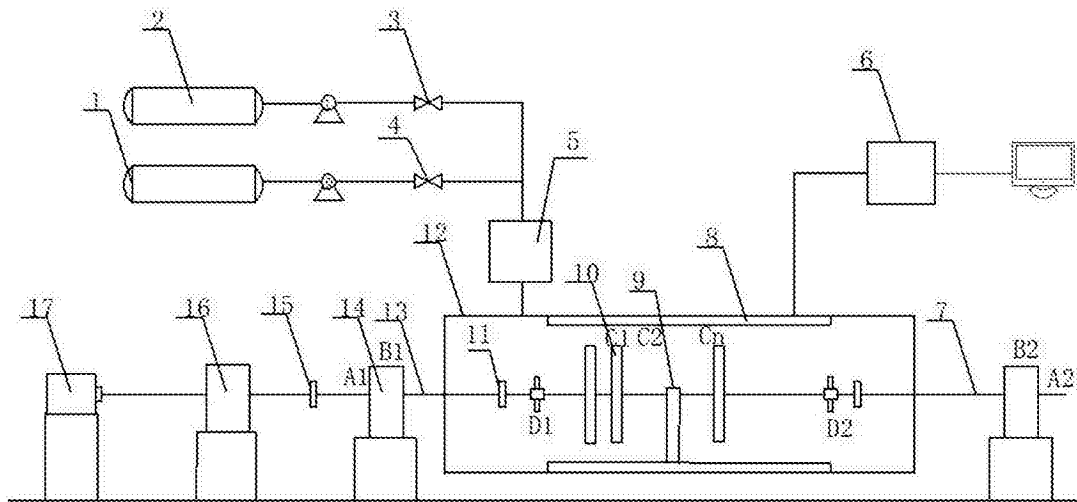


图2