



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106226015 A

(43)申请公布日 2016. 12. 14

(21)申请号 201610511981.5

(22)申请日 2016.07.01

(71)申请人 西北工业大学

地址 710072 陕西省西安市友谊西路127号

(72)发明人 高文静 仝福娟 李磊 陈太宇

张猛创 岳珠峰

(74)专利代理机构 西北工业大学专利中心

61204

代理人 顾潮琪

(51)Int.Cl.

G01M 7/02(2006.01)

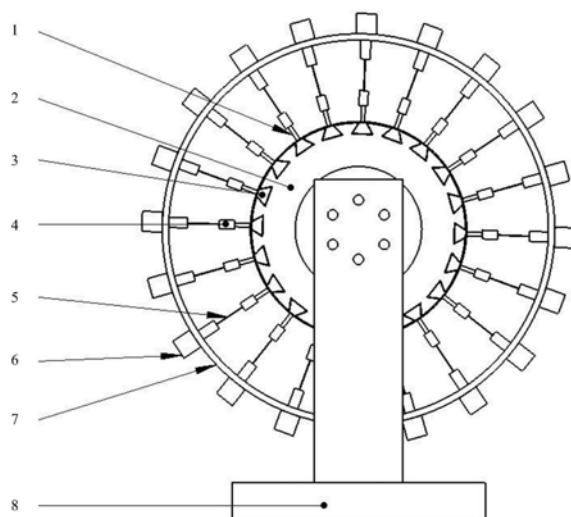
权利要求书1页 说明书5页 附图6页

(54)发明名称

一种叶片-轮盘耦合振动的试验装置

(57)摘要

本发明提出了一种叶片-轮盘耦合振动试验装置,包括叶片加载结构、施力介质、离心力调节结构、环形框、支撑架台等。该试验装置针对通过榫结构相连接的叶片、轮盘,一方面通过叶片加载结构、施力介质、离心力调节结构将叶片连接于环形框上,另一方面模拟真实装载方式将轮盘约束于支撑台架上;通过离心力调节结构可以相应调节施加于叶片上载荷的大小,模拟旋转状态下不同转速的离心力;布置相应传感器和施加一定的激励,可以开展叶片-轮盘耦合振动试验。该装置模拟了旋转状态下叶片-轮盘受载状态,为开展叶片-轮盘耦合振动研究提供了一套试验手段。



1. 一种叶片-轮盘耦合振动试验装置,包括叶片(1)、轮盘(2)、樨连接接头(3)、叶片加载结构(4)、施力介质(5)、离心力模拟器(6)、环形框(7)、和支撑架台(8),其特征在于:支撑架台(8)底端置于实验台上或与激振台连接,顶端用于固定轮盘(2)中心;叶片(1)和轮盘(2)通过樨连接接头(3)进行连接;叶片(1)、叶片加载结构(4)、施力介质(5)和离心力模拟器(6)依次进行连接,从而形成一组连接;离心力调节结构位于环形框上,且若干组连接沿环形框(7)周向均布;离心力模拟器(6)施加载荷力,通过施力介质(5)和叶片加载结构(4)将载荷力传递至叶片(1),且传递的载荷力通过叶片(1)的重心;调节离心力模拟器施加载荷大小模拟叶片受不同离心力大小,使得叶片(1)和轮盘(2)达到工作状态;通过敲击方法,或将实验装置与振动台相连,产生振动激励进行振动试验。

2. 根据权利要求1中所述的一种叶片-轮盘耦合振动试验装置,其特征在于,当所述叶片(2)为不带冠叶片时,叶片加载结构(4)为两个结构相同的夹持片,叶片(1)位于两个夹持片之间,且其与叶片(1)接触的表面和叶片(1)紧密贴合;夹持片两端通过螺栓进一步夹紧,螺栓轴线与两个夹持片轴线相互垂直。

3. 根据权利要求1中所述的一种叶片-轮盘耦合振动试验装置,其特征在于,当所述叶片(2)为带冠叶片时,叶冠为耙状;叶片加载结构(4)为两个承重条,位于叶冠近轮盘一侧;承重条和叶冠之间通过Z字型锁扣进行固定锁紧;夹持片延伸出的部分与施力介质(5)进行连接。

4. 根据权利要求1中所述的一种叶片-轮盘耦合振动试验装置,其特征在于:施力介质(5)承受拉力,不承受压力,采用钢丝绳、钢绞线、弹力绳或弹力带。

5. 根据权利要求1中所述的一种叶片-轮盘耦合振动试验装置,其特征在于:离心力模拟器(6)调节施加力的大小,在施力介质(5)上安装应力传感器或在离心力模拟器(6)上安装应力传感器实时显示。

6. 根据权利要求8所述的离心力调节结构(4),其特征在于:离心力模拟器(6)采用液压作动筒或电动马达。

7. 根据权利要求1所述的一种叶片-轮盘耦合振动试验装置,其特征在于:所述环形框(7)或叶片加载结构(4)采用镁铝合金或碳纤维材料这类密度低强度大的金属材料或复合材料制成。

一种叶片-轮盘耦合振动的试验装置

技术领域

[0001] 本发明涉及一种叶片-轮盘耦合振动的试验装置,可用于航空发动机、燃气轮机、汽轮机等叶片-轮盘耦合振动的试验测试。

背景技术

[0002] 航空发动机、燃气轮机、汽轮机等叶轮机械被广泛应用于航空、航天、电力、交通等工业领域,在国民经济中起着至关重要的作用。作为上述叶轮机械的核心关键部件,叶片、轮盘通常采用榫结构相连接。在气动激励、不平衡质量等作用下,叶片和轮盘会发生强迫振动导致产生振动疲劳甚至共振破坏,研究表明叶片振动疲劳破坏占其破坏失效的68%左右。因此开展叶片、轮盘等核心关键的振动特性研究,对于航空发动机等叶轮机械的设计和日常维护具有重要意义。

[0003] 早期的航空发动机等叶轮机械中,叶片相对较薄、轮盘相对较厚,叶片刚度相比轮盘刚度相差很大,因此在振动特性分析中,往往忽略叶片、轮盘间的耦合,单独进行叶片和轮盘的动力学设计和分析。比如专利CN102840968A(如图1)采用专用工装夹将叶片固定于电磁振动台上,确保连接刚性足够,在叶片应力较大的叶盆进气边缘和排气边缘沿叶片轴向粘贴应变片。找出叶片一阶弯曲振动频率,确定最大应力点及其幅值。通过在叶尖上下固定电流探针,被测叶片同时触碰两个探针使相应毫伏表同时显出电压时,检测得到被测叶片的幅值确定疲劳考核应力所对应的叶片振动幅值。专利CN103175667A(如图2)用夹具将叶片利用压紧螺钉刚性固定在夹具上,将夹具连同叶片刚性固定在电动振动台的工作台面上。通过夹具上的加速度传感器、叶身上应变传感器和激光位移传感器测量叶片的振动频率、选定部位的应力与振幅。监控叶身应力及其与选定部位振幅关系,直到叶片完成疲劳次数或失效导致共振频率下移为止,实现叶片疲劳非接触测量的自动化。两个专利均建立了一种叶片振动试验装置和方法,可以对单个叶片进行振动特性测试,但是这种试验装置均采用了叶片刚性固定,无法考虑轮盘弹性对叶片振动的影响。伴随着技术的进步,叶轮机械面向高转速、经量化趋势发展,使得轮盘的设计越来越薄,轮盘刚度不断接近于叶片刚度甚至处于同一数量级,这使得叶片-轮盘件的耦合振动越来越强烈,因此需要开展叶片-轮盘耦合振动特性研究,避免工作过程中发生的耦合振动失效。然而,目前的试验装置多是针对单一叶片或轮盘振动试验设计的,没有考虑叶片、轮盘间榫连接的特点,较难模拟叶片、轮盘旋转时的离心载荷,因此叶片-轮盘耦合振动方面的研究基本集中在数值分析方面,缺乏有效的试验验证。

发明内容

[0004] 本发明需要解决的技术问题是:为研究叶片-轮盘间耦合振动问题,本发明提出一种叶片-轮盘耦合振动试验装置,针对榫结构相连接的叶片-轮盘结构,通过离心力模拟器施加可调节的离心载荷,在静态条件下模拟旋转状态下叶片-轮盘结构的受力情况,布置相应传感器、施加一定激励后就可以开展叶片-轮盘耦合振动试验。

[0005] 本发明的技术方案是：一种叶片-轮盘耦合振动试验装置，包括叶片1、轮盘2、榫连接接头3、叶片加载结构4、施力介质5、离心力模拟器6、环形框7、和支撑架台8，支撑架台8底端置于实验台上或与激振台连接，顶端用于固定轮盘2中心；叶片1和轮盘2通过榫连接接头3进行连接；叶片1、叶片加载结构4、施力介质5和离心力模拟器6依次进行连接，从而形成一组连接；离心力调节结构位于环形框上，且若干组连接沿环形框7周向均布；离心力模拟器6施加载荷力，通过施力介质5和叶片加载结构4将载荷力传递至叶片1，且传递的载荷力通过叶片1的重心；调节离心力模拟器施加载荷大小模拟叶片受不同离心力大小，使得叶片1和轮盘2达到工作状态；通过敲击方法，或将实验装置与振动台相连，产生振动激励进行振动试验。

[0006] 本发明进一步的技术方案是：当所述叶片2为不带冠叶片时，叶片加载结构4为两个结构相同的夹持片，叶片1位于两个夹持片之间，且其与叶片1接触的表面和叶片1紧密贴合；夹持片两端通过螺栓进一步夹紧，螺栓轴线与两个夹持片轴线相互垂直。

[0007] 本发明进一步的技术方案是：当所述叶片2为带冠叶片时，叶冠为耙状；叶片加载结构4主体为两个承重部件，位于叶冠近轮盘一侧；承重部件和叶冠之间通过Z字型锁扣进行固定锁紧；承重部件延伸出的部分与施力介质5进行连接。

[0008] 本发明进一步的技术方案是：施力介质5承受拉力，不承受压力，采用钢丝绳、钢绞线、弹力绳或弹力带。

[0009] 本发明进一步的技术方案是：离心力模拟器6调节施加力的大小，在施力介质5上安装应力传感器或在离心力模拟器6上安装应力传感器实时显示。

[0010] 本发明进一步的技术方案是：离心力模拟器6采用液压作动筒或电动马达。

[0011] 本发明进一步的技术方案是：所述环形框7或叶片加载结构4采用镁铝合金、碳纤维材料这类密度低强度大的金属材料或复合材料制成。

[0012] 发明效果

[0013] 本发明的技术效果在于：①可以开展通过榫结构相连接的叶片-轮盘耦合振动试验；②将叶片旋转时的离心载荷转化为施加于叶片上的均布载荷，利用静止状态模拟叶片-轮盘旋转状态时的受载情况，试验较为容易实现；③该试验装置可以直接针对实际的叶片、轮盘开展耦合振动试验，无需对叶片/轮盘进行再次设计或者破坏加工，可以广泛应用于叶轮机叶片-轮盘的耦合振动试验；④该试验装置适用于采用燕尾、纵树型等各类榫结构相连接叶片-轮盘耦合振动；⑤通过离心力模拟器可以施加不同的离心载荷，研究离心力对叶片-轮盘耦合振动特性的影响。

附图说明

[0014] 图1为现有技术中的叶片振动试验装置第一结构示意图。

[0015] 图2为现有技术中的叶片振动试验装置第二结构示意图。

[0016] 图3为本发明结构示意图。

[0017] 图4为一种不带冠叶片加载结构示意图

[0018] 图5为一种带冠叶片加载结构左视图

[0019] 图6为一种带冠叶片加载结构轴测视图

[0020] 图7为一种离心力调节结构安装方式第一示意图。

[0021] 图8为一种离心力调节结构安装方式第二示意图。

[0022] 图9为一种离心力调节结构安装方式第三示意图。

[0023] 图中：

[0024] 1—叶片,2—轮盘,3—榫连接接头,4—叶片加载结构,5—施力介质,6—离心力调节结构,7—环形框,8—支撑结构,9—叶片加载结构压力面部分,10—叶片加载结构吸力面部分,11—螺栓1,12—带冠叶片加载结构支撑部件,13—带冠叶片加载结构锁扣,14—螺栓2,15—液压作动筒支架1,16—液压作动筒,17—液压作动筒支架2,18—销钉。

具体实施方式

[0025] 下面结合具体实施实例,对本发明技术方案进一步说明。

[0026] 1、参见图1,针对通过榫结构相连接的叶片、轮盘,叶片上安装有加载结构,加载结构通过施力介质与安装在环形框上的离心力模拟器相连接,轮盘被约束在固定于激振台的支撑台架上。通过离心力调节结构可以施加不同大小的离心载荷,均为拉力施加在加载结构上,只是可以调节载荷大小,模拟叶片旋转过程中不同大小的离心载荷。通过上述试验装置,可以在静态条件下模拟旋转状态下叶片-轮盘结构的受力情况,布置相应的传感器和施加激励载荷,即可开展叶片-轮盘耦合振动试验。

[0027] 所述的叶片和盘耦合振动试验装置采用真实的叶片、轮盘,并通过真实的榫结构相连接。

[0028] 所述的叶片加载结构固定于不带冠叶片表面或带冠叶片的叶冠上,通过与所述加载结构相连的施力介质施加通过叶片重心的载荷。所述加载结构采用密度低刚度大的金属材料或复合材料。对于不带冠叶片,所述加载结构固定于叶片表面,所述加载结构主要由两个夹持部件和螺栓组成。所述加载结构两个夹持部件分为压力面部分和吸力面部分,分别对应叶片吸力面与压力面,其中间区域具有与叶片相同的型面,两侧区域为平行延伸区域。在夹持部件两侧区域开有螺栓孔,通过所述螺栓加紧从而紧密贴合于叶片表面,同时通过所述螺栓与施力介质相连。通过在压力面、吸力面产生的挤压力固定于叶片表面从而传递施力介质施加的载荷。对于带冠叶片,所述加载结构固定于叶冠上,主要由两个承力部件、锁扣和螺栓组成。所述两个承力部件除上表面外型面以外尺寸一致。所述承力部件上表面具有与叶冠下表面相同的型面,通过锁扣装置固定于叶冠上并紧密贴合于叶冠下表面,所述承力部件两端通过螺栓与施力介质相连。所述施力介质施加载荷,通过承力部件施加在叶片叶冠下表面。所述的施力介质,只能承受拉力,一端与叶片加载结构相连,一端与离心力调节系统相连。所述的离心力调节结构,与叶片一一对应布置在环形框上,通过施力介质来施加离心力;离心力调节结构可以调节施加力的大小,并可适时显示加载力的大小。

[0029] 所述的环形框采用密度较低强度大的金属材料,可以承受模拟叶片离心力所施加的载荷,可以固定离心力调节结构。所述支撑台架一端模拟真实安装形式与轮盘相连,一端与激振台相连。

[0030] 在应用中,①在叶片上安装加载结构,将叶片与轮盘根据实际榫连接方式安装;②将施力介质一端与加载结构相连,另一端与离心力调节结构相连;③将离心力模拟器均匀安装在环形框上,在施力介质上安装应力传感器,调节离心力模拟器施加载荷与施力介质长度,使叶片与轮盘达到耦合状态,施力介质拉伸但无拉力;④通过施力介质作用力与叶片

所受作用力对应关系,调节离心力模拟器施加载荷大小模拟叶片受不同离心力大小;⑤将轮盘与支撑结构模拟轮盘实际安装方式相连;⑥通过敲击方法,或将实验装置与振动台相连,产生振动激励进行振动试验。

[0031] 本实施例是一种叶片-轮盘耦合振动试验装置,参照附图所示情况对本装置进行详细说明,如无对试验装置构成部件的材料、形状、尺寸、配置等进行特别规定,则该试验装置的范围就不局限于此,仅用于示例说明。

[0032] 参阅图3,本例以通过燕尾榫相连接的真实使用的叶片和轮盘进行说明。本发明可在不破坏叶片、轮盘的基础上,对真实叶片和轮盘耦合结构进行振动试验。叶片与轮盘通过榫结构相连,轮盘模拟真实受力状态固定于支撑结构上。叶片上安装有加载结构,加载结构通过施力介质与安装在环形框上的离心力调节结构相连接。通过离心力调节结构可以施加不同大小的离心载荷,模拟叶片旋转过程中不同大小的离心载荷。从而实现在静态条件下模拟旋转状态下叶片-轮盘结构的受力情况,布置相应的传感器和施加激励载荷,即可开展叶片-轮盘耦合振动试验。为减轻叶片加载结构、施力介质、离心力模拟器和环形框,这些模拟离心力所装载结构对叶轮耦合结构振动特性的影响,叶片加载结构、环形框以及固定所用锁扣、螺栓均采用密度低强度大的金属材料。

[0033] 针对实际情况中带冠叶片和不带冠叶片两种情况,所述叶片加载结构有不同结构形式,参见图4,图5。所述叶片加载结构固定于不带冠叶片的表面或带冠叶片的叶冠上,通过与所述加载结构相连的施力介质施加通过叶片重心的载荷。

[0034] 参见图4,本示例中,针对不带冠叶片的加载结构由两个夹持部件以及螺栓组成。所述夹持部件分为压力面部分和吸力面部分,分别对应固定于实际叶片的吸力面与压力面。所述压力面部分和吸力面部分,中间区域分别和叶片压力面、吸力面除去前缘尾缘外的中间区域具有相同的型面,两侧为平行延伸区域,且前后两个部分延伸区域的中心面为一个通过叶片重心线的平面。通过在所述前后两个部分的延伸区域使用螺栓连接,使得前后两个部分夹紧叶片,前后两个部分的中间区域紧密贴合于叶片表面,通过在压力面、吸力面产生的挤压力固定于叶片表面。通过在所述前后两个部分延伸区域所安装的螺栓,与施力介质相连,本示例中,施力介质采用不承受压力的钢丝绳,一端缠绕连接在螺栓上,另一端与离心力调节器相连。由施力介质传递的载荷,通过在压力面、吸力面挤压力产生的摩擦力传递到叶片表面上。需确定螺栓安装位置,使得作用在叶片上的合力通过叶片重心位置。

[0035] 参见图5和图6,本示例中,针对带冠叶片的加载结构由两个承力部件、锁扣和螺栓组成。所述两个承力部件除上表面型面外,其他尺寸相同。承力部件中间区域上表面具有和叶冠下表面相同型面,两侧为延伸区域。所述锁扣为z字型,一侧压紧叶冠上表面,另一侧通过所述螺栓与承力部件相连,从而使得承力部件固定在叶冠下,承力部件上表面中间区域紧密贴合于叶冠下表面。调整两个承力部件位置,使得两个部件中心面为通过叶片重心的平面。在支撑部分两侧延伸区域与施力介质相连,在本示例中,施力介质采用不承受压力的钢丝绳,一端缠绕固定在支撑部位两侧,另一端与离心力调节器相连,在承力部件两侧区域设有凹槽用以固定钢丝绳位置。由施力介质传递的载荷,通过支撑部分传递到叶片叶冠上。需确定支撑部分两端区域钢丝绳固定位置,使得作用在叶冠上的作用力合力通过叶片重心位置。

[0036] 离心力调节结构和叶片一一对应布置于环形框上,环形框采用镁铝合金、碳纤维

材料这类密度低强度大的金属材料或复合材料,环形框需要承受模拟叶片离心力所产生载荷。采用不承受压力的钢丝绳和轻质铝合金或铝镁合金环形框,对叶片-轮盘耦合振动影响较小。

[0037] 本示例中的离心力调节结构采用液压作动筒施加载荷,并于施力介质上安装力传感器可以实时显示加载力的大小;通过离心力调节结构,可以改变施加于钢丝绳上力的大小,从而模拟不同转速下离心力的大小。

[0038] 在本实施例中,离心力调节结构即液压作动筒,本例列举三种其与环形框连接方式,参见图7-9。图7中,在液压作动筒顶端带有支架,支架为方形或圆形框体(可以通过加工实现一体化的),具体形状和内壁尺寸与环形框截面形状配合,支架与环形框采用过盈配合,从而使液压作动筒能固定在环形框上。液压作动筒下部带有环形连接头,本示例中,施力介质即钢丝绳穿过连接头与液压作动筒相连。图8中,液压作动筒侧面带有连接支架,支架为板状,通过螺栓连接使支架固定在环形框上,从而固定液压作动筒。液压作动筒与施力介质连接方式与图7中一致。图9中,液压作动筒顶部开有圆孔,环形框上开有与液压作动筒外直径一致的圆孔,液压作动筒穿过环形框上圆孔,通过在液压作动筒顶端圆孔插入销钉来固定液压作动筒。销钉与液压作动筒采用过盈配合。

[0039] 本实施例中轮盘被约束于支撑台架上,其连接方式模拟了叶轮机械中轮盘与轴的真实连接。

[0040] 本试验装置,利用离心力调节结构、施力介质、叶片加载结构将集中载荷施加于真实叶片上,模拟旋转时的离心力,利用静止状态模拟了旋转状态下叶片-轮盘受载。在叶片、轮盘上布置相应传感器、并施加一定的激励,可以开展叶片-轮盘的耦合振动试验。同时通过模拟不同大小离心力,可以开展离心力对叶片-轮盘耦合振动特性的影响研究。

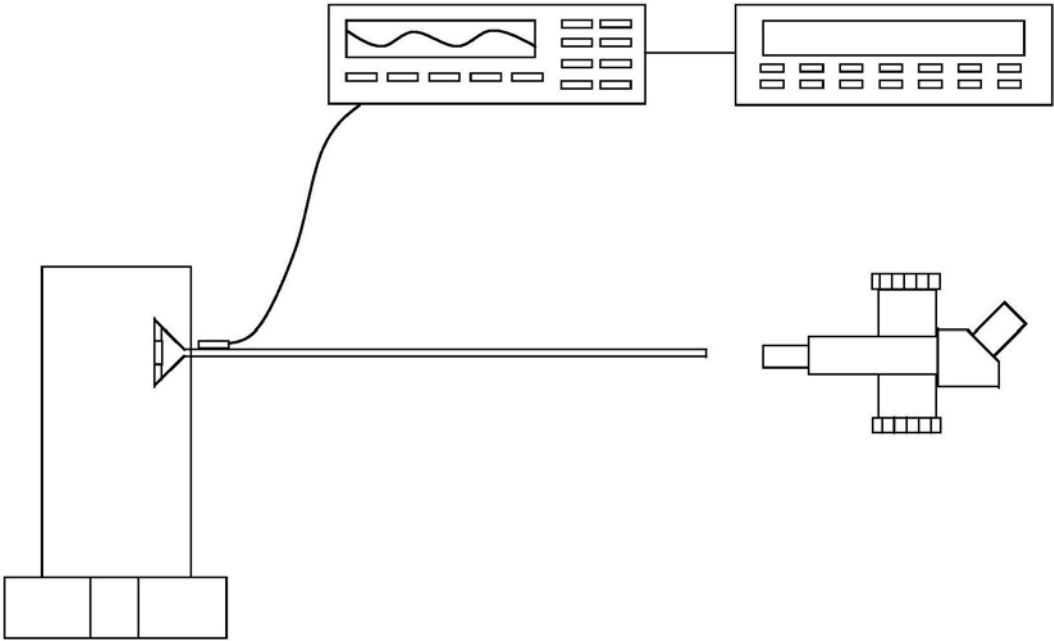


图1

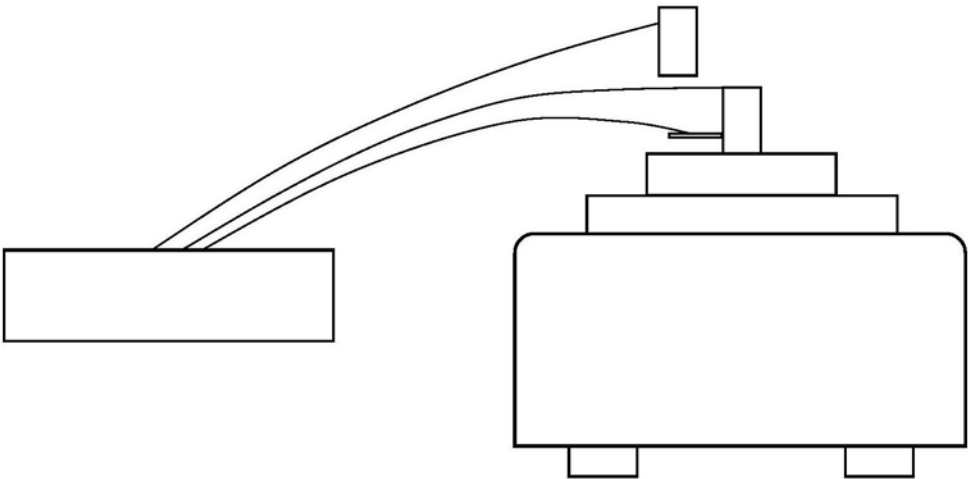


图2

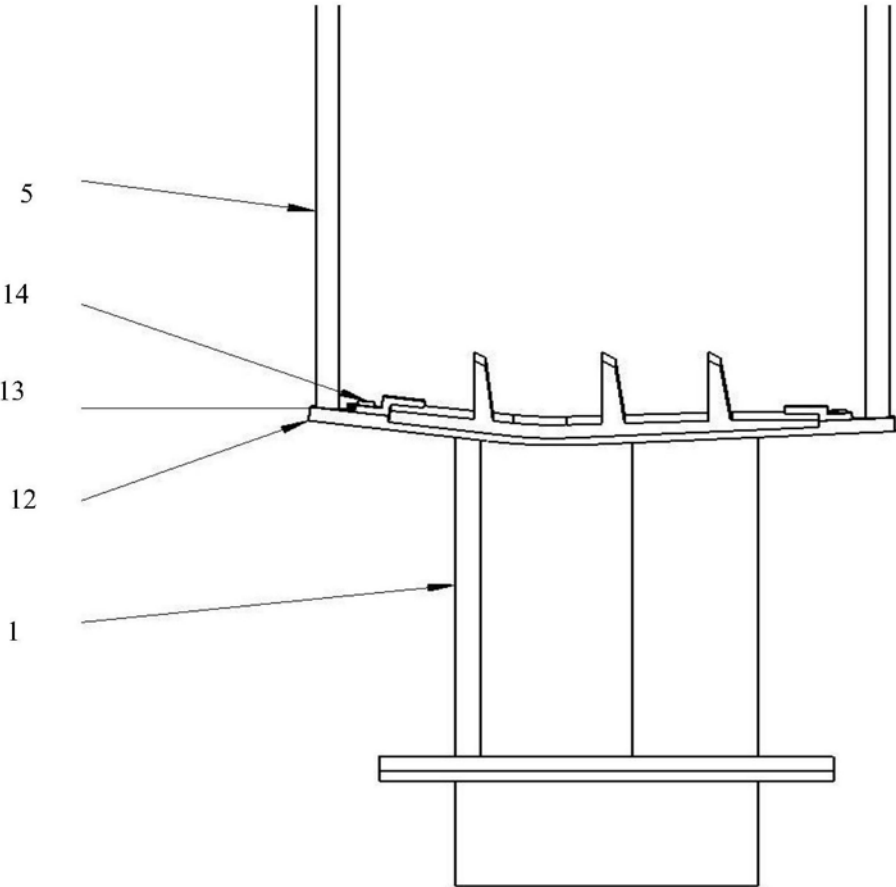


图5

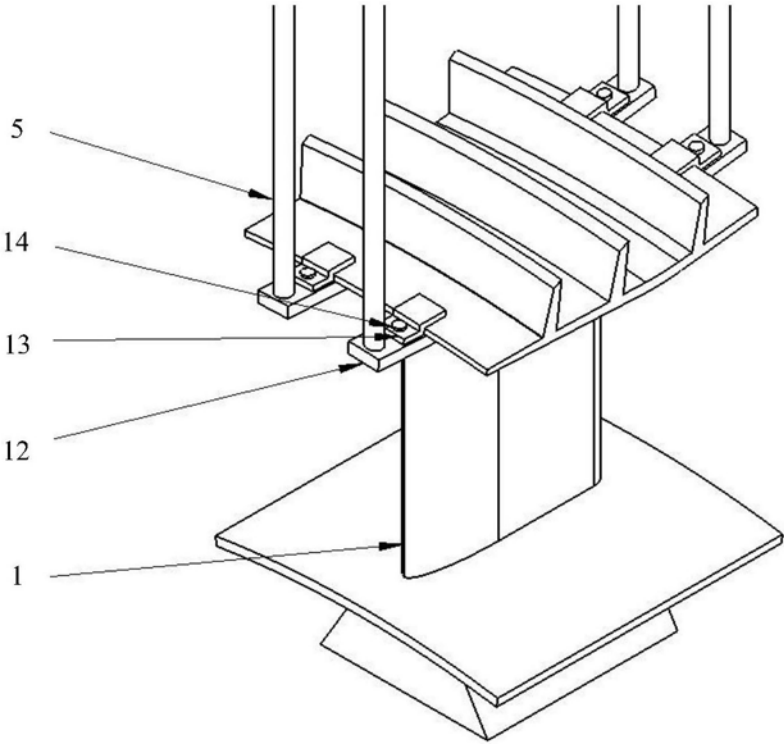


图6

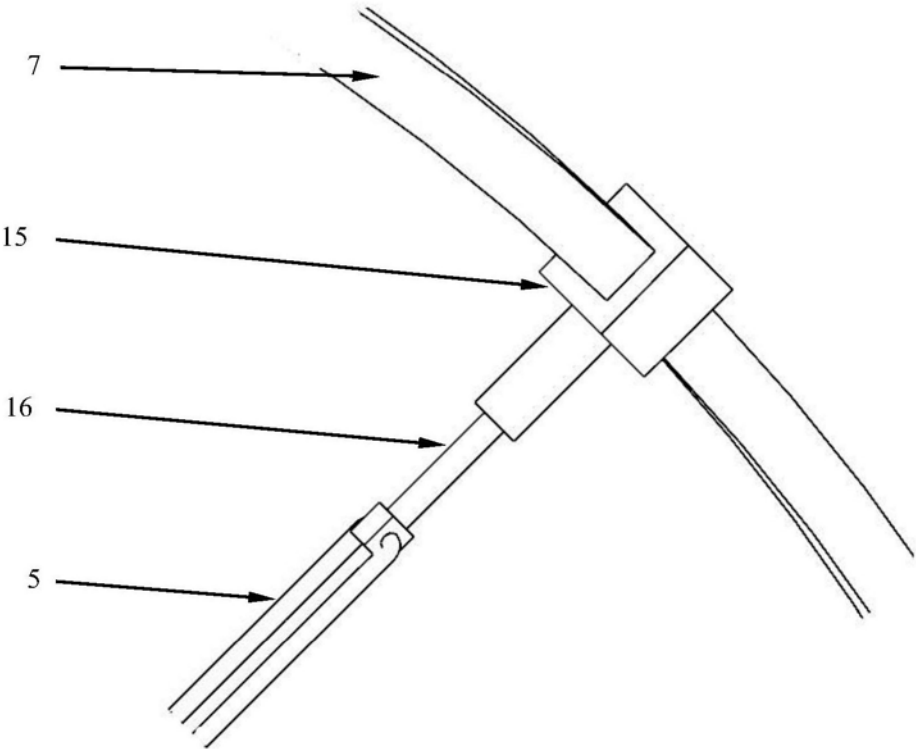


图7

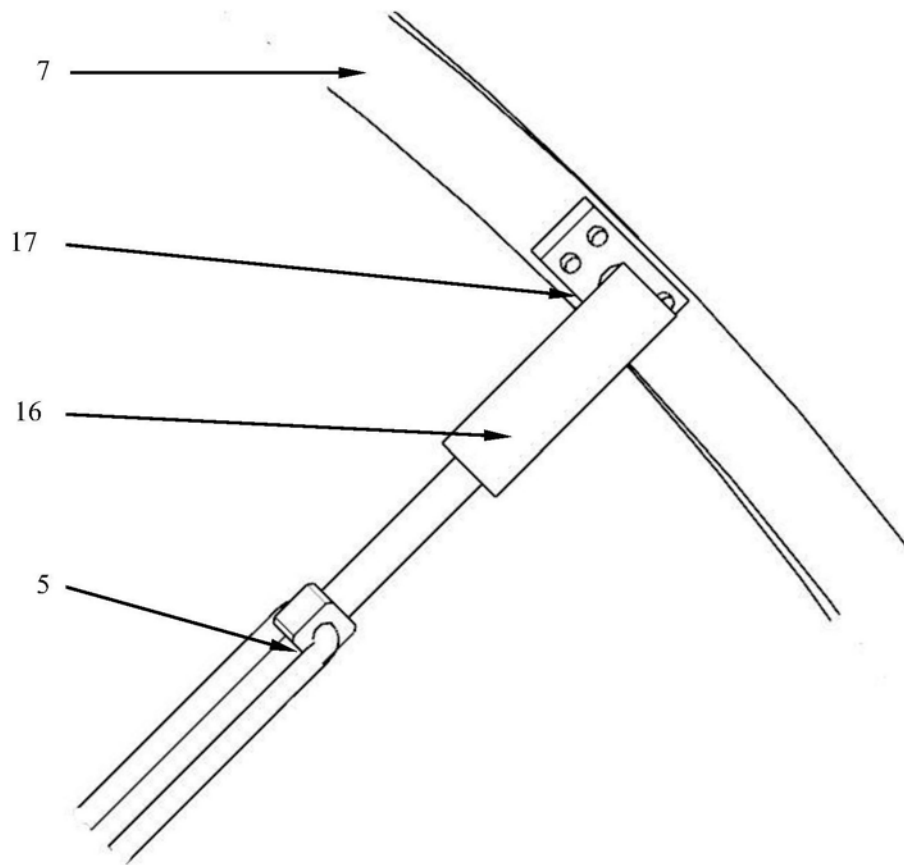


图8

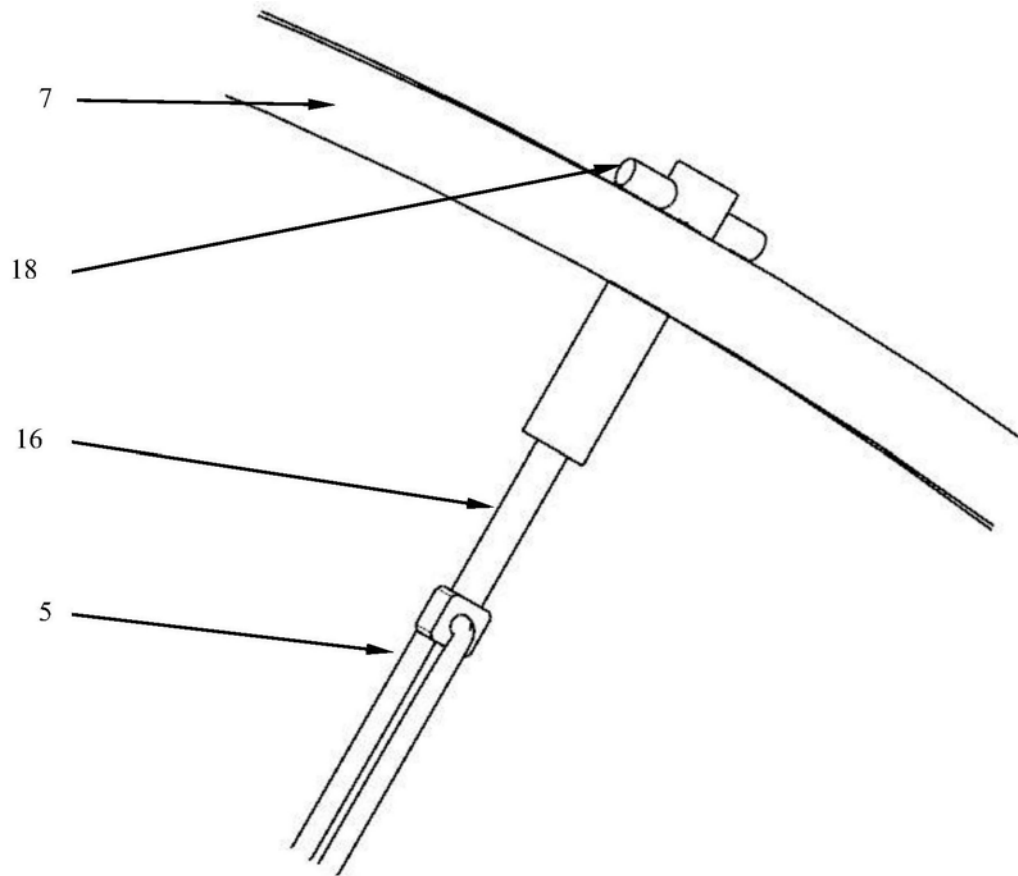


图9