



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109073500 B

(45) 授权公告日 2020. 10. 23

(21) 申请号 201780027980.6

(22) 申请日 2017.03.21

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 109073500 A

(43) 申请公布日 2018.12.21

(30) 优先权数据
1604812.6 2016.03.22 GB

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2018.11.06

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/DK2017/050081 2017.03.21

(87) PCT国际申请的公布数据
W02017/162251 EN 2017.09.28

(73) 专利权人 维斯塔斯风力系统有限公司
地址 丹麦奥尔胡斯

(72) 发明人 K·佩恩 W·D·理查兹
P-E·韦里安 S·盖伊

(74) 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127

代理人 王小东 黄纶伟

(51) Int.Cl.
G01M 5/00 (2006.01)

审查员 徐欣歌

权利要求书4页 说明书9页 附图5页

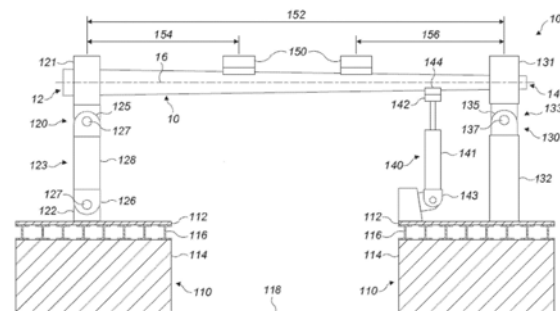
(54) 发明名称

风轮机叶片的疲劳测试

(57) 摘要

本申请涉及用于对风轮机叶片样品(10)进行疲劳测试的设备(100),还涉及使用这样的设备(100)的方法。所述设备(100)包括:第一支撑组件(120)和第二支撑组件(130)以及致动器(140),该致动器用于使所述样品(10)沿第一横向方向周期性偏转。所述第一支撑组件(120)与所述第二支撑组件(130)分别包括用于保持所述样品(10)的第一端(12)与第二端(14)的第一保持器(121)以及第二保持器(131),使得所述样品(10)的纵向方向(16)在所述第一保持器(121)与所述第二保持器(131)之间延伸。所述第一支撑组件(120)与所述第二支撑组件(130)布置成使所述第一保持器(121)与所述第二保持器(131)能绕沿垂直于所述第一横向方向并垂直于所述样品(10)的所述纵向方向(16)的第二横向方向延伸的轴线旋转。所述第一支撑组件(120)进一步布置成使得当所述致动器(140)使所述样品(10)沿所述第一横向方向偏转时所述第一保持

器(121)能相对于所述第二保持器(130)沿所述纵向方向移动。



1. 一种用于对风轮机叶片样品进行疲劳测试的设备,该设备包括:

第一支撑组件,该第一支撑组件包括用于约束所述样品的第一端的第一保持器;

第二支撑组件,该第二支撑组件包括第二保持器,该第二保持器用于约束所述样品的第二端,使得所述样品的纵向方向在所述第一保持器与所述第二保持器之间延伸并由所述第一保持器和所述第二保持器支撑;以及

致动器,该致动器适于在所述第一保持器与所述第二保持器之间的加载位置处使所述样品沿第一横向方向周期性偏转;

其中,所述第一支撑组件与所述第二支撑组件限制所述样品沿所述第一横向方向移动并且布置成使得所述第一保持器与所述第二保持器能绕沿垂直于所述第一横向方向并垂直于所述样品的所述纵向方向的第二横向方向延伸的轴线旋转,并且其中,所述第一支撑组件进一步布置成使得当所述致动器使所述样品沿所述第一横向方向偏转时所述第一保持器能相对于所述第二保持器沿所述纵向方向进一步移动。

2. 根据权利要求1所述的设备,其中,所述第一支撑组件包括双枢轴机构,所述第一保持器能借助该双枢轴机构绕所述第二横向方向旋转并且能相对于所述第二保持器沿所述纵向方向移动。

3. 根据权利要求2所述的设备,其中,所述双枢轴机构包括枢轴臂,该枢轴臂的其中一端具有下枢轴,所述枢轴臂能借助该下枢轴连接至固定结构;并且该枢轴臂具有位于其另一端处的上枢轴,所述枢轴臂借助该上枢轴连接至所述第一保持器,所述上枢轴与所述下枢轴两者都布置成用于绕所述第二横向方向旋转。

4. 根据前述权利要求中任一项所述的设备,其中,所述第一支撑组件布置成使得当所述样品借助所述致动器沿所述第一横向方向偏转时基本阻止所述第一保持器沿所述第二横向方向移位。

5. 根据权利要求1所述的设备,其中,所述第二支撑组件包括单枢轴机构,所述第二保持器能借助该单枢轴机构绕所述第二横向方向旋转。

6. 根据权利要求1所述的设备,其中,所述第二支撑组件布置成使得当所述样品借助所述致动器沿所述第一横向方向偏转时基本阻止所述第二保持器沿所述第二横向方向和所述纵向方向移位。

7. 根据权利要求1所述的设备,其中,所述第一保持器与所述第二保持器之间的纵向间隔能选择性地被调节。

8. 根据权利要求1所述的设备,其中,所述第一支撑组件与所述第二支撑组件安装到所述设备的固定结构中。

9. 根据权利要求8所述的设备,其中,所述固定结构包括限定用于所述第一支撑组件以及所述第二支撑组件中的一者或者两者的多个安装位置的多个连接器,借助这些连接器能选择性地调节所述第一保持器与所述第二保持器之间的纵向间隔。

10. 根据权利要求8或者权利要求9所述的设备,其中,所述固定结构包括供安装所述第一支撑组件的第一基部,还包括供安装所述第二支撑组件的第二基部,所述第一基部与所述第二基部能相对于彼此移动以选择性地调节纵向间隔。

11. 根据权利要求1所述的设备,其中,所述设备布置成借助所述第一支撑组件与所述第二支撑组件保持所述风轮机叶片样品使得其纵向方向基本水平。

12. 根据权利要求1所述的设备,所述设备进一步包括载荷框架,该载荷框架能附接至所述叶片样品,所述载荷框架包括至少一个额外的配重以当所述叶片样品借助所述致动器沿所述第一横向方向周期性偏转时,选择性变更施加至所述叶片样品的应变分布。

13. 根据权利要求1所述的设备,其中,所述致动器的位置能选择性地被调节以变更所述加载位置。

14. 一种对风轮机叶片样品进行疲劳测试的方法,所述方法包括如下步骤:

设置具有用于所述样品的第一支撑组件以及第二支撑组件的设备;

通过用所述第一支撑组件的第一保持器约束所述样品的第一端并且用所述第二支撑组件的第二保持器约束所述样品的第二端而用所述第一支撑组件以及所述第二支撑组件保持所述样品,使得所述样品的纵向方向在所述第一保持器与所述第二保持器之间延伸并由所述第一保持器和所述第二保持器支撑,所述第一支撑组件与所述第二支撑组件布置成使得所述第一保持器与所述第二保持器均能绕沿垂直于所述样品的所述纵向方向的第二横向方向延伸的轴线旋转,所述第一支撑组件进一步布置成使得所述第一保持器能相对于所述第二保持器进一步沿所述纵向方向移动;

在所述第一保持器与所述第二保持器之间的加载位置处将所述样品连接至致动器;并且

通过借助所述致动器产生周期性偏转力使所述样品沿垂直于所述样品的所述纵向方向并垂直于所述第二横向方向的第一横向方向周期性偏转,所述第一支撑组件以及所述第二支撑组件约束所述保持器的移动对抗沿所述第一横向方向的移动,所述样品的所述偏转导致所述第一保持器与所述第二保持器绕所述第二横向轴线旋转并且导致所述第一保持器沿所述纵向方向朝所述第二保持器移动。

15. 根据权利要求14所述的对风轮机叶片样品进行疲劳测试的方法,其中,所述第一支撑组件包括双枢轴机构,所述第一保持器借助该双枢轴机构能绕所述第二横向方向旋转并且能相对于所述第二保持器沿所述纵向方向移动。

16. 根据权利要求15所述的方法,其中,所述双枢轴机构包括枢轴臂,所述枢轴臂借助下枢轴连接至所述设备的固定结构并且借助上枢轴连接至所述第一保持器,所述上枢轴与所述下枢轴两者都布置成用于绕所述第二横向方向旋转。

17. 根据权利要求14至16中任一项所述的方法,其中,设置第一支撑组件以及第二支撑组件的步骤包括选择性地调节所述第一保持器与所述第二保持器之间的纵向间隔并且将所述第一支撑组件与所述第二支撑组件安装到所述设备的固定结构中。

18. 根据权利要求17所述的方法,其中,所述固定结构包括限定用于所述第一支撑组件以及所述第二支撑组件中的一者或者两者的多个安装位置的多个连接器,并且其中通过使用所述多个连接器中的不同的一者改变所述第一支撑组件以及所述第二支撑组件中的一者或者两者的所述安装位置而进行选择性地调节所述纵向间隔的步骤。

19. 根据权利要求14所述的方法,该方法进一步包括选择性地调节所述致动器的所述加载位置的步骤。

20. 根据权利要求14所述的方法,该方法进一步包括如下步骤:将至少一个额外的配重附接至所述样品,以当所述叶片样品借助所述致动器沿所述第一横向方向周期性偏转时,选择性地变更施加至所述叶片样品的应变分布。

21. 根据权利要求20所述的方法,其中,通过选择配重量以及配重位置进行附接至少一个额外的配重的步骤,以在沿所述样品的长度的目标位置产生期望的应变分布。

22. 根据权利要求21所述的方法,其中,基于从由如下项构成的组选取的一个或者多个测试参数进行选择配重量以及配重位置的步骤,即:样品刚度、样品质量、单位应变、材料性能、用于所述疲劳测试的循环数、所述样品的偏转、计算的弯矩分布、计算的应变分布、计算的剪力分布、计算的位移分布、在所选择的配重量以及配重位置的情况下计算的自然频率、没有任何额外的配重的情况下计算的自然频率、在所选择的配重量以及配重位置的情况下计算的失效循环数。

23. 根据权利要求14所述的方法,其中,通过以所述叶片样品的共振频率产生所述周期性偏转力而进行使所述样品周期性偏转的步骤。

24. 根据权利要求14所述的方法,该方法进一步包括以下步骤:确定需要样品调查的目标位置并且将一个或者多个额外的配重附接至所述样品以当所述叶片样品借助所述致动器沿所述第一横向方向周期性偏转时,在所述目标位置处产生期望的应力分布。

25. 根据权利要求14所述的方法,其中,所述叶片样品是风轮机叶片的节段或者风轮机叶片的子部件。

26. 一种对风轮机叶片样品进行疲劳测试的方法,所述方法包括如下步骤:

设置用于所述样品的第一支撑组件以及第二支撑组件;

通过用所述第一支撑组件的第一保持器约束所述样品的第一端并且用所述第二支撑组件的第二保持器约束所述样品的第二端而用所述第一支撑组件以及所述第二支撑组件保持所述样品,使得所述样品的纵向方向在所述第一保持器与所述第二保持器之间延伸并由所述第一保持器和所述第二保持器支撑;

在所述第一保持器与所述第二保持器之间的加载位置处将所述样品连接至致动器;

将至少一个额外的配重附接至所述样品,以当所述叶片样品借助所述致动器沿所述第一横向方向周期性偏转时,选择性地变更施加至所述叶片样品的应变分布;并且

通过借助所述致动器产生周期性偏转力使所述样品沿垂直于所述样品的所述纵向方向并垂直于第二横向方向的第一横向方向周期性偏转,所述第一支撑组件以及所述第二支撑组件约束所述样品对抗沿所述第一横向方向的移动。

27. 根据权利要求26所述的方法,其中,通过选择配重量以及配重位置进行附接至少一个额外的配重的步骤,以在沿所述样品的长度的目标位置处产生期望的应变分布。

28. 根据权利要求27所述的方法,其中,基于从由如下项构成的组选取的一个或者多个测试参数进行选择配重量以及配重位置的步骤,即:样品刚度、样品质量、单位应变、材料性能、用于所述疲劳测试的循环数、所述样品的偏转、计算的弯矩分布、计算的应变分布、计算的剪力分布、计算的位移分布、在所选择的配重量以及配重位置的情况下计算的自然频率、没有任何额外的配重的情况下计算的自然频率、在所选择的配重量以及配重位置的情况下计算的失效循环数。

29. 根据权利要求26至28中任一项所述的方法,其中,通过以所述叶片样品的共振频率产生所述周期性偏转力而进行使所述样品周期性偏转的步骤。

30. 根据权利要求26至28中任一项所述的方法,该方法进一步包括以下步骤:确定需要样品调查的目标位置并且将一个或者多个额外的配重附接至所述样品以当所述叶片样品

借助所述致动器沿所述第一横向方向周期性偏转时,在所述目标位置处产生期望的应力分布。

31.根据权利要求26至28中任一项所述的方法,其中,所述叶片样品是风轮机叶片的节段或者风轮机叶片的子部件。

风轮机叶片的疲劳测试

技术领域

[0001] 本发明涉及用于风轮机叶片样品的疲劳测试的设备。具体地说,本发明涉及这样的用于风轮机叶片样品的疲劳测试的设备,该设备包括用于保持叶片样品的第一支撑组件以及第二支撑组件,还包括用于使叶片沿横向方向周期偏转的致动器。本发明还涉及对风轮机叶片样品进行疲劳测试的方法。

背景技术

[0002] 在使用过程中,由于诸如升力与曳力之类的惯性载荷以及气动载荷,风轮机叶片遭受周期性加载。叶片的摆振方向与挥舞方向两者上经受这些载荷。摆振方向垂直于叶片的纵轴线并且大体平行于延伸穿过叶片的前缘与尾缘的平面,并且于对应使用过程中叶片的旋转方向。挥舞方向垂直于摆振方向以及叶片的纵轴线两者。这样的周期性加载可能使叶片在其使用寿命期间弱化,最终可能在缺乏适当设计时导致疲劳失效。疲劳测试用于确定特定的叶片设计是否能够在叶片的期望使用寿命期间无疲劳失效的情况下承受预期的周期性操作载荷。

[0003] 通常通过沿挥舞方向以及摆振方向激励叶片以模拟挥舞操作载荷以及摆振操作载荷而进行疲劳测试。对于较大的叶片而言,通常连续进行这两个疲劳测试。为了模拟一般的使用寿命,各个测试均可能使叶片遭受一百万或者更多的疲劳加载循环并且可能需要几个月完成。为了确保疲劳测试的结果可靠,重要的是使测试期间施加的周期性载荷代表实际加载条件。

[0004] 目前的叶片疲劳测试方法包括将风轮机叶片样品的一端固定至静止的基座或者其它固定结构使得叶片从静止基座成悬臂,并且沿叶片样品的横向方向施加周期性载荷。然而,借助现有测试布置,可能难以使测试过程中施加的应变分布代表操作过程中经受的应变分布,在叶片样品仅构成风轮机叶片的一部分的情况下尤其如此。

[0005] 因此,期望提供用于风轮机叶片样品的疲劳测试的、更代表实际加载条件的设备以及方法。

发明内容

[0006] 根据本发明的第一方面提供一种用于对风轮机叶片样品进行疲劳测试的设备,该设备包括:第一支撑组件,该第一支撑组件包括用于约束所述样品的第一端的第一保持器;第二支撑组件,该第二支撑组件包括第二保持器,该第二保持器用于约束所述样品的第二端,使得所述样品的纵向方向在所述第一保持器与所述第二保持器之间延伸;以及致动器,该致动器适于在所述第一保持器与所述第二保持器之间的加载位置处使所述样品沿第一横向方向周期性偏转;其中,所述第一支撑组件与所述第二支撑组件限制所述样品沿所述第一横向方向移动并且布置成使得所述第一保持器与所述第二保持器能绕沿垂直于所述第一横向方向并垂直于所述样品的所述纵向方向的第二横向方向延伸的轴线旋转,并且其中,所述第一支撑组件进一步布置成使得当所述致动器使所述样品沿所述第一横向方向偏

转时所述第一保持器能相对于所述第二保持器沿所述纵向方向进一步移动。

[0007] 借助此布置,第一保持器与第二保持器不刚性约束借助致动器偏转的叶片样品。相反,叶片被允许借助第一保持器与第二保持器绕第二横向方向的旋转而变形成弓形。另外,第一保持器能够朝第二保持器移动以抵偿叶片样品的任何偏转。这减小了测试过程中叶片样品的拉伸加载以及扭转加载,从而允许设备在叶片样品上施加更代表实际操作条件的应力以及应变。

[0008] 如本文中使用的,术语“风轮机叶片样品”指的是风轮机叶片的任何合适的部分,例如,风轮机叶片的部件、部件的组件或者节段或者遭受疲劳测试的整个风轮机叶片。在叶片样品指的是风轮机叶片的一部分或者节段的情况下,所述部分或者节段仍可以附接至叶片的其余部分,在此情况下,术语“样品”指的是叶片的在第一保持器与第二保持器之间延伸的那部分。

[0009] 第一支撑组件可以滑动地安装在固定结构上以允许第一保持器相对于第二保持器沿纵向方向移动。更优选地,第一支撑组件包括双枢轴机构,第一保持器借助该双枢轴机构能绕第二横向方向旋转并且能相对于第二保持器沿纵向方向移动。优选地,双枢轴机构包括枢轴臂,该枢轴臂借助下枢轴连接至固定结构并且借助上枢轴连接至第一保持器,上枢轴与下枢轴两者都布置成用于绕第二横向方向旋转。

[0010] 优选地,第一支撑组件布置成当样品借助致动器沿第一横向方向偏转时基本阻止第一保持器沿第二横向方向移位。

[0011] 第二支撑组件可以包括一个或者多个枢轴,第二保持器借助所述枢轴可绕第二横向方向旋转。优选地,第二支撑组件可以包括单枢轴机构,第二保持器借助该单枢轴机构可绕第二横向方向旋转。

[0012] 优选地,第二支撑组件布置成当样品借助致动器沿第一横向方向偏转时基本阻止第二保持器沿第二横向方以及纵向方向移位。

[0013] 所述设备可以布置成将风轮机叶片样品保持成使其纵向方向基本水平。在其它实施例中,所述设备可以布置成将风轮机叶片样品保持成使其纵向方向是非水平的(例如基本竖直)。所述设备可以布置成将风轮机叶片样品保持成使其摆振方向基本水平。在某些实施例中,设备布置成将风轮机叶片样品保持成使其纵向方向及其摆振方向基本水平。通过将叶片样品保持成使其摆振方向基本水平,与其中叶片的摆振方向基本竖直的这样的设备相比,叶片样品的前缘与尾缘处的应变峰值可以更低,并且更能代表操作过程中经受的载荷以及R值,该R值是最小应力与最大应力的比率。这可以在计算期望的疲劳寿命时提高测试结果的精度并且减小对材料数据外推的依赖性。当设备布置成将叶片样品保持成使其摆振方向基本水平时,致动器优选布置成使叶片样品沿挥舞方向偏转。

[0014] 在使用过程中,第一保持器与第二保持器可以借助任何合适的装置(例如使用一个或者多个金属圈或者螺栓)附接至叶片。优选地,第一保持器与第二保持器均包括保持器框,该保持器框布置成沿叶片样品的宽度的至少一部分延伸,第一支撑组件与第二支撑组件借助保持器框可以附接至叶片样品。优选地,各个保持器框均形成围绕叶片样品的外壳。保持器框可以直接附接至叶片样品,或者经由一个或者多个中间部件间接附接至叶片样品。优选地,第一保持器与第二保持器均包括用于定位在保持器框与叶片样品之间的异形嵌件,异形嵌件遵循叶片样品的轮廓以在使用设备的过程中使载荷从支撑组件更均匀地分

布到叶片样品。当保持器框绕叶片样品拧紧时,保持器框与叶片样品之间的相对移动基本可以被异形嵌件阻止。

[0015] 第一支撑组件与第二支撑组件可以安装成使第一保持器与第二保持器之间的纵向间隔固定。可以选择性地调节第一保持器与第二保持器之间的纵向间隔。即,在测试当中可以改变第一保持器与第二保持器相对于彼此的位置以调节第一保持器与第二保持器之间的纵向间隔。这允许设备适于测试长度不同的样品。第一保持器与第二保持器可以安装到设备的固定结构中(例如,测试厅的地板中或者固定支撑元件中)。第一保持器与第二保持器可以利用固定结构上的多个连接器安装到固定结构中。固定结构可以包括限定用于第一支撑组件以及第二支撑组件中的一者或者两者的多个安装位置的多个连接器,借助这些连接器可以选择性地调节第一保持器与第二保持器之间的纵向间隔。

[0016] 在某些实施方式中,固定结构包括供安装第一支撑组件的第一基部,还包括供安装第二支撑组件的第二基部。第一基部与第二基部可以相对于彼此移动以选择性地调节第一保持器与第二保持器之间的纵向间隔。

[0017] 所述设备可以进一步包括用于附接至叶片样品的至少一个额外配重,以当叶片样品借助致动器沿第一横向方向周期性偏转时,选择性地变更施加至叶片样品的应变分布。所述至少一个额外的配重可以借助任何合适的手段(例如通过胶合)附接至叶片样品。优选地,所述设备进一步包括载荷框架,该载荷框架可以附接至叶片样品,载荷框架包括至少一个额外配重,以当叶片样品借助致动器沿第一横向方向周期性偏转时,选择性地变更施加至叶片样品的应变分布。所述设备可以包括能在不同位置附接至叶片样品的两个或者更多个这样的载荷框架。额外的配重定位成变更横过样品(尤其在目标区域处)的振动的振型并因此变更应变分布。

[0018] 可以选择性地调节致动器的位置以变更加载位置。这允许根据疲劳测试关注的目标区域调节叶片样品的加载。另选地,致动器相对于第一保持器以及第二保持器的位置可以基本固定。致动器可以铰接至设备的固定结构。例如,致动器可以铰接至设备的固定结构(例如容纳设备的测试厅的地板),使得致动器可以绕第二横向方向旋转。

[0019] 根据本发明的第二方面,提供一种对风轮机叶片样品进行疲劳测试的方法,所述方法包括如下步骤:设置用于所述样品的第一支撑组件以及第二支撑组件;通过用所述第一支撑组件的第一保持器约束所述样品的第一端并且用所述第二支撑组件的第二保持器约束所述样品的第二端而用所述第一支撑组件以及所述第二支撑组件保持所述样品,使得所述样品的纵向方向在所述第一保持器与所述第二保持器之间延伸,所述第一支撑组件与所述第二支撑组件布置成使得所述第一保持器与所述第二保持器均能绕沿垂直于所述样品的所述纵向方向的第二横向方向旋转,所述第一支撑组件进一步布置成使所述第一保持器能相对于所述第二保持器进一步沿所述纵向方向移动;在所述第一保持器与所述第二保持器之间的加载位置将所述样品连接至致动器;并且通过借助所述致动器产生周期性偏转力使所述样品沿垂直于所述样品的所述纵向方向并垂直于所述第二横向方向的第一横向方向周期性偏转,所述第一支撑组件以及所述第二支撑组件约束所述保持器的移动对抗沿所述第一横向方向的移动,所述样品的所述偏转导致所述第一保持器与所述第二保持器绕所述第二横向轴线旋转并且导致所述第一保持器沿所述纵向方向朝所述第二保持器移动。

[0020] 如以上关于第一方面的设备描述的,借助根据本发明的方法,第一保持器与第二

保持器不刚性约束借助致动器偏转时的叶片样品。相反,叶片被允许借助第一保持器与第二保持器绕第二横向方向的旋转以及第一保持器能够朝第二保持器的移动而变形成弓形。这减小了测试过程中叶片样品的非代表性的拉伸加载以及扭转加载,从而允许设备在叶片样品上施加更代表实际操作条件的应力以及应变。

[0021] 优选地,第一支撑组件包括双枢轴机构,第一保持器借助该双枢轴机构可绕第二横向方向旋转并且可相对于第二保持器沿纵向方向移动。双枢轴机构可以包括枢轴臂,该枢轴臂借助下枢轴连接所述设备的至固定结构并且借助上枢轴连接至第一保持器,上枢轴与下枢轴两者都布置成用于绕第二横向方向旋转。

[0022] 优选地,设置第一支撑组件以及第二支撑组件的步骤包括选择性地调节第一保持器与第二保持器之间的纵向间隔并且将第一支撑组件与第二支撑组件安装到设备的固定结构中。即,在测试当中可以改变第一保持器与第二保持器相对于彼此的位置以调节第一保持器与第二保持器之间的纵向间隔。这允许根据遭受疲劳测试的样品的长度以及区域调整设备。第一保持器与第二保持器可以利用固定结构上的多个连接器安装在固定结构上。固定结构可以是例如容纳测试设备的测试厅的地板或者连接至地面的诸如壁或者地板之类的固定支撑元件。固定结构可以包括限定用于第一支撑组件以及第二支撑组件中的一者或者两者的多个安装位置的多个连接器。在这些实施例中,可以通过使用多个连接器中的不同的一者改变第一支撑组件与第二支撑组件中的一者或者两者的安装位置而进行选择性地调节纵向间隔的步骤。

[0023] 该方法可以进一步包括选择性地调节致动器的加载位置的步骤。可以通过例如改变致动器在供安装致动器的固定结构上的安装位置而进行该步骤。

[0024] 该方法可以进一步包括如下步骤:将至少一个额外的配重附接至叶片样品,以当叶片样品借助致动器沿第一横向方向周期性偏转时,选择性地变更施加至叶片样品的应变分布。所述至少一个额外的配重可以借助任何合适的手段(例如通过胶合)附接至叶片样品。附接至少一个额外的配重的步骤可以包括将一个或者多个载荷框架附接至叶片样品,所述一个或者多个载荷框架包括至少一个额外的配重。

[0025] 可以通过选择配重量以及配重位置进行附接至少一个额外的配重的步骤,以变更周期性偏转的振型,从而在沿样品的长度的目标位置产生期望的应变分布。可以基于从由如下项构成的组选取的一个或者多个测试参数进行选择配重量以及配重位置的步骤,即:样品刚度、样品质量、单位应变、材料性能、用于所述疲劳测试的循环数、所述样品的偏转、计算的弯矩分布、计算的应变分布、计算的剪力分布、计算的位移分布、在所选择的配重量以及配重位置的情况下计算的自然频率、没有任何额外的配重的情况下计算的自然频率、在所选择的配重量以及配重位置的情况下计算的失效循环数。

[0026] 根据本发明的第三方面,提供一种对风轮机叶片样品进行疲劳测试的方法,所述方法包括如下步骤:设置用于所述样品的第一支撑组件以及第二支撑组件;通过用所述第一支撑组件的第一保持器约束所述样品的第一端并且用所述第二支撑组件的第二保持器约束所述样品的第二端而用所述第一支撑组件以及所述第二支撑组件保持所述样品,使得所述样品的纵向方向在所述第一保持器与所述第二保持器之间延伸;在所述第一保持器与所述第二保持器之间的加载位置处将所述样品连接至致动器;将至少一个额外的配重附接至所述样品以选择性地变更施加至所述叶片样品的应变分布;并且通过借助所述致动器产

生周期性偏转力使所述样品沿垂直于所述样品的所述纵向方向的第一横向方向周期性偏转,所述第一支撑组件以及所述第二支撑组件约束所述样品对抗沿所述第一横向方向的移动。

[0027] 借助此方法,能够变更施加至叶片样品的目标区域或者孤立区域、特定区域的应变分布。例如,为了向叶片样品的可能易受高度损害的目标区域施加有代表性的应变分布,或者为了确定对叶片样品所做的修补的效用。施加至叶片样品的应变分布可以变更成使施加至样品的其它区域的应变低于施加至目标区域的应变。这减小了测试过程中目标区域外的叶片样品会变弱的风险。这还意味着,测试设备经历的平均载荷以及峰值力矩也会更低,从而导致测试设备部件的磨损更低。这能够延长测试设备的寿命并且降低维护要求。

[0028] 优选地,第一支撑组件与第二支撑组件布置成使第一保持器与第二保持器均可绕垂直于样品的纵向方向并垂直于第一横向方向的第二横向方向旋转,第一支撑组件进一步布置成使第一保持器可相对于第二保持器沿纵向方向移动。借助此布置,当叶片样品偏转时,第一保持器与第二保持器能够绕第二横向轴线旋转并且第一保持器能够沿纵向方向朝第二保持器移动。与根据本发明的第二方面的方法一样,这减小了测试过程中叶片样品的拉伸加载以及扭转加载,从而允许设备在叶片样品上施加更代表实际操作条件的应力以及应变。

[0029] 通过选择配重量以及配重位置可以进行附接至少一个额外的配重的步骤以在沿样品的长度的目标位置产生期望的应变分布。可以基于从由如下项构成的组选取的一个或者多个测试参数进行选择配重量以及配重位置的步骤,即:样品刚度、样品质量、单位应变、材料性能、用于所述疲劳测试的循环数、所述样品的偏转、计算的弯矩分布、计算的应变分布、计算的剪力分布、计算的位移分布、在所选择的配重量以及配重位置的情况下计算的自然频率、没有任何额外配重的情况下计算的自然频率、在所选择的配重量以及配重位置情况下计算的失效循环数。

[0030] 在以上方法中的任一者中,优选通过以叶片样品的共振频率产生周期性偏转力而进行使样品周期性偏转的步骤。

[0031] 在以上方法中的任一者中,叶片节段优选是风轮机叶片节段或者风轮机叶片子部件。

[0032] 关于一个或者多个方面描述的特征可以同样应用至本发明的其它方面。关于第一方面的设备描述的特征可以同样应用至第二方面以及第三方面的方法,反之亦然。

附图说明

[0033] 现在将仅以实施例的方式并且参照附图进一步描述本发明,在附图中:

[0034] 图1是根据本发明的测试设备的第一实施例的示意性侧视图,该图示出了附接至风轮机叶片节段的设备;

[0035] 图2是图1的测试设备的一部分的示意性立体图,该图示出了第一支撑组件;

[0036] 图3是图1的测试设备的第二支撑组件的示意性剖面图;

[0037] 图4是示出使用图1的设备测试的沿叶片样品的应变与距离之间以及弯矩与距离之间的示例性关系的图表;以及

[0038] 图5是根据本发明的第二示例性测试设备的一部分的示意性立体图,该图示出了

第一支撑组件。

具体实施方式

[0039] 图1示出了用于对风轮机叶片样品10进行疲劳测试的第一测试设备100,该设备100附接至风轮机叶片样品10。风轮机叶片样品10具有第一端12、相反的第二端14以及在第一端12与第二端14之间延伸的纵向方向16。在此实施例中,风轮机叶片样品10被示出成风轮机叶片的节段。然而,风轮机叶片样品10可以是完整的风轮机叶片,或者诸如结构梁或翼梁或其节段之类的风轮机叶片部件。

[0040] 测试设备100包括固定结构110、第一支撑组件120、第二支撑组件130以及致动器140。第一支撑组件120、第二支撑组件130以及致动器140安装在固定结构110上并且被该固定结构110支撑。叶片样品10由第一支撑组件120在叶片样品10的第一端12处或者附近并且第二支撑组件130在叶片样品10的第二端14处或者附近保持,使得叶片样品10的纵向方向16在第一支撑组件120与第二支撑组件130之间延伸。相应的支撑组件在相反的两端处约束叶片样品10,如现在描述的,支撑组件允许有限移动。

[0041] 固定结构110或者基座包括一对诸如钢板之类的刚性安装表面112,第一支撑组件120、第二支撑组件130以及致动器140安装在该刚性安装表面上。在此实施例中,基座110进一步包括一对混凝土块114,安装表面112经由一系列I形梁116固定至混凝土块114。在此实施例中,基座110定位在基本水平的地面118(例如,测试厅的地板)上,使得安装表面112与叶片样品10的纵向方向16基本水平。借助此布置,设备100能够通过改变混凝土块114之间的距离并因此改变第一支撑组件120与第二支撑组件130之间的间距而变型成测试不同长度的样品。换言之,第一支撑组件120与第二支撑组件130之间的距离是可调节的。在其他实施例中,可以省略混凝土块114以及I形梁116并且安装表面112直接附接至地面。借助此布置,叶片节段10可以通过安装表面固定至诸如竖直壁之类的另选表面而被支撑成其纵向方向16不同地取向(例如,基本竖直地取向)。

[0042] 第一支撑组件120包括:第一保持器,该第一保持器呈绕叶片样品10延伸的第一保持器框121的形式;以及第一支撑底座122,该第一支撑底座用于将第一支撑组件120固定至安装表面112。第一保持器框121借助双枢轴机构123铰接至第一支撑底座122。参照图2,第一保持器框121包括异形嵌件124(例如,木制嵌件),该异形嵌件定位在叶片样品10与保持器框121之间并且遵循叶片样品10的分布以在使用设备的过程中使载荷从第一支撑组件120更均匀地分布到叶片样品10。保持器框121利用拧紧螺栓129绕叶片样品10被拧紧,使得第一保持器框121与叶片样品之间的相对移动基本被异形嵌件124阻止。双枢轴机构123包括上枢轴125以及下枢轴126,枢轴中的每一者均具有枢轴销127,该枢轴销沿垂直于叶片样品10的纵向方向16并且平行于基座110的安装表面112的枢轴线延伸。上枢轴125与下枢轴126借助刚性连杆128连结。第一保持器框121借助上枢轴125可枢转地固定至刚性连杆128并且刚性连杆128借助下枢轴126可枢转地固定至第一支撑底座122。

[0043] 第二支撑组件130包括:第二支撑框131,该第二支撑框绕叶片样品10延伸;以及第二支撑底座132,该第二支撑底座用于将第二支撑组件130固定地连接至安装表面112。第二保持器框131借助单枢轴机构133铰接至第二支撑底座132。参照图3,第二保持器框131包括异形嵌件134(例如,木制嵌件),该异形嵌件定位在叶片样品10与保持器框131之间并且遵

循叶片样品10的分布以在使用设备的过程中使载荷从第二支撑组件130更均匀地分布到叶片样品10。保持器框131绕叶片样品10被拧紧,使得第二保持器框131与叶片样品之间的相对移动基本被异形嵌件134阻止。单枢轴机构133包括单枢轴135,该单枢轴具有枢轴销137,该枢轴销沿垂直于叶片样品10的纵向方向16并且平行于基座110的安装表面113的枢轴线延伸。第二保持器框131借助单枢轴135可枢转地固定至第二支撑底座132。第二支撑底座132比第一支撑底座122长,以使单枢轴135的高度达到与第一支撑组件120的上枢轴125的高度相似的水平。

[0044] 致动器140包括具有气缸141以及可在气缸141内滑动的活塞142的线性致动器。致动器140借助枢轴143铰接至设备100的基座110,气缸141附接至枢轴143。致动器借助一个或者多个螺柱(未示出)附接至叶片,螺柱延伸穿过叶片中心或者在叶片的相反的两侧延伸以夹紧叶片。致动器140布置成使叶片样品10沿第一横向方向(即,沿垂直于叶片样品10的纵轴线16的方向)偏转。第一横向方向也垂直于这样的第二横向方向,第一保持器121以及第二保持器131可绕该第二横向方向旋转。在图1中,叶片样品10被示出成被设备100支撑,使得其纵轴线及其摆振方向基本水平。在此位置中,致动器140布置成使叶片样品10沿挥舞方向偏转。通过将叶片样品保持成其摆振方向基本水平,与其中叶片的摆振方向基本竖直这样的设备相比,叶片样品的前缘与尾缘处的应变峰值更低并且更能代表操作过程中经受的载荷以及R值,该R值是最小应力与最大应力的比率。这可以提高测试结果的精度并且在计算期望的疲劳寿命时减小对材料数据外推的依赖性。在其它实施例中,设备可以布置成将叶片样品保持成使其摆振方向是非水平的(例如,竖直的)。在这样的实施例中,致动器可以布置成使叶片样品沿摆振方向周期性偏转。

[0045] 在其它实施例中,设备可以布置成将叶片样品保持成使其纵向方向是非水平的(例如,竖直的)。

[0046] 在图1中,活塞142被示出在中间冲程的位置中,即,在完全缩进位置与完全延伸位置之间的中途。在此位置中,活塞142在加载位置144处与叶片样品10的底面接触,但是致动器140没使叶片样品10偏转。

[0047] 第一支撑组件120、第二支撑组件130以及致动器140可以借助任何合适的连接装置固定至安装表面112。例如,安装表面112可以均包括多个螺栓(未示出),这些螺栓利用螺母固定至位于第一支撑组件120、第二支撑组件130以及致动器140中的每一者上的相应的螺栓孔。第一支撑组件120、第二支撑组件130以及致动器140中每一者沿叶片样品10的长度的位置可以通过改变每一者位于安装表面112上的位置(例如,通过使用位于安装表面112上的不同位置中的螺栓,或者通过移动安装表面112本身)而变更。

[0048] 在使用中,活塞142借助诸如液压泵或者气压泵之类的致动器驱动装置(未示出)或者电源相对于气缸141往复运动以产生周期性偏转力,该周期性偏转力借助活塞142在加载位置144处传递至叶片样品10。在各个循环期间,活塞142通过致动器驱动装置交替伸缩。

[0049] 在各个延伸冲程中,活塞142在加载位置144处使叶片样品10向上偏转直到活塞142达到其延伸位置。由于第一支撑框121以及第二支撑框131分别经由上枢轴125与单枢轴135可枢转地连接至基座110,当叶片样品10向上偏转时,第一支撑框121与第二支撑框131相对于基座110自由向外枢转以允许叶片样品10变形成弓形而不被第一支撑组件120以及第二支撑组件130刚性约束。此外,由于提供下枢轴126,刚性连杆128朝第二支撑组件130自

由枢转以允许第一支撑组件121并因此叶片样品10的第一端12沿纵向方向16朝第二支撑组件130稍微平移,以抵偿叶片样品10的向上偏转。这减小了由于第一支撑组件120以及第二支撑组件130而产生的叶片样品10的非代表性拉伸加载以及扭转加载。借助此布置,在测试过程中,叶片样品10能够在由于致动器140而偏转时自由移动并且设备100能够在叶片样品10上施加更代表实际操作条件的应力以及应变。

[0050] 因为活塞142附接至叶片样品10,所以在各个缩进冲程中,活塞142朝气缸141移动以使叶片样品10朝致动器140偏转。因此,致动器140沿两个方向(在各个延伸冲程中使叶片样品10偏转离开致动器140的方向与在各个缩进冲程中使叶片样品10朝致动器140偏转的方向)驱动叶片样品10。在另选实施例中,活塞142可以不附接至叶片样品10,使得叶片样品10在各个延伸冲程中借助活塞142偏转离开致动器140并且被允许在各个缩进冲程中在其自身动量的作用下朝致动器140偏转。

[0051] 在启动时,由致动器140产生的周期性偏转力从零稳定增加直到其操作频率达到叶片样品10的共振频率,在整个测试期间致动器140保持该频率。通过在共振频率下激励叶片样品10,设备100的能量要求低于强迫振动的测试设备的能量要求。这还意味着,测试过程中第一支撑组件120与第二支撑组件130上的平均加载与峰值加载较低。

[0052] 还如图1中所示,可以例如利用胶或者夹具沿叶片样品10的长度附加额外的配重150以改变叶片样品10的自然频率以及振型。改变自然频率允许样品10“调谐”使得能够以可控频率测试该样品。例如,如果叶片样品10的自然频率在致动器140的操作频率以上,则能够借助配重150减小叶片样品10的自然频率。如下文关于图4论述的,改变叶片样品10的振型允许测试设备100把叶片样品10的特定区域作为目标。在图1中所示的实施例中,第一支撑组件120的中心与第二支撑组件130的中心之间的距离152约为13米,并且额外的配重150包括在距离第一支撑组件120的中心约5.5米的距离154处固定至叶片样品10的大约300千克的第一配重以及在距离第二支撑组件130的中心约5.5米的距离156处固定至叶片样品10的大约200千克的第二配重。

[0053] 图4示出了沿叶片样品10的应变与距离之间以及弯矩与距离之间的示例性关系。在图4中,图线A表示使用设备100的叶片样品10的应变对距离,并且图线B表示当根据传统测试测量悬臂叶片的全尺寸疲劳测试时叶片的相同部位的应变对距离。线D示出样品上弯矩的变化,并且线E示出表示本样品测试的目标的全尺寸悬臂叶片的测试中的弯矩。区域C示出沿叶片样品的长度的目标区域,该区域是疲劳测试的焦点。可以根据任何数量的要求选择目标区域。例如,可以选择目标区域以测试新叶片设计中所关注的或者关切的特定区域,例如存在可能构成增加的应力集中的局部区域的内部结构特征这样的区域,或者以测试沿叶片样品的长度进行的一个或者多个修补,这样就可以没有与整个风力涡轮机叶片的全尺寸测试相关的成本或时间影响。注意,应变分布的不规则形状是由于存在诸如材料脱落之类的内部不均匀的结构特征。如图4所示,通过沿叶片节段的长度仔细选择和定位附加配重,可以改变应变分布,使得目标区域中叶片节段所经受的应变与在全尺寸风轮机叶片测试过程中相同区域中经历的应变紧密匹配,即与代表实际条件的目标应变紧密匹配。通常,配重将布置成确保超过目标一小部分的测试应变。还如所示,目标区域外的叶片节段经历的应变明显低于全尺寸测试中的应变。这导致在测试期间叶片样品在目标区域外被削弱的风险较小。因此,可以提高测试的精度。这还意味着测试设备所经历的平均载荷和峰值力

矩也较低,导致测试设备部件的磨损较低。这可以延长测试设备的寿命并降低维护要求。

[0054] 图5示出了根据本发明的第二示例性设备200的一部分,示出了设备200的第一支架端部。设备200类似于图1至图3中所示的第一示例性设备100。然而,虽然设备200的固定结构210还包括用于第一支撑组件220的安装表面212,但是固定结构210不包括位于第一支撑组件220下方的混凝土块或一系列I形梁。相反,第一支撑组件220下方的固定结构210的安装表面212直接固定至地板218。由于缺少混凝土块引起高度减小,设备200的第一支撑组件220的刚性连杆228比设备100的同等部件长,以使第一保持器框221的高度高到例如与第一设备100的第一保持器框的高度相似。虽然图5中未示出,但是第二支架下方的安装表面也可以直接固定至地面。在这样的实施例中,第二支撑底座可以比设备100的同等部件长以将第二保持器框升高至例如与第一设备100的第一支撑框相似的高度。在其它实施例中,第二支架以及第二支架下方的安装表面可以与以上关于设备100描述的情况基本相同。

[0055] 与整个风轮机叶片对照,本发明对风轮机叶片节段或风轮机叶片子部件的疲劳测试具有特别的益处。

[0056] 应当理解,在不脱离由所附权利要求限定的本发明的范围的情况下,以上描述的实施方式的各种变型是可行的并且本领域技术人员将会想到这些变型。

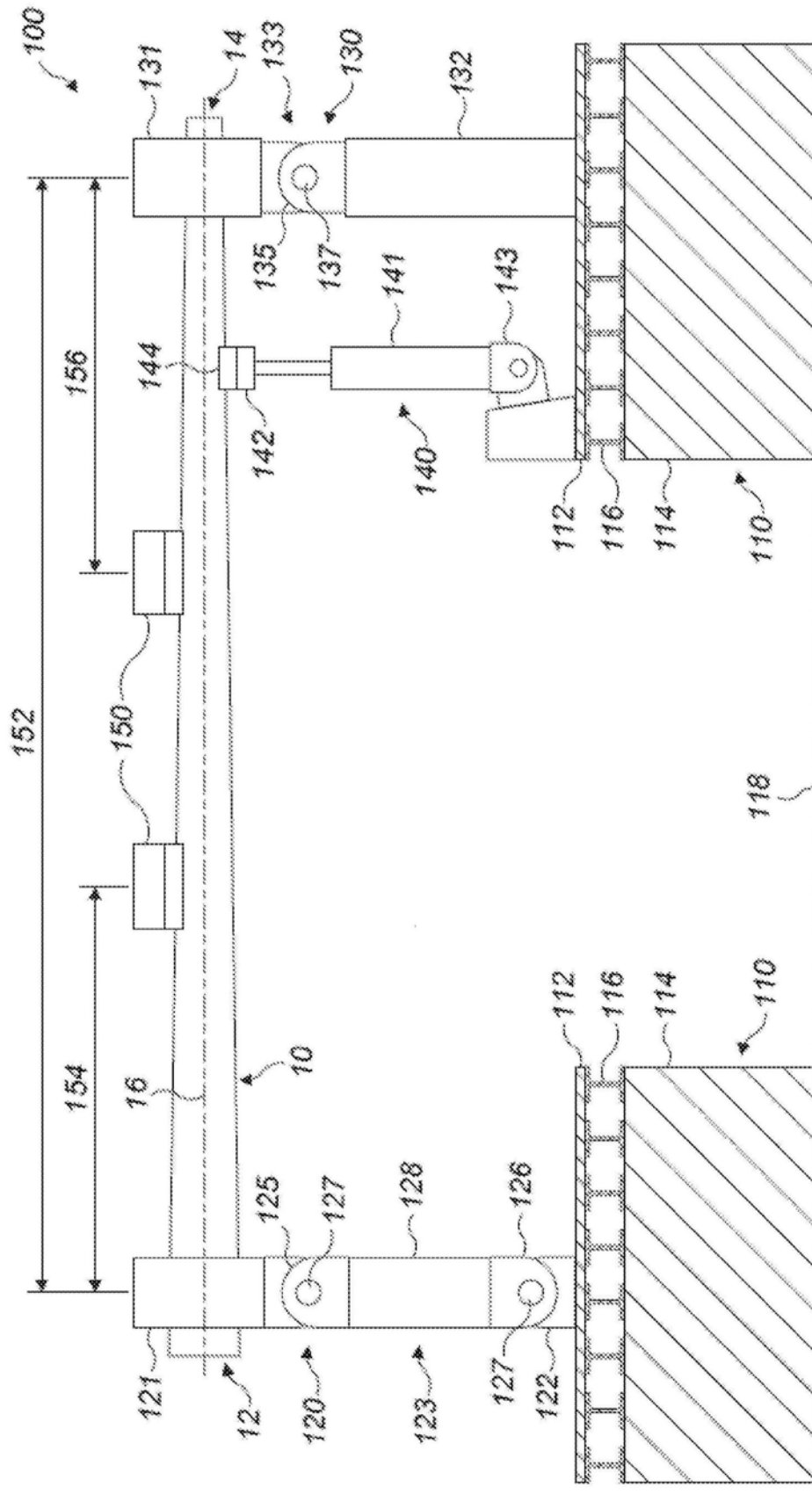


图1

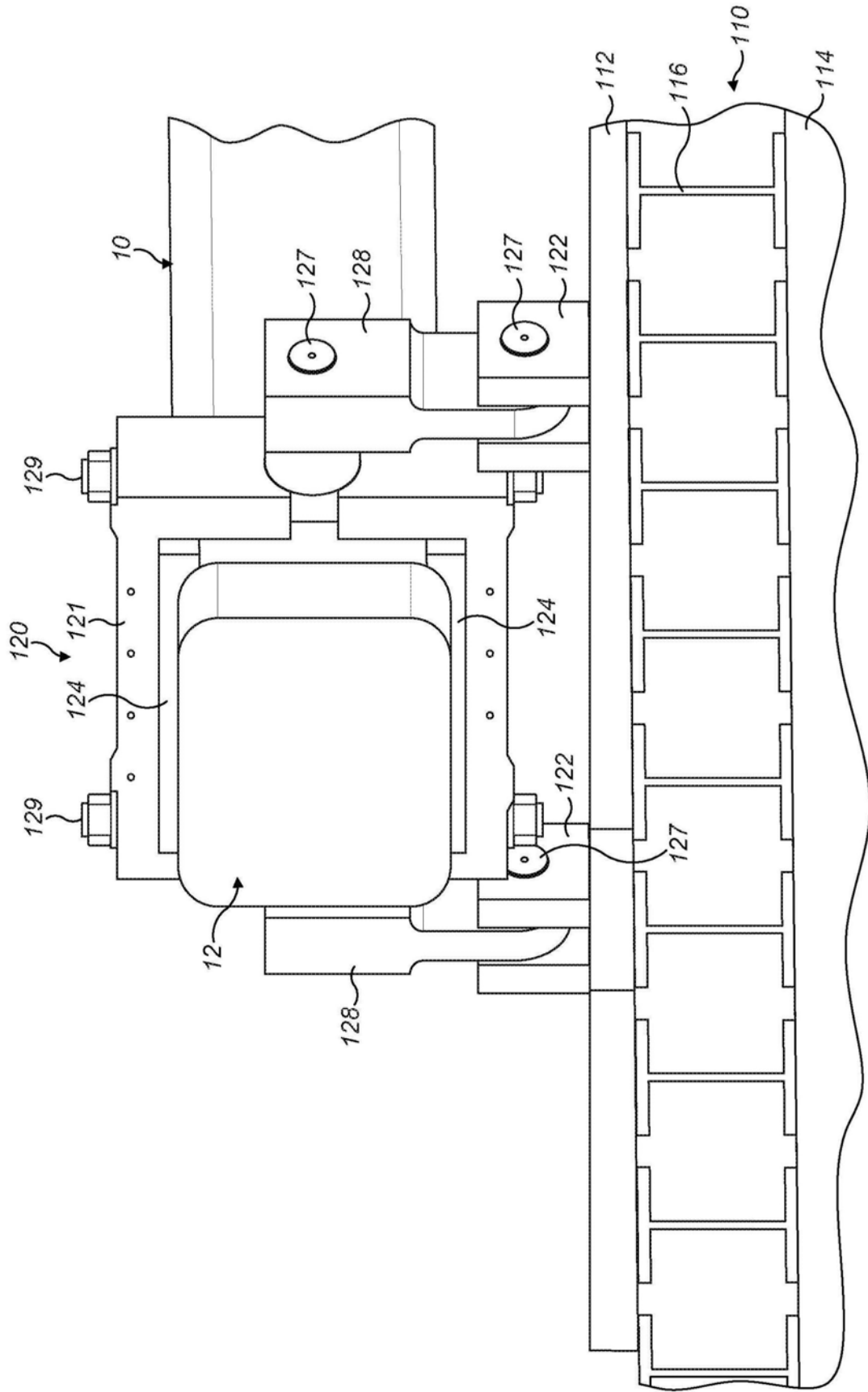


图2

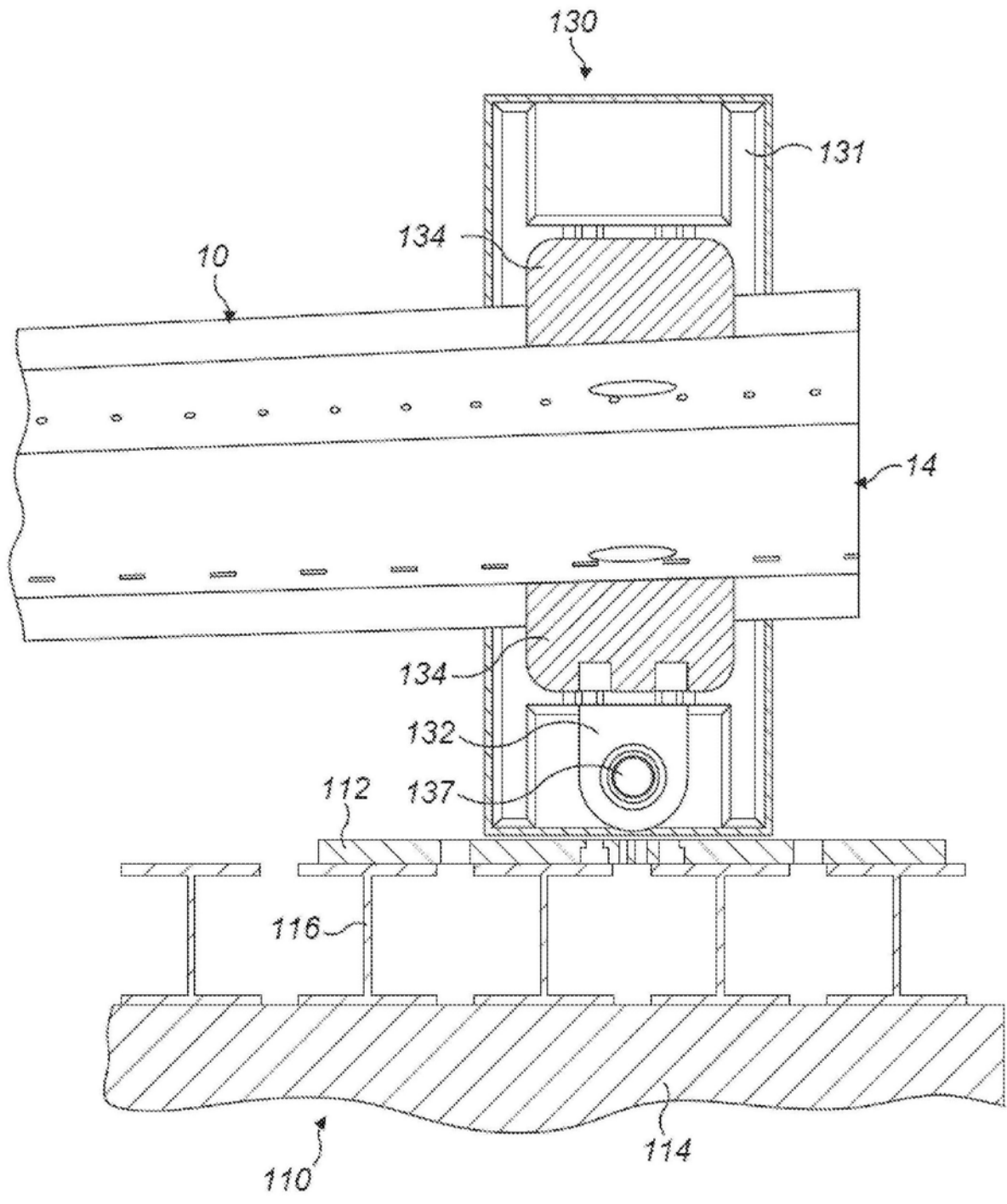


图3

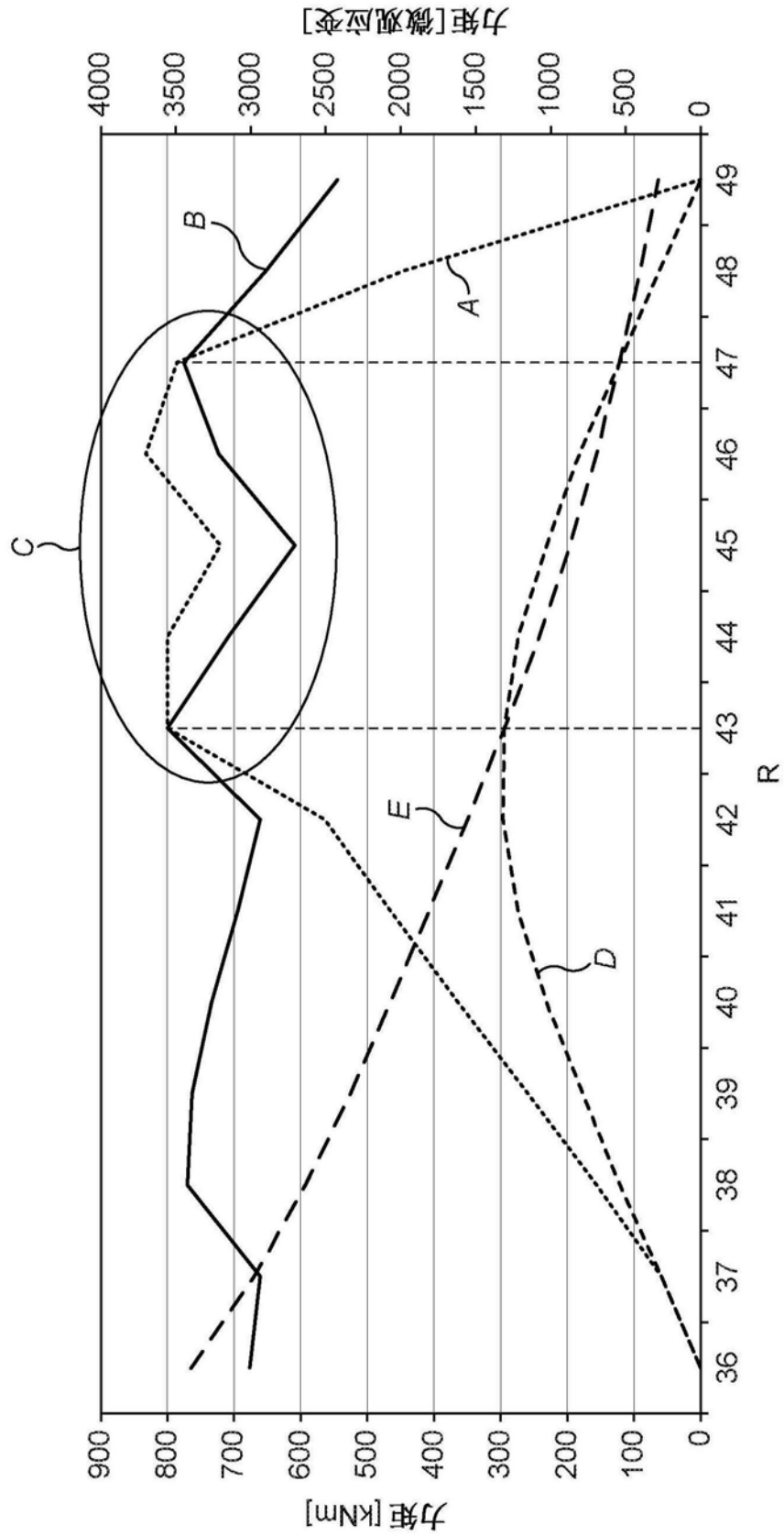


图4

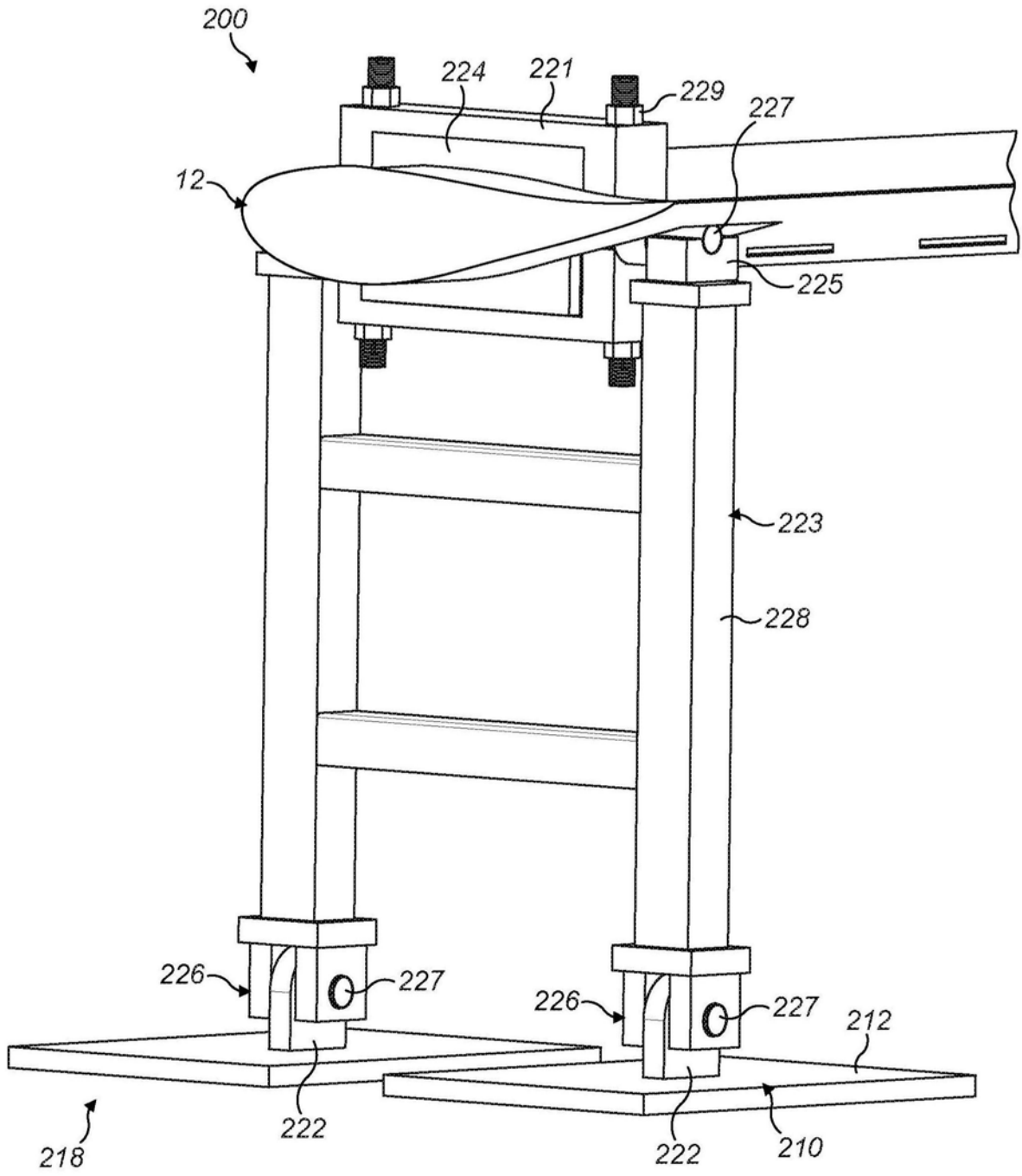


图5