



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109827772 A

(43)申请公布日 2019.05.31

(21)申请号 201910132874.5

(22)申请日 2019.02.22

(71)申请人 大连交通大学

地址 116000 辽宁省大连市沙河口区黄河路794号

(72)发明人 王美令 温保岗 韩清凯

(74)专利代理机构 大连优路智权专利代理事务所(普通合伙) 21249

代理人 宋春昕 刘国萃

(51) Int. Cl.

G01M 13/027(2019.01)

权利要求书2页 说明书5页 附图5页

(54)发明名称

基于弹支鼠笼应变的转子支点载荷辨识实验装置及方法

(57)摘要

基于弹支鼠笼应变的转子支点载荷辨识实验装置及方法,装置包括鼠笼力测试装置、支点、转盘轴、联轴器、驱动电机、底座以及轴向预紧装置,载荷辨识方法,包括以下步骤:鼠笼在复合载荷条件下的敏感性分析;鼠笼力测试装置传感器布置;力参数静态标定;力参数动态辨识。本发明实现了弹支-转子系统支点的径向、轴向载荷等复合载荷测试与辨识;采用解耦分解方法,避免径向、轴向载荷耦合影响,辨识测试结果更加准确;本发明的试验装置结构简单,能够模拟轴承预紧状态、转子不平衡、叶片轴向推动载荷、支点不对中等复杂工况条件下的实验,对于复杂工况条件下燃气涡轮发动机转子系统支点载荷变化研究提供技术支撑。

1. 基于弹支鼠笼应变的转子支点载荷辨识实验装置,其特征在于:底座(6)上安装用作支点的两个支撑(2),两个支撑(2)中部对称设有贯通孔洞,鼠笼(8)一端安装于一侧支撑(2)的贯通孔洞处,转盘轴(3)一端通过滚动轴承安装于另一侧支撑(2)的贯通孔洞内,转盘轴(3)另一端通过滚动轴承连接鼠笼(8)的另一端,鼠笼(8)与转盘轴(3)构成一体旋转结构,鼠笼(8)上设有鼠笼力测试装置(1),转盘轴(3)一端通过联轴器(4)连接位于支撑(2)一侧的驱动电机(5),转盘轴(3)上设有叶片。

2. 根据权利要求1所述的基于弹支鼠笼应变的转子支点载荷辨识实验装置,其特征在于:所述联轴器(4)为弹性联轴器或刚性联轴器。

3. 根据权利要求1所述的基于弹支鼠笼应变的转子支点载荷辨识实验装置,其特征在于:所述轴向预紧装置(7)为轴承端盖预紧结构或圆螺母预紧结构。

4. 根据权利要求1所述的基于弹支鼠笼应变的转子支点载荷辨识实验装置,其特征在于:所述鼠笼力测试装置(1)为水平应变计(11)、轴向应变计(12)和垂直应变计(13),水平应变计(11)和垂直应变计(13)设置于鼠笼(8)的y方向和z方向笼条根部,轴向应变计(12)设置于与水平应变计(11)和轴向应变计(12)相对应笼条的中部位置。

5. 根据权利要求4所述的基于弹支鼠笼应变的转子支点载荷辨识实验装置,其特征在于:所述水平应变计(11)、轴向应变计(12)和垂直应变计(13)为电阻感应式传感器。

6. 根据权利要求4所述的基于弹支鼠笼应变的转子支点载荷辨识实验装置,其特征在于:所述支撑(2)的贯通孔洞处安装轴向预紧装置(7)。

7. 基于弹支鼠笼应变的转子支点载荷辨识方法,其特征在于:包括以下步骤:

步骤一,鼠笼在复合载荷条件下的敏感性分析,采用有限元方法分析鼠笼在轴向载荷和径向载荷条件下应变特征,为传感器布置提供参考依据;

步骤二,鼠笼力测试装置(1)传感器布置,在鼠笼8的y方向和z方向笼条根部分别布置水平应变计(11)、垂直应变计(13),分别用于测试y方向和z方向载荷的产生的应变,在与水平应变计(11)、垂直应变计(13)相对应笼条的中部位置布置轴向应变计(12);

步骤三,力参数静态标定,在鼠笼(8)的x、y方向施加不同大小的静态载荷,分别获得鼠笼力测试装置1在x、y方向应变的实验数据,将得到的多组数据采用最小二乘法数据拟合方法,则测试装置1轴向载荷作用下水平应变计(11)、轴向应变计(12)在x、y方向系数分别为 $K_{x11}=K_{x12}=F_{x0}/\varepsilon_{x11}=F_{x0}/\varepsilon_{x12}$;径向载荷作用下水平应变计(11)、轴向应变计(12)在x、y方

向系数分别为

$$\begin{aligned} K_{y11} &= F_{y0}/\varepsilon_{x11} \\ K_{y12} &= F_{y0}/\varepsilon_{y12}; \end{aligned}$$

步骤四,力参数动态辨识,实际在轴向、径向复合载荷作用下水平应变计(11)、轴向应变计(12)测试得到的应变分别为 ε_{11} 、 ε_{12} ,则

$$\begin{cases} \varepsilon_{11} = \varepsilon_{x11} + \varepsilon_{y11} & (1) \\ \varepsilon_{12} = \varepsilon_{x12} + \varepsilon_{y12} & (2) \\ F_y = K_{y12}\varepsilon_{x12} = K_{y12}\varepsilon_{y12} & (3) \\ F_x = K_{x11}\varepsilon_{x11} = K_{x12}\varepsilon_{x12} & (4) \end{cases}$$

式中, ε_{x11} 、 ε_{y11} 分别为水平应变计(11)在轴向、径向载荷 F_x 、 F_y 作用影响下产生的应变

值, ε_{x12} 、 ε_{y12} 分别为轴向应变计(12)在轴向、径向载荷 F_x 、 F_y 作用影响下产生的应变值。通过求解方程组,分别求解得出 ε_{x11} 、 ε_{y11} 、 ε_{x12} 、 ε_{y12} ,然后代入方程(3)、(4)即可辨识出轴向、径向载荷 F_x 、 F_y , x 、 z 方向的静态标定与动态辨识与 x 、 y 方向的相同。

8. 根据权利要求7所述的基于弹支鼠笼应变的转子支点载荷辨识方法,其特征在于:所述步骤四中,通过轴向预紧装置(7)施加转子支撑(2)内部滚动轴承轴向预紧力,采用鼠笼力测试装置(1)测试轴向载荷的大小;驱动电机(5)驱动转盘轴(3)旋转,设置不同的转速,采用鼠笼力测试装置(1)测试叶片产生的轴向推力载荷以及不平衡量产生的离心载荷;固定驱动电机(5)转速,在转盘轴(3)施加不同质量的不平衡量,采用鼠笼力测试装置(1)测试不平衡量产生的离心载荷;固定驱动电机(2)转速,给支撑(2)中包含鼠笼力测试装置(1)的支撑采用垫片的方式,给两支撑(2)设置不对称,采用鼠笼力测试装置(1)测试支点不同中产生附加轴向以及径向载荷。

基于弹支鼠笼应变的转子支点载荷辨识实验装置及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及旋转机械中的燃气涡轮发动机领域。

背景技术

[0002] 航空发动机等燃气涡轮发动机的转子系统工况极其复杂,如叶片碰摩、飞失和转子系统过临界、发生不平衡、气流引起的交变轴向载荷等状态均会引起转子系统支点的载荷变化,只有准确的获取转子系统支点载荷才能有效对弹支鼠笼强度分析和转子振动控制,因此进行转子系统支点载荷辨识对于航空发动机等燃气涡轮发动机的转子系统研究有着重要意义。

[0003] 航空发动机的转子系统普遍采用弹性支承结构(以下简称弹支结构,如鼠笼式结构),用于综合调整临界转速保证转子系统运行稳定性,使系统变形尽量发生在弹性支承上。目前虽然有一些文献和专利针对弹支-转子系统振动研究尝试采用应变片进行弹性鼠笼结构应变或振动研究,如论文:串联式鼠笼弹性支承高周疲劳试验(杨正兵)、鼠笼式弹性支承结构参数优化设计与试验(冯国全)和专利:弹性支承器振动应变监测方法(201410282663.7)等,但多集中于径向载荷或振动,而实际工况下弹支鼠笼除了承受径向载荷,还承受如轴承轴向预紧力、叶片激励轴向推力载荷以及转盘偏置产生的轴向交变力等轴向载荷,因此仅进行径向载荷或振动的研究,一方面测试得到单一径向载荷测试包含轴向载荷的作用和影响,测试结果不准确,另一方面单纯的径向载荷测试也会使测试更加局限,难于发现并揭示转子系统中轴向载荷或振动中的问题,如叶片气流交变力的变化、转盘偏置陀螺力矩产生的轴向交变力等等。

发明内容

[0004] 本发明旨在解决上述问题,提出了基于弹支鼠笼应变的转子支点复合动态载荷辨识方法,同时提出包含基于弹支鼠笼应变的转子支点载荷辨识方法的试验装置,为燃气涡轮发动机转子系统支点载荷测试实验以及试验室中弹支-转子系统试验装置中轴向预紧、碰摩、支点松动、变轴向载荷等复杂工况条件下的载荷变化研究提供技术支撑。

[0005] 本发明为实现上述目的所采用的技术方案是:基于弹支鼠笼应变的转子支点载荷辨识实验装置,底座6上安装用作支点的两个支撑2,两个支撑2中部对称设有贯通孔洞,鼠笼8一端安装于一侧支撑2的贯通孔洞处,转盘轴3一端通过滚动轴承安装于另一侧支撑2的贯通孔洞内,转盘轴3另一端通过滚动轴承连接鼠笼8的另一端,鼠笼8与转盘轴3构成一体旋转结构,鼠笼8上设有鼠笼力测试装置1,转盘轴3一端通过联轴器4连接位于支撑2一侧的驱动电机5,转盘轴3上设有叶片。

[0006] 所述联轴器4为弹性联轴器或刚性联轴器。

[0007] 所述轴向预紧装置7为轴承端盖预紧结构或圆螺母预紧结构。

[0008] 所述鼠笼力测试装置1为水平应变计11、轴向应变计12和垂直应变计13,水平应变计11和垂直应变计13设置于鼠笼8的y方向和z方向笼条根部,轴向应变计12设置于与水平

应变计11和轴向应变计12相对应笼条的中部位置。

[0009] 所述水平应变计11、轴向应变计12和垂直应变计13为电阻感应式传感器。

[0010] 所述支撑2的贯通孔洞处安装轴向预紧装置7。

[0011] 基于弹支鼠笼应变的转子支点载荷辨识方法,包括以下步骤:

[0012] 步骤一,鼠笼在复合载荷条件下的敏感性分析,采用有限元方法分析鼠笼在轴向载荷和径向载荷条件下应变特征,为传感器布置提供参考依据;

[0013] 步骤二,鼠笼力测试装置1传感器布置,在鼠笼8的y方向和z方向笼条根部分别布置水平应变计11、垂直应变计13,分别用于测试y方向和z方向载荷的产生的应变,在与水平应变计11、垂直应变计13相对应笼条的中部位置布置轴向应变计12;

[0014] 步骤三,力参数静态标定,在鼠笼8的x、y方向施加不同大小的静态载荷,分别获得鼠笼力测试装置1在x、y方向应变的实验数据,将得到的多组数据采用最小二乘法数据拟合方法,则测试装置1轴向载荷作用下水平应变计11、轴向应变计12在x、y方向系数分别为 $K_{x11}=K_{x12}=F_{x0}/\varepsilon_{x11}=F_{x0}/\varepsilon_{x12}$;径向载荷作用下水平应变计11、轴向应变计12在x、y方向系数分

别为

$$\begin{aligned} K_{y11} &= F_{y0}/\varepsilon_{x11} \\ K_{y12} &= F_{y0}/\varepsilon_{y12} \end{aligned}$$

[0015] 步骤四,力参数动态辨识,实际在轴向、径向复合载荷作用下水平应变计11、轴向应变计12测试得到的应变分别为 ε_{11} 、 ε_{12} ,则

$$[0016] \quad \begin{cases} \varepsilon_{11} = \varepsilon_{x11} + \varepsilon_{y11} & (1) \\ \varepsilon_{12} = \varepsilon_{x12} + \varepsilon_{y12} & (2) \\ F_y = K_{y12}\varepsilon_{x12} = K_{y12}\varepsilon_{y12} & (3) \\ F_x = K_{x11}\varepsilon_{x11} = K_{x12}\varepsilon_{x12} & (4) \end{cases}$$

[0017] 式中, ε_{x11} 、 ε_{y11} 分别为水平应变计11在轴向、径向载荷 F_x 、 F_y 作用影响下产生的应变值, ε_{x12} 、 ε_{y12} 分别为轴向应变计12在轴向、径向载荷 F_x 、 F_y 作用影响下产生的应变值。通过求解方程组,分别求解得出 ε_{x11} 、 ε_{y11} 、 ε_{x12} 、 ε_{y12} ,然后代入方程(3)、(4)即可辨识出轴向、径向载荷 F_x 、 F_y 。x、z方向的静态标定与动态辨识与x、y方向的相同。

[0018] 所述步骤四中,通过轴向预紧装置7施加转子支撑2内部滚动轴承轴向预紧力,采用鼠笼力测试装置1测试轴向载荷的大小;驱动电机5驱动转盘轴3旋转,设置不同的转速,采用鼠笼力测试装置1测试叶片产生的轴向推力载荷以及不平衡量产生的离心载荷;固定驱动电机5转速,在转盘轴3施加不同质量的不平衡量,采用鼠笼力测试装置1测试不平衡量产生的离心载荷;固定驱动电机2转速,给支撑2中包含鼠笼力测试装置1的支撑采用垫片的方式,给两支撑2设置不对称,采用鼠笼力测试装置1测试支点不同中产生附加轴向以及径向载荷。

[0019] 本发明实现了弹支-转子系统支点的径向、轴向载荷等复合载荷测试与辨识;采用解耦分解方法,避免径向、轴向载荷耦合影响,辨识测试结果更加准确;本发明的试验装置结构简单,能够模拟轴承预紧状态、转子不平衡、叶片轴向推动载荷、支点不对中等复杂工况条件下的实验,对于复杂工况条件下燃气涡轮发动机转子系统支点载荷变化研究提供技术支持。

附图说明

- [0020] 图1是本发明基于弹支鼠笼应变的转子支点载荷辨识方法的试验装置主视结构图；
- [0021] 图2是本发明基于弹支鼠笼应变的转子支点载荷辨识方法总体原理图；
- [0022] 图3(a)是本发明的测试传感器布置结构图；
- [0023] 图3(b)是图2中A部分的局部放大结构图；
- [0024] 图4(a)是本发明鼠笼的轴向载荷作用示意图；
- [0025] 图4(b)是本发明鼠笼的径向载荷作用示意图；
- [0026] 图5(a)是本发明鼠笼的轴向载荷标定计算曲线图；
- [0027] 图5(b)是本发明鼠笼的径向载荷标定计算曲线图；
- [0028] 图中：1、鼠笼力测试装置，11、水平应变计，12、轴向应变计，13、垂直应变计，2、支撑，3、转盘轴，4、联轴器，5、驱动电机，6、底座，7、轴向预紧装置，8、鼠笼。

具体实施方式

[0029] 本发明的基于弹支鼠笼应变的转子支点载荷辨识方法的试验装置结构如图1所示，包括鼠笼力测试装置1、支点2、转盘轴3、联轴器4、驱动电机5、底座6以及轴向预紧装置7。鼠笼力测试装置1安装在鼠笼上，用于测试复合载荷作用下各方向载荷大小，试验装置至少具有鼠笼及其鼠笼力测试装置1；用作支点的支撑2中部有一贯通孔洞与弹性鼠笼8相连接，并采用滚动轴承支撑，支撑2下部通过螺栓与底座6固定连接；支撑2至少具有两个，两个支撑2通过滚动轴承与转盘轴3连接，支撑转盘轴3旋转。转盘轴3为阶梯形转盘轴，轴端为圆柱形细长结构，用于安装轴承以及锁紧螺母等，中部为转盘，转盘上设有叶片，用于模拟航空发动机叶片旋转时产生推力；驱动电机5位于支撑2一侧，通过联轴器4与转盘轴3连接，带动转盘轴3旋转，联轴器4为弹性联轴器或刚性联轴器。驱动电机5通过螺栓与底座6固定连接，轴向预紧装置7用于对两支撑2内部滚动轴承产生轴向预紧力，轴向预紧装置7为轴承端盖预紧方式或圆螺母预紧方式。

[0030] 一种基于弹支鼠笼应变的转子支点载荷辨识方法，包括鼠笼敏感性分析、传感器布置、力参数静态标定和力参数动态辨识；

[0031] 鼠笼敏感性分析用于计算分析鼠笼在轴向、径向载荷条件下的鼠笼笼条的应变分布状态，获取不同位置对轴向、径向载荷的敏感性，为应变计的位置布置提供参考；传感器布置在鼠笼不同笼条处以及笼条不同位置进行传感器布置，获取不同轴向载荷或径向载荷条件下的应变信息；力参数静态标定用于在静态条件下标定轴向、径向等各个方向力与测试应变参数间的关系；力参数动态辨识用于在动态条件下测试复合载荷条件下的应变参数，并进行轴向、径向载荷的解耦，辨识出转子支点的载荷，避免径向、轴向载荷耦合影响，辨识测试结果更加准确。

[0032] 如图2所示，基于弹支鼠笼应变的转子支点载荷辨识方法步骤如下：

[0033] 步骤一，鼠笼在复合载荷条件下的敏感性分析，采用有限元方法分析鼠笼在轴向载荷和径向载荷条件下应变特征，为传感器布置提供参考依据。鼠笼笼条在径向载荷作用下，笼条根部应变大，笼条中间中应变变化很小，远远小于根部的应变；而鼠笼笼条在轴向载荷作用下，整个笼条的应变呈均匀分布。通过分析可以得出，利用笼条中间位置应变表征

轴向载荷,而采用笼条根部应变表征径向载荷。

[0034] 步骤二,传感器布置,结合图3a和图3b,在鼠笼力测试装置1在y方向和z方向笼条根部分别粘贴布置水平应变计11、垂直应变计13,分别用于测试y方向和z方向载荷的产生的应变,所述应变计为单向应变测试,避免其他方向应变干扰,优先选用电阻应变式传感器;在与之相对应笼条的中部位置粘帖布置轴向应变计12,主要用于测试轴向载荷作用下应变变化。

[0035] 步骤三,力参数静态标定,结合图4a和图4b,本例以x、y方向为案例来说明轴向载荷和径向载荷作用,鼠笼的一侧端面固定,另一侧端面采用拉力计或者重物砝码的方式的x、y方向施加不同大小的静态载荷,分别获得鼠笼力测试装置1在x、y方向应变的实验数据。

[0036] 结合图5a和图5b,将得到的多组数据采用最小二乘法数据拟合方法,则测试装置1轴向载荷作用下水平应变计11、轴向应变计12在x、y方向系数分别为 $K_{x11}=K_{x12}=F_{x0}/\varepsilon_{x11}=F_{x0}/\varepsilon_{x12}$;径向载荷作用下水平应变计11、轴向应变计12在x、y方向系数分别为

$$K_{y11}=F_{y0}/\varepsilon_{x11}$$

$$K_{y12}=F_{y0}/\varepsilon_{y12}。$$

[0037] 步骤四,力参数动态辨识,实际在轴向、径向复合载荷作用下水平应变计11、轴向应变计12测试得到的应变分别为 ε_{11} 、 ε_{12} ,则

$$[0038] \begin{cases} \varepsilon_{11} = \varepsilon_{x11} + \varepsilon_{y11} (1) \\ \varepsilon_{12} = \varepsilon_{x12} + \varepsilon_{y12} (2) \\ F_y = K_{y12} \varepsilon_{x12} = K_{y12} \varepsilon_{y12} (3) \\ F_x = K_{x11} \varepsilon_{x11} = K_{x12} \varepsilon_{x12} (4) \end{cases}$$

[0039] 式中, ε_{x11} 、 ε_{y11} 分别为水平应变计11在轴向、径向载荷 F_x 、 F_y 作用影响下产生的应变值, ε_{x12} 、 ε_{y12} 分别为轴向应变计12在轴向、径向载荷 F_x 、 F_y 作用影响下产生的应变值。通过求解方程组,分别求解得出 ε_{x11} 、 ε_{y11} 、 ε_{x12} 、 ε_{y12} ,然后代入方程(3)、(4)即可辨识出轴向、径向载荷 F_x 、 F_y 。

[0040] 所述x、z方向的静态标定与动态辨识与x、y方向的相同。

[0041] 基于试验装置可实现的转子支点载荷辨识实验如下:

[0042] 试验1:通过轴向预紧装置7施加转子支点2内部轴承施加轴向预紧力,采用鼠笼力测试装置1测试轴向载荷的大小;

[0043] 试验2:驱动电机5驱动转盘轴3旋转,设置不同的转速,采用鼠笼力测试装置1测试叶片产生的轴向推力载荷以及不平衡量产生的离心载荷;

[0044] 试验3:固定驱动电机5转速,在转盘轴3施加不同质量的不平衡量,采用鼠笼力测试装置1测试不平衡量产生的离心载荷;

[0045] 试验4:固定驱动电机5转速,给支点2中包含鼠笼力测试装置1的支点采用垫片的方式,给两支点设置不对称,采用鼠笼力测试装置1测试支点不同中产生附加轴向以及径向载荷。

[0046] 本发明是通过实施例进行描述的,本领域技术人员知悉,在不脱离本发明的精神和范围的情况下,可以对这些特征和实施例进行各种改变或等效替换。另外,在本发明的教

导下,可以对这些特征和实施例进行修改以适应具体的情况及材料而不会脱离本发明的精神和范围。因此,本发明不受此处所公开的具体实施例的限制,所有落入本申请的权利要求范围内的实施例都属于本发明的保护范围。

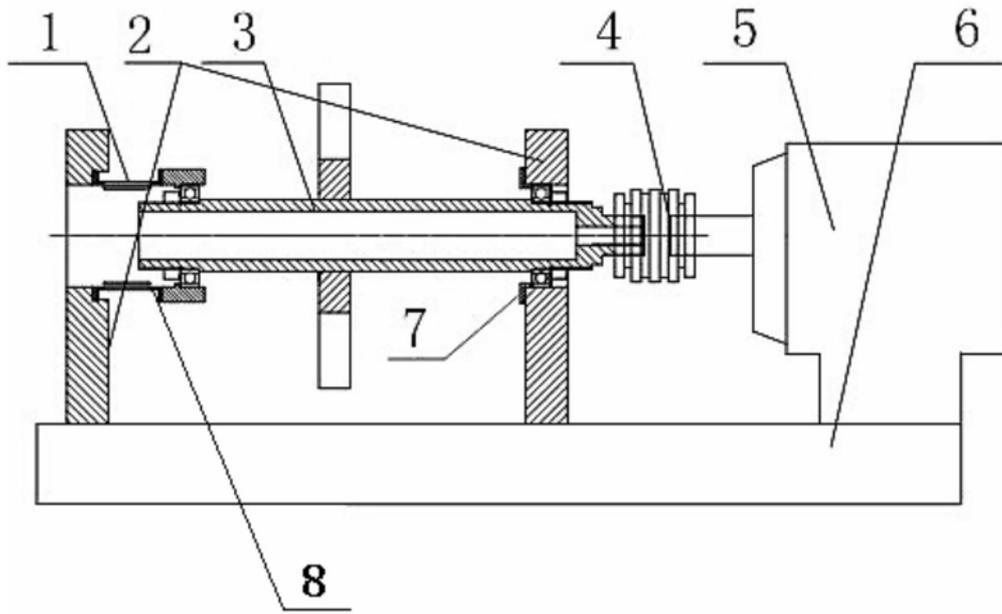


图1

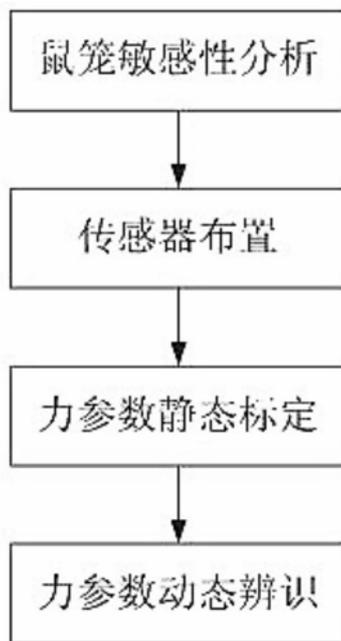


图2

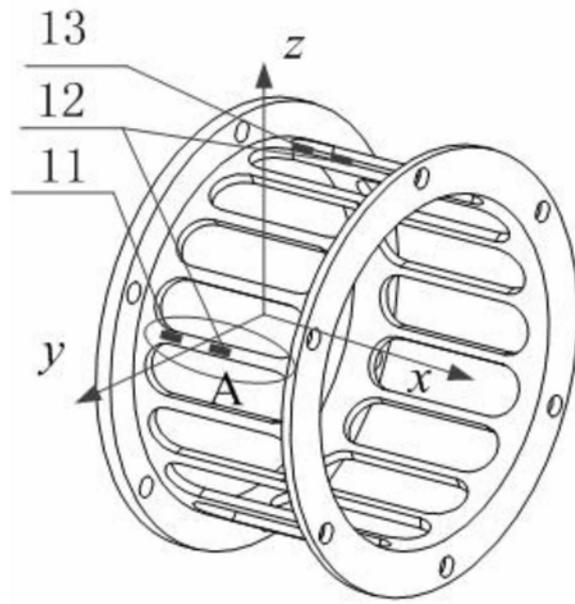


图3a

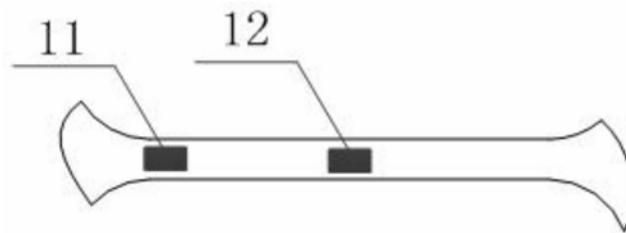


图3b

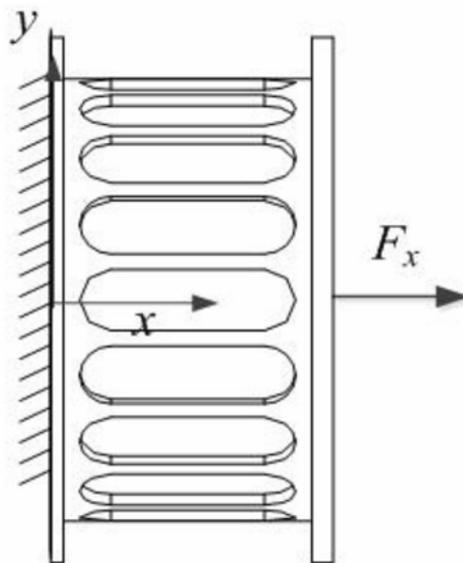


图4a

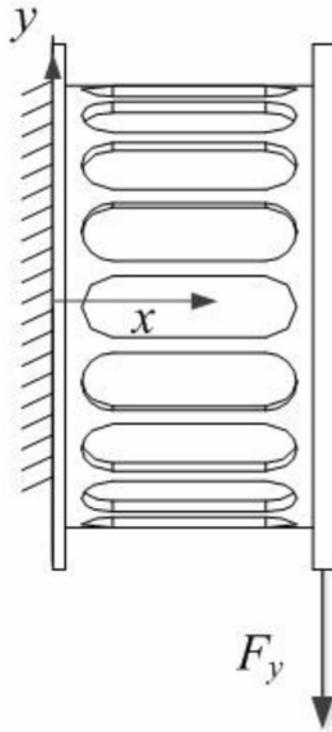


图4b

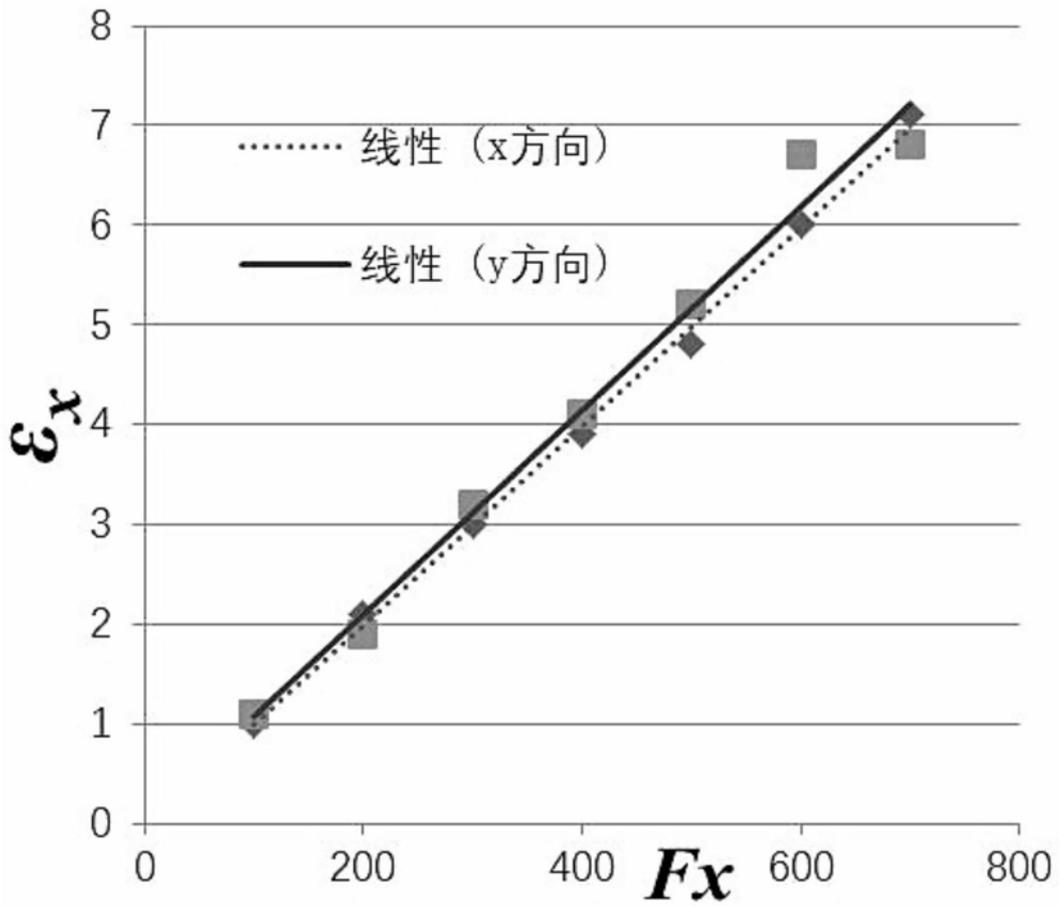


图5a

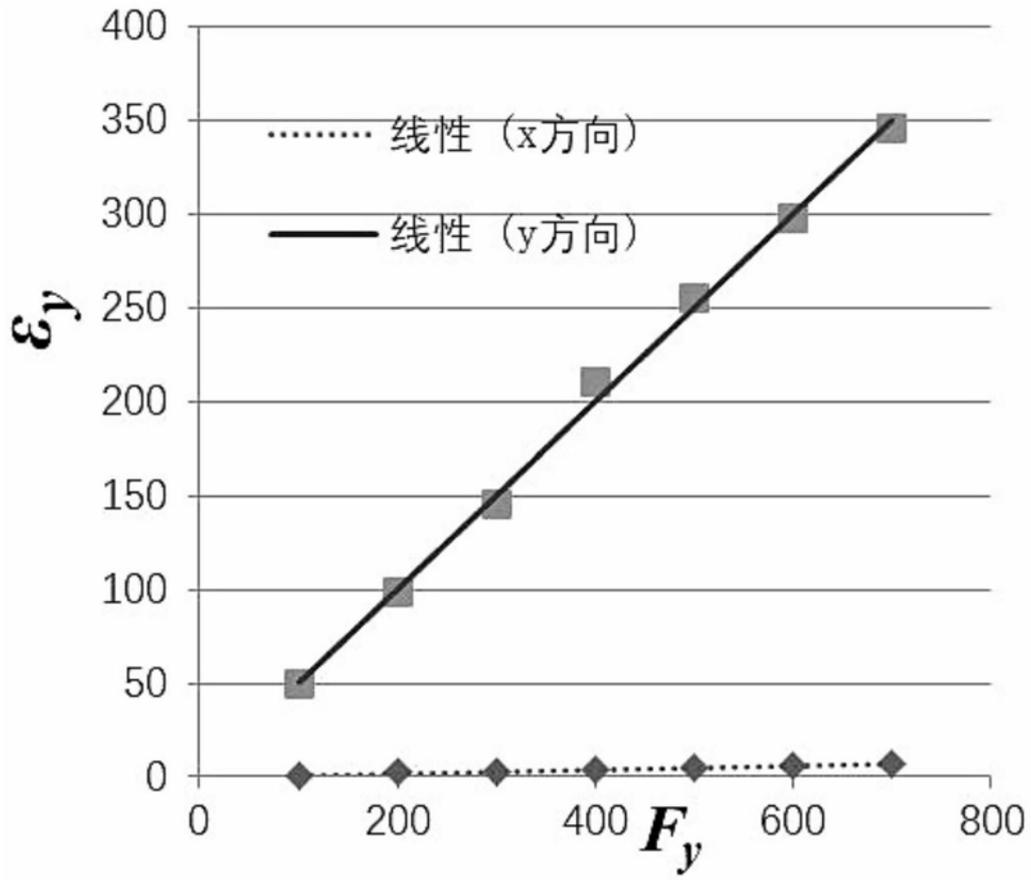


图5b