



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113049217 A

(43) 申请公布日 2021.06.29

(21) 申请号 202110331761.5

(22) 申请日 2021.03.29

(71) 申请人 中国空气动力研究与发展中心设备
设计与测试技术研究所

地址 621000 四川省绵阳市涪城区二环路
南段6号

(72) 发明人 廖文林 陈振华 王超琪 张志秋
张浩

(74) 专利代理机构 绵阳山之南专利代理事务所
(普通合伙) 51288

代理人 沈强

(51) Int. Cl.

G01M 9/06 (2006.01)

G01K 11/32 (2021.01)

G01B 11/16 (2006.01)

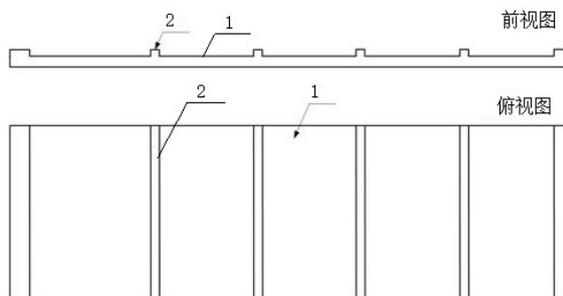
权利要求书2页 说明书4页 附图2页

(54) 发明名称

一种大型风洞柔板结构多状态信息的动态
监测方法

(57) 摘要

本发明提供了一种大型风洞柔板结构多状态信息的动态监测方法,该方案根据柔板结构的力学仿真结果,确定柔板结构应力较大区域,在相关区域设置应变和温度监测点,并利用光栅光纤传感技术构建成结构状态监测网络;通过传感器网络提取监测点的动态温度和应变数据,并对动态应变数据进行分析和处理,得到监测点的振动和变形信息;基于监测点的数据,利用插值算法计算得到整个柔板结构的应变、温度、振动和变形信息。本发明具有多参数测量、布线简单、成本低、可实现大尺寸结构状态监测等优点。



1. 一种大型风洞柔板结构多状态信息的动态监测方法,其特征是:包括有以下步骤:

(1) 基于有限元分析结果确定监测点:利用有限元分析软件对柔板结构进行分析,获得柔板结构在风洞运行时的应变云图,查找应变云图中应变较大的点,作为需要重点监测的点;

(2) 构建光栅光纤传感器网络:将光栅光纤应变传感器设置在步骤(1)中确定的重点监测点上,同时在光栅光纤应变传感器旁边布设光栅光纤温度传感器,从而构建可获取温度和应变数据的光栅光纤传感器网络;

(3) 动态温度云图和应变云图的重构:提取光栅光纤传感器网络的动态温度和应变数据,根据传感器特性参数、测试环境等因素实时修正监测数据精度,并利用插值算法重构得到整个柔板结构的动态温度云图和应变云图;

(4) 结构振动信息的重构:基于步骤(3)中修正后的动态应变数据,对每个测量点的动态应变数据进行频谱分析方法,获得各监测点处的结构振动频率信息;

(5) 结构动态变形信息的重构:构建应变-变形的函数关系,利用步骤(3)中修正后的动态应变数据,计算得到每个测量点的动态变形数据,并利用插值算法重构得到整个柔板结构的变形云图。

2. 根据权利要求1所述的一种大型风洞柔板结构多状态信息的动态监测方法,其特征是:所述步骤(1)的详细步骤包括:

(1.1) 建立柔板结构的有限元动力学模型,并根据柔板结构在风洞运行中的工况,将柔板有限元模型、边界条件和气动载荷载入动力学仿真软件中,模拟计算获得柔板结构的应变云图;

(1.2) 设定柔板结构沿着风洞气流方向的中心线为中心轴线,并在柔板平面内中心轴线两侧对称标记出若干条轴线,基于步骤(1.1)计算获得的应变云图,沿着中心轴线和标记的轴线查找应力较大的点,作为需要重点监测的点,并确定监测点的位置坐标。

3. 根据权利要求1所述的一种大型风洞柔板结构多状态信息的动态监测方法,其特征是:所述步骤(2)的详细步骤包括:

(2.1) 在各个监测点处,沿着轴线方向和垂直于轴线方向的横向方向分别设置一个光栅光纤应变传感器,用于测量对应测量点处轴向和横向的应变;

(2.2) 在各监测点处的两个应变传感器之间设置一个光栅光纤温度传感器,用于测量对应监测点处的温度;

(2.3) 根据一条光栅光纤上制备的传感器数量,用若干光栅光纤将所有监测点的传感器串联起来,分别接入解调仪的测量通道,从而组成可以提取温度和应变信息的传感器网络。

4. 根据权利要求1所述的一种大型风洞柔板结构多状态信息的动态监测方法,其特征是:所述步骤(3)的详细步骤包括:

(3.1) 实时提取光栅光纤传感器网络的动态温度数据,对于每个测量时刻 t ,将监测点处的温度记为 $T(x_i, y_j, t)$,其中 (x_i, y_j) 为第 i 行、第 j 列监测点处的坐标值;

(3.2) 实时提取光栅光纤传感器网络的动态应变数据,对于每个测量时刻 t ,利用传感器特性参数和步骤(3.1)获得的 $T(x_i, y_j, t)$ 对监测点 (x_i, y_j) 处的应变数据进行实时修正,从而获得对应监测点处的轴向和横向方向的应变数据 $\varepsilon_x(x_i, y_j, t)$ 、 $\varepsilon_y(x_i, y_j, t)$;

(3.3) 基于实时获得的测量点处的动态应变和温度数据,采用三次样条插值方法对数据进行插值处理,获得每个监测时刻 t 时的整个柔板结构的动态温度云图 $T(x,y,t)$ 和应变云图 $\varepsilon_x(x,y,t)$ 、 $\varepsilon_y(x,y,t)$,其中 (x,y) 为柔板结构的坐标点。

5. 根据权利要求1所述的一种大型风洞柔板结构多状态信息的动态监测方法,其特征是:所述步骤(4)中的动态应变数据进行频谱分析方法具体是指将各测量点处时刻 t 之前的1000个采样应变数据进行频谱密度分析,获得各测量点处时刻 t 时的振动频率 $F(x_i,y_j,t)$ 。

6. 根据权利要求1所述的一种大型风洞柔板结构多状态信息的动态监测方法,其特征是:所述步骤(5)中结构动态变形信息重构过程中,由于喷管柔板结构的成型主要是沿着垂直柔板平面的方向(定义为 z 轴)发生变形,且柔板同一横向方向上各点的变形基本相同,那么,对于柔板上同一轴线,柔板结构的变形可以简化成为沿 z 轴的一维变形,重构过程的详细步骤包括:

(5.1) 根据步骤(1)的柔板结构动力学分析结果中的结构变形和应变数据,拟合出若干轴线上的变形-应变函数关系,其中应变为自变量,变形为因变量,表示为:

$$z=f(\varepsilon_x)=p_5*\varepsilon_x^5+p_4*\varepsilon_x^4+p_3*\varepsilon_x^3+p_2*\varepsilon_x^2+p_1*\varepsilon_x^1+p_0$$

其中, ε_x 为沿着轴线 X 方向的应变, z 为变形量, P_0,P_1,\dots,P_5 为多项式拟合的参数;

(5.2) 基于步骤(3.2)获得的轴向应变数据 $\varepsilon_x(x_i,y_j,t)$,将应变数据沿着第1,2,3... j ... N 条轴线分组成为 N 组数据,通过(5.1)中的变形-应变函数关系方程计算第1,2,3... j ... N 条轴线的变形数据,再利用三次样条插值方法获得整个结构的变形云图 $z(x,y,t)$ 。

一种大型风洞柔板结构多状态信息的动态监测方法

技术领域

[0001] 本发明涉及的是风洞结构状态健康监测技术领域,尤其是一种大型风洞柔板结构多状态信息的动态监测方法。

背景技术

[0002] 喷管段是风洞的核心部段,直接影响风洞试验的流场品质,其中喷管段型面的精确成型是获得高性能流场的关键。大型风洞喷管具有结构尺寸大、载荷大、成型精度高和执行机构多等特点,甚至要求在吹风过程中调节喷管型面。喷管型面的成型需要通过柔板结构的变形来实现,在此过程中,柔板需要承受执行机构的推(拉)力、机械结构的自重和气动载荷,容易产生局部应力集中,尤其是执行机构发生故障时,有可能对柔板产生损伤,甚至带来破坏性的影响。实现大型柔板结构状态信息的动态检测,对于风洞安全可靠运行具有重要意义。

[0003] 在现有柔板结构的状态监测过程中,通常采用传统的应力片、热电偶、加速度计等对局部点的应力、温度、振动等多状态信息进行监测,可以满足小型风洞柔板结构状态监测的要求。然而,对于大型风洞柔板结构,由于结构尺寸较大,需要重点监测的区域多,如果还采用传统的检测技术,需要安装的传感器数量将数以百计,不仅工作量大、布线繁杂、可靠性低,还存在测量区域有限的问题。因此,需要开展新型传感技术的研究,以解决大尺寸风洞柔板结构多状态信息动态检测的难题。

[0004] 针对上述问题,本专利基于光纤传感器网络技术,开展柔板结构多状态信息的动态检测方法的研究,以获取应力/应变、温度和振动等结构状态信息,实现大型风洞柔板结构的结构状态监测。

发明内容

[0005] 本发明所要解决的技术问题是:针对现有技术的上述问题,基于光栅光纤传感器网络,提供一种多参量、布线简单、适合大尺度风洞柔板结构的状态信息监测的动态检测方法,可以同时实现温度、应变、振动和变形的监测。

[0006] 本发明提出的上述技术方案的基本原理是:首先,采用动力学仿真方法获得风洞柔板的应变云图,在应变较大的区域设置光栅光纤应变传感器和温度传感器,从而构建成光栅光纤传感器网络;其次,通过光栅光纤传感器提取的监测点处的动态温度和应变数据,并利用插值算法得到柔板结构的温度云图和应变云图;然后,利用频谱分析对动态应变数据进行处理,获得柔板结构的振动频率信息;最后,通过构建应变-变形函数关系,得到每个监测点的变形量,再利用插值算法得到重构的变形云图。

[0007] 本方案是通过如下技术措施来实现的:

一种大型风洞柔板结构多状态信息的动态监测方法,其特征是:包括有以下步骤:

(1) 基于有限元分析结果确定监测点:利用有限元分析软件对柔板结构进行分析,获得柔板结构在风洞运行时的应变云图,查找应变云图中应变较大的点,作为需要重点

监测的点；

(2) 构建光栅光纤传感器网络:将光栅光纤应变传感器设置在步骤(1)中确定的重点监测点上,同时在光栅光纤应变传感器旁边布设光栅光纤温度传感器,从而构建成可获取温度和应变数据的光栅光纤传感器网络;

(3) 动态温度云图和应变云图的重构:提取光栅光纤传感器网络的动态温度和应变数据,根据传感器特性参数、测试环境等因素实时修正监测数据精度,并利用插值算法重构得到整个柔板结构的动态温度云图和应变云图;

(4) 结构振动信息的重构:基于步骤(3)中修正后的动态应变数据,对每个测量点的动态应变数据进行频谱分析方法,获得各监测点处的结构振动频率信息;

(5) 结构动态变形信息的重构:构建应变-变形的函数关系,利用步骤(3)中修正后的动态应变数据,计算得到每个测量点的动态变形数据,并利用插值算法重构得到整个柔板结构的变形云图。

[0008] 作为本方案的优选:步骤(1)的详细步骤包括:

(1.1) 建立柔板结构的有限元动力学模型,并根据柔板结构在风洞运行中的工况,将柔板有限元模型、边界条件和气动荷载载入动力学仿真软件中,模拟计算获得柔板结构的应变云图;

(1.2) 设定柔板结构沿着风洞气流方向的中心线为中心轴线,并在柔板平面内中心轴线两侧对称标记出若干条轴线,基于步骤(1.1)计算获得的应变云图,沿着中心轴线和标记的轴线查找应力较大的点,作为需要重点监测的点,并确定监测点的位置坐标。

[0009] 作为本方案的优选:步骤(2)的详细步骤包括:

(2.1) 在各个监测点处,沿着轴线方向和垂直于轴线方向的横向方向分别设置一个光栅光纤应变传感器,用于测量对应测量点处轴向和横向的应变;

(2.2) 在各监测点处的两个应变传感器之间设置一个光栅光纤温度传感器,用于测量对应监测点处的温度;

(2.3) 根据一条光栅光纤上制备的传感器数量,用若干光栅光纤将所有监测点的传感器串联起来,分别接入解调仪的测量通道,从而组成可以提取温度和应变信息的传感器网络。

[0010] 作为本方案的优选:步骤(3)的详细步骤包括:

(3.1) 实时提取光栅光纤传感器网络的动态温度数据,对于每个测量时刻 t ,将监测点处的温度记为 $T(x_i, y_j, t)$,其中 (x_i, y_j) 为第 i 行、第 j 列监测点处的坐标值;

(3.2) 实时提取光栅光纤传感器网络的动态应变数据,对于每个测量时刻 t ,利用传感器特性参数和步骤(3.1)获得的 $T(x_i, y_j, t)$ 对监测点 (x_i, y_j) 处的应变数据进行实时修正,从而获得对应监测点处的轴向和横向方向的应变数据 $\varepsilon_x(x_i, y_j, t)$ 、 $\varepsilon_y(x_i, y_j, t)$;

(3.3) 基于实时获得的测量点处的动态应变和温度数据,采用三次样条插值方法对数据进行插值处理,获得每个监测时刻 t 时的整个柔板结构的动态温度云图 $T(x, y, t)$ 和应变云图 $\varepsilon_x(x, y, t)$ 、 $\varepsilon_y(x, y, t)$,其中 (x, y) 为柔板结构的坐标点。

[0011] 作为本方案的优选:步骤(4)中的动态应变数据进行频谱分析方法具体是指将各测量点处时刻 t 之前的1000个采样应变数据进行频谱密度分析,获得各测量点处时刻 t 时的振动频率 $F(x_i, y_j, t)$ 。

[0012] 作为本方案的优选:步骤(5)中结构动态变形信息重构过程中,由于喷管柔板结构的成型主要是沿着垂直柔板平面的方向(定义为 z 轴)发生变形,且柔板同一横向方向上各点的变形基本相同,那么,对于柔板上同一轴线,柔板结构的变形可以简化成为沿 z 轴的一维变形,重构过程的详细步骤包括:

(5.1) 根据步骤(1)的柔板结构动力学分析结果中的结构变形和应变数据,拟合出若干轴线上的变形-应变函数关系,其中应变为自变量,变形为因变量,表示为:

$$z=f(\varepsilon_x)=p_5*\varepsilon_x^5+p_4*\varepsilon_x^4+p_3*\varepsilon_x^3+p_2*\varepsilon_x^2+p_1*\varepsilon_x^1+p_0$$

其中, ε_x 为沿着轴线 X 方向的应变, z 为变形量, P_0,P_1,\dots,P_5 为多项式拟合的参数;

(5.2) 基于步骤(3.2)获得的轴向应变数据 $\varepsilon_x(x_i,y_j,t)$,将应变数据沿着第1,2,3... j ... N 条轴线分组成为 N 组数据,通过(5.1)中的变形-应变函数关系方程计算第1,2,3... j ... N 条轴线的变形数据,再利用三次样条插值方法获得整个结构的变形云图 $z(x,y,t)$ 。

[0013] 本发明提出的上述技术方案的基本原理是:首先,采用动力学仿真方法获得风洞柔板的应变云图,在应变较大的区域设置光栅光纤应变传感器和温度传感器,从而构建成光栅光纤传感器网络;其次,通过光栅光纤传感器提取的监测点处的动态温度和应变数据,并利用插值算法得到柔板结构的温度云图和应变云图;然后,利用频谱分析对动态应变数据进行处理,获得柔板结构的振动频率信息;最后,通过构建应变-变形函数关系,得到每个监测点的变形量,再利用插值算法得到重构的变形云图。

[0014] 本方案的有益效果可根据对上述方案的叙述得知,由于在该方案中采用的光栅光纤传感器布线简单、体积小、可实现大尺寸结构的状态监测,可以解决以往风洞柔板结构采用应变片、热电偶等传感器所带来的布线繁杂、工作量大、监测区域有限的难题。同时,本方案中仅用一种光栅光纤传感器就能够实现温度、应变、振动和变形等多结构状态信息的监测,大大降低了柔板结构监测系统的成本。

[0015] 由此可见,本发明与现有技术相比,具有实质性特点和进步,其实施的有益效果也是显而易见的。

附图说明

[0016] 图1 柔板结构示意图。

[0017] 图2 光栅光纤传感器的设置分布图。

[0018] 图3 运用插值算法得到的柔板结构温度云图。

[0019] 图4 运用插值算法得到的柔板结构应变云图。

[0020] 图5 动态应变数据的功率谱分析结果。

[0021] 图6 运用插值算法得到的柔板结构变形云图。

[0022] 图中,1为柔板;2为筋板;3为轴向应变传感器;4为横向应变传感器;5为温度传感器。

具体实施方式

[0023] 本说明书中公开的所有特征,或公开的所有方法或过程中的步骤,除了互相排斥的特征和/或步骤以外,均可以以任何方式组合。

[0024] 本说明书(包括任何附加权利要求、摘要和附图)中公开的任一特征,除非特别叙

述,均可被其他等效或具有类似目的的替代特征加以替换。即,除非特别叙述,每个特征只是一系列等效或类似特征中的一个例子而已。

[0025] 实施例:

本实施例中,待监测的风洞柔板尺寸为长917mm×宽300mm,参见图1所示,柔板背面设置有6条筋板,且左端固定连接在支撑框架上。根据仿真分析获得的应变云图表明筋板附近区域是应力集中较大的区域,因此将光栅光纤传感器设置在了筋板的两侧。参见图2所示,轴向应变传感器、横向应变传感器和温度传感器都设置了30个,整个光纤传感器网络总设置了90个传感器。

[0026] 本实施例中,通过提取光栅光纤传感器网络的动态温度,利用插值算法重构得到的温度云图如图3所示;提取光栅光纤传感器网络的动态应变数据,并根据传感器特性参数、测试环境等因素实时修正监测数据精度,获得的温度云图如图4所示;基于修正后的动态应变数据,对每个测量点的动态应变数据进行频谱分析方法,获得的监测点处的结构振动频率如图5所示;利用应变-变形的函数关系和动态应变数据,计算得到每个测量点的动态变形数据,并利用插值算法重构得到柔板结构的变形云图如图6所示。

[0027] 本发明并不局限于前述的具体实施方式。本发明扩展到任何在本说明书中披露的新特征或任何新的组合,以及披露的任一新的方法或过程的步骤或任何新的组合。

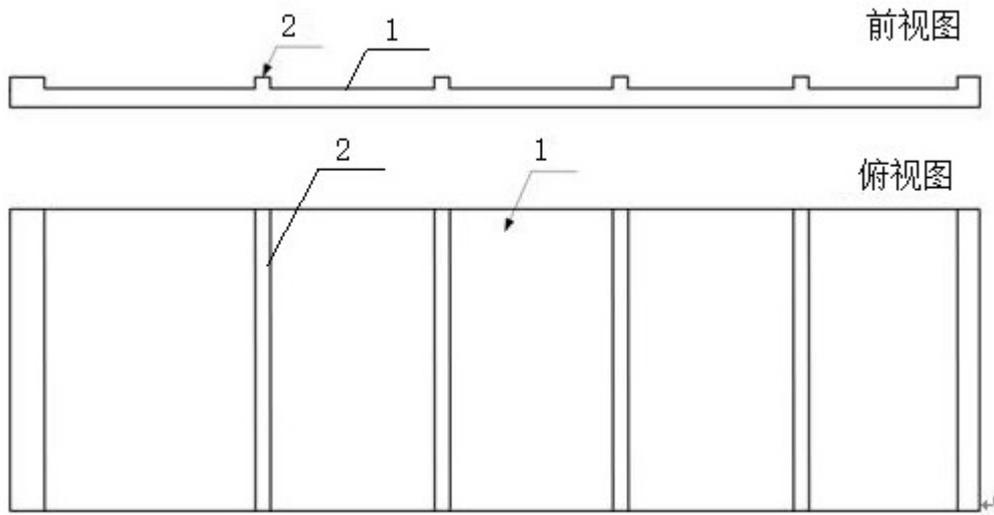


图1

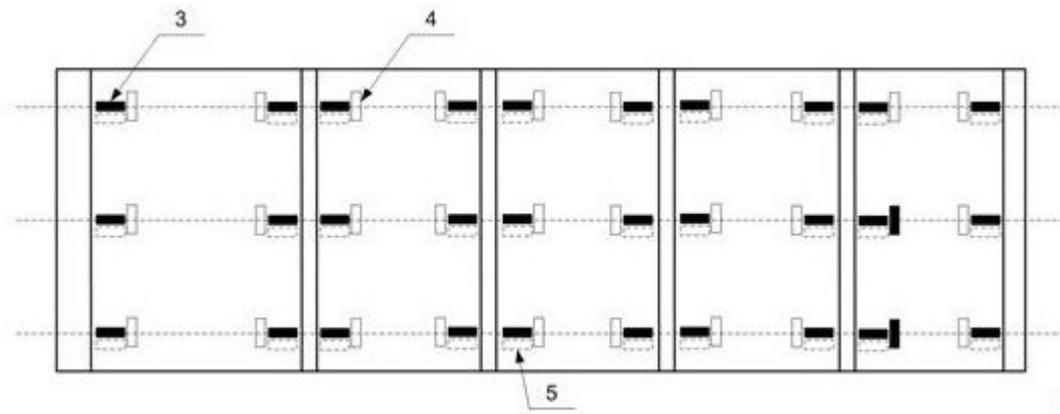


图2

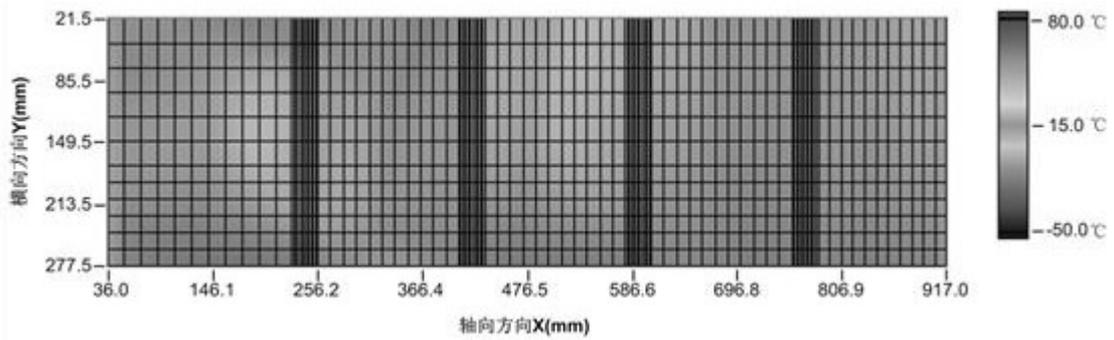


图3

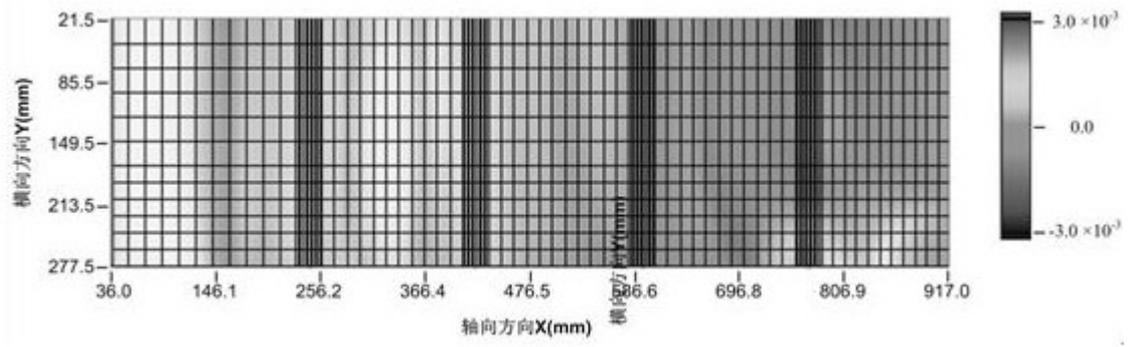


图4

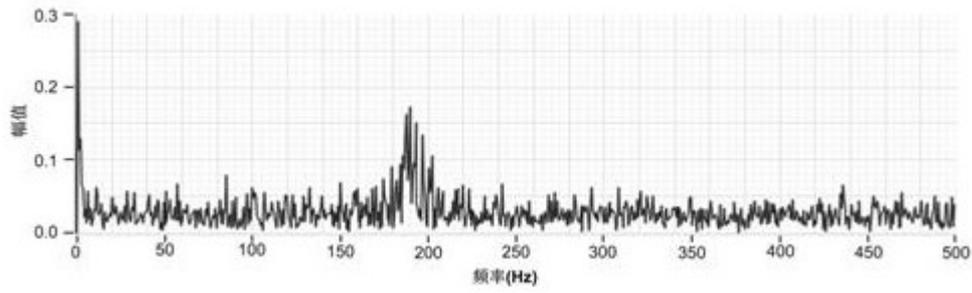


图5

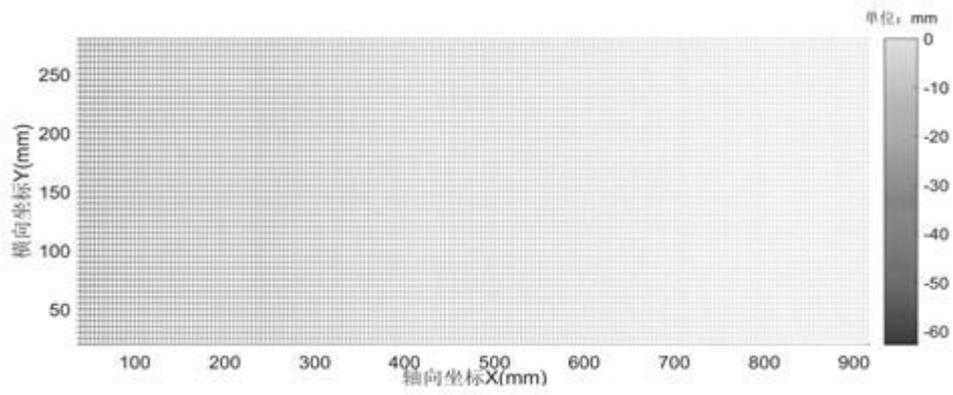


图6