



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107314738 B

(45)授权公告日 2019.08.30

(21)申请号 201710442137.6

(22)申请日 2017.06.13

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 107314738 A

(43)申请公布日 2017.11.03

(73)专利权人 中国科学院力学研究所

地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

(72)发明人 苑朝凯 姜宗林 陈宏 俞鸿儒

(74)专利代理机构 北京和信华成知识产权代理

事务所(普通合伙) 11390

代理人 胡剑辉

(51) Int. Cl.

G01B 7/06(2006.01)

G01M 9/06(2006.01)

(56)对比文件

CN 102928189 A, 2013.02.13,

CN 205525006 U, 2016.08.31,

CN 103596409 A, 2014.02.19,

CN 203015369 U, 2013.06.19,

US 5452866 A, 1995.09.26,

CN 101639420 A, 2010.02.03,

审查员 赵令令

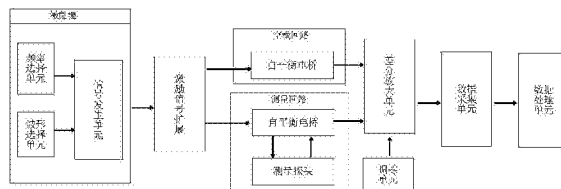
权利要求书2页 说明书10页 附图7页

(54)发明名称

高超声速溢流液膜冷却膜厚测量实验系统及数据处理方法

(57)摘要

本发明提供一种高超声速溢流液膜冷却膜厚测量实验系统及数据处理方法,该实验系统包括对溢流液膜厚度进行测量的检测装置,和用于对检测装置所使用的电导探头响应特性进行标定的标定装置,以及与实验模型的溢流孔相连,用于将冷却剂注入到模型表面形成液膜的注入装置。本发明的标定装置可以通过调节块实现任意液膜厚度调节,检测装置能够实现不同厚度液膜的测量,而注入装置可以保证储液器中的冷却剂以溢流而不是射流方式流出。本发明的数据处理方法能够根据激励信号的峰谷值精确计算出当前液膜的厚度。



1. 高超声速溢流液膜冷却膜厚测量实验系统,其特征在于,包括:
 - 检测装置,对溢流液膜厚度进行测量,包括:
 - 激励源,包括产生电导探头所需激励信号的信号发生单元,和控制激励信号频率的频率选择单元,以及控制激励信号类型的波形选择单元;
 - 激励信号扩展单元,接受所述激励源的激励信号,并产生频率、相位、幅值完全相同的激励信号进行输出;
 - 测量回路,接收所述激励信号扩展单元输出的激励信号,再将测量结果输出,包括电导探头和与电导探头相联的自平衡电桥;
 - 空载回路,利用自平衡电桥接收所述激励信号扩展单元输出的激励信号,其输出信号为测量过程中的电磁干扰信号;
 - 差分放大单元,包括同相比例放大器和差分比例放大器,接收所述测量回路和空载回路的信号并经过放大和差分处理后扣除电磁干扰信号;
 - 调零单元,用于控制差分放大单元的放大倍数,以消除电子元器件参数差异带来的影响,并且在调节液膜厚度为零时使输出信号幅值为零;
 - 数据采集单元,采集所述差分放大单元中符合指定要求的输出信号;
 - 数据处理单元:用于接收所述数据采集单元的输出信号并检测输出信号的峰谷值,根据峰谷值得到液膜厚度;
 - 标定装置,用于对电导探头的响应特性进行标定,包括:
 - 基座;
 - 测量架,安装在所述基座上,为U形且开口朝向水平方向;
 - 水槽,水平安装在所述测量架的下支座上,带有容纳液体的凹槽,在底部设置有安装所述电导探头的通孔;
 - 螺旋测微杆,安装在所述测量架的上支座上且与所述水槽垂直;
 - 调节块,安装在所述螺旋测微杆靠近所述水槽的一端且与所述水槽平行;
 - 注入装置,与实验模型的溢流孔相连,用于将冷却剂注入到模型表面形成液膜,包括:
 - 储液器,用于存储冷却剂;
 - 高压气源,用于推动所述储液器内的冷却剂输出;
 - 调压单元,安装在所述高压气源上,用于控制所述高压气源输入至所述储液器内的高压气体压力;
 - 电磁阀,安装在所述储液器的输液管路上,用于精确控制冷却剂注入时间;
 - 截止阀,安装在输液管路上所述电磁阀的下游,用于截止输液管路的通断;
 - 控制器,用于控制所述电磁阀的开启与关闭;
 - 流量调节单元,用于控制冷却剂的流量。
2. 根据权利要求1所述的高超声速溢流液膜冷却膜厚测量实验系统,其特征在于,所述激励信号扩展单元由两个并接的电压跟随器构成,两个电压跟随器的性能参数一致,以分别为所述空载回路和所述测量回路提供相同的激励信号。
3. 根据权利要求1所述的高超声速溢流液膜冷却膜厚测量实验系统,其特征在于,所述数据采集单元采集所述差分放大单元的输出信号时,采集频率至少不低于激励信号频率的10倍,系统带宽不低于激励信号频率的2倍。

4. 根据权利要求1所述的高超声速溢流液膜冷却膜厚测量实验系统,其特征在于,所述水槽的通孔孔位中心到所述凹槽边缘的距离至少为电导探头直径的两倍,所述水槽的凹槽深度至少为所述调节块厚度的两倍。

5. 根据权利要求1所述的高超声速溢流液膜冷却膜厚测量实验系统,其特征在于,所述螺旋测微杆包括与所述测量架固定的调节筒,安装在调节筒内的调节杆,调节调节杆升降的调节螺栓,以及将所述调节杆锁定在调节后位置的锁定装置。

6. 根据权利要求1所述的高超声速溢流液膜冷却膜厚测量实验系统,其特征在于,在所述基座上安装有调节所述基座水平的基座调节装置,所述基座调节装置有四个且分别安装在所述基座底部的四个对称位置处,包括两端带有相反螺纹的螺杆,和分别拧在螺杆两端实现支撑和固定作用的套筒;

所述测量架上安装有调节所述螺旋测微杆垂直角度的垂直调节装置,包括固定环,安装在固定环内夹持螺旋测微杆的夹持单元,所述夹持单元包括与螺旋测微杆接触的弧形板,通过万向轴与弧形板连接的液压夹持杆。

7. 根据权利要求1所述的高超声速溢流液膜冷却膜厚测量实验系统,其特征在于,所述的储液器包括:

筒体,为两端开口的管状结构,

盖板,包括分别封闭所述筒体的两端开口的上盖板和下盖板,上盖板上设置有进气口,下盖板上设置有出液孔,所述流量调节单元安装在所述进气口处;

滑块,安装在所述筒体内,在所述筒体轴向上滑动密封隔成两个空间。

8. 根据权利要求7所述的高超声速溢流液膜冷却膜厚测量实验系统,其特征在于,所述流量调节单元,包括:

调节座,安装在所述进气口处,包括位于所述上盖板下部的锥形孔,和位于所述上盖板上部与锥形孔连通的圆柱形固定孔;

锥面调节块,包括上部的连接柱和下部的锥形块,连接柱通过螺纹安装在固定孔内,锥形块的锥面角度与锥形孔的锥面角度相同,连接柱上设置有向锥形块延伸的轴向通道,锥形块上设置有与轴向通道连通的横向通道;

所述锥形孔和所述锥形块的锥面角度为 $10\sim 20^\circ$ 。

9. 一种权利要求1所述高超声速溢流液膜冷却膜厚测量实验系统的数据处理方法,其特征在于,包括如下步骤:

步骤100,由数据处理单元对数据采集单元采集的信号进行一阶求导;

步骤200,利用过零检测方法找出峰值;

步骤300,对原始信号进行反相运算后再求一阶导数;

步骤400,利用过零检测方法找出谷值;

步骤500,根据信号峰谷值确定液膜厚度,根据峰谷值确定液膜厚度的公式如下:

$$h = CR_f \frac{V_i}{V_0}$$

其中, V_i 为激励信号幅值, R_f 为测量回路自平衡电桥的反馈电阻值, C 为试验前通过标定确定的测量探头响应特性, V_0 为信号峰谷值。

高超声速溢流液膜冷却膜厚测量实验系统及数据处理方法

技术领域

[0001] 本发明涉及高超声速飞行器热防护领域,特别是涉及一种高超声速条件下形成溢流液膜并对其厚度进行测量的实验系统及其数据处理方法。

背景技术

[0002] 高超声速飞行器飞行过程中面临着严酷的热环境,飞行器机翼和尾翼的前缘、发动机进气道前缘、局部突起物以及观察窗等曲率半径较小的前缘部位的热防护效果成为限制飞行器发展的瓶颈,需结合主动冷却技术提高热防护系统的耐热性能。

[0003] 目前新出现的溢流液膜冷却是一种新型的主动冷却方案,冷却液以溢流的方式流出,而后在物体表面摩阻的作用下展布成液膜,形成热缓冲层隔离外部的高温气体,液膜的蒸发过程还可进一步降低物面热流,从而有效保护飞行器。在溢流液膜冷却实验研究中,液膜厚度是最基本的特征参数,是研究冷却机理和评估冷却性能的关键参数。

发明内容

[0004] 本发明的目的是提供一种用于在高超声速条件下形成溢流液膜并对其厚度进行测量的实验系统及其数据处理方法。

[0005] 特别地,本发明提供一种高超声速溢流液膜冷却膜厚测量实验系统,包括:

[0006] 检测装置,对溢流液膜厚度进行测量,包括:

[0007] 激励源,包括产生电导探头所需激励信号的信号发生单元,和控制激励信号频率的频率选择单元,以及控制激励信号类型的波形选择单元;

[0008] 激励信号扩展单元,接受所述激励源的激励信号,并产生频率、相位、幅值完全相同的激励信号进行输出;

[0009] 测量回路,接收所述激励信号扩展单元输出的激励信号,再将测量结果输出,包括电导探头和与电导探头相联的自平衡电桥;

[0010] 空载回路,利用自平衡电桥接收所述激励信号扩展单元输出的激励信号,其输出信号为测量过程中的电磁干扰信号;

[0011] 差分放大单元,包括同相比比例放大器和差分比例放大器,接收所述测量回路和空载回路的信号并经过放大和差分处理后扣除电磁干扰信号;

[0012] 调零单元,用于控制差分放大单元的放大倍数,以消除电子元器件参数差异带来的影响;

[0013] 数据采集单元,采集所述差分放大单元中符合指定要求的输出信号;

[0014] 数据处理单元:用于接收所述数据采集单元的输出信号并检测输出信号的峰谷值,根据峰谷值得到液膜厚度;

[0015] 标定装置,用于对电导探头的响应特性进行标定,包括:

[0016] 基座;

[0017] 测量架,安装在所述基座上,为U形且开口朝向水平方向;

- [0018] 水槽,水平安装在所述测量架的下支座上,带有容纳液体的凹槽,在底部设置有安装所述电导探头的通孔;
- [0019] 螺旋测微杆,安装在所述测量架的上支座上且与所述水槽垂直;
- [0020] 调节块,安装在所述螺旋测微杆靠近所述水槽的一端且与所述水槽平行;
- [0021] 注入装置,与实验模型的溢流孔相连,用于将冷却剂注入到模型表面形成液膜,包括:
- [0022] 储液器,用于存储冷却剂;
- [0023] 高压气源,用于推动所述储液器内的冷却剂输出;
- [0024] 调压单元,安装在所述高压气源上,用于控制所述高压气源输入至所述储液器内的高压气体压力;
- [0025] 电磁阀,安装在所述储液器的输液管路上,用于精确控制冷却剂注入时间;
- [0026] 截止阀,安装在输液管路上所述电磁阀的下游,用于截止输液管路的通断;
- [0027] 控制器,用于控制所述电磁阀的开启与关闭。
- [0028] 流量调节单元,用于控制冷却剂的流量。
- [0029] 在本发明的一个实施方式中,所述激励信号扩展单元由两个并接的电压跟随器构成,两个电压跟随器的性能参数一致,以分别为所述空载回路和所述测量回路提供相同的激励信号。
- [0030] 在本发明的一个实施方式中,在所述差分放大单元上还连接有调零单元,所述调零单元在液膜厚度为零时使输出信号幅值为零。
- [0031] 在本发明的一个实施方式中,所述数据采集单元采集所述差分放大单元的输出信号时,采集频率至少不低于激励信号频率的10倍,系统带宽不低于激励信号频率的2倍。
- [0032] 在本发明的一个实施方式中,所述水槽的通孔孔位中心到所述凹槽边缘的距离至少为电导探头直径的两倍,所述水槽的凹槽深度至少为所述调节块厚度的两倍。
- [0033] 在本发明的一个实施方式中,所述螺旋测微杆包括与所述测量架固定的调节筒,安装在调节筒内的调节杆,调节调节杆升降的调节螺栓,以及将所述调节杆锁定在调节后位置的锁定装置。
- [0034] 在本发明的一个实施方式中,在所述基座上安装有调节所述基座水平的基座调节装置,所述基座调节装置有四个且分别安装在所述基座底部的四个对称位置处,包括两端带有相反螺纹的螺杆,和分别拧在螺杆两端实现支撑和固定作用的套筒;
- [0035] 所述测量架上安装有调节所述螺旋测微杆垂直角度的垂直调节装置,包括固定环,安装在固定环内夹持螺旋测微杆的夹持单元,所述夹持单元包括与螺旋测微杆接触的弧形板,通过万向轴与弧形板连接的液压夹持杆。
- [0036] 在本发明的一个实施方式中,所述的储液器包括:
- [0037] 筒体,为两端开口的管状结构,
- [0038] 盖板,包括分别封闭所述筒体的两端开口的上盖板和下盖板,上盖板上设置有进气口,下盖板上设置有出液孔,所述流量调节单元安装在所述进气口处;
- [0039] 滑块,安装在所述筒体内,在所述筒体轴向上滑动密封隔成两个空间。
- [0040] 在本发明的一个实施方式中,所述流量调节单元,包括:
- [0041] 调节座,安装在所述进气口处,包括位于所述上盖板下部的锥形孔,和位于所述上

盖板上部与锥形孔连通的圆柱形固定孔；所述锥形孔和所述锥形块的锥面角度为 $10\sim 20^\circ$ ；
[0042] 锥面调节块，包括上部的连接柱和下部的锥形块，连接柱通过螺纹安装在固定孔内，锥形块的锥面角度与锥形孔的锥面角度相同，连接柱上设置有向锥形块延伸的轴向通道，锥形块上设置有与轴向通道连通的横向通道。

[0043] 在本发明的一个实施方式中，提供一种前述高超声速溢流液膜冷却膜厚测量实验系统的数据处理方法，包括如下步骤：

[0044] 步骤100，由数据处理单元对数据采集单元采集的信号进行一阶求导；

[0045] 步骤200，利用过零检测方法找出峰值；

[0046] 步骤300，对原始信号进行反相运算后再求一阶导数；

[0047] 步骤400，利用过零检测方法找出谷值；

[0048] 步骤500，根据信号峰谷值确定液膜厚度，根据峰谷值确定液膜厚度的公式如下：

$$[0049] \quad h = CR_f \frac{V_i}{V_0}$$

[0050] 其中， V_i 为激励信号幅值， R_f 为测量回路自平衡电桥的反馈电阻值， C 为试验前通过标定确定的测量探头响应特性。

[0051] 本发明的标定装置可以通过调节块实现任意液膜厚度调节，满足不同标定实验要求，通过螺旋测微杆可以对调节块实现细微调节，提高液膜厚度的调节精度，解决了电导探头输出特性不确定的问题。

[0052] 本发明的检测装置能够实现不同厚度液膜的测量，通过激励源可产生指定标准的激励信号，通过空载回路和差分放大单元可以消除测量过程中产生的干扰信号，减少误差以得到精确的液膜厚度值。

[0053] 本发明的注入装置可以保证储液器中的冷却剂以溢流而不是射流方式流出，冷却剂流量的调节范围广、调节方便、响应快、液膜建立时间短且安全可靠。

[0054] 本发明的数据处理方法能够根据激励信号的峰谷值精确计算出当前液膜的厚度。

附图说明

[0055] 图1是本发明一个实施方式的检测装置连接示意图；

[0056] 图2是本发明一个实施方式的标定装置结构示意图；

[0057] 图3是本发明一个实施方式的注入装置结构示意图；

[0058] 图4是图1中激励信号扩展单元的电路示意图；

[0059] 图5是图1中差分放大单元的电路示意图；

[0060] 图6是本发明一个实施方式的激励源输出的激励信号及信号扩展单元提供给测量回路和空载回路的激励信号示意图；

[0061] 图7是本发明一个实施方式的差分放大电路的输出信号示意图；

[0062] 图8是本发明一个实施方式的数据处理单元得到的信号峰谷值示意图；

[0063] 图9是本发明一个实施方式的测量探头的响应特性示意图；

[0064] 图10是本发明一个实施方式的液膜厚度随时间变化的示意图；

[0065] 图11是本发明一个实施方式的数据处理方法流程图；

[0066] 图12是本发明一个实施方式的基座调节装置结构示意图；

[0067] 图13是本发明一个实施方式的垂直调节装置结构示意图；

[0068] 图14是本发明一个实施方式的流量调节单元结构示意图。

具体实施方式

[0069] 本发明利用电导耦合测量法的原理来设置相关测量部件,其基本原理为:冷却液具有一定的电导率,液膜厚度不同时,其导电能力不同,液膜电导值与液膜厚度互相耦合,因此,通过测量液膜电导值即可确定液膜厚度。

[0070] 如图1、2、3所示,本发明一个实施方式的高超声速溢流液膜冷却膜厚测量实验系统一般性地包括用于将冷却液注入到模型表面以形成液膜的冷却液注入装置,对溢流液膜厚度进行测量的检测装置,以及对测量探头的响应特性进行标定的标定装置。

[0071] 该检测装置一般包括:

[0072] 激励源,由于电导耦合测量法为主动测量,需要为电导探头提供激励源才能正常工作,本实施方式的激励源由频率选择单元、波形选择单元及信号发生单元构成。其中频率选择单元为信号发生单元的振荡网络提供合适的电阻、电容值,并控制产生激励信号的频率,频率范围为100Hz~100kHz。波形选择单元控制信号发生单元产生激励信号的类型:可为正弦波、三角波或方波。信号发生单元产生电导探头所需的激励信号,信号类型和频率由频率选择单元和波形选择单元控制。为避免激励源对冷却液的电解效应,激励源必须为交流信号。

[0073] 激励信号扩展单元,其接受激励源的激励信号,并产生频率、相位、幅值完全相同的激励信号进行输出,以使下述的测量回路和空载回路接收到完全一致的信号。本实施方式中,激励信号扩展单元可以由两个并接的电压跟随器构成,两个电压跟随器的性能参数完全一致,可以将完全相同的激励信号分别提供给空载回路和测量回路。

[0074] 测量回路,接收激励信号扩展单元输出的激励信号,再将测量结果输出,包括与电导探头相联的自平衡电桥。其中,自平衡电桥将激励信号加载到电导探头输入端,探头输出端与自平衡电桥连接构成反馈网络,激励信号强度与液膜厚度相耦合后输出至下述的差分放大单元。

[0075] 空载回路,利用自平衡电桥接收激励信号扩展单元输出的激励信号后输出。空载回路与测量回路的电路构成一致,但是不与电导探头连接,因为风洞实验中电磁环境较为复杂,所以可通过空载回路接收电磁干扰信号,并通过差分放大单元将测量回路中的干扰信号扣除。

[0076] 差分放大单元,包括具备较高输入阻抗和共模干扰抑制比的同相比例放大器和差分比例放大器,差分放大单元接收测量回路和空载回路的信号并经过放大和差分处理扣除电磁干扰信号后输出。进一步地,可以在差分放大单元上连接一个调零单元,调零单元用于控制差分放大单元的放大倍数,可消除电子元器件参数差异带来的影响,使液膜厚度为零时输出信号幅值为零。

[0077] 数据采集单元,采集差分放大单元中符合指定要求的输出信号;其中,采集频率要求不低于激励信号频率的10倍,系统带宽不低于激励信号频率的2倍。

[0078] 数据处理单元:用于接收数据采集单元的输出信号并检测输出信号的峰谷值,根据峰谷值即可得到当前测量的溢流液膜厚度。为了避免激励源对溢流液膜的电解效应,选

用交流信号作为激励信号,但溢流液膜的厚度只与输出信号的幅值相耦合,不改变信号频率,因此为得到液膜的厚度,需要检测输出信号的峰谷值。

[0079] 该注入装置包括:

[0080] 储液器50,整体为密封结构,用于存储冷却剂,材质可以为不锈钢。

[0081] 高压气源60,存储高压空气,用于推动储液器50内的冷却剂输出,是冷却剂注入的动力来源。高压气源60提供的高压气体具有较高的流速,驱动冷却剂的响应速度快,可以保证系统具有较短的液膜建立时间,满足在脉冲型风洞中开展溢流液膜冷却实验的要求。

[0082] 调压单元70,安装在储液器50上,用于控制高压气源60输入至储液器50内的气体压力,是实现流量调节的方式之一,可以由减压阀71和高精密调压阀72串联构成。当冷却剂流量较大、实验时间长时,驱动冷却剂需要的气体总质量较多,采用高压气源60才可满足气量需求,本实施方式中的高压气源60压力可达10~12MPa,但驱动冷却剂并不需要如此高的压力,因此需要通过调压单元70调节气体驱动压力。减压阀71可以降低高压气源60压力至调压阀72的承压范围内。

[0083] 电磁阀62,安装在储液器50的输液管路上,用于精确控制冷却剂注入实验模型的时间;由于高超声速脉冲风洞实验时间一般仅为几十毫秒,为保证冷却剂注入与风洞实验流场同步,要求精准控制冷却剂注入时间,因此需采用快响应电磁阀62并根据其响应特性设计实验时序。

[0084] 截止阀63,安装在输液管路上电磁阀62的下游,用于截止输液管路的通断,防止输液管路另一端的操作影响储液器50。如,在实验前风洞试验仓内需要抽真空至极限压力,采用截止阀63可以将冷却剂注入装置与真空环境隔离,提高系统使用寿命。

[0085] 控制器61,用于提供电磁阀62工作的电源,并接收时序信号以控制电磁阀62的开启与关闭。

[0086] 注入装置在工作时,首先向储液器50中注入定量的冷却剂,此时,截止阀63和电磁阀62都处于关闭状态,然后利用高压气源60向储液器50中注入高压气体,根据实验要求通过调压单元70调节高压气体注入时的压力,使储液器50内的冷却剂承受预定的压力,然后打开截止阀63,再由控制器61根据实验要求控制电磁阀62开启,使储液器50中的冷却剂在预定压力下由高压输液管输入至实验模型处;完成实验后,再通过控制器61关闭电磁阀62和高压气源60,完成实验。注入装置可以保证储液器中的冷却剂以溢流而不是射流方式流出,冷却剂流量的调节范围广、调节方便、响应快、液膜建立时间短且安全可靠。

[0087] 本实施方式的溢流液膜厚度测量实验系统,冷却剂注入装置与实验模型的溢流孔相连,风洞实验中用于将冷却剂注入到模型表面形成液膜;标定装置可以产生指定厚度的液膜,用于实验前对电导探头的响应特性进行标定;检测装置与电导探头相接,风洞实验时用于对溢流液膜厚度进行测量。

[0088] 前面已经清楚说明了检测装置和注入装置的结构和工作过程,这里不再重复。以下简单说明注入装置和测量装置在实验时的流程:

[0089] 在风洞实验时,开展液膜厚度测量前提条件是形成液膜,此时需要利用注入装置通过溢流孔将冷却液注入到模型表面,然后冷却液在高超声速流场摩阻的作用下展布在模型表面从而形成液膜;而冷却液注入时的流量可以通过注入装置进行调节和控制。

[0090] 检测装置与安装在实验模型上的电导探头相连,电导探头与模型表面平齐,液膜

厚度与电导探头的电导值相耦合,检测装置利用测量得到的差分放大单元输出信号的峰谷值与实验前标定得到的电导探头响应特性,即可得到当前液膜的真实厚度。本实施方式中的检测装置能够实现不同厚度液膜的测量,通过激励源可产生指定标准的激励信号,通过空载回路和差分放大单元可以消除测量过程中产生的干扰信号,减少误差以得到精确的液膜厚度值。

[0091] 本实施方式中电导探头的响应特性是通过标定装置测出的。该标定装置包括:

[0092] 基座10,和安装在基座10上的U形测量架20,安装在测量架20上的水槽40和螺旋测微杆30,以及安装在螺旋测微杆30上的调节块35。

[0093] 测量架20的U形开口朝向水平方向,其两侧边分别形成上支座21和下支座22,其通过U形底部与基座10连接。水槽40水平安装在测量架20的下支座22上,容纳液体的凹槽41一面与上支座21相对,在水槽40的底部设置有安装电导探头的通孔42。螺旋测微杆30垂直安装在测量架20的上支座21上,且与水槽40垂直相对,螺旋测微杆30可实现伸缩长度的调整,调节块35安装在螺旋测微杆30靠近水槽40的一端且与水槽40平行;调节块35用于调节水槽40内液体的厚度,其通过螺旋测微杆30的调节实现与水槽40的接触深度,从而实现液体厚度的调整。基座10和测量架20可以采用不锈钢制作,以避免被冷却液腐蚀。

[0094] 响应特性的标定是在风洞试验前完成的,标定装置在使用时,将检测装置的电导探头安装在水槽40底部的通孔42内,保证电导探头的端面与水槽40的底面齐平,调节螺旋测微杆30使调节块35扣在水槽40上,并保证两者接触的接触面之间无缝隙,记录此时螺旋测微杆30上的刻度,此刻度即为液膜零厚度时的位置;然后向水槽40的凹槽41内加入适量的冷却液,旋转螺旋测微杆30以带动调节块35向上方移动,此时冷却液的液膜厚度可由螺旋测微杆30当前刻度减去零厚度时的液膜刻度来计算,当液膜厚度满足要求时停止调节螺旋测微杆30,由液膜厚度检测装置对当前冷却液的液膜厚度进行测量并记录结果。根据需要,重复调节和测量过程,即可标定电导探头在整个测量量程内的响应特性。

[0095] 标定装置可以通过调节块35实现任意液膜厚度调节,满足不同标定实验要求,通过螺旋测微杆30可以对调节块35实现细微调节,提高调节的液膜厚度精度,解决了电导探头响应特性不确定的问题。

[0096] 在本发明的一个实施方式中,提供一个具体例子说明检测装置的实验过程。

[0097] 1) 将冷却液的注入装置与实验模型的溢流孔相连;

[0098] 2) 在实验模型上安装电导探头,保证电导探头表面与模型表面平齐;

[0099] 3) 将电导探头与测量回路的自平衡电桥相连接,同时采用相同的导线与空载回路的自平衡电桥相连,但接线的另一端不接电导探头,保持开路状态。测量回路和空载回路接线路径要保持相同,以使两者处于相同的电磁噪声环境中;

[0100] 4) 接通检测装置的电源,通过波形选择单元确定激励信号类型,通过频率选择单元确定激励信号的频率。其中,所测量液膜厚度随时间波动较快时需选用较高的激励信号频率,图6为激励源产生的激励信号示意图,图中自上而下分别为信号发生单元产生的激励信号、提供给测量回路的激励信号及提供给空载回路的激励信号;

[0101] 5) 检测装置的输出端与数据采集单元相连,数据采集单元的采集频率应为激励信号频率10倍以上;

[0102] 6) 调节调零单元使液膜厚度为零时检测装置的输出信号幅值也为零;

[0103] 7) 启动风洞、注入装置和检测装置,冷却液注入后在高超声速流场摩擦阻力的作用下,在模型表面展布为液膜,利用数据采集单元记录检测装置在实验过程中信号的变化。

[0104] 8) 由数据处理单元对数据采集单元得到的信号进行峰谷值处理,再结合电导探头的响应特性,即可得到当前液膜的厚度。其中,图7为差分放大电路输出的信号示意图,图8为数据处理单元处理后的峰谷值信号示意图,图9是电导探头的响应特性示意图,图10是测得的液膜厚度随时间变化的示意图。

[0105] 如图4、5所示,上述工作过程中的信号流动如下:

[0106] 信号发生单元采用ICL8038芯片实现,有三个管脚同时分别输出正弦、方波和三角波信号,通过波形选择单元的多路开关控制激励信号类型;通过频率选择单元为信号发生单元提供合适的电阻电容值,确定信号发生单元激励信号的频率,所测量液膜厚度随时间波动较快时选用较高频率的激励信号。

[0107] 信号发生单元产生激励信号输送至激励信号扩展单元,扩展单元使用A1、A2集成运放构成两个并联的电压跟随器,跟随信号发生单元产生的激励信号即可输出两个频率、幅值、相位完全相同的激励信号,分别提供给测量回路和空载回路的自平衡电桥。

[0108] 测量回路的自平衡电桥将激励信号加载到电导探头两端,激励信号与液膜厚度相耦合,信号幅值发生改变,耦合后的信号经自平衡电桥的输出端传输至差分放大单元中由A5集成运放构成的同相输入放大器;空载回路将电磁噪声信号通过自平衡电桥加载到差分放大单元中由A4构成的同相输入放大器中。

[0109] 两个同相输入放大器的输出信号同时传递给差分放大单元中由A6构成的差分比例放大器,对A4、A5两个输出信号进行差分放大处理,扣除测量时的噪声信号,并实现对测量信号的放大。

[0110] 差分放大单元输出端与采集单元相连,实现测量信号的采集工作,采集单元频率应不低于激励信号频率的10倍。

[0111] 如图11所示,在本发明的一个实施方式中,提供一种前述检测装置求溢流液膜厚度的计算方法,包括如下步骤:

[0112] 步骤100,由数据处理单元对数据采集单元采集的信号进行一阶求导;

[0113] 步骤200,利用过零检测方法找出峰值;

[0114] 步骤300,对原始信号进行反相运算后再求一阶导数;

[0115] 步骤400,利用过零检测方法找出谷值;

[0116] 步骤500,根据信号峰谷值确定液膜厚度。

[0117] 其中,步骤500中,根据信号峰谷值 V_0 ,利用下式确定液膜厚度,

$$[0118] \quad h = CR_f \frac{V_i}{V_0}$$

[0119] 其中, V_i 为激励信号幅值, R_f 为测量回路自平衡电桥的反馈电阻值, C 为电导探头响应特性,试验前可通过标定确定。

[0120] 在本发明的一个实施方式中,标定装置中的螺旋测微杆30,可以直接选择现有技术中能够实现微调功能的螺旋测微器。也可以采用如下的结构,包括一个与上支座21固定的带有内螺纹的调节筒31,和通过螺纹拧在调节筒31内的调节杆32,以及一个与调节杆32接触的调节螺栓33。调节螺栓33可以直接或通过齿轮与调节杆32连接,通过调节螺栓33较

大的转动来实现调节杆32上较小的移动,可提高调节杆32的移动精度。此外还可以在螺旋测微杆30上设置将调节杆32锁定在调节后位置的锁定装置,具体的锁定装置可以是任意一种能够将调节螺栓33或调节杆32锁死在当前位置的结构,如:在调节螺栓33上设置相应的卡口,在调节筒31的外壁上活动连接一根旋转杆,通过旋转杆的旋转使其卡入卡口,即可防止调节螺栓33转动。需要再次调节时,使旋转杆离开卡口即可。

[0121] 在本发明的一个实施方式中,水槽40的通孔42孔位中心到凹槽41边缘的距离至少为电导探头直径的两倍,以避免凹槽40边缘对电导探头电场分布的影响。进一步地,水槽40的凹槽41深度至少为调节块35厚度的两倍,以避免标定过程中冷却液溢出。

[0122] 在本发明的一个实施方式中,该水槽40的凹槽41形状可以为矩形或圆形,而调节块35的形状和尺寸则与凹槽41的形状对应。水槽40和调节块35可以采用有机玻璃等绝缘材料制作,避免影响液膜内的电场分布。

[0123] 如图12所示,在本发明的一个实施方式中,为使基座10能够保持在水平状态,可以在基座10上安装调节基座水平高度的基座调节装置11,该基座调节装置11有四个且分别安装在基座10底部的四个对称位置处,包括两端带有相反螺纹的螺杆112,和分别拧在螺杆112两端实现支撑和固定作用的套筒111。两个套筒111的两个相互远离的一端分别与支撑面和基座10的底部接触或固定,当基座10的某个侧边倾斜时,可通过向顺时针或逆时针方向拧动螺杆112,螺杆112即在套筒111内伸进或伸出,从而使该侧边升高或降低,达到整个基座的水平调整。

[0124] 进一步地,在本发明的一个实施方式中,还可以在测量架20上安装调节水槽40水平状态的水槽调节装置,水槽调节装置同样可以设置四个且分别安装在水槽40底部的四个对称位置处,水槽调节装置的具体结构可以与前述的基座调节装置11结构一致,其通过调整水槽40相对测量架20的距离来实现水槽40的水平调整。水槽调节装置可以与基座调节装置11同时安装,也可以仅安装其中的一个。

[0125] 在本发明的一个实施方式中,螺旋测微杆30的调节筒31可以与测量架20固定连接,以将调节筒31固定成标准的垂直状态,使得后期调节块35也能够保持与水槽40水平的状态。

[0126] 如图13所示,此外,螺旋测微杆30作为一个整体也可以与测量架20活动连接,此时可以在测量架20上安装调节螺旋测微杆30垂直角度的垂直调节装置34,该垂直调节装置34可以包括一个固定环341,和安装在固定环341内夹持螺旋测微杆30的夹持单元,具体的夹持单元可以包括与调节筒31接触的弧形板342,通过万向轴344与弧形板342连接的液压夹持杆343。

[0127] 固定环341可以是直接由测量架20形成的空心环,也可以是安装在测量架20上的一个环圈,调节筒31被两个弧形板342悬空夹持固定在固定环341内,两根液压夹持杆343的一端分别与弧形板342通过万向轴344连接,另一端与固定环341活动连接。调节筒31被两个弧形板342相对夹持固定后,理论上两个夹持单元的作用力和夹持位置一致的情况下,调节筒31正处于垂直于水槽40的状态,此时,不需要调整。一旦调节筒31在垂直方向上出现倾斜,则可以控制相应边的液压夹持杆343进行上下角度的调整,液压夹持杆343可以与固定环341连接一端为支点,相对万向轴344的连接点改变施力位置,此时弧形板342的位置不变,但液压夹持杆343施加至弧形板342上的推力会发生变化,该推力同样在一个上下角度

范围内变化,由于万向轴344的存在,使得弧形板342在调节筒31倾斜时不会移动,可在保证螺纹测微杆30本身稳定性的同时,改变调节筒31的倾斜角度,直至其完全垂直于水槽40。

[0128] 在本发明的一个实施方式中,具体的储液器50可以包括一个两端开口管状的筒体51,和封闭筒体51两端开口的盖板,安装在筒体内的滑块54,以及调节高压气体进入储液器50时的流量调节单元55。

[0129] 盖板具体可以包括分别封闭筒体51两端开口的上盖板52和下盖板53,使整个筒体51变成一个密封体。上盖板52上设置有供高压气源60的高压气体进入的进气口521,下盖板53上设置有使储液器50内部冷却剂流出的出液孔531。上盖板52和下盖板531可以通过螺栓56与筒体51固定。此外,在其它的实施方式中,上盖板52或是下盖板53也可以直接作为筒体51的一部分,而只采用一个活动盖板。

[0130] 滑块54安装在筒体51内,在轴向上将筒体51滑动密封隔成两个空间。滑块54的材料可以为尼龙,在滑块54与筒体51内侧面的周向上设计有密封槽541,在密封槽541内安装有与筒体51内壁面形成密封的密封圈542。此外,滑块54在加工时其上下表面与侧边的边缘夹角需保持直角,以避免滑块54移动过程中出现卡滞。

[0131] 如图14所示,流量调节单元55安装在进气口521内,包括调节座551和配套的锥面调节块552,调节座551可以是一个安装在上盖板12的进气口121内的独立部件,此时的进风孔521可以是一个贯穿上盖板52的通孔,而调节座551密封安装在该通孔内。在其它的实施方式中,调节座551也可以直接由进气口521形成,即进气口521直接形成与锥面调节块552配合的形状。具体的调节座551包括位于上盖板52下部内凹的锥形孔5511,和位于上盖板52上部与锥形孔5511连通的圆柱形固定孔5512。

[0132] 锥面调节块552包括上部的连接柱5522和下部的锥形块5521,连接柱1522通过螺纹安装在固定孔5512内,锥形块5522的锥面角度与锥形孔5511的锥面角度相同,连接柱5522上设置有向锥形块延伸的轴向通道5523,锥形块5521上设置有与轴向通道5523连通的横向通道5524。

[0133] 本实施方式中,储液器50由滑块54隔成的上部空间可以作为高压气体的容纳空间,而下部空间可以作为冷却剂的储存空间,滑块54隔离高压气体和冷却剂,其在高压气体的压力下挤压另一侧的冷却剂,不但可以避免高压气体进入筒体51时冲击冷却剂引起的振荡,还可以避免高压气体挤占冷却剂回路影响流量。

[0134] 流量调节单元55通过锥面调节块552与调节座551的配合,来调节高压气体通路的截面积,从而实现对高压气体流量的控制,高压气体由轴向通道5523进入锥面调节块552,再由横向通道5524从锥面调节块552和锥形座551之间的空隙进入筒体51内。锥面调节块552的材质可以为黄铜,连接柱5522上可以设置外螺纹,而固定孔5512内可以设置相配合的内螺纹,顺时针旋转时,锥面调节块552向上移动,其与调节座551之间距离逐渐接近,减小了高压气体的通路截面,相应减小了高压气体的流量;当锥面调节块552旋至顶部时,锥面调节块552完全与调节座551接触,可截止气流通路。逆时针旋转锥面调节块552时,其效果与顺时针旋转的效果相反。

[0135] 本实施方式中,调节座551和锥面调节块552的锥面角度可以在 $10\sim 20^\circ$ 之间,如本实施方式采用的锥面角度为 15° 。

[0136] 至此,本领域技术人员应认识到,虽然本文已详尽示出和描述了本发明的多个示

例性实施例,但是,在不脱离本发明精神和范围的情况下,仍可根据本发明公开的内容直接确定或推导出符合本发明原理的许多其他变型或修改。因此,本发明的范围应被理解和认定为覆盖了所有这些其他变型或修改。

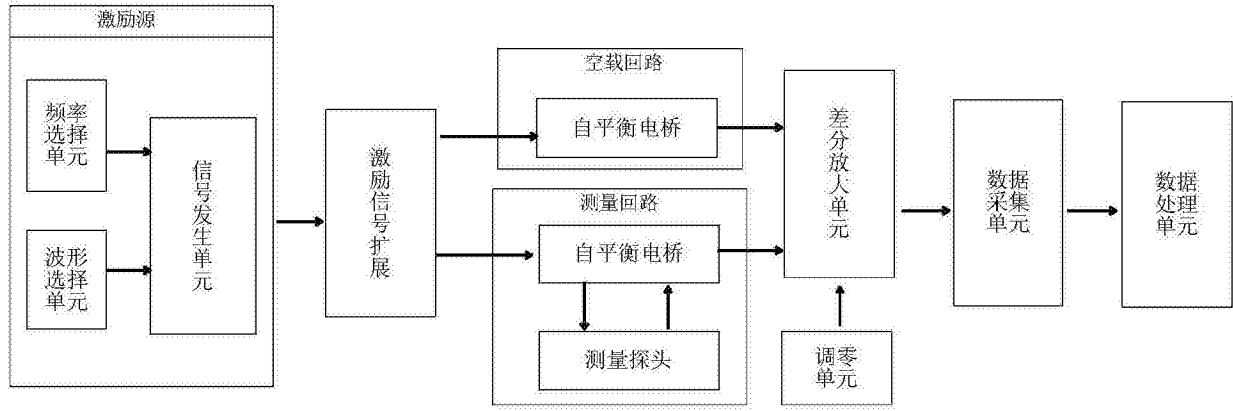


图1

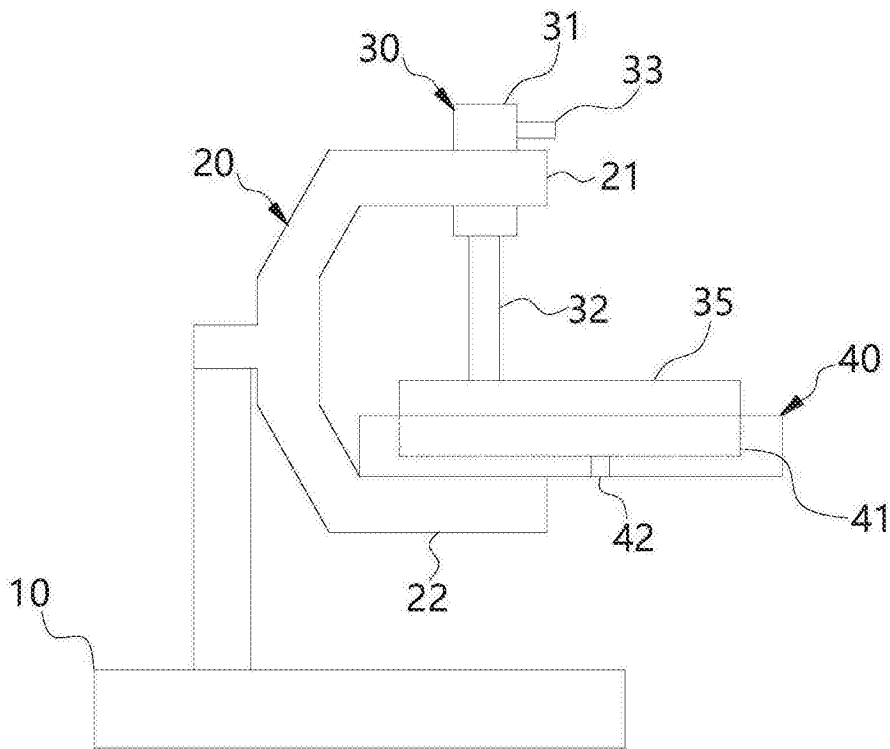


图2

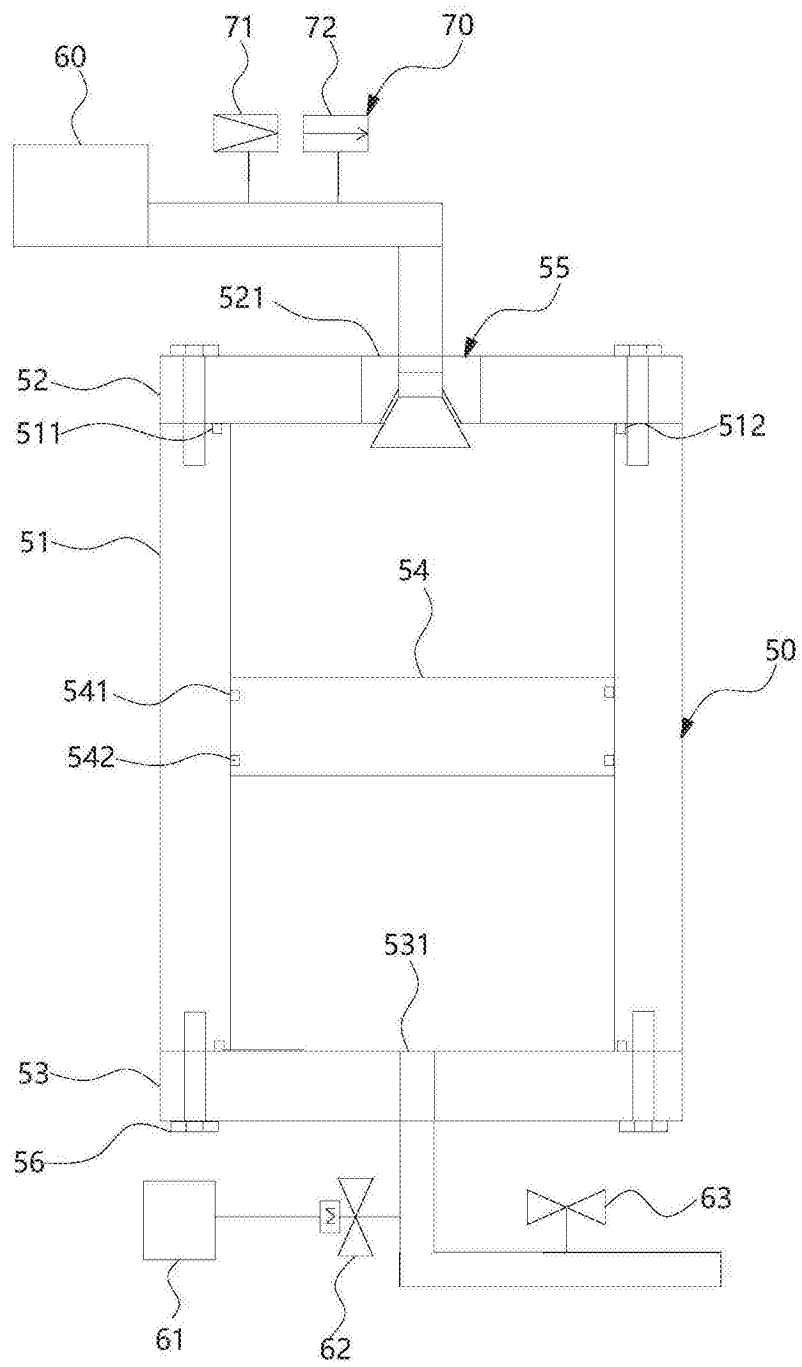


图3

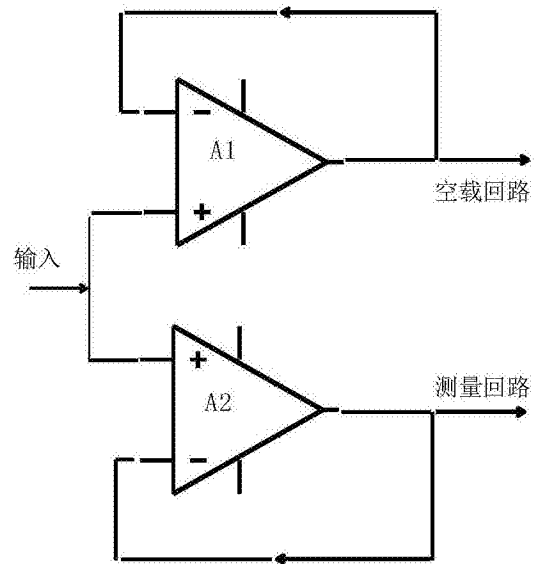


图4

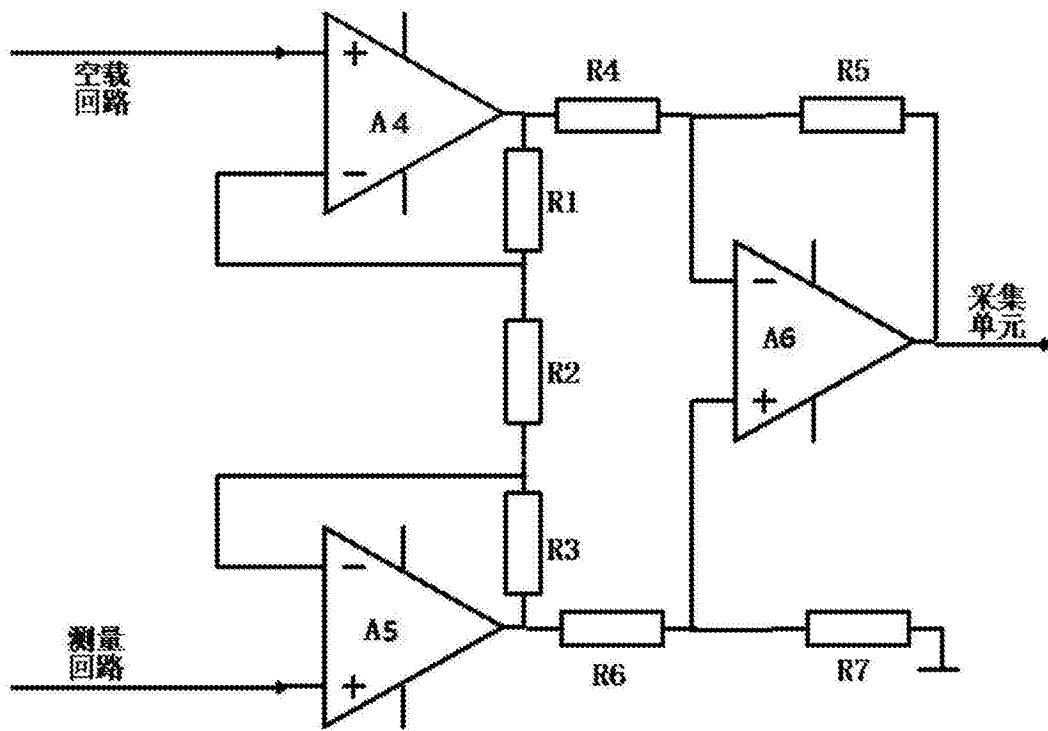


图5

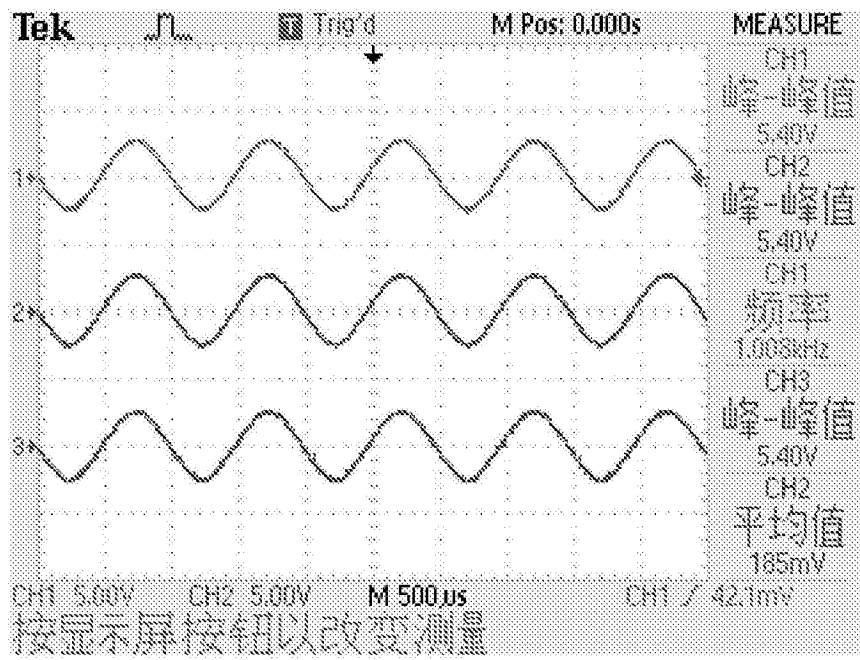


图6

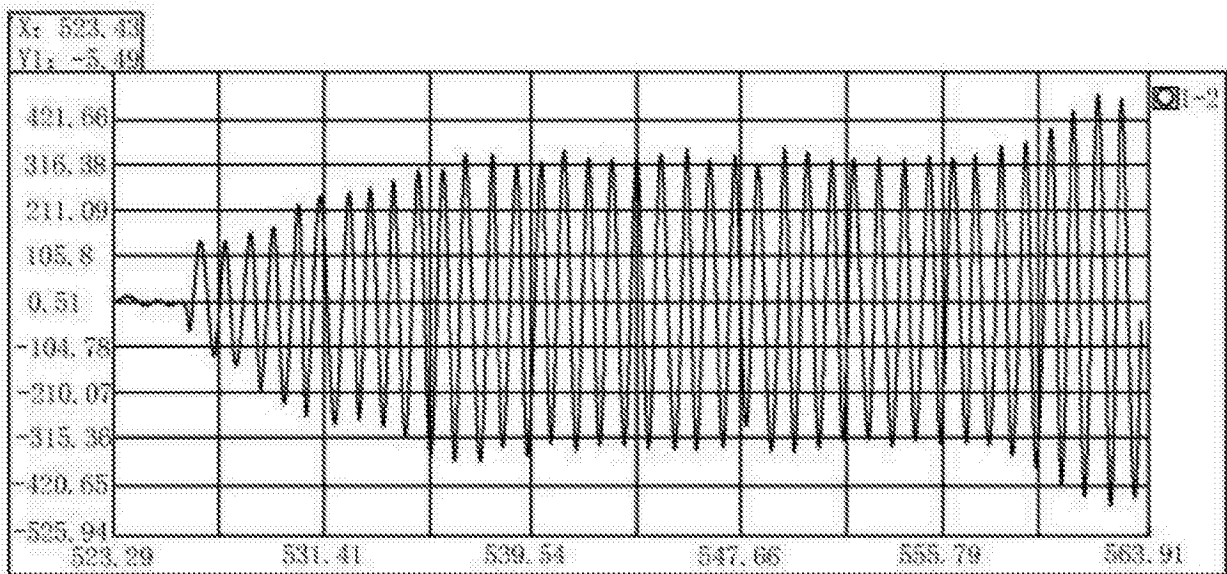


图7

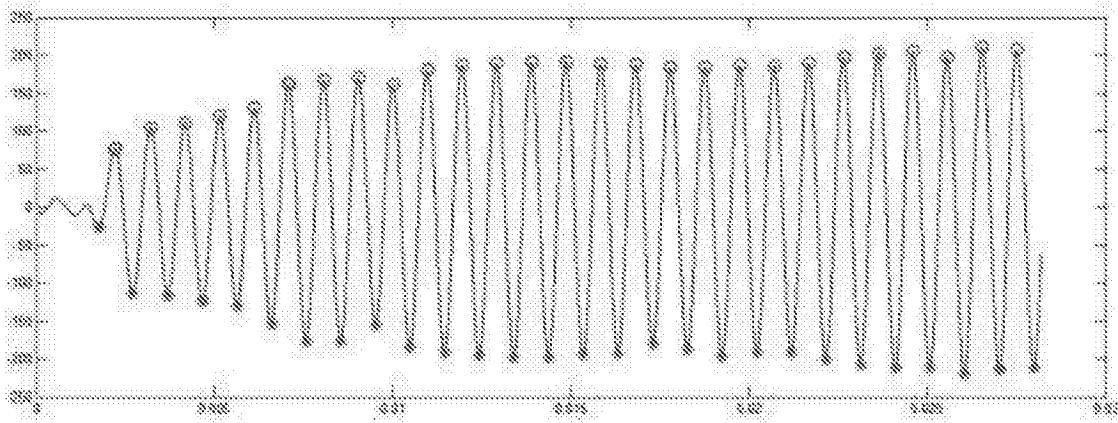


图8

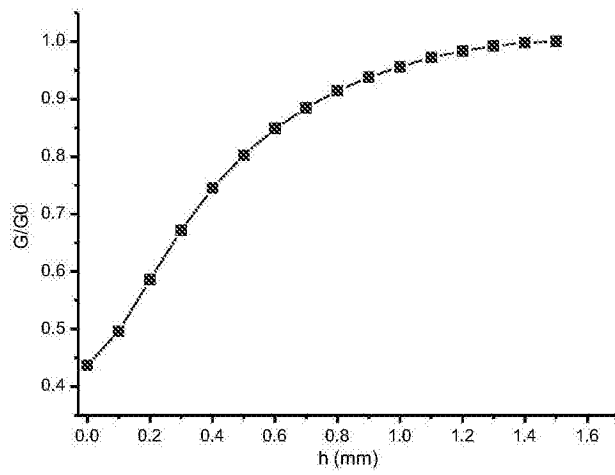


图9

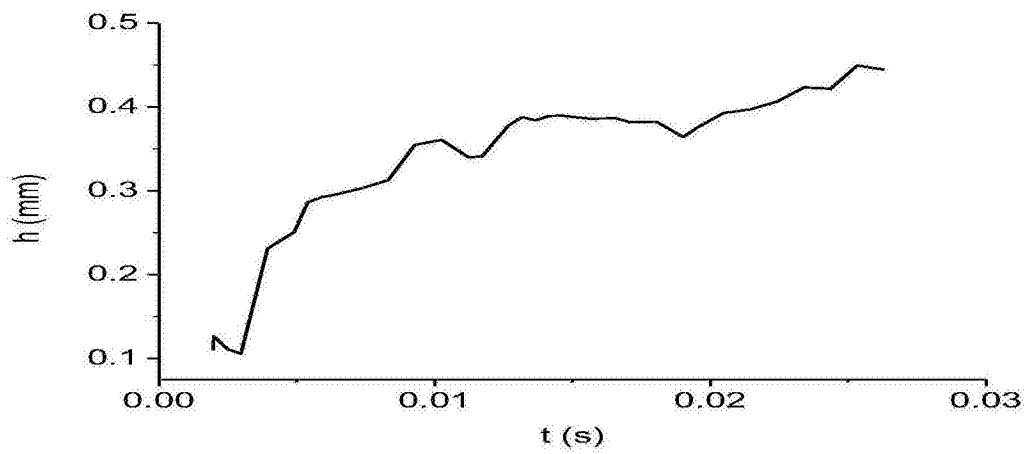


图10

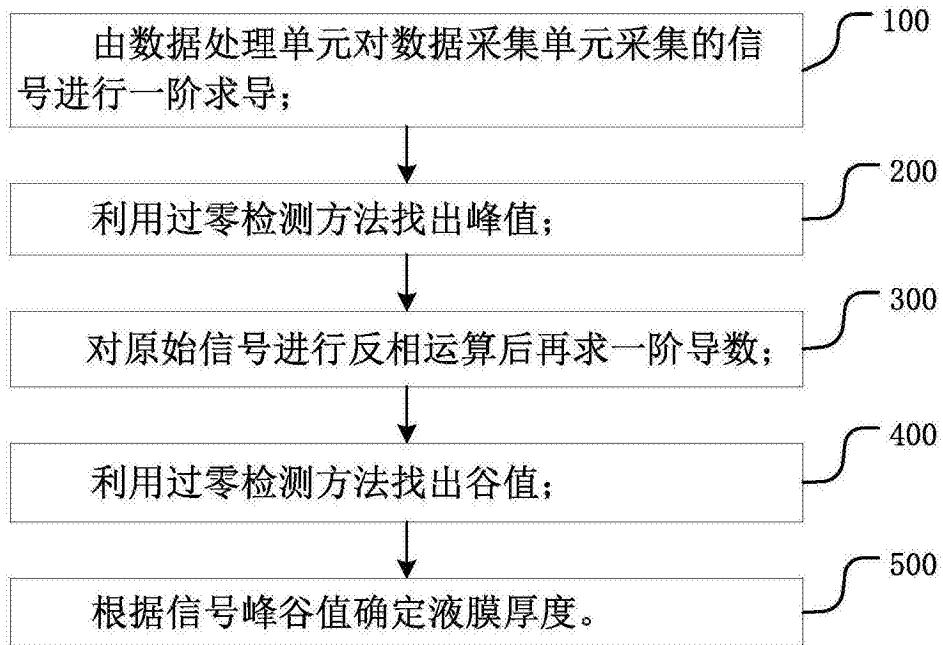


图11

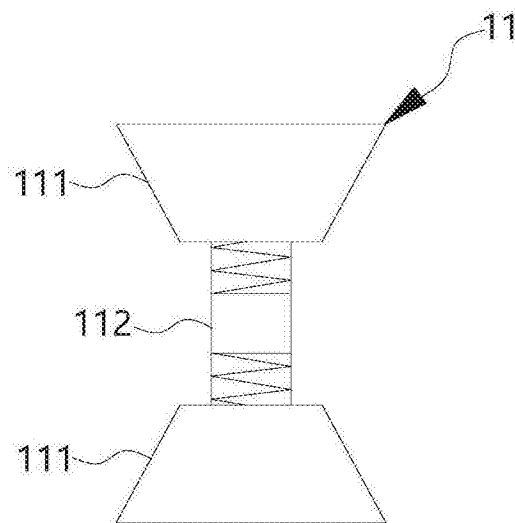


图12

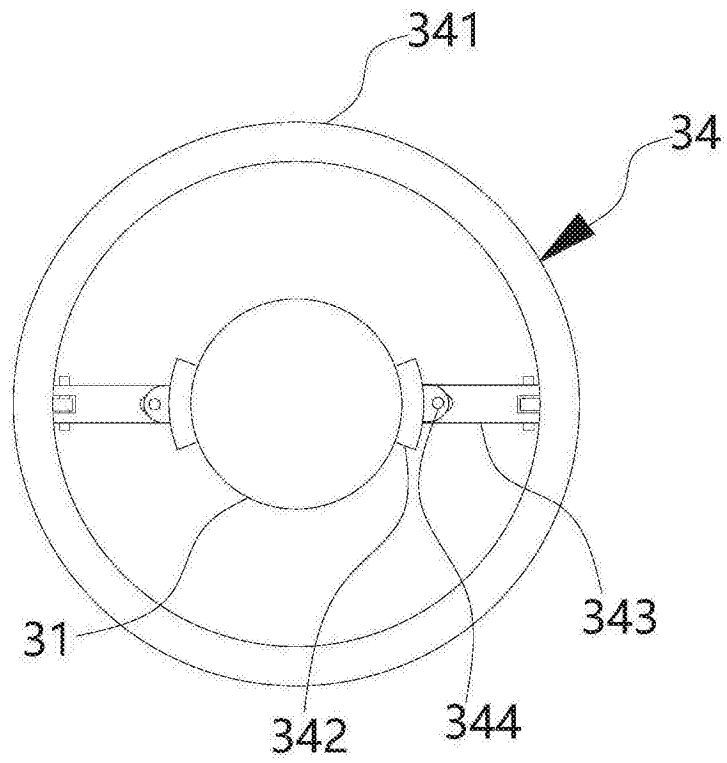


图13

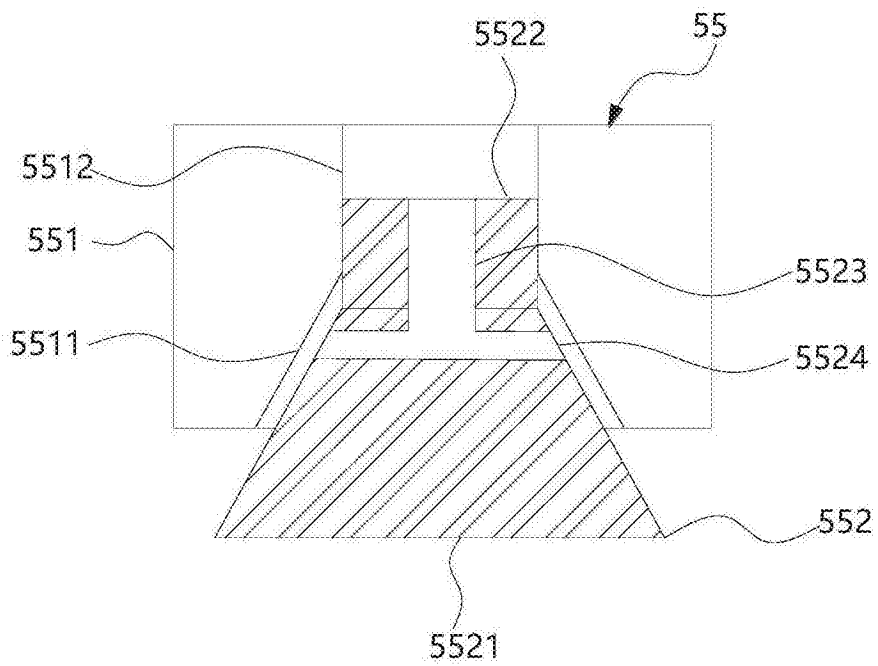


图14