



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 110146718 B

(45)授权公告日 2020.03.24

(21)申请号 201910451570.5

(22)申请日 2019.05.28

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 110146718 A

(43)申请公布日 2019.08.20

(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 郭迪龙 杨国伟 刘雯 郭易

(74)专利代理机构 北京晟睿智杰知识产权代理
事务所(特殊普通合伙)
11603

代理人 于淼

(51)Int.Cl.

G01P 3/26(2006.01)

(56)对比文件

CN 104597273 A,2015.05.06,全文.

CN 108226561 A,2018.06.29,全文.

CN 101498622 A,2009.08.05,全文.

JP S57203963 A,1982.12.14,全文.

宋军浩等.高速列车隧道通过中的气动效应
应动模型实验研究.《试验流体力学》.2017,第31
卷(第5期),第39-45页.

审查员 王孟嬉

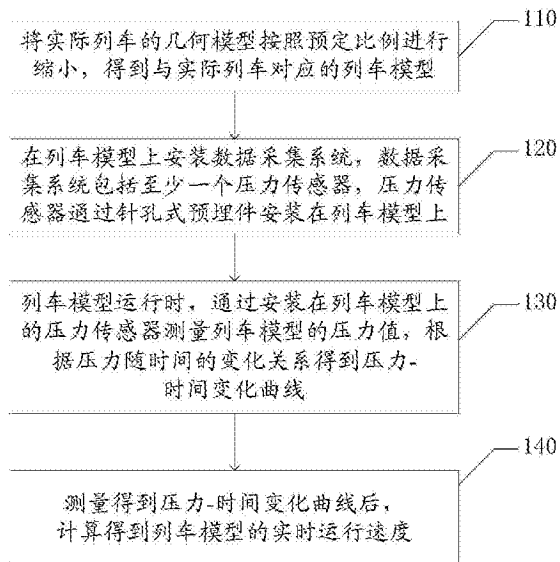
权利要求书2页 说明书9页 附图5页

(54)发明名称

基于压力信号的动模型速度历程测试方法
及系统

(57)摘要

本发明公开了一种基于压力信号的动模型速度历程测试方法及系统,涉及动模型速度测量技术领域,包括:将实际列车的几何模型按照预定比例缩小得到列车模型;在列车模型上安装数据采集系统,数据采集系统包括至少一个压力传感器,列车模型运行时,通过安装在列车模型上的压力传感器测量列车模型的压力值,根据压力随时间的变化关系得到压力-时间变化曲线;测量得到压力-时间变化曲线后,计算得到列车模型的实时运行速度。利用压力传感器测量列车模型表面的压力-时间变化曲线,通过测量得到的压力-时间变化曲线,即可计算得到列车模型整个运行过程中的实时运行速度,能够有效提高列车模型速度历程的测量效率,并降低测量复杂度。



1. 一种基于压力信号的动模型速度历程测试方法, 将实际列车的几何模型按照预定比例进行缩小, 得到与所述实际列车对应的列车模型, 其特征在于, 包括:

在所述列车模型上安装数据采集系统, 所述数据采集系统包括至少一个压力传感器, 所述压力传感器通过针孔式预埋件安装在所述列车模型上;

所述列车模型运行时, 通过安装在所述列车模型上的所述压力传感器测量所述列车模型的压力值, 根据压力随时间的变化关系得到压力-时间变化曲线;

测量得到压力-时间变化曲线后, 根据公式: $P(t) = P_{\infty} + \frac{1}{2} C_p \rho V^2$ 计算得到所述列车模型的实时运行速度为:

$$V = \sqrt{\frac{P(t) - P_{\infty}}{\frac{1}{2} C_p \rho}}$$

其中, $P(t)$ 为测量得到的随时间变化的压力曲线, P_{∞} 为来流静压, C_p 为压力系数, ρ 为空气密度, V 为列车模型的实时运行速度; 所述压力系数为 $C_p = (P_x - P_{\infty}) / (P_0 - P_{\infty})$, 其中, P_x 为安装所述压力传感器的位置处的压力, P_0 为驻点压力, 所述驻点指的是所述列车模型鼻尖上当地气流速度滞止为零的点, 即在所述列车模型中头车上距离尾车距离最大的点。

2. 根据权利要求1所述的基于压力信号的动模型速度历程测试方法, 其特征在于, 所述压力传感器安装在列车模型的驻点上, $P_x = P_0$, 压力系数 $C_p = 1$ 。

3. 根据权利要求1所述的基于压力信号的动模型速度历程测试方法, 其特征在于, 所述数据采集系统还包括数据采集卡和加速度传感器, 所述数据采集卡与所述压力传感器电连接, 所述加速度传感器与所述数据采集卡电连接;

通过安装在所述列车模型上的所述压力传感器测量所述列车模型的压力值, 根据压力随时间的变化关系得到压力-时间变化曲线, 具体为: 将所述数据采集卡设置为触发采集状态, 所述列车模型启动加速时, 由所述加速度传感器触发所述数据采集卡开始采集所述压力传感器的压力信号, 预定时间后停止采集; 读取所述数据采集卡采集到的所述压力传感器的压力值, 按照时间先后顺序依次连接, 得到所述列车模型的压力-时间变化曲线。

4. 根据权利要求1所述的基于压力信号的动模型速度历程测试方法, 其特征在于, 在所述计算得到所述列车模型的实时运行速度后, 还包括计算所述列车模型的平均加速度, 具体为:

根据公式 $V_1 = V_0 + a \Delta t$ 计算得到所述列车模型的平均加速度为: $a = \frac{V_1 - V_0}{\Delta t}$, 其中, $\Delta t = t_2 - t_1$, V_0 为所述列车模型在 t_1 时刻的速度, V_1 为所述列车模型在 t_2 时刻的速度。

5. 一种基于压力信号的动模型速度历程测试系统, 包括列车模型, 通过将实际列车的几何模型按照预定比例进行缩小获得, 其特征在于, 还包括: 数据采集系统、针孔式预埋件、速度计算模块;

所述数据采集系统, 用于安装在所述列车模型上, 所述数据采集系统包括至少一个压力传感器, 所述压力传感器用于在所述列车模型运行时, 测量所述列车模型的压力值; 所述数据采集系统用于根据压力随时间的变化关系得到压力-时间变化曲线;

所述针孔式预埋件,用于将所述压力传感器安装在所述列车模型上;

所述速度计算模块,用于在通过所述压力传感器测量得到压力-时间变化曲线后,根据公式: $P(t) = P_{\infty} + \frac{1}{2}C_p\rho V^2$ 计算得到所述列车模型的实时运行速度为:

$$V = \sqrt{\frac{P(t) - P_{\infty}}{\frac{1}{2}C_p\rho}}$$

其中, $P(t)$ 为测量得到的压力-时间变化曲线, P_{∞} 为来流静压, C_p 为压力系数, ρ 为空气密度, V 为列车模型的实时运行速度;所述压力系数为 $C_p = (P_x - P_{\infty}) / (P_0 - P_{\infty})$,其中, P_x 为安装所述压力传感器的位置处的压力, P_0 为驻点压力,所述驻点指的是所述列车模型鼻尖上当地气流速度滞止为零的点,即在所述列车模型中头车上距离尾车距离最大的点。

6. 根据权利要求5所述的基于压力信号的动模型速度历程测试系统,其特征在于,所述压力传感器安装在列车模型的驻点上, $P_x = P_0$,压力系数 $C_p = 1$ 。

7. 根据权利要求5所述的基于压力信号的动模型速度历程测试系统,其特征在于,所述数据采集系统还包括数据采集卡、数据采集卡设置模块、和加速度传感器;

所述数据采集卡,与所述压力传感器电连接,用于采集所述压力传感器的压力信号;

所述数据采集卡设置模块,用于将所述数据采集卡设置为触发采集状态;

所述加速度传感器,与所述数据采集卡电连接,用于触发所述数据采集卡开始采集所述压力传感器的压力信号,预定时间后停止采集;

所述数据采集系统,进一步用于读取所述数据采集卡采集到的所述压力传感器的压力值,按照时间先后顺序依次连接,得到所述列车模型的压力-时间变化曲线。

8. 根据权利要求5所述的基于压力信号的动模型速度历程测试系统,其特征在于,还包括加速度计算模块,用于根据公式 $V_1 = V_0 + a \Delta t$ 计算得到所述列车模型的平均加速度为:

$a = \frac{V_1 - V_0}{\Delta t}$,其中, $\Delta t = t_2 - t_1$, V_0 为所述列车模型在 t_1 时刻的速度, V_1 为所述列车模型在 t_2 时刻的速度。

基于压力信号的动模型速度历程测试方法及系统

技术领域

[0001] 本发明涉及动模型速度测量技术领域,更具体地,涉及一种基于压力信号的动模型速度历程测试方法及系统。

背景技术

[0002] 列车是在地面上高速运行的长大物体,动模型是将实际列车的几何模型按照一定的比例缩小之后,通过一定的加速方式使列车模型加速至所需要的速度,从而进行列车空气动力学研究的试验手段。在整个运行过程中,列车模型的速度参数十分重要。

[0003] 现有技术中,动模型试验测量速度的方法多为定点测量,即测量列车模型通过某一位置时的速度,但这种方法并不能直接测量得到列车模型的实时运行速度,且要提前设置好需要测量速度的位置,操作较复杂,测量效率较低。因此,需要研究一种基于压力信号的动模型速度历程测试方法及系统。

发明内容

[0004] 有鉴于此,本发明提供了一种基于压力信号的动模型速度历程测试方法及系统,利用压力传感器测量列车模型表面的压力-时间变化曲线,通过测量得到的压力-时间变化曲线,即可计算得到列车模型整个运行过程中的实时运行速度,能够有效提高列车模型速度历程的测量效率,并降低测量复杂度。

[0005] 为了解决上述技术问题,本申请有如下技术方案:

[0006] 一方面,本申请提供一种基于压力信号的动模型速度历程测试方法,其特征在于,包括:

[0007] 将实际列车的几何模型按照预定比例进行缩小,得到与所述实际列车对应的列车模型;

[0008] 在所述列车模型上安装数据采集系统,所述数据采集系统包括至少一个压力传感器,所述压力传感器通过针孔式预埋件安装在所述列车模型上;

[0009] 所述列车模型运行时,通过安装在所述列车模型上的所述压力传感器测量所述列车模型的压力值,根据压力随时间的变化关系得到压力-时间变化曲线;

[0010] 测量得到压力-时间变化曲线后,根据公式: $P(t) = P_{\infty} + \frac{1}{2} C_p \rho V^2$ 计算得到所述列车模型的实时运行速度为:

$$[0011] \quad V = \sqrt{\frac{P(t) - P_{\infty}}{\frac{1}{2} C_p \rho}}$$

[0012] 其中, $P(t)$ 为测量得到的随时间变化的压力曲线, P_{∞} 为来流静压, C_p 为压力系数, ρ 为空气密度, V 为列车模型的实时运行速度;所述压力系数为 $C_p = (P_x - P_{\infty}) / (P_0 - P_{\infty})$,其中, P_x

为安装所述压力传感器的位置处的压力, P_0 为驻点压力, 所述驻点指的是所述列车模型鼻尖上当地气流速度滞止为零的点, 即在所述列车模型中头车上距离尾车距离最大的点。

[0013] 可选地, 其中:

[0014] 所述压力传感器安装在列车模型的驻点上, $P_x = P_0$, 压力系数 $C_p = 1$ 。

[0015] 可选地, 其中:

[0016] 所述数据采集系统还包括数据采集卡和加速度传感器, 所述数据采集卡与所述压力传感器电连接, 所述加速度传感器与所述数据采集卡电连接;

[0017] 通过安装在所述列车模型上的所述压力传感器测量所述列车模型的压力值, 根据压力随时间的变化关系得到压力-时间变化曲线, 具体为: 将所述数据采集卡设置为触发采集状态, 所述列车模型启动加速时, 由所述加速度传感器触发所述数据采集卡开始采集所述压力传感器的压力信号, 预定时间后停止采集; 读取所述数据采集卡采集到的所述压力传感器的压力值, 按照时间先后顺序依次连接, 得到所述列车模型的压力-时间变化曲线。

[0018] 可选地, 其中:

[0019] 在所述计算得到所述列车模型的实时运行速度后, 还包括计算所述列车模型的平均加速度, 具体为:

[0020] 根据公式 $V_1 = V_0 + a \Delta t$ 计算得到所述列车模型的平均加速度为: $a = \frac{V_1 - V_0}{\Delta t}$, 其中, $\Delta t = t_2 - t_1$, V_0 为所述列车模型在 t_1 时刻的速度, V_1 为所述列车模型在 t_2 时刻的速度。

[0021] 另一方面, 本申请提供了一种基于压力信号的动模型速度历程测试系统, 其特征在于, 包括: 列车模型、数据采集系统、针孔式预埋件、速度计算模块;

[0022] 所述列车模型, 通过将实际列车的几何模型按照预定比例进行缩小获得;

[0023] 所述数据采集系统, 用于安装在所述列车模型上, 所述数据采集系统包括至少一个压力传感器, 所述压力传感器用于在所述列车模型运行时, 测量所述列车模型的压力值; 所述数据采集系统用于根据压力随时间的变化关系得到压力-时间变化曲线;

[0024] 所述针孔式预埋件, 用于将所述压力传感器安装在所述列车模型上;

[0025] 所述速度计算模块, 用于在通过所述压力传感器测量得到压力-时间变化曲线后, 根据公式: $P(t) = P_\infty + \frac{1}{2} C_p \rho V^2$ 计算得到所述列车模型的实时运行速度为:

$$[0026] \quad V = \sqrt{\frac{P(t) - P_\infty}{\frac{1}{2} C_p \rho}}$$

[0027] 其中, $P(t)$ 为测量得到的压力-时间变化曲线, P_∞ 为来流静压, C_p 为压力系数, ρ 为空气密度, V 为列车模型的实时运行速度; 所述压力系数为 $C_p = (P_x - P_\infty) / (P_0 - P_\infty)$, 其中, P_x 为安装所述压力传感器的位置处的压力, P_0 为驻点压力, 所述驻点指的是所述列车模型鼻尖上当地气流速度滞止为零的点, 即在所述列车模型中头车上距离尾车距离最大的点。

[0028] 可选地, 其中:

[0029] 所述压力传感器安装在列车模型的驻点上, $P_x = P_0$, 压力系数 $C_p = 1$ 。

[0030] 可选地, 其中:

- [0031] 所述数据采集系统还包括数据采集卡、数据采集卡设置模块、和加速度传感器；
- [0032] 所述数据采集卡，与所述压力传感器电连接，用于采集所述压力传感器的压力信号；
- [0033] 所述数据采集卡设置模块，用于将所述数据采集卡设置为触发采集状态；
- [0034] 所述加速度传感器，与所述数据采集卡电连接，用于触发所述数据采集卡开始采集所述压力传感器的压力信号，预定时间后停止采集；
- [0035] 所述数据采集系统，进一步用于读取所述数据采集卡采集到的所述压力传感器的压力值，按照时间先后顺序依次连接，得到所述列车模型的压力-时间变化曲线。
- [0036] 可选地，其中：
- [0037] 还包括加速度计算模块，用于根据公式 $V_1 = V_0 + a \Delta t$ 计算得到所述列车模型的平均加速度为： $a = \frac{V_1 - V_0}{\Delta t}$ ，其中， $\Delta t = t_2 - t_1$ ， V_0 为所述列车模型在 t_1 时刻的速度， V_1 为所述列车模型在 t_2 时刻的速度。
- [0038] 与现有技术相比，本发明提供的基于压力信号的动模型速度历程测试方法及系统，至少实现了如下的有益效果：
- [0039] 本发明提供的一种基于压力信号的动模型速度历程测试方法及系统，利用压力传感器测量列车模型表面的压力-时间变化曲线，通过测量得到的压力-时间变化曲线，即可计算得到列车模型整个运行过程中的实时运行速度，能够有效提高列车模型速度历程的测量效率，并降低测量复杂度。
- [0040] 当然，实施本发明的任一产品必不特定需要同时达到以上所述的所有技术效果。
- [0041] 通过以下参照附图对本发明的示例性实施例的详细描述，本发明的其它特征及其优点将会变得清楚。

附图说明

- [0042] 被结合在说明书中并构成说明书的一部分的附图示出了本发明的实施例，并且连同其说明一起用于解释本发明的原理。
- [0043] 图1所示为本申请实施例所提供的基于压力信号的动模型速度历程测试方法的一种流程图；
- [0044] 图2所示为本申请实施例所提供的列车模型的一种结构示意图；
- [0045] 图3所示为本申请实施例所提供的测量列车模型的压力-时间变化曲线的一种流程图；
- [0046] 图4所示为本申请实施例所提供的基于压力信号的动模型速度历程测试方法的另一种流程图；
- [0047] 图5所示为本申请实施例所提供的基于压力信号的动模型速度历程测试系统的一种结构示意图；
- [0048] 图6所示为本申请实施例所提供的数据采集系统的一种结构示意图；
- [0049] 图7所示为本申请所提供的测量得到的压力-时间变化曲线；
- [0050] 图8所示为根据压力-时间变化曲线计算得到的速度-时间曲线。

具体实施方式

[0051] 现在将参照附图来详细描述本发明的各种示例性实施例。应注意到：除非另外具体说明，否则在这些实施例中阐述的部件和步骤的相对布置、数字表达式和数值不限制本发明的范围。

[0052] 以下对至少一个示例性实施例的描述实际上仅仅是说明性的，决不作为对本发明及其应用或使用的任何限制。

[0053] 对于相关领域普通技术人员已知的技术、方法和设备可能不作详细讨论，但在适当情况下，所述技术、方法和设备应当被视为说明书的一部分。

[0054] 在这里示出和讨论的所有例子中，任何具体值应被解释为仅仅是示例性的，而不是作为限制。因此，示例性实施例的其它例子可以具有不同的值。

[0055] 应注意到：相似的标号和字母在下面的附图中表示类似项，因此，一旦某一项在一个附图中被定义，则在随后的附图中不需要对其进行进一步讨论。

[0056] 现有技术中，动模型试验测量速度的方法多为定点测量，即测量列车模型通过某一位置时的速度，但这种方法并不能直接测量得到列车模型的实时运行速度，且要提前设置好需要测量速度的位置，操作较复杂，测量效率较低。因此，需要研究一种基于压力信号的动模型速度历程测试方法及系统。

[0057] 有鉴于此，本发明提供了一种基于压力信号的动模型速度历程测试方法及系统，利用压力传感器测量列车模型表面的压力-时间变化曲线，通过测量得到的压力-时间变化曲线，可以计算得到列车模型整个运行过程中的实时运行速度，能够有效提高列车模型速度历程的测量效率，并降低测量复杂度。

[0058] 以下结合附图和具体实施例进行详细说明。

[0059] 图1所示为本申请实施例所提供的基于压力信号的动模型速度历程测试方法的一种流程图，图2所示为本申请实施例所提供的列车模型10的一种结构示意图，请结合图1-图2，本申请实施例所提供的基于压力信号的动模型速度历程测试方法，包括：

[0060] 步骤110：将实际列车的几何模型按照预定比例进行缩小，得到与实际列车对应的列车模型10；

[0061] 步骤120：在列车模型10上安装数据采集系统，数据采集系统包括至少一个压力传感器，压力传感器通过针孔式预埋件安装在列车模型10上；

[0062] 步骤130：列车模型10运行时，通过安装在列车模型10上的压力传感器测量列车模型10的压力值，根据压力随时间的变化关系得到压力-时间变化曲线；

[0063] 步骤140：测量得到压力-时间变化曲线后，根据公式： $P(t) = P_{\infty} + \frac{1}{2} C_p \rho V^2$ 计算得到列车模型10的实时运行速度为：

$$[0064] \quad V = \sqrt{\frac{P(t) - P_{\infty}}{\frac{1}{2} C_p \rho}}$$

[0065] 其中， $P(t)$ 为测量得到的随时间变化的压力曲线， P_{∞} 为来流静压， C_p 为压力系数， ρ 为空气密度， V 为列车模型10的实时运行速度；压力系数为 $C_p = (P_x - P_{\infty}) / (P_0 - P_{\infty})$ ，其中， P_x 为

安装压力传感器的位置处的压力,请参见图2, P_0 为驻点11处的压力,驻点11指的是列车模型10鼻尖上当地气流速度滞止为零的点,即在列车模型10中头车上距离尾车距离最大的点。

[0066] 具体地,请参见图1,本申请实施例所提供的基于压力信号的动模型速度历程测试方法中,通过步骤110对实际列车的几何模型进行一定比例的缩小,此处的缩小比例可根据实际需要具体设定,例如列车模型10与实际列车的比例可以为1:8,也可以为1:20,本申请对此不进行具体限定。得到对应的列车模型10后,通过步骤120在列车模型10上安装数据采集系统,数据采集系统中包括至少一个压力传感器,将压力传感器通过针孔式预埋件安装在列车模型10上,安装前,应先检查预埋件及预留针孔的位置、几何尺寸是否符合安装要求,通过针孔式预埋件安装压力传感器,能够确保压力传感器牢固安装,从而减小压力传感器被外力碰撞掉落的风险,且使得压力传感器安装位置准确、端正整齐,同时,还能尽可能小的破坏列车模型10表面,提高列车模型10对流场模拟与复现的准确性。

[0067] 列车模型10运行时,通过步骤130,利用安装在列车模型10上的压力传感器测量列车模型10的压力值,随着时间的变化,监测到的列车模型10的压力也会改变,即监测到列车模型10的压力呈动态变化的状态,在坐标系中,根据压力和时间变化关系,得到列车模型10的压力-时间变化曲线。需要说明的是,本申请中可根据实际应用需求,选择不同的压力传感器,例如半导体扩散硅压力传感器、压阻式压力传感器等,本申请对此不进行具体限定。

[0068] 列车在高速运行时,列车表面的压力与列车速度的平方成正比,测量得到压力-时间变化曲线后,在步骤140中,根据公式: $P(t) = P_\infty + \frac{1}{2} C_p \rho V^2$ 计算得到列车模型10的实时运行速度为:

$$[0069] \quad V = \sqrt{\frac{P(t) - P_\infty}{\frac{1}{2} C_p \rho}}$$

[0070] 其中, $P(t)$ 为测量得到随时间变化的压力曲线, P_∞ 为来流静压, C_p 为压力系数, ρ 为空气密度, V 为列车模型10的实时运行速度;压力系数为 $C_p = (P_x - P_\infty) / (P_0 - P_\infty)$,其中, P_x 为安装压力传感器的位置处的压力,请参见图2, P_0 为驻点11处的压力,驻点11指的是列车模型10鼻尖上当地气流速度滞止为零的点,即列车模型10中头车的最尖端。如此,只需要通过压力传感器30测量出各个时间点列车模型10表面的压力,即可通过上述速度计算公式计算出列车模型在该时间点的运行速度,因此,根据测量得到的列车模型的压力-时间变化曲线,可通过上述速度计算公式计算得到列车模型10各个时间点的速度,从而实现对列车模型10整个运行过程中实时运行速度的测量。本申请实施例所提供的速度计算公式是通过无数次的试验研究得到的,通过该公式计算得到的列车模型10的实时运行速度准确可靠,此外,通过压力传感器测量列车表面的压力变化后,利用公式即可计算出列车模型10的运行速度,能够有效提高列车模型10速度历程的测量效率,并降低测量复杂度。

[0071] 可选地,压力传感器安装在列车模型10的驻点11上, $P_x = P_0$,压力系数 $C_p = 1$ 。具体地,压力传感器可以安装在列车模型10中头车外形的流线型部分的任意位置,根据公式 C_p

$= (P_x - P_\infty) / (P_0 - P_\infty)$ 可知, 计算压力系数需要借助驻点压力 P_0 , 也就是说, 压力传感器安装在非驻点位置时, 还要在驻点处安装另外一个压力传感器来测量驻点压力, 才能够计算出压力系数, 而压力传感器设置在列车模型10的驻点11上时, 安装压力传感器的位置处的压力 $P_x = P_0$, 所以驻点11处的压力系数 $C_p = 1$, 如此, 驻点11压力为 $P_0 = P_\infty + \frac{1}{2} \rho V^2$, 测量得到驻点11压力后, 即可直接得到实时运行速度 V , 因此, 仅在驻点处安装一个压力传感器即可实现列车模型的实时运行速度监测, 从而能够有效降低列车模型实时运行速度的测量复杂度, 进一步有利于提高计算效率。

[0072] 可选地, 图3所示为本申请实施例所提供的测量列车模型10的压力-时间变化曲线的一种流程图, 数据采集系统还包括数据采集卡和加速度传感器, 数据采集卡与压力传感器电连接, 加速度传感器与数据采集卡电连接; 请参见图3, 通过压力传感器测量列车模型10的压力值, 根据压力随时间的变化关系得到压力-时间变化曲线, 具体为: 步骤131: 将数据采集卡设置为触发采集状态; 步骤132: 列车模型10启动加速时, 由加速度传感器触发数据采集卡开始采集压力传感器的压力信号, 预定时间后停止采集; 步骤133: 读取数据采集卡采集到的压力传感器的压力值, 按照时间先后顺序依次连接, 得到列车模型10的压力-时间变化曲线。

[0073] 具体地, 为了采集压力传感器测得的压力信号, 数据采集系统还包括数据采集卡和加速度传感器, 其中, 数据采集卡分别与压力传感器和加速度传感器电连接, 进行压力-时间变化曲线测量时, 首先通过步骤131设置数据采集卡为触发采集状态, 加速度传感器检测到列车模型10开始启动加速时, 通过步骤132触发数据采集卡开始采集压力传感器的压力信号, 到达预定时间后, 停止采集, 此处的预定时间为根据实际需要设定的压力信号采集时间, 例如可以为5s, 也可以为10s, 采集压力信号的采集频率也可根据实际需要自主设定, 本申请对此不进行具体限定。采集到列车模型10的压力信号后, 通过步骤133读取数据采集卡采集到的压力传感器的压力值, 并将读取到的压力值按照时间先后顺序依次连接, 得到列车模型10的压力-时间变化曲线。通过数据采集卡采集列车模型10的压力信号, 可以直接将数据采集卡与传感器连接进行压力信号的采集, 而无需自己进行硬件电路和软件程序的设计, 因此, 能够有效降低压力信号采集难度, 节省时间。

[0074] 可选地, 图4所示为本申请实施例所提供的基于压力信号的动模型速度历程测试方法的另一种流程图, 请参见图4, 在计算得到列车模型10的实时运行速度后, 还包括计算列车模型10的平均加速度的步骤150, 具体为: 根据公式 $V_1 = V_0 + a \Delta t$ 计算得到列车模型10的平均加速度为: $a = \frac{V_1 - V_0}{\Delta t}$, 其中, $\Delta t = t_2 - t_1$, V_0 为列车模型10在 t_1 时刻的速度, V_1 为列车模型10在 t_2 时刻的速度。

[0075] 具体地, 计算得到列车模型10的实时运行速度后, 可根据任意两个时刻的实时运行速度计算得到列车模型10的平均加速度: $a = \frac{V_1 - V_0}{\Delta t}$, 其中, $\Delta t = t_2 - t_1$, V_0 为列车模型10在 t_1 时刻的速度, V_1 为列车模型10在 t_2 时刻的速度, 如此, 只需测量列车模型10的压力-时间变化曲线, 即可计算得到列车模型10的实时运行速度, 进一步计算得到列车模型10的平均加速度, 可通过较简单的方法获得列车模型10的速度和加速度, 能够有效提高列车模型10运行情况的测量效率, 并降低测量复杂度。

[0076] 基于同一发明构思,本发明还提供一种基于压力信号的动模型速度历程测试系统100,图5所示为本申请实施例所提供的基于压力信号的动模型速度历程测试系统100的一种结构示意图,请参见图5,本申请实施例所提供的基于压力信号的动模型速度历程测试系统100包括:列车模型10、数据采集系统50、针孔式预埋件20、速度计算模块40;

[0077] 列车模型10,通过将实际列车的几何模型按照预定比例进行缩小获得;

[0078] 数据采集系统50,用于安装在列车模型10上,数据采集系统50包括至少一个压力传感器30,压力传感器30用于在列车模型10运行时,测量列车模型10的压力值;数据采集系统50用于根据压力随时间的变化关系得到压力-时间变化曲线;

[0079] 针孔式预埋件20,用于将压力传感器30安装在列车模型10上;

[0080] 速度计算模块40,用于在通过压力传感器测量得到压力-时间变化曲线后,根据公式: $P(t) = P_{\infty} + \frac{1}{2}C_p\rho V^2$ 计算得到列车模型10的实时运行速度为:

$$[0081] \quad V = \sqrt{\frac{P(t) - P_{\infty}}{\frac{1}{2}C_p\rho}}$$

[0082] 其中,P(t)为测量得到的压力-时间变化曲线, P_{∞} 为来流静压, C_p 为压力系数, ρ 为空气密度,V为列车模型10的实时运行速度;压力系数为 $C_p = (P_x - P_{\infty}) / (P_0 - P_{\infty})$,其中, P_x 为安装压力传感器30的位置处的压力,请参见图2, P_0 为驻点11处的压力,驻点11指的是列车模型10鼻尖上当地气流速度滞止为零的点,即在列车模型10中头车上距离尾车距离最大的点。

[0083] 具体地,本申请实施例所提供的基于压力信号的动模型速度历程测试系统中,对实际列车的几何模型进行一定比例的缩小,得到与实际列车对应的列车模型10,此处的缩小比例可根据实际需要具体设定,例如列车模型10与实际列车的比例可以为1:8,也可以为1:20,本申请对此不进行具体限定。得到对应列车模型10后,在列车模型10上安装数据采集系统50,数据采集系统50中包括至少一个压力传感器30,将压力传感器30通过针孔式预埋件20安装在列车模型10上,安装前,应先检查预埋件及预留针孔的位置、几何尺寸是否符合安装要求,通过针孔式预埋件20安装压力传感器30,能够确保压力传感器30牢固安装,从而减小压力传感器30被外力碰撞掉落的风险,且使得压力传感器30安装位置准确、端正整齐,同时,还能尽可能小的破坏列车模型10表面,提高列车模型10对流场模拟与复现的准确性。

[0084] 列车模型10运行时,利用安装在列车模型10上的压力传感器30测量列车模型10的压力值,随着时间的变化,监测到的列车模型10的压力也会改变,即监测到列车模型10的压力呈动态变化的状态,在坐标系中,根据压力和时间的变化关系,得到列车模型10的压力-时间变化曲线。需要说明的是,本申请中可根据实际应用需求,选择不同的压力传感器,例如半导体扩散硅压力传感器、压阻式压力传感器等,本申请对此不进行具体限定。

[0085] 列车在高速运行时,列车表面的压力与列车速度的平方成正比,测量得到压力-时间变化曲线后,利用速度计算模块40,根据公式: $P(t) = P_{\infty} + \frac{1}{2}C_p\rho V^2$ 计算得到列车模型10的实时运行速度为:

$$[0086] \quad V = \sqrt{\frac{P(t) - P_{\infty}}{\frac{1}{2} C_p \rho}}$$

[0087] 其中, $P(t)$ 为测量得到随时间变化的压力曲线, P_{∞} 为来流静压, C_p 为压力系数, ρ 为空气密度, V 为列车模型10的实时运行速度; 压力系数为 $C_p = (P_x - P_{\infty}) / (P_0 - P_{\infty})$, 其中, P_x 为安装压力传感器30的位置处的压力, P_0 为驻点11处的压力, 驻点11指的是列车模型10鼻尖上当地气流速度滞止为零的点, 即列车模型10中头车的最尖端。如此, 只需要通过压力传感器30测量出各个时间点列车模型10表面的压力, 即可通过上述速度计算公式计算出列车模型在该时间点的运行速度, 因此, 根据测量得到的列车模型的压力-时间变化曲线, 可通过上述速度计算公式计算得到列车模型10各个时间点的速度, 从而实现列车模型10整个运行过程中实时运行速度的测量。本申请实施例所提供的速度计算公式是通过无数次的试验研究得到的, 通过该公式计算得到的列车模型10的实时运行速度准确可靠, 此外, 通过压力传感器测量列车表面的压力变化后, 利用公式即可计算出列车模型10的运行速度, 能够有效提高列车模型10速度历程的测量效率, 并降低测量复杂度。

[0088] 可选地, 压力传感器30安装在列车模型10的驻点11上, $P_x = P_0$, 压力系数 $C_p = 1$ 。具体地, 压力传感器30可以安装在列车模型10中头车外形的流线型部分的任意位置, 根据公式 $C_p = (P_x - P_{\infty}) / (P_0 - P_{\infty})$ 可知, 计算压力系数需要借助驻点压力 P_0 , 也就是说, 压力传感器安装在非驻点位置时, 还要在驻点处安装另外一个压力传感器来测量驻点压力, 才能够计算出压力系数, 而当压力传感器30设置在列车模型10的驻点11上时, 安装压力传感器30的位置处的压力 $P_x = P_0$, 所以驻点11处的压力系数 $C_p = 1$, 如此, 驻点11压力为 $P_0 = P_{\infty} + \frac{1}{2} \rho V^2$, 测量得到驻点11压力后, 即可直接得到实时运行速度 V , 因此, 仅在驻点处安装一个压力传感器即可实现列车模型的实时运行速度检测, 从而能够有效降低运行速度的计算复杂度, 进一步提高计算效率。

[0089] 可选地, 图6所示为本申请实施例所提供的数据采集系统50的一种结构示意图, 数据采集系统50还包括数据采集卡51、数据采集卡设置模块52和加速度传感器53; 数据采集卡51, 与压力传感器30电连接, 用于采集压力传感器30的压力信号; 数据采集卡设置模块52, 用于将数据采集卡51设置为触发采集状态; 加速度传感器53, 与数据采集卡51电连接, 用于触发数据采集卡51开始采集压力传感器30的压力信号, 预定时间后停止采集; 数据采集系统50, 进一步用于读取数据采集卡采集到的压力传感器的压力值, 按照时间先后顺序依次连接, 得到列车模型10的压力-时间变化曲线。具体地, 数据采集卡51分别与压力传感器30和加速度传感器53电连接, 进行压力-时间变化曲线测量时, 首先通过数据采集卡设置模块52将数据采集卡51设置为触发采集状态, 加速度传感器53检测到列车模型10开始启动加速时, 触发数据采集卡51开始采集压力传感器30的压力信号, 到达预定时间后, 停止采集, 此处的预定时间为根据实际需要设定的压力信号采集时间, 例如可以为5s, 也可以为10s, 本申请对此不进行具体限定。采集到列车模型10的压力信号后, 数据采集系统50读取数据采集卡采集到的压力传感器的压力值, 并将读取到的压力值按照时间先后顺序依次连接, 得到列车模型10的压力-时间变化曲线。通过数据采集卡51采集列车模型10的压力信

号,可以直接将数据采集卡51与传感器连接进行压力信号的采集,而无需自己进行硬件电路和软件程序的设计,因此,能够有效降低压力信号采集难度,节省时间。

[0090] 可选地,请继续参见图5,本申请实施例所提供的动模型速度历程测试系统还包括加速度计算模块60,用于根据公式 $V_1 = V_0 + a \Delta t$ 计算得到列车模型10的平均加速度为:

$a = \frac{V_1 - V_0}{\Delta t}$,其中, $\Delta t = t_2 - t_1$, V_0 为列车模型10在 t_1 时刻的速度, V_1 为列车模型10在 t_2 时刻

的速度。具体地,计算得到列车模型10的实时运行速度后,通过加速度计算模块60计算列车模型10的平均加速度,根据公式 $V_1 = V_0 + a \Delta t$ 可知列车模型10的平均加速度为: $a = \frac{V_1 - V_0}{\Delta t}$,

其中, $\Delta t = t_2 - t_1$, V_0 为列车模型10在 t_1 时刻的速度, V_1 为列车模型10在 t_2 时刻的速度,本申请中只需测量列车模型10的压力-时间变化曲线,即可计算得到列车模型10的实时运行速度,进一步计算得到列车模型10的平均加速度,可通过较简单的方法获得列车模型10的速度和加速度,能够有效提高列车模型10运行情况的测量效率,并降低测量复杂度。

[0091] 以下将结合具体案例对本申请基于压力信号的动模型速度历程测试方法进行说明。

[0092] 图7所示为本申请所提供的方法测量得到的压力-时间变化曲线,图8所示为根据压力-时间变化曲线计算得到的速度-时间曲线,请结合图7-图8,本实施例中,在列车模型的驻点处安装压力传感器,则压力系数 $C_p = 1$,在列车模型运行速度为300km/h,对应时间点为1.6s时,开始采集列车模型的压力信号,设定采集的预定时间为0.6s,即时间点为2.2s时,停止压力信号的采集,如图7所示,在坐标系内,将该时间段内采集到的与各个时间点对应的压力值,按照时间先后顺序依次连接,得到列车模型的压力-时间变化曲线。利用本申请提供的实时运行速度计算公式,结合图7所示的1.6s-2.2s时间段内的压力-时间变化曲线,计算得到各个时间点列车模型的实时运行速度,如图8所示中折线所示,在坐标系内,将该时间段内与各个时间点对应的实时运行速度,按照时间先后顺序依次连接,得到列车模型的速度-时间变化曲线。得到列车模型的速度-时间变化曲线后,通过数值逼近的方法对速度-时间曲线进行拟合,得到线性拟合值,如图8中直线所示,根据平均加速度的定义可知,线性拟合值的斜率就是列车模型在该段时间内的平均加速度,在1.6s-2.2s时间段内,任意取两个时刻 t_1 和 t_2 ,则 $\Delta t = t_2 - t_1$,在线性拟合值中分别查找 t_1 和 t_2 时刻对应的拟合值,根据加速度计算公式计算列车模型的平均加速度。

[0093] 通过上述实施例可知,本发明提供的基于压力信号的动模型速度历程测试方法及系统,至少实现了如下的有益效果:

[0094] 本发明提供了一种基于压力信号的动模型速度历程测试方法及系统,利用压力传感器测量列车模型表面的压力-时间变化曲线,通过测量得到的压力-时间变化曲线,即可计算得到列车模型整个运行过程中的实时运行速度,能够有效提高列车模型速度历程的测量效率,并降低测量复杂度。

[0095] 虽然已经通过例子对本发明的一些特定实施例进行了详细说明,但是本领域的技术人员应该理解,以上例子仅是为了进行说明,而不是为了限制本发明的范围。本领域的技术人员应该理解,可在不脱离本发明的范围和精神的情况下,对以上实施例进行修改。本发明的范围由所附权利要求来限定。

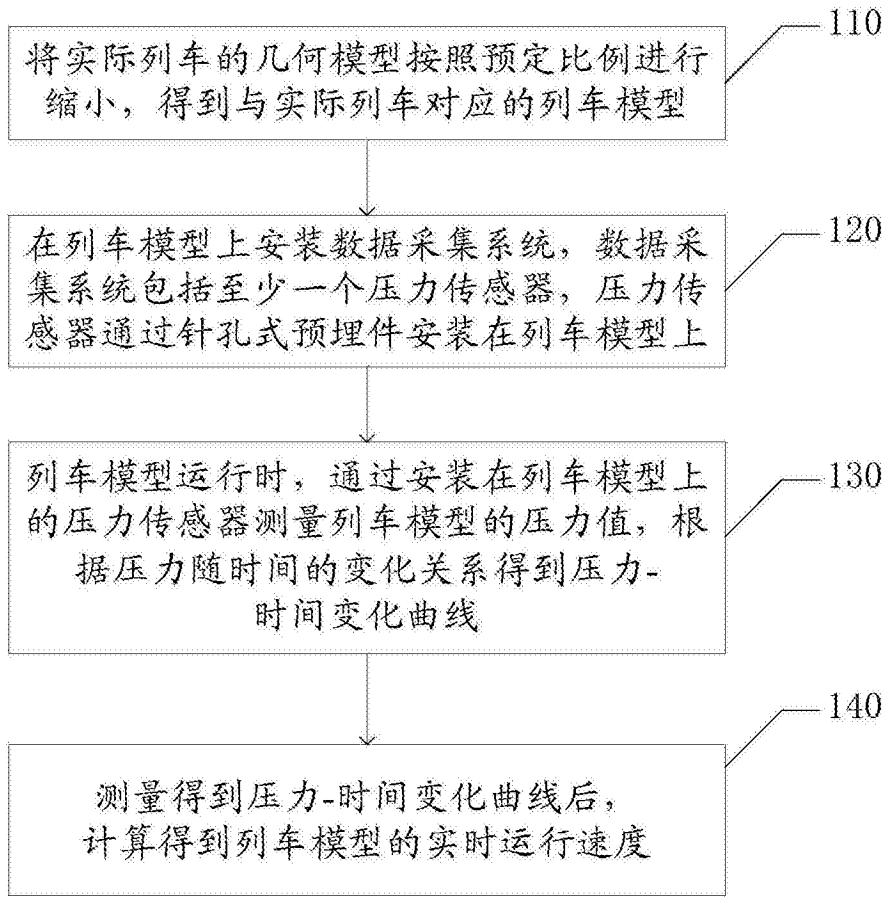


图1

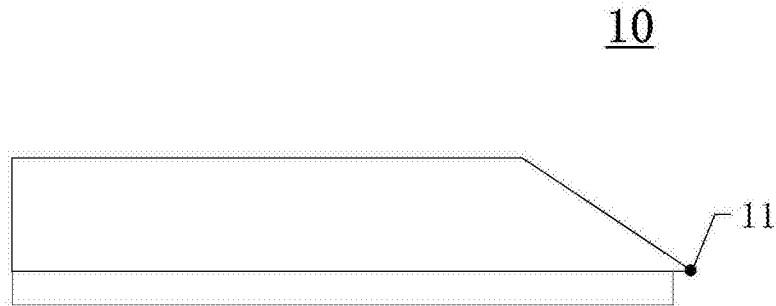


图2

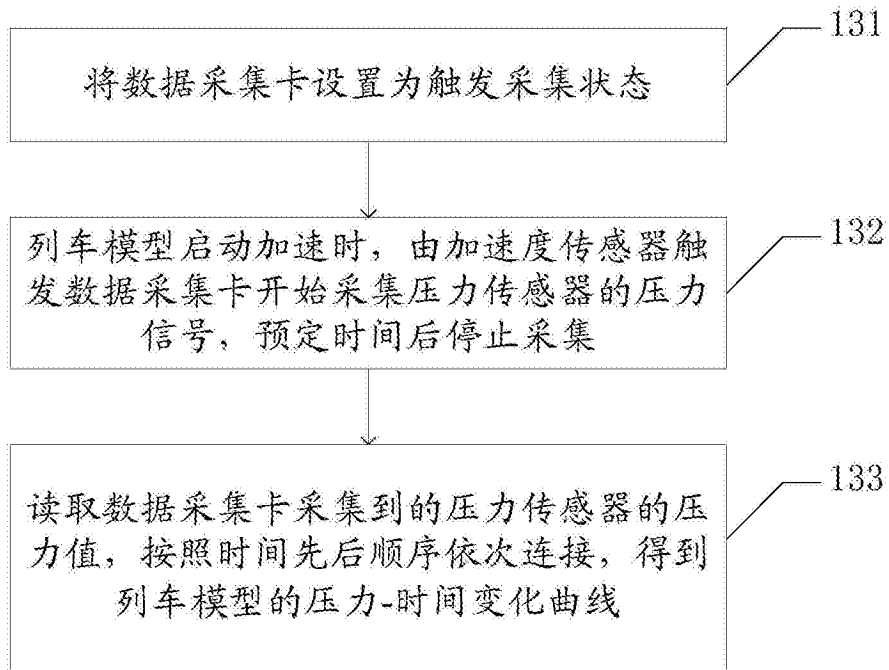


图3

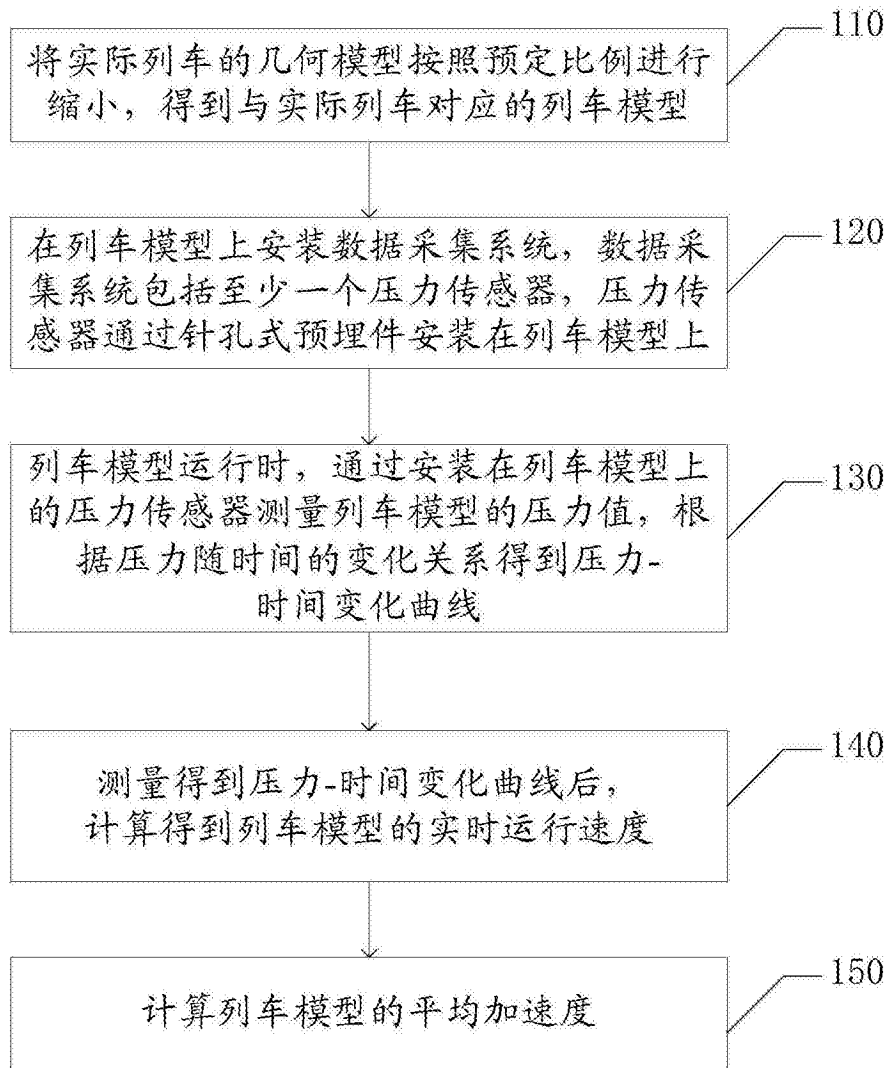


图4

100

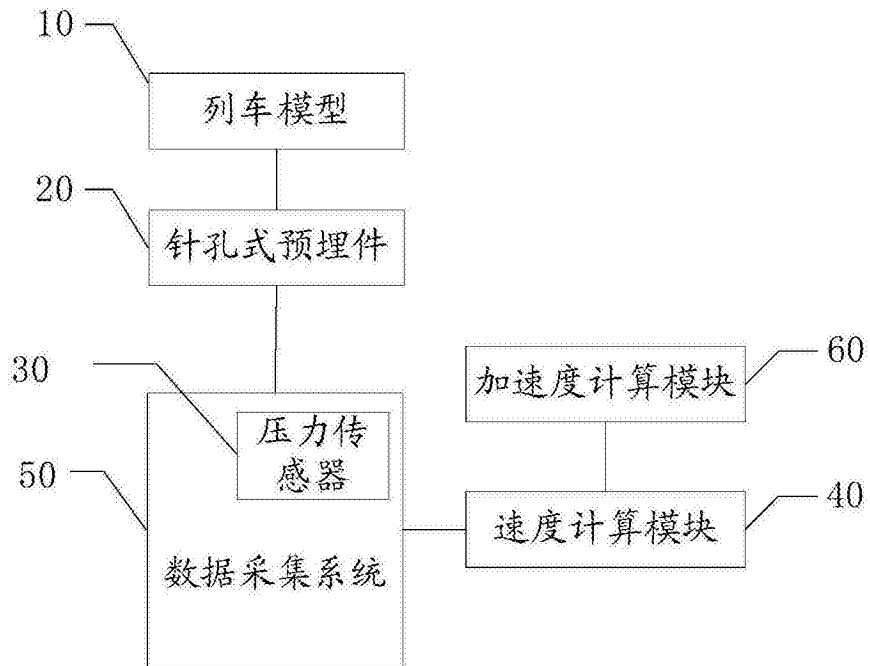


图5

50

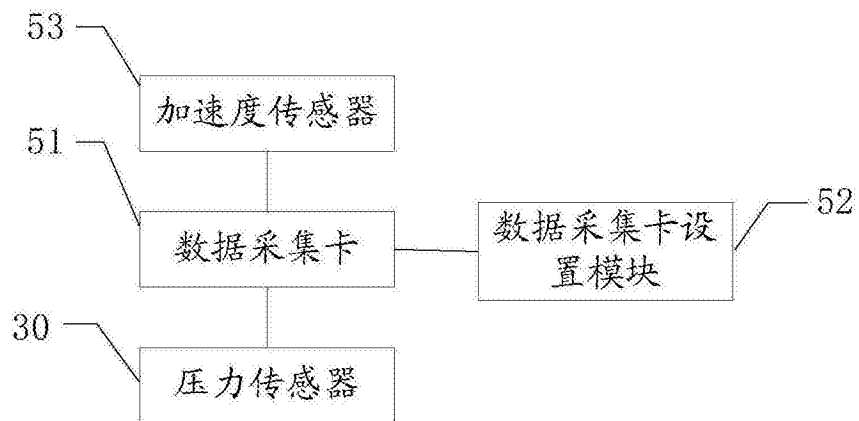


图6

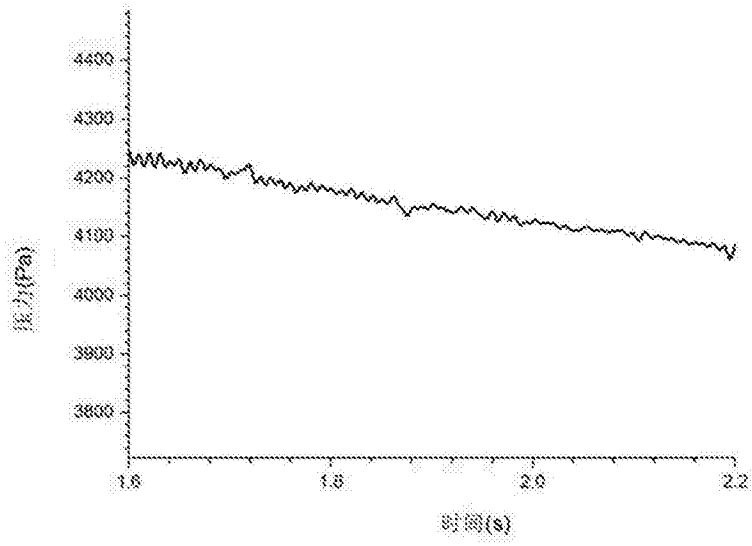


图7

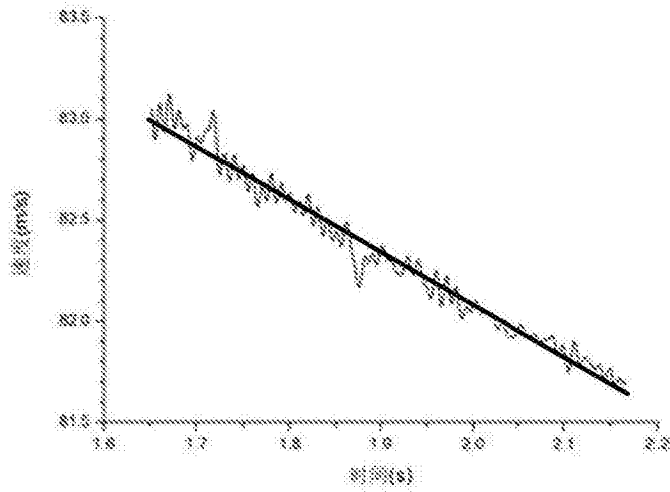


图8