



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113435137 B

(45) 授权公告日 2022. 03. 29

(21) 申请号 202110783214.0

G06F 119/14 (2020.01)

(22) 申请日 2021.07.12

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 108896106 A, 2018.11.27

申请公布号 CN 113435137 A

CN 108896106 A, 2018.11.27

(43) 申请公布日 2021.09.24

CN 110955991 A, 2020.04.03

(73) 专利权人 中国科学院力学研究所

CN 112685975 A, 2021.04.20

地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

CN 112903239 A, 2021.06.04

US 2007/0129919 A1, 2007.06.07

US 2017/0109496 A1, 2017.04.20

(72) 发明人 王一伟 王傲 王静竹 岳杰顺

审查员 石爽

(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 焦海峰

(51) Int. Cl.

G06F 30/28 (2020.01)

G06F 113/08 (2020.01)

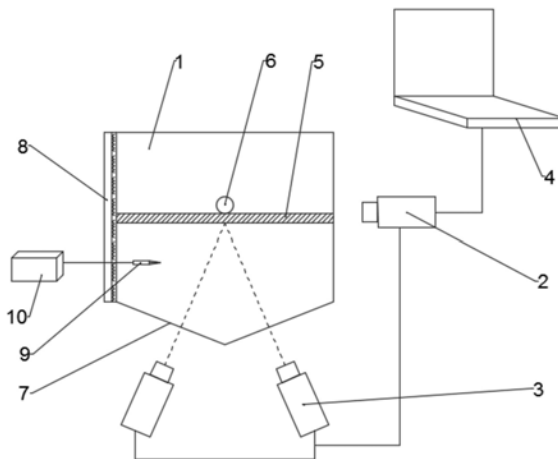
权利要求书2页 说明书4页 附图1页

(54) 发明名称

一种空泡与软材料流固耦合效应的动态分析系统

(57) 摘要

本发明公开了一种空泡与软材料流固耦合效应的动态分析系统,包括用于通过柔性材料和去离子水模拟人体环境的环境水箱;用于对所述环境水箱内的所述柔性材料的表面附近产生的空泡脉动行为以及在空泡作用下柔性材料的状态进行图像捕捉的行为捕捉机构;用于获取表征所述柔性材料在边缘产生空泡脉动行为时的应变场的图像的实时应变机构;以及用于对所述行为捕捉机构和所述实时应变机构获取的图像进行流固耦合行为分析,获得高时空分辨率的空泡脉动与软材料同步应变场结果的分析模块。本发明为非接触式的高时空分辨率的动态分析实验系统,实现了对具有力学性能和软材料边界条件下的空泡脉动与界面非线性变形同步观测与分析。



1. 一种空泡与软材料流固耦合效应的动态分析系统,其特征在于,包括:
 - 环境水箱,用于通过柔性材料和去离子水模拟人体环境;
 - 行为捕捉机构,用于对所述环境水箱内的所述柔性材料的表面附近产生的空泡脉动行为以及在空泡作用下柔性材料的状态进行图像捕捉,所述行为捕捉机构配置于同时获取空泡脉动和软材料变形的所述环境水箱的侧面;
 - 实时应变机构,用于获取表征所述柔性材料在边缘产生空泡脉动行为时的应变场的图像,所述实时应变机构包括两台高速摄影机,且两台所述高速摄影机的水平中轴线与环境水箱的纵截面垂直;
 - 分析模块,用于对所述行为捕捉机构和所述实时应变机构获取的图像进行流固耦合行为分析,获得高时空分辨率的空泡脉动与软材料同步应变场结果;
 - 还包括空泡与软材料流固耦合效应的动态分析系统的分析方法,包括步骤:
 - S100、建立环境水箱内去离子水的流体单元模型,以及在流体单元模型中构建柔性材料的流体区域;
 - 通过设置在柔性材料的表面设置网格线,以及在网格线的交点位置设置标识点来进行柔性材料的固体结构模型;
 - 对柔性材料在流体区域中的状态施加约束条件;
 - S200、在柔性材料的表面附近的流体区域中通过标识点的映射确定流固耦合界面;
 - S300、在流固耦合界面产生空泡,并利用多个角度的高速摄影机对所述柔性材料的表面附近产生的空泡脉动行为以及在空泡作用下柔性材料的状态进行图像捕捉,获得流固耦合行为图像数据;
 - S400、通过空泡脉动和柔性材料同步应变图像数据、流体单元模型、估计结构模型以及约束条件分析获取空泡脉动和柔性材料同步应变图像数据。
2. 根据权利要求1所述的一种空泡与软材料流固耦合效应的动态分析系统,其特征在于,所述环境水箱的一侧设置有应变观察面,且所述应变观察面配置为使两台所述高速摄影机的夹角范围为 $20^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 。
3. 根据权利要求1所述的一种空泡与软材料流固耦合效应的动态分析系统,其特征在于,所述环境水箱的侧面设置有光源模块,所述光源模块为所述行为捕捉机构的图像捕捉提供光照条件。
4. 根据权利要求3所述的一种空泡与软材料流固耦合效应的动态分析系统,其特征在于,所述柔性材料包括主体,以及分布于主体表面的网格线,所述网格线上设置有标识点,其中,所述网格线中相邻两个纵线上的标识点位置不重叠。
5. 根据权利要求3所述的一种空泡与软材料流固耦合效应的动态分析系统,其特征在于,所述环境水箱中设置有压力场表征机构,所述压力场表征机构包括设置于所述环境水箱中的去离子水中的水听器,且所述水听器电性连接有示波器。
6. 根据权利要求1所述的一种空泡与软材料流固耦合效应的动态分析系统,其特征在于,在S300中利用两台夹角范围为 $20^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 的所述高速摄影机对所述柔性材料的表面状态进行产生的空泡脉动行为后的多帧图像数据拍摄,用第三台高速摄像机对所述柔性材料的侧向进行产生的空泡脉动行为多帧数的图像数据拍摄。
7. 根据权利要求1所述的一种空泡与软材料流固耦合效应的动态分析系统,其特征在

于,利用标识点将柔性材料表面状的图像数据和侧向图像数据转换成产生的空泡脉动行为后的流体单元模型和固体结构模型以及流固耦合界面,进行每一帧数下的流体单元模型和固体结构模型以及流固耦合界面的数据分析。

一种空泡与软材料流固耦合效应的动态分析系统

技术领域

[0001] 本发明涉及空化动力学技术领域,具体涉及一种空泡与软材料流固耦合效应的动态分析系统。

背景技术

[0002] 随着人们对软材料附近空化动力学的认识不断加深,空泡在生物学、临床医学等领域应用越来越受到人们的关注与研究。近年来,人们通过冲击波治疗仪、激光、高强度聚焦超声等方式,在人体内部产生单个、多个或云状空泡,用于肌腱炎治疗、玻璃体混浊消除以及癌细胞消除等治疗。目前,与空化导致人体组织破坏相关的致病或治疗机理是空化动力学的研究热点和难点之一。因此融合力学、微流控技术、生物学技术的交叉研究平台的搭建、设计相关揭示类人体环境中的空化治疗机理的实验系统,从力学、生物学等基本变量的检测和分析出发,为有关疾病治疗提供参考十分必要。

[0003] 目前大多数实验系统只能通过接触触发的方式进行实验并记录实验中空泡的动力学行为,在实验结束后对软材料的破坏进行观测,无法同步观测软材料的大变形与穿刺行为。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于提供一种空泡与软材料流固耦合效应的动态分析系统,以解决现有技术中大多数实验系统只能通过接触触发的方式进行实验并记录实验中空泡的动力学行为,在实验结束后对软材料的破坏进行观测,无法同步观测软材料的大变形与穿刺行为的技术问题。

[0005] 为解决上述技术问题,本发明具体提供下述技术方案:

[0006] 一种空泡与软材料流固耦合效应的动态分析系统,包括:

[0007] 环境水箱,用于通过柔性材料和去离子水模拟人体环境;

[0008] 行为捕捉机构,用于对所述环境水箱内的所述柔性材料的表面附近产生的空泡脉动行为以及在空泡作用下柔性材料的状态进行图像捕捉;

[0009] 实时应变机构,用于获取表征所述柔性材料在边缘产生空泡脉动行为时的应变场的图像;

[0010] 分析模块,用于对所述行为捕捉机构和所述实时应变机构获取的图像进行流固耦合行为分析,获得高时空分辨率的空泡脉动与软材料同步应变场结果。

[0011] 作为本发明的一种优选方案,所述实时应变机构包括两台高速摄影机,且两台所述高速摄影机的水平中轴线与环境水箱的纵截面垂直。

[0012] 作为本发明的一种优选方案,所述环境水箱的一侧设置有应变观察面,且所述应变观察面配置为使两台所述高速摄影机的夹角范围为 $20^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 。

[0013] 作为本发明的一种优选方案,所述行为捕捉机构配置于同时获取空泡脉动和软材料变形的所述环境水箱的侧面。

[0014] 作为本发明的一种优选方案,所述环境水箱的侧面设置有光源模块,所述光源模块为所述行为捕捉机构的图像捕捉提供光照条件。

[0015] 作为本发明的一种优选方案,所述柔性材料包括主体,以及分布于主体表面的网格线,所述网格线上设置有标识点,其中,所述网格线中相邻两个纵线上的标识点位置不重叠。

[0016] 作为本发明的一种优选方案,所述环境水箱中设置有压力场表征机构,所述压力场表征机构包括设置于所述环境水箱中的去离子水中的水听器,且所述水听器电性连接有示波器。

[0017] 本发明提供了一种根据权利要求所述的空泡与软材料流固耦合效应的动态分析系统的分析方法,包括步骤:

[0018] S100、建立环境水箱内去离子水的流体单元模型,以及在流体单元模型中构建柔性材料的流体区域;

[0019] 通过设置在柔性材料的表面设置网格线,以及在网格线的交点位置设置标识点来进行柔性材料的固体结构模型;

[0020] 对柔性材料在流体区域中的状态施加约束条件;

[0021] S200、在柔性材料的表面附近的流体区域中通过标识点的映射确定流固耦合界面;

[0022] S300、在流固耦合界面产生空泡,并利用多个角度的高速摄影机对所述柔性材料的表面附近产生的空泡脉动行为以及在空泡作用下柔性材料的状态进行图像捕捉,获得流固耦合行为图像数据;

[0023] S400、通过空泡脉动和柔性材料同步应变图像数据、流体单元模型、估计结构模型以及约束条件分析获取空泡脉动和柔性材料同步应变图像数据。

[0024] 作为本发明的一种优选方案,在S300中利用两台夹角范围为 $20^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 的所述高速摄影机对所述柔性材料的表面状态进行产生的空泡脉动行为后的多帧图像数据拍摄,用第三台高速摄像机对所述柔性材料的侧向进行产生的空泡脉动行为多帧数的图像数据拍摄。

[0025] 作为本发明的一种优选方案,利用标识点将柔性材料表面状的图像数据和侧向图像数据转换成产生的空泡脉动行为后的流体单元模型和固体结构模型以及流固耦合界面,进行每一帧数下的流体单元模型和固体结构模型以及流固耦合界面的数据分析。

[0026] 本发明与现有技术相比较具有如下有益效果:

[0027] 本发明为非接触式的高时空分辨率的动态分析实验系统,实现了对具有力学性能和软材料边界条件下的空泡脉动与界面非线性变形同步观测与分析。

附图说明

[0028] 为了更清楚地说明本发明的实施方式或现有技术中的技术方案,下面将对实施方式或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍。显而易见地,下面描述中的附图仅仅是示例性的,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据提供的附图引伸获得其它的实施附图。

[0029] 图1为本发明实施例提供动态分析系统的结构示意图。

[0030] 图中的标号分别表示如下:

[0031] 1-环境水箱;2-行为捕捉机构;3-实时应变机构;4-分析模块;5-柔性材料;6-空泡;7-应变观察面;8-光源模块;9-水听器;10-示波器。

具体实施方式

[0032] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0033] 如图1所示,本发明提供了一种空泡与软材料流固耦合效应的动态分析系统,包括:

[0034] 环境水箱1,用于通过柔性材料5和去离子水模拟人体环境,为模拟人体环境,柔性材料全部浸没在去离子水中;

[0035] 行为捕捉机构2,用于对环境水箱1内的柔性材料5的边缘产生的空泡6脉动行为进行图像捕捉;

[0036] 实时应变机构3,用于获取表征柔性材料5在边缘产生空泡6脉动行为时的应变场的图像;

[0037] 其中,当使用电火花、激光或者冲击波设备在软材料附近产生空泡后,即可用该系统对实验状态进行记录和分析。

[0038] 分析模块4,用于对行为捕捉机构2和实时应变机构3获取的图像进行流固耦合行为分析,将实验图像导入到3D-DIC软件中进行图像相关处理,获得高时空分辨率的空泡6脉动与软材料同步应变场结果。

[0039] 本发明中提供的实验系统为非接触式的高时空分辨率的动态分析实验系统,实验系统的成功搭建实现了对具有不同力学性能和几何尺寸软材料边界条件下的空泡脉动与界面非线性变形同步观测与分析。

[0040] 实时应变机构3包括两台高速摄影机,且两台高速摄影机的水平中轴线与环境水箱1的纵截面垂直。

[0041] 环境水箱1的一侧设置有应变观察面7,且应变观察面7配置为使两台高速摄影机的夹角范围为 $20^{\circ}\sim 60^{\circ}$,两台相机分别与环境水箱1截面保持垂直是为了减少因为光的折射引起的图像畸变,进而保证使用数字图像相关技术得到应变场的准确性。

[0042] 行为捕捉机构2配置于同时获取空泡6脉动和软材料变形的环境水箱1的侧面。

[0043] 环境水箱1的侧面设置有光源模块8,光源模块8为行为捕捉机构2的图像捕捉提供光照条件,具体为相机和使用阴影法捕捉气泡溃灭过程中的冲击波提供合适的光照条件。

[0044] 环境水箱1中设置有压力场表征机构,压力场表征机构包括设置于环境水箱1中的去离子水中的水听器9,且水听器9电性连接有示波器10,可为冲击波传播以及气泡溃灭压力等提供参考。

[0045] 现有实验中,通过带有散斑的柔性材料能够在图像采集时获得良好的柔性材料的状态追踪,而在实际的图像处理过程中,尤其是多角度摄像机的拍摄过程中,散斑的重叠使得后期图像处理时容易出现错误的状态表征,且无法完全的进行柔性材料的应变场分析,影响最终的分析精度。

[0046] 为此,本申请的所述柔性材料包括主体,以及分布于主体表面的网格线,所述网格线上设置有标识点,标识点位于流固耦合界面(即空泡发生侧),若需要考虑柔性材料的厚度,则需要对柔性材料的两侧表面均进行网格和标识点的划分,其中网格线和标识点实质上通过和柔性材料同种材质的颜色不同的材料实现。

[0047] 而其中,所述网格线中相邻两个纵线上的标识点位置不重叠,其中在不考虑柔性材料的厚度的情况下,使得侧边进行拍摄的高速摄像机中拍摄的图像能够获取更多的供进行图像分析的标识点,来表征柔性材料的应力状态。

[0048] 进一步地,本发明提供了一种根据所述的空泡与软材料流固耦合效应的动态分析系统的分析方法,包括步骤:

[0049] S100、建立环境水箱内去离子水的流体单元模型,以及在流体单元模型中构建柔性材料的流体区域;

[0050] 通过设置在柔性材料的表面设置网格线,以及在网格线的交点位置设置标识点来进行柔性材料的固体结构模型;

[0051] 对柔性材料在流体区域中的状态施加约束条件,例如柔性材料的初始夹持状态,以及表面在去离子水的流体单元模型中人为设置的初始状态;

[0052] S200、在柔性材料的表面附近的流体区域中通过标识点的映射确定流固耦合界面;

[0053] S300、在流固耦合界面产生空泡,并利用多个角度的高速摄影机对所述柔性材料的表面附近产生的空泡脉动行为以及在空泡作用下柔性材料的状态进行图像捕捉,获得流固耦合行为图像数据;

[0054] S400、通过空泡脉动和柔性材料同步应变图像数据、流体单元模型、估计结构模型以及约束条件分析获取空泡脉动和柔性材料同步应变图像数据。

[0055] 在S300中利用两台夹角范围为 $20^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 的所述高速摄影机对所述柔性材料的表面状态进行产生的空泡脉动行为后的多帧图像数据拍摄,用第三台高速摄像机对所述柔性材料的侧向进行产生的空泡脉动行为多帧数的图像数据拍摄,对于三台摄像机的每一帧的图像数据通过进行二维向三维的转换,来获取三维结构图像或模型。因此,在进行分析时,具现为三维结构图像和固体结构模型以及流固耦合界面的转换问题。

[0056] 而利用标识点能够将柔性材料表面状的图像数据和侧向图像数据转换成产生的空泡脉动行为后的流体单元模型和固体结构模型以及流固耦合界面,这样,空泡脉动作用下发生的耦合界面变形流体的载荷传递给固体结构模型,进行每一帧数下的流体单元模型和固体结构模型以及流固耦合界面的数据分析。

[0057] 以上实施例仅为本申请的示例性实施例,不用于限制本申请,本申请的保护范围由权利要求书限定。本领域技术人员可以在本申请的实质和保护范围内,对本申请做出各种修改或等同替换,这种修改或等同替换也应视为落在本申请的保护范围内。

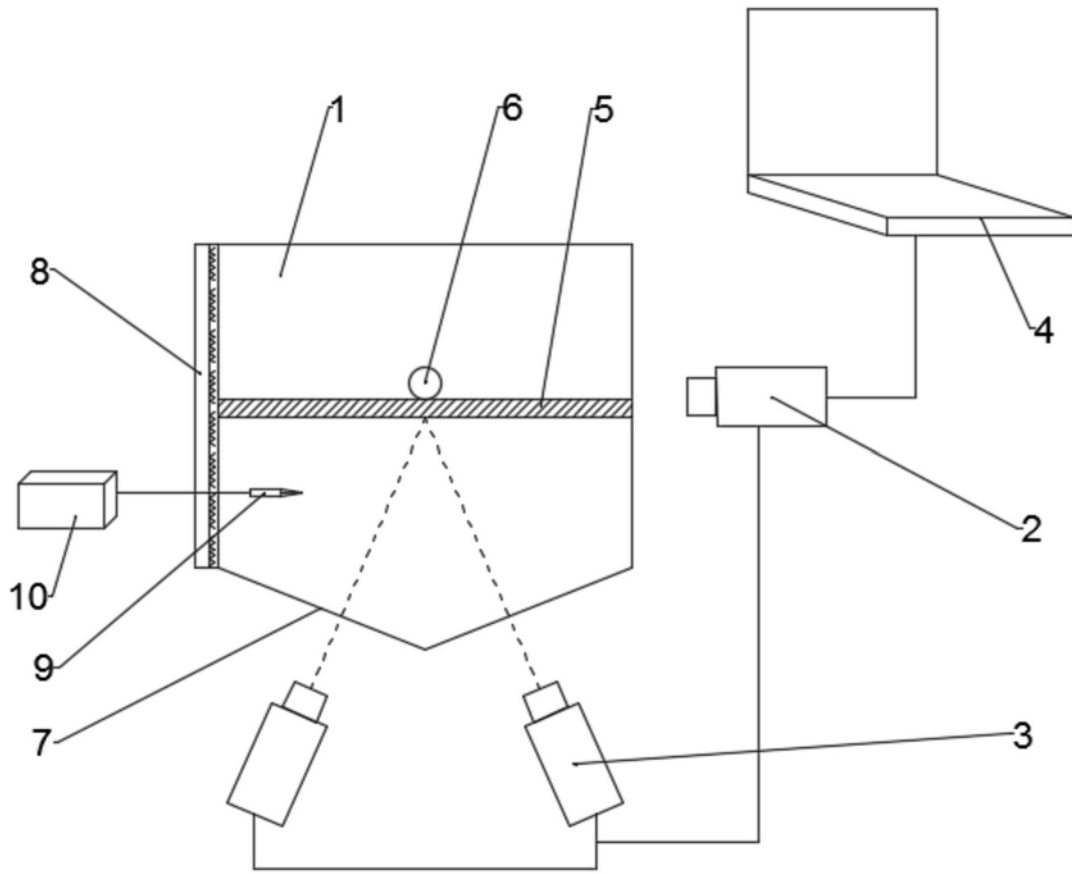


图1