



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109269763 A

(43)申请公布日 2019.01.25

(21)申请号 201811200472.6

(22)申请日 2018.10.16

(71)申请人 四川大学

地址 610065 四川省成都市武侯区一环路  
南一段24号

(72)发明人 罗晶 许唯临 周茂林 李健薄  
翟俨伟

(74)专利代理机构 成都虹盛汇泉专利代理有限  
公司 51268

代理人 周敏

(51)Int.Cl.

G01M 10/00(2006.01)

H04N 7/18(2006.01)

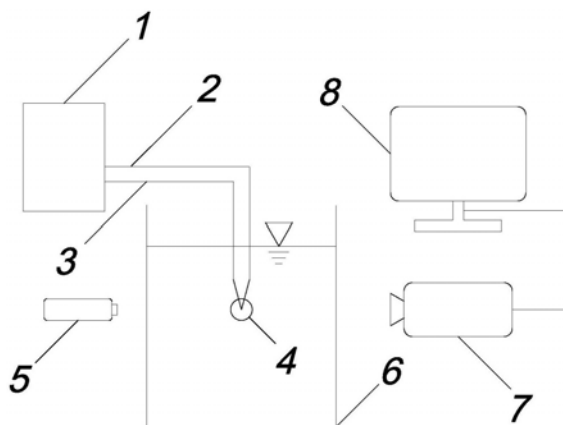
权利要求书1页 说明书4页 附图2页

(54)发明名称

利用同轴平行光源观测电火花空泡溃灭冲击波的实验装置

(57)摘要

本发明提供了一种利用同轴平行光源观测电火花空泡溃灭冲击波的实验装置,包括同轴平行光源、低电压诱发空泡控制组件、水槽、高速摄像机、计算机,所述低电压诱发空泡控制组件由低电压放电器和两根铜导线组成。本发明所述实验装置用于观测电火花空泡溃灭冲击波的动态变化影像,为细观层面空蚀破坏机理的研究提供了新的便利的实验装置。



1. 利用同轴平行光源观测电火花空泡溃灭冲击波的实验装置,其特征在于包括同轴平行光源、低电压诱发空泡控制组件、水槽、高速摄像机、计算机;

低电压诱发空泡控制组件用于在水槽水体中产生电火花空泡;所述同轴平行光源的位置满足同轴平行光源的出射中心、两导线搭接点与高速摄像机镜头中心在同一水平轴线上;所述计算机与高速摄像机连接,实时获取高速摄像机拍摄的溃灭冲击波的动态变化影像。

2. 根据权利要求1所述利用同轴平行光源观测电火花空泡溃灭冲击波的实验装置,其特征在于所述低电压诱发空泡控制组件由低电压放电器和两根铜导线组成,两根铜导线一端分别连接低电压发生器的正负级,另一端相互搭接在一起,且搭接点位于水槽液面下。

3. 根据权利要求2所述利用同轴平行光源观测电火花空泡溃灭冲击波的实验装置,其特征在于两根铜导线的搭接点位于水槽液面下,使液面高出两导线搭接点5倍的空泡最大半径,空泡最大半径根据实验测量。

4. 根据权利要求1-3中任一权利要求所述利用同轴平行光源观测电火花空泡溃灭冲击波的实验装置,其特征在于同轴平行光源的出射中心距离两导线搭接点为10~20cm。

5. 根据权利要求4所述利用同轴平行光源观测电火花空泡溃灭冲击波的实验装置,其特征在于高速摄像机的镜头中心与两导线搭接点的间距为50cm~80cm,进一步,高速摄像机的镜头焦距 $f$ 大于85mm。

6. 根据权利要求1-3中任一权利要求所述利用同轴平行光源观测电火花空泡溃灭冲击波的实验装置,其特征在于同轴平行光源出射光线的光照度不低于1000lx。

7. 根据权利要求4中任一权利要求所述利用同轴平行光源观测电火花空泡溃灭冲击波的实验装置,其特征在于同轴平行光源出射光线的光照度不低于1000lx。

8. 根据权利要求1-3中任一权利要求所述利用同轴平行光源观测电火花空泡溃灭冲击波的实验装置,其特征在于高速摄像机的曝光时间低于 $1\mu\text{s}$ 。

9. 根据权利要求4中任一权利要求所述利用同轴平行光源观测电火花空泡溃灭冲击波的实验装置,其特征在于高速摄像机的曝光时间低于 $1\mu\text{s}$ 。

10. 根据权利要求5中任一权利要求所述利用同轴平行光源观测电火花空泡溃灭冲击波的实验装置,其特征在于高速摄像机的曝光时间低于 $1\mu\text{s}$ 。

## 利用同轴平行光源观测电火花空泡溃灭冲击波的实验装置

### 技术领域

[0001] 本发明属于空泡动力学领域,具体涉及一种观测电火花空泡溃灭冲击波的实验装置。

### 背景技术

[0002] 自从上个世纪初在船舶螺旋桨上出现空蚀破坏,空蚀问题已成为水利、船舶、化工、医疗等专业十分关切的课题,国内外开展了大量的研究。目前关于空蚀破坏机理的认识主要有两点:一是空泡溃灭时发出的溃灭冲击波,另一是空泡溃灭时形成的微射流。溃灭冲击波论,即空泡在收缩回弹过程中强烈地压缩周围液体介质而形成压力溃灭冲击波,这种溃灭冲击波对壁面的压力冲击是产生空蚀的主要诱因之一。当溃灭发生在固体壁面附近时,空泡远离固体壁面的区域溃灭时形成朝向壁面溃灭的高速射流(相关文献介绍近空泡壁面处的微射流流速可达180m/s),微射流对壁面的冲击作用是产生空蚀的另一主要诱因。

[0003] 水下低电压放电法产生电火花空泡,它的电压低于110伏,用来在一对接触的精细电极之间短路放电,使水迅速汽化产生空泡。水下低电压放电法由于其具有精度高、重复性高、安全性高和成本低的优点,成为研究空泡动力学的有效手段。

[0004] 空泡的生命周期(低压电火花空泡的生命周期约为1~3ms)极为短暂,且溃灭冲击波传播速度(相关文献介绍激光空泡溃灭冲击波传播速度大于2000m/s)极快,即溃灭冲击波的马赫数远大于1,此时水体的压缩性不可忽略,因此,靠近冲击波前后水体密度有一定差异。而在相同条件下,不同密度的水体对光的透射情况不一样,从而摄影图像上在溃灭冲击波附近有一定的明暗变化。少量文献介绍现有观测空泡溃灭冲击波的实验装置为:水平间距1m以上的两光源照射空泡处,且两光源与高速摄像机镜头中心处在同一轴线上,高速摄像机负责拍摄溃灭冲击波图像。然而,利用两组同轴线的非平行光源进行空泡溃灭冲击波的拍摄,存在以下不足之处:(1)照射在空泡表面的及附近水体的光线平行度较差;(2)对于较弱的冲击波存在无法观测到的可能;(3)空泡溃灭冲击波在高速摄影图像上的对比度较弱;(4)需要焦距较长的镜头配合高速摄像机使用。

### 发明内容

[0005] 针对现有技术存在的不足,本发明的目的在于提供一种利用同轴平行光源观测电火花空泡溃灭冲击波的实验装置,用于观测电火花空泡溃灭冲击波,为细观层面空蚀破坏机理的研究提供了新的便利的实验装置。

[0006] 本发明的实验装置观测电火花空泡溃灭冲击波的原理为:溃灭冲击波边缘的前后水体密度存在一定差异,在相同条件下,不同密度的水体对光的透射不一样,而采用同轴平行光源具有光束(光线)平行度高、不易发散等优点,使光线的透射现象更加明显,使得在摄影图像上溃灭冲击波与周围水体有清晰地明暗变化。

[0007] 本发明提供一种利用同轴平行光源观测电火花空泡溃灭冲击波的实验装置,包括同轴平行光源、低电压诱发空泡控制组件、水槽、高速摄像机、计算机;

[0008] 低电压诱发空泡控制组件用于在水槽水体中产生电火花空泡;所述同轴平行光源的位置满足同轴平行光源的出射中心、两导线搭接点与高速摄像机镜头中心在同一水平轴线上;所述计算机与高速摄像机连接,实时获取高速摄像机拍摄的溃灭冲击波的动态变化影像。

[0009] 进一步的,所述低电压诱发空泡控制组件由低电压放电器和两根铜导线组成,两根铜导线一端分别连接低电压发生器的正负级,另一端相互搭接在一起,且搭接点位于水槽液面下。

[0010] 优选地,两根铜导线的搭接点位于水槽液面下,使液面高出两导线搭接点(空泡发生的位置)5倍的空泡最大半径,空泡最大半径根据实验测量。

[0011] 进一步的,同轴平行光源的出射中心距离两导线搭接点为10~20cm,这是因为同轴平行光源的出射光线在出射端口10~20cm的范围内平行度最好。

[0012] 进一步的,高速摄像机的镜头中心与两导线搭接点的间距为50cm~80cm,进一步,高速摄像机的镜头焦距 $f$ 大于85mm。

[0013] 进一步的,同轴平行光源出射光线的光照度不低于1000lx。

[0014] 进一步的,高速摄像机的曝光时间低于 $1\mu\text{s}$ ,这是因为冲击波传播速度极快,需要极短的曝光时间来捕捉冲击波的动态变化。

[0015] 本发明的以上技术方案中,各设备以及设备间距的具体参数以高速摄像机能够拍摄到冲击波的图像为准。

[0016] 以上技术方案中,所述同轴平行光源主要由高密度LED和分光片组成。LED灯源通过漫反射将光线发散到半反射半透的分光片后变向为平行的均匀光,使同轴平行光源出射的均匀光和相机在同一轴线上,并可消除图像的重像。

[0017] 使用本发明所述实验装置进行实验研究时工作流程:首先将同轴平行光源、高速摄像机、低电压发生器的工作电路通电。进一步启动高速摄像机拍摄,随后立即触发低电压发生器输出端的两根导线通电短路,在两导线搭接处产生电火花空泡。同时,高速摄像机将录制的溃灭冲击波的动态变化影像实时传输给计算机,计算机进行影像保存。

[0018] 与现有技术相比,本发明具有以下有益效果:

[0019] 1. 本发明所述实验装置利用同轴平行光源,利用同轴平行光源具有平行度高、不易发散等优点,使光线的透射现象更加明显,使得在摄影图像上溃灭冲击波与周围水体有清晰地明暗变化,从而实时观测到电火花空泡溃灭冲击波的动态信息,为细观层面空蚀破坏机理的研究提供了新的便利的实验装置。

[0020] 2. 本发明所述实验装置可以将空泡迁移和冲击波的动态变化同时拍摄。

[0021] 2. 本发明所述实验装置操作简便、安全可靠、实验效果好,成本低。

## 附图说明

[0022] 图1为本发明所述实验装置的结构示意图;

[0023] 图2为本发明所述实验装置中水槽、同轴平行光源和高速摄像机的相对位置布置俯视图(平面布置图);

[0024] 图3为实施例中高速摄像机拍摄到的水下低电压放电诱发的电火花空泡溃灭冲击波的图片。图中0时刻为电火花空泡产生的初始时刻;图中 $1183\mu\text{s}$ 时刻为膨胀至最大直径为

9.2mm的电火花空泡;图中2183 $\mu\text{s}$ 时刻为电火花空泡产生溃灭冲击波的初始时刻;图中2183 $\mu\text{s}$ ~2201 $\mu\text{s}$ 观测到溃灭冲击波。

[0025] 图中,1低电压发生器,2铜导线a,3铜导线b,4空泡,5同轴平行光源,6水槽,7高速摄像机,8计算机。

### 具体实施方式

[0026] 下面结合附图和具体实施例对本发明技术方案进行详细说明。以下所述仅为本发明的实施例,并非因此限制本发明的范围,凡是利用本发明说明书内容所作的等效结构或等效流程变换,或直接或间接运用在其它相关的技术领域,均同理包括在本发明保护范围内。

[0027] 实施例

[0028] 一种利用同轴平行光源观测电火花空泡溃灭冲击波的实验装置,包括低电压诱发空泡控制组件、同轴平行光源5、水槽6、高速摄像机7、计算机8,所述低电压诱发空泡控制组件由低电压放电器1和铜导线a 2,铜导线b 3组成。

[0029] 所述低电压诱发空泡控制组件的两根铜导线一端分别连接低电压发生器的正负级,另一端相互搭接在一起,且搭接点位于水槽液面下,用于在低电压发生器工作时在水体中产生电火花空泡;同轴平行光源的出射中心、两导线搭接点与高速摄像机镜头中心在同一水平轴线上,所述计算机与高速摄像机连接,实时获取高速摄像机拍摄的溃灭冲击波的动态变化影像。

[0030] 本实施例中进行以下优化:同轴平行光源的出射中心距离两导线搭接点为10~20cm,高速摄像机的镜头中心与两导线搭接点的间距为50cm~80cm,高速摄像机的镜头焦距 $f$ 大于85mm,同轴平行光源出射光线的光照度不低于1000lx,高速摄像机的曝光时间低于1 $\mu\text{s}$ ,各设备以及设备间距的具体参数以高速摄像机能够拍摄到冲击波的图像为准。

[0031] 本实例中,所有电器均采用民用220v交流电供电。

[0032] 同轴平行光源(市售)采用白光,色温6600K,功率3W;低电压发生器按照专利申请CN103528792A公开的“水下低压放电气泡产生装置”进行组装,的输出端的两根铜导线直径均为0.1mm;高速摄像机(市售)选择最大达2400000帧/秒的高速摄像机,镜头采用微距放大镜头;计算机预装高速摄像机控制及图像处理软件。

[0033] 同轴平行光源的出射中心距离两导线搭接点为15cm,高速摄像机的镜头中心与两导线搭接点的距离为50cm,高速摄像机的镜头焦距 $f$ 为85mm,同轴平行光源出射光线的光照度为1000lx,高速摄像机的曝光时间为0.25 $\mu\text{s}$ 。

[0034] 实验开始前,向水槽内缓慢加入去离子水,使液面高出两导线搭接点5倍的空泡最大半径(空泡最大半径根据实验测量)。首先,将同轴平行光源、高速摄像机、低电压发生器的工作电路通电。然后,启动高速摄像机拍摄,随后,立即操控低电压发生器输出端的两根导线通电短路,在两导线搭接处产生电火花空泡。同时,计算机通过高速摄像机配套软件实时读取高速摄像机录制的溃灭冲击波的动态变化影像。最后,图像处理时,电火花空泡与溃灭冲击波的尺寸根据各自所占图片的像素点数进行测量,溃灭冲击波的传播速度根据单位时间冲击波波移动的距离来计算。

[0035] 高速摄像机拍摄到的水下低电压放电诱发的电火花空泡溃灭冲击波的图片见图

3.图中0时刻为电火花空泡产生的初始时刻,之后电火花空泡逐渐膨胀,直至1183 $\mu$ s时刻电火花空泡膨胀至最大直径,电火花空泡最大半径为19.5mm;随后电火花空泡开始逐渐收缩,直至2183 $\mu$ s时刻电火花空泡产生溃灭冲击波;图中2183 $\mu$ s~2201 $\mu$ s观测到溃灭冲击波的清晰图像,其传播速度大致为1870m/s。

[0036] 本实施例使用一种利用同轴平行光源观测电火花空泡溃灭冲击波的实验装置,实时观测到电火花空泡溃灭冲击波的动态信息,为细观层面空蚀破坏机理的研究提供了新的便利的实验装置。

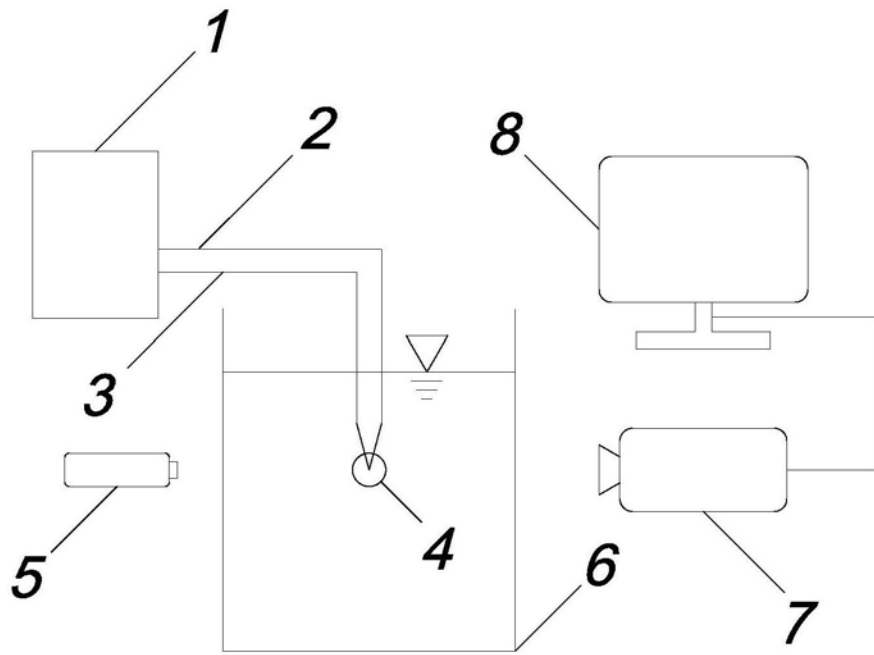


图1

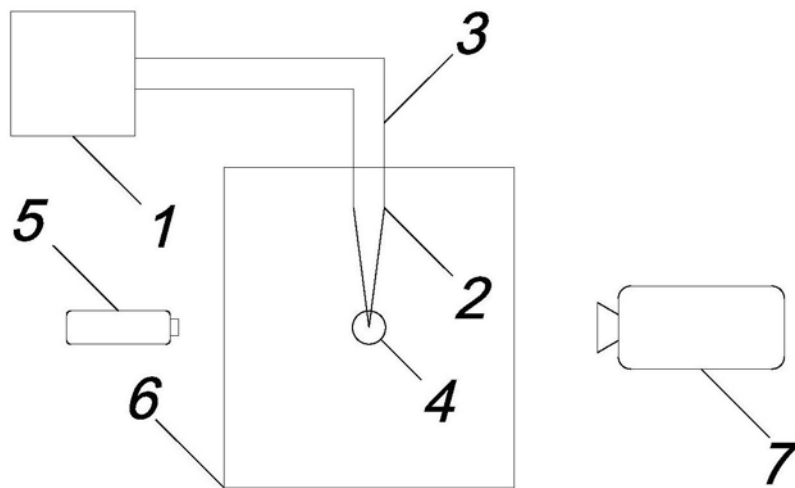
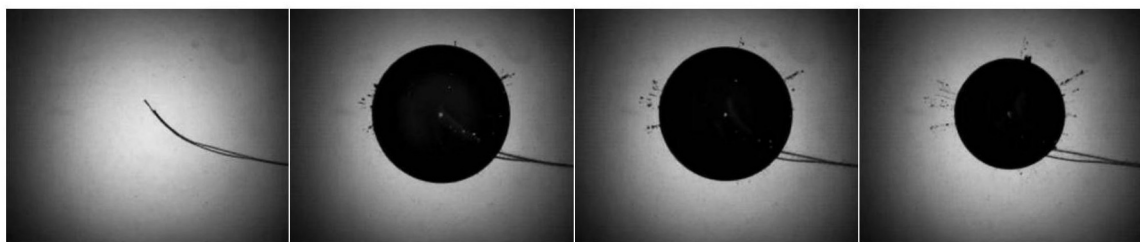


图2



0

1183 $\mu$ s

1517 $\mu$ s

1850 $\mu$ s

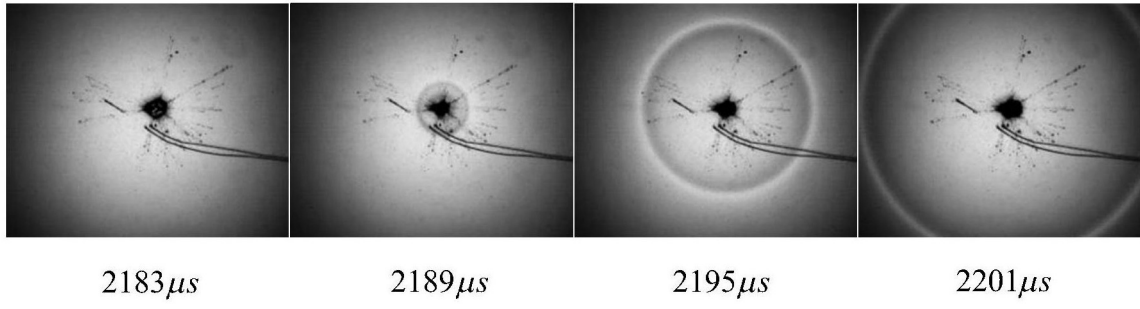


图3