

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102749650 A

(43) 申请公布日 2012. 10. 24

(21) 申请号 201210229818. 1

(22) 申请日 2012. 07. 04

(71) 申请人 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 黄晨光 吴先前 王一伟 魏延鹏  
宋宏伟

(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.

G01V 1/38 (2006. 01)

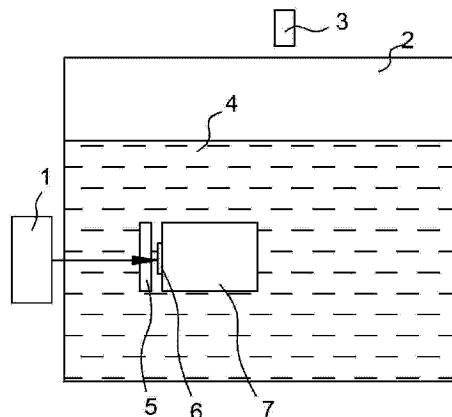
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 1 页

(54) 发明名称

一种水下爆炸实验系统

(57) 摘要

本发明公开了一种水下爆炸实验系统容器，包括：激光发生器、摄像单元和具有一定体积的容器，在该容器放置有预定量的水；在所述容器中固定有透光的约束单元，模拟冲击的水下结构放置所述容器中，并临近所述水下结构；在所述水下结构的临近所述约束单元的一面上还设置有吸收单元。本发明能够很好地模拟水下爆炸的过程。



1. 一种水下爆炸实验系统容器,其特征在于,包括:激光发生器、摄像单元和具有一定体积的容器,在该容器放置有预定量的水;在所述容器中固定有透光的约束单元,模拟冲击的水下结构放置所述容器中,并临近所述水下结构;在所述水下结构的临近所述约束单元的一面上还设置有吸收单元;

所述吸收单元吸收所述激光发生器发出的激光能量后发生熔化、气化以及电离,形成高温高压等离子体,等离子体膨胀并与约束单元变形耦合,产生短脉冲、高幅值的等离子体压力,具有一定体积的等离子体湮灭后形成的气泡,从而推动所述水下结构移动,并通过所述摄像单元拍摄记录所述水下结构移动的过程。

2. 如权利要求1所述的实验系统,其特征在于,所述约束单元为具有一定厚度的玻璃。

3. 如权利要求1所述的实验系统,其特征在于,所述吸收单元为具有一定厚度的铝膜。

## 一种水下爆炸实验系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种水下爆炸实验系统。

### 背景技术

[0002] 水下爆炸是指炸药、鱼雷、炸弹或核弹等在水中瞬时释放能量，在水中形成向四周扩展并不断衰减的冲击波，冲击波与结构物如船舰等相互作用，使结构发生破坏。水下爆炸过程大致可分为三个阶段：炸药水中爆轰、冲击波的传播与衰减、爆炸产物气球的振荡上浮。

[0003] 炸药首先爆轰，瞬时释放大量的能量，形成高温高压的爆炸产物。高压气球在膨胀过程中受到周围水的惯性约束作用，在水中形成向外传播的球面冲击波，同时在气球中则反向传播稀疏波。由于稀疏波造成气体的过度膨胀，在稀疏波的尾部形成一个向爆心运动而强度渐增的第二冲击波，它在爆心反射并向外传播追赶前面的主冲击波。在传播过程中冲击波能量不断耗散，强度不断减弱，波形不断展宽。另外，高压气球先发生膨胀，气泡内压力不断减小。当气球内部的压力衰减到环境压力时，由于水的惯性运动，气球继续膨胀，压力继续下降。气球在水的反压作用下开始收缩，压力重新上升，气球向水中发出幅度不大而持续时间较长的二次压力脉冲，它对附近的薄壳结构也具有一定的破坏作用。在水下爆炸过程中，气球不断胀缩振荡，在水的浮力作用下，伴随上浮运动直至逸出水面。

[0004] 对水下爆炸现象的研究，对于水下冲击波与结构响应的相互作用机理、爆炸产物气泡脉动规律等问题至关重要。对水下爆炸机理的研究，可以更好地解决工程中的关键问题，为水下爆炸的应用提供理论基础。

[0005] 传统的水下爆炸实验利用高能炸药爆炸后瞬时释放能量，产生冲击波对附近水域的结构物进行加载，来研究结构的响应以及水下爆炸对结构的破坏机理。由于炸药爆炸后释放的能量大，产生的冲击波幅值高，因此实验需要的水域面积大以保证人员安全，且对爆炸产生的近场压力难以测量。

[0006] 另外，传统的水下爆炸实验方法对于炸药的能量很难精确的控制，对爆炸产物的脉动规律亦缺乏有效研究手段。因此，对水下爆炸的机理缺乏有效的测量和观察手段。

### 发明内容

[0007] 针对现有技术存在的问题，本发明的目的在于提供一种水下爆炸实验系统，能够对水下爆炸中的基本物理现象进行直接观察，对水中冲击波历程进行测量，同时可以对冲击波与水下结构物的相互作用机理以及结构的响应规律进行研究。

[0008] 本发明的一种水下爆炸实验系统容器包括：激光发生器、摄像单元和具有一定体积的容器，在该容器放置有预定量的水；在所述容器中固定有透光的约束单元，模拟冲击的水下结构放置所述容器中，并临近所述水下结构；在所述水下结构的临近所述约束单元的一面上还设置有吸收单元；

[0009] 所述吸收单元吸收所述激光发生器发出的激光能量后发生熔化、气化以及电离，

形成高温高压等离子体，等离子体膨胀并与约束单元变形耦合，产生短脉冲、高幅值的等离子体压力，具有一定体积的等离子体湮灭后形成的气泡，从而推动所述水下结构移动，并通过所述摄像单元拍摄记录所述水下结构移动的过程。

[0010] 优选地，所述约束单元为具有一定厚度的玻璃。

[0011] 优选地，所述吸收单元为具有一定厚度的铝膜。

[0012] 本发明通过短脉冲强激光与吸收单元相互作用，使其熔化、气化、电离，形成等离子体。等离子体继续与激光作用，吸收激光能量，内能快速升高，一部分转化为等离子体的热能，另外一部分转化为等离子体的电离能。在该过程中等离子体膨胀与约束单元变形耦合，产生短脉冲、高幅值的等离子体压力，具有一定体积的等离子体湮灭后形成的气泡，并可对水下结构作用，从而使其运动。再通过摄像单元进行拍摄，就能够很好地模拟水下爆炸的过程。此外，由于本发明可以通过精确计算得到等离子体的压力特征，因此能够精确地模拟水下爆炸过程。

## 附图说明

[0013] 图 1 为本发明结构示意图。

## 具体实施方式

[0014] 本发明的设计原理如下：

[0015] 在激光与物质相互作用阶段，采用压力耦合计算模型结合耦合分析程序计算得到等离子体的压力特征。激光辐照过程中，等离子体的膨胀速度由量变约束介质的激光烧蚀速度和应力扰动速度组成，等离子体吸收的能量一部分用来对靶体做功，另外一部分转化为等离子体内能的升高。

$$[0016] I_p(t) = p(t) \frac{dL(t)}{dt} + \frac{d}{dt}[E_i(t)L(t)],$$

[0017] 其中  $I_p(t)$  为等离子体吸收的功率密度， $L(t)$  为等离子体的长度， $E_i(t)$  为等离子体的单位体积的内能。

[0018] 等离子体的内能有  $\alpha$  部分转化等离子体的热能。假设等离子体为理想气体，

$$[0019] p(t) = \frac{2}{3} E_T(t) = \frac{2}{3} \alpha E_i(t)$$

[0020] 因此

$$[0021] I_p(t) = p(t) \frac{dL(t)}{dt} + \frac{3}{2\alpha} \frac{d}{dt}[p(t)L(t)].$$

[0022] 其中等离子体吸收的激光能量为

$$[0023] I_p(t) = I_0(t) \cdot T_c \cdot [1 - \exp(-\kappa_p L)].$$

[0024] 激光停止辐照后，认为等离子体处于绝热冷却阶段，满足气体绝热方程，

$$[0025] p(t) = p(\tau) \left( \frac{L(\tau)}{L(t)} \right)^\gamma.$$

[0026] 其中  $p(\tau)$  和  $L(\tau)$  分别为激光停止辐照时刻  $\tau$  的压力和等离子的长度， $\gamma$  为等离子体的气体绝热指数。

[0027] 具有一定体积的等离子体湮灭后形成的气泡，由于内外压力差，使得气泡产生脉

动，并对水下结构靶体继续产生推力。该阶段的作用时间比较长，对结构的推力可以认为是气泡内的压力。

[0028] 对该阶段采用描述气泡脉动的 Rayleigh-Plesset 方程，来得到该阶段的气泡脉动规律，

$$[0029] \rho \left( \frac{3}{2} \dot{R}^2 + R \ddot{R} \right) = -P_{\infty} + P_{g0} \left( \frac{R_0}{R} \right)^{3\gamma}$$

[0030] 其中， $\rho$  为流体的密度， $R$  为气泡半径， $-P_{\infty}$  为流体远场压力，取 1 个标准气压， $P_{g0}$  为气泡内的压力， $\gamma$  为空气绝热指数。

[0031] 气泡对靶体的推力为

$$[0032] P(t) = P_{g0} \left( \frac{R_0}{R} \right)^{3\gamma}$$

[0033] 靶体在航行过程中其头部会受到介质的阻力  $f(t)$ 。阻力  $f(t)$  与靶体的动压有如下关系

$$[0034] f(t) = C_d \cdot \frac{1}{2} \rho v^2(t)$$

[0035] 其中  $C_d$  为阻力系数。对于椭圆头型， $C_d=0.4$ 。 $\rho$  为介质的密度， $v(t)$  为靶体的运动速度。

[0036] 结构在运动过程中垂直方向的运动速度相对于水平方向的运动速度可以忽略，假设结构为刚体，其运动方程为

$$[0037] p(t) \cdot S - C_d \cdot \frac{1}{2} \rho v^2(t) = m \cdot \frac{dv(t)}{dt}$$

[0038] 其中  $S$  为激光作用光斑面积， $m$  为靶体的质量。

[0039] 对方程进行离散，得到一阶精度的显示差分计算方程

$$[0040] p^i \cdot S - C_d \cdot \frac{1}{2} \rho (v^i)^2 = m \cdot \frac{v^{i+1} - v^i}{\Delta t}$$

[0041] 通过求解，得到结构的运动速度历程  $v(t)$ 。

[0042] 由此，如图 1 所示，本发明的水下爆炸实验系统包括：激光发生器 1、摄像单元 3 和具有一定体积的容器 2，在容器 2 放置有预定量的水 4。在容器 2 中固定有透光的约束单元 5，模拟冲击的水下结构 7 放置容器 2 中，并临近水下结构 7。在水下结构 7 的临近约束单元 5 的一面上还设置有吸收单元 6。在本发明实施例中，约束单元 5 为具有一定厚度的玻璃，吸收单元 6 为具有一定厚度的铝膜。

[0043] 吸收单元 6 吸收激光发生器 1 发出的激光能量后发生熔化、气化以及电离，形成高温高压等离子体，等离子体膨胀并与约束单元 5 变形耦合，产生短脉冲、高幅值的等离子体压力，具有一定体积的等离子体湮灭后形成的气泡，从而推动水下结构 7 移动，并通过摄像单元 3 拍摄记录水下结构 7 移动的过程。

[0044] 气泡膨胀到水的自由表面时，首先在自由表面溃灭，沿着航行体水平线位置分成两部分。一部分形成“喷泉”现象，喷泉高度可达几厘米。另一部分受到气泡溃灭部分的反向作用，向左下方快速运动。水下结构 7 在推力作用下运动。

[0045] 本发明的水下爆炸实验平台的建立，为激光与物质相互作用、水下爆炸冲击波压

力传播和衰减规律、结构的动态响应等规律的研究提供了精细、方便的实验环境。

[0046] 本发明通过短脉冲强激光与吸收单元相互作用，使其熔化、气化、电离，形成等离子体。等离子体继续与激光作用，吸收激光能量，内能快速升高，一部分转化为等离子体的热能，另外一部分转化为等离子体的电离能。在该过程中等离子体膨胀与约束单元变形耦合，产生短脉冲、高幅值的等离子体压力，具有一定体积的等离子体湮灭后形成的气泡，并可对水下结构作用，从而使其运动。再通过摄像单元进行拍摄，就能够很好地模拟水下爆炸的过程。

[0047] 此外，由于本发明可以通过精确计算得到等离子体的压力特征，因此能够精确地模拟水下爆炸过程。

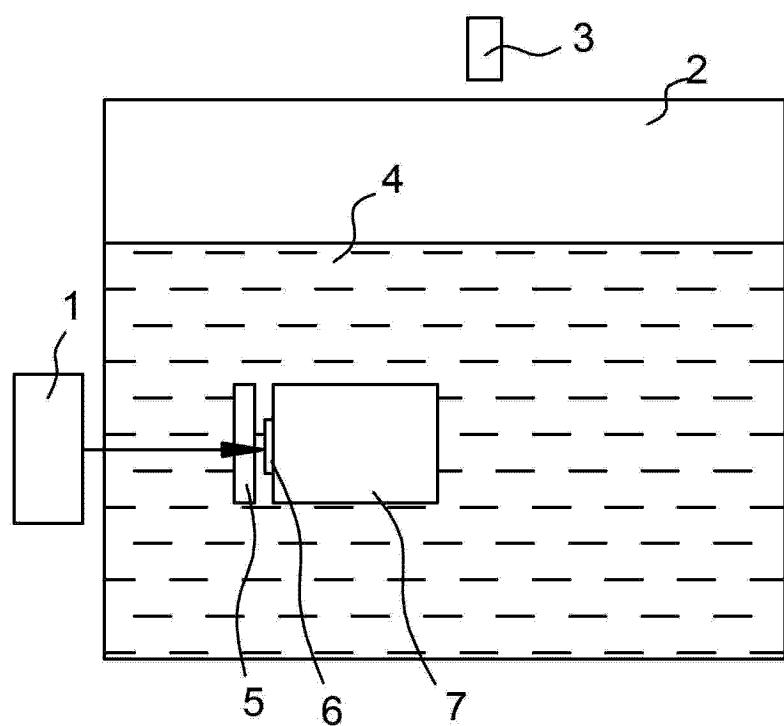


图 1