

文章编号: 1000-5773(2004)03-0198-05

炸药爆炸变形和首次破碎的研究^{*}

胡 栋^{1,2}, 韩肇元³, 张寿齐², 赵玉华², 王炳仁¹, 陈 军¹,
蔡庆军³, 姚协成³, 董 石¹, 孙珠妹⁴

(1. 中国工程物理研究院流体物理研究所冲击波物理与爆轰物理实验室, 四川绵阳 621900;
2. 中国工程物理研究院, 四川绵阳 621900; 3. 中国科技大学近代力学系, 安徽合肥 230026;
4. 四川大学高温高压物理研究所, 四川成都 610065)

摘要: 利用纹影技术研究了炸药爆轰后驱动物质的变形过程。为了便于观察, 待测物质选取为变形比较大的介质水。实验观察表明, 在炸药爆轰作用下, 筒状水的膨胀首先由雷管起爆端开始, 形成了倾斜状、波浪形的界面。结果表明: 阵面的波动破裂均从外界面开始, 界面的不稳定性可能是导致其失稳并破碎的主要原因。实验还观察到炸药爆轰后不同延迟时间的物体从大块变成小块的发展过程。研究中克服了炸药爆轰产物发光对图像的影响, 以及爆炸振动对光路的影响。研制了一种简易的触发探针, 解决了外光源和炸药爆轰的同步问题。

关键词: 爆炸; 破碎; 纹影; 变形

中图分类号: O38

文献标识码: A

1 引言

连续相的液体由于液体内的湍流、不稳定性的发展或气动阻力等因素的作用而发生变形, 破碎成丝状或带形等不规则液体单元。要对二次破碎成液滴和雾化有清楚的分析 and 理解, 就必须对首次破碎进行深入研究。

造成液体首次破碎的原因分成好几种: 在压力雾化喷洒中, 由于液体核内湍流发展可以导致首次破碎^[1]; 在火箭发动机喷口处, 由于不稳定性的发展可以造成液体薄片失稳并撕裂的首次破碎; 另外由于液体喷射撞击固壁也可以导致首次破碎等^[2]。

另一种破碎为液体相在内, 气体相在外; 气体的运动不仅有轴向喷流, 而且在周向还有旋转运动。这就造成液体运动出喷口后, 受液体内部湍流和液体核旋转离心力的作用而迅速破碎^[3]。

炸药爆炸抛撒液体时, 炸药爆轰产生的作用力远大于气动阻力, 液体被喷射入空气中。爆炸力减弱到与气动阻力相当时, 液体的运动由这两个力共同作用和决定。在气动阻力起作用时, 液体产生二次破碎并变成小液滴^[4]。

我们利用纹影仪, 并借助于研制的相关测试技术, 观察了水在炸药爆炸作用下的首次破碎。

2 实验装置与测试技术

纹影系统放置在室内, 爆炸丝光源系统放置在室外爆炸场地, 实验装置位于光源和纹影系统之间, 测量在离爆炸中心较近的观察窗口进行。实验装置参见图 1。

光源所发出的光经凹面反射镜反射成平行光后, 再通过左面二平面反射镜后改变方向, 进入实验段。而后光束又被左面的平面反射镜送回地面, 并经另一凹面镜反射、刀口的遮挡, 成像于照相机底

^{*} 收稿日期: 2003-01-20; 修回日期: 2003-05-30

基金项目: 国家自然科学基金(19882003); 中国工程物理研究院预研基金(YKXJ-970106)

作者简介: 胡 栋(1943—), 男, 研究员, 博导, 长期从事凝聚态物理和爆炸力学研究。

片上。

实验时,处于圆筒实验装置中心的炸药爆炸后,由此爆炸波所产生的压力脉冲可用来作为纹影照相的触发信号。光源和照相机系统根据条件选用单幅照片方式。

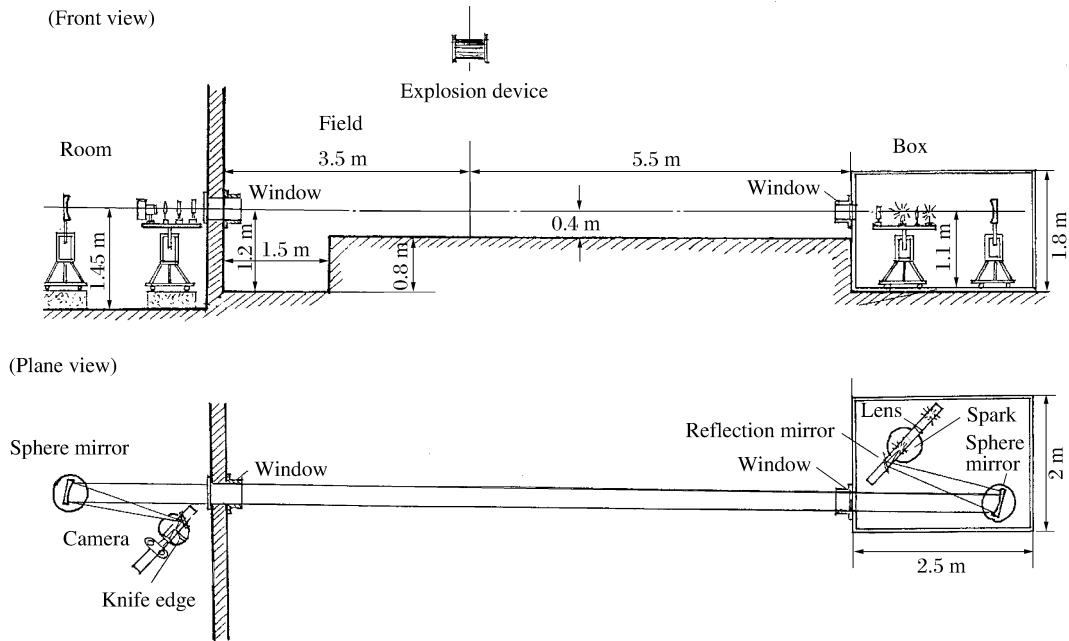


图1 纹影仪测试系统示意图

Fig. 1 Scheme of the experimental arrangement

由于测量的目标是装置抛撒水在 0.3 m 近场内液体的首次破碎,因此装置离观察洞口只有 120~200 mm,而离沙堆仅为 500 mm。装置爆炸后从地面反射的波可能影响流场。实验中采取以下措施:在放置装置处挖一个 0.5 m 深的坑,支架加高到 1.4 m。实验中能清晰地观察到液体的阵面。

水靠炸药爆轰抛撒,炸药爆轰产物发光必将影响火花光源发光。实验装置的外壳是用透光薄塑料片做成的。为了挡住炸药爆轰产物的初期发光,在塑料筒内壁加入红黑两层塑料薄膜,但是纹影系统测量结果不理想。

观察表明:中部是火花光源发光,在它的周围有一圈余光,它应是炸药爆轰产物发出的光。光进入的途径只有观察洞口,于是将场外保护钢筒和工号墙壁贴紧。并用黑纸将可能的漏光处封住。这时能清晰观察到液体的阵面。

如果装置离火花光源光轴太近,并且有一半进入观察视野,炸药爆炸将水抛撒至保护钢筒内,以至实验无法观察到水阵面的运动过程,只见大片的水。实验中柱形云爆装置的中心轴与光轴平行。经分析后认为:插入装置一端的雷管引爆炸药后,水很快被抛撒开。而装置的一半已进入观察视野,这样来自雷管引爆炸药后抛散的水正好进入光路,以致装置外壳破碎后,水阵面的运动过程被遮掩。

实验中,装置也有一半进入观察视野,但是柱形装置的中心轴与光轴垂直。这样雷管引爆炸药后初始抛撒的水不可能很快进入光路。装置外壳破碎后,水阵面的运动过程就被清晰地拍摄到。

雷管引爆炸药后,冲击波在水中传播一定时间后到达装置薄塑料外壳。鉴于薄塑料的断裂强度很低,薄塑料外壳很快破裂。近似以冲击波后粒子速度运动的水阵面向外扩张。随着爆轰波阵面的传播,水被不断抛撒开。这样形成了如图 2(a)中的倾斜状,水的阵面呈波浪形。

要准确拍摄到装置抛撒水在 0.3 m 左右处的首次破碎,必须精确测量爆轰波阵面在炸药中的传播速度,以及冲击波在水中的传播时间。高密度炸药爆轰测量技术中常用的电离式探针和压通式探针均

不适用。其原因是所用炸药为松装炸药,爆压低(约 2 GPa)。我们研制出一种压通式探针,它不同于高压下的同轴探针。它用铜箔制成。利用这种探针成功地测量了爆轰波阵面在炸药中的传播时间,以及冲击波在水中的传播时间。以此时间确定炸药爆速 $D = 3.3 \text{ km/s}$, 水中冲击波速度为 $D_{\text{water}} = 2.0 \text{ km/s}$ 。

为了防止震动对测量结果的影响,放置爆炸丝光源的小铁房的底与四周的壁是分开的。采取这些措施后,减少了震动对纹影测量结果的影响。

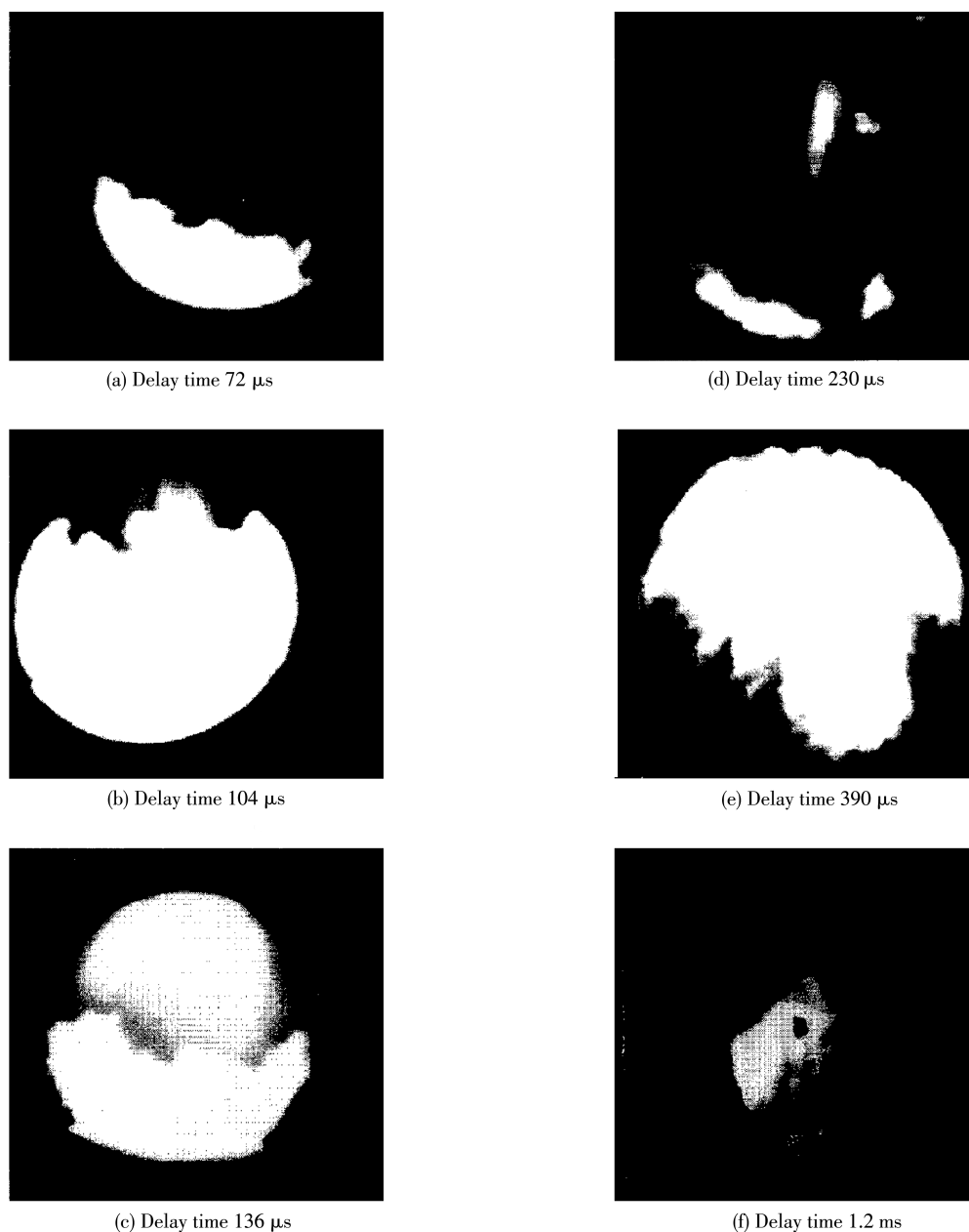


图 2 水的首次破碎过程结果

Fig. 2 The results of first breakdown for water

3 实验结果及分析

解决了上述测试技术中的问题后,利用纹影仪成功地观察到装置(7 L 水,150 g 岩石炸药)引爆后,近场范围(0.32 m)内液体水阵面的首次破碎过程。实验结果参见图 2。

火花光源扩束后,平行光的束径为 $\varnothing 220$ mm,因此图 2 所示实验照片也是表征 $\varnothing 220$ mm 流场内的变化过程。

研究表明:成功地观察到了装置抛撒水在近场(0.32 m)内的首次破碎。图 2(a)示出了雷管引爆后,随着爆轰波阵面在炸药中的传播,水被不断地抛撒开,形成倾斜状的阵面。照片右端是雷管引爆端,水抛出后挡住了照明光源的光,形成黑的波浪形阵面。白的部分是照明光源没有被水挡住的部分。实验装置均在照明光源光束的上方。在图 2(b)~图 2(f)的实验中,柱形装置的中心轴和光轴平行,装置外壳的下沿离照明光源光束中心为 200 mm。这些实验照片的火花光源闪光延迟时间(从雷管底部算起)分别为 72 μ s、104 μ s、136 μ s、230 μ s、390 μ s 和 1.2 ms,由图 2(b)可以看出,水开始出现少量撕裂状阵面,阵面向前运动,撕裂状加剧(参见图 2(c))。在图 2(d)中仍可看到撕裂成小块的云团空洞继续向前移动。并见到尾部,它的撕裂状十分明显(参见图 2(e))。图 2(f)的结果是装置离照明光源光束 2.53 m 处,火花源闪光延迟 1.2 ms,这时的水已被撕裂成小块(约 1 cm)。

从实验照片中可以看到,液体阵面的波动、破裂均是从外界面开始的,液体阵面外界面的不稳定性可能是导致其失稳并破碎的主要原因。轴对称抛撒的液体阵面所受作用力的合力方向(即加速度方向)发生变化,由开始时的作用力合力方向指向外,转变为作用力合力方向指向轴心。由液体的稳定性分析可知,液体在这个位置上从稳定结构变成不稳定结构,不稳定结构经过发展,最后使液体阵面破裂。需要说明的是,液体运动的失稳点和破碎点在时间坐标并不是同一时刻,失稳后的液体阵面并不是立即破碎,而是要经过一段时间后,液体阵面外界面扰动才会发展成破裂。从实验照片中也可以看出,失稳的液体并没有破碎,直到图 2(d)所示的时刻才破裂开。所以,液体阵面破碎的根本原因是由于其运动加速度方向变为指向轴心,导致了不稳定性结构的出现。

4 讨 论

通过本研究可以得出如下看法:

- (1) 采用光学纹影技术可以观察离装置不同距离处液体的首次破碎过程。
- (2) 实验观察结果可为界面不稳定性理论分析提供有参考价值的依据。
- (3) 本研究的测试技术适用于炸药爆炸破坏防护结构变形过程及破片发展过程的观察。

References:

- [1] Reitz R D, Bracco F B. Mechanism of Atomization of a Liquid Jet [J]. Phys Fluid, 1982, 25(4): 1730—1736.
- [2] Lin S P, Kang D J. Atomization of Liquid Jet [J]. Phys Fluid, 1987, 30(7): 3428—3436.
- [3] Presser C, Gupta A K, Semerjian H G. Aerodynamic Characteristics of Swirling Spray Flames: Pressure-Jet Atomizer [J]. Comb and Flame, 1993, 92(1): 25—31.
- [4] Gardner D R. Near-Field Dispersal Modeling for Liquid Fuel-Air-Explosive [R]. SAND90-0686, 1968.

Studies on Explosion Distortion and First Breakdown under Explosive Detonation

HU Dong^{1,2}, HAN Zhao-Yuan³, ZHANG Shou-Qi², ZHAO Yu-Hua²,
WANG Bing-Ren¹, CHEN Jun¹, CAI Qing-Jun²,
YAO Xie-Cheng², DONG Shi¹, SUN Zhu-Mei⁴

(1. *Laboratory for Shock Wave and Detonation Physics Research ,
Institute of Fluid Physics ,CAEP,Mianyang 621900,China;*

2. *China Academy of Engineering Physics,Mianyang 621900,China;*

3. *Department of Modern Mechanism ,China University of Science
and Technology,Hefei 230026,China;*

4. *Institute of High Temperature and High Pressure Physics,Chengdu 610065,China)*

Abstract: The distortion process of the charge envelope and first breakdown is studied in order to understand the formation process of explosion breakdown. The distortion process driven by explosive detonation is observed by means of schlieren technique. A large distortion medium—water is chosen as the sample for observation. The experimental observations show that the expansion of water in cylinder starts from the end of initiation for initiator, then forms a slant and wave interface. The results indicate that the breakdown of the wave interface starts with an outside. It is an important reason that the instability of interface may make it to destabilize and to break. It is observed experimentally that the matter dimension becomes smaller and smaller at different delay time after the explosive detonated. The influences of explosive detonation light on figure and of explosion vibration on light path were overcome. A simple trigger was developed, and the problem of synchronization of outside light source with explosive initiation was resolved.

Key words: explosive; breakdown; schlieren; distortion

《高压物理学报》再次被确定为物理类核心期刊

最近,编辑部收到北京大学图书馆通知,《高压物理学报》再次被确定为物理类核心期刊,并入编 2004 版《中文核心期刊要目总览》,该书将于 2004 年 7 月由北京大学出版社出版。此版《中文核心期刊要目总览》按《中国图书分类法》的学科体系,列出了 75 个学科的核心期刊表。

核心期刊缘起于 1934 年英国文献计量学家布拉德福发现的文献分布特点,其经典的表示就是,专业论文绝大多数集中在少数专业期刊之中。核心期刊的评选工作,是运用科学方法对各种刊物在一定时期内所刊登论文的学术水平和学术影响力进行综合评价的一种科研活动,北京高校图书馆期刊工作研究会成员馆、中国科学院文献中心、中国社会科学院文献中心、农业科学院文献中心、中国人民大学书报资料中心等相关单位的百余名专家和期刊工作者参加了研究,近两千名学科专家参加了 2004 版核心期刊评审。

2004 版核心期刊研究被列为“2001 年国家社会科学基金项目”,本版核心期刊评选采用了被索量、被摘量、被引量、它引量、被摘率、影响因子、获国家奖或被国内外重要检索工具收录等 7 个评价指标。《高压物理学报》被确定为物理类核心期刊。

由北京大学图书馆主持的核心期刊评选工作自 1992 年开始、每四年举行一次,《高压物理学报》已连续四次被评为物理类核心期刊。在此,编辑部谨向厚爱《高压物理学报》的作者、读者以及为本刊文章严格把关的专家学者致以诚挚的感谢!