

文章编号: 1006-9941(2004)02-0097-04

# 激光全息摄影技术在液体发射药喷雾场测试中的应用

李丽, 李先, 杨丽侠, 蒋树君, 杨雁  
(西安近代化学研究所, 陕西 西安 710065)

**摘要:** 介绍了脉冲激光全息摄影技术测试液体发射药喷雾场的基本原理和方法, 以液体发射药喷雾试验为依据, 初步分析了液体药喷雾场的粒子尺寸与分布规律。实验证明, 采用脉冲激光全息摄影技术对于研究喷雾过程及机理分析具有很大实用价值。

**关键词:** 光学; 激光全息摄影; 液体发射药; 喷雾

中图分类号: O438.1

文献标识码: A

## 1 引言

再生式液体发射药火炮(RLPG)和固体发射药火炮的工作原理不同, 它的工作过程是先由点火器点火, 在初始燃烧室内产生一启动压力, 通过再生原理放大施加于贮液室, 使液体药向燃烧室喷射、雾化、燃烧。液体发射药喷射雾化的好坏直接影响液体发射药火炮再生喷射循环的正常进行以及火炮内弹道性能的稳定, 是决定再生式液体炮火炮内弹道性能好坏的一个关键因素。为了研究液体发射药从贮液室到燃烧室的射流特征及破碎机理, 必须对喷射结构特征和喷雾特性进行实验研究。因此液体发射药喷雾场的测试技术对于研究发射药的喷雾过程及机理的研究具有很大的实际意义, 此技术将有力地推动液体发射药的深入研究和实际应用。

20世纪80年代初, 美、德学者开展了RLPG为工程背景的射流破碎雾化特性研究, Warken<sup>[1]</sup>和Steffens<sup>[2]</sup>利用高速摄影观测了射流形态; Brik和McQuaid<sup>[3]</sup>等学者用X光摄影技术和激光散射法测量了射流雾化场颗粒尺寸。近几年, 我国也开展了相关的研究。采用液体发射药喷雾模拟装置和激光全息摄影仪组成的试验系统定量测试液体药喷雾场的粒子尺寸与分布规律, 对深入分析再生式液体发射药火炮内弹道循环和指导RLPG内弹道设计有重要的参考价值。

## 2 试验系统及原理

收稿日期: 2003-08-25; 修回日期: 2003-11-11

作者简介: 李丽(1969-), 女, 本科, 工程师, 从事发射药装药技术研究。e-mail: lily1212111@sohu.com

### 2.1 试验系统

试验系统主要由液体发射药喷雾模拟装置、激光全息摄影系统及图像再现仪组成。

液体发射药喷雾模拟试验装置见图1。贮液室的压力是液体喷射的动力源, 选择此压力的上升段作为产生激光的触发信号, 因为液体正是在此段时间从贮液室通过环形喷口向外喷射。当贮液室压力上升时, 产生激光的触发信号, 全息摄影系统工作, 此时, 液体正在向外喷射, 全息干板上就记录下此刻的液体喷雾的状态。由于属不对液体发射药进行点火燃烧的模拟试验, 目前的实验条件只限于模拟低压下的喷雾特征。

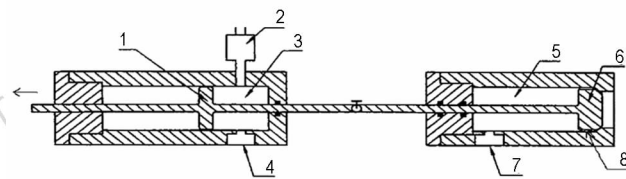


图1 液体发射药喷雾模拟试验装置

- 1—活塞杆, 2—点火器, 3—驱动室, 4—压力传感器,  
5—贮液室, 6—喷射活塞杆, 7—压力传感器, 8—喷射环隙
- Fig. 1 Simulation test equipment of liquid propellant spray  
1—piston, 2—igniter, 3—driver room, 4—pressure sensor,  
5—chamber for liquid propellant, 6—a piston for spray,  
7—pressure sensor, 8—ring nozzle

此装置通过电点火2点燃固体药, 固体药燃烧产生压力给驱动室3加压, 作用在活塞1上的压力迫使相连的活塞杆6向左运动, 这时, 喷孔8打开, 液体从贮液室5中喷出, 完成喷雾过程。

激光全息记录系统连接框图见图2。

激光全息图像再现仪连接框图见图3。

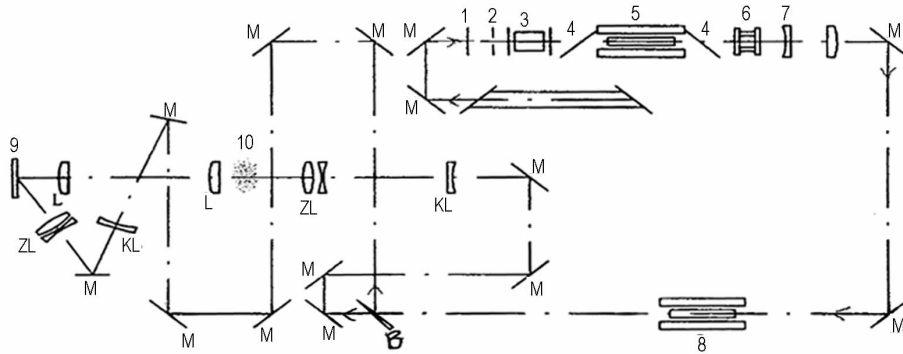


图2 激光全息记录系统

1—谐振腔全反镜, 2—小孔, 3—电光开关, 4—偏振腔, 5—振荡器泵浦腔, 6—谐振反射器, 7—极间扩束镜, 8—放大器泵浦腔, 9—全息干板, 10—喷雾场, M—反射镜, B—分束镜, K—扩束镜, KL—扩束镜, ZL—准直镜, L—非球面透镜

Fig. 2 Laser holography recorder system

1—resonant holophote, 2—aperture, 3—photoelectric switch, 4—polarization cavity, 5—vibrator pumping cavity, 6—resonance reverberator, 7—polar diffusing lens, 8—amplifier pumping cavity, 9—holography plate, 10—spraying field, M—reflector, B—beam splitting lens, K—diffusing lens, KL—diffusing lens, ZL—collimating lens, L—aspheric lens

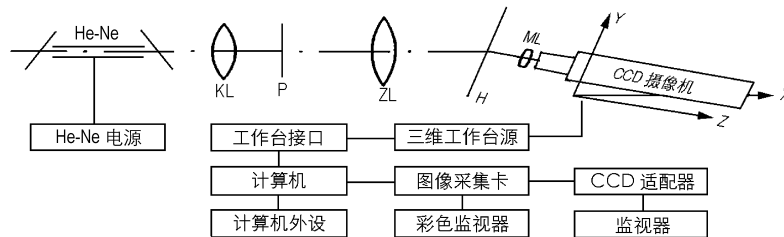


图3 全息底片再现分析系统

KL—扩束镜, P—滤波孔, ZL—准直镜, H—全息干板, ML—放大物镜

Fig. 3 Reconstruction & analysis system of holography plate

KL—diffusing lens, P—filter hole, ZL—collimating lens, H—holography plate, ML—magnifying field lens

## 2.2 记录与再现原理<sup>[4]</sup>

光的波动性表明,一定波长的光波具有振幅与位相两个特征。要想得到全部信息,必须同时记录光波的振幅与位相。

普通黑白单色照相只能把从物体表面反射来的光或物体本身发出的光(统称为物光)的强弱记录在底片上,通过显影和定影在照相纸上显现出物体的平面像。而全息照相不仅能在底片上记录下物光的强弱变化,同时还记录下物光的位相变化,也就是把物光的全部信息记录下来,并通过再现,获得物体的立体像。

全息照相是一种两步成像法,如图2所示。用相干光来照射物体(如照射液体发射药喷雾粒子场),穿过喷雾粒子场的物光投在全息干板上,同时从同一光源发出的另一部分相干光做为参考光也照射到干板上,于是在干板上形成两束光的干涉。干涉光作用于

感光乳胶,干涉条纹被记录下来。这样曝光后的干板再经显影和定影处理就成为全息照片。

在全息图的记录中,两相干光束必须来自同一光源。为了使干涉清晰,光源的时间相干性一定要好,即相干长度一定要大于物体光束和参考光束的最大程差。同时还需要光源有很好的空间相干性。目前所采用的红宝石激光器,在时间相干性、空间相干性和输出功率上都能满足要求。

全息照片对任何一种振动或移动都很敏感,因此,组合元件越少,产生条纹移动的机会也就越少。本实验系统所用的光学元件比较多,所以影响的因素也就越多。为了减少振动,用防震装置支承了一个很重的实验台。在试验过程中尽量减少空气的紊流和机械震动。

为了获得高质量的液体发射药喷雾信息的全息图,要求测试系统具备以下条件:

- 1) 激光仪的元器件产生的激光束的相干性要好;
  - 2) 穿过喷雾场的物光要有足够的能量,虽然采用了大功率短脉冲红宝石激光器,但必须将光路调试到最佳状态;
  - 3) 全息干板要有很高的分辨率和感光灵敏度;
  - 4) 在全息干板曝光时不能有外界环境的变动(如振动、气流等),光具座必须安放在防震台上,克服在曝光期间外界振动等影响;
  - 5) 被摄影物体要有较好的光散射性能;
  - 6) 仪器的同步性要绝对可靠;
- 记录过程完成后,利用 CCD 摄像头,通过再现系统,对全息干板逐个阵面上的喷雾粒子进行判读和分析,获得所需的数据。

### 3 试验结果

液体药: HY940-P4, 26.7 g;

驱动室点火系统装药: 2/1 樟, 2.0 ~ 2.5 g;

实验时,采用单脉冲,  $T_0 = 0001 \mu s$ ,  $T_0$ , 计时零点;  $T_1 = 160 \mu s$ , 经时间  $T_1 - T_0$  放大器氙灯触发;  $T_2 = 840 \mu s$ , 经时间  $T_2 - T_1$  振荡器氙灯触发。振荡极电压: 1150 V, 放大极电压: 1750 V。贮液室内形成环隙的活塞杆基本直径为 28 mm。压力可调,环隙从 0.2 ~ 0.5 mm 可调,可以试验不同压力、不同环隙条件下的喷雾场。

为确定其粒子的具体尺寸,在喷雾场内固定一直径为 80  $\mu m$  金属丝作为标尺,当拍摄液体发射药喷雾照片时,照片上同时出现标定丝和喷雾粒子的图像。再现分析全息底片时,喷雾粒子与标准尺寸相比较,即得到粒子的准确尺寸。

全息底片记录的是物体的三维图象,再现时镜头的视场非常小,所以分析一张全息底片上需要再现很多幅,对全部再现图象进行浏览,从中选择出具有代表性的图片进行详细分析。

图 4 是贮液室压力为 1.371 MPa 时得到的再现图片。从图片直观地观察,与 80  $\mu m$  的标定丝相比,大多数粒子都比标定丝直径小,也就是说小于 80  $\mu m$ ,个别成团状的粒子比标定丝大,估计是液体粘连形成的。

对图片进行分析,统计,得到不同条件下喷雾粒子直径及其他参数大小分布的直方图,分析可以得到不同条件下液体发射药喷雾规律。

图 5 是不同压力条件下颗粒直径分布直方图。

从直方图可以得到粒子分布的规律,从试验数据中可以看出:在其他条件一致的情况下,压力越大,小粒径颗粒越多,粘连越少,压力小时,颗粒分布不均匀,

而且有可能出现粘连。

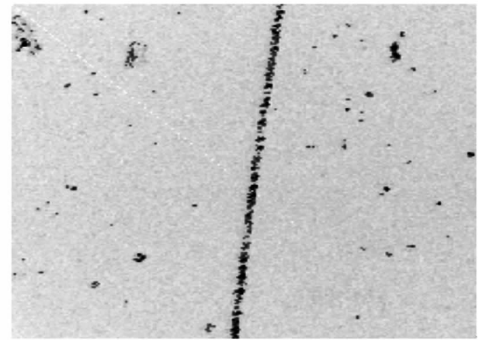
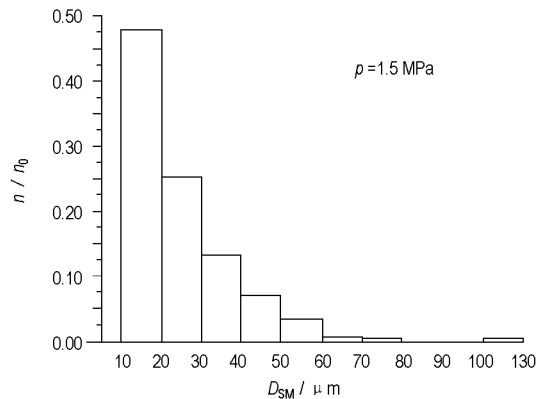
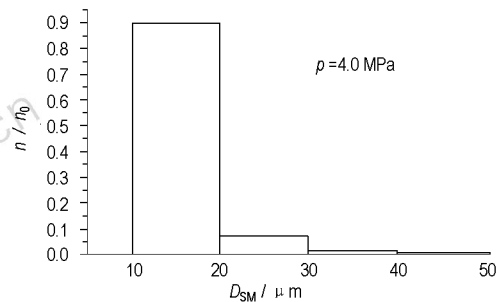


图 4 再现后有标定丝的喷雾场的全息图片

Fig. 4 Reconstruction holography of spraying field with staff gauge



(a)



(b)

图 5 不同压力颗粒直径分布直方图

Fig. 5 Column chart of particle diameter distribution under different pressure

### 4 结论

通过液体发射药喷雾模拟装置和全息摄影技术可以获得不同条件下液体发射药喷雾场的分布规律。当贮液室压力增大时,喷出雾化粒子,直径集中在 10 ~ 20  $\mu m$  之间,压力小时,颗粒粒径分布比较杂乱,选择合适的压力,可以有效的控制粒径分布,减少粘连。

## 参考文献:

- [1] Warken, Kerhl P. Application of flash radiography to the analysis of simulated liquid gun propellant jets [A]. Proc. 12th international symp. on ballistics[C]. 1990.
- [2] Steffens U. Studies on liquid injection and formation[A]. Proc. 10th international symp. on ballistics[C], 1987.
- [3] Brik A, McQuaid M. Deliberation on dynamics and core structure of reaction sprays at elevated pressures as revealed from X-ray scattering observations[R], AIAA, 1996, 166.
- [4] 大学物理[M]. 北京: 宇航出版社, 1994, 222 - 230. College physics[M]. Beijing: Space navigation publishing company, 1994, 222 - 230.

## Application of Laser Holography to the Atomized Field of Liquid Propellant

LI Li, LI Xian, YANG Li-xia, JIANG Shu-jun, YANG Yan  
(Xi'an Modern Chemistry Research Institute, Xi'an 710065, China)

**Abstract:** The principle and method for testing the atomized field of liquid propellants with a pulsed laser holography were introduced. The distribution patterns and sizes of the atomized droplets of a liquid propellant were analyzed based on its spraying experiments. The experiment shows that the sprayed particle diameter is around 10 ~ 20  $\mu\text{m}$  under high pressure of the chamber, and diameter distribution can be adjusted effectively by the pressure. It's proved that the laser holography is useful for the investigation and application of liquid propellant.

**Key words:** optics; laser holography; liquid propellant; spray

(上接 84 页)

- [4] 董强, 蒋若志, 崔树民, 等. 硝化棉包覆硝酸铵的工艺研究[J]. 含能材料, 1997, 5(3): 114 - 119.  
DONG Qiang, JIANG Ro-zhi, CUI Shu-min, et al. A study on coating technology of ammonium nitrate with nitrocellulose[J]. *Hanneng Cailiao*, 1997, 5(3): 114 - 119.
- [5] 梁治齐. 微胶囊技术及其应用[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1999.
- [6] Barrett, K E J. Dispersion Polymerization in Organic Media [M]. London: wiley, 1975.
- [7] 顾惕人, 朱步瑶. 表面化学[M]. 北京: 科学出版社, 1994.  
GU Xi-ren, ZHU Bu-yao. Surface chemistry[M]. Beijing: Science publisher, 1994.

## Study on Hygroscopicity of the Coated Ammonium Nitrate by Precipitation Polymerization

YUE Jin-wen, DENG Jian-ru

(The School of Chemistry and Chemical Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

**Abstract:** The precipitation polymerization of acrylonitrile in cyclohexane was carried out to encapsulate ammonium nitrate. The hygroscopicity and caking tendency were studied. The effects of the coated ammonium nitrate was observed by SEM and the contact angle of AN was measured by contact angle test apparatus in different test liquid. The reasons why AN hygroscopicity was reduced after being coated were analyzed.

**Key words:** physical chemistry; ammonium nitrate; encapsulation; precipitation polymerization; hygroscopicity