

文章编号: 1006-9941(2013)03-0347-04

一种身管武器膛口烟雾总量的测量方法

赵宝明, 赵宏立, 杨丽侠, 李先, 陈晓明, 赵瑛, 张衡, 靳建伟, 刘来东

(西安近代化学研究所, 陕西 西安 710065)

摘要: 为了定量测量中大口径身管武器膛口烟雾总量,对武器发射过程膛口烟雾可见光透过率进行了测量,以光透过率为基础推导出一个与武器发射过程膛口烟雾总量成正比的物理量(特征发烟量)的计算公式,特征发烟量值高低可反映膛口烟雾总量大小。应用该法对某 130 mm 火炮膛口烟雾进行了可见光透过率测试,结果表明:发射过程透过率最小值为 0.9%,平均值为 20.1%,特征发烟量为 1830。

关键词: 物理化学; 发射药; 膛口; 烟雾浓度; 烟雾总量; 光透过率

中图分类号: TJ55; TQ 562; O64

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2013.03.015

1 引言

常规榴弹炮、坦克炮以及炮射导弹发射过程中的膛口烟雾的危害性日益突出,表现在以下几个方面:(1)大量的膛口烟雾会妨碍射手瞄准,影响射击速度;(2)发射火焰对跟踪、控制和制导手段具有显著不良影响^[1],会明显降低武器系统打击精度。要有效抑制膛口烟雾,必须先解决膛口烟雾的定量化问题^[2]。目前使用的国军标《火炮安全性和勤务性试验方法》使用高速摄影机对火炮膛口烟雾进行拍摄,仅可以定性判断烟雾轮廓及浓度,尚不能有效量化烟雾总量^[3]。

国内对小口径枪口烟雾的定量进行了较多的研究^[4-5]。首先利用烟箱对枪口烟雾进行收集,再采用光强原理对身管武器发射烟雾总量进行评价。如长春理工大学王劲松^[5]等人设计一种可卸压烟箱,对 5.8 mm 枪弹和 7.62 mm 枪弹烟雾进行了光透过率测量。烟箱体积为 0.007 m³,射击时枪口通过枪口密封装置伸入烟箱内。但烟箱法不适合中大口径火炮的膛口烟雾测试。5.8 mm 口径普通弹射击后在 0.007 m³ 体积内的压强最高约 0.75 MPa,而 130 mm 口径火炮膛口压强高达 50 MPa,要在此高压下建立烟雾收集箱,存在较大风险,不易实现。

收稿日期: 2011-12-29; 修回日期: 2012-08-03

作者简介: 赵宝明(1978-),男,助理研究员,主要从事发射药性能表征与评估研究。e-mail: baomingzhao@126.com

通讯联系人: 赵宏立(1972-),男,高工,长期从事发射药性能表征及计量工作。e-mail: webzhL@126.com

针对中大口径火炮膛口高压的特点,结合烟箱法测试烟雾浓度的原理,本研究提出了一种在敞开体系利用光强方法测试膛口烟雾的方法,并对 130 mm 火炮膛口烟雾进行了测定,结果表明该方法能获得火炮发射过程膛口烟雾浓度变化趋势,很好解决了目前无法定量中大口径身管武器膛口烟雾总量的问题。

2 测试原理及测试系统

烟雾是悬浮在空气中的微小物质,其粒子大小一般在 0.01 ~ 5.00 μm 之间。烟雾微粒会阻碍光线在空间的传播,沿光束路径上微粒的散射和吸收等作用将导致透射光强度的衰减。单位空间的烟雾微粒越多(即烟雾浓度越大),则光透过率越低。

膛口烟雾对光的吸收遵循朗伯-比尔定律^[4-5,7-8]:

$$A = \lg(I_0/I) = KbC \quad (1)$$

式中, A 为吸光度; I_0 为入射光强度, cd; I 为透射光强度, cd; K 为比例常数, m² · kg⁻¹; 与吸光物质的性质、入射光波长等因素有关; b 为烟雾厚度, m; C 为烟雾浓度, kg · m⁻³。

由公式(1)可看出,在 K, b 不变的条件下,测量 I_0/I 的值,即可得到浓度 C 的大小变化趋势。

根据该原理,建立了一套烟雾透光率测试系统,该系统结构见图 1。该测试系统主要包括光源、准直透镜、光电传感器、A/D 模块等。如图 1 所示,无烟雾时,光源发出光强为 I_0 的入射光,经过准直透镜变为平行光束,再经过准直透镜,汇聚到光电传感器上,经

检测,入射光其电压信号值为 V_0 。有烟雾时,平行光束经过烟雾区时由于烟雾的吸收和散射,使光束的强度发生衰减,透射光强衰减为 I_t ,经光电传感器检测其电压信号值为 V_t 。透过光强度 I_t 与入射光强度 I_0 之比称为透射比或光透过率,用 T 表示^[6]:

$$T = \frac{I_t}{I_0} = \frac{V_t}{V_0} \quad (2)$$

由此可得到火炮发射过程膛口烟雾透光率的数值及其随时间的变化趋势,透光率的变化趋势即可反映膛口烟雾浓度随时间的的变化趋势。由(1)、(2)式得 $C = \lg(1/T)/Kb$ (3)

对同一火炮及测试设备,式(3)中 K 、 b 可看作固定不变的常数,烟雾浓度 C 与 $\lg(1/T)$ 成正比例关系。(3)式可写为

$$C = \alpha \lg(1/T) \quad (4)$$

式中, $\alpha = 1/Kb$, 为常数。

图2为膛口烟雾体积示意图,图中黑圈可看作是光源所发射测试光的光圈轮廓。

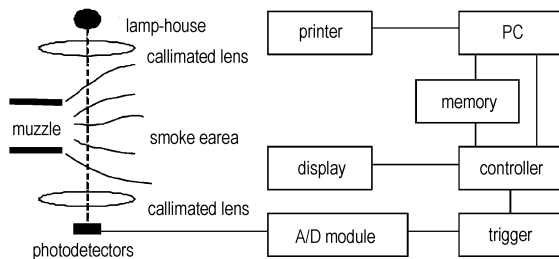


图1 系统结构框图
Fig.1 Measurement diagram of visible light transmittance for muzzle smoke

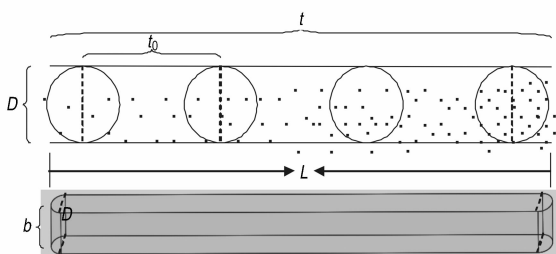


图2 膛口烟雾体积示意图
Fig.2 Diagram of muzzle smoke volume

发射 t 时间段内出膛口的烟雾质量设为 m , $m = CV$ (5)
式中, m 为烟雾质量, kg; C 为烟雾浓度, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$; V 为 t 时间内烟雾经过光路的体积, m^3 。

由图2可知, $L = vt$ (6)

$$V = bDvt \quad (7)$$

式中, L 为烟雾长度, m ; b 为烟雾厚度, m ; v 为烟雾运动速率, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; t 为采样时间, s ; D 为测试光路直径, m ; t_0 为采样间隔时间, s 。

对同一火炮(类型、口径相同),装药量相差不大,因其初速变化不大,因此烟雾运动速率 v 可看作常数。对同一测试设备,其测试光路直径 D 为常数。所以,式(7)中 b 、 D 、 v 为常数,令 $F = bDv$ 。由(4)、(5)、(7)得 $m/F\alpha = t \lg(1/T)$ (8)

由式(8)可看出,烟雾质量 m 与透光率 T 不成比例,而与其对数值成线性关系。因此,对于这种动态烟雾总量的表征不能等同于烟箱收集法,仅采用光透过率值(或平均光透过率)即可反映烟量大小。

$$\text{令 } M = m/F\alpha$$

$$\text{则 } M = Kbm/bDv$$

$$\text{即 } M = (K/Dv)m$$

所以,若测试设备相同(K 、 D 不变)、武器型号相同(烟雾速度 v 基本不变), M 是与真实发烟量 m 成正比的一个量值,将其命名为特征发烟量。 M 值的大小即可反映膛口实际烟雾总量的大小。

$$\text{即 } M = t \lg(1/T) \quad (9)$$

式中, t 为光透过率检测仪的采样时间段, T 为光透过率。

图3a是某弹种膛口烟雾透光率曲线,图3b是 $\lg(1/T)$ - t 曲线。图3b中一个格子的面积(即 $t_0 \times \lg(1/T)$) 表示设备采样一次时间内(t_0)的特征发烟量, t 时间段内总特征发烟量应为图中阴影部分 n 个小格子的面积之和。 t 时间段内总特征发烟量可表示为

$$M = \sum_{i=1}^n t_i [\lg(1/T_i)] \quad (10)$$

式中, t_i 为光透过率检测仪的采样间隔时间,对同一光透过率测试系统为定值。为了简化运算,可将其当作1处理。

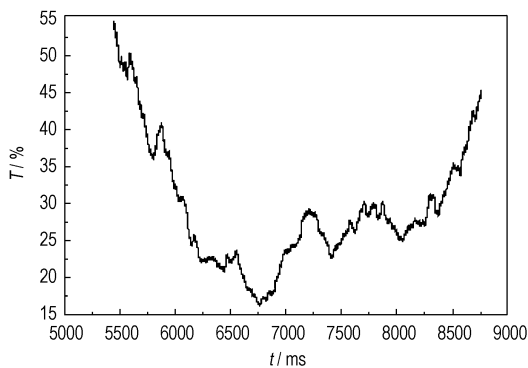
所以,(10)式可简化为

$$M = \sum_{i=1}^n [\lg(1/T_i)] \quad (11)$$

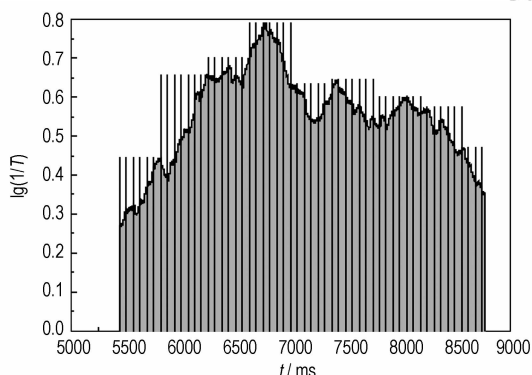
3 实验部分

3.1 实验过程

根据图1测试原理,对某130 mm火炮膛口烟雾透光率进行测试。光源和光电传感器用三脚架连接并紧固,分立炮口两侧前1 m处,两镜头相对,距离50 m,镜头光轴垂直于炮管轴线并与炮管轴线水平。



a. $T-t$



b. $\lg(1/T)-t$

图3 特征发烟量积分示意图

Fig.3 Integral diagram of special smoke capacity

试验测试条件:炮膛及弹药擦拭干净,在白天,无雾、无雨、无雪、平均风速小于 $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 气象条件下进行。光源采用 LED 白光光源,功率 100 mW;光电传感器采用硅光传感器;AD 模块采样频率 $10 \text{ K} \cdot \text{s}^{-1}$ 。平均气温 $28 \text{ }^\circ\text{C}$,平均湿度 80%。

3.2 结果与分析

图 4 为 130 mm 火炮某次发射过程距膛口 1 m 处烟雾光透过率曲线。曲线上最低点即为光透过率最小值,由图 4 可看出,光透过率最小值为 0.9%。由高速摄影拍摄 130 mm 火炮所得到的影像可知,130 mm 火炮从膛口出烟到停止出烟历时约 200 ms,可求得发射过程平均光透过率为 20.1%。

图 5 为该发 130 mm 火炮膛口烟雾原始数据部分截图,A、B、C 列分别代表采样序号、采样时刻、光透过率值(T)。从该原始数据中可发现,1.6229 s 时刻光透过率由 100% 开始下降,这是由于该时刻火炮膛口烟雾出炮口,衰减了测试光,导致测试光光透过率发生变化。因此,认为 1.6229 s(或 1623 ms)时刻炮口出烟,为炮口烟雾特征发烟量运算的起始时间。按照

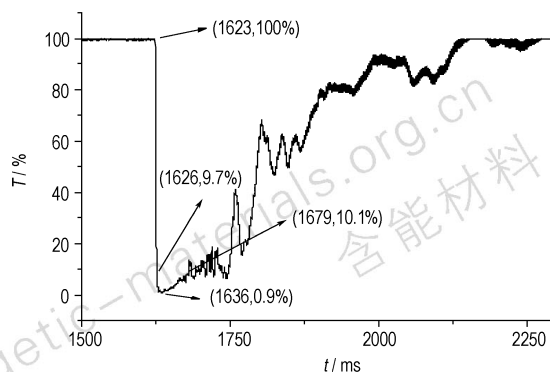


图4 130 mm 火炮膛口烟雾透光率变化曲线

Fig.4 Curve of visible light transmittance for muzzle smoke (130 mm cannon)

D2		f _s		
	A	B	C	D
16221	16220	1.622s	100.00%	
16222	16221	1.6221s	100.00%	
16223	16222	1.6222s	100.00%	
16224	16223	1.6223s	100.00%	
16225	16224	1.6224s	100.00%	
16226	16225	1.6225s	100.00%	
16227	16226	1.6226s	100.00%	
16228	16227	1.6227s	100.00%	
16229	16228	1.6228s	100.00%	
16230	16229	1.6229s	96.70%	
16231	16230	1.623s	92.90%	
16232	16231	1.6231s	88.50%	
16233	16232	1.6232s	83.80%	
16234	16233	1.6233s	79.20%	
16235	16234	1.6234s	74.40%	
16236	16235	1.6235s	69.70%	
16237	16236	1.6236s	65.10%	
16238	16237	1.6237s	60.50%	
16239	16238	1.6238s	56.20%	
16240	16239	1.6239s	52.00%	
16241	16240	1.624s	48.10%	
16242	16241	1.6241s	44.40%	
16243	16242	1.6242s	40.80%	
16244	16243	1.6243s	37.70%	
16245	16244	1.6244s	34.50%	
16246	16245	1.6245s	31.80%	
16247	16246	1.6246s	29.20%	
16248	16247	1.6247s	26.80%	
16249	16248	1.6248s	24.60%	

图5 130 mm 火炮膛口烟雾透光率数据

Fig.5 Visible light transmittance of muzzle smoke (130 mm cannon)

130 mm火炮烟雾历时约 200 ms 的规定,对 1623 ms 至 1823 ms 之间的烟雾按公式(11)进行累计运算。即该发弹特征发烟量计算如下:

$$M = \sum_{i=1}^n [\lg(1/T_i)] + [\lg(1/T_{16230})] + [\lg(1/T_{16231})] + [\lg(1/T_{16232})] + \dots + [\lg(1/T_{18230})]$$

可求得该发弹特征发烟量为 1830。

由图 4 及标注可看出,火炮发射后约 3 ms,光透过率由 100% 下降至约 10%, 13 ms 光透过率达到最小值。光透过率 10% 以下持续时间约 56 ms, 占出烟总时间的四分之一,该时间段特征发烟量 810, 占总特征发烟量 44%, 说明 130 mm 火炮发射过程中膛口烟雾的出烟特点是前期烟雾较浓,在四分之一的时间内出烟量约占总烟量的一半。其原因可能是前期武器膛内压力较高,较小的体积内烟量较大,烟雾密度大,较短时间内出烟量大;随着高压气体从膛口向外界涌出,膛口压力逐渐变小,烟雾密度降低,出烟量速度逐渐降低。由图 4 可看出,试验结束后基线回归 100% 的位置,说明光路在火炮发射后未发生偏移,保证了测试结果的准确性。

4 结 论

(1) 在敞开体系下利用光强方法可有效测量大口径火炮的膛口烟雾。该方法能获得身管武器发射过程最小光透过率、发射过程平均光透过率。根据特征发烟量计算公式可求出火炮发射过程膛口烟雾特征发烟量。

(2) 某 130 mm 火炮的膛口烟雾可见光透过率测试结果表明,光透过率最小值为 0.9%, 平均光透过率

为 20.1%; 根据特征发烟量计算公式求得发射过程特征发烟量为 1830。

参考文献:

- [1] 任丽娜, 刘海峰, 陈亮, 等. 烟幕对光电设备的遮蔽干扰原理研究[J]. 计量与测试技术, 2007, 34(11): 56-60.
REN Li-na, LIU Hai-feng, CHEN Liang, et al. The research of smoke-screen which interfere and shade the photoelectric equipment[J]. *Metrology & Measurement Technique*, 2007, 34(11): 56-60.
- [2] 王泽山. 火炸药理论与实践[M]. 北京: 中国北方化学工业化学总公司, 2001: 324-325.
- [3] GJB2971-97, 火炮安全性和勤务性试验方法[S]. 国防科学技术工业委员会, 1997.
- [4] 王宏, 孙美, 冯伟, 等. 发射药枪口火焰检测技术研究[J]. 火炸药学报, 2002(2): 57-58.
WANG Hong, SUN Mei, FENG Wei, et al. Study on the measurement technique for muzzle smoke and flash of deterred propellants[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2002(2): 57-58.
- [5] 王劲松, 李海兰. 新型枪口烟测试系统[J]. 探测与控制学报, 2009(31): 58-61.
WANG Jin-song, LI Hai-lan. A new-style testing system of muzzle smoke consistency[J]. *Journal of Detection & Control*, 2009(31): 58-61.
- [6] 武汉大学. 分析化学(第四版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [7] 姚禄玖, 高均麟, 肖海涛, 等. 烟幕理论与测试技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2004.
- [8] 陈胜石, 宁子立, 欧秋晔, 等. 固体发动机羽烟的激光透光率测试[J]. 应用光学, 2009, 30(5): 864-868.
CHEN Sheng-shi, GAO Jun-lin, XIAO Hai-tao, et al. Laser transmittance measurement technology on plume from solid-propellant engine[J]. *Journal of Applied Optics*, 2009, 30(5): 864-868.

A Measurement Method for Gun Muzzle Smoke Aggregates of Propellants

ZHAO Bao-ming, ZHAO Hong-li, YANG Li-xia, LI Xian, CHEN Xiao-ming, ZHAO Ying, ZHANG Heng, JING Jian-wei, LIU Lai-dong

(Xi'an Modern Chemistry Research Institute, Xi'an 710065, China)

Abstract: In order to study muzzle smoke aggregates of the large caliber barrel weapon, the visible light transmittance of muzzle smoke in open system were measured, and based on it, an equations was derived to calculate characteristic smoke capacity that is proportional to muzzle smoke aggregates. The method was applied to measure muzzle smoke aggregates of a 130 mm cannon. Results show that the minimum transmittance is 0.9%, and the average transmittance 20.1% during launching process, the special smoke quantity is 1830.

Key words: physical chemistry; propellant; muzzle; smoke concentration; smoke aggregate; light transmittance

CLC number: TJ55; TQ562; O64

Document code: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2013.03.015