

文章编号: 1001-1455(2007)04-0370-05

一种射流源和炸药射流感度的研究*

王建灵, 俞统昌, 郭 炜

(西安近代化学研究所, 陕西 西安 710065)

摘要: 为了研究各种炸药射流感度, 采用多种途径研制了能量输出较稳定的射流源; 并用三种方法对射流源能量输出稳定性进行了判定。利用自行研制的射流源对 TNT、B 炸药、JB-B 等多种炸药进行了射流感度的评定试验, 获得了多种炸药射流感度的顺序排列结果, 并与文献值符合得很好; 利用 X 光机获得了射流头部速度与隔板厚度的关系, 并拟合了经验公式。

关键词: 爆炸力学; 射流感度; 试验; 射流源; 射流头部速度; 隔板厚度

中图分类号: O381 **国标学科代码:** 130·3510 **文献标志码:** A

1 引 言

炸药在高速金属射流作用下的引爆问题是炸药研究中极关心的问题。随着弹药在未来战争中受到聚能武器威胁的不断增加, 炸药在战场环境条件下承受射流攻击时的射流感度安全性评估日益得到重视, 成为炸药安全性研究的重点之一^[1]。炸药射流撞击感度已被列为评估弹药易损性的试验方法之一^[2]。另外, 为了提高坦克等装甲车辆的生存能力, 国外近年来大力发展反应装甲技术, 即在装甲车辆的外部悬挂装有特种炸药的反应盒, 当射流撞击到反应盒时, 盒内特种炸药爆炸, 高温高压的爆炸产物破坏射流, 从而保护了反应盒后面的装甲。对于应用于反应装甲的炸药, 要求有较高的射流感度, 以便在射流作用下可靠引爆, 因而研究炸药在射流作用下的引爆能力、准确测定炸药的射流感度对于评估弹药的易损性、研制反应装甲以及研制在爆炸系列中的某些特殊爆炸元件如爆炸开关等都有重要意义。

2 射流源的研制

2.1 射流源

炸药被雷管起爆后, 当在炸药中形成的爆轰波传到金属罩时, 爆轰产物推动罩壁向轴线运动, 爆轰产物的能量传递给了铜罩。由于铜的可压缩性很小, 因此内能增加很少, 能量的极大部分表现为动能, 离罩壁一定距离的轴线位置上, 形成了高能量密度的金属射流。

为了比较各种炸药的射流感度, 需要研制能量输出稳定的射流源, 即稳定的射流头部速度和直径。射流源输出的稳定性与药柱的装药、药型罩的锥角及加工方法、药型罩与药柱贴合程度有关。通过多次试验, 研制出了射流头部速度相对标准差小于 1.5% 的稳定射流源。

2.1.1 射流源的构成

射流源由主药柱、副药柱和药型罩组成, 如图 1 所示。

2.1.2 提高射流源能量输出稳定性的措施

影响射流源能量输出稳定性的因素很多, 主要研究射流药柱的装药及成型方法、药型罩的锥角及加工方法、主药柱凹穴与

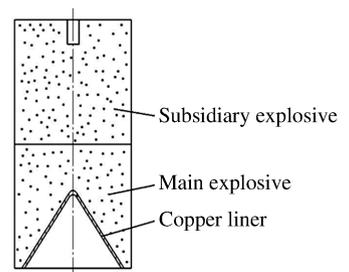


图 1 射流源装置

Fig. 1 Shaped charge jet set-up

* 收稿日期: 2006-02-06; 修回日期: 2006-08-09

作者简介: 王建灵(1963—), 女, 研究员。

药型罩的贴和度等对射流源能量输出稳定性的影响。

(1)射流药柱的装药及成型方法

国外聚能装药大多采用注装法装药^[3-4],注装法工艺简单,药柱与药型罩的贴和度好,穿深大,但药柱容易产生缩孔和固体组分沉降。因而能量输出稳定性差,而压装药柱的组分均匀性和密度均匀性均比注装好。我们采用双向压装药柱,在压制射流源副药柱时,最初将雷管孔一次压制成型,试验发现能量输出稳定性较差,经X射线断层照相发现,在雷管孔下方有一圆锥形疏松区,后来采用将副药柱压成圆柱形再用机械加工的方法钻出雷管孔,提高了能量输出的稳定性。

(2)药型罩的锥角及加工方法

药型罩的锥角一般为 30° 至 70° ,小锥角药型罩射流速度较高,而大锥角时破甲稳定性好,但锥角大于 70° 则破甲深度迅速下降,为此确定采用 60° 锥角的药型罩。在加工药型罩时曾采用旋压法压制,这种加工方法工艺简单、生产效率高,但试验表明这种方法生产的药型罩产生的射流具有一定的旋转速度,因而穿深稳定性差(相对极差达12%),为此采用冲压法加工药型罩。

(3)药型罩与药柱贴合度

在设计压药模具时,将主药柱凹穴及药型罩外壁的锥角规定同一尺寸,但因为压药后药柱产生膨胀,造成凹穴内壁和药型罩之间存在一定间隙,使得能量输出稳定性差,为此我们改变压药模具的尺寸公差,使药型罩的贴合度 $>70\%$,提高了射流源能量输出的稳定性。

2.1.3 射流源药柱及药型罩的技术指标

射流源用炸药为聚黑-16,主药柱密度为 (1.690 ± 0.005) g/cm³,主药柱(带凹穴)尺寸为 $\varnothing 40$ mm $\times 40$ mm,主药柱质量为 (69.0 ± 0.1) g;副药柱密度为 (1.680 ± 0.005) g/cm³,副药柱(带雷管孔)尺寸为 $\varnothing 40$ mm $\times 40$ mm,副药柱质量为 (85.0 ± 0.1) g。

药型罩材料为无氧铜板,采用冲压法加工,底部外径为36 mm,半锥角为 $(30\pm_{0.5}^{\circ})^{\circ}$,壁厚 (0.75 ± 0.02) mm,质量为 (11.3 ± 0.5) g。

2.2 射流源能量输出的稳定性

炸药射流感度测量的准确性主要取决于射流源能量输出的稳定性,在对射流源各组成部分的质量进行严格控制后,对射流源的稳定性进行了考核,试验分3项进行:穿深、射流在钢中侵彻深度与侵彻时间的关系及射流头部速度。

2.2.1 射流源穿深试验

射流源在炸高72 mm处用直径为40 mm的45钢靶板进行穿深试验,用穿过钢板的深度(穿深)来衡量射流源能量输出的稳定性,穿深为186、193、186、183、184、185、196 mm,平均穿深为188 mm,标准差为4.6 mm,相对标准差为2.4%。

2.2.2 射流在钢中的侵彻深度与侵彻时间的关系测定

射流在钢靶板中的侵彻深度 L 与时间 t 的关系曲线是射流源的一项重要性能参数。根据 $L-t$ 曲线不仅可以求出射流在钢中的侵彻速度与侵彻深度的关系,同时还可以说明射流源的稳定性。测定 $L-t$ 曲线的方法是将厚度为20 mm的钢靶板叠放在一起,在各靶板之间夹金属箔电探极,当射流到达时,电探极接通,使连接电探极的RC电路放电,将负载电阻上的电压降讯号输入到计时仪,测量射流到达各块电探极的时间,由靶板的厚度即可得到 $L-t$ 曲线。根据每块靶板厚度即可得到射流通过靶板时的平均速度,试验结果及拟合曲线见图2和图3。

2.2.3 射流头部速度

为了衡量射流源能量输出的稳定性,采用450 s脉冲X光摄影系统测定了距药型罩底端72 mm处的射流头部速度为7.729、7.502、7.509、7.489 km/s。射流头部速度平均值为7.557 km/s,相对标准差为1.3%。

以上3项试验的结果表明,研制的射流源能量输出稳定。可以满足射流感度试验的要求。

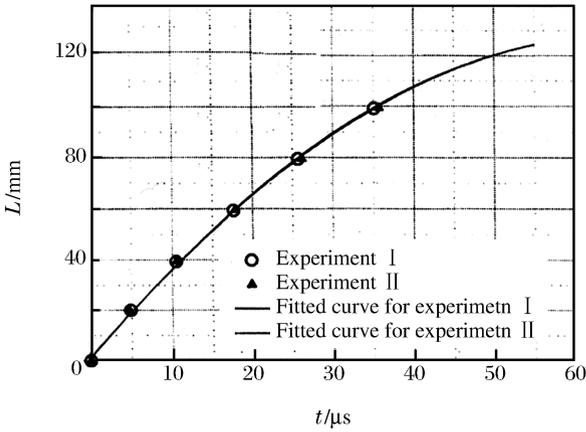


图 2 射流侵彻钢板的深度与侵彻时间的关系
Fig. 2 Relation of penetration depth and penetration time during jet penetrating armor plate

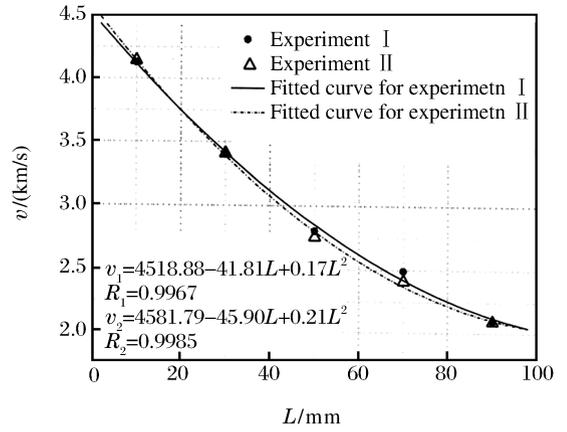


图 3 射流侵彻钢板的侵彻速度与侵彻深度的关系
Fig. 3 Relation of penetration velocity and penetration depth during jet penetrating armor plate

3 炸药射流感度的试验方法和试验结果

3.1 试验原理

图 4 为测定炸药试样射流感度的试验装置简图。它主要由射流源、炸高调节管、隔板、炸药试样和见证板 5 部分组成。

测定炸药射流感度的原理：射流源在一定距离后产生稳定的射流，射流通过隔板后其头部速度和直径都会减小，改变隔板厚度，就可以改变射流作用在被试炸药上的刺激强度。通过改变隔板的厚度，测定出能引起炸药试样 50% 爆轰时的隔板的厚度（临界隔板厚度）。用脉冲 X 光摄影仪测量在此隔板厚度时的射流头部速度。对于同一射流源，通常用试样 50% 爆轰时的临界隔板厚度或射流头部速度来表征试样的射流感度。

3.2 试验方法

采用升降法测定试样的临界隔板厚度。从估计或预先试验试探出的临界隔板厚度进行试验：如果试样被引爆，则下一发试验将隔板的厚度增加一个步长；如果试样未引爆，则下一发试验将隔板的厚度减少一个步长，每一发试验隔板的厚度取决于前一发的试验结果，依此规则将试验进行 25~30 发，试样全部试验完毕。有效试验从第一次出现相反结果时开始，到最后一次出现相反结果时结束，有效试验发数不得少于 20 发。

对于同一射流源，用产生 50% 爆炸时的隔板厚度或射流头部速度表示炸药装药的射流感度。

测量射流通过隔板后头部速度的原理：射流源通过一定厚度的隔板后进入空气中，利用两束垂直方向的脉冲 X 射流以一定时间间隔进行照射，测定距隔板 10~20 mm 处的射流平均速度。改变隔板的厚度即可得到射流源头部速度与隔板厚度的关系曲线，射流源头部速度与隔板厚度的关系见表 1，其中

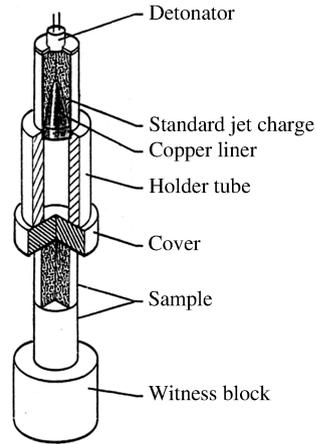


图 4 测定临界隔板厚度的试验装置
Fig. 4 Assembly for measurement of the critical thickness of cover

表 1 射流源头部速度与隔板厚度的关系

Table 1 Relation of the head jet velocity and cover thickness

L/mm	$\bar{v}/(\text{km/s})$	$\epsilon_r/\%$
0	7.757	1.5
10	6.980	3.9
30	5.993	4.5
60	4.798	2.3
100	3.712	2.9

L 为隔板厚度, \bar{v} 为 4 发射流头部速度的平均值, ϵ_r 为相对标准差。射流头部速度与隔板厚度的关系曲线见图 5。

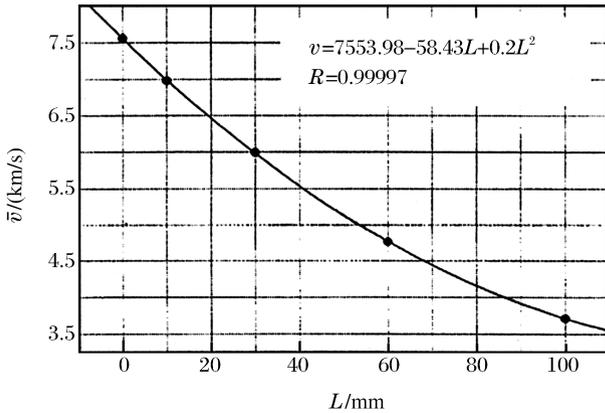


图 5 射流源头部速度与隔板厚度的关系

Fig. 5 The head jet velocity as a function of cover thickness

3.3 试验结果

用研制的射流源对 7 种炸药的射流感度 (包括临界隔板厚度 L_{cr} 和临界射流速度 v_{cr}) 进行了测定, 试验结果见表 2。

为了进行比较, 表中列出 M. C. Chick 等^[5-6]发表的数据, 他们采用的射流源直径 38 mm, 带 6 mm 厚铝外壳, 药型罩锥角 42° , 壁厚 1.0 mm, 射流源装药密度为 1.65 g/cm^3 的 B 炸药, 穿深约为 180 mm 软钢, 射流头部速度 7.4 km/s。该射流源的性能和本文中采用的射流源接近。由表 2 中数据可以看出, 虽然本文中采用的射流源和 M. C. Chick 等^[5-6]采用的射流源在直径、外壳和药型罩锥角上有差别, 但除 B 炸药外 (B 炸药有多种型号, M. C. Chick

等^[5-6]采用的 B 炸药型号和密度不清楚), 两者的结果具有良好的一致性。

表 2 射流感度试验结果

Table 2 Experimental results of jet sensitivity

炸药名称	组份	L_{cr}/mm		$v_{cr}/(\text{km/s})$	
		实验值	文献值	实验值	文献值
注装 TNT	TNT	16.0	23.1	6.670	6
B 炸药	TNT/RDX/W	75.4	59.8	4.369	5.2
	44/55/1				
奥克托儿	HMX/TNT	64.8	67.6	4.608	4.9*
	50/50				
H-6	TNT/RDX/Al/W	64.2	69.7	4.633	4.9
	30/45/20/5				
JB-B	TATB/F	13.2	—	6.821	—
	95/5				
RS3-4	RDX/TNT/Al/钝感剂	55	—	4.949	—
	43/21/34/2				
RS211	RDX/TNT/Al/钝感剂	50	—	5.132	—
	43/21/34/2				

* 未注明组分比例

4 结 论

(1) 研制了组合式结构的射流源, 其特点是能量输出稳定性高, 技术指标为穿深值的相对标准差小于 3%, 射流头部速度的相对标准差小于 1.5%。

(2) 用脉冲 X 光测定了射流源头部速度与隔板厚度的关系, 并拟合了关系曲线, 利用该关系曲线可以得到在临界隔板厚度下的射流头部速度, 用射流头部速度也可表示某种炸药的射流感度。

(3) 利用组合式结构的射流源测定了 7 种炸药的射流感度, 所得结果与 M. C. Chick 等^[5-6]的数据具有很好的一致性。

参考文献:

- [1] Touze P. Summary of the NIMIC workshop on shaped charge jet impingement on energetic materials and munitions [C]//The 28th International Annual Conference of ICT. 1997:56-69.
- [2] America Department of Defense. MIL-STD-2105C[S]. AMSC-N6037, 2003.
- [3] Hela M. Initiation phenomena with shaped charge jets[C]//The 9th International Symposium on Detonation. San Diego, California, 1989:1 416-1 426.
- [4] Chick M C, Hatt D J. The initiation of covered composition B by a metal jet[J]. Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 1983,22(8):121-126.
- [5] Chick M C, Walfson M G, Learmenth L A. A calibrated test for the assessment of the sensitivity of explosives to shaped jets[R]. AD-A174814, 1986.
- [6] Chick M C, Walfson M G, Learmenth L A. Determination of the sensitivity of explosives fillings to high velocity jets[C]//The 18th International Annual Conference of ICT. 1987:56-69

Studies on a shaped charge jet and the jet sensitivity of explosives

WANG Jian-ling^{*}, YU Tong-chang, GUO Wei

(Xi'an Modern Chemical Research Institute, Xi'an 710065, Shaanxi, China)

Abstract: A shaped charge with steady energy output was developed to study all kinds of the explosives sensitivity to shaped charge jets, and its stability was validated by three methods. The jet sensitivities of such explosives as TNT, Comp B, and JB-B were experimentally evaluated by using the standard shaped charge. The obtained result is consistent with that from literature. The relationship between the velocity of jet head and the cover thickness was determined, and the experimental formula was obtained.

Key words: mechanics of explosion; shaped charge sensitivity; experiment; shaped charge jet; velocity of jet head; cover thickness

^{*} Corresponding author: WANG Jian-ling
E-mail address: fengxj_78@163.com
Telephone: 86-29-88291756