

文章编号: 1006-9941(2011)04-0428-04

典型炸药柱的 400 kg 落锤撞击感度特性分析

高立龙, 牛余雷, 王浩, 王彩玲, 李媛媛, 郭昕

(西安近代化学研究所, 陕西 西安 710065)

摘要: 为了研究炸药在冲击作用下的安全性能, 利用 400 kg 落锤加载装置对梯恩梯 (TNT)、B 炸药 (Comp. B)、钝化黑索今 (P-RDX) 等典型炸药柱进行了撞击感度试验, 将所测结果与 GJB772A-97 方法测试的炸药撞击感度、抗压强度进行了相关性分析。结果表明, 在试验条件下, 组成相近的配方, 药柱撞击感度与抗压强度、成型工艺相关; TNT 基炸药中, TNT 在冲击加载下安全性最好; 浇注、压装炸药中, HMX 基炸药比 RDX 基炸药药粒撞击感度低, 药柱撞击感度也低。

关键词: 爆炸力学; 炸药; 撞击感度; 抗压强度

中图分类号: TJ55; O389

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2011.04.017

1 引言

近年来世界范围的几次战争中, 钻地弹药对敌方机场跑道、地面加固目标、尤其是地下深层设施的打击效果获得验证^[1], 例如美军典型的 GBU-28、JDAM、“炸弹之母”等。这种弹药依靠其动能能侵入钢筋混凝土、金属装甲等目标防护层, 因此, 战斗部中炸药装药在撞击条件下安全性研究尤为重要。

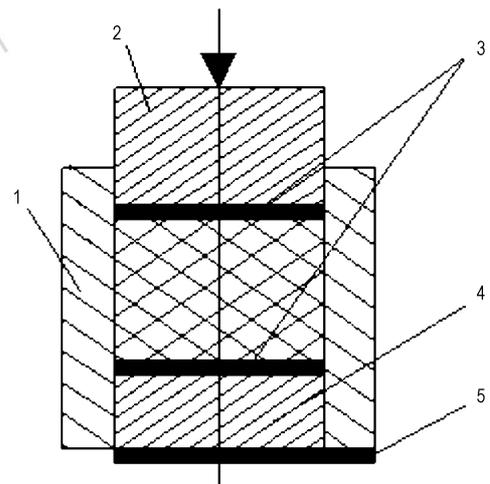
工程研究中评价装药撞击侵入安全性的方法有大中口径火炮加载试验 (如苏珊试验^[2]、滑道试验)、平衡炮试验、火箭橇加载试验等, 但这些方法成本昂贵, 往往仅用于产品指标的验收。实验室对药柱侵入安全性评价方法有轻气炮加载试验、猎枪试验、霍普金森试验^[3]、落锤加载试验^[4]等, 但这些试验方法目前尚未形成标准, 因而试验条件的差异造成数据之间可比性较差。为此, 本课题利用大型落锤加载装置模拟炸药侵入条件下受到的冲击作用, 对几种典型炸药柱进行了加载试验, 并结合药粒的撞击感度、抗压强度对药柱撞击结果进行分析, 研究了炸药柱受冲击作用时的安全性。

2 试验部分

2.1 落锤撞击药柱感度试验方法及装置

落锤撞击药柱感度试验原理及试验装置如图 1、

图 2 所示。将炸药柱按照图 1 所示装配到钢壁壳体中, 试验时落锤沿着导轨自由下落撞击前端击柱和后端炸药柱, 壳体内炸药柱受到冲击作用发生反应, 会在金属壳体上留下燃烧痕迹、壳体破裂等现象。试验过程中落锤重量和高度可调节, 以药柱发生反应所对应的落锤最小高度表征药柱对落锤撞击的感度, 类似于测量炸药药粒撞击感度方法中的临界落高判据。通过药柱下端的传感器, 可采集到落锤加载到击柱的初始应力经药柱透射或衰减后的变化曲线, 典型试验曲线如图 3 所示。



1—壳体, 2, 4—击柱, 3—隔层, 5—传感器

1—shell, 2, 4—hit cylinder, 3—clapboard, 5—sensor

图 1 大落锤试验原理图

Fig. 1 Principle diagram of drop hammer

收稿日期: 2010-10-15; 修回日期: 2011-02-15

基金项目: 国防科技工业基础产品创新计划火炸药专项

作者简介: 高立龙(1965-), 男, 高级工程师, 主要从事混合炸药配方及工艺研究。



图 2 大落锤加载装置

Fig. 2 Drop hammer set-up

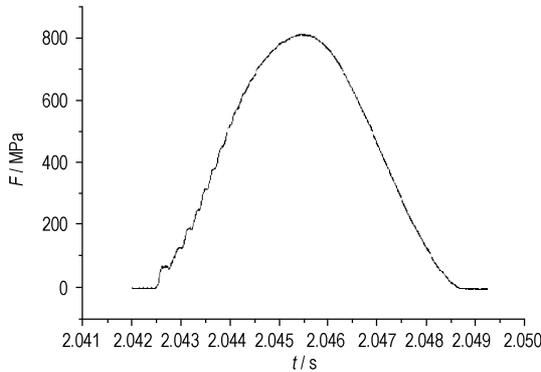


图 3 撞击应力变化曲线

Fig. 3 Curves of impact stress

2.2 炸药样品及制备

(1) 炸药品种

TNT、梯黑铝 (THL)、梯黑铝钝 (THLD)、B 炸药; PBX-1、PBX-2、109G、757G、PBX-3; JOB、JOF、HLA、钝化黑索今 (P-RDX)、8701。所有样品均由西安近代化学研究所提供,炸药组成分别见表 1、表 2 和表 3。

表 1 TNT 基熔铸炸药撞击感度试验结果

Table 1 Impact sensitivity of TNT-based explosive

samples	Comp. B	THLD	THL	TNT ^[6]
composition	TNT/RDX ~40/60	TNT/RDX/Al/D ¹⁾ ~60/24/11/5	TNT/RDX/Al ~60/24/16	TNT
H_{50} /cm	57.3	57	-	154
impact sensitivity/%	43	20	26	8
friction sensitivity/%	0	0	22	4~6
characteristic drop height/mm	1400	1200	1300	1400
stress peak value/MPa	800	900~1100	1000	650~700
compressive strength/MPa ^[5-6]	9.23	19.25	33.6	11.4

Note: 1) D is passivation.

(2) 样品制备

大落锤试验样品: 将炸药制备成 $\Phi 40$ mm \times 40 mm 药柱,按图 1 结构装配,试验样弹如图 4 所示。109G、757 G 炸药采用真空条件下直接浇注到壳体内。

药粒撞击感度样品: 粒状或片状。

2.3 试验条件

(1) 药柱落锤撞击感度试验: 落锤质量 400 kg、落高在小于 4 m 范围内可调、试验温度为室温。

(2) 炸药药粒撞击感度试验: 特性落高 (H_{50}) 法落锤质量 5 kg,其他按照 GJB772A-1997 方法 601.2 (特性落高法)规定的条件进行;爆炸概率法落锤质量 10 kg、落高 25 cm,其他按照 GJB772A-1997 方法 601.2 (爆炸概率法)规定的条件进行。

2.4 试验方法

试样药粒的 H_{50} 采用 GJB772A-1997 方法 601.2 (特性落高法),药粒的撞击感度、摩擦感度采用 GJB772A-1997 方法 601.2 (爆炸概率法);炸药柱的特性落高、应力峰值采用 2.1 所述试验方法,抗压强度采用 GJB772A-1997 方法 416.1 (压缩法),抗拉强度采用 GJB772A-1997 方法 413.1 (直拉法)。



图 4 装配后的试验样弹

Fig. 4 Fixed sample

表 2 浇注 PBX 炸药撞击感度试验结果

Table 2 Impact sensitivities of PBX explosives

samples	109G	PBX-1	PBX-2	757G	PBX-3
composition	RDX/Al/SR ¹⁾ ~64/20/16	RDX/Al/NJ ²⁾ ~64/20/16	RDX/Al/AP/NJ ²⁾ ~25/33/30/12	RDX/Al/AP/SR ¹⁾ ~25/33/30/12	HMX/Al/SR ¹⁾ ~55/30/15
H_{50} /cm	55	81.3	50	55	65
impact sensitivity/%	20	48	48	8	0
friction sensitivity/%	0	0	56	0	4
characteristic drop height/mm	1500	1000	700	1300	1600
stress peak value/MPa	850	700	500	650	-
compressive strength /MPa ^[5]	0	-	2.42	0	0
tensile strength /MPa ^[5]	-	0.36	0.3	-	-

Note: SR and NJ are different additives.

表 3 压装炸药撞击感度试验结果

Table 3 Impact sensitivities of pressing explosives

samples	JOB	JOF	HLA	P-RDX	8701
composition	HMX /W ~95 /5	HMX /W ~95.5/4	HMX /AP /Al/W ~25 /31 /36/8	RDX/W ~95/5	RDX/W ~95/5
H_{50} /cm	200	102	123	-	-
impact sensitivity/%	0	0	0	32	22
friction sensitivity/%	10	5	0	28	28
characteristic drop height/mm	1600	1075	1500	1600	2000
stress peak value/MPa	1000	478	800	801	912
compressive strength /MPa ^[5]	36.5	8.49	6.17	9.68	29.2

Note: W is passivative additive.

3 结果及分析

3.1 TNT 基炸药落锤撞击感度特性

几种 TNT 基炸药不同感度试验结果及特性参数见表 1。由表 1 可见, TNT 与 B 炸药药柱的撞击感度相同, 而 B 炸药药粒的撞击感度明显高于 TNT 药粒的撞击感度, 说明 B 炸药中加入感度较高的 RDX 后, 仅提高了药粒的撞击感度, 对药柱的撞击感度影响不大。这与两种药柱的力学强度、密度、以及对应力波的衰减和吸收有关, 具体机制有待进一步研究。

THL 和 THLD 两种炸药组成相近, 制备工艺条件相同, 因为 THLD 炸药配方中含有惰性钝感剂, 药粒撞击感度自然低于 THL。由表 1 可见, THLD 药柱的抗压强度只有 THL 药柱的 57%, 受到同样高度落锤撞击时, THLD 药柱吸波能力强, 因此撞击感度大于 THL。

配方组成差异较大炸药如 THL 与 TNT 相比, THL 强度较高, 但药柱撞击感度高于 TNT。可能的原因是 TNT 药柱受到冲击后, 能量转变引起的热效应虽导致炸药升温, 但其热感度参数如 5 s 爆发点 (475 °C) 明显高于 RDX (230 °C)^[5], 而且 TNT 具有熔点低、相变吸热的特点, 因而温升较慢, 药柱撞击感度较低。

3.2 浇注 PBX 炸药粒撞击感度与药柱撞击感度特性

几种浇注 PBX 炸药粒、药柱撞击试验结果及特性参数见表 2。由表 2 中 PBX-3、109G 两种炸药结果可见, 配方中以 HMX 代替 RDX 后, 药粒的撞击感度降低, 但药柱的撞击感度变化不大; 由 109G 与 757G, PBX-1 与 PBX-2 试验结果可见, 采用相同粘结剂炸药配方中, 含有 AP 的炸药药粒及药柱撞击感度均较高, 特别是 PBX-2 摩擦感度明显高于不含 AP 的 PBX-1, 说明 AP 对炸药的抗冲击性能不利。图 5 是装填 PBX-2 某侵彻弹体进行火炮加载撞击、侵彻试验后状况, 弹体内的炸药发生了燃烧现象, 而 PBX-1 在同样试验条件下未燃, 这说明炸药配方中 AP 的加入降低了装药的抗冲击性能。



图 5 装填 PBX-2 弹体侵彻试验后照片

Fig. 5 Photographs of penetrating warhead filled PBX-2

PBX-2 与 757G 固相组分和含量相同,前者药粒、药柱撞击感度均高于后者。主要原因是炸药中所用的粘结剂性质不同,导致炸药的力学状态不同。PBX-2 在常温下为弹性体,受到落锤高冲击应力作用后,会发生较大的粘弹性变形,由于形变可恢复和作用时间短(几毫秒),炸药质点会在平衡位置附近发生剧烈的振荡效应,这个过程接近绝热压缩与拉伸,导致炸药损伤和热点产生几率较大;而同等情况下的 757G 炸药表现为粘性流动,形变不可恢复,冲击压缩后主要产生炸药“压实”效应,而热效应为次要现象,撞击感度则低。图 6 为模拟药(力学状态与 757G 相同)经过火炮加载试验后,模拟药后端面与所接触的部件之间因反复振荡形成的压痕,均可看到上述“压实”、振荡现象。



图 6 端盖高速撞击后形变现象

Fig. 6 The phenomena of backboard distortion after high speed impact

3.3 压装造型粉炸药及药柱撞击感度特性

几种压装造型粉炸药、药柱的撞击感度试验结果及特性参数见表 3。由表 3 可见,组成相近的 JOB 与 JOF 炸药, P-RDX 与 8701 炸药,药粒的撞击感度与药柱撞击感度趋势相同,即药粒撞击感度低,药柱感度也低;由表 3 中药柱的抗压强度结果可见,药柱强度高,撞击感度低,这点与 TNT 基炸药相近配方结果相同,

可见相同试验条件下,抗压强度对炸药及装药抗冲击作用有影响。近年来已有文献[6]报道关于力学性能与炸药抗冲击安全性研究状况。表 3 结果表明,以 HMX 为基炸药撞击感度低于以 RDX 为基炸药,这与浇注体系炸药结果相同;不同的是含有 AP 的炸药未表现出较高的撞击感度。

4 结论

- (1) 落锤撞击试验能够间接表征炸药柱受到冲击作用时的安全性。
- (2) TNT 基炸药中,TNT 在冲击加载下安全性最好。
- (3) 组成相近 HMX 基浇注、压装炸药配方中,药粒撞击感和药柱撞击感度都比 RDX 基炸药低。
- (4) 浇注类炸药中加入 AP 时,药粒、药柱撞击感度会提高,对安全不利;压装类炸药则影响不明显。

参考文献:

- [1] 王涛,余文力,王少龙,等. 国外钻地武器的现状与发展趋势[J]. 导弹与航天运载技术, 2005(5): 51-56.
WANG Tao, YU Wen-li, WANG Shao-long, et al. Present status and tendency of foreign earth-penetrating weapons[J]. *Missiles and Space Vehicles*, 2005(5): 51-56.
- [2] 阮庆云,陈启珍. 评价炸药安全性能的苏珊试验[J]. 爆炸与冲击, 1989, 1(9): 68-72.
- [3] 邓琼. Hopkinson 压杆实验技术在火工品抗高过载能力评价中的应用[C]//第五届全国爆炸力学实验技术学术会议论文集,西安, 2008.
- [4] 徐洪涛,孔德仁,胡宏伟,等. 火炸药药柱撞击感度试验装置及方法[J]. 火炸药学报, 2010, 33(3): 30-33.
XU Hong-tao, KONG De-ren, HU Hong-wei, et al. Impact sensitivity test system and test method of explosives column[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2010, 33(3): 30-33.
- [5] 火炸药手册. 第一分册[M]. 第五机械工业部第二〇四研究所, 1981.
- [6] Wilson W H. Initiation of explosives under high deformation loading conditions[C]//11th International Detonation Symposium, Snowmass, Colorado. 1998: 565-572.

Analysis of Impact Sensitivity Characteristics for Typical Explosive Cylinder

GAO Li-long, NIU Yu-lei, WANG Hao, WANG Cai-ling, LI Yuan-yuan, GUO Xi

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

Abstract: In order to study explosive safety under impact, the impact sensitivities of TNT, composition B, desensitizing RDX etc typical explosive cylinder were measured with the 400 kg drop hammer, and the results were comparatively analysed with conventional impact sensitivity test (GJB772A-1997). The result show that the impact sensitivity of explosives with similar composition is closely related to its compressive strength and molding process. Safety of TNT is best in TNT-based explosive, and impact sensitivity of HMX-based explosive is lower than that of RDX-based explosive.

Key words: explosion mechanics; explosive cylinder; impact sensitivity; compressive strength

CLC number: TJ55; O389

Document code: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2011.04.017