

含硼金属炸药水下能量的实验研究

封雪松, 赵省向, 刁小强, 戴致鑫

(西安近代化学研究所, 陕西 西安 710065)

摘要:通过水下试验测试了含硼铝、硼镁、硼镁铝合金、硼钛、硼锆等混合金属粉炸药的水下能量,并与相应含铝炸药的水下能量进行了对比。结果发现,以HMX为基金属粉的质量分数20%时,镁粉、镁铝合金与硼粉混合后水下总能量比单独使用硼粉时约提高40%;含硼铝质量分数20%的炸药的水下总能量比含铝质量分数20%炸药高约7%;以RDX为基,含硼铝、硼镁、硼镁铝合金质量分数20%炸药的水下总能量比含铝20%的炸药均有提高,其中硼镁达到9%。随着硼铝金属粉含量的增加,水下总能量不断提高,均高于相应含铝炸药,当硼铝金属粉质量分数为35%时达到最高,比含铝35%炸药约高7%,含量40%后开始降低。硼粉与铝粉混合使用,可提高硼粉氧化效率和炸药水下总能量。

关键词:应用化学;含硼炸药;水下爆炸;爆炸能量

中图分类号: TJ55;TQ564

文献标志码: A

文章编号: 1007-7812(2009)05-0021-04

Experimental Research of Underwater Energy of Explosive Containing Boron/Metal

FENG Xue-song, ZHAO Sheng-xiang, DIAO Xiao-qiang, DAI Zhi-xin
(Xi'an Modern Chemistry Research Institute, Xi'an 710065, China)

Abstract: By underwater experiment, the underwater energy of explosives containing boron and combustible metals, including aluminum, magnesium, magnesium-aluminum, magnesium titanium and magnesium zirconium, is tested and compared with aluminum-containing explosive. Results show that the overall energy of HMX-based explosives containing 20% boron-magnesium and 20% boron-magnesium-aluminum is 40% more than that of HMX-based explosive with 20% boron. The energy of 20% boron-aluminum-containing HMX-based explosive is 7% more than that of 20% aluminum-containing HMX-based explosive. The RDX-based explosives containing 20% boron-aluminum, 20% boron-magnesium and 20% boron-magnesium-aluminum have higher overall energy than 20% aluminum-containing RDX based explosive, 9% higher with boron-magnesium. The overall energy of RDX-based explosive becomes higher with the increase of the content of boron-aluminum. When the content reaches 35%, the overall energy reaches tiptop, almost 7% higher than 35% aluminum-containing explosive. When the content reaches 40%, the overall energy becomes lower. When boron is blended with aluminum, its oxidizing efficiency and overall energy of metalized explosive can be improved.

Key words: applied chemistry; explosive containing boron; underwater explosion; explosion energy

引言

硼粉作为一种高能金属粉,具有较高的质量燃烧热值,比铝粉约高1倍,比镁粉高1倍以上,是金属可燃剂中潜在的高能量材料,在推进剂中已获得广泛应用。但由于硼粉的熔点和沸点较高,难以点燃和气化,造成氧化速度慢、效率低,且硼粉氧化的耗氧

量大,在炸药高速爆轰的过程中难以发挥其高能量性能,因此,目前金属化炸药的研究仍集中在含铝炸药,对含硼炸药研究还处在试验阶段^[1-2],主要是关于硼粉在炸药中单独应用对爆炸能量产生的影响^[3-6],关于硼粉与其他金属粉在炸药中混合使用的研究报道较少。因此,根据金属化炸药的爆轰理论,如何提高含硼金属化炸药中硼粉的氧化效率,改善硼粉在炸药爆轰过程中的能量释放,成为含硼炸

收稿日期:2009-01-10; 修回日期:2009-06-09

作者简介:封雪松(1973—),女,博士研究生,从事混合炸药配方与性能研究。

药能量研究中亟待解决的问题。本研究采用硼粉与易燃金属粉混合使用,通过水下试验,研究含硼铝、硼镁、硼镁铝合金、硼铝、硼钛混合金属粉炸药的水下能量,探索硼粉在金属化炸药中应用的可行性。

1 实 验

1.1 仪器及试样制备

仪器:采用PCB138A 水下激波传感器,灵敏度6.937MPa/V,压力测量范围为0~69 MPa,测定水下距离爆心不同距离处的冲击波峰值压力和气泡周期,试验布置见图1。试样和传感器的入水深度为6.3 m,传感器距离爆心的水平距离为1.2 m和1.8 m。

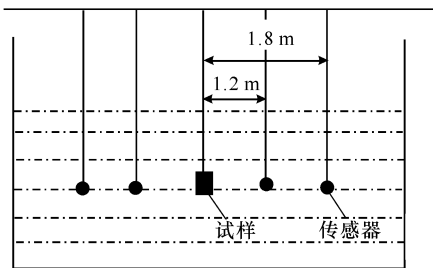


图 1 水下试验布置图

Fig. 1 Arrangement sketch of underwater experiment

试样制备:准确称量RDX 或HMX 炸药,加入一定量的混合金属粉或铝粉,与少量黏结剂溶液搅拌均匀,溶剂挥发后,强制过筛造粒,烘干后压制成直径为50 mm、质量180~200 g 和直径30 mm、质量30 g

的药柱备用。

1.2 实验方法

炸药在水下爆炸时,产生冲击波和高温高压的气态产物,首先是冲击波在水中迅速传播,然后是高压气态产物向四周扩散膨胀至达到气泡的最大半径,此时气泡内的压力低于周围水的静压,因此周围的水再反向中心聚合,压缩气泡形成气泡脉动。炸药的能量分为冲击波能和气泡能两部分,前者表征了炸药爆炸的动作用,后者表征了炸药爆炸的静作用。水下爆炸试验就是通过测定冲击波能和气泡能求出炸药的作功能力^[7-8]。

小水池深度2.4 m,直径3.2 m,试样和传感器入水深度为1.6 m,水下激波传感器距离爆心的水平距离为0.9 m;大水池深度9.5 m,直径12 m,试样和传感器入水深度为6.3 m,水下激波传感器距离爆心的水平距离为1.2 和1.8 m。每个样品至少做两发试验,每发药柱取两组数据,计算得到炸药的冲击波能、气泡能和总能量。

2 结果与讨论

2.1 小水池水下爆炸能量测试

在相同的试验条件下,采用HMX/金属粉/碳氢黏结剂配方,改变金属粉种类,制成药量为20 g、直径为25 mm 的药柱,测定不同试样的水下能量,并与相应的含硼试样进行比较,结果如表1所示。

表 1 HMX 基炸药的小水池水下爆炸能量测试结果

Table 1 Results of underwater explosion energy of HMX-based explosive containing mixed metal in small water pool

$w(\text{Mg})/\%$	$w(\text{Mg}_4\text{Al}_3)/\%$	$w(\text{B})/\%$	$E_s/(\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1})$	$E_b/(\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1})$	$E_s + E_b/(\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1})$	η
10	10	0	1.20	3.47	4.67	1.42
0	10	10	1.17	3.44	4.61	1.41
0	0	20	0.84	2.44	3.28	1.00

注: E_s 为比冲击波能; E_b 为比气泡能; η 为总能量与含硼20%配方的总能量之比。

表1结果表明,与含硼(质量分数为20%)配方的能量相比,硼粉与镁粉、镁铝合金等混合后,水下爆炸的比冲击波能和比气泡能均有较大幅度提高。分析认为,在炸药爆轰过程中,镁粉、镁铝合金粉等易燃金属粉氧化耗氧量较低,在氧化释放能量的同时,为硼粉的氧化提供了高温环境和剩余氧,从而降低硼粉发生氧化反应的难度,提高了硼粉的氧化效率,使爆轰总能量得到提高。

在此基础上,采用密度和热值较高的易燃金属铝粉,按全氧化法计算HMX 中铝粉与硼粉的混合比例;依据计算比例,采用HMX、硼、铝和含氟黏

结剂混合制样,进行水下试验,并与相应的含铝炸药进行总能量对比,结果见表2。

表 2 HMX 基炸药的小水池水下爆炸能量测试结果

Table 2 Test results of underwater explosion energy of HMX-based explosive in small water pool

$w(\text{Al})/\%$	$w(\text{B})/\%$	$E_s/(\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1})$	$E_b/(\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1})$	$E_s + E_b/(\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1})$	η
20	0	1.31	3.44	4.75	1.00
11	9	1.26	3.84	5.10	1.07

注: η 为与含铝20%配方的总能量之比。

表2结果表明,与含铝炸药(铝的质量分数

20%)相比,加入硼粉后,含铝硼混合金属粉的炸药水下比冲击波能稍有减少(约4%),比气泡能有较大提高(约12%),水下总能量约提高7%;铝粉氧化释放的能量同样能够改善炸药爆轰过程中硼粉的氧化,使更多的硼氧化而释放能量,含硼铝金属粉炸药释放较高的能量,高于单纯含铝炸药的爆炸能量。由于硼粉氧化的活泼程度低于铝粉,其氧化反应速度较低,难以为传播速度较快的水下冲击波贡献能量,造成含硼铝炸药比冲击波能降低。但硼粉氧化所释放的能量能够对气泡能作出贡献。以上结果初步表现出铝粉与硼粉混合在炸药中应用的能量优势。

表3 RDX基含铝-硼混合金属粉炸药大水池水下爆炸能量测试结果

Table 3 Test results of underwater explosion energy of RDX-based explosive with Al-B mixed metal in great water pool

$w(\text{Mg})/\%$	$w(\text{Al})/\%$	$w(\text{B})/\%$	$w(\text{Mg}_4\text{Al}_3)/\%$	$w(\text{Ti})/\%$	$w(\text{Zr})/\%$	$E_s/$ (MJ·kg ⁻¹)	$E_b/$ (MJ·kg ⁻¹)	$(E_s+E_b)/$ (MJ·kg ⁻¹)	η
0	20	0	0	0	0	1.30	3.88	5.18	1.00
0	25	0	0	0	0	1.27	4.34	5.61	1.08
0	11	9	0	0	0	1.18	4.06	5.24	1.01
13	0	7	0	0	0	1.18	4.49	5.67	1.09
0	0	8	12	0	0	1.16	4.19	5.35	1.03
0	0	8	0	12	0	1.17	3.98	5.15	0.99
0	0	6	0	0	14	1.20	3.82	5.02	0.97

从表3看出,含硼炸药的比冲击波能均低于含铝炸药。分析认为硼粉的氧化速度慢,需要借助易燃金属粉提供高温环境,造成总体氧化反应的速度下降,低于铝粉的氧化速度,因此水下比冲击波能减小。含硼炸药的比气泡能基本高于含铝炸药,说明硼粉得以较完全地氧化而释放能量,对水下比气泡能作出贡献。大药量试验结果表明,铝粉、镁粉、镁铝合金粉等易燃金属粉能够改善硼粉在爆轰过程中的氧化效率,从而提高水下比气泡能,进而提高水下总能量。含Mg-B金属粉的炸药具有较高的比气泡能和水下总能量,水下总能量比相应的含铝20%炸药约提高9%左右,与含铝25%炸药的总能量相当,其次为含铝-硼和Mg₄Al₃-硼混合炸药,这可能是由于镁粉、镁铝合金粉的氧化耗氧量低,放热的同时能够剩余更多的氧用于硼粉氧化,而铝粉耗氧量较高,剩余氧较少,使硼粉氧化放热量减少,造成比气泡能和总能量降低。钛、锆的燃点低,能够改善硼粉的氧化,但其氧化热值偏低,造成比气泡能较低,总能量低于含铝炸药。总之,易燃金属粉应用于含硼炸药使其能量获得了明显提高,此试验结果也与理论计算值相符。其中镁粉、铝粉和镁铝合金粉由于熔点和沸点较低,在爆轰过程中易于气化和氧化,且耗氧量低,氧化热值较高,其氧化释放的热量提高了硼粉的氧化效率,因

2.2 大水池水下爆炸能量测试

为进一步验证易燃金属粉对硼粉氧化性能的改善,将铝粉、镁粉、镁铝合金粉、钛粉和锆粉^[9],分别与硼粉混合,在大水池进行了大尺寸、大药量试样的水下能量测试。药量为180g,药柱直径为50mm。试样采用RDX和含氟黏结剂制备,混合金属粉的配比用全氧化法^[10]计算获得;依据炸药爆轰理论和金属氧化热计算不同金属化炸药的爆轰能量,除含钛硼、锆硼金属粉炸药的总能量比含铝炸药略低外(钛、锆氧化热值较低),其他含硼炸药释放的总能量均高于相应的含铝炸药。测试结果见表3。

此提高了炸药的水下总能量。

由于铝粉具有较高的密度和热值,在金属化炸药中获得普遍应用,因此对含铝、硼混合金属粉炸药的总能量开展了进一步研究。试样以RDX为基,加入含氟黏结剂制备,并与相应含铝炸药进行对比研究,测试结果见表4。

表4 RDX基含Al-B混合金属粉炸药大水池水下爆炸能量测试结果

Table 4 Test results of under-water explosion energy of RDX-based explosive containing Al-B mixed metal in great water pool

$w(\text{Al})$ /%	$w(\text{B})$ /%	$E_s/$ (MJ·kg ⁻¹)	$E_b/$ (MJ·kg ⁻¹)	$E_s+E_b/$ (MJ·kg ⁻¹)	η
11.0	9.0	1.18	4.06	5.24	1.01
12.5	12.5	1.16	5.18	6.34	1.10
15.0	15.0	1.14	5.42	6.56	1.07
17.5	17.5	1.07	5.95	7.02	1.07
20.0	20.0	0.96	5.29	6.25	0.98
25.0	0	1.36	4.38	5.74	1.00
30.0	0	1.34	4.77	6.11	1.00
35.0	0	1.35	5.21	6.56	1.00
40.0	0	1.12	5.25	6.37	1.00

表4结果表明,随着铝粉和硼粉含量不断增加,混合炸药比气泡能和总能量不断上升,比冲击波能

不断下降。当铝粉和硼粉质量分数达到35%时,混合炸药能量达到最高,比含铝35%炸药提高约7%,比含铝40%炸药约高10%;当铝粉和硼粉的质量分数提高至40%时,混合炸药比冲击波能、比气泡能和总能量开始下降。以上趋势说明,随着硼粉含量的增加,金属粉氧化反应的速度不断降低,造成比冲击波能下降;但是随着金属粉含量的提高,硼粉的氧化量不断增加,所以比气泡能和总能量不断上升。当铝、硼质量分数增至40%时,由于主炸药含氧量不断下降,铝粉耗氧量增加,导致硼粉的氧化量降低,剩余硼粉增多,造成比气泡能和总能量下降。根据全氧氧化法计算,硼粉在RDX或HMX中单独使用时,最高质量分数为20%左右,否则难以氧化而造成能量下降。水下能量测试结果同样说明,硼粉与铝粉混合使用时,硼粉质量分数必须低于20%。

3 结 论

(1) 在RDX或HMX混合炸药中,硼粉与易燃金属粉如铝粉、镁粉混合使用,能够促进硼粉的氧化反应,提高水下爆炸的总能量。

(2) 铝粉与硼粉等量混合时,在一定的含量范围内(质量分数20%~35%),含铝-硼炸药与含铝炸药的水下能量相比,比气泡能和总能量均有明显提高,但比冲击波能不断下降。

(3) 由于硼粉的氧化耗氧量较高,硼粉与铝粉在RDX或HMX中混合使用时,硼粉的质量分数应低于20%。

(4) 硼粉与能量较高的易燃金属粉混合使用,水下总能量才能高于同含量的含铝炸药。

参考文献:

- [1] Makhov M. Explosion heat of boron-containing explosive compositions [C] // Proc 35th Intern Annual Confer of ICT. Karlsruhe: ICT, 2004: 55(1-10).
- [2] Flower P Q, Steward P A. Improving the efficiency of metallised explosives [C] // Insensitive Munitions and Energetic Materials Technical Symposium. Bristol: (UK) U. S. National Defense Industrial Association, 2006.
- [3] 黄亚峰. 含硼炸药 [C] // 2004 年火炸药学术研讨会论文集. 北京: 中国兵工学会火炸药专业委员会, 2004: 116-119.
- [4] 黄亚峰. 环境对含硼炸药能量释放的影响 [C] // 2005 年火炸药学术研讨会论文集. 北京: 中国兵工学会火炸药专业委员会, 2005: 175-177.
- [5] 裴明敬, 毛根旺. 含硼温压型燃料的爆炸性能 [J]. 火炸药学报, 2006, 29(4): 1-5.
PEI Ming-jing, MAO Gen-wang. Explosion performance of thermobaric fuel containing boron [J]. Chinese Journal of Explosives and Propellants, 2006, 29(4): 1-5.
- [6] 王浩, 王亲会. DNTF 基含硼和含铝炸药水下能量 [J]. 火炸药学报, 2007, 30(6): 38-40.
WANG hao, WANG qin-hui. Underwater energy of boron and aluminum containing explosive based DNTF [J]. Chinese Journal of Explosives and Propellants, 2007, 30(6): 38-40.
- [7] 周俊祥, 于国辉. RDX/Al 含铝炸药水下爆炸试验研究 [J]. 爆破, 2005, 22(2): 4-6.
ZHOU Jun-xiang, YU Guo-hui. Experimental study of the aluminized explosive RDX/Al explosion underwater [J]. Explosion, 2005, 22(2): 4-6.
- [8] 周霖, 徐少辉. 炸药水下爆炸能量输出特性研究 [J]. 兵工学报, 2006, 27(2): 235-238.
ZHOU Lin, XU Shao-hui. Research on energy output characteristics for under water explosion of explosives [J]. Acta Armamentarii, 2006, 27(2): 235-238.
- [9] 张炜, 朱惠. 固体推进剂性能计算原理 [M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 1996: 485-490.
- [10] 孙业斌, 徐更光. 军用混合炸药 [M]. 北京: 兵器工业出版社, 1994: 474-475.