

武器技术

铝粉含量及粒度对炸药驱动能力的影响

李 昆 高立龙 陈春燕 李 巍 南 海 王晓峰

(西安近代化学研究所,西安 710065)

摘 要 通过一维平板加速试验方法,研究了铝粉含量及粒度对含铝浇注 PBX 炸药驱动能力的影响。测试分析了不同铝粉含量或粒度的炸药配方金属加速能力,并进行了工程验证试验。结果表明,在铝含量一定范围内,炸药驱动破片金属加速能力随着铝粉含量增加先增加后减小,铝粉含量存在一个最优配比;铝粉尺寸对能量释放有影响。

关键词 含铝炸药 驱动能力 破片速度 粒度 含量

中图分类号 TJ55 O382; **文献标志码** A

目前在服役阶段和在研的炸药大部分为混合炸药。针对不同的应用需求,某些炸药配方中含有大量的铝粉^[1]。由于铝粉在爆轰反应过程中的后效性,含铝炸药具有较宽的化学区长度、临界直径大、起爆传爆能力较弱、反应产物组成复杂、存在后续二次反应,甚至多次反应。这些因素将引起含金属炸药起爆和传爆性能与理想炸药有明显差异。依靠常规的试验是否能评判其释放能量特性是一个很值得科研人员思考的问题。同时研究表明铝粉含量、尺寸均对含铝炸药能量输出有着影响^[2-4]。如国内陈朗等研究人员通过激光速度干涉仪法研究了压装含铝炸药驱动一维平板的能力^[5]。本研究采用一维平板实验装置研究了铝粉含量及粒度对固黑铝浇注 PBX 炸药驱动能力的影响,帮助确定最优铝粉含量,并进行了 2 kg 级验证试验。

1 试验

1.1 样品制备

通过 2 L 立式捏合机真空捏合制备铝粉含量为 0%、5%、10%、15%、20% 的五个炸药配方,及铝粉含量 15% 的不同粒度铝粉炸药配方,采用真空捏合真空浇注工艺制备尺寸为 $\phi 40\text{ mm} \times 40\text{ mm}$ 的药柱;同时装填 2 kg 级预制破片空爆弹,壳体为 45 号钢,壁厚 3 mm、破片尺寸为 $10\text{ mm} \times 10\text{ mm}$,槽深为 1 mm,备用。

1.2 一维平板加速实验及仪器

采用电探针法测量炸药的爆炸加速能力。通过引爆炸药后测定金属板在炸药爆轰产物的驱动

下,在不同位置时间处平均速度,来评价炸药驱动能力,为确定配方中铝粉含量范围给出参考依据。试验系统由药柱约束装置,测速靶装置及数据采集系统构成。测速靶装置由 8 个电探针构成,距离金属薄片断面距离分别为 20 mm、25 mm、30 mm、35 mm、45 mm、55 mm、65 mm 和 75 mm。电探针用两根直径为 $\phi 0.2\text{ mm}$ 、间距为 2~5 mm 的银丝制成。数据采集系统采用 DL-32 型时间间隔记录仪,测量金属薄片到达不同距离处的电探针时产生电流的时间,精度达到 1 ns,可以满足试验设计要求^[6]。其中炸药药柱规格为 $\phi 40\text{ mm} \times 40\text{ mm}$ 、金属片规格为:45#钢、 $\phi 40\text{ mm} \times 3\text{ mm}$,金属片与炸药之间通过粘接方式连接。

1.3 空中爆炸破片速度及冲击波超压测试试验及仪器

为了验证含铝炸药爆炸后对金属破片的驱动能力,进行了 2 kg 量级的炸药爆炸后破片速度检测试验。通过测试炸药爆炸后高温高压气体使金属壳体上破片从预置刻槽处破裂飞出至破片飞到一定距离靶板上的平均时间,可以获得破片的飞行速度^[7]。测试结果和 TNT 炸药进行对比,并同时获取了冲击波超压随距离的变化。

数采系统采用美国泰克公司 DPO7254 型多通道高速数据采集仪,采样率为 10~40 GS/s。超压采用 Kistle 公司 211B5 型壁面压力传感器进行测试,精度 0.001 psi,测量范围 100psi,传感器距离爆点的水平距离分别为 2.5 m、3.5 m、4.5 m、5.5 m 和 6.5 m。破片速度测试采用通断测速靶进行测试,分别在距离爆心半径 4 m、6 m 圆弧处分别布置 3 块测速靶。爆心距地面 1.5 m。

表 1 不同铝粉含量浇注 PBX 炸药的理论爆速与爆热

Table 1 Theoretical detonation velocity and detonation heat of PBX explosives with different Al content

序号	配方 (wRDX:wAl:w 黏结剂)/%	平均密度/(g·cm ⁻³)	计算爆速/(m·s ⁻¹)	计算爆热/(kJ·kg ⁻¹)	实测爆热/(kJ·kg ⁻¹)
1	90;0;10	1.654	7 941	5 812	—
2	85;5;10	1.679	7 874	5 869	—
3	80;10;10	1.705	7 804	6 737	5 900
4	75;15;10	1.732	7 732	7 605	6 300(1.5 倍 TNT)
5	70;20;10	1.759	7 657	8 231	6 000

2 结果与讨论

2.1 铝粉含量对 RDX 基含铝浇注 PBX 爆热及爆速的影响

从表 1 和图 1 中可以看出,随着铝粉含量从 0% ~ 20% 增加,平均密度增大,计算爆热增加,而计算爆速则减小。这说明含铝炸药铝含量在一定范围内,随着铝粉的加入,理论爆热上升,实测爆热先增大后减小^[8]。同时根据二次反应理论,铝粉在主炸药爆轰时没有或很少参与 C-J 反应,即在动力学上对反应物浓度起稀释作用,而且铝粉反应必须先吸热才能放热,降低了爆轰波的初始能量,这样就导致了含铝炸药的爆速降低。实测爆热结果先增大后减小,说明铝粉含量若过高,则不能反应完全,反而吸收部分能量,降低最终爆热结果。最终当铝粉含量为 15% 时爆速为 7 732 m/s,且同时爆热最高,平均密度也相对较大。

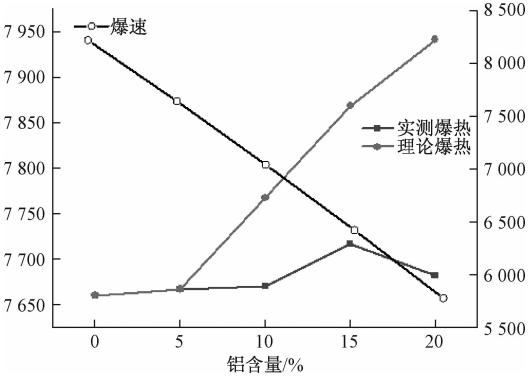


图 1 爆速、爆热与铝粉含量的关系

Fig. 1 The relationship between detonation velocity, detonation heat and the content of aluminum powder

2.2 铝粉含量对炸药驱动破片加速能力的影响

对于浇注 PBX 炸药固黑铝体系,铝粉含量为零时,主炸药含量虽高,没有铝粉参加爆炸反应提供的热量,峰值稍低;随着铝粉含量增加,表现出铝粉参加反应对平板具有持续加速能力,以 15% 铝粉含量配方使得平板速度峰值最大,达到时间也长,说明铝粉二次反应放热和加速金属的时机和一次反应的“接力”匹配性好。而当铝粉含量大于 15% 时,更多的铝粉吸热消耗较多的初始爆轰能量,发生二次反

应用于驱动爆轰的铝粉比例相对减少,导致金属加速能力反而减弱。试验结果表明,铝粉质量分数在 15% 左右时,其对金属薄片的驱动加速能力最优,无论是速度峰值还是加速时间,比 TNT 相比具有明显优势。这一结果与铝含量对含铝浇注 PBX 炸药爆热和爆速的影响规律相似。

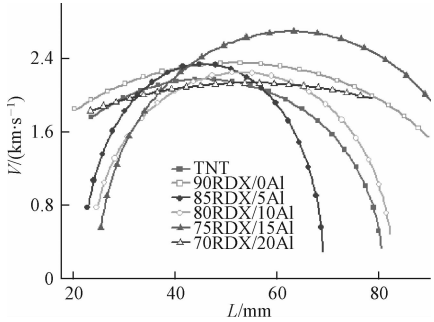


图 2 不同铝粉含量炸药的金属加速能力曲线

Fig. 2 Metal acceleration ability of explosives with different content of aluminum powder

2.3 铝粉粒度对炸药驱动破片加速能力的影响

一般认为铝粉主要是在爆轰反应后期同爆轰产物反应释放能量,小尺寸铝粉更容易与炸药爆轰产物反应,并且反应时间提前,反应量多,能量释放快,使炸药驱动能力增强。图 3 中实验结果表明,5 μm 铝粉反应较快较早达到最大速度,但是由于小尺寸铝粉起始速度较高,其加速最大速度及速度持续时间均不及 13 μm 铝粉。26 μm 铝粉由于尺寸较 5 μm 和 13 μm 大,反应吸热多,反应速度慢,反应可能反而消耗更多能量,对炸药金属加速并未起到相应作用。综合考虑,中间粒度及 13 μm 的铝粉所能达到的最大速度及持续时间均较优。

通过对不同粒度铝粉进行级配,进行粒度级配配方的金属加速实验,从图 4 结果可知,加入大尺寸铝粉可增加加速持续时间,但是最大速度降低且反应速度较慢。而加入小尺寸铝粉可加快反应速度,增大最大速度,但是持续时间缩短。因而通过选择合适的铝粉粒度即铝粉粒度配比,可以获得最优的金属加速能力。

2.4 验证试验结果分析

2 kg 级空爆试验结果表明,在近场 3.5 m 范围

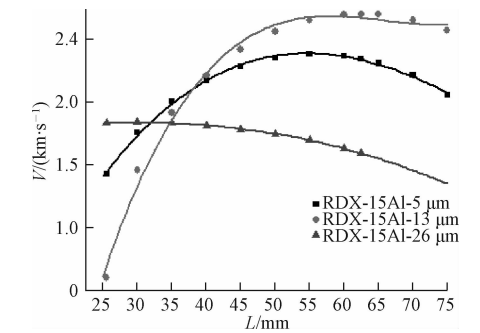


图 3 不同粒度铝粉对炸药金属加速能力的影响
Fig. 3 Effect of different particle size of aluminum powder on the metal accelerating ability of explosives

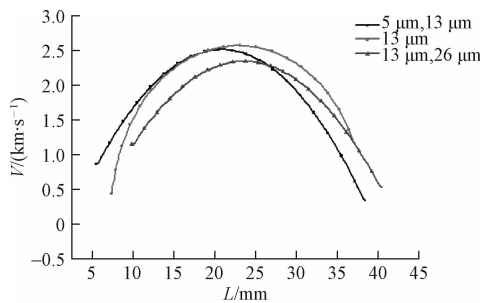


图 4 粒度级配对炸药金属加速能力的影响
Fig. 4 Effect of particle size distribution on the metal acceleration ability of explosives

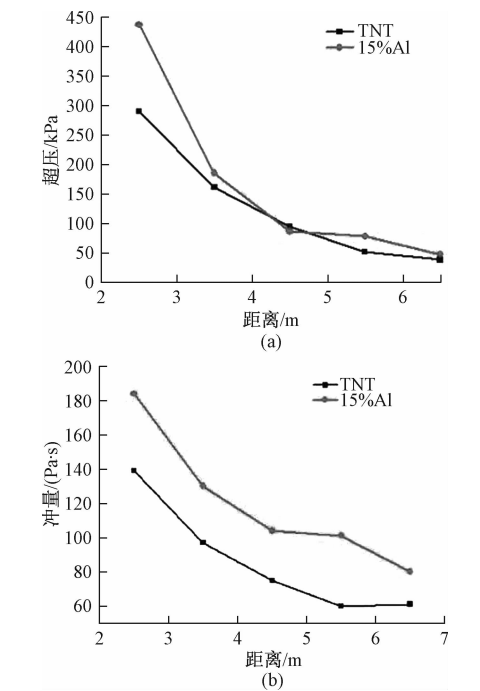


图 5 TNT 和 15% Al 试样空中爆炸冲击波参数
Fig. 5 The air blast shock wave parameters of TNT and 15% Al samples

内,15% Al 试样超压大于 TNT,而冲量结果则始终大于 TNT,表明通过一维平板加速试验所确定的 15% Al 试样相比 TNT,做功能力具有明显优势,并具有较好

的持续做功能力。表 2 给出了两组试样驱动金属破片的能力,金属破片速度比 TNT 有明显提高。验证试验结果表明,通过一维平板试验能够帮助确定混合炸药中铝粉的配比,减少工程试验工作量。

表 2 TNT 和 15% Al 试样驱动金属破片速度结果

炸药	平均时间/(m·s ⁻¹)		速度/(m·s ⁻¹)	
	4 m	6 m	4 m	6 m
	driven by TNT and 15% Al samples			
TNT	6.233	—	642	—
4#	2.393	3.408	1671	1760

3 结论

(1)对于固黑铝浇注 PBX 炸药,当铝粉含量为 15%时,由于同时具有较高的爆热、爆速和装药密度,因而炸药体系具有较高的爆轰总能量和冲击波能。

(2)一维平板试验表明,铝粉含量对固黑铝浇注 PBX 炸药爆炸驱动能力有影响,呈先增大后减小的趋势,选择合适的铝粉含量可以获得最佳的金属加速能力。

(3)小尺寸的铝粉有利于反应完全并且反应速率较快,通过选择合适的铝粉尺寸配比可以获得较好的金属加速能力。

参 考 文 献

1 孙业斌,惠君明,曹欣茂. 军用混合炸药. 北京:兵器工业出版社,1995
Sun Y B, Hui J M, Cao X M. Military explosive mixture. Beijing: Ordnance Industry Press, 1995

2 韩 勇,韩敦信,卢校军,等. 含铝炸药爆压及能量释放过程的研究. 含能材料,2003; 11(4):192—194
Han Y, Han D X, Lu X J, et al. The Research of Effective Pressure and Energy-released Process of Al-containing Explosives. . Chinese Journal of Energetic Materials, 2003;11(4):192—194

3 陈 朗,张寿齐,赵玉华. 不同铝粉尺寸含铝炸药加速金属能力的研究. 爆炸与冲击,1999;19(3):250—255
Chen L,Zhang S Q,Zhao Y H. Study of the Metal Acceleration Capacities of Aluminized Explosives With Spherical Aluminum Particles of Different Diameter. Explosion and Shock Waves, 1999;19(3):250—255

4 殷海权,潘 清,张建亮,等. 铝粉对炸药性能的影响. 含能材料,2004;12(5):318—320
Yin H Q,Pan Q,Zhang J L,etal. The Influence of Aluminum Powder On Explosive Performance. Chinese Journal of Energetic Materials, 2004;12(5):318—320

5 陈 朗,龙新平,冯长根,蒋小华. 含铝炸药爆轰. 北京:国防工业出版社,2004
Chen L,Long X P,Feng C G,etal. Aluminized explosive detonation. Beijing: National Defense Industry Press, 2004

- 6 冯晓军,王晓峰,徐洪涛,等. Al 粉对炸药爆炸加速能力的影响. 火炸药学报,2014;37(5):25—27
Feng X J, Wang X F, Xu H T, et al. Influence of Al Powder on the Explosion Acceleration Ability for Explosives. Chinese Journal of Explosives and Propellants,2014;37(5):25—27
- 7 冯雪松,赵省向,刁小强. 铝粉含量对装药破片速度的影响研究. 火工品,2009;(4):30—33
Feng X S, Zhao S X, Diao X Q. Effect of Aluminum Content on Fragment Velocity of Explosive Charge. Initiators & Pyrotechnics, 2009;(4):30—33
- 8 王 玮,王建灵,郭 炜,等. 铝含量对 RDX 基含铝炸药爆压和爆速的影响. 火炸药学报,2010;33(1):15—18
Wang W, Wang J L, Guo W, et al. Influence of Al Content on the Detonation Pressure and Detonation Velocity of RDX-based Aluminized Explosive. Chinese Journal of Explosives and Propellants,2010;33(1):15—18

Effect of Aluminum Content and Particle Size on Acceleration Ability for Explosives

LI Kun, GAO Li-long, CHEN Chun-yan, LI Wei, NAN Hai, WANG Xiao-feng

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

[**Abstract**] The influence of aluminum content and particle size on acceleration ability of aluminized cast PBX was studied by the metal plate acceleration experiments. The metal acceleration ability of different aluminum powder content or particle size of the explosive formulation was tested. And the engineering verification tests were carried out. The results show that the explosion acceleration ability to metal plate is increasing with the increasing of aluminum content in a range. The perfect content is 15 percent in this study. The size of aluminum powder affects the energy release.

[**Key words**] aluminized explosives acceleration ability fragment velocity particle size content

(上接第 178 页)

Effect of Super-high Base Number Nano Magnesium Sulfonate Additive on Tribological Performance of Marine Lubricating Oil

JIANG Jia-wei, PAN Bo, CHEN Yi-chen, LIU Shi-heng, HAN Zhi-tao

(Marine Engineering College, Dalian Maritime University, Dalian 116026, P. R. China)

[**Abstract**] Effect of super-high base number value nano magnesium sulfonate additive on the tribological performance of marine lubricating oil was studied. Fourier infrared spectrometer is used to characterize the molecular structure of the sample, Melvin laser particle size analyzer is used to characterize the particle size distribution of samples, and a SRV multifunctional testing machine and a four-ball friction testing machine is applied to measure and analysis. The results show that under the load of 50 N, 200 N, 500 N and 800 N, the super-high base number nano magnesium sulfonate additive of the marine lubricating oil can effectively reduce the friction factor of the friction pairs, and the maximum non-seizure load can be significantly improved. When the mass fraction of the additive is 8%, the lubricating oil exhibits the best tribological performance.

[**Key words**] super high TBN nano magnesium sulfonate marine lubricating oil tribological performance