

文章编号: 1006-9941(2012)06-0784-05

低爆速膨化铵油爆炸焊接炸药的实验研究

黄文尧¹, 余燕¹, 吴红波¹, 李亚², 铀铀³, 袁胜芳¹

(1. 安徽理工大学化学工程学院, 安徽 淮南 232001; 2. 中国船舶重工集团公司第七二五研究所, 河南 洛阳 471039;
3. 郑州宇光复合材料有限公司, 河南 郑州 450001)

摘要: 为解决当前低爆速爆炸焊接炸药混合均匀性差, 爆炸性能不稳定的难题, 研究采用硝酸铵与微晶蜡、十八伯胺醋酸盐、稀释剂和水在 115 ~ 125 °C 的温度下混溶, 并在 -0.07 ~ -0.09 MPa 下得到一种低爆速膨化铵油爆炸焊接炸药。对该炸药的热安全性、微观结构和机械感度进行了分析, 研究了不同布药厚度对炸药爆速的影响, 并进行铝/钢板爆炸焊接实验。结果表明, 该炸药混合均匀, 机械感度低, 爆速在 1900 ~ 2400 m · s⁻¹ 之间, 超声波探伤检测复合率达 99%, 能满足金属板材爆炸焊接的要求。

关键词: 应用化学; 膨化铵油炸药; 稀释剂; 混合; 低爆速; 爆炸焊接

中图分类号: TJ55; O69

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2012.06.027

1 引言

爆炸焊接是一种固态焊接, 它是以低爆速炸药爆炸时产生的冲击波使两层或多层同种或异种材料高速倾斜碰撞而焊合在一起的方法^[1-2]。由于板与板之间焊接面积较大, 用一般焊接方法很难实现焊合, 而用爆炸焊接法则很容易实现。近十年来, 该技术在国防、造船、石油化工、冶金等行业得到了广泛应用。但是, 作为爆炸焊接的能源, 炸药的性能将直接影响爆炸焊接的质量。在爆炸焊接过程中, 所使用炸药的爆速须控制在一定范围内, 才能得到优质的焊接界面。根据常用金属材料声速统计, 爆炸焊接的炸药爆速要小于 2400 m · s⁻¹, 而一般工业炸药的爆速通常在 2800 ~ 5500 m · s⁻¹ 之间^[3], 远不能满足金属爆炸焊接用炸药的要求。

目前, 国内外在爆炸焊接工艺中, 为了降低炸药的爆速, 通常是采用粉状类硝铵炸药, 如粉状乳化炸药、膨化硝铵炸药等, 在爆炸焊接现场通过人工筛混的办法外加食盐、珍珠岩等稀释剂制得低爆速膨化铵油爆炸焊接炸药^[4-8]。这种方法所制得的炸药贮存稳定性差, 且该方法不能保证炸药各组份混合的均匀性和爆

轰的稳定性, 严重影响爆炸焊接的质量, 而且现场混药劳动强度大, 不利于安全生产。此外, 岳宗洪等在轮碾机内将膨化硝酸铵与复合油相、木粉、食盐、空心玻璃微球等混合^[9], 虽然制造出的炸药爆炸性能稳定, 但该工艺生产效率低, 已被淘汰。上述爆炸焊接炸药中主要选用食盐作为稀释剂, 食盐并不参加爆炸化学反应, 遗留在爆炸焊接现场周围, 严重污染作业区域环境, 因此, 本研究选用超细矿物粉作为稀释剂, 并将其与硝酸铵、微晶蜡、膨化剂和水混溶形成浆液, 然后采用真空膨化干燥工艺制备成低爆速膨化铵油爆炸焊接炸药。该炸药生产工艺简单, 产品性能可靠, 这对于改善爆炸焊接炸药的性能, 提高金属爆炸焊接质量, 保护爆区环境都有现实意义。

2 实验

2.1 样品制备

2.1.1 原料

硝酸铵, 工业级, 安徽淮南化工股份有限公司; 微晶蜡, 南阳微晶蜡精细化工厂; 十八伯胺醋酸盐, 济南法恩工贸有限公司; 稀释剂, 自制; 水为自来水。

2.1.2 仪器

SHZ-D(Ⅲ) 循环水式真空泵(巩义市予华仪器有限责任公司), 500 mL 缓冲瓶(盐城市华鸥实业有限公司), 2000 mL 抽滤瓶(盐城市华鸥实业有限公司), 保温油浴锅(常州国华电器有限公司)。

收稿日期: 2012-04-23; 修回日期: 2012-06-15

基金项目: 国家自然科学基金(51074006); 安徽省高校科研创新团队“新型爆破器材及现代控制爆破技术”资助(TD200705)

作者简介: 黄文尧(1964-), 男, 副教授, 从事含能材料和爆破的教学与科研工作。e-mail: wyhuang@aust.edu.cn

2.1.3 炸药的制备

炸药的配制:准确称取硝酸铵 66 g,微晶蜡 4 g,十八伯胺醋酸盐 0.06 g,稀释剂 30 g,加入 9 ml 水加热至 115 ~ 125 °C,倒入由电热保温油浴锅进行保温的抽滤瓶中,在真空度为 -0.07 ~ -0.09 MPa 的压力下脱水干燥 5 min,搅拌分散出料,冷却至 45 °C 后过 40 目筛,即得低爆速膨化铵油爆炸焊接炸药。

2.2 实验方法

热安全性测试:采用美国 TA 公司的 SDT-2960 型 DSC-TG 联用差示扫描量热分析仪。

颗粒形貌表征:用日本 Nikon 偏光显微摄影仪观察炸药颗粒的结构特征。

机械感度测试:摩擦感度试验采用 GJB772A - 1997 方法 602.1,仪器采用 WM-1 型摩擦感度仪;撞击感度试验采用 GJB772A - 1997 方法 601.1,采用卡斯特落锤仪。

爆速测试:由于工业炸药主要用于炮孔中装药爆炸,其爆速的测试方法是不同直径的炸药卷按照国标 GB/T 13228 - 1991 方法测试炸药的爆速。但对于爆炸焊接的炸药,常用的方法是将炸药按一定厚度平铺于复板(如不锈钢板、铝板等)上爆炸,因此,为了准确测得低爆速膨化铵油爆炸焊接炸药使用中不同布药厚度的传爆速度,实验模拟在长 24 cm、宽 12 cm、厚度 3 mm 的钢板上,在钢板的四周用厚度为 3 mm 的纸板围成一个方框,将所制得的炸药倒入方框中,均匀平铺不同药厚,再将雷管垂直插入左侧,离雷管 10 cm 处插入探针 1,与探针 1 间距为 5 cm 处插入探针 2,并将探针 1 和探针 2 与 WBS-2 爆速测试仪的信号线连接,其爆速测试装置俯视图见图 1,当雷管通电起爆后,即可测得炸药在钢板上的传爆速度。

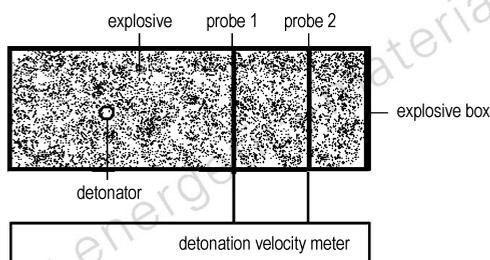


图 1 爆速测试装置俯视图

Fig. 1 Top view of test equipment of detonation velocity

2.3 铝/钢爆炸焊接试验

2.3.1 爆炸焊接材料

基板为钢板,尺寸为 240 mm × 120 mm × 18 mm。

复板为铝板,尺寸为 240 mm × 120 mm × 4 mm。

2.3.2 金属材料的表面处理

由于钢板表面不光洁,铝板在大气中易形成氧化膜。需要用电砂轮按从粗到细将金属表面打磨、抛光,最后用酒精进行擦洗。

2.3.3 铝/钢爆炸焊接试验

在爆炸碉堡内,以砂土为基础,按照表 1 铝/钢的爆炸焊接参数,依次按图 2 分别把基板、间隙物、复板、药框和炸药安装起来,再把电雷管插到炸药中起爆,即将铝板与钢板焊接。用汕头市超声仪器研究所有限公司 CTS-22A 超声波探伤仪检测爆炸焊接质量。

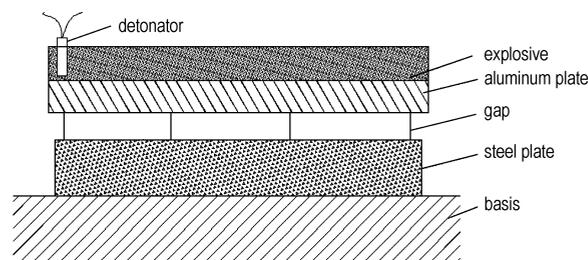


图 2 爆炸焊接装置

Fig. 2 Explosive welding device

表 1 铝/钢的爆炸焊接参数

Table 1 Parameters of explosive welding of aluminum- steel

material	charge at unit area /g · cm ⁻²	charge mass /g	mass ratio	layout thickness /mm	gap /mm
aluminum-steel	2.08	600	1.93	32	7

3 结果与讨论

3.1 炸药的热安全性

实验采用美国 TA 公司的 SDT-2960 型 DSC-TG 联用差示扫描量热分析仪。参比物为 α -Al₂O₃, 保护气体为 N₂, 流动速度为 80 mL · min⁻¹, 升温区间为: 室温 ~ 600 °C, 低爆速膨化铵油爆炸焊接炸药的样品量为 5 mg。实验测得 5, 10, 20, 40 K · min⁻¹ 四种升温速率下的 DSC-TG, 得到炸药的热失重开始温度、结束温度、热失重率和放热峰值温度, 见表 2。

由表 2 可知, 提高升温速率可以使反应的起始温度、终止温度和峰值温度增高。由于快速升温, 使得反应尚未来得及进行, 便进入更高的温度, 致使反应滞后。因此, 样品的温度滞后于样品池的升温。仪器加热速率越高, 样品温度低于样品池温度的情况越明显。样品在实验最低升温速率 5 K · min⁻¹ 时, 其初始分解

温度只有 227.2 °C, 远高于膨化温度。因此, 该炸药各组分在混合膨化时具有良好的热安全性。

表 2 低爆速膨化铵油爆炸焊接炸药的热分解反应特征温度和热失重率

Table 2 Characteristic temperature of thermal decomposition and thermogravimetry ratio of expanded ANFO explosive of low detonation velocity used in explosive welding

heating rate /K · min ⁻¹	TG starting temperature/°C	TG end temperature/°C	TG loss rate/%	exothermic peak temperature/°C
5	227.2	251.0	98.3	251.2
10	243.7	271.5	98.3	271.3
20	255.4	287.0	98.4	286.8
40	275.7	305.7	98.8	305.6

3.2 炸药颗粒的微观结构

采用日本 Nikon 偏光显微摄影仪观察低爆速膨化铵油爆炸焊接炸药颗粒特征见图 3, 从图 3 中可以清晰地观测到炸药颗粒外部形状极不规则, 颗粒内部有微孔、气隙结构, 且炸药中硝酸铵与微晶蜡和稀释剂紧密结合, 混合均匀性好。

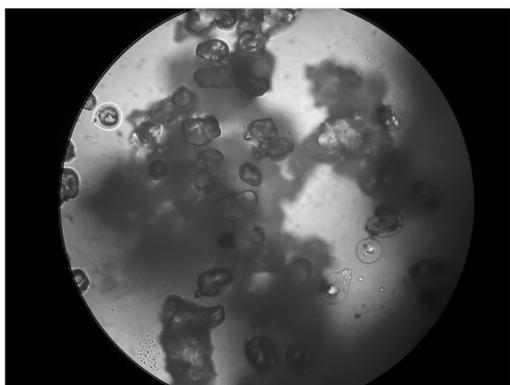


图 3 炸药样品颗粒的显微照片(40 倍)

Fig. 3 Particle microstructure of expanded ANFO explosive sample (×40)

硝酸铵、微晶蜡、膨化剂和粉状稀释剂与水, 在 115 ~ 125 °C 的高温下混合时, 虽然硝酸铵与微晶蜡仍不相溶, 但混合物中膨化剂十八伯胺醋酸盐的分子亲水基团和亲油基团具有表面活性作用, 膨化作用良好。此外, 稀释剂具有一定的吸附功能, 使微晶蜡和硝酸铵水溶液混合成均匀的浆状液。当这种浆状混合液在温度为 115 ~ 125 °C, 真空度为 -0.07 ~ -0.09 MPa 压力下, 浆状混合液高度“沸腾”, 混合液中的水份快速蒸发逸出, 带走大量的热量。此时, 硝酸铵由不饱和溶液变为过饱和溶液, 在膨化剂作用下, 硝酸铵快速膨胀

结晶, 由于硝酸铵结晶放出大量的结晶热, 反过来又使剩余水份蒸发, 水份的蒸发溢出将在硝酸铵晶体中留有大量的通道, 使得结晶的硝酸铵呈多孔膨松状。同时, 微晶蜡和粉状稀释剂在膨化剂作用下也附着在这种多孔膨松状的硝酸铵晶体的内外表面。图 3 表明, 炸药各组份混合不仅均匀, 而且颗粒形状极不规则, 颗粒内部含有空隙, 加上颗粒之间的空隙, 为炸药的可靠起爆和传爆提供“热点”, 因而该炸药具有较好的起爆感和传爆感。

3.3 炸药的机械感度

作者将地蜡与硝酸铵混合膨化所制得的炸药摩擦感和撞击感度均为 0^[11]。而实测硝酸铵与微晶蜡和稀释剂共同膨化所制得的低爆速膨化铵油爆炸焊接炸药的摩擦感度、撞击感度分别为 4% 和 8%。这是由于该炸药中所加入的稀释剂为过 400 目筛的无机矿物粉, 本身也具有一定的吸油和吸附硝酸铵水溶液的功能, 在膨化的过程中, 稀释剂与膨化硝酸铵颗粒同样附着微晶蜡, 由于微晶蜡具有粘度低, 软化点高, 润滑、韧性好等性能, 赋予炸药颗粒极优的外部润滑性, 因而该炸药的摩擦感和撞击感度较低, 满足粉状类硝酸炸药机械感度的要求。

3.4 布药厚度对炸药爆速的影响

为了满足爆炸焊接质量, 爆炸焊接时, 根据基板和复板的材质和厚度不同, 炸药在复板上的布药厚度也不同。因此, 测试不同布药厚度的爆速比常规测试不同装药直径的爆速对金属板爆炸焊接更具有实用价值。实验测得布药厚度对低爆速膨化铵油爆炸焊接炸药爆速的影响结果见表 3。

表 3 布药厚度对炸药爆速的影响

Table 3 Effect of the explosive layout thickness on detonation velocity

diameter/mm	detonation velocity/m · s ⁻¹
30	1976
40	2092
50	2174
60	2293
70	2358
80	2369

从表 3 可以看出, 当布药厚度从 30 mm 增大到 60 mm 时, 炸药的爆速值从 1976 m · s⁻¹ 增大到 2293 m · s⁻¹, 当布药厚度大于 70 mm 以后, 布药厚度对炸药的爆速影响不大。根据炸药爆轰反应的

Z-N-D模型可知,炸药爆速与化学反应区放出的能量和支持前沿冲击波 C-J 面的压力有关。随着炸药的布药厚度增加,单位化学反应区内所放出的能量增大,侧向飞散的能量减少,支持前沿冲击波的能量增多,C-J 面的压力增大,因而炸药的爆速随着布药厚度的增大而增大。当炸药的布药厚度增大到一定值时,炸药爆炸侧向飞散对支持前沿冲击波 C-J 面的压力几乎没有影响,因而炸药的爆速变化不大,基本趋于稳定。

3.5 铝/钢板爆炸焊接超声波探伤分析

超声波探伤是检测爆炸焊接质量优劣的理想手段。其基本原理是利用超声波能透入金属材料的深处,并由一界面进入另一界面时,在两界面发生反射的特点来检查基板和复板之间是否有缺陷的一种方法,当超声波束自复板表面由探头通至金属内部,遇到缺陷与复板底面时就分别发生反射,反射回来的超声波被探头接收,通过仪器内部的电路处理,在仪器的荧光屏上就显示出不同高度和有一定间距的波形。探伤人员则根据波形的变化特征,判断基板与复板之间是否有缺陷。图 4 为实验测得铝/钢复合板的超声波探测波形图,从图中可以看出,超声波探测出具有一定规律的波形,说明铝/钢爆炸复合板的复合率达 99%。

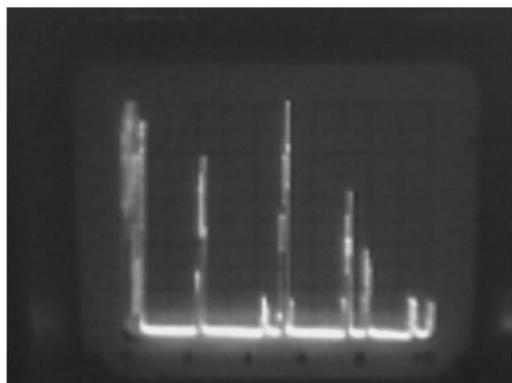


图 4 铝/钢复合板超声波探测波形图

Fig. 4 Oscillogram of ultrasonic detection to composite plate of aluminum- steel

4 结 论

(1) 低爆速膨化铵油爆炸焊接炸药是将硝酸铵与微晶蜡、膨化剂和稀释剂在一定温度下与水混溶后,再通过真空脱水膨化和干燥制得,配方设计合理,生产工艺简单,安全可靠。

(2) 炸药的显微结构观察表明各组份混合均匀性好,炸药颗粒内部和颗粒之间的空隙有利于提高起爆

感和传爆感度。

(3) 炸药的摩擦感度、撞击感度分别为 4% 和 8%,满足粉状类硝铵炸药机械感度的要求。

(4) 炸药爆速在 $1900 \sim 2400 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 之间,铝/钢爆炸焊接超声波探伤表明爆炸复合率达 99%,能满足金属板材爆炸焊接用低爆速炸药的要求。

参考文献:

- [1] 郑远谋. 爆炸焊接和金属复合材料的原理及应用[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2007.
ZHENG Yuan-mou. The principle and application of explosive welding and metal composite material[M]. Changsha: Central South University Press, 2007.
- [2] 刘楚乔. 爆炸复合质量的影响因素及参数优化分析[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2003.
LIU Chu-qiao. Influence factors and optimization analysis of explosive composite quality[D]. Wuhan: Wuhan university of technology, 2003.
- [3] 黄文尧, 颜事龙. 炸药化学与制造[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2009.
HUANG Wen-yao, YAN Shi-long. Explosives chemistry and production[M]. Beijing: Ordnance Industry Press, 2009.
- [4] 安立昌. 低爆速爆炸复合炸药的配方设计[J]. 火炸药学报, 2003, 26(3): 68-69.
AN Li-chang. A new type of low detonation velocity explosives for explosive welding[J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2003, 26(3): 68-69.
- [5] 田建胜, 陈青术. 爆炸焊接专用炸药实验研究[J]. 工程爆破, 2008, 14(3): 59-61.
TIAN Jian-sheng, CHEN Qing-shu. Experimental research on specialized detonator for explosive welding[J]. Engineering Blasting, 2008, 14(3): 59-61.
- [6] 聂云端. 爆炸焊接专用粉状低爆速炸药的研制[J]. 爆破, 2005, 22(2): 106-108.
NIE Yun-duan. Development of low explosive specially used in welding[J]. Blasting, 2005, 22(2): 106-108.
- [7] 王勇, 张越举, 赵恩军, 等. 金属爆炸复合用低爆速膨化铵油炸药实验研究[J]. 含能材料, 2009, 17(3): 326-327.
WANG Yong, ZHANG Yue-ju, ZHAO En-jun, et. al. Experimental study on low detonation velocity expanding ANFO explosive used in metal explosive welding[J]. Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao), 2009, 17(3): 326-327.
- [8] 岳宗洪, 李亚, 韩刚. 爆炸焊接专用炸药的研究与应用[J]. 工程爆破, 2011, 17(2): 73-76.
YUE Zong-hong, LI Ya, HAN Gang. Research on special explosives for explosive welding and its application[J]. Engineering Blasting, 2011, 17(2): 73-76.
- [9] 岳宗洪, 辛宝, 邓光平. 一种贵金属复合材料爆炸焊接专用炸药及其制造方法. 中国专利: CN101412650B[P]. 2012.
YUE Zong-hong, XIN Bao, DENG Guang-ping. An explosive welding specialized explosive used by noble metal composite material and its manufacturing method. China CN101412650B [P]. 2012.
- [10] 刘子如. 含能材料热分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.
LIU Zi-ru. Thermal analysis of energetic materials[J]. Beijing: defense industry press, 2008.

[11] 黄文尧, 颜事龙, 王晓光, 等. 新型粉状铵油炸药的实验研究[J]. 含能材料, 2010, 18(2): 222-225.
HUANG Wen-yao, YAN Shi-long, WANG Xiao-guang, et. al.

Preparation and performance of a new powdery ammonium nitrate fuel oil explosive[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2010, 18(2): 222-225.

Experimental Study on Expanded ANFO Explosive of Low Detonation Velocity Used in Explosive Welding

HUANG Wen-yao¹, YU Yan¹, WU Hong-bo¹, LI Ya², YOU You³, YUAN Sheng-fang¹

(1. School of Chemical Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China; 2. China Shipbuilding Industry Corporation, Luoyang Ship Material Research Institute, Luoyang 471039, China; 3. Zhengzhou Yuguang Clad Metal Material Co., Ltd, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: In order to solve the problems of poor homogeneity and unstable explosion property of low detonation velocity explosive used in explosive welding. Ammonium nitrate was mixed with microcrystalline, octadecylamine acetate, diluents, and water at 115 ~ 125 °C, and it was dehydrated at -0.07 ~ -0.09 MPa. The thermal safety, microstructure and mechanical sensitivity were analyzed, the effect of the explosive layout thickness on detonation velocity was also studied, and the explosive welding test on aluminum-steel plate was done. The results show that the component has a good the mixing uniformity, the mechanical sensitivity is low, the detonation velocity is 1900 ~ 2400 m · s⁻¹, and the recombination rate of ultrasonic flaw detection is up to 99%, which can satisfy the requirement of explosive welding of metal plate.

Key words: applied chemistry; expanded ANFO explosive; diluents; mixing; low detonation velocity; explosive welding.

CLC number: TJ55; O69

Document code: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2012.06.027



特别策划——《计算含能材料研究》专栏征稿

含能材料的计算研究受到国内外科研工作者的广泛关注。为此,《含能材料》将于2013年10月第5期组织出版“特别策划——《计算含能材料研究》专栏”。内容涉及含能材料的相关计算研究。以原创性研究论文为主,少量研究综述及研究快报。

稿件截稿日期为2013年7月31日。

来稿时请在“拟投栏目”中选择“计算含能材料研究”。

欢迎来稿!

《含能材料》编辑部