

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2022.03.006

乳化炸药和膨化硝铵炸药的爆炸性能特征比较^{*}

吕梅芳^① 张兴明^① 董 振^② 刘 刚^① 王志敏^① 曹 俊^① 叶志文^②

①国家民用爆破器材质量检验检测中心(江苏南京,210094)

②南京理工大学化学与化工学院(江苏南京,210094)

[摘 要] 以规格 $\varnothing 32$ mm/200 g 的 1[#]岩石乳化炸药、2[#]岩石乳化炸药、一级煤矿许用乳化炸药、二级煤矿许用乳化炸药、三级煤矿许用乳化炸药及规格 $\varnothing 32$ mm/150 g 的岩石膨化硝铵炸药、一级煤矿许用膨化硝铵炸药、二级煤矿许用膨化硝铵炸药共 8 种工业炸药药卷为样本,测试了乳化炸药及膨化硝铵炸药的爆炸性能(药卷密度、爆速、猛度、作功能力、有毒气体产量)。分析比较了两类工业炸药爆炸性能及爆炸后有毒气体产量差异的原因,总结了两类工业炸药的性能特征。为产品配方的优化及进一步改良提供一定的参考依据。同时,为爆破作业人员根据工程特性和环境特点选择合适的炸药提供借鉴。

[关键词] 膨化硝铵炸药;乳化炸药;爆炸性能;有毒气体产量

[分类号] TQ560.5

Comparison of Explosion Performance Characteristics between Emulsion Explosives and Expanded Ammonium Nitrate Explosives

LÜ Meifang^①, ZHANG Xingming^①, DONG Zhen^②, LIU Gang^①, WANG Zhimin^①, CAO Jun^①, YE Zhiwen^②

①China National Quality Supervision Testing Center for Industrial Explosive Materials (Jiangsu Nanjing, 210094)

②School of Chemistry and Chemical Engineering, Nanjing University of Science and Technology
(Jiangsu Nanjing, 210094)

[ABSTRACT] Emulsion explosives of $\varnothing 32$ mm/200 g, including 1[#] rock emulsion explosive, 2[#] rock emulsion explosives, No. 1 permission emulsion explosive in coal mine, No. 2 permission emulsion explosive in coal mine, and No. 3 permission emulsion explosive in coal mine, and expanded ammonium nitrate explosives of $\varnothing 32$ mm/150 g, including rock expanded ammonium nitrate explosive, No. 1 permission expanded ammonium nitrate explosives in coal mine, and No. 2 permission expanded ammonium nitrate explosive in coal mine were studied. For these eight explosives, explosion characteristics such as charge density, detonation velocity, strength, brisance, the toxic gas output were tested. The reasons for the differences in explosion performance and toxic gas output between emulsion explosives and expanded ammonium nitrate explosives were analyzed and compared. The performance characteristics of the two types of industrial explosives were summarized. It provides a certain reference basis for the optimization and further improvement of product formula of industrial explosives. And it also provides a reference for blasting operators to select appropriate explosives according to engineering characteristics and environmental characteristics.

[KEYWORDS] expanded ammonium nitrate explosives; emulsion explosives; explosion performance; toxic gas output

引言

根据不同爆破作业场所,工业炸药一般分为露天型炸药、岩石型炸药和煤矿许用型炸药^[1];根据作功能力高低,分为一级和二级;根据矿井的可燃气

安全等级和使用的爆破作业场所,分为一级、二级和三级^[2-3]。炸药性能的测试项目一般有热安定性、撞击感度、摩擦感度、热感度、可燃气安全度、煤尘-可燃气安全度、抗爆燃性、熄爆直径、抗间隙效应、有毒气体产量、药卷密度、殉爆距离、爆速、猛度和作功能力等^[4]。

^{*} 收稿日期:2021-09-17
第一作者:吕梅芳(1989 -),女,实验师,主要从事民用爆炸品性能测试研究。E-mail:lvmf@njust.edu.cn
通信作者:叶志文(1968 -),男,研究员,主要从事工业炸药制备技术及含能材料的合成及应用研究。E-mail:yezww@njust.edu.cn

现阶段,国内使用较广泛的工业炸药是乳化炸药和膨化硝酸铵炸药^[5],乳化炸药市场占有率在 60% 以上,膨化硝酸铵炸药占 20% 以上^[6]。乳化炸药主要由水、硝酸铵、硝酸钠、油相及其他成分组成。氧化剂的微小液滴均匀悬浮在由可燃剂、表面活性剂和气泡(或玻璃微球)组成的油状介质中,形成乳胶状混合炸药^[1]。膨化硝酸铵炸药是由改性的膨化硝酸铵、复合燃料油和本粉等组成的一种粉状工业炸药^[7-8]。膨化硝酸铵炸药和乳化炸药原材料成本分别为 4 000、4 600 元/t;乳化炸药具有抗水性,而膨化硝酸铵炸药不具有抗水性。

出于安全管理需要,我国对炸药生产、经营、销售和使用进行了严格的监督和审批。对于不同类型的炸药,出厂检验和型式检验都有明确的要求^[9]。炸药性能的好坏以及对于工程的适用性可以通过不同的性能参数来体现。本文中,采用某公司生产的规格型号为 $\varnothing 32$ mm 的包装药卷,通过测试药卷密度、爆速、猛度、作功能力、有毒气体产量等参数来比较分析乳化炸药及膨化硝酸铵炸药的爆炸特性。

1 试验部分

1.1 试剂与仪器

研究对象分别为规格 $\varnothing 32$ mm/200 g 的 1#岩石乳化炸药、2#岩石乳化炸药、一级煤矿许用乳化炸药、二级煤矿许用乳化炸药、三级煤矿许用乳化炸药和规格 $\varnothing 32$ mm/150 g 的岩石膨化硝酸铵炸药、一级煤矿许用膨化硝酸铵炸药、二级煤矿许用膨化硝酸铵炸药,共 8 种工业炸药。

表 1 为测试炸药药卷密度、爆速、作功能力、猛度、有毒气体产量所需的仪器设备。

表 1 测试仪器
Tab.1 Test equipment

序号	测试项目	仪器设备
1#	药卷密度	1 000 mL 量筒、天平
2#	爆速	天平、爆速测量仪、游标卡尺、漆包圆铜线、8#瞬发电雷管、钢针、胶布
3#	作功能力	天平、容量瓶、滴定管、玻璃温度计、铅涛、石英砂、纸筒、带孔圆纸板
4#	猛度	天平、游标卡尺、钢片、铅柱、钢底座、带孔圆纸板、纸筒、8#瞬发电雷管
5#	有毒气体产量	8#瞬发电雷管、石英砂、压力计、温度计、天平、球胆、注射器、采样瓶、爆炸弹筒、钢炮、真空泵、真空表

1.2 试验过程

1.2.1 药卷密度的测定

药卷密度按照标准 WJ/T 9056.1《工业炸药密度测定方法》进行测试。

乳化炸药药卷密度采用量筒法。在 1 000 mL 的量筒中加入约 650 mL 水,记录水的体积,精确至 1 mL;用天平称取药卷质量,精确至 0.5 g。缓慢地将称量过的药卷放入量筒的水中,使药卷完全浸入水中。轻轻振动量筒,使药卷表面吸附的气泡排出。待水面上升平稳后,记录水面上升后量筒内水的体积,精确至 1 mL。药卷密度按照一定公式计算。

膨化硝酸铵炸药药卷密度采用称量法。称取药卷质量。用卡尺从药卷一端的凹处至另一端的凹处测量药卷的长度。倒净纸筒中的炸药,称取纸筒质量。将纸筒压扁,用钢直尺测量距纸筒两端各 3 cm 处的纸筒宽度,取其算术平均值即为药卷半周长。药卷密度按照一定公式计算。

1.2.2 爆速测试

爆速按照标准 GB/T 13228—2015《工业炸药爆速测定方法》进行测试。

随机选择密度接近的 3 支药卷。利用游标卡尺确定的靶线安装位置距离为 60 mm,用钢针将靶线垂直于药卷轴线,并通过药卷中心径向穿透药卷。在靠近钢针处将漆包圆铜线剪断,取下钢针,并将两根线头分开。靶线的首、尾均折向药卷尾端,并用胶布固定于试验样品,用砂纸磨掉引线接线端的绝缘漆,检查爆速测量仪和电缆线完好。

在试验现场按要求将靶线和电缆线连接,插入雷管,操作人员撤离至安全地方后,起爆炸药并读取数据。

1.2.3 作功能力测试

作功能力按照标准 GB/T 12436—1990《炸药作功能力试验 铅涛法》进行测试。

称取炸药试样(10.00 ± 0.01) g,装入纸筒中,再放上带孔圆纸板。将纸筒放在内径为(24.5 ± 0.1) mm 的专用铜压模中,用专用铜冲子(冲子中心有直径 7.5、高 12 mm 的突起部)将炸药压成中心有孔、装药密度在一定范围内的药柱。拔出冲子后,在中心孔内插入雷管壳。试验时,再换上电雷管。将药柱放入已知体积的铅涛内后,加入石英砂进行起爆。

待温度降至室温后,测铅涛的扩孔体积并进行修正,最后得到铅涛的真实扩孔体积。

1.2.4 猛度测试

猛度按照标准 GB/T 12440—1990《炸药猛度试

验 铅柱压缩法》进行测试。

先将纸筒放入压模中,然后称取(50.0±0.1)g混合均匀的炸药倒入纸筒中,再在炸药上面放一带孔圆纸板,用有雷管孔冲头的冲子压药。控制装药密度在一定范围内。拨去冲子,在炸药装药中心孔内插入雷管壳,插入装药中的深度为15 mm。然后退模,再将纸筒边缘摺边。共准备2个。将钢底座放置在坚硬的基础上,依次放置铅柱(画线端面朝下)、钢片、炸药装药,使系统在同一轴线上(目测),并用绳将它们固定在钢底座上。取出炸药中心孔内的雷管壳,换上8#瞬发电雷管,确保雷管垂直药面,起爆炸药。

依次测量爆炸前、后铅柱的高度,结果以铅柱高度的压缩值来表示。

1.2.5 有毒气体产量测试

有毒气体产量按照标准 GB 18098—2000《工业炸药爆炸后有毒气体含量的测定》进行测试。

称取(110.0±0.5)g 原装药卷。将雷管插入药卷中央,深度为雷管全长的2/3。然后,装入钢炮内孔中。再称取(300.0±0.5)g 石英砂,自然填充在药卷周围与上部,雷管脚线分别接在两个接线柱上。盖紧爆炸弹筒盖,启动真空泵抽气,至爆炸弹筒内剩余压力不大于4.0 kPa 时,停止抽气。起爆炸药。待爆炸弹筒内气体冷却到室温后,读取大气压力、室温和U型水银压差计压差。大气压力应进行温度和纬度修正。用球胆收集气体。用一氧化碳测试仪测气体中一氧化碳CO的含量。对于氮氧化物,利用萘基盐酸二氨基乙烯(化学纯)、对氨基苯磺酰胺和酒石酸(GB/T 1294)按质量比为1:4:95混合的显色剂显色30 min后,在545 nm处测试其吸光度。

最后,根据标准曲线得出二氧化氮NO₂的含量,

从而计算出炸药爆炸后生成的有毒气体的总量。

2 结果与分析

表2为8种工业炸药的性能测试结果。

2.1 药卷密度

乳化炸药的药卷密度为1.10~1.13 g/cm³;而膨化硝酸铵炸药的密度为0.80~0.82 g/cm³。从表2可知,乳化炸药的药卷密度比膨化硝酸铵炸药高。这和炸药的组成形态有关。乳化炸药为油包水乳状液,其组分及质量分数为:硝酸铵70%~85%,硝酸钠5%~10%,水分8.0%~12.5%,油相及其他6%~8%^[10];膨化硝酸铵炸药的组分及质量分数为:膨化硝酸铵80.0%~94.0%,油相(柴油、机械油、石蜡等)2.5%~5.0%,木粉3.0%~5.5%,食盐8%~10%^[11]。膨化硝酸铵炸药的组分中,木粉及油相密度均小;虽然膨化硝酸铵通过硝酸铵改性增加了表面积,但缩小了密度;因此,乳化炸药的药卷密度远大于膨化硝酸铵炸药。

2.2 爆速

在Kamlet公式中,爆速与炸药的装药密度和炸药的特性值有关。在两种不同类型的炸药中,乳化炸药的药卷密度大于膨化硝酸铵炸药。改性的膨化硝酸铵虽体现了其作为氧化剂的优异性能,但由于其密度较低,且与可燃剂复合油、木粉物理混合,制备的膨化硝酸铵炸药的爆速略低于乳化炸药。

2.3 作功能力

从表2的测试数据可以直观地看出,等级别的炸药,膨化硝酸铵炸药的作功能力优于乳化炸药。这和炸药的成分有一定的关系。乳化炸药中,除了硝酸铵和氧化剂外,含有大量的水分;在爆炸反应中,水的汽化会消耗部分反应热量;因此,在一定程度上

表 2 炸药部分性能测试结果
Tab.2 Test results of explosive performances

编号	名称	药卷密度范围/ (g·cm ⁻³)	平均药卷密度/ (g·cm ⁻³)	平均爆速/ (m·s ⁻¹)	作功能力/ mL	猛度/ cm
1 [#]	1 [#] 岩石乳化炸药	1.10~1.13	1.12	4 800	304	16.8
2 [#]	2 [#] 岩石乳化炸药	1.09~1.11	1.10	4 300	254	14.8
3 [#]	一级煤矿许用乳化炸药	1.06~1.08	1.07	4 500	291	16.6
4 [#]	二级煤矿许用乳化炸药	1.10~1.13	1.12	4 100	268	13.3
5 [#]	三级煤矿许用乳化炸药	1.10~1.13	1.12	4 000	246	12.4
6 [#]	岩石膨化硝酸炸药	0.80~0.81	0.80	3 900	344	15.9
7 [#]	一级煤矿许用膨化硝酸炸药	0.80~0.82	0.80	3 400	322	12.8
8 [#]	二级煤矿许用膨化硝酸炸药	0.80~0.82	0.80	3 400	280	12.2

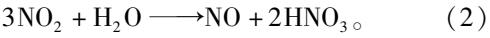
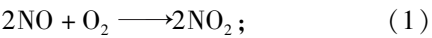
降低了爆炸的威力。由此体现出膨化硝酸铵炸药的威力优势。

2.4 猛度

猛度表示爆轰产物粉碎或破坏与其接触(或接近)介质的能力,与爆轰波与介质的距离、爆速和作用时间有关^[1]。表 2 的试验结果对比可以看出,两种类型炸药的猛度中,乳化炸药的较高。

2.5 有毒气体产量

有毒气体产量是指样品爆炸后 CO、氮氧化物的含量。通过测试,乳化炸药的有毒气体产量远远低于膨化硝酸铵炸药。这与乳化炸药中含有大量的水分有关。乳化炸药爆炸后产生的氮氧化物,发生了化学反应:



因此,乳化炸药爆炸后的氮氧化物的含量远远低于膨化硝酸铵炸药。原因就在于乳化炸药在爆炸瞬间产生的氮氧化物在高温、高压下被炸药中的水吸收并进行化学反应,生成硝酸,从而减少了爆炸气体产物中氮氧化物的含量。

分别对表 2 中的 8 种样品进行有毒气体产量测试,如表 3 所示。

表 3 有毒气体产量测试结果

Tab.3 Test results of toxic gas output
(L·kg⁻¹)

编号	气体总量	CO	NO _x	有毒气体产量
1 [#]	355	7.2	0.2	7
2 [#]	330	7.8	0.3	8
3 [#]	324	6.2	0.4	7
4 [#]	315	6.4	0.3	7
5 [#]	310	7.1	0.2	7
6 [#]	384	8.6	23.4	32
7 [#]	362	12.3	21.6	34
8 [#]	345	13.4	20.6	34

3 探索研究

3.1 试验内容

基于乳化炸药和膨化硝酸铵炸药配方不同,进行如下试验:

在测试膨化硝酸铵炸药有毒气体产量时,起爆前在炮臼中加入水,通过对比加水前、后炸药爆炸后有毒气体生成量的变化,得到了一种降低膨化硝酸铵炸药有毒气体产量的方法。

3.2 试验过程

称取 110.0 g 原装药卷。将雷管插入药卷中央,深度为雷管全长的 2/3,然后装入钢炮内孔中。再称取 300.0 g 石英砂,自然填充在药卷周围与上部,雷管脚线分别接在两个接线柱上。盖紧爆炸弹筒盖,启动真空泵抽气,至爆炸弹筒内剩余压力不大于 4.0 kPa 时停止抽气。起爆炸药,待爆炸弹筒内气体冷却到室温后,读取大气压力、室温和 U 型水银压差计压差。大气压力应进行温度和纬度修正。使用专用球胆收集弹筒内气体,收集前,使用弹筒内气体清洗球胆 2~3 次,然后将球胆充满气体备用。

取 40 mL 气体试样,注入两个装有 15 mL NO₂ 吸收液的真空采样瓶中。将气体试样经 24 h 氧化和吸收后,用于测定。准确吸取 5 mL 显色剂溶液于采样瓶中,以试剂空白溶液作参比,测定吸光度。根据吸光度在工作曲线上查得该试样所对应的 NO₂ 的质量,然后换算成 NO₂ 体积分数。球胆中的气体接入 CO 红外测试仪,根据仪器读数,得出 CO 含量。

对比试验,炸药原药卷加入一层防水包装,钢炮的炮臼内孔中加入 100 g 水,其他操作同上。

通过以上测试得到的有毒气体产量如表 4 所示。膨化硝酸铵炸药爆炸前在炮臼中加入水后,有毒气体产量由原来的 32.0 L/kg 降低到 11.9 L/kg,大大地减少有毒气体中的氮氧化物,验证了 2.5 中的结论。

表 4 加水前、后有毒气体产量对比

Tab.4 Comparison of toxic gas output before
and after adding water
(L·kg⁻¹)

名称	气体总量	CO	NO _x	有毒气体产量
岩石膨化硝酸铵炸药	384	8.6	23.4	32.0
加水岩石膨化硝酸铵炸药	357	8.3	3.6	11.9

4 结论

乳化炸药的药卷密度比膨化硝酸铵炸药高,相同级别的乳化炸药的爆速及猛度高于膨化硝酸铵炸药。因此,乳化炸药更适用于硬岩爆破。膨化硝酸铵炸药的作功能力较乳化炸药高,更适用于大孔径爆破。乳化炸药有毒气体产量明显低于于膨化硝酸铵炸药;其原因在于乳化炸药中的水分有效地吸收了硝酸铵爆炸后产生的氮氧化物。

参 考 文 献

[1] 欧育湘. 炸药学[M]. 北京:北京理工大学出版社, 2014: 364-383.
OU Y X. Explosives[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2014: 364-383.

[2] 汪海波,郭子如,宗琦. 高威力三级煤矿许用水胶炸药的试验研究[J]. 含能材料,2014,22(6):857-861.
WANG H B, GUO Z R, ZONG Q. Experimental study on high power class 3 permissible water gel explosive[J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2014, 22(6), 857-861.

[3] 中华人民共和国工业和信息化部. 工业炸药通用技术条件:GB 28286—2012[S]. 北京:中国质检出版社,中国标准出版社, 2013.
Ministry of Industry and Information Technology of the People's Republic of China. General requirements of industrial explosive: GB 28286—2012[S]. Beijing: Quality Inspection Press of China, Standards Press of China, 2013.

[4] 席正明,吴春蓉. 爆破作业[M]. 成都:四川大学出版社,2016.
XI Z M, WU C R. Blasting operation [M]. Chengdu: Sichuan University Press, 2016.

[5] 谭柳. 添加剂对硝酸铵安全性能的影响及其规律研究[D]. 南京:南京理工大学,2018.
TAN L. The effect of additives on the safety performances of ammonium nitrate and its regularity [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2018.

[6] 王倩. A 民爆公司成本管理改进研究[D]. 长沙:湖南大学,2019.

WANG Q. Research on lean cost management of A civil explosive company [D]. Changsha: Hu'nan University, 2019.

[7] 周新利. 膨化硝酸铵自敏化理论及其炸药的物理性能和改性研究[D]. 南京:南京理工大学,2003.
ZHOU X L. Research on theory of self-sensitization of expanded ammonium nitrate and physical properties of its explosive and modification [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2003.

[8] 罗海滔,胡炳成,吕春绪,等. 膨化硝酸铵炸药生产专用碾混机安全性研究[J]. 含能材料,2011,19(6):730-734.
LUO H T, HU B C, LÜ C X, et al. Safety of continuous grinding and mixing machine used specially for expounded ammonium nitrate explosive [J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2011, 19(6): 730-734.

[9] 刘杰. 粉状乳化炸药生产工艺的研究与应用[D]. 南京:南京理工大学,2009.
LIU J. Research and application of production technology of powdery emulsion explosive [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2009.

[10] 徐志祥. 乳化炸药泵送过程热安全性研究[D]. 南京:南京理工大学,2014.
XU Z X. Research on thermal safety of emulsion explosive of pumping process [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2014.

[11] 国防科学技术工业委员会民爆服务中心. 膨化硝酸铵炸药: WJ 9026—2004[S]. 2004.
Service Center for Industrial Explosion Commission of Science Technology and Industry for National Defense. Expanded ammonium nitrate explosives: WJ 9026—2004[S]. 2004.