

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2015.02.008

粒径对硝酸铵爆炸特性的影响^{*}

夏良洪^① 谭 柳^① 徐 森^{①②} 陈 相^③ 刘大斌^①

①南京理工大学化工学院(江苏南京,210094)

②国家民用爆破器材质量监督检验中心(江苏南京,210094)

③上海出入境检验检疫局(上海,200135)

[摘 要] 为了研究粒径对硝酸铵爆炸特性的影响,采用联合国隔板试验装置,研究了不同粒径硝酸铵的爆速变化特性。结果表明:粒径为 149~841 μm 的硝酸铵都发生了整体爆轰,但不同粒径硝酸铵的爆速和验证板的破坏效应各不相同;粒径范围为 420~841 μm、250~420 μm、177~250 μm 和 149~177 μm 的样品爆速分别为 1 166、1 336、1 607 和 1 543 m/s,验证板的破坏效应分别为深 5.40 cm 的凹痕、直径为 3.05、7.95 和 7.10 cm 的穿孔;由爆速和验证板的破坏效应结果可以发现,在装药密度相同的条件下,硝酸铵粒径越小,爆速越高,破坏效应越剧烈;比较粒径范围为 177~250 μm 和 149~177 μm 样品的结果可知,当粒径为 149~177 μm 时,硝酸铵的装药密度明显降低,且样品爆速和破坏效应也相应降低,表明装药密度对硝酸铵爆炸特性有显著影响。

[关键词] 爆炸特性;粒径;爆速;破坏效应;扫描电镜;装药密度

[分类号] TD235.2⁺¹

引言

硝酸铵是一种十分常用的高效优质氮肥,仅次于尿素的使用量,同时硝酸铵也是一种常用的工业原料。由于硝酸铵自身含有氧化基团(NH_4^+)和还原基团(NO_3^-)^[1],而且硝酸铵的结构疏松、孔隙率大,导致硝酸铵在爆轰过程中受外力作用时容易形成热点,同时硝酸铵发生爆炸时能够产生大量的气体,使得硝酸铵广泛应用于军用含能材料以及工业炸药等相关领域^[2]。目前硝酸铵已成为工业炸药生产中的最主要原料,全世界每年生产的硝酸铵,其中用于工业炸药生产的硝酸铵大约占其生产总质量的 25%。此外,硝酸铵与石油、柴油、木粉等可燃剂通过简单的混合就能制成爆炸品^[3,4],因此硝酸铵也常被恐怖分子用于制造恐怖爆炸袭击活动,而随着多起震惊世界的恐怖爆炸袭击事件的发生,硝酸铵的安全性所带来的危害引起了人们的高度重视和警惕,如唐双凌等^[4-6]研究了添加剂对硝酸铵爆轰安全性的影响,发现热稳定性的提高对硝酸铵爆炸性具有更好的抑制作用;Oxley 等^[7]研究了杂质对硝酸铵爆炸性能的影响,并指出硝酸铵最大放热峰的位置提高到更高的温度,对硝酸铵爆轰具有很好的抑制作用;Tan 等^[8]对添加剂和混合方法对硝酸铵的

爆炸性能进行了研究,并提出对于不同的添加剂,由于混合方法的不同对硝酸铵的爆炸性能有着重要的影响。尽管添加剂对硝酸铵爆炸性能影响的研究取得了不错的进展,但是由于硝酸铵自身的结构性质,使得硝酸铵自身性质对爆炸特性影响的研究成果并不多。本文采用联合国隔板试验装置,研究了不同粒径硝酸铵的爆炸特性。

1 试验部分

1.1 样品的制备

制备粒径不同的硝酸铵:将烘干的硝酸铵(工业级)用球磨机粉碎,然后利用不同目数的筛子将不同粒径范围的硝酸铵筛选出来,获得 4 个粒径不同的样品,最后将筛选出来的样品分别放入烘箱干燥备用。各样品粒径的大小如表 1 所示。

表 1 样品粒径

Tab. 1 Particle sizes of samples

序号	样品 1 [#]	样品 2 [#]	样品 3 [#]	样品 4 [#]
粒径/ μm	420~841	250~420	177~250	149~177

1.2 样品微观形态表征

利用日本电子株式会社生产的 JEOLJSM-

^{*} 收稿日期:2014-09-09

基金项目:国家自然科学基金项目(51174120)

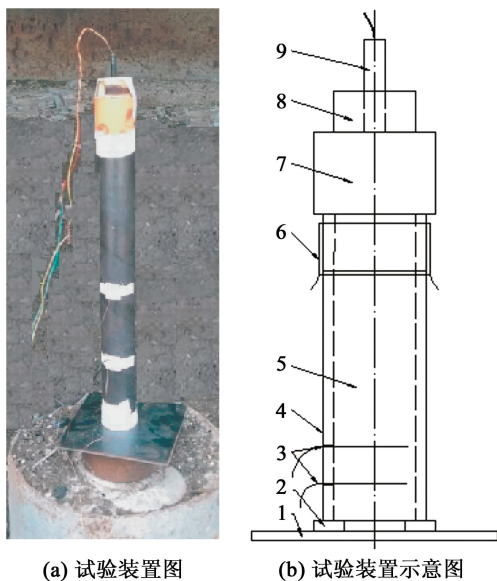
作者简介:夏良洪(1989~),男,硕士研究生,主要从事硝酸铵改性研究。E-mail: xialh1021@126.com

通信作者:刘大斌(1963~),男,教授,博导,主要从事含能材料研究。E-mail: dabin63@vip.sina.com

6380LV 扫描电子显微镜来研究硝酸铵样品的微观形态。

1.3 爆炸特性的测试

利用联合国《关于危险货物运输的建议书试验和标准手册》中的隔板试验装置,采用探针法^[9]测试爆速,试验装置如图 1 所示。试验样品装在一根无缝碳钢管中,钢管的外直径为 48 mm,壁厚为 4.0 mm,高度为 400 mm,传爆药柱为由太安和 TNT 按照质量比 1:1 浇注成的 160 g 药柱,直径为 50 mm,密度为 1.60 g/cm^3 。钢管上端放一块边长为 150 mm、厚 3.2 mm 的方形低碳验证板,并用 1.6 mm 厚的隔离层将其隔开,雷管贴起爆药柱,固定好以后引爆^[10];同时在钢管距隔离层 100 mm 和 200 mm 处分别开一个直径为 2 mm 的孔,插入离子探针测取爆速。取两次平行试验有效结果。



1 - 验证板;2 - 隔离层;3 - 探针;4 - 钢管;5 - 样品;
6 - 塑料膜;7 - 起爆药;8 - 雷管支座;9 - 雷管

图 1 隔板试验装置

Fig. 1 Partition test device

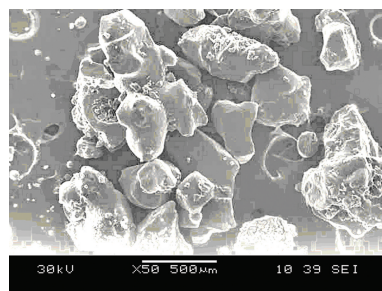
2 试验结果与分析

2.1 扫描电镜试验

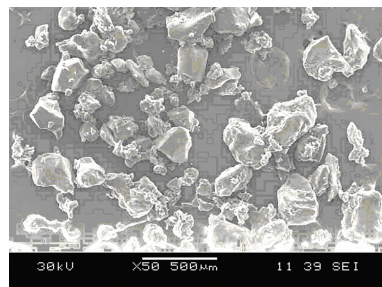
图 2 为硝酸铵样品的扫描电镜图 (SEM), 比较样品的扫描电镜图可以发现, 随着粒径的减小, 硝酸铵表面变得越来越不光滑, 同时表面棱角也在增加。

2.2 爆炸特性测试

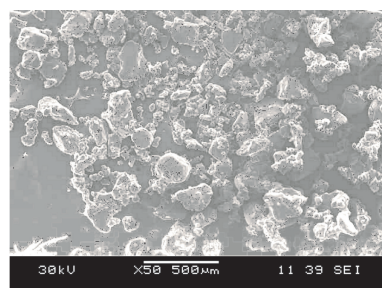
不同粒径范围硝酸铵爆炸特性测试的结果见表 2。由表 2 可知, 装药密度为 0.78 g/cm^3 时, 样品 1[#]、2[#] 和 3[#] 的爆速分别为 $1\,166 \text{ m/s}$ 、 $1\,336 \text{ m/s}$ 和 $1\,607 \text{ m/s}$, 由此可见, 随着硝酸铵粒度降低, 样品爆速逐渐升高。样品 4[#] 的粒径为 $149 \sim 177 \mu\text{m}$, 装药密度仅为 0.70 g/cm^3 , 爆速为 $1\,543 \text{ m/s}$ 。比较样品



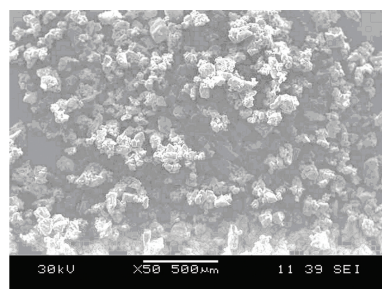
(a) 样品 1[#]



(b) 样品 2[#]



(c) 样品 3[#]



(d) 样品 4[#]

图 2 扫描电镜图

Fig. 2 SEM image

3[#]、4[#] 的试验结果可发现, 装药密度对硝酸铵的爆炸特性有显著影响。由图 3 的验证板破坏效应可知, 试验后样品 1[#]、2[#]、3[#] 和 4[#] 在验证板上分别形成了深 5.40 cm 的凹痕、直径为 3.05、7.95 和 7.10 cm 的穿孔, 这与样品爆速的变化趋势完全一致。

扫描电镜的结果表明, 随着硝酸铵粒径的减小, 样品的比表面积会相应地增加, 这有利于提高样品在爆轰过程中的反应速度; 另一方面, 硝酸铵粒径的减小, 会使其颗粒表面变得更不规则, 棱角变多, 这使得样品内部能形成更多的热点, 提高样品的感度, 从而表现为在相同装药密度条件下, 样品粒径越小, 爆速越高; 同时在相同的约束条件下, 样品的装药密

表 2 样品的爆炸特性测试

Tab.2 Test results of explosion characteristics of samples

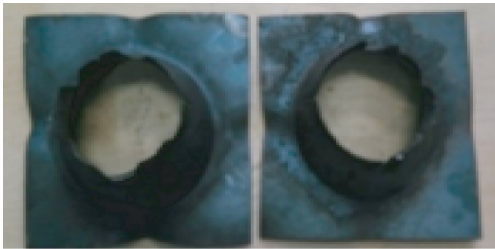
序号	质量/ g	装药密度/ (g·cm ⁻³)	验证板变形程度/ cm	平均变形程度/ cm	爆速/ (m·s ⁻¹)	平均爆速/ (m·s ⁻¹)
样品 1 [#]	389	0.78	凹痕 5.5	凹痕 5.45	1 172	1 166
	384	0.77	凹痕 5.4		1 160	
样品 2 [#]	390	0.78	直径 3.0	直径 3.05	1 324	1 336
	393	0.78	直径 3.1		1 348	
样品 3 [#]	391	0.78	直径 8.1	直径 7.95	1 631	1 607
	389	0.78	直径 7.8		1 582	
样品 4 [#]	353	0.70	直径 7.0	直径 7.10	1 517	1 543
	351	0.70	直径 7.2		1 570	



(a) 样品1[#]



(b) 样品2[#]



(c) 样品3[#]



(d) 样品4[#]

图 3 试验验证板

Fig.3 Verification board used in experiment

度较小时,爆速与装药密度成正比;但是当装药密度较大时,爆速与装药密度是成反比的,这是因为在装药密度较小时,随着装药密度的增加,其样品颗粒之

间空隙虽在减小,但其自由表面积并未有所减小,因此样品能形成的热点在增加,而对气体产物的扩散的影响较小,因此爆速得到提高;但是当装药密度较大时,随着装药密度的增加,样品颗粒之间相互挤压越密实,使得样品颗粒的自由表面积减小,从而不利于热点的形成,同时气体产物也不易扩散,从而爆速减小。试验时样品 4[#]比样品 3[#]的装药密度小,因两种样品的装药密度都较小,使得装药密度大的样品颗粒之间的挤压对样品颗粒的自由表面积的影响不大,对气体产物的扩散的影响也较小,从而使得样品 4[#]的爆速和验证板的破坏效应比样品 3[#]的略低。

3 结论

粒径和装药密度对硝酸铵的爆炸特性有着显著的影响:

1)在相同的装药密度下,随着样品粒径的减小,硝酸铵爆速相应增加,对验证板的破坏效应也更剧烈;2)硝酸铵粒径为 149 ~ 177 μm 时,最大装药密度为 0.70 g/cm³,由于装药密度的降低,其爆速及验证板破坏效应都比粒径为 177 ~ 250 μm 的略低。

参 考 文 献

[1] 沈立晋,汪旭光. 采用加速量热法评价防爆硝酸铵的热稳定性[J]. 火炸药学报, 2004,27(2):73-76.
Shen Lijin, Wang Xuguang. The thermal stability evaluation of anti-explosive ammonium nitrate by accelerating rate calorimeter[J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2004, 27(2): 73-76.
[2] 吕春绪,刘祖亮,倪欧琪. 工业炸药[M]. 北京:兵器工业出版社, 1994.
[3] 白燕. 杂质对硝酸铵热稳定性的影响[J]. 火工品, 2009(2):24-27.
Bai Yan. Effect of impurities on the decomposition of AN [J]. Initiators & Pyrotechnics, 2009(2):24-27.
[4] 唐双凌,刘祖亮,朱广军,等. 添加剂对硝酸铵爆轰安全性和热稳定性的影响[J]. 化肥工业, 2003, 30(4): 28-29, 32.

- Tang Shuangling, Liu Zuliang, Zhu Guangjun, et al. Effect of additives on detonation safety and heat stability of ammonium nitrate[J]. Journal of the Chemical Fertilizer Industry, 2003, 30 (4): 28-29, 32.
- [5] 唐双凌, 刘祖亮, 周新利, 等. 改性硝酸铵爆轰安全性研究 I. CaCO_3 和 MgSO_4 对硝酸铵爆轰安全性的影响[J]. 应用化学, 2004, 21(1): 64-69.
- Tang Shuangling, Liu Zuliang, Zhou Xinli, et al. Detonation safety of modified ammonium nitrate I. the influences of calcium carbonate and magnesium sulfate[J]. Chinese Journal of Applied Chemistry, 2004, 21(1): 64-69.
- [6] 唐双凌, 吕春绪, 周新利, 等. 改性硝酸铵爆炸安全性研究 II. 无机化学肥料对硝酸铵爆炸安全性的影响[J]. 应用化学, 2004, 21(4): 400-404.
- Tang Shuangling, Lv Chunxu, Zhou Xinli, et al. Studies on the detonation safety of modified ammonium nitrate II. the influence of inorganic chemical fertilizer[J]. Chinese Journal of Applied Chemistry, 2004, 21(4): 400-404.
- [7] Oxley J C, Smith J L, Rogers E, et al. Ammonium nitrate: thermal stability and explosivity modifiers [J]. Thermochimica Acta, 2002, 384(1): 23-45.
- [8] Tan Liu, Wu Qiuji, Chen Xiang, et al. The effects of sodium chloride on the explosive performance of ammonium nitrate[J]. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2014, 115(2): 1759-1766.
- [9] 郑孟菊, 俞统昌, 张银亮. 炸药的性能及测试技术[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1990.
- [10] United Nations. Recommendations on the transport of dangerous goods: model regulations[M]. 16th ed. New York and Geneva: United Nations Publications, 2009.

Effects of Particle Size on the Explosibility of Ammonium Nitrate

XIA Lianghong^①, TAN Liu^①, XU Sen^{①②}, CHEN Xiang^③, LIU Dabin^①

①School of Chemical Engineering, Nanjing University of Science and Technology (Jiangsu Nanjing, 210094)

②National Quality Supervision and Inspection Center for Industrial Explosive Materials (Jiangsu Nanjing, 210094)

③Shanghai Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau (Shanghai, 200135)

[ABSTRACT] To study the effect of particle size on the explosibility of ammonium nitrate, the partition test device of United Nations was used to test the tendency of explosive velocity of ammonium nitrate with different particle sizes. The results show that ammonium nitrate with particle sizes of 149-841 μm can overall detonate, while the detonation velocity and damaging effects of witness plate will be different with the changes of particle sizes. When particle sizes of the samples were in the ranges of 420-841 μm , 250-420 μm , 177-250 μm and 149-177 μm , the detonation velocity were 1166, 1336, 1607 m/s and 1543 m/s. The damages of witness plate exhibit 5.4 cm-deep dents, and 3.05 cm, 7.95 cm and 7.10 cm-diameter perforated. From the results of destructive effect of witness plate and detonation velocity, it could be found that with the same charge density, the smaller the ammonium nitrate particle size, the higher the detonation velocity and the severer damage effects. Comparison of samples shows that when particle size is 149-177 μm , the charge density of ammonium nitrate is lower, and the detonation velocity and destruction effects reduced accordingly, indicating that the charge density have significant effect on explosive properties of ammonium nitrate.

[KEY WORDS] properties of explosive; particle size; detonation velocity; destructive effect; scanning electron microscope; charge density

(上接第 31 页)

Prediction the Detonating Velocity of Elemental Explosives by Support Vector Machine

YANG Hui, YANG Jian'gang, FANG Xueqian

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

[ABSTRACT] Aiming at the better explosive performance prediction for new energetic materials, the support vector machine (SVM) method was applied to establish a predictive model for the detonation velocity of elemental explosive. The relative molecular mass of explosives (M), loading density (ρ), and oxygen balance the percentage composition of carbon, hydrogen, oxygen, nitrogen (w_C, w_H, w_O, w_N), were selected as inputs of the support vector machine models. The results of the model indicate that, the prediction results are in good agreement with the experimental values. The most relative error is 4.79% and the least is 0.04%. The prediction accuracy of the model is good, enabling a certain extrapolation. This method can also provide guidance to predict other detonation parameters of explosives, and has practical applications.

[KEY WORDS] explosive; support vector machine; detonation velocity; predication