

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2019.05.011

含稻壳粉可燃剂的膨化硝铵炸药性能研究^{*}

邓安健 王延琦 谢志刚 吴福东
湖南南岭民用爆破器材股份有限公司(湖南长沙,410013)

[摘 要] 通过分析稻壳粉与木粉的理化特性,用稻壳粉代替木粉设计试验方案,进行对比试验研究,结合生产企业降本增效的需求,得出稻壳粉作为可燃剂的最优试验方案。该试验方案中,膨化硝铵炸药的药卷密度从0.85 g/cm³提高至0.94 g/cm³;有毒气体含量从68 L/kg降低至59 L/kg;爆速从3 400 m/s提高至3 480 m/s;殉爆距离从5 cm提高至7 cm。

[关键词] 膨化硝铵炸药;可燃剂;木粉替代物;稻壳粉;性能

[分类号] TD253.2⁺1

Performance of Expanded Ammonium Nitrate Explosive Using Rice Husk Powder as the Combustible Agent

DENG Anjian, WANG Yanqi, XIE Zhigang, WU Fudong
Hu'nan Nanling Industrial Explosive Materials Co., Ltd. (Hu'nan Changsha, 410013)

[ABSTRACT] Physical and chemical properties of rice husk powder and wood powder were analyzed. Being additives in expanded ammonium nitrate (AN) explosive, rice husk powder was used as the substitute of wood powder. Combining the demand of cost reduction and efficiency increase of manufacturing factory, the optimum test scheme of rice husk powder as combustible agent was obtained. In this scheme, cartridge density of expanded AN explosive increases from 0.85 g/cm³ to 0.94 g/cm³, harmful gas content reduces from 68 L/kg to 59 L/kg, detonation velocity increases from 3 400 m/s to 3 480 m/s, and sympathetic detonation distance increases from 5 cm to 7 cm.

[KEYWORDS] expanded AN explosive; combustible agent; wood powder substitutes; rice husk powder; performance

引言

随着铵梯炸药的淘汰,膨化硝铵炸药和改性铵油炸药已成为粉状硝铵炸药的主要品种,粉状硝铵炸药是由氧化剂(主要是硝酸铵)、可燃剂和敏化剂组成的爆炸混合物。在工业炸药领域,通过对氧化剂硝酸铵的改进^[1-3],提高工业炸药的起爆感度,如多孔粒状硝酸铵、膨化硝酸铵等都属于改性硝酸铵;也有通过在硝酸铵中加入表面活性剂和油相材料,高温压硝的方法来提高硝酸铵的起爆感度,目的是制备爆炸性能优良的粉状硝铵炸药,但是在对膨化硝铵改性研究时,忽略了对可燃剂的研究。

木粉具有碳氢含量高、负氧平衡大、密度低、孔隙多的特点,可以调节爆炸体系的疏松程度,减轻粉

状硝铵炸药的结块倾向和强度。因而长期以来,木粉一直被用作粉状工业炸药的可燃剂及疏松剂^[4]。然而,随着时代发展及工业炸药技术的不断进步,木粉作为粉状工业炸药可燃剂的缺点已逐步显现。一是由于社会环境经济及可持续发展的要求,膨化硝铵炸药中木粉的消耗与国家环保政策不相符,木材资源越来越稀缺,导致企业生产成本居高不下;二是以木粉为可燃剂、采用连续混药工艺生产的膨化硝铵炸药自然堆积密度偏低,导致药粉松散易扬尘,且在混料过程中木粉流散性没有稻壳粉好,容易在木粉罐中架空,出料不畅,影响炸药组分配比,最终影响产品性能^[5];三是由于木粉比表面积相对较低、水分含量较高,炸药反应时与可燃剂的接触度不高,炸药中的水分在炸药爆炸时吸收一定的爆炸能来进行转相,从而在爆轰时对反应速度和反应完全性有

^{*} 收稿日期:2019-07-19
第一作者:邓安健(1966-),男,高级工程师,研究方向为炸药雷管生产设备及工艺。E-mail:18907407911@189.cn
通信作者:王延琦(1987-),女,工程师,研究方向为炸药雷管生产设备及工艺。E-mail:349876733@qq.com

一定影响,有毒气体含量的排放较高;四是木粉室温下吸湿性较强,干燥要求较高,能耗高,对产品质量有严重的影响,特别是潮湿多雨的南方,该情况最为显著。

我国是一个森林资源比较贫乏的国家,木材十分紧张。水稻是世界上种植面积最广、产量最大的农作物,当前全世界稻谷总产量近 6 亿 t;而我国是世界上稻壳产生量最大的国家,产量达 4 千万 t,数量十分庞大,其中约 20% (质量分数) 作为家畜饲料,30% ~ 35% (质量分数) 作为燃料或制备活性炭、硅胶等的原材料,但大量的稻壳仍弃之无用,甚至焚烧,污染环境。稻壳粉与木粉分子结构、物理、化学性质均相似,与硝酸铵具有良好的相容性;因此,制定了采用稻壳粉替代木粉做可燃剂的方案。经过试验发现,该方案不仅能够降低膨化硝酸炸药生产成本,还具有节能环保的特点,能够改善膨化硝酸炸药的产品性能。

1 稻壳粉的理化性能

稻壳粉属固体碳氢化合物^[5],分子式表示为 C₄₇H₇₅O₂₇,结构稳定,与木粉(分子式为 C₁₅H₂₂O₁₀)同为木质素类可燃剂。稻壳粉是一种具有多孔性、韧性及质地粗糙的高分子天然有机材料;同时,稻壳粉外表面覆盖有光滑的角质化的二氧化硅膜^[6],形成了一种非极性的表层结构,此种结构比木粉更密实,结构更紧密^[7],相对木粉不容易吸收水分。

稻壳粉富含纤维素(图 1)、木质素、二氧化硅 SiO₂;其中,脂肪、蛋白质等含量极低。基于稻谷品种、地区、气候等差异,其化学成分会有差异。通常情况下,稻壳粉的化学成分为(质量分数):水分 5% ~ 8%,灰分 18% ~ 20%,挥发分 60% ~ 63%,固定碳 17% ~ 19%^[8],稻壳粉中的脂类质量分数一般在 1% 左右。脂类的脂肪酸组成中,大多数为饱和脂肪酸。C₂₂、C₂₄ 的饱和脂肪酸占 2% ~ 3%,而不饱

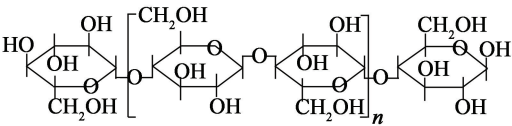


图 1 纤维素的分子结构
Fig. 1 Molecule structure of cellulose

和脂肪酸所占的质量分数很低。稻壳粉外层覆盖的一种角质,起着防水作用,是一种长链羟基聚合物,其质量约占稻壳粉的 2.2%。

稻壳粉中的无机成分主要是 SiO₂,从稻壳粉的外表皮到内表皮层, SiO₂ 以一定结构排列,含量逐渐递减^[6]。

2 试验部分

根据零氧平衡原则^[9],采用稻壳粉取代木粉作为膨化硝酸炸药的可燃剂,进行了 5 组试验,与木粉作为可燃剂的传统配方的膨化硝酸炸药(膨化硝酸铵、油相和木粉质量比 92 : 4 : 4)产品性能(爆速、殉爆距离、猛度、密度、水分、有毒气体排放量)进行对比。其中,硝酸铵氧平衡为 0.2 g/g;油相氧平衡为 -3.5 g/g;稻壳粉氧平衡为 -1.56 g/g;木粉氧平衡为 -1.37 g/g。在膨化硝酸铵含量不变的情况下,分别对稻壳粉及油相的质量分数做了调整,一共设计了 5 组配方,见表 1。

3 结果与分析

3.1 木粉与稻壳粉制备的膨化硝酸炸药的产品性能

对不同配方生产出的膨化硝酸炸药的殉爆距离、猛度、爆速、密度、水分、有毒气体排放量^[10]进行检测,得到相应的产品,性能见表 2。

从表 2 可以看出,采用稻壳粉制备成的膨化硝

表 1 使用稻壳粉的膨化硝酸炸药配方

Tab. 1 Formula of expanded ammonium nitrate explosive containing rice husk powder

配方	w(膨化硝酸)/%	w(油相)/%	w(可燃剂)/%	氧平衡/(g · g ⁻¹)
1 [#]	92.0	4.0	4.0(稻壳粉)	-0.02
2 [#]	92.0	3.5	4.5(稻壳粉)	-0.01
3 [#]	92.0	4.5	3.5(稻壳粉)	-0.02
4 [#]	92.0	3.0	5.0(稻壳粉)	0.01
5 [#]	92.0	5.0	3.0(稻壳粉)	-0.03
木粉配方	92.0	4.0	4.0(木粉)	0.20

表 2 不同配方膨化硝铵炸药性能对比结果

Tab. 2 Comparison results of properties of expanded ammonium nitrate explosives with different formulations

配方	殉爆距离/cm	猛度/mm	爆速/(m·s ⁻¹)	密度/(g·cm ⁻³)	水分/%	有毒气体排放量/(L·kg ⁻¹)
1 [#]	7	13.31	3 486	0.93	0.17	62
2 [#]	7	14.30	3 470	0.94	0.17	61
3 [#]	7	13.24	3 446	0.91	0.18	63
4 [#]	7	14.50	3 480	0.94	0.16	59
5 [#]	7	14.20	3 460	0.90	0.18	57
木粉配方	5	13.68	3 400	0.85	0.19	68

铵炸药的爆炸性能均优于木粉制备的膨化硝铵炸药。试验中,稻壳粉制备的膨化硝铵炸药中,殉爆距离、猛度、爆速、密度、水分、有毒气体排放量性能较优的为配方 2[#]、配方 4[#]。由于油相价格远高于稻壳粉采购价格,配方 2[#]中油相的质量分数为3.5%,高于配方 4[#]中油相质量分数 3.0%,综合企业实际生产经营成本等因素,得到配方 4[#]为最佳生产试验方案。

3.2 木粉与稻壳粉制备的膨化硝铵炸药的物理性能

常温状态下,在同一水相析晶点,膨化剂加入量占油水相的 0.12% (质量分数),在全连续膨化工艺中,膨化罐的真空度保持在 0.09 MPa 状态下,对木粉及最佳配方稻壳粉制备的膨化硝铵炸药半成品的比表面积和堆积密度^[11]进行检测,结果见表 3。

表 3 木粉与稻壳粉制备的炸药物理性能对比

Tab. 3 Comparison of physical properties of explosives prepared from wood powder and rice husk powder

配方	比表面积/(m ² ·g ⁻¹)	半成品堆积密度/(g·cm ⁻³)
木粉配方	27.10	0.38
4 [#]	117.00	0.43

从表 3 中可以看出,含木粉的半成品堆积密度小于含稻壳粉的炸药堆积密度。用稻壳粉代替木粉可以提高药卷密度。配方中含有稻壳粉的膨化硝铵炸药的比表面积大于配方中含有木粉的膨化硝铵炸药,能够增大与氧化剂及油相的有效接触面积,提高爆轰反应的完全性,从而提高产品爆炸性能。

3.3 木粉与稻壳粉中水的质量分数

在常温下取样,将未干燥及已完成干燥的稻壳粉、木粉用快速水分分析仪进行测量,水的质量分数测量结果见表 4。

由表 4 可以看出,在室温下木粉中水的质量分数远高于稻壳粉,说明其具有较强的吸湿能力。在爬式木粉烘干机内,90~100℃范围内分别对木粉、稻壳粉进行烘干,木粉中水的质量分数高于稻壳

表 4 木粉与稻壳粉中水的质量分数

Tab. 4 Water content of wood powder and rice husk powder

%

样品状态	水分	
	木粉	稻壳粉
干燥前	6.0	2.6
干燥后	2.4	2.2
标准值	2.5	2.5

粉,并且稻壳粉相较于木粉烘干时间短,更容易达到生产所需标准。

3.4 木粉与稻壳粉的堆积密度

在常温下,对木粉及稻壳粉进行烘干后,在水的质量分数不高于 2.5% 的情况下,对木粉及稻壳粉堆积密度进行测定,测量结果见表 5。

表 5 木粉与稻壳粉的堆积密度

Tab. 5 Stacking density of wood powder and rice husk powder

对比项目	堆积密度/(g·cm ⁻³)
木粉	0.19
稻壳粉	0.33

由表 5 可以看出,稻壳粉堆积密度大于木粉的堆积密度。由于稻壳粉堆积密度较大,具有较好的流散性,在混料过程中不易在罐中架空,出料顺畅,炸药组分配比接近理论值,产品性能更加稳定。

3.5 木粉与稻壳粉的成本

稻壳粉可燃物占其质量的 80% 以上,发热量为 12 560~15 070 kJ/kg,约为标准煤的一半,同木粉热值相当,赋予其作为工业炸药可燃剂的能量基础。

稻壳粉作为能量资源是可再生的,而且是废物利用,与使用木粉相比,其来源广泛且成本相对低廉,加工成本可降低 420 元/t,按照 2017 年全国膨化硝铵炸药的产量为 33.84 万 t^[12] 计算,可降低成本约 14 212.8 万元。

4 结 论

利用稻壳粉作为可燃剂,设计了 5 种试验方案,在膨化硝酸铵炸药生产线上制备膨化硝酸铵炸药,与传统的以木粉为可燃剂的膨化硝酸铵炸药的产品性能进行了对比,并结合生产企业节能降本的需求,得到配方 4[#](膨化硝酸铵、油相和稻壳粉质量比 92 : 3 : 5)为最佳方案。由试验数据可以看出,用稻壳粉取代木粉作为可燃剂,可以提高膨化硝酸铵炸药的产品性能,降低膨化硝酸铵炸药的生产成本,减少环境污染。

参 考 文 献

[1] 吕春绪. 膨化硝酸铵炸药[M]. 北京:兵器工业出版社, 2001.

[2] LÜ C X, LIU Z L, LU M. Research on the application of expanded ammonium nitrate [C]//The proceedings of 28th IPS. Auralia, 2001:491-506.

[3] 周康波,李满源. 岩石型粉状硝酸铵(无梯)炸药的研究[J]. 爆破器材, 2000, 29(4):22-23.

ZHOU K B, LI M Y. A study of powdery rock ammonium nitrate, TNT-free explosive [J]. Explosive Materials, 2000, 29(4):22-23.

[4] 吕春绪,刘祖亮,叶志文,等. 工业炸药理论 [M]. 北京:兵器工业出版社, 2003.

[5] 董纯高,宋领,李宏兵,等. 节能环保的膨化硝酸铵炸药: CN101684055A [P]. 2010-03-31.

[6] 朱永义. 稻谷加工工程[M]. 成都:四川科学技术出版社, 1988.

[7] 候贵华,许仲梓. 稻壳制备高性能材料研究进展[J]. 硅酸盐学报, 2006, 34(2):204-209.

HOU G H, XU Z Z. Research on advanced materials preparation from rice husk [J]. Journal of the Chinese Ceramic Society, 2006, 34(2):204-209.

[8] 姚惠源. 谷物加工工艺学[M]. 北京:中国财经出版社, 1997.

[9] 陆明. 工业炸药配方设计[M]. 北京:北京理工大学出版社, 2002.

[10] 牟立茁,吴国群,封峰,等. 不同工艺生产膨化硝酸铵炸药爆炸后有毒气体含量的测定研究[J]. 煤矿爆破, 2018(5):6-8.

MU L Z, WU G Q, FENG F, et al. Experimental study of toxic gases produced by the different technology expanded ammonium nitrate explosive [J]. Coal Mine Blasting, 2018(5):6-8.

[11] 孙斌. 膨化硝酸铵炸药堆积密度控制方法[J]. 工程爆破, 2014, 20(3):47-49.

SUN B. Bulk density control method of expanded ammonium nitrate explosive [J]. Engineering Blasting, 2014, 20(3):47-49.

[12] 中国爆破器材行业协会. 2017 年民爆行业统计分析报告[Z]. 2018.

声 明

1、本刊对发表的文章拥有出版电子版、网络版版权,并拥有与其他网站交换信息的权利。本刊支付的稿酬已包含以上费用。

2、本刊文章版权所有,未经书面许可,不得以任何形式转载。

《爆破器材》编辑部