

文章编号: 1006-9941(2014)06-0804-04

正交试验法研究 DNAN 基熔铸炸药的装药工艺

金大勇, 王红星, 牛国涛, 王亲会, 王淑萍, 黄文斌, 曹少庭, 牛磊

(西安近代化学研究所, 陕西 西安 710065)

摘要: 以典型的 2,4-二硝基苯甲醚(DNAN)基热塑态熔铸炸药——MX-2 为研究对象, 采用正交试验法对影响 MX-2 炸药装药平均密度、密度差以及组分均匀性的主要工艺因素及其影响显著性进行了研究。结果表明, 药浆温度、真空处理时间和真空度对装药质量有着重要影响, 影响的显著性顺序为: 真空处理时间>真空度>药浆温度。最佳装药工艺条件为: 真空处理时间 15 min, 真空度-0.090 MPa, 药浆温度 95 °C。

关键词: 应用化学; 2,4-二硝基苯甲醚(DNAN); 熔铸炸药; 装药工艺; 正交试验

中图分类号: TJ55; O69

文献标志码: A

DOI: 10.11943/j.issn.1006-9941.2014.06.017

1 引言

2,4-二硝基苯甲醚(DNAN)作为低易损性炸药^[1], 以其冲击波和热感度较低, 尤其是与高氯酸铵(AP)相容等优点, 成为熔铸炸药重要的载体之一, 国内外众多研究者对其基本性能有着较为全面的阐述^[2-3], 并且发展出了系列化的以 DNAN 为基的不敏感炸药配方^[4]。从 DNAN 的工艺性能方面来说, 由于其熔点较高(94.5 °C)^[5]和密度较低(1.54 g·cm⁻³)等原因, 与传统的 TNT 基熔铸炸药相比, DNAN 基熔铸混合炸药的装药质量不易控制, 特别是装药平均密度、密度差以及组分均匀性等方面更是难以保证, 阻碍了此类新型炸药的发展与应用。

针对上述问题, 本研究以典型的 DNAN 基热塑态熔铸炸药——MX-2 为对象, 采用正交试验法对影响装药质量的药浆温度、药浆优化处理的真空度和处理时间等三个因素进行了显著性分析与讨论, 得到最佳的装药工艺, 为今后此类炸药装药工艺的研究提供参考。

2 试验部分

2.1 原材料、工艺设备及装药模具

原材料: 2,4-二硝基苯甲醚(DNAN), 湖北东方

化工有限公司; 黑索今(RDX), 甘肃银光化工集团有限公司; 高氯酸铵(AP), 大连北方氯酸钾厂; 铝粉(Al), 西北铝加工厂; 复合钝感剂(FHD-1), 自制。

工艺装备: 熔铸炸药自动熔混系统, 重庆航天机电设计研究院, 非标。

装药模具: 开合模, 2A12 铝制, 直径 $\phi 90$ mm \times 140 mm, 壁厚 5 mm。

2.2 正交试验

试验采用 MX-2 炸药, 其主要组分包括 DNAN、RDX、AP、Al 和复合钝感剂(FHD-1)。

根据以往对 DNAN 基熔铸炸药装药工艺的研究经验, 容易产生变化且对装药质量影响较大的主要是药浆温度、药浆优化处理的真空度和处理时间等, 为减少危险品操作次数, 选取上述因素进行三因素三水平正交试验, 以影响装药质量最为关键的装药平均密度、密度差和组分均匀性三个性能为指标, 确定 MX-2 炸药的最佳装药工艺参数。因素水平表见表 1。

表 1 因素水平表

Table 1 Factors and levels

levels	factor		
	A temperature/°C	B vacuum/MPa	C time/min
1	95	-0.082	5
2	100	-0.086	10
3	105	-0.090	15

将按照同一配方及数量称量好的炸药原材料投入熔铸炸药自动熔混系统, 按照不同的温度、真空度和处

收稿日期: 2014-03-04; 修回日期: 2014-04-15

基金项目: 国家重大基础专项(0040103020)

作者简介: 金大勇(1980-), 男, 副研究员, 主要从事混合炸药配方及装药技术研究。e-mail: jinvsyong@163.com

理时间设定好工艺参数,熔混并优化处理后浇注入相同的模具内,在 22 ~ 24 °C 的同一环境条件下冷却凝固成型。待所有药柱样品冷却至室温后,取出进行性能检测。图 1 是冷却凝固成型后的 MX-2 炸药药柱样品及其剖面外观。



图 1 MX-2 炸药药柱样品及其剖面外观

Fig.1 MX-2 charge column and its cross section

2.3 性能测试方法

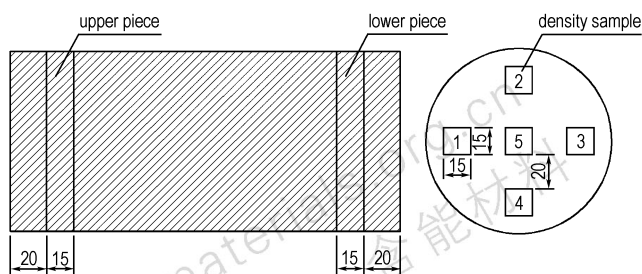
装药平均密度及密度差检测: 将浇注的药柱按照图 2a 的尺寸进行机械加工,在上、下药片上分别取 5 个密度样块,采用 GJB772A-1997 方法 401.2 药柱(块)密度液体静力称量法逐一对所取样块进行密度检测。装药平均密度用所有药块样品密度的平均值表示,装药密度差用上、下药片的平均密度差来表示(图 2b)。

装药的组分均匀性: 由于配方中 Al 粉的密度最大 (2.70 g · cm⁻³)^[5], 其与液态 DNAN (密度约 1.35 g · cm⁻³, 实验测得) 的密度差也最大,最易在药浆凝固过程中产生沉降而造成装药组分的不均匀。因此,试验中以 Al 粉含量差来表示装药的组分均匀性。具体方法是在上、下药片上分别刮取 10 ~ 15 g 药粉,检测其中 Al 粉的含量,计算出其含量差值以表征组分均匀性。

表 3 正交试验结果分析

Table 3 Analysis of orthogonal experiment results

	$\rho / \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$			$\Delta\rho / \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$			$\theta / \%$		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
K_1	5.724	5.739	5.737	0.005	0.025	0.035	0.36	0.41	0.77
K_2	5.718	5.716	5.705	0.021	0.032	0.005	0.45	0.87	0.66
K_3	5.739	5.726	5.739	0.044	0.013	0.030	0.99	0.52	0.37
k_1	1.908	1.913	1.912	0.002	0.008	0.012	0.12	0.14	0.26
k_2	1.906	1.905	1.902	0.007	0.011	0.002	0.15	0.29	0.22
k_3	1.913	1.909	1.913	0.015	0.004	0.010	0.33	0.17	0.12
range R	0.021	0.023	0.034	0.039	0.019	0.030	0.63	0.46	0.40
factor primary→secondary	C→B→A			B→C→A			C→B→A		
optimal scheme	C ₃ B ₁ A ₃			B ₃ C ₂ A ₁			C ₃ B ₁ A ₁		



a. mean density b. density difference between upper piece and lower piece

图 2 装药平均密度及密度差测试取样图

Fig.2 Sampling scheme of mean density and density difference determination

3 结果与讨论

3.1 正交试验结果

试验方案及结果见表 2 和表 3, 试验因素和水平对各项指标的影响趋势见图 3 ~ 图 5。

表 2 正交试验方案和试验结果

Table 2 Orthogonal experiment scheme and results

test	factor			experimental results		
	A	B	C	$\rho / \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	$\Delta\rho / \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	$\theta / \%$
1	A ₁	B ₁	C ₁	1.911	0.002	0.11
2	A ₁	B ₂	C ₂	1.904	0.001	0.23
3	A ₁	B ₃	C ₃	1.909	0.002	0.02
4	A ₂	B ₁	C ₂	1.900	0.003	0.11
5	A ₂	B ₂	C ₃	1.902	0.008	0.16
6	A ₂	B ₃	C ₁	1.916	0.010	0.18
7	A ₃	B ₁	C ₃	1.928	0.020	0.19
8	A ₃	B ₂	C ₁	1.910	0.023	0.48
9	A ₃	B ₃	C ₂	1.901	0.001	0.32

Note: ρ is the mean density of 5 grains; $\Delta\rho$ is the difference between upper piece and lower piece. θ is the componential uniformity of charge, expressed with difference of Al content.

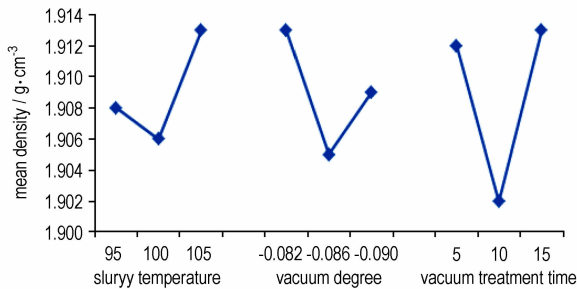


图3 试验因素和水平对装药平均密度的影响

Fig. 3 Influence of experimental factors and levels on the average density

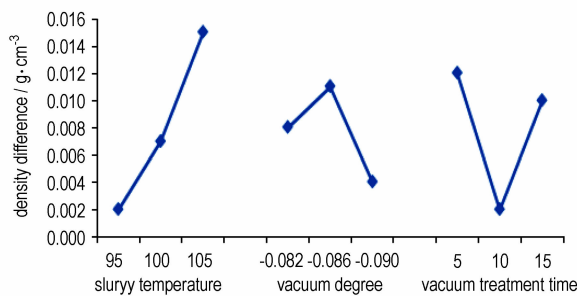


图4 试验因素和水平对装药密度差的影响

Fig. 4 Influence of experimental factors and levels on the charge density difference

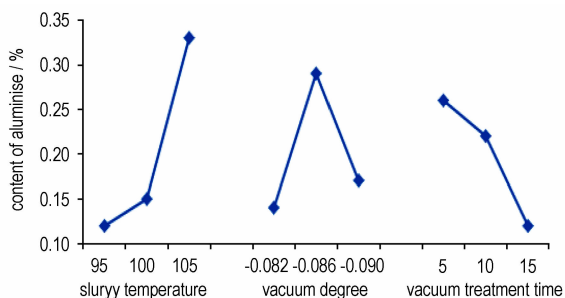


图5 试验因素和水平对装药组分均匀性 Al 含量差的影响

Fig. 5 Influence of experimental factors and levels on the componential uniformity

由表3和图3~图5可以得到以下结果:

首先,从各因素对装药平均密度的影响来看,由于 $R(\text{处理时间}) > R(\text{真空度}) > R(\text{药浆温度})$,可见药浆优化处理时间对装药平均密度的影响最大,其次是真空度,最后是药浆温度,各因素对实验试验结果影响程度的主次关系是: CBA 。由图3可以直观地看出,在装药平均密度这一单指标前提下,工艺参数的最佳组合是 $C_3B_1A_3$ 。

其次,从各因素对装药密度差的影响来看, $R(\text{真空度}) > R(\text{处理时间}) > R(\text{药浆温度})$,可见药浆优化处理

真空度对装药密度差的影响最大,其次是处理时间,最后是药浆温度,各因素对试验结果影响程度的主次关系是: BCA 。由图4可以直观地看出,在装药密度差这一单指标前提下,工艺参数的最佳组合是 $B_3C_2A_1$ 。

最后,从各因素对装药组分均匀性(AI含量差值越大,装药组分均匀性越差)的影响来看, $R(\text{处理时间}) > R(\text{真空度}) > R(\text{药浆温度})$,可见药浆优化处理时间对装药组分均匀性的影响最大,其次是真空度,最后是药浆温度,各因素对实验试验结果影响程度的主次关系是: CBA 。由图5的趋势图可以直观地看出,在装药组分均匀性这一单指标前提下,工艺参数的最佳组合是 $C_3B_1A_1$ 。

3.2 最佳工艺条件分析

由于本试验是多指标的正交试验,不同指标的重要程度常常是不一致的,各因素对不同指标的影响程度也不完全相同,所以将3个因素对3个指标影响的重要性的主次顺序统一起来是不可行的。因此本研究采用综合平衡法^[6]对实验试验结果进行分析,从而得到综合的优化方案。

(1)因素C:根据3.1的分析结果,在本试验中因素C对装药平均密度和组分均匀性两个指标影响均为最大,且都取 C_3 为最优;而对于密度差则是取 C_2 好,从趋势图或 $K_i(k_i)$ 可以看出,C取 C_2 或 C_3 时密度差相对比较小,而且从极差可以看出,C为次要因素,所以根据多数倾向和C因素对不同指标的重要程度,选取因素C作为最重要因素,且以 C_3 为最佳水平,选取 C_3 。

(2)因素B:根据3.1的分析结果,在本试验中因素B对于装药密度差这个指标是最主要的因素(B取 B_3),在确定最优水平时应重点考虑;对于装药平均密度和组分均匀性两个指标来说,从极差可以看出因素B都是较次要因素,两者虽然都是取 B_1 好,但是从趋势图或 $K_i(k_i)$ 可以看出,B取 B_1 或 B_3 时,装药平均密度均在 $1.909 \sim 1.913 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 之间,相对密度为 $99.3\% \sim 99.5\%$,这对于DNAN基热塑态熔铸炸药装药工艺本质特性来说已达到相当优异的技术指标;同时,B取 B_1 或 B_3 时,组分均匀性差别在 0.03% 。综上所述,选取 B_3 。

(3)因素A:根据3.1的分析结果,在本试验中因素A对于装药密度差和组分均匀性AI粉含量差,均取 A_1 ,对于装药平均密度则选取 A_3 好。但是对于三个指标而言,A因素都处于末位的次要因素,所以A取哪个水平对三个指标的影响都比较小,这时可以本

着降低消耗、提高装药过程热安全性的原则,选取 A_1 。

综上所述,最优的工艺参数组合是 $C_3 B_3 A_1$,即处理时间 15 min,真空度 -0.090 MPa,药浆温度 95 °C。

4 结 论

(1) 通过正交试验,得出三因素对 MX-2 炸药的装药平均密度、密度差及组成成分均匀性的影响程度为: R (处理时间) $> R$ (真空度) $> R$ (药浆温度)。

(2) 综合考虑炸药工艺本质特性、能耗及热安全性等因素,确定 DNAN 基的熔铸炸药 MX-2 的最佳装药工艺条件为: 处理时间 15 min,真空度 -0.090 MPa,药浆温度 95 °C。

参考文献:

- [1] 王昕. 美国不敏感混合炸药的发展现状[J]. 火炸药学报, 2007, 30(2): 78-80.
WANG Xin. Current Situation of study on insensitive composite explosives in USA[J]. *Chinese Journal of Explosives and Propel-*

lants, 2007, 30(2): 78-80.

- [2] 王浩, 王亲会, 黄文斌, 等. DNAN 降低 DNTF 冲击波敏感度研究[J]. 含能材料, 2010, 18(4): 435-438.
WANG Hao, WANG Qin-hui, HUANG Wen-bin, et al. Shock sensitivity of DNTF reduced by using DNAN[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2010, 18(4): 435-438.
- [3] 王红星, 王晓峰, 罗一鸣, 等. DNAN 炸药的烤燃实验[J]. 含能材料, 2008, 16(5): 490-493.
WANG Hong-xing, WANG Xiao-feng, LUO Yi-ming, et al. Cook-off test of DNAN explosive[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2008, 16(5): 490-493.
- [4] John Niles, Steven Nicolich. PAX-21, PAX-25, PAX-28: A family of new low cast insensitive melt pour explosives[M]. *English Compilation of Data on Melt-cast Explosive and Its Charge Process*. Xi'an Modern Chemistry Research Institute. 2011: 96.
- [5] 孙业斌, 惠君明, 曹欣茂. 军用混合炸药[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1995.
- [6] 李云雁, 胡传荣. 试验设计与数据处理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
LI Yun-yan, HU Chuan-rong. *Experimental design and data processing*[M]. Beijing: chemical industry press, 2008.

Charge Process of DNAN Based Melt Cast Explosive by Orthogonal Experiments

JIN Da-yong, WANG Hong-xing, NIU Guo-tao, WANG Qin-hui, WANG Shu-ping, HUANG Wen-bin, CAO Shao-ting, NIU Lei

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

Abstract: Using a typical 2,4-dinitroanisole(DNAN) based thermoplastic melt-cast explosive MX-2 the influence of main process factors and important degree of various factors on mean charge density, density difference and ingredient uniformity of the MX-2 were investigated by orthogonal experiments. Results show that the slurry temperature, vacuum pumping time and vacuum are major factors influencing the charge quality. The order of significant influence is: vacuum treatment time $>$ vacuum degree $>$ slurry temperature. The optimal conditions of charge process are as follows: vacuum treatment time 15 min, the vacuum degree -0.090 MPa and the slurry temperature 95 °C.

Key words: applied chemistry; 2,4-dinitroanisole(DNAN); melt-casting explosive; charge process; orthogonal experiments

CLC number: TJ55; O69

Document code: A

DOI: 10.11943/j.issn.1006-9941.2014.06.017