

工艺参数对 HMX 基挤注炸药装药质量的影响

郑亚峰 谭彪 南海* 倪冰 王永顺

(西安近代化学研究所,西安 710065)

摘 要 以 92%(质量分数)高固相含量的 HMX(奥克托今)基挤注炸药为研究对象,研究了挤注压力、真空度和水浴温度等对挤注炸药装药质量的影响,采用 3 因素 3 水平正交试验进行了影响显著性评价。结果表明,影响的显著性次序依次为:挤注压力>真空度>水浴温度。得到的最优工艺参数为:挤注压力 15MPa、真空度-0.090MPa、水浴温度 40℃,采用最优工艺参数制备的 ECX-1 炸药实际装药密度达到 1.711g/cm³(理论密度的 97%以上)。

关键词 材料科学,挤注炸药,奥克托今,工艺参数,正交试验

Influence of process parameter on the charge quality of HMX-based ECX

Zheng Yafeng Tan Biao Nan Hai Ni Bing Wang Yongshun

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

Abstract The influence of extrusion pressure, vacuum degree and water bath temperature on the charge quality performance of HMX-based ECX which had solid phase at 92% was studied, the optimum parameters of three factors and three levels were analyzed by orthogonal experimental method. The results showed that the order of significant influence was: the extrusion pressure>the vacuum degree>the water bath temperature. Optimum process condition for charge quality were that the extrusion pressure 15MPa, the vacuum degree -0.09MPa and the water bath temperature 40℃. The actual charge density of ECX-1 by optimizing the process condition was 1.711g/cm³ (more than 97% of the theoretical density).

Key words material science, ECX, HMX, process parameter, orthogonal experiment

塑料粘结炸药浇注 PBX 作为一种能量和安全综合性能优良的炸药类型,广泛应用于水中兵器、侵彻武器等领域^[1],一直以来是国外军事强国研究的重点。但是,随着武器装备对浇注 PBX 炸药能量要求的进一步提升,在现有浇注工艺的基础上,通过提高炸药组分中固含量的方法这一途径难以实现,因为随着浇注炸药中固相含量的进一步提高,药浆黏度急剧增大,药浆流动性显著降低,药浆便难以通过浇注工艺成形。为此,国内外研究者将浇注工艺和压装工艺进行结合,研究出了挤注炸药工艺技术,该工艺技术的原理为:在真空条件的基础上,在药浆的表面施加一定压力可使固含量更高、流动性更差的药浆制备成形^[2-3]。采用挤注工艺技术制备的挤注炸药具有固相含量高、工艺周期短、安全性能优良等特点,不但可提高炸药的爆轰性能,而且大大缩短了浇注 PBX 炸药的工艺周期。但是,我国关于挤注炸

药工艺研究的文献还未见报道。本研究以固含量为 92%(质量分数)的 EXC-1 炸药配方为研究对象,采用 3 因素 3 水平正交试验法^[4-7],研究了挤注压力、真空度、水浴温度等对装药质量影响,以期对挤注炸药在高性能武器型号装备的应用提供工艺设计基础参数。

1 试验部分

1.1 试验原材料、工艺设备和装药模具

试验 NJ 粘结剂,工业品,西安近代化学研究所;奥克托金(HMX),工业品,国营第八〇五厂;甲苯二异氰酸酯(TDI,分析纯),武汉市全兴聚氨酯科技股份有限公司;二月桂酸二丁基锡(T-12,分析纯),上海雨田化工有限公司;石油醚(工业品),天津市津东天正化学试剂厂。

捏合机(VKM-2L,非标),西安拓普电气有限公司

基金项目:国防 973 资助项目(51340030101)

作者简介:郑亚峰(1985-),男,工程师,从事混合炸药配方及性能研究。

联系人:南海(1980-),男,研究员,从事混合炸药技术研究。

司;挤注装药设备(FB-5W,非标),咸阳盛源科技有限公司;直径 $\phi 100\text{mm}$ 开合模具(2A12),西安近代化学研究所。

1.2 样品制备

以 HMX 基挤注炸药 EXC-1 炸药为研究对象,其制备主要有以下步骤:

(1)原材料称量:按照 EXC-1 配方比例称取 HMX/NJ 粘结剂/TDI/T-12, HMX/NJ 粘结剂/TDI/T-12=92.0/7.5/0.4/0.1(质量分数);(2)混合:将原材料加入捏合机中,添加工艺助剂石油醚(质量为总投料的 20%),将药浆混合均匀,出料前 15min 加入固化剂 TDI 和催化剂 T-12;(3)驱除溶剂:将预混药浆置于通风橱内,直至工艺助剂完全挥发;(4)真空挤注:将驱溶后的 PBX 药浆置于真空挤注系统加料筒中,在一定压力、真空度和水浴温度下将药浆挤注到模具中成形。

1.3 正交试验

根据 PBX 炸药在往期各类武器型号产品中的装药工艺经验及挤注工艺的自身特点,挤注压力、真空度和水浴温度可能是影响装药质量的主要因素,为减少危险品操作次数,选取上述因素进行 3 因素 3 水平正交试验,以装药平均密度这一常规装药质量评价项目作为本次试验性能评价指标,确定挤注炸药的最优工艺参数。试验因素水平选择见表 1。

表 1 试验因素水平表

水平	因素		
	A	B	C
	挤注压力/MPa	真空度/MPa	水浴温度/℃
1	8	0	20
2	12	-0.060	40
3	15	-0.090	60

按照 ECX-1 炸药配方称量 9 组原材料,在不同工艺参数下进行样品成形制备。试验过程中抽真空时间均为 20min。

1.4 性能测试方法

(1)装药平均密度。在成形药柱的上、下部位分别切取一厚度约 5mm 的药饼,每块药饼上、下、左、右 4 个方向各取 1 块,中心位置取 1 块,进行密度测试,取所有药块的密度平均值,即为装药平均密度。

(2)密度测试方法。采用 GJB 772A—97 方法 401.2 药柱(块)密度液体静力称量法对 ECX-1 药块进行密度测试。

2 结果与讨论

2.1 正交试验结果

试验方案及结果见表 2,根据公式(1)计算不同水平下对应因素的试验结果之和,根据公式(2)计算不同水平下对应因素的试验结果的平均值,计算结果见表 3。

$$K_i = \chi_1 + \chi_2 + \chi_3 \quad (1)$$

$$k_i = K_i/3 \quad (2)$$

表 2 正交试验方案和试验结果

试验编号	因素			试验结果
	A	B	C	密度/(g·cm ⁻³)
1	A ₁	B ₁	C ₁	1.650
2	A ₁	B ₂	C ₂	1.686
3	A ₁	B ₃	C ₃	1.691
4	A ₂	B ₁	C ₂	1.693
5	A ₂	B ₂	C ₃	1.695
6	A ₂	B ₃	C ₁	1.703
7	A ₃	B ₁	C ₃	1.701
8	A ₃	B ₂	C ₁	1.706
9	A ₃	B ₃	C ₂	1.711

表 3 正交试验结果分析

	密度/(g·cm ⁻³)		
	A	B	C
K ₁	5.027	5.044	5.059
K ₂	5.091	5.087	5.090
K ₃	5.118	5.105	5.087
k ₁	1.676	1.681	1.686
k ₂	1.697	1.696	1.697
k ₃	1.706	1.702	1.696

将每列的 k_1 、 k_2 、 k_3 中最大值与最小值之差称为极差 R ,即:

$$R_A = 1.706 - 1.676 = 0.030$$

$$R_B = 1.702 - 1.681 = 0.021$$

$$R_C = 1.697 - 1.686 = 0.011$$

从表 2 中正交试验结果可看出:在挤注压力恒定的条件下,同时提高水浴温度和真空度,装药密度有显著提高;从表 3 中正交试验结果分析可看出: $R_A > R_B > R_C$,说明挤注压力对装药平均密度极差的影响最大,其次为真空度,最后为水浴温度,各因素对试验结果影响程度的主次关系为: $A > B > C$,即挤注压力 $>$ 真空度 $>$ 水浴温度。

图 1 为试验三因素、三水平与密度和(k_i)的关系曲线。从图 1 可看出,①三个水平下不同挤注压力所对应的密度测试结果差别较明显,依次为 k_3

(k_3) $>k_2(k_2)>k_1(k_1)$,挤注压力最佳工艺参数为 A_3 ;②三个水平下不同真空度对装药密度的影响依次为: $k_3(k_3)>k_2(k_2)>k_1(k_1)$,真空度最佳工艺参数选 B_3 ;③三个水平下不同水浴温度对装药密度的影响依次为: $k_2(k_2)>k_3(k_3)>k_1(k_1)$,水浴温度最佳工艺参数选 C_2 。因此,HMX 基挤注炸药装药的最佳工艺参数为 $A_3B_3C_2$,即挤注压力 15MPa,真空度 -0.090MPa,水浴温度 40℃。

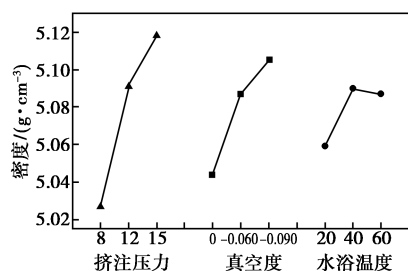


图1 试验因素、水平与密度和(k_i)的关系

采用最佳工艺参数制备的 ECX-1 挤注炸药样品表面光洁,无掉块、裂纹等缺陷,并对药柱进行剖切,装药内部无气孔、裂纹等疵病,装药质量良好,装药密度达到 1.711g/cm³(理论密度的 97%以上)。

2.2 最佳工艺参数分析

根据三个因素对装药密度极差的影响结果,挤注压力为 ECX-1 炸药成型的主要影响因素。这与 ECX-1 炸药药浆物料特性紧密相关,ECX-1 炸药中固相组分含量高,炸药药浆黏度大,只有通过外力方可使药浆产生塑性变形至密实状态;采用真空负压可除掉药浆中夹杂的空气,但真空负压压力(0.1MPa)远小于炸药药浆的抗压强度,无法使药浆变形,随着水浴温度升高,药浆粘结剂体系中高分子链段柔顺性增强,但未达到流体状态,仍需施加外力使其密实成形。因此,挤注压力对 ECX-1 炸药装药密度的影响起主导作用。

根据正交试验分析结果,挤注压力最佳工艺参数为 A_3 ,表明挤注炸药装药密度随着挤注压力的增大呈逐渐增大的趋势,这是由于膏状药浆在较大的挤注压力下产生塑性变形,挤注压力越大,炸药药浆产生的形变越大,夹杂在药浆中的空气更易被挤压压缩或从炸药药浆中挤出,成形的炸药样品密度就更高;真空度最佳工艺参数选 B_3 ,表明挤注炸药装药密度随着真空度的提高逐渐增大,这是由于药浆在挤压的过程中,夹杂在药浆中间部分的空气被膏状药浆包裹着难以排出,通过真空负压条件除去药浆中夹杂的气体,真空度越高,气体越易从药浆中逸出,除气速率越高,挤注过程中药浆中的空气含量越

少,成形后样品的密度也越高;水浴温度最佳工艺参数选 C_2 ,表明装药密度随着水浴温度的升高呈先上升后逐渐下降的趋势,这是由于炸药药浆在水浴加热条件下,粘结剂中高分子链段柔顺性提高,药浆黏度降低,流动性能增强,同时药浆中包裹的气体更易被挤出,同样的挤注压力下装药密度便增大,随着水浴温度进一步提高至 k_3 ,装药密度呈降低趋势,可能由于炸药药浆温度升高至 50℃ 以上,炸药晶体颗粒产生体积热膨胀,导致装药成形后密度降低,另外,水浴温度最佳工艺参数选 C_2 非 C_3 也符合工艺操作安全性要求和工艺成本核算要求,工艺操作过程中炸药温度要求提高,炸药机械感度、冲击感度明显升高^[8-10],不但提高了工艺成本,延长了工艺时间,还给工艺操作带来极大的安全隐患。

3 结论

(1)挤注炸药工艺参数对装药质量影响的显著性次序为:挤注压力 $>$ 真空度 $>$ 水浴温度。

(2)通过正交试验得到的最佳工艺参数为 $A_3B_3C_2$,即挤注压力 15MPa、真空度 -0.090MPa、水浴温度 40℃。

(3)采用最佳工艺参数制备的 ECX-1 挤注炸药装药密度达到 1.711g/cm³,装药内部无气孔、裂纹等疵病,装药质量良好。

参考文献

- [1] 唐桂芳,王晓峰,李巍.浇注 PBX 的低易损性能研究[J].含能材料,2003,11(3):163-165.
- [2] 中国材料研究学会.2002 年中国材料研讨会论文集[C].北京:中国材料研究学会,2002.
- [3] 黄辉,蒋小华,黄毅民.挤注炸药的爆轰性能[J].爆炸与冲击,2005,25(1):70-73.
- [4] 李云雁,胡传荣.实验设计与数据处理[M].北京:化学工业出版社,2008,22-37.
- [5] 席鹏,王晓峰,李媛媛,等.浇注型 PBX 混合工艺参数优化[J].爆破器材,2015,44(5):5-9.
- [6] 金大勇,王红星,牛国涛,等.正交实验法研究 DNAN 基熔铸炸药的装药工艺[J].含能材料,2014,22(6):804-807.
- [7] 马晋雅,常双君.正交法分析 PBX 浇注炸药爆速的影响因素[J].山西化工,2012,32(1):17-19.
- [8] 郑亚峰,常海,张修博,等.RDX 基含铝炸药的特性落高能与热爆发参数的关系[J].含能材料,2012,20(6):754-757.
- [9] 郑亚峰,南海,席鹏,等.不同比例 Al-RDX 混合炸药的热分解活化能研究[J].爆破器材,2015,44(5):13-17.
- [10] 郑亚峰,常海,刘子如,等.RDX 和铝含量对 RDX 基含铝炸药热爆发温度的影响[J].火炸药学报,2011,34(4):49-51.

收稿日期:2017-04-01