

doi: 10.7690/bgzdh.2017.07.007

提高分步压装药质量的工艺技术

张 勤, 薛晓仓, 段召明, 陈 砚, 马安平
(豫西集团河南北方红阳机电有限公司, 河南 南召 474678)

摘要: 为解决某分步压装药产品冬季生产装药产生裂纹的问题, 对分步压装药工艺技术进行研究、改进。通过对分步压装药产生裂纹的原因进行理论分析, 归纳影响装药强度、装药应力的主要因素, 对可控因素进行了装药工艺试验, 找到了最佳工艺参数。试验结果表明: 该技术能够提高装药强度, 降低装药应力, 消除装药裂纹, 提高分步压装药质量, 有很好的实用参考价值。

关键词: 分步压装药; 工艺技术; 质量
中图分类号: TJ410.5 **文献标志码:** A

Technology of Improvement Step Pressing Quality

Zhang Qin, Xue Xiaocang, Duan Zhaoming, Chen Yan, Ma Anping
(Yuxi Group Henan North Hongyang Electromechanical Co., Ltd., Nanzhao 474678, China)

Abstract: Solving a sort of step pressing product cracked problem in winter, research and improve the step pressing process technology. Theoretical analysis is made on the cause of step pressing cracked, summarize the main factors affecting of charging magnitude and charging stresses. Carry out pressing technological test for controllable factors, seek out the optimal technology parameter. Test results show that the technology can improve the charge magnitude and reduce the charge stresses, eliminate the crack, and improve the quality of step pressing, and has a good practical reference value.

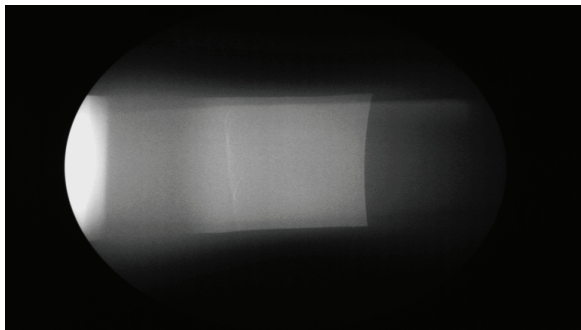
Keywords: step pressing; process engineering; quality

0 引言

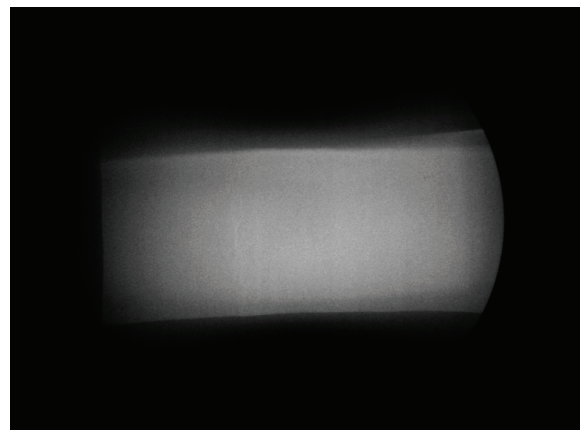
某分步压装药产品在冬季装药生产时, 经 X 射线检测发现装药有径向裂纹。径向裂纹有 2 种: 一种是在距装药底部约 25 mm 处, 裂纹较宽、较长, 数量较多; 另一种是在上弧形部, 裂纹较细、较短, 数量较少。装药裂纹影响到射击的安全性, 因此, 笔者对分步压装药产生裂纹的原因进行分析, 并进行工艺试验, 找到最佳工艺参数, 以解决分步压装药径向裂纹问题。

1 产生径向裂纹的原因及分析

距底部约 25 mm 处装药裂纹和上弧形部装药裂纹如图 1、图 2 所示。



距底部约 25 mm 处装药裂纹
图 1 装药弹体 A 区 X 光片



上弧形部装药裂纹

图 2 装药弹体 B 区 X 光片

装药产生径向裂纹的条件为

$$\sigma > [\sigma] \quad (1)$$

式中: σ 为装药受到的轴向应力, N/mm^2 ; $[\sigma]$ 为装药的轴向许用应力, N/mm^2 。

由式(1)可知: 只要减少装药轴向应力 σ , 增大装药的轴向许用应力 $[\sigma]$, 使 $\sigma < [\sigma]$, 裂纹就不会产生。

1.1 影响 $[\sigma]$ 的因素

通过分析, 影响 $[\sigma]$ 的因素主要有装药温度、

收稿日期: 2017-03-08; 修回日期: 2017-04-18

作者简介: 张 勤(1965—), 男, 山东人, 高级工程师, 从事战斗部装药及装配研究。

装药密度、装药流动趋向等。

1.1.1 装药温度对 $[\sigma]$ 的影响

某分步压装药产品用钝黑铝炸药，该炸药组成为 80%钝化黑索今、20%细铝粉。钝化黑索今组成为 95%黑索今、5%钝感剂^[1]。钝感剂组成为 60%地蜡、38.8%硬脂酸、1.2%苏丹红。即钝黑铝炸药组成见表 1。

表 1 钝黑铝炸药组成

组分	含量(质量百分比)/%
黑索今	76
细铝粉	20
地蜡	2.4
硬脂酸	1.552
苏丹红	0.048

地蜡、硬脂酸既作为钝感剂降低黑索今和铝粉的感度，又作为黏合剂来增加装药强度；因此，决定装药强度 $[\sigma]$ 的因素主要是地蜡和硬脂酸的黏结性能。

地蜡是 C₂₅ 以上带侧链的环烷烃和异构烷烃及少量的直链烷烃，硬脂酸为十八烷酸，这 2 种物质的混合物为无定形体。其在温度较低时表现为脆性。随着温度的升高，慢慢变软、发黏，塑性增大，并具有黏结作用。

在钝黑铝炸药中，黑索今、铝粉颗粒表面包覆了一层黏合剂。这种散粒体炸药受到压力时，颗粒之间相互运动、滑移，颗粒间空隙率逐渐减小，最后颗粒变形，棱角破裂，颗粒之间紧密挤压在一起，颗粒表面的黏合剂相互接触^[2]。温度较低时，黏合剂处于较硬脆状态，其接触表面有一界面，未能黏合在一起，黏合力较小，装药强度相应较低^[3]。随着温度的升高，黏合剂变软，塑性增大，颗粒之间的黏合剂黏结在一起，装药强度相应增大。即有

$$[\sigma] \propto t. \quad (2)$$

式中 t 为装药温度，℃。

装药温度来自 2 个方面：一方面是炸药的初始温度，另一方面是炸药受到冲压摩擦产生的温升。即有

$$t = t_0 + \Delta t. \quad (3)$$

式中： t 为装药温度，℃； t_0 为炸药的初始温度，℃； Δt 为装药受到冲压摩擦产生的温升，℃。

根据能量守恒原理，炸药受到的冲压能大部分转变为炸药的温升。即有

$$kpsl = \alpha mc \Delta t. \quad (4)$$

式中： p 为分步压药机油缸油压，MPa； s 为分步

压药机油缸活塞面积，mm²； l 为螺杆压药行程，mm； k 为压力系数； m 为分步压药机冲压一次输送到弹体内的药量，kg； c 为钝黑铝炸药的热容，J/(kg·℃)； Δt 为钝黑铝炸药的温升，℃； α 为能量利用系数。

由式(3)、式(4)得

$$t = t_0 + \frac{kpsl}{\alpha mc}, \quad (5)$$

令 $\frac{ksl}{\alpha c} = \beta$ ，则有

$$t = t_0 + \beta \frac{p}{m}. \quad (6)$$

由式(6)、式(2)得：

$$[\sigma] \propto (t_0 + \beta \frac{p}{m}). \quad (7)$$

由式(6)、式(7)可知：装药的温度 t 决定于炸药的初始温度 t_0 (℃)、油压 p (MPa) 和输药量 m (kg)； t_0 越高， p 越大， m 越小， t 就愈高， $[\sigma]$ 就越大。因此，可通过适当提高炸药的初始温度 t_0 ，增大油压 p ，降低输药量 m ，来提高装药强度 $[\sigma]$ 。

1.1.2 装药密度对 $[\sigma]$ 的影响

一般来说，装药密度增大，炸药颗粒之间接触粘结紧密，装药强度 $[\sigma]$ 增大。即有

$$[\sigma] \propto \rho. \quad (8)$$

式中 ρ 为装药密度，g/cm³。

解剖装药发现，密度较小时， $[\sigma]$ 随着 ρ 的增大而增大^[4]，符合式(8)；但当 ρ 达到一定值后， ρ 再增大，装药产生了“离核”现象，即装药产生了细微的径向裂纹，使 $[\sigma]$ 降低。这是因为 ρ 较大时，螺杆冲头的冲击力较大，螺杆冲头下面装药径向流动加剧，炸药颗粒之间的黏合剂长链分子发生了较重的“趋向”作用，致使 $[\sigma]$ 降低。 ρ 再增大， σ 增大，当 $\sigma > [\sigma]$ 时，就会产生裂纹，“离核”现象就发生了；因此，装药密度 ρ 要控制在一个适当的范围，才有利于提高装药强度 $[\sigma]$ 。

1.1.3 装药流动趋向对 $[\sigma]$ 的影响

为了压药安全，螺杆冲头极限位置距药室底部约 25 mm，由于药室直径大于螺杆直径，螺杆冲头在此极限位置输药冲压达数 10 次，炸药在螺杆冲头

下受压沿径向流动到弹体内壁, 再沿弹体内壁向上流动。当螺杆周围充满炸药, 螺杆冲头受到的反压力大于油压设定值时, 螺杆冲头后退^[5]。此时螺杆冲头下的炸药因多次冲压流动摩擦, 使炸药颗粒间的黏合剂长链分子趋向于装药径向, 且冲头在此压出一个光滑的平面, 后续炸药与该光滑平面黏结力较小, 使距药室底部约 25 mm 处装药轴向强度最小。当螺杆冲头继续输药压药后退时, 冲头下的炸药受压虽也沿径向流动; 但因螺杆周围已充满较为密实的炸药, 流动趋向明显降低, 再加靠近弹壁的炸药流动趋向为轴向, 故中、上部装药轴向强度 $[\sigma]$ 较距药室底部约 25 mm 处装药轴向强度要大。

综合以上分析得

$$[\sigma] \propto (t_0 + \beta \frac{P}{m}) \rho \quad (9)$$

1.2 影响 σ 的因素

通过分析, 影响 σ 的因素主要有装药温度、装药密度、装药存放环境温度及存放时间等。

1.2.1 装药温度对 σ 的影响

装药温度越高, 炸药颗粒表面的黏合剂越软, 炸药颗粒受压后相对运动阻力越小, 装药越容易产生塑性变形, 装药的内应力越小。即有

$$\sigma \propto \frac{1}{t} \quad (10)$$

1.2.2 装药密度对 σ 的影响

装药密度越大, 炸药颗粒之间受到的挤压力越大, 其变形越大(这种变形包括塑性变形和弹性变形), 故装药的内应力越大。即有

$$\sigma \propto \rho \quad (11)$$

1.2.3 装药存放环境温度对 σ 的影响

若装药温度较高, 装药后装药弹体所处的环境温度较低, 装药内的热量会通过弹壁向周围环境传递, 装药温度会降低^[6], 装药体积会收缩, 会产生内应力, 内应力会随着单位时间内装药导出的热量增大而增大, 即

$$\sigma \propto Q \quad (12)$$

式中 Q 为单位时间内装药导出的热量, J/s。

由传热知识可知:

$$Q = KA(t - t_1) \quad (13)$$

式中: K 为导热系数, J/(sm²·°C); A 为导热面积,

m²; t_1 为装药弹体周围环境温度, °C; t 为装药温度, °C。

由式(12)、式(13)得:

$$\sigma \propto KA(t - t_1) \quad (14)$$

式中 K 、 A 基本是常数, 即有

$$\sigma \propto (t - t_1) = \Delta t \quad (15)$$

装药一旦完成, t 基本固定, 那么装药产生的内应力 σ 会随着环境温度的降低而增大。当 $\sigma > [\sigma]$ 时, 装药就会产生裂纹。

1.2.4 装药存放时间对 σ 的影响

由于药室上下直径不同, 装药密度各处不同, 刚装完的装药内应力较大。随着装药存放时间的延长, 炸药颗粒表面黏合剂长链分子发生蠕动滑移, 炸药颗粒发生位移, 内应力逐渐释放、变小。即有

$$\sigma \propto \frac{1}{T} \quad (16)$$

式中 T 为装药弹体存放时间, h。

综合以上分析得

$$\sigma \propto \rho \Delta t \frac{1}{Tt} \quad (17)$$

式中 Δt 为装药温度与装药弹体周围环境温度之差, °C。

1.3 距药室底部约 25 mm 处径向裂纹的原因

通过上面分析可知: 在距药室底部约 25 mm 处, 由于装药径向流动趋向作用最重, 该处 $[\sigma]$ 最小。当装药弹体存放环境温度较低时, 由于装药通过弹壁导热速率较大, 装药温度降低较快, 体积收缩率较大, 产生的 σ 较大, 当该处的 $\sigma > [\sigma]$ 时, 就会在该处产生裂纹。因该处 $[\sigma]$ 最小, 装药径向流动趋向作用最重, 故裂纹较宽、较长, 数量较多。

1.4 上弧形部径向裂纹的原因

由于螺杆冲头退至上弧形部时, 输药由大进料改为小进料, 单位质量炸药获得的冲压能增大, 装药密度增大, 冲头端面下炸药沿径向流动趋向加剧, 导致此处的 $[\sigma]$ 较小, 且 σ 较大, 当装药弹体存放环境温度较低时, σ 会进一步增大, 当 $\sigma > [\sigma]$ 时, 就会产生裂纹。因此处 $[\sigma]$ 较小, 且靠近弹壁的炸药流动趋向为轴向, 故裂纹较细、较短, 数量较少。X 射线检测证明: 在此处产生裂纹的装药在距药室底部约 25 mm 处会产生裂纹, 而在距药室底部约

25 mm 处产生裂纹的装药不一定在此处产生裂纹。

2 工艺试验

通过分析影响装药强度、装药应力的诸多因素，笔者归纳影响装药强度和装药应力的主要因素为：炸药温度 t_0 ，装药弹体存放环境温度 t_1 ，装药弹体暂存时间 T ，装药密度 ρ ，装药流动趋向作用，大、小进料速率差别程度等。

装药流动趋向作用为分步压装药固有特性，无法控制。大、小进料速率差别仅影响装药上弧形部产生的细裂纹，而该细裂纹只有在装药底部产生裂纹时才产生。只要能将底部裂纹消除，弧形部裂纹就会随之消除。

因此，只要能确定合适的因素：A，炸药温度

t_0 ；B，装药弹体暂存环境温度 t_1 ；C，装药弹体暂存时间 T ；D，装药密度 ρ ，就可增强装药强度，降低装药应力，避免装药裂纹。

为提高试验效率，笔者采用正交试验。4 个因素，选用 L9(3⁴)正交表，共做 9 次试验，每个因素可选 3 个水平，见表 2。

表 2 因素水平

水平	因素			
	炸药温度 $t_0/^\circ\text{C}$	装药弹体暂存环境温度 $t_1/^\circ\text{C}$	装药弹体暂存时间 T/h	装药密度 $\rho/(\text{g}/\text{cm}^3)$
1	16	7	24	1.74
2	18	10	48	1.71
3	21	13	72	1.69

按选用的正交表，将表 2 中的因素顺序上列，水平对号入座后，进行试验，得出试验结果见表 3。

表 3 正交试验结果

试验号	因素				试验结果 (20 发装药产品裂纹发数)
	炸药温度 $t_0/^\circ\text{C}$	装药弹体暂存环境温度 $t_1/^\circ\text{C}$	装药弹体暂存时间 T/h	装药密度 $\rho/(\text{g}/\text{cm}^3)$	
1	1	1	1	1	20
2	1	2	2	2	14
3	1	3	3	3	13
4	2	1	2	3	9
5	2	2	3	1	8
6	2	3	1	2	4
7	3	1	3	2	2
8	3	2	1	3	1
9	3	3	2	1	0
水平 1 结果之和	47	31	25	28	
水平 2 结果之和	21	23	23	20	
水平 3 结果之和	3	17	23	23	
极差 R	44	14	2	5	

由表 3 可见，按极差大小，因素的重要程度次序是：A→B→D→C。第 9 号试验结果最好，20 发产品装药均无裂纹，其工艺条件为：A₃B₃C₂D₁。从水平之和越小越好可以看出，最好的工艺条件应为：A₃B₃C₂D₂。

其装药均无裂纹，见图 3。因此 A₃B₃C₂D₂ 为最佳工艺条件。即：A₃，炸药温度 t_0 ，21 °C；B₃，装药弹体存放环境温度 t_1 ，13 °C；C₂，暂存时间 T ，48 h；D₂，装药密度 ρ ，1.71 g/cm³。

笔者采用最佳工艺条件，消除了装药裂纹。

3 批生产验证

将工艺试验找出的最佳工艺参数用于装药批生产，以验证该工艺参数是否适于批生产。工艺改进前后批生产装药裂纹情况见表 4。

表 4 某分步压装药产品工艺改进前后冬季批生产装药裂纹情况

工艺状况	装药数量	底部裂纹数量	底部裂纹率/%	弧形部裂纹数量	弧形部裂纹率/%
改进前	2 569	944	36.8	236	9.2
改进后	2 789	0	0	0	0

从表 4 看出：改进装药工艺参数后，装药 2 789 发，未出现装药裂纹现象。

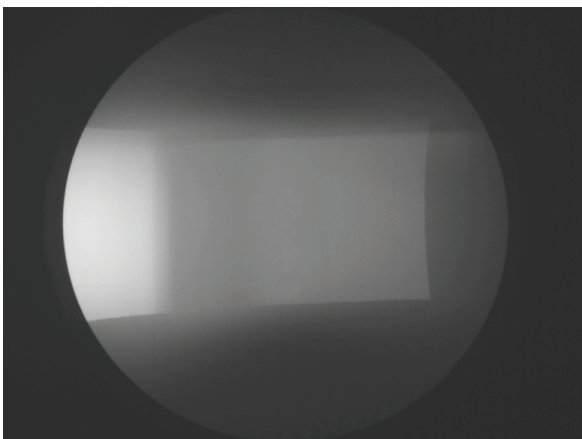


图 3 装药弹体 A 区 X 光片(无裂纹)

按 A₃B₃C₂D₂ 进行装药工艺试验，以验证其是否为最佳工艺条件。通过 50 发弹体装药工艺试验，