

doi: 10.7690/bgzdh.2013.01.023

## 球注法装药与注装法装药的工艺特性

孙阳, 孟凡军, 高君, 杨浩, 贾云鹏, 何毅, 张宏光, 郭洪斌  
(长春设备工艺研究所装药研究室, 长春 130012)

**摘要:** 针对使用注装法进行弹药装药的现状, 对注装法装药和球注法装药的工艺特性进行研究。从装药方法特点、工艺参数、装药质量和安全自动化程度等方面对球注法装药和注装法装药进行分析比较, 并根据这 2 种装药方法各自的特点及国内兵工行业发展现状, 分析其未来的发展趋势。研究结果表明: 球注法装药质量较高, 生产周期短, 操作简单, 具备自动快速装药生产能力; 注装法装药在一次装药过程中需要更换多次注装, 距离全自动化还有一定距离。因此可以得出结论, 球注法装药的工艺特性优于注装法装药。

**关键词:** 弹药装药; 工艺特性; 球注法; 注装法; 熔态炸药

**中图分类号:** TJ410.5<sup>+</sup>2 **文献标志码:** A

## Technology Characteristics of Ball Charge Injection and Loading Charge Injection

Sun Yang, Meng Fanjun, Gao Jun, Yang Hao, Jia Yunpeng, He Yi, Zhang Hongguang, Guo Hongbin  
(Explosives Charge Research Office, Research Institute of Changchun Equipment & Technology,  
Changchun 130012, China)

**Abstract:** Aiming at the current situation of loading charge injection method, the technology characteristics of loading charge injection and the ball charge injection were studied. From the charging method characteristics, process parameters, charging quality and safety degree of automation and other aspects of the ball charge injection and the loading charge injection are analyzed and compared, and according to characteristics of two charge methods and current development situation of domestic ammunition industry, analyze its future development trend. Results showed that, the ball charge injection has better quality, shorter production cycle, simple operation, and automatic rapid loading capacity; the loading charge injection in a charge cycle should replace injection equipment several times, and it is not fully automation. Therefore a conclusion can be drawn, the ball charge injection technology characteristic is better than the loading charge injection.

**Key words:** ammunition; process characteristics; ball injection; loading injection; molten explosives

### 0 引言

弹药装药是弹药生产中最关键的工艺环节, 将炸药装入弹体或将发射药装入药筒中, 并满足长期储存和作战使用的要求。目前常用的装药方法有注装法、压装法、螺旋装药法和塑态装药法。在我国弹药装药行业中, 注装法是应用较为广泛的一种装药方法, 而随着弹药大批量安全自动化生产的要求, 一种使用球注法装药的工艺技术逐步被应用推广; 因此, 笔者对其进行工艺特性分析。

### 1 注装法装药与球注法装药的装药原理

#### 1.1 注装法装药原理

炸药的注装过程是将固体炸药加热熔化, 经过一定处理后注入弹体或模具中, 冷却凝固成具有一定性能的药柱。注装法装药不受弹体(或模具)药室形状的限制, 特别是对弧形大和形状较复杂的注件

不受口径大小的限制, 可以获得结构均匀、装填密度较大的药柱。

#### 1.2 球注法装药原理

球注法装药是将熔态梯恩梯炸药或梯黑类型的悬浮炸药浇注成药球, 然后按照装药工艺规程, 先将药球装入待装的弹体后, 再将与药球同成分的液态炸药加入到待装的弹体中, 冷却凝固形成结构均匀的药柱。

### 2 装药特点比较

#### 2.1 注装法装药特点

注装法装药应用广泛, 适用于装药量大的弹种, 如鱼雷、水雷、深水炸弹、航弹、火箭弹、口径大于 155 mm 的榴弹、工兵用地雷以及一些后膛用的破甲弹等, 是一种不可缺少的重要装药方法<sup>[1]</sup>。

1) 与压装法相比, 注装法生产时不受弹体形状

收稿日期: 2012-10-21; 修回日期: 2012-11-07

作者简介: 孙阳(1982—), 男, 吉林人, 本科, 工程师, 从事自动化控制技术研究。

的限制，对于不能用压装法装药的形状复杂、药室有突起部分的弹体均可应用。而且对于生产大口径弹药的药柱，使用压药法压药时的危险性较大，使用注装法则安全性比较高；

2) 注装药也可用不同炸药按不同比例组成的悬浮液炸药进行注装，使炸药应用种类增加，保证弹药的威力；

3) 注装法装药所采用的设备比较简单，尤其在战时，可在简单设备下进行生产，满足战时大量弹药的需要；

4) 用注装法生产的弹药质量不易控制，受人为因素影响较大，护理不当时易出现废品；一旦有疵病，弹药发射时安全性受到影响；炸药熔化、结晶凝固的周期较长；炸药加热熔化时，炸药气体对人体健康影响较大等。

### 2.2 球注法装药特点

与注装法装药相比，球注法装药工艺技术具有以下特点：

- 1) 炸药结晶凝固时间显著缩短；
- 2) 消除或减小装药过程中炸药在弹体中凝固时缩孔的产生；
- 3) 注药过程的安全性和高效性。

## 3 装药工艺分析

### 3.1 熔态炸药在弹体中的结晶与凝固分析

熔态炸药的结晶过程和一般物质的结晶过程一样。熔态炸药凝固时，首先析出结晶核心，然后晶种在晶核各方面就排列起来长为晶体。生长后的晶体互相接触，当结晶间不再留有液体时凝固完成。而实践与理论均说明，当熔态炸药的过冷程度大和外来晶核的含量增大时，结晶与凝固的过程会加快。

熔态炸药在结晶过程中的能量变化  $\Delta G$  表达式如下：

$$G = -Vg + S\sigma \tag{1}$$

式中： $G$  为物系自由焓的总变化； $V$  为新相的总体积； $g$  为单位体积中，固液两相自由焓之差； $S$  为新相的总面积； $\sigma$  为单位相界表面上，固液二相的表面张力。

假设生成的新相微晶粒为球形，其半径为  $r$ ，球的数目为  $n$ ，则上述式可写为：

$$G = -\frac{4}{3}\pi r^3 ng + 4\pi r^2 n\sigma \tag{2}$$

当微晶粒半径  $r$  增至临界半径  $r_k$  时，自由焓变

化达到最大，即  $d\Delta G/dr = 0$ 。

$$\frac{dG}{dr} = -4\pi ngr_k^2 + 8\pi n\sigma r_k = 0 \quad r_k = \frac{2\sigma}{g}$$

单位体积中，固液两项自由焓之差  $g$  随过冷度增加而增大，而相界表面张力  $\sigma$  无变化。可见过冷度增大， $r_k$  减小，此时稳定的经晶核易于生成。

当使用注装法将熔态炸药注入到弹体中时，由于弹体的迅速冷却作用，过冷度较大，同时又由于与粗糙药室表面接触的影响，在熔态炸药中立即产生了大量的晶核，在靠近弹壁处形成的是细小的结晶。可是熔态炸药结晶时放出的热量加热了弹体，降低了第二层熔态炸药的冷却速度，过冷度减小，晶核生成的速度降低，形成了比较粗大的结晶。随着结晶的继续进行，结晶潜热不断放出，单体中心部位的熔态炸药过冷度更小，晶核生成速度小，生长速度也比较缓慢。由此可知，熔态炸药在弹体内或模具中，自然的凝固次序是由外及里，形成一层一层结晶密度不均匀的药柱<sup>[2]</sup>。图 1 为晶核生成数随过冷度的变化。

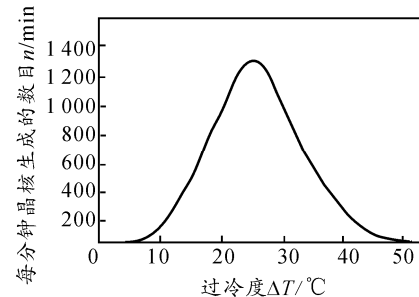


图 1 晶核生成数随过冷度的变化

球注法装药的过程是，在注药时加入预先制成的药球，在注药过程中，由于加入的药球吸收了熔态炸药的一部分热量，使弹壁传走的热量减小，可显著缩短凝固时间，各处凝固几乎同时进行，打破了由外及里的逐层顺序，形成的是结晶密度均匀的药柱。图 2 为某试验过程中，使用注装法装药和球注法装药的药柱凝固时间对比。

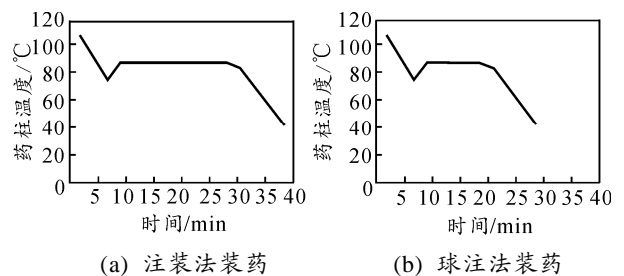


图 2 注装法装药和球注法装药的药柱凝固时间对比

### 3.2 装药质量分析

#### 3.2.1 注装法装药质量分析

如前所述, 熔态炸药在弹体中结晶凝固时首先是从弹壁处开始, 自然凝固的次序是由外及里一层一层地进行, 其中心部位的熔态炸药最后凝固。当液态变成固态时体积收缩而又尚未凝固的液体来补充, 但最后凝固的中心部位, 因无液体补充而形成集中缩孔。

缩孔的存在会造成药柱强度的降低, 这是炮弹发射时容易引起膛炸的原因之一, 因此在技术上应采取措施来防止<sup>[3]</sup>。通常采取以下措施:

1) 分次注装。将预结晶的熔态炸药分若干次注入弹体中。每一次注入后, 冷却一定时间再注第二次以保证熔态炸药自下而上的凝固次序。对于中口径弹丸, 梯恩梯注装可分为 3~4 次, 大口径弹则为 8 次之多。

2) 在弹口部装上冒口漏斗, 漏斗内的熔态炸药作为补充弹体内最后凝固部分的收缩量, 使缩孔引至冒口中。图 3、图 4 分别为弹体内熔态炸药自然凝固的情形及带有冒口漏斗分次注装的榴弹<sup>[4]</sup>。

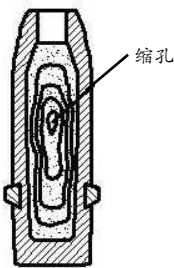


图 3 弹体内熔态炸药自然凝固的情形

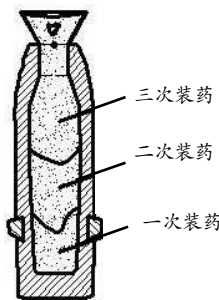


图 4 带有冒口漏斗分次注装的榴弹

此外, 当使用注装法装药时, 如果操作不当混入气体或温度变化过大, 还会造成凝固后的药柱中形成气孔及产生裂纹等后果。

#### 3.2.2 球注法装药质量分析

以往在注法装药时加入药块, 因为药块和熔态炸药的温差较大, 产生局部的热应力, 并且由于药

块形状为方形时, 使凝固过程中药块的表面张力不同, 因此使药块和熔态炸药之间结合不牢, 凝固后药柱强度低、结构不均匀, 装药密度较低。

使用药球进行注法装药时, 由于球状的外表面形状均匀, 表面张力一致, 并且一次性注入合适比例的预热药球后也会使熔态炸药凝固的收缩量得到补缩, 不易产生分散的小缩孔或疏松组织, 装药的质量得到一定的提高。表 1 列出了块装密度、普通注装密度与球注法密度的区别<sup>[5]</sup>。

表 1 块装密度、普通注装密度与球注法装药密度的区别

炸药类型	块装密度/ (g·cm <sup>-3</sup> )	普通注装密度/ (g·cm <sup>-3</sup> )	球注法密度/ (g·cm <sup>-3</sup> )
梯恩梯	1.53 ~ 1.55	1.58 ~ 1.60	1.58 ~ 1.61
梯/黑(40/60)	1.64 ~ 1.67	1.67 ~ 1.70	1.68 ~ 1.72

### 3.3 装药安全自动化程度分析

注装法装药在生产时要时刻注意以下几点:

1) 时刻注意药柱温度与室温的温差不能过大, 以防止凝固后的药柱中产生裂纹。

2) 生产时要注意搅拌不能过急, 注药速度过快卷入气体, 以防止药柱凝固时气体不能逸出而形成气孔。

3) 对于大中口径的弹体进行注装药, 要使用冒口漏斗并且分次注装, 以防止凝固后的药柱中产生缩孔; 因此, 要实现注装法装药的自动化控制, 则控制程序复杂、现场所需操作人员多。

球注法装药采用一次注药及加药球就能完成大中口径弹体的装药, 而且生产过程不需要搅拌, 药球的生产也采用模块化自动生产。因此很大程度上缩短了生产周期, 使得生产操作简单, 生产的药柱受自然及人为的影响变小, 自动化控制程度也有所提高。

## 4 发展趋势

注装法装药是我国应用最广泛的压制高能炸药的弹药装药方法之一, 但由于其自动化程度较低, 人为因素影响较大, 不利于弹药的安全自动化生产。从质量方面看, 在生产过程中要防止裂纹、气孔和缩孔的产生, 需要采用分次注装、在弹口部装上冒口漏斗、真空振动注药、加装芯子材料等方式, 生产手段复杂, 要想实现全自动化还有一定的距离。

球注药装药工艺技术能够简化操作, 并保证无缩孔、无气孔和裂纹、生产周期快、装药效率高, 可广泛应用于航弹、水雷、鱼雷和大口径火箭战斗部等大型弹药的装药。

### 5 结论

1) 球注药装药与注装法装药都能够用来注装成型炸药, 并且都具有装药相对密度较高、药柱结构均匀和可装复杂形状弹体的特点。

2) 工艺参数, 如过冷度对晶核生成的速度影响的规律基本相同, 但由于球注法装药增大了外加晶核的比例, 因此晶核生成的速度比注装法装药快。

3) 球注法装药质量较高, 一次装药就能够消除或减少装药缺陷; 注装法装药操作复杂要使用分次注装等方法来消除或减少装药缺陷。

4) 球注法装药生产周期短、操作简单, 能够实

\*\*\*\*\*

(上接第 66 页)

② 下料管道设计多余物阻隔监控设计。

为防止由于管道系统本身的螺栓、螺母等硬质多余物意外脱落后混合物料, 产生安全隐患。在双螺杆挤出机入口管道处设计相应的隔网及视频探头等措施。防止多余物进入人机筒内。

4) 防静电设计。

静电对浇注 PBX 装药的安全生产有极大危害性。双螺杆挤出机设计时, 应采取以下防静电设计。

① 混合设备不带强电。

采用不带电的液压系统和气动系统为动力驱动输入, 从源头上杜绝了强电发生意外时对含能材料及人员带来的安全隐患。

② 采用导电性能好的材料。

针对存在碰撞、摩擦有产生静电可能的零部件, 除了必须具备的结构刚度外, 选用了具有良好导电性能的材料。螺杆可选用铜质材料。铜和钢的碰撞

\*\*\*\*\*

(上接第 74 页)

### 参考文献:

[1] 负来峰, 芮筱亭, 王浩, 等. 对发射装药引起膛炸机理的讨论[J]. 兵工学报, 2007, 28(2): 153-157.

[2] 芮筱亭, 冯宾宾, 王国平. 发射装药发射安全性评估方法[J]. 兵工自动化, 2011, 30(5): 56-71.

[3] 芮筱亭, 负来峰, 沙南生, 等. 发射装药发射安全性评定技术的研究进展[J]. 兵工学报, 2005, 26(5): 690-696.

[4] 陈涛, 芮筱亭, 凌剑, 等. 发射药床动态挤压破碎模拟研究[J]. 南京理工大学学报, 2006, 30(4): 467-471.

[5] 程啟华, 李永新, 卜雄洙. 火药颗粒撞击应力测试技术[J]. 弹道学报, 2008, 20(3): 20-23.

现安全自动化生产; 注装法装药距离全自动化还有一定距离。

### 参考文献:

[1] 王志军, 尹建平. 弹药学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2005: 101-104.

[2] 陈国光, 董素荣. 弹药制造工艺学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2004: 312-314.

[3] 贺飞, 张广平, 郭有胜. 熔注炸药破碎装置的工艺技术[J]. 兵工自动化, 2011, 30(5): 84-85.

[4] 陈熙蓉, 许丽云, 陈书言, 等. 炸药性能与装药工艺[M]. 北京: 国防工业出版社, 1988: 97-107.

[5] 王儒策, 等. 弹药工程[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2002: 201-204.

与摩擦都不会产生静电, 从而使设备的安全始终处于一个较高的水平。

### 4 结论

通过对不同含能材料的安全性分析, 以及对双螺杆挤出机加工物料的特性分析, 可以认为采用同向平行全啮合双螺杆挤出机连续加工浇注PBX在安全方面是可行的。采取相应的安全性设计能够增加双螺杆挤出机连续加工浇注PBX的安全生产程度。

### 参考文献:

[1] 席海军, 牟敬海, 李荫清, 等. 双螺杆技术在发射药制造中的应用[J]. 火炸药学报, 2006, 29(1): 56-58.

[2] 何吉宇, 陈少镇, 戴健吾. 双螺杆挤压工艺中影响推进剂药料混合优度的因素[J]. 火炸药学报, 2003, 26(1): 40-42.

[3] 何吉宇, 陈少镇, 戴健吾. 双螺杆挤出过程中药料温度变化的影响因素[J]. 火炸药学报, 2000, 29(1): 40-42.

[6] 程啟华, 李永新. PVDF 传感器在火炮弹底撞击应力测试中的应用[J]. 测试技术学报, 2007, 21(1): 690-694.

[7] 赵继波, 谭多望, 张远平, 等. PVDF 计在水中爆炸近场压力测试中的应用[J]. 火炸药学报, 2009, 32(3): 1-4.

[8] Tomasz Janiczek. Analysis of PVDF Transducer Signals Stimulated by Mechanical Tension[J]. Journal of Electrostatics, 2001(51): 167-172.

[9] 李媛媛, 南海. 半密闭条件下爆炸场的温度与压力测量[J]. 火炸药学报, 2008, 31(1): 48-52.

[10] 郭炜, 俞统昌, 李正来, 等. 冲击波压力传感器灵敏度的动态校准[J]. 火炸药学报, 2006, 29(3): 62-64.

[11] A. Grégoire Antoniadis, I. McKeague, Wavelet Methods for Curve Estimation[J]. Amer Statist Assoc, 1994, 89(428): 1340-1353.