

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.05.018

# 中大口径、小长径比战斗部装药精密控制装备工艺工程化技术

高美清, 张虎成

(晋西集团 江阳化工有限公司 工艺研究所, 太原 030041)

**摘要:** 针对中大口径、小长径比战斗部在注装药过程中存在的装药质量差、密度不均匀等问题, 对悬浮类熔态炸药凝固特性进行研究, 建立了一条新的精密注药工艺中试生产线。在分析工艺流程、工艺装备及装药质量的影响因素的基础上, 对顺序凝固速度进行控制, 设计了多工位程序搅拌装置, 并进行了工艺试验及验证。该生产线已用于生产, 使用结果表明, 该技术能显著提高装药质量和装药密度, 可广泛应用于各类智能化聚能战斗部炸药装药。

**关键词:** 悬浮类; 多工位; 程序搅拌

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

## Technology of Process Engineering of Precision Control Equipment on Medium and Large Caliber and Small Slenderness Ratio Warhead

Gao Meiqing, Zhang Hucheng

(Technology Research Institute, Jiangyang Chemical Co., Ltd., Jinxi Group, Taiyuan 030041, China)

**Abstract:** Aiming at the medium caliber, large caliber, and small slenderness ratio warhead are poor in quality, uneven density and other issues in the injection process, conducts the research to the aerosol kind of molten state explosive coagulation characteristic. Establish a new precise charge experimental production line. Based on the analysis of technical process, the craft equipment and the influence factor of charge quality, carry out the control to the explosive order solidification speed, design the multi-location procedure stirring device, and carry out the engineer testing and the confirmation. This production line has used in producing. The application result shows that it can significantly improve the quality and charging density. It can be widely used in various types of intelligent shaped warhead charge.

**Keywords:** aerosol kind; multi-location; procedure stirring

### 0 引言

弹药装药是弹药生产中最关键的工艺环节, 弹药装药的质量优劣, 对弹药的安全性和威力大小都有直接的影响。在战斗部装药中, 注装装药具有压装、螺旋装药和塑态装药等其他方法不能比拟的优点。梯黑混合炸药是一种极为重要的军用炸药, 是悬浮类炸药的代, 广泛地应用于各种榴弹、破甲弹、迫弹、火箭弹以及导弹战斗部的装药上。这种悬浮液炸药的注装与 TNT 的注装基本一样, 容易产生粗结晶、缩孔、气孔和裂纹等装药疵病, 引起的原因也基本相同, 但梯黑悬浮炸药又有自己的特征, 其动力不稳定性及流变性直接影响到药柱的质量。

中大口径、小长径比弹药战斗部在注装药过程中, 由于炸药冷却凝固时间长, 固相颗粒严重沉降, 药柱中心部位存在缩孔、疏松、粗结晶等装药疵病, 造成产品密度不均匀, 一次装药合格率低, 一致性差, 炸药浪费严重。为有效地解决这一问题, 针对中大口径、小长径比弹药战斗部高能装药特点, 结

合悬浮类熔态炸药凝固机理, 进行中大口径、小长径比战斗部装药精密控制装备工艺技术研究。

### 1 研究内容

1) 针对梯黑、梯奥等悬浮类熔态炸药特性, 设计原理样机进行对比试验和验证, 初步确定采用真空混合搅拌、真空浇注和多工位程序搅拌控制凝固技术进行注装药。

2) 分析中大口径、小长径比战斗部装药特点, 对原理样机进行多次改进和创新, 进一步确定多工位程序搅拌控制凝固系统设计方案, 并通过试验确定顺序凝固速度、搅拌形式、搅拌位置和转速等重要工艺参数。

3) 设计一条柔性化生产线, 炸药的熔化、混合、浇注及冷却凝固全部采用远程计算机控制和电视监控系统, 并对各工艺参数进行实时记录, 生成历史曲线, 便于查询。

生产线采用安全、绿色环保技术, 在熔化锅、混合锅、浇注箱和冷却凝固系统内均装有自动消防

收稿日期: 2011-01-19; 修回日期: 2011-03-25

作者简介: 高美清 (1969—), 女, 山西人, 硕士, 高级工程师, 从事弹药技术、机械设计及制造研究。

雨淋系统,在投料、熔化等工位装有水浴除尘系统,废水统一进行环保处理后排放。

4) 通过工艺试验和批量试验验证,摸索一套针对悬浮类熔态炸药通用的精密注药工艺。

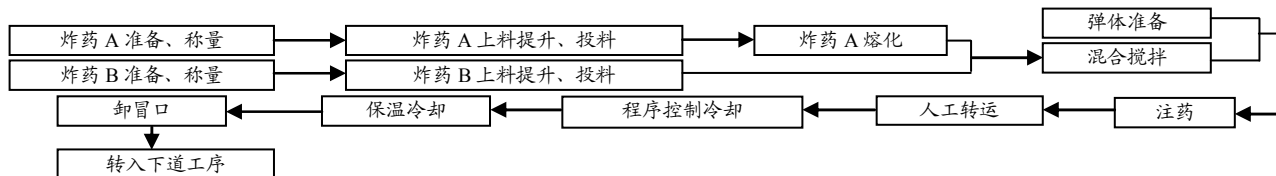


图1 生产线工艺流程

## 2.2 工艺装备

生产线主要由投料系统、熔化、混合、浇注系统、冷却凝固系统、液压系统、气动系统、真空系统、蒸汽系统、循环水系统、电气控制系统、电视监控系统等组成。其中,投料系统主要完成对炸药各组份的称量、密闭输送,按照工艺要求和配料比例将一定重量的炸药称量上料后,输送到相应的暂存料斗,为炸药的熔化、混合和浇注做准备。熔化、混合、浇注系统是将炸药A熔化,并与炸药B混合、搅拌、抽真空搅拌,制成熔态混合炸药后真空浇注至各弹体中。混合炸药在混合、浇注过程中抽真空,排出熔融在炸药中的空气。冷却凝固系统主要是对浇注后的弹体进行程序搅拌,控制冷却凝固,制成无装药缺陷、密度均匀且高密度的药柱。

## 3 影响装药质量的因素分析

当熔态炸药刚注入到弹体中时,由于弹壁的迅速冷却作用,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,因此靠近弹壁处是等轴的细小结晶,晶体结构致密。由于熔态炸药结晶时放出的热量加热了弹体,提高了弹体的温度,降低了第二层熔态炸药的冷却速度,过冷度比第一层小多了,晶核生成速度降低,形成的结晶比较粗大,晶体沿着与传热方向相反的方向,向药室中间移动长大,成为一层柱状结晶。随着结晶的继续进行,结晶潜热不断放出,而固体炸药层越来越厚,炸药的导热性又小,所以弹体中心部位的熔态炸药过冷度更小,晶核生成速度小,晶体生长线速度也比较缓慢。由于结晶凝固时间长,原有的晶核常因重力作用下沉,故药柱中心部位易产生粗大结晶,造成中心部位密度低。尤其是对于中大口径、小长径比弹药战斗部,熔态炸药的冷却凝固时间长达几小时,而炸药的结晶总是由外及里逐渐向中心冷却凝固,由于炸药的导热系

## 2 工艺流程及工艺装备

### 2.1 工艺流程

生产线的工艺流程如图1。

数很小,所以中心部位的炸药温度总是高于边部的炸药,中心部位固相颗粒(如RDX、HMX等)严重沉降,有TNT偏析现象,而且由于晶核的下沉,造成弹体上部中心部位有粗结晶现象,密度低,爆速低,影响发射后药型罩的成型。另外由于战斗部一般口部直径较小,虽然冒口内炸药没有凝固,但由于固相颗粒的沉降,堵塞了弹体口部,弹体内炸药凝固后体积收缩,冒口内的炸药不能及时进行补缩,造成弹体中心偏上部分易形成缩孔。

## 4 悬浮类熔态炸药装药精密控制技术

### 4.1 多工位程序搅拌装置的设计

为有效解决上述问题,在冷却凝固系统的设计中,对熔态炸药的顺序凝固速度进行了精密控制,设计了图2所示的多工位程序搅拌装置,该装置主要由升降机构、旋转机构、多轴传动机构和温度搅拌机构等组成。通过升降机构、旋转机构和多轴传动机构带动温度搅拌机构旋转和升降,在炸药逐层凝固的过程中,对上部的熔态炸药进行强制搅拌。

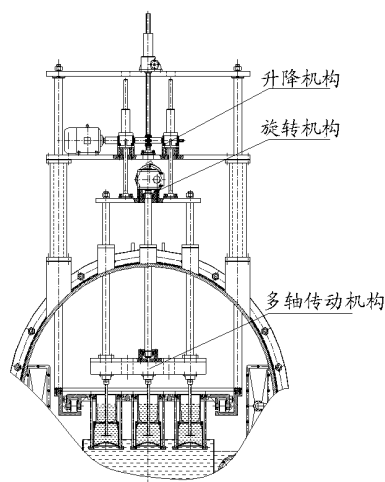


图2 多工位程序搅拌控制凝固装置示意图

该多工位程序搅拌装置具有如下特点: 1) 能够同时对多个弹体内炸药进行搅拌; 2) 搅拌机构的

提升速度与弹体内炸药的顺序冷却速度一致; 3) 搅拌机构的旋转速度和弹体下降速度可以无级调速; 4) 搅拌机构的预热温度、冷却循环水的水温和空气压力可根据要求进行设置; 5) 搅拌机构可拆卸, 根据弹体结构可更换不同形式的搅拌机构, 降低了制造成本。

炸药的熔化、混合、浇注及冷却凝固全部采用远程计算机控制和电视监控系统, 对各工艺参数进行实时记录, 并生成如图 3 所示的历史曲线, 便于查询。

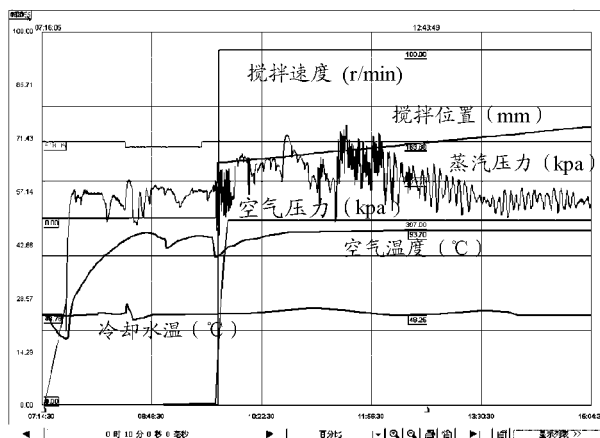


图 3 冷却凝固过程历史曲线图

## 4.2 程序搅拌控制凝固技术

将真空浇注后的弹体及冒口组件放入冷却凝固系统内, 采用弹体内外整体加压的方式, 在弹体内炸药从下至上逐层凝固的过程中, 对上部的熔态炸药进行搅拌, 使其运动流畅, 提高晶核数量, 加快中心部位炸药的热交换, 防止固相炸药和晶核的沉降, 细化晶粒, 主要表现在以下 3 个方面:

### 1) 使枝晶破碎

搅拌的作用造成药液的运动, 使药液发生相对

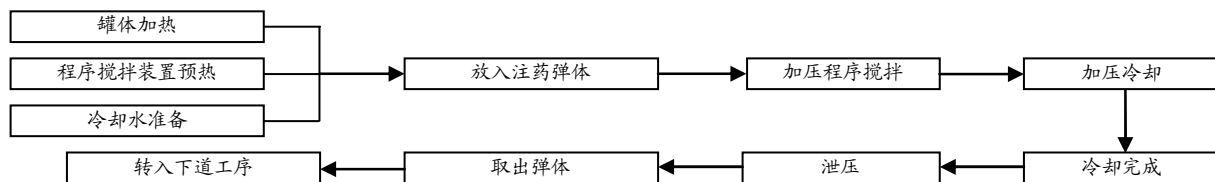


图 4 多工位程序搅拌控制凝固工艺流程

## 4.3 工艺试验及验证

通过对某战斗部的装药试验, 确定搅拌形式、搅拌位置和搅拌时间等工艺参数, 形成一套通用的新的精密注装药工艺。通过批量装药试验, 装药质量达到无缺陷、密度均匀, 药柱径向、轴向密度差  $\leq 0.01 \text{ g/cm}^3$ , 装药密度可达到该炸药理论密度的

位移。因为混合物液体存在粘性, 因此, 在液体各部分之间, 其运动速度存在着差异, 枝晶在长大过程中被运动着的液体剪断, 这样枝晶前沿或尖端被剪切而破碎, 致使枝晶成长被破坏, 被破坏了的枝晶在液体中成为新的结晶中心而使晶核数量增加。

### 2) 使枝晶熔断

搅拌所产生的扰动可以使长大过程中的枝晶周围的液体前进和后退, 造成局部的热温起伏, 而使局部温度升高, 促使某些枝晶熔断。特别是在溶质偏析系数大而产生有脖颈枝晶的状态下更易被熔断, 熔断的枝晶有利于晶核数目的增加, 即使枝晶没有被熔断, 其枝晶强度也降低了, 在液体运动的冲击下也易被剪断。

### 3) 增加游离激冷晶的数目

在搅拌作用下, 破坏了液体的薄膜, 使液体炸药与弹体内壁的润湿度增加, 因而使液体与弹内壁能很好的接触, 使弹内壁对液体的激冷作用增加, 而产生较多的晶体。这些激冷晶体在液体扰动下, 发生游离, 而形成大量的无定型晶体, 分布于液体中, 使晶核数增多。

4) 提高了液相线平均温度, 从而增加了过冷度, 使自发晶核增多。

另外, 搅拌对结晶过程也有很大的影响, 使凝固速度加快, 因为搅拌使晶核数量和晶核生长速度增加, 加快了热传递过程。在结晶过程中所放出的结晶潜热是由弹壁传走的, 所以熔态炸药的中心到边缘有一温度差, 当边部炸药降到结晶温度时, 中心药温仍较高, 搅拌使弹体内药液发生相对运动, 使中心和边部的药温差减小, 并产生大量的晶核, 加快了凝固速度。多工位程序搅拌控制凝固工艺流程如图 4。

98.7%以上, 而且一次装药合格率达到 95%以上, 同时由于工艺的改进, 减少了冒口用药, 极大地提高了炸药利用率。

图 5 为注药工艺改进前后弹体投影、CT 检测图, 图 6 为改进后弹体剖切图, 图 7 为改进前后弹体沿中心轴向剖切图, 图 8、图 9 分别为改进前后弹体上部靠近弹壁处、上部中心部位、下部靠近弹

壁处、下部中心部位药柱样件在显微镜下的微观组织对比。

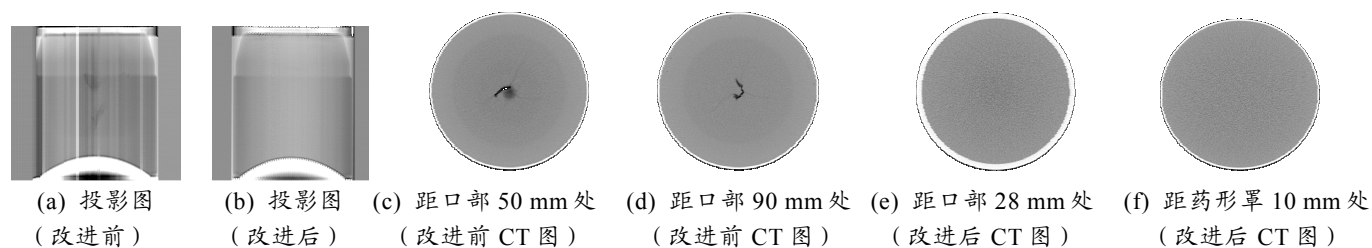


图5 改进前后弹体投影、CT检测图

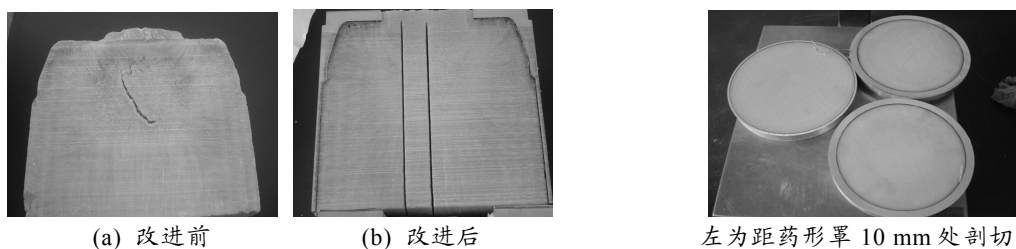


图6 改进前后弹体沿中心轴向剖切图

左为距药形罩 10 mm 处剖切图  
右上为距口部 20 mm 处剖切图, 右下为弹体中部剖切图

图7 改进后弹体剖切图

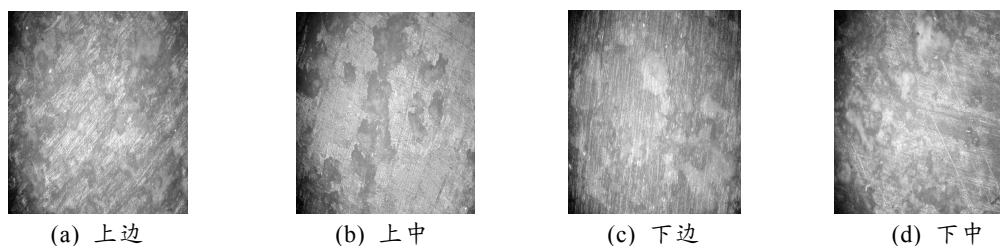


图8 改进前药柱在显微镜下的微观组织

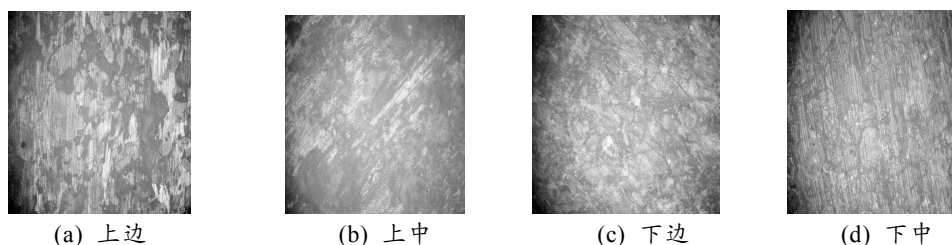


图9 改进后药柱在显微镜下的微观组织

在应用过程中,根据弹体结构和产品技术要求,适当调整搅拌时间、搅拌位置、凝固速度和压力,满足各种精密注装药弹体的需求。

## 5 结语

新的精密注药方法及装备适用于各类智能化聚能战斗部炸药装药,在装药技术上达到国内领先水平,并已用于生产。2年的推广应用结果表明:通过技术创新和工艺改进,改善了作业环境,提高了操作人员的本质安全度,减轻了工人的劳动强度;装药质量达到密度均匀,无装药疵病,一致性好,

提高了装药密度和炸药利用率。

## 参考文献:

- [1] 欧育湘. 炸药学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2006: 7-8.
- [2] 刘德润. 弹药装药工艺学[M]. 北京: 北京工业学院, 1988.
- [3] 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: 324-327.
- [4] 王志军, 尹建平. 弹药学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2005.
- [5] 肖忠良. 高装填密度与装药技术[R]. 2001.