

doi: 10.7690/bgzd.2013.01.019

## 含铝炸药装药工艺装备现状与发展趋势

张欲立<sup>1</sup>, 张偲严<sup>2</sup>, 李琳琳<sup>1</sup>, 孟凡军<sup>1</sup>, 高晓非<sup>1</sup>, 郭洪斌<sup>1</sup>, 张宏光<sup>1</sup>

(1. 中国兵器工业集团第五五研究所装药与装备技术研究室, 长春 130012;

2. 大连理工大学建筑工程学部, 辽宁 大连 116027)

**摘要:** 铝粉具有较高氧化热、来源广泛等优点, 用于含铝混合炸药, 可大幅度提高炸药爆热。笔者对含铝炸药的各种装药方法的工艺与设备、国内外现状及发展趋势进行研究。介绍压装法(分步压装法)、浇注固化法以及双螺杆捏合柔性挤压法等装药技术, 分析国内外现有技术, 以及对固态含铝炸药压装药、含铝炸药浇注固化装药及含铝炸药双螺杆挤压装药的处理方法, 并阐述了含铝炸药装药发展趋势, 提出我国在该技术领域发展重点和措施的建议。该研究可为含铝炸药装药技术的发展提供参考。

**关键词:** 含铝炸药; 装药; 工艺与设备; 发展

**中图分类号:** TJ410.5+2 **文献标志码:** A

## Current Situation and Development Trend of Aluminized Explosive Charge Technology and Equipment

Zhang Yuli<sup>1</sup>, Zhang Caiyan<sup>2</sup>, Li Linlin<sup>1</sup>, Meng Fanjun<sup>1</sup>, Gao Xiaofei<sup>1</sup>, Guo Hongbin<sup>1</sup>, Zhang Hongguang<sup>1</sup>(1. *Charging & Equipment Technology Lab, No. 55 Research Institute of China Ordnance Industries, Changchun 130012, China;*2. *Department of Infrastructure Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116027, China*)

**Abstract:** The powder has the advantages of high oxidation heat source and a wide range etc. Aluminized explosive can substantially improve the explosive heat. In this paper, it research varieties of aluminized explosive charge processes and equipments, domestic and international current situation and development trend. It introduces the press mounting method (procedure pressing load detonator method), casting solidification as well as flexible twin screw extrusion of charging technology, analyzes the domestic and foreign existing technology, as well as on solid aluminized explosive pressure charging, aluminized explosive casting solidification charge and aluminized explosive charge of twin screw extrusion processing method, and elaborated the aluminized explosive development trend, put forwards our country in this field focus on the development and suggestions. The research can provide reference for aluminized explosive charge technology development.

**Key words:** aluminized explosives; charge; technology and equipment; development

### 0 引言

含铝炸药是德国人于 1899 年首先提出的, 通过在炸药中加入铝粉来提高炸药的做功能力。由于铝粉具有氧化热较高、价格低廉、来源广泛等优点, 又具有较强的后燃效应, 目前含铝炸药已成为军用混合炸药的一个重要系列, 广泛用于对空武器弹药、水下武器弹药、对舰武器弹药以及空对地武器弹药等<sup>[1]</sup>。国内外常用的 4 种装药方法为压装法(分步压装法)、螺旋装药法、注装法和塑态装药法<sup>[2-7]</sup>。其中螺旋装药法不能装填机械感度高的炸药<sup>[8]</sup>, 塑态装药由于装药工艺尚未成熟, 存在较多毛病; 所以, 当前世界各国采用的含铝炸药分为注装型和压装型 2 类。注装型含铝炸药大多以 TNT 为载体, 再加入其他高能炸药 RDX、HMX 等制成; 压装型含铝炸药大多是高聚物粘结炸药或蜡钝感炸药中加铝粉制

成。固态含铝炸药的主要装药方法采用压装法。普通的压装法是一种古老且仍广泛应用的一种装药方法; 分步压装法是综合螺旋装药和压力装药优点发展起来的连续自动化的含铝炸药装药方法<sup>[9]</sup>; 液态含铝炸药的装药方式主要是注装法(浇注固化法), 一般用于大型弹药和弹腔形状复杂的弹种装药; 此外, 双螺杆捏合柔性挤压技术适合未来小批量、多品种的含铝炸药生产模式, 也可实现大当量连续化的含铝混合炸药混制与装药。笔者对上述各种含铝炸药装药方法的装药工艺与设备进行研究。

### 1 含铝炸药装药工艺与设备

#### 1.1 含铝炸药装药工艺

##### 1.1.1 普通压装药工艺

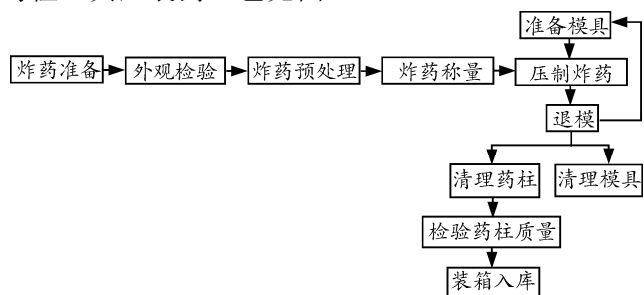
普通压装药有带壳与不带壳 2 种。带壳压装是

收稿日期: 2012-09-13; 修回日期: 2012-11-20

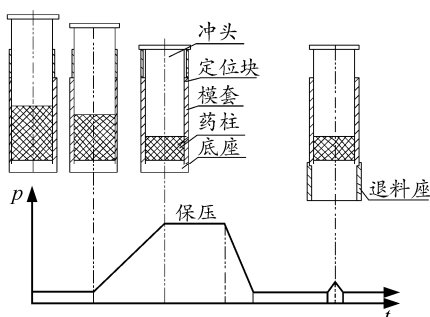
基金项目: 国防基础科研项目(C1020110001)

作者简介: 张欲立(1964—), 男, 长春人, 研究员, 从事弹药装药装配工程技术与安全自动化研究。

直接将炸药装入壳体中在压机上完成装药, 一般采用控制压机的压力进行压药。不带壳压装则是将炸药装入模具中, 在压机上压制所需形状的药柱, 再装入壳体中, 这 2 种压装药技术方法统称为压装法, 均可通过双向压力控制提高药件密度和密度均匀性, 其压装药工艺见图 1。



(a) 分装分次压药



(b) 直接压药

图 1 压装药工艺

### 1.1.2 分步压装工艺

分步压装药过程是通过每次少剂量装散药剂, 随装随压, “装一压一装一压” 交替连续完成全战斗部的药剂装填, 在冲头下面的散装药被压实, 冲头附近形成薄层密实区, 冲头也随装药面的升高而自动上移, 直至弹丸口部, 随着冲压头不断运动最终形成药柱, 装药过程完成, 工艺流程如图 2。

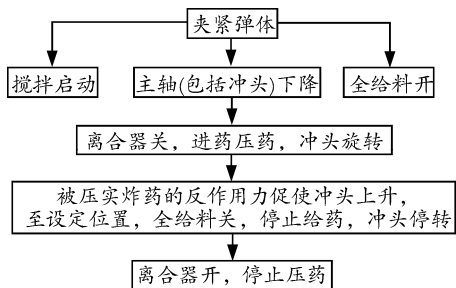


图 2 分步压装工艺流程

### 1.1.3 浇注固化工艺

注装药原理之一是将低熔点固体炸药在一定温度下熔化, 注入弹体药室中, 经过一定处理后冷却凝固成型, 如利用基本炸药 TNT、DNAN 的低熔点

特性, 经混合 RDX、HMX 等高能材料及铝粉、钝化剂后进行熔注装填。其二是在一定温度下将含能高分子粘结剂与高能炸药、配方材料均匀混制, 捏合浇注于弹体药室中, 经过一定护理冷却凝固成型, 如浇注 PBX 炸药。

由于弹种、口径大小及注药方式不同, 但主体工艺流程是相同的, 浇注固化工艺流程如图 3。

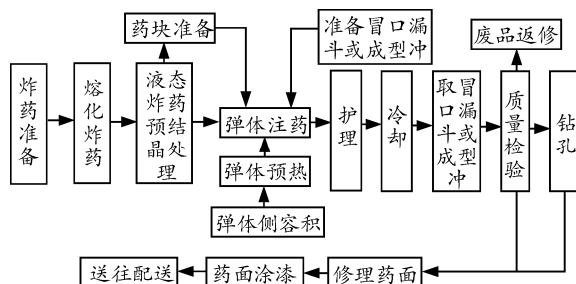


图 3 浇注固化工艺流程图

## 1.2 含铝炸药装药设备

### 1) 普通压装药设备。

普通压装药设备有 10 t、100 t、200 t、315 t、630 t、800 t、1 000 t 和 1 500 t 单向和双向施压油压机, 压力控制及模具的设计、制造质量和工艺条件对压件的质量影响很大。

### 2) 分步压装药设备。

分步压装药机是一种实现连续装压药工艺的新原理设备, 是带有反压力液压系统的压装药的机液气电集成体, 如图 4。主要由装压药机构、驱动装置、传动装置、显示装置、电气设备和气动设备 6 部分组成, 能够实现高能固态含铝炸药的安全填装。



图 4 分步压装机

### 3) 浇注固化设备。

常用的是熔注装药, 一般由熔化机、混药机、注药机、护理设备及配套的各系统设施设备构成熔注装药设备。对于粘度较高的 PBX 炸药装药, 关键设备是捏合混药机, 用于 PBX 混制, 有卧式双桨混合机(桨叶式 S 型)和立式混合机(桨叶通常作行星

运动)。目前,浇注 PBX 炸药组分混合基本使用的是立式双桨行星混合机。固化方式为热保温固化护理,一种是在烘箱内用热空气循环保温,另一种是在水浴烘箱中保温护理。

## 2 国内外含铝炸药装药工艺装备现状

### 2.1 固态含铝炸药压装药

#### 1) 普通压装药。

国外普通压装药技术已经较成熟,各种压药机的吨位已经形成系列化,相应的模具设计和装药工艺也日趋成熟。如美国的三处重要战斗部压药厂,压药机一应俱全;米兰陆军弹药厂的压药机包括 5 t、30 t、50 t、100 t、200 t、300 t、500 t、800 t 等吨位,还有 0.5~5 t 的空气压药机、30 t 的半自动油压机、20 in 的水压机;乌克兰弹药研究中心拥有 50 台压药机,从 100~800 t 不等,从静态压力获得炸药表面 20 000 psi 的压力,达到 98% 的最大相对密度,足以满足各种装药的需要。压装方法包括单冲头 500 t 压力机和多冲头高压压药机。普通压药技术已发展成熟,国外重点是提高自动化程度。欧美国家在压装药工艺技术方面,将当代数控技术与弹药装药的机理有机结合,形成了以高精度、自动化的压药设备为核心的压装药工艺技术。国内压装药技术也比较成熟,但其自动化程度仍有待提高。

#### 2) 分步压装药。

苏联装药研究所技术人员从 20 世纪五六十年代开始将螺旋装药与压装药技术结合,经过不断的探索和试验,实现了两者特点的高效、安全的分步压装技术。对乌克兰装药厂考察中发现,20 世纪 60 年代,苏联已开始应用 I 型分步压装机进行装药生产,苏联解体前,已研究了 III 型分步压装机,并以此为中心建成了自动化生产线。

2004 年,国内兵器 55 所在 III 型分步压装机消化吸收的基础上,自行研制了 FBYJ-III-I 气控逻辑型分步压装机,现已完成含铝高能炸药对某型号杀爆弹、迫榴弹、超远程弹等的装药试验,检验装药密度、装药均匀性均达到预期效果,设备性能等某些方面较进口设备优越。

### 2.2 含铝炸药浇注固化装药

由于含铝炸药释放能量的特点,在水中爆炸后的毁伤效应优于其他类型炸药,所以是世界各国水中兵器弹药首选的炸药。含铝炸药的浇注固化装药在国外军事发达国家应用十分广泛。前苏联用注装

型含铝炸药 TNT/RDX/Al/蜡装填地-空导弹战斗部、空-空导弹战斗部、感应沉底水雷和各种鱼雷、火箭弹战斗部、舰-舰导弹战斗部。德国用 RDX/TNT/Al 装填各种深水炸弹、水雷和鱼雷,用 TNT/Al 装填空投水雷及航弹。美国用 RDX/TNT/Al/CaCl<sub>2</sub>/D<sub>2</sub> 钝感剂装填导弹战斗部、深水炸弹、鱼雷、减速炸弹、低阻爆破炸弹、杀伤小炸弹及激光制导炸弹等,用 TNT/Al 装填制导滑翔炸弹、通用爆破炸弹。英国用这类炸药装填曳光榴弹。比利时用这类炸药装填反坦克地雷等<sup>[10]</sup>。欧美国家针对注装药冷却成型过程中产生的底隙、疏松、气孔、缩孔、裂纹、侧隙、脱壳等装药疵病,将数字技术、控制技术、炸药成型的核心技术有机的结合,运用精密真空熔、混成型注药技术,程控热芯棒冷却技术,系统集成及控制技术,模块化设计技术等形成了精密注装药工艺技术,有效地提高了装药能量和装药质量如密度、高均匀性、高强度等特殊要求,改善了其安全性,从而使注装炸药等高能、高固相含量炸药成为榴弹、火箭弹等压制弹药的主流工艺。国内含铝炸药的浇注固化生产一直沿用的是比较传统和相对落后的工艺,环境恶劣,生产人员较多,自动化水平比较低。而自动化程度稍高的注装药生产线大多均为全线引进技术。

### 2.3 含铝炸药双螺杆挤压装药

20 世纪 70 年代,欧洲几个国家开始应用双螺杆捏合——挤出工艺制造混合含能材料。20 世纪 80 年代,美国也开始注重研究将双螺杆技术应用于新型号含能材料的制造。与此同时,德国、瑞典等国开始研究双螺杆技术在各种含能材料上的应用,如 PBX 炸药和发射药。20 世纪 80 年代末,英国皇家军械公司开始采用双螺杆挤出技术设计的新的连续化生产线进行含能材料的生产。目前,双螺杆挤压技术已在美国、德国、法国、瑞典等国家用于含能材料的生产加工,如美国聚硫橡胶公司与 W&P 公司联合设计的 ZSK-58EH 双螺杆挤压机安装在 longhorn 陆军弹药厂,制造 PAX-4、PAX-2A 等含铝炸药;美国匹克丁尼兵工厂采用双螺杆挤压机成功地进行了 PAX-2A 高能含铝炸药装药。目前,国内已经有几家工厂建起了双螺杆挤压柔性生产线,但未得到很好的应用和发展。

## 3 含铝炸药装药发展趋势

1) 压装药技术自动化、连续化是未来固态含铝

炸药装药的主要发展方向。

以分步压装技术的推广应用以及压装药设备自动化、连续化、遥控化改造为国内固态高能含铝炸药的主要发展趋势。

2) 含铝高能炸药浇注固化工艺的自动化、连续化改造是大容量、复杂弹体形状战斗部进行大批量、快速生产的重要保障。

随着现代战争对高效毁伤的迫切需求,大容量、复杂弹体形状战斗部中高能含铝炸药的自动化、连续化、高质量装填。美、法、英等国均将浇注固化装药工艺的连续化改造作为研究重点,使其适用于大口径常规弹药等弹药的装药需求。

3) 适用于柔性制造的双螺杆挤出工艺技术为未来国内外含铝高能炸药的发展趋势。

以双螺杆挤出工艺为核心技术的含铝炸药柔性制造技术,有多功能、连续化、自动化的特点,生产设备能迅速转换产品种类和品种,能对战争、和平时期提出的某些紧急需求和要求做出快速反应。

#### 4 建议

近年来,我国含铝炸药研究与应用发展迅速,含铝炸药配方不断出新,现有装药工艺与设备技术基本满足含铝炸药装药工艺研究。但与高效率安全连续化装药、批量低成本生产还有一定距离,个别核心技术还没有突破。为此,笔者建议:

1) 实行多种工艺设备技术并举,在已有技术基础上实现创新,形成我国含铝炸药装药技术体系。

2) 在压装药技术方面,重点加强高效连续分步压装药技术的推广应用和改型研究,加强以油压机为核心的单元压药自动化研究,突破压机控制技术、模具技术和工艺措施技术。

3) 强化熔注、浇注的工艺设备技术集成,对引进生产线消化吸收在创新。重点加强熔注生产线对含能钝感炸药的工艺适应性研究,加强浇注 PBX 炸

\*\*\*\*\*  
(上接第 59 页)

#### 4 结束语

硝酸酯溶液的安全使用是固体推进剂研究者多年来不懈追求的工艺发展目标之一,也是代表着工艺安全性和先进性的关键点。在工艺技术高度发展的今天,相信通过减压微沸混合技术的应用以及工艺设备自动化的设计研究,硝酸酯溶液的混合工艺将继续朝着本质安全化、混合精细化等方向发展。

#### 参考文献:

[1] 张端庆. 固体火箭推进剂[M]. 北京: 兵器工业出版社,

药捏合浇注的自动化。

4) 全力开展双螺杆柔性捏合挤压技术研究,在借鉴军事发达国家先进技术和成功经验的基础上,突破含铝炸药的双螺杆挤出工艺与设备核心技术,研制自主知识产权的含铝炸药柔性化捏合挤出/挤压生产线,实现自动连续柔性化生产。

#### 5 结论

铝粉添加于高能炸药中,能够使炸药具有高爆热特性和更高的能量输出,含铝炸药已成为高能材料大家族的重要组成部分。含铝炸药安全连续化装填已成为提升战斗部毁伤能力的重要手段和途径。总结国内外含铝炸药装药工艺设备的研究现状和发展,提出我国含铝炸药装药建议,为深入开展含铝炸药装药研究提供现实依据,满足未来新型弹药装药发展需求。

#### 参考文献:

- [1] 王晓峰,郝仲璋. 炸药发展中的新技术[J]. 火炸药学报, 2002(4): 35-38.
- [2] 刘钧,李树奇. TNT 中杂质对装药的质量影响[J]. 火炸药学报, 2006, 29(3): 68-69.
- [3] 王志军,尹建平. 弹药学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2005.
- [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.
- [5] 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.
- [6] 王淑萍. 分步压装装药的安全性分析[J]. 火炸药学报, 2006, 29(2): 23-25.
- [7] 李琳琳,等. 弹药战斗部分步压装工艺技术先进性分析[J]. 新技术新工艺, 2009(11): 11-14.
- [8] 王儒策,等. 弹药工程[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2002.
- [9] 李琳琳,等. 分步压装药工艺及装药参数的实验研究[J]. 兵工自动化, 2009, 28(10): 33-35.
- [10] 孙业斌,许桂珍. 从炸药装药装备现状看 21 世纪发展趋势[J]. 火炸药学报, 2001(1): 69-72.
- 1991: 325-326.
- [2] 张续柱. 双基火药[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1997: 169-171.
- [3] Kirk-Othmer. Encyclopedia of Chemical Technology (second edition)[M]. John Wiley & Sons Inc., 1982: 705-715.
- [4] 国防科工委中国兵器工业总公司(兵器). 小量火药、炸药及其制品危险性建筑设计安全规范,中国兵器工业总公司部标准, WJ2470-1997[S]. 北京: 中国兵器工业总公司, 1997: 108-136.
- [5] 中国兵器工业集团公司. 火药、炸药、弹药、引信及火工品工厂设计安全规范[S]. 北京: 中国兵器工业集团公司, 1990: 39.