

doi: 10.7690/bgzdh.2017.07.008

## 金属粉末在线称量及旋压成型工艺装备技术

朱 强<sup>1</sup>, 尹二伟<sup>2</sup>, 史慧芳<sup>1</sup>, 石义官<sup>1</sup>

(1. 中国兵器装备集团自动化研究所装药中心, 四川 绵阳 621000;

2. 西北工业集团有限公司北郊分厂, 西安 710018)

**摘要:** 针对国内金属药型罩生产存在的人工参与多、生产效率低、压制质量一致性不理想等问题, 对金属粉末自动在线称量和自动旋压成型技术进行研究。介绍金属粉末在线称量及旋压设备的组成及工作原理, 对金属粉末自动在线称量技术和模具及离合旋转结构设计 2 个关键技术进行研究。研究结果表明: 该工艺装备可完成自动称量、旋压成型等主要工序, 可实现生产过程的无人化操作, 提高了产品质量和生产效率。

**关键词:** 药型罩; 金属粉末; 旋压成型技术; 自动称量

**中图分类号:** TJ410.5 **文献标志码:** A

## Metal Powder Weighing on Line and Spinning Forming Process Technology

Zhu Qiang<sup>1</sup>, Yin Erwei<sup>2</sup>, Shi Huifang<sup>1</sup>, Shi Yiguan<sup>1</sup>

(1. Center of Ammunition Charging, Automation Research Institute of China South Industries Group Corporation, Mianyang 621000, China; 2. North Branch Factory, Northwest Industries Group Co., Ltd., Xi'an 710018, China)

**Abstract:** Aiming at the problems of lots of worker participation, low work efficiency, and bad pressing consistency of Chinese metal shaped charge liner, research on metal powder weighing on line and automatic spinning forming process technology. Introduce composition and work principle of metal powder weighing on line and automatic spinning forming equipment. Research on 2 key technologies such as technology and mould of metal powder weighing on line, and clutch rotatory structure design. The research results show that: the equipment can realize automatic weighing, spinning forming, can realize unmanned operation of production process and improve product quality and work efficiency.

**Keywords:** shaped charge liner; metal powder; spinning forming technology; automatic weighing

### 0 引言

金属药型罩的生产一直采用人工辅助简易设备的生产方式。生产时工人先用天平对金属粉末进行称量, 然后将金属粉末倒入四柱旋压机的模具内进行压制。压制完成后, 工人将压机下降药型罩取出。每台设备需要 2 个工人配合完成生产, 劳动强度大, 工人直接与金属粉末长时间接触, 对人体造成伤害; 此外, 由于人工参与多, 金属粉末称量与压制不能有机结合, 生产效率较低<sup>[1]</sup>。

近年来, 一种先进的旋压成型工艺成功应用于石油射孔弹药型罩制造、军用爆破弹聚能罩制造等方向, 但是该工艺制造装备分散, 人工参与多, 压制质量一致性仍不理想。

针对国内生产现状, 笔者提出一种金属粉末在线称量及旋压成型一体化装备的解决方案, 可实现金属粉末的自动称量、装填和压制。整个生产过程实现无人化操作, 提高了生产效率。

### 1 金属粉末在线称量及旋压设备设计

#### 1.1 设备组成

整套设备主要由机械结构部分和电气控制系统

组成, 如图 1 所示。设备的物流部分采用四工位转台<sup>[2]</sup>, 4 个工位上安装 4 套旋压模具。转台周围设置有自动称粉机、C 型液压机和自动脱模下料机。压机选用市场上成熟的 C 型 200T 液压机。

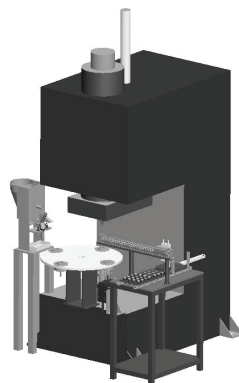


图 1 金属粉末在线称量及旋压设备

#### 1.2 工作原理

对每个专机的工作效率和整台设备的节拍进行分析, 称粉机的节拍较慢, 需设置 2 套称粉机构以满足整个生产的需求。工作流程见图 2。

设备中的压头部分安装在压机上, 4 套模具在转台上, 通过转台的旋转进行传递。当空模具运行

收稿日期: 2017-03-13; 修回日期: 2017-04-22

作者简介: 朱 强(1989—), 男, 四川人, 硕士, 助理工程师, 从事高危自动化装备研究。

到称装粉工位时，称粉机将合格质量的金属粉倒入模具中，然后进行下一发称量；转台旋转将模具传递到旋压工位，位于压机下方的离合旋转机构带动模具旋转，压机下行进行压制，保压一定时间后泄压缩回，完成旋压；转台再次旋转进入下料工序。

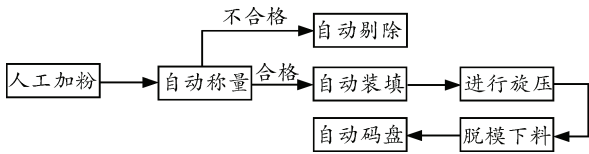


图 2 设备工作流程

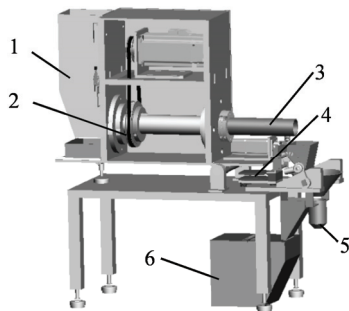
## 2 装备关键技术研究

装备中 200TC 型油压机可直接选用标准产品。转台式物流转运技术和码垛装置结构相对简单，不作详细介绍。笔者主要针对金属粉末自动在线称量技术和模具离合旋转结构 2 个关键技术点研究。

### 2.1 金属粉末自动在线称量技术

常用的金属粉末主要由 Cu、W、Bi、Ni、Al、Ti 等金属材料混合而成，粉末粒度小于 100 目，密度较大。在自然状态下流散性较好，但是当承受一定压力时流散性会降低。根据金属粉末的物理特性，常用的定容式称量因金属粉末流散性问题，易造成下料不畅；螺杆加料方式偶尔存在金属粉末堵塞螺纹状况，称量效果均不理想<sup>[3]</sup>。

笔者采用了一种转管式的加料装置，配备荷重传感器进行在线称量，具体结构如图 3 所示。



1. 料斗；2. 传动部分；3. 空心转管；4. 荷重传感器；  
5. 合格料口；6. 废料箱。

图 3 转管式称量机构

转管式称量机由料斗、传动部分、空心转管、荷重传感器、合格料口和废料箱等组成。转管一端在料筒里；另一端在称量料杯上方，转管通过步进电机驱动旋转，转管转动将料斗内的药输送至药杯内，称量料杯安装在荷重传感器上<sup>[4-5]</sup>。料斗与转管根据金属粉末的物料特性绕机架转轴转动，转管角度随之发生变动有助于下料。

转管式金属粉末称量机工作原理：人工向料斗中填满金属粉末，转管在步进电机的作用下向称量料杯中加料，荷重传感器实时在线计量料杯中的药量。自动加料采用粗-中-细三级给料<sup>[6-7]</sup>，三级给料工作过程如下：

- 1) 当金属粉末质量远小于所设定的目标质量时(一般为小于 80%)，快速投料；
- 2) 当金属粉末质量在目标质量的 80%~95% 时，中速投料；
- 3) 当金属粉末质量大于目标质量的 95% 时，慢速下料以保证精度；
- 4) 当物料达到目标质量，立刻关闭投料。因为空中还有一部分金属粉末的质量，以及执行机构电磁阀有延时，一般需要一个提前关闭的落差量，即对加药时间进行预估。

其理想状态给料曲线如图 4 所示，大、中投量决定称量的速度，小投量决定称量的精度。

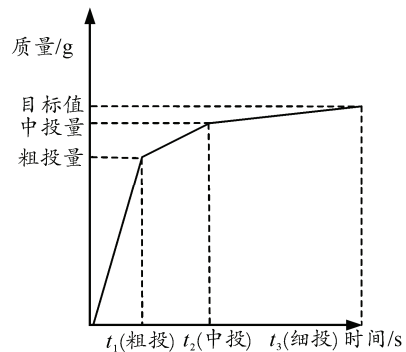


图 4 理想状态给料曲线

金属粉末动态称量系统的模型如图 5 所示，等效为一个二阶系统，系统模型由质量、弹性和阻尼器构成，其动态模型<sup>[8]</sup>为：

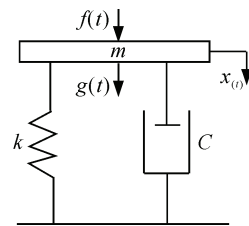


图 5 金属粉末称量系统模型

$$m \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + C \frac{dx(t)}{dt} + kx(t) = f(t) + g(t) \quad (1)$$

式中： $m$  为称体(传感器+称量筒)质量； $k$  为弹簧弹性系数； $C$  为等效阻尼常数； $f(t)$  为金属粉末的质量； $g(t)$  为金属粉末的冲力； $x(t)$  为称体相对于参考零点的位移。

在式(1)中,  $g(t)$  物料的冲击力主要与下料的高度有关, 相对于系统来说它在启动快速投料时影响较大, 但快速投料并不影响系统最后的精度, 而且冲量消失后系统会马上调整过来; 所以  $g(t)$  在本模型中可以忽略, 则式(1)可简化<sup>[9]</sup>为:

$$m \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + C \frac{dx(t)}{dt} + kx(t) = f(t) \quad (2)$$

式中当称体质量  $m$  不变时, 系统为典型的二阶时变非线性系统, 将其进行拉氏变换并转换成标准形式, 可得到系统的传递函数为:

$$G(s) = \frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{ms^2 + cs + k} = \frac{1}{k} \times \frac{1}{\frac{1}{w_0^2} s^2 + \frac{2\xi}{w_0} s + 1} \quad (3)$$

式中:  $w_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$  为系统自然频率;  $\xi = \frac{c}{2\sqrt{mk}}$  为系统的阻尼比。

采用这种称量方式, 称量目标为 70 g, 进行了 8 组试验, 每组称量 40 次。称量设备和称量控制屏如图 6、图 7 所示, 具体称量结果见图 8。

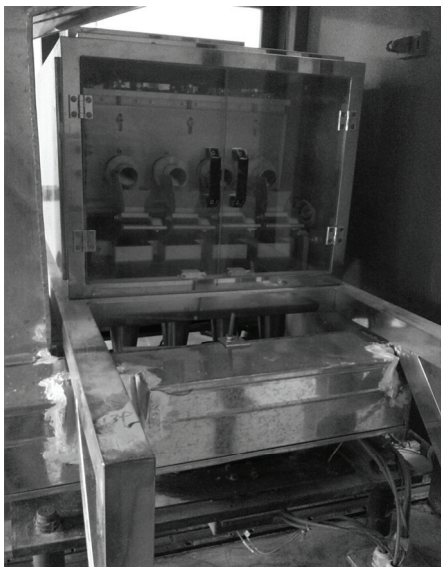


图 6 多工位转筒式设备



图 7 称量控制屏

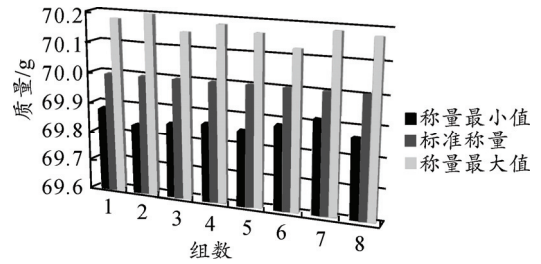
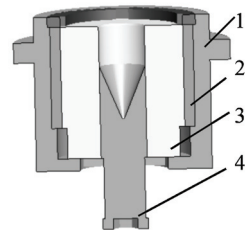


图 8 称量结果柱状图

从图 8 中可以看出: 共进行了 360 次称量, 称量最大值为 70.20 g, 最小值为 69.83 g, 平均每次称量耗时 18 s(单管称量), 可以满足金属粉末旋压成型工艺中的称量精度。

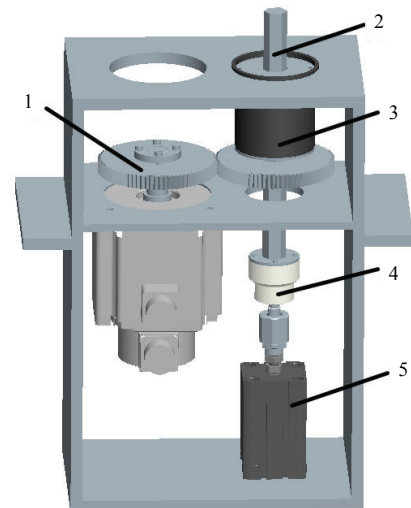
### 2.2 模具及离合旋转结构设计

传统旋压机的模具是固定安装在压机下方, 旋转机构与模芯直连, 通过电机直接驱动模芯旋转。本方案中模具在转台上循环传递, 对模具和离合旋转机构提出了更高的设计要求。模具结构见图 9。



1. 定位圈; 2. 轴瓦; 3. 模套; 4. 模芯。

图 9 旋压模具结构



1. 电机旋转机构; 2. 外六方旋转头; 3. 滚珠花键; 4. 推力轴承; 5. 顶升气缸。

图 10 离合旋转结构

模具主体结构是由模芯、模套、轴瓦和定位圈组成。为了减小模具整体尺寸, 采用轴瓦替代旋转轴承, 模芯和模套之间通过键连接, 旋转时模芯和

模套一起转动，可防止模套与模芯之间因积粉造成卡滞。在模芯的下端面设计有内六方槽，旋转时与转动离合机构的外六方头连接。

离合旋转结构主要是由电机旋转机构、外六方旋转头、滚珠花键、推力轴承和顶升气缸组成。结构见图 10。

电机通过传动机构驱动滚珠花键轴旋转，顶升气缸带动外六方旋转头伸出或缩回，伸出时与模芯下端面的内六方啮合，带动模芯和模套旋转；缩回时与模具脱离。电机选用步进电机，可准确控制转速，在离合时候慢速旋转，六方啮合好之后，电机可按照工艺要求进行旋转。

### 3 结论

金属粉末在线称量及旋压成型工艺装备集成了金属粉末自动称量、旋压、下料等工序，提高了设备的自动化水平。同时，笔者还在旋压设备中，创新性地提出了模具随动的设计思路。目前，该装备已完成样机试制，进行了小批量生产，使用效果达到预期，在金属粉末旋压成型行业具有推广价值。

\*\*\*\*\*  
(上接第 28 页)

### 4 结论

在冬季进行分步压装药生产时，适当提高装药温度，控制适当的装药密度，装药弹体在较高的环境温度下存放一定时间，可解决分步压装药产生裂纹问题，从而提高分步压装药质量，消除因装药裂纹导致射击不安全的重大隐患。

#### 参考文献:

[1] 马增祥, 卢连军, 张均法, 等. 弹药装药技术的数值研究[J]. 兵工自动化, 2015, 34(4): 92-93.

#### 参考文献:

[1] 张华诚. 粉末冶金实用工艺学[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2004: 39-69.

[2] 赵建抒, 宋艳丽, 刘锡鹏. 基于迭代学习算法的转台精确定位控制研究[J]. 兵工自动化, 2015, 34(11): 36-41.

[3] 王丙云. 粉末药型罩压制设备与工艺研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2010: 36-41.

[4] 张博, 刘锡朋, 雷林. 称重传感器精确标定研究[J]. 兵工自动化, 2014, 33(7): 89-89.

[5] 严中清, 韩银泉. 西门子 FTA 称重模块在定量加药系统中的应用[J]. 兵工自动化, 2011, 30(1): 85-86.

[6] 李全俊, 伍凌川, 黄权. 动态称量技术在发射药称重过程中的应用[J]. 兵工自动化, 2004, 26: 324-330.

[7] Halimic M, Balachandran W, Hodzic M, et al. Performance Improvement of Dynamic Weighing Systems using Linear Quadratic Gaussian Controller[C]. IMTC 2003-Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2003: 1537-1540.

[8] 李维新. 一维不定常流与冲击波[M]. 北京: 国防工业出版社, 2003: 112-169.

[9] 杨光伟. 定量包装称重控制器的设计与实现[D]. 大连: 大连理工大学, 2007: 26-35.

[2] 陈熙荣, 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: 190-209.

[3] 孙业斌, 惠君明, 曹欣茂. 军用混合炸药[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1995: 224-294.

[4] 金泽渊, 詹彩琴. 火炸药与装药概论[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1998: 148-151.

[5] 张恒志, 王天宏. 火炸药应用技术[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2010: 121-129.

[6] 吴旭红, 陈志刚. 分步压装药热力学传递理论分析[C]. 2012 年弹药自动装药技术交流研讨会论文集, 2012: 63-65.