

doi: 10.7690/bgzdh.2020.02.018

发射药自动混同设备及工艺技术

李全俊, 张博, 史慧芳, 朱强

(中国兵器装备集团自动化研究所有限公司智能制造事业部, 四川 绵阳 621000)

摘要: 为解决在发射药加工过程中, 发射药产品性能不相同的问题, 对发射药自动混同设备及工艺技术进行研究。分别介绍了圆斗式、回转型、重力式、第三联动等混同设备的组成和工作原理, 对其实用范围和优缺点进行分析, 并对不足之处提出了改进和优化思路, 对发射药的自动化混同进行论述。该研究可为发射药混同生产提供理论参考, 便于更好地控制混同过程, 提升产品的一致性。

关键词: 发射药; 混同; 工艺; 一致性

中图分类号: TJ410.5 **文献标志码:** A

Automatic Mixing Equipment and Technology of Propellant

Li Quanjun, Zhang Bo, Shi Huifang, Zhu Qiang

(Department of Intelligent Manufacture, Automation Research Institute Co., Ltd. of China South Industries Group Corporation, Mianyang 621000, China)

Abstract: To solve the problem of different properties of propellant product in the process of propellant, the automatic mixing equipment and technology of propellant are studied. The composition and working principle of mixed equipment such as circular bucket type, rotary type, gravity type and the third linkage type are introduced respectively, the paper analyzes the actual application scope, advantages and disadvantages, and puts forward the improvement ideas for the shortcomings, the automatic mixing of propellants is discussed. This study can provide a theoretical reference for the production of propellant mixture, so as to better control the mixing process and improve the consistency of products.

Keywords: propellant; confusion; process; consistency

0 引言

发射药具有多种组份, 其组份均匀性和一致性直接影响发射药的性能。由于原材料不均匀, 各工序条件和设备装置状况也不完全一致, 使各药层之间产生差异, 而间断生产导致更加不均匀, 使发射药产品的性能不尽相同。要解决这一问题, 就需要对不同批次的产品进行混同, 得到一批数量较大、弹道性能和理化性能较均匀的产品, 从而满足需要。发射药混同工序是发射药生产中必须的工艺过程。目前, 国内发射药的混同装置主要有圆斗式混同设备、回转型混同设备、重力混同设备和第三联动设备^[1]。

国外某些先进国家已实现发射药的自动化混同, 其主要工艺过程包括“混同-组合-混同”。鉴于西方国家对我国的技术封锁, 无法了解其自动化混同工艺的详细信息, 但连续化、自动化和人机隔离是其必然的发展方向。笔者主要根据混同原理的不同, 在混同流程、核心混同装置结构设计、工作原理等方面对现有混同工艺装备进行分析研究, 改进和优化了部分系统设计。

1 圆斗式混同设备

1.1 设备组成

圆斗式混同适用于多种类型的粒状发射药。设备主要由混同漏斗和 14 个接药斗构成。药粒从漏斗经调节环, 被锥形分散器分散成 14 路, 沿溜槽流入接料斗中^[2], 结构如图 1 所示。

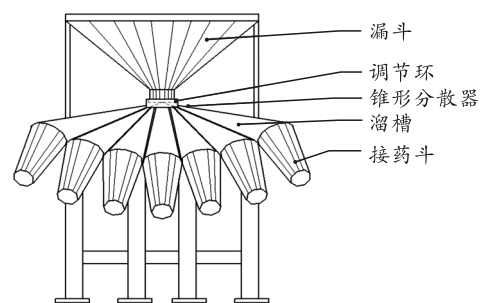


图 1 圆斗式混同设备结构

1.2 工作原理

如图 2 所示, 先把参加混同的药粒分成许多小袋, 每袋 12~20 kg。将全批药袋分成相等的两组分, 分放在混同器的两侧。

收稿日期: 2019-09-09; 修回日期: 2019-10-18

作者简介: 李全俊(1987—), 男, 陕西人, 硕士, 高级工程师, 从事高危产品自动化工艺装备研究。E-mail: swairobot@163.com。

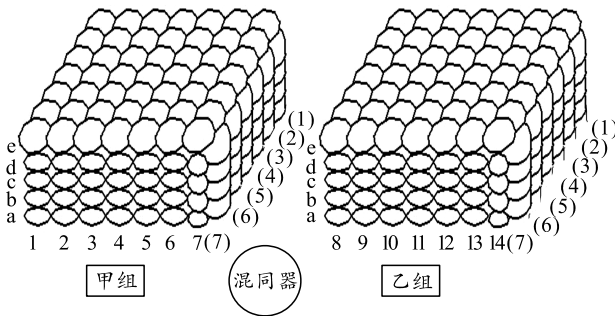


图 2 圆斗式混同设备操作

混同时，甲、乙 2 组各取 7 袋交叉倒入混同器，每袋被混同器分成 14 份，流入 14 只口袋中，这样每倒完 14 袋，就分装成新的 14 袋。甲组将混同器上 1~7 号口袋按次序放在左边最远的第(1)横排的 a 层。以后各次新的 14 袋，按同样次序叠放在第(1)横排的 b 层、c 层……。叠高最多不超过 6 层。接着放到第(2)横排，从 a 层叠放到 e 层。顺次再放到(3),(4),(5)……横排，直至所有药袋混完第 1 遍。

第 2 次混同时，须按一定的顺序取袋。有多种不同方案，其中一种是甲组在第 7 号这一行的 e 层，按(1),(2),(3)……的次序依次取 7 袋；乙组在第 14 号袋的 e 层，按照(7),(6),(5)……次序取 7 袋；交叉倒入混同器。两组都从 e 层依次取到 a 层。a 层取完后，甲组转到第 1 号这一行的 e 层，按(7),(6),(5)……次序取袋；乙组则到第 8 号这行 e 层，按(1),(2),(3)……次序取袋，也是从 e 层取到 a 层。接着甲组取第 6 号行的第 1 层，乙组取第 13 号行的第 1 层……，如此交错反向混同，直至全部药袋混完第 2 遍。

第 2 层混同中产生的新药袋，照第 1 遍混同的次序堆放。第 3 遍混同的方法同上。

如果每袋药质量都是 12 kg，经过第 1 次混同后，被分成 14 份，假定混同器能完全等分，则每袋分散后的质量是 0.86 kg，也就是新的 14 袋中，不均匀性被缩小了 14 倍，经过第 2 次混同，原先的 0.86 kg 又被等分为 14 份，分散到各袋中，每袋中原先的药质量为 0.06 kg，也就是新的药袋是由原先 196 袋中各取 60 g 药组成的。第 3 次混同，0.06 kg 又被分成 14 份，每份质量变成 4.3 g，也就是新的药袋相当于由 2 744 袋中各取 4.3 g 药组成。

由此得到通式为

$$m = W/14^n \quad (1)$$

式中： m 为混同 n 次后，每袋中含有的最初各药袋的质量； W 为每袋药质量； n 为混同次数。

可见，混同次数越多，均匀性越好。然而，这是理论计算，实际上混同设备不可能将药粒完全等

分。除了混同次数外，分散效率还与排袋、取袋方式及操作情况有关。应尽量使用同一小批、同一横排的药在下一混同不相遇。混同的均匀程度通过理化分析和弹道测实来检验。

1.3 优缺点分析及改进设计

圆斗式混同设备的优点是混同质量好、占地面积小、部分未经石墨光泽的药粒也可进行混同。缺点是劳动强度大、耗费人工多、生产过程中无法人机隔离操作。

笔者针对圆斗式混同设备的不足，增加自动送料及传输装置，通过自动控制系统远程操作，可降低劳动强度，实现人机隔离安全操作。

2 回转型混同设备

2.1 设备组成

回转型混同主要为双锥混同工艺设备，适用于经过光泽处理后的粒状发射药，主要由加料仓、双锥混同机、上下缓存料仓、伸缩式输送管、气动控制阀、分料仓系统、六工位自动分料器、真空输送系统及控制系统等组成。回转型混同工艺流程如图 3 所示。

2.2 工作原理

双锥型自动混同装置是回转型混同的核心设备，具有混合均匀、存药量小、安全高效的特点，是国外粒状发射药自动混同的主要方式之一^[3]。双锥混同工艺采用特殊几何形状设备，以一种全方位的 3 维运动混同方式，强迫粒子产生复杂运动，使机内的粒状药始终处于流动、滑动、移动、参合等混合状态，直至充分混合，实现了固体物料的无动力混合及均匀度的最大化。双锥混同装置结构如图 4 所示。

当加料仓内有物料时，启动控制开关，上缓存料仓上的真空输送机开始工作，将物料向上缓存料仓内输送，上缓存料仓内物料达到额定量时，真空输送机停止工作、气爪开启混同机上阀门，伸缩输料管插入阀口，上缓存料仓的出料阀门开启，将物料全部加入混同机。加料完成后，伸缩输料管收回，关闭气动阀门，混同机工作，上缓存料仓继续上料。混同结束后，下缓存料仓上的伸缩料斗对准混同机出料口，气爪开启混同机出料阀门，将物料加入下缓存料仓。根据产能要求开启一定数量的分料器上的真空输送机，将下缓存料仓内的物料送入分料仓，按上述循环，完成各料仓均加入混同好的物料，即

形成若干个均匀体，完成首次混同，各料仓分别向缓存仓加入一定量混同好的物料，同时上缓存料仓上的真空输送机开始工作，将物料加入混同机再次

混同，混同结束后通过下缓存料仓、分料器将混好的物料转入包装料仓，开始自动向包装箱内称重加料，直到全部装箱。

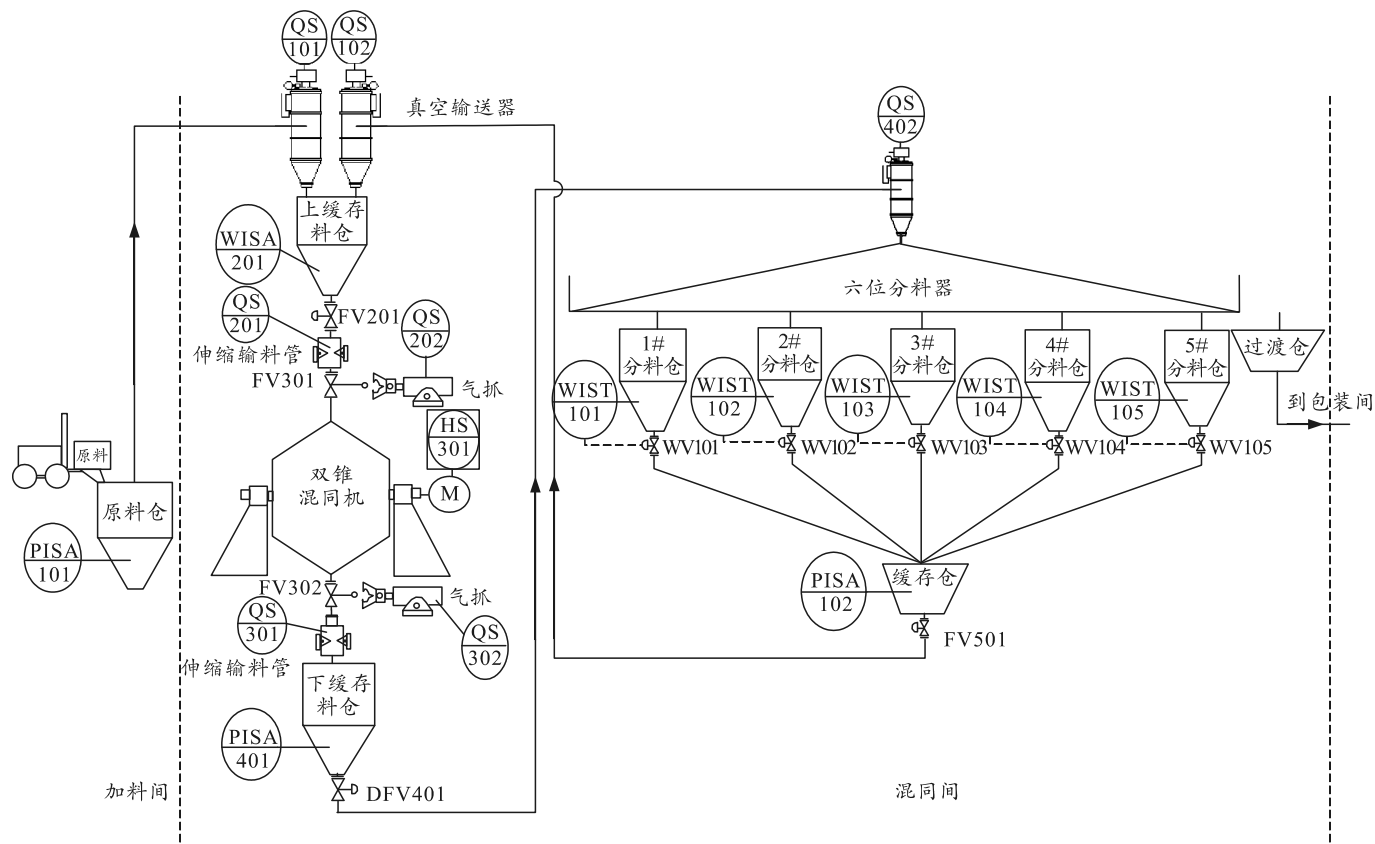


图 3 回转型混同设备流程

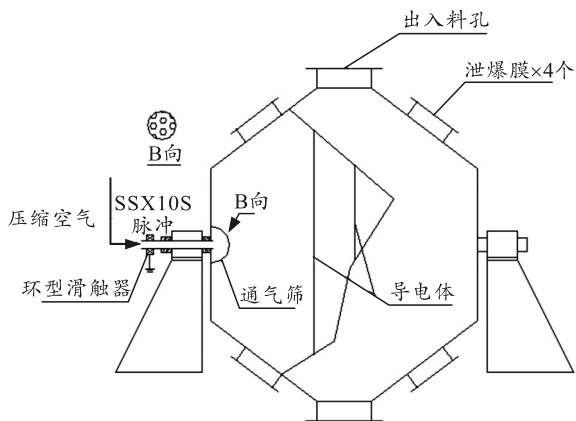


图 4 双锥混同装置结构

2.3 优缺点分析及改进设计

回转式混同设备的优点是混同效果好，混同过程易于实现无人化。缺点是混同过程属于间断式，双锥混同机每次混同物料量较少。

笔者针对回转式混同设备的不足，改进混同器的动力设计，在充分考虑安全的前提下，设计多个双锥混同机并行工作，混同均匀后依次放料，达到增强混同能力，提高了设备的利用率。

3 重力式混同设备

3.1 设备组成

重力式混同设备是连续化混同，内有许多高低不同、分散在不同位置的下降管，下降管都通到混合设备底下的混同锥体内。发射药粒靠自身重力，从不同的高度落入管内，流至混同锥体进行混同，重力混同流程如图 5 所示。

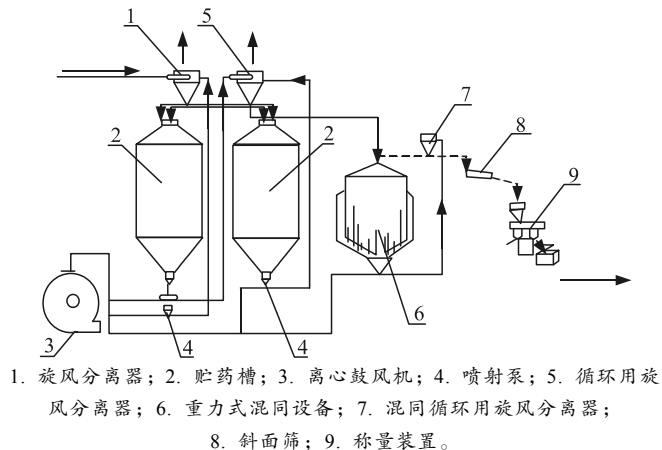
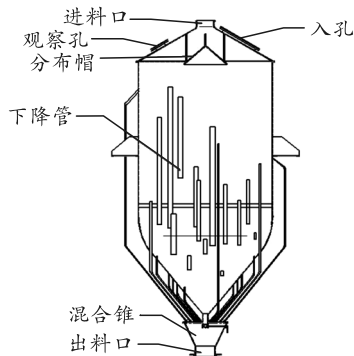


图 5 重力式混同设备流程

混合后的药粒，一部分返回混同设备，一部分进行另一个混同设备。第 2 个混同设备流出的药一部分返回第 1 个混同设备，其余为成品，进行发射药生产的下一步生产工序，即称量与包装。由上道工序结束后送来的药粒落入贮药槽内，当积累够一个批量时，用气流输送至混同设备。当设备内达到一定药量时，停止加药，由混同设备自行循环 2~4 h。混同好的一部分药品作为成品供称量包装用，另一部分继续加入药品循环混同，保持一定的回流比。

3.2 工作原理

重力式混同的原理是，分别取不同高度和部位的颗粒进行混合。通过循环造成颗粒高度和位置的重新分配，从而增大分散的概率，其混同装置结构



如图 6 所示。重力式混同的质量主要取决于：

1) 混同设备下降管的数目与分布：下降管越多，从不同高度和不同位置流入的颗粒越多，混合就越均匀，但下降管的直径受颗粒尺寸限制，不能太小。当混合设备直径一定时，下降管的最大数目也就基本确定。一定数量的下降管，分布越合理，混同效果就越好。

2) 混同设备的装量：混同设备装量越大，颗粒的分散性越大，混合效果好。但是存药量大，安全风险越高。

3) 回流比：返回量与流出总量之比叫回流比。回流比大，颗粒混同次数增多，混合效果越好。但是其必然产量低，动力消耗增大。

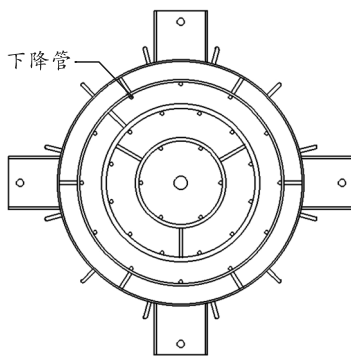


图 6 重力式混同设备结构

3.3 优缺点分析及改进设计

重力式混同设备的优点是生产过程连续化，混同过程人机隔离；缺点是物料上料采用气流循环输送，静电积累量较大，不能混同未经石墨光泽的药粒，同时大品号药粒使用重力式混同效果较差。

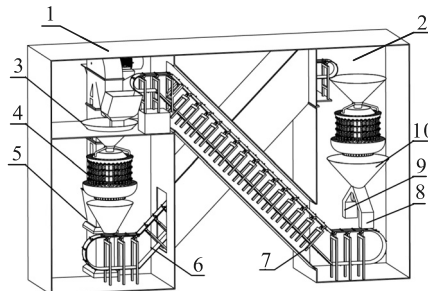
笔者针对重力式混同设备的不足，改进物料输送方式，采用惰性气体环境下的真空上料方式可解决静电积累问题，但由此造成的成本较高需要综合考虑。

4 第三联动设备

4.1 设备组成

第三联动混同设备适用于大颗粒炮用发射药的混同，主要由 2 个混同器、分料漏斗、混同装置、斜面筛、输送带等组成，其混合流程如图 7 所示。发射药由自动提升机自动提升至 1 号混同室；药粒由分料器进行均匀分离，通过 1 号混同室混同装置进行混同；混同结束后，由 2 号传送带将发射药传输至 2 混同室，再由 2 号混同室分料器进行分离混同；由回流口出料，经 1 号传输线回到 1 号混同室，

重复以上步骤，混同结束后，由包装口出料，进入发射药的称量包装工序。



1. 1 号混同器；2. 2 号混同器；3. 分料器；4. 混同装置；5. 提升机；6. 传送带；7. 斜面筛；8. 回流口；9. 包装口；10. 分料装置。

图 7 第三联动混同设备流程

4.2 工作原理

第三联动设备是根据直线混同和循环混同原理设计的。直线混同原理：从被混同的批号中各取一份，依次放在传送带上铺撒成层，再将各份送至混同漏斗中进行混合。循环混同原理：将已混合好的固体颗粒同未混合的固体颗粒进行混合，再与其他已混合好的固体颗粒进行混同，然后又同另一些没有混合过的固体颗粒进行混合，依次循环。

第三联动设备混同装置结构如图 8 所示，分料器匀速旋转，经分料过度装置、下料过度装置将发射药均匀分配在 28 格的存料仓里，28 格存料仓先后一格一格放料，实现一次混同。

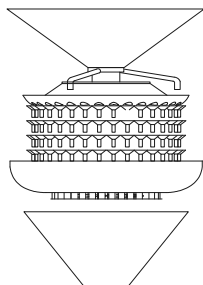


图 8 第三联动混同装置结构

4.3 优缺点分析及改进设计

第三联动设备的优点是生产过程连续化，可适应多种类型的粒状发射药，混同均匀性较好；缺点是占地面积大，现场存药量多，混同效率较低。

笔者针对第三联动混同设备的不足，加快物料传输速度，同时可在第 2 次混同循环开始时，根据药的品号和挥发份差距加入未混同的药粒，按照一定的算法和实验数据确定回流比，以提高混同效率。

5 结束语

由于在发射药加工过程中去除了溶剂与水分，

(上接第 65 页)

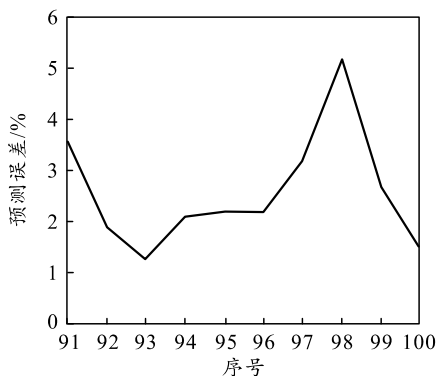


图 5 预测误差分布

3 结束语

根据上述实验分析，确定了文中研究对象 ANN 模型的预测精度，在选取了合适的输入层因素后（其中包括俯仰角、快速值、快速目标值、慢速值、补偿值），基于 BP 神经网络的 ANN 模型能够有效地预测转筒式称量方式的称量效率，且预测的平均误

干燥的发射药成品是处于生产过程中敏感最高的状态，以上 4 种混同方式通过先进的自控技术实现既定的工艺路线，形成发射药混同自动化生产线集成控制方法，控制所有阀门的开闭和电机的启停，对特定位置的特定参数进行检测，并及时进行信号反馈，可按照工艺的构想完成操作，在关键控制位置安装监视系统，中心监控室远程可视化操作^[4]。通过先进控制技术的运用，均能实现混同过程的连续化、自动化，人机隔离操作，下一步将针对混合均匀度^[5]和混同能力进行研究，达到安全、高质量、高效率混同的目的。

参考文献：

- [1] 任务正, 王泽山, 杨红梅, 等. 火炸药理论与实践[M]. 北京: 中国北方化学工业总公司, 2001: 313-316.
- [2] 一种粒状发射药混同工艺方法: 中国, ZL 200610055842. 2[P]. 国防发明专利, 2011.
- [3] 一种粒状发射药混同工艺: 中国, ZL 200910120404. 3[P]. 国防发明专利, 2013.
- [4] 张洪林, 李洪叶, 刘宝民, 等. 发射药制造过程中静电产生机理及控制措施[J]. 兵工自动化, 2018, 37(12): 77-80.
- [5] 谭敏, 邓维平, 张永明. 粒状发射药自动化混同工艺混合均匀度[J]. 四川兵工学报, 2009, 30(3): 81-83.

差为 2.6%，预测精度较高。此结果说明：BP 神经网络模型具有良好的自适应和自学习能力，ANN 算法能够应用于转筒式称量方式的称量效率预测，具有较大的实际生产指导意义。

参考文献：

- [1] 朱珠, 张博, 刘彬. 发射药自动称量技术对比及发展分析[J]. 机械与电子, 2015(4): 75-78.
- [2] 朱全松, 虞波. 一种发射药高精度计量称装药技术[J]. 四川兵工学报, 2011, 32(9): 133-135.
- [3] 薛雪东, 程旭德, 徐兵, 等. 基于 BP 神经网络的导弹故障诊断专家系统设计[J]. 四川兵工学报, 2008, 29(4): 54-56.
- [4] 谢宇, 韩保红, 段云龙. 基于神经网络 PID 控制的颗粒物料称量系统[J]. 国外电子测量技术, 2013, 32(9): 15-17.
- [5] 庄育锋, 胡晓瑾. 基于 BP 神经网络的微量药品动态称重系统非线性补偿[J]. 仪器仪表学报, 2014, 35(8): 1914-1920.