

doi: 10.7690/bgzdh.2020.09.018

# 特种粉料 2 维自动混合装置的设计与实现

杜木伟, 徐 斌, 张传森

(重庆航天机电设计院工艺装备研究所, 重庆 400039)

**摘要:** 为解决军工行业特种粉料混合均匀性差、混合效率低、安全隐患大等问题, 设计一套对特种粉料进行 2 维自动混合的装置。介绍设备的技术要求及工艺流程, 根据特种粉料的物理特性, 以冷烟弹的冷烟剂为例, 对混合装置的机械结构、气控系统及电控系统进行设计。实际应用效果表明: 该装置的粉料混合均匀性较好, 可实现自动化生产, 消除了人工操作的安全隐患。

**关键词:** 特种粉料; 自动混合; 混合均匀性

**中图分类号:** TJ410.5 **文献标志码:** A

## Design and Realization of 2D Automatic Mixing Device for Special Powder

Du Muwei, Xu Bin, Zhang Chuansen

(Technological Assembling Research Institute, Chongqing Aerospace Mechanical & Electrical Design Institute, Chongqing 400039, China)

**Abstract:** In order to solve the problems of poor mixing uniformity, low mixing efficiency and high hidden danger of special powder in military industry, a set of 2D automatic mixing device for special powder was designed. Through introducing the technical requirements and process flow, and according to the physical characteristics of the special powder, the mechanical structure, air control system and electric control system of the mixing device were designed by taking the cold smoke agent of cold smoke bomb as an example. The practical application results show that the mixing uniformity of the device is good, the automatic production can be realized, and the hidden danger of manual operation can be eliminated.

**Keywords:** special powder; automatic mixing; mixing uniformity

### 0 引言

混合是指物料在外力影响下发生运动速度和方向的改变, 各组分颗粒得以均匀分布的操作过程<sup>[1]</sup>。在军工行业, 经常涉及到一些粉料的混合, 如射孔弹聚能罩是由铜粉、铅粉、钨粉、石墨等粉料混合后压制而成, 电池极片是由氯酸钾和铁粉等粉料混合后压制而成, 冷烟弹的冷烟剂是由铜粉、石墨、碳纤维等粉料经混合后压制而成。上述粉料均为干粉, 且密度、粒度、流动性均存在较大差异, 军工行业统称为特种粉料。

基于特种粉料的敏感性, 我国对特种粉料的混合还大多采用半人工、半机械化的方式, 且混合设备均为绕单轴的旋转混合, 不仅安全隐患大、生产效率低, 而且特种粉料的混合均匀性及一致性较差, 难以满足要求。笔者提出一种针对上述特种粉料的 2 维自动混合装置, 通过绕 X、Y 方向的来回旋转对特种粉料进行交叉混合, 工人只需进行上料并取走混合均匀的粉料, 实现了混合过程的自动化, 提高了安全性及粉料的混合质量。

### 1 总体方案概述

特种粉料 2 维自动混合装置主要由混料机、上料机机械手、下料机机械手、气控系统和电控系统等组成, 笔者以冷烟弹的冷烟剂这一特种粉料为例, 对混合装置的设计过程进行介绍。冷烟剂混合前各物料的特性如表 1 所示。

表 1 冷烟剂物料特性

序号	物料名称	松散密度/ (g/cm <sup>3</sup> )	粒度/ $\mu\text{m}$	流动性
1	铜粉	0.94	6.5	较好
2	石墨	0.05	1	差
3	碳纤维	0.08	$\phi 7\mu\text{m}\times L4\text{mm}$	很差

#### 1.1 技术要求

- 1) 混料量: 7 kg;
- 2) 混合时间: 5 min;
- 3) 电机功率: 2.5 kW;
- 4) 防爆等级为 Exd II BT4, 防护等级为 IP55。

#### 1.2 工艺流程

人工往混料罐里添加按比例配好的物料, 工人

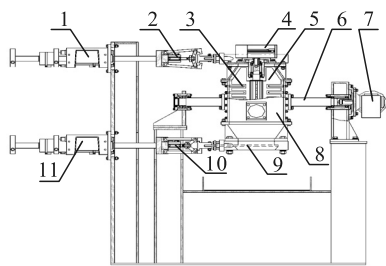
收稿日期: 2020-05-25; 修回日期: 2020-06-29

作者简介: 杜木伟(1988—), 男, 重庆人, 硕士, 工程师, 从事弹药装药自动化设备及生产线研究。E-mail: 424442066@163.com。

离开防爆间并按下启动按钮，2 维自动混合装置进入自动工作模式，具体的动作：上料机械手伸出将混料罐一端的闸板阀关闭，减速电机启动，通过驱动轴带动混料罐绕 X 轴 360° 往复转动，同时混料罐体另一端的摆动气缸启动，带动活动叶片绕 Y 轴 180° 来回转动，混料罐内的物料在 X、Y 轴 2 套旋转动力的作用下，不断地在 2 维空间进行交叉混合，并逐渐趋于各相均匀。达到设定混合时间后，混料罐停在下料工位，此时闸板阀朝下，下料机械手伸出拉开闸板阀，物料自动倒入接料盘内，倒空后闸板阀关闭，混料罐自动旋转到上料工位，此时闸板阀朝上，上料机械手伸出将闸板阀拉开，等待人工上料，一个工作循环结束。

## 2 机械结构设计

特种粉料 2 维自动混合装置的机械结构主要包括混料机及上料机械手、下料机械手。混料机主要包括混料罐，分别安装于混料罐两端的摆动气缸和闸板阀。混料罐中间部位固定连接驱动轴，驱动轴一端与减速电机连接，另一端套入轴承座内。摆动气缸的输出轴固定连接活动叶片。混料罐的内壁上还设置有固定叶片，其与活动叶片是有规则的交错啮合布置，在物料混合过程中起辅助搅拌作用，促进罐体内的物料混合更加均匀，同时也能提高混合效率。上料机械手与下料机械手结构类似，包括上(下)拉气缸及固定于上(下)拉拉气缸前端的上(下)拉合气缸，上(下)拉合气缸通过铰链式设计可对闸板阀执行夹紧动作，并在上(下)拉拉气缸作用下打开或关闭闸板阀<sup>[2]</sup>。该装置的具体结构如图 1 所示。



1. 上拉气缸；2. 上合气缸；3. 固定叶片；4. 摆动气缸；  
5. 活动叶片；6. 驱动轴；7. 减速电机；8. 混料罐；  
9. 闸板阀；10. 下合气缸；11. 下拉气缸。

图 1 混合装置结构

### 2.1 混料罐容积设计

在对混料罐进行结构设计时，需对罐体容积进行计算，以满足 7 kg 混料量的技术要求。参考人工混合均匀后的冷烟剂物理特性，其松散密度大约为

0.5 g/cm<sup>3</sup>。由于物料在罐体内应尽可能得到较强烈的扰动，而物料装满混料罐是不利于混合的，需对物料填充罐体的比例即罐体填充率进行选择。其他行业的粉料混合实验结果表明：对于圆筒混合机，罐体填充率  $Q/V$  可达到 50%，其中  $Q$  代表物料体积， $V$  代表罐体容积，由此可计算出混料罐的设计容积。

$$V=2Q,$$

$$Q=7\,000\text{ g}/(0.5\text{ g/cm}^3)=14\,000\text{ cm}^3=14\text{ L}.$$

联立上式可知：

$$V=28\text{ L}.$$

### 2.2 罐体长径设计

一般情况下，混料罐罐体的长度和直径在设计时应遵循一定比例，长度大一点，有利于延长物料的移动距离，给物料对流混合留足充分时间<sup>[3]</sup>。参照其他行业的混料机设计规则，对于圆筒混合机，罐体长径比  $L/d$  一般取 1.6，即

$$L=1.6d.$$

式中： $L$  为混料罐内腔长度； $d$  为混料罐内径。

混料罐内腔的容积为

$$V=(\pi/4)d^2L.$$

联立上两式可知：

$$d=\sqrt[3]{5V/2\pi}.$$

代入上述计算的混料罐容积，可得到：

$$d\approx 281.5\text{ mm}.$$

实际设计时将混料罐的内径取整，即  $d=280\text{ mm}$ ，则混料罐的内腔长度取整后  $L=450\text{ mm}$ 。

## 3 气控系统设计

特种粉料 2 维自动混合装置的上料机械手、下料机械手及物料绕 Y 轴的搅拌均采用气动元件来执行，因此，有必要对气控系统进行详细设计，包括耗气量计算、空压机选型等，使其满足整个气动回路的用气需求。气控系统的工作原理如图 2 所示。

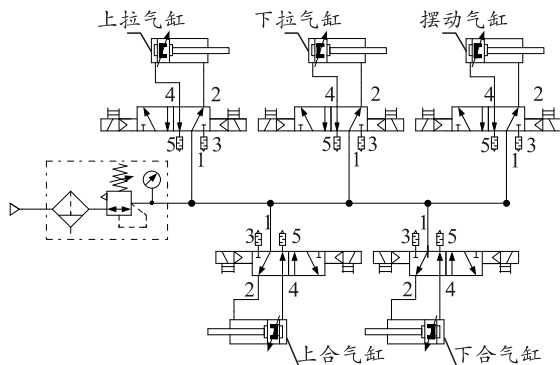


图 2 气控系统原理

### 3.1 耗气量计算

气控系统的耗气量与每个气缸有关，单个气缸有最大耗气量与平均耗气量之分<sup>[4]</sup>；因此，需对整个气控系统5个工作气缸的最大耗气量和平均耗气量进行计算。

气缸最大耗气量的计算公式为：

$$Q_m = 0.0462 \times D^2 v_m (p_0 + 0.102)。$$

式中： $Q_m$ 为气缸最大耗气量，L/min(ANR)； $D$ 为缸径，cm； $v_m$ 为气缸的最大速度，mm/s； $p_0$ 为工作压力，MPa。

气缸平均耗气量的计算公式为：

$$Q_c = 0.0157 \times ND^2 S (p_0 + 0.102)。$$

式中： $Q_c$ 为气缸平均耗气量，L/min(ANR)； $N$ 为气缸每分钟往复次数； $S$ 为气缸行程，cm。

气控系统的最大耗气量为：

$$\sum Q_m = Q_{m1} + Q_{m2} + Q_{m3} + Q_{m4} + Q_{m5}。$$

气控系统的平均耗气量为：

$$\sum Q_c = Q_{c1} + Q_{c2} + Q_{c3} + Q_{c4} + Q_{c5}。$$

本套气控系统各工作气缸的参数如表2所示，气缸的工作压力 $p_0=0.5$  MPa。

表2 气控系统参数

气缸序号	D/cm	$v_m$ /(mm/s)	N	S/cm	$Q_m$ /(L/min)	$Q_c$ /(L/min)
1	8	150	1	25.0	267.0	15.1
2	8	150	1	25.0	267.0	15.1
3	8	100	10	12.5	178.0	75.6
4	4	40	1	4.0	17.8	0.6
5	4	40	1	4.0	17.8	0.6

由表可知：本套气控系统的最大耗气量 $\sum Q_m = 747.6$  L/min；平均耗气量 $\sum Q_c = 107$  L/min。

### 3.2 空压机选型

本套气控系统由单独的空压机来提供压缩空气，而压缩空气的压力与流量是每个气缸能否成功动作的关键。空压机输出压力的计算公式<sup>[5]</sup>为：

$$p_c = p + \sum \Delta p。$$

式中： $p$ 为气动执行元件最高使用压力，MPa； $\sum \Delta p$ 为气控系统总压力损失，MPa。

空压机输出流量的计算公式为：

$$Q_p = k_1 k_2 k_3 \sum Q_m。$$

式中： $k_1$ 为漏损系数(1.15~1.5)，取 $k_1=1.3$ ； $k_2$ 为备用系数(1.3~1.6)，取 $k_2=1.3$ ； $k_3$ 为利用系数，取 $k_3=40\%$ (1 min内有40%的气缸同时动作)。

本套气控系统各气缸的最高使用压力为 $p=0.7$  MPa，气控系统的总压力损失 $\sum \Delta p=0.2$  MPa，由上述计算公式可知 $p_c=0.9$  MPa。为方便空压机选型并预留一定的安全流量，取空压机输出压力 $p_c=1.0$  MPa，空压机的输出流量 $Q_p=505$  L/min，依据输出压力和输出流量的值即可选择合适的空压机型号。

## 4 电控系统设计

如图3所示，特种粉料2维自动混合装置电控系统的结构主要由PLC、触摸屏、变频器、气缸、接近开关、磁性开关等组成，其中PLC是整个电控系统的核心，既可实现数据采集和信号处理，并通过逻辑输出信号控制执行元件的动作，又能通过PROFINET协议与触摸屏、变频器实现数据交互。

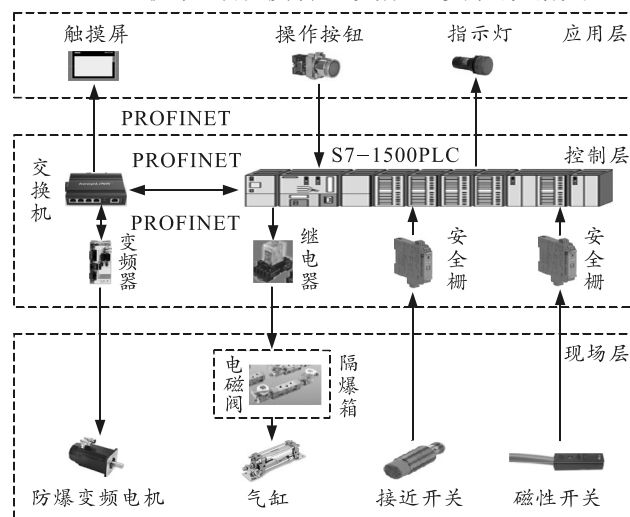


图3 电控系统原理

### 4.1 控制硬件设计

1) PLC：采用西门子S7-1500系列PLC，相较于其他系列处理速度更快、联网能力更强、诊断能力和安全性更高，无需使用其他模块即可实现运动控制功能<sup>[6]</sup>。

2) 接近开关：选用倍加福本安型号，通过配套安全栅可在防爆间内安装使用。

3) 磁性开关：选用与气缸同品牌的本安型号，通过安全栅接入PLC，信号传输速度快，确保各气缸动作的准确性。

4) 电磁阀：安装于隔爆箱内，通过铠装电缆接入防爆柜实现控制功能。

5) 变频电机：采用防爆型号安装于工作现场，变频器放置于防爆柜内，PLC通过与变频器通信控制变频电机的启停动作。

6) 触摸屏：采用西门子TP900comfort九寸触

摸屏,主页面可显示各开关与变频电机的运行状态,参数设置页面可对变频电机转速、摆动气缸转动频率等参数进行更改,报警画面可对异常运行情况进  
行报警并提示对应解决方法。

#### 4.2 PLC 程序设计

根据工艺流程编制如图 4 所示的 PLC 程序逻辑控制图,采用西门子博图软件进行 2 维自动混合装置逻辑动作编程。

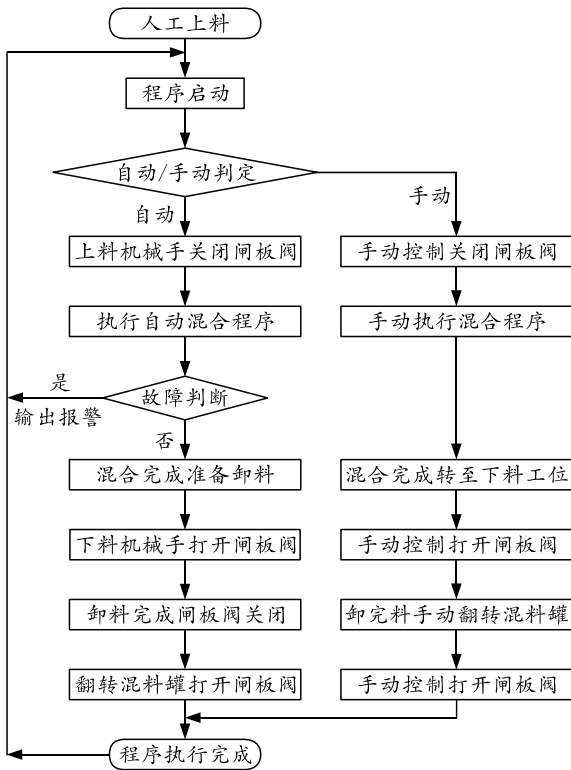


图 4 程序控制流程

本套电控系统程序有手动和自动 2 种工作模式: 1) 手动模式下执行设备调试、检修、维护和单步动作,满足单机操作功能; 2) 自动模式下完成混合装置按目标工艺流程自动化运行,确保自动工作要求。2 种工作模式互锁,可通过操作面板的转换开关进行模式切换。

#### 5 结束语

特种粉料 2 维自动混合装置已成功应用于冷烟剂的铜粉、石墨、碳纤维的自动混合过程。实际应用结果表明: 其混合效果相较于 1 维混合及人工混合方式,物料混合均匀性及一致性更好、自动化程度更高,同时避免了人工操作的安全隐患,实际应用效果较好。该装置还可应用于其他物料特性近似的特种粉料的自动混合过程。

#### 参考文献:

- [1] 叶涛. 多组分粉体混合过程的理论分析与实验研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2009.
- [2] 张东宇, 闫立凯, 刘振宇, 等. 转盘式粉末药型罩自动生产专机[J]. 兵工自动化, 2019, 38(8): 30-32.
- [3] 王云辉, 殷士海, 戴亮. 固体制剂粉体混合原理及设备概述[J]. 山东医药工业, 2001(4): 26-27.
- [4] 张士宏, 徐文灿. 重新认识气缸的最大耗气量[J]. 液压气动与密封, 2013, 33(1): 5-7.
- [5] 陈松华, 李幼春. 气动控制阀的耗气量及储气罐设计分析[J]. 石油化工自动化, 2013, 49(4): 17-19.
- [6] 王冬青. 西门子 PLC 原理及应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2012: 56-78.