

# 双旋转卧式滚筒粉料混合造粒机的设计与试验

马云海, 荣宝军, 佟金, 贾洪雷

(吉林大学地面机械仿生技术教育部重点实验室, 长春 130022)

**摘要:** 为了解决大多数粉体混合造粒设备存在对物料的针对性较强或混合设备与造粒设备分离的问题, 基于搅拌和揉搓原理, 研究开发了双旋转横卧式粉料混合造粒机, 阐述了该设备的主要结构与工作原理。以铁粉做示踪物评价了混合均匀度, 试验表明: 该试验机的混合偏差为 2.06%, 混合均匀度最高可达到 97.94%, 混合周期在 210 s 左右。利用颗粒直径散点图的线性回归曲线斜率评价了颗粒均匀度, 在试验时间 50~1050 s 内, 造粒范围为 3.89~18.78 mm; 在 250~650 s 内, 取样散点线性回归曲线的斜率在 0.0644~0.1026 之间。混合和造粒试验结果表明该设备对预混粉料适应性强、造粒范围较宽、混合均匀度和造粒均匀度较高、混合周期和造粒周期较短。

**关键词:** 双旋转卧式滚筒; 造粒机; 示踪物; 混合均匀度

**中图分类号:** S224.23; S816.34

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2008)-8-0123-04

马云海, 荣宝军, 佟金, 等. 双旋转卧式滚筒粉料混合造粒机的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2008, 24(8): 123-126.

Ma Yunhai, Rong Baojun, Tong Jin, et al. Design and test of horizontal double-rotary mixer granulator [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(8): 123-126.(in Chinese with English abstract)

## 0 引言

随着人类对环境保护的重视、生产过程自动化程度的提高以及生产工艺的特定要求, 粉状产品粒状化已成为加工技术的重要发展趋势<sup>[1-3]</sup>。甚至成为很多行业生产过程中必备的生产工艺。例如: 1) 使用颗粒复合肥料代替粉末复合肥料可以避免施肥过程的粉尘扩散, 防止肥料结块<sup>[4]</sup>; 2) 新兴发展的全混日粮造粒饲料可以避免牲畜因挑食等引起酸中毒<sup>[5-7]</sup>; 3) 通过将煤粉加工成较粗颗粒炉料, 以避免粉尘和烟雾对空气的污染, 同时还可节约煤炭<sup>[8]</sup>。目前, 许多工业生产使用的造粒设备形式多样, 如: 斜盘造粒机、造粒鼓、锥鼓造粒机、盘式造粒机、滚筒造粒机、捏合机、粉末掺合机、鼓式混料机、落幕团粒机等<sup>[9-13]</sup>。但大多数的造粒设备存在对物料的针对性比较强或混合设备与造粒设备分离的问题。本文研制了一种基于搅拌和揉搓原理、集混合造粒为一体的双旋转卧式滚筒粉料混合造粒机。

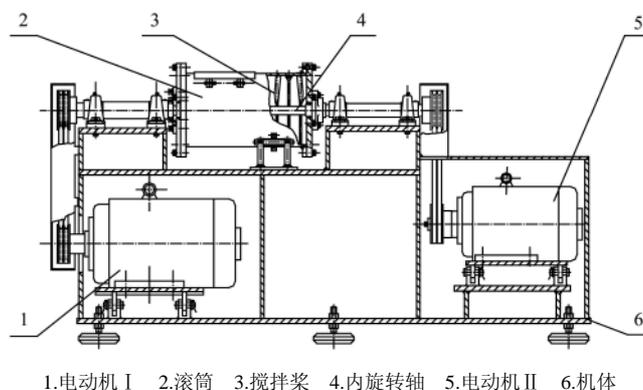
## 1 混合造粒机设计

### 1.1 总体方案

本研究拟设计制造适用于粉体物料混合和造粒于一体的设备, 混料时间在 350 s 内, 达到混合均匀(混合均匀度 >95%), 造粒时间短(800 s 内), 所造颗粒均匀的效果。

本研究确定混合造粒机结构形式采用双旋转卧式滚

筒, 为间歇生产方式。总体设计方案中考虑到混合和揉搓成粒要求的差异性, 确定滚筒和搅拌桨差速旋转同时完成混合和揉搓成粒的双重功能。两部件旋转速度均可调整, 搅拌桨形式可以更换, 滚筒内加防腐蚀镀层结构。造粒机结构示意图如图 1 所示, 其外形尺寸为 1600 mm × 455 mm × 838 mm。



1.电动机 I 2.滚筒 3.搅拌桨 4.内旋转轴 5.电动机 II 6.机体

图 1 双旋转横卧式粉料混合造粒机结构示意图

Fig.1 Structure of horizontal double-rotary mixer-granulator

### 1.2 滚筒和搅拌桨设计

滚筒和搅拌桨是混合造粒机械的主要部件, 与机体和传动机构形成机器的主体。滚筒内径为 219 mm, 长为 340 mm, 壁厚为 6 mm。装卸料门安装在筒壁上, 为避免腐蚀和增加美观, 在内外筒壁上做镀锌处理。设计和使用了两种搅拌桨, 其形式分别见图 2。两种形式的搅拌桨间隔分布于内旋转轴上, 内旋转轴和滚筒分别由不同的三相异步电动机带动。

### 1.3 调速传动系统设计

采用 6 级三相异步电动机通过带传动驱动滚筒和内旋转轴的运动。驱动滚筒的电动机 I 型号为 Y132S-6, 驱动内旋转轴的电动机 II 型号为 Y112M-6。每台电动机分

收稿日期: 2007-12-31 修订日期: 2008-07-08

基金项目: 吉林省科技厅发展计划项目(20070518); 国家科技支撑计划项目(2006BAD11A080); 国家自然科学基金资助项目(50675087); 吉林省科技发展计划重大项目(20075011)

作者简介: 马云海(1970-)男, 副教授, 主要从事仿生材料及生物摩擦学。长春 吉林大学(南岭校区)生物与农业工程学院, 130022。

Email: myh@jlu.edu.cn

别由变频器来调整滚筒和内旋转轴的速度和正反转。电动机 I 使用 VFD037M43A 型号变频器, 电动机 II 使用 VFD022M21A 变频器。

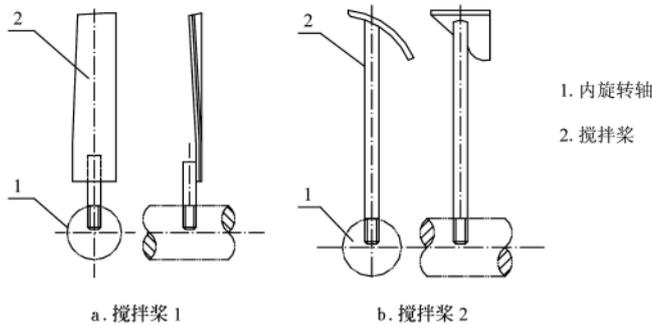


图 2 搅拌桨示意图

Fig.2 Schematic diagram of two stirrers

## 1.4 运行机理分析

### 1.4.1 混合机理

物料在滚筒和搅拌桨的同向差速旋转作用下成多方位的复合运动。其中, 搅拌桨 1 主要使物料沿着径向做对流混合; 搅拌桨 2 主要使物料沿着轴向做剪切混合, 搅拌桨 1 在搅拌轴上反向布置能有效地解决物料堆积于滚筒一侧的问题; 滚筒可使物料以特定的速度提升起来, 形成较强烈的旋转涡流。这种处于失重状态的涡流, 使物料形成了自由运动, 物料在自由运动过程中可实现扩散混合<sup>[5]</sup>。3 种混合同时作用一定时间后, 能够使物料成分趋于均匀, 并确保物料不产生偏析和再度分级现象, 使物料达到并保持较高的混合均匀度。

### 1.4.2 造粒机理

由于搅拌桨形式的不同和滚筒旋转的配合可以将滚筒内简单分割成“成粒区”和“混合区”, 两区之间交替分布, 如图 3 所示。生产过程中, 滚筒转速  $n_1$  小于搅拌桨转速  $n_2$ 。混合区为成粒区提供较小的成粒原料。成粒区为混合区提供疏松的、较大的颗粒。混合浆可使疏松的颗粒成为较小的均匀密实的颗粒和散料, 为再次成粒提供原料。混合造粒机在运行时, 滚筒和搅拌桨差速旋转, 物料和颗粒由于离心力被滚筒甩起, 同时伴随着搅拌桨的搅动可以使物料在混合区和成粒区内交替运动, 促成物料与颗粒之间的强烈混合。设备在运行中, 散料和小颗粒在成粒区形成大的颗粒, 同时大颗粒在混合区

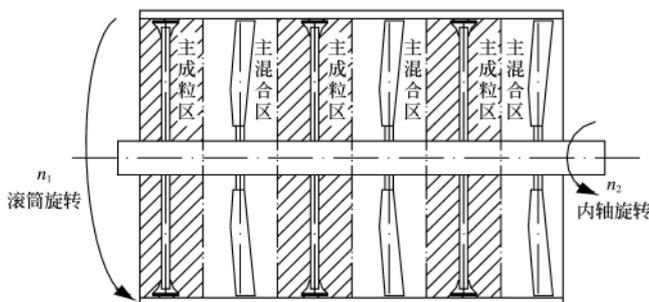


图 3 物料混合成粒过程分区示意图

Fig.3 Distributions of mixing sections and granulating sections during operation

内被撞击破碎成小颗粒, 一旦成型和破碎达到平衡就实现了颗粒的均匀。

根据上述设计方案, 制造了双旋转横卧式粉料混合造粒机, 其外形见图 4。



图 4 设计制造的混合造粒机外貌

Fig.4 Photographs of horizontal double-rotary mixer-granulator

## 2 造粒机试验

### 2.1 试验材料与方法

以摩擦材料混合造粒为例对所设计制造的造粒机进行试验研究, 采用 12% 酚醛树脂、2.4% 丁腈胶粉、23% 泡沫铁粉、11% 重钙、25% BaSO<sub>4</sub>、6% 轮胎粉、8% 人造石墨、3.5% 石油焦、3% 鳞片石墨、2.7% 摩擦粉、1% 氧化铝和 2.4% 白蛭石组合的粉体材料作为试验原料。每次试验的材料数量均为 1.2 kg, 对应的滚筒内充满系数约为 0.3。

比较普遍的测定混合均匀度的方法有甲基紫法、沉淀法、NaCl 法等<sup>[14-20]</sup>。本试验利用混料的成分中含有泡沫铁粉的特点用铁粉同时做示踪物来评价混合均匀的程度<sup>[21]</sup>。

每次试验后在滚筒内随机的 3 个点取混合料, 3 个布点在轴向内等间距分布, 径向为中心位置。用天平称量 50 g 混料后, 用磁铁吸引出铁粉, 并称量铁粉的质量, 求出铁粉所占份额  $N$ , 见公式 (1)。

$$N = \frac{W_1}{W} \times 100\% \quad (1)$$

式中  $N$ ——取样中铁粉所占份额, %;  $W$ ——总取样的质量, g;  $W_1$ ——取样中铁粉的质量, g。

评价指标为混合均匀度偏差  $\Delta$ , 见公式 (2)。

$$\Delta = \frac{|N - S|}{S} \times 100\% \quad (2)$$

式中  $S$ ——总混料中铁粉所占份额, 19.4%。

$\Delta$  越小表明混合越均匀。称量完成后, 将有磁铁粉换成无磁铁粉和其他粉料一起补充到混料中去继续试验。

造粒试验时, 每次试验后在滚筒内随机的 3 个点取

样，并将 3 次的取样人工混合，在混合样品中再随机取出 8 个颗粒，用游标卡尺分别测量其直径，取均值，用平均直径作为成粒大小的评价指标。并将每组试验样本绘制成散点图，通过线性回归比较其斜率的大小，以此来评价颗粒的均匀程度。斜率  $A$  越小颗粒越均匀。其线性回归方程见公式 (3)。

$$Y = Ax + B \quad (3)$$

式中  $A$ ——斜率， $B$ ——截距。

## 2.2 试验结果及分析

### 2.2.1 混合时间对混合效果的影响

在预试验的基础上，设定混合试验滚筒转速为 120 r/min，搅拌浆转速为 540 r/min。混合时间分别取 30、60、90、120、150、180、210、240、270、300 s。试验通过取样、称量、放回和继续试验的过程，最终得到处理后的数据，试验结果见图 5。

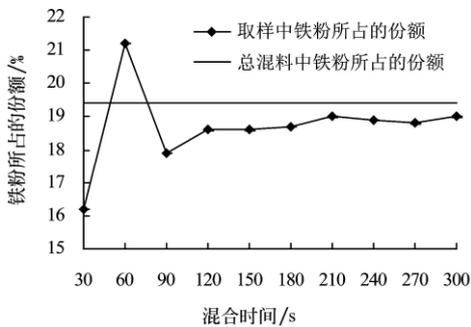


图 5 混料中铁粉所占的份额随混合时间的变化

Fig.5 Relationship between content of iron powder in mixed material and granulating time

由图 5 可以看出，粉状物料在混合时间 30~90 s 之间，取样中铁粉含量与总料中铁粉的含量偏离较大。混合时间超过 120 s 之后，随着混合时间的延长逐渐趋于均匀。至 210 s 以后，基本上保持混合均匀的状态。统计分析数据发现其最小混合偏差为 2.06%，则其混合均匀度最高可达到 97.94%。

### 2.2.2 造粒时间对造粒效果的影响

在预试验的基础上，设定造粒试验滚筒转速为 108 r/min，搅拌浆转速为 72 r/min，连桥液(水)为 450 mL，搅拌时间分别为 50、250、450、650、850、1050 s。

图 6 所示为颗粒平均直径与造粒时间之间关系的试验结果，可以看出，随着造粒时间的延长，颗粒的直径逐渐增大。在 0~650 s 时间段内增大的较缓，在 650~850 s 时间段内增大的相对较快，在 850~1050 s，颗粒直径变化不明显。在试验条件下，造粒时间 50~1050 s 时间段内的造粒范围为 3.89~18.78 mm，表明该试验机所造颗粒直径的范围较宽。另外，50 s 左右即能制造出颗粒，表明该试验机的造粒速度较快，造粒周期较短，工作效率较高。

采用线性形式 ( $Y=Ax+B$ ) 对各试验数据点进行拟合，拟合系数  $A$ 、 $B$  及拟合判定系数  $R^2$  见表 1。图 7 所示为在不同造粒时间下颗粒直径的分布(每个时间点随机选取 8 个颗粒，将选取的颗粒由小到大分别编号为 1~8)。可以

发现，在造粒时间为 50 s 和 850 s 时，颗粒的均匀程度较差，在其他造粒时间点则比较均匀。其中最均匀的点发生在 250 s 左右，该时间点的散点线性回归曲线的斜率 (0.0644) 为最小。在 250~650 s 左右取样散点线性回归曲线的斜率  $A$  在 0.0644~0.1026 之间，相对较小。分析发现针对于本试验原材料在造粒时间为 250、450、650 s 时，颗粒直径变化不大。可以确认在该试验条件下，能制造出粒径比较均匀，粒径范围跳跃较小的复合材料颗粒。

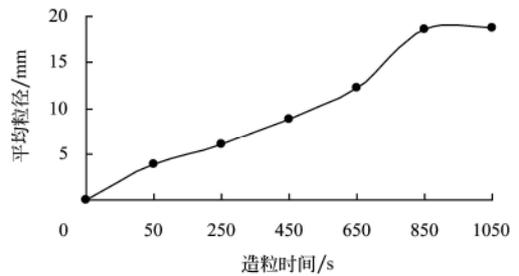


图 6 颗粒平均直径随造粒时间变化关系

Fig.6 Relationship between average diameter and granulating time

表 1 不同造粒时间内颗粒直径的线性拟合系数

Table 1 Linear fitting coefficients of particles' diameters with different granulating time

系数	50 s	250 s	450 s	650 s	850 s	1050 s
$A$	0.3302	0.0644	0.0961	0.1026	0.4619	0.1139
$B$	2.4039	5.8289	8.4314	11.868	16.526	18.271
$R^2$	0.954	0.9272	0.9572	0.8473	0.9422	0.9844

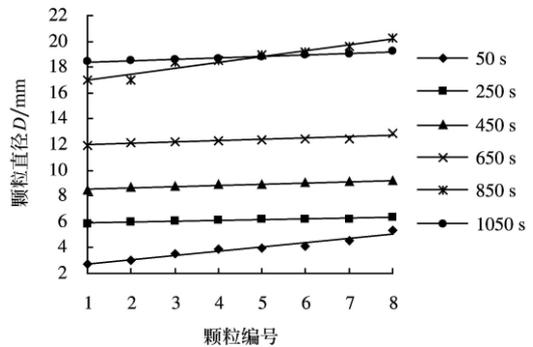


图 7 不同造粒时间内颗粒直径的分布

Fig.7 Distributions of particles' diameters with different granulating time

混合和造粒试验结果表明，双旋转横卧式粉料混合造粒机具有以下特点：1) 对预混粉料适应性强；2) 造粒范围较宽；3) 混合均匀度和造粒均匀度较高；4) 混合周期和造粒周期较短。实现了对预混粉料适应性强和混合与造粒于一体的设计目的，达到了设计要求，为滚筒横卧式混合造粒机的设计提供了参考。

## 3 结论

1) 结合混合机理和造粒机理，研究并设计了双旋转横卧式滚筒粉料混合造粒机，实现了对预混粉料适应性强

和混合与造粒于一体的设计目的。为滚筒横卧式混合造粒机的设计提供了参考。

2) 用铁粉做示踪物来评价混合均匀程度, 利用颗粒直径线性回归曲线的斜率来评价颗粒均匀度, 试验表明两种方法简单、准确、可行。

3) 混料试验得到, 该试验机的混合偏差为 2.06%, 混合均匀度最高可达到 97.94%, 混合周期约在 210 s 左右。表明设备的混合均匀度高和混合周期较短。

4) 对本试验原材料进行造粒试验得到, 在试验时间 50~1050 s 内, 造粒范围为 3.89~18.78 mm; 在 250~650 s 内, 取样散点线性回归曲线的斜率  $A$  在 0.0644~0.1026 之间。表明该设备具有造粒范围较宽, 造粒均匀度较高和造粒周期较短的特点。

#### [参 考 文 献]

- [1] 李建平, 李承政, 王天勇, 等. 我国粉体造粒技术的现状与展望[J]. 化工机械, 2001, 28(5): 295-298.
- [2] 胡跃飞. 复混肥转鼓造粒机的改造[J]. 磷肥与复肥, 2006, 21(1): 57-58.
- [3] 李建立, 刘继红, 王伟明. 柱塞挤出机的应用和发展[J]. 工程塑料应用, 2005, 33(8): 63-67.
- [4] 冯欣, 冯占雄, 李静, 等. 防止复合肥结块的两项措施[J]. 当代化工, 2001, 30(2): 104-105.
- [5] 王德福, 蒋亦元. 双轴卧式全混合日粮混合机的试验研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(4): 85-88.
- [6] 王德福, 张全国. 全混合日粮混合质量评价指标试验方法的研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(5): 126-129.
- [7] 王德福. 双轴卧式日粮混合机加工质量影响因素试验[J]. 农业机械学报, 2007, 38(9): 208-210.
- [8] 李师仑, 王京萍, 杨秀琴, 等. 潞安粉煤成型技术的研究[J]. 煤质技术, 2006, (1): 41-44.
- [9] Gavin K R, Amol M N, Agba D S, et al. Direct measurement of surface granular temperature in a high shear granulator[J]. Powder Technology, 2008, 182(2): 211-217.
- [10] Rahmanian N, Ghadiri M, Ding Y. Effect of scale of operation on granule strength in high shear granulators[J]. Chemical Engineering Science, 2008, 63(4): 945-923.
- [11] Ng B H, Kwan C C, Ding Y L, et al. Solids motion in a conical frustum-shaped high shear mixer granulator[J]. Chemical Engineering Science, 2007, 62(3): 756-765.
- [12] Schaafsma S H, Marx T, Hoffmann A C. Investigation of the particle flow pattern and segregation in tapered fluidized bed granulators[J]. Chemical Engineering Science, 2006, 61(14): 4467-4475.
- [13] Gabriel I T, Karen P H, Oyabo O I, etc. Stress measurements in high-shear granulators using calibrated "test" particles: application to scale-up[J]. Powder Technology, 2004, 140(3): 217-227.
- [14] 任广跃, 王红英, 于庆龙. 卧式混合机的混合机理、结构性特点及发展前景分析[J]. 饲料工业, 2003, 24(3): 6-8.
- [15] 苏兰利, 李俊凡, 王居强. 几种测定配合饲料混合均匀度方法的比较[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2007, (12): 50-51.
- [16] 王德福, 张建军. 双轴全混合日粮混合机的试验研究[J]. 中国农业大学学报, 2008, 13(1): 85-88.
- [17] 何明霞, 马英, 王康, 等. 新型小型高速混合制粒机的设计[J]. 医药工程设计, 2007, 28(1): 54-56.
- [18] 蔡洪涛. 数字图像处理技术在混合效果测试中的应用[J]. 装备制造技术, 2007, (4): 82-83.
- [19] Léonard G, Bertrand F, Chaouki J, et al. An experimental investigation of effusivity as an indicator of powder blend uniformity[J]. Powder Technology, 2008, 181(2): 149-159.
- [20] 李春丽, 孙诗兵, 田英良, 等. 甲基紫法表征干粉砂浆混合均匀度的探讨[J]. 建筑节能, 2007, 35(6): 29-31.
- [21] 周粉富, 沈卫. 用铁粉示踪物测定配合饲料混合均匀度的简易方法[J]. 饲料工业, 1998, 19(6): 20-21.

## Design and test of horizontal double-rotary mixer granulator

Ma Yunhai, Rong Baojun, Tong Jin, Jia Honglei

(Key Laboratory for Terrain-Machine Bionics Engineering (Jilin University), Ministry of Education, Changchun 130022, China)

**Abstract:** In order to resolve the problems that the most of mixer granulators had the stronger pertinence to materials or mixing equipments and granulators were separated, the horizontal double-rotary mixer granulator was developed based on the stirring and rubbing principles. The main structure and working principle were expounded. In the experiments, iron powder was used as the tracer to evaluate the mixing uniformity. The mixed deviation of the tester was 2.06%, the maximum mixing uniformity could attain 97.94%, when the mixed period was around 210 seconds. The mixed uniformity was evaluated by the curvature of linear regression curve with the particle diameter scatter diagram. When test time was between 50 and 1050 seconds, the granular range was from 3.89 to 18.79 millimeters. When mixed time was between 250 and 650 seconds, the slope of the linear regression curve was between 0.0644 and 0.1026. The mixing and granulating tests show that the horizontal double-rotary mixer granulator has strong adaptability to the pre-mixing powder, and has wider range of diameters of granule, higher mixing uniformity and granule uniformity, and shorter mixing cycle and granulating cycle.

**Key words:** horizontal double-rotary roller; mixer granulator; tracer; mixing uniformity