

文章编号:1673-0062(2018)02-0092-05

## 基于 ANSYS CFX 烟花开苞药滚挤造粒过程的仿真分析

杨 瑞, 欧阳八生\*

(南华大学 机械工程学院, 湖南 衡阳 421001)

**摘要:**针对烟花开苞药造粒的特殊性,文章分析了滚挤造粒的原理和结构特点,探究挤压角度对滚挤造粒效率的影响;通过 SolidWorks 建立三维流体模型,利用 ANSYS CFX 软件对滚挤造粒过程进行仿真分析,探讨了挤压角度对滚挤造粒效率的影响.仿真结果表明:挤压角度在  $65^{\circ} \sim 70^{\circ}$  时,造粒效率较高,这为造粒设备的优化设计提供了参考依据.

**关键词:**开苞药;滚挤造粒;挤压角度;ANSYS CFX 有限元分析

**中图分类号:**TH122      **文献标志码:**A

## Simulation Analysis of Rolling Extrusion Granulation Process of Fireworks Based on ANSYS CFX

YANG Rui, OUYANG Ba-sheng\*

(School of Mechanical Engineering, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China)

**Abstract:** In the light of the particularity of fireworks bract medicine granulation, this paper analyzes the principle and structural characteristics of rolling extrusion granulation, and explains the influence of extrusion angle on the efficiency of rolling extrusion granulation; The three-dimensional fluid model was established by SolidWorks, and the rolling extrusion granulation process was simulated and analyzed by ANSYS CFX software. the influence of extrusion angle on the rolling extrusion granulation efficiency was discussed. the simulation results showed that the extrusion angle was  $65^{\circ} \sim 70^{\circ}$ . The granulation efficiency is high, which provides a reference for the optimization design of granulation equipment.

**key words:** bract medicine; rolling granulation; extrusion angle; Ansys CFX finite element analysis

收稿日期:2018-01-30

作者简介:杨 瑞(1993-),女,硕士研究生,主要从事于先进制造技术方面的研究. E-mail:946619891@qq.com.

\* 通讯作者:欧阳八生, E-mail:bsouyang@163.com

## 0 引言

据资料统计,烟花厂 43.59% 爆炸事故是由开苞药混药工序引起<sup>[1]</sup>.传统的烟花开苞药是由人工将多种超细(粒径 $<74\ \mu\text{m}$ )的化工原料直接手工搅拌混制而成的具有爆炸性的混合物,危险性极大.因此,将粉末状的开苞药制成颗粒状的微粒(30~40 目)来降低粉尘浓度、静电感度和摩擦感度,以改变其物理特性.由于烟花开苞药与火药和亮珠存在很大的差异性<sup>[2-3]</sup>,除了粒度大小<sup>[4-5]</sup>差异较大外,其静电感度、摩擦感度、起始反应温度等物理特性差别也很大,现有造粒方法<sup>[6-11]</sup>几乎不能直接应用于烟花开苞药的造粒生产.我们分析了滚挤造粒的原理和结构特点,说明挤压角度对滚挤造粒效率的影响,然后通过 SolidWorks 建立三维流体模型,再利用有限元 ANSYS CFX 软件<sup>[12]</sup>对滚挤造粒过程进行仿真分析,探讨挤压角度对滚挤造粒效率的影响,为后续滚挤造粒机的优化设计提供了理论参照,有利于烟花制造业的自动化、智能化和安全生产.

## 1 滚挤造粒机的工作原理及相关参数

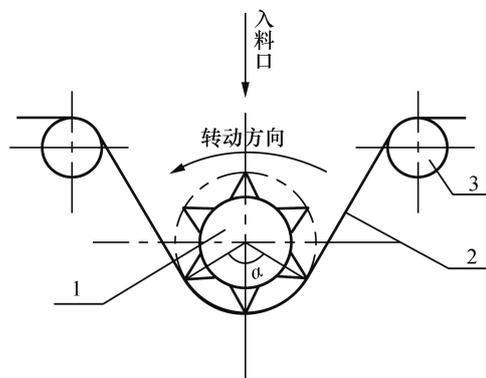
### 1.1 滚挤造粒原理

滚挤造粒的工作原理如图 1 所示<sup>[13]</sup>,造粒组件主要由滚轮及齿板组件 1、筛网 2、张紧轮 3 等部分组成.先调节两张紧轮 3 使筛网 2 成张紧状态,并使筛网与滚轮及齿板组件相互包裹成一合适包角  $\alpha$ ,形成一包容空间,原料经添加适量胶溶液混合搅拌成半湿料后,从入料口进入造粒组件容积内,由于滚轮 1 正反间断式来回旋转,使得滚轮的齿板对物料产生挤压(如图 2 所示),然后将物料从筛网 2 中挤出,形成颗粒状物料,再经后续干燥等工序,完成造粒.

### 1.2 挤压角度 $\beta$ 对滚挤造粒效率的影响

采用滚挤造粒方法制备开苞药微粒的过程中,造粒设备的相关参数都会影响造粒的效率,比如网筛的孔径的大小、滚轮的转速、挤压角度  $\beta$  等.其筛网的孔径的大小可通过更换筛网来调节,滚轮的转速可通过变频调节电机的转速,挤压角度  $\beta$  则需在设计时确定其大小.因此,我们主要分析挤压角度  $\beta$  对滚挤造粒效率的影响,图 3 为对滚挤造粒过程选取其中一个流体域的受力分析图,齿板对物料的挤压角度  $\beta$  为齿板与筛网切向

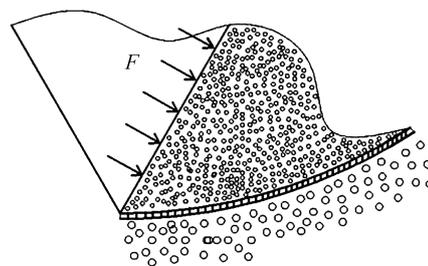
之间的夹角如图 3 所示,将合力  $F$  分解为  $F_1$  和  $F_2$ ,  $F_1$  为与筛网切向方向平行的力,主要用来推动流体域做旋转运动,  $F_2$  为与筛网切向方向垂直的径向力,主要提供挤压力将流体从筛网中挤出,以达到造粒的目的.



1—滚轮及齿板组件;2—筛网;3—张紧手轮

图 1 滚挤造粒的工作原理图

Fig.1 Working schematic diagram of rolling extrusion granulation



F—齿板旋转时对物料的挤压力

图 2 齿板对物料挤压示意图

Fig.2 Schematic diagram of material extrusion by toothed plate

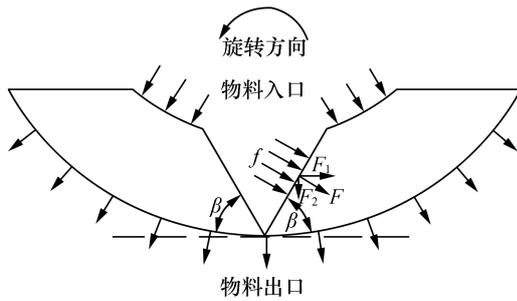
如图 3 所示可得:

$$F_2 = F * \cos \beta \quad (1)$$

由实际结构分析可知  $0^\circ < \beta < 90^\circ$ , 则根据式(1)可得:当  $\beta$  增大时  $F_2$  随之减小,出料速度也随之减小.

另一方面,在其它结构参数和入口速度不变的情况下,挤压角度  $\beta$  增大,入口加大会导致物料流入量变大,就会影响物料的出料速度.

为探讨挤压角度  $\beta$  的变化对滚挤造粒的效率的影响,有必要对滚挤造粒过程进行仿真分析,以选取合理的挤压角度  $\beta$ ,为滚挤造粒机的优化设计提供了理论参考.



$\beta$ —齿板与筛网之间的夹角; $F_1$ —与筛网切向方向平行的力; $F_2$ —与筛网切向方向垂直的径向力

图3 流体域受力分析图

Fig.3 Force analysis diagram of fluid field

## 2 滚挤造粒过程的仿真分析

### 2.1 流体模型建立

根据传统经验,滚筒的齿板截面通常设计为正三角形,即挤压角度 $\beta$ 为 $60^\circ$ 。先对该结构模型进行造粒过程仿真。如图4所示为挤压角度为 $60^\circ$ 时的流体模型。

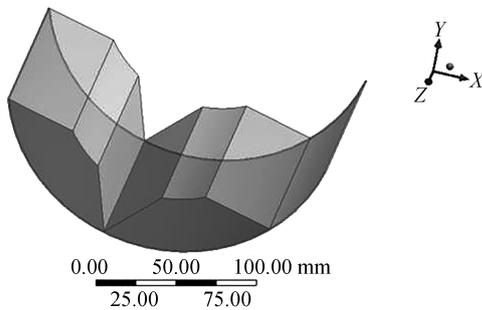


图4 挤压角度为 $60^\circ$ 的流体模型

Fig.4 Fluid model with extrusion angle of  $60^\circ$

由于该模型中筛网的厚度较薄只有 $0.8\text{ mm}$ ,且在划分网格单元时应尽量使相邻单元之间大小均匀变化,防止突变;因此采用局部网格控制实现局部尺寸控制,用选择边的方法设置筛网的网格层数,其数值为3(CFX 计算网格层数最低为3层),模型网格效果如图5所示;该模型总共划分为458 142个节点,432 580个单元。

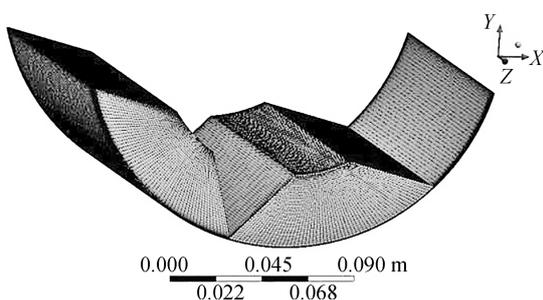


图5 模型网格效果图

Fig.5 Model grid effect diagram

### 2.2 流体参数及模拟类型

在进行CFX 流体分析时需先进行材料属性和模拟类型的设置,用酒精及一定比例的胶溶液混合后的流体状开苞药的属性列于表1所示。

表1 流体状开苞药的属性  
Table 1 Properties of fluid bracts

项目	摩尔质量/ ( $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ )	密度/ ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	动力粘度/ ( $\text{Pa} \cdot \text{s}$ )
开苞药	3	90	80

模拟类型分为稳态模拟和瞬态模拟,根据其流体的流动状态随时间的发展而不同,设定其模拟方式为瞬态模拟。根据流体仿真转速及模型中筛网的包紧角度的大小计算得出,瞬态模拟总持续时间为 $0.25\text{ s}$ ,一般瞬态模拟至少需1 000步,为达到好的收敛效果,将模拟步数设置为2 000步,故本次模拟时间步长设定为 $0.000\ 125\text{ s}$ ,初试时间设置为0。

### 2.3 域设定及边界条件处理

#### 2.3.1 域设定

该模型中包含流体域和多孔介质域部分,其流体部分设为流体域,筛网部分设为多孔介质域。由于该模型只进行流体计算,不进行热量传输求解,只需设定流体模型的类型。流体的性质对湍流形式影响很大,当流体惯性力相对粘性力不可忽略时,湍流会发生,通常用雷诺数标定为

$$Re = \rho v L / \mu \quad (2)$$

式中 $\rho$ 和 $\mu$ 为流体的密度和粘度, $v$ 和 $L$ 为表征速度和表征长度<sup>[14]</sup>,其为无量纲度。

根据式(2)计算得出其雷诺数小于2 000,因此选择流体模型的类型为层流。

CFX 中流体在多孔介质中的流动可以使用两种模型计算,分别是动量损失模型或者完全多孔模型,这里选取动量损失模型中的直接损失模型,且通过表观速度计算损失模型,设定柱坐标系损失方向,其径向方向损失值设定为-1,其它两个方向设置为0。

#### 2.3.2 边界条件处理

根据建立的模型可知,该模型有两个入口及一个出口,图6中箭头所指平面分别为in1和in2,图7中箭头所示曲面为out,由于出口处为筛网,可能会造成回流,故出口边界类型设定为opening。

### 2.4 后处理分析

在完成前处理设置后进行求解,在求解收敛

后进行后处理分析.在模型的中间创建一个平面,图 8 为该截面的压力云图,图 9 为该截面的速度矢量图.

体的运动状态,由于出口处为筛网,其流动过程中会产生回流.

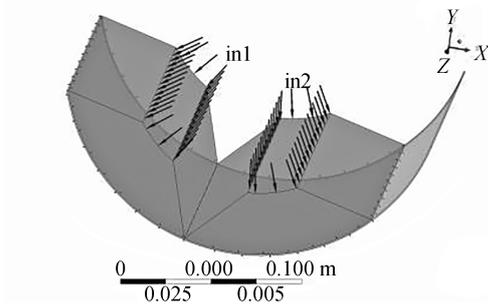


图 6 入口边界示意图

Fig.6 Inlet boundary diagram

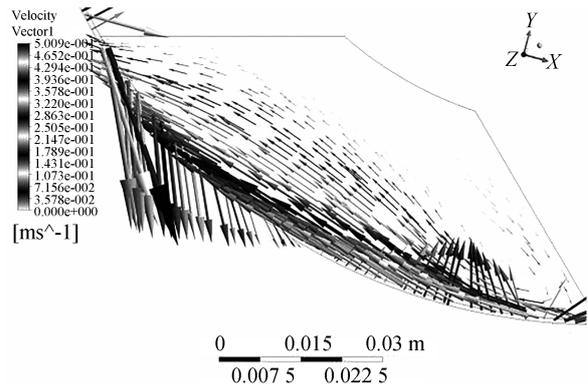


图 9 速度矢量图

Fig.9 Velocity vector diagram

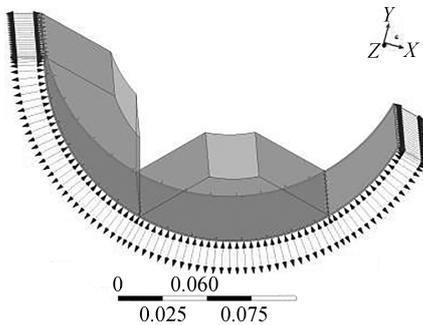


图 7 出口边界示意图

Fig.7 Outlet boundary diagram

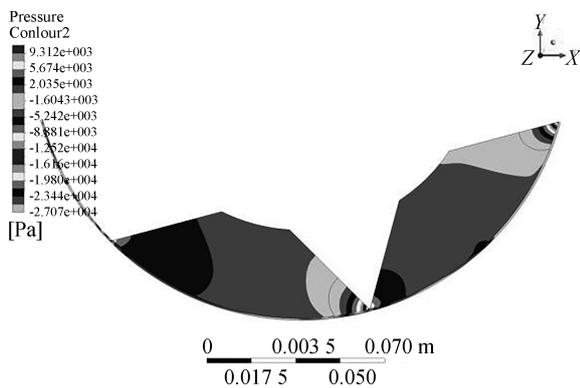


图 8 压力云图

Fig.8 Pressure nephogram

仿真分析过程中流体为逆时针旋转,由图 8 可观察到在旋转的过程中滚压杆会对流体域产生挤压力,随着滚压杆与流体域内流体距离的变化,所产生的挤压力也随之变化,且距离越远挤压力越小,在滚压杆尖端处产生的压力为最大.图 9 可观察到在出口处的速度  $v$  随着流体域内所受压力的变化而变化,且方向与滚压杆和流体域之间的交界面垂直,且可观察到流体域旋转过程中其流

### 3 结果分析

为探讨挤压角度对滚挤造粒效率的影响,需对不同挤压角度进行仿真分析.根据结构可知,当挤压角度小于  $53^\circ$  时入口处封闭不能进料.挤压角度达到  $90^\circ$  时,挤压力为零,没有挤压效果.另外,为满足齿板的刚度要求,齿板尖角不少于  $30^\circ$ ,挤压角度不得超过  $75^\circ$ .挤压角度变化范围取  $55 \sim 75^\circ$ ,每  $5^\circ$  一个间隔,分别为  $55^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $65^\circ$ 、 $70^\circ$ 、 $75^\circ$  进行模拟仿真.

观察不同挤压角度模型的径向速度矢量图和出口压力云图,得出其出口压力随角度的变化曲线如图 10 所示,出口径向速度随角度的变化曲线如图 11 所示.

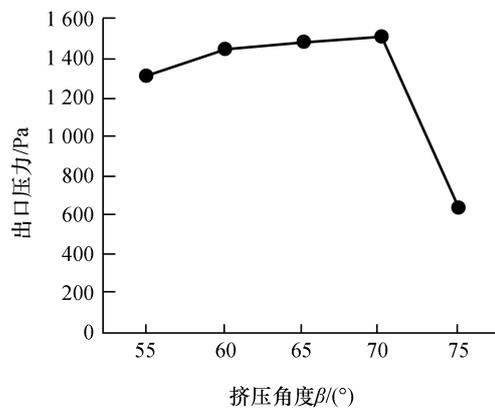


图 10 出口压力随角度的变化曲线图

Fig.10 Plot of outlet pressure versus angle

图 10 可知当挤压角度  $\beta$  在  $55 \sim 70^\circ$  时,随着挤压角度  $\beta$  的增大,入口加大,导致物料流入量变

大,由物料所产生的压力增大,且占据主要因素.同时出口压力  $F_2$  下降,故导致出口压力增大缓慢,当挤压角度  $\beta$  在  $70\sim 75^\circ$  时,入口足够大,由物料所产生的压力不再变大,出口压力  $F_2$  持续下降,并且占主要因素,故导致出口压力急剧下降.

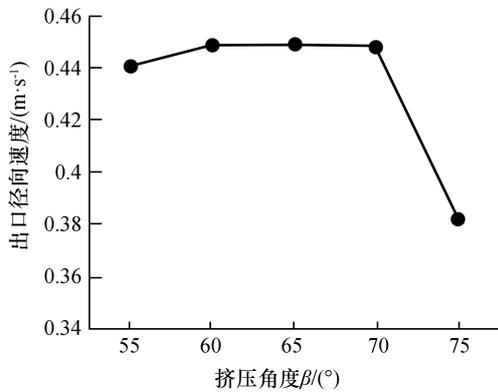


图 11 出口径向速度随角度的变化曲线

Fig.11 Outlet radial velocity vs. angle curve

结合图 10 与图 11 可知当挤压角度  $\beta$  在  $55\sim 65^\circ$  时,随着挤压角度  $\beta$  的变大,出口压力增大缓慢,故出口径向速度  $v$  增大缓慢,其滚挤造粒效率增大;当挤压角度  $\beta$  在  $65\sim 70^\circ$  时,随着挤压角度  $\beta$  的变大,出口压力增大缓慢,但入口物料量并未达到最大值,故出口径向速度有稍微减小的趋势;在  $70\sim 75^\circ$  之间随着压力角度  $\beta$  的增大,出口压力  $F_2$  急剧下降,径向速度  $v$  也急剧下降,其滚挤造粒效率下降.

## 4 结 论

1) 当挤压角度在  $55\sim 70^\circ$  时,随着挤压角度  $\beta$  的增大,出口处压力逐渐增大;挤压角度在  $70\sim 75^\circ$  时,随着压力角度  $\beta$  的增大,出口压力急剧下降.

2) 当挤压角度在  $55\sim 65^\circ$  时,随着挤压角度  $\beta$  的增大,出口径向速度逐渐增大;当挤压角度在  $65\sim 70^\circ$  时,随着压力角度  $\beta$  的增大,径向速度缓慢减小;但挤压角度在  $70\sim 75^\circ$  时,随着挤压角度  $\beta$  的增大,出口径向速度急剧下降.

3) 综合以上分析可得,挤压角度范围在  $65\sim 70^\circ$  时,滚挤造粒效率最好,可作为造粒机的结构优化设计参考.

## 参考文献:

- [1] 黄郑华,崔海涛.烟花爆竹生产事故分析及防爆安全技术管理[J].火工品,2001(4):49-52.
- [2] 汪海珍.烟火材料颗粒粒度对起始反应温度的影响研究[D].南京:南京理工大学,2013.
- [3] 陈涛,赵力增,蔺向阳,等.礼花用亮珠对典型固体材料引燃特性[J].南京理工大学学报(自然科学版),2014,38(1):166-172.
- [4] EROSHENKO V A, SToudenets V P. The influence of developed interfaces upon the heterogeneous nanosystem thermal capacity[J]. Composites part A applied science & manufacturing, 2002, 33(10): 1349-1353.
- [5] JIANG J, DAHN J R. Effects of particle size and electrolyte salt on the thermal stability of  $Li_{0.5}CoO_2$  [J]. Electrochimica acta, 2004, 49(16): 2661-2666.
- [6] 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.
- [7] 褚振辉,周碧武.沸腾制粒的理论和工艺探讨[J].药学研究,1998(3):21-24.
- [8] 杨文亮.烟花自动生产线及其造粒系统的设计与研究[D].天津:河北工业大学,2014.
- [9] 杨行浩.火工药剂混合造粒技术的工艺研究[D].太原:中北大学,2010.
- [10] 丁秋平,张景林.流态化造粒法的研究进展[J].图书情报导刊,2005,15(5):160-161.
- [11] 刘晓雯.烟花圆盘造粒机的设计与造粒工艺研究[J].机床与液压,2016,44(10):47-49.
- [12] 谢婷.有限体积法在土壤重金属污染物渗流规律中的仿真应用[D].衡阳:南华大学,2016.
- [13] 杨瑞,欧阳八生.一种新型的烟花开苞药滚挤造粒技术[J].科技风,2018(3):1-2.
- [14] 谢龙汉,赵新宇,张炯明. ANSYS CFX 流体分析及仿真[M].北京:电子工业出版社,2013.

(责任编辑:龙威)