

# 小型卧式螺带混合机的使用参数优化<sup>\*</sup>

柴民杰, 陈海燕, 邵博

(邢台职业技术学院, 河北邢台, 054035)

摘要: 利用 CFD 流体动力学软件 FLUENT, 对实验用小型卧式螺带饲料混合机的混合过程进行数值模拟。湍流选择标准  $k-\epsilon$ , 两相流模型选择混合模型 (Mixture), 示踪剂浓度模拟选用输运方程, 不激活反应项。通过对转速为 40 r/min、填充率为 40% 时的混合过程进行仿真分析, 表明在示踪剂浓度达到平衡时, 混合效果不能满足要求。对混合机转速和填充率等进行仿真优化, 结果表明, 混合机转速为 40 r/min、填充率为 55% 混合效果最好, 混合时间较短。该研究结果可为混合设备的设计研发提供理论依据。

关键词: 数值模拟; 混合机; 转速; 填充率

中图分类号: S226.9 文献标识码: A 文章编号: 2095-5553(2015) 06-0129-04

柴民杰, 陈海燕, 邵博. 小型卧式螺带混合机的使用参数优化 [J]. 中国农机化学报, 2015, 36(6): 129~131, 135

Chai Minjie, Chen Haiyan, Shao Bo. Parameters optimization of the small horizontal ribbon mixer [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2015, 36(6): 129~131, 135

## 0 引言

卧式螺带饲料混合机是大中型饲料厂混合工序的主要设备之一。随着当今人们对配合饲料提出更高要求, 如何提高混合机的混合均匀度及混合效率, 成为当今饲料设备研发的主要课题<sup>[1-2]</sup>。在对混合均匀度及混合时间的测量方面, 主要依靠传统的实验方法, 如甲基紫示踪法、电导法及温差法<sup>[3]</sup>。虽然实验方法在混合机的设计研发过程中发挥了重要作用, 但实验过程往往耗费时间、人力和物力。现阶段随着计算流体动力学技术 (CFD) 的发展, 采用数值模拟的手段, 对混合过程进行仿真, 优化使用参数及结构参数, 逐渐成为趋势<sup>[4-6]</sup>。本文以实验用卧式螺带饲料混合机为研究对象, 通过对混合过程进行数值模拟, 分析其使用参数对其混合效果的影响, 并对填充率及转速等使用参数进行优化。

## 1 混合均匀度

国际上通用变异系数 (CV)<sup>[7-8]</sup> 来判断混合机的混合效果, 一般要求  $CV < 7\%$ 。表达式为

$$CV = \frac{S}{\bar{x}} \times 100\%$$

式中:  $\bar{x}$  —— 测量样品平均值;

$S$  —— 测量样品的标准差。

$\bar{x}$  和  $S$  的表达式为

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

式中:  $n$  —— 样品数量,  $n \geq 10$ ;

$x_i$  —— 测得的第  $i$  个样品中检测组分含量。

## 2 混合机有限元模型的建立

本文实验用混合机的结构参数如表 1 所示。

表 1 混合机结构参数图  
Tab. 1 Size of the machine

| 名称         | 尺寸              |
|------------|-----------------|
| 长×宽×高/mm   | 1 360×560×1 000 |
| 内螺带宽×厚度/mm | 27.5×3          |
| 外螺带宽×厚度/mm | 20×3            |
| 螺旋升角/(°)   | 20              |
| 螺距/mm      | 400             |
| 环带与壳底间隙/mm | 3               |

### 2.1 混合机转子模型建立

根据以上混合机参数, 使用三维制图软件 CATIA 建立混合机转子的三维实体模型, 如图 1 所示。



图 1 混合机转子模型

Fig. 1 Axial model of the horizontal ribbon mixer

收稿日期: 2014 年 3 月 28 日 修回日期: 2014 年 5 月 4 日

\* 基金项目: 河北省科技厅 2014 科技支撑计划 (13227122)

第一作者: 柴民杰, 男, 1981 年生, 河北邢台人, 硕士, 讲师; 研究方向为机械工程。E-mail: 2946312260@qq.com

## 2.2 建立混合机流道模型

将 CATIA 中转子模型导入 FLUENT 的前处理软件 GAMBIT 中,建立混合机流道模型。流体域的抽取主要包括以下几个部分。

- 1) 对转子模型进行布尔相加操作,将其结合为一个体。
- 2) 简化混合机模型为 O 型<sup>[9]</sup>,建立圆柱模型,并与上述的体模型进行相减,获得流体域的转动部分。
- 3) 在转动部分的外部建立圆筒状的静止流体域。流道模型见图 2。

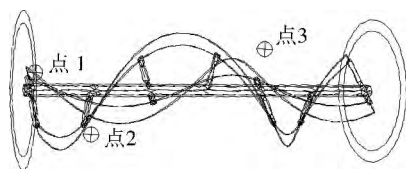


图 2 流道模型  
Fig. 2 Flow model

## 2.3 网格划分

在 GAMBIT 中对流体域进行网格划分,其中静止部分和转动部均采用 Tgrid 方法划分网格,网格尺寸选择 40mm,见图 3。

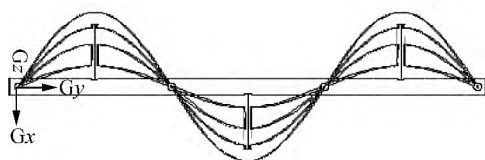


图 3 混合机体网格图  
Fig. 3 Grid of the horizontal ribbon mixer

## 2.4 监测点的选择

考虑到混合机机体的不对称性,选择分布于机体的两侧的监测点,监测点的相对位置见图 2 所示,坐标点见表 2。

表 2 监测点坐标  
Tab. 2 Monitoring point coordinates

| 监测点 | 坐标/mm           |
|-----|-----------------|
| 点 1 | (-20, 10, -20)  |
| 点 2 | (50, 100, 50)   |
| 点 3 | (-50, 400, -50) |

## 3 数值分析模型

### 3.1 模型选择及软件设置

混合机内部为充分发展的湍流,故选择标准  $k-\epsilon$  模型进行湍流仿真;混合机内部是空气与饲料的两相混合,故选择混合模型(Mixture)模拟两相流;在进行

示踪剂浓度模拟时选择输运方程,不激活反应项;使用 MRF 方法模拟混合机转动。

模拟过程中选择非稳态分离式求解器,求解时选择时间步长为 0.5s。欠松弛因子和离散方式使用默认设置。

设置材料属性:饲料密度  $292.88\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ,示踪剂密度为  $6350\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ,空气密度为  $1.205\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

考虑重力作用,设置转速为  $40\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ ,填充率为 40%<sup>[10]</sup>。

### 3.2 示踪剂浓度监测

在混合进行 5s 左右,加入示踪剂。使用 Adapt-Region 设置球体,以点 2 处为中心,根据填充率的多少设置球体半径,见表 3。使用 Patch 功能,将球体区域的示踪剂浓度标记为 1,在 monitor 中对三个监测点的示踪剂浓度进行监测。

表 3 不同填充率下示踪剂球体半径  
Tab. 3 Tracer sphere radius under different fill rates

| 填充率/% | 半径/mm |
|-------|-------|
| 40    | 8     |
| 45    | 8.3   |
| 55    | 9     |
| 65    | 9.4   |
| 70    | 9.7   |

## 4 仿真结果分析

选择转速为 40r/min,填充率为 40%时的混合过程进行模拟,检测示踪剂变化见图 4 所示。

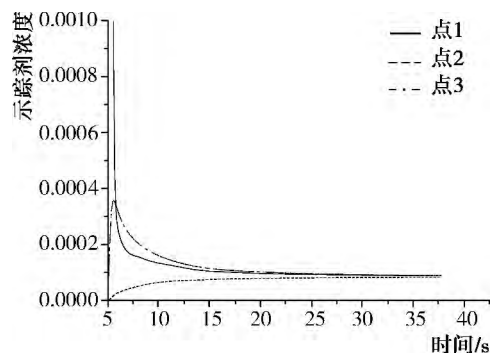


图 4 示踪剂浓度变化图  
Fig. 4 Mass fraction of Shizongji

仿真结果显示,从 5s 左右加入示踪剂,各个监测点的示踪剂浓度经过剧烈变化,最终趋于稳定。稳定的时刻在 15s 左右,即混合时间为 15s。对该时刻的浓度数据进行统计并计算变异系数,得到结果见表 4。从表 4 可知,在混合均匀时,变异系数  $21.77\% > 7\%$ ,不满足混合要求。为了改进混合效果,需要从更深层次了解混合机转速及填充率对混合效果的影响,并对

其进行优化。

表 4 统计结果  
Tab. 4 Statistical results

| 指标                      | 数值                      |
|-------------------------|-------------------------|
| 填充率/%                   | 40                      |
| 转速/ $r \cdot \min^{-1}$ | 40                      |
| 混合时间/s                  | 15                      |
| 标准差 S                   | $2.1251 \times 10^{-5}$ |
| 平均值 $\bar{x}$           | $9.7619 \times 10^{-5}$ |
| 变异系数 CV/%               | 21.77                   |

5 填充率及混合转速的优化

5.1 不同填充率下混合均匀度分析

固定转子转速为 40r/min, 分别选择填充率为 40%, 45%, 55%, 65%, 70% 进行仿真。对其混合时间和变异系数进行仿真, 仿真结果统计见表 5、图 5。

表 5 不同填充率数据统计  
Tab. 5 Statistical results under different fill rate

| 填充率/% | 混合时间/s | 变异系数/%          |
|-------|--------|-----------------|
| 40    | 15     | 21.77           |
| 45    | 10     | 5.43            |
| 55    | 8      | 0.060 859       |
| 65    | 17     | 6.46            |
| 70    | 9      | 0.293 195 230 2 |

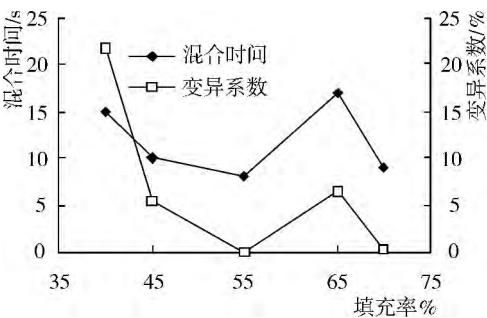


图 5 不同填充率下混合时间及变异系数  
Fig. 5 Mixing time and coefficient of variation under different fill rate

图 5 反映了不同填充率下混合时间及变异系数的变化。从混合时间来看, 填充率从 40%~55% 时, 混合时间逐渐变短, 但在 55%~65%, 混合时间有所增加, 70% 时的混合时间又小于 65% 时的混合时间。整体来看, 填充率为 55% 时, 达到混合均匀的时间最短。变异系数的变化, 与混合时间有着同样规律, 随着填充率变大, 变异系数会逐渐变小, 当填充率为 55% 时, 达到最小变异系数, 之后随着填充率变大, 变异系数又相对增加。综合考虑, 在填充率为 55% 时, 混合时间最

短, 且混合效果最好。

5.2 不同转速下的混合均匀度分析

在填充率为 55% 时, 分别调整转速为 15r/min, 25r/min, 40r/min, 55r/min, 65r/min, 对其混合均匀时刻及混合均匀度进行仿真, 统计结果统计见表 6、图 6。

表 6 不同转速下数据统计  
Tab. 6 Statistical results under different rotate speeds

| 转速/ $(r \cdot \min^{-1})$ | 混合时间/s | 变异系数/%        |
|---------------------------|--------|---------------|
| 15                        | 15     | 0.948 549     |
| 25                        | 14     | 0.205 951 369 |
| 40                        | 8      | 0.060 859     |
| 55                        | 6      | 0.8           |
| 65                        | 6      | 1.2           |

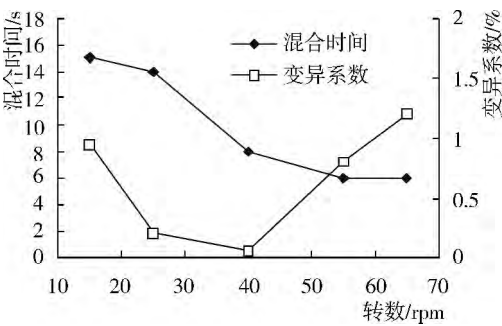


图 6 不同转速混合时间及变异系数  
Fig. 6 Mixing time and coefficient of variation under different rotate speed

从图 6 可知, 随着转速的增加混合时间逐渐变短。分析原因是由于混合机转速的增加, 加强了物料在混合机内的运动速度, 从而使对流混合总用增强, 使物料在短时间内快速混合。但变异系数的结果显示, 在 40r/min 时变异系数最小, 之后随着转速增加, 虽然混合时间变短, 但变异系数变大。综合考虑, 混合机转速在 40r/min 时, 混合时间较短, 混合均匀度最好。

6 结论

建立转子三维模型, 并使用 GAMBIT 抽取了混合机内的流道模型。

使用 FLUENT 对混合机混合过程的仿真中, 选取了标准  $k-\epsilon$  模型进行湍流模拟, 两相流模型选取混合模型, 示踪剂浓度的监测选取输运方程模型。

混合机转速为 40r/min, 填充率为 40% 时, 混合时间为 15s, 但混合均匀度 12.86% 不满足混合要求。

通过对混合机在不同填充率及转速下进行分仿真分析, 结果表明, 混合机转速为 40r/min, 填充率为 55% 混合效果最好, 混合时间较短。

(下转第 135 页)

## 参 考 文 献

- [1] 梁森. 自动检测与转换技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2013.
- [2] Reimel T. RWA—A/D DMS digitizer operating manual and technical description [Z]. 1998.
- [3] 刘邦树. 自动称量系统称量误差分析 [J]. 硅谷, 2012, (4): 143~144.
- [4] 孔令宇. 基于浮力称量原理的定量称量系统 [J]. 仪表技术与传感器, 2014, (2): 62~64.
- Kong Lingyu. Quantitative weighing system based on principle of buoyancy [J]. Instrument technique and sensor, 2014, (2): 62~64.
- Liu Bangshu. The analysis of weighing error of automatic weighing system [J]. Silicon Valley, 2012, (4): 143~144.

## Analysis on the weighing system control of mixing machine

Wang Xichu<sup>1</sup>, Zhang Shuhong<sup>1</sup>, Liu Bangshu<sup>2</sup>

(1. Suzhou Institute of Industrial Technology, Suzhou, 215104, China;

2. Anhui Guo feng Plastic Building Material Co., Ltd., Hefei, 231633, China)

**Abstract:** The control process of a kind of automatic weighing system of mixing machine was expounded, and the weighing error was analyzed. The control curve and measurement chain of the weighing process were given, and the system accuracy composition were described at the same time. The cut-point setting between rapid dosing and fine dosing were studied deeply, which provides guidance and reference for the actual work.

**Keywords:** mixing machine; automatic weighing system; weighing error; system accuracy

(上接第 131 页)

## 参 考 文 献

- [1] 刘树阳. 饲料混合机的类型及最佳混合时间的介绍 [J]. 养殖技术顾问, 2011, (2): 172.
- Liu Shuyang. The introduce of the best mixing time and the type of the feed mixer [J]. Technical Advisor for Animal Husbandry, 2011, (2): 172.
- [2] 房广成. 卧式螺带混合机的合理使用 [J]. 饲料与畜牧, 1990, (1): 33~34.
- [3] 李从恩, 曾令元, 甘荣火, 等. 用同位素示踪法测定圆筒混合机混合时间 [J]. 烧结球团, 1995, 20(2): 57~60.
- Li Congen, Zeng Lingyuan, Gan Ronghuo, et al. Detecting the mixing time of the rotary drum mixer using isotopic tracer [J]. Sintering and Pelletizing, 1995, 20(2): 57~60.
- [4] 王福军. 计算流体力学分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.
- [5] 郭武辉, 潘家祯. 计算流体力学用于搅拌器流场研究及结构设计 [J]. 化学工程, 2009, (9): 20~23.
- Guo Wuhui, Pan Jiazhen. Application of computational fluid dynamics to flow research and structure design of stirred tank [J]. Chemical Engineering, 2009, (9): 20~23.
- [6] 张师帅. 计算流体力学及其在 CFD 软件的原理与应用[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2011.
- [7] 庞声海, 朱舒平. 混合均匀度测量的不确定度 [J]. 饲料工业, 2000, 21(1): 9~10.
- Pang Shenghai, Zhu Shuping. The uncertainty of the detecting of mixing uniformity [J]. Feed Industry, 2000, 21(1): 9~10.
- [8] 徐世艾, 冯连芳, 顾雪萍. 搅拌釜中自浮颗粒三相体系的混合时间 [J]. 高校化学工程学报, 2000, 14(4): 328~333.
- Xu Shiai, Feng Lianfang, Gu Xueping. Mixing time in stirred tank of three-phase gas-liquid-floating particle systems [J]. Journal of Chemical Engineering of Chinese Universities, 2000, 14(4): 328~333.
- [9] 王凯, 冯连芳. 混合设备设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [10] 聂毅强. 搅拌槽内三维流动场的实验测量与数值模拟[D]. 北京: 北京化工大学, 2001.
- Nie Yiqiang. Experimental study and numerical simulation of the flow field of newtonian and non newtonian fluid in stirred vessels [D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2001.

## Parameters optimization of the small horizontal ribbon mixer

Chai Minjie, Chen Haiyan, Shao Bo

(Xingtai Polytechnic College, Xingtai, 054035, China)

**Abstract:** The CFD fluid dynamics software FLUENT was used to simulate the mixing process. Turbulent selected  $k-\epsilon$ , two phase flow model chose (Mixture) hybrid model, tracer concentration simulation chose transport equation and there was no activation reaction. The simulation analysis of the mixing process with the speed of 40r/min and filling rate of 40% was made, and it showed that when the tracer concentration reached equilibrium, the mixing effect could not meet the requirements. After simulating and optimizing the speed and filling rate, the mixed effect was the best with shorter mixing time when the mixing machine's speed reached 40r/min and filling rate was 55%. It provides theoretical basis for the research and development of the mixing equipment.

**Keywords:** numerical simulation; mixer; rotate speed; the fill rate