

## XHJ- 型稀释混合机合理工作参数的试验研究

曲峻岭 王红英 王继承  
(中国农业大学 工学院,北京 100083)

**摘要** 针对中国农业大学研制的 XHJ- 型稀释混合机,在预混合饲料生产应用中出现的混合质量不稳定的问题,对该机进行了改进。在转筒内设计增加了搅拌机构,并进行混合试验。试验结果表明:影响混合质量的各因素依次为:转筒倾角>充满系数>混合时间>转筒转速;各因素交互作用影响的顺序为:混合时间与充满系数>转筒倾角与转筒转速>转筒转速与充满系数>转筒转速与混合时间。该机混合均匀度变异系数最小的最佳工艺方案为:转筒倾角 20°,转筒转速 33 r·min<sup>-1</sup>,混合时间 6 min,充满系数 0.4,该工作条件下混合均匀度变异系数为 3.21%,混合质量较好。

**关键词** 饲料;稀释混合机;混合均匀度

**中图分类号** S 816.34

**文章编号** 1007-4333(2004)04-0046-04

**文献标识码** A

### Experimental study on working parameters of XHJ- mixer

Qu Junling, Wang Hongying, Wang Jicheng

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract** Because the XHJ- mixer developed by CAU had some shortcomings such as unstable working we added an agitator in the running canister. The results showed that the factors affecting the mixing quality were the inclination angle of the running canister, the coefficient of material, mixing duration and the rotation speed of the canister. The interacting effects of the factors mentioned above were (1) the coefficient of material fullness and mixing duration, (2) the rotation speed and the inclination angle of the running canister, (3) the rotation speed and the coefficient of material fullness and (4) the rotation speed and mixing duration. The best operation parameters of the mixer were (1) the inclination (with the vertical) angle 20°, (2) the rotation speed 33rpm, (3) the mixing duration 6 min, (4) the coefficient of full of material fullness 0.4. Under this condition the mixing uniformity variation coefficient was 3.21%.

**Key words** feed; mixer; mixing uniformity

稀释混合机在饲料加工机械中是一种非常重要的机械,其工作性能直接关系到饲料产品的质量<sup>[1,2]</sup>。XHJ- 型稀释混合机由中国农业大学饲料工业研究所研制,主要用于饲料的预混合,是一种回转筒式混合机,目前除瑞士生产该类型的混合机外,尚未见到其他有关报道。

笔者针对 XHJ- 型稀释混合机使用过程中混合质量不稳定的问题,在理论分析和试验研究的基础上,进行了结构改进,试验研究了影响该机型混合质量的相关因素,获得了该机的合理工作参数。

### 1 试验方案及结果

#### 1.1 XHJ- 型稀释混合机结构及试验装置

XHJ- 型稀释混合机主要由减速电机、链条传动系统、主轴、左转筒、右转筒、机体等组成。转筒与其转动轴线有一夹角,装在转筒的各种物料组在转筒内连续翻滚和相对运动,从而使物料相互混合。

设计的试验装置主要由转速控制器、调速电机、传动部件、角度调节机构及转筒(内含本课题组设计的搅拌机构)等组成(图 1)。

收稿日期:2003-12-25

基金项目:国家“十五”攻关课题(2002BA514-13-2-7)

作者简介:曲峻岭,硕士研究生;王红英,副教授,博士,主要从事饲料工程方面的研究,E-mail:hongyingw@cau.edu.cn

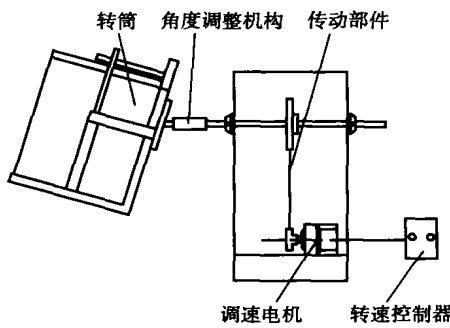


图 1 混合试验装置示意图

Fig. 1 Mixing experimental equipment

在试验过程中需要进行转筒倾角(与地面垂直方向的夹角,全文同)和转筒转速的调节。角度调节主要由角度调节机构实现,调节范围 5°~35°。转筒转速的调节主要通过调节调速电机的速度而实现,根据试验方案,本试验中转速所需要调整的范围是 13~33 r·min<sup>-1</sup>。

1.2 试验方法与材料

测试方法:根据《GB/T 5918-1997 配合饲料混合均匀度测定法》<sup>[3]</sup>进行。

示踪物:粉末甲基紫色素(生物染色,批号 970116,粒度 150 目)。

混合料:玉米蛋白粉,粒度 80 目。

示踪物添加质量比:1×10<sup>-5</sup>。

取样:综合考虑料筒方位、深度和料流的代表性,在混合机内的不同部位取 10 个有代表性的原始样品,每样品 100 g。取样时,每一个原始样品必须由一点集中取样,取样前不允许有任何翻动或混合。

样品测试:应用四分法从 100 g 样品中称量出 10 g 置于 100 mL 的具塞三角杯中,加入 30 mL 无水乙醇,在磁力搅拌器上搅动 30 min,用滤纸过滤(定性滤纸,中速);以无水乙醇作空白调节 0 点,用分光光度计(比色皿 5 mm,分析波长 590 nm)测定滤液的吸光度。按式(1)计算混合均匀度变异系数

$$C_V = \frac{S}{\bar{x}} \times 100\% \quad (1)$$

式中:S 为混合物样本标准差;

$\bar{x}$  为混合物样本的平均值。

混合均匀度变异系数越小混合均匀度越好,理想混合状态下 C<sub>V</sub> = 0。

1.3 单因素试验

以转筒倾角为单一因素,混合均匀度变异系数为测试指标,在转筒内加搅拌机构或不加这 2 种工作状态下进行混合性能试验,结果见表 1。

转筒加入搅拌机构后,无论转筒倾角如何变化,其混合均匀度变异系数均降低了,说明在转筒内加搅拌机构是合理的;加搅拌机构,转筒倾角 15°时,混合均匀度变异系数较小。

表 1 转筒内加或不加搅拌机构时的混合均匀度变异系数 C<sub>V</sub>

条件	转筒倾角/(°)					
	10	15	20	25	30	35
不加搅拌机构	7.03	5.89	8.05	8.86	6.48	8.02
加搅拌机构	6.28	4.61	6.82	8.68	4.96	7.09

注:试验条件为转筒转速 23 r·min<sup>-1</sup>,混合时间 10 min,充满系数 0.5。

1.4 多因素组合试验

为了进一步研究不同因素对 XHJ- 型稀释混合机混合质量的影响,在转筒内加装搅拌机构的条件下,选择转筒倾角、主轴转速、混合时间、充满系数 4 个因素进行二次回归正交旋转组合设计试验<sup>[4]</sup>。试验因素水平编码及试验结果见表 2 和 3。

表 2 试验因素水平编码表

编码值	因素水平			
	Z <sub>1</sub> 倾角/ (°)	Z <sub>2</sub> 转速/ (r·min <sup>-1</sup> )	Z <sub>3</sub> 混合时 间/min	Z <sub>4</sub> 充满系 数/%
2	25	33	14	70
1	20	28	12	60
0	15	23	10	50
-1	10	18	8	40
-2	5	13	6	30

表3 四因素二次回归正交旋转组合设计试验方案及结果

Table 3 The four-factor quadratic regression orthogonal rotary design and results

试验号	因素										混合均匀度变异系数/ %				
	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>	Z <sub>4</sub>	Z <sub>1</sub> Z <sub>2</sub>	Z <sub>1</sub> Z <sub>3</sub>	Z <sub>1</sub> Z <sub>4</sub>	Z <sub>2</sub> Z <sub>3</sub>	Z <sub>2</sub> Z <sub>4</sub>	Z <sub>3</sub> Z <sub>4</sub>	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>	Z <sub>4</sub>	
1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	0.333	0.333	0.333	0.333	5.27
2	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	0.333	0.333	0.333	0.333	6.15
3	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	0.333	0.333	0.333	0.333	7.68
4	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	0.333	0.333	0.333	0.333	4.63
5	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	0.333	0.333	0.333	0.333	4.01
6	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	0.333	0.333	0.333	0.333	8.05
7	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	0.333	0.333	0.333	0.333	8.11
8	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	0.333	0.333	0.333	0.333	7.15
9	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	0.333	0.333	0.333	0.333	6.34
10	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	0.333	0.333	0.333	0.333	5.23
11	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	0.333	0.333	0.333	0.333	5.67
12	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	0.333	0.333	0.333	0.333	6.05
13	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	0.333	0.333	0.333	0.333	3.85
14	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	0.333	0.333	0.333	0.333	4.69
15	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	0.333	0.333	0.333	0.333	5.09
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.333	0.333	0.333	0.333	5.12
17	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.333	-0.667	-0.667	-0.667	7.06
18	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.333	-0.667	-0.667	-0.667	6.25
19	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.667	3.333	-0.667	-0.667	4.48
20	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.667	3.333	-0.667	-0.667	5.79
21	0	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	-0.667	-0.667	3.333	-0.667	5.36
22	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	-0.667	-0.667	3.333	-0.667	4.82
23	0	0	0	-2	0	0	0	0	0	0	-0.667	-0.667	-0.667	3.333	6.56
24	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	-0.667	-0.667	-0.667	3.333	9.05
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.667	-0.667	-0.667	-0.667	5.26
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.667	-0.667	-0.667	-0.667	4.89
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.667	-0.667	-0.667	-0.667	4.69
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.667	-0.667	-0.667	-0.667	4.15
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.667	-0.667	-0.667	-0.667	3.35
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.667	-0.667	-0.667	-0.667	4.73
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.667	-0.667	-0.667	-0.667	5.22
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.667	-0.667	-0.667	-0.667	3.69
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.667	-0.667	-0.667	-0.667	4.83
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.667	-0.667	-0.667	-0.667	3.26
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.667	-0.667	-0.667	-0.667	4.86
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.667	-0.667	-0.667	-0.667	3.78

注:  $Z_i Z_j$  表示各因素的交互作用项;  $Z_i^2$  表示各因素的平方项。

根据表 3 试验数据所得的回归方程模型为:

$$\hat{y} = 5.422 - 0.443 Z_1 + 0.069 Z_2 + 0.202 Z_3 + 0.251 Z_4 - 0.508 Z_1 Z_2 - 0.142 Z_1 Z_3 - 0.048 Z_1 Z_4 + 0.239 Z_2 Z_3 + 0.428 Z_2 Z_4 - 0.516 Z_3 Z_4 + 0.505 Z_1 + 0.125 Z_2 + 0.114 Z_3 + 0.792 Z_4 \quad (2)$$

拟合度检验:  $F_{\text{拟合}} = 2.52$ , 表明模型拟合是合适的。

回归方程检验 ( $F_{\text{检验}}$ ):  $F_{\text{回归}} = 3.997$ , 表明回归方程是极显著的。

## 2 试验结果分析

### 2.1 单因素对混合均匀度变异系数的影响

由于多因素组合试验设计中各因素均经量纲 1 线性编码处理, 一次项回归系数之间, 各一次项与交互项、平方项的回归系数, 及平方项与平方项的回归系数都是不相关的。因此, 由回归方程模型 (2) 可得  $Z_1 > Z_4 > Z_3 > Z_2$ , 即影响样机混合均匀度变异系数各因素的主次顺序为: 转筒倾角 > 充满系数 > 混合时间 > 转筒转速。

### 2.2 双因素对混合均匀度变异系数的影响

由回归方程模型得双因素交互作用对混合机混

合均匀度变异系数的影响顺序为:  $Z_3 Z_4 > Z_1 Z_2 > Z_2 Z_4 > Z_2 Z_3$ , 即混合时间与充满系数的交互作用 > 转筒倾角与转筒转速的交互作用 > 转筒转速与充满系数的交互作用 > 转筒转速与混合时间的交互作用。

1) 混合时间与充满系数交互作用对混合均匀度变异系数的影响。采用数学分析软件 Matlable 对回归方程式 (2) 中混合时间与充满系数交互作用对混合均匀度变异系数的影响进行分析, 结果见图 2 (a)。可见, 当混合时间为 6 min (-2 水平), 充满系数 0.4 (-1 水平) 时, 混合均匀度变异系数较小, 混合质量较好; 当混合时间为 6 min (-2 水平), 充满系数 0.7 (2 水平) 时, 混合均匀度变异系数较大, 此时混合质量较差。

2) 转筒倾角与转筒转速交互作用对混合均匀度变异系数的影响。转筒倾角与转筒转速交互作用对混合均匀度变异系数的影响见图 2 (b)。当转筒倾角为  $20^\circ$  (1 水平), 转筒转速  $33 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$  (2 水平) 时, 混合均匀度变异系数较小, 此时混合质量较好; 当转筒倾角为  $5^\circ$  (-2 水平), 转筒转速为  $33 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$  (2 水平) 时, 混合均匀度变异系数较大, 此时混合质量较差。

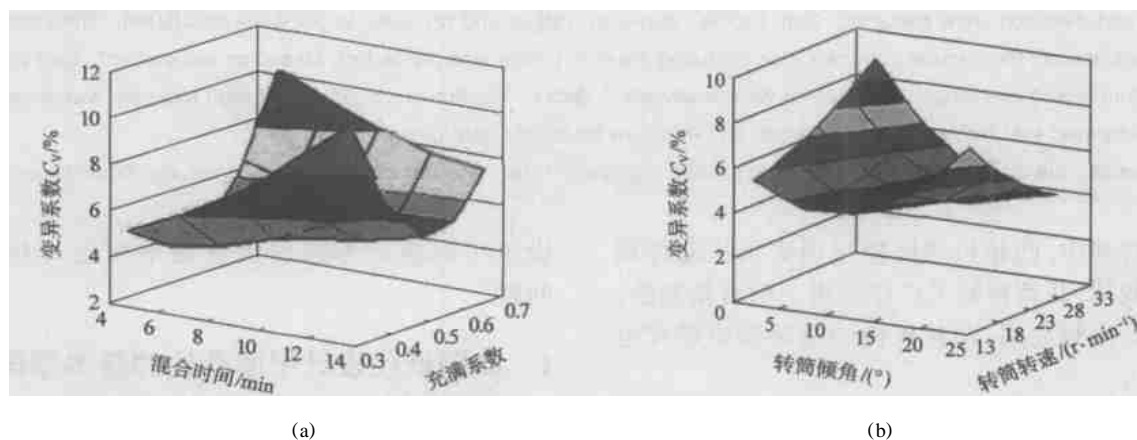


图 2 混合时间和充满系数(a)及转筒倾角和转速(b)交互作用对混合均匀度变异系数的影响

Fig. 2 Effects of the interacting of mixing duration and coefficient of material fullness (a) and the interaction of the inclination angle and rotation speed (b) on the mixing uniformity variation coefficient

### 2.3 混合均匀度变异系数的最佳工艺条件

用统计寻优方法, 每个因素取 5 个水平:  $\pm 2$ ,  $\pm 1$  和 0, 共  $5^4 = 625$  个方案, 用计算机对 625 个方案寻优, 得到混合均匀度变异系数最小的最佳工艺方案为: 转筒倾角  $20^\circ$ , 转筒转速  $33 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ , 混合时间 6 min, 充满系数 0.4, 此时混合均匀度变异系数为 3.21%。

## 3 结论

1) 在 XHJ- 型稀释混合机转筒内加入搅拌机构后, 转筒倾角为  $15^\circ$  时, 混合均匀度变异系数由 5.89 减少到 4.61, 该机的混合质量有明显的提高。

2) 转筒倾角对混合机混合质量有较大影响, 当转筒倾角为  $15^\circ$  时混合机混合均匀度较高。

(下转第 54 页)

#### 4 结束语

运用凸轮和连杆机构设计之间的关联,给出了凸轮设计的一种新方法,适用于所有平面凸轮机构中凸轮的设计加工。在此方法基础上开发了平面凸轮的设计和运动仿真系统,对多种凸轮进行了仿真设计,并据刀具轨迹方程得到数控加工代码。

该方法还可用于辅助凸轮运动参数测试实验平台的研制:根据实验测得的运动参数反求出凸轮轮廓,与实际凸轮的轮廓形状进行比较,以检验运动参数测量的精确性。

#### 参 考 文 献

- [1] 邹慧君,董师予. 凸轮机构的现代设计[M]. 上海:上海交通大学出版社,1991. 87~152
- [2] 赵韩,丁爵曾,梁锦华. 凸轮机构设计[M]. 北京:高等教育出版社,1993. 35~50
- [3] 彭国勋,肖正扬. 自动机械的凸轮机构设计[M]. 北

京:机械工业出版社,1989. 82~95

- [4] 石永刚,徐振华. 凸轮机构设计[M]. 上海:上海科学技术出版社,1995. 25~60
- [5] Shin J H, Lee C M, Kim J S. Shape design of disk cam mechanisms using instant velocity centers[J]. In: Proceedings of 6th international Symposium on Transport Phenomena and Dynamics of Rotating Machinery, 1996 (1):178~186
- [6] 吴天星,周美立. 平面凸轮机构和平面四杆机构压力角特征相似性研究[J]. 现代机械,2003(3):47~48
- [7] 胡爱萍,沈惠平. 用高副低代方法快速求解偏心凸轮机构最大压力角[J]. 江苏石油化工学院学报,2002(2):1~3
- [8] 董学朱. 齿轮啮合理论基础[M]. 北京:机械工业出版社,1989. 1~30
- [9] 申永胜. 机械原理基础教程[M]. 北京:清华大学出版社,1999. 6~107
- [10] 张玉华,徐致让,包家汉,等. 确定盘形凸轮曲率半径的相对加速度法及其应用[J]. 安徽工业大学学报,2003,20(4):303~307

(上接第 49 页)

3) 试验研究了转筒倾角、转筒转速、混合时间、充满系数 4 个主要因素对 XHJ- 型稀释混合机混合质量的影响,并以混合均匀度变异系数为指标建立了多元回归模型:

$$\begin{aligned} \hat{y} = & 5.442 - 0.443 Z_1 + 0.069 Z_2 + 0.202 Z_3 + \\ & 0.251 Z_4 - 0.508 Z_1 Z_2 - 0.142 Z_1 Z_3 - 0.048 Z_1 Z_4 + \\ & 0.239 Z_2 Z_3 + 0.428 Z_2 Z_4 - 0.516 Z_3 Z_4 + \\ & 0.505 Z_1 + 0.125 Z_2 + 0.114 Z_3 + 0.792 Z_4 \end{aligned}$$

所得到的回归方程与实际情况拟合较好。

(4) 影响混合机混合质量主次因素依次为,转筒倾角 > 充满系数 > 混合时间 > 转筒转速;交互作用影响顺序为,混合时间与充满系数 > 转筒倾角与转筒转速 > 转筒转速与充满系数 > 转筒转速与混合时间。

(5) 当混合机转筒倾角为 20°,转筒转速 33 r · min<sup>-1</sup>,混合时间 6 min,充满系数 0.4 时混合均匀度变异系数 C<sub>v</sub> 为 3.21%,该机的混合质量最高。

#### 参 考 文 献

- [1] 周岩民. 饲料混合均匀度对动物生产性能的影响[J]. 粮食与饲料工业,1997(12):15~16
- [2] 史同生,闫兰英. 混合的性能确认探讨[J]. 医药工程设计杂志,2002(1):31~33
- [3] 配合饲料混合均匀度的测定[S]. GB/T5918-1997. 饲料工业标准汇编. 北京:中国标准出版社,2002. 67~69
- [4] 袁志发,周静芋. 试验设计与分析[M]. 北京:高等教育出版社,2000. 72~82
- [5] 陈桂明,戚红雨,潘伟. MATLAB 数理统计(6.x)[M]. 北京:科学出版社,2002. 192~245