

## 利用分级式冲击磨制备超细全脂大豆粉

王焱<sup>1</sup>, 陈海焱<sup>2</sup>, 张明星<sup>2</sup>, 李子林<sup>3</sup>

(1. 西南科技大学 材料科学与工程学院; 2. 西南科技大学 环境与资源学院; 3. 西南科技大学 土木工程与建筑学院, 四川 绵阳 621010)

**摘要:**采用 LNI-610-30 分级式冲击磨粉碎设备, 在干法状态下分别使用陶瓷和不锈钢 2 种打击轨道粉碎全脂大豆。结果表明: 国产设备有能力制备平均粒度为 7.5  $\mu\text{m}$  的超细全脂大豆粉; 试验得到样品的粒径分布和粒度大小与标准样品相近, 且试验设备产量大、效率高, 能耗约为气流粉碎设备的三分之一; 但是豆粉溶解度和生成产品的口感不理想, 粉碎温度偏高, 设备内部粘附现象严重。

**关键词:**全脂大豆; 超细粉碎; 分级式冲击磨

中图分类号: TS214.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-9841(2010)01-0127-04

## Ultra-fine Full-fat Soybean Powder Processed by Using Classify-impact Mill

WANG Yan<sup>1</sup>, CHEN Hai-yan<sup>2</sup>, ZHANG Ming-xing<sup>2</sup>, LI Zi-lin<sup>3</sup>

(1. Department of Materials Science and Engineering, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010; 2. Department of Environment and Resource, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010; 3. Department of Civil Engineering and Architecture, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, Sichuan, China)

**Abstract:** In order to confirm domestic equipments have ability to produce ultra-fine full-fat soybean powder, LNI-610-30 classify-impact equipment was used to crash full-fat soybean under dry method, the experiment was carried out by using ceramic impacting orbit and stainless steel impacting orbit respectively. Japanese ultra-fine full-fat soybean powder which was produced by jet mill, supplied by VV Group was used as standard. According to the measuring of powder yield, particle size, system flow and temperature, the experimental samples' particles size and distribution were similar to the standard sample. Furthermore, compare with jet mill, LNI-610-30 has higher production and efficiency, its energy consumption was nearly as one-third time as jet mills. But higher crushing temperature led to adhesion of internal equipment, and also had adverse impact on experimental powder's solubility and its product's mouth-feel. Therefore, domestic equipments have ability to produce ultra-fine full-fat soybean powder that average particle size is 7.5  $\mu\text{m}$ .

**Key words:** Full-fat soybean; Ultra-fine grinding; Classify-impact mill

大豆的超细粉碎主要集中在脱脂大豆的粉碎上, 全脂大豆的粉碎一般只达到 100 目左右, 用于调制食品和作动物饲料<sup>[1]</sup>。文中提到的超细粉是以日本粉样为标准定义的, 即平均粒度为 7.5  $\mu\text{m}$ , 最大粒径不小于 360 目。经过超细粉碎后的全脂大豆, 保健成分不但没有遭到破坏, 其性能反而得到优化<sup>[2]</sup>, 更易于被人体吸收。脱脂大豆在粉碎前需要清洗、浸泡、打浆、过滤、压榨等多重处理工艺<sup>[3]</sup>, 处理后脂肪含量大大减少, 颗粒不易团聚, 容易实现超细粉碎。与之相比, 全脂大豆在粉碎前只进行清洗、破瓣、半脱皮等简单处理, 由于未进行脱脂处理, 在粉碎中极易发生细粉的黏附和团聚, 如果工艺和设

备设计不合理, 要顺利加工超细粉非常困难。而目前国内加工超细全脂大豆粉的企业几乎都采用进口设备。现采用国产 LNI-610-30 型分级式冲击磨在干法状态下粉碎全脂大豆, 对粉碎过程中出现的问题进行讨论分析, 为国产设备加工超细全脂大豆粉提供参考。

### 1 材料与方法

#### 1.1 原料与环境条件

原料: 经脱皮和破瓣处理的东北大豆, 含水率为 7.79%。作对比的标准豆粉样由维维集团提供, 该粉由日本进口的气流粉碎设备粉碎制得。

收稿日期: 2009-09-09

基金项目: 四川省科技厅科技攻关资助项目(02SG011-044)。

第一作者简介: 王焱(1984-), 女, 在读硕士, 研究方向为材料加工工程。E-mail: wangyan84@yeah.net。

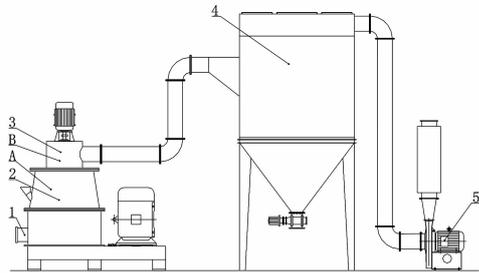
通讯作者: 陈海焱, 教授。E-mail: chenhaiyan@swust.edu.cn。

环境条件:空气温度为 12.9℃ 左右,空气相对湿度为 63% 左右(环境温度和相对湿度在每次打料时略有变化,试验中取均值)。

## 1.2 仪器设备

设备:采用绵阳流能粉体设备有限公司提供的 LNI-610-30 型分级式冲击磨系统,该系统属于干法超细高速机械粉碎设备<sup>[4]</sup>,由锤式冲击磨(传动电机 30 KW)、分级机(传动机电机 5.5 KW)、除尘器及高压引风机(传动电机 18.5 KW)、电源控制柜、变频器等组成。设备系统图如图 1 所示。

测试仪器:瑞典 SwemaAir - 50 风速仪、德国 OPTRIS 红外测温仪、国产 DHM2 型通风干湿表、国产 SH10A 型水分快速测定仪、国产 SXP - 8CE 型生物显微镜、国产 OMEC LS - POP(Ⅲ)型激光粒度分析仪。



1. 进风口;2. 锤式冲击磨;3. 分级机;4. 除尘器;5. 高压引风机;

A. 粉碎区处的温度测点;B. 分级机处的温度测点

1. Air inlet;2. Hammer impact mills;3. Classifier;4. Dust collector;

5. High pressure draught fan

A. Measuring point near grinding area;B. Measuring point near classifier

图 1 分级式锤式冲击磨系统图

Fig. 1 Classify - impact mill system

## 1.3 试验方法

根据试验设备特点,在除尘器处进行取样,并测定样品的粒径大小和粒度分布,同时对系统流量和系统关键部位温度进行测量,并将试验样品的各项指标与标准样品进行对比分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同打击轨道下豆粉的产量、粒度及系统流量和温度

大豆粉经分级后由除尘器中得到,其主要衡量指标为产量和粒度。粉碎系统温度的高低对于大豆粉碎时的团聚和粘附以及生成产品的口感质量有重

要影响,因此有必要测定粉碎系统关键部位的温度。试验固定分级机频率  $f_1$  为 30 Hz,分别在陶瓷和不锈钢打击轨道下进行粉碎,记录了二种情况下的系统流量,以及粉碎区处温度测点 A 和分级机处温度测点 B 分别在设备运行稳定时的温度  $T_1$  和运行稳定 30 min 后的温度  $T_2$ 。

表 1  $f_1 = 30\text{Hz}$  时豆粉的产量与粒度

Table 1 Production and particle size of soybean powder when  $f_1 = 30\text{ Hz}$

	陶瓷轨道	不锈钢轨道
	Ceramic orbit	Stainless steel orbit
产量 Output/ $\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$	115.0	92.4
粒度 $d_{50}$ particle sized <sub>50</sub> / $\mu\text{m}$	5.0	7.0
系统流量 System flow/ $\text{m}^3 \cdot \text{Min}^{-1}$	67.8	71.7

表 2  $f_1 = 30\text{ Hz}$  时 A、B 点的温度变化

Table 2 Temperature variation of point A and B when  $f_1 = 30\text{ Hz}$

	陶瓷轨道		陶瓷轨道	
	Ceramic orbit		Ceramic orbit	
	Stainless steel orbit			
	$T_1/^\circ\text{C}$	$T_2/^\circ\text{C}$	$T_1/^\circ\text{C}$	$T_2/^\circ\text{C}$
A 点 Point A	18.4	28.2	20.3	30.3
B 点 Point A	20.9	29.5	21.6	33.2

由表 1 可知,陶瓷轨道与不锈钢轨道相比,豆粉产量较多,且平均粒度小于不锈钢轨道粉碎得到的豆粉,但是前者粉碎时系统流量偏小。由表 2 可知,运行稳定 30 min 后,二种粉碎轨道下,A、B 测点的温升均为 10℃ 左右,采用不锈钢轨道粉碎的温度普遍比采用陶瓷轨道粉碎的温度高。

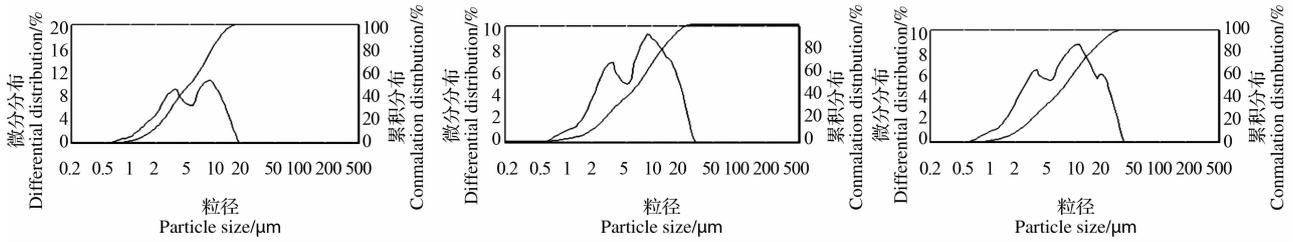
### 2.2 豆粉粒径分布曲线

试验得到的 2 种豆粉与标准豆粉的粒径分布曲线分别见图 2 的 A、B、C。

结合表 1,从图 2 的 A、B、C 中可以看出,采用陶瓷轨道粉碎得到的豆粉粒径分布在 0.6 ~ 20  $\mu\text{m}$  区间范围内,以 5  $\mu\text{m}$  为分界,二段区间累积基本持平。采用不锈钢轨道粉碎得到的豆粉粒径分布在 0.6 ~ 30  $\mu\text{m}$  区间范围内,5 ~ 20  $\mu\text{m}$  区间的累积较多。标准粉样的粒径分布在 0.6 ~ 40  $\mu\text{m}$  区间范围内,分三段累积,以 5 ~ 19  $\mu\text{m}$  区间范围为主。对比分析三者的粒度分布曲线可知,陶瓷轨道下粉碎得到的豆粉粒度分布较窄,整体粒径较细,细粉偏多,

粒度分布不集中;不锈钢轨道下得到的豆粉,粒径分布较前者宽,细粉较少,粒度累积集中区间和标准样

十分接近。相比之下,标准豆粉样的粒径分布宽,粗粉和细粉二段累积较多。



A. 陶瓷轨道粉样粒径分布曲线 B. 不锈钢轨道粉样粒径分布曲线 C. 标准粉样粒径分布曲线

A. Particle size distribution of ceramic orbit sample B. Particle size distribution of stainless steel orbit sample C. Particle size distribution of standard sample

图2 试验所得样品与标准样品的粒径分布曲线

Fig. 2 Particles distribution comparison among experimental and standard sample

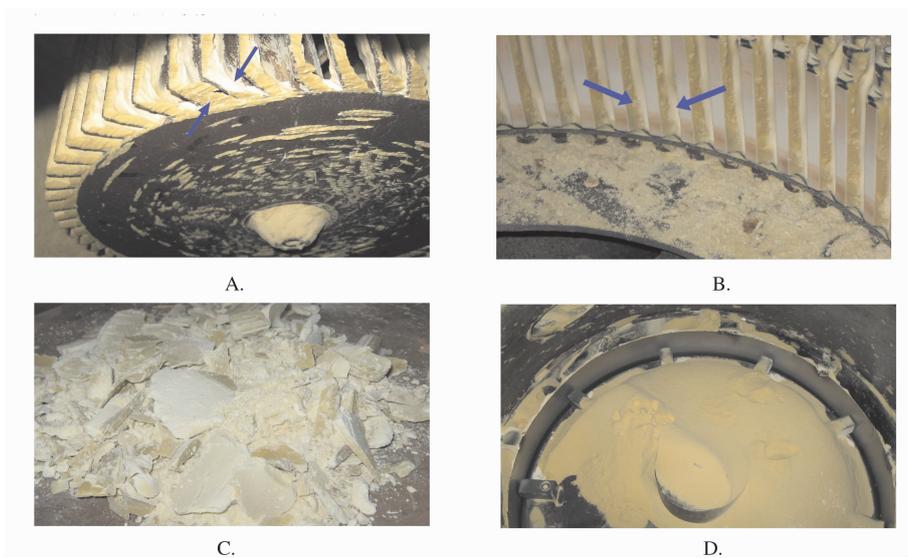
为了对分级式冲击磨的能耗有直观认识,采用LN-36气流粉碎设备做对比,粉碎全脂大豆,得到的豆粉溶解度和生成产品的口感非常好,但是能耗高,产量低。采用LNI-610-30型分级式冲击磨,能耗约为气流粉碎设备的三分之一,得到的豆粉粒径分布、粒度大小与标准样品非常相近,但是豆粉溶解度不理想,生成产品的口感上豆腥味略重。

后停止打料,将设备拆卸后发现管道内壁和分级机叶片上粘附了大量豆粉。采用陶瓷轨道粉碎时,轨道凹槽处粘附了大量油脂状的粉状硬块,清理十分困难,而且随着粉碎时间的延长,内部粘附的豆粉越来越多,导致产量逐渐降低。采用不锈钢轨道粉碎时,轨道内壁没有粘附,但是粉碎区磨盘上堆积了较多渣料。

2.3 设备内部粘附情况

采用LNI-610-30型分级式冲击磨连续工作3 h

从图3A、B中不同的箭头指向可以看出,粘附到设备上的豆粉有二种形式,一种呈暗黄色油



A. 分级机叶片的粘附情况 B. 陶瓷轨道的粘附情况 C. 从陶瓷轨道粉碎区清理下来的粉块 D. 不锈钢轨道的粘附及渣料堆积情况  
A. Adhesion situation of classifier vane B. Adhesion situation of ceramic orbit  
C. Powder block cleaned from crush district D. Adhesion situation of stainless steel orbit

图3 设备内部粘附及渣料堆积情况

Fig. 3 Adhesion and powder block situation

脂状,难于清理,另一种呈乳白色粉状,附着在油脂状豆粉上与其同时出现。图3C是从采用陶瓷轨道时的机械磨粉碎区人工清理下来的豆粉块,这些豆粉块比较密实,手感硬脆,粘附在轨道内壁和粉碎磨盘上很难清理干净。图3D是采用不锈钢轨道粉碎时粉碎区的情况,由于轨道表面采用不锈钢材料,使豆粉不易粘附其上,因此轨道内壁很干净,但是与陶瓷材料相比,不锈钢摩擦系数减小,对大豆的打击稍弱,因而在粉碎区堆积了很多没有完全粉碎的渣料,这些渣料呈深黄色,明显是大豆中含油较多的部分。

分析以上出现粘附现象的原因,在设备运行30 min后,A、B外测点的温度都接近或高于30℃(表2),分级式冲击磨以轨道打击物料粉碎为主,因此粉碎区的温度会更高。该温度下大豆中所含油脂会部分析出,加上原料本身和外界通入气流中含有的水分,以及豆粉自身的粘性,这些都可能是豆粉发生团聚而在设备内部粘附的原因。其次,豆粉在整个粉碎区、分级机和传送管道内部的粘附,使设备整体传热性下降,内部温度升高。由文献[5~7]可知,大豆蛋白在50℃时逐渐开始发生变性,而且在热、研磨的作用下,会出现硬化、溶解性下降的现象,这很可能是引起豆粉溶解度下降、口感变差的原因,也间接反应出粉碎温度可能达到甚至超过50℃。由于现有仪器和设备本身的限制,无法测到设备内部温度,但是将3种豆粉在同种环境下熬煮豆浆后对比发现,机械磨粉碎得到的豆粉溶解度明显小于其它2种豆粉,由此也可以推断出采用冲击式机械磨的粉碎温度并不理想。

### 3 结论与讨论

通过对3种样品的粒径分布曲线比较可知,现有的国产粉碎设备完全有能力加工超细全脂大豆粉,而且豆粉的粒径大小、粒度分布与进口设备加工得到的粉样十分相近。采用分级式冲击磨制备超细全脂大豆粉,产量大,效率高,能耗几乎是气流粉碎设备的三分之一。

由于设备本身及原料物性的特点,采用分级式冲击磨粉碎时,粉碎温度偏高导致设备内部粘附现

象严重,对豆粉的溶解度和口感有不利影响。针对该现象,提出改进建议:(1)打击轨道、锤头和粉碎圆盘材料选用摩擦系数小的食品级材料,保证粉碎系统的卫生性;系统中气固两相流流经的部位采用流线型,叶片进行表面光滑处理,减小旋转分级时豆粉对表面材料的粘附;由于大豆本身特殊的物性,在粉碎中粘附是不可完全避免的,故应考虑在设备内部气流易形成回转死角的部位增加自清洁装置,无需拆卸即可清洗;(2)通过增设冷干机,降低粉碎气流的温度和含水量,还可以增加部分回热,降低粉碎气流中的相对湿度,减小环境温度和湿度对粉碎过程的影响;延长原料预处理中的干燥时间,尽可能降低原料的含水量,以减少大豆自身含水量对细粉团聚的影响。

### 参考文献

- [1] B. E. 考德威尔. 大豆的改良生产和利用[M]. 吉林省农业科学院,译. 北京:农业出版社,1982:630. (Bill E. Caldwell. Soybeans: Improvement, Production, and Uses[M]. Jilin Provincial Academy of Agricultural Science, Translate. Beijing: Agriculture Press, 1982: 630.)
- [2] 肖安红,邝艳梅,孙秀发,等. 超微粉碎对大豆豆皮膳食纤维性质影响的研究[J]. 食品工业科技,2008(10):99-103. (Xiao A H, Kuang Y M, Sun X F. Study on effect of ultra-crushed on the characters of dietary fiber made from soybean bran[J]. Science and Technology of Food Industry, 2008(10): 99-103.)
- [3] Zeki Berk. Technology of production of edible flours and protein products from soybeans[C]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1992.
- [4] 张国旺,黄圣生. 超细粉碎技术的应用和发展[J]. 矿业快报, 2002(1):1-3. (Zhang G W, Huang S S. Application and development of ultra-fine grinding[J]. Express Information of Mining Industry, 2002(1):1-3.)
- [5] 田少君,雷继鹏,孙阿鑫,等. 温度对大豆蛋白流变特性的影响[J]. 中国油脂,2004,29(10):47-49. (Tian S J, Lei J P, Sun A X. Effect of temperature on the technology of soybean protein[J]. China Oils and Fats, 2004, 29(10): 47-49.)
- [6] 王一川. 糖类和蛋白质[M]. 上海:教育出版社,1983:66. (Wang Y C. Carbohydrate and protein[M]. Shanghai: National Defense Industry Press, 1983:66.)
- [7] 华欲飞. 大豆分离蛋白性能优化关键技术[J]. 中国油脂,2001, 26(6):79-81. (Hua Y F. Critical technology in the optimization of soybean protein isolate performance[J]. China Oils and Fats, 2001, 26(6):79-81.)