

[制造·使用·改进]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2014.06.027

旋风磨研磨效率优化设计

张大伟

(苏州大学机电工程学院, 江苏 苏州 215021)

摘要:为了解决旋风磨研磨效率低的问题,通过数值计算和 Fluent 模型分析,研究其研磨机理,发现旋风磨的风道结构设计不合理,从而导致旋风磨研磨的样品容易在风道堆积甚至发生阻塞。重新设计了风道,风道进气口段与研磨腔体的圆心共线,在风道中间位置设计 1 个 135° 的拐角,此结构使腔体内气流速度从 88.7 m/s 提升到 107.0 m/s ,而且消除了风道内不良湍流,显著地提高了旋风磨的研磨效率。

关键词:旋风磨;研磨效率;风道;优化;Fluent 模型

中图分类号: TG74

文献标志码: A

文章编号: 1005-2895(2014)06-0104-04

Grinding Efficiency Optimization Design for Cyclone Mill

ZHANG Dawei

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Soochow University, Suzhou, Jiangsu 215021, China)

Abstract: Research on grinding mechanism through numerical analysis and Fluent analysis, the unreasonable structure of air duct is the reason for cyclone mill lower grinding efficiency. This structure can make sample easily accumulate in the air duct and even occurs obstruction. This paper redesigned the structure of air duct. Air duct inlet section and the center of the circle of grinding chamber were the same line, and in the middle of air duct there was a 135° corner. This structure made the air flow velocity increase from 88.7 m/s to 107.0 m/s , and eliminated undesirable turbulent wind in the air duct, significantly improved the grinding efficiency of cyclone mill.

Key words: cyclone mill; mill efficiency; air duct; optimization; Fluent

近红外光谱技术在农副产品分析中有着广泛应用。对于种子、谷物、饲料等纤维类样品的检测,近红外检测设备的检测精确度很大程度上取决于样品颗粒的匀一性^[1]。为了获得精确的测定结果,待测样品的预处理颗粒度要与定标样品的预处理颗粒度保持一致。旋风磨作为近红外光谱设备检测的前处理设备^[2],对其性能的研究尤为重要^[3]。而现有旋风磨最大的缺陷是效率低下,加样品速度需要有一定的控制,如果加样速度过快,一方面样品容易在研磨室与出料口之间的风道堆积,最终导致阻塞;另一方面,由于旋风磨转盘形成的气流不能快速而有效的将样品从研磨室排出,从而导致样品不断地在研磨室堆积,最终导致研磨室出口处的筛网阻塞。本文基于旋风磨,利用 Fluent 软件对粉碎样品气流流场进行数值模拟,从而

优化旋风磨结构,提高研磨效率。

1 旋风磨的结构和工作原理

旋风磨的结构见图 1。旋风磨由加样系统、机体、叶轮、研磨环、筛网和收料装置组成。研磨室腔体内边缘为一圈研磨环,研磨环材质为镀钼不锈钢。研磨室出料口处有一个开有一定规格筛孔的筛网。进料口位于叶轮正上方。

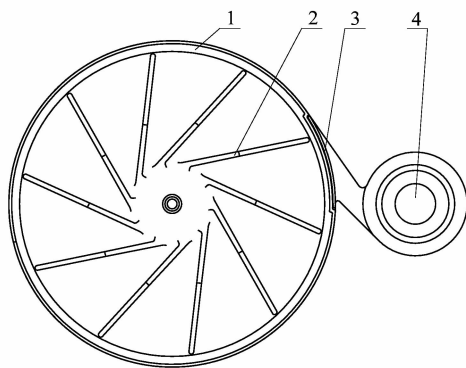
旋风磨在工作时,样品从进料孔落下,受到高速旋转的叶轮撞击而破裂,并且以非常高的速度飞向研磨环,样品到达研磨环上后,与研磨环高速摩擦进一步粉碎。当样品颗粒大小研磨到比筛网的网孔还要小的时候,样品就被叶轮高速旋转产生的气流从研磨室通过筛网吹出送到样品收集瓶中。分析整个研磨过程,可以看出旋风磨粉碎样品主要有两个方面构成:一是样

收稿日期:2014-04-24;修回日期:2014-06-23

作者简介:张大伟(1985),男,江苏苏州人,硕士研究生,主要研究方向为食品检测设备、分析仪器。E-mail:butterflydw@163.com

品受到叶轮的高速撞击作用;二是样品与研磨环的摩擦作用。对于谷物等脆性物料,主要受撞击作用而粉碎;对于韧性大的样品,主要受摩擦作用而粉碎。

从整个过程来看,叶轮的机械性能、机构尺寸、形状都直接影响了样品的研磨水平,而研磨室与出料口之间的风道对样品通过效率也有着决定性的影响。



1—研磨环;2—叶轮;3—筛网;4—出料口

图1 旋风磨结构示意图

Figure 1 Cyclone mill structural sketch

2 数值计算与模型模拟

1) 叶轮的工作原理

叶轮与样品撞击从而粉碎样品;叶轮与样品的撞击力和叶轮旋转产生的气流一起加速样品,使样品在研磨环上摩擦从而粉碎样品;叶轮旋转产生的气流将研磨好的样品从研磨室吹出送到样品收集器中。

2) 测试样品小麦的特性

小麦颗粒的单粒质量为 $0.03 \sim 0.04 \text{ g}$, 小麦密度为 $0.75 \sim 0.79 \text{ g/cm}^3$, 其颗粒近似为直径 $\varnothing 3 \text{ mm}$, 长 6 mm 的圆柱, 小麦的压断破裂力约为 $85 \sim 105 \text{ N}^{[4]}$ 。

对于刚放入的样品颗粒, 无论叶轮的叶片形状如何改变, 其首次撞击的力都是相同的。现旋风磨叶轮直径为 $\varnothing 128 \text{ mm}$, 叶轮转速 n 为 $10\,700 \text{ r/min}$, 叶轮端部线速度为

$$v = 2\pi nr/60 = (2 \times 3.14 \times 10\,700 \times 64 \times 10^{-3})/60 = 71.7 \text{ m/s}。$$

叶轮上叶片与单颗样品撞击时间为 $(1 \sim 4) \times 10^{-5} \text{ s}$, 小麦的初始速度为 0 m/s 。此时正撞击的撞击力计算: 冲量 = 动量, 即 $Ft_s = mv$, 从而得知撞击力为

$$F = mv/t_s。$$

式中: m 为撞击物质量/ kg ; v 为撞击速度/ $(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$; t_s 为撞击时间/ $\text{s}^{[5]}$ 。

设撞击时间为 $1 \times 10^{-5} \text{ s}$, 则撞击力

$$F = (10^{-3} \times 0.03 \times 71.7)/(1 \times 10^{-5}) = 215 \text{ N}$$

此时撞击力大于小麦的最大压断破裂力 105 N , 小麦被撞击粉碎。

由此可以看出, 当小麦颗粒质量减小到原来的一半时, 撞击力同时减小到原来的一半, 变为 107.5 N , 已经接近小麦的最大压断破裂力 105 N 。所以小麦颗粒粉碎到一定程度后, 光靠叶轮的撞击已经很难再粉碎样品了。此时粉碎样品主要靠研磨环的研磨。虽然可以增大叶轮的直径来增加叶轮端部线速度, 从而增加撞击力, 但是增加的范围还是很有限。所以叶轮在相同转速下所形成的气流带动小麦颗粒在研磨环上研磨就显得尤为重要, 而且气流速度的增加对样品的出料也有非常大的帮助。

3) 旋风磨原叶轮和风道的数值模拟

用 Inventor 生成图 2(a) 所示的叶轮模型后, 输出保存为 step 格式 (*.stp)。将 step 模型导入 Fluent 前处理软件 GAMBIT 中生成所需计算的几何模型, 随后进行网格划分。设置所需的相关参数后, 导出为 Fluent 用的网格格式 (*.msh) 的文件。打开 ANSYS Workbench, 启动 Fluent 组件, 设置软件为 2D 模式, 导入 GAMBIT 生成的网格文件。设置叶轮旋转转速为 $10\,700 \text{ r/min}$, 旋转方向为逆时针, 湍流模型 Viscous-Laminar 设置为 k-epsilon (2 eqn); 采用 Fluent 默认的无滑移固壁条件; 使用 SIMPLE 算法^[6]。进口边界条件、出口边界条件均设置为压强出口, 压强为零^[7-9]。

观察研磨室, 从压强分布云图(图 2(b)) 可以看出, 腔体内的压强从中心到最外边呈增大趋势, 非常有利于样品从低速区向高速区移动, 最大压强位于腔体外边缘处为 3.77 kPa , 在此高压下, 可使物料紧贴研磨环产生摩擦从而粉碎样品。而从速度分布云图(图 2(c)) 看, 气流速度最大值出现在叶轮外边缘与腔体出口处的交界, 为 88.7 m/s , 而其他叶轮外边缘处的气流速度在 $66.5 \sim 71.0 \text{ m/s}$ 之间, 此数值接近理论计算值。再观察研磨室出口与物料出口之间的风道区域, 从压强分布云图可以看出, 研磨室出口处存在一个 -2.29 kPa 的负压区域, 而此区域正好对应速度云图上的一个低速区, 最低气流速度为 0 m/s 。此区域的存在, 证实了旋风磨存在使物料在研磨室出口处堆积导致风道阻塞的缺陷。

3 优化设计

叶轮的叶片形状有单板型、圆弧型和机翼型等几种, 见图 3。原旋风磨叶轮为单板型叶轮。单板型直叶片虽然流动特性差, 但加工制造简单, 所以市场上应用比较广泛^[10]。机翼型叶片具有良好的空气动力学

特性,效率高,缺点是制造工艺复杂,叶片容易磨损,叶轮磨损后容易使叶轮失去平衡而产生振动。圆弧型叶片与机翼型叶片相比,除最高效率点附近效率低些外,其它工况点的效率是相当接近的。考虑到机翼型叶片

和圆弧型叶片的加工复杂度,特别是其易磨损的特性,故不再考虑这 2 种类型叶片,仍采用单板型叶片形状进行分析。

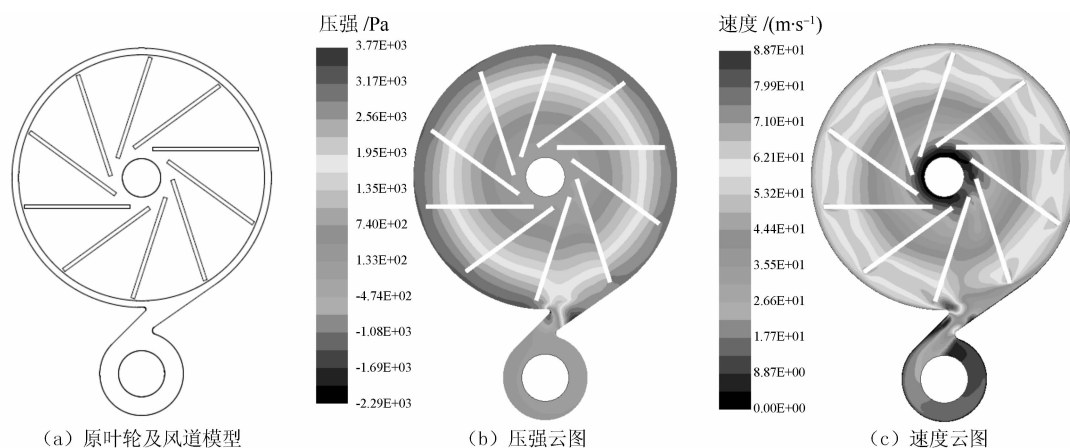


图 2 原叶轮模型与分析结果

Figure 2 Original impeller model and analysis results

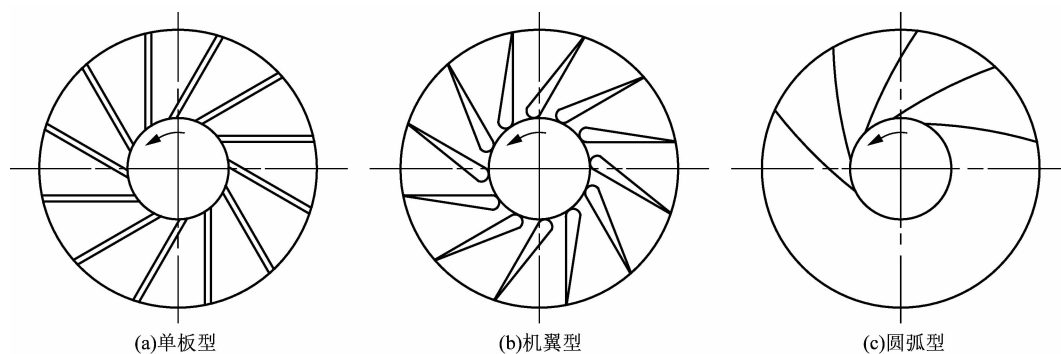


图 3 叶轮叶片形状

Figure 3 Impeller blade shape

由于旋风磨的叶轮旋转方向为逆时针方向,所以原风道结构的风道出风口位置不在气流旋转的切线方向。现修改风道位置使其与气流旋转方向相切,见图 4(a),使气流能顺畅地从研磨室排出。对此模型进行数值模拟,图 4(b)和(c)为其压强云图和速度云图。观察研磨室,从压强云图看出,压强分布类似原风道模型,但是其最大压强为 3.17 kPa,低于原风道模型的 3.77 kPa。从速度云图看,其最大气流速度为 80 m/s,也低于原风道模型的 88.7 m/s。这些数据说明这种相切的风道模型研磨室研磨效率会比原风道模型低。但是观察其风道上的压强云图和速度云图,发现在此区域没有低压区域和气流速度为零的区域,这说明这种风道结构不容易产生样品堆积从而导致风道阻塞。

从上面分析看出,原风道模型和相切风道模型各有其优缺点,现在综合 2 种风道结构,设计兼具 2 种风

道结构的优点,既提高研磨室的研磨效率,又使样品在风道区域内不容易阻塞(图 5)。图 5(a)为优化后的风道结构。风道与研磨室呈 45°,风道中间设计一拐角,以降低出料口的气流速度,有利于磨碎后的样品沉淀。图 5(b)和(c)为其压强云图和速度云图。从压强云图看,腔体内最大压强为 3.24 kPa,低于原风道结构压强的 3.77 kPa,但从速度云图看,腔体内气流的最大速度达到了 107 m/s,远大于最初的 88.7 m/s。而速度值最大气流区域位于腔体出口处,这样非常有利于粉碎后的样品的出料。虽然风道出口处的右侧有非常小的一个速度低值区域,但是此区域同时还是一个高压区域,所以这样的区域对样品的堆积基本没影响。综上所述,此结构完全达到了设计需求,大大提高旋风磨的研磨效率的同时不容易使样品堆积导致阻塞。

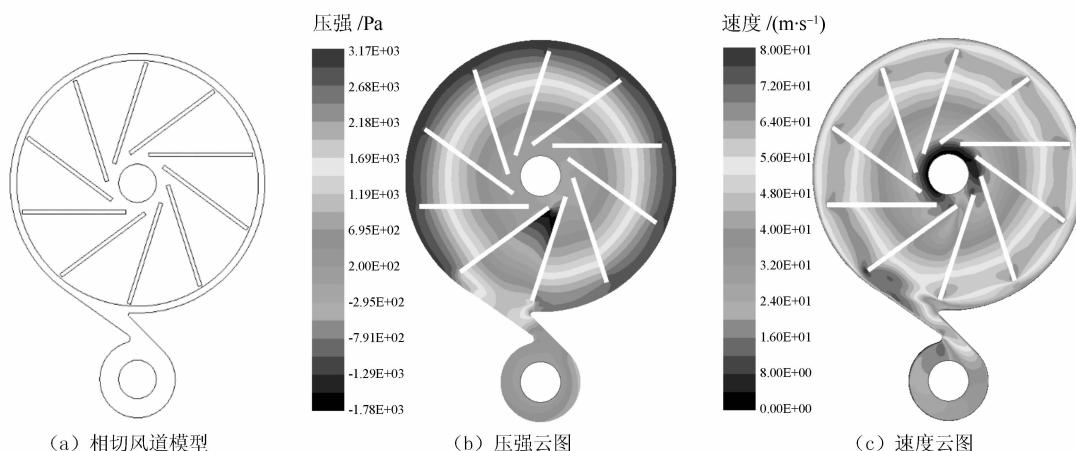


图4 相切风道模型与分析结果

Figure 4 Tangent air duct model and analysis results

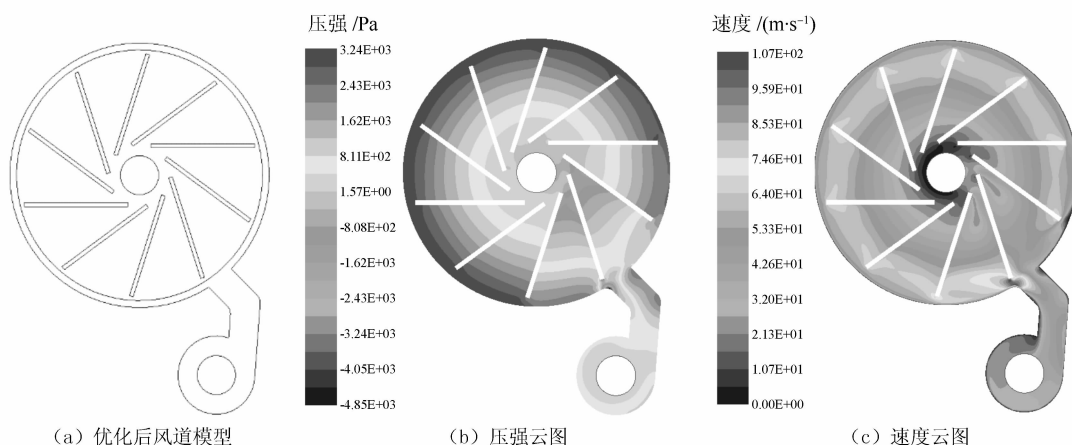


图5 优化后风道模型与分析结果

Figure 5 Optimized air duct model and analysis results

4 结语

1) 旋风磨的粉碎样品主要靠高速旋转的样品流与研磨环的摩擦来实现,而高速旋转的叶轮主要提供样品高速运动的气流以及使样品紧贴研磨环研磨的高压。

2) 通过 Fluent 分析得出,原旋风磨风道内存在低压区域而且此区域的气流速度为 0 m/s,所以非常容易导致样品堆积阻塞。结合研磨腔内气流流动规律和原旋风磨结构的优点,设计出新的风道结构,此结构最高的气流速度比原风道增加了 120%,而且风道内也不容易出现样品堆积的情况,所以可以提高加样速度,从而显著提高旋风磨的研磨效率。

3) 文中叶轮的叶片仍采用原机器的单板型叶片,如能解决机翼型叶片或圆弧型叶片的加工问题和易磨损等缺点,从而采用新型叶轮,旋风磨的效率还将进一步提高。

参考文献:

- [1] 赵枝新,金岭梅. 粉碎粒度对近红外分析仪测定饲料样品干物质和粗蛋白质含量的影响[J]. 中国饲料,2002(3):35-37.
- [2] 董亮,张赞蓉. 粉碎技术在样品前处理中的应用:利用 RETSCH 研磨粉碎仪器获得有代表性的样品[J]. 食品安全导刊,2011(11):34-35.
- [3] 孙德平. 粉碎机的分类及应用[J]. 机电信息,2004(12):48-49.
- [4] 程玉来,孙成旺. 小麦籽粒抗剪切力与其品质性状的关系[J]. 农业工程学报,2009,25(6):314-316.
- [5] 王永昌,俞信国. 提高有筛锤片粉碎机粉碎效率的主要途径[J]. 饲料工业,2009,30(17):1-4.
- [6] 沈培玉,赵浩,张裕中. 农产品物料高速切割粉碎场数值模拟与试验[J]. 农业机械学报,2010,41(9):60-65.
- [7] 唐家鹏. FLUENT 14.0 超级学习手册[M]. 北京:人民邮电出版社,2013.
- [8] 黄志新,刘成柱. ANSYS WORKBENCH 14.0 超级学习手册[M]. 北京:人民邮电出版社,2013.
- [9] 李鹏飞,徐敏义,王飞飞. 精通 CFD 工程仿真与案例实战:FLUENT GAMBIT ICEM CFD Tecplot[M]. 北京:人民邮电出版社,2011.
- [10] 左国华. 机翼型及板型叶片轴流风机气动性能计算及比较[J]. 节能技术,2008,26(2):133-135.