

双级活塞推料离心机筛网的优化设计

马新龙¹, 谭蔚¹, 刘丽艳^{1*}, 张永政², 沙恩典², 陶渊卿²

(1. 天津大学化工学院, 天津 300072; 2. 浙江轻机实业有限公司, 浙江 杭州 311401)

摘要:针对现有推料离心机筛网对滤液流动阻力过大的问题,采用计算流体力学(CFD)软件 FLUENT 模拟研究了筛网缝隙内的流体运动轨迹,探究了筛网倾角对降低滤液流动阻力的影响,进而得到了不同离心机转速下最优的筛网倾角。结果表明,带倾角的筛网可以有效降低其对滤液的流动阻力,随着离心机转速的增加,滤液和夹带的固体颗粒更易于贴着左侧壁面排出筛网缝隙,最优筛网倾角也随着转速的变化而变化。1 000 ~ 1 100 r/min 转速下,倾角 7° 时的筛网最优;1 200 ~ 1 300 r/min 转速下,倾角 8° 时的筛网最优。

关键词:双级活塞推料离心机;筛网;CFD;阻力

中图分类号:TQ051.8

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2014)02-0152-04

Optimization design of sieve in two-stage piston pusher centrifuge

MA Xin-long¹, TAN Wei¹, LIU Li-yan^{1*}, ZHANG Yong-zheng², SHA En-dian², TAO Yuan-qing²

(1. School of Chemical Engineering and Technology, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2. Zhejiang Qingji Industry Limited Company, Hangzhou 311401, China)

Abstract: To solve the problem that the oversized resistance of sieve to filtrate, the computational fluid dynamics (CFD) software FLUENT is used to simulate the motion trajectory of fluid in sieve, explore the influence of sieve angle on reduction of the resistance of sieve to filtrate, getting the best angle of sieve angle. The result shows that the inclined sieve is an effective method to reduce the flow resistance. With the increase of rotational speed, more and more filtrate and entrained particles concentrated on the left side wall of sieve throw away from the outlet, and hence the best inclined sieve changes with rotational speed. At speed of 1 000 - 1 100 r/min, 7° inclined sieve is the best for reduction of the flow resistance. At speed of 1 200 - 1 300 r/min, 8° inclined sieve is the best for reduction of the flow resistance.

Key words: two-stage piston pusher centrifuge; sieve; CFD; resistance

活塞推料离心机是一种连续运转、自动操作、脉动卸料的过滤式离心机,可在全速运转下完成进料、离心分离、过滤、洗涤、干燥和卸料等所有操作工序,具有操作连续、生产能力大、滤饼含湿率低、装置紧凑等优点^[1]。

卧式双级活塞推料离心机是活塞推料离心机中使用最广泛的一种,其对具有良好过滤性能的晶粒、颗粒及纤维有着很好的适应性,广泛用于化肥、制盐、氯碱等行业^[2-3]。筛网是离心分离的重要零件,直接影响分离效果及操作性能。传统的推料离心机筛网是采用楔形金属条串接组装或焊接而成的条状滤网,因网隙尺寸精度差,与物料接触的工作面不平整等缺点,滤饼层在筛网上移动摩擦阻力大,因此所需推料力也较大^[4-5]。

新型板网采用特殊的加工工艺制作,为条形筛孔,在分离时,较小的缝隙和截留下来的滤饼层能有效地阻挡固体颗粒通过。板网的每条缝隙处有一个锥角 θ ,开口与离心力方向一致,具有缝隙均匀、寿命长、抗阻塞、易清洗等优点,有利于减少推料阻

力^[6-7]。但离心过滤过程中,滤饼层的可压缩性及筛网缝隙对滤液流动阻力过大等原因,使滤液不能及时排出,易引起操作不稳定、离心机振动以及滤饼含湿率增加等不利现象。近几年兴起的计算流体力学方法为研究离心机的分离过程和分离效果提供了新的方法^[8-13]。为此,本文中采用 FLUENT 软件对 P-85 型双级活塞推料离心机筛网缝隙处流场进行三维瞬态模拟,研究其内部流场的运动规律。探究了不同转速下不同筛网倾角的流体流动情况,为筛网优化设计提供依据。

1 双级活塞推料离心机工作原理

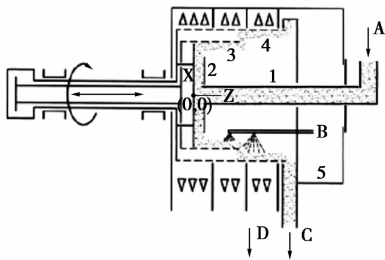
P-85 型双级活塞推料离心机结构如图 1 所示。其中筛网贴附于转鼓开孔表面,离心机筛网局部结构图如图 2 所示。被分离的物料通过进料管连续地供入离心机,由加速盘将物料均匀地撒在第 1 级转鼓上,由于转鼓高速旋转产生的离心力使大部分滤液通过筛网缝隙和转鼓小孔甩出转鼓外,并由液体收集罩汇集,经出口排出机外;固体部分沉积在筛网

收稿日期:2013-08-28

基金项目:长江学者和创新团队发展计划资助项目(IRT0936)

作者简介:马新龙(1988-),男,硕士生;刘丽艳(1977-),女,博士,副教授,研究方向为传质与分离,通讯联系人,022-27408728,liuliyant@tju.edu.cn。

上形成滤饼,在既旋转又往复运动的第一级转鼓的作用下,滤饼依次推进,当滤饼到达第二级转鼓出口处,被连续地经固体收集槽和出口排出机外^[14]。



1—进料管;2—加速盘;3—一级筛网和转鼓;4—二级筛网和转鼓
A—物料进口;B—洗涤装置;C—滤饼出口;D—滤液出口

图1 P-85型双级活塞推料离心机结构图

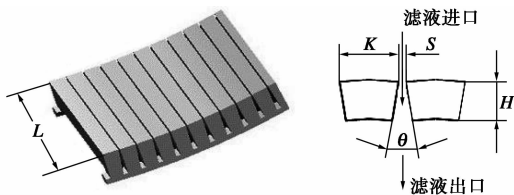


图2 离心机筛网结构图

2 数值模拟模型建立

2.1 模型结构分析与简化

离心机的结构参数与筛网的结构参数见表1所示。

表1 基本结构参数

项目	数值
筛网条间隔 S/mm	0.23
筛网条宽度 K/mm	4
筛网厚度 H/mm	6
筛网锥角 $\theta/(\text{°})$	9.27
一级筛网内直径 D_1/mm	740

由于缝隙尺寸与整个机器的尺寸相比非常小,如果按原模型建模,则会大大增加网格的数量,且可能影响计算精度。考虑到筛网结构具有整体对称性且80%以上的母液在第一级转鼓中已被分离,并且忽略物料在筛网内表面的轴向速度,所以将模型简化为一个筛网孔,从一级转鼓顶端 $Z=0\text{ mm}$ 处开始截取筛网孔,筛网孔在 Z 方向截取长度为 $L=40\text{ mm}$,且 0° 倾角的筛网孔相对于 $X=0\text{ mm}$ 平面对称分布,使用 FLUENT 的前置建模软件 GAMBIT 对筛网孔结构建立三维模型。为了全面反映筛网倾角对滤液和夹带颗粒阻力的影响,保证内筛网表面的

开孔率不变,筛网原有结构的锥角 θ 也不变,筛网倾斜角度 α 在 $0^\circ \sim 9^\circ$ 变化,图3中给出了筛网 0° 和 7° 时的三维模型图。

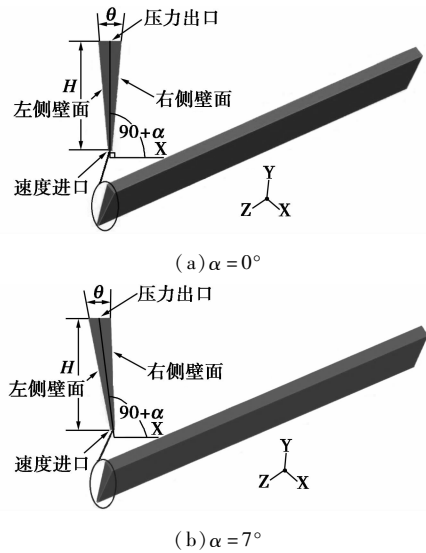


图3 筛网条模型图

2.2 模型简化和网格划分

针对本文中所研究的筛网的几何特征,为提高计算精度并有效控制计算量,对形状规整的筛网条的孔区域采用六面体网格。分别选取6 000、8 000、10 000数量的网格对筛网缝隙内的滤液和夹带颗粒分布进行分析,其中滤液和夹带颗粒的粒径为 0.15 mm ,进口宽度 $S=0.23\text{ mm}$,滤液和夹带颗粒在筛网条缝隙内的相分布吻合得很好,几乎没有差别。网格数量的增加,几乎不能提高计算精度,却大大增加了计算时间。所以,本文中选取6 000数量的网格对筛网缝隙内滤液和夹带颗粒的分布进行研究,图4给出了筛网缝隙处网格数量为6 000时的划分示意图。

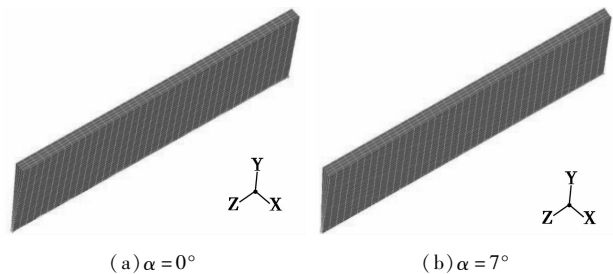


图4 筛网网格划分图

2.3 边界条件

(1)筛网内表面处的进口选为速度进口,进口速度根据双级活塞推料离心机实际生产能力进行计算,得到进口速度为 0.1 m/s 。

(2)筛网外表面处的出口选用压力出口,出口

表压为 0 Pa。

(3)壁面选为无滑移壁面,对近壁网格点采用标准壁面函数法来计算,相对于邻近流体区域旋转速度为 0 r/min。

(4)对流场区域,统一设为滑移网格,顺时针旋转,旋转速度为 1 000 ~ 1 300 r/min。

2.4 求解算法

双级活塞推料离心机是一种高速旋转设备,所以本文中湍流模型选用 RNG $k-\varepsilon$ 模型。模拟中存在三相,即气体、滤液和滤液中夹带的固体颗粒,考虑到滤液中夹带的固体颗粒极少,并且结合本文中研究的侧重点,将滤液和夹带颗粒设为一相,采用欧拉-欧拉多相流方法对其进行分析和研究,气相为连续相,滤液和夹带颗粒为离散相。时间步长选择 0.001 s,每步迭代 50 次。本文中研究的双级活塞推料离心机用于固含量体积分数为 50% 的重碱 (NaHCO₃),进料量为 35 t/h,物性参数如表 2 所示,为此,计算中液滴和夹带颗粒粒径设为 0.15 mm。

表 2 物性参数

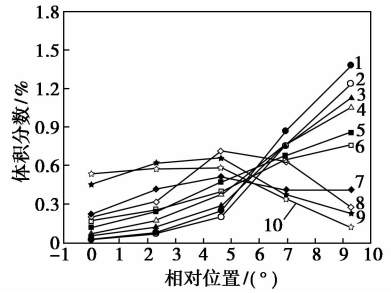
项目	数值
进料量 $F_s / (\text{kg} \cdot \text{h}^{-1})$	35000
进料固含量 $X_i / \%$	50
气体密度 $\rho_g / (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	1.225
滤液密度 $\rho_l / (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	1057
固体颗粒密度 $\rho_s / (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	2159
固体颗粒直径 D_p / mm	0.15

3 结果分析

3.1 最优筛网倾角的确定

图 5 是 1 000 r/min 转速下不同筛网倾角下的滤液和夹带颗粒分布曲线图(图 5 中的横坐标是相对于筛网孔锥角不同的偏心位置,右侧筛网孔壁面相对锥角取 0°,左侧筛网孔壁面相对锥角取 9.27°;纵坐标是 $R = 373 \text{ mm}$ 、 $Z = 20 \text{ mm}$ 横截面上滤液和夹带颗粒的体积分数,以下各图均相同)。从图 5 中可以看出,筛网倾角为 0°时,筛网左侧壁面和右侧壁面的滤液和夹带颗粒含量差值最大,这将大大削弱筛网的抗阻塞作用,增加了滤液和夹带颗粒在筛网缝隙中的停留时间。随着筛网倾角的增大,左右两侧壁面分布的滤液和夹带颗粒越来越均匀。9°倾角时左侧壁面分布的滤液和夹带颗粒数明显超过右侧,此时滤液和夹带颗粒在离心力的作用下以较大的速度撞击到筛网左侧壁面,贴着筛网缝隙的左

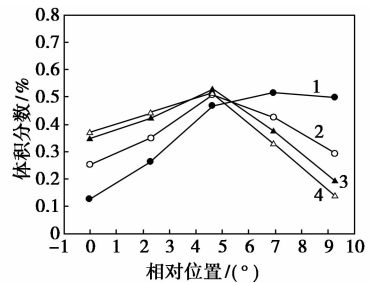
侧壁面流出,增加了滤液和夹带颗粒的流动阻力,不利于滤液和夹带颗粒的及时排出。7°的筛网倾角时,左右两侧壁面的滤液和夹带颗粒含量差值最小,大部分滤液和夹带颗粒都从筛网缝隙中间流出,筛网阻力最小,所以 1 000 r/min 转速下最优筛网倾角为 7°。



筛网倾角:1—0°;2—1°;3—2°;4—3°;5—4°;6—5°;7—6°;8—7°;9—8°;10—9°

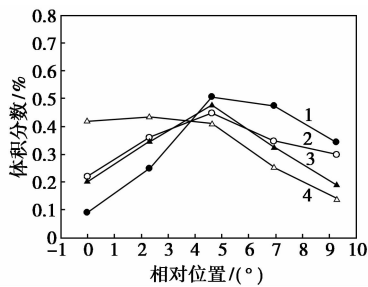
图 5 1 000 r/min 转速下不同筛网倾角的滤液和夹带颗粒分布曲线图

为了清晰观察曲线图,图 6 ~ 图 8 分别是 1 100、1 200、1 300 r/min 转速下、6° ~ 9° 的筛网倾角下滤液和夹带颗粒分布曲线图。从图 5 中可以看出,筛网倾角为 6°时,筛网左侧壁面和右侧壁面的滤液和夹带颗粒含量差值最大,这将大大削弱筛网的抗阻塞作用,增加滤液和夹带颗粒在筛网缝隙中的停留时间。7°的筛网倾角下的相分布最均匀,保证了滤液和夹带颗粒能够迅速排出筛网缝隙,所以 1 100 r/min 下最优筛网倾角为 7°。在 1 200 r/min 转速下,6°和 9°筛网倾角的左右两侧相分布都非常不均匀,而 8°筛网倾角下,滤液和夹带颗粒大部分都从筛网缝隙的中间排出,所以 1 200 r/min 下最优的筛网倾角为 8°。同样,1 300 r/min 转速下、8°筛网倾角下,大部分滤液和夹带颗粒都从筛网缝隙的中间排出,所以最优的筛网倾角为 8°。



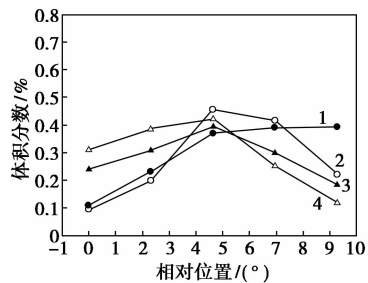
筛网倾角:1—6°;2—7°;3—8°;4—9°

图 6 1 100 r/min 转速下不同筛网倾角的滤液和夹带颗粒分布曲线图



筛网倾角:1—6°;2—7°;3—8°;4—9°

图7 1 200 r/min 转速下不同筛网倾角的滤液和夹带颗粒分布曲线图



筛网倾角:1—6°;2—7°;3—8°;4—9°

图8 1 300 r/min 转速下不同筛网倾角的滤液和夹带颗粒分布曲线图

3.2 工业实际应用

工业试验在 P-85 型双级活塞推料离心机上进行,试验物料为重碱(NaHCO_3),离心机过滤过程中的跑料量(滤液中的固含量)和滤饼含湿率主要取决于进料固液比、离心机转速、物料粒度、筛网缝隙尺寸和筛网结构型式等。表3是在相同物料、一定的进料固液比、不同离心机转速、不同筛网结构条件下滤饼的含湿率。从表3中可知相同物料下,采用斜筛网有效地降低了筛网阻力,使滤液及时从筛网缝隙排出,既减少了离心机跑料量,提高了固相回收率,又在一定程度上降低了滤饼含湿率。

表3 滤饼含湿率

转速/ ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	含湿率/%	
	0°倾斜筛网	7°倾斜筛网
1050	3.20	2.98
1150	2.96	2.78
1250	2.80	2.69

4 结论

通过采用数值模拟计算方法,对双级活塞推料离心机在不同转速、筛网倾角条件下筛网缝隙内的滤液和夹带颗粒分布情况进行了模拟研究,并通过

工业实际应用进行了验证。得到主要结果如下:

(1)采用直筛网结构,筛网对滤液和夹带颗粒的流动阻力较大,不能有效地减少跑料量和降低滤饼含湿率。当筛网倾斜一定角度时,可以有效地降低筛网对滤液和夹带颗粒的流动阻力,但倾角超过9°时会产生副作用。

(2)随着离心机转速的增加,滤液和夹带颗粒更易于贴着其中左侧壁面排出筛网缝隙,最优筛网倾角也随着转速的变化而变化。1 000 ~ 1 100 r/min 转速下,倾角7°时的筛网对滤液的流动阻力最小;1 200 ~ 1 300 r/min 转速下,倾角8°时的筛网对滤液的流动阻力最小。离心机筛网结构设计中,应根据离心机的工作转速确定最优的筛网倾角。

参考文献

- [1] 丁启圣,王唯一. 新型实用过滤技术[M]. 3版,北京:冶金工业出版社,2011:451-452.
- [2] Anlauf H. Recent developments in centrifuge technology[J]. Separation and Purification Technology,2007,58(2):242-246.
- [3] 朱红斌,靳征昌. 双级活塞推料离心机在氯乙酸生产中的应用[J]. 氯碱工业,2007,(12):36-28.
- [4] 王远. 多级推料离心机用于重碱脱水工艺路线探讨[J]. 纯碱工业,2008,(5):3-8.
- [5] 吴文晨. 不锈钢微丝及筛网的生产与发展[J]. 金属制品,2001,27(4):17-19.
- [6] 沙恩典,吴将天. 新型板网用于过滤难滤物料的分析[J]. 过滤与分离,2001,11(1):25-27.
- [7] 桑泽永,周忠元,牟希增,等. 新型离心机过滤筛网的研制与应用[J]. 海湖盐与化工,2004,33(4):28-30.
- [8] Wang S Y, Li X Q, Wu Y B, et al. Simulation of flow behavior of particles in a liquid-solid fluidized bed[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research,2010,49(20):10116-10124.
- [9] Yan F, Farouk B. Numerical simulations of flows inside a partially filled centrifuge[J]. Journal of Fluids Engineering,2003,125(6):1033-1042.
- [10] Román Fernández X, Nirschl H. Multiphase CFD simulation of a solid bowl centrifuge[J]. Chemical Engineering & Technology,2009,32(5):719-725.
- [11] Jain M, Paranandi M, Roush D, et al. Using CFD to understand how flow patterns affect retention of cell-sized particles in a tubular bowl centrifuge[J]. Industrial & Engineering Chemistry Research,2005,44(20):7876-7884.
- [12] Fang Y, Bakhtier F. Numerical simulation of flows inside a partially filled centrifuge[J]. Journal of Fluids Engineering,2003,125(6):1033-1042.
- [13] Wardle K, Allen T, Swaney R. Computational Fluid Dynamics (CFD) study of the flow in an annular centrifugal contactor[J]. Separation Science and Technology,2006,41(10):22-25.
- [14] 孙启才,金鼎五. 离心机原理结构与计算[M]. 北京:机械工业出版社,1987:267-268. ■