

进口入射角对卧螺离心机内流场的影响

邱发华¹, 吴 蕾²

(1. 淮南矿业集团 张集选煤厂, 安徽 淮南 232000;

2. 中材建设有限公司, 河北 唐山 064000)

摘要: 利用 Solidworks 软件对卧螺离心机螺旋流道内流体进行三维建模, 结合 CFD 软件后处理 fluent 选用 RNG $k-\varepsilon$ 湍流模型与多重参考系 (MRF) 模型, 选取 4 种进口入射角对离心机内固液两相流进行模拟仿真。仿真表明: 进口入射角为 30° 时, 进料口向卧螺离心机内输送污泥对整个流体流场扰动较小, 且出渣口污泥含水率较低。模拟仿真所采用的计算模型基本符合卧螺离心机内部的实际流动情况, 结果为进一步研究离心机特征参数对其分离效果的影响和结构优化提供了理论依据。

关键词: 离心机; 进口入射角; MRF 模型; 含水率

中图分类号: TD433; TU992.3

文献标识码: B

文章编号: 1006-6772(2012)04-0105-04

Influence of import incidence angle on flow field of horizontal screw decanter centrifuge

QIU Fa-hua¹, WU Lei²

(1. Zhangji Coal Preparation Plant Huainan Mining Industry (Group) Co., Ltd. Huainan 232000, China;

2. CBMI, Tangshan 064000, China)

Abstract: Build 3D model for the flow field in spiral flow channel of horizontal screw decanter centrifuge. Combined with post-processing CFD software fluent, RNG $k-\varepsilon$ turbulence model and multiple reference frame (MRF) model, the 3D model serves to simulate solid-liquid phase flow in centrifuge when the import incidence angle varies in four kinds of angles. The results show that, when the incidence angle is 30° , the sludge fed through import causes smaller disturbance to flow field, the moisture of sludge is lower in taphole. The model could basically reflect the actual flow situation. The simulation results provide reference for analyzing the influence of centrifuge parameters on separation effect and optimizing structures of centrifuge.

Key words: centrifuge; import incidence angle; multiple reference frame (MRF) model; moisture

污水处理厂处理的城市污水通过典型的化学/物化法或生化法经多道沉降池法处理后, 得到含水率约为 97% 的污泥, 再经机械脱水法后得到的污泥含水率仍然很高, 使得污泥运输、填埋、固化成本高、土地占用面积大, 造成填埋地的二次污染, 影响周边环境^[1]。而且国家环保部于 2010-11-26 发布了《关于加强城镇污水处理厂污泥污染防治工作的通知》, 要求“污水处理厂以贮存(即不处理处置)为

目的将污泥运出厂界的, 必须将污泥脱水至含水率 50% 以下”^[2]。

污水处理厂处理污泥的主要目的是减少水分, 为后续处理、利用和运输创造条件, 消除污染环境的有毒有害物质, 回收能源和资源^[3]。从政策层面来讲是减量化、无害化、资源化; 从运营角度而言, 应理解为在处置过程中降低环境风险、减低能耗、降低运行成本并实现资源的有效回收综合利用, 即变废为

收稿日期: 2012-03-14 责任编辑: 孙淑君

作者简介: 邱发华(1984—), 男, 湖北阳新人, 大学本科, 助理工程师, 从事选煤厂机械设备维护保养工作。

引用格式: 邱发华, 吴蕾. 进口入射角对卧螺离心机内流场的影响[J]. 洁净煤技术, 2012, 18(4): 105-108.

宝;从技术层面来讲,就是要系统地研究如何实现高效去除水碱量,最大程度消除各种病菌与微生物,有效去除重金属离子,回收污泥资源中有价值的部分,在加工过程中去除异味与臭味,提供良好的操作与使用环境。从根本上彻底解决污泥的安全、环保、卫生问题以及综合回收与利用,对经济发展、环境保护和社会稳定都具有积极的意义。

1 离心机内固液分离 CFD 仿真

污泥处理常采用卧螺离心机进行固液分离。而离心机是利用两不互溶介质间的密度差,在高速旋转的转鼓内产生强大的离心力进行固液分离的设备,在混合介质的分离方面具有很明显的优点:结构简单、占地面积小、安装方便、处理工艺简单、连续作业、分离效果好等^[1]。

本文拟对卧螺离心机流道内的污泥在不同入射角下的流动与固液分离过程进行计算流体力学(Computational Fluid Dynamics,简称 CFD)仿真。

1.1 离心机工作原理及结构参数

卧螺离心机主要由转鼓、螺旋推料器、差速器、主辅电机、机座、罩壳、减震器等部件组成,如图 1 所示。

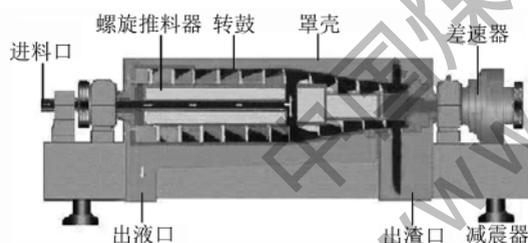


图 1 卧螺离心机结构

工作时转鼓、螺旋推料器同时同向高速旋转,转鼓与螺旋推料器在差速器的作用下形成一定的差转速(数值可由变频器程序控制调节)。原污泥经进料管从中心孔进入高速旋转的转鼓内,在高速旋转产生离心力的作用下,由于固液两相的密度差,固相颗粒迅速甩向转鼓内壁并沉积在内壁上,与转鼓做相对运动的螺旋叶片不断将沉积在转鼓内壁上的固体颗粒刮走并推向出渣口。分离后的清液经出液口溢流转出鼓,从而实现原污泥的固液连续分离。

选用某公司生产的 WL250 双电机变频卧螺离心机进行分析,转鼓与螺旋的主要结构参数分别见表 1 和表 2。

表 1 转鼓技术参数

| 技术参数 | 数值 |
|---|------|
| 内径 D/mm | 250 |
| 长度 L/mm | 700 |
| 长径比 L/D | 2.8 |
| 半锥角 $\alpha/(\circ)$ | 8 |
| 转鼓转速 $n/(\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$ | 5000 |
| 分离因素 F_r | 3500 |

表 2 螺旋推料器结构参数

| 结构参数 | 数值 |
|----------------------|---------|
| 螺旋头数 | 单头 |
| 导程 S/mm | 60 |
| 螺旋叶片结构型式 | 柱锥式 |
| 阶梯筒体直径 d/mm | 142/100 |
| 叶片厚度 h/mm | 5 |
| 螺旋升角 $\beta/(\circ)$ | 4.37 |

1.2 计算区域及网格划分

对实际流体作如下假设:①流道内流体为连续且不可压缩流体;②不考虑转鼓和螺旋共同作用时在锥段处对污泥挤压作用产生的热影响;③进、出口流体处于恒定流;④高速旋转时转鼓内壁与螺旋叶片顶端的间隙为 0,不考虑两者高速运转时产生的磨损。

针对卧螺离心机流道内的流体,采用 Solidworks 建立三维模型然后导入 Fluent 前处理程序 Gambit 中,选取流道内流体流动区域作为计算域并在 Gambit 中进行网格划分,网格的划分对于 CFD 数值模拟的求解具有关键作用,网格质量的好坏直接影响数值模拟过程的稳定性、收敛性、速度与精度^[4],网格类型选为非结构网格。

1.3 CFD 计算模型与边界条件

MRF 模型是旋转单元体的稳态近似^[5]。本文采取 MRF 模型进行仿真计算,湍流模型选取 RNG $k-\varepsilon$ 模型,文献[6-8]提出 RNG $k-\varepsilon$ 模型模拟两相分离时仿真与实际吻合较好。压力-速度的耦合计算采用 SIMPLE 的方法,由于流动具有强旋转特性时,采用 QUICK 差分格式^[9]。

按照原污泥流量 $3 \text{ m}^3/\text{h}$ 在常态下折算出卧螺离心机进口流体流速为 1.70 m/s ,卧螺离心机转鼓转速设定为 5000 r/min ,选取四组进口入射角[进口入射角是指物料进入到卧螺离心机流道内,此时的管道轴线与转鼓轴心线所形成的夹角(锐角或直角)]数据模拟仿真分析得到出渣口污泥含水率,分别为 30° 、 45° 、 60° 、 90° 。

计算边界条件:

(1) 离心机进口采用速度进口边界条件,假设流体是均匀进入且进口流速垂直于进口边界面,湍流强度为 5%,水力直径为进口直径 25 mm;

(2) 离心机出口口、出渣口速度未知,出口边界条件定义为 outflow;

(3) 流道内与流体相接触的壁面都设定为 moving wall(rotational),所有壁面上流体都满足速度无滑移条件。

某污水处理厂的污泥固液两相流体主要参数如下:固相颗粒密度 $\rho_s = 1051 \text{ kg/m}^3$,动力黏度 $\mu_s = 0.02 \text{ Pa} \cdot \text{s}$,固体颗粒平均粒径 $d_s = 0.01 \text{ mm}$,固相所占流体体积分数比 $\alpha_s = 3\%$,液相密度 $\rho_l = 1000.35 \text{ kg/m}^3$,动力黏度 $\mu_l = 0.001 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 。

2 仿真结果分析

2.1 离心机内流体湍动能云图

图 2 ~ 图 5 分别为进口入射角 30° 、 45° 、 60° 、 90° 离心机内流体湍动能云图。

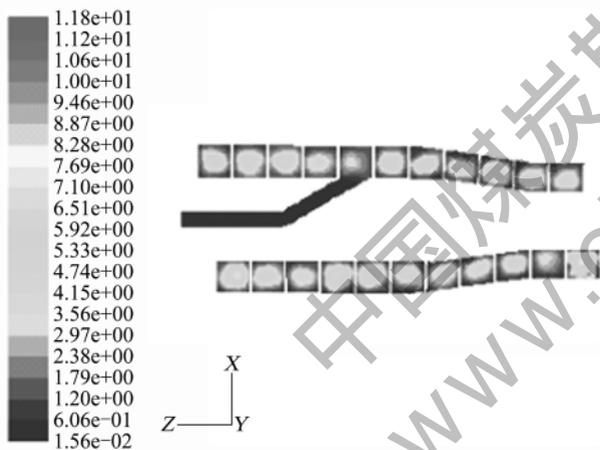


图 2 进口入射角 30° 流体湍动能云图

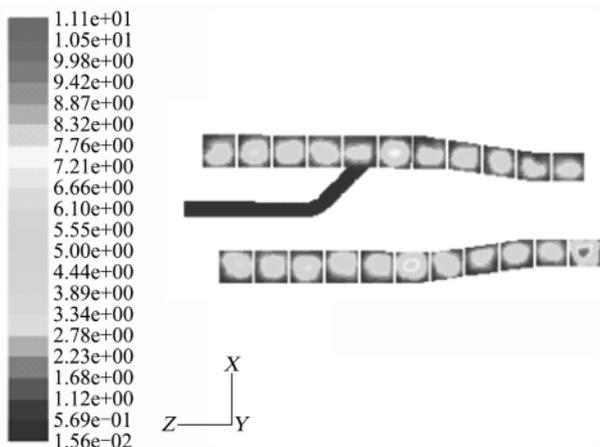


图 3 进口入射角 45° 流体湍动能云图

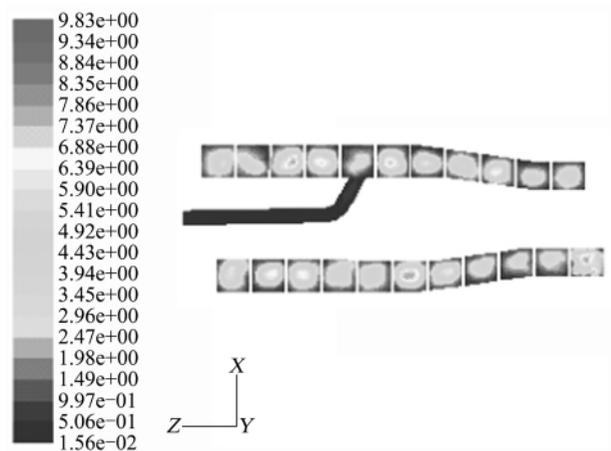


图 4 进口入射角 60° 流体湍动能云图

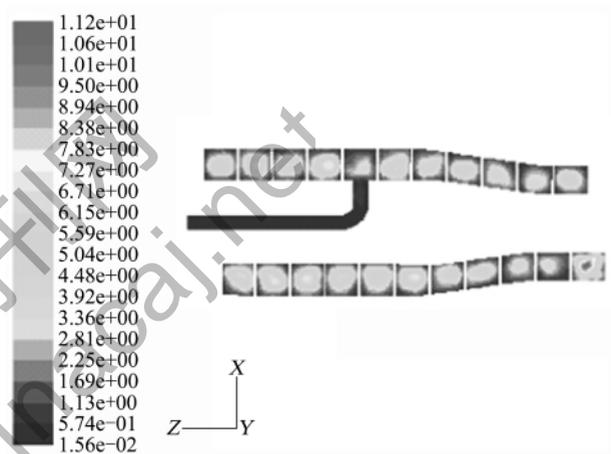


图 5 进口入射角为 90° 流体湍动能云图

由图 2 ~ 图 5 可以看出,不同进口入射角下,污泥进料口处污泥的湍动能都是所有流体区域处最低的,而且污泥从进料口进入到卧螺离心机流道内的湍动能则是卧螺离心机流道的湍动能中最低的。而在进料口入射角为 30° 时,卧螺离心机内流道内流体的湍动能较小,说明进料污泥在径向上对污泥的扰动作用较小,污泥的切向速度更加适合污泥进入到流道内,而且有利于污泥固液两相的分离,从而加快了污泥在转鼓锥段处的污泥挤压脱水。

2.2 沉降段和干燥段处某点速度、压力值

同时从卧螺离心机螺旋流道内部流体流场分析污泥进料口某点处的速度与压力,进一步来说明不同进口入射角对卧螺离心机内流场的影响情况,见表 3、表 4(以卧螺离心机进料口端面处为圆心 o 、转鼓轴心线为 z 轴负向建立三维坐标,如图 2)。

表3 不同进口入射角下沉降段进口位置某点速度

| 进口入射角/(°) | x/mm | y/mm | z/mm | $v/(m \cdot s^{-1})$ |
|-----------|------|------|------|----------------------|
| 30 | 75 | 0 | -317 | 39.1 |
| 45 | 75 | 0 | -310 | 42.5 |
| 60 | 75 | 0 | -305 | 41.4 |
| 90 | 75 | 0 | -300 | 41.3 |

表4 不同进口入射角下干燥段某点压力

| 进口入射角/(°) | x/mm | y/mm | z/mm | P/MPa |
|-----------|------|------|------|-------|
| 30 | | | | 1.48 |
| 45 | 100 | 0 | -578 | 1.33 |
| 60 | | | | 1.38 |
| 90 | | | | 1.39 |

由表3、表4可以看出,在进口入射角为30°时,干燥段某点处压力最大,在转鼓锥段处对污泥的挤压脱水作用就越大,出渣口污泥含水率越低。根据能量守恒定律,干燥段压力越大,转换成为出渣口污泥被甩出的速度也就越大,前提是能够保证卧螺离心机的正常工作。旨在螺旋推料器管道上体现进口入射角30°,只需要根据流体的流动方向来设计污泥进口管道弯曲方向,沿着螺旋流道设置倾斜的挡板,同时也可避免污泥进口入射角为90°时转折点出现死区。

3 结 论

(1) 所讨论的离心机在给定的工作参数下,进口入射角为30°时,离心机内流体流场湍动能较小,即对整个流体区域的流场扰动较小。

(上接第101页)

新建东露天选煤厂装车站时,充分考虑了平朔矿区已有5套装车系统的优缺点,参考金海洋公司装车系统的实践经验,设计尽可能减少装车主运输送带的长度和角度,适当增加装车主运输送带的设计运量(5300 t/h),减轻了重载启动频繁对软起动的损害;避开称重仓物料通过分叉槽装车流程。金海洋公司装车系统的实践经验是:在同一铁路线有2个装车站(山西山阴县境内)相距300 m,一装车站是新建的美国KSS公司定量装车系统(与安家岭厂完全相同),装一万吨列平均用时2.5 h以上;另一装车站是在原有的煤仓下(仓储8000 t)通过技改增加定量称重仓,装一万吨列平均用时1.5 h,充分反映了主运输送带运行不受其它因素影响时,装车速度会大大提高。

(2) 针对给定的参数,进口入射角为30°时污泥进料口处流体速度最大,而且转鼓锥段处污泥的挤压力较大。

参考文献:

- [1] 武海平,陈世琢,徐磊,等.新型三相分离器的压力特性[J].油气田地面工程,2010,29(11):21-23.
- [2] 王文志.离心机分离效果的影响因素[J].聚酯工业,2008,21(5):47-49.
- [3] 陈家庆.环保设备原理与设计[M].北京:中国石化出版社,2008.
- [4] 吕家明,叶奇昉,陈江平.基于计算流体力学模型的旋流分离器的优化设计[J].制冷学报,2010,31(3):11-15.
- [5] 阎振菊,黄胜,胡健,等.基于多参考系和滑移网格模型的吊舱推进器水动力性能研究[A].黑龙江省造船工程学会2008年学术年会[C].2008:95-100.
- [6] Ma L.,Ingham D B,Wen X. Numerical modeling of the fluid and particle penetration through small sampling cyclones[J]. Journal of Aerosol Science,2000,31(9):1097-1119.
- [7] Yang I H,Shim C B,Kim T H,et al. A three-dimensional simulation of a hydrocyclone for the sludge separation in water purifying plants and comparison with experimental data[J]. Mineral Engineering,2004,17(5):637-641.
- [8] 吴春笃,张伟,黄勇强,等.新型旋流分离器内固液两相流的数值模拟[J].农业工程学报,2006,22(2):98-102.
- [9] 王福军.计算流体动力学分析—CFD软件与应用[M].北京:清华大学出版社,2004.

4 结 语

装车速度、超亏吨、偏载偏重是一个非常复杂的问题,受多种因素的影响,甚至是不可控的因素,也是各大型煤炭企业、中小煤站普遍存在的问题。通过对平朔矿区装车系统的速度、超亏吨、偏载偏重分析总结,提出了设计装车系统和工艺的想法,为提高企业经济运营效益提供参考。但是,装车主运输送带实际运量与设计不一致的问题还需进一步研究。

参考文献:

- [1] GB 50359—2005 煤炭洗选工程设计规范[S].
- [2] 中国煤炭加工利用协会.选煤实用技术手册[M].徐州:中国矿业大学出版社,2009.