

基于 CFX 的转速差对卧螺离心机流场参数影响研究

李一岚 范 哲
(成都工业学院智能制造学院 四川 成都 610031)

摘要：为全面分析转速差对卧螺离心机固液分离过程和流场参数的影响规律，本文以 LW450 型离心机为研究对象，利用 CFX 软件对其进行了瞬态三维两相流数值模拟。研究表明：转速差对固相颗粒沉降过程影响小，主要通过改变离心机卸料过程和脱水时间，从而影响底流口物料含水率，进而影响离心机分离效率；在速度场方面，转速差增大，液相周向和轴向速度均略有减少，但影响很小，故理论研究时可以将螺旋推料器的影响简化为为流体提供了螺旋状通道。以上结果为卧螺离心机固液分离物理模型的建立奠定了基础。

关键词：卧螺离心机；流场数值模拟；转速差

0 引言

在石油钻采行业中，卧式螺旋卸料沉降离心机（简称卧螺离心机）通常作为第 3 级固控设备，用于钻井液中加重材料的回收和有害固相的清除。作为分离机械，分离效率是关键，离心机各参数通过改变其内部流场，从而间接影响离心机固液分离的效果。因此，国内外学者一直尝试采用各种研究方法探索离心机各参数与流场之间的关系，从而对离心机内固液分离机理展开研究。其中数值模拟因其成本低、方便快捷逐渐成为离心机相关研究的主要方法。

关于离心机流场数值模拟，模型方面经历了从二维到三维，由最初将流场简化为圆环筒到考虑螺旋叶片影响，分离介质方面逐渐由单相流发展到两相流。通过将卧螺离心机转鼓简化为螺旋形状的圆柱，考虑了螺旋推料对离心机流场的影响，并对速度场、压力场和各项体积分布进行了分析，数值模拟方法为卧螺离心机流场数值模拟几何模型的建立方向打开了新思路。

目前，国内外学者对离心机转鼓转速和处理量等参数对流体运动特性的影响已经进行了比较详细地分析，但是关于转速差对流场影响规律的研究一直较少。因此，本文以 LW450 离心机为研究对象，利用 CFX 软件，分别采用瞬态分析和稳态分析两种方法，全方位探索了转速差和卧螺离心机流场参数之间的关系。

1 数值模拟

1.1 模型与网格划分

LW450 型离心机主要结构参数如表 1 所示，为提高数值模拟精度，建模过程中尽可能保留了螺旋推料器的结构细节，并对布料口形状、大小，以及螺旋叶

片顶面与转鼓之间的间隙都进行了充分考虑。简化模型如图 1 所示。

利用 ANSYS ICEM CFD 对钻井液离心机几何模型进行网格划分。离心机螺旋推料器的存在使离心机内流场结构复杂，本文采用自适应性强、生成简单的非结构化四面体网格对流体区域进行网格划分，并在局部进行了加密处理，最终网格单元数：1974830，节点数：340869，网格质量大于 0.35，满足基本网格质量要求。

1.2 求解策略、材料及边界条件设置

本文采用 CFX 软件对卧螺离心机流场进行两相流数值模拟。为分析转速差对固液分离过程的影响，采用了瞬态分析，液相设置为连续流体，固相设置为离

表 1 LW450 型离心机结构参数

转鼓结构参数	数值	螺旋推料器结构参数	数值
转鼓柱段内径 D (mm)	450	推料器内筒外径 D_3 (mm)	284
转鼓柱段长度 L (mm)	650	螺旋推料器螺距 s (mm)	75
转鼓锥段长度 L_c (mm)	350	螺旋叶片厚度 t (mm)	10
液池深度 h (mm)	72.5	螺旋叶片顶隙 Δ (mm)	4
转鼓半锥角 α ($^{\circ}$)	8	布料口直径 D_4 (mm)	56

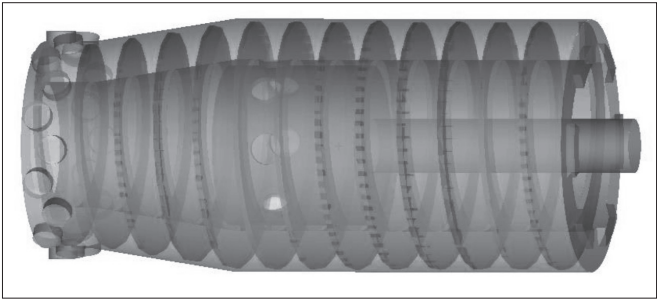


图 1 LW450 型卧螺离心机流场几何模型

散固体, 在 CFX 中一旦有离散固体, 系统会默认采用 Eulerian-Eulerian 多相流模型。在 CFX 的多相流模拟中可以分别为每一相设置不同的湍流模型。固相选择系统推荐的针对离散相的 Dispersed Phase Zero Equation turbulence model。在离心机流场的研究过程中转速对流场的影响是一个重要的研究方向, 因此液相的湍流模型选择了对转速变化适应性强并可以考虑旋转效应的低雷诺湍流的 RNG 湍流模型。由于离心机进料固相浓度通常大于 5%, 所以曳力模型选择 Wen-Yu 模型。由于钻井液中不同粒径固相颗粒含量较多, 考虑颗粒碰撞, 恢复系数设置为 0.9。

为了模拟钻井液离心机中螺旋推料器的推料过程, 即考虑螺旋推料器和转鼓之间的转速差, 分别对流体域和转鼓壁面进行转速设置。具体边界条件的选择如下:

- (1) 流体域采用旋转坐标系;
- (2) 进料口采用速度入口;
- (3) 溢流口和底流口设置为质量流率出口, 具体值根据进料液组成计算后确定;

(4) 转鼓壁面设置为旋转壁面, 其余壁面设置为静止壁面。根据实际情况将转鼓壁面对液相的影响设为 No Slip Wall, 对固相的影响设为 Free Slip Wall。

由于本文主要分析转速差对流场的影响, 因此转速差为此次分析的自变量, 范围在 25~35r/min, 步长为 5, 处理量为 20, 转鼓转速 2600, 液相密度为 1000, 固相密度为 4200, 固相体积分数为 20%, 颗粒粒径为 35, 粘度为 0.02。

在数值模拟过程中采用高阶求解模式, 湍流方程的离散格式采用一阶迎风格式。收敛标准采用 RMS, 残差达到 $1.0E-4$ 。待残差曲线趋于稳定后, 各监测点监控曲线不再发生变化, 说明钻井液离心机流场已经稳定, 数值模拟完成。

2 转速差对离心机流场影响机理分析

2.1 转速差对固液分离过程的影响

离心机内固相颗粒体积分布随时间的变化可以清晰地反映出固液分离过程, 取不同转速差时, 分离开始

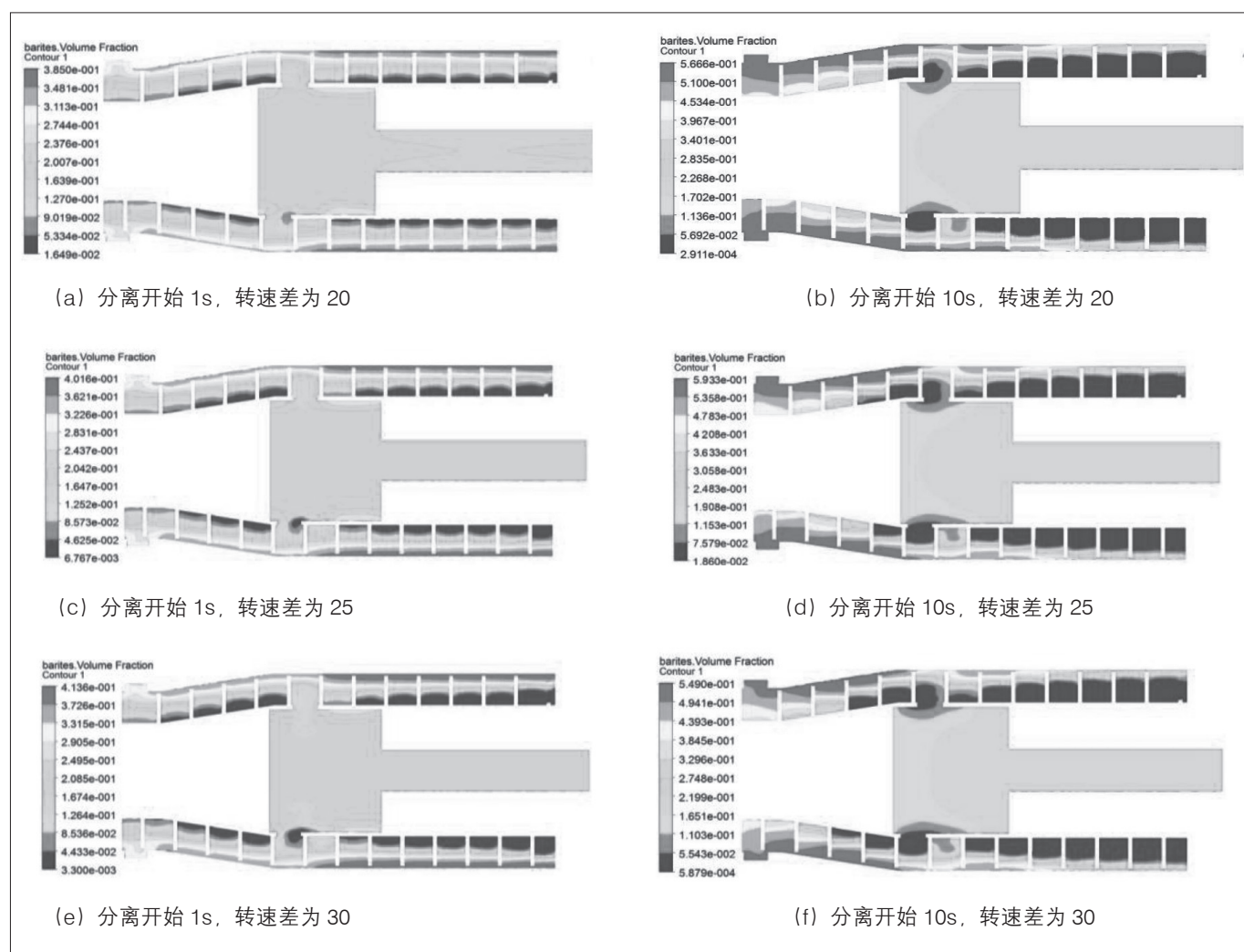


图 2 不同时刻、不同转速差下固相体积分布云图

后 1s 的云图, 如图 2 中 a、c、e 图所示, 可知: 在沉降阶段, 随着转速差的增大, 相同时刻时, 转鼓中完成沉降的颗粒数量增多, 说明颗粒轴向运动速度降低。而沉降过程中颗粒随液相一起沿轴向和周向运动, 即就是说: 转速差的增加减小了液相的周向和轴向速度, 这是由于液相和螺旋推料器叶片之间存在摩擦力作用; 另一方面, 随着转速差的变化, 固相颗粒的分布云图变化规律变化不大, 说明转速差对固相颗粒的沉降运动影响不大, 因此在理论研究中往往忽略掉转速差对固相颗粒沉降过程的影响是可行的。

观察不同转速差时的固相颗粒移动过程, 可以发现, 随着转速差的增大, 已沉降颗粒向底流端移动所需的时间明显缩短, 说明增大转速差加快了离心机的推料过程。但是卸料过程的加快会造成两方面的影响: 一方面, 当转速差为 20, 10s 的时候, 如图 2 中 b 图所示, 转鼓柱段和锥段交界处固相颗粒有堆积现象, 说明此时螺旋推料器推料频率不足以抵消颗粒在离心力作用下沿锥面下滑的速度, 而随着转速差增加到 25 时, 如图 2 中 d 图所示, 堆积现象消失, 底流口的固相含量也有所增加, 增大了离心机的分离效率; 另一方面, 当转速差增加到 30 时, 如图 2 中 f 图所示, 没有出现堆积现象, 但是底流口的固相含量却减少了, 说明增大转速差缩短了固相脱水时间, 导致底流口沉渣含湿量增加, 反而降低了离心机的分离效率。

因此, 转速差对离心机分离过程的影响主要是通过影响卸料过程和脱水时间, 进而改变底流端物料的含水率, 从而影响离心机的分离效率。

2.2 转速差对轴向速度的影响

本节将在离心机运行稳定后, 离心机流场也基本趋于稳定时, 取瞬态计算终点时刻, 即 10s 时刻的结果进行转速差对离心机速度场影响的分析。由于转速差对周向速度影响很小, 故本节主要分析其对轴向速度的影响。

转速差对固相、液相轴向速度的影响如表 2 所示。随着转速差的增大, 靠近自由液面处的液相轴向速度减小, 这是由于自由液面处的周向滞后十分明显, 使物料在螺旋推料器摩擦力的作用下, 沿轴向输送至溢流端, 而转速差的增大使靠近自由液面的液相与螺旋叶片之间的差速度减小, 从而出现为了抵消这种减小的液相滞后而导致的液相轴向速度减小。另一方面, 随着转速差的增大, 转鼓锥段壁面处固相颗粒的轴向速度增大, 这是因为转速差造成螺旋叶片与转鼓中物料的相对运动, 转速差越大, 已沉降固体颗粒在螺旋叶片摩擦力作用下产生的轴向运动速度越大, 这与设计时采用螺旋推料器与转鼓存在转速差用于卸料的原理相符。

3 结语

本文建立了 LW450 型离心机流场几何模型, 利用

表 2 不同转速差轴向速度对比

转速差 (r/min)	液相轴向速度 (r/min)	固相轴向速度 (r/min)
20		
25		
30		

CFX 软件对其进行了流场数值模拟,采用瞬态分析方法,探讨了转速差对离心机分离过程和速度场的影响规律。结果表明:

(1) 转速差对固相颗粒的沉降过程影响很小,但转速差对卸料过程影响显著,一方面,如果转速差过小会造成固相颗粒在转鼓柱段和锥段交界处堆积,降低了离心机分离效率;另一方面,转速差过大会缩短固相颗粒在锥段的脱水时间,造成沉渣含湿量高,降低分离效率。

(2) 转速差的增大使液相的周向速度和轴向速度均略有减小,但影响很小。因此,在理论研究中可以将螺旋叶片对离心机转鼓流场的影响简化为为流体提供了螺旋形状的流动通道。

参考文献:

[1] American A O D E. Shale Shakers and Drilling Fluid Systems: Techniques and Technology for Improving Solids Control Management[M]. Salt

Lake City: Godin Lyttle press, 2008.

[2] Fernández X R, Nirschl H. Multiphase CFD Simulation of a Solid Bowl Centrifuge[J]. Chemical Engineering & Technology, 2009,32(5):719-725.

[3] Fernández X R, Nirschl H. Simulation of Particles and Sediment Behaviour in Centrifugal Field by Coupling CFD and DEM[J]. Chemical Engineering Science, 2013,94:7-19.

[4] 刘洪斌,张艺豪,刘力,等.基于流固耦合的 LW350 离心机适应性分析[J].石油机械,2020,48(4):83-90.

[5] 徐倩,孟繁如,刘洪斌,等.钻井液离心机转鼓内流场的数值分析[J].石油机械,2009,37(8):24-27.

作者简介: 李一岚(1988.01-),女,汉族,四川达州人,博士,讲师,研究方向:钻井液固相控制、流体机械。

(上接第 19 页)

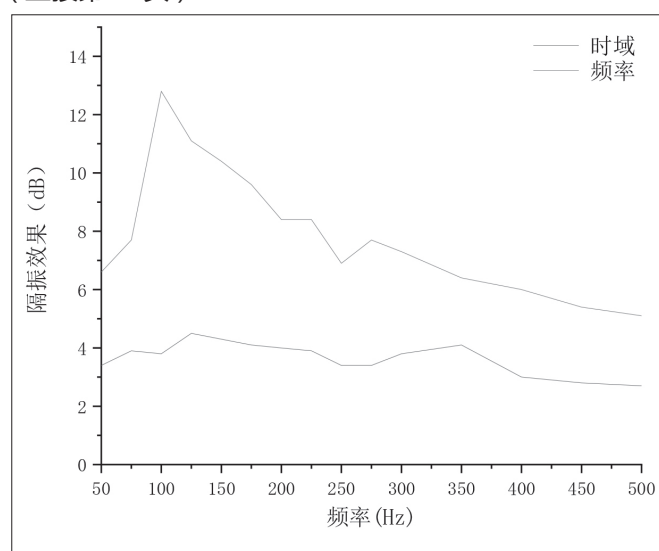


图 9 50~500Hz 频率时域曲线和频域线谱隔振效果递,避免管道振动传递到墙体,起到隔振功能。

对于 50~500Hz 频率的管道振动,智能主动型隔振支架都具有很好的隔振效果,振动频率适用范围很广。

但是智能主动型隔振支架也存在不足,对于低振幅的管道振动,隔振效果有较大幅度的降低。

参考文献:

[1] 田晓耕,陈儒.支架振动的主动控制研究[J].固体力学学报,1998,19(2):5.

[2] 张庆伟,俞翔,杨理华.反馈式多线谱主动隔振控制算法研究[J].中国舰船研究,2021,16(6):132-139.

[3] 刘锦春,何其伟,朱石坚,等.一种反馈式自适应振动控制方法研究[J].振动与冲击,2016,35(16):8.

[4] 王东升,周桐,李健.振动、冲击环境下支架减振器刚度优化设计[J].航天器环境工程,2006,23(2):86-89.

[5] 葛健全,唐乾刚,雷勇军.减振支架结构随机响应的灵敏度分析[C].首届全国航空航天领域中的力学问题学术研讨会,2004.

[6] 赵德全,孙明昌,王大伟.机械压力机低频隔振支撑改进方法与应用[J].锻造与冲压,2017(12):4.