

doi:10.3969/j.issn.2095-0411.2019.06.008

## 卧式螺旋沉降离心机粉煤气化灰水的 脱水分析与优化

刘麟<sup>1,2</sup>, 吕星星<sup>1</sup>, 陈程<sup>1</sup>, 刘雪东<sup>1,2</sup>, 郭文元<sup>3</sup>, 巢建伟<sup>1,2</sup>

(1.常州大学 机械工程学院, 江苏 常州 213164; 2.常州大学 江苏省绿色过程装备重点实验室, 江苏 常州 213164; 3.中石化宁波工程有限公司, 浙江 宁波 315103)

**摘要:**为了探究适用于粉煤气化灰水的脱水卧式螺旋沉降离心机的结构形式,采用计算流体力学仿真的方法,对卧式螺旋沉降离心机固液分离进行数值模拟。基于现有卧式螺旋沉降离心机进行三维模型建立,对离心机内部不同位置粉煤气化灰水的含水率进行分析,探究其针对粉煤气化灰水的分离特性。研究了转鼓转速、转鼓锥角以及螺旋推进器螺距对排料口粉煤气化灰水的含水率影响。结果表明,卧式螺旋沉降离心机模型内部的粉煤气化灰水的含水率沿左侧大端排液口向右侧小端出料口逐渐降低。在现有卧式螺旋沉降离心机结构形式中,采用2 000 r/min的转速能在较低的能耗下获得较小的含水率,并且通过将现有卧式螺旋沉降离心机转鼓锥角 $\alpha$ 增大 $1^{\circ}\sim 2^{\circ}$ ,能进一步降低粉煤气化灰水的含水率,而维持螺旋推进器螺距现有尺寸能够保证卧式螺旋离心机的出料口低含水率以及很好的输送沉渣能力。

**关键词:**卧螺离心机;粉煤气化灰水;数值模拟;分离;结构优化

**中图分类号:**TQ 028.5

**文献标志码:**A

**文章编号:**2095-0411(2019)06-0052-08

## Analysis and Optimization of Dewatering for Coal Gasification Ash Water in Decanter Centrifuge

LIU Lin<sup>1,2</sup>, LYU Xingxing<sup>1</sup>, CHEN Cheng<sup>1</sup>, LIU Xuedong<sup>1,2</sup>, GUO Wenyuan<sup>3</sup>, CHAO Jianwei<sup>1,2</sup>

(1.School of Mechanical Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, China; 2.Jiangsu Key Laboratory of Green Process Equipment, Changzhou University, Changzhou 213164, China; 3.Sinopec Ningbo Engineering Co., Ltd., Ningbo 315103, China)

**Abstract:** In order to explore the structure of decanter centrifuge, which is suitable for the dehydration of coal gasification ash water, the numerical simulation of the solid-liquid separation for coal gasifica-

**收稿日期:**2019-05-08。

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(51601021, 51671037);中国石化股份有限公司重点研发计划资助项目(417002);江苏省高校自然科学研究重大项目(17KJA460002)。

**作者简介:**刘麟(1983—),男,河南南阳人,博士,副教授。通信联系人:刘雪东(1965—), E-mail: lxd@cczu.edu.cn

**引用本文:**刘麟,吕星星,陈程,等. 卧式螺旋沉降离心机粉煤气化灰水的脱水分析与优化[J]. 常州大学学报(自然科学版), 2019, 31(6): 52-59.

tion ash water was carried out by the method of computational fluid dynamics simulation. Based on the structure of the decanter centrifuge, a three-dimensional model was established to analyze the water content of the coal gasification ash water in different positions of the centrifuge, and then the separation characteristics of the coal gasification ash water were investigated. The influence of drum rotation rate, drum cone angle and screw propeller pitch on the moisture content of coal gasification ash water at the outlet was studied. The results showed that the water content of coal gasification ash water in the decanter centrifuge model decreases gradually from left to right. In the existing structure of decanter centrifuge, the speed of 2 000 r/min could be used to obtain a smaller water content at lower energy consumption. Moreover, the water content of coal gasification ash water could be further reduced by increasing taper angle  $\alpha$  of the existing decanter centrifuge by  $1^\circ \sim 2^\circ$  to optimize the structure. Finally, maintaining the existing pitch size of the screw propeller can ensure low water content and good sediment transport capacity.

**Key words:** decanter centrifuge; coal gasification ash water; numerical simulation; separation; optimal design

粉煤灰作为煤炭燃烧后的气化产物,其主要成分除含有  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  等燃烧氧化固体废弃物外,还含大约 20% 的未燃烧的碳,因此通过回收循环的方式提高煤炭的利用效率,不但能够有效节约能源,而且还能在一定程度上缓解因粉煤灰被丢弃堆埋而占用大量土地资源、环境污染等问题<sup>[1-2]</sup>。粉煤灰回收利用过程中一个必要环节是对粉煤气化灰水进行有效脱水,目前常用自然沉降、真空过滤脱水、离心脱水等方法<sup>[3]</sup>来降低粉煤气化灰水的含水率。卧式螺旋沉降离心机因其适用性广、分离效率高等优点,是理想的物料干化脱水设备之一。但是在实际粉煤气化灰水的脱水应用中,使用现有通用的卧式螺旋沉降离心机得到的脱水后粉煤灰浆,其含水率仍较高,无法达到需求。

目前对卧式螺旋沉降离心机的研究主要集中在对其分离机理、内部流场速度压力分析以及操作参数和结构参数对分离效果的影响等方面<sup>[4-6]</sup>。于萍等<sup>[7]</sup>采用计算流体力学仿真的方法,对固体颗粒的运动状态进行分析,获得了切向速度、径向速度、轴向速度的分布规律。郑胜飞等<sup>[8]</sup>对卧式螺旋沉降离心机进行全三维建模,分析了不同粒径颗粒的运动特点和沉积时间,发现粒径小的颗粒沉降所需时间更长。Zhu 等<sup>[9]</sup>采用 Fluent 模拟软件中的 RNG  $k-\epsilon$  模型与 Eulerian 模型,还原了颗粒相在整个运动过程中的分离、堆积与推送。何飘等<sup>[10]</sup>将卧式螺旋沉降离心机生产能力和分离效率作为评价标准,提出了适用于卧式螺旋沉降离心机薄层流动的理论模型和上浮临界粒度理论模型。荆宝德等<sup>[11]</sup>针对建筑泥水,通过将转鼓单锥角改为双锥角( $7.5^\circ$  和  $6^\circ$ )的办法,使泥沙颗粒有效地堆积在 2 个不同锥角的交界位置,最终提高了泥沙的脱水效果。吴蕾等<sup>[12]</sup>研究了不同的转鼓长度,发现长径转鼓的分离效果和处理能力较高,但能耗也会增加。

以上研究大多集中于以污泥等作为分离原料,而采用卧式螺旋沉降离心机对粉煤气化水进行分离<sup>[13]</sup>的研究鲜有报道。粉煤气化灰水因其与污泥在物性参数方面有显著不同,就组成成分而言,粉煤气化灰水中含有  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$  等离子,且这些离子会相互结合,形成大量不溶、难溶和微溶的物质,并且这些物质不断聚集,逐渐变成较大的垢团,比污泥更容易造成堵塞。拟采用计算流体力学仿真的方法,对粉煤气化灰水在现有 LW-650 型卧式螺旋沉降离心机内的分离特性进行数值模拟分析,探讨了不同转速和锥角转鼓对粉煤气化灰水含水率的影响,以获得针对粉煤气化灰水的高效脱水卧式螺旋沉降离心机的结构形式,为有针对性的优化设计现有卧式螺旋沉降离心机结构提供参考依据。

## 1 计算模型及设置

### 1.1 控制方程

参照姜毓圣等<sup>[14]</sup>、姜杰等<sup>[15]</sup>对卧式螺旋沉降离心机的研究方法,采用 Mixture 模型对粉煤气化灰水在卧式螺旋沉降离心机内的分离特性进行数值模拟。

连续性方程<sup>[16-17]</sup>

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_m) + \nabla(\rho_m \mathbf{v}_m) = 0 \quad (1)$$

式中: $\mathbf{v}_m$  为多相流的速度, m/s;  $\rho_m$  为质量平均密度, kg/m<sup>3</sup>。分别由式(2)、式(3)确定:

$$\mathbf{v}_m = (\rho_1 a_1 \mathbf{v}_1 + \rho_2 a_2 \mathbf{v}_2) / \rho_m \quad (2)$$

$$\rho_m = \rho_1 a_1 + \rho_2 a_2 \quad (3)$$

式中: $a_1$  和  $a_2$  分别为第一相液体和第二相颗粒的体积分数; $\rho_1$  和  $\rho_2$  分别为第一相液体和第二相颗粒的密度, kg/m<sup>3</sup>;  $\mathbf{v}_1$  和  $\mathbf{v}_2$  分别为第一相液体和第二相颗粒的速度, m/s。

动量方程

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_m \mathbf{v}_m) + \nabla(\rho_m \mathbf{v}_m \mathbf{v}_m) = -\nabla p + \nabla[(\mu_1 a_1 + \mu_2 a_2)(\nabla \mathbf{v}_m + \nabla \mathbf{v}_m^T)] + \mathbf{F} + \nabla \cdot (\rho_1 a_1 \mathbf{v}_{dr1} \mathbf{v}_{dr1} + \rho_2 a_2 \mathbf{v}_{dr2} \mathbf{v}_{dr2}) \quad (4)$$

式中: $\mathbf{F}$  为体积力, N;  $p$  为静压, Pa;  $\mu_1$  和  $\mu_2$  分别为第一相液体和第二相颗粒黏度, Pa·s;  $\mathbf{v}_{dr1}$  为液体相漂移速度, m/s;  $\mathbf{v}_{dr2}$  为颗粒相的漂移速度, m/s。  $\mathbf{v}_{dr1}$  和  $\mathbf{v}_{dr2}$  分别由式(5)、式(6)确定:

$$\mathbf{v}_{dr1} = \mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_m \quad (5)$$

$$\mathbf{v}_{dr2} = \mathbf{v}_2 - \mathbf{v}_m \quad (6)$$

湍动能  $k$  和湍能耗损率  $\epsilon$  的运输方程为:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \nabla(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j}[(\alpha_k \mu_{eff}) \frac{\partial k}{\partial x_j}] + G_k + G_b - \rho \epsilon \quad (7)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \nabla(\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j}[(\alpha_\epsilon \mu_{eff}) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j}] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon}^* \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (8)$$

其中:

$$\mu_{eff} = \mu + \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad (9)$$

$$\eta = \frac{S_k}{\epsilon} \quad (10)$$

$$C_{2\epsilon}^* = C_{2\epsilon} + \frac{C_\mu \rho \eta^3 (1 - \frac{\eta}{4.38})}{1 + 0.012 \eta^3} \quad (11)$$

式中: $k$  为湍动能, J;  $\rho$  为物料的密度, kg/m<sup>3</sup>;  $u_i$  为物料在  $i$  方向的速度, m/s;  $\eta$  为有效耗损率;  $\mu_{eff}$  为物料的有效黏度, Pa·s;  $G_k$  为由于平均速度梯度而产生的紊流动能, J;  $G_b$  为由于浮力而产生的紊流动能, J;  $S_k$  为定义参数;  $\alpha_k$  和  $\alpha_\epsilon$  分别为湍动能和湍能耗损率的有效普朗特数; 常数  $C_{1\epsilon} = 1.42$ ,  $C_{2\epsilon} = 1.68$ ,  $C_{3\epsilon} = 0.09$ ,  $C_\mu = 0.0845$ 。

### 1.2 模型建立

根据粉煤气化灰水脱水实际操作中选用的 LW-650 型卧式螺旋沉降离心机建立的 3D 模型如图 1

所示,其中螺旋推进器的旋向为左旋,具体结构尺寸见表1。将卧式螺旋沉降离心机的螺旋推料器壁面以及转鼓内壁面作为所需要模拟的流场壁面,粉煤气化灰水原料通过靠近中间位置的进料口,不断进入由螺旋推料器以及转鼓内壁面所构成的脱水区域。在离心力以及轴向推进力的作用下,粉煤气化灰水原料的粉煤灰颗粒和液相完成分离,粉煤灰颗粒从右侧的出料口被推出,而液相则从左侧大端排液口流出。

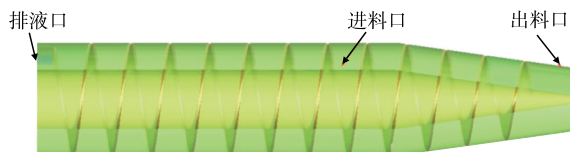


图1 卧式螺旋沉降离心机模型示意图

表1 数值模型结构尺寸 mm

项目	数值
转鼓直筒段直径	650
转鼓直筒段长度	1 905
转鼓小端内径	364
转鼓锥段长度	930
螺旋厚度	14
螺旋高度	158
螺旋螺距	208

### 1.3 计算条件设置

依据实际粉煤气化灰水的相关条件参数,采用ANSYS Fluent进行粉煤气化灰水脱水过程的数值模拟。卧式螺旋沉降离心机的螺旋推料器的壁面以及转鼓内壁面均设置为无滑移边界条件,靠近中间位置的进料口设置为速度入口,进料口处的粉煤气化灰水质量流量为7.8 kg/s,其中粉煤气化灰水的含水率为66.6%,来模拟恒定的粉煤气化灰水原料处理量和进料浓度。液相密度为998.2 kg/m<sup>3</sup>,颗粒相的密度为2 000 kg/m<sup>3</sup>。将颗粒相设置为尺寸相同的球形颗粒,颗粒直径为60 μm。按实际的含水率进行固液体积分数设置,来模拟需要脱水的粉煤气化灰水原料,左侧大端排液口和右侧小端出料口均采用出流边界条件,出流质量权重根据实际脱水进行近似取值,数值分别设置为0.45和0.55。

### 1.4 粉煤气化灰水的脱水效果计算

粉煤气化灰水的脱水完成后,经右侧小端出料口推出,采用式(12)和式(13)来进行完成脱水的粉煤气化灰水含水率和粉煤气化灰水脱水百分比的计算,以对粉煤气化灰水的脱水效果进行评价<sup>[18]</sup>。

$$k = \frac{m_l}{m_s + m_l} \times 100\% \quad (12)$$

式中: $k$ 是含水率; $m_l$ 是液相质量流率; $m_s$ 是颗粒相质量流率。

$$K = \frac{k_{out}}{k_{in}} \times 100\% \quad (13)$$

式中: $K$ 是正常工作条件下物料脱水百分比; $k_{out}$ 是出料的含水率; $k_{in}$ 是进料的含水率。

## 2 结果与讨论

### 2.1 粉煤气化灰水含水率分布

如图2所示,以大端排液口位置作为起点,沿卧式螺旋沉降离心机模型的轴线方向每隔150 mm建立一个截面,共建立20个截面。计算并分析每个截面的含水率,结果如图3所示。由图3可得,粉煤气化灰水在出料口位置的含水率接近45%,与未经脱水处理的粉煤气化灰水含水率相比,脱水百分比达到67.6%。排液口位置处的粉煤气化灰

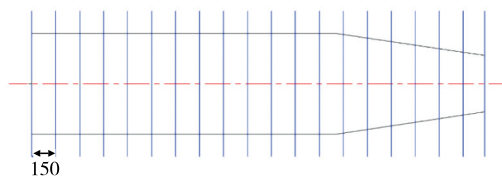


图2 离心机模型轴向方向截面

水含水率高达 94.7%,只有微量的粉煤灰颗粒在液相的带动下经排液口流出,未被有效的回收。此外,离心机模型内部粉煤气化灰水含水率总体上沿左侧大端排液口向右侧小端出料口依次降低。其主要原因是,一方面在高速旋转的转鼓带动下,粉煤气化灰水本身的密度差造成大小不同的离心力,使得粉煤灰颗粒和液相逐渐产生分层,密度较大的粉煤灰颗粒逐渐往下沉积并堆积在转鼓内壁面上。另一方面由于螺旋推料器与转鼓转速差的存在,使得粉煤灰颗粒在螺旋叶片的推动下逐渐向右侧小端出料口运动,而原本沉积在左侧的粉煤灰颗粒则不断向右侧聚集,液相得以向左流动,填充粉煤灰颗粒产生的空隙区域。因而在离心力和转速差的双重作用下,粉煤气化灰水含水率在卧式螺旋沉降离心机模型内部呈现出沿左侧大端排液口向右侧小端出料口逐渐降低的趋势。

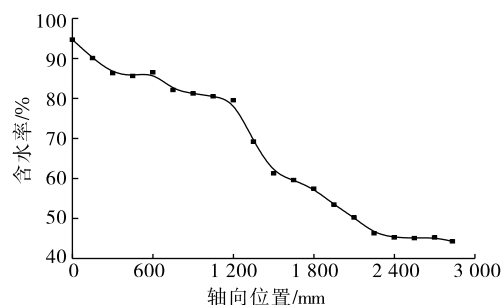


图3 含水率沿转鼓轴向的分布

## 2.2 转鼓转速对分离性能的影响

以含水率为 66.6% 的粉煤气化灰水为原物料,进料速度为 1 m/s。在保证相同处理量的情况下,分别选取 250, 500, 750, 1 000, 1 500, 2 000, 3 000, 4 000, 5 000 r/min 的不同转速以研究转鼓转速对出料口处粉煤气化灰水含水率的影响,不同转速下的粉煤气化灰水含水率如图 4 所示。

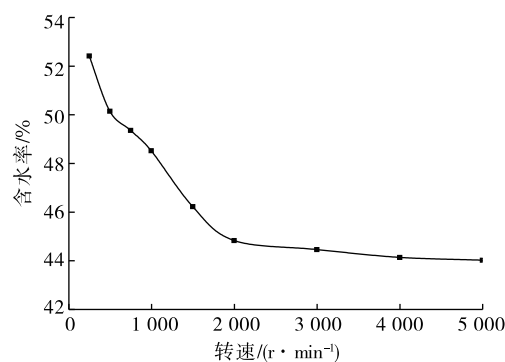


图4 不同转速下的含水率

由图 4 可见,较高的转速能够保证出料口粉煤气化灰水的含水率更低。当转鼓转速从 250 r/min 增加到 2 000 r/min 时,出料口粉煤气化灰水的含水率降低了 7.3%。造成这种结果的原因是增大转鼓转速,可使离心作用力加强,其颗粒与液相更易分离,也更易形成颗粒堆积。并且随着外层粉煤灰颗粒的不断挤压,颗粒间隙间的液相被挤出,所以出料口含水率显著降低。当转鼓转速由 2 000 r/min 逐渐增加到 5 000 r/min 时,出料口粉煤气化灰水的含水率下降 1%,降低幅度并不显著。这是因为当转鼓转速达到 2 000 r/min 时,粉煤灰颗粒基本达到其堆积极限,粉煤灰颗粒堆积区域的孔隙率达到最小值,因此转鼓转速继续增加时,其含水率并不会因此而降低。

根据 LW-650 型卧式螺旋沉降离心机实际尺寸建立的三维模型来分离粉煤气化灰水原物料,通过提升转鼓转速,发现出料口粉煤气化灰水的含水率总是接近 44%,这与实际粉煤气化灰水的脱水后含水率在 40% 以上相一致,表明在现有 LW-650 型卧式螺旋沉降离心机的结构上,当转鼓转速大于 2 000 r/min 时,含水率将不会随着离心机转鼓转速的增加而降低。考虑到所需能耗、卧式螺旋沉降离心机的运行稳定性以及螺旋推料器的螺旋叶片的寿命等因素,2 000 r/min 为最合适的转速。

## 2.3 转鼓锥角对分离性能的影响

为进一步降低粉煤气化灰水含水率,拟采用通过改变转鼓锥角的方法对现有卧式螺旋沉降离心机结构进行优化,以获得更高分离效率的离心机结构。如图 5 所示,现有转鼓锥角  $\alpha$  为  $9^\circ$ ,为探索转鼓锥角角度对粉煤气化灰水含水率的影响,选取转鼓锥角分别为  $6^\circ, 7^\circ, 8^\circ, 9^\circ, 10^\circ, 11^\circ, 12^\circ$ , 转速为



2 000 r/min 进行研究,结果如图 6 所示。

由图 6 可见,在锥角为  $6^{\circ} \sim 10^{\circ}$  时,出料口含水率随着锥角的增加而降低,当锥角增大到  $10^{\circ}$  以上时,出口含水率逐渐增加。由此可见,转鼓锥角为  $10^{\circ} \sim 11^{\circ}$  时,粉煤气化灰水含水率接近最低值,相比于原有结构的含水率,出料口粉煤气化灰水的含水率降低了 1.2%。这主要是因为转鼓锥角越小,粉煤气化灰水的挤压脱水效果越差,增大转鼓锥角,可增加对粉煤气化灰水的挤压效果。但是在建立卧式螺旋沉降离心机模型时,为保证右侧小端直径不变,增大转鼓锥角必将会导致卧式螺旋沉降离心机的锥段长度减小,而锥段长度的减小,会导致粉煤气化灰水挤压脱水的时间变短,这不利于粉煤气化灰水含水率的降低。而在本研究中,当采用的转鼓锥角  $\alpha$  增大到  $12^{\circ}$  时,锥段长度仅为原始锥段长度的 74%,虽然对粉煤气化灰水的挤压作用最强,但粉煤灰颗粒与液相分离的时间减少,与锥角  $\alpha$  为  $10^{\circ}$  或  $11^{\circ}$  时的含水率几乎相同。此外,粉煤灰颗粒群存在堆积极限,少量液相仍会占据粉煤灰颗粒内部间隙,加大转鼓锥角也无法完全挤出这部分液相,最终随粉煤灰颗粒群排出。因而当转鼓锥角  $\alpha$  增大到  $10^{\circ} \sim 11^{\circ}$  时,继续增大转鼓锥角也不会显著降低粉煤气化灰水的含水率。并且加大转鼓锥角使得螺旋推料器的扭矩增大,螺旋叶片的磨损也相应加剧,降低离心机的使用寿命。因此为了提高离心机的脱水能力,可将原有卧式螺旋沉降离心机的转鼓锥角  $\alpha$  增大  $1^{\circ} \sim 2^{\circ}$  以获得更低的粉煤气化灰水含水率。

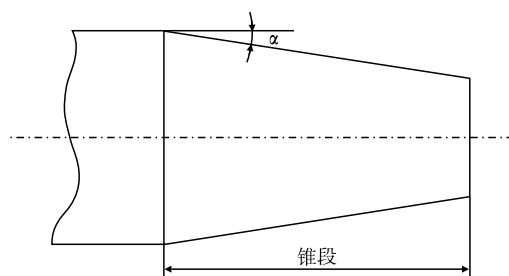


图 5 转鼓锥段结构

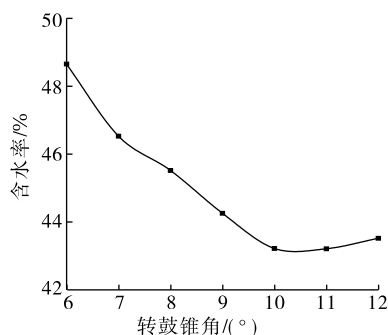


图 6 不同锥角的含水率

## 2.4 螺距对分离性能的影响

现有螺旋推进器的螺距为 208 mm,为探索螺距对粉煤气化灰水含水率的影响,分别选取螺距 188, 198, 208, 218, 228, 238 mm 进行模拟研究,依旧保持转速为 2 000 r/min,模拟结果如图 7 所示。

从图 7 中可以看出,随着螺距的增大,卧式螺旋离心机的出料口含水率持续上升。这是由于卧式螺旋离心机的螺距越小,螺旋推进器叶片的圈数就越多,从而使得卧式螺旋离心机内部旋流的稳定程度提高。然而,仅仅通过减小螺距来实现卧式螺旋离心机分离效率的行为是不可取的,因为当螺距过小时,会使得卧式螺旋离心机的输送沉渣能力严重不足,沉渣无法被及时送至排渣口,且会在叶片处造成堵塞,影响卧式螺旋离心机使用寿命,所以卧式螺旋离心机的螺距不宜过小。从图 7 可以看出,当螺距  $\leq 208$  mm 时,含水率都符合工程要求 45%。同时为了兼顾卧式螺旋离心机的输送沉渣能力,将螺旋推进器螺距维持为原始尺寸 208 mm。

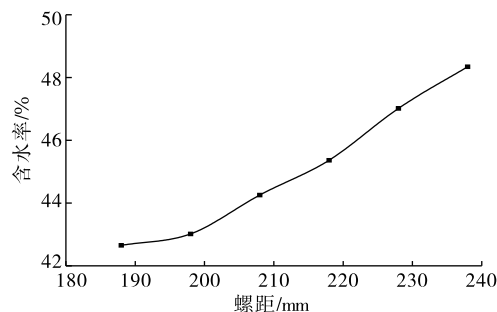


图 7 不同螺距的含水率

## 2.5 内部流场分析

图 8 为不同径向位置的切向速度理论值与模拟值的对比。结果表明,切向速度的理论值与模拟值

都随着径向位置的增大而增加,切向速度的模拟值变化符合理论计算<sup>[19]</sup>的变化规律,表明了数值模拟的可靠性。通过分析理论值与模拟值切向速度的差异,发现模拟值的切向速度总是比理论值低了约 10 m/s,这主要是因为卧式螺旋沉降离心机在进行液固分离模拟时,内部流体是由转鼓带动旋转的,流体的转速无法与转鼓完全保持一致,会造成相对于转鼓的切向滞后。而理论计算切向速度时,把内部流体的转速进行简化假设,使其转速等于转鼓的转速,因而导致模拟值的切向速度总是小于理论值的切向速度。

为研究液压随径向位置的变化,以大端排液口位置作为起点,分别选取卧式螺旋沉降离心机柱段轴向位置为 600,1 200,1 800 mm 的截面进行模拟,图 9 为柱段区域不同径向位置的理论液压值和 3 个截面的模拟液压值。3 个不同截面处模拟液压值沿径向位置的变化曲线基本保持重合,表明流体在卧式螺旋沉降离心机柱段区域的液压沿轴向基本保持不变,且随着径向位置不断增大,液压在转鼓内壁面的附近区域达到峰值。液压的理论值可由式(14)计算得到<sup>[20]</sup>

$$P_c = \frac{1}{2} \rho \omega^2 (r^2 - r_1^2) \quad (14)$$

式中: $P_c$ 为离心液压,Pa; $\rho$ 为物料密度, $\text{kg}/\text{m}^3$ ; $\omega$ 为转鼓角速度, $\text{rad}/\text{s}$ ; $r$ 为转鼓内物料环内表面半径,m; $r_1$ 为自由液面径向位置,m。

液压理论计算值的变化趋势与模拟截面的液压变化趋势一致,再次表明了数值模拟的可靠性,而液压的理论计算值在任何径向位置,均大于模拟所得的液压值,这是由于滞后现象的存在,离心机的流体转速低于转鼓转速导致的。

由于滞后现象,切向速度与液压的理论值均略大于模拟值,但理论值与模拟值的整体趋势是一致的,所以采用数值模拟的手段来研究卧式螺旋离心机的分离效率具有较高的可信度。

### 3 结 论

基于 LW-650 型卧式螺旋沉降离心机现有结构尺寸进行离心机三维建模,采用 Fluent 模拟软件对粉煤气化灰水在卧式螺旋沉降离心机中的脱水干燥进行数值模拟,分析内部流场的切向速度和液压分布,记录排料口的粉煤气化灰水含水率来具体分析粉煤气化灰水的脱水效果,并且比较了不同转速和不同转鼓锥角下离心机对粉煤气化灰水的脱水性能,得出以下结论:

1)粉煤气化灰水的含水率在卧式螺旋沉降离心机模型内部呈现沿左侧大端排液口向右侧小端出口口逐渐降低的趋势,靠近出料口处的粉煤气化灰水的含水率基本保持不变。

2)出料口的含水率随着转鼓转速的增加而减少,但是综合考虑到所需能耗、运行稳定性以及使用寿命,较为适宜的转速为 2 000 r/min。

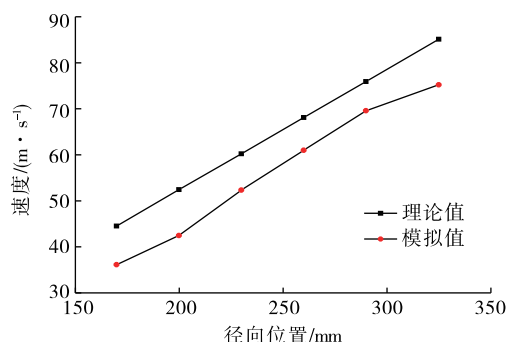


图 8 不同径向位置的切向速度

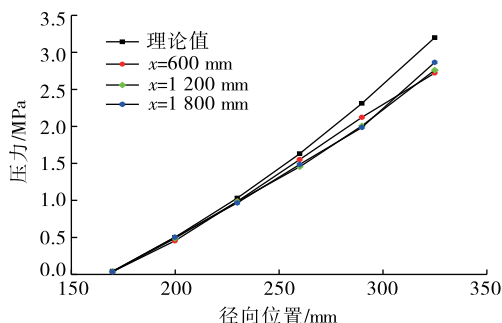


图 9 圆柱段截面处不同径向位置的液压

3)在转鼓转速为2 000 r/min条件下,将现有卧式螺旋沉降离心机转鼓锥角 $\alpha$ 增大 $1^{\circ}\sim 2^{\circ}$ 可进一步提高离心机粉煤气化灰水的脱水效率。

4)螺旋推进器螺距维持原始尺寸208 mm能够保证卧式螺旋离心机的出料口低含水率以及很好的输送沉渣能力。

## 参考文献:

- [1]常艳萍,徐占森.再生资源粉煤灰的研究与应用[J].安徽农学通报,2007,13(15):132-133.
- [2]王洪义,刘克.粉煤灰污染环境原因分析及回收利用[J].科技信息,2011(14):698.
- [3]李建坡.卧螺离心式脱水机运行分析及脱水效果改善探索[D].北京:清华大学,2012.
- [4]HUANG Q B,LIU Q J,ZANG S J.Three dimensional numerical simulation of solid-liquid separation of horizontal spiral sedimentation centrifuge[J].Advanced Materials Research,2013,634:1655-1658.
- [5]周翠红,凌鹰,申文君,等.卧式螺旋沉降离心机污泥脱水模拟研究[J].机械工程学报,2014,50(16):206-212.
- [6]ZHOU C H,LING Y,ZENG M,et al.Influence of microwave and ultrasonic on sludge dewaterability by numerical simulation of horizontal spiral sedimentation centrifuge[J].Journal of Computers,2015,26(3):1-10.
- [7]于萍,林苇,王晓彬,等.卧螺离心机离心分离场速度仿真分析[J].机械工程学报,2011,47(24):151-157.
- [8]郑胜飞,任欣,谢林君.卧螺离心机流场的三维数值模拟[J].轻工机械,2009,27(6):26-29.
- [9]ZHU G R,TAN W,YU Y,et al. Experimental and numerical study of the solid concentration distribution in a horizontal screw decanter centrifuge[J].Industrial & Engineering Chemistry Research,2013,52(48):17249-17256.
- [10]何飘,梁毅,应超,等.基于分离效率的卧螺离心机CFD分析[J].化工设备与管道,2014,51(5):47-51.
- [11]荆宝德,刘京广,王彬,等.卧螺离心机转鼓锥角结构设计及参数优化[J].机械工程学报,2013,49(4):168-173.
- [12]吴蕾,邱发华.长径比对卧螺离心机内流场影响的数值模拟[J].环境工程,2012,30(S2):477-480.
- [13]穆浩.卧螺离心机在粉煤灰脱水分离中的性能研究[D].淮南:安徽理工大学,2015.
- [14]姜毓圣,袁惠新,付双成.卧式螺旋卸料沉降离心机内部流场与分离性能的研究[J].流体机械,2016,44(4):29-35.
- [15]姜杰,温冬,肖泽仪.三相卧螺离心机油水分离的CFD分析[J].流体机械,2017,45(6):26-31.
- [16]ZHAI Z P,YANG Z Y,GAO B,et al. Simulation of solid-gas two-phase flow in an impeller blower based on mixture model[J].Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2013,29(22):50-58.
- [17]SILVA R,GARCIA F A P,FAIA P,et al. Modeling solid-liquid homogeneous turbulent flow of neutrally buoyant particles using the mixture model:a study of length scales and closure coefficients[J].Multiphase Science and Technology,2014,26(3):199-227.
- [18]于洋.卧螺离心机转鼓内基于稠密颗粒流气-液-固三相耦合运动过程机理的研究[D].天津:天津大学,2015.
- [19]付双成,董连东,袁惠新.基于Euler多相流模型的卧螺离心机速度场数值模拟与分析[J].化工进展,2014,33(1):36-42.
- [20]董连东,付双成,袁惠新.卧螺离心机内压力场的数值模拟[J].化工进展,2014,33(2):309-313.

(责任编辑:李艳,谭晓荷)