新型立式压滤机较优滤室厚度参数研究

汪建新[1]，肖萌[1]，王宇晨[1]，杜志强[1]，刘彬[2]，杨洪峰[1]

（1. 内蒙古科技大学机械工程学院，内蒙古　包头　014010；2. 上海电气上重碾磨特装设备有限公司，上海　200245）

摘要：新型立式压滤机单位产能的影响因素有很多，为了提高立式压滤机的单位产能，对新型立式压滤机滤室的不同厚度进行研究。通过 Solidworks 进行三维建模，导入 Fluent 软件里进行网格划分及边界条件的设置。通过五组不同滤室厚度进行对比，看固相体积分数、达到动态平衡稳定的时间，寻找较优滤室厚度。经过滤室厚度仿真实验对比发现 15 mm 的滤室单位时间的产能达到极大，固相体积分数达到 89.9 %,为指导实际工作提供了参考。

关键词：矿业工程；新型立式压滤机；滤室厚度；多孔介质；数值模拟；固相体积分数

doi:10.12476/kczhly.202210190664

中图分类号：TD989　**文献标志码：**A　**文章编号：**1000-6532（2025）03−0206−05

引用格式：汪建新, 肖萌, 王宇晨, 等. 新型立式压滤机较优滤室厚度参数研究[J]. 矿产综合利用, 2025, 46(3): 206-210.

WANG Jianxin, XIAO Meng, WANG Yuchen, et al. Research on optimal filter chamber thickness parameters of new vertical filter press[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2025, 46(3): 206-210.

矿产资源的挖掘为社会带来巨大的好处，但同时也对当地的生态环境产生巨大影响，譬如：土壤、地下水污染，植被群落衰退，农牧业受损等问题[1]。随着我国生产力不断发展，我国企业实力增强，铁矿石作为我国重要战略性矿产资源，为国家经济发展作出不可磨灭的贡献[2]。但是随之而来的环境问题值得考虑，废弃的尾矿资源需要得到二次利用[3]。对于城市来说，附近的土地资源已经不能满足需求，因此必须要合理处置泥浆[4]。排水压滤机是当前处置泥浆重要的设备，首先要让固液混合物进行两相分离，固液混合物分离之后能够回收利用，最终滤饼含水量降低[5]。

一般的普通压滤机泥饼含水率低且生产效率较低[6]。为此，一些学者在相关领域进行了研究：耿亚梅[7]设计一种新型动态扫流板框压滤机，对对角切向进料板框压滤机滤室内的流动形态进行模拟研究，仿真和实验结果一致，说明此方法对压滤机研究具有可行性。邓玲等[8]建立厢式隔膜压滤机单个滤室内两相流的数学模型，通过仿真得到滤室内污泥两相流流动规律。胡立志等[9]通过真空抽滤机研究不同量的滤渣和滤液对水泥净浆抗压强度和孔溶液 pH 值的影响，通过 XRD 和 TG 等测试技术对不同量的滤渣和滤液的水泥产物进行研究。而现在。

普通立式压滤机用一张滤布来回穿梭在每块滤板之间，其主要缺点是清洗滤布较难、污泥回收率低，经立式压滤机过滤之后其含固率为 50%。而设计的新型立式压滤机，在现有基础上进行改进，占地面积小、依靠重力排出泥饼，降低工作能耗、连续性强、省时省力、生产效率明显提高、单位产能增加，其含固率达到 89.9%。新型立式压滤机对处理泥浆固液分离有更好的效果，

收稿日期：2023-01-25
基金项目：内蒙古自治区高校科研项目（NJZY22437）
作者简介：汪建新（1962-），男，博士，教授，主要从事机电一体化技术研究。
通信作者：肖萌（1998-），女，硕士研究生，主要从事结构流体仿真研究。

为我国减少水资源的消耗具有重要的意义。

1　新型立式压滤机的结构及工作原理

1.1　新型立式压滤机的结构

新型立式压滤机主要结构由机架、滤布、传送带、链条、辊和电动机等部分组成。

新型立式压滤机机架分为左右两部分，主要由冷拔矩形钢管 20#和钢板焊接制成。电动机选用三合一减速电机。采用高强聚酯缎纹织法的滤布，其透水性能好且泥浆不易流失。压榨辊胶层表面设计“人”字纹，可以增加接触摩擦力且防止打滑，在胶层的选择上，原来普通橡胶替换成聚氨酯材质，聚氨酯具有极好的耐磨性及抗紫外线性。

1.2　工作原理

絮凝剂被普遍应用于水处理领域中[10]，在新型立式压滤机开始工作之初，泥浆中加入絮凝剂，当新型立式压滤机开始工作的时候，泥浆从这台机器的两个上撑辊中间的空隙注入，首先电动机开始转动，带动下撑辊滚动，下撑辊与传送带一起滚动，传送带带动滤布反复的运动，泥浆在滤布上附着并且水从两侧排出流入底接水托盘里，固相颗粒被滤布阻拦留在滤室里，并且随着泥浆不断地从上撑辊中间的空隙注入，在滤室中的滤饼不断增加厚度，滤饼从下撑辊中间落下，如果在机器工作的状态下，滤布偏移，那么滤布调偏辊就会发挥作用，当滤布上的污泥很多，需要清洗滤布的时候，滤布清洗供水管清洗滤布，用滤布清洗接水槽盛装。过滤与分离技术在生产与科技领域是必不可少的，其具有重要作用[11]。因此，基于工作原理对新型立式压滤机进行不同滤室厚度的数值模拟。

2　滤室流动形态模拟条件

2.1　几何模型及有限元的确定

为更清晰地观察新型立式压滤机滤室里泥浆分布情况，对几何模型进行简化，由 5 部分组成，中间为滤室，两侧为多孔介质，多孔介质的两侧为传送带，整体采用“V”型滤室，通过计算机流体力学进行仿真研究，采用 Fluent19.0 软件进行数值模拟新型立式压滤机几何模型。

新型立式压滤机靠电动机带动使得两侧滤布可以连续运转，从入口上端进入泥浆，滤布两侧排水，经过挤压，泥浆被压榨从底部排泥。为简化过程，压榨辊、挤夹背托辊、下撑辊等都忽略不计，模型主要尺寸见表 1。

表 1　模型主要尺寸

Table 1　Main dimensions of the model

滤室高度/mm	滤室宽度/mm	滤布厚度/mm	传送带厚度/mm	入口直径/mm	出口直径/mm
2 000	500	3	6	50	10
2 000	500	3	6	50	15
2 000	500	3	6	50	20
2 000	500	3	6	50	25
2 000	500	3	6	50	30

采用 Fluent 前处理 mesh 软件，划分网格数量约为 50 万，为了计算的准确性，做出如下的假设[12]:（1）忽略细小的沙子从两侧滤布流出，少量的水从压滤机底部流出；（2）忽略在入口处泥浆溢出；（3）整个压滤机过滤的过程为恒温过程；（4）过滤的多孔介质视为均匀多孔介质，各向同性。

2.2　边界条件的确定

2.2.1　多相流模型

在 Fluent 仿真中对数值计算方法提供了两种计算，欧拉-拉格朗日法和欧拉-欧拉法。采用欧拉-欧拉多相流模型、精度高的$k-\varepsilon$模型，选择瞬态求解器，采用 couple 算法，除体积方程选择 Quick，动量方程、体积方程、湍动能和湍流耗散率方程选择二阶迎风格式。对水和沙子进行研究，其液相水的密度为 998.2 kg/m^3，黏度为 0.001 003 kg/(m·s)，固相沙子的密度为 1 600 kg/m^3，黏度为 10 kg/(m·s)，液相水和固相沙子体积分数占比为 4:6，因此选用 Eulerian 模型。

2.2.2　进出口边界

郭年琴等[13]研究厢式压滤机过滤数值模拟仿真，根据其实验泥浆进入滤室内，采用速度入口(velocity-inlet)，入口速度为 0.2 m/s，方向垂直于进口的截面，通过入口的湍流强度和水力直径设置条件。入口计算湍流强度的公式为：

$$I = 0.16(Re)^{-1/8} \tag{1}$$

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} \tag{2}$$

式中：Re--雷诺数；ρ为液体密度；v为-过滤速率；D为入料口直径；μ为液体黏度；I为-湍流强度。

入口直径 D=50 mm，液体为水，计算湍流强

度：$I \approx 5\%$。

出口边界条件选用自由出口 (outflow)，其他参数不变。

2.2.3　多孔介质模型

滤布是由天然纤维或合成纤维织成的过滤介质，滤布里面结构复杂，难以运用建模计算，可设置多孔介质进行计算，新型立式压滤机采用多孔介质是孔隙率 0.2 的滤布，液体从滤饼和滤布排出滤室，固相颗粒不通过滤布，滤布的区域设置运动速度和泥沙相速度为 0。“V”型滤布的速度设为 0.1 m/s，在 Fluent 模拟中惯性阻力系数和黏性阻力系数应用 Ergun[14] 方程：

$$D = \frac{150(1-\varepsilon)^2}{D_p^2 \varepsilon^3} \tag{3}$$

$$C = \frac{3.5(1-\varepsilon)}{D_p \varepsilon^3} \tag{4}$$

式中：D为黏性阻力系数；C为惯性阻力系数；ε为孔隙率；D_p为多孔介质颗粒平均直径。

由公式（3）和（4）计算滤布中的黏性阻力系数和惯性阻力系数分别为 $1.8e+12m^{-2}$和 $1.346e+6m^{-2}$。

3　滤室厚度实验结果分析

设计 5 组不同的滤室，滤室下端分别为 10、15、20、25、30 mm 进行实验对比，寻求最优滤室厚度参数，因为计算过程步数很多，所以每个不同滤室厚度内截取 8 个不同时刻的仿真结果进行分析对比，见图 1~6。

过滤初期，泥浆中固相沙子由于滤布的阻挡

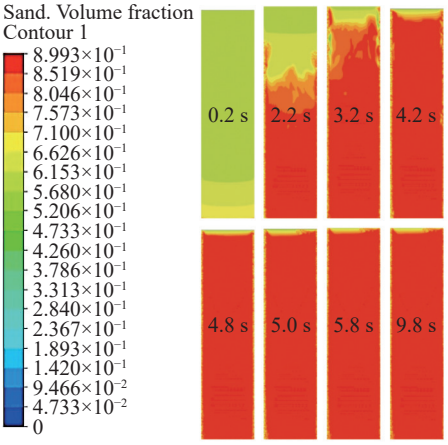

图 1　10 mm 滤室厚度不同时刻的仿真图像

Fig.1　Simulation images for different moments of 10 filter chamber thicknesses

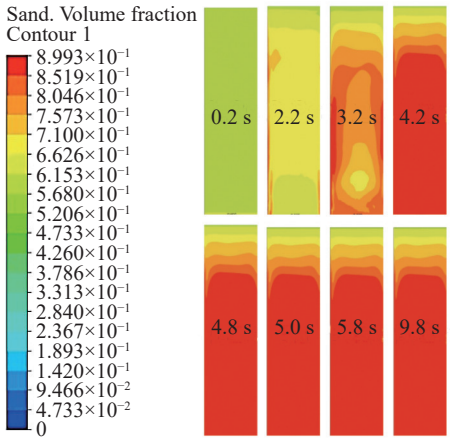

图 2　15 mm 滤室厚度不同时刻的仿真图像

Fig.2　Simulation images for different moments of 15 mm filter chamber thicknesses

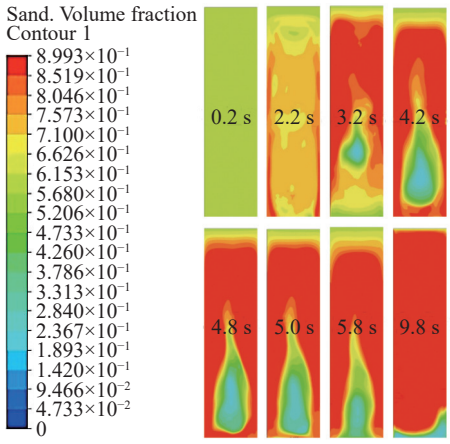

图 3　20 mm 滤室厚度不同时刻的仿真图像

Fig.3　Simulation images of different moments of 20 mm filter chamber thicknesses

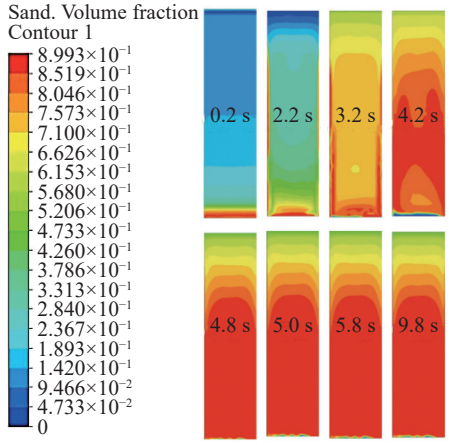

图 4　25 mm 滤室厚度不同时刻的仿真图像

Fig.4　Simulation images for different moments of 25 mm filter chamber thicknesses

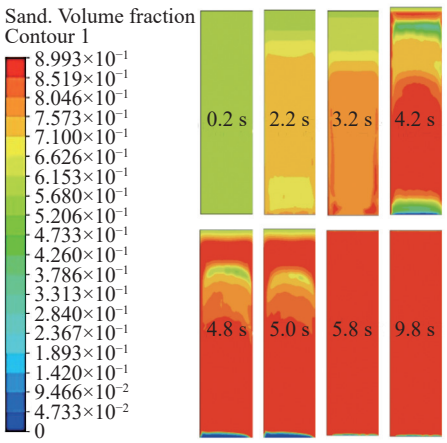

图 5　30 mm 滤室厚度不同时刻的仿真图像

Fig.5　Simulation images for different moments of 30 mm filter chamber thicknesses

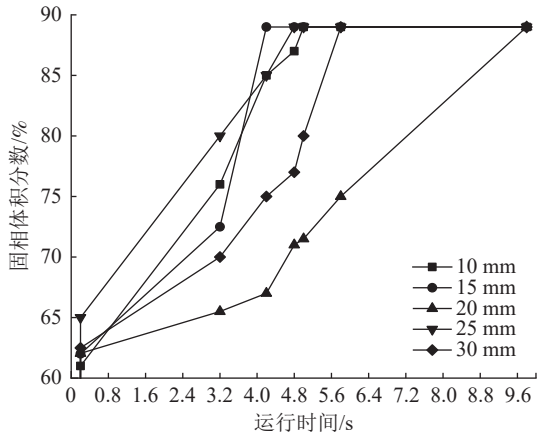

图 6　不同滤室厚度达到动态平衡折线

Fig.6　Dynamic equilibrium line for different chamber thicknesses

而留在滤室内，泥浆中的液相水穿过滤布孔隙到达滤室之后排出，固相沙子体积分数小；过滤中期，随着泥浆不断堆积，泥浆里孔隙率变小，滤室内部泥浆里面水不断排出，固相沙子逐渐增加，逐渐形成滤饼；过滤后期由于滤饼的生成，泥浆液相水需穿过生成的滤饼再经过滤布到达滤室，此时固相沙子体积分数增大。过滤结束后，滤饼体积分数下部区域较高、中间区域较低，靠近泥浆入口的滤饼的固相体积分数很低。

由滤室厚度仿真图结果可见：10 mm 滤室里泥浆在 0.2 s 填充滤室，含固率较小，2.2 s 泥浆中含固率极大值达到滤室高度的一半，5 s 滤室内部达到动态平衡值，图像填充满，分层少，不符合仿真分析规律；15 mm 滤室从 0.2 s 至 4.2 s 泥浆不断堆积，4.2 s 滤室内部达到动态平衡值，图像分层均匀，符合仿真分析规律；20 mm 滤室在 3.2 s 出现空洞，随着时间的推移，空洞由中间到达滤室底部，9.8 s 滤室内部达到动态平衡值，滤室底部产生小部分空洞，图像没有分层，不符合其规律；25 mm 滤室在 4.8 s 达到动态平衡值，图像分层均匀，符合仿真分析规律；30 mm 4.2 s 滤室内部出现空洞，5.8 s 滤室内部达到动态平衡值，但图像没有分层，不符合其规律。

通过图 6 可以看出，随着时间的不断变化，折线的趋势是不断上升的，过滤结束后，达到动态平衡稳定值，固相体积分数达到约为 89.9%。

由图像仿真分析和折线图可知：15 mm 的滤室 4.2 s 达到滤室动态平衡值，其余滤室都晚于 4.2 s，因此本文选择厚度较优参数为 15 mm。

4　结　论

（1）普通立式压滤机用一张滤布来回穿梭在每块滤板之间，清洗困难、回收率较低，而设计新型立式压滤机由图 1 中传送带上面的滤布依靠传送带张拉张紧辊连续工作，滤布清洗供水管在机架上可以边工作边清洗，通过仿真实验泥饼回收率由 50% 提高至 89.9%。

（2）用仿真软件对 5 组不同滤室进行对比仿真，得出最优滤室厚度参数。从过滤初期、过滤中期、过滤后期分析不同滤室厚度的固相体积分数规律，绘制不同滤室厚度与不同时刻的固相体积分数图像找到较优参数，达到动态平衡泥饼中的含固率为 89.9%。

（3）本文对新型立式压滤机中泥浆流动进行仿真实验，不同滤室厚度达到滤室动态平衡值的最短时刻值，对单位产能的提高有一定的影响，其仿真实验为指导实际工作提供参考。

参考文献：

[1] 李瑞娟, 周冰. 安徽铜陵铜尾矿土壤污染评价及综合利用研究[J]. 矿产综合利用, 2021(4):36-40.
LI R J, ZHOU B. Study on soil pollution assessment and comprehensive utilization of Tongling copper tailings, Anhui[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2021(4):36-40.
[2] 汪建新, 黄璇, 杜志强. 新型双腔颚式破碎机的原理及破碎力的计算[J]. 有色金属 (选矿部分), 2022(3):113-117.
WANG J X, HUANG X, DU Z Q. Principle and calculation of crushing force of new double-chamber jaw crusher[J].

Nonferrous Metals(Mineral Processing Section), 2022(3):113-117.
[3] 陈广, 羊坤, 陈思竹, 等. 浮-重选联合流程选别金尾矿实验研究[J]. 矿产综合利用, 2022(2):131-134+186.
CHEN G,YANG K,CHEN S Z, et al. Experimental study on separation of gold tailings by combined floatation gravity separation process[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2022(2):131-134+186.
[4] ArnoldB J,BarryB. Application of a pilot-scale plate filter press in dewatering coal slurries[J]. Environmental Considerations in Energy Production,2013:42.
[5] 刘俊芳. 空气穿流式快开压滤机在马兰矿选煤厂的应用[J]. 煤炭加工与综合利用, 2020(12):24-26.
LIU J F. Application of air through-flow quick-opening filter press in malan mine coal preparation plant[J]. Coal Processing and Comprehensive Utilization, 2020(12):24-26.
[6] 马加建, 孟庆华, 曹均. 盐水精制工序中盐泥压滤设备的比较与探讨[J]. 纯碱工业, 2020(1):24-27.
MA J J, MENG Q H, CAO J. Comparison and discussion of salt mud filter press equipment in brine refining process[J]. Soda Ash Industry, 2020(1):24-27.
[7] 耿亚梅.新型动态扫流板框压滤机过滤过程研究[D].天津:天津大学,2013.
GENG Y M. Research on filtration process of new type dynamic sweep-flow plate and frame filter press [D].Tianjin: Tianjin University, 2013.
[8] 邓玲.厢式隔膜压滤机污泥深度脱水过滤特性研究[D].长沙:中南大学,2014.
DENG L. Research on filtration characteristics of deep dewatering sludge of chamber diaphragm filter press[D]. Changsha: Central South University, 2014.
[9] 胡立志, 代飞, 李伟青, 等. 搅拌站废浆对水泥水化的影响[J]. 矿产综合利用, 2019(5):102-106.
HU L Z, DAI F, LI W Q, et al. Influence of waste slurry from mixing plant on cement hydration[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2019(5):102-106.
[10] 孙英娟, 周旋, 岳丽娜, 等. 工业固废制备聚合氯化铝铁及其在煤泥废水处理中的应用[J]. 矿产综合利用, 2021(1):144-150.
SUN Y J, ZHOU X, YUE L N, et al. Preparation of polyaluminium ferric chloride from industrial solid waste and its application in the treatment of coal slime wastewater[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2021(1):144-150.
[11] 朱企新,许莉,谭蔚, 等.固液两相过滤及分离技术[M].北京:化学工业出版社,2005.
ZHU Q X, XU L, TAN W, et al. Solid liquid two-phase filtration and separation technology[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.
[12] DU W, BAO X, XU J, et al. Computational fluid dynamics(CFD) modeling of spouted bed assessment of drag coefficient correlations[J]. Chemical Engineering Science, 2006, 61.(5):1401-1420.
[13] 郭年琴, 乔保蒙, 林通. 厢式压滤机过滤过程数值模拟与仿真[J]. 金属矿山, 2016(5):144-148.
GUO N Q, QIAO B M, LIN T. Numerical simulation and simulation of filtration process of chamber filter press[J]. Mining, 2016(5):144-148.
[14] Ergun S. Fluid Flow through randomly packed columns and fluidized beds[J]. Industrial and Engineering Chemistry, 1949(6):1179-1184.

Research on Optimal Filter Chamber Thickness Parameters of New Vertical Filter Press

WANG Jianxin[1], XIAO Meng[1], WANG Yuchen[1], DU Zhiqiang[1], LIU Bin[2], YANG Hongfeng[1]
(1.School of Mechanical Engineering, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou, Inner Mongolia 014010, China; 2.Shanghai Electric Shangzhong Milling Special Equipment Co., Ltd., Shanghai 200245, China)

Abstract: There were numerous factors affecting the unit capacity of production of the new vertical filter press. In order to improve the unit capacity of production of the vertical filter press, the research on the different thickness of the filter chamber of the new vertical filter press had been carried out. Three-dimensional modeling was conducted through Solidworks and imported into Fluent software for mesh division and boundary conditions setting. Through the comparison of five groups of different filter chamber thicknesses, the volume fraction of solid phase and the time to achieve dynamic equilibrium and stability were observed to find the optimal filter chamber thickness. It was found in the simulation test and comparison of the filter chamber thickness that the capacity of production per unit time of the 15 mm filter chamber reached the maximum, and the solid phase volume fraction reached 89.9%, which provided a reference for guiding the actual work.

Keywords: mining engineering; new vertical filter press; filter chamber thickness; porous media; numerical simulation; solid phase volume fraction