

# 自动反冲洗过滤器的改进与研究

王燕燕 戴凌汉\*

(北京化工大学 机电工程学院, 北京 100029)

**摘要:** 针对目前自动反冲洗过滤器过滤过程不连续、占地面积大和自重对过滤过程有影响的问题开发了一种全新的自动反冲洗过滤器。采用混合多相流模型、标准的  $k-\epsilon$  湍流模型和 SIMPLEC 算法,应用计算流体力学软件 Fluent 对过滤头相邻叠片间的流场进行分析。通过数值模拟,可以很清楚的显示出深层过滤时叠片间过滤液的过滤过程以及过滤液的速度矢量分布情况。由模拟结果可知过滤头的结构改进满足设计要求,本方案有利于提高过滤效率和降低过滤过程中的压力损失,从而降低了过滤器的成本,有很高的经济价值。在没有成熟设计理论的背景下,为设计方案可行性提供了依据。

**关键词:** 开发; 反冲洗; 过滤头; 结构改进; 计算流体力学

**中图分类号:** TQ051.8

## 引言

随着水资源匮乏和水污染日益严重,人们对生活环境与质量要求越来越高,废水的处理与回收日益成为工业生产与居民生活的重要组成部分。自动反冲洗过滤机能很好地解决废水处理与重复利用问题,实现良好的经济效益和社会效益。该过滤器是上世纪70年代发展起来的一种新型过滤器,近年来,国内外出现了几种结构上经过改进的自动反冲洗过滤器。但是,目前已面世的自动反冲洗过滤器仍存在过程不连续和占地面积大、自重对过滤过程有影响等不足之处,在结构设计上还存在若干可以改进的地方<sup>[1]</sup>。另外,到现在为止,仍没有关于自动反冲洗过滤器的成熟的设计理论,各种具体设计方案的可靠性还有待验证。因此,开发一种连续的、可靠性好的且能自动反冲洗的过滤器是非常必要且很有市场的。

本文针对自重对过滤过程有影响等问题对自动反冲洗过滤器进行了改进,提出了一种新的自动反冲洗过滤器。该自动反冲洗过滤器完全靠滤液压力提供自清洗动力,在运行过程中无须停车清洗过滤元件,整机体积较小,精度可调节。适用于低黏度液体中固体物质的过滤,能广泛用于冶金、化工、造纸、

城市给水等领域。它是一种精确过滤、高效反洗、运行可靠、维护简单、使用寿命长的全自动过滤器。在使用中,既可以做旁路过滤器,也可以做主过滤器<sup>[2]</sup>。

## 1 过滤系统的工作原理

### 1.1 自动反冲洗过滤器的工作原理

自动反冲洗过滤器采用程序模块化设计,可单个使用,或按单元进行多种组合使用。可根据压差、时间或两者组合对过滤器进行全面控制<sup>[1]</sup>。其原理见图1。液体由进水口进入管道,经过反冲洗阀进入过滤头,过滤后的液体从出水口流出。

当到达一定的压差或者时间时,系统自动进入反洗状态,控制器控制两位三通反冲洗阀改变水流方向,同时导通排污管道,污水从排污口排出。

### 1.2 过滤头的工作原理

过滤头是自动反冲洗过滤器中最主要的部件,液体的过滤主要是在过滤头内完成<sup>[2-3]</sup>。其结构剖视图见图2。

过滤头中的滤芯上有一组或多组双面带不同方向沟槽的塑料叠片,其相邻面上的沟槽棱边便形成许多交叉点,这些交叉点形成了大量的空腔和由外向里的通路。

过滤时,过滤液给活塞一定的压力,在弹簧和进水的压力作用下就形成了一个外松内紧的过滤单元。当固体颗粒大于沟槽时,颗粒直接被截留在叠片外侧;当固体颗粒小于沟槽时,颗粒进入叠片间的通道,在通道中由于上沟槽的存在,导致水出现紊

收稿日期: 2009-11-26

第一作者: 女,1985年生,硕士生

\* 通讯联系人

E-mail: Dailh@mail.buct.edu.cn

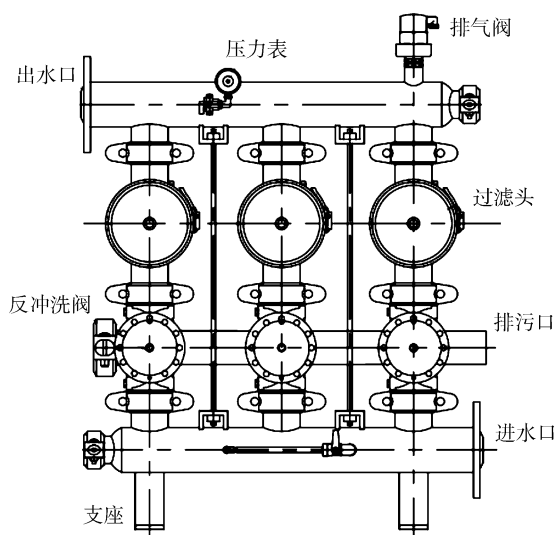


图 1 自动反冲洗过滤器工作原理图

Fig. 1 Working principle of the automatic return rinsing filter

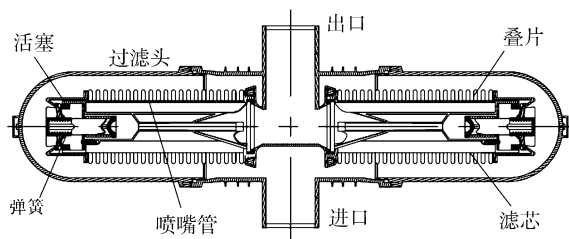


图 2 过滤头结构剖视图

Fig. 2 Internal structure of the filter head

流,致使大部分颗粒被拦截在通道的上壁沟槽内,只有很少一部分颗粒随滤液从通道下部流出,从而提高了过滤效率。由于下沟槽内几乎没有颗粒附着,所以叠片内外的压力损失很小。

反冲洗时,反冲洗水压拉升弹簧使叠片被松开,位于喷嘴管上的喷嘴沿切线喷射,使叠片旋转,将截留在叠片上的杂质冲洗甩出。

## 2 过滤器的结构改进和可行性分析

### 2.1 过滤芯的连接方式和出口结构改进

将两个过滤芯并联连接,两个过滤芯的配件采用相同的尺寸,可以替换使用。过滤芯并联连接可以提高过滤效率,节省材料,有一定的经济价值。

过滤液出口处和左右两个支座单元相连接,保证出口处的液体全部从出口处流出。所有内部的部件是通过塑料注射一次成型的。

过滤液从过滤头的进口进入,过滤后从出口流出。过滤头的技术参数见表 1。

表 1 过滤头的技术参数

Table 1 The technical parameters of the filter head

项目	数值	项目	数值
进、出管口直径	76.4 mm	过滤精度	55 μm
叠片内径	85 mm	滤芯长度	300 mm
叠片外径	110 mm		

进口面积为:

$$s = \pi r^2 = 3.14 \times (76.4/2)^2 = 4582 \text{ mm}^2$$

叠片的过滤面积为:

$$s = 2 \times 85 \times \pi \times 0.055 \times 2/3 \times 300 \times 2 = 11743 \text{ mm}^2$$

### 2.2 过滤头放置方式的改进

将过滤头由竖直放置改为水平放置。由于自重的作用,竖直放置时过滤头中位于过滤盘组底部的离固定支架一定距离的过滤盘在反冲洗的时候无法形成空隙<sup>[4]</sup>,如图 3 所示。

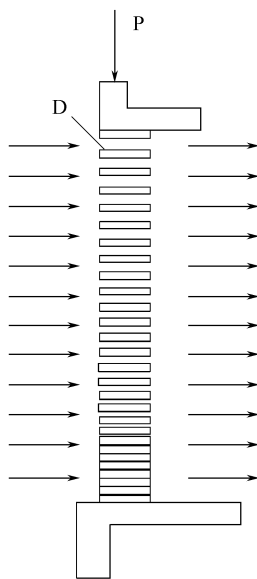


图 3 反冲洗阶段过滤盘不均匀分布的现象

Fig. 3 Illustration of the uneven distribution phenomenon of return rinsing in the filter head stage

改为水平放置后就可以避免这种分布不均匀的现象。同时,反冲洗的时候由于过滤液有一定的重力势能,所以只需要很小的反冲洗压力,不再需要外源泵给反冲洗压力,过滤液自身的重力势能就可以满足反冲洗的压力。

## 3 过滤器改进后叠片间的流场分析

在过滤器的设计当中,过滤头是其中最主要的部件,滤液的深层过滤主要是通过过滤头内相邻的

叠片沟槽交叉所组成的通路导致水的紊流所实现的。由于相邻叠片内的流体流动和过滤液的固液分离过程十分复杂,所以选择计算流体力学 CFD 分析软件 Fluent 对叠片间的流场进行数值模拟和分析。

3.1 计算模型

本文所研究的相邻叠片间总共有 100 条相同的过滤通道,选取其中一条作为研究对象。每一条通道有 125 个交点,为节省时间,选取其中的 1/25 作为研究对象,简化以后的模型如图 4 所示。

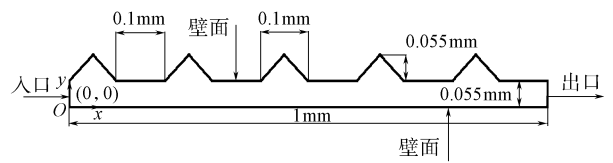


图 4 几何模型图

Fig. 4 Diagram of the geometric model diagram

网格划分对数值模拟的结果有着很重要的影响。考虑到在满足网格足够细密的基础上,尽量减少网格数量以减少计算量,提高收敛的稳定性<sup>[5]</sup>。因此,本模型采用四边形非结构网格,只划分了 6636 个四边形网格。

3.2 计算方法

3.2.1 边界条件

入口边界条件:过滤液从周围均匀流入。过滤液中液相密度为 1000 kg/m<sup>3</sup>,黏度为 0.001 Pa·s;固相颗粒的密度是 2000 kg/m<sup>3</sup>,黏度是 0.000015 Pa·s。液相的入口速度是 3 m/s,固相的入口速度是 3 m/s,体积分数是 0.05。

出口边界条件:过滤后的水从出口流出,出口压力为 101000 Pa。

壁面边界条件:采用标准壁面处理。

3.2.2 计算模型及收敛精度

Fluent 中描述多相流的常用模型有流体模型、混合模型和欧拉模型。由于所分析的流体流动过程中各相间有一定的速度差别和离散相的分布比较广,所以采用混合模型。采用标准 *k-e* 湍流计算模型,基于有限容积法,将混合相的连续方程、动量方程和能量方程、固体的体积分数方程进行离散求解。其中方程的压力-速度耦合采用算法 SIMPLEC 方法耦合。

设定的计算模型常数如表 2 所示,收敛因子如表 3 所示,迭代精度设为 10<sup>-3</sup>,由残差收敛图可知达到收敛时各项精度都达到了 10<sup>-4</sup>。

表 2 *k-e* 模型的模型常数

Table 2 Modal constants for the *k-e* model

模型常数	耗散率 $e_1$ /%	耗散率 $e_2$ /%	黏性常数
0.09	1.44	1.92	0.09

表 3 收敛因子

Table 3 Convergence factor

压力/Pa	密度/kg·m <sup>-3</sup>	体积力/N	动量/kg·ms <sup>-1</sup>
0.3	1	1	0.7

3.3 计算结果及分析

选用 5/6 求解器,将生成的网格导入 Fluent 中,检查网格质量,定义流体的物理性质,然后设定操作和边界条件,模拟计算后得到的结果为

(1)图 5 为过滤过程中固体颗粒的体积分数图。从图 5 看出随着过滤过程的进行,固体颗粒集中在上壁的三角槽处,过滤后的水从中间流出。上壁处的固体颗粒体积分数为 5% 左右,中间通道的固体体积分数为 0。该结果很直观的反映了过滤器过滤过程中滤液经过相邻叠片时固液分离的过程。在没有成熟的设计理论的背景下,该模拟结果为设计方案的可行性提供了很好的依据。

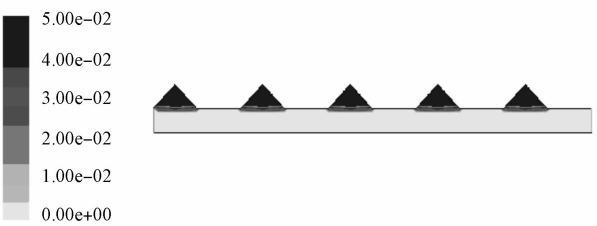


图 5 过滤过程中固体体积分数图

Fig. 5 Volume fraction map of the solid in the filtration process

(2)图 6 为过滤器相邻叠片间过滤过程中水的速度分布图。从图 6 看出固体颗粒的集中分布使得上壁处水的速度比较低,最低为 0.0018 m/s,在中间通道内水流的速度比较高,最高为 4 m/s。由该模拟结果可以看出滤液中的固体颗粒淤积在上壁处,使得过滤通道不易被进入过滤通道内的滤渣阻塞。该结果为设计方案可以减小过滤过程中的压力损失和提高过滤效率提供了很好的依据。

(3)图 7 为过滤器相邻叠片间过滤过程中水的湍流动能图。从图 7 看出在过滤整个过程中都存在一定的湍流动能。刚开始的时候湍流动能比较小,湍流动能值在 0.003 J 左右。随着过滤过程的进行,

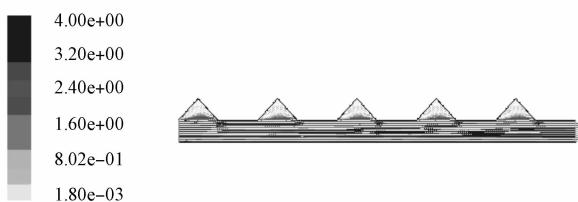


图6 过滤过程中水的速度矢量图

Fig. 6 Velocity vector diagram for water in the filtration process

湍流动能分布比较均匀,湍流动能值主要分布在  $0.00163 \text{ J}$  左右。由该模拟结果可以看出湍动能区域比较大,湍流动能值比较小,分布比较均匀,叠片的磨损很小。该模拟结果为过滤器过滤过程稳定和设计方案的有很高的经济价值提供了很好的依据。

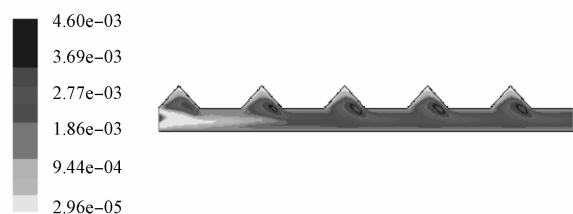


图7 过滤过程中水的湍流动能图

Fig. 7 Turbulent kinetic energy plan for water in the filtration process

## 4 结论

本文提出了一种自动反冲洗过滤器的设计方

案。Fluent 计算流体力学分析软件对过滤头内相邻叠片间的流场的分析结果表明:该全自动过滤器经过改进后,过滤效率有了很大的提高,大大节省了制造成本。在没有成熟设计理论的背景下,模拟结果为设计方案可行性提供了依据,为今后产品的研发提供了一些有价值的参考。

## 参考文献:

- [1] Kolodny Y, Tel A, Kreisel I. Process and device for the treatment of water, particularly for ships; US0026336A1 [P]. 2004-02-12.
- [2] 于静辉,李清德,邢晓. 自动反冲洗过滤器控制系统的改进[J]. 液压与气动, 2002, 12(8): 44-45.  
Yu J H, Li Q D, Xing X. Improving of the control system of an automatic return rinsing filter[J]. Hydraulic and Transmission, 2002, 12(8): 44-45. (in Chinese)
- [3] Yiftach S, Raanan B. Reverse flow spin-cleaning liquid filters; US6398037B1 [P]. 2002-06-04.
- [4] Ben H, Raanan B, Jordan V. Arkal filtration systems C. S. LTD; WO028071A1 [P]. 2005-03-31.
- [5] 王福军. 计算流体力学分析: CFD 软件原理与应用 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.  
Wang F J. Internal structure of filter head computational fluid dynamics analysis; theory and application of CFD software [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004. (in Chinese)

# Design of an automatic return rinsing filter

WANG YanYan DAI LingHan

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

**Abstract:** A new automatic return rinsing filter has been developed in order to overcome the deficiencies of current automatic return rinsing filters which are not continuous and cover a large area. The new filter is based on a multi-phase flow model, the standard  $k-\epsilon$  turbulence model and the SIMPLEC algorithm. The computational fluid dynamics software Fluent has been used to analyze the flow field of the lamination adjacent to the filter head. By numerical simulation, the fluid filtration process and the distribution of the velocity vector of the filtrate between adjacent lamination regions have been clearly delineated. The simulation results show that all the design requirements are satisfied, and the program helps to improve filtration efficiency and reduce the pressure loss during the filtration process. This thereby reduces the cost of the filter and brings high economic benefits. The simulations described provide a basis for testing the feasibility of a design in the absence of a mature theory.

**Key words:** exploitation; return rinsing; filter head; structural improvement; CFD