

水处理微滤机过滤能力和堵塞问题的研究

陈建平, 曹冬冬

(天津科技大学 机械工程学院, 天津 300222)

摘要: 针对传统微滤机的占地面积大、能耗大、结构复杂、过滤能力低以及堵塞等问题, 以过滤阻力和颗粒受力分析为基础, 建立了微滤理论模型, 分析了微滤过程中的堵塞问题及原因; 采用试验分析的方法, 研究了过滤水位、过滤时间和反冲洗对过滤能力和堵塞问题的影响, 提出了提高过滤能力的方法, 并设计了一种可实时反冲洗的新型连续水处理微滤机作为解决方法。

关键词: 微滤机; 理论模型; 试验分析; 反冲洗; 过滤能力; 堵塞

中图分类号: X703; TQ028

文献标志码: A

文章编号: 1671-024X(2013)05-0057-04

Research of filtering ability and blocking problems of water treatment micro-filter

CHEN Jian-ping, CAO Dong-dong

(College of Mechanical Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

Abstract: In allusion to the problems such as large floor area, high energy consumption, complicated structure, low filtering capacity and blocking seriously for traditional micro-filter, the micro-filter theory model was established and the blocking problems and their reasons in the microfiltration process were analyzed, which were based on the analysis of filtration resistance and grain stress. The test analysis methods were used to analyze and research the effect of filter water level, filtering time and backwashing and other filtration factors on the filtering ability and blocking problems, and the methods which can improve the ability of filtering were put forward. A new type of continuous water treatment micro-filter, which could realize real-time backwashing, was designed as a solution.

Key words: micro-filter; theory model; test analysis; backwashing; filtering ability; block

水资源短缺和水污染已经成为阻碍社会经济发展的主要因素之一。面对日益严重的水资源短缺和水污染问题,城市污水回用因其水量大、水质稳定且供给可靠等特点越来越受到当今世界各国的推崇。目前国内外应用较多的中水回用工艺是混凝-沉淀-过滤-消毒工艺和膜处理工艺,其中混凝-沉淀-过滤-消毒工艺因其工艺流程长、占地面积大,建设投资较大的缺点,不适宜在土地资源紧张的地区或旧污水处理厂增加污水回用工艺的改造工程中使用;膜处理工艺因膜造价高且易污染等问题,在我国的发展比较缓慢。水处理的最基本原理之一就是工艺技术和方法将水体中各种污染物净化去除,过滤单元技术能有效地截留去除水体中各种悬浮颗粒物。因此,过滤是中水回用工艺中最重要的物理操作单元技术之一,在污水深度处理中起到至关重要的作用,提高过滤效率能

明显地提高污水处理效率^[1]。本文通过对微滤理论模型的分析,得出微滤过程中堵塞问题及原因,然后对提高过滤效率的方法进行试验分析,找到解决堵塞问题和提高过滤效率的最佳方法。

1 微滤机的研究现状

目前过滤一般分为3种类型:深床过滤、膜过滤和表面过滤。表面过滤是利用过滤介质表面或过滤过程中所生成的滤饼表面来拦截固体颗粒,使固体与液体分离。这种过滤一直广泛应用于化工行业和造纸行业。近年来,集成化的表面过滤设备刚开始应用于污水处理领域,以滤布为过滤介质的设备主要有转盘微滤机和转鼓微滤机等^[2]。

根据调研和实验研究分析发现,该技术因其具有

收稿日期: 2013-03-27

基金项目: 天津市科技兴海项目(KJXH2012-23)

通信作者: 陈建平(1961-),男,硕士,副教授,硕士生导师. E-mail: chjp@tust.edu.cn

原理简单等优点,在国外已被成功应用于城市污水二级处理后的中水回用领域.但现有微滤机仍存在以下问题.

(1) 制造成本较高.现有装置结构比较复杂,不锈钢滤布裁剪浪费情况较为严重.

(2) 占地面积大.由于现有微滤机过滤效率低,所以当需要处理较大污水量时,只能增加微滤机的数目,因此占地面积大.

(3) 过滤效率低.由于滤布目数较高,孔径一般在 10~100 μm ,滤布容易被堵死,影响过滤效率.同时,装置被堵塞后,需停机进行滤布的清洗和更换,大大减少了有效的过滤时间,过滤能力降低.在显微镜下,试验所用不锈钢滤布为 1 200 目不锈钢滤布(孔径约为 0.01 mm)过滤前后的观察效果如图 1 所示.

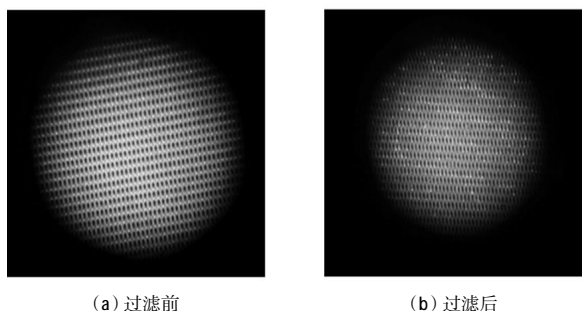


图 1 不锈钢滤布过滤前后在显微镜下观察效果

Fig.1 Observed effect of stainless steel filter cloth before and after filtering under microscope

(4) 滤布更换频繁.现有微滤机无法及时进行反清洗,滤孔堵塞严重;必须进行停机清洗,并且滤布更换较频繁.因此滤布的更换较为耗时,延长了停机的时间,并且增加了劳动成本.

针对目前微滤机存在的问题,以过滤过程中过滤阻力和颗粒受力分析为基础,建立微滤理论模型,分析其微滤过程中的堵塞机理及原因,采用试验分析探讨了微滤过程的堵塞问题并提出了相应的解决方法.以下分别从理论和试验两方面分析微滤的堵塞问题及提高过滤能力措施的可行性.

2 微滤理论模型分析

微滤是一种静态过滤,水中的颗粒杂质将在滤布表面截留形成污染层,污堵类型属于表面层截留,因此研究过滤阻力的构成对提出增加滤布通透量的措施有重要的指导作用^[3].

水是连续介质,水中的颗粒杂质的速度分布也是连续的.由于范德华力和其他高分子物质作用下相互

碰撞,在流体运动中发生架桥和絮凝反应,因此可建立过滤堵塞的覆盖层模型,即起源于经典过滤理论,是以通透量、覆盖层阻力和滤布的阻力之间的关联为出发点的^[4-5],其一般表现形式为:

$$J = \frac{\Delta P}{\mu(R_m + R_p + R_c)} \quad (1)$$

$$R_t = R_m + R_p + R_c \quad (2)$$

式中: J 为过滤速度,即通透量($\text{m}^3 \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$); ΔP 为滤液流动的推动力过滤差(Pa); μ 为滤液粘度($\text{Pa} \cdot \text{s}$); R_m 为滤布膜固有阻力(m^{-1}); R_p 为滤布膜孔堵塞阻力(m^{-1}); R_c 为滤布膜面滤饼阻力(m^{-1}); R_t 为滤布膜过滤结束时阻力(m^{-1}).

即滤布的过滤速度和滤布阻力成反比,随着时间的延长,微粒开始堵塞膜孔,滤布表面截留沉积不溶物急剧增多,引起流体力学阻力增大,过滤速率下降,由此可得到微滤时间 t 与流量 Q 的关系如图 2 所示^[6].

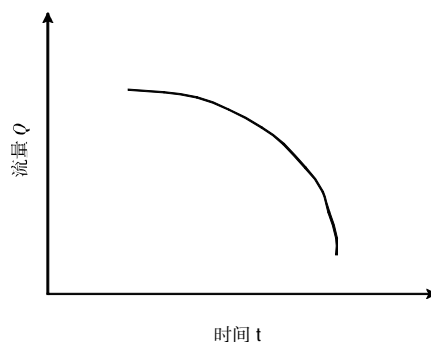


图 2 微滤时间与流量的关系

Fig.2 Relation between micro-filtration time and flow

以滤布过滤的刚性固体颗粒为研究对象,通过对水溶液中的颗粒的受力分析,结合阻塞过滤模型和传统阻力覆盖模型,考虑孔径和颗粒大小等因素的影响,可以建立微滤工艺模型,预测微滤过程中的通透量,将模拟结果与试验数据进行对比,分析其吻合性.

3 试验及结果分析

根据理论模型中滤布通透量、覆盖层阻力和滤布的阻力之间关系的分析,设计了如图 3 所示的微滤工艺装置分别从过滤水位、过滤时间和反清洗对过滤能力和堵塞问题的影响进行试验分析.

微滤的工艺基本流程为:污水经进水泵进入进水箱,经 1 200 目不锈钢滤布(孔径约为 0.01 mm),大于孔径的悬浮物颗粒被拦截,截留的颗粒随着时间增多,使得滤布被堵塞,过滤速度下降,通过往复移动筛板结构,反冲洗装置将水汽混合一定比例冲掉粘附在

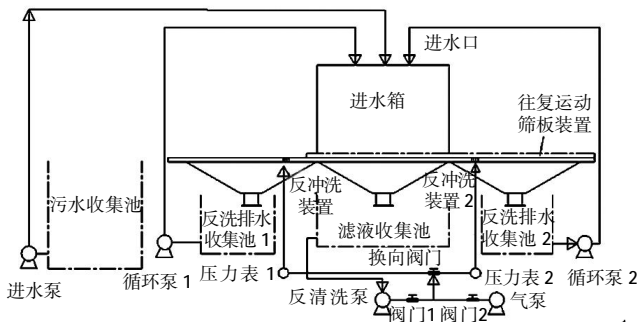


图 3 微滤工艺装置

Fig.3 Microfiltration process system

滤布上的污染物,以提高过滤速度.

配制进水质量浓度为 30 mg/L 的悬浊液,经沉淀后使用,作为过滤实验用水,溶液中颗粒直径小于 0.1 mm,粒度分布为平均粒径(D50) = 0.045 mm,滤后水的悬浮物(SS)值达到 10 mg/L 的国标一级 A 的水平.

3.1 进水浓度与过滤时间相同时,不同过滤水位对 SS 负荷的影响

3.1.1 测试试验方法

将配置的悬浊液加入到实验工艺装置中,测试水位高度为 30、50、70、90、110、130 和 150 cm 重复试验.

3.1.2 试验结果及分析

在 30 s 的过滤时间内,保持不同的过滤水位高,SS 负荷(单位面积滤布单位时间内所能截留的 SS 质量)结果如图 4 所示.

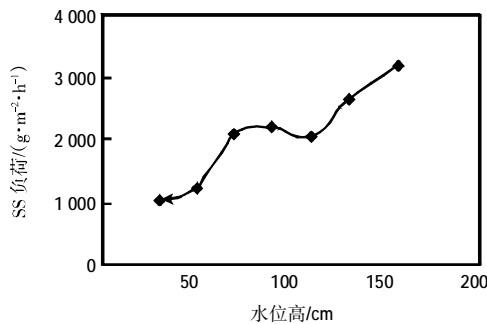


图 4 不同过滤水位高时的 SS 负荷变化情况

Fig.4 SS load changes at different filter water level

由图 4 可知,随着过滤水位的升高,SS 负荷增加,说明 SS 负荷与过滤面受到的水压有关,压力升高时,SS 负荷增加,即验证了理论模型中过滤速度与滤布两侧压力差成正比的关系,为提高过滤效率的方法的提出奠定了基础.

3.2 进水浓度与过滤水位相同时,不同过滤时间对 SS 负荷的影响

3.2.1 测试试验方法

保证测试水位高为 15 cm,检测 30 s、1 min、2

min、3 min、4 min、5 min、6 min、7 min、8 min、9 min 和 10 min 收集到的滤后水的体积,平行测定 3 次.改变测试水位高度为 50 cm、70 cm,重复试验.

3.2.2 试验结果及分析

当过滤水位分别为 15、50、70 cm 时,不同过滤时间分别对 SS 负荷的影响如图 5 所示.

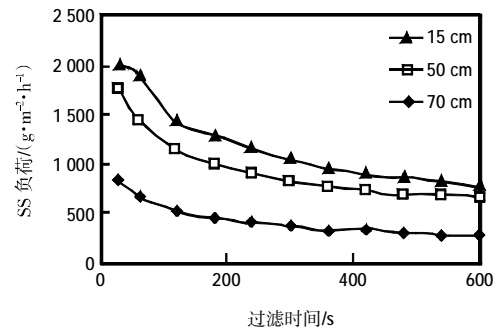


图 5 不同过滤时间对 SS 负荷的影响

Fig.5 Effects on the SS load at different filtration time

由图 5 可以看出,过滤时间小于 180 s 时,SS 负荷较大,随着过滤时间的增长,滤布孔隙堵塞加剧,滤布覆盖层阻力增大,使得 SS 负荷减小,得到的结果与理论模型分析部分对微滤时间 t 与流量 Q 的关系一致.

3.3 不同反冲压力和不同的反冲时间对过滤的影响

3.3.1 测试试验方法

(1) 设置反冲压力 0.6 MPa 进行过滤实验,当水位到达 70 cm 时,开启反冲洗和电机,反冲时间 15 s,至少再进行一次过滤和反冲,待系统稳定后,开始记录过滤时间,至少记录 5 组.

(2) 改变反冲时间为 20、30、40、50 和 60 s,重复步骤(1)的试验方法.

(3) 改变反冲压力为 0.7、0.8 和 1.0 MPa.重复步骤(1)~(2)的试验方法.

3.3.2 试验结果及分析

为了避免重复启动电机带来的电耗和设备损耗,试验数据可以通过反冲时间与反冲间隔时间来比较.设计中希望反冲时间短,反冲间隔时间长.在进水 SS 质量浓度为 30 mg/L,反冲压力为 0.6、0.7、0.8 和 1.0 MPa,反冲时间为 15、20、30、40、50 和 60 s 时,反冲时间和反冲间隔时间的比值(K)的变化如表 1 所示.

从表 1 中可以看出,在反冲洗压力为 0.8 MPa,反冲时间为 30 s 时,K 值最小,为 0.31.即采用 0.8 MPa 的反冲洗压力,反冲时间 30 s,可以达到反冲洗的最佳效果.此时可有效地实现了滤布污染物的清除,大大减少了滤布覆盖层的阻力,增大了滤布的通透量,验证了理论模型中过滤速度与阻力的反比关系.

表 1 不同反冲压力、反冲时间对反冲间隔时间的影响

Tab.1 Effects on backwashing interval time with different backwashing pressure and time

反冲压力 /MPa	反冲时间 /s	反冲间隔时间/s	反冲时间与反冲间隔时间之比/K
0.6	20	39	0.51
0.6	30	57	0.53
0.6	40	54	0.74
0.6	50	58	0.86
0.6	60	50	1.2
0.7	15	43	0.35
0.7	20	47	0.43
0.7	30	49	0.61
0.7	40	49	0.82
0.7	50	52	0.96
0.7	60	52	1.15
0.8	20	43	0.47
0.8	30	97	0.31
0.8	40	52	0.77
0.8	50	63	0.79
0.8	60	136	0.44
1.0	15	40	0.38
1.0	20	46	0.43
1.0	30	50	0.60
1.0	40	46	0.89

4 结 论

通过对微滤机工作过程中的过滤堵塞覆盖层模型和试验结果分析,其结论如下:

(1) 滤布堵塞机理:水中悬浮物由于沉淀、惯性、水力梯度等原因,运动的颗粒表面相互吸附,再加上由于范德华力和其他高分子物质作用下彼此发生架桥和絮凝过程,随着时间的延长,颗粒逐渐变大,在压力差的推动作用下,小于滤布孔径的颗粒随液体透过滤布,大于孔径的颗粒杂质被截留;随着过滤时间的增加,被截留的颗粒杂质将在滤布表面形成污染层,并积累成堵塞层,增加了过滤阻力,严重加剧了筛网

滤布的堵塞问题;在压力变化不大的情形下,透过率下降、过滤能力低的问题更加明显.

(2) 提高过滤效率的措施:SS 负荷与处理水量有关,增大过滤水位高度,可以在一定程度上解决堵塞带来的问题;SS 负荷与过滤时间成反比,在应用 SS 负荷进行工艺计算时,应考虑过滤时间所对应的 SS 负荷,减轻堵塞对过滤的影响,可以提高过滤能力;及时地进行反清洗可以有效地解决过滤堵塞的问题,而且能够提高过滤能力;另外,在不停机的情况下,周期性地更换滤布也是提高过滤能力的有效途径.

新型微滤机的设计应综合考虑过滤水位、过滤时间和反清洗的影响.因此,我们设计了一种新型连续水处理微滤机^[8]作为解决方法,即采用表面微孔过滤原理,设定了一定的过滤水位和时间,通过筛板筛网结构的往复运动和反清洗系统,可以实时进行反清洗,可以在不停机的情况下,进行滤布的周期性更换,实现了微滤机的连续过滤,解决了过滤的堵塞问题,提高了过滤能力.

参考文献:

- [1] 李磊,赵培培.中国工业废水治理效率评价[J].资源开发与市场,2011,27(12):1093-1095.
- [2] 阳佳中,张学兵,孟广,等.转盘滤池在污水处理厂深度处理中的应用[J].给水排水,2012(2):38-40.
- [3] 刘广立,施汉昌,黄霞,等.无机微滤膜过滤阻力的研究[J].环境污染治理技术与设备,2002,3(1):15-18.
- [4] 刘艳鹏.水处理与回用中的微滤平板膜和反渗透膜的应用研究[D].大连:大连理工大学,2009:22-24.
- [5] 张建伟,金光远.微孔过滤介质污染中的堵塞研究[J].化学工程,2006,10(10):39-41.
- [6] 朱学峰,吴志超,王志伟,等.膜生物反应器处理超市废水中污泥性质与膜污染关系分析[J].环境工程学报,2011(1):60-63.
- [7] 李胜利,潘艳秋,岳宁,等.管式膜微滤机理模型的研究进展[J].化学通报,2006,69(2):153-160.
- [8] 陈建平,董伟,赵颖.新型连续水处理微滤机:中国,201020591596.4[P].2011-11-09.