工程建设与设计 1998 年第 3 期 总第 149 期

工业废水直接微絮凝过滤机理的研究

(100080) 机械工业部设计研究院 黄晓家 (210012) 江苏省机械工业研究设计院 王桥育

摘 要 根据工业废水直接微絮凝过滤的实验研究结果,废水微絮凝过滤的机理,得出了废水直接微絮凝的最佳过滤速度和有机物的吸附容量,为低浓度工业废水的处理开辟了一条新途径。

关键词 工业废水 直接微絮凝过滤 机理 研究

絮凝过滤多年来已成功地应用于污水的深度处理,但大都是用于二级生化处理后出水的三级深度处理及混凝沉淀后出水的二级处理,而废水直接微絮凝过滤尚少。本文在中试实验的基础上探讨工业废水直接微絮凝过滤的机理。

一、概述

在我国机械行业废水再生回用已被工厂所接受,并广泛推广。机械工厂遍及城乡,是我国主要支柱产业之一,其综合排放废水主要污染物为油、有机物和悬浮物,污染程度低,较易处理,致使达标排放治理和再生回用的投资相差无几,同时再生回用实现了工厂"零排放"。所以近几年废水再生回用在机械行业普遍推广应用,目前已有十几家大工厂建有废水再生回用水厂。为进一步降低工程造价和减少占地,我们提出了废水直接微絮凝过滤的新工艺,通过两年多的研究,于1992年3月通过部级鉴定。目前洛阳铜加工厂已采用该项新技术兴建10000m³/d废水再生回用水厂。

A. Gmunder 等人研究了应用深层滤床脱去二级生化处理后出水的残余色度。滤料为粗粒度浮石,混凝 助凝剂为无机盐,脱色剂为有机高分子,滤速为 10m/h,色度的去除率高达 80% 以上,进水 SS 为50~150mg/L 时,出水 SS 低于 20mg/L,反冲洗后滤料能恢复活性,絮凝过滤周期为 24h。用铝盐做混凝剂略优于铁盐,有机高分子无助于提高去除率和降低无机盐用量。

在美国, 弗罗里达州为灌溉农田和保护森林, 决定采用城市污水处理厂出水经絮凝过滤深度处理后回用。Davia k Evers 等人研究了这问题, 试验用的

过滤器为移动罩式过滤器,滤料为双层滤料—石英砂和无烟煤,石英砂有效粒径为 0 45mm,厚度为 305mm;无烟煤有效粒径为 0 75mm,厚度 305mm,混凝剂为无机铝盐和高分子絮凝剂,铝盐投加量为 15mg 化 时,滤速从 4 9m 小 到 9 8m 小 变化对出水无影响,进水为 2~ 12N TU,出水平均为 0 22N TU。当铝盐为 8 5mg 化,高分子絮凝剂为 0 15mg 化时,出水平均 SS 为 0 15N TU。

机械行业废水再生回用普遍采用"混凝沉淀——过滤"两级物化工艺流程,单层滤料为石英砂,粒径为0.5~1.2mm,滤速为4~8m/h。双层滤料为石英砂和无烟煤,石英砂粒径为0.5~1.2mm,无烟煤粒径为1.2~1.8mm,滤速为6~8m/h。

O M elia 等人认为过滤去除杂质的各种作用可分为两个过程: (1) 悬浮颗粒向滤料表面输送的过程; (2) 悬浮颗粒在滤料表面吸附过程。输送过程主要是, 悬浮颗料脱离流线而与滤料接触过程, 有筛分作用和拦截作用、布朗运动、重力沉降、惯性碰撞和由水流而引起的接触。由输送过程引起的悬浮颗粒与滤料颗粒相互接触, 悬浮颗粒牢固地附着在滤料表面上而被去除, 这便是吸附。吸附过程有机械吸附, 凝聚作用(絮凝) 以及化学作用。

笔者认为, 废水中的有机物在絮凝过滤被去除

亦有两个过程: (1) 有机物在布朗运动和重力作用下, 被输送至滤料表面。 (2) 由于滤料表面吸附多层铝盐形成的氢氧化物微絮粒, 且不断地更新表面层。这些絮粒有着极大的表面积和多余的化学键位及羟基, 可通过物理化学吸附而去除水中有机物。

二、实验结果及讨论

1. 工艺流程

废水直接微絮凝过滤的工艺流程详见图 1, 微絮凝时间为 22 4m in, 滤料为匀粒石英砂, 有效粒径为 2mm, 厚度为 600mm, 絮凝剂为工业用精制硫酸铝, 投加量为 100~ 150m g/L。

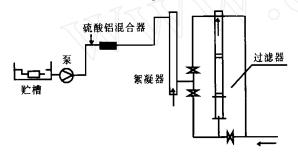


图 1 工艺流程图

2 实验结果

实验中采用向上流和向下流过滤实验, 出水水质无区别, 只是向上流过滤周期稍长, 水头损失略少, 不同滤速的结果列于表 1。

3 水力梯度

水力梯度为单位滤床厚度L 所产生的水头损失 h, 以 i=h/L 表示。图 2~3 为滤速 8m/h 时向下流和向上流过滤的 i—t 曲线,各层的 i-t 曲线斜率大于零,表明各层都起着截污的作用,斜率越大截污能力越大。图 2~3 表明向上流过滤优于向下流过滤,向上流过滤截污能力更好,且均布在滤料各层,而向下流过滤污物大部分集中在 50% 的上层滤料中。

4. 滤速对出水水质的影响

由表 1 可以看出、表面水力负荷对出水 COD、

油和浊度均有影响, 滤速增加出水 COD、油、浊度值随之升高, 去除率下降。其影响程度由大到小依次为浊度、油、COD。 滤速增大, 水流对滤料表面的冲刷力增大, 而使被吸附在滤料表面的絮凝粒被冲走, 从而造成出水浊度升高, 由于有机物能多次被吸附于滤料表面的絮粒中, 且吸附力较之絮粒与絮粒之间的力要强, 因而滤速对之影响较小, 废水中的油有两种形态存在, 即分散油和乳化油, 分散油溶于水中近似于有机物, 乳化油呈胶体状近似于悬浮物, 从而导致了滤速对之影响介于浊度和有机物之间。

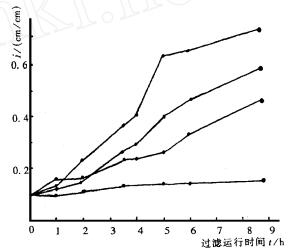


图 2 8m/h 向下流过滤 i—t 曲线图

5. 过滤性能综合评价

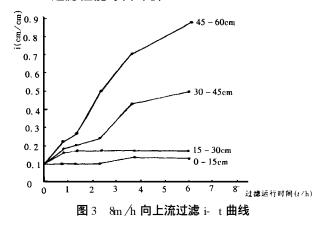


表 1 不同滤速下实验结果

 表面水力负荷		COD			油			吸光度			
	样本数	进水	出水	去除率	进水	出水	去除率	进水	出水	去除率	运行周期 (h)
$(m^3/m^2 \cdot h)$		(m g/L)	(m g/L)	(%)	(m g/L)	(m g/L)	(%)			(%)	
10	21	381	29. 1	93 8	92 5	21. 4	74. 9	254	114	62 3	(1~ 2) 1. 5
8	18	186	16	91. 4	41. 6	9. 1	76 5	282	27	90.6	(6~ 10)8
5	9	211	8 94	95 2	34. 3	2 19	92 5	247	1	99. 4	(20~ 40) 23

采用姚雨霖教授提出的M SC 过滤性能评价指数作为评价废水直接微絮凝过滤的滤速参数。

$$MSC = \frac{(C_0 - C)VT}{H} \qquad (1)$$

式中 $C \propto C$ — 分别为过滤周期平均进出水浊度, kg/m^3

V ——滤速,m /h

T ---- 过滤周期, h

H ——过滤周期内水头损失的增加值,m

在这里把 GC_{\circ} CG 推广为各种污染物, 根据实验结果经式(1)计算, 其结果列于表 2。

表 2 废水直接过滤滤速M SC 评价

MSC 值 污染物 滤束(m / h)	COD	油	浊度
10	17. 6	3 6	7. 0
8	36 3	6.9	54. 4
5	77. 5	12 3	94. 3

M SC 值越大过滤性能越好。由表 2 可以看出滤速越低,过滤器综合性能越好。考虑到滤速小会导致设备占地面积大等弊端,推荐废水直接微絮凝过滤的滤速为 $8\sim5m/h$ 。

6 硫酸铝对有机物(COD)的吸附容量

Laugmuir 等式能最恰当地描述滤料表面絮粒对废水中有机物的吸附, 因而我们采用Laugmuir 等式的线性关系来确定硫酸铝絮粒对有机物的吸附特性。Laugmuir 等式:

$$\frac{1}{\Gamma} = \frac{1}{\Gamma} + \frac{1}{C_R} \left(\frac{1}{\mathbf{k}/\Gamma} \right) \dots (2)$$

式中 CR——平衡时剩余吸附浓度,mg/L

Γ ——最大吸附容量,mg/g

 Γ ——给定剩余浓度的吸附容量, m g/g

k——热力学吸附常数

 $1/\Gamma$ 与 $1/C_R$ 分别为纵坐标和横坐标而绘直线, $1/\Gamma$ 为截距, 1/k 为斜率, 从而可图解求出不同滤速下硫酸铝的吸附容量。

滤速为 10m /h、8m /h、5m /h 的 Laugmuir 等式曲线, 详见图 4~6, 各滤速下硫酸铝的吸附容量列于表 3。由表 3 可知, 滤速为 8~5m /h 时, 硫酸铝的吸附容量相当, 而滤速增至 10m /h 时, 吸附容量明显减少。这说明滤速为 10m /h 时, 对水流的冲刷变为主要因素, 即对出水水质有着明显的影响, 因而废水直接微絮凝过滤的滤速不宜接近 10m /h。

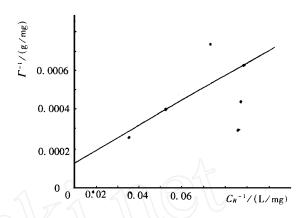


图 4 10m/h 滤速时Langmuir 吸附曲线

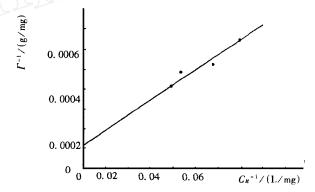


图 5 8m/h 滤速时Langmuir 吸附曲线

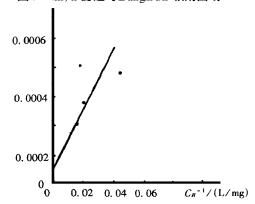


图 6 5m/h 滤速时Langmuir 吸附曲线

表 3 不同滤速下硫酸铝对有机物的吸附容量

滤速(m /h)	10	8	5
硫酸铝的吸附容量(mg/g)	7692	9090	10000

三、结论

笔者认为,废水直接微絮凝过滤去除有机物可分为两个过程: (1)有机物在布朗运动和重力的作用下,被输送到滤料表面; (2)由于滤料表面吸附多层铝盐形成的氢氧化物微絮粒,且不断地更新表面层。

这些絮粒有着极大的表面积和多余的化学健位及羟基(-OH),可通过物理化学吸附来达到去除水中的有机物,铝盐形成的絮粒对有机物的吸附特征符合Langmuir等式。

- (1)根据过滤水力梯度曲线分析,向上流过滤优于向下流过滤。
- (2) 依据滤速对出水水质影响和M SC 评价, 滤速越小过滤效果越好, 但考虑到滤速过小会导致设备费用高和占地面积大等弊端, 我们推荐设计滤速为 5~ 8m /h。
- (3) 铝盐形成的微絮粒吸附在滤料表面, 且表面絮粒不断更新, 其对有机物的吸附规律符合 Lang-muir 等式, 最大吸附容量在推荐设计滤速下均为 10000m g/g。

参考文献

 A. Gmunder, J. Gnieser and Gros, Deep- bed filtration granular media applied for industrial wastewater, water supply, vol. 8, Jonkoping, 1990

- 2 Evers et A dvanced filtration techniques for the reclamation of sewage works effulent Environmental Engineering proceedings of the 1985 specialty conference NY,USA.
- 3 A non Tertiary filtration of wastewater, Journal of Enuironmental Engineering, vol. 112~ 116, Dec, 1986, p1008~ 1026
- 4 黄晓家等. 北京重型机器厂废水再生回用水站设计及运行简介. 给水排水, 1992(1).
- 5 黄晓家 机械行业总排废水再生回用 工厂建设与设计, 1995(3)
- 6 L. Angbo, M. M azet and M. T. W ais Mossa, Adsorptor of hum ic subtances onto prebuilt flocs, W ater supply, Vol. 8, Jonkoping, 1990
- 7 O melia, C. R. amd W. Stumm, Theory of water filtration, AWWA, Vol. 59, No. 11, Noverber, 1967.
- 8 黄晓家、时广云 废水直接微絮凝过滤的研究 给水排水, 1993 (11). (收稿日期: 1988- 04- 24)

(上接 19 页) 有限元分析后处理计算,对于混凝土等脆性材料,合成应力应按第二强度理论来计算,即 $\sigma = \sigma_1 - \mu \cdot (\sigma_2 + \sigma_3) \leq [\sigma]$ 对于 A_3 钢等塑性材料,合成应力可按第四强度理论来计算,即

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{2} \times \left[(\sigma_{i} + \sigma_{2})^{2} + (\sigma_{2} + \sigma_{3})^{2} + (\sigma_{3} - \sigma_{1})^{2} \right]} \le [\sigma]$$

式中 σ —— 计算应力, kN/m^{2} $[\sigma]$ —— 许用应力, kN/m^{2} μ —— 泊松比 $\sigma_{i}, \sigma_{2}, \sigma_{3}$ —— 三个主应力, kN/m^{2}

结构的第 12 层半圆环, 既与结构的第 11 层两端搭接, 又与结构的第 13 层相联接, 起着承上启下的作用。由结构的内力计算知, 此处受力复杂, 是结构的受力薄弱点。由于结构自重及均布活荷载产生的偏心合作用力、第 12 层以上结构偏心自重对第 11 层的作用, 使得 11 层的两部分变形不协调, 第 13 层以上的结构自重及其上的均布活荷载和整体结构受偏心合作用力后, 使得第 12 层半圆环结构发生了扭曲。

为降低最大合成应力值, 在结构设计时, 结构第 12 层半圆环部分, 断面尺寸沿局部坐标系 y 轴方向, 在原基础上加大了尺寸值, 同时加大了钢结构的壁厚, 并合理地布置了加劲肋。另一方面, 在不影响雕塑的艺术效果的前提下, 将此部分结构, 在总体坐

标系的 *X Y* 平面上, 沿圆心角偏移一个小角度(详见图 6), 以使结构的第 12 层与第 11 层 第 13 层有更多的接触面积, 改善了此处结构不良的受力状况。

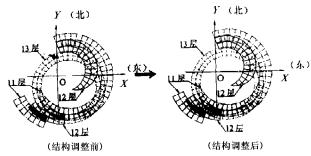


图 7 第 12 层结构调整前后示意图

通过对结构的调整, 力学模型的修改, 有限元分析计算表明, 上述各工况下, 钢结构最危险单元的最大合成应力值, 均小于许用应力值 [σ] = 15.5 × 10^4 kN m^2 。同时由力学模型修改前后的计算结果还得出, 合理地布置加劲肋, 既可以节省钢材, 又可以提高钢结构的强度。

有限元分析计算还表明,结构各层之间连接焊缝加工质量的好坏,直接影响整个结构的受力情况,这里不再赘述。因此,此结构在进行施工时,应严格按照有关国家标准进行施工,不得有半点马虎。

参考文献

1 邓华达等 MAS 微型机辅助结构设计程序使用手册 4 0 版 北京: 中国力学学会计算力学学会, 1990