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1000m³/d 废水再生回用水厂。

A. Gm under 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~ 150m g/L 时,出水 SS 低于 20m g/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045mm,厚度为 305mm;无烟煤有效粒径为075mm,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/L时,滤速从49m/h到98m/h变化对出水 无影响,进水为2~12NTU,出水平均为022NTU。 当铝盐为85mg/L,高分子絮凝剂为015mg/L 时,出水平均SS为015NTU。

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。

L. Angbo 等人研究了应用铝盐和高岭土悬浮 物形成的凝聚体来吸附水中的腐殖物,吸附特性符 合Langmuir 公式,对各种腐殖酸的吸附容量为 640 ~ 830mg/g 无水Al₂(SO₄)₃,而活性碳和离子交换 树脂的吸附容量分别为 10~ 300mg/g 和 30mg/g。 该研究证明,铝盐形成的絮体有着极大的吸附容量, 是废水处理中理想的吸附材料。

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,分散油溶干水中近 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干浊度和有机物之间。



COD				油	吸光周				
进水	出水	去除率	进水	出水	去除率	进水	出水		

表 1 不同滤速下实验结果

表面水力负荷		COD		油		吸光度					
$(m^3/m^2 \cdot h)$	样本数	进水 (mg/Ĺ)	出水 (mg/Ĺ)	去除率 (%)	进水 (mg/L)	出水 (mg/L)	去除率 (%)	进水	出 水	去除率 (%)	运行周期 (h)
<u>(10</u>	0.1	201	20.1	02.0	00.5	01.4	74.0	054	114	(2, 2,	(1 0) 1 5
10	21	381	29.1	93.8	92.5	21.4	74.9	254	114	62 3	$(1 \sim 2) 1.5$
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

42

2

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 $C \propto C$ ——分别为过滤周期半均进出水浊度, 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 G 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

M_SC 值 污染物 滤束(m/h)	COD	油	浊度	
10	17.6	36	7.0	
8	36 3	69	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~ 5m /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:

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

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, mg/g

k——热力学吸附常数

1/Γ 与 1/C_R 分别为纵坐标和横坐标而绘直线,
 1/Γ 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L augmuir 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 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L angmuir 等式, 最大吸附容量在推荐设计滤速下均为 10000mg/g。

参考文献

(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 $\sigma = \sigma_1 - \mu \cdot (\sigma_2 + \sigma_3) \le [\sigma]$ 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

 $\sigma = \sqrt{\frac{1}{2} \times \left[(\sigma_{1} + \sigma_{2})^{2} + (\sigma_{2} + \sigma_{3})^{2} + (\sigma_{3} - \sigma_{1})^{2} \right]} \leq [\sigma]$ 式中 σ — 计算应力, kN /m² [σ] — 许用应力, kN /m² μ — 泊松比

σī、σī、σī、σī,——三个主应力, kN /m²

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

44 2 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 sew age works effulent Environmental Engineering proceedings of the 1985 specialty conference N Y, U SA.
- 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. Mazet and M. T. Wais Mossa, Adsorptor of hum ic subtances onto prebuilt flocs, Water supply, Vol. 8, Jonkoping, 1990
- 7 O melia, C R. and 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)

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。



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 /m²。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