

纤维滤料的超声波清洗技术研究

胡敏¹ 刘凡清² 张玉先¹

(1 同济大学环境科学与工程学院,上海 200092; 2 上海凡清环境工程有限公司,上海 200942)

摘要 纤维束滤料采用单纯水洗或气水联合冲洗不易去除粘附的污泥。对超声波清洗纤维束滤料展开试验研究,力求找出最佳清洗效果的运行参数。同时还对超声波清洗与气水联合清洗纤维的效果进行了对比,发现两者的清洗效果大致相当,但是超声波清洗效率更高、更经济。

关键词 纤维束 超声波清洗 频率 功率密度 清洗时间

0 前言

超声波是指频率高于 20 000 Hz 的声波,其已经越来越多地应用于国民经济的各个领域,从超声波诊断治疗、超声波焊接、机械零配件的清洗到超声波水处理的应用,其巨大潜力正在被人们不断地发掘。一般认为,低频超声清洗的主要机理是超声空化效应,是指液体中的微小泡核在超声波的作用下被激活,表现为气泡的振荡、生长、收缩及崩溃等一系列的动力学过程;而兆赫级的高频超声清洗时,由于频率太高,声波在清洗液中很难发生空化,主要机理是声压梯度、粒子速度及声流的作用,也就是高频压力波的冲洗作用^[1]。

超声波在废水处理中的应用研究比较活跃,尤其是超声波处理技术与其他水处理技术联合在废水处理中的应用。超声波废水处理主要在于超声空化作用下,溶液在极短的时间内产生空化泡并迅速崩溃,在空化泡内产生异常的高温(高于 5 000 K)和高压(高于 50 MPa),从而对水中污染物进行热解作用。另外,在高温高压环境下有可能产生氧化电位很高的羟基自由基,它可以对许多有机物进行氧化,达到降解污染物和去除 COD 的作用^[2]。

当前,滤料清洗一般采用气水反冲洗,但反冲洗效果不尽人意,而且纤维使用久了易长生物,清洗难度更大;本试验试图使用超声波清洗给水处理纤维滤池滤料,改善过滤器的清洗效果,延长滤料的使用寿命。

1 试验方法

1.1 试验装置及工艺流程

本试验使用的设备有:必能信 Quadrasonic 复频超声波发生器 1 台,频率四级可调,分别为 40

kHz、80 kHz、120 kHz、170 kHz,功率可调;S7500 型超声波发生器 1 台,频率为 25 kHz,功率 400 W,可调。电热恒温鼓风干燥箱 1 台,托盘天平 1 架。试验中,清洗介质是反冲洗清水。试验装置及流程见图 1。

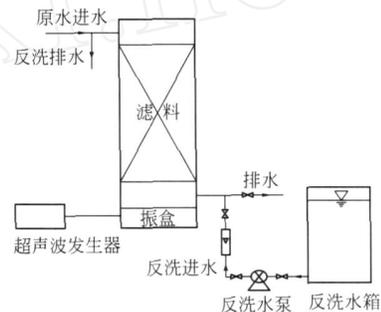


图 1 试验装置及流程

1.2 试验过程

试验分两步,第一步是筛选合适的超声波清洗参数,从过滤设备中取出若干束待清洗纤维,并对其中的两束进行 105 ℃、4 h 的烘干、称重,代表含有污物的纤维重量。把剩余的纤维放入清洗槽中分别以不同频率、功率密度以及清洗时间进行清洗,清洗完以后对纤维束进行 105 ℃、4 h 的烘干,然后称重。对比不同条件下的清洗效果,从而得出最佳清洗效果的超声波频率、功率密度和时间。第二步是对比清洗效果,对比超声波清洗和气水反冲洗的效果。

超声波清洗的影响因素一般认为有:频率、功率密度、清洗时间以及温度等。在水处理中温度作为一个固定不变的参数,此处只考查频率、功率密度和清洗时间对清洗效果的影响。超声波发生器的频率有低频的 25 kHz、40 kHz,高频的 80 kHz、120 kHz

等,以及兆赫级的。低频超声空化强度较高,但穿透性较差,高频超声在同样声压下产生的空化泡的数量大,穿透力强,但崩溃时产生的空化强度低。本试验选取工业清洗中较多采用的低频率 25 kHz、40 kHz,另外还选取了 80 kHz 频率作对比。工业清洗中选用的超声波功率密度一般是 $0.2 \sim 1 \text{ W/cm}^2$,本试验选取了最大功率密度的 50%、70%和 100%这三档进行试验研究,其对应值分别为 0.303 W/cm^2 , 0.424 W/cm^2 和 0.606 W/cm^2 。

2 试验结果与讨论

2.1 超声波频率对清洗效果的影响

三种功率密度在选定好的每种功率密度条件下分别使用三种频率 25 kHz、40 kHz 和 80 kHz 进行清洗。清洗效果见图 2。

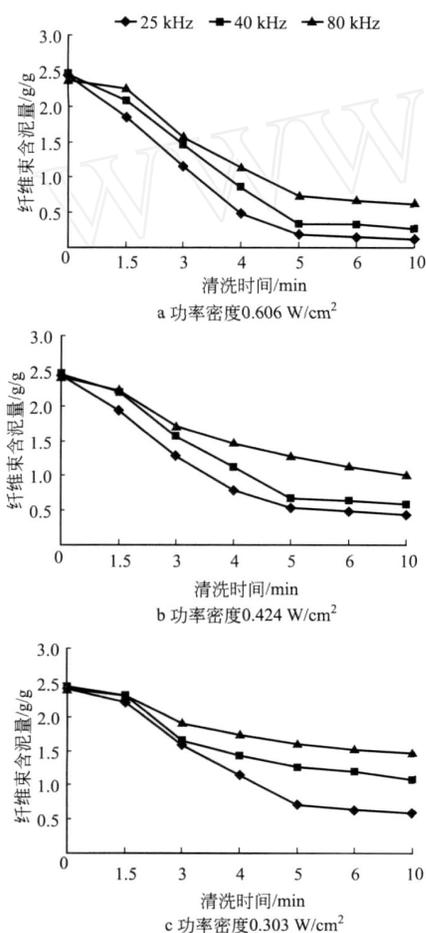


图2 超声波频率对清洗效果的影响

由图 2 可见, a ~ c 图有相似的趋势,随着清洗时间的增加,纤维束的含泥量在减少。对比三种频

率的清洗效果可以发现,频率为 25 kHz 时,纤维束的含泥量降得最快,最后的含泥量也最小。这说明,频率为 25 kHz 时的清洗效果最好,40 kHz 次之,80 kHz 最差。分析认为,这是由于使用较低频率超声波时,其清洗主要机理是超声空化效应,此时空化强度较高(即冲击压力较大),清洗效果较好;使用较高频率超声波时,在同样声压下产生的空化泡的数量大,穿透力强,但崩溃时产生的空化强度低^[3],因此清洗效果相对要差一些。可以得出清洗纤维束最合适的超声波频率是 25 kHz。

2.2 超声波功率密度对清洗效果的影响

图 3 是超声波功率密度对清洗效果的影响,清洗时选用频率 25 kHz。清洗的功率密度分别选 0.606 W/cm^2 、 0.424 W/cm^2 和 0.303 W/cm^2 。

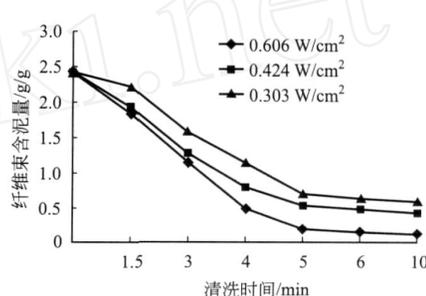


图3 超声波功率密度对清洗效果的影响

由图 3 可见,随着清洗时间的增加,纤维束的含泥量在减小,功率密度为 0.606 W/cm^2 时,纤维束的含泥量减小得最快,最后的含泥量也最小。这说明,功率密度为 0.606 W/cm^2 时的清洗效果最好, 0.424 W/cm^2 次之,而 0.303 W/cm^2 最差。分析认为,使液体空化的最低声强(或功率密度)幅值称空化阈,而在空化阈以上,声强越大,空化越强烈,清洗效果也就越好。因此,可以得出在这三种功率密度中清洗纤维束的最佳功率密度是 0.606 W/cm^2 。

2.3 清洗时间对清洗效果的影响

为了确定超声波清洗的最佳清洗时间,选取超声波频率为 25 kHz,功率密度为 0.606 W/cm^2 进行试验。图 4 是清洗时间对清洗效果的影响。

由图 4 可见,随着清洗时间的增加,纤维束的含泥量在减小,同时注意到,清洗时间从 0 到 5 min 时纤维束含泥量减小明显且速度较快,对应图中的曲线斜率较大,而在清洗 5 min 以后,纤维束的含泥量

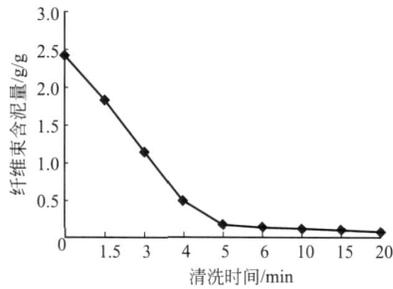


图4 清洗时间对清洗效果的影响

就没有再明显减小。由此可见,超声波清洗纤维束的最佳清洗时间为5 min,此时也是最经济的,超过5 min后清洗效果基本不再提高。

3 超声波清洗与气水反冲洗对比

3.1 清洗效果对比

传统的纤维清洗采用气水反冲洗,纤维束滤料气水反冲洗中一般气冲洗强度为 $60 \sim 80 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$,水洗强度为 $6 \sim 8 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$,冲洗时间为 $20 \sim 30 \text{ min}$ 。本试验采用气冲洗强度为 $60 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$,水洗强度为 $6 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ 。清洗时先水洗5 min,再气水同时冲洗15 min,最后水洗5 min,总共清洗25 min。

超声波清洗是纤维束在超声波清洗装置中清洗,同时辅以一定强度的水清洗。经过试验研究,清洗时,先水洗5 min,强度为 $10 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$;再水反洗和超声波清洗同时进行,试验测定水洗强度 $5 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ 时清洗效果较好,这个阶段的时间为5 min;最后再以 $10 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ 的水清洗5 min,总共清洗15 min。

试验结果表明,超声波清洗和传统的气水反冲洗的效果接近,原因可能是:气水反冲洗时,底部的纤维处于拉伸状态,抖动不剧烈,磨擦不充分,导致清洗效果不是很好。而在超声波清洗中,超声波强度最大的在底部,因此底部的清洗效果最好,而上部的超声波强度相对较弱,相应的清洗效果要差一些。然而,超声波清洗纤维束效率高,其清洗所需时间要比气水清洗少10 min,而且试验表明使用超声波清洗能防止生物生长,提高过滤效果,同时也能延长纤维束的使用寿命。试验中发现,使用气水反冲洗的纤维滤料容易滋生生物,形成生物膜,不易清洗,影响出水水质,这也是纤维滤池在实际运行中的常见问题,而使用超声波清洗的纤维滤池经过10个月运行基本不存在滋生生物的问题。因此,长期运行时超声波清洗能使出水水质更好更稳定,使纤维滤料

的使用寿命更长。

3.2 系统费用对比

以1套处理水量为 $120 \text{ m}^3/\text{d}$ 的纤维滤池清洗为例,每天清洗一次,两种清洗系统一次性投入与滤料更换费用对比见表1,两种清洗系统的运行费用对比见表2。其中:运行时间以6年计,气水清洗时纤维滤料易滋生生物,不易去除,为提高过滤效果最好更换滤料,考虑出水水质和经济性等因素,若滤料每3年更换1次,更换一次的费用为0.6万元。而超声清洗时基本不存在滋生生物的问题,不需更换纤维。

表1 清洗系统一次性投入与滤料更换费用对比

项目	水泵 /万元	风机 /万元	超声发生 器/万元	纤维束滤 料/万元	费用合计 /万元
气水清洗	0.1	1.2		0.6	1.9
超声清洗	0.1		1.5		1.6

表2 清洗系统运行费用对比

项目	超声电费 /元/d	水泵电费 /元/d	风机电费 /元/d	费用合计 /元/d
气水清洗		0.68	0.62	1.3
超声清洗	0.12	0.34		0.46

注:滤池每天清洗1次,电费以 $0.62 \text{ 元}/(\text{kW} \cdot \text{h})$ 计。

由表1可见,以6年的运行周期看,由于超声清洗时不需更换纤维,其一次性投入与滤料更换费用比气水清洗系统节省0.3万元。

由表2可见,由于超声清洗效率高,所需清洗时间短,所以它的运行费用比气水清洗节省 $0.84 \text{ 元}/\text{d}$,即超声清洗系统每天的运行费用只相当于气水清洗系统的35%。

4 结论

4.1 清洗效果比较

超声波能够有效地清洗纤维束,清洗的最佳频率为 25 kHz ,最佳功率密度为 $0.606 \text{ W}/\text{cm}^2$,最经济的清洗时间为5 min。清洗时,先水洗5 min,强度为 $10 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$;然后水洗和超声波清洗同时进行,超声波频率为 25 kHz ,功率密度为 $0.606 \text{ W}/\text{cm}^2$,水洗强度为 $5 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$,历时5 min;最后水洗5 min,强度为 $5 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$,总共清洗15 min。同时发现超声波清洗能防止生物滋生,提高过滤效果,延长纤维束的使用寿命。

4.2 费用比较

不论是一次性投入与滤料更换费用还是运行费用,超声波清洗系统都要比气水清洗系统经济。因

模拟突发汞污染原水应急处理试验研究

刘韵达¹ 胡勇有¹ 何向明² 程建华¹ 章民驹² 刘海燕³ 胡军有¹ 康宇炜²

(1 华南理工大学环境科学与工程学院,广州 510006; 2 南海发展股份有限公司,南海 528200;

3 广西大学化学化工学院,南宁 530004)

摘要 采用烧杯试验考察了常规混凝、预加石灰乳混凝以及硫化钠沉淀联合强化混凝对模拟突发性汞污染原水中汞的去除效果。通过硫化钠投加量、pH、2 种混凝剂和 3 种助凝剂及其投加量对除汞效果的影响试验,优化了硫化钠沉淀联合强化混凝法除汞。结果表明,常规混凝汞去除率为 23.5%~31.8%;预加石灰乳混凝的汞去除率为 32.8%~79.8%;硫化钠沉淀联合强化混凝的除汞效果最好,平均去除率大于 90%。硫化钠的最佳投量比为 1:2 (Hg²⁺:Na₂S·9H₂O),在过量 200% 以下出水硫离子均不超标。pH 在 8 以上可确保硫化钠充分发挥作用。PAC 最佳投加量为 20 mg/L, PAM 最佳投加量为 0.1 mg/L。为期 30 天规模为 4 m³/h 的中试验证了优化后的硫化钠沉淀联合强化混凝应急处理方法对不同汞污染程度的原水的除汞效果与小试基本一致。用硫化钠沉淀联合强化混凝应急除汞,在汞超标 100 倍以下,过滤出水可达标,在汞超标 60 倍以下,沉淀出水可达标。处理费用为 0.025 88 元/m³。

关键词 硫化钠 混凝 除汞 应急处理

饮用水突发污染事故由于其影响大,受到了广泛的关注。北江南海流域两岸地区经济快速增长,沿江两岸的电镀厂、造纸厂、铝材厂、化纤厂等企业都存在突发性汞污染的潜在威胁。

含汞废水的处理研究报道较多,主要为化学沉淀和物理吸附的方法。鲁国秀等^[1]用 TiO₂ 复合吸附剂处理含汞废水,汞去除率可达 97.7%。都的箭等^[2]用 KDF 滤池处理微污染汞,去除率能达到

80% 以上。吴秀英等^[3]用硫化钠处理含汞废水,汞去除率在 98% 以上,该法具有工艺简单、操作方便、反应速度快、沉淀效率高、处理费用低等优点。

此外,电解法、离子交换法、金属还原法也用于处理含汞废水。但突发性汞污染原水的应急除汞尚未有研究报道。吸附法虽可用于应急处理,但普通吸附剂(如粉末活性炭)存在与水中有机物吸附竞争及用量过大的缺点,而高效吸附剂则费用高且来源少。其他如电解法、离子交换法、金属还原法均需要添置庞大的处理构筑物,费用高,短时期内无法实现,不适用

广东省经贸委技术创新项目(粤经贸创新质量[2006]428 号)。

此,超声波清洗系统的应用是经济可行的。

4.3 前景分析

经过长期试验使用,发现超声波清洗的滤料基本不存在生长生物的问题,清洗效果也更加稳定,解决了气水清洗存在的滤料滋生生物并黏附在滤料上的问题。因此,超声波在小型给水处理纤维滤池清洗中的应用具有广阔前景。

参考文献

1 方启平,林仲茂. 超声清洗的新技术-兆赫超声清洗. 化学清洗,

1998,14(2):31~32

2 郭照冰,郑正,袁守军,等. 超声与其他技术联合在废水处理中的应用. 工业水处理,2003,23(7):8~12

3 鲍善惠,陈玲. 超声清洗的原理及最新发展. 陕西师范大学继续教育学报,2004,21(2):107~109

通讯处:200092 上海市杨浦区铁岭路 28 弄 8 号楼 603

电话:13671604596

E-mail:gpshm@126.com

收稿日期:2008-06-25

修回日期:2008-08-13