

混凝法处理洗浴废水的试验研究

崔福义,任刚,安全

(哈尔滨工业大学 市政环境工程学院,黑龙江 哈尔滨 150090)

摘要:洗浴废水是城市污水的重要组成部分.以洗浴废水为处理对象,针对其浊度高、有机物含量低、适于混凝处理的特点,通过杯罐试验考察了铝盐、铁盐及有机高分子混凝剂对浊度、COD_{Cr}、亚甲兰活性物质的去除效果.在综合絮凝除污能力和絮凝体沉降性能的基础上,初步遴选出最优的混凝剂及投加量,并考察了 pH 和水温对混凝效果的影响.试验结果表明,以聚合硫酸铁为混凝剂,在 pH 为 6.5 ~ 8.5,水温 15 ~ 45 °C 范围内可去除洗浴废水中大部分污染物,投量在 20 mg/L 时,浊度去除率可达 88%,COD_{Cr} 去除率达 85%,亚甲兰活性物质去除率达 45%,均优于其他几种混凝剂.除亚甲兰活性物质外,各项指标均达到中水回用标准的要求.可进一步深度处理,以达到洗浴用水标准,实现就地回用.

关键词:洗浴废水;混凝;杯罐试验;回用

中图分类号:X703

文献标识码:A

文章编号:1672-0946(2004)01-05-0069

Study on treatment of balneal wastewater using coagulation

CUI Fu-yi, REN Gang, AN Quan

(School of Municipal & Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract: Balneal wastewater is an important part of urban wastewater. The high turbidity and low organic contamination make it fit for coagulation treatment. The coagulation-flocculation jar test and a serious coagulants, such as the family of aluminum, iron and organic macromolecule were adopted in this test to examine the effects of removing impurity, including turbid, COD_{Cr}, and surfactants. Determined the furthest coagulation and dose to achieve fine sedimentation and purification purpose. The results indicated that PFS can remove a majority of contamination in balneal wastewater, on the condition of pH between 6.5 and 8.5 and temperature between 15 and 45 centigrade. Every targets can meet water-reuse standard except surfactants. When the concentration of PFS is 20 mg/L, about 88% turbidity, 85% COD_{Cr} and 45% surfactants can be removed. A further treatment is needed to meet bathing-water standard, which can realize on the spot reuse.

Key words: balneal wastewater; coagulation; coagulation-flocculation jar test; reuse

洗浴行业是城市耗水大户,以哈尔滨为例,全市 950 万人口中每日按 60 万人洗浴,平均每人洗浴用水量以 0.2 t 计算,则日用洗浴水量 12 万 t,年用水量 0.44 亿 t. 工厂、煤矿等工业企业的工人洗浴用水量可占生活用水量的 20% 以上. 相对一般

生活污水而言,洗浴废水污染程度较轻,将其进行处理并回用,不但减少了对水环境的污染,也是实现污水资源化、缓解水资源紧张的有效途径. 目前国内对洗浴废水的处理多数是物化处理法. 如 Brasam A 等人采用微滤-反渗透膜组件系统^[1]、杨

收稿日期:2003-08-11.

基金项目:黑龙江省重点科技攻关项目(GB202C202-01).

作者简介:崔福义(1958-),男,哈尔滨工业大学市政环境工程学院教授、博士生导师.研究方向:水处理系统自动化与优化、给水排水新技术.

云龙采用气浮-双层过滤-阳离子交换^[2],处理后的水可作为工业冷却用水.许治峰以聚合氯化铝为混凝剂,石英砂为滤料处理铁路机务段洗浴废水,处理后项指标均达到杂用水水质要求^[3].张洪国等分别采用气浮-纤维过滤、微絮凝直接过滤-超滤两种方法,处理出水符合杂用水的标准^[4].武跃等发现将聚合氯化铝铁和聚丙烯酰胺进行复配后,混凝效果最佳^[5].陈福泰等认为聚合铝硅混凝剂对于洗浴废水中的有机物有更好的去除效果^[6].黄继国等通过强化絮凝反应强度和反应时间,提高了絮凝除污能力^[7].但这些研究大多着眼于中水回用或补充冷却用水等水质标准要求不高的场合.污水“分散处理、就地回用”的概念是近年来水回用领域的新方向.就地回用不但可以节约输水管道和贮水池^[8],还可以避免由于长时间存储所带来的水质问题.装置化、小型化成为污水处理设施发展的重要方向.本文主要研究以混凝沉淀为预处理工艺,对各种污染物的去除效果,以实现洗浴废水的直接回用.

1 试验用洗浴废水来源及水质

试验用水取自哈尔滨工业大学二区学生浴池,该浴池全部采用莲蓬头喷淋洗浴方式.典型水质情况如表 1 所示.主要污染物质有浊度、有机物、氨氮、亚甲兰活性物质等几类.

表 1 洗浴废水水质

Table 1 Quality of balneal waste water

项目		项目	
<i>t</i> /	30 ~ 35	亚甲兰活性物质/ (mg L ⁻¹)	0.50 ~ 5.32
色度/(ntu)	5 ~ 15	氨氮/(mg L ⁻¹)	0.33 ~ 2.25
浊度/(ctu)	35 ~ 120	铁/(mg L ⁻¹)	0.15 ~ 0.65
pH	7.2 ~ 7.9	锰/(mg L ⁻¹)	0.06 ~ 0.24
臭味	有油腻味	溶解性固体/(mg L ⁻¹)	235.00 ~ 305.00
COD _{Cr} /(mg L ⁻¹)	65 ~ 155	硬度/(mgN L ⁻¹)	1.71 ~ 2.30
BOD ₅ /(mg L ⁻¹)	29.0 ~ 60.5	SS/(mg L ⁻¹)	70.50 ~ 260.50

2 混凝剂及试验方法

2.1 混凝剂的选择

试验采用混凝剂有 PAC(聚合氯化铝,最佳 pH 范围 5 ~ 9)、Al₂(SO₄)₃(硫酸铝,最佳 pH 范围 6.0 ~ 7.8)、PFS(聚合硫酸铁,最佳 pH 范围 5 ~ 11)、FeCl₃(三氯化铁,最佳 pH 范围 6.0 ~ 8.4)、PAM(聚丙烯酰胺)、阳离子聚丙烯酰胺、阴离子聚丙烯酰胺,均

为化学纯药剂,配制成 10 mg/mL 的溶液待用.

2.2 试验方法

采用杯罐试验确定最佳混凝剂的种类和投量,混凝设备为 6 位变速定时搅拌机,搅拌桨尺寸为 25 mm × 75 mm,转速为 10 ~ 500 r/min.该搅拌机搅拌功率满足能对水样产生范围为 10 ~ 200 s⁻¹ 的速度梯度.搅拌水样所消耗的功率与搅拌桨转速之间的关系参考卡萨特金提出的公式估算^[9].

$$W = 14.35 d^{4.38} n^{2.69} \mu^{0.69} \rho^{0.31}$$

式中:W 为搅拌功率,d 为桨板直径,n 为转速,为水的密度,μ 为水的动力黏度.该式适用于雷诺数在 10² ~ 5 × 10⁴ 范围内.试验中采用的操作参数如表 2 所示

表 2 混凝试验操作参数

Table 2 Parameters of operation in the coagulation test

混合过程	絮凝过程
<i>n</i> = 300 r/min; <i>T</i> = 30 s	<i>n</i> ₁ = 150 r/min; <i>T</i> ₁ = 3 min, <i>G</i> ₁ = 165 s ⁻¹ ; <i>G</i> ₁ <i>T</i> ₁ = 3.0 × 10 ⁴
<i>G</i> = 420 s ⁻¹ ; <i>GT</i> = 1.3 × 10 ⁴	<i>n</i> ₂ = 30 r/min; <i>T</i> ₂ = 10 min, <i>G</i> ₂ = 32 s ⁻¹ ; <i>G</i> ₂ <i>T</i> ₂ = 1.2 × 10 ⁴

3 试验结果与分析

3.1 自然沉降试验

将洗浴废水置入 1 L 量桶内,使其自然沉淀,沉降曲线见图 1.经 3 h 沉降后,几乎没有澄清层出现,底层沉渣也仅有 10 mL.该废水自然可沉降性较差.

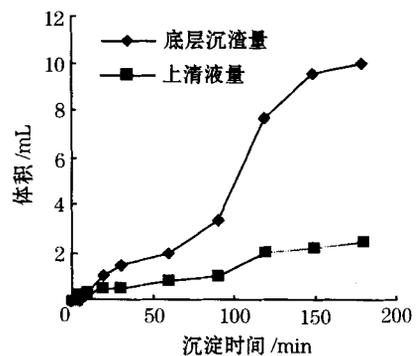


图 1 洗浴废水自然沉降曲线

Figure 1 Natural sedimentation curve of balneal waste water

3.2 混凝对浊度去除的作用

评价混凝处理效果的指标主要有浊度、COD_{Cr}、絮体沉降性能、处理药品成本等.在原水水温 30 ~ 35、pH = 7.5 的条件下考察了不同混凝剂投量与

浊度去除的关系. 沉降时间均为 15 min.

如图 2 所示,几种无机混凝剂在较低的投量下都能明显降低原水的浊度,都存在一个去除浊度的最佳投量值:聚合氯化铝的最佳投量为 25 mg/L,该投量下可去除 75 %的浊度;硫酸铝的最佳投量和浊度去除为 50mg/L和 66 %;聚合硫酸铁分别为 20 mg/L 和 88 %;三氯化铁分别为 40 ~ 50 mg/L 和 80 %.

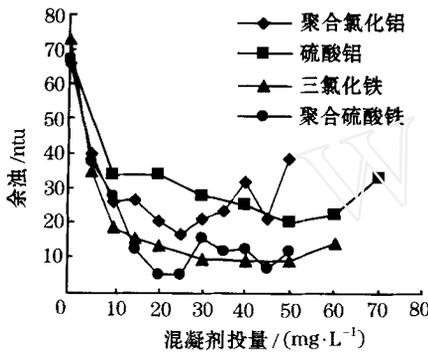


图 2 无机混凝剂除浊效果

Figure 2 Results of removing turbid using abio coagulant

图 3 表明,单独使用高分子混凝剂 PAM 在 0.25 ~ 0.5 mg/L 投量下只能达到 43 %的除浊效果,加大投加量时混凝效果有所下降. 试验中还发现在 0.25 ~ 3.0 mg/L 投量下,水面生成灰白色浮沫,其量随投药量的增加而增多,水中没有“矾花”出现,几乎看不到浊度变化. 阳离子 PAM 和阴离子 PAM 混凝过程中也有类似现象. 原因可能是水中的胶体粒子密度略低于水,在 PAM 的吸附 - 架桥作用下形成的絮凝体较轻,易于上浮,造成上层水样浑浊. 从这一角度来看,PAM 系列混凝剂更适于应用在混凝 - 气浮工艺中.

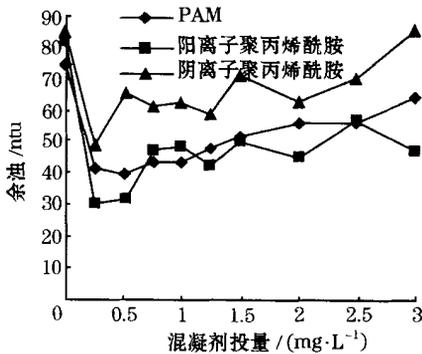


图 3 PAM 系列混凝剂混凝除浊效果

Figure 3 Results of removing turbid using PAM coagulant

通过比较结果可以看出,对于除浊而言,各混

凝剂优选次序为:聚合硫酸铁、三氯化铁、聚合氯化铝、硫酸铝、阳离子聚丙烯酰胺、PAM、阴离子聚丙烯酰胺.

3.3 混凝对 COD_{Cr} 去除的作用

水中的有机物存在形式主要有 3 种:溶解性有机物、胶体性有机物和悬浮性有机物^[10]. 一般情况下,混凝作用主要去除水中的细小悬浮性有机物及胶体性有机物.

混凝去除有机物的机理被认为是电性中和以及金属离子产生的水解产物 - 金属氢氧化物对有机物的吸附作用. 这些金属氢氧化物的表面带正电,而洗浴废水中的有机物主要以蛋白质、油脂等人体代谢产物和亚甲兰活性物质为代表,常含有较多的官能团,如 -COOH、-NH₂、-OH、-HSO₃,在中性 pH 条件下大部分带负电荷,因此,在静电力作用下有机物被吸附到金属氢氧化物表面,从水中去除.

原水水温 30 ~ 35 °C、pH = 7.5、沉降时间为 15 min 的条件下考察了不同混凝剂投量与 COD_{Cr} 去除的关系. 从图 4 可以看出,几种无机混凝剂随着投量的增大,COD_{Cr} 的去除率也随之增加. 在投量低于 20 ~ 30 mg/L 时,去除率增加较快;投量增大时,去除率增量变小. 当 PAC、硫酸铝、聚合硫酸铁、三氯化铁投量分别达到 25、60、20、50 mg/L 时,COD_{Cr} 去除率分别达到 72 %、65 %、85 %和 79 %. 继续加大投药量,去除率不再上升. 比较各混凝剂,对于除 COD_{Cr} 而言,各混凝剂优选次序为:聚合硫酸铁、三氯化铁、聚合氯化铝、硫酸铝.

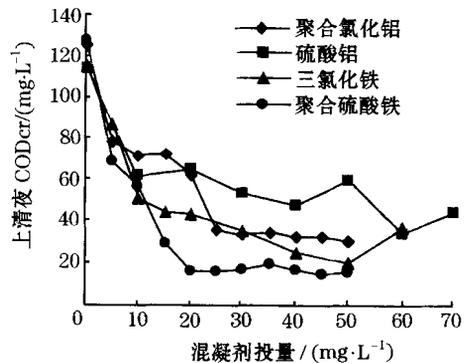


图 4 无机混凝剂除 COD_{Cr} 效果

Figure 4 Results of removing COD_{Cr} using PAM

3.4 混凝对亚甲兰活性物质的去除作用

亚甲兰活性物质是洗浴废水中的重要污染物之一,在水中主要以分散和胶粒表面吸附 2 种形式存在. 混凝过程对该污染物的去除情况如图 5 所示.

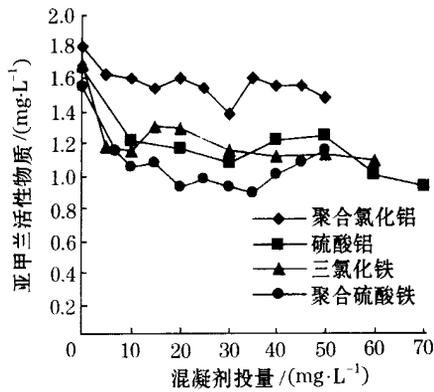


图5 混凝剂对亚甲兰活性物质的去除

Figure 5 Results of removing LAS using different coagulant

从图5中可以看出,混凝对亚甲兰活性物质的去除效果不十分理想,聚合硫酸铝投量在30 mg/L时去除率仅能达到23%,硫酸铝投量在70 mg/L时去除率可达38%,三氯化铁分别为30 mg/L和27%;聚合硫酸铁为35 mg/L和48%。

3.5 不同混凝剂絮体沉降性能比较

水处理过程中沉淀水浊度与原水投加絮凝剂后形成的絮体特征有关。絮体形成得越好,沉淀就越充分,不仅提高了单元处理效果,还可以减小沉淀池容积并降低污泥生成量,减轻后续处理单元的负担。

评价絮体沉降性能指标主要是沉降速率。沉降速率测定方法为

$$V = \frac{H_0 - H}{t}$$

式中:V为沉降速率平均值(cm/min);H₀为混凝搅拌结束,静沉试验开始时刻的浑液面高度(cm);H为浑液面到达压实区时的高度(cm);t为静沉时间(min)。

由表3数据可知,各混凝剂絮体沉降速率均较快,沉淀过程可在几分钟内迅速完成。絮体沉降速率按从大到小排列依次是聚合硫酸铁、三氯化铁、聚合氯化铝、硫酸铝,该次序与混凝除浊效果次序相符。

表3 不同混凝剂絮体沉降速率的比较

Table 3 Comparison of settlement velocity of different coagulant

混凝剂	PAC	Al ₂ (SO ₄) ₃	PFS	FeCl ₃
投加量/(mg L ⁻¹)	25	60	20	45
絮凝体描述	密实	较密实	密实	较密实
絮体沉降速率/(cm·min ⁻¹)	13.5	12	18.5	15.5

3.6 混凝方案的确定

由试验数据可知,除有机物时的混凝剂最佳投量与除浊时基本相同,说明洗浴废水中的有机物主要以悬浮物和胶体形式存在,对浊度和有机物的去除是一致的。而亚甲兰活性物质在水中分布不均匀,部分以碎沫形式浮在水面上,还有一部分在水中以分散状态存在,这些都是混凝工艺难以去除的。理论上加大混凝剂投量、强化混凝条件可以提高有机物和亚甲兰活性物质的去除率,但会造成制水成本上升,同时也会增加无机盐含量。综合考虑COD_{Cr}、除浊、除亚甲兰活性物质能力及沉淀性能,混凝剂选择聚合硫酸铁,投量为20 mg/L。

3.7 pH和水温对混凝效果的影响

pH和水温是影响混凝效果的重要因素,也是考察混凝剂稳定性的重要指标。以聚合硫酸铁为例考察二者对混凝效果的影响,结果如图6、7所示。

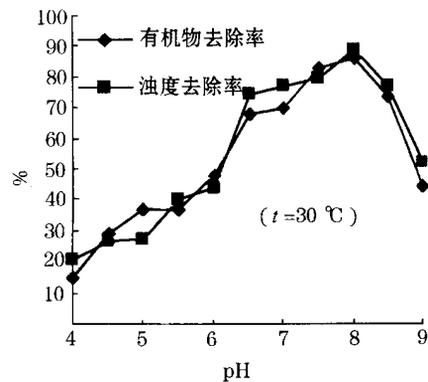


图6 pH对混凝效果的影响

Figure 6 Infection of pH on results of coagulation

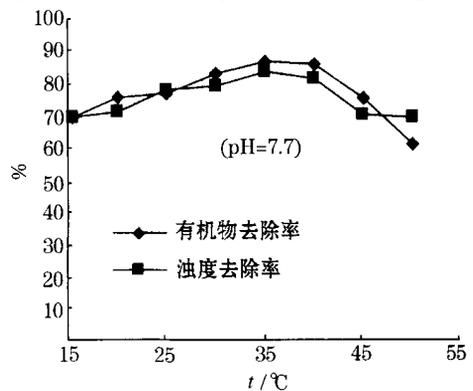


图7 水温对混凝效果的影响

Figure 7 Infection of temperature on results of coagulation

由图6可以看出,当pH在6.5~8.5范围内时,COD_{Cr}和浊度去除率均在最大去除率的80%以上,当pH小于6.0或大于9.0时COD_{Cr}和浊度去除率迅速下降到50%以下。洗浴废水的pH一般在

6.5~8.5范围内,所以可以直接投加混凝剂而无需调节废水的pH值。

混凝机理表明,水温直接影响到胶体颗粒的水化作用、布朗运动,从而对混凝过程产生较大影响。根据图7,温度在15~45℃之间均能达到较理想的去除效果。水温超过45℃时混凝效果有所下降,这可能是有机物存在状态发生了变化,一部分胶体性和悬浮性有机物转化为溶解性有机物。一般废水水温都在15~45℃范围内,因此温度对实际混凝效果的影响不大。图6、7表明除浊和除有机物所要求的pH和水温条件是一致的,并且有相同的变化趋势。这为追求二者共同分离及去除提供了有利条件。

4 结语

试验结果表明,混凝沉淀对洗浴废水中的主要污染物有较高的去除效率,可作为洗浴废水处理工艺中的重要一环,并有如下结论。

1) 通过对除浊、除COD_{Cr}、除亚甲兰活性物质和絮体沉降速率的比较,铁系混凝剂处理效果优于铝系混凝剂。PAM系列混凝剂形成絮体比重较轻,不适用于单独应用到混凝沉淀工艺。

2) 采用聚合硫酸铁混凝剂,投量在20 mg/L时,浊度去除率可达88%,COD_{Cr}去除率达85%,亚甲兰活性物质去除率达45%,优于其他几种混凝剂。试验数据表明,在pH6.5~8.5,水温15~45℃范围内该混凝剂均能较好的发挥作用。但混凝沉淀

对亚甲兰活性物质去除率较低,处理后达不到废水回用标准,需进一步处理。

3) 洗浴废水污染程度较轻,应考虑将其深度处理,以达到洗浴用水标准,实现废水就地回用。

参考文献:

- [1] BRASAM A. Membranes enabling the affordable and cost effective reuse of wastewater as an alternative water source[J]. Water Sanitary Research, 1993, 14(1): 79 - 84.
- [2] 杨云龙. 湖滨饭店洗澡洗涤污水净化与回用试验研究[J]. 山西建筑, 1993(3): 40 - 47.
- [3] 许治峰, 马琳. 物化法处理洗浴废水的探索[J]. 铁道劳动安全卫生与环保, 2002, 29(3): 115.
- [4] 张洪国, 赵洪宾. 气浮-纤维过滤法和微絮凝纤维过滤-膜滤法处理洗浴废水的研究[J]. 中国给水排水, 1998, 14(2): 10 - 13.
- [5] 武跃, 崔洪光. 复配混凝剂在洗浴废水回用技术中的应用[J]. 辽宁师范大学学报, 2002, 25(2): 166 - 168.
- [6] 陈福泰, 诸永前, 王曙光, 等. 新型聚合铝硅混凝剂处理洗浴废水的试验研究[J]. 环境污染治理技术与设备, 2002, 7(3): 21 - 24.
- [7] 黄继国, 王存政, 陈鸿汉, 等. 混凝法用于污水处理的实验研究[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2002, 32(3): 255 - 257.
- [8] 周彤. 污水回用决策与技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [9] 许保玖. 给水处理理论[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000.
- [10] 姜应合, 李铃铃. 混凝法强化城市污水厂一级处理的试验研究[J]. 中国给水排水, 2000, 3(16): 13 - 15.

(上接 68 页)

参考文献:

- [1] DIETRICH A M, HOEHN R C, DUFRESNEL C, et al. Oxidation of odorous and nondorous algal metabolites by permanganate, chlorine, and chlorine dioxide[J]. Water Science and Technology, 1995, 31(11): 223 - 228.
- [2] PERTERSON H G, HREDEY S E, CANTIN I A, et al. Physiological toxicity, cell membrane damage and the release of dissolved or-

ganic carbon and geosmin by aphanizomenon flos-aquae after exposure to water treatment chemicals[J]. Water Research, 1995, 29(6): 1515 - 1523.

- [3] 马军, 李圭白. 高锰酸钾法去除水中有机污染物, 水和废水技术研究[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1992. 12 - 18.
- [4] 马军, 李圭白, 范萃苓, 等. 高锰酸钾的氧化助凝效能研究[J]. 中国给水排水, 1992, 8(4): 4 - 7.