

文章编号: 1673- 9469(2011) 02- 0047- 05

四种不同工艺对富营养化水源水的除藻效果

唐锋兵¹, 时真男¹, 任志强², 李思敏¹

(1. 河北工程大学 城市建设学院, 河北 邯郸 056038; 2. 邯郸钢铁集团设计院有限公司, 河北 邯郸 056015)

摘要: 针对富营养化水源水含藻量高的特点, 分别采用生物过滤、臭氧预氧化-生物过滤、高锰酸钾预氧化-混凝沉淀和混凝-气浮四种不同处理工艺, 研究了各工艺对高藻水源水的除藻效果。结果表明: 生物过滤预处理对原水中藻类的去除率介于 58.55%~75.89%, 平均去除率为 69.04%; 当臭氧投加量为 1.5mg/L 时, 臭氧预氧化-生物过滤工艺对原水中藻类的平均去除率可达 85% 以上; 在 PAC 投加量为 15mg/L、高锰酸钾投加量为 0.8mg/L 时, 高锰酸钾预氧化-混凝沉淀工艺可以取得 90% 以上的除藻率; 混凝-气浮工艺的除藻率介于 87.86%~94.18%, 平均去除率可达 90.68%。

关键词: 富营养化水源水; 藻类; 去除率; 工艺

中图分类号: X552

文献标识码: A

Algae removal in eutrophic source water by four different processes

TANG Feng-bing¹, SHI Zhen-nan¹, REN Zhi-qiang², LI Si-min¹

(1. College of Urban Construction, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China;

2. Handan Iron & Steel Group Design Institute Co., Ltd., Hebei Handan 056015, China)

Abstract: As there are high algae content in the eutrophic source water, the bio-filtration process, ozone pre-oxidation/bio-filtration process, potassium permanganate pre-oxidation/coagulation process and coagulation-flotation process are adopted to compare the algae removal. The results show that the algae removal rate by bio-filtration pretreatment process is ranging from 58.55% to 75.89%, and the average removal rate is 69.04%. With an ozone dosage of 1.5mg/L, the algae removal rate by pre-ozonation/bio-filtration process is over 85%. With a PAC dosage of 15mg/L and a potassium permanganate dosage of 0.8mg/L, the algae removal rate by potassium permanganate pre-oxidation/coagulation-sedimentation process is more than 90%. The algae removal rate by coagulation/flotation process is between 87.86% and 94.18%, with an average removal rate of 90.68%.

Key words: eutrophic source water; algae; removal rate; process

水体富营养化严重影响了水体的使用功能, 给其利用带来了诸多不利影响。在以水库、湖泊及缓流河水为原水的给水处理厂, 富营养化水源水中藻类过度繁殖对常规给水工艺处理效果的不良影响主要表现在以下方面^[1-3]: 由于藻类不易混凝, 使生产中投药量增大; 藻类密度较小, 沉淀效果差; 藻类会粘附在滤料表面, 缩短滤池过滤周期; 藻类会使水产生异嗅和异味; 藻类可穿透滤池进入给水管网, 成为可被细菌利用的可同化有机

物, 降低了水质的生物稳定性; 部分藻类或其分泌物可在后续氯化消毒过程中与氯作用生成三氯甲烷等有害副产物, 降低了水的健康安全性等。

面对不同水源水的水质特点, 除藻技术也不尽相同。樊杰等^[3]对比了紫外光预处理与预氯化强化的除藻效果, 发现紫外光预处理可减少消毒出水中的三氯甲烷生成量; 李宗喜等^[4]采用化学预氧化处理北方某市夏季高藻原水, 获得了较好的效果; 赵志伟等^[5]的研究表明气浮强化工艺可

收稿日期: 2011- 01- 06

基金项目: 河北省自然科学基金项目(530400); 中韩国际合作项目(2009) 特约专稿

作者简介: 唐锋兵(1985-), 男, 陕西岐山人, 助教, 从事水及废水处理理论与技术方面的研究。

表 1 水源水水质

Tab. 1 Quality of source water

项 目	色度/度	藻密度/(10^6 个 \cdot L $^{-1}$)	COD _{Mn} /(mg \cdot L $^{-1}$)	浊度/NTU	水温/℃	pH 值
最小值	20	0.88	5.38	8.4	19.0	6.7
最大值	35	4.16	9.34	21.2	27.0	8.2
平均值	29.58	1.84	6.48	15.4	--	--

以获得较好的除藻效果。本文采用生物、物理、化学处理技术及不同的组合处理技术,研究了“生物过滤”、“臭氧预氧化-生物过滤”、“高锰酸钾预氧化-混凝沉淀”和“混凝-气浮”四种不同工艺,对富营养化水源水的除藻效果。

1 原水水质及方法

1.1 原水水质

原水水质如表 1 所示。

1.2 试验方法

本研究考察了 4 种处理技术对原水的除藻效果,各处理工艺及其方法分别如下所述:

工艺 1: 生物过滤

生物过滤法以生物陶粒为滤料(粒径 3~5mm 的页岩陶粒),滤柱直径 0.2m,陶粒滤料层厚度 2.0m,过滤水力停留时间约 40min。

工艺 2: 臭氧预氧化-生物过滤

臭氧预氧化-生物预处理工艺是在“工艺 1”前增设臭氧投加点,选用不同的臭氧投加剂量,考察联合工艺的除藻效果。

工艺 3: 高锰酸钾预氧化-混凝沉淀

在高藻原水中加入不同剂量高锰酸钾,同时加入混凝剂聚合氯化铝(PAC,投加量 15mg/L)。采用 MY-3000 型电动搅拌器,以 300 r/min 快速搅拌 1 min,以 150 r/min 中速搅拌 3 min,再以 50 r/min 慢速搅拌 10 min、静置 15 min,以模拟实际生产中的混合、反应、沉淀等条件,沉淀后在液面下约 2cm 处取水样测定其藻密度。

工艺 4: 混凝-气浮

因藻类密度较小,混凝后不易沉淀,但经混凝可消除藻类所带的负电荷,因此气浮法较易使之上浮。选用混凝-气浮工艺,以 PAC 为混凝剂,考察该工艺的除藻效果。结合笔者前期研究工作并参考有关研究结果^[6-8],确定试验工况如表 2 所示。

表 2 混凝-气浮试验工况

Tab. 2 Work conditions of coagulation/ flotation process

PAC 投加量	混凝时间		溶气水 回流比	气浮接 触时间	静置 时间
	快速 混合	慢速 混合			
15mg/L	1min	8min	10%	1.5min	3min

2 结果与讨论

2.1 生物过滤除藻效果

通过预处理工艺除藻,可大大减轻后续处理工艺的除藻负荷,本研究考察了生物过滤预处理的除藻效果。试验期间,当气水比为 1:1.5 时,正常运行的生物陶粒滤柱对藻类的去除效果见图 1 所示。

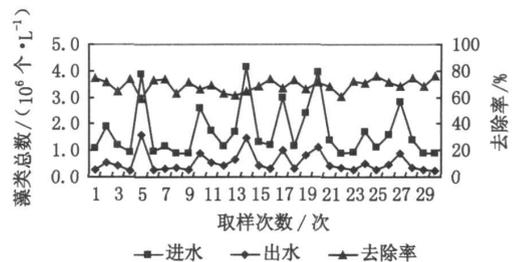


图 1 生物过滤除藻效果

Fig. 1 Algae removal efficiency by bio-filtration process

由图 1 可知,当原水藻密度介于 $(0.88 \sim 4.16) \times 10^6$ 个/L 时,滤柱出水藻密度介于 $(0.22 \sim 1.61) \times 10^6$ 个/L 之间,去除率介于 58.55%~75.89%,平均除藻率为 69.04%,生物预处理表现出了较高的除藻率。试验发现,生物过滤预处理除藻效果与原水中藻类的种类和过滤的水力负荷有着一定的关系。笔者研究结果表明^[8],生物预处理对硅藻和绿藻的去除率低,对蓝藻去除率较高;且在滤速 2~6m/h 范围内,滤速提高会使除藻率降低,但

表 3 不同臭氧投加量下臭氧氧化-生物过滤除藻效果

Tab. 3 Algae removal efficiency by ozone pre- ozonation/ bio- filtration process with different ozone dosage

项 目	O ₃ 投加量/(mg·L ⁻¹)		
	1.0	1.5	2.0
进水藻密度/(10 ⁶ 个·L ⁻¹)	1.14~ 3.93 (1.78)	1.18~ 3.79 (1.82)	1.27~ 3.98 (1.92)
出水藻密度/(10 ⁶ 个·L ⁻¹)	0.86~ 0.23 (0.37)	0.63~ 0.18 (0.24)	0.47~ 0.14 (0.21)
去除率/%	67.52~ 83.37 (77.21)	79.48~ 90.78 (85.64)	79.82~ 92.13 (87.15)

注: O₃ 投加量的括号内数据为平均值。

水中含藻量较多时, 为避免滤池较快堵塞滤速不宜低于 4m/h。

同时, 试验结果表明生物过滤预处理对原水中的有机物(以 COD_{Mn} 计)的平均去除率可达 36.4%, 具有良好的除 NH₃-N 效果, NH₃-N 平均去除率高达 80% 以上, 对油度的去除率在 60%~80% 之间, 对色度的平均去除率达 40% 以上。

2.2 臭氧预氧化-生物过滤除藻效果

臭氧是一种强氧化剂, 可迅速杀死藻类, 同时可增加水中的溶解氧。臭氧分解放出的新生态氧的活泼性是氯的 600 倍^[9], 可氧化水中二价铁、锰和大多数有机物, 从而为后续处理提供更好的条件。本试验选用了不同的臭氧投加剂量进行氧化预处理, 联用生物过滤预处理技术, 考察了对原水的除藻效果, 见表 3 所示。

由图 1 与表 3 可知, 臭氧预氧化-生物过滤处理工艺对含藻原水中藻类的去除效果较单独生物过滤处理更为明显。这是由于臭氧的强氧化作用, 能迅速氧化破坏藻细胞结构, 从而有效抑制了藻类的繁殖生长, 并依靠生物过滤最终使其得以去除。臭氧投加量的大小对除藻效果有一定的影响, 当臭氧投加量为 1.5mg/L 时, 平均去除率可达 85% 以上, 比单独生物预处理的平均去除率提高了 15% 以上。试验同时发现, 在臭氧投加量较小时, 随着投加量的增大, 对色度的去除率也稳定上升; 但当投加量由 1.5mg/L 增加到 2.0mg/L 时, 对色度、NH₃-N、藻类等的去除率增大并不明显, 考虑臭氧投加的成本, 建议最佳臭氧投加量可控制在 1.5mg/L 左右, 此时对色度、COD_{Mn}、浊度和 NH₃-N 的平均去除率分别为 62.3%、41.5%、75.6% 和 88.2%, 臭氧预氧化有效地提高了生物过滤对色度和 COD_{Mn} 的去除效果。

2.3 高锰酸钾预氧化-混凝沉淀除藻效果

化学氧化可以取得较好的除藻效果, 其主要是利用氧化剂的强氧化性。常用氧化剂有氯、臭氧、高锰酸钾等。氯杀藻效果好, 但会生成大量对人体有害的氯化副产物。高锰酸钾是一种强氧化剂, 能够有效氧化藻细胞从而控制藻类的生长, 因此试验选用了高锰酸钾来进行除藻。根据“工艺 3”的操作条件, 不同高锰酸钾投加量下的除藻效果见图 2 所示。

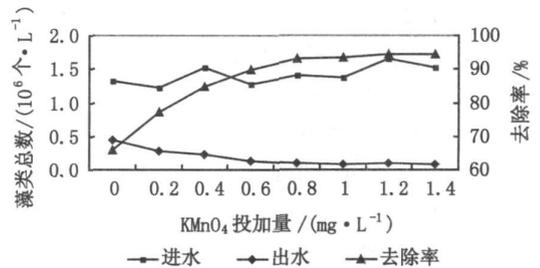


图 2 不同高锰酸钾投加量下的除藻效果

Fig. 2 Algae remove efficiency under different dosage of KMnO₄

本试验原水中有机物浓度较低, 在 PAC 混凝剂投加量为 15mg/L 时, 高锰酸钾预氧化-混凝沉淀达到了很好的除藻效果。从图 2 可见, 高锰酸钾投加量为 0mg/L 时混凝沉淀的除藻率仅为 65.91%, 随着高锰酸钾投加量的增加除藻率明显提高, 当高锰酸钾投加量为 0.8mg/L 时可以取得 90% 以上的除藻率。同时, 试验发现随着高锰酸钾投加量的增大, 沉淀后出水浊度也随之降低, 但是高锰酸钾投加量过高会使出水色度逐渐增加。因此, 在实际工艺操作中应将高锰酸钾的投加量控制在一定范围内, 建议控制在 0.8~1.0 mg/L 为宜。此时对色度、COD_{Mn} 和浊度的平均去除率分别为 38.4%、36.8% 和 86%, 对 NH₃-N 的去除率为

40%左右。

2.4 混凝-气浮除藻效果

相关的研究和工程实践表明,混凝-气浮工艺对藻类的去除效果显著。但该技术的除藻效果与混凝剂的种类与投加量、混凝时间、溶气水回流比、气浮接触时间等多重因素有关。试验根据表2确定的操作工况,分析了混凝-气浮技术对含藻原水的处理效果,结果如图3所示。

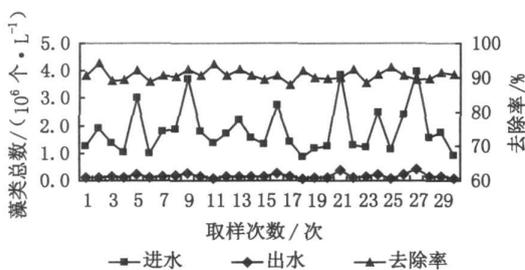


图3 混凝-气浮的除藻效果

Fig.3 Algae removal efficiency by coagulation/flotation process

试验结果表明,混凝-气浮工艺具有良好的除藻效果,在原水藻密度为 $(0.88 \sim 3.97) \times 10^6$ 个/L时,对藻类的去除率介于87.86%~94.18%之间,平均除藻率高达90.68%。在此试验条件下,该技术对色度、 COD_{Mn} 和浊度的平均去除率分别为28%、30.7%和62%,对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率仅约为20%。可见,混凝-气浮可以获得较好的除藻效果,但对上述其他指标的去除效果较差。

由上述试验结果可见,生物过滤预处理单独使用时可以取得70%左右的除藻率;生物过滤结合臭氧预氧化,当臭氧投加量为1.5mg/L时,平均除藻率可以达到85%以上;高锰酸钾预氧化-混凝沉淀技术,操作较为简单,但需要投加化学药剂;气浮技术除藻效果良好,但气浮池排出的藻渣有机物含量高,在气温高时如果处理不及时则易于腐败,使水厂环境恶化,所以藻渣处理是有待解决的问题。各类除藻技术均有不同的优缺点,面对不同原水水质特点,各种技术的除藻效果也会不尽相同。因此,在实际生产中,针对不同原水水质应采用试验的方法来选定最优的除藻技术,同时考虑工艺对其他水质指标的去除要求,以获得良好的水处理效果。

3 结论

1) 生物陶粒滤柱过滤预处理对原水中藻类的去除率介于58.55%~75.89%,平均去除率可达69.04%。

2) 当臭氧投加量为1.5mg/L时,臭氧预氧化-生物过滤的除藻率达到85%以上,比单独使用生物滤柱过滤提高了15%以上。继续增加臭氧投量,工艺除藻效果增加并不明显,考虑投加成本,臭氧投加量应控制在1.5mg/L左右。

3) 在聚合铝投加量为15mg/L、高锰酸钾投加量为0.8mg/L时,高锰酸钾预氧化-混凝沉淀工艺可以取得90%以上的除藻率。但随着高锰酸钾投加量的继续增加会使出水色度增加,实际工艺操作中高锰酸钾投加量建议控制在0.8~1.0mg/L为宜。

4) 混凝-气浮在原水藻密度为 $(0.88 \sim 3.97) \times 10^6$ 个/L时,除藻率介于87.86%~94.18%,平均去除率高达90.68%。

参考文献:

- [1] 范海燕,张勇,迟炳章,等.浮沉池工艺在给水处理中的应用研究[J].供水技术,2009,3(4):14-17.
- [2] 李圭白,张杰.水质工程学[M].北京:中国建筑工业出版社,2005.
- [3] 樊杰,陶涛,张顺,等.紫外光预处理与预氯化强化除藻的作用比较[J].工业用水与废水,2005,36(5):24-26.
- [4] 李宗喜,王晓昌,金鹏康.北方某市夏季高藻水化学预氧化试验研究[J].华北水利水电学院学报,2008,29(4):88-90.
- [5] 赵志伟,李文明,高晗,等.气浮工艺强化除藻中试验研究[J].沈阳大学学报,2007,19(2):62-65.
- [6] 吴玉宝,王启山,王玉恒,等.混凝-气浮除藻工艺中各参数的优化[J].中国给水排水,2008,24(3):95-99.
- [7] 王龙,李思敏,李艳平.臭氧组合工艺处理微污染源水的试验研究[J].河北工程大学学报(自然科学版),2007,24(2):50-54.
- [8] 李思敏,赵南南,付民.O/A两级生物砂滤池的二次启动及其脱氮除碳效果河北工程大学学报(自然科学版),2010,27(4):36-39.
- [9] TAKEUCHI Y, MOCHIDZUKI K, MATSUNOBU N, et al. Removal of organic substances from water by ozone treatment followed by biological activated carbon treatment[J]. Wat Sci Tech, 1997, 35(7): 171-178. (责任编辑 马立)