

# 给水处理中藻类去除的方法<sup>\*</sup>

周利<sup>1</sup>, 杨惠敏<sup>2</sup>, 孙嗣杰<sup>3</sup>, 彭永臻<sup>4</sup>, 刘洪梅<sup>1</sup>

(1. 青岛理工大学 山东省环境工程重点实验室, 青岛 266033; 2. 青岛市排水管理处, 青岛 266071;

3. 青岛市政建设综合开发有限公司, 青岛 266071; 4. 北京工业大学 北京市水质科学与水环境恢复重点实验室, 北京 100022)

**摘要:** 饮用水源由于富营养化而导致水体中藻类大量繁殖是影响净水厂工艺正常运行及出厂水质的一个突出问题, 介绍了国内外除藻技术研究进展. 通过分析各种除藻工艺的除藻效果, 认为生物处理法及其组合工艺可有效去除藻类、藻毒素, 出水稳定, 水质安全性高, 应用前景广阔.

**关键词:** 富营养化, 净水厂, 除藻

**中图分类号:** TU991.2

近年来, 由于大量生活污水、工业废水、农渔牧水的排入, 使大部分水体遭受不同程度的污染, 对城市供水造成严重影响. 据调查, 我国 430 个城市中有 90% 以上的饮用水源受到污染, 导致水体的富营养化, 造成经济损失达 377 亿元, 而富营养化最明显的特征就是藻类的过度繁殖, 给供水工程带来很大影响. 其危害主要表现在: (1) 藻类会散发恶臭的气味, 某些藻类在一定环境下产生藻毒素, 对健康有害, 会引起肠道疾病, 甚至引起“三致”, 国外就曾有藻毒素致死事件的报道. (2) 藻类和有机物还是消毒副产物的前体物, 例如在氯消毒过程中, 会产生挥发性较强的三卤甲烷 (THMs), 使饮用安全性下降. (3) 藻类会堵塞滤池, 而且消耗较多的混凝剂和液氯, 提高成本. (4) 穿透滤池进入管网的藻类和营养物质作为微生物生长、繁殖的基质, 引起配水管网中的细菌再生长而造成二次污染. (5) 藻类有机质很容易被氧化, 因而系统中需要的余氯被消耗掉.

## 1 藻类的去除方法

藻类的去除可以根据原水水质情况采用不同的方法, 一般可采用物理法、化学药剂法、强化混凝法、生物处理法及组合工艺法.

### 1.1 物理法

常用的物理除藻方法有微滤机法、气浮法、直接过滤法、大梯度磁滤器法和活性炭吸附法等. 微滤机除藻是较早用来除藻的一种方法, 有资料报道法国处理塞纳河水时, 藻类的平均去除率为 55%, 在我国, 其去除率可达 70% 以上. 上海自来水公司进行的一项试验表明, 滤网对藻类的去除效果优于混凝沉淀, 但微滤机对浊度、色度、COD<sub>Mn</sub> 的去除率都很低, 远不及混凝沉淀<sup>[1,2]</sup>. 藻类密度一般较小, 其絮体不易沉淀, 采用气浮法 (DAF) 可有效除藻. 美国 Wachusett 水库的试验表明, 气浮池的除藻效率高达 99.9%<sup>[3]</sup>, 但是实际应用除藻率常难达到 90%, 并且存在藻渣难以处理、臭味重、操作环境差等缺点<sup>[4]</sup>. 直接过滤法适用于浊度不高 (一般 < 5mg/L) 的原水, 而且过滤条件不同, 除藻效率大不一样<sup>[5]</sup>. 我国中南设计院进行了直接过滤除藻的试验研究, 结果表明除藻效率只有 31.5%, 余国忠等进行的以丙纶丝为滤料的直接过滤试验, 其除藻率达 92%<sup>[5]</sup>. 大梯度磁滤器技术除藻效果显著, 但技术成本高, 种磁剂回收难<sup>[6]</sup>. 除了以上除藻方法外还有活性炭吸附法、遮蔽阳光法和电化学法等处理技术.

\* 国家“863”重大科技专项项目 (2003AA601010)  
北京市水质科学与水环境恢复重点实验室开放基金资助  
收稿日期: 2004-11-13

## 1.2 化学药剂法

化学除藻是在不改变现有水厂的工作流程, 不需增加大型设备和构筑物, 且经济有效、简便易行的除藻方法, 常用的除藻剂有氯、二氧化氯、臭氧、高锰酸钾等。

氯是一种传统的除藻剂, 但氯氧化不能消除由藻类产生的臭味, 而且, 氯还可能与原水中的有机物作用生成三卤甲烷 (THMs)。THMs 对人的中枢神经系统有影响, 并且有致癌性, 因而其应用逐渐受到限制。二氧化氯具有很好的除藻效果, 不易产生卤代烃等消毒副产物, 但其成本高, 生产条件要求高<sup>[7]</sup>。臭氧的杀藻效果理想, 而且还可有效去除藻毒素, 但该方法会产生有机副产物—溴酸盐。国外研究表明, 采用臭氧化工艺的水厂出水中溴酸盐浓度普遍较高, 而且所需投资和运行费用高。20 世纪 80 年代发现, 投加高锰酸钾能去除受污染水源水中的藻类、臭味、色度和有机污染物等。李思敏等<sup>[8]</sup>针对邯郸市滏阳河水考察了高锰酸钾氧化对富含藻源水的处理效果, 结果表明, 除藻率高达 95%。但是如果氧化过程中高锰酸钾投量过多, 可能会穿透滤池而进入配水管网, 出现“黑水”现象。近年来, 我国还进行了高锰酸盐和高铁酸盐的复合药剂除藻研究, 结果表明两者均能显著提高除藻效果, 而且见效快、无残留毒性、不造成二次污染<sup>[9~11]</sup>。

## 1.3 强化混凝沉淀法

常用的混凝剂有铝盐类 (聚硅硫酸铝、聚合氯化铝、硫酸铝等) 和铁盐类 (聚硅硫酸铁、聚硅氯化铁等), 但常规的混凝沉淀法除藻效率低, 需对其加以强化, 以提高除藻效率。强化混凝不但可以使除藻率提高到 90% 以上, 同时也可去除水中各类有机物。但国外研究指出<sup>[12]</sup>, 强化混凝沉淀法只能有效提高藻类在滤池中的去除率, 并不能有效提高其在沉淀池中的去除率。

## 1.4 生物处理法

饮用水生物处理 1971 年始于日本, 它是利用附着在载体表面上的生物膜使水中的藻类被吸附、分解氧化, 有些藻类还会被生物膜上原生动物和后生动物所捕食, 而且该法对藻毒素也有很好的去除效果<sup>[13]</sup>。

1.4.1 生物膜处理对藻类的去除。生物接触氧化法是比较常用的生物处理法, 是介于活性污泥法与生物滤池之间的处理工艺, 兼顾了两者的优点。日本研究的管式接触氧化法处理工艺, 对藻类的去除率可达 60%~80%<sup>[14]</sup>。余冉等<sup>[15]</sup>用该法处理富营养化太湖原水的研究表明, 对藻类 (主要是蓝藻) 的去除效果可高达 90%。

填料是生物膜法处理效果和运行成本高低的直接影响因素, 目前, 常用的填料主要有天然石料加工的陶粒, 人工合成的蜂窝填料、弹性立体填料等, 而各种填料对不同藻类的去除效果不同。在武汉东湖以塑料蜂窝直管为填料进行生物预处理的研究表明, 对硅藻的去除率为 65.4%, 而对蓝藻的去除率则可达 90% 以上。周建平等<sup>[16]</sup>利用 YDT 弹性立体填料对无锡市充山水厂进行了除藻试验, 除藻率可达 60%~70%。清华大学于 1995 年开始针对绍兴市青甸湖富营养化水源水对陶粒与 YDT 弹性立体填料进行对比研究, 认为陶粒在除藻效果上优于弹性立体填料。罗晓鸿等<sup>[17,18]</sup>研究发现生物陶粒与弹性立体填料对藻类、COD<sub>Mn</sub>、氨氮、色度及浊度均有去除效果, 而生物陶粒比弹性填料的平均去除率高 10%~15%。吴为中<sup>[19,20]</sup>针对受污染水源水的生物陶粒滤池试验研究表明, 陶粒填料比表面积大, 保证了单位容积生物处理池内较高的生物活性, 具有较为稳定的除藻效果, 平均去除率为 60.7%~84.3%。胡文容等<sup>[21]</sup>研究的以海绵和木屑为载体, 由活性污泥驯化得到的生物系统对藻类的去除率可分别达到 90% 和 80% 以上。

近些年, 部分水处理工作者又提出了全流程生物氧化 (EPBO) 这一全新的概念, 即原水经生物接触氧化工艺预处理后, 不再投加氯进行微生物灭活, 使生物氧化作用在常规水处理工艺中得以延续, 强化了常规水处理系统。EPBO 系统对外界的冲击负荷, 如水温的变化、原水中有机污染物质的增加等具有较高的抗冲击性, 使整个系统出水水质更加稳定。采用 EPBO 系统, 取消了预加氯工艺, 使出水水质的安全性得到提高, 降低了制水成本。

1.4.2 生物膜处理对藻毒素的去除。藻毒素一般存在于藻细胞体内, 当藻细胞死亡、破裂后藻毒素才溶出, 在富营养化水体中, 蓝藻的比例明显增多, 而毒藻类也相应增加。1976 年在美国宾夕法尼亚的 Sewickley 爆发了一次水源性消化道疾病, 饮用水源中的蓝藻很可能是致病的原因<sup>[22]</sup>。在所有的淡水藻类中, 蓝藻中的微囊藻是毒性最强、危害最大、污染范围最广的一种藻类<sup>[23]</sup>。

生物膜法不会破坏当地水体生态系统, 并能有效去除藻毒素, 具有广阔的应用前景<sup>[24]</sup>。东南大学余冉

等用生物接触氧化法预处理富营养化太湖原水的研究结果表明,该工艺可有效去除原水中 85.9% 的细胞外藻毒素和 84.0% 的总藻毒素. 法国利用生物处理工艺处理富营养化水体,对藻类及其藻毒素也取得了理想的去除效果.

### 1.5 组合工艺法

1.5.1 臭氧-气浮联用工艺. 臭氧-气浮联用工艺是使用臭氧化空气代替空气在特殊构造的气浮池中对含藻水进行气浮处理. 此方法将臭氧化的化学现象和气浮净水技术的物理现象有机地结合在一起,进而提高含藻水的处理效果,适合于对低浊、低色、低有机质的水源水<sup>[25]</sup>. 法国奥顿水厂和 Joinville 水厂利用该法进行了半生产性试验,结果表明<sup>[26]</sup>,臭氧-气浮联用工艺在奥顿水厂可以去除 98% 的鞭毛裸藻类或 40% 的丝状硅藻,在 Joinville 水厂可以去除 93% 的藻类,效果明显.

1.5.2 臭氧-活性炭深度处理工艺. 预臭氧化可以去除原水中绝大部分藻类和 96% 的藻毒素,而对于残余藻类不能有效去除. 臭氧-活性炭处理工艺能通过各种机理再去除其中的 70%,并且活性炭可有效吸附微囊藻毒素,试验证明,该组合工艺可以使藻毒素的去除率达 100%. 因而,臭氧-活性炭联用是解决藻毒素污染的理想方法<sup>[27]</sup>.

1.5.3 生物膜处理与其他处理工艺联用除藻. 臭氧可使有机物分子量变小,可生化性提高,有利于生物处理,因而臭氧与生物处理联用可以更充分地发挥各自对藻类等有机物的去除能力. 清华大学研究发现,臭氧-生物陶粒对藻类总数的去除率比单独的生物陶粒提高了 25% 左右.

活性炭对有机物、由藻类产生的臭味和氧化致突变物的去除效果突出. 研究发现,生物陶粒+活性炭吸附对叶绿素  $\alpha$  的去除率比单独使用生物陶粒处理提高了 20% 左右,而且该组合工艺在保证出水的生物稳定性方面有重要意义. 对北京城子水厂的水源水进行生物陶粒-活性炭工艺进行生物处理表明,采用该工艺使出水水质得到进一步提高.

预臭氧化、生物处理、活性炭吸附处理工艺联用,这种联用工艺与常规净水工艺组合是更完善、有效的净水途径. 此组合工艺对叶绿素  $\alpha$  的去除率可达 100%,对色度、浊度、氨氮、有机物的去除率也均优于上面介绍的两种组合工艺.

## 2 结束语

水源中藻类的大量繁殖给水厂运行管理及供水安全带来了许多问题. 除藻技术多种多样,各种除藻方法均有其优缺点,目前混凝前加氯或二氧化氯、强化混凝、采用气浮工艺等除藻方法在水厂中较为普遍采用,而生物膜处理法极其组合工艺由于可有效去除藻类、藻毒素,出水稳定,水质安全性高,目前正越来越受到重视.

### 参 考 文 献

- [1] 彭海清,谭章荣,高乃云等. 给水处理中藻类的去除. 中国给水排水,2002,18(2):29-31
- [2] 王宝林,钟惠芳. 藻类对城市给水处理的影响及可能采取的对策. 天津建设科技,1998,(1):37-40
- [3] Edzwald J. k. Principles and applications of dissolved air flotation. Wat. Sci. Tech.,1995,31(3-4):1-23
- [4] 陈培康,谈本昌. 给水净水新技术. 北京:学术书刊出版社,1990. 194-196
- [5] 余国忠,李灵芝,张明云等. 纤维直接过滤去除原水藻类. 环境污染治理技术与设备,2003,4(1):14-18
- [6] Yalidira R. Algae removal by high gradient magnetic filtration. Enviro. Sci. Tech.,1997,11(9):913-916
- [7] 程真文. 巢湖藻类污染的研究和对策. 水处理技术,2003,29(4):247-249
- [8] 李思敏,王龙,李清雪等. 高锰酸钾预氧化的除藻效果. 中国给水排水,2002,18(3):48-50
- [9] 马军,石颖,陈忠林等. 高锰酸盐复合药剂预氧化与预氯化除藻效能对比研究. 给水排水,2000,26(9):25-27
- [10] DeLuca S J, Chao A C and Smallwood C. Ames test of ferrate treated water. Journal of Environmental Engineering, 1983, 109(5): 1159-1167
- [11] Ma Jun and Liu Wei. Effectiveness and mechanism of potassium ferrate(VI) preoxidation for algae removal by coagulation. Wat. Res., 2002, 36:871-878
- [12] JIANG jiaqian and Nigel J. D. GRAHAM. Removal of Algae and Atrihalomethane(THM) Precursors by Coagulation. Water Treat-

- ment, 1992, (7):155-168
- [13] 赵月龙, 杨云龙, 王龙. 生物预处理工艺用于富营养化水源水净化研究. 科技情报开发与经济, 2003, 13(10):150-152
- [14] 李家就, 钱望新. 富营养化湖泊水源生物预处理研究. 中国给水排水, 1992, 8(6):4-10
- [15] 余冉, 吕锡武, 稻森悠平. 生物接触氧化预处理水中藻类及其毒素. 中国给水排水, 2002, 18(12):9-12
- [16] 周建平, 许建华, 杨再高. 梅梁湖原水除藻工艺研究. 给水排水, 1997, 23(11):22-24
- [17] 罗晓鸿, 陈勇, 王占生等. 陶粒及弹性立体填料在富营养化水源水生物预处理中的对比研究. 西南给排水, 1996, (3):16-19
- [18] 罗晓鸿, 王占生, 王衡等. 富营养化湖泊水生物预处理研究. 给水排水, 1996, 22(7):12-14
- [19] 吴为中, 王占生. 不同生物接触氧化方法对藻类的去除效果比较及其途径分析. 环境科学学报, 2001, 21(3):277-281
- [20] 吴为中, 王占生. 水库水源水生物陶粒滤池预处理中试研究. 环境科学研究, 1999, 12(1):10-14
- [21] 胡文荣, 李力, 刘培启. 生物系统固定化强化除藻试验及机理浅析. 山东工业大学学报, 2001, 31(6):501-505
- [22] 陈慧中, 杨宏. 给水系统中藻类研究现状及进展. 现代预防医学, 2001, 28(1):79-80
- [23] 姜炜. 浅谈富营养化水体藻毒素产生、检测及去除. 有色冶金设计与研究, 2003, 24(1):52-54
- [24] Cousins I T, Bealing D J, James H A, et al. Biodegradation of MCYST-LR by indigenous mixed bacterial populations. Wat. Res., 1996, 30(2):481-485
- [25] 迟玉霞, 陈翼孙. 臭氧-气浮联用新工艺处理含藻水. 城市公用事业, 1998, 12(6):18-19
- [26] Antoine Montiel and Benedicte Welte. Preozonation coupled with flotation filtration: successful removal of algae. Wat. Sci. Tech., 1998, 37(2):65-73
- [27] 贾瑞宝, 刘军, 王珂等. 气浮/微絮凝/臭氧/活性炭工艺除藻效果. 中国给水排水, 2003, 19(10):47-48
- [28] 马培忠, 董典同. 饮用水深度处理技术探讨. 青岛建筑工程学院学报, 2003, 24(2):33-38

## The Research Progress of Algae Removal from Eutrophic Raw Water

Zhou Li<sup>1</sup>, Yang Hui-min<sup>2</sup>, Sun Si-jie<sup>3</sup>, Peng Yong-zhen<sup>4</sup> and Liu Hong-mei<sup>1</sup>

(1. Shandong Provincial Key Lab of Environmental Engineering, Qingdao Technological University, Qingdao 266033;

2. Qingdao drainage Management Department, Qingdao 266071; 3. Qingdao Municipal Construction Development Co. Ltd,

Qingdao 266071; 4. Beijing Key Lab of Water Quality Science and Water Environment Recovery,

Beijing Polytechnical University, Beijing 100022)

**Abstract:** Algae mass-breeding in the water source caused by eutrophication is a prominent issue which influences the waterworks operation and purified water quality. The de-algae research progress was introduced, and by analyzing the effect of each de-algae process, it was put forward that biological treatment and integrated treatment process will be more prospective.

**Key words:** eutrophication, water purification plant, algae removal

**作者简介:**周利(1963-),男,副教授,博士