

微污染水源水净化集成技术研究

陈友岚 (长江大学城市建设学院, 湖北 荆州 434023)

李树苑 (中国市政工程中南设计研究院, 湖北 武汉 430010)

[摘要] 针对受污染水源水的藻、氨氮、有机物等浓度较高的特点, 探讨了满足饮用水水质标准的水处理工艺流程。试验包括生物预处理、预臭氧处理 2 组预处理, 常规处理流程、常规处理+颗粒活性炭吸附滤池 (GAC) 深度处理流程以及常规处理+臭氧生物颗粒活性炭 (O_3 -BAC) 深度处理流程 3 条平行运行的工艺流程, 将其组合为 6 条工艺流程。一年半时间的试验结果表明, 生物预处理可以明显降低常规处理出水的氨氮、 COD_{Mn} 、 UV_{254} , 而深度处理单元对出水的色度、臭阈值处理效果影响明显, 工艺处理单元组合的选择, 应根据水源水的水质特点和达到的饮用水水质目标以及经济因素确定。

[关键词] 受污染源水; 生物预处理; 深度处理; 臭氧

[中图分类号] X703.1; O646

[文献标志码] A

[文章编号] 1673-1409 (2013) 29-0063-05

微污染水源是指受到有机物污染, 部分水质指标超过《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) III 类水体标准的水体。其成分主要包括有机物、氨、嗅味、三致物质、铁、锰等^[1]。一般来说, 这些污染物种类较多, 性质较复杂, 但浓度比较低微, 尤其是那些难于降解、易于生物积累和具有三致作用的有毒有机污染物, 对人体健康毒害很大。近年来随着工业的发展、城市化进程的加速及农用化学品种类和数量的增加, 许多水源已受到不同程度的污染^[2-4]。

据 2009 年国家环境保护总局发布的年度《中国环境状况公报》报道, 2009 年七大水系总体为轻度污染, 203 条河流 408 个地表水国控监测断面中, I~III 类、IV~V 类和劣 V 类水质的断面比例分别为 57.3%、24.3%和 18.4%^[5]。另外, 目前中国 90%以上的城市水域受到污染, 50%的重点城镇水源水质不符合饮用水水源的标准, 都检测出多种污染物, 微污染现状呈发展之势。从目前国内水域的污染现状看, 要显著改善城市水源的水质状况, 无论从时间上还是从资金投入上, 均无力在短期内实现, 因此许多城市不得不以受污染的水体作为饮用水水源。

然而, 现有常规给水处理工艺 (混凝→沉淀→过滤→消毒) 不能有效去除微污染水源水中的有机物、氨氮等污染物, 同时液氯很容易与原水中的腐殖质结合产生消毒副产物 (DBPs), 直接威胁饮用者的身体健康, 无法满足人们对饮用水安全性的需要^[6-9]。2006 年卫生部和国家标准化委员会联合发布《生活饮用水卫生标准》(GB 5749-2006) 的水质指标由 GB 5749-85 的 35 项增加至 106 项, 其中生物学指标由 2 项增加至 6 项, 饮用水消毒剂由 1 项增加至 4 项, 毒理学指标由 15 项增至 74 项, 感官性状和一般理化指标由 15 项增至 20 项^[10-13]。为适应国内供水行业的发展, 研究技术经济可行的受污染水源水处理工艺, 全面提高饮用水水质是十分必要的。

1 材料与方法

1.1 试验装置与方法

试验采用某城市受污染的水库水源, 以不同的工艺流程进行。试验设施详见图 1, 其主要的净化单元如下。

预处理部分: 生物预处理、预臭氧处理;

常规处理部分: 混合、絮凝、沉淀、石英砂过滤;

[收稿日期] 2013-07-11

[作者简介] 陈友岚 (1979-), 男, 硕士, 讲师, 主要从事污水处理、环境治理研究。

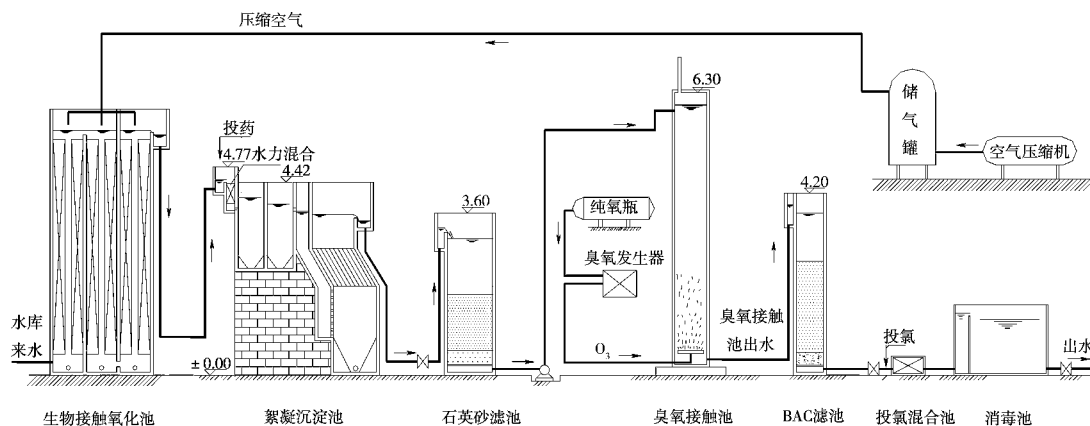


图 1 工艺流程

深度处理部分：颗粒活性炭吸附滤池（GAC）、臭氧生物颗粒活性炭处理（O₃-BAC）。

由以上 3 个部分组合为常规处理流程、常规处理+颗粒活性炭吸附滤池（GAC）深度处理流程、常规处理+臭氧生物颗粒活性炭（O₃-BAC）深度处理流程 3 个平行运行的工艺。将 2 组预处理和 3 条平行运行的工艺流程组合为 6 条试验工艺流程，具体为：（1）常规处理工艺；（2）生物预处理+常规处理工艺；（3）生物预处理+常规+GAC 深度处理工艺；（4）常规+GAC 深度处理工艺；（5）常规+O₃-BAC 深度处理工艺；（6）生物预处理+常规+O₃-BAC 深度处理工艺。由此进行各种组合工艺集成技术净化效果和技术经济的比较。其中，试验设施的主要设计参数如下。

（1）生物预处理池并 设计水量 3.3m³/d，水力负荷 1.0m³/（m²·h），气水比 1:1，YDT 弹性填料；池分 3 格，采用穿孔管曝气，池内设有中心导流筒，穿孔管位于中心导流筒下部，每格内部通过中心导流筒连续曝气的抽升作用，形成水的交替循环，呈完全混合式。

（2）臭氧系统 由臭氧接触池和臭氧发生器组成。

臭氧接触池：内径 300mm 的圆柱形，总高度 6.0m，最大有效水深 5.7m，水从上部进下端出，臭氧从下部进上端出，逆向接触。池体为不锈钢。

臭氧发生器：Ozonix 公司的 LN103，以纯氧（露点不高于-50℃）为气源，额定工作状态下（氧气绝对压力 1.6Bar，气温 20℃），臭氧生成量 2~5g/h，氧气利用率 1.2%~8.8%，试验条件下氧气利用率约 3%。

（3）常规处理 由混合、絮凝、沉淀、砂滤组成。设计水量 3.0m³/h。

混合：静态水力混合器，混合时间 6s。

絮凝：孔室反应，絮凝时间 23.2min。斗底重力排泥。

沉淀：斜管沉淀池，清水区上升速度 1.39mm/s，

砂滤：石英砂均粒滤池，滤速 6.49m/h。滤料粒径 0.8~1.0mm，水反冲洗。

（4）深度处理 采用粒状活性炭（GAC）滤池及臭氧-生物活性炭（O₃-BAC）滤池。

GAC 滤池采用矩形，分为独立的 2 格，每格处理水量 1.5m³/h，滤速 9.99m/h。滤料厚度 2.0m。

1.2 水源水质状况评价

采用 GB3838-2002《地表水环境质量标准》、CJ3020-93《生活饮用水水源水质标准》评价水库水源水质状况。

水源水的锰、亚硝酸盐、凯氏氮、总磷、氨氮超Ⅲ类水体的水质标准，高锰酸盐指数（COD_{Mn}）、BOD₅、总大肠菌群超Ⅱ类水体水质指标，部分时间超过Ⅲ类水体水质标准。5~8 月属地面水Ⅲ类水质，个别项目超过Ⅲ类水质指标；按 CJ3020-93 的要求，该水源为二级饮用水水源水质。

藻类不是上述 2 个标准的评价项目，但水源的藻类数量较高，对水的常规净化工艺正常运行影响较大，可导致出厂水水质下降，是不应忽视的水质项目。本研究选用面积为 20×20mm、容积为 0.1ml 的计数框，采用行格法计数测定。

2 结果与分析

2.1 常规处理及后续深度处理工艺流程比较

常规处理、常规-GAC 深度处理以及常规-BAC 深度处理工艺 3 个工艺流程平行对比试验对几个主要水质指标进行了测定，浊度、氨氮、亚硝酸盐氮、 COD_{Mn} 、色度、TON（总有机氮）、 UV_{254} 等常规项目的分析化验方法基本以 GB5750-85 标准为依据，藻类采用计数框法测定。平均结果见表 1。

表 1 常规、常规-GAC、常规-BAC 工艺单元及流程试验结果

工艺 流程	项目	浊度 (NTU)	氨氮含量 /(mg/L)	亚硝酸盐氮 含量/(mg/L)	COD_{Mn} /(mg/L)	色度 /度	藻类 /(万个/L)	TON(总有机氮) 含量/(mg/L)	UV_{254} 含 量/ cm^{-1}
常规 工艺	原水	4.78	1.8	0.134	2.87	26	1140	27	0.0744
	沉淀水	1.19	1.8	0.159	2.36	11	159		0.070
	砂滤水	0.39	1.46	0.512	2.45	8	58	9	0.0734
	常规去除率/%	91.27	19.84	-346.34	14.42	68.22	94.89	65.26	4.98
G A C 工 艺	GAC 出水	0.36	1.15	0.364	1.76	5	82	0.95	0.04611
	GAC 单元去除率/%	6.08	23.09	30.9	28.08	41.59	-47.52	87.49	31.65
	常规-GAC 流程 去除率/%	91.90	38.05	-205.85	38.68	81.57	92.80	95.84	35.14
B A C 工 艺	BAC 出水	0.47	0.30	0.099	1.21	4	37	0.86	0.0368
	BAC 单元去除率/%	-24.30	81.29	80.57	50.95	44.29	28.07	89.60	49.76
	常规-BAC 流程 去除率/%	89.43	84.49	23.95	58.19	84.22	96.72	96.61	52.60

由表 1 可以看出：（1）浊度。3 个工艺的出水浊度未见明显差异，可以认为深度处理工艺相对于运行状态良好的常规处理工艺，不能提高浊度的去除效率，浊度的去除主要在常规工艺中解决。（2）氨氮、亚硝酸盐。常规工艺对氨氮、亚硝酸盐氮去除率较小，有时呈负值，说明常规工艺对氨氮、亚硝酸盐氮几乎不能去除，且由于存在氨氮的硝化，出水中亚硝酸盐还可能升高；BAC 深度处理工艺，投加臭氧后，水中的溶解氧有较大幅度的增加，在颗粒活性炭滤池中形成良好的生物生长环境，因此形成生物滤池，对氨氮、亚硝酸盐氮有较好的去除作用，氨氮的去除率达到 85% 左右。（3）有机物。采用 COD_{Mn} 、 UV_{254} 评价，常规、常规-GAC、常规-BAC 3 种工艺的 COD_{Mn} 去除率分别为 14.42%、38.68%、58.19%；常规-GAC 处理工艺中，GAC 单元去除的 COD_{Mn} 总量占流程去除量的 62%，而常规-BAC 工艺中的 BAC 单元去除的 COD_{Mn} 总量占流程去除量的 75%；说明投加臭氧后提高了深度处理的能力，有利于有机物的进一步降解；对 UV_{254} 的去除效果与 COD_{Mn} 的趋势一致。（4）藻。常规 BAC 处理工艺出水的藻含量最低，效果较好，但是出水仍有 37 万个/L，对出水水质的稳定不利。（5）臭阈值、色度。2 种深度处理工艺对臭阈值和色度的去除未见明显差异，但是显著优于常规处理工艺。

2.2 生物预处理、常规处理后续深度处理工艺比较

本试验的后续 3 个工艺流程是在前述 3 个工艺流程基础上增加了生物预处理净化单元，主要目的是解决水源水中的氨氮、亚硝酸盐氮等可生物降解的污染物。浊度、氨氮、亚硝酸盐氮、 COD_{Mn} 、色度、 UV_{254} 等常规项目的分析化验基本以 GB5750-85 标准为依据，藻类采用计数框法测定。试验结果见表 2。

由表 2 可以看出：（1）浊度。各工艺对浊度去除无明显差异，深度处理不能提高浊度的去除率，这与前述 3 个工艺的结果一致。（2）氨氮、亚硝酸盐氮。由于有前置的生物预处理净化单元的生物作用，因此能够解决氨氮、亚硝酸盐氮的问题，生物处理后续的 3 个工艺流程出水的氨氮、亚硝酸盐氮基差异不很大。（3）有机物。当源水的 COD_{Mn} 在 3mg/L 左右时，生物预处理后续 3 个工艺流程出水平均值均低于 1.5mg/L，生物预处理-常规工艺、生物预处理-常规-GAC 深度处理工艺以及生物预处理-常规-BAC 深度处理工艺的出水 COD_{Mn} 平均值分别为 1.34、1.02、0.73mg/L。可见投加臭氧的生物活性炭滤池深度处理工艺对 COD_{Mn} 的去除效果最好，分析各净化单元对 COD_{Mn} 去除率的贡献，生物预处理所占比率最大，其次是 BAC，常规和 GAC 相差不大。以 COD_{Mn} 总量为 1，各净化单元的 COD_{Mn} 去除量的

比率见图 2。从试验结果看,不同净化单元对水源水中的 COD_{Mn} 去除率相差较大,实际的去除效果与水中有机物构成有关。

表 2 生物+常规+GAC(BAC)工艺流程试验结果

工艺流程	项目	浊度 (NTU)	氨氮含量 (mg/L)	亚硝酸盐氮 含量/(mg/L)	COD_{Mn} (mg/L)	色度 /度	藻类 (万个/L)	UV_{254} /cm ⁻¹
生物预处理	原水	16.69	1.17	0.233	2.92	19.8	1187	0.0704
理工艺	生物池去除率/%	82.9	90.5	93.5	42.1	42.9	85.17	12.5
	沉淀水	1.01	0.12	0.024	1.47	7.3	33	0.0543
生物+常	砂滤水	0.38	0.07	0.010	1.34	4.5	14	0.0553
规工艺	砂滤单元去除率/%	62.4	42.3	59.8	8.4	38.6	57.58	—1.8
	生物+常规流程 去除率/%	97.7	94.2	95.8	54.0	77.3	98.82	21.4
生物+常	GAC 水	0.36	0.05	<0.001	1.02	<5	8	0.0395
规+GAC	GAC 单元去除率/%	5.3	25.6	93.2	24.1	55.6	42.86	28.6
工艺	生物+常规-GAC 流程去除率/%	97.8	95.7	99.7	65.1	89.9	99.33	43.9
生物+常	BAC 水	0.35	0.06	<0.001	0.73	<5		0.0170
规+BAC	BAC 单元去除率/%	22.0	21.7	—	28.8	—		8.1
工艺	生物+常规-BAC 流程去除率/%	97.9	94.9	99.7	75.0	89.9		75.9

2.3 各工艺流程出水水质达标率比较

试验期间共进行 4 次水质项目的全分析,所得结果表明:

常规处理工艺为大部分水厂所使用的工艺流程,该工艺的超标项目主要有氨氮、亚硝酸盐氮、有机氯(总量),偶尔出现苯并(a)芘及萘的超标。与其他流程的出厂水相比,水质最差。

生物预处理+常规处理工艺的水质指标中超标项目主要为有机氯(总量)。原有项目 35 项指标全部达标,新增的 53 项指标达标率为 92.45%,大于 80%要求。

生物预处理+常规+GAC 处理工艺的出水基本满足所有水质指标要求。

常规+GAC 处理工艺不能解决氨氮、亚硝酸盐氮的超标情况,出厂水氨氮、亚硝酸盐氮浓度超出标准。

常规+O₃-BAC 处理工艺试验次数少,但其出厂水水质好,处理效果显著,出水只有 1 项萘超标,接近生物预处理+常规+GAC 处理工艺。

比较氨氮、亚硝酸盐氮、高锰酸盐指数以及臭味几项常规项目,流程(3)、流程(6)的处理效果最好,既有生物吸附降解作用,又有活性炭的吸附作用;其次是流程(2)、流程(4),流程(2)的优势体现在氨氮、亚硝酸盐氮及臭味的处理上,流程(4)则对有机物与生物臭的处理效果好。

3 结论

本研究结果表明,对受污染水源水的处理,要达到饮用水水质标准或提高水质,应根据源水水质的特点进行工艺的选择。

(1) 当原水中氨氮浓度高时应选择有生物作用的水处理工艺流程,如生物预处理+常规处理工艺或

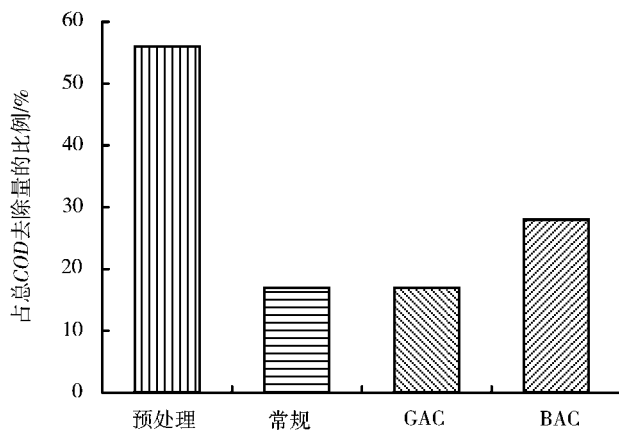


图 2 不同净化工艺单元有机物去除量占总去除量的比例

常规+臭氧生物颗粒活性炭处理工艺，在没有生物处理工艺单元的流程中氨氮基本上无去除效果；

(2) 当原水中藻含量较高时，一般应选择有前处理除藻的工艺单元，否则对后续的砂滤池运行产生不利影响，如可采用生物预处理工艺单元；

(3) 当原水中的臭阈值、有机物、色度较高时，应采用常规处理工艺后接深度处理（GAC、O₃-BAC）工艺。

本研究进行的 6 种工艺流程，从出水水质看，生物预处理+常规+O₃-BAC 工艺最好，其次是生物预处理+常规和常规+O₃-BAC 工艺以及常规+GAC 工艺。不同的水源水水质条件、目标差异、经济条件等因素，对水处理工艺的选择都有一定的影响。

[参考文献]

- [1] 罗龙海, 曾山珊. 微污染水源水的控制技术 [J]. 广州化工, 2012, 40 (3): 28-30.
- [2] 贺瑞敏, 朱 亮, 谢曙光. 微污染水源水处理技术现状及发展 [J]. 陕西环境, 2003, 10 (1): 2-3.
- [3] 陈 莉, 范跃华. 微污染源水的处理技术发展探讨 [J]. 重庆环境科学, 2002, 24 (6): 67-70.
- [4] 付 乐, 陶 涛, 曹国栋, 等. 臭氧与活性炭深度处理微污染原水试验研究 [J]. 给水排水, 2007, (5): 31-35.
- [5] 张跃军, 李潇潇. 微污染原水强化处理技术研究进展 [J]. 精细化工, 2011, (1): 1-9.
- [6] 黄 涛. 微污染水处理新工艺 [J]. 贵州化工, 2005, (5): 25-29.
- [7] 宁海丽, 朱 琨. 微污染水处理技术研究进展 [J]. 环境科学与管理, 2006, 31 (2): 98-100.
- [8] 杨文进, 李树苑, 李家就, 等. 人工 YDT 及 PWT 填料接触氧化池生物预处理与原水 BOD₅/COD_{Cr} 的关系 [J]. 给水排水, 2005, 31 (3): 25-28.
- [9] 李伟光, 谭立国, 何文杰, 等. 臭氧-活性炭深度处理滦河水的试验研究 [J]. 给水排水, 2005, 31 (1): 47-50.
- [10] 王占生, 刘文君. 微污染饮用水处理 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.
- [11] 卢静芳, 孔祥媚, 赵瑞斌, 等. 强化混凝去除微污染湖泊水浊度及 TOC 的研究 [J]. 环境科学与技术, 2010, 33 (3): 76-79.
- [12] 刘继凤. 浅谈饮用水微量有机污染物处理技术 [J]. 环境科学与管理, 2007, 32 (4): 99-102.
- [13] 宁海丽, 朱 琨. 微污染水处理技术研究进展 [J]. 环境科学与管理, 2006, 31 (2): 98-100.