

强化微污染原水净化效果的生产性应用研究*

肖羽堂 许建华 王冠平

(同济大学环境工程学院, 上海 200092)

摘要 针对姚江水源受污染的现状和原传统净水工艺去除污染效率低、药耗大等缺点, 对宁波市梅林水厂的传统净水工艺进行了改进, 并对改进前后的去除污染效率进行了对比试验研究. 结果表明, 在姚江水质为 pH6.5-7.6、浊度 7-20 NTU、色度 25-37 度、 NH_4^+-N 0.25-9.0 mg/L、 NO_2^--N 0.025-0.25 mg/L、 COD_{Mn} 6-18.9 mg/L 的条件下, 改进后的生化工艺系统对浊度、色度、 NH_4^+-N 、 NO_2^--N 及 COD_{Mn} 的平均去除率比传统工艺分别提高了 24.5%、30.0%、58.5%、70.0% 和 27.5%, 除污染效果明显优于传统净水工艺; 并且可节约矾耗 50% 以上和氯耗 77% 左右.

关键词 受污染原水, 生物接触氧化池, 饮用水, 净化工艺.

Research of a Full Scale Application on Strengthening the Treatment Effect of the Micropolluted Raw Water

Xiao Yutang Xu Jianhua Wang Guanping

(School of Environmental Engineering of Tongji University, 200092)

Abstract The parallel tests to remove the pollutants by improving the conventional drinking water purification process have been conducted at Meiling water plant, Ning Bo City, because of pollution of water resource in Yao River and the conventional process with a low removal efficiency of pollutants and a high coagulant and chlorine demand. The results show the improved biochemistry process for drinking water can reach an average increase of 24.5%、30.0%、58.5%、70.0% and 27.5% respectively for the removal efficiency of turbidity、colorization、 NH_4^+-N 、 NO_2^--N and COD_{Mn} under the condition of pH6.5-7.6, turbidity 7-20 mg/L, colorization 25-37 degree、 NH_4^+-N 0.25-9.0 mg/L、 NO_2^--N 0.025-0.25 mg/L and COD_{Mn} 6-18.9 mg/L for raw water in Yao River. It is better than the conventional process in removing the pollutants and can also save coagulants of above 50% and chlorine of about 77%.

Keywords polluted raw water, biological contact oxidation tank, drinking water, purification process.

目前国内外大多数净水厂采用的化学混凝、沉淀、过滤和加氯消毒的传统净水工艺^[1,2], 适于除去水中的固体杂质、胶体和细菌等, 不能有效地除去原水中的有机污染物和三卤甲烷^[3], 因此, 提高水质的生物净水技术得到广泛关注^[4-9]. 本研究以姚江微污染原水为处理对象, 对宁波市梅林水厂原处理设施不作大的改动前提下, 只将原斜管澄清池改建为生物接触氧化池, 研究改进前后 2 种不同工艺的除污染效果.

1 原水及净水工艺

1.1 原水水质

结果如表 1 所示. 从表 1 可以看出, 姚江水源水氨氮和有机物含量较高, 适合生物处理.

1.2 传统净水工艺

* 国家“九五”科技攻关项目(The National Key Science and Technology Project during The Ninth Five-year Plan Period): 96-909-03-01-02
肖羽堂: 男, 28 岁, 博士
收稿日期: 1997-10-10

表 1 姚江微污染水源水水质

分析项目	分析结果
水温/	5- 26
色度/度	25- 37
$\text{NH}_4^+ \text{-N}/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0.25- 9.0
$\text{NO}_2^- \text{-N}/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0.025- 0.25
$\text{COD}_{\text{Mn}}/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	6- 18.9
浊度/NTU	7- 20
pH	6.5- 7.6

宁波市梅林水厂原有净水工艺见图 1.

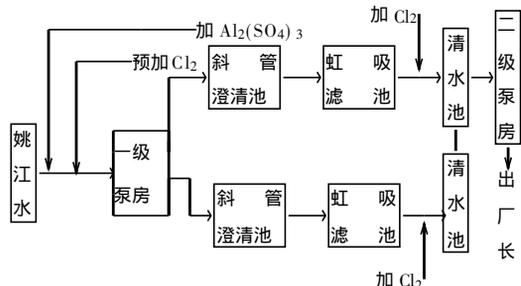


图 1 传统净水工艺

所提供的出厂水水质不能满足要求,而且矾耗和氯耗都较高,增加了水处理费用。

1.3 改进工艺

取消了生化池前的预加氯和加矾工艺.改进工艺如图 2 所示。

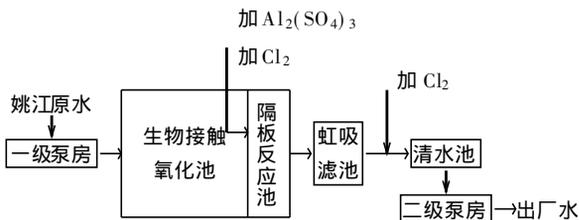


图 2 改进工艺

1.4 生物接触氧化池

池体为 $35.8 \times 5.9 \times 17.8 \text{ m}^3$, 日产水量 4.0 万 t, 池内选用 YDT 弹性填料和 YMB-1 型橡胶膜片式微孔曝气器, 采用罗茨鼓风机供氧, 动力 37kW, 出口静压 49kPa, 流量为 $19.14 \text{ m}^3/\text{min}$, 采用推流式反应器, 水气逆流接触. 设计水深 5.0m, HRT 1.2- 2.0h, 气水比为 0.5- 1, 水力负荷为 3- 5 min , 隔板反应时间为 3- 5 min , 每日排泥 3 次, 每次 3- 5 min .

2 除污染效果及分析

(1) 除 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 对比试验

试验进行了 2 种不同工艺的除 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 研究, 试验结果见表 2. 从表 2 可见, 生化工艺比传统工艺除 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 效率平均提高 58.5%.

(2) 除 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 对比试验 探讨了不同原水 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 浓度下的 2 种工艺除污染效果, 试验结果见表 3. 结果表明: 传统工艺除 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 效果很差, 时而出现在滤后水 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 浓度等于甚至高于原水浓度的情况, 而生化系统可除去其 90%- 99% 的 $\text{NO}_2^- \text{-N}$.

(3) 除 COD_{Mn} 对比试验 取滤后水进行有机物测定, 研究 2 种不同系统对有机物的去除效果. 试验结果见表 4. 从表 4 可以看出, 生化工艺全流程除有机物效率是原传统工艺系统的 2 倍多.

(4) 除浊度对比试验 滤后水浊度监测结果见表 5. 试验结果得出, 生化系统对浊度的去除率达 90% 左右, 原斜管澄清工艺全流程只能除去约 65% 的浊度.

(5) 除色度对比试验 对 2 种不同工艺系统的滤后水进行色度测定, 考察它们除色度效果的差异. 测定结果见表 6. 试验结果表明: 生化系统除色度效果大大优于原斜管澄清工艺系统, 并且生化工艺可大幅度降低后续加氯量、减少氯化工艺形成三卤甲烷等致突变物质的危险性.

3 效益分析

(1) 改建投资费用 包括斜管澄清池改建为生物接触氧化池, 池内填料和曝气器、鼓风机房及设备管道等所需基建、设备费用 273.85 万元, 按 15 年折旧提成年限考虑, 则折合到每 t 水的设施成本费约为:

$$W_{\text{改}} = \frac{273.85}{15 \times 365 \times 4} = 1.25 \text{ 分}/\text{m}^3(\text{水})$$

(2) 增加动力费用 设计气水比按 0.6- 1 考虑, 接触氧化池水深 5.0m, 设计规模 $40000 \text{ m}^3/\text{d}$ ($27.8 \text{ m}^3/\text{min}$), 所需曝气的空气量为: $Q_{\text{气}} = 27.8 \times 0.6 = 16.68 \text{ m}^3/\text{min}$, 选用 L_{2A28} 罗茨风机一台, 空气流量 $19.14 \text{ m}^3/\text{min}$, 动力 37kW, 出口静压力 49kPa, 设电价为 0.7 元/

表 2 除 NH_4^+-N 对比试验结果

原水 $\text{NH}_4^+-\text{N}/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0.25	0.30	0.45	0.70	1.0	2.5	4.5	6.0	7.5
水温/	26	23	24	25	19	17	18	17	16
生化池滤后出水 $\text{NH}_4^+-\text{N}/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0.10	0.15	0.12	0.17	0.05	0.50	0.70	1.0	1.0
生化池 NH_4^+-N 去除率/%	60	50	73	76	95	80	84	81	87
原斜管澄清池出水 $\text{NH}_4^+-\text{N}/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0.20	0.25	0.25	0.70	0.50	2.5	4.0	4.0	7.5
原斜管澄清池 NH_4^+-N 去除率/%	20	17	44	0	50	0	11	33	0

表 3 除 NO_2^--N 对比试验结果

原水 $\text{NO}_2^--\text{N}/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0.06	0.08	0.100	0.150	0.200	0.250	0.300	0.400
水温/	24	25	24	24	21	24	19	22
生化池滤后出水 $\text{NO}_2^--\text{N}/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0.002	0.003	0.01	0.001	0.003	0.025	0.010	0.027
生化系统 NO_2^--N 去除率/%	97	96	90	99	99	90	97	93
原斜管澄清池滤后出水 $\text{NO}_2^--\text{N}/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	0.06	0.012	0.120	0.150	0.140	0.250	0.250	0.200
原斜管澄清系统 NO_2^--N 去除率/%	0	85	0	30	0	17	50	

表 4 除 COD_{Mn} 对比试验结果

原水 $\text{COD}_{\text{Mn}}/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	6.69	6.85	8.40	8.48	9.12	9.25	9.47
水温/	16	14	17	13	16	19	12
生化池滤后水 $\text{COD}_{\text{Mn}}/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	3.75	4.48	4.72	4.89	5.44	4.39	4.53
生化系统 COD_{Mn} 去除率/%	44	35	44	42	40	53	52
原斜管澄清池滤后水 $\text{COD}_{\text{Mn}}/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	6.04	5.71	7.44	6.68	7.36	6.27	8.08
原斜管澄清系统 COD_{Mn} 去除率/%	9.7	17	11	21	19	32	15

表 5 除浊度对比试验结果

原水浊度/NTU	6.3	7.1	8.3	8.8	9.6	11.1	12.6	13.5	15.3	19.7
水温/	24	16	16	22	15	26	16	17	24	15
生化池滤后水浊度/NTU	1.1	1.4	2.0	1.2	0.9	0.9	1.1	0.7	1.4	1.0
生化系统浊度去除率/%	83	80	76	86	91	92	91	95	91	95
原斜管澄清池滤后水浊度/NTU	3.3	3.1	4.1	3.6	3.4	3.4	3.5	3.5	3.6	4.2
原斜管澄清系统浊度去除率/%	48	45	51	50	65	69	72	75	77	79

表 6 除色度对比试验结果

原水色度/度	30	30	30	32	32	32	35	35	37	37
水温/	13	18	24	14	17	18	16	19	24	26
生化池滤后出水色度/度	15	10	12	15	11	13	15	15	13	14
生化系统色度去除率/%	50	67	60	53	47	59	57	57	65	62
原斜管澄清池滤后水色度/度	27	20	22	30	30	25	25	22	22	18
原斜管澄清系统色度去除率/%	10	33	27	6	6	22	29	37	41	51

(kW·h), 则每 d 增加动力费约为:

$$W_{\text{动}} = \frac{16.68}{19.14} \times 37 \times 24 \times 0.7$$

$$= 542 \text{ 元/d}$$

(3) 节约混凝剂费用 原传统工艺硫酸铝平均加药量为 20mg/L, 改进后的生化工艺系统硫酸铝加药量为 10mg/L 左右, 硫酸铝市场价 700 元/t, 每 d 可节约硫酸铝的费用为:

$$W_{\text{Al}} = 40000 \times \frac{20}{1000^2} \times \frac{10}{20} \times 700$$

$$= 280 \text{ 元/d}$$

(4) 节约液氯费用 采用传统工艺平均氯耗为 8—10mg/L, 采用改进后的生化工艺系统平均氯耗约为 2mg/L, 即生化工艺系统平均节约氯耗 77% 左右. 液氯市场价为 3000 元/t, 则每 d 节约液氯费用为: (下转第 34 页)

3.2 污染物在土层和潜水中的行为

土壤对污染物有截留、吸附作用,但该地区的土层薄,颗粒粗,所以防护能力差,潜水层水质明显受其影响.尤其在水源井的水力半径范围内,废水因短路被抽升出来,致使部分井水水质恶化.由于废水中主要污染物可生化性差,在土壤微生物尚未充分驯化和生物量未积累到一定程度前,可暂不计降解作用,即主要污染物大部分含在地表面土层中,一部分进入潜水扩散和随井水抽取出来.

工作区内有4个含水层组,本次工作除观测潜水孔(孔深9-16m)和监测上层滞水孔(3-4m)为单独采样外,其余均为几个含水层组混合采样.

3.3 恢复措施

(1) 避免短路 废水库、溢流水是污染物进入土壤、地下水的主要污染源,废水的原流经路线和井水大量抽取是促成短路的主要途径.改变处理后排放水的水流路线,可以减缓已进入土层和地下水中污染物迁移、扩散速度,与此同时,在一段时间内停止污染地区水源井大量抽

取地下水,使水位上升,污染物处于托浮状态,可进一步遏止污染物的迁移.

(2) 强化污染物的降解 间歇性抽取地下水,使上层滞水的水位有明显的变化,以便促使微生物活性的恢复和基质(污染物)的更新.

(3) 大量抽取地下水 前2种措施进行7个月以后,地下水水位上升,水质已有明显改善.为了防止部分残留污染物和大部分降解产物的滞留和扩散,在污染地区尽可能大量抽升地下水,时值冬灌缺水时期,附近亦需要农灌水源,可以较好地解决水的出路.

实践证明,上述因地制宜的措施是有效和可靠的.

参 考 文 献

- 1 刘兆昌,张兰生等.地下水系统的污染与控制.北京:中国环境科学出版社,1991:419-430,499-506
- 2 蔡绪胎,陈静生.华北城市地区潜水中主要离子含量变化的反应途径模拟.环境科学学报,1995,15(3):12-15
- 3 孙诤正.地下水污染——数学模型和数值方法.北京:地质出版社,1989:24-49
- 4 霍明远.地下水资源系统勘查技术与综合评价方法.北京:科学出版社,1992:29-33

(上接第30页)

$$W_{Cl} = 40000 \times \frac{10}{1000^2} \times 77\% \times 3000$$

$$= 924 \text{ 元/d}$$

(5) 节约运行费用 综合考虑动力和药剂费增、减值后,每d节约运行费为:

$$W_{运} = 924 + 280 - 542 = 662 \text{ 元/d}$$

则每t水降低运行成本费用为:

$$\frac{662}{40000} = 0.0166 \text{ 元/m}^3 = 1.66 \text{ 分/m}^3$$

(6) 节约成本费用 综合改建投资费用和节约的运行费用,生化工艺系统降低成本费为:

$$W_{成} = 1.66 - 1.25 = 0.41 \text{ 分/m}^3$$

若采用新建的生化工艺系统,则可进一步降低水处理成本.

4 结 论

(1) 改进后的生化工艺系统可明显节省加

矾、加氯量,不仅具有一定的经济效益,而且大大减少了三卤甲烷等可疑致癌物质在加氯消毒过程中的生成量.

(2) 传统工艺改建为生化工艺系统具有易于改建、投资省、运行费用低、操作管理方便等优点.

参 考 文 献

- 1 许建华等.微污染原水的生物接触氧化预处理技术研究.同济大学学报,1995,23(4):376-380
- 2 魏宏斌.氧化法去除水中有机物的研究与应用现状.中国给水排水,1996,12(5):19-21
- 3 K. Ho Lim and H. Sik Shin. Operating Characteristics of Aerated Submerged Biofilm Reactors for Drinking Water Treatment. Wat. Sci. Tech., 1997, 36(12): 101-108
- 4 Criddle C. S. The Kinetics of Cometabolism. Biotech. & Bioeng., 1993, 41(11): 1048-1055
- 5 Hoek J. P. et al. In Modern Methods of Potable Water Treatment Proc. Int. Conf., Czechoslovakia: Pribram, 1990: 22-24
- 6 余淦申.受污染水源的生物预处理技术及工程实例.给水排水,1996,22(4):19-21
- 7 李家就等.富营养化湖泊水源生物预处理研究.中国给水排水,1992,8(6):4-6