

官厅水库入库水生物接触 A/O 工艺试验

何星海, 武江津, 常丽春, 孙长虹, 刘桂中 (北京市环境保护科学研究院, 北京 100037, E-mail: xingga0011@sina.com)

摘要: 试验表明, 生物接触 A/O 工艺对官厅水库入库水中 COD、氨氮等污染物有明显的去除效果, 可以有效地改善官厅水库入库水的水质。在单位供气量 (空气/氨氮) $\geq 0.1 \text{ L/mg}$, 进水氨氮负荷 $\leq 0.08 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 的条件下, 处理后出水 COD 稳定在 30 mg/L 左右, 氨氮去除率 $> 60\%$, TN 的去除率为 $1.0\% \sim 31.3\%$ 。进水氨氮负荷是主要的控制参数, 应控制在 $\leq 0.08 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 。

关键词: 官厅水库; 生物接触 A/O 工艺; 进水氨氮负荷

中图分类号: X524; TU991.2 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2003)06-05-0125

Bio-Contact Oxidation A/O Process Experiment on Guanting Reservoir Water

He Xinghai, Wu Jiangjin, Chang Lichun, Sun Changhong, Liu Guizhong (Beijing Municipal Research Academy of Environmental Protection, Beijing 100037, E-mail: xingga0011@sina.com)

Abstract: The results of the experiments showed that biological contact A/O process had evident removal effect of contaminations such as COD ammonia nitrogen in water entering into Guanting Reservoir and could successfully resume the quality. Under the conditions that air supply flux (gas/ ammonia nitrogen) was more than 0.1 L/mg and influent ammonia nitrogen loading was lower than $0.08 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, effluent COD was steadily 30 mg/L around, ammonia nitrogen removal rate was higher than 60% , and TN removal rate was $1.0\% \sim 31.3\%$. The main control parameter was influent ammonia nitrogen loading, which was proposed to be lower than $0.08 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$.

Key words: Guanting Reservoir; bio-contact oxidation A/O process; influent ammonia nitrogen loading

官厅水库曾是北京市重要的饮用水水源地, 由于受上游及库区周边地区点源、面源污染物的严重污染, 水库水质不断恶化, 1997 年官厅水库被迫退出北京市饮用水供水系统^[1]。随着首都经济和社会的快速发展, 北京市水资源供需矛盾日益尖锐, 面对地下水严重超采, 地表水仅靠密云水库单一供水保障的严峻形势, 北京市提出恢复官厅水库饮用水源功能的治理与保护方针。

本研究采用生物接触氧化 A/O 工艺对官厅水库入库水进行试验研究, 探讨其对有机污染物、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TN 等主要污染物的处理效果, 为官厅水库流域水质改善规划方案的确定提供技术依据。

1 试验装置与方法

1.1 原水水质

本研究为现场取水在实验室进行试验。试

验原水取自官厅水库入库口八号铁路桥, 试验期间官厅水库入库水水质见表 1。

表 1 试验原水水质 / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

Table 1 Raw water quality / $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

项目	数值	项目	数值
COD	30.8 ~ 101.5	TN	8.7 ~ 33.4
BOD ₅	10.6 ~ 39.4	TP	0.12 ~ 0.52
$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	4.4 ~ 20.0	SS	23 ~ 179
TKN	5.8 ~ 26.0	pH	7.85 ~ 8.84

1.2 试验工艺流程

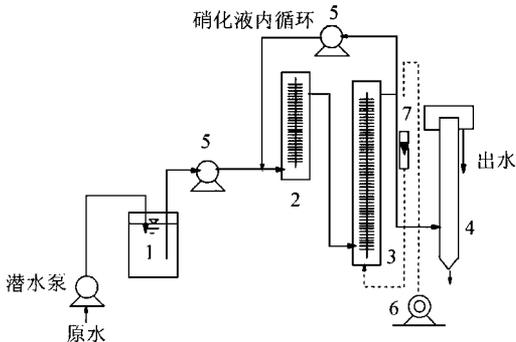
由表 1 可知, 官厅水库入库水污染严重, 主要污染物为 COD、BOD₅ 和氮类化合物。本试验采用生物接触 A/O 工艺, 以去除 COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$

基金项目: 科技部、水利部重大科技项目 (SCX2000-31-05-03); 北京市“二四八”重大科技攻关项目 (9550610400-05-03)

作者简介: 何星海 (1964 ~), 女, 硕士, 副研究员, 主要从事水污染治理技术与水环境标准的研究。

收稿日期: 2002-11-09; 修订日期: 2003-01-06

为主要目的,同时探讨脱氮的可能性.工艺流程见图 1.



1. 原水箱 2. 生物接触缺氧段 3. 生物接触好氧段
 4. 沉淀池 5. 计量泵 6. 气泵 7. 气体流量计
 图 1 官厅水库入库水生物接触 A/O 工艺试验装置流程

Fig.1 Flow diagram of bio-contact oxidation A/O experiment unit

1.3 试验装置

试验装置以生物接触 A/O 工艺反应器为主.缺氧段采用 $\phi 100\text{ mm} \times 1000\text{ mm}$ 的有机玻璃柱,填料高度 0.8 m,好氧段采用 $\phi 100\text{ mm} \times 2000\text{ mm}$ 的有机玻璃柱,填料高度 1.6 m.填料采用浙江省玉环县中兴水处理设备有限公司生产的 ZX 型弹性生物环填料.沉淀池为 $\phi 150\text{ mm} \times 1659\text{ mm}$ 有机玻璃制竖流式沉淀池.

1.4 分析项目与监测方法

试验期间主要监测项目包括 COD、BOD₅、NH₄⁺-N、TKN、TN、NO₃⁻-N、NO₂⁻-N 等项目,均按国家标准分析方法进行测定.

2 试验结果与分析

2.1 供气量对处理效果的影响

本试验研究了在常温条件下,总水力停留时间(缺氧段与好氧段之和)为 5.0h,回流比为 1:1,好氧段气水比分别为 0.7、0.9、1.5、2.0 和 2.8 时,试验装置对 NH₄⁺-N 和 COD 的去除效果.

2.1.1 供气量对 COD 去除效果的影响

不同气水比条件下,对 COD 去除效果见图 2.

从图 2 可知,不同气水比条件试验过程中,尽管进水 COD 波动较大,为 21.96 ~ 90.56

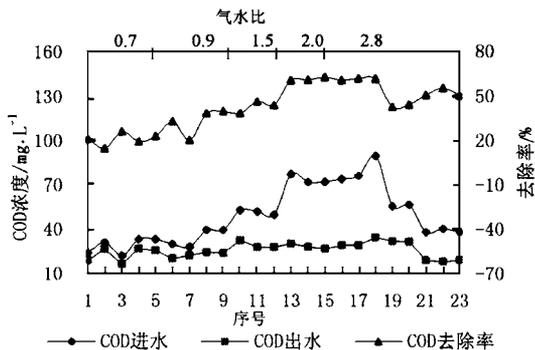


图 2 不同气水比条件下 COD 去除效果

Fig.2 COD removal effect under different gas / water ratio

mg/L,但出水 COD 较稳定,在 20.0 ~ 30.0 mg/L 之间.COD 去除率主要受进水 COD 的影响,进水 COD 较高时,COD 去除率较高,进水 COD 较低,COD 去除率也较低.气水比对 COD 去除效果的影响不明显.

2.1.2 供气量对 NH₄⁺-N 去除效果的影响

不同气水比条件下,对 NH₄⁺-N 去除效果的影响见图 3.

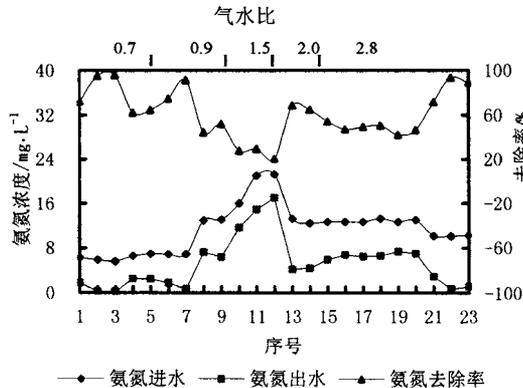


图 3 不同气水比条件下 NH₄⁺-N 去除效果

Fig.3 Ammonia nitrogen removal effect under different gas / water ratio

由于进水 NH₄⁺-N 较高且变化幅度较大,从图 3 很难直观反映出气水比对 NH₄⁺-N 去除效果的影响.

为客观评价供气量对 NH₄⁺-N 去除的影响,研究了不同单位进水 NH₄⁺-N 负荷供气量(供气量/进水 NH₄⁺-N 负荷)与 NH₄⁺-N 去除效果的关系.结果见图 4 和图 5.

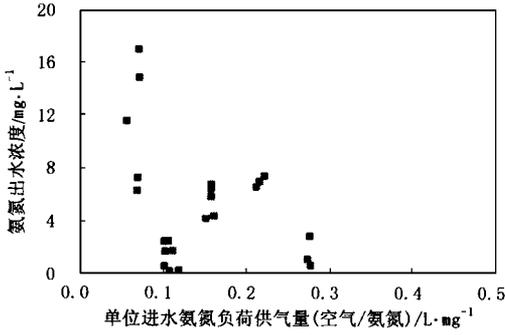


图 4 单位进水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 负荷供气量与出水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的关系

Fig. 4 Relation between effluent ammonia nitrogen concentration and air quantity per ammonia nitrogen influent load

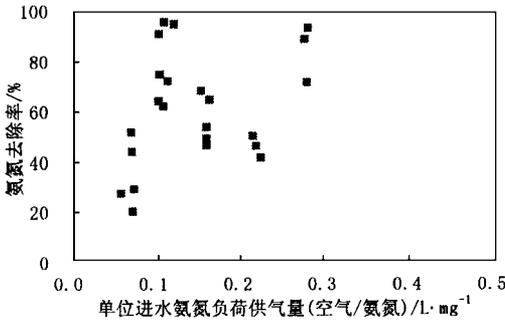


图 5 单位进水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 负荷供气量与 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 去除率的关系

Fig. 5 Relation between ammonia nitrogen removal ratio and air quantity per ammonia nitrogen influent load

由图 4 和图 5 可知,当单位供气量(空气/ $\text{NH}_4^+\text{-N}$) $< 0.1 \text{ L/mg}$ 时,出水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的浓度处于较高水平, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 去除率处于较低水平. 当单位供气量(空气/ $\text{NH}_4^+\text{-N}$) $\geq 0.1 \text{ L/mg}$ 时, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 去除率明显升高,且当供气量(空气/ $\text{NH}_4^+\text{-N}$) $> 0.1 \text{ L/mg}$ 后,再增加供气量对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的去除效果影响不大. 因此应控制单位供气量(空气/ $\text{NH}_4^+\text{-N}$) $\geq 0.1 \text{ L/mg}$.

2.2 水力停留时间对处理效果的影响

通过改变进水流量,研究不同水力停留时间对 COD 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的去除效果.

2.2.1 水力停留时间对 COD 去除效果的影响

不同水力停留时间对 COD 去除效果的影响见图 6.

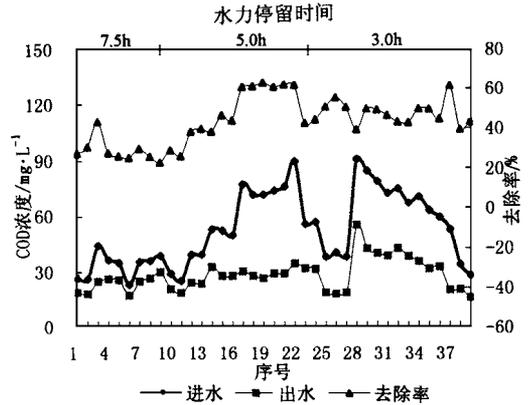


图 6 不同 HRT 对 COD 去除效果影响

Fig. 6 COD removal effect under different HRT

从图 6 可以看出,当 $\text{HRT} \geq 5.0 \text{ h}$ 时,尽管进水 COD 在 $23.2 \sim 89.5 \text{ mg/L}$ 之间波动较大,但其出水 COD 较稳定,基本上小于 30 mg/L , COD 去除率随进水 COD 增大而增加. 当 HRT 减少至 3.0 h 时,虽然进水 COD 在 $28.3 \sim 84.3 \text{ mg/L}$ 之间,与 $\text{HRT} \geq 5.0 \text{ h}$ 时的进水 COD 范围基本相同,但其出水 COD 明显升高,为 $20.3 \sim 55.0 \text{ mg/L}$,且不稳定. 因此,从对 COD 的去除效果看,应控制 $\text{HRT} \geq 5.0 \text{ h}$.

2.2.2 水力停留时间对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 去除效果的影响

由于本试验为现场取水试验,试验期间,进水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 波动较大,为 $3.41 \sim 21.28 \text{ mg/L}$,变化幅度近 7 倍. 为便于分析讨论,对同一停留时间的试验结果按进水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度进行了分段统计,结果见表 2.

从表 2 可知,在 $\text{HRT} = 7.5 \text{ h}$ 的条件下,由于进水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 较低,在 $3.41 \sim 6.27 \text{ mg/L}$ 之间,出水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 稳定,基本上小于 0.5 mg/L , $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 去除率在 90% 以上;在 $\text{HRT} = 5.0 \text{ h}$ 的条件下,随着进水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的升高, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 去除率急剧下降. 进水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 从 11.56 mg/L 上升至 14.03 mg/L ,浓度上升幅度为 21.4%, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 去除率由 65.4% 下降至 41.1%,下降了 24.2%;而在进水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 平均浓度相似的条件(11.56 mg/L 、 11.52 mg/L),将 HRT 由 5.0 h 减小至 3.0 h ,虽然 HRT 减小幅度为

40.0%，但 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 去除率由 65.4% 下降至 46.1%，只下降了 19.3%。由此可见，进水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 去除率的影响要大于 HRT 对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 去除率的影响。

表 2 不同 HRT 对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 去除效果的影响

Table 2 Ammonia nitrogen removal effect under different HRT

HRT/h	$\text{NH}_4^+\text{-N}$ 进水浓度/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$			$\text{NH}_4^+\text{-N}$ 出水浓度/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$			$\text{NH}_4^+\text{-N}$ 去除率/%		
	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值
7.5	6.27	4.56	5.46	0.58	0.08	0.19	98.6	90.8	96.7
	3.66	3.41	3.54	0.11	0.05	0.08	98.7	96.7	97.7
5.0	21.28	21.02	21.15	16.96	14.86	15.91	29.3	20.3	24.8
	16.00	12.99	14.03	11.06	6.32	8.39	51.8	27.5	41.1
	13.24	10.10	11.56	7.37	0.67	5.64	93.7	41.7	65.4
3.0	12.14	11.10	11.52	7.12	5.66	6.19	35.9	50.9	46.1

2.3 进水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 负荷对其处理效果的影响

不同进水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 负荷对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 去除效果的影响见图 7 和图 8。

$\text{NH}_4^+\text{-N}$ 负荷 $\leq 0.08\text{kg}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ ， $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 去除率可以稳定在 60% 以上，出水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 稳定在 3 mg/L 以下。当进水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 负荷 $> 0.08\text{kg}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ 时， $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 去除率明显下降，出水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度明显上升。因此应将进水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 负荷控制在 $\leq 0.08\text{kg}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ 。

2.4 系统脱氮效果

在常温回流比为 1:1 的条件下，试验装置的脱氮效果见图 9。

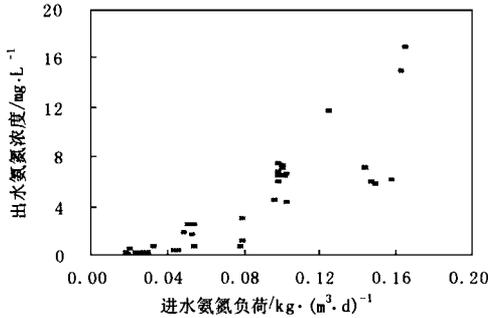


图 7 进水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 负荷与出水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的关系

Fig. 7 Relation between influent ammonia nitrogen load and effluent ammonia nitrogen

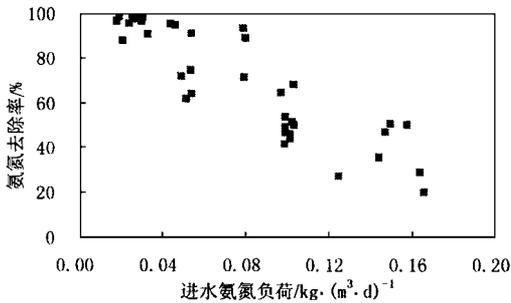


图 8 进水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 负荷与 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 去除率的关系

Fig. 8 Relation between influent ammonia nitrogen load and ammonia nitrogen removal ratio

由图 7 和图 8 可知，进水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 负荷对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的去除效果有很大影响。当进水

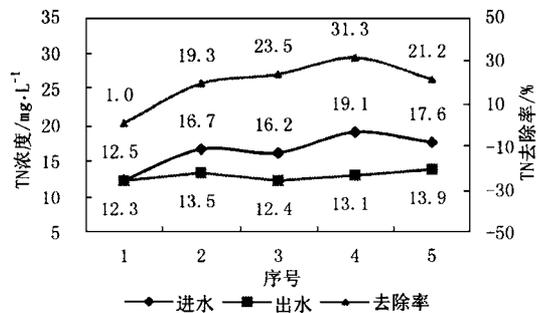


图 9 试验期间系统脱氮效果

Fig. 9 TN removal effect during experiment

从图 9 可知，系统有一定的脱氮效果，最高脱氮率达 31.3%，但系统脱氮率波动较大为 1.0% ~ 31.3%。由于进水 TN 在 12.3 ~ 19.1 mg/L 间变化，波动较大，通过对进水其它指标的分析，发现试验期间不仅 TN 变化大，C/N 的波动也较大，因此进水 TN 与 C/N 的变化可能是造成系统脱氮效果不稳定的主要原因。

3 讨论

(1) 官厅水库入库水的水质特点是污染严重,水质波动大.从试验结果可知,原水水质是影响处理效果最主要的因素,并且受原水 NH_4^+-N 的影响最大.分析其原因,主要是因为原水 NH_4^+-N 污染比 COD 严重,且变化幅度大.因此,对于官厅水库入库水的治理, NH_4^+-N 是主要控制因素.

(2) 由于原水中 NH_4^+-N 浓度高,且变化幅度大,气水比、停留时间不能真实反映试验装置的运行状态,不宜作为运行控制参数.水质变化大是受污染水源水的共同特点,应探讨适宜这类原水处理的运行控制参数.国内曾有学者提出应采用“ NH_4^+-N 负荷”设计微污染源水预处理生物接触氧化池池容^[2].本研究也认为采用进水 NH_4^+-N 负荷作为运行控制参数更为合理,因为其综合反映了进水 NH_4^+-N 与停留时间两者的影响.

(3) 目前对受污染水源水的治理多以除 NH_4^+-N 为主^[3~9],脱氮的研究较少.本研究采用 A/O 工艺做了些探讨,取得了一定的脱氮效果,但研究中发现由于原水中 DO 较高,一般为 4~5 mg/L,水中污染物难以消耗其中的 DO,因此 A 段很难维持 $\text{DO} < 0.5 \text{ mg/L}$.另外,由于原水 NH_4^+-N 较高, C/N 比较低,本研究试验期间, BOD_5/TKN 为 0.43~2.09,均小于理论值 2.86,也不利于 A/O 系统的脱氮处理,应进一步探讨适宜这类原水的脱氮处理方法.

4 结论

(1) 生物接触 A/O 工艺对官厅水库入库水

中 COD、 NH_4^+-N 等污染物有明显的去除效果.对 TN 也有一定的去除效果,可以有效地改善官厅水库入库水的水质.在单位供气量(空气/ NH_4^+-N) $\geq 0.1 \text{ L/mg}$, NH_4^+-N 进水负荷 $\leq 0.08 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 的条件下,处理后出水 COD 稳定在 30 mg/L 左右, NH_4^+-N 去除率 $> 60\%$, TN 的去除率为 1.0%~31.3%.

(2) 针对官厅水库入库水 NH_4^+-N 浓度变化大且对处理效果有较大影响的特点,认为应采用进水 NH_4^+-N 负荷作为主要运行控制参数,并建议进水 NH_4^+-N 负荷应控制在 $\leq 0.08 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$.

参考文献:

- 袁博宇.官厅水库水质现状及趋势分析.北京水利,2000,(5):29~31.
- 李怀正,傅威,白月华等.生物接触氧化预处理原水的设计参数.中国给水排水,2001,17(2):43~45.
- 梅翔.微污染源水生物接触氧化工艺的优化.上海:同济大学博士论文,1999.
- 肖羽堂.生物接触氧化工艺与常规净水工艺优化组合处理受污染原水生产性应用研究.上海:同济大学博士论文,1999.
- 张东,许建华,刘辉等.微污染原水的生物接触氧化预处理研究.中国给水排水,2000,16(12):6~9.
- 查人光,贺尧基等.生物接触氧化预处理在石臼漾水厂中的应用.给水排水,1999,25(3):9~11.
- 黄显怀,王占生,宋邦才等.巢湖原水生物接触氧化预处理的研究.给水排水,1996,22(8):15~18.
- 黄晓东,于正丰,王占生等.受污染珠江水的生物膜法预处理研究.给水排水,1998,24(7):35~37.
- Rahmani H, Rols J L, Capdeville B et al. Nitrite Removal by a fixed culture in a submerged granular biofilter. Wat. Res., 1995, 29(7):1745~1753.