

低 C/N 值污水处理的总氮达标研究

顾学林

(山东胜利水务有限责任公司, 山东 东营 257000)

摘要: 针对低 C/N 值污水处理出水总氮不能达标的问题,分析了生化池缺氧停留时间与反硝化速率等参数的设计问题,结合多运行模式的生化池设计,研究了回流混合液中溶解氧含量以及 A/O、A²/O 等不同运行模式对脱氮效果的影响。结果表明,在优化运行方案的基础上,采用投加碳源的方法,控制进水 COD/TN 值 > 5.8,可使出水 TN 浓度达到排放标准。

关键词: 低 C/N 值污水; 总氮; 缺氧停留时间; 反硝化速率

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)09-0096-04

Discharge Standard Achievement of TN in Treatment of Sewage with Low C/N Ratio

GU Xue-lin

(Shandong Shengli Water Affairs Co. Ltd., Dongying 257000, China)

Abstract: In the treatment of sewage with low C/N ratio, the total nitrogen failed to meet the discharge standard. Design issues related to the anoxic hydraulic retention time and denitrification rate in the biochemical tank were analyzed. In combination with the design of biochemical tank with multiple operation modes such as A/O and A²/O, the effect of dissolved oxygen concentration in reflux mixture on denitrification was studied. The results showed that, utilizing the optimal operation plan, when the COD/TN ratio was maintained beyond 5.8 by adding carbon source, the effluent TN could achieve the discharge standard.

Key words: sewage with low C/N ratio; TN; anoxic HRT; denitrification rate

1 污水厂概况

胜利油田南区污水处理厂设计规模为 6×10^4 m³/d,工程总投资为 2.9 亿元。主要工艺流程为:总泵站→细格栅及曝气沉砂池→A²/O 生化池→二沉池→提升泵房→高密度沉淀池→V 型滤池→紫外线消毒池。其主要构筑物为 2 座并联运行的 A²/O 生化池,设计平均水深为 5.85 m,单池设计见图 1。A²/O 生化池考虑了多点进水、多点回流的运行模式。1[#]、2[#]池为厌氧池,3[#]~8[#]池为缺氧池,9[#]、10[#]池为可变池,既设置了曝气装置,也设置了搅拌装置。污泥回流与混合液回流均可进入 1[#]池,也可进入 3[#]池,缺氧混合液可以回流进入 1[#]池,可灵活实现传

统 A²/O、UCT、倒置 A²/O 等工艺的转换。

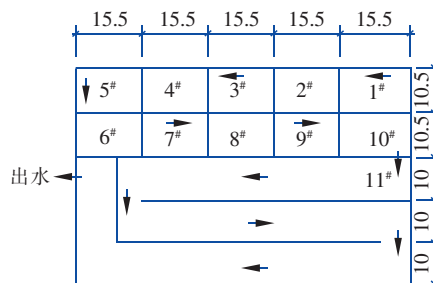


图 1 A²/O 生化池示意

Fig. 1 Schematic diagram of A²/O biochemical tank

设计进水 COD ≤ 350 mg/L、BOD₅ ≤ 180 mg/L、

$\text{NH}_3 - \text{N} \leq 45 \text{ mg/L}$ 、 $\text{TN} \leq 50 \text{ mg/L}$ 、 $\text{TP} \leq 4.0 \text{ mg/L}$;
出水 $\text{COD} \leq 50 \text{ mg/L}$ 、 $\text{BOD}_5 \leq 10 \text{ mg/L}$ 、 $\text{NH}_3 - \text{N} \leq 5 \text{ mg/L}$ 、 $\text{TN} \leq 15 \text{ mg/L}$ 、 $\text{TP} \leq 0.5 \text{ mg/L}$ 。

2015年10月开始调试运行,调试期间实际进水 $\text{COD} \leq 261 \text{ mg/L}$ 、 $\text{BOD}_5 \leq 65 \text{ mg/L}$ 、 $\text{NH}_3 - \text{N} \leq 33.7 \text{ mg/L}$ 、 $\text{TN} \leq 40.1 \text{ mg/L}$ 、 $\text{TP} \leq 4.5 \text{ mg/L}$;出水 $\text{COD} \leq 25.8 \text{ mg/L}$ 、 $\text{BOD}_5 \leq 8.2 \text{ mg/L}$ 、 $\text{NH}_3 - \text{N} \leq 0.3 \text{ mg/L}$ 、 $\text{TN} \leq 23.1 \text{ mg/L}$ 、 $\text{TP} \leq 0.45 \text{ mg/L}$ 。可以看出,污水厂出水TN不能达标。为此,笔者与污水厂运行管理人员一起进行了运行方案优化研究,试图通过改变运行模式、加设碳源投加装置等方法,实现污水厂出水水质稳定达到一级A标准。

2 问题分析与调试方法

2.1 水质问题

由上述分析可知,污水厂设计进水 BOD_5 浓度比实际进水 BOD_5 浓度偏高很多,COD/TN值设计为3.6,实际进水COD/TN值为1.95,由于碳源不足,无法给硝态氮提供足量的电子,导致反硝化不完全,出水硝态氮浓度偏高,这是造成出水TN浓度不达标的主要因素^[1-3]。

2.2 工艺设计问题

南区污水厂的 A^2/O 生化池单座容积为23 298 m^3 ,其中厌氧池为1 920 m^3 、缺氧池为7 601 m^3 、好氧池为13 777 m^3 ,设计MLSS为3 000 mg/L ,按照《室外排水设计规范》(以下简称《规范》)推算,如果日变化系数为1.1,则厌氧、缺氧、好氧池停留时间分别为1.4、5.5和10 h, $\text{HRT} = 16.9 \text{ h}$,好氧泥龄为9.8 d、缺氧泥龄为6.8 d, $\text{SRT} = 16.6 \text{ d}$,可推算出设计采用的反硝化速率 $K_{\text{de}(20)}$ 为0.064 $\text{kgNO}_3^- - \text{N}/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$ 。

《规范》规定 $K_{\text{de}(20)}$ 的取值范围为0.03~0.06 $\text{kgNO}_3^- - \text{N}/(\text{kgMLSS} \cdot \text{d})$,反硝化速率 K_{de} 与混合液回流比、进水水质、温度和污泥中反硝化菌的比例等因素有关,当混合液回流量大而带入缺氧池的溶解氧多时 K_{de} 取低值,当进水有机物浓度高且较易生物降解时 K_{de} 则取高值。本案例显然应取低值,如果取高值,将导致反硝化时间不足,反硝化不充分。而《规范》同时给出的缺氧停留时间经验值为0.5~3 h,这与按反硝化速率计算结果要求更长的反硝化时间有抵触。

2.3 试验方法

试验直接在生产工艺上进行。控制进水COD

浓度时,在进水端投加补碳剂(市售碳源产品,COD含量约为280 g/L)调节;控制回流混合液中溶解氧浓度时,调整好氧池曝气量;碳源投加点设置在1[#]池和3[#]池的进水端。

COD以重铬酸盐法检测; BOD_5 以稀释与接种法检测,因 BOD_5 检测费时,后期只检测COD(长期统计看,进水端B/C均值约为0.25);DO以碘量法检测;TN以碱性过硫酸钾消解-紫外分光光度法检测。试验期间,上述指标每天取样4次进行检测,结果取平均值。 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TP等参考项目每天则只检测1次。

3 调试结果与讨论

3.1 不同运行模式的脱氮效果比较

调试运行期间,为寻找脱氮效率最高的运行模式,利用30 d的时间,在污水厂两座生化池上进行了不同运行模式的脱氮效果比较。试验期间进水COD均值为272 mg/L 、 BOD_5 均值为68.9 mg/L ,外回流比为100%,内回流比为200%。按UCT模式运行时,缺氧混合液回流比为150%,进水TN平均为43.5 mg/L ,出水TN平均为32 mg/L ,脱氮率为26.4%;按倒置 A^2/O 工艺运行时,进水按各50%进入缺氧池和厌氧池,进水TN平均为40.3 mg/L ,出水TN平均为28.9 mg/L ,脱氮率为28.3%;按 A^2/O 模式运行时,进水TN平均为41.9 mg/L ,出水TN平均为24.3 mg/L ,脱氮率为42.0%。值得注意的是, A^2/O 模式比UCT模式的脱氮效率高,因为UCT模式更注重除磷,而 A^2/O 模式比倒置 A^2/O 模式脱氮效率高,其影响因素可能更复杂,是需要继续研究探索的。

3.2 降低回流混合液中溶解氧浓度的影响

尝试按照 A^2/O 模式运行,控制好氧池末端溶解氧浓度,降低回流混合液中的溶解氧。这期间进水COD为191~357 mg/L (平均浓度为270 mg/L),TN为29.3~46.1 mg/L (平均浓度为37.8 mg/L)。由于进水水质波动,又必须保证出水氨氮浓度达标,还因为较低的曝气量也会导致曝气池内污泥沉降,因此不便大幅度调整曝气量,溶解氧的控制不能精确调整。

图2为调试期间好氧池末端DO浓度与脱氮率的典型关系,对TN的平均去除率为45%,二者相关性系数 $R^2 = 0.8402$ 。由此可以看出,降低回流混合液的溶解氧浓度可以提高总氮去除率。

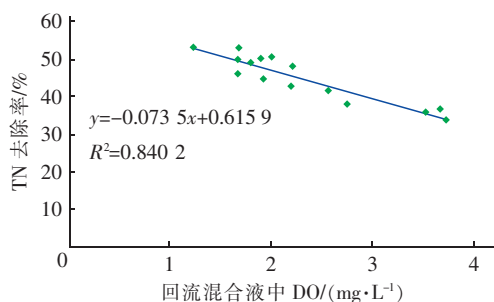


图2 回流混合液中溶解氧浓度与TN去除率的关系

Fig.2 Relationship between dissolved oxygen in reflux mixture and TN removal rate

3.3 增加缺氧时间对出水TN的影响

根据3.2节的分析,为进一步提高脱氮率,本研究在污水厂东工艺尝试按照A/O模式运行,生化池只保障脱氮,除磷的任务由后续工艺加药混凝、高密度沉淀池与V型滤池负责。进水与内、外回流混合液按一定分配比分别进入1#池和2#池,9#池和10#池按缺氧状态运行,缺氧停留时间达到6.9 h。西工艺仍按照A²/O模式运行,两条工艺进水量、水质基本一致,曝气量一致,控制外回流比为100%、内回流比为200%。表1为A/O模式与A²/O模式的脱氮效果对比,西工艺A²/O模式下脱氮率为53.6%,东工艺A/O模式下TN去除率提高到了59.8%。可以看出,增加缺氧时间有更高的总氮去除率。

表1 A/O模式与A²/O模式的脱氮效果对比

Tab.1 Comparison of denitrification effect between A/O and A²/O modes

项目	进水/(mg·L ⁻¹)		A/O		A ² /O	
	COD	TN	出水 TN/(mg·L ⁻¹)	TN去除率/%	出水 TN/(mg·L ⁻¹)	TN去除率/%
1	173.0	40.9	14.9	63.6	15.5	62.1
2	149.0	41.3	22.4	45.8	23.8	42.4
3	179.0	41.3	11.1	73.1	15.2	63.1
4	146.0	40.7	16.8	58.7	19.8	51.3
5	174.0	40.6	14.1	65.3	17.4	57.2
6	145.0	41.4	17.1	58.7	19.7	52.5
7	136.0	42.2	19.6	53.6	22.5	46.7
...
均值	158.9	41.2	16.6	59.8	19.1	53.6

3.4 投加补碳剂对出水TN的影响

比较3.1节与3.3节可以看出,进水COD浓度的差异对TN去除率影响很大。因为出水TN不能实现稳定达标,本研究考虑增加碳源投加装置,碳源

投加量参考进水TN与COD指标进行控制。根据《规范》条文6.6.17说明,“当污水中五日生化需氧量与总凯氏氮之比大于4时,可达理想脱氮效果”,据此计算的碳源投加量太高,试验调控投加碳源之后的COD与TN比值为6:1,在节约碳源成本的同时,满足出水TN<15 mg/L的要求。工艺按A/O模式运行,表2为调试运行稳定后的检测数据。

表2 投加补碳剂后的TN去除率

Tab.2 TN removal rate after adding carbon supplement

进水 TN/(mg·L ⁻¹)	总 COD/(mg·L ⁻¹)	COD/TN 值	出水 TN/(mg·L ⁻¹)	TN 去除率/%
33.02	188.22	5.79	11.82	64.08
35.96	216.58	6.15	11.05	69.24
34.10	208.25	6.23	9.84	70.59
34.56	199.70	5.78	13.22	62.89
35.44	206.73	5.84	12.16	65.29
39.74	236.96	5.97	11.54	68.50

根据表2可以绘出进水总COD与TN去除率以及进水COD/TN值与TN去除率的关系,见图3、4。

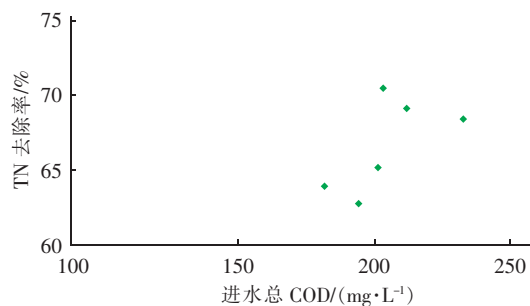


图3 进水总COD浓度与TN去除率的关系

Fig.3 Relationship between influent total COD and TN removal rate

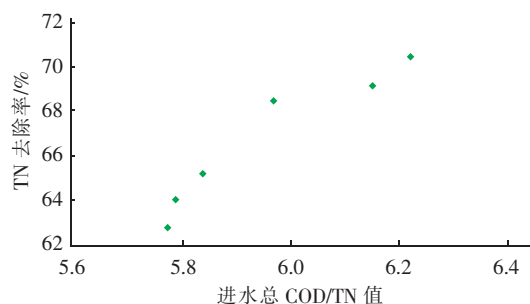


图4 进水总COD/TN值与TN去除率的关系

Fig.4 Relationship between influent total COD/TN ratio and TN removal rate

由图3可以看出,随进水总COD浓度的提高,TN去除率也会增高,但规律性不强。图4表达得很

明显,进水总 COD/TN 值越高,TN 去除率就越高。值得注意的是,在 COD/TN 值 > 5.8 时,就可获得 64% 的 TN 去除率,根据这个比值进行碳源投加,与《规范》建议的比值相比较,在保证出水 TN 浓度达标的前提下,可以节省大量的碳源投加费用。

4 结论

① 《规范》给出的 A^2/O 法脱氮除磷缺氧停留时间为 $0.5 \sim 3$ h,这个时间应适当放大,尤其对北方气温低、进水 C/N 值低的污水厂来说,缺氧脱氮时间更应该延长。《规范》推荐值为经验值,如果设计者不能正确理解,容易导致缺氧池偏小,使得出水 TN 浓度不能达标。

② 降低回流混合液的溶解氧浓度有利于提高总氮去除率。

③ 投加碳源,控制进水 COD/TN 值 > 5.8 ,可实现低 C/N 值污水达标排放。

参考文献:

- [1] 阳立平,李捷,于翔,等. 供氧方式对昆明市第四污水厂脱氮效果的影响[J]. 中国给水排水,2015,31(21):89-90,95.
Yang Liping, Li Jie, Yu Xiang, *et al.* Effect of different oxygen supply modes on nitrogen removal in Kunming Fourth Wastewater Treatment Plant[J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(21):89-90,95(in Chinese).
- [2] 阳立平,李捷,于翔,等. 进水方式对昆明第四污水厂脱氮效果的影响研究[J]. 中国给水排水,2015,31

(7):58-60.

Yang Liping, Li Jie, Yu Xiang, *et al.* Effect of different feed modes on nitrogen removal in Kunming Fourth Wastewater Treatment Plant [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(7):58-60(in Chinese).

- [3] 王永磊,李军,孙逊,等. 山东省某污水厂脱氮除磷工艺升级改造与运行[J]. 中国给水排水,2012,28(22):121-124.

Wang Yonglei, Li Jun, Sun Xun, *et al.* Upgrade and operation of nitrogen and phosphorus removal process in a sewage treatment plant in Shandong Province[J]. China Water & Wastewater, 2012, 28(22):121-124(in Chinese).



作者简介:顾学林(1966-),男,山东东营人,本科,高工,主要从事城市供水与污水处理工作。

E-mail:15105460687@163.com

收稿日期:2018-12-13

积极践行人与自然和谐共生理念
全面加强水生态文明建设