

# 碱度对生物脱氮工艺的影响及其调控

郑春华<sup>1</sup>, 耿安锋<sup>2</sup>, 李金国<sup>2</sup>

(1. 温州排水有限公司, 浙江 温州 325000; 2. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300381)

**摘要:** 以往污水处理厂设计中对碱度关注较少,在原污水 TN、NH<sub>3</sub>-N 浓度大幅度增大而排放浓度要求更低的条件下,TN、NH<sub>3</sub>-N 的处理成为目前污水处理厂设计、运行的主要矛盾之一,污水碱度是其重要影响因素之一。从硝化反硝化原理、碱度来源及其影响、污水处理工艺对碱度的影响、调整碱度药剂的选择等方面进行了论述,提出对污水处理过程中碱度的设计要求,以确保出水 NH<sub>3</sub>-N 达标。

**关键词:** 碱度; 硝化反硝化; 缓冲能力

**中图分类号:** X703 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2017)10-0034-03

## Role and Control of Alkalinity in the Process for Biological Nitrogen Removal

ZHENG Chun-hua<sup>1</sup>, GENG An-feng<sup>2</sup>, LI Jin-guo<sup>2</sup>

(1. Wenzhou Drainage Co. Ltd., Wenzhou 325000, China; 2. North China Municipal Engineering Design and Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300381, China)

**Abstract:** The importance of alkalinity is always neglected in the design process of wastewater treatment plant. Under the conditions of increasing influent TN, NH<sub>3</sub>-N concentration and the requirement of decreasing effluent concentration, controlling TN, NH<sub>3</sub>-N removal performance has become an issue in the design and operation of wastewater treatment plant. Then, as one of the important factors in the nitrogen removal process, alkalinity ought to be paid much attention. In this paper, all the following aspects have been discussed, such as the principle of nitrification/denitrification, source and effect of alkalinity, influence of wastewater treatment mode on alkalinity variation, and alkalinity controlling by chemicals. Finally, the requirement of alkalinity level and controlling in design process has been put forward to ensure the effluent NH<sub>3</sub>-N below the standard.

**Key words:** alkalinity; nitrification and denitrification; buffer capacity

我国改革开放以来,工业高速发展,人民生活水平快速提高,市政污水中的 TN、NH<sub>3</sub>-N 浓度大幅度增大。另一方面,国家、地方政府对污水处理厂污染物排放浓度要求更加严格,分别制定了国家、地方的《城镇污水处理厂污染物排放标准》。TN、NH<sub>3</sub>-N 的处理成为目前污水处理厂设计、运行的主要矛盾之一,近年来的调查发现,TN、NH<sub>3</sub>-N 出水不能达标的原因之一是污水中的碱度不足。因此对污水处理过程中碱度的调控非常重要。

### 1 硝化反硝化原理

生物脱氮工艺包括硝化和反硝化两个过程。亚硝化菌和硝化菌都是好氧自养菌,常以 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 和 CO<sub>2</sub> 为碳源。在硝化反应过程中,将 1 g 氨氮氧化为硝酸盐需要 4.57 g 氧,同时约消耗 7.14 g 碳酸盐碱度(以 CaCO<sub>3</sub> 计),以平衡硝化产生的酸度。同时,亚硝化菌和硝化菌的繁殖消耗部分 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 或 CO<sub>2</sub>。反硝化菌是一类化能异养兼性缺氧型微生物,其反应需在缺氧条件下进行,反硝

化菌利用有机物(如甲醇、乙酸钠等)为碳源。反硝化反应中每还原  $1\text{ g NO}_3^- - \text{N}$  可提供  $2.6\text{ g}$  的氧,同时产生  $3.47\text{ g}$  的碳酸盐碱度(以  $\text{CaCO}_3$  计)和  $0.45\text{ g}$  反硝化菌,消耗约  $3.0\text{ g}$  的  $\text{BOD}_5$ 。

## 2 碱度来源及其影响

碱度是指水中吸收质子的能力,通常用水中所含能与强酸定量作用的物质总量来标定。水中碱度的形成主要是由于重碳酸盐、碳酸盐及氢氧化物的存在。常用于评价水体的缓冲能力,在污水处理过程中, $\text{HCO}_3^-$  和  $\text{CO}_3^{2-}$  的相互转换控制污水 pH 值的变化。

pH 值是影响硝化反硝化作用的重要因素。硝化细菌对 pH 反应很敏感,在 pH 中性或微碱性条件下(pH 值为  $8 \sim 9$  的范围内),其生物活性最强,硝化过程迅速。当 pH 值  $>9.6$  或 pH 值  $<6.0$  时,硝化菌的生物活性将受到抑制并趋于停止。若 pH 值  $>9.6$ ,游离氨( $\text{NH}_3$ )的浓度会迅速增加,由于硝化菌对  $\text{NH}_3$  极其敏感,结果会影响到硝化作用速率。另外,亚硝化单胞细菌对氨毒性的敏感程度比硝化杆菌低,致使硝化过程部分完成,造成亚硝酸盐的积累,而亚硝酸盐对许多微生物有很强的毒性,但硝酸盐是没有毒性的,所以亚硝酸盐的积累使微生物活性受到抑制,从而影响污水的生物处理效果。在酸性条件下,当 pH 值  $<7.0$  时硝化作用速度减慢,pH 值  $<6.5$  时硝化作用速度显著减慢,硝化速率将明显下降。pH 值  $<5.0$  时硝化作用速率接近零。所以,在生物硝化反应器中,应尽量控制混合液 pH 值  $>7.0$ ,是生物硝化系统顺利进行的前提。而要准确控制 pH 值,在 pH 值  $<6.5$  时则必须向污水中加碱。在污水处理厂设计过程中应进行碱度核算。

污水处理工程中进行碱度核算应考虑以下几部分:入流污水中的碱度,生物硝化消耗的碱度,生物反硝化回收的碱度,分解  $\text{BOD}_5$  产生的碱度及生物池深度,污水处理过程中投加药剂(除磷剂等)对碱度的影响,以及混合液中应保持的剩余碱度。要使生物硝化反应顺利进行,必须满足剩余碱度( $\text{ALK}_E$ )  $>100\text{ mg/L}$  的要求,如果碱度不足,则必须投加碱性物质,补充碱度。投加的碱量可按下式计算:

$$\Delta \text{ALK} = (\text{ALK}_w + \text{ALK}_c) - (\text{ALK}_N + \text{ALK}_E + \text{ALK}_p) \quad (1)$$

式中  $\Delta \text{ALK}$ ——系统应补充的碱度,  $\text{mg/L}$

$\text{ALK}_N$ ——生物硝化消耗及反硝化回收的碱

量,一般按硝化  $1\text{ kg NH}_3 - \text{N}$  消耗  $7.14\text{ kg}$  碱,反硝化每  $1\text{ kg NO}_3^- - \text{N}$  (以实际发生量计)回收  $3.47\text{ g}$  碱计算

$\text{ALK}_E$ ——混合液中应保持的剩余碱量,一般按曝气池排出的混合液中剩余  $100\text{ mg/L}$  碱度(以  $\text{CaCO}_3$  计)计算

$\text{ALK}_w$ ——原污水中的总碱量,与自来水的水源(地下水、地表水)及城市所处地区有关,由原污水测定获得

$\text{ALK}_c$ —— $\text{BOD}_5$  分解过程中产生的碱量, $\text{ALK}_c$  与系统的 SRT、生物池池深等因素有关

$\text{ALK}_p$ ——污水处理过程中投加药剂(除磷剂等)消耗的碱量,与投加药剂的种类、药剂量有关

## 3 污水处理工艺对碱度的影响

由上述可知,污水处理厂污水处理工艺的选择对补充碱量的多少有直接影响。污水处理厂常用的除磷脱氮工艺有:前置反硝化(A/O 除磷脱氮系列)、多点进水反硝化(阶梯进水反硝化)、同步硝化反硝化(氧化沟系列)、交互反硝化、间歇反硝化(SBR 系列)、后置反硝化等。在进水 TN 浓度高而碱度低的条件下,为回收反硝化碱度,尽量避开后置反硝化工艺,如 CN—DN 生物滤池;在碳源紧张、出水 TP 要求高时,为减少除磷剂对碱度的消耗,宜采用后置除磷工艺。

## 4 调整碱度药剂的选择

在污水处理的硝化反硝化工艺中如果碱度不足,应选择调整碱度药剂并设置投加设施。药剂选择的依据是药剂的性能和可靠性以及药剂的价格、市场供应情况。其他影响因素还包括药剂的形态和包装、需要量等。

调整碱度常用药剂有熟石灰  $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ 、纯碱( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )。在污水处理的硝化反硝化过程中,关键是控制 pH 值。如果需要硝化的  $\text{NH}_3 - \text{N}$  浓度较低,产生的  $\text{H}^+$  含量小,需要混合液的缓冲能力就小,投加少量熟石灰维持混合液的 pH 值即可;相反,如果需要硝化的  $\text{NH}_3 - \text{N}$  浓度较大,需要混合液的缓冲能力大,否则 pH 值忽高忽低,影响微生物的活性从而对污水的处理效果造成影响。如果混合液能够保证足够的碱度,pH 值的波动范围就会很小。

因此需要补充碱量较小时,采用熟石灰,市场货源充沛且价格低。如果需要补充碱量较大时,建议采用纯碱,价格偏高但处理效果稳定。

## 5 计算实例

某污水处理厂采用协同沉淀辅助化学除磷的AAO处理工艺,污水处理量为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。进入生物池污染物浓度: $\text{BOD}_5 = 240 \text{ mg/L}$ 、 $\text{TN} = 80 \text{ mg/L}$ 、 $\text{NH}_3 - \text{N} = 50 \text{ mg/L}$ ,除磷药剂采用 $\text{FeCl}_3$ ,投加量为 $40 \text{ mg/L}$ ;碱度 $\text{ALK}_w = 300 \text{ mg/L}$ 。欲使出水中 $\text{BOD}_5 < 5 \text{ mg/L}$ 、 $\text{NH}_3 - \text{N} < 1 \text{ mg/L}$ 、 $\text{TN} < 10 \text{ mg/L}$ 。

试核算该硝化系统的碱度:

$\text{ALK}_w = 0.3 \times 10^5 = 30\,000 \text{ kg/d}$  (进水碱度为 $300 \text{ mg/L}$ )。

$\text{ALK}_c = (0.24 - 0.005) \times 10^5 \times 0.1 = 2\,350 \text{ kg/d}$  (按 $\text{BOD}_5 = 240 \text{ mg/L}$ 、降解每克 $\text{BOD}_5$ 产碱 $0.1 \text{ g}$ 计算)。

$\text{ALK}_N = [(0.067\,2 - 0.000) \times 7.14 - (0.067\,2 - 0.006) \times 3.47] \times 10^5 = 26\,744.4 \text{ kg/d}$ ,按 $1 \text{ kgNH}_3 - \text{N}$ 硝化消耗 $7.14 \text{ kg}$ 碱、反硝化 $1 \text{ kgNO}_3^- - \text{N}$ 回收 $3.47 \text{ kg}$ 碱计算。污泥合成消耗 $\text{TN} = 10.8 \text{ mg/L}$ ,按出水 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 为 $0 \text{ mg/L}$ 、有机氮为 $2 \text{ mg/L}$ 计算,出水 $\text{NO}_3^- - \text{N} = 6 \text{ mg/L}$ 。

$\text{ALK}_p = 0.06 \times 0.04/162.5 \times 100 \times 10^5 = 147.7 \text{ kg/d}$  (此部分影响较小,在估算时可忽略)。

$\text{ALK}_E = 0.1 \times 10^5 = 10\,000 \text{ kg/d}$  (按曝气池排出液中剩余 $100 \text{ mg/L}$ 碱度计算)。

$\text{ALK}_w + \text{ALK}_c = 32\,350 \text{ kg/d}$ ,  $\text{ALK}_N + \text{ALK}_E + \text{ALK}_p = 36\,892.1 \text{ kg/d}$ ,  $\text{ALK}_w + \text{ALK}_c < \text{ALK}_N + \text{ALK}_E + \text{ALK}_p$ 。因此,该硝化系统内碱源不足。如果不外加碱源,pH值将降低,抑制硝化反应的进行,出水 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 超标。如果外加碱源,则投碱量为: $\Delta \text{ALK}$

$= 36\,892.1 - 32\,350 = 4\,542.1 \text{ kgCaCO}_3/\text{d} = 4\,814.6 \text{ kgNa}_2\text{CO}_3/\text{d}$ 。

即每天需向来水中投加 $4\,814.6 \text{ kg}$ 的碱源 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,具体可根据纯碱的有效成分,换算出纯碱的投加量。在污水处理厂运行中应该经常检查进、出水的 $\text{TN}$ 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 含量和纯碱投加量。

## 6 结语

在原污水 $\text{TN}$ 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 浓度大幅度增大而排放浓度要求更低的条件下, $\text{TN}$ 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 的处理成为目前污水处理厂设计、运行的主要矛盾之一,必须重视原污水碱度、处理工艺对碱度的影响,监测碱度在処理流程中的变化,确保出水 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 稳定达标。

## 参考文献:

- [1] 郑兴灿,李亚新. 污水除磷脱氮技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1998.



作者简介:郑春华(1967—),男,浙江温州人,高级工程师,主要从事给排水专业设计和管理工作。

E-mail: zch917@126.com

收稿日期:2017-03-30

大力推行节约用水,全面建设节水型社会