

污水脱氮工艺外部碳源投加量计算方法探讨

郭小春

(上海市市政工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092)

摘 要: 为准确预测外部碳源的投加量,对污水厂进水的的水质指标进行相关性分析,发现采用设计进水水质作为碳源投加工况设计水质是不合理的。为此,提出了一种预测碳源投加工况设计水质的方法,同时借鉴德国 ATV 标准中单段活性污泥法脱氮工艺的外部碳源投加量计算方法,并将该计算方法应用于南方某污水厂二期工程设计中,结果表明该污水厂 2018 年全年实际碳源投加量与设计值基本吻合。

关键词: 污水脱氮; 单段活性污泥法; 外部碳源; 计算方法

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)13-0097-04

Discussion on Calculation Method of External Carbon Source Dosage in Sewage Denitrification Process

GUO Xiao-chun

(Shanghai Municipal Engineering Design Institute <Group> Co. Ltd., Shanghai 200092, China)

Abstract: The correlation analysis of influent quality indicators was carried out to accurately predict the dosage of external carbon source in sewage treatment plants. It was found that it was unreasonable to use the design water quality for determining the carbon source dosage. A method for predicting carbon source dosage based on design water quality was proposed. Meanwhile, external carbon source dosage calculation method of single-stage activated sludge denitrification process in German ATV standard was used for reference, and the calculation method was applied to the second stage engineering design of a sewage treatment plant in South China. The results indicated that the actual carbon source dosage of the sewage treatment plant in 2018 was basically consistent with the design value.

Key words: sewage denitrification; single-stage activated sludge process; external carbon source; calculation method

随着污水排放标准的提高,我国城镇污水处理厂对出水中氮浓度的要求越来越严格。与其他可供选择的脱氮途径(吹脱、折点氯化法和离子交换)相比较,生物脱氮技术通常成本较低且应用更为普遍,但是也受到多种因素的制约。据统计,目前大多数城镇污水处理厂的进水中碳源不能满足生物脱氮的需求^[1]。

污水中碳源不足严重影响了脱氮效率,投加外部碳源是常用的运行措施。污水处理厂外部碳源投

加量与污水厂的进水水质、水温、生化反应系统设计参数等诸多因素有关,然而国内规范和设计手册均未给出单段活性污泥法脱氮工艺外部碳源投加量的计算方法。而准确计算外部碳源投加量,对于指导碳源投加设备选型和污水厂经济、稳定运行具有重要的意义。

因此,笔者根据国外相关工程规范,并结合国内工程实例,提出了一种新的外部碳源投加量计算方法,旨在为相关工程提供参考。

1 污水厂进水水质预测

1.1 南方某污水厂二期工程设计进水水质预测

鉴于该污水处理厂二期工程与一期工程共用一根进水总管,故参考一期工程2015年1月—12月实际进水水质预测二期工程设计进水水质。一期工程2015年实际进水水质:COD为54~471 mg/L,平均值为232 mg/L;BOD₅为25~259 mg/L,平均值为93 mg/L;SS为28~316 mg/L,平均值为101 mg/L;NH₃-N为1~41.2 mg/L,平均值为24 mg/L;TN为4~61.2 mg/L,平均值为31 mg/L;TP为1~14.1 mg/L,平均值为4 mg/L。

城市污水处理厂的设计进水水质一般可采用进水水质指标浓度85%~90%的保证率进行预测^[2]。二期工程设计进水中主要污染物指标保证率取85%,根据统计分析后确定二期工程的设计进水水质,具体如下:COD为350 mg/L,BOD₅为140 mg/L,SS为205 mg/L,NH₃-N为33 mg/L,TP为6 mg/L,TN为42 mg/L。

1.2 进水水质指标相关性分析

针对一期工程2015年1月—12月实际进水COD、BOD₅和TN值,采用最小二乘法进行回归分析,并建立相应的回归方程,得到各进水水质指标之间的相关关系。分析结果表明,进水COD与BOD₅的线性关系为 $BOD_5 = 0.3866COD - 3.5617$ ($R^2 = 0.7955$),进水TN与BOD₅的线性关系为 $BOD_5 = 3.0821TN + 3.6819$ ($R^2 = 0.3836$)。可见,BOD₅与COD之间的线性拟合较好,BOD₅与TN的线性拟合程度偏低。郭泓利等人^[3]选取了全国19个省市自治区127座污水处理厂为研究对象,分析进水水质指标之间的相关性,其结果与本研究一致。

虽然污水厂设计进水水质可以很好地指导污水处理构筑物的设计和设备选型,但是由于进水BOD₅与TN之间线性相关性较差,所以将设计进水水质作为污水脱氮工艺补充碳源投加量的计算是不合理的。需要预测适用于计算污水脱氮工艺外部碳源投加量的进水水质。

1.3 碳源投加工况设计水质的预测

由于影响反硝化脱氮反应的主要水质指标是进水中的BOD₅和TN,因此碳源投加工况设计水质主要围绕BOD₅和TN进行讨论。一期工程2015年1月—12月的BOD₅/TN月平均值如图1所示。可知,全年BOD₅/TN月平均值在11月份最小。因此,

以11月份BOD₅和TN的月平均值(分别为70和30.4 mg/L)作为碳源投加工况设计水质。

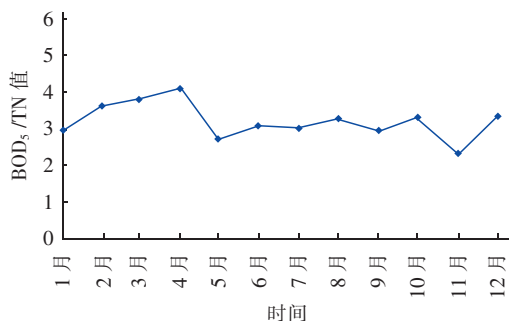


图1 2015年一期工程进水BOD₅/TN月平均值

Fig. 1 Monthly average BOD₅/TN of influent of the first stage engineering project in 2015

2 污水脱氮工艺外部碳源投加量计算

《给水排水设计手册》(第5册)中介绍了多段活性污泥法脱氮工艺外加碳源(甲醇)的计算方法。但国内污水处理厂普遍应用单段活性污泥法,如氧化沟、A/O、AAO、SBR等生物脱氮工艺。由于单段活性污泥法的除碳和脱氮过程在同一生物反应池中完成,故单段活性污泥法的生物菌群系统较多段活性污泥法的更加复杂,影响反应效率的因素更多。如果生搬硬套多段活性污泥法脱氮工艺的外部碳源投加计算方法肯定是不合适的^[4]。为此,本研究借鉴了德国ATV-DVWK规范及标准中的ATV-A131E“单段活性污泥法污水处理厂的设计”,推荐了一种适用于单段活性污泥脱氮工艺的外部碳源投加量计算方法。

2.1 生化系统中氮平衡计算

图2为污水处理厂中生化系统的氮平衡示意。

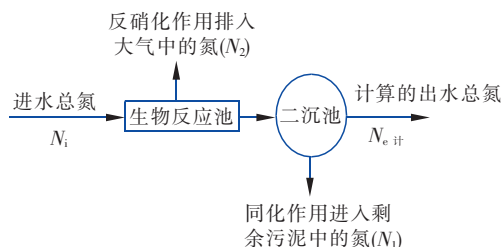


图2 生化系统氮平衡示意

Fig. 2 Schematic diagram of nitrogen balance in biochemical system

该氮平衡是将整个生化系统(生物反应池+二沉池)看成一个封闭系统,进入这个系统的氮等于排出这个系统的氮,即质量守恒。为简化计算,系统

内的硝化液回流、污泥回流因不涉及进、出系统,所以不予考虑^[4]。

微生物同化作用进入剩余污泥中的氮(N_1)按BOD₅去除量的5%计,见式(1)。

$$N_1 = 0.05(S_i - S_e) \quad (1)$$

式中, S_i 和 S_e 分别为生化系统进水和出水的BOD₅浓度。

生化系统进水BOD₅的浓度和生物反应池缺氧池容积大小均会影响反硝化作用对氮的去除效果。德国ATV-A131E标准中将生物反应池通过反硝化作用去除的氮浓度与生物反应池进水BOD₅浓度之比定义为反硝化设计标准值,表示为 $K_{de,BOD}$,其计算见式(2)。

$$K_{de,BOD} = \frac{N_2}{S_i} \quad (2)$$

式中, N_2 为生物反应池通过反硝化作用去除的硝酸盐氮,mg/L。

从理论上讲,反硝化1 kg的硝酸盐氮需要消耗2.86 kg的BOD₅,即 $K_{de,BOD} = 0.35$ 。但在实际工程中,单段活性污泥法缺氧池中微生物菌群系统复杂,进入缺氧池的BOD₅不可能全部被反硝化菌利用,能被用来进行反硝化脱氮反应的只有一小部分,实际 $K_{de,BOD}$ 远小于0.35。ATV-A131E标准通过总结实际工程的数据,提出了可供工程实际应用的反硝化设计标准值,见表1(水温为10~12℃)。

表1 反硝化设计标准值

Tab.1 Standard values of denitrification design

V_D/V_{AT} 值	$K_{de,BOD}$	
	设缺氧区的反硝化 (或类似工艺)	同时或间歇反硝化
0.2	0.11	0.06
0.3	0.13	0.09
0.4	0.14	0.12
0.5	0.15	0.15

注: V_D 为缺氧池容积, V_{AT} 为缺氧池容积与好氧池容积之和;当水温高于12℃时,水温每升高1℃,反硝化设计标准值增大1%;若采用进水COD计算时,可按照 $K_{de,COD} = 0.5K_{de,BOD}$ 。

综上所述,生化系统中氮平衡方程可以表示为式(3)。

$$N_i = N_1 + N_2 + N_{eif} = 0.05(S_i - S_e) + K_{de,BOD}S_i + N_{eif} \quad (3)$$

式中, N_i 为生化系统中进水总氮浓度,mg/L; N_{eif} 为根据生化系统的设计参数计算所能达到的出

水总氮浓度,mg/L。

2.2 外部碳源投加量计算方法简介

单段活性污泥法中的菌群环境复杂,投加在缺氧区的碳源无法被反硝化细菌全部利用,德国ATV标准规定:反硝化1 kg的硝酸盐氮需要5 kg的COD,这是从大量工程实践中得出的经验数据,详见式(4)。

$$C_m = 5N \quad (4)$$

式中, C_m 为外部碳源投加量(以COD计),mg/L; N 为需要依靠外部碳源反硝化去除的硝酸盐氮量,mg/L。

目前污水厂常用的外部碳源有甲醇、乙酸、乙酸钠等。为方便计算各种外加碳源的投加量,式(4)中 C_m 以COD计。 N 的计算见式(5)。

$$N = N_{eif} - N_s \quad (5)$$

式中, N_s 为二沉池出水中总氮的设计排放浓度,mg/L。

3 二期工程外部碳源投加量计算

3.1 外部碳源投加量设计参数

二期工程设计处理规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,脱氮采用改良的AAO工艺。根据1.3节,生物反应池碳源投加工况的设计水质:BOD₅ = 70 mg/L,TN = 30.4 mg/L,水温为12℃;二沉池出水BOD₅ ≤ 10 mg/L,出水TN ≤ 10 mg/L;外部碳源拟采用乙酸,乙酸的COD当量以1.07 kgCOD/kg乙酸计。

首先确定生物反应池 V_D/V_{AT} 值,二期工程设计进水TN为41 mg/L,属于中等浓度, V_D/V_{AT} 值宜取0.3或0.4,本工程按照0.4计算。

当 V_D/V_{AT} 值 = 0.4时,根据表1可得 $K_{de,BOD} = 0.14$,代入式(3)可得: $N_{eif} = N_i - 0.05(S_i - S_e) - K_{de,BOD}S_i = 30.4 - 0.05 \times (70 - 10) - 0.14 \times 70 = 17.6 \text{ mg/L}$ 。代入式(5)可得: $N = 17.6 - 10 = 7.6 \text{ mg/L}$ 。代入式(4)可得: $C_m = 5 \times 7.6 = 38 \text{ mgCOD/L}$ 。乙酸投加量 = $38/1.07 = 35.51 \text{ mg/L}$,设计取40 mg/L。

3.2 实际运行效果

该污水处理厂二期工程于2017年底通水运行,2018年全年出水水质稳定达标。2018年全年进、出水TN和碳源投加量的变化如图3所示。可以看出,全年碳源投加量主要集中在旱季(11月和12月),最大投加量为38.5 mg/L,与设计值(40 mg/L)基本吻合。

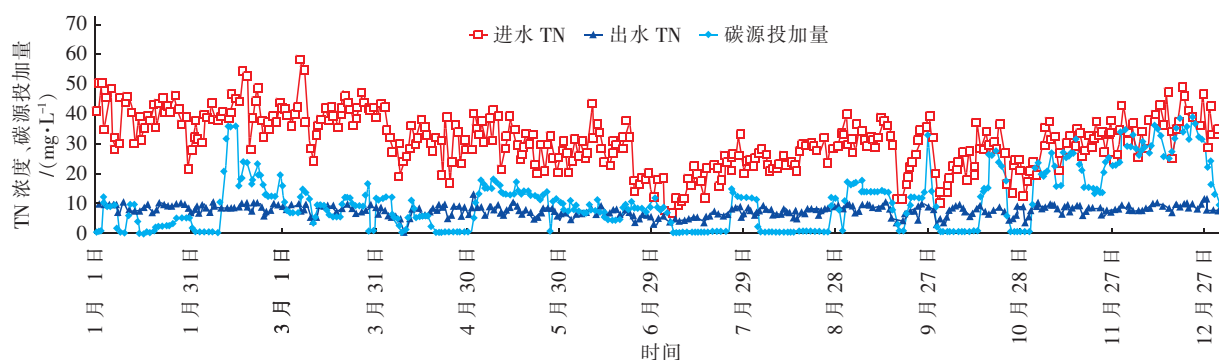


图3 2018年TN和碳源投加量的变化

Fig.3 Change of TN concentration and carbon source dosage in 2018

4 结论

① 由于污水处理厂进水 BOD_5 与 TN 的线性相关程度较低,故采用设计进水水质作为碳源投加工况设计水质是不合理的。本研究认为应先找出全年进水 BOD_5 /TN 月平均最低值发生的月份,再以该月份 BOD_5 和 TN 的月平均值作为碳源投加工况设计水质。

② 国内规范和设计手册均未给出单段活性污泥法脱氮工艺外部碳源投加量的计算方法,本研究借鉴德国 ATV 标准,推荐了一种适用于单段活性污泥法脱氮工艺外部碳源投加量计算的方法。

③ 污水处理厂二期工程 2018 年的实际运行数据表明,提出的单段活性污泥法脱氮工艺外部碳源投加量计算方法是可行的,可供相关工程参考。

④ 污水厂脱氮工艺外部碳源投加量不足会导致污水厂出水 TN 超标,碳源投加过量则会造成药剂的浪费,同时面临出水 COD 超标的风险。为保证出水 COD 达标,需增大好氧池的曝气量,那么将增加电耗,提高污水运营成本。因此,准确计算外部碳源投加量对指导碳源投加设备选型和污水厂经济、稳定运行具有重要意义。

参考文献:

- [1] 孙永利,许光明,游佳,等. 城镇污水处理厂外加商业碳源的选择[J]. 中国给水排水,2010,26(19):84-86.
Sun Yongli, Xu Guangming, You Jia, *et al.* Selection of external carbon source for municipal wastewater treatment plant[J]. China Water & Wastewater, 2010, 26(19): 84-86 (in Chinese).
- [2] 鞠兴华,王社平,彭党聪. 城市污水处理厂设计进水水质的确定方法[J]. 中国给水排水,2007,23(14):48-51.

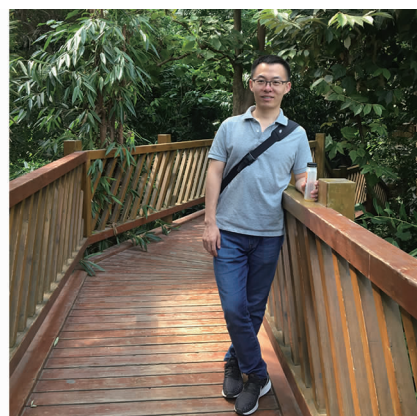
Ju Xinghua, Wang Sheping, Peng Dangcong. Determination methodology for design influent quality of municipal wastewater treatment plant[J]. China Water & Wastewater, 2007, 23(14): 48-51 (in Chinese).

- [3] 郭泓利,李鑫玮,任钦毅,等. 全国典型城市污水处理厂进水水质特征分析[J]. 给水排水,2018,44(6):12-15.

Guo Hongli, Li Xinwei, Ren Qinyi, *et al.* Analysis on characteristics of influent water quality of typical municipal sewage treatment plants in China[J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 44(6): 12-15 (in Chinese).

- [4] 周丹,周雹. 污水脱氮工艺中外部碳源投加量简易计算方法[J]. 给水排水,2011,37(11):38-41.

Zhou Dan, Zhou Bao. Simple calculation method for the outside carbon source dosage for nitrogen removal process in wastewater treatment [J]. Water & Wastewater Engineering, 2011, 37(11): 38-41 (in Chinese).



作者简介:郭小春(1988-),男,新疆乌苏人,硕士,工程师,从事给排水工程设计与咨询工作。

E-mail: guoxiaochun@smedi.com

收稿日期:2019-02-23