

城镇污水处理厂提标改造的几点思考

陈立^{1,2},李成江¹,郭兴芳^{1,2},申世峰¹,张玲玲¹,朱开东^{1,2}

(1.中国市政工程华北设计研究总院 天津 300074; 2.国家城市给水排水工程技术研究中心 天津 300074)

摘 要 笔者在 2008 年江苏省太湖流域城镇污水处理厂除磷脱氮提标改造技术攻关示范科研项目中承担了“碳源投加研究”、“低温生物脱氮效果研究”2 个课题,参与了“强化生物处理技术研究”课题,参编了《江苏省太湖流域城镇污水处理厂提标建设技术导则》。在江苏省示范科研项目立项的过程中,笔者所在单位在相关污水处理厂进行了大量基础性试验研究、工程设计与工程性研究。总结这些工作,围绕污染物排放标准、污水厂达标的瓶颈以及前期试验研究的必要性等热点问题,笔者提出了自己的见解,以期相关行业的研究和技术应用提供参考。

关键词 碳源;低温;生物脱氮

中图分类号 X703.1;X799.3

文献标识码 B

文章编号 :1000-3770(2011)09-0120-003

太湖流域是国家重点控制的污染区域,特别是在 2007 年的太湖蓝藻爆发之后,全面提高太湖周边污水处理厂出水标准已经刻不容缓。江苏省为了完成对太湖流域 139 个已投运、30 个在建的城镇生活污水处理厂的除磷脱氮改造,投入 2000 万研究经费,组织了江苏省太湖流域城镇污水处理厂除磷脱氮提标改造技术攻关示范科研项目的工作,并已取得良好的阶段性成果。

在此过程中,显现一系列热点问题:污染物排放标准与水体富营养化控制存在什么样的关系?污水处理厂达标排放的瓶颈问题是什么?试验研究在工程的前期是否必要?通过总结以往工作,可以探讨对这些问题的答案。

1 排放标准与富营养化的关系

随着我国经济高速发展,污染物排放标准也在不断提高,从最初的控制 COD、BOD、SS,发展到营养盐氮、磷的控制,再到营养盐的从严控制,应该说所遇到的问题也是发达国家在发展中曾经遇到的问题(美国敏感水体排放标准限值:TN<3 mg·L⁻¹,TP<0.1 mg·L⁻¹;欧盟水体排放标准限值:TN<10 mg·L⁻¹,TP<1 mg·L⁻¹,BOD<25 mg·L⁻¹;日本大阪湾排放标准限值:BOD<8 mg·L⁻¹,TN<8 mg·L⁻¹,TP<0.8 mg·L⁻¹),既非前无古人,亦非后无来者,因此发达国家的足迹值得

我们去探索。

围绕污染物排放标准讨论的热点问题是,有关氮、磷的营养盐指标是否有必要一律从严?换言之,水体富营养化的关键控制因子究竟是氮还是磷,或二者兼有?从藻类生长所需的营养盐比例来看,依据其生长影响因素的最小量控制原理,水体富营养化的关键控制因子应该是磷。笔者以往的研究表明^[1],人工水体富营养化表现为磷限制,国外研究^[2-3]也表明蓝藻的固氮能力可以缓解湖泊中氮紧缺的问题,使湖泊仍处于磷限制的状态。但与湖泊相比,河口和沿海海洋可以表现为磷限制、氮限制或两种共同限制,而且可能随季节和空间不同而变化:在淡水和咸水交汇面上,磷通常是限制因子,夏季快速循环的藻类繁殖受到水体中或底泥释放的磷的支持,从而导致氮限制的发生。沿海水生系统因为盐浓度的上升,为底泥中的微生物还原提供了硫酸盐,由此造成了大量磷的释放,导致氮限制的发生。因此如果在淡水中仅控制磷而忽视氮可能会导致更多的氮转移到下游,加剧河口和沿海生态系统中的富营养化问题。

考察发达国家的发展进程,其排放标准的变化、管理重点的转移(比如,美国的点源排放标准由“基于技术”转向“基于水体”)值得深思,笔者认为,氮、磷营养盐排放标准的双重控制和继续提升是未来发展的趋势,同样在借鉴发达国家经验的同时亦

收稿日期 2011-12-29

作者简介 陈立(1962—),女,博士,教授级高级工程师,研究方向为给排水工程与技术

联系电话 022-23545382;E-mail:cltj@sina.com

不可以盲目照搬他人的成果,而应该以积极应对的态度,在自身经济水平不断提高的今天和明天,更加注重我国重点水域富营养化问题的深入跟踪监测研究,踏踏实实地取得这些水域的基础数据,健全本国不同水域的基础数据库,从而为这些水域的富营养化控制奠定坚实的基础,也为相关标准中营养盐限值的确定提供更多的数据支撑。

2 污水处理厂达标排放的瓶颈问题

根据 2009 年的抽样统计分析^[4],我国 60% 以上的污水厂其碳氮比低于 4。笔者的研究表明,进水水质中碳氮比偏低造成反硝化难以完成^[5],低温条件下硝化与反硝化速率的大幅下降造成脱氮难以完成^[6];专项调研表明^[7]江苏省太湖流域污水处理厂污水水温变化范围是 9.6~31℃,污水水温 <12℃ 的年概率约为 9%;因此污水处理厂达标排放所面临的瓶颈问题是低碳源与低水温的问题。

2.1 低碳源应对技术

低碳源应对技术^[5]包括内碳源开发和外碳源利用两部分内容,其中内碳源开发包括预处理单元的设置、剩余污泥利用等内容,外碳源的利用包括商业碳源选择、廉价碳源利用等内容。

2.1.1 内碳源开发

研究表明,初沉池设置对后续生物除磷脱氮系统有两方面的影响。初沉池在去除悬浮物的同时也损失部分碳源,会减少部分生物除磷脱氮所需总碳源,当初沉池的停留时间由 2 h 降至 0.5 h,可使其出水有机物的去除率降低 10% 以上,但同时初沉池的设置因去除了部分无机物,使得后续生物处理系统污泥的碳氧化和硝化活性有所提高,硝化速率亦有所提高,因此,单就生物除磷脱氮效果而言,不设初沉池更有利(TN 去除率平均提高 2%~7%),但考虑到建筑废水等所产生的无机悬浮物对污水厂相关设备造成的损坏,初沉池不宜取消,而要灵活设置、灵活运行。

进一步的深化研究表明,合理设置、灵活运行初沉池,可以弥补其所带来的碳源不利影响。适当地提高初沉池的表面负荷在 $2 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ 以上,将沉降时间控制在 0.5 h 至 1 h 之内,有机物的去除率可以适当降低,而悬浮物的去除率可达到 60% 以上;同时当 SS 质量浓度 $<400 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 而碳源不足时,可以考虑部分或全部超越初沉池;当 SS 质量浓度 $>400 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 而碳源不足时,不宜考虑全部超越初沉池,而要采用初沉池发酵黑液利用、二沉出水回流至初沉

池等强化脱氮措施灵活运行;这些方法能将系统 TN 去除率提高 5%~20%,其脱氮效果优于不设初沉池系统。

其他的内碳源开发技术还有水解池作为预处理单元的设置、污泥消化水解和超声波热解等技术,由于这些研究尚在进展中,因此选择这些技术时需要特别注意的是要通过现场试验对预处理单元出水的有效碳氮比和全系统的脱氮效率进行核算,对污泥的来源和投碳目的工艺分别进行碳、氮、磷的物料衡算,当可用碳源相对需去除的氮、磷而言足量时,将其作为反硝化碳源才是可行的。

2.1.2 外碳源利用

研究表明,向缺氧区投加甲醇、乙酸、乙酸钠,其反硝化速率可提高到 1~2 倍;其中甲醇适合长期投加,其反硝化速率会因专性甲醇菌的驯化而得到提高,而乙酸钠适合短期投加,其反硝化速率为 3 者中最大,而其中不同碳源混合投加,反硝化速率将得到更大提高。

从甲醇、乙酸、乙酸钠 3 种商业碳源的主要优点(所需的投加量、反硝化速率提高的幅度以及价格成本)看,相对来说乙酸钠适应性强、效果优,而甲醇适应期长、价格优,二者作为外加碳源较适宜,糖类同样可以作为外加碳源,只是由于其反硝化速率较低,更适用于占地不受限的项目,因此不作为快速碳源推荐。

外加碳源可优先考虑含小分子有机酸、醇类和糖类的工业废水如酒业废水、制药废水等,不足部分再辅以乙酸盐、甲醇、乙醇等商业碳源。

玉米芯、树枝和刨花等廉价的农业废弃物作为反硝化的碳源物质,属于大分子慢速反硝化有机碳源,适用于常温、占地不受限制的项目,其工程性应用还有待进一步的实践。

2.2 低温应对技术

研究表明^[6],低温条件下活性污泥的硝化与反硝化速率的大幅下降,水温低于 12℃ 时,污泥的硝化速率一般在 $0.6 \sim 0.8 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 左右,反硝化速率在 $0.5 \sim 1 \text{ mg} \cdot \text{h}^{-1}$ 左右,与常温相比降低了 1 倍以上;可见硝化与反硝化速率过低是低温条件下脱氮效果不佳的主要原因,低温应对技术^[7]包括低温强化硝化和低温强化反硝化两部分内容。

延长好氧水力停留时间、提高污泥浓度、延长泥龄等措施都能在一定程度上提高硝化效果,相对而言,延长停留时间效果较明显,在设计容量一定、污

水处理厂占地受限的情况下,上述措施难以实施,可以采用好氧池投加填料的 IFAS (一体化固定膜活性污泥) 工艺或投加包埋硝化菌的工艺提高硝化速率来强化硝化。低温下 IFAS 工艺中,其填料(40%左右的投加率)附着生物硝化活性和硝化速率都要高于同一系统内的活性污泥,硝化活性约是活性污泥的 3 倍以上,硝化速率约是活性污泥的 5 倍左右;而包埋硝化菌工艺在低温条件下受水温影响更小,强化硝化的效果也更明显,仅以 12%投加率,其硝化活性是活性污泥的 3 倍以上。

试验与工程实践表明,采用提高生物量的 MBR 工艺能够在很大程度上满足硝化的要求,并能在一定程度上强化生物脱氮,进一步的机理性研究尚在进展中。

总之在原有工艺优化运行潜力不足条件下,采用提高硝化速率的 IFAS 工艺和提高生物量的 MBR 工艺均能在一定程度上达到强化脱氮的目的。

2.3 化学除磷的合理性

另一个比较关注的问题是在碳源不足条件下,为保证生物脱氮的效果,采取牺牲生物除磷、采用化学除磷的做法是否合理?

去除 1 kg 磷需要 10 kg 快速碳源^[8],而 10 kg 快速碳源可以去除 2 倍以上的氮;去除 1 kg 磷需要化学药剂 PAC(聚合氯化铝 2 000 元·t⁻¹) 11~22 元,需要醋酸(5 000 元·t⁻¹) 45 元,不难看出投加化学药剂除磷,可以节省两倍以上的外碳源费用,并去除两倍以上氮,这是一个较为合理的选择,此外还可以考虑采用附近饮用水厂的污泥进行化学除磷,进一步节省药剂费,北美已有很成熟的案例。

3 试验研究的必要

江苏省为了完成对太湖流域 169 个城镇污水处理厂除磷脱氮的改造工程,投入 2 000 万研究经费,组织了大规模的研究工作,取得了良好的阶段性成果,为确保 2.7 个亿的工程投资能够有的放矢的发挥作用,起到了技术支撑作用,出版的《江苏省太湖流域城镇污水处理厂提标建设技术导则》对全国范围内存在类似问题的污水处理工程都具有重要的借鉴意义。应该说这样大规模的工程前期的试验研究(椒江污水处理工程是一个规模较小的成功案例^[9])在我国还是比较少见的,以不足 10%的投入取得了大量基础性数据,避免了以后可能出现的工程失误,其做法值得深思和效法。

4 结 语

氮、磷营养盐排放标准的双重控制和继续提升是国内污染物排放标准发展的趋势,更加注重我国重点水域富营养化问题的深入跟踪监测研究,健全本国不同水域的基础数据库,从而为这些水域的富营养化控制,也为相关标准中营养盐指标限值的确定提供更多的数据支撑,不仅非常需要,而且迫在眉睫。

污水处理厂达标排放所面临的瓶颈问题是低碳源与低水温的问题,采取合理设置、灵活运行初沉池的方法,可以弥补其所带来的碳源不利影响,能将系统 TN 去除率提高 5%~20%,其脱氮效果优于不设初沉池系统;采用其他内碳源开发新技术时需要通过现场试验对有效碳氮比和全系统的脱氮效率进行核算,对剩余污泥的利用还需要进行碳、氮、磷的物料衡算,当可用碳源相对需去除的氮、磷而言足量时,将其作为反硝化碳源才是可行的;在原有工艺优化运行潜力不足条件下,采用提高硝化速率的 IFAS 工艺和提高生物量的 MBR 工艺均能在一定程度上达到强化脱氮的目的。

在工程前期进行试验研究非常必要,通过试验研究我们不仅可以获得必要水质特性参数和工艺特性参数,而且可以针对效果不确定的新技术、新工艺获得第一手基础性实验数据,以少量的先期投入避免以后可能出现的工程失误。

参考文献:

- [1] 陈立.城市污水回用人工水体的探讨[J].中国给水排水,1999,15(9):25-30.
- [2] Daniel J Conley, et al. Controlling eutrophication: nitrogen and phosphorus[J]. Science, 2009, 20(1): 1014-1015.
- [3] Schindler, Hecky. Eutrophication: more nitrogen data needed[J]. Science, 2009, 8(5): 721-722.
- [4] 孙永利,等.城镇污水处理厂提标改造中的几个问题[C].全国城镇污水处理厂除磷脱氮及深度处理技术交流会论文集,2010: 7-12.
- [5] 郭兴芳,人.碳源投加研究[R].江苏省太湖流域城镇污水处理厂除磷脱氮提标改造技术攻关示范科研项目课题报告,2009.
- [6] 郭兴芳,等.低温生物脱氮效果研究[R].江苏省太湖流域城镇污水处理厂除磷脱氮提标改造技术攻关示范科研项目课题报告,2009.
- [7] 叶峰,等.水温对太湖流域城镇污水厂除污效果影响的调研[J].中国给水排水,2010,26(2):28-30.
- [8] Mogens Henze, et al. 污水生物与化学处理技术[M].北京:中国建筑出版社,1999.
- [9] 陈立,等.二段法改良工艺处理高浓度难降解城市污水[J].中国给水排水,2001,17(8):50-52.

(下转第 135 页)

- anaerobic/anoxic/oxic (A²/O) process treating low strength wastewater [J].Desalination,2009,249:822-827.
- [2] 樊杰,张碧波,陶涛,等.安庆市城东污水处理厂改良型 A²/O 工艺的设计与运行[J].给水排水,2008,34(12):27-30.
- [3] Baeza J A, Gabriel D, Lafuente J. Effect of internal recycle on the nitrogen removal efficiency of an anaerobic/anoxic/oxic (A²/O) wastewater treatment plant (WWTP) [J].Process Biochemistry, 2004,39:1615-1624.
- [4] 范举红,李昌湖,徐子松,等.桐乡市城市污水处理厂 A²/O 工艺设计与运行[J].水处理技术,2008,34(7):79-81.

APPLICATION OF A²/O PROCESS IN THE UPGRADING AND RECONSTRUCTION OF WASTEWATER TREATMENT PLANT

Han Jingchao¹, Zheng Yuguo², Huang Kaien³, Wang Chengbo², Wang Hongwu⁴, Liu Yan¹

(1.Department of Environmental Science and Engineering, Fudan University, Shanghai 200433, China;

2.Nanping Water Supply Company, Nanping 353000, China; 3.Nanping Urban and Rural Planning Design Research Institute, Nanping 353000, China; 4.School of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: The Taxia wastewater treatment plant of nanping City had a treatment capacity of $5 \times 10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$. The process was designed as SBR initially and then optimized to A²/O in 2006. The technological features, the design and operating parameters were introduced. The total sludge age was around 15~25 d while the mixed-liquid and sludge was recycled to improve the NH₃-N and TP removal efficiency. The influent was domestic and industrial mixed sewage (about 12:1). The COD and BOD₅ ranged 180~400 mg·L⁻¹ and 30~160 mg·L⁻¹, respectively. After the process optimization, The average removal efficiency of COD, BOD₅, SS, NH₃-N, TN and TP was achieved to be 90%, 96%, 95%, 90%, 64% and 64%, respectively. The effluent quality reached the first level B criteria specified in the discharge standard of pollutants for municipal wastewater treatment plant (GB 18918—2002), proving that A²/O process is feasible and effective in treating combined sewage with high organics concentrations.

Keywords: A²/O process; upgrading and reconstruction; wastewater treatment plant; nitrogen and phosphorus removal

(上接第 122 页)

A FEW OF CONSIDERATIONS ON UPGRADING WWTPS TO MEET MORE STRINGENT EFFLUENT REQUIREMENTS

Chen Li^{1,2}, Li Chengjiang¹, Guo Xingfang^{1,2}, Shen Shifeng¹, Zhang Lingling¹, Zhu Kaidong^{1,2}

(1.North China Municipal Engineering Design & Research Institute, Tianjin 300074, China;

2.National Engineering Research Center for Urban Water & Wastewater, Tianjin 300074, China)

Abstract: Authors took on demonstration research project of WWTP Upgrading with bio-P/N removal in Jiangsu province at Taihu Basin, in charge of two sub-projects, which were research on carbon source and research on bio-N removal in low temp, and participated two sub-projects, which were research on enhance biological treatment and WWTP Upgrading technical guide in Jiangsu province at Taihu Basin. Since 2007, NCMEDRI and NERCWW have carried out a great deal of basic trial research, project design and full scale research. Looking back on 4-year work, authors put forward their opinions on hot topics such as pollutant drainage standard, dilemma faced in WWTPs to meet effluent requirements, and necessity of pilot trial, in order to be consulted by related study and technical application.

Keywords: carbon source; low temp; bio- N removal

简 讯

GE最新 ZCore 深层滤芯解决液体过滤难题

2011 年 7 月 29 日,GE 发布了最新的 ZCore 深层滤芯,产品性能得到提升,停工期和运行成本都明显减少。该项新技术的核心优势在于那些传统深层滤芯无法工作的极端过滤应用,包括热水消毒、高温过程化学流体、高粘性液体、高纯环境和那些容易形成高压损失的非脏的流体过滤。

GE 新 ZCore 深层滤芯产品涵盖了各种微米等级范围和长度规格,最小过滤孔径的滤芯对 0.5 μm 颗粒的过滤效率高达 90%。ZCore 滤芯达到 USP VI 级环境使用标准,其稳定运行最大压差范围为 180° F (82 °C) 15psid (1.03 bar) 到 86° F (30 °C) 60 psid (4.14 bar)。

ZCore 滤芯采用 GE 专利 Z.Plex* 阶梯密度熔喷滤芯技术制造,其特征是细纤维和高强度三维纤维矩阵设计。与其它过滤效率类似的深层滤芯相比,采用该技术的滤芯使高压环境下的过滤效率更高、纳污量更大。这种滤芯还有一个注塑成型的聚丙烯支撑内核,以提高强度和耐高温性能。而全聚丙烯构造能抵抗化学和热降解,并且使用中无污染,符合纯度要求。

(肖伟群)