分段进水 A/O 工艺外碳源投加控制策略的比较研究

王伟,王淑莹*,孙亚男,彭永臻

(北京工业大学北京市水质科学与水环境恢复重点实验室,北京 100124)

摘要:采用连续流分段进水 A/O 中试试验系统处理低 COD/N 生活污水,为获得高品质出水,投加外碳源(乙醇)强化反硝化效果. 为合理、有效控制外碳源投量,针对不同控制参数(ORP 和在线硝酸盐氮)及外碳源投加位置(D3 和 D4),提出 5 个外碳源投加控制策略,并从基建投资、处理效果、运行费用及维护等方面对控制策略进行比较. 结果表明,控制策略 I和 II只选取 D4 为碳源投加控制点,控制结构最为简单,传感器数量最少,造价低,但由于缺氧停留时间过短,在高负荷、低 COD/N 时,控制参数无法达到预先设定值,而使得碳源投加持续过量,缺氧区 D4 平均 COD 浓度高达 192.8 mg/L 和 158.9 mg/L,平均出水 TN 浓度高达 17.42 mg/L 和 19.04 mg/L,碳源消耗量分别为 92 mL/(m^3·d)和 84 mL/(m^3·d). 而控制策略 III~ V,同时在 D3 和 D4 投加外碳源,并采用不同的控制参数. 结果表明,3 个控制策略能充分利用 D3 和 D4 反硝化容量,较好地抵抗冲击负荷,保持出水 TN 浓度稳定,平均为 7.30、8.2 和 7.49 mg/L,碳源消耗量分别为 29、45 和 27 mL/(m^3·d). 最后,从传感器数量、运行效果稳定性及运行费用等方面对 5 个控制策略进行综合评价,结果表明,控制策略 III具有良好的动态品质,抗冲击负荷能力较强,出水效果较好,碳源投加量较低且在线仪器的投资较省,是较为优化的外碳源投加控制策略.

关键词:分段进水; A/O; 生活污水; 低 C/N; 外碳源投加; 控制策略

中图分类号:X703.1 **文献标识码**:A **文章编号**:0250-3301(2009)03-0792-06

External Carbon Addition Control Strategies of Step-feed A/O Process

WANG Wei, WANG Shu-ying, SUN Ya-nan, PENG Yong-zhen

(Key Laboratory of Beijing for Water Quality Science and Water Environmental Recovery Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: To obtain high quality drainage, external carbon source (ethanol) was used to enhance denitrification when low COD/N sewage was fed to a pilot-scale step-feed A/O system. To use carbon source sufficiently, five different external carbon addition control strategies were proposed based on different control parameters, ORP and on-line nitrate, and dosing positions, D3 and D4. Control strategies were evaluated on investment, treatment efficiency and operation cost basis. The results showed that for the short hydraulic retention time in anoxic zone, the control parameter could not reach the set-point when control strategy I and II were applied. As a result, excessive feeding of external carbon source was occurred and the average COD concentrations in D4 were 192.8 mg/L and 158.9 mg/L for the insufficient usage of carbon. In this condition, effluent TN concentrations were 17.42 mg/L and 19.04 mg/L and the external carbon dosage rates were 92 mL/(m^3·d) and 84 mL/(m^3·d), respectively. Control strategies III, IV and V controlled the external carbon dosage in D3 and D4 simultaneously. The results indicated that the strategies had strong resistance to peak loadings and reduced the effluent TN concentration effectively. The average effluent TN concentrations, 7.30 mg/L, 8.2 mg/L and 7.49 mg/L and the external carbon dosage rates, 29 mL/(m^3·d), 45 mL/(m^3·d) and 27 mL/(m^3·d), were achieved respectively. Finally, based on the amount of on-line sensors, reliability of treatment efficiency and cost of operation, the control strategies proposed in this paper were evaluated together. Compared to the other control strategies, the suggested external carbon addition strategy III was testified to be an optimal control strategy, which was characterized by good dynamic qualities, strong resistance to peak loadings, quick responding to loadings, and the lower external carbon addition amount.

Key words: step-feed; A/O; domestic wastewater; low C/N ratio; external carbon addition; control strategy

氮排放标准逐渐严格,对生物脱氮提出了更高的要求. 分段进水 A/O 工艺中,原水多点进入系统,每一段进水可为上一段进水硝化产生的硝酸盐提供反硝化碳源,从而更加充分地利用原水中有机碳源[1,2]. 然而,对于 COD/N 较低的污水,由于碳源是反硝化的限制因素,即使充分利用原水碳源,也不能满足出水 TN 排放标准. 此时,需要考虑采取一定措施,提高总氮去除效率. 实践证明,投加外碳源是降低生物脱氮工艺出水总氮浓度的有效途径[3~12]. 但外碳源投加量必须适中,投加过多,不仅碳源本身费用较高,而且增加污泥产量和耗氧量;而投加不足,则不能保证出水 TN 达标[9]. 由于污水厂进水水质、水量实时变化,通常采用在线实时控制来控制外碳源投加量,以保证出水总氮浓度最低,外碳源投加量最省[6].

收稿日期:2008-04-25;修订日期:2008-06-30

基金项目:国家高技术研究发展计划(863)项目(2006AA06Z319);北京市教委科研基地-科技创新平台项目;北京市属高等学校学术创新团队项目

作者简介:王伟(1979~),女,博士研究生,主要研究方向为污水生物处理,E-mail: wang_wei2005@emails.bjut.edu.cn

* 通讯联系人,E-mail:wsy@bjut.edu.cn

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

实施碳源投加在线控制时,首先须确定合适的控制参数,使其既能反映缺氧区硝酸氮浓度变化,又易于与计算机接口. 氨氮和硝酸盐氮等在线营养物传感器,曾一度被认为维护繁琐,投资较高,但随着其精度及可靠性的提高,现已逐渐成为污水处理厂自动控制系统的主流传感器[9]. 而氧化还原电位(ORP) 作为一个间接在线监测参数,具有响应快、精确度较高、传感器价格低等优点,经常被用作 SBR 法反硝化过程的控制参数[13~16],虽然其在连续流工艺系统中应用较少,但也有研究证实其作为连续流工艺反硝化过程控制参数具有一定的可行性[17,18]. 碳源投加量除受控制参数影响外,也受碳源投加位置影响[9],合适的碳源投加位置是保证外碳源投加控制有效性的另一重要因素.

鉴于上述的状况,本研究采用连续流分段进水 A/O工艺处理低 COD/N 城市生活污水,以在线 ORP 和在线硝酸盐氮作为碳源投加控制参数,基于不同碳源投加点,建立 5 种不同外碳源投加控制策略并对其进行比较分析,以期确定该工艺合适的外碳源投加控制参数及合理的外碳源投加位置,为深度脱氮污水处理厂碳源投加控制提供依据.

1　材料与方法

1.1　中试试验装置

试验用中试反应器由有机玻璃制成,结构如图 1 所示. 反应器工作容积为 320 L,共分为 4 个段,每段包括 1 个缺氧区和 1 个好氧区,实际运行时,好氧区又分为 3 个格室,以便形成推流. 各段缺氧区与好氧区体积比均为 2∶3. 二沉池采用竖流式,体积 90 L. 试验采用 5 台蠕动泵分别控制进水、污泥回流,采用空压机为系统好氧格室曝气,鼓风机出口安装空气流量计控制曝气量. 采用 4 台电动搅拌机为缺氧区提供搅拌.

1.2　试验用水

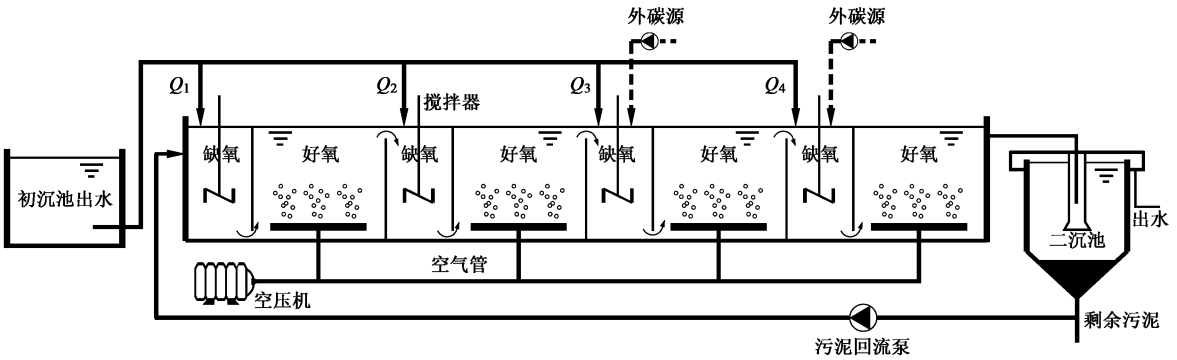

图 1　分段进水 A/O 中试系统

Fig. 1　Schematic diagram of pilot-scale step-feed A/O system

试验用原水取自北京某住宅小区的生活污水,COD 为 192～246 mg/L, NH_4^+-N 为 42～58 mg/L, BOD_5 为 110～135 mg/L, NO_3^--N 为 0.04～1.02 mg/L, NO_2^--N 为 0.03～0.19 mg/L. 为考察控制策略对进水负荷及 COD/N 变化的响应,本研究每组试验历时 12 h,氨氮浓度每 3 h 变化 1 次,分别为 50、70、90 和 50 mg/L,进水 COD 浓度恒定为 250 mg/L. 试验期间水质的调整通过投加少量乙醇或氯化铵来实现.

1.3　分析项目及方法

COD、NH_4^+-N、NO_2^--N、NO_3^--N、MLSS 等测定均采用标准方法[19], DO 采用 WTW340i 在线测定仪测定, ORP 为德国 WTW730i 在线测定仪,在线 NO_x^--N采用德国 WTW TresCon 在线 NO_x^--N 模块进行测定,采集的数字信号经 485 数据输出接口输入计算机,经反馈开关控制器,输出数据作用于外碳源投加计量泵.

1.4　试验方法

试验温度控制在 20 ℃±1 ℃,进水量为 960 L/d,相应总 HRT 为 8 h. 整个试验过程维持总曝气量为 3～4 m^3/h,并控制好氧区 DO 浓度 > 2.0 mg/L,以保证硝化完全. 试验采用无水乙醇作为外碳源,配制乙醇溶液浓度为2 500 mg/L. 已有文献报道 ORP 应用于连续流缺氧反硝化的控制及 ORP 和硝酸盐氮的关系[12,18,20],但由于温度、传感器状态等因素会影响 ORP 对硝酸盐氮的响应,本试验开始前,将 ORP 应用于分段进水 A/O 工艺的缺氧区,考察 ORP 和硝酸盐氮是否具有稳定的相关关系. 结果如图 2 所示,硝酸盐氮和 ORP 具有很好的线性相关

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

性,相关系数为0.886 5,因此,确定 ORP 可作为反硝化过程的碳源投加控制参数.

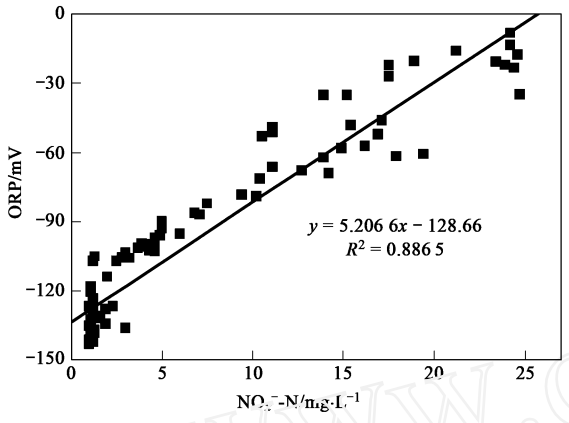

图 2 硝酸盐氮与 ORP 的相关关系

Fig. 2 Relationship of nitrate and ORP value

试验以 ORP 和在线硝酸盐作为控制参数. 由于反馈开关控制器具有原理简单、易于实现的优势[9,12],故采用反馈开关控制器来实现控制回路的控制. 控制器输出由控制变量设定值决定,低于设定值,停止投加碳源;高于设定值,开始碳源投加. 碳源投加控制器结构,如图 3 所示. 控制策略 Ⅰ和 Ⅱ,只在第 4 段缺氧区(D4)投加外碳源,策略 Ⅰ采用 ORP 作为控制参数,并取 D4 末端 ORP 设定值为 - 120 mV(相当于硝酸盐氮浓度 1～3 mg/L). 策略 Ⅱ以在线硝酸盐氮作为控制参数,并控制缺氧区 D4 末端硝酸盐氮浓度为一个较低但非零数值,这样既可保证反硝化完全,又不会投加过量[9]. 本研究缺氧区 D4 末端硝酸盐氮浓度设定值为取 1.5 mg/L. 控制策略 Ⅲ同时在第 3 段缺氧区(D3)和第 4 段缺氧区(D4)投加外碳源,并以在线 ORP 和硝酸盐氮作为控制参数. 在线 ORP 为 D3 的控制参数,并设定 D3 末端 ORP 绝对值为 - 100 mV(相当于硝酸盐氮浓度为 5 mg/L左右),而 D4 以在线硝酸盐氮作为控制参数,并设定 D4 末端硝酸盐氮设定值 1.5 mg/L. 控制策略 Ⅳ采用 2 个 ORP 传感器控制 D3 和 D4 碳源投加量,缺氧区末 ORP 设定值分别为 - 100 mV 和 - 120 mV. 控制策略 Ⅴ以硝酸盐氮作为控制参数,D3 和 D4 末端硝酸盐氮设定值分别取 5 mg/L和 1.5 mg/L.

2 结果与讨论

2.1 控制策略的可行性及应用效果

图 4 为不同控制策略下,控制变量及出水 TN 变化情况. 策略 Ⅰ和 Ⅱ,只在缺氧区 D4 投加碳源. 策略 Ⅰ采用 ORP 作为控制参数,由硝酸盐氮和 ORP 的相关关系,确定 ORP 设定值为 - 120 mV,结果如图 4(a)所示. 可以看出,在 200 min 前,出水 TN 持续降低,这说明 ORP 控制的有效性. 但在 240 min 后,继续投加碳源,ORP 数值不但没有降低,反而持续升高,数值均高于设定值. 控制策略 Ⅱ以硝酸盐氮作为控制参数,也表现出相同的变化趋势. 分析原因是由于进水氨氮负荷较高,COD/N 较低,原水碳源严重不足,系统前 3 段在反应过程累积了大量硝酸盐氮,而 D4 容积只占系统总缺氧容积的 1/4,因此,反硝化容量严重不足,其限制了碳源的有效利用.

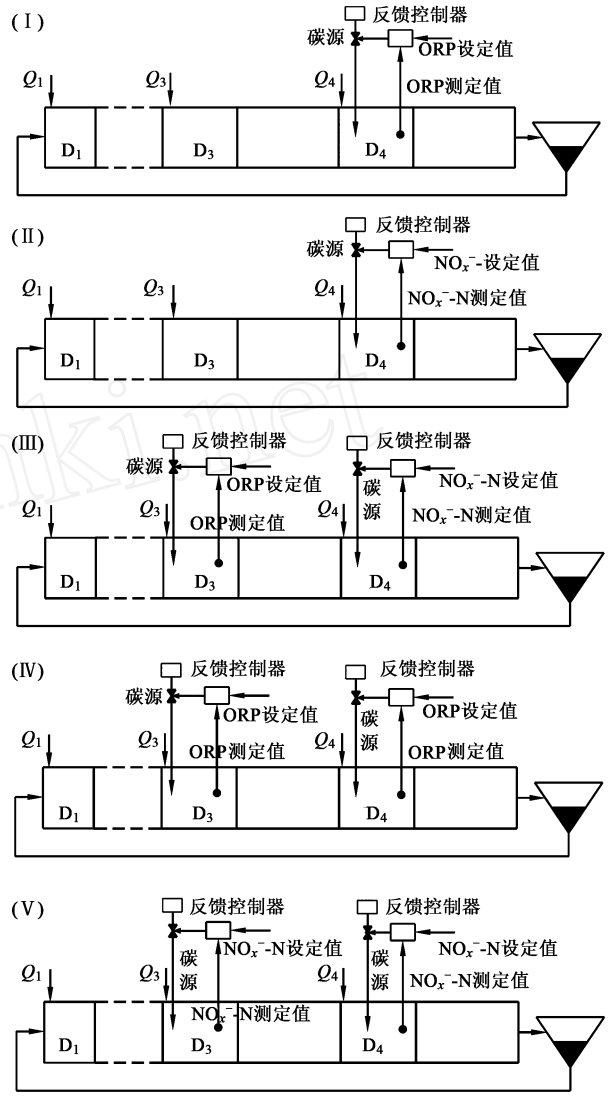

图 3 外碳源投加控制结构示意

Fig. 3 Schematic diagram of external carbon dosing control structure

控制策略 Ⅲ在缺氧区 D3 和 D4 同时投加碳源. D3 以 ORP 作为控制参数,并取 ORP 设定值为 - 120 mV,D4 以硝酸盐氮为控制参数,并确定硝酸盐氮的设定值为 1.5 mg/L. 控制策略应用结果表明,其具有

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

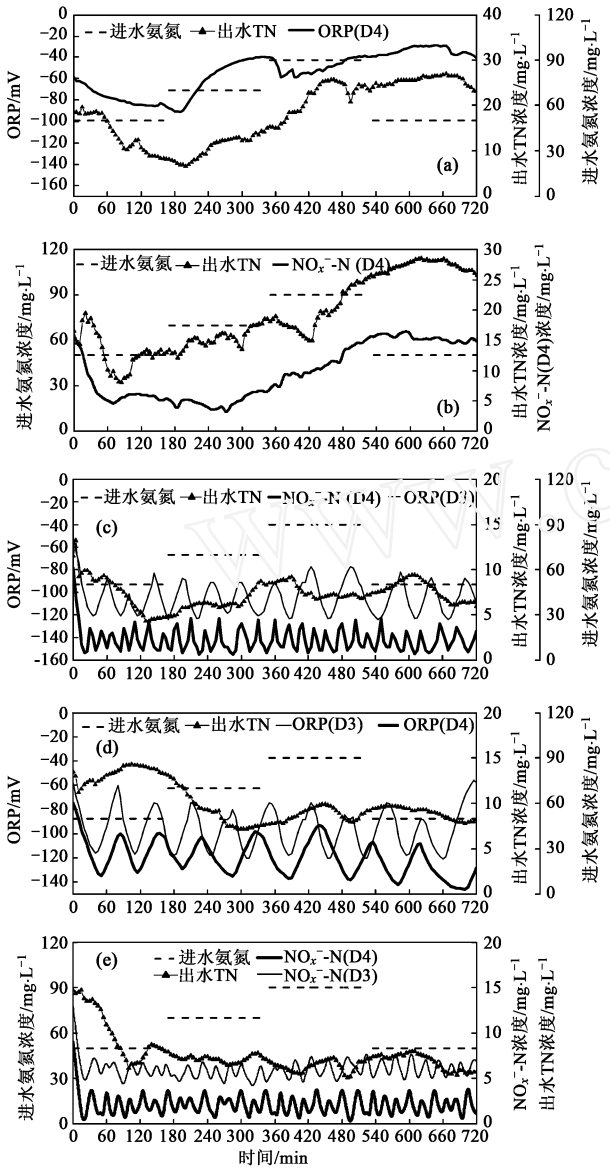

图 4　不同控制策略下控制变量及出水 TN 变化情况

Fig. 4　Variation of control variable and effluent TN concentration under different control strategies

较好的稳定性和抗冲击负荷能力. D3 格室投加碳源后,ORP 数值稳定在 - 75～ - 120 mV 之间, D4 区域的在线硝酸氮控制比较稳定,硝酸盐氮浓度在 0.6～4.4 之间波动,平均硝酸盐氮浓度为 2.17 mg/L. 由于开关控制产生了一定的"极限环"效应,控制变量在设定值附近均有一定的上升和下降,但结果显示该控制策略仍具有较好的动态品质和稳定的变化规律. 从出水 TN 曲线可以看出,策略 III具有很好地抗冲击负荷能力,可以保证出水 TN 浓度相对稳定.

控制策略 IV在 D3 和 D4 同时投加外碳源. D3 和 D4 均以 ORP 作为控制参数. D3 格室 ORP 设定值为 - 100 mV, D4 格室 ORP 设定值为 - 120 mV,结果见图 4(d). 可以看出,ORP 控制可以很好的削减冲击负荷,保持稳定的出水效果,但从 ORP 变化曲线可以看出,ORP 数值对碳源投加的响应时间比硝酸盐氮的响应时间要长. 这也说明间接参数在控制过程中存在不直观和不够灵敏的弊端.

策略 V同时在 D3 和 D4 投加外碳源,并均以硝酸盐氮作为外碳源投加控制参数,设定值分别取 5 mg/L和 1.5 mg/L. 可以看出,策略 V控制变量的变化较为平稳,出水 TN 浓度亦较为稳定. 与策略 I～ IV相比,控制策略 V显示出更为可靠的抗冲击负荷能力,出水 TN 浓度在达到第 1 个最低点后,一直保持在 10 mg/L以下,且无较大波动. D3 平均实测硝酸盐氮浓度为 6.03 mg/L, D4 平均实测硝酸盐浓度为 2.09 mg/L,表明该策略具有较好的动态品质.

2.2　控制策略的综合评价

为考察各控制策略的有效性,对系统平均出水 TN 浓度、碳源投加策略应用时 D4 缺氧区平均 COD 浓度和 5 个控制策略应用时的碳源投加量进行研究,结果如图 5 所示. 可以看出,控制策略 I和 II出水 TN 浓度最高,分别为 17.42 mg/L和 19.04 mg/L, 而碳源投加量也最高,分别为 92 mL/(m^3·d) 和 84 mL/(m^3·d). 分析认为,D4 反硝化容量不足是造成出水 TN 浓度较高的主要原因. 考察 D4 格室平均剩余 COD 浓度可以看出,控制策略 I和 II在控制碳源投加的整个反应过程,有大量的 COD 剩余,D4 隔室平均 COD 浓度分别为 192.8 mg/L和 158.9 mg/L. 而应用控制策略 III～ V时,D4 格室平均 COD 浓度分别为 68.8、84.2 和 62.7 mg/L. 这足以说明控制策略 I和 II在应用时,存在明显的碳源浪费现象. 此外,控制策略 I和 II应用的结果也表明,在分段进水 A/O 工艺中,只针对硝酸盐氮的累积在系统最后一段进

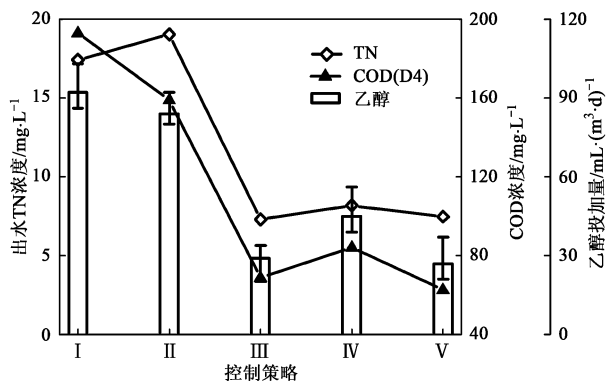

图 5　不同控制策略乙醇投加量及相应出水效果

Fig. 5　External carbon dosage rate and effluent characteristic under different control strategies

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

行碳源投加和控制,在高负荷时,对稳定出水效果,存在较大的风险.

而控制策略 Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ平均出水 TN 浓度分别为 7.3、8.2 和 7.49 mg/L,碳源投加量分别为 29、45 和 27 mL/(m^3·d).对比此 3 个策略的控制结果可以看出,控制策略 Ⅳ平均出水 TN 浓度最高,碳源投加量最多.分析认为,策略 Ⅳ采用 ORP 作为 D3 和 D4 的控制参数,而 ORP 为间接参数,从图 4 可以看出,其响应时间通常比在线硝酸盐氮长,因此"极限环"现象较硝酸盐氮控制的情况更为明显,会在较长时间范围内出现过量投加或投加不足的现象,进而影响碳源投量和出水效果.而控制策略 Ⅲ和 Ⅴ的平均出水 TN 浓度,碳源投加量和 D4 格室的平均 COD 浓度,均无较大差别.无法从策略应用效果上给出策略 Ⅲ和 Ⅴ优劣评价.但从控制结构的简单性,和传感器数量上考虑,控制策略 Ⅲ在 D3 应用 ORP 控制碳源的投加,ORP 是间接参数控制传感器,其造价与硝酸盐氮在线传感器相比,要低许多,维护也相对简单.在控制要求不高的情况下,以简单的间接参数传感器代替复杂的营养物传感器,是较为经济的选择.

综合考虑不同控制策略应用时对进水负荷的响应情况,实施控制后系统的出水情况,以及控制结构的复杂性,传感器的数量和造价,对提出的 5 种碳源投加控制策略进行综合评价,见表 1.

表 1 不同控制策略的综合评价

Table 1 Evaluation of different external carbon addition control strategies

策略	平均出水 TN/mg·L^{-1}	碳源投加量 /mL·($d·m^3$)$^{-1}$	ORP 传感器数量	NO_x^--N 传感器数量	特点评价
Ⅰ	17.42	92	1		①控制结构简单,但控制效果有一定风险;②传感器少,且 ORP 传感器价格便宜,易于维护
Ⅱ	19.04	84		1	①控制结构简单,但满负荷运行系统,不易达到预期控制目标;②NO_x^--N 传感器可靠,但价格较高
Ⅲ	7.3	29	1	1	①两段同时控制,出水效果稳定;②间接参数用于粗略控制,较为可靠,且造价较低;③硝酸盐氮传感器用于低硝酸盐氮设定值的控制,精度高,可保证预期控制目标的实现
Ⅳ	8.2	45	2		①两段同时 ORP 控制,控制效果较为可靠性,对进水负荷的响应较好;②ORP 传感器造价低,维护简单;但其为间接参数,和硝酸盐氮相比,控制精度较差,低浓度硝酸盐控制,无法保证外碳源投量最省
Ⅴ	7.49	27		2	①两段同时以硝酸盐氮作为控制参数,控制精度提高,可保证控制效果;②营养物传感器造价高,维护复杂,且数量多,投资较高

3 结论

(1) 在分段进水 A/O 工艺中,当投加外碳源时,针对系统累积的硝酸盐氮,只在系统最后一段缺氧区投加外碳源,虽然控制结构最为简单,在线监测装置最少,但由于反硝化容量的限制,在高负荷、低 COD/N 时,利用该控制方式抵抗冲击负荷,保证出水效果稳定,具有较大的风险性.

(2) 以 ORP 作为控制参数,系统具有较好的抗冲击负荷能力,但由于 ORP 是生化反应的间接控制参数,无法和反应区的实际硝酸盐氮数值一一对应,因此,以其作为精确的控制参数,具有响应较慢,精度不高的弊端.单纯以 ORP 作为控制参数,会造成一定的碳源浪费.

(3) 对分段进水 A/O 工艺第 3、4 段的缺氧区同时进行外碳源投加控制,控制策略在氨氮负荷较高、COD/N 较低时,可充分利用 D3 和 D4 的反硝化容量,提高反硝化效率,进而获得较为稳定的出水效果.对 D3 和 D4 同时控制的 3 个策略进行比较,策略 Ⅲ被证明是较优化的控制策略.该策略以 ORP 作为缺氧区 D3 控制变量,以硝酸盐氮作为缺氧区 D4 控制变量,并分别取 ORP 和硝酸盐氮浓度的设定值为 -100 mV 和 1.5 mg/L.与其他策略相比,此策略具有平均出水 TN 浓度较低、效果稳定、碳源投加量较少、在线监测装置投资较小等优点.

参考文献:

[1] 祝贵兵. 缺氧好氧分段进水工艺深度脱氮性能及优化[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2006.61-89.

[2] 王伟,王淑莹,王海东,等. 连续流分段进水生物脱氮工艺控制要点及优化[J]. 环境污染治理技术与设备,2006,7(10):83-87.

[3] Linderg C F, Carlsson B. Adaptive control of external carbon flow rate in an activated sludge process[J]. Wat Sci Tech,1996,**34**(3-4):173-180.

[4] Yuan Z, Bogaert H, Vanrolleghem P, *et al*. Control of external carbon addition to predenitrifying systems [J]. Journal of

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Environmental Engineering ,1997 ,**123(** 11) :1080-1086.

[5] Puznava N, Zeghal S, Reddet E. Simple control strategies of methanol dosing for post-denitrification [J]. Wat Sci Tech , 1998 ,**38** (3) :291-297.

[6] **马勇 ,彭永臻 ,王淑莹. 前置反硝化工艺外碳源投加串级控制策略的研究**[J]. **中国环境科学** ,2004 ,**24**(2) :214-218.

[7] Kim Y O, Lee T H, Nam H U, *et al*. Comparison of nitrogen removal from sewage with low C/N ratio by ORP control modes in a hybrid biofilm pilot plant[A]. In: The 2nd International Conference on Instrumentation, Control and Automation [C]. Busan, Korea: 2005. 759-766.

[8] Yuan Z. Assessing six external carbon dosage control strategies for improving denitrification using a simulation benchmark model [A]. In: The 2nd International Conference on Instrumentation, Control and Automation[C]. Busan, Korea: 2005. 1129-1137.

[9] Olsson G, Nielsen M, Yuan Z, *et al*. Instrumentation, control and automation in wastewater systems [M]. London: IWA Publishing, 2005. 100-105.

[10] Ma Y, Peng Y Z, Jeppsson U. Dynamic evaluation of integrated control strategies for enhanced nitrogen removal in activated sludge processes[J]. Control Engineering Practice, 2006, **14** (11) : 1269-1278.

[11] Ma Y, Peng Y Z, Wang S Y. Intelligent control aeration and external carbon addition for improving nitrogen removal [J]. Environmental Modeling Software ,2006 ,**21**(6) :821-828.

[12] **马勇 ,彭永臻. 城市污水处理系统运行及过程控制**[M]. **北京: 科学出版社** ,2007.

[13] Wareham D G, Hall K J, Mavinic D S. Real-time control of wastewater treatment systems using ORP [J]. Wat Sci Tech ,1993 ,**28** (11-12) :273-282.

[14] **彭永臻 ,周利 ,邵剑英. 利用** ORP **作为** SBR **反应时间的计算机控制参数**[J]. **中国给水排水** ,1997 ,**13(**6) :6-9.

[15] Peng Y Z, Gao J F, Wang S Y, *et al*. Use pH and ORP as fuzzy control parameters of denitrification in SBR process [J]. Wat Sci Tech , 2002 ,**46**(4-5) :131-137.

[16] **高大文**. SBR **法短程硝化反硝化及其实时控制的基础研究**[D]. **哈尔滨:哈尔滨工业大学** ,2004.

[17] Ma Y, Peng Y Z, Wang S Y, *et al*. Fuzzy control of nitrate recirculation and external carbon addition in A/O nitrogen removal process[J]. Journal of Chinese Chemical Engineering, 2005 ,**13(**2) : 244-249.

[18] **马勇 ,彭永臻 ,王淑莹 ,等. 以氧化还原电位作为缺氧-好氧法工艺反硝化反应模糊控制的参数**[J]. **现代化工** ,2004 ,**24**(2) : 39-43.

[19] **国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法**[M]. **北京:中国环境科学出版社** ,2006.

[20] **王晓莲**. A^2/O **工艺运行优化及其过程控制的基础研究**[D]. **北京:北京工业大学** ,2007. 70-73.

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net