

应用在线传感器实现前置反硝化工艺 生物脱氮的过程控制*

马勇 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 100022)

摘要 为了实现前置反硝化工艺硝化反硝化反应的过程控制,系统地研究了硝化反硝化过程中 DO、pH 和 ORP 的变化规律,并考察了它们作为硝化反硝化过程控制参数的可行性。结果表明, pH 值在缺氧区的变化分为下降型和上升型,从而指示系统反硝化反应进行的程度以及内循环回流量是否充足;缺氧区末端 ORP 值和硝酸氮浓度具有较好的相关性;好氧区第 1 格室的 DO 浓度可以指示进水氨氮负荷高低; pH 值在好氧区的变化也可分为下降型和上升型,可指示系统硝化反应进行的程度、曝气量和碱度是否充足;好氧区末端 ORP 值与出水氨氮、硝酸氮浓度具有很好的相关性。在此基础上建立了硝化反硝化反应在线控制系统,从而实现曝气量、内循环回流量和外碳源投加量的在线控制,提高系统出水水质、降低运行费用。图 7 表 1 参 8

关键词 前置反硝化工艺;硝化;反硝化;过程控制;在线传感器

CLC X703.1

Pre-denitrification Process Control of Nitrogen Removal Using On-line Sensors*

MA Yong & PENG Yongzhen**

(Key Laboratory of Beijing for Water Environmental Recovery Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

Abstract In order to control pre-denitrification process, variation rules of DO, ORP and pH in the process of nitrification and denitrification were systematically studied. Feasibility of controlling nitrification and denitrification in pre-denitrified plants using DO, pH and ORP sensors was also investigated. Results showed that the variation of pH in anoxic zones could be classified into "descending type" and "rising type", which indicated if the denitrification extent and nitrate recirculation flow were sufficient. The ORP value and nitrate concentration at the end of anoxic zone also had good correlation. The DO concentration in the first aerobic zone could indicate the influent ammonia load. The variation of pH in aerobic zones could also be classified into "descending type" and "rising type", well indicating the extent of nitrification, aeration and alkalinity were sufficient. The experimental results also showed a good correlation of ORP values in the last aerobic zone with effluent ammonia and nitrate concentrations. An on-line system to make an integrated use of these signals for on-line control of aeration, nitrate recirculation flow and external carbon dosage was presented and demonstrated with promising results. Fig 7, Tab 1, Ref 8

Keywords pre-denitrification process; nitrification; denitrification; process control; on-line sensor

CLC X703.1

前置反硝化工艺当前面临的主要问题是脱氮效率低、系统不稳定、运行费用高,实践证明,实现系统过程控制是提高其处理效率、降低运行费用的关键^[1]。前置反硝化工艺实现过程控制最直接的方法是应用营养物在线传感器实现氨氮、硝酸氮浓度的在线测定^[2],并建立控制策略,然而营养物在线传感器具有价格贵、检测繁琐、维护费用高等缺点,并未得到广泛应用。因为许多过程控制参数都不能在线检测,所以应用数学模型进行控制难以付诸实施。而 DO、pH 和 ORP 传感器具有在线检测、响应快、精确度高、价格低等优势得到大量应用。例如在 SBR 法反硝化过程中,反硝化结束时在 ORP 曲线上会出现“硝

酸盐膝”(nitrate knee),在 pH 曲线上出现“硝酸盐峰”(nitrate apex)^[3~6]。在 SBR 法硝化过程中,硝化结束时在 DO 和 ORP 曲线上会出现“氨氮突跃点”,而在 pH 曲线上会出现“氨氮谷点”(ammonia valley),基于这些特征点,可以实现 SBR 法的过程控制^[7,8]。虽然 DO、pH 和 ORP 在线传感器在 SBR 法获得广泛应用,但至今它们在连续流运行工艺中的应用研究很少,在前置反硝化工艺过程控制的应用基本空白。本文详尽地研究了 DO、pH 和 ORP 在前置反硝化工艺硝化反硝化反应过程中的变化规律,研究了 DO、pH 和 ORP 测定信息和硝化反硝化反应进程、出水水质以及系统运行状态之间的关系,从而建立了硝化反硝化在线控制系统,实际运行表明,基于该系统可实现前置反硝化工艺的高效低耗运行。

1 试验材料与方法

1.1 试验装置

试验所用前置反硝化工艺装置如图 1。反应器分为 7 个格

收稿日期: 2005-12-13 接受日期: 2006-04-21

* 高等学校博士学科点专项科研基金(No. 20060005002)和北京市科委国际合作项目 Supported by the Special Teaching and Research Funds for University PhD Students (No. 20060005002) and the International Co-operative Project of the Beijing Science and Technology Committee

** 通讯作者 Corresponding author (E-mail: pyz@bjut.edu.cn)

室,其中前2个格室缺氧运行,后5个格室好氧运行,每个格室体积均为7 L。二沉池采用竖流式,体积为20 L。试验进水量为 150 L d^{-1} ,温度由自动温控仪控制在 $20 \sim 21^\circ\text{C}$,SRT为 $12 \sim 15 \text{ d}$,MLSS为 $2\,400 \sim 2\,700 \text{ mg L}^{-1}$,进水pH控制在 $6.5 \sim 7.5$

之间,污泥回流比为0.6,内循环回流比为2.5,试验进水、回流污泥和内循环回流量采用蠕动泵控制。采用鼓风机曝气,用曝气阀门调节每格室的曝气量从而控制好氧区DO浓度。

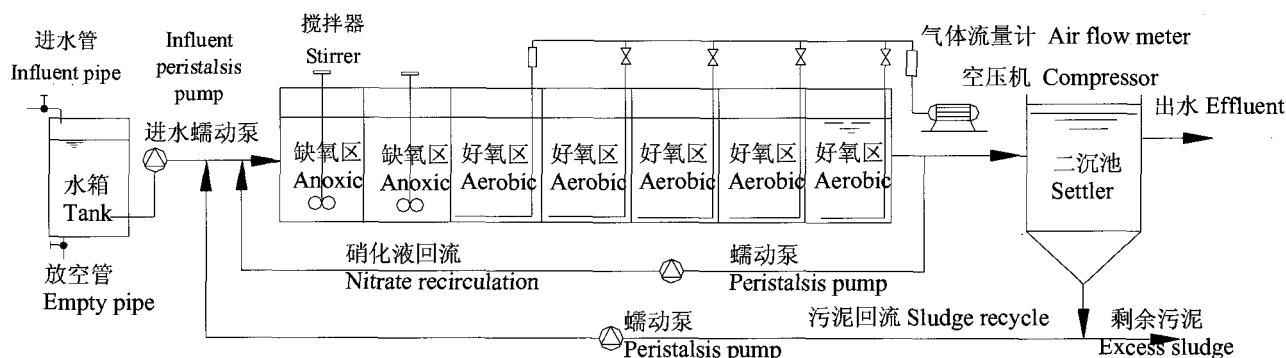


图1 A/O工艺试验模型图

Fig.1 Schematic diagram of A/O process

1.2 试验用水与污泥

试验采用模拟生活污水为考察对象,通过控制不同的淀粉投量达到不同的COD值,投加 NaHCO_3 控制进水pH值,并补充进水碱度,试验用水水质和配方如表1。

表1 试验用水水质和配方
Table 1 Experimental wastewater characteristics and synthetic compound

配水成分 Synthetic compound	投量 Dosage ($\rho/\text{g L}^{-1}$)	参数 Parameter	浓度 Concentration ($\rho/\text{g L}^{-1}$)
淀粉 Starch	0.3 ~ 0.6	BOD	112 ~ 250
NH_4Cl	0.1 ~ 0.25	COD	200 ~ 450
KH_2PO_4	0.033	SS	60 ~ 150
NaHCO_3	0.33 ~ 0.50	NH_4^+-N	30 ~ 75
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.09	$\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$	10
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.03	碱度 Alkalinity	300 ~ 450

试验所用污泥接种于实际生物脱氮污水处理厂二沉池排放的剩余污泥,待系统稳定运行后开始取样,试验持续运行时间近两年。

1.3 检测分析项目

试验中COD、 NH_4^+-N 、 NO_3^--N 、 NO_2^--N 、 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 、pH、总碱度、DO、ORP、MLSS的测定采用国家环保局制定的《水和废水监测分析方法》等标准方法,水样值经过滤后测定。DO测定采用WTW-300i溶解氧在线仪,pH和ORP采用HANNA在线仪。

2 结果和讨论

2.1 缺氧区最后格室ORP值和硝酸氮浓度的关系

维持进水COD浓度为 350 mg L^{-1} ,进水氨氮浓度为 60 mg L^{-1} ,好氧区DO浓度控制在 $2 \sim 3 \text{ mg L}^{-1}$,改变内循环回流量,研究了缺氧区末端ORP值和硝酸氮浓度之间的关系。如图2可知,ORP值和硝酸氮浓度具有很好的线性正相关性,相关系数 R^2 高达0.91。试验中无论改变进水水质如COD浓度、氨氮浓度,还是改变运行条件,都可以发现缺氧区末端ORP值和硝

酸氮浓度具有很好的相关性。随着内循环回流量的增加,缺氧区最后格室的ORP值和硝酸氮浓度都以正线性关系增加,反之亦然。由此可以利用ORP值大小近似指示缺氧区硝酸氮浓度,进而推测反硝化是否完成,回流硝酸氮浓度是否充足。试验获得当缺氧区末端的ORP值为 -90 mV 时可以实现硝酸氮的最大去除,可充分利用进水中的有机碳源进行反硝化,因此可以基于ORP最优设定值对内循环回流量进行控制,以维持缺氧区末端的ORP值处于 -90 mV 。

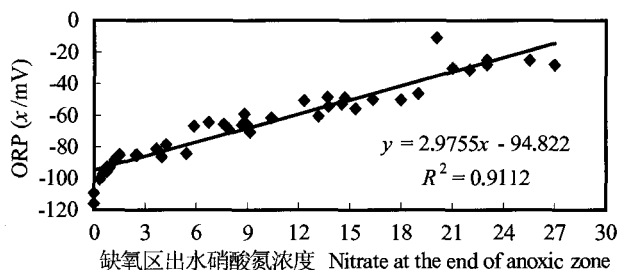


图2 缺氧区出水硝酸氮浓度和ORP值的相关性

Fig.2 Correlation between ORP and nitrate concentration at the end of anoxic zone

2.2 缺氧区pH值曲线

试验中,动态改变进水水质和运行条件,系统分析了pH值在缺氧区的变化规律,获得缺氧区pH曲线变化共有两种典型情况,可以指示反硝化是否完成或内循环回流量是否充足。好氧区DO浓度维持在 $2 \sim 3 \text{ mg L}^{-1}$,进水氨氮浓度为 60 mg L^{-1} ,其它条件见试验材料和方法。

图3-a是进水COD为 380 mg L^{-1} 时,反应器各格室氨氮、硝酸氮浓度和pH的变化情况。由于进水COD浓度较高,缺氧区硝酸氮浓度很低,缺氧区1格室的硝酸氮浓度为 0.89 mg L^{-1} ,缺氧区2格室的硝酸氮为 0 mg L^{-1} 。缺氧区2格室的pH值低于缺氧区1格室的pH值。主要是缺氧区2格室处于严重的厌氧状态,由于水解发酵作用导致pH值降低。pH值的变化曲线定义为“下降型曲线”,为了实现系统优化,应增加内循环回流量。图3-b是进水COD为 230 mg L^{-1} 时,反应器各格室氨氮、硝酸氮浓度和pH的变化情况。由于进水COD浓度不足,缺

氧反硝化不充分,缺氧区 1 格室的硝酸氮浓度为 4.68 mg L^{-1} , 缺氧区 2 格室的硝酸氮为 2.50 mg L^{-1} . 随着反硝化的进行, pH 值上升. 这种 pH 值的变化曲线定义为“上升型曲线”. 它只

指示系统硝酸氮是否充足,并不能指示系统是否优化运行. 为了实现反硝化的优化控制,应以维持缺氧末端的最优 ORP 值控制为主, pH 值在缺氧区的变化规律作为辅助信息.

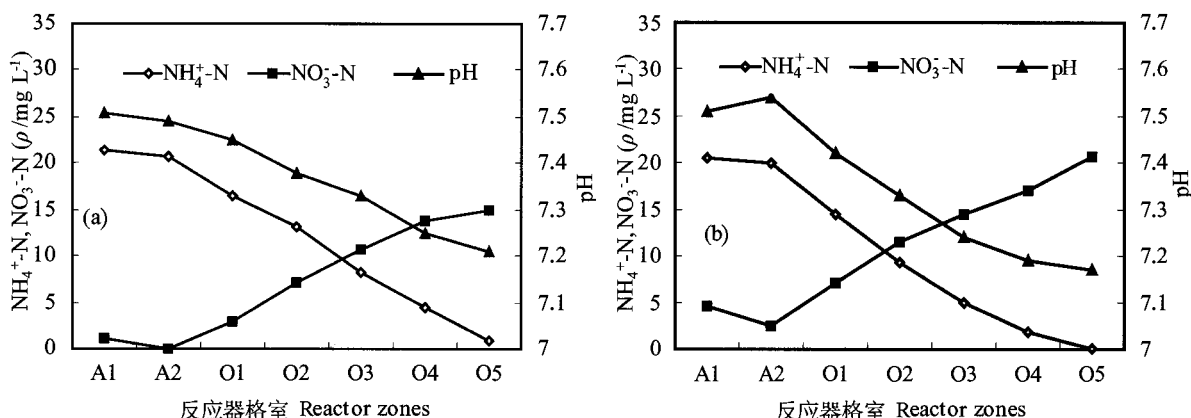


图 3 缺氧区 pH 值典型变化曲线 (a)下降型(b)上升型

Fig. 3 Typical profiles of pH in anoxic zones, (a) descending type and (b) rising type

2.3 好氧区 1 格室 DO 浓度与进水氨氮浓度的关系

设定好氧区第 1 格室曝气量恒定不变($0.08 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$), 进水 COD 浓度为 $200 \sim 300 \text{ mg L}^{-1}$, 改变进水氨氮, 研究了缺氧区第 1 格室 DO 浓度(DO_1)的变化规律. 如图 4 所示, 随着进水氨氮浓度的增加, 好氧区 DO_1 逐渐降低, 表现为较好的线性相关性. 因此可在污水处理厂好氧区首端设定 1 个小区, 恒定其中曝气量, 应用 DO 浓度大小来反映进水氨氮负荷高低, 从而相应调整其它格室的曝气量, 降低动态进水负荷对系统的干扰. 实现提高系统硝化速率, 降低出水氨氮浓度, 减少曝气能耗的目的. DO_1 可以作为曝气量的前馈控制变量. 当然进水 COD 负荷增加时, 也将造成 DO_1 的降低, 由于前置反硝化工艺特征, 大部分易于生物降解的 COD 在缺氧区被去除, 所以对 DO_1 的影响相对于氨氮负荷要小. 无论那种负荷都可应用 DO_1 作为曝气量的前馈控制信息.

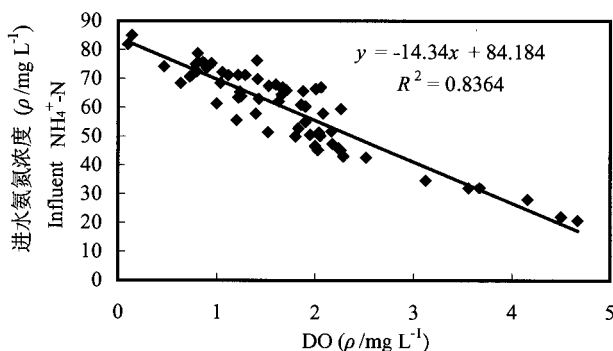


图 4 好氧区第 1 格室 DO 浓度和进水氨氮间的相关性

Fig. 4 Relation between DO concentration in the first aerobic zone and influent ammonia

2.4 好氧区 pH 值曲线

试验中, 系统分析了 pH 值在好氧区的变化规律, 研究发现, 好氧区 pH 曲线可以很好地指示系统硝化的程度以及运行状态信息, 从而优化工艺运行条件. 进水 COD 浓度为 300 mg L^{-1} , 好氧区 DO 浓度为 $2 \sim 3 \text{ mg L}^{-1}$. 下面分析 pH 值在好氧区的变化规律. 图 5-a 是氨氮浓度在各格室的变化情况.

图 5-b 中当进水氨氮浓度等于 53 mg L^{-1} 时, pH 值从好氧区第 1 格室到好氧区第 4 格室一直降低, 随后 pH 值上升. 因此对应着好氧区 4 格室在 pH 值曲线上出现“氨氮谷点”, 该特征点出现意味着硝化反应的完成或基本完成, 这可从图 5-a 中好氧区 4 格室氨氮浓度为 0 来证明. 这种情况对应的 pH 曲线称为好氧“上升型曲线”, 实际运行中随进水质、运行条件的不同, “氨氮谷点”除不能出现在最后好氧格室外, 可以出现在其它任一好氧格室, 出现位置越靠前说明系统硝化完成的时间越早, 相应曝气浪费的也越多, 为节约运行费用, 应降低曝气量, 使氨氮谷点尽可能出现在后面好氧格室.

图 5-b 中当进水氨氮浓度等于 75 mg L^{-1} 时, pH 值从好氧区第 1 格室到好氧区最后格室一直降低, 在 pH 曲线上没有出现第一种情况中提到的“氨氮谷点”, 这可表明系统硝化没有完成, 可由图 5-a 中对应的出水氨氮浓度为 10 mg L^{-1} 来证明. 该 pH 曲线定义为好氧区“下降型 pH 曲线”, 为了提高系统硝化效果, 应增加曝气量. 实际运行中发现好氧区 pH 曲线变化很复杂, 但无论如何, 如果好氧区的 pH 值没有出现下降然后上升的规律(也就是“凹”点), 而出现先上升后下降(也就是“凸”点), 或一直下降, 都称为“下降型 pH 曲线”. 另外, 发现如果好氧区 pH 值下降幅度很大, 其主要原因可能是进水氨氮较高造成了硝化反应所需碱度不足; 如果好氧区 pH 值下降幅度很低, 且出水氨氮浓度很高, 则意味着系统的硝化性能很差, 硝化可能被抑制, 如中毒、进水 COD 负荷较高或系统污泥龄较短.

图 5-b 中当进水氨氮浓度等于 30 mg L^{-1} 时, pH 值从好氧区第 1 格室到好氧区最后格室一直升高, 在 pH 曲线上也没有出现“氨氮谷点”, 这种情况对应的进水氨氮浓度很低, 如图 5-a 在好氧区 2 格室就已实现完全硝化. 不同于第一种情况, 硝化早早完成, 所以在曲线上没有出现氨氮谷点, 出现这种情况可判断系统低负荷运行, 应充分降低曝气, 节约运行费用. 这种情况对应的 pH 曲线也可称为“上升型曲线”.

基于以上结果, 可知好氧区 pH 曲线分为两大类型“上升型曲线”和“下降型曲线”, “上升型曲线”表明硝化反应完成, 为了节约运行费用, 可适当降低曝气; “下降型曲线”表明硝化反应未完成, 为了提高硝化效果, 应增加曝气(也包括增加进水碱度或提高系统的污泥龄).

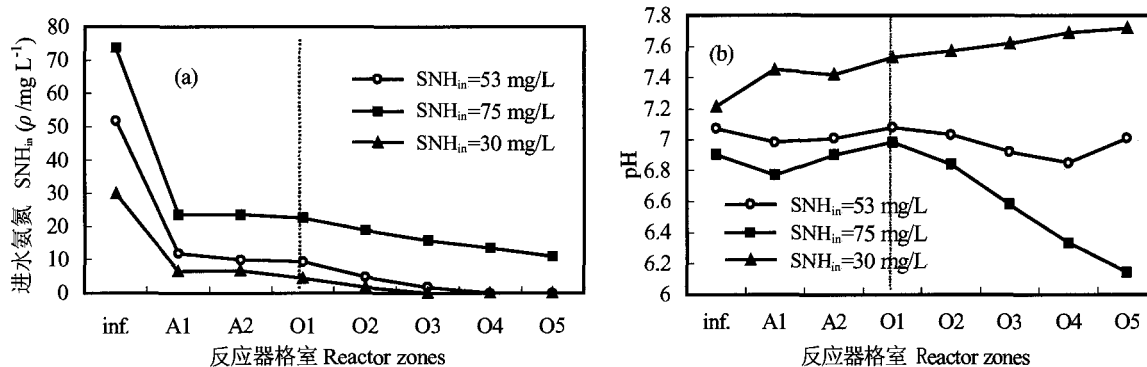


图5 好氧区 pH 值曲线类型 (a: 氨氮浓度; b: pH 曲线)

Fig. 5 pH profiles in aerobic zones (a: ammonia concentration; b: pH along the reactor)

2.5 好氧格室出水氨氮、硝酸氮和 ORP 值的关系

维持好氧区末端 DO 浓度为 1.5 mg L^{-1} , 其它好氧格室 DO 浓度控制在 $2 \sim 3 \text{ mg L}^{-1}$, 系统的研究改变进水氨氮浓度, 好氧区最后格室 ORP 测定值和出水氨氮、硝酸氮浓度之间的关系。

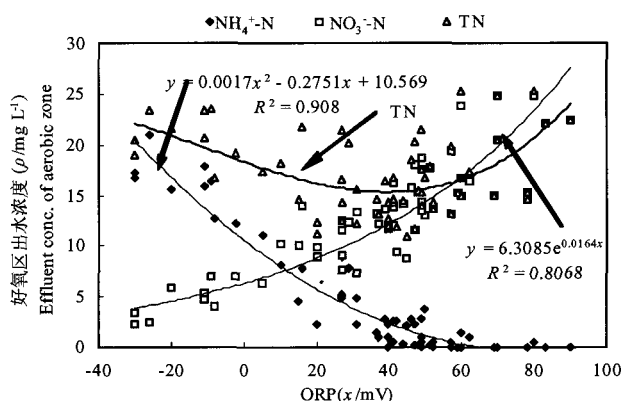


图6 好氧区最后格室 ORP 值和氨氮、硝酸氮的相关性

Fig. 6 Relation of ORP value with ammonia and nitrate concentrations in the last aerobic zone

图6中, ORP 值随着好氧区末端氨氮浓度的减少而增大, 当好氧区出水氨氮浓度小于 4 mg L^{-1} 时, ORP 值一般高于 40 mV , 在 ORP 值较低的范围, ORP 更多地受氨氮浓度的影响, 与氨氮浓度相关性较好; 而在 ORP 值较高的范围, ORP 值与出水硝酸氮的浓度相关性较好, 可由指数关系表示 $y = 6.3085e^{0.0164x}$, 当 ORP 值超过 60 mV 时, 硝酸氮浓度一般大于 15 mg L^{-1} 。为了保证出水氨氮和总氮浓度达标或较低, ORP 设定值确定为 $40 \sim 60 \text{ mV}$, 在此范围内如果采用较低的 ORP 设定值, 出水氨氮浓度偏高, 相应减少硝化反应所需的曝气能耗; 如果采用较高的 ORP 设定值, 可以氧化更多的氨氮, 有助于硝化完全, 但需要更多的曝气, 控制在 50 mV 可以实现硝化和反硝化反应的平衡; 综上所述, 可以发现好氧区最后格室的 ORP 值可以间接指示系统出水硝酸氮浓度或系统硝化效果的好坏, 可以应用 ORP 测定值的大小反映系统处理效果, 进而实现系统的优化控制。

2.6 DO、pH 和 ORP 在硝化反硝化变化规律分析

污水首先进入缺氧区, 由于反硝化过程是产生碱度的过程, 所以 pH 值升高; 当反硝化完成, 或内循环回流硝酸氮浓度

不足时, 由于水解发酵作用 pH 值将降低。因此, 可以认为, 缺氧区 pH 值曲线的变化规律就是反硝化反应和水解发酵反应共同作用的结果。

污水然后进入好氧区, 由于开始耗氧速率较大促进 DO 的传递和利用, 气泡较小, 也减少了 CO_2 的吹脱量, 造成 pH 值沿好氧池推流方向上降低。当有机物降解和硝化反应已经基本完成时, 混合液中 CO_2 和 H^+ 离子浓度不再增加, 重碳酸盐浓度基本不再降低, 由于耗氧速率很小使得气泡较大, 过量曝气吹脱 CO_2 , 使得混合液中的 $\text{HCO}_3^-/\text{CO}_2$ 的比例增大, 造成 pH 值转而上升。硝化反应过程中消耗的重碳酸盐碱度和产生的 H^+ 离子浓度由被硝化的氨氮浓度决定, 因此 pH 值的变化幅度将受到进水氨氮浓度影响。如果进水氨氮较高, 相应的 pH 值下降幅度较大; 反之, 如果进水氨氮较低, 相应的 pH 值下降幅度较小。原水的重碳酸盐碱度是否充足也会影响混合液的缓冲能力, 从而影响 pH 的变化幅度, 如果重碳酸盐碱度不足, 产生的氢离子超过溶液的缓冲能力, 使得 pH 值下降到硝化菌适宜生长的范围外, 影响硝化反应速率和硝化进程; 反之, 如果重碳酸盐碱度过量, 那么碱度的消耗对 pH 值的影响很小。好氧区 pH 曲线的变化规律就是硝化反应和曝气吹脱共同作用的结果。当曝气吹脱作用导致 pH 值上升大于硝化反应使 pH 值下降的作用时那么 pH 值表现为上升, 相反就表现为下降。

根据能斯特方程可知, 好氧区出水 ORP 值受温度、pH 值、DO 浓度和硝酸氮浓度的影响。

$$E = E_0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{[O_2]}{[\text{Red}]} \quad (1)$$

式中, E —体系的氧化还原单位, mV ; E_0 —标准氧化还原电位, mV ; R —气体常数; T —绝对温度, K ; F —法拉第常数; n —参加反应的电子数。由于系统温度控制在室温情况下, 变化不大; 由能斯特方程式, pH 值每减少 1 个单位, ORP 增大 59 mV 左右, 根据 pH 值检测结果, 虽然好氧区各格室 pH 值发生变化, 但表现在每个格室 pH 值变化幅度很小 (< 0.05), 因此好氧区最后格室的 pH 值变化对 ORP 的影响也不大, 所以 DO 浓度和硝酸氮浓度是好氧区最后格室 ORP 值的主要影响因素。如果维持好氧区最后格室 DO 浓度恒定, 可以获得 ORP 值将只受出水硝酸氮浓度的影响, 从而可以应用 ORP 值来动态指示出水水质的变化情况, 另外维持一个相对较小的 DO 浓度, 也将减少进入缺氧区的 DO 量, 从而减少对反硝化的影响。

3 前置反硝化工艺生物脱氮过程控制系统

由试验结果分析, DO、ORP 和 pH 在线测定信息可以作为前置反硝化工艺的过程控制参数, 为了实现硝化反硝化反应的综合控制, 优化工艺运行条件, 提高出水水质, 建立了硝化反应和反硝化反应综合控制系统(图 7)。系统的建立需要以下几个设定条件: (1) 好氧区第 1 格室的曝气量需维持恒定(本研

究中规定为 $0.08 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$); (2) 好氧区最后格室 DO 浓度恒定(本研究中规定 1.5 mg L^{-1}); (3) 好氧区最后格室的 ORP 设定值范围为 $40 \sim 60 \text{ mV}$; (4) 缺氧区最后格室的最优 ORP 设定值为 -90 mV 。 (5) DO、pH 和 ORP 值在线测定, 每 30 min 对在线控制变量——曝气量、内循环回流量和外碳源投加量调节一次, 避免执行设备的频繁开停, 破坏系统的稳定性。需要说明的是, 不同水质对应的 ORP 值范围不同, 但控制系统的规律是相同的, 只是对参数进行一定的修改。

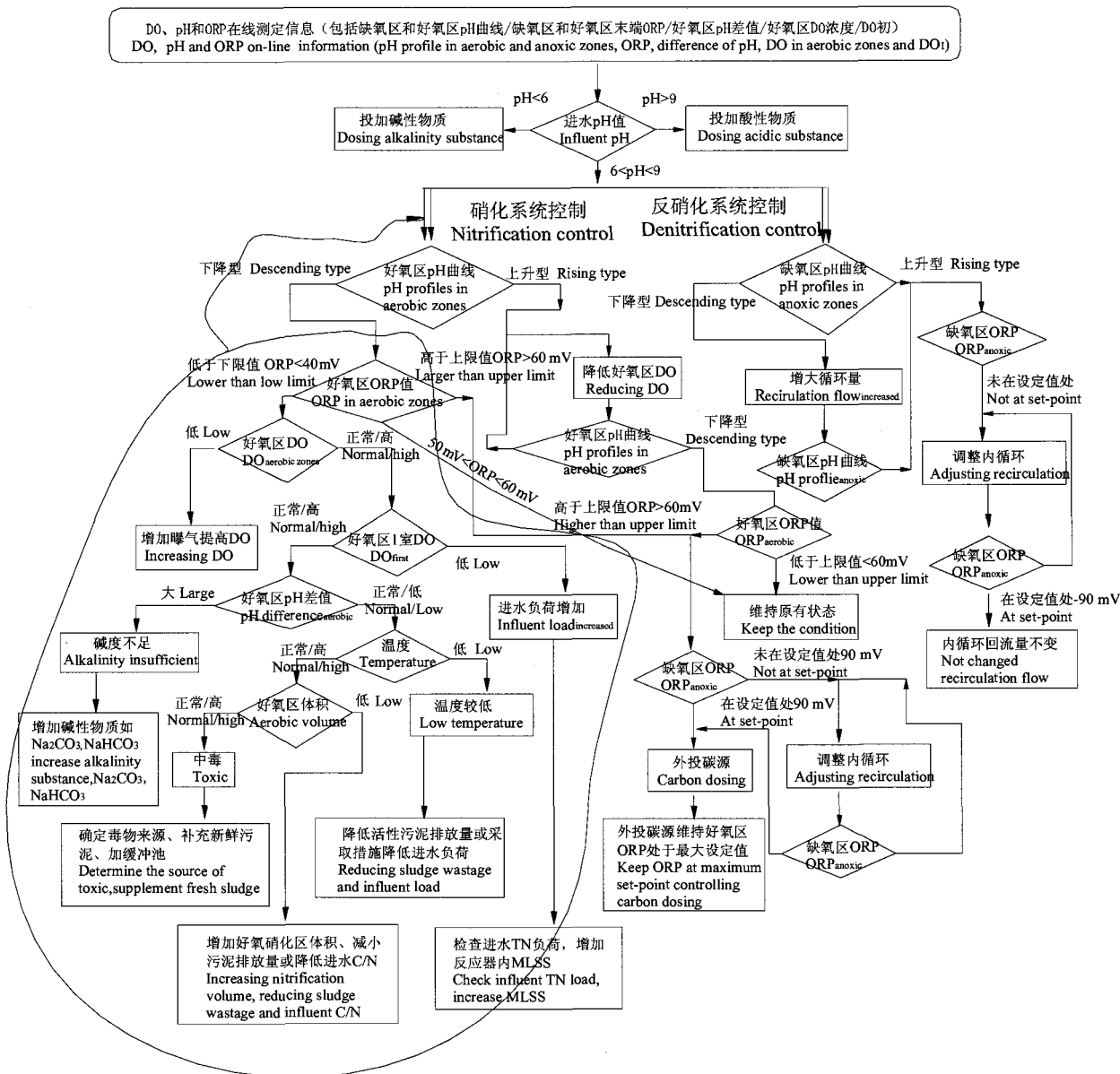


图 7 基于 DO、pH 和 ORP 在线信息前置反硝化工艺生物脱氮过程控制系统
Fig. 7 On-line control system for pre-denitrification process of nitrogen removal using DO, pH and ORP

系统首先在线测定 DO、pH 和 ORP 信息, 包括缺氧区和好氧区 pH 值曲线, 缺氧区和好氧区末端 ORP 值, 好氧区 DO 浓度以及好氧区 pH 差值和好氧区 1 室 DO。首先分析进水 pH 值, 当 pH 小于 6 时投加碱性物质; 而当 pH 值大于 9 时投加酸性物质, 维持进水保持在中性范围。

随后分析好氧区 pH 曲线类型和缺氧区 pH 曲线类型, 好

氧区和缺氧区的 pH 曲线类型分析需要同时进行。首先来看缺氧区 pH 曲线类型, 如果属于下降型, 表明缺氧区硝酸氮浓度不足或回流硝酸氮已完全反硝化, 应提高内循环回流量, 然后继续分析 pH 曲线类型, 直到 pH 曲线类型变为上升型; 如果 pH 曲线类型为上升型, 分析缺氧区末端 ORP 设定值是否处于最优设定值 -90 mV , 如果处于 -90 mV , 说明系统反硝化反应

运行在最优条件下,维持当前内循环回流量不变.如果 ORP 值未在最优设定值处,调整内循环回流量直到 ORP 最优设定值维持在 -90 mV .

然后分析好氧区 pH 曲线类型,如果是上升型曲线,表明硝化反应已完成,为了降低系统运行费用,首先降低曝气量和好氧区 DO 浓度.然后再分析好氧区 pH 曲线类型,直到好氧区 pH 曲线类型刚好变为下降型;继续检测好氧区最后格室的 ORP 值,分析它是否小于设定的上限值 60 mV ,如果小于上限值,说明系统出水水质和运行状态较好,维持当前运行状态不变.如果 ORP 值大于上限值 60 mV ,说明出水硝酸氮浓度较高,然后分析缺氧区的 ORP 值是否处于最优设定值 -90 mV ,如果未处于最优设定值附近,调节内循环回流量,直到它处于最优设定值附近;如果缺氧区末端 ORP 值处于最优设定值处,好氧区最后格室的 ORP 值仍然大于上限值 60 mV ,说明进水碳源不足,应外投碳源,直到好氧区末端的 ORP 设定值小于最大设定值 60 mV .

如果好氧区的 pH 曲线类型属于下降型,说明系统硝化没有完成,下面分析系统硝化反应进行的程度和硝化不完全的原因.首先分析好氧区出水 ORP 值,如果 ORP 值大于其上限值 60 mV ,一方面说明系统的硝化将近完成,另一方面说明出水硝酸氮浓度较高,反硝化不充分;然后和上面一样首先调整内循环回流量,如果调整内循环回流量后无效,外投碳源,提高系统反硝化效果.

如果好氧区出水 ORP 值小于其下限值 40 mV ,说明系统的硝化效果较差,并分析其原因.首先分析好氧区的 DO 浓度,如果 DO 浓度较低,表明 DO 浓度较低是硝化效果差的主要因素,并提高好氧区 DO 浓度;如果 DO 浓度正常或较高,则说明 DO 浓度不是硝化差的主要原因.然后分析好氧区第 1 格室的 DO 浓度(DO),如果 DO 较低说明进水负荷增加,其中可能是氨氮负荷或 COD 负荷,增加反应器 MLSS 浓度,降低进水负荷.如果 DO 不低,继续分析好氧区的 pH 降低幅度(也就是好氧区末端和首端 pH 的差值),如果 pH 下降幅度较大,其原因可能是进水碱度不足,导致 pH 下降到很低程度,严重抑制了硝化反应进程,所以应投加碱性物质.如果 pH 下降幅度不大,然后分析反应器运行温度,如果温度较低,说明低温抑制了硝化反应的正常进行,导致系统硝化效果变差,应降低污泥排放量、降低系统污泥负荷或进水负荷,来改善系统硝化效果.如果温度不低,继续分析好氧区体积大小,如果好氧区体积较小,则说明参与硝化反应的硝化菌数量不足,应增大好氧区体积、降低污泥排放量(减少硝化菌的流失)或降低进水 C/N 比(维持硝化菌较好的生长环境).如果好氧区体积充足,则系统有可能中毒,硝化菌的生长被抑制,则应分析进水中毒性负荷的来源,补充新鲜污泥或使用进水调节池,当毒性负荷过后,再把进水引入反应器.

基于上述在线控制系统分析直到改善工艺的硝化效果.另

外如果当好氧区末端的 ORP 值处于 $50\sim 60\text{ mV}$ 之间可以维持当前运行状态.应用上述在线控制系统处理淀粉废水、实际生活污水研究了前置反硝化工艺小试和中试试验装置的运行效果,均获得满意的试验结果,无论从提高出水水质和维持系统稳定上,还是节约运行费用上,都优于未采用在线控制系统之前的运行效果.

4 结论

通过研究,本试验获得可以应用 DO、ORP 和 pH 在线传感器作为前置反硝化工艺硝化反硝化反应的过程控制参数,试验获得以下主要结论:

pH 曲线在好氧区和缺氧区的变化分为下降型和上升型两种,可以指示系统硝化反硝化反应进行的程度以及系统运行状态是否优化.缺氧区末端的 ORP 值和硝酸氮浓度具有较好的相关性,可作为内循环回流量的控制参数,并获得最优设定值为 -90 mV .好氧区最后格室的 ORP 值和出水水质具有较好的相关性,可以通过控制曝气量和外碳源投加量,维持 ORP 值在 $40\sim 60\text{ mV}$ 之间时,以获得较好的出水水质.好氧区第 1 格室的 DO 浓度可以指示进水负荷的变化,并实现曝气量的前馈控制.基于上述在线信息建立了硝化反硝化反应在线控制系统,试验获得该系统能实现在提高出水水质的前提下节约系统运行费用的目的.

References

- Olsson G, Newell B. Wastewater Treatment Systems, Modeling, Diagnosis and Control. London: IWA Publishing, 1999
- Ingildsen P, Wendelboe H. Improved nutrient removal using *in situ* continuous on-line sensors with short response time. *Wat Sci Tech*, 2003, **48** (1): 95~102
- Wareham DG, Hall KJ, Mavinic DS. Real-time control of aerobic-anoxic sludge digestion using ORP. *J Environ Eng*, 1993, **119** (1): 120~136
- Paul E, Plisson-Saune S, Mauret M, Cantet J. Process state evaluation of alternating oxic-anoxic activated sludge using ORP, pH and DO. *Wat Sci Tech*, 1998, **38** (3): 299~306
- Peng YZ, Gao JF, Wang SY, Sui MH. Use of pH as fuzzy control parameter for nitrification under different alkalinity in SBR process. *Wat Sci Tech*, 2003, **47** (11): 77~84
- Cho BC, Liaw SL, Chang CN, Yu RF, Yang SJ, Chiou BR. Development of a real-time control strategy with artificial neural network for automatic control of a continuous-flow sequencing batch reactor. *Water Sci & Tech*, 2001, **44** (1): 95~104
- Chang CH, Hao O J. Sequencing batch reactor system for nutrient removal: ORP and pH profiles. *J Chem Tech Biotechnol*, 1996, **67** (1): 27~38
- Hao O, Huang J. Alternating aerobic-anoxic process for nitrogen removal: process evaluation. *Wat Environ Res*, 1996, **68** (1): 83~93