

基于 ORP 的控制策略在废水生物处理中的应用

苏高强, 彭永臻

(北京工业大学水质科学与水环境恢复工程重点实验室, 北京 100124)

[摘要] 在废水生物处理的过程中, 氧化还原电位 (ORP) 与污染物的浓度以及生化反应进行的程度有着良好的相关关系, 其对判断反应器的运行状态, 节省能源, 提高反应器的运行效果具有重要的指导作用。介绍了 ORP 作为有机物降解过程及硝化过程的控制参数在好氧生物处理中的控制策略, ORP 作为反硝化过程的控制参数在缺氧生物过程中的控制策略, 以及 ORP 作为控制参数在厌氧发酵以及厌氧释磷中的应用。

[关键词] 氧化还原电位; 废水生物处理; 硝酸盐膝点; 厌氧发酵

[中图分类号] X703 [文献标识码] A [文章编号] 1005-829X(2011)08-0011-05

Control strategies based on ORP to biological wastewater treatment

Su Gaoqiang, Peng Yongzhen

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

Abstract: In the process of biological wastewater treatment, there is a good relationship between ORP and the concentration of the pollutant. It has important guiding effects on the judgement of running status of reactor, energy saving, and the improvement of reactor running effectiveness. The ORP control strategies used as a control parameter of organic degradation process and nitrification process in aerobic biological treatment, as a control parameter of denitrification process in anoxic biological treatment and as a control parameter applied to anoxic fermentation and anaerobic phosphorus releasing are introduced.

Key words: oxidation-reduction potential; biological wastewater treatment; nitrate knee; anaerobic fermentation

20 世纪 40 年代初, 人们将 ORP 监测电极用于控制废水生物处理中好氧池的曝气量。随着对脱氮过程的深入研究, ORP 又被用于缺氧池中反硝化过程的控制。近年来, 人们发现在厌氧释磷过程中 ORP 的变化与释磷量有很好的相关性, ORP 监测也因此在厌氧过程中得到应用。笔者拟从好氧生物处理、缺氧生物处理和厌氧生物处理 3 方面介绍 ORP 在生物处理中的应用。

1 ORP 控制策略在好氧生物处理中的应用

众多研究者发现了 ORP 与 COD 去除和硝化有良好的相关性, 并建立起了 ORP 控制好氧曝气量的策略, 总的来说可分为 3 类: 设定绝对值的控制策略; 依据好氧曝气过程中 ORP 曲线出现特征点的控制策略; 依据好氧曝气过程中 ORP 对时间的一阶导数或二阶导数的控制策略。

1.1 绝对值控制策略

绝对值控制策略是将反应器内 ORP 设置在某一固定值或范围内, 依据该值或范围制定运行策略。表 1 列举了一些使用绝对值控制的策略。

表1 绝对值控制策略

工艺	控制策略	效果
SBR ^[1]	将 ORP 控制在 -50 ~ -150 mV	实现了有机物的去除, 且防止了硝化和磷吸收的发生, 处理过的水适合农田灌溉
SBR ^[2]	将 ORP=400 mV 作为硝化结束时的控制点	防止曝气过量, 有效地控制了曝气时间, 节省了能源
好氧池 ^[3]	将 ORP=380 mV 作为硝化开始的时刻	很好地指示了有机物达到难降解程度的时间
OD ^[4]	控制 ORP 在 -30 ~ 30 mV	发生了良好的同时硝化反硝化
A/O ^[5]	控制 ORP > 30 mV	硝化效果好
A/O ^[5]	对末端好氧区的 ORP 进行监测: ORP < 80 mV 则增加曝气量, ORP > 90 mV 则减少曝气量	实现了良好的硝化和反硝化效果, 并节省了曝气量
CASS ^[6]	将 CASS 运行过程划分为 3 个时间段, 此 3 个时间段的 ORP 分别在 -49、9、30 mV 上下波动	对污染物的去除效果达到设计要求

[基金项目] 国家水体污染控制与治理科技重大专项 (2008ZX07209-003-05); “十一五”国家科技支撑项目 (2009BAC57B01-2)

由表 1 可知,这些控制策略虽有相通之处,但具体的控制方法不一致。如以 ORP 固定值作为控制参数时,在保证较好硝化效果的前提下,不同策略所设置的固定值不一致,侯红勋等^[4]指出在完成同步硝化反硝化的氧化沟中,ORP 在 30 mV 以上即可取得较好的硝化效果;B. Li 等^[3]则指出在 ORP=380 mV 时硝化才开始;而 J. Charpentier 等^[7]认为 ORP=100 mV 时硝化开始,200 mV 时达到最佳。以此可知当采用绝对值控制策略时,要根据工况选择绝对值,因此其鲁棒性较差。D. G. Wareham 等^[8]也认为基于 ORP 曲线特征点的控制策略比基于 ORP 绝对值的控制策略更好。

1.2 ORP 曲线特征点控制策略

在好氧曝气运行过程中,ORP 曲线中存在某些特征点能够指示有机物降解的程度、硝化的结束,由此可以用来控制好氧过程的曝气量,以节省能源。表 2 列出了使用 ORP 曲线特征点控制的策略。

表 2 好氧过程中 ORP 曲线特征点控制策略

工艺	特征点	指示内容
SBR ^[9]	平台	有机物达到难降解程度
SBR ^[10]	折点	有机物达到难降解程度
	平台	硝化结束
两级 SBR ^[11]	折点	硝化结束
	折点	硝化结束
好氧池 ^[3]	折点	有机物达到难降解程度
SBBR ^[13]	平台	硝化结束
SBR ^[14]	平台	有机物达到难降解程度

然而在基于 ORP 曲线特征点的控制策略中,研究人员的意见也不一致,如 C. S. Ra 等^[11]认为在硝化结束后 ORP 上升速率加快,ORP 曲线在此出现拐点预示硝化的结束;而高景峰等^[10]则指出在有机物达到难降解的程度时,ORP 曲线出现拐点,而在硝化结束时,ORP 的上升速率由快变慢,并未出现拐点。

研究人员还发现在某些情况下,ORP 不适合控制好氧过程。如谭学军等^[15]在研究低温 SBR 法污水处理系统运行特性时发现,ORP 不适合用于低温 SBR 系统的过程控制。闻春博等^[16]对沸石投加型 SBR 的好氧段进行实时优化控制研究时发现,在进水总氮浓度较大的条件下,ORP 曲线对硝化终点的指示不明确,但 pH 作为控制参数具有较高的稳定性。

1.3 ORP 导数曲线特征点控制策略

在好氧曝气运行过程中,ORP 对时间的导数曲

线中存在某些特征点能够指示有机物降解的程度、硝化的结束,由此可以用来控制好氧过程的曝气量。如高大文等^[9]发现当 ORP 对时间的一阶导数达到最大值时,COD 的降解达到难降解程度,随后 ORP 导数曲线开始下降,最后出现平台,预示着反应器内 COD 已不再降解;当二阶导数出现峰值时表示有机物降解速率骤减开始,谷底值表示有机物降解速率进一步减小,二阶导数零点出现表示 COD 基本不被降解。高景峰等^[10]也发现 ORP 对时间的一阶导数曲线随着时间的变化由下降的趋势改为突然上升,并在达到一个最高点后又开始下降,最后出现平台,最高点的出现指示有机物达到难降解的程度,而出现平台指示硝化的结束。

废水处理厂通常依据以往的经验对废水好氧处理过程设定曝气时间,但该设置模式只对某一特定水质水量的废水有效,而废水处理过程中往往进水水质水量均会发生变化,甚至是较大的变化,这往往会导致曝气时间的不足或过量,从而导致出水水质的不达标或能源的浪费。而通过 ORP 曲线特征点的控制模式和 ORP 导数曲线特征点的控制模式能有效解决这一问题。G. Andreottola 等^[17]依据硝化结束时 ORP 曲线出现平台点对曝气过程进行控制,发现与采用定时运行的方式相比,该模式下反应器在 1 d 内的进水量提高了 1 倍,且处理效率仍保持较高的水平。

2 ORP 控制策略在缺氧生物过程中的应用

众多研究者发现,ORP 在缺氧生物过程中与硝态氮浓度之间存在良好的相关性,以此可以作为判断反硝化结束的参数,进而可防止缺氧时间过短反硝化不完全,出水中含有硝态氮;也可防止缺氧时间过长反应器进入厌氧状态产生硫化氢等有害物质毒害细菌。

2.1 绝对值控制策略

Z. Tomlins 等^[2]使用基于 ORP 优化曝气的控制系统(OGAR)控制污水厂的运行,该系统利用 ORP 对好氧和缺氧过程进行控制,试验发现在缺氧过程中可利用 ORP=150 mV 作为缺氧反硝化结束时的控制点。B. C. Cho 等^[13]设定 ORP≤-35 mV 作为缺氧结束的控制点,实现了 TN 去除率大于 92.8%。

2.2 ORP 曲线特征点控制策略

在缺氧过程中,ORP 曲线会出现一些特征点指示反硝化结束,以此可以控制缺氧搅拌过程。表 3 列

举了使用 ORP 曲线特征点控制的策略。

表 3 缺氧过程中 ORP 曲线特征点控制策略

工艺	特征点	指示内容
CAST ^[18]	硝酸盐膝点	反硝化结束
SBRR ^[19]	突跃点	同步硝化反硝化结束
SBR ^[20]	硝酸盐膝点	反硝化结束
两段 SBR ^[9]	硝酸盐膝点	反硝化结束
SBR ^[21]	由上升或平台到开始下降的点	反硝化聚磷结束,开始释磷

2.3 ORP 导数曲线特征点控制策略

高景峰等^[22]发现反硝化结束后,ORP 对时间的一阶导数曲线出现凹点指示反硝化的结束。J. H. Kima 等^[12]指出在反硝化脱氮过程中 ORP 对时间的导数小于-5 时,反硝化结束。K. C. Chena 等^[23]提出了 ring-buffer 法,其利用 ORP 控制反硝化,反应时间减少了 30%,并且在 HRT 改变的条件能取得良好且稳定的处理效果。

在利用 ORP 曲线特征点作为控制策略时,许多学者的意见不一致。王亚宜等^[24]使用双污泥 SBR 工艺进行反硝化除磷时,发现利用内源的 PHB 作为碳源反硝化时,ORP 曲线不会出现硝酸盐膝点;而高景峰等^[22]发现在使用好氧/缺氧 SBR 进行脱氮时,利用内源碳作为反硝化碳源时 ORP 曲线会出现硝酸盐膝点。J. H. Kim 等^[12]指出在外碳源充足的条件下,反硝化结束后 ORP 曲线出现硝酸盐膝点;而 C. S. Ra 等^[25]发现在过量投加碳源时(COD/TKN=8.5),由于 ORP 在缺氧段前期下降迅猛,将硝酸盐膝点遮盖,在 ORP 曲线中不会出现硝酸盐膝点。因此硝酸盐膝点何时会出现还要进一步研究。

3 ORP 控制策略在厌氧生物处理中的应用

在厌氧生物处理过程中,学者发现 ORP 与厌氧发酵、有机物的去除以及聚磷菌释磷有着密切的关系,并建立起了它们之间的联系。

3.1 ORP 控制策略在发酵过程中的应用

ORP 在厌氧生物处理工艺中是一个重要的控制参数,可用于判断和控制生物厌氧的营养代谢途径和能量代谢途径,达到控制代谢产物的目的,使整个生物系统向精确可控系统方向发展。表 4 列举了一些 ORP 控制策略在厌氧发酵中的应用。

3.2 ORP 控制策略在污染物去除中的应用

在厌氧处理过程中,有机物的分解与去除与 ORP 有较好的相关性,ORP 能良好地反映污染物去除的情况。B. C. Cho 等^[13]发现在厌氧过程,随着还原性物质的产生,ORP 曲线不断下降,在下降到一

表 4 ORP 控制策略在发酵中的应用

应用	pH 控制范围	ORP 控制范围	结论
优化酿酒酵母乙醇的生长 ^[26]		-50~-100 mV -230 mV -150 mV	乙醇的生产率极低,但生物量和甘油产量都很高 乙醇生产率较高,但菌体活性低 乙醇生产率和菌体活性都较好
控制不同的产酸发酵类型 ^[27]	4.0~4.5 5.0~5.8 4.8~5.5, 5.8 以上	-350~-250 mV -200~100 mV -330~-180 mV	乙醇型发酵 丙酸型发酵 丁酸型发酵
控制葡萄糖厌氧发酵产物 ^[28]	6 <3.5	-550~-330 mV >-100 mV	乙醇和乳酸是主要产物,丁酸浓度随 ORP 的升高而降低,而丙酸和甲酸浓度随 ORP 升高而增加 乙醇为主要产物
不同发酵类型连续转化 ^[29]	4.3 6.8	-470 mV -560 mV	乙醇型发酵 丁酸型发酵
厌氧产酸发酵类型的动态演替 ^[30]		>-230 mV -327~-257 mV	混合型发酵 丁酸型发酵

凹点后,由于还原性物质的去除,ORP 开始上升;当 COD 达到难降解的程度时,反应体系内的 ORP 变化较稳定,此时氨化基本结束,以此可以判断有机物去除情况和氨化情况。G. Buitrón 等^[31]发现在厌氧/好氧 SBR 处理 *p*-硝基苯废水过程中,在厌氧阶段,*p*-硝基苯转化为 *p*-氨基酸的过程中,当 *p*-硝基苯全部转化完毕后,ORP 曲线会出现一拐点,利用这一个特点可以很好地控制厌氧时间。N. D. Lourenco 等^[32]指出在采用厌氧/好氧交替运行方式的 SBR 处理染料废水时,为了保证染料的去除效果,厌氧区的 ORP 应低于-350 mV。

3.3 ORP 与聚磷菌释磷的关系

在良好厌氧状态下 ORP 和 TP 含量之间呈现良好的相关关系,ORP 的变化能直接反映 TP 浓度的变化,因此可将 ORP 作为厌氧释磷过程的监测指标。

Y. Y. Wang 等^[33]发现在厌氧过程中,随着释磷的进行,COD 降低,ORP 也不断下降,在前期 ORP 的下降快,磷的释放也快,在释磷结束时,ORP 变化较慢,可以指示释磷的结束。D. S. Lee 等^[34]发现在以厌氧—好氧—厌氧—好氧方式运行的 SBR 系统中,在厌氧阶段 ORP 的拐点和磷的释放有良好的相关性,可利用其作为参数实时控制运行过程,在运行过程中 P 的去除率可达 100%。K. S. Kim 等^[35]发现在厌氧过程中,ORP 与电导率以及释磷成负相关的关系,可利用 ORP 控制释磷。

在好氧过程中,ORP 已被广泛地用于对有机物降解程度、硝化是否结束的判断中;在缺氧过程中,

ORP 被用来指示反硝化是否结束。相比 ORP 在好氧过程和缺氧过程较为成熟的应用,在厌氧过程中,人们还未发现 ORP 与有机物的去除、厌氧反应进行程度有何明确的关系,因此如何利用 ORP 实现厌氧的精确控制还需进一步研究。

4 其他应用

一些研究者建立了模拟废水生物处理系统中 ORP 的模型来解释废水生物处理过程中 ORP 的变化。Hongbang Cheng 等^[36]提出了 MIRROR (microbial related reduction and oxidation reaction) 模型 1 号,这是在非平衡状态下建立的模型,该模型中 ORP 和微生物合成反应和分解反应有关,并考虑了电化电势、亲和力、温度和超电势梯度的影响。经过验证认为该模型既可以解释非稳定状态下系统的 ORP,又可解释稳定状态下的 ORP。该模型比较近似地反映了系统的 ORP,根据该方程可以较为准确地预测反应器内 ORP,为控制反应器运行提供依据。但该模型将生物量假设为恒定,和实际情况有一定的差别,这是该模型的缺点。Chengnan Chang 等^[37]根据硝化和反硝化过程中的化学计量关系建立起了 ORP 模型预测反应器内的 ORP。在反硝化过程中当有机物不足时,将 pH 设为恒定;当有机物过量时将参与反应的有机物浓度设为恒定,以此来修正 ORP 方程。经过使用参考文献中的数据验证,发现建立的模型能很好预测硝化和反硝化过程中的 ORP。

在实现污泥减量的过程中,S. Saby 等^[38]考察了 OSA (oxic-settling-anoxic) 系统中将缺氧池控制在不同 ORP 条件下污泥减量的特征,发现在低 ORP 条件 (-250 mV) 下污泥的产量比 100 mV 的条件下少 38%,比传统的活性污泥法少 58%。王建芳等^[39]也发现,好氧—沉淀—厌氧工艺厌氧段 ORP 由 -100 mV 下降到 -250 mV 时,污泥产率由 0.43 g/g 下降到 0.32 g/g,证实了降低 ORP 有利于污泥减量。Baikun Li 等^[40]使用微电极考察了不同污染物浓度下,液相主体到活性污泥内部 DO、ORP 的变化特征。试验发现活性污泥内部的 ORP 随污染物的浓度和 DO 的改变而改变,且活性污泥内部 ORP 的减少和微生物的活动直接相关,因此 ORP 可以用作指示活性污泥内部微生物的活动。

5 结语

污水生物处理过程中 ORP 检测为人们提供了

重要的信息。在好氧生物处理过程中,ORP 良好地指示了有机物降解和硝化程度,为节省曝气量提供了依据。在缺氧生物过程中,ORP 曲线在反硝化结束后出现硝酸盐膝点这一特点被应用到了控制缺氧反硝化过程中,为控制搅拌时间提供了依据。在厌氧生物处理过程中,ORP 作为控制参数来控制产酸发酵和判断厌氧释磷的程度,为实现厌氧的精确控制提供了依据。

[参考文献]

- [1] Qureshi A, Lo K V, Liao P H, et al. Real-time treatment of dairy manure: Implications of oxidation reduction potential regimes to nutrient management strategies [J]. *Bioresource Technology*, 2008, 99(5): 1169-1176.
- [2] Tomlins Z, Thomas M, Keller J, et al. Nitrogen removal in a SBR using the OGAR process control system [J]. *Water Science and Technology*, 2002, 46(4/5): 125-130.
- [3] Li B, Bishop P. Oxidation-reduction potential (ORP) regulation of nutrient removal in activated sludge wastewater treatment plants [J]. *Water Science and Technology*, 2002, 46(2): 35-39.
- [4] 侯红勋, 陈伦强, 王淑莹. 用 ORP 作为氧化沟同步硝化反硝化控制参数 [J]. *北京工业大学学报*, 2006, 32(12): 1093-1096.
- [5] 马勇, 彭永臻. 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 [J]. *应用与环境生物学报*, 2007, 13(3): 408-413.
- [6] 汪慧贞, 陈鹏, 李彩斌. CASS 工艺曝气控制的研究 [J]. *给水排水*, 2008, 34(2): 56-59.
- [7] Charpentier J, Martin G, Wacheux H, et al. ORP regulation and activated sludge: 15 years of experience [J]. *Water Science and Technology*, 1998, 38(3): 197-208.
- [8] Wareham D G, Hall K J, Mavinic D S. Real-time control of aerobic-anoxic sludge digestion using ORP [J]. *Journal of Environmental Engineering*, 1993, 119(1): 120-136.
- [9] 高大文, 王淑莹, 彭永臻, 等. 温度变化对 DO 和 ORP 作为过程控制参数的影响 [J]. *环境科学*, 2003, 24(1): 63-69.
- [10] 高景峰, 彭永臻, 王淑莹. DO 和 ORP 与 SBR 法硝化反硝化的相关关系 [J]. *哈尔滨建筑大学学报*, 2002, 35(1): 61-65.
- [11] Ra C S, Lo K V, Mavinic D S. Real-time control of two-stage sequencing batch reactor system for the treatment of animal wastewater [J]. *Environmental Technology*, 1998, 19(4): 343-356.
- [12] Kim J H, Chen Meixue, Kishida N, et al. Integrated real-time control strategy for nitrogen removal in swine wastewater treatment using sequencing batch reactors [J]. *Water Research*, 2004, 38(14/15): 3340-3348.
- [13] Cho B C, Chang C N, Liaw S L, et al. The feasible sequential control strategy of treating high strength organic nitrogen wastewater with sequencing batch biofilm reactor [J]. *Water Science and Technology*, 2001, 43(3): 115-122.
- [14] Yu C P, Yu Y H. Identifying useful real-time control parameters in ozonation process [J]. *Water Science and Technology*, 2000, 42(3/4): 435-440.

- [15] 谭学军, 唐利, 周琪. 低温 SBR 法污水处理系统运行特性[J]. 同济大学学报:自然科学版, 2008, 36(8): 1094-1100.
- [16] 闻春博, 雷中方, 刘翔. 沸石投加型 SBR 的好氧段实时优化控制研究[J]. 复旦学报:自然科学版, 2008, 47(4): 487-492.
- [17] Andreottola G, Foladori P, Ragazzi M. On-line control of a SBR system for nitrogen removal from industrial wastewater [J]. Water Science and Technology, 2001, 43(3): 93-100.
- [18] Ma J, Peng C Y, Wang L, et al. Biological nitrogen removal in a step-feed CAST with real-time control treating municipal wastewater [J]. Water Science and Technology, 2010, 61(9): 2325-2332.
- [19] 凌忠勇, 张可方. 温度对 SBBR 亚硝化型同步硝化反硝化及过程控制的影响[J]. 广东化工, 2008, 35(6): 36-41.
- [20] 高大文, 彭永臻, 王淑莹. 不同控制模式下 SBR 的短程硝化反硝化[J]. 中国给水排水, 2004, 20(6): 9-11.
- [21] 张超, 吕锡武. SBR 工艺中反硝化除磷特性研究[J]. 环境科学, 2007, 28(10): 2259-2263.
- [22] 高景峰, 彭永臻, 王淑莹. SBR 法反硝化模糊控制参数 pH 和 ORP 的变化规律[J]. 环境科学, 2002, 23(1): 39-44.
- [23] Chena K C, Chena C Y, Penga J W, et al. Real-time control of an immobilized-cell reactor for wastewater treatment using ORP [J]. Water Research, 2002, 36(1): 230-238.
- [24] 王亚宜. 反硝化除磷脱氮机理及工艺研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2004.
- [25] Ra C S, Lo K V, Shin J S, et al. Biological nutrient removal with an internal organic carbon source in piggy wastewater treatment [J]. Water Research, 2000, 34(3): 965-973.
- [26] 喻扬, 王永红, 储炬, 等. 控制发酵过程氧化还原电位优化酿酒酵母乙醇生产[J]. 生物工程学报, 2007, 23(5): 779-787.
- [27] 赵丹, 任南琪, 王爱杰. pH、ORP 制约的产酸相发酵类型及顶级群落[J]. 重庆环境科学, 2003, 25(2): 33-35.
- [28] 周洪波, Ralf C R, 陈坚, 等. 产酸相中氧化还原电位控制及其对葡萄糖厌氧发酵产物的影响[J]. 中国沼气, 2000, 18(4): 20-23.
- [29] 宋佳秀, 任南琪, 安东, 等. 产酸相发酵类型的制氢转化规律及比较[J]. 净水技术, 2006, 25(6): 55-59.
- [30] 马文成. 水解酸化-两级厌氧工艺处理甲醇废水的试验研究[J]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2008.
- [31] Buitrón G, Moreno G, Garcíá M E, et al. Effect of co-substrate, biomass and sulfate concentration on the performance of a control strategy used to determine the anaerobic stage length of an anaerobic/aerobic SBR degrading *p*-nitrophenol [J]. Water Science and Technology, 2005, 52(1/2): 441-447.
- [32] Lourenco N D, Novais J M, Pinheiro H M. Reactive textile dye colour removal in a sequencing batch reactor [J]. Water Science and Technology, 2000, 42(5/6): 321-328.
- [33] Wang Y Y, Peng Y Z, Peng C Y, et al. Influence of ORP variation, carbon source and nitrate concentration on denitrifying phosphorus removal by DPB sludge from dephano process [J]. Water Science and Technology, 2004, 50(10): 153-161.
- [34] Lee D S, Jeon C O, Park J M. Biological nitrogen removal with enhanced phosphate uptake in a sequencing batch reactor using single sludge system [J]. Water Research, 2001, 35(16): 3968-3976.
- [35] Kim K S, Yoo J S, Kim S, et al. Relationship between the electric conductivity and phosphorus concentration variations in an enhanced biological nutrient removal process [J]. Water Science and Technology, 2007, 55(1/2): 203-208.
- [36] Cheng Hongbang, Kumar M, Lin J G. Development of linear irreversible thermodynamic model for oxidation reduction potential in environmental microbial system [J]. Biophysical Journal, 2007, 93(3): 787-794.
- [37] Chang Chengnan, Cheng Hongbang, Chao A C. Applying the Nernst equation to simulate redox potential variations for biological nitrification and denitrification processes [J]. Environmental Science & Technology, 2004, 38(6): 1807-1812.
- [38] Saby S, Djafer M, Chen Guanghao. Effect of low ORP in anoxic sludge zone on excess sludge production in oxic-settling-anoxic activated sludge process [J]. Water Research, 2003, 37(1): 11-20.
- [39] 王建芳, 赵庆良, 刘志刚, 等. 好氧-沉淀-厌氧工艺剩余污泥减量化的影响因素[J]. 中国环境科学, 2008, 28(5): 427-432.
- [40] Li Baikun, Bishop P L. Micro-profiles of activated sludge floc determined using microelectrodes [J]. Water Research, 2004, 38(5): 1248-1258.

[作者简介] 苏高强(1985—), 北京工业大学 2009 级博士生, 电话: 010-67392627, E-mail: sugaoqiang1985@emails.bjut.edu.cn.

[收稿日期] 2011-04-25(修改稿)

·水处理基础知识讲座·

锅炉给水中带油有什么危害

由于给水中带油, 会给锅炉系统造成严重的危害。例如:

(1) 油质附着在炉管管壁上, 受热时会分解生成热导率很低的附着物, 只有 $0.093 \sim 0.163 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$, 严重影响管壁的传热, 造成管壁金属的变形, 危及炉管安全; (2) 给水中的油

会使炉水形成泡沫及生成水中漂浮的水渣, 促使蒸汽品质的恶化; (3) 油沫水滴会被蒸汽带到过热器中, 受热分解产生热导率很低的附着物, 导致过热器管的过热损坏。

摘自《工业水处理技术问答及常用数据》