

城市景观水体曝气与生物膜联合净化技术研究

宋英伟^{1,3}, 聂志丹², 年跃刚^{2*}, 黄民生¹, 黄建军⁴, 闫海红², 张扬²

(1. 华东师范大学环境科学系, 上海 200062; 2. 中国环境科学研究院水污染控制研究中心, 北京 100012; 3. 北京市环境保护科学研究院, 北京 100037; 4. 北京佳业佳境环保科技有限公司, 北京 100022)

摘要:为提高城市景观水体的透明度,降低水体中的营养盐含量,改善水生态系统恢复的生境条件,将水体曝气与生物膜复合净化技术应用于北京某疗养院5 000 m²景观水体,研究该技术提高水体透明度和降低水体中营养盐的效果,曝气方式采用新型的推流型射流曝气机,生物膜载体采用弹性生物膜填料.研究显示,该技术能使水体透明度从25 cm提高到了120 cm;水体中总氮(TN)、氨氮(NH₄⁺-N)、硝氮(NO₃⁻-N)、总磷(TP)的含量分别降低了22.4%、86.6%、90%和73.3%;水体底部溶解氧(DO)含量由4.3 mg/L增加到7 mg/L左右.环境水体透明度的提高为恢复水生态系统创造了有利条件,表明水体曝气与生物膜复合净化技术是景观水体水生态系统生境改善的有效措施.

关键词:景观水体;曝气;生物膜;联合净化

中图分类号:X524 文献标识码:A 文章编号:0250-3301(2008)01-0058-05

Research of Aeration with Bio-film Technology to Treat Urban Landscape Water

SONG Ying-wei^{1,3}, NIE Zhi-dan², NIAN Yue-gang², HUANG Min-sheng¹, HUANG Jian-jun⁴, YAN Hai-hong², ZHANG Yang²

(1. Department of Environmental Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China; 2. Research Center for Water Pollution Control, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; 3. Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection, Beijing 100037, China; 4. Beijing Jiaye Jiajing Environmental Engineering Technology Co., Ltd, Beijing 100022, China)

Abstract: Research of the aeration with bio-film technology was carried out to treat scenic water of a sanatorium in Beijing. The aim of the research was improving the water habitat by increasing the transparency and reducing the concentration of N and P. The equipments were set in a 5 000 m² water area, which combined the plug flow jet aerator with the elastic biological filler. The research indicated that the transparency increased from 25cm to 120cm by the technology. The removal efficiencies of NH₄⁺-N, NO₃⁻-N and TP were 86.6%, 90% and 73.3%, but there was only 22.4% for TN. The concentration of DO increased from 4.3 mg/L to 7 mg/L. In a word, the aeration with bio-film technology was an effective measure to improve the water habitat by increasing the transparency.

Key words: landscape water; aeration; biofilm; united purifying

城市景观水体治理的目标之一是提高水体透明度,营造清澈的水体景观.研究表明影响水体透明度的因素主要有2方面,一方面是因风力搅动或其它外力干扰引起底质有机或无机物的悬浮^[1,2];另一方面就是藻类的大量繁殖和暴发^[3~5].然而对于城市小型富营养化浅水湖泊、城市河流、公园及住宅小区等小型封闭景观水体来说,风力等因素对透明度造成的影响较小,主要的影响因素是藻类的过度繁殖和暴发.氮、磷含量过高是导致藻类暴发的重要原因^[6,7],因此控制藻类暴发,提高水体透明度的根本途径就是降低氮、磷的含量.

目前城市景观水体治理技术包括:栽种高等水生植物、放养滤食性鱼类等生态方法^[8~11];投加药剂、臭氧、紫外线和超声波杀藻等物理化学方法^[12~15];引清水稀释、人工曝气等工程措施^[16~19].然而这些方法和措施中有些耗水、耗电量大,有些时间

长见效慢,有些效果不佳^[20,21].水体曝气与生物膜联合净化技术是城市景观水体治理的一种新技术,在北京某疗养院内进行工程示范取得了较好的效果,为研究该技术的特点和总结该技术的效果,笔者在未处理区和处理的工程区分别进行了采样监测,对2个区的水质情况进行了比较研究,在工程实施前,两区水质状况相同,工程实施后,处理区水质明显好转,透明度大为提高,水体曝气与生物膜联合净化技术为景观水体治理提供一条有效途径.

1 材料与方法

1.1 技术方法

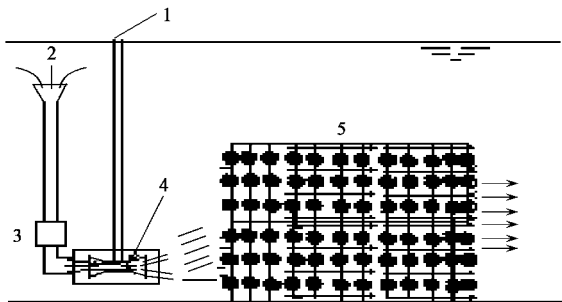
收稿日期:2007-01-15;修订日期:2007-06-06

基金项目:国家高技术研究发展计划(863)项目(2006AA06Z343)

作者简介:宋英伟(1970~),女,博士研究生,主要研究方向为水污染控制与生态修复,E-mail: songyw1970@sohu.com

* 通讯联系人,E-mail: nianyg@craes.org.cn

设施位于北京市某疗养院一个人工湖内,整个人工湖被混凝土堤坝隔开,分为 A 区和 B 区. A 区面积为 50 000 m²; B 区面积为 5 000 m², B 区四周以及底部都为水泥瓷砖铺设. 实验的曝气装置和生物膜安装在 B 区内,曝气装置安装在水体底部,通过循环水设备将上层水体吸入底层,经过负压复氧器使水流形成水平流状态,从而实现水体底部水平复氧,同时利用上层水的循环还可以达到提高复氧效率节约能源的目的. 装置示意图如图 1 所示,运行时间为 1 a. 基本参数为:曝气设备共 6 台,每台功率为 1 kW,生物膜采用半软性填料,安装在 2 m 长、1 m 宽、1 m 高的铁框架上,共 8 组,浸没于水中. 整个设备 24 h 运行,通过曝气设备的推流作用实现整个 B 区水体循环,水流循环速度约为 5 cm/s.



1. 空气入口;2. 上层水入口 3. 循环水设备;
4. 负压复氧器;5. 生物膜

图 1 装置示意

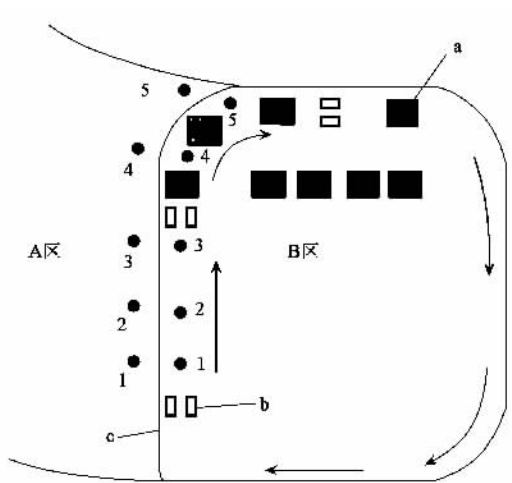
Fig.1 Sketch map of equipment

1.2 设备布置与采样情况

曝气设备两两并排放置,离岸边 1 m,共放置 3 处,每处之间相隔约 60 m. 在其中 2 处曝气设备之间放置 3 组生物膜填料,其它生物膜主要放置在这 2 处曝气设备周围. 沿水流过程在 3 处曝气设备中间设置 5 个采样点,为方便 A 区和 B 区进行比较,沿混凝土堤坝在 A 区对应处也设置 5 个采样点. 在运行稳定的情况下,于 2006-09-11 取样分析,具体设备分布和采样点设置如图 2 所示.

1.3 分析方法

水体的 pH、溶解氧(DO)、氧化还原电位(Eh)、温度和透明度等指标在现场检测. pH 值采用玻璃电极法,利用酸度计测定; Eh 和温度采用 Thermo Orion model 250Aplus 精密型便携式测量仪测定;透明度采用塞氏盘法. TN、TP、NH₄⁺-N、NO₃⁻-N 等指标在现场采集后带回实验室按文献[22]测定.



1~5 为 A 区和 B 区的采样点;箭头表示水流方向
a. 生物膜; b. 射流曝气机; c. 混凝土堤坝

图 2 设备布置和采样点分布示意

Fig.2 Location of monitoring points and equipment disposal

2 结果与分析

2.1 氮的去除效果

图 3 为 A 区和 B 区各采样点总氮、氨氮和硝氮的含量比较,每个点均于水深 80 cm 处取水样. 从图 3 可知, B 区总氮的含量与 A 区总氮的含量差异不大,与 A 区相比 B 区总氮含量下降了 22.4%. 而 B 区氨氮和硝氮含量明显低于 A 区,分别下降了 86.6% 和 90%. 氮元素是通过硝化和反硝化作用得以去除,从 B 区氨氮含量明显下降可知,曝气复氧增加了整个水体的溶解氧含量,加强了硝化作用. 硝氮去除效果较好的原因是反硝化作用和生物膜生长吸收转化所致. 但从总氮去除效果来看,由于一部分氮元素被微生物吸收利用成有机氮,从而导致其去除效果不明显.

2.2 磷的去除效果

图 4 为 A 区和 B 区各采样点的总磷含量,取样情况与氮相同. 从图 4 可知, A 区总磷的平均含量为 0.15 mg/L, B 区总磷的平均含量为 0.04 mg/L, B 区与 A 区相比总磷含量平均下降了 73.3%,从 V 类水质改善到 III 类水质. 磷元素在微生物活动过程中表现为好氧状态摄磷,厌氧状态释磷,本装置通过曝气复氧,使生物膜上微生物在好氧状态下大量摄取水中的磷,从而达到了较好的净化效果.

2.3 透明度比较

图 5 为 A 区和 B 区透明度的比较,从图 5 可以看出无处理设备的 A 区透明度为 20~25 cm,有处理

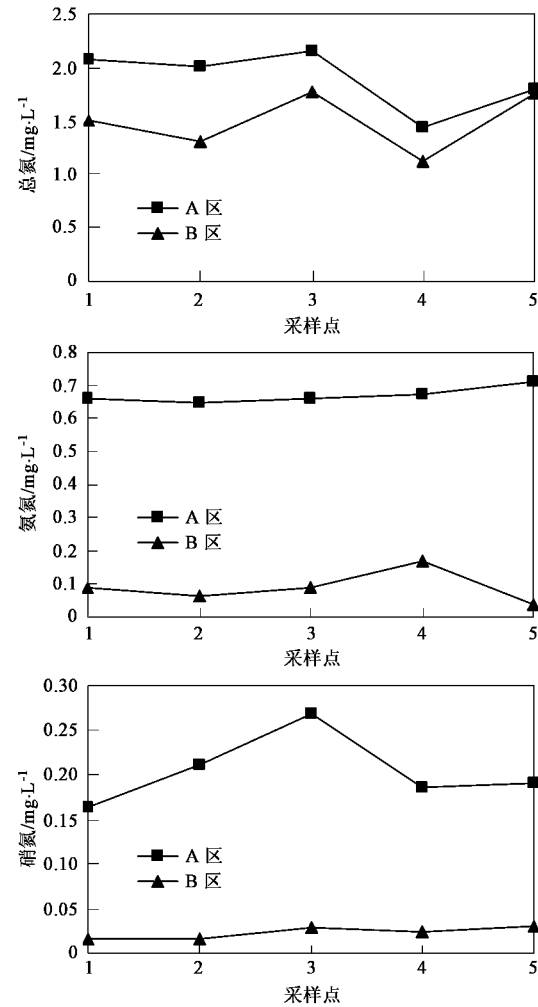


图 3 A 区和 B 区各采样点的氮含量比较

Fig.3 Comparison of N concentration between A area and B area

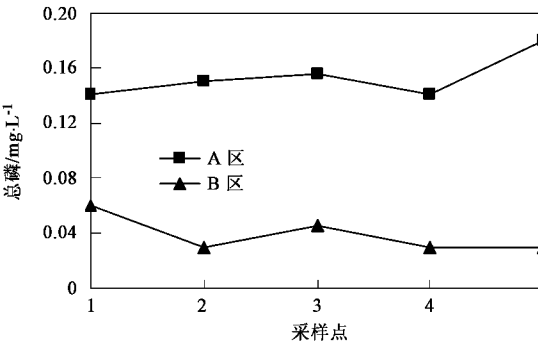


图 4 A 区和 B 区各采样点的总磷含量比较

Fig.4 Comparison of P concentration between A area and B area

设施的 B 区透明度为 110~120 cm, B 区比 A 区透明度明显提高.结合 2.1 和 2.2 的分析可知,通过降低水体中营养盐的含量,特别是氨氮、硝氮和总磷的含量,就能很好的抑制藻类的暴发,明显提高城市景观

水体的透明度.

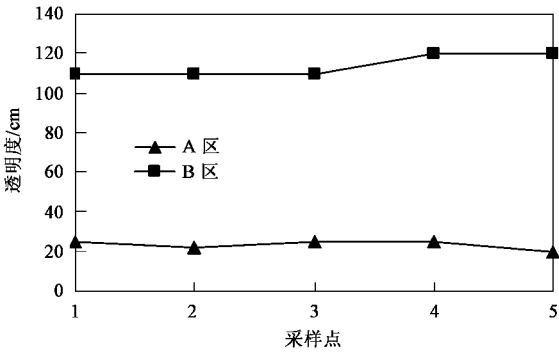


图 5 A 区和 B 区透明度比较

Fig.5 Comparison of transparency between A area and B area

2.4 pH 值比较

分别在每个采样点的水深 10、30、60、90 和 120 cm 处测得 pH 值,取每一个测点相同深度数据的平均值作 pH 值沿程变化图,如图 6 所示.从图 6 可以看出, A 区的 pH 值为 8.9~8.4, B 区的 pH 值为 7.5~7.4, B 区 pH 值与 A 区相比有所下降,并且 A 区表层水体的 pH 值稍高于底层水体.其原因是 A 区内藻类光合作用消耗了水中的 HCO_3^- ,使得 pH 升高.由于 A 区透明度较低,其表层的光合作用强于底层,所以 A 区表层水体 pH 值要稍高于底层水体.而 B 区经曝气与生物膜联合处理后藻类减少, pH 值也随之降低.

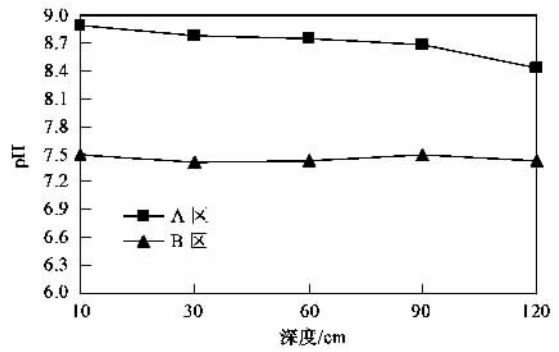


图 6 A 区和 B 区 pH 值比较

Fig.6 Comparison of pH between A area and B area

2.5 温度比较

图 7 为 A 区和 B 区不同深度温度变化比较,取 A 区及 B 区的各测点温度在同一深度数据的平均值做温度沿程变化图.从图 7 可以看出, A 区温度沿深度逐渐降低,水深 1.2 m 处水温平均较表层水温低 2.26°C ,这说明 A 区水体上下水层交换作用小,而 B 区通过曝气推流作用加强了水体的交换和混合作

用,这将更有利于底部水体的复氧.

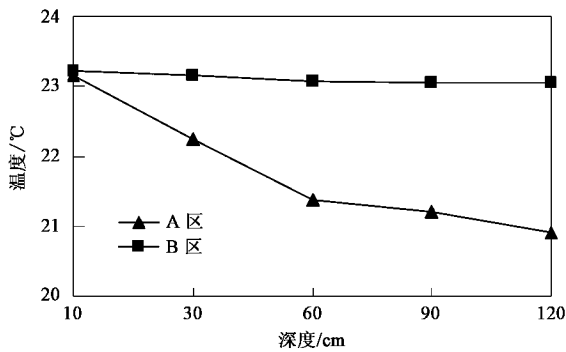


图7 A区和B区不同深度温度变化比较

ig.7 Comparison of various depth temperature between A area and B area

2.6 溶解氧比较

图8为A区和B区不同深度溶解氧变化比较,取A区及B区的各测点溶解氧在同一深度数据的平均值做溶解氧沿程变化图.从图8可以看出,通过曝气以后B区水体底部的溶解氧明显提高,达到7 mg/L左右,并且水体不同深度溶解氧含量基本一致.而A区溶解氧含量随深度的增加逐渐下降,底层水体溶解氧含量较表层水体降低了约3.7 mg/L. A区底部溶解氧含量为4.3 mg/L,可见在底部水体没有加入生物膜载体时,A区水体底部并不缺乏溶解氧,这是由于A区底部微生物数量少,降解作用较弱,底部耗氧速率小的原因.在这种情况下若盲目采用曝气方法治理,将难以达到满意的效果.当在底部水体加入生物膜载体以后,底部微生物数量增加,降解作用将增强,耗氧量将增大,底部溶解氧将下降,如果不进行曝气将不能满足微生物生长所需,因此通过底部曝气能进一步补充溶解氧,提高处理效率.

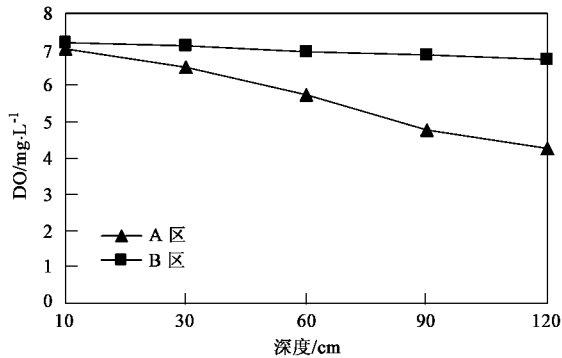


图8 A区和B区不同深度溶解氧变化比较

Fig.8 Comparison of various depth DO between A area and B area

2.7 氧化还原电位比较

图9为A区和B区不同深度氧化还原电位变

化比较,取A区及B区的各测点氧化还原电位在同一深度数据的平均值做氧化还原电位沿程变化图.从图9可知,A区整个水体氧化还原电位明显低于B区;A区和B区的氧化还原电位变化趋势基本一致,表层和底部水体氧化还原电位值低,中部水体氧化还原电位值高.可见通过曝气提高了整个水体的氧化还原电位.水体的氧化还原电位受多种因素的影响^[23,24],由于表层水体光照充足,微生物代谢强烈,导致氧化还原电位降低,而底部由于溶解氧含量低导致氧化还原电位也低,所以氧化还原电位呈中部高,表层和底部低的状态.B区的溶解氧含量高,污染物浓度低,所以B区的氧化还原电位要高于A区.

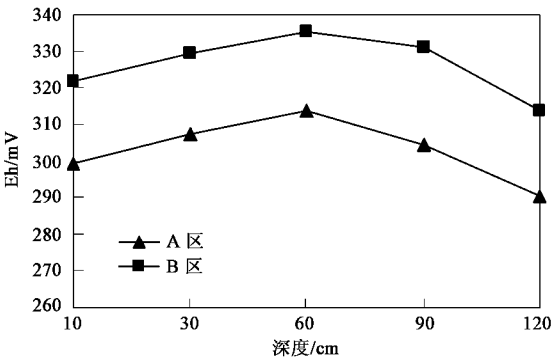


图9 A区和B区不同深度氧化还原电位变化比较

Fig.9 Comparison of various depth Eh between A area and B area

3 讨论

城市景观水体治理的根本途径是降低水体中营养盐含量,控制藻类浓度,从而达到提高水体透明度的目的.从以上分析可知,通过曝气与生物膜联合净化技术降低水中氨氮、硝氮和总磷的含量就可以较明显的提高水体透明度,改善城市景观水体的水质.同时笔者也注意到,与黑臭水体相比,有机污染物含量低的城市景观水体耗氧作用弱,消耗的溶解氧量少,在不加入生物膜载体时,水中并不缺乏溶解氧,所以在治理过程中单纯选择曝气方式达不到理想的改善效果.当水体底部加入生物膜载体后,微生物的数量增加,使水中降解作用加强,消耗的溶解氧量增加,在这种情况下复氧才是必要的,适当的曝气不仅是微生物生长的保障,同时还加强水体交换和流动循环,对改善水质起到非常重要的作用.

4 结论

(1)曝气与生物膜联合净化技术能使水体中的

总氮、氨氮、硝氮、总磷的浓度降低 22.4%、86.6%、90% 和 73.3%，较好地控制蓝藻水华的发生。

(2)曝气与生物膜联合技术能将水体透明度从 25 cm 提高到 120 cm，较好地改善了水生态系统的生境条件。

(3)通过该技术处理后整个水体特别是底部的溶解氧含量增加。水体底部溶解氧从 4.3 mg/L 提高到 7 mg/L 左右，水体中的 pH 值有所降低，氧化还原电位有所提高，水体上下部水温趋于一致。

(4)曝气与生物膜联合净化技术是城市景观水体治理的有效措施，实践证明该技术处理效果好，运行稳定。

参考文献:

- [1] 张运林,秦伯强,陈伟民,等.太湖水体中悬浮物研究[J].长江流域资源与环境,2004,13(3):266-271.
- [2] 杨顶田,陈伟民,张运林,等.太湖梅梁湾水体中悬浮质及光谱的分布特征[J].生态科学,2002,21(4):1-5.
- [3] 吴永红,方涛,丘昌强,等.藻-菌生物膜法改善富营养化水体水质的效果[J].环境科学,2005,26(1):84-89.
- [4] 王云华.杞麓湖水体藻量和透明度变化分析[J].云南环境科学,2002,21(2):49-50.
- [5] 赵碧云,贺彬,朱云燕,等.滇池水体中透明度的遥感定量模型研究[J].环境科学与技术,2003,26(2):16-17.
- [6] 刘信安,湛敏,马艳娥.三峡库区流域藻类生长与营养盐吸收关系[J].环境科学,2005,26(4):95-99.
- [7] Coveney M F, Stites D L, Lowe E F, *et al.* Nutrient removal from eutrophic lake water by wetland filtration [J]. Ecological Engineering, 2002,19(2):141-159.
- [8] 古滨河.美国 Apopka 湖的富营养化及其生态恢复[J].湖泊科学,2005,17(1):1-8.
- [9] 李睿华,管运涛,何苗,等.河岸芦苇、茭白和香蒲植物带处理受污染河水中试研究[J].环境科学,2006,27(3):493-497.

- [10] 王国祥,濮培民.若干人工调控措施对富营养化湖泊藻类种群的影响[J].环境科学,1999,20(2):71-74.
- [11] Masaki S, Akiyoshi S, Motoyuki S. A mathematical model of a shallow and eutrophic lake simulation of restorative manipulation[J]. Water Research, 2001,35(7):1675-1686.
- [12] 屠清英,章永泰,杨贤智.北京什刹海生态修复试验工程[J].湖泊科学,2004,16(1):61-66.
- [13] 黄廷林,张红亮.微污染水源水预氧化除藻试验研究[J].给水排水,2004,30(8):1-5.
- [14] 邹琼,张筱鹏,鲜英.净水剂在滇池蓝藻清除部分应急工程中的应用[J].云南环境科学,2000,19(4):37-39.
- [15] 兰智文,赵鸣,尹澄清.藻类水华的化学控制研究[J].环境科学,1992,13(1):12-15.
- [16] 陆开宏,姚礼一,周少勤,等.杭州西湖引流冲污前后浮游藻类变化及防治富营养化效果评价[J].应用生态学报,1992,3(3):266-272.
- [17] 朱广一,冯煜荣,詹根祥,等.人工曝气复氧整治污染河流[J].城市环境与城市生态,2004,17(3):30-32.
- [18] Boyd C E. Pond water aeration systems [J]. Aquacultural Engineering, 1998,18(1):9-40.
- [19] Lindenschmidt K E, Hamblin P F. Hypolimnetic aeration in Lake Tegel, Berlin[J]. Water Research, 1997,31(7):1619-1628.
- [20] 崔龙哲,吴桂萍,马静.景观水体污染的治理方法及工艺[J].中南民族大学学报(自然科学版),2005,4(2):31-34.
- [21] 周栋,王瑟澜,杨云.景观水体“水华”防治措施[J].净水技术,2004,23(5):28-31.
- [22] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会.水和废水监测分析方法[M].(第四版).北京:中国环境科学出版社,2002.82-284.
- [23] 王亚宜,彭永臻,王淑莹,等.碳源和硝态氮浓度对反硝化聚磷的影响及 ORP 的变化规律[J].环境科学,2004,25(4):54-58.
- [24] 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.