人工水力循环改善园林不规则池塘水质的研究

袁文麒[1]， 张维佳[2]， 黄 勇[2]， 刘遂庆[1]
(1. 同济大学 环境科学与工程学院，上海 200092; 2. 苏州科技学院 环境科学与工程学院，江苏 苏州 215011)

摘 要: 在不影响拙政园原有景观的前提下，采用人工水力循环措施进行水体修复试验，并结合 FLUENT软件对不同工况下的流场模拟计算结果，分析了对水质的改善效果。结果表明：采取水力循环措施可使园林水体的浊度平均下降约 4.5 NTU，DO 平均提高 39.1%，COD_{Mn}平均下降 25%，同时避免了“翻塘”现象的发生，并使水体水质受温度变化的影响减小，水质的稳定性得以增强。

关键词: 园林池塘; 水力循环; 水质改善; FLUENT软件
中图分类号: X703.1 **文献标识码**: A **文章编号**: 1000-4602(2008)03-0017-04

Research on Manual Hydraulic Circulation for Improving Water Quality in Irregular Ponds in Garden

YUAN Wen-qi[1], ZHANG Wei-jia[2], HUANG Yong[2], LIU Sui-qing[1]
(1. *College of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai* 200092, *China*; 2. *School of Environmental Science and Engineering, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou* 215011, *China*)

Abstract: On the premise of not influencing the original landscape of Humble Administrator's Garden, the hydraulic circulation measures were taken to perform a test of water body restoration, and the improvement effect of water quality was analyzed with the calculation results of flow field simulated by FLUENT software under the different operation conditions. The results show that the average turbidity of the water body decreases by 4.5 NTU, the average DO increases by 39.1% and the average COD_{Mn} decreases by 25%. Overturning of the water body is avoided. The impact of temperature variation on the water body quality is reduced, and the stability of the water quality is improved.

Key words: garden pond; hydraulic circulation; water quality improvement; FLUENT software

近年来苏州园林的水体均受到了不同程度的污染，加上水体滞流，复氧能力差，致使水质恶化，极大地降低了园林的观赏性。笔者以拙政园为研究对象，考察了人工水力循环改善拙政园池塘水质的效果。

1 试验方法及流场模拟

1.1 拙政园概况

拙政园位于苏州市东北街 178号，是苏州园林中面积最大的古典山水园林，已被列入世界文化遗产名录。据调查，园林水体占整个园林面积的 3/5,

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)项目(2003AA601070); 江苏省“十五”社会发展重点项目(BS2004048)

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

水体处于滞流状态,园林水系相对独立于周围河道水体,受污染后水体的自净能力差。园林水体分东、中、西三个池塘(如图 1所示),其中东池塘相对独立,其水量约为 2 500 m^3;中、西池塘相互连通,水量约为 4 000 m^3。

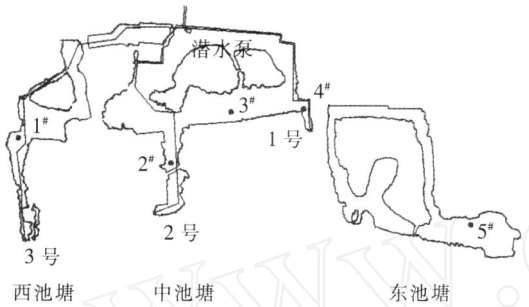

图 1 拙政园池塘水系

Fig. 1 Water system of Humble Administrator's Garden

1.2 试验方法

在中、西池塘内布置水力循环管线系统,分别设置 1号、2号和 3号出水口,并在水体内布置采样点(1#～5#)。自 2005年 10月开始对中、西池塘进行水力循环,并以东池塘作为对照进行水质比较。检测项目包括水温、溶解氧、浊度、COD_{Mn},均采用国家标准方法进行测定[1]。

水力循环系统的运行模式如表 1所示。

表 1 水力循环系统的运行模式

Tab. 1 Operation mode of hydraulic circulation system

项 目	流量/($m^3 \cdot h^{-1}$)			运行时间/d
	1号出水口	2号出水口	3号出水口	
工况 1	40	0	20	14
	0	0	20	7
工况 2	0	40	20	14
	0	0	20	7
工况 3	30	30	20	14
	0	0	20	7

1.3 流场模拟

采用 CFD软件 FLUENT[2],对中、西池塘的水体在不同工况下的流场进行模拟计算。采用整体(integral)连续网格结构,运用 GAMBIT生成网格,采用 $k-\varepsilon$湍流模型进行一阶非稳态分离计算,方程组用 SIMPLE算法求解[3],计算相对残差取 10^{-5}。

2 结果与分析

2.1 工况 1

在工况 1下,对 1#～5#采样点水样的浊度、溶解氧及 COD_{Mn}的测定结果如图 2～4所示。

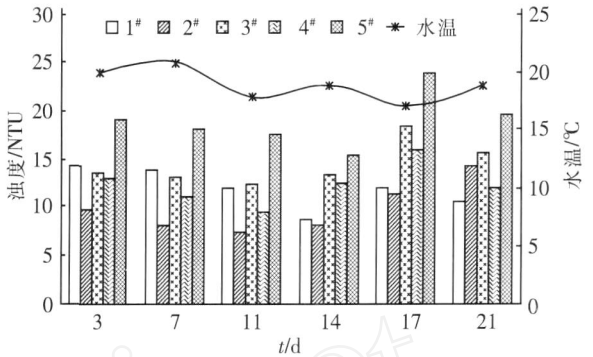

图 2 工况 1下各采样点处的浊度及水温随时间的变化

Fig. 2 Changes of turbidity and water temperature in condition 1 with time

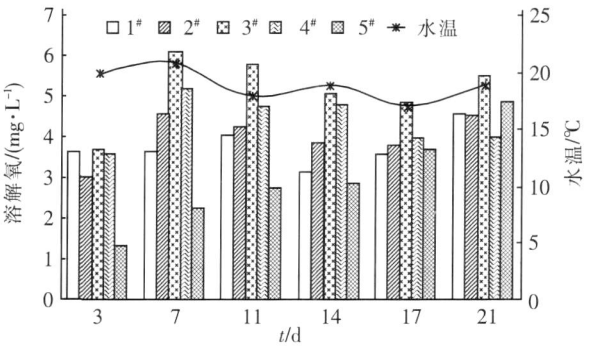

图 3 工况 1下各采样点处的溶解氧及水温随时间的变化

Fig. 3 Changes of DO and water temperature in condition 1 with time

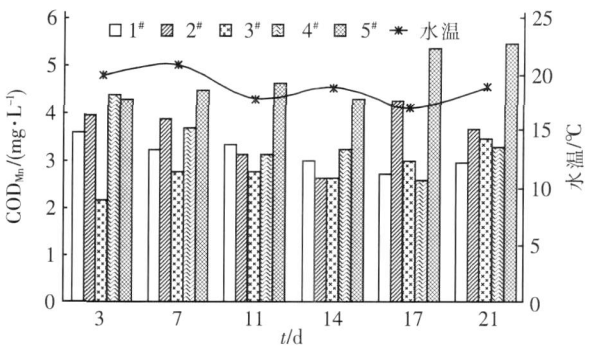

图 4 工况 1下各采样点处的 COD_{Mn}及水温随时间的变化

Fig. 4 Changes of COD_{Mn} and water temperature in condition 1 with time

在工况 1下,水温变化幅度不大,对水质的影响较小。根据流场计算结果,1#采样点处的平均流速为 0.001 6 m/s,2#采样点处的水流速度可以忽略不计,3#、4#采样点处的平均流速分别为 0.000 36、0.002 7 m/s。

由图 2～4可知,1#～4#采样点处的水质明显好于 5#对照点的。由于 3号出水口长期处于开启状

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

态,故 1#采样点处的各项水质指标值均保持稳定。其中,浊度平均为 11. 85 NTU,溶解氧平均为 3. 77 mg/L, COD_{Mn}平均为 3. 12 mg/L。3#采样点距 1号出水口较远,受出水口启闭的影响较小。并且,由于该采样点位于池塘的中心区域,其水质较好。与 5#对照点相比,该处的浊度平均低 4. 5 NTU, DO平均高 74. 5%, COD_{Mn}平均低 40. 9%。

4#采样点位于 1号出水口附近,其水质受出水口启闭状态的影响较大。在出水口开启初始,浊度、COD_{Mn}均略有上升, DO则略有下降,这与潜水泵在吸水过程中对底泥的扰动有关。随着出水口开启时间的延长则浊度和 COD_{Mn}逐渐下降,而 DO稳步上升并最终保持稳定。在关闭 1号出水口之后,浊度、COD_{Mn}、DO均再次出现一个类似的变化过程。这说明,出水口附近的水质受出水口启闭的影响较大,但随着运行时间的延长,其影响逐渐减小,水质开始趋于稳定。

2.2　工况 2

在工况 2下,对各采样点水样的浊度、溶解氧及 COD_{Mn}的测定结果如图 5～7所示。

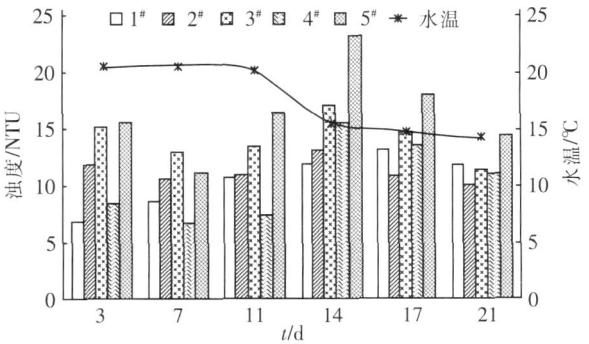

图 5　工况 2下采样点处的浊度及水温随时间的变化

Fig 5　Changes of trubidity and water temperature in condition 2 with time

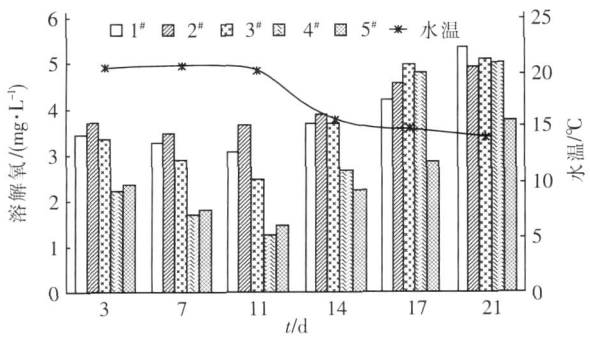

图 6　工况 2下各采样点处的溶解氧及水温随时间的变化

Fig 6　Changes of DO and water temperature in condition 2 with time

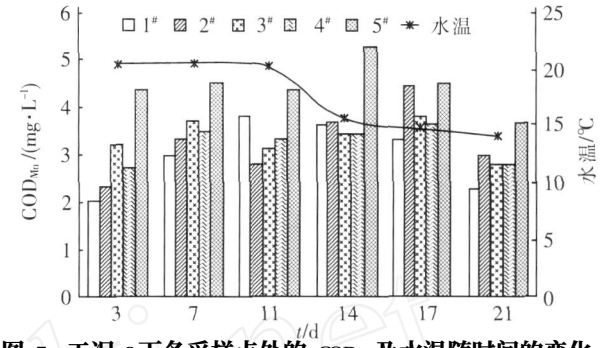

图 7　工况 2下各采样点处的 COD_{Mn}及水温随时间的变化

Fig 7　Changes of COD_{Mn} and water temperature in condition 2 with time

在该工况下水温变化幅度较大,从 20. 5 ℃降低到 14. 2 ℃,水质受水温变化的影响明显。根据流场计算结果, 1#、2#、3#采样点处的平均流速分别为 0. 001 6、0. 002 42、0. 000 36 m/s, 4#采样点处的水流速度可以忽略不计。

由于 3号出水口长期处于开启状态,故 1#采样点处的水质较为稳定。其中,浊度平均为 10. 6 NTU,溶解氧平均为 3. 83 mg/L, COD_{Mn}平均为 3. 01 mg/L。该处水质主要受外界条件改变及水泵吸水口处水质的影响。

2#采样点处于 2号出水口下游,其水质受出水口启闭状态的影响,但影响程度不大。该处水质与其他监测点的水质相比处于较好状态。相对于 5#监测点,其浊度降低了 5. 2 NTU, DO提高了 68. 9%, COD_{Mn}下降了 26. 6%。

3#采样点处的水质也保持较好状态,而 4# (水流速度很小)、5#采样点 (未采取水力循环措施)处的水质则受温度变化的影响较大。

2.3　工况 3

在工况 3下,对各采样点水样的浊度、溶解氧及 COD_{Mn}的测定结果如图 8～10所示。

在该工况下水温变化幅度较大 (由 14. 4 ℃降至 5. 9 ℃),各采样点的水质受水温变化的影响较为明显。根据流场计算结果, 1#、2#、3#、4#采样点处的平均流速分别为 0. 001 6、0. 001 83、0. 000 16、0. 001 82 m/s。

当 1～3号出水口均处于开启状态时, 1#～4#采样点处的水质差别不大,说明在 3个出水口同时开启的情况下,水力循环加强,有利于池塘水质的均化。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

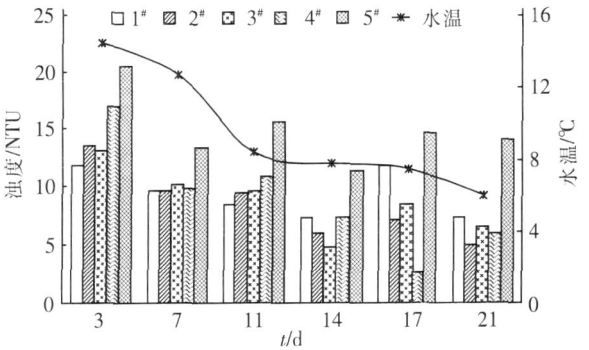

图 8 工况 3下各采样点处的浊度及水温随时间的变化

Fig 8 Changes of turbidity and water temperature in condition 3 with time

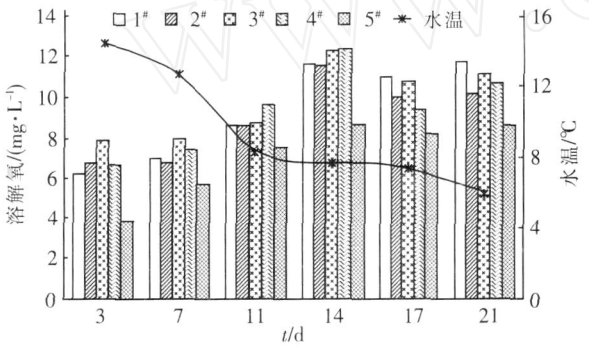

图 9 工况 3下各采样点处的溶解氧及水温随时间的变化

Fig 9 Changes of DO and water temperature in condition 3 with time

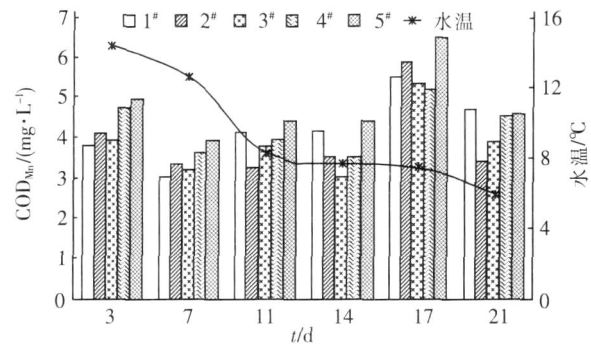

图 10 工况 3下各采样点处的 COD_{Mn}及水温随时间的变化

Fig 10 Changes of COD_{Mn} and water temperature in condition 3 with time

在起始阶段,各采样点处的浊度均略有上升,然后逐渐下降。在关闭了 1号和 2号出水口之后,1#、2#、3#采样点处的浊度再次略有上升,然后逐渐下降;4#采样点靠近 1号出水口,其浊度先继续下降,然后恢复到与 1#、2#、3#采样点相似的变化过程。期间,1#～4#采样点处的浊度均低于 5#对照点的。

由于饱和溶解氧浓度会随着水温的下降而升高,故各监测点的溶解氧逐渐升高。低温将影响水中耗氧微生物的生长,故耗氧作用不明显,DO处于较高的水平。在水力循环作用下,1#～4#采样点处的溶解氧平均值比 5#采样点的高约 31.9%。

各采样点处的 COD_{Mn}均较高,在运行过程中 1#～4#采样点处的 COD_{Mn}略低于 5#对照点的。这说明,随着水温的下降则微生物分解有机物的能力降低。

3 结论

① 采取人工水力循环措施可使拙政园水体的水质得到明显改善。其中,浊度平均降低了 4.5 NTU,DO平均提高了 39.1%,COD_{Mn}平均下降了 25.0%。

② 拙政园水体的水质受温度的影响较大,在采取了人工水力循环措施后其影响减小,水质的稳定性增强。因此,应采取有效措施,降低季节性温度突变对水质的影响。

③ 在不影响原有景观的前提下,实施人工水力循环基本能够保证池塘水体呈缓慢、均匀地流动,使水质、水量交换成为可能。同时在试验过程中观察到鱼类、螺蛳的数量增多,说明水体复氧功能增强,促进了池塘生态系统的恢复。

参考文献:

[1] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法 (第 4版) [M]. 北京:中国环境科学出版社, 2002.

[2] 李勇,刘志军,安亦然. 介绍计算流体力学通用软件 ——FLUENT[J]. 水动力学研究与进展, 2001, 16 (6): 245 - 258.

[3] 王福军. 计算流体动力学分析 [M]. 北京:清华大学出版社, 2004.

作者简介:袁文麒 (1982 -), 男, 江苏苏州人, 博士研究生, 研究方向为水污染控制。

电话: 13764074010

E - mail: blueround@163.com

通讯地址: 200092 上海市杨浦区密云路 528弄博士生 4号楼 1404 - 4室

收稿日期: 2007 - 08 - 25

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net