

基于底泥返盐规律的人工湖控盐技术研究

邓小文, 袁雪竹, 陈红, 张晓惠 (天津市环境保护科学研究院, 天津 300191)

摘要 调查了中新天津生态城清静湖及其周边水体的盐度背景值, 计算得出了常规水生生物的耐盐限值, 提出清静湖生态系统重建的方案, 即先“蓄水”后“水循环”方案。设计水槽试验, 研究水体底泥盐分的溶出规律, 得出在蓄水状态下, 清静湖底泥向水体返盐的规律, 从而得出引进水源的盐度参数, 最后根据清静湖周边水源的盐度背景以及清静湖生态系统重建的需要得到具体的控盐方案参数。

关键词 中新天津生态城; 控盐; 水槽试验

中图分类号 X143 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)35-13689-03

Research on Salinity Control of Artificial Lake based on Sediment Salt Dissolution

DENG Xiao-wen et al (Tianjin Academy of Environmental Sciences, Tianjin 300191)

Abstract Based on the salinity value investigation about the Qingjing Lake and its surroundings in Sino-Singapore Tianjin Eco-City, salt tolerance limits of conventional aquatic organisms were obtained, the salinity control scheme for the ecosystem reconstruction of the Qingjing Lake ecosystem reconstruction were made, that is, “water” first, and then “water cycle”. The law of salt dissolution on the water sediments was summarized by designing the Sink experiments, then the conclusion could be drawn as that sediments release salt to water in the Qingjing Lake, and the salinity parameters of the source water to the Qingjing Lake in “water” period were got. Finally, salinity background of the lake and its surrounding water sources, as well as specific salt control parameters were figured out.

Key words Sino-Singapore Tianjin Eco-City; Salinity control; Sink Experiment

中新天津生态城清静湖地处天津滨海平原地带, 地下水直接参与土壤形成过程, 高盐度的地下水, 再加上海潮的影响, 使土壤含盐量高; 同时, 滨海新区淡水资源匮乏, 春季干旱少雨, 使水体盐度偏高。根据对中新生态城环境背景进行摸底调查的研究结果显示, 营城水库多检测断面平均总溶解浓度(TDS)达 15 725 mg/L, Cl^- 含量达 7 679 mg/L; 蓟运河 5 个监测断面平均 TDS 达 7 135 mg/L, Cl^- 含量达 2 927 mg/L; 地下水多个监测点平均 Cl^- 含量达 10 000 mg/L 左右; 土壤多个监测点平均全盐量在 12 g/kg 左右^[1]。高盐环境会降低植物的光合作用效率, 影响植物的生长, 同时还会对水生生物(特别是鱼类)繁殖造成较大的抑制作用, 因此土壤高盐与水环境高盐是限制该地区生态重建的最重要限值因素。

1 研究区概况

1.1 研究区位置 中新天津生态城位于我国国家发展的重要战略区域——天津滨海新区范围内, 毗邻天津经济技术开发区、天津港、海滨休闲旅游区, 地处塘沽区、汉沽区之间, 距天津中心城区 45 km, 距北京 150 km, 总面积约 31.23 km², 规划居住人口 35 万。中新天津生态城东临滨海新区中央大道, 西至蓟运河, 南接蓟运河故道, 北至津汉快速路, 交通便利, 能源供应保障条件较好, 是为滨海新区功能区配套服务的重要生活城区^[1]。

中新生态城清静湖是由原汉沽污水库改建而成的, 是通过土工管袋技术将污水库污染严重的底泥固化处理后堆成生态岛, 在底部形成高程为 -2 m 的人工湖。图 1 为清静湖位置图。

清静湖的前身汉沽污水库主要承接汉沽区和天津经济

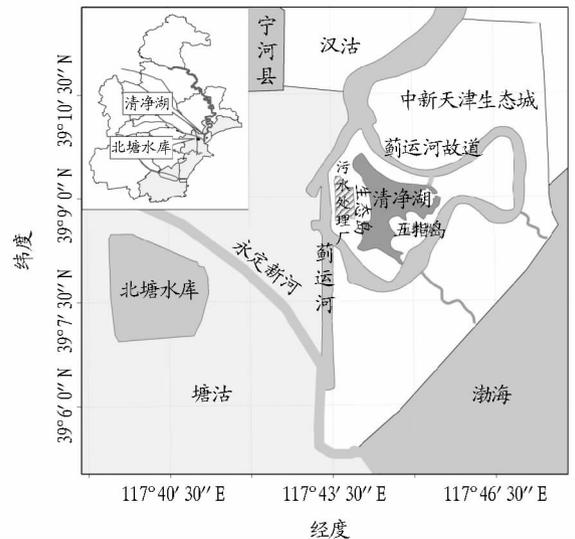


图 1 清静湖地理位置

技术开发区化工区的工业污水, 经过 30 多年的运行, 底部沉积了大量污染物, 由于沉积物与上覆水体相互间频繁的交换作用, 清静湖生态治理应遵循先控源截污、后生态恢复的原则, 即先挖出污染较为严重的底泥, 然后再蓄水循环进行生态重建。考虑到蓟运河故道的施工情况, 将控盐方案将分为“蓄水”与“水循环”2 个阶段。

1.2 研究区盐度背景调查 调查数据显示, 清静湖底泥的盐度始终处于比较高的浓度, 清淤工程前盐度平均值 25 310 mg/kg, 清淤工程后降为了 7 729 mg/kg, 后降为近期的 5 738 mg/kg。清静湖周边水系包括蓟运河、蓟运河故道和北塘水库, 蓟运河平均盐度在 15 000 mg/L 左右; 蓟运河故道临近出海口受海水倒灌影响, 盐度达到 20 000 mg/L 以上; 北塘水库盐度在清静湖周边水系中最为良好, 年平均值为 811 mg/L。

清静湖底土壤的盐度相对较高^[2], 在清淤后近期仍达到

基金项目 国家科技重大专项(2012ZX07203-002-004)。

作者简介 邓小文(1976-), 男, 山西沁源人, 高级工程师, 博士, 从事环境工程研究。

收稿日期 2013-11-10

5 000 ~ 6 000 mg/kg 的水平,而周边水源除蕲运河故道外,无论是北塘水库还是蕲运河盐度都会小于湖底土壤的盐度水平,因此蓄水后清静湖湖底土壤必然会向湖水返盐。

在广泛调研盐度对水生生物生长繁育影响的科研成果基础上^[3-9],对常规水生生物的耐盐限值进行研究。经研究发现,不同类水生生物盐度生存限值差别较大,现综合考虑清静湖所处的高盐环境,以及满足鱼类等大多数水生生物的生长繁殖耐盐要求,将清静湖湖水的盐度标准定为 $\leq 4\ 000\ \text{mg/L}$ 。

2 底泥盐分溶出规律研究

参考近年来学者们的研究成果^[10-13],设计控盐试验,记录结果分析清静湖底泥盐分溶出规律。

2.1 试验设计 在清静湖湖底表层以下 0 ~ 40 cm 深度处取土壤样品,将其充分混合后,铺到水槽底部,然后在水槽一端缓缓加入北塘水库采样水作为上覆水,底部土层深度为 10 cm,水深 15 cm,水槽试验装置设计见图 2。在水槽中取 5 个点位,以水-土界面为基准,分别在每个点位的 0、3、5、10 和 15 cm 高度处抽取水样进行检测,分析水体电导率随时间和深度的变化情况。

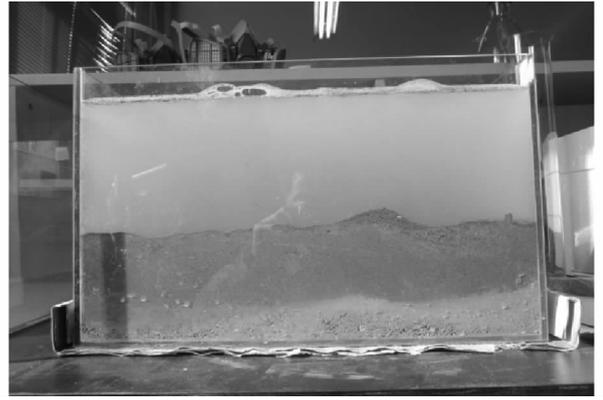


图2 水槽试验装置设计

2.2 试验结果分析

2.2.1 含盐量变化情况。试验共进行 3 组,每组试验盐度观测时间为 250 h 以内。通过快速水质盐度测定仪检测水槽中水质盐度,绘制盐度随时间变化曲线。由图 3 可见,返盐量总体上呈幂指数曲线下下降趋势,在 100 h 以内的时间段,返盐量从最高峰迅速下降;100 h 以后返盐量下降趋势趋于平缓,基本维持在 $100\ \text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 左右。

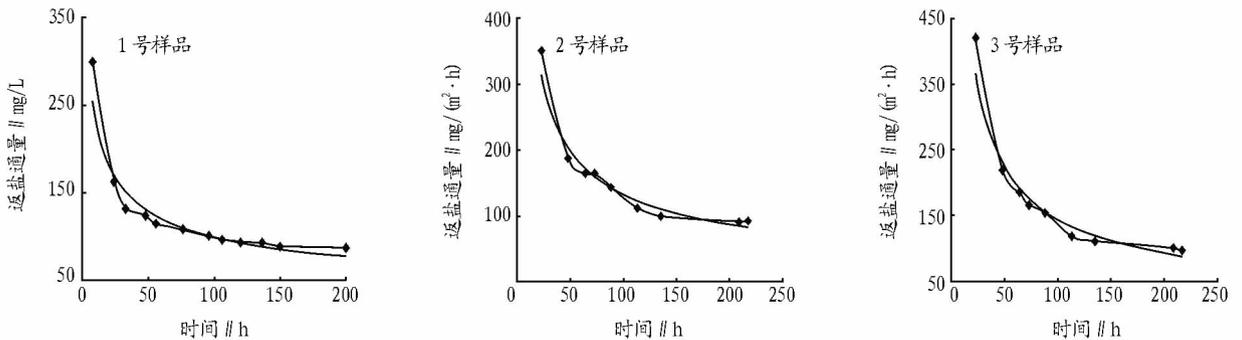


图3 样品与返盐量的关系

试验还对水槽中不同深度水质盐度进行了分析。图 4 反映了水-土界面之上 0、3 和 15 cm 深度处含盐量随时间的变化情况。水体中不同深度监测点上的浓度随着时间的增长而逐渐升高,但增长的速度有差异。0 cm 处(水-土界面)的监测点盐分浓度在试验初期快速升高,很快达到 1 000 mg/L,并在后续试验阶段持续升高,在 350 h 后盐分浓度达到了 2 700 mg/L;3 和 15 cm 监测点的盐分浓度同样随着时间的增长而升高,3 cm 高度处的盐分浓度高于 15 cm 高度,但整体的增长速度始终落后于 0 cm 高度处。在 350 h 左右,应用土壤溶液采集器对水-土界面下 4 cm 处和 8 cm 处的土壤溶液进行采集,与试验初期相比,界面以下 4 cm 处含盐量有所下降,在 8 cm 处含盐量未受影响。以上试验结果表明,土壤盐分对上覆水的影响随高度的升高而降低,并且底泥盐分的分子扩散作用释放是一个缓慢的过程。

2.2.2 返盐量的计算。由水体中总含盐量推算湖底土壤的盐分释放,底泥在不同时刻的盐分释放量(m)可表示为:

$$m = \sum_{i=1}^n C_i V_i - C_0 V_0 \quad (1)$$

式中, C_i 为计算时刻第 i 层水体中的盐度(mg/L); V_i 为计算时刻第 i 层水体的体积(L); C_0 为水体初始时刻的盐度

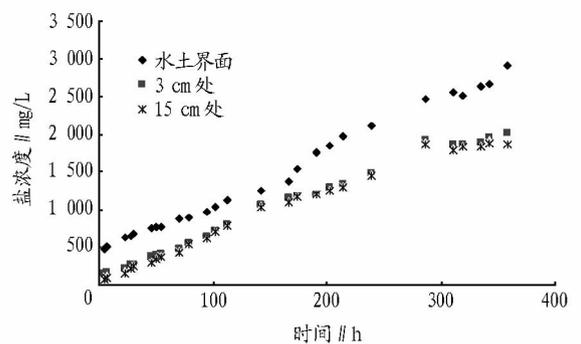


图4 不同监测点含盐量变化情况
(mg/L); V_0 为水体总体积(L); n 为水体层数。

盐分的释放通量($flux$)可表述为:

$$flux = \frac{m_i}{(t_i - t_0)A} \quad (2)$$

式中, t_i 为试验的第 i 个时刻(h); t_0 为试验初始时间; A 为水-底泥接触面积(m^2); m_i 为 i 时刻该底泥释放盐分的累积量(mg)。底泥盐分释放通量是随着时间递减的,根据以上公式计算并拟合出释放通量公式(图 5)。由图 5 可知,盐分通量符合幂指数形式,即在释放初期,盐分通量急剧减小,

在 100 h 后盐分释放通量逐渐趋于稳定,并呈逐渐衰减趋势。

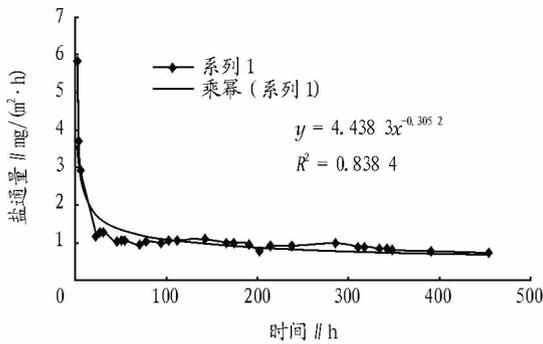


图 5 底泥盐分释放通量随时间变化情况

3 结论

3.1 “蓄水”阶段 清净湖水循环工程分为“蓄水”与“水循环”2个阶段,蓄水阶段清净湖注入的源水将静态浸泡清净湖底 2~3 年时间,最先注入源水的盐度限值以清净湖湖水的盐度标准为计算始点(4 000 mg/L),减去 3 年时间清净湖底的返盐量,反算得到注入源水控盐限值为 850 mg/L。蓟运河和蓟运河故道的水体盐度非常高(年平均值分别为 15 000 和 20 000 mg/L),只有北塘水库的盐分可以达到清净湖盐分控制的要求(811 mg/L),因此,使用北塘水库的水体作为清净湖的源水。

3.2 “水循环”阶段

3.2.1 循环量确定。对于水体循环量和循环周期的确定,直接关系到处理的建设规模、建设用地、运行费用等。而目前,对于较大的水体,建设、运行经验相对不足。表 1 为已建的较大水体规模及循环周期。

表 1 参考水体循环情况

项目	水体功能	水体体积	循环量	循环周期//d
		万 m ³	万 m ³ /d	
北京奥运龙形水系	景观用水	15.9	1.59	10
万科东丽湖	划水赛道,接触性景观	86.0	5.00	17
杭州西湖	非直接接触性景观用水	900.0	30.00	30
天津开发区西区	非直接接触性景观用水	260.0	10.00	26

参考国内类似的水体循环情况,将清净湖水循环一个周期时间定为 25 d,水量平衡条件下清净湖每日进出水为 11.5 万 t。

3.2.2 水循环方案。为了尽快将蓟运河故道中高盐度的水体低盐化,要使蓟运河故道与清净湖的水体循环,即清净湖在其东南部接受蓟运河故道的入水,而在其东北部向蓟运河故道中排水。同时,为了能够更快地实现改善清净湖及周边地区的生态环境,清净湖继续接受北塘水库的低盐度来水和污水处理厂的来水(图 6)。先封闭清净湖进出口,通过蓟运河与蓟运河故道水质联通循环,改善蓟运河故道水质,当水质盐度降低到 4 500 mg/L,再与清净湖实现联通循环。

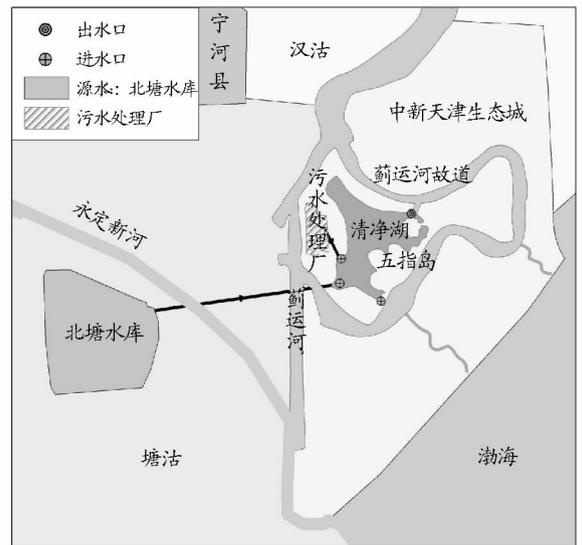


图 6 清净湖进出水源位置

4 讨论

研究借助水槽试验得出底泥盐分溶出规律,然后结合中心生态城清净湖周边环境背景调查值得到清净湖系统前期重建方案及其参数。然而,要真正实现清净湖生态系统的彻底重建,尚需进一步研究清净湖水动力模型,建立模型模拟方案清净湖流场及水质情况,分析清净湖水环境质量并提出该水质改善的具体措施,进一步修正水循环方案,以防止涡流现象导致的水体高盐区的出现。

参考文献

- [1] 中新天津生态城规划联合工作组. 中新天津生态城总体规划 2008~2020[Z]. 2008.
- [2] 黄明勇,张清,王振宇,等. 中新生态城土壤质量现状及改良利用途径[J]. 城市环境与城市生态,2010(4):29-32.
- [3] 渠晓霞,黄振英. 盐生植物种子萌发对环境的适应对策[J]. 生态学报,2005(9):2389-2398.
- [4] 廖岩,陈桂珠. 盐度对红树植物影响研究[J]. 湿地科学,2007(3):266-273.
- [5] 李学军,李思发,么宗利,等. 不同盐度下尼罗罗非鱼、萨罗罗非鱼和以色列罗非鱼幼鱼生长、成活率及肥满系数的差异[J]. 中国水产科学,2005(3):245-251.
- [6] 李希国,李加儿,区又君. 盐度对黄鳍鲷幼鱼消化酶活性的影响及消化酶活性的昼夜变化[J]. 海洋水产研究,2006(1):40-45.
- [7] 陈昆慈,朱新平,杜合军,等. 温度和盐度对宝石鲈胚胎发育的影响[J]. 中国水产科学,2007(6):1032-1037.
- [8] 王涵生,方琼珊,郑乐云. 盐度对赤点石斑鱼受精卵发育的影响及仔鱼活力的判断[J]. 水产学报,2002(4):344-350.
- [9] 陈长平,高亚辉,林鹏. 盐度和 pH 对底栖硅藻胞外多聚物的影响[J]. 海洋学报:中文版,2006(5):123-129.
- [10] 孔亚珍,贺松林,丁平兴,等. 长江口盐度的时空变化特征及其指示意义[J]. 海洋学报:中文版,2004(4):9-18.
- [11] 姜恒志,沈永明,汪守东. 瓯江口三维潮流和盐度数值模拟研究[J]. 水动力学研究与进展(A 辑),2009(1):63-70.
- [12] 方国洪,王凯,郭丰义,等. 近 30 年渤海水文和气象状况的长期变化及其相互关系[J]. 海洋与湖沼,2002(5):515-525.
- [13] 张恩楼,沈吉,王苏民,等. 近 0.9ka 来青海湖湖水盐度的定量恢复[J]. 科学通报,2004(7):697-701.