

污水处理厂尾水对排放河道水质的影响

汪 锋¹,钱 庄¹,张 周²,张雅晶²,缪恒锋²

(1. 无锡市环境科学研究所,江苏无锡 214000;2. 江南大学环境与土木工程学院,江苏无锡 214122)

摘要 [目的]考察污水处理厂尾水排放对地表水的影响。[方法]以苏南地区某城镇污水处理厂为例,对污水处理厂尾水、纳污河道上、下游河水水质进行了连续1年的监测分析。[结果]尾水的集中排放导致排放口河水水质各指标明显高于上、下游河水,且排放口上游河水污染物平均浓度小于下游。空间上看,随着河道的自净、稀释作用,离污水处理厂排放口越远,水质呈好转趋势。时间上看,纳污河道的TN、TP和NH₄⁺-N指标浓度呈现出冬季高、夏秋低的特点。[结论]污水处理厂尾水排放会导致排放河道营养盐(N和P)浓度的升高,应采取相关措施减小污水处理厂尾水排放对纳污河道及区域水环境造成的影响。

关键词 污水处理厂;尾水;水环境;影响

中图分类号 X824 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2016)14-065-04

Impact of Effluent from Municipal Sewage Plant on the Water Qualities of Receiving River

WANG Feng¹, QIAN Zhuang¹, ZHANG Zhou² et al (1. The Environmental Science Research Institute of Wuxi, Wuxi, Jiangsu 214000; 2. School of Environmental and Civil Engineering, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122)

Abstract [Objective] To evaluate the impact of municipal sewage plant's effluent on the receiving water body. [Method] The water qualities of municipal sewage plant's effluent, upstream and downstream of the receiving river were continuously monitored for a full year. [Result] The discharge of effluent could lead to the obvious increase of pollutant concentrations in river water. The water quality indicators at discharge outlet were significantly higher than those both in upstream and downstream of the river. And the average concentration of pollutants in the upstream water were also less than those in the downstream water. From the space level, the water quality of downstream river showed the improvement tendency with increase of the distance between discharge outlet and sampling sites, mainly due to the self-purification and dilution of the water body. From the time level, water quality indicators such as TN, TP and NH₄⁺-N showed higher concentrations in winter, while lower concentrations in summer and autumn. [Conclusion] The discharge of sewage plant's effluent leads to increase of N, P concentration in rivers, corresponding measures should be adopted to reduce effects of sewage plant's effluent on receiving water environment.

Key words Municipal sewage plant; Effluent; Water environment; Impact

近年来,随着社会经济的不断发展,城镇用水量急剧增加,导致废水排放量也大大增加,城镇污水处理厂为保证水环境质量发挥了重大作用。目前,我国绝大多数污水处理厂采用二级生物处理工艺,执行GB 18918—2002《城镇污水处理厂污染物排放标准》中的一级B标准。随着太湖流域水污染事件的暴发,环太湖流域城镇污水处理厂开始严格执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》中的一级A标准,并推动了全国城镇污水处理厂一级A提标改造^[1]。然而,一级A标准要求的主要污染物排放限值为总氮(TN)15.0 mg/L、总磷(TP)0.5 mg/L、化学需氧量(COD)50.0 mg/L和氨氮(NH₄⁺-N)5.0 mg/L,与地表水Ⅴ类水要求的TN 2.0 mg/L、TP 0.2 mg/L、COD 40.0 mg/L和NH₄⁺-N 2.0 mg/L相比,仍存在较大差距,特别是针对营养盐指标(N和P)。从某种意义上来说,一级A达标排放的尾水仍是地表水体的污染源。城镇污水处理厂尾水属于集中式排放,污染负荷远超受纳河道的纳污能力,随着我国城镇污水处理厂建设力度的不断加大,尾水对受纳水体的承载能力以及水体环境将是很大的挑战^[2-7]。作为城镇污水达标排放的受纳水体特别是城镇河道的污染程度日趋严重^[8]。笔者以苏南地区某典型城镇污水处理厂为例,对污水厂尾水和受纳河道的典型污染物指标进行连续监测,通过对污染物指标及其变化情况的分析,讨论污水

处理厂尾水排放对受纳河道的影响,并提出了切实可行的建议,以期受纳河道水环境管理提供参考。

1 材料与方法

1.1 断面设置 选取苏南某城镇污水处理厂尾水和受纳水体为研究对象,以污水厂尾水排放口为污染源,以排放口上游1 km处(S₁)为对照断面,排放口下游50 m处(S₂)为控制断面,排放口下游1 km处(S₃)和2 km处(S₄)为削减断面进行连续监测,监测点位置见表1。2014年6月至2015年5月进行连续采样监测,采样频率为每月1次(每月15号)。

1.2 样品采集 污水厂出水直接在排放口采集,地表水采集水面以下0.3~0.5 m地表水样,进行多点取样混合。样品密封在事先准备好的干燥玻璃瓶中,4℃下暗处保存,24 h内完成所有样品分析。

表1 受纳水体的监测点位

Table 1 Monitoring sites of the pollutants receiving river		
采样点 Sampling site	经度坐标 Longitude coordinate	维度坐标 Dimension coordinate
S ₁	120°19'0.47" E	31°32'0.47" N
S ₂	120°19'40.64" E	31°31'52.01" N
S ₃	120°20'19.57" E	31°31'45.83" N
S ₄	120°20'52.93" E	31°31'24.16" N

1.3 测定项目与方法 对各监测点水样的pH、COD、TN、TP和NH₄⁺-N共5项指标进行分析。pH使用梅特勒-托利多便携式SevenGo pH计进行现场测定,其他指标采样后带回实验室进行分析测定。COD浓度采用重铬酸钾法测定;TN浓度采用碱性过硫酸钾氧化-紫外分光光度法(GB/T

基金项目 国家“十二五”水体污染控制与治理科技重大专项子课题(2012ZX07101-006;2013ZX07101-014)。
作者简介 汪锋(1970-),男,江苏宜兴人,工程师,从事环境质量管理 and 评价研究。
收稿日期 2016-03-16

11894—1989)测定;TP 浓度采用钼酸铵分光光度法(GB/T 11893—1989)测定; $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度采用纳氏试剂分光光度法(HJ 535—2009)测定^[9]。

2 结果与分析

2.1 污水排放标准与水环境质量标准对比分析 由表 2 可知,城镇污水处理厂一级 A 的排放标准下,TN 浓度是地表 V 类水的 7.5 倍, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 TP 浓度是地表 V 类水的 2.5 倍,COD 浓度超地表 V 类水标准的 25%。因此,污水厂尾水的污染物浓度虽然满足一级 A 排放标准,但明显劣于地表水环境质量 V 类标准,其中尾水中营养盐对地表水污染的贡献尤

为突出。达到城镇污水处理厂污染物排放标准的尾水,相对于湖、库水体而仍为污染源,且随着目前城镇污水处理厂处理量的不断增加,污染物进入自然水体对地表水体的贡献越来越受到重视。2015 年 11 月环保部发布了《城镇污水处理厂污染物排放标准》(征求意见稿),在原来城镇污水处理一级 A 排放标准的基础上,针对国土开发强度大,环境承载力弱,生态环境脆弱,易发生严重环境污染问题而需要采取特别保护措施的地区进一步提出了水污染特别排放限值,即 TN 10.000 mg/L、TP 0.300 mg/L、COD 30.000 mg/L 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 1.500 mg/L(表 2)^[10]。

表 2 城镇污水处理厂排放标准与地表水环境质量标准对比
Table 2 Comparison of urban sewage treatment plant discharge standard and surface water quality standard mg/L

污染指标 Pollution index	城镇污水处理厂 Municipal sewage plant			地表水 V 类水质 (湖、库) Surface water V class water quality (lake, reservoir)
	特别排放限值 Special emission limits	一级 A 排放 First level A emission	一级 B 排放 First level B emission	
COD	30.000	50.000	60.000	40.000
$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	1.500	5.000	8.000	2.000
TN	10.000	15.000	20.000	2.000
TP	0.300	0.500	1.000	0.200

2.2 污水厂尾水对纳污河道污染物浓度的影响

2.2.1 对 COD 浓度的影响。从图 1 可见,2014 年 6 月到 2015 年 5 月污水厂出水 COD 浓度为 42.000~48.700 mg/L,平均出水 COD 浓度为 43.700 mg/L,满足一级 A 标准。控制断面 S_2 监测点数据显示,COD 浓度呈现一定的波动性,变化范围在 23.000~48.000 mg/L,平均 COD 浓度为 37.000 mg/L,指标略低于污水厂排放浓度,基本达到地表 V 类水标准。 S_2 监测点 COD 变化趋势与污水厂排放出水基本保持一致,说明尾水对于纳污河道具有显著影响。

S_2 监测点 TN 浓度整体呈先上升后下降的过程,夏季 TN 浓度明显低于冬季。这可能与水体中藻类生长周期有关,夏秋季为藻类和水生生物大量生长繁殖期,会大量消耗水中的无机氮、有机氮来供其生长,从而降低纳污河道中的 TN 含量;一旦进入冬季,藻类逐渐死亡被微生物分解,释放出大量铵盐进入水体,从而导致水体 TN 含量升高^[11-12]。

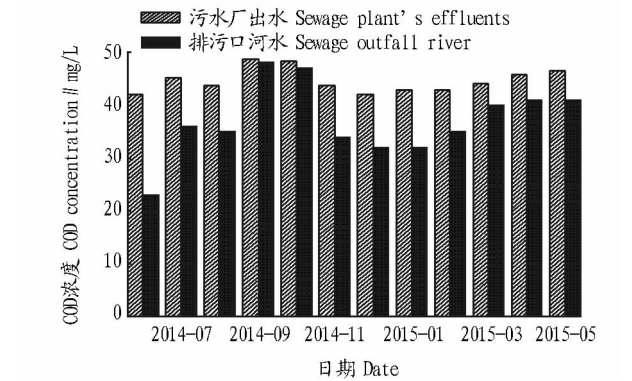


图 1 污水厂出水与控制断面 S_2 的 COD 浓度比较
Fig.1 Comparison of COD concentration in municipal sewage plant's effluents and S_2 samples

2.2.2 对 TN 浓度的影响。从图 2 可见,2014 年 6 月到 2015 年 5 月污水厂出水 TN 浓度较稳定,浓度为 10.400~14.600 mg/L,满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准。污水排入河道后迅速被河水稀释, S_2 监测点 TN 浓度相对于出水大幅下降,为 4.720~5.780 mg/L,表明地表水体对于 TN 具有良好的降解功能。总体来说,地表水中的 TN 浓度和污水厂出水 TN 浓度不具显著相关性。

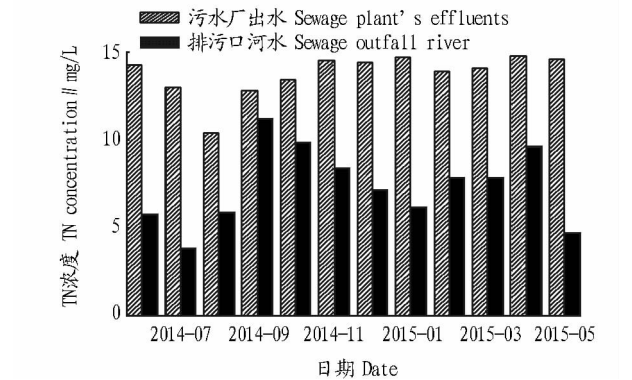


图 2 污水厂出水与控制断面 S_2 的 TN 浓度比较
Fig.2 Comparison of TN concentrations in municipal sewage plant's effluents and S_2 samples

2.2.3 对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度的影响。从图 4 可见,2014 年 6 月到 2015 年 5 月污水厂出水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度为 3.870~4.740 mg/L,平均出水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度为 4.300 mg/L。 S_2 监测点 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度变化范围较大,为 1.150~4.310 mg/L,平均浓度为 2.930 mg/L。尽管断面 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度相对于污水厂尾水有明显降低,但下降幅度远小于 TN,且与污水厂出水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度相差并不显著。与 TN 浓度变化趋势相似的是, S_2 监测点 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度在 6~8 月期间远低于其他月份。原因可能是冬季温度较低,藻类等水生植物死亡释放出大量铵盐,导致 2014 年 11 月到 2015 年 1 月河水中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度较

高;而在其他时间段水生植物生长,尤其是附着藻类,比起硝态氮等氮源,更易于吸收利用水中的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$,因此在温度较高的夏季 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度下降^[13]。

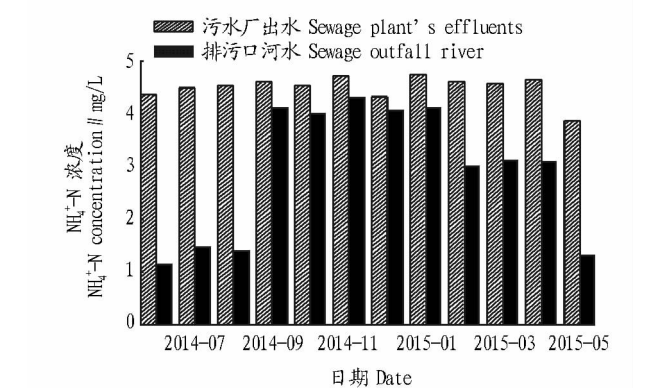


图 3 污水厂出水和控制断面 S_2 的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度比较

Fig. 3 Comparison of $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ concentrations in municipal sewage plant's effluents and S_2 samples

2.2.4 对 TP 浓度的影响。从图 4 可见,2014 年 6 月到 2015 年 5 月污水厂出水 TP 浓度较稳定,未出现大范围波动,TP 浓度为 $0.336 \sim 0.478 \text{ mg/L}$,平均浓度为 0.402 mg/L ,满足污水处理厂一级 A 标准排放。 S_2 监测点的 TP 浓度为 $0.120 \sim 0.350 \text{ mg/L}$,同样显示出一定程度的降低,但下降幅度远小于 TN。

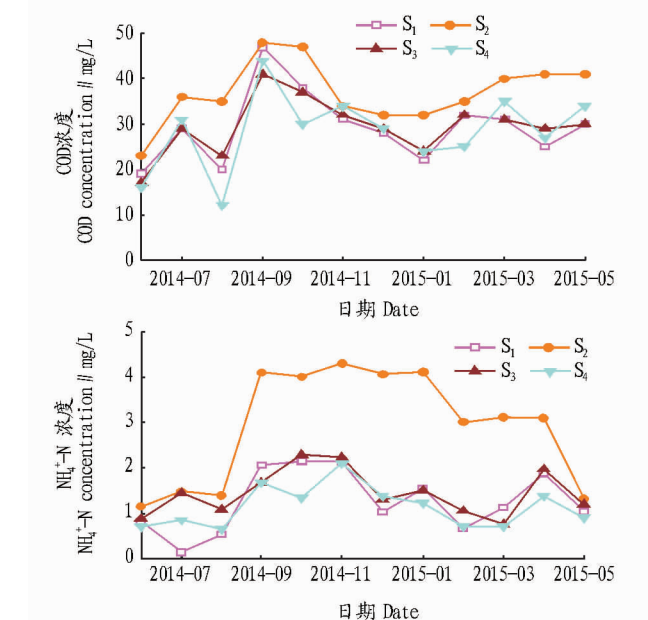


图 5 纳污河道上下游污染物浓度变化情况

Fig. 5 Variation of pollutants concentration in the upstream and downstream of receiving river

明显升高。这可能是由于太湖流域水体整体体现为 COD 缺失状态,排放的 COD 在自然水体中被迅速消耗所致^[14]。

进一步对于稀释断面(S_3)和对照断面(S_1)的污染物浓度进行比较,发现污水处理厂尾水的集中排放致使纳污河道各污染物浓度升高,经过一段时间水体的自净能力,各污染物浓度有一定的削减,但仍高于排放口上游 S_1 监测点。这说明低污染尾水的排放使得纳污河道污染负荷上升,对河道

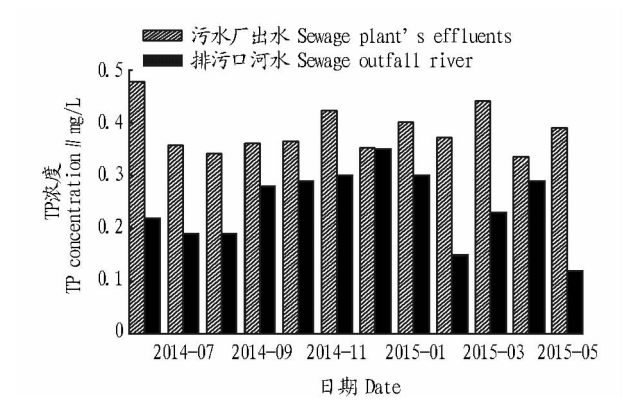
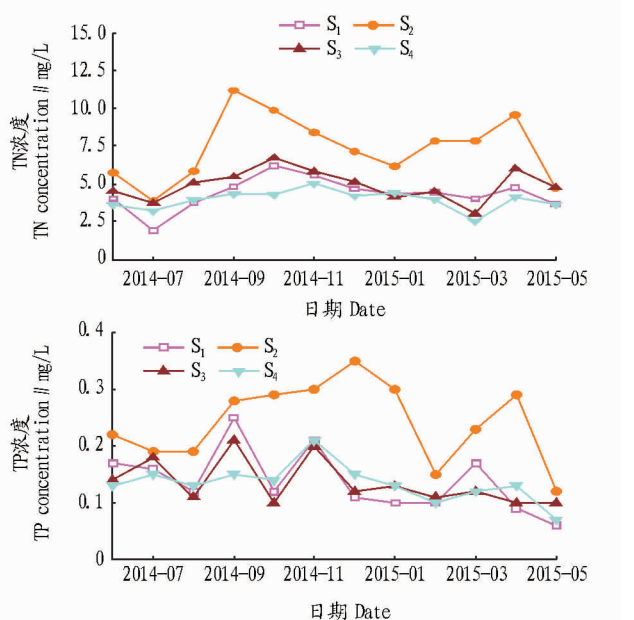


图 4 污水厂出水与控制断面 S_2 的 TP 浓度比较

Fig. 4 Comparison of TP concentration in municipal sewage plant's effluents and S_2 samples

2.3 污染物在纳污河道中的迁移转化

2.3.1 空间变化趋势。将污水厂上、下游(S_1 、 S_3 和 S_4)各断面的 COD、TN、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 TP 浓度与控制断面(S_2)进行对比分析,结果见图 5。从图 5 可见, S_2 监测点的 TN、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 TP 浓度均远高于其他监测点污染物浓度,在 2014 年 9 月到 2015 年 4 月期间, S_2 监测点 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度几乎为其他监测点 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度的 2 倍。这表明污水厂尾水的大量排放会导致纳污河道中污染物浓度明显上升。 S_2 监测点的 COD 浓度相对于对照断面和稀释断面,并未显示出



水环境产生一定影响。此外, S_2 、 S_3 和 S_4 监测点各污染物浓度总体呈下降趋势。这表明离排放口越远,河道中污染物浓度越低,通过河道自净作用和稀释作用,能够对排入的污染物有一定程度的消解。

2.3.2 温度的影响。随着污水处理厂尾水集中排放至纳污河道,尾水中的污染物会在河道生态系统中不断地迁移和转化。水体可以对这些污染物质进行一定削减。尽管纳污河

道水体自净能力受多种因素的影响,温度在该过程中起着重要作用,其直接或者间接地影响水体的物理、化学和生物自净过程^[15]。从图 5 可见,纳污河道 4 个监测断面的 COD、TN、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 TP 浓度整体呈现出夏季低于冬季的特点。以纳污河道 TN 浓度变化趋势为例,尽管污水厂尾水的污染物排放保持相对稳定,2014 年 6 月开始 S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 监测点 TN 浓度呈现先下降后上升的过程,11 月份达最大值;2014 年 12 月到 2015 年 5 月,随着温度的上升,TN 浓度下降。这是由于温度的升高一方面有助于自然水体生产力的提升,藻类和水生植物的快速生长能够加快生态系统对于污染物的吸收和降解^[12];另一方面,能够显著加强水生微生物活性,微生物分泌的酶(脱氢酶、脲酶、磷酸酶等)在适宜条件下能够强化污染物质的去除^[16]。

2.3.3 丰枯水期的影响。苏南地区一般是在雨季或者夏季气温持续升高的时期为丰水期,河道水量丰富,延续时间较长;当冬季气温较低时,流域内地表水流枯竭,主要依靠地下水补给水源的时期,河道水位较低,称为枯水期。根据苏南地区水文特点,5~9 月为丰水期,12~2 月为枯水期,3~4 月和 10~11 月为平水期。从图 5 可见,纳污河道各监测点水质指标在枯水期和平水期整体上高于丰水期。以 TN 为例,枯水期 S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 监测点平均浓度分别为 4.520、7.070、4.610 和 4.210 mg/L,丰水期 TN 平均浓度分别为 3.250、5.180、4.460 和 3.600 mg/L。其主要原因在于:①丰水期径流量大,能够对水体污染物进行一定程度的稀释;②丰水期水体流速较快,有利于水体复氧,提高水体溶解氧而增强水体微生物活性,有利于污染物的有效降解^[17]。

3 结论与建议

3.1 结论 该研究以苏南地区某城镇污水处理厂为例,通过年际监测分析了污水厂尾水对纳污河道的影响以及污染物的迁移转化,得到如下结论:①尾水的集中排放导致排放口控制断面污染物浓度显著升高,说明污水处理厂尾水的排放对纳污河道污染物各指标的上升有一定贡献。通过河道的稀释和自净化作用,能够大大降低水中污染物浓度,而且离排放口越远,水质越好。②纳污河道 TN、TP 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 指标呈现出冬季浓度较高,夏季较低的特点。温度的升高不仅有助于自然水体生产力的提升,加快生态系统对于污染物的吸收,还能够显著加强水生微生物活性,提高污染物降解效果。③纳污河道在丰水期径流量大、流速快,不仅能够对水体污染物进行稀释,还可以通过提高水体溶解氧而增强水体微生物对污染物的降解效果,使纳污河道丰水期的水质指标优于枯水期和平水期。

3.2 建议 综上所述,城镇污水处理厂一级 A 标准排放的尾水中污染物浓度仍远高于地表 V 类水环境质量标准,尽管地表水系统能够有效稀释和降解污染物,但是其排放仍会导致纳污河道营养盐(N、P)的显著升高。为减小污水厂尾水排放对纳污河道以及区域水环境造成的影响,笔者提出以下建议:

(1) 提高城镇污水处理厂排放及控制标准。我国城镇生活污水量、COD 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 排放量占全国总排放量的比例分别达到 67.6%、37.6% 和 57.0%^[18],加强对城市生活污水的排放控制对水环境质量的改善具有重要作用。

(2) 加强污染源控制方面的研究,为政府项目决策提供科学的水环境、水土保持和生态等方面的资料。针对城镇污水处理厂尾水的特性,采用生态处理技术进行深度处理,使 TN、TP 等污染指标的浓度进一步降低。

(3) 积极推动清洁生产,做好污染物的源头控制工作,合理规划和布局入河排污口,提高排污口监督管理水平。实现水质的良性循环和水资源的可持续利用,促进经济、社会、生态的健康持续发展。

参考文献

- [1] 殷小伟,强志民,贾伟伟,等. 污水处理厂不同生物处理工艺对抗生素的去除效果[J]. 中国给水排水,2012,28(22):22-26.
- [2] 包健. 常州市江边污水处理厂尾水排江工程环境影响研究[D]. 南京:河海大学,2007.
- [3] 赵联芳,黄靖宇. 苏州太仓市污水处理厂尾水排放河道的治理[J]. 水资源保护,2015,31(1):63-69.
- [4] QIN B Q, ZHU G W, GAO G. A drinking water crisis in Lake Taihu, China: Linkage to climatic variability and lake management [J]. Environmental management, 2010, 45(1):105-112.
- [5] XU H, YANG L Z, ZHAO G M, et al. Anthropogenic impact on surface water quality in Taihu Lake region, China [J]. Pedosphere, 2009, 19(6):765-778.
- [6] CHENG X Y, LI S J. An analysis on the evolution processes of lake eutrophication and their characteristics of the typical lakes in the middle and lower reaches of Yangtze River [J]. Chinese science bulletin, 2006, 12(13):77-87.
- [7] 国家环境保护总局. 地表水环境质量标准:GB 3838—2002[S]. 北京:中国环境科学出版社,2002.
- [8] 田涛,赵坤,布曼曼,等. 城市污水处理厂尾水排放对水环境质量影响定量评估[J]. 环境工程,2014(6):135-139.
- [9] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京:中国环境科学出版社,2002.
- [10] 环境保护部科技标准司. 城镇污水处理厂污染物排放标准(征求意见稿)[EB/OL]. [2016-02-15]. http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/bghz/201511/t20151111_316837.htm.
- [11] ZHANG Z M, QIN B L, YU Y, et al. Effects of temperature fluctuation on the development of cyanobacterial dominance in spring: Implication of future climate change [J]. Hydrobiologia, 2016, 763(1):135-146.
- [12] LI Y P, TANG C Y, YU Z B, et al. Correlations between algae and water quality: Factors driving eutrophication in Lake Taihu, China [J]. International Journal of environmental science and technology, 2014, 11(1):169-182.
- [13] JIA H F, SUN Z X, LI G H. A four-stage constructed wetland system for treating polluted water from an urban river [J]. Ecological engineering, 2014, 71:48-55.
- [14] 高建文,何圣兵,陈雪初,等. 生物滤池/生态砾石床处理含氮微污染地表水[J]. 中国给水排水,2012(1):26-30.
- [15] KONG X P, YE S H. The impact of water temperature on water quality indexes in north of Liaodong Bay [J]. Marine pollution bulletin, 2014, 80(1/2):245-249.
- [16] LIU J Z, LIU W, WANG F W, et al. Redox zones stratification and the microbial community characteristics in a periphyton bioreactor [J]. Biore-source technology, 2016, 204:114-121.
- [17] 杨丽蓉,孙然好,陈利顶. 流域地表水体污染过程的时空差异及其影响机制分析:以温榆河中游地区为例[J]. 环境科学,2011,32(1):73-79.
- [18] 马倩,刘俊杰,高明远. 江苏省入太湖污染量分析(1998-2007)[J]. 湖泊科学,2010,22(1):29-34.