

闵兴华, 吕婷, 薛琼, 等. 南京市主城区污水处理厂进水水质的时序特征[J]. 净水技术, 2024, 43(10): 94-98, 159.

MIN X H, LÜ T, XUE Q, et al. Time-series characteristics of influent water quality of WWTPs in main urban areas of Nanjing[J]. Water Purification Technology, 2024, 43(10): 94-98, 159.

南京市主城区污水处理厂进水水质的时序特征

闵兴华*, 吕婷, 薛琼, 金哲

(南京市生态环境保护科学研究院, 江苏南京 210041)

摘要 以2019年—2021年南京市主城区7个污水处理厂逐日进水水质的监测数据为研究对象,系统地分析污染物浓度的时序特征。运用经验模态分解识别了水质的波动周期,并运用季节与趋势分解以及Mann-Kendall检验诊断了水质的变化趋势。主要结果如下:(1)主城区污水处理厂进水氨氮、TN、TP、COD_{Cr}的平均质量浓度分别为24.74、29.47、3.08、214.85 mg/L;(2)进水污染物浓度呈现出显著的季节差异,其中7月的浓度较低,而12月的浓度较高;(3)主城区污水处理厂进水COD_{Cr}的上升趋势较为强烈,其中4个污水厂的COD_{Cr}浓度均呈现出显著的上升趋势;(4)在逐日尺度上各污水处理厂进水的氨氮、TN、TP、COD_{Cr}均呈现出3 d的周期性振荡。相关结果为研究区提高污水处理运营效能提供了重要的数据支撑。

关键词 南京市 污水处理厂 进水水质 时序特征 趋势 周期性

中图分类号: TU992 文献标识码: A 文章编号: 1009-0177(2024)10-0094-06

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2024.10.012

Time-Series Characteristics of Influent Water Quality of WWTPs in Main Urban Areas of Nanjing

MIN Xinghua*, LÜ Ting, XUE Qiong, JIN Zhe

(Nanjing Municipal Academy of Ecological and Environmental Protection Science, Nanjing 210041, China)

Abstract The daily monitoring data of influent water quality of seven wastewater treatment plants (WWTPs) in the main urban area of Nanjing from 2019 to 2021 were taken as the study object, and the time-series characteristics of pollutant concentration were analyzed systematically. The fluctuation period of water quality were identified by using the empirical mode decomposition, and the trends of water quality were diagnosed with seasonal and trend decomposition, and Mann-Kendall test. The main results were as follows. (1) The average concentrations of ammonia nitrogen, TN, TP and COD_{Cr} from the influent of WWTP in the main urban area were 24.74, 29.47, 3.08 mg/L and 214.85 mg/L, respectively. (2) The concentration of influent pollutants showed significant seasonal differences, with lower concentration in July and higher concentration in December. (3) COD_{Cr} of influent water from WWTPs in the main urban area had the strong upward trend, and the COD_{Cr} of four WWTPs presented the significant upward trends. (4) On the daily scale, the ammonia nitrogen, TN, TP and COD_{Cr} of influent water from each WWTP exhibited periodic oscillation with 3 days. The relevant results provide important data support for improving the operation efficiency of wastewater treatment in the study area.

Keywords Nanjing wastewater treatment plant influent water quality time-series characteristics trend periodic

城市污水处理厂对水环境质量改善和污染总量减排起着重要作用^[1]。污水处理厂进水水质不仅是生产管理及工艺调控的重要参考,更是影响出水达标的首要因素^[2]。因此,对污水处理厂进水水质的特征分析已成为国内学者关注的热点,相关研

究^[3]主要集中在污染浓度统计特征的识别。然而由于污水排放和收集过程的复杂性,污水处理厂的进水水质往往呈现出不稳定的动态变化,这给运行管理、工艺优化和能耗集约带来极大的压力^[4]。精准分析进水水质变化的振荡周期性和长期趋势,有助及时评估和预测污染物浓度的变化方向和幅度,进而为积极预防和应对提供客观依据。鉴于此,本研究依托时序统计诊断技术对南京市主城区污水处

[收稿日期] 2022-11-28

[通信作者] 闵兴华(1988—),男,硕士,高级工程师,主要从事城市水环境研究的工作,E-mail:minxinhua@126.com。

理厂进水水质的变异性、周期性、趋势性进行定量识别, 以为优化污水处理的运营提供重要参考数据。

1 研究材料与方法

1.1 研究对象

选取南京市主城区 7 座典型污水处理厂作为研究对象, 分别为江心洲、城东(三期)、城东(一二期)、城南、城北、仙林、铁北, 均为城镇生活污水处理厂。以 2019 年—2021 年实际进厂原水污染物浓度数据为基础, 对相关资料进行预处理和筛查, 进而构建各厂氨氮、总氮(TN)、总磷(TP)、化学需氧量(COD_{Cr})这 4 项指标的逐日数值序列。

1.2 研究方法

运用经验模态分解(EMD)识别污染物浓度逐日序列中的周期性振荡特征, 并结合季节与趋势分解(STL法)和 Mann-Kendall 趋势检验法(M-K 检验)对水质变化趋势的显著性进行诊断。

EMD 可有效地从原始信号中逐级提取出不同尺度的振荡(内在的本征模函数, 即 IMF)或逐级分离出残差分量, 并利用方差贡献率衡量每种尺度信号波动频率和振幅对原数据总体特征影响程度, 进而准确地检测出非平稳、非线性信号的周期性特征^[5]。

M-K 检验不需要样本遵循一定的分布, 常用来检测水文、气象、环境等非正态分布数据序列的长期变化趋势。统计量 Z 为其计算结果, >0 时表征上升趋势; <0 时表征下降趋势。 Z 的绝对值 ≥ 1.96 和 ≥ 2.56 时, 分别表示通过了信度 95% 和 99% 的显著性检验, 分别对应了显著趋势和极显著趋势。

STL 法通过嵌套内外循环以及鲁棒性的局部加权回归, 将一个性时间序列分解成趋势项、周期项和不规则的余项, 其大致由 6 个主要步骤组成: ①去趋势; ②周期子序列平滑; ③周期子序列的低通量过滤; ④去除平滑周期子序列趋势; ⑤去周期; ⑥趋势平滑^[6-7]。STL 法剔除水质逐日序列的干扰项及周期项后, 保留能够反映污染物浓度变化的趋势项。

2 结果与分析

2.1 进水水质的统计特征

累计 50% 及 80% 进水的污染物浓度统计值常用于刻画进水水质的总体分布特征^[3]。由表 1 和图 1 可知, 进水氨氮质量浓度为 1.24~55.20 mg/L, 平均质量浓度为 24.74 mg/L, 50% 进水氨氮质量浓度 < 23.5 mg/L, 80% 进水氨氮质量浓度 < 30.5 mg/L; 进水 TN 质量浓度为 6.46~65.40 mg/L, 平均质量浓度为 29.47 mg/L, 50% 进水 TN 质量浓度 < 28.5 mg/L, 80% 进水 TN 质量浓度 < 34.5 mg/L; 进水 TP 质量浓度为 0.39~10.40 mg/L, 平均质量浓度为 3.08 mg/L, 50% 进水 TP 质量浓度 < 2.95 mg/L, 80% 进水 TP 质量浓度 < 3.75 mg/L; 进水 COD_{Cr} 质量浓度为 57.00~896.00 mg/L, 平均质量浓度为 214.85 mg/L, 50% 进水 COD_{Cr} 质量浓度 < 205.5 mg/L, 80% 进水 COD_{Cr} 质量浓度 < 261.5 mg/L。表 1 中还给出了唐燕秋等^[8]整理的我国典型大城市、重要流域及全国尺度下污水厂处理厂进水水质的数值统计。通过对比可以发现南京主城区污水处理厂进水 TN、TP、COD_{Cr} 的浓度均低于其他大型城市、区域和全国平均水平。

表 1 进水水质的基本特征及区域差异

Tab. 1 Basic Characteristics and Regional Differences of Influent Water Quality

区域	数值	氨氮/(mg·L ⁻¹)	TN/(mg·L ⁻¹)	TP/(mg·L ⁻¹)	COD _{Cr} /(mg·L ⁻¹)
南京	变化范围	1.24~55.20	6.46~65.40	0.39~10.40	57.00~896.00
	平均值	24.74	29.47	3.08	214.85
重庆市	平均值	29.27	39.90	3.65	158.28
天津市	平均值	26.00	33.60	4.20	334.50
上海市	平均值	24.00	35.10	4.90	300.20
太湖流域	平均值	21.37	28.94	3.16	259.96
全国	平均值	22.83	30.36	3.70	219.97

2.2 进水水质的年内差异

通过提取不同月份水质指标的平均值及变异系数, 图 2 描述了南京市主城区污水处理厂进水污染

物浓度的年内分布差异。由图 2 中的平均值可以发现, 进水氨氮、TN、TP、COD_{Cr} 浓度的最低值均出现在 7 月, 而污染物浓度的最高值则均出现在 12 月,

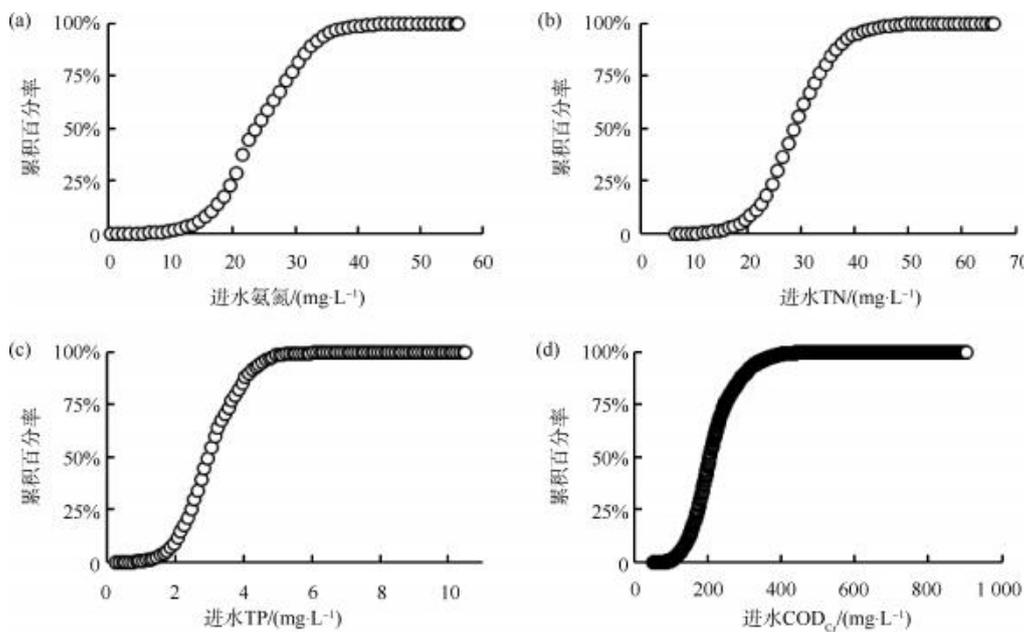


图1 南京市主城区污水处理厂进水污染物的分布规律

Fig. 1 Distribution Law of Influent Pollutants of WWTPs in Main Urban Areas of Nanjing

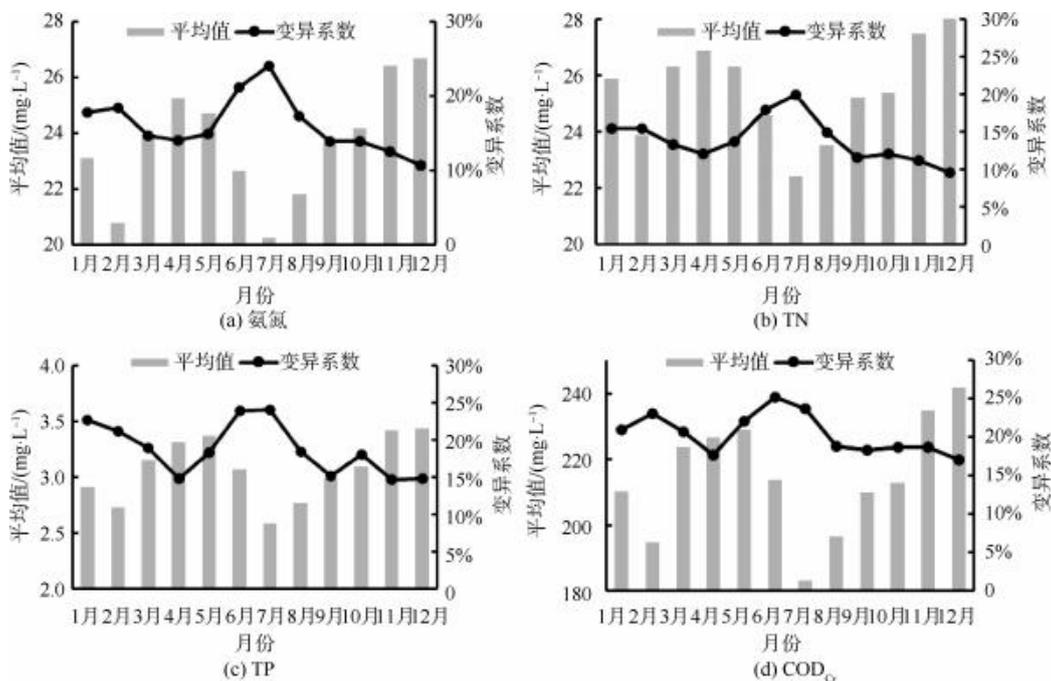


图2 不同月份污水处理厂进水污染物的特征差异

Fig. 2 Characteristic Difference of Influent Pollutants of WWTPs in Different Months

这与变异系数描述的各月水质波动性特征截然相反。由图2可知,进水氨氮、TN、TP、COD_{Cr}浓度在6月、7月呈现出更强的波动性。进水氨氮、TN浓度在11月、12月呈现出较弱的波动性,而TP、COD_{Cr}浓度则在4月、11月、12月呈现出较弱的波动性。

这些均表明了研究区污水处理厂进水水质存在着显著的季节差异,特别是夏季的污染物浓度呈现出低强度高变异,而秋末初冬的污染物浓度则呈现出高强度低变异。相类似,北京、天津等市的城区污水处理厂的进水水质也呈现出夏季污染物浓

度偏低的现象^[9-10]。受东亚季风影响,我国东部地区的降水多集中于夏季,其导致的降水以及地下水、河水的渗入及混入对污染物浓度的季节差异有着重要贡献^[11]。

2.3 各污水处理厂进水水质的周期性特征

基于EMD,各污水处理厂进水的逐日水质序列均被分解为9个IMF分量和1个残差分量,并通过方差贡献率的高低表征不同频谱振荡的贡献比重,以期了解污染物浓度波动的周期特征。通过整理各IMF分量对应的振荡周期及其方差贡献率(序列跨度仅为3年,因此剔除日长超过365d的周期结果),表2给出了水质序列的主周期和次主周期的统计结果。各污水处理厂不同水质指标的日序列的

主周期大致相同,均为2.67~2.95d,其方差贡献率为13.60%~41.12%。这表明了南京市主城区污水处理厂进水的污染物浓度呈现出准3d的高频振荡。其中江心洲、城北、仙林这3个污水处理厂进水水质的高频振荡最为显著,其某些水质指标主周期的方差贡献率超过了30%。而各污水处理厂进水水质的次主周期特征则存在明显的差异。由表2可知,不同水质指标的次主周期主要为133.30~205.80d和5.92~6.52d这两种日长,这表明了进水污染物浓度还存在着季节尺度和周尺度的周期性振荡。其中仙林污水处理厂进水污染物浓度的季节性振荡最为显著,其各水质指标次周期的方差贡献率均超过了20%。

表2 各污水处理厂进水水质序列的周期性特征

Tab. 2 Periodic Characteristics of Sequence of Influent Water Quality in Each WWTP

污水处理厂	氨氮		TN		TP		COD _{Cr}	
	主周期/d	方差贡献率	主周期/d	方差贡献率	主周期/d	方差贡献率	主周期/d	方差贡献率
江心洲	2.78	21.22%	2.88	21.13%	2.88	36.06%	2.88	35.77%
城东(三期)	2.90	25.84%	2.95	26.20%	2.79	19.73%	2.88	28.90%
城东(一二期)	2.86	26.50%	2.84	26.68%	2.84	24.66%	2.86	26.50%
城南	2.88	17.16%	2.81	16.92%	2.88	17.63%	2.89	17.12%
城北	2.76	13.60%	2.79	26.03%	2.80	41.12%	2.88	25.79%
仙林	2.81	33.45%	2.77	30.87%	2.78	28.85%	2.85	34.40%
铁北	2.67	15.74%	2.69	18.71%	2.80	21.88%	2.80	27.98%

污水处理厂	氨氮		TN		TP		COD _{Cr}	
	主周期/d	方差贡献率	主周期/d	方差贡献率	主周期/d	方差贡献率	主周期/d	方差贡献率
江心洲	138.72	14.58%	139.69	15.41%	6.12	11.78%	5.92	12.32%
城东(三期)	164.12	15.89%	167.14	15.37%	6.23	7.70%	6.09	10.97%
城东(一二期)	6.34	13.25%	6.52	15.34%	6.02	11.24%	6.34	13.25%
城南	6.34	11.19%	13.37	10.67%	133.30	15.18%	6.19	8.69%
城北	6.23	6.98%	6.02	10.84%	6.02	19.87%	6.09	12.71%
仙林	193.95	24.33%	205.80	21.10%	173.75	22.08%	159.51	20.62%
铁北	5.99	8.48%	5.99	8.97%	141.72	16.91%	6.30	15.13%

2.4 各污水处理厂进水水质的变化趋势

运用STL时序分解算法分离出水水质指标逐日序列的趋势项,进而利用M-K检验诊断趋势项来定性水化污染物浓度的变化特征。不同污水处理厂进水水质指标的变化趋势存在明显的差异,表3给出了水质序列的M-K检验统计结果。江心洲污水处理厂的氨氮、TN、TP、COD_{Cr}分别呈现出非显著上升趋势、非显著上升趋势、非显著下降趋势、显著上升趋势;城东污水处理厂(三期)的氨氮、TN、TP、COD_{Cr}分别呈现出非显著上升趋势、非显著上升趋势、非显著上升趋势、非显著上升趋势;城南污水处理厂的氨氮、TN、TP、COD_{Cr}分别呈现出非显著下降趋势、非显著上升趋势、极显著上升趋势、极显著上升趋势;城北污水处理厂的氨氮、TN、TP、COD_{Cr}分别呈现出极显著上升趋势、极显著上升趋势、显著下降趋势、极显著上升趋势;仙林污水处理厂的氨氮、TN、TP、COD_{Cr}均呈现出非显著下降趋势;铁北污水处理厂

势、极显著上升趋势、极显著上升趋势;城东污水处理厂(一二期)的氨氮、TN、TP、COD_{Cr}分别呈现出非显著上升趋势、非显著上升趋势、非显著下降趋势、非显著下降趋势;城南污水处理厂的氨氮、TN、TP、COD_{Cr}分别呈现出非显著下降趋势、非显著上升趋势、极显著上升趋势、极显著上升趋势;城北污水处理厂的氨氮、TN、TP、COD_{Cr}分别呈现出极显著上升趋势、极显著上升趋势、显著下降趋势、极显著上升趋势;仙林污水处理厂的氨氮、TN、TP、COD_{Cr}均呈现出非显著下降趋势;铁北污水处理厂

的氨氮、TN、TP、COD_{Cr} 分别呈现出极显著下降趋势、极显著下降趋势、显著下降趋势、非显著下降趋势。可以发现,超过半数污水处理厂进水的氨

氮、TN、COD_{Cr} 浓度呈现出上升趋势,特别是江心洲、城东(三期)、城南、城北的 COD_{Cr} 均呈现出显著的上升趋势。

表3 各污水处理厂进水水质序列的 M-K 检验
Tab. 3 M-K Test of Sequence of Influent Water Quality in Each WWTP

污水处理厂	氨氮		TN		TP		COD _{Cr}	
	Z 值	趋势	Z 值	趋势	Z 值	趋势	Z 值	趋势
江心洲	1.37	+	1.01	+	-0.30	-	2.17	++
城东(三期)	1.81	+	0.95	+	4.62	+++	4.48	+++
城东(一二期)	0.70	+	0.09	+	-0.97	-	-0.60	-
城南	-0.51	-	0.66	+	2.56	+++	18.97	+++
城北	13.27	+++	8.16	+++	-2.52	--	13.96	+++
仙林	-0.47	-	-0.70	-	-1.25	-	-1.00	-
铁北	-4.25	---	-4.68	---	-2.05	--	-0.93	-

注:“+”表示:非显著上升趋势;“++”表示显著上升趋势;“+++”表示极显著上升趋势;“-”表示非显著下降趋势;“--”表示显著下降趋势;“---”表示极显著下降趋势。

3 结论

(1)南京市主城区污水处理厂进水氨氮、TN、TP、COD_{Cr} 的平均质量浓度分别为 24.74、29.47、3.08、214.85 mg/L,属于相对较低水平。这反映了南京市生活污水集中收集率还有一定的提升空间,目前较低的进水污染物浓度可能会增加污水处理厂脱氮除磷等工艺的运行成本。

(2)南京市主城区污水处理厂进水的污染物浓度呈现出显著的季节差异,其中7月的污染物浓度较低,而12月的污染物浓度较高。受降水季节性分配的影响,收集管网旱季时段的污染物沉积与雨季时段的冲刷流失可能是污染物浓度年内分布不均的重要原因。因此,基于日常运行流速及水位的管道沉积控制与预判雨季河湖水倒灌等举措应当作为南京市提高生活污水收集率的重要攻关方向,这对保障污水处理厂合理的碳氮磷进水浓度具有重要的工程价值。

(3)从变化趋势来看,南京市主城区污水处理厂进水 COD_{Cr} 的上升趋势较为强烈,4个水厂的 COD_{Cr} 均呈现出显著或极显著的上升趋势,其中城南污水处理厂的上升趋势最为突出。目前,南京市主城区的排水体制正由截流式合流制与分流制并存逐步向雨污分流积极转变,排水管网的控源截污逐渐取得了效果,这提升了某些污水处理厂的生活污水集中收纳能力,导致某些污染物进水浓度的显著升高。

(4)从周期性特征来看,各污水处理厂进水的不同水质指标均呈现出主周期为3d的高频振荡,

特别是江心洲及城北污水处理厂的 TP、COD_{Cr} 所呈现的高频振荡更为强烈,其方差贡献率均超过了35%。污染物浓度呈现出的周内振荡有助于揭示负荷冲击特征,从而提前调整曝气量、加药量、回流量、污泥浓度等工艺参数,进而保证污水处理厂出水水质的稳定达标。

参考文献

- [1] 曾旭,王荣昌,马翠香,等.工业生活混合污水处理厂的进水变化特征[J].净水技术,2020,39(5):75-79,115.
ZENG X, WANG R C, MA C X, et al. Statistical analysis of the influent of an industrial and domestic mixed wastewater treatment plant[J]. Water Purification Technology, 2020, 39(5): 75-79, 115.
- [2] 柳勇,董宝刚,徐超,等.合肥市污水处理厂进水水质特征的统计学分析[J].净水技术,2021,40(8):68-73.
LIU Y, DONG B G, XU C, et al. Statistical analysis of influent water quality characteristics of WWTPs in Hefei[J]. Water Purification Technology, 2021, 40(8): 68-73.
- [3] 邹吕熙,李怀波,郑凯凯,等.太湖流域城镇污水处理厂进水水质特征分析[J].给水排水,2019,55(7):39-45.
ZOU L X, LI H B, ZHENG K K, et al. Analysis on the characteristics of influent water quality from wastewater treatment plants in Taihu Basin[J]. Water & Wastewater Engineering, 2019, 45(7): 39-45.
- [4] 邱勇,毕怀斌,田宇心,等.污水处理厂进水数据特征识别与案例分析[J].环境科学学报,2022,42(4):44-52.
QIU Y, BI H B, TIAN Y X, et al. Characterization model of influent data for wastewater treatment plants and its application in case studies[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2022, 42(4): 44-52.

(下转第159页)

的重要设计参数,建议根据当地降雨条件及受纳水体环境容量结合排水系统模型分析,利用初雨截流标准或最小溢流降雨量作为截流式合流制排水系统改造控制参数。

参考文献

- [1] 李贺,李田. 上海中心城区合流制排水系统雨天溢流水质研究[J]. 中国给水排水, 2009, 25(3): 80-84.
LI H, LI T. Characteristics of combined sewer overflow during rainfall in central area of Shanghai [J]. China Water & Wastewater, 2009, 25(3): 80-84.
- [2] 徐连军,张善发. 上海中心城区泵站放江溢流污染影响因子分析[J]. 中国给水排水, 2010, 26(18): 42-45.
XU L J, ZHANG S F. Analysis on influence factors of river discharge overflow pollution from pumping station in downtown Shanghai[J]. China Water & Wastewater, 2010, 26(18): 42-45.
- [3] 董黎,时珍宝. 浅析上海市中心城区泵站放江污染治理[J]. 上海水务, 2014, 30(3): 5-7.
DONG L, SHI Z B. Discussion on control of the overflow from the bumping stations in the main city of Shanghai[J]. Shanghai Water, 2014, 30(3): 5-7.
- [4] 周骅. 调蓄池功能提升试验研究与改进对策[J]. 给水排水, 2018, 44(5): 16-20.
ZHOU H. Research on the function upgrading of storage tanks and its improvement [J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 44(5): 16-20.
- [5] 陈忱. 上海泵站放江污染控制及其管理[J]. 净水技术, 2018, 37(9): 1-3.
CHEN C. Pollution control of discharge to river and management for drainage pumping station in Shanghai[J]. Water Purification Technology, 2018, 37(9): 1-3.
- [6] 陶贤成. 雨水调蓄池设计的关键问题探讨[J]. 净水技术, 2019, 38(5): 41-44.
TAO X C. Discussion on key issues in design of storm water storage tank[J]. Water Purification Technology, 2019, 38(5): 41-44.
- [7] 周传庭,王梦玉,幸韵欣,等. 城市初期雨水污染及处理措施的研究进展[J]. 净水技术, 2022, 41(7): 17-26.
ZHOU C T, WANG M Y, XIN Y X, et al. Research progress of urban initial stormwater pollution and treatment measures [J]. Water Purification Technology, 2022, 41(7): 17-26.
- [8] 周莹,岳艾儒,徐宏,等. 城市黑臭水体治理指标分析与治理趋势研究[J]. 四川环境, 2020, 39(6): 88-95.
ZHOU Y, YUE A R, XU H, et al. Analysis on the indexes for urban black-odor water treatment and study on the treatment trend [J]. Sichuan Environment, 2020, 39(6): 88-95.
- (上接第 98 页)
- [5] 田宏伟,闵俊杰,黄进,等. 基于集合经验模态分解的河南省夏玉米产量波动对大气环流的响应[J]. 水土保持通报, 2020, 40(4): 176-182.
TIAN H W, MIN J J, HUANG J, et al. Responses of summer maize yield to atmospheric circulation in Henan Province based on ensemble empirical mode decomposition[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(4): 176-182.
- [6] 王春晓,卢毅敏. 闽江流域水质时间序列变化趋势识别及特征分析[J]. 水资源与水工程学报, 2020, 31(4): 63-69.
WANG C X, LU Y M. Trend recognition and characteristics analysis of water quality indicator time series in Minjiang River Basin [J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2020, 31(4): 63-69.
- [7] 牛林芝,王旭红,韩海青,等. 中亚五国气溶胶光学厚度时空分布特征研究[J]. 环境科学学报, 2021, 41(2): 321-333.
LIU L Z, WANG X H, HAN H Q, et al. Spatiotemporal distribution of aerosol optical depth in the five Central Asian countries [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2021, 41(2): 321-333.
- [8] 唐燕秋,陈佳,张可,等. 重庆市典型城镇污水处理厂进水水质特征研究[J]. 环境影响评价, 2022, 44(3): 75-78.
TANG Y Q, CHEN J, ZHANG K, et al. Study on characteristics of influent water quality of typical urban wastewater treatment plants in Chongqing [J]. Environmental Impact Assessment, 2022, 44(3): 75-78.
- [9] 席力蒙,刘钰,张平,等. 天津市污水水质区域对比及年度内变化[J]. 净水技术, 2019, 38(s2): 30-35.
XI L M, LIU Y, ZHANG P, et al. Regional comparison of wastewater characteristics and quality variation within a year in Tianjin [J]. Water Purification Technology, 2019, 38(s2): 30-35.
- [10] 孙艳,张逢,胡洪营,等. 北京市污水处理厂进水水质特征的统计学分析[J]. 给水排水, 2014, 40(s1): 177-181.
SUN Y, ZHANG F, HU H Y, et al. Statistical analysis of influent quality characteristics of municipal wastewater treatment plants in Beijing [J]. Water & Wastewater Engineering, 2014, 40(s1): 177-181.
- [11] 周乙新,李激,王燕,等. 城镇污水处理厂低浓度进水原因分析及提升措施[J]. 环境工程, 2021, 39(12): 25-30.
ZHOU Y X, LI J, WANG Y, et al. Reason analysis and improvement measures for low pollutants concentration of influent water of urban sewage treatment plants [J]. Environmental Engineering, 2021, 39(12): 25-30.