

汛期对大型城市污水处理厂进水特征的影响

胡晓昕

(上海市排水管理事务中心, 上海市 200001)

摘要: 基于长三角地区某大型城市污水处理厂2023年实际运行数据, 系统分析了汛期污水厂进水流量和进水水质特征。结果表明, 污水厂汛期日进厂流量和最大瞬时流量均超过设计能力。汛期进厂最小瞬时水量主要集中在上午7:00—9:00, 最大瞬时水量主要集中在下午2:00—8:00。汛期期间进水化学需氧量(COD)、总氮(TN)、总磷(TP)和氨氮浓度显著降低, 且彼此存在显著相关性。TN与氨氮相关性较高, 一元线性拟合程度较好。TP、COD与其他指标线性拟合度相对较弱。通过分析汛期对此污水处理厂进水特征的影响, 以期对其他污水处理厂运行管理、优化设计提供借鉴和参考。

关键词: 污水处理厂; 进水流量; 进水水质特征

中图分类号: X13

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)05-0140-04

Influence of Flood Season on Influent Characteristics of Large-sized Municipal Wastewater Treatment Plant

HU Xiaoxin

(Shanghai Drainage Management Affairs Center, Shanghai 200001, China)

Abstract: Based on the actual operating data of a large-sized municipal wastewater treatment plant (WWTP) in the Yangtze River Delta Region in 2023, the characteristics of influent flow and quality of WWTP in the flood season are systematically analyzed. The results show that the daily influent flow and the maximum instantaneous flow of WWTP in the flood season have both exceeded the design capacities. In the flood season, the minimum instantaneous flow into WWTP occurs mainly from 7 am to 9 am while the maximum instantaneous flow occurs from 2 pm to 8 pm. The concentrations of chemical oxygen demand (COD), total nitrogen (TN), total phosphorus (TP) and ammonia nitrogen significantly are lowered in the flood season. And there are a significant correlation among them. The correlation between TN and ammonia nitrogen is higher, and the degree of univariate linear fitting is good. The linear fitting degree of TP, COD and the other indexes is relatively weak. The influence of flood season on the influent characteristics of WWTP is analyzed in order to provide the reference for the operation management and optimal design of the other WWTP.

Keywords: wastewater treatment plant (WWTP); influent flow; characteristics of influent quality

0 引言

随着城市化的不断发展, 城镇污水问题逐渐突出。近年来, 城市污水处理厂加快提标改造进程, 使得污水处理效率得到大幅度提高^[1-2]。然而, 排水体制和降雨等因素仍然影响着排水系统和终端污水处理厂的平稳运行^[3-6]。

污水处理厂的进水水量和水质既是污水处理设计的关键参数, 也是优化运行管理、节能降耗、升级改造的重要依据^[7]。很多专家学者对其特征进行深

入研究。郭玉梅等^[8]系统地分析了昆明市第五污水处理厂雨季流量负荷以及进出水5种污染指标的变化规律; 苏云菲等^[9]通过对沈阳南部污水厂进水量时变化、日变化、月变化以及进水水质变化规律进行总结, 以期指导后续运行; 刘堰杨等^[10]运用了Spearman相关分析和回归分析等方法, 分析了成都8座乡镇污水处理厂进水水质特征, 并与国内其他研究进行对比和总结; 邹吕熙等^[11]等对太湖流域204座污水处理厂进厂水质进行统计分析, 并对污水厂新一轮提标改造提出建议。已有的研究虽然从不同角度揭示了污水厂的水量水质特征, 但是对引起其特征变化的关键驱动因素关注较少。

汛期是引发污水厂水量水质变化的重要影响因

收稿日期: 2024-06-18

作者简介: 胡晓昕(1992—), 女, 硕士, 工程师, 从事排水行业管理工作。

素之一。汛期降雨会导致污水处理厂进水发生突变,影响其稳定运行^[12]。本文选取长三角地区某大型城市污水处理厂为研究对象,其所在片区服务面积约为 1 100 km²,服务人口约为 1 000 万人,对城市污水处理做出重要贡献。片区排水体制为合流制和分流制并存,进水水质受汛期降雨的影响较大。因此,探讨汛期对大型城市污水处理厂进水特征的影响,对其他污水处理厂的运行管理、优化设计具有重要的借鉴和参考意义。

1 研究方法

本文以污水处理厂进水为研究对象,对污水厂 2023 年汛期进水日流量、瞬时流量特征进行分析,同时对汛期进厂最大和最小瞬时流量出现的时间变化规律进行了对比;对污水厂汛期进水水质(化学需氧量(COD)、氨氮、总氮(TN)、总磷(TP))的变化规律及指标间的相关性、一元线性关系进行分析。作图和数据统计分析分别采用 Origin 8.0 和 SPSS 19.0 进行。

2 结果与讨论

2.1 汛期对污水厂日进水量的影响

城市污水处理厂进水流量是污水处理运行的重要参数。图 1 为污水处理厂 2023 年进水流量情况。对汛期和非汛期日均进水量数据进行统计分析,与正态性检验,分析结果如表 1 所列。

表 1 汛期和非汛期进厂流量统计分析

时间	流量/ (万 m ³ ·d ⁻¹)	偏度	峰度	Shapiro-Wilk (P)
非汛期	288 (277~310)	0.798	0.323	0.000
汛期	335.5 (324~354)	0.643	0.570	0.007

如图 1 所示,除 1 月进水流量中位数低于设计值外,其他各月均比设计值高,尤其是汛期 6~9 月。因样本容量<1 000,故采用 Shapiro-Wilk 检验^[13]。

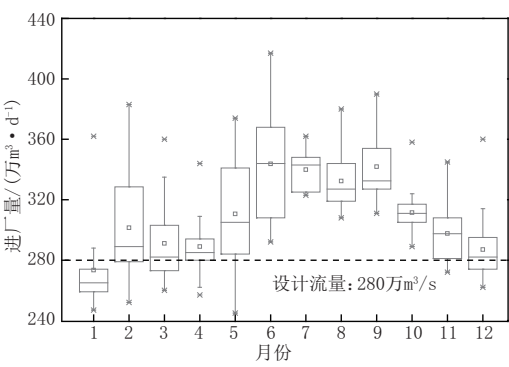


图 1 污水处理厂 2023 年进厂量

通过对非汛期和汛期进水量进行统计和正态性检验分析可知,两个时间段进水量均不符合正态分布($P<0.05$)。因偏度系数大于 0,所以两个时间段进水量数据均呈右偏态分布。汛期进厂日流量中位数为 335.5 万 m³/d,负荷率为 120%,比非汛期增加 47.5 万 m³/d。由于汛期雨量等因素影响,污水厂日进厂流量增加较大,给污水处理带来一定压力。

2.2 汛期对污水厂进水瞬时流量的影响

除每日进厂水量增加外,污水厂还受到瞬时的冲击负荷。图 2 所示为 2023 年污水厂汛期进厂最大瞬时流量和最小瞬时流量情况。如图 2 所示,汛期内进厂每日最小瞬时流量在 20.12~44.79 m³/s。每日最大瞬时流量在 34.89~52.08 m³/s,比设计秒流量高 7.69%~60.74%。

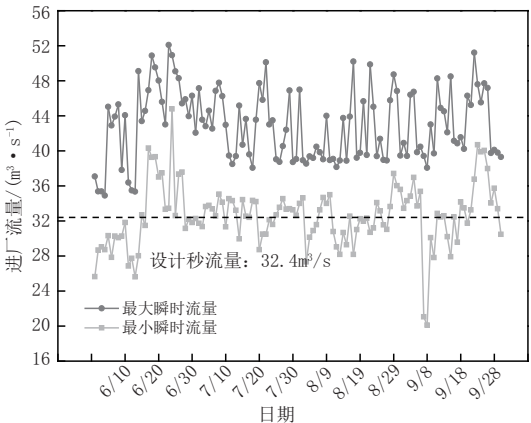


图 2 污水处理厂汛期进厂瞬时流量情况

对汛期进厂当日最大瞬时流量和最小瞬时流量出现的时间进行统计分析与正态性检验,结果显示均不符合正态分布($P<0.05$)。如图 3 所示,汛期进厂最小瞬时流量出现的时间中位数为上午 8:15,上四分位数为 7:38,下四分位数为 8:57。汛期进厂最大瞬时流量出现的时间中位数为 14:22,上四分位数为 11:32,下四分位数 19:20。由此可知,汛期进厂最小瞬时水量主要集中在上午 7:00—9:00,最大瞬时水量主要集中在下午 2:00—8:00。因此,上游排水输送单位应尽可能完善管网运行调度规则,调配水量,缓解汛期瞬时水量造成的冲击负荷。

2.3 汛期对污水厂进水水质的影响

污水处理厂 2023 年汛期进水化学需氧量(COD)、氨氮、总磷(TP)以及总氮(TN)指标的统计结果与正态性检验分析如表 2 所列。经过 Shapiro-Wilk 检验,TN 指标符合正态分布($P>0.05$),其余指标均不符合正态分布($P>0.05$)。其中,COD、TP 呈右偏态分布,氨氮呈左偏态分布。

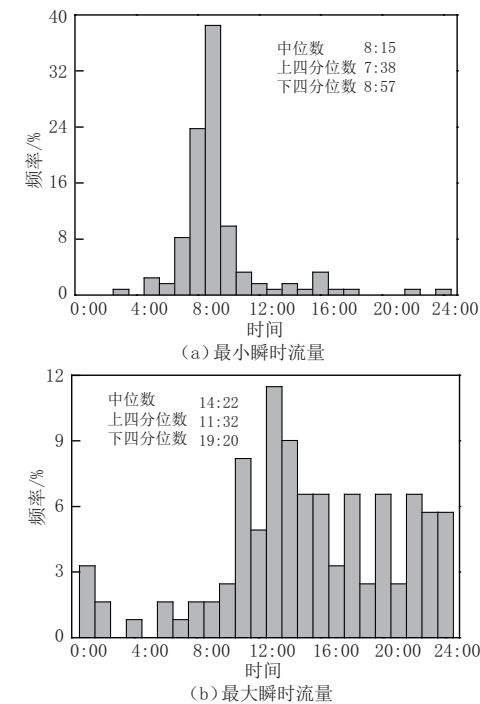


图3 污水处理厂汛期进厂瞬时流量出现时间频率分布情况

表2 汛期和非汛期进厂水质统计分析

	COD	氨氮	TP	TN
非汛期/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	230.30 (186.96~262.71)	28.17 (24.82~30.23)	2.81 (2.56~3.09)	32.67 (5.42)
汛期/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	190.20 (170.41~206.15)	26.56 (24.00~28.15)	2.48 (2.28~2.65)	30.00 (5.25)
偏度	0.528	-0.793	0.109	-0.098
峰度	0.027	1.149	0.536	0.590
Shapiro-Wilk (P)	0.000	0.000	0.015	0.136

注:pH无量纲。

对汛期和非汛期进水水质数据进行非参数检验(Mann-Whitney),两者存在显著性差异($P<0.05$)。符合正态分布的数据比较均值,不符合正态分布的数据比较中值^[14]。由进水统计数据可知,汛期COD中值为230.30 mg/L,氨氮中值为28.17 mg/L,TP均值为2.81 mg/L,TN中值为32.67 mg/L,分别比非汛期降低了21.08%、6.06%、13.31%和8.90%。污水处理厂汛期进水浓度普遍偏低,这可能是因为汛期降雨

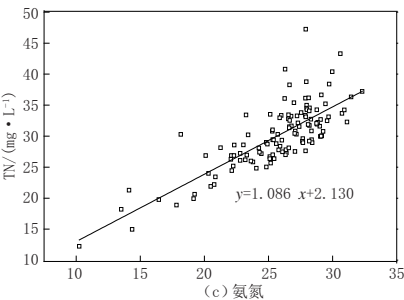
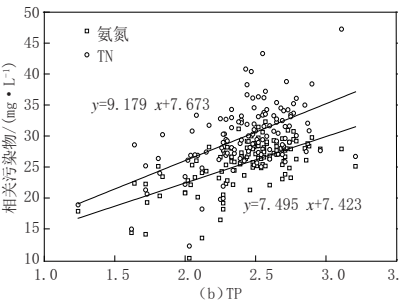
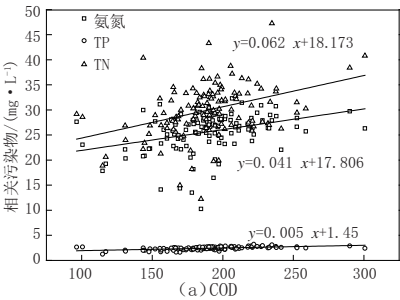


图4 汛期进厂水质拟合曲线

较多,雨水进入片区合流制管网,导致进厂水量增加,进而使各指标浓度降低。

碳源对微生物去除污染物十分重要^[15-16]。汛期进水COD浓度显著降低,易造成污水处理厂进水碳源不足,无法为污水处理厂有效地提供碳源用于氮磷去除。因此污水处理厂需要考虑汛期是否要额外投加碳源,以提高污染物去除效率。

2.4 汛期进水水质指标相关性分析

污水成分较为复杂,因此对水质指标间相关性分析十分重要^[17]。通过对2023年污水处理厂汛期进水主要水质指标进行Spearman相关性分析,得到了水质指标之间的相关关系,如表3所列。

表3 汛期进厂水质的Spearman相关性分析

	COD	氨氮	TP	TN
COD	—	0.377**	0.597**	0.368**
TP	0.597**	0.570**	—	0.499**
氨氮	0.377**	—	0.570**	0.756**
TN	0.368**	0.756**	0.499**	—

注:**在0.01. 级别,相关性显著。

由表3可知,各指标间均具有显著相关性,COD与氨氮、TN相关性较弱,相关系数分别为0.377、0.368。TP与COD、氨氮、TN具有一定的相关性,相关系数分别为0.597、0.570、0.499。TN与氨氮相关性较好,相关系数为0.756,这说明在管网输送过程中有机氮类物质大多转化为氨氮,进厂时占比相对较低^[18]。

对汛期进水主要水质指标采用最小二乘法^[19]进行回归分析及线性拟合,得到的回归方程和相关系数(R^2)及拟合曲线如表4和图4所列。

表4 汛期进厂水质回归分析

	COD	TP	氨氮
TP	$y=0.005x+1.415$ $R^2=0.292$	—	—
氨氮	$y=0.041x+17.806$ $R^2=0.115$	$y=7.495x+7.423$ $R^2=0.381$	—
TN	$y=0.062x+18.173$ $R^2=0.140$	$y=9.179x+7.673$ $R^2=0.302$	$y=1.086x+2.130$ $R^2=0.623$

TN与氨氮之间的线性相关系数 R^2 为0.623,拟合效果较好。这与刘堰杨等^[10]的研究规律一致,污水处理厂在提高总氮去除效率时,可以考虑调节进水氨氮浓度及强化硝化、反硝化效能。TP与氨氮、TN、COD之间的拟合效果一般,线性相关系数 R^2 分别为0.381、0.302、0.292。COD与氨氮、TN线性拟合度相对较弱,系数分别为0.115和0.140。

3 结 语

本文基于长三角地区某大型城市污水处理厂2023年实际运行数据,系统分析了汛期污水厂进水量和进水水质特征。得出以下结论。

(1)由于汛期雨量等因素影响,污水厂汛期日进厂流量中值比非汛期增加47.5万 m^3/d ,汛期内每日最大瞬时流量在34.89~52.08 m^3/s ,比设计秒流量高7.69%~60.74%,给污水处理带来一定压力。

(2)汛期进厂最小瞬时水量主要集中在上午7:00—9:00,最大瞬时水量主要集中在下午2:00—8:00。建议上游排水输送单位尽可能优化管网运行调度模式,调配水量,关注进厂瞬时流量规律,缓解汛期瞬时水量造成的冲击负荷。

(3)污水处理厂2023年进水的TP浓度分布服从正态分布,COD、氨氮、TN浓度分布呈正偏态分布。汛期期间进水主要指标浓度显著降低,尤其是进水COD,易造成污水处理厂进水碳源不足。因此污水处理厂需要考虑汛期是否要额外投加碳源,以确保去除效率。

(4)污水处理厂汛期各进水水质指标间存在显著相关性,尤其是TN与氨氮相关性较高,Spearman相关系数为0.756,且两者一元线性拟合程度较好,因此污水处理厂汛期可考虑增加氨氮和硝酸盐类过程水质在线仪表,通过动态调整,强化硝化和反硝化效能,进而提升总氮去除效果。TP与氨氮、TN、COD之间的拟合效果一般,线性相关系数 R^2 分别为0.381、0.302、0.292。COD与氨氮、TN线性拟合度相对较弱,系数分别为0.115和0.140。

(5)应逐步利用现有数据,完善城市排水模型,优化污水调度和处理机制,不断提高污水处理厂汛期的运行效能,实现智慧水务。

参考文献:

- [1] 耿亮.上海市城镇污水处理厂现状及发展趋势[J].净水技术,2019,38(增刊2):27-29.
- [2] 肖艳.提质增效背景下对上海排水高质量发展的思考[J].净水技术,2020,39(增刊1):239-241.
- [3] 朴恒,王晓东,吴宇行,等.降雨对混接分流制地区污水厂进出水特征的影响[J].中国给水排水,2022,38(17):88-92.
- [4] 魏源源,姜莉,丁超,等.不同降雨等级对大型合流制污水处理厂进水特征的影响研究[J].中国市政工程,2023,(5):22-27.
- [5] 李红桔,许洋,尹娟,等.城市污水处理厂进水水质规律分析及应用[J].环境生态学,2024,6(1):133-138.
- [6] 王俊松,赵磊,张晓旭.降雨特征对合流制排水系统径流污染负荷的影响[J].环境监测管理和技术,2016,28(5):19-23;28.
- [7] 姚杰.上海主城区污水处理厂能力提升需求研究[J].给水排水,2020,56(3):82-87.
- [8] 郭玉梅,郭昉,吴毅晖,等.雨季条件下昆明第五污水厂水量水质特征分析[C]//中国城镇水务发展国际研讨会论文集,2014:362-367.
- [9] 苏云菲,王劼.北方大型污水处理厂进水水量水质特征分析[J].资源节约与环保,2020(7):36-37.
- [10] 刘堰杨,唐启亮.成都市乡镇污水处理厂进水水质特征分析[J].净水技术,2023,42(10):76-86.
- [11] 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.
- [12] 高琼,赵珊,陈蓉,等.北京汛期对卢沟桥污水处理厂运行影响探讨[J].给水排水,2009,45(5):46-49.
- [13] 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,2014,50(增刊1):177-181.
- [14] 曾鑫,吴刘仓,曹幸运.混合偏正态数据下中位数回归模型的参数估计[J].昆明理工大学学报(自然科学版),2021,46(3):167-174.
- [15] 冯琪瑞,唐玉朝,伍昌年,等.反硝化除磷工艺进展及影响因素[J].环境监测管理和技术,2023,35(4):7-12.
- [16] 司家济,张静,张辉,等.基于污水厂监测数据的反硝化脱氮影响因素分析[J].环境监测管理和技术,2021,33(2):56-59.
- [17] 刘娟,贾新强,沈军,等.聊城市区污水处理厂进水水质特征的统计学分析[J].净水技术,2023,42(9):104-115.
- [18] 张岩.上海中心城区城镇污水水质特性分析[J].净水技术,2023,42(11):101-111.
- [19] 郭泓利,李鑫玮,任钦毅,等.全国典型城市污水处理厂进水水质特征分析[J].给水排水,2018,54(6):12-15.