

程俊, 何帅, 杨涛. 基于数理统计和数值分析的污水处理厂处理效果评估方法[J]. 净水技术, 2024, 43(2):112-118.

CHENG J, HE S, YANG T. Evaluation method of WWTPs' treatment effectiveness based on mathematical statistics and numerical analysis[J]. Water Purification Technology, 2024, 43(2):112-118.

基于数理统计和数值分析的污水处理厂处理效果评估方法

程俊¹, 何帅¹, 杨涛^{2,*}

(1. 中国市政工程中南设计研究总院有限公司, 湖北武汉 430010; 2. 武汉市政工程设计研究院有限责任公司, 湖北武汉 430023)

摘要 污水处理厂是污水处理工作的主要承担者, 对其处理效果进行客观、科学地评估具有重要的现实意义。在比较法和保证率法的基础上, 提出基于数理统计和数值分析的污水处理厂处理效果评估方法。该方法采用数学期望、置信区间($\alpha=0.1$)和变异系数表征平均水平、主要变化区间和达标稳定性, 采用正态分布描述总体情况, 采用正态曲线拟合频数分布并获得概率密度函数, 最终通过求解概率密度函数对发展趋势进行定量预测。结合案例展示了该方法的实操方法, 结果显示: 新方法可用于多个目标水厂、多个考核指标之间的平行分析。此外, 对该方法在污水处理厂优化调度与设计、超标风险分析等领域的应用进行了展示。

关键词 污水处理厂 处理效果评估 数理统计 数值分析 方法研究

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-0177(2024)02-0112-07

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2024.02.014

Evaluation Method of WWTPs' Treatment Effectiveness Based on Mathematical Statistics and Numerical Analysis

CHENG Jun¹, HE Shuai¹, YANG Tao^{2,*}

(1. Central and Southern China Municipal Engineering Design and Research Institute Co., Ltd., Wuhan 430010, China;

2. Wuhan Municipal Engineering Design and Research Institute Co., Ltd., Wuhan 430023, China)

Abstract Wastewater treatment plants (WWTPs) undertake the major task of sewage treatment. So it is of great practical significance to evaluate their treatment effect objectively and scientifically. On the basis of comparison method and guarantee rate method, the evaluation method of WWTPs' treatment effect based on mathematical statistics and numerical analysis was proposed. First, mathematic expectation, confidence interval ($\alpha=0.1$) and coefficient of variation were applied to characterize the average level, major range of change and stability to reach the designed standard respectively in this method. Second, the method adopted normal distribution to describe the general information. Third, the method adopted normal curve to fit the frequency distribution and obtain probability density function. Finally, the development trend was quantitatively predicted based on the solution of the probability density function in this method. The practical operation of this method was demonstrated in combination with cases. Results indicated that the new method could be used for the parallel analysis between multi objective WWTPs and multi assessment indices. Besides, the application of this method in the optimization of scheduling and design, risk analysis of excessive effluent quality in WWTPs was demonstrated.

Keywords wastewater treatment plant (WWTP) treatment effectiveness evaluation mathematical statistics numerical analysis method research

[收稿日期] 2022-12-13

[作者简介] 程俊(1977—), 男, 高级工程师, 从事给排水设计工作。

[通信作者] 杨涛(1990—), 男, 硕士, 注册公用设备工程师(给水排水), 主要研究方向为污水资源化及区域低影响开发, E-mail: cnyangtao@126.com。

随着社会的不断发展, 生产结构、人口规模、用水习惯以及环保要求均发生了较大变化, 因此, 污水处理工作的重要性日益突出。污水处理厂是污水处理工作的主要承担者, 对其处理效果进行客观、科学地评估, 不仅可以为其自身的运行维护提供理论支

撑,还可以为城市的发展规划提供决策依据。目前,污水处理厂处理效果的评估主要采用比较法和保证率法:前者将实际出水水质与设计出水水质作对比,实际值不高于设计值即为合格;后者在前者的基础上引入保证率(也称保障率)概念,通过样本统计分析实际出水水质达到特定值的累积频率。比较法操作简单、结果直观,但不能全面、定量评估污水处理的达标可靠度。保证率法对实际出水水质的波动范围进行了细化,可用于初步研判各指标的达标难度,如孙迎雪等^[1]采用达标保证率对昆明市7座污水处理厂的出水水质进行了评价。但是,这两种方法均不能对多个目标水厂、多个考核指标进行平行分析,且不能对发展趋势进行定量预测。

数理统计以随机现象的观察、试验资料为出发点,以概率论为理论基础,对随机现象进行研究并对其发展作出合理预测。例如,灯具厂对某日的产品进行抽检,事先并不知道该日所生产灯具的使用寿命、合格率等,事后方可了解抽检对象的基本情况,并可以据此推测整批灯具的总体情况。虽然数理统计的计算量大,但是随着计算机技术的推广,其在管理科学、工程技术等领域的应用越来越广泛,如利用数理统计的基本方法检验和控制工程质量^[2-3]。在污水处理领域,数理统计具有良好的应用基础——具有大量的、系统的观测数据,如Oliveira等^[4]采用

数理统计对巴西166座污水厂的6种处理工艺进行了对比分析。刘成军等^[5]和仇付国等^[6]的研究表明,污水厂进出水水质的变化特征服从或近似服从正态分布规律。王卿卿^[7]则基于实测进水水质的统计分析,采用正态分布函数对污水厂设计进水水质进行了推算。但是,数理统计在国内污水处理效果评估领域的系统应用较少,因此,本文拟对基于数理统计和数值分析的污水处理厂处理效果评估方法进行研究。

1 评估指标和评估方法

市政污水的主要特征性质可分为物理性质、化学性质和生物性质3类,表征指标可分为物理性指标(如SS)、化学性指标(如碳、氮、磷浓度)和生物性指标(如大肠菌群数)3类。根据国家标准《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002),污染物控制项目分为基本控制项目和选择控制项目两类。其中,基本控制项目必须执行,共计19项;选择控制项目由监管部门决定执行,共计43项。根据排放标准的要求和各地通常做法,污水厂常规检测指标至少有COD_{Cr}、BOD₅、SS、TN、氨氮、TP、粪大肠菌群数7项,国内常用排放标准的对应限值如表1所示^[8]。结合工程实践,为了确保评估工作的可操作性,本研究选取COD_{Cr}、BOD₅、SS、TN、氨氮和TP6项指标。同时,结合行业通常做法,比较法的特征值选用最小值、最大值和平均值,保证率法的特征值选

表1 国内常用排放标准常规检测指标限值
Tab. 1 Limits Values of Conventional Indices for Common Discharge Standards at Home

常用标准		COD _{Cr} /	BOD ₅ /	SS/	TN(以N计)/	氨氮(以N计)/	TP(以P计)/	粪大肠菌群数/
		(mg·L ⁻¹)	(mg·L ⁻¹)	(mg·L ⁻¹)	(mg·L ⁻¹)	(mg·L ⁻¹)	(mg·L ⁻¹)	(个·L ⁻¹)
GB 18918—2002	一级B	60	20	20	20	8(15) ^①	1(1.5) ^②	10 000
	一级A	50	10	10	15	5(8) ^①	0.5(1) ^②	1 000
GB 3838—2002	Ⅳ类	30	6	—	1.5	1.5	0.3(0.1) ^③	20 000
	Ⅲ类	20	4	—	1	1	0.2(0.05) ^③	10 000
DB 11/890—2012	B标	30	6	5	15	1.5(2.5) ^④	0.3	1 000
	A标	20	5	5	10	1.0(1.5) ^④	0.2	500
DB 12/599—2015	C标	50	10	10	15	5(8) ^⑤	0.5	1 000
	B标	40	5	5	15	2.0(3.5) ^⑤	0.4	1 000
	A标	30	6	5	10	1.5(3.0) ^⑤	0.3	1 000

注:GB 3838—2002 为国家标准《地表水环境质量标准》;DB 11/890—2012 为北京市地方标准《城镇污水处理厂水污染物排放标准》;DB 12/599—2015 为天津市地方标准《城镇污水处理厂污染物排放标准》;①括号外数值为水温>12℃时的控制指标,括号内数值为水温≤12℃时的控制指标;②括号外为2006年1月1日后建成,括号内为2005年12月31日前建成;③括号内为湖、库水域要求,括号外为其他;④括号内为每年12月1日—次年3月31日执行限值;⑤括号内为每年11月1日—次年3月31日执行限值。

用 50%、85%、90%、95% 4 档保证率的统计值。为便于不同评估方法之间的对比分析,数理统计法的特征值选用数学期望、标准差和置信区间(除特殊说明外,本研究取 $\alpha=0.1$)。此外,虽然标准差可以表征样本的波动幅度,但是由于各指标的基准值不同,标准差无法反映波动幅度相对于基准值的大小,因此,数理统计评估法的特征值补入变异系数。变异系数等于标准差与数学期望的比值,值越大说明样本的波动越厉害、稳定性越差。

2 处理效果评估

2.1 案例概况

为了更好地阐述数理统计法在污水处理厂处理效

果评估中的应用,本文选取 S、L、Z 3 座污水处理厂进行案例演示:S 厂位于武汉市副中心城区,设计规模为 8 万 m^3/d ,总变化系数为 1.3;L 厂位于武汉市中心城区,设计规模为 10 万 m^3/d ,总变化系数为 1.3;Z 厂位于钟祥市区,设计规模为 7.5 万 m^3/d ,总变化系数为 1.4。3 座污水处理厂出水水质均执行 GB 18918—2002 一级 A 标准,设计进出水水质如表 2 所示。统计样本采用各厂 2018 年—2020 年的运行台账(实测值变化范围如表 2 所示),样本数据对应每日均值。其中,Z 厂进水 SS 最大值异常,持续时间约为 5 d,根据核查,分析原因为厂区扩建工程不文明施工。

表 2 污水厂设计进出水水质
Tab. 2 Designed Influent and Effluent Quality of WWTPs

项目		S 污水处理厂		L 污水处理厂		Z 污水处理厂	
		进水	出水	进水	出水	进水	出水
$\text{COD}_{\text{Cr}}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	设计值	320	50	320	50	350	50
	实测值	91.1~269.2	12.4~39.8	70.3~771.0	6.0~36.1	64.0~988.0	10.0~48.0
$\text{BOD}_5/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	设计值	160	10	130	10	150	10
	实测值	32.7~82.4	2.0~7.9	34.0~254.0	0.2~4.4	42.4~296.1	0.5~2.7
$\text{TN}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	设计值	40	15	35	15	30	15
	实测值	9.8~50.0	4.2~14.6	11.3~39.7	6.1~14.8	10.6~67.8	3.1~14.8
氨氮/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	设计值	30	5(8)	25	5(8)	25	5(8)
	实测值	3.53~28.30	0.02~4.52	3.60~29.60	0.05~4.80	5.86~65.25	0.01~4.07
$\text{SS}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	设计值	220	10	200	10	200	10
	实测值	115.5~320.5	3.0~7.5	42.0~560.0	1.0~9.0	21.0~5247.0	4.0~20.0
$\text{TP}/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	设计值	3	0.5	4	0.5	2	0.5
	实测值	0.38~3.57	0.10~0.49	0.92~4.65	0.06~0.49	0.48~29.01	0.02~0.79

注:氨氮括号外数值为水温 $>12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的控制指标,括号内数值为水温 $\leq 12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的控制指标。

2.2 方法分析

以 S 污水处理厂日处理水量为例,比较法、保证率法和数理统计法评估结果分别如图 1、图 2 和图 3 所示,特征值如表 3 所示。由图 1 可知,日处理水量在 5.2 万 m^3/d 上下波动,大部分位于 4.0 万~6.5 万 m^3/d ,样本最大变化区间为 2.2 万~8.3 万 m^3/d 。由图 2 可知,保证率越大特征值越大,50%、85%、90%、95% 保证率统计值分别为 52 391、60 080、61 391、65 440 m^3/d 。由图 3 可知,日处理水量基本呈正态分布,期望值为 52 309 m^3/d ,置信区间为 (38 478,65 556) m^3/d 。由表 3 可知,比较法只能提供样本的平均值和极值区间,但无法提供主要变化区间;保证率法无法直接提供样本的变化区间;数

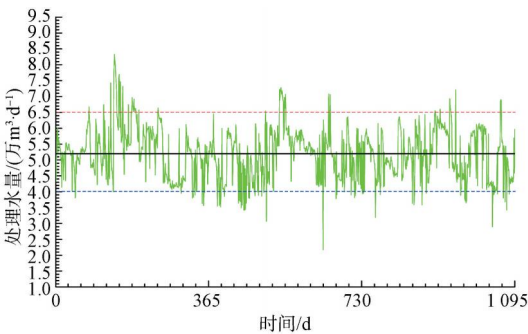


图 1 日处理水量变化

Fig. 1 Change of Daily Processing Scale

理统计法能够提供样本的平均值和主要变化区间,比较法的极值区间更有工程意义。另外,比较法的平均值、数理统计法的期望值与保证率法的 50%

保证率统计值相近,保证率法的 95%保证率统计值与数理统计法的置信区间上限相近。

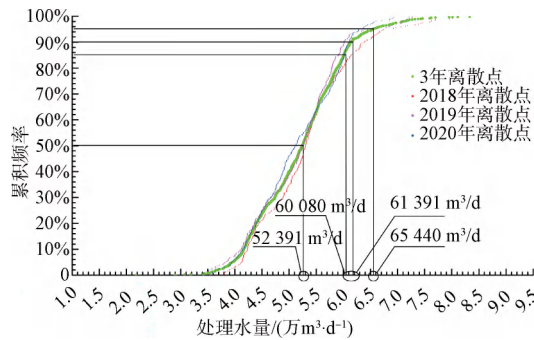


图 2 日处理量累积频率

Fig. 2 Cumulative Frequency of Daily Treatment Capacity

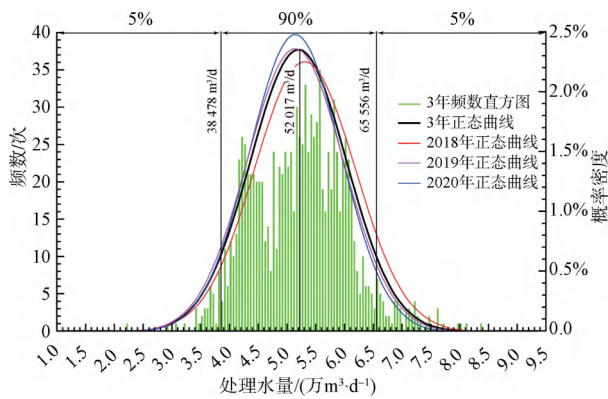


图 3 日处理水量频数分布直方图

Fig. 3 Distribution Histogram of Daily Treatment Capacity

表 3 S 污水处理厂日处理水量对比统计

Tab. 3 Comparative Statistics of Daily Treatment Capacity of S WWTP

比较项目		特征值
设计值(Q_d)/($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)		80 000
比较法	最小值/($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	21 800
	最大值/($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	83 294
	平均值/($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	52 309
保证率法	50%保证率/($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	52 391
	85%保证率/($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	60 080
	90%保证率/($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	61 391
	95%保证率/($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	65 440
数理统计法	数学期望(EX)/($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	52 309
	标准差(σ)/($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	8 256
	变异系数(CV)	15.9%
	置信下限(θ)/($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	38 478
	置信上限($\bar{\theta}$)/($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	65 556

结果显示,数理统计法能够全面反映污水处理厂处理效果的总体情况,由期望值可以看出处理效果的基本情况,由标准差和变异系数可以看出处理效果的稳定性,由置信区间可以看出污水厂大多数情况下的运行状态。比较法与保证率法的特征值(平均值除外)均为统计样本中的某一原值,而数理统计法的所有特征值均为基于样本统计的计算值。另外,数理统计法通过把散点数据转换成正态分布去拟合样本的概率密度函数,然后通过求解概率密度函数去计算评估对象达到或超过某一数值的概率。由此可见,数理统计评估法的理论基础更加先进,评估结果更加精确且可用于对评估对象的发展趋势做定量预测。

2.3 结果展示

各污水处理厂基于数理统计法的污水处理效果评估结果如表 4 所示。

S、L 和 Z 3 座污水厂的日处理水量 CV 分别为 15.9%、10.9%和 10.7%,说明 L 污水厂和 Z 污水厂水量波动程度相近,而 S 污水厂水量波动程度较 L 污水厂和 Z 污水厂大。以 S 污水厂为例,出水 COD_{Cr} 、 BOD_5 、TN、氨氮、SS、TP 的 CV 分别为 29.9%、23.8%、26.8%、174.4%、16.1%、13.8%,说明 S 污水厂 6 项指标的达标稳定性从小到大依次为氨氮、 COD_{Cr} 、TN、 BOD_5 、SS、TP。以 COD_{Cr} 为例,S、L、Z 3 座污水厂出水 COD_{Cr} 的 CV 分别为 29.9%、30.3%和 27.7%,说明 3 座污水厂 COD_{Cr} 指标的达标稳定性从小到大依次为 L、S、Z。其他指标以此类推。S、L 和 Z 3 座污水厂的进水指标平均 CV 分别为 20.7%、30.1%和 82.9%,出水指标平均 CV 分别为 47.5%、53.3%和 45.4%,说明其进水水质波动程度由小到大依次为 S、L、Z,出水水质稳定性由小到大依次为 L、S、Z。

3 其他应用

3.1 优化设计与调度

以 S 污水处理厂为例,其改造工程要求出水水质在 GB 18918—2002 一级 A 标准的基础上, COD_{Cr} 、 BOD_5 、氨氮、TP 提升到 GB 3838—2002 的Ⅲ类水标准,同时 TN 质量浓度达到 6 mg/L。

由表 4 可知,该厂现状处理效果可稳定达到 GB 18918—2002 一级 A 标准,但无法稳定达到新出水标准。根据计算,现状出水 COD_{Cr} 、 BOD_5 、TN、氨氮

表 4 3 座污水厂处理效果统计分析
Tab. 4 Statistical Analysis of Three WWTPs

指标		S 污水厂评估结果				L 污水厂评估结果				Z 污水厂评估结果			
		EX/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	σ / ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	CV	$(\bar{\theta}, \bar{\theta})$ / ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	EX/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	σ / ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	CV	$(\bar{\theta}, \bar{\theta})$ / ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	EX/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	σ / ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	CV	$(\bar{\theta}, \bar{\theta})$ / ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)
COD _{Cr}	进水	140.3	13.2	9.4%	(118.7,161.9)	199.5	75.7	38.0%	(75.3,323.6)	238.6	140.1	58.7%	(8.8,468.4)
	出水	20.4	6.1	29.9%	(10.4,30.3)	15.0	4.5	30.3%	(7.6,22.4)	28.6	7.9	27.7%	(15.6,41.5)
BOD ₅	进水	56.8	6.6	11.7%	(45.9,67.6)	106.4	34.3	32.3%	(50,162.7)	129.0	53.6	41.6%	(41.1,217)
	出水	4.6	1.1	23.8%	(2.8,6.4)	1.6	0.7	42.3%	(0.5,2.7)	1.6	0.5	32.7%	(0.8,2.5)
TN	进水	14.8	4.0	27.2%	(8.2,21.5)	25.1	5.2	20.8%	(16.5,33.6)	27.3	8.5	31.1%	(13.4,41.2)
	出水	7.6	2.0	26.8%	(4.3,11.0)	11.1	1.8	16.6%	(8.1,14.1)	10.3	2.3	22.8%	(6.5,14.2)
氨氮	进水	10.8	3.4	31.3%	(5.2,16.3)	17.1	4.0	23.4%	(10.5,23.7)	25.5	7.1	27.9%	(13.8,37.2)
	出水	0.4	0.6	174.4%	(-0.7,1.4)	0.4	0.7	157.5%	(-0.7,1.6)	0.7	0.8	113.1%	(-0.6,1.9)
SS	进水	188.5	19.6	10.4%	(156.3,220.7)	103.3	39.9	38.6%	(37.8,168.7)	279.4	624.9	223.6%	(-745.4,1 304.2)
	出水	5.0	0.8	16.1%	(3.7,6.3)	3.1	1.0	32.2%	(1.5,4.8)	7.3	1.6	21.9%	(4.7,10)
TP	进水	1.2	0.4	34.2%	(0.5,1.9)	2.1	0.6	27.5%	(1.2,3.0)	2.6	3.0	114.7%	(-2.3,7.5)
	出水	0.4	0.1	13.8%	(0.3,0.5)	0.2	0.1	41.1%	(0.1,0.4)	0.2	0.1	54.0%	(0,0.4)

注:表中数值均为理论计算值,各指标进出水实测值均为非负数。

和 TP 超过新标准的概率分别为 52.4%、71.5%、78.6%、16.0% 和 100%。可见,在现状进水条件下, BOD₅、TN 和 TP 出水浓度超过新标准的风险很高, COD_{Cr} 出水浓度超过新标准的风险较高,氨氮出水浓度超过新标准的风险较低。鉴于 BOD₅ 和氨氮相对较易处理并考虑进水水质的变化——现状进水水质尚未达到设计进水水质,改造工程在强化现状处理设施的基础上增加 COD_{Cr}、TN、TP 深度处理单元,分别采用臭氧催化氧化工艺、反硝化深床滤池工艺和溶气气浮工艺。

另外,由表 4 可知,现状出水 COD_{Cr} 质量浓度基本不超过 30.3 mg/L,远低于一级 A 标准的 50 mg/L 限值。因此,臭氧催化氧化工艺按 34%去除率设计、按 60%去除率校核。综合考虑现状水质、水量的总体情况和臭氧工艺的运营成本,臭氧催化氧化池分 4 组并联运行且在前端设置超越管,臭氧制备系统采用 4 台发生器,实际运行组数、台数和制备浓度可根据实际需求调整。改造后工艺流程如图 4 所示。

另外,由表 3 可知,该厂日处理水量的期望值为 52 309 m³/d,置信区间为 (38 478, 65 556) m³/d。那么,改造工程中污水提升设施采用“大泵+小泵”的组合方案(图 5)。大泵采用 4 台 1 100 m³/h 的变频泵,小泵采用 2 台 800 m³/h 的变频泵,调度方案如下:低负荷工况下只运行 2 台小泵,2 台大泵备用;常

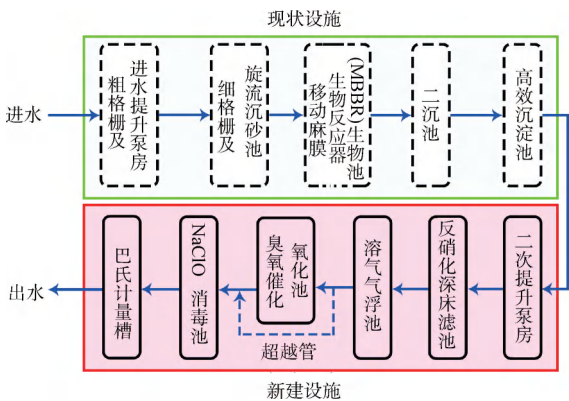


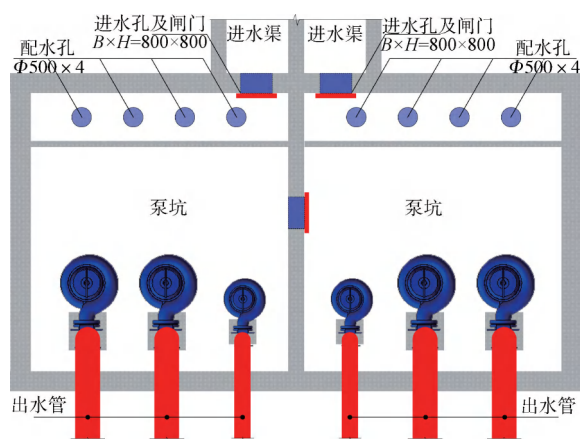
图 4 S 污水厂改造后工艺流程

Fig. 4 Process Flow of WWTP S after Reconstruction

态工况下只运行 2 台大泵,2 台小泵备用;高负荷工况下运行 2 台大泵和 1 台小泵,另外 1 台小泵备用;其他工况通过改变水泵组合和变频控制适应。

3.2 超标风险分析

以 Z 污水处理厂为例,工艺流程如图 6 所示。由表 4 可知,该厂出水 TN 的置信区间为 (6.5, 14.2) mg/L,存在超标风险。另外,根据污水厂运营单位反馈,出水 TN 确实存在超标情况。为分析出水 TN 偏高的原因,2021 年 1 月—3 月运营单位对该厂一、二期工程的生化系统进行了对比监测。生化系统出水水样取自二沉池出水井,水厂总出水水样取自巴氏计量槽。



注:图中数值单位为 mm。

图 5 提升泵房平面布置

Fig. 5 Layout of the Pumping Station

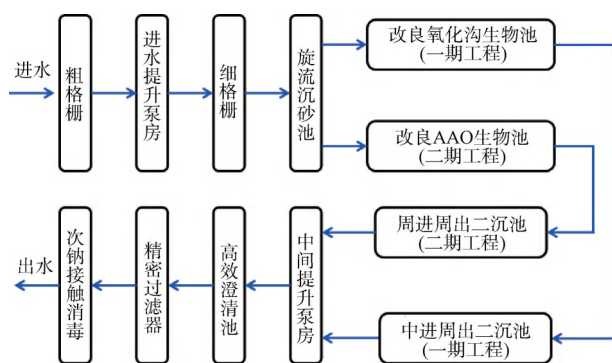


图 6 Z 污水处理厂工艺流程

Fig. 6 Process Flow of WWTP Z

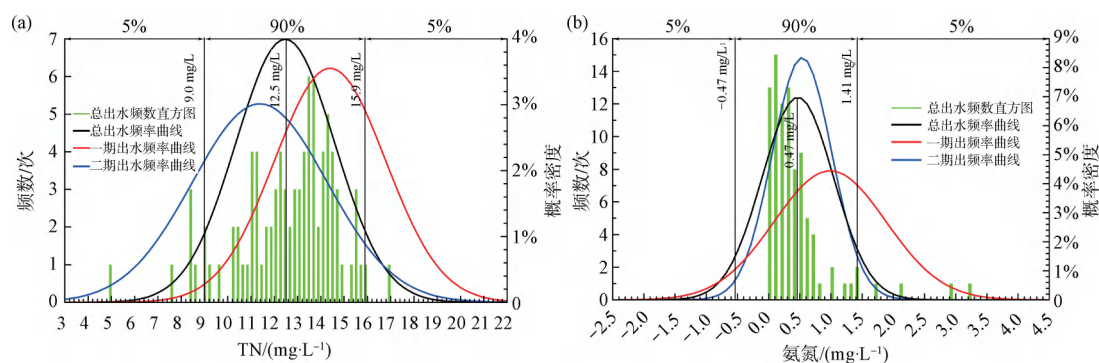


图 7 (a)TN 和(b)氨氮去除效果对比

Fig. 7 Comparison of (a) TN and (b) Ammonia Nitrogen Removal

4 结论

目前,国内污水处理效果评估领域常用的方法为比较法和保证率法。但是,这两种方法的特征值(平均值除外)均为统计样本中的某一个原值,这就决定了它们无法脱离样本,更不能对发展趋势进行预测分析。本研究根据概率论的基本原理提出了基

TN 和氨氮的去除效果如图 7 所示。由图 7(a)可知,监测期间曾发生出水 TN 超标事件,总出水 TN 质量浓度最大达到 17 mg/L 左右(2021 年 2 月 25 日),总出水 TN 的置信区间为(9.1, 15.8) mg/L,超标概率为 10.4%;一期生化系统出水 TN 均值为 14.4 mg/L,CV 为 16.4%,置信区间为(10.5, 18.2) mg/L,超标概率为 39.5%;二期生化系统出水 TN 均值为 11.4 mg/L,CV 为 24.5%,置信区间为(6.8, 15.9) mg/L,超标概率为 9.6%。虽然二期生化系统的稳定性较一期的差,但其总体水平较一期的好,可见一期工程的脱氮效果对水厂总体脱氮效果的影响较大。由图 7(b)可知,监测期间两期生化系统的氨氮处理效果均较好,超标概率都几乎为 0;总体来看,一期生化系统的出水氨氮浓度较二期的高、稳定性较二期的差。

根据生物脱氮理论和上述分析可知,两期生化系统的硝化过程均较为充分,出水 TN 超标可能由反硝化过程不充分导致,且一期生化系统的影响大于二期生化系统。以 2021 年 2 月 25 日出水 TN 超标事件为例,总出水 TN 质量浓度为 16.82 mg/L,一期生化系统出水 TN 为 17.56 mg/L,二期生化系统出水 TN 为 12.54 mg/L,与上述结论一致。

于数理统计的评估方法,并和比较法、保证率法进行了对比分析。基于数理统计和数值分析的评估方法依托大量的样本统计资料,能够全面反映污水处理效果的总体情况,能够对同一水厂的不同指标乃至不同水厂的相同指标进行平行分析,还能够定量预测处理效果的发展趋势。此外,该方法还可以用于

污水处理厂的优化设计和调度,提高设计成果的针对性和合理性,可以用于出水水质的超标风险分析,提高分析成果的科学性。

参考文献

- [1] 孙迎雪, 吴光学, 胡洪营, 等. 基于达标保证率的昆明市污水处理厂出水水质评价[J]. 中国环境科学, 2013, 33(6): 1113-1119.
SUN Y X, WU G X, HU H Y, et al. Assessment of effluent quality of wastewater treatment plant in Kunming based on the percentile of standard compliance method [J]. China Environmental Science, 2013, 33(6): 1113-1119.
- [2] 王立华, 陈理达, 吴国永, 等. 运用数理统计方法验证水利工程施工单位工程质量自检的可靠性[J]. 中国农村水利水电, 2008(1): 85-88.
WANG L H, CHEN L D, WU G Y, et al. Reliability verification of construction enterprise self-test of water conservancy project with statistics [J]. China Rural Water and Hydropower, 2008 (1): 85-88.
- [3] 林丽文, 杨东来. 数理统计在工程质量控制中的应用[J]. 公路交通技术, 2009(4): 66-68.
LIN L W, YANG D L. Application of mathematical statistics in quality control of projects [J]. Technology of Highway and Transport, 2009(4): 66-68.
- [4] OLIVEIRA S C, SPERLING V M. Reliability analysis of wastewater treatment plants [J]. Water Research, 2008, 42(4/5): 1182-1194. DOI: 10.1016/j.watres.2007.09.001.
- [5] 刘成军, 孟涛. 城市污水处理厂进水水质分布类型判别及应用 [J]. 环境工程, 2014, 32(s1): 87-90.
LIU C J, MENG T. Distribution test and application of influent quality data of municipal wastewater treatment plant [J]. Environmental Engineering, 2014, 32(s1): 87-90.
- [6] 仇付国, 王敏. 城市污水中污染物监测与分布规律探讨 [J]. 给水排水, 2009, 35(s2): 108-111.
QIU F G, WANG M. Research on statistical distribution of pollutants in municipal wastewater [J]. Water & Wastewater Engineering, 2009, 35(s2): 108-111.
- [7] 王卿卿. 城市污水处理厂设计进水水质确定方法的试验研究 [D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2008.
WANG Q Q. The analysis and determination of the influent wastewater quality of the municipal wastewater treatment plant [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2008.
- [8] 曾木海. 污水处理厂污水深度处理工艺综述与案例分析 [J]. 净水技术, 2021, 40(5): 75-80, 102.
ZENG M H. Overview and case analysis on advanced treatment process in wastewater treatment plant [J]. Water Purification Technology, 2021, 40(5): 75-80, 102.
- [87] GAUNT E, HARVALA H, MCINTYRE C, et al. Disease burden of the most commonly detected respiratory viruses in hospitalized patients calculated using the disability adjusted life year (DALY) model [J]. Journal of Clinical Virology, 2011, 52(3): 215-221.
- [88] 刘言正, 王晓昌, 陈荣. DALY 在城市污水再生回用健康风险评估中的应用 [J]. 中国给水排水, 2013, 29(1): 97-100.
LIU Y Z, WANG X C, CHEN R. Application of disability adjusted life year in health risk assessment of municipal sewage reuse [J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(1): 97-100.
- [89] ELOY G, MARTA R, GERTJAN M, et al. Quantitative risk assessment of norovirus and adenovirus for the use of reclaimed water to irrigate lettuce in Catalonia [J]. Water Research, 2019, 153: 91-99. DOI: 10.1016/j.watres.2018.12.070.
- [90] HELENA S, XAVIER F, NATALIA T, et al. Health risks derived from consumption of lettuces irrigated with tertiary effluent containing norovirus [J]. Food Research International, 2015, 68: 70-77. DOI: 10.1016/j.foodres.2014.08.018.
- [91] RACHMADI A, AZIZKHAN Z, HONG P. Enteric virus in reclaimed water from treatment plants with different multi-barrier strategies: Trade-off assessment in treatment extent and risks [J]. Science of the Total Environment, 2021, 776: 146039. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.146039.
- [92] FUHRIMANN S, WINKLER M S, STALDER M, et al. Disease burden due to gastrointestinal pathogens in a wastewater system in Kampala, Uganda [J]. Microbial Risk Analysis, 2016, 4: 16-28. DOI: 10.1016/j.mran.2016.11.003.

(上接第 38 页)