

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.19.010

# 热带离岸海岛污水水质特征统计学分析与成因解析

沈彤<sup>1</sup>, 郭华雨<sup>1</sup>, 赵志伟<sup>2</sup>, 李莉<sup>2</sup>, 高洁<sup>2</sup>, 黄培锦<sup>2</sup>, 刘鑫<sup>2</sup>,  
王闯<sup>2</sup>, 张蕊<sup>3</sup>

(1. 海军后勤部专项工程建设办公室, 北京 100841; 2. 重庆大学 环境与生态学院, 重庆 400045; 3. 中国人民解放军 92538 部队保障信息中心, 辽宁 大连 116041)

**摘要:** 热带离岸海岛地理位置、饮食结构的特殊性导致污水水质有差异,其污水中各项污染物浓度和污染物负荷一直困扰海岛污水处理工艺的选择、处理技术的研发和处理工程的改造,为了给热带离岸海岛污水处理的运维提供科学依据,以7个海岛的综合排放污水为研究对象,对几种水质指标进行统计学分析。结果表明,SS、NH<sub>3</sub>-N和TN浓度符合正态分布,COD、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N和TP均呈正偏态分布;COD、SS、NH<sub>3</sub>-N、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N、TN、TP平均值分别为554、178.34、69.80、1.33、80.36和8.64 mg/L;95%置信区间的浓度范围分别为518~590、165.09~191.60、67.09~72.51、1.05~1.60、77.88~82.84和7.94~9.31 mg/L。统计数据与国内典型城镇、农村地区的污水厂进水水质相比,海岛污水呈现有机物、氮、磷等污染物总体浓度高的特点,COD/TN和COD/TP的平均值分别为6.94、69.13,氨氮占总氮的比例达87%。

**关键词:** 热带离岸海岛; 污水处理; 水质特征; 统计学分析; 成因解析

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2021)19-0060-07

## Statistical Analysis of Sewage Quality Characteristics and Its Cause Analysis in Tropical Offshore Islands

SHEN Tong<sup>1</sup>, GUO Hua-yu<sup>1</sup>, ZHAO Zhi-wei<sup>2</sup>, LI Li<sup>2</sup>, GAO Jie<sup>2</sup>, HUANG Pei-jin<sup>2</sup>,  
LIU Xin<sup>2</sup>, WANG Chuang<sup>2</sup>, ZHANG Rui<sup>3</sup>

(1. Special Engineering Construction Office of Naval Logistics Department, Beijing 100841, China;  
2. College of Environment and Ecology, Chongqing University, Chongqing 400045, China;  
3. Information Center of Support Department in 92538 PLA, Dalian 116041, China)

**Abstract:** The special geographical location and diet structure of tropical offshore islands lead to the difference of sewage quality. The concentration and load of pollutant in the sewage have always troubled the selection of the sewage treatment technology, research and development of the treatment process and reconstruction of the treatment project in the islands. To provide a scientific basis for the operation and maintenance of the sewage treatment in tropical offshore islands, several water quality indexes of the comprehensive sewage discharged from 7 islands were analyzed statistically. The SS, NH<sub>3</sub>-N and TN conformed to normal distribution, while COD, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N and TP were all positive skew distribution. The average COD, SS, NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N, TN, and TP were 554 mg/L, 178.34 mg/L, 69.80 mg/L, 1.33 mg/L, 80.36 mg/L and 8.64 mg/L, respectively, and the 95% confidence intervals

were 518–590 mg/L, 165.09–191.60 mg/L, 67.09–72.51 mg/L, 1.05–1.60 mg/L, 77.88–82.84 mg/L and 7.94–9.31 mg/L. The statistical data was compared with the influent quality of the sewage treatment plants in typical towns and rural areas in China, and the sewage quality of the islands showed the characteristic of high concentration of pollutants such as organics, nitrogen and phosphorus. The average values of COD/TN and COD/TP were 6.94 and 69.13, and the ammonia nitrogen accounted for 87% of the total nitrogen.

**Key words:** tropical offshore island; sewage treatment; water quality characteristics; statistical analysis; cause analysis

热带离岸海岛是我国国土的重要组成部分<sup>[1]</sup>,具有重要的资源价值和战略地位<sup>[2–4]</sup>。因其远离大陆,生态环境脆弱,淡水资源匮乏,加强污水处理实现淡水资源循环利用是推动其可持续发展的关键措施之一。大部分热带离岸海岛主要由珊瑚砂堆积而成,缺土少肥,盐碱性较强,农业生产困难,食物主要靠大陆周期性运输补给,受保存技术的限制,海岛居民形成了肉多菜少的高油高蛋白饮食习惯,该饮食习惯的特殊性必然导致污水水质的差异。

因热带离岸海岛远离陆地,水质监测难度大,研究基础薄弱,目前国内对该类海岛上的污水水质特征的研究较少,污染物浓度和负荷一直困扰海岛污水处理工艺的选择、污水处理技术的研发和污水处理工程的改造。污染物浓度、碳氮比等水质特征是污水处理工艺选择、设计和运行管理的重要依据,污水的污染物负荷是确定污水处理设施及辅助设备的基本参数,是保证出水水质稳定达到处理目标的必要条件<sup>[5–6]</sup>。因此分析热带离岸海岛污水水质特征,并与城镇污水、农村地区等污水水质进行对比,揭示差异性和成因,对保持污水厂的高效稳定运行、推进淡水资源循环利用、维护海洋生态平衡具有重要意义。

笔者以南海性质相似的 7 个海岛综合排放污水为研究对象,通过对 COD、SS、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、TN、TP 等水质指标的检测,采用 SPSS 分析软件对污染物的变化规律进行概率统计分析,并与城镇、农村污水水质特征进行对比,解析差异性的成因,旨在为热带离岸海岛的污水处理工艺选择、升级改造、回用处理,以及处理设施、管网运维提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验方法

实验时间为 2019 年 8 月—9 月,共 5 周,期间先后对 7 个海岛污水处理厂进水(调节池前端)取

样并进行现场分析,考虑海岛活动习惯及均质混合的充分性,取样定时为上午 9 点。由于交通限制,每个海岛的监测频次为 1~3 次。

### 1.2 分析方法

相关水质指标均采用国标法进行测定。SS 采用重量法测定;COD 采用重铬酸盐法测定;氨氮采用纳氏试剂分光光度法测定;硝态氮采用紫外分光光度法测定;总氮采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法测定;总磷采用钼酸铵分光光度法测定。

## 2 结果与讨论

### 2.1 进水水质分布特性分析

采样海岛属于热带海洋性季风气候,年均气温为 25~28℃,全年气温变化较小,且海岛居民生活较规律,全年差别不大,因此对 7 个海岛进水水质监测取得的有效样本具有较好的代表性。观察进水水质指标的波动情况,有效识别其波动特征及峰值,可为污水处理厂提质增效提供数据支撑<sup>[7]</sup>。本次实验获得有效样本数 49 组,进水 COD、SS、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、TN、TP 的统计分析结果和正态检验见表 1。表 1 同时给出了 Kolmogorov-smirnov 和 Shapiro-wilk 检验结果,当样本量  $N < 1\,000$  时,以 Shapiro-wilk 检验为准,SS、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN 等水质指标在  $\alpha = 0.05$  的检验水准下,正态性检验结果中显著性水平  $\text{sig} > 0.05$ ,说明不拒绝原假设<sup>[8]</sup>,可认为资料服从正态分布;以上指标偏度标准误差和峰度的标准误差分别为 0.340 和 0.668,计算 Z 评分(偏度 Z 评分 = 偏度值/偏度标准误差,峰度 Z 评分 = 峰度值/峰度标准误差)均在  $\pm 1.96$  之间,则可认为资料服从正态分布。另外 COD、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$  和 TP 三个水质指标在  $\alpha = 0.05$  的检验水准下,正态性检验结果中显著性水平  $\text{sig} < 0.05$ ,说明检验结果倾向于拒绝原假设,认为数据不服从正态分布,偏度值均大于 0,分布为右偏,呈正偏态分布。

表 1 进水水质统计分析和正态检验

Tab. 1 Statistical analysis and normal test of influent quality

项 目	样本容量	平均值/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	中间值/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	标准偏差/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	偏度	峰度	Kolmogorov-smirnov sig.	Shapiro-wilk sig.
COD	49	554	543	127	0.770	-0.072	0.010	0.005
SS	49	178.34	182.00	46.14	0.052	0.625	0.200	0.271
$\text{NH}_3 - \text{N}$	49	69.80	68.35	9.42	0.334	-0.215	0.015	0.147
$\text{NO}_3^- - \text{N}$	49	1.33	0.89	0.96	0.903	-0.427	0.000	0.000
TN	49	80.36	81.33	8.64	-0.080	-0.324	0.200	0.947
TP	49	8.64	7.85	2.45	0.539	-0.779	0.938	0.012

对各指标的浓度分布进行正态分析,结果见图 1。SS、 $\text{NH}_3 - \text{N}$  和 TN 的浓度正态分布拟合曲线为完全对称曲线,呈正态分布;COD、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$  和 TP 的

浓度正态分布拟合曲线则不是完全对称曲线,且频率分布的高峰向左偏移,长尾向右延伸,由此可以判断浓度分布呈正偏态分布,与表 1 的结果一致。

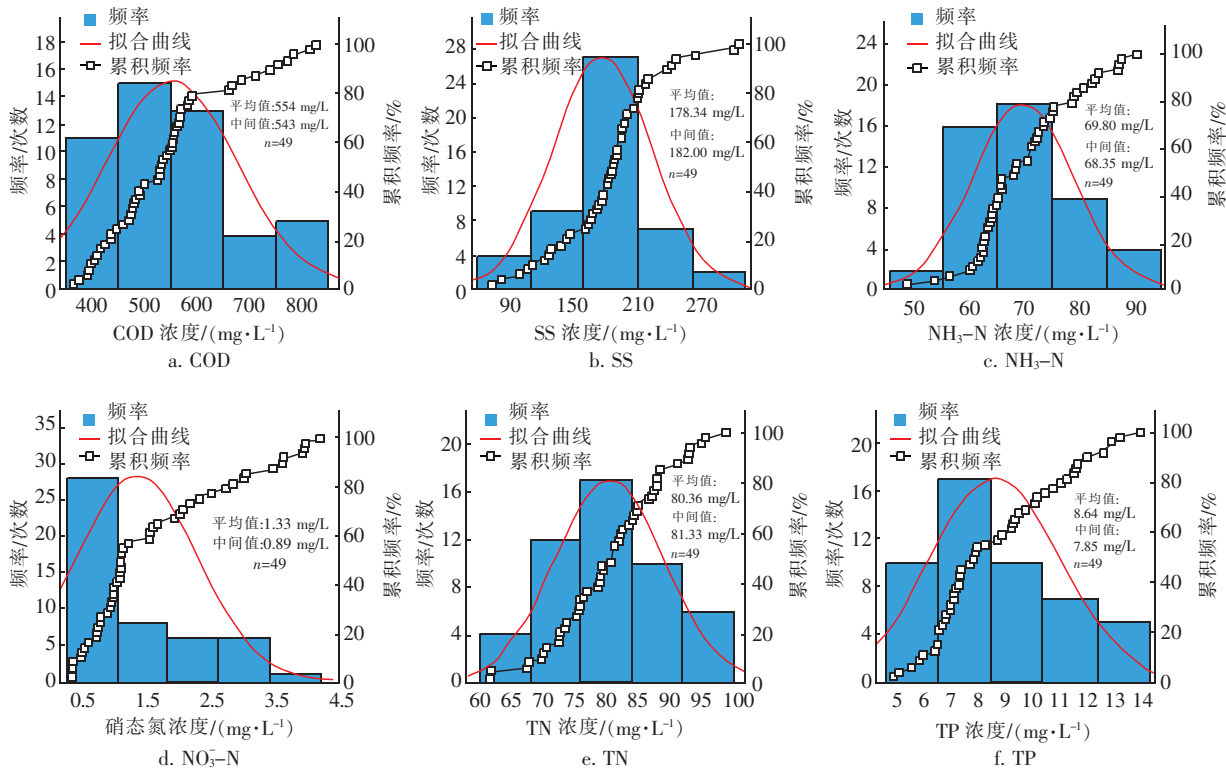


图 1 进水水质指标概率分布

Fig. 1 Probability distribution of influent quality

从图 1 还可以看出,进水中 95% 置信区间的 COD、SS、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、TN 和 TP 的浓度范围分别为 518 ~ 590、165.09 ~ 191.60、67.09 ~ 72.51、1.05 ~ 1.60、77.88 ~ 82.84 和 7.94 ~ 9.31 mg/L。进水 COD 平均值为 554 mg/L,中间值为 543 mg/L,概率分布较高的浓度范围为 400 ~ 650 mg/L,当累积频率为 95% 时,COD 浓度为 804 mg/L。进水 SS 平均值为 178.34 mg/L,中间值为 182.00 mg/L,概率分布较高的浓度范围为 160 ~ 210 mg/L,当累积

频率为 95% 时,SS 为 247.66 mg/L。进水  $\text{NH}_3 - \text{N}$  平均值为 69.80 mg/L,中间值为 68.35 mg/L,概率分布较高的浓度范围为 55 ~ 75 mg/L,当累积频率为 95% 时, $\text{NH}_3 - \text{N}$  为 87.32 mg/L。进水  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  平均值为 1.33 mg/L,中间值为 0.89 mg/L,概率分布较高的浓度范围为 0.50 ~ 1.00 mg/L,当累积频率为 95% 时, $\text{NO}_3^- - \text{N}$  浓度为 3.24 mg/L。进水 TN 平均值为 80.36 mg/L,中间值为 81.33 mg/L,概率分布较高的浓度范围为 70 ~ 90 mg/L,当累积频率

为 95% 时, TN 浓度为 93.76 mg/L。进水 TP 平均值为 8.64 mg/L, 中间值为 7.85 mg/L, 概率分布较高的浓度范围为 5 ~ 10 mg/L, 当累积频率为 95% 时, TP 浓度为 12.90 mg/L。综合污染物浓度分布概率来看, 因生活习惯较相似, 水质波动的幅度不大, 存在波动的主要原因是海岛之间的人口规模与前端隔油等预处理系统的差异性。

2.2 进水营养物质的比例关系

2.2.1 进水 COD/TN 值

微生物增殖和好氧段有氧呼吸消耗一定量的碳源, 污水的 BOD<sub>5</sub>/TN 值是影响脱氮效果的重要因素之一, 可用于判断污水中的碳源含量。一般认为, 当污水中 BOD<sub>5</sub>/TKN 值大于 4 ~ 6 时, 可认为碳源充足, 为了方便表征也有大量的研究以 COD/TN 值来衡量, 该比值大于 8 认为可满足反硝化脱氮的基本需求, 能够保持较好的总氮去除效果<sup>[9]</sup>。热带离岸海岛污水厂进水 95% 置信区间的 COD/TN 值范围为 6.46 ~ 7.42, 根据统计分析, 平均值为 6.94, 中间值为 6.61, COD/TN 值小于 8.0 的概率为 79.6%, 表明进水中 TN 偏高, 在进行反硝化时存在碳源不足的问题。

2.2.2 进水 COD/TP 值

生物除磷的效果由整个生物系统从基质中获得的能量和需要去除的磷总量的比值决定, 通常采用 BOD<sub>5</sub>/TP 值来评价生物除磷的可行性。一般污水处理厂中进水 BOD<sub>5</sub>/TP 值大于 20 则符合生物除磷要求, 比值越大, 处理效果越好<sup>[10]</sup>。有研究表明<sup>[11]</sup>, 在进水 COD/TP 值分别为 100、65、45 的条件下, 有稳定高效的除磷性能, 磷的去除率维持在

88% 以上, 分别为 99.43%、95.27%、88.82%。按照生活污水 BOD/COD 值为 0.5 计算, COD/TP 值应大于 40 才可保证基本的生物除磷效能。本研究中热带离岸海岛污水厂进水 95% 置信区间的 COD/TP 值为 62.40 ~ 75.87。根据统计分析结果, 平均值为 69.13, 中间值为 67.80, COD/TP 值小于 40 的概率约为 14%, 由此可见, 海岛污水厂进水的 COD/TP 值大部分时间能满足生物除磷的需求, 但是对于同时脱氮除磷系统则会在反硝化中竞争碳源, 总体来看进水中 TP 浓度较高。

2.2.3 进水 NH<sub>3</sub>-N/TN 值

污水中的总氮可分为无机氮和有机氮两大类, 其中无机氮包括 NH<sub>3</sub>-N、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N、NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 等; 有机氮则种类繁多, 主要包括蛋白质、尿素、氨基酸、核酸及腐殖酸类物质, 在微生物作用下, 水中存在的不同形态的氮元素之间会不断进行转化<sup>[12]</sup>。分析北京、上海、天津、重庆、深圳以及海南城市污水厂进水中 NH<sub>3</sub>-N/TN 值, 结果表明 NH<sub>3</sub>-N/TN 值基本处于 67% ~ 81% 之间, 均值为 74%, 地区之间差异较大, 其中海南的 NH<sub>3</sub>-N/TN 值较高。本研究中的海岛污水 95% 置信区间的 NH<sub>3</sub>-N/TN 值的范围为 85% ~ 88%, 根据统计分析, 平均值与中间值均为 87%, 说明海岛污水中氨氮在总氮中所占的比例明显高于城市污水处理厂。

2.3 差异性及其成因分析

海岛污水以冲厕污水、盥洗废水、餐饮废水为主, 其性质与日常的生活污水类似, 但具有其自身特点, 与典型城镇、农村地区污水厂进水水质平均值的对比结果见表 2。

表 2 国内各污水处理厂进水水质

Tab. 2 Influent quality of domestic sewage treatment plants

项 目	BOD	COD	NH <sub>3</sub> -N	TN	TP	SS
北京 36 座污水厂进水平均值 <sup>[8]</sup>	171.1	359.3	38.1	48.8	5.2	186.7
上海 50 座污水厂进水平均值 <sup>[13]</sup>	131	300.2	24	35.1	4.9	174.6
天津 24 座污水厂进水平均值 <sup>[14]</sup>	125.2	334.5	26	33.6	4.2	162.6
重庆 56 座城镇污水厂进水平均值 <sup>[15]</sup>	155.6	328.7	30.3	41.8	4.2	228.3
深圳 5 座城市污水厂进水平均值 <sup>[16]</sup>	206.02	424.9	36.13	53.96	5.76	124.3
海南 21 座城镇污水厂进水平均值 <sup>[17]</sup>	52.79	138.24	16.08	19.80	2.16	103.52
洱海典型村落污水水质均值 <sup>[18]</sup>		812	68.9	133.1	8.9	55.5
天津农村污水水质均值 <sup>[19]</sup>	100 ~ 220	115 ~ 360	0.1 ~ 10.0		1.0 ~ 3.0	90 ~ 200
江苏农村污水水质均值 <sup>[19]</sup>	80 ~ 200	120 ~ 400	0.5 ~ 17.0		1.0 ~ 4.0	70 ~ 22
广东农村污水水质均值 <sup>[19]</sup>	150 ~ 270	180 ~ 250	0.3 ~ 15.0		1.0 ~ 3.0	60 ~ 100
海岛污水厂进水平均值		554	69.80	80.36	8.64	178.34

mg · L<sup>-1</sup>



北京、上海、天津、重庆、深圳等污水厂进水水质的统计结果表明,一般城镇污水 COD、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TN、TP 浓度分别为 300 ~ 425、24 ~ 38.1、33 ~ 54、4.2 ~ 5.8 mg/L,与海岛地理位置相近的海南城镇污水的相应污染物浓度分别为 138.24、16.08、19.80、2.16 mg/L。可见,采样海岛污水中污染物浓度明显偏高,尤其是氮磷浓度。海岛一般规模小、距离远、分布散,这些特点与农村地区有一定的相似性。对比农村污水水质发现,农村污水因地理位置不同,生活的习惯差异大,各区域水质差异较大,且波动大。李强<sup>[18]</sup>对洱海典型村落 10 个监测点的分析结果表明,因村落污水中有 26.6% 的高浓度冲圈废水,所以综合污水中各类污染物浓度较高,浓度范围与海岛污水具有相似性,说明海岛污水中也含有相当比例的高有机物、高氮磷废水。

海岛污水中冲厕废水占污水总量的 10% ~ 20%,餐饮废水和厨余垃圾渗滤液占 20% ~ 30%,盥洗废水占 50% ~ 70%,其性质与日常生活污水类似,但又具有自身特点,具体表现为以下几个方面:

海岛污水中有机物、TN、TP 等污染物浓度水平明显高于典型城市城镇污水处理厂的进水。与北京、上海、天津、重庆、深圳和海南的城镇污水厂相比,海岛污水中 COD、TN、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TP 等污染物浓度均值都相对较高,尤其比海南的城镇污水中的主要污染物浓度高出约 4 倍;与污水水质波动较大的农村地区相比,海岛污水的污染物浓度也属于高水平值。分析原因,其一,海岛因地理位置特殊,采取运输的补给方式,造成了以冷冻鱼类和肉类为主的高油高蛋白的饮食结构,导致冲厕废水、餐饮废水中的有机物及氮磷等污染物浓度相对较高;其二,餐饮废水和厨余垃圾前处理的渗滤液(20% ~ 30%)经隔油池进入污水处理设施,该部分废水的主要污染物为油脂、有机物和洗涤剂,而厨余垃圾渗滤液水质指标浓度则更高,产生高浓度的 TN 和 TP<sup>[20]</sup>,引起污水中污染物浓度整体偏高;其三,海岛雨污分流彻底,污水管网短、渗漏少,避免了雨水和地下水对污水的稀释。

热带离岸海岛污水处理厂进水 COD/TN 值和 COD/TP 值低。以上城市的城镇污水厂进水 COD/TN 值和 COD/TP 值分别为 6.98 ~ 9.96、61.27 ~ 79.64,其中,海南城镇污水处理厂进水的 COD/TN 值和 COD/TP 值较低,分别为 6.98 和 64.00,而海

岛污水这两项比值分别为 6.94、69.13,与海南省基本一致;与波动较大的农村地区相比,海岛废水 TN、TP 的相对含量高。海岛污水的 COD/TN 值和 COD/TP 值处于较低水平,污水处理厂在生物脱氮除磷过程中碳源相对不足。分析原因,其一,海岛冷链运输的补给方式造成了鱼类和肉类高油高蛋白的饮食结构,食物中氮磷含量丰富,由于人体对氮磷元素的吸收率较低,大量氮磷元素被人体排泄,排泄物中氮磷量较多<sup>[21]</sup>;其二,还是与餐饮废水,特别是厨余垃圾前处理的渗滤液排入相关,这部分废水带来大量的氮磷,引起污水厂进水 COD/TN 值和 COD/TP 值低,碳源相对不足。

海岛污水氨氮占总氮的比例高。与波动较大的农村地区相比,海岛污水中氨氮含量较高;北京、上海、天津、重庆、深圳的城镇污水厂进水中氨氮浓度为 18 ~ 38 mg/L,占 TN 的 67% ~ 78%,海南的城镇污水中氨氮占 TN 的 81%,而海岛污水中该比例达 87%,说明进水中氮元素的主要形态为氨氮。污水中的氮污染物可分为无机氮和有机氮两大类,其中无机氮包括  $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、 $\text{NO}_2^- - \text{N}$  三种物质,而水中有机氮则种类繁多,主要包括蛋白质、氨基酸、核酸、尿素及腐殖酸类物质。海岛中以高蛋白饮食为主,因此餐饮废水与餐厨垃圾渗滤液需经过隔油池(一般停留时间为 1.5 ~ 2.0 h),而冲厕污水经过化粪池发酵以后,废水中含有大量的蛋白质等有机氮物质,经过水解酸化,微生物优先利用水中的有机蛋白或有机氮将其水解为氨氮<sup>[22]</sup>,导致氨氮浓度升高,因此海岛污水中氨氮占总氮的比例偏高。

### 3 结论

热带离岸海岛污水中 SS、 $\text{NH}_3 - \text{N}$  和 TN 浓度符合正态分布,COD、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$  和 TP 均呈正偏态分布,进水中 COD、SS、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 、TN、TP 的 95% 置信区间的浓度范围为 518 ~ 590、165.09 ~ 191.60、67.09 ~ 72.51、1.05 ~ 1.60、77.88 ~ 82.84 和 7.94 ~ 9.31 mg/L。统计数据与典型城镇、农村地区的污水厂进水水质相比,海岛污水呈现有机物、氮、磷等污染物总体浓度高,特别是高浓度氮磷使得 COD/TN 值(均值为 6.94)、COD/TP 值(均值为 69.13)总体较低,氨氮占总氮的比例高达 87%,这主要与海岛的饮食结构、餐饮废水和厨余垃圾渗滤液接入、雨污分流彻底以及污水管网短、渗漏少等因素有关。针对海岛污水特征,建议污水处理设施的

运行根据进水水质统计数据进行负荷、曝气量等参数核算,并调整运行模式;进一步强化预处理和脱氮除磷模块,单点进水调整为多点进水模式,保障反硝化碳源提升污水脱氮的效能。

### 参考文献:

- [ 1 ] 高冉,叶剑红. 中国南海吹填岛礁钙质砂动力特性试验研究[J]. 岩土力学,2019,40(10):3897-3908,3919.  
GAO Ran, YE Jianhong. Experimental investigation on the dynamic characteristics of calcareous sand from the reclaimed coral reef islands in the South China Sea[J]. Rock and Soil Mechanics, 2019, 40(10): 3897-3908, 3919 (in Chinese).
- [ 2 ] 张荷霞. 南沙群岛岛礁战略价值评价研究[D]. 南京:南京大学,2014.  
ZHANG Hexia. Research on Strategic Value Evaluation of the Islands and Reefs in the Nansha Islands [D]. Nanjing: Nanjing University, 2014 (in Chinese).
- [ 3 ] 周继豪,沈小东,张平,等. 珊瑚砂改良为目的的离岸岛礁有机固废处理策略研究[J]. 生态科学,2016,35(6):176-181.  
ZHOU Jihao, SHEN Xiaodong, ZHANG Ping, *et al.* Disposal strategies of organic solid waste in the offshore islands with the purpose of coral sand improvement[J]. Ecological Science, 2016, 35(6): 176-181 (in Chinese).
- [ 4 ] KUWAHARA S. The development of small islands in Japan: an historical perspective[J]. Journal of Marine and Island Cultures, 2012, 1(1): 38-45.
- [ 5 ] MONTORSI L, MILANI M, VENTURELLI M. Economic assessment of an integrated waste to energy system for an urban sewage treatment plant: a numerical approach[J]. Energy, 2018, 158: 105-110.
- [ 6 ] BERTANZA G, SORLINI S, VACCARI M. Integrated assessment challenges in the water, wastewater and waste domains: case studies[J]. IFAC-PapersOnLine, 2018, 51(5): 25-30.
- [ 7 ] 李鹏峰,郑兴灿,李激,等. 城镇污水处理厂提标改造工作流程探讨[J]. 中国给水排水,2019,35(22): 14-19.  
LI Pengfeng, ZHENG Xingcan, LI Ji, *et al.* Discussion on workflow of upgrading and reconstruction in municipal WWTP[J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(22): 14-19 (in Chinese).
- [ 8 ] 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 Yan, ZHANG Feng, HU Hongying, *et al.* Statistical analysis of influent quality characteristics of municipal wastewater treatment plants in Beijing [J]. Water & Wastewater Engineering, 2014, 40(S1): 177-181 (in Chinese).
- [ 9 ] 吴昌永,彭永臻,彭轶. A<sup>2</sup>/O工艺处理低C/N比生活污水的试验研究[J]. 化工学报,2008,59(12): 3126-3131.  
WU Changyong, PENG Yongzhen, PENG Yi. Biological nutrient removal in A<sup>2</sup>/O process when treating low C/N ratio domestic wastewater[J]. CIESC Journal, 2008, 59(12): 3126-3131 (in Chinese).
- [ 10 ] 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,2019,45(7): 39-45.  
ZOU Lüxi, LI Huaibo, ZHENG Kaikai, *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 (in Chinese).
- [ 11 ] 吕佩嵘,李勇,杨小梅. m(C)/m(P)对污泥絮体中磷形态与分布及除磷能力的影响[J]. 水处理技术, 2015, 41(4): 50-53, 57.  
LÜ Peirong, LI Yong, YANG Xiaomei. Effect of m(C)/m(P) on form and distribution of phosphorus in sludge floc and phosphate removal [J]. Technology of Water Treatment, 2015, 41(4): 50-53, 57 (in Chinese).
- [ 12 ] 任武昂. 城市污水输送、处理过程中氮组分的迁变特性及转化规律研究[D]. 西安:西安建筑科技大学, 2015.  
REN Wuang. The Study of Migration Characteristics and Transforming Discipline of Nitrogen Compounds in the Transportation and Treatment Process of Urban Wastewater [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2015 (in Chinese).
- [ 13 ] 孙艳,张逢,胡洪营,等. 上海市污水处理厂进水水质特征的统计学分析[J]. 环境工程学报,2014,8(12): 5167-5173.  
SUN Yan, ZHANG Feng, HU Hongying, *et al.* Statistical analysis of influent quality characteristics of municipal wastewater treatment plants in Shanghai, China [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2014, 8(12): 5167-5173 (in Chinese).

- [14] 孙艳,张逢,胡洪营,等. 天津市污水处理厂进水水质特征的统计学分析[J]. 环境工程技术学报,2014,4(3):173-180.  
SUN Yan,ZHANG Feng,HU Hongying,*et al.* Statistical analysis of influent quality characteristics of municipal wastewater treatment plants in Tianjin[J]. Journal of Environmental Engineering Technology,2014,4(3):173-180(in Chinese).
- [15] 孙艳,张逢,胡洪营,等. 重庆市污水处理厂进水水质特征分析[J]. 环境科学与技术,2014,37(6N):397-402.  
SUN Yan,ZHANG Feng,HU Hongying,*et al.* Statistical analysis of influent quality characteristics of municipal wastewater treatment plants in Chongqing[J]. Environmental Science & Technology,2014,37(6N):397-402(in Chinese).
- [16] 胡波,宗栋良. 深圳市城市污水水质特征分析[J]. 中国水运,2009,9(1):176-177.  
HU Bo,ZONG Dongliang. Analyse on the character of municipal wastewater quality in Shenzhen[J]. China Water Transport,2009,9(1):176-177(in Chinese).
- [17] 王东鑫,胡超,张静,等. 海南省城镇污水处理厂污染物减排特征分析[J]. 环境污染与防治,2013,35(10):17-23.  
WANG Dongxin,HU Chao,ZHANG Jing,*et al.* Pollutants removal characteristics of urban sewage treatment plants in Hainan Province[J]. Environmental Pollution & Control,2013,35(10):17-23(in Chinese).
- [18] 李强. 洱海北部区域农村污水排放规律及控制技术研究[D]. 西安:长安大学,2015.  
LI Qiang. Research on the Rural Sewage Discharge Regularity and Control Technology in the Northern Area of Erhai Lake[D]. Xi'an:Chang'an University,2015(in Chinese).
- [19] 刘晓慧. 我国农村生活污水排放现状初析[J]. 安徽农业科学,2015,43(23):234-235,238.  
LIU Xiaohui. Analysis on emission status of rural domestic sewage in China[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences,2015,43(23):234-235,238(in Chinese).
- [20] 滕瑶. 高浓度餐厨垃圾渗滤液的处理研究[D]. 吉首:吉首大学,2015.  
TENG Yao. Study on Treatment of High Concentration Food Waste Leachate[D]. Jishou:Jishou University,2015(in Chinese).
- [21] 王俊能,许振成,彭晓春,等. 基于产污观点的人体排泄试验[J]. 环境科学研究,2009,22(9):1098-1102.  
WANG Junneng,XU Zhencheng,PENG Xiaochun,*et al.* Experimental investigation of pollutants in human excreta[J]. Research of Environmental Sciences,2009,22(9):1098-1102(in Chinese).
- [22] 杨柯瑶. 城市污水管网氮类营养物的迁变规律[D]. 西安:西安建筑科技大学,2016.  
YANG Keyao. Nitrogen Nutrient Transformation in Sewer Networks[D]. Xi'an:Xi'an University of Architecture and Technology,2016(in Chinese).

作者简介:沈彤(1967-),男,山东聊城人,硕士,高级工程师,主要从事环境保护与生态建设相关工程管理和技术研究工作。

E-mail:shentong100841@sina.com

收稿日期:2020-06-16

修回日期:2020-09-18

(编辑:任莹莹)

做好水文监测分析预报,保障国家水安全