

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.19.008

广州市中心城区污水处理厂进水水质分布规律研究

朱世泰^{1,2}, 申丽芬^{1,2}, 王广华^{1,2}

(1. 广州市市政工程设计研究总院有限公司, 广东 广州 510060; 2. 广东省城市大口径排水系统工程技术研究中心, 广东 广州 510060)

摘要: 为落实城镇污水处理提质增效三年行动方案要求、了解广州市现状污水系统收集效能、摸清现状污水处理厂进水水质情况,以广州市10座城市污水处理厂2020年实际运行数据为基础,系统分析了进水水质特征及BOD₅、COD、NH₃-N的分布规律。结果表明,污水中BOD₅、COD、NH₃-N呈正偏态分布,中心城区进水BOD₅、COD、氨氮的中位数分别为97.35、175.00、17.60 mg/L, 90%保证率下的BOD₅为139.00 mg/L、COD为262.00 mg/L、氨氮为23.30 mg/L。BOD₅/COD均值为0.545,中位数为0.548,比值超过0.4的百分比为96.8%,污水可生化性较好。降雨对污水厂进水水质有显著影响,其会降低污水处理厂削减污染物的效能,应继续加快推进渠箱清污分流及单元达标改造,降低雨水对污水系统收集处理效能的影响,保证进厂水质。

关键词: 污水处理厂; 进水水质; 分布规律; 降雨

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2022)19-0049-05

Distribution of Influent Quality of Sewage Treatment Plants in Guangzhou City Center

ZHU Shi-tai^{1,2}, SHEN Li-fen^{1,2}, WANG Guang-hua^{1,2}

(1. Guangzhou Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Guangzhou 510060, China; 2. Guangdong Engineering Research Center of Urban Mega-sized Drainage System, Guangzhou 510060, China)

Abstract: To implement the requirements of the three-year action plan for improving the quality and efficiency of urban sewage treatment, understand the collection efficiency of the current sewage system in Guangzhou, and find out the influent quality of the current sewage treatment plant, the characteristics of influent quality and the distribution of BOD₅, COD and NH₃-N were systematically analyzed based on the actual operational data of 10 urban sewage treatment plants in Guangzhou in 2020. The BOD₅, COD and NH₃-N in sewage were positively skewed. The median BOD₅, COD and NH₃-N in downtown were 97.35 mg/L, 175.00 mg/L and 17.60 mg/L, respectively, and they were 139.00 mg/L, 262.00 mg/L and 23.30 mg/L respectively at guarantee rate of 90%. The mean ratio of BOD₅ to COD (BOD₅/COD) was 0.545, its median was 0.548, and the percentage of BOD₅/COD greater than 0.4 was 96.8%, indicating that the biodegradability of the sewage was good. Rainfall had a significant impact on the influent quality and reduced the pollutant reduction efficiency of the sewage treatment plant. Therefore, it is necessary to continue to accelerate the diversion of water and sewage in the combined

通信作者: 王广华 E-mail: wanggh@gzmedri.com

tunnel and the transformation of the unit to meet the standard, and reduce the effect of rainwater on the collection and treatment efficiency of sewage system, so as to ensure the influent quality of the sewage treatment plant.

Key words: sewage treatment plant; influent quality; distribution; rainfall

2019年,住房和城乡建设部、生态环境部、国家发展改革委联合印发了《城镇污水处理提质增效三年行动方案(2019—2021年)》,以改善城镇人居环境。同年,广州市出台了《广州市城镇污水处理提质增效三年行动方案(2019—2021年)》,提出经过三年努力,进一步提升全市污水处理能力,基本消除建成区生活污水收集处理设施空白区,使城市生活污水集中收集率达到80%,按照“一厂一策”原则,以 BOD_5 为重点,同时提升城市污水处理厂氨氮等进水污染物浓度,城市生活污水集中收集效能显著提高。

为了解广州市现状污水系统的收集效能、摸清现状污水处理厂进水水质情况、对标行动目标、明确现状差距,笔者以广州市中心城区10座污水处理厂2020年每日入厂水质监测数据为基础,对进水水质分布进行了统计分析,旨在为提质增效行动提供基础数据支持,也可为广州市新建污水厂设计进水水质的确定提供参考。

1 污水系统概况及研究方法

1.1 广州中心城区污水系统概况

广州市2020年常住人口为1 867.66万人,供水总量为 $695.56 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。截至2020年底,全市污水处理能力为 $820.92 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,其中污水处理厂规模为 $773.83 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 、一体化及农村污水处理能力为 $47.09 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。另外,在建污水处理厂为 $15.20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。

广州市共划分了61个污水处理系统,其中中心城区有12个污水处理系统,现状污水处理厂13座(大观净水厂属于猎德系统),总处理能力为 $496 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,2020年全年累计处理水量为 $13.54 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{d}$ 。广州市中心城区污水系统布局如图1所示。由于健康城、江高以及大观净水厂从2020年6月之后才投入运行,缺乏长时间的监测数据,因此本研究仅采用中心城区已经稳定运行的猎德、大坦沙、沥滘等10座污水处理厂2020年全年的实际进水水质数据。

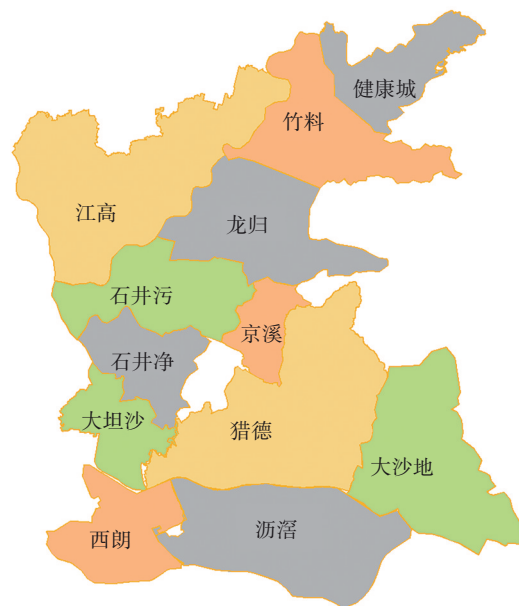


图1 广州市中心城区污水系统布局

Fig.1 Layout of sewage system in central area of Guangzhou City

1.2 研究方法

正态性检验常采用图形法和假设检验法。图形法常用的有频率分布图和Q-Q图。Q-Q图是一种散点图,对应于正态分布的Q-Q图是以标准正态分布的分位数为横坐标、样本值为纵坐标的散点图。要利用Q-Q图鉴别样本数据是否近似于正态分布,只需看Q-Q图上的点是否近似地在一条直线附近,而且该直线的斜率为标准差,截距为均值^[1]。周克钊等^[2]利用图形法,分析了广州市大坦沙、猎德、沥滘和西朗4座污水处理厂2004年—2005年的水质数据,发现进水水质与标准正态分布曲线拟合良好,符合正态分布,更加符合对数正态分布。

常用的假设检验法有两种,一种是夏波洛-威尔克(Shapiro-Wilk)检验,适用于小样本资料;另一种是柯尔莫戈洛夫-斯米诺夫(Kolmogorov-Smirnov)检验,适用于大样本资料。两种方法在水质分布研究中均有相应的应用。孙迎雪等^[3-5]利用假设检验法对昆明市污水厂的进水水质进行了统

计分析,发现污水厂进水水质呈正偏态分布,水质随季节而发生变化,7月—9月的雨季水质指标浓度明显低于其他月份。

本研究的样本采用广州市中心城区猎德、沥滘、大坦沙等 10 座污水处理厂 2020 年的日监测数据(3 420 个)。经人工校对并剔除缺失监测数据的特殊情况后,保留有效数据。由于存在部分时间水质监测数据不全的情况,最终获得的不同变量的样本数量不完全一致。

2 结果与讨论

2.1 中心城区总体水质分布规律

由于总体分布情况未知,因此采用探索分析,并对 BOD₅、COD、氨氮的分布情况进行正态检验,结果如图 2 所示。

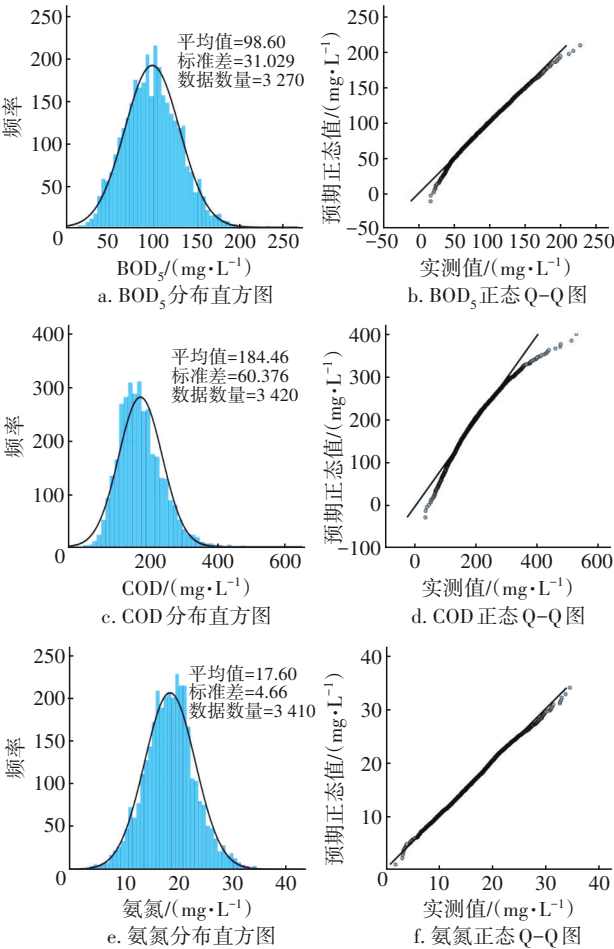


图 2 2020 年中心城区 BOD₅、COD、氨氮分布直方图及 Q-Q 图
Fig.2 Histogram and Q-Q chart of BOD₅, COD and NH₃-N distribution in central area in 2020

由图 2 可知,虽然进水水质直方图总体上呈钟

形,但与正态分布曲线相比,不是完全对称分布的,频率分布高峰向左偏移,长尾向右延伸。从 Q-Q 图可以看出,除氨氮与理论曲线拟合较好外,BOD₅、COD 实际分布与理论正态分布差异明显,两侧偏离较大,与理论分布不重合,可以初步判断水质分布不服从正态分布。

为定量化分析水质的分布规律,采用假设检验方法对中心城区进水水质进行进一步的统计分析。假定进水水质指标服从正态分布,进行柯尔莫戈洛夫-斯米诺夫统计检验和夏波洛-威尔克统计检验。表 1 给出了柯尔莫戈洛夫-斯米诺夫统计量 K-S Sig 和夏波洛-威尔克统计量 S-W Sig,进水水质指标正态性检验结果中显著性水平 Sig 均小于 0.05,拒绝原假设,表明进水水质指标不服从正态分布。

表 1 2020 年水质统计分析和正态性检验
Tab.1 Statistical analysis and normality test of water quality in 2020

项目	数据数量/个	均值/(mg·L ⁻¹)	标准偏差/(mg·L ⁻¹)	偏度	峰度	K-S Sig	S-W Sig
BOD ₅	3 270	98.604 7	31.029 25	0.228	-0.069	0.007	0.000
COD	3 270	182.819 3	59.980 93	0.812	1.483	0.000	0.000
氨氮	3 270	17.520 3	4.645 86	0.058	0.315	0.000	0.000

假设检验结果与图形法的结论一致,根据假设检验,BOD₅、COD、氨氮的样本偏度均大于 0,由此可以判断进水水质浓度分布呈正偏态分布,与孙艳等人^[6-7]的研究结果一致。

由于进水水质不服从正态分布,采用百分位数表征总体分布规律,结果见表 2。

表 2 进水水质百分位情况
Tab.2 Influent quality percentile

百分位数/%	BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	COD/(mg·L ⁻¹)	氨氮/(mg·L ⁻¹)
5	47.98	98.00	9.79
10	58.70	114.00	11.70
25	76.68	141.00	14.50
50	97.35	175.00	17.60
75	120.00	217.00	20.40
90	139.00	262.00	23.30
95	151.00	288.00	25.20

由表 2 可知,中心城区污水厂进水 BOD₅ 的中位数为 97.35 mg/L, COD 中位数为 175.00 mg/L,氨氮中位数为 17.60 mg/L; 90% 保证率下的 BOD₅ 为 139.00 mg/L、COD 为 262.00 mg/L、氨氮为 23.30

mg/L,该分布特征可为广州市新建污水厂设计进水水质参数提供参考。

2.2 中心城区污水可生化性分析

BOD₅/COD 可在一定程度上反映污水的可生物降解性。目前普遍认为,当污水 BOD₅/COD<0.1 时,不适合进行生物处理;当 BOD₅/COD<0.3 时,属于难生物降解污水;当 BOD₅/COD>0.4 时,属于可生物降解污水,且比值越高,表明污水采用生物处理所达到的效果越好。通过计算,广州市中心城区污水处理厂进水 BOD₅/COD 的均值为 0.545,中位数为 0.548,比值超过 0.4 的百分比为 96.8%,表明中心城区污水可生化性较好。

2.3 中心城区雨季的水质变化规律

广州市正全面推行雨污分流改造及单元达标创建行动,为了探究降雨是否会对污水处理厂进水水质造成显著影响,结合 2020 年降雨统计数据,对 10 座污水厂的污水处理总量、BOD₅、COD 及氨氮 4 个指标按照晴天和雨天两种天气状态进行分组,分析样本的分布规律。两个独立样本的非参数检验是在对总体分布不甚了解的情况下,通过对独立样本的分析来推断两个样本的分布是否存在显著差异的方法。由于水质不满足正态分布、样本分布未知,采用非参数检验,SPSS 提供的常用的两组独立样本的非参数检验方法为曼-惠特尼 U 检验,其原假设为:来源于两组独立样本的两个总体分布无显著差异。曼-惠特尼 U 检验通过对两组样本平均

秩的研究来实现判断。表 3 为曼-惠特尼 U 检验摘要。晴天和雨天两组独立样本的曼-惠特尼 U 检验结果表明,非参数检验显著性水平 Sig 均小于 0.05,拒绝原假设,反映出晴天和雨天来源于两组独立样本的两个总体差异显著,说明天气对进水水质及污水处理总量有显著影响,晴天与雨天的水量、水质分布存在统计意义上的显著性差异。

表 3 曼-惠特尼 U 检验摘要
Tab.3 Summary of Man-Whitney U test

统计量	BOD ₅	COD	氨氮	处理总量
曼-惠特尼 U	943 155.000	967 145.500	662 982.000	10 073.500
Z	-10.000	-12.394	-23.419	-3.609
渐近显著性(双尾)	0.000	0.000	0.000	0.000

表 4 为进水水质及处理总量分布特征。可知,不同天气状况下,中心城区污水量略有差异,晴天污水处理量的平均值为 356.62×10⁴ m³/d,中位数为 363.45×10⁴ m³/d,标准偏差为 27.71×10⁴ m³/d;雨天污水处理量的平均值为 371.38×10⁴ m³/d,标准偏差为 30.24×10⁴ m³/d。总体而言,雨天污水厂处理量均值增加了 14.76×10⁴ m³/d。雨天污水厂污染物进水浓度均值有不同程度的下降,BOD₅的平均值为 91.21 mg/L,较晴天均值下降 11.19 mg/L;COD 的平均值为 166.59 mg/L,较晴天下降 24.57 mg/L;氨氮的平均值为 14.99 mg/L,较晴天下降 3.83 mg/L。

表 4 进水水质及处理量分布特征

Tab.4 Distribution characteristics of influent quality and sewage treatment capacity

项 目		BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)		COD/(mg·L ⁻¹)		氨氮/(mg·L ⁻¹)		处理量/(10 ⁴ m ³ ·d ⁻¹)	
		晴天	雨天	晴天	雨天	晴天	雨天	晴天	雨天
平均值		102.40	91.21	191.16	166.59	18.82	14.99	356.62	371.38
平均值的 95% 置信区间	下限	101.08	89.50	188.63	163.25	18.64	14.74	353.02	365.79
	上限	103.72	92.93	193.69	169.93	19.00	15.25	360.22	376.96
5% 剪除后平均值		102.12	90.46	188.78	163.63	18.75	15.01	356.81	370.67
中位数		101.00	90.15	184.00	160.00	18.80	15.10	363.45	365.99
标准偏差		31.27	29.19	59.95	56.64	4.28	4.28	27.71	30.24
最小值		16.70	16.40	29.00	30.00	3.97	2.01	282.11	294.55
最大值		228.00	212.00	525.00	456.00	34.90	30.00	438.14	459.81
极差		211.30	195.60	496.00	426.00	30.93	27.99	156.03	165.26
四分位距		42.90	41.10	78.00	69.25	5.28	5.50	36.15	34.72

由于部分片区分流制改造尚未完成,雨季中心城区污水处理量平均值略有增加,但是雨水对进水质质的影响较大,水质指标下降幅度为 10%~20%。

总体上,雨季进水的污染物总量下降,降低了污水厂削减污染物的效能。雨季 BOD₅ 浓度的平均值低于 100 mg/L,无法达到提质增效行动方案的要求,应

继续加快推进渠箱清污分流及单元达标改造,降低雨水对污水系统收集处理效能的影响,保证进水水质。

3 结论

① 广州市中心城区污水处理厂进水水质不服从正态分布,而是正偏态分布。 BOD_5 中位数为97.35 mg/L, COD中位数为175.00 mg/L,氨氮中位数为17.60 mg/L;90%保证率下的 BOD_5 为139.00 mg/L、COD为262.00 mg/L、氨氮为23.30 mg/L。该分布特征可为广州市新建污水厂设计进水水质参数提供参考。

② 中心城区污水厂进水 BOD_5 /COD的均值为0.545、中位数为0.548,比值超过0.4的百分比为96.8%,表明中心城区污水可生化性较好。

③ 降雨对污水厂进水水质影响显著,雨季污水处理量均值略有增加,但进水 BOD_5 、COD、氨氮浓度下降较大,降雨会降低污水处理厂削减污染物的效能,应继续加快推进渠箱清污分流及单元达标改造,降低雨水对污水系统收集处理效能的影响,保证进水水质。

参考文献:

- [1] 鞠兴华,王社平,彭党聪. 城市污水处理厂设计进水水质的确定方法[J]. 中国给水排水, 2007, 23(14): 48-51.
JU Xinghua, WANG Sheping, PENG Dangcong. Determination methodology for design influent quality of municipal wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2007, 23(14): 48-51(in Chinese).
- [2] 周克钊,周敕. 城市污水处理厂设计进水水质确定和出水水质评价[J]. 给水排水, 2006, 32(9): 26-30.
ZHOU Kezhao, ZHOU Mi. Influent quality estimation and effluent quality evaluation of municipal wastewater treatment plants [J]. Water & Wastewater Engineering, 2006, 32(9): 26-30(in Chinese).
- [3] 孙迎雪,马磊,吴光学,等. 昆明市合流制排水区域污水处理厂进水水质特征分析[J]. 给水排水, 2013, 39(3): 135-139.
SUN Yingxue, MA Lei, WU Guangxue, et al. Analysis on the influent water quality characteristics of the wastewater treatment plant for the combined system drainage district in Kunming City [J]. Water & Wastewater Engineering, 2013, 39(3): 135-139 (in Chinese).
- [4] 孙迎雪,吴光学,胡洪营,等. 昆明市分流制排水区域污水厂进水水质特征的统计学分析[J]. 环境工程学报, 2013, 7(8): 2885-2891.
SUN Yingxue, WU Guangxue, HU Hongying, et al. A statistical study of influent quality of wastewater treatment plant with separate sewer system in Kunming City [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2013, 7(8): 2885-2891(in Chinese).
- [5] 孙迎雪,吴光学,胡洪营,等. 昆明市污水处理厂进水水质特征分析[J]. 环境科学与技术, 2013, 36(7): 147-152.
SUN Yingxue, WU Guangxue, HU Hongying, et al. Characteristics of influent quality of municipal wastewater treatment plants in Kunming City [J]. Environmental Science & Technology, 2013, 36(7): 147-152(in Chinese).
- [6] 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).
- [7] 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(S1): 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(S1): 397-402(in Chinese).

作者简介:朱世泰(1987-),男,广东揭阳人,硕士,工程师,主要研究方向为水污染治理、市政给排水工程设计。

E-mail: st.zhu@qq.com

收稿日期:2021-07-11

修回日期:2021-08-11

(编辑:任莹莹)