



长三角地区农村生活污水处理设施水量特征分析

柳蒙蒙^{1,2}, 陈梅雪^{3,4}, 齐嵘^{3,4}, 陈亚松^{1,2,✉}, 钟慧^{3,4}, 魏源送^{3,4}, 王殿常^{1,2}

1. 中国长江三峡集团有限公司长江生态环境工程研究中心, 北京 100038; 2. 长江经济带生态环境国家工程研究中心, 北京 100038; 3. 中国科学院生态环境研究中心环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100085; 4. 中国科学院生态环境研究中心水污染控制实验室, 北京 100085

摘要 污水排放特征是评价污染负荷的依据,也是进行污水治理规划、设计建设和运行维护的基础,农村污水量的确定是污水处理设施设计、运行维护的难点之一。本研究调研了长三角地区某县 306 座污水处理设施 2022 年全年进水水量数据,探究了不同处理规模进水量的变化规律,重点讨论了春节假期、雨季等时期水量变化规律。研究结果表明,随着城镇化水平快速提高以及农村居民生活方式的改变,春节期间水量变化呈现出 3 类特征,水量设计应根据不同类型村庄特征进行。同时,应重视户排水系统的雨污分流,厨房、院落洗漱、厕所、洗浴污水应收尽收,减少汛期屋面及院落雨水进入收集系统。

关键词 农村生活污水;水量特征;长三角地区;雨水;收集系统

长三角地区是“一带一路”与长江经济带的重要交汇地带,在我国现代化建设大局和开放格局中具有举足轻重的战略地位,但农村在快速城镇化中发展不平衡不充分的问题始终是实现高质量发展和乡村振兴的重要挑战^[1]。近年来长三角地区农村污水治理的需求和能力不断增强,并为探索符合我国农村实际的污水治理模式提供经验。污水排放特征是评价污染负荷的依据,也是进行污水治理规划、设计建设和运行维护的基础^[2]。农村人口居住分散,人均水量随生活水平、生活方式、地理条件等因素影响,普遍存在生活污水排放量日间水量变化明显,变化系数和幅度都相对较大,在现行的排水设计规范中缺少农村污水处理规模的变化系数值^[3-4]。因此农村污水量的确定是污水处理设施设计、运行维护的难点之一。

农村生活污水的水量波动范围受村庄人口作息时间和迁出迁入的影响,时变化主要受早/中/晚 3 个高峰时段的影响^[5-9],降雨与节假日是影响水量日变化系数的主要因素,缪静等^[3]选择北京市通州区 14 个农村生活污水处理站首次进行了日变化系数定量研究。但是,由于缺乏不同区域农村生活污水变化系数值,目前农村生活污水处理设施的设计水量主要根据《农村生活污水处理工程技术标准》^[10] (GB/T51347-2019) 的规定估算,存在与实际工程水量偏差较大的问题。因此,亟需针对不同类型村庄特征,开展农村生活污水变化系数的定量研究,为结合农村自然和社会发展特征,提出农村污水管网收集的适宜范围和收集系统设计标准建议奠定基础。

针对长三角地区不同规模农村生活污水处理设施建设及运行管理需求,本研究调研了长三角地区某县 306 座村庄污水处理设施 2022 年全年进水水量数据,探究了不同处理规模进水量的变化规律,重点讨论了节假日、雨季等引起农村生活污水处理设施水量日变化较大时期的水量特征。为完善不同区域农村生活污水处理设施设计水量计算提供依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

本研究地点地处长江南部冲积平原地带,地势平缓,平均海拔 6 m 左右,年平均气温 16.7 °C,年降雨

收稿日期: 2024-01-16; 录用日期: 2024-03-12

基金项目: 中国长江三峡集团有限公司资助项目 (WWKY-2021-0477, NBWL202300013); 国家重点研发计划资助项目 (2023YFC3207601)

第一作者: 柳蒙蒙 (1992—), 男, 博士, 高级工程师, liu_mengmeng@ctg.com.cn; ✉通信作者: 陈亚松 (1982—), 男, 博士, 正高级工程师, chen_yasong@ctg.com.cn

量 1 040.7 mm。本研究收集了该地区 458 座不同规模处理设施,其分布如图 1 所示。受水网地形等因素影响,农村本地区生活污水的主管网长度在 350~9 600 m 之间。处理量主要在 $100 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$ 以下,其中 $10 \sim 20 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$ 占比最高为 27%,85% 的污水处理设施在 $50 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$ 以下, $80 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$ 以上设施占比 5%。

本研究中对图例命名方式为“站点名称拼音首字母_设计处理规模”,如“JJB_15”表示“蒋家坝污水处理站,该站点设计处理规模为 $15 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$ ”。

1.2 数据分析

根据 458 座污水处理设施的日均流量和最大日流量,计算日变化系数 K (最大日流量/日均流量)^[11],每座污水处理设施采用 2022 年全年的进水数据。然后使用箱线图对明显存在数据偏差的站点进行剔除,假定每个组别中 K 值随着污水量的波动规律是一致的,最终保留 306 对数据(约剔除 33.2% 的数据),其站点样本数量情况见表 1。

2 结果与讨论

2.1 不同设计规模处理水量

农村生活污水收集系统收集来自住户厨房、厕所及庭院中的污水。生活污水日平均流量变化很大,随着设计处理规模的增加,设施日均负荷率显著降低,设计处理规模 $50 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$ 以上的设施日均负荷率最高为 72%,且随设计处理规模增大,日均负荷率降低, $100 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$ 以上的日均负荷率仅为 15%。但是设计处理规模 $10 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$ 以下 84% 的处理设施日均实际处理规模超过设计处理规模(如图 2 所示)。因此,采用城镇标准设计农村生活污水收集管网严重影响处理设施的正常运行,同时农村污水收集管网施工质量参差不齐,地下水的汇入或污水的渗漏情况多见。特别是对于小规模处理设施有必要根据不同流量范围开展调研,确定适宜农村生活污水排放特征的变化系数以保障设施正常运行。

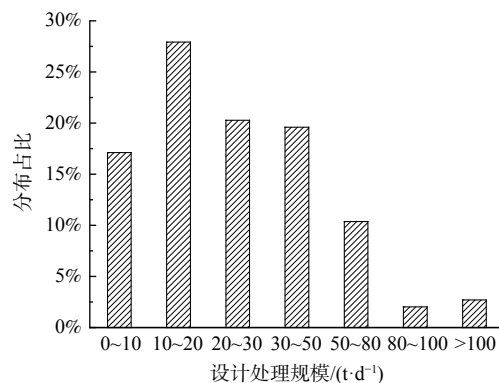


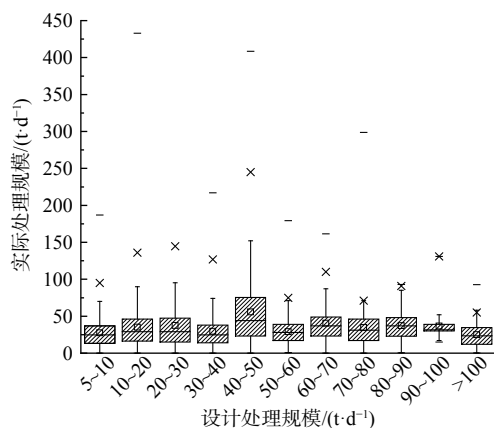
图 1 污水处理设施的设计处理规模分布

Fig. 1 Daily treatment scale distribution of sewage treatment facilities

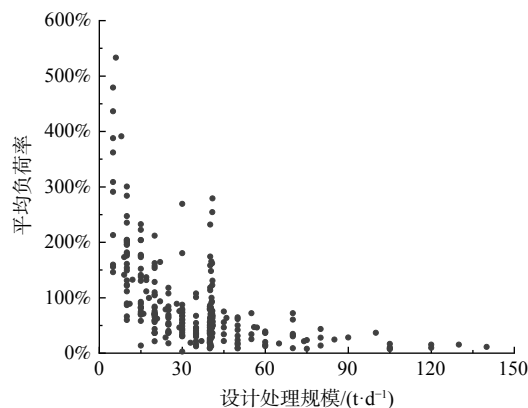
表 1 不同日均流量范围下站点样本数量情况

Table 1 Sample quantity of sites under different daily treatment scale

日均流量范围/($\text{t} \cdot \text{d}^{-1}$)	站点样本数量/个
0~5	10
6~10	28
11~20	56
21~30	44
31~50	133
51~100	27
101~500	8



(a) 不同设计规模站点实际水量处理情况



(b) 不同站点处理水量负荷率情况

图 2 设计处理规模与实际处理规模对比情况

Fig. 2 Comparison of designed and actual treated sewage quantity

2.2 典型假日水量变化规律

春节务工人员返乡是引起农村生活污水水量变化的典型特征。如图3显示,2月春节假期也是造成水量出现最高日流量频率较高的因素。近年来,随着城镇化水平快速提高以及农村居民生活方式的改变,春节期间水量变化呈现出3类特征。图3(a)的村庄以离镇区较近、村镇工业发达、农户收入较高等为典型特征,本地常住人口与外来人口比例通常为1.35~1.48,外来打工人口春节返乡及当地农户假期外出旅游等生活习惯的改变等造成春节水量出现明显低谷。图3(b)、(c)中均出现春节期间水量明显升高的趋势,这类村庄一般离镇区相对较远、外出务工人员返乡居住造成水量明显升高。图3(d)中春节假期水量未出现明显波动。此类村庄与图3(b)、(c)中村庄经济发展情况类似,但是外出务工、上学人员多在离村庄较近的镇区或县城,返乡的交通工具使用私家车,当日往返不在村庄居住。水量增加或者减少的波动范围均在3.4~5.6倍之间。

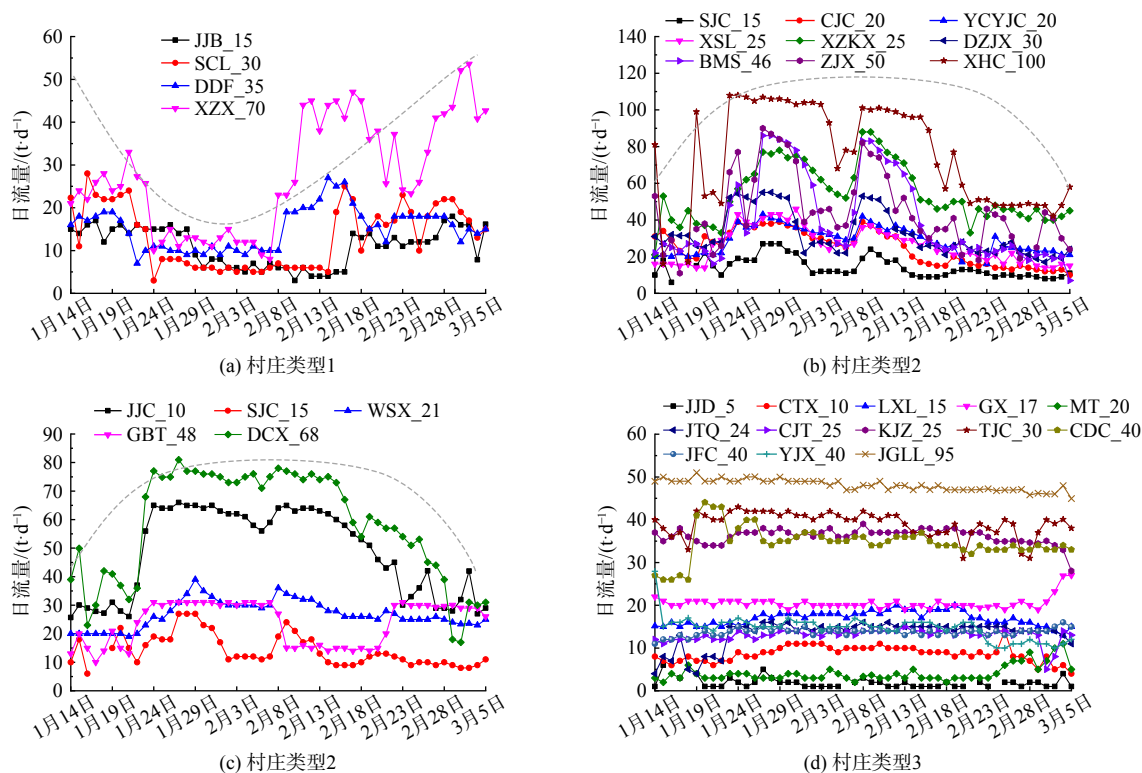


图3 春节期间不同类型村庄水量变化

Fig. 3 Variation of sewage quantity in different types of villages during Spring Festival

以春节为典型代表的假日人口潮汐变化是影响农村生活污水水量变化的重要因素。乡村振兴规划战略中的集聚提升类村庄和城郊融合类村庄是农村生态环境保护的重点,随着农村经济的飞速发展和农村居民生活习惯的改变,节假日人口由城镇流向村庄的潮汐出现逆流。污水收集管网及处理设施设计应考虑城镇化背景下不同类别村庄的污水排放新特征。污水在管网内停留时间短,对村落生活污水的水量调节能力有限。在农村村落生活污水处理和管理中应该充分考虑水量波动及断流特征,尤其是污水收集管网末端的处理设施需要具有针对水量波动特征的调节能力。

2.3 雨季水量变化

汛期雨水混入污水收集管网是造成农村生活污水最高日水量变化的最重要因素。图4显示

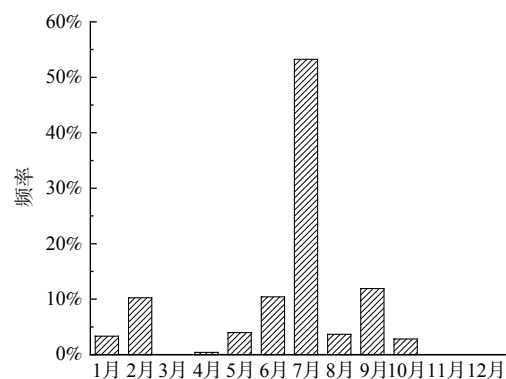


图4 2022年各站点最高日流量出现月份频率分布

Fig. 4 Monthly frequency distribution of the highest daily flux of each site in 2022

7 月为各站点最高日流量出现的频率最高月份, 超过 53% 的站点在 7 月暴雨日出现最高日流量。尽管村内收集为分流制, 但是收集管网只是在出户外实现雨污分流, 大雨时屋面、院落汇集出户进入管网是汛期水量超负荷的重要因素。在调研的 306 座污水处理设施中雨季最高日流量是全年平均日流量的 5.4 倍, 最高可达 36.6 倍。因此, 采用分流制收集生活污水时加强户收集系统建设, 农户院落内采用避免雨水进入的设施, 入户排水系统应与户内雨水排放系统分开。

总变化系数与设计规模呈负相关^[3,11], 农村生活污水日变化系数是设计处理设计的重要依据, 目前《室外排水设计标准》^[12] 中的设计规模最小为 $432 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$, 农村生活污水处理设施的设计规模小于 $500 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$, 目前尚无适合的设计参数参考。缪静等^[3] 采用年间典型日实测研究表明, 当农村生活污水日处理规模为 $1 \sim 400 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$ 时, 污水量总变化系数可取值为 2.28~5.00。小流量城镇污水收集系统受降雨影响较大^[11], 本研究表明村庄生活污水处理设施水量日变化系数受降雨影响均较大(图 5), 含降雨日的日变化系数明显高于去除降雨日数值, 随着流量的降低, 日变化系数逐渐增大。 $5 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$ 以下的小规模污水处理设施, 含降雨日的进水量日变化系数高达 6.0~12.7, 去除降雨日后相同规模处理设施进水量日变化系数平均值为 4.7。因此, 在采用实测法进行污水量变化系数计算时应去除降雨日的数据影响。

去除降雨日数据后拟合的日变化系数如表 2 所示。本研究 $5 \sim 500 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$ 的日变化系数为 2.3~4.8, 按照时变化系数 2.0~2.6 之间计算^[3], 高于缪静等^[3] 的研究结果和《室外排水设计标准》^[12]。由于不同区域农村经济发展和村民生活习惯存在较大差异, 因此有必要进一步选择典型地区进行经年农村生活污水量调研, 为不同特征村庄的生活污水排放量变化系数核算提供依据。

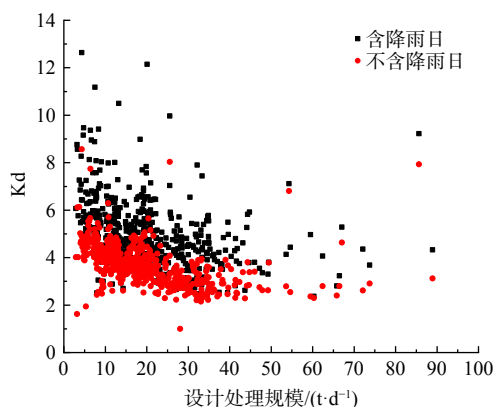


图 5 在含(不含)降雨日, 不同设计处理规模的站点的日变化系数图

Fig. 5 Daily variation coefficients for sites of different design(GB50014-2021)^[12]中规定的总排放系数, 折合日流量为 $432 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$. treatment scales on days with or without rainfall

表 2 拟合日变化系数与文献总排放系数比较

Table 2 Comparison of fitted daily variation coefficient and total emission coefficient in literature

平均日流量/ ($\text{t} \cdot \text{d}^{-1}$)	本研究日 变化系数/ K_d	总排放 系数/ K_z ^[3]	其他 (总排放系数/ K_z)
5	4.8	4.05	—
10	3.8	3.7	—
50	2.5	3	—
100	2.4	2.74	—
500	2.3	2.28*	2.7**

注: * 平均日流量为 $400 \text{ t} \cdot \text{d}^{-1}$; ** 《室外排水设计标准》

3 结论

1) 农村生活污水收集系统是保障污水处理设施正常运行的前提, 水量波动是设计及运行管理的难点。已建管网的水量波动主要体现在节假日水量骤增骤减以及汛期雨水大量汇入的影响。

2) 随着城镇化水平快速提高以及农村居民生活方式的改变, 春节期间水量变化呈现出 3 类典型特征, 水量设计应根据不同类型村庄特征进行。

3) 降雨日是影响农村生活污水量日变化系数的重要因素, 采用实测法进行变化系数核算时应去除降雨日的影响。同时, 需要强调户排水系统的雨污分流, 厨房、院落洗漱、厕所、洗浴污水应收尽收, 减少汛期屋面及院落雨水进入收集系统。

4) 农村生活污水管网长度一般较短, 对村落生活污水的水量调节能力有限。在农村村落生活污水处理和管理中应该充分考虑水量波动及断流特征, 尤其是污水收集管网末端的处理设施需要具有针对水量波动特征的调节能力。

参考文献

- [1] 刘平养, 袁云志. 乡村振兴背景下农村人居环境治理的问题与展望——以长三角地区为例[J]. 南京工业大学学报: 社会科学版, 2023, 22(2): 99-110.
- [2] 侯京卫. 农村生活污水排放特征研究述评[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(2): 964-967.
- [3] 缪静, 姬超, 高琳琳, 等. 我国农村居民生活污水量总变化系数的估算及其意义[J]. 环境工程学报, 2020, 14(9): 2326-2330.
- [4] 程方奎, 汪晨晨, 温仓祥, 等. 太湖流域农村生活污水产物特征及治理模式分析[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2022, 52(3): 578-584.
- [5] 范兴建, 薛丹, 杨文婷. 农村生活污水水量预测模型研究[J]. 农村经济与科技, 2016, 27(3): 16-20.
- [6] 何源, 吕锡武, 郑向群, 等. 巢湖地区农村生活污水产排污调研方法及实证[J]. 农业资源与环境学报, 2022, 39(2): 319-325.
- [7] 徐洪斌, 吕锡武, 李先宁, 等. 农村生活污水(太湖流域)水质水量调查研究[J]. 河南科学, 2008, 26(7): 854-857.
- [8] 杜欢, 刘春敬, 宋漫利, 等. 河北省清水河流域农村生活污水产污特征[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(4): 255-259.
- [9] 段婧婧, 耿晨光, 董金龙, 等. 长江三角洲农村地区分散式污水水量及水质调查——以宜兴市万石镇为例[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(7): 328-331.
- [10] 中华人民共和国国家市场监督管理总局, 中国国家标准化管理委员会. 农村生活污水处理工程技术标准: GB/T 51347-2019[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.
- [11] 李春鞠. 上海市综合生活污水量变化系数研究[J]. 给水排水, 2017, 53(6): 141-144.
- [12] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 室外排水设计规范: GB 50014-2021[S]. 北京: 中国计划出版社, 2021.

(责任编辑: 金曙光)

Analysis of water quantity characteristics of rural rural sewage treatment facilities in Yangtze River Delta region

LIU Mengmeng^{1,2}, CHEN Meixue^{3,4}, QI Rong^{3,4}, CHEN Yasong^{1,2,*}, ZHONG Hui^{3,4}, WEI Yuansong^{3,4}, WANG Dianchang^{1,2}

1. YANGTZE Eco-Environment Engineering Research Center, China Three Gorges Corporation, Beijing100038, China; 2. National Engineering Research Center for Ecological Environment of Yangtze River Economic Belt, Beijing100038, China; 3. State Key Joint Laboratory of Environment Simulation and Pollution Control, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing100085, China; 4. Laboratory of Water Pollution Control, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing100085, China

*Corresponding author, E-mail: chen_yasong@ctg.com.cn

Abstract The discharge characteristics of rural sewage are the basis for evaluating pollution loads and sewage treatment planning, design, construction and maintenance. The determination of rural sewage volume is one of the difficulties in the process. The changing trends of inflow volume during spring festival holiday and rainy season were analyzed based on the 2022 annual data of 306 rural sewage treatment facilities of the Yangtze River Delta region. The research results showed that with the rapid improvement of urbanization level and the change of rural residents' lifestyle, the change of water quantity during the spring festival presented three characteristics, and the sewage quantity design should be based on the characteristics of different types of villages. At the same time, attention should be paid to the diversion of rainwater and sewage of household drainage system so as to reduce rainwater into the collection system in flood season roof and courtyard, while kitchen, courtyard washing, toilet and bathing sewage should be collected.

Keywords rural sewage; sewage volume characteristics; the Yangtze River Delta region; rainwater; collection system