

刘战广. 城镇居住小区人均污水污染物产生量测算方法与应用[J]. 净水技术, 2021, 40(4):90-95, 138.

LIU Z G. Measurement and analysis of domestic wastewater pollutant production per capita in urban residential quarters[J]. Water Purification Technology, 2021, 40(4):90-95, 138.



扫我试试?

城镇居住小区人均污水污染物产生量测算方法与应用

刘战广

(上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海 200092)

摘 要 从居住小区选择、水质采样检测、流量测量、用水量调查、数据分析等方面提出了系统的城镇人均生活污水污染物产生量测算方法,并针对某城市污水处理厂排水系统服务范围内两个未设化粪池的居住小区 A 和 B 开展了连续一周的监测分析。结果表明,小区生活污水的水质波动范围较大,周末污染物浓度较工作日高。具有代表性的小区 B 总排口污水的 COD_{Cr} 、 BOD_5 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 TN 、 TP 平均值分别为 687、294、32.6、40.7、5.42 mg/L,与污水处理厂的进水水质相近。根据小区用水量数据和人口普查数据得到小区 B 的人均用水量为 88.8 L/(人·d),污水排放系数取 0.85 时,计算小区 B 的人均 COD_{Cr} 、 BOD_5 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 TN 、 TP 产生量平均值分别为 51.90、22.18、2.46、3.07、0.41 g/(人·d),低于《室外排水设计规范》中城镇污水的设计水质。调查范围较小、用于计算的排污人口当量数据偏高可能是人均用水量和人均污染物产生量偏低的主要原因,应采用流量测量、入户调查等方式获取更准确的人均污水量,扩大调查范围可以进一步减小误差。

关键词 居住小区 生活污水污染物 人均产生量 污水系统提质增效

中图分类号: X703 文献标识码: A 文章编号: 1009-0177(2021)04-0090-07

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2021.04.017

Measurement and Analysis of Domestic Wastewater Pollutant Production Per Capita in Urban Residential Quarters

LIU Zhanhuang

(Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China)

Abstract A systematic method for measurement and analysis of domestic wastewater pollutant production per capita was proposed, which included residential quarter selection, wastewater sampling and testing, wastewater flow monitoring, residential water consumption survey, and data analysis. Two residential communities without septic tanks, namely A and B, within the service area of a municipal wastewater treatment plant in south China, were monitored accordingly for a week. The results showed that the quality of the residential wastewater fluctuates significantly, and the pollutant concentrations on weekends were higher than on working days. The average values of COD_{Cr} , BOD_5 , $\text{NH}_3\text{-N}$, TN , and TP of the wastewater at the representative community B were 687, 294, 32.6, 40.7, 5.42 mg/L, respectively, which was similar to the influent water quality of the wastewater treatment plant. According to the residential water consumption data and the census data, the per capita water consumption of the residential quarter B was calculated to be 134.5 L/(cap·d). When the wastewater discharge coefficient was determined to be 0.85, the calculated average values of COD_{Cr} , BOD_5 , $\text{NH}_3\text{-N}$, TN , TP production per capita of the residential quarter B were 51.90, 22.18, 2.46, 3.07, 0.41 g/(cap·d), respectively. These values were lower than the design quality of urban wastewater according to the *Code for Design of Outdoor Wastewater Engineering*. The small survey scope and higher population equivalent data used for calculation may be the main reason for the lower water consumption per capita and pollutant production per capita. Methods such as flow measurement and household surveys

[收稿日期] 2020-07-09

[基金项目] 上海市青年科技启明星计划(18QB1403600)

[作者简介] 刘战广(1985—),男,博士,高级工程师,主要从事水污染控制方面的研究工作,E-mail:headbook@163.com。

should be used to obtain more accurate wastewater volume per capita. Expanding the scope of investigation could further reduce errors.

Keywords urban residential quarter domestic wastewater pollutant wastewater pollutant production per capita quality and efficiency improvement of wastewater system

2019年4月,住房和城乡建设部等三部委印发《城镇污水处理提质增效三年行动方案》(2019—2021年),提出城市生活污水集中收集效能显著提高的目标。城镇居民人均生活污水污染物产生量是生活污水处理工程设计的重要参数,也是计算城镇生活污水集中收集率、评估污水系统效能的重要基础数据^[1-4]。国内相关规范标准引用的人均日生活污水污染物产生量数据多借鉴国外经验值,同时,国内现有研究得到的结果往往低于相关规范标准的数据,难以准确表征我国城镇居民生活污水污染物产生和排放情况^[5]。

本文以居住小区出水总排口为研究对象,在污水收集设施相对完善、工业废水比例较小的城市排水系统服务范围内,根据污水收集设施建设情况、居住人口、入住年限等因素研究居住小区的选取原则和方法,建立居住小区生活污水水质采样检测、流量测量、用水量调查、数据分析的系统方法。并针对上海某城市污水处理厂排水系统开展应用研究,分析居住小区生活污水污染物产生规律,为城镇居民人均生活污水污染物产生量的测算和研究提供参考。

1 测算方法

1.1 居住小区选择

在城市建成区范围内选取典型生活小区。所选小区应为普通住宅,不含别墅区,实际居住人口应超过1 000人或住户超过400户,入住率在70%以上。所选小区应为分流制系统,不存在雨污混接现象(阳台洗涤废水未混接进入雨水管)。应有统一的集中排放总管,或其中一个出水口排放量超过小区生活污水总排放量的80%,便于采样和监测。

1.2 水质采样检测

根据选择的居住小区监测点,在春季(或秋季)、夏季和冬季分别进行1~2次连续的水质采样和流量测量,每次连续监测5~7 d,其中包含周末。在采样日,两位采样人员每天分别在采样时间段(6:00—24:00),每隔2~4 h取1次样品。采集样品均为小区集中排口处窨井内监测口流动的水样,

每次取样量为500 mL。完成全天采样后,将水样混合均匀,检测COD、BOD₅、NH₃-N、TN、TP等指标。小区如设有化粪池,选测一座化粪池测量进、出水水质,水质采样方法与小区集中排口处相同。

1.3 流量测量方法

尽量采用在线监测获取小区总排口污水量,条件不允许时,可通过用水量调查间接获取小区人均污水量数据。流量测量建议使用多普勒超声波流量计等在线监测仪表,但应注意水深较浅、流速较小、管道底泥及水中杂质等干扰因素的影响^[6-8]。

1.4 用水量调查方法

当不具备流量测量条件时,可通过调查小区用水量,结合污水排放系数估算污水量。如无法获取小区用水量数据,可在小区选取部分典型住户进行自来水表读数获取人均用水量数据。所选住户包括一代人1~2人居住、两代人3人居住、三代人4~5人居住等几类,每类住户不少于2户。在采样期间,间隔24 h读取所选住户自来水表,并记录下读数期间在家的人口数。同时间隔24 h读取小区总水表的读数,并询问明确所读取的用水量中是否包括绿化用水,应扣除绿化等非居民生活用水量。

1.5 数据分析方法

根据监测数据计算出每个小区在春季(或秋季)、夏季和冬季的人均污染物当量,按照季节权重计算出该小区1年人均污染物产生量。其中,春季(或秋季)的权重为2,夏季和冬季的权重为1。

$$F_e = Q_w \times C_e \quad (1)$$

$$F = (2F_{\text{春/秋}} + F_{\text{夏}} + F_{\text{冬}}) / 4 \quad (2)$$

其中: F_e ——单季人均污染物产生量, g/(人·d);

Q_w ——人均污水量, L/(人·d);

C_e ——污染物平均浓度, g/L;

F ——全年人均污染物产生量平均值, g/(人·d)。

根据监测得到的每个小区的生活污水人均污染物产生量,可进行城市监测点数据加权平均计算,得到城市生活污水人均污染物产生当量。

2 案例研究

2.1 居住小区选择

结合某城市污水处理厂排水系统,对某城市典型居住小区人均污染物产生量开展调研。由于时间及经费限制,本研究仅在夏季进行连续一周的水质采样分析,对测算方法进行了验证。由于不同地区、不同小区、不同季节的用水量、污水水质等波动较大^[9],小区或城镇尺度的人均水污染物产生量测算应覆盖不同季节,并适当增加监测频次,使测算结果更具代表性。该污水处理厂设计处理规模为 2 万 m³/d,服务范围内以居住小区为主,主要包括上世纪 90 年代建设的大型居住小区及部分 2000 年以后兴建的居住小区。该排水系统为分流制,周边建有 3 个强排模式的分流制雨水排水系统及 1 个分流制缓冲自排模式的雨水排水系统。综合考虑小区规模、所处位置、建设年代及现场监测条件等因素,选取 A、B 等两个普通住宅小区作为研究对象,如图 1 所示。其中,小区 A 建于 2003 年,总户数 1 024 户,居住人口 3 048 人。小区 B 建于 1995 年,总户数 1 800 户,居住人口 5 312 人。两个小区的入住率均在 80%以上。居住人口为居委会统计数据,小区居委会每两年对小区内实际居住人口进行一次核查,包括户口人员和租住人员。两个小区均接近污水处理厂,通过排放总管集中排水,无化粪池。

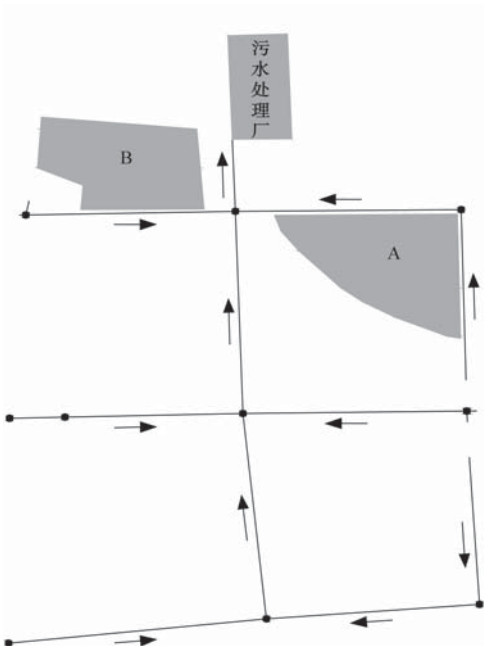


图 1 居住小区位置示意图

Fig. 1 Schematic Diagram of the Location of Studied Residential Quarters

2.2 污水水质分析

针对小区 A 和 B 同时进行连续一周的采样监测,取样位置为小区总排口,每天完成采样后,取全天的混合样测定水质,结果如表 1 和图 2(周一—周日)所示。

表 1 小区污水水质

Tab. 1 Residential Wastewater Quality

指标	小区 A					小区 B				
	COD _{Cr}	BOD ₅	NH ₃ -N	TN	TP	COD _{Cr}	BOD ₅	NH ₃ -N	TN	TP
平均值/(mg·L ⁻¹)	273	113	27. 2	35. 8	3. 19	687	294	32. 6	40. 7	5. 42
最大值/(mg·L ⁻¹)	427	174	41. 4	49. 0	3. 95	1320	550	55. 7	63. 5	7. 01
最小值/(mg·L ⁻¹)	134	51	12. 4	22. 9	1. 98	224	88	14. 6	22. 8	4. 34
最大值/最小值	3. 19	3. 44	3. 34	2. 14	1. 99	5. 89	6. 28	3. 82	2. 79	1. 62
最大值/平均值	1. 56	1. 53	1. 52	1. 37	1. 24	1. 92	1. 87	1. 71	1. 56	1. 29

由表 1 和图 2 可知,由于两个小区无化粪池,生活污水的水质波动范围较大。小区 A 污水各指标最大值与最小值的比例可达 1. 99~3. 44 倍,小区 B 污水各指标最大值与最小值的比例可达 1. 62~6. 28 倍。相较 TN 和 TP,污水 COD、BOD₅、NH₃-N 最大值与最小值的比例更大。由图 2 可知,污染物浓度的变化规律相似,即周末污染物浓度高,工作日污染物

浓度较低。小区 A 污水 COD、BOD₅、NH₃-N、TN、TP 的最小值均出现在周四,除 TP 外其他指标的最大值均出现在周末。小区 B 也有类似规律,最大值基本在周五—周日,最小值基本在周三和周四。这可能与居民周末在家用餐率较高、洗涤剂使用量较大等因素有关,表明小区人均生活污水污染物产生量的监测应同时包含工作日和周末。

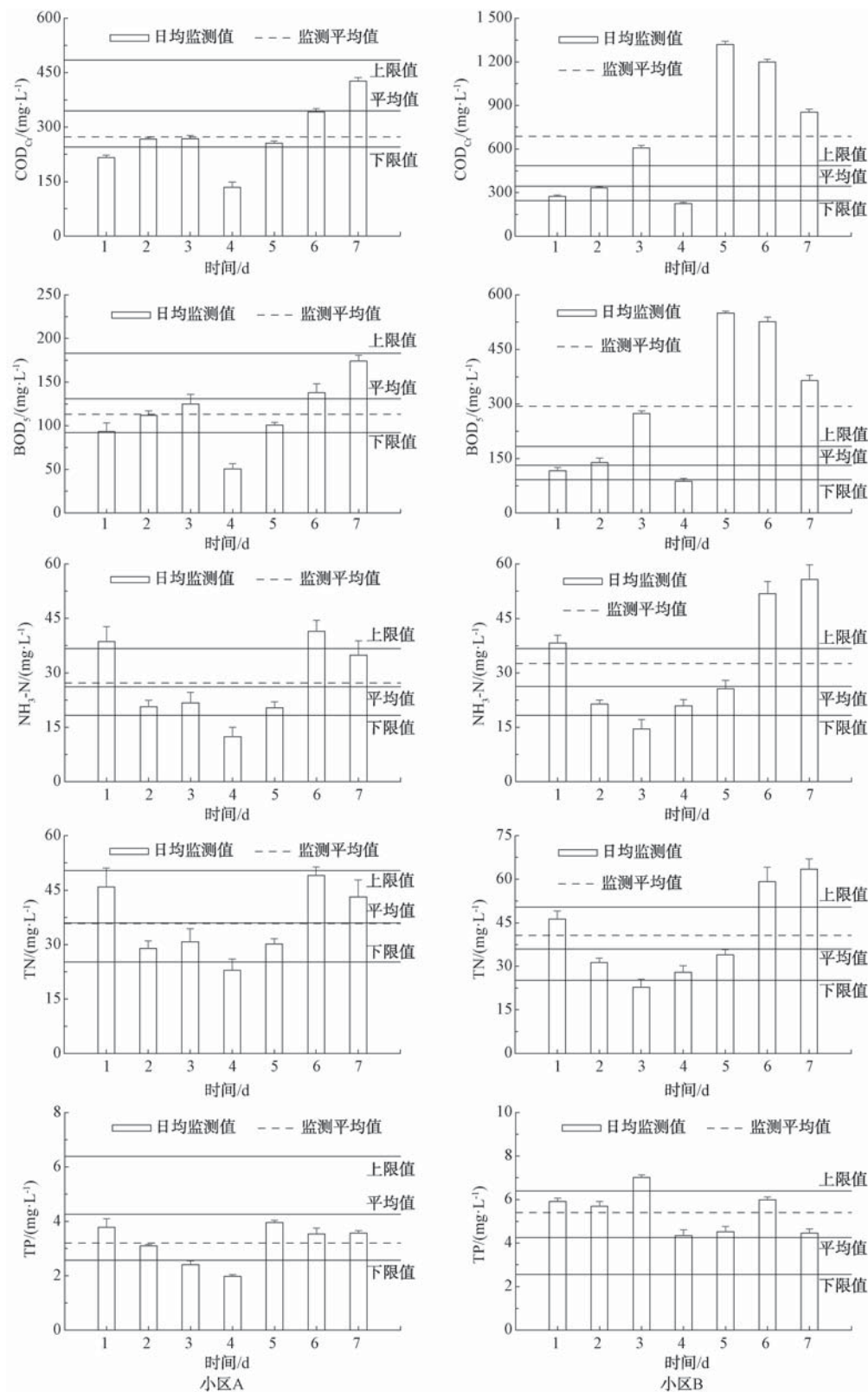


图2 小区污水 COD_{Cr} 、 BOD_5 、 NH_3-N 、 TN 、 TP 的变化规律

Fig. 2 Values of COD_{Cr} , BOD_5 , NH_3-N , TN and TP in Residential Wastewater

图2标出了第二次全国污染源普查《生活污染源产排污系数手册(试用版)》中对应地区城镇生活源水污染物产污校核系数的上限值、平均值和下限值。由图2中可知,小区A污水COD、BOD₅、TP的监测平均值低于产污校核系数的平均值,但均高于其下限值,NH₃-N和TN的监测平均值与产污校核系数平均值相当。小区B污水的COD、BOD₅监测平均值显著高于产污校核系数的上限值,这与周五—周日COD、BOD₅的日均监测值异常偏高有关。周一—周四小区B污水的悬浮物、COD、BOD₅平均值分别为135、360、154 mg/L,周五—周日的平均值则分别为427、1 125、480 mg/L。因此,周五—周日小区B污水的COD、BOD₅浓度显著上升可能是受样品中悬浮物浓度较高的影响。小区B污水的NH₃-N、TN、TP监测平均值高于产污校核系数的平均值,但均低于其上限值。

如果小区内部排水系统存在雨污混接现象,可能导致生活污水水质受到降雨影响。本次小区生活污水取样期间周边2个雨量站记录的平均降雨量如图3所示,由图3中可知,采样期间周四、周六和周日该区域有降雨,其中周六的降雨量达到(20.0±6.7) mm。尽管如此,两个小区周六的生活污水水质均相对较浓,表明小区内部雨污混接可能较少。

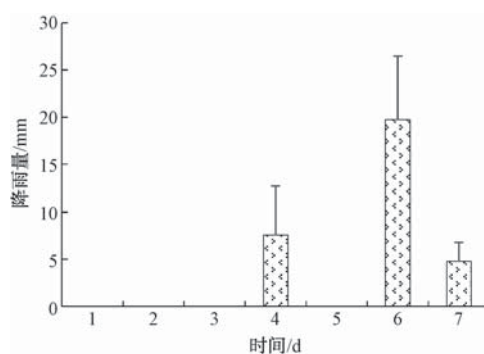


图3 采样期间的降雨量分布情况

Fig. 3 Rainfall Distribution during Sampling Period

两个小区的位置均接近污水处理厂,如图4所示,污水处理厂同期进水的COD、BOD₅、NH₃-N、TN平均值分别为(452±195)、(297±123)、(46.9±11.5)、(57.1±10.0) mg/L,为典型的城镇生活污水水质浓度。其中,BOD₅、NH₃-N、TN均高于第二次全国污染源普查对应生活源产污校核系数的上限值。该污水处理厂排水系统服务范围内以居住小区为主,其中,大部分小区的建设年代为上世纪90年代,与小区B相近。两个小区官方统计的户均人口均为3人,但建设年代较早的小区B家庭老人占比比较高,老人较多的家庭用餐率更高、用水量较小,可能导致污水污染物浓度更高^[10]。

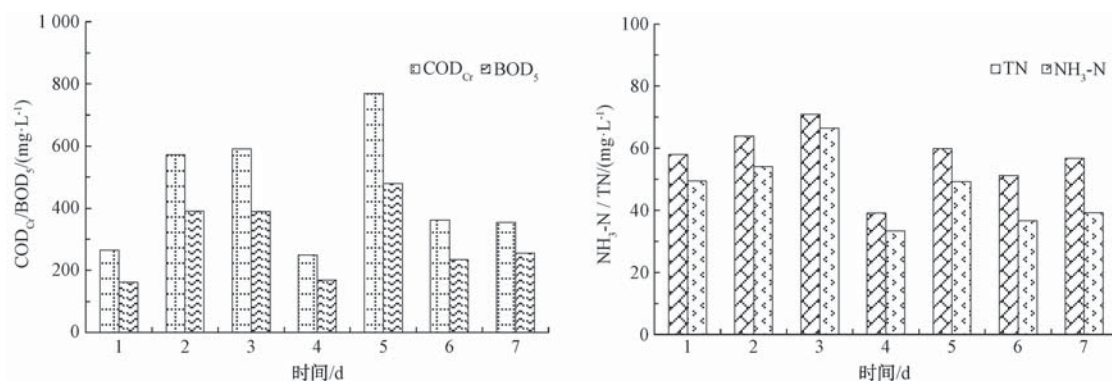


图4 污水处理厂进水污染物浓度

Fig. 4 Influent Pollutant Concentration of Wastewater Treatment Plant

2.3 人均污染物产生量估算

根据小区的用水量和污水排放系数估算污水量。由于居住小区为双月抄表,采用供水部门提供的监测前后4个月的用水量数据和小区居委会统计的居住人口进行初步估算,结果如表2所示。小区A的人均用水量可达到上海市节水型小区评价标准,即135.0 L/(人·d),小区B的人均用水量偏低,

仅为小区A的66%,可能与家庭经济水平、年龄结构、节水意识等相关^[11]。污水排放系数取0.85时,计算小区A和B的人均污水量分别为114.4 L/(人·d)和75.5 L/(人·d)。

基于表2中的人均污水量和表1中的污染物平均浓度,按照式(1)计算人均污染物产生量,结果如表3所示。与室外排水设计规范中的设计水质相

表 2 小区人均用水量和污水量

Tab. 2 Daily Water Consumption Per Capita and Domestic Wastewater Production of Urban Residents

小区名称	总用水量/ m^3	日均用水量/ $[(\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1})]$	人均用水量/ $[\text{L} \cdot (\text{人} \cdot \text{d})^{-1}]$	人均污水量/ $[\text{L} \cdot (\text{人} \cdot \text{d})^{-1}]$
小区 A	50 446	410.1	134.5	114.4
小区 B	58 045	471.9	88.8	75.5

比,表 3 中居住小区人均污染物产生量偏低,其中小区 A 的 BOD_5 、TN、TP 人均产生量较室外排水规范下限值分别低 48.1%、18.1%、47.7%,小区 B 的 BOD_5 、TN、TP 人均产生量较室外排水规范下限值分别低 11.2%、38.5%、41.8%。有研究表明,居民用水量与污染物排放系数呈正相关关系,即用水量较大时,人均污染物排放量也越高^[5]。由于用水量、污染物浓度等受经济条件、生活习惯、文化程度、年

龄结构等因素差异的影响,尽管小区 A 用水量较小区 B 大,但人均污染物产生量较低。同时,本研究中的小区人均用水量采用供水部门提供的小区用水量数据和居委会人口普查数据计算得到,尽管基础数据相对准确,但由于居民生活规律不同、人员流动特征复杂,难以精准定量小区居民全天 24 h 产生的所有污水污染物。因此,直接采用居住人口计算人均数据时,由于居民在上班、上学、临时外出等情况下的用水量及污染物产生量未计算在内,会导致人均用水量和人均污染物产生量偏低。常州市某居民楼宇的研究采用安装人员出入监控系统计算调查时间段内的排污人口当量,得到检测日居民生活污水人均日排放量为 $216.0 \text{ L}/(\text{人} \cdot \text{d})$,上海市居民生活用水定额通用值为 $200.9 \text{ L}/(\text{人} \cdot \text{d})$,均高于本文研究结果^[12]。

表 3 小区人均污染物产生量

Tab. 3 Daily Domestic Wastewater Pollutant Production Per Capita of Urban Residents

指标		COD _{Cr}	BOD ₅	NH ₃ -N	TN	TP
小区 A	平均值/[g·(人·d) ⁻¹]	31.22	12.97	3.11	4.10	0.37
	最大值/[g·(人·d) ⁻¹]	48.85	19.91	4.74	5.61	0.45
	最小值/[g·(人·d) ⁻¹]	15.33	5.79	1.42	2.62	0.23
	最大值/平均值	1.56	1.53	1.52	1.37	1.23
	最大值/最小值	3.19	3.44	3.34	2.14	1.99
小区 B	平均值/[g·(人·d) ⁻¹]	51.90	22.18	2.46	3.07	0.41
	最大值/[g·(人·d) ⁻¹]	99.66	41.53	4.21	4.79	0.53
	最小值/[g·(人·d) ⁻¹]	16.91	6.61	1.10	1.72	0.33
	最大值/平均值	1.92	1.87	1.71	1.56	1.30
	最大值/最小值	5.89	6.28	3.82	2.79	1.62

3 结论

(1)提出了城镇居住小区人均污染物产生量的测算方法,包括居住小区选择、水质采样检测、流量测量、用水量调查、数据分析等。

(2)对某城市污水处理厂排水系统服务范围内两个无化粪池的居住小区 A 和 B 连续一周的监测分析。结果表明,小区生活污水的水质波动范围较大,周末污染物浓度较工作日高。具有代表性的小区 B 总排口污水的 COD_{Cr} 、 BOD_5 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN、TP 平均值分别为 687、294、32.6、40.7、5.42 mg/L 。小区 B 未设化粪池,且紧邻污水处理厂,其生活污水水质与污水处理厂进水水质较为接近。设有化粪池的小

区,居民生活污水经化粪池处理后,悬浮物、COD、 BOD_5 等指标会有所下降。此外,生活污水污染物在输送过程中可能发生部分衰减。因此,小区排口水质监测结果一般不能直接代表污水处理厂的进水水质。

(3)根据小区用水量数据和人口普查数据计算小区 B 的人均用水量为 $88.8 \text{ L}/(\text{人} \cdot \text{d})$,污水排放系数取 0.85 时小区 B 的人均 COD_{Cr} 、 BOD_5 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN、TP 产生量平均值分别为 51.90、22.18、2.46、3.07、0.41 $\text{g}/(\text{人} \cdot \text{d})$,低于室外排水设计规范中城镇污水的设计水质。

(下转第 138 页)

- 工大学, 2008.
- [2] 吕靖, 李强, 郑旭煦. 餐饮废水处理技术研究进展[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2008, 25(3): 274-276, 328.
- [3] 蒋佳凌, 钟成华, 陈丽, 等. 农家乐生活污水污染现状及处理工艺选择[J]. 山东化工, 2015, 44(6): 148-150.
- [4] 于金莲, 高运川. SBR 法处理餐饮废水的工艺实验研究[J]. 上海环境科学, 1999, 18(4): 167-169.
- [5] 中华人民共和国质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 污水排入城镇下水道水质标准: GB/T 31962—2015[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [6] PRADO N, OCHOA J, AMRANE A. Zero nuisance piggeries; Long-term performance of MBR (membrane bioreactor) for dilute swine wastewater treatment using submerged membrane bioreactor in semi-industrial scale[J]. Water Research, 2009, 43(6): 1549-1558.
- [7] CAPODICI M, DI BELLA G, DI TRAPANI D, et al. Pilot scale experiment with MBR operated in intermittent aeration condition: Analysis of biological performance[J]. Bioresource Technology, 2015(3): 398-405.
- [8] 李彬, 王志伟, 安莹, 等. 膜-生物反应器处理高盐废水膜面污染物特性研究[J]. 环境科学, 2014, 35(2): 643-650.
- [9] 张巍, 许静, 李晓东, 等. 稳定塘处理污水的机理研究及应用研究进展[J]. 生态环境学报, 2014, 23(8): 1396-1401.
- [10] 刘艳萍. 混凝过滤法处理餐饮污水实验研究[D]. 武汉: 武汉科技大学, 2005.
- [11] CALERO R, IGLESIAS-IGLESIAS R, KENNES C, et al. Organic loading rate effect on the acidogenesis of cheese whey: A comparison between UASB and SBR reactors[J]. Environmental Technology, 2018. DOI: 10.1080/09593330.2017.1371796.
- [12] 陈翠平. 一体式旋回流反应器处理餐饮废水试验研究[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2014.

(上接第 95 页)

(4)供水部门提供的小区用水量数据与用于计算的排污人口当量数据不匹配导致人均用水量和污水量数据偏低可能是人均污染物产生量偏低的主要原因,后续研究采用流量测量、入户调查等方式获取尽可能准确的人均污水量和人均污染物产生量,可为国内城镇居住小区人均污染物产生量的测算提供参考。此外,室外排水设计规范中的人均污染物产生量数据是在大范围统计分析的结果,扩大调查范围以获取更多的数据可进一步减小误差。

参考文献

- [1] 孙永利, 郑兴灿, 高晨晨, 等. 城镇居民人均日生活污水污染物产生量测算之方法构建[J]. 中国给水排水, 2019, 35(24): 1-4.
- [2] ZHAO H X, CUI J X, WANG S F, et al. Customizing the coefficients of urban domestic pollutant discharge and their driving mechanisms: Evidence from the Taihu Basin, China[J]. Journal of Environmental Management, 2018(9): 247-254.
- [3] TSUZUKI Y. Comparison of pollutant discharge per capita (PDC) and its relationships with economic development: An indicator for ambient water quality improvement as well as the Millennium Development Goals (MDGs) sanitation indicator[J]. Ecological Indicators, 2009, 9(5): 971-981.
- [4] CAI H, MEI Y D, CHEN J H, et al. An analysis of the relation between water pollution and economic growth in China by considering the contemporaneous correlation of water pollutants[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122783>.
- [5] 赵海霞, 王淑芬, 崔建鑫, 等. 城镇生活污染排放系数调查与核算——以常州市为例[J]. 环境科学学报, 2016, 36(7): 2658-2663.
- [6] FURUICHI N. Fundamental uncertainty analysis of flowrate measurement using the ultrasonic Doppler velocity profile method[J]. Flow Measurement and Instrumentation, 2013(5): 202-211.
- [7] LARRARTE F, BERNARD B J, BATTAGLIA P, et al. Acoustic Doppler flow-meters: A proposal to characterize their technical parameters[J]. Flow Measurement and Instrumentation, 2008, 19(5): 261-267.
- [8] 冯沧, 李田. 地下排水管道流量检测技术进展[J]. 给水排水, 2007(5): 115-118.
- [9] 彭银仙, 郑璐, 吴春笃, 等. 镇江市生活污水排放水质水量特征分析[J]. 江苏科技大学学报(自然科学版), 2012, 26(1): 91-94.
- [10] KERKHOF A C, NONHEBEL S, MOLL H C. Relating the environmental impact of consumption to household expenditures: An input-output analysis[J]. Ecological Economics, 2009(2): 1160-1170.
- [11] 许振成, 王俊能, 彭晓春. 城市家庭规模与结构对生活污水排放特征影响分析[J]. 中国环境科学, 2010, 30(8): 1149-1152.
- [12] 孙永利, 张维, 郑兴灿, 等. 城镇居民人均日生活污水污染物产生量测算之产污规律[J]. 中国给水排水, 2020, 36(6): 1-6.