

论述与研究

DOI: 10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.13.001

某住宅区化粪池H₂S排放特征与影响因素

洛 嘎¹, 周作勇¹, 赵冬泉², 唐兰贵², 席劲瑛¹

(1. 清华大学环境学院 环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100084; 2. 北京清环智慧水务科技有限公司, 北京 100085)

摘 要: 住宅区化粪池排放的H₂S是引起社区恶臭污染和投诉的重要原因。选取某住宅区, 对化粪池排放气体的流量、H₂S浓度、污水水质与流速等指标进行了连续监测, 并分析了H₂S排放量和相关影响因素。结果表明, 该住宅区每月测得的化粪池H₂S排放浓度为(69.9±25.4) mg/m³, 并呈现出夏季高、冬季低的特点。污水pH、氧化还原电位(ORP)和硫酸盐与每月监测的H₂S排放浓度呈显著负相关, 而气温、湿度、水温、COD和硫化物浓度与H₂S排放浓度呈显著正相关。测定了6月某天化粪池H₂S排放浓度随时间的变化, 发现在居民用餐和洗漱时间段内H₂S排放浓度出现明显峰值, 污水流速与H₂S排放浓度的Pearson相关系数 R 值为0.32, 呈显著相关关系。该住宅区化粪池全年人均H₂S排放量为 2.34×10^{-3} kg, 据此估算出北京市住宅区化粪池H₂S的年排放总量为51.3 t。

关键词: 化粪池; H₂S; 排放特征; 影响因素

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2022)13-0001-07

Characteristics and Influencing Factors of H₂S Emission from Residential Septic Tanks

LUO Ga¹, ZHOU Zuo-yong¹, ZHAO Dong-quan², TANG Lan-gui², XI Jin-ying¹

(1. State Key Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control, School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Beijing Tsinghuan Smart Water Technology Co. Ltd., Beijing 100085, China)

Abstract: H₂S emission from septic tanks in residential areas is an important cause of odor pollution and complaints in communities. In this study, a residential area was selected and the septic tanks emissions flow rate, H₂S concentration, influent quality and flow rate were continuously monitored, and H₂S emissions and related influencing factors were analyzed. The results showed that the monthly measured septic tanks H₂S emission concentrations in this residential area were (69.9 ± 25.4) mg/m³ and showed a pattern of high in summer and low in winter. Influent pH, oxidation reduction potential (ORP), and sulfate were significantly negatively correlated with monthly monitored H₂S emission concentrations, while air temperature, humidity, water temperature, COD, and sulfide concentrations were significantly positively correlated with H₂S emission concentrations. The variation of septic tanks H₂S emission concentration with time was measured on a day in June, and it was found that there was a significant peak of H₂S emission concentration during the time of meal and wash for residents, and the Pearson correlation coefficient R value of 0.32 between sewage flow rate and H₂S emission concentration was significantly

correlated. The annual per capita H_2S emission from septic tanks in this residential area was 2.34×10^{-3} kg, and the total annual emission of H_2S from septic tanks in residential areas in Beijing City was estimated to be 51.3 t.

Key words: septic tank; H_2S ; emission characteristics; influence factor

恶臭污染物以空气为介质作用于人的嗅觉器官,引起人们产生不愉快或厌恶感,对生活质量和身心健康造成不利影响^[1]。恶臭污染的来源非常广泛,主要包括化工、制药、皮革等工业源,畜牧养殖等农业源,以及城市污水处理、垃圾填埋等市政源^[2],其中污水排放引发的恶臭污染在近些年受到了广泛关注^[3-4]。

住宅区的化粪池作为生活污水处理流程中的预处理单元,在沉淀去除污水中的悬浮物、有机物等方面有较大的贡献^[5],但是因其内部处于严格厌氧的环境,极易产生具有恶臭气味的含硫化合物,例如硫化氢(H_2S)、甲硫醚、甲基硫醇^[6-7]等。典型含硫化合物 H_2S 的嗅阈值极低^[8],在非常低的浓度下也会表现出较为强烈的恶臭气味。已有研究表明,化粪池中的 H_2S 排放浓度明显高于周围污水检查井,而且容易受到季节和气候的影响^[9],具有较大的波动性。住宅区的化粪池中聚集着较高浓度的 H_2S ^[10-11],由此所引发的恶臭污染问题更不容忽视,亟需解决和控制。

目前,以住宅区化粪池为对象的研究相对缺乏,化粪池中 H_2S 的排放特征与影响因素更不明晰,而掌握 H_2S 的排放特征和影响因素对控制小区规模的恶臭污染和改善居民的生活环境具有重要的意义。鉴于此,笔者选定北京市某住宅区,对其化粪池中 H_2S 的排放浓度和污水水质进行了连续监测与分析,总结出了住宅区化粪池 H_2S 的排放特征与影响因素,以期对住宅区化粪池的恶臭污染控制提供参考依据。

1 实验材料与方法

1.1 住宅区化粪池简介

以北京市某住宅区为研究对象,该住宅区包含24栋住宅楼、1所幼儿园和部分商业饮食店,住户共2 100余户。该住宅区共10个化粪池,选取投入使用的5个玻璃钢化粪池开展研究,基本概况见表1。其中,50 m³化粪池为两隔板三仓室,25 m³化粪池为单隔板两仓室。

表1 住宅区化粪池的基本概况

Tab.1 Overview of septic tanks in residential areas

编号	容量/m ³	化粪池组合	服务住户
1	100	2个50 m ³	20~24号楼、幼儿园
2	50	1个50 m ³	18~19号楼
3	75	25、50 m ³ 各1个	16~17号楼
4	75	25、50 m ³ 各1个	9~10号楼
5	100	2个50 m ³	6~8号楼、餐饮店

1.2 采样点及采样频率

2020年11月—2021年9月,对住宅区化粪池通风口的气体特征、 H_2S 排放浓度、进口污水井的水质特征和污水流速进行为期近一年的数据监测。

气体特征和 H_2S 排放浓度的采样点选为化粪池的通风口,其中5号化粪池的通风口有2个,取其中1个通风口进行监测(如无特别说明均指此通风口,经检测两个通风口的排放浓度及变化规律相同),其余4个化粪池的通风口只有1个,通风口直径为0.1 m。污水水质指标的采样点选为化粪池的进口污水井。采样频率为每2月1次,采样监测的时间均选择在晴朗无风日的13:00—17:00。

1.3 监测指标与方法

选取化粪池排放气体的特征指标(气温、气速和湿度)、 H_2S 排放浓度、入流污水水质(pH、ORP、COD、水温、硫化物、硫酸盐)和入流污水流速作为监测指标,对 H_2S 的排放特征和影响因素进行研究。气体特征等指标在采样现场测定,污水的水温、pH和ORP在采集污水样后立即测定。其中, H_2S :M40 Pro便携式气体探测器和JSA5- H_2S 固定式在线监测仪;气温、湿度:605-H1温湿度仪;气速:405-V1热敏风速仪;pH、ORP、水温:HACH HQ 40d便携式多参数水质测定仪;流速:THWater智慧排水流量检测仪器;硫化物:亚甲基蓝分光光度法;COD:重铬酸盐法;硫酸盐:无机阴离子色谱法。

1.4 数据分析方法

考虑到现场实测化粪池气体气速和 H_2S 排放浓度的实时变化、波动性大等特点,将化粪池的气体

和H₂S排放简化为固定排放气速与H₂S浓度的模型,在波动范围内取其平均气速和排放浓度进行排放量计算。

根据该住宅区截止到2021年12月的住户数和北京市家庭户平均人数,估算出该住宅区化粪池全年人均H₂S排放总量,再结合北京市常住人口数,估算出北京市住宅区化粪池H₂S年排放总量。

住宅区单个化粪池通风口的H₂S排放量计算公式如下:

$$Q_{\text{排放量}} = A \times V_{\text{气速}} \times C \times T \quad (1)$$

式中: $Q_{\text{排放量}}$ 为单个化粪池通风口的H₂S排放量,mg; A 为化粪池通风口横截面面积,m²; $V_{\text{气速}}$ 为化粪池通风口平均气速,m/s; C 为化粪池通风口H₂S平均排放浓度,mg/m³; T 为化粪池通风口H₂S排放时间,s。

该小区化粪池通风口的横截面直径为0.1 m,横截面面积 A 为0.007 85 m²。气相指标、水质指标、污水流速与化粪池H₂S排放浓度的相关性采用Pearson相关性分析,并认为当相关性系数 $|R| \geq 0.8$ 时,为强相关关系;当 $0.5 \leq |R| < 0.8$ 时,为中等相关关系; $|R| < 0.5$ 为弱相关关系或不相关;显著性水平 $P \leq 0.05$ 时,该因素对化粪池H₂S排放浓度的影响显著,是主要的影响因素。

2 结果与讨论

2.1 各化粪池的排气量和H₂S排放浓度

2.1.1 住宅区化粪池的排气量

2020年11月—2021年9月,对该住宅区化粪池气体气速进行监测以计算其排气量。监测结果表明,1号、3号和5号化粪池通风口的平均气速较大,2号和4号化粪池通风口的平均气速较低,1~5号化粪池的平均气速分别为0.172、0.05、0.122、0.04和0.132 m/s。

由气速可计算出各化粪池通风口的排气量范围为27.1~116.7 m³/d,其中1号、3号和5号化粪池的排气量较大,分别为116.7、82.7和89.5 m³/d,2号和4号化粪池的排气量较低,分别为33.9和27.1 m³/d。可能的原因是较大容量化粪池内的有机物更多,污水停留时间更长,生化反应也能更充分地地进行,进而产生较大的排气量。

2.1.2 住宅区化粪池的H₂S排放浓度

对该住宅区化粪池的H₂S排放浓度进行为期近

一年的监测,结果表明,住宅区化粪池H₂S的排放浓度为(69.9±25.4) mg/m³(95%置信区间)。其中1号化粪池的平均H₂S排放浓度为112.7 mg/m³,2号、3号和4号化粪池的平均H₂S排放浓度分别为1.69、6.21和6.62 mg/m³,5号化粪池的平均H₂S排放浓度为138.8 mg/m³(见图1)。具体来看,1号和5号化粪池的平均H₂S排放浓度高于其他化粪池,一方面是因为1号和5号化粪池容量大、服务的住宅住户数多,大容量化粪池内的生活污水停留时间较长,污水中的硫酸盐能更充分地被还原分解成气态H₂S^[12];另一方面,较大的污水排放量也会对化粪池的污水进口区造成强烈的扰动,有利于加速污水中的H₂S向大气扩散^[8],最终导致这两个化粪池的H₂S排放浓度较高。

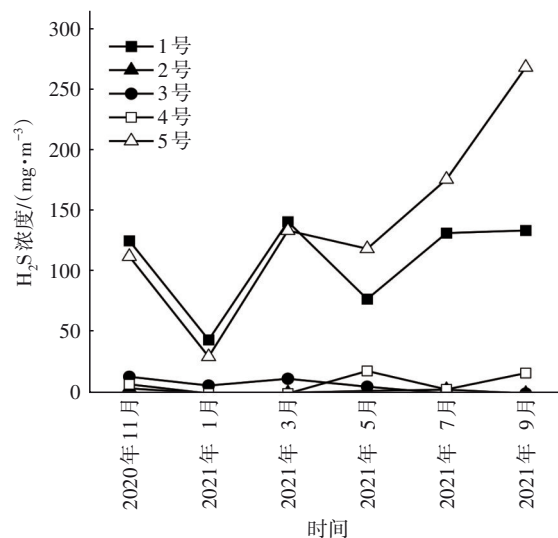


图1 化粪池H₂S排放浓度的月变化情况

Fig.1 Monthly variation of H₂S emission concentration from septic tanks

此外,1号化粪池和5号化粪池的H₂S排放浓度还呈现夏季高、冬季低的规律,和王智超^[8]在污水处理厂的实测情况较为一致。1号和5号化粪池在1月份的H₂S排放浓度最低,分别为44.2、30.4 mg/m³;1号化粪池在3月份的H₂S排放浓度最高为141.7 mg/m³,5号化粪池在9月份的H₂S排放浓度最高为269.2 mg/m³。这可能是由于化粪池内污水温度随季节变化,呈现夏季高、冬季低的特点,而水温又影响着化粪池内H₂S的挥发,继而影响着其H₂S的排放浓度^[11-13]。

为分析化粪池H₂S排放浓度的日变化情况,对H₂S排放浓度较高的1号和5号化粪池进行连续60

h的在线监测,结果如图2所示。在监测时间段内1号化粪池的 H_2S 最低排放浓度为 1.67 mg/m^3 ,最高浓度为 352.6 mg/m^3 ,平均排放浓度为 80.6 mg/m^3 ;5号化粪池的 H_2S 最低排放浓度为 65.7 mg/m^3 ,最高排放浓度为 290.2 mg/m^3 ,平均排放浓度为 177.2 mg/m^3 。

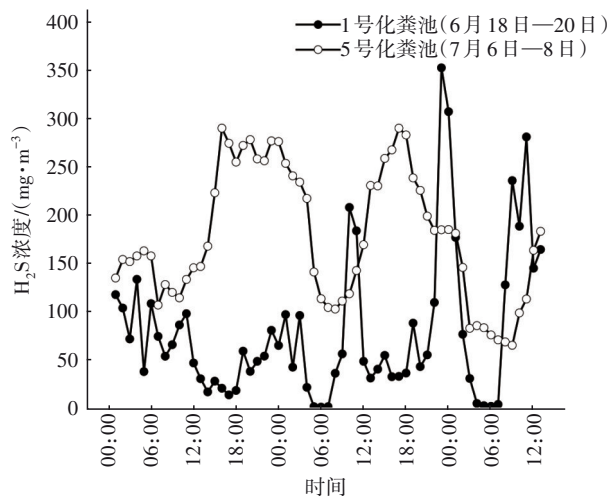


图2 1号和5号化粪池 H_2S 排放浓度随时间的变化

Fig.2 Temporal variation of H_2S emission concentration from No.1 and No.5 septic tanks

此外,1号和5号化粪池的 H_2S 排放浓度呈现出白天高、夜晚低的规律,且排放浓度的峰值明显。具体来看,1号化粪池在白天的用餐时段(06:00—08:00、11:00—14:00、18:00—19:00)和洗漱时段(23:00—01:00) H_2S 排放浓度较高,规律较为明显。这与韩彩云等^[14]和王智超等^[15]在污水处理厂实测 H_2S 排放浓度的时间变化特征研究结果相似,可能的原因是住宅居民的餐厨行为和洗漱沐浴行为导致用水量增加,污水流量增大时,流速增大,也就加大了污水对化粪池进水口的冲击扰动,促使液相中的 H_2S 更加容易得到释放。

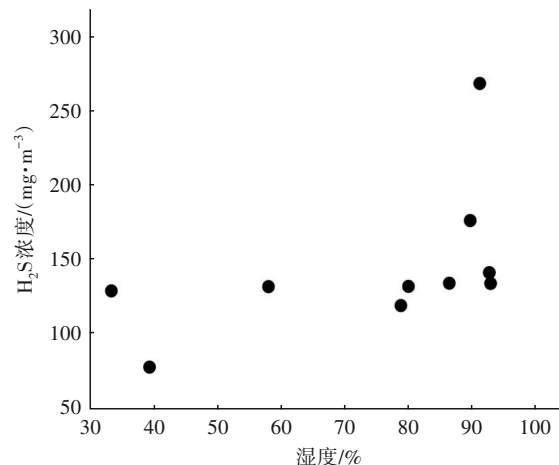
而5号化粪池的 H_2S 排放浓度在12:00—00:00持续保持着较高的状态,和1号化粪池在这段时间内的 H_2S 排放浓度呈相反的趋势,这可能是因为5号化粪池的服务住户以餐饮店为主,且餐饮店在下午和晚上为营业高峰期,导致这段时间内的用水量持续较高,进而影响着化粪池 H_2S 的排放浓度。

2.2 化粪池 H_2S 排放浓度的影响因素

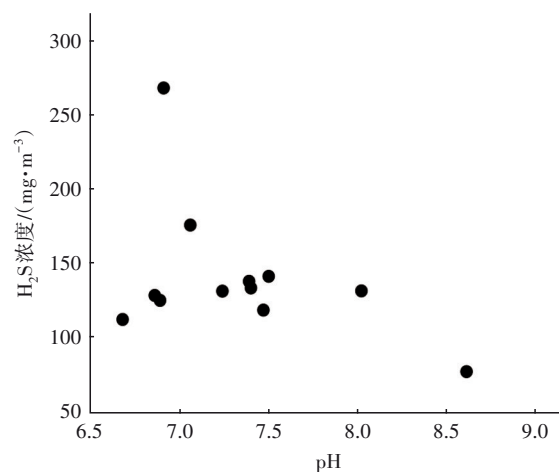
2.2.1 采样指标对化粪池 H_2S 排放浓度的影响

为探究在以年为单位的时间尺度下化粪池 H_2S 排放浓度的影响因素,对 H_2S 排放浓度较高的1号

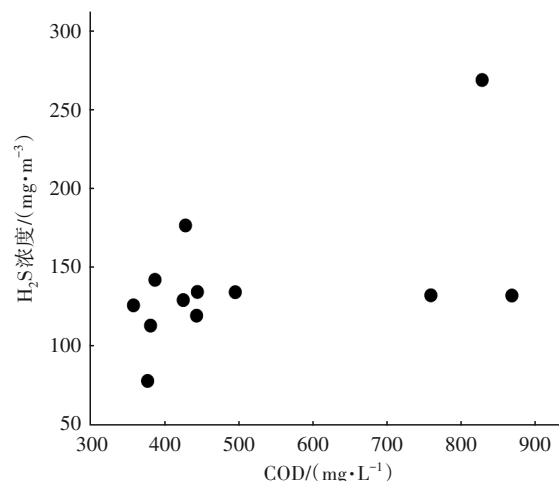
和5号化粪池进行采样指标与 H_2S 排放浓度的相关性和显著性水平检验。监测期间1号和5号化粪池 H_2S 的排放浓度范围为 $77.98\sim 269.2 \text{ mg/m}^3$,部分采样指标(气体湿度、pH、污水COD和硫化物)对 H_2S 排放浓度的影响如图3所示。



a. H_2S 浓度随湿度的变化



b. H_2S 浓度随pH的变化



c. H_2S 浓度随COD的变化

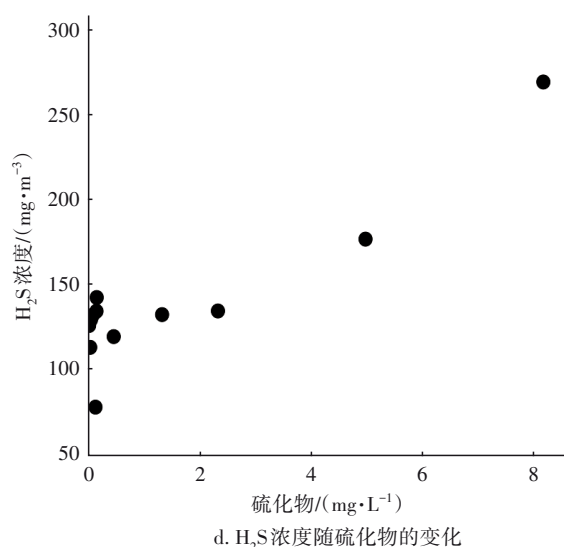


图3 部分采样指标对1号、5号化粪池H₂S排放浓度的影响

Fig.3 Effect of some sampling indicators on H₂S emission concentrations from No.1 and No.5 septic tanks

经测定,气速为0.1~0.5 m/s,气温为2.5~29.8 °C,水温为12.4~26 °C,硫酸盐为34~66.5 mg/L,ORP为-192.1~-23.6 mV,pH为6.68~8.61,湿度为33.4%~93%,COD为359~868 mg/L,硫化物为0.036~8.16 mg/L,以上各指标与H₂S排放浓度的相关性系数 R 分别为-0.11、0.12、0.28、-0.35、-0.36、-0.44、0.51、0.52、0.91,显著性系数 P 均小于0.05。可见,在以年为单位的时间尺度下,气相指标和污水水质指标对H₂S的排放浓度影响极显著,共同影响着化粪池H₂S的排放浓度。气体湿度、污水COD与H₂S排放浓度呈中等相关关系,污水硫化物与H₂S排放浓度有较强的相关性,为影响H₂S排放浓度的主要因素。

其余采样指标与H₂S排放浓度的正负相关关系和诸多研究一致^[10,12,16],气体的气速与H₂S排放浓度之间呈较弱的负相关关系;气温与H₂S排放浓度之间呈较弱的正相关关系,气温会在一定程度上影响污水水温,进而有利于污水中H₂S的释放;而气体湿度与H₂S排放浓度之间呈中等相关关系,因为气体湿度越高,表明化粪池中污水搅动较强,释放出含H₂S的水汽越多,在通风口处向气态H₂S转化后,H₂S排放浓度也就越高。

污水pH、ORP、硫酸盐和H₂S排放浓度呈负相关的关系,因为污水的pH升高将不利于H₂S的形成^[12,17],而较低的ORP表明污水具有较好的厌氧环境,有利于硫酸盐的还原。此外,污水水温与H₂S排

放浓度呈较弱的正相关关系,这也基本符合王智超等^[16]在污水处理厂的研究结果。污水COD与H₂S排放浓度呈正相关关系^[18],因为污水中高浓度的有机物能为硫酸盐还原菌提供更充足的电子供体。污水中的硫化物与H₂S排放浓度呈正相关关系,原因是较高浓度的硫化物和污水中氢离子结合后,会生成较高浓度的H₂S气体^[12]。

2.2.2 污水流速对H₂S排放浓度的影响

为探究短时间尺度下化粪池H₂S排放浓度的影响因素,对化粪池的进口污水流速与H₂S排放浓度进行分析,结果如图4所示。可以看出污水流速与H₂S排放浓度的变化趋势和波动情况较为一致,高峰期重合度较高。

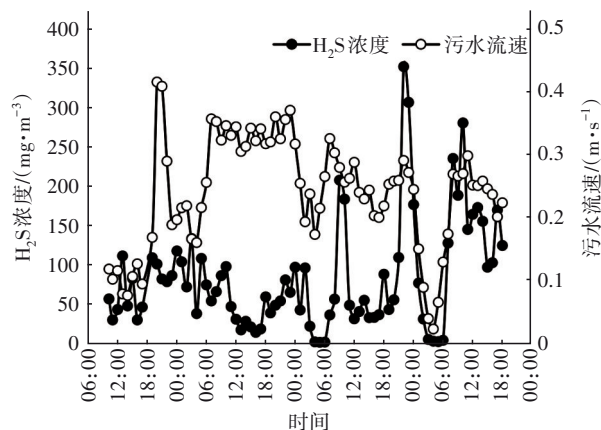


图4 污水流速对化粪池H₂S排放浓度的影响

Fig.4 Effect of influent flow rate on H₂S emission concentration from septic tanks

具体来看,化粪池H₂S排放浓度呈现白天时段高、夜晚时段低的特点,在07:00—10:00、12:00—14:00和18:00—01:00时间段H₂S排放浓度较高,02:00—06:00时间段较低。从污水流速来看,其随时间的变化更加明显,也呈现白天时段流速高、夜晚时段流速低的特点,这和韩彩云等人在污水处理厂的研究结果相似^[14]。对污水流速与H₂S排放浓度的相关性进行分析,得到两者间的Pearson相关系数 R 值为0.32,显著性系数 P 值为0.000,即在短时间内污水流速与H₂S排放浓度呈显著正相关关系,污水流速是影响H₂S排放浓度的重要因素。可能原因是用餐和洗漱时段的住宅用水量较大,污水流速较快,对池内污水更易造成强烈的扰动,有利于H₂S向大气中释放,反之亦然。

2.3 住宅区化粪池H₂S的排放量

根据化粪池通风口的气体风速和H₂S平均排放浓度的监测数据,对化粪池的H₂S排放量进行计算,结果如表2所示。

表2 住宅区化粪池H₂S的排放量

Tab.2 Emissions of H₂S from septic tanks in residential areas

化粪池	平均风速/ (m·s ⁻¹)	平均排放浓度/ (mg·m ⁻³)	排放速率/ (kg·d ⁻¹)	年排放量/ kg
1号	0.172	112.70	13.15×10 ⁻³	4.80
2号	0.050	1.69	0.06×10 ⁻³	0.02
3号	0.122	6.21	0.51×10 ⁻³	0.19
4号	0.040	6.62	0.18×10 ⁻³	0.07
5号	0.132	138.80	17.21×10 ⁻³	6.28
注: 5号化粪池的H ₂ S排放量为2个通风口的H ₂ S排放量之和。				

由表2可知,该住宅区化粪池H₂S的年排放总量为11.36 kg。该小区截至2021年12月共入住约2 100户,根据北京市第七次全国人口普查结果:家庭户平均规模为2.31人,由此计算出该住宅区化粪池H₂S的人均年排放量约为2.34×10⁻³ kg,截至2020年11月北京市常住人口为2 189.3万人^[19],估算出北京市住宅区化粪池H₂S的年排放总量为51.3 t。

3 结论

① 该住宅区化粪池的排气量范围为27.1~116.7 m³/d, H₂S的排放浓度为(69.9±25.4) mg/m³ (95%置信区间)。1号和5号化粪池的排气量和H₂S排放浓度较高,排气量分别为116.7、89.5 m³/d, H₂S平均排放浓度分别为112.7、138.8 mg/m³。

② 该住宅区化粪池H₂S的人均年排放量为2.34×10⁻³ kg,以此估算出北京市住宅区化粪池H₂S的年排放总量为51.3 t。

③ 从以年为单位的时间尺度来看,该住宅区化粪池的H₂S排放浓度随季节变化呈现出夏季高、冬季低的特点;H₂S排放浓度与污水pH、ORP等呈显著负相关,与气温、湿度、污水COD、硫化物呈显著正相关。其中,气体湿度、污水COD和硫化物为主要的影响因素。

④ 从短时间尺度来看,用餐时间段(06:00—08:00、11:00—14:00、18:00—19:00)和洗漱时间段(23:00—01:00)化粪池的H₂S排放浓度较高,规律较为明显;污水流速与H₂S排放浓度的时变化规

律相似,两者的Pearson相关系数 R 为0.32,污水流速是短时间内影响化粪池H₂S排放浓度的重要因素。

参考文献:

- [1] 盛彦清. 广州市典型污染河道与城市污水处理厂中恶臭有机硫化物的初步研究[D]. 北京:中国科学院研究生院,2007.
SHENG Yanqing. Primary Study on Odorous Organic Sulfides in Typical Polluted Rivers and Municipal Wastewater Treatment Plants in Guangzhou Urban [D]. Beijing: Graduate School, Chinese Academy of Sciences, 2007(in Chinese).
- [2] 唐小东. 城市污水处理厂挥发性有机恶臭污染物的来源及感官定量评价[D]. 广州:暨南大学,2011.
TANG Xiaodong. Source Identification and Sensory Quantitative Assessment of Malodorous Volatile Organic Compounds Emitted from Municipal Sewage Treatment Plant [D]. Guangzhou: Jinan University, 2011 (in Chinese).
- [3] AL SHAMMIRI M. Hydrogen sulfide emission from the Ardiyah sewage treatment plant in Kuwait [J]. Desalination, 2004, 170(1): 1-13.
- [4] 张丽丽,郭红峰,严国奇,等. 七格污水厂三期工程生物除臭系统的运行效果[J]. 中国给水排水,2020,36(1):69-73.
ZHANG Lili, GUO Hongfeng, YAN Guoqi, et al. Operation effect of biological deodorization system in Qige Sewage Treatment Plant (phase III project) [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(1): 69-73 (in Chinese).
- [5] 郝晓地,杨文字,林甲. 不可小觑的化粪池甲烷碳排放量[J]. 中国给水排水,2017,33(10): 28-33.
HAO Xiaodi, YANG Wenyu, LIN Jia. Non negligible carbon emission with methane from septic tanks [J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(10): 28-33 (in Chinese).
- [6] GOSTELOW P, PARSONS S A, STUETZ R M. Odour measurements for sewage treatment works [J]. Water Research, 2001, 35(3): 579-597.
- [7] NOYOLA A, MORGAN-SAGASTUME J M, LÓPEZ-HERNÁNDEZ J E. Treatment of biogas produced in anaerobic reactors for domestic wastewater: odor control and energy/resource recovery [J]. Reviews in Environmental Science and Biotechnology, 2006, 5

- (1): 93-114.
- [8] 王智超. 城市污水处理厂硫化氢排放特征及释放模型研究[D]. 北京:清华大学, 2013.
WANG Zhichao. Characteristics and Simulation of Hydrogen Sulfide Emission in a Municipal Wastewater Treatment Plant[D]. Beijing: Tsinghua University, 2013 (in Chinese).
- [9] KIM J, NAM Y, YU J, *et al.* Simultaneous removal of odorous and organic compounds in septic tanks using an electrolytic oxidation system [J]. Desalination and Water Treatment, 2014, 52(4/6):929-936.
- [10] ZUO Z, CHANG J, LU Z, *et al.* Hydrogen sulfide generation and emission in urban sanitary sewer in China: what factor plays the critical role? [J]. Environmental Science: Water Research & Technology, 2019, 5(5): 839-848.
- [11] 黄建洪. 城市生活排水系统废气产排污系数核算研究[D]. 昆明:昆明理工大学, 2013.
HUANG Jianhong. Study on Production Emissions Calculation of Exhaust Gas from Sewer System [D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2013(in Chinese).
- [12] 周新云, 黄建洪, 宁平, 等. 城市污水排水系统中H₂S控制措施的研究现状[J]. 环境科学与技术, 2013, 36(1): 74-78.
ZHOU Xinyun, HUANG Jianhong, NING Ping, *et al.* Hydrogen sulfide controlled in urban sewer system [J]. Environmental Science & Technology, 2013, 36(1): 74-78 (in Chinese).
- [13] 陈卫, 宋佩娣, 郑兴灿, 等. 污水系统中导致硫化氢中毒的影响因素与控制措施[J]. 给水排水, 2006, 22(1): 15-19.
CHEN Wei, SONG Peidi, ZHENG Xingcan, *et al.* Review of H₂S emission and safety issue in wastewater systems [J]. China Water & Wastewater, 2006, 22(1): 15-19(in Chinese).
- [14] 韩彩云, 张晶宇, 丁永伟, 等. 曝气沉砂池H₂S排放浓度的时间变化与影响因子[J]. 中国给水排水, 2020, 36(7): 74-77.
HAN Caiyun, ZHANG Jingyu, DING Yongwei, *et al.* Temporal variation characteristics and influencing factors of H₂S emission concentration in aerated grit chamber [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(7): 74-77 (in Chinese).
- [15] 王智超, 席劲瑛, 程志强, 等. 城市污水厂不同时间尺度下恶臭排放特征[J]. 环境科学与技术, 2014, 37(2): 84-88.
WANG Zhichao, XI Jinying, CHENG Zhiqiang, *et al.* Emission characteristics of odorants in a municipal wastewater treatment plant under different time scale [J]. Environmental Science & Technology, 2014, 37(2): 84-88 (in Chinese).
- [16] 王智超, 席劲瑛, 欧阳云, 等. 城市污水厂H₂S排放浓度与水质和泥质指标的相关性[J]. 环境科学研究, 2013, 26(9): 989-994.
WANG Zhichao, XI Jinying, OUYANG Yun, *et al.* Correlation between H₂S concentration and parameters of wastewater and sludge in a municipal wastewater treatment plant [J]. Research of Environmental Sciences, 2013, 26(9): 989-994(in Chinese).
- [17] GUTIERREZ O, SUDARJANTO G, REN G, *et al.* Assessment of pH shock as a method for controlling sulfide and methane formation in pressure main sewer systems [J]. Water Research, 2014, 48: 569-578.
- [18] DELGADO S, ALVAREZ M, RODRIGUEZ-GOMEZ L E, *et al.* H₂S generation in a reclaimed urban wastewater pipe. Case study: Tenerife (Spain) [J]. Water Research, 1999, 33(2): 539-547.
- [19] 北京市统计局. 北京市第七次全国人口普查主要数据情况 [EB/OL]. (2021-05-19) [2022-05-05]. http://tjj.beijing.gov.cn/bwtt_31461/202105/t20210519_2392700.html.
Beijing Municipal Bureau of Statistics. Main data of the seventh national census of Beijing [EB/OL]. (2021-05-19) [2022-05-05]. http://tjj.beijing.gov.cn/bwtt_31461/202105/t20210519_2392700.html(in Chinese).

作者简介:洛嘎(1995-),男,四川南充人,硕士研究生,主要从事恶臭污染控制研究。

E-mail: 1317453728@qq.com

收稿日期:2022-03-17

修回日期:2022-05-05

(编辑:李德强)