

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.01.005

破碎厨余垃圾对公共排水系统的影响

方文敏^{1,2}, 洪霄伟², 张赐华³, 王敏¹, 王建飞¹

(1. 垒知控股集团股份有限公司, 福建 厦门 361004; 2. 厦门市建筑科学研究院有限公司, 福建 厦门 361004; 3. 健研检测集团有限公司, 福建 厦门 361004)

摘要: 为探究破碎厨余垃圾对公共排水系统的影响,对我国厨余垃圾排水水质、污水管道设计、化粪池设计及维护开展了调查研究。厨余垃圾的COD:TN:TP=174.2:5.7:1,具备缓解污水处理厂碳源紧张的基础。破碎厨余垃圾排放至下水道后,管道末端污水的COD、TN和TP浓度分别为413.0、64.55和8.13 mg/L,化粪池出口污水的COD、TN和TP浓度分别为300.4、54.53和4.33 mg/L。破碎后的厨余垃圾颗粒直径在1.5~6.4 mm之间,在管道内的起动临界流速为0.014~0.037 m/s,远小于0.6 m/s,故因厨余垃圾处理器造成下水道堵塞的可能性较小。厨余垃圾处理器的应用会使化粪池的设计容积增加20.9%,同时可使清掏周期最大缩短68 d。

关键词: 破碎厨余垃圾; 厨余垃圾处理器; 污水水质; 排水系统

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2023)01-0034-05

Influence of Crushed Kitchen Waste on Public Drainage System

FANG Wen-min^{1,2}, HONG Xiao-wei², ZHANG Ci-hua³, WANG Min¹, WANG Jian-fei¹

(1. Lets Holding Group Co. Ltd., Xiamen 361004, China; 2. Xiamen Academy of Building Research Group Co. Ltd., Xiamen 361004, China; 3. Jianyan Test Group Co. Ltd., Xiamen 361004, China)

Abstract: The water quality, sewage sewer design, septic tank design and maintenance of kitchen waste drainage in China were investigated to explore the influences of crushed kitchen waste on public drainage system. The ratio of COD, TN and TP in kitchen waste was 174.2:5.7:1, which had the potential to alleviate the shortage of carbon source in sewage treatment plants. After the crushed kitchen waste was discharged into the sewer, the COD, TN and TP in the sewage at the end of the sewer were 413.0 mg/L, 64.55 mg/L and 8.13 mg/L, respectively, and those in the sewage at the outlet of the septic tank were 300.4 mg/L, 54.53 mg/L and 4.33 mg/L, respectively. The diameter of crushed kitchen waste particles was between 1.5 mm and 6.4 mm, and the starting critical velocity in the sewer was between 0.014 m/s and 0.037 m/s, which was much less than 0.6 m/s. Therefore, the possibility of sewer blockage caused by kitchen waste disposal was small. The application of kitchen waste disposal increased the design volume of septic tank by 20.9%, and shortened the cleaning cycle by the maximum of 68 days.

Key words: crushed kitchen waste; kitchen waste disposal; sewage quality; drainage system

随着城镇化水平和居民生活品质的提高,我国城市生活垃圾产量已在20年内翻了一番,且仍在以

较高速度增长,生活垃圾处理成了城市面临的一大难题。而我国厨余垃圾占生活垃圾的比例最高,约为69.3%^[1],是处理好生活垃圾的关键。厨余垃圾具有含水率高、含盐量高、有机质含量高、热值低、生物降解性能好等特性。虽然处理生活垃圾的方式很多,但是厨余垃圾的这些特性导致常规的卫生填埋、焚烧或堆肥等垃圾处理方式会出现新的环境问题。例如,厨余渗沥液会造成地下水 and 环境污染;有机质发酵产生的甲烷等易爆气体,会加剧安全隐患;高含水率和低热值导致焚烧效率低、二噁英问题加重。此外,容易发酵渗水的厨余垃圾在投放和运输过程中,容易对环境造成二次污染。因此,实施垃圾分类,将厨余垃圾从生活垃圾中分离成为重要的解决措施。

厨余垃圾处理器(FWD)是一种从源头分离厨余垃圾的常见方式,可以将厨余垃圾就地破碎成颗粒冲入下水道,这种处理方式在许多国家和地区已被推行使用。全球超过90个国家在使用厨余垃圾处理器,美国一些城市的安装率高达90%,新西兰、澳大利亚和日本家庭安装率也分别达到了30%、20%和35%。厨余垃圾处理器甚至被列入美国国家绿色建筑标准,80%的新建住房将厨余垃圾处理器作为一个户内的标准配件。国内北京、上海、深圳、厦门等城市从2012年起也相继发布了管理条例和法规,鼓励使用或要求精装修配套安装厨余垃圾处理器。经调研,近年国内的家庭厨余垃圾处理器销售量已出现快速增长,工程市场和零售市场均有稳步增长的趋势。

将厨余垃圾从生活垃圾中分离并转移到排水系统中,虽然可以降低垃圾清运难度和处理负荷,避免环境二次污染,但是在我国饮食习惯和排放制度下,厨余垃圾破碎后的排放水质是否达标、厨余颗粒是否会造成排水管堵塞、是否会增加化粪池处理负荷等问题亟需研究。笔者在对我国厨余垃圾排水水质、污水管道设计、化粪池设计及维护的调查研究基础上,初步探讨了厨余垃圾处理器的应用对公共排水系统的影响。

1 材料与方法

本研究以厦门市住区作为调研对象,选择精装修配套安装FWD的小区7个,小区采用的FWD为Bone-Hammer、In Sink Erator、JOINTWAY三家公司

生产的工程定制款。在调研小区中,随机抽取6户居民于6月进行为期1周的厨余垃圾收集试验。收集的厨余垃圾根据破碎难度主要可分为4类:一类为残羹剩饭、茶叶渣、咖啡渣、橘皮、蔬菜枝梗;二类为西瓜皮、玉米棒;三类为虾壳、鱼骨、蛋壳、花生壳、开心果壳、苹果核;四类为鸡骨、蟹壳、小排骨、羊蝎子。以每户为单位,经厨余垃圾处理器破碎后采集样本进行化验,测定的指标包括溶解性总固体(TDS)、总磷(TP)、总氮(TN)、化学需氧量(COD)、动植物油。同样地,对7个小区的排水样本进行逐一收集(采样点见图1),测定破碎厨余垃圾经管道运输后和经化粪池处理后的各项指标。

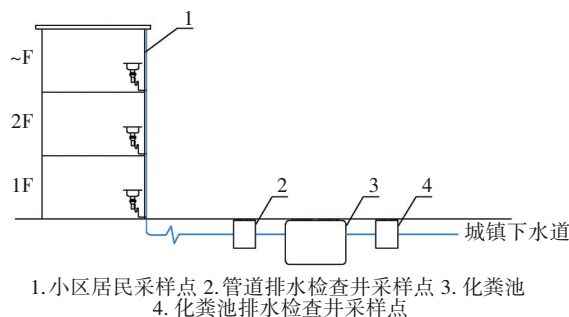


图1 采样点布置示意

Fig.1 Layout of sampling points

2 结果与分析

2.1 破碎厨余垃圾性质

破碎厨余垃圾(含破碎用水)具有高盐高油的特点。经测试(采样点1),TDS在5 520~19 770 mg/L之间,平均值为12 269 mg/L;动植物油在661~2 140 mg/L之间,平均值为1 265 mg/L。高盐度废水的离子强度大,可造成微生物壁分离、细胞失活,当TDS>5 000 mg/L时,会导致活性污泥系统不可逆崩溃^[2]。美国环保署2004年的统计数据显示,美国每年有47%的下水道堵塞是由油脂引起的,油脂长期在管道中冷凝固化或形成坚硬、难溶的油脂沉积物(以金属离子脂肪酸盐为主的混合物),是导致管道过水能力下降的原因^[3]。

破碎厨余垃圾的碳氮比较高。破碎厨余垃圾的COD浓度在8 210~12 000 mg/L之间,平均值为10 436.7 mg/L;TN浓度在279~384 mg/L之间,平均值为342.7 mg/L;TP浓度在56.6~64.0 mg/L之间,平均值为59.9 mg/L。经破碎处理后厨余垃圾的COD:TN:TP为174.2:5.7:1,与其他研究者得出的200:4.5:1^[4]、400.9:4.7:1^[5]有所不同,这可能是不

同的饮食习惯造成的。

2.2 传输过程中的水质影响

目前,我国对污水排放标准有明确规定,对是否设置化粪池之类的污水前端处理设施并未作要求。因此存在2种生活污水排放模式:市政管网及污水处理系统完善且采用分流制的城区已在逐步取消化粪池,生活污水直接排入城镇下水道,以适应不断完善的城市污水管网和污水处理设施;其他地区仍然设置化粪池,生活污水经化粪池预处理后再排入城镇下水道。但居民生活污水排入城镇下水道,都需要符合《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T 31962—2015)的要求。

管道末端含有破碎厨余垃圾的生活污水各项指标浓度显著降低,碳氮比明显减小。管道末端采样点2的排水COD在309.0~517.0 mg/L之间,平均值为413.0 mg/L;TN浓度在58.30~70.80 mg/L之间,平均值为64.55 mg/L;TP浓度在3.86~12.40 mg/L之间,平均值为8.13 mg/L;TDS在1 210~1 380 mg/L之间,平均值为1 295 mg/L;动植物油在0.22~5.72 mg/L之间,平均值为2.97 mg/L。管道末端含破碎厨余垃圾的生活污水的COD:TN:TP为50.8:7.9:1。这是因为污水管道是连接污水源头与末端释放的重要部分,在污水传输过程中,管道沉积物表面的微生物会降解污水中的污染物质^[6]。管道内环境与污水处理系统有很多相似之处,可作为小型生物反应器,污水中存在的微生物、基质以及电子受体在管道沉积物中均存在,与污水处理系统不同的只是管道沉积物中异养菌浓度较低、基质浓度较高^[7]。此外,其他生活污水与厨余污水存在室外合流,因此破碎厨余垃圾污染物浓度的减小是微生物降解、油脂反应沉积、室外合流稀释的共同作用。结合前述破碎厨余垃圾的COD、TN、TP、TDS、动植物油含量,按厨余垃圾粉碎过程用水量9.31 L/(人·d)^[8]和人均日用水量174.33 L/(人·d)进行权重法估算,结果见表1。可知,破碎厨余垃圾排入生活污水中,各项指标浓度增量可观,因此破碎厨余垃圾

未经处理直接排入下水道增加了排放水质超标的可能性。

表1 破碎厨余垃圾对生活污水浓度的影响

Tab.1 Effect of crushed kitchen waste on domestic sewage concentration

项 目	权重/%	增量/(mg·L ⁻¹)
COD	5.07	529.1
TN	5.07	17.4
TP	5.07	3.0
TDS	5.07	622.0
动植物油	5.07	64.1

化粪池出口含有破碎厨余垃圾的生活污水的碳氮比变化不大,但各污染物浓度仍有降低。化粪池出口采样点4的排水COD在76.6~412.0 mg/L之间,平均值为300.4 mg/L;TN浓度在43.30~80.30 mg/L之间,平均值为54.53 mg/L;TP浓度在2.96~6.92 mg/L之间,平均值为4.33 mg/L;TDS在305~487 mg/L之间,平均值为390.2 mg/L;动植物油在0.06~6.25 mg/L之间,平均值为3.68 mg/L。含破碎厨余垃圾的化粪池排水COD:TN:TP为69.4:12.6:1。

从含破碎厨余垃圾的生活污水在排水系统中的水质变化情况可以看出,除了直接排放至下水道之外,经化粪池处理后的水质可以满足二级污水处理的要求。但是随着含碳有机物的分解,管道末端和化粪池出水口的污水碳源浓度分别下降为413.0、300.4 mg/L,不利于生化细菌的繁殖,脱氮除磷效果也随之降低。

2.3 对污水管道的影响

从理论上讲,厨余垃圾颗粒是否会在管道中沉积,取决于颗粒的临界起动流速。临界起动流速是颗粒起动时的水流平均速度。颗粒在管道中受到重力、水流拖拽力、水流上举力的作用。经市场调研,厨余垃圾处理器处理后的颗粒直径在1.5~6.4 mm之间,破碎厨余垃圾颗粒密度取1 388.1 kg/m³,可计算临界起动流速。本研究根据Shields曲线图,采用辅助线法计算。辅助线参数值A计算如下:

$$A = \frac{D}{v} \sqrt{0.1 \frac{\rho_s - \rho}{\rho} g D} = \frac{6.4 \times 10^{-3}}{10^{-6}} \sqrt{0.1 \times \frac{1388.1 - 1000}{1000} \times 9.8 \times 6.4 \times 10^{-3}} = 315.8 \quad (1)$$

据此可查得D=6.4 mm的颗粒在Shields曲线上的临界起动Shields数 $\theta_c=0.052$ 。临界起动剪切应力为: $\tau_c = \theta_c(\rho_s - \rho)D = 0.052 \times (1388.1 - 1000) \times$

$9.8 \times 6.4 \times 10^{-3} = 1.27 \text{ Pa}$ 。则临界起动剪切流速为: $U_{*c} = (\tau_c / \rho)^{0.5} = (1.27 \div 1000)^{0.5} = 0.036 \text{ m/s}$ 。由Shields曲线上查得该点颗粒雷诺数 $Re=236$,则可验

证临界起动剪切流速为: $U_{*c} = Re \cdot v/D = 236 \times 10^{-6}/(6.4 \times 10^{-3})=0.037 \text{ m/s}$ 。

同理,可计算粒径在 1.5~6.4 mm 之间的厨余垃圾颗粒的临界起动流速。在计算范围内,基于颗粒临界起动 Shields 数的计算值与基于雷诺数计算的验证值基本吻合,临界起动流速与厨余垃圾颗粒粒径呈正相关(见图 2),范围在 0.014~0.037 m/s 之间,均低于《室外排水设计标准》(GB 50014—2021)中最小设计流速 0.6 m/s 的要求。由此可见,厨余垃圾颗粒不会在污水管道中淤积。

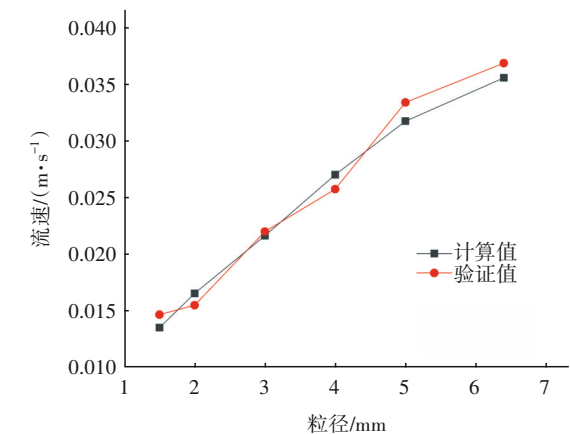


图2 厨余垃圾颗粒的临界起动流速
Fig.2 Critical starting velocity of kitchen waste particles

除最低流速外,破碎厨余垃圾是否会在污水输送过程中堵塞管道,还取决于最小管径和最小坡度。对比中美两国的污水管道设计规范不难发现,我国对最小流速、最小管径和最小坡度的要求均略高于美国(见表 2)。而美国从 20 世纪 40 年代发明厨余垃圾处理器开始,就已经逐步普及使用厨余垃圾处理器,长期的实践中尚没有因厨余垃圾沉积而堵塞管道的现象。

表2 中美污水管道设计规范对比
Tab.2 Comparison of sewage pipeline design codes between China and USA

项 目	规范要求	
	美国	中国
最小流速/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	0.6(满流、半满流)	0.6(设计充满度下)
管道规格	管径为 200 mm;粗糙度为 0.001 3、0.001 5	管径为 300 mm;粗糙度为 0.012~0.030
最小坡度	要求尽可能减少开挖深度,同时保证流速	根据管道规格进行具体坡度的规定

2.4 对化粪池的影响

破碎厨余垃圾对化粪池的潜在影响主要在于化粪池的设计容积和清掏周期。有研究表明,使用厨余垃圾处理器的用水量增量平均为 9.31 L/(人·d)^[8],选择设计人数为 500 人,可计算化粪池容积增量。

采用《03S702 钢筋混凝土化粪池》图集设计方法计算,化粪池有效容积由污水容积 W_1 和污泥容积 W_2 组成,计算如下:

$$W=W_1+W_2=\frac{N\alpha qt}{24 \times 10^3} + \frac{0.48aNaT}{10^3}\zeta \quad (2)$$

式中: N 为设计人数,人; α 为使用卫生器具人数占总人数的百分比; q 为每人每天产生的污水量, L/(人·d); t 为污水在化粪池内的停留时间, h; a 为每人每天产生的污泥量, L/(人·d); T 为化粪池最小清掏周期, d; ζ 为排入破碎厨余垃圾后污泥增加系数, $\zeta=1.43$ 。

住宅的 α 取 70%, 污水停留时间 t 一般为 12 h; 每人每天产生的污水量与人均用水量相同, 根据《2020 中国统计年鉴》中的数据, q 为 174.33 L/(人·d); 生活污水一般在室外合流后进入化粪池, a 取 0.7 L/(人·d); 根据《建筑给水排水设计标准》(GB 50015—2019)及相关研究, 污泥在冬季水温为 10 °C 时的发酵消解时间为 120 d, 化粪池清掏周期不应小于 120 d^[9], 因此化粪池最小清掏周期 T 取 180 d; 根据前人的研究成果^[10], 破碎厨余垃圾排放至污水处理系统导致污泥增加约 43%, 因此破碎厨余垃圾排入化粪池的污泥增加系数 ζ 为 1.43。据此可计算得出, 破碎厨余垃圾排入化粪池前后的设计容积分别为 51.68、62.48 m³, 增幅为 20.9%。

目前,《建筑给水排水设计标准》(GB 50015—2019)只规定了化粪池最小清掏周期,未规定最大清掏周期。许多住宅区为了减少管理费用,化粪池长期未清掏,造成污泥堆积,减少了化粪池的有效容积,加剧了污水短流,导致化粪池出水水质恶化。破碎厨余垃圾的排入,将进一步加剧这一现象。当化粪池达到最大清掏周期时,有效容积近似等于污泥容积,即: $W_{\max}=W$, 池中仅有上层浮渣流出, 污水停留时间为 0, 由此可计算出化粪池的最大清掏周期。经计算, 破碎厨余垃圾排入化粪池前后的最大清掏周期分别为 439、371 d, 缩短了 68 d。

3 结论

结合试验研究和调研分析,破碎厨余垃圾对公共排水系统的影响有:①破碎后的厨余垃圾有机质含量高、碳氮比高,有利于污水处理厂的碳源补充;②当破碎厨余垃圾直接排放至下水道时,增加了管道末端排放水质超标的风险;③当使用化粪池预处理时,需要将化粪池的设计容积增大20.9%,将最大清掏周期缩短68 d。

同时,实施厨余垃圾破碎直接排放还具有一定难度:①我国污水管网普遍存在结构性和功能性缺陷,合流制溢流、分流制错接混接现象普遍,破碎厨余垃圾进入管网,输送过程中存在渗漏、溢流、错误排放的风险;②化粪池普遍存在管理不到位、长期不清掏的问题,破碎厨余垃圾排入化粪池,存在加剧污水短流,进一步恶化水质,甚至造成污水溢流的风险。

因此,厨余垃圾破碎处理应充分考虑其影响和实施难点,并做到:①采用耐化学和生物腐蚀的管网设计;②定期对管道进行冲洗、检修;③采用最大清掏周期和最小清掏周期对化粪池进行管理。

参考文献:

- [1] QU X Y, LI Z S, XIE X Y, *et al.* Survey of composition and generation rate of household wastes in Beijing, China [J]. *Waste Management*, 2009, 29(10): 2618–2624.
- [2] 李凤娟, 徐菲, 李小龙, 等. 高盐度废水处理技术研究进展[J]. *环境科学与管理*, 2014, 39(2): 72–75.
LI Fengjuan, XU Fei, LI Xiaolong, *et al.* Research on treatment of high salinity wastewater [J]. *Environmental Science and Management*, 2014, 39(2): 72–75 (in Chinese).
- [3] 王越. 污水管道中油脂沉积物的形成机理及控制方法的研究进展[J]. *当代化工研究*, 2018(3): 104–107.
WANG Yue. Study on the formation of fat, oil and grease (FOG) deposits in sewer pipes [J]. *Chemical Intermediate*, 2018(3): 104–107 (in Chinese).
- [4] 李鹏峰, 隋克俭, 李家驹, 等. 破碎厨余垃圾进入市政污水管网的若干问题[J]. *中国给水排水*, 2020, 36(16): 35–39.
LI Pengfeng, SUI Kejian, LI Jiaju, *et al.* Several problems of broken kitchen waste into municipal sewage pipe network [J]. *China Water & Wastewater*, 2020, 36(16): 35–39 (in Chinese).
- [5] 吴远远, Giwa Abdulmoseen Segun, 郑明霞, 等. 基于破碎处理的家庭厨余垃圾减量及其对下水的影响[J]. *环境工程学报*, 2016, 10(5): 2576–2580.
WU Yuanyuan, Giwa Abdulmoseen Segun, ZHENG Mingxia, *et al.* Household kitchen waste treatment based on food waste disposers in China [J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2016, 10(5): 2576–2580 (in Chinese).
- [6] 李海燕, 崔爽, 黄延, 等. 管道沉积物氮及有机物污染特性研究进展[J]. *水利水电科技进展*, 2014, 34(5): 80–85.
LI Haiyan, CUI Shuang, HUANG Yan, *et al.* Research progress on pollution characteristics of nitrogen and organics in sewer sediment [J]. *Advances in Science and Technology of Water Resources*, 2014, 34(5): 80–85 (in Chinese).
- [7] 张涛, 周丹. 城市排水管道污水水质的变化过程[J]. *环境科学与技术*, 2007, 30(8): 112–114.
ZHANG Tao, ZHOU Dan. Transformation of wastewater quality in municipal sewer [J]. *Environmental Science & Technology*, 2007, 30(8): 112–114 (in Chinese).
- [8] 李江华, 牟心鸣, 张建军, 等. 食物垃圾处理器对城市污水系统的影响研究[J]. *给水排水*, 2011, 37(S1): 105–110.
LI Jianghua, MOU Xinming, ZHANG Jianjun, *et al.* Study on the effect of food waste disposal on urban sewage system [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2011, 37(S1): 105–110 (in Chinese).
- [9] 李翠梅. 化粪池污泥作用与清掏周期的研究[J]. *给水排水*, 2007, 33(9): 124–126.
LI Cuimei. Research on the working cycle of septic tank [J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2007, 33(9): 124–126 (in Chinese).
- [10] ZAN F, IQBAL A, GUO G, *et al.* Integrated food waste management with wastewater treatment in Hong Kong: transformation, energy balance and economic analysis [J]. *Water Research*, 2020, 184: 116155.

作者简介:方文敏(1993—),男,福建泉州人,硕士,工程师,从事绿色建筑与建筑环境研究。

E-mail:fangwenmin1222@foxmail.com

收稿日期:2021-07-22

修回日期:2021-10-22

(编辑:刘贵春)