

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.16.007

破碎厨余垃圾进入市政污水管网的若干问题

李鹏峰, 隋克俭, 李家驹, 孙永利, 张岳, 张秀华
(中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300074)

摘要: 围绕厨余垃圾破碎进入市政污水管网的可行性,开展了破碎厨余垃圾的常规指标测试、静沉试验、管道流动模拟试验等研究。根据破碎厨余垃圾的常规指标检测结果,测算其 COD : TN : TP 约为 200 : 4.5 : 1。静沉试验表明,破碎厨余垃圾静沉后分为油脂层、清液层、悬浊层和沉积层,所占比例分别为 5%、40% ~ 60%、20% ~ 30%、10%,破碎厨余垃圾的最优静沉时间为 5 h。模拟验证了破碎厨余垃圾在管道中流动的临界流速为 0.21 m/s,小于室外排水规范要求的 0.6 m/s,破碎厨余垃圾理论上不会在污水管道内沉积。综合以上试验结果,结合我国市政排水管网存在的结构性和功能性缺陷,探讨了破碎厨余垃圾入市政污水管网的潜在影响、实施优点及难点。研究表明,在我国现状管网条件下推行破碎厨余垃圾入市政管网的条件还不够成熟,需慎重考虑。

关键词: 破碎厨余垃圾; 市政管网; 最优静沉时间; 临界流速

中图分类号: TU99 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)16-0035-05

Several Problems of Broken Kitchen Waste into Municipal Sewage Pipe Network

LI Peng-feng, SUI Ke-jian, LI Jia-ju, SUN Yong-li, ZHANG Yue, ZHANG Xiu-hua
(North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300074, China)

Abstract: To determine the feasibility of broken kitchen waste draining into the municipal sewage pipe network, the conventional indicators detection, static settling test, pipeline flow simulation test and other research of the broken kitchen waste were carried out. The conventional index of broken kitchen waste showed that its COD : TN : TP was about 200 : 4.5 : 1. The static settling test showed that the broken kitchen waste was divided into grease layer, supernatant layer, suspended layer and sedimentary layer, the proportion was 5% , 40% - 60% , 20% - 30% , 10% , respectively, and the optimal static settling time of broken kitchen waste was 5 h. The simulation verified that the critical flow rate of broken kitchen waste flowing in the pipe was 0.21 m/s, which was less than 0.6 m/s required by outdoor drainage specification, and the broken kitchen waste would not be deposited in the sewage pipe in theory. Based on the above test results and the structural and functional defects of the municipal drainage pipe network in China, the potential influence, implementation advantages and difficulties of the broken kitchen waste into the municipal sewage pipe network were discussed. The research showed that the conditions for implementing the broken kitchen waste into the municipal pipe network are not mature enough under the conditions of the current state pipe network in China, which should be carefully considered.

Key words: broken kitchen waste; municipal pipe network; optimal precipitation time; critical velocity

随着我国城市化进程及城市现代化发展,城市垃圾特别是家庭生活垃圾已经成为制约我国城市发展的重要难题。而厨余垃圾在家庭生活垃圾中的比例最高,在我国达到69.3%^[1],在处理处置时,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点^[2-3],导致传统的卫生填埋、焚烧和堆肥等垃圾处置方式呈现各种各样的问题。例如,含水率高导致运输困难及填埋时渗滤液污染严重;高含水率及热值低导致焚烧效果差、经济效益下降等。与国际相比,我国的烹饪特点使得厨余垃圾的含水率更高,处理难度更大。

为此,实施垃圾分类,将厨余垃圾从生活垃圾中分离成为重要解决措施。欧洲采取垃圾分类多年,但大部分的有机垃圾依然混合收集。欧盟绿色报告指出,仅有30%的有机垃圾被分类收集并生物处理。在我国,生活垃圾基本为混合收集,2017年国家发展和改革委员会、住房和城乡建设部发布《生活垃圾分类制度实施方案》,指出必须将有害垃圾强制分类,易腐垃圾、可回收物的分类根据各地实际情况具体确定。易腐垃圾包括餐厨垃圾、农贸市场垃圾等。2019年在上海率先逐步实施的垃圾分类行动如火如荼,但需要的人力、物力、财力较大,需要全社会参与,在我国现有条件下推行难度明显可见。

调研发现,将家庭厨余垃圾在户内进行破碎处理后排入下水道,通过市政污水管网输送最终进入城市污水处理厂处理,正在成为越来越多的国家解决厨余垃圾处置问题的新兴途径。全球超90个国家使用厨余垃圾破碎机,美国94%的城市使用了垃圾破碎机,新西兰和澳大利亚也分别达到了30%和20%,我国如果推行厨余垃圾破碎入市政管网,必然可以降低垃圾清运处理的难度和费用,减少生活垃圾中易降解湿垃圾含量,减少恶臭气体产生,但破碎后的厨余垃圾会不会堵塞小区管道或市政管网,对后续的污水处理厂有何影响等问题亟需研究。为此重点对破碎后的厨余垃圾的常规指标、静沉分层特性、管道中的流动性能模拟等开展了试验研究,针对试验结果,结合我国市政排水管网存在的结构性和功能性缺陷,探讨了破碎厨余垃圾入市政污水管网的潜在影响、实施优点及难点。

1 我国厨余垃圾现状

根据国家2018年统计年鉴数据,2017年我国城市生活垃圾总产量约为 2.15×10^8 t,城市人均垃

圾产量约为 $0.73 \text{ kg}/(\text{人} \cdot \text{d})$ 。随着人口增长和经济快速发展,我国生活垃圾产生量正以每年8%~10%的速度增长。但目前仅有30%左右的生活垃圾采用焚烧或堆肥的方式进行处理,大部分仍采用废地堆放或填埋的方式,不仅占用了大量土地,而且产生了大量的渗滤液及有害气体,对土壤、地下水和空气造成严重的二次污染。据相关统计,全国厨余垃圾产生量已突破 0.9×10^8 t,其主要成分为两大类:一类为主食、蔬菜、肉骨及油脂等高有机质类,另一类为用过的纸包装、筷子、牙签、塑料袋等。作为生活垃圾的主要组分,厨余垃圾的有效处理处置成为解决垃圾围城的重要突破点。

2 厨余垃圾破碎后的常规指标测试

为研究厨余垃圾破碎后的特性,采用勒科斯LK-980型厨余垃圾破碎机,如图1所示,对取自江苏某污水处理厂综合食堂的厨余垃圾(含剩菜剩饭)进行破碎处理,并对其常规指标进行检测化验。厨余垃圾破碎后常规指标包括含水率、含油量、沉降性能、TCOD(总COD)、SCOD(溶解性COD)、TP、STP(溶解性TP)、氨氮和TN。



图1 破碎厨余垃圾测试装置实景

Fig. 1 Test device for the broken kitchen waste

破碎后的厨余垃圾,含水率 $>90\%$,含油量为30%~40%,TCOD为30~70 mg/g,SCOD占TCOD的比例为20%~40%,TP为300~600 mg/kg,STP占TP的比例 $<10\%$,TN为400~1 200 mg/kg,氨氮占TN的40%左右。经核算,COD:TN:TP约为200:4.5:1。

破碎后的厨余垃圾粒径在1.5~10 mm之间,其中米粒等主食类成半糊状,粒径为1.5~3 mm;骨头肉类等成糜状,粒径为2~4 mm;蔬菜类呈碎片

状,粒径为5~10 mm。

3 破碎厨余垃圾静沉试验

对破碎后的厨余垃圾开展静沉试验,分析其沉降性能及分层特性,并检测清液层的主要污染物指标,为后续核算进入管网及污水处理厂的影响提供数据支撑。将破碎后的厨余垃圾按人均日生活污水产生量130 L和日厨余垃圾产生量0.3 kg/(人·d)进行混合,放入1 L的量筒中进行静沉试验,分别在0.5、1、2、3、5、7、12 h读取沉降时间段的分层情况及取样分析清液层的主要污染物指标,包括COD、SCOD、TN、STN(溶解性TN)、TP、STP、氨氮、硝酸盐氮、有机氮等。具体结果见图2~6。

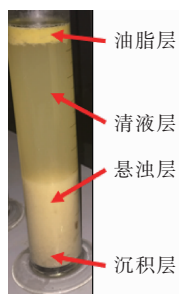


图2 破碎厨余垃圾静沉分层

Fig. 2 Static settling stratification of broken kitchen waste

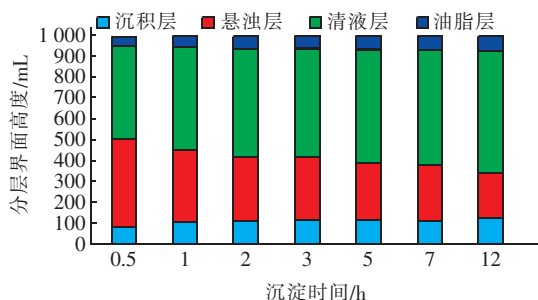


图3 不同沉淀时间下的破碎厨余垃圾分层对比

Fig. 3 Comparison of stratification of broken kitchen waste at different precipitation time

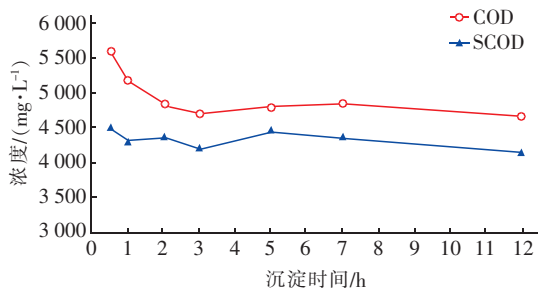


图4 不同沉淀时间下清液层COD及SCOD变化趋势

Fig. 4 Change trend of COD and SCOD in supernatant layer at different precipitation time

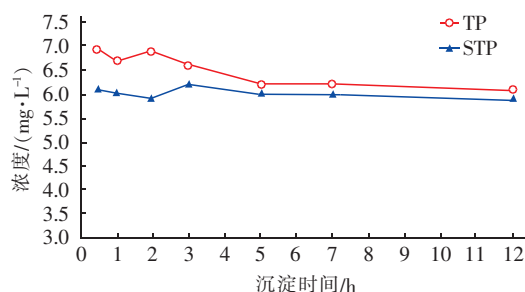


图5 不同沉淀时间下清液层TP及STP变化趋势

Fig. 5 Change trend of TP and STP in supernatant layer at different precipitation time

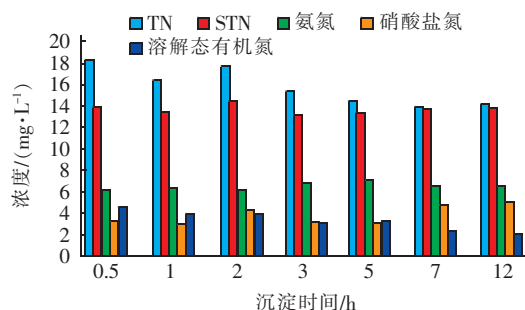


图6 不同沉淀时间下清液层氮组分变化趋势

Fig. 6 Change trend of nitrogen components in supernatant layer at different precipitation time

由图2可知,静沉后的破碎厨余垃圾呈现出4层分层特性,由上至下分为油脂层、清液层、悬浊层和沉积层。其中,油脂层占比最低,为5%左右;清液层占比最大,为40%~60%;悬浊层占比次之,为20%~30%;沉积层占比10%左右。

由图3可知,随着沉淀时间的延长,4个分层中,油脂层厚度略有提升,清液层明显增厚,悬浊层明显压缩,沉积层略有提升。从技术经济性分析,选择5 h左右的沉淀时间较为合理,成层情况基本稳定,可作为后续破碎厨余垃圾的沉淀、隔油等处理的参数。

从图4、图5数据分析可知,清液层的COD和TP均以SCOD和STP为主,所占比例均值分别为87%和91%。随着沉淀时间的延长,清液层中的颗粒态COD和TP逐步沉淀至悬浊层或沉积层,导致COD和TP呈现下降趋势,沉淀5 h左右时达到相对稳定,而SCOD和STP的浓度值随沉淀时间总体变化不明显。

从图6清液层氮元素的变化趋势分析,随着沉淀时间的延长,清液中颗粒态TN逐渐沉淀至悬浊层或沉积层,沉淀5 h左右,TN浓度基本达到稳定。

清液层中 TN 以 STN 为主,随着沉淀时间延长,STN、氨氮、硝酸盐氮和溶解态有机氮浓度总体变化不大,STN 中氨氮所占比例最高,在 50% 左右,硝酸盐氮和溶解态有机氮含量相当,在 20% 左右。

4 破碎厨余垃圾管道流动模拟试验

取厨余垃圾破碎物 1 L,与 4 L 自来水混合,配制成 5 L 厨余垃圾原液,通过 $\varnothing 2$ cm 的有机玻璃管,用蠕动泵控制流量和流速,通过循环流动,考察不同流速下的沉积特性。厨余垃圾原液进入有机玻璃管后,静态时自然形成油脂层、清液层、悬浊层和沉积层,重点考察悬浊层和沉积层在管道中控制不同水流流速下的运行状态。模拟试验如图 7 所示,结果见图 8。

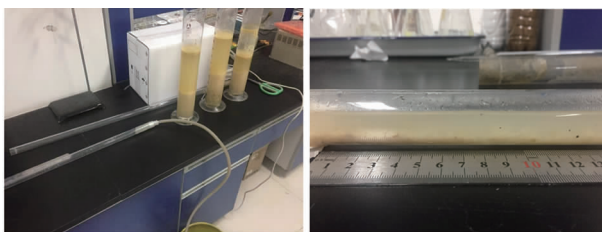


图 7 破碎厨余垃圾管道运行状态模拟测试实景

Fig. 7 Simulation test of broken kitchen waste pipe running

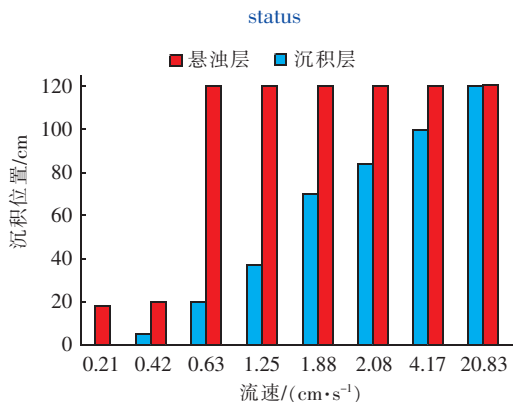


图 8 管道中破碎厨余垃圾悬浊层与沉积层的流速分布

Fig. 8 Distribution of flow velocity for suspended layer and sedimentary layer of the broken kitchen waste in the test pipe

由图 8 可知,厨余垃圾中的悬浊层和沉积层的启动流速(悬浮层和沉积层启动时的水流速度)分别为 0.21 cm/s 和 0.42 cm/s,两者的临界流速(悬浮层和沉积层实现稳定流动时的水流速度)分别为 0.63 cm/s 和 0.21 m/s,均小于《室外排水设计规范》(GB 50014—2006,2014 年版)对污水管道设计最小流速(0.6 m/s)的要求,当污水管道运行时流

速达到设计要求,破碎后的厨余垃圾沉积物和悬浮物理论上不会在管道中沉积。

5 破碎厨余垃圾对污水处理系统的影响

破碎厨余垃圾进入市政污水处理系统包括两方面的影响:一方面是收集系统,即市政污水管网系统;另一方面是处理系统,即污水处理厂。

5.1 对市政污水管网系统的影响

破碎厨余垃圾对市政污水管网的影响包括直接对管网传输能力的影响和通过管网传输导致的环境影响两方面。

① 我国目前排水体制基本是分流制、合流制并存,其中分流制排水系统普遍存在雨、污混接现象,当破碎后的厨余垃圾进入市政污水管网后,有可能在雨水或合流制的污水排水口排入水体而污染环境。

② 我国污水管网普遍存在结构性和功能性缺陷,特别是合流制管网,旱季高水位运行和雨季溢流污染现象明显,旱季高水位意味着流速达不到设计要求而导致破碎厨余垃圾沉积,雨季溢流污染意味着破碎厨余垃圾有直接流入环境的危险。同时千疮百孔的市政污水管网可能在输送破碎厨余垃圾的过程中通过破损的管道外渗而造成环境污染。

③ 破碎后的厨余垃圾含油量较大,在北方特别是东北等寒冷地区,冬季大量的含油厨余垃圾破碎后是否会在小区管网中凝固而堵塞管道,需要调研分析和试验验证。

5.2 对污水处理厂的影响

破碎后厨余垃圾对污水处理厂的影响分析,应建立在市政污水管网良性健康运行的前提下,即进入市政污水管网的破碎厨余垃圾基本可以输送至污水处理厂。其影响分析如下:

① 在水量方面,通过模拟试验,厨余垃圾破碎机单次使用的用水量约为 1.5 L,按每日使用 3 次核算,每户家庭每日仅增加 5 L 左右的用水量,对污水厂水量影响基本可忽略。

② 在水质方面,破碎后的厨余垃圾非溶解性组分基本可以通过小区的化粪池、污水处理厂格栅、沉砂池、初沉池等预处理设施及生物系统活性污泥吸附而去除,因此,溶解性组分对污水处理厂进水污染物浓度增加贡献最大,结合前述破碎厨余垃圾 SCOD(均值 4 300 mg/L)、STP(均值 6 mg/L)、STN(均值 13.5 mg/L)、氨氮(6.5 mg/L),按厨余垃圾

破碎机每户每日用水量(5 L)及家庭每户每日用水量(400 L)进行权重法估算,结果见表1。从我国2018年污水处理厂进水碳氮比分析(见图9)可知,70%以上污水处理厂COD/TN < 8,存在进水碳氮比偏低问题,破碎厨余垃圾进入污水处理厂可在一定程度上缓解进水碳源的不足。

表1 破碎厨余垃圾对污水厂进水浓度的影响

Tab.1 Effect of broken kitchen waste on the influent concentration of sewage treatment plants

项 目	权重/%	增量/(mg · L ⁻¹)
SCOD	1.23	52.9
STN	1.23	0.17
STP	1.23	0.07
氨氮	1.23	0.08

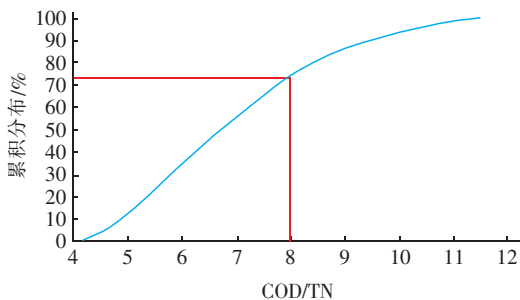


图9 我国2018年城镇污水处理厂进水COD/TN累积频率分布

Fig.9 Cumulative frequency distribution of influent COD/TN in 2018 in urban sewage treatment plants in China

破碎厨余垃圾非溶解性组分具有较高的有机质含量,当小区设置化粪池时,大部分可通过小区化粪池被截留,否则可通过污水厂预处理系统或生物系统活性污泥吸附等截留至初沉污泥或剩余污泥中,可在一定程度上提高污泥的有机质含量及厌氧消化产气率。但小粒径的破碎厨余垃圾可能会增加预处理系统特别是格栅等设备的运行负荷和运维难度。

6 结语

结合试验研究成果和我国市政排水管网现状,家庭厨余垃圾破碎入市政污水管网的实施优点如下:①减少湿垃圾的收集、清运量和运输难度;②减少垃圾运输及转输时的异味,提高环境友好性;③大大减少垃圾渗滤液的产生量,降低垃圾的二次污染;④破碎后的厨余垃圾有机质含量高,碳氮比高,可缓解污水处理厂的进水碳源不足,并提升污水厂初沉污泥、剩余污泥的有机质含量和厌氧消化产气率。

实施难点:①基于我国市政管网普遍存在结构

性和功能性缺陷,破碎后的厨余垃圾进入市政管网后,可能在输送过程中存在渗漏、合流制管网溢流污染环境、分流制错接混接通过排口污染环境等潜在风险。②在我国多数污水管网长期高水位运行条件下,流速过低导致破碎厨余垃圾沉积在管网而产生厌氧发酵、产气等一系列问题。③破碎后的厨余垃圾含油量较大,在北方特别是东北等寒冷地区,冬季时,大量的含油厨余垃圾破碎后可能会在管网特别是小区管网中凝固而堵塞管道。④破碎厨余垃圾进入污水厂可能会增加预处理系统负荷和运维难度。

因此,厨余垃圾破碎处理虽具有明显的优点,但同时应考虑其实施难点,在我国推行厨余垃圾破碎进入市政管网的条件还不够成熟。厨余垃圾粉碎排放,应在小区内采取固液分离和油水分离措施,固体废物在小区内就地处理,既保证源头减量,又避免对市政管网造成影响。

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 Manage, 2009, 29(10): 2618 - 2624.
- [2] Gunaseelan V N. Anaerobic digestion of biomass for methane production: A review [J]. Biomass Bioenergy, 1997, 13(1/2): 83 - 114.
- [3] Cho J K, Park S C, Chang H N. Biochemical methane potential and solid state anaerobic digestion of Korean food wastes [J]. Bioresour Technol, 1995, 52(3): 245 - 253.



作者简介:李鹏峰(1981 -),男,河北新乐人,硕士,高级工程师,主要从事污水处理技术、设备研发工作。

E-mail: 13821096290@163.com

收稿日期:2019 - 10 - 30