

我国农村化粪池技术发展现状及趋势

赖竹林, 于振江, 周雪飞*, 张亚雷 (同济大学环境科学与工程学院, 污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海 200092)

摘要 随着农村改厕的不断推进,截至2017年底三格化粪池厕所的数量超过8 000万个,在无害化卫生厕所中占比最大。三格化粪池不消耗动力,无害化程度高,因此深入了解化粪池对于农村改厕具有重要意义。为此通过Derwent Data Analyzer软件对中国、美国和日本

的化粪池专利进行聚类分析,介绍了“厕所+化粪池+粪污利用”和“水冲厕所+化粪池+污水处理”2种改厕模式下化粪池技术的发展现状。通过分析总结,认为粪污资源化是农村化粪池未来重要发展方向,负压微水冲的节水技术和粪便减量化技术等可促进资源化,同时可采取“化粪池+”技术等改善粪便污水的处理效果。

关键词 化粪池;农村改厕;粪污处理;资源化

中图分类号 X 703 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)19-0069-04

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2020.19.019



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

The Development Status and Trend of Septic Tank Technology in Chinese Rural Areas

LAI Zhu-lin, YU Zhen-jiang, ZHOU Xue-fei et al (State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, College of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092)

Abstract With the constant progress of toilet improvement in rural areas, the number of three-septic-tank toilet had reached more than 80 million by the end of 2017. It accounted for the largest proportion of harmless sanitary toilets. Three-squared septic tank did not consume power and has a high degree of harmless. Therefore, it was of great significance to understand septic tank toilets in rural areas. In this paper, Derwent Data Analyzer was used to conduct cluster analysis on the patents of septic tanks in China, the United States and Japan. Furthermore, introduced the technology development of septic tanks under “toilet + septic tank + fecal utilization” and “water flushing toilet + septic tank + sewage treatment” models. By the analysis and summary, it was concluded that the resource utilization of feces would be an important development direction of rural septic tank in the future. The water-saving technology of negative pressure micro-flushing and the reduction technology of feces could promote the resource utilization. Moreover, “septic tank +” technology could be adopted to improve feces treatment.

Key words Septic tank; Toilet improvement in rural areas; Manure disposal; Resource recovery

厕所是人们日常所用的基础设施,可体现一个民族的卫生文化和国家的文明程度。国内外研究表明,农村80%的传染疾病,如儿童腹泻、血吸虫病等,是由厕所粪便污染和 unsafe 饮水引起的,通过改水改厕可以有效控制粪源性传染病的传播^[1-2]。我国农村基础设施薄弱,厕所已经成为改善农村环境卫生的重要短板,发展无害化卫生厕所显得尤为重要。2018年国务院发布的《农村人居环境整治三年行动方案》,要求到2020年农村卫生厕所普及率达到85%左右。截至2017年底,全国农村卫生厕所的普及率达到了81.8%^[3],其中三格化粪池厕所的比例为37.6%,取得了显著的环境效益。

在我国农村改厕主要有2种路径,一种是“厕所+化粪池+粪污利用”模式(简称模式一),厕所污水进入化粪池后,腐熟的粪液和清掏的粪渣以农田施肥为主;另一种是“水冲厕所+化粪池+污水处理”模式(简称模式二),化粪池作为污水预处理措施。在两种路径下,虽然化粪池的基本原理和结构相似,但由于其功能定位和运用场景不同,对化粪池的要求也有所差异。

许多学者对农村化粪池做了研究,陈杰等^[4]介绍了不同类型的化粪池在实际生活中的选用,范彬等^[5]概述了化粪池技术在分散式污水处理中的运用,武海霞等^[6]探讨了化粪池

的管理模式,但未结合农村改厕路径,对化粪池技术发展进行系统的梳理。基于此,笔者根据前期实地调研、文献资料和分析软件(derwent data analyzer, DDA),探讨了我国农村化粪池的发展现状,并分析了未来发展趋势。

1 三格化粪池的应用现状

2002—2017年,全国农村卫生厕所普及率从47.6%提高到81.8%,截至2017年,三格化粪池厕所的数量超过8 000万个^[3]。如图1所示,东部占比为64%,沿海省份如浙江省和江苏省的三格化粪池厕所分别占省内卫生厕所的81.5%和79.5%,中部、西部地区各占17.9%、18.1%,呈现出“东高西低”的格局。

2 化粪池的技术发展现状

化粪池作为一种原始的厌氧反应器,最早可以追溯到19世纪的欧洲。1860年,法国人在住宅与粪坑之间建造了一个“箱”,减少了固体量,产生的澄清液体可直接排入土壤里,法国《宇宙》杂志称之为“MOURAS”池。随着1895年英国研究人员申请了将“MOURAS”池改进为化粪池(septic tank)的专利,此后在世界范围内对化粪池的研究也逐渐增多^[7]。

为了更好地分析国内化粪池的技术发展趋势,该研究利用专利检索分析系统(derwent innovation)和DDA数据分析软件,以化粪池(septic tank)为主要关键词,对全球化粪池专利(截至2019年11月)进行检索,进行二次筛选和标引,同时对申请量排名前三的国家(日本、中国和美国)的化粪池专利进行聚类分析,以21世纪为分界线,但由于中国21世纪前的专利数量较少,远远低于美国和日本,故仅对21世纪后中国的专利进行详细分析,分为2000—2008年、2009—2014

基金项目 国家重点研发计划项目(2018YFD1100500)

作者简介 赖竹林(1994—),男,江西赣州人,硕士研究生,研究方向:污水处理与资源化。*通信作者,教授,从事污水处理与资源化研究。

收稿日期 2020-05-11

年及2015—2019年3个时间段,得到的 ThemeScape 专利地图如图2所示。

从图2中可以发现,全球化粪池的发展大致经历了2个阶段,第I阶段是对化粪池材质和结构的优化,第II阶段是强化化粪池的污水处理。

由图2(a)和图2(b)可知,在21世纪前,1985年日本开始实施《净化槽法》^[8],对化粪池的材质和结构进行改良,利用不饱和酯合成不同性质的壳体材料。在化粪池中设置膜分离器可以有效地去除生活污水中的污染物。而美国相应地出台了《化粪池系统房主指导手册》,主要采用由化粪池、排水场等组成的化粪池/土壤系统处理家庭生活污水^[9]。

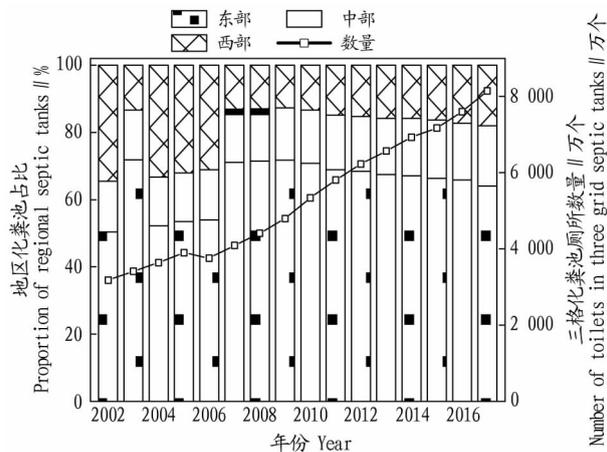


图1 2002—2017年中国农村三格化粪池厕所数及地区占比变化
Fig. 1 Changes in the number and proportion of toilets in three septic tanks in rural China during 2002—2017

随着科学技术的发展,21世纪后日本的化粪池逐渐向固液分离、预制式化粪池及研发微生物载体等方向发展,逐渐改良为具备处理污水功能的小型设施。而美国更加侧重于改善化粪池性能,通过提高密封性,安装循环装置,提高厌氧效率。

由于日本和美国的下水管网系统发达,粪便污水以达标处理排放为主,而国内化粪池技术发展与农村改厕运动密切相关,由图2(c)可知,化粪池专利申请主要集中在2015—2019年,在材料(树脂)、结构(安装环、固液分离)、粪污处理与资源化(人工湿地、发酵罐、酸化、芽孢杆菌)等得到全面发展,处于第I和第II阶段的并行时期。

为了进一步深入分析我国农村化粪池的发展趋势,笔者将结合目前主要两种化粪池改厕路径进行介绍。

2.1 材质改良 随着经济和技术的发展,化粪池的材质得到了迅速发展,在建筑形式上也有很大的改变。从早期的砖砌化粪池,现浇钢筋混凝土化粪池的现建式,到预制钢筋混凝土化粪池、玻璃钢化粪池和塑料化粪池的整体式,在一定程度上解决了易泄漏、易腐蚀的问题。调查显示,目前市场主流改厕产品是以塑料注塑为工艺生产的双瓮和三格化粪池^[10]。

2.2 发展模式 在农村改厕中,化粪池从单格化粪池、双格及多格化粪池和“化粪池+”技术,逐步实现了粪便污水的无害化、资源化和达标处理排放。结合农村的自然环境和经济

条件,形成了以“厕所+化粪池+粪污利用”和“水冲厕所+化粪池+污水处理”为主的农村化粪池改厕路径。

2.2.1 模式一:厕所+化粪池+粪污利用。在这个模式下,大致可分为3个阶段,每个阶段的特点有所不同,解决的问题也有所侧重。

第I阶段是以粪便贮存为主要功能的单格化粪池。

20世纪60年代,在我国农村开展了“两管五改”活动,建造不渗漏的粪缸、粪坑来管理收集粪便。化粪池以一大格为主,可临时储存粪便,但底泥容易受到池内产生气体的扰动,导致出水中悬浮固体浓度较高影响农田回用而逐渐被淘汰。

第II阶段是以实现粪便无害化与资源化的两格、三格化粪池。

20世纪90年代,为改善饮水和卫生条件,开始在农村进行改水改厕,南方地区开始使用两格、三格式化粪池。颜维安等^[11]、杭德荣等^[12]等的研究表明两格式化粪池的粪便无害化效果较好,适合在农村中推广。

为了便于取用腐熟后的粪液,在户厕改造中用三格化粪池取代两格化粪池。三格化粪池一般呈“目”字或“品”字型排列。过粪形式由窗口式过粪口、直通管和“U”字型,向“/”型(斜管式)、倒“L”字型转变。

三格化粪池对粪便中的大肠杆菌和寄生虫卵均有显著的杀灭作用,但池型、过粪管和密封性都会影响无害化效果。研究发现,斜管式过粪管比窗口式过粪口更能发挥三格化粪池的截留粪皮粪渣和除卵作用^[13],节水型高压水冲便器可以保证粪便无害化所需要的时间,同时有机物浓度也利于发酵^[14],如上海市农村在1993年开始采用节水型水冲式座便器配套2 m³三格化粪池的户厕。但由于户用化粪池的粪液抽取周期与农业需求周期不一致,导致粪液不能及时利用,此外劳动强度与应用技术也会影响粪污生态还田的程度。任丽华等^[15]、钟格梅等^[16]的调查发现农村厕所粪使用作农田肥料的比例只有34.32%~48.65%,粪污资源化程度较低。

第III阶段为完善化粪池其他功能,如清掏技术、粪便减量化技术等。

化粪池会产生大量的粪便污泥,最大清掏周期可达到1~2年,其清掏方式发生了很大的改变。从人工掏粪、真空吸粪车到无泵吸粪车、多功能吸粪车,大大缩短了吸粪时间,实现粪渣和粪液的固液分离。

为了减少粪便污泥量,宋珍霞等^[17]投加0.5%的复合菌剂(HBH-II)、黄川等^[18]添加0.005~0.10%的有效微生物(EM)和多功能复合微生物制剂(MCMP)来分解粪便污泥,对TS、SS均有显著的减量效果,可使浮渣层厚度和臭氧浓度维持在较低水平^[19]。

2.2.2 模式二:水冲厕所+化粪池+污水处理。由于对总氮、总磷的处理效率低,化粪池是地表水营养元素排放的潜在来源^[20]。王玉华等^[21]评价了江苏省168户农村三格化粪池的污水处理效果,对COD、TN和TP的平均去除率分别为48.51%、6.83%和23.92%,与城镇污水处理厂综合排放标准(GB 18918—2002)、农田灌溉水质标准(GB 5084—2005)的

的化粪池系统,通过庭院消纳、农田施肥、沼气发酵等手段,提高粪污资源化程度。

表2 现有的化粪池规范和标准

Table 2 Existing norms and standards for septic tanks

改厕模式 Change toilet mode	现有标准 Existing standards	编号 No.
模式一 Mode 1	粪便无害化卫生标准	GB 7959—2012
	农村户厕卫生规范	GB 19379—2012
	玻璃钢化粪池技术要求	CJ/T 409—2012
	塑料化粪池	CJ/T 489—2016
	预制钢筋混凝土化粪池	JC/T 2460—2018
	农村三格式户厕建设技术规范	GB/T 38836—2020
	农村三格式户厕运行维护规范	GB/T 38837—2020
	浙江省:农村厕所建设和服务规范	DB33T 3004.2—2015
	山东省:一体式三格化粪池(聚乙烯、共聚聚丙烯、玻璃纤维增强复合材料)	DB37/T 2792—2016
	湖北省:农村无害化厕所建造技术指南	DB 45/T 1495—2019
	湖南省:湖南省农村厕所建设技术导则(试行)	
	黑龙江省农村室内户厕改造技术导则(试行)	
模式二 Mode 2	给水排水工程构筑物结构设计规范	GB 50069—2002
	建筑给水排水设计规范	GB 50015—2003
	室外排水设计规范	GB 50014—2006
	下水道及化粪池气体监测技术要求	GB/T 28888—2012
	户用生活污水处理装置	CJ/T 441—2013
	农村生活污水处理工程技术标准	GB/T 51347—2019

(2)在模式二中,针对不同地区的农村污水排放标准与典型区域的生态要求,构建化粪池系统的模块化处理技术,在不同的应用场景下形成化粪池单元的生态耦合处理、化粪池单元与生态耦合处理和化粪池单元排泄物的就地处理等技术。

(3)建立适宜农村地区化粪池标准与管理体制,完善多元化投入机制,积极培育改厕服务市场。

参考文献

- PICKERING A J, DAVIS J. Freshwater availability and water fetching distance affect child health in sub-Saharan Africa[J]. *Environmental science & technology*, 2012, 46(4): 2391-2397.
- ODAGIRI M, SCHRIEWER A, DANIELS M E, et al. Human fecal and pathogen exposure pathways in rural Indian villages and the effect of increased latrine coverage[J]. *Water research*, 2016, 100: 232-244.
- 国家卫生健康委员会. 中国卫生健康统计年鉴[M]. 北京: 中国协和医科大学出版社, 2018.
- 陈杰, 姜红. 化粪池在实际生活中的比选及应用[J]. *环境与发展*, 2018, 30(2): 45-46, 48.
- 范彬, 王洪良, 张玉, 等. 化粪池技术在分散污水处理中的应用与发展[J]. *环境工程学报*, 2017, 11(3): 1314-1321.
- 武海霞, 孙文全, 吴慧芳, 等. 化粪池新管理模式的探讨[J]. *中国给水排水*, 2012, 28(22): 14-17.
- BUTLER D, PAYNE J. Septic tanks: Problems and practice[J]. *Building and environment*, 1995, 30(3): 419-425.
- 陈颖, 于奇, 贾小梅. 借鉴日本《净化槽法》健全我国农村生活污水治理政策机制[J]. *中国环境管理*, 2019, 11(2): 14-17.

- BRADLEY B R, DAIGGER G T, RUBIN R, et al. Evaluation of onsite wastewater treatment technologies using sustainable development criteria[J]. *Clean technologies and environmental policy*, 2002, 4(2): 87-99.
- 陈国良, 魏海春. 全国农村改厕产业市场化现状调查[J]. *环境与健康杂志*, 2015, 32(4): 328-331.
- 颜维安, 陈晓进, 杭德荣, 等. 二格式粪便处理池无害化效果现场调查研究[J]. *中国血吸虫病防治杂志*, 2004(5): 371-373.
- 杭德荣, 陈晓进, 杨坤, 等. 预制式二格化粪池户厕建设及卫生效果研究[J]. *中国血吸虫病防治杂志*, 2007(2): 136-138.
- 茂名市卫生防疫站. 省卫生防疫站: 三格化粪池池型结构对无害化效果的影响实验观察[J]. *广东医药资料*, 1975(5): 6-9.
- BURUBAI W, AKOR A J, LILLY M T, et al. An evaluation of septic tank performance in Bayelsa State, Nigeria[J]. *International journal of agricultural and biological engineering*, 2007, 9: 1-9.
- 任丽华, 楼晓明, 陈卫中, 等. 浙江省农村卫生厕所无害化效果现状调查[J]. *环境与健康杂志*, 2013, 30(10): 924-925.
- 钟格梅, 唐振柱, 郑承杰, 等. 广西农村户厕及粪便无害化处理现状调查[J]. *环境与健康杂志*, 2015, 32(2): 131-133.
- 宋珍霞, 王里奥, 黄川, 等. 复合微生物制剂对化粪池污泥厌氧消化效果的影响[J]. *中国给水排水*, 2009, 25(19): 20-23.
- 黄川, 王里奥, 宋珍霞, 等. 有效微生物和多功能复合微生物制剂生物强化提高化粪池粪便污泥减量效率研究[J]. *环境工程学报*, 2010, 4(7): 1636-1642.
- 崔华胜, 王晓燕. 化粪池投放生物分解剂效果分析[J]. *环境科技*, 2012, 25(6): 16-20.
- RICHARDS S, PATERSON E, WITHERS P J A, et al. Septic tank discharges as multi-pollutant hotspots in catchments[J]. *Science of the total environment*, 2016, 542: 854-863.
- 王玉华, 方颖, 焦隼. 江苏农村“三格式”化粪池污水处理效果评价[J]. *生态与农村环境学报*, 2008, 24(2): 80-83.
- 汤克敏, 李传国. 化粪池改型与沼气利用的研究[J]. *环境卫生工程*, 1994(4): 14-17.
- 付婉霞, 秦晓晶, 汪燕. 改进型山区村庄三格化粪池污水处理效果的试验研究[J]. *给水排水*, 2009, 35(S2): 283-285.
- 范建伟, 张杰, 尹大强. 加强型生物化粪池/潜流人工湿地处理农村生活污水[J]. *中国给水排水*, 2009, 25(24): 69-71.
- 陈志强, 关华滨. 新型化粪池污水处理生活污水启动阶段的实验[J]. *环境工程学报*, 2013, 7(4): 1267-1272.
- 韦昆, 傅大放, 王亚军. 新型化粪池处理分散农户生活污水的试验研究[J]. *中国给水排水*, 2017, 33(19): 59-62.
- 王昶, 李琳, 谈玉琴, 等. 多户化粪池联用的生活污水净化槽的研究[J]. *环境工程*, 2012, 30(2): 26-29.
- 王立东, 刘德明, 马世斌, 等. 改进型农村三格化粪池的污水处理性能[J/OL]. *环境工程学报*, 2020-03-31 [2020-04-20]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5591.X.20200331.1046.026.html>.
- 吴珊, 唐世文, 赵锂, 等. 化粪池内部流态数值模拟与结构优化探讨[J]. *给水排水*, 2013, 39(5): 142-145.
- 宋伟民, 卢纯惠, 李锦梅. 土壤渗滤处理三格化粪池粪液的可行性论证[J]. *上海环境科学*, 1997, 16(3): 36-37.
- BEAL C D, GARDNER E A, MENZIES N W. Process, performance, and pollution potential: A review of septic tank-soil absorption systems[J]. *Soil research*, 2005, 43(7): 781-802.
- 刘雯, 崔理华, 朱夕珍, 等. 水平流-垂直流复合人工湿地对化粪池含氮污水的净化效果[J]. *农业环境科学学报*, 2007, 26(4): 1235-1239.
- 徐德星, 海热提, 丁文明, 等. 人工湿地对化粪池出水净化效果的对比研究[J]. *环境科学与技术*, 2009, 32(8): 164-168.
- CONNELLY S, PUSSAYANAVIN T, J RANDLE-BOGGIS R J, et al. Solar Septic Tank; Next generation sequencing reveals effluent microbial community composition as a useful index of system performance[J]. *Water*, 2019, 11(12): 1-14.
- 孙成军. 小型户用污水处理设备在寒冷及严寒地区农村厕所改造中的应用研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2019.
- 赵猛, 董薇, 高建和, 等. 基于 ANSYS 的塑料化粪池力学分析与加强方案探讨[J]. *机械工程与自动化*, 2013(5): 20-22.

(上接第 68 页)

- LANDIS J R, KOCH G G. The measurement of observer agreement for categorical data[J]. *Biometrics*, 1977, 33(1): 159-174.
- 赵军, 杨建霞, 朱国锋. 生态输水对青土湖周边区域植被覆盖度的影

响[J]. *干旱区研究*, 2018, 35(6): 1251-1261.

- CHUNYU X Z, HUANG F, XIA Z Q, et al. Assessing the ecological effects of water transport to a lake in arid regions: A case study of Qingtu Lake in Shiyang River basin, Northwest China[J]. *International journal of environmental research and public health*, 2019, 16(1): 1-14.