



农业资源与环境学报

中文核心期刊
中国科技核心期刊

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT

欢迎投稿 <http://www.aed.org.cn>

三格化粪池厕所的功能定位及在农村改厕中的应用误区

张玉, 吕明环, 徐明杰, 李傲, 施云鹏, 李亚惠, 范彬

引用本文:

张玉, 吕明环, 徐明杰, 等. 三格化粪池厕所的功能定位及在农村改厕中的应用误区[J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38(2): 215–222.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0231>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

两种典型温度下农村化粪池出水氮素在原地土壤中的迁移转化过程

孟凡凡, 阮建飞, 王文林, 王飞鹏, 刘波, 桑陆宇

农业资源与环境学报. 2019, 36(2): 206–213 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0145>

我国农村厕所改造的区域特征及路径探析

王永生, 刘彦随, 龙花楼

农业资源与环境学报. 2019, 36(5): 553–560 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0245>

基于ISM模型的山东省农村生活环境污染影响因素分析

孙艺榛, 郑军

农业资源与环境学报. 2017, 34(6): 576–581 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2017.0182>

太湖流域农村生活污水处理技术模式调查和分析——以江苏省为例

张亚平, 王海芹, 印杰, 管永祥, 龙珍

农业资源与环境学报. 2017, 34(5): 483–491 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2017.0002>

农户参与对农村生活垃圾分类处理效果的影响

许骞骞, 王成军, 张书赫

农业资源与环境学报. 2021, 38(2): 223–231 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0142>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

张玉, 吕明环, 徐明杰, 等. 三格化粪池厕所的功能定位及在农村改厕中的应用误区[J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38(2): 215–222.

ZHANG Yu, LÜ Ming-huan, XU Ming-jie, et al. Functional orientation of the three-chamber septic tank toilet and errors in its application in rural toilet reform[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2021, 38(2): 215–222.



开放科学 OSID

三格化粪池厕所的功能定位及在农村改厕中的应用误区

张玉^{1,2}, 吕明环^{1,2}, 徐明杰^{1,2}, 李傲^{1,2}, 施云鹏^{1,2}, 李亚惠^{1,2}, 范彬^{1,2*}

(1. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要:三格化粪池厕所因价格低廉、运维简便,成为当前欠发达地区农村厕所革命的主要技术模式,但在实际应用中普遍存在对其功能定位的认识误区,对化粪池后期的正确使用、粪污的无害化处理及粪肥有效回用造成了不良影响。因此,本文通过溯源化粪池发展历程,分析其不同卫生模式下的功能定位,并揭示三格化粪池厕所具有卫生性和环保性的历史使命。在此基础上,通过剖析部分地区当前农村改厕存在的3个典型误区,即采用普通水冲式便器、“管道收集+(集中型)大化粪池”和“收集+异地脱水干燥制肥”应用模式的问题,指出需重视化粪池正确利用,并结合农村改厕中化粪池应用提出合理化建议。

关键词:厕所革命;三格化粪池厕所;功能定位;资源回用;应用误区

中图分类号:R127;TU824 文献标志码:A 文章编号:2095-6819(2021)02-0215-08 doi: 10.13254/j.jare.2020.0231

Functional orientation of the three-chamber septic tank toilet and errors in its application in rural toilet reform

ZHANG Yu^{1,2}, LÜ Ming-huan^{1,2}, XU Ming-jie^{1,2}, LI Ao^{1,2}, SHI Yun-peng^{1,2}, LI Ya-hui^{1,2}, FAN Bin^{1,2*}

(1. Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Because of its low price and simple operation and maintenance, the three-compartment septic tank toilet has become the main technical mode of the rural toilet revolution in underdeveloped areas. However, there are some widespread misunderstandings about its functional orientation, which will have a negative impact on the correct use of the septic tank, the harmless disposal of manure, and the reuse of manure. Therefore, this paper traced the development of the septic tank, analyzed its functional orientation under different sanitation patterns, and revealed the historical mission of sanitation and environmental protection of septic tank toilets. On this basis, analysis of the three typical misunderstandings of the current rural toilets in some areas, namely, the problem of common use flush toilets, “pipe collection+(centralized) large septic tank”, “collection+off-site dehydration dry fertilizer”, revealed the need to pay attention to the correct use of septic tanks, and incorporated the septic tank toilet in rural areas into the application of rationalization recommendations.

Keywords: toilet revolution; three-compartment septic tank toilet; functional orientation; resource reuse; misapplication

厕所是人们生活中不可缺少的基本卫生设施,是衡量一个国家或地区文明程度的标志之一。我国政府一直高度重视农村环境卫生问题,而厕所改造是农

村环境卫生的重中之重^[1]。2017年11月,习近平总书记对厕所革命作出重要批示,“厕所问题不是一件小事,它是城乡文明建设的重要方面,要把它作为乡村

收稿日期:2020-05-06 录用日期:2020-06-17

作者简介:张玉(1992—),女,四川成都人,博士研究生,主要从事乡村环境卫生治理研究。E-mail: zhangyu214@mailsucas.ac.cn

*通信作者:范彬 E-mail: fanbin@rcees.ac.cn

基金项目:国家重点研发计划(2016YFC0400806);国家科技重大专项(2018ZX07110-002)

Project supported: The National Key Research and Development Program of China (2016YFC0400806); The National Science and Technology Major Project (2018ZX07110-002)

振兴战略的一项具体工作来推进”。2018年1月,中共中央国务院发布了一号文件《关于实施乡村振兴战略的意见》,提出要坚持不懈推进农村“厕所革命”,大力开展农村用户卫生厕所建设和改造,同步实施粪污处理。2018年2月,中共中央办公厅、国务院办公厅印发了《农村人居环境整治三年行动方案》将“厕所粪污治理”作为重点任务之一,并且鼓励各地结合实际,将厕所粪污、畜禽养殖废弃物一并处理并资源化利用。在国家相关政策和资金的大力支持下,农村改厕工作在全国快速推进。根据《2018中国卫生健康统计年鉴》数据,农村卫生厕所普及率从1993年的7.5%增长到2017年的81.8%,2017年底无害化卫生厕所普及率达到62.7%。“整体式三格化粪池厕所”造价低廉,成为多个省(市)主打的改厕模式^[2]。

厕所革命是一项系统工程,承载乡村振兴战略、生态环境建设、卫生健康、可持续发展等多项需求。本研究通过溯源化粪池的功能定位,依据厕所革命的需求,针对当前几种常见的“化粪池+”改厕模式,分析其应用误区,提出改进策略与建议。

1 化粪池溯源与功能定位

1.1 化粪池的发展

化粪池是最简单的污水处理装置。其基本原理^[3]:一是在重力和浮力的共同作用下,静置的粪污分层、沉淀和分离,逐渐形成浮渣层、液体层和沉渣层(图1),二是通过厌氧生化作用,对纤维素、淀粉等有机物进行分解,产生包括有机酸、甲烷、腐殖质、铵、溶解性磷等,污水性质趋于稳定。同时,化粪池内长时间的高氨氮、高pH条件,可杀灭肠道寄生虫卵等病原体,控制蚊蝇滋生,实现出水 and 出渣的无害化处理。

化粪池的研究从经验设计、原理分析到工作机制,经过了100年左右的时间。作为一种水冲厕所的初级污水处理设施,最早的化粪池设计可以追溯到19世纪^[4]。1860年,法国人Mouras设计了一种进水管和出水管均深入液面下可以形成水封的新型粪池,1881年被Moigno在书中称为“Mouras池”,这便是现代化粪池的先驱。1895年,英国市政建筑师Cameron和Cummins对“Mouras池”进行了改进,通过厌氧生化作用强化固体物质分解,首次以“化粪池(Septic tank)”命名并申请了专利。1905年,德国人Imhoff对化粪池的结构进行改进,设计了Imhoff槽(Imhoff tank)。Imhoff槽的内部分为两格,强化了固体物质与出水的分离。该设计在国内外被广泛应用于城市排

水的初级处理,如居民小区或大楼设置的化粪池,以及污水处理厂的初沉池。

由两格化粪池演变为三格化粪池是中国人的创新设计。由于早前水冲厕所和下水道在我国农村尚未普及,为了便于农民取粪,同时又不影响化粪池内必要的水力停留时间,人们在两格化粪池的后部又增加了一格,用于储存熟化的粪液(图2)。化粪池从两格变为三格,体现出资源利用的理念,这不同于西方的末端处理模式。中国人自古有用粪尿施肥的传统,农村地区一般会使用具有防渗功能的储粪池,在储存粪尿的同时,通过不严格的厌氧生化作用对粪尿分解熟化,其目的并非排放,而是更好地利用粪肥。

化粪池与其他生活污水处理方法相比,优势在于结构简单,运行简便。化粪池充分地利用了自发过程,几乎不需人工控制。因此,化粪池每一步的改进设计都具有实际意义,每增加一格,其性能甚至功能定位都大有不同。近年来,Kamel等^[5]提出“四格”“五格”化粪池的设计,该结构改进若只简单地增加沉淀或厌氧的格数意义并不大,因为化粪池主要是靠足够长的水力停留时间,实现有效地沉淀(上浮)和厌氧生化降解,在容积相同的情况下,将化粪池再分为更多的室,对上述两种功能的贡献很小。

1.2 卫生模式与化粪池功能定位

厕所革命实际是一场重点针对人类排便方式的系统性变革,既要提升生活卫生文明水平,也要防止

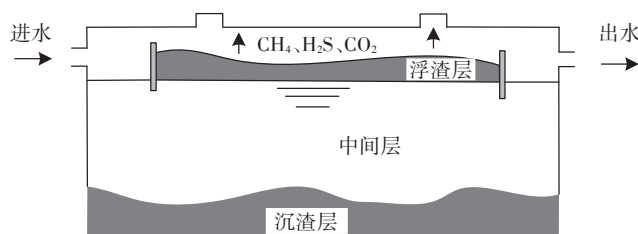


图1 Mouras化粪池的原理图

Figure 1 Schematic of Mouras' septic tank

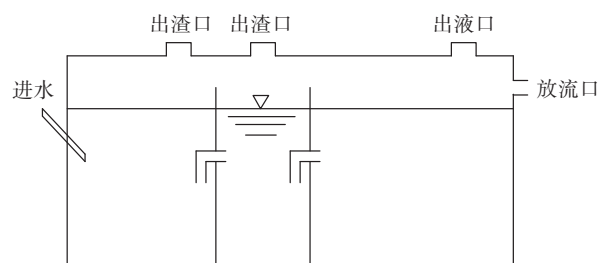


图2 三格化粪池结构示意图

Figure 2 Schematic of three-compartment septic tank

因排泄物处置不当而造成对生态环境的破坏。因此,根据不同卫生模式下三格化粪池的功能定位(图3),必须重点解决两个环节的排放问题。第一个环节是将排泄物从室内转移到室外的过程,该环节的要求涉及3个逐级提高的台阶:卫生性(避免人因排泄物的接触暴露导致疾病)、舒适性(避免人对不良气味、视觉暴露导致不适感)和便利性(尽可能减少因满足卫生性和舒适性需求而产生的劳作),每提升一次表明环境卫生文明的巨大进步,同时也意味着排便成本的增加。第二个环节是将排泄物从人类社会转移至大自然的过程,该环节有2个逐级提升的台阶:一是在环境经济条件下达到某个环境排放标准后排放;二是完全实现资源循环利用达到可持续目标。

排放方式的选择决定了不同的卫生模式,东西方不同社会文化在长期发展中形成两条截然不同的路线。西方社会在经历近千年的卫生黑暗时代和多次瘟疫大爆发后,认为排泄物是肮脏的、不清洁的污染物,随着水冲马桶的发明和机械化工业的快速发展,逐渐发展出以“水冲厕所+重力管道+末端处理”的卫

生模式,简称为末端处理模式^[6]。该模式在第一环节采用了具有现代化意义的水冲厕所和管道(塑料、铸铁等),同时满足了卫生性、舒适性和便利性,在全世界迅速被推广。但是,该模式的突出问题是水资源的浪费,粪污中的氮磷等资源不被利用而被作为污染物处理,第二环节的建设运行管理成本高,在发展中国家或欠发达国家难以全面有效运行,并不符合可持续发展理念。以中国为主的东亚文明则在很早就认识到粪尿的肥料价值^[7-8],并建立了具有悠久历史的以粪肥回用为主的传统田园循环模式,实现了第二环节的可持续发展要求。随着社会发展,未经过现代化升级的传统田园循环模式难以满足第一环节的3个要求,尤其是便利性要求;第二环节的人工清掏、搬运方式因存在对人体健康的潜在影响和不舒适感而逐渐被中青年人所嫌弃。实际上,依照现有工业水平从技术上完全可以按照现代生活文明和生产文明的标准重构田园循环模式,即“现代田园循环”模式^[9]。构建现代田园循环模式,首要是在第一排放环节杜绝使用大量水来稀释粪尿,避免粪污的资源回用价值降低。因此,

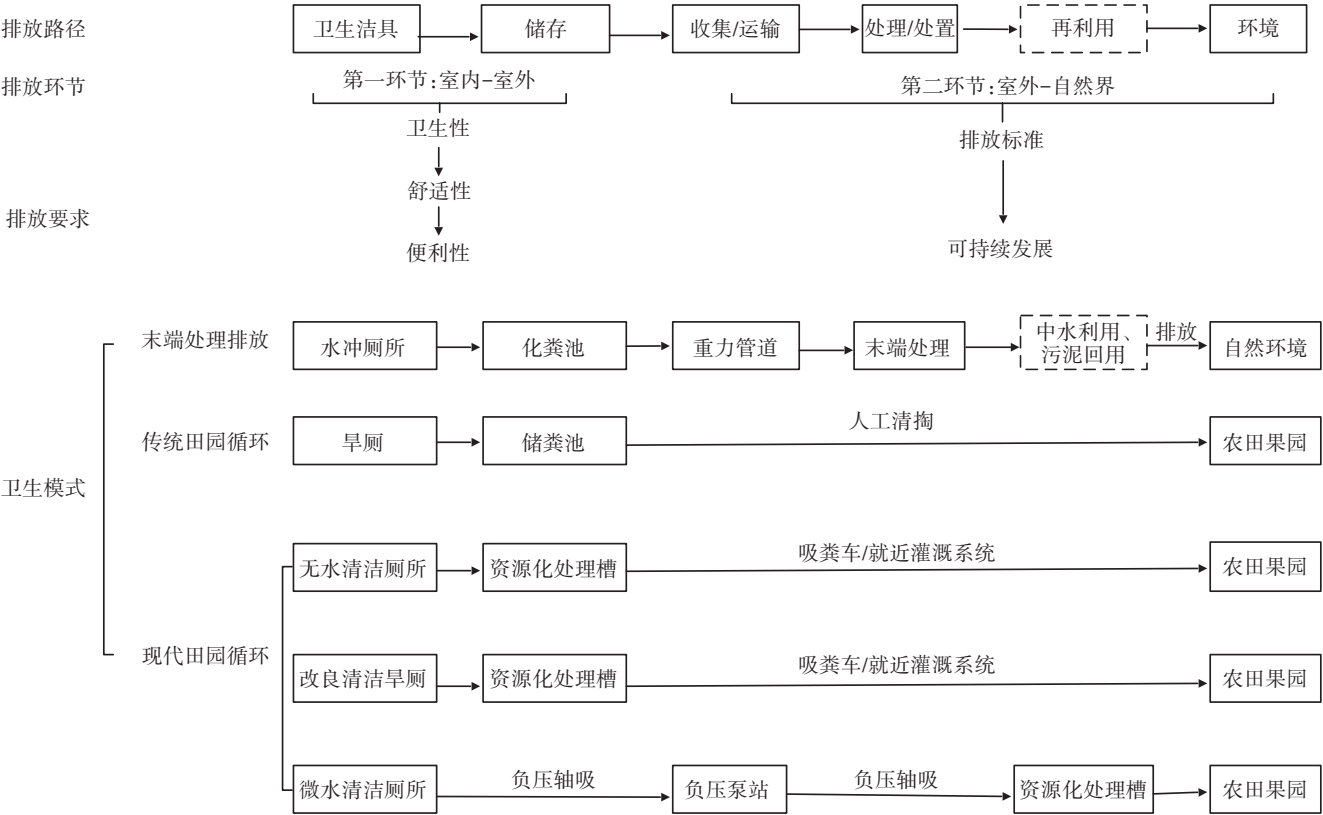


图3 不同卫生模式下三格化粪池的功能定位

Figure 3 Septic tank functional orientation under different sanitation patterns

该模式推荐使用无水清洁厕所(如堆肥厕所)或微水清洁厕所(每次冲水量少于1.5 L,如抽吸管道厕所)。

卫生模式的不同,尤其是卫生洁具的选择不同,直接决定了化粪池功能定位的不同。①当卫生洁具为水冲厕所(非节水型)时,化粪池的功能定位为建筑物排水的预处理设施。作为建筑物排水的预处理设施时,通常采用两格化粪池(Imhoff池)即足够。根据《建筑给水排水设计规范》(GB 50015—2003),用于水冲厕所排水的化粪池容积满足水力停留时间12~24 h即可。由于其出水后续连接排水和污水处理设施,对此类化粪池出水并无卫生学指标要求。②当卫生洁具为无水清洁厕所或者微水清洁厕所时,对化粪池的功能定位则转变为资源化处理器。在此条件下,要求化粪池具备无害化(杀灭病虫卵)、资源化(腐熟)以及一定的储存能力(第三格)。当化粪池前端的卫生洁具选择为无水或微水清洁厕所时,便器与化粪池之间可采用直落式或斜管式连接,卫生洁具和厕屋的设计可参考水冲厕所的外观,尽量改善第一排放环节的舒适性和便利性,如图4所示。

1.3 三格化粪池厕所的历史使命

农村厕所革命的最终目的是要全面实现农村环境卫生与污染治理的现代化。目前已知现代化路径有两条,一是对污水和垃圾进行常规的末端达标处理,二是现代田园循环模式。按照现有价格体系,采用末端处理技术实施农村改厕的系统成本(包括改厕、污水收集和污水处理),综合应用纳入城镇管网、村组集中处理和分户处理三种形式进行区域范围的

优化设计^[10],在保证质量的前提下,每户平均的建设成本约为2万元;综合考虑建设与运行成本,以5%的贴现率计算,户均等价年成本约为2 000元。然而,此次厕所革命中对厕所改造升级需求最迫切的农村地区,多数经济水平偏低,难以承担完整末端处理模式的建设运行成本;同时由于该处理模式并不符合可持续发展的原则,今后还需要持续投入以进行升级改造^[11]。

因此,当前农村采用三格化粪池厕所方式进行改厕,其出发点就是既要改善农村环境卫生水平,又要规避农村生活污水收集与处理的高昂成本,这是一种在有限的经济条件下,针对农村环境卫生与污染治理的现代化需求所做出的过渡性安排。这种过渡性安排的实质,是对功能性和经济性的矛盾进行妥协。当前厕所革命中三格化粪池厕所的历史使命是在确保卫生性(无卫生公害)和环保性的前提之下,重点突破如厕的舒适性(包括体感、嗅觉、视觉等的舒适),适当改善使用的便利性。

确保卫生性是农村改厕的第一要求。《农村户厕卫生规范》(GB 19379—2012)和《粪便无害化卫生要求》(GB 7959—2012)都对卫生性提出了明确规定。为有效地杀灭寄生虫卵,化粪池前两格的水力停留时间不能低于30 d,第三格水力停留时间也应至少达到30 d,三格化粪池的水力停留时间一般不得低于60 d。通常农村化粪池的体积不大于2 m³,可计算出每户厕所排水量不应大于33 L·d⁻¹。按户均4人、每人每日使用厕所5次计算,则每次厕所排水量应不大于

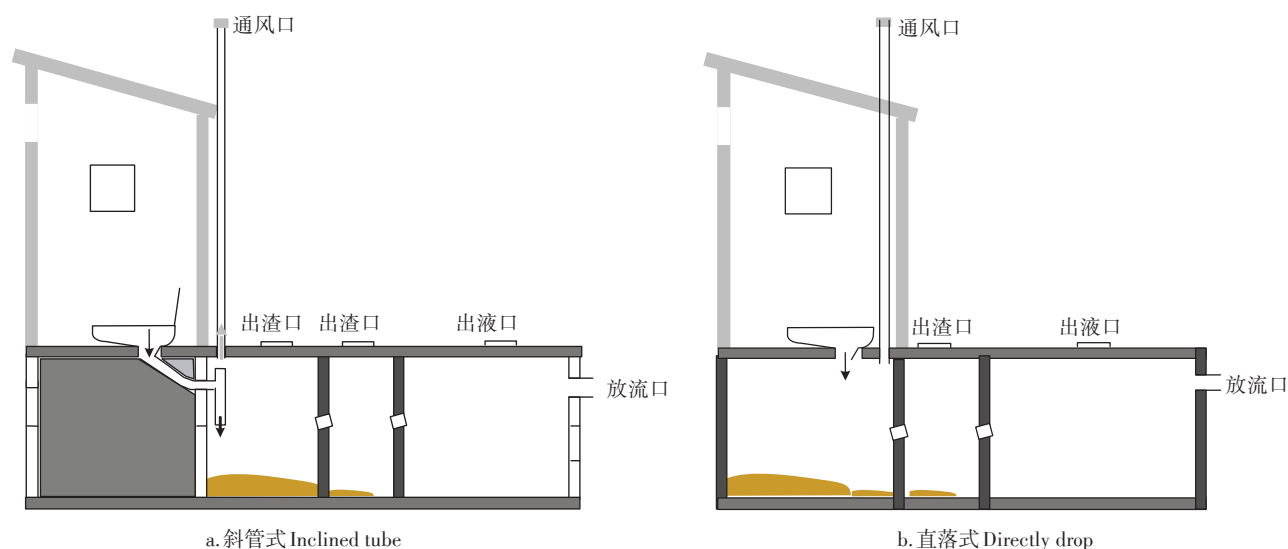


图4 微水清洁厕所与化粪池

Figure 4 Waterless toilet and septic tank

1.65 L,换算成每次大小便平均的清洁用水量不宜大于1.25 L。因此,三格化粪池厕所必须采用微水清洁的便器,如直落式陶瓷蹲便器或坐便器。然而目前市售的中低档水冲便器每次冲水量都在6 L以上,高档节水型水冲便器每次冲水量也在3 L以上,即当前市售的普通水冲便器并不适合同化粪池搭配使用。

确保环保性是改厕的第二前提。理论上可以对化粪池的出水进行达标处理,但实际上农村污水收集处理的成本高昂,在此次厕所革命中可行性低。因此,三格化粪池的出液只可用于农田果园施肥,从降低资源回用成本的角度,化粪池出液应就近施用于农田,减少不必要的长途输送和额外产生的处理需求。

2 农村化粪池改厕的应用误区

全国爱国卫生运动委员会办公室推荐的相对成熟并已大力推广使用的无害化卫生厕所主要有6种类型:三格化粪池式、双瓮漏斗式、三联沼气池式、粪尿分集式、完整下水道式和双坑交替式。根据历年《中国卫生健康统计年鉴》和《中国卫生和计划生育统计年鉴》,无害化卫生厕所中三格化粪池厕所占比连年最高,完整下水道式水冲厕所的使用比例逐渐提高,如图5所示。东部、西部和中部主要选择水冲式厕所,我国农村卫生厕所普及率区域差异明显,呈现“东高西低、南高北低”的格局^[12]。

在实际应用中常常混淆“完整下水道式水冲厕所”“水冲厕所”和“三格化粪池厕所”的使用规范。在《农村户厕卫生规范》(GB 19379—2012)中附录A三格化粪池厕所部分并未明确指出冲水量;附录D.1指出水冲式厕所须有完整上下水道系统;D.2.3.2指出三格化粪池厕所配套使用节水型高压水冲装置时冲水量每次1~3 L。最新发布的《农村三格式户厕建设技术规

范》(GB 38836—2020)已经明确规定“冲水量和水压应满足冲便要求,宜采用微水冲等节水型便器。洗涤和厨房污水等生活杂排水不应排入化粪池”。

主要推广的“水冲厕所+三格化粪池”的新型卫生模式试图通过结合末端处理排放模式的第一环节和现代田园循环模式的第二环节,从而同时满足人们现代化如厕方式和低成本建设运行的要求,但却常忽视因水冲厕所使用带来的后续问题。按照应用场景的不同可分为3种(图6):①“水冲厕所+户用三格化粪池+吸粪车+就近农田利用”模式,常用于居住分散的农村,以及居民有土地或有粪肥需求的地区;②“水冲厕所+户用三格化粪池+吸粪车+集中转运+脱水干燥制肥”模式,目前多只是区域的厕所粪污处理远期建设规划;③“水冲厕所+户用化粪池(两格或一格)+重力管道+村组集中大化粪池+吸粪车+就近农田利用”模式,以新建集中式农村居民小区或原有居住较集中周边无空地的农村地区应用为主,一般该地区远期规划拟建污水管网和集中处理设施。对3种场景的应用误区具体分析如下。

2.1 误区一:水冲厕所+户用三格化粪池

(1)无害化效果和化粪池体积的矛盾。目前市场上常见的水冲厕所每次冲水量6 L,按照每人每日如厕5次计算,4口之家每日可产生120 L厕所污水,以最短60 d的水力停留时间设计,则化粪池所需体积至少应为7.2 m³,远高于现在常用的1~2 m³整体式三格化粪池。若采用7.2 m³的化粪池,造价高昂,用地面积也很难保障;若仍使用2 m³的整体式三格化粪池,水力停留时间不够,无害化效果差,存在健康风险。

(2)稀释后低浓度厕所污水和农民粪肥需求的矛盾。使用水冲厕所后粪尿中的养分浓度被稀释,极大地降低了作为肥料的使用价值,且施入土壤后养分容

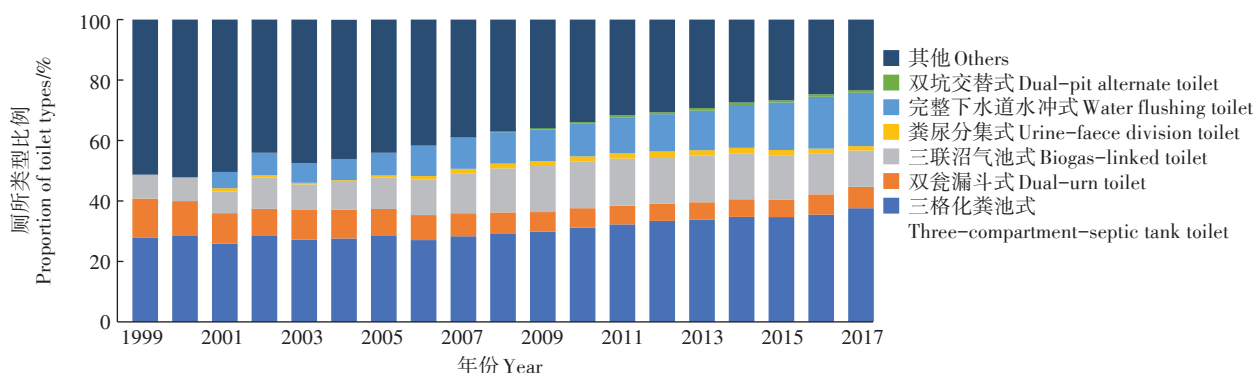


图5 1999—2017年中国农村不同类型卫生厕所的累计户数比例

Figure 5 The proportion of cumulative households with different types of sanitary toilets in rural China from 1999 to 2017

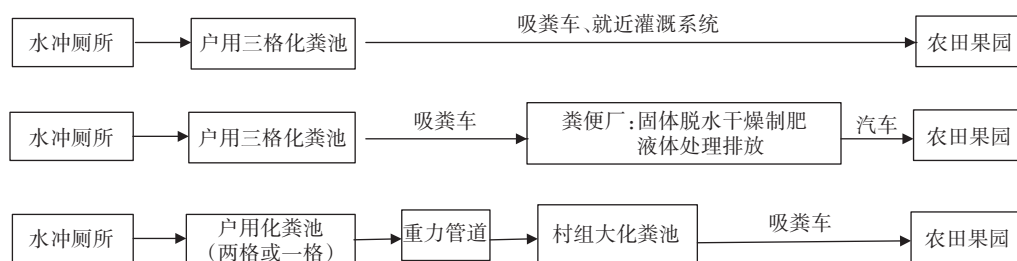


图6 3种农村化粪池改厕的应用场景

Figure 6 Three kinds of rural septic tank toilet application scenarios

易直接径流流失,导致养分利用率低,增加周边水体富营养化风险。长期以来,各种政策性补贴促进了化肥生产与使用,传统田园循环模式中作为重要肥源的人粪已经因肥效慢、使用成本高,被逐渐弃用。在此条件下,被水稀释后的水冲厕所污水更难被农民接受。目前,尚无对化粪池出液用于农田施肥的肥效规定,由于化粪池出液与沼液的性质相似,参考《沼肥施用技术规范》(NY/T 2065—2011),沼肥的理化性状要求为“沼液水分含量96%~99%,总养分含量 $\geq 0.2\%$ ”。对重庆^[13]和浙江^[14]水冲式卫生厕所与三格化粪池无害化效果的现状调研显示,化粪池出水中COD 165~926 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、TN 112~386 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 82~300 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、TP 2.5~31.6 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,不满足施肥要求。在无下水道和污水处理设施的情况下,对农村居民而言,最简单的方式就是把化粪池的出水排入地下^[15]。迄今为止,我国未从法律上禁止农村厕所污水直排地下,即使出台相关法规,也难以有效地监管执法。因此,若选用2 m^3 的三格化粪池,则不宜选择普通的水冲厕所,避免厕所污水直排。

(3)化粪池清掏周期的确定及清掏费用支付机制将成为新问题。常见的户用整体式三格化粪池体积较小,经常需要检查化粪池是否装满,降低了部分村民改厕的积极性。常住人口多的农户经常出现一个月就自行联系清掏公司清掏的情况,抽粪费用各地区每次20~50元不等,对经济条件相对较差的农户而言是不小的负担。经济条件相对发达地区的农村,政府通过组建清掏车队或统一采购第三方环境卫生社会化服务,承担全部或部分的清掏费用。但长期来看,该模式建设成本虽然低,运行成本却高,对政府而言也增加了新的财政负担。

2.2 误区二:户用三格化粪池+集中转运+脱水干燥制肥

集中清扫服务和集中粪便处理,可为居民提供便利的环境卫生服务,提升化粪池清扫及后续资源利用

的专业化与集约化程度,对于保障运行、降低成本有利。但由于农村地区人居分散度高,有效组织粪渣、粪液的收集与运输,高效处理集中清掏的厕所废液(粪液)、废物(粪渣)成为新的研究重点。

据报道,多地设计了“集中转运+集中处理”的技术路线,其集中处理主要是对清掏的化粪池第一格和第二格的粪渣(浮渣+沉渣)进行脱水、干燥制肥或堆肥,但是如何处理化粪池第三格的出液通常都未提及。其中有两个问题值得探讨:①化粪池清扫物中的液体去哪里?以普通的水冲厕所为例,厕所污水中固体含量(粪渣)通常不超过2%,主要是尚未分解的有机物和其他杂质;粪尿中99%以上的氮、磷、钾元素都以溶解性的物质存在于厕所污水中,包括化粪池第三格的出液和粪渣脱水产生的液体。因此,无论是从污染控制还是资源回用的角度,化粪池产生的液体应是处理或利用的重点,若将液体直排环境,则违反了环境保护的前提^[13];若将液体送到污水处理厂集中处理,不仅浪费资源、成本高昂,也违背了“化粪池厕所”作为过渡性设施的初衷。②粪渣脱水干燥制肥的价值如何?对于农田施肥而言,经过足够的水力停留时间之后,粪渣中的固体物质(以经过熟化的有机质为主)可作为土壤改良剂,溶解性营养盐(主要是氮、磷、钾)是作物生长必需的营养元素,水也是作物生长所必需的物质。脱水干燥等方式主要是提高粪肥再利用时的舒适性和便利性,并不会增加粪渣肥力,但此过程却需要消耗大量的物质与能量,无论从资源、环境和成本的角度都不合理。

如何有效组织农村地区粪渣、粪液的收集与运输也是难题。我国城市普遍建有专门的粪便处理厂,城市粪便处理工艺包括固液分离、脱水、絮凝及深化处理、堆肥等,产生的上清液制作液肥或并入污水处理厂处理,固体部分可以制作成有机肥,也可以进行最终的填埋或焚烧^[16]。但由于农村居住的分散性,在农

农村地区实施粪污集中管理,其收集的成本将远远高于城市,长距离输送增加了运输成本,而粪渣、粪液的经济回报有限。因此,该模式的经济可行性低,若强行执行,只能使化粪池出渣和出液的集中收集处理流于形式。在农村地区倡导粪尿资源回用的主要优势在于村庄或农村住宅紧邻农田,资源回用成本低,将集中清扫的粪尿长途输送再异地回用,无异于舍近求远。从清洁生产和减少运输成本的角度,要实现该模式的长效运行,应在分散与集中方面进行平衡,尽可能减少长距离输送,选择合理的收集半径和粪便处理厂的位置,可采用生命周期评价、生命周期成本等多种方式对区域内粪渣和粪液的合理利用进行环境效益和经济评估。针对当前缺乏经济可行性评估的主要障碍,Xu等^[17]提出了现代可持续卫生设施的时空经济分析方法,指出最佳的收集规模并不是固定的,而是由当地的市场情况决定。

集中清扫服务的初衷是为居民提供更好的环境卫生服务,但其难以得到很好的实施应用则存在更深层次的原因:一是当前农用土地的使用权和化粪池运行维护权分属不同的利益主体,沟通机制欠缺;二是对化粪池清扫维护及后续粪便处理利用的成本需求与农田施肥的投入产出绩效缺乏统筹考虑,若将清扫服务与后续处理的费用补贴到农田施肥环节,则有望实现粪肥就近就地利用。

2.3 误区三:户用化粪池+管道+大化粪池

目前有些地方针对化粪池运行维护提出“户用化粪池+管道+大化粪池”的技术设想,试图通过管道收集替代人工清扫,特别是入户清扫化粪池,同时减少车载运输粪水的需求。这一技术设想比“集中收集+脱水干燥”更进一步,强调了就地就近资源化利用,在设计思路则与生活污水进行集中管道收集和污水处理有相似之处。实际应用中提出该设想的地区,多采用了“水冲厕所+”的改厕方式。假设这一技术路线使用“微水清洁厕所”,那么该设想的不可行性体现在以下三个方面:

(1)因小失大。将“户用化粪池+管道+大化粪池”技术路线和“完整的水道+末端污水处理”进行建设成本对比,首先是管道建设成本,在管道建设投资强度上相差不大,管道建设成本均超过80%,处理设施的建设成本低于20%。其次,对比大化粪池和污水处理设施的建设成本。“大化粪池”的造价一般在 $2\,000\text{元}\cdot\text{m}^{-3}$,储存时间一般为30 d,假设微水厕所清洁每次用水量为1 L,则人均粪水产率约为 $7\text{L}\cdot\text{d}^{-1}$,大

化粪池人均造价 $=2\,000\text{元}\cdot\text{m}^{-3}\times(7\text{L}\cdot\text{d}^{-1}\times30\text{d})=420\text{元}$ 。村组集中型的污水处理设施吨水造价一般在 $7\,000\text{元}\cdot\text{d}\cdot\text{t}^{-1}$,人均污水产率约为 $100\text{L}\cdot\text{d}^{-1}$,则污水处理设施人均造价 $=7\,000\text{元}\cdot\text{d}\cdot\text{t}^{-1}\times100\text{L}\cdot\text{d}^{-1}=700\text{元}$ 。相比于完整的“下水道+末端污水处理”,“管道+大化粪池”的方式所节约的建设成本有限。同时管道的建设成本随居住的密集度和管道开挖难度而变动,通常农村地区管道的人均建设成本约为 $2\,000\sim6\,000\text{元}$,由此造成的高投入实际上有悖于基于过渡期的改厕目的。

(2)管道维护。管道维护的重点是清理管道沉积物。管道内易产生沉淀,一是与悬浮物的浓度有关,浓度越大,越易在管道内产生沉淀;二是与管道内的流速有关,流速越小,越容易产生沉淀。从这两方面看,用于收集化粪池第三格出液的管道沉淀现象必定趋于严重。如果使用微水清洁厕所,化粪池出液量大约只有生活污水量的1/14,势必对管道设计和维护带来挑战。

(3)采用管道收集化粪池出液的方式还存在隐忧。“微水厕所+户用化粪池+管道+大化粪池”在提供便利卫生服务的同时,难以避免部分村民私自安装水冲厕所,或者将生活杂水排入管道。《农村集中下水道收集户厕建设技术规范》(GB/T 38838—2020)适用于已建和拟建污水收集管网和集中处理设施的农村地区,户用化粪池是预处理设施,在此条件下才能同时收集厕所污水和生活杂排水。

3 结论和建议

3.1 结论

化粪池技术易于生产、安装和运行,并无复杂的技术,但在应用化粪池改厕时仍然需要进行辩证思考、科学设计和精细化管理。化粪池的功能定位可分为建筑物排水的预处理设施和资源化处理器,当前农村采用“三格化粪池厕所”的方式改厕是在农村环境卫生与污染治理的现代化需求下的过渡性安排,既要有一定的经济约束下最大程度地改善农村环境卫生水平,也要确保环保性和可持续性。但在实际应用中,尽管“水冲厕所+三格化粪池”的方式能够满足第一排放环节的要求,但因水冲厕所用水量大而引起的第二排放环节的处理或再利用问题却常常被忽视。当前各地正积极地推进“化粪池+”的改厕模式,虽然户均投入不高,但覆盖面极广,将对未来农村环境卫生现代化影响重大,若不合理使用化粪池,势必造成

难以挽回的损失。

3.2 建议

(1)进一步明确农村厕所革命的总体目标,坚持系统性思维,各地应因地制宜,科学规划从现状到未来完全现代化的最佳技术路径;尚不能一次实现完全现代化的条件下,可实行诸如“化粪池+”的过渡性改厕策略,但应尽可能让过渡性的设施在未来长期性的系统中也能发挥作用,减少投资浪费。

(2)充分认识到水冲厕所在第二排放环节的局限性,确定资源利用的原则,鼓励微水清洁厕所和无水清洁厕所的研发。

(3)深刻把握化粪池的功能定位,避免赋予化粪池“过渡性污水处理设施”的不可承受之重。

(4)加快制定化粪池出料(液肥、渣肥)回用于农田施肥的鼓励性政策,消除运营维护权与本地农田使用权相分离的制度性障碍,落实就近就地用肥原则,避免无附加价值增长的深度处理。

参考文献:

- [1] 付彦芬. 中国农村厕所革命的历史实践[J]. 环境卫生学杂志, 2019, 9(5):415-417. FU Yan-fen. The historical practice of China's rural toilet revolution[J]. *Journal of Environmental Hygiene*, 2019, 9(5): 415-417.
- [2] Cheng S K, Li Z F, Uddin S M N, et al. Toilet revolution in China[J]. *Journal of Environmental Management*, 2018, 216(1):347-356.
- [3] 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. FAN Bin, WANG Hong-liang, ZHANG Yu, et al. Application and development of septic tank technology in decentralized wastewater treatment[J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2017, 11(3):1314-1321.
- [4] Zeeman G. Decentralised sanitation and reuse concepts systems and implementation[M]. London: IWA Publishing, 2001:8-21.
- [5] Kamel M M, Hgazy B E. A septic tank system: On site disposal[J]. *Journal of Applied Sciences*, 2006, 6(10):2269-2274.
- [6] Lofrano G, Brown J. Wastewater management through the ages: A history of mankind[J]. *Science of the Total Environment*, 2010, 408(22): 5254-5264.
- [7] Heinonen T H, Van Wilk S C. Human excreta for plant production[J]. *Bioresource Technology*, 2005, 96(4):403-411.
- [8] Harder R, Wielemaker R, Molander S, et al. Reframing human excreta management as part of food and farming systems[J]. *Water Research*, 2020, 175:115601.
- [9] 范彬. 走田园循环大道, 跨越污水垃圾处理陷阱[EB/OL]. [2020-05-06]. <https://mp.weixin.qq.com/s/SAiyRvvPnZ06vIK1at9yMA>. FAN Bin. The modern home-farm cycle solution for Chinese rural toilet revolution[EB/OL]. [2020-05-06]. <https://mp.weixin.qq.com/s/SAiyRvvPnZ06vIK1at9yMA>.
- [10] 范彬, 胡明, 顾俊, 等. 不同农村污水收集处理方式的经济性比较[J]. 中国给水排水, 2015, 31(14):20-25. FAN Bin, HU Ming, GU Jun, et al. Economic comparison of different rural sewage treatment patterns[J]. *China Water & Wastewater*, 2015, 31(14):20-25.
- [11] Fan B, Hu M, Wang H, et al. Get in sanitation 2.0 by opportunity of rural China: Scheme, simulating application and life cycle assessment[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 147:86-95.
- [12] 王永生, 刘彦随, 龙花楼. 我国农村厕所改造的区域特征及路径探析[J]. 农业资源与环境学报, 2019, 36(5):553-560. WANG Yong-sheng, LIU Yan-sui, LONG Hua-lou. Regional characteristics and pathway optimization of China's rural toilet improvement[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2019, 36(5):553-560.
- [13] 冯长艳, 代兴碧, 牟李红, 等. 重庆市农村三格化粪池后粪水处理方法的现场研究[J]. 卫生研究, 2009, 38(2):221-223. FENG Chang-yan, DAI Xing-bi, MOU Li-hong, et al. Field study on the treatment of waste water in rural three-grid septic tanks in Chongqing[J]. *Journal of Hygiene Research*, 2009, 38(2):221-223.
- [14] 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(10):80-81. REN Li-hua, LOU Xiao-ming, CHEN Wei-zhong, et al. Investigation on the harmless effect of rural sanitary toilets in Zhejiang Province[J]. *Journal of Environment and Health*, 2013(10):80-81.
- [15] 刘铭辉. 基于全生态链的农村化粪池式厕所系统研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2019:29-34. LIU Ming-hui. Research on rural septic tank toilet system based on whole ecological chain[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2019:29-34.
- [16] 黄冬, 蒋松竹, 刘秀红, 等. 我国城市化粪池建设与管理现状及特征研究[J]. 环境卫生工程, 2017, 25(6):84-88. HUANG Dong, JIANG Song-zhu, LIU Xiu-hong, et al. Current status and features of septic tank construction and management in urban areas of China[J]. *Environmental Sanitation Engineering*, 2017, 25(6):84-88.
- [17] Xu M, Zhu S, Zhang Y, et al. Spatial-temporal economic analysis of modern sustainable sanitation in rural China: Resource-oriented system[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 233(10):340-347.