

一种节水型乡村家庭生态厕所的设计初探

张诗慧 郝大程 通讯作者

环境化工学院, 大连交通大学, 辽宁 大连 116028

[摘要]自改革开放以来,中国农村各方面都得到了发展。但在大部分农村地区由于基础配套设施不完善,农村旱厕大量存在。随着新农村建设的逐步推进,以干净卫生、节水为目标的新一轮“厕所革命”正在悄然兴起,全国各地关于“厕所革命”的改革方案也在逐步推进。文章中从生态发展的角度,寻求农村家庭节水生态厕所设计的新理念,描述创新的研究内容和使用方法,提出针对节水型蹲便器并结合双瓮化粪池的设计方案。最后文章中将说明双瓮化粪池与节水型泡沫蹲便器连接方法,探究整体设计可行性,同时与各类厕所进行分析比较总结,探索适应未来农村节水生态厕所的改进方向,以适应可持续发展目标。

[关键词]节水蹲便器;双瓮化粪池;厕所革命;生态厕所

DOI: 10.33142/sca.v3i6.2486

中图分类号: TU993

文献标识码: A

A Preliminary Study on the Design of A Water-saving Rural Household Ecological Toilet

ZHANG Shihui, HE Dacheng

School of Environment and Chemical Engineering, Dalian Jiaotong University, Dalian, Liaoning, 116028, China

Abstract: Since reform and opening up, all aspects of rural China have developed. However, in most rural areas, due to the imperfect infrastructure, there are a large number of rural outhouses. With the gradual advancement of new rural construction, a new round of "toilet revolution" aiming at clean, sanitary and water-saving is quietly rising, and the reform plan of "toilet revolution" in all parts of the country is also gradually advancing. From the perspective of ecological development, this paper seeks the new concept of rural household water-saving ecological toilet design, describes the innovative research content and use methods, and puts forward the design scheme of water-saving squatting toilet combined with double urn septic tank. Finally, the article will explain the connection method between double urn septic tank and water-saving foam squatting pan, explore the feasibility of the overall design, and analyze and compare with all kinds of toilets, and explore the direction of adapting to the future rural water-saving ecological toilet to adapt to the goal of sustainable development.

Keywords: water saving squatting toilet; double urn septic tank; toilet revolution; ecological toilet

1 课题的来源与意义

在大部分农村地区由于基础配套设施不完善,农村旱厕大量存在,严重影响着村庄的生态环境也影响着周围生活居民的生活质量。曾经发生在欧洲的大流行病霍乱就是由于没有卫生厕所的普及,导致病毒通过粪便传播的。厕所革命是实现乡村振兴战略迫切需要补齐的“短板”,通过生态厕所的建设,减少粪尿对生态环境的污染,同时杜绝病毒通过粪便传播的可能,另一方面生态厕所可以充分利用现有资源。

据调查辽宁农村人口数量在 1400 万人左右,成人每天大约产生 100-300g 粪便,排尿量大约在 1.5-2L 左右。辽宁省人民政府办公厅在一份促进厕所革命计划的报告中明确指出,沈阳、大连、丹东 3 市要落实农村试点家庭生态厕所改革方案,完成无害化改造。据庄河市光华村群众介绍,他们大多已使用上无害化卫生厕所,这些厕所大多采用蹲便器与双瓮化粪池或三格化粪池结合的形式。农村家庭每户大约 3-5 人左右,用厕 4 人化粪池容积需在 1.6 立方米左右,每增加 1 名家庭成员,大致需增加 0.3 立方米,家用化粪池一般总体积较小,且大多数由塑料和其他具有高耐腐蚀性的材料制成,更适合农村改造。结合调研结果看,尽管随着“厕所革命”的进行,它逐渐实现了辽宁省农村地区粪便无害的管理,但厕所水浪费的问题并没有得到改善。

2 生态厕所设计理念

生态厕所(eco-toilet),是指不污染环境,并能最大限度的利用各种资源,强调自净和资源循环利用的一类厕所。

节水型生态厕所主要分为免水冲洗厕所、循环水冲洗厕所、节水生态厕所。虽然生态厕所的类型很多,在我国各

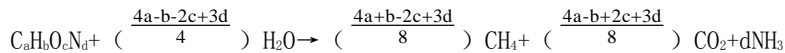
省“厕所革命”改革方案中，主要推荐农户选择的类型大致分为两类，新型粪尿分集旱厕及水冲式厕所。结合两种类型及生态厕所类型，设计了节水泡沫蹲便器结合双瓮化粪池的节水生态厕所。

综合各种因素及现有专利选择设计节水型泡沫蹲便器，辽宁地区较为缺水，且对农家肥有需求，所以泡沫蹲便器可以实现节水目标的同时，又连接设计了双瓮化粪池，解决对农家肥的需求，实现生态化建设目标。

双瓮化粪池中粪便由进粪管进入前瓮，在前瓮中密闭发酵，通过厌氧微生物的作用降解粪便中的有机物，而部分粪块因发酵膨胀而上升，密度大的下沉，构成表层粪皮，中层粪液，粪渣则沉淀在底部。中层粪液通过插入前瓮中下部的过粪管进入后瓮，后瓮主要是储藏的作用。经双瓮化粪池厌氧发酵后的粪便可直接用于施肥，使用过程中只要定期取出发酵后产生的肥料即可。

粪便中的主要成分包括硫化氢 (H₂S)、甲烷 (CH₄)、臭素 (C₉H₉N)、二氧化碳 (CO₂)、水 (H₂O)、尿素 (CO (NH₂)₂)、尿酸 ([(NH)₄O₃]_n)、甘油 (C₃H₈O₃)。

双瓮化粪池厌氧发酵理论方程：



厌氧阶段，粪尿中有机碳被微生物分解，其中一部分转化为 CO₂、CH₄。

$$Q_{in} \times TOC_{in} \times \Delta CS_1 = Q_{out} \times TOC_{out} + C_{CO_2} + C_{CH_4}$$

Q_{in}——某阶段进入化粪池粪尿量 m³

TOC_{in}——某阶段进入化粪池粪尿中有机碳含量 mg/L

Q_{out}——某阶段粪尿发酵后取出量 m³

TOC_{out}——某阶段发酵取出肥料中有机碳含量 mg/L

C_{CO₂}——粪便厌氧发酵过程中转化为 CO₂ 的碳质量 g

C_{CH₄}——粪便处置过程中转化为 CH₄ 的碳质量 g

ΔCS₁——粪便发酵过程中污泥碳减少量 g

3 生态厕所设计图及分析说明

3.1 节水蹲便器的设计

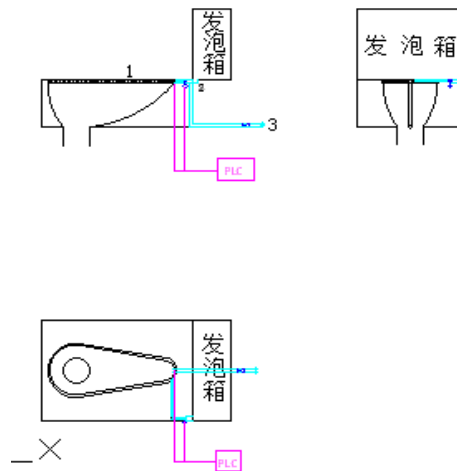


图 3-1 节水蹲便器设计图

1——出泡孔 2——出泡管 3——进水管

本设计中的泡沫型节水蹲便器产品耗水量 0.02-0.05L/次，蹲便器主体采用不锈钢 304 材质，不锈钢材质不生锈且表面较为光滑易于粪便冲落。发泡箱蹲便器箱体选用 PVC 材质，PVC 材质耐腐蚀、耐老化，适合在农村户外长期使用。发泡箱内装有发泡液，其主要成分为表面活性剂，使用时用清水 1:300-400 稀释，运行成本低，是建设环境友好型农村的选择。由于农村厕所大多建设在室外，辽宁地区冬季气温较低，蹲便器外侧箱体用保温棉包裹，防止发泡液无法正常流出。节水蹲便器开关设计采用 PLC 与光纤感应系统结合的方式。

结合现有水冲式蹲便器的尺寸，本设计中蹲便器主体部分长 720mm 宽 500mm 高 240mm，不锈钢材质的钢板厚度约为

50mm, 蹲便器缸体顶部设有一圈高 20mm 的方形管道环绕, 一侧设有发泡孔, 发泡孔大小分为三部分按照大小依次为 8mm、6mm、4mm, 排出蹲便器下口直径大小为 120mm。发泡箱置于蹲便器上方, 高 350mm、宽 500mm、长 180mm, 下部设有出泡管, 发泡管与距离最近的发泡孔连接。进水管一端与外部自来水管连接, 另一端与蹲便器缸体顶部发泡管道连接。

水与发泡液混合后倒入发泡箱内, 发泡箱体积 350mm×500mm×180mm, 约为 31.5L, 一次用量大约在 0.05L 左右, 当发泡箱一次注满泡沫后可使用 600 次以上。

3.2 双瓮化粪池的设计

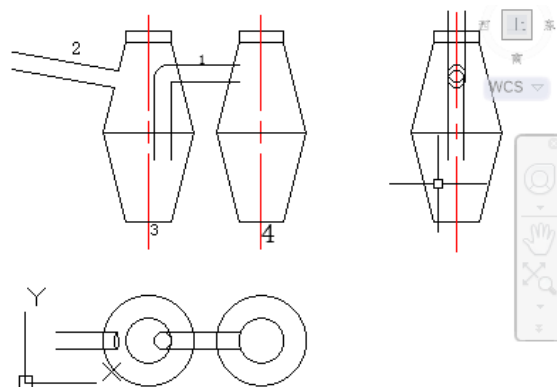


图 3-2 双瓮化粪池

1——过粪管 2——进粪管 3——前瓮 4——后瓮

双瓮化粪池两个瓮体大小相同, 均盖有盖子, 底部直径为 400mm, 中部最宽直径 800mm, 高 1600mm。进粪管倾斜角度为 10° 选用直径为 150mm 的 PVC 管, 从前瓮上部高约 400mm 处进入。过粪管插入至前瓮下半部, 距离底部 560mm 处, 过粪管与后瓮毗邻处位于后瓮上部, 距离顶部大约 200mm 处。

双瓮化粪池容积计算公式:

$$V = \frac{A \times X \times D}{1000}$$

V——化粪池有效容积

A——每人每天粪尿排泄量

X——使用人数

D——每池驻留粪便有效时间

一般每人每天粪尿量约为 2L 左右, 泡沫节水蹲便器用水量可忽略,

前瓮:

$$V = \frac{2 \times 4 \times 30}{1000} = 0.24 \text{m}^3$$

后瓮:

$$V = \frac{2 \times 4 \times 20}{1000} = 0.16 \text{m}^3$$

根据公式计算用厕 4 人的家庭化粪池容积应不小于 0.4m³。

根据设计数据计算两瓮体积大小相同, 大致估算每个瓮体体积计算如下:

$$V = \frac{\pi \times 0.2 \times 0.2 \times \pi \times 0.4 \times 0.4}{2} \times 1.6 = 0.5 \text{m}^3$$

设计尺寸满足实际需求大小, 设计大小合理。

3.3 节水生态厕所总体设计

采取粪尿分集的方式处理, 使用泡沫式节水蹲便器, 将传统的单一水冲改为冲水时产生大量泡沫已达到清洁效果, 粪便由进粪管流向前瓮, 在发酵过程中会产生 CO₂、CH₄ 等气体, 在进粪管管道上方安装排气管。为满足日常生活需求, 在生态厕所内设置了一个简易洗手盆。

本设计中的蹲便器使用发泡液从蹲便器四周发泡达到清洁、节水的目的。发泡液主要成分为表面活性剂, 具有抑

臭、杀菌的作用，且产生的泡沫可长时间存在，使用时水与发泡液混合。不使用时蹲便器中的光线感应系统将结合 PLC 控制，保持蹲便器内始终存在大量泡沫覆盖；使用时粪便尿液由于蹲便器斜坡角度的存在将随着发泡液流入化粪池。

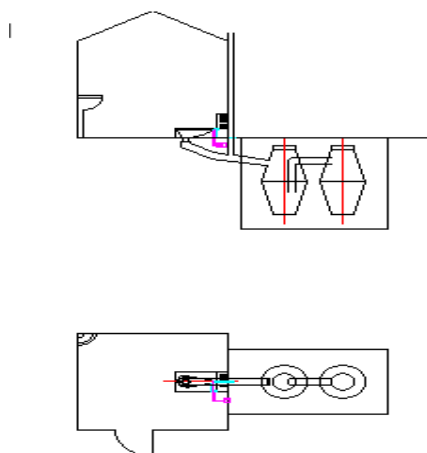


图 3-3 整体结构图

4 本设计与现有专利等比较分析

4.1 泡沫节水蹲便器优缺点分析

优点：与传统水冲厕所相比，节水蹲便器可节约大量水资源，同时又可以充分粪便厌氧发酵后产生的肥料，是适应新农村生态发展目标的产品。传统水冲厕所使用一次用水量为 6L 左右，而发泡节水蹲便器一次用水量约为 0.05L 左右。另外，本设计中的蹲便器、安装方便、改造费用低，在部分传统蹲便器基础上进行改造即可，适合在农村推广使用。

缺点：与传统水冲厕所相比，由于粪便存在黏性，即使存在一定坡度及发泡液润滑的作用，但仍有不能完全冲洗干净的问题。另一方面，北京蓝洁士等环保公司生产的免水可冲厕所则不仅是节约水资源还可以循环利用水资源，免水可冲厕所是一种利用收集的小便清洗厕所，已实现不依赖外界其他水资源达到清洁厕所的目的，而且据了解该免水可冲厕所后续运行费用低，相比之下本设计中的节水蹲便器在资源循环利用方面略微逊色。

4.2 粪尿后续处理方式比较分析

化粪池主要是靠厌氧菌分解粪便中有机物的原理，使粪便无害化处理的装置。双瓮化粪池造价低，不污染环境，粪尿的发酵过程也不会污染地下水。传统水冲式厕所粪尿后续处理通常采用污水厂集中处理的方式，污水厂的建造花费较大，且需要综合考虑周围环境因素等，不适宜在我国农村建造，相比之下双瓮化粪池可以充分利用粪便发酵后的肥料。但是双瓮化粪池也有缺点，例如发酵产生的肥料仍需人工清掏等。

综合农村实际对肥料需求情况，各类厕所建造成本等方面考虑，水冲类厕所、后续需通过管道运输至污水厂的厕所均不适宜在农村地区建造。相比之下，泡沫节水型生态厕所对水资源需求极少，发泡剂无污染、无刺激性，还可以利用肥料，更适宜在辽宁农村使用。

4.3 未来改进方向分析

粪尿在双瓮化粪池厌氧发酵的过程中会产生甲烷，甲烷是一种可燃气体，甲烷的燃烧热值在 890KJ/mol 左右，即 5.6×10^4 KJ/kg，每回收 1kg 甲烷气体可发电大约 16kwh 左右。

厌氧发酵过程中产生甲烷排放计算公式：

$$CH_4 = \sum (M_i \times EF_i) \times 10^{-3} - R$$

M_i ——粪便质量 kg

EF_i ——排放因子 g 甲烷/kg 废弃物（厌氧发酵一般在 10 左右）

i ——厌氧分解

R ——回收的甲烷总量

正常成人每天产生粪便在 250g 左右，假设一家 4 口人，则每天将产生约 1kg 左右的粪便，据查现有资料及数据，

1kg 左右的粪便将产生 0.0042kg 左右的甲烷, 若可以完全利用, 产生的电量可供 20w 的灯泡工作 3 小时左右。这样可以更充分利用厌氧发酵的产物, 提高资源循环利用率。

另外, 尿液也可用于发电。原理与电解水逆反应获得能量极其相类似。人的尿液中 H_2O 组分在 96% 左右, 尿素占 2.5% 左右, 尿素 ($CO(NH_2)_2$)。从目前查到的资料来看, 科学家已将此技术改进, 变为尿素燃料电池 (DUFC), 直接尿素燃料电池 (DUFC) 是能同时解决废水处理和发电问题的一种廉价且有效的方法。未来结合此技术, 我们可以通过改进泡沫节水型蹲便器部分结构, 结合分集式蹲便器结构, 将尿液单独回收用于为生态厕所发电。

5 结论

人类厕所文明先后经历了两种, 分别出现了旱厕和水冲厕所。现在进行的第三次厕所革命注重于节水型生态厕所的建设。考虑到第三次厕所革命, 厕所未来改革的是朝着卫生、节水、无异味、生态化、资源再利用的方向进行。

节水型生态厕所革命是近几十年来发展的一个热点话题, 本文以辽宁地区生态厕所建设为研究对象, 以如何减少水资源浪费、充分循环利用粪尿排泄物实现可持续发展为主要研究目的, 出节水型乡村家庭生态厕所的设计原则, 制定总体设计方案。从生态设计的视角, 并基于资源充分循环利用的目标, 探索乡村节水型生态厕所设计的基本理念, 通过生态厕所设计实践及相关案例分析, 提出可持续发展的乡村家庭生态厕所设计原则。结合辽宁各地实际情况, 采取双瓮化粪池与泡沫式节水生态厕所蹲便器结合的方式实现节水型生态厕所的设计, 是适合在辽宁农村推广使用的, 可实现粪便利用且适应辽宁号召的“厕所革命”改革方案。

本设计采用的泡沫节水蹲便器结合双瓮化粪池的形式实现厕所生态化, 虽然还有一些不足, 但综合改造方案复杂程度、工程造价、能否实现节水生态厕所的目标等方面看, 目前已基本实现设计要求。随着科技的进步和发展, 未来“厕所革命”的改革方向会结合现代科技技术与微生物发酵、燃料电池等技术, 更好的循环利用现有资源, 在保证厕所最根本要求干净、卫生条件下, 提高资源利用率。

[参考文献]

- [1] 杜兵. 生态厕所的类型及粪污处理工艺[J]. 给水排水, 2003, 29(5): 60-62.
- [2] 刘新. 夏南. 生态型公共厕所系统设计的理念、原则与实践[J]. 生态经济, 2018, 34(6): 232-236.
- [3] 吴雅思. 贫困村生态旱厕设计——以山西省桥沟村为例[J]. 北京理工大学, 2017(8): 56.
- [4] 张博伦. 一带一路战略实施与中国农村厕所革命[J]. 中国战略新兴产业, 2018(03): 184.
- [5] 苗春霞. 广西推动农村厕所革命的调查研究[J]. 产业与科技论坛, 2019, 18(18): 102-104.
- [6] 阳彬彬. 王家悦, 宋梦琪. 农村公共厕所改革研究[J]. 合作经济与科技, 2020(02): 89.
- [7] 潘理黎等. 我国免水生态厕所的发展现状与展望[J]. 科技导报, 2010, 23(11): 66-68.
- [8] 邹伟国. 国内外生态卫生厕所应用与分析[J]. 水工业市场, 2011(6): 49-52.
- [9] 周敬宣. 我国粪便处置现状与治理对策的研究[J]. 环境污染治理技术与设备, 2003, 4(3): 9-11.
- [10] 朱嘉明. 中国: 需要厕所革命[M]. 北京: 三联书店, 1998.
- [11] 高素坤. 农村厕所低成本改造技术与应用研究[M]. 泰安: 山东农业大学, 2017.
- [13] Lopez Zavala, M. A. Funamizu. Design and operation of the bio-toilet system[J]. Water Science and Technology, 2006, 53(9): 55-61.

作者简介: 郝大程 (通讯作者), 博士/教授, 大连交通大学环境化工学院, 研究方向: 资源与环境生物工程。