

化粪池技术在分散污水处理中的应用与发展

范彬^{1,2,*}, 王洪良^{1,2}, 张玉^{1,2}, 胡明^{1,2}

1. 中国科学院生态环境研究中心, 住房和城乡建设部农村污水处理技术北方研究中心, 北京 100085

2. 中国科学院大学, 北京 100049

摘要 化粪池技术简单易行, 运行维护要求低, 在分散污水处理中有着历史悠久和广泛的应用。介绍了化粪池的产生背景和作用机理, 指出了当前传统化粪池在分散污水处理中出现的问题, 总结了国内外对化粪池技术的改进和应用, 展望了化粪池技术未来应用趋势。提出建议: 在常规卫生模式下的乡村分散污水处理中, 如规划采用传统化粪池/自然处理系统时, 应加强化粪池的设计、安装与运行的管理, 使其发挥应有的作用; 如规划采用构造型分散污水处理系统时, 可取消传统化粪池的设置; 如对氮磷没有控制要求, 则可以考虑采用强化型的化粪池技术。在构建面向资源化的乡村分散卫生系统中, 应着重开发基于粪便收集利用的高效、安全且运行维护简便的就地化粪池技术。

关键词 化粪池; 应用与发展; 分散污水处理; 现状问题; 未来应用

中图分类号 X703 文献标识码 A 文章编号 1673-9108(2017)03-1314-08 DOI 10.12030/j.cjee.201511112

Application and development of septic tank technology in decentralized wastewater treatment

FAN Bin^{1,2,*}, WANG Hongliang^{1,2}, ZHANG Yu^{1,2}, HU Ming^{1,2}

1. North Research Center for Rural wastewater Treatment Technology, Ministry of Housing and Urban-Rural Development, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract The technology of septic tanks has a long history and widespread applications in decentralized wastewater treatment because of its simple structure and ease of operation. This article reviews the history and mechanisms of septic tank, tackles questions regarding its application, provides a summary of its development and application and predicts the prospects for its application in future. It is suggested that, in conventional sanitation systems in rural decentralized areas, the management of septic tanks should be strengthened to guarantee its function if the septic tank/natural treatment system were to be adopted. It might be better to discontinue the use of septic tanks if a more appropriate wastewater treatment technology can be adopted, while the enhanced septic tank technology could be adopted if it is not necessary to control the TN and TP. The article suggests strengthening the research and development of the onsite septic tank technology (anaerobic fermentation) with improved efficiency and safety, based on the collection and utilization of excrements, for building a resource-oriented sanitation system for rural decentralized areas.

Key words septic tank; development and application; decentralized wastewater treatment; current questions in application; future application

化粪池(septic tank)是世界上最普遍应用的一种分散污水处理技术(初级处理), 具有结构简单、管理方便和成本低廉等优点, 既可以作为临时性的或简易的排水设施, 也可以在现代污水处理系统中用作预处理设施, 对卫生防疫、降解污染物、截留污水中的大颗粒物质、防止管道堵塞起着积极的作用。目前我国, 几乎每一个城市建筑物都设有化粪池, 安装了水冲厕所的乡村分散家庭一般也设有化粪池。而随着城市集中污水处理厂的普及, 国外许多国家逐步取消了化粪池的设置, 但是化粪池仍在乡村分散污水处理中

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2014ZX07204-005-01); 国家重点研发计划(2016YFC0400806)

收稿日期: 2015-11-13; 录用日期: 2016-01-29

第一作者: 范彬(1969—), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 农村污水治理规划、管理与分散污水治理技术。E-mail: fanbin@rcees.ac.cn

* 通信作者

发挥重要作用。

作为人类发明的第1种污水处理设施,化粪池在现代排水与污水处理发展史上具有里程碑的意义,为改善人类的生活卫生与居住环境发挥了重要作用。但总体而言,由于被认为技术过于简单、处理性能也很初级,化粪池技术越来越不被学术界所关注。随着现代污水处理技术发展,特别是深度脱氮问题日益突出,化粪池还面临存废问题。本文简单回顾化粪池技术的发展历程,探讨该项技术在当前乡村分散污水处理中的应用方向。

1 化粪池技术的产生和原理

1.1 化粪池的产生

最早的化粪池可以追溯到19世纪的欧洲^[1]。1860年,法国研究人员在住宅和集粪坑之间设计了一个“箱”,并且这个“箱”的进水管和出水管均深入水面下以形成水封。1881年,法国《宇宙》杂志报道了这个“箱”,并称之为“MOURAS池”,其以去除大部分固体污物,还可以产生较清澈的液体用于灌溉土地。这便是现代化粪池的先驱,后来也被认为是人工厌氧生物处理技术的开端。1883年,美国的研究人员设计两格式池,并利用自动虹吸管进行间歇出水。1895年,英国研究人员对一种类似于“MOURAS池”的改进工艺申请了专利,并称之为化粪池(septic tank)。随后,化粪池在世界范围内得到了广泛的传播与应用;然而,由于池内产生的气体对底泥的扰动性较大,导致出水中悬浮固体浓度较高,影响其回用于农田,人们开始研究如何有效地分离污水中的液体和固体,因此两格式、三格式化粪池应运而生,并至今仍被广泛应用。1905年,德国研究人员设计了一种双层沉淀池(imhoff tank),池子内部分别完成沉淀和厌氧消化的过程,这就是目前在小型污水处理厂常见的隐化池。

1.2 化粪池的原理

化粪池作为生活污水的预处理设施,其利用了厌氧发酵和静置分离的原理^[2]。在重力作用下,生活污水中的大颗粒物质沉降(形成沉渣)或上浮(形成浮渣),同时通过厌氧发酵作用将有机物进行部分降解,进而实现污水的初步处理,满足简易排水要求,或者有利于后续排水及污水处理。如图1所示,污水在化粪池内逐渐分离为3层:浮渣层、中间层和沉渣层。比重轻的物质(油类)或夹带气泡的絮团向上悬浮,形成浮渣层,比重较大的固体沉淀在底层。在兼性/厌氧菌作用下,污水中的污染物质分解产生 CH_4 、 CO_2 和 H_2S 等气体。经过充分稳定化后,清掏的固体可以作为肥料,中间层的液体在环境要求不高时可以直接排放,否则须进入后续处理单元进行进一步处理。上层浮渣和底层沉渣需定期清掏,以免影响化粪池的处理效果。由于化粪池并不能使污染物彻底矿化,其出水中仍然含有较高的污染指标(包括COD、氨氮、SS等),化粪池有时也被视作较为原始的、低效的厌氧污水处理技术。

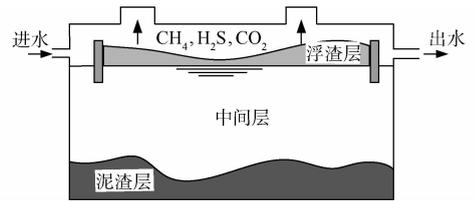


图1 化粪池示意图

Fig. 1 Schematic of septic tank

2 基于传统化粪池的常规分散污水处理技术

2.1 传统化粪池及其辅助卫生排水的功能

传统化粪池作为简易排水措施或预处理单元,其主要功能是截留较大的固体颗粒物并对有机物进行部分降解,降低后续处理单元负荷和减少管道堵塞的风险。传统化粪池大多采用隔墙或隔板进行间隔,构成多格化粪池,研究结果发现多格化粪池的处理效果要好于单格化粪池^[3],目前应用较为广泛的是三格化粪池,如图2所示。生活污水进入到第1

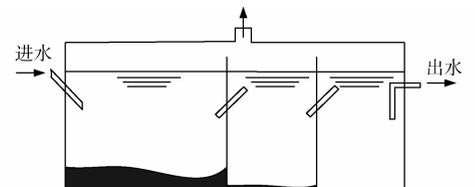


图2 三格式化粪池示意图

Fig. 2 Schematic of three-compartment septic tank

池,池内粪便等开始发酵分解,因比重不同,池内开始分层。经过一段时间的发酵和静置分离,中层液体含虫卵、病原体、大颗粒较少,随后经过连接管进入到第 2 池,沉渣和浮渣物质则被截留在第 1 池内继续分解。流入到第 2 池的中层液体进一步发酵或发生固液分离,其中的大颗粒物质较第 1 池显著减少。第 2 池的中层液体继续进入到第 3 池,此时第 3 池内液体基本腐熟,病原菌、虫卵得到有效去除。第 3 池主要起储存、沉淀作用。三格化粪池的出水可以满足排入城市下水道的水质要求,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)的要求仍有很大差距。

近年来,我国各地纷纷开展乡村分散污水治理、乡村改水改厕等活动,三格化粪池是我国农村改厕中普遍使用的一种污水处理设施^[4]。由于传统化粪池简单易行且费用低廉(几乎无运行费用),其作为辅助卫生排水的初级污水处理设施是非常必要的;然而一些地方将传统化粪池视为最终的环境排放技术,则是赋予化粪池不可承受之重。

早期的化粪池大多是现场构筑,建筑材料以砖砌或钢筋混凝土为主。现场构筑时,化粪池的内外防水性至关重要;即使修建时注意到防渗漏在使用过程中其内部也会由于污水酸化的腐蚀作用而漏水,或者发生板结现象,影响处理效果。近年来,工厂化预制的聚乙烯和玻璃钢材化粪池得到推广应用。预制的化粪池质量易控,大规模工业化制造也有利于降低成本。从材质上说,聚乙烯和玻璃钢材质还解决了传统砖砌和钢混材质易渗漏、不耐腐蚀、寿命短等缺点。

2.2 基于传统化粪池的自然处理系统

自然处理系统指的是利用自然过程来进行污水处理,该过程主要依靠自然本身的功能来达到污水处理的效果,如氧气扩散、过滤、吸附、氧化还原、生物转化、光合作用、植物摄取等功能,而在所有自然处理系统前都需要一些预处理单元来去除固体,防止其对配水、渗滤系统的阻塞,毫无疑问化粪池是首选预处理单元;因此化粪池作为初级污水处理设备,与自然处理技术(土壤渗滤、人工湿地、人工潜流、稳定塘等)相结合是常见的分散污水就地处理系统(onsite wastewater treatment system)。由于欧美等国的乡村分散地区地广人稀,应用自然处理系统较为普遍。据报道,美国^[5]大约有 25% 家庭使用了分散污水就地处理系统,最常见的是化粪池/土地渗滤处理系统;澳大利亚^[6]运行的分散污水处理系统中至少 75% 以上采用化粪池/土地渗滤处理系统;欧洲^[7]大约有 26% 家庭的分散污水使用化粪池/自然处理系统。近年来,我国应用自然处理系统建成了为数不少的乡村分散污水处理设施,但真正发挥污水处理功效的不多,主要原因是安装不当和缺少必要的运行维护。自然处理系统的优缺点是相对的,当自然资源的“价格”较低时,采用自然处理系统有利于降低成本,耗能低,几乎无运行成本,缺点则是建设和运行过程不太容易标准化,设计和施工质量控制较难,污水处理效果受自然因素影响显著,因此在选择自然处理系统时应因地制宜,在我国人口密集的乡村分散地区应谨慎选择自然处理系统。

在自然处理系统中化粪池的重要性并没有得到人们的重视。早在 20 世纪 90 年代末,美国各州陆续出现了分散污水处理系统失效的现象,严重污染地表水和地下水流域,其中化粪池管理不善是其中一个重要原因^[5];因此,美国环保总署相继出台了相关的指导性文件,确保分散污水的处理系统不会对人体健康和环境产生危害。《业主指导手册-化粪池系统》和《业主检查手册-化粪池系统》为业主详细介绍了化粪池的功能、安装及运行过程中的注意事项,也明确了业主应对化粪池系统进行定期检查、维护;《分散污水处理系统管理手册》为管理机构提供了不同处理系统的管理指导方针,积极推动分散污水治理的教育和公众参与。英国在《英国规范 BS 6297-2007》中为化粪池系统制定了设计规范,并在其他相关立法对化粪池规格、运行和维护等进行了规定,如在《水资源法》中明确规定:未经有关部门允许,任何向接纳水域(河流、湖泊和地下水)排放污染的行为均视为刑事犯罪,其中排污行为包括排放化粪池出水;《建筑法》中明确规定化粪池的建造必须向当地管理部门申请,并在获得准许后方可建造;《公共健康法》中等也有相关规定。

我国开展分散污水的治理工作较晚,并没有制定化粪池相关规范,而已制定的适用于城市排水系统化粪池的相关规范可以为其借鉴。如《城镇环境卫生设施设置标准》(CJJ 27-2005)规定了化粪池设置要求;《建筑给水排水设计规范》(GB 50015-2010)规定了化粪池选址、设计、清掏周期等要求;然而我国并没有

出台化粪池相关的管理条例,地方政府也没有对化粪池形成有效的管理机制,且没有统一的管理机构。根据各地方政府的规定,住宅区化粪池一般由市容管理部门或物业公司管理,非住宅区化粪池则由产权单位或使用者管理。尽管政府已经明确化粪池责任人,要求责任人对化粪池进行定期清理、维护,而大部分责任人责任意识淡薄,只有在出现事故时才会做应急处理,这就导致化粪池的管理形同虚设,使化粪池的运行效果大打折扣;因此我国应加快制定适宜于乡村分散化粪池系统的相关设计、建设、安装、运行和维护等方面管理规范条例,明确化粪池责任人的责任与义务,加强对化粪池的监管,从而保证乡村分散污水的有效治理。

2.3 传统化粪池在构造型分散污水处理系统中的存废

随着人工强化处理技术的发展,由于处理设施包含较多的构筑物 and 机电设备,所以称之为“构造型处理系统”,其利用机电设备为反应过程提供氧气,而自然处理系统则是最大程度地利用自然界的氧气扩散作用。构造型分散污水处理系统主要以生化处理技术为主,在生化处理之前通常需要组合预处理技术,在生化处理之后可能还会组合固液分离技术、消毒等后处理技术。构造型分散污水处理系统适用于以村组或社区为污水收集单位的处理模式,通过小型管网系统将污水收集并就近设置污水处理设施对污水进行处理,其实质是“缩小”的城市污水处理系统。构造型分散污水处理系统的优点是对自然资源的占用少,建设与运行容易标准化,处理效果可控性强,而缺点则是耗能大,运行维护的专业性要求高。

与城市污水处理系统相似,化粪池作为预处理单元在构造型分散污水处理系统中的存废应值得深思。目前化粪池在城市排水系统中的存废引起了较大的争议,建议取消的理由是设置化粪池会造成污水厂进水的碳氮比较低,降低脱氮处理效果,并且还会增加市政投资,造成资金浪费;不建议取消的理由是设置化粪池有利于降低后续污水处理厂的负荷和管道堵塞的风险。而我国在相关技术规范、地方行政规范上也出现了意见分歧的现状,如:广州、上海等地陆续规定新建住宅建筑取消化粪池的设置,重庆则规定污水处理厂5 km 以内的建筑无需设计化粪池;《福建省化粪池设置技术管理暂行规定》中则对在不设置化粪池条件下室外排水管道最小坡度进行了规定,DN300 塑料管的最小设计坡度为0.003 5,而《室外排水设计规范》(GB 50014-2006)中规定 DN300 塑料管的最小设计坡度为0.002,可以看出在不设置化粪池情况下铺设市政污水管网时应比设置化粪池条件下埋深增加近一倍;而其他大部分地区仍然强制在建筑物排水口设置化粪池。然而化粪池在构造型分散污水系统中的设置也存在着分歧,如:浙江省地方标准《农村生活污水处理工程技术规范》中规定“黑水不得直接接入农村生活污水处理主体工程,必须经化粪池或沼气池处理”,上海市也如此规定;江苏、福建等地则没有强制性规定。

笔者认为,在采用构造型分散污水处理系统时,应取消设置化粪池,理由如下:1)在国内中等发展地区,建设1座合格的家用化粪池,造价大约在2 000元·户⁻¹,而投资10 000~15 000元·户⁻¹足以使乡村分散污水处理的效果达到相当于城镇污水处理厂一级B排放标准的水平(除TP指标外),相对于这一投资而言,2 000元·户⁻¹的化粪池建设成本则显得太过浪费,或者完全没有必要;2)化粪池大量消耗可生化性有机物,使进水中碳氮比大大低于反硝化脱氮的需求,而对于小型或微型分散污水处理设施而言,外加碳源几乎完全不可行;3)我国大部分化粪池出现严重渗漏现象,调查发现江苏省常熟市大约1/3的化粪池无出水。因此建议,在采用构造型分散污水处理系统时,从有利于脱氮、节约建设成本和方便管理的角度出发,应取消设置化粪池。为减少管道堵塞的几率,应在设计规范中对管径和坡度进行相应修订,同时应加强对居民的教育与管理,避免粗大韧性的杂物进入管道。

在构造型分散污水处理技术中,一体式装备技术也得到了广泛的研究。一体式装备技术一般以生化反应为基础,将预处理、生化、沉淀、消毒等多个技术单元集成在一个装备中,通常采用整体工厂化制造的方式,适合大规模生产,标准化程度高,质量严格可控,现场安装简便,典型代表为日本净化槽技术^[8]。净化槽不仅有用于处理单户生活污水的户用型净化槽,也有可用于处理单位建筑物和住宅小区生活污水的大中型净化槽,其广泛应用于日本乡村分散污水的治理,调查显示截止2009年末,日本大约有8.1%的生活污水采用净化槽技术处理,其出水水质指标达 $BOD \leq 20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $SS \leq 15 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $TN \leq 20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。近年来,净化槽技术也被引入我国,并逐渐在我国乡村分散污水治理过程中崭露头角^[9],目前我国乡村分

散污水治理开展得比较好的常熟市开始大规模引进日本户用净化槽技术^[10],在户用净化槽安装过程中,则是取消设置化粪池或原有的化粪池被废弃。

3 强化型化粪池在分散污水治理中的应用

随着环境排放要求的提高和厌氧污水处理技术的发展,化粪池逐渐被落后于技术之列。升流式厌氧污泥床(UASB)、厌氧折流板反应器(ABR)和厌氧滤床(AF)等是厌氧污水处理技术的典型,现在也出现利用这些技术对常规化粪池进行改造的强化型化粪池,通过改变化粪池的结构和运行方式等,可以显著提高化粪池的处理效果,满足乡村分散污水的治理需求。

3.1 沼气化粪池

沼气化粪池是在传统化粪池基础上进行改造,使其具备严格的厌氧环境。生活污水中的有机物经过厌氧微生物分解,大部分转换成甲烷和二氧化碳,进而达到部分去除污水中可生化有机物的目的,同时杀死污水的虫卵、病原菌等,还能获得清洁的能源,产生的沼渣、沼液可以用作肥料。调查结果^[4]显示,沼气化粪池-肥料利用的方法对 COD、TN 和 TP 的去除率分别达 87.36%、78% 和 94%,而三格式化粪池的仅为 48.51%、6.83% 和 24%。然而沼气化粪池只能用于高浓度的粪便污水处理,对于混合排放的常规生活污水则不适用。

3.2 UASB 型化粪池

升流式厌氧污泥床反应器(upflow anaerobic sludge blanket, UASB)是目前发展最快、应用最广泛的厌氧发酵反应器^[11]。UASB 型化粪池(UASB-ST)^[12-13],是荷兰 Lettinga 教授在 UASB 的原理基础上,对常规化粪池进行改进,即在常规化粪池的顶部设置气/液/固三相分离器,并且采用上升流式进料,进而提高悬浮固体的去除率,也能提高溶解性组分的生物转化率,如图 3 所示。UASB 型化粪池较常规化粪池的有机物去除效率更高,可以得到更好的出水水质。UASB 型化粪池反应器的排泥周期较长,1~2 年清掏 1 次即可。

LETTINGA 等^[12-13]首次在芬兰和印尼周边利用 UASB 型化粪池处理粪便污水。AL-SHAYAH 等^[14]和 AL-JAMAL 等^[15]在中、低温条件下利用 UASB 型化粪池处理高浓度生活污水,研究发现在 17.3 °C 条件下可以达到 53% TCOD 和 76% BOD₅ 的去除效果;温度越高,处理效果越好。LOUSTARINEN 等^[16]在低温条件下利用 UASB 型化粪池处理黑水与厨余垃圾混合物,发现 10 °C 条件下两相 UASB 型化粪池可以去除 97% 的 TSS 和 91% 的 TCOD。

近年来,真空厕所技术在全世界各地得到了较为广泛的应用,其利用排污管道内的负压差将粪尿和少量冲洗水吸入到收集箱内,与常规水冲厕所相比可显著节水 80%~90%。与常规生活污水相比,真空厕所收集的黑水属于高浓度粪便污水,其与厨余垃圾统称为家庭生物性废弃物。利用 UASB 型化粪池处理源分离收集的家庭生物性废弃物被证明是可行的^[17],KUJAWA-ROELEVELD 等^[18]利用 UASB 型化粪池对真空厕所收集的浓缩黑水进行处理,发现在 15 °C 和 25 °C 条件下,HRT 为 30 d 时的 COD 去除率分别为 61% 和 78%;KUJAWA-ROELEVELD 等^[19]继续利用 UASB 型化粪池处理浓缩黑水与厨余垃圾混合物,发现 UASB 型化粪池的渣液分离效果较好,在 25 °C 条件下 COD 去除率可达 80%。

3.3 填料型化粪池

填料型化粪池是利用填料对常规化粪池进行升级,其中填料可供微生物附着生长,也可起到过滤效果,因此填料型化粪池内形成 2 个独立的单元^[20]:化粪池单元和填料单元,如图 4 所示。化粪池单元内发生沉淀、厌氧发酵作用,随后出水以不同方式通过填料单元,有机物再次被厌氧微生物截留(过滤)、吸附

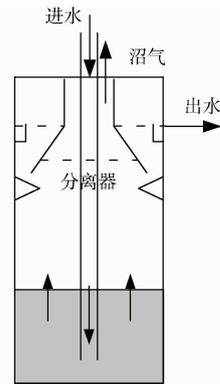


图 3 UASB-化粪池示意图

Fig. 3 Schematic of UASB-septic tank

和分解,最后达到稳定化。在化粪池单元填充填料也是填料型化粪池的一种。化粪池单元内装有高效弹性填料,利用隔板分为多格式,微生物在填料上附着生长,从而使污水与微生物的接触面积增加,提高反应效率;出水在沉淀室内澄清后排出。

SHARMA 等^[21]在印度利用填料型化粪池处理生活污水,以陶粒(10~12 mm)作为填料。研究发现不同有机负荷条件下,COD 去除率为(88.6 ± 3.7)%,TSS 去除率为(91.2 ± 9.7)%,病原菌等也得到了去除(90%),并且发现填料型化粪池对负荷波动具有一定的耐受能力。CHEN 等^[22]在我国哈尔滨地区也进行了类似的研究,利用弹性立体填料处理生活污水,在两个不同温度阶段的 COD 去除率均比常规化粪池提高 10%。KAMEL 等^[23]设计五格式填料型化粪池处理生活污水,污水依次进入不填充填料的第 1、2 室,而后升流式通过填充砾石的第 3、4 室,最后降流式通过填充砾石的第 5 室,并直接排入到土壤中。结果发现第四室出水的细菌总数减少了 97% 以上,其中埃希氏大肠菌计数为 $10^2 \sim 10^3$ MPN · (100 mL)⁻¹,且根据 WHO 污水回用农田指南建议,出水可用于非限制灌溉。填料型化粪池可以作为分散污水处理的备选技术。近年来,我国江苏地区也尝试将三格式化粪池扩增为四格式、五格式化粪池,在新增格子中放上碎石、沙子、土壤,再种上一些根茎植物,强化污水处理效果。

3.4 折流板型化粪池

利用厌氧折流板(anaerobic baffle reactor, ABR)技术对传统化粪池进行改造,可以提高污水与微生物之间的传质效率,进而提高处理效率^[24]。根据其进水方式和结构的不同,分为 2 种:ABR 型化粪池(ABR-ST)和升流化粪池-ABR 组合反应器(UST-ABR)。ABR 型化粪池是在常规化粪池内安装折流板,将其分为几个单独的室,并且通过折板形成自下而上的水流,从而提高出水水质,如图 5 所示。而 UST-ABR 则包含 2 个单元:升流化粪池单元和厌氧折流板单元,如图 6 所示。在升流化粪池单元内主要发生沉淀和厌氧发酵反应,升流式运行方式可以通过重力沉淀和污泥床截留作用来提高悬浮物的物理去除效果,再进一步被厌氧菌所分解;厌氧折流板单元是强化单元,进一步将剩余挥发性脂肪酸和小分子有机物等转化成沼气。

陈志强等^[22]在我国哈尔滨地区低温条件下利用 ABR 型化粪池处理生活污水,结果发现在不同 HRT 时,与常规化粪池相比 ABR 型化粪池的 COD 去除率提高了 12%~21%。NASR 等^[25]也得到了类似的结果。利用折流板对传统化粪池进行改造具有埋地式、施工简单和节能等优点。

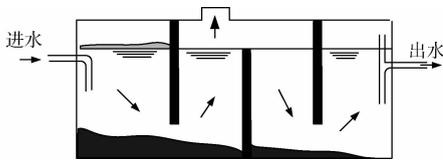


图 5 ABR 型化粪池示意图
Fig.5 Schematic of ABR-ST

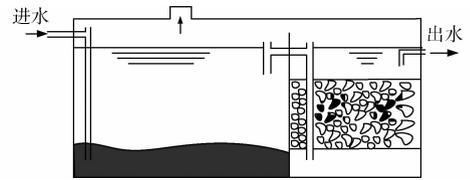


图 4 填料型化粪池
Fig.4 Schematic of filtering septic tank

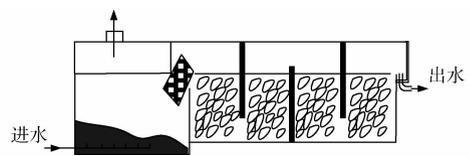


图 6 UST-ABR 示意图
Fig.6 Schematic of UST-ABR

SABRY 等^[26]在埃及某村庄利用 UST-ABR 处理生活污水,并在折流板单元填充砾石以增强微生物作用和过滤效果,结果发现出水水质有很大的提升,COD、BOD 和 TSS 去除率分别为 84%、81% 和 89%,并且出水可以达到埃及的直接排放标准。SABRY 等^[27]又对埃及分散污水处理技术进行评估,包括活性污泥法、氧化沟、生物滤池、氧化塘、曝气塘和 UST-BR 技术,对比多种处理技术的建设、运行和维护费用。结果表明从占地空间和建设、运行、维护费用方面来说,UST-ABR 是最佳的分散污水处理替代技术。

综上,强化型化粪池在保留传统化粪池简单易行、投资少、耗能低等优点基础上,强化了其对有机污染物、病原菌的去除,而其对氮、磷的去除却几乎不起作用。因此在对脱氮除磷要求较低的地区,可以考虑强

化型化粪池;而在我国一些经济条件相对落后、地形条件较为复杂的地区,则可考虑强化型化粪池来取代传统化粪池作为污水处理设施。

4 化粪池技术在构建面向资源化的乡村分散卫生系统中的应用前景

近年来,常规卫生排水模式的种种弊端日益凸显,除处理成本高外,包括对有限的可再生水源的过度开发;对土壤、地表水和地下水的污染;对废水中有价值成分的浪费;对有效去除污染物的难度增加。国内外研究者们纷纷提出了下一代的卫生排水理念,以生态卫生(ecological sanitation)^[28-29]、面向资源化的卫生(resource-oriented sanitation)^[30]和可持续卫生(sustainable sanitation)^[31-33]理念等为代表。这些理念在目标上是一致的,技术手段也相似,都是通过资源的回收与利用来提高卫生工程的可持续发展性,笔者以面向资源化的卫生模式做讨论。在面向资源化的卫生系统中,其关键性技术是利用节水的源分离收集技术和资源化处理技术对生活污物进行收集、运输和处理、利用,既能节约资源,减少能耗,改善人居环境,还能够获得清洁能源,产生高浓度的有机肥料。目前,构建面向资源化的卫生系统主要采用2种技术路线,一是基于无水厕所技术,二是基于真空源分离技术。基于无水厕所的技术主要以生态堆肥厕所为典型代表,在不需要或需要极少冲洗水的同时,即可在收集容器内完成粪便等排泄物的稳定化,并最终被资源化利用。基于真空源分离的技术路线包括真空收集(真空厕所、真空厨余收集器)、真空传输和厌氧资源化技术。利用化粪池技术对源分离收集(真空厕所)的生活废弃物(粪尿、厨余垃圾和少量水)进行资源化处理已经被证明是可行的,如UASB-化粪池、升流式化粪池。

随着经济的快速发展,我国已经具备现实的经济能力和迫切的公共需求来普及乡村分散污水与垃圾的治理。而乡村分散地区内人口规模小、居住密度低,非常不适于采用常规集中式卫生排水模式;且乡村分散地区紧邻农业生产,非常有利于污水垃圾中有效资源的回收利用;因此,在我国乡村分散地区开展面向资源化的卫生系统工程具有一定的优势,能够实现社会效益、经济效益和环境效益的统一,保证乡村分散地区生态和经济的可持续发展。鉴于化粪池技术具备结构简单、运行维护方便和成本低廉等优点,其在构建面向资源化的乡村分散卫生系统中是关键性和最适宜的技术之一。在采用真空源分离技术的地区,化粪池技术的选取也应因地制宜。在附近存在大量可利用沼气原料(农作物秸秆、畜禽粪便等)的地区,应选取沼气型化粪池;而在附近没有可利用原料的地区,通过对化粪池技术的改进、升级,强化处理效果,实现人粪尿等的卫生和无害化标准,最终以有机肥形式被资源化利用。我国乡村分散地区的社会经济发展以及自然条件差异较大,全面推广以水冲厕所为标志的卫生技术既不现实也无必要,在这些地区,可以考虑强化粪尿的收集管理以及就地资源化利用的技术,化粪池技术也可以大显身手;因此,我国迫切需要在开发源头的节水卫生技术和终端机械化施肥(有机肥)技术的同时,研究开发面向后端有机肥利用的高效、安全同时运行管理又很简便的就地化粪池技术。

5 结语

随着城镇化进程的加速,我国乡村分散污水的治理迫在眉睫。由于化粪池技术简单易行,建设运行费用低,且可用于资源化处理,因此在我国乡村污水治理中仍应予以重视。

对于常规的乡村分散卫生排水而言,仅靠传统化粪池并不能满足环境排放的要求。当规划采用传统化粪池/自然处理系统时,应加强对化粪池设计、安装与运行的管理,使其发挥应有的作用;当规划采用构造型分散污水处理系统时,从有利于脱氮和节约建设成本的角度,建议取消设置化粪池;在对脱氮除磷要求较低的地区,可以考虑采用强化型的化粪池,使出水满足环境排放要求。

我国乡村分散地区具有发展与应用面向资源化的卫生系统的诸多优势,而在构建面向资源化的乡村分散卫生系统中,化粪池技术是最适宜和关键性的技术之一,其选取应因地制宜,合理规划。我国迫切需要在开发源头的节水卫生技术和终端机械化施肥(有机肥)技术的同时,研究开发面向后端有机肥利用的高效、安全同时运行管理又很简便的就地化粪池技术。

参考文献

- [1] LENS P, ZEEMAN G, LETTINGA G. Decentralised Sanitation and Reuse-Concepts Systems and Implementation[M]. London: IWA Publishing, 2001
- [2] DE LEMOS CHERNICHARO C A. Anaerobic Reactors[M]. London: IWA Publishing, 2007
- [3] LAAK R. Multichamber septic tanks[J]. Journal of the Environmental Engineering Division, 1980, 106(3): 539-546
- [4] 王玉华, 方颖, 焦隽. 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
- [5] U. S. Environmental Protection Agency. Onsite Wastewater Treatment Systems Manual[M]. Washington, DC: United States Environmental Protection Agency, 2002
- [6] BEAL C D, GARDNER E A, KIRCHHOFF G, et al. Long-term flow rates and biomat zone hydrology in soil columns receiving septic tank effluent[J]. Water Research, 2006, 40(12): 2327-2338
- [7] WITHERS P J A, JORDAN P, MAY L, et al. Do septic tank systems pose a hidden threat to water quality? [J]. Frontiers in Ecology and the Environment, 2014, 12(2): 123-130
- [8] YANG X M, MORITA A, NAKANO I, et al. History and current situation of night soil treatment systems and decentralized wastewater treatment systems in Japan[J]. Water Practice & Technology, 2010, 5(4): 1-18
- [9] 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
- [10] FAN Bin, HU Ming, GU Jun, et al. Economic assessment of the rural wastewater treatment using different sewage patterns; Based on the application of the household Johkasou in Changshu [C]//Proceeding of the 2nd Workshop on On-Site Domestic Wastewater. Bangkok, Thailand, 2014
- [11] CHONG S, SEN T K, KAYAALP A, et al. The performance enhancements of upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors for domestic sludge treatment; A state-of-the-art review[J]. Water Research, 2012, 46(11): 3434-3470
- [12] LETTINGA G, DE MAN A, VAN DER LAST A, et al. Anaerobic treatment of domestic sewage and wastewater[J]. Water Science and Technology, 1993, 27(9): 67-73
- [13] ZEEMAN G, LETTINGA G. The role of anaerobic digestion of domestic sewage in closing the water and nutrient cycle at community level[J]. Water Science and Technology, 1999, 39(5): 187-194
- [14] AL-SHAYAH M, MAHMOUD N. Start-up of an UASB-septic tank for community on-site treatment of strong domestic sewage [J]. Bioresource Technology, 2008, 99(16): 7758-7766
- [15] AL-JAMAL W, MAHMOUD N. Community onsite treatment of cold strong sewage in a UASB-septic tank [J]. Bioresource Technology, 2009, 100(3): 1061-1068
- [16] LUOSTARINEN S, RINTALA J. Anaerobic on-site treatment of kitchen waste in combination with black water in UASB-septic tanks at low temperatures[J]. Bioresource Technology, 2007, 98(9): 1734-1740
- [17] LARSEN T A, UDERT K M, LIENERT J. Source Separation and Decentralization for Wastewater Management[M]. London: IWA Publishing, 2013
- [18] KUJAWA-ROELEVELD K, FERNANDES T, WIRYAWAN Y, et al. Performance of UASB septic tank for treatment of concentrated black water within DESAR concept[J]. Water Science and Technology, 2005, 52(1/2): 307-313
- [19] KUJAWA-ROELEVELD K, ELMITWALLI T, ZEEMAN G. Enhanced primary treatment of concentrated black water and kitchen residues within DESAR concept using two types of anaerobic digesters[J]. Water Science and Technology, 2006, 53(9): 159-168
- [20] ELMITWALLI T, SAYED S, GROENDIJK L, et al. Decentralised treatment of concentrated sewage at low temperature in a two-step anaerobic system: Two upflow-hybrid septic tanks[J]. Water Science and Technology, 2003, 48(6): 219-226
- [21] SHARMA M K, KHURSHEED A, KAZMI A A. Modified septic tank-anaerobic filter unit as a two-stage onsite domestic wastewater treatment system[J]. Environmental Technology, 2014, 35(17/18/19/20): 2183-2193
- [22] CHEN Zhiqiang, WEN Qinxue, GUAN Huabin, et al. Anaerobic treatment of domestic sewage in modified septic tanks at low temperature[J]. Environmental Technology, 2014, 35(17/18/19/20): 2123-2131
- [23] KAMEL M M, HGAZY B E. A septic tank system; On site disposal[J]. Journal of Applied Sciences, 2006, 6(10): 2269-2274
- [24] LANGENHOFF A A, INTRACHANDRA N, STUCKEY D C. Treatment of dilute soluble and colloidal wastewater using an anaerobic baffled reactor; Influence of hydraulic retention time[J]. Water Research, 2000, 34(4): 1307-1317
- [25] NASR F A, MIKHAEL B. Treatment of domestic wastewater using conventional and baffled septic tanks[J]. Environmental Technology, 2013, 34(13/14/15/16): 2337-2343
- [26] SABRY T. Evaluation of decentralized treatment of sewage employing upflow septic tank/baffled reactor (USBR) in developing countries[J]. Journal of Hazardous Materials, 2010, 174(1/2/3): 500-505
- [27] SABRY T, GENDY A. Application of a new low cost wastewater treatment technology “technical and economical study” [C]//Proceedings of the 7th Saudi Engineering Conference. Riyadh, Saudi Arabia; King Saud University, 2007
- [28] LANGERGRABER G, MUELLEGER E. Ecological sanitation; A way to solve global sanitation problems? [J]. Environment International, 2005, 31(3): 433-444
- [29] WERNER C, PANESAR A, RÜD S B, et al. Ecological sanitation; Principles, technologies and project examples for sustainable wastewater and excreta management[J]. Desalination, 2009, 248(1/2/3): 392-401
- [30] FLORES A E. Towards sustainable sanitation: Evaluating the sustainability of resource-oriented sanitation[D]. Cambridge: Doctor Dissertation of University of Cambridge, 2011
- [31] KATUKIZA A Y, RONTELTA M, NIWAGABA C B, et al. Sustainable sanitation technology options for urban slums[J]. Biotechnology Advances, 2012, 30(5): 964-978
- [32] BRACKEN P, KVARNSTRÖM E, YSUNZA A, et al. Making sustainable choices; The development and use of sustainability oriented criteria in sanitary decision making [C]//Proceedings of the 3rd International Conference on Ecological Sanitation. South Africa: ICES, 2005
- [33] MARA D, DRANGERT J O, NGUYEN V A, et al. Selection of sustainable sanitation arrangements[J]. Water Policy, 2007, 9(3): 305-318