

我国免水生态厕所的发展现状与展望

Current Situation and Prospect of Ecological Toilet without Water in China

潘理黎/PAN Li-li, 吕伯昇/LU Bo-sheng, 严国奇/YAN Guo-qi, 郑飞燕/ZHENG Fei-yan, 浮建军/FU Jian-jun

浙江工业大学生物与环境工程学院, 杭州 310014

School of Biology and Environment Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China

[摘要] 由于具有节水、环保、无害化和资源化等特点,以及能在无上下水设施的场所使用等独特性能,免水生态厕所在公共场所、风景名胜区、临时会所、交通设施中的应用已显示其不可替代性。介绍了国内外生态厕所的类型、原理、特点及应用情况,并重点对免水生物降解型生态厕所进行效益分析,阐明推广中尚存在的问题及发展前景。

[关键词] 免水生态厕所,生态卫生设施,生活污水 **[中图分类号]** X33

[文献标识码] A **[文章编号]** 1000-7857(2005)11-0066-03

Abstract: The ecological toilet will be very popular, because important characteristics of ecological sanitation are that saves water, protects water quality, prevents pollution, zero-pollution, zero-infection, zero-discharge and pollutants-reducing, innocuity, resource recycle, also it can be used in the place without infrastructure. The application of ecological toilet in public places, beauty spots, temporary meeting places and traffic instruments has shown its advantages. The major problems are the expensive initial investments, exigent requests of use, difficult maintenance and high consume energy, also its dependability hasn't got the pervasive acceptance. The universal application of ecological toilet in public places can improve partial ecological environment, until ecological toilet enter into every family, the advent of toilet revolution will come.

Key Words: ecological toilet without water, Ecosan, wastewater in daily lives
Document code: A

CLC Number: X33

Article ID: 1000-7857(2005)11-0066-03

1 引言

每年的11月19日是世界厕所日,世界厕所组织(World Toilet Organization, WTO)于2004年11月17日在北京召开了第四届世界厕所峰会,来自中国、美国、俄罗斯、日本等15个世界厕所组织成员的400多名代表参加了会议。此次会议的主题为“以人为本,改善生活环境,提高生活质量”。在我国,城镇家庭中卫生设施及生活质量已得到了普遍的改善,而厕所产生的大量生活污水对自然环境的影响正越来越受到更多的关注。

20世纪六七十年代才开始在欧美流行的水冲式厕所被誉为20世纪对人类影响最大的10项发明之一,对改善人类的生活环境、防止粪源性疾病的流行起到了重要作用。但到了21世纪的今天,水冲式厕所却已成为污染环境的一个主要根源。据统计,每人每天大约上厕所6~8次,一年大约2500次,成年人每人每年平均产生粪尿约550 L,其中粪便约50 L,尿约500 L, COD约30 kg。粪尿中所含的养份以氮、磷、钾为主,含氮4.5 kg、磷0.8 kg、钾1.8 kg,这些养份80%以上存在于尿中。水冲式厕所每次需用6~13 L自来水冲洗,即用99%的清洁水冲洗1%的粪便,产生100%的生活污水。据测算,冲厕用水约占生活用水量的20%,全国城镇人口每年冲厕用水不低于50亿t,相当于25座中型城市的年供水量。水冲式厕所一方面使缺水的城市供水更为紧张,另一方面人们又要投入大量的资金建设污水收集与处理系统。2003年《全国环境状况公报》表明,城镇生活污水排放量达247.6亿t,

占废水排放总量的53.8%;全国生活污水处理率只有25.8%,近75%的生活污水不经处理直接排入江河湖海。生活污水中人体粪便是地表水富营养化的主要原因。据中国科学院地理与湖泊研究所经过2年的调查和研究认为,太湖流域各种途径对太湖水体磷的贡献率依次为:人体(粪便)排磷43.57%,洗衣排磷16.1%,畜禽排磷12.51%,农业(化肥流失)排磷11.89%,工业(污染)排磷7.41%,水产养殖排磷5.30%,其它排磷3.22%。在江河湖海中有70%的氮也来源于生活污水^[1]。

正常情况下人尿中一般不含致病微生物,但粪便里含有大量细菌、寄生虫和其它微生物,它们是传染性疾病的病原体,可引起血吸虫病、伤寒、痢疾、甲肝等多种疾病。据国家卫生部门调查,因粪便处理不当引起的疾病有20多种。显而易见,传统的水冲式厕所是浪费和污染水资源的主要根源,西方发明的抽水马桶,已不符合今天的科学发展观。1975年美国环境生态专家 Samlove^[1]就抨击抽水马桶“是一个早该被冲走的落伍观念。”因此,曾有人断言,水冲式厕所是最糟糕的发明之一。20世纪初期,德国建筑师 Leberrecht Migge 就提出了生态厕所的概念,英文名为“Ecological & Economical Sanitation”,缩写为“Ecosan”。1985年,瑞典生态专家 Uno Winblad 提出了免水生态厕所的设想^[2],要求这类新产品具有卫生功能的同时,更要求生态友好。免水生态厕所要达到“零污染、零感染和零废弃物排放”及“减量化、无害化和资源化”,即“三零”和“三化”的要求。

收稿日期: 2005-04-18

项目来源: 浙江省生态省建设重大科技攻关项目(2004C13030)

作者简介: 潘理黎,男,浙江省杭州市朝晖六区浙江工业大学,教授,研究方向为环境科学与工程、生态学;E-mail: panll@zjut.edu.cn

2 生态厕所的类型

国内外生态厕所总体上可分为循环水冲式厕所和免水冲厕所两大类。我国生态厕所的研究应用刚起步,现主要有循环水冲洗型、泡沫封堵节水型、塑料袋打包式免水冲洗型、免水微生物堆肥型、免水生物降解型等生态厕所。

2.1 循环水冲式厕所

该型生态厕所是利用驯化成的活性菌种对粪便进行分解、脱臭和净化,将其转化为 CO₂ 和 H₂O,再用生成的 H₂O 冲洗厕所,从而形成良性的循环系统^[3]。循环水冲式厕所以下两种方式。

2.1.1 尿液单独处理型

这型生态厕所是通过专门设计的分离装置将尿液单独收集起来,自动加入专用药剂去除异味后,回用于冲洗厕所;粪便干燥后制成农用肥料,也可以作为普通垃圾进行填埋处理。它的优点是可使粪便资源化,但在使用过程中需少量补充水,日常管理要求比较高,粪便外运可能产生二次污染。

2.1.2 粪尿混合处理型

该型生态厕所是利用微生物的新陈代谢作用,最终将粪便降解为 CO₂ 和 H₂O,过程中产生的水经处理后回用冲洗厕所,也可排入环境。这类生态厕所是目前国内生态厕所的主流产品。目前使用的处理方法有以下 3 种。

1) 好氧生物处理法。粪尿经过沉淀、溶解后进入曝气池,曝气池中的好氧微生物将粪尿中的绝大部分有机物转化为 CO₂ 和 H₂O。再经过沉淀、过滤、脱色和灭菌等后续处理后得到清洁水,回用于冲洗厕所或绿化。循环式好氧生态厕所工艺流程见图 1。



图 1 循环式好氧法生态厕所工艺流程图

2) 膜分离法。收集的粪尿先在化粪池中沉淀,上清液被抽送到膜分离组件,通过膜选择性分离,生产出清洁水,回用于冲洗厕所。循环式膜分离生态厕所工艺流程见图 2。



图 2 循环式膜分离法生态厕所工艺流程图

3) 高效优势菌种处理法。依靠特殊筛选培养、专用于高效处理粪尿的优势菌种,降解有机污染物为 CO₂ 和 H₂O,其本质与好氧生物处理相同,只是需要定期投加菌种,其工艺流程见图 3。



图 3 循环式高效优势菌种处理法生态厕所工艺流程图

2.2 免水生态厕所

2.2.1 无水打包型生态厕所

泡沫封堵节水型、塑料袋打包式均归类于免水冲打包型厕所,即将粪便直接装入专用塑料袋内,然后打包,集中清运。该类厕所由可生物降解膜制成的包装袋、机械装置和储便桶 3 部分组成。如厕后自动启动牵引装置将粪便打包、密封,防止外泄;打包后的粪便由环卫部门收集送往粪便集中处理场,进行无害化处理。在厕所使用地不留下残留物,无需水源,不污染环境,但清运成本较高,劳动环境较差。在清运过程中,排泄物有可能泄漏造成二次污染,包装袋其实不易降解。

2.2.2 免水微生物堆肥型生态厕所

免水微生物堆肥型厕所可分为厌氧型和好氧型两类。

1) 厌氧型。厌氧型生态厕所的核心部件是一个装填料的生物反应器。生物降解菌对粪便具有高效降解作用,同时反应过程产生的温度可以杀灭各种病原菌。粪便发酵后变成腐殖质有机肥,这种肥料可以直接利用。由于主要采用厌氧发酵,产生的腐胺、尸胺及硫化氢等致臭物质较多,故臭气污染较为严重。

2) 好氧型。好氧型生态厕所的核心技术是其将生物降解菌剂与生物反应器二者有效地结合,即在反应器内预先装入生物填料,在一定的温度下通过高效微生物充分降解粪便,同时将排泄物转化成有机肥料。由于主要采用好氧降解,可消除因厌氧菌代谢产生的臭气。但需配置供氧、保温系统,耗电量大,1 个蹲位每天 30 人次需耗电 5 度;好氧菌耐温一般不高于 50 ℃,堆肥减量化程度仅 70%,降解菌剂使用周期不长,杀菌较难彻底;生物降解时间需 24 h,单个蹲位每天容量仅 30 人次。

2.2.3 免水生物降解型生态厕所

免水生物降解型生态厕所完全不需用水,粪便减量化达 95% 以上,生物反应产生的温度高达 50~65 ℃。专门培育的微生物菌种释放出具有降解有机物功能的高蛋白酶,将大分子有机物降解为糖、脂肪酸和氨基酸等小分子有机物,微生物菌种以此为养分代谢出 CO₂、H₂O 和生物热能,粪便在 6 h 内减量化可达到 95% 以上。产生的 CO₂、H₂O 与少量其它气体直接排出,分解后极少量的残渣富含有机质、N、P、K 和微量元素,半年至 1 年才清掏 1 次,可作为高效有机肥料回收利用。

生物填料每年只需更换 1~2 次、更新 10%~20% 即可维持菌种的繁殖和正常运行,维护和管理成本不高。同时,包含着大量好氧微生物的高效生物活性填料可将粪尿中的臭气吸附与降解,实现了对粪便的分解、脱臭、净化一体化处理。生物反应产生的 50~65 ℃ 高温可以完全杀死粪便中的病原体。该型厕所是目前综合性能最好、操作维护最简单、最有推广应用前景的一种免水生态厕所。但它同样受到粪尿比例的限制,如尿液比例过高、生物填料湿度过大,会成为稀泥状,影响菌群的生长活性和高效降解。这一问题目前可通过两种方法解决,一是把尿液单独分离处理;二是改良生物填料,使其适应高尿液比例的情况。因受到生物降解速度和效率的限制,目前单蹲位需限定使用人次,一般少于 100 人次/天,而实际使用人次却难以控制,因此常常影响正常运行。

生态厕所根据使用方式不同,还可以分为固定式与移动式,长期使用用固定式,临时使用时一般多为移动式。

2.3 各类生态厕所特点比较

各类生态厕所特点比较见表 1。

表 1 各类生态厕所特点比较

生态厕所类型	用水	下水	臭味	环境 污染	清掏 运输	粪便异 地处理	消毒 作用
循环水 冲式型	尿液单独处理型 粪尿混合处理型	微 有	有 微	有 有	要 要	要 要	无 无
太阳能干燥型	不	无	有	有	要	要	无
免水冲 洗厕所	无水打包型 免水微生物堆肥型 免水生物降解型	不 无 无	微 有 无	有 有 无	要 要 不	要 要 无	无 有 有

3 国内外生态厕所应用

国外生态厕所的研究起步于 20 世纪 80 年代末,目前主要有打包式厕所、循环水冲式厕所和堆肥式生态厕所等几大类。

日本是一个非常注重厕所文化的国家,在全国范围内成立了以专家、教授为领导的专门协会,负责不定期对全国各地公共卫生设施进行检查、评比,还把每年的 11 月 11 日定为全国厕所日,呼吁公众共同创造美好的“方便”环境。日本也是最重视生态厕所研究开发的国家之一,Tadaharu Ishikawa 教授最早发明了免水生态厕所,由木箱及加热装置组成。将驯化的菌种在木箱内的木屑(锯末)中培养,木屑温度升高至 50 ℃ 左右,落入的粪便在菌

群的作用下分解成 CO_2 与 H_2O ,而木屑本身变化很小,因此不需经常更换。最后的残渣无臭味,成为土壤中很好的有机肥料。英国已研制成功名为“斜坡”的卫生系统,已在英国和爱尔兰投入市场。这种厕所基本上不用水冲,不必使用除臭剂,也不需要排污管道。粪便在盛放木屑的塑料箱内分解为混合肥料。1个厕所1年大约产生1.2 t 固体肥料和4 t 液体肥料。圣萨尔瓦多有一种适合农村地区使用的太阳能厕所,利用太阳能集热板干燥粪便,最后作为肥料外运;南太平洋岛国广泛使用堆肥型厕所,它带有温室和蒸发床,将粪便制成堆肥。法国巴黎 Hygefacs 实验室在1994-1996年期间成功分离出一种细菌,被命名为 Azofac,这种细菌是由约80多种不同的好氧菌组成,将这种细菌置于人畜粪便中可以有效减少臭味。这一技术的应用潜力已由法国国家测试实验室(LNE)加以确认:该技术可以减少约80%的氨气和约90%的硫化氢;使用这种细菌处理过的肥料可以提高玉米产量约19%。目前这一技术已在市场上推广应用。

由于发达国家城市基础设施比较健全,因此免水生态厕所的普及率并不高,仅在灾区等应急场所使用。我国生态厕所的研究应用起步较晚,但近几年发展很快。目前各类型生态厕所都已有实际应用,技术日渐成熟,应用最广的主要为打包式与循环水冲式厕所,应用地点多为公共场所、旅游风景区和临时集会地等。

目前,各城市对生态厕所的应用十分重视。北京市每年投入2000万元对旅游景点厕所进行新建和改建,对不适于建设水冲式厕所的旅游景区,鼓励采用生态厕所。为了2008年的北京奥运会,公厕的全面改造已列入议事日程。北京市现有公厕8000所,奥运会前要增加5000个,大多数将采用生态厕所。这不但可以减少大量污水的排放,同时节水效益相当可观。此外,全国一些大中城市也积极鼓励兴建生态厕所,如:上海市计划10年内投入30亿元改造建设厕所;昆明市投资8000万元全面新建、改造景区厕所;杭州、南京、成都、西安、广州、长春、武汉、西安、合肥、桂林、黑龙江、天津等省市都已实施生态厕所的试点工作。

生态厕所还可进一步拓宽应用领域,如家用免水生态厕所、汽车用免水生态厕所、列车用免水生态厕所、船舶舰艇用免水生态厕所等等。生态厕所的研究成果将来也可应用于畜牧业的粪尿无害化处理,生态厕所具有巨大的应用空间。

4 推广免水生态厕所的环境效益和经济效益

免水生态厕所完全可达到 GB7959-87《粪便无害化卫生标准》及 GB/T17217《城市公共厕所卫生标准》,并满足“三无”和“三化”的要求。高温降解菌耐温范围宽,可在-5~45℃环境气温下使用,运行温度可达50~65℃,可消除粪源性病原体污染,有利于相关疾病的预防和控制。如能全面推广免水生态厕所,可以在很大程度上改善我国江河湖泊的富营养化程度。在水资源日趋短缺的今天,生态厕所的节水效益非常显著,同时在减少城市污水处理设施的投资与减轻运行负荷方面具有积极的现实意义。如免水生态厕所替代所有家庭的抽水马桶,预计可节约水资源50亿t,折合人民币约100亿元,减少污水处理设施投资约280亿元。到2003年底,全国660座城市共建有107949座公共厕所。2003年中国平均每万城市居民拥有3.18座公共厕所^[4]。建设部于1987年颁布的《城市公共厕所规划和设计标准》中规定,位于主要繁华街道的公共厕所间距为300~500m,位于一般街道公共厕所的间距为500~1000m,按此规定,公共厕所的数量还将增加数倍。生态厕所在公共场所的应用已在各地城市稳步推进,仅此一项可节水2亿t。如果对这些传统厕所进行全面改造,预计至少可形成近百亿的大市场^[5]。在产品价格方面,单蹲位主机和钢结构外屋成套价格不高于4~5万元。运行维护费用方面,与传统公厕比较,每天接待200人次的传统公厕每年维护费用约为8082元,每人每次约0.13元;免水生态厕所每年为3300元,每人每次约0.08元。推

广应用免水生态厕所具有显著的环境效益和经济效益。

5 生态厕所推广应用中存在的主要问题

1) 循环水冲式生态厕所总体上需设置膜组件处理单元,易受无机盐类污染,操作要求较高,动力消耗大(电费达5000余元),减量化程度不高,灭菌不彻底,为减少臭味需定期及时排污和补充清水,存在着污染物累积趋势,人数超载时生物处理效果较差。

2) 免水打包型生态厕所清运成本较高、劳动环境较差,在清运过程中排泄物极有可能泄漏造成二次污染,且部分包装材料不易降解。

3) 免水微生物堆肥型生态厕所降解菌种单一,好氧型动力消耗大,厌氧型二次污染严重,减量化程度不高,需考虑有机肥料的出路。

4) 目前,免水降解型生态厕所的问题是:使用的微生物原种还依赖于日本进口,成本高,约占每天200人次粪尿单蹲位主机价格的15%~20%;降解菌原种的筛选、驯化、强化、纯化方面的关键技术的国产化还存在诸多难点,对产业化是一个制约因素;尿液比例大时要维持生物反应器的正常运行,还是一个难题。关于接待人次与降解效率、运行温度与节能、昼夜的管理、节假日与平时管理,均需研究其内在的规律和自动运行方法,使运行经验提升为专家系统。

5) 目前家庭使用的免水生态厕所还是空白。在技术上,目前任何一种生态厕所都不能完全满足家庭环境使用的要求,另外在观念上,生态厕所被家庭所接受也需要时日。

6 生态厕所发展展望

1) 在技术上,各类型生态厕所中最有发展前景的免水生物降解型生态厕所的专用菌种目前还依赖进口,具有自主知识产权的菌种的选育、扩增、提纯和制剂还需要投入大量的研发力量和资金。不掌握这一核心技术,该型生态厕所的建设投资和使用成本就难以下降。其它类型的生态厕所已完全实现国产化,但结构较复杂,成本下降空间已经有限。这是影响全面推广应用的主要因素。随着技术水平和制造工艺的提高,使用的可靠性将会不断改善。

2) 随着试点工作的深入,生态厕所的优点将越来越赢得人们的认同。其在风景名胜、无上下水设施的场所、交通工具中的使用已显示出不可替代性。因此,生态厕所将最先在公共场所推广应用。

3) 与太阳能技术配套使用,将成为一种必然的发展趋势。降低运行的电耗比节省一定的一次投资更有意义。

4) 生态厕所在公共场所的普遍应用可以改善局部的生态环境,但只有当生态厕所走进每个家庭,厕所革命才会真正到来,这将是21世纪最重要的事件之一。

参考文献(References)

- [1] 朱嘉明.需要厕所革命[M].上海:三联书店,1988
- [2] Uno Winblad, Wen Kilama. Sanitation without water, published with the support of the Swedish international development authority, 1985
- [3] 杜兵,司安,孙艳玲.生态厕所的类型及粪污处理工艺[J].给排水,2003,(5):60~62
- [4] 施蓉,殷丽娟.中国每万城市居民拥有3.18座公厕. CHINA.COM.CN, 2004-11-17
- [5] 徐昱.生态厕所商机百亿,成本高市场难拓. CRI online, 2004-02-22

(责任编辑 肖庆山)