

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.22.004

无下水道卫生系统标准化的进展

李旻¹, 徐江¹, 苏珊珊²

(1. 中车环境科技有限公司, 北京 100070; 2. 武汉市工程咨询部有限公司, 湖北 武汉 430014)

摘要: 无下水道卫生系统是一类不与下水管网连接的能够收集、输送并充分处理粪便等输入物的卫生系统的统称, 现已形成标准认证、环境技术验证、生态产品标签的不同标准化模式。回顾了无下水道卫生系统的由来, 结合无下水道卫生系统流程, 综述了ISO无下水道卫生系统的认证标准。介绍了美国、欧洲的无下水道卫生系统相关标准(包含通用标准和专项标准), 以及日本的自然地区粪便处理技术验证标准(可用于新开发的无下水道卫生技术的标准化与推广)。对我国旅游和环境行业、农村排水领域有关无下水道卫生系统的标准进行详细叙述, 提出应加强不同无下水道卫生系统标准间的协调, 以及无下水道卫生系统标准与其他标准间的衔接。同时建议在通用标准框架下, 构建我国涵盖不同应用领域、工艺类型、成熟度产品的标准体系。

关键词: 无下水道; 卫生系统; 标准化; 就地处理; 厕所

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2023)22-0021-07

Progress in Standardization of Non-sewered Sanitation Systems

LI Min¹, XU Jiang¹, SU Shan-shan²

(1. CRRC Env. Sci. & Tech. Co. Ltd., Beijing 100070, China; 2. Wuhan Engineering Consulting Bureau, Wuhan 430014, China)

Abstract: The non-sewered sanitation system(NSSS) refer to sanitation systems that are not connected to a networked sewer. The system can collect, transport, and treat feces and other specific inputs independently. The NSSS have developed different standardized modes of standard certification, environmental technology verification and ecological product labeling. The origin of NSSS was reviewed and the NSSS certification standard of ISO and the corresponding processes were summarized. The NSSS standards in the United States and Europe were also reviewed, which include both general and special standards. Additionally, the verification standard of feces treatment technology used in natural areas of Japan was introduced, which can be applied to standardize and promote newly developed non-sewered sanitation technologies. Standards related to NSSS in the field of tourism, environmental industry and rural sewerage of China were also outlined. The paper suggests strengthening coordination among different NSSS standards and their integration with other existing standards. Furthermore, it proposes the establishment of a comprehensive NSSS standard system in China that covers various application fields, process types, and mature products under a general standards framework.

Key words: non-sewer; sanitation system; standardization; on-site treatment; toilet

21世纪以来,“厕所革命”理念以不同形式在全球发展中国家和地区逐渐成为共识并逐步推开,“无下水道卫生系统”概念逐渐形成并受到关注,目前已作为一种排水卫生模式写入国际标准。“无下水道卫生系统”不仅囊括了生活污水“就地处理”理念,同时还将卫生器具、粪便处理、暂存等单元组合视为一个有机整体,更加强调系统与人的界面、系统内的处理以及系统对外的影响。研究与构建无下水道卫生系统,对推进无下水道地区改厕与污水治理、提升旅游厕所质量、保障卫生安全与改善环境具有积极意义。

从标准视角出发,综述国内外无下水道卫生系统的相关标准,主要探讨了三个问题,以期为该系统的设计与开发提供参考:①什么是“无下水道卫生系统”,它和以往的“分散式污水处理”“就地污水处理”概念有什么区别和联系;②当前关于无下水道卫生系统的标准主要有哪些;③面对不断发展、类型多样的无下水道卫生系统,如何选择适宜的标准化模式。

1 排水系统视角下的无下水道卫生系统

1.1 生活排水系统及其就地处理模式

生活污水排水系统包括“室内排水”(建筑排水)和“室外排水”两部分,前者由卫生器具、排水管、通气管及附属设施等组成;后者则涵盖污水收集、处理、再生和利用等环节。同时,室外排水系统又可分为“集中式”与“分散式”两种模式。前者为城市排水普遍采用方式,后者则是无城市下水道覆盖地区(如农村地区、风景区、城市分散居住区)排水所适宜的模式,其大致又可分为“就地处理”和“小区处理”两类。“分散式”污水治理模式在发达国家应用由来已久,如美国的化粪池及土壤渗滤系统、日本的户用型净化槽系统即属于“就地处理”类型^[1]。

1.2 无下水道卫生系统的概念

尽管在无下水道覆盖场合,对污水进行“就地处理”的理念由来已久,但将“无下水道卫生系统”作为一种特定的排水卫生模式写入国际标准,仍是近些年的事情。特别是21世纪以来,“厕所革命”理念以不同形式在全球发展中国家和地区逐步推开^[2]。开展“厕所革命”,为每一个人创造卫生基础设施和公共服务,并将废物转化为资源^[3],逐渐成为

共识。

在《无下水道卫生系统 预制集成式处理单元设计和测试的通用安全和性能要求》(ISO 30500:2018)标准中,无下水道卫生系统(Non-sewered sanitation system, NSSS)指不连接到下水道的卫生设施系统,其对输入物料(包括人体排泄物和可选的清洁用品)进行收集、输送和充分处理,以使其产生的固体物和(或)出水能够安全回用或处置。参考ISO标准,我国生态环境标准《环境标志产品技术要求 无下水道卫生系统》(HJ 1160—2021)将“无下水道卫生系统”定义为:对排放出的废物(人体排泄物和清洁用品)进行收集、输送和安全处理或处置,未连接到排水管网的厕所系统。与ISO 30500:2018标准侧重于就地处理不同的是,HJ 1160—2021标准的处理环节既可以是就地处理(原位处理),也可以是异地处理(异位处理)。

1.3 与就地污水处理系统的区别与联系

尽管无下水道卫生系统概念起源于污水就地处理系统,两者应用模式基本相同,但仍有一定差异,主要体现在以下几方面:

① ISO标准中的无下水道卫生系统将卫生器具、就地处理、暂存等单元组合视为一个整体,既涵盖了传统意义的室内排水器具,也涵盖了就地处理模式下的室外排水系统。而污水就地处理系统(Onsite wastewater treatment system, OWTS)则仅是室外排水范畴,美国环保署(USEPA)曾将OWTS定义为:一种通过自然过程和(或)机械部件来收集、处理及排放单户住宅或建筑物污水的系统。

② 无下水道卫生系统更加强调系统与人的界面(前端卫生器具)、系统内的处理(后端处理装置)以及系统对外部的影响(固、液、气输出物)。除特别说明外,就地污水处理系统一般不包含前端室内卫生器具。

③ 无下水道卫生系统既可以是水冲式,也可以是无水式,即:既可以以污水的收集与处理为主线,也可以以粪便(固废为主)的收集与处理为主线。

④ ISO标准中的无下水道卫生系统各组成部分空间布置往往更加紧凑,可以以一体化或组合集成装置形式呈现。

2 ISO 无下水道卫生系统标准

2.1 与其他相关标准的关系

ISO 标准体系中的无下水道卫生系统标准为 ISO 30500:2018,最早由比尔及梅琳达·盖茨基金会

推动建立,与之有关联的标准包括 ISO 31800:2020、ISO: 24521: 2016、ISO 24510: 2007 及 ISO 24511: 2007。ISO 无下水道卫生系统标准与其他标准概况如表 1 所示。

表 1 ISO 无下水道卫生系统标准与其他相关标准

Tab.1 Non-sewered sanitation system standard and related standards in ISO standards

ISO 标准号	标准名称	适用对象
ISO 30500: 2018	《无下水道卫生系统 预制集成式处理单元 设计和测试的通用安全和性能要求》	预制式、集成式无下水道卫生系统,包括前端厕所及后端处理设施
ISO 31800: 2020	《粪便污泥处理单元 社区规模预制式能量独立型资源回收单元 安全和性能要求》	用于粪便污泥异地处理、社区规模、预制式资源回收单元
ISO 24521: 2016	《与饮用水和污水处理服务有关的活动 基础性生活污水就地处理服务管理指南》	生活污水就地处理系统的运维管理,引用 ISO 24510:2007 及 ISO 24511:2007
ISO 24510: 2007	《与饮用水和污水处理服务有关的活动 评估和改善用户服务指南》	饮用水及污水设施的运维管理服务
ISO 24511: 2007	《与饮用水和污水处理服务有关的活动 污水设施管理和污水服务评估指南》	污水设施的运维管理服务

上述标准的相互关系如图 1 所示。

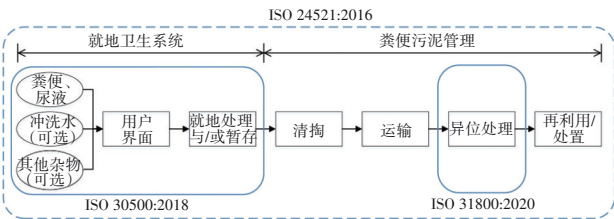


图 1 无下水道卫生系统流程及相关标准

Fig.1 Non-sewered sanitation system process and related ISO standards

一个传统的无下水道卫生系统流程由用户界面及就地处理、粪便污泥储存、运输、异地处理、处置/再利用组成。其中,ISO 30500:2018 标准给出了无下水道卫生系统预制与集成形式的用户界面及处理单元的安全和性能要求。

与传统就地卫生处理不同,ISO 30500:2018 标准中的无下水道卫生系统面向可持续性目标^[4],并要求能够就地实现固体、液体和气体输出物的安全再利用或排放,无需对不安全输出物进行清掏、运输及异地处理。ISO 31800:2020 标准则基于传统就地卫生处理流程,制定了对就地卫生处理产生的粪便污泥进行异地处理时,社区规模、预制形式的资源回收单元的安全和性能要求。ISO 24521:2016 及其参考引用的 ISO 24510:2007、ISO 24511:2007 标准则给出了卫生设施运维管理及其评估、改进的基本要求。

2.2 ISO 30500:2018 标准概述

ISO 30500:2018 标准包含了无下水道卫生系统的安全性、功能性、易用性、可靠性、可维修性以及环保可持续性要求,涵盖了整个产品生命周期内设计、测试、制造和维护的技术要求。在该标准中,无下水道卫生系统分为前端用户界面和后端处理单元两个部分。前端用户界面的外观一般会与传统厕所便器相似;后端处理单元则是采用一系列生物、化学或物理工艺(或其组合),对排泄物及可选择的其他物品(如卫生纸)进行处理的装置。进一步地,根据前端的数量和后端的工艺类型,可将无下水道卫生系统分为三类:①一个前端,无生物处理单元的后端;②一个前端,结合一个或多个生物处理单元的后端;③多个前端,结合一个或多个生物或非生物处理单元的后端。

无下水道卫生系统产品开发完成后,制造商可以通过 ISO 30500:2018 标准认证,获得标准符合性证明。ISO 30500:2018 标准认证包括文件检查、实验室受控测试和现场性能测试,其主要内容如表 2 所示。目前,德国技术监督协会(TüV)已可提供无下水道卫生系统的产品认证服务与认证就绪度评估(CRA)。前者对认证通过的产品授予“后端测试”或“前端与后端测试”的认证标志;后者对制造商的原型产品进行与 ISO 30500:2018 标准的差距分析,并给出改进措施建议。

表2 ISO 30500:2018标准认证内容

Tab.2 Certification content of ISO 30500:2018 standard

类型	检查/测试/验证内容
文件检查	一般技术信息、一般安全性、工艺设计安全性、材料安全性、机电安全性、用户界面体验、维护设计、可持续性
实验室测试	负载模式、机械要求、环境参数、卫生参数、气体排放参数、声学参数、气味要求、电气要求
现场测试	现场测试规范、环境参数、卫生参数

2.3 讨论

ISO 30500:2018标准是对近年来发展的新一代无下水道卫生系统的技术总结和标准创新。美国国家标准协会提供了相关线上培训资料,国际水协(IWA)还成立了专门的“无下水道卫生(NSS)”专家小组。值得注意的是,有学者认为,ISO 30500:2018标准作为产品标准,在实现可持续性目标方面仍具有一定局限性,因此建议另行制定一份可持续性卫生标准^[4]。此外,ISO 30500:2018标准对无下水道卫生系统的处理水、固体与气体排放及噪声提出了全面与细致的要求。例如,在处理水排放方面,该标准分回用水和排入水体两种情况,对COD、TS排放,以及营养物TN、TP的最低去除率均作了要求;环境参数测试结果的合格率不小于75%。但是,由于不同国家、地区及场合的环境排放标准存在差异,ISO 30500:2018与所在地区现有标准的衔接可能是运用该标准时需要考虑的问题。进一步地,还有学者认为,当前小规模卫生系统的脱氮除磷水平相比ISO 30500:2018标准要求还有一定差距,需要加大此类小规模营养物去除技术的研发与投入^[5]。

3 美国无下水道卫生系统相关标准

3.1 概述

美国关于无下水道卫生系统的相关标准产生时间较早,大致有两种类型:适用于多种类型无下水道厕所的通用标准、针对细分处理工艺类型厕所的专项标准(技术条件)。

3.2 通用标准

美国国家标准学会标准《无下水道废物处理系统最低要求》(ANSI Z4.3)给出了未接入下水道、化粪池或就地处理设施的卫生厕所的基本要求,适用于工作场所以及其他无污水处理设施的场合,常与美国法律法规联合使用。该标准的最早版本为

ANSI Z4.3—1935,仅适用于简易卫生厕所,后经多次修改,适用的厕所类型范围逐渐扩大。在其次新版本 ANSI Z4.3—1995 (R2005)中,分别针对拱顶厕所(拱顶外形的露营厕所)、密封袋厕所、焚烧厕所、化学和生物厕所、非水冲厕所、水冲厕所共6类工艺的厕所提出了要求。目前该标准的最新版本为 ANSI/PSAI Z4.3:2016,对厕所的数量、配置、安装、维护、无障碍设施、废水处理等提出了总体要求,而不再细分厕所的工艺类型。

3.3 专项标准

美国国家卫生基金会(NSF)针对部分处理工艺类型的无下水道厕所产品制定了相应标准,包括:《无液体渗透处理系统》(NSF/ANSI 41—2018),适用于不使用液体介质来储存或处理废物的堆肥厕所及类似的厕所系统;《电焚烧式厕所 健康和卫生》(NSF P157—2000),适用于家庭使用的无水电焚烧式厕所。这些标准给出了相应类型厕所的材料、设计和安装、随机文件、备品备件、试验与测试、终产物取样及分析等的基本要求。此外,针对焚烧厕所的国外标准还有加拿大气体协会标准《气体燃烧无水厕所》[CGA 5.2—1971 (R2019)],适于无水燃气焚烧式厕所。

4 欧洲无下水道卫生系统相关标准

4.1 概述

与美国标准架构类似,欧洲无下水道卫生系统相关标准主要包括:无下水道厕所的通用标准、基于堆肥工艺的厕所认证标准等。

4.2 通用标准

欧盟标准《可移动无下水道连接厕所小屋》(EN 16194:2012)适用于未接入下水道的、整体的厕所小屋,主要包括此类产品的外观、性能、生产商服务、运维等技术条件,但没有针对环保的具体指标要求。

4.3 专项标准(北欧生态标签认证)

北欧生态标签是1989年起在北欧实施的一项生态标签体系,其由厂商就某对象产品自愿申请,经认证机构认证通过后获得。北欧生态标签认证涵盖了产品从原材料到废弃的整个生命周期内的环境影响,因其标签为白天鹅,也被称为北欧白天鹅认证。

从1997年开始,“密闭式厕所系统”成为北欧

生态标签认证的产品。该“密闭式厕所系统”特指采用生物处理过程(堆肥),不使用水作为粪尿输送介质,最终产物适合作肥料的无下水道卫生系统。其堆肥方式可以为便器内堆肥或便器外堆肥。对于外部堆肥方式,系统还包含外部堆肥容器。

北欧生态标签密闭式厕所系统认证的内容主要包括:系统所采用的材料、化学品及添加剂;功能、耐用性及性能;随机说明;质量保证;生产废料及包装;质量管理体系等。其中,性能试验是重要环节,分实验室测试及现场环境测试两种方式。除销量超过 50 套、运行时间超过 2 年的认证对象可以选择采用实验室或现场测试外,其余对象均采用实验室测试方式。实验室测试时控制环境温度与湿度,采用模拟粪便和尿液以及卫生纸作为输入原料。现场测试则须测试至少 5 套(通过认证须至少 4 套测试达标),使用地区包含寒带及温带。堆肥完成时,对最终产物进行测试。认证对象的总容量、最终产物的含固率、粪大肠杆菌均须达到认证标准。最终产物的含氮量、pH、气味或一致性与认证标准至多允许 1 项存在差异。

实际操作中,采用北欧生态标签密闭式厕所系统认证的对象主要是商品化的堆肥厕所产品。这些堆肥厕所系统的卫生性、舒适性和便利性相比早期的旱厕、简易堆肥厕所已有了显著改善,更加符合现代生活对厕所的要求,可作为无下水道场合可选择的、可持续性的卫生系统方案^[6]。

此外,同样针对堆肥厕所并可进行产品认证的国外标准还包括澳大利亚与新西兰标准《就地无水处理系统 第二部分:无水堆肥厕所》(AS/NZS 1546. 2: 2008)、美国标准《无液体渗透处理系统》(NSF/ANSI 41—2018)。由于堆肥厕所是相对较为成熟的一类无下水道卫生系统,因此其标准比 ISO 通用标准更有针对性,对一些系统内的过程指标也有涉及,而不仅仅局限于系统对外部的影响。

5 日本无下水道厕所粪便就地处理技术验证标准

5.1 背景

近些年来,为了进一步改善山区、海岸、岛屿等自然地区、环境保护区、旅游景区,以及基础设施(上下水、电源、道路等)薄弱场合的厕所粪便处理,一批能够实现不排放处理水的无下水道卫生技术在日本得到开发和商品化。图 2 为日本环境省自然

选择程序(略有改动)。

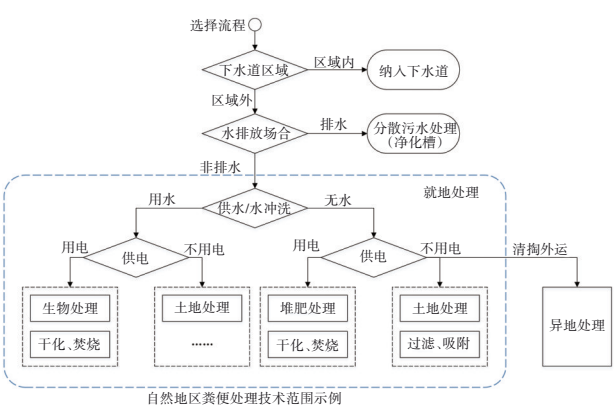


图 2 日本自然地区厕所粪便处理技术的选择程序

Fig.2 Selection procedure of toilet feces treatment technology in natural areas of Japan

针对这类技术和产品,日本环境省从 2003 年起开始采用环境技术验证的方式对其进行规范管理,即由第三方测试机构客观、真实地验证环境技术的性能和效果,并公开验证结果,进而达到为技术相关方(如消费者、用户、开发者、投资者等)提供相关技术信息,促进先进技术推广的目的。

5.2 技术验证内容

技术验证遵循日本环境省发布的《自然地区厕所粪便处理技术验证要领》(以下简称《验证要领》)。《验证要领》自 2003 年发布第 1 版以来,目前已更新至第 13 版(2018 年),其对粪便处理技术的分类方法依据现有技术与产品制定,并预留未来可能的技术形式。验证项目包括:运行条件、维护性能、室内环境、环境影响、处理性能、长期效果共六方面内容,如表 3 所示。

表 3 日本自然地区厕所粪便处理技术验证内容

Tab.3 Verification content of toilet feces treatment technology in natural areas of Japan

分类	内容示例
运行条件	使粪便处理装置正常运行的必要条件,包括:气温、天气、处理能力、初始及补充水量,电、燃料及材料消耗
维护性能	日常维护管理、一般专业管理、启动及停机措施、产出物处理处置、故障解决、维护管理手册
室内环境	卫生间内温度、气味、视觉及操作等的易用性、舒适性
环境影响	占地及工程改造情况、对周围土壤的影响
处理性能	分不同工艺,如循环水、污泥、废气、灰渣、堆肥辅料等
长期效果	上述内容的长期效果

5.3 讨论

日本自然地区粪便处理技术验证采用环境技术验证方式,即由第三方机构采用相对标准的验证流程和方法,对拟投入商业化的创新环保技术或产品进行验证。与基于标准的认证不同的是,环境技术验证并没有完全固定的检测指标和评判标准,不是对技术或产品是否合格的评定,而是对其自我声明及技术特点是否成立进行验证。该种环境技术验证不失为一种鼓励创新,适用于规范和推广新兴技术的手段。

6 我国无下水道卫生系统相关标准规范

6.1 城市、旅游及环境领域

我国现行与无下水道卫生系统有关的国家及行业标准主要包括:国家标准《免水冲卫生厕所》(GB/T 18092—2008)、旅游行业标准《可持续无下水道旅游厕所基本要求》(LB/T 071—2019)、生态环境标准《环境标志产品技术要求 无下水道卫生系统》(HJ 1160—2021)。

《免水冲卫生厕所》适用于打包式或泡沫封堵式的免水冲卫生厕所,其粪便仅暂存或排入下水道,无处理功能。标准的适用对象不属于当前严格意义的无下水道卫生系统。

《可持续无下水道旅游厕所基本要求》适用于设置在旅游活动场所,为旅游者提供服务的可持续无下水道厕所。除无下水道卫生系统的一般要求外,其更加突出厕所排放物的资源化、运输方式和过程的安全和规范。

《环境标志产品技术要求 无下水道卫生系统》源自原国家环境保护标准《环境标志产品技术要求 无水小便器》。原标准经修订后将范围扩展至无下水道卫生系统,用于中国环境标志产品认证。《环境标志产品技术要求 无下水道卫生系统》与《北欧生态标签 密闭式厕所系统》同属环境产品标志/标签,而两者差异主要在于:①前者适用的冲厕技术可以为内部循环水冲形式或其他形式,如堆肥式、打包式等,而后者仅为堆肥式。②前者对系统排出的固、液产物(如污泥、堆肥产物)的性质没有设定专门指标,而是对接国家和地方污染物排放标准。

6.2 农村排水领域

无下水道场合的农村卫生户厕,是无下水道卫生系统应用的重要场合。总体而言,农村户厕新建

及改造属工程范畴,其标准架构包括基础、通用、专用三个层次。其中,专用标准又包含产品设备、工程建设、技术方法、运行管理等方面,涵盖整个生命周期^[7]。与无下水道卫生系统较为相关的标准主要包括:国家标准《农村户厕卫生规范》(GB 19379—2012)、《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),以及地方性改厕标准、规范等。

国家标准《农村户厕卫生规范》给出了6种农村主要的无害化卫生厕所类型:三格化粪池式、双瓮漏斗式、三联通沼气池式、粪尿分集式、双坑交替式和具有完整上下水道系统及污水处理设施的水冲式厕所。其中,前5种类型为满足基本的无害化、卫生要求的无下水道卫生系统形式。这些形式的厕所在我国农村“厕所革命”中发挥了重要作用,但或多或少也存在着使用不够舒适、粪污清掏与利用劳动强度偏高、使用不够便利的不足之处^[8]。

在地方标准方面,近年来全国已有20个以上的省份出台了农村户厕改造的地方标准规范,其结合当地气候、养殖业、粪肥使用习惯等条件,因地制宜地优选了主要推广的卫生厕所类型,还特别对无害化过程、粪液处置与利用、日常维护等提出了细化规程^[9]。

7 结论与建议

无下水道卫生系统概念源于生活污水的就地处理,在国外已发展多年,形成了标准认证、环境技术验证、生态产品标签的不同标准化模式,对我国无下水道卫生系统技术的发展具有指导意义。

目前,我国无下水道卫生系统标准体系正在构建和发展中,在环境行业、旅游行业和农村建设领域已有针对性标准。同时,国家标准《预制集成式无下水管道厕所的卫生处理装置技术要求》正在广泛征求意见,将修改采用ISO 30500:2018标准。可以预见,新标准的编制及实施对促进我国无下水道卫生技术创新、提高系统建设与运行质量、维护环境卫生、控制环境污染具有积极意义。

对于我国无下水道卫生标准的编制和修订工作,提出如下建议:

① 加强标准的协调与衔接。一方面,加强无下水道卫生相关标准,如无下水道卫生系统国家标

准,行业、地方乃至团体标准在适用范围、术语和定义、分类方法等方面的协调。另一方面,加强无下水道卫生系统标准与相关污染物排放标准(如废水、废气)、污染物控制标准(如粪便污泥、堆肥产物)等的衔接。

② 以通用标准为基础框架,构建涵盖不同应用领域、不同工艺类型、不同成熟度产品的精简而适用的标准体系。目前,无下水道卫生系统技术还在发展中,技术水平逐步提高,不同场合用户要求各异,尚无统一的工艺路线。除了制定通用的无下水道卫生系统标准外,对于较成熟工艺(如堆肥、焚烧工艺等)的产品,也可制定特定类型工艺的产品标准;对于创新性、突破性技术,特别是在某些性能上相比常规技术有较大提升的,可以在我国环境技术验证体系下,制定无下水道卫生系统的技术验证标准;对于特定场合(如旅游厕所、移动交通工具),可制定贴合场景需求的行业性标准;针对可持续性目标,适时建立卫生系统评价标准;借鉴其他领域的经验,鼓励及时制定与修订更加符合市场需求与技术发展方向、更高标准的团体及企业标准。

需要补充说明的是,尽管从是否接入下水道来看,列车、飞机、汽车等移动交通工具上的厕所,是天然的“无下水道”卫生系统。但因篇幅等原因,移动交通工具的卫生系统未在本文讨论范畴。

参考文献:

- [1] 水落元之,小柳秀明,久山哲雄,等.日本分散型生活污水处理技术与设施建设状况分析[J].中国给水排水,2012,28(12):29-33.
MIZUOCHI Motoyuki, KOYANAGI Hideaki, KUYAMA Tetsuo, *et al.* Analysis of decentralized domestic sewage treatment technologies and facilities in Japan[J]. China Water & Wastewater, 2012, 28(12): 29-33 (in Chinese).
- [2] ZHOU X Q, LI Z F, ZHENG T L, *et al.* Review of global sanitation development [J]. Environment International, 2018, 120: 246-261.
- [3] CHENG S K, LI Z F, UDDIN S M N, *et al.* Toilet revolution in China [J]. Journal of Environmental Management, 2018, 216:347-356.
- [4] STARKL M, BRUNNER N, HAUSER A, *et al.* Addressing sustainability of sanitation systems: can it be standardized? [J]. International Journal of Standardization Research, 2018, 16(1):39-51.
- [5] TROTOCHAUD L, HAWKINS B T, STONER B R. Non-biological methods for phosphorus and nitrogen removal from wastewater: a gap analysis of reinvented-toilet technologies with respect to ISO 30500 [J]. Gates Open Research, 2019, 3:559.
- [6] ANAND C K, APUL D S. Composting toilets as a sustainable alternative to urban sanitation - a review [J]. Waste Management, 2014, 34(2): 329-343.
- [7] 张辉,赵立欣,孟海波,等.中国农村厕所改造及粪污处理标准体系研究[J].农业工程学报,2020,36(23):209-214.
ZHANG Hui, ZHAO Lixin, MENG Haibo, *et al.* Study on the standard system for rural toilet construction and excrement disposal in China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020, 36(23): 209-214 (in Chinese).
- [8] 范彬,王洪良,朱仕坤,等.我国乡村“厕所革命”的回顾与思考[J].中国给水排水,2018,34(22):19-24.
FAN Bin, WANG Hongliang, ZHU Shikun, *et al.* Reviews and reflection on “Toilet Revolution” in the countryside of China [J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(22): 19-24 (in Chinese).
- [9] 马灿明,毛云峰,张健,等.我国农村厕所革命相关技术标准规范和实施进展[J].安徽农业科学,2020,48(20):215-221.
MA Canming, MAO Yunfeng, ZHANG Jian, *et al.* Related regulations and specifications for China's rural toilet revolution and their implementation progress [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2020, 48(20): 215-221 (in Chinese).

作者简介:李旻(1984-),男,湖北武汉人,博士,博士后,正高级工程师,主要从事新型排水及污水处理相关的技术研究、产品开发与应用工作。

E-mail:limingph@163.com

收稿日期:2021-09-11

修回日期:2021-10-02

(编辑:丁彩娟)