

不可小觑的化粪池甲烷碳排放量

郝晓地, 杨文字, 林 甲

(北京建筑大学 城市雨水系统与水环境省部共建教育部重点实验室 中—荷
未来污水处理技术研发中心, 北京 100044)

摘 要: 《巴黎协定》的签署意味着控制地球变暖问题已全球化。化粪池是在尚无集中式污水处理设施情况下出现的一种原始市政污水处理单元,曾在解决城市卫生问题方面起到一定积极作用。但在集中式污水处理厂普遍兴建的今天,化粪池的作用则显得有些微不足道,甚至是在“帮倒忙”,产生的负面作用很大。除截留碳源(COD)外,化粪池还将截留的COD厌氧转化为严重的温室气体——甲烷(CH_4);不能有效逸散时 CH_4 还会带来巨大的爆炸隐患。测算表明,我国城市/城镇化粪池产生的 CH_4 总量高达 $3\,000 \times 10^4 \text{ t CO}_2$ 当量/a,与市政集中式污水处理厂 CH_4 和 N_2O 直接碳排放量($2\,512 \times 10^4 \text{ t CO}_2$ 当量/a)和总碳排放量($3\,985 \times 10^4 \text{ t CO}_2$ 当量/a)处于同一水平。因此,化粪池 CH_4 排放量是一种不可小觑的“隐性”碳排放源。只有国家层面规范十分明确,才能真正废止化粪池使用,使之全面退出历史舞台。

关键词: 化粪池; 甲烷; 温室效应; 碳排放; 污水处理; 规范

中图分类号: TU99 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2017)10-0028-06

Non Negligible Carbon Emission with Methane from Septic Tanks

HAO Xiao-di, YANG Wen-yu, LIN Jia

(Sino-Dutch R & D Centre for Future Wastewater Treatment Technologies, Key Laboratory
of Urban Stormwater System and Water Environment <Ministry of Education>, Beijing
University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China)

Abstract: Signing the *Paris Agreement* means that the global warming has been an issue around the world. As a primary unit of municipal wastewater treatment coping with sanitary problem, septic tanks appeared when there was no centralized wastewater treatment facilities. However, under the current condition with centralized wastewater treatment facility, the septic tank plays negligible or negative role. Septic tanks could not only intercept carbon sources (COD) but also convert the intercepted COD into greenhouse gas methane (CH_4) under anaerobic condition. CH_4 could cause potential explode if it could not escape effectively from septic tanks. It has been calculated that the annual amount of CH_4 produced from septic tanks in China has been up to 30 million $\text{tCO}_2(\text{eq})/\text{a}$, which is at the same level as the direct emissions of CH_4 , N_2O [25 million $\text{tCO}_2(\text{eq})/\text{a}$] and the total carbon emissions [40 million $\text{tCO}_2(\text{eq})/\text{a}$] from centralized wastewater treatment plants. Therefore, the carbon emission of CH_4 from septic tanks is actually a ‘recessive’ carbon source which is usually neglected. As long as the norms from the govern-

ment specification are clear and definite, septic tanks can be abandoned and out of usage any longer.

Key words: septic tank; methane; greenhouse effect; carbon emission; wastewater treatment; norms

《巴黎协定》的签署意味着遏制气候变暖已成为全球一体化的人类伟业。我国正式成为缔约国则意味着需积极推进绿色、低碳发展,以确保完成“十三五”规划纲要中所规定的低碳发展目标,满足国务院《“十三五”控制温室气体排放工作方案》中规定的各项要求。

温室气体泛指二氧化碳(CO_2),因其排放量最大,对温室效应的贡献率也最高(达70%)。甲烷(CH_4)排放量虽不及 CO_2 ,但它的温室效应却是 CO_2 的25倍,其对温室效应的贡献率高达23%,亦不可小觑。

在各行各业主要关注 CO_2 排放量的同时,一种“自发”而不可控的“隐性”碳排放量——化粪池中的 CH_4 却被忽视。化粪池作为一种城市早期初级污水处理设置单元一直持续至今,其 CH_4 碳排放量持续不断。

鉴于此,基于我国现有化粪池,测算我国城市/城镇化化粪池中 CH_4 排放量,并与污水处理逸散碳排放量进行比较。同时,阐述化粪池存在的必要性以及取消化粪池的瓶颈所在。

1 化粪池及其功能

化粪池虽然很常见,但是首先应该弄清楚它何时出现、起什么作用、有无负面影响等一系列基本信息。

1.1 化粪池起源与使用

化粪池出现已有150多年的历史,可追溯到1860年;当时,法国人Mmouras和Moigno建造了世界上最早的单格式化粪池。1883年,美国人Philbrick发明并使用了双格式化粪池,由此引发多格式化粪池的普及和应用。

化粪池引入我国应该是20世纪初期的事情,首先在与国外通商的沿海城市使用,以解决城市人口集中而出现的卫生问题^[1]。从那时起,化粪池便成为我国市政基础设施的“标配”,从居民小区到写字楼、商业楼几乎无一例外全部配备了化粪池^[2]。粗略统计,我国目前城市/城镇化化粪池大约有200万个^[3,4],覆盖了绝大多数城市/城镇人口。数量如此庞大的化粪池如今也影响着农村和乡镇,有向这些

地方蔓延的趋势^[5]。到2020年,估计农村化粪池的数量将高达2亿个^[6]。

1.2 化粪池功能

化粪池是一种当初为解决城市卫生问题而设计的简易污水处理单元,可避免粪水横流,通过沉淀可去除污水中50%~60%的悬浮物(SS);在沉淀有机物(COD)、厌氧消化的同时,亦可杀灭蚊蝇虫卵等^[7]。在城市污水处理措施极端落后的情况下,化粪池作为一种简易污水处理手段曾对解决城市卫生问题起到一定的积极作用。

1.3 化粪池排放 CH_4

在化粪池沉积的SS中有相当大一部分为有机成分(COD),主要是粪便残渣与厨余废料^[8]。污水在化粪池中停留时间(HRT)一般为12~24 h^[9];沉积于化粪池的污泥经3个月以上的时间(因不及时清掏,实际停留时间可能更长)厌氧发酵分解,使污泥中有机物稳定为无机物(CO_2)。厌氧消化固然使部分有机物可以稳定为 CO_2 ,但殊不知 CO_2 其实是与 CH_4 一道产生的,即同时形成不能被利用的“沼气”而释放大气。

从温室气体效应来看, CH_4 其实比 CO_2 作用要大得多,效应至少是 CO_2 的25倍。结果,在落实《巴黎协定》、强调“碳减排”的今天,化粪池成了那些被遗忘的 CH_4 制造“作坊”,星罗棋布、遍布全国。这种化粪池“隐性” CH_4 碳排放量究竟有多大,值得探究。

2 化粪池 CH_4 排放量测算

我国化粪池十分普遍,但有关它的负面影响——产生严重的温室气体 CH_4 还鲜为人知。因此,需要定量测算其产生量,并与污水处理厂的直接、间接碳排放量进行比较。

2.1 CH_4 温室效应

衡量温室气体的温室效应常采用全球变暖潜能值GWP(Global Warming Potential)。GWP是一个相对值,即将特定气体和相同质量 CO_2 进行比较而得出的造成全球变暖的相对效能。GWP与温室气体对红外线的吸收能力和在大气中的存在时间有

关^[10]。

总的温室气体占大气层含量不足1%,但它们与主要空气成分——氮气和氧气不同,不能透过地表红外(长波)辐射,阻碍地表热量辐射到太空中。结果,温室气体就像一层厚厚的玻璃,使地球变成了一个“大暖房”。CO₂是除水蒸气(H₂O)外数量最多的温室气体,约占大气总容量的0.03%;许多其他痕量气体也会产生温室效应,有的温室效应比CO₂还强,如CH₄和N₂O,它们的GWP分别是CO₂的25和296倍。

温室效应比CO₂高25倍的CH₄其GWP是基于100年评估时间计算的。然而,CH₄在大气中的半衰期为7年,不到15年的时间CH₄即可分解完毕,最终被化学氧化成CO₂和H₂O,其温室效应也就相应弱化。其实,以100年时间衡量CH₄温室效应,是大大低估了它的GWP。有研究表明,若以20年评估时间来计算,则CH₄的GWP比CO₂要高72倍。可见,若想在短时间内有效减缓全球变暖趋势,应从“短命”的CH₄入手,可以起到事半功倍的效果。

2.2 化粪池CH₄排放量测算

目前,国内鲜有报道化粪池气体排放种类以及数量的参考文献。然而,可以根据化粪池工作原理,测算沉淀有机物(COD)厌氧消化产生的沼气的量。通常,我国农村沼气池沼气成分一般为:CH₄占60%~70%,CO₂占30%~40%,并含有少量其他气体(如H₂S)。1934年Source等人检测总结了双层沉淀池(Hoff-tank)气体组分及其含量:CH₄占63%~84.2%,CO₂占3.3%~29.4%,以及少量其他气体。污水处理厂剩余污泥经传统厌氧消化后获得的混合气体(沼气)成分:CH₄占55%~75%,CO₂占25%~45%,也含少量其他气体成分^[11]。据此,设定我国化粪池产生的沼气成分中CH₄体积分数为65%应该合理,该值似乎处于化粪池实际CH₄含量中值范围。

标准状态下,某种气体对应的体积比与其对应的质量比是一致的。因此,可以用式(1)表示有机物(COD)厌氧消化转化CH₄与CO₂化学计量关系。



$$\begin{array}{ccc} 1 & X & 1-X \\ 32 & 16X & \\ 1 & 0.5X & \end{array}$$

其中COD以CH₂O计;COD计算物质的量时以氧计,即O₂当量;X表示CH₄占沼气物质的量的比例。

本研究测算的是我国城市/城镇化粪池CH₄排放量。根据国家统计局统计资料,至2015年底,我国大陆城市/城镇常住人口为77 116万人。根据《污染源普查产排污系数手册》,可计算出城市/城镇居民小区人均COD产生量为19.35~29.93 kg/(人·a)。据此,可设定我国城市/城镇居民人均COD产生量中间值为24 g/(人·a),以此作为计算化粪池CH₄排放量的依据。化粪池对SS沉淀去除、折算COD平均去除率按30%考虑^[12]。这样,可以用下式计算化粪池CH₄年排放总量:

$$D_{\text{CH}_4} = \beta \cdot \text{PE} \cdot L \cdot M \cdot \alpha \quad (2)$$

式中 D_{CH_4} ——我国城市/城镇化粪池CH₄年排放总量,kg/a

β ——综合折减系数,取0.7。因有些城市/城镇居民区可能未设置化粪池,况且沉淀于化粪池中的COD并非全部可被降解

PE——我国城市/城镇常住人口,取7.7亿人

L——我国城市/城镇居民人均生活污水COD产生量,取24 g/(人·a)

M——单位质量COD氧化产生的CH₄质量,0.5X=0.5×65%=0.325 kg

α ——化粪池对污水COD的去除率,取30%

根据式(2)以及设定/计算的各参数值,可以计算出我国城市/城镇化粪池CH₄年排放总量: $D_{\text{CH}_4} = 0.7 \times 7.7 \times 10^8 \times 24 \times 0.325 \times 30\% = 1.261\ 26 \times 10^9$ kg/a。换算成CO₂当量(以CH₄的温室效应为CO₂的25倍计算): $1.261\ 26 \times 10^9 \times 25 \approx 3.153\ 2 \times 10^{10}$ kgCO₂当量/a=3 153×10⁴ t CO₂当量/a。

2.3 敏感性分析

上述有关化粪池CH₄年排放总量计算中的参数取舍大都采用了中间值。然而,不同参数取值肯定会影响计算结果。为此,可对式(1)和式(2)中的4个参数(β 、L、X、 α)进行敏感性分析,并得出如图1所示的结果。图1显示,我国城市/城镇化粪池每年产生的CH₄碳排放量应处于(2 000~4 000)×10⁴ t CO₂当量/a范围,中间值在3 000×10⁴ t CO₂当量/a左右。

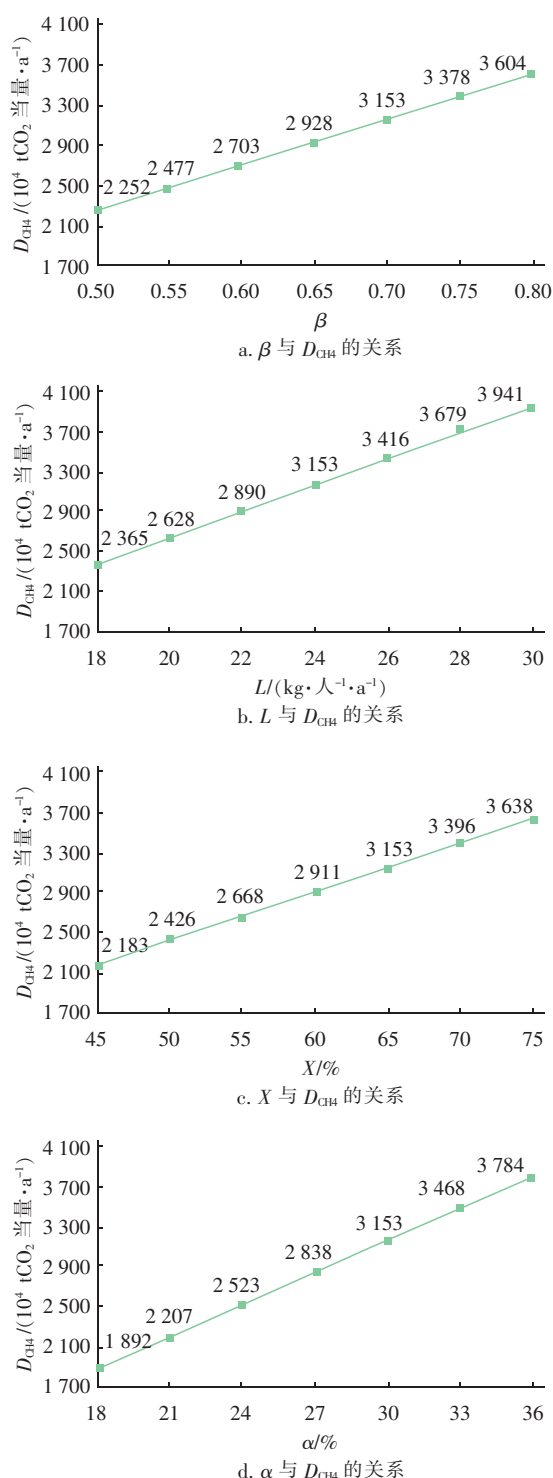
图1 我国城市/城镇化粪池 CH_4 碳排放总量测算结果

Fig. 1 Calculated results of the CH_4 emission from cities/towns septic tanks in China

2.4 化粪池 CH_4 碳排放量规模

测算表明,2015年我国污水处理过程逸散出的 CH_4 和 N_2O 直接碳排放量为 $2\,512 \times 10^4 t CO_2$ 当量/

a,而当年我国污水处理行业碳排放总量(含电耗、药剂产生的间接碳排放量)是 $3\,985 \times 10^4 t CO_2$ 当量/a。

因为从 COD 氧化转化而来的 CO_2 是生源性的(即有机物的自然归宿),所以化粪池 CO_2 产生量并没有计入总碳排放量, CH_4 碳排放量实际上就代表了化粪池总碳排放量。上述污水处理厂直接(CH_4 和 N_2O)、间接(电耗、药剂)碳排放也未包括生源性 CO_2 。这样,可以将化粪池测算出的 CH_4 碳排放量与污水处理直接、间接碳排放量进行比较:①化粪池 CH_4 排放量(中间值 $= 3\,000 \times 10^4 t CO_2$ 当量/a)高于污水处理 CH_4 和 N_2O 直接碳排放量($2\,512 \times 10^4 t CO_2$ 当量/a);②化粪池 CH_4 排放量与污水处理总碳排放量($3\,985 \times 10^4 t CO_2$ 当量/a)几乎处于同一水平。

计算与比较表明,仅我国城市/城镇化粪池 CH_4 折算 CO_2 排放量相对于污水处理总碳排放量而言就已是旗鼓相当,是一种被遗忘了的“隐性”碳排放量。如果说污水处理直接碳排放量(CH_4 和 N_2O)通过运行优化以及沼气利用在很大程度上可以避免或降低,那么,化粪池 CH_4 排放量则往往是不可控的,直接排放大气对温室效应的作用不可小觑。

3 化粪池实为累赘

化粪池本意是解决城市卫生问题,但随着城市集中式污水处理厂的新建以及化粪池在使用过程中出现的问题,其负作用日益明显。因此,有必要明确其负作用的内涵。

3.1 化粪池与污水处理关系

化粪池作为一种简易污水处理设施,本意是通过截留、沉淀、厌氧分解等过程在一定程度上去除污水中的 SS、COD 和病原菌,以缓解城市卫生问题。然而,在当今市政集中式污水处理厂普遍兴建的情况下,化粪池 SS 及 COD 的去除已显得没有必要:一方面,星罗棋布的化粪池总投资可能超过集中式污水处理厂;另一方面,因化粪池对污水 COD 部分去除(30%)而导致污水处理厂脱氮除磷碳源不足^[13],这使得化粪池对污水处理来说实际上是在“帮倒忙”。

3.2 化粪池占地又危险

分散式化粪池虽小,但也需要占用相当的地下空间,这对日益膨胀的城市人口而导致的很多市政设施(地铁、各种管廊等)向地下空间发展十分不利^[14]。同时,化粪池还会抢夺城市绿地面积^[13]。

更为严重的是,化粪池产生的 CH_4 如果不能及时向大气逸散,聚积的 CH_4 (含量 $> 15 \text{ mg/L}$) 遇明火则会发生爆炸,给公共安全带来巨大的隐患^[15],此类事故在我国早已屡见不鲜^[3]。如果说化粪池 CH_4 直接逸散大气产生的只是温室效应,那 CH_4 被“憋”在化粪池中则可能是人命关天的大事。

此外,95%以上的化粪池使用1~2年有可能发生泄漏,不仅污染地下水,腐蚀市政地下供水管道,甚至还会软化建筑物地基^[16]。

4 取消化粪池症结

作为一种时代产物,化粪池显然已不合时宜,实际上已经成为一种市政设施的累赘。然而,化粪池在显而易见的弊端下为什么还能经久不衰?其实,认识上不能与时俱进、观念上陈旧保守是主要的原因。

4.1 规范模棱两可

我国有关化粪池设置的一些规范明确指出,没有城市污水处理厂或污水处理厂规划滞后于小区建设时,生活粪便污水应设化粪池^[17,18];城市污水管网和污水处理设施较为完善的区域,可不设置化粪池^[18,19]。然而,并没有相关规范明确表达在已兴建市政污水处理厂的情况下需要取消化粪池的规定。这就使化粪池设置/取消显得模棱两可,导致多数地方对新建楼宇项目审批中仍然有设置化粪池的行政要求^[13]。在此情况下,设计者思路又趋于保守与从众,索性千篇一律地普遍采用了化粪池设计,主观上继续把化粪池“发扬光大”。

值得注意的是,我国一些经济发达城市在逐步完善市政管网、兴建集中式污水处理厂的同时正开始有计划地取消化粪池;上海、广州、深圳、四川、重庆、福建、常州、杭州等地先后出台政策,明确要求在新建、改建、扩建建筑物中取消化粪池^[12,16]。可见,取消化粪池的行动正悄然从发达城市开始。但是,地方法规目前还不能替代国家规定,国家规范亟需修订,一方面需要明确规定新建小区不设化粪池,另一方面则需要另文规定已有化粪池应退出初级处理的历史舞台,污水管线需超越既有化粪池,将化粪池改作它用(如中水、雨水调节池)。

4.2 取消化粪池的疑虑

化粪池因具有沉淀截留 SS 的功能,所以一些工程技术人员担心取消化粪池后可能会造成管道堵塞问题。据实地调查,1997年—2007年间,杭州市多

个不设化粪池小区下水管道运行情况良好,仅个别小区出现过流水不畅的现象,但均排除了无化粪池设置之诱因^[20]。上海、广州等地逐步取消化粪池试点工程运行情况表明,只要满足下水管道最小流速,一般并不会发生管道堵塞现象^[21]。

因此可以肯定,只要设计合理,且在保证施工质量的前提下,因取消化粪池而堵塞管道的问题不必多虑。

5 结语

化粪池作为一种时代产物在城市化发展速度空前高涨的今天,对污水处理的作用已显得微不足道。相反,化粪池相对于市政集中式污水处理厂其实是在“帮倒忙”,将脱氮除磷本来就碳源不足的我国城市污水中有机物含量(COD)截留去除约1/3。

被化粪池截留的 COD 通过沉淀、厌氧消化而大都被转化为 CH_4 、 CO_2 释放大气。如果被化粪池截留的 COD 全部转化为 CO_2 ,那也到显得释然,因为转化为 CO_2 是有机物的自然归宿,是生源性的。这种来源于有机物的 CO_2 虽也产生温室效应,但无论处理与否它都会自然形成,不可避免。

然而,作为有机物转化为 CO_2 的中间产物—— CH_4 ,其温室效应比 CO_2 至少高25倍。测算结果表明,我国城市/城镇化粪池产生的 CH_4 总量高达 $3\,000 \times 10^4 \text{ t CO}_2$ 当量/a,与市政集中式污水处理厂的 CH_4 和 N_2O 直接碳排放量($2\,512 \times 10^4 \text{ t CO}_2$ 当量/a)和总碳排放量($3\,985 \times 10^4 \text{ t CO}_2$ 当量/a)处于同一数量级,甚至同一水平。可见,化粪池 CH_4 碳排放量不可小觑,它是一种被遗忘的“隐性”碳排放源。化粪池中产生的 CH_4 释放大气是严重的温室气体,而“憋”在池内则成为一种可怕的“定时炸弹”。

我国现行规范虽然指出存在市政污水处理厂的情况下可以考虑不设置化粪池,但规定模棱两可,比较含糊。结果,很多地方对新建楼宇项目审批中仍然有设置化粪池的行政要求,主观上允许化粪池继续“发扬光大”。虽然少数一些经济发达城市已开始取消化粪池的行动,但国家层面的行动还有待明确,特别是对既有化粪池的“取缔”问题。

参考文献:

- [1] 刘岸冰. 近代上海城市环境卫生管理初探[J]. 史林, 2016, (2): 85-92.

- [2] 王凯军,宫徽. 生态文明理念引领城市污水处理技术的创新发展[J]. 给水排水,2016,42(5):1-3.
- [3] 郭芳. 排除城市地下“隐形炸弹”——重庆成功试点污水管网安全监控预警示范工程[J]. 中国经济周刊,2013,(9):71-74.
- [4] 刘志勇,江有才,龚辉. 广州市新城区取消化粪池的可行性调查[J]. 环境卫生工程,2005,13(2):44-45.
- [5] 郝晓地. 推进农村生态文明建设实现可持续发展[J]. 城乡建设,2010,(1):50-50.
- [6] 王凯军. 村镇污水处理关键不仅仅在于技术[EB/OL]. <http://www.h2o-china.com/column/294.html>,2015-12-25.
- [7] 许玉萍,邱石庆,罗丽梅,等. 浅谈城市化粪池管理问题的解决思路[J]. 中小企业管理与科技:中旬刊,2016,(3):85-86.
- [8] 王红燕,李杰,王亚娥,等. 化粪池污水处理能力研究及其评价[J]. 兰州交通大学学报,2009,28(1):118-120.
- [9] GB 50015—2003,建筑给水排水设计规范(2009年版)[S]. 北京:中国计划出版社,2010.
- [10] 陈佳君. 全球变暖潜能值的计算及其演变[J]. 船舶与海洋工程,2014,(2):27-31.
- [11] 郝晓地. 可持续污水-废物处理技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2006.
- [12] 陈炳森,杨海真. 关于化粪池分类管理的探讨与建议[J]. 四川环境,2016,(1):125-130.
- [13] 郝晓地,赵靖,李俊奇. 集中式污水处理厂取代化粪池可行性分析[J]. 水资源保护,2006,22(4):85-87.
- [14] 王梦恕. 中国铁路、隧道与地下空间发展概况[J]. 隧道建设,2010,30(4):351-364.
- [15] 关华滨. 新型化粪池处理生活污水的试验研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2012.
- [16] 曹辉. 建议在城市污水处理系统完善的情况下取消化粪池[J]. 广东建材,2010,26(5):163-164.
- [17] 核工业第二研究设计院. 给水排水设计手册(二)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2001.
- [18] GB 50337—2003,城市环境卫生设施规划规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2003.
- [19] CECS 57:94,居住小区给水排水设计规范[S]. 上海:中国工程建设标准化协会建筑给水排水委员会,1994.
- [20] 宣张莺,王英达,吴必勤. 关于杭州市住宅小区是否取消化粪池的见解与体会[J]. 水利科技与经济,2007,13(11):869-870.
- [21] 程宏伟,刘德明,邱寿华. 取消化粪池可行性函调结果与分析[J]. 福建建筑,2011,(3):105-107.



作者简介:郝晓地(1960-),男,山西柳林人,教授,从事市政与环境工程专业教学与科研工作,主要研究方向为污水生物脱氮除磷技术、污水处理数学模拟技术、可持续环境生物技术。现为国际水协期刊《Water Research》区域主编(Editor)。

E-mail: haoxiaodi@bucea.edu.cn

收稿日期:2017-01-12

建设节水型社会,促进经济增长方式转变