



厌氧消化技术在农村生活污水处理中的应用

陈子爱, 施国中, 熊霞

引用本文:

陈子爱, 施国中, 熊霞. 厌氧消化技术在农村生活污水处理中的应用[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(3): 432-437.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0530>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

巢湖流域厌氧-土壤净化床工艺处理农村生活污水生态补偿标准测算

丁健, 吴晓斐, 黄治平, 郑宏艳, 米长虹, 郑宏杰

农业资源与环境学报. 2019, 36(5): 584-591 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0205>

太湖流域农村生活污水处理技术模式调查和分析——以江苏省为例

张亚平, 王海芹, 印杰, 管永祥, 龙珍

农业资源与环境学报. 2017, 34(5): 483-491 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2017.0002>

CAST一体化设备处理农村生活污水工况研究

杨大川, 黄治平, 郑宏艳, 米长虹, 丁健

农业资源与环境学报. 2019, 36(5): 575-583 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0142>

一种无动力·蒸发式农村生活污水处理新技术及其工程应用

陈咄圳, 赵建军, 郑向群

农业资源与环境学报. 2019, 36(5): 570-574 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0264>

杭州市农村生活垃圾治理实践及问题对策研究

屠翰, 华永新, 徐钢, 虞益江, 陈艳

农业资源与环境学报. 2018, 35(3): 251-256 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0024>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

陈子爱, 施国中, 熊霞. 厌氧消化技术在农村生活污水处理中的应用[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(3): 432-437.

CHEN Zi-ai, SHI Guo-zhong, XIONG Xia. Application of anaerobic digestion technology in rural domestic sewage treatment[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2020, 37(3): 432-437.



开放科学 OSID

## 厌氧消化技术在农村生活污水处理中的应用

陈子爱<sup>1,2</sup>, 施国中<sup>1,2</sup>, 熊霞<sup>1,2</sup>

(1. 农业农村部沼气科学研究所, 成都 610041; 2. 农业农村部农村可再生能源开发利用重点实验室, 成都 610041)

**摘要:**随着全国农村人居环境整治的推进,农村生活污水治理越来越受到重视,亟需根据农村地区的特点和当地水环境容量,优选适宜的处理技术。厌氧消化技术因为运行管理简单、处理费用低而被国内外视为适合农村地区的低成本、低维护处理技术,已在农村生活污水处理中得到了广泛应用。本文综述了化粪池、农村户用沼气池、生活污水净化沼气池、厌氧滤池、组合处理工艺等厌氧消化技术在农村生活污水处理利用中的研究与应用现状,并从建设目标、工艺过程、停留时间、进水浓度、出水水质、建设投资、运行成本等方面对几种厌氧消化技术进行了对比和总结,最后对厌氧消化技术在农村生活污水处理中的应用提出建议。

**关键词:**农村;人居环境;厌氧消化技术;生活污水

中图分类号:X799.3

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2020)03-0432-06

doi: 10.13254/j.jare.2019.0530

### Application of anaerobic digestion technology in rural domestic sewage treatment

CHEN Zi-ai<sup>1,2</sup>, SHI Guo-zhong<sup>1,2</sup>, XIONG Xia<sup>1,2</sup>

(1. Biogas Institute of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Chengdu 610041, China; 2. Key Laboratory of Development and Application of Rural Renewable Energy, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Chengdu 610041, China)

**Abstract:** With the improvement in rural human settlement environment renovation in China, increasing attention has been paid to the treatment of rural domestic sewage. There is an urgent need to select suitable treatment technologies according to the characteristics of rural areas and the local water environmental capacity. Anaerobic digestion technology has been widely used in rural sewage treatment because of its simple operation and low cost. The research and application status of anaerobic digestion technology such as septic tanks, rural household biogas, domestic sewage-purifying methane tanks, anaerobic filters, and combined treatment technology in rural domestic sewage treatment were analyzed in this study. The anaerobic digestion technology and mode were compared and summarized according to the construction target, process, residence time, influent concentration, effluent quality, construction investment, and operation cost. Finally, suggestions regarding the application of anaerobic digestion technology in rural domestic sewage treatment were proposed, which would provide a reference for scientific and reasonable application of anaerobic digestion technology in rural domestic sewage treatment.

**Keywords:** rural area; human settlement environment; anaerobic digestion technology; domestic sewage

2017年2月环境保护部、财政部联合发布的《全国农村环境综合整治“十三五”规划》<sup>[1]</sup>提出,到2020年,新增完成环境综合整治的建制村13万个,累计达到全国建制村总数的1/3以上。其中农村生活污水治

理是农村环境综合整治的内容之一。2018年2月,中共中央办公厅、国务院办公厅联合发布的《农村人居环境整治三年行动方案》<sup>[2]</sup>提出,到2020年,厕所粪污基本得到处理或资源化利用,农村生活污水治理率明

收稿日期:2019-10-28 录用日期:2020-02-06

作者简介:陈子爱(1975—),女,研究员,主要研究方向为废水生物处理及资源化。E-mail: cza0903@163.com

基金项目:中国农业科学院科技创新工程协同创新任务(CAAS-XTCX2016015)

Project supported: Cooperative Innovation Project of Agricultural Science and Technology Innovation Program of CAAS(CAAS-XTCX2016015)

显提高。农村地区水污染排放总量占全国污水排放总量的50%以上,但农村生活污水处理率仅为22%<sup>[3]</sup>,而我国城市污水处理率已达93.44%<sup>[4]</sup>,可见,相对于城市生活污水,农村生活污水处理率还很低,迫切需要加快治理步伐。

我国部分农村地形条件复杂、人口居住分散、地广人稀<sup>[5]</sup>,采用集中式污水处理系统会导致管网铺设困难、投资成本高、运行维护难度高等问题,使农村地区因资金困难无法承受<sup>[6]</sup>。因此,对于经济欠发达且居住分散的地区,耗费资金和人力修建较长的污水管网进行集中处理不经济也不现实<sup>[7]</sup>,需要因地制宜选用分散式污水处理技术。

厌氧消化技术因为运行管理简单、处理费用低而被国内外视为适合农村地区的成本低、维护简便的处理技术。厌氧分散处理技术已经从最早的化粪池<sup>[8]</sup>发展到户用沼气池<sup>[9]</sup>、生活污水净化池系统<sup>[10]</sup>,再到近年来的多种厌氧组合处理技术<sup>[11]</sup>,在农村生活污水处理中已经得到了广泛应用。笔者通过文献调研,综述了厌氧消化技术在农村生活污水处理中的研究进展及应用现状,重点分析了各类型厌氧消化技术工艺特点及处理效果,最后对厌氧消化技术在农村生活污水处理中的应用提出建议,以期厌氧消化技术的科学合理应用提供参考。

## 1 厌氧消化技术

### 1.1 化粪池

化粪池是一种利用沉淀和厌氧发酵的原理去除生活污水中悬浮性有机物的初级处理设施。1860年,法国的Mouras和Moigno建造了最早的单格式化粪池,并称之为“MOURAS池”。1895年,英国研究人员对其进行了工艺改进,并申请了专利,称之为化粪池<sup>[12]</sup>,随后,化粪池在世界范围内得到广泛的传播与应用<sup>[13]</sup>。化粪池原理是下层的固形物在池底得到分解,轻的浮渣悬浮在上层,确保中间层清液进入管道而流走,防止了管道堵塞,给固形物体(粪便等垃圾)充足的水解时间。生活污水中含有大量粪便、纸屑、病原虫,污水进入化粪池经过12~24 h的沉淀,可去除50%~60%的悬浮物<sup>[14]</sup>。沉淀后污泥经过3个月以上的厌氧消化,污泥中的有机物分解成稳定的无机物,易腐败的生污泥转化为稳定的熟污泥,改变了污泥的结构,降低了污泥的含水率。定期将污泥清掏外运,填埋或用作肥料。

近年来,随着全国各地农村人居环境整治工作的

推进,化粪池因具有结构简单、成本低、维护管理简便等优点而受到广泛的青睐<sup>[15]</sup>。根据建造材质,化粪池分为砖砌化粪池、钢筋混凝土化粪池、玻璃钢化粪池、沉管化粪池、预制装配式化粪池等<sup>[16]</sup>。因化粪池并不能使污染物彻底矿化,其出水仍含有较高浓度的污染物<sup>[12]</sup>,例如COD去除率约为50%<sup>[17]</sup>。化粪池适用于农村生活污水前端预处理。近年来,研究者对化粪池进行改进,取得了较好的应用效果,如改为厌氧生物池<sup>[18]</sup>或对传统的三格化粪池进行结构优化改造,在第一格室的中下部进水,沿第一格室高度方向设置多层孔板,在第二格室设置折流板,第三格室内置陶粒填料,第四格室收集出水回用于农田灌溉或连接后续装置做进一步处理。试验结果表明,孔板的有效设置使得第一格室对COD和BOD<sub>5</sub>的去除率均超过50%,稳定运行后整个反应器对COD和BOD<sub>5</sub>的去除率分别为72%~84%、80%~92%,出水的生化指标符合农田灌溉水质的要求<sup>[19]</sup>。

### 1.2 农村户用沼气池

农村户用沼气池是一种在厌氧条件下处理农户人畜粪便并产生沼气和沼肥的设施。产生的沼气用于生活用能,沼肥用作农肥还田。农村户用沼气池特别适合处理农村生活污水中的黑水。沼气作为一种可再生的生物质能源,自新中国成立以后,就得到了党和国家的高度重视。截止到2016年底,全国户用沼气池数量已达4160多万<sup>[20]</sup>,但随着城镇化建设,部分农村人口搬迁或养殖习惯改变,造成原料缺乏、管理不到位等,致使部分沼气池闲置或报废。将部分闲置的户用沼气池改为厕所粪污处理池、化粪池和水窖等,是今后的发展方向。尤其2018年以来,全国各地对农村生活污水治理推进力度加大,全国各地推行“沼”改“池”和“沼”改“厕”,即将闲置的户用沼气池改为农村生活污水处理池,或将户用沼气池改为三联式沼气池式厕所,对粪便进行无害化处理,达到卫生厕所要求。

户用沼气池对粪污无害化处理效果比较好,曾华梁等<sup>[21]</sup>研究结果显示,沼气池出水寄生虫卵沉降率为99.76%~99.78%,蛔虫卵死亡率为98.00%~98.92%,粪大肠菌值为 $10^{-4}$ ~ $10^{-3}$ ,基本上符合当时的国家标准《粪便无害化卫生标准》(GB 7959—1987)。

### 1.3 生活污水净化沼气池

生活污水净化沼气池,是中国科技工作者和推广人员在标准化粪池、农村户用沼气池的基础上,结合国际上污水厌氧处理新成果,通过不断的实践改进而

发展起来的一项生活污水分散处理技术。生活污水净化沼气池主要利用厌氧微生物的作用将生活污水中污染物进行分解,并通过沉淀、过滤和兼性微生物处理,达到净化效果。生活污水净化沼气池是适合我国国情的分散处理乡镇、农村居民生活污水的有效技术,在全国(特别是南方各省市)中小城镇得到积极推广应用<sup>[22]</sup>。尤其自20世纪80年代以来,我国各级农村能源部门对生活污水净化沼气池技术进行广泛推广。截至2017年,我国已有生活污水净化沼气池184 473处,取得了巨大的社会效益和环境效益。

根据粪便污水和其他生活污水是否一同进入生活污水净化沼气池,可分为分流制和合流制两种工艺。其工艺流程见图1和图2<sup>[22]</sup>。

陈玉谷等<sup>[23]</sup>采用一级厌氧消化接二级兼性好氧处理的流程进行了生活污水处理研究,装置容积15 L,水力停留时间分别为2、2.5、3 d。一级厌氧消化池分三格,后两格装有填料,二级兼性好氧池也分三格,并安装滤料。结果表明,COD去除率73.8%~84.8%,BOD<sub>5</sub>去除率77.1%~84.4%,SS去除率96.8%,一级厌氧处理平均去除率超过70%,二级兼性好氧处理的平均去除率低于10%。说明有机物主要在厌氧消化单元去除。另外,无害化卫生效果明显,出水中绝大多数未检出活虫卵,未分离出肠道致病菌。谢燕华等<sup>[24]</sup>对四川阆中市净化沼气池的调查显示了相似的结果:

COD平均去除率84.5%,BOD<sub>5</sub>平均去除率90.1%,SS去除率90.2%。

#### 1.4 厌氧滤池

厌氧滤池是一种采用填充材料作为微生物载体的高效厌氧反应器,厌氧微生物在填料上附着生长形成生物膜。生物膜与填充材料一起形成滤床,经过预处理的废水进入反应器内,逐渐被细菌水解、酸化,最终被产甲烷菌转化为甲烷。钱小青等<sup>[25]</sup>对降流式厌氧悬浮填料床处理生活污水进行研究,结果表明,在5—7月,停留时间(HRT)6 h、进水平均COD 271 mg·L<sup>-1</sup>条件下,COD平均去除率为57.6%。10月底前反应器COD的去除率大于45%,但至11月下旬因环境温度下降加快,反应器的COD去除率约34%。厌氧滤池多以组合工艺应用于农村生活污水处理,单一厌氧滤池应用不多。

#### 1.5 组合处理工艺

随着生活污水处理要求的提高,单一的厌氧处理不能满足出水要求,如化粪池、生活污水净化池、厌氧滤池处理出水污染物浓度较高,不能完全达到国家排放标准。因此,厌氧处理技术作为生活污水预处理单元,结合不同的后期处理单元,衍生出很多不同工艺,如厌氧-人工湿地、厌氧-好氧处理工艺等。

在无动力组合处理工艺中,厌氧+人工湿地是较常见的组合处理工艺。高鹏等<sup>[26]</sup>采用厌氧消化+人工湿地工艺处理农村生活污水,结果表明,该系统适用于四川农村生活污水处理,且效果较好,达到了《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18919—2002)一级B标准,对COD、TN、TP、氨氮的平均去除率分别达到了92.9%、71.8%、76.5%、77.8%。谭迪等<sup>[27]</sup>采用厌氧+人工湿地工艺处理生活污水,以长沙市望城区光明村3户典型家庭为例,比较了冬、夏两季人工湿地对居民生活污水的净化效果。结果表明,构建的无动力人工湿地对农村生活污水净化效果明显,冬季生活污水COD、TP、TN、氨氮、SS的平均去除率分别达71.83%、97.20%、83.52%、55.34%、71.79%;夏季COD、TP、TN、氨氮、SS平均去除率分别达91.52%、93.99%、83.22%、75.15%、65.04%。经人工湿地净化处理后,TP、TN、氨氮可以达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A或一级B标准,COD可以达到二级标准。

有动力组合处理工艺中,以A/O为主,也有A<sup>2</sup>/O、多级A/O工艺。如厌氧+好氧+人工湿地组合工艺中,熊仁等<sup>[28]</sup>采用厌氧+跌水曝气+人工湿地组合工艺处

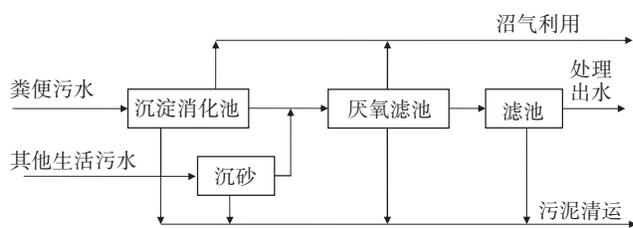


图1 分流制生活污水净化沼气池流程

Figure 1 Diversion system of domestic sewage-purifying methane tank

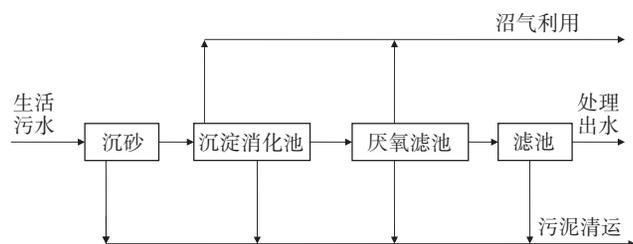


图2 合流制生活污水净化沼气池流程

Figure 2 Combined system of domestic sewage-purifying methane tank

理农村生活污水,结果表明,组合工艺对COD、TN、TP、氨氮和SS的平均去除率分别为74.5%、57.2%、59.5%、59.0%和91.6%。古腾等<sup>[29]</sup>采用厌氧+曝气生物滤池+人工湿地组合工艺对COD、氨氮、TN、TP的平均去除率分别为90.05%、95.29%、67.65%、91.42%,出水水质较稳定,可达《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准。王田天等<sup>[30]</sup>采用AAO一体化工艺处理农村生活污水,其出水COD、氨氮、TN、TP的平均浓度分别为19.79、2.66、8.82、0.47 mg·L<sup>-1</sup>,均达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准。日本的净化槽技术主要采用A2O工艺,杨帆等<sup>[31]</sup>对户用净化槽出水进行了跟踪监测,结果表明,其氨氮、BOD<sub>5</sub>、浊度、TN、COD、TP去除率分别为94.9%、87.8%、82.8%、66.9%、59.4%、37.0%,出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准。净化槽曝气池结合膜生物反应器(MBR)处理结果表明,系统对COD、BOD<sub>5</sub>、氨氮、TP和SS的平均去除率分别为83.64%、84.46%、97.94%、94.13%和93.95%<sup>[32]</sup>。

通过厌氧消化处理,农村生活污水能达到三级排放要求。目前,全国各地已出台地方农村生活污水排放标准,大部分地方农村生活污水排放标准分为三级,其中三级标准对氮磷没有要求,主要是对出水卫生指标、悬浮物及COD有要求。而一、二级排放标准增加对氮磷达标要求,其中二级排放标准主要对氨氮有要求,一级排放标准对氨氮、TN和TP都有要求。

## 2 厌氧消化处理工艺模式

农村生活污水厌氧消化处理工艺模式的对比见表1<sup>[21]</sup>。

化粪池用于初级处理粪便污水,主要功能是杀灭

病原微生物,达到卫生效果,其出水污染物浓度依然较高,需要进一步处理。户用沼气池通过降解人畜粪便产生沼气,最初建设目标以获取能源为主,但随着农村生活及经济形势的变化,逐渐改为以环保卫生为主。户用沼气池因停留时间长,生活污水充分厌氧消化,无害化效果好,处理后出水可作为肥料还田使用。生活污水净化沼气池功能是净化生活污水,出水水质相对较好,出水可以用于农田灌溉,或进一步处理可达标排放。厌氧滤池主要是厌氧条件下降解生活污水的部分污染物,因停留时间短,其出水需要进一步处理。厌氧滤池实际应用往往结合其他处理工艺,如厌氧滤池作为生活污水净化沼气池的一部分。组合处理工艺出水较好,可农用或排放。从建设成本来看,化粪池最低,厌氧组合工艺成本最高;从运行成本来说,无动力的厌氧消化处理模式,主要来源于还田产生的运费、人工费等,如果厌氧消化处理后由管道直接还田,则运行成本低于表1所列。但对于有动力的组合工艺来说,运行成本除了人工费,还有设备运行费、维护费等,其运行成本明显高于其他处理模式。

## 3 结论

(1)厌氧消化技术在农村生活污水处理中能发挥重要作用,是对粪便污水进行无害化的经济处理方式。

(2)农村生活污水通过厌氧消化处理,可降解大部分污染物,并达到无害化标准。

(3)部分农村生活污水排放要求达地方标准一级或二级,则需组合其他处理工艺。厌氧消化技术对氮磷去除效果差,若需进一步去除氮磷,则需增加好氧工艺。

(4)以厌氧消化为预处理的组合处理工艺对农村

表1 农村生活污水厌氧消化处理模式

Table 1 Anaerobic digestion technology in rural domestic sewage treatment

项目 Items	化粪池 Septic tank	户用沼气池 Household biogas digester	生活污水净化沼气池 Biogas digester for domestic sewage treatment	厌氧滤池 Anaerobic filter	以厌氧为核心的组合处理 Combined treatment based anaerobic digestion
建设目标	环保、卫生	能源、环保、卫生	环保、卫生、能源	环保、卫生	环保、卫生
工艺过程	多级、简单	一级、简单	多级、复杂	一级、简单	多级、复杂
进水浓度	中、低	高	中、低	中、低	中、低
停留时间/d	0.5~1.0	60~90	3~5	0.5~1.0	3~7
处理出水	进一步处理	农田利用	农用或进一步处理	进一步处理	农用、排放
建设成本/元·人 <sup>-1</sup>	200~300	700~900	400~600	500~700	1000~2000
无动力运行成本/元·人 <sup>-1</sup> ·a <sup>-1</sup>	100~200	200~300	200~300	200~300	300~400
有动力运行成本/元·d <sup>-1</sup> ·m <sup>-3</sup>	—	—	—	—	0.5~3.0

生活污水的处理效果优于单一处理工艺,但建设和运行成本相对较高。

总之,随着全国农村人居环境整治的推进,农村生活污水治理越来越受到重视,应结合当地的特点和出水要求,因地制宜地选用处理技术与模式。

#### 参考文献:

- [1] 环保部, 财政部. 全国农村环境综合整治“十三五”规划[EB/OL]. [2019-10-28]. [http://www.sohu.com/a/127290342\\_406637](http://www.sohu.com/a/127290342_406637).  
Ministry of Environmental Protection, Ministry of Finance. The 13th Five-Year Plan of comprehensive improvement of rural environment in China[EB/OL]. [2019-10-28]. [http://www.sohu.com/a/127290342\\_406637](http://www.sohu.com/a/127290342_406637).
- [2] 中共中央办公厅, 国务院办公厅. 农村人居环境整治三年行动方案[EB/OL]. [2019-10-28]. [http://www.gov.cn/gongbao/content/2018/content\\_5266237.htm](http://www.gov.cn/gongbao/content/2018/content_5266237.htm).  
General Office of the CPC Central Committee, General Office of the State Council. Three-year programme of action for the improvement of rural human settlements[EB/OL]. [2019-10-28]. [http://www.gov.cn/gongbao/content/2018/content\\_5266237.htm](http://www.gov.cn/gongbao/content/2018/content_5266237.htm).
- [3] 经济参考报. 全国农村污水处理率仅为22%, 专家解析为何陷入治理困境? [EB/OL]. [2019-10-28]. [https://mp.weixin.qq.com/s?\\_\\_biz=MzI4MDgwNDYxNA%3D%3D&idx=4&mid=2247484163&sn=99bc770a10502563e940f174140ca99](https://mp.weixin.qq.com/s?__biz=MzI4MDgwNDYxNA%3D%3D&idx=4&mid=2247484163&sn=99bc770a10502563e940f174140ca99).  
Economic Information Daily. The rate of rural sewage treatment in China is only 22%, the analysis of experts about difficulties of governing the environment?[EB/OL]. [2019-10-28]. [https://mp.weixin.qq.com/s?\\_\\_biz=MzI4MDgwNDYxNA%3D%3D&idx=4&mid=2247484163&sn=99bc770a10502563e940f174140ca99](https://mp.weixin.qq.com/s?__biz=MzI4MDgwNDYxNA%3D%3D&idx=4&mid=2247484163&sn=99bc770a10502563e940f174140ca99).
- [4] 朱家亮, 蔡美芳, 贾滨洋, 等. 基于污染物受纳量的城镇生活污水处理率指标研究[J]. 中国环境科学, 2019, 39(7): 3130-3136.  
ZHU Jia-liang, CAI Mei-fang, JIA Bin-yang, et al. Use the indicator of received pollutant to evaluate domestic sewage treatment status[J]. *China Environmental Science*, 2019, 39(7): 3130-3136.
- [5] 瞿叶娜. 农村环境综合整治生活污水处理现状与对策分析[J]. 中国资源综合利用, 2019, 37(7): 42-44.  
QU Ye-na. Current situation and countermeasure analysis of domestic sewage treatment in rural environment comprehensive renovation[J]. *China Resources Comprehensive Utilization*, 2019, 37(7): 42-44.
- [6] 王昶, 王洪亭, 曾明, 等. 农村生活污水分散式处理的技术开发与应用[J]. 天津科技大学学报, 2017, 32(5): 1-9.  
WANG Chang, WANG Hong-ting, ZENG Ming, et al. Development and application of decentralized treatment of domestic sewage in rural areas[J]. *Journal of Tianjin University of Science & Technology*, 2017, 32(5): 1-9.
- [7] 胡凯, 许航, 张怡蕾, 等. 分散式农村生活污水处理设施运营模式探讨[J]. 水资源保护, 2017, 33(2): 63-66.  
HU Kai, XU Hang, ZHANG Yi-lei, et al. Study of operation modes for decentralized domestic sewage treatment facilities in rural areas[J]. *Water Resources Protection*, 2017, 33(2): 63-66.
- [8] 范彬, 王洪良, 张玉, 等. 化粪池技术在分散污水治理中的应用与发展[J]. 环境工程学报, 2017, 11(3): 1314-1321.  
FAN Bin, WANG Hong-liang, ZHANG Yu, et al. Application and development of septic tank technology in decentralized wastewater treatment[J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2017, 11(3): 1314-1321.
- [9] 曲波, 李学雷, 范彬. 农村沼气使用现状及其对生活污水治理的意义——以河北省、山东省农村为例[J]. 中国沼气, 2012, 30(1): 47-51.  
QU Bo, LI Xue-lei, FAN Bin. The utilization situation of rural biogas and its significance on rural domestic wastewater treatment: Example of Hebei and Shandong Province[J]. *China Biogas*, 2012, 30(1): 47-51.
- [10] 夏邦寿, 胡启春, 宋立. 村镇生活污水净化沼气池设计图例技术分析[J]. 农业工程学报, 2008, 24(11): 197-201.  
XIA Bang-shou, HU Qi-chun, SONG Li. Technical analysis of designs of biogas digesters for treating domestic sewage from rural areas[J]. *Transactions of the CSAE*, 2008, 24(11): 197-201.
- [11] 段先月, 唐朝春, 吴庆庆, 等. 农村污水现状及处理技术研究进展[J]. 水处理技术, 2018, 44(9): 27-31.  
DUAN Xian-yue, TANG Chao-chun, WU Qing-qing, et al. Research progress of present situation and treatment technology of rural sewage[J]. *Technology of Water Treatment*, 2018, 44(9): 27-31.
- [12] 邓良伟. 沼气技术[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2019: 57-67.  
DENG Liang-wei. Biogas technology[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2019: 57-67.
- [13] Butler D, Payne J. Septic tanks: Problem and practice[J]. *Building and Environment*, 1995, 30(3): 419-425.
- [14] 中国建筑标准设计研究院. 国家建筑标准设计图集 03S702[S]. 北京: 中国计划出版社, 2007.  
China Architectural Standards Design Institute. National building standards design atlas 03S702[S]. Beijing: China Planning Press, 2007.
- [15] 陈子爱, 贺莉, 潘科. 农村生活污水处理现状与分析[J]. 中国沼气, 2015, 33(6): 68-71.  
CHEN Zi-ai, HE Li, PAN Ke. Present situation and analysis of domestic wastewater treatment technology in rural area[J]. *China Biogas*, 2015, 33(6): 68-71.
- [16] 陈杰, 姜红. 化粪池在实际生活中的比选及应用[J]. 环境与发展, 2018, 30(2): 45-46, 48.  
CHEN Jie, JIANG Hong. Comparison and application of septic tanks in real life[J]. *Environment and Development*, 2018, 30(2): 45-46, 48.
- [17] 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.  
WANG Yu-hua, FANG Ying, JIAO Jun. Evaluation of night soil treatment efficiency of "Three-Grille-Mode" septic tanks in the rural area of Jiangsu[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2008, 24(2): 80-83.
- [18] 武毛妮. 陕南农村生活污水处理实例[J]. 中国给水排水, 2018, 34(24): 95-99.  
WU Mao-ni. Case projects of rural domestic sewage treatment in

- southern Shaanxi[J]. *China Water & Wastewater*, 2018, 34(24):95-99.
- [19] 韦 昆, 傅大放, 王亚军. 新型化粪池处理分散农户生活污水的试验研究[J]. 中国给水排水, 2017, 33(19):59-62.  
WEI Kun, FU Da-fang, WANG Ya-jun. An experimental study on modified septic tanks for domestic wastewater treatment[J]. *China Water & Wastewater*, 2017, 33(19):59-62.
- [20] 农业部科技教育司. 农业部农业生态与资源保护总站. 2016年农村可再生能源统计汇总表[R]. 北京:农业部, 2017.  
Department of Science, Technology and Education, Rural Energy and Environment Agency, Ministry of Agriculture. Summary of rural renewable energy statistics for 2016[R]. Beijing: Ministry of Agriculture, 2017.
- [21] 曾华梁, 赵玉凤, 赖 静. 农村户用新型卫生沼气池厕所处理粪便卫生效果观察[J]. 中国沼气, 1999, 17(2):24-26.  
ZENG Hua-liang, ZHAO Yu-feng, LAI Jing. Observation on the sanitary effect of the new sanitary biogas digester toilet for rural households[J]. *China Biogas*, 1999, 17(2):24-26.
- [22] 田洪春, 谢 红, 唐中玖, 等. 城镇净化沼气池处理生活污水效果评价[J]. 中国沼气, 2002, 20(4):33-36.  
TIAN Hong-chun, XIE Hong, TANG Zhong-jiu, et al. Evaluation on daily life sewage treatment effect by municipal biogas digester[J]. *China Biogas*, 2002, 20(4):33-36.
- [23] 陈玉谷, 刘作焯, 万秀林. 采用生物技术处理住宅生活污水的试验研究[J]. 四川环境, 1988, 7(2):1-7.  
CHEN Yu-gu, LIU Zuo-xu, WAN Xiu-lin. Experimental study on domestic sewage treatment using biotechnology[J]. *Sichuan Environment*, 1988, 7(2):1-7.
- [24] 谢燕华, 董仁杰, 王永霖. 厌氧净化沼气池处理小城镇生活污水调查研究[J]. 可再生能源, 2005(4):71-74.  
XIE Yan-hua, DONG Ren-jie, WANG Yong-lin. A survey of anaerobic digestion applications in small towns wastewater treatment[J]. *Renewable Energy Resources*, 2005(4):71-74.
- [25] 钱小青, 何成达, 季俊杰, 等. 降流式厌氧悬浮填料床特性分析与试验研究[J]. 云南环境科学, 2006, 25(4):34-37.  
QIAN Xiao-qing, HE Cheng-da, JI Jun-jie, et al. Analysis on characteristics of down-flow anaerobic suspending media bed and its test research[J]. *Yunnan Environmental Science*, 2006, 25(4):34-37.
- [26] 高 鹏, 王君勤, 张玲玉. 厌氧发酵——人工湿地系统在四川农村生活污水中的应用研究[J]. 四川水利, 2016, 37(6):81-83.  
GAO Peng, WANG Jun-qin, ZHANG Ling-yu. Application of anaerobic fermentation: Artificial wetland system in rural domestic wastewater treatment in Sichuan[J]. *Sichuan Water Resources*, 2016, 37(6):81-83.
- [27] 谭 迪, 雷 鸣, 龙九妹, 等. 运用无动力人工湿地分散式处理农村生活污水的研究[J]. 环境污染与防治, 2018, 40(4):455-459.  
TAN Di, LEI Ming, LONG Jiu-mei, et al. Application of the non-powered constructed wetland system on rural domestic sewage treatment [J]. *Environmental Pollution & Control*, 2018, 40(4):455-459.
- [28] 熊 仁, 谢 敏, 冯传禄, 等. 厌氧+跌水曝气+人工湿地组合工艺处理农村生活污水[J]. 环境工程学报, 2019, 13(2):327-331.  
XIONG Ren, XIE Min, FENG Chuan-lu, et al. Rural domestic sewage treatment by a combined process of anaerobic tank, drop-aeration and constructed wetland[J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2019, 13(2):327-331.
- [29] 古 腾, 吴 勇, 王楠楠. 曝气生物滤池-模块化人工湿地组合工艺处理农村生活污水[J]. 环境工程, 2018, 36(1):20-24.  
GU Teng, WU Yong, WANG Xiao-tong. Treatment of rural domestic sewage by using biological aerated filter and modular constructed wetland and combined process[J]. *Environmental Engineering*, 2018, 36(1):20-24.
- [30] 王田天, 周 伟, 刘 兴, 等. 改良AAO一体化设备处理农村生活污水的研究[J]. 中国给水排水, 2018, 34(7):75-79.  
WANG Tian-tian, ZHOU Wei, LIU Xing, et al. Nitrogen and phosphorus removal from rural domestic sewage using modified AAO integrated process[J]. *China Water & Wastewater*, 2018, 34(7):75-79.
- [31] 杨 帆, 梁和国. 埋式生物净化槽处理农村生活污水效果分析[J]. 长江大学学报(自然科学版), 2014, 11(29):59-65.  
YANG Fan, LIANG He-guo. Effects analysis of the rural areas sewage treatment by buried biological purification tank[J]. *Journal of Yangtze University(Natural Science Edition)*, 2014, 11(29):59-65.
- [32] 干 钢, 唐 毅, 郝晓伟, 等. 日本净化槽技术在农村生活污水中的应用[J]. 环境工程学报, 2013, 7(5):1791-1796.  
GAN Gang, TANG Yi, HAO Xiao-wei, et al. Application of Japanese Johkasou technology in treatment of rural domestic sewage[J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2013, 7(5):1791-1796.