



农业资源与环境学报

Journal of Agricultural Resources and Environment

ISSN 1005-4944, CN 12-1437/S

《农业资源与环境学报》网络首发论文

题目：厌氧消化技术在农村生活污水处理中的应用
作者：陈子爱，施国中，熊霞
DOI：10.13254/j.jare.2019.0530
收稿日期：2019-10-28
网络首发日期：2020-02-14
引用格式：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. 农业资源与环境学报. <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0530>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

厌氧消化技术在农村生活污水处理中的应用

陈子爱^{1,2}, 施国中^{1,2}, 熊霞^{1,2}

(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利用的应用提出建议。通过本文的综述, 以为厌氧消化技术在农村生活污水处理利用中科学合理应用提供参考。

关键词: 农村; 人居环境; 厌氧消化技术; 农村生活污水

doi : 10.13254/j.jare.2019.0530

Application of anaerobic digestion technology in rural domestic sewage treatment

CHEN Zi-ai^{1,2}, SHI Guo-zhong^{1,2}, XIONG Xia^{1,2}

(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)

收稿日期: 2019-10-28

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: 中国农科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)

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 provide a reference for scientific and reasonable application of anaerobic digestion technology in rural domestic sewage treatment.

Key words: rural area; human settlement environment; anaerobic digestion technology; domestic sewage

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》^[1]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。同时,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》^[2]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,农村生活污水处理率仅为22%^[3],而我国城市污水处理率已达93.44%^[4],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^[5],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^[6]。因此,对于欠发达又居住分散的地区,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^[7],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低成本、低维护处理技术。厌氧分散处理技术已经从最早化粪池^[8]发展到户用沼气池^[9]、生活污水净化池系统^[10],再到近年来的多种厌氧组合处理技术^[11],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中的选择提出建议并进行展望。

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。在1860年,法国的Mmouras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^[12],随后,化粪池在世界范围内得到广泛的传播与应用^[13]。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)有充足的时间水解。生活污水中含有大量粪便、纸屑、病原虫,在污水进入化粪池经过12~24h的沉淀,可去除50%~60%的悬浮物^[14]。沉淀下来的污泥经过3个月以上的厌氧消化,使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不少地方的青睐^[15]。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^[16]等。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^[12],例如COD去除率大约为50%^[17]。化粪池适用于农村生活污水前端预处理。但近年来,不少研究者对化粪池进行改进,取得了不错的应用效果,如改为厌氧生物池^[18],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BOD₅的去除率均达到了50%以上;稳定运行后整个反应器对COD和BOD₅的去除率分别可达到72%~84%、80%~92%,出水的生化指标符合农田灌溉水质的要求^[19]。

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实施。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，全国户用沼气已达4160多万^[20]，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、管理不到位等原因，造成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，是以后的发展方向。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”、“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通式沼气池式厕所^[21]，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，沼气池出水寄生虫卵沉降率可达99.76%~99.78%，蛔虫卵死亡率达 98.00%~98.92%，粪大肠菌值达到 10^{-4} ~ 10^{-3} ，以上结果基本上达到了《粪便无害化卫生标准》（GB 7959—1987）规定的要求^[22]。

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^[23]。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。截止 2017 年，我国已有生活污水净化沼气池 184473 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工艺两种。其工艺流程图见图 1 和图 2^[12]。

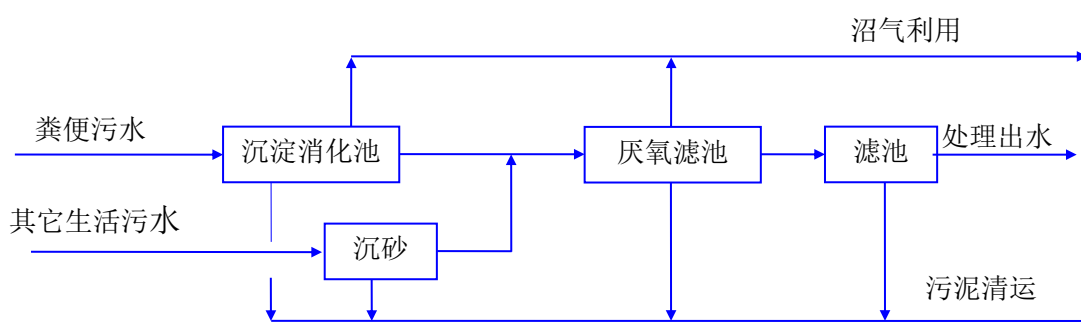


图 1 分流制生活污水净化沼气池流程

Figure 1 Diversion system of domestic sewage-purifying methane tank

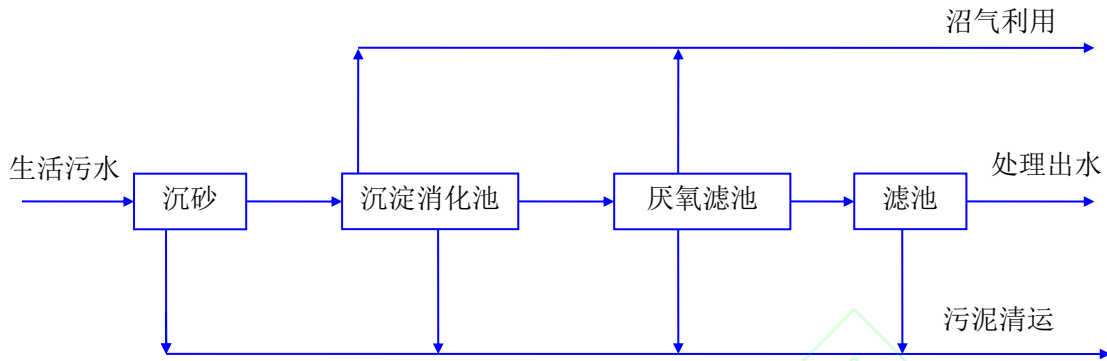


图 2 合流制生活污水净化沼气池流程

Figure 2 Combined system of domestic sewage-purifying methane tank

陈玉谷^[24]等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15L，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 进水 752.6~1057.6 mg L⁻¹，出水 70.4~190.2 mg L⁻¹，去除率73.8%~84.8%；BOD₅ 进水350.0~640.0 mg L⁻¹，出水60.0~100 mg L⁻¹，去除率77.1%~84.4%；SS进水148.3 mg L⁻¹，出水4.7 mg L⁻¹，去除率96.8%，一级厌氧处理平均去除率大多在70%以上，二级兼性好氧的平均去除大多在10%以下。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^[25]对四川阆中市净化沼气池调查显示了相似的结果，进水COD 852~1034 mg L⁻¹，出水COD 128~166 mg L⁻¹，COD平均去除率84.5%；进水BOD₅ 821~835 mg L⁻¹，出水BOD₅ 80.0~84.5 mg L⁻¹，BOD₅平均去除率90.1%；SS进水350~421 mg L⁻¹，出水31.0~45.2 mg L⁻¹，去除率90.2%。

1.4 厌氧滤池

厌氧滤池（AF）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^[26]等人对降流式厌氧悬浮填料床处理生活污水进行研究，研究结果为在5、6、7月，停留时间（HRT）为6 h，进水平均COD为271 mg L⁻¹条件下，COD平均去除率为57.6%。10月底前反应器COD的去除率在

45%以上,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%。厌氧滤池更多是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^[27]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^[28]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GB 18918—2002二级标准。

在有动力组合处理工艺中,以A/O为主,也有A²/O、多级A/O工艺。如厌氧+好氧+人工湿地组合工艺中,熊仁等^[29]采用厌氧+跌水曝气+人工湿地组合工艺处理农村生活污水,结果表明,组合工艺对COD、TN、TP、NH₄⁺-N和SS的平均去除率分别为74.5%、57.2%、59.5%、59.00%和91.6%。古腾等^[30]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GB 18918—2002《城镇污水处理厂污染物排放标准》一级A标准。王田天等^[31]采用一体化A₂O工艺处理农村生活污水,其出水COD、氨氮、总氮、总磷的平均浓度分别为19.79、2.66、8.82、0.47 mg/L,均达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级A标准。日本的净化槽主要采用A₂O工艺,杨帆等^[32]对户用净化槽出水进行了跟踪监测,结果表明,其氨氮、五日生化需氧量BOD₅、浊度、总氮、化学需氧量COD、总磷去除率分

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) 的一级 A 标准。净化槽曝气池结合膜生物反应器 (MBR)，结果表明处理系统对 COD、BOD₅、氨氮、总磷和悬浮物的平均去除率分别为 83.64%、84.46%、97.94%、94.13% 和 93.95%^[33]。

2 厌氧消化处理工艺模式的比较

农村生活污水厌氧消化处理工艺模式的对比见表 1^[12]。

表 1 农村生活污水厌氧消化处理模式的对比

Table 1 Comparison of 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
原料浓度	中、低	高	中、低	中、低	中、低
停留时间	0.5~1.0 d	60~90 d	3~5 d	0.5~1.0 d	3~7 d
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	200~300 RMB Person ⁻¹	700~900 RMB Person ⁻¹	400~600 RMB Person ⁻¹	500~700 RMB Person ⁻¹	1000~2000 RMB Person ⁻¹
运行成本	100~200 RMB Person ⁻¹ a ⁻¹	200~300 RMB Person ⁻¹ a ⁻¹	200~300 RMB Person ⁻¹ a ⁻¹	200~300 RMB Person ⁻¹ a ⁻¹	300~400 RMB Person ⁻¹ a ⁻¹
					(无动力)
					0.5~3.0 RMB d ⁻¹ m ⁻³
					(有动力)

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，以往以获取能源为主，但随着农村生活经济形势的变化，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，如厌氧滤池是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。从建设成本来说，化粪池最低，厌氧组合工艺成本最高，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，则运行成本低于表中所列。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 结论与展望

(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) 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，农村生活污水通过厌氧消化处理，降解大部分污染物，并达到无害化。

(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。地方农村生活污水排放标准中一、二级排放要求，除了三级指标外，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、总氮和总磷都有要求，而厌氧消化技术对氮磷去除效果差，若需进一步除去氮磷，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.全国农村环境综合整治“十三五”规划[DB/OL]. [2019-05-03].http://www.sohu.com/a/127290342_406637.
- Ministry of environmental protection of the People's Republic of China.The 13th five-year plan of comprehensive improvement of rural environment in China[DB/OL]. [2019-05-03].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》[DB/OL]. [2019-05-03].http://www.gov.cn/gongbao/content/2018/content_5266237.htm.
- General Office of the Communist Party of China, State Council General Office.《Three-year programme of action for the improvement of rural human settlements[DB/OL]. [2019-05-03].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？[DB/OL]. [2019-05-03].https://mp.weixin.qq.com/s?__biz=MzI4MDgwNDYxNA%3D%3D&idx=4&mid=2247484163&sn=99bc770a10502563e940f174140caf99.
- Economic Information Daily.The rate of rural sewage treatment in China is only 22%,the analysis of experts about difficulties of governing the environment?[DB/OL]. [2019-05-03].https://mp.weixin.qq.com/s?__biz=MzI4MDgwNDYxNA%3D%3D&idx=4&mid=2247484163&sn=99bc770a10502563e940f174140caf99.
- [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处理中的应用与发展[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处理的意义——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, 等. 沼气技术[M]. 北京:中国农业科学技术出版社, 2019:57-67.

DENG Liang-wei, et al. 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 and Technology Education, Ministry of Agriculture, Ministry of Agriculture General Agro-ecological and Resource Protection Station. Summary of rural renewable energy statistics for 2016[R]. Beijing: Agriculture Ministry, 2017.

[21] GB 19379-2012 农村户厕卫生规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.

GB 19379-2012 Hygienic specification for rural household latrine[S]. Beijing: China Standards Press, 2012.

[22] 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.

[23] 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.

[24] 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.

- [25] 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*, 2005,122(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*, 2005,122(4): 71-74.

- [26] 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.

- [27] 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处理中的应用研究[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.

- [28] 谭迪, 雷鸣, 龙九妹, 等. [J]. *环境污染与防治*, 2018,40(4):455-459.

TAN Di, LEI Ming, LOG Jiumei, et al. Application of the non-powered constructed wetland system on rural domestic sewage treatment[J].*Environmental Pollution & Control*, 2018,40(4):455-459.

- [29] 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.

- [30] 古腾, 吴勇, 王橹橹. 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.

- [31] 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.

[32] 杨帆, 梁和国. 地理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 (自科版),2014,11(29):59-65.

YANG Fan, LIANG He-guo. Effects Analysis of the Rural Areas Sewage Treatment by Buried Biological Johkasou[J],*Journal of Yangtze University(Natural Science Edition)*,2014,11(29):59-65.

[33] 干钢, 唐毅, 郝晓伟, 等. 日本净化槽技术在农村生活污水处理中的应用[J].环境工程报,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.

