

寒区农村污水处理技术及可持续发展研究

于景洋¹ 齐世华^{1,2} 徐春雨³ 孙彩玉¹ 边喜龙^{1*} ,付一涵¹ (1. 黑龙江建筑职业技术学院市政工程技术学院 黑龙江哈尔滨 150025; 2. 哈尔滨工业大学环境学院 黑龙江哈尔滨 150090; 3. 绥芬河中环水务有限公司, 黑龙江绥芬河 157399)

摘要 针对寒冷地区农村的实际和水处理技术难点,对适应寒地农村的污水处理工艺进行了总结。对寒区分散型污水的处理工艺和技术进行了重点介绍,对污水的生态处理技术、生物处理和生态生物结合技术进行了对比和总结,在考虑分散性特点、低温制约、经济制约、管理模式等诸多制约条件的基础上,提出了适合我国寒地农村污水治理相应的工艺组合和政策建议。

关键词 寒冷地区;农村污水;处理工艺;可持续发展

中图分类号 X703 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)02-0045-04

Study on Rural Sewage Treatment Technology and Sustainable Development in Cold Region

YU Jing-yang¹, QI Shi-hua^{1,2}, XU Chun-yu³ et al (1. Heilongjiang Institute of Construction Technology Municipal Engineering Technology, Harbin, Heilongjiang 150025; 2. Harbin Institute of Technology School of Environment, Harbin, Heilongjiang 150090; 3. General Water of China (Suifenhe) Co., Ltd. Suifenhe Heilongjiang 157399)

Abstract In view of the actual situation of rural areas and technical difficulties of water treatment in cold areas, the sewage treatment processes adapted to rural areas in cold areas were summarized. The treatment process and technology of decentralized wastewater in cold regions were introduced, and the ecological treatment technology, biological treatment and ecological biological combination technology of sewage were compared and summarized. On the basis of considering the dispersion characteristics, low temperature control, economic constraints, management mode and other constraints, the corresponding process combination and policy recommendations for rural sewage treatment in cold region of China was put forward.

Key words Cold area; Rural sewage; Processing technology; Sustainable development

DOI:10.13989/j.cnki.0517-6611.2018.02.014

我国有 1.8 万个镇,60 万个行政村,270 万个自然村,污水量达到 80 余亿 t,这些农村产生的污水排放量占全国水污染物排放量的 50% 以上,但是农村污水处理率仍处于较低水平,甚至许多地区农村污水基本上未经处理就直接排放^[1]。从“十五”到“十二五”期间,我国城镇大型污水处理厂从 500 座增加至近 4 000 座,城镇污水处理市场已经趋于饱和,而占我国将近 60% 人口的农村污水市场开发存在空白,一个自然村的村落处理规模虽然较小,但全国村落数量总和多 1.6 亿户,7 亿农民,因此处理总量也是庞大的。随着农村经济的发展,农村水环境污染越来越严重。农村污水问题被“十三五”列为我国面临的八大“水问题”之一。社会主义新农村建设的重要内容之一是农村水污染治理及水环境综合整治。从 2013 年环保部发布《农村生活污水处理项目建设与投资指南》到 2015 年实施《水污染防治行动计划》中的第三条内容也明确提出“推进农村污染防治”,从国务院印发《关于加快推进生态文明建设的意见》到 2016 年中央一号文件内容,解决农村污水处理问题已经成为农村环境整治的重中之重。笔者介绍了寒区分散型污水的处理工艺和技术,提出了适合我国寒地农村污水治理建议。

1 寒地农村水污染现状及特点

寒地农村地区主要包括黑龙江省、吉林省和辽宁省,还包括内蒙古东五盟市、甘肃省、青藏高原地区,总面积达 2 89.1 万 km²,耕地面积达 36.21 亿 hm²。这些寒冷地区农村污水污染源主要包括 4 方面:①来自生活中的污水,基本

上不含重金属和有毒有害物质,氮(N)、磷(P)含量较高。②化肥农药的使用。农药化肥中大量未被吸收的 N、P 元素残留在土壤中和农作物的表面,灌溉或雨水会致使残留元素进入水体导致水体溶解氧(DO)、pH 及透明度的变化,从而导致水质恶化^[2]。③畜禽养殖业的发展。随着生活饮食模式的转变,畜禽养殖业的规模发展较快,养殖业已成规模,畜禽粪类便、废弃物及畜禽宰杀废水的排放引起了严重的水污染问题。④附近乡镇企业排放的污染物。一些城镇企业在生产过程中产生的废水直接排放,大量工业固体废物在农田河沟堆放对水体也会产生二次污染^[3]。

2 寒地农村水污染治理主要技术难题

根据寒地农村污染源可知,污水的主要特点是含有一定量的 N 和 P,可生化性好,但水质水量变化较大;村民或小作坊的分布具有相对分散性,因此大多数农村地区污水分布分散、排水量也较大,波动性大,基建落后无排水管网,污水的收集和集中处理难度均较大^[4]。

根据农村污水水质特征及寒冷地区的气候条件可知,寒地农村污水处理主要面临以下问题:①现有的城市污水处理系统不适宜在小型分散式农村污水治理中应用^[5];②寒地农村温度偏低,严重影响着污水生化处理过程中微生物的活性^[6]。因此,目前可供寒地农村选择的分散污水处理工艺大致可分为两类,一种是在自然条件下,利用土壤、水体、植物和微生物相互作用的处理系统,如土壤渗滤、人工湿地等^[7];二种是人工条件下,改造简化传统的污水处理工艺,利用物理、化学和生物处理为主的除污工艺,如净化槽、化粪池等^[5]。但是,寒地农村污水处理工艺设施运行和维护也存在两方面的难题:一是由于寒地运行效果良好的污水处理设施较少,因此缺乏对污水处理设备的管理经验;二是由于寒区

基金项目 寒区城乡建设可持续发展协同创新中心项目(hxtex-2015-01)。

作者简介 于景洋(1977—),男,黑龙江哈尔滨人,讲师,博士,从事水污染控制研究。* 通讯作者,教授,从事给排水研究。

收稿日期 2017-11-10

农村经济条件相对较差,因此技术人员储备也较薄弱^[8]。

3 寒地农村污水治理的工艺比较分析

3.1 处理工艺比较 由表1可知,就温度而言,能适应寒冷条件的污水处理技术为化粪池、地下渗滤、曝气生物滤池。其中,地下渗滤处理技术对温度不敏感,随着温度的降低,对总磷(TP)和悬浮物(SS)的去除率几乎无影响,但温度的降低对化学需氧量(COD)、总氮(TN)和氨氮(NH₃-N)的去除效果有一定影响,因此在寒地农村污水处理应用中,该工艺应埋设在冻土层以下,采取保温措施促使整体工艺系统温度不低于5℃,才能保证系统能够全年稳定运行^[9]。砖砌化粪池和钢砌化粪池因为耐腐蚀性不好,一段时间后内部可能会出现板结现象,水处理效果可能就会丧失,玻璃钢化粪池正

常运行情况下去除COD的效率可达到70%左右,相对于其他处理工艺,化粪池处理效果一般^[10]。就工艺建设费用情况而言,沼气池、接触氧化、净化槽、膜-生物反应器(MBR)、序批式活性污泥法(SBR)、氧化沟外费用较高,其余处理技术投资均较低;就占地面积而言,稳定塘、人工湿地、快速渗滤、慢速渗滤、地表漫流、蚯蚓生态滤池占地面积均较大。就管理模式及设备操作而言,除氧化沟和净化槽管理和运行要求较高,其他工艺流程管理均较为便捷;就处理效果而言,除慢速渗滤、快速渗滤、沼气池、化粪池外,其他处理技术均能达到要求的处理效果;适用于农村分散式污水处理技术的主要有人工湿地、地下渗滤、沼气池、净化槽、化粪池和接触氧化工艺^[7]。

表1 适合寒区农村生活污水治理工艺技术比较

Table 1 The compare of sewage treatment technologies in cold region

序号 No.	处理技术 Treatment technology	占地面积 Area covered	受温度 影响 Affected by temperature	适用于集 中或分散 Suitable for centralization or decentralization	投资情况 Investment situation	去污效果 Decontamination effect			
						SS	BOD ₅	N、P	病原体 Pathogen
1	稳定塘	较大	大	集中	基建费用低,是常规方法的50%或是更少,投资造价约100150元/m ²	一般	较好	一般	好
2	人工湿地	较大	一般	集中或分散	投资、运行费用也相对很低,分别为普通污水处理工程的50%、60%和10%、30%	较好	一般	一般	好
3	慢速渗滤	大	大	集中	投资少	好	好	不稳定	一般
4	快速渗滤	较大	大	集中	投资费用为1 0001 200元,运行处理费用为1 t水约0.150.25元	好	好	效果较差	一般
5	地下渗滤	较大	小	集中或分散	投资只有常规处理的50%或是33%,污水处理成本为0.150.30元/m ³	好	好	好	好
6	地表漫流	较大	较大	集中	与常规的二级污水处理厂相比,通常可节省40%以上的投资,运行费可节省50%以上,不含管道的建设成本约1 700元/m ³ ,运行后处理费用为0.60.8元/m ³	较好	较好	除磷效果好	不好
7	蚯蚓生态滤池	较大	较大	集中(50300户)	投资费用少,平均每户1 800元	好	好	好	好
8	沼气池	小	较大	集中或分散	投资高,人均0.8万1.0万元	较好	较好	不好	较好
9	净化槽	小	较小	集中或分散	工艺集中且复杂,投资和运行费用较高,人均费用约1.0万1.2万元	好	好	尚可	好
10	化粪池	小	小	集中或分散	平均500600元/户,基本无运行费用	一般	一般	不好	较好
11	接触氧化	一般	受高温影响大	集中或分散	生物技术中投资较低,但比生态技术成本高	好	好	尚可	好
12	膜生物反应器 MBR	很小	不大	集中	投资、运行成本高	好	好	取决于工艺配置	好
13	序批式活性污泥法 SBR	较小	受低温影响大	集中	投资大、运行费用较高	好	好	好	好
14	曝气生物池滤池	一般	小	集中	总投资大,运行成本较低	好	好	可除氨氮	好
15	氧化沟	大	较大	集中或分散	总投资大,运行成本较低	好	好	可除氨氮	好

3.2 适用于分散式生活污水治理技术比较 用于农村分散式污水处理技术主要有人工湿地、地下渗滤、沼气池、净化槽、化粪池和接触氧化工艺。其中,人工湿地作为地上景观样式的污水处理工艺有着将近20年的历史。人工湿地显著的优点是基建费用低,能耗低,出水水质相对稳定,另外采用一些挺水植物具有美化环境等特点。其发展史在国内外环保行业中得到广泛认可,已应用于世界各地的污水处理。人工湿地系统是一个人造的小型生态系统,系统主要包括植物、微生物、原生生物和基质,污染物的去除主要包括生物膜

原理、元素的吸收和硝化反硝化作用等,但堵塞问题也制约了技术的发展。20世纪90年代初,土壤渗滤技术便已应用,该技术具有出水水质稳定、受季节影响小、运行成本低等优点^[11]。土壤渗滤技术污染物去除机制主要是物理截留、物化吸附、化学沉淀、微生物降解、动植物作用等^[12]。

该技术埋于地下,因此不会散发臭味且不影响地面景观,冬季稳定运行,因此适合寒冷地区农村污水处理,具有技术和经济上的双重优势。净化槽为污水处理一体化设备^[13],所有处理工艺集中于一个槽内完成,不同处理步骤之

间采用隔板隔离,主要净化机理为物理沉淀、化学絮凝和微生物分解。净化槽在日本农村污水处理应用广泛,出水稳定^[14]。中国医药研究开发有限公司研发的净化槽,排水水质已达到《城市杂用水水质标准》规定的中水回用于公厕绿化的条件,净化槽技术对有机物降解效果理想,但对 N、P 去除率较低。另外,国内生产的净化槽缺乏行业统一标准,更应借鉴国外先进经验。沼气池对 N、P 去除效率较低,温度对处理效果影响较大,最可取的优点是无动力消耗,基本无行费用,能产生沼气。化粪池应用于东北农村污水的初级处理较多,主要作用机制为沉淀作用和微生物厌氧发酵。最大的优势在于投资少、不耗能、无需特殊管理,但其处理效果有限,因此适用于预处理阶段。接触氧化法去污效率较

高,处理时间短、可间歇运转、占点面积小、维护简单,通过生物氧化分解去除污染物,一般与其他污水处理工艺组合使用,如通常作为自然厂处理系统(包括人工湿地或土地渗滤处理等)工艺前置处理单元。生物接触氧化工艺通常安装保温措施,一般能在室内或地下冻层以下,以保证冬季稳定运行。但存在着填料堵塞、单位面积造价较高的缺点。蚯蚓生物滤池的生态功能设计特点是提高土壤通气性能和透水性能,在水分和气体充足条件下促进污染物分解转化。蚯蚓以有机悬浮物和微生物为食物,因此通过引进蚯蚓,可使食物链增长,污泥量小,利用原理主要是滤料截留、微生物分解、促进含氮物质的硝化与反硝化作用等,是一种生态型污水污泥同步处理新技术^[15]。适用于分散型污水处理技术工艺见表 2。

表 2 适用于分散型污水处理技术工艺

Table 2 Applicable to decentralized sewage treatment technology

序号 No.	处理技术 Treatment technology	处理效果 Treatment effect	建设费用 Construction cost	运行费用 Operation cost	优点 Advantage	缺点 Shortcoming
1	人工湿地	COD 和生化需氧量(BOD)去除率 80% 以上, NH ₃ -N 去除率 50% - 60%, TP 去除率 80% 85%	5001 000 元/户	0.05 0.10 元/(户·d)	适合不同的处理规模。建设费用和运行费用均较低,运行和管理维护方便	易受病虫害影响,占地面积大。长期运行需要配合数据资料进行优化
2	地下渗滤	COD 去除率 80% 左右, BOD 去除率 90% 左右, NH ₃ -N 去除率 90% 左右, TP 去除率 90% 左右	600900 元/m ³	0.160.20 元/m ³	不影响地面景观,基建运行管理费用低,去污效果强,出水水质好	若负荷控制不当,易造成堵塞;若防渗效果不好,则易污染地下水
3	净化槽	COD 去除率 80% 以上, BOD 去除率 90% 以上, NH ₃ -N 和 TP 去除效果好	1.1 万元/人	3.90 元/m ³	处理装置体积小,运行操作简便,出水水质效果好且稳定	建设费用和运行费用较高
4	沼气池	COD、BOD 去除率 80% 左右, NH ₃ -N 去除率 60% 左右, TP 去除率 85%	500800 元/m ³	基本无费用	不消耗动力,运行稳定,管理方便,剩余污泥少,可回收沼气	受温度影响大,冬季运行处理效率低
5	化粪池	去污率较低	300700 元/户	基本无费用	不消耗动力,运行稳定,管理方便,剩余污泥少	去污效果一般,一般作为前期处理使用
6	接触氧化	COD 去除率 80% 以上, BOD 去除率 90% 以上, NH ₃ -N 和 TP 去除效果好,出水水质稳定	1 50010 000 元/m ³	0.140.20 元/m ³	处理时间短,占地面积小,可间歇运转,剩余污泥量少,维护简单,耐负荷冲击	填料易堵,负荷过高,易造成生物膜脱落,影响出水水质,维护简单但需要定期维护
7	蚯蚓生态滤池	DO、BOD 去除率 90% 以上, NH ₃ -N 和 TP 去除效果率 80%,出水水质稳定	8001 000 元/m ³	13 元/m ³	投资低,工艺简单,操作方便,占地面积小,维护和运行费用低,无剩余污泥产生	对 TN 的去除性波动较大,对温度敏感,容积局部积水和污泥堵塞

4 寒区农村污水处理工艺模式开发

针对低温和分散 2 个农村污水处理的技术难点,尤其随着农村生活模式与生产方向的转变,污水的成分也日趋复杂,一种单独的污水处理技术或是单一的工艺目前已经难以满足污水排放后对环境的环保需求。另外,单一的处理技术自身的优缺点凸显,严重限制了污水的处理效果和该工艺适用的范围,目前较普遍的农村污水处理办法是将多种工艺进行组合,以达到强化系统净化能力的目的。依据农村污水的成分和特征,可以采用 2 种或是多种工艺组合处理,充分发挥不同工艺的作用机制。笔者根据不同污水特征,把几种技术进行优化组合,总结出一些不同的技术模式。

4.1 生态处理技术组合 生态处理技术主要包括人工湿地、生态塘、地下渗滤处理技术、蚯蚓生态滤池及 ETS 生态污

水处理系统等。原理是利用自然状态下的土壤 - 植物(动物) - 微生物的相互作用对污水中的污染物进行降解和净化。生态处理技术一般建设管理费用低、节能耗,对经济不发达的广大农村地区而言,同种生态技术叠加组合或是不同生态工艺的组合有较强的经济可行性。同种生态处理技术主要包括单一的污水处理技术和不同类型生态处理技术的组合,如不同类型的人工湿地组合,多级土壤渗滤系统处理组合,或是蚯蚓生态滤池的串联。目前,针对寒冷地区农村污水处理问题,研发了和改进了诸多生态技术。哈尔滨工业大学对原有人工湿地进行改进,提出复合增强型双层潜流人工湿地系统,可抵抗低温天气,且出水水质较好^[16]。一般冬季人工湿地不运行处理污水,而以储水池形式存在,夏季再对污水进行处理。孙楠等^[17]开发研究的凹凸棒土 - 稳定塘

模式,用以处理寒区农村污水,大大提高了污水的处理效果且降低了能耗,真正实现节能减排,出水稳定达标。陈鸣等^[18]为解决寒地气候带来的不利影响,研发了生态温室人工湿地系统,并设计了接触氧化池与温室型人工湿地联合处理农村生活污水,取得了很好的处理效果。这些新型生态污水处理技术适合寒冷地区经济基础薄弱的农村污水处理项目。

4.2 生物处理技术组合 寒冷地区的农村污水生物处理技术是以微生物的好氧、厌氧分解、降解污染物为核心的技术机制。污水的好氧生物处理主要包括污泥法(传统法和改良法)、生物膜法和膜-生物反应器(MBR)。其中,传统活性污泥法典型工艺为A/O、A²/O;改良活性污泥法主要包括氧化沟和SBR工艺;生物膜法主要包括生物滤池、生物转盘、生物接触氧化等。厌氧生物处理一般用于系统最前端,主要有化粪池和沼气池。这些生物处理工艺适用于寒冷地区的农村,主要研究热点是工艺改良,使其适应低温运行,解决低温处理效率低的问题。目前,根据寒冷地区农村污水的特点和经济可行性,一体化污水处理设备具有节省空间、使用管理方便、出水效果好、运行成本低等优点,一体化设备以生物生化处理为主,适用于广大农村地区污水处理。李瑾等^[19]设计了A/O一体化污水处理装置,出水可达《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级B标准。苏翔^[20]研制的A/O一体化净化槽装置,对农村污水动植物油脂去除率较好。裴亮等^[21]研发了一体化膜生物反应器(IMBR)工艺处理农村生活污水出水优于《农田灌溉水质标准》(GB 5084—2005)要求。钱盘生等^[22]研发的一体化多功能立体循环氧化沟,设有生物除臭装置,集脱氮、除磷、除臭、消毒于一体的分散型污水处理装置。

4.3 生物-生态组合 生物-生态组合技术是生物处理和生态处理的工艺结合,一般处理前置部分为生物处理,主要去除有机污染,后续生态处理主要目的是脱氮除磷,充分发挥各自的优势,提高出水水质和系统运行的稳定性^[22]。目前应用最多的组合为厌氧+好氧+湿地,出水质量通常可适用于农业或水产业进行营养物质循环和水体回用。综合来看,生物-生态组合技术工艺包括多种组合形式,如污水+预处理+A²O处理法+稳定塘+出水,污水+化粪池+厌氧池+人工湿地+出水,污水+化粪池+一体化设备+出水,污水+预处理+A²O处理法+地下渗滤+出水,污水+化粪池+土地处理(或人工湿地)+出水,进水+调节池+生物滤池+一级人工湿地+二级人工湿地+稳定塘+出水等。用于寒冷地区农村分散污水处理工艺基本可分为初级工艺和主体工艺2部分,初级处理工艺包括化粪池、沼气池、沉淀池等用于去除悬浮物;主体工艺有两类,一类是生物处理部分,主要为好氧和厌氧工艺,另一类是生态处理部分,主要有地下渗滤、人工湿地、稳定塘等。综合运用多种技术相结合,可以做到取长补短,提高污水处理效果的目的。

5 结语

寒冷地区对于环境敏感区应以污水处理效果为重,注重有机物和N、P的去除;经济条件许可的发达地区可以去污效

果为目标,采用生物处理工艺或“生物+生态”综合处理工艺,经济相对落后的地区可考虑采用“初级处理+生态”工艺;对于非环境敏感区主要侧重于对有机物的去除,可以自然处理模式为主或是“厌氧+生态”处理工艺。农村污水的处理应尽量采用成熟可靠的工艺,能够抗冲击负荷,实现稳定达标,对于寒冷地区农村分散型污水处理重在工艺改良。

对于工艺改良,笔者提出几点建议:利用生态技术处理时要注意温度的影响,低温条件下可通过覆盖等方法采取保暖措施;对于人工湿地,冬季可将其作为储水池,夏季再进行处理;利用植物净化吸附水中N、P时,尽量种植耐寒品种,保证植物安全越冬。

通常寒冷地区四季分明,农村地形复杂,经济相对落后,且发展不平衡,水质特点、工艺成熟性、资金、体制等都限制了污水处理效果和寒地农村污水处理工程的发展。在处理工艺的选择和组合上,要根据经济条件、环境敏感度、气候条件、地理条件、技术能力、污水排放量和污水组成筛选适宜该农村的污水处理工艺。每种技术工艺都有自己的优缺点,因此要综合运用多种工艺组合和水处理技术,达到取长补短,提高寒冷地区农村污水的处理效果。

参考文献

- [1] 侯京卫,范彬,曲波,等.农村生活污水排放特征研究述评[J].安徽农业科学,2012,40(2):964-967.
- [2] 吴文学,郝阳,张利伟,等.中国农村小型分散式污水处理系统研究[J].中国科技信息,2006(19):56-57.
- [3] 伦斯P,泽曼G,莱廷格G.分散式污水处理和再生利用—概念、系统和实施[M].王晓昌,彭党聪,黄廷林,译.北京:化学工业出版社,2004:45-47.
- [4] 王晓峰,陈鹏飞.社会主义新农村污水处理设施的选择探讨[J].小城镇建设,2009(4):56-58.
- [5] 谭学军,张惠锋,张辰.农村生活污水收集与处理技术现状及进展[J].净水技术,2011,30(2):5-9,13.
- [6] 田娇,王玉军,梁小萌,等.农村污水处理技术现状及发展前景[J].环境科学与管理,2010,35(5):83-85.
- [7] 崔倩倩.农村分散式污水处理模式系统及应用研究[D].青岛:青岛大学,2013.
- [8] 于一凡,李继军,岳宜宝.新农村建设中的环境问题与规划对策[J].上海环境科学,2008,27(6):242-245.
- [9] 王玉山,张平,冯俊生,等.农村生活污水处理典型工艺技术分析[J].安徽农业科学,2010,38(32):18267-18268,18271.
- [10] 梁祝,倪晋仁.农村生活污水处理技术与政策选择[J].中国地质大学学报,2007,7(3):18-22.
- [11] 刘峰,苏宏智,秦良.中国农村生活污水处理技术的研究现状[J].污染防治技术,2010,23(5):24-26,46.
- [12] 李晓东,刘冉,晁雷,等.地下渗滤系统净化生活污水的研究进展[J].安徽农业科学,2012,40(34):16775-16777.
- [13] 闵毅梅.净化槽技术应用于分散型生活污水案例研究[J].环境与可持续发展,2008(6):59-62.
- [14] 净化槽的结构标准及其解说编辑委员会.净化槽的结构标准及其解说(2006年版)[M].东京:日本建筑中心,2006.
- [15] 彭俊.蚯蚓生态滤池处理分散式农村生活污水试验研究[D].重庆:重庆大学,2016.
- [16] 庞长龙,马放,邱珊,等.寒冷地区中小型城镇污水的处理实用技术[J].环境科学与技术,2010,33(S2):192-195.
- [17] 孙楠,田伟伟,李晨洋,凹凸棒土-稳定塘工艺提高严寒地区农村生活污水处理效果[J].农业工程学报,2014,30(24):209-215.
- [18] 陈鸣,周艳文,徐慧.接触氧化池与温室型人工湿地联合处理农村生活污水设计实例[J].污染防治技术,2014,27(3):55-56,59.
- [19] 李瑾,柴立元,向仁军,等.厌氧-好氧活性污泥法(A/O)一体化装置处理生活污水的中试研究[J].中南大学学报(自然科学版),2011,42(10):2935-2940.
- [20] 苏翔.一体化净化槽处理农家乐生活污水的试验研究[D].重庆:重庆工商大学,2013:57.
- [21] 裴亮,刘慧明,莫家玉,等.一体化膜生物反应器处理农村生活污水试验研究[J].水处理技术,2012,38(2):104-106,111.
- [22] 钱盘生,刘立忠,徐熊堂.一体化多功能立体循环氧化沟设备:CN200920044631.8[P].2010-02-17.