

# 新农村建设中污水处理系统研究

李贵兵<sup>1</sup>,任树梅<sup>1</sup>,杨培岭<sup>1</sup>,王成志<sup>2</sup>,许廷武<sup>3</sup>

(1. 中国农业大学水利与土木工程学院,北京 100083;2. 北京市朝阳区水务局,北京 100026;  
3. 中国农业大学国际学院,北京 100083)

**摘要:**随着水体污染日趋严重,新农村建设步伐加快,污水处理已成为我国新农村建设的重大问题,必须根据农村污水特点等,建立完善的农村污水处理系统。介绍了国内外农村污水处理的模式和工艺,并比较分析了现有工艺的特点;根据我国农村污水的主要特点等,提出相应的污水处理模式和工艺,为新农村污水处理系统建设提供参考。

**关键词:**污水处理;人工湿地;生物膜;新农村

**中图分类号:**X703.1 **文献标识码:**A

## Research on New Waste water Treatment Systems in the Construction of a New Socialist Countryside

LI Gui-bing<sup>1</sup>, REN Shu-mei<sup>1</sup>, YANG Pei-ling<sup>1</sup>, WANG Cheng-zhi<sup>2</sup>, XU Ting-wu<sup>3</sup>

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;  
2. Chaoyang Water Affairs Bureau, Beijing 100026, China;  
3. International Education College, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Abstract: With the deterioration of water pollution, and the speeding up of the construction of a new countryside, new wastewater treatment in the construction of a new countryside is an important problem. According to characters of wastewater, a perfect new wastewater treatment system in building a new countryside must be established. This paper is an attempt to analyze the foreign and domestic technologies and modes of wastewater treatment in rural areas. According to the main features of wastewater in China's rural areas, patterns of wastewater treatment in rural areas are put forward.

**Key words:** wastewater treatment; constructed wetlands; bio-film; new countryside

随着城镇化进程的推进,农村污水处理是新农村建设的重要组成部分。农村生活污水是面污染源之一,全国 90% 以上的生活污水或粪便废水直接排放到地下或湖泊等流域,如太湖、滇池的富营养化均有部分来自于农村生活污水。农村污水的随意排放,旱厕的使用,造成江河湖泊流域、地下水等水环境受到污染,治理农村污水,不仅能改善农村生活环境,还能控制流域的水质污染和湖泊的富营养化,改善水体环境,同时处理的中水用于农业灌溉,缓解农业用水的紧张。因此急需研究新农村的污水系统,提出适合我国的多样化农村污水处理系统。

收稿日期:2008-09-16

基金项目:国家科技支撑计划农村供水工程标准化集成技术研究(2006BAD01B07-02);水利部公益项目生态灌区建设的应用技术与模式研究(200701025)。

作者简介:李贵兵(1984-),男,硕士研究生,研究方向:灌溉与排水理论与新技术。

## 1 农村污水处理现状

### 1.1 国外农村污水处理现状

农村污水处理方面,各国都有自己的处理工艺。日本在 1977 年,实行农村污水处理计划,成立农村污水处理协会,负责研究适合农村污水处理的设备。其设计了 JARUS 模式的 15 种污水处理装置,处理工艺主要是生物膜法和浮游生物法,具有体积小、成本低、操作简单的特点。到 1996 年底,建成 2000 座农村小型污水厂,处理后的中水用于农业灌溉,污泥用作农田肥料<sup>[1]</sup>。德国也很重视污水处理,到 1992 年,全德国的污水接管率就达到 92.2%<sup>[2]</sup>。在相对集中的农村采用集中处理,对于分散的农村采用分散小型污水处理设施,其主要以腐化池为主,外加生物滤池、生物接触池、稳定塘等<sup>[3]</sup>。韩国农村居民多分散居住,采用小型、简易的污水处理系统,工艺为湿地污水处理系统,其缺点是占地大,受充分供氧、气温和植物生长季节的影响等<sup>[1]</sup>。欧洲、北美、新西兰等农村也采用该工艺<sup>[1]</sup>。澳大

利亚主要采用“过滤、土地处理与暗管排水相结合的污水再利用系统”——“FIL TER(菲尔脱)”,该系统处理后的中水能满足作物养分的要求<sup>[1]</sup>。

## 1.2 国内农村污水处理现状

我国农村污水处理设施建设比较晚,“十一五”规划推动农村污水处理建设,要求农村无公害排放,但是我国农村经济发展落后,农村污水处理设施建设才刚起步。

北方部分农村及沿海地区大部分农村配有污水处理系统,多以单村处理为主。如北京各村现在实行污水处理建设,多采用单村处理模式,只有部分相对集中的村落采用集中处理;还有少数靠近城镇的村落,污水管接入城市集中处理管网。分散布置模式采用的处理工艺主要有人工湿地、生物膜法(MBR)、智能化小型污水处理工艺(CWT)等。但存在部分系统冬季低温无法运行;日变化系数大,系统少数时间高负荷运行;污水量太小时,停止运行。沿海地区等集中村落设有污水处理系统,但处理工艺落后,多采用城市污水处理工艺;靠近城市村落,接入城市管网;分散的、经济相对差的村落无污水处理设施。

## 2 污水处理工艺

### 2.1 稳定塘处理工艺

稳定塘是由若干自然或人工开挖的池塘组成,通过塘内的藻、菌、浮游水生物的综合作用达到净化污水,其出水水质较好。Bonomo等在研究浮萍稳定塘系统处理村镇或社区污水中,发现TSS去除率可达80%,COD去除率大于75%,但气温下降,COD去除率降到60%<sup>[4]</sup>。

在传统基础上改进的高效藻类稳定塘比传统的稳定塘有更多的生物,并增加搅拌装置,促进污水混合;调节塘内的氧气和二氧化碳的浓度,及水温和水质,从而提高有机物、氮和磷的去除率。高效藻类稳定塘受光照、温度、水深和塘内流速的影响大。黄翔峰等认为冬季污水停留时间是夏季的2倍,夏季最适宜的水温为18~25,并且较高的流速能提高去除效果。设计水深时,需考虑光照,更多的光透入池底,有助于藻类的光合作用,提高TP、磷的去除率<sup>[5]</sup>。何少林研究发现塘内pH值和叶绿素a浓度共同决定磷酸盐的去除效果,同时叶绿素a又影响pH值,但是当pH值达到8.0时,磷酸盐的去除率下降到26%<sup>[6]</sup>。常通过采取光照、水温、搅拌来稳定池内pH值,达到稳定的磷酸盐去除率。

### 2.2 人工湿地处理工艺

人工湿地处理系统是在人工铺的基质上种植芦苇、大麻、香蒲、凤眼莲等水生植物,利用湿地构成的土壤、植物、水生动物和微生物共同过滤、吸收污染物的工艺。按植物类型有挺水植物和浮游植物,按照水流形式分为表面流湿地、替流人工湿地和垂直流人工湿地。

湿地的基质、植物和水中微生物是净化污水的主体,植物起消耗营养物质和输氧的功能。付融冰等发现有植物的人工湿地的硝化能力明显高于无植物的人工湿地<sup>[7]</sup>。袁东海等人发现植被在人工湿地COD去除中也起着重要作用,石菖蒲植物达到80.46%;灯心草为75.53%;蝴蝶花为70.50%,石菖蒲植物人工湿地总氮平均去除率为77.77%;灯心草为

71.17%;蝴蝶花为66.38%<sup>[8]</sup>。付融冰等人发现芦苇湿地对TN的去除略好于菖蒲湿地<sup>[9]</sup>。刘超翔等人发现茭白对氮、磷的吸收能力强,芦苇具有较强的输氧能力,两者混种能提高BOD和氮、磷的去除率。人工湿地对氮、磷的去除效果很好<sup>[10]</sup>。李旭东等人发现砾石潜流湿地氮去除率可达60%,磷去除率达70%,且认为沸石潜流湿地适宜用于氨氮含量高的污水;砾石潜流湿地适宜用于处理磷含量高的污水<sup>[11]</sup>。

### 2.3 土地处理工艺

在人工控制下,污水经过土壤-植物系统的物理、化学、生物等的处理,达到净化的效果,是无动力处理工艺。我国现有的工艺有快速渗滤处理系统、地下渗滤处理系统等。快速渗滤处理系统是使渗透性好的土壤处于周期性的淹没和干旱的交替状态,使污水经历厌氧和好氧处理的一种处理工艺。具有较好的氮、磷去除率。何江涛等人研究此系统的处理效果,发现COD、BOD<sub>5</sub>去除率可达90%和80%;TN、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>的去除率可达95%,表明快速渗滤污水处理系统具有很高的处理效果<sup>[12]</sup>。

### 2.4 生物膜处理工艺

生物膜法是指以天然材料(如卵石)、合成材料(如纤维)为载体,其表面的生物膜为微生物提供附着面,微生物通过分泌的酵素和催化剂降解污水中的物质,同时代谢生成物排出生物膜。生物膜法主要工艺有生物廊道、生物滤池、生物接触氧化池等。生物膜法具有较高的处理效率,对于受有机物及氨氮轻度污染水体有明显的净化效果。现有简易、方便操作、集一体的生物膜工艺如膜生物反应器(MBR)和智能化小型生活污水反应器。张丽丽等人发现COD的平均去除率达90%,氨氮的去除率可达70%<sup>[13]</sup>。魏群等人试验发现藻类生物膜对总磷、总氮、氨氮、COD的去除率分别为98.17%、88%、89%、93.61%<sup>[14]</sup>。

### 2.5 蚯蚓生态滤池

蚯蚓能使土壤形成团粒结构,疏松多孔,透气性好,而且蚯蚓吞食腐烂的有机物和泥土。在生态滤池中,还具有促进有机物的分解转化等生态功能。蚯蚓生态滤池对COD、BOD<sub>5</sub>、TSS的去除率都在80%以上,对NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N的去除率在55%以上,总磷去除率在45%以上<sup>[15]</sup>。

### 2.6 组合处理工艺

组合处理工艺是根据农村当地的实际水质及出水的用途,将2个或3个工艺组合,提高处理效果和系统抗冲击负荷性能。常见的组合有生物接触氧化与人工湿地组合、稳定塘-人工湿地系统组合处理、厌氧沼气-跌水充氧接触氧化-人工湿地技术组合、水解池-滴滤池-人工湿地组合等,组合灵活;在去除率方面,优势互补或相互促进。

生物接触氧化与人工湿地组合工艺是用空气管人工调节供氧,替代植物输氧作用的一种人工湿地。吴彩斌等发现该工艺对农村生活污水中的COD<sub>Cr</sub>、TN、TP的平均去除率分别为72.9%、86.6%、89.1%,出水都能达到一级排放标准<sup>[16]</sup>。

白永刚等针对太湖流域农村生活污水提出滴滤池-人工湿地组合工艺,发现其对BOD、TN的平均去除率达75%、60%,对TP的去除率可达90%<sup>[17]</sup>。

还有厌氧沼气-跌水充氧接触氧化-人工湿地技术组合、

稳定塘和人工湿地系统组合的处理工艺。

### 3 我国农村污水特点

农村污水含有大量的营养盐、细菌和病毒等,高于其他污水的氮、磷,容易污染地下水,造成湖泊的富营养化,降低流域的水质。现在我国多数农村普遍没有排污措施,部分地区还使用旱厕,生活污水任意排放,且雨、污不分。

在沿海地带,单村的污水量大,季节性强,村落分布相对内地集中,污水浓度高;在南方,气温普遍高,村落分布很分散,单村人口少,污水量小,且季节性小,污水浓度低,以有机污染物为主,普遍没有排水管;中部农村相对于南方,村落分散性小,污水浓度高;在北方,气温低,污水水质季节性强,浓度高,污水量小;西部农村分布集中,气温低,污水量大,浓度高。

### 4 适合我国的农村污水处理系统

#### 4.1 处理模式

有集中处理和分散处理模式,对于沿海地区、西部等村落分布集中或单村污水量大的,采用集中处理模式;对于南方等山区分散的村落,采用分散处理模式。

#### 4.2 污水处理系统选择

农村的排水措施不全,对于南方、中部和北方等经济发展相对慢的地区,首先完善排水措施,改旱厕为卫生马桶等节水器,并在每户修建简易化粪池或者沼气形式的化粪池,减轻污水处理主体的负荷,还可利用沼气节约能源;村落靠近附近城市,且管道的布设投资低,可接入城市污水管网。

农村的经济发展水平、进水和出水水质及所处的环境不同,所采用的工艺也不同。在沿海地区,一般采用两种或三种组合工艺:地形宽、便于布置人工湿地、对 COD、TN、TP、氨氮的去除率要求高,或中水排放到湖泊等流域的乡村,可考虑采用厌氧沼气-跌水充氧接触氧化-人工湿地工艺;同样可采取生物接触氧化与人工湿地组合和高效藻类稳定塘-人工湿地系统组合处理工艺。对于人工湿地工艺,根据污水的水质及排放标准,选取不同基质和植物或增加其他措施,提高去除率。

在南方,村落多位于山区,污水厂布置受占地面积的限制,要求处理工艺自动化程度高,易维护,污水处理主体设备集一体,便于运输、安装及管理。对于单村污水量小于  $50 \text{ m}^3/\text{d}$  的单村,可采用智能化小型生活污水处理工艺(CWT-M);对于小于  $150 \text{ m}^3/\text{d}$  的单村,可采用膜生物反应器(MBR);分布在湖泊等流域附近的村落,需考虑湖泊等流域的富营养化问题,可采用高效藻类稳定塘等。

在中部地区,可采用分散处理和集中处理,分布较集中的几个村落,且管道布置投资小,采用集中处理,其他采用分散布置。对于集中处理的村落,可采用膜生物反应器(MBR)、蚯蚓生态滤池、快速渗滤处理系统、地下渗滤处理系统等;在水源附近的村落,需保护水源,可采用组合工艺和高效藻类稳定塘,如水解池-滴滤池-人工湿地组合。

在北方农村,污水系统正常运行的温度成为重要问题,因此在考虑村落的分散性、污水量及浓度问题外,还需结合工艺的运行温度。靠近城镇村落的污水尽可能接入城镇污水管网,

分散的单村,污水量小于  $50 \text{ m}^3/\text{d}$ ,可采用智能化小型生活污水处理工艺(CWT-M),因为其工艺的主体埋于地下,增加其对温度的适应性;污水量大的村落可采用快速渗滤处理系统、地下渗滤处理系统等土地处理工艺。

西部地区,优先采用土地处理工艺,如快速渗滤处理系统、地下渗滤处理系统等,还可采用高效藻类稳定塘和部分组合工艺。

### 5 结 语

目前农村生活污水任意排放,造成流域等水体污染,同时农村经济发展赶不上城镇,地区特点突出等,因此新农村污水处理系统建设迫切需要经济、高效、自动化高的一体化处理系统,以适应我国农村污水的多样性等。在选择工艺时,要结合当地实际情况,如水质、水温、经济发展水平等因素,综合考虑确定具体工艺。

#### 参考文献:

- [1] 曾令芳. 简评国外农村生活污水处理新方法[J]. 中国农村水利水电, 2001, (9): 30 - 33.
- [2] 郑 琴. 德国污水处理概况[J]. 中国市政工程, 1998, (4): 53 - 55.
- [3] 汪洪生. 德国偏远乡村散居居民生活污水处理[J]. 环境导报, 1998, (4): 40 - 41.
- [4] Bonomo L, Pastorelli G, Nozambon. Advantages and limitations of Duckweed-based wastewater treatment systems. Wat Sci & Tech, 1997, 35(5): 239 - 246.
- [5] 黄翔峰, 池金萍, 何少林, 等. 高效藻类塘处理农村生活污水研究[J]. 中国给水与排水, 2006, 22(5): 35 - 29.
- [6] 何少林, 黄翔峰, 陈 广, 等. 高效藻类塘去除农村生活污水中的磷[J]. 中国给水排水, 2005, 21(9): 18 - 21.
- [7] 付融冰, 杨海真, 顾国维, 等. 人工湿地基质微生物状况与净化效果相关分析[J]. 环境科学研究, 2005, 18(6): 44 - 49.
- [8] 袁东海, 任全进, 高士祥, 等. 几种湿地植物净化生活污水 COD、总氮效果比较[J]. 应用生态学报, 2004, 15(12): 2 337 - 2 341.
- [9] 付融冰, 杨海真, 顾国维, 等. 潜流人工湿地对农村生活污水氮去除的研究[J]. 水处理技术, 2006, 32(1): 18 - 22.
- [10] 刘超翔. 人工复合生态床处理低浓度农村污水[J]. 中国给水排水, 2002, 18(7): 1 - 4.
- [11] 李旭东, 周 琪, 张荣社, 等. 三种人工湿地脱氮除磷效果比较研究[J]. 地质前缘(中国地质大学, 北京; 北京大学), 2005, 12(特刊): 73 - 76.
- [12] 何江涛. 人工构建快速渗滤污水处理系统的试验[J]. 中国环境科学, 2002, 22(3): 239 - 243.
- [13] 张丽丽, 管运涛, 赵婉婉, 等. 一体化生物膜反应器处理生活污水[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2007, 47(6): 822 - 825.
- [14] 魏 群, 胡智泉, 肖 波, 等. 利用藻类生物膜技术处理生活污水研究[J]. 中国给水排水, 2008, 24(5): 27 - 30.
- [15] 王树乾, 杨 健, 陆雍森. 蚯蚓微生物生态滤池处理城镇生活污水研究[J]. 环境导报, 2002, (5): 14 - 15.
- [16] 吴彩斌, 向速林, 鲁秀国. 处理农村生活污水的生物接触氧化-人工湿地组合工艺[J]. 湖北农业科学, 2008, 47(1): 44 - 46.
- [17] 白永刚, 吴浩汀. 滴滤池-人工湿地组合工艺处理农村生活污水[J]. 中国给水排水, 2007, 23(17): 55 - 57.