

The Application of Distributed Treatment Solution on Rural Wastewater

Zhiqiang Gu

Shanghai Institute of Mechanical & Electrical Engineering CO., Ltd., Shanghai
Email: guzhiqiang2014@163.com

Received: Oct. 31st, 2018; accepted: Nov. 16th, 2018; published: Nov. 23rd, 2018

Abstract

The characters of domestic and abroad technologies or equipments about rural wastewater treatment were compared in the paper. Moreover, the trial project of small-scale integrated equipment was exemplified in the village of Shanghai. The rural wastewater discharged by 28 families was collected and disposed by integrated equipment combined A/O process with MBBR process in the project. After disposing, the quality of effluent is always stable and could continuously meet emission standard of class-one A. The operation cost was about 1.248 RMB/t.

Keywords

Rural Wastewater, Integrated Equipment, MBBR

分布式处理方案在农村生活污水中的试点应用

顾治强

上海市机电设计研究院有限公司, 上海
Email: guzhiqiang2014@163.com

收稿日期: 2018年10月31日; 录用日期: 2018年11月16日; 发布日期: 2018年11月23日

摘要

文章比较了近年来国内外农村生活污水处理工艺和设备的特点, 并对上海某村的小型一体化设备的试点工程进行了案例分析。其一体化设备采用A/O + MBBR的组合工艺对28户居民的生活污水进行收集和处理, 污水处理后可以连续稳定达标并满足一级A排放标准, 吨水运行处理费用约为1.248元。

关键词

农村生活污水，一体化设备，MBBR

Copyright © 2018 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着农村环境综合整治行动的快速推进，以及美丽乡村建设要求的提出，农村生活污水的治理成为近年来突出的环境问题。作为农业大国，我国农村土地占总土地面积的 57.59% [1]，并且预计到 2020 年，农村人口仍占全国总人口的 40.85%。长久以来，基数庞大的农村人口产生的生活污水污染问题却一直得不到有效控制，96% 的村庄是没有布置污水排放沟渠或者安装污水处理设施的[2]，长期依靠“污水随地淌、处理靠蒸发”的粗放型处理方式已经对农村水环境造成了严重的破坏[3]。近年来伴随着农村生态、生活环境的逐渐恶化、村民环保意识和经济条件的逐步提高，农村生活污水的治理也逐渐提上日程[4]。

2. 农村生活污水的现状

我国每年产生的农村生活污水量高达 80 亿多吨[5]，而且绝大部分未经处理直接排放，这些未经处理的污水携带大量的细菌、病毒、虫卵以及氮和磷等物质进入到河流、沟渠中，严重地污染了地表径流并加剧了水体富营养化的状态，其中氮、磷的贡献率分别高达 10% 和 8% [6]，极大地破坏了河流生态环境，并威胁人们的生存健康，因此加快解决农村生活污水的污染问题，改善农村生活环境迫在眉睫。

农村生活污水的治理有别于城镇污水的治理，具有出水量小、日变化系数大、排水分散、投资高、运行费用高等特点[7]。单纯套用城镇污水处理的模式、方法和技术来处理农村生活污水是不科学的，也是不可行的，要在充分借鉴发达国家或城市的技术经验的基础上，因地制宜地开发出经济有效的，适合我国农村特征的生活污水处理技术。

2.1. 国内外处理技术

2.1.1. 国外处理技术

国外较早地意识到农村生活污水的污染问题，许多专家学者也进行了很多的研究和试验，并且通过实际的应用也积攒了较为成熟的技术经验。

Rolf 等[8]采用固定生物床反应器处理农村生活污水，利用 A/O 工艺耦合化学混凝除磷技术可以实现 COD、氮和磷等污染物 90% 以上的去除效率，并已通过规模化试验的验证。Saifeddine [9]等研究了砂粒 - 黏土 - 鹅卵石的土壤渗滤系统对农村污水的处理，得出当砂粒 - 黏土的质量比为 9:1，砂粒 - 黏土与鹅卵石的质量比为 3:1 时，土壤的渗滤效果最好，TN、BOD5 和 COD 的去除率可以分别达到 65%、75% 和 73%，而且整个系统的投资成本和运行成本都很低。Dwivedi 等[10]采用“化粪池 + 人工湿地”处理技术对印度乡村生活污水进行试验研究，可以高效的去除废水中的悬浮物、COD、BOD5、N 和 P 等，在充分满足当地经济条件的前提下，实现了废水的达标排放。下表 1 中列举了部分国外应用较成功的农村污水处理工艺，并对其工艺特点进行了分析。

Table 1. The overseas treatment technologies of rural wastewater**表 1.** 国外农村生活污水处理技术

地区/国家	技术类型	优势	劣势
墨西哥[11]	稳定塘 + 人工湿地	投资省、能耗低、美观	占地面积大、受季节影响大
日本	JARUS 型小型净化槽技术	设备简单、能耗低、运营维护简单	处理效果不稳定
波兰[12]	生物滤池 + 人工湿地	投资省、运营简单	占地大、处理效果不稳定
澳大利亚[13]	上流式厌氧过滤 + 人工湿地处理系统	能耗小、处理效果好、投资省	占地面积大
英国[14]	组合人工湿地处理系统	投资省、运维简单、美观	占地面积大、供氧不足、季节性影响大

2.1.2. 国内处理技术

国内意识到农村污水的污染问题相对较晚，其技术的发展也相对落后，前期通过引进大量国外成功技术方案进行国内试点，也取得了一些成果，在此基础上，国内专家学者也开辟了一些适用于我国农村污水特征的处理技术和模式。

Ye [15]等为了解决农村生活污水中溶氧不足、氮的去除效果差等问题，采用了改良型的三级塔式复合型人工湿地技术，利用二级跌落式自由流动为水体充氧，无论是低负荷还是高负荷水平下均能实现总氮 83%以上的去除效率。Song [16]等利用土壤过滤(MSL)系统处理农村生活污水，系统运行期间，COD 和 BOD5 去除率分别达到 98.53%和 93.66%，TP 去除率也达到 97.97%~100%，但是脱氮效果较差。Dong 等[17]对中国东部地区的农村污水处理设施，如三格化粪池工艺、微动力生物反应器、人工湿地、稳定塘和集中式污水处理厂等工艺设施进行了长达一年的跟踪调研，发现化粪池对颗粒物沉淀效果和 COD 去除效果较好，但是对氮、病原体的去除效果差，人工湿地和集中式污水处理厂的处理效果要优于稳定塘和微动力生物反应器，其出水可以满足(GB 18918-2002)二级排放标准。总结出集中式污水处理厂更适用于人口相对稠密的地区，人工湿地则适用于人口稀疏的区域。

通过国内学者的研究、验证并已成功应用的农村生活污水处理的技术主要包括以下三类模式：分散处理模式、集中式处理模式和接管网式处理模式[18] [19]，较为常见的工艺及其特点如表 2 所示。

Table 2. The domestic treatment technologies of rural wastewater**表 2.** 国内农村生活污水处理技术

地区	工艺模式	技术类型	优势	劣势
中国上海[20]	分散式处理	厌氧生物技术 + 人工湿地	出水稳定、运行费用低，管理方便	占地面积较大
中国广西[21]	分散式处理	接触氧化 + 人工湿地	投资省、运行费用低，处理效果较好	占地面积较大，受气候影响大
中国上海[22]	分散式处理	一体化设备 + 人工湿地	运行成本低，出水有较稳定	占地面积大、受气候影响大
中国上海[23]	分散式处理	厌氧净化槽 + 强化生态浮床	出水效果好，出水稳定，占地面积小	投资、运行管理费用较高

由于村庄集聚状态、经济条件、地域文化等方面的差异，各种技术的应用也有表现出一定的局限性，应根据不同的地域特色和规划要求选择适宜的处理模式。由于我国农村污水处理经验不足，采用的技术也不具有地域针对性，经过了几年的发展，一些类如出水效果差、稳定性差、运行管理经验不足等问题层出不穷，再加上设备老旧和环保法的日益严苛，目前已有的处理设施大部分已无法满足地区出水排放标准，面临改造或重建的问题，因此亟需探究更加经济、有效的农村生活污水处理解决方案。

3. 新型农村生活污水处理解决方案分析

为了贯彻中央有关于新农村建设要求以及《水污染防治行动计划》，从根本上改善上海农村河道水

质和生态环境，寻求有效解决方案，为此在上海某村进行农村生活污水处理试点工程并进行推广。

3.1. 试点工程概况

本次试点工程位于上海某村，涉及居民 28 户，设计水量 22.4 m³/d，设计出水要求达到一级 A 排放标准，采用相对集中的处理模式，并利用一体化处理装置进行就地处理。对每户居民排放的污水(黑水和灰水)先进行分类预处理再通过管道收集，最后汇聚到站点再进行集中处理(表 3)。

Table 3. The designed quality and volume of inflow

表 3. 设计进水水质水量

指标	水量	COD	BOD ₅	NH ₃ -N	TN	TP
单位	m ³ /d	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
数值	22.4	493	206	60	86	7

3.2. 一体化处理装置

装置为集装箱式标准化产品，具有不同的规格，依据设计水量选用 30 m³/d 规模处理量的装置。装置外形如图 1。



Figure 1. The outward picture of integrate treatment equipment

图 1. 一体化处理装置外形图

装置主要包括 MBBR 处理模块和离子交换树脂吸附除磷模块。

3.2.1. 处理工艺流程

一体化处理装置的核心是 MBBR 工艺，主要的流程是首先居民排放的灰水和黑水分别经过隔油池和化粪池预处理后，经管道收集进入到站点调节池，然后污水再进入水解酸化柜进行污染物的初步降解和可生化性的提高，水解柜出水再经过填充了高性能填料的缺氧/好氧柜进一步降解，组成 A/O + MBBR 工艺。生化氧化出水经二沉池进行固液分离，并回流部分污泥和硝化液，上清液再经过滤除杂后进入离子交换除磷单元，最后尾水经紫外消毒杀菌后排放至河道。站点处除调节池需要埋地外，其余单元均集中在一体化的集装箱内操作，集装箱上部并设置生化除臭装置，防止臭气污染。其工艺流程示意图如图 2 所示。

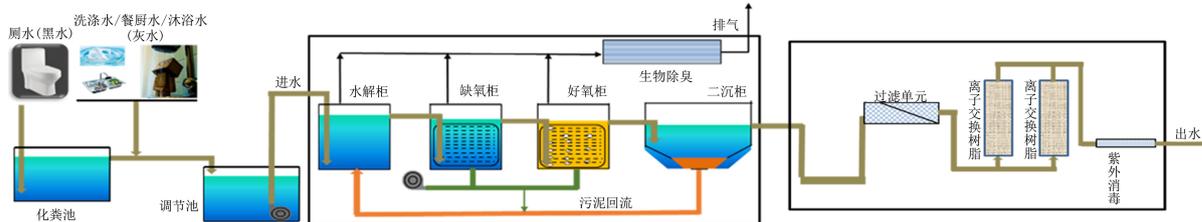


Figure 2. The technological process of integrate treatment equipment
图 2. 一体化处理设备工艺流程图

通过 MBBR 工艺实现生物挂膜增加了废水中的微生物量，提高了系统抗冲击负荷的能力，完全混合态填料的运动剪切作用更增加了氧气利用效率，减少了动力消耗，并且由于微生物的挂膜极大地减少了污泥的产生，也降低了后续污泥的处理难度。采用集装箱式的一体化结构可以将构筑物完全集中在一起，也极大的减小了占地面积。

3.2.2. 工艺设备特点

MBBR 一体化设备具有工艺一体化、设备集约化、应用广泛化、运维智能化、投资节约化和污染最小化等特点。

将处理单元全部集中在集装箱中的布置，不仅可以减小设备的占地面积，满足农村不占用基本农田的前提，此外还可以方便运输和安装，设备模块也可根据出水水质要求灵活地拆卸组装。

3.2.3. 工艺参数

MBBR 处理工艺主要包括调节池，箱体部分以及除磷模块，其结构和工艺参数如表 4 所示。

Table 4. Technological parameter of MBBR

表 4. MBBR 工艺参数

装置名称	参数名称	详参
(1) 一体化装置	结构:	标准化集装箱
	外形尺寸, LxBxH:	4058 × 2438 × 2438 mm
	总功率:	3 kw
	水力停留时间:	12 h (水解酸化 2 h、缺氧 2 h、好氧 6 h、沉淀池 2 h)
	回流比	1:3
	结构:	玻璃钢
(2) 调节池	外形尺寸, LxBxH	2800 × 1500 × 1500 mm
	有效容积	4 m ³
	类型:	阴离子交换树脂
(3) 除磷模块	外形尺寸, LxBxH:	2000 × 1000 × 1000 mm
	水力停留时间:	1 h
	有效容积:	1 m ³
	树脂交换容量:	1.25 meq/mL
	交换流速:	10 m/h
	再生周期:	60 d

3.3. 出水水质分析

经过设备的安装、调试并稳定运行后，对一体化设备的出水水质进行检测，其出水的水质指标见表 5。

Table 5. The detection on effluent quality

表 5. 出水水质检测

项目	COD	BOD ₅	SS	TN (以 N 计)	TP	NH ₃ -N (以 N 计)	动植物油	类大肠菌群	阴离子表面活性剂
单位	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	个/L	mg/L
一级 A	50	10	10	15	0.5	5	1	10 ³	0.5
检测 1	49	8.60	9.40	10.36	0.14	1.25	0.85	330	0.37
检测 2	22	6.0	/	/	0.49	2.30	/	/	/

*两次检测日期间隔 60 天。

从表 5 中可以得出，出水水质均满足一级 A 排放标准中的各项水质指标。根据进水和出水水质，计算各污染物的平均去除率，结果如图 3 所示。

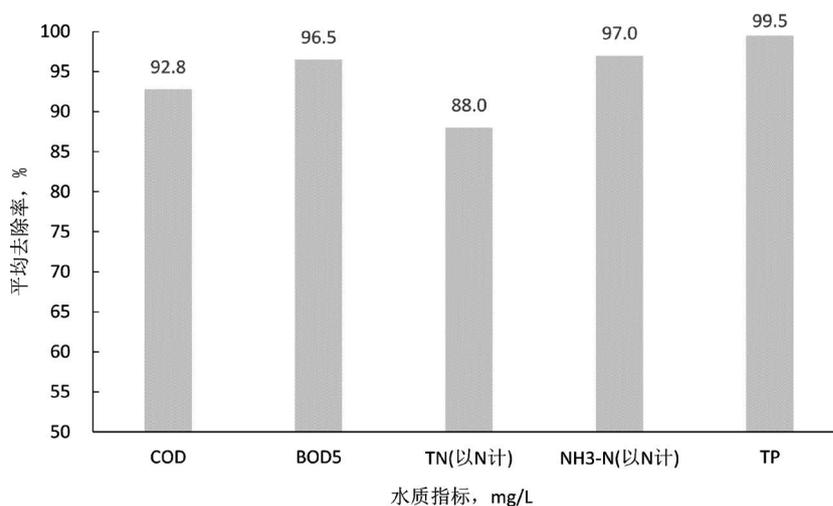


Figure 3. The average removal rate of several wastewater indexes

图 3. 各水质指标平均去除率

从图 3 可以得到，经过一体化设备工艺装置的处理，各污染物指标的去除率均可以达到 88.0% 以上，TP 的去除率甚至达到了 99.5%。出水中各项水质指标均满足 GB18918-2002 一级 A 排放标准。其设备处理效果如图 4 所示。



Figure 4. The comparison of effluent river before and after treating

图 4. 处理前后纳污河道水体对比

3.4. 运行成本估算

设备的实用性不仅在于技术的处理效果还在于其运营费用是否在合理的范围。一体化设备运行的主要成本包括：电费，树脂的补充、再生和处置费用。此外，由于 MBBR 工艺产泥量小，短周期内污泥处置量少，而且设备采用智能云端监控，无需人员值守，因此，此处不计污泥处置费用和人工费用。

3.4.1. 电费*

用电设备及其各项参数如表 6 所示。

Table 6. The electric equipment and operation parameters

表 6. 用电设备及其运行参数

设备	功率/kW	数量/台	运行时间/h	费用/元
鼓风机 1#(2#)	0.384	2	24(12)	6.912
提升泵(一用一备)	0.600	2	1.5	0.45
紫外灯	0.060	1	12	0.36
加压泵	0.440	1	12	2.64
控制系统	0.500	1	24	6

*注：该电费为设备运行一天所需费用，该地区电费以 0.5 元/Kwh 计。

根据表 6 所示的设备及其单日运行费用计算可得处理吨水的电费为： $(6.912 + 0.45 + 0.36 + 2.64 + 6)/22.4 = 0.73$ 元/m³。

3.4.2. 除磷模块

除磷模块的费用主要包括树脂的再生费用以及补损费用。

1) 树脂的再生费用

树脂的再生也就是树脂的离子交换除磷的逆过程。主要采用化学药剂进行洗脱。因此再生过程的费用主要是化学试剂的消耗。每个周期需要再生树脂量的计算方法如下：

$$V = 24 * (C_0 - C_t) T / (Q_m * M / n)$$

式中： V 为树脂用量，L； T 为再生周期，d； C_0 为进水磷浓度，mg/L； C_t 为出水磷浓度，mg/L； Q_m 为最大交换容量，meq/L； n 为离子电子数； M 为元素相对分子质量，g/mol。

$$V = 22.4 * (5 - 0.5) * 60 / (1.25 * 31 / 3) = 468 \text{ L}$$

树脂每 60 天再生一次，每升树脂再生需要消耗 100 g 药剂，其中再生药剂的单价为 7500 元/吨，则吨水费用为 $(468 \times 100 \times 7500 / 10^6) / (22.4 \times 60) = 0.261$ 元/吨。

2) 树脂的补损费用

树脂的补损量按照每年 3% 计，补损价按 150 元/L 计，则其补损费用为 $150 \times 0.03 \times 468 = 2106$ 元，按照吨水费用计算为 $2106 / (22.4 \times 365) = 0.257$ 元/吨。

因此，综上所述，一体化设备的综合运行成本约为： $0.730 + 0.261 + 0.257 = 1.248$ 元/吨，与城镇污水处理厂的运行处理费用相近，具有一定的经济适用性。

4. 结语

农村生活污水的全面整治推动了农村环保技术的全面发展，设备和技术的更迭层出不穷。随着国内

环保法的日益严格,要因地制宜的开发出有别于国外技术的,适合中国国情的农村生活污水处理模式。只有有效的技术手段,合理的经济投入,高质量的运维管理才能够经得起考验。

上海某村小型一体化设备试点工程的成功,不仅验证了其技术的可行性,使得出水中的COD、BOD₅、TN、TP等指标均满足了一级A的排放要求,更走出了适合我国农村污水处理的新途径,也为未来技术的延伸奠定了基础。

参考文献

- [1] 陈学农. 村镇污水处理模式的探讨[J]. 福建建筑, 2008(8): 99-99.
- [2] 王庆永. 分散式生活污水的处理模式探讨[J]. 农村经济与科技, 2009, 20(4): 92-93.
- [3] 盛会. 农村“垃圾靠风刮污水靠蒸发”的警示[J]. 农村工作通讯, 2013(15): 6.
- [4] 陈歆夏. 现代农村水污染的特征与防治对策[J]. 现代农业科技, 2008(5): 221-222.
- [5] 马春炜. 农村生活污水治理工程的几点浅见[J]. 新农村:黑龙江, 2016(27): 13.
- [6] 崔志峰, 王凯军, 宋英豪, 等. 村镇生活污染控制技术研究[C]//中国土木工程学会. 全国中小城镇市政污水处理工程技术工艺高级研讨会. 成都: 中国土木工程学会, 2005: 5-8.
- [7] 梁瀚文, 刘俊新, 魏源送, 等. 3种典型地区农村污水排放特征调查分析[J]. 环境工程学报, 2011, 5(9): 2054-2059.
- [8] Rolf, F., Grabowski, F. and Burde, M. (1998) Low Cost Procedure for Nutrient Removal in Small Rural Wastewater Treatment Plants. *Water Science & Technology*, **38**, 179-185. <https://doi.org/10.2166/wst.1998.0203>
- [9] Eturki, S., Ayari, F., Kallali, H., et al. (2012) Treatment of Rural Wastewater by Infiltration Percolation Process Using Sand-Clay Fortified by Pebbles. *Desalination & Water Treatment*, **49**, 65-73. <https://doi.org/10.1080/19443994.2012.708200>
- [10] Dwivedi, D. (2010) Community Based Rural Wastewater Management Using Constructed Wetlands. *95th ESA Annual Convention*, Pittsburgh, 1-6 August 2010, 112-150.
- [11] Zurita-Martínez, F., Castellanos-Hernández, O.A. and Rodríguez-Sahagún, A. (2011) Municipal Wastewater Treatment in Rural Communities in Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, **2**, 139-150.
- [12] Paruch, A.M., Mæhlum, T., Obarskapempkowiak, H., et al. (2011) Rural Domestic Wastewater Treatment in Norway and Poland: Experiences, Cooperation and Concepts on the Improvement of Constructed Wetland Technology. *Water Science & Technology: A Journal of the International Association on Water Pollution Research*, **63**, 776. <https://doi.org/10.2166/wst.2011.308>
- [13] Gómez, C.L.T., Garciazamor, J.C. and Rojas, J.M.C. (2008) Domestic Wastewater Management in a Rural Community in Colombia. *Comparative Technology Transfer & Society*, **6**, 212-235.
- [14] Mureşan, M.V. (2012) Optimal Treatment Technology for Rural Wastewater: Constructed Wetlands. *Scientific Bulletin Series D: Mining, Mineral Processing, Non-Fe*, **26**, 101-109.
- [15] Ye, F. and Li, Y. (2009) Enhancement of Nitrogen Removal in Tower Hybrid Constructed Wetland to Treat Domestic Wastewater for Small Rural Communities. *Ecological Engineering*, **35**, 1043-1050. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.03.009>
- [16] Song, P., Huang, G., An, C., et al. (2018) Treatment of Rural Domestic Wastewater Using Multi-Soil-Layering Systems: Performance Evaluation, Factorial Analysis and Numerical Modeling. *Science of the Total Environment*, **644**, 536-546. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.331>
- [17] Dong, H.Y., Qiang, Z.M., Wang, W.D., et al. (2012) Evaluation of Rural Wastewater Treatment Processes in a County of Eastern China. *Journal of Environmental Monitoring*, **14**, 1906-1913. <https://doi.org/10.1039/c2em10976j>
- [18] 卜全民. 我国农村污水处理模式与技术研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(20): 12261-12263.
- [19] 白晓龙, 顾卫兵, 杨春和, 等. 农村生活污水处理模式研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(26): 14571-14572.
- [20] 马鲁铭, 王云龙, 刘志刚, 等. 南方农村生活污水处理目标及工艺模式探讨[J]. 中国环境科学, 2013, 33(1): 118-122.
- [21] 曾玲玲. 广西农村生活污水处理实例介绍分析[J]. 科技创新与应用, 2013(27): 163-164.
- [22] Yu, R., Wu, Q. and Lu, X. (2012) Constructed Wetland in a Compact Rural Domestic Wastewater Treatment System

for Nutrient Removal. *Environmental Engineering Science*, **29**, 751-757. <https://doi.org/10.1089/ees.2011.0209>

- [23] 张增胜, 徐功娣, 陈季华, 等. 生物净化槽/强化生态浮床工艺处理农村生活污水[J]. 中国给水排水, 2009, 25(9): 8-11.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2164-5485, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: aep@hanspub.org