

# 山区分散式农村生活污水治理技术及改造实例分析

王 春, 辜凌云, 高东东, 肖 杰, 张 坤

四川省生态环境科学研究院, 四川 成都  
Email: wangc2007@163.com

收稿日期: 2021年3月20日; 录用日期: 2021年4月21日; 发布日期: 2021年4月28日

---

## 摘 要

本文结合了农村生活污水的产排特点、水质特征及山区分散式农村生活污水典型特征, 详细分析了常见农村生活污水处理技术及各种技术对分散式农村生活污水治理的主要污染物质的去除率及经济特性。就当前存在的山区已建农村生活污水处理设施闲置问题, 选取具有代表性的案例进行详细分析, 提出改造思路及建议。

## 关键词

山区, 分散式, 农村生活污水, 技术, 改造

---

# Analysis of the Technologies and Representative Cases of the Rural Domestic Sewage Treatment in Mountainous Areas

Chun Wang, Lingyun Gu, Dongdong Gao, Jie Xiao, Shen Zhang

Sichuan Academy of Environmental Sciences, Chengdu Sichuan  
Email: wangc2007@163.com

Received: Mar. 20<sup>th</sup>, 2021; accepted: Apr. 21<sup>st</sup>, 2021; published: Apr. 28<sup>th</sup>, 2021

---

## Abstract

This paper combined the generation and discharge characteristics of rural domestic sewage, sewage water quality characteristics and typical characteristics of decentralized rural domestic se-

wage in mountainous areas, and analyzed common rural domestic sewage treatment technologies and the removal rate of major pollutants from decentralized rural domestic sewage treatment by various technologies and their economic characteristics in detail. Regarding the current existing problem of unused rural domestic sewage treatment facilities in mountainous areas, representative cases were selected for detailed analysis, and reform ideas and suggestions were put forward.

## Keywords

Mountainous Area, Decentralized Systems, Rural Domestic Sewage, Technology, Transformation

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

## 1. 引言

农村的发展和人居环境改善一直受到社会和政府的关注，党中央、国务院高度重视农村环境保护工作[1]。中共中央办公厅、国务院办公厅联合印发《农村人居环境整治三年行动方案》，要求梯次推进农村生活污水治理，因地制宜采用集中与分散相结合的建设模式和处理工艺。党的十九届五中全会审议通过的《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》，对新发展阶段优先发展农业农村、全面推进乡村振兴作出总体部署，为做好当前和今后一个时期“三农”工作指明了方向，要求大力实施农村人居环境整治提升五年行动，统筹农村改厕和污水、黑臭水体治理，因地制宜建设污水处理设施。分散式农村污水处理技术的应用在一定程度上有效地补足了山区农村生活污水处理设施建设和运营维护的短板。可以解决山区村民集中居所带来的生态环境被破坏问题，还可完善村内环保基础设施建设，改善人民群众的居住环境，满足人民对美好生活的生态环境需求，为下一步发展农村经济提供更好的硬件基础。

## 2. 农村生活污水特点

### 2.1. 农村生活污水产排特点

农村生活污水的来源与农户生活用水习惯息息相关，农村居民生活活动所产生的污水，主要包括冲厕、洗涤、洗漱、洗澡和厨房等排水，不包括工业废水。相比城镇而言，农村居民单户污水产生量较少。另外，农村用水量和生活污水排放量与地理位置、供水设施的完善程度、改厕模式、经济发达程度、季节以及农村居民的用水习惯等因素有关。通常水量具有随时间、季节变化的规律，一天之中有 2~3 个高峰期，分别出现在早中晚，而午夜到凌晨这段时间用水量和污水产生量很少甚至无。季节对用水量和污水产生量的影响基本呈现夏季 > 春季 ≈ 秋季 > 冬季的规律[1]，夏季由于居民洗漱次数及用水量增加，排水量高于其他季节；冬季会在春节前后呈现一个短暂的用、排水高峰期。根据农村居民生活供水和用水设备条件的不同，其人均用水量 20 升/天~100 L 升/天不等，排放量占用水量的百分比 30%~90%不等。可见不同情况下的农村居民的用水现状、生活习惯、经济条件、发展潜力等直接影响农村生活污水的产排特征。

### 2.2. 农村生活污水水质特征

农村居民的排水水质因排水类型不同而差异较大，其随污水来源、有无水冲厕所、时段特征等变化

幅度较大。同城镇生活污水相比,农村生活污水污染物浓度低、种类简单、水质水量波动较大[2],很少含有重金属和有毒有害物质,但含有较多的合成洗涤剂以及细菌病毒、寄生虫卵等。农村生活污水可生化性好,但碳源有些不足,对排放标准要求较高的敏感区域,需额外补充碳源(如葡萄糖、乙酸钠或复合型碳源等)才能提高总氮去除率。农村生活污水每日有两种高峰时段对水质影响较大,如在做饭高峰期时,会使水质中油份、SS 浓度偏高;如在洗漱高峰期时,会使水质总氮、磷、阴离子表面活性剂浓度偏高。对  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  贡献率影响而言,从高到低依次排列为厕所污水 > 洗衣污水 > 厨房洗刷水;对 TP 贡献率影响而言,从高到低依次排列为厨房的淘米水 > 含磷洗衣洗涤水 > 洗澡水。结合山区实地调查,并根据农村综合排放后的水质情况,得出其排水主要污染物指标范围值为  $\text{COD}_{\text{Cr}}90\sim220\text{ mg/L}$ ,  $\text{NH}_4^+-\text{N} 5\sim30\text{ mg/L}$ , TP 2~6 mg/L。

### 2.3. 山区分散式农村生活污水典型特征

山区农村居民居住较为分散,地形复杂,地势高差大,敷设管网的难度相对较大,不适合或不需大范围铺设污水管网和建设规模较大的污水收集系统及处理系统[3]。对地形复杂、位置偏远的山区村庄,不便集中收集处理,可按地势、地形特点将农村居民分为几个片区,各片区内敷设污水管道或污水暗渠收集村民排放的生活污水,分别就近分散建设污水处理设施。污水分散处理设施宜采用一体化装置。污水进入一体化装置之前应进行预沉淀处理,可采用已建成的化粪池作为沉淀处理单元。当采用一体化装置出水不能满足要求时,宜可增加自然生态处理工艺段。村民洗衣、淋浴及厨房洗涤等低浓度生活污水可直接采用生态处理后排放或资源化综合利用。

## 3. 分散式农村生活污水治理技术

### 3.1. 常见农村生活污水治理技术

分散式农村生活污水治理技术的遴选应遵循“达标排放、运行稳定、管理简便、耐冲击负荷、建设及运行成本经济”等原则,同时考虑处理后尾水可实现资源化利用,并且易于实现设备化。农村污水处理按照流程及净化原理,可分为预处理技术、生物处理技术、生态处理技术。如下图 1 所示:

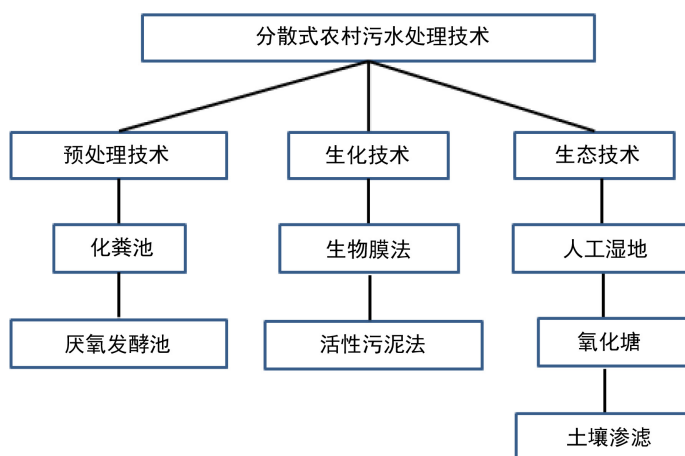


Figure 1. Decentralized rural sewage treatment technologies

图 1. 分散式农村污水处理技术

预处理技术仅可去除大部分悬浮物和少部分 COD 等,出水不能直接排放,但可作为在农田、林地等的资源化利用;生物处理技术中可根据类别分为生物膜法和活性污泥法,可去除大部分 COD 和部分氮磷

等,出水可达标排放。其中生物膜法可采用生物滤池[4]、净化槽[5]、生物接触氧化、移动床生物膜反应器技术(MBBR)等,活性污泥法可采用 A/A/O、SBR、MBR 等。生态处理技术中的人工湿地[6] [7] [8]、土地快速渗滤、氧化塘等,搭配预处理技术和生化处理技术,进一步深度处理农村生活污水,其在前两者的基础上进一步去除 COD、氮磷和其他污染物。

### 3.2. 常见技术对污染物的去除率及经济分析

#### 3.2.1. 常见技术对主要污染物的去除率

农村生活污水常见技术对主要污染物的去除率如表 1 所示。

Table 1. Pollutant removal rate of common technologies

表 1. 常见技术污染物去除率

类别	技术名称	COD	SS	TN	TP	动植物油	致病菌 寄生虫卵
预处理技术	化粪池	20%~40%	40%~50%	≤10%	≤15%	60%~80%	≥95%
	沼气池	20%~40%	40%~50%	≤30%	<20%	≥80%	40%~60%
生物处理技术	厌氧生物膜法	50%~65%	60%~70%	/	/	/	不小于 95 个/L
	生物接触氧化	70%~80%	70%~90%	30%~50%	20%~40%		
	净化槽[4]	70%~80%	75%~98%	50%~80%	40%~70%		
				(有缺氧单元时)	(有厌氧单元时)		
	A/A/O	80%~90%	70%~90%	55%~80%	60%~80%		
	SBR	80%~90%	75%~95%	60%~85%	55%~85%		
	MBR	>95%	>99%	>85%	>85%		/
	MBBR	70%~95%	>90%	50%~70%	30%~70%		
生态处理技术	人工湿地[6] [7] [8]	40%~50%	80%~90%	30%~40%	50%~70%		
	土壤渗滤	40%~50%	>90%	40%~50%	50%~60%		
	稳定塘	40%~60%	50%~65%	40%~50%	30%~40%		

由上表可知,对污染物去除率较高的为生物处理技术,而应用于分散式农村生活污水治理方面的一体化设备,主要是各个生物处理技术的有机组合。

#### 3.2.2. 常见技术的经济分析

由表 2 分析可知,生物处理技术由于其工艺流程多,吨水处理成本及运维费用相对比预处理技术和生态处理技术较高,但是采用生物处理技术出水水质稳定,有保障。

## 4. 山区农村生活污水治理设施建设容易存在的问题分析

### 4.1. 容易存在的问题分析

由于在全国范围内,各地普遍存在“农村生活污水排放标准”的制定及执行时间较晚于“城镇生活污水排放标准”。山区农村受地形复杂、人口分布不均、专业运维人员缺乏、经济不发达、交通不便利

**Table 2.** Main economic indicators of common technologies  
**表 2.** 常见技术主要经济指标

类别	技术名称	建设成本	运行成本	出水标准
预处理技术	化粪池	500~800 元/户(个)	只需自行定期清掏, 无运行管理费用	不能直接排放
	沼气池	250~350 元/m <sup>3</sup> (池容积)	<0.10 元/m <sup>3</sup> (发酵料液)	
生物处理技术	生物滤池	1200~1500 元/m <sup>3</sup>	低于 0.20 元/m <sup>3</sup>	出水优于国标一级 B 标准, 如 A/A/O, MBR 可达国标一级 A
	生物接触氧化	2000~2500 元/m <sup>3</sup>	0.30~0.40 元/m <sup>3</sup>	
	净化槽	800~1000 元/m <sup>3</sup>	0.5~0.7 元/m <sup>3</sup>	
	A/A/O	2500~4000 元/m <sup>3</sup>	0.70~0.80 元/m <sup>3</sup>	
	SBR	2500~4000 元/m <sup>3</sup>	0.60~0.80 元/m <sup>3</sup>	
	MBR	3500~6000 元/m <sup>3</sup>	0.60~1.00 元/m <sup>3</sup>	
	MBBR	3000~4000 元/m <sup>3</sup>	0.8~1.0 元/m <sup>3</sup>	
生态处理技术	人工湿地	300~500 元/m <sup>3</sup>	<0.10 元/m <sup>3</sup>	出水可达各地出台的农污标准二级或三级标准
	土壤渗滤	300~800 元/m <sup>3</sup>	<0.10 元/m <sup>3</sup>	
	稳定塘	200~400 元/m <sup>3</sup>	<0.10 元/m <sup>3</sup>	

等因素影响, 较早时期已建的山区分散式农村生活污水处理设施容易存在照搬城镇模式, 出现设计规模偏大, 选用工艺流程复杂(如: 采用“预处理 + 生物处理 + 生态处理 + 资源化利用”工艺流程等), 建管脱节, 运维困难等, 已建分散式设施容易出现“晒太阳”的现象, 而不能正常发挥其真正处理农村污水的效能。

#### 4.2. 已建闲置设施改造的必要性

为使山区分散式农村生活污水处理设施“有效运维”, 避免污水直排或出现黑臭, 迫切需对已闲置的设施进行改造。由于山区农村居民多外出务工, 实际常住人口远少于户籍人口, 应根据常住人口数量核算真实的设施进水量; 另外, 由于山区农村还存在不完全使用水冲厕所的情形, 部分农村使用旱厕后“黑水”难以接入污水处理站, 部分农村生活污水收集中大部分为“灰水”。因此, 宜根据实际收集的进水水质重新选用工艺, 采取必要的措施对已建闲置设施进行改造, 保证处理后的外排水稳定达标。

### 5. 分散式农村生活污水处理站改造案例分析

#### 5.1. 案例基本情况

某村污水处理站, 位于四川省丘陵山区, 原设计参数按户籍人口 252 人, 人均用水定额 100 L/(人·d), 排污系数 0.9, 变化系数 2.3, 污水处理量 50 m<sup>3</sup>/d 设计; 原设计出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918-2002)一级 B 标准。实际该村常住人口仅有 152 人, 受当地经济条件、卫生习惯等因素影响, 村内大部分使用卫生旱厕, 水冲厕所及淋浴使用很少, 全村实际排污量远低于预期, 实际每日仅有 10 m<sup>3</sup> 生活污水需要处理, 且该水量的出水可执行《四川省农村生活污水处理设施水污染物排放标准》中的三级标准即可。另外, 由于当地雨污不分流, 有大量雨水进入, 原设计无调节池, 其实际进水水质浓度偏低, 进水水量常年不足, 导致填料裸露、设备和仪表损坏等, 无法正常运行。

#### 5.2. 改造前后进、出水水质对比

通过查阅前期设计资料, 及对该污水处理站进行连续监测进水水质, 分析得到改造前后的进、出水

水质如下表 3 所示：

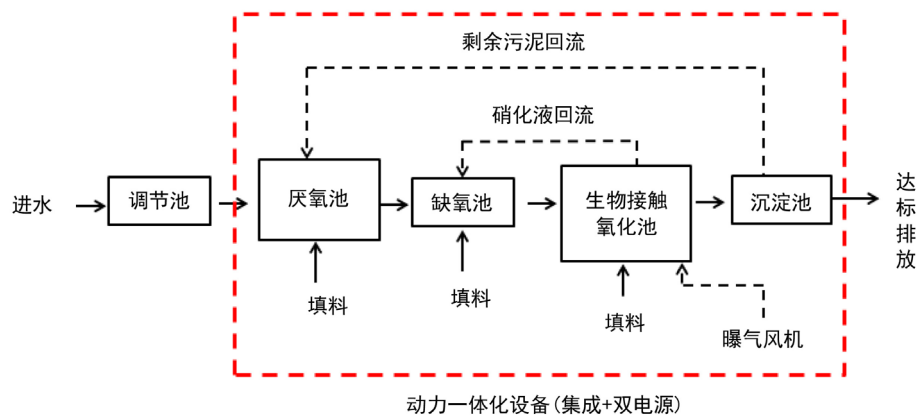
**Table 3.** Influent and effluent water quality before and after modification  
**表 3.** 改造前后进、出水水质

规模/项目		COD (mg/L)	TN (mg/L)	NH <sub>3</sub> -N (mg/L)	TP (mg/L)	SS (mg/L)	pH	排放标准
进水水质	改造前	≤280	—	≤30	≤3	≤200	6~9	/
	实际	≤150	≤40	≤25	≤4	≤70	6~9	/
设计出水水质	改造前	60	20	8(15)	1	20	6~9	《城镇污水处理厂 污染处排放标准》 (GB 18918-2002)一 级 B 标准
	改造后	100	—	25	4	40	6~9	四川省《农村生活 污水处理设施水污 染物排放标准》 (DB51/2626-2019) 三级标准
污染物去除率	改造后	33.3%	—	—	—	43%	—	

### 5.3. 改造前后工艺流程对比

#### 5.3.1. 改造前工艺流程

该污水处理站改造前的工艺流程如下图 2 所示：



**Figure 2.** Treatment processes before modification  
**图 2.** 改造前工艺流程图

#### 5.3.2. 改造后工艺流程

结合表 3 中的数值可知，该污水处理站的实际进水浓度远低于原设计进水水质，实际污水处理量对应的排放标准要求也远远低于原设计的要求，原工艺“厌氧 + 缺氧 + 好氧 + 沉淀”的工艺对当地农村生活污水治理来说流程长、工艺段多、运行复杂。通过分析该污水处理站闲置无法运行各种影响的因素，将其处理工艺重新进行调整，改造后工艺流程如图 3 所示。

通过以上分析可知，对该污水处理站工艺进行简化是非常有必要的。本工程充分利用山区农村独有的地势高差，重力收集污水，重力排放经处理后的清水，将原来的动力运行方式，改造为无动力的运行

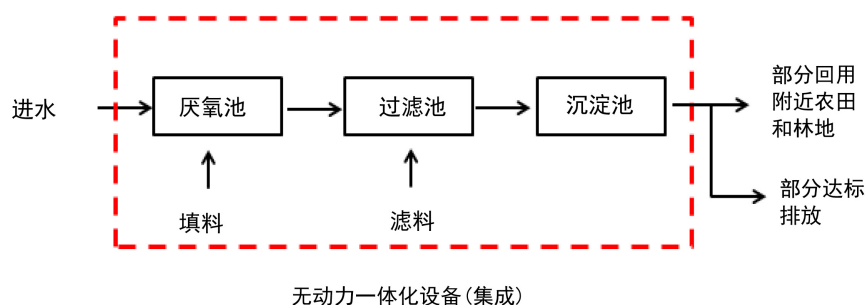


Figure 3. Treatment processes after modification  
图 3. 改造后工艺流程图

方式, 大大节约污水处理站的能耗成本, 且管理简便, 保障污水处理站能够更好的长效运维。

#### 5.4. 改造经济分析

改造工程通过对原污水处理站更换进水提篮格栅、厌氧池填料和增加滤池滤料、新建出水井等, 改造费用约 3.8 万元。改造后运行成本仅支付人员管理费和维修费, 直接运行费仅需 0.4 元/吨。

#### 6. 结论及建议

1) 山区分散式农村生活污水处理选择工艺时, 应充分考虑水质、出水标准、地形特征、社会经济条件、管理维护技术要求、污水综合利用等方面, 不宜选择流程复杂、运行复杂的工艺, 应因地制宜选取合理的处理工艺。

2) 山区农村生活污水处理设施建设选址应依据地形地势等独特自然条件选址, 在存在明显地势高差的地区, 污水处理设施宜建在农村地势较低的地方, 污水可采用重力自流的方式进行收集, 从而省去污水提升泵动力消耗。另外, 污水处理设施选址时应考虑处理后污水去向, 通常出水可排放至周边沟塘、河流或用于农田灌溉等。选址时还应充分考虑农村居民、少数民族同胞的风俗习惯和文化习俗。

3) 为确保运行效果, 还应对当地已建污水处理站一一进行排查, 若存有闲置的设施, 应根据当地实际情况, 及时整改污水处理工艺, 且加大环保宣传力度, 培养当地村民主动参与监管已有的污水处理设施, 有效保障污水处理设施长效运维[9], 以做到污水不直排、不乱排、有效管控、有效治理、建设“美丽乡村”为目的。

#### 基金项目

四川省科技计划项目(2021JDZH0030)资助。

#### 参考文献

- [1] 夏训峰, 等. 农村生活污水处理技术手册[M]. 北京: 中国环境出版集团, 2021: 1-10.
- [2] 孙晓莉. 农村生活污水处理提标改造方案探讨[J]. 山西化工, 2018, 38(4): 216-218.
- [3] 张丽丽. 城市污水处理厂集中式和分散式建设的对比研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 合肥工业大学, 2009.
- [4] 李先宁, 李孝安, 吕锡武. 溅水充氧生物滤池处理农村污水的研究[J]. 环境工程学报, 2008, 2(2): 175-179.
- [5] 闵毅梅. 日本净化槽技术在中国的推广前景[J]. 污染防治技术, 2003, 16(4): 74-75, 78.
- [6] 杨崇豪, 郑志宏. 人工湿地污水处理反应器降解有机物的数学模型[J]. 华北水利水电学院学报, 2004, 25(2): 66-70.
- [7] 陈咄圳, 华进程, 郑向群, 等. 以建筑废砖为填料的人工湿地对农村生活污水的净化效果[J]. 环境工程, 2017, 35(9): 35-39.

- [8] 简向阳, 冯承婷, 甘美娜, 等. 华南几种草本植物的水质净化能力研究[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版), 2018, 39(4): 61-66.
- [9] 蒋涛, 李亚, 盛安志, 等. 农村生活污水治理模式与技术研究综述[J]. 环境与可持续发展, 2018, 43(4): 79-83.