

崇明区横沙乡分散式农村生活污水处理设施探讨

房豪杰

上海市机电设计研究院有限公司, 上海

收稿日期: 2021年8月20日; 录用日期: 2021年9月22日; 发布日期: 2021年9月29日

摘要

随着上海市农村生活污水治理进程的推进, 横沙乡已于“十三五”期间完成农村生活污水治理全覆盖工作, 对改善村容村貌和水环境质量发挥了重要的作用。但是, 面对新形势、新要求, 横沙乡农村生活污水治理模式亦面临着一些问题和困难。本文全面调研了上海市崇明区横沙乡农村生活污水现状, 并综合分析了横沙乡现有分散式农村生活污水处理设施在应用过程中存在的问题, 包括污水收集管网系统的不完善以及现用各污水处理工艺的局限性。在此基础上提出了相应的对策建议, 可为后续平原水网地区农村水环境治理提供参考。

关键词

分散式污水处理设施, 农村生活污水, 崇明区横沙乡, 问题, 对策建议

Discussion on Rural Decentralized Sewage Treatment Facilities in Hengsha Township, Chongming District

Haojie Fang

Shanghai Institute of Mechanical & Electrical Engineering Co., Ltd., Shanghai

Received: Aug. 20th, 2021; accepted: Sep. 22nd, 2021; published: Sep. 29th, 2021

Abstract

With the promotion of the process of rural domestic sewage treatment in Shanghai, Hengsha Township has achieved the goal of rural decentralized sewage treatment facilities construction goal during the “13th Five-Year Plan” period, which has played an important role in improving the appear-

ance of villages and the quality of the water environment. However, in the face of the new situation and requirements, the rural domestic sewage treatment mode in Hengsha Township is also facing some problems and difficulties. This paper comprehensively investigated the current situation of rural domestic sewage in Hengsha Town, Chongming District, Shanghai. And the problems existing in the distributed rural sewage treatment facilities in Hengsha township were analyzed and considered comprehensively, including the imperfection of the sewage collection network system and the limitations of the existing sewage treatment processes. On this basis, the corresponding optimization suggestions are put forward, which can provide reference for the subsequent rural water environment management in plain water network areas.

Keywords

Decentralized Sewage Treatment Facilities, Rural Domestic Sewage, Hengsha Township in Chongming District, Problems, Countermeasures and Suggestions

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. 研究对象及数据来源

横沙乡位于崇明区，是吴淞口外长江口南支水道中的一个岛屿，处于长江口生态保育的核心区域。横沙乡由长江泥沙冲积而成，属亚热带季风性气候，具有明显的海洋性气候特征；四面环海，容易受到热带风暴、台风和流域水体的影响和干扰，具有比较典型的江南水乡特征。岛上河网密集，村庄沿道路和水系成行列式布局。传统种植农业和水产养殖活动给岛上带来了一定的面源污染，为数众多的村庄住宅和频繁的乡民活动给横沙乡的生态环境保护带来较大的压力[1]。

本文以上海市崇明区横沙乡已建分散式农村生活污水处理站点为研究对象，通过现场走访调研、踏勘，记录各分散式污水处理设施及其配套管网收集系统运行情况、处理工艺、排放标准等基础数据，并结合案头搜索研究，对调研范围内农村生活污水特点、处理技术及治理现状问题进行分析及总结。

2. 横沙乡生活污水现状

2.1. 污水收集方式及污水处理设施覆盖率

根据 2019 年横沙乡政府工作报告[2]，上海市崇明区横沙乡已于 2018 年完成农村生活污水治理 100% 全覆盖工作，合计服务 26 个村，14,094 户村户，采用分流制排水方式，搭配集中与分散相结合的污水处理模式，镇区污水经收集纳管后集中处理，地区采用“相对集中组团式”及“就地分散”方式处理农村生活污水，建设有 1 座集镇污水处理站及 118 座分散式农村生活污水处理站点。

2.2. 区域农村生活污水特点

横沙乡经济水平较高，基础设施建设步伐快，自来水覆盖家家户户，基本上每户均配备热水器、洗衣机等现代化家用电器，房屋卫生器具设置完善。生活污水主要由居民盥洗、洗涤、冲厕及厨房污水等生活杂排水组成。理论上人均生活污水量可达到《上海市污水处理系统专业规划修编》中的 2020 年中心村 125 L/d 标准。但由于横沙乡大部分青壮年人群选择入城务工，留守在横沙乡内的多为老幼妇孺，户均

人口仅为 2 人。且老龄化程度高，用水习惯节省，通常自来水、井水同时使用。多数生活污水直排河沟或倾倒入房前屋后菜园中，导致实际可收集日污水产量无法达到中心村居民生活污水量标准。另外，受气候条件、生活规律等因素影响，日生活污水量有较强的波动性，昼夜变化系数大，多数农村生活污水高峰产量出现在晚上和节假日中。

2.3. 区域农村生活污水出水要求

为有效评价上海市农村生活污水处理效果，上海市相关管理部门分别于 2010 年、2017 年前后出台了《上海市农村生活污水处理工程出水水质暂行规定(沪水务[2010] 323 号)》及《上海市农村生活污水处理设施出水水质规定(试行)(沪水务[2017] 1077 号)》，选用化学需氧量 COD_{Cr}、五日生化需氧量 BOD₅、氨氮 NH₃-N、总磷 TP、总氮 TN、悬浮物 SS、阴离子表面活性剂 LAS 及动植物油，八项指标对出水水质进行评价。各污染物排放限值及标准适用村镇如表 1 所示。

横沙乡受纳水体属于 III 类水质控制区，水环境治理和保护应实现所有水体达到 III 类及以上标准。故横沙乡目前已建农村生活污水处理设施以三类及以上水质控制区(一级 A)标准限值作为出水水质要求。

Table 1. Comparison table of effluent indicators

表 1. 出水指标对比表

发布 年限	标准文件		指标 限值 标准	COD _{Cr}	BOD ₅	氨氮	总磷	总氮	SS	LAS	动植 物油	pH	涉及村镇
	文件名												
2010 ³	《上海市农村生活污水处理工程出水水质暂行规定》	其他地区		100	30	25	3	/	/	/	/	/	新联村、富民村、东浜村、民生村、增产村
2017 ³	《上海市农村生活污水处理设施出水水质规定(试行)》	三类及以上水质控制区(一级 A)		50	/	8	1	15	10	0.5	1	/	民东村、民永村、新北村、民建村、新春村、公平村、等 21 个村
2019 ³	《农村生活污水处理设施水污染物排放标准》	一级 A		50	/	8	1	15	10	0.5 ¹	1 ¹	6~9	
2002 ⁴	《城镇污水处理厂污染物排放标准》	一级 A		50	10	5(8) ²	0.5	15	10	0.5	1	6~9	

注：¹仅针对含乡村旅游污水的处理设施。²括号外数值为水温 > 12℃时的控制指标，括号内数值为水温 ≤ 12℃时的控制指标。³上海市地标标准。⁴国家标准。⁵“/”为标准文件中未提及内容。

3. 横沙乡生活污水处理系统问题分析

3.1. 污水收集管网问题分析

污水收集管网是污水处理系统的基础，有效的污水收集是污水治理的关键因素。横沙乡属于水网密布的江口平原，多数村户沿河而建，以河浜或河湖为界分散而居。除集镇区域外，其他行政村均不具备纳管条件，且区域范围内涉及大量河桥、蟹塘、桔园、公益林及断头浜等布管限制因素，不利于收集管网的顺水连接。当地为满足管网“应接尽接”的要求，许多入户管、支管、穿河管及其配套支墩支架裸露敷设，这严重影响环境整体协调性，且无有效防护措施或措施失效，使得管道存在老化速度快、管道脱落、检查口破损情况。另外，各村镇无富余空间建设化粪池及隔油池，污水预处理设施覆盖率低，导

致大量油脂、大颗粒悬浮物、垃圾进入管道中，造成管网严重堵塞(如图 1 所示)。现场走访还发现，部分区域将淋浴、盥洗污水等灰水直接接入化粪池中，造成化粪池冒溢、卫生间排水不畅等问题；部分村户自行拆卸收集管网，导致未经处理的生活污水直排周边水体，大大影响污水处理系统处理效率及周边居住环境。



Figure 1. Sewage collection pipe network problem in Hengsha Township
图 1. 横沙乡污水收集管网问题

另外，因横沙乡生活污水治理进程较快，出现部分区域雨污分流建设不全、后续新建住房污水管网未接入村级排水主管道中、部分检查井盖表面硬化、预处理设施被后建构(建)筑物掩埋等情况，造成污水粗放及运维不便；再加上污水收集管网系统建设年限较长，部分埋地主管破损严重，生活污水渗入地下水，导致夏季部分村落周边水体黑臭、富营养化问题突出。

3.2. 污水处理工艺问题分析

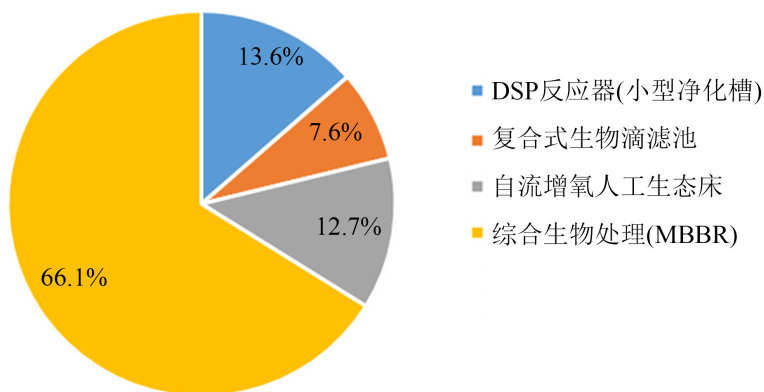


Figure 2. Classification of distributed rural domestic sewage treatment processes in Hengsha Township
图 2. 横沙乡分散式农村生活污水处理工艺分类

农村生活污水处理工艺可分为三大类：①生态型处理工艺，如人工湿地、稳定塘、土壤渗滤等，利用“土壤、植物及微生物”三者的理化作用，对污水中SS、有机物及氮磷元素进行过滤、分解、吸附及转化；②生物型处理工艺，如生物滤池、MBR、A²O等活性污泥或生物膜技术，通过微生物捕食污水中的COD、氮、磷等，从而达到降解污染物质的作用；③组合型处理工艺，将生态型处理工艺及生物型处理工艺优势技术结合，提高系统脱氮除磷能力[3]。

目前，横沙乡分散式农村生活污水处理工艺技术主要包括：“DSP反应器(小型净化槽+电解装置)”、“复合式生物滴滤池+人工湿地”、“自流增氧人工生态床+人工湿地”及“综合生物处理(A/O-MBBR)+吸附除磷”(以下简称为综合生物处理一体化设施)4种组合型处理工艺(如图2)。不同处理工艺在横沙乡的应用分布情况如表2所示，其中综合生物处理一体化设施作为最新引进的技术，在横沙乡各村镇中的应用站点数最多，占总站点的66.1%。

根据2018年横沙乡分散式污水处理设施(不含78座综合生物处理一体化设施)水质考核结果分析，分散式污水处理设施达标率为80%。在异常设施中，由于总磷超标导致的异常率占75%，氨氮超标导致的异常率占37.5%，氨氮、总磷指标均异常比率占25%。其中，DSP反应器不合格率最高，占分散式设施异常率的8.75%。

Table 2. List of construction of distributed rural domestic sewage treatment facilities on Hengsha Island

表 2. 横沙岛分散式农村生活污水处理设施建设一览表

村	建设年份	站点数	二级处理				三级处理		
			DSP反应器 (小型净化槽)	自流增氧 人工生态床	复合式 生物滴滤池	综合生物处理 (A/O-MBBR)	人工 湿地	吸附 除磷	电解 除磷
新联村	2011	16	√						√
富民村	2012	10		√				√	
东浜村、民生村	2013	9			√			√	
增产村	2016	5		√				√	
民东村、民永村、 新北村、民建村、 新春村、公平村	2017	36 [4]				√			√
江海村、永发村、 民星村、永胜村、 惠丰村、新永村 等15个村	2018	42 [4]				√			√

3.2.1. DSP 反应器

DSP反应器工艺流程如图3所示。横沙乡地理式DSP反应器由若干个有效容积为1.5 m³的地理小型净化槽并联组成，生活污水经布水装置均匀配水至每个小型净化槽中，通过A²O生化处理以及电解装置深度除磷后，出水水质最高可达到一级A标准。

小型净化槽技术源于日本，在日本已有了一定的实践，是一种将单户或几户住宅的生活污水进行就地处理、就地排放的地理式一体化生活污水处理设备。为确保出水稳定达到一级A标准，横沙乡DSP反应器在小型净化槽的基础上额外设立了除磷单元，即增设电解除磷装置。通过电解释放出来的金属离子与污水中的磷酸根离子形成化学沉淀，从而达到除磷的目的。该设备具有灵活性强、自动化程度高、施工周期短、产泥量小等优点。

通过现场调研发现，横沙乡多数站点实际出水水质仅达到一级 B 水质。这主要是由于电解组件需要由专业运维人员长期跟踪站点进水水质水量规律，并根据进水情况调试出电解装置最佳工况。而实际运行过程中，运维人员为了缩短巡检周期，往往将电解装置长期启动，导致吨水耗电量高，平均耗电量高达 $1.465 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ ；同时造成电极棒耗损快，电解组件无法正常发挥除磷效果，过量的金属离子随着硝化液和污泥回流至厌氧段，抑制前端微生物的活性，导致系统的处理效率下降。

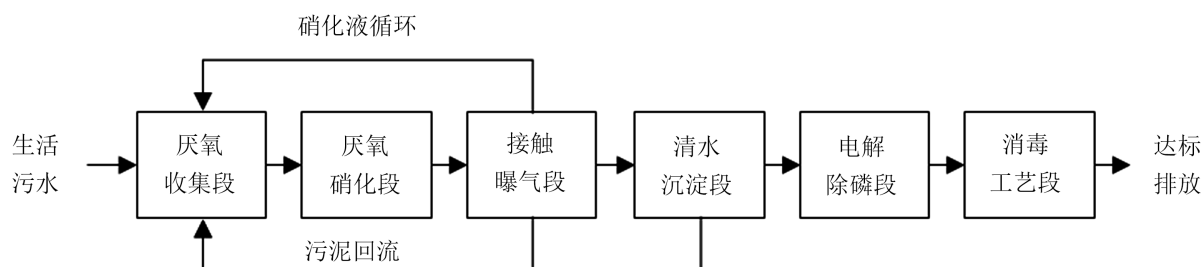


Figure 3. DSP reactor process flow chart

图 3. DSP 反应器工艺流程图

3.2.2. 自流增氧人工生态床 + 人工湿地

自流增氧人工生态床由多阶生物滤池及倒 U 型虹管组成，选用混凝土地上构筑物形式，主要利用滤料及滤料表面形成的生物膜对污水进行生物及物理处理，并在各阶生物滤池末端增设虹吸管，由虹吸管对滤池液位高度进行控制，达到复氧作用[5]，最后联合人工湿地进行深度强化处理(如图 4 所示)。该系统结构简单，无曝气装置，运行成本低，约为 $0.152 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ ，远低于 DSP 工艺的运行电耗。

该系统工艺的运行流程较长，在一定程度上可保障污水处理效率。然而，在横沙乡实际应用过程中，由于现场管网渗漏严重，导致进水水质波动较大、污染负荷低，进而使得生物膜易老化脱落，滤池淤堵情况严重，污水未经处理直接雍出滤池；且系统未设置排泥、反冲洗、爬梯等运维设施，滤池滤料及人工湿地基质长期处于厌氧状态，经聚磷菌吸收的磷在构筑物中富集未及时排除，出现磷反释放的情况，故该工艺的实际脱氮除磷效果较差。

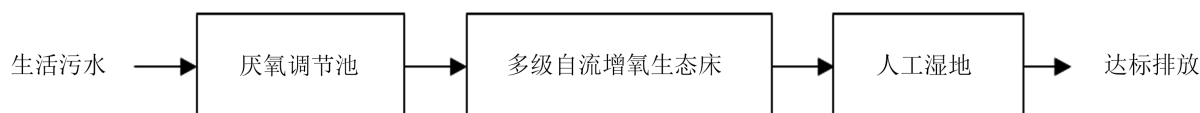


Figure 4. "Artificial ecological bed + artificial wetland" process flow chart

图 4. “自流增氧人工生态床 + 人工湿地”工艺流程图

3.2.3. 复合式生物滴滤池 + 人工湿地

复合式生物滴滤池为塔式碳钢地上结构，污水经前端格栅、水解酸化池拦截及分解大分子有机物后，通过污水提升装置及多孔布水管跌落至塔内，空气经塔底通气孔进入塔内，在炉渣及聚丙烯多面空心球填料表面与污水充分接触形成生物膜[6]。污水经填料吸附及微生物处理后，由人工湿地进行三级强化处理(如图 5 所示)。该工艺无需曝气装置，主要耗电为污水提升装置，耗电量约为 $0.116 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ 。由于其具备结构简单、低能耗及对运维管理人员技术能力要求低等特点，目前已经被广泛应用于农村生活污水治理[7]。但该工艺易受气候、温度条件影响，于冬季处理效果弱。在面对如横沙乡低浓度污水水质时，常出现生物膜脱落的情况。因此，在长期运行过程中，填料吸附往往成为复合式生物滤池处理污水的主要核心机理。

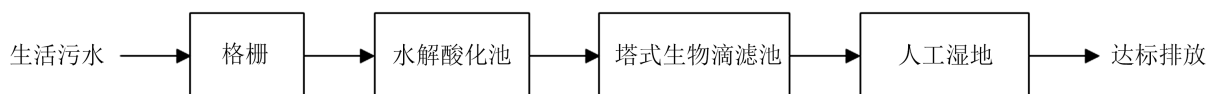


Figure 5. "Composite Biological Trickling Filter + Constructed Wetland" process flow chart

图 5. “复合生物滴滤池 + 人工湿地” 工艺流程图

3.2.4. 综合生物处理一体化设施

MBBR 为移动式生物膜技术，即向 A/O (缺氧 - 好氧)生化池中投入一定数量的悬浮填料，为活性微生物提供了附着介质，有利于提高反应器中的微生物量及生化池生物处理效率[8]。利用 MBBR 升级污水处理能力可大幅度减少拆除新建所产生的投资成本，因此已有多家污水处理厂在提标改造时采用该技术。

横沙乡采用的“综合生物处理(A/O-MBBR) + 吸附除磷”集装箱式一体化地上设备，集成了活性污泥法、生物膜法、吸附除磷技术及远程监控系统(如图 6)，具备施工进度快、占地面积小、处理效果佳、产泥量少、少人值守等优势，耗电量约为 $0.791 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^3$ 。其中吸附法除磷是利用具有吸附能力的多孔或大比表面积的固体物质(如沸石、离子交换树脂等)将污水中的磷转移到吸附剂中。然而，吸附剂对污水中不同离子吸附能力不同，如阴离子交换树脂对各离子的吸附顺序为： $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{OH}^- > \text{PO}_4^{3-}$ ，这导致阴离子交换树脂对磷的吸附受污水中其它共存阴离子含量影响。另外，不论是何种类型吸附剂，均存在吸附饱和、再生及废弃物出等问题，这些大大限制了该综合处理工艺的长期稳定运行。

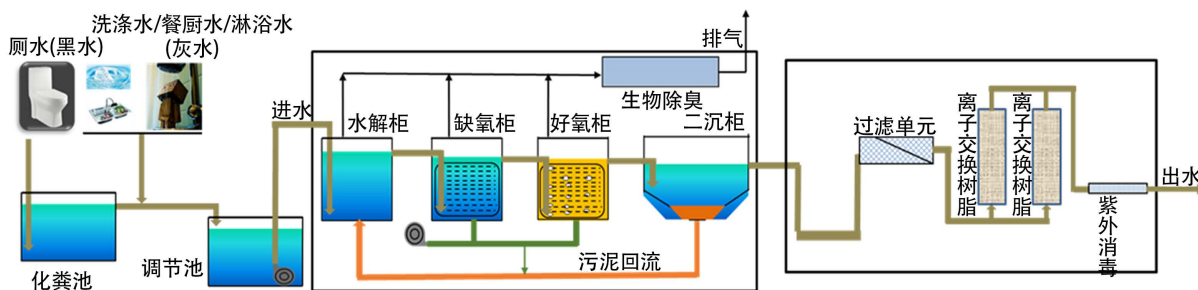


Figure 6. Process flow chart of "Integrated Biological Treatment Facility"

图 6. “综合生物处理一体化设施” 工艺流程图

4. 总结及建议

农村生活污水治理是一项系统工程，污水收集管网作为污水处理的基础，应做到收集管网全覆盖，管道顺水连接，充分利用地形条件，减少不必要的提升；施工时应防止错接漏接及偷工减料，确保管道施工质量，避免污水渗入地下水或附近水体中。与此同时，相关部门应做好群众宣传工作，提高居民参与感，普及污水处理相关知识，有效保证污水收集率。

污水处理工艺方面，横沙乡已建的 4 种类型处理系统，各有千秋。“自流增氧人工生态床 + 人工湿地”及“复合式生物滴滤池 + 人工湿地”均属于微动力处理工艺，日耗电量少，且考核指标基本可在正常运行时稳定达到设计标准，但需每年对其人工湿地及滤池进行全面清掏，运维工作量大；DSP 反应器处理工艺灵活性强、自动化程度高，但其微生物菌群易受电解装置影响，须由专业运维人员长期监控调试，且能耗较大；“综合生物处理(A/O-MBBR) + 吸附除磷”集成活性污泥法、生物膜法、吸附法及远程监控系统于一体，出水水质较好，并可做到少人值守，但其同样面临着运行耗电量高以及饱和吸附剂再生难的问题。因此，在后续的平原水网地区农村水环境治理开发中应从设计、建设、管养三方面综合选择符合区域经济条件、环境要求的污水治理模式。

参考文献

- [1] 上海市崇明区人民政府.《崇明区横沙乡总体规划暨土地利用总体规划(2017-2035)(含近期重点公共基础设施专项规划)》[EB/OL].
http://www.shcm.gov.cn/cmmh_web/html/shcm/SHCM_ZJCM_PLANN/List/mobile/index.html, 2018-12-21.
- [2] 上海市崇明区横沙乡人民政府.《2019年横沙乡政府工作报告》[EB/OL].
http://www.shcm.gov.cn/cmmh_web/html/shcm/shcm_qzfbmhxz_xz_hsx_zwgk_jhzt/Info/Detail_1635346.htm, 2020-01-06.
- [3] 程星华. 基于灰色关联-TOPSIS模型的农村生活污水处理工艺综合节能评价研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 华东师范大学, 2014: 4-6.
- [4] 上海市崇明区横沙乡人民政府.《关于横沙乡农村生活污水处理工程进入运行养护期的函》[EB/OL].
http://www.shcm.gov.cn/new_cmweb/html/shcm/shcm_qzfbmhxz_xz_hsx_zwgk_zfwj/Info/Detail_1646418.htm, 2020-06-10
- [5] 陈鸣钊, 冯骞, 肖玉冰, 等. 势能增氧生态净化工艺在污水处理与水利科学结合研究中的应用[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2014, 42(5): 394-398.
- [6] 李桥龙. 重力流塔式生物滤池处理农村生活污水研究[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 昆明理工大学, 2017: 26-27.
- [7] 李星星, 刘俊良, 张铁坚, 等. 塔式生物滤池处理农村生活污水研究[J]. 水处理技术, 2015, 41(8): 96-98.
- [8] 宋路波. A2/O-MBBR工艺在村镇生活污水处理的应用[J]. 节能环保, 2018(35): 3519+4085.