

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2023.18.003

青岛市某新区农村生活污水系统化治理模式和技术研究

李世峰, 黄开, 赵荣, 殷豪帅

(上海市市政工程设计研究总院<集团>有限公司, 上海 200092)

摘要: 以青岛市某新区农村生活污水治理为例,在雨污分流前提下,开展农村生活污水及污泥“相邻联治、分类分治、资源利用、因地制宜”的系统化治理模式的探索研究;对入户收集技术,污水、污泥的转输方式,污水管渠、检查井型式及管材,污水处理站规模、进水水质、出水标准及相适宜处理工艺,尾水贮存回用与生态处理,以及污泥的资源化利用处置方式等关键技术进行比选研究;并进行工程应用示范验证。实践表明,所选用的污水治理模式和技术取得了较好的效果,可以为各种不同情况的农村生活污水治理提供借鉴与参考。

关键词: 农村生活污水; 治理模式和技术; 收集转输和处理; 资源化利用

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2023)18-0015-07

Research on the Systematic Treatment Mode and Technology of Rural Domestic Sewage in a New Area of Qingdao

LI Shi-feng, HUANG Kai, ZHAO Rong, YIN Hao-shuai

(Shanghai Municipal Engineering Design Institute <Group> Co. Ltd., Shanghai 200092, China)

Abstract: This work takes the rural domestic sewage treatment in a new area of Qingdao as the research object. Considering the rain and sewage diversion, the systematic treatment modes of “adjacent joint treatment, classified and divided treatment, resource utilization and local conditions” for rural domestic sewage and sludge was explored. In this work, the following key technologies are compared and studied: domestic sewage collection technology, sewage and sludge transfer mode, sewage pipelines and ditches, inspection wells and pipeline material, scale of sewage treatment station, influent quality, effluent standard, suitable treatment technology, storage, reuse and ecological treatment of tail water, and resource utilization and disposal mode of sludge. The demonstration and verification of engineering application for this work was carried out. The practice has shown the selected sewage treatment mode and technology have achieved good results, which can provide reference for rural domestic sewage treatment in different conditions.

Key words: rural domestic sewage; treatment models and technologies; collection, transfer and treatment; resource utilization

目前,我国农村污水治理收集模式单一、雨污混流或分流不彻底,污水处理模块规模小、布局分散、运维困难^[1-6],部分地区选择的污水处理工艺与

当地现状不适配,尾水和污泥资源化利用率均较低,运行管理水平偏低。为此,以青岛市某新区农村生活污水治理为例,开展农村生活污水系统化治

通信作者: 黄开 E-mail: huangkai@smedi.com

理模式和治理技术的研究。

1 项目现状与问题分析

1.1 村庄、人文特点与问题分析

① 村庄特点

该区陆域总面积约2 096 km², 1 156个村庄, 常住人口31.13万人; 地形复杂, 沿海平缓, 内陆多丘陵山地; 属暖温带季风气候, 冬季平均气温1.5℃, 极端低温-15.5℃。村庄数量多、规模小、布局分散, 按照分布格局可分为城中村庄、城镇相邻村庄、一定规模村庄、分散小村庄四种类型。

② 人文特点

居民冬季取暖设施简陋, 院中露天放置洗衣机和水龙头, 盥洗污水直接泼洒院内地面入阳沟外排; 节假日返乡或旅游人多, 人流量变化较大; 内陆人喜食高脂肪、沿海人喜食海鲜类食物等; 农(渔)家宴和海产品、农副产品加工家庭手工作坊较多, 家庭散养畜禽普遍。

③ 问题分析

大多数村庄为雨污合流排放, 水量波动大、水质复杂, 内陆水质指标值偏低, 旅游和沿海区域水质指标值较高, 而且冬季水温较低, 污水收集、处理及运行管理相对困难。

1.2 污水收集处理现状与问题分析

大部分村庄居民小院已将旱厕改为冲水厕所, 但绝大部分村庄的生活污水管网不完善甚至空白, 未开展污水处理; 部分村庄将黑水、灰水分离, 厕所污水进入室外小型化粪池, 灰水与雨水通过阳沟一起外排, 但规划的抽吸车和集中沼气池未实施; 部分村庄直接将黑灰水合并收集处理, 尾水直接外排。已建成的污水处理模块, 部分采用的工艺与出水标准不匹配, 或水质水量冲击负荷大, 造成处理效果差甚至停运等; 处理后尾水和剩余污泥未开展资源化利用, 个别小规模处理站剩余污泥不经处理而重返水体; 总体运行管理水平低, 缺少专业化管理队伍和智慧化管理体系。

1.3 区域水环境现状与问题分析

区域内饮用水水源保护区38处, 海域国家级海洋公园、海洋牧场、养殖区等生态敏感区10多处, 沿海岸线统一城镇污水处理厂排污口和扩散区5处。饮用水水源和近海岸海域等水体不同程度地受到了农村生活污水的污染, 并呈逐年加重趋势; 区域

内季节性河道缺少生态基流; 未经处理或处理效果较差的农村生活污水排入水体, 其水环境质量不容乐观, 经过近年努力, 基本消除了黑臭, 但与“水清岸绿、鱼翔浅底”的目标相差甚远。

2 系统化治理模式

以问题为导向, 经系统分析和研究后, 确定采用雨污分流的排水体制, 并采取“相邻联治、分类分治、资源利用、因地制宜”的系统化治理模式。

2.1 相邻联治

相邻联治模式以相对集中为主、分散为辅, 一般可分为四种类型, 具体见图1。

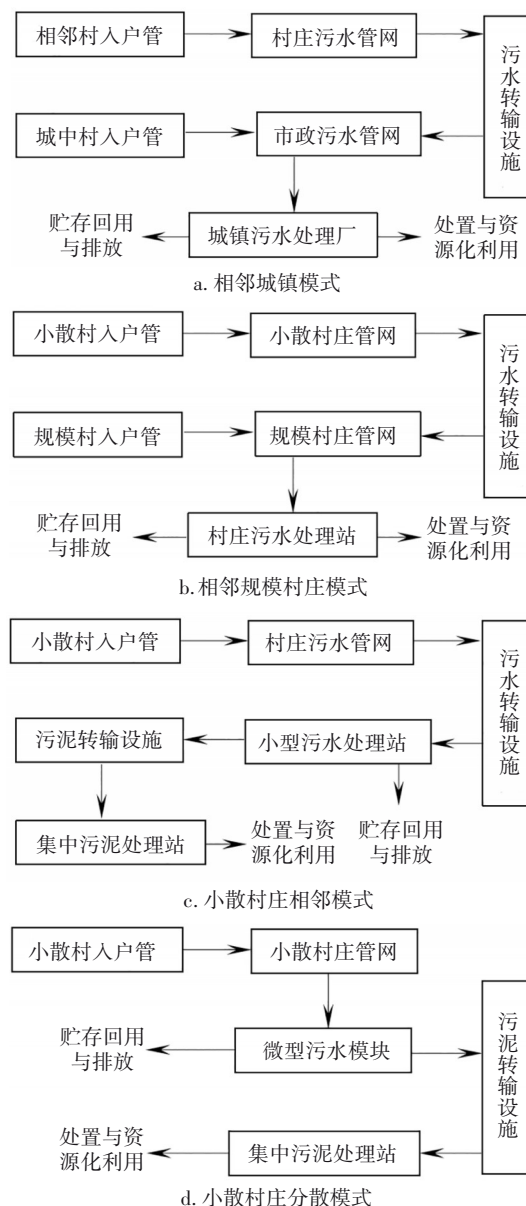


图1 农村污水治理模式

Fig.1 Rural sewage treatment mode

① 相邻城镇与规模村庄模式

城中村或规模村生活污水与相邻(小散)村庄生活污水通过入户管收集、管网汇集、转输至相邻城镇污水处理厂或规模村庄污水处理站,处理后的尾水贮存回用或排放;脱水污泥最终运送至该新区某电厂锅炉燃烧发电和供热。

② 小散村庄相邻与分散模式

数个相邻分散或单个小村庄生活污水通过入户管收集、管网汇集、转输至某相邻小散村庄小型污水处理站,处理后的尾水贮存回用或排放;剩余污泥采取“相邻联治”模式,将湿污泥定期拉运至相邻城镇污水处理厂或村庄污水处理站的污泥脱水系统,或区域集中污泥处理站脱水,最终处置同相邻城镇模式。

2.2 分类分治

对于水源地上游等生态敏感区域,家庭式手工作坊聚集,民宿、农(渔)家宴聚集区域等特色村庄和黑灰水已分离的村庄实施不同的治理模式。

① 生态敏感区村庄

饮用水源保护区内的村庄污水经收集后转输至生态敏感区外的相邻污水处理厂(站)处理,然后回用或排放;沿海生态敏感区内的村庄污水经收集后转输至相邻污水处理厂(站)处理,然后贮存回用,剩余尾水转输至统一排污口和扩散区排放。

② 沿海家庭式手工小作坊聚集村庄

手工小作坊污水量小且分散,直接混入农村生活污水后会造成水质浓度较高,COD达400~1 000 mg/L,TN高达80~150 mg/L,宜单独相邻收集处理,尽量不与普通村庄生活污水合并处理。

③ 民宿、农(渔)家宴聚集村庄

该区域部分镇村生活污水量季节性波动较大,其水质指标浓度也偏高,COD达300~600 mg/L,TN达60~90 mg/L,可以与普通村庄采取相邻联治的模式。

2.3 资源利用

① 尾水贮存与利用

利用村庄附近现状坑塘和非饮用水水源小型水库暂时贮存尾水,并构建生态系统进行生态处理,需要时作为农灌、绿化用水,尾水作为非饮用水水源地河道的生态补水,可保障生态基流,恢复水生态。

② 污泥资源化利用

按照相邻联治模式,农村生活污水处理站与城镇污水处理厂的脱水污泥一起运送至该新区某电厂锅炉燃烧发电和供热;有条件的就近与集约化畜禽养殖的固废或已建成的生物质沼气池一起厌氧发酵产生沼气,沼气经提纯后装罐作为餐饮或锅炉燃料等,厌氧发酵残渣可以堆肥农用。

3 治理技术

3.1 入户收集方式

在农村污水治理系统中,入户收集方式主要有重力收集和真空收集两种,重力收集投资低、配套设备少、运行管理简单,但埋深相对较深、户外管线受地形和埋深限制;真空收集埋深相对较浅、户外管线不受地形和埋深限制,但投资高、运行管理较复杂,配套设备较多^[6];推荐以重力收集为主,特殊情况采用真空收集的方式。污水入户重力收集方式见图2。

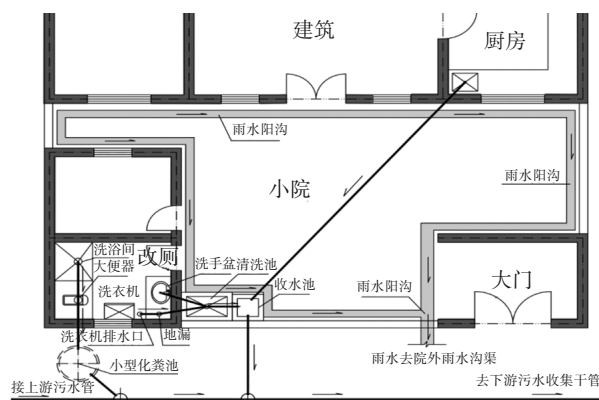


图2 污水入户收集示意

Fig.2 Schematic diagram of household sewage collection

① 雨污分流

厨房、厕所、洗浴、洗衣、冲洗等生活污水经入户收集纳管后进入污水处理站;雨水通过阳沟排往院外雨水沟渠,实现雨污分流,避免大量雨水进入污水收集处理系统造成冲击。

② 黑灰集中

因黑水化粪池易产生具有温室效应的气体甲烷,故不实行黑灰分离、不建设化粪池。对于已建成的小型黑水化粪池,若未设置抽吸车和集中沼气池,则采取洗浴排水管与便器排水管共管模式排至化粪池,再排往村庄污水管,让短历时大水量洗浴水冲洗便器排水管,避免堵塞;其他污水经收水池排往院外村庄污水收集管。对于没有实现黑灰分离的,采取洗浴和便器污水直接排往村庄污水收集

管的方式。

③ 控制水温、渣及味

减少冬季院中露天清洗池等的使用频率,也避免雨雪低温水混入污水系统,减少冬季低温水排放量;在厨房排水出口设置隔油池,在清洗池、收水井的出水口设置格网,定期清理栅渣,避免管道堵塞;在每个器具排水口设置水封、在出院管下拐处顶端设置通风帽等,避免臭气散逸。

3.2 污水、污泥转输方式

小规模污水和污泥的转输方式主要有提升泵站+压力管线、集水池+真空收集系统、集水池+罐车拉运三种,对比分析见表1。

表1 污水转输方式对比

Tab.1 Comparison of sewage transfer methods

转输方式	提升泵站+压力管线	集水池+真空收集系统	集水池(污泥贮池)+罐车拉运
优点	转输量大,受地形、标高和距离影响较小,配套设备少,运行管理简便;投资和运行成本较低	受地形、标高影响较小,一套系统适合多个污水收集末端	受距离影响小,可远距离转输,配套设备少;一套系统适合多个污水收集末端,运行管理简便
缺点	一套系统只适合一套污水收集系统末端	转输量小,受距离影响大,限2 km内,配套设备多,运行管理较复杂;投资和运行成本较高	转输量小,限20 m ³ /d以内,受路况限制;投资和运行成本高

推荐污水转输方式以提升泵站+压力流管线为主;对于水源保护区范围内或污水收集量在20 m³/d以下的村庄,经投资和运行成本核算,推荐半径5 km范围内的污水采取集水池+罐车拉运方式转输;特殊情况采用集水池+真空收集系统方式转输。污水处理站的湿污泥转输方式采用污泥贮存池+罐车拉运,其距离不受限制。

3.3 污水管、沟型式

① 管材选择

污水收集常用管材有钢筋混凝土管、塑料管等多种,根据投资较低、质量轻、耐一定腐蚀、易运输与施工,以及胡同支管承载力较小、街道干管承载力较大等要求,推荐入户收集管选用HDPE实壁管、PVC-U实壁管,胡同支管选用HDPE双壁波纹管或中空缠绕管、PVC-U双壁波纹管等,街道干管选用钢筋混凝土管、HDPE钢带增强螺旋波纹管,压力污

水管选用HDPE实壁管或防腐钢管。

② 收集管沟型式比选

对污水纳管收集与修复改造现状或新建排水边沟并加盖板收集进行了对比分析,结果(见表2)表明,虽然管道收集投资偏高,但从工程技术和效果出发,推荐采用管道收集方式。

表2 污水收集管、沟对比

Tab.2 Comparison of sewage collection pipes and canals

收集方式	管道收集	边沟收集
优点	容易实现雨污分流,异味小、渗漏率低、保温效果好、水量冲击小,基本无溢流污染,便于运行维护	修复改建现有排水沟,投资低,一般为0.6~1.2万元/户,改造或新建边沟施工对村民影响较小
缺点	先破除后恢复硬化路面,一次性投资较高,约1.0~1.5万元/户,破路施工管道对村民影响较大	大量雨水混入致使雨污合流,水量冲击大、溢流污染大,异味大、保温效果差、易渗漏,不便于运行维护

③ 检查井选择

胡同支管管径较小、检查井承载要求较小、埋深为1.2 m左右,安装、清通、检修相对简便等,推荐采用 $\varnothing 315$ mm等小直径塑料成品检查井井筒,井盖部分采用铸铁材质;街道干管管径较大、检查井承载要求较高、埋深较大,清通、检修相对困难,井筒直径要求较大,推荐使用标准钢筋混凝土检查井。

3.4 污水处理站

① 处理规模

城中村按照城镇污水量定额标准执行,其他三类村庄经过详细调研,根据现状用水量 and 当地村民生活习惯,用水定额取50 L/(人·d),折污系数为0.8,生活污水量40 L/(人·d),有家庭手工作坊的村庄不另计水量,农家宴和民宿需单独按照客流量高峰另行计算水量。因此,除在相邻联治模式下并入城镇污水厂处理外,其他污水处理站规模大多数为20~400 m³/d。

② 进、出水水质

城镇污水厂进、出水水质按照城镇污水处理厂的标准执行,其他污水处理站的进水按照“分类分治”模式分内陆普通村庄,内陆有手工作坊、农家宴、民宿村庄,沿海有手工作坊、渔家宴、民宿村庄三类情况,其主要水质指标见表3。出水水质按照山东省《农村生活污水处理设施水污染物排放

标准》(DB 37/3693—2019)要求,处理规模 $\geq 500\text{ m}^3/\text{d}$ 的执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准, $50\text{ m}^3/\text{d}$ <处理规模 $<500\text{ m}^3/\text{d}$ 和排入Ⅲ类水域、第二类海域的执行 DB 37/3693—2019 一级标准,处理规模 $\leq 50\text{ m}^3/\text{d}$ 的执行 DB 37/3693—2019 二级标准,其主要指标见表 3。

表 3 污水处理站(厂)设计进、出水水质
Tab.3 Design influent and effluent quality of sewage treatment station(plant) $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

水质指标	COD	SS	$\text{NH}_3\text{-N}$	TN	TP
内陆普通村庄进水	150 ~ 300	100 ~ 200	25 ~ 45	50 ~ 65	2.5 ~ 5
内陆手工作坊、农家宴、民宿村庄进水	300 ~ 600	150 ~ 300	40 ~ 60	60 ~ 90	4 ~ 8
沿海手工作坊、渔家宴、民宿村庄进水	400 ~ 1 000	200 ~ 400	50 ~ 100	80 ~ 150	8 ~ 12
GB 18918—2002 出水一级 A 标准	≤ 50	≤ 10	$\leq 5(8)$	≤ 15	≤ 0.5
DB 37/3693—2019 出水一级标准	≤ 60	≤ 20	$\leq 8(15)$	≤ 20	≤ 1.5
DB 37/3693—2019 出水二级标准	≤ 100	≤ 30	$\leq 15(20)$		

③ 污水处理主工艺选择

受占地面积限制、冬季温度处理效率降低等影响,一般不建议将氧化沟和生态湿地类工艺作为主工艺,可选择的工艺主要有 AAO、多级 AO、SBR、移动床生物膜(MBBR)、生物接触氧化、曝气生物滤池(BAF)、一体化 3D 生物转盘、膜生物反应器(MBR)等,比选结果见表 4。

表 4 农村生活污水处理主工艺对比
Tab.4 Comparison of main process of rural domestic sewage treatment

主工艺	多级 AO	AAO	SBR	MBR	生物接触氧化	MBBR	BAF	3D 生物转盘
工艺全流程	长	长	短	短	较短	长	较短	短
先进性	较传统	传统	较传统	先进	传统	先进	较传统	较传统
耐冲击负荷	较强	较强	弱	强	较强	较强	弱	较强
占地	大	大	较小	较大	较小	较大	小	较大
污泥产量	大	大	较大	较大	小	较小	小	小
能耗	较高	较高	较高	高	低	高	较低	低
核心设备寿命	长	长	较长	短	较长	较长	较长	较长
运行管理维护	较简单	较简单	复杂	复杂	简单	较复杂	复杂	较简单
投资	中等	较低	较低	高	低	较高	高	中等
运行成本	较低	较低	中等	高	低	较高	高	较低

由表 4 可知,MBR、BAF 出水效果好,但是辅助设备多、投资和运行成本高、运行维护复杂、运行过程中易堵塞,一般情况下不建议选用;对于规模 $\geq 500\text{ m}^3/\text{d}$ 、出水执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准,而且进水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 和 TN 浓度特别高的污水处理站,建议选用多级 AO、五段 AAO、MBBR 等为主工艺,同时在设计时需要采取延长硝化和反硝化反应时间、投加碳源等强化脱氮措施;对于 $50\text{ m}^3/\text{d}$ <处理规模 $<500\text{ m}^3/\text{d}$ 且出水执行 DB 37/3693—2019 一级标准的污水处理站,建议选用普通 AAO、MBBR、生物接触氧化等为主工艺;对于规模 $\leq 50\text{ m}^3/\text{d}$ 且执行 DB 37/3693—2019 二级标准的污水处理站,进水水质低的可选用 SBR、生物接触氧化、一体化 3D 生物转盘等为主工艺^[2-7]。

3.5 尾水贮存与生态处理

利用现状坑塘开放式贮存尾水回用于农灌等,综合考虑回用需求及水质保障要求,一般停留时间为 7~25 d。对水深不超过 2 m 的部分进行底质改造,营造合适的生境,促进底质中微生物的生长,种植矮生耐旱苦草、金鱼藻、黑藻、狐尾藻等沉水植物形成水下森林;种植水葱、黄花鸢尾、香蒲等挺水植物构建滨水生态缓冲带;投放可有效过滤水体及沉积物中有机碎屑的摄食性环棱螺、无齿蚌等大型底栖动物和鲫鱼、鲤鱼、鳊鱼等鱼类游泳动物,最终构建稳定的微型草型清水态水生态系统^[8-9],保障回用与排放水的水质,见图 3。



图 3 微型草型清水态水生态系统示意
Fig.3 Schematic diagram of a micro-grass-type clear water ecosystem

4 工程应用

4.1 系统化治理模式应用

以区域 D 镇为例,全镇 115 个村庄,常住 19 683 户,常住人口 60 298 人,污水量 $2\,412\text{ m}^3/\text{d}$ 。因该镇地处内陆丘陵地带,地形复杂,小规模村庄数量多,镇域内有 3 座大中型水源地水库和 2 条水源地河流,上游村庄数量较多,污水收集转输难度大。处

理模块(站)共23座,其中相邻城镇污水处理站模式1座(600 m³/d),相邻规模村庄模式5座(100~200 m³/d),相邻小散村庄模式13座(40~120 m³/d),小散村庄分散模式4座(30~40 m³/d);重力流进模块27个,提升泵站+压力管线方式7个,集水池+罐车拉运方式81个,水源地上游一般采用集水池+罐车拉运方式。具体见图4。

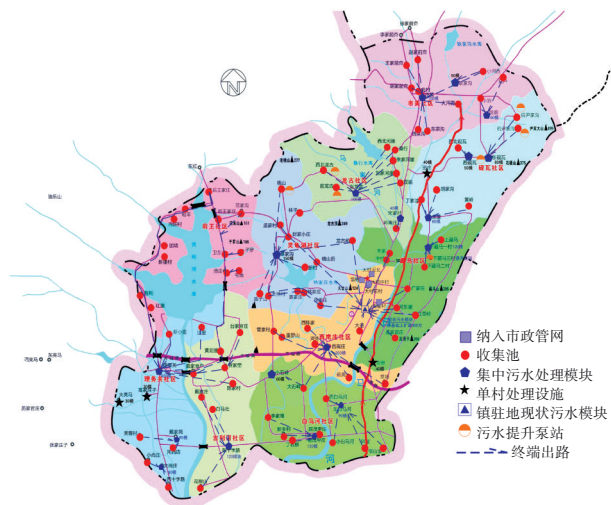


图4 D镇农村生活污水系统化治理模式示意

Fig.4 Schematic diagram of the systematic treatment mode of rural domestic sewage in D town

4.2 治理技术工程应用

D镇某污水处理站规模为120 m³/d,服务范围包括4个村庄,常住人口2 790人,其中2个村庄为重力管网、1个村庄为提升泵站+压力管线、1个村庄为集水池+罐车拉运方式,污水经收集后进入污水处理站的调节池。污水处理站采用MBBR为主工艺路线,工艺流程见图5,污水处理站进、出水水质指标见表5。

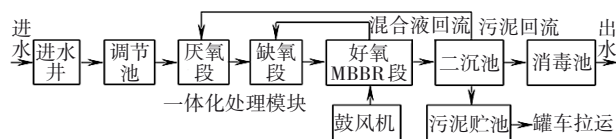


图5 污水处理站工艺流程

Fig.5 Process flow chart of sewage treatment station

处理站处理后的尾水进入村庄的一处池塘贮存回用与农灌,坑塘经改造后种植部分水生植物,对尾水进一步生态处理,停留时间约15 d,非灌溉季节溢流就近排入河道,作为河道生态补水。通过近两年的运行,效果良好,相关指标全部达到设计要求。污水处理站投资约112万元,水处理能耗与药

剂成本约0.62元/m³。

表5 污水处理站进、出水水质

Tab.5 Influent and effluent quality of the sewage treatment station

项 目	COD	SS	NH ₃ -N	TN	TP
设计进水/(mg·L ⁻¹)	150~300	100~200	25~45	50~65	2.5~5
实际进水平均值/(mg·L ⁻¹)	196	158	39	56	4.4
实际进水最大值/(mg·L ⁻¹)	283	233	54	74	6.9
设计出水/(mg·L ⁻¹)	≤60	≤20	≤8(15)	≤20	≤1.5
实际出水平均值/(mg·L ⁻¹)	47	15	6	17	1.3
实际出水最大值/(mg·L ⁻¹)	57	25	11	24	2.0
DB 37/3693—2019一级标准 达标率/%	100	97.9	100	98.5	98.3

5 结论与探讨

① 在雨污分流体制下,“相邻联治、分类分治、资源利用、因地制宜”的系统化治理模式和治理技术适用于多种不同情况的农村生活污水治理;在规模效益、运营管理以及节能降碳等方面取得了较好效果。

② 强化入户收集的雨污分流、黑灰集中等关键点,推荐以提升泵站+压力流管线为主,以集水池+罐车拉运为辅的污水转输方式,弃用边沟、选择管道收集输送方式以及合适的管材,是系统化治理模式的支撑和污水处理效果稳定的前提。

③ 针对不同类型村庄生活污水的进水水质、规模、出水标准以及经济性、运行维护等要求,选择适合的主工艺流程。

④ 污水处理站尾水在生态坑塘中贮存并进一步生态处理,可保障尾水回用与排水水质;尾水回用与剩余污泥资源化利用,能够有效实现节能降碳。

⑤ 剩余污泥与集约化畜禽养殖固废或生物物质沼气池一起厌氧发酵综合利用还有待进一步研究与探讨。

参考文献:

[1] 王波,刘春梅,赵雪莲,等.我国村镇生活污水处理技

- 术发展方向展望[J]. 环境工程学报, 2020, 14(9): 2318-2325.
- WANG Bo, LIU Chunmei, ZHAO Xuelian, *et al.* Development trend of rural sewage treatment technology in China [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2020, 14(9): 2318-2325(in Chinese).
- [2] 卢贤飞, 林常春, 陈刚亮. 浙江省农村生活污水处理工程现状调研及症结剖析[J]. 中国给水排水, 2019, 35(18):6-9.
- LU Xianfei, LIN Changchun, CHEN Gangliang. Investigation on current situation of rural domestic sewage treatment projects in Zhejiang Province and analysis of its main crux [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(18):6-9(in Chinese).
- [3] 周浩, 卢楠, 邹家乐, 等. 农村生活污水收集模式及污水处理现状分析[J]. 净水技术, 2021, 40(8):90-96.
- ZHOU Hao, LU Nan, ZOU Jiale, *et al.* Analysis of collection modes and existing treatment processes for rural domestic wastewater [J]. Water Purification Technology, 2021, 40(8):90-96(in Chinese).
- [4] 孔进, 张百德, 宋玉亮. 农村分散生活污水治理技术探讨[J]. 净水技术, 2021, 40(4):56-61.
- KONG Jin, ZHANG Baide, SONG Yuliang. Discussion on decentralized domestic sewage treatment technologies in rural areas[J]. Water Purification Technology, 2021, 40(4):56-61(in Chinese).
- [5] 谢林花, 吴德礼, 张亚雷. 中国农村生活污水处理技术现状分析及评价[J]. 生态与农村环境学报, 2018, 34(10):865-870.
- XIE Linhua, WU Deli, ZHANG Yalei. Analysis and evaluation of China's rural domestic sewage treatment technology[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2018, 34(10):865-870(in Chinese).
- [6] 李鹏峰, 孙永利, 隋克俭, 等. 我国农村污水处理现状问题分析及治理模式探讨[J]. 给水排水, 2021, 47(12):65-71.
- LI Pengfeng, SUN Yongli, SUI Kejian, *et al.* Analysis on the present situation and discussion on its treatment mode of rural sewage treatment in China [J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 47(12): 65-71 (in Chinese).
- [7] 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.
- TAN Xuejun, ZHANG Huifeng, ZHANG Chen. Current situation and development progress of domestic sewage collection and treatment technological processes in rural areas [J]. Water Purification Technology, 2011, 30(2): 5-9, 13(in Chinese).
- [8] 王刚, 刘春梅, 赵雪莲, 等. 缺氧接触氧化/生物转盘组合工艺处理农村生活污水[J]. 中国给水排水, 2019, 35(19):99-104.
- WANG Gang, LIU Chunmei, ZHAO Xuelian, *et al.* Treatment of rural domestic sewage by combined process of anoxic contact oxidation/rotating biological disc [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(19): 99-104 (in Chinese).
- [9] 闫龙, 王蓉. 组合人工湿地技术在农村生活污水治理中的应用[J]. 净水技术, 2021, 40(5):81-86.
- YAN Long, WANG Rong. Application of combined constructed wetland technology for the treatment of domestic wastewater in rural area [J]. Water Purification Technology, 2021, 40(5):81-86(in Chinese).

作者简介:李世峰(1981-),男,山东青岛人,硕士,高级工程师,研究方向为水污染控制、水环境整治。

E-mail:lishifeng@smedi.com

收稿日期:2022-04-15

修回日期:2022-11-28

(编辑:丁彩娟)

全面推行河长制湖长制,维护河湖健康生命