

西北地区生活污水厌氧生物物理耦合处理技术

Fukang Zhang*, Xiao Wang, Juan Li

青海大学化工学院 青海西宁

【摘要】在当今时代，水资源特别是水资源的短缺问题尤为突出，对各行业都产生了一定的影响。但是从水资源的实际情况来看，却不容乐观，不管是水资源的储量，还是水资源的利用，都或多或少地存在着一定的问题。有的地区缺水，有的地区水污染严重，这些都不利于水资源的高效利用，进而影响到水利经济的发展。本文就水资源的具体利用进行探讨，分析存在的问题，并提出有针对性的解决办法，以促进水利事业的发展。

【关键词】新形势；水利经济；可持续发展

【收稿日期】2025 年 3 月 15 日

【出刊日期】2025 年 4 月 15 日

【DOI】10.12208/j.wrrm.20250002

Anaerobic Biophysical Coupling Treatment Technology for Domestic Sewage in Northwest China

Fukang Zhang*, Xiao Wang, Juan Li

School of Chemical Engineering, Qinghai University, Xining, Qinghai

【Abstract】 A rural domestic sewage treatment technology with low transportation and low energy consumption to be used in rural areas in the alpine and arid regions of northwest China is discussed. In addition, a three-stage integrated anaerobic biophysical coupling treatment technology was studied, the optimal process parameters were determined, and an operating treatment device was developed. Experimental results show that the effluent water met the Farmland Irrigation Water Quality Standard (GB 5084-2021) for greening irrigation and realizing comprehensive water resource utilization. The hydraulic retention time was 48 h, the influent temperature was greater than 10 °C, the pH was between 6 and 9, and the salt concentration was between 600 and 2700 mg/L. Under these conditions, the CODCr, SS, TP, and NH₃-N removal rates of the three-stage integrated anaerobic biophysical coupling treatment technology were 69.41%, 82.61%, 14.16%, and 12.99%, respectively. On the basis of the integrated development of the three-stage integrated anaerobic biophysical coupling treatment technology, the integrated device has a processing capacity of 0.50 m³/d and the CODCr, SS, TP, and NH₃-N removal rates were 72.96%, 85.97%, 12.33%, and 12.58%, respectively. The demonstration application uses an integrated device with a processing capacity of 3.60 m³/d. The CODCr, BOD₅, SS, TP, and NH₃-N removal rates were 69.88%, 48.89%, 82.48%, 14.07%, and 38.34%, respectively.

【Keywords】 Cold and arid areas, rural domestic sewage, anaerobic biophysical coupling treatment technology, pollutant removal rate

1 简介

西北地区 China 水质干燥寒冷，冬季寒冷，目前常用的生活污水处理工艺有 A₂O^[1,2]、丁苯橡胶^[3]、MBR^[4,5]、土地渗滤液^[6]、人工湿地^[7]及其组合工艺^[8-21]。这些工艺污水处理效率高、运行效果好，但

存在工艺路线复杂、运行成本高、运行维护要求高、资源利用率低、季节性影响大等问题。例如，在西北青海省对生活污水处理的调查发现，人为污水处理未经化粪池堆肥处理，黑灰水混入农村集中处理设施，缺乏资金支持和专业技术人员，一些农村污

*通讯作者：Fukang Zhang

注：本文于 2023 年发表在 OAJRC Environmental Science 期刊 4 卷 1 期，为其授权翻译版本。

水处理技术和设备运行困难，设备损坏闲置，污水资源化利用率低，没有 导致其农村生活污水未能得到有效处理，非传统水源利用率低，污废水资源化利用程度不高且手段单一，综合节水效果差，影响了西北经济欠发达地区农村居民的身体健康 China。

多项研究表明，生物厌氧工艺是一种简单、高效、低消耗的污水处理工艺^[22]西北地区干旱缺水 China，其污水处理必须以资源利用、能耗低、运行维护简单为原则。生物厌氧工艺在运行过程中无需曝气，降低了能耗，降低了运行成本。但单级生物厌氧处理技术存在水力停留时间（HRT）长、设备体积大、运行温度高，处理生活污水效率低等缺点。需要对工艺技术进行改进，进一步提高污水中污染物的去除率，改善出水水质。由于西北地区冬季气温较低 China，微生物活性大大降低，影响去除效果，因此采用埋置至冻土以下的方式，保证改进后的厌氧

工艺在冬季稳定运行。亟待在农村生活污水处理及回用的基础上研究一种能耗低、运行维护费用低、不含病原微生物、出水满足《农田灌溉水质标准》（GB 5084-2021）的绿色污水处理技术。厌氧生物物理耦合处理技术处理西北高寒地区农村生活污水的研究，为西北地区农村生活污水处理提供借鉴 China。

2 材料与方法

2.1 研究区水质现状

水样取自青海省海西州某村，该村 2,966 m 海拔约为，年降水量远小于年蒸发量。该村生活污水具有以下特点：（1）冬少夏多；（2）污水产生和排放时间不连续，集中在早晚；（3）受区域环境背景值影响，TDS 较高；（4）大肠菌群数量超标。研究区进出水水质情况见表 1。出水符合 GB 5084-2021，用于绿化灌溉，实现水资源化利用。

表 1 水质量的这进口和外向水在这学习区域

指数	化学需氧量 毫克/升	生化需氧量 毫克/升	SS 毫克/升	TP 毫克/升	氨氮 毫克/升	pH	足球俱乐部 最大粒细胞/L
农村生活污水	<370	< 150	<280	<4.6	<32	6.5-8.9	9.2×105
农田灌溉							
水质标准 (旱作物)	≤200	≤ 100	≤ 100	—	—	5.5-8.5	4×104

2.2 主要指标分析方法

依据中华人民共和国生态环境部颁布的水质检测标准，SS 采用重量法（GB 11901-1989），COD_{Cr} 采用重铬酸盐法（HJ 828-2017），钼酸铵分光光度法（GB 11893-1989），纳米试剂分光光度法（HJ 535-2009），稀释接种法（HJ 505-2009）。

2.3 实验方法、材料与设备

2.3.1 实验方法

（1）根据研究结果，设计了生物厌氧强化混合-紫外杀菌耦合的厌氧生物物理耦合废水处理工艺，研究了微动态生物物理耦合废水处理工艺的工艺条件，确定了 HRT、填料等工艺参数，探究了温度、pH、盐浓度等主要因素对污染物去除率的影响，获得了最佳工艺运行参数和操作条件。

（2）在多级生物厌氧混合-紫外杀菌耦合农村生活污水微动态生物物理耦合处理新技术的基础上，研制了一体化微动态生物物理耦合污水处理装

置，对设备进行了优化。

（3）对优化后的装备进行了工程示范，选取青海省海西州某村作为示范点，现场运行一体化微动态生物物理耦合污水处理装置，并对其性能进行了验证。探索其在实际应用中的运行效果。

2.3.2 实验材料

所用填料为悬浮球（XFQ，PP+PU）、彗星（HXS，PP+PET）、生物绳（SWS，PP）、悬浮（XF，PP）、弹性（TX，PP）、组合（ZH，PP+PVA）填料。实验材料为 50L 塑料桶、恒温加热棒、180 r/min 可调速搅拌装置。用于水质指标测试的化合物为 全部纯粹用于分析。

2.3.3 实验设备

研究所用仪器为：6B-6C 型 COD 回流消解仪、LDZX-75KBS 型立式高压釜、HWS-150B 型恒温培养箱、SHZ-D 型循环水式真空泵、大同干燥箱、哈希 DR6000 型紫外可见分光光度计、A3 型原子吸收

分光光度计、日立 SU8010 型 biSEM、莱卡 CPD300 临界点干燥仪以及其他水质指标检测设备。

3 结果与分析

3.1 工艺条件的确定

3.1.1 决心的填料和激素替代疗法

由于不同填料的孔隙率、比表面积、材质不同，

其附着微生物总量和微生物膜接触面积不同，导致污水处理效率不同。

HRT 主要通过改变水中微生物与污染物的接触时间来影响污染物去除效率。试验中采用 6 种不同的填料进行生活污水微生物挂膜，填料材质如图 1 所示。

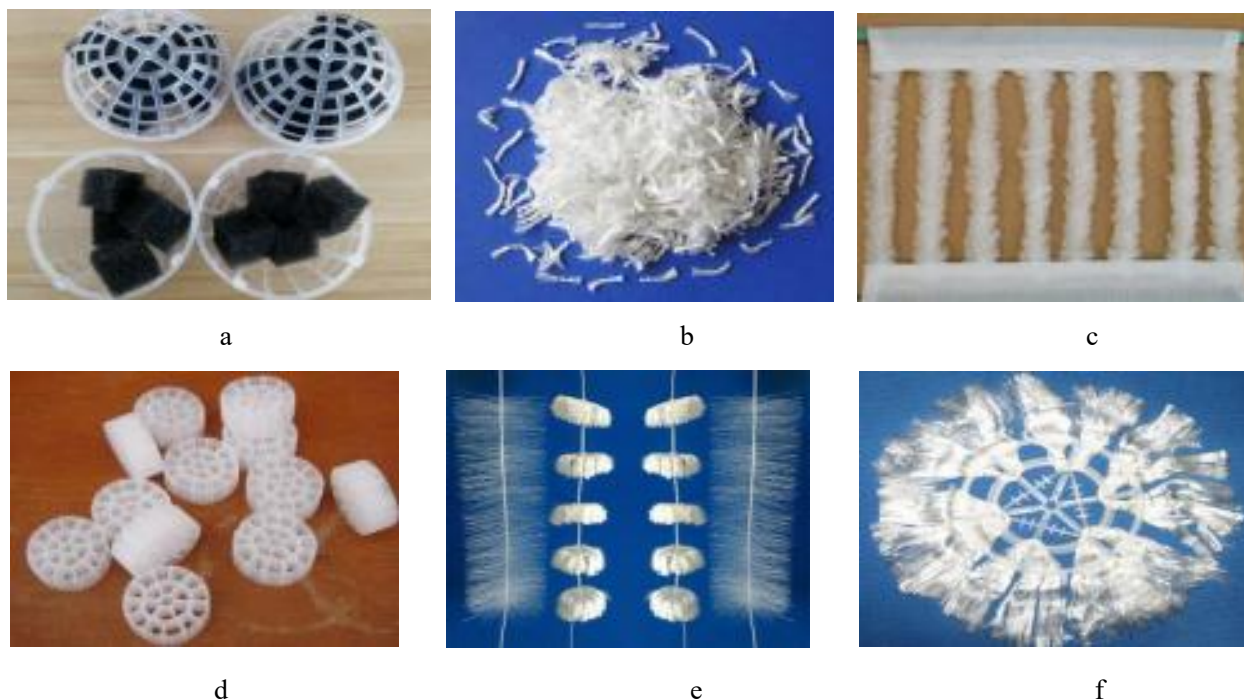


图 1 不同填料的图像

图(a)-(f) 分别展示了 XFQ、HXS、SWS、XF, TX 和 ZH 填料

每个填料悬挂两周，实验结果如图 2 所示。

图 2 为填料中微生物的富集程度，在微生物 SEM 图片中，不同填料上微生物的附着情况有明显差异，XFQ 填料表面微生物富集程度最高，微生物数量最多，XFQ 填料最适合微生物生长挂膜及生物厌氧工艺填料。

测定了不同填料在不同 HRT 下的污染物去除效率，并与无填料的污染物去除效率进行了比较，确定了填料与 HRT 的最佳组合。实验结果如图 3 所示。

图 3 (a) 中，未加填料时 CODCr 去除率在 HRT 为 84 h 时达到最大值 41.96%，加入 XFQ 填料后，HRT 为 48 h 时达到最大值；加入 HXS 填料后，HRT 为 60 h 时 CODCr 去除率达到最大值 56.49%。因此，HRT 为 48 h，XFQ 填料为去除 CODCr 的最佳工艺参数。图 3 (b) 中，未加填料时，HRT 为 48 h 时 SS

去除率达到最大值 64.70%，加入 XFQ 填料后，HRT 为 48 h 时 SS 去除率达到最大值；加入 HXS 填料后，HRT 为 48 h 时 SS 去除率达到最大值 73.36%。图 3 (c) 中，未加填料时 HRT 为 48 h 时 TP 去除率达最大值 16.31%；加入 ZH 填料后，HRT 为 24 h 时 TP 去除率也达最大值；加入 XF 填料后，HRT 为 24 h 时 TP 去除率达最大值 15.30%。因此，ZH 填料对 TP 去除率的提升作用最为显著。图 3 (d) 中，当 HRT 小于 72 h 时，随着 HRT 的增加，NH₃-N 去除率不断提高，HRT 为 72 h 时，未加填料时 NH₃-N 去除率为 21.21%，加入 SWS 填料后 NH₃-N 去除率为 19.95%，加入 TX 填料后 NH₃-N 去除率为 19.18%。图 3 (d) 中，未加填料时 BOD₅ 去除率为 38.03%，加 XFQ 填料时 BOD₅ 去除率为 57.65%，加入 TX 填料后，在 HRT 达到 48h 时 BOD₅ 去除率达到最大值 53.04%，因此 XFQ 填料对 BOD₅ 去除

效果最为显著。

由以上分析可知,当采用 XFQ 填料, HRT 为 48h 时, CODCr、BOD5、SS、TP、NH₃-N 的去除率分别为 57.28%、57.65%、74.06%、12.68%、14.58%。CODCr、BOD5、SS 的去除效果较好,但 TP 和 NH₃-N 的去除效果不佳。这是因为厌氧微生物对有机污染物的去除效果明显,加入的 XFQ 填料表面微生物的富集明显高于其他填料,微生物总量高,微生物分布均匀,对污水中 CODCr 和 BOD5 的去除效率高。SS 的去除是通过填料的滞留和自然沉淀来实现的。单级厌氧工艺填料截留效果有限,主要依靠悬浮物的自然沉降去除 SS,SS 去除效率有所不同。TP 和 NH₃-N 的去除需要厌氧和好氧微生物的共同作

用,在好氧状态下,好氧硝化细菌通过硝化反应将氨氮转化为亚硝酸盐氮和硝酸盐氮;相反,在厌氧状态下,厌氧反硝化细菌通过反硝化反应将亚硝酸盐氮和硝酸盐氮转化为氨氮,再还原为气态氮,实现氨氮的去除。聚磷菌在厌氧阶段释放磷后,在好氧阶段还能吸收超出其生理需要的磷,以聚合磷的形式储存在体内,形成聚磷污泥;最后磷通过污泥排出,达到去除污水中磷的目的。单级厌氧工艺只能满足部分脱氮除磷条件,氨氮转化为亚硝酸盐氮和硝酸盐氮的转化率较低,聚磷菌的聚磷效果较差。效果不佳,脱氮除磷效率低。为提高传统单级生物厌氧处理的效果,提出的改进工艺采用采用多级生物厌氧处理技术,提高污染物去除效率。

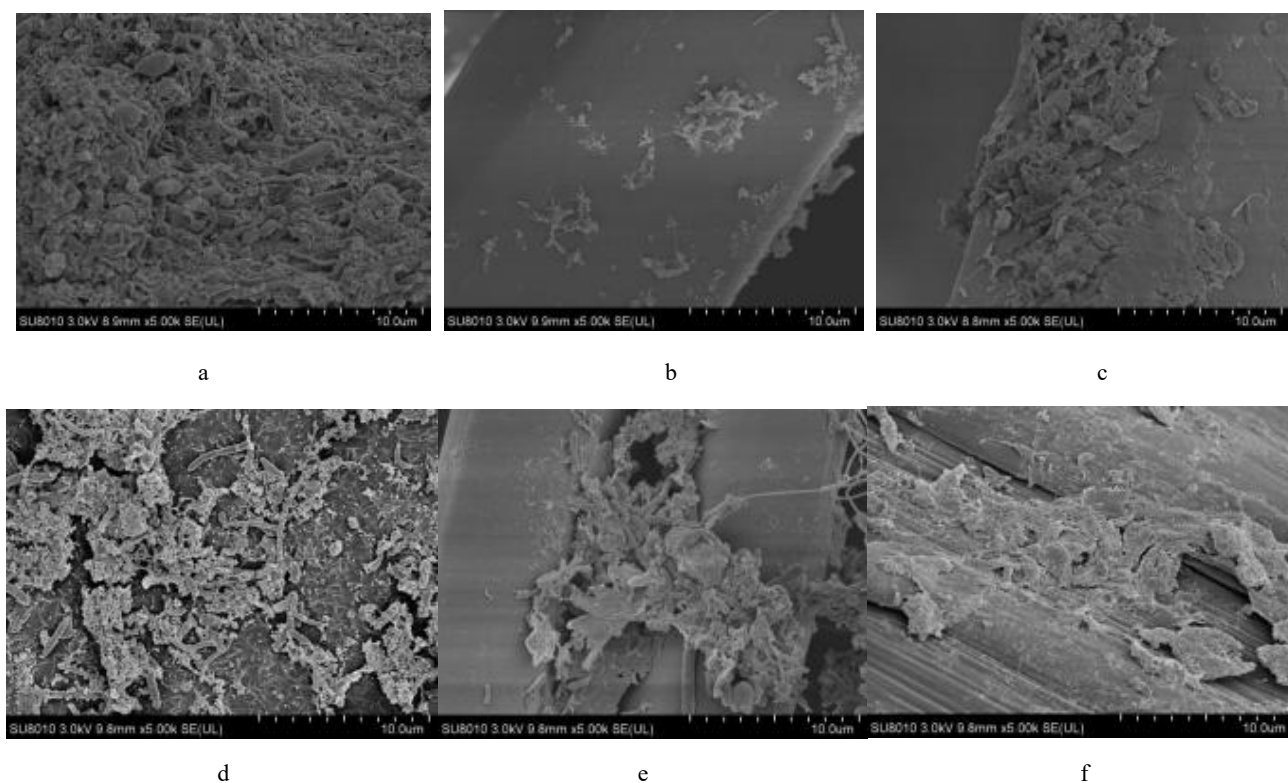
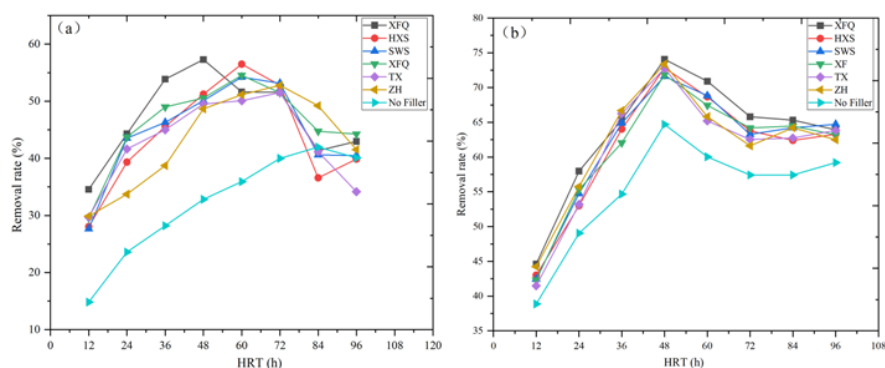
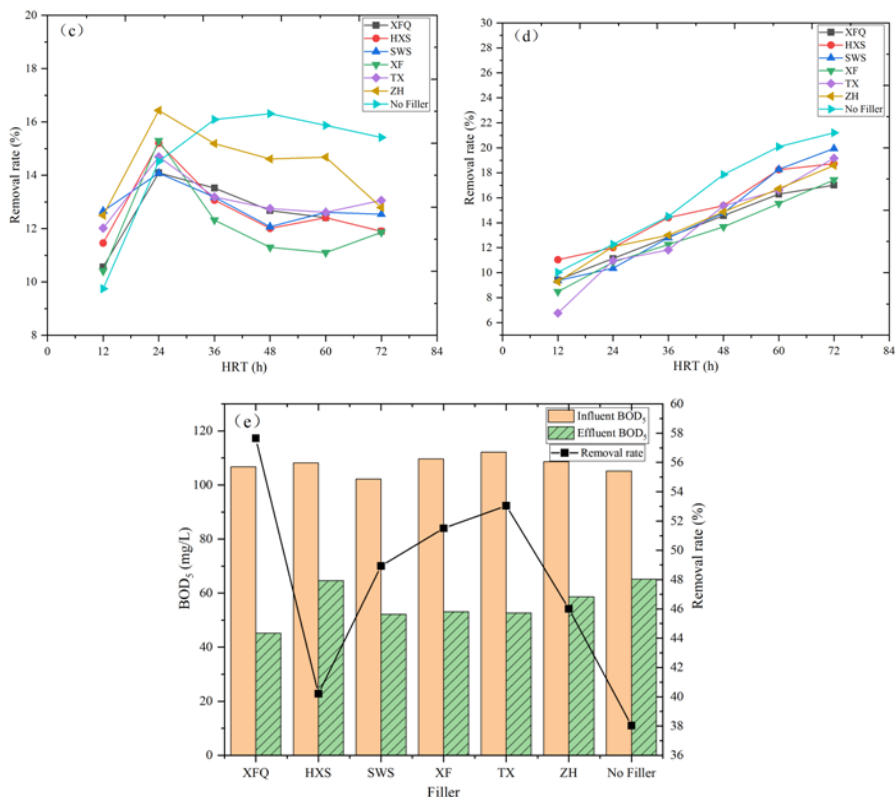


图2 不同填料中微生物富集的微生物 SEM 图



图3 不同填料和 HRT 的 CODCr、BOD₅、SS、TP 和 NH₃-N 去除效率

3.1.2 影响的温度在污染物移动效率

温度主要通过影响微生物活性来影响污染物去除效率。在生物厌氧工艺微生物膜稳定后，测试不同温度对污染物去除效率的影响。初始测试温度分别为 10℃, 20℃, 30℃, 40℃, 50℃, 60℃。在确定最佳温度范围后，缩小温度范围并根据结果确定实验温度。结果如图 4 所示。

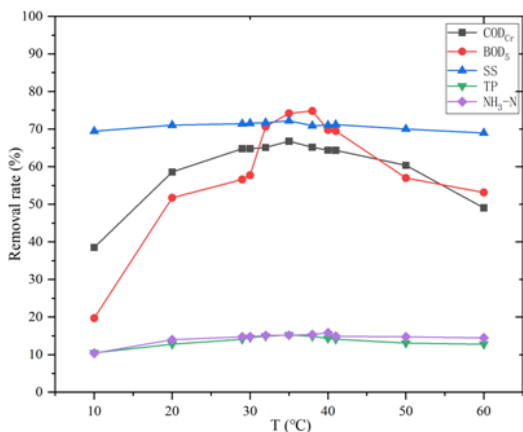
图4 温度对 CODCr、BOD₅、SS、TP 和 NH₃-N 去除效率的影响

图 4 中 COD_{Cr} 去除率在 35℃ 时最高 (66.79%)，在 10℃ 时最低 (38.50%)；BOD₅ 去除率在 38℃ 时最高 (74.82%)，在 10℃ 时最低 (19.72%)；SS 去除率在 35℃ 时最高 (72.20%)，在 60℃ 时最低 (68.96%)；TP 去除率在 40℃ 时最高 (15.24%)，在 10℃ 时最低 (10.47%)；NH₃-N 去除率在 40℃ 时最高 (15.83%)，在 10℃ 时最低 (10.38%)。与 3.1.1 节的试验结果对比可知，在厌氧条件下，温度对 COD_{Cr} 和 BOD₅ 的去除率影响较大，对 SS、TP 和 NH₃-N 的去除率影响较小。厌氧工艺的最佳温度为 35℃，COD_{Cr}、BOD₅、SS、TP 和 NH₃-N 的去除率分别为 66.79%、74.20%、72.20%、15.17% 和 15.24%。结果表明，厌氧微生物受温度影响较大，适宜的温度会提高微生物的代谢速率，从而提高污染物的去除率。对于需要保温较好的生物厌氧处理工程，利用厌氧反应释放的热量，保证生活污水的处理效率。

3.1.3 影响的 pH 在污染物移动效率

pH 主要通过影响微生物活性来影响污染物去除效率。在生物厌氧工艺中微生物膜稳定运行后，

测试 pH (4.00~10.00) 对污染物去除效率的影响。试验中 pH 分别为 3.90、4.67、5.85、7.15、8.35、9.15、10.09。结果如图 5 所示。

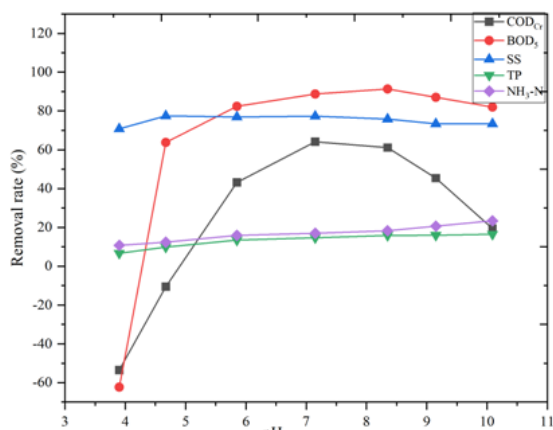


图 5 不同 pH 值对 CODCr、SS、BOD5、TP 和 NH₃-N 去除效率的影响

图 5 中 CODCr 去除率在 pH=7.15 时最高 (64.15%), 在 pH=3.90 时最低 (-53.47%)。BOD5 去除率在 pH=8.35 时最高 (64.15%), 在 pH=3.90 时最低 (-62.32%)。SS 去除率在 pH=4.67 时最高 (77.50%), 在 pH=3.90 时最低 (70.83%)。TP 去除率在 pH=10.09 时最高 (16.50%), 在 pH=3.90 时最低 (6.70%)。NH₃-N 去除率在 pH=10.09 时最高 (23.46%), 在 pH=3.90 时最低 (10.76%)。当 pH=3.90 时 CODCr 和 BOD5 去除率均出现负值, 说明大量微生物死亡, 导致 CODCr 和 BOD5 值升高。

研究结果表明, 厌氧工艺若要正常工作并达到良好的处理效果, 进水 pH 必须调节在 6~9 之间, 而要达到最佳去除效果, pH 必须调节在 7~8 之间。其主要原因是 pH 会严重影响微生物的活性, 当 pH 过低时, 厌氧工艺中的微生物活性会受到很大的抑制, 甚至造成微生物的大量死亡, 对各种污染物的去除效率低下。

在生活污水的实际应用中, 必须及时监测, 对过低或过高的 pH 值必须及时调节, 以保证厌氧工艺的正常运行过程。

3.1.4 影响的盐专注在污染物移动效率

研究区水体盐浓度环境背景值较高, 约为 1800mg/L, 在生物厌氧工艺微生物成膜稳定后, 分别在 600、900、1200、1500、1800、2100、2400、2700mg/L 浓度下对厌氧菌的降解效果进行研究。mg/L) 对污染物去除效果的影响, 结果如图 6 所示。

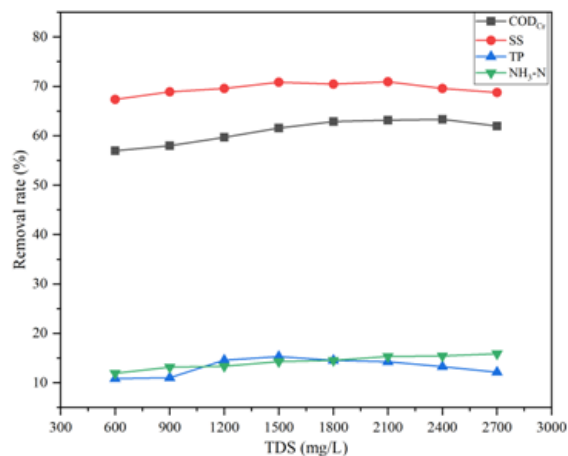


图 6 不同 TDS 浓度下的 CODCr、SS、TP 和 NH₃-N 去除效率

图 6 中 CODCr 去除率在 TDS=2400mg/L 时最高 (63.32%), 在 TDS=600mg/L 时最低 (56.96%); SS 去除率在 TDS=2100mg/L 时最高 (70.91%), 在 TDS=600mg/L 时最低 (67.35%); TP 去除率在 TDS=1500mg/L 时最高 (14.52%), 在 TDS=600mg/L 时最低 (10.30%); NH₃-N 去除率在 TDS=2700mg/L 时最高 (15.87%), 在 TDS=600mg/L 时最低 (11.93%)。实验结果表明, 当 TDS 浓度在 600~2700mg/L 之间时, 污染物去除率主要呈现先升高后降低的趋势, 但影响并不明显, 说明在此盐度范围内对微生物活性影响较小, 厌氧工艺可以正常运行, 其原因是微生物对盐浓度的耐受范围较大, 此盐度范围属于微生物的耐受范围, 对微生物活性影响不大。

3.2 三级一体化厌氧生物物理耦合处理技术和设备

3.2.1 三阶段 融合的厌氧生物物理耦合治疗技术

节中得出单级厌氧工艺对 CODCr、SS 去除率较低, 为提高污染物去除率, 使出水达到绿化灌溉要求, 采用三级一体化厌氧生物物理耦合处理工艺, 该工艺第一段为厌氧段, 内设悬浮球填料, 水中溶解氧约为 0.4mg/L; 第二段为厌氧段, 内设悬浮球填料, 水中溶解氧约为 0.05mg/L; 第三段为兼氧段, 无填料, 设置紫外杀菌装置和搅拌装置, 采用紫外灯杀菌, 使水中溶解氧达标。杀死病原菌, 搅拌使水中溶解氧浓度增加, 提高了对病原菌的消毒效果, 溶解氧约为 0.8mg/L。三级一体化厌氧生物物理耦合处理工艺对 CODCr、SS、TP、NH₃-N 的去除效果如图 7 所示。

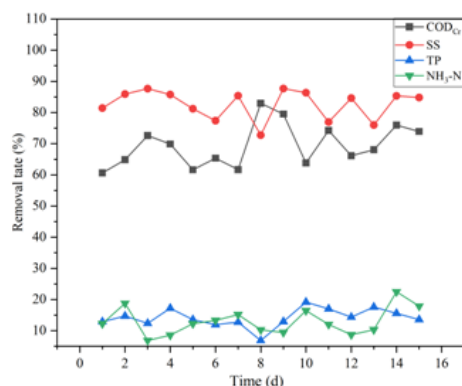
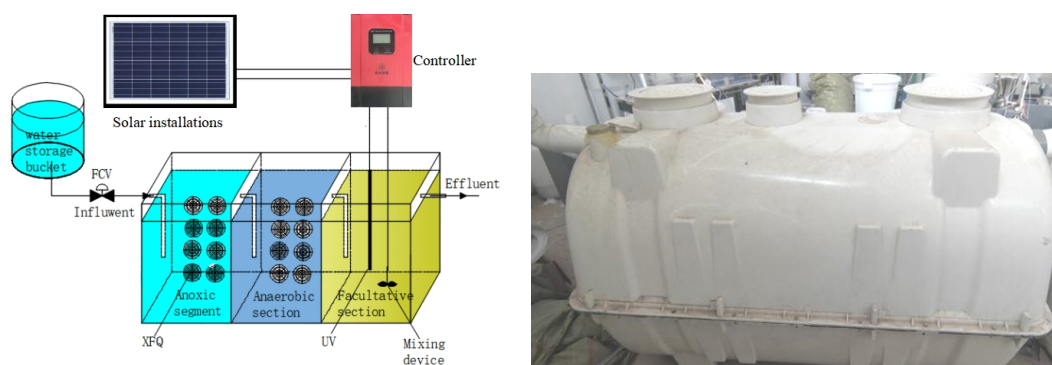
图 7 三级一体化厌氧生物物理耦合处理技术: CODCr、SS、TP、NH₃-N 去除效果

图 8 三级一体化厌氧生物物理处理系统示意图及实物图耦合污水处理装置

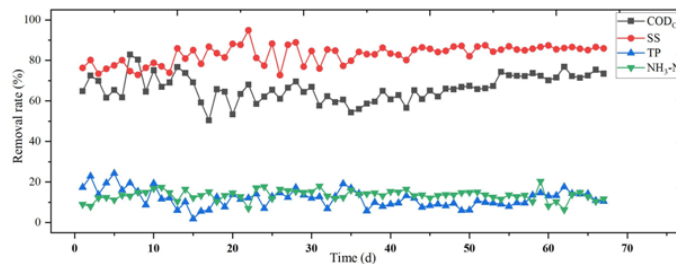
图 9 一体化装置 CODCr、SS、TP、NH₃-N 去除效率

图 7 中该工艺 CODCr 去除率最高、最低、平均分别为 82.95%、60.61%、69.41%；SS 去除率最高、最低、平均分别为 87.68%、72.73%、82.61%；TP 去除率最高、最低、平均分别为 19.17%、6.83%、14.16%；NH₃-N 去除率最高、最低、平均分别为 22.50%、6.86%、12.99%。与 3.1.1 节实验结果对比，三级一体化厌氧生物物理耦合处理技术对 CODCr 和 SS 去除率的提升效果优于单级厌氧工艺，去除率分别提高了 12.13% 和 8.55%，符合实验预期。三级一体化厌氧生物物理耦合处理技术采用进出方式，提高了污水与填料的接触效率，充分利用了填料和

生物膜的截留作用，从而提高了 CODCr 和 SS 的去除效率。通过搅拌使微生物与污水充分混合，好氧微生物通过搅拌和微曝气参与污水处理，使 CODCr 的去除率进一步提高。

3.2.2 三阶段融合的厌氧生物物理耦合污水处理设备

根据以上试验结果，设计了三级一体化厌氧生物物理耦合污水处理装置（以下简称一体化装置），该一体化装置主要由三级槽体、XFQ 填料、搅拌装置、紫外线杀菌装置、太阳能装置。装置示意图及实物图如图 8 所示，搭建实物时将边角做了圆角处

理，一体化装置设计日处理能力为 500 L。污水经调节池、流量计调节流量后进入一体化装置，流经填料时，悬浮物被填料截留过滤，有机物被水和附着在填料上的臭气过滤，氧气和微生物转化成小分子有机物，最后转化为甲烷和二氧化碳，达到污水处理的目的。

3.2.3 融合的设备手术

将 XFQ 填料置于一体化装置中，HRT 为 48 h，调节进水温度不低于 10 ℃，pH 值在 6~9 之间，TDS 在 600~2700 mg/L 之间。紫外灯第三栅照射时间为 8 h，搅拌装置转速为 30 r/min。一体化装置处理效果如图 9 所示。

图 9 为装置挂膜后连续运行 67 天后各种污染物去除情况；装置运行初期波动较大，相对 后期趋于稳定，总平均 CODCr、SS、TP、NH3-N 去除率分别为 66.67%、82.93%、11.75%、13.59%，近 15 天平均去除率分别为 72.96%、85.97%、12.33%、12.58%，综合装置去除效果有所提高。

试验结果表明：一体化装置运行平稳，与三级一体化厌氧生物物理耦合处理技术实验结果接近，满足实验预期。一体化装置对 CODCr、SS 去除效果良好，出水污染物浓度较低，TP、NH3-N 去除率均在 12%左右，出水中含有大量的氮、磷元素。对于

灌溉水，可减少化肥使用量，资源利用率高，适用于西北地区农村生活污水处理回用。实验结果显示，出水均满足 GB 5084-2021 的要求。而且，为保证污染物去除效率，该装置进水中污染物浓度高于普通农村生活污水，基本满足西北地区农村生活污水处理回用，应用范围较广。

3.3 项目论证

3.3.1 项目示范规模

根据调查，项目示范选定在海西州某村，项目示范服务区域为 4,000 m²，覆盖农户 20 户，日污水处理量按每户 4 口人、人均日污水产生量 45 升计算：

$$W = \frac{20 \times 4 \times 45 L / d}{1000 L / m^3} = 3.60 m^3 / d$$

根据计算结果，本项目示范日污水处理量为 3.60 立方米。

3.3.2 影响的项目示范手术

项目示范运行效果见表 2。

工程示范装置运行结果与实验室类似 装置，CODCr、SS 去除率略有下降，TP 去除率略有提高，NH3-N 去除率明显提高，运行效果较实验室处理稍差，为一体化装置，处理量为 0.5m³/d，但出水水质基本满足设计要求及 GB 5084-2021，可用于绿化灌溉。

表 2 项目示范一体化装置污染物去除效率

指数	化学需氧量	生化需氧量	SS	TP	氨氮
进水/(mg/L)	211.29	105.68	182.67	5.83	25.04
出水量/(mg/L)	63.65	54.01	32.00	5.01	15.44
去除率/%	69.88	48.89	82.48	14.07	38.34

4 结论

(1) 针对西北地区农村生活污水，研发了三级一体化厌氧生物物理耦合处理技术，确定了工艺运行条件：采用悬浮球填料，HRT 为 48h，进水温度大于 10℃，pH 在 6~9 之间，TDS 为 600~2700mg/L。在此条件下，三级一体化厌氧生物物理耦合处理技术对 CODCr、SS、TP、NH3-N 的平均去除率分别为 69.41%、82.61%、14.16%、12.99%。在此技术基础上，实验室研发了三级一体化厌氧生物物理耦合污水处理装置。该装置处理能力为 0.5m³/d，CODCr、SS、TP、NH3-N 平均去除率分别为 72.96%、85.97%、12.33%、12.58%，去除效率高，装置出水符合 GB

5084-2021 标准。

(2) 进行了三级一体化厌氧生物物理耦合污水处理装置项目示范田间运行，示范装置 3.60 m³/日处理污水量为 1000t，年可处理回用生活污水 1314m³，项目示范可覆盖 20 户用水户，示范面积超过 4000 m²1000m³。CODCr、BOD5、SS、TP、NH3-N 去除率分别为 69.88%、48.89%、82.48%、14.07%、38.34%。处理效果好，运行成本低，操作简便，无需专业人员运维，出水符合 GB 5084-2021 标准，可用于绿化灌溉，适合农村生活污水回用。

总体来看，该装置工艺简单、管理方便、占地面积小，可有效解决西北地区农村生活污水未经处理、

资源利用率低的问题，为处理设施建设提供参考和示范。

参考文献

- [1] Chen Xiangyu, Hao Kaiyue, Su Dong, et al. Study on the characteristics of A~2/O method for treating sewage in high altitude areas [J]. Water Treatment Technology, 2018, 44(02):93-96.
- [2] Zong Yongchen. Microbial characteristics of A~2/O process and mechanism of nitrogen and phosphorus removal in Tibet plateau environment [D]. Tibet University, 2021.
- [3] Wang Li, Xu Wenguo, Lu Shixiang. SBR treatment of domestic sewage in plateau area Engineering example [J]. Water Treatment Technology, 2012, 38(S1):135- 137.
- [4] Ding Yong, Chen Xin, Zhou Shaoqi. Research on integrated aeration optimization and denitrification and phosphorus removal of MBR in plateau area [J]. Water Treatment Technology, 2021, 47(10): 113- 116+ 120. DOI: 10.16796/j.cnki.1000-3770.2021.10.024.
- [5] He Xiaofang, Li Xiangyang, Wang Xiaofeng, etc. MBR integrated process for water source treatment Application example of rural domestic sewage [J]. Water Treatment Technology, 2022, 48(10):149- 152+ 156.
- [6] Zhang Jinxu, Wang Xiao, Gu Xiaochao. Research on the treatment of domestic sewage by land infiltration technology in alpine regions [J]. China Agricultural Science Bulletin, 2016, 32(27):121-125.
- [7] Liu Wenjie. Research on Treatment of Rural Domestic Sewage in Cold Areas with Vertical Flow Constructed Wetland [J]. Guangdong Chemical Industry, 2020, 47(07):174-176.
- [8] Wang Zhuoyi, Zhang Hongtao, Li Dongling, et al., Zhang Tao. Application of A~2/O and MBR combined process in sewage treatment in cold regions [J]. China Water Supply and Drainage, 2020, 36(18): 70-74.
- [9] Long Yuhan, Liu Dongfang, Tian Yu, et al. 2-level AO-electrolytic phosphorus removal combined process for rural domestic sewage treatment [J]. Water Treatment Technology, 2021, 47(04): 96- 100.
- [10] Gan Yanfei, Zhou Zhengbing, Xu Bo. A/O-improved constructed wetland combined process for treatment of rural domestic sewage [J/OL]. Industrial Water Treatment: 1- 13 [2022- 10-26].
- [11] Zhuang Guijia, Liu Lifan , Huang Xiao, et al. Study on Efficiency of Nitrogen and Phosphorus Removal of Electroplating Wastewater Treated by AAO-Biofilm Process [J/OL]. Environmental Engineering: 1- 12[2022- 10-26].
- [12] Liu Liming.MBBR+BAF Combination Application of technology in urban mixed-flow sewage treatment[J].China Comprehensive Utilization of Resources, 2022, 40(04):195- 197.
- [13] Liu Weiwei.Application of MBR and MBR+Constructed Wetland Combined Technology in Rural Domestic Sewage Treatment [J]. Water Conservancy Technology and Economy, 2021, 27(03): 59-64.
- [14] Peng Xiangyu, Ye Jing, Xing Shuo, et al. Analysis of Dispersed Bio-ecological Rural Domestic Sewage Treatment Technology [J]. Engineering Technology Research, 2022, 7(08):94-96.
- [15] Shi Xujun, Zhang Guozhen, Wu Fuping, et al. Based onABR technology research on rural sewage treatment technology in arid and semi-arid areas [J]. Environmental Engineering, 2019, 37(12): 41-48.
- [16] Ding Fuge, Shen Zhiwei, Zhang Jun, et al. Two-level A~(2)/ Example of O+ Magnetic Coagulation Process for Treatment of Rural Domestic Sewage [J/OL]. Industrial Water Treatment: 1- 12 [2022- 10-26].
- [17] Zhang Ke, Tian Shuangchao, Dou Xueyan, et al. Anaerobic/Aerobic Biological Contact oxidation process coupled with microbial fuel cell technology to treat rural domestic sewage [J]. Environmental Engineering, 2022, 40(03):139- 146.
- [18] Xiong Ren, Xie Min, Feng Chuanlu, et al. Anaerobic + water drop aeration + Constructed wetland combined process to treat rural domestic sewage [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2019, 13(02): 327-331.
- [19] Gui Lun, Ma Jiping, Yao Jian, et al. Research on Treatment of Rural Domestic Sewage by Falling Water Oxygenation

- Aeration Tower-Constructed Wetland [J]. Anhui Agricultural Sciences, 2018, 46(33): 179- 181.
- [20] Li Erfei. Anaerobic Biological Filter—Backflow Constructed Wetland Research on Combined Process for Treatment of Rural Domestic Sewage [D]. Chongqing Technology and Business University, 2012.
- [21] Zhang Jun, Zhou Hang, Zhao Ziling, et al. Treatment of Rural Sewage with Integrated Biological Contact Oxidation/Land Infiltration System [J]. Water Supply and Drainage in China, 2012, 28(24): 57-59.
- [22] Peng Bin, Hu Siyuan, Wang Zhu, et al. Discussion on the Status Quo and Problems of Decentralized Treatment of Rural Domestic Sewage [J]. Agricultural Modernization Research, 2021, 42(02):242-253.
- 版权声明:** ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

**OPEN ACCESS**