ICS 13.060.30
CCS Z05

团　　体　　标　　准

T/CAMIE XXXX—202X

水产养殖尾水生物载体强化处理技术规范

Technical specification for bio-carrier enhancement in aquaculture wastewater treatment

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布　　XXXX-XX-XX 实施

中国环保机械行业协会 发布

前　言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则　第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国环保机械行业协会提出并归口。

本文件起草单位：大连宇都环境工程技术有限公司、河海大学、北京工业大学等。

本文件主要起草人：权伍哲、许明、李军等。.

水产养殖尾水生物载体强化处理技术规范

1 范围

本文件规定了池塘养殖尾水生物载体强化处理系统的生物载体与强化改性要求、尾水处理系统技术要求、运行与维护、验收。

本文件适用于淡水池塘养殖尾水的生物载体强化处理，不适用于其他养殖模式（如工业化循环水养殖、海水养殖）。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 17219-2025 生活饮用水输配水设备、防护材料及水处理材料卫生安全评价

GB 50014—2021 室外排水设计标准

GB 50054—2011 低压配电设计规范

GB 50069—2016 给水排水工程构筑物结构设计规范

CJ/T 461—2014 水处理用高密度聚乙烯悬浮载体填料

HG/T 5924—2021 废（污）水处理用生物膜载体

HJ 1217—2023 地方水产养殖业水污染物排放控制标准制订技术导则

SC/T 9101 淡水池塘养殖水排放要求

T/SDEPI 031—2022 水处理生物膜速净工艺（BFM）技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

生物膜 biofilm

微生物黏附于特定载体表面后，通过分泌胞外聚合物而形成的一种结构化微生物群落聚集体和功能单元。

[来源：DB35/T 2101—2022，3.27，有修改]

3.2

生物载体 bio-carrier

为微生物附着、生长和繁殖提供适宜表面和空间的人造或天然材料。

[来源：HG/T 5924—2021，3.1，有修改]

3.3

改性生物载体 modified bio-carrier

在保持载体基本性能的前提下，通过物理、化学或生物方法对其表面性质进行定向改良所获得的载体。

[来源：T/JSYX 7-2025，3.3，有修改]

3.4

有效比表面积 effective specific surface area

单位自然堆积体积悬浮载体可供微生物附着生长形成生物膜，且能保证良好传质和保护生物膜不被冲刷的表面积，简称 ESSA，单位为平方米每立方米（m^2/m^3）。

[来源：T/SDEPI 031-2022，3.7]

3.5

水产养殖尾水 aquaculture wastewater

水产养殖活动过程中产生的向环境水体、污水集中处理设施等外环境排放的废水。

[来源：HJ 1217—2023，3.1]

3.6

移动床生物膜反应器 moving bed biofilm reactor （MBBR）

依靠在水流和气流作用下处于流化态的载体表面的生物膜对污染物吸附、氧化和分解，使污水得以净化的污水处理构筑物。

[来源：GB50014—2021]

3.7

填充率 filling ratio

生物膜反应器内，生物载体的自然堆积体积与载体所在反应区池容的比例（%），亦称“体积填充比”。

[来源：GB50014—2021，2.0.29，有修改]

3.8

附着生物量 attached biomass

单位表面积载体上附着的生物膜量，以挥发性悬浮固体计（mg VSS/m^2 载体）。

3.9

目标初始活菌数 initial target viable bacterial count

单位表面积载体上预挂的目标功能微生物的活菌数量，以菌落形成单位每平方米载体（CFU/m^2 载体）计。

4 生物载体及强化改性

4.1 生物载体

4.1.1 生物载体材质卫生毒理学指标应符合 GB/T 17219 的规定，其水生生物急性毒性试验评价应为无毒级。

4.1.2 生物载体抗拉断裂强度应不小于 10 MPa。

4.1.3 生物载体密度应为 0.95 g/cm^3 ～1.05 g/cm^3 。

4.1.4 生物载体有效比表面积不应低于 500 m^2/m^3 。

4.1.5　经改性后生物载体的成品，在正常使用和维护条件下，其合理使用寿命不宜低于 5 年。

4.2　强化改性

4.2.1　物理改性

4.2.1.1　物理改性宜采用机械刻槽、热塑成型、表面喷砂或高分子材料共混发泡等方式。

4.2.1.2　物理改性方法包括亲水性改性、比表面积改性。

4.2.1.3　经物理改性后的生物载体，其理化性能与力学指标应符合表 1 的规定。

表 1 物理改性后生物载体的理化性能与力学指标

载体类型	改性方法	表面水接触角（°）	有效比表面积(m^2/m^3)	堆积密度(kg/m^3)	孔隙率(%)	抗压强度(MPa)	压缩回弹率(%)	磨损率(%)	破损率(%)
软性塑料载体	亲水性改性	≤65	≥600	40～100	≥89	≥0.5	≥95	≤1.0	≤2.0
硬性塑料载体	亲水性改性	≤65	≥600	40～100	≥89	≥0.5	≥95	≤1.0	≤2.0
软性塑料载体	比表面改性	-	≥800	95～150	≥84	≥2.0	-	≤0.5	≤1.0
硬性塑料载体	比表面改性	-	≥800	95～150	≥84	≥2.0	-	≤0.5	≤1.0

注 1：“-”表示该指标对硬性塑料载体不作要求。

4.2.2　化学改性

4.2.2.1　化学改性宜采用酸改性、碱改性、接枝共聚或负载型改性等工艺。

4.2.2.2　化学改性使用的试剂及负载物不应含有法律法规中规定的禁用物质。改性后的载体应经清洗或固化处理，其浸出液的理化指标及毒理学指标应符合相关涉水产品安全要求。

4.2.2.3　经化学改性后的生物载体，其理化性能与生物相容性指标应符合表 2 的规定。

表 2 化学改性后生物载体性能指标要求

改性方法	表面水接触角（°）	附着生物量（mgVSS/m^2 载体）	挂膜启动时间（d）	浸出液水生生物毒性评价	表面理化特征检验
酸改性	≤60	≥10	≤10	无毒	红外光谱（FTIR）检测应存在明显的羧基（-COOH）或羰基（-C=O）等氧化特征吸收峰。
碱改性	≤65	≥10	≤10	无毒	红外光谱（FTIR）检测应存在明显的羟基（-OH）等水解极性特征吸收峰。
负载型改性	≤55	≥15	≤7	无毒	载体表面应附着牢固的包覆层或微粒，扫描电镜（SEM）下可见明显的非基材异质结构。

4.2.3　生物改性

4.2.3.1　生物改性宜采用目标功能菌株的工厂化预培养、固定化包埋或生物膜快速诱导附着等工艺。

4.2.3.2　目标功能菌株包括硝化细菌群落和反硝化细菌群落。

4.2.3.3　载体表面预挂的菌株应为国家允许在水产养殖环境及环保工程中使用的安全微生物，且不应携带影响水产动物健康及公共卫生的致病菌，常见种类包括沙门氏菌、志贺氏菌、金黄色葡萄球菌、副溶血性弧菌、创伤弧菌、嗜水气单胞菌等。

4.2.3.4　经生物改性后的生物载体，其生物活性、特定污染物去除性能及卫生学指标应符合表 3 的规定。

表 3 生物改性后的载体指标

改性方法	目标初始活菌数（CFU/m^2载体）	挂膜启动时间（d）	特征污染物去除率（%）	致病菌	目标菌群及功能检验要求
硝化细菌挂膜	≥ 1.0×10^7	≤ 7	氨氮去除率≥80%	不得检出	qPCR 检出氨氧化细菌（AOB）的 amoA 基因或亚硝酸氧化细菌（NOB）的 nxrA 基因，且目标基因拷贝数不低于 1.0×10^6 copies/m²载体；且具备显著的氨氮/亚硝酸盐降解活性。
反硝化细菌挂膜	≥ 5.0×10^7	≤ 15	总氮去除率≥70%	不得检出	qPCR 检出反硝化功能基因（*nirS*、*nirK* 或 *nosZ*），且目标基因拷贝数不低于 1.0×10^6 copies/m²载体；且在缺氧条件下具备显著的硝酸盐降解活性。

注：致病菌检测按 GB 4789 系列现行标准执行。

4.2.3.5 载体生物性能（挂膜后的硝化速率和有机物去除速率）应符合 CJ/T 461—2022 中 6.4 的规定，其测定方法应符合 CJ/T 461-2022 中 7.4 的规定。

5 尾水处理系统技术要求

5.1 基本要求

5.1.1 尾水进入生物载体强化处理单元前，应配置固液分离或物理过滤预处理单元，出水悬浮物（SS）质量浓度宜不大于 50 mg/L。

5.1.2 处理系统前端应设置水量调节池或溢流旁通通道，调节池有效容积应不小于日最大处理水量的 30%。

5.1.3 生物载体处理系统的配套土建构筑物及连接管网的底部和侧壁应进行防渗处理，防渗层渗透系数应不大于 1.0×10^{-7}cm/s。

5.1.4 设施的池体结构安全、电气控制、防雷防雨等级及安全防护隔离设计，应符合 GB 50069—2016 及 GB 50054—2021 的相关规定。

5.1.5 排出的剩余污泥应进行干化处理或资源化利用，不应直接排入自然水体。

5.2 工艺与参数

5.2.1 养殖尾水生物载体强化处理的典型工艺流程见图 1，其典型工艺配置示例参见附录 A。

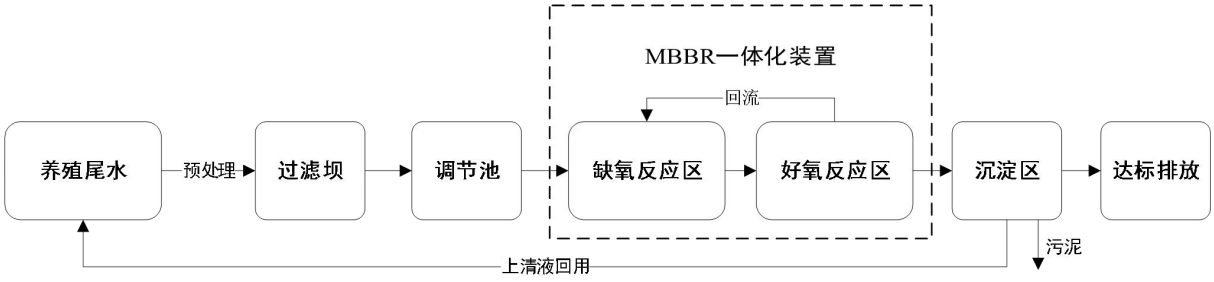


图 1 工艺流程图

5.2.2 改性载体的选型要求、填充率及核心运行控制参数见表 4 。

表 4 水产养殖尾水生物载体强化工艺配置与运行参数要求

工艺单元	适宜的改性载体类型	反应区体积填充比（%）	水力停留时间（h）	混合液溶解氧 (mg/L)
好氧反应区	比表面积强化的物理改性载体、硝化细菌预挂膜载体	35～60	2.0～4.0	2.0～4.0
缺氧反应区	亲水/亲生物化学改性载体、反硝化细菌预挂膜载体	25～45	4.0～6.0	≤0.5

5.3 处理装置设施

5.3.1 尾水处理系统结构设计符合如下要求：

a） 池体内部应设置隔离挡板，依次划分固液分离区、缺氧反应区、好氧反应区及沉淀区；

b） 过流通道宜采用折流式设计，单池体容积利用系数应不小于 0.85。

c）系统应配置脱落生物膜及污泥的截留、收集与排出设施，其配置应符合 5.4.4 的规定。

5.3.2 曝气与搅拌的设备配置符合如下：

a） 好氧反应区穿孔曝气管的开孔孔径宜为 3 mm～4 mm，布气平面面积应不小于舱室底面积的 80%，设计气水比宜为（3～10）：1；

b） 缺氧反应区应装设低速潜水搅拌推流设备，容积功率密度宜为 3 W/m³ ～6 W/m³ ，不应采用气源曝气作为流化搅拌动力。

5.3.3 防载体流失的拦截筛网组件配置符合如下：

a） 反应区出水堰及过流孔处应装设耐腐蚀材质的拦截筛网；

b） 拦截筛网的有效通水孔隙总面积，应确保系统在最大峰值设计流量下的局部过网水流速度不大于 0.05 m/s；

c） 筛网迎水面底端宜布设气冲洗反吹管路。

5.3.4 排泥与收集组件配置符合如下：

a） 沉淀区底部应设置倾角不小于 45° 的泥斗结构；

b） 泥斗底端平底死角面积应不大于单舱底面积的 2%；

c） 泥斗底部应配置重力排泥阀口或气提排泥装置，宜根据泥量及现场条件选择。

6 运行与维护

6.1 系统启动与挂膜

6.1.1 载体投加前应先注入清水或养殖尾水进行清水联动试运行，检查曝气装置及搅拌设备的运行状态。

6.1.2 系统正式启动前，应按设计要求投加载体，并调整曝气量或搅拌功率。

6.1.3 挂膜期间应控制进水负荷为设计值的 30%～50%，待出水水质稳定后可逐步提升至设计负荷。

6.1.4 挂膜完成的判断标准：在水温不低于 12℃的条件下，好氧区氨氮去除率稳定在 80%以上，缺氧区硝酸盐氮去除率稳定在 70%以上，且载体表面生物膜厚度均匀。

6.2 日常运行管理

6.2.1 露天设置的处理设施，其上方宜设置遮阳网或防护棚，避免阳光直射导致载体表面大量滋生微藻而堵塞系统孔隙。

6.2.2 应对系统进水的水质（如氨氮、总氮、悬浮物、pH 值、水温等）和水量进行定期监测，确保其在设计负荷范围内波动，避免高浓度悬浮物或有毒物质冲击系统。

6.2.3 应每日检查前级预处理单元（如固液分离、物理过滤）的运行状态，发现出水异常时应及时调整预处理工艺，防止泥沙在生物载体区沉积。

6.2.4 应建立完善的运行维护台账，每日定时记录进出水水质、系统处理水量、各反应区溶解氧（DO）、pH 值、曝气与搅拌设备电流，以及载体流化状态等核心参数。

6.3 维护保养

6.3.1 载体表面生物膜厚度大于 2 mm 或局部产生载体结团堆积时，应实施高强度曝气气洗或大流量水力冲刷，剥离老化生物膜。

6.3.2 应定期将剥离的老化生物膜及截留污泥排至系统外，并记录排泥量。

6.3.3 应每年对载体进行抽样检查，检测其磨损率、破损率及有效比表面积变化。当磨损率超过 1.5%、破损率超过 2.0%，或有效比表面积下降超过初始值的 20%时，应考虑补充或更换载体。

6.3.4 载体更换或补充后，应重新进行挂膜启动，并验证处理效果，确保出水水质达标后方可恢复正常运行。

6.4 故障排查与应急处理

6.4.1 应定期检查拦截筛网的完好性，发现破损及时更换；同时观察筛网过水情况，如发现因生物膜积聚、藻类滋生或杂物堵塞导致水位差异常升高，应立即加大气冲洗反吹管路进行清堵。

6.4.2 曝气装置及搅拌设备应定期检修，确保其正常运行。

6.4.3 每日应定时巡视好氧反应区，观察生物载体的流化状态与布气均匀度。

7 验收

7.1 验收条件

7.1.1 处理系统竣工后，应进行通水调试及性能验收。

7.1.2 验收时应提交以下资料：

a） 设计文件及竣工图纸；

b） 主要设备及载体的合格证明；

c） 连续稳定运行期间的运行记录及水质检测报告；

d） 操作维护手册。

7.1.3 验收应符合下列条件：

a） 进水水质符合设计要求；

b） 系统连续稳定运行不少于 72 小时；

c） 出水水质连续 3 个运行日（或每日 1 次，间隔不小于 24 h）检测 3 次，均符合本文件 5.1.6 规定的排放要求；

d） 载体的有效比表面积、填充率及挂膜状态符合设计要求；

e） 好氧区载体硝化速率与缺氧区载体反硝化速率应符合设计要求，且挂膜状态达到 6.1.4 的规定。

7.2 验收判定与处理

7.2.1 若验收检测结果不符合本文件 5.1.6 规定的排放要求，或载体性能指标未满足设计要求，或生物活性未达到 6.1.4 的规定，应判定为验收不合格；

7.2.2 运营单位应根据不合格项进行针对性整改，整改完成后重新申请验收；

7.2.3　重新验收时，系统应再次连续稳定运行不少于 72 小时，并重新进行水质检测、载体物理状态检查及生物活性验证；

7.2.4　若二次验收仍不合格，应组织专家进行评估，确定系统改造或优化方案，直至整改后验收合格方可交付使用。

附 录 A

（资料性）

典型工艺配置示例

A.1 某养殖区尾水治理项目

A.1.1 工程概况

某淡水养殖区仅经营水产养殖，为池塘化养殖，划分为条南一区、二区、三区、四区和五区，共59个标准化塘口。养殖净面积15256亩。有5个主养品种，鲴鱼、草鱼、加州鲈、黄金鲫和鳗鱼。

养殖尾水年排放总量为1846万m^3，尾水日均排放量为5万m^3，峰值日均排放量10.26万m^3。该养殖区平面分布见图A.1。

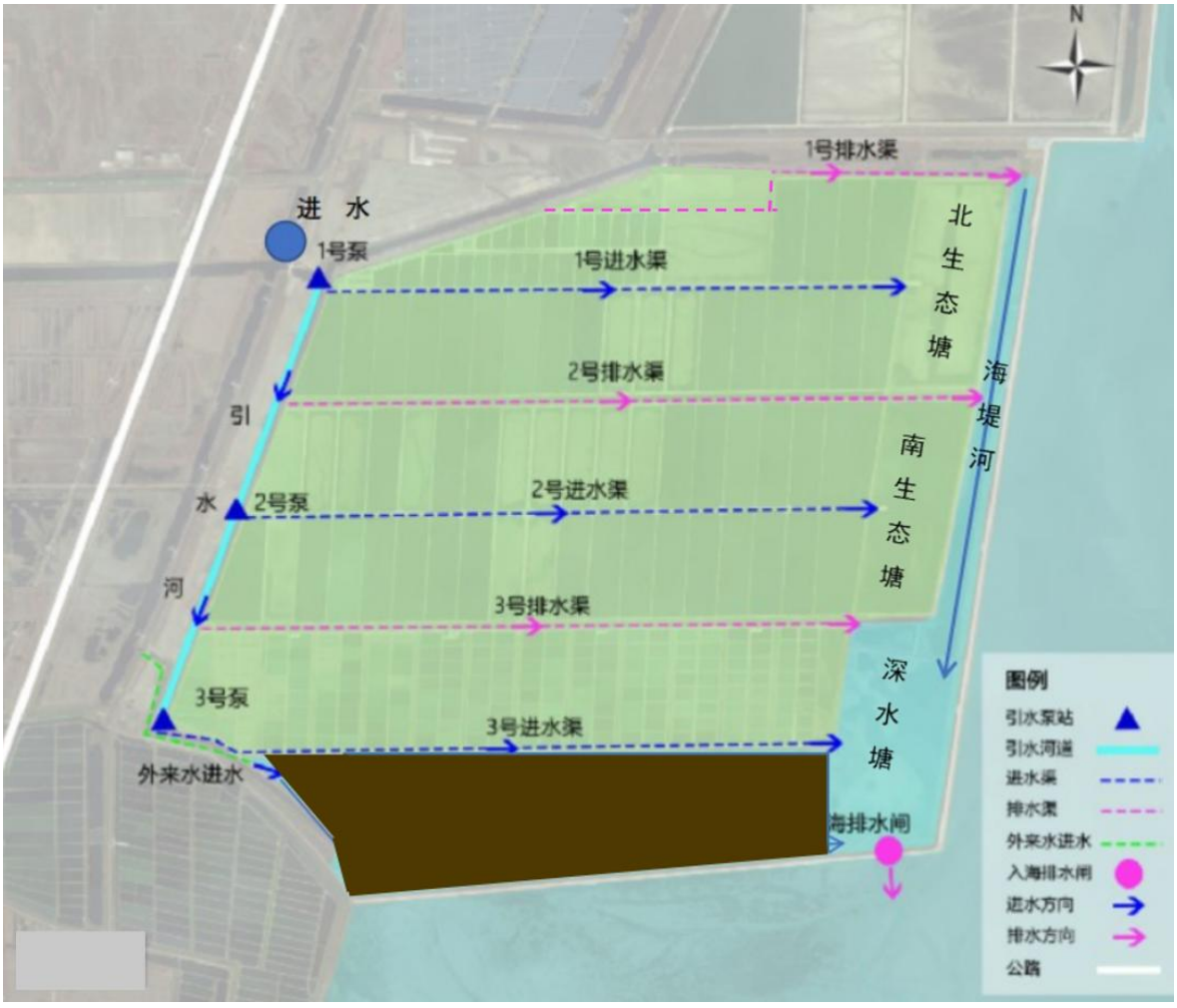


图 A.1 某淡水养殖区平面分布示意图

A.1.2 设计方案

设计最大日处理水量10万m^3/天，在传统“三池两坝”技术基础上，通过在曝气池植入MBBR，大幅提高整体系统的污染负荷。核心设计参数为：好氧区MBBR填充率50%，水力停留时间3.0 h，溶解氧2.0~4.0 mg/L；缺氧区填充率35%，水力停留时间5.0 h，溶解氧≤0.5 mg/L（以上参数符合本

文件表 4 的规定）。尾水组合治理工艺流程图见图 A.2。

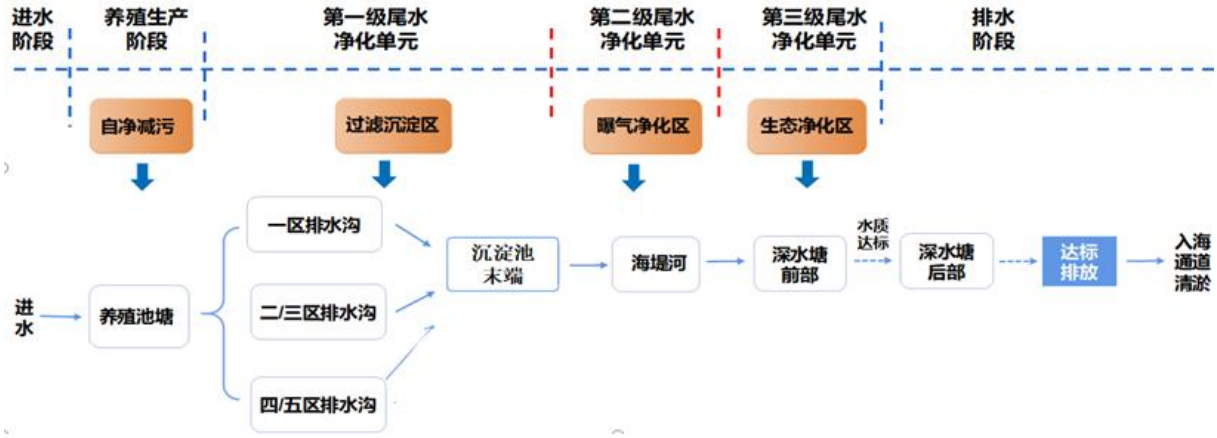


图 A.2 某淡水养殖区尾水组合治理工艺图

A.1.3 治理前后水质情况

尾水治理系统的实施，对水产养殖尾水进行了深度处理，进一步削减悬浮物、TN、TP、COD_{Mn} 等污染物，治理后悬浮物去除率达 76.04%，COD_{Mn} 去除率达 73.1%，TN 去除率达 41.9%，TP 去除率达 48.76%，对改善周边水域水质具有积极意义。治理前后主要污染物对比及去除率见表 A.1。

表 A.1 主要污染物治理前后对比及去除率

项目	悬浮物（mg/L）	COD_{Mn}(mg/L）	TN(mg/L)	TP(mg/L)
未治理前水质	96.0	20.6	4.2	1.29
稳定运行期间出水水质	23.0	5.5	2.4	0.66
去除率（%）	76.04	73.1	41.9	48.76

注：稳定运行期间出水水质满足本文件 5.1.6 规定的排放限值要求。

A.2　某养殖尾水治理措施项目

A.2.1　工程概况

某水产养殖尾水治理工作分布在五区、六区、七区、八区，包括外塘大宗鱼类养殖和小棚虾养殖，养殖池塘总面积约1.3万亩。治理工艺采用以“生态沉淀净化区+土著微生物MBBR曝气净化区+生态湿地净化区”为主体的治理技术，建设投资少、效果稳定、过程可控、占地面积省、设备长久有效、运维简单的治理工程。该养殖区平面分布见图A.3。

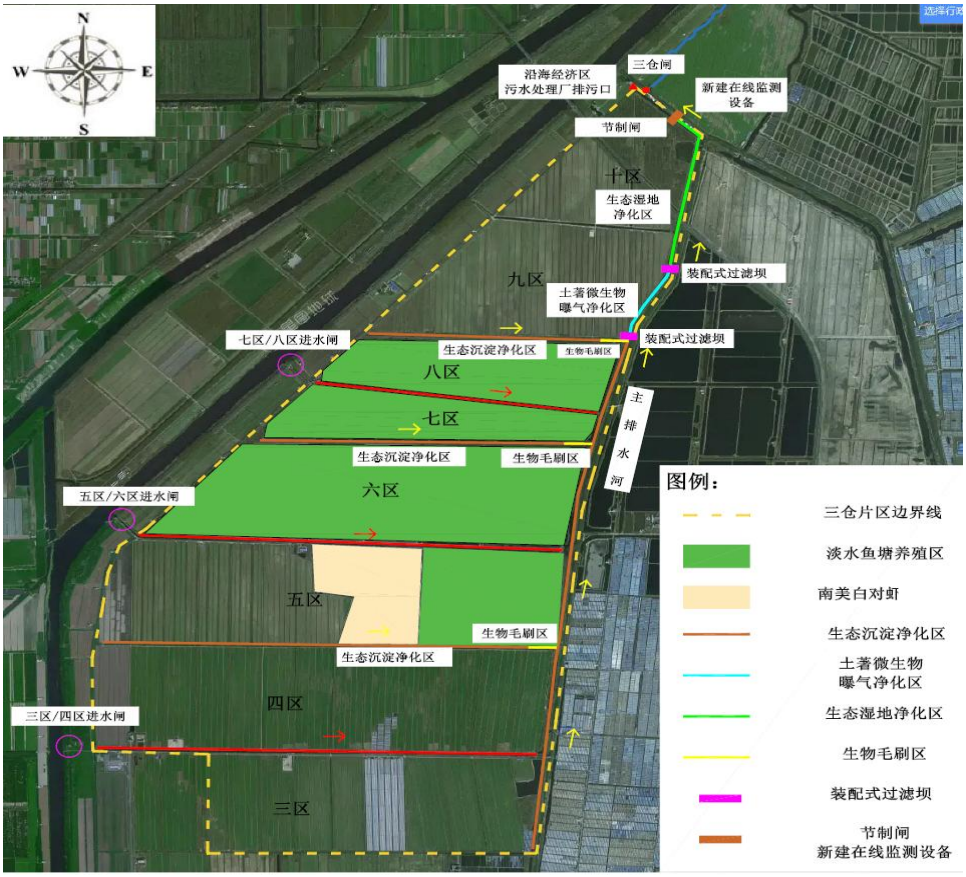


图 A.3 某水产养殖区平面分布图

A.2.2　设计方案

采用“强化型多级尾水治理工艺模式”的技术对其尾水进行净化处理，尾水治理工艺路线主要包括：生态沉淀净化区→生态过滤坝→土著微生物 MBBR 曝气净化区→生态过滤坝→生态湿地净化区→在线监测→达标排放。核心设计参数为：好氧区 MBBR 填充率 55%，水力停留时间 4.0 h，溶解氧 2.0~4.0 mg/L；缺氧区填充率 40%，水力停留时间 6.0 h，溶解氧≤0.5 mg/L（以上参数符合本文件表 4 的规定）。尾水组合治理工艺流程见图 A.4。

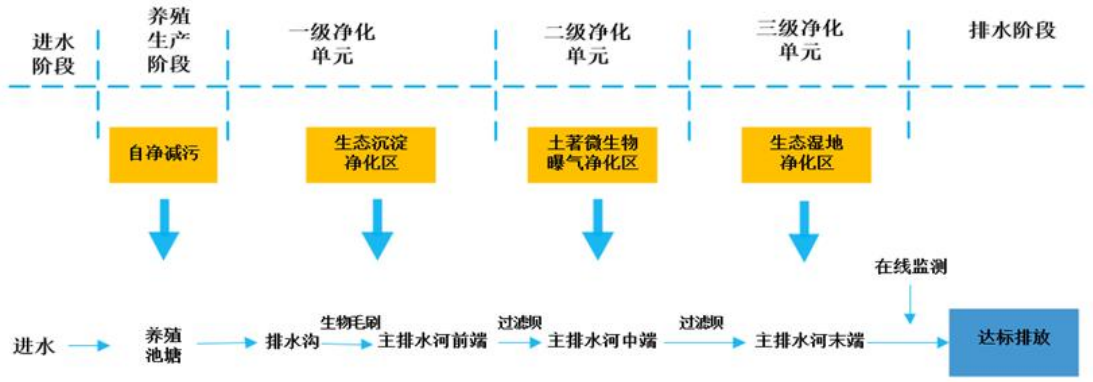


图 A.4 某养殖尾水治理工艺路线图

A.2.3 治理前后水质情况

尾水治理系统的实施，对水产养殖尾水进行了深度处理，进一步削减悬浮物、TN、TP、COD_{Mn}等污染物，治理后悬浮物去除率达 92.02%，COD_{Mn}去除率达 31.89%，TN 去除率达 53.39%，TP 去除率达 30.12%，进一步提升了排海尾水的水质。

表 A.2 治理前后平均值去除率

项目	悬浮物（mg/L）	COD_{Mn}(mg/L)	TN(mg/L)	TP(mg/L)
未治理前水质	269.4	18.94	9.01	0.83
稳定运行期间出水水质	21.5	12.90	4.20	0.58
去除率（%）	92.02	31.89	53.39	30.12

注：稳定运行期间的出水水质满足本文件 5.1.6 规定的排放限值要求。

参 考 文 献

[1] DB35/T 2101—2022 池塘养殖生物膜原位处理节水减排技术规范
[2] HG/T 5924—2021 废（污）水处理用生物膜载体
[3] T/JSYX 7-2025 池塘养殖尾水微生物强化生态处理技术规范
[4] T/SDEPI 031-2022 水处理生物膜速净工艺（BFM）技术规程