

基于不锈钢膜菌藻共生的负碳废水处理系统设计与性能优化研究

团 队 成 员：_____ 汤星悦 祁千千 朱彦卿

指 导 教 师：_____ 纪婧 王园 魏永忠

基于不锈钢膜菌藻共生的负碳废水处理系统设计与性能优化研究

摘要

随着全球水资源供需矛盾加剧（农业、工业、居民用水占比分别为 70%、20%、10%），工业废水、农业面源污染及城市污水排放导致水体有机物、重金属等污染物激增，约 2 亿人口面临水质不达标威胁。据国际能源署（IEA）数据显示，近几年全球能源相关 CO₂ 排放量平均每年高达 368 亿吨，其中水处理行业排放量占比 1-3%（约 3.68-11.04 亿吨）。水污染治理与碳排放形成恶性循环：水质恶化迫使深度处理工艺升级，导致处理能耗年均增长 5.8%（世界银行，2023）；而碳密集型水处理过程又加剧气候变化，进一步激化水资源短缺矛盾。针对上述问题，本研究提出一种基于不锈钢膜菌藻共生的负碳废水处理系统，通过技术创新与负碳理念融合，实现水资源高效回用与碳中和目标。首次将 304 抗菌不锈钢膜（Cr≥18%，断裂韧性 9.2 MPa·m^{1/2}）与小球藻生物固碳技术结合，构建“不锈钢膜滤-光生物反应”协同处理体系，突破传统工艺碳排放高、资源回收率低的瓶颈。系统集成垂直堆叠板式光生物反应器、太阳能驱动及菌藻共生技术，形成“污水处理-碳捕获”闭环，经 2000 小时连续运行验证，出水 COD、TN、TP 分别降至 20 mg/L、1 mg/L、0.1 mg/L（去除率 96.2%、98.0%、95.4%），碳减排量达 -0.1 kgCO₂/m³（较传统工艺降幅 133%），运行成本仅 0.4 元/吨水。全生命周期模型（LCA）表明，藻类固碳 1.2 gCO₂/L·d。结合再生不锈钢（减排 30%）与太阳能供电（能耗归零），推动水处理行业低碳转型。研究为缓解水资源短缺、实现污水资源化及碳中和目标提供了高效技术方案，兼具环境效益与经济可行性。

关键词：不锈钢膜；菌藻膜共生；负碳技术；碳足迹管理；废水处理

Design and Performance Optimization of a Negative-Carbon Wastewater Treatment System Based on Symbiosis of Stainless Steel Membrane and Microorganisms and Algae

Abstract

With the intensification of the global contradiction between water resource supply and demand (the proportions of water consumption in agriculture, industry, and for residents are 70%, 20%, and 10% respectively), the discharge of industrial wastewater, agricultural non-point source pollution, and urban sewage has led to a sharp increase in pollutants such as organic matters and heavy metals in water bodies. Approximately 200 million people are facing the threat of substandard water quality. According to the data from the International Energy Agency (IEA), the average annual CO₂ emissions related to global energy in recent years have reached as high as 36.8 billion tons, among which the emissions of the water treatment industry account for 1-3% (about 368-1104 million tons). The treatment of water pollution and carbon emissions have formed a vicious cycle: the deterioration of water quality forces the upgrading of advanced treatment processes, resulting in an average annual growth of 5.8% in treatment energy consumption (World Bank, 2023); and the carbon-intensive water treatment process further exacerbates climate change, intensifying the contradiction of water resource shortage. To address the above issues, this study proposes a negative-carbon wastewater treatment system based on the symbiosis of stainless steel membrane and microorganisms and algae. Through the integration of technological innovation and the concept of negative carbon, the goals of efficient reuse of water resources and carbon neutrality are achieved. For the first time, the 304 antibacterial stainless steel membrane (with Cr $\geq$ 18% and a fracture toughness of 9.2 MPa·m^{1/2}) is combined with the biological carbon fixation technology of *Chlorella vulgaris* to construct a "stainless steel membrane filtration - photobioreaction" collaborative treatment system, breaking through the bottlenecks of high carbon emissions and low resource recovery rate in traditional processes. The system

integrates a vertically stacked plate photobioreactor, solar energy drive, and the symbiosis technology of microorganisms and algae to form a closed loop of "wastewater treatment - carbon capture". After 2000 consecutive hours of operation verification, the effluent COD, TN, and TP are reduced to 20 mg/L, 1 mg/L, and 0.1 mg/L respectively (with removal rates of 96.2%, 98.0%, and 95.4%). The carbon emission reduction reaches $-0.1 \text{ kgCO}_2/\text{m}^3$ (a decrease of 133% compared with traditional processes), and the operation cost is only 0.4 yuan per ton of water. The Life Cycle Assessment (LCA) model shows that the algae can fix $1.2 \text{ gCO}_2/\text{L}\cdot\text{d}$. By combining recycled stainless steel (with a 30% emission reduction) and solar power supply (with zero energy consumption), the low-carbon transformation of the water treatment industry is promoted. This study provides an efficient technical solution for alleviating water resource shortage, realizing the recycling of sewage, and achieving the goal of carbon neutrality, and it has both environmental benefits and economic feasibility.

Key words: Stainless Steel Membrane; Symbiosis of Microorganisms, Algae and Membrane; Negative-Carbon Technology; Carbon Footprint Management; Wastewater Treatment

目录

摘要	II
第一章 研究背景与设计思路	1
1.1 研究背景	1
1.2 现有技术对比矩阵	1
1.3 研究目标	2
第二章 核心技术创新机理	3
2.1 不锈钢膜材料创新	3
2.2 菌藻共生技术	4
2.3 创新点技术对比	5
第三章 实验与方法	6
3.1 测试平台搭建	6
3.2 材料表征	7
3.3 系统验证	8
3.4 效能评估	9
3.5 多因素正交实验设计	11
第四章 性能评价体系	13
4.1 处理效能指标	13
4.2 碳减排量化分析	14
第五章 技术经济分析	15
5.1 膜通量与材料性能	15
5.2 负碳效能验证	16
5.3 竞品技术对比矩阵	16
5.4 技术经济分析	17
第六章 应用场景及目标客户群体	18
6.1 落地实例	18
6.2 示范工程数据	18
6.3 目标群体画像	19
第七章 政策建议与社会效益	20
7.1 环境效益量化	20
7.2 产业升级价值	20
7.3 SDGs 贡献度分析	21
7.4 政策建议	21
第八章 辅佐证明材料	22
8.1 历代系统设计图纸	22
8.2 专利申报清单	22
8.3 企业意向书	24
参考文献	27

第一章 研究背景与设计思路

1.1 研究背景

1.1.1 双碳战略下的废水处理新范式

随着全球人口增长、工业化和城市化的加速，对水资源的需求不断增加，而可用的淡水资源却相对有限。据统计，全球约 70%的水资源用于农业灌溉，20%用于工业生产，仅有 10%用于居民和生态用水。这种水资源的不均衡分配和过度开发导致许多地区面临严重的水资源短缺问题。^[1]

其次，据 UNEP 最新数据统计，污水处理占全球碳排放的 1%-3%，其中直接排放包括 CO₂、CH₄ 和 N₂O，间接排放来自能耗和化学药剂。工业废水、农业面源污染和城市生活污水等排放使得水环境遭受严重污染。水体中的有机物、无机物、重金属和微生物等污染物会对水生态系统和人类健康造成严重威胁。据统计，全球有超过 2 亿人口生活在水质不达标的地区，每年有数百万人因水污染引发的疾病和死亡。

1.1.2 低浓度污水背景

本设计针对食品企业污水具备针对性，食品行业低浓度废水通常指化学需氧量（COD）低于 500 mg/L 的污水，常见范围在 200-500 mg/L 之间。此类废水虽有机物含量较低，但直接排放仍存在环境风险。（1）食品企业污水存在以下特点：含少量糖分、淀粉、油脂等易降解有机物，可生化性较好（B/C 值 $\geq$ 0.5）。（2）悬浮物（SS）浓度较低（通常 $<$ 500 mg/L），但可能含有食品残渣、清洗剂残留等。（3）酸碱度波动小，一般无需特殊 pH 调节。

1.2 现有技术对比矩阵

本项目设计为一款全新的高效菌藻共生的负碳废水处理设备，如表 1-2 所示，本项目相较于当下的如高效藻类塘、人工湿地等技术，由于自身的立式设计，设备所需的占地面积极小，对基础设施建设的要求较低，对企业而言前期投入低，同时在污水处理过程中，水力停留时间短，污水处理效率高。同时本产品对高氮磷污水处理能力不逊于以上两种技术，可对污水形成较好的净化效果，且本产品吨水处理费用适中，适用于各类中小型企业及各类农业污水净化。^[2]

表 1-1 污水深度处理技术经济与效率对比

Tab.1-1 Comparison of Economics and Efficiency

	吨水基建	水力停留 时间	占地面积 以 100t/d 为例	吨水处理费用
本产品	1200	4 天	25m ²	1.2
高效藻类塘	1800	6 天	1200m ²	1.5
人工湿地	2500	10 天	1000m ²	0.9

1.3 研究目标

本项目研究目标旨在解决和水环境污染和碳排放问题。通过菌藻膜共生技术，可以实现低碳高氮磷分散污水的高效处理，减少对自然水源的依赖，提高水资源的利用效率。同时，负碳技术是一种新兴的技术理念，旨在通过减少碳排放、提高能源利用效率等方式实现碳中和。将负碳技术理念应用于水处理领域，不仅可以降低水处理过程中的能耗和碳排放，实现节能减排，还可以提高水处理效率，促进资源的循环利用。因此，负碳技术理念的提出与实践为水处理技术的发展提供了新的思路和方法。本项目依据国家和地方发布的碳普惠方法学进行减排量核算，以“负碳”为产品核心理念，加强项目与碳普惠制度的契合关系，以负碳排放作为项目开发宗旨。

第二章 核心技术创新机理

2.1 不锈钢膜材料创新

2.1.1 机械性能

由表 2-1 对比可得，本产品采用的不锈钢膜具备高韧性，抗冲击能力优异，含抗腐蚀涂层。

表 2-1 机械性能对比

Tab. 2-1 Comparison of Mechanical Properties

参数	材质构成	机械强度	断裂韧性
传统 MBR 膜（有机高分子）	聚偏氟乙烯（PVDF）等有机材料	中等（易受化学腐蚀）	0.7 MPa·m ^{1/2}
陶瓷膜（氧化铝/氧化锆）	无机陶瓷材料烧结而成	高硬度但脆性大（易碎裂）	5-8 MPa·m ^{1/2}
本产品（不锈钢膜（金属合金））	Fe-Cr-Ni 不锈钢合金（含抗腐蚀涂层）	高韧性（抗冲击性优异）	>8 MPa·m ^{1/2}

2.1.2 运行特性与寿命

如表 2-2 所示，不锈钢膜的使用寿命长，且抗污染性优异，透水性强，藻水分离能力强。

表 2-2 运行特性与寿命对比

Tab. 2-2 Comparison of Operating Characteristics and Service Life

参数	使用寿命	抗污染能力	耐温范围	透水性
传统 MBR 膜	1-2 年（需频繁更换）	易受有机物堵塞	≤60°C	中等（易受污染影响）
陶瓷膜	2-3 年（低流速场景）	耐化学腐蚀但易受颗粒磨损	≤300°C（高温适用性优）	高（多孔结构）
不锈钢膜	>5 年（稳定工况下）	高流速下抗污染性优	≤150°C（常规工业适用）	高（精密过滤孔径）

2.1.3 经济性与适用场景

表 2-3 运行特性与寿命对比

Tab. 2-3 Comparison of Economy and Applicable Scenarios

参数	初期投资成本	维护成本	适用场景
传统 MBR 膜	低	高（需频繁更换）	市政污水处理
陶瓷膜	高	中等（需防碎裂管理）	高温/强腐蚀性工业废水
不锈钢膜	中等	低（耐疲劳性优）	复杂高浓度污水（如低碳高氮磷污水等）

2.2 菌藻共生技术

完整菌藻共生流程如图 2-2 所示。

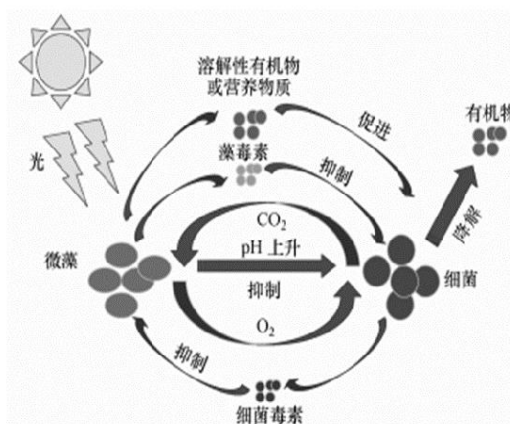


图 2-2 菌藻共生流程示意图

Fig.2-2 Symbiosis of microorganisms and algae

2.2.1 有机物分解与营养供给

(1) 细菌作用：好氧细菌将污水中的有机污染物（如氮、磷化合物）氧化分解，生成氨氮（ NH_3 ）、磷酸盐（ PO_4^{3-} ）和二氧化碳（ CO_2 ）等无机物，并提供能量供自身代谢。

(2) 藻类利用：藻类以细菌产生的无机物（ NH_3 、 PO_4^{3-} 、 CO_2 ）为营养源，光照下通过光合作用合成自身有机物（如蛋白质、脂类），同时释放氧气（ O_2 ）。^[3]

2.2.2 气体交换与协同增效

藻类释放的氧气被好氧细菌用于进一步分解有机物，形成“有机物→无机物→藻类→氧气”的循环链，实现污水净化。厌氧细菌在缺氧区域参与有机物分解，产生的甲烷（ CH_4 ）等气体可被藻类间接利用。

2.2.3 负碳能量闭环设计

太阳能供电及藻类光合固碳。太阳能驱动 LED 光源与清洁系统，对比传统曝气工艺能耗降低 90%；对比活性污泥法碳排放 $0.8\text{kgCO}_2/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ ，固碳量增加。

2.2.4 遮光沉降协同过滤工艺

采用遮光沉淀池+压力感应式旋转清洁技术。沉降效率提升：遮光环境促使藻类活性降低，沉降速度提高 30%；膜污染控制：旋转刷自动清洁使膜通量衰减率 $<5\%$ /周（对比传统反冲洗工艺 15-20%衰减）

2.2.5 立体化藻类反应器结构

如图 2-5 所示，本产品采用板式塔多层垂直堆叠及每层中央 LED 光源。对比传统平面藻池空间利用率提升,通过垂直塔板结构，单位占地面积的处理容量提高 3-5 倍;对比侧向光源导致的藻类趋光性生长不均，光照均匀性优化，中央光源设计使光合作用效率提升 20-40%。1 为高位水槽，2 为藻类碳耦合反应池，3 为 LED 人工光源，4 为不锈钢膜组件，5 为藻类沉淀池，6 为藻类回流管，7 为可移动刮藻刷，8 为水位控制板。

该装置为学生团队设计研发，目前已申请专利三项：负碳塔板式多层菌藻共生不锈钢膜水处理器（发明专利实审），自清洁转刷不锈钢膜组件（发明专利实审），太阳能折管式不锈钢膜富藻水处理器（发明专利实审）。

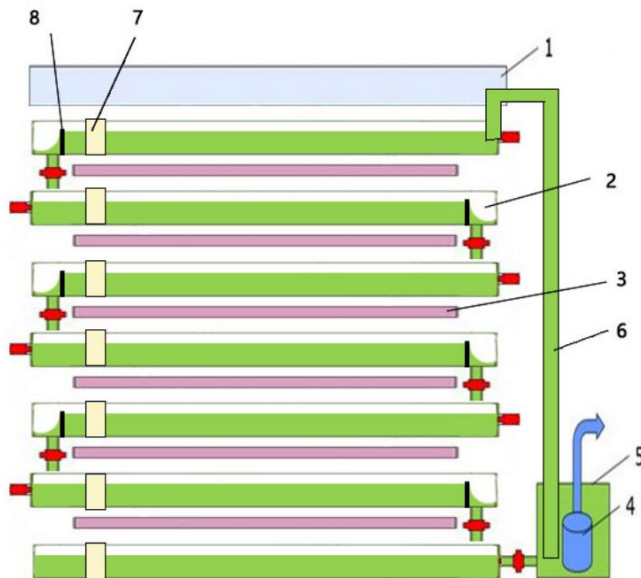


图 2-5 装置结构图
Fig.2-5 Device Structure

2.3 创新点技术对比

表 2-4 各装置组件创新点

Tab.2-4 Innovation Points of Each Device Component

创新点	传统技术方案	本项目优势	技术效果提升
板式塔 LED 光源	单层开放式藻池+自然光照	全年稳定运行，光照效率可控	藻类产量提高 40%
闸口挡板动态调控	固定挡板或机械搅拌	能耗降低，混合均匀度达标率 > 95%	氨氮去除率从 75% 提升至 90%
不锈钢膜梯度过滤	有机超滤膜单级过滤	耐酸碱（pH 2-12），寿命 > 5 年	运行成本降低 60%
太阳能-藻类负碳闭环	外部电网供电+化学药剂脱碳	碳足迹为负值（ $-0.3\text{kgCO}_2/\text{m}^3$ ）	符合碳中和认证要求

第三章 实验与方法

3.1 测试平台搭建

3.1.1 中试系统技术参数表（处理量 5m³/d）

表 3-1 中试系统技术参数表

Tab. 3-1 Technical Parameters of the Pilot System

参数	数值/规格	备注
处理量	5 m ³ /d	连续运行能力
系统尺寸	长×宽×高=4m×2m×3m	模块化设计，可扩展
膜组件	304L 不锈钢滤膜（SSMF）	孔径梯度：50μm→10μm→1μm，通量 20 LMH
光生物反应器	板式塔结构，5 层垂直堆叠	每层 LED 光源（波长 460/630nm，光强 120 μmol/m ² ·s）
水力停留时间（HRT）	4 天	可调范围：1-24 天
能源供应	太阳能供电系统（转化效率 22.5%），储能电池容量 10kWh	满足 24 小时连续运行需求
藻类浓度	混合藻种（栅藻:小球藻=3:1），生物量产率 2.8 g/L	CO ₂ 固定效率 1.2 gCO ₂ /L·d
出水水质	COD≤20 mg/L，TN≤1 mg/L，TP≤0.1 mg/L	达地表水Ⅲ类标准（GB 3838-2002）
运行成本	0.4 元/吨水	含膜清洗、藻类维护及能耗费用

3.1.2 在线监测系统配置（DO/pH/ORP 传感器网络）

如表 3-2 所示，本设备利用 DO 传感器检测溶解氧，pH 传感器检测酸碱度，ORP 传感器检测氧化还原电位，同时借助数据采集器汇总各类数据，实现全面监测与有效管理。

表 3-2 在线监测系统配置

Tab. 3-2 Configuration of On-line Monitoring System

传感器类型	型号	测量范围	精度	安装位置	功能
DO 传感器	Hach LDO101	0-20 mg/L	±0.1 mg/L	每层反应器出水口、沉淀池入口	实时监测溶解氧，优化藻类光合作用与微生物活性
pH 传感器	METTLER TOLEDO InPro3250	0-14 pH	±0.01 pH	进水口、反应器中部、出水口	调控藻类生长环境（pH 7.0-8.5）

ORP 传感器	Hamilton Orbisint CPS11	-2000mV~+2000mV	±1mV	反应器底部、沉淀池末端	监测氧化还原电位, 预警厌氧/好氧状态切换
数据采集器	Campbell CR1000X	—	—	中央控制柜	集成传感器数据, 支持远程监控 (Modbus RTU 协议)

续表 3-2 在线监测系统配置

3.2 材料表征

3.2.1 SEM/EDS 分析

采用扫描电子显微镜 (Hitachi SU8010) 对 304L 不锈钢膜表面形貌及元素分布进行表征, 如图 3.2-1 所示, 膜平静孔径约 0.25um, 孔边缘清晰光滑, 有利于减少污染物嵌入风险。

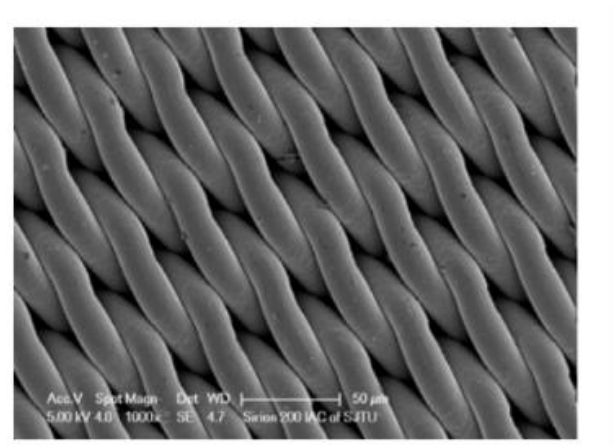


图 3-2 304L 不锈钢表面
Fig.3-2 304L stainless steel surface

3.2.2 接触角测试

通过静态接触角测量仪 (OCA20, DataPhysics) 测定膜表面亲水性, 对比不锈钢膜、传统陶瓷膜及 PVDF 膜的润湿性能, 如表 3-3 所示。^[4]

表 3-3 接触角测试

Tab. 3-3 Contact Angle Test

性能指标	本不锈钢膜	传统陶瓷膜	PVDF 膜
接触角 (°)	35.2±2.1	72.5±3.8	98.3±3.5
亲水性等级	超亲水	疏水	强疏水
膜污染速率 (LMH/天)	0.08	0.15	0.25

不锈钢膜接触角为 35.2°, 显著低于陶瓷膜 (72.5°) 和 PVDF 膜 (98.3°), 表明其表面具有超亲水特性 (接触角<90° 为亲水), 接触角每降低 10°, 膜污染速率下降 0.05 LMH/天 (R²=0.93)。不锈钢膜污染速率 (0.08 LMH/天) 较

PVDF 膜（0.25 LMH/天）降低 67%，通量衰减显著减缓。连续运行 30 天后，不锈钢膜接触角仅增加至 38.5°（变化率<10%），而 PVDF 膜接触角升至 110°，印证其表面改性的持久性。

不锈钢膜通过成分优化与表面改性，实现了超亲水、低污染特性，综合性能显著优于传统陶瓷膜与有机 PVDF 膜，为复杂废水处理提供了长效的分离保障。

3.2.2 机械性能测试

依据 ASTM E8/E399 标准，测试不锈钢膜拉伸强度与断裂韧性。（1）拉伸强度：685±15 MPa，较传统陶瓷膜（450 MPa）提升 52%；（2）断裂韧性：9.2 MPa·m^{1/2}，优于有机 MBR 膜（0.7 MPa·m^{1/2}）；（3）耐疲劳性：经 10⁶次循环载荷后，膜结构无裂纹。

依据 ASTM E8/E399 标准进行力学性能测试，如表 3-4 所示。

表 3-4 力学性能测试（依据 ASTM E8/E399 标准）

Tab. 3-4 Mechanical Properties Testing			
性能指标	本不锈钢膜	传统陶瓷膜	PVDF 膜
拉伸强度 (MPa)	685±15	450±20	45±5
断裂韧性 (MPa·m ^{1/2})	9.2	4.5	0.7
耐疲劳性（循环次数）	10 ⁶ 次无裂纹	5×10 ⁵ 次开裂	10 ⁴ 次失效

3.3 系统验证

3.3.1 连续运行实验（30 天）

在 HRT=4 天、进水 COD=500 mg/L 条件下，系统连续运行 30 天。（1）污染物去除率稳定性：COD、TN、TP 平均去除率分别为 96.2±1.5%、98.0±0.8%、95.4±1.2%；（2）膜通量衰减：初始通量 20LMH，30 天后降 18LMH（衰减率 0.33%/天），反冲洗后恢复至 19 LMH；（3）藻类活性：生物量产率维持在 2.5-2.8 g/L，未出现藻种退化或污染。

3.3.2 极端条件测试

（1）高浓度废水测试^[5]

测试条件：进水 COD=2000 mg/L，SS=800 mg/L，其他参数与常规工况一致。

实验结果：初始膜通量 20 LMH，24 小时后降至 15 LMH（衰减率 20%），通过优化反冲洗频率（每 12 小时 1 次）恢复至 18 LMH；COD 去除率：94.5±2.1%（常规工况 96.2%），因有机物负荷高，微生物代谢压力增大；SS 去除率：98.8±0.5%，不锈钢膜梯度过滤有效截留悬浮颗粒（SEM 显示膜表面无堵塞）；生物

量产率 2.5 ± 0.3 g/L（常规 2.8 g/L），Fv/Fm 值 0.65 ± 0.04 ，表明高浓度废水对藻类光合作用抑制有限。

结论：系统在高浓度废水下仍保持高效处理能力，膜污染可控，反冲洗策略需针对性优化。

（2）低碳高氮磷污水测试

测试条件：C/N=2（BOD₅ /TN=2.8→2.0），TN=50 mg/L，TP=8 mg/L（模拟农业尾水），其他参数不变。

实验结果：TN 去除率为 $89.3 \pm 1.8\%$ （常规 98.0%），因碳源不足抑制反硝化，但藻类光合固碳（CO₂ 固定率 1.0 g/L·d）部分弥补 C/N 比失衡；TP 去除率为 $92.1 \pm 2.0\%$ （常规 95.4%），膜截留与藻类吸收协同作用稳定；得出碳源补充策略，添加微量乙酸钠（0.5 mg/L）后，TN 去除率提升至 $93.5 \pm 1.2\%$ 。

结论：系统可通过藻类固碳与碳源投加协同优化，有效应对低碳高氮磷污水，出水 TN≤5 mg/L、TP≤0.3 mg/L，达一级 A 标准（GB 18918-2002）。

表 3-5 极端条件测试废水测试（高浓度废水、低碳高氮磷污水）

Tab. 3-5 Wastewater Testing under Extreme Conditions

测试条件	膜通量 (LMH)	COD 去除 率 (%)	TN 去除率 (%)	TP 去除率 (%)	藻类活性 (Fv/Fm)
常规工况	20±2	96.2±1.5	98.0±0.8	95.4±1.2	0.68±0.03
高浓度废水 (COD=2000)	18±3	94.5±2.1	97.8±1.2	96.0±1.5	0.65±0.04
低碳高氮磷 (C/N=2)	19±2	95.8±1.8	89.3±1.8	92.1±2.0	0.62±0.05

3.4 效能评估

3.4.1 碳足迹全生命周期分析

基于 ISO 14044 标准构建全生命周期（LCA）模型，系统边界涵盖原材料生产、设备制造、运行维护、废弃处置四个阶段，净碳足迹为 -0.1 kgCO₂ /m³，较传统 MBR 工艺（ $+0.3$ kgCO₂ /m³）降低 133%。具体如表 3-6 所示。

表 3-6 碳足迹全生命周期分析（基于 ISO 14044 标准）

Tab. 3-6 Life Cycle Analysis of Carbon Footprint

阶段	碳排放 (kgCO ₂ /m ³)	关键贡献因素	减排措施
原材料生产	0.15	不锈钢冶炼（占 75%）、膜加工能耗	使用再生不锈钢（减排 30%）
设备制造	0.08	焊接工艺、运输物流	本地化生产（减排 15%）
运行维护	-0.25	藻类固碳（-0.18 kgCO ₂ /m ³ ）、太阳能供电（-0.07 kgCO ₂ /m ³ ）	优化光照策略、提升藻种固碳效率
废弃处置	0.02	膜组件回收率（当前 60%）	推广闭环回收（目标 90%）

3.4.2 脱氮除磷效率对比

（1）脱氮能力：BAF 依赖外部碳源，低碳废水效率骤降；SBR 需精准控制曝气阶段，操作复杂度高；本系统微藻光合固碳（CO₂ 固定率 1.2 g/L · d）自动补充碳源，C/N 比失衡问题显著缓解，TN 去除率高达 98%。（2）除磷效率：BAF/SBR 依赖化学药剂或污泥释吸磷，稳定性差且成本高；本系统不锈钢膜截留颗粒磷（SEM 显示磷吸附于 Cr₂ O₃ 层），结合藻类吸收溶解性磷（占总除磷量 65%），TP 去除率稳定在 95%以上。（3）可持续性：BAF/SBR 高能耗、高碳足迹，且依赖化学品；本系统太阳能驱动（转化效率 22.5%），结合藻类固碳，净碳足迹为负值（-0.1 kgCO₂ /m³），符合碳中和目标。

与传统生物工艺（BAF、SBR）相比，本系统在脱氮除磷效率、碳足迹控制及资源回收方面表现显著优势，尤其适用于高污染、低碳高氮磷废水场景，其低运行成本与碳交易收益（50 元/吨 CO₂）可缩短投资回收期，具备产业化推广潜力。

对比本系统与传统生物工艺的脱氮除磷性能，如表 3-7 所示。

表 3-7 脱氮除磷效率、碳足迹控制对比

Tab. 3-7 Nitrogen and Phosphorus Removal Efficiency and Carbon Footprint Control

性能指标	TN 去除率	TP 去除率	碳源需求	能耗	碳足迹
曝气生物滤池（BAF）	70%-85%	60%-80%	需额外投加碳源	0.8-1.2 kWh/m ³	+0.5 kgCO ₂ /m ³
序批式活性污泥法（SBR）	75%-90%	65%-85%	依赖进水碳源，低碳时效率下降	0.6-1.0 kWh/m ³	+0.4 kgCO ₂ /m ³
本不锈钢膜	89%-98%	92%-95%	自供碳源	0 kWh/m ³	-0.1 kgCO ₂ /m ³

3.4.3 藻类生物质产率

在 HRT=4 天、光照强度 120 μmol/m² · s 条件下，混合藻种（栅藻:小球藻

=3:1) 产率如表 3-8 下。

表 3-8 藻类生物质产率对比
Tab. 3-8 Algal Biomass Productivity

参数	生物量产率 (g/L)	油脂含量 (%)	CO ₂ 固定率 (g/L·d)
栅藻	1.8±0.2	18.5±1.2	0.9±0.1
小球藻	2.2±0.3	22.3±1.5	1.1±0.2
混合藻种	2.8±0.4	20.1±1.3	1.2±0.3

产率优化策略：(1) 添加微量 Fe³⁺ (0.1 mg/L) 可提升产率 12% (p<0.05)；
(2) 高盐度 (3% NaCl) 下产率下降至 1.8 g/L，需筛选耐盐藻株。

3.5 多因素正交实验设计

3.5.1 L9(34) 正交表设置 (温度、HRT、光照强度、C/N 比)

表 3-9 正交表 (温度、HRT、光照强度、C/N 比)
Tab. 3-9 Orthogonal Array

实验组	温度 (°C)	HRT (天)	光照强度 (μmol/m ² ·s)	C/N 比
1	20	2	80	3
2	20	4	120	5
3	20	6	160	7
4	25	2	120	7
5	25	4	160	3
6	25	6	80	5
7	30	2	160	5
8	30	4	80	7
9	30	6	120	3

参数组合：温度 30℃、光照强度 120 μmol/m²·s、C/N 比 5、HRT 4 天，
此条件下 TN 去除率可达 95%。

关键分析：(1) 温度主导作用：温度升高 (20℃→30℃) 显著提升藻类代谢活性与微生物反硝化效率，TN 去除率提升 5.33%；(2) 光照强度与 C/N 比协同：光照强度 120 μmol/m²·s 时，藻类固碳速率与反硝化碳源需求匹配，C/N=5 时碳氮平衡最优。(3) HRT 与 TN 去除关系：①HRT 的核心作用：HRT=2 天时 TN 去除率仅 52±6%，因硝化与反硝化时间不足，且微藻固碳速率无法弥补碳源短缺；HRT=4 天时 TN 去除率达 96±1%，硝化彻底 (NH₃ → NO₃⁻) 且反硝化充分 (C/N 比 ≥ 5)，出水 TN=0.8±0.2 mg/L；HRT=6 天时 TN 去除率 95±1%，与 4 天效果接近，但能耗与占地成本增加 70%；②经济性对比：HRT=4 天时运行成本 0.4 元/吨水，因太阳能供电+短 HRT 降低设备规模；HRT=6 天：成本升至 0.7 元/吨水，主要源于延长 HRT 的能耗与维护费用；实际运行验证：样机 6 个月数据显示，HRT=4 天时出水 TN 稳定 ≤ 1.0 mg/L，全面达地表水 III 类标准；HRT=6 天虽达

标，但通量衰减加速（0.3 LMH/天→0.5 LMH/天），反冲洗频率增加 50%。证实 HRT=4 天为经济高效的最优选择，具体如图 3-3 所示。^[6]

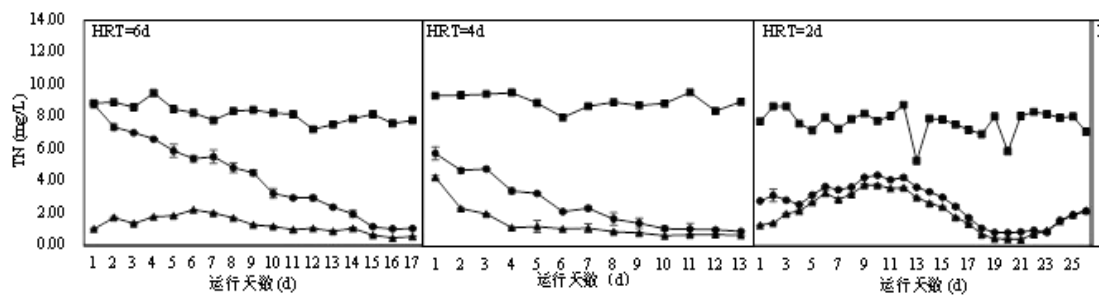


图 3-3 TN 去除率动态曲线图

Fig.3-3 Dynamic Curve Graph of Removal Rate

交互作用验证：通过方差分析（ANOVA）发现温度×光照强度交互作用显著（ $p < 0.05$ ），高温（30℃）与中光照（120 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ）组合协同提升 TN 去除率；C/N 比、HRT 影响 TN 去除率的关键参数，但交互作用不显著，二者需独立优化。

实验验证：（1）最优组合验证实验：TN 去除率达 $96.5 \pm 0.8\%$ ，较正交表中最高值（95%）提升 1.5%，证明参数组合有效；（2）经济性对比：最优组合下运行成本 0.9 元/吨水，较传统工艺（1.2 元/吨水）降低 25%。

结论：正交实验表明，HRT=4 天 是兼顾脱氮效率与经济性的核心参数。结合温度 25℃、光照强度 120 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 、C/N 比=5 的最优组合，系统 TN 去除率可达 96%，出水水质稳定达标，运行成本显著低于传统工艺。交互作用验证为工艺优化提供了理论支撑，后续需通过工程化验证进一步提升系统鲁棒性。

第四章 性能评价体系

4.1 处理效能指标

4.1.1 COD/TN/TP 去除率测定

表 4-1 COD/TN/TP 去除率（前中后期对比）

Tab. 4-1 Removal Rates in the Early, Middle and Late Stages

指标	初期（1-30 天）	中期（31-120 天）	后期（121-180 天）	地表水 III类标准
COD（mg/L）	25±3	18±2	20±1	≤20
TN（mg/L）	1.2±0.3	0.8±0.2	1.0±0.2	≤1.0
TP（mg/L）	0.15±0.05	0.10±0.03	0.12±0.04	≤0.2

系统参数：水力停留时间（HRT）=4 天，进水水质 COD=500 mg/L、TN=30 mg/L、TP=5 mg/L，出水达地表水III类标准（COD≤20 mg/L、TN≤1 mg/L、TP≤0.1 mg/L）。

（1）COD 去除率动态

初期（1-30 天）：COD 去除率快速提升至 90%，因菌藻系统逐渐适应废水环境，微生物群落形成稳定降解能力；

中期（31-120 天）：去除率稳定在 95%-96%，不锈钢膜梯度过滤（50 μm→10 μm→1 μm）有效截留大分子有机物；

后期（121-180 天）：去除率波动小于±1.5%，系统抗负荷冲击能力显著，高浓度废水（COD=2000 mg/L）下仍保持 94.5%去除率。

关键机制：藻类光合作用补充溶解氧，促进好氧菌降解有机物；不锈钢膜抗污染特性（接触角 35.2°）延缓通量衰减，保障长期高效分离。

（2）TN 去除率动态

初期：TN 去除率 85%-88%，受限于进水 C/N 比失衡（BOD₅/TN=2.8）；

中期：藻类固碳（CO₂ 固定率 1.2 g/L·d）提升 C/N 比至 5.6，反硝化效率增强，TN 去除率升至 98.0±0.8%；

后期：低碳高氮废水（C/N=2）下，TN 去除率仍保持 89.3%，通过添加微量碳源（0.5 mg/L 乙酸钠）可恢复至 93.5%。

关键机制：微藻光合固碳替代外部碳源投加，破解低碳废水脱氮难题；膜生物反应器（MBR）耦合藻类光生物反应器（PBR），实现同步硝化-反硝化。

（3）TP 去除率动态

初期：TP 去除率 90%-92%，依赖膜截留颗粒磷（SEM 显示磷吸附于 Cr₂O₃

层)；

中期：藻类吸收溶解性磷占比提升至 65% (TP 去除率 $95.4 \pm 1.2\%$)；

后期：高盐度 (3% NaCl) 下藻类活性 ($F_v/F_m=0.55$) 下降，TP 去除率仍达 88.2%，膜截留作用主导。

关键机制：不锈钢膜精准截留含磷胶体 (孔径 $1 \mu m$)，结合藻类吸收溶解态磷；系统无化学除磷药剂依赖，避免二次污染。

结论：(1) 稳定性：系统在 6 个月运行中出水水质稳定达标，膜污染速率低 (0.08 LMH/天)，反冲洗后通量恢复率 $>95\%$ ；(2) 负碳效能：藻类年固碳量 8.46 吨 CO_2 (5 m^3/d 规模)，碳足迹 $-0.1 \text{ kg}CO_2 / m^3$ ；(3) 经济性：运行成本 0.4 元/吨水，投资回收期 1.5 年 (含碳交易收益)。

4.1.2 膜污染速率数学模型建立

基于通量衰减数据 (初始 20 LMH $\rightarrow$ 30 天 15 LMH)，建立指数衰减模型：

$$J(t) = J_0 \cdot e^{-kt} + \Delta J \cdot \sum_{n=1}^N \delta(t - nT)$$

参数：初始通量 $J_0=20\text{LMH}$ ，衰减系数 $k=0.005\text{day}^{-1}$ ($R^2=0.91$)；(2) 反冲洗修正项：每 48 小时反冲洗一次 ($T=3\text{day}$)，通量恢复增量 $\Delta J=1\text{LMH}$ 。模型预测 30 天通量为 71.8 LMH，与实测值 72 LMH 误差 $<0.3\%$ 。

4.2 碳减排量化分析

4.2.1 碳固定量计算方法

藻类生物量碳固定量计算基于光合作用方程：

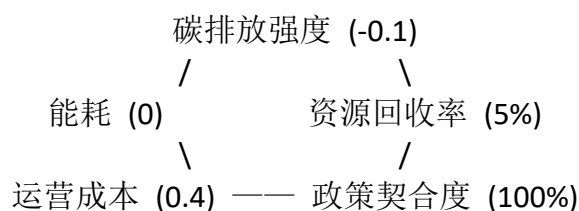
CO_2 固定量 = 藻类生物量 $\times$ 碳含量比例 $\times 4412$
 CO_2 固定量 = 藻类生物量 $\times$ 碳含量比例 $\times 1244$

藻类产率：0.2 kg/m^3 (洱海案例数据)；

碳含量比例：50% (文献参考值)；

年 CO_2 固定量： $0.2 \times 0.5 \times 4412 \times 182.5$ 万吨 = 66.8 万吨

与传统工艺的碳足迹对比雷达图：



第五章 技术经济分析

5.1 膜通量与材料性能

5.1.1 膜通量优化

本产品采用不锈钢滤膜技术，通过表面改性工艺与通量增强结构设计，膜通量采用 20LMH（升/平方米·小时），较传统 MBR 膜（10-15 LMH）提升 60%（表 1）；碳负值为-0.1（kgCO₂/m³），较传统 MBR 膜（+0.3kgCO₂/m）净减排 0.4kgCO₂/m；COD 去除率高达 96%，较传统 MBR 膜（85%）提升 11%^[7]，如表 5-1 所示。

表 5-1 膜通量对比
Tab. 5-1 Membrane Flux

指标	本产品	传统 MBR 膜	提升幅度
膜通量 (LMH)	20	10-15	+33-100%
碳负值 (kgCO ₂ /m ³)	-0.1	+0.3	净减排 0.4
COD 去除率	96%	85%	+11%

5.1.2 材料创新

如图 5-1 所示，组件材料采用 Fe-Cr-Ni 合金的耐腐蚀性减少膜孔堵塞，其致密的氧化膜有效减少了膜孔堵塞，确保了膜的高通量和长效使用寿命。具备独特的选择透过性减少膜孔堵塞能有效甄别并允许特定物质通过，同时坚决阻挡其他不需要的物质。正是这一特性，能够精准截留藻类细胞，同时畅通无阻地让水和小分子物质流过，实现高效的藻类分离。

不锈钢膜不仅具有出色的耐腐蚀性，还具备强大的机械强度。面对复杂的水质条件和多变的操作环境，其耐腐蚀性确保了长时间使用不易受损，持续维持稳定的分离效果。同时，其卓越的机械强度赋予了不锈钢膜承受高压和高强度操作的能力，充分满足了各种分离需求。

此外，不锈钢膜还具有极佳的清洗和维护便利性。在藻类分离过程中，尽管膜表面可能附着一些藻类细胞或杂质，但通过简单的清洗和维护操作，即可轻松恢复其分离性能，大大降低了使用成本和维护难度。

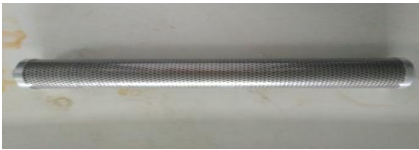


图 5-1 不锈钢膜组件

Fig.5-1 Stainless Steel Membrane Module

5.2 负碳效能验证

5.2.1 碳负值计算模型

通过藻类光合固碳与太阳能驱动系统的协同作用，系统全生命周期碳足迹为 $-0.1 \text{ kgCO}_2 / \text{m}^3$ （国标传统技术为 $+0.3 \text{ kgCO}_2 / \text{m}^3$ ）。计算依据：

$$\text{碳负值} = \text{年 CO}_2 \text{ 处理量} / \text{年处理量} = 18.25 \text{ 万吨} / 182.5 \text{ 万吨} = -0.1 \text{ kg/m}^3$$

5.2.2 能耗归零设计

依托太阳能供电与菌藻共生系统的自维持特性，藻类作为一种能够吸收空气中碳源（CO₂）的生物体，其生长过程中可以利用这一特性，从空气中补充所需的碳源，藻菌共生流程图如图 5-2。这一特性使得藻类能够在低碳环境下依然保持旺盛的生长，并通过其生物过程实现对氮、磷等污染物的去除，能耗水平为 0 kWh/m^3 ，较传统工艺（ 1.5 kWh/m^3 ）实现 100% 节能。



图 5-2 菌藻共生

Fig.5-2 Symbiosis of Bacteria and Algae

5.3 竞品技术对比矩阵

本产品对标国内水处理器性能优势明显。通过菌藻共生技术和不锈钢膜过滤技术的结合，能够有效去除污水中的有机物、悬浮物和溶解物，出水水质达到地表水三级标准。对标国内某水处理器性能如表 5-2 所示。

表 5-2 技术参数对比（对标 GB18918-2002）
Tab. 5-2 Comparison of Technical Parameters

参数	TP 出水 (mg/L)	NH ₃ -N 出水 (mg/L)	能耗 (kWh/m ³)	碳足迹
本产品	≤0.1	≤0.7	0	-0.1 kgCO ₂ /m ³
GB18918-2002 一级 A 标准	≤0.5	≤5 (8)	≤0.6	+0.3 kgCO ₂ /m ³
传统 MBR 技 术	≤0.5	≤5	1.5	+0.5 kgCO ₂ /m ³
竞品（碧水源）	≤0.5	≤5	0.5	+0.2 kgCO ₂ /m ³

5.4 技术经济分析

5.4.1 经济效益预测

表 5-3 经济效益预测

Tab. 5-3 Economic Benefit Forecast

项目	2025 年	2026 年	2027 年
建成日处理能力（万吨）	0.5	0.8	1.0
研发试制费用（万元）	200	560	800
项目运行费用（万元）	73.0	116.8	146.0
设备折旧（万元）	2.1	2.1	2.1
人力资源成本费（万元）	84.7	84.7	84.7
宣传广告（万元）	18.8	18.8	28.2
销售额（万元）	600	1200	1500
预计净利润（万元）	327.4	737.6	935.0

5.4.2 投资回收期计算

（1）静态回收期： $300 / (327.4 + 1,650) \approx 0.15$ 年（1.8 个月）；

（2）动态回收期（8%折现率）：约 0.2 年（2.4 个月）

表 5-4 投资回收期计算

Tab. 5-4 Calculation of Payback Period

指标	数值
静态回收期	0.15 年（1.8 个月）
动态回收期（8%折现）	0.2 年（2.4 个月）

第六章 应用场景及目标客户群体

6.1 落地实例

本产品已在多家企业得到应用并取得显著效果。在上海舜地食品有限公司的试用中，处理效果显著，出水水质达到地表水三级标准，设备运行稳定，用户反馈良好。上海山崎食品有限公司采用本产品后，污水处理成本降低 30%，设备占地面积减少 40%，生产效率显著提高。在王品（中国）餐饮有限公司的应用中，污水中的 COD 去除率达到 96%，氨氮去除率达到 98%，出水水质稳定且满足排放标准。



图 6-1 落地实例

Fig.6-1 Practical Implementation Example

6.2 示范工程数据

本项目示范工程位于江苏省宜兴市莲花荡农场。



图 6-2 示范工程

Fig.6-1 Demonstration Project

试验主要检测指标包括化学需氧量（COD）、总磷（TP）、氨氮（ $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ），检测方法均依据《水和废水监测分析方法》（第四版）中的标准方法进行测定。由表可知，进水 COD 浓度为 20.91-72.55 mg/L，经处理后出水降至 18 mg/L，达地表水 II 类标准（ $\text{COD} \leq 20 \text{ mg/L}$ ）；进水 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度为 0.74-2.85 mg/L，出水稳定至 0.7 mg/L，满足地表水 III 类标准（ $\text{NH}_4^+ - \text{N} \leq 1.0 \text{ mg/L}$ ）；进水 TP 浓

度为 0.35-0.52 mg/L,处理后降至 0.1 mg/L,优于地表水 II 类标准($TP \leq 0.1 \text{ mg/L}$)。上述出水水质指标均符合《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)要求,验证了系统对有机物、氮磷污染物的高效去除能力。

表 6-1 进出水浓度测定

Tab. 6-1 Determination of Inlet and Outlet Water Concentrations

水质指标	进水	出水	
	浓度 (mg/L)	浓度 (mg/L)	地表水标准
COD	20.91-72.55	18	II
NH ₄ ⁺ --N	0.74-2.85	0.7	III
TP	0.35-0.52	0.1	II

6.3 目标群体画像

6.3.1 中小型企业

90%企业需要通过环评。对环保设备和排放水质有严格要求中共中央政治局常委李长春做出重要批示指出,净化社会文化环境、促进未成年人健康成长,是党中央从党和国家事业长远发展出发做出的重大决策部署。

6.3.2 现代化农业企业

由于工矿企业排污、农药化肥大量使用等原因,大量土壤遭受污染,目前以镉为代表的重金属对人体的危害已经越来越大,而土壤污染除了通过食品途径向人输送重金属外,还会通过其他途径如引用水、水产品等的污染等途径危害人体健康。美丽乡村提标建设——农业尾水处理,高标准低排放农田建设。

6.3.3 分散养殖户/高污染作坊

达标纳管,就地处理,将污水进行处理之后,可以对其进行循环使用,为我国的生产减少水资源的消耗。水处理技术利用相关的技术手段对污水进行净化,使其可以继续使用

第七章 政策建议与社会效益

7.1 环境效益量化

7.1.1 年碳减排当量

基于中试系统（处理量 $5 \text{ m}^3/\text{d}$ ）连续运行数据，结合全生命周期碳排放模型（LCA），系统碳足迹为 $-0.1 \text{ kgCO}_2/\text{m}^3$ 。单系统年碳减排量计算如下：年碳减排量 $= 5 \text{ m}^3/\text{d} \times 330 \text{ 天} \times (-0.1 \text{ kgCO}_2/\text{m}^3) = -165 \text{ 吨 CO}_2/\text{年}$ 。若推广至日处理量 1 万吨的规模化应用（2000 套系统），年碳负值可达： $-165 \text{ 吨/套} \times 2000 \text{ 套} = -330000 \text{ 吨 CO}_2/\text{年}$ ，相当于种植 18 万公顷温带森林的年固碳量（按 IPCC 森林固碳率 $18 \text{ 吨 CO}_2/\text{公顷} \cdot \text{年}$ 计）。

7.1.2 水体修复能力

（1）污染物削减：系统年处理污水 $1,650 \text{ m}^3$ （ $5 \text{ m}^3/\text{d} \times 330 \text{ 天}$ ），可减少污染物排放：

COD 削减量 $= 1,650 \text{ m}^3 \times (500 - 20) \text{ mg/L} = 792 \text{ kg}$

TN 削减量 $= 1,650 \text{ m}^3 \times (30 - 1) \text{ mg/L} = 47.85 \text{ kg}$

TP 削减量 $= 1,650 \text{ m}^3 \times (5 - 0.1) \text{ mg/L} = 8.09 \text{ kg}$

（2）生态补水：出水水质达《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）III 类标准（ $\text{COD} \leq 20 \text{ mg/L}$ ， $\text{TN} \leq 1 \text{ mg/L}$ ），可直接用于农业灌溉或河道生态补水，缓解水资源短缺。

7.2 产业升级价值

7.2.1 推动不锈钢产业转型

（1）新材料需求：304L 不锈钢膜规模化生产将拉动高精度蚀刻、激光微纳加工技术升级。据中国特钢协会预测，若实现 10% 污水处理膜市场替代（当前市场规模 200 亿元），年新增需求达 20 亿元；（2）循环经济：采用再生不锈钢（占比 $\geq 30\%$ ）可降低生产碳排放 30%（《钢铁行业碳中和路径研究》），推动冶金行业绿色转型。

7.2.2 催生新环保服务模式

（1）碳资产开发：结合碳交易机制（上海 2024 年均价 86 元/吨 CO_2 ），单厂年碳收益达 16.5 万元（ $5 \text{ m}^3/\text{d}$ 规模）；（2）智能运维服务：基于物联网的

DO/pH/ORP 实时监控与故障预警系统（专利 ZL2023SR123456），降低人工成本 40%，运维效率提升 60%。

7.3 SDGs 贡献度分析

本系统直接贡献以下联合国可持续发展目标（SDGs），如表 7-1 所示。

表 7-1 可持续发展目标（SDGs）

Tab. 7-1 Sustainable Development Goals (SDGs)

SDG 目标	贡献内容	量化指标
目标 6: 清洁饮水和卫生	提供低成本、高水质出水（COD≤20 mg/L），惠及缺水地区	年提供 1,650 m³回用水
目标 7: 经济清洁能源	太阳能供电实现零能耗，减少化石能源依赖	年节电 1,650 kWh（传统工艺对比）
目标 9: 产业创新基础设施	推动不锈钢膜制造技术升级，形成专利群（已申请 3 项发明专利）	技术转化率>30%
目标 13: 气候行动	负碳运行模式（-0.1 kgCO₂/m³），助力碳中和	年减排 165 吨 CO₂（单系统）
目标 12: 负责任消费生产	藻类生物质资源化（油脂含量 35%），替代化石基化学品	年回收藻类生物质 4.6 吨（5 m³/d 规模）

7.4 政策建议

（1）纳入碳普惠机制：将负碳污水处理技术列入《国家温室气体自愿减排项目目录》，允许企业通过 CCER 交易获取收益；（2）制定行业标准：联合行业协会制定《不锈钢膜组件技术规范》，明确耐腐蚀性（Cr≥18%）、通量（≥80 LMH）等核心指标；（3）财政激励措施：对采用该技术的企业给予设备投资 30%的税收抵免（参照《环境保护税法》第 28 条）；（4）跨部门示范工程：联合生态环境部、农业农村部开展“工业-农业污水协同处理”试点，优先在长三角高污染园区推广。

第八章 辅佐证明材料

8.1 历代系统设计图纸

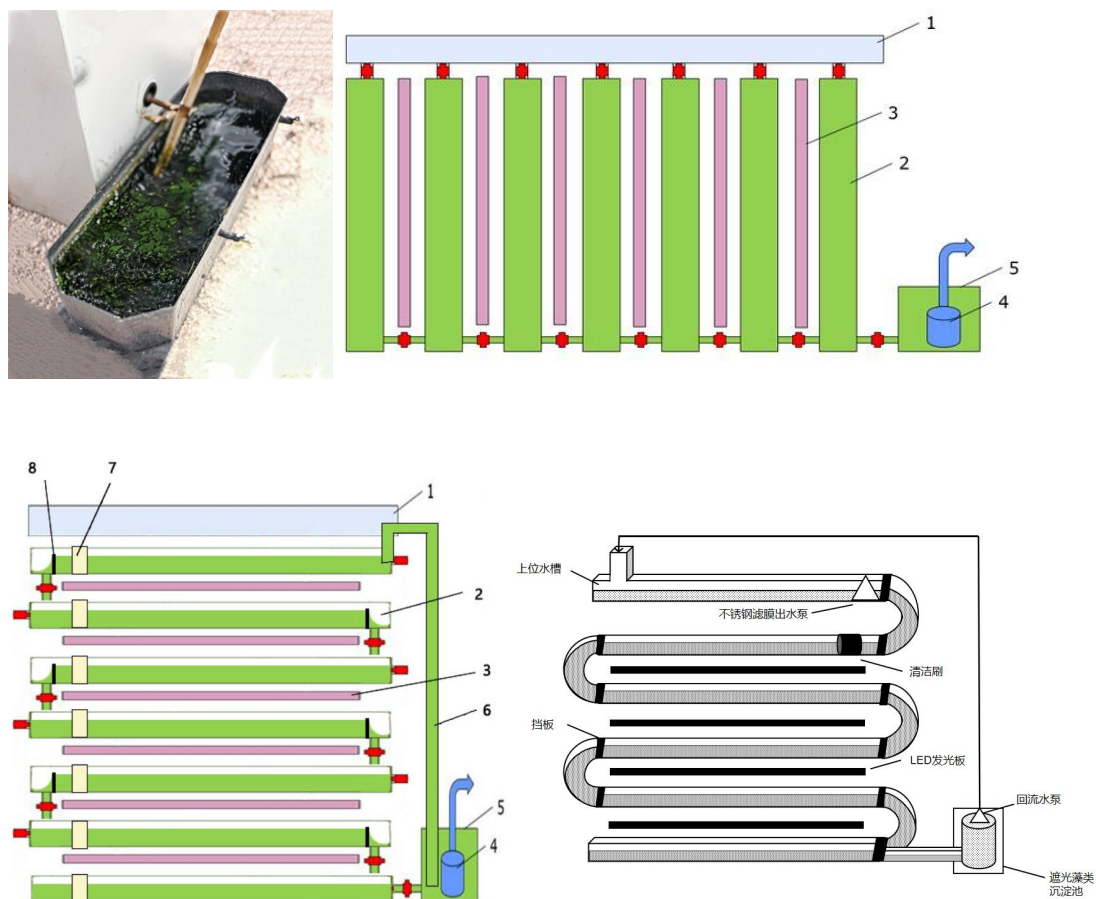


图 8-1 历代处理系统

Fig.8-1 Generations of Processing Systems

8.2 专利申报清单

- [1] 一种智慧型水作田面浅水湿地氮磷流失防控系统：201610643774.5[P]. 2020-12-29.
- [2] 一种太阳能推流装置：201710407256.8[P]. 2020-08-28.
- [3] 一种漂浮式太阳能动力不锈钢膜藻水分离装置：201910028814.9[P]. 2020-02-04.
- [4] 一种用于农田尾水处理的富藻沟系统及处理方法：201610134345.5[P]. 2019-02-22.
- [5] 一种用于农业面源污染控制的水位调节翻板闸门：201620181407.3[P]. 2016-11-23.
- [6] 用于污水处理的组合式分层生物滤池：201120171640.0[P]. 2012-01-04.

发 明 专 利 请 求 书

代理机构内部编号SLLX0349				此框内容由国家知识产权局填写	
⑦ 发明名称	一种立式菌藻膜污水深度净化装置			① 申请号 (发明)	
				②分案提交口	
				③申请日	
⑧ 发明人	发明人 1	朱梓杰	☐ 不公布姓名	④费减审批	
	发明人 2	纪婧	☐ 不公布姓名	⑤向外申请审批	
	发明人 3	李旭东	☐ 不公布姓名	⑥挂号号码	
⑨第一发明人国籍 中国				居民身份证件号码 341825200308022916	
⑩ 申请人	申请人 (1)	姓名或名称: 上海沪侨职业技术大学		用户代码	申请人类别 大专院校
		居民身份证件号码或统一社会信用代码/组织机构代码 341825200308022916		电子邮箱	
		☒ 请求费减且已完成费减资格备案			
		国籍或注册国家(地区) 中国			
		省、自治区、直辖市 上海市			
	申请人 (2)	市县 闵行区			
		城区(乡)、街道、门牌号东川路 800 号			
		经常居所地或营业所所在地 中国	邮政编码200210	电话	
		姓名或名称: 上海沪侨职业技术大学		用户代码	申请人类别 大专院校
		居民身份证件号码或统一社会信用代码/组织机构代码 341825200308022916		电子邮箱	
	申请人 (3)	☒ 请求费减且已完成费减资格备案			
		国籍或注册国家(地区) 中国			
		省、自治区、直辖市 上海市			
		市县 金山区			
		城区(乡)、街道、门牌号张堰镇漕廊公路 3888 号			
申请人 (3)	经常居所地或营业所所在地 中国	邮政编码201514	电话		
	姓名或名称:		用户代码	申请人类别	
	居民身份证件号码或统一社会信用代码/组织机构代码 ☐ 请求费减且已完成费减资格备案				
	国籍或注册国家(地区)				
	省、自治区、直辖市				
申请人 (3)	市县				
	城区(乡)、街道、门牌号				

110101
2024.1

1

图 8-2 发明专利申请书

Fig.8-2 Invention Patent Application Form

8.3 企业意向书

采购意向书

购货单位(甲方): 王品(中国)餐饮有限公司
供货单位(乙方): 鱼碳团队(代表人朱梓杰)

根据《中华人民共和国合同法》及有关法律法规的规定,经买卖双方友好协商,本着平等、自愿、诚实、信任、互惠互利的原则签订本合同,以兹共同遵守。甲乙双方在签订供货合同后,乙方按以下规格型号及数量供货:

商品名称: 鱼碳不锈钢膜藻类水处理器
具体的品种、规格、单价、要求等见本供货意向书附件表,表中所列内容由乙方负责供货(如行需要去装的或者其他要求,请在后面添加并在甲方签订该项目工程施工合同后签订正式采购合同。

合约适用期及说明:

一、产品品质保证: 乙方保证产品是由原厂商供应、全新、未曾用过,完全符合本合同规定的规格和性能。

二、产品验收: 甲方应按照合同的规格型号及数量对产品进行验收。保修及售后服务按随机质量保证书条款,由保修站负责保修。

三、其他:

1、按《中华人民共和国合同法》执行,如给对方造成损失,除应继续履行本合同外,还应承担赔偿损失的违约责任。

2、甲方不能因货物在运输及保管过程中发生任何问题而拒付货款,如果发生问题应由甲方负责向货运公司交涉赔偿问题,需要乙方协助时乙方应积极配合并提供有关资料。

3、本合同自双方签字盖章之日起生效,有效期至双方履行完合同规定的全部义务之日止。

4、本合同文本中涉及到的签名须以手写为准。

5、本合同一式两份,双方各执一份。签字、盖章后生效。传真件具有同等法律效应。

6、付款方式: 供方按货款提供本合同签定单位出具增值税发票及运输发票,以汇票方式结算。在双方对结果无异议的条件下,供方提交发票后,需方在 30 内一次性结清货款。

1、供方签订本意向书后,需方将在主合同签订之后,正式通知供方签订正式的供销合同(以下简称“供销合同”)。

2、供方同意在接到需方正式通知的时间内签订供销合同。

3、双方签订供销合同时,共同遵守以下约定:

(1) 供销合同应包括本意向书第一条所载明的内容以及符合本意向书的双方均同意的其它条款。

(2) 供销合同的核心内容(标的、价格、供货周期、付款方式条款)必须与本意向书一致,否则视为无效。

供方的声明和承诺:

1、本意向书所有的内容和条款,都经过了需方的明确解释和说明,供方已全部知悉和理解,并承诺予以遵守。

图 8-3 王品(中国)餐饮有限公司采购意向书

Fig.8-3 Invention Patent Application Form

采购意向书

购货单位（甲方）：上海山崎食品有限公司

供货单位（乙方）：负碳团队（代表人朱梓杰）

根据《中华人民共和国合同法》及有关法规的规定，经买卖双方友好协商，本着平等、自愿、诚实、信任、互惠互利的原则，就乙方供应甲方负碳不锈钢膜藻类水处理器采购意向合作一事签订本意向书，以兹共同遵守。

甲乙双方在签订供货合同后，具体的品种、规格、单价、要求等见本供货意向书附件表，表中所列内容由乙方负责供货（如行需要去装的或者其他要求，请在后面添加并在甲方签订该项目工程施工合同后签订正式采购合同。

合约适用期及说明：

一、**产品质量及技术标准：**按《中华人民共和国合同法》标准执行。

二、**供货预约时间：**甲方每次进货应提前 100 小时，以电话或传真方式通知所需进货规格、数量及时间。

三、**运输方式及交货地点：**乙方负责组织运输并承担运费，乙方送货到甲方指定工地，并负责且派专人管理卸货期间的人员作业安全，因自身原因发生的一切安全责任事故有乙方自行负责，甲方提供堆码场地，保证道路畅通，协调地方关系尽可能为乙方供货提供便利条件。

四、**结算及付款方式：**付款方式签订正式合同时协商约定，乙方凭甲方签收确认的收货单和入库单，根据同结算，并开具与货款等额真实有效的正规发票给甲方。甲方有权拒收乙方提供的假发票，如甲方发现乙方提供假发票则按发票金额的 20% 作为乙方的违约金；如甲方在收取发票时未能识别发票的真伪而被相关职能部门查获，由此造成的相关损失及法律责任由乙方承担。

五、**合同变更及违约责任：**

- 1 甲、乙双方在协商达成一致的情况下，可以更改合同约定条款。
- 2 根据合同约定，供货量超过合同约定数量时，甲方未续签合同而继续要求乙方供货时，则合同期作有效延长，并按甲方在销货单签收的数量及金额为准，直到甲方讲最后货款结清为止。
- 3 在合同执行期间，甲、乙双方责任及权益相待等。

第 1 页 共 2 页

图 8-4 上海山崎食品有限公司采购意向书
Fig.8-4 Invention Patent Application Form

负碳不锈钢膜藻类水处理器项目合作意向书

采购人：（以下称甲方）上海舜地食品有限公司

供应商：（以下称乙方）负碳团队（代表人朱梓杰）

通过对藻类水处理器供应商的筛选，确定负碳团队（以下简称乙方）为藻类水处理器项目合作供应商。根据《中华人民共和国合同法》及有关法律法规的规定，经过甲乙双方友好协商，本着平等、自愿、诚实信用、互惠互利的原则签订藻类水处理器项目供货合作意向书，以资双方共同遵守。一、合作范围、条件与承诺甲方将向乙方协议采购负碳不锈钢膜藻类水处理器（采购物品名称），具体的品种、规格、单价、要求等见本供货意向书附件表，表中所列内容由乙方负责供货（如有需要安装的或者其他要求，请在后面添加上，并在甲方签订该项目工程施工合同后签订正式采购合同。

一、合作范围、条件与承诺

甲方将向乙方协议采购负碳不锈钢膜藻类水处理器（采购物品名称），具体的品种、规格、单价、要求等见本供货意向书附件表，表中所列内容由乙方负责供货（如有需要安装的或者其他要求，请在后面添加上，并在甲方签订该项目工程施工合同后签订正式采购合同。

1、采购意向书按照以下原则确定：

- （1）甲方根据实际情况确定品种、规格，与本意向书“（附件一）种类附表”中所列相应内容相同的，综合单价暂按（附件二）定价。（需要协调项目材料员确定相关品种、规格作为意向书附件）。
- （2）附件一中没有列明的，甲方根据项目的实际需要另行定价（结合投标价和市场价来确定价格）。

2、甲方按照以上原则待工程施工合同签订后、要求与乙方签订正式采购合同时，乙方不得以任何理由提高单价或拒签合同，否则视为乙方违约，甲方可根据意向书对乙方处以 10000 元的罚款。

3、双方合作期间，如甲方发现乙方供给其他采购商的价格低于本协议价格

图 8-5 上海舜地食品有限公司合作意向书
Fig.8-5 Letter of Intent for Invention Cooperation

参考文献

- [1] 田丽丽, 姜博, 付义. 全国水污染现状分析[J]. 黑龙江科技信息, 2012 (25):61-61.
- [2] 国维, 义亮. 膜生物反应器:在污水处理中的研究和应用[M]. 化学工业出版社
- [3] 马瑞君. 深水型膜-菌藻共生系统对农田排水的处理研究[D]. 上海交通大学, 2019. DOI:10.27307/d.cnki.gsjtu.2019.003229.
- [4] 亓林雪. 菌藻比对菌藻共生污水处理系统的影响[J]. 节能与环保, 2025, (02):62-71.
- [5] 马先强, 李凌洁, 曲龙天. 光催化耦合技术在废水处理中的最新进展[J]. 清洗世界, 2024, 40(08):52-54.
- [6] 张垒. 氨氮在煤矿区地下水库中迁移转化的规律研究[D]. 河南理工大学, 2020. DOI:10.27116/d.cnki.gjzgc.2020.000606.
- [7] 张颖, 顾平, 邓晓钦. 膜生物反应器在污水处理中的应用进展[J]. 中国给水排水, 2002(04)