

T/GDSF

广东水产学会团体标准

T/GDSF XXXX—XXXX

工厂化循环水养殖生化仓生物净化系统构 建规范

Specification for construction of biochemical warehouse biological purification
system in industrial recirculating aquaculture system

（征求意见稿）

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

广东水产学会 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。

本文件由中国水产科学研究院珠江水产研究所提出。

本文件由广东水产学会归口。

本文件起草单位：中国水产科学研究院珠江水产研究所、佛山丰裕科技发展有限公司、广东恒强水产有限公司。

本文件主要起草人：陈总会、赵长臣、朱至吉、梁凯杰、林明辉、黄志斌、江小燕、刘春花、孙承文、彭勇鳌、梁剑、何有根、刘志军。

引 言

工厂化循环水养殖（Industrial Recirculating Aquaculture System, RAS）是现代农业的重要组成部分，其核心是通过水处理系统实现养殖用水的循环利用，节水率可达90 %以上。生化仓生物净化系统作为RAS的核心水处理单元，承担着去除养殖水体中氨氮、亚硝酸盐等关键有害物质的功能，其构建质量直接决定整个养殖系统的运行效率和养殖效益。

目前，行业标准SC/T 6093—2019《工厂化循环水养殖车间设计规范》主要规定了养殖车间的整体工艺设计要求，未对生化仓内部生物填料的性能指标体系、标准化挂膜工艺、微生物群落定向构建方法、智能化运行监控策略以及系统性能验证规程等关键技术环节作出详细规定。在实际生产中，生化仓构建和运行管理缺乏统一的技术依据，导致处理效率参差不齐，制约了行业的规范化发展。

本文件在上述标准空白领域进行创新性补充，重点建立了以下技术规范体系：

- 生物填料多维度性能指标体系及其分级评估方法；
- 基于阶段化控制的标准化挂膜工艺流程；
- 涵盖微生物功能菌剂配制、接种剂量及时序的系统化生物膜培养规程；
- 以氨氮去除负荷为核心指标的生化仓净化效能验证方法；
- 集成水质在线监测与智能预警的系统运行管理策略。

本文件的制定和实施将为工厂化循环水养殖生化仓生物净化系统的规范化建设提供科学依据和技术支撑，促进行业技术进步和可持续发展。

工厂化循环水养殖生化仓生物净化系统构建规范

1 范围

本文件规定了工厂化循环水养殖生化仓生物净化系统的选址与布局、设施设备、生物填料、生物膜培养与构建、运行管理以及系统性能验证的要求。

本文件适用于新建、改建和扩建的鱼类工厂化循环水养殖生化仓生物净化系统的构建与运行管理，其他水产养殖品种的工厂化循环水养殖生化仓生物净化系统可参照执行。

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 11607 渔业水质标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 工厂化循环水养殖 industrial recirculating aquaculture system (RAS)

采用物理、化学和生物等水处理技术，对养殖用水进行净化处理并循环利用的集约化养殖模式。

3.2 生化仓 biochemical warehouse

工厂化循环水养殖系统中，以生物处理为核心功能的反应单元，内置生物填料并承载功能微生物群落，主要用于去除养殖水体中的氨氮、亚硝酸盐等溶解性有害物质的水处理构筑物或设备。

3.3 生物净化系统 biological purification system

由生化反应器、生物填料、功能微生物群落、增氧系统及相关附属设施组成的，通过生物代谢作用实现水体净化的完整系统。

3.4 生物填料 biological filler (bio-carrier)

置于生化仓内，为功能微生物提供附着生长载体的材料。按材质可分为塑料填料、陶瓷填料和天然矿物填料等类型。

3.5 氨氮去除负荷 ammonia nitrogen removal rate (NRR)

单位体积生化反应器有效容积在单位时间内去除的氨氮质量，以 $\text{g NH}_3\text{-N}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 计。

3.6 挂膜 biofilm colonization

通过特定的操作工艺，使功能微生物在生物填料表面定殖、生长并形成稳定生物膜的过程。

3.7 生物膜 biofilm

附着于生物填料表面，由功能微生物及其胞外聚合物（EPS）组成的膜状微生物聚集体。

3.8 水力停留时间 hydraulic retention time (HRT)

水体从进入生化仓至流出生化仓所需的平均时间，以小时（h）计。

3.9 生物膜活性 biofilm activity

生物膜中功能微生物代谢活力的综合表征，可通过单位质量生物膜的耗氧速率（OUR）或底物降解速率来衡量。

3.10 功能菌剂 functional microbial agent

含有特定功能微生物（如硝化细菌、反硝化细菌等）的液体制剂或粉剂，用于生化仓生物膜的接种和定向构建。

4 总体要求

- 4.1 生化仓生物净化系统的构建应遵循“工艺适配、填料匹配、菌群优化、智能管控”的基本原则，确保系统在目标养殖负荷条件下长期稳定、高效运行。
- 4.2 生化仓的设计处理能力应与养殖系统的最大日投饲量匹配。设计氨氮去除负荷（NRR）应根据养殖品种的目标投饲率和养殖密度计算确定。在设计水温为 25℃～30℃时，NRR 的设计值不宜小于 80 g NH₃-N/(m³·d)。
- 4.3 生化仓的设计水力停留时间（HRT）应根据进水氨氮浓度及目标出水水质确定，一般条件下 HRT 不宜小于 1 h。
- 4.4 生化仓好氧区的溶解氧浓度应维持在 4.0 mg/L～6.0 mg/L 区间，缺氧区溶解氧浓度应控制在 0.5 mg/L 以下。
- 4.5 生化仓应配备在线水质监测与报警系统，实时监控溶解氧、温度和 pH 值等关键参数。
- 4.6 生化仓的设计、施工和运行管理应符合国家和地方有关工程质量、安全生产、职业健康和环境保护的法律法规及标准要求。
- 4.7 宜采用智能化管控技术，基于水质实时监测数据对生化仓运行参数进行动态优化调节。

5 生化仓选址与布局

5.1 选址

- 5.1.1 生化仓选址应综合考虑养殖场的总体规划、水源条件、地势地形、交通便利性及周边环境。宜毗邻养殖车间布置，以缩短管道输送距离、降低水头损失和能量消耗。
- 5.1.2 选址区域应具备良好的排水条件，场地地面标高应满足当地防洪排涝设防标准。
- 5.1.3 生化仓应远离工业废水排放口、规模化畜禽养殖场及其他可能引入外源污染的场所，距离不宜小于 100 m。
- 5.1.4 选址区域应具备稳定的电力供应和通信网络接入条件，供电容量应满足生化仓全部设备同时运行的需求。

5.2 布局设计

- 5.2.1 生化仓在养殖车间的布局应根据水处理工艺流程进行总体设计。在典型的 RAS 工艺中，生化仓应布置于固液分离设备（如微滤机、沉淀池）之后、消毒和增氧设备之前。
- 5.2.2 生化仓的布局应遵循水流“短流程、低能耗”原则，进出水方式应避免水流短路和死水区的形成。各处理单元之间应设置必要的物理隔离，防止交叉污染。
- 5.2.3 生化仓周边应预留不少于 1.0 m 的检修维护通道，大型生化仓（有效容积≥50 m³）的检修通道宽度不宜小于 1.5 m。
- 5.2.4 生化仓进水口与出水口的位置应保持足够的水平距离（不宜小于生化仓对角线长度的 1/2），并应设置水力导流或挡板装置，防止短流。

5.3 功能分区

- 5.3.1 生化仓可根据处理目标划分为好氧区、缺氧区和沉淀区等功能区域，各区之间应设置水力过渡段。
- 5.3.2 好氧区应用于硝化作用去除氨氮和亚硝酸盐，应占生化仓有效容积的 60%～80%。好氧区溶解氧浓度应维持在 3.0 mg/L～6.0 mg/L。
- 5.3.3 缺氧区应用于反硝化作用去除硝酸盐，宜占生化仓有效容积的 20%～40%。缺氧区溶解氧浓度

应控制在 0.2 mg/L~0.5 mg/L。

5.3.4 沉淀区应设置于生化仓出水端，用于截留脱落的生物膜和悬浮颗粒物，其有效容积宜占生化仓总容积的 5%~10%。沉淀区的表面水力负荷宜为 $15\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h}) \sim 25\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

6 设施设备

6.1 生化反应器

6.1.1 生化反应器类型应根据养殖品种、投饲负荷、水质特点及场地条件选择，常用类型包括移动床生物膜反应器（MBBR）、固定床生物反应器和流化床生物反应器。反应器选型应符合以下原则：

- MBBR 适用于处理负荷较高（ $\text{NRR} \geq 100\text{ g}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ）、水质波动较大的养殖系统；
- 固定床反应器适用于处理负荷中等、进水水质较稳定的养殖系统；
- 流化床反应器适用于对传质效率要求较高、且能保证稳定流化条件的高级处理场景。

6.1.2 生化反应器的有效容积（V）应根据最大日氨氮产生量和设计氨氮去除负荷按式（1）计算：

$$V = Q \times \frac{C_{in} - C_{out}}{N_r} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

V ——生化反应器有效容积，单位为立方米（ m^3 ）；

Q ——设计进水流量，单位为立方米每天（ m^3/d ）；

C_{in} ——进水氨氮浓度，单位为毫克每升（ mg/L ）；

C_{out} ——目标出水氨氮浓度，单位为毫克每升（ mg/L ）；

N_r ——设计氨氮去除负荷，单位为克每立方米每天（ $\text{g}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ）。

6.1.3 生化反应器的材质应选用耐腐蚀、抗老化、无毒害的材料，常用材质包括：不锈钢（SUS 304 或 SUS 316L）、高密度聚乙烯（HDPE）、聚丙烯（PP）及玻璃纤维增强塑料（FRP）。碳钢材质反应器应进行可靠的防腐处理（如环氧树脂涂层或衬胶）。

6.1.4 生化反应器应设置观察窗或检查人孔（口径不小于 DN 500），便于日常巡检和内部检修。

6.1.5 生化反应器底部应设置排泥装置和放空口，底部坡度不宜小于 2%，以利于污泥和脱落生物膜的排除。

6.2 增氧系统

6.2.1 增氧系统的设计供氧能力应满足生化仓好氧区微生物代谢耗氧和有机物氧化的总需氧量，并保证好氧区溶解氧浓度不低于 4.0 mg/L。

6.2.2 增氧方式应根据生化反应器类型和填料特性选择：

- MBBR 宜采用穿孔管曝气或盘式微孔曝气器，气水比宜为（3~8）:1；
- 固定床反应器宜采用穿孔管曝气或管式微孔曝气器，气水比宜为（5~10）:1；
- 流化床反应器宜采用底部射流曝气或微孔曝气，气水比宜为（8~15）:1。

6.2.3 曝气器应均匀布置于生化反应器底部，曝气支管间距宜为 0.3 m~0.5 m，确保反应器内溶解氧分布均匀。

6.2.4 增氧系统应配置备用曝气机组，备用能力不应小于单台最大运行机组的供气能力。主用机组故障时，备用机组应在 30 min 内投入运行。

6.2.5 对于养殖密度大于 50 kg/m³ 的高密度养殖系统，宜采用纯氧增氧或液氧增氧方式，出水溶解氧浓度应不低于 7 mg/L。

6.3 循环水系统

6.3.1 循环水泵宜选用低扬程、大流量型离心泵或轴流泵，设计总流量应满足养殖系统日循环次数不少于 12 次的要求。

6.3.2 循环水泵应设置备用机组，宜采用“一用一备”或“N 用一备”（ $N \leq 3$ ）的配置方式。

6.3.3 循环管道材质应选用耐腐蚀的 PVC-U、HDPE 或不锈钢，管径应根据设计流量和允许流速计算确定。管道经济流速宜为 1.0 m/s~2.0 m/s。

6.3.4 管道系统应在最低点设置排水阀，在最高点设置排气阀。进出水主管路应安装流量计（精度不

低于 2.5 级) 和调节阀门。
6.3.5 进出水管路与生化反应器连接处应设置柔性接头或减震装置,减少设备振动对管道系统的影响。

6.4 自动监测与控制系统

- 6.4.1 生化仓应配备在线水质监测设备,对溶解氧、温度和 pH 值进行实时监测,监测数据采集频率宜为每 5min~15min 一次。
- 6.4.2 氨氮、亚硝酸盐和硝酸盐浓度宜采用在线监测方式。条件不具备时可采用人工采样检测方式,检测频率每日不少于 1 次。
- 6.4.3 自动控制系统应具备以下基本功能:
- 溶解氧低于设定下限 ($\leq 3.0\text{mg/L}$) 时自动启动备用增氧机组并触发报警;
 - 水温低于 $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或高于 $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时自动启动加热或降温装置并触发报警;
 - 循环水泵故障停机时自动切换至备用泵并触发报警;
 - 运行参数的历史数据记录与存储功能,存储时间不少于 1 年。
- 6.4.4 宜建立基于物联网 (IoT) 技术的远程监控管理平台,实现生化仓运行状态的远程实时监控、数据分析和智能预警。

6.5 辅助设备

- 6.5.1 生化仓宜配备加热控温装置,维持水温在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的适宜范围内。水温日波动幅度不应超过 $\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- 6.5.2 生化仓应配备应急供电系统 (柴油发电机或 UPS 不间断电源),在外部电网断电时,应急电源应能保证增氧系统和循环水泵在 15 min 内恢复运行,持续供电时间不少于 2 h。
- 6.5.3 生化仓应设置液位控制装置和溢流口,溢流口应连接至废水收集系统。

7 生物填料

7.1 一般要求

- 7.1.1 生物填料应无毒、无味、化学性质稳定,长期浸泡于水中不释放对养殖生物和功能微生物有害的物质。
- 7.1.2 生物填料应具有良好的生物亲和性 (亲水性),接触角不宜大于 90° ,以利于微生物的快速附着和生物膜形成。
- 7.1.3 生物填料应具有足够的机械强度和耐久性,在持续曝气和流化的机械应力条件下,设计使用寿命不应少于 5 年。
- 7.1.4 生物填料的选型应综合考虑比表面积孔隙率、密度、生物亲和性以及经济性等因素,并评估其对水力流态的影响,宜进行多方案比选。

7.2 填料性能指标

7.2.1 生物填料的主要性能指标及技术要求应符合表 1 的规定。

表1 生物填料主要性能指标及技术要求

序号	性能指标	单位	技术要求	检测方法
1	比表面积	m^2/m^3	塑料类 ≥ 500 ;陶瓷类 ≥ 800 ;天然矿物类 ≥ 300	气体吸附法 (BET)
2	孔隙率	%	≥ 75	压汞法或排水法
3	堆积密度	kg/m^3	塑料类: $100\sim 250$;陶瓷类: $400\sim 980$	称重法
4	真密度	g/cm^3	$0.92\sim 1.50$	比重瓶法
5	抗压强度	MPa	塑料类 ≥ 0.5 ;陶瓷类 ≥ 5.0	万能材料试验机
6	挂膜达标时间	d	≤ 21 ($25^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 条件下)	显微镜观察+酶活性测定

序号	性能指标	单位	技术要求	检测方法
7	亲水性（接触角）	°	≤90	接触角测量仪

7.3 填料选型

7.3.1 常用生物填料的类型、特点及适用条件应符合表 2 的规定。

表2 填料类型

填料类型	典型材质	主要特点	适用条件
塑料MBBR填料	高密度聚乙烯（HDPE）	比表面积≥800 m ² /m ³ ，密度:0.94 g/cm ³ ~0.97 g/cm ³ ，流化能耗低，耐腐蚀，挂膜时间12 d~21 d	中高负荷养殖系统，水温 15℃~35℃，MBBR反应器
塑料固定床填料	聚丙烯（PP）/聚氯乙烯（PVC）	结构强度高，水力分布均匀，比表面积150 m ² /m~300 m ² /m ³ ，成本较低	中低负荷养殖系统，固定床反应器
陶瓷填料	氧化铝陶瓷/硅酸盐陶瓷	比表面积≥1000 m ² /m ³ ，生物亲和性优异，挂膜快（7 d~14 d），密度大	高负荷系统，对出水水质要求严格的场景
天然矿物填料	沸石/麦饭石/火山岩	富含微量元素，兼具吸附与生物降解功能，可缓冲水质波动	辅助净化，低负荷或育苗系统

7.3.2 填料选型应根据养殖品种的氨氮排泄特征、设计养殖密度、目标出水水质要求及经济性进行综合评估后确定。对于养殖密度≥40 kg/m³的高密度RAS系统，宜优先选用比表面积≥800m²/m³的MBBR塑料填料或陶瓷填料。

7.4 填料填充与布置

7.4.1 填料填充率（填料堆积体积与反应器有效容积之比）应根据反应器类型确定：

- MBBR 填料填充率宜为30%~60%，推荐值为40%~50%；
- 固定床填料填充率宜为50%~80%，推荐值为60%~70%；
- 流化床填料填充率宜为20%~40%，推荐值为25%~30%。

7.4.2 填料投加前应进行清洗，去除填料表面在生产、运输和储存过程中可能附着的油污、粉尘及其他杂质。清洗用水的水质应符合 GB 11607 的规定。必要时可对填料进行消毒预处理（如次氯酸钠溶液浸泡后充分冲洗）。

7.4.3 填料在反应器内的布置应确保水流和气流均匀分布。MBBR 填料在正常运行条件下应呈均匀流化状态，填料在反应器内各处应能均匀翻滚，无显著堆积或滞留死区。

7.4.4 不同类型或不同规格填料的混用应充分评估其水力特性和机械相容性，避免因密度、形状或尺寸差异导致的填料分层、偏流或异常磨损。

8 生物膜培养与构建

8.1 挂膜前准备

8.1.1 挂膜操作前，应完成生化仓及附属管道的清洗和消毒。清洗消毒程序如下：

- 排空生化仓内的存水；
- 使用清水充分冲洗生化仓内壁、填料及管道；
- 注入含有效氯10mg/L~20mg/L的消毒水，浸泡消毒2h~4h后排放；
- 再次用清水冲洗至排水余氯浓度低于0.1mg/L。

8.1.2 关闭生化仓与养殖池之间的所有循环管道阀门，防止挂膜期间的药剂和营养物质进入养殖池。

8.1.3 通过专用进水管向生化仓注入清水（水质应符合 GB 11607 的规定），加水至设计运行水位。开启增氧系统，调节曝气强度使填料处于均匀流化状态（MBBR 填料应上下翻滚，无明显堆积）。

8.1.4 挂膜期间生化仓水温应保持在 25℃~30℃范围内。当环境温度导致水温低于 25℃时，应启动加热装置升温并维持。水温日波动不应超过±2℃。

8.1.5 挂膜前应对进水水源进行水质检测，记录水温、pH 值、溶解氧、氨氮、亚硝酸盐和硝酸盐等本底数据，建立基准水质记录档案。

8.2 生物膜启动培养

8.2.1 生物膜启动培养宜采用“碳源营养诱导+功能菌剂接种”的联合启动方式，分为三个阶段进行。

8.2.2 第一阶段应采用营养基质投加（第 1 天～第 15 天）的方法，具体内容如下：

- 每日向生化仓投加水产饲料浸泡液（将饲料粉碎后用温水浸泡 2h，取上清液投加），投加浓度相当于每立方米水体 50 克饲料干重，连续投加 15 天；
- 饲料浸泡液每日分 2～3 次均匀泼洒于生化仓进水端，确保营养物质在反应器内均匀分布。

8.2.3 第二阶段应进行功能菌剂接种（第 3 天起），具体内容如下：

- 从启动培养的第 3 天开始，按以下方案每日向生化仓投加功能菌剂：

- 1) 脱氮菌剂 A（碳源型）：投加量 20mg/L（按生化仓有效水体计）；
- 2) 脱氮菌剂 B（碳源型）：投加量 10mg/L；
- 3) 微量元素制剂：投加量 1mg/L。

- 功能菌剂投加前，应先用生化仓出水活化 30min～60min，随后均匀泼洒。投加时应暂时减小曝气量，以利于功能菌剂与填料充分接触。功能菌剂投加 2 h 后恢复正常的曝气强度。

8.2.4 第三阶段应采取生物膜强化（第 18 天起，根据水质监测结果启动）的方法，具体内容如下：

- 当生化仓出水氨氮浓度开始下降、亚硝酸盐或硝酸盐浓度明显升高（表明硝化作用已启动）时，进入生物膜强化阶段；

- 每 3 天投加一次以下功能制剂（投加量按生化仓有效水体计）：

- 1) 脱氮催化剂 A：1mg/L；
- 2) 脱氮催化剂 B：1mg/L；
- 3) 有机酸制剂：10mg/L；
- 4) 脱氮菌剂 C（碳源型）：10mg/L。

- 持续执行上述投加方案，直至生化仓出水水质同时满足以下条件并稳定维持 3 天以上：

- 1) pH 值：7.0～8.0；
- 2) 氨氮：0mg/L～0.2mg/L；
- 3) 亚硝酸盐：0mg/L～0.2mg/L；
- 4) 硝酸盐：0mg/L～50mg/L。

8.3 生物膜驯化

8.3.1 当生物膜启动培养完成后，宜进行生物膜驯化，使其逐步适应实际养殖条件。驯化时间宜为 5 d～7 d。

8.3.2 驯化方法：逐步提高生化仓进水中的养殖池出水比例，具体梯度如下：

- 第 1～2 天：养殖废水占比 25%，清水占比 75%；
- 第 3～4 天：养殖废水占比 50%，清水占比 50%；
- 第 5～6 天：养殖废水占比 75%，清水占比 25%；
- 第 7 天起：100%养殖废水。

8.3.3 驯化期间应加密水质监测频率（每 12h 检测一次氨氮、亚硝酸盐和硝酸盐），发现氨氮或亚硝酸盐浓度异常升高时应暂缓提高养殖废水比例，待水质恢复稳定后再继续。

8.4 系统强化与检验

8.4.1 生物膜驯化完成后，应对生化仓进行净化能力强化检验。（以下简称“压力测试”）

8.4.2 压力测试方法：向生化仓一次性投加水产饲料浸泡液，投加量为生化仓有效水体的 200 mg/L（以饲料干重计）。

8.4.3 投加后每日定时采集生化仓出水水样，检测 pH 值、氨氮、亚硝酸盐和硝酸盐浓度并记录。

8.4.4 压力测试合格判定标准：在 2d～3d 内，出水水质恢复至以下水平：

- 氨氮：0mg/L～0.2mg/L；
- 亚硝酸盐：0mg/L～0.2mg/L；
- 硝酸盐：0mg/L～50mg/L。

- 8.4.5 压力测试合格后，生化仓方可接入养殖池进行循环运行。压力测试不合格时，应延长生物膜培养和驯化时间，分析原因并采取相应调整措施后重新测试。
- 8.4.6 挂膜操作的典型示例参见附录 A。

9 运行管理

9.1 水质监测

9.1.1 生化仓运行期间的水质监测指标、推荐频率及控制目标应符合表 3 的规定。

表3 水质监测指标、频率及控制目标

序号	监测指标	单位	推荐监测频率	控制目标
1	水温	℃	实时在线监测	25~30
2	溶解氧（DO）	mg/L	实时在线监测	好氧区≥3.0；缺氧区≤0.5
3	pH值	—	实时在线监测	7.0~8.5
4	氨氮（NH ₃ -N）	mg/L	每日1次	≤0.5（出水上限）
5	亚硝酸盐（NO ₂ ⁻ -N）	mg/L	每日1次	≤0.2（出水上限）
6	硝酸盐（NO ₃ ⁻ -N）	mg/L	每日1次	≤100（出水上限）
7	化学需氧量（COD）	mg/L	每周1次	≤30
8	总碱度	mg/L（以CaCO ₃ 计）	每周1次	80~200

- 9.1.2 水质检测方法应符合第 2 章所列相应国家标准的规定。
- 9.1.3 水质监测数据应建立电子档案并妥善保存，保存期限不应少于一个养殖周期的 2 倍，且不得少于 3 年。
- 9.2 运行参数调控
- 9.2.1 当出水氨氮浓度连续两次检测超过 0.5mg/L 时，应按以下优先顺序采取调控措施：
- 检查并确认增氧系统运行正常，好氧区溶解氧不低于 3.0mg/L；
 - 适当延长水力停留时间（HRT），可通过降低循环水流量实现，调整幅度不宜超过原流量的 30%；
 - 检查生物膜状态，如有异常脱落或老化迹象，按 9.3 条款处理；
 - 必要时补充功能菌剂，投加量参照 8.2.3 的规定。
- 9.2.2 当出水亚硝酸盐浓度超过 0.2mg/L 时，应重点检查好氧区溶解氧水平并适当提高曝气强度；同时检查总碱度，当总碱度低于 80 mg/L 时应适量补充碳酸氢钠（NaHCO₃），单次补充量不宜超过 50 mg/L（按生化仓有效水体计），投加后监测 pH 值变化。
- 9.2.3 当 COD 浓度超过 30 mg/L 时，应检查上游固液分离设备的运行效果，必要时增加反冲洗频次，同时适当增加生化仓曝气量。
- 9.2.4 水温异常时应及时启动加热或降温装置。水温在 24 h 内的变化幅度不应超过 ±5℃。
- 9.2.5 系统调控过程中应持续监测各水质指标的变化趋势，避免多参数同时大幅度调整引发的连锁反应。每次调控后应至少观察 2 个 HRT 周期再评估调控效果。

9.3 异常情况处理

- 9.3.1 生物膜老化的判断与处理：
- 判断指标：生物膜厚度显著增加（目视可见填料表面呈暗褐色糊状覆盖层）、微生物耗氧速率（OUR）较正常值下降 30 %以上、氨氮去除效率持续下降且排除其他原因；
 - 处理措施：适当增大曝气强度和水力剪切力以促进老化生物膜的自然脱落更新；必要时对严重老化的填料区段进行低压水力冲洗（冲洗水压不超过 0.2 MPa）。处理后应密切监测水质变化，必要时补充功能菌剂。
- 9.3.2 微生物活性骤降的判断与处理：
- 可能诱因：温度骤变、毒性物质（如消毒剂残留）进入生化仓、溶解氧长时间不足、进水有机负荷剧烈波动等；

——处理措施：首先排查并消除诱因，然后根据实际情况采取升温、加强曝气、延长 HRT 或补投菌剂等恢复性措施。恢复期间应每 6 h~8 h 监测一次氨氮和亚硝酸盐浓度。

9.3.3 填料堵塞或板结的处理：

——应暂停进水，进行人工疏通或分区水力反冲洗；

——查明堵塞原因（如上游固液分离效果不良、曝气不均等）并采取相应整改措施。

9.3.4 常见问题的详细处理方案参见附录 B。

9.4 维护保养

9.4.1 增氧设备应每月检查一次曝气器堵塞情况，每年至少进行一次全面检修保养。

9.4.2 循环水泵应每季度检查一次机械密封、轴承和叶轮状态，每年更换一次润滑油（脂）。

9.4.3 在线监测仪表（溶解氧、pH、温度传感器）应每两周校准一次，每季度送检一次。

9.4.4 生化仓应每半年排空检查一次，清理底部沉积污泥，检查填料状态和反应器内壁腐蚀情况。

9.4.5 应急供电系统应每月进行一次带载试运行，柴油发电机应每月检查燃油储备和启动性能。

9.4.6 维护保养记录应建立档案，保存期限不少于 3 年。

10 系统性能验证

10.1 净化效能测试

10.1.1 生化仓投入使用前和重大改造后，应进行净化效能测试，验证系统是否达到设计处理能力。

10.1.2 净化效能测试应包括以下指标：

——氨氮去除率（ R_{NH_3} ），按式（2）计算：

$$R_{NH_3} = \frac{(C_{in} - C_{out})}{C_{in}} \times 100\% \quad (2)$$

——氨氮去除负荷（NRR），按式（3）计算：

$$NRR = Q \times \frac{(C_{in} - C_{out})}{V} \quad (3)$$

——亚硝酸盐去除率（ R_{NO_2} ），按式（4）计算：

$$R_{NO_2} = \frac{(C_{NO_2in} - C_{NO_2out})}{C_{NO_2in}} \times 100\% \quad (4)$$

——COD 去除率（ R_{COD} ），按式（5）计算：

$$R_{COD} = \frac{(COD_{in} - COD_{out})}{COD_{in}} \times 100\% \quad (5)$$

10.1.3 测试期间应保持养殖系统在正常运行负荷下连续运行不少于 72 h，每 12 h 取样检测一次。取全部测试数据的平均值作为最终测试结果。

10.2 系统稳定性评价

10.2.1 生化仓正式运行后，应每季度进行一次系统稳定性评价。

10.2.2 系统稳定性评价应包括以下内容：

——出水水质指标的波动幅度分析（统计过去一个季度的日监测数据，计算各指标的变异系数 $CV = \sigma / \mu$ ）；

——生物膜活性评估（通过测定生物膜样品的耗氧速率或脱氢酶活性）；

——设备运行可靠性统计（统计该季度内设备故障停机次数和累计停机时间）。

10.2.3 系统稳定性评价结果应作为运行管理优化和维护保养计划调整的依据。当氨氮去除率的月均变异系数超过 15 % 时，应进行系统排查并制定专项整改方案。

附录 A (资料性) 挂膜操作示例

A.1 本附录给出了一个典型规模的工厂化循环水养殖生化仓（有效容积100 m³）挂膜操作的示例，供使用者参考。

A.2 挂膜前准备

A.2.1 排空生化仓内存水，关闭生化仓与养殖池之间的所有循环管道阀门。

A.2.2 开启生化仓专用进水管道的阀门，注入清水（水质符合GB 11607要求）至设计运行水位。

A.2.3 开启增氧系统（曝气），调节曝气强度使MBBR填料（PE材质，比表面积800 m²/m³，填充率45 %）在仓内均匀翻滚。

A.2.4 开启加热装置，将水温提升并维持在26℃~28℃。水温低于25℃时持续加温。

A.3 第一阶段——营养基质投加（第1天~第15天）

A.3.1 每日将10.5 kg水产饲料（鲈鱼配合饲料）粉碎后用温水浸泡2 h，揉碎后取上清液均匀泼洒于生化仓进水端，投加量约50 mg/L。

A.3.2 每日分2~3次投加，确保营养物均匀分布。

A.4 第二阶段——功能菌剂接种（第3天起）

A.4.1 从第3天开始，每日投加以下功能菌剂（按生化仓有效水体100 m³计）：

- 脱氮菌剂A（特种碳源型）：2100 g/d（20 mg/L）；
- 脱氮菌剂B（特种碳源型）：1050 g/d（10 mg/L）；
- 微量元素制剂：105 g/d（1 mg/L）。

A.4.2 功能菌剂投加前先用生化仓水活化30 min，均匀泼洒后暂减曝气量1 h~2 h以利于功能菌剂附着，之后恢复正常曝气。

A.5 第三阶段——生物膜强化（第18天起）

A.5.1 约第18天~第21天，当亚硝酸盐和硝酸盐浓度出现明显升高趋势（表明硝化作用已启动）时，每3天投加一次以下制剂：

- 脱氮催化剂B：105 g/次（1 mg/L）；
- 有机酸制剂：1050 g/次（10 mg/L）；
- 脱氮菌剂C（特种碳源型）：1050 g/次（10 mg/L）。

A.5.2 持续投加至出水水质满足以下指标并稳定3天以上：pH 7.0~8.0，氨氮0~0.2 mg/L，亚硝酸盐0~0.2 mg/L，硝酸盐0~50 mg/L。

A.6 水质监测

A.6.1 挂膜期间每日固定时间检测并记录以下水质指标：水温、溶解氧、pH值、氨氮、亚硝酸盐、硝酸盐。

A.6.2 每周检测一次总碱度和钙镁离子浓度并记录。

A.7 系统强化与检验（压力测试）

A.7.1 挂膜完成且水质稳定后，一次性向生化仓投加21 kg水产饲料（鲈鱼配合饲料，粉碎浸泡揉碎后投加），投加量约200 mg/L。

A.7.2 投加后每日定时采集生化仓出水水样检测pH值、氨氮、亚硝酸盐和硝酸盐浓度并记录。

A.7.3 一般2 d~3 d后，待水质指标恢复至以下范围（氨氮0 mg/L~0.2 mg/L，亚硝酸盐0 mg/L~0.2 mg/L，硝酸盐0 mg/L~50 mg/L）时，判定系统挂膜合格，可接入养殖池进行循环使用。

附录 B
(资料性)
常见问题及处理方法

表B.1 生化仓生物净化系统常见问题及处理方法

序号	问题现象	可能原因	处理方法
1	氨氮持续偏高 (>0.5 mg/L)	①溶解氧不足②HRT过短③生物膜量不足④碱度不足	①检查并提高曝气量, 确保DO≥3 mg/L②适当降低循环水量③按8.2.3方案补投功能菌剂④检测总碱度, 必要时补充NaHCO ₃
2	亚硝酸盐积累 (>0.5 mg/L)	①溶解氧偏低②硝化细菌活性受抑③碱度不足④盐度波动	①加强曝气至DO≥4 mg/L②暂停消毒剂使用③调节总碱度至100~150 mg/L④稳定盐度, 必要时换水10%~20%
3	生物膜大面积脱落	①曝气强度突变②水力冲击过大③进水含毒性物质	①稳定曝气量, 避免剧烈调整②检查水泵运行是否平稳③排查并消除毒性来源④脱落后按第8章方案重新挂膜
4	填料流化不均或局部堆积	①曝气器局部堵塞②填料填充率过高③反应器结构缺陷	①检查清理堵塞曝气头②适当降低填充率③增设导流板或调整曝气布局
5	出水有异味 (硫化氢味)	①局部厌氧发酵②有机物积累过多③排泥不及时	①加强曝气消除厌氧区②增加反冲洗频次③及时排泥, 检查底部排泥装置
6	pH值持续下降 (<6.5)	①硝化作用产酸②碱度消耗过快③缓冲能力不足	①检测总碱度②投加NaHCO ₃ 调节 (≤50 mg/L/次)③长期运行时定期补充碳酸盐碱度
7	COD去除率低	①进水SS过高②HRT不足③生物膜活性低	①检查上游固液分离设备②适当延长HRT③评估生物膜活性, 必要时补菌

《工厂化循环水养殖生化仓生物净化系统构建规范》 团体标准编制说明

一、工作简况

（一）任务来源

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。本文件由广东水产学会提出并归口。2026年7月21日，经广东水产学会批准立项。

（二）制定背景

工厂化循环水养殖（Industrial Recirculating Aquaculture System, RAS）是现代水产养殖业的重要发展方向，其核心优势在于通过水处理系统实现养殖用水的循环利用，节水率可达90%以上。生化仓生物净化系统作为RAS的核心水处理单元，承担着去除养殖水体中氨氮、亚硝酸盐等关键有害物质的功能，其构建质量直接决定整个养殖系统的运行效率和养殖效益。

目前，行业标准 SC/T 6093—2019《工厂化循环水养殖车间设计规范》主要规定了养殖车间的整体工艺设计要求，未对生化仓内部生物填料的性能指标体系、标准化挂膜工艺、微生物群落定向构建方法、智能化运行监控策略以及系统性能验证规程等关键技术环节作出详细规定。在实际生产中，生化仓构建和运行管理缺乏统一的技术依据，导致处理效率参差不齐，制约了行业的规范化发展。

为此，有必要制定本文件，填补上述标准空白领域，为工厂化循

环水养殖生化仓生物净化系统的规范化建设提供科学依据和技术支撑。

(三) 起草过程

1.项目起草单位

本文件起草单位：中国水产科学研究院珠江水产研究所、佛山丰裕科技发展有限公司、广东恒强水产有限公司等。

本文件主要起草人：陈总会、赵长臣、朱至吉、梁凯杰、林明辉、黄志斌、江小燕、刘春花、孙承文、彭勇鳌、梁剑、何有根、刘志军等。

2. 主要起草人及任务分工

主要参加单位	成员	主要工作
中国水产科学研究院珠江水产研究所	陈总会、赵长臣、林明辉、黄志斌、江小燕、刘春花、孙承文、彭勇鳌、梁剑、何有根、刘志军	牵头组织标准编制工作，统筹协调各参与单位，负责总体方案设计与进度把控，主持编制工作会议，汇总整理各方意见，承担标准初稿的框架搭建与整体修改完善
佛山丰裕科技发展有限公司	朱至吉	提供现有产品实践案例，参与需求调研与问题分析，协助收集地方性政策与执行反馈，对标准的可操作性提出建议并参与文本研讨
广东恒强水产有限公司	梁凯杰	负责行业政策与法规依据的梳理与解读，开展国内外相关标准对比研究，为标准的合规性与先进性提供支撑，参与技术路线论证与关键条款讨论

3.立项前的工作

起草组在立项前开展了系统的调研工作，收集整理了国内外工厂化循环水养殖生化仓生物净化系统相关的技术资料和标准文献，包括 SC/T 6093—2019《工厂化循环水养殖车间设计规范》、GB 11607《渔业水质标准》等。同时，起草组深入多家工厂化循环水养殖企业进行实地调研，了解生化仓生物净化系统在实际运行中的技术现状、存在问题和管理需求，为标准技术内容的确定奠定了实践基础。

4. 立项后的工作

2026年7月21日标准立项后，起草组立即组建标准编制工作组，明确各起草人任务分工，制定详细的工作计划和时间节点。在前期调研基础上，编制组围绕生化仓生物净化系统的选址与布局、设施设备、生物填料、生物膜培养与构建、运行管理以及系统性能验证等核心技术内容进行了多轮研讨，并于2026年7月底完成了标准草案稿和本编制说明。目前，标准已进入公开征求意见阶段。

二、标准编制原则、主要内容及确定依据

（一）编制原则

1.科学性原则：本文件的技术要求基于生物学、环境工程学等学科的基本原理，并结合工厂化循环水养殖的实践验证，确保技术内容的科学性和合理性。

2.先进性原则：本文件在借鉴国外先进技术经验的基础上，结合我国工厂化循环水养殖的发展现状和技术水平，提出了符合行业发展趋势的技术规范，体现了标准的先进性。

3.可操作性原则：本文件的技术要求力求具体、明确，便于实际应用和操作。对于关键工艺参数（如填料填充率、挂膜阶段划分、水质控制指标等）均给出了明确的数值范围或操作流程，具有较强的可操作性。

4.协调性原则：本文件与现行国家标准、行业标准保持协调一致，在术语定义、水质标准等方面与 GB 11607、SC/T 6093 等标准有效衔接，避免矛盾。

（二）主要内容及确定依据

该标准为工厂化循环水养殖系统生化仓的构建与运行提供了全流程技术规范。内容涵盖了总体设计参数、选址布局与功能分区要求、设施设备选型、生物填料性能指标体系、标准化三段式挂膜工艺、生物膜驯化与压力测试检验方法，以及运行管理维护和系统性能验证等关键环节，尤其对氨氮去除负荷、水力停留时间、溶解氧控制、填料填充率等核心参数给出了明确量化要求，并对不同反应器类型的适用条件作出了差异化规定。

该标准的制定主要基于对现有行业标准 SC/T 6093—2019 的精细化补充、对国家强制性水质标准的严格遵循，以及大量成熟工程实践的经验总结。同时，标准还融入了功能菌剂定向构建、智能化在线监控与预警等先进技术理念，填补了生化仓内部生物填料性能、标准化挂膜工艺和微生物菌群构建等技术空白，为生化仓的规范化建设与高效稳定运行提供了科学、系统的技术依据。

三、主要试验（验证）的分析、综述报告以及预期的经济、社会

和生态效益

本文件基于 3 家企业、饲料鳰主养品种及 K5 填料在挂膜期的实测数据制定。数据完整呈现了硝化系统从建立到成熟的动态演化过程，明确了挂膜成功的关键判定依据；同时反映了硝化过程对水体碱度的持续消耗，验证了定期补充碱度以维持系统缓冲能力的必要性和有效性。此外，在后期投喂负荷大幅提升的条件下，系统各项水质指标虽出现短暂波动，但能够在短时间内自动恢复至安全水平，充分验证了该填料系统在高负荷环境下的抗冲击能力和运行稳定性。据此，标准确立了覆盖挂膜期与养成期的系统性水质管理框架和运行规范，为各项技术条款的制定提供了可靠的实践依据与数据支撑。

2026年6-7月H系统挂膜记录																
日期	投入品投放记录								水质检测记录							
	饲料	1号	3号	4号	5号	6号	9号	11号	其它	水温	PH	溶氧	氨氮	亚盐	总碱度	钙离子
7.1	10.5									22.6	8.4	7.26	0.23	0.13	350	40
7.2	10.5	105g	210g	105g						22.4	8.1	6.25	0.27	0.08		47
7.3	10.5	105g	210g	105g						20.5	8.5	6.5	5.04	0.07		0.1
7.4	10.5	105g	210g	105g						29.7	8.4	6.23	5.77	0.13		0.1
7.5	10.5	105g	210g	105g						28.8	8.4	6.44	5.59	0.24		0.5
7.6	10.5	105g	210g	105g						28.3	8.3	6.4	7.27	0.6		0.5
7.7	10.5									28.2	8.4	7.29	6.33	1.67	330	40
7.7	10.5	105g	210g	105g			105g	105g		28.2	8.4	7.29	6.78	1.67	330	40
7.8	10.5	105g	210g	105g						27.6	8.2	6.63	6.13	1.95		10.0
7.9	10.5	105g	210g	105g						27.6	8.0	7.93	0.16	1.95		10.0
7.10	10.5	105g	210g	105g						28	8.0	7.3	0.16	2.23		10.0
7.11	10.5	105g	210g	105g						28.3	8.1					10.0
7.12	10.5									28.3	8.1					10.0
7.12	10.5									28.3	8.0	6.96	0.17	47.96		0.1
7.12	10.5									28.3	8.0	6.95	0.12	23.67		0.5
7.12	10.5									28.3	8.0	6.88	0.3	23.98		0.5

技术标准或工程设计指南，尚未形成公开发布的国际标准或国外先进标准。本文件在技术内容上具有创新性，填补了该领域标准空白。

五、以国际标准为基础的起草情况

本文件起草中未采用国际标准。

六、与有关的法律、法规及相关标准的关系

本文件符合《中华人民共和国标准化法》《中华人民共和国渔业法》等法律法规的要求。在技术内容上与 GB 11607《渔业水质标准》、SC/T 6093—2019《工厂化循环水养殖车间设计规范》、等现行标准协调配套，是对上述标准在生化仓生物净化系统构建领域的细化和补充。

七、重大分歧意见的处理经过和依据

本文件在起草过程中未出现重大分歧意见。

八、涉及专利的有关说明

本文件不涉及专利。

九、实施国家标准的要求以及组织措施、技术措施、过渡期和实施日期的建议等措施建议

建议本文件发布后设置 3 个月的过渡期，供相关单位进行技术准备和人员培训。发布实施后，建议由广东水产学会组织标准宣贯培训，推动标准在行业内的推广应用。

十、其他应予说明的事项

无。