

ICS 65.150

CCS B 50



团体标准

T/CEATEC XXX—2025

深远海智能化养殖系统技术规范

Technical specification for intelligent aquaculture system in deep and open
sea

(征求意见稿)

2025-X-XX 发布

2025-X-XX 实施

中国欧洲经济技术合作协会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 系统组成与功能	2
4.1 系统整体架构	2
4.2 各子系统核心功能	2
5 规划设计要求	3
5.1 选址要求	3
5.2 系统规模设计	3
5.3 结构设计要求	3
6 系统技术要求	3
6.1 系统协同性要求	3
6.2 各子系统技术参数	4
6.3 环境适应性要求	5
7 系统部署与调试	5
7.1 部署流程	5
7.2 调试要求	5
8 运行管理	5
8.1 日常监控	5
8.2 数据管理	5
9 维护保障	6
9.1 维护周期与内容	6
9.2 维护记录	6
10 安全与环保要求	6
10.1 安全要求	6
10.2 环保要求	7
11 应急处置	7
11.1 应急预警分级	7
11.2 应急处置流程	7

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。

本文件由中国欧洲经济技术合作协会提出并归口。

本文件主要起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次编制。

深远海智能化养殖系统技术规范

1 范围

本文件规定了深远海智能化养殖系统的系统组成与功能、规划设计要求、系统技术要求、系统部署与调试、运行管理、维护保障、安全与环保要求、应急处置。

本文件适用于水深 $\geq 15\text{m}$ 、离岸距离 $\geq 10\text{km}$ 海域内，以鱼类、虾蟹类等为养殖对象的浮式或固定式智能化养殖系统的设计、生产、安装及运行管理。

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 13078 饲料卫生标准
GB/T 17626.5 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌(冲击)抗扰度试验
GB/T 32065.7 海洋仪器环境试验方法 第7部分：交变湿热试验
GB/T 32065.10 海洋仪器环境试验方法 第10部分：盐雾试验
GB/T 42478 农产品生产档案记载规范
SC/T 9103 海水池塘水排放要求

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

深远海 deep and open sea

指水深不小于15m、离岸距离不小于10km，海洋环境相对复杂，受陆源污染影响较小的海域。

3.2

智能化养殖系统 intelligent aquaculture system

由养殖载体子系统、智能化监测子系统、自动控制子系统、远程通信子系统、能源供给子系统及陆上控制中心组成，能实现水质参数实时监测、养殖对象状态识别、自动投喂、环境自适应调控、应急预警与联动处置的集成化养殖体系。

3.3

养殖载体子系统 aquaculture carrier subsystem

用于承载养殖对象并适应深远海环境的核心结构单元，包括浮式载体（如圆形抗风浪网箱、方形桁架式网箱）和固定式载体（如桩柱式养殖平台、沉箱式养殖舱），配套锚泊定位、防生物附着、舱体密封等辅助装置。

3.4

智能化监测子系统 intelligent monitoring subsystem

由传感器阵列、数据采集终端、视频分析设备组成，能连续采集水质、气象、水文、养殖对象行为及载体结构状态数据，并实现数据预处理与异常识别的子系统。

3.5

自动控制子系统 automatic control subsystem

基于监测数据和预设逻辑，自动执行投喂、增氧、换水、载体姿态调节等操作的子系统，包括执行机构（如投喂机、增氧泵、压载水阀）和控制单元（如 PLC 控制器、边缘计算模块）。

3.6

远程通信子系统 remote communication subsystem

实现养殖现场子系统与陆上控制中心之间“数据上传-指令下达”双向交互的子系统，包括卫星通信、5G/4G 通信、微波通信等设备，配套信号放大、抗干扰装置。

3.7

能源供给子系统 energy supply subsystem

为系统各子系统提供稳定电力的集成单元，包括可再生能源（太阳能光伏、风力发电）、备用能源（柴油发电机、储能电池）及能源管理模块，具备多能源互补切换功能。

3.8

陆上控制中心 land control center

实现系统远程监控、数据存储、智能分析及指令下发的核心平台，包括服务器、监控终端、数据可视化系统、应急预案管理软件，可对接水产养殖监管平台。

4 系统组成与功能

4.1 系统整体架构

系统采用“现场分布式部署+远程集中管控”架构，分为现场层（养殖载体、监测/控制/通信/能源子系统）、传输层（通信网络）、应用层（陆上控制中心）。

4.2 各子系统核心功能

各子系统核心功能及关键设备/组件见表1。

表1 各子系统核心功能及关键设备

子系统名称	核心功能	关键设备/组件
养殖载体子系统	提供稳定养殖空间，抵御 12 级台风、5m 浪高	浮体/桩柱结构、高强度网衣、锚泊系统、防附着装置、姿态传感器
	防止养殖对象逃逸，减少生物附着	
	实现载体姿态自适应调节	
智能化监测子系统	实时采集水质（水温、溶解氧等）、气象（风速、风向等）数据	水质传感器、气象站、水下摄像头、结构应力传感器、数据采集终端
	识别养殖对象密度、生长状态	
	监测载体结构应力、网衣完整性	
自动控制子系统	按时序/水质联动控制投喂量与均匀度	自动投喂机、增氧泵、压载水阀组、PLC 控制器、边缘计算模块
	基于溶解氧阈值自动启停增氧设备	
	调节压载水/锚泊绳张力，维持载体平衡	
远程通信子系统	上传监测数据（采样频率 $\leq 5s/次$ ）	卫星终端、5G 基站、微波收发器、抗干扰模块、信号避雷器
	下达远程控制指令（响应延迟 $\leq 10s$ ）	

子系统名称	核心功能	关键设备/组件
	保障恶劣海况下通信稳定性	
能源供给子系统	实现太阳能/风能互补发电	光伏组件、风力发电机、锂电池组、柴油发电机、能源管理控制器
	储能电池保障连续阴雨 3d 供电	
	柴油发电机应急备用	
陆上控制中心	数据存储（保存时长 ≥ 2 年）与可视化展示	工业服务器、监控大屏、数据管理软件、应急指挥终端
	智能分析养殖风险（如水质超标预警）	
	远程操控现场设备	

5 规划设计要求

5.1 选址要求

要求如下：

- a) 海域水深：浮式系统 $\geq 15\text{m}$ ，固定式系统 $\geq 20\text{m}$ （桩柱入土深度 $\geq 10\text{m}$ ）；
- b) 海况条件：年平均波高 $\leq 2\text{m}$ ，最大流速 $\leq 1.5\text{m/s}$ ，避开台风频发核心区（年均台风影响次数 ≤ 2 次）；
- c) 水质条件：水温 $5^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$ （适宜养殖对象生存），溶解氧 $\geq 5\text{mg/L}$ ，氨氮 $\leq 0.5\text{mg/L}$ ，远离工业废水排放口（距离 $\geq 5\text{km}$ ）；
- d) 通航条件：距离主航道 $\geq 1\text{km}$ ，避开禁养区、生态保护区。

5.2 系统规模设计

要求如下：

- a) 养殖容量：根据海域生态承载力计算，单位水体养殖密度 $\leq 20\text{kg/m}^3$ （鱼类）、 $\leq 10\text{kg/m}^3$ （甲壳类）；
- b) 设备配置：传感器覆盖密度 ≥ 1 个/ 1000m^3 养殖水体，摄像头监控范围无盲区（每 500m^2 养殖区 ≥ 1 个摄像头）；
- c) 冗余设计：关键设备（如增氧泵、通信终端）配置 1+1 备用，能源供给容量 \geq 系统最大功耗的 1.2 倍。

5.3 结构设计要求

要求如下：

- a) 养殖载体：浮式网箱直径宜为 $30\text{m}\sim 50\text{m}$ （圆形）或 $20\text{m}\times 20\text{m}\sim 40\text{m}\times 40\text{m}$ （方形），网衣采用高密度聚乙烯（HDPE），断裂强力 $\geq 15\text{kN}$ ；固定式桩柱宜采用 Q355B 钢材，防腐涂层厚度 $\geq 200\mu\text{m}$ ；
- b) 锚泊系统：采用聚酰胺（PA）锚绳，直径 $\geq 50\text{mm}$ ，破断拉力 $\geq 200\text{kN}$ ，锚重 $\geq 500\text{kg}/\text{个}$ （每载体配 4~6 个锚）；
- c) 设备平台：走道宽度 $\geq 1.2\text{m}$ ，承重 $\geq 2.5\text{kN/m}^2$ ，护栏高度 $\geq 1.2\text{m}$ （横杆间距 $\leq 0.5\text{m}$ ），满足人员检修安全需求。

6 系统技术要求

6.1 系统协同性要求

要求如下：

- a) 数据交互：各子系统数据接口统一（支持 Modbus-TCP/OPC UA 协议），数据传输成功率 $\geq 99.9\%$ ，误码率 $\leq 10^{-6}$ ；
- b) 控制联动：当监测数据超标（如溶解氧 $\leq 4\text{mg/L}$ ）时，系统应在 30s 内联动启动增氧泵，并向陆上控制中心推送预警信息；

c) 冗余能力：单条子系统故障（如通信中断）时，其他子系统应维持基础功能（如本地手动投喂、应急增氧），故障恢复时间 $\leq 2\text{h}$ 。

6.2 各子系统技术参数

6.2.1 智能化监测子系统

智能化监测子系统技术参数见表 2。

表 2 智能化监测子系统技术参数

监测类别	监测参数	测量范围	精度要求	采样频率	安装位置
水质监测	水温	0℃~35℃	$\pm 0.2^\circ\text{C}$	1次/5min	水下 0.5m、2m、5m 处
	溶解氧	2mg/L~15mg/L	$\pm 0.1\text{mg/L}$	1次/3min	水下 0.5m、养殖密度集中区
	pH 值	6.5~8.5	± 0.05	1次/10min	水下 1m 处
	盐度	20‰~35‰	$\pm 0.5\%$	1次/15min	水下 1m 处
	氨氮 (NH ₃ -N)	0mg/L~1.0mg/L	$\pm 0.02\text{mg/L}$	1次/30min	养殖舱底部、网箱外围
气象水文监测	风速	0m/s~60m/s	$\pm 0.3\text{m/s}$	1次/1min	载体顶部（高度 $\geq 10\text{m}$ ）
	风向	0°~360°	$\pm 5^\circ$	1次/1min	载体顶部
	波高	0m~10m	$\pm 0.1\text{m}$	1次/2min	载体外侧 10m 处
	流速	0m/s~3m/s	$\pm 0.05\text{m/s}$	1次/5min	水下 2m 处
结构与生物监测	载体倾斜角度	-10°~10°	$\pm 0.1^\circ$	1次/1min	载体重心位置
	网衣完整性	—	识别 $\geq 5\text{cm}$ 破损	1次/1h	网箱四周（水下摄像头）
	养殖对象密度	0kg/m ³ ~50kg/m ³	$\pm 10\%$	1次/1h	养殖区中部

6.2.2 自动控制子系统

要求如下：

a) 自动投喂：投喂量控制精度 $\pm 5\%$ ，投喂均匀度 $\geq 90\%$ ，支持“定时（精度 $\pm 1\text{min}$ ）+定量+水质联动”3种模式，料仓低料位（ $\leq 10\%$ 容积）时自动预警；

b) 增氧控制：增氧泵供氧能力 $\geq 0.5\text{kgO}_2/\text{h}\cdot\text{kW}$ ，溶解氧小于 4mg/L 时自动启动，大于 8mg/L 时自动停止，增氧后水体溶解氧提升速率 $\geq 0.3\text{mg/L/h}$ ；

c) 姿态调节：浮式载体倾斜角度 $\geq 3^\circ$ 时，自动调节压载水阀或锚泊绳张力，调节响应时间 $\leq 30\text{s}$ ，调节后倾斜角度 $\leq 1^\circ$ ；固定式载体结构应力 \geq 设计值 80%时，启动预警并限制养殖容量。

6.2.3 能源供给子系统

要求如下：

a) 太阳能光伏：组件转换效率 $\geq 20\%$ （标准测试条件：辐照度 1000W/m²，温度 25℃），光伏阵列输出功率偏差 $\leq \pm 5\%$ ；

b) 风力发电：启动风速 $\leq 3\text{m/s}$ ，额定风速 8m/s~12m/s，发电效率 $\geq 35\%$ ，叶片抗盐雾性能符合 GB/T 37848 中 4.2 要求；

c) 储能与备用：锂电池组容量满足系统连续阴雨 3d 运行需求（日均功耗 $\leq 50\text{kWh}$ 时，容量 $\geq 150\text{kWh}$ ），柴油发电机额定功率 \geq 系统最大功耗的 1.2 倍，启动成功率 $\geq 98\%$ ，燃油消耗率 $\leq 230\text{g/kW}\cdot\text{h}$ ；

d) 供电稳定性：输出电压波动范围 $\pm 5\%$ ，多能源切换时间 $\leq 10\text{s}$ 。

6.2.4 远程通信子系统

要求如下：

a) 卫星通信：数据传输速率 $\geq 1\text{Mbps}$ （离岸 $\geq 50\text{km}$ 时），误码率 $\leq 10^{-6}$ ，抗雨衰能力 $\geq 20\text{mm/h}$ （降雨强度）；

b) 5G 通信：离岸 $\leq 50\text{km}$ 时，下行速率 $\geq 10\text{Mbps}$ ，上行速率 $\geq 5\text{Mbps}$ ，误码率 $\leq 10^{-7}$ ，支持边缘计算节点本地缓存（缓存容量 $\geq 100\text{GB}$ ）；

c) 环境适应性：通信设备防护等级 $\geq \text{IP67}$ ，能承受 GB/T 32065.7 规定的交变湿热环境（ 40°C ，相对湿度 93%，10 个循环）。

6.3 环境适应性要求

设备应能在以下环境条件下正常工作：

a) 工作温度：电气设备 $-10^\circ\text{C} \sim 45^\circ\text{C}$ ，机械结构 $-20^\circ\text{C} \sim 50^\circ\text{C}$ ；

b) 湿度与盐雾：相对湿度 $\leq 95\%$ （无凝露），金属部件盐雾试验（GB/T 32065.10）720h 无明显锈蚀，腐蚀速率 $\leq 0.05\text{mm/a}$ ；

c) 抗振动与冲击：振动频率 $10\text{Hz} \sim 150\text{Hz}$ 、加速度 5m/s^2 ，冲击加速度 100m/s^2 （持续时间 11ms）。

7 系统部署与调试

7.1 部署流程

7.1.1 前期准备

应完成海域勘测定界、环评备案，采购设备应符合本文件 6.2 要求，出具厂家合格证明。

7.1.2 现场安装

要求如下：

a) 养殖载体：浮式网箱采用海上吊装（吊装误差 $\leq \pm 50\text{cm}$ ），固定式桩柱采用打桩船施工（垂直度偏差 $\leq 1\%$ ）；

b) 设备安装：传感器按 5.3 要求定位，通信天线朝向无遮挡（卫星天线对准卫星方位角偏差 $\leq 1^\circ$ ），能源设备接地电阻 $\leq 4\Omega$ ；

c) 线缆布设：水下线缆采用铠装防水电缆（防护等级 $\geq \text{IP68}$ ），线缆接头密封处理（使用专用防水接头），避免与锚泊绳交叉摩擦。

7.2 调试要求

要求如下：

a) 单机调试：逐一测试传感器精度、执行机构动作；

b) 子系统联调：启动监测子系统，连续采集 24h 数据，数据完整率 $\geq 99\%$ ；测试控制子系统联动（如手动模拟溶解氧低至 4mg/L ，增氧泵应在 30s 内启动）；

c) 全系统调试：陆上控制中心下达远程投喂指令，现场设备响应延迟 $\leq 10\text{s}$ ，数据上传至监控大屏的延迟 $\leq 5\text{s}$ ；模拟通信中断（断开 5G 信号），卫星通信应在 1min 内自动切换，无数据丢失；

d) 试运行：全系统试运行 30d，连续运行可靠性 $\geq 95\%$ ，平均无故障工作时间（MTBF） $\geq 8000\text{h}$ ，试运行结束后出具调试报告。

8 运行管理

8.1 日常监控

要求如下：

a) 数据监控：陆上控制中心实时监控水质、气象、设备状态，每小时记录 1 次关键数据（水温、溶解氧、投喂量），异常数据（如 $\text{pH} < 6.5$ ）立即标记并分析原因；

b) 养殖管理：按 GB/T 42478 要求记录养殖对象投苗量、生长情况、病害防治措施，不应使用国家禁用药品，投喂饲料应符合 GB 13078 的规定；

c) 权限管理：陆上控制中心设置三级权限（管理员、操作员、观察员），操作员仅可执行预设控制指令，管理员可修改参数阈值（修改记录保存 ≥ 1 年）。

8.2 数据管理

要求如下：

- a) 存储：监测数据采用“本地缓存+云端备份”，本地缓存保留 30d，云端存储 ≥ 2 年；
- b) 分析：每月生成 1 次运行报告，包括水质达标率（ $\geq 98\%$ 为合格）、设备故障率（ $\leq 5\%$ 为合格）、养殖对象生长速率，对比历史数据优化控制参数（如调整投喂频率）；
- c) 共享：对接区域水产养殖监管平台时，数据上传频率 ≥ 1 次/h，上传内容包括实时水质、养殖容量、应急处置记录。

9 维护保养

9.1 维护周期与内容

维护周期与内容见表 3。

表 3 维护周期与内容

维护级别	维护周期	维护内容	维护要求
日常维护	1 次/周	清洁传感器表面（去除生物附着）	传感器清洁后精度偏差 $\leq \pm 0.1\text{mg/L}$ ，线缆无渗水，应急照明持续时间 $\geq 90\text{min}$
		检查线缆接头密封性	
		测试应急照明	
定期维护	1 次/3 月	校准水质/气象传感器（用标准设备对比）	校准后传感器精度符合 6.2.1 要求，网衣修补后无渗漏，光伏组件透光率 $\geq 90\%$
		检查网衣破损（修补 $\geq 5\text{cm}$ 破洞）	
		清洁光伏组件表面	
季度维护	1 次/6 月	检查锚泊绳张力（偏差 $\leq \pm 10\%$ 设计值）	锚泊绳无断丝（断丝率 $\leq 5\%$ ），发电机机油污染度 $\leq \text{NAS 8}$ 级，通信切换时间 $\leq 1\text{min}$
		更换柴油发电机机油/滤芯	
		测试通信切换功能	
年度维护	1 次/年	检测载体结构应力（ \leq 设计值 80%）	结构应力无异常，涂层厚度 $\geq 150\ \mu\text{m}$ ，系统连续运行 24h 无故障
		补涂金属结构防腐涂层	
		全系统性能测试	

9.2 维护记录

要求如下：

- a) 每次维护应填写《维护记录表》，包括维护时间、维护内容、发现问题、处理结果、维护人员签字，记录保存 ≥ 3 年；
- b) 建立设备台账，记录设备型号、安装时间、维护次数、故障历史，设备报废时应出具报废评估报告（注明报废原因）。

10 安全与环保要求

10.1 安全要求

要求如下：

- a) 电气安全：系统接地电阻 $\leq 4\ \Omega$ ，绝缘电阻 $\geq 1\text{M}\ \Omega$ ，浪涌抗扰度符合 GB/T 17626.5 中 2 级要求（线-线 $\pm 1\text{kV}$ ，线-地 $\pm 2\text{kV}$ ）；
- b) 消防安全：养殖载体配备 MFZ/ABC5 型干粉灭火器 ≥ 4 具，消防栓供水压力 $\geq 0.3\text{MPa}$ ，消防通道宽度 $\geq 1.5\text{m}$ ，每半年开展 1 次消防演练；
- c) 人员安全：现场作业人员应穿戴救生衣（浮力 $\geq 75\text{N}$ ）、防滑鞋，离岸作业前报备海事部门，作业时间避开恶劣天气（风速 $\geq 10.8\text{m/s}$ 时停止作业）。

10.2 环保要求

要求如下：

- a) 污染防治：养殖废水排放应符合 SC/T 9103 的规定，固体废弃物（如破损网衣、废旧电池）分类回收，不得随意丢弃；
- b) 生态保护：不应向海域投放化学清洁剂，防生物附着优先采用物理方法（如超声波），避免使用有毒涂料；
- c) 环境监测：每季度监测养殖海域周边水质（范围 $\geq 1\text{km}$ ），监测项目包括 COD、总氮、总磷，数据报送当地生态环境部门。

11 应急处置

11.1 应急预警分级

分级如下：

- a) 一级预警（一般）：单一传感器故障、局部网衣轻微破损（ $< 5\text{cm}$ ），无养殖对象安全风险；
- b) 二级预警（较大）：水质参数超标（如氨氮 $> 1.0\text{mg/L}$ ）、通信中断（ $\leq 2\text{h}$ ）、载体倾斜 $\leq 3^\circ$ ；
- c) 三级预警（重大）：台风/巨浪预警（风速 $\geq 24.5\text{m/s}$ 、浪高 $\geq 4\text{m}$ ）、网衣大面积破损（ $\geq 10\text{cm}$ ）、养殖对象出现异常死亡（死亡率 $\geq 5\%/d$ ）。

11.2 应急处置流程

11.2.1 预警响应

一级预警由现场维护人员处置，二级预警启动子系统联动，三级预警上报当地渔业主管部门。

11.2.2 处置措施

应至少包括以下内容：

- a) 台风应急：收紧锚泊绳，转移现场人员，关闭非必要设备，陆上控制中心远程监控载体姿态；
- b) 网衣破损：立即启动围网拦截（围网 mesh 尺寸 \leq 养殖对象最小规格），组织潜水员修补，修补期间停止投喂；
- c) 通信中断：切换备用通信链路（如卫星通信），本地存储监测数据，通信恢复后补传数据；
- d) 后期处置：应急结束后 72h 内提交处置报告，分析事故原因，优化应急预案（每年修订 1 次）。