

团 体 标 准



T/CEATEC 259—2026

光纤水听器阵列深海组网技术规范

Technical specification for deep-sea networking of fiber optic hydrophone arrays

2026 – 08 – 19 发布

2026 – 08 – 19 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 技术要求 1

 4.1 环境适应性要求 1

 4.2 光纤水听器阵列单元要求 2

 4.3 组网拓扑与传输要求 2

 4.4 中继与控制设备要求 3

 4.5 安全要求 3

5 设计规范 3

 5.1 布局原则 3

 5.2 传输链路设计 3

 5.3 供电系统设计 4

 5.4 抗干扰设计 4

6 安装调试 4

 6.1 安装前准备 4

 6.2 安装流程 5

 6.3 调试 5

7 运行维护 5

 7.1 日常维护 5

 7.2 定期维护 6

8 数据管理 6

 8.1 数据采集与存储 6

 8.2 数据传输与共享 6

 8.3 数据安全和归档 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。

本文件由中科海声信息系统（北京）有限公司提出。

本文件由中国欧洲经济技术合作协会归口。

本文件起草单位：中科海声信息系统（北京）有限公司、艾克海洋科技（山东）有限公司、北京交通大学、北京理工大学、山东协和学院。

本文件主要起草人：赵俊霞、杨晓宁、王目光、陈德胜、高学强。

光纤水听器阵列深海组网技术规范

1 范围

本文件规定了光纤水听器阵列深海组网技术要求、设计规范、安装调试、性能测试、运行维护和数据管理。

本文件适用于光纤水听器阵列深海组网技术。

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。

GJB 23B 声纳换能器通用规范

GB/T 42559 声学 干涉型光纤水听器相移灵敏度测量

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

光纤水听器 optical fiber hydrophone

基于光纤传感技术，通过检测水下声信号引起的光学参数（如相位、幅度/强度、波长/频率、偏振态）变化来感知声压的传感器。

3.2

水听器阵列 hydrophone array

由按一定几何结构排列的多个水听器单元及相应的信号解调设备组成，用于实现空间水声信号采集、波束形成和目标定位的系统。

3.3

深海组网 deep-sea networking

在海深1500 m以内环境中，通过有线或无线方式将水听器阵列、中继器、控制节点等设备连接，构建可实现数据汇集、传输与协同处理的网络系统。

3.4

中继器 repeater

用于信号放大与再生，延长信号在光纤中的传输距离的水下设备，具备信号中继、电源分配与冗余切换功能。

4 技术要求

4.1 环境适应性要求

4.1.1 压力适应性

深海组网系统各设备（含光纤水听器阵列、中继器、水下连接器等）应能在深海静水压力环境下正常工作，静水压力试验应符合GJB 23B中的要求，且在额定工作静水压力下，设备性能衰减不超过3%。

4.1.2 温度适应性

- 4.1.2.1 工作温度：-5℃～45℃（深海温跃层典型温度范围）。
- 4.1.2.2 存储温度：-20℃～60℃。
- 4.1.2.3 在上述温度范围内，设备声压灵敏度、动态范围等关键性能指标变化量不超过±3%。

4.1.3 抗腐蚀与生物污损

- 4.1.3.1 金属部件表面应采用耐腐蚀涂层（如聚四氟乙烯、陶瓷涂层），经盐雾试验 3.5%氯化钠溶液中浸泡 1000 h，腐蚀速率不超过 0.01 mm/年。
- 4.1.3.2 光学窗口、传感器探头应采用抗生物污损材料（如铜合金、防污涂料），或配备超声防污装置，生物附着量在 6 个月内不超过 5 g/m²。

4.1.4 抗振动与冲击

- 4.1.4.1 振动：频率 10 Hz～2000 Hz，加速度 50 m/s²，持续时间 1 h，设备无机械损伤、性能无异常。
- 4.1.4.2 冲击加速度 500 m/s²，冲击时间 1 ms，方向：X、Y、Z 三轴，设备功能正常。

4.2 光纤水听器阵列单元要求

4.2.1 声压灵敏度

- 4.2.1.1 根据监测需求，水听器分为低频型和高频型，分别满足表 1。

表 1 声压灵敏度类型

类型	工作频率范围	声压相移灵敏度级 (参考1 V/μPa)	灵敏度不均匀性
低频型	1 Hz～100 kHz	≥-205 dB	整个频段内≤±2 dB
高频型	0.1 MHz～10 MHz	≥-270 dB	每100 kHz变化≤±1 dB，全频段≤±4 dB

- 4.2.1.2 对于低频水听器，在整个使用频率范围内，至少有三个十倍程的范围，自由场灵敏度的不均匀性应小于±2 dB。

- 4.2.1.3 对于高频水听器，在整个使用频率范围内，应至少有 2^{1/2}倍频程的范围，自由场灵敏度的不均匀性小于±4 dB，且频率每改变 100 kHz 时灵敏度的变化应小于±1 dB。

4.2.2 动态范围

- 4.2.2.1 低频：在 60 dB 的动态范围内，水听器的输出电压应与自由场声压成线性关系，其偏差应小于±0.5 dB。
- 4.2.2.2 高频：在 40 dB 的动态范围内，水听器的输出电压应与自由场声压成线性关系，其偏差应小于±1 dB。在信噪比大于 6 dB 的条件下，能测量的最小声压级应不低于 190 dB（0 dB△1 μPa）。

4.2.3 稳定性

- 4.2.3.1 温度稳定性：在 0℃～40℃的工作温度范围内，灵敏度与 23℃时的灵敏度的偏差应不大于 0.05 dB/℃。
- 4.2.3.2 静压稳定性：在 0 m～100 m 水深内，灵敏度的变化应不大于 0.4 dB/MPa。
- 4.2.3.3 时间稳定性：在校准周期一年的时间内，灵敏度的变化应不大于±3 dB。

4.3 组网拓扑与传输要求

4.3.1 拓扑结构

- 4.3.1.1 宜采用“星型+链型”混合拓扑结构：水下部分采用链型连接（减少中继节点数量），水上部分采用星型连接（提高数据传输可靠性）。
- 4.3.1.2 阵列间距：根据监测需求设定，相邻单元同步误差≤ 10 μs（若采用精密授时协议如 PTP，可要求≤1 μs）。

4.3.2 传输介质

- 4.3.2.1 水下传输采用海底光电复合缆，浅水区用铠装缆，深水区用轻型缆。
- 4.3.2.2 水下传输采用单模光纤（如 G.652.D、G.654.E），光纤衰减系数： ≤ 0.2 dB/km（1550 nm 波长）， ≤ 0.3 dB/km（1310 nm 波长）。
- 4.3.2.3 光纤接头水下部分宜采用 UJ 型密封接头，岸基/船基部分可采用 FC/PC 或 SC/PC 型接头。插入损耗 ≤ 0.5 dB，回波损耗 ≥ 50 dB，水下接头密封等级大于等于 IP68。
- 4.3.2.4 海底光电复合缆中电缆电阻小于 $1 \Omega/\text{km}$ （20℃），最高工作电压 10 kVDC。

4.3.3 传输性能

- 4.3.3.1 数据传输速率：单条链路 ≥ 10 Gbps。
- 4.3.3.2 数据传输时延： ≤ 100 ms（传输距离 ≤ 100 km）。
- 4.3.3.3 误码率： $\leq 1 \times 10^{-9}$ （在额定速率下连续测试 24 h）。

4.4 中继与控制设备要求

4.4.1 水下中继器

- 4.4.1.1 中继增益： ≥ 10 dB（1550 nm 波长）。
- 4.4.1.2 最大中继距离： ≥ 50 km。
- 4.4.1.3 供电方式：采用海底电缆供电，功耗宜根据传输距离和负载确定。
- 4.4.1.4 冗余设计：具备双电源输入、双光纤链路备份，单链路故障时，切换时间 ≤ 100 ms。

4.4.2 岸基/船基控制中心

- 4.4.2.1 数据处理能力：支持 ≥ 1024 路水听器信号并行处理，实时频谱分析、声信号定位精度 ≤ 10 m（在 10 km 监测范围内）。
- 4.4.2.2 控制功能：可远程配置水听器阵列参数（如采样率、增益）、控制中继器切换，控制指令响应时间 ≤ 500 ms。
- 4.4.2.3 存储能力：支持 ≥ 1 年的原始数据存储（采用分布式存储架构），数据读写速率 ≥ 100 MB/s。

4.5 安全要求

4.5.1 数据安全

- 4.5.1.1 数据传输采用加密协议（如 AES-256、SSL/TLS 1.3），防止数据被窃取或篡改。
- 4.5.1.2 数据存储采用访问权限控制（如角色-Based 访问控制），不同用户权限分级管理（管理员、操作员、查看员）。

4.5.2 设备安全

- 4.5.2.1 水下设备应具备过压、过流、短路保护功能，当供电电压/电流超过额定值 15% 时，自动切断电源。
- 4.5.2.2 控制中心应配备 UPS 应急电源，断电后持续供电时间 ≥ 4 h，确保数据不丢失。

5 设计规范

5.1 布局原则

- 5.1.1 根据监测目标（如油气泄漏、水下目标）的声信号特征，确定阵列覆盖范围与密度，确保监测无盲区。
- 5.1.2 避开海底复杂地形（如海沟、陡坡）、强流区（流速 ≥ 1 m/s）及船舶锚地，减少环境干扰与设备损伤风险。

5.2 传输链路设计

5.2.1 海缆路由设计

5.2.2 海缆路由应避开海底障碍物（如礁石、沉船）、海底电缆/管道密集区，路由弯曲半径 ≥ 30 cm（静态）、 ≥ 60 cm（动态）。

5.2.3 浅水区（水深 < 200 m）海缆应埋设于海底泥沙下 ≥ 0.5 m，深水区（水深 ≥ 1000 m）可采用海缆敷设（无需掩埋），但需配备防锚害保护装置。

5.2.4 继节点设计

5.2.4.1 中继节点间距根据光纤衰减系数确定，当采用 G.654.E 光纤时，间距 ≤ 50 km。

5.2.4.2 中继节点外壳宜采用钛合金或高强度塑料，重量 ≤ 50 kg（空气中），配备浮力调节装置，确保在水中悬浮稳定。

5.3 供电系统设计

5.3.1 供电方式

采用“岸基高压直流供电+水下变换与蓄电池备份”方式：岸基通过海底电缆向水下设备提供高压直流电（如1 kVDC~10 kVDC），经水下中继器或节点内的DC/DC电源模块变换为设备所需的工作电压（如DC 48 V或DC 24 V）。水下中继器、控制模块应配备锂电池（容量 ≥ 100 Ah），当岸基供电中断时，蓄电池可维持设备工作 ≥ 24 h。

5.3.2 供电线路设计

5.3.2.1 供电电缆与光纤集成于同一海缆中，电缆截面积 ≥ 2.5 mm²，绝缘电阻 ≥ 100 M Ω （25℃时）。

5.3.2.2 供电线路采用分布式供电，每个中继节点设置独立电源分配模块，避免单节点故障影响整体供电。

5.4 抗干扰设计

5.4.1 电磁干扰防护

5.4.1.1 设备电路采用屏蔽设计（如金属屏蔽罩、屏蔽电缆），屏蔽效能 ≥ 40 dB（100 kHz~1 GHz 频率范围）。

5.4.1.2 避开海底高压输电缆（距离 ≥ 100 m），减少电磁感应干扰。

5.4.2 声干扰抑制

5.4.2.1 水听器单元采用指向性设计，主瓣宽度 $\leq 30^\circ$ （1 kHz 频率下），旁瓣抑制比 ≥ 20 dB，减少环境噪声（如海浪、生物噪声）干扰。

5.4.2.2 数据处理算法中加入噪声抑制模块（如自适应滤波、小波去噪），对 50 Hz 以下低频噪声抑制比 ≥ 30 dB。

6 安装调试

6.1 安装前准备

6.1.1 设备检测

6.1.1.1 测试前设备应在实验室内进行预校准。

6.1.1.2 测试项目与方法见表 2。

表 2 安装前测试项目

测试项目	测试方法	合格指标
声压灵敏度	按照GB/T 42559的规定的方法进行	符合4.2.1的要求
动态范围	逐步提高标准声源声压级，直至水听器输出信号失真（失真度 $\geq 5\%$ ），计算最大与最小可测声压比值	≥ 120 dB
数据传输时长	在水听器单元注入触发信号，记录信号到达控制中心的时间差	≤ 100 ms（传输距离 ≤ 100 km）
误码率	连续传输 1×10^{15} bit测试数据，统计错误比特数	$\leq 1 \times 10^{-9}$
环境适应性	1. 压力测试：将设备置于150 MPa压力罐中，持续24 h，测试性能； 2. 腐蚀测试：3.5%氯化钠溶液浸泡1000 h，检测腐蚀速率； 3. 振动测试：10 Hz~2000 Hz，50 m/s ² ，持续1 h，观察设备状态。	1. 性能衰减 $\leq 3\%$ ； 2. 腐蚀速率 ≤ 0.01 mm/年； 3. 无机械损伤、性能正常。

6.1.2 现场勘察

- 6.1.2.1 测量安装海域的水深、地形、海流速度、海底沉积物类型，编制详细勘察报告。
- 6.1.2.2 标记海底障碍物、已有电缆/管道位置，确定最终阵列布局与海缆路由。

6.2 安装流程

6.2.1 海缆敷设

- 6.2.1.1 采用专业海缆敷设船，敷设速度控制在1 m/s~2 m/s，避免海缆过度弯曲（弯曲半径 ≥ 60 cm）。
- 6.2.1.2 浅水区（水深 < 200 m）采用埋缆机将海缆埋入海底泥沙下 ≥ 0.5 m；深水区直接敷设，敷设后通过ROV（遥控水下机器人）检查海缆状态，确保无破损、缠绕。

6.2.2 水听器阵列安装

由ROV将水听器阵列按设计布局固定于海底支架（支架采用耐腐蚀合金，重量 ≥ 50 kg，防止海流冲刷移位）。

6.2.3 中继与控制设备安装

- 6.2.3.1 中继节点由敷设船投放至预设位置，通过ROV调整姿态，确保光纤接口朝上、供电接口正常。
- 6.2.3.2 岸基/船基控制中心安装于室内（温度15℃~30℃，湿度 $\leq 80\%$ ），设备接地电阻 ≤ 4 Ω ，与外部网络隔离（配备防火墙）。

6.3 调试

6.3.1 系统通电调试

- 6.3.1.1 分阶段通电：先给中继器供电，启动控制中心，观察各设备指示灯状态，确保无故障报警。
- 6.3.1.2 检测供电电压/电流：各设备供电电压偏差不超过 $\pm 5\%$ ，电流不超过额定值。

6.3.2 性能调试

- 6.3.2.1 声压灵敏度校准：采用标准声源（如活塞发声器）在1 kHz频率下校准各水听器单元灵敏度，偏差超过 ± 2 dB的单元需重新调整。
- 6.3.2.2 数据传输测试：向系统注入测试信号，检测控制中心接收数据的完整性与时延，误码率 $\leq 1 \times 10^{-9}$ ，时延 ≤ 100 ms。
- 6.3.2.3 定位精度测试：在已知位置投放声源，测试系统对声源的定位误差，误差 ≤ 10 m（10 km监测范围内）。

7 运行维护

7.1 日常维护

7.1.1 设备状态监测

7.1.1.1 控制中心实时监测各设备（水听器单元、中继器）的工作电压、电流、温度、信号强度，当参数超出阈值（如温度 $>45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、信号强度衰减 $>10\text{ dB}$ ）时，发出报警信息。

7.1.1.2 每日检查海缆路由附近海域船舶动态，避免锚害，通过 ROV 每月检查一次浅水区海缆埋深，若埋深 $<0.3\text{ m}$ ，及时补种。

7.1.2 数据管理

7.1.2.1 每日备份原始数据（采用异地备份，备份介质为硬盘、云存储），定期（每季度）对数据进行完整性检查，确保无丢失、损坏。

7.1.2.2 每月对数据进行分析，评估系统性能变化趋势（如灵敏度漂移、传输时延增加），提前预判设备故障。

7.2 定期维护

7.2.1 月度维护

清洁控制中心设备（如服务器、交换机），检查通风系统，确保散热正常；校准控制中心的测试仪器（如示波器、信号发生器），确保精度符合要求。

7.2.2 季度维护

通过ROV检查水听器阵列、中继器的外观，清理生物污损（如采用高压水枪冲洗光学窗口）；测试中继器的冗余切换功能，模拟单链路故障，检查切换时间 $\leq 100\text{ ms}$ 。

7.2.3 年度维护

7.2.3.1 定期检测海缆的光纤衰减、电缆绝缘电阻。

7.2.3.2 更换水下设备的蓄电池（锂电池使用寿命 ≥ 3 年），确保备份供电正常。

7.2.4 故障处理流程

7.2.4.1 故障报警：控制中心发出声光报警，显示故障位置、类型。

7.2.4.2 故障排查：通过远程诊断（如检查设备参数、测试信号）初步判断故障原因，若远程无法排查，派遣 ROV 或科考船现场勘察。

7.2.4.3 故障修复：紧急故障（如海缆断裂）采用备用海缆临时连接，恢复系统运行后，再更换故障海缆；重要故障（如中继器故障）由 ROV 更换备用中继器。

7.2.4.4 故障记录：详细记录故障时间、原因、处理过程、修复结果，纳入故障数据库，定期分析故障规律。

8 数据管理

8.1 数据采集与存储

8.1.1 数据采集内容

原始数据：水听器阵列采集的声信号（采样率 $\geq 20\text{ kHz}$ ，位数 $\geq 16\text{ bit}$ ）、设备运行参数（电压、电流、温度）、环境参数（水深、海流速度、水温）；处理后数据：声信号频谱图、目标定位结果、设备状态报告。

8.1.2 存储要求

原始数据存储格式采用HDF5（Hierarchical Data Format 5），支持大数据量存储与快速读取；存储系统采用RAID 5/6冗余架构，防止硬盘损坏导致数据丢失，存储容量根据监测规模确定，典型值为100 TB~1 PB。

8.2 数据传输与共享

8.2.1 数据传输

8.2.1.1 实时数据：通过光纤传输至岸基/船基控制中心，传输速率 $\geq 10\text{ Gbps}$ 。

8.2.1.2 历史数据：采用压缩算法（如 ZIP、GZIP）压缩后，定期（如每日凌晨）传输至云端存储，压缩比 $\geq 10:1$ 。

8.2.2 数据共享

8.2.2.1 建立数据共享平台，宜采用 API 接口（如 RESTful API）向授权用户开放数据，共享数据应脱敏（如隐藏敏感位置信息）。

8.2.2.2 数据共享权限分级：管理员可获取全部数据，科研用户可获取处理后数据，公众可获取环境监测统计数据（如平均声压级、水温变化）。

8.3 数据的安全与归档

8.3.1 数据安全

8.3.1.1 数据传输加密：采用 SSL/TLS 1.3 协议，数据存储加密：采用 AES-256 算法。

8.3.1.2 定期（每月）进行数据安全审计，检查数据访问日志，发现异常访问（如多次登录失败、非授权下载）及时处理。

8.3.2 数据归档

原始数据归档保存期限 ≥ 5 年，处理后数据 ≥ 10 年；归档介质采用磁带库、云存储（异地备份），归档前进行数据完整性校验（如MD5哈希校验），确保数据无损坏。

中 华 人 民 共 和 国
团 体 标 准
光纤水听器阵列深海组网技术规范
T/CEATEC 259—2026

*

中国欧洲经济技术合作协会
网址 <https://www.ceatec.org.cn/>

*

开本 880×1230 1/16 印张 0.75 字数 5.7 千字
2026 年 8 月第一版 2026 年 8 月第一次印刷

*

如有印装差错 由中国欧洲经济技术合作协会调换
版权专有 侵权必究
举报电话：010-64516951



T/CEATEC 259—2026