



团 体 标 准

T/CS0E 0024—2025

温盐深集成光纤矢量水声传感器阵列

Fiber optic temperature-salinity-depth integrated fiber optic vector hydroacoustic
sensor array

（报批稿）

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

中国光学工程学会 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 2

4 技术要求 4

 4.1 外观 4

 4.2 性能 4

 4.3 环境适应性 5

 4.4 电磁兼容 6

5 试验方法 6

 5.1 通用要求 6

 5.2 外观 6

 5.3 性能 6

 5.4 环境适应性 16

 5.5 电磁兼容 17

6 检验规则 17

 6.1 检验分类 17

 6.2 型式检验 17

 6.3 出厂检验 18

 6.4 组批 18

 6.5 抽样 18

 6.6 判定规则 18

7 标志、包装、运输和贮存 18

 7.1 标志 18

 7.2 包装 18

 7.3 运输和贮存 19

附录 A（资料性附录）温盐深集成光纤矢量水声传感器阵列的复用结构与典型布局 20

附录 B（资料性附录）温盐深集成光纤矢量水声传感器阵列组成、原理与功能 22

附录 C（资料性附录）记录表 25

参考文献 29

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。

本文件由中国光学工程学会提出。

本文件由中国光学工程学会归口。

本文件起草单位：中国科学院半导体研究所、中国人民解放军国防科技大学、北京世维通光智能科技有限公司、北京邮电大学、中国科学院海洋研究所、西安交通大学、山东大学、中北大学、齐鲁工业大学、上海蓝梭电子科技有限公司、江苏亨通华海科技股份有限公司。

本文件主要起草人：李芳、王永杰、王建飞、肖浩、张豪杰、南峰、李高超、施安存、刘元辉、陈默、王强龙、任强、刘东伟、林启敬、赵娜、苏娟、王永华、许人东、顾国斌、张发祥、赵强、胥国祥。

温盐深集成光纤矢量水声传感器阵列

1 范围

本文件规定了温盐深集成光纤矢量水声传感器阵列的技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存。

本文件适用于温盐深集成光纤矢量水声传感器阵列，其他光纤温度、盐度、压力或矢量水声传感器可参照执行。

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/T 7665 传感器通用术语

GB/T 16165 水听器相位一致性测量方法

GB/T 17626.2 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验

GB/T 17626.17 电磁兼容 试验和测量技术 直流电源输入端口纹波抗扰度试验

GB/T 17626.29 电磁兼容 试验和测量技术 直流电源输入端口电压暂降、短时中断和电压变化的抗扰度试验

GB/T 18310.6 纤维光学互连器件和无源器件 基本试验和测量程序 第2-6部分：试验 锁紧机构抗拉强度

GB/T 18901.1 光纤传感器 第1部分：总规范

GB/T 23246 电导率温度深度剖面仪

GB/T 2828.1 计数抽样检验程序 第1部分：按接收质量限(AQL)检索的逐批检验抽样计划

GB/T 32065.2 海洋仪器环境试验方法 第2部分：低温试验

GB/T 32065.3 海洋仪器环境试验方法 第3部分：低温贮存试验

GB/T 32065.4 海洋仪器环境试验方法 第4部分：高温试验

GB/T 32065.5 海洋仪器环境试验方法 第5部分：高温贮存试验

GB/T 32065.6 海洋仪器环境试验方法 第6部分：恒定湿热试验

GB/T 32065.8 海洋仪器环境试验方法 第8部分：温度变化试验

GB/T 32065.10 海洋仪器环境试验方法 第10部分：盐雾试验

GB/T 32065.14 海洋仪器环境试验方法 第14部分：振动试验

GJB 23B-2018 声呐换能器通用规范

JJG 763 温盐深测量仪

JJF 1340 20Hz~2000Hz矢量水声传感器校准规范

JJF 1588-2016 1kHz ~ 10kHz矢量水听器校准规范（自由场比较法）

3 术语和定义

GB/T 7665、GB/T 18901.1、JJF 1340和JJG 763界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

温盐深集成光纤矢量水声传感器阵列 integrated fiber optic temperature-salinity-depth and vector hydroacoustic sensor array

由多个温盐深集成光纤矢量水声传感器构成，能够同步获取温度、海水折射率、水深压力和水声声压或质点振速等多参量信号的光纤传感器阵列。

注1：该阵列可输出空间多点、多参量的同步测量信号。

注2：在本文件中，简称为“传感器阵列”。

3.2

光纤温盐深传感单元 fiber optic temperature-salinity-depth sensing unit

用于同步测量海水温度、盐度与深度信息，由光纤敏感探头与信号解调系统构成的单元。

注：本单元基于光学传感原理，将温度、盐度（折射率）及深度（压力）参量的变化转换为可测的光学信号。

3.3

光纤矢量水声传感单元 fiber optic vector hydroacoustic sensing unit

用于测量水下声压与质点振速，由光纤敏感探头和解调系统构成的单元。

注：本单元能够将水下声场参量转换为可测光学信号，并实现信号解调，通常包含多个空间指向的通道。

3.4

阵元 array element

组成传感器阵列的基本功能单元。

注：在本文件中，阵元可以是光纤温盐深传感单元或光纤矢量水声传感单元。

3.5

盐度 salinity

单位质量海水中溶解无机盐物质的总质量。

注：本定义中的盐度为绝对盐度，单位为克每千克（g/kg）。与海洋学中基于电导率比值定义的实用盐度在定义、量纲及数值上均不相同。

3.6

声压灵敏度 [underwater acoustics] pressure sensitivity

待测通道对声压的响应相位差与该声压之比，以10为底的对数乘以20表示的量。按公式（1）计算：

$$M_p = 20 \lg(\Delta\phi_p / p) \dots\dots\dots (1)$$

式中：

M_p —— 声压灵敏度，单位为分贝（弧度每微帕），符号为 dB (re. 1 rad/ μ Pa)；

$\Delta\phi_p$ —— 待测通道对声压响应的相位差，单位为弧度，符号为 rad；

p —— 施加的声压，单位为微帕，符号为 μ Pa。

3.7

加速度灵敏度 [underwater acoustics] acceleration sensitivity

待测通道对加速度的响应相位差与该通道方向上加速度之比，以10为底的对数乘以20表示的量。按公式（2）计算：

$$M_a = 20 \lg \frac{\Delta \phi_a}{a} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- M_a —— 加速度灵敏度，单位为分贝（弧度每重力加速度），符号为 dB (re. 1 rad/g)；
- $\Delta \phi_a$ —— 待测通道对加速度响应的相位差，单位为弧度，符号为 rad；
- a —— 施加的加速度，单位为重力加速度，符号为 g（取 9.8 m/s²）。

3.8

频带内灵敏度起伏 sensitivity fluctuation within operation frequency range

光纤矢量水声传感单元各矢量通道在工作频带范围内的加速度灵敏度的最大值和最小值的差值 ΔM_a 。

3.9 **横向抑制比** lateral rejection ratio

在单一频率下，光纤矢量水声传感单元某一矢量通道的指向性图中，声学响应极大值与极小值之差。按公式（3）计算：

$$CT = U_{min} - U_{max} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- CT —— 横向抑制比，单位为分贝（dB）；
- U_{max} —— 指向性图中的响应极大值，单位为分贝（dB）；
- U_{min} —— 指向性图中的响应极小值，单位为分贝（dB）。

注1：该差值反映了该通道对正交方向入射声信号的抑制能力，差值越大，抑制效果越好。

注2：该参数亦称“凹点深度”。

3.10

轴向灵敏度不对称性 axial deviation of sensitivity

光纤矢量水声传感单元某一矢量通道，在其主轴方向（即灵敏度最大方向）及其反方向上，接收灵敏度两极大值之差。按公式（4）计算：

$$D_{max} = |U_{max1} - U_{max2}| \dots\dots\dots (4)$$

式中：

- D_{max} —— 轴向灵敏度不对称性，单位为分贝（dB）；
- U_{max1} —— 指向性图在主轴方向上的响应极大值，单位为分贝（dB）；
- U_{max2} —— 指向性图在与 U_{max1} 相反方向上的响应极大值，单位为分贝（dB）。

注1：该参数表征了传感单元在空间对称方向上的响应一致性。

注2：该参数亦称“指向性不对称性”。

3.11

本底相位噪声 background phase noise level

在无外部声振信号激励的静态环境中，光纤矢量水声传感单元某一矢量通道自身产生的、折合到单位带宽内的相位噪声。按公式（5）计算：

$$\delta_x = 20\lg(\delta/\sqrt{\Delta f}) \dots\dots\dots (5)$$

式中：

δ_x —— 本底相位噪声，单位为分贝（弧度每根号赫兹），dB（re. 1 rad/√Hz）；

δ —— 在测试带宽 Δf 内测得的通道相位响应均方根值，单位为弧度（rad）；

Δf —— 测试带宽，单位为赫兹（Hz）。

注：该参数反映了传感单元在理想安静条件下的自身噪声水平，是衡量其微弱信号检测能力的关键指标。

4 技术要求

4.1 外观

外观应满足下列要求：

- a) 外观表面镀层和涂层应均匀、牢固，应无划痕、磨损、锈蚀和明显剥落现象；
- b) 紧固件和接插件应无松动和损伤；
- c) 标识应清晰、牢固，并放于明显处；
- d) 光纤矢量水声传感单元的矢量球体外壳应明显标出各矢量通道的方向，每个矢量通道的输入光纤和输出光纤均应明确区分。

注：本条款所述“标识”指产品上各类标记的物理状态和位置要求，其具体内容应符合第7章“标志”的规定。

4.2 性能

传感器阵列性能应符合表1规定。

表 1 传感器阵列性能

序号	参数	技术要求
1	光纤温盐深传感单元	
1.1	温度测量范围	(-2~35) ℃
1.2	盐度测量范围	(1~50) ‰
1.3	压力测量范围	(0~60) MPa
1.4	最大允许误差与分辨力	传感单元按性能分为I、II、III级： I级：温度：±0.003℃，分辨力：0.001℃；盐度：±0.05‰，分辨力：0.005‰；压力：±0.05%FS，分辨力：0.0001 MPa。 II级：温度：±0.05℃，分辨力：0.01℃；盐度：±0.5‰，分辨力：0.05‰；压力：±0.1%FS，分辨力：0.001 MPa。 III级：温度：±0.1℃，分辨力：0.05℃；盐度：±1‰，分辨力：0.1‰；压力：±0.5%FS，分辨力：0.002 MPa。
1.5	光学插入损耗	≤2 dB
2	光纤矢量水声传感单元	
2.1	声压灵敏度	优于-140 dB@1 kHz (re 1rad/μPa)
2.2	频带内灵敏度起伏	≤3 dB（峰峰值）
2.3	工作频带	10~1000 Hz
2.4	横向抑制比	≤-30 dB

表 1（续）

序号	参数	技术要求
2.5	轴向灵敏度不对称性	≤ 1 dB
2.6	相位一致性	$\leq 6^\circ$ （峰峰值）
2.7	等效噪声声压	≤ 45 dB@1 kHz（re 1 μ Pa/ $\sqrt{\text{Hz}}$ ）
2.8	光学插入损耗	≤ 3.8 dB
3	阵列整体性能	
3.1	阵列中光纤矢量水声传感单元间的灵敏度一致性	≤ 3 dB（峰峰值）
3.2	抗拉强度	≥ 60 kN
3.3	阵列中相邻阵元的间距	0.1~100 m
<p>注1：光纤温盐深传感单元的I级、II级、III级分别适用于以下典型场景： ——I级：适用于海洋水文精密调查、实验室高精度计量与标准传递； ——II级：适用于大部分海洋科学观测、业务化海洋监测及资源调查； ——III级：适用于一般性环境监测、教学实验及工程辅助测量。</p> <p>注2：表中2.2“频带内灵敏度起伏”、2.6“相位一致性”与3.1“灵敏度一致性”均为峰峰值要求。</p>		

4.3 环境适应性

4.3.1 低温工作

在低温条件的试验过程中及试验后通电检查，传感器阵列应能正常实现测量、通讯等功能。

4.3.2 低温贮存

低温贮存试验后，传感器阵列的外观应无机械损伤、锈蚀和明显剥落现象，紧固件和接插件不应有松动，通电检查应能正常实现测量、通讯等功能。

4.3.3 高温工作

在高温条件的试验过程中及试验后通电检查，传感器阵列应能正常实现测量、通讯等功能。

4.3.4 高温贮存

高温贮存试验后，传感器阵列外观应无机械损伤、锈蚀和明显剥落现象，紧固件和接插件不应有松动，通电检查应能正常实现测量、通讯等功能。

4.3.5 恒定湿热

恒定湿热试验后，传感器阵列外观应无机械损伤、锈蚀和明显剥落现象，紧固件和接插件不应有松动，通电检查应能正常实现测量、通讯等功能。

4.3.6 温度冲击

温度冲击试验后，传感器阵列外观应无机械损伤、锈蚀和明显剥落现象，紧固件和接插件不应有松动，通电检查应能正常实现测量、通讯等功能。

4.3.7 振动

振动试验后，传感器阵列外观应无机械损伤、明显剥落现象，紧固件和接插件不应有松动，通电检查应能正常实现测量、通讯等功能。

4.3.8 盐雾

盐雾试验后，传感器阵列外观应无机械损伤、锈蚀和明显剥落现象，紧固件和接插件不应有松动，通电检查应能正常实现测量、通讯等功能。

4.3.9 耐静水压

耐静水压试验后，传感器阵列外观应无机械损伤、锈蚀和明显剥落现象，紧固件和接插件不应有松动，通电检查应能正常实现测量、通讯等功能。

4.4 电磁兼容

抗扰度试验应符合表2的规定。

表 2 抗扰度试验

抗扰度试验	参考标准	严酷等级	评价准则
静电放电抗扰度试验	GB/T 17626.2	2	B
直流电源输入端口纹波抗扰度试验	GB/T 17626.17	2	B
直流电源输入端口电压暂降、短时中断和电压变化抗扰度试验	GB/T 17626.29	30%暂降，持续时间0.1s， 0%中断，持续时间0.01s， 80% ~ 110%，持续时间0.3s	B
注：评价准则B为允许测量性能暂时下降或能够自动恢复的自诊断运作；不允许复位或重新启动；不允许输出过电压超过500V。			

5 试验方法

5.1 通用要求

传感器阵列的性能检验应在光纤温盐深传感单元与光纤矢量水声传感单元组阵前分别进行。试验方法中涉及的测量设备、计量器具及标准物质，应符合以下要求：

- a) 所有测量设备和计量器具应经检定或校准合格，并在其有效期内使用；
- b) 使用的标准物质（如标准海水）应为国家有证标准物质，或采用可溯源的方法进行制备；
- c) 上述设备、器具及物质的测量不确定度或准确度等级，应满足相应试验项目的技术要求，原则上应优于被测参数允差的1/3。

试验环境条件应符合各试验方法的具体规定。未作规定时，宜在环境温度(15~35)℃、相对湿度25%~75%、大气压力860 hPa~1060 hPa的条件下进行。

5.2 外观

目视检查可采用目视或利用放大镜或显微镜等设备检查。

5.3 性能

5.3.1 光纤温盐深传感单元

5.3.1.1 一般要求

光纤温盐深传感单元的温度、盐度和压力测试在海水恒温槽中进行，当恒温海水槽温度处于平衡状态时，温度波动不大于0.001℃。

5.3.1.2 温度测量范围、最大允许误差和分辨力

5.3.1.2.1 试验方法

本试验旨在确定光纤温盐深传感单元的温度测量范围、最大允许误差和分辨力，其基本原理如下：

a) 最大允许误差测试与判定：采用比较法，在稳定温场中比较传感单元与标准温度计的示值，通过计算示值误差进行判定；

b) 分辨力测试与计算：在恒定温度下，采集传感单元的输出数据，通过分析其统计波动计算分辨力；

c) 测量范围验证与确定：在覆盖声称温度范围的多个校准点上进行测试，依据a)和b)的测试与计算结果，综合判定其有效工作范围。

试验方法参照了GB/T 23246中6.4.4及JJG 763中7.3.2的相关要求。

5.3.1.2.2 试验设备

试验设备及其技术要求如下：

a) 恒温槽：温度范围至少覆盖 $(-2\sim 35)^{\circ}\text{C}$ ，工作区域水平温度均匀性应优于 0.001°C ，垂直温度均匀性应优于 0.002°C ；

b) 标准温度计：应采用如标准铂电阻温度计等计量标准器，其测量不确定度应优于被检传感单元对应性能等级温度最大允许误差的1/3；

c) 温度测量系统：用于同步读取标准温度计与待测传感单元的输出，数据采集频率应能满足分辨力测试需求；

d) 数据记录系统：应能自动或手动记录测试数据，格式参见附录C。

5.3.1.2.3 试验步骤

试验应按下列步骤执行：

a) 设备连接与预热：将待测传感单元与标准温度计同时置于恒温槽工作区域内，两者应尽量靠近。按设备说明书连接解调系统，并预热至少一小时；

b) 校准点设置：在 $(-2\sim 35)^{\circ}\text{C}$ 量程范围内，均匀选取校准点。校准点应至少包括 35°C 、 30°C 、 25°C 、 20°C 、 15°C 、 10°C 、 5°C 、 0°C 、 -2°C ；

c) 温度稳定与数据采集：将恒温槽温度设定至第一个校准点（如 35°C ）。待温度稳定后，同步记录标准温度计与待测传感单元的输出。连续记录时间不少于3分钟，有效读数不少于10组。分别计算标准值与传感单元示值的算术平均值，并记录于表C.1；

d) 序列测试：按降温顺序，重复步骤c)，完成全部校准点的测试；

e) 分辨力测试：在恒温槽温度稳定的任一校准点，连续采集待测传感单元3分钟以上、不少于10组的原始光谱波长数据。计算该数据序列的标准差 σ_{λ} 。

5.3.1.2.4 数据处理

数据处理方法如下：

a) 最大允许误差判定：按公式（6）计算每个校准点*i*的温度示值误差 Δt_i ；

$$\Delta t_i = (t_i - t_{is}) \Big|_{\max} \dots \dots \dots (6)$$

式中：

式中： Δt_i 表示温度传感单元在第*i*个校准点的温度示值误差，单位为℃； t_i 表示温度传感单元在第*i*个校准点的仪器温度示值，单位为℃； t_{is} 表示第*i*个校准点的标准温度值，单位为℃。

Δt_i —— 第*i*校准点的温度示值误差，单位为摄氏度（℃）；

t_i —— 第*i*校准点待测传感单元的温度示值算术平均值，单位为摄氏度（℃）；

t_{is} —— 第*i*校准点标准温度计的示值算术平均值，单位为摄氏度（℃）。

取所有 $|\Delta t_i|$ 中的最大值，作为该传感单元温度的最大允许误差判定值。

b) 分辨力计算：根据多个校准点测试数据，用线性拟合得到传感单元的温度灵敏度 S_t 。根据步骤e)中得到的标准差 σ_λ ，按公式（7）计算温度分辨力 R_t ；

$$R_t = 3\sigma_\lambda / S_t \dots \dots \dots (7)$$

式中：

R_t —— 温度分辨力，单位为摄氏度（℃）；

σ_λ —— 原始光谱波长数据的标准差，单位为皮米（pm）；

S_t —— 温度灵敏度，单位为皮米每摄氏度（pm/℃）。

c) 测量范围确定：当传感单元在所有测试校准点上的性能（最大允许误差判定值、分辨力）均满足表1中对应等级要求时，可将试验采用的（-2~35）℃范围确定为该单元的温度测量范围。

5.3.1.3 盐度测量范围、最大允许误差和分辨力

5.3.1.3.1 试验方法

本试验旨在确定光纤温盐深传感单元的盐度测量范围、最大允许误差和分辨力，其基本原理如下：

a) 最大允许误差测试与判定：采用比较法，在恒定温度下，比较传感单元示值与标准样品的已知盐度值，通过计算示值误差进行判定；

b) 分辨力测试与计算：在恒定盐度下，采集传感单元的输出数据，通过分析其统计波动计算分辨力；

c) 测量范围验证与确定：使用一系列覆盖声称盐度范围的标准样品进行测试，依据a)和b)的测试与计算结果，综合判定其有效工作范围。

本试验方法参照了JJG 763中盐度相关试验方法的基本原理。

5.3.1.3.2 试验设备

试验设备及其技术要求如下：

a) 恒温槽（或低温恒温循环器）：温度控制范围至少覆盖试验要求，工作区域温度稳定性应优于 $\pm 0.05^\circ\text{C}$ ，均匀性应优于 $\pm 0.02^\circ\text{C}$ ；

b) 标准盐度基准：应使用国家有证标准物质（如标准海水），或使用重量稀释法精确配制。标准值的扩展不确定度（ $k=2$ ）应优于被检传感单元对应性能等级盐度最大允许误差的1/3；

c) 辅助设备：如分析天平（精度不低于0.001 g）、干燥箱、容量瓶、烧杯等，用于标准盐度样品的精确配制；

d) 数据记录系统：应能自动或手动记录测试数据，记录格式参见附录C的表C.2。

5.3.1.3.3 试验步骤

试验应按下列步骤执行：

a) 标准样品制备：使用高纯度氯化钠（NaCl）和蒸馏水（或去离子水），采用重量稀释法精确配制盐度标称值约为1‰、10‰、20‰、30‰、40‰、50‰的一系列标准海水样品。实际标准盐度值 C_{is} 根据称重质量精确计算；

b) 设备准备与预热：将恒温槽温度设定并稳定在 $(35.0 \pm 0.1)^\circ\text{C}$ 。按设备说明书连接待测传感单元的解调系统，并预热至少一小时；

c) 样品测试：取第一个标准样品（如1‰）注入洁净的测试容器，与待测传感单元一同置于恒温槽中。待温度平衡后，连续测量盐度示值不少于10次，记录数据；

d) 序列测试与清洗：完成一个样品测试后，用下一个标准样品充分润洗传感单元和测试容器至少两次，然后重复步骤c)进行测量。按盐度从低到高或从高到低的顺序，完成全部标准样品的测试；

e) 分辨力测试：选择中间盐度点（如30‰）的样品，在温度稳定条件下，连续采集待测传感单元3分钟以上、不少于10组的原始光谱波长数据。计算该数据序列的标准差 σ_λ 。

5.3.1.3.4 数据处理

数据处理方法如下：

a) 最大允许误差判定：按公式（8）计算每个检测点i的盐度示值误差 ΔC_i ；

$$\Delta C_i = C_i - C_{is} \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中：

ΔC_i —— 第i检测点的盐度示值误差，单位为千分率（‰）；

C_i —— 第i检测点待测传感单元的盐度示值算术平均值，单位为千分率（‰）；

C_{is} —— 第i检测点标准样品的标准盐度值，单位为千分率（‰）。

取所有 $|\Delta C_i|$ 中的最大值，作为该传感单元盐度的最大允许误差判定值。

b) 分辨力计算：根据多个检测点的测试数据，用线性拟合得到传感单元的盐度灵敏度 S_c 。按公式（9）计算盐度分辨力 R_c ；

$$R_c = 3\sigma_\lambda / S_c \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中：

R_c —— 盐度分辨力，单位为千分率（‰）；

σ_λ —— 原始光谱波长数据的标准差，单位为皮米（pm）；

S_c —— 盐度灵敏度，单位为皮米每千分率（ $\text{pm}/\text{‰}$ ）。

c) 测量范围确定：当传感单元在所有测试标准样品点上的性能（最大允许误差判定值、分辨力）均满足表1中对应等级要求时，可将试验采用的（1~50）‰范围确定为该单元的盐度测量范围。

5.3.1.4 压力测量范围、最大允许误差和分辨力

5.3.1.4.1 试验方法

本试验旨在确定光纤温盐深传感单元的压力测量范围、最大允许误差和分辨力，其基本原理如下：

a) 最大允许误差测试与判定：采用比较法，在可控压力源下，比较传感单元示值与压力标准器的示值，通过计算示值误差进行判定；

b) 分辨力测试与计算：在恒定压力下，采集传感单元的输出数据，通过分析其统计波动计算分辨力；

c) 测量范围验证与确定：在覆盖声称压力范围的多个校准点上（包括升压与降压过程）进行测试，依据a)和b)的测试与计算结果，综合判定其有效工作范围。

本试验方法按照GB/T 23246中6.4.6的规定，并结合JJG 763中7.3.4的试验方法进行。

5.3.1.4.2 试验设备

试验设备及其技术要求如下：

a) 压力标准器：应采用活塞式压力计、数字压力计或其他符合要求的标准器，其测量不确定度应优于被检传感单元对应性能等级压力最大允许误差的1/4；

b) 恒温设备：用于提供稳定的试验环境温度。若试验对环境温度有严格要求，应使用恒温箱，其温度波动应不大于 $\pm 2^\circ\text{C}$ ；

c) 辅助设备：包括真空泵/手泵（用于系统排气）、气压计（用于测量大气压力）、水平仪、高度差测量工具等；

d) 数据记录系统：应能自动或手动记录测试数据，记录格式参见附录C的表C.3。

5.3.1.4.3 试验步骤

试验应按下列步骤执行：

a) 设备连接与预热：

1) 将待测传感单元与压力标准器通过管路连接，确保连接牢固、无泄漏。连接前，应对具备零位修正功能的设备进行调零；

2) 将待测传感单元与标准器置于同一水平面上，或测量两者参考位置的高度差。若高度差引入的压力附加误差超过被检传感单元压力最大允许误差绝对值（ MPEV ）的1/10，则需记录该位差值以备修正；

3) 对测量系统进行充分排气等预处理操作；

4) 给待测传感单元及压力标准器通电，预热至少一小时。

b) 校准点设置：在（0~60）MPa量程范围内，相对均匀地选取校准点。校准点应至少包括0.1 MPa（大气压）、10 MPa、20 MPa、30 MPa、40 MPa、50 MPa、60 MPa；

c) 升压过程测试：从零点（大气压）开始，依次将压力升至各校准点。在每个校准点压力稳定后（通常保持1~3分钟），同时记录压力标准器示值（ P_{is} ）和待测传感单元的输出。在每个点连续记录不少于10个有效数据；

d) 降压过程测试：完成最高压力点测试后，依次降压至各校准点，重复步骤c)的数据记录过程；

e) 分辨力测试：在低压点（如0.1 MPa），待压力稳定后，连续采集待测传感单元3分钟以上、不少于10组的原始光谱波长数据。计算该数据序列的标准差 σ_λ 。

5.3.1.4.4 数据处理

数据处理方法如下：

a) 最大允许误差判定：按公式（10）计算每个校准点i（包括升压和降压）的压力示值误差 ΔP_i ；

$$\Delta P_i = P_i - P_{is} \dots \dots \dots (10)$$

式中：

ΔP_i —— 第i校准点的压力示值误差，单位为兆帕（MPa）；

P_i —— 第i校准点待测传感单元的压力示值算术平均值，单位为兆帕（MPa）；

P_{is} —— 第i校准点压力标准器的示值算术平均值，单位为兆帕（MPa）。

注：若存在需修正的高度差，应将其产生的压力值计入 P_{is} 或 P_i 中。

取所有 $|\Delta P_i|$ 中的最大值，作为该传感单元压力的最大允许误差判定值。

b) 分辨力计算：根据多个校准点的测试数据，用线性拟合得到传感单元的压力灵敏度 S_p 。按公式（11）计算压力分辨力 R_p ；

$$R_p = 3\sigma_\lambda / S_p \dots \dots \dots (11)$$

式中：

R_p —— 压力分辨力，单位为兆帕（MPa）；

σ_λ —— 原始光谱波长数据的标准差，单位为皮米（pm）；

S_p —— 压力灵敏度，单位为皮米每兆帕（pm/MPa）。

c) 测量范围确定：当传感单元在所有测试校准点上的性能（最大允许误差判定值、分辨力）均满足表1中对应等级要求时，可将试验采用的（0~60）MPa范围确定为该单元的压力测量范围。

5.3.1.5 光纤温盐深传感单元光学插入损耗

本试验旨在考核独立光纤温盐深传感单元自身的光学传输特性，应在传感单元组成阵列之前进行。

光学插入损耗是指光信号通过该传感单元引起的功率衰减，其值为输入光功率与输出光功率之差。按公式（12）计算，结果应符合表1中1.5的要求。

$$IL_x = P_{xin} - P_{xout} \dots \dots \dots (12)$$

式中：

IL_x —— 传感单元x的光学插入损耗，单位为分贝（dB）；

P_{xin} —— 注入传感单元x的输入光功率，单位为分贝毫瓦（dBm）；

P_{xout} —— 从传感单元x输出的光功率，单位为分贝毫瓦（dBm）。

试验方法：使用稳定光源和光功率计，将待测传感单元两端与测试系统连接，在规定的测试波长（如1550 nm）下，分别记录输入光功率 P_{xin} 与输出光功率 P_{xout} ，按公式（12）计算。

5.3.2 光纤矢量水声传感单元

5.3.2.1 声压灵敏度

应按现行有效的 JJF 1340 中第7.2.3条规定的方法进行试验。试验频率范围应至少覆盖 10 Hz 至 1000 Hz。

应分别测量并记录光纤矢量水声传感单元各矢量通道的声压灵敏度，结果填入表C.4。

5.3.2.2 频带内灵敏度起伏

频带内灵敏度起伏为计算值，应根据5.3.2.1测得的声压灵敏度数据，按下列步骤计算获得：

a) 加速度灵敏度计算：根据5.3.2.1的测量结果，按公式（13）计算光纤矢量水声传感单元被测通道在工作频率范围内各频率点的加速度灵敏度 M_{ai} ，并记录于表C.5；

$$M_{ai} = M_{pi} + 20 \lg \frac{\rho c}{\omega_i} + 20 \lg(g) + 120 \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中：

M_{ai} —— 被测通道在第i个频点的加速度灵敏度，单位为分贝（弧度每重力加速度），dB (re. 1 rad/g)；

M_{pi} —— 被测通道在第i个频点的声压灵敏度，单位为分贝（弧度每微帕），dB (re. 1 rad/μPa)；

ρ —— 介质（水）的密度，单位为千克每立方米（kg/m³）；

c —— 介质（水）中的声速，单位为米每秒（m/s）；

ω_i —— 角频率， $\omega_i = 2\pi f_i$ ，单位为弧度每秒（rad/s），其中 f_i 为工作频带内的三分之一倍频程频点；

g —— 重力加速度，取9.8米每二次方秒（m/s²）。

b) 起伏值计算与判定：在产品声称的工作频率范围（10 Hz ~ 1000 Hz）内，找出按公式（13）计算得到的所有加速度灵敏度值 M_{ai} 的最大值与最小值，其差值即为频带内灵敏度起伏值 ΔM_a 。计算结果 ΔM_a 应符合表1中2.2的要求。

5.3.2.3 工作频带

光纤矢量水声传感单元的工作频带应通过对其加速度灵敏度频率响应的合格性判定来确定，方法如下：

a) 数据获取：基于 5.3.2.2 中获得在 10 Hz 至 1000 Hz 频率范围内各测试点的加速度灵敏度数据；

b) 合格区间判定：从低频至高频，找出满足以下条件的最长连续频率区间：在该区间内，按 5.3.2.2 方法计算其频带内灵敏度起伏值，结果不超过表1中2.2规定的限值（即 ≤ 3 dB）；

c) 工作频带确定：将 b) 中判定出的最长连续合格频率区间，确定为该单元的工作频带。记录其下限频率和上限频率；

d) 符合性：除非制造商与用户另有协议，按 c) 确定的工作频带应能覆盖表1中2.3所声称的工作频率范围（10 Hz ~ 1000 Hz）。

注：对于特殊应用，可由制造商与用户协商指定工作频带，但应在产品文件中明确标注，且仍需在本标准规定的方法下验证其性能。

5.3.2.4 横向抑制比

光纤矢量水声传感单元的横向抑制比应按下列方法进行测试与计算：

a) 指向性图测试：应按现行有效的 JJF 1340中第7.2.5条规定的方法，并结合 JJF 1588 中第7.2.4条的方法，在指定测试频率上，测量并绘制出各矢量通道的指向性图；

b) 横向抑制比计算：根据测得的指向性图数据，按公式（14）计算各通道的横向抑制比；

$$CT_i = U_{mini} - U_{maxi} \dots\dots\dots (14)$$

式中：

CT_i —— 光纤矢量水声传感单元第 i 通道的横向抑制比，单位为分贝（dB）；

U_{mini} —— 第 i 通道指向性图响应中的极小值，单位为分贝（dB）；

U_{maxi} —— 第 i 通道指向性图响应中的极大值，单位为分贝（dB）。

c) 结果判定：计算结果 CT_i 应符合表1中2.4的要求。

注：典型的指向性图示例如图 1 所示。

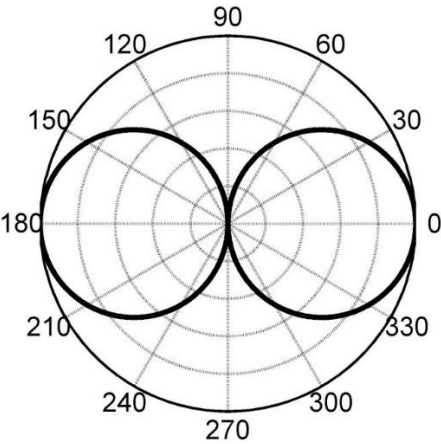


图 1 光纤矢量水声传感单元通道指向性图

5.3.2.5 轴向灵敏度不对称性

光纤矢量水声传感单元的轴向灵敏度不对称性应按下列方法进行计算：

a) 数据获取：根据按5.3.2.4（指向性图试验）获得的指向性图数据，找出各矢量通道在空间中两个相反方向上的响应极大值；

b) 不对称性计算：按公式（15）计算各通道在测试频率上的轴向灵敏度不对称性 D_{max} ；

$$\dots D_{max} = |U_{max1} - U_{max2}| \dots \quad (15)$$

式中：

D_{max} —— 光纤矢量水声传感单元矢量通道的轴向灵敏度不对称性，单位为分贝（dB）；

U_{max1} —— 该通道指向性图中一个主轴方向上的响应极大值，单位为分贝（dB）；

U_{max2} —— 该通道指向性图中与 U_{max1} 方向相反的主轴方向上的响应极大值，单位为分贝（dB）。

c) 结果判定：计算结果 D_{max} 应符合表1中2.5的要求。

5.3.2.6 相位一致性

光纤矢量水声传感单元的相位一致性试验应按下述方法进行：

a) 试验方法：相位一致性的测量应按照GB/T 16165中规定的相关相位测量方法执行，或参照执行其测量原理；

b) 试验步骤：在规定的测试频率点（如1 kHz）及工作频带内，按选定方法测量阵列中所有光纤矢量水声传感单元各矢量通道的相位响应；

c) 数据处理与判定：在相同条件下，找出所有被测通道相位响应的最大值与最小值，其差值（峰峰值）即为相位一致性值，单位为度（°）。计算结果应符合表1中2.6的要求。

5.3.2.7 等效噪声声压

5.3.2.7.1 试验方法

光纤矢量水声传感单元的等效噪声声压应在静音隔振环境下，通过测量其本底相位噪声并结合声压灵敏度计算获得。

5.3.2.7.2 试验设备

试验设备应符合矢量水声传感单元噪声测量的相关要求，主要设备及其技术要求如下：

a) 屏蔽与隔振装置：如声学屏蔽箱、隔振平台等，用于隔离环境声学振动干扰；

b) 相位噪声测量系统：应包括光相位解调系统与低噪声光电探测器，用于获取传感单元的本底相位噪声信号；

c) 数据处理系统：用于采集、记录相位噪声时域数据，并完成频谱分析；

d) 辅助设备：包括稳定光源、光路连接器等。

5.3.2.7.3 试验步骤

试验应按下列步骤执行：

a) 系统连接与预热：在屏蔽隔振环境下，将待测通道按使用状态与相位噪声测量系统、数据处理系统连接。系统通电预热至少一小时，直至输出稳定；

b) 本底相位噪声数据采集：在不施加任何外部声信号的静态条件下，连续采集并记录待测通道不少于60秒的原始相位输出数据；

c) 声压灵敏度数据引用：引用按5.3.2.1（声压灵敏度试验）方法测得的该通道在指定频率点（如1 kHz）的声压灵敏度 M_{pi} 值。

5.3.2.7.4 数据处理

数据处理方法如下：

a) 本底相位噪声计算：将步骤b)采集的相位时域数据进行频谱分析（如傅里叶变换），得到其频谱密度。在指定频率点（如1 kHz）处读取其单位带宽（1 Hz）内的噪声幅值，即为本底相位噪声 δ_x ，单位为 dB (re. 1 rad/√Hz)；

b) 等效噪声声压计算：按公式（16）计算等效噪声声压：

$$L_{ps} = \delta_x - M_{pi} \dots\dots\dots (16)$$

式中：

L_{ps} —— 光纤矢量水声传感单元的等效噪声声压，单位为分贝（微帕每根号赫兹），dB (re. 1 μPa/√Hz)；

δ_x —— 光纤矢量水声传感单元在指定频率点的本底相位噪声，单位为分贝（弧度每根号赫兹），dB (re. 1 rad/√Hz)；

M_{pi} —— 光纤矢量水声传感单元在相同频率点的声压灵敏度，单位为分贝（弧度每微帕），dB (re. 1 rad/μPa)。

c) 结果判定：计算结果 L_{ps} 应符合表1中2.7的要求。

5.3.2.8 光纤矢量水声传感单元光学插入损耗

光纤矢量水声传感单元各矢量通道的光学插入损耗试验，应在传感单元组成阵列之前，将待测量通道作为被测单元，按5.3.1.5（光纤温盐深传感单元光学插入损耗）规定的方法进行。试验结果应符合表1中2.8的要求。

5.3.3 温盐深集成光纤矢量水声传感器阵列

5.3.3.1 阵列中光纤矢量水声传感单元间的灵敏度一致性

阵列中光纤矢量水声传感单元间的灵敏度一致性为计算值，应按5.3.2.2（加速度灵敏度试验）依次测量传感器阵列中所有光纤矢量水声传感单元的加速度灵敏度，通过数据处理获得。具体方法如下：

a) 按5.3.2.2规定，测量并记录阵列中每个光纤矢量水声传感单元各矢量通道在工作频率范围内（如10 Hz ~ 1000 Hz）的加速度灵敏度频率响应数据；

b) 对每个通道，计算其加速度灵敏度在整个工作频率范围内的算术平均值 \overline{M}_{ai} ($i=1, 2, \dots, 3n$, n 为阵列中的光纤矢量水声传感单元总数)；

c) 找出所有通道加速度灵敏度平均值 \overline{M}_{ai} 中的最大值 $\overline{M}_{a,\max}$ 和最小值 $\overline{M}_{a,\min}$ ，其差值 $\Delta\overline{M}_a = \overline{M}_{a,\max} - \overline{M}_{a,\min}$ 即为阵列的灵敏度一致性值，单位为分贝（dB）；

d) 计算结果 $\Delta\overline{M}_a$ 应符合表1中3.1的要求。

5.3.3.2 抗拉强度

传感单元缆绳部分的抗拉强度试验应在符合GB/T 18310.6标准要求的试验装置上进行。

试验应按下列步骤执行：

- a) 将待测传感单元光缆的一端（如连接器部分）牢固地安装在试验装置的固定夹持器中，另一端（或光缆主体）安装在可移动施力器的夹持位置，确保拉力沿光缆轴向施加；
- b) 以设备允许的平稳速率施加拉力，直至达到表1中3.2规定的最小值，并保持该拉力至少15 s；
- c) 去除拉力，将被试样品从试验装置上取下。采用目视检查法对样品（特别是连接器、锁紧机构及光缆与连接器的结合部）进行外观检查，检查是否存在裂纹、永久变形、零部件脱落或其他降低其功能的损坏。

结果判定：若试验过程中拉力达到并维持了表1规定的最小值，且试验后样品未出现上述损坏，则判定为符合要求。

5.3.3.3 阵列中相邻阵元的间距

阵列中相邻阵元的间距应采用测量范围不小于100m的标准钢卷尺进行测量。测量结果应符合表1中3.3的要求。

5.4 环境适应性

5.4.1 低温工作

应按GB/T 32065.2的规定执行。

5.4.2 低温贮存

应按GB/T 32065.3的规定执行。

5.4.3 高温工作

应按GB/T 32065.4的规定执行。

5.4.4 高温贮存

应按GB/T 32065.5的规定执行。

5.4.5 恒定湿热

应按GB/T 32065.6的规定执行。

5.4.6 温度冲击

应按GB/T 32065.8的规定执行。

5.4.7 振动

应按GB/T 32065.14的规定执行。

5.4.8 盐雾

应按GB/T 32065.10的规定执行。

5.4.9 耐静水压

应按GJB 23B的规定执行。

5.5 电磁兼容

5.5.1 静电放电抗扰度

应按GB/T 17626.2的规定执行。

5.5.2 直流电源输入端口纹波抗扰度

应按GB/T 17626.17的规定执行。

5.5.3 直流电源输入端口电压暂降、短时中断和电压变化抗扰度

应按GB/T 17626.29的规定执行。

6 检验规则

6.1 检验分类

检验分为型式检验和出厂检验。检验项目应符合表3的规定。

表 3 检验项目和检验分类

序号	检验项目	型式检验	出厂检验
1	外观检查	●	●
2	性能	●	●
3	低温工作	●	○
4	低温贮存	●	●
5	高温工作	●	○
6	高温贮存	●	●
7	恒定湿热	●	/
8	温度冲击	●	/
9	振动	●	/
10	盐雾	●	/
11	耐静水压	●	/
12	电磁兼容	●	/
注：“●”表示必做检验项目，“○”表示选做检验项目，“/”表示不需要检验。			

6.2 型式检验

型式检验项目应符合表3的规定。有下列情况之一的，应进行型式检验：

- a) 新产品或老产品转厂生产的试制定型鉴定时；
- b) 正常生产时，每年检验一次；
- c) 正式生产后，设计、材料、工艺或结构等变化，可能影响产品性能时；
- d) 停产1年以上，恢复生产时；
- e) 出厂检验结果与上次型式检验结果有较大差异时。

6.3 出厂检验

每台（套）产品出厂前，应经制造商检验部门按本标准的规定进行出厂检验，检验合格并附有产品合格证后方可出厂。出厂检验项目及要求应符合表3的规定。

当产品以传感阵列形式出厂时，除应按本标准检验阵列的整体性能（如阵列灵敏度一致性、光学插入损耗、阵元间距等）外，阵列中各光纤温盐深传感单元、光纤矢量水声传感单元的性能指标，应以各单元在组成阵列前的单独检验合格记录为准。

6.4 组批

产品的组批应以同一原料、同一工艺、同一规格为一批次。每批产品的数量不应超过50件。

6.5 抽样

产品的抽样应按现行有效的 GB/T 2828.1 的规定执行，并随机抽取不少于5件样本。

6.6 判定规则

6.6.1 出厂检验判定

出厂检验中，若所有项目均合格，则判定该批产品出厂检验合格。若出现不合格项，则应从同批次产品中双倍取样，仅对不合格项进行复检。复检合格，则判定该批产品出厂检验合格；复检仍不合格，则判定该批产品出厂检验不合格。

6.6.2 型式检验判定

型式检验中，所有项目均合格，则判定型式检验通过。若出现任何一项不合格，则判定该次型式检验不通过。

7 标志、包装、运输和贮存

7.1 标志

产品标志应包括下列内容：

- a) 产品型号；
- b) 产品名称；
- c) 制造日期；
- d) 产品序列号；
- e) 产品执行标准编号；
- f) 制造商名称及生产地址；
- g) 光纤矢量水声传感单元的矢量球体外壳应明显标出各矢量通道的方向，每个矢量通道的输入光纤和输出光纤均应明确标识区分。

7.2 包装

7.2.1 一般要求

产品应使用专用包装箱包装。包装箱应坚实可靠、内部具有缓冲加固结构，并应符合下列规定：

- a) 内包装材料应具有防潮、缓冲及保护产品表面的功能；
- b) 包装箱外部应按运输与贮存要求，清晰、牢固地标示必要的储运图示标志与收发货信息；
- c) 整体包装应具备防潮、防震等保护措施，以适应常规运输和贮存环境。

7.2.2 随行文件

包装产品时，应附有下列随行文件：

- a) 产品合格证；
- b) 产品说明书；
- c) 装箱清单；
- d) 详细技术文件规定的有关资料。

7.3 运输和贮存

运输和贮存应满足下列要求：

- a) 产品应适应常规运输工具和条件，运输装卸操作应按包装箱上的标志进行；
- b) 阵列产品不应倒立或倒放；
- c) 贮存环境温度应为-10℃~40℃，相对湿度应不大于85%；
- d) 贮存条件和年限应符合详细技术文件的规定。

附 录 A

(资料性附录)

温盐深集成光纤矢量水声传感器阵列的复用结构与典型布局

A. 1 总体描述

温盐深集成光纤矢量水声传感器阵元通过光纤复用技术将多个传感单元级联为阵列。其复用方案基于波分复用与空分复用相结合的原则，可根据各传感单元的工作原理及组阵需求进行优选与组合。

A. 2 复用技术组成

A. 2.1 波分复用（WDM）方案

在波分复用方案中，不同传感单元的光信号由不同波长的光载波承载，在同一根光纤中独立传输。在接收端，通过波长解复用器将不同波长的光信号分离，并分别进行检测与处理。每个波长唯一对应一个特定的传感单元。

A. 2.2 空分复用（SDM）方案

在空分复用方案中，不同传感单元的信号通过不同空间位置的光纤进行传输，每个传感单元通常对应一根独立的光纤。各光纤在空间上相互隔离，从而实现信号的独立传输与检测。

A. 3 阵列结构与典型布局

A. 3.1 通用结构

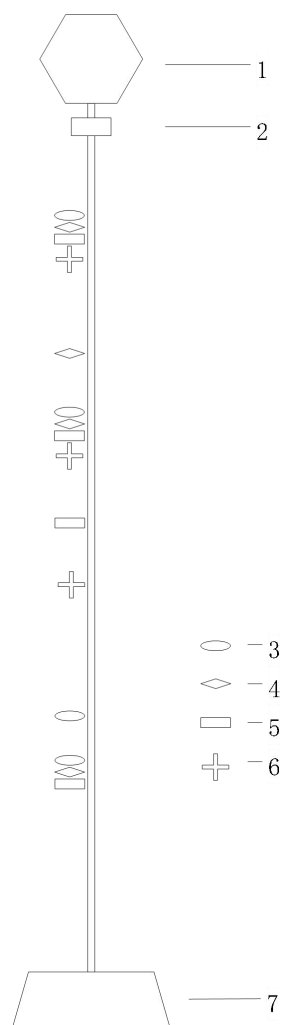
阵列可采用潜标等形式进行部署。光纤温盐深传感单元与光纤矢量水声传感单元可根据观测目的，在阵列上灵活配置为独立使用或组合使用。

A. 3.2 布局原则

多个传感单元在阵列上的空间布局，应根据具体海洋观测任务、海洋环境条件及数据融合需求进行具体设计与调整。

A. 3.3 结构图示

典型的阵列结构示例如图A.1所示。



- 说明：
- 1——潜标形式的浮球；
 - 2——仪器舱；
 - 3——温度传感单元；
 - 4——压力传感单元；
 - 5——盐度传感单元；
 - 6——矢量水声传感单元；
 - 7——重物锚。

图 A. 1 温盐深集成光纤矢量水声传感器阵列（潜标形式）典型结构示意图

附 录 B

(资料性附录)

温盐深集成光纤矢量水声传感器阵列组成、原理与功能

B.1 阵列系统组成

温盐深集成光纤矢量水声传感器阵列由仪器舱内的信息采集部分、湿端传感部分以及连接两部分的传输光缆组成（见图B.1）。各部分构成如下：

- a) 信息采集部分：位于仪器舱内，主要包括传感接口装置、信息采集模块、信息处理模块和信号输出装置；
- b) 湿端传感部分：主要包括敏感单元、传输光缆尾纤和封装管壳；
- c) 传输光缆：连接信息采集部分与湿端传感部分，通常与湿端传感部分组合封装。

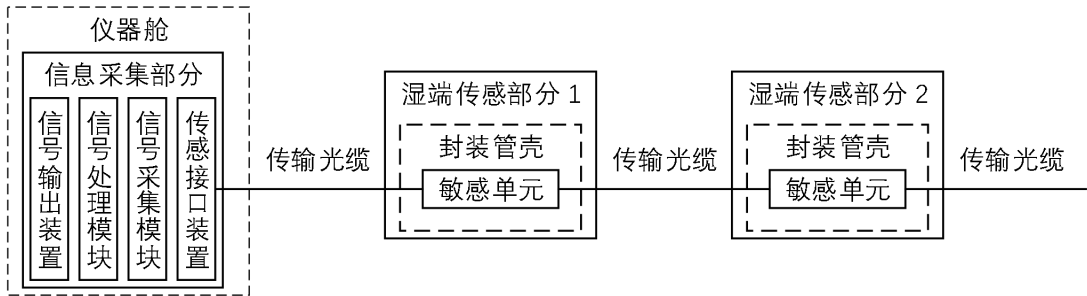
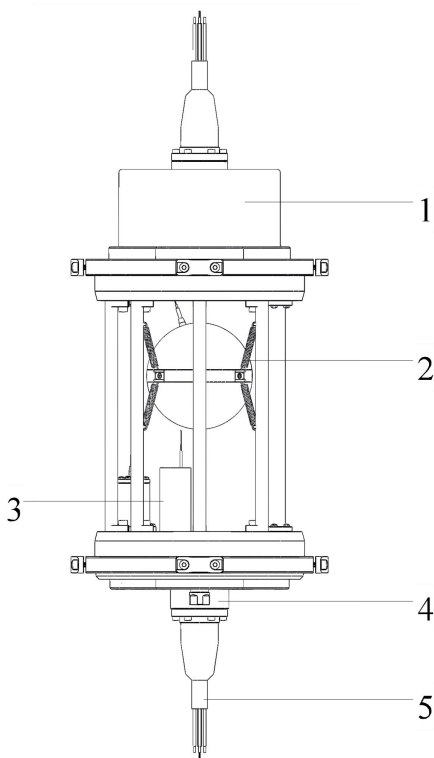


图 B.1 温盐深集成光纤矢量水声传感器阵列系统组成示意图

B.2 阵列结构

阵列采用光纤温盐深传感单元和光纤矢量水声传感单元作为阵元。光纤温盐深传感单元固定于支撑架一侧，光纤矢量水声传感单元通过弹性悬挂系统固定于支撑架上。各传感单元的尾纤通过水密连接器与仪器舱连接（见图B.2）。



- 说明：
- 1——仪器舱；
 - 2——光纤矢量水声传感单元；
 - 3——光纤温盐深传感单元；
 - 4——水密连接件；
 - 5——传输光缆。

图 B. 2 温盐深集成光纤矢量水声传感器阵列（潜标形式）集成结构示意图

B. 3 传感单元工作原理

B. 3. 1 光纤温盐深传感单元

该单元的湿端传感部分通过光学传感技术，将海洋环境参数（温度、盐度、压力）转换为光信号特征（如波长、相位或光强）的变化。本文件不限定具体技术方案，可采用法布里-珀罗（F-P）干涉仪、布拉格光纤光栅（FBG）或光学校镜折射法等多种原理。

以F-P干涉仪原理为例，该传感结构通过探测干涉光信号的波长或相位变化来获取温度、盐度（折射率）和水深（压力）。当外界温度变化时，热膨胀效应和热光效应会改变F-P腔的物理长度 L 和介质折射率 n ，使干涉光程差（ $\Delta=2nL$ ）和特征波长 λ_m 产生漂移；盐度变化则通过影响腔内液体介质的折射率 n 来调制光程差；而水深压力直接引起腔体形变，改变腔长 L ，此时通过监测干涉峰偏移量即可解算出温度、盐度折射率和水深压力参数，其中温度和盐度的交叉敏感通常需通过多传感器融合或腔体结构优化予以补偿。其传感原理示意图B.3。

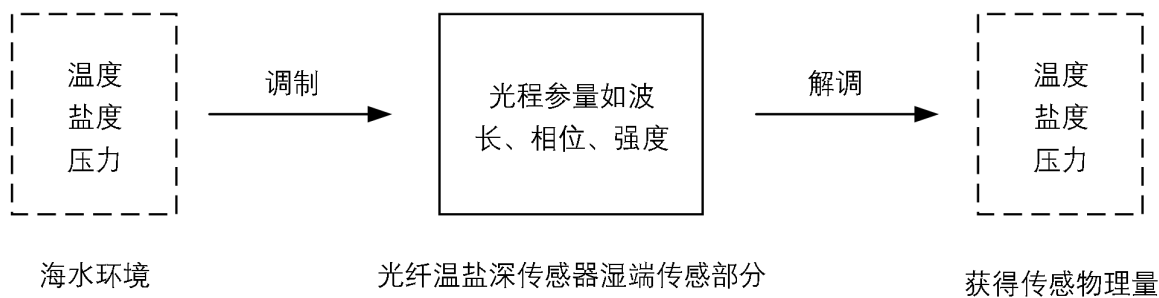
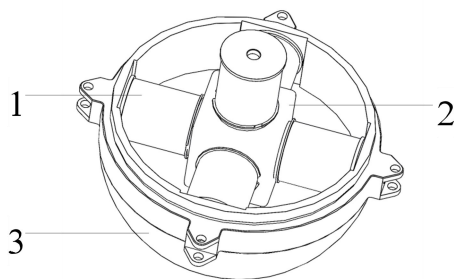


图 B.3 光纤温盐深传感单元（以 F-P 干涉仪为例）传感原理示意图

B.3.2 光纤矢量水声传感单元

该单元的湿端传感部分常采用迈克尔逊干涉仪、光纤光栅等技术构成三维加速度计，分别定义为X、Y、Z通道，并封装于矢量球壳内。

三维光纤矢量水声传感器是基于6根弹性柱体支撑1个质量块的结构，相对的两柱体上紧密缠绕的光纤形成了各分量迈克尔逊干涉仪的两臂。在轴向加速度作用下，质量块对相对的弹性柱体分别施加拉伸和压缩力，弹性柱体的轴向形变引起径向形变，从而导致缠绕在弹性柱体上的光纤长度发生变化，进而在光纤干涉仪上产生相位差，通过检测相位差的变化从而测出加速度。当加速度信号垂直于弹性柱体轴向入射时，两弹性柱体产生相同的变化，相位差变化为零。因此，该结构的光纤矢量水听器各轴只对弹性柱体轴向的加速度分量敏感，而对垂直于轴向的加速度分量不敏感。其敏感单元结构示意图 B.4。



说明：
1——弹性体；
2——质量块；
3——封装外壳。

图 B.4 光纤矢量水声传感单元敏感单元结构示意图

B.4 功能要求

温盐深集成光纤矢量水声传感器阵列应具备下列功能：

- a) 在布设空间内，能连续或间断测量海水温度、盐度、深度及声场参数；
- b) 能提供在线或自容式测量模式；
- c) 应提供标准化的数据通讯接口，可包括光通讯、电通讯或无线数据通讯中的一种或几种。

附 录 C
(资料性附录)
记录表

C.1 光纤温盐深传感单元温度试验记录表

光纤温盐深传感单元的温度试验记录格式见表C.1。

表 C.1 光纤温盐深传感单元温度试验记录表

测点序号	测点温度	示值	示值平均值 x	测温电桥标准值	标准值平均值	温度标准值 y	误差（ $x-y$ ）
1							
2							
.....							
温度测量范围	温度最大允许误差	温度灵敏度		$3\sigma_L$	温度分辨力		

C.2 光纤温盐深传感单元盐度试验记录表

光纤温盐深传感单元的盐度试验记录格式见表C.2。

表 C.2 光纤温盐深传感单元盐度试验记录表

测点序号	配置盐水盐度	示值	示值平均值 x	误差 $(x-y)$
1				
2				
.....				
盐度测量范围	盐度最大允许误差	盐度灵敏度	$3\sigma_{\lambda}$	盐度分辨力

C.3 光纤温盐深传感单元深度（压力）试验记录表

光纤温盐深传感单元的深度（压力）试验记录格式见表C.3。

表 C.3 光纤温盐深传感单元深度（压力）试验记录表

测点序号	测点压力	示值	示值平均值 x	压力机标准值	标准值平均值 y	误差（ $x-y$ ）
1						
2						
.....						
压力测量范围	压力最大允许误差	压力灵敏度	$3\sigma_2$	压力分辨力		

C. 4 光纤矢量水声传感单元声压灵敏度试验记录表

光纤矢量水声传感单元声压灵敏度试验记录格式见表C.4。

表 C. 4 光纤矢量水声传感单元声压灵敏度试验记录表

频率（Hz）	声压灵敏度测试结果（dB re 1rad/ μPa）		
	X轴	Y轴	Z轴
10			
12.5			
125			
.....			
1000			

C. 5 光纤矢量水声传感单元加速度灵敏度试验记录表

光纤矢量水声传感单元加速度灵敏度试验记录格式见表C.5。

表 C. 5 光纤矢量水声传感单元加速度灵敏度试验记录表

频率（Hz）	加速度灵敏度计算结果（dB re 1rad/g）		
	X轴	Y轴	Z轴
10			
12.5			
125			
.....			
1000			
加速度灵敏度平均值			
加速度灵敏度最大值			
加速度灵敏度最小值			
加速度灵敏度起伏			

参 考 文 献

- [1] GB/T 42559-2023 声学 干涉型光纤水听器相移灵敏度测量
 - [2] HY/T 141-2011 海洋仪器海洋试验规范
 - [3] IEC 60565: 2006 Underwater Acoustics - Hydrophones - Calibration In The Frequency Range 0.01 Hz To 1 MHz
 - [4] IEC 61757-3-2: 2022 Fibre optic sensors-Part 3-2 Acoustic sensing and vibration measurement-Distributed sensing
 - [5] IEC 61757: 2018 Fibre optic sensors-Generic specification
 - [6] ISO 17208-2: 2019 Underwater acoustics
 - [7] ISO 20233-2: 2019 Ships and marine technology
 - [8] ISO 22013: 2021 Marine environment sensor performance
-