



团 体 标 准

T/CS0E XXXX—XXXX

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

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

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 3

 4.1 外观 3

 4.2 性能 3

 4.3 可靠性 4

5 试验方法 5

 5.1 外观 5

 5.2 性能 5

 5.3 可靠性 10

6 检验规则 11

 6.1 检验分类 11

 6.2 型式检验 12

 6.3 出厂检验 12

 6.4 组批 12

 6.5 抽样 12

 6.6 判定规则 12

7 标志、包装、运输和贮存 12

 7.1 标志 12

 7.2 包装 12

 7.3 运输和贮存 13

附 录 A （资料性） 14

附 录 B （资料性） 15

 B.1 温盐深集成光纤矢量水声传感器阵列 15

 B.2 光纤温盐深传感单元 16

 B.3 光纤矢量水声传感单元 16

 B.4 功能要求 17

附 录 C （资料性） 18

参 考 文 献 22

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 9359 水文仪器基本环境试验条件及方法

GB/T 16165 水声传感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 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

JJF 1340 20Hz~2000Hz矢量水声传感器校准规范

JJG 763 温盐深测量仪

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

由多个同时测量温度、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温盐深集成光纤矢量水声传感器构成，用于输出多点、多参量信号的光纤传感器阵列，以下简称传感器阵列。

3.2

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

光纤温盐深传感单元是一种基于光纤技术及相关光学原理，将海水温度、盐度（通过折射率表征）和深度（通过压力换算）等转换成可用输出信号的器件，是构成传感阵列的核心部件之一。

3.3

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

光纤矢量水声传感单元是一种基于光纤技术及相关光学原理，将水声声压或质点振速等转换成可用输出信号的器件，是构成传感阵列的核心部件之一。

3.4

绝对盐度 absolute salinity

绝对盐度是指单位质量海水中溶解无机盐物质的总质量浓度，单位为g/kg。绝对盐度是海水盐度的绝对物理量，采用折射率法直接测定，不依赖于标准海水比对。

3.5

声压灵敏度 [underwater acoustics] pressure sensitivity

光纤矢量水声传感单元各个通道的声压灵敏度为该通道响应的相位差与该通道方向上声压比值的以10为底的对数乘以20，表示为：

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

式中： M_p 表示光纤矢量水声传感单元的声压灵敏度，单位为dB (re. 1 rad/ μ Pa)； $\Delta\phi_p$ 表示光纤矢量水声传感单元待测通道对声压响应的相位差，单位为rad； p 表示施加在光纤矢量水声传感单元待测通道上的声压，单位为 μ Pa。

3.6

加速度灵敏度 [underwater acoustics] acceleration sensitivity

光纤矢量水声传感单元各矢量通道的加速度灵敏度为该通道响应的相位差与该通道方向上加速度比值的以10为底的对数乘以20，表示为

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

式中： M_a 表示光纤矢量水声传感单元待测通道的加速度灵敏度，单位为dB (re. 1 rad/g)； $\Delta\phi_a$ 表示对加速度响应的相位差，单位为rad； a 表示施加的加速度，单位为重力加速度 g ，取9.8 m/s²。

3.7

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 ，其中 $\pm \Delta M_a/2$ 为频带内灵敏度起伏。

3.8 横向抑制比 lateral rejection ratio

光纤矢量水声传感单元各矢量通道的输出极大值与极小值之差，也称为凹点深度。

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

式中：CT 表示光纤矢量水声传感单元各矢量通道的正交串扰， U_{min} 表示各矢量通道指向性图中的极小值， U_{max} 表示各矢量通道指向性图中的极大值，单位均为 dB。

3.9

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

光纤矢量水声传感单元各矢量通道的接收灵敏度两极大值之差，也称为指向性不对称性。

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

式中： D_{max} 表示光纤矢量水声传感单元待测通道的轴向灵敏度不对称性， U_{max1} 表示待测通道指向性图的第一个极大值， U_{max2} 表示待测通道指向性图在第一个极大值相反方向上的极大值，单位均为 dB。

3.10

本底相位噪声 background phase noise level

在静音隔振环境中，光纤矢量水声传感单元各矢量通道的本底相位噪声为单位带宽响应的相位噪声以10为底的对数乘以20，表示为

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

式中： δ_x 表示光纤矢量水声传感单元待测通道的本底相位噪声，单位为 dB (re. 1rad/ $\sqrt{\text{Hz}}$)； δ 表示待测通道在实测带宽 Δf 内的相位响应值，单位为 rad； Δf 表示待测通道的测试带宽，单位为 Hz。

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。

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

项目		参数
光纤温盐深传感单元	温度测量范围	-2~35 °C
	盐度测量范围	1~50 ‰

项目		参数
光纤温盐深传感单元	压力测量范围	0~60 MPa
	准确级	详见表2
	光学插入损耗	≤2 dB
光纤矢量水声传感单元	性能参数	详见表3
	光学插入损耗	≤3.8 dB
光纤矢量水声传感单元阵元灵敏度一致性		≤±1.5dB
抗拉强度		≥60 kN，维持时间不少于15 s
阵列基元间距		0.1~100 m

光纤温盐深传感单元性能应符合表2的规定。

表 2 光纤温盐深传感单元性能

准确级	项目	温度	盐度	压力
1	准确度	±0.003 °C	±0.05 ‰	±0.05%（满量程）
	分辨力	0.001 °C	0.005 ‰	0.1 kPa
2	准确度	±0.05 °C	±0.5 ‰	±0.1%（满量程）
	分辨力	0.01 °C	0.05 ‰	1.0 kPa
3	准确度	±0.1 °C	±1 ‰	±0.5%（满量程）
	分辨力	0.05 °C	0.1 ‰	2.0 kPa

光纤矢量水声传感单元性能应符合表3的规定。

表 3 光纤矢量水声传感单元性能

项目	参数
声压灵敏度	优于-140 dB@1kHz (re 1rad/μPa)
频带内灵敏度起伏	≤±1.5 dB
工作频带	10~1000 Hz
横向抑制比	≤-30 dB
轴向灵敏度不对称性	≤1 dB
相位一致性	≤±3°
等效噪声声压	≤45 dB@1kHz (re 1μPa/ √ Hz)

4.3 可靠性

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。

4.3.10 电磁兼容

表4列出适用于传感器阵列的各项抗扰度试验及其严酷等级和评价准则。

表 4 抗扰度试验要求

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 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。

5.2 性能

传感器阵列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。

5.2.1 光纤温盐深传感单元

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，温度波动小于或等于0.001℃。

5.2.1.1 温度范围、准确度和分辨力

按照GB/T 23246中6.4.4规定的方法，并结合JJG 763中7.3.2试验方法进行光纤温盐深传感单元的温度范围、准确度和分辨力试验。试验方法如下：

- a) 在量程范围内，均匀选取标准点进行温度准确度和分辨力测试，观察记录温度传感单元温度示值是否正常显示。
- b) 温度示值误差的校准点为35℃、30℃、25℃、20℃、15℃、10℃、5℃、0℃、-2℃。
- c) 将海水恒温槽中的海水温度控制在35℃，同时将标准温度计和待测产品置于海水恒温槽内，标准温度计应尽量靠近待测产品位置。
- d) 待校准点上的温度稳定后，标准温度计与待测产品同时测量3分钟，不少于10组读数，取对应读数的算术平均值分别作为该校准点上的标准温度值和待测产品温度示值，并记录在表C.1。
- e) 按照降温的顺序进行下一个校准点，直到完成全部温度点的校准，其他校准点的记录过程与d)中相同。
- f) 根据d)中记录的数据，依照公式(6)计算示值误差，取绝对值最大的 Δt_i 作为传感单元温度示值误差，即准确度：

$$\Delta t_i = (t_i - t_{is}) \Big|_{\max} \dots\dots\dots (1)$$

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℃。

- g) 根据d)中记录的多组温度与解调设备的光谱数据，用线性拟合并求平均得到待测产品灵敏度 S_t 。
- h) 解调系统预先运行一小时，再将待测产品放置在恒温水槽中，稳定半小时后，取3分钟大于10组的连续波长数据，计算此波长数组的标准差 σ_λ 。
- i) 根据六西格玛原则，计算温度分辨力 R_t ：

$$R_t = 3\sigma_\lambda / S_t \dots\dots\dots (2)$$

式中： R_t 表示待测产品的温度分辨力，单位为℃； σ_λ 表示待测产品的信息采集部分解调分辨力，单位为pm； S_t 表示待测产品温度灵敏度多次测量拟合的算术平均值，单位为pm/℃。

- j) 当试验测得的温度测量准确度及测量分辨力均满足相应等级要求时，应将试验采用的温度范围确定为光纤温盐深传感单元的温度范围指标。

5.2.1.2 盐度范围、准确度和分辨力

按照一定比值的溶解物质质量与蒸馏水质量进行配置海水盐度样品，同步进行盐度范围、准确度和分辨力试验。试验方法如下：

- a) 对 NaCl 与蒸馏水使用重量稀释法配制盐度约 5%、4%、3%、2%、1%、0.1% 的海水盐度样品作为盐度检定点；
- b) 将海水盐度样品和标准温度计置于低温恒温循环器内，水浴温度控制在 35℃；
- c) 待温度稳定后，分别测量各海水样品的盐度示值，每个检测点测量 10 次以上，取其算术平均值作为该检测点的盐度示值，并记录，记录格式见表 C.2；
- d) 按照公式（8）计算盐度准盐度示值误差准确度。

$$\Delta C_i = C_i - C_{is} \dots\dots\dots (1)$$

式中： ΔC_i 表示待测产品在第 i 个检测点上的盐度示值误差，单位为 %； C_i 表示待测产品在第 i 个检测点上盐度示值，单位为 %； C_{is} 表示在第 i 个检测点上的标准盐度值，单位为 %，以重量配比计算得到。

- e) 根据 c) 中记录的多组盐度与其对应的解调仪的光谱数据，用线性拟合并求平均得到待测产品灵敏度 S_c 。
- f) 取 3% 盐度下大于 10 组的连续波长数据，以此计算波长数组的标准差 σ_λ 。
- g) 依照公式（9）计算盐度分辨力。

$$R_c = 3\sigma_\lambda / S_c \dots\dots\dots (2)$$

式中： R_c 表示待测产品盐度分辨力，单位为 %； S_c 表示待测产品盐度灵敏度多次测量拟合的算术平均值，单位为 pm/%； σ_λ 表示待测产品的信息采集部分解调波长稳定标准差，单位为 pm。

- h) 当试验测得的盐度测量准确度及测量分辨力均满足相应等级要求时，应将试验采用的盐度范围确定为光纤温盐深传感单元的盐度范围指标。

5.2.1.3 压力范围、准确度和分辨力

按照 GB/T 23246 中 6.4.6 规定的方法，并结合 JJG 763 中 7.3.4 试验方法进行压力准确度和分辨力试验。测量方法如下：

- a) 压力准确度以及分辨力测试在恒温实验室环境中进行，在量程范围内均匀选取标准点开展测试，观察记录压力传感单元压力示值是否正常显示。
- b) 标准压力测量器和待测产品应在通电状态下预热一小时以上。将待测产品轻置于操作平台上，调节该平台高度使得待测产品与标准压力测量器的参考位置尽量保持在一个水平面上。如果此高度差引入的压力附加误差（位差）不超过待测产品压力最大允许误差的绝对值（MPEV）的 1/10，此位差可以忽略，否则应通过手动或自动的方法记录位差并参与计算。将标准压力测量器和待测产品连接起来，并进行排气等预操作。对具备零位修正功能的连接前需进行调零。
- c) 压力校准点应在压力量程范围内相对均匀的选取 7~8 个点（包括大气压 0.1 点，具体为 0.1 MPa、10 MPa、20 MPa、30 MPa、40 MPa、50 MPa、60 MPa）。校准开始时，记录气压计的大气压值，作为标准 0 点。通过在活塞压力计上增减砝码造出标准压力值，最高压力点应覆盖待测

产品的量程。在每个压力校准点上稳定后，记录压力标准值。使得在压力稳定状态（根据仪器稳定速度情况，保持约 1~3 分钟），记录压力稳定状态时待测产品不少于连续 10 个测量数据，记录入表 C.3。

- d) 校准过程应遵循先升压，后降压的顺序进行。按照顺序进行下一个校准点，直到完成全部压力点的校准，其他校准点的记录过程与 c) 中相同。
- e) 依照公式（10）计算压力准确度：

$$\Delta P_i = P_i - P_{is} \dots\dots\dots (1)$$

式中： ΔP_i 表示待测产品在第 i 个校准点的压力示值误差，单位为 kPa； P_i 表示待测产品在第 i 个校准点的示值误差，单位为 kPa； P_{is} 表示第 i 个校准点的标准压力值，单位为 kPa。压力示值误差取绝对值最大的 ΔP_i 。

- f) 根据 d) 中记录的多组压力与解调设备的光谱数据，用线性拟合并求平均得到待测产品灵敏度 S_p 。
- g) 取 0.1 MPa 压力下大于 10 组的连续波长数据，以此计算波长数组的标准差 σ_λ 。
- h) 依照公式（11）计算压力分辨力。

$$R_p = 3\sigma_\lambda / S_p \dots\dots\dots (2)$$

式中： R_p 表示待测产品的压力分辨力，单位为 kPa； S_p 表示待测产品压力灵敏度多次测量拟合的算术平均值，单位为 pm/kPa； σ_λ 表示待测产品解调设备波长稳定标准差，单位为 pm。

- i) 当试验测得的压力测量准确度及测量分辨力均满足相应等级要求时，应将试验采用的压力范围确定为光纤温盐深传感单元的压力范围指标。

5.2.1.4 光纤温盐深传感单元光学插入损耗

光纤温盐深传感单元的的光学插入损耗是指经过该单元的输入光功率和输出光功率的差值，根据公式（12）计算得到每个单元的光学插入损耗，结果应符合表1的要求。

$$IL_x = P_{xin} - P_{xout} \dots\dots\dots (1)$$

式中： P_{xin} 表示注入光纤温盐深传感单元待测单元 x 的输入光功率，单位为 dBm； P_{xout} 表示从光纤传感单元待测单元 x 流出的输出光功率，单位为 dBm。

5.2.2 光纤矢量水声传感单元

5.2.2.1 声压灵敏度

按照JJF 1340中7.2.3规定的方法进行试验，并将光纤矢量水声传感单元中各矢量通道的声压灵敏度记录在表C.4。

5.2.2.2 频带内灵敏度起伏

按照5.2.2.1测量得到光纤矢量水声传感单元各矢量通道的声压灵敏度，根据公式（13），计算获得该测试频率上的加速度灵敏度，并记录在表C.5。

$$M_{ai} = M_{pi} + 20\lg \frac{\rho c}{\omega_i} + 20\lg(g) + 120 \quad \cdots \cdots (1)$$

式中： M_{ai} 表示光纤矢量水声传感单元被测通道第*i*个频带的加速度灵敏度，单位为 dB (re. 1 rad/g)； M_{pi} 表示被测通道在第*i*个频点的声压灵敏度，单位为 dB (re. 1 rad/μPa)； ρ 表示介质密度，单位为 kg/m³； c 表示介质声速，单位为 m/s； ω_i 表示角频率，单位为 $\omega_i = 2\pi f_i$ ， f_i 为工作频率内的三份之一倍频程频点； g 为重力加速度，取 9.8m/s²。

在工作频率 10~1000 Hz 范围内，计算光纤矢量水声传感单元被测通道各频点的加速度灵敏度 M_a 的最大值和最小值的差值 ΔM_a ， $\pm \Delta M_a/2$ 即为光纤矢量水声传感单元的频带内灵敏度起伏。

5.2.2.3 工作频带

按照5.2.2.2测量得到光纤矢量水声传感单元的加速度灵敏度频率响应曲线，加速度灵敏度起伏不超过±1.5dB的频率范围即为工作频带。

5.2.2.4 横向抑制比

根据JJF 1340中7.2.5的规定进行试验，并结合JJF 1588中7.2.4的方法，在该测试频率上，采用极坐标图的形式绘制出光纤矢量水声传感单元各矢量通道的指向性图，如图1所示。

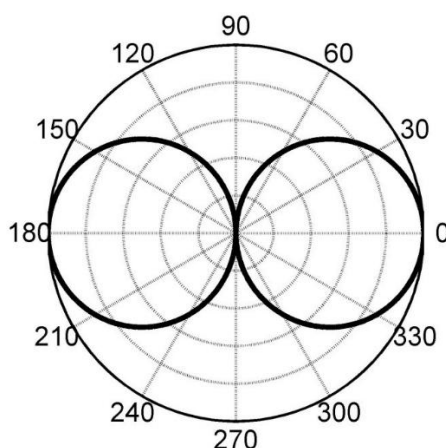


图1 光纤矢量水声传感单元通道指向性图

光纤矢量水声传感单元各矢量通道的横向抑制比按公式（4）计算。

$$CT_i = U_{mini} - U_{maxi} \quad \cdots \cdots (1)$$

式中： CT_i 表示光纤矢量水声传感单元第*i*通道的横向抑制比， U_{mini} 表示该通道指向性图中的极小值， U_{maxi} 表示该通道指向性图中的极大值，单位均为 dB。

5.2.2.5 轴向灵敏度不对称性

按照5.2.2.4得到的指向性图，获得指向性图中两个相反方向上的极大值，并按公式（16）计算得到光纤矢量水声传感单元各个通道在测试频率上的轴向灵敏度不对称性。

$$D_{max} = |U_{max1} - U_{max2}| \quad \cdots \cdots (1)$$

式中： D_{max} 表示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 dB； U_{max1} 表示矢

量通道指向性图的第一个极大值，单位为 dB； U_{max2} 表示矢量通道指向性图在第一个极大值的相反方向上的极大值，单位为 dB。

5.2.2.6 相位一致性

根据GB/T 16165中的测量方法进行试验。

5.2.2.7 等效噪声电压

在静音隔振环境下，获得光纤矢量水声传感单元待测通道的本底相位噪声，根据公式（5）计算得到本底相位噪声。光纤矢量水声传感单元的等效噪声声压为本底相位噪声减去声压灵敏度：

$$L_{ps} = \delta_x - M_p \dots\dots\dots (1)$$

式中： L_{ps} 表示光纤矢量水声传感单元的等效噪声声压，单位为 dB (re. 1 μ Pa/ $\sqrt{\text{Hz}}$)； δ_x 表示光纤矢量水声传感单元的本底相位噪声，单位为 dB (re. 1 rad/ $\sqrt{\text{Hz}}$)； M_p 表示光纤矢量水声传感单元的声压灵敏度，单位为 dB (re. 1 rad/ μ Pa)。

5.2.2.8 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是指经过该通道的输入光功率和输出光功率的差值，测试方法同上述光纤温盐深传感单元光学插入损耗。

5.2.3 温盐深集成光纤矢量水声传感器阵列

5.2.3.1 光纤矢量水声传感单元阵元灵敏度一致性

按照5.2.2.2依次测量传感器阵列中所有光纤矢量水声传感单元每个矢量通道的加速度灵敏度，并分别计算各个矢量在工作频率内的加速度灵敏度平均值 $\Delta\overline{M}_{ai}$ ($i=1, 2, \dots\dots 3n$, n 为阵列基元数)，将所有通道的加速度灵敏度平均值的最大值与最小值之差记为 $\Delta\overline{M}_a$ ，光纤矢量水声传感单元阵元灵敏度一致性为 $\pm\Delta\overline{M}_a/2$ 。

5.2.3.2 抗拉强度

按照GB/T 18310.6的试验要求和方法进行：平稳施加拉力达到规定值，维持至少15s。

5.2.3.3 阵列基元间距

采用经检定合格的标准卷尺，测量阵列中任意相邻阵列基元的间距，以确定其间距值。

5.3 可靠性

5.3.1 低温工作

按照GB/T 32065.2的试验要求和方法进行检验。

5.3.2 低温贮存

按照GB/T 32065.3的试验要求和方法进行检验。

5.3.3 高温工作

按照GB/T 32065.4的试验要求和方法进行检验。

5.3.4 高温贮存

按照GB/T 32065.5的试验要求和方法进行检验。

5.3.5 恒定湿热

按照GB/T 32065.6的试验要求和方法进行检验。

5.3.6 温度冲击

按照GB/T 32065.8的试验要求和方法进行检验。

5.3.7 振动

按照GB/T 32065.14的试验要求和方法进行检验。

5.3.8 盐雾

按照GB/T 32065.10的试验要求和方法进行检验。

5.3.9 耐静水压

参照GJB 23B中的恒定水压试验方法进行试验。

5.3.10 电磁兼容

5.3.10.1 静电放电抗扰度

按照GB/T 17626.2规定的方法进行检验。

5.3.10.2 直流电源输入端口纹波抗扰度

按照GB/T 17626.17规定的方法进行检验。

5.3.10.3 直流电源输入端口电压暂降、短时中断和电压变化抗扰度

按照GB/T 17626.29规定的方法进行检验。

6 检验规则

6.1 检验分类

对传感单元进行单独检验，检验分为型式检验和出厂检验。检验项目应符合表5的规定。

表 5 检验项目和检验分类

序号	检验项目	检验条件		型式检验	出厂检验
		技术要求	试验方法		
1	外观检查	4.1	5.1	●	●
2	性能	4.2	5.2	●	●
3	低温工作	4.3.1	5.3.1	●	○
4	低温贮存	4.3.2	5.3.2	●	●
5	高温工作	4.3.3	5.3.3	●	○
6	高温贮存	4.3.4	5.3.4	●	●
7	恒定湿热	4.3.5	5.3.5	●	/
8	温度冲击	4.3.6	5.3.6	●	/
9	振动	4.3.7	5.3.7	●	/
10	盐雾	4.3.8	5.3.8	●	/
11	耐静水压	4.3.9	5.3.9	●	/

序号	检验项目	检验条件		型式检验	出厂检验
		技术要求	试验方法		
12	电磁兼容	4.3.10	5.3.10	●	/
注1：“●”表示必做检验项目，“○”表示选做检验项目，“/”表示不需要检验。					
注2：“性能”检验中，无标注时为光纤温盐深传感单元和光纤矢量水声传感单元均应检验。					

6.2 型式检验

型式检验项目应符合表5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2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

出厂检验应符合表5的规定。

6.4 组批

以同一原料、同一工艺、同一规格为一批次。每批数量不超过50件。

6.5 抽样

随机抽取不低于5件样本。

6.6 判定规则

出厂检验项目中有不合格，应在同批次双倍取样复检，复检不合格应判定为不合格；复检合格应判定为合格。

7 标志、包装、运输和贮存

7.1 标志

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) 产品执行的规范标号和名称；
- f) 制造商名称及生产地址；
- g) 矢量球体外壳应明显标出矢量通道方向，每个矢量通道的输入、输出光纤均应明确标识区分。

7.2 包装

7.2.1 一般要求

包装应符合下列规定：

- a) 应在洁净室内进行防尘包装，洁净度应符合详细技术文件的规定；
- b) 内包装材料应符合GB/T 12339的规定，有防静电要求的还应采用防静电包装材料；
- c) 外包装箱应符合GB/T 191和GB/T 6388有关标志的规定；
- d) 应有防潮、防振动和其他必要的保护措施。

7.2.2 随行文件

产品应使用专用包装箱包装。包装箱应坚实可靠、经济美观，内部结构应具有加固减震功能。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，运输装卸按包装箱上的标志进行操作；
- b) 长期不用的产品应保留原包装，不应倒立或倒放；
- c) 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)

温盐深集成光纤矢量水声传感器阵列基元中各传感单元基于波分、空分复用相结合的方案进行级联，波分复用方案中不同波长的光信号在同一根光纤中独立传输，每个波长对应一个传感单元，并在接收端通过波长解复用器将不同波长的光信号分离，然后分别进行检测和处理；空分复用方案利用不同空间位置的光纤来传输不同传感单元的信号，每个传感单元对应一根独立的光纤，各光纤之间在空间上相互隔离，从而实现信号的独立传输和检测，根据各传感单元的工作原理、组阵方法进行方案优选。

图A.1为潜标形式的阵列结构，一般温度、盐深、盐度和矢量水声传感器可以单独使用，也可以组合使用，多个使用时阵列上的空间布局根据使用目的和海洋环境具体调整。

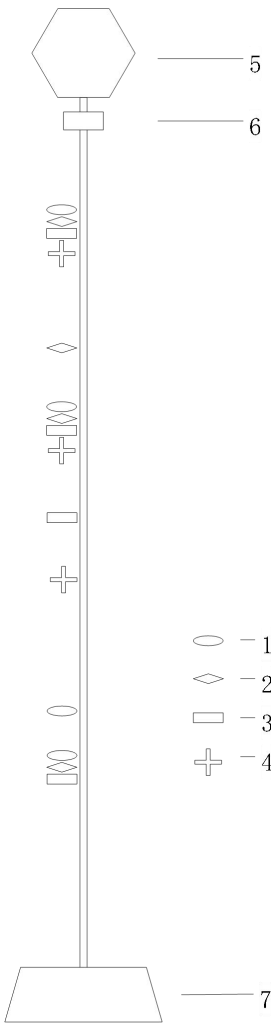


图 A.1 温盐深集成光纤矢量水声传感器阵列结构示意图

图A.1中，1为温度传感单元，2为压力传感单元，3为盐度传感单元，4为矢量水声传感单元，5为潜标形式的浮球，6为仪器舱，7为重物锚。

附 录 B
(资料性)

温盐深集成光纤矢量水声传感阵列由仪器舱内信息采集部分和光纤温盐深传感单元、光纤矢量水声传感单元的湿端传感部分，以及连接两部分的传输光缆组成，如图B.1所示。仪器舱内信息采集部分包括传感接口装置、信息采集模块、信息处理模块和信号输出装置，湿端传感部分包括敏感单元、传输光缆尾纤和封装管壳，连接两部分的传输光缆一般与湿端传感部分组合封装。

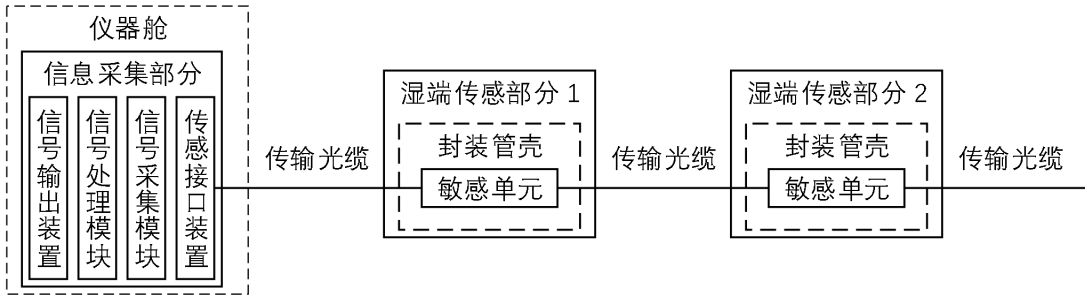


图 B.1 温盐深集成光纤矢量水声传感器阵列各要素单元的结构示意图

B.1 温盐深集成光纤矢量水声传感器阵列

本文件提供的温盐深集成光纤矢量水声传感器集成结构如图B.2所示，其中1为仪器舱，2为光纤矢量水声传感单元，3为光纤温盐深传感单元，4为水密连接件，5为传输光缆。

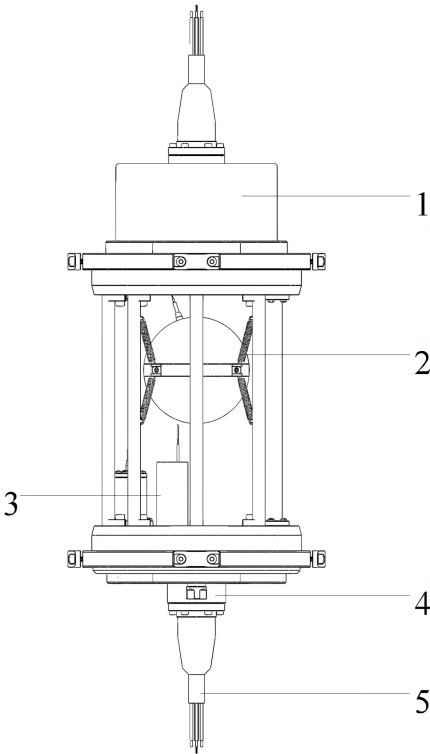


图 B.2 光纤温盐深传感单元与光纤矢量水声传感单元集成结构示意图

温盐深集成光纤矢量水声传感器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列基元，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进行连接。

B.2 光纤温盐深传感单元

光纤温盐深传感单元的湿端传感部分通过光学传感技术，将测点位置的温度、盐度（折射率）和深度（压力）等海洋参数转换为光信号的特征变化，例如波长、相位或光强等。本文件不限定传感技术实现方案，可采用法布里-珀罗（F-P）干涉仪、布拉格光纤光栅（FBG）或其他光学测量原理（如光学校镜折射法）等多种技术方案。传感基本原理示意图如图B.3所示。

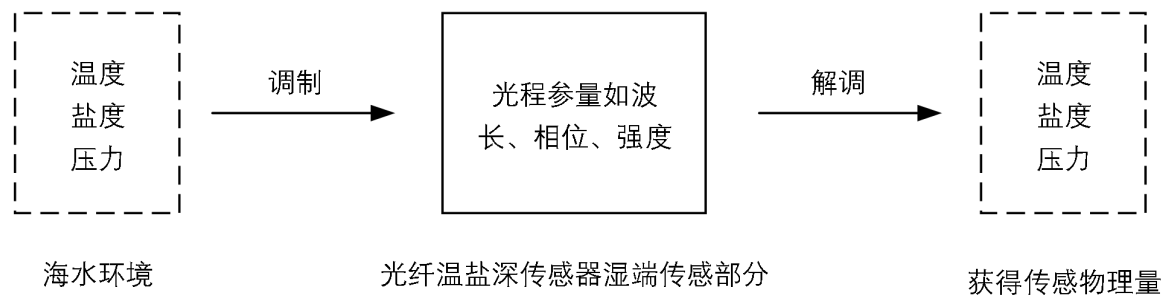


图 B.3 光纤温盐深传感单元传感原理示意图

其中，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。

B.3 光纤矢量水声传感单元

光纤矢量水声传感单元的湿端传感部分常采用迈克尔逊（Michelson）干涉仪、布拉格光纤光栅（FBG）等传感技术组成三维光纤加速度计，分别定义为X通道、Y通道和Z通道，并封装在矢量球体外壳内。

湿端传感部分敏感单元的结构示意图如图B.4所示，其中1为弹性体，2为质量块，3为封装外壳。

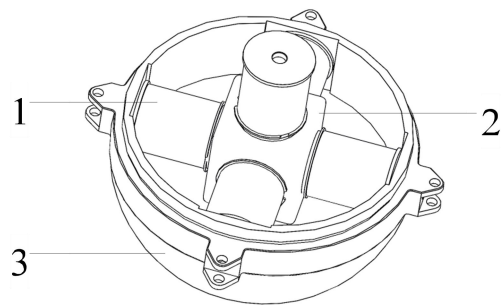


图 B.4 光纤矢量水声传感器的敏感单元结构示意图

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上的加速度分量敏感,而对垂直于轴向上的加速度分量不敏感。

B.4 功能要求

温盐深集成光纤矢量水声传感器阵列应包括下列功能:

- a) 在布设空间内,可进行连续或者间断性的海水温度、盐度、深度等海洋参数与声场的测量;
- b) 可以提供在线测量或自容式测量;
- c) 应提供标准化的数据通讯接口,包括光通讯、电通讯和无线数据通讯等其中的一种或者几种。

附 录 C
(资料性)

光纤温盐深传感单元盐度试验记录表如表C.2所示

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							
.....							
8							
盐度范围		盐度准确度		盐度灵敏度		$3\sigma_{\text{L}}$	盐度分辨力

记录：

复核：

年 月 日

光纤温盐深传感单元深度（压力）试验记录表如表C.3所示。

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							
.....							
8							
压力范围		压力准确度	压力灵敏度		$3\sigma_d$	压力分辨力	

记录：

复核：

年 月 日

光纤矢量水声传感单元声压灵敏度试验记录表如表C.4所示。

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
5			
6.3			
8			
10			
12.5			
125			
.....			
1000			

光纤矢量水声传感单元加速度灵敏度试验记录表如表C.5所示。

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
5			
6.3			
8			
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 191-2008 包装储运图示标志
- [2] GB/T 6388-1986 运输包装收发货标志
- [3] GB/T 12339-2008 防护用内包装材料
- [4] GB/T 42559-2023 声学 干涉型光纤水听器相移灵敏度测量
- [5] GB/T 23246-2009 电导率温度深度剖面仪
- [6] GJB 23B-2018 声呐换能器通用规范
- [7] HY/T 141-2011 海洋仪器海洋试验规范
- [8] JJF 1588-2016 1kHz~10kHz矢量水听器校准规范（自由场比较法）
- [9] IEC 60565: 2006 Underwater Acoustics - Hydrophones - Calibration In The Frequency Range 0.01 Hz To 1 MHz
- [10] IEC 61757-3-2: 2022 Fibre optic sensors-Part 3-2 Acoustic sensing and vibration measurement-Distributed sensing
- [11] IEC 61757: 2018 Fibre optic sensors-Generic specification
- [12] ISO 17208-2: 2019 Underwater acoustics
- [13] ISO 20233-2: 2019 Ships and marine technology
- [14] ISO 22013: 2021 Marine environment sensor performance