

中华人民共和国海洋行业标准

HY/T ××××—××××

海水  $\gamma$  放射性原位测量传感器

Marine  $\gamma$  radioactivity in-situ monitoring sensor

(报批稿)

××××-××-××发布

××××-××-××实施

中华人民共和国自然资源部 发布

## 前言

本文件按照GB/T1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》给出的规则起草。

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这些专利的责任。

本文件由中华人民共和国自然资源部提出。

本文件由全国海洋标准化技术委员会(SAC/TC 283)归口。

本文件起草单位：山东省科学院海洋仪器仪表研究所、自然资源部南海环境监测中心。

本文件主要起草人：张颖颖、刘岩、吴丙伟、刘东彦、张颖、侯广利、王昭玉、李冬梅、周鹏

# 海水 $\gamma$ 放射性原位测量传感器

## 1 范围

本文件规定了利用闪烁体发光原理的海水  $\gamma$  放射性原位快速测量传感器的设备组成和技术要求、以及检验方法、检验规则、标志、包装、运输、贮存等方面的要求。

本文件适用于海水  $\gamma$  放射性原位快速测量传感器的设计、生产和检验。

## 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 13306-2011 标牌
- GB/T 13384-2008 机电产品包装通用技术条件
- GB/T 16140-2018 水中放射性核素的  $\gamma$  能谱分析方法
- GB/T 17626.2-2018 电磁兼容试验和测量技术静电放电抗扰度试验
- GB/T 32065.2-2015 海洋仪器环境试验方法 第 2 部分：低温试验
- GB/T 32065.4-2015 海洋仪器环境试验方法 第 4 部分：高温试验
- GB/T 32065.7-2015 海洋仪器环境试验方法 第 7 部分：交变湿热试验
- GB/T 32065.8-2020 海洋仪器环境试验方法 第 8 部分：温度变化试验
- GB/T 32065.10-2020 海洋仪器环境试验方法 第 10 部分：盐雾试验
- GB/T 32065.11-2021 海洋仪器环境试验方法 第 11 部分：冲击与碰撞试验
- GB/T 32065.14-2019 海洋仪器环境试验方法 第 14 部分：振动试验
- GB/T 32065.15-2019 海洋仪器环境试验方法 第 15 部分：水压试验
- HY 016.14-1992 海洋仪器基本环境试验方法：倾斜和摇摆试验
- HY/T 042-2015 海洋仪器设备分类、代码与型号命名

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**闪烁体 scintillator**

由一定数量的闪烁物质做成适当形状的闪烁探测元件。

[GB/T 4960.6-2008，定义 2.3.10]

## 3.2

**光电倍增管 photomultiplier tube**

由光阴极、电子倍增器和阳极组成、用于把光信号转换为电信号的真空器件。

[GB/T 4960.6-2008, 定义 2.3.25]

## 3.3

**能量分辨率 energy resolution**

辐射谱仪能分辨的两个粒子能量之间的最小差值。

注：通常情况下能量分辨率用一个因子表示，该因子是在单能粒子分布曲线峰的半高宽（能量）除以峰位的能量。

[GB/T 4960.6-2008, 定义 2.3.26]

## 3.4

**探测效率 detection efficiency**

在规定的几何条件下，单位时间探测到的某类型粒子数与辐射源同类型粒子的表面发射率之比。

[GB/T 4960.6-2008, 定义 2.1.22]

## 3.5

**半高宽 full width at half maximum (FWHM)**

在单峰构成的分布曲线上，峰值一半处曲线上两点的横坐标间的距离。

注：如果曲线包括几个峰，则每个峰都有一个半高宽。另外，由此术语还可以扩展定义 1/10 高度 (FW0.1M) 1/50 高度 (FW0.02M) 等。

[GB/T 4960.6-2008, 定义 3.2.27]

## 3.6

**最小可探测（测量）活度 minimum detectable activity (MDA)**

在规定的本底噪声存在的情况下能给出辐射量的一个计数，该计数不是只由本底噪声产生的概率为 95%。

[GB/T 4960.6-2008, 定义 3.2.65]

## 3.7

**能量刻度 energy calibration**

用能量刻度源确定谱仪系统  $\gamma$  射线能量和道址间的对应关系的过程。

[GB/T 16145-2020, 定义 2.2]

## 3.8

**效率刻度 efficiency calibration**

建立给定测量条件下  $\gamma$  射线能量与其全能峰探测效率的对应关系的过程。

[GB/T 16145-2020, 定义 2.3]

## 4 设备组成和型号

#### 4.1 设备组成

海水 $\gamma$ 放射性原位测量传感器由闪烁体探测器、数字多道脉冲幅度分析器、水密外壳、水密电缆及接插件、能谱处理软件五部分组成：

- a) 闪烁体探测器：用于探测海水中的 $\gamma$ 射线并转换成电信号，包括闪烁体、光电倍增管、前置放大器，其中闪烁体尺寸不应小于 $\phi 75\text{mm}\times 75\text{mm}$ （NaI（Tl）晶体）；
- b) 数字多道脉冲幅度分析器：用于将闪烁体探测器输出信号处理转换成 $\gamma$ 能谱信号；
- c) 水密外壳：用于密封闪烁体探测器和数字多道脉冲幅度分析器，密封性满足 5.2 f) 要求，对 $\gamma$ 射线的探测性满足 5.4 要求；
- d) 水密电缆及接插件：用于低压直流供电和通讯，连接数字多道脉冲幅度分析器与计算机或服务器；
- e) 能谱处理软件：用于能谱数据的接收、显示、存储、解析、查询以及输出，安装在上位机或者内置于传感器。

#### 4.2 产品型号

海水 $\gamma$ 放射性原位测量传感器的型号应符合 HY/T 042-2015 第 6 章的规定。

### 5 技术要求

#### 5.1 外观要求

海水 $\gamma$ 放射性原位测量传感器的外观要求如下：

- a) 表面应当色泽均匀、光滑牢固，不得有明显划痕、裂纹或损坏等影响性能的外观损伤；
- b) 所有零部件、元器件和引线应安装正确、牢固、整齐、不呈现耦合或干扰，正确使用条件下无松动、变形及影响使用的缺陷。

#### 5.2 环境适应性要求

海水 $\gamma$ 放射性原位测量传感器的环境适应性要求如下：

- a) 工作温度： $0^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 抗盐雾腐蚀能力应满足 GB/T 32065.10-2020 附录 A 中盐雾试验中接插件、装配板的等级要求；
- c) 抗冲击与碰撞能力应满足 GB/T 32065.11-2021 附录 A 中试验等级要求；
- d) 抗振动能力应满足 GB/T 32065.14-2019 附录 B 中规定的水面船舶和 underwater 航行器用仪器的等级要求；
- e) 抗摇摆能力应满足纵摇幅值不大于 $\pm 5^{\circ}$ ；横摇幅值不大于 $\pm 22.5^{\circ}$ ；
- f) 耐压能力应满足设计水深要求；

#### 5.3 功能要求

### 5.3.1 能量刻度

海水  $\gamma$  放射性原位测量传感器应具有能量刻度功能，能识别核素。

### 5.3.2 效率刻度

海水  $\gamma$  放射性原位测量传感器应具有效率刻度功能，能计算核素活度。

### 5.3.3 能谱处理

能谱处理应具有基本设置、数据获取、数据存储、数据解析、核素甄别和计算、结果输出功能。

## 5.4 测量性能要求

### 5.4.1 最小可探测（测量）活度

海水  $\gamma$  放射性原位测量传感器最小可探测（测量）活度应满足如下要求：

- a) 连续测量1h:  $\leq 200 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  (适用核素 $^{137}\text{Cs}$ );
- b) 连续测量24h:  $\leq 40 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$  (适用核素 $^{137}\text{Cs}$ )。

### 5.4.2 能量分辨率

海水  $\gamma$  放射性原位测量传感器对 $^{137}\text{Cs}$ 的661.6 keV全能峰的分辨率不应大于8%。

### 5.4.3 测量误差

海水  $\gamma$  放射性原位测量传感器的测量误差不应大于 $\pm 10\%$  ( $^{40}\text{K}$ , 海水本底量级)。

### 5.4.4 能量探测范围

海水  $\gamma$  放射性原位测量传感器的能量探测范围：50keV-3MeV。

## 5.5 数据传输要求

海水  $\gamma$  放射性原位测量传感器的数据传输应符合以下要求：

- a) 传输速率:  $\geq 9600 \text{ bit/s}$ ;
- b) 传输接口可使用RS232C、RS485、USB或CAN;
- c) 使用RS232C、RS485传输接口时, 应具备和校验或CRC16校验功能。

## 5.6 电磁兼容性要求

海水  $\gamma$  放射性原位测量传感器的静电放电抗扰度应达到 GB/T 17626.2-2018 第 5 章中规定的第 3 级要求, 对外界磁场抗干扰应达到 GB/T 12564-2008 中 5.1.1 标准试验条件要求。

## 6 试验方法

### 6.1 外观检查

采用目测的方法对海水  $\gamma$  放射性原位测量传感器进行检查，检查结果应符合5.1的要求。

## 6.2 环境适应性试验

表 1 给出了环境适应性的试验项目、试验方法和试验条件。

表 1 环境适应性的试验项目、试验方法和试验条件

序号	试验项目	试验方法	试验条件
1	低温试验	GB/T 32065.2-2015 第 3 章	采用试验温度最低 $(-2\pm 3)$ °C，持续时间 2 h。
2	高温试验	GB/T 32065.4-2015 第 3 章	采用试验温度最高 $(50\pm 2)$ °C，持续时间 2 h。
3	交变湿热试验	GB/T 32065.7-2015 第 3 章	常温阶段 $(25\pm 2)$ °C，高温温度 $(55\pm 2)$ °C；相对湿度：常温阶段 95%~100%，高温阶段 90%~96%，试验周期为 2 个交变周期 2d。
4	温度变化试验	GB/T 32065.8-2020 第 3 章	选择低温 $(-2\pm 3)$ °C，高温 $(50\pm 2)$ °C，暴露持续时间 2 h，高、低温转换时间 3 min，试验循环次数 3 次严酷等级。
5	盐雾试验	GB/T 32065.10-2020 第 3 章	用浓度 4.9%~5.1%的盐溶液，pH 值为 6.5~7.2 (35°C) 进行喷雾并湿热贮存，一个标准试验循环为 24 h，进行 2 次循环。
6	冲击与碰撞试验	GB/T 32065.11-2021 第 4 章	冲击试验严酷度：峰值加速度 $50\text{ m/s}^2$ ，脉冲持续时间 11 ms，速度变化量 0.35 m/s；冲击次数合计 18 次；碰撞试验严酷度：峰值加速度 $50\text{ m/s}^2$ ，脉冲持续时间 16 ms，速度变化量 0.5 m/s，碰撞次数 1000 次。
7	振动试验	GB/T 32065.14-2019 第 4 章	频率范围 1 Hz~16 Hz，振幅 1 mm；频率范围 16 Hz~60 Hz，加速度 $10\text{ m/s}^2$ ；持续时间为 2 个扫频循环次。
8	摇摆试验	HY 016.14-1992 第 5 章	纵摇幅值 $\pm 5^\circ$ ；周期 5s，横摇幅值 $\pm 22.5^\circ$ ；周期 7s，持续时间各不少于 30 min。
9	水压试验	GB/T 32065.15-2019 第 5 章	以不大于 2M Pa/min 的速率将试验舱

			内压力升至实际工作压力的 1.25 倍, 持续时间 1h, 以不大于 20M Pa/min 的速率将试验舱内压力降至 0。
--	--	--	---

### 6.3 功能试验

#### 6.3.1 能量刻度试验

按照 GB/T 16140-2018 第 3 章规定的方法, 利用标准点源对海水  $\gamma$  放射性原位测量传感器进行能量刻度, 获得能量刻度曲线, 将拟合参数输入能谱处理软件, 启动测量, 对核素进行识别。结果应满足 5.3.1 的要求。

#### 6.3.2 效率刻度试验

效率刻度试验步骤如下:

- 根据海水  $\gamma$  放射性原位测量传感器的结构、材料、尺寸和海水真实现场测量环境, 建立模型, 模拟计算探测效率, 拟合探测效率曲线。
- 将海水  $\gamma$  放射性原位测量传感器吊挂在充满海水的实验水箱中心位置, 水箱内水体各边界与海水  $\gamma$  放射性原位测量传感器晶体中心位置的距离不小于 1m。
- 根据试验条件加入标准溶液, 连续测量 24h。取水箱中海水, 利用实验室  $\gamma$  谱仪检测核素的活度, 计算探测效率。
- 根据模拟计算和水箱实验验证的结果确定拟合参数, 输入能谱处理软件, 启动测量。结果应满足 5.3.2 的要求。

#### 6.3.3 能谱软件功能测试

能谱软件功能测试采用下列方法进行:

- 海水  $\gamma$  放射性原位测量传感器开机后, 打开参数设置窗口, 输入设置参数, 检查该仪器能否按照设置参数进行自动测量, 结果应符合 5.3.3 的要求;
- 海水  $\gamma$  放射性原位测量传感器进入自动测量工作状态后, 观察能谱软件显示界面至少一个设置的测量周期。检查能谱数据能否显示、存储, 核素能否甄别和显示活度, 结果应符合 5.3.3 的要求。

### 6.4 测量性能试验

#### 6.4.1 最小可探测 (测量) 活度试验

将海水  $\gamma$  放射性原位测量传感器置于远离沿岸、距离海底和海面的位置均不小于 2m, 进行海水背景环境的连续测量试验, 测量时间 1h 或 24h, 得到海水背景能谱, 计算海水  $\gamma$  放射性原位测量传感器的最小可探测 (测量) 活度。计算公式如下:

$$MDA = \frac{2.71 + 4.65 \cdot \sqrt{B}}{\varepsilon_m \cdot I \cdot T} \dots\dots\dots (1)$$



式中:

- $MDA$  ——最小可探测(测量)活度, $Bq \cdot m^{-3}$ ;  
 $B$  —— $^{137}Cs$ 全能峰所在道址处的本底计数;  
 $\varepsilon_m$  ——每立方米海水的探测效率, $cps \cdot (Bq \cdot m^{-3})^{-1}$ ;  
 $I$  ——分支比;  
 $T$  ——测量时间,s;

计算结果应满足5.4.1的要求。

#### 6.4.2 能量分辨率试验

在实验室使用标准点源进行海水 $\gamma$ 放射性原位测量传感器的能量分辨率试验。将 $^{137}Cs$ 点源放置在距海水 $\gamma$ 放射性原位测量传感器前端中心距离25cm处,连续测量获得全能峰谱图。计算全能峰的半高宽与峰位的比值,得到海水 $\gamma$ 放射性原位测量传感器在661.6keV能量点的分辨率,应满足5.4.2的要求。

#### 6.4.3 测量误差试验

在海水现场进行海水 $\gamma$ 放射性原位测量传感器的测量误差试验。连续测量海水中 $^{40}K$ 的活度,现场同时取海水样品,带回实验室,利用实验室 $\gamma$ 谱仪测量海水样品中的 $^{40}K$ 的活度,或者利用海水标准盐度测量方法测量并计算 $^{40}K$ 的活度。以实验室检测结果为基准,对海水 $\gamma$ 放射性原位测量传感器现场测量结果进行对比,测量误差应满足5.4.3的要求。

### 6.5 数据传输试验

#### 6.5.1 传输速率检查

连接海水 $\gamma$ 放射性原位测量传感器与计算机或服务器,在能谱软件中设置传输速率,检查海水 $\gamma$ 放射性原位测量传感器能否正常工作,试验结果应满足5.5 a)的要求。

#### 6.5.2 传输接口试验

利用海水 $\gamma$ 放射性原位测量传感器通讯端口进行收发数据试验,检验端口能否正常与所连接的计算机或服务器进行通讯,试验结果应满足5.5 b)的要求。

### 6.6 电磁兼容性试验

按照GB/T 17626.2-2018规定的方法进行试验,试验等级为3级,试验结果应满足5.6的要求。

## 7 检验

### 7.1 检验规则

海水 $\gamma$ 放射性原位测量传感器检验包括出厂检验和型式检验。检验项目见表2。

表2 出厂检验和型式检验项目

序号	项目名称	要求	检验方法	出厂检验	型式检验
1	外观检查	5.1	6.1	√	√
2	环境适应性试验（不含水压试验）	5.2	6.2		√
3	水压试验	5.2	6.2	√	√
4	功能试验	5.3	6.3	√	√
5	测量性能试验	5.4	6.4	√	√
6	数据传输试验	5.5	6.5		√
7	电磁兼容性试验	5.6	6.6		√
注：打“√”项目表示为必做的检验项目。					

## 7.2 出厂检验

### 7.2.1 出厂要求

海水 $\gamma$ 放射性原位测量传感器须经生产单位检验合格，并附有检验合格证方能出厂。

### 7.2.2 判定规则

检验项目全部合格，该产品判为合格。有不合格项目的产品，应进行调试后重新检验。对不能达到全部项目合格的产品作报废处理。

## 7.3 型式检验

### 7.3.1 进行型式检验的条件

有下列情况之一时，应进行型式检验：

- 新产品或者转厂生产试制时；
- 定型产品正式生产后，如设计、工艺、结构、材料有较大改变时；
- 停产3年后，再次投产时；
- 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时；
- 国家质量监督机构提出型式检验要求时。

### 7.3.2 抽样

型式检验的样品应从经过出厂检验合格的产品中随机抽取2台进行；新产品样机少于2台时，应每台进行型式检验。

### 7.3.3 检验结果评价

如被检产品不合格，则加倍抽检；若仍有不合格产品，则判该批产品不合格。

## 8 标志、随行文件

### 8.1 标志

海水 $\gamma$ 放射性原位测量传感器应带有设备标志,符合GB/T 13306-2011第5章的有关规定。海水 $\gamma$ 放射性原位测量传感器的外包装箱上应有防雨、防震、防碎等标志。

包装箱面上的标识应包含以下内容:

- a) 设备名称、型号;
- b) 制造单位;
- c) 出厂编号、日期;
- d) 外形尺寸、功耗;
- e) 防雨、防震、不得倒置等标志。

## 8.2 随行文件

包装箱内应有下列随行文件:

- a) 产品合格证;
- b) 使用说明书(含产品维修指南);
- c) 海洋仪器检验证书;
- d) 海洋仪器质量保证书;
- e) 装箱及配件清单;
- f) 能谱处理软件安装光盘。

## 9 包装、运输和贮存

### 9.1 包装

仪器包装应符合GB/T 13384-2008第5.2条规定,采用内衬缓冲层的专用设备箱包装。

### 9.2 运输

运输时应对货物采取遮蔽及防尘、防雨措施。装卸时应轻抬、轻放。

### 9.3 贮存

仪器应存贮在温度 $-10^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ 的室内,相对湿度不大于80%,周围不应含有足以引起腐蚀的有害物质。

### 参考文献

- [1] GB/T 4960.6-2008 核科学技术术语 第6部分：核仪器仪表
  - [2] GB/T 16145-2020 生物样品中放射性核素的 $\gamma$ 能谱分析方法
-