

ICS 07.060

CCS Z 17

T

团体标准

T/CEATEC XXX—2026

深海多金属结核开采羽流原位监测 技术规范

Technical specification for in-situ monitoring of plume induced by deep-sea
polymetallic nodule mining
(征求意见稿)

2026-X-XX 发布

2026-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 监测总则 2

 4.1 监测目的 2

 4.2 监测原则 2

 4.3 监测区域与周期 2

5 监测内容与技术指标 2

 5.1 物理参数监测 2

 5.2 化学参数监测 3

 5.3 生物参数监测 3

 5.4 羽流形态参数 3

6 监测设备与安装 3

 6.1 核心监测设备 3

 6.2 设备安装与布放 4

7 监测方法 4

 7.1 物理参数监测方法 4

 7.2 化学参数监测方法 4

 7.3 生物参数监测方法 4

 7.4 羽流形态监测方法 5

 7.5 采样方法 5

8 数据处理与分析 5

 8.1 数据传输与存储 5

 8.2 数据预处理 5

 8.3 数据分析方法 5

 8.4 数据报告 6

9 质量控制与安全要求 6

 9.1 质量控制 6

 9.2 安全要求 6

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。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次编制。

深海多金属结核开采羽流原位监测技术规范

1 范围

本文件规定了深海多金属结核开采羽流原位监测的监测总则、监测内容与技术指标、监测设备与安装、监测方法、数据处理与分析、质量控制及安全要求。
本文件适用于水深4000m~6000m深海区域多金属结核开采作业的羽流原位监测。

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 12763.2 海洋调查规范 第2部分：海洋水文观测
- GB 17378.4 海洋监测规范 第4部分：海水分析
- GB 17378.5 海洋监测规范 第5部分：沉积物分析
- GB/T 35571 大洋多金属结核资源勘查规范
- HJ 442.2 近岸海域环境监测技术规范 第二部分 数据处理与信息
- HJ 1300 海水、海洋沉积物和海洋生物质量评价技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

多金属结核 polymetallic nodule

赋存于深海海底，富含锰、钴、镍、铜等金属的结核状矿石，又称锰结核、铁锰结核。

3.2

羽流 mining plume

深海多金属结核开采过程中，因海底集矿扰动、尾矿排放形成的含大量沉积物颗粒的海水弥散体，分为海底扰动羽流（集矿机作业扰动底质形成）和尾矿排放羽流（开采尾水、细颗粒尾矿排放形成）。

3.3

原位监测 in-situ monitoring

在深海开采作业现场，对羽流的物理、化学、生物参数进行实时或定时的现场观测与采样分析。

3.4

环境本底值 environmental background value

开采作业前，监测区域内羽流相关参数的自然背景值，用于区分自然变化与开采扰动影响。

3.5

悬浮物浓度 suspended particulate matter concentration
单位体积海水中悬浮固体颗粒的质量，单位为 mg/L，是羽流监测的核心物理参数。

4 监测总则

4.1 监测目的

实时掌握深海多金属结核开采羽流的扩散范围、浓度分布及环境影响，评估开采活动对深海生态的扰动程度，为采矿作业优化、环境保护及应急处置提供数据支撑。

4.2 监测原则

4.2.1 科学性原则

监测方案、设备选型、方法流程应符合 GB/T 35571 的规定，数据可追溯、可对比。

4.2.2 系统性原则

应覆盖开采全周期（作业前、作业中、作业后），兼顾羽流垂直剖面与水平扩散范围，实现时空连续监测。

4.2.3 针对性原则

应重点监测羽流核心区、扩散边缘区及敏感生态区（如生物富集区），优先监测高浓度羽流区域。

4.2.4 可操作性原则

监测设备应适配深海高压、低温、黑暗环境，方法流程简洁高效，可长期连续作业。

4.3 监测区域与周期

4.3.1 监测区域

以采矿作业点为中心，划分 3 个监测区：

- a) 核心区：作业点周边 0km~5km 范围，重点监测高浓度羽流；
- b) 扩散区：作业点周边 5km~20km 范围，监测羽流扩散趋势；
- c) 对照区：作业点周边 50km 外无开采扰动区域，用于获取环境本底值。

4.3.2 监测周期

应满足以下要求：

- a) 作业前：连续监测 7d，获取环境本底值；
- b) 作业中：实时连续监测，每 10min 记录 1 次数据，每日采集 1 次水样/沉积物样；
- c) 作业后：连续监测 30d，跟踪羽流消散及生态恢复情况。

5 监测内容与技术指标

5.1 物理参数监测

物理参数及技术指标见表 1。

表 1 羽流物理参数监测指标

监测参数	单位	技术指标	监测精度
悬浮物浓度	mg/L	0~500（核心区）、0~50（扩散区）	±0.1mg/L
水温	℃	-2~30	±0.01℃
盐度	PSU	30~38	±0.001PSU
水深	m	3000~6000	±0.5m
流速	m/s	0~1.5	±0.01m/s
流向	°	0~360	±1°
浊度	NTU	0~1000	±0.1NTU

监测参数	单位	技术指标	监测精度
颗粒粒径分布	μm	1~1000	$\pm 1\ \mu\text{m}$

5.2 化学参数监测

化学参数及技术指标见表 2。

表 2 羽流化学参数监测指标

监测参数	单位	技术指标	监测精度
pH 值	/	7.5~8.5	± 0.01
溶解氧 (DO)	mg/L	0~15	$\pm 0.01\text{mg/L}$
总有机碳 (TOC)	mg/L	0~10	$\pm 0.1\text{mg/L}$
重金属 (锰、钴、镍、铜)	mg/L	0~0.5	$\pm 0.01\text{mg/L}$
硝酸盐	mg/L	0~5	$\pm 0.01\text{mg/L}$
亚硝酸盐	mg/L	0~0.5	$\pm 0.001\text{mg/L}$
氨氮	mg/L	0~2	$\pm 0.01\text{mg/L}$

5.3 生物参数监测

生物参数及技术指标见表 3。

表 3 羽流生物参数监测指标

监测参数	单位	技术指标	监测精度
浮游生物丰度	个/ m^3	0~1000	$\pm 1\ \text{个}/\text{m}^3$
底栖生物多样性指数	/	0~5	± 0.01
叶绿素 a	$\mu\text{g/L}$	0~5	$\pm 0.1\ \mu\text{g/L}$

5.4 羽流形态参数

应监测以下参数：

- a) 扩散范围：水平扩散半径 (km)、垂直扩散厚度 (m)；
- b) 扩散速度：水平扩散速度 (m/s)、垂直沉降速度 (mm/s)；
- c) 影响面积：羽流覆盖海域面积 (km^2)。

6 监测设备与安装

6.1 核心监测设备

6.1.1 原位监测平台

应采用深海潜标系统，搭载多参数传感器，长期布放于监测区，适配水深 3000m~6000m，耐压 $\geq 60\text{MPa}$ ，工作温度 $-2^\circ\text{C} \sim 30^\circ\text{C}$ ，续航 ≥ 1 年。

6.1.2 传感器设备

应包括以下设备：

- a) 悬浮物浓度传感器：激光散射式，测量范围 0~500mg/L，精度 $\pm 0.1\text{mg/L}$ ，响应时间 $\leq 1\text{s}$ ；
- b) 温盐深 (CTD) 传感器：集成水温、盐度、水深、浊度监测，符合 GB/T 12763.2 要求；
- c) 声学多普勒流速剖面仪 (ADCP)：监测流速、流向，测量范围 0~1.5m/s，精度 $\pm 0.01\text{m/s}$ ；
- d) 水质化学传感器：集成 pH、溶解氧、重金属监测，符合 GB 17378.4 要求；
- e) 颗粒粒径分析仪：激光粒度仪，测量范围 1~1000 μm ，精度 $\pm 1\ \mu\text{m}$ ；
- f) 生物监测传感器：叶绿素 a 传感器、浮游生物计数仪，适配深海环境。

6.1.3 辅助设备

应包括以下设备：

- a) 水下采样器：Niskin 采水器（10L）、沉积物箱式采样器，符合 GB 17378.5 要求；
- b) 数据传输设备：水声通信机+卫星中继，实时传输监测数据，传输距离 $\geq 20\text{km}$ ；
- c) 水下机器人（ROV）：用于监测设备维护、羽流近距离观测及采样，工作水深 $\geq 6000\text{m}$ 。

6.2 设备安装与布放

6.2.1 潜标布放

应满足以下要求：

- a) 核心区应布放 2 套潜标，间距 2km，扩散区布放 3 套潜标，间距 5km，对照区布放 1 套潜标；
- b) 传感器应分层安装，监测海底扰动羽流时布设至距海底 2m~5m，监测尾矿排放羽流时布设至距海面 50m~100m；
- c) 设备应安装牢固，防水密封，避免生物附着干扰监测。

6.2.2 传感器校准

应满足以下要求：

- a) 所有传感器布放前应经实验室校准，符合 GB/T 12763.2、GB 17378.4 要求；
- b) 悬浮物、浊度传感器每月用标准溶液校准 1 次；化学传感器每季度校准 1 次；
- c) 校准数据记录存档，校准不合格的传感器不得投入使用。

7 监测方法

7.1 物理参数监测方法

7.1.1 悬浮物浓度

采用激光散射法，通过悬浮物浓度传感器实时监测，每 10min 记录 1 次数据；每日用采水器采集水样，实验室采用重量法（GB 17378.4）校准。

7.1.2 温盐深（CTD）

采用 CTD 传感器原位监测，应符合 GB/T 12763.2 要求，实时获取水温、盐度、水深、浊度数据，同步记录羽流垂直剖面变化。

7.1.3 流速流向

采用 ADCP 原位监测，监测羽流水平与垂直流速、流向，分析羽流扩散动力特征，数据采集频率 1 次/10min。

7.1.4 颗粒粒径分布

采用激光粒度仪原位监测，结合实验室水样分析，测定羽流中沉积物颗粒粒径组成，评估颗粒沉降与扩散特性。

7.2 化学参数监测方法

7.2.1 原位监测

采用集成化学传感器实时监测 pH、溶解氧、重金属等参数，数据采集频率 1 次/30min，符合 GB 17378.4 要求。

7.2.2 实验室分析

每日采集水样，实验室按照 GB 17378.4、HJ 1300 分析总有机碳、硝酸盐、重金属等参数，校准原位监测数据。

7.3 生物参数监测方法

7.3.1 浮游生物

采用浮游生物计数仪原位监测，每周用浮游生物网采样，实验室鉴定分析，评估羽流对浮游生物群落的影响。

7.3.2 底栖生物

作业前后采用箱式采样器采集沉积物样品，实验室分析底栖生物多样性，符合 GB 17378.5 要求。

7.3.3 叶绿素 a

采用叶绿素 a 传感器原位监测，每月采集水样，实验室采用荧光法校准，评估羽流对深海初级生产力的影响。

7.4 羽流形态监测方法

应按照以下方法进行：

- a) 水平扩散范围：通过潜标阵列数据插值、ROV 巡航观测，确定羽流水平边界，计算扩散半径与影响面积；
- b) 垂直扩散厚度：通过 CTD 剖面数据，确定羽流上、下边界水深，计算垂直厚度；
- c) 扩散速度：结合 ADCP 流速数据、不同时间羽流边界位置，计算水平扩散速度与颗粒垂直沉降速度。

7.5 采样方法

7.5.1 水样采集

应按照以下方法进行：

- a) 采样深度：羽流核心层、上边界、下边界，同步采集对照区水样；
- b) 采样量：每个采样点采集 2L 水样，分装为检测样（1L）、备份样（1L）；
- c) 采样保存：水样采集后 4℃ 冷藏，24h 内运回实验室分析，重金属检测样品加硝酸固定（pH < 2）。

7.5.2 沉积物采样

应按照以下方法进行：

- a) 采样深度：海底表层 0cm~5cm，每个采样点采集 3 份平行样；
- b) 采样保存：沉积物样品密封冷藏，48h 内运回实验室分析，符合 GB 17378.5 要求。

8 数据处理与分析

8.1 数据传输与存储

应满足以下要求：

- a) 原位监测数据应通过水声通信+卫星中继实时传输至岸基数据中心，传输延迟 ≤ 30min；
- b) 数据存储应采用分级管理：原始数据（实时备份）、预处理数据（清洗后）、分析数据（统计后），存储格式符合 HJ 442.2 要求；
- c) 所有数据应至少保存 5 年，支持追溯查询。

8.2 数据预处理

应按照以下方法进行：

- a) 数据清洗：剔除异常值（超出传感器量程、突变超过 ±20%）、缺失值，采用插值法补充少量缺失数据；
- b) 数据校准：用实验室分析数据校准原位监测数据，校准误差 ≤ 5%；
- c) 数据标准化：统一数据单位、时间格式，生成标准化数据集。

8.3 数据分析方法

8.3.1 物理数据分析

统计悬浮物浓度、浊度的时空分布特征，绘制浓度等值线图，确定羽流核心区与扩散范围，分析流速、流向数据，评估海流对羽流扩散的驱动作用，预测羽流扩散路径。

8.3.2 化学数据分析

对比开采前后、核心区与对照区化学参数变化，评估羽流对海水化学环境的影响，采用单因子指数法（HJ 1300）评价水质质量，识别超标参数。

8.3.3 生物数据分析

计算浮游生物丰度、底栖生物多样性指数，分析羽流对深海生物群落结构的影响，评估叶绿素 a 含量变化，判断羽流对深海初级生产力的扰动程度。

8.3.4 羽流影响评估

结合物理、化学、生物数据，综合评估羽流的环境影响范围与程度，建立羽流扩散预测模型，为采矿作业优化与生态保护提供依据。

8.4 数据报告

8.4.1 日报

每日提交监测数据简报，包含核心参数实时数据、异常情况说明；

8.4.2 周报

每周提交监测周报，包含参数统计分析、羽流扩散趋势、初步影响评估；

8.4.3 月报/年报

每月/每年提交完整监测报告，包含监测数据、分析结果、环境影响评估、建议措施。

9 质量控制与安全要求

9.1 质量控制

9.1.1 人员要求

监测人员应经专业培训，掌握深海监测设备操作、数据处理及质量控制方法，持证上岗；

9.1.2 设备质量控制

监测设备应符合国家相关标准，定期维护校准，建立设备台账，记录使用、校准、维护情况；

9.1.3 采样质量控制

采样过程应严格遵循标准操作流程，避免污染，采样容器应提前清洗消毒，平行样合格率 $\geq 95\%$ ；

9.1.4 实验室质量控制

实验室分析应做空白实验、平行样实验，空白值应低于检出限，平行样相对偏差 $\leq 10\%$ ，符合 GB 17378.4、HJ 1300 要求；

9.1.5 数据质量控制

数据处理应双人复核，确保数据真实、准确、完整，数据合格率 $\geq 98\%$ 。

9.2 安全要求

9.2.1 设备安全

监测设备布放、回收应由专业团队操作，严格遵守深海作业安全规范，水下设备应安装防碰撞、防生物附着装置，定期通过 ROV 检查设备状态，及时维护更换故障部件。

9.2.2 人员安全

深海作业人员应具备深海作业资质，作业前进行安全培训，熟悉应急处置流程，水面作业船应配备救生设备、应急通讯设备，作业期间保持通讯畅通，遇恶劣天气及时停止作业，撤离人员。

9.2.3 环境安全

监测过程应避免对深海生态造成二次扰动，采样后及时恢复海底原貌，监测数据应严格保密，不得擅自泄露，环境影响重大时应及时上报相关主管部门。