

# T/CWDPA

团 体 标 准

T/CWDPA XXX—2026

## 深海采矿沉积物羽流抑制监测技术规范

Technical specifications for monitoring of sediment plume suppression in deep-sea mining

(征求意见稿)

2026-XX-XX 发布

2026-XX-XX 实施

中国西部开发促进会 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 监测实施 ..... 1
  - 4.1 监测原则 ..... 1
  - 4.2 监测流程 ..... 2
  - 4.3 监测参数与方法 ..... 3
  - 4.4 数据采集与处理 ..... 4
- 5 监测设备及安全 ..... 4
  - 5.1 核心监测设备 ..... 5
  - 5.2 设备技术要求 ..... 5
  - 5.3 作业安全要求 ..... 5
- 6 质量保证和质量控制要求 ..... 5
  - 6.1 总体要求 ..... 5
  - 6.2 航前质量控制 ..... 6
  - 6.3 现场质量控制 ..... 6
  - 6.4 实验室质量控制 ..... 6
  - 6.5 数据处理与报告质量控制 ..... 6

## 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》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。

本文件由提出。

本文件由中国西部开发促进会归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

# 深海采矿沉积物羽流抑制监测技术规范

## 1 范围

本文件规定了深海采矿活动中沉积物羽流抑制监测的术语和定义、监测实施、监测设备及安全、质量保证与质量控制等。

本文件适用于深海矿产资源开采活动所产生沉积物羽流的抑制效果评估、环境影响监测与预警工作。

## 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 14914.6 海洋观测规范 第6部分：数据处理与质量控制

GB/T 14914.6 海洋观测规范 第6部分：数据处理与质量控制

GB17378.4 海洋监测规范 第4部分：海水分析

GB/T 42629.1 国际海底区域和公海环境调查规程 第1部分：总则

GB/T 42629.2 国际海底区域和公海环境调查规程 第2部分：海洋化学调查

GB/T 42632 海洋生态环境水下有缆在线监测系统技术要求

HJ 442.6 近岸海域环境监测技术规范第六部分近岸海域生物监测

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**深海采矿 deep-seamining**

在水深大于200m的深海区域，对多金属结核、富钴结壳、多金属硫化物、稀土等矿产资源进行勘探、开采、输送的全过程活动。

### 3.2

**沉积物羽流 sediment plume**

深海采矿过程中，集矿设备扰动海底沉积物，使细颗粒及部分中粗颗粒再悬浮于水体中形成的显著高于环境本底浓度悬浮颗粒物云团，包括近场羽流和远场羽流，以及采矿平台尾矿排放形成的中层羽流。

### 3.3

**实时监测 real-time monitoring**

通过水下传感器、AUV/ROV等设备，对沉积物羽流的浊度、悬浮物浓度、扩散范围、沉降速率、沉积通量、粒径分布等参数进行连续、高频观测的技术手段。

### 3.4

**环境基线 environmental baseline**

采矿活动前，特定空间和时间范围内深海环境物理、化学、生物及地质参数的本底值，用于评估采矿活动的环境影响。

## 4 监测实施

### 4.1 监测原则

- 4.1.1 全周期覆盖采矿前（基线调查）、采矿中（实时监测）、采矿后（影响评估）三个阶段。
- 4.1.2 结合原位定点监测、移动平台巡航、遥感观测，实现从米级到公里级的羽流特征捕捉。针对多金属结核、富钴结壳、多金属硫化物等不同采矿对象，以及近场羽流、远场羽流、中层羽流等不同羽流类型，制定差异化监测方案。
- 4.1.3 优先监测羽流抑制措施的有效性，通过抑制措施实施前后的原位对照监测，量化评估抑制率、扩散范围缩减量等核心指标，评估过程应排除自然海流、环境本底波动的干扰。
- 4.1.4 符合国际海底管理局（ISA）及我国深海采矿环境保护相关法规要求，监测作业不得干扰正常采矿生产活动，事中监测系统与采矿作业平台建立联动响应机制。
- 4.1.5 采用以机理模型为核心、原位实测数据为支撑的智能监测模式，融合羽流原位监测数据与采矿作业参数，建立监测数据置信度评估体系，量化数据不确定性对评估结果的影响，提升羽流扩散预测与抑制效果评估的精准度。

4.2 监测流程

4.2.1 流程图

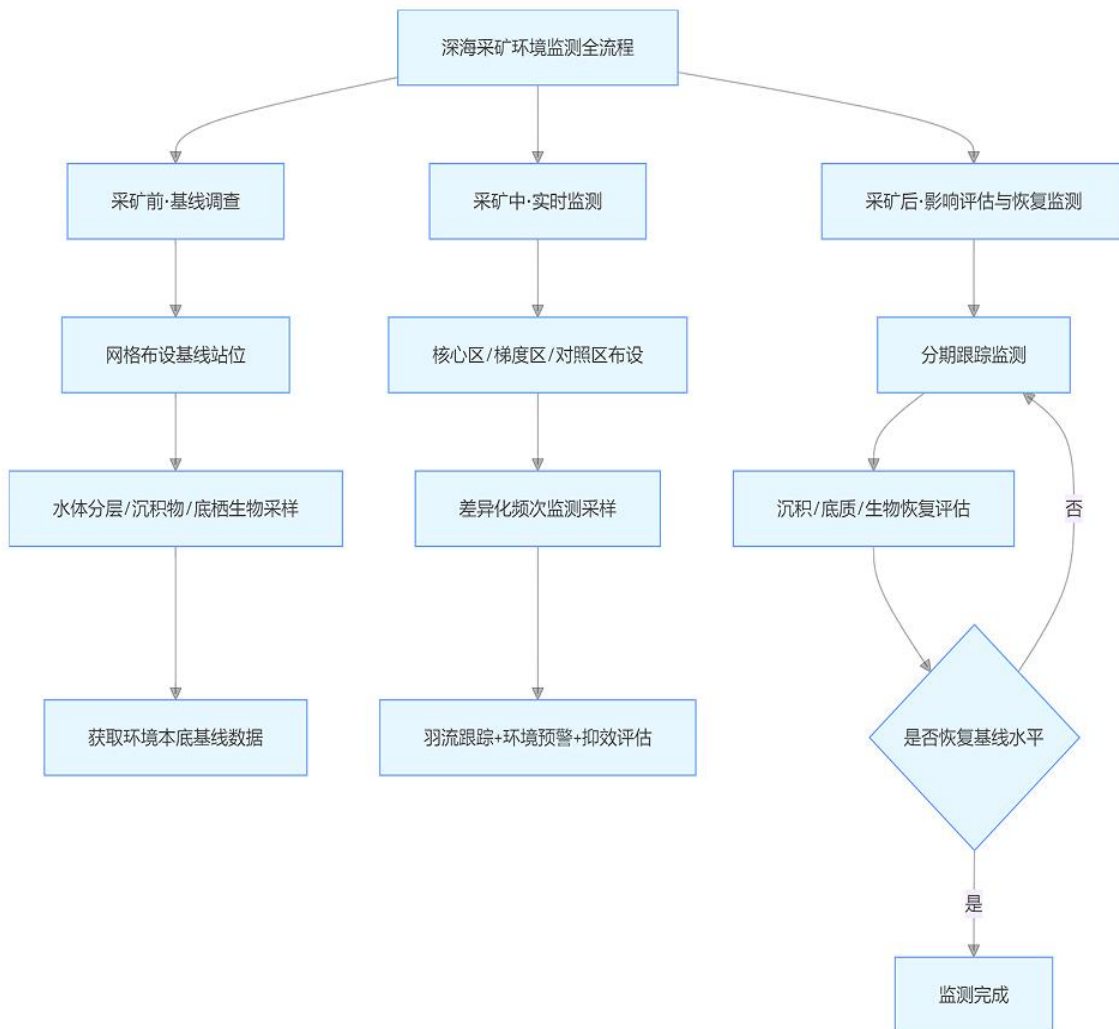


图 1 流程图

4.2.2 采矿前基线调查

4.2.2.1 调查获取沉积物类型、粒度分布、本底浊度、水体理化参数（温度、盐度、溶解氧）、底栖生物群落结构等基线数据，基线调查应至少开展 2 个航次，覆盖调查区域的主要海流周期，排除自然环境波动干扰。

4.2.2.2 在采矿区及周边 10km 范围内，按网格法布设基线站位，水深方向分层（表层、500m、1000m、近底层）采样，同步完成监测站位的坐标标定、水下声学定位基准网布设，为后续监测设备的精准布放、定位校正提供基准。

4.2.2.3 采用多管取样器采集沉积物岩心，CTD 温盐深仪获取水体剖面、箱式采泥器、底质贯入仪、沉积物力学测试仪采集底栖生物样品。

#### 4.2.3 采矿中实时监测

4.2.3.1 监测跟踪沉积物羽流的生成、扩散、沉降过程，评估抑制措施效果，触发环境预警。监测系统与采矿作业平台建立实时数据链路，监测数据异常时可同步推送至采矿作业管控系统，为作业参数调整、紧急停机等操作提供决策依据。

4.2.3.2 核心监测区以集矿机作业点为中心，布设 50m 半径环形监测阵列，阵列节点采用水下声学定位系统实时校正位置，定位误差控制在  $\pm 0.5\text{m}$  以内，部署多参数传感器和沉积物捕获器；梯度监测区沿调查确认的海流主流向及潜在扩散方向，布设 200m、500m、1km、2km、5km、10km 梯度站位，监测羽流衰减规律；梯度站位可根据实时海流监测数据动态调整，覆盖羽流全扩散范围。

4.2.3.3 对照区在采矿区外 10km 处布设对照站位，排除自然环境波动干扰。

4.2.3.4 核心监测区采用原位传感器开展连续实时监测，数据采集频率不低于 1 次/10min；梯度监测区每 2h 采样 1 次，或随 ROV 巡航动态采样；对照区每日采样 1 次；所有监测设备的布放、回收作业应避免采矿作业窗口期，不得干扰正常采矿活动。

4.2.3.5 针对羽流抑制措施的效果评估，应同步在抑制措施实施区与等环境条件的未实施对照区开展配对监测，配对监测的站位布设、参数设置、采样频率完全一致，确保抑制率评估结果准确可追溯。

#### 4.2.4 采矿后影响评估

4.2.4.1 监测评估沉积物再沉积厚度、底质理化性质变化、底栖生物群落恢复情况。所有监测站位、监测参数与基线调查阶段保持一致，确保数据可比性。

4.2.4.2 采矿结束后 1 个月、3 个月、6 个月、12 个月开展跟踪监测，之后每年监测 1 次，直至环境恢复至基线水平。长期监测应优先采用可回收、可重复标定的原位监测设备，每次监测前完成设备校准与定位校正，降低系统误差。

### 4.3 监测参数与方法

监测的分类与方法见表 1。

表 1 监测的分类与方法

序号	监测类别	核心参数	监测方法	技术依据
1	物理监测	浊度、悬浮物浓度（SPM）、羽流厚度、扩散范围	1. 原位浊度计： 量程 0NTU~2000NTU，分辨率 $\leq 0.1\text{NTU}$ ，零点漂移 $\leq \pm 2\%FS/30\text{d}$ ，有效连续工作时间 $\geq 30\text{d}$ ；海底环境适应性：防护等级 IP68，耐压 $\geq 60\text{MPa}$ ，具备防生物附着能力，适配深海 $0^\circ\text{C}\sim 4^\circ\text{C}$ 工作环境；布放前、回收后完成法定计量校准，水下每 7d 执行一次零点自校准 2. 多波束声呐系统： 距离分辨率 $\leq 1\text{m}$ ，覆盖水深 $\geq 6000\text{m}$ ，有效连续工作时间 $\geq 15\text{d}$ ；海底环境适应性：防护等级 IP68，耐压 $\geq 60\text{MPa}$ ；航前完成声速校准与成像精度验证 3. ROV 搭载激光粒子计数器： 分辨率 $\leq 0.2\text{mm}$ ，量程 $0.2\text{mm}\sim 10\text{mm}$ ，有效工作时间匹配 ROV 续航；海底环境适应性：防护等级 IP68，耐压 $\geq 60\text{MPa}$ ；每次下潜前完成标定校准	GB17378.4
2	化学监测	沉积物粒度、重金属含量、营养盐	1. 多管取样器：耐压 $\geq 60\text{MPa}$ ，采样管容积 $\geq 500\text{mL}$ ，具备防沉积物扰动设计，每次使用前完成密封性检查	GB/T42629.2

			2. 激光粒度仪：测量范围0.02 μm~2000 μm，分辨率≤0.01 μm，复测相对偏差≤3%，每次样品测试前完成标准物质校准 3. ICP-MS分析：元素检出限≤0.01 μg/L，精密度RSD≤3%，标准物质回收率90%~110%，每20个样品插入标准物质开展质控校准	
3	生物监测	底栖生物丰度、多样性、群落结构	1. 箱式采泥器：采样面积≥0.04m <sup>2</sup> ，耐压≥60MPa，闭合密封性良好，每次使用前完成开合性能校验 2. 形态学鉴定、DNA测序：严格执行海洋生物监测鉴定规范，测序样本全程低温避光保存，实验室分析前完成样本质控与空白对照校验	HJ442.6
4	示踪监测	羽流沉积通量、沉降速率	1. 时间序列沉积物捕获器： 采样间隔可设1h~1d，有效连续工作时间≥90d；海底环境适应性：耐压≥60MPa，具备防生物附着设计；布放前完成采样周期设置与密封性测试，回收后完成样品溯源标定 2. 钷-234示踪技术：低本底α/β计数器检出限≤0.01Bq/g，精密度RSD≤5%，每批次样品同步分析标准物质与空白对照	—

#### 4.4 数据采集与处理

##### 4.4.1 数据采集链路的全信道流程

4.4.1.1 传感器采集输入数据：原位监测终端（浊度、悬浮物、温盐深、多波束声呐等传感器）高频连续采集原始物理、化学环境参数，由水下数据记录仪完成本地实时永久存储；ROV搭载移动传感器同步获取点位观测数据与视频画面。

4.4.1.2 船上数据后处理流程

4.4.1.2.1 轻量化实时信道：ROV采集的浊度、SPM浓度、羽流实时边界等关键预警类数据，通过低延迟水声/铠装缆通信回传至水面平台；水面端专用终端按照GB/T 14914.6规范，实时开展极值校验、平稳性检验与质量控制，自动剔除随机异常值。

4.4.1.2.2 全量离线信道：水下记录仪留存的完整原始数据集、AUV巡航全量数据、沉积物捕获器时序数据，待设备回收后批量回传至水面平台，开展完整深度质控与归档留存。

4.4.1.3 结果明确输出内容，实时计算并持续输出三类分级结果：

4.4.1.3.1 常规常态结果：羽流实时浓度热力图、三维扩散范围矢量分布图、羽流沉降趋势预测曲线；

4.4.1.3.2 长期评估结果：结合全周期基线本底数据，推演羽流扩散全过程，量化计算羽流抑制率、扩散范围缩减幅度、环境影响程度等抑制效率核心指标；

4.4.1.3.3 分级预警结果：预设多级环境阈值与异常判定规则，实时比对实测数据与基线、管控阈值。

4.4.1.4 异常排放事故感知与应急响应机制

##### 4.4.2 异常事件识别

4.4.2.1 当监测信道数据突发大幅跃升、远超环境基线与正常作业波动范围，判定为沉积物异常超标排放、羽流失控扩散等突发事件时，水面平台可在3分钟内完成异常确认、精准锁定异常排放位置与影响范围，同步将超限告警、溯源结果、风险预判推送至采矿船作业管控中枢。

4.4.2.2 采矿作业平台收到明确的量化异常告警与定位信息后，可第一时间精准调整集矿作业参数、降低扰动强度；若判定为高等级生态风险事故，可直接触发联锁停机管控流程，立即停止采矿作业，从源头终止羽流进一步扩散，实现从数据采集、智能识别、精准感知到主动应急处置的闭环管控。

##### 4.4.3 模型推演优化

完成原始数据质控后，基于深海采矿专属羽流机理扩散模型，融合采矿集矿作业运行参数、实时海流水文参数、抑制装置运行工况开展抑制效果智能推演，动态更新羽流未来1~72小时扩散路径与影响范围预测，为作业决策与生态管控提供前置支撑。

## 5 监测设备及安全

## 5.1 核心监测设备

### 5.1.1 原位监测设备

原位监测设备见表 2。

表 2 原位监测设备明细表

序号	设备	作用
1	多参数水质仪	集成浊度、电导率、溶解氧、温度、压力传感器，测量范围覆盖深海全水深，精度应满足GB/T42632要求
2	多波束声呐系统	用于水体羽流成像，分辨率 $\leq 1\text{m}$ ，覆盖水深 $\geq 6000\text{m}$
3	沉积物捕获器	时间序列捕获器收集沉降颗粒物，采样间隔可设为1h~1d
4	光学观测系统	深海4K相机、激光粒子计数器（分辨率0.2mm），用于可视化羽流结构

### 5.1.2 移动监测平台

移动监测平台见表 3。

表 3 移动监测平台明细表

序号	设备	作用
1	自主水下航行器（AUV）	搭载多光谱激光雷达、浅表层剖面仪，实现大范围巡航监测
2	遥控水下机器人（ROV）	搭载双目立体视觉系统、微型沉积物采样器，用于定点精细观测和样品采集
3	水面支持平台	搭监测终端、大数据集成处理模块，依托北斗导航实现船岸一体的监测数据实时传输、分析与预警

## 5.2 设备技术要求

5.2.1 所有监测设备需通过国家计量院校准，校准证书有效期内使用。每次布放前、回收后均需完成实验室校准与性能校验，确保监测数据准确。

5.2.2 水下设备防护等级 $\geq \text{IP68}$ ，耐压 $\geq 60\text{MPa}$ ，适配 6000m 以下深海作业环境，具备高压密封冗余设计，防渗漏、防生物附着性能满足长期水下作业要求。

5.2.3 传感器累计工作 30d，漂移 $\leq \pm 2\% \text{FS}$ 。零点漂移 $\leq \pm 2\% \text{FS}$ ，分辨率、示值误差满足对应监测参数的技术要求，具备水下零点自校准功能。

5.2.4 水声通信设备有效通信距离 $\geq 10\text{km}$ ，稳定传输速率满足实时监测数据回传要求，具备误码校验与断点续传功能；水下定位设备定位精度 $\leq \pm 0.5\text{m}$ ，适配多节点同步定位需求。

5.2.5 优先采用国产化监测装备，装备的集成性、适配性需满足深海采矿作业要求，核心算法与控制系统需具备自主知识产权。

## 5.3 作业安全要求

5.3.1 所有参航人员需接受深海作业安全培训，配备潜水服、救生设备，严格遵守 GB/T42629.1 安全规范。

5.3.2 水下设备布放/回收需在海况 $\leq 4$ 级，海流流速 $\leq 1.5\text{kn}$ 时进行，作业前完成站位坐标复核与水下定位基准校正，采用 ROV 辅助完成设备精准布放与状态确认，避免设备碰撞、丢失；针对水下多节点监测阵列，制定专项布放回收作业方案，明确节点定位、链路测试、故障处置全流程要求。

5.3.3 建立设备故障应急预案，关键监测设备、通信链路配备冗余备份系统；设备水下故障时，优先采用 ROV 完成应急处置，无法处置的立即启动备用监测方案，确保监测连续性。

5.3.4 禁止向深海排放任何监测废弃物，所有样品、耗材需带回陆地处理。监测作业避免干扰底栖生物栖息地，严禁破坏深海生态环境。

## 6 质量保证和质量控制要求

### 6.1 总体要求

建立覆盖航前准备、现场作业、实验室分析、数据处理、报告编制全流程的质量管理体系，确保监测数据的真实性、准确性、可比性和完整性。

## 6.2 航前质量控制

- 6.2.1 所有传感器、采样器在出海前完成校准，校准记录归档保存。
- 6.2.2 对新监测方法进行实验室验证，确保方法检出限、精密度满足要求。
- 6.2.3 监测人员应熟悉设备操作、采样规范和数据处理流程，考核合格后方可上岗。

## 6.3 现场质量控制

- 6.3.1 每个站位采集 $\geq 2$ 个平行样，平行样相对偏差 $\leq 10\%$ 。
- 6.3.2 每批次样品采集时，同步采集现场空白（过滤海水），用于评估污染干扰。
- 6.3.3 每日检查传感器零点、数据存储状态，发现异常立即校准或更换。
- 6.3.4 进行数据备份，现场数据实时双备份（设备存储+水面平台存储），每日同步至云端。

## 6.4 实验室质量控制

- 6.4.1 样品管理：样品采集后立即低温保存，运输过程避免晃动，实验室接收后登记编号。
- 6.4.2 进行分析质控：每 20 个样品插入 1 个标准物质，回收率控制在 90%~110%。平行样分析相对偏差 $\leq 5\%$ ，空白值低于方法检出限。
- 6.4.3 数据审核：实验室分析数据需经双人审核，签字确认后归档。

## 6.5 数据处理与报告质量控制

- 6.5.1 数据筛选：按 GB/T14914.6 要求剔除异常值，异常值比例超过 10%时需重新采样。
  - 6.5.2 方法一致性：所有数据处理方法需与基线调查保持一致，确保时间序列可比性。
  - 6.5.3 报告编制：监测报告需包含监测目的、方法、结果、评估结论，附原始数据、质控记录，由项目负责人、技术负责人双签字生效。
-