

ICS 07.060

CCS A 45



# 团体标准

T/CEATEC XXX—2025

## 深海采矿沉积物羽流扩散控制技术规范

Deep-sea mining sediment plume dispersion control technical specification

2025-X-XX 发布

2025-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 总体要求 .....	1
4.1 总体原则 .....	1
4.2 总体控制目标 .....	1
4.3 分级要求 .....	2
5 羽流产生控制要求 .....	2
5.1 集矿机扰动控制 .....	2
5.2 输送与分离系统控制 .....	2
5.3 排放系统设计与控制 .....	2
6 羽流扩散监测要求 .....	3
6.1 监测指标 .....	3
6.2 监测设备 .....	3
6.3 监测点位 .....	3
6.4 监测频率 .....	4
7 控制指标与限值 .....	4
7.1 扩散范围控制 .....	4
7.2 环境影响控制限值 .....	4
8 运行管理 .....	5
8.1 人员管理 .....	5
8.2 设备管理 .....	5
8.3 应急管理 .....	5
8.4 环境管理 .....	5
9 数据管理与信息报告 .....	6
9.1 数据管理平台 .....	6
9.2 数据记录要求 .....	6
9.3 信息报告要求 .....	6
10 验收要求 .....	6
10.1 验收内容 .....	6
10.2 验收判定 .....	6
10.3 不符合项处理 .....	6
10.4 验收记录 .....	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。

本文件主要起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次编制。

# 深海采矿沉积物羽流扩散控制技术规范

## 1 范围

本文件规定了深海采矿作业中沉积物羽流扩散控制的总体要求、羽流产生控制要求、羽流扩散监测要求、控制指标与限值、运行管理、数据管理与信息报告、验收要求。

本文件适用于水深2000m及以上深海采矿作业的沉积物羽流扩散控制设计、施工、运行及监督管理。

## 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 17378.3 海洋监测规范 第3部分：样品采集、贮存与运输

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**羽流 plume**

海底采矿活动中，由扰动或排放引起悬浮颗粒形成的空间扩散体。

### 3.2

**排放羽流 discharge plume**

深海采矿系统将回水从船体或中层排放口排入海水后形成的羽流。

### 3.3

**悬浮固体浓度 suspended solids concentration**

单位体积水体中悬浮颗粒物质量（mg/L）。

## 4 总体要求

### 4.1 总体原则

深海采矿羽流控制应遵循以下原则：

- 坚持“源头减排优先、过程控制为主、监测验证支撑”的控制策略；
- 减少海底扰动和回水排放造成的悬浮固体释放；
- 避免羽流扩散对敏感生态系统产生不可逆影响；
- 采用模型预测+实时监测的闭环控制方法；
- 在环境敏感区实行更严格的控制限值；
- 全过程纳入风险管理与应急预案体系。

### 4.2 总体控制目标

羽流控制目标应包括：

- a) 控制悬浮固体浓度（SSC）不超出作业区环境基线许可范围；
- b) 降低羽流扩散半径，限制近场羽流的水平延伸；
- c) 控制再沉积厚度，保护海底基质和底栖生物；
- d) 减少中层排放羽流上升至表层的可能性；
- e) 羽流不应对环境敏感区造成可测量损伤。

#### 4.3 分级要求

羽流按浓度、扩散范围和影响程度可分为三级，具体分级见表1。

表1 羽流分级要求

等级	类型	特征	管控重点
A级	近底高浓度羽流	SSC $\geq$ 50mg/L	减少采矿业扰动、控制切削深度、增加吸取效率
B级	排放羽流	1mg/L $\sim$ 50mg/L	降低排放SSC、优化排放深度、使用扩散器
C级	远场稀释羽流	<1mg/L	背景监测、生态影响评估、沉积厚度监控

### 5 羽流产生控制要求

#### 5.1 集矿机扰动控制

##### 5.1.1 扰动深度控制

扰动深度控制要求如下：

- a) 集矿装置底部扰动深度应 $\leq$ 20cm；
- b) 在高含水率（ $\geq$ 75%）、粒径 $D_{50}\leq 30\mu\text{m}$ 的软泥区，应降低作业切削深度至10cm $\sim$ 15cm；
- c) 扰动深度应通过作业前模拟试验或海试验证，并结合实时地形扫描设备进行动态调节。

##### 5.1.2 履带与采集头结构控制

履带与采集头结构控制要求如下：

- a) 履带接地压强应 $\leq$ 20kPa；
- b) 履带应具有底泥剥离防护结构，减少拖曳型扰动；
- c) 采集头宽度应 $\geq$ 30%可调节范围。

##### 5.1.3 瞬时泥沙释放量控制

瞬时泥沙释放量控制要求如下：

- a) 关键作业环节的瞬时垂向沉积物释放量应 $\leq$ 5kg/s；
- b) 采集头吸入负压应控制在12kPa $\sim$ 35kPa；
- c) 应采用导流罩、侧挡板或底部围护结构，导流罩高度应为0.5m $\sim$ 1.0m。

##### 5.1.4 作业速度与姿态控制

作业速度与姿态控制要求如下：

- a) 集矿机前进速度应控制在0.05m/s $\sim$ 0.2m/s；
- b) 在坡度 $\geq 10^\circ$ 区域应自动触发低速模式；
- c) 姿态偏差应 $\leq 5^\circ$ 。

#### 5.2 输送与分离系统控制

泥浆输送与分离系统应满足以下要求：

- a) 输送泵应采用变频调速控制系统，管内流速应保持在2m/s $\sim$ 4m/s范围内；
- b) 泥浆分离装置应具备 $\geq 90\%$ 固液分离效率；
- c) 泥浆回流与排水系统应设置防溢、防震及稳压结构；
- d) 关键管线应具备压力、浊度、流速在线监测功能，采样频率不低于1Hz。

#### 5.3 排放系统设计与控制

##### 5.3.1 排放深度控制

排放深度控制要求如下：

- a) 排放口深度不应位于200m~1000m热盐跃层区；
  - b) 排放深度变化范围应 $\leq \pm 20\text{m}$ 。
- 5.3.2 排放流速与动能控制
- 排放流速与动能控制要求如下：
- a) 排放流速应控制在 $0.5\text{m/s} \sim 1.2\text{m/s}$ ；
  - b) 在高能海流区（流速 $\geq 0.3\text{m/s}$ ）应采用低速排放模式；
  - c) 排放喷口出口动能应控制在 $\leq 40\text{N}$ 。
- 5.3.3 排放颗粒物浓度控制
- 排放颗粒物浓度控制要求如下：
- a) 排放悬浮固体浓度应 $\leq 50\text{mg/L}$ ；
  - b) 对于粒径 $\leq 10\ \mu\text{m}$ 的超细颗粒，应增加二级固液处理流程。
- 5.3.4 紧急停排和异常工况控制
- 紧急停排和异常工况控制要求如下：
- a) 应在 $\leq 60\text{s}$ 内完成紧急停排；
  - b) 应配置临时储水舱，容量不应小于30min正常排水量；
  - c) 在监测系统失效、排放超限、海况突变时，应立即触发应急模式。

## 6 羽流扩散监测要求

### 6.1 监测指标

应监测但不限于以下参数：

- a) 浊度（NTU）；
- b) 颗粒物浓度（mg/L）；
- c) 粒径分布；
- d) 垂向剖面 CTD；
- e) 海流速度、方向；
- f) 光学后向散射（BB）。

### 6.2 监测设备

应根据作业区域布设：

- a) 声学多普勒流速剖面仪（ADCP）；
- b) 浮式/坐底式监测基站；
- c) AUV/ROV 移动监测系统；
- d) 水样采集器。

### 6.3 监测点位

#### 6.3.1 源区监测

源区监测要求如下：

- a) 源区监测点应布设在距作业中心50m~200m范围内；
- b) 垂向分层应精细布设，层间距应 $\leq 10\text{m}$ 。

#### 6.3.2 近场监测

近场监测要求如下：

- a) 近场监测点距作业中心200m~1000m；
- b) 应布设至少4个方向（上游、下游、侧向2个方向）。

#### 6.3.3 远场监测

远场监测要求如下：

- a) 远场监测点距作业中心1km~10km；
- b) 应布设覆盖主导流向的监测线；
- c) 远场监测应重点分析羽流对区域背景环境影响。

#### 6.3.4 布设要求

布设要求如下：

- a) 上游方向监测点数量应 $\geq 1$ 个，下游方向监测点数量应 $\geq 2$ 个；
- b) 垂向监测剖面应覆盖海底上方至少0m~300m。

#### 6.4 监测频率

监测频率应能够反映羽流随时间变化的动态特征，满足以下要求：

- a) 作业期间应实施连续监测，数据采样频率应不低于1Hz；
- b) 关键节点（设备启停、排放参数调整、海况突变）应每 $\leq 1$ h开展一次移动监测；
- c) 深海底层羽流监测应至少每10min~20min记录一次；
- d) 作业前背景调查时间不应少于7d，并应在同一季节、天气条件下进行；
- e) 作业结束后应持续开展 $\geq 72$ h的后续监测，必要时可延长至7d~14d；
- f) 远场监测应以6h~12h为一个周期进行记录。

### 7 控制指标与限值

#### 7.1 扩散范围控制

##### 7.1.1 源区羽流扩散控制

源区羽流扩散范围应满足下列要求：

- a) 在典型深海工作环境下，羽流水平扩散半径应 $\leq 500$ m；
- b) 若区域海流速度大于0.15m/s，应根据监测数据主动调整集矿速度、排放流量，确保扩散半径不超过700m上限值。

##### 7.1.2 排放羽流扩散控制

排放羽流扩散范围应满足下列要求：

- a) 排放羽流水平扩散半径应 $\leq 1500$ m；
- b) 排放口设计应避免形成高浮力羽流，不应导致羽流上浮超过排放深度 $\pm 50$ m。

##### 7.1.3 垂向扩散控制

垂向扩散控制应满足下列要求：

- a) 羽流垂向影响深度应 $\leq 50$ m；
- b) 若海区存在明显温盐跃层，羽流垂向穿透深度应收紧至 $\leq 30$ m。

#### 7.2 环境影响控制限值

##### 7.2.1 浊度控制限值

作业区域及周边环境浊度应满足下列要求：

- a) 各监测点浊度较背景值的升高不应超过20%；
- b) 若监测点位于环境敏感区域，浊度升高不应超过10%；
- c) 背景值应基于作业前不少于7天的背景监测形成统计平均值，并按GB 17378.3的要求计算背景区间。

##### 7.2.2 悬浮颗粒物控制限值

悬浮颗粒物（SS）浓度应控制在：

- a) 一般作业区SS浓度不应超过100mg/L；
- b) 距作业中心1km的远场监测点不应超过50mg/L；
- c) 若背景浓度低于5mg/L，SS绝对增量不应超过20mg/L。

##### 7.2.3 粒级与沉降特性要求

为防止细颗粒长期悬浮：

- a) 排放颗粒粒径 $D_{50}$ 应 $\geq 20\mu\text{m}$ ；
- b) 细颗粒（ $< 5\mu\text{m}$ ）比例应 $\leq 25\%$ 。

##### 7.2.4 生态敏感区域控制要求

对冷泉、热液、海山等敏感区域，应执行更严格限值：

- a) 浊度升高 $\leq$ +5%;
- b) SS增量 $\leq$ 10mg/L;
- c) 羽流水平扩散半径 $\leq$ 300m。

## 8 运行管理

### 8.1 人员管理

#### 8.1.1 人员配置

作业单位应配备项目负责人、监测人员、设备维护人员、数据分析人员及应急响应人员等岗位。

#### 8.1.2 人员资格要求

人员资格要求如下：

- a) 相关人员应具备海洋工程、海洋环境或相关专业知识；
- b) 监测人员应掌握ADCP、CTD、OBS、AUV/ROV等设备的基本操作；
- c) 排放系统操作人员应熟悉排放深度、流速和颗粒浓度控制方法；
- d) 数据分析人员应具备基本的海洋监测数据处理能力。

#### 8.1.3 培训要求

培训要求如下：

- a) 上岗人员应经过羽流扩散监测、设备操作、安全环保等内容的培训；
- b) 培训应每年开展不少于1次；
- c) 培训记录应保存不少于3年。

#### 8.1.4 岗位职责

各岗位职责如下：

- a) 监测人员负责监测设备布设与现场监测；
- b) 设备维护人员负责监测和排放系统的日常维护；
- c) 数据人员负责数据整理、分析及报告；
- d) 应急人员负责异常情况的现场处置。

### 8.2 设备管理

8.2.1 深海采矿羽流监测与控制相关设备应定期维护和校准。

8.2.2 关键监测设备应建立运行档案，记录运行状态、维护情况和校准数据。

8.2.3 设备出现故障时，应及时排查、修复或更换，并对修复后的设备进行验证。

8.2.4 设备停运或更换时，应采取措施避免羽流扩散监测中断，并确保监测数据的连续性和可靠性。

### 8.3 应急管理

8.3.1 应建立深海采矿羽流异常扩散应急预案，包括监测异常判定条件、响应流程、处理措施和数据报告要求。

8.3.2 当监测到羽流扩散范围或悬浮固体浓度超过预警阈值时，应立即启动应急响应，采取降低作业强度、调整设备位置或暂停作业等措施。

8.3.3 应急响应过程中，应加强监测频次，及时评估羽流扩散态势，并记录处置过程和结果。

8.3.4 应定期组织应急演练，检查应急预案的有效性，并根据演练结果和实际运行情况及时更新应急预案。

### 8.4 环境管理

#### 8.4.1 环境缓冲区

作业单位应在作业半径外至少预留 $\geq$ 2km的环境缓冲区。

#### 8.4.2 环境保护措施

应采取以下环境保护措施：

- a) 采用低扰动采集方式，减少底质扰动；
- b) 优化排放深度与方向，尽量避免热盐跃层区和敏感生态区域；

- c) 减少连续长时间作业，控制作业节奏；
- d) 适当设置作业保持期和恢复期，确保受扰区域有时间自然恢复；
- e) 制定防溢、防泄漏及防污染应急预案，并在作业前进行风险评估。

## 9 数据管理与信息报告

### 9.1 数据管理平台

应建立统一的羽流监测数据管理平台，实现监测数据的采集、校验、存储、备份、调用和可视化管理，并确保数据的完整性、可追溯性和安全性。

### 9.2 数据记录要求

作业期间应按日生成监测数据记录，包括但不限于悬浮固体浓度、浊度、流速、流向、水温、盐度、羽流三维分布特征等内容。数据记录应采用统一格式，并进行必要的质量审核。

### 9.3 信息报告要求

项目结束后，应形成并提交以下技术报告：

- a) 背景环境调查报告：包括作业区水文、地质、生态、化学环境基线条件及调查方法；
- b) 羽流监测与评价报告：包括监测布设方案、监测数据、羽流扩散特征分析及结果评价；
- c) 运行管理报告：包括人员管理、设备管理和应急管理情况进行记录和分析；
- d) 环境影响综合评估报告：基于监测与模型结果，对羽流对水体环境、生态系统及敏感区域的影响进行综合评估，并提出控制措施和管理建议。

## 10 验收要求

### 10.1 验收内容

验收应对羽流扩散控制相关工作进行全面检查，包括但不限于：

- a) 控制指标是否达到本标准规定的范围和限值；
- b) 监测系统的布设、运行及数据完整性；
- c) 数据质量及记录的规范性、可追溯性。

### 10.2 验收判定

控制指标和监测数据符合本标准要求，且监测系统运行正常、数据完整可靠时，验收方可通过。

### 10.3 不符合项处理

如发现不符合要求的情况，应限期整改。整改完成后，应提交复验申请，并经复验合格方可完成验收。

### 10.4 验收记录

验收过程应形成完整记录，包括验收报告、整改情况及复验结果，资料应保存不少于5年，并作为项目档案的重要组成部分。