大洋多金属结核海底集矿器开采法绿色智能开采通则

团体标准编制说明

一、工作简况

1.任务来源

本标准由中关村绿色矿山产业联盟提出，列入该联盟团体标准制修订工作计划，旨在系统规定大洋多金属结核海底集矿器开采法的矿区勘探、设备布放与回收、开采过程控制、采后环境恢复等全流程技术要求，为深海采矿的绿色化、智能化发展提供技术规范。

2.起草单位、参编单位

起草单位：西安建筑科技大学，负责标准的整体框架设计与核心技术内容编写。

参编单位：南方科技大学、浙江大学、中南大学、上海交通大学、北京大地高科地质勘察有限公司、北京探矿工程研究所、广州海洋地质调查局、深之蓝海洋科技股份有限公司、咸阳师范学院、中国瑞林工程技术股份有限公司。

3.主要起草人

江松：西安建筑科技大学，牵头制定标准的整体方案，资料收集与调研、确定技术指标与检验方法。

何润丰：西安建筑科技大学，负责处理针对标准专家提出的问题及标准编制说明的编写。

郭梨：西安建筑科技大学，负责组织征求意见及修改完善标准文本等。

瞿逢重：浙江大学，信息咨询与标准编写。

杨丽丽：南方科技大学，参与信息咨询与标准编写。

周志远：南方科技大学，参与信息咨询与标准编写。

杨劭坚：浙江大学，现有参考标准文本收集整理及标准编写。

姚　贝：西安建筑科技大学，现有参考标准文本收集整理及标准编写。

司红森：西安建筑科技大学，现有参考标准文本收集整理及标准编写。

卢　猛：北京大地高科地质勘察有限公司，参与标准的参数研究和标准编写。

刘广治：北京探矿工程研究所，参与标准的参数研究和标准编写。

陈宗恒：广州海洋地质调查局，参与标准的参数研究和标准编写。

魏照宇：上海交通大学，参与标准的参数研究和标准编写。

魏建仓：深之蓝海洋科技股份有限公司，参与标准的技术讨论及参数设计。

张嘉轶：深之蓝海洋科技股份有限公司，参与标准的技术讨论及参数设计。

张 伟：咸阳师范学院，参与标准技术讨论和标准编写。

沈楼燕：中国瑞林工程技术股份有限公司，参与标准技术讨论和标准编写。

二、制定标准的必要性和意义

（1）战略需求的必要性：深海多金属结核富含镍、钴等关键金属，已成为国际竞争焦点。我国深海矿产开发虽有进展，但与国际先进水平仍有差距。目前国际海底管理局尚未出台绿色智能开采细则，制定相关技术规程既可填补国际空白，也能提升我国在海洋资源开发中的影响力和话语权，保障国家资源安全。

（2）绿色发展的必要性：现有深海开采技术易对脆弱生态系统造成不可逆破坏。制定绿色开采技术规程，推动环境友好型技术应用，是降低生态风险、实现可持续开发的必然选择，同时通过提升开采精度与效率，可增强深海采矿项目的经济性与可持续竞争力。

（3）智能开采的必要性：深海高压黑暗环境要求构建自主化、少人或无人的装备体系。我国在深海作业、勘探等设备领域已有技术突破，但智能化应用缺乏统一规范。制定技术规程可为新技术设立科学门槛，引导行业安全升级，减少人工干预风险，提升开采效率与资源回收效益。

通过标准的应用，以推动我国大洋多金属结核开采工业化落地生产，从而推动我国海洋资源开发进程，维护与发展我国海洋战略布局。

三、主要起草过程

标准的制定过程严格遵循了公开、公正、协商一致的原则，经历了以下几个关键阶段：

（1）预研与立项阶段（2025 年 2 月～7 月）：成立标准编制工作组，系统收集国内外深海采矿相关标准文献，包括 GB/T 17229、GB/T 35571、GB/T 34908、ISBA/25/LTC/6/Rev.1、T/CAOE 40、T/CAOE 41、ISO 23730、ISO 23731 等国际标准、国家标准和团体标准。调研国内外深海采矿技术现状及环境管理要求，明确标准应聚焦于“绿色智能开采”这一核心定位，并形成标准框架草案。

（2）草案编写与论证阶段（2025 年 8 月～2026 年 4 月）：起草组在参编单位的研究成果和工程实践基础上，完成了标准草案初稿撰写，明确了范围、规范性引用文件、术语和定义、大洋多金属结核集矿器开采流程、矿区勘探、开采设备布放与回收、开采过程、采后环境恢复等核心章节的技术内容。通过专家咨询和内部讨论，对开采境界圈定、路径规划方法（牛耕法、障碍物避让、复杂地形自适应等）、环境恢复指标等关键技术内容进行了充分论证和完善，累计召开技术研讨会 5 次。

（3）征求意见阶段（2026 年 5 月～6 月）：形成征求意见稿后，通过联盟官方平台公开征求意见，定向征求了涵盖海洋矿产资源研究机构、深海装备制造企业、矿业设计院、高校及环境监测机构等单位的意见，共收到反馈意见 X 条。

（4）意见处理与送审稿形成阶段（2026 年 7～8 月）：起草组逐条分析处理收到的意见，召开线上意见处理专题会议，对标准文本进行修改完善，包括术语定义的规范、技术指标的核实、附录内容的补充等，形成标准送审稿。

（5）审查与报批阶段（2026 年 9 月）：联盟标准化技术委员会组织召开专家审查会，对标准送审稿进行审查。起草组根据审查意见进行最终修改，形成标准报批稿，提交中关村绿色矿山产业联盟批准发布。

四、制定标准的原则和依据

本标准编制遵循以下基本原则和依据：

（1）规范性原则：以大洋多金属结核海底集矿器开采法的实际技术需求和工程实践为基础，依据 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》给出的规则起草，确保标准结构、格式和表述的规范性，具有规定明确且无歧义的条款。

（2）科学性原则：以大洋多金属结核矿区勘探、开采设备布放与回收、开采过程控制、采后环境恢复的实际技术需求为基础，参考国内外相关标准和科研成果，确保技术内容的科学性、准确性和先进性，能够被未参加标准编制的专业人员所理解。

（3）可操作性原则：标准规定的技术要求明确具体，可验证、可实施，便于相关企业和机构在实际工作中应用，标准内容便于实施。

（4）协调性原则：本标准与现行有效的国家标准（GB/T 17229、GB/T 35571、GB/T 34908、GB/T 42629.4 等）、团体标准（T/CAOE 40、T/CAOE 41、T/CAOE 47 等）以及国际海底管理局相关规章（ISBA/19/C/WP.1、ISBA/25/LTC/6/Rev.1 等）保持协调一致。

五、与现行有关法律、法规和标准的关系

本标准符合《中华人民共和国深海海底区域资源勘探开发法》《中华人民共和国海洋环境保护法》《中华人民共和国安全生产法》以及《联合国海洋法公约》中关于深海资源勘探开发、海洋环境保护的要求，无冲突内容。

本标准与现行有效的国家标准和行业标准有很好的协调性，本标准在编制过程中参考或引用相关标准：

ISO23730 国际标准化组织 海洋技术海洋环境影响评估（MEIA）通用技术要求（Marine technology—Marine environment impact assessment (MEIA)—General technical requirements）

ISO23731 国际标准化组织 海洋技术 海洋环境影响评估（MEIA）深海环境中基于图像的长期原位调查（Marine technology—Marine environment impact assessment (MEIA)—Performance specification for in situ image-based surveys in deep seafloor environments）

ISBA/18/A/11 国际海底管理局 “区域”内富钴铁锰结壳探矿和勘探规章（Regulations on Prospecting and Exploration for Cobalt-rich Ferromanganese Crusts in the Area）

ISBA/19/C/WP.1 国际海底管理局 “区域”内多金属结核探矿和勘探规章（Regulations on Prospecting and Exploration for Polymetallic Nodules in the Area）

ISBA/25/LTC/6/Rev.1 国际海底管理局 指导承包者评估勘探区域内海底矿产资源可能对环境产生影响的建议（Recommendations for the guidance of contractors for the assessment of the possible environmental impacts arising from exploration for marine minerals in the Area）

ISBA/27/C/30 国际海底管理局 深海海底采矿规范性环境阈值（Normative environmental thresholds for deep-seabed mining）

ABS 美国船级社 深海采矿指南（Guide for Subsea Mining）

ABS 美国船级社 船舶建造和入级指南（Rules for Building and Classing Marine Vessels）

ABS 美国船级社 水下噪声和外部空气噪声（Underwater Noise andExternal Airborne Noise）

GB/T 1.1 标准化工作导则

GB/T 12763.1 海洋调查规范 第 1 部分:总则

GB/T 12763.3-2020 海洋调查规范 第 3 部分：海洋气象观测

GB/T 12763.5 海洋调查规范 第 5 部分：海洋化学要素调查

GB/T 12763.6 海洋调查规范 第 6 部分：海洋生物调查

GB/T 12763.8-2007 海洋调查规范 第 8 部分:海洋地质

GB/T 12763.9 海洋调查规范 第 9 部分:海洋生态调查指南

GB/T 12763.10-2007 海洋调查规范 第 10 部分：海底地形地貌调查

GB/T 12763.11 海洋调查规范 第 11 部分：海洋工程地质调查

GB/T 17229-1998 大洋多金属结核矿产勘查规程

GB/T 20259-2006 大洋多金属结核化学分析方法

GB/T 31024.1-2014 合作式智能运输系统 专用短程通信

GB/T 34908-2017 大洋资源调查术语

GB/T 35571-2017 大洋多金属结核资源勘查规范

GB/T 35572-2017 大洋富钴结壳资源勘查规范

GB/T 40873-2021 大洋富钴结壳资源勘查规程

GB/T 42629.4 国际海底区域和公海环境调查规程 第 4 部分：海洋沉积物物理特性调查

GB/T 42637-2023 大洋多金属硫化物资源调查规范

GB/T 44823 绿色矿山评价通则

DZ/T 0130.3-2006 地质矿产实验室测试质量管理规范

DZ/T 0339-2020 矿床工业指标论证技术要求

DZ/T 0399-2022 矿山资源储量管理规范 T/CAOE 40-2021 海底多金属结核采矿系统技术指南

T/CAOE 41-2021 深海采矿活动环境保护与保全指南

T/CAOE 47-2023 大洋多金属结核资源量估算技术指南

T/CAOE 61-2023 深海富稀土沉积物资源勘查指南

CCS-2022 中国船级社 深海采矿设施指南

CCS 中国船级社 海上钻井装置检验指南

六、标准主要内容说明

本标准规定了大洋多金属结核海底集矿器开采法的绿色智能开采通则，主要技术内容包括：

1. 术语和定义（第 3 章）

界定了多金属结核、大洋多金属结核、勘探、海底集矿器、海底集矿器开采法、水下提升系统、水面支持平台、布放与回收系统、开采境界、回采率、采集率、贫化率、资源量、环境基线、影响参照区、保全参照区、羽流、建群种、生物扰动速率、可持续开采、智能开采等 21 个关键术语。术语定义参考了 GB/T 34908、GB/T 17229、T/CAOE 40、T/CAOE 41 等相关标准，确保术语的统一性

和规范性。

2. 大洋多金属结核开发基本流程（第 4 章）

规定了勘探、设备布放、开采、设备回收、环境恢复的完整开采流程及各阶段的基本要求，形成了从勘探到闭矿的全生命周期技术框架。

3. 大洋多金属结核矿区勘探（第 5 章）

规定了地理勘探、矿业勘探、生化勘探、海洋水文气象勘探四类勘探工作的内容、方法和技术要求。地理勘探包括单波束测深、多波束测深、侧扫声纳测量、浅地层剖面测量、底质表层采样、底质柱状采样、悬浮体采样等；矿业勘探包括样品采集、现场测定、实验测定及开采技术指标评估；生化勘探包括生物勘探（大型底栖生物、小型底栖生物、微生物群、结核附着生物群、底栖鱼类和食腐动物）和沉积物化学勘探。主要技术指标参考了 GB/T 12763.10、GB/T 35571、ISBA/25/LTC/6/Rev.1 等标准。

4. 大洋多金属结核开采设备布放与回收（第 6 章）

规定了海底集矿系统、水力提升系统、水面支持平台、布放和回收系统的关键设备及参数要求，以及布放流程、回收流程和数据链路智能应用的技术要求。关键参数参考了 T/CAOE 40 和 CCS《深海采矿设施指南 2022》的规定，包括作业水深、行走速度、采集率、提升能力、动力定位等级、升沉补偿行程等。

5. 大洋多金属结核智能开采作业（第 7 章）

规定了开采境界的一般规定和境界优化原则，开采区块划分和开采顺序要求；开采规划的基本准则、计划编制和路径规划方法（包括牛耕法、障碍物避让、路径平滑、复杂地形自适应、多车协同等）；开采作业内容、主要作业参数（采集、提升、脱水）和产量指标计算方法；开采过程控制的控制方法、主要控制参数、异常工况控制和数据记录追溯要求。开采境界的圈定条件参考了 GB/T 17229 的相关规定。

6. 大洋多金属结核区域采后环境恢复（第 8 章）

规定了主要环境参数（物理、化学、生物），环境采样方法（采样站位布设、沉积物采样、水体采样、生物采样、采样频次），环境恢复技术（自然恢复监测、羽流絮凝沉降、人工基质修复、生态补偿），以及环境恢复指标和验收要求。环境监测与恢复要求参考了 ISBA/25/LTC/6/Rev.1、T/CAOE 41 和 ISO 23730 的相关规定。

七 分歧意见的处理过程、依据和结果

本标准在起草和征求意见过程中，编制工作组内部及与相关方之间未出现重大分歧意见。针对部分技术指标的确定（如开采境界边界丰度、回采率最低要求、环境恢复指标等），编制组通过查阅国内外文献、咨询行业专家、分析工程实践数据等方式进行了充分论证，形成了共识。

八 采用国际标准或国外先进标准情况

本标准在编制过程中参考了以下国际标准及国外标准化文件：

ISO23730 国际标准化组织 海洋技术海洋环境影响评估（MEIA）通用技术要求（Marine technology—Marine environment impact assessment (MEIA)—General technical requirements）

ISO23731 国际标准化组织 海洋技术 海洋环境影响评估（MEIA）深海环境中基于图像的长期原位调查（Marine technology—Marine environment impact

assessment (MEIA)—Performance specification for in situ image-based surveys in deep seafloor environments）

ISBA/18/A/11 国际海底管理局 “区域”内富钴铁锰结壳探矿和勘探规章（Regulations on Prospecting and Exploration for Cobalt-rich Ferromanganese Crusts in the Area）

ISBA/19/C/WP.1 国际海底管理局 “区域”内多金属结核探矿和勘探规章（Regulations on Prospecting and Exploration for Polymetallic Nodules in the Area）

ISBA/25/LTC/6/Rev.1 国际海底管理局 指导承包者评估勘探区域内海底矿产资源可能对环境产生影响的建议（Recommendations for the guidance of contractors for the assessment of the possible environmental impacts arising from exploration for marine minerals in the Area）

本标准在环境基线调查方法、生物勘探分类、参照区选划原则、环境监测与评估框架等方面的技术要求与国际海底管理局的相关建议保持一致，符合国际深海采矿环境管理的总体趋势。在开采设备参数、路径规划方法、数据链路通信等方面参考了国际通行的技术实践。

本标准为自主制定的团体标准，与国际标准无直接对应关系，技术内容符合我国深海采矿产业发展的实际需求，部分指标（如采集率≥90%、回采率≥85%）与国际同类技术要求水平相当。

九 贯彻标准的要求和措施建议

为了使标准得到更好更有效的实施，应组织相关管理人员、技术人员和操作人员进行标准宣贯培训，使所有的技术人员和操作人员都能灵活掌握本标准的详细条款和具体要求，并在实际工作中得到认真的贯彻和执行。

标准编写组后续也将及时收集各单位在标准实施中的意见及建议，并在适当的时候对标准进行修订。

十 其他应予说明的事项

无