重视深海资源布局，积极培育新质生产力

中国大洋矿产资源研究开发协会副理事长 刘峰

国际海域约占地球表面积49%,国际海底蕴藏着丰富的矿产资源，如多金属结核、富钴结壳、多金属硫化物和深海稀土等，是支撑人类经济和社会发展的战略资源。近年来，西方海洋大国纷纷加大深海资源开发投入力度，从“资源勘探”向“资源开发”转变的势头强劲，深海产业大有呼之欲出之势。深海矿产资源开发生产力三要素中，无论是生产资料、生产对象，还是劳动者都摆脱了传统经济增长方式和生产力发展路径，具备新质生产力典型特征。我国应坚持深海资源开发利用与深海环境保护相平衡的原则，加快研制绿色环保的开采技术装备，把深海资源勘探“先手棋优势”转化为“开发优势”。依据各相关产业之间特定的技术经济逻辑和时空布局关系形成相互交错、具备国际竞争力的产业链结构，实现上下游企业相互协调、上下联动、优势互补，确保我国在未来深海资源开发进程中，拥有相对领先的位置。

一、深海资源极为丰富，开发利用应遵守国际海底制度

（一）深海矿物资源量巨大，富含多种战略资源

深海海底区域蕴藏着丰富的矿产资源，包括多金属结核、富钴结壳、多金属硫化物、深海稀土等资源。研究表明，分布在4000-6000米国际海底平原、海底丘陵区域的多金属结核中含有铜、钴、镍、铅、锌、铝、锂和稀土元素等60多种金属成分，据估计，资源量约3万亿吨，可采潜力约750亿

吨。其中，锰、铜、钴、镍、铝、铅总储量分别是陆地资源的 779 倍、36 倍、5250 倍、405 倍、75 倍和 33 倍。

海底多金属硫化物是热液成因矿深海矿物，主要矿物成分是黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿等硫化物类和钠水锰矿、钙锰矿、针铁矿及赤铁矿等铁锰氧化物和氢氧化物，富含铜、铅、锌、金、银、铁等元素，主要分布在大洋中脊、岛弧和扩张海盆的裂谷带。根据对全球约 1 万千米的洋脊、岛弧、弧后扩张中心出露的热液硫化物堆积体初步评估，估计约有 6 亿吨多金属硫化物，铜锌金属量约 3 千万吨。但迄今为止尚未在海底发现像加拿大基德克里克（约 1.35 亿吨）和葡萄牙内维什科尔沃（2.62 亿吨）的大规模块状硫化物矿床。

富钴结壳，又称富钴铁锰结壳，生长于水深 1000-3000 米的海山和海台斜坡和顶部，结壳厚度一般在 0.5～6 厘米，其主要矿物为二氧化锰和针铁矿，含有钴、镍、铜、锰、铁、锂、铂和稀土元素。海底资源量约为陆地的几百倍。初步估计，西太平洋海山带富钴结壳资源量约 10 亿吨，钴金属量为百万吨级。

深海稀土产于水深 4500-6500 米的深海盆地中，以富集中重稀土元素(M-HREY)为特征，稀土总量(ΣREY,即除 Pm 以外的 14 种稀土元素与 Y 元素含量之和)一般大于 700μg/g，目前已知最高可达 8000μg/g。据初步估算，太平洋深海沉积物中稀土资源量相当于陆地稀土储量 800-1000 倍。

深海矿物资源量巨大，其富含的钴、镍、铜、锰、铁、金、银、锌、铂和稀土元素是现代高科技、绿色技术或新兴

技术必不可少的原材料。深海矿物资源多位于国际海底，开发利用国际海底矿物资源必须遵守国际海底的相关制度。

（二）依据国际海底制度开发利用海底资源

国际海域约占地球表面积的 49%，其中赋存的矿物资源是人类经济和社会发展的战略资源。《联合国海洋法公约》（以下称《公约》）由 150 多个国家参与，历时 9 年，召开了 11 期会议协商和谈判，终于在 1982 年达成共识。《公约》及《关于执行〈联合国海洋法公约〉第十一部分的协定》（以下称《执行协定》）于 1994 年 11 月 16 日正式生效。

《公约》第十一部分明确国际海底及其资源是全人类的共同继承财产。国际海底区域（以下简称“区域”）是指国家管辖范围以外的海床洋底及其底土。国际海底资源是指“区域”内在海床及其下原来位置的一切固体、液体或气体矿物资源。“区域”开放给所有国家，任何国家或个人不得以任何方式将其据为己有或对其任何部分主张或行使主权或主权权利。各国都拥有在“和平利用‘区域’”和“保护海洋环境”的原则下开发海底资源的权利，但所有关于勘探和开发“区域”资源的活动均受国际海底区域开发制度的管制，国际海底管理局代表全人类行使权利。

国际海底管理局（以下简称“管理局”）负责对“区域”内的活动进行组织和控制，特别是管理“区域”内资源。《公约》赋予管理局制订“区域”内探矿、勘探和开发资源的规则、规章和程序的权力。迄今为止管理局已经针对“区域”三种资源制定了勘探规章，包括《“区域 ”内多金属结核探

矿和勘探规章》《“区域”内多金属硫化物探矿和勘探规章》《“区域”内富钴铁锰结壳探矿和勘探规章》（以下称《规章》）。

依据《规章》，管理局迄今已与相关承包者签订了30份《勘探合同》，共圈占国际海底面积约150万平方公里，其中多金属结核合同19份，其中17份位于东北太平洋CC区，一份位于西北太平洋，一份位于中印度洋；多金属硫化物合同7份，其中4份位于印度洋，3份位于北大西洋；富钴结壳合同4份，全部位于西北太平洋。勘探合同赋予承包者在合同区域内矿物资源专属勘探权和优先开采权，同时承包者负有每年开展海上勘探、递交年度工作报告、为发展中国家培训技术和管理人员的义务。

二、世界范围的绿色低碳发展需要海底矿产支撑

（一）中国积极部署“双碳”行动

绿色低碳发展被公认为是全球经济继工业革命和信息革命之后的又一次系统变革，也被视为推动全球经济复苏的新动力源泉。中国政府明确提出2030年“碳达峰”与2060年“碳中和”目标。《“十四五”规划纲要》《中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》《2030年前碳达峰行动方案》等明确了重点任务，部署了碳达峰重大行动，提出全面推进风电、太阳能发电大规模开发和高质量发展，探索深化地热能以及波浪能、潮流能、温差能等海洋新能源开发利用目标。

（二）海底资源是绿色低碳发展的物质基础

以风电、光伏、电动汽车、高效储能、永磁电机等为代表的绿色低碳转型成为全球共识。国际能源署《2050 年净零排放：全球能源行业路线图》预测，到 2030 年电动汽车在全球汽车销量中占比将从目前的 5%左右上升至 60%以上，到 2050 年全球 90%电力生产来自可再生能源，其中风能和光伏发电占 70%。全球绿色低碳转型将拉动关键金属消费大幅增长，如电动汽车发展依赖锂、钴、镍等电池材料，海上风机需要稀土永磁，燃料电池和氢能发展离不开铂族元素。国际能源署预测，从 2020 年到 2030 年，锂、钴、镍、铜、锰和稀土等关键金属的市场规模将增加近 6 倍。

深海海底区域内的资源已被世界公认为未来最具商业开发前景的资源，是保障人类经济和社会绿色低碳可持续发展的物质基础。开发深海矿产资源不仅可以保障国家战略性矿产供应安全，还将推动深海技术装备的发展，加深对深海资源与环境的认知，更好地保护海洋生态环境。

三、海洋强国纷纷加大深海资源开发投入

（一）从“资源勘探”向“资源开发”转变势头强劲

近年来，以世界各国的承包者与管理局签订的勘探合同陆续到期为主要切入点，以全球经济绿色低碳转型对关键金属的需求量剧增为推动，各主要海洋国家加快了深海技术装备研发和海底资源开发的步伐，从海底“资源勘探”向“资源开发”转变的势头十分强劲。相关国家纷纷要求管理局尽快出台《“区域”内矿物资源开发规章》（以下称《开发规

章》），明确相关程序和标准，以及承包者、担保国的权力和义务。

（二）海洋强国加大海底资源开发投入

2022 年 11 月，美、加、澳矿业财团 TMC（The Metals Company）在其属下的瑙鲁海洋资源公司（NORI）勘探合同区，开展了多金属结核集矿和扬矿系统试验，集矿机在海底运行 80 多公里，集矿能力为 86.4 吨/小时，共采集结核 4500 吨，并将 3000 吨的结核通过 4300 米的管道提升到采矿船。计划进一步改进采矿装备、增大采矿能力，将于《开发规章》通过的第一时间提交矿区开发申请，并开始小规模多金属结核商业开采。

挪威政府凭借雄厚的海洋工程装备基础与长期的法律政策积淀，瞄准专属经济区矿物资源开发，大力推动深海采矿，在地质勘探、技术装备研制、环保政策制定等方面已经走在世界前列，形成了完备的深海开发战略路径。

日本政府制定了海洋采矿领域跨部门战略创新计划，不断加大深海领域的投入。2017 年日本产业经济省与日本国家油气和金属公司成功完成了 1600 米水深多金属硫化物采掘及连续提升试验，2020 年组织完成了海底富钴结壳采掘试验，2022 年完成了深海稀土采集试验。连同上世纪八十年代完成的多金属结核采集试验，日本成为唯一一个开展了所有 4 种深海资源开采试验的国家。

印度政府竭力增强把控印度洋战略部署。2024 年 1 月向管理局提交了富钴结壳矿区和热液硫化物矿区申请，管理局

法律技术委员会审查通过了多金属硫化物矿区的申请，富钴结壳矿区申请待进一步补充材料后再审。如获得批准，印度政府将在印度洋独拥4个勘探合同，总面积达9.8万平方公里，涵盖3种资源种类。从矿区布局来看，连同已经核准的两个矿区，四个矿区连成巨大的三角区域，覆盖印度洋的广阔海域。同时，印度政府持续支持科研机构开展深海采矿装备研发，组织完成了5000米水深采矿机移动和机动性测试。

比利时全球海洋矿物资源公司与德国联邦地球科学和自然资源研究院共同完成了4400米多金属结核集矿车采矿试验，有效收集多件数结核上千吨。

韩国政府制定了海洋发展战略和发展规划，从财政、组织等方面大力支持深海技术研发、资源勘探和开发。韩国海洋科学技术院研制了深海集矿机、提升泵，并成功开展了相关试验。

管理局加快了对《开发规章》的审议，可以预见，《开发规章》一旦通过，世界范围内即将掀起开发利用“区域”内矿物资源的热潮。

四、我国具备把资源勘探“先手棋优势”转化为“ 开发优势”的条件

（一）我国已握有海底资源勘探“先手棋”

我国已执行80多个资源调查和勘探航次，航迹遍及三大洋，在太平洋、印度洋圈占据共计23.4万平方公里的多金属结核、富钴结壳和多金属硫化物5块矿区，确立了我国深海资源矿区种类最全、数量最多、面积最大的资源勘探“先手

棋”优势。中国的三个承包者与管理局签订了 5 份勘探合同。其中，中国大洋协会拥有 3 个矿区，涵盖 3 种资源，中国五矿拥有 1 个多金属结核资源矿区，北京先驱高技术开发公司拥有 1 个多金属结核资源矿区。

（二）加快推动形成深海“开发优势”

国家相关部委重点布局发展的未来产业包括深海空天开发领域。科技部、自然资源部设立了深海极地重点研发计划，资金支持力度逐年加大；国家发改委、国资委等部委把深海矿产资源开发列入战略性新兴产业给予重点支持；工信部设立专项，支持研究消化深海采矿船设计和建造技术，支持深海采矿技术装备研发。

中国大洋协会在 1991 年经国务院批准成立。其宗旨是：通过国际海底资源研究开发活动，开辟我国新的资源来源，促进我国深海高新技术产业的形成与发展，维护我国开发国际海底资源的权益，并为人类开发利用国际海底资源作出贡献。成立以来，秉持“持续开展深海勘查、大力发展深海技术、适时建立深海产业”的大洋工作方针，统筹国内各领域、各专业优势力量开展国际海域工作，组织相关单位相继研发了“三龙”潜水器和四大装备为代表的深海勘查装备体系，“三龙”潜水器包括“蛟龙”号载人潜水器、“海龙”号缆控潜水器和“潜龙”号自治潜水器，四大装备包括中深钻、电视抓斗、声学拖体和电磁设备。

中国大洋协会牵头组织实施“深海多金属结核采矿试验工程”。2021 年 7 月在我国南海圆满完成 1000 米级深海多金

属结核采矿系统联动试验，最大作业水深 1306 米，采集海底天然结核 1.1 吨，打通自行式集矿机矿物采集、破碎、管道提升、甲板脱水和矿物储藏等全采矿流程，开展深海采矿试验全程立体环境影响监测，取得深海采矿技术装备、水面支持技术装备、深海环境保护等多项重大突破性成果，使我国成为世界上第二个成功实现 1000 米级以上深海多金属结核采矿系统联动试验的国家，标志着我国国际海底资源从矿区勘探优势迈向开发利用优势的努力取得阶段性成果。

中国五矿、招商局集团、中船集团、中车集团、北京先驱高技术开发公司积极组织力量开展深海开采装备研发、改装深海采矿船、深海矿物资源加工等工作，取得积极成效。上海、浙江、深圳等各地方政府出台专项规划、积极推动未来深海产业发展。

总之，我国已经具备将资源勘探“先手棋优势”转化为“ 开发优势 ”的组织基础和技术条件。

五、深海矿物开发利用面临挑战

（一）矿区环境基线特征和生态系统认知有限

虽然科学家自上世纪八十年代以来就持续开展海底矿区的环境调查，也开展了一定规模的深海采矿影响试验，获取了一系列数据和资料，但受制于技术条件和试验规模的限制，目前对复杂的深海区域生态系统的科学认识仍然十分有限，对环境影响程度和强度难以准确监测评估，尤其是深海生态系统的功能、恢复能力、底栖生物的连通性和生物群落的重

建等一系列科学问题仍需进一步深入调查和研究，深海环境修复技术尚待成熟。

（二）深海采矿技术装备从未得到验证

深海矿产资源开发是一项庞大且极其复杂的系统工程，技术体系极为复杂。相关国家虽然开展了一些深海采矿试验，但规模多在原理样机的水平，世界范围内深海采矿实践经验不足，技术手段和工程实践缺乏。理论支撑、体系结构、作业模式、可靠性及运维技术、水下定位、导航等多元信息融合和协同作业等环节亟待进一步认证。

（三）深海矿物资源开发利用受到相关国家和非政府组织的强烈抵制

深海采矿受到来自各方的抵制。国际海底管理局理事会成员国德国、法国、西班牙、哥斯达黎加、新西兰、智利、巴拿马、斐济和密克罗尼西亚联邦等明确要求“预防性暂停”或“停止”深海采矿，理由是目标开采区域的科学数据缺乏。巴西、荷兰、葡萄牙、新加坡、瑞士也暗示，在对深海独特的海洋生态系统进行有效保护之前，不应批准任何采矿合同。谷歌、宝马、大众、沃尔沃和三星等公司此前已经宣布不会采购和使用海底开采的金属。

六、加强顶层设计，合理布局深海矿产资源开发产业链

（一）深海资源开发与深海环境保护相平衡

深海采矿可能带来深海矿区生物多样性、生物栖息地退化或丧失的潜在风险。同时，世界各国绿色低碳发展离不开海底矿产资源作为支撑。既不可一味地强调保护，而不顾人

类社会和经济发展的需求，也不可毫无顾忌地攫取深海资源，破坏深海生物赖以生存的环境。深海矿产资源开发应坚持“资源开发与环境保护相平衡”原则，研发绿色环保的开采技术装备是当前的重要任务。

国家科技部门、产业部门、相关企业需联合组织科技攻关，研发高效清洁采矿船、高效环保采集系统、高效输送系统等，实现生产全链条智能调度、全系统自主协同作业、自动危险状态预警、主动避险智能控制，实现生产工艺过程无工作介质排放或泄漏、废水废渣回填排放、无装备遗弃、低噪声污染等全过程清洁生产。同时，研发深海采矿环境影响的监测、评估和环境修复新技术。

（二）合理布局深海矿产资源产业链

深海矿产资源开发是一项庞大而复杂的系统工程，投资大、风险高、周期长，需要跨部门、跨行业密切合作。产业链涉及海洋装备制造、海上开采运营、海洋运输、海洋环境、金属冶炼加工、金融服务等多个产业部门。

我国深海矿产资源开发产业链布局应坚持“全国一盘棋”。新中国成立 75 年来，中国工业面貌发生了翻天覆地的变化，已经形成了独立完整的现代工业体系，拥有联合国产业分类中的全部工业门类。但深海矿产资源开发的特点决定了国内任何单独一家企业都难以实现产业链各环节的全部覆盖。深海矿产资源开发应发挥我国新型举国体制优势，在总体规划、全国一盘棋的基础上，实现优化组合、相互协作，各企业在产业链的某个或某几个环节发挥各自优势。如中国五矿、金

川集团、铜陵有色集团等中央或地方大型矿业集团，中船集团、招商局集团、中车集团等船舶和海洋装备领域的领军企业，中国海洋石油集团等海上生产运营商，以及国内涉海大学、研究院所等都有可能成为产业链各环节的有机组成部分。通过上下游企业相互协调与有机衔接，形成我国开发深海矿产资源的强大合力，在国际竞争中立于不败之地。

我国深海矿产资源开发产业链布局应坚持“全球视野”。在经济全球化的当下，全球产业链、价值链、供应链不断延伸拓展，生产要素全球流动。考虑到国际海底矿区距离我国大陆远、运输距离长、运输效率低的情况，我国应充分发挥南-南合作机制、中国-东南亚合作机制、中国-太平洋岛国合作机制的作用，加强国际合作，尤其是发挥相关企业在海外业已建立的矿物加工基地作用，就地、就近开展国际海底资源初步加工。这将有助于打破美国脱钩断链的贸易保护主义做法，增强中国与世界经济的相互依存，推动全球产业发展。

我国深海矿产资源开发产业链布局应坚持“合理区域布局”。随着深海矿产资源开发作为未来新兴产业的步伐不断加快，从海南、广东、福建、浙江到上海、江苏、山东等沿海地方政府都在积极谋划相关产业环节在地方落地。近年来，地方政府加大深海装备研发支持力度，期待成为未来深海装备研发和制造基地，积极谋划建立深海矿业储运基地，布局资源深加工产业中心。但深海矿产资源开发产业链地域上的布局必须符合中共中央国务院赋予地方区域未来发展整体布

局，符合国家区域空间规划，减缓能源供给压力，加快新质生产力的形成，保持社会和经济的可持续发展。

总之，我国深海矿产资源产业链布局必须依据各相关产业之间特定的技术经济逻辑和时空布局关系形成相互交错的链条式网状结构，实现经济、环境友好、安全、可靠的深海矿产商业开发,推动新质生产力的形成和发展。