

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2019032101

# 世界大洋金属矿产资源勘查开发现状及问题

王淑玲<sup>1,2</sup>, 白凤龙<sup>3</sup>, 黄文星<sup>4</sup>, 孙张涛<sup>1,2</sup>

1. 中国地质图书馆, 北京 100083

2. 中国地质调查局地学文献中心, 北京 100083

3. 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 青岛 266071

4. 中国地质调查局广州海洋地质调查局, 广州 510075

**摘要:** 世界大洋底蕴藏着丰富的金属矿产资源, 其所含的锰、钴、镍、稀土等矿产是陆地含量的数十倍乃至数百倍或更高, 因此是未来矿产资源的接替区。本文介绍了世界大洋多金属结核、富钴结壳、多金属硫化物及深海稀土等资源现状、分布及潜力, 分析总结了 21 世纪以来国际海底区金属矿产勘查合同现状, 并介绍了俄罗斯、巴布亚新几内亚、日本、中国等国家在其专属经济区内进行多金属结核、多金属硫化物开采实验的情况。由于世界大洋金属矿产资源丰富, 潜力巨大, 其勘查开发日益受到世界各国的重视, 国际海底勘探合同不断增加, 商业开发提上日程, 但国际海底区的金属矿产资源开发仍面临技术、规章、环境等方面的制约和挑战。

**关键词:** 国际海底; 多金属结核; 富钴结壳; 多金属硫化物; 深海稀土; 勘查开发

中图分类号: P744

文献标识码: A

## Current status and problems of exploration and development of world ocean metal mineral resources

WANG Shuling<sup>1,2</sup>, BAI Fenglong<sup>3</sup>, HUANG Wenxing<sup>4</sup>, SUN Zhangtao<sup>1,2</sup>

1. National Geological Library of China, Beijing 100083, China

2. Geosciences Documentation Center of China Geological Survey, Beijing 100083, China

3. Qingdao Institute of Marine Geology, China Geological Survey, Qingdao 266071, China

4. Guangzhou Marine Geological Survey, China Geological Survey, Guangzhou 510075, China

**Abstract:** The world seabed holds abundant metal mineral resources. The minerals on the seafloor such as cobalt, nickel, rare earth, and other minerals, are tens or even hundreds of times higher than those on land. Therefore, they are considered the ideally alternatives for future mineral explorations. This paper introduces the current status, distribution and potential of these resources in the world's ocean, including polymetallic nodules, Cobalt-rich crusts, polymetallic sulfides and deep-sea REEs. This review analyzes and summarizes the cases of metal mineral exploration contracts in the international subsea area since the 21st century, and discusses the advances in the mining tests of polymetallic nodules and polymetallic sulfides in the Exclusive Economic Zones of Russia, Papua New Guinea, Japan, China and other countries. Considering that the world's ocean metal mineral resources are abundant and have great potential, their exploration and mining are increasingly emphasized by governments all around the world. International seabed exploration contracts have been continuously increased, and commercial exploitation has been put on the agenda, but the mining of metal mineral resources in the international seabed areas still faces many constraints and challenges in terms of technology, regulations and environmental protection.

**Key words:** international seabed; polymetallic nodules; Cobalt-rich crusts; polymetallic sulfides; deep-sea rare earths; exploration and development

世界大洋底不但蕴藏着丰富的石油、天然气、天然气水合物等能源矿产, 还蕴藏着富含镍、钴、铜、锰、金、银、稀有金属和稀土等重要的战略金属矿产的多金属结核、富钴结壳、多金属硫化物、深

海稀土泥等固体矿产资源。随着世界经济的发展, 陆地矿产资源消耗速度加快, 海洋矿产资源勘查开发日益受到世界各国的重视。伴随技术进步, 以及地缘政治等因素, 21 世纪以来海洋矿产资源的勘查

资助项目: 中国地质调查项目“国际地质调查动态分析与跟踪”(DD20190414)

作者简介: 王淑玲(1964—), 女, 博士, 研究员, 长期从事国土资源可持续发展及战略研究, 现从事国外地质矿产、非常规能源及海洋地质调查等地学情报研究工作, E-mail: wangshuling@cgl.org.cn

收稿日期: 2019-03-21; 改回日期: 2020-03-10. 蔡秋蓉编辑

开发已经成为世界矿产资源调查开发的新热点。

## 1 世界大洋金属矿产资源资源丰富、类型众多、潜力巨大

从工业价值和科学研究着眼,人们目前普遍关注的大洋金属矿产资源主要有4大类:一是遍布各大洋洋底的多金属结核或称铁锰结核;二是固着在洋底海山坚硬岩石表面的富钴结壳;三是与洋底火山口有关的多金属硫化物;四是2011年发现的新类型:深海稀土。

### 1.1 多金属结核资源

多金属结核,或称铁锰结核,是由铁的氢氧化物和锰的氧化物组成的结核状矿物集合体。波纹状、条带状、钟状的多金属结核矿田,一般由一系列结核构成,结核产于底积物表面,有一半或一半以上没入浅表层沉积物中<sup>[1]</sup>,见有全部或部分埋藏的多金属结核层。结核为具有中心核部的同心带状结构。结核形态和大小多变,通常为1~12 cm,多产在水深4 000~6 500 m的深海底的浅表层沉积物中<sup>[2]</sup>(图1)。分布丰度为5~20 kg/m<sup>2</sup>或更多<sup>[1]</sup>。多金属结核的成分非常稳定。锰、镍、铜、钴是主要有用组分,钼、钒、铂族金属、铋、稀土是伴生组分<sup>[3]</sup>。

多金属结核中经济意义最大的金属是镍和钴,其次是铜和锰。最著名的富含镍和铜的多金属结

核区位于东赤道太平洋的克拉里昂—克里帕顿断裂带(CCZ),海底的结核密度可达75 kg/m<sup>2</sup>(湿重)<sup>[4-5]</sup>。据估算,结核总量达210亿t,含有2.8亿t镍(是陆地镍总储量的3.5倍)、2.2亿t铜、4 000万t钴(是陆地钴总储量的5.5倍)。克拉里昂—克里帕顿带面积与欧洲的陆地面积大致相当,但它只是多金属结核有远景的海底区域的一小部分。整个有多金属结核远景海底面积超过5 100万km<sup>2</sup>,比亚洲陆地面积还要大<sup>[5]</sup>。

多金属结核在南美的秘鲁盆地和中印度洋盆地也有重要产出。在紧靠南太平洋科克群岛的彭林盆地是最有远景的富钴多金属结核区(图1)<sup>[2]</sup>。

### 1.2 富钴结壳资源

富钴结壳是富含金属的一种层状沉积物,它是通过水合氧化锰或水合氧化铁胶体沉积到大洋深部任何固结的底质上形成的,通常出现在水深400~7 000 m的海岭、海山(海下活火山和死火山)和海台等无沉积物的地区<sup>[4-5]</sup>,往往形成于基岩(玄武岩、灰岩、硅质产物、细粒岩)出露的海底地段。富钴结壳的壳层厚度从薄膜到25 cm<sup>[6]</sup>,以多层盖层的形式覆盖在坚硬的基岩露头上。海山是形成富钴结壳矿产最有利的环境。根据卫星得到的重力资料预测,全球有几千座海山(图1)。最大的海山群出现在中太平洋,这里平顶海山平均表面积约为11 000 km<sup>2</sup>,相当于牙买加的陆地面积,是富钴结壳最多的海区<sup>[7]</sup>。

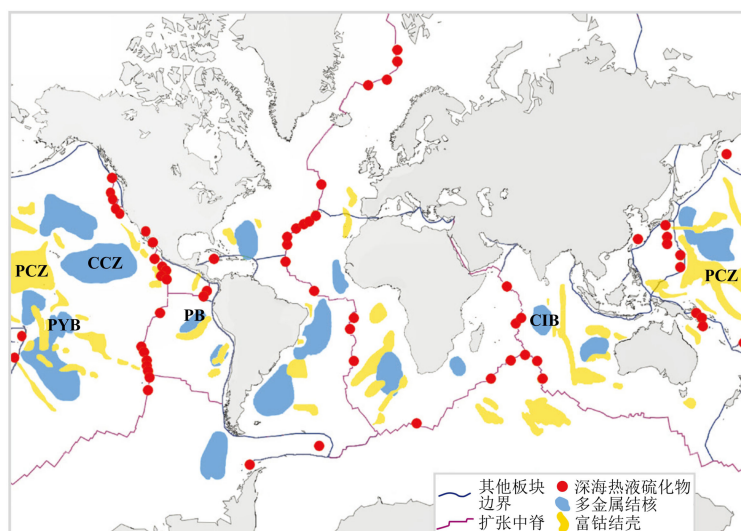


图1 全球大洋多金属结核、富钴结壳、多金属硫化物分布<sup>[2]</sup>

CCZ-克拉里昂-克里帕顿断裂带, CIB-中印度洋盆地, PB-秘鲁盆地, PCZ-原生结壳带, PYB-彭林盆地。

Fig.1 Global distribution of the three primary classes of metal-rich deep-ocean mineral deposits: polymetallic nodules, Cobalt-rich crusts, polymetallic sulfides<sup>[2]</sup>

富钴结壳分布丰度为 70~80 kg/m<sup>2</sup> 或更多。锰、钴、镍、铜是主要有用组分, 钼、铂族金属、稀土(首先是铈)、铋、钽、碲为伴生组分<sup>[1]</sup>。钴是富钴结壳中最有经济意义的金属元素, 含量最高可达到 2%(重量), 在“原生结壳带”(PCZ)的富钴结壳的平均含量为 0.66%(重量), 据估算仅该带钴的总资源量就达 5 000 万 t<sup>[8]</sup>(图 2)。相比较, 陆地上钴的总储量才 710 万 t<sup>[9]</sup>, “中非钴带”的钴矿床的钴含量, 通常也就 0.1%~0.5%(重量)<sup>[10]</sup>。“原生结壳带”的富钴结壳还富含碲, 最高含量可达 200×10<sup>-6</sup>。据估算该带的富钴结壳含碲 45 万 t。相当于陆地上碲的总储量 3.1 万 t 的 15 倍<sup>[9]</sup>。

### 1.3 多金属硫化物(也称海底块状硫化物)资源

多金属硫化物与洋底的火山有关, 广泛出现在洋底年轻的火山活动区。形成于世界大洋的大洋中脊轴部带, 或者形成于沿大洋边缘的过渡带, 即转换断层的弧后构造: 裂谷、内海盆地边缘、破火山口, 多金属硫化物产出水深在 800~900 m 至 4 200 m 之间<sup>[1]</sup>。主要有用组分为铜、锌、金和银, 有时还有铅, 伴生组分为硒、碲、砷、铟。与多金属结核及富钴结壳不同的是, 多金属硫化物是三维地

质产物, 产于海底玄武岩中, 或者已产生强烈蚀变的构造成因的基性—超基性岩体中。矿体可能向深部持续延伸数十米<sup>[1]</sup>。

迄今为止在全球大洋已发现了大约 380 个硫化物点或高湿热液喷口(图 1、图 3), 其中 3/4 的热液还在活动, 只有 1/4 是不活动的<sup>[11]</sup>。据估算, 全球洋底大约有 1 300 多个热液喷口, 尚有 1 000 余个还有待发现<sup>[12]</sup>。

不同构造环境下形成的多金属硫化物的金属含量变化很大(表 1)<sup>[11]</sup>。从表 1 中可以看出, 无沉积物的大洋中脊和含超基性岩的大洋中脊, 以及洋内后弧、过渡后弧和火山弧环境下的海底块状硫化物铜和锌的含量很高。某些海底块状硫化物, 特别是洋内后弧和火山弧及含超基岩的大洋中脊系统中的海底块状硫化物富含金和银。有些产地镓、锗、碲、硒、铟等稀有元素的含量很高。

对多金属硫化物全球资源潜力的评价不同学者的看法不一。Cathles 指出<sup>[13]</sup>, 洋底是一个巨大的火山多金属硫化物分布区, 所含的金属资源是陆地上已知的火山多金属硫化物总储量的 600 倍<sup>[11]</sup>。而 Hannington 等<sup>[14]</sup>则认为, 在大洋扩张中心狭窄的新火山带, 硫化物的数量估计只有 6 亿 t<sup>[11]</sup>。二者差

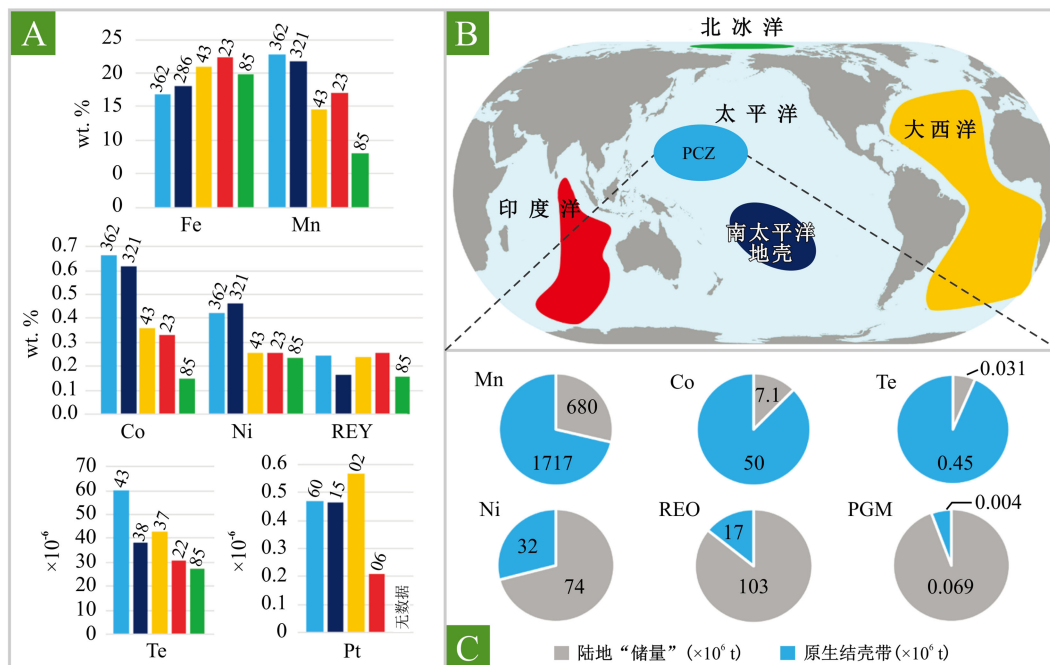


图 2 富钴结壳的金属品位、全球资源分布和估算的金属吨位以及陆地上的储量<sup>[11]</sup>

(A) 各个大洋富钴结壳的金属平均品位(柱子的颜色参见 B 中的大洋颜色), 每个彩色柱上面的数字表示平均品位依据的样品数。除了北冰洋外, 稀土元素和钷(REY)都未标出样品数, 因为其各个元素分析的样品数是不同的; (B) 至今查明的最广泛的富钴结壳矿床的大致分布。PCZ 为“原生结壳带”; (C) 在 PCZ 地区估算的富钴结壳的金属吨位。为了比较, 列出了陆地上的总储量。PGM 为铂族金属, REO 为稀土氧化物。

Fig.2 Metal grade, global resource distribution and estimated metal tonnages for Cobalt-rich crusts and land-based reserves<sup>[11]</sup>

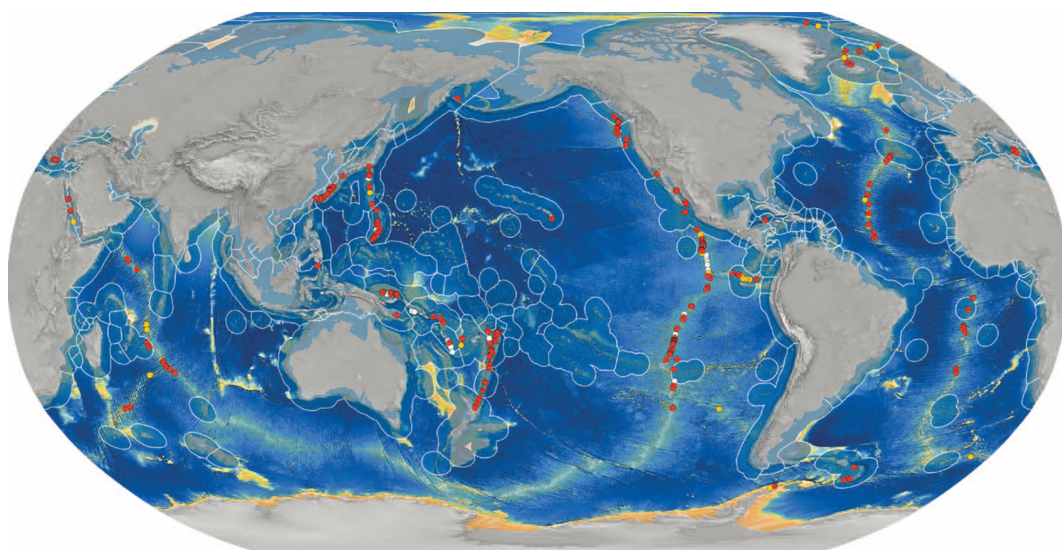


图 3 活动的 (红色) 和不活动的 (黄色) 海底块状硫化物点的全球分布<sup>[11]</sup>  
白色圆点表示该点没有详细的活动信息 (N=378), 封闭区域为专属经济区。

Fig.3 Global distribution of active (red) and inactive (yellow) seafloor massive sulfide sites<sup>[11]</sup>

Sites where no detailed information on activity is given by white dots (N = 378). Exclusive economic zones are indicated as enclosed areas.

表 1 不同构造环境中多金属块状硫化物的金属平均含量

Table 1 The mean metal content of seafloor massive sulfide occurrences with respect to their tectonic settings

构造环境	有化学分析数据的矿床数	铜/%	锌/%	铅/%	铁/%	金/ $10^{-6}$	银/ $10^{-6}$
无沉积物的大洋中脊	60	4.2	8.2	0.2	26.0	1.2	92
含超基性岩的大洋中脊	12	13.2	7.1	<0.1	24.7	6.6	66
有沉积物的大洋中脊	4	0.9	3.1	0.4	32.2	0.4	65
洋内弧	36	2.6	17.3	0.7	14.9	4.2	188
过渡弧	13	6.6	17.4	1.5	8.8	12.9	321
陆内弧	6	2.7	14.0	8.0	5.8	3.5	2 091
火山弧	17	3.9	8.9	1.8	11.0	10.0	204

别如此之大,说明对多金属硫化物矿床的规模、构造、分布、成分及保存状况认识得还很不够。多金属硫化物的资源潜力迄今依然是不明确的,需要更好地认识洋底热液活动和不活动系统的分布和产出,改进全球资源量的估算。

#### 1.4 深海稀土资源

2011年6月,以日本东京大学加藤泰浩教授为首的研究小组,对过去在太平洋海域实施的国际“深海钻探计划”的78个站位2000多个沉积物岩心样品进行分析,发现在太平洋4000m深的深海底广泛分布着含有高浓度稀土元素的稀土泥<sup>[15-16]</sup>,主要分布在东南太平洋和中北太平洋(图4)<sup>[17]</sup>。其中,东南太平洋深海泥中富钇稀土含量为 $880\sim 1\,628\times 10^{-6}$ ,平均 $1\,054\times 10^{-6}$ ,中北太平洋深海泥中富

钇稀土含量 $451\sim 1\,002\times 10^{-6}$ ,平均 $625\times 10^{-6}$ 。据估算,太平洋深海稀土资源总量为目前陆上稀土资源总量的800倍<sup>[15-19]</sup>。

2013—2015年,日本在其专属经济区以南鸟礁为中心面积为43万 $\text{km}^2$ 的海底进行了深海稀土调查。利用活塞取样器共采集了70个样品。在南鸟礁拓洋第5海山的东部海域,发现了含稀土海底沉积物(稀土沉积物)的高品位分布区。其稀土品位(50cm区间的平均品位)最高可达 $5\,366\times 10^{-6}$ ,平均品位 $1\,221\times 10^{-6}$ 。根据样品分析及声学数据解释结果,按现阶段估算的稀土远景资源量约为77万t(稀土氧化物总量,湿重)<sup>[20-21]</sup>。开展了采泥、扬泥试验,进行了可采经济性评价,并提出了冶炼方案。稀土赋存于水深为5000~6000m的深海沉积物中,80%的稀土富集在沉积物中的粗粒磷灰石中。富集区



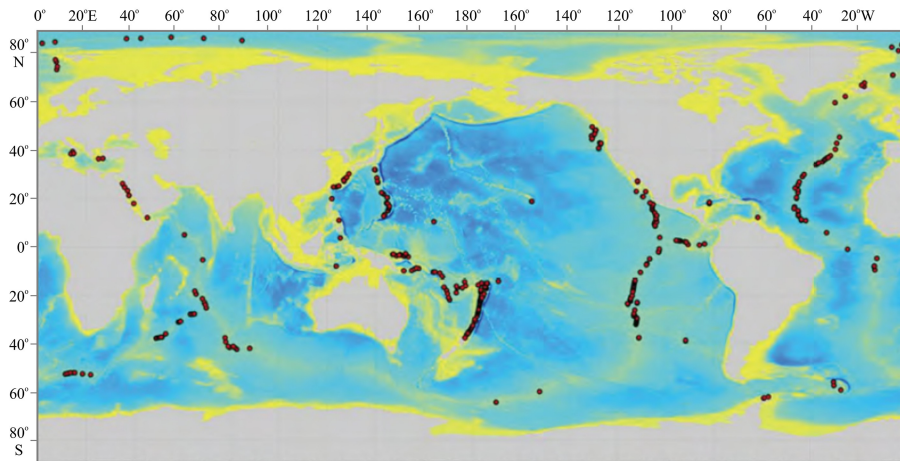


图4 深海沉积物稀土矿点在国际海底的分布<sup>[19]</sup>

Fig.4 Distribution of rare earth deposits in deep sea sediments on the international seabed<sup>[19]</sup>

中重稀土含量为45.8%，且重稀土中钕占65.2%。采泥试验表明稀土沉积物具有黏土含量高、黏度大的特征。经济性评价表明，稀土价格要维持在历史最高价(2011年年均最高价)20年才具经济性<sup>[20]</sup>。

## 2 全球大洋金属矿产资源勘查兴趣不断增加, 开发提上日程

### 2.1 国际海底区勘查合同不断增加, 勘查类型增多

国际海洋法公约授权联合国国际海底管理局管理国际海域的海底矿产, 发放矿产勘探和开采合同。截至2018年3月, 国际海底管理局已经签订和发放了29个在国际海底的矿产勘探合同<sup>[22-24]</sup>, 涉及20个国家(图5)。从2001年勘查开始以来, 年度合同数量以年均约8.7%的速度递增。勘探区面积从2001年的52.5万km<sup>2</sup>, 增加到2019年的132.4万km<sup>2</sup>以上。尤其是2011年以来, 勘探合同和勘探国家迅速增长。合同数年均递增16.4%, 勘探区面积年均增速为10.1%。前10年均为多金属结核合同。从2011年开始签订多金属硫化物勘探合同。从2014年开始签订富钴结壳合同<sup>[25-30]</sup>。

在诸种合同中, 以多金属结核的勘探合同最多, 为17个, 最大面积达7.5万km<sup>2</sup>, 合计勘探面积123.902万km<sup>2</sup>, 占批准总勘探面积的93.6%。东北太平洋面积约700万km<sup>2</sup>的克拉里昂—克里帕顿区是多金属结核最有远景和最接近开发的地区。截至2018年3月已有德国、中国、日本、韩国、法国、俄罗斯、英国、比利时等18个《联合国海洋法》缔约国与国际海底管理局签订了17份克拉里昂—克里帕顿地区多金属结核勘探合同(图6)<sup>[31]</sup>。印度在

印度洋与国际海底管理局签订了1份多金属结核勘探合同。

多金属硫化物也是重点勘探对象。2011—2018年, 中国、俄罗斯、韩国、法国、德国和印度7国, 一共签订了7份多金属硫化物的勘探合同。其中大西洋中部3份, 印度洋中部4份, 它们都位于缓慢到中速扩张的大洋中脊上, 每个勘探区面积1万km<sup>2</sup><sup>[23, 30]</sup>。

富钴结壳的勘探合同数量较少。2014—2018年间, 总计只有5份。日本、中国、俄罗斯、巴西和韩国5国各1份。每个勘探区面积3000km<sup>2</sup><sup>[23, 30]</sup>。

### 2.2 大洋金属矿产开发已提上日程

尽管目前还没有一个大洋金属矿产的开发合同, 但是一些国家正在积极做开发前的准备, 包括开采和金属提取的技术研发和环境影响评估, 则是不争的事实<sup>[31]</sup>。

目前, 开发的前期准备工作多在沿海国家和岛国的专属经济区内进行, 因为在这里实施开发项目, 不需要什么协定, 也无须履行面对国际海底机构的义务。

(1)多金属结核。1999—2008年, 俄罗斯就在波罗的海芬兰湾的俄罗斯海域对多金属结核进行了普查评价工作。并于2000年进行了首次大吨位多金属结核的提升实验, 2004年开始研制多金属结核开采工艺。并对开采和提升作业对生态环境的影响进行了评估。对所获得的多金属结核在化学试验厂和铁合金厂进行了加工处理和金属提取试验<sup>[32]</sup>。

根据普查评价工作及25000多个海洋台站调查资料处理和分析结果, 按照国家储量委员会的规定, 俄罗斯已将库尔加利、科波尔、维赫列夫和朗

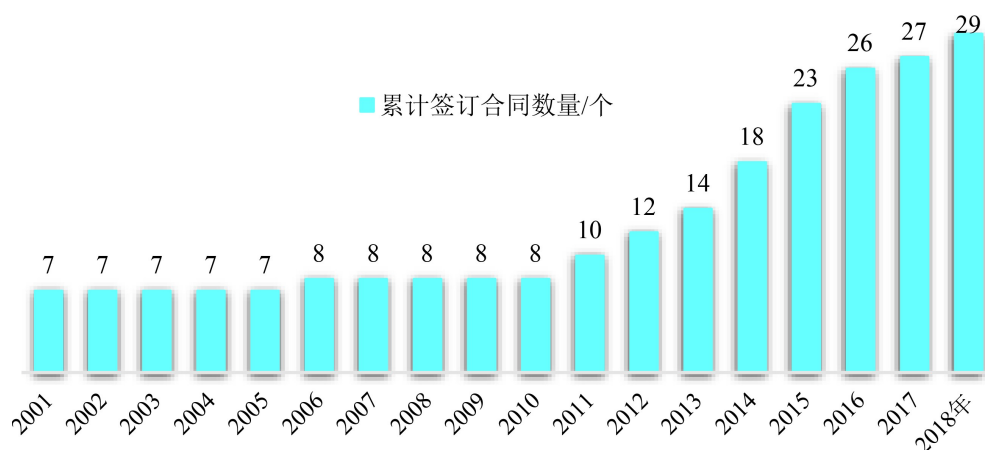


图 5 2001—2018 年国际海底管理局批准的 29 个国际海底的矿产勘探合同<sup>[23]</sup>

Fig.5 29 International Seabed Mineral Exploration Contracts approved by the International Seabed Authority from 2001 to 2018<sup>[23]</sup>



图 6 东北赤道太平洋克拉里昂—克里帕顿断裂带勘探合同<sup>[31]</sup>

每个颜色方块代表各个缔约国目前在进行多金属结核勘探的地区。括号中表示的是相关发起的国家。

带有白色斜线的方框表示有特殊环境意义的地区。

Fig.6 Exploration contracts of the Clarion–Clipperton Fracture Zone in the northeast Equatorial Pacific Ocean<sup>[31]</sup>

多等 4 个矿床的多金属结核储量列入了评价储量 (表 2)<sup>[32]</sup>。

2016 年 6 月, 中国在南海进行了首次深海多金属结核和富钴结壳采掘与输运关键技术及装备深海扬矿泵管系统海上试验。海试管道布放水深 304 m,

管道总长 638 m, 输送矿浆体积流量 500 m<sup>3</sup>/h, 结核输送量 50 t/h, 一举突破了我国深海采矿系统研究多年来尚未解决的关键技术<sup>[33]</sup>。

2018 年 5 月 1 日—6 月 18 日, 我国首次自主研发完成了 500 m 级水深海多金属结核集矿系统试

表2 芬兰湾海域大陆架多金属结核矿床的矿山—地质特征  
Table 2 Mining-geological characteristics of polymetallic nodule deposits on the continental shelf of the Gulf of Finland

矿床名称	维赫列夫	科波尔	库尔加利	朗多
2009年前的状态	“Петрогранс”股份有限公司采矿用地			未发证后备资源
地质研究程度	做过评价			
储量级别	C <sub>2</sub>	C <sub>1</sub> +C <sub>2</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>1</sub> +C <sub>2</sub>
湿多金属结核储量(万t)	51.87	19.18	194.88	189.24
锰储量(t)	43 830	12 083	159 802	147 607
在采矿区面积(km <sup>2</sup> )	50.2	30.6	41.3	—
湿多金属结核产出密度(kg/m <sup>2</sup> )	24.94	24.9	63.1	32.08
锰的平均含量(%)	16.89	12.59	16.41	15.64
平均深度(m)	25.2	25.0	56.8	35.8

验。海试中,“鲲龙500”海底集矿车共下水11次,其中70 m浅海试验下水6次,500 m海试下水5次,海试中最大作业水深514 m,多金属结核采集能力10 t/h,单次行驶最长距离2 881 m,水下定位精度达0.72 m,实现了自主行驶模式下按预定路径进行海底采集作业的能力<sup>[34]</sup>。

(2)富钴结壳。美国在夏威夷群岛和约翰逊群岛(在EIS项目框架内)开始开采富钴结壳,计划在20年内每年开采100万t富钴结壳<sup>[32,35]</sup>。

(3)多金属硫化物。鸚鵡螺矿业公司的Solwara1多金属硫化物项目位于巴布亚新几内亚俾斯麦海,距海岸约50 km,水深1 600 m。经过全面钻探,取得250万t储量,铜品位8%左右、金约0.6 g/t。已经获得了环境许可证,并签订了海底采矿租约,成为第一个计划进行商业性开采的深海矿山<sup>[2,36-38]</sup>。

据Mining.com网站报道,近10年来,鸚鵡螺矿业公司虽然全力推进巴布亚新几内亚Solwara1铜金银矿项目开发,曾被认为是首个海底多金属矿山。但因遭遇到无数次社区反对,最终面临法律诉讼,公众向政府投诉,加之环境担忧以及去年公司唯一的生产支撑船丢失,使投资者失去信心,2019年3月,鸚鵡螺矿业公司从多伦多股票交易所退市<sup>[39]</sup>。

但从长远看,更多海底项目将涌现,国际海底管理局将允许在公海开采矿产。

2017年8月中旬至9月下旬,日本石油天然气金属矿物资源机构(JOGMEC)在冲绳近海对海底约1 600 m深处的多金属热液硫化物矿床进行了开采实验(图7),共采出16.4 t矿石,日本经济产业省

称,在冲绳近海的专属经济区内,过去3年内发现了6处矿床,今后继续发现新矿床的可能性很高,如果能发现足够的蕴藏量,日本有可能摆脱目前矿物依赖进口的现状而成为资源生产国。日本经济产业省计划力争在2020年前后实现商用化开采<sup>[40]</sup>。

(4)深海稀土。2013—2015年,日本石油天然气金属矿物资源开发机构(JOGMEC)在其专属经济区南鸟礁周边海域进行稀土资源评价的同时,还进行了可采性经济评价,测算结果表明,在资源具有充分保障的基础上,只有稀土价格保持在2011年前的历史最高价长达20年,才具备经济上的可采性。并提出了初步开采方案<sup>[20]</sup>。

尽管上述几个实例都是在沿岸国家管辖权范围之内,但是不难看出,大洋金属矿产的开发已经提上了议事日程。

### 3 世界大洋金属矿产资源开发面临技术挑战与环境问题

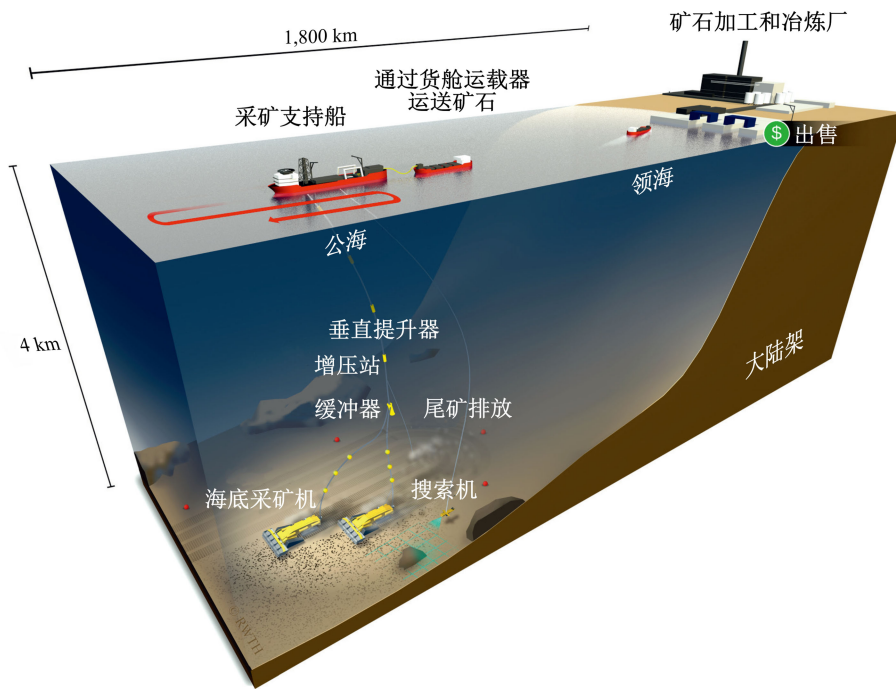
#### 3.1 技术挑战

海洋地质调查和矿产勘查与陆地上的有很大的不同,其难度比陆地上大得多。目前深海地质调查和矿产勘查已有一系列比较成熟的技术,包括船载带状扫描声呐测深系统、地球物理调查装备、携带系列传感器、遥控水下潜水器(ROV)和水下自动机器人(AUV)等(图8)。当务之急是研发新的设备和技术方法,以查明海底地质构造和可靠地评价矿产资源,尤其是海底高分辨率地质填图、精确资源评价的海底钻探等先进方法的开发应用<sup>[41]</sup>。







图9 深海多金属结核采矿系统设想<sup>[44]</sup>Fig.9 Concept for a deep-ocean ferromanganese nodule mining operation<sup>[44]</sup>表3 《联合国海洋法公约》中与深海采矿环境问题有关的一些条款<sup>[31]</sup>Table 3 Some articles of the United Nations Convention on the Law of the Sea related to environmental issues in deep sea mining<sup>[31]</sup>

·第XI部分(条款145):防止/减少/控制污染和其他灾害,以及对海洋生态环境平衡的干扰;保护和维持海区自然资源及防止损害海洋环境中的动植物。

·第XI部分(条款147(1)和(3)):矿产活动时要合理关注海区和海洋环境中的其他活动,反之亦然。

·附件III条款17——宣告国际海底管理局必须管理海洋环境:(1)、(b)(xii)和2(f)

·附件III条款14(2):海洋环境资料无专有权

·协议履行:序言;款1(g)、(h)、(i)、(k)

第XII部分(海洋环境保护和维护):

·条款192:“国家有责任保护和维持海洋环境”

·条款194(5):需要为保护和维持稀少和脆弱的生态系统及枯竭、受威胁和受损害的物种和其他海洋生命采取措施

·条款204和206:需要对环境影响进行评价和监测

·条款209:尤其对海区要有海洋环境保护要求;包括为首国家

·条款215:海区海洋环境保护规章的实施(参见第XI部分条款153(5))

第XIII部分(海洋科学调查):

·条款240(d):海洋科学调查服从于第XII部分(海洋环境保护)规则(参见条款87(1)):公海自由权,包括海洋科学调查;它们进行是不受限制的;必须履行所有“公海”自由权,海区活动应予关注(条款87(2))

·条款256:国际海底管理局、缔约国和其他有能力的国际组织都可参与海区海洋科学调查(参见条款87(2)和第XI部分条款143)

·条款242和243:鼓励国际海底管理局、缔约国和承包商在海洋科学调查上全面开展国际合作,尤其是在海洋环境及相关调查上(参见条款143海区的海洋科学调查)。这对开发和完成“渐增的”环境影响管理系统是必不可少的

产勘探和开采合同的特权。所有的国家都必须遵守《联合国海洋法公约》和国际海底管理局的规章。根据海洋法公约条款287(1)(a),设立了海洋法国际法庭。国际海底管理局面临一个最大的规章挑战,就是建立一个切实可行的、为公众所接受的矿

产开发规章框架,这个规章框架要体现出,国家管辖权之外的深海矿产是人类共同遗产,不应为少数技术发达国家所垄断,而应为所有国家(包括内陆国家和极不发达国家)共同分享。如何应对此类挑战,可能比应对技术挑战和环境挑战更为困难<sup>[44]</sup>。

**致谢:** 感谢自然资源部信息中心项仁杰研究员,中国地质调查局青岛海洋地质研究所何起祥研究员、许东禹研究员、黄威高工提出宝贵意见!

### 参考文献 (References)

- [1] Андреев С И, Аникеева Л И, Казакова В Е. Минерально-сырьевые ресурсы мирового океана и перспективы их освоения// Минеральные ресурсы России [Z]. Экономика и управление, 2011, (6): 7-18.
- [2] Lusty P A J, Murton B J. Deep-ocean mineral deposits: metal resources and windows into earth processes [J]. *Elements*, 2018, 14 (5): 301-306.
- [3] Минералого-геохимические методы изучения железомарганцевых руд Мирового океана / Тр. Совещания " Совершенствование минералого-геохимических методов изучения и подготовки к освоению железомарганцевых руд Мирового океана ". 2009: 1-321.
- [4] Hein J R, Koschinsky A. Deep-ocean ferromanganese crusts and nodules[M]//Holland D, Turekian KK. Treatise on Geochemistry. 2nd ed. Oxford: Elsevier, 2014, 13: 273-291.
- [5] Petersen S, Krättschell A, Augustin N, et al. News from the seabed – geological characteristics and resource potential of deep-sea mineral resources [J]. *Marine Policy*, 2016, 70: 175-187.
- [6] Hein J R. Cobalt-rich ferromanganese crusts in the Pacific[M]//Cronan DS. Handbook of Marine Mineral Deposits. Florida: CRC Press, 2000: 239-279.
- [7] Hein J R, Conrad T A, Dunham R E. Seamount characteristics and mine-site model applied to exploration- and mining-lease-block selection for cobalt-rich ferromanganese crusts [J]. *Marine Georesources & Geotechnology*, 2009, 27 (2): 160-176.
- [8] Lusty P A J, Hein J R, Josso P. Formation and occurrence of ferromanganese crusts: earth's storehouse for critical metals [J]. *Elements*, 2018, 14 (5): 313-318.
- [9] U.S. Geological Survey. Mineral Commodity Summaries 2018[M]. Reston, Virginia: U.S. Geological Survey, 2018: 1-200.
- [10] Cailteux J L H, Kampunzu A B, Lerouge C, et al. Genesis of sediment-hosted stratiform copper-cobalt deposits, central African Copperbelt [J]. *Journal of African Earth Sciences*, 2005, 42 (1-5): 134-158.
- [11] Petersen S, Lehrmann B, Murton B J. Modern seafloor hydrothermal systems: new perspectives on ancient ore-forming processes [J]. *Elements*, 2018, 14 (5): 307-312.
- [12] Beaulieu S E, Baker E T, German C R. Where are the undiscovered hydrothermal vents on oceanic spreading ridges? [J]. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2015, 121: 202-212.
- [13] Cathles L M. What processes at mid-ocean ridges tell us about volcanogenic massive sulfide deposits [J]. *Mineralium Deposita*, 2011, 46 (5-6): 639-657.
- [14] Hannington M, Jamieson J, Monecke T, et al. The abundance of seafloor massive sulfide deposits [J]. *Geology*, 2011, 39 (12): 1155-1158.
- [15] 加藤泰浩. 太平洋で発見されたレアアース泥の特長と開発可能性 [J]. 建設の施工企画, 2012, 752: 59-64.
- [16] 方明山, 石学法, 肖仪武, 等. 太平洋深海沉积物中稀土矿物的分布特征研究 [J]. *矿冶*, 2016, 25 (5): 81-84. [FANG Mingshan, SHI Xuefa, XIAO Yiwu, et al. Research on distribution characteristics of rare Erath mineral of deep sea sediments in the pacific ocean [J]. *Mining & Metallurgy*, 2016, 25 (5): 81-84.]
- [17] 王汾连, 何高文, 姚会强, 等. 深海沉积物中的稀土矿产资源研究进展 [J]. 中国地质, 2017, 44 (3): 449-459. [WANG Fenlian, HE Gaowen, YAO Huiqiang, et al. The progress in the study of REE-rich deep-sea sediments [J]. *Geology in China*, 2017, 44 (3): 449-459.]
- [18] 张涛, 蒋成竹. 深海矿产资源潜力与全球治理探析 [J]. 中国矿业, 2017, 26 (11): 14-18. [ZHANG Tao, JIANG Chengzhu. Analysis of the potential of deep-sea mineral resources and global governance [J]. *China Mining Magazine*, 2017, 26 (11): 14-18.]
- [19] 刘永刚, 姚会强, 于淼, 等. 国际海底矿产资源勘查与研究进展 [J]. 海洋信息, 2017 (3): 10-16. [LIU Yonggang, YAO Huiqiang, YU Miao, et al. International exploration and research progress of seafloor mineral resources [J]. *Marine Information*, 2017 (3): 10-16.]
- [20] 経済産業省資源エネルギー庁, 独立行政法人石油天然ガス-金属鉱物資源機構. レアアース堆積物の資源ポテンシャル評価報告書 [R]. 平成28年7月6日, 1-57.
- [21] 王淑玲, 吴西顺, 孙张涛, 等. 日本对南鸟礁周边海域海洋稀土资源潜力的评价 [J]. 中国矿业, 2017, 26 (12): 28-35. [WANG Shuling, WU Xishun, SUN Zhangtao, et al. Potential assessment on ocean rare earth resources around Minamitorishima island [J]. *China Mining Magazine*, 2017, 26 (12): 28-35.]
- [22] 杨胜雄. 深海矿产资源勘探开发及其战略意义(学术报告)[R]. 广州: 中国地质调查局广州海洋地质调查局, 2018: 6. [YANG Shengxiong. Exploration and development of deep sea mineral resources and its strategic implications (academic report)[R]. Guangzhou: China Geological Survey Guangzhou Marine Geological Survey, 2018: 6.]
- [23] 杨胜雄, 何高文. 深海矿产资源勘探开发新阶段: 开发规章制度及勘探加速进展(学术报告)[R]. 广州: 中国地质调查局广州海洋地质调查局, 2018: 11. [YANG Shengxiong, HE Gaowen. New stage of exploration and development of deep sea mineral resources: Establishment of development regulations and acceleration of exploration (Academic Report)[R]. Guangzhou: China Geological Survey Guangzhou Marine Geological Survey, 2018: 11.]
- [24] 刘芳明, 刘大海. 国际海底区域的全球治理和中国参与策略 [J]. 海洋开发与管理, 2017, 34 (12): 56-60. [LIU Fangming, LIU Dahai. The global governance in international seabed area and strategies for China's participation [J]. *Ocean Development and Management*, 2017, 34 (12): 56-60.]
- [25] 邵明娟, 王淑玲, 张炜, 等. 国际海底区域内勘探合同现状 [J]. 中国矿业, 2016, 25 (S2): 54-57, 96. [SHAO Mingjuan, WANG Shuling, ZHANG Wei, et al. Status of exploration contract in the "area" [J]. *China Mining Magazine*, 2016, 25 (S2): 54-57, 96.]

- [26] 于淼, 邓希光, 姚会强, 等. 世界海底多金属结核调查与研究进展[J]. 中国地质, 2018, 45(1): 29-38. [YU Miao, DENG Xiguang, YAO Huiqiang, et al. The progress in the investigation and study of global deep-sea polymetallic nodules [J]. *Geology in China*, 2018, 45(1): 29-38.]
- [27] Cluster of Excellence the Future Ocean, Internationl Ocean Institute, mare. world oevan review 3 Living with the oceans. Marine Resources- Opportunities and Risks[R]. Maribus gGmbH, 2014: 1-161.
- [28] 张丹. 关于国际海底区域法律制度的研究——以保留区及平行开发制为中心[J]. 太平洋学报, 2014, 22(3): 11-18. [ZHANG Dan. Study on legal regime of the international seabed area——centered for reserved area and parallel system [J]. *Pacific Journal*, 2014, 22(3): 11-18.]
- [29] International Seabed Authority[EB/OL]. <https://www.isa.org.jm/>.
- [30] Глумов И Ф, Глумов А И, Казмин Ю В, et al. Минеральные ресурсы международного районаМОПСКОГО дна Мирового океана[J]. Разведка и охрана недр, 2016(10): 33-36.
- [31] Lodge M W, Verlaan P A. Deep-sea mining: international regulatory challenges and responses [J]. *Elements*, 2018, 14(5): 331-336.
- [32] 王淑玲, 项仁杰, 刘吉成, 等. 俄罗斯海洋地质调查现状与前景[M]. 北京: 地质出版社, 2018. [WANG Shuling, XIANG Renjie, LIU Jicheng, et al. Status and Prospects of Russian Marine Geological Survey[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2018.]
- [33] 中国深海采矿单体工程技术首次海试成功[EB/OL]. (2016-06-24). <http://news.cctv.com/2016/06/24/ARTIDtXBpPfpajpp4r4Kllyfh160624.shtml>. [China's first successful seatrial of single engineering technology for deep seaming [EB/OL]. (2016-06-24). <http://news.cctv.com/2016/06/24/ARTIDtXBpPfpajpp4r4Kllyfh160624.shtml>.]
- [34] 【新闻】鲲龙500! 我国自主研发500米级海底集矿车完成首次海试[EB/OL]. (2018-09-29). [http://www.sohu.com/a/257037059\\_99914671](http://www.sohu.com/a/257037059_99914671). [[News]! The first seatrial by China's self-developed 500-metersub seaming truck Kunlong 500[EB/OL]. (2018-09-29). [http://www.sohu.com/a/257037059\\_99914671](http://www.sohu.com/a/257037059_99914671).]
- [35] Рогов В С, Фролов В В, Никольская Н С, et al. Опыт добычи и промышленного использования железомарганцевых конкреций[J]. Горный Журнал, 2012, 3: 50-55.
- [36] AMC Consultants. Preliminary economic assessment of the solwara project Bismarck Sea, PNG for nautilus minerals Niugini Ltd[R]. Technical Report AMC Project 317045. AMC, 2018: 1-274.
- [37] 阳宁, 陈光国. 深海矿产资源开采技术的现状与发展趋势[J]. 凿岩机械气动工具, 2010(1): 12-18. [YANG Ning, CHEN Guangguo. Current situation and development trend of mining technology of deep sea mineral resources [J]. *Pneumatic Tools for Rock Drilling Machinery*, 2010(1): 12-18.]
- [38] 肖业祥, 杨凌波, 曹蕾, 等. 海洋矿产资源分布及深海扬矿研究进展[J]. 排灌机械工程学报, 2014, 32(4): 319-326. [XIAO Yexiang, YANG Lingbo, CAO Lei, et al. Distribution of marine mineral resource and advances of deep-sea lifting pump technology [J]. *Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering*, 2014, 32(4): 319-326.]
- [39] 首个海底采矿者鹦鹉螺公司折戟沉沙[EB/OL]. (2019-08-14). [http://geoglobal.mnr.gov.cn/zx/kcykf/kfjs/201908/t20190814\\_7218333.htm](http://geoglobal.mnr.gov.cn/zx/kcykf/kfjs/201908/t20190814_7218333.htm). [The world's first seafloor miner Nautilus Mineral sofficiall ysinks[EB/OL]. (2019-08-14). [http://geoglobal.mnr.gov.cn/zx/kcykf/kfjs/201908/t20190814\\_7218333.htm](http://geoglobal.mnr.gov.cn/zx/kcykf/kfjs/201908/t20190814_7218333.htm).]
- [40] 世界で初めて海底熱水鉱床の連続揚鉱に成功しました~沖縄近海で海底熱水鉱床の採鉱・揚鉱パイロット試験を実施~. [http://www.meti.go.jp/press/2017/09/20170926001/257037059\\_99914671](http://www.meti.go.jp/press/2017/09/20170926001/257037059_99914671).
- [41] Wynn R B, Huvenne V A I, Le Bas T P, et al. Autonomous Underwater Vehicles (AUVs): their past, present and future contributions to the advancement of marine geoscience [J]. *Marine Geology*, 2014, 352: 451-468.
- [42] Volkman S E, Lehnen F. Production key figures for planning the mining of manganese nodules [J]. *Marine Georesources & Geotechnology*, 2017, 36(3): 360-375.
- [43] Zubkov M V, Plucinski P K, Dartiguelongue A C Y, et al. Metal extraction from deep-ocean mineral deposits [J]. *Elements*, 2018, 14(5): 319-324.
- [44] Jones D O B, Amon D J, Chapman A S A. Mining deep-ocean mineral deposits: what are the ecological risks? [J]. *Elements*, 2018, 14(5): 325-330.
- [45] 深海采矿将成新前沿? 绿色和平警告: 会带来不可逆伤害[EB/OL]. (2019-07-03). <http://finance.sina.com.cn/roll/2019-07-03/doc-ihyterm1122946.shtml>. [Will deep seaming become the next frontier? Greenpeace warns of 'irreversibleharm'[EB/OL]. (2019-07-03). <http://finance.sina.com.cn/roll/2019-07-03/doc-ihyterm1122946.shtml>.]