

全球深水油气勘探开发进展与研究综述

王震 王思允

中国海油集团能源经济研究院, 北京 100013

摘要: 海洋油气勘探开发进入深水、超深水阶段,是全球油气资源供应的重要来源。从国际、国内两个层面,资源、技术、政策与企业行为多个维度,系统梳理相关研究成果,形成了全球深水油气勘探开发领域的综合认识。研究结果表明,深水油气盆地集中分布在被动大陆边缘,呈现“三竖两横”分布特征,资源潜力巨大;资源国政府、石油公司和油服公司等多类主体共同参与深水油气勘探开发的全流程多环节,政策体系、商业运作模式和技术装备能力日益成熟。研究认为,深水油气勘探开发面临重大机遇,政府部门和油气行业需高度重视,建议从政策支持、商业运作和技术发展多方面全向发力,积极应对。

关键词: 深水油气;勘探开发;政策;技术;合作模式;综述

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2024.06.001

Comprehensive review of advances and research in global deepwater exploration and development

WANG Zhen, WANG Siyun

CNOOC Energy Economics Institute, Beijing, 100013, China

Abstract: Offshore oil and gas exploration and development have progressed into the deepwater and ultra-deepwater phase, representing a crucial source of global hydrocarbon resources. This paper provides a systematic review of pertinent research findings at home and abroad, as well as across multiple dimensions including resources, technology, policy, and corporate behavior, to establish a comprehensive understanding of global deepwater oil and gas exploration and development. The findings indicate that deepwater oil and gas basins are predominantly located along passive continental margins, exhibiting significant resource potential. Governments of resource-rich countries, alongside oil companies and service providers, jointly participate in the exploration and development processes of deepwater oil and gas. The relevant policy frameworks, business operation models, and technical and equipment capabilities are becoming increasingly sophisticated and matured. The study indicates that deepwater oil and gas exploration and development are presented with substantial opportunities, warranting close attention from government agencies and the oil and gas industry. It is recommended that efforts be made from various perspectives, including policy support, business operations, and technological advancements, to proactively embrace these opportunities.

Keywords: Deepwater oil and gas; Exploration and development; Policy; Technology; Cooperation models; Review

收稿日期:2024-10-06

基金项目:教育部人文社会科学研究青年基金资助项目“规模与环境友好双导向下海洋油气开发激励机制设计与政策研究”(19YJCZH06)

作者简介:王震(1969-),男,甘肃会宁人,教授、博士生导师,博士,中国海油集团能源经济研究院院长,主要从事能源经济和绿色金融等领域研究工作。E-mail:wzhen@pku.org.cn

0 前言

1968年,墨西哥湾发现世界首个深水油气田——Mississippi Canyon Block 0311 气田^[1],开启了全球海洋油气勘探开发的深水阶段。随后20余年里,得益于层序地层学、深水沉积等理论的发展,以及三维地震采集技术、浮式生产储卸油装置的进步,墨西哥湾、北海伏令海峡、巴西坎波斯盆地等区域相继获得多个重大发现^[2]。2010年以来,巴西坎波斯盆地、东非鲁伍马和坦桑尼亚盆地、东地中海黎凡特盆地、中国南海的珠江口盆地和琼东南盆地等区域发现巨型海上油气田^[3],超深水油气储量规模持续上升,海洋油气勘探开发进入到超深水阶段。

随着海洋油气资源勘探开发程度逐渐提高,深水、超深水逐渐成为储量发现的主要增长极和全球油气资源供给的接替区^[4-5],也成为石油公司保持盈利的重点拓展方向^[6-7]。许多文献就深水油气的地质特征、勘探趋势、工程技术、装备制造、典型深水油气田开发模式等分支问题进行了广泛细致的分析研究,但缺乏总结性文献。为此,本文从国际、国内两个层面,资源、技术、政策与企业行为多个维度,系统梳理全球深水油气勘探开发领域的现状、演进趋势,以期形成深水油气勘探开发领域的综合认识,为中国深水油气开发利用、石油企业开展国际深水油气业务提出相关建议。

需要说明的是,国内有学者将水深超过300 m的海域定义为深水海域^[8]。为统一国内外研究口径,本文按照国际共识,将水深不小于500 m的海域定义为深水海域,将水深不小于1 500 m的海域定义为超深水海域。

1 深水油气资源分布及勘探开发情况

据美国地质调查局(United States Geological Survey, USGS)评估,2022年,全球深水、超深水油气资源可采储量 408.01×10^8 t油当量,全球深水油气产量提至 $1\,010 \times 10^4$ 桶油当量/d,占全球油气产量的6.4%^[9]。张功成等人^[10-11]研究指出,全球海洋深水巨型盆地呈现“三竖两横”分布特征。其中,大西洋陆源深水盆地、东非陆源深水盆地、西太平洋陆源深水盆地南北纵向分布;新特提斯构造域陆缘深水盆地与环北冰洋陆缘深水盆地东西横向分布^[12]。

1.1 大西洋陆缘深水盆地

大西洋陆缘深水盆地属于被动大陆边缘盆地,是重要的石油富集区^[13]。根据所处大西洋位置不同,进一步分为西部陆缘深水盆地和东部陆缘深水盆地。格陵兰东部陆架盆地、北美东海岸盆地、南美洲东海岸盆地、墨西哥湾盆地和巴西东部陆缘深水盆地群

是西部亚带的巨型油气盆地。挪威中部陆架深水盆地群、西非陆缘深水盆地群是东部亚带的巨型油气盆地。其中,墨西哥湾盆地、巴西东部陆缘深水盆地群以及西非陆缘深水盆地群被统称为全球深水油气勘探“金三角”。

墨西哥湾盆地深水区位于北美洲东南部,分布在墨西哥和美国之间,深水区面积约 90×10^4 km²^[14],石油可采储量约 47.7×10^8 m³^[12]。盆地以海相泥灰岩、钙质页岩为主力烃源岩,碳酸盐岩为主力储层,页岩为区域盖层,代表性深水油气新发现包括Julia油田、Mad Dog油田、Stones油田^[15]、Crazy Hourse油田^[16]、Kaskida油田^[17]等。张兴文等人^[18]指出,墨西哥湾盆地具备“高压驱动、高孔高渗聚集、高点赋存和高位封盖”的成藏模式,油气资源潜力巨大。

巴西东部陆缘深水盆地群位于南美洲东部,分布在巴西东部,面积约 55.97×10^4 km²^[19]。盆地群主要以湖相黑色页岩为主力烃源岩,浊积砂岩及深水浊积扇砂岩为主力储层,盐岩、泥页岩为盖层,总可采储量约 25.8×10^8 m³^[10],代表性深水油田包括Libra油田、Lula油田、Franco油田^[20]、Roncador油田、Marlim Sul油田、Marlim油田等^[21]。张金虎等人^[22]、Anjos S M C等人^[23]在研究中指出,该油气藏形成了以坎波斯盆地为代表的盐上浊积岩成藏模式和以桑托斯盆地为代表的盐下湖相碳酸盐岩成储成藏模式。

西非陆缘深水盆地群位于南大西洋东部,主要涉及尼日利亚、安哥拉、塞内加尔、加纳等国家,深水区面积约 200×10^4 km²^[12]。盆地群主要以湖相页岩为主力烃源岩,浊积砂岩为主力储层,盐岩、泥页岩为盖层。该盆地群总可采储量约 50×10^8 t油当量^[24],代表性盆地有尼日尔三角洲盆地、加蓬海岸盆地、下刚果盆地、宽扎盆地等,代表性深水油气田包括Kizomba油田^[25]、FAN气田^[26]、Dalia油田、Agbami油田和Lontra油气田等^[27]。李玮等人^[28]指出,尼日尔三角洲盆地、加蓬海岸盆地、下刚果盆地、宽扎盆地具备良好的烃源岩条件,发育盐下、盐间和盐上多套生储盖组合。

南美洲东北海岸盆地的圭亚那盆地是近年来深水油气勘探开发的热点领域,以页岩和泥灰岩为主要烃源岩,碳酸盐岩、砂岩为主力储层,页岩为盖层,代表性深水油田有Liza油田、Payara油田等^[22]。

1.2 东非陆缘深水盆地

东非陆缘深水盆地属于转换型大陆边缘盆地,是重要的天然气富集区^[12]。以莫桑比克海峡为界,东非陆缘深水盆地分为东、西两个亚带。其中,西部亚带沿东非陆缘分布,探明储量达 5×10^{12} m³^[10],天然气发现主要集中在鲁伍马盆地、坦桑尼亚盆地、索马里欧加登盆

地和莫桑比克盆地等;东部亚带有马任加盆地、穆伦达瓦盆地等巨型盆地^[29]。

鲁伍马盆地是东非被动陆缘重要的油气发现盆地,位于非洲东南部,横跨莫桑比克和坦桑尼亚,盆地面积约 $9 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。曹全斌等人^[30]指出,该盆地具备“延伸断裂运移、单向聚集”的成藏模式。2010年以来,先后有Mamba气田、Prosperidade气田、Golfinho气田、Coral气田等多个大型深水气田^[29],钻井成功率超过80%,成为全球深水油气勘探的焦点^[31]。该盆地天然气可采储量超 $3 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ^[32]。

坦桑尼亚盆地位于东非海岸中部,是坦桑尼亚东部海岸的重要地理单元,面积约 $18.6 \times 10^4 \text{ km}^2$,可采储量约 $0.9 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ^[33]。张光亚等人^[29]指出,坦桑尼亚盆地具备渐新统水道砂岩成藏组合,以大型走滑断裂为主要运移通道,形成“走滑断裂运移、双向聚集”成藏模式,但盆地海域盐底辟构造不太发育、三角洲沉积影响小,使得大型油气田的规模和数量相较于鲁伍马盆地少^[34]。

1.3 西太平洋陆缘深水盆地带

西太平洋陆缘深水盆地带属于俯冲型活动大陆边缘,主要涉及日本东部、夏威夷西部、关岛北部的海域,以及包括中国南海在内的广大陆缘深水区域。目前,该盆地带的深水油气发现主要集中在中国南海和东南亚深水区。

中国南海陆缘盆地群位于中国南海海域,盆地群面积约 $75 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[35]。盆地群主要以海陆过渡相泥页岩、海相泥页岩为主力烃源岩,海相浊积砂岩、潜山型花岗岩为主力储层,海相泥岩为盖层,代表性盆地有珠江口盆地、琼东南盆地、莺歌海盆地和北部湾盆地。该深水区累计发现陵水17-2、陵水25-1等大中型气田^[36],流花20-2、流花16-2、开平南等规模油田^[37],天然气三级地质储量达 $7 \times 10^{11} \text{ m}^3$,原油三级地质储量达 $1 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[38]。因烃源岩分布差异,呈现“外油内气”的环带状分布特征^[10]。生油为主的中深湖相或海相泥岩烃源岩分布在靠近陆地的近水区,以生气为主的海陆过渡相烃源岩及陆缘海相沉积分布在远岸陆坡或陆架区。米立军等人^[38]指出,中国南海陆缘盆地群因湖相、海陆过渡相和海相三套规模烃源岩和高一变地温,形成了琼东南盆地深水区大型轴向峡谷水道油气成藏模式、白云凹陷深水区深水扇天然气晚期成藏模式和深水区“断一脊”联控油气差异聚集成藏模式。

东南亚深水区油气资源丰富^[39],主要集中在库泰盆地、北苏门答腊盆地。库泰盆地位于印度尼西亚加里曼岛东部,面积约 $27 \times 10^4 \text{ km}^2$,深水区面积约 $6.7 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[40],已发现West Seno、Nubi、Sapi、Sisi等深水油气田,探明石油可采储量达 $6.8 \times 10^8 \text{ m}^3$,天然气可采储量约

$1.85 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ^[41]。北苏门答腊盆地位于印度尼西亚西部苏门答腊岛北部,面积约 $15.6 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[42]。祝厚勤等人^[43]指出,北苏门答腊盆地以海相泥页岩为烃源岩,以碳酸盐岩/生物礁构造为储层,油气藏条件良好,具有发现深水油气藏的潜力。该盆地已建成Andaman III PSC区块、南安达曼海域的唐库洛-1号勘探井和拉亚兰-1号井等典型天然气田。

1.4 新特提斯构造域陆缘深水盆地带

新特提斯构造域陆缘深水盆地带属于俯冲碰撞带,是深水天然气资源富集区。由于构造域多期演化控制,该盆地带深水盆地数量较多、类型复杂^[44-45],代表性盆地有澳大利亚西北陆架深水盆地、孟加拉湾深水区、地中海东部的尼罗河三角洲盆地和黎凡特盆地。

澳大利亚西北陆架深水盆地位于澳大利亚西北方向,面积约 $110 \times 10^4 \text{ km}^2$,包含北卡那封盆地、柔布克盆地、布劳斯盆地、波拿巴盆地等^[46]。冯杨伟等人^[47]指出,该盆地发育湖相泥页岩、海陆过渡相碳质泥岩和海相泥岩三种主要烃源岩和海相型、海陆过渡相型和陆相型三大储盖组合类型,形成了“下生上储”的成藏模式。该盆地已发现Jansz气田、Io气田^[48]、Puffin油田和Tiber油田等^[49]。

孟加拉湾深水区位于印度洋东北部,面积约 $40 \times 10^4 \text{ km}^2$,沿岸国家包括孟加拉国、印度、印度尼西亚等。该深水区有孟加拉盆地、克里希纳—戈达瓦里盆地、若开盆地等^[50],主要以页岩为主力烃源岩,以三角洲砂岩为主力储层,以海相页岩为盖层^[51-52]。该深水区先后发现了Dhirubhai气田^[53]、R1气田^[54]、Shwe Yee Htun-1气田^[55]等。

地中海东部的尼罗河三角洲盆地和黎凡特盆地具有较大的深水油气勘探潜力。其中,尼罗河三角洲盆地富集天然气,已发现Salamat气田、Zohr气田、Atoll-1气田等^[56-57]。盆地以海相页岩、泥灰岩和黑色页岩为主力烃源岩,以三角洲砂岩、深水斜坡水道砂岩为储集层。黎凡特盆地位于埃及、以色列、巴勒斯坦、黎巴嫩、叙利亚和塞浦路斯等中东多国交界处,已发现Tamar气田、Aphrodite气田、Leviathan气田等。盆地以海相泥岩为主力烃源岩,以浊积砂岩为主力储层,以盐岩为盖层。

1.5 环北冰洋陆源深水盆地带

环北冰洋陆缘深水盆地带属于被动大陆边缘盆地,深水区资源量约 $349 \times 10^8 \text{ m}^3$ 油当量,因特殊的地理气候环境,油气勘探开发起步较晚^[10]。

总体来看,全球深水油气盆地集中分布在被动大陆边缘,以大型湖相、海陆过渡相和海相沉积岩为烃源岩,具备碎屑岩和碳酸盐岩优质储层,以盐岩构造、龟背斜、滚动构造等大型地质构造为圈闭,是目前油气储量增量的主体。

2 勘探开发的政策、模式及技术装备

2.1 深水油气勘探开发政策

当前,资源国在深水区块主要实行矿费税收制和产品分成制的财税制度。而深水油气的区域性分布特征使得深水油气业务面临各资源国不同的合同条款要求,包括矿费税收制下不同的矿区使用费率、所得税率及税基、超额利润税率,产品分成制下不同的成本回收上限、利润分成比例等。刘明明等人^[58]指出,矿区使用费减免、所得税税率优惠、特别收益金起征点提高等有别于浅水油气勘探开发的财税支持政策,更有助于深水油气资源勘探开发取得新进展。

美国针对墨西哥湾地区的深水油气资源制定矿区使用费减免政策。1995 年,美国通过《外大陆架深水矿区使用费减免法案 1995》,利用矿费免征产量和矿费免征价格临界值,鼓励墨西哥湾地区的深海油气勘探开发。2005 年,美国再次颁布《能源政策法》,在水深门槛、矿费免征产量、矿费免征价格临界值方面对矿区使用费减免政策进行了更新^[59]。

巴西围绕利润分配制定了多项优惠政策。在利润分成比例方面,采用油价因素调节;在超额利润税方面,对小于 400 m 和大于 400 m 水深的深水油气开发设置不同的超额利润税起征点,起征点在第一年可相差 31 000 桶/d,之后年份差距逐渐缩小至 10 000 桶/d。为促进深海盐下油气藏开发,巴西政府加大了财税制度优惠力度,以产品分成合同代替租让制合同,取消超额利润税。

尼日利亚为促进本国深水油气开发,对水深超过 200 m 的深水油气开发制定了多项优惠政策。在成本回收方面,尼日利亚设定 80% 的成本回收上限,比浅水地区高 10 个百分点;在所得税方面,设定所得税税率为 50%,低于浅水地区新投资者前 5 年的 65.75% 和其他投资者的 85%,同时允许以额外获得有形资产投资的 50% 纳入所得税税基扣减项,比浅水区高 35~40 个百分点。

加蓬在深水油气开发的成本回收和利润分配两方面同时发力,一方面设置 15% 的开发投资超额回收,另一方面设置了更高的利润油分配比例,随着深水油气产量的增加,利润油分配比例相较于浅水区最大可相差 7.5 个百分点。

马来西亚采用产品分成合同模式推动本国深水油气开发,设置 10% 的矿区使用费率和 38% 的所得税税率,以累计收入比累计成本的方式来滑动计算成本油和利润油分成比例。

2.2 深水油气勘探开发模式

深水油气勘探开发具有高风险、高投资、高技术要

求的特点。在获得油气发现前,石油公司主要以招投标的方式进入深水区块,掌握主导优势;在获得油气发现后,石油公司主要以合作(联合体)的形式引入合作伙伴,分担勘探风险,解决深水工程技术和工程建设难题。也有石油公司通过资本运作方式进行成熟区块收购并购,低成本进入深水油气勘探开发领域。

温志新等人^[60]基于对七大国际石油公司深水油气勘探业务布局过程的分析指出,国际石油公司普遍在获得油气发现之前,以招投标方式取得深水区块并担任作业者,在后期引入合作伙伴分担勘探风险。刘小兵等人^[61]提出合作共赢是全球深水油气项目的主要运作方式,具体三种模式:一是小股东跟随模式,有利于勘探技术不成熟的石油公司积累经验技术,分享勘探开发成果;二是小股权作业者模式,以较小的权益担任作业者,有利于具备经验技术的石油公司获得资金支持,实现优势互补;三是“双勘探”模式,在以大权益作业者身份获得勘探发现后,通过转让权益促进资金回流,进一步获取勘探区块,推进深水油气勘探发现,有利于石油公司快速回收成本,在开发投产前就能实现良好经济效益。

无论是哪种方式获得深水油气资源,石油公司都注重深水油气勘探开发技术供应链合作。除埃尼公司和土耳其、伊朗等国家石油公司采用自主钻探外,国际石油公司和独立石油公司主要通过签署合作协议或采用全球招标的方式与业界领先的技术服务公司合作,获取高质量的地震采集、钻探服务、工程设计、装备制造等技术服务能力^[60]。

2.3 深水油气勘探开发技术装备

海洋油气开发主要包括地球物理勘探、钻井勘探、油气田开发建设和油气生产等环节。与陆地和浅水区相比,深水油气勘探开发面临更多挑战,复杂的海况和施工地形增加了作业安全风险,水深的增加会加大海底压力、降低海水温度,这些都对勘探和开发技术水平及装备制造能力提出了更高要求。

2.3.1 深水油气勘探技术及装备

地球物理勘探环节主要采用地震勘探技术,根据震源所处位置不同又分为拖缆地震模式和海底地震模式。裴彦良等人^[62]指出,海面拖曳型地震勘探的气枪震源发射能量大,声波穿透深度深,可单道或多道接收拖缆,比深拖型地震勘探的数据采集效率高。此外,海洋可控源电磁勘探、高分辨率重力勘探、声波探测等非地震勘探技术也在海底地质构造分析和三维海底地形图绘制等方面起到了重要作用^[63]。

钻井勘探环节是评估油气资源储量的重要阶段,主要聚焦于智能钻探技术、深水钻探开发一体化技术等。巴西国家石油公司曾利用核磁共振测井来评价湖相复

杂碳酸盐岩储层,推动桑托斯盆地 Tupi、Buzios、Mero 等世界级超深水盐下大油田的重大发现^[23]。中国海油初步建立 E-Drilling 系统,为钻探风险监测和井下风险识别提供安全保障,自主研发旋转导向钻井与随钻测井系统,关键作业指标达到世界一流水平^[64-65]。该环节主要用到半潜式钻井平台和钻井船。国际市场上主流的深水半潜式钻井平台主要处于第6代水平,作业水深超过 3 000 m,大钩载荷为 1 000 st (1 st = 0.907 t),主要包括适用于恶劣海域的挪威 AKER Solution 公司 Aker H-6 和瑞典 GVA 公司 GVA7500M,适用于缓和海域的荷兰 GustoMSC 公司 DSS50 和美国 F & G 公司 ExD^[66]。适用于较恶劣海域的挪威 Frigstad 公司 D90 属于第7代深水钻井装备,最大作业水深超过 3 650 m,大钩载荷达 1 250 st,可在中国南海、墨西哥湾、西非和巴西等海域作业。国际市场主流的钻井船主要有韩国三星重工的 S10000、荷兰 GustoMSC 公司的 P10000 和 PRD12000,最大作业水深可达 3 650 m,最大可变载荷可达 22 000 t^[67]。中国已具备深水钻井装备的设计建造能力,成功设计、建造和使用第6代半潜式钻井平台“海洋石油 981”、第7代半潜式钻井平台“蓝鲸号”、作业水深 1 500 m 的钻井船“TIGER 号”。

2.3.2 深水油气开发技术及装备

深水油气开发工程在恶劣的海洋环境下主要采用“半潜式钻井平台+水下生产系统+海底管线”模式,在较温和的海洋环境下主要采用“海上浮式生产储卸油平台(Floating Production Storage and Offloading, FPSO)+水下生产系统”模式。无论哪种开发模式,水下油气生产系统都是深水油气资源开发的关键装备。其由井口、安全阀、采油树、高压密封组件、水下控制系统、水下多功能管汇和脐带缆等复杂模块组成,能够将海底油气资源和生产信息输送到平台终端。目前,全球已有 500 多个水下油气生产系统项目成功投产,但采油树、脐带缆、高压密封组件等关键技术装备仍被欧美少数国家和地区垄断^[68-70]。中国也具备了研发生产水下油气生产系统的能力,但与国际水平相比仍存在较大差距^[71]。2021年,中国自主研发的水下采油树系统在渤海油田海底安装测试成功。此后,中国独立研发的水下油气生产系统分别在中国南海东方 1-1 气田东南区乐东区块、中国南海珠江口盆地的中国海油恩平 15-1 油田群投入使用。中国也积极开展水下脐带缆的研发攻关^[72]。中海油研究总院有限责任公司在 2010 年成功制备了脐带缆初样,标志着中国在脐带缆制造领域取得了突破性进展。青岛迪玛尔海洋工程有限公司、青岛汉缆股份有限公司、上海亨通海洋装备有限公司、中天科技海缆股份有限公司等成功研制了不同功能的脐带缆^[73]。

水下施工作业装备是海洋工程的重要支撑,包括深海水下施工装备、深海水下维护维修施工装备、深海水下勘测施工装备和深海水下精细化作业装备等,对特种材料制造加工、水下液压、智能电动化、自适应调节控制、轻量化设计、深海供电、密封耐压、集成智能控制等关键技术提出较高要求,用于海底地形平整、维修维护,保护海底管道及桩基等基础设施^[74]。目前,深海水下施工作业装备的典型代表有荷兰 IQIP 公司和德国 Menck 公司研制的超深水打桩水锤,作业水深达 2 000 m^[75];荷兰 RoyalIHC 公司研发的四履带海底挖沟机 Hi-Traq, Deep Ocean 公司和 IKM Subsea 公司的深水挖沟机,作业深度可达 1 500 ~ 3 000 m。中国也具备自主研发、生产、使用超深水打桩锤的能力,自主研发的首台 2 500 m 超深水打桩锤完成海试,首创国内深水表层人造金刚石喷射钻井技术在中国南海东部油田成功应用^[73]。

3 结论及建议

随着开发工程技术和装备能力的提升,海洋油气勘探开发进入到深水、超深水阶段,国内外深水油气产量不断增长,逐渐成为全球油气资源供应的重要来源,其重要性地位日益凸显。中国发展深水油气的前景广阔:一方面,中国管辖海域约 $300 \times 10^4 \text{ km}^2$,资源潜力巨大;另一方面,中国在超深水领域的技术和装备能力位于世界前列,在深水、超深水油气勘探开发领域积累了丰富的经验。面对全球超深水能源资源受到各国高度重视的机遇时代,中国政府部门和能源行业需高度重视,从政策支持、商业运作和技术发展等多方面全向发力。

1) 强化顶层设计,制定适合国内和国际协同发展的政策体系。在现有政策文件基础上,由国家相关部委牵头,有关企业配合,按照全国“一盘棋”思路,统筹规划和整体布局深水油气勘探开发利用;出台专项保障措施,支持完善创新体制机制,建设技术协同创新平台和重大项目,促进成果转化和薄弱环节攻关;出台财政专项政策,提供财政补贴与税费减免,降低研发和生产成本;出台金融专项政策,畅通融资渠道,降低融资成本。同时,进一步深入研究全球不同国家制定的不同深水油气开发优惠政策,一方面要继续坚持吸引外资和国外先进技术,打造稳定的“引进来”的市场环境;另一方面,助力中国企业充分利用国外优惠政策,夯实高质量“走出去”的发展条件。

2) 探索优化商业运营合作模式,兼顾国家利益和企业利益。中国深水油气开发利用既要确保国家的合理回报,又要符合深水油气开发和生产客观规律,保障合理的商业运行。国际上深水油气开发主要有矿税制和产品分成两种合同模式,学术研究发现后者更能保证发

展中国国家利益。改革开放以来,中国学习借鉴产品分成合同模式,极大程度推动了中国海洋石油事业的跨越式发展,未来要通过更灵活和更具竞争力的条款持续推动对外油气合作。同时,石油企业要继续跟踪深水油气勘探新发现,关注全球区块招标动态及机会,以竞标、议标、参股、融入勘探开发联合体、签署合作协议等多种方式争取周边类似区块,主动争当作业者,灵活运用公司并购、收购公司权益、收购资产部分权益等方式布局深水油气资产。

3)加强深水油气全产业链各环节理论研究和技術装备研发,实现科技自立自强。国家要进一步明确深水油气领域科技创新方向,基于中国深水海域特点和实际需求,对深水油气勘探开发所需的新材料、新技术、新工艺研发进行系统性部署,加大原创性、引领性科技攻关支持力度,强化基础研究和共性关键技术的突破,重点解决“卡脖子”和国产化难题。企业要充分发挥创新主体作用,不断开发和完善具有自主知识产权的海上工程核心技术,提升深水油气勘探开发重大装备及其相关产品制造与服务能力。

参考文献:

- [1] LEFFLER W L, PATTAROZZI R, STERLING G. 深水油气勘探开发概论[M]. 姚根顺, 吕福亮, 范国章, 等译. 北京: 石油工业出版社, 2015.
LEFFLER W L, PATTAROZZI R, STERLING G. Deepwater petroleum exploration & production: A nontechnical guide [M]. YAO Genshun, LYU Fuliang, FAN Guozhang, et al. trans. Beijing: Petroleum Industry Press, 2015.
- [2] 张功成, 屈红军, 赵冲, 等. 全球深水油气勘探40年大发现及未来勘探前景[J]. 天然气地球科学, 2017, 28(10): 1447-1477.
ZHANG Gongcheng, QU Hongjun, ZHAO Chong, et al. Giant discoveries of oil and gas exploration in global deepwaters in 40 years and the prospect of exploration [J]. Natural Gas Geoscience, 2017, 28(10): 1447-1477.
- [3] 蒋德鑫, 张厚和, 李春荣, 等. 全球深水—超深水油气勘探历程与发展趋势[J]. 海洋地质前沿, 2022, 38(10): 1-12.
JIANG Dexin, ZHANG Houhe, LI Chunrong, et al. Global deep-and ultra-deep-water oil and gas exploration: Review and outlook [J]. Marine Geology Frontiers, 2022, 38(10): 1-12.
- [4] 中国石油勘探开发研究院. 全球油气勘探开发形势及油公司动态(2024)[M]. 北京: 石油工业出版社, 2024.
Research Institute of Petroleum Exploration and Development. Global oil and gas exploration and development situation and company trends (2024) [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2024.
- [5] 鲁东侯. 深水油气: 全球油气的接替者[J]. 能源, 2020(1): 87-89.
LU Donghou. Deepwater oil and gas: The replacement for global oil and gas resources [J]. Energy, 2020(1): 87-89.
- [6] 窦立荣, 汪望泉, 肖伟, 等. 中国石油跨国油气勘探开发进展及建议[J]. 石油科技论坛, 2020, 39(2): 21-30.
DOU Lirong, WANG Wangquan, XIAO Wei, et al. Progress and suggestions on CNPC's multinational oil and gas exploration and development [J]. Petroleum Science and Technology Forum, 2020, 39(2): 21-30.
- [7] 窦立荣. 埃克森美孚公司大举进入巴西深水领域[J]. 世界石油工业, 2019, 26(3): 71-73.
DOU Lirong. ExxonMobil enters deepwater fields in Brazil [J]. World Petroleum Industry, 2019, 26(3): 71-73.
- [8] 朱伟林, 郑金云. 南海北部深水油气新认识[J]. 科技导报, 2020, 38(18): 89-98.
ZHU Weilin, ZHENG Jinyun. Deep water oil and gas in Northern South China Sea: New insights [J]. Science & Technology Review, 2020, 38(18): 89-98.
- [9] 朱昌海. 开启探索深海油气资源新纪元[J]. 中国石油企业, 2024(3): 47.
ZHU Changhai. Opening a new era of exploration for deep sea oil and gas resources [J]. China Petroleum Enterprise, 2024(3): 47.
- [10] 张功成, 米立军, 屈红军, 等. 全球深水盆地群分布格局与油气特征[J]. 石油学报, 2011, 32(3): 369-378.
ZHANG Gongcheng, MI Lijun, QU Hongjun, et al. A basic distributional framework of global deepwater basins and hydrocarbon characteristics [J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(3): 369-378.
- [11] 张功成, 屈红军, 张凤廉, 等. 全球深水油气重大新发现及启示[J]. 石油学报, 2019, 40(1): 1-34.
ZHANG Gongcheng, QU Hongjun, ZHANG Fenglian, et al. Major new discoveries of oil and gas in global deepwaters and enlightenment [J]. Acta Petrolei Sinica, 2019, 40(1): 1-34.
- [12] 张功成, 冯杨伟, 屈红军. 全球5个深水盆地带油气地质特征[J]. 中国石油勘探, 2022, 27(2): 11-26.
ZHANG Gongcheng, FENG Yangwei, QU Hongjun. Characteristics of petroleum geology of global five deep-water basin belts [J]. China Petroleum Exploration, 2022, 27(2): 11-26.
- [13] 邓运华, 贾怀存, 刘琼. 大西洋被动陆缘盆地深水区油气藏形成机理与勘探实践[J]. 中国海上油气, 2021, 33(6): 1-10.
DENG Yunhua, JIA Huaicun, LIU Qiong. Formation mechanism and exploration practice of oil and gas reservoirs in deep water areas of passive continental margin basin in Atlantic Ocean [J]. China Offshore Oil and Gas, 2021, 33(6): 1-10.

- (6): 1-10.
- [14] BIRD D E, BURKE K, HALL S A, et al. Gulf of Mexico tectonic history: Hotspot tracks, crustal boundaries, and early salt distribution [J]. AAPG Bulletin, 2005, 89 (3): 311-328.
- [15] 钱伯章, 朱建芳. 美国墨西哥湾海上油气发现与生产评述 [J]. 海洋石油, 2014, 34 (3): 7-15.
QIAN Bozhang, ZHU Jianfang. U. S. Gulf of Mexico offshore oil and gas discovery and production [J]. Offshore Oil, 2014, 34 (3): 7-15.
- [16] 贾承造, 赵文智, 魏国齐, 等. 盐构造与油气勘探 [J]. 石油勘探与开发, 2003, 30 (2): 17-19.
JIA Chengzao, ZHAO Wenzhi, WEI Guoqi, et al. Salt structures and exploration of oil and gas [J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30 (2): 17-19.
- [17] Offshore Technology Com. BP greenlights Kaskida oil project in Gulf of Mexico [EB/OL]. (2024-07-13) [2024-10-05]. <https://www.offshore-technology.com/news/bp-greenlights-kaskida-oil-project/>.
- [18] 张兴文, 庞雄奇, 李才俊, 等. 深层—超深层高孔高渗碎屑岩油气藏地质特征、形成条件及成藏模式——以墨西哥湾盆地为例 [J]. 石油学报, 2021, 42 (4): 466-480.
ZHANG Xingwen, PANG Xiongqi, LI Caijun, et al. Geological characteristics, formation conditions and accumulation model of deep and ultra-deep, high-porosity and high-permeability clastic reservoirs: A case study of Gulf of Mexico Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 2021, 42 (4): 466-480.
- [19] 温志新, 童晓光, 张光亚, 等. 全球沉积盆地动态分类方法: 从原型盆地及其叠加发展过程讨论 [J]. 地学前缘, 2012, 19 (1): 239-252.
WEN Zhixin, TONG Xiaoguang, ZHANG Guangya, et al. Dynamic classification of global sedimentary basins: Based on proto-type basin and its lateral superimposing and transforming process [J]. Earth Science Frontiers, 2012, 19 (1): 239-252.
- [20] 赵 喆, 张光亚, 梁 涛, 等. 2012 年世界油气勘探新发现及发展趋势 [J]. 天然气地球科学, 2014, 25 (1): 39-44.
ZHAO Zhe, ZHANG Guangya, LIANG Tao, et al. New exploration discovery and development trend of oil/gas exploration around the world in 2012 [J]. Natural Gas Geoscience, 2014, 25 (1): 39-44.
- [21] 梁英波, 张光亚, 刘祚冬, 等. 巴西坎普斯—桑托斯盆地油气差异富集规律 [J]. 海洋地质前沿, 2011, 27 (12): 55-62.
LIANG Yingbo, ZHANG Guangya, LIU Zuodong, et al. Hydrocarbon enrichment in the Campos and Santos basins in Brazil [J]. Marine Geology Frontiers, 2011, 27 (12): 55-62.
- [22] 张金虎, 金春爽, 祁昭林, 等. 巴西深水含油气盆地石油地质特征及勘探方向 [J]. 海洋地质前沿, 2016, 32 (6): 23-31.
ZHANG Jinhu, JIN Chunshuang, QI Zhaolin, et al. Petroleum geology and future exploration in deep-water basin of Brazil [J]. Marine Geology Frontiers, 2016, 32 (6): 23-31.
- [23] ANJOS S M C, SOMBRA C L, SPADINI A R. 巴西油气勘探开发历程: 从陆上到超深水 [J]. 石油勘探与开发, 2024, 51 (4): 796-806.
ANJOS S M C, SOMBRA C L, SPADINI A R. Petroleum exploration and production in Brazil: From onshore to ultra-deepwaters [J]. Petroleum Exploration and Development, 2024, 51 (4): 796-806.
- [24] 徐志诚, 吕福亮, 范国章, 等. 西非海岸盆地深水油气地质特征和勘探前景 [J]. 油气地质与采收率, 2012, 19 (5): 1-5.
XU Zhicheng, LYU Fuliang, FAN Guozhang, et al. Deepwater petroleum geology and exploration potential of West Africa coastal basins [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2012, 19 (5): 1-5.
- [25] Offshore Technology Com. Kizomba offshore field deepwater project, Angola [EB/OL]. (2021-06-25) [2024-10-03]. https://www.offshore-technology.com/projects/kizomba-offshore-field-deepwater-project/?utm_source=&utm_medium=20-17520&utm_campaign=.
- [26] Offshore Technology Com. FAR confirms oil samples in FAN-1 exploration well, offshore Senegal [EB/OL]. (2014-08-27) [2024-10-02]. <https://www.offshore-technology.com/news/newsfar-confirms-oil-samples-in-fan-1-exploration-well-offshore-senegal-4355757/>.
- [27] Offshore Magazine. Offshore Cobalt confirms Lontra #1 offshore Angola discovery [EB/OL]. (2013-12-03) [2024-10-02]. <https://www.offshore-mag.com/vessels/article/16772337/cobalt-confirms-lontra-1-offshore-angola-discovery>.
- [28] 李 玮, 张丽媛, 仓 辉, 等. 西非几内亚湾油气差异分布主控因素分析 [J]. 非常规油气, 2023, 10 (3): 39-45.
LI Wei, ZHANG Liyuan, CANG Hui, et al. The analysis on the controlling factors of the oil and gas differential distribution of the Gulf of Guinea, West Africa [J]. Unconventional Oil & Gas, 2023, 10 (3): 39-45.
- [29] 张光亚, 刘小兵, 温志新, 等. 东非被动大陆边缘盆地构造—沉积特征及其对大气田富集的控制作用 [J]. 中国石油勘探, 2015, 20 (4): 71-80.
ZHANG Guangya, LIU Xiaobing, WEN Zhixin, et al. Structural and sedimentary characteristics of passive continental margin basins in East Africa and their effect on

- the formation of giant gas fields [J]. China Petroleum Exploration, 2015, 20 (4): 71-80.
- [30] 曹全斌,唐鹏程,吕福亮,等. 东非鲁伍马盆地深水浊积砂岩气藏成藏条件及控制因素[J]. 海相油气地质, 2018, 23 (3): 65-72.
- CAO Quanbin, TANG Pengcheng, LYU Fuliang, et al. Formation conditions and controlling factors of gas-bearing turbidite sand reservoirs in deep water deposits in the Rovuma Basin, East Africa [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2018, 23 (3): 65-72.
- [31] 孔祥宇. 东非鲁伍马盆地油气地质特征与勘探前景[J]. 岩性油气藏, 2013, 25 (3): 21-27.
- KONG Xiangyu. Petroleum geologic characteristics and exploration prospect in Rovuma Basin, East Africa [J]. Lithologic Reservoirs, 2013, 25 (3): 21-27.
- [32] 曹全斌,鲁银涛,陈宇航,等. 东非鲁伍马盆地始新统深水沉积储层特征及沉积演化[J]. 海相油气地质, 2022, 27 (4): 396-404.
- CAO Quanbin, LU Yintao, CHEN Yuhang, et al. Reservoir characteristics and sedimentary evolution of deep water deposition of lower Eocene in Rovuma Basin, East Africa [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2022, 27 (4): 396-404.
- [33] 陈宇航,姚根顺,吕福亮,等. 东非鲁伍马盆地渐新统深水水道—朵体沉积特征及控制因素[J]. 石油学报, 2017, 38 (9): 1047-1058.
- CHEN Yuhang, YAO Genshun, LYU Fuliang, et al. Sedimentary characteristics and controlling factors of Oligocene deep-water channel-lobe in Rovuma Basin of the East Africa [J]. Acta Petrolei Sinica, 2017, 38 (9): 1047-1058.
- [34] 梁建设,孔令武,邱春光,等. 东非海岸坦桑尼亚和鲁伍马盆地天然气成藏机理[J]. 地球科学, 2021, 46 (8): 2919-2933.
- LIANG Jianshe, KONG Lingwu, QIU Chunguang, et al. Gas accumulation mechanism in East Africa coastal key basins [J]. Earth Science, 2021, 46 (8): 2919-2933.
- [35] 张功成,米立军,吴时国,等. 深水区——南海北部大陆边缘盆地油气勘探新领域[J]. 石油学报, 2007, 28 (2): 15-21.
- ZHANG Gongcheng, MI Lijun, WU Shiguo, et al. Deepwater area—The new prospecting targets of northern continental margin of South China Sea [J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28 (2): 15-21.
- [36] 谢玉洪. 南海北部自营深水天然气勘探重大突破及其启示[J]. 天然气工业, 2014, 34 (10): 1-8.
- XIE Yuhong. A major breakthrough in deepwater natural gas exploration in a self-run oil/gas field in the northern South China Sea and its enlightenment [J]. Natural Gas Industry, 2014, 34 (10): 1-8.
- [37] 孙金山,刘鑫,杜克拯,等. 中国海相油气田勘探实例之十四珠江口盆地深水区流花16-2轻质油田的发现与勘探[J]. 海相油气地质, 2013, 18 (1): 71-78.
- SUN Jinshan, LIU Xin, DU Kezheng, et al. Cases of discovery and exploration of marine fields in China, part 14: Liuhua 16-2 light oil field in Pearl River Mouth Basin, Northern South China Sea [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2013, 18 (1): 71-78.
- [38] 米立军,周守为,谢玉洪,等. 南海北部深水油气勘探进展与未来展望[J]. 中国工程科学, 2022, 24 (3): 58-65.
- MI Lijun, ZHOU Shouwei, XIE Yuhong, et al. Deep-water oil and gas exploration in Northern South China Sea: Progress and outlook [J]. Strategic Study of CAE, 2022, 24 (3): 58-65.
- [39] 朱伟林,胡平,江文荣. 南亚—东南亚含油气盆地[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- ZHU Weilin, HU Ping, JIANG Wenrong. South Asian-Southeast Asian oil and gas basins [M]. Beijing: Science Press, 2012.
- [40] 张强,吕福亮,毛超林,等. 印度尼西亚库泰盆地油气地质特征及勘探方向[J]. 海相油气地质, 2012, 17 (4): 8-15.
- ZHANG Qiang, LYU Fuliang, MAO Chaolin, et al. Petroleum geology and exploration prospect in Kutai Basin, Indonesia [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2012, 17 (4): 8-15.
- [41] 鲁银涛,栾锡武,史卜庆,等. 加里曼丹岛库泰盆地海相成藏组合特征及油气富集区分带性分析[J]. 海洋科学, 2019, 43 (1): 38-49.
- LU Yintao, LUAN Xiwu, SHI Buqing, et al. Characteristics of Lower Miocene marine petroleum play and prospective petroleum accumulation region in the Kutei Basin, the Kalimantan Island [J]. Marine Sciences, 2019, 43 (1): 38-49.
- [42] 张建军,康永尚,姚永坚,等. 南亚地区含油气盆地类型及资源潜力分析[J]. 海洋学报, 2018, 40 (9): 54-64.
- ZHANG Jianjun, KANG Yongshang, YAO Yongjian, et al. The types of basins and resource potential in the South Asia [J]. Haiyang Xuebao, 2018, 40 (9): 54-64.
- [43] 祝厚勤,洪国良,白振华. 苏门答腊盆地地质特征与油气勘探潜力[J]. 中国石油勘探, 2022, 27 (2): 119-130.
- ZHU Houqin, HONG Guoliang, BAI Zhenhua. Geological characteristics and oil and gas exploration potential in Sumatra Basin [J]. China Petroleum Exploration, 2022, 27 (2): 119-130.
- [44] 鲁宝亮,王璞珺,梁建设,等. 古南海构造属性及其与特提

- 斯和古太平洋构造域的关系[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2014, 44(5): 1441-1450.
- LU Baoliang, WANG Pujun, LIANG Jianshe, et al. Structural properties of Paleo-South China Sea and their relationship with the Tethys and the Paleo-Pacific tectonic domain [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2014, 44 (5): 1441-1450.
- [45] 叶和飞, 罗建宁, 李永铁, 等. 特提斯构造域与油气勘探[J]. 沉积与特提斯地质, 2000(1): 1-27.
- YE Hefei, LUO Jianning, LI Yongtie, et al. Tethyan tectonic domain and petroleum exploration [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2000 (1): 1-27.
- [46] LONGLEY I M, BUESSENSCHUETT C, CLYDS DALE L, et al. The Northwest shelf of Australia—A woodside perspective [EB/OL] (2002-01-01) [2024-10-02]. <https://www.searchanddiscovery.com/documents/longley/>.
- [47] 冯杨伟, 屈红军, 张功成, 等. 澳大利亚西北陆架深水盆地油气地质特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2011, 31(4): 131-140.
- FENG Yangwei, QU Hongjun, ZHANG Gongcheng, et al. Hydrocarbon geological features of deepwater basins on northwest shelf of Australia [J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2011, 31 (4): 131-140.
- [48] 温志新, 王兆明, 胡湘瑜, 等. 澳大利亚西北大陆架被动大陆边缘盆地群大气田分布与主控因素[J]. 海洋地质前沿, 2011, 27(12): 41-47.
- WEN Zhixin, WANG Zhaoming, HU Xiangyu, et al. Distribution and key controlling factors of giant gas fields in passive marginal basins of Northwest Australia [J]. Marine Geology Frontiers, 2011, 27 (12): 41-47.
- [49] WALKER T R. Deepwater and frontier exploration in Australia—Historical perspectives, present environment and likely future trends [J]. The APPEA Journal, 2007, 47 (1): 15-38.
- [50] 韩冰, 李学杰, 吕建荣, 等. 孟加拉湾深水盆地油气勘探潜力[J]. 海洋地质前沿, 2012, 28(4): 50-56.
- HAN Bing, LI Xuejie, LYU Jianrong, et al. Petroleum exploration potential in the Bay of Bengal deep water basin [J]. Marine Geology Frontiers, 2012, 28 (4): 50-56.
- [51] 骆宗强, 刘铁树, 裴著纲. 孟加拉国孟加拉盆地油气勘探潜力分析[J]. 中国石油勘探, 2012, 17(2): 67-73.
- LUO Zongqiang, LIU Tieshu, XI Zhugang. Exploration potential of Bengal Basin in Bangladesh [J]. China Petroleum Exploration, 2012, 17 (2): 67-73.
- [52] 客伟利, 童晓光. 孟加拉盆地油气地质特征与勘探潜力[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2013, 28(5): 15-20.
- KE Weili, TONG Xiaoguang. Hydrocarbon geological features and exploration potential of Bengal Basin [J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2013, 28 (5): 15-20.
- [53] BASTIA R, RADHAKRISHNA M, SRINIVAS T, et al. Structural and tectonic interpretation of geophysical data along the Eastern Continental Margin of India with special reference to the deep water petroliferous basins [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2010, 39 (6): 608-619.
- [54] 中国石化新闻网. 印度信实和BP将合作开发印度东海岸天然气区块[EB/OL]. (2019-06-23) [2024-10-05]. http://www.sinopecnews.com.cn/news/content/2019-06/13/content_1751729.htm.
- SINOPECNEWS.COM. Reliance Industries, BP joint venture to develop gas block off India's East Coast [EB/OL]. (2019-06-23) [2024-10-05]. http://www.sinopecnews.com.cn/news/content/2019-06/13/content_1751729.htm.
- [55] 中国石化新闻网. 伍德赛德石油公司在缅甸海上发现天然气[EB/OL]. (2016-01-05) [2024-10-05]. http://www.sinopecnews.com.cn/news/content/2016-01/05/content_1580271.shtml.
- SINOPECNEWS.COM. Woodside Petroleum has found natural gas off the coast of Burma [EB/OL]. (2016-01-05) [2024-10-05]. http://www.sinopecnews.com.cn/news/content/2016-01/05/content_1580271.shtml.
- [56] RAO G N. Sedimentation, stratigraphy, and petroleum potential of Krishna-Godavari Basin, East Coast of India [J]. AAPG Bulletin, 2001, 85 (9): 1623-1643.
- [57] EIA. Overview of oil and natural gas in the Eastern Mediterranean region [EB/OL]. (2013-08-15) [2024-10-05]. https://www.eia.gov/international/content/analysis/regions_of_interest/Eastern_Mediterranean/eastern-mediterranean.pdf.
- [58] 刘明明, 王震, 潘燕妮. 深海油气开发财税支持政策比较研究[J]. 国际经济合作, 2014(2): 31-35.
- LIU Mingming, WANG Zhen, PAN Yanni. Comparative study on fiscal and tax support policies for deepwater oil and gas development [J]. Journal of International Economic Cooperation, 2014 (2): 31-35.
- [59] 郝洪, 王珮. 美国联邦深水矿费减免政策分析[J]. 中国国土资源经济, 2009, 22(12): 20-22.
- HAO Hong, WANG Pei. Analysis on the deep water royalty relief policy of American Federal Government [J]. Natural Resource Economics of China, 2009, 22 (12): 20-22.
- [60] 温志新, 王建君, 王兆明, 等. 世界深水油气勘探形势分析与思考[J]. 石油勘探与开发, 2023, 50(5): 924-936.
- WEN Zhixin, WANG Jianjun, WANG Zhaoming, et al. Analysis of the world deepwater oil and gas exploration situation [J]. Petroleum Exploration and Development,

- 2023, 50 (5): 924-936.
- [61] 刘小兵, 窦立荣, 万仑坤, 等. 全球深水油气勘探开发业务发展及启示[J]. 天然气与石油, 2022, 40(4): 75-83.
LIU Xiaobing, DOU Lirong, WAN Lunkun, et al. Business development and inspiration of global deep water exploration and development [J]. Natural Gas and Oil, 2022, 40 (4): 75-83.
- [62] 裴彦良, 王接洋, 闫克平, 等. 深水浅地层高分辨率多道地震探测系统研究[J]. 海洋科学进展, 2010, 28(2): 244-249.
PEI Yanliang, WANG Kuiyang, YAN Keping, et al. Study of deep-sea high-resolution multi-channel seismic exploring system [J]. Advances in Marine Science, 2010, 28 (2): 244-249.
- [63] 赵纪东, 郑军卫. 深水油气科技发展现状与趋势[J]. 天然气地球科学, 2013, 24(4): 741-746.
ZHAO Jidong, ZHENG Junwei. Development status and trends of science and technology of deepwater oil and gas [J]. Natural Gas Geoscience, 2013, 24 (4): 741-746.
- [64] 刘书杰, 谢仁军, 全刚, 等. 中国海洋石油集团有限公司深水钻完井技术进展及展望[J]. 石油学报, 2019, 40(增刊2): 168-173.
LIU Shujie, XIE Renjun, TONG Gang, et al. Progress and prospect of deepwater well drilling and completion technique of CNOOC [J]. Acta Petrolei Sinica, 2019, 40 (Suppl 2): 168-173.
- [65] 李中. 中国海油深水钻井技术进展及发展展望[J]. 中国海上油气, 2021, 33(3): 114-120.
LI Zhong. Progress and prospect of deepwater drilling technology in CNOOC [J]. China Offshore Oil and Gas, 2021, 33 (3): 114-120.
- [66] MOON T. Worldwide survey of deepwater drilling rigs [EB/OL]. (2014-07-02) [2024-10-5]. <https://www.offshore-mag.com/resources/maps-posters/whitepaper/14034356/worldwide-survey-of-deepwater-drilling-rigs>.
- [67] 张海彬. 深水钻探装备技术发展现状及展望[J]. 船舶, 2022, 33(2): 1-12.
ZHANG Haibin. State-of-the-art and prospect of deepwater drilling units [J]. Ship & Boat, 2022, 33 (2): 1-12.
- [68] 张智, 王博, 刘和兴, 等. 南海某深水高温高压气井SS-15型井口头系统薄弱点安全评价[J]. 中国安全生产科学技术, 2023, 19(4): 107-113.
ZHANG Zhi, WANG Bo, LIU Hexing, et al. Safety evaluation on weak points of SS-15 wellhead system in a deep water high temperature and high pressure gas well in South China Sea [J]. Journal of Safety Science and Technology,
- 2023, 19 (4): 107-113.
- [69] 孔一颖. 高达37层楼 钻井深度超马里亚纳海沟 全球最大海上钻井平台“蓝鲸一号”[J]. 海洋与渔业, 2018(8): 32-36.
KONG Yiyang. The world's largest offshore drilling rig—as high as 37 stories and drills deeper than the Marianas Trench—the Blue Whale I [J]. Ocean and Fishery, 2018 (8): 32-36.
- [70] 汤晓勇, 陈俊文, 郭艳林, 等. 可燃冰开发及试采技术发展现状综述[J]. 天然气与石油, 2020, 38(1): 7-15.
TANG Xiaoyong, CHEN Junwen, GUO Yanlin, et al. Development status of combustible ice mining and test production technologies [J]. Natural Gas and Oil, 2020, 38 (1): 7-15.
- [71] 陈斌, 张汝彬, 曹波波, 等. 水下控制系统技术在采油树先导试验中的应用[J]. 中国海洋平台, 2023, 38(5): 75-80.
CHEN Bin, ZHANG Rubin, CAO Bobo, et al. Application of subsea control system technology in domestic christmas tree pilot test [J]. China Offshore Platform, 2023, 38 (5): 75-80.
- [72] 蒋兵兵, 曹聚杭, 张捷, 等. 深水脐带缆预调试概述[J]. 海洋工程装备与技术, 2023, 10(3): 13-23.
JIANG Bingbing, CAO Juhang, ZHANG Jie, et al. Overview of deepwater umbilical pre-commissioning [J]. Ocean Engineering Equipment and Technology, 2023, 10 (3): 13-23.
- [73] 陈旭光, 寇海磊, 牛小东, 等. 深海水下技术装备发展研究[J]. 中国工程科学, 2024, 26(2): 1-14.
CHEN Xuguang, KOU Hailei, NIU Xiaodong, et al. Development of deep-sea underwater technology and equipment [J]. Strategic Study of CAE, 2024, 26 (2): 1-14.
- [74] 王家豪. 破砵锤水下清礁装备施工方式优化的有限元分析[J]. 四川水利, 2022, 43(增刊2): 23-27.
WANG Jiahao. Finite element analysis on construction mode optimization for underwater reef clearing equipment with breaking hammer [J]. Sichuan Water Resources, 2022, 43 (Suppl 2): 23-27.
- [75] 李江昊, 肖文生, 于文太, 等. 超深水打桩锤系统的可靠性分析与分配研究[J]. 工程设计学报, 2023, 30(4): 485-494.
LI Jianghao, XIAO Wensheng, YU Wentai, et al. Reliability analysis and allocation research of ultra-deep water pile hammer system [J]. Chinese Journal of Engineering Design, 2023, 30 (4): 485-494.