

开发海洋能源, 建设海洋强国

周守为^{1,2}, 李清平²

1. 中国海洋石油集团有限公司, 北京 100010

2. 中国海洋资源发展战略研究中心, 北京 100028

摘要 海洋能源开发是海洋强国建设的重要支撑。论述了近年来科技创新为海洋能源勘探开发做出的巨大贡献, 提出了中国海洋能源开发未来的主攻方向及建议: 加大近海非常规油气开发技术攻关, 为中国油气工业提供更多现实的贡献; 加大深海油气勘探开发力度, 打造中国油气产业未来的重要接替区; 突破天然气水合物规模化开发关键技术, 早日实现商业化开采; 打造深海能源开发装备舰队, 支撑海洋强国建设; 抢占先机, 布局并推进大洋矿产的勘探开发; 进一步加强极地科研攻关, 深度参与极地开发。

关键词 海洋能源; 勘探开发; 海洋强国

中国是一个陆海兼备的海洋大国, 建设海洋强国是实现中华民族伟大复兴不可分割的重要组成部分。2012年11月, 党的十八大报告明确提出: “提高海洋资源开发能力, 发展海洋经济, 保护海洋生态环境, 坚决维护国家海洋权益, 建设海洋强国。”2013年7月, 在中共中央政治局第八次集体学习时, 习近平总书记围绕推动海洋强国建设的讲话又进一步明确指出, 发达的海洋经济是建设海洋强国的重要支撑, 要提高海洋开发能力, 扩大海洋开发领域, 让海洋经济成为新的增长点。作为国家海洋能源行业的一员, 结合多年来艰苦备尝的实践, 深入学习领会党的十九大报告和习近平总书记的重要讲话, 进一步深刻认知到开发海洋能源, 对建设海洋

强国, 实现民族复兴, 具有十分重大深刻的意义, 任重而道远。

1 海洋能源开发是海洋强国建设的重要支撑

众所周知, 开发海洋的能力是建设海洋强国的重要组成部分。1889年, 美国刚立国不久, 美国罗斯福总统国策顾问阿尔弗雷德·塞耶·马汉在《海权论》一书中明确指出: 海权包括一个国家控制海洋的能力和开发海洋的能力。阿尔弗雷德·塞耶·马汉作为美国这个新兴帝国的海权论者, 其所说的“海权”实际是西方殖民主义国家所追求的海洋霸

收稿日期: 2020-04-30; 修回日期: 2020-06-08

基金项目: 中国工程院战略咨询项目

作者简介: 周守为, 中国工程院院士, 教授级高级工程师, 研究方向为海洋石油开发工程, 电子信箱: zhoushw@enooc.com.cn

引用格式: 周守为, 李清平. 开发海洋能源, 建设海洋强国[J]. 科技导报, 2020, 38(14): 17-26; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2020.14.001

权。中国作为自鸦片战争以来西方殖民主义的受害者,特别是第二次世界大战以后美国推行霸权主义,其中包括其推行海洋霸权的主要受害者,在痛定思痛中,深刻认识到建设海洋强国,将是一个宏伟的全面而系统的工程,其中最主要的就是提升和强化国家控制海洋的能力和开发海洋的能力。

一个国家控制和开发海洋的能力,随着时代的发展、科学技术的进步,其内涵和衡量标准也在发展变化。就开发海洋能力而言,欧洲开启的世界大航海时代,开发海洋的能力集中表现在海上航运能力是强是弱。那些具备强大海上航运能力的国家,抢占了通过海洋将全球分散的资源与市场统合起来的先机,像西班牙、葡萄牙、荷兰这些欧洲小国,随着世界财富滚滚而来,一度成为世界首屈一指的海洋强国。在现阶段,经过第一、二次世界大战,国际社会得出“谁拥有石油,谁就拥有世界”的结论,提升勘探开发海洋能源资源的能力,自然成为建设海洋强国不可或缺的重要组成部分。

具体到中国来说,开发海洋石油的能力,还关系到坚定维护国家海洋领土主权和海洋资源利益。20世纪60年代末、70年代初,在美国操纵下,联合国某下属机构,将新中国排斥在外,由美国地质学家埃默里牵头,组织美国、日本、韩国及中国台湾派出的一批地质学家对中国近海进行地质考察,在公开发表的《埃默里报告》中,宣布南海包括中国南海诸岛及九段线范围内海域,还有东海大陆架,“有可能是尚未开发的油气富集区”,引发美国、日本对中国近海油气资源的觊觎,还有西方石油集团勾结南海一些周边国家对中国南沙海域丰富油气资源哄抢,并由此对中国南沙岛礁及东海大陆架进行非法侵占,或蛮横无理的索取。

中国为捍卫海上固有领土主权和资源利益,除通过外交途径展开必要的交涉,进行必要的政治、军事斗争外,还在奋力提升国内海洋石油勘探开发能力。在南海,1974年,针对南越阮文绍傀儡政府20世纪70年代开始窃取南沙九段线范围内的油气资源,中国曾派出一支钻井队依托西沙永兴岛钻探一口“标志井”,宣示国家对南海诸岛固有的领土主权,以及九段线范围内的历史权利和法理权利。但

由于那时国家海洋石油装备技术还处于原始落后状态,对于南海诸岛礁盘之外深达千米乃至数千米海域,只能“望洋兴叹”。不过,那时西方最发达国家的深海技术也还无法企及南沙中南部水深达3000多米的深水区。20世纪70年代末、80年代初,中国海油率先实行对外合作,引进国际先进装备技术,以此快速提升国内海上石油勘探开发能力。1996年通过与美国阿莫科公司合作,建成水深达330 m的流花1-1油气田;2006年与哈斯基公司合作,发现和建设水深达1500 m的荔湾3-1大气田。随后,中国海油着手自筹资金、自主设计、建造水深达3000 m,属于世界最先进的第6代半潜式深水钻井平台“海洋石油981”。充分发挥国内设计、建造能力“全国一盘棋”的优势,加上必要的国际引进,终于获得成功,并顺利投入使用,从此牢牢掌控了勘探开发南沙中南部深水油气富集区的主导权。

在东海,中国一方面,公开揭露日本勾结美国企图霸占中国钓鱼岛列岛,妄想窃取东海大陆架油气资源的阴谋,并就此提出强烈抗议,开展有理有据的斗争;另一方面,加大东海油气勘探开发的步伐,先后勘探发现和建成平湖油气田群和春晓油气田群,掌握了东海大陆架油气勘探开发的主导权。

建设海上大庆,有效带动和推进了海洋强国的建设。2010年,中国海上油气产量超过5000万t油当量,再造了一个海上大庆(图1、图2)。值得庆祝的,不仅是海上油气产量形成了一定的规模,同时还带动和促进了国内海洋产业的迅猛发展。



图1 中国海洋石油工业建成海上大庆发展历程

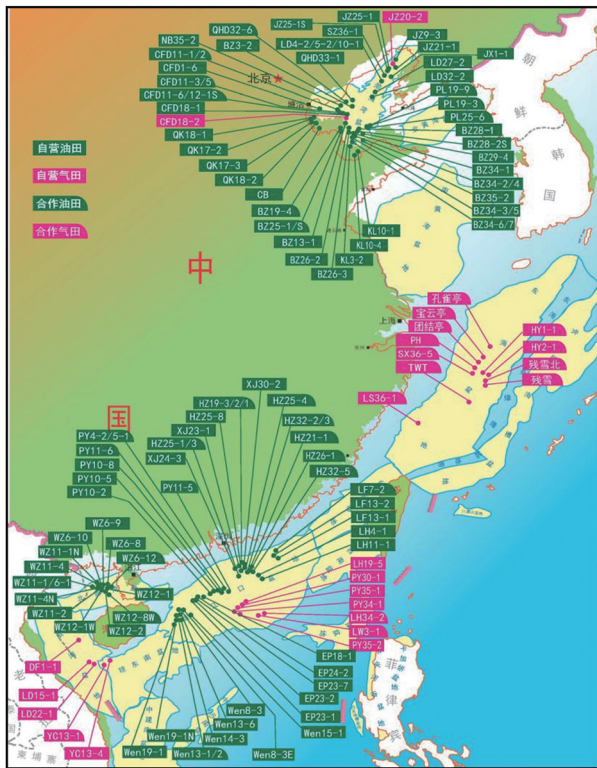


图2 中国近海油气田分布

2 科技创新为海洋能源勘探开发做出了巨大贡献

海洋能源开发具有高风险、高技术、高投入的特点。海洋石油工业通过实施科技驱动战略,坚持自主研发和对外合作相结合,紧紧围绕制约行业发展的关键技术瓶颈开展攻关,在深水、深层、非常规油气藏的勘探开发等方面取得一系列新突破。正是科学技术的进步和创新,建立起了支撑海洋石油5000万t级的工业体系,并具备了向深海领域拓展的能力。

2.1 超深水半潜式钻井平台“海洋石油981”是中国海洋石油工业发展史上的里程碑

中国海洋石油工业从浅水开始起步,逐步开始深水的布局 and 突破,工欲善其事必先利其器,挺进深水首先需要先进的作业装备。中国海上作业资源日趋完备,已经具备全链条海上作业能力,深海油气开发舰队初步形成,其中以“海洋石油981”(图3)和“海洋石油201”(图4)最具代表性^[1]。



图3 超深水半潜式钻井平台“海洋石油981”



图4 中国首艘3000 m深水铺管起重船“海洋石油201”

“海洋石油981”平台工作水深3000 m,钻井深度10000 m,可变载荷9000 t,综合性能指标世界领先。2012年5月9日,“海洋石油981”在中国南海海域成功开钻。该项目创新研发出针对中国南海环境条件的钻井平台新船型,首次建立基于海洋环境与钻井工况耦合作用下的隔水管理论分析方法与实验技术,首次实现DP3动力定位与锚泊定位的双定位系统优化设计与智能控制,建立了超深水半潜式钻井平台设计、总装建造和配套技术体系。“海洋石油981”的成功应用使中国成为继美国、挪威之后第3个具备超深水半潜式钻井平台设计、建造、调试、使用一体化综合能力的国家,填补了在深水钻井特大型装备项目上的空白,其研发与应用获国家科技进步特等奖,是中国船舶工业和海洋石油工业发展史上的重要里程碑,对于提升中国在周边海域资源开发的话语权、维护国家海洋权益具有重

要意义。

2.2 渤海油田已成为世界最大的海上稠油油田和中国最大的海上能源基地

中国海上石油产量 50% 以上为超常规资源(稠油/重油),主要集中在渤海(稠油地质储量高达 70%),截至 2019 年底,渤海共发现 32 个非常规稠油油田及含油气构造。部分稠油黏度高达 10000 mPa·s,在常温下呈胶状,开采难度极大,初期稠油采收率仅 18%~22%,如果采收率增加 10 个百分点,就相当于又找到了 10 个亿吨级大油田。通过

持续攻关,逐步形成海上油田高效开发技术体系,有力支撑渤海油田稠油开发,其中最具代表性的就是海上化学驱技术(图 5)^[2-3]。其特点是模糊一、二、三次采油界限,采用钻井压裂、适度出砂、早期注水、注水即注聚、注水注聚相结合,在最短时间内采出更多原油,达到最大采收率。化学驱油技术历经单井先导试验、井组试验、扩大试验与应用,逐步在渤海 3 个油田应用,截至 2019 年底已实现提高采出程度 7.4%,预期提高采收率 10% 以上,支撑了中国海上最大油田的稳产。

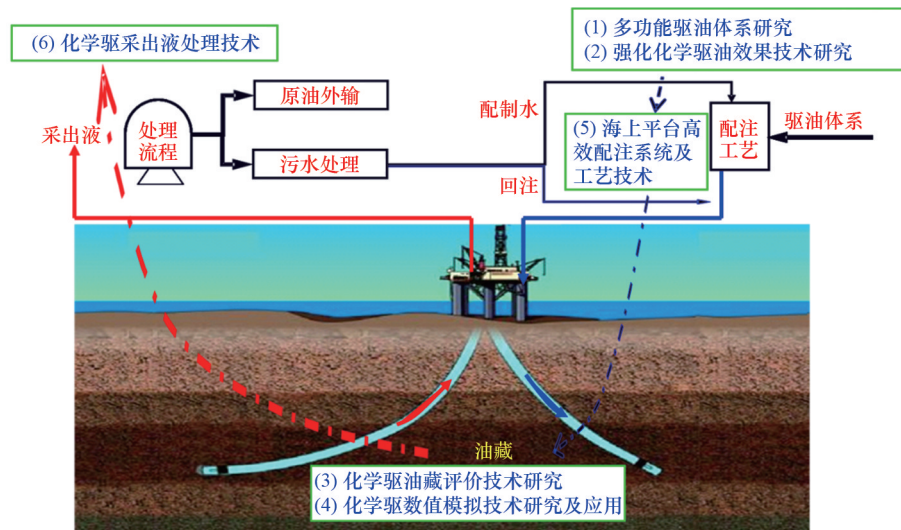


图5 化学驱油技术现场实施的系统过程

2.3 渤海深层新发现揭开全球储量最大的变质岩潜山凝析气田开发的序幕

2019年2月渤中19-6凝析气田获得重大发现,探明油气地质储量达3亿t油当量。渤海湾盆地是目前中国探明原油储量最多、产能最大的油型盆地,半个多世纪来探明程度高达50%,却始终未发现大气田。该项目突破油型盆地如何大规模生气、深层变质岩潜山是否存在规模型优质储层等世界级难题^[4],取得了一系列理论和技术创新:其深层变质岩潜山大型凝析气田成藏理论首次揭示晚期快速沉降控制大面积爆发式生气机理、应力主导的深层变质岩潜山“优势矿物-多期应力-双向流体”

三元共控成储机理,首创了晚期构造强活动区超压动力封闭的天然气富集成藏模式^[5]。这些创新成功指导发现了全球储量最大的变质岩潜山凝析气田,中国东部第一个大型、整装、高产、特高含凝析油的凝析气田渤中19-6(图6)^[6]。这将极大增强华北地区的天然气供应能力,也将为京津冀协同发展、雄安新区建设等提供更加安全的能源保障。“渤海湾盆地深层大型整装凝析气田勘探理论与重大发现”获2019年度国家科技进步一等奖,彻底改写了“渤海湾没有大气田”的历史,揭开了渤海湾大型整装凝析气田的神秘面纱,并引领渤海湾盆地由大规模找油时代,转入大规模找油找气新时代。

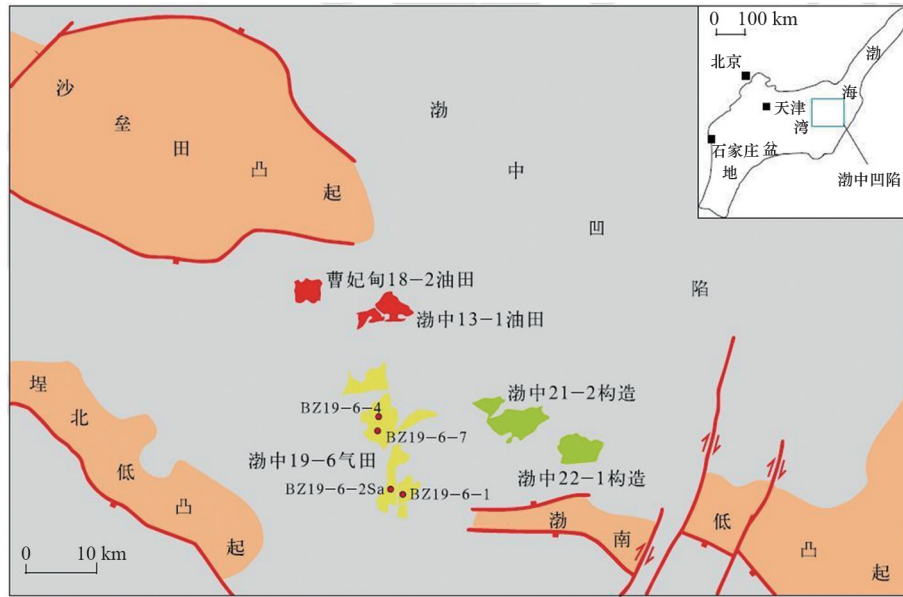


图6 渤中19-6凝析气田区域位置图

2.4 南海深水的新发现推动中国深水勘探开发与工程技术快速发展

中国第一个深水气田荔湾3-1的开发是中国深海开发领域的突破。荔湾3-1气田平均水深1500 m,在2014年3月全面建成投产。其开发模式是水下井口通过2根22吋海底管线回接79 km到位于200 m水深的浅水平台,在平台处理后的天然气和凝析油混合后通过1根30吋(1吋=2.54 cm)外输管线到珠海高栏终端进行最终处理(图7)^[7]。

其中心平台重达32000 t,并创造性地采用浮拖法安装完成,是亚洲最大的海上油气平台。深水勘探理论和技术的进步促成南海深水自营油气田的新发现。南海北部陆缘深水油气地质理论技术创新与勘探重大突破指导发现了13个大中型商业油气田。2014年,中国海油首次钻获中国首个自营深水高产大气田陵水17-2目前已进入实质性开发建设阶段^[8],该气田开创了世界首例深水万吨级储油半潜平台的开发模式(图8),突破并掌握了1500 m



图7 荔湾3-1气田开发模式

水深半潜式生产平台设计建造技术以及配套国产化设备的设计与制造等多项技术,形成了中国1500 m深水气田自主设计和开发能力。该气田投产后,每年将稳定供气超过30亿m³,从而完善环粤

港澳大湾区和海南岛自由贸易试验区南海天然气大动脉建设,成为南海新的能源中心;并可支撑油气勘探开发由近及远向南海深处推进,成为深海气田开发示范工程项目。

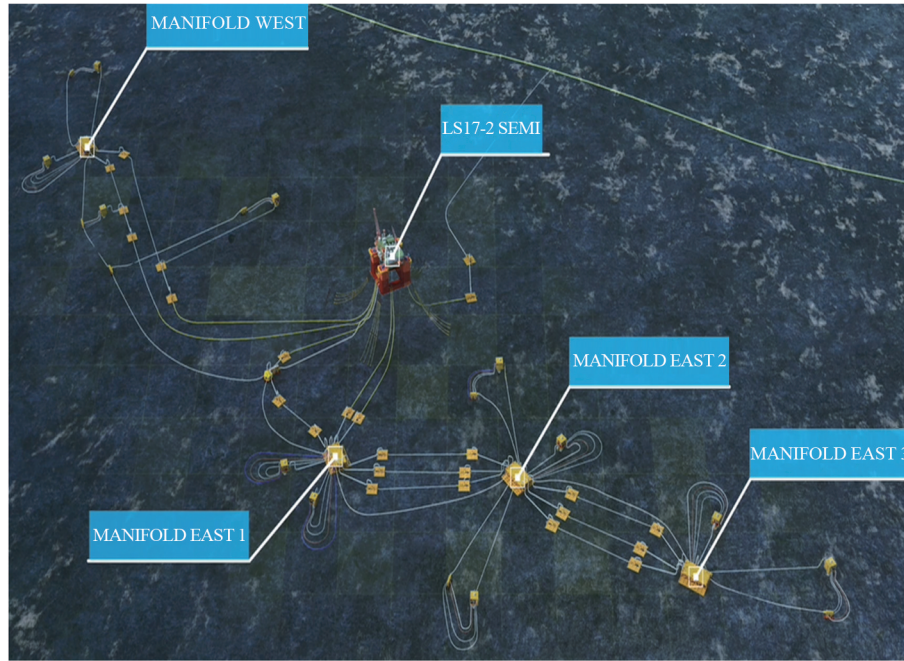


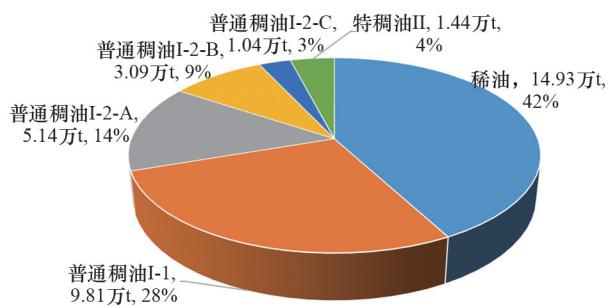
图8 陵水17-2深水气田开发模式

3 中国海洋能源开发未来的主攻方向及建议

3.1 加大近海非常规油气开发技术攻关,为中国油气工业提供更多现实的贡献

近海油气是当前海洋能源的重要组成部分,也是支撑海洋油气发展的基础。在很长一段时间内,

油气的增量还是主要靠近海。随着勘探开发的深入,超常规稠油(图9)、低渗/近致密等油气资源比重不断增加。因此,建议进一步加强探索开发近海非常规稠油(重油)、复杂气藏开发的新技术;对于黏度高于350 mPa·s的稠油开发从蒸汽吞吐、蒸汽驱、SAGD(steam assisted gravity drainage)、火烧油层、超临界流体等关键技术予以突破;以区域开发、



稠油分类		黏度 (mPa·s)	储量 /万t	比例 /%
常规稠油	普I-1	50~150	9.81	28
	普I-2-A	150~350	5.14	14
超常规稠油	普I-2-B	350~1000	3.09	9
	普I-2-C	1000~10000*	1.04	3
	特稠油II	>10000*	1.44	4

注：“*”表示地面脱气原油

图9 中国渤海油田不同黏度稠油资源量及其比例情况

滚动开发思想为指导,推进勘探开发工程一体化、综合开发技术的提升与创新。

3.2 加大深海油气勘探开发力度,打造中国油气产业未来的重要接替区

深水是世界海洋能源开发主战场和科技创新的前沿,2006年以来全球油气新发现储量中,深水油气储量占50%以上(图10)。近年来,南海深水油气资源日益受到重视^[9],周边国家在南海已开展了大量的油气勘探开发活动,并已经形成现实的生产能力,对中国传统疆界内的油气资源盗采严重(约每年5000万t油当量)。必须大力发展深海技术,努力提高深海资源勘探和开发技术能力。在当前低油价的背景下,建议国家给予一定的政策优惠和财税减免,对深水油气开发予以支持;加强深水勘探的布局和力度以及深水开发核心技术的研发,并通过自主开发引领共同开发的具体举措,实现南海维权与深海能源开发的新突破。



图10 世界主要深水油气田分布

3.3 突破天然气水合物规模化开发关键技术,早日实现商业化开采

天然气水合物(图11)的开发是当前的科研热点与难点,“海洋天然气水合物和油气一体化勘探开发机理和关键工程技术”入选中国科协2019年20个重大科学问题和工程技术难题。尽管中国南海、美国、加拿大、日本均进行了天然气水合物试采,但由于试采时间有限,长期试采的技术可用性和安全性存在很大不确定性,制约天然气水合物安全高效开发的三大技术挑战:“装备安全、生产安全和环境安全”尚未根本突破^[9],要实现天然气水合物商业开发还有很长的路要走。建议通过持续的、多学科攻关及产学研用创新联盟,攻克其成藏机理

及勘探评价、规模化安全开发、多相输运连续排采、环境风险防控等核心技术问题,推动海域“三气合采(水合物、浅层气和深部常规油气)立体开发”,早日实现水合物安全高效开发。



图11 天然气水合物——“可燃冰”

3.4 打造深海能源开发装备舰队,支撑海洋强国建设

海洋装备是实现海洋高效开发的国之重器,目前中国在此领域处于国际上的第二梯队,在浅水领域已拥有成熟的体系和先进的水平,但在深水工程装备及其核心关键设备配套能力与国际先进水平还有较大差距^[10-11]。通过陵水17-2气田、流花油田群的开发建设,中国的深水装备制造能力正在进一步提升。建议加强深海装备(如FLNG(图12)、深水应急救援装备、水下生产系统)的研发与应用;对于深海重大装备应在“设计-建造”基础上,实现中



图12 典型FLNG效果

国制造部分“核心装备”,避免出现“卡脖子”现象;并推动向智能制造转型,实现制造效率提升20%~30%,力争国际竞争力明显提升。

3.5 抢占先机,布局并推进大洋矿产的勘探开发

国际海底区域面积达2.52亿 km^2 ,占地球表面积的49%,蕴藏着极其丰富的多金属结核、富钴结壳、多金属硫化物等资源(图13、图14),由国际海底管理局管理,属于人类共同继承财产。目前国际海底管理局已批准30个勘探合同,中国矿区数量最多(5个)、面积最大,已实现3个矿种全覆盖。海底矿区的申请原则是“先到先得”,富矿有限,竞争加剧。国际海底矿区勘探进程明显加快,采矿技术及装备快速发展^[12]。海底采矿第一梯队国家(美国、加拿大、日本等)已经通过国际合作完成深海采矿系统联动试验,目前在做商业化采矿的准备,而中国仍处在前期试验和技术积累阶段。建议抓住机遇,制定长期的深海矿产资源开发战略,构建深

海矿产开发产学研用体系,围绕海底矿产精准勘探、绿色高效开发和环境评估及保护所需的技术和装备进行重点突破。

3.6 进一步加强极地科研攻关,深度参与极地开发

极地是中国战略空间的重要拓展和延续方向。北极油气生产量占全球比重18.24%~20.46%,消费总量占全球比重7.18%~7.66%。北极八国石油生产量远远大于消费量,产消差不断增长,能够提供巨大的能源贸易空间。如能利用与俄罗斯等国的能源合作从北极获取更多油气资源,将有效缓解中东局势不稳对中国能源安全的威胁。此外北极的开发项目将可以为中国的海工企业带来巨额的装备出口订单(图15、图16),中国企业在俄罗斯北极LNG开发项目亚马尔、北极2号(共计LNG年产能约4000万t)参股20%以上^[13-14]。建议进一步加强极地科研攻关,加强极地装备与技术储备,深度参与极地开发,获取更多的进口能源和装备出口订单。

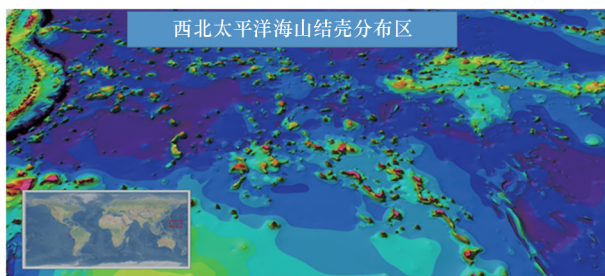


图13 西北太平洋海山结壳分布区



图15 极地LNG处理工程

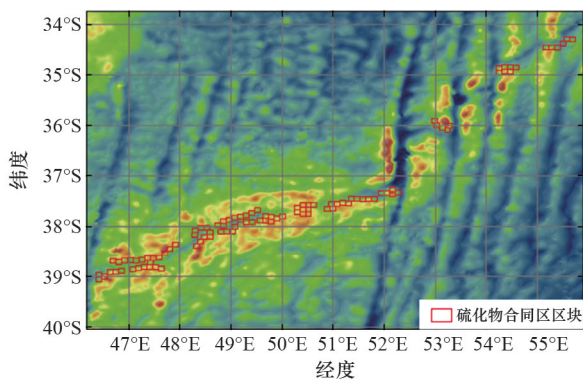


图14 西南印度洋中国硫化物勘探合同区位置和区块分布



图16 青岛海工建造场地“亚马尔”模块建造现场

4 结论

通过勘探开发海洋油气资源,特别是深海油气资源,越发深刻认识到海洋资源能为国家能源安全提供可靠保障。未来深远海,包括极地油气勘探开发油气的竞争,将是国家核心力的竞争。人们常说,工业经济时代依靠常规技术开发稀有资源,知识经济时代将依靠高新技术开发普遍存在的自然物体中所包含的丰富资源,包括浩海汪洋中恣肆的海水及海底资源,这将是实现国家能源长远发展战略、实现社会经济可持续发展的重要资源接替区。要一如既往以提升开发海洋能源资源的能力为依托,继续奋力拼搏,占领海洋高新技术制高点。同时,还要清醒认识到海洋是地球上人类最后的生存空间和生存资源的宝库,要把海洋开发和海洋环境保护有机结合起来,建立海洋命运共同体,实现人类与海洋的和谐、可持续发展。

参考文献(References)

- [1] 林瑶生,周守为,李浪清,等.“海洋石油981”深水半潜式钻井平台防喷器组与控制系统创新与实践[J].中国造船,2013,54(增刊1):267-275.
- [2] 陈璧,丘宗杰,徐文江.中国近海采油工艺技术的发展战略[J].石油科技论坛,2014(33):1-4.
- [3] 张凤久,姜伟,孙福街,等.海上稠油聚合物驱关键技术研究与矿场试验[J].中国工程科学,2011,13(5):28-33.
- [4] 施和生,王清斌,王军,等.渤中凹陷深层渤中19-6构造大型凝析气田的发现及勘探意义[J].中国石油勘探,2019,24(1):36-45.
- [5] 薛永安,韦阿娟,彭靖淞,等.渤海湾盆地渤海海域大中型油田成藏模式和规律[J].中国海上油气,2016,28(3):10-19.
- [6] 谢玉洪.中国海油近海油气勘探实践与思考[J].中国海上油气,2020,32(2):1-13.
- [7] 金晓剑,陈荣旗,朱晓环.南海深水陆坡区油气集输的重大挑战与技术创新——荔湾3-1深水气田及周边气田水下及水上集输工程关键技术[J].中国海上油气,2018,30(3):157-163.
- [8] 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.
- [9] 周守为,陈伟,李清平,等.深水浅层非成岩天然气水合物固态流化试采技术研究及进展[J].中国海上油气,2017,29(4):1-8.
- [10] 谢彬,张爱霞,段梦兰.中国南海深水油气田开发工程模式及平台选型[J].石油学报,2007,28(1):115-118.
- [11] 程兵,李清平,黄冬云,等.水下生产系统管汇布置研究[J].石油机械,2015,43(3):60-63.
- [12] 陶春辉,李怀明,金肖兵,等.西南印度洋脊的海底热液活动和硫化物勘探[J].科学通报,2014,59(19):1812-1822.
- [13] 雷闪,殷进垠.北极油气开发现状分析与战略思考[J].中国矿业,2014(2):16-19.
- [14] 孙凯,马艳红.“冰上丝绸之路”背景下的中俄北极能源合作—以亚马尔LNG项目为例[J].中国海洋大学学报(社会科学版),2018(6):1-6.

Developing marine energy and building a marine power

ZHOU Shouwei^{1,2}, LI Qingping²

1. China National Offshore Oil Corporation, Beijing 100010, China
2. China Marine Resources Development Strategic Research Center, Beijing 100028, China

Abstract Development of marine energy is important for the construction of a powerful marine country. This paper discusses the contribution of scientific and technological innovations to the exploration and development of marine energy in recent years, and puts forward the main direction and suggestions for China's marine energy development in the future: to increase the technological research of offshore unconventional oil and gas development to provide more practical contribution for China's oil and gas industry; to increase the exploration and development of deep-water oil and gas for future replacement area; to break through key technology of large-scale development of natural gas hydrate and realize commercial exploitation as soon as possible; to build a fleet of deep-water energy development equipment to support the construction of a powerful marine country; to seize the opportunity to lay out and promote exploration and development of ocean minerals; and to further strengthen polar scientific research and deep participate in polar development.

Keywords marine energy; exploration and development; marine power ●



(责任编辑 刘志远)