

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.

全球深水-超深水油气勘探历程与发展趋势

蒋德鑫,张厚和,李春荣,郝婧,李凡异,张文昭,孙迪

(中海油研究总院有限责任公司,北京 100028)

摘要:全球深水-超深水油气勘探经历了深水探索发现(1959—1983年)、深水快速发展与超深水探索(1984—2009年)、深水-超深水稳定发展(2010年至今)3个阶段,形成了以墨西哥湾、巴西东部海域和西非海域为主的深水成熟勘探区,和以拉美东北部、东非、东地中海等为主的超深水新领域的勘探格局。2011年以来,全球深水-超深水勘探投入呈“两段式”特点,2011—2014年勘探投资和探井工作量投入呈现增长态势,处于历史高位;2014年国际油价下跌以来,勘探投入大幅缩减,投资项目多集中于拉丁美洲、北美洲和非洲重点领域。储量发现表现为“集中分布,多点突破”,东非、东地中海、黑海盆地天然气新领域和圭亚那海域石油新领域实现突破,发现时间集中于2011—2015年,水深集中在1500~2400 m超深水。深水-超深水领域油气资源潜力巨大,技术进步使得勘探竞争优势逐渐增强,在国际油价逐步回升的背景下,深水投资不断加大,未来深水成熟区继续挖潜,东非、东地中海、黑海、苏里南等深水-超深水新区不断实现突破,将继续引领全球深水-超深水油气勘探方向,推动深水-超深水油气勘探进入新的储量增长阶段。

关键词:深水-超深水;全球油气勘探;勘探历程;油气新发现;勘探趋势;新领域

中图分类号:P744.4;P618.13

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2022.047

0 引言

全球油气勘探活动不断向浅水、深水、超深水突破,近年来深水-超深水已成为全球油气勘探的重点领域^[1-6]。对于深水界限,不同国家标准不一,随着技术进步处于动态变化。当前,中国和巴西将水深>300 m的海域称为深水区,法国把水深>400 m的海域作为深水区,澳大利亚和英国把水深>500 m的海域作为深水区^[3]。本文采用标准为:300 m以浅为浅水区,300~1500 m为深水区,1500 m及以深为超深水区。本文利用IHS Markit、Wood Mackenzie等商业机构数据^[7-8],分析总结1959—2021年期间全球深水-超深水油气勘探历

程,重点分析2011年以来全球深水-超深水油气勘探特征,并展望未来深水-超深水油气勘探发展趋势。

1 全球深水-超深水油气勘探历程

全球深水油气勘探最早可追溯至20世纪60年代,不同海域开始深水探索的时间不尽相同,根据不同水深探井作业规模和油气储量发现规模将勘探历程划分为3个阶段。

1.1 深水探索发现阶段(1959—1983年)

1959年,全球第1口深水探井Inglaterra 2于古巴北部海域497 m水深钻探,但直到1968年起才开始有连续深水钻井工作。1968年,墨西哥湾滨岸盆地701 m水深发现首个深水油气田MC311,标志着全球深水油气发现的起步。1959—1983年期间全球深水探井年均16口,占海域所有探井比例的10%以下(图1);深水年均新增油当量2P可采储

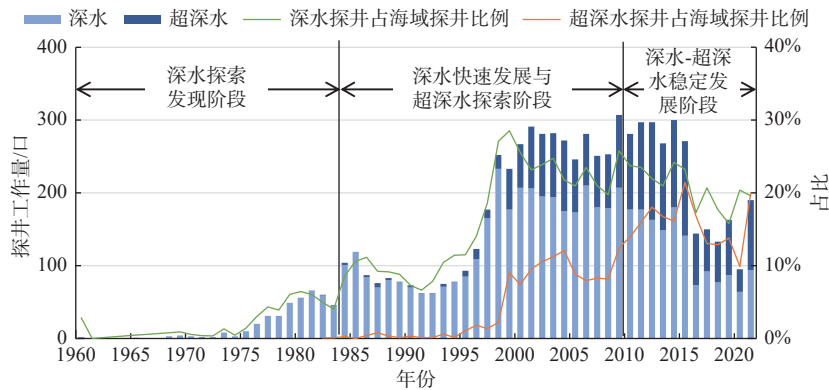
收稿日期:2022-02-20

资助项目:中国工程院战略研究与咨询项目“深海与极地油气开发发展战略研究”(2022-XBZD-08)

作者简介:蒋德鑫(1995—),男,硕士,工程师,主要从事油气勘探规划方面的研究工作。E-mail:jiangdx1003@163.com

量^① 1.21×10^8 t, 对海域新增储量贡献 $< 10\%$ (图 2)。该阶段深水探井作业集中在北美洲圣巴巴拉海峡文图拉盆地、墨西哥湾深水盆地、欧洲北海盆地等地区, 埃克森美孚、壳牌、BP 等公司投入探井工作量较多。1968—1983 年在墨西哥湾开展的深海钻探计划 (DSDP), 证实了该地区深水沉积中存在油积砂岩; 20 世纪 70 年代的勘探研究预测深水油积砂岩中可能有油气富集, 随后的勘探实践证明, 深

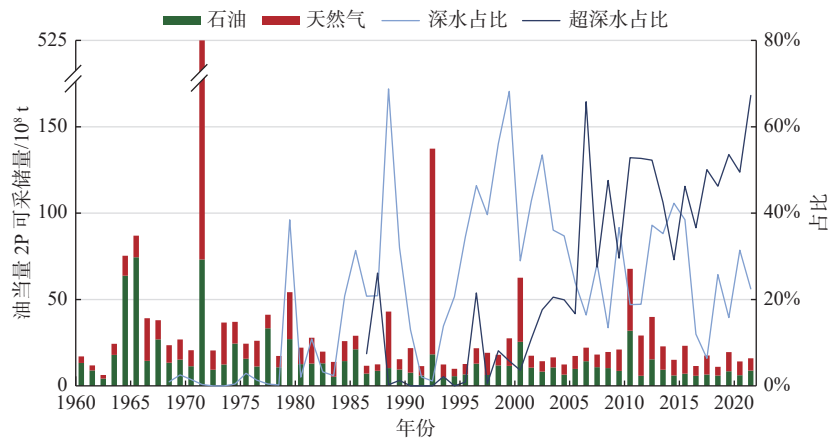
水优质的油气成藏条件能够支持高成本的深水油气田勘探开发^[9], Bullwinkle 油田便是在这一勘探思路下发现 (表 1)。此阶段发现的典型油气田有澳大利亚北卡那封盆地 Scarborough 1 气田 (水深 912 m)、欧洲北海霍达台地 Troll 气田 (水深 355 m), 其中, Troll 气田于 1979 年由壳牌公司勘探发现, 油当量 2P 可采储量 14.56×10^8 t, 为这一时期全球深水最大发现 (表 1)。



数据自文献 [7] 整理

图 1 全球海域历年深水、超深水探井工作量变化

Fig.1 Distribution of global deep- and ultra-deep-water exploration wells over the years



数据自文献 [7] 整理

图 2 全球海域历年新增油当量 2P 可采储量分布

Fig.2 Distribution of global offshore 2P recoverable reserves over the years

1.2 深水快速发展与超深水探索阶段 (1984—2009 年)

进入 20 世纪 80 年代, 深水勘探开始快速发展, 同时逐渐向超深水领域拓展, 多地区实现突破 (表 1)。

1984—2009 年期间, 全球深水探井数年均 137 口, 深水年均新增油当量 2P 可采储量 6.93×10^8 t, 深水探井数占海域所有探井比例基本 $> 10\%$ (图 1), 深水新增储量占海域总体 $> 20\%$ (图 2)。墨西哥湾深水盆地、巴西坎波斯盆地、北海伏令盆地、非洲下

^① 据石油工程师协会 (Society of Petroleum Engineers, SPE) 定义, 2P 可采储量为证实储量 (Proven Reserves) 与概算储量 (Probable Reserves) 之和。

表1 全球深水-超深水各勘探阶段典型油气田发现

Table 1 Global typical oil and gas discoveries in deep- and ultra-deep-water at different exploration stages

勘探阶段	油气田名称	油气田类型	发现年份	水深/m	油当量2P可采储量/10 ⁸ t	国家	盆地	作业者	发现意义
深水探索发现阶段(1959—1983年)	Troll	气田	1979	355	14.56	挪威	北海霍达台地	壳牌	北海最大气田,欧洲第2大气田,约占挪威天然气储量的40%
	Scarborough 1	气田	1979	912	2.52	澳大利亚	北卡那封盆地	埃克森美孚	北卡那封盆地首个深水巨型气田,澳大利亚第2大气田,其发现证实了盆地巴伦组存在分布广泛、品质良好的砂体储层
	Bullwinkle	油气田	1983	412	0.28	美国	墨西哥湾深水盆地	壳牌	其深水油积砂体储层属盆地较早发现,该油气田研究表明此类储层的单井控制面积能达4 km ²
	MC311	油气田	1968	701	0.22	美国	墨西哥湾滨岸盆地	Fieldwood 能源	北美首个深水油气发现
深水快速发展与超深水探索阶段(1984—2009年)	Shtokmanovskoye	气田	1988	340	28.21	俄罗斯	东巴伦支海盆地	俄罗斯天然气公司	全球最大深水气田
	Shah Deniz	气田	1999	600	9.59	阿塞拜疆	里海	BP	中亚地区最大气田,里海地区首个深水油气发现
	Zafiro	油田	1995	850	2.30	赤道几内亚	尼日尔三角洲	埃克森美孚	西非首个深水油田,赤道几内亚首个开发(1997年)的油田,截至2007年,该油田仍是该国最大的产量来源
	Tupi	油田	2006	2 126	11.11	巴西	桑托斯盆地	巴西国油	巴西第1大生产油田,其发现揭开了桑托斯盐下碳酸盐岩含油气系统油气勘探序幕,形成了以瓜拉蒂巴盐下含油气系统为主要目标的勘探思路
	Mad Dog	油气田	1998	2 053	1.43	美国	墨西哥湾深水盆地	阿莫科	该油田的成功发现为周边区块提供了在中新统盐下褶皱带中寻找目标的勘探思路
	Julia	油气田	2007	2 160	0.71	美国	墨西哥湾深水盆地	埃克森美孚	下始新统威尔考克斯含油气区带典型的由盐覆盖的背斜构造
	Tamar	气田	2009	1 678	2.76	以色列	黎凡特盆地	诺贝尔能源	东地中海地区首个深水发现,证实了该地区中新统地层生物气成烃气藏的巨大潜力,为东地中海后续天然气田发现提供了指导
	Buzios	油田	2010	1 889	15.62	巴西	桑托斯盆地	巴西国油	巴西海域最大油气发现,是继Tupi油田之后的巴西第2大生产油田
	Mamba Complex	气田	2011	1 585	11.49	莫桑比克	鲁伍马盆地	埃尼	东非海域首个超深水油气发现,非洲海域最大油气发现,埃尼全球最大油气发现
	Zohr	气田	2015	1 452	4.91	埃及	埃拉托色尼台地	埃尼	埃及最大油气发现,隔层分隔的中新统和白垩系存在不同油源的成藏模式成功指导了埃尼在委内瑞拉和哈萨克斯坦的类似油气田发现
深水-超深水稳定发展阶段(2010年至今)	Liza	油田	2015	1 743	3.74	圭亚那	圭亚那盆地	埃克森美孚	圭亚那近海首个油气发现
	Sakarya	气田	2020	2 117	3.25	土耳其	黑海盆地	土耳其国油	2020年全球最大油气发现,黑海盆地首个深水商业发现,证实了黑海具有发现巨型油气田的勘探潜力

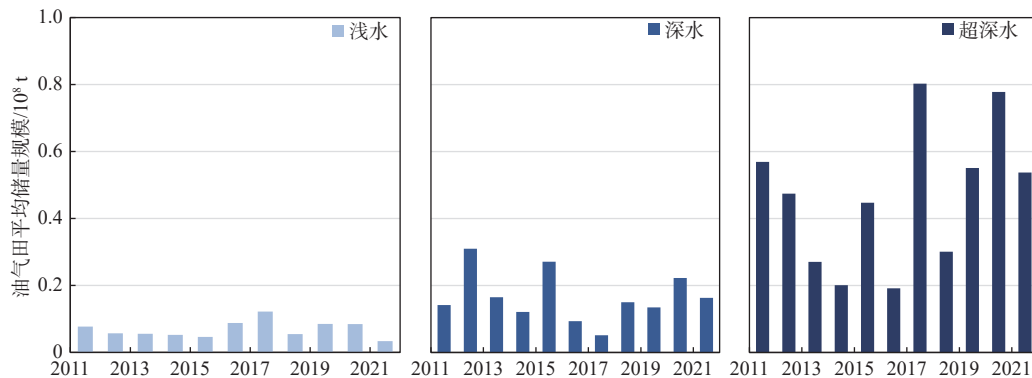
刚果盆地、尼日尔三角洲等成为深水勘探热点区域,上述地区深水探井工作量和新增储量分别占同期全球深水的53%、49%。墨西哥湾深水油气勘探早期聚焦在新近系中新统、上新统含油气区和古近系威尔考克斯(Wilcox)含油气区,该地区盐岩活动形成的大型局限盆地很好地保存了连续的优质砂体储层,2007年埃克森美孚公司发现的Julia油气田即为典型的由盐封盖的构造圈闭。随后的勘探逐渐向“深层、更深水”转移,近年来白垩系、侏罗系和超深水盐下上新统勘探层系逐渐受到关注^[10]。西非深水领域最早由壳牌、埃克森美孚、道达尔等公司涉足,其储量发现始于20世纪90年代中后期^[11],埃克森美孚1995年在尼日尔三角洲发现西非首个深水油田Zafiro,其油当量2P可采储量达 2.30×10^8 t;下刚果盆地首个深水大型油田(油当量2P可采储量 >100 mmboc^[12],下同)——Girassol油田发现于1996年,随后尼日尔三角洲发现了Bonga(1996年)、Bosi(1996年)、Ehra(1998年)、Agbami(1998年)等巨型油田(油当量2P可采储量 >500 mmboc^[12],下同),下刚果盆地发现一系列小规模油田,使得这两大地区成为西非海域重要含油气区。

全球超深水油气勘探起步于北美洲,1986年巴西坎波斯盆地发现首个超深水油气田Albacora Leste,随后,墨西哥湾逐渐有超深水油气田发现,其余地区直到2000年前后才陆续开展超深水勘探工作。1984—2009年期间,全球超深水探井年均38口,占海域所有探井比例基本 $<10\%$ (图1),年均新增油当量2P可采储量 2.43×10^8 t。北美、拉美海域2000—2009年期间超深水油气勘探已形成相对较大规模,主要由BP、壳牌、雪佛龙、巴西国家石油等公司投入大量超深水探井工作,期间超深水探

井年均约50口,约占全球超深水探井的62%;年均新增油当量2P可采储量约 3.33×10^8 t,约占全球超深水新增储量的66%。2006年桑托斯盆地超深水发现Tupi油田,揭开了巴西海域盐下碳酸盐岩含油气系统油气勘探序幕,勘探领域由盐上含油气系统逐渐扩大至盐下。道达尔公司于1999年在下刚果盆地钻探了非洲第1口超深水探井,在21世纪首个10年,BP、道达尔等公司开始布局西非超深水领域,多集中于下刚果盆地和尼日尔三角洲,期间超深水年均探井数超20口,年均新增油当量2P可采储量 1.20×10^8 t。

1.3 深水-超深水稳定发展阶段(2010年至今)

2010年起,全球各海域深水-超深水勘探进入稳定发展,超深水油气田发现数量大幅超过深水的。全球超深水年均新增油当量2P可采储量 11.94×10^8 t,深水年均新增 6.08×10^8 t,合计占海域新增储量比例 $>70\%$ 。此阶段超深水油气田平均储量规模显著大于浅水和深水,且呈逐年增大趋势(图3),这主要得益于巴西盐下、东非、东地中海、黑海等新领域发现的如Buzios、Mamba Complex、Zohr、Sakarya等巨型油气田(表1)。此阶段非洲深水-超深水油气勘探格局由早期的西非中部逐渐向西非北部和东非南部等盆地拓展。西非北部塞内加尔盆地勘探程度较低,2014—2017年多个超深水大发现证实了其广阔的勘探前景,科斯莫斯、BP和卡普里康(Capricorn)公司2014年以来在该盆地获得深水-超深水储量超 13.35×10^8 t;东非鲁伍马盆地深水领域于2010年实现突破,阿纳达科、埃尼公司在该盆地投入近60口探井,获得天然气储量近 4×10^{12} m³。拉丁美洲大西洋陆缘油气勘探由巴西海域向圭亚那和苏里南超深水领域延伸,2015年Liza油田的



数据整理自文献[7]

图3 全球2011—2021年不同水深油气田平均储量规模分布

Fig.3 Distribution of average reserve of global offshore fields from 2011 to 2021

发现实现了圭亚那近海勘探的突破,同时,2010年以来巴西桑托斯盆地盐下含油气系统勘探热度不减,巴西国家石油公司投入超 50 口探井,盐下含油气系统为盆地贡献了近 80% 的石油和近 76% 的天然气储量。近年来,非洲、拉美东部超深水储量发现的迅速增加,使其成为当前全球深水-超深水勘探最为活跃的地区。

2 近 10 年全球深水-超深水油气勘探特点

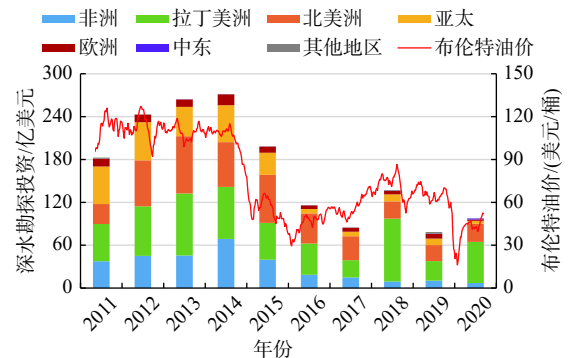
2.1 勘探投资及探井工作量

2011 年以来,全球深水-超深水油气勘探投入呈“两段式”特征。2011—2014 年全球深水-超深水油气勘探投资呈增长态势,总体保持高位,2014 年国际油价骤降,上游勘探投资随即减少,深水-超深水勘探投资自 2014 年高峰 271 亿美元逐步削减,2019 年降至 78 亿美元,降幅达 71%,近 5 年处于低位波动(图 4)。在长期低迷的油价背景下,石油公司为降低勘探风险和技术难度,将投资项目更多地投入到拉丁美洲、北美洲和非洲深水-超深水领域(图 4),主要原因是以上地区多个盆地深水-超深水油气资源已得到证实,并且较成熟的深水钻井作业也有助于降低勘探风险^[5,13]。

探井工作量方面,2011—2015 年深水-超深水探井年均约 290 口,处于历史高位(图 1)。墨西哥湾深水盆地深水-超深水探井年均近 50 口,其次是东非鲁伍马盆地、巴西坎波斯盆地、西非下刚果盆地、巴西圣埃斯皮里图盆地及桑托斯盆地等,其深水-超深水探井年均均在 8 口以上。2016 年以来,深水-超深水探井数削减近半,从 2014 年的 300 口降至 2020 年不足 100 口,非洲海域降幅最大,东非鲁伍马盆地、西非尼日尔三角洲探井分别减少 16 口、5 口,而西非塞内加尔盆地年均增加近 7 口;北美洲海域已形成深水、超深水为主的油气勘探格局,其探井数变化幅度较小。2021 年国际油价回升,探井工作量也有相应增加。

2.2 新发现储量特征

2011—2021 年,全球海域共发现油气田 1 367 个,新增油当量 2P 可采储量 220.26×10^8 t,其中,深水石油 21.78×10^8 t、深水天然气 4.79×10^{12} m³,超深水石油 42.68×10^8 t,超深水天然气 8.07×10^{12} m³;发



数据整理自文献 [8]

图 4 全球深水-超深水 2011—2020 年勘探投资

Fig.4 Global investment to deep- and ultra-deep-water exploration from 2011 to 2020

现巨型油气田 74 个,油当量 2P 可采储量 123.1×10^8 t,占同期海域勘探新增储量的 56%,其中 64 个位于深水-超深水领域,石油储量 34.57×10^8 t、天然气储量 9.02×10^{12} m³。全球深水-超深水储量发现呈现“集中分布,多点突破”的特点,石油储量发现集中于拉美东部、墨西哥湾海域,天然气储量发现集中于非洲、东地中海、亚太海域,其水深集中在 1 500~2 400 m 超深水,储量发现时间集中于 2011—2015 年(表 2、图 5)。

2.2.1 非洲海域天然气发现引领储量增长

2011 年以来全球深水-超深水领域新增天然气储量主要集中于非洲海域,以鲁伍马盆地和塞内加尔盆地为主,排名前 4 的油气田均位于非洲(表 2),发现时间集中于 2015 年及以前(图 6)。2011 年以来非洲海域新发现油气田 205 个,深水 76 个,超深水 68 个;新增油当量 2P 可采储量 74.08×10^8 t,其中天然气 7.61×10^{12} m³,占比高达 82%。发现巨型油气田 24 个,贡献储量近 72%,其中 23 个油气田位于深水-超深水。

鲁伍马盆地已证实油气主要富集于新生界深水水道和扇体砂体中,古近—新近系浊积扇砂体勘探最为成功,例如埃尼公司 2011 年发现的 Mamba Complex 气田,天然气可采储量 1.44×10^{12} m³,是东非海域首个油气勘探突破^[14],为近 10 年非洲海域最大发现,随后连续 3 年埃尼公司在鲁伍马盆地发现了多个巨型天然气田。2014 年,Carin 公司和科斯莫斯公司利用最新高品质 PSDM 资料对塞内加尔盆地陆坡深水盆底扇进行精细刻画,并在该地区深水首次发现重要油气资源^[14-15],随后, BP、科斯莫斯、伍德赛德等公司在该地区相继发现 Ahmeyim/Guembeul、Yakaar 1、Orca 1 等大型油气田,累计发

表 2 全球深水-超深水领域近 10 年重大油气田发现

Table 2 Global major oil and gas discoveries in deep- and ultra-deep-water in the past decade

油气田名称	油气田类型	发现年份	国家	盆地	作业者	水深/m	油当量2P可采储量/ 10^8 t
Mamba Complex	气田	2011	莫桑比克	鲁伍马盆地	埃尼	1 585	11.49
Golfinho/Atum	气田	2012	莫桑比克	鲁伍马盆地	阿纳达科	1 027	6.56
Zohr	气田	2015	埃及	埃拉托色尼台地	埃尼	1 452	4.91
Ahmeyim/Guembeul	气田	2015	毛里塔尼亚/塞内加尔	塞内加尔盆地	科斯莫斯	2 710	3.90
Liza	油田	2015	圭亚那	圭亚那盆地	埃克森美孚	1 743	3.74
Yakaar 1	气田	2017	塞内加尔	塞内加尔盆地	科斯莫斯、BP	2 538	3.63
Sakarya	气田	2020	土耳其	黑海盆地	土耳其国油	2 117	3.25
Atapu	油气田	2013	巴西	桑托斯盆地	巴西国油	2 266	2.83
Coral	气田	2012	莫桑比克	鲁伍马盆地	埃尼	2 261	2.75
Sepia	油气田	2012	巴西	桑托斯盆地	巴西国油	2 131	2.68
Orca 1/Rovuma	气田	2013	莫桑比克	鲁伍马盆地	阿纳达科	1 061	2.39
Bacalhau	油气田	2012	巴西	桑托斯盆地	巴西国油	2 160	2.25
Orca 1/Senegal	气田	2019	毛里塔尼亚	塞内加尔盆地	BP	2 510	2.08
Yellowtail 1	油气田	2019	圭亚那	圭亚那盆地	埃克森美孚	1 843	1.98
Aram	油气田	2021	巴西	桑托斯盆地	巴西国油	1 905	1.83

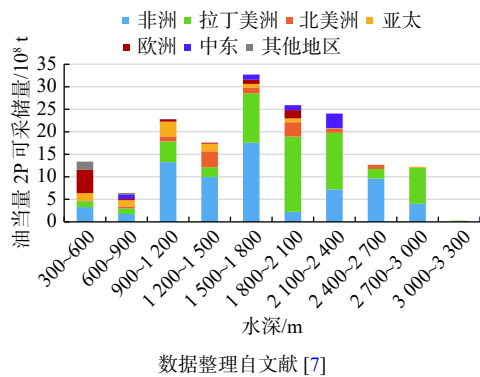


图 5 全球 2011—2021 年深水-超深水新增油气储量水深及地区分布

Fig.5 Water depth and regional distribution of global deep- and ultra-deep-water oil and gas reserves from 2011 to 2021

现油当量 2P 可采储量 136.45×10^8 t，塞内加尔盆地成为非洲深水勘探新的热点区域。2015 年埃尼公司在东地中海埃拉托色尼台地发现 Zohr 巨型气田，油当量 2P 可采储量为 4.91×10^8 t，研究认为气田储盖组合为中新统生物礁灰岩+盐岩^[16]，Zohr 气田的成功勘探提振了埃尼在该地区的勘探信心，2018 年在同一盆地又发现了 Calypso 1 气田。

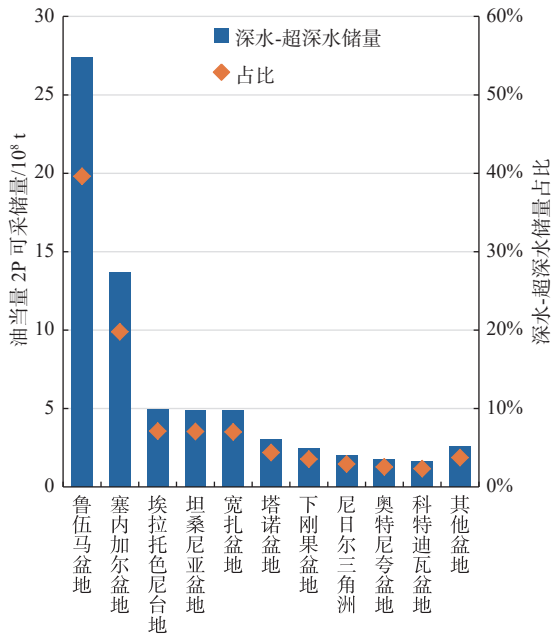
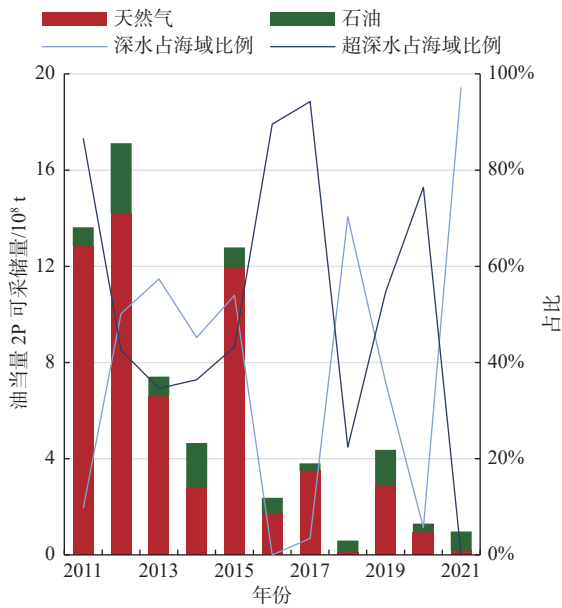
2.2.2 拉丁美洲深水新领域石油发现突出

拉丁美洲深水-超深水发现储量以石油为主，水深集中在 1 500~2 400 m 超深水区间。2011 年以来拉丁美洲海域发现油气田 219 个，其中 68% 位于深水-超深水领域；深水-超深水新增油当量 2P 可采储量 59.78×10^8 t，其中石油 37.82×10^8 t，占比 63%（图 7）；发现深水-超深水巨型油气田 30 个，油当量

2P 可采储量 41.23×10^8 t，占拉美深水-超深水新增储量的 69%。圭亚那盆地新发现储量最为瞩目，引领拉美海域新增储量逆势攀升，埃克森美孚公司于 1999 年获得圭亚那盆地 Stabroek 区块 100% 权益，2013 年以来，受西非塞内加尔盆底扇勘探启发，公司的勘探重点由陆上逐步向深水领域转移^[14,17]，2015 年对上白垩统深水浊积水道钻探发现 Liza 油田，获得油当量 2P 可采储量 3.74×10^8 t。随后针对深水浊积砂体和碳酸盐岩成藏组合持续勘探，至 2021 年底该区块已发现 19 个大型油气田，均位于深水-超深水领域，为该地区深水和白垩系勘探打开新局面。巴西国家石油公司针对桑托斯盆地超深水盐下湖相碳酸盐岩含油气系统持续耕耘，2006—2010 年期间发现 Tupi、Jupiter、Libra、Mero 等多个巨型油气田^[18-19]，2011 年以来盆地深水-超深水新增油当量 2P 可采储量 18.15×10^8 t，占拉美深水-超深水新增储量的 30%，储量增长高峰在 2012、2013 年，相继发现 Sepia、Bacalhau、Atapu、Sagitarario 等油当量储量超 1 000 mmboe 的油气田。

2.2.3 北美洲深水石油发现占据主导

北美洲海域于 20 世纪 60 年代进入深水领域勘探，80 年代进入超深水领域勘探，1993 年深水-超深水新增储量超过浅水，2000 年底深水油气产量超过浅水^[1]，2007 年深水石油产量已占墨西哥湾海域总产量的 70%^[20]，目前已形成聚焦于墨西哥湾深水盆地深水-超深水领域为主导的油气勘探形势。2011 年以来，北美洲深水-超深水新增储量以石油

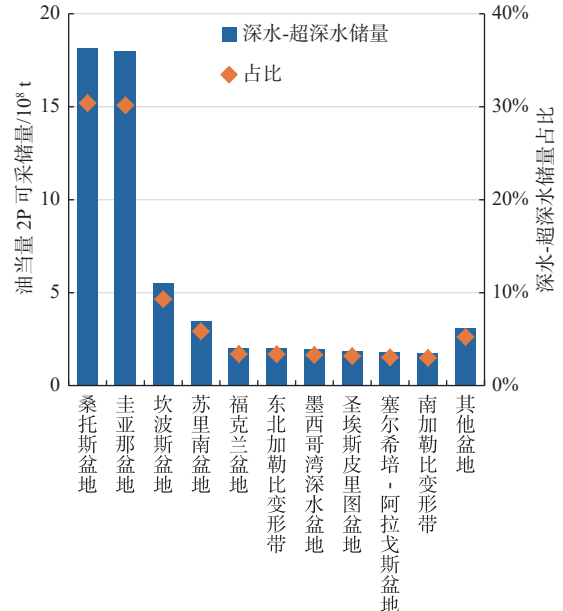
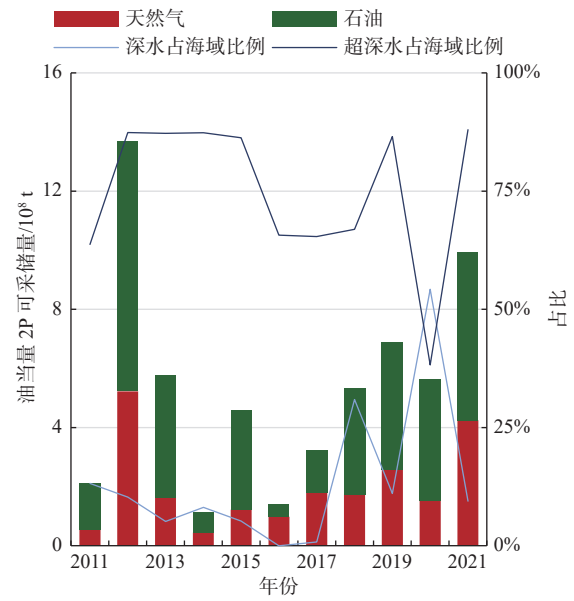


数据整理自文献 [7]

图 6 非洲 2011—2021 年深水-超深水新增油当量 2P 可采储量及主要盆地分布

Fig.6 Distribution of 2P recoverable reserves in African deep-water and ultra-deep-water, and its main basins from 2011 to 2021

为主,集中于 1 200~1 500 m、1 800~2 100m 水深,墨西哥湾发现 72 个深水-超深水油气田,新增油当量 2P 可采储量 10.73×10^8 t,其中石油占比 86%(图 8)。2010 年 BP 公司 Macondo 油井发生严重漏油事件后墨西哥湾深水油气勘探陷入短暂停滞,2011 年开始逐步恢复后在深水盆地取得一系列发现,2012 年发现 North Platte 油田,油当量储量 7.981×10^4 t,居当年全球前 30 大油气新发现之列^[6];2014 年陆续发现 Anchor、Guadalupe 油田;2017 年发现 Bally-



数据整理自文献 [7]

图 7 拉丁美洲 2011—2021 年深水-超深水新增油当量 2P 可采储量及主要盆地分布

Fig.7 Distribution of 2P recoverable reserves in Latin America deep-water and its main basins from 2011 to 2021

more 油田和 Whale 油气田,其油当量储量分别为 9.550×10^4 t、 7.503×10^4 t, Ballymore 油田为近 10 年北美深水最大油气发现。

2.2.4 中东天然气新领域实现突破

中东海域深水油气发现重点分布在黑海盆地、东地中海黎凡特盆地和南里海盆地,新领域大型天然气发现获得突破(图 9)。2011 年以来,中东海域新增油当量 2P 可采储量 13.11×10^8 t,其中深水-超深水天然气 $7.206.3 \times 10^8$ m³、石油 7.988×10^4 t。2020 年土耳其国家石油公司在黑海盆地超深水领域的

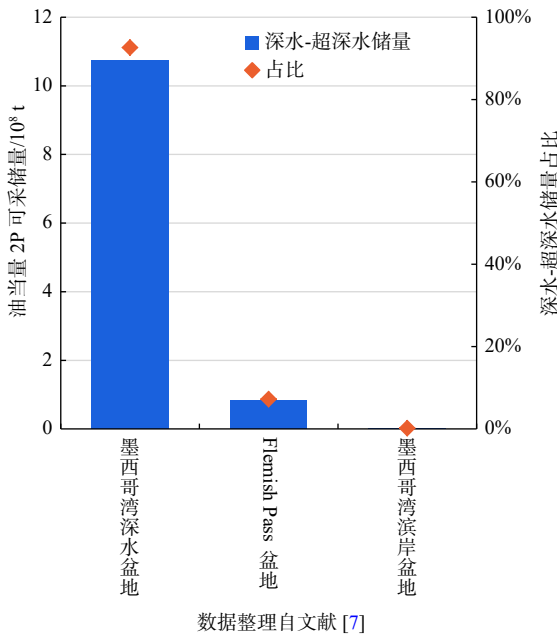
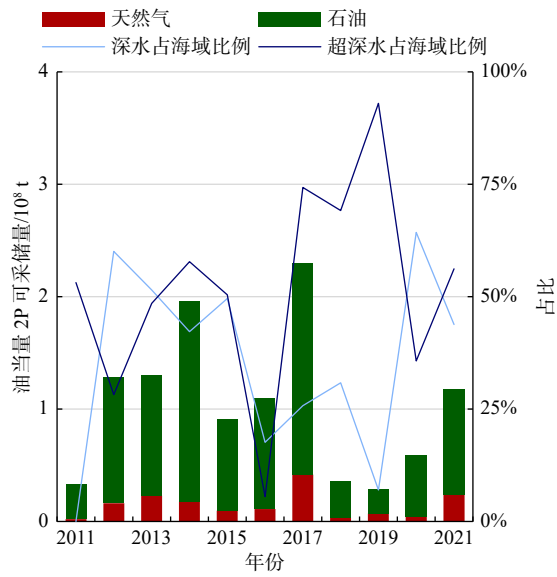


图 8 北美洲 2011—2021 年深水-超深水新增油当量 2P 可采储量及主要盆地分布

Fig.8 Distribution of 2P recoverable reserves in North America deep- and ultra-deep-water, and its main basins from 2011 to 2021

上新—中新统地层中钻遇 2 套含气砂岩,发现了 Sakarya 大气田,天然气 2P 可采储量 $4\ 050 \times 10^8\ m^3$,为 2020 年全球最大常规油气发现^[21],该发现打破了黑海盆地深水无商业发现的历史。2021 年又在该地区发现 Sakarya North 1 气田,获得天然气 2P 可采储量 $1\ 350 \times 10^8\ m^3$ 。黎凡特盆地发现的大型油气田主要存在于峡谷和深水浊积扇体系中^[16],由于生物气成烃认识的突破,该盆地油气勘探由浅水向深水拓展^[6],于 2012、2013、2019 年超深水领域发现 Tanin、Karish、Tamar Southwest 1、Karish

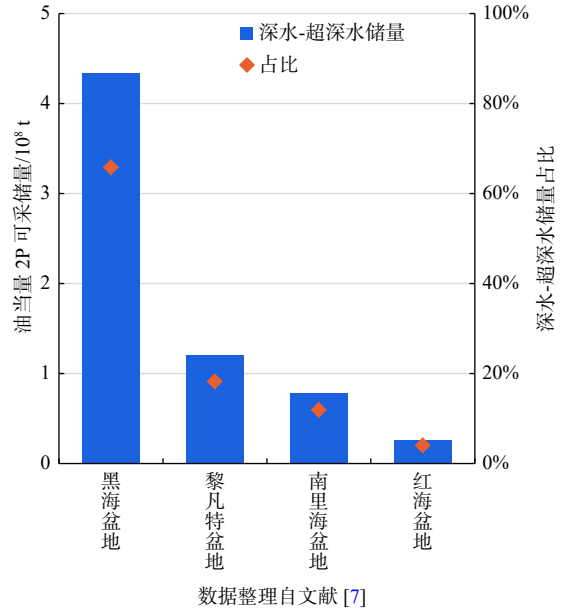
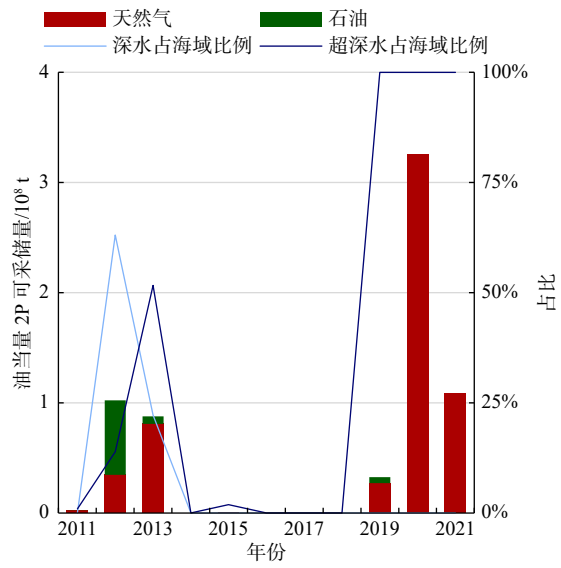


图 9 中东 2011—2021 年深水-超深水新增油当量 2P 可采储量及主要盆地分布

Fig.9 Distribution of 2P recoverable reserves in Middle East deep- and ultra-deep-water, and its main basins from 2011 to 2021

North 等大型气田。

2.2.5 亚太深水天然气发现多点开花

亚太地区深水-超深水领域新发现以天然气为主,集中于 900~1 500 m 深水领域。2011 年以来,亚太深水-超深水新发现油气田 113 个,占亚太海域新发现油气田的 21%;新增油当量 2P 可采储量 $10.04 \times 10^8\ t$,其中天然气油当量储量 $8.86 \times 10^8\ t$ 。深水油气田分布于澳大利亚北卡那封盆地、南海琼东南盆地、孟加拉湾若开盆地、曾母(沙捞越)盆地等,发现时间集中于 2011—2016 年,2017 年以来深水-超深水新增储量占比显著减少(图 10)。北卡那封

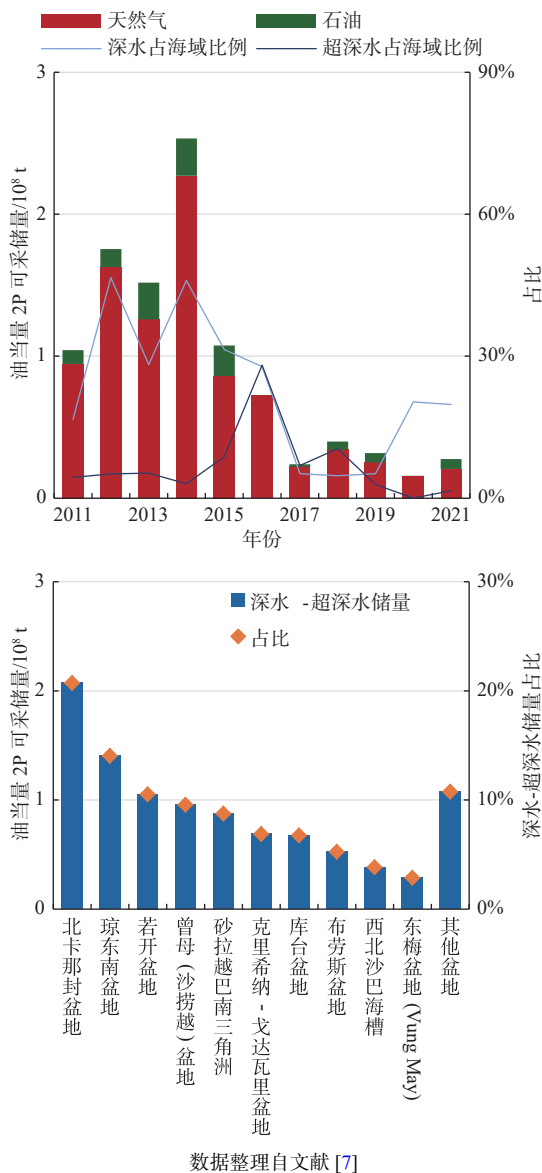


图 10 亚太 2011—2021 年深水-超深水新增油当量 2P 可采储量及主要盆地分布

Fig. 10 Distribution of 2P recoverable reserves in Asia-Pacific deep- and ultra-deep-water, and its main basins from 2011 to 2021

盆地深水-超深水新增油当量 2P 可采储量 2.08×10^8 t, 以中小型油气田为主, 油气田平均规模为 805×10^4 t。在琼东南盆地中央峡谷 2014、2015 年依次发现了陵水 17-2、陵水 25-1、陵水 18-1 等大型深水气田, 天然气 2P 可采储量合计约 1175×10^8 m³, 证实了上新统莺歌海组海底扇与上中新统黄流组浊积水道发育的有利成藏组合。孟加拉湾东西两侧油气勘探程度不一, 东侧陆缘勘探程度较低^[22], 其中若开盆地自 2004—2006 年韩国浦项制铁公司在陆架浅水区发现 3 个气田之后, 该海域一直未获新发现, 直到 2016 年以来, 浦项制铁公司和伍德赛德公司

在深水-超深水区连续发现多个大型气田, 油当量 2P 可采储量共计 1.04×10^8 t, 揭开了该盆地深水油气勘探的序幕。

3 全球深水-超深水油气勘探发展趋势

3.1 深水-超深水是未来“增储上产”的重要领域

全球深水-超深水油气资源丰富, 勘探潜力巨大, 是未来石油天然气储量产量增长的重要领域^[23-24]。据美国地质调查局 (USGS) 2012 年评估报告显示, 全球 (不含美国) 海洋待发现石油资源量 (含凝析油) 为 548×10^8 t, 待发现天然气资源量为 78.5×10^{12} m³, 其中深水待发现石油资源量 $> 300 \times 10^8$ t, 待发现天然气资源量 $> 34 \times 10^{12}$ m³, 占比分别超过 55%、43%^[25]。国际能源署 (IEA) 统计^[26], 截至 2018 年, 全球深水-超深水领域累计探明石油技术可采储量 412×10^8 t、天然气 132×10^{12} m³, 分别占全球常规石油和天然气可采储量的 7.3% 和 24.3%, 深水-超深水石油和天然气剩余技术可采储量分别为 375×10^8 t 和 127×10^{12} m³, 剩余储量占比 $> 80\%$, 均高于陆地和浅水领域。

全球海域天然气剩余可采储量巨大, 深水、超深水天然气探明率分别为 27.9% 和 7.5%^[27], 在全球低碳发展背景下, 国际石油公司纷纷加快能源转型, 各公司均不同程度加大对天然气、LNG 业务的投资, 布局重要的天然气勘探领域, 预计东地中海、西北非、东非和俄罗斯北极地区的深水-超深水天然气领域将进一步加快勘探步伐, 成为未来天然气储量增长的重要来源^[28-30]。

随着陆上和浅水油气田开发后期产量增长乏力, 深水油气开发变得越来越重要。全球深水油当量产量自 1990 年的 30×10^4 bbl/d 增长至 2019 年的 1030×10^4 bbl/d, 年均增长 13%。据 Wood Mackenzie 预测, 到 2025 年将增至 1450×10^4 bbl/d, 在海域油气总产量中占比将超过 35%, 超深水 (> 1500 m) 油气产量将超过深水 (> 400 m) 总产量的一半, 巴西、莫桑比克和圭亚那海域深水油气产量增幅最大, 平均增加 370×10^4 bbl/d^[31]。据不完全统计, 截至 2021 年全球已发现 1676 个深水-超深水油气田, 已投产油气田 376 个, 在建设油气田 609 个, 合计占比 59%^[7]。深水-超深水油气田将是未来海洋油气产量的重要来源。

3.2 深水油气勘探竞争优势不断增强

理论和技术进步推动深水油气勘探开发迅猛

发展,可供作业的水深不断增加,深水界限将不断向更深处延伸,面对更大的作业范围,勘探成本的持续下降将是深水油气发展的关键^[4,25,32]。以探井最大作业水深为例,1991—2000年平均为2 150 m,2001—2010年平均为2 917 m,2011—2020年平均达3 065 m,最大水深突破3 400 m。海洋油气开发生产实际作业最大水深和铺设海底管道水深均已超3 000 m^[33-34]。此外,深水油气田发现到开发投产时间周期逐渐缩短,1991—2000年全球深水油气田投入生产时间约在勘探发现后7 a,2011年以来,全球深水油气田发现至投产平均周期缩短至3.6 a,超深水油气田缩短至2.9 a(图11)。投产周期的不断缩短除了后续油气田利用已有设施开发生产外,更多得益于深水地球物理勘探技术和钻井技术的进步。由于成本降低和管理优化,全球深水油气项目平衡油价由2014年的78美元/桶降至2021年的49美元/桶,降幅达37%,大部分深水项目平衡油价低于55美元/桶,以巴西为代表的部分项目平衡油价低于40美元/桶^[28],深水项目在全球油气领域竞争优势明显增强,技术进步和成本降低进一步促进了深水油气勘探开发的进程^[4]。

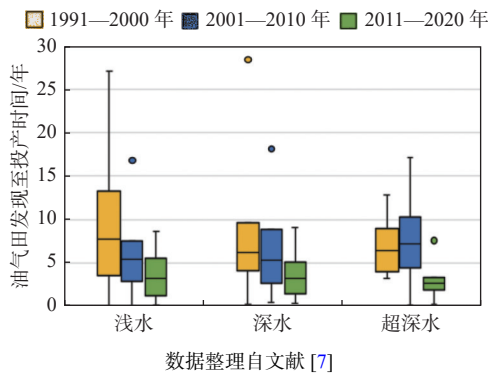


图11 全球1991—2020年不同水深油气田发现到投产时间统计

Fig.11 The time from discovery to production in global offshore fields from 1991 to 2020

3.3 成熟区继续挖潜、新区不断突破

全球深水油气勘探至本世纪初已逐步形成了以墨西哥湾、巴西东部和西非为主的“金三角”成熟勘探区^[35]。近10年东非大陆边缘鲁伍马盆地、拉丁美洲圭亚那盆地、东地中海、黑海盆地等新证实深水含油气盆地的重大突破进一步拓展了未来全球深水油气勘探的接替领域。成熟区继续挖潜、新区不断突破或将是深水油气勘探的重要方向。

在成熟盆地方面,墨西哥湾在中新统、上新统

和古近系的深水油气勘探已趋成熟,近10年在白垩系、超深水盐上新统和东部深水侏罗系等层系的突破已逐步使其成为勘探接替领域^[10,36]。巴西东部坎波斯盆地盐上大型深海碎屑油积体、桑托斯盆地盐下湖相碳酸盐岩含油气系统将继续引领深水发现。西非海域深水勘探已呈现由尼日尔三角洲和下刚果盆地深水盐上含油气系统逐步转向宽扎盆地盐下和塞内加尔深水盆地扇含油气系统的趋势。

新兴盆地深水油气勘探潜力业已初现。苏里南盆地深水领域在2020年首次获得油气发现,道达尔公司发现3个大型油气田,油当量2P可采储量合计超 2.56×10^8 t,证实了苏里南盆地上白垩统浊积砂岩成藏组合的油气勘探潜力,预计将带动未来5~10年的储量增长。黑海盆地深水Sakarya气田的大发现将带动周边国家将勘探目光从浅水向各自领海的深水区转移。东地中海深水突破的Zohr、Calypso 1、Glaucus 1(2019年)等生物礁大气田预示着未来该地区生物礁勘探会有更大的发现^[14]。东非鲁伍马盆地深水重力流沉积天然气勘探的大获成功,给同样具有“三角洲改造型”被动陆缘背景的莫桑比克盆地深水勘探提供了方向,莫桑比克盆地南部赞比西三角洲重力流沉积砂体极其发育,其沉积中心最大厚度达10 km,与西非尼日尔三角洲盆地相当^[37],该领域是未来值得关注的前沿勘探方向。

3.4 深水勘探投入随国际油价起伏波动

近年来,在持续低迷的油价背景下,石油公司为降低勘探风险和难度,将更多的资金投入到了拉丁美洲、北美洲和西非等深水-超深水成熟项目。2021年以来,国际油价逐步回暖,俄乌地缘冲突更是引起原油价格暴涨,深水勘探投资触底反弹^[13]。2022年全球勘探活动回暖,深水勘探成效显著,据Rystad和IHS Markit咨询机构预测,2022年全球勘探焦点在深水-超深水领域,油气储量超70%来自深水-超深水领域,近七成重大影响力探井将位于深水-超深水新领域^[38],深水-超深水领域勘探投资预计同比增长近20%。深水-超深水新领域巨大的资源潜力、可观的投资回报仍吸引着石油公司的目光。长期而言,随着深水-超深水新领域投入持续增加、勘探不断突破,深水-超深水新领域将成为全球油气勘探的一大重点领域,或将推动深水油气勘探进入新的储量增长阶段。

4 结语

全球深水油气勘探自 20 世纪 60 年代起步, 历经 60 余年, 经历了深水探索发现阶段(1959—1983 年)、深水快速发展与超深水探索阶段(1984—2009 年)和深水-超深水稳定发展阶段(2010 年至今)。早期深水油气勘探活动集中于墨西哥湾、欧洲北海等海域, 投入探井及新增储量不足海域总量的 10%; 深水快速发展与超深水探索阶段形成了以墨西哥湾、巴西东部海域和西非海域的深水成熟勘探区, 并且墨西哥湾和巴西东部超深水领域勘探也形成较大规模, 储量呈现快速增长趋势; 2011 年以来, 超深水领域储量发现大幅超过深水, 圭亚那、巴西盐下、东非、东地中海、黑海等超深水新领域油气发现显著。从当前勘探趋势看, 深水-超深水领域巨大的油气资源潜力将对未来全球油气“增储上产”提供强劲动力。未来将继续引领全球深水-超深水油气勘探方向的重点区域仍在以墨西哥湾、巴西东部海域、西非海域为主的成熟区以及以拉美东北部、东非海域、东地中海、黑海等为代表的勘探新区。

参考文献:

- [1] 翟光明, 王世洪, 何文渊. 近十年全球油气勘探热点趋向与启示[J]. 石油学报, 2012, 22(S1): 14-19.
- [2] 天工. 全球深水油气勘探的4个新领域[J]. 天然气工业, 2016, 36(7): 39.
- [3] 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.
- [4] 侯明扬. 深水油气资源成为全球开发热点[J]. 中国石化, 2018, 396(9): 66-69.
- [5] 刘朝全, 姜学峰, 吴谋远. 2021年国内外油气行业发展报告[M]. 北京: 石油工业出版社, 2021.
- [6] 张功成, 屈红军, 张风廉, 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.
- [7] IHS Markit. EDIN Database[DB/OL]. [2022-01-10]. <https://edin.ihseenergy.com/portal/home>.
- [8] Wood Mackenzie. Upstream Data Tools[DB/OL]. [2021-08-04]. <https://udt.woodmac.com/dv/>.
- [9] 姚根顺, 吕福亮, 范国章, 等. 深水油气勘探开发概论[M]. 北京: 石油工业出版社, 2015.
- [10] 赵阳, 卢景美, 刘学考, 等. 墨西哥湾深水油气勘探研究特点与发展趋势[J]. 海洋地质前沿, 2014, 30(6): 27-32.
- [11] GRAHAM E, OVADIA J S. Oil exploration and production in Sub-Saharan Africa, 1990-present: trends and developments [J]. *The Extractive Industries and Society*, 2019, 6(2): 593-609.
- [12] CARMALT S W, BILL S J. Giant oil and gas fields[M]//HAL-BOUTY M T. Future petroleum provinces of the world. Tulsa Oklahoma: AAPG Memoir, 1986.
- [13] 王震, 鲍春莉. 中国海洋能源发展报告2021[M]. 北京: 石油工业出版社, 2021.
- [14] 计智锋, 穆龙新, 万仑坤, 等. 近10年全球油气勘探特点与未来发展趋势[J]. 国际石油经济, 2019, 27(3): 16-22.
- [15] 张宁宁, 王青, 王建君, 等. 近20年世界油气新发现特征与勘探趋势展望[J]. 中国石油勘探, 2018, 23(1): 44-53.
- [16] 田琨, 王大鹏, 殷进垠, 等. 东地中海深水油气富集条件与勘探方向[J]. 中国石油勘探, 2021, 26(3): 107-116.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 赵阳, 卢景美, 刘学考, 等. 墨西哥湾深水油气圈闭类型与成藏模式[J]. 海洋地质前沿, 2016, 32(4): 44-50.
- [21] 史卜庆, 王兆明, 万仑坤, 等. 2020年全球油气勘探形势及2021年展望[J]. 国际石油经济, 2021, 29(3): 39-44.
- [22] BASU P, VERMA R, PAUL R, et al. Deep waters of Rakhine Basin: a new frontier?[C]. 8th Biennial International Conference and Exposition on Petroleum Geophysics, Hyderabad, India, 2010.
- [23] 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.
- [24] Wood Mackenzie. Global exploration trends 2021 [R/OL]. [2021-12-31]. <https://my.woodmac.com/document/55970781>.
- [25] 杨丽丽, 王陆新, 潘继平. 全球深水油气勘探开发现状、前景及启示[J]. 中国矿业, 2017, 26(2): 14-17.
- [26] IEA. Offshore Energy Outlook [R/OL]. [2022-01-12]. <https://www.iea.org/reports/offshore-energy-outlook-2018>.
- [27] 吴林强, 张涛, 徐晶晶, 等. 全球海洋油气勘探开发特征及趋势分析[J]. 国际石油经济, 2019, 27(3): 29-36.
- [28] 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(2021年)[M]. 北京: 石油工业出版社, 2021.
- [29] 王春娟, 刘大海. 北极油气资源开发利用路径研究[M]. 北京: 海洋出版社, 2019.
- [30] Wood Mackenzie. Russian Federation upstream summary [R/OL]. [2022-01-05]. <https://my.woodmac.com/document/753439>.
- [31] Wood Mackenzie. Global deep-water: the state of the industry [R/OL]. [2021-06-17]. <https://my.woodmac.com/document/360164>.
- [32] PINDER D. Offshore oil and gas: global resource knowledge and technological change[J]. *Ocean and Coastal Management*, 2001, 44(9/10): 579-600.
- [33] 杨金华, 郭晓霞. 世界深水油气勘探开发态势及启示[J]. 石油科技论坛, 2014, 5: 49-55.
- [34] 王陆新, 潘继平, 杨丽丽. 全球深水油气勘探开发现状与前景展望[J]. 石油科技论坛, 2020, 39(2): 31-37.
- [35] WEIMER P, SLATT R M. 深水油气地质导论[M]. 姚根顺, 吕福亮, 范国章, 等, 译. 北京: 石油工业出版社, 2012.

- [36] 韩彧, 黄娟, 赵雯. 墨西哥湾盆地深水区油气分布特征及勘探潜力[J]. *石油实验地质*, 2015, 37(4): 473-478.
- [37] 温志新, 王兆明, 宋成鹏, 等. 东非被动大陆边缘盆地结构构造差异与油气勘探[J]. *石油勘探与开发*, 2015, 42(5): 671-680.
- [38] IHS Markit. High impact well report[R/OL]. [2022-01-29]. <https://pgeps.ihenergy.com/GEPS/Home>.

Global deep- and ultra-deep-water oil and gas exploration: review and outlook

JIANG Dexin, ZHANG Houhe, LI Chunrong, HAO Jing, LI Fanyi, ZHANG Wenzhao, SUN Di

(CNOOC Research Institute Co., Ltd., Beijing 100028, China)

Abstract: Global deep- and ultra-deep-water oil and gas exploration has experienced three stages: deep-water discovery (1959-1983), deep-water rapid development and ultra-deep-water discovery (1984-2009), and deep- and ultra-deep-water stable development (2010-present). Deep-water mature exploration areas distributed mainly in the Gulf of Mexico, eastern Brazil, and West Africa, and new discoveries of ultra-deep-water fields are in the northeast Latin America, East Africa, and the eastern Mediterranean. In the past decade, the global deep-water and ultra-deep-water exploration investment showed a two-staged characteristic. In the first four years from 2011 to 2014 the investment and the number of wells were relatively large. As the oil price fell in 2014, the investment decreased sharply, and investment projects were mostly concentrated in the key areas in Latin America, North America, and Africa. In terms of reserves, the "multi-field breakthroughs and centralized distribution" is the typical characteristic. New field breakthroughs in natural gas were in the East Africa, the eastern Mediterranean, and the Black Sea basin, and those in oil were in Guyana. The discovery time was concentrated in the years from 2011 to 2015, and the water depth was mainly in 1 500~2 400 m. The potential of oil and gas resources in the deep-water and ultra-deep-water field is huge. Technological progress has enhanced the competitiveness of exploration. With the gradual recovery of oil price, investment into deep-water has been increasing. In the future, the reserve growth will sustain in the mature fields and multiple breakthroughs are expected to be made in deep-water frontiers including East Africa, eastern Mediterranean, Black Sea, and Suriname, which will lead the direction of global deep-water and ultra-deep-water oil and gas exploration and promote deep-water exploration into a new era of reserve growth.

Key words: deep- and ultra-deep-water; global oil and gas exploration; oil and gas exploration history; oil and gas discovery; deep-water exploration trend; frontier prospects