

文章编号:1672-9854(2008)-03-0005-06

世界海洋油气资源与勘探模式概述

江怀友¹, 赵文智², 闫存章³, 齐仁理⁴, 鞠斌山⁵, 王媛¹

(1 中国石油经济技术研究院; 2 中国石油勘探开发研究院)

(3 中国石油对外合作经理部; 4 大庆石油学院; 5 中国地质大学)



江怀友

摘 要 描述了全球海洋油气储量的总体情况、海洋油气资源的地域分布以及海洋油气产量的状况与增长趋势。简略阐述了海洋油气勘探的阶段划分、海洋地质调查、海洋地球化学勘探、海洋非地震地球物理勘探以及海洋地震勘探各方法的基本特点、关键技术和常用手段等。对海洋油气勘探的前景,尤其是深水区和天然气水合物的勘探前景作了展望。

关键词 海洋油气资源; 海洋油气勘探; 勘探模式; 地球物理勘探; 综述

中图分类号: TE122.11 **文献标识码**: A

江怀友 1965年生。高级工程师。毕业于大庆石油学院石油地质专业,硕士。油藏精细描述学术带头人,硕士研究生导师。现从事世界油气资源勘探开发技术跟踪研究工作。1998年以来编写各种论文76篇,负责主持27个科研项目。通讯地址:100011北京市安外安华里二区三号楼;电话:(010)64523253

海洋油气的勘探开发是陆地油气开发的延续,经历了一个由浅水到深海、由简易到复杂的发展过程。1887年,在美国加利福尼亚海岸数米深的海域钻探了世界上第一口海上探井,拉开了海洋石油工业序幕。二十世纪三四十年代的海洋油气勘探首先集中在墨西哥湾、马拉开波湖等地区;五六十年代油气勘探则在波斯湾、里海等海区初具规模;七十年代是海洋油气勘探最为活跃的时期,成果最显著的地区是北海含油气区,陆续发现了一系列大中型油气田,如格罗宁根气田。目前在海洋进行油气勘探的国家越来越多,海洋钻井遍布世界各个海区。

1 世界海洋油气资源现状

1.1 海洋油气储量及油气资源分布

全球海洋油气资源量约占全球油气资源总量的34%,探明率30%左右,尚处于勘探早期阶段。截至2006年1月1日,全球石油探明储量为 $1757 \times 10^8 \text{ t}$,

天然气探明储量 $173 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。全球海洋石油资源量约 $1350 \times 10^8 \text{ t}$,探明约 $380 \times 10^8 \text{ t}$;海洋天然气资源约 $140 \times 10^{12} \text{ m}^3$,探明储量约 $40 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 。

海洋油气资源主要分布在大陆架,约占全部海洋油气资源的60%,大陆坡的深水、超深水海域的油气资源约占30%。全球陆地和浅海经过长期的勘探开发,重大油气发现的数量已越来越少,规模越来越小。

在全球海洋油气探明储量中,目前浅海仍占主导地位,但随着石油勘探技术的进步,人们逐渐将目光转向之前涉足较少的深海。水深小于500m为浅海,大于500m为深海,1500m以上为超深海。2000~2005年,全球新增油气探明储量 $164 \times 10^8 \text{ t}$ 油当量,其中深海占41%,浅海占31%,陆上占28%。世界主要深水区油气储量见表1。

从区域看,海洋石油分布与生产极不平衡。目前,海上石油开发已形成三湾、两海、两湖的生产格局。“三湾”即波斯湾、墨西哥湾和几内亚湾;“两海”

收稿日期:2008-01-18

表 1 全球主要深水油气储量统计表^①

国家(地区)	海 域	油气储量 ($\times 10^9$ t 油当量)	石油 ($\times 10^9$ t)	天然气 ($\times 10^{12}$ m ³)
美国	墨西哥湾北部	21	15	6000
巴西	东南部海域	27.3	23.2	4100
西非	尼日尔三角洲、 下刚果、 宽扎(Cuanza)	28.6	24.5	4100
澳大利亚	西北陆架	13.6	0.5	13100
东南亚	婆罗洲	5.3	2	3300
挪威	挪威海	5.1	1.1	4000
埃及	尼罗三角洲	4.8	—	4800
中国	南海北部	1	—	1000
印度	东部海域	1.6	—	1600

即北海和南海;“两湖”即里海和马拉开波湖。其中,波斯湾的沙特、卡塔尔和阿联酋,里海沿岸的哈萨克斯坦、阿塞拜疆和伊朗,北海沿岸的英国和挪威,还有美国、墨西哥、委内瑞拉、尼日利亚等,都是世界重要的海上石油生产国^{②③}。

1.2 海洋油气产量

海洋油气生产始于 20 世纪 40 年代,从 60 年代 100×10^4 bbls/d 到 2005 年接近 2500×10^4 bbls/d。

据英国 Douglas-Westwood 公司预计,2004—2015 年世界油气产量将构成如图 1、图 2 趋势。

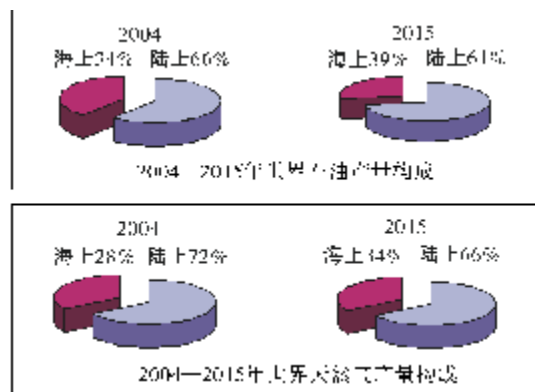


图 1 世界石油天然气产量构成
(据英国 Douglas-Westwood 公司)^④

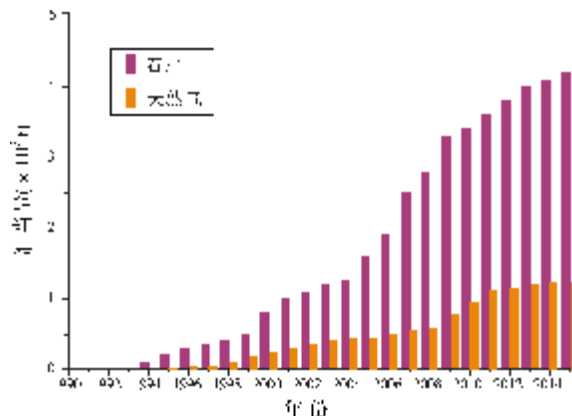


图 2 1990—2015 年全球深海油气产量增长趋势
(据英国 Douglas-Westwood 公司)^④

随着海上油气勘探开发向深海转移,全球深海天然气产量也在稳步增长,从 1995 年的约 450×10^4 t 油当量增长到 2005 年的约 5000×10^4 t 油当量,预计 2015 年将达到 1.25×10^8 t 油当量(图 2)。

其中,北海海域石油产量及其增长速率,一直居各海域之首,2000 年产量达到峰值,即 3.2×10^8 t,随后逐渐下降。波斯湾石油产量缓慢增长,年产量保持在 $2.1 \times 10^8 \sim 2.3 \times 10^8$ t 之间,而墨西哥湾、巴西、西非等海域石油产量增长较快,年均增长超过 5%,其中,墨西哥湾可能在未来数年超过北海,成为世界最大产油海域^{④⑤}。

2 海洋油气勘探模式

2.1 海洋油气勘探阶段划分

美国海上勘探阶段划分为初步勘探阶段和进一步勘探阶段。

初步勘探阶段包括盆地评价、区块评价与圈闭评价、发现油气藏。

盆地评价阶段 部署 40~80 km 稀测网的地震测量,结合重磁资料进行区域性大地构造分析,深入研究盆地结构,建立盆地构造样式和沉积模式,进行盆地的类比分析,评价盆地的含油气远景,计算盆地的远景资源量,做出是否继续勘探的评价。

① Mobil Annual Report[R]. Mobil, 2007.

② Exxon Annual Report[R]. Exxon, 2006.

③ ExxonMobil Annual Report[R]. ExxonMobil, 2007.

④ BP Annual Report[R]. BP, 2007.

⑤ Shell Annual Report[R]. Shell, 2007.

区块及圈闭评价阶段 通过地震的加密和高精度的非地震物探,进行勘探区块的划分与评价。主要以区块为对象,进行圈闭分类排队,计算圈闭的资源量并进行风险分析,再通过地震精查,做出新一轮的评价后,实施圈闭初步钻探工作,发现油气田,初步评价储量的商业价值。

进一步勘探阶段,主要通过进一步的钻探工作,扩大含油气面积,并计算油气田的探明储量^{④⑤}。

2.2 海洋油气地质调查

主要搞清海岸、岛屿和浅滩的地质情况,如在南里海,海底泥火山活动频繁,诸多岛屿、浅滩等由于泥火山喷发而形成。海洋地质调查包括以下内容。

潜水地质观察 潜入海底观察海底露头,采集岩石样品,测量地层产状等要素。

海洋航空地质观测 这种工作方法只能在岩性分异良好,基岩直接出露于海底的浅海地区进行,海水的水深一般不超过10~12 m。航空摄影的质量受海水透明度、海浪、海面反射光强度等因素的影响。在高质量的航空照片上,可以清晰地确定地层分界线、地层的一些产状要素、断裂、构造、泥火山、气苗等情况。

海洋地貌调查 进行海洋地貌调查的目的是要阐明所要研究海域的新构造运动的状况、不同类型海底地貌的成因、海底地貌与新构造运动之间的关系、海底地貌对下一步海洋钻探的影响等问题。

海洋地质制图 进行海洋地质制图工作的主要目的就是编制所要勘探的海区的地质图。

2.3 海洋非地震物探方法

海洋地球化学勘探 在海洋环境中应用油气化学勘探技术寻找油气富集区块。在目前的海上油气地球化学勘探中,海底沉积物的地球化学分析已成为不可缺少的组成部分,有时甚至仅靠海底沉积物的地球化学研究来进行地下油气预测。近年,国内外一些石油公司在众多海域进行了大量的油气化探研究,预测区几乎遍及世界各大洲大陆边缘的近海区域。研究内容包括海水溶解烃、游离烃及海底沉积物存留烃,还对海面油膜进行了航空测量。

海洋磁法勘探 在海洋条件下,除了航空磁测外,利用挂在船体尾部水中的核子旋进磁力仪,进行磁力测量工作。为了消除金属船体对磁力仪测量精

度的干扰,在海上进行磁力测量工作时,核子旋进磁力仪的传感器距船尾的距离应大于船体长度的3~5倍。为了避免波浪的影响,传感器一般放置于海面下2~3 m的深度。为了保持这个深度,对船速要加以控制。为了达到更精确的测量,亦可把磁力仪沉放到海底进行海洋磁力精确测量。

海洋电法勘探 随着数字仪器技术、数据处理算法和资料解释方法的不断发展,在近几年中,海洋电磁法勘探已在世界范围内的主要海洋油气田进行过多次勘探作业。

2002年挪威国家石油公司成立子公司,专门从事海洋电磁法的商业化。目前第二代电磁勘探设备从浅水到深水的海域都可被应用。试验证明只要电磁勘探的结果拥有其它地质数据的支持,就可获得勘探成果,带来可观的效益。

斯伦贝谢公司开发的海洋可控源电磁法的发射偶极由两个电极组成,发射源发射一系列具有任意周期的方波信号,发射源相对于海底的高度,一般在10~50 m之间,并由回声探测仪连续监测。定深器和水平电极的深度由测船上的拖缆长度控制。每个海底电磁采集接收系统一般有4~6个道,接收电磁场4~6个分量。

海洋重力勘探 海洋重力仪可分为两大类,即海底重力仪和走航式船舷重力仪。海底重力仪只适用于大陆架浅海区,实际工作水深不超过70~80 m。它是在船体上用遥控或遥测方法作海底重力定点测量,其测量精度较高,在水深不超过50 m时,观测速度较快。海洋油气勘探过程中广泛应用的船舷重力仪是20世纪50年代末期发展起来的一项技术。船舷重力仪可在任何海域工作,航行中连续观测,效率很高。随着传感器陀螺平台的不断完善、导航定位系统的日益改进,船舷重力仪的测量精度也有了大幅度的提高。

2.4 海洋地震勘探

海洋地震勘探是目前在海洋油气勘探过程中应用最广泛的方法之一。在海洋油气勘探的初期,地震震源主要使用的是炸药震源,由于炸药的不安全性和对鱼类资源的巨大破坏性而逐渐被淘汰。现今普遍采用的是非炸药震源,应用最广的是气枪震源和电火花震源。目前三维地震是海洋油气勘探的主要手段。

建模技术、高效可控震源采集技术、海底电缆采集技术、3D 垂直地震剖面采集技术、井筒地震采集技术、四维地震采集技术、高密度与大排列采集技术快速发展。出现了获取更高数据品质的高空间采样密度地震采集技术。叠前时间偏移技术、层析成像建模技术、多波多分量处理技术、各向异性处理技术、叠前深度偏移技术、海底电缆数据处理技术、四维地震处理技术、消除海底多次波技术、随机反演与弹性反演技术、属性提取技术有新进展,微机集群为平台的地震数据处理系统被广泛应用。全三维属性体解释及多学科一体化综合研究、以地震属性为核心的综合构造描述技术、储层描述技术、油气预测技术、地质综合研究技术和油藏地质建模技术发展较快^{⑥⑦[1]}。

2.4.1 滩海与浅海地震

滩海与浅海地区由于地表的特殊性,激发方式在小于 3 m 水深时使用陆上井中激发方式,而在大于 3 m 水深时一般采用气枪作为激发震源。接收方式在小于 1.5 m 水深时需要使用防水的沼泽检波器,而大于 1.5 m 水深时需要使用压电检波器(水听器)。滩海与浅海地区施工需要进行二次定位,以确定每个震源点和检波器的实际坐标方位,还需要掌握潮涨、潮落的时间,以合理安排激发震源和接收检波器及施工时间。

2.4.2 海洋区地震

海洋拖缆地震 海洋地震勘探在水深大于 3~5 m 时,采用地震工作船施工,激发系统采用多枪气枪激发,接收系统采用压电检波器,按不同需要固定在海上拖缆上,工作船引导拖缆按测线方向前进,形成边行驶、边激发、边接收的工作方法。海洋地震勘探需要精确的实时卫星定位系统,随时记录激发点和接收点的准确位置,包括海水流向造成的拖缆不同偏移方位。因此海洋地震勘探与陆地相比,其方法和装备都要复杂得多。

海上地震拖缆模式主要应用在采集二维、三维以及四维地震数据上,由于其数据采集的高效性,海上拖缆地震采集模式被广泛使用,海上拖缆地震勘探模式不受水深的限制,在浅水水域和深水水域都可以进行地震数据采集。

海底地震 海上多波多分量地震勘探技术早期称为海底地震记录法。为了找到一种方法以获得与陆地多分量勘探相同的信息,海上多分量已经成为一些石油公司和承包商的目标。最初是挪威国家石油公司于20世纪80年代开发的技术专利,它利用置于海底的4分量检波器(压力检波器及3分量速度检波器),通过数据传输电缆,将由海水中激发、海底接收的纵波和转换波等传输到海面接收船的记录仪上。

Q-seabed被誉为下一代多波海底地震采集技术,多波地震技术可以应用在许多地震及复杂地质构造中,它可以兼顾经验与技术两方面因素,从大量的多波数据中获得最有效的数据,提高地震精度。Q-seabed技术提供高质量的多波数据服务^[2-4]。

海洋四维地震 因为海底电缆技术的进步以及海底电缆技术采集得到广泛的支持,海上4D地震技术发展迅速。目前世界上油田的平均采收率只有35%左右,大部分为死油区。4D地震信息经测井和开发信息标定后,可识别出泄油模式和死油区的位置。据美国西方地球物理公司估计,在可以利用4D的地区,4D地震技术通常可使油田剩余可采储量的10%变为可采储量,而由此增加的费用不到1%。4D地震技术可使发现石油的几率提高到65%~75%。在世界上包括北海、东南亚和墨西哥湾等地区开展了四维地震工作。海底4D地震可以检测油藏变化(图3)。

3 深水区油气勘探

尽管深水油气勘探开发是一项投资大、成本高、开发难度大、技术复杂、风险大、探索性极强的项目,但其丰富的油气资源和高投资回报,仍然吸引着世界许许多多石油公司。未来的44%油气储量在深水中,而现在仅占3%。

世界水深500 m或超过500 m的深海油气勘探开发始于上个世纪70年代,至2002年底,已发现470×10⁸ bbls石油。据美国地质调查局和国际能源机构估计,全球深海区最终潜在石油储量有可能超过1000×10⁸ bbls。墨西哥湾深水区油、气占有量从1990年的4%和1%,十年后快速升到64%和36%,发展速度较快(图4),2004~2008年将是深海油气勘探的活跃期^[5-6]。

⑥ Chevron Annual Report[R].Chevron,2007.

⑦ ChevronTexaco Annual Report[R].ChevronTexaco,2007.

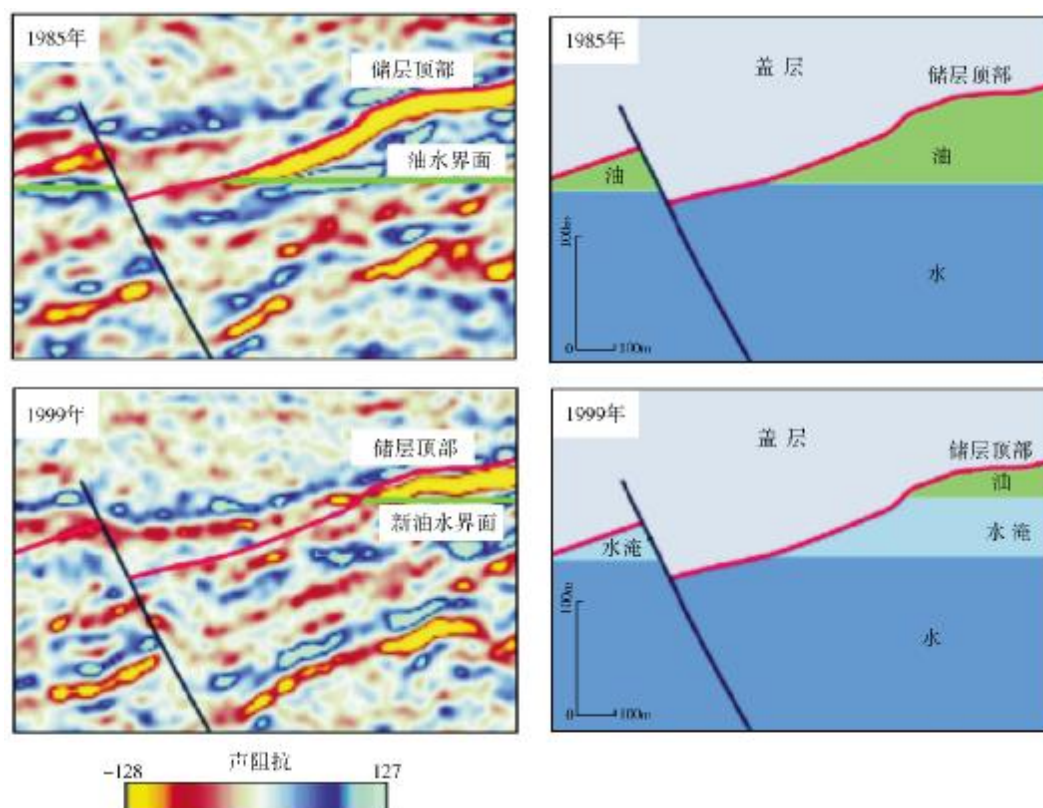


图3 4D地震检测的油藏变化

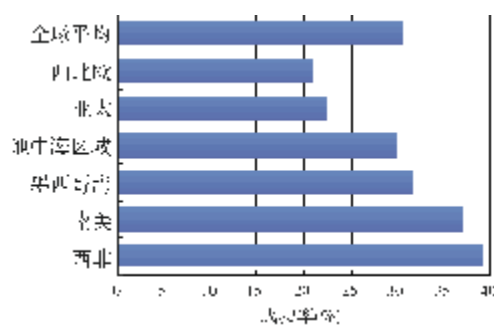


图4 全球深水油气勘探成功率

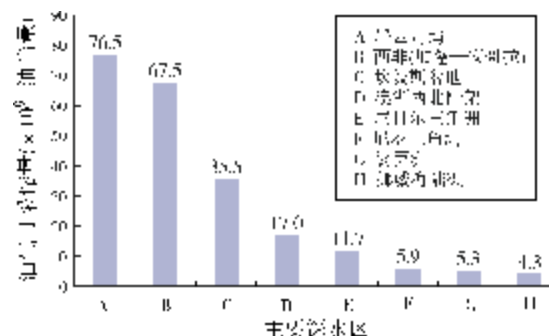


图5 世界主要深水区油气可采资源

巴西近海、美国墨西哥湾、安哥拉近海和尼日利亚近海是备受关注的世界四大深海油区,几乎集中了世界全部深海探井和新发现储量(图5)。预计未来五年,四大深海油区的石油产量将快速增长,估计到下一个十年之初,产量会陆续到达顶峰。

与大西洋盆地相比,东南亚的深海油气活动规模较小,对大型跨国公司的诱惑力不及西非、巴西和墨西哥湾,但东南亚未来的潜在利益为寻找深水区油气的石油公司提供了机遇。预计马来西亚和印

尼未来几年将成为亚洲深海油气活动的主要地区。

深水油气勘探效益较好的地区多位于被动大陆边缘盆地或与被动大陆边缘相关的裂谷盆地,且往往是浅水区及陆上勘探的延伸。油气储层常为白垩系或第三系,且多为第三系深水浊积砂岩。

深水油气勘探常以发现大中型油气田和寻找大中型圈闭为目标。深水区开发和发现的多为油藏。

勘探热点地区均具有一套与油气成藏密切相关的盐岩。盐岩及和盐有关的构造已成为当前构造及

油气成藏研究的热点。

目前, BP(英国)石油公司、巴西国家石油公司、挪威国家石油公司、埃克森美孚、壳牌、哈斯基、优尼科等公司从事深水勘探开发工作, 拥有深水勘探开发核心技术。

4 海洋油气资源勘探展望

在 100 多个海上油气勘探的国家中, 有 50% 的国家正在对深海进行勘探, 展示出深海油气勘探广阔的发展前景。随着世界经济的发展, 能源需求不断增加, 在市场需求压力和高油价的驱使下, 未来全球海洋油气勘探开发将继续较快增长, 投资不断增加, 海上油气产量继续增长, 勘探作业的海域范围和水深不断扩大。

世界天然气水合物中的有机碳约占全球有机碳的 53.3%, 而煤、石油和天然气三者之和才占到 26.6%。其中分布在陆地上的天然气水合物的最大地质储量约为 $5\,300 \times 10^8 \text{ t}$, 分布在海洋的最大地质储量约为 $1.61 \times 10^{15} \text{ t}$ 。仅海洋中的储量就可以满足人类 1 000 多年的需要。目前, 世界有 122 个地区发现了天然气水合物, 其中陆地 33 处, 海洋 84 处, 已海

底取心 20 多处。日本在日本列岛东南斜坡陆棚深海发现了大量水合物, 钻探 30 多口井, 局部试采成功, 已制定了 2015 年商业开采计划。美国在墨西哥湾深海区发现了大量水合物, 并制定了 2016 年商业开采计划。目前开采海底天然气水合物的最大难点是保持井底压力稳定, 防止甲烷泄漏, 避免引发温室效应。天然气水合物可能成为人类新的后续能源, 将逐渐成为海洋油气勘探开发的新亮点。

参考文献

- [1] 庞雄奇. 油气田勘探[M]. 北京: 石油工业出版社, 2006: 5-100.
- [2] 潘继平. 国外深水油气资源开发进展与经验[J]. 石油科技论坛, 2007, 4: 35-36.
- [3] 张抗. 向广阔的世界海洋石油市场进军[J]. 海洋石油, 2005 (3): 32-36.
- [4] Latham A J. 深水和超深水的油气勘探[J]. 世界石油工业, 2005(2): 14-17.
- [5] 苏斌, 冯连勇, 等. 世界海洋石油工业现状和发展趋势[J]. 中国石油企业, 2006(3): 138-141.
- [6] 童晓光, 窦立荣, 田作基. 21 世纪中国跨国油气勘探开发战略研究[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003 (6): 36-38.

编辑: 金顺爱

Review on Marine Petroleum Resources and Exploration Models in the Globe

Jiang Huaiyou, Zhao Wenzhi, Yan Cunzhang,
Qi Renli, Ju Binshan, Wang Yuan

Abstract: This paper depicts the general situation of marine petroleum reserves, the geographical distribution of marine petroleum resources and the status quo and increasing trend of offshore oil and gas yields in the world. It reviews marine exploration stages, and the basic features, key technology and common means of marine geological survey, geochemical exploration, non-seismic geophysical exploration, seismic exploration. The prospects of marine petroleum exploration, especially the exploration in deep sea regions and for the natural gas hydrate, are also expected.

Key words: Review; Marine petroleum resources; Offshore oil and gas exploration; Exploration model; Geophysical prospecting

Jiang Huaiyou: male, Master, Senior Engineer. Add: Petroleum Economy and Technology Institute, CNPC, No.3 Building, 2nd Qu, Anhuili, Beijing, 100011 China.