

南海油气资源潜力及勘探现状

陈洁, 温宁, 李学杰
(广州海洋地质调查局, 广州 510760)

摘要 南海的油气资源极为丰富,享有“第二个波斯湾”的美誉。南海地貌类型多样,地形复杂,其战略位置极为重要,是东亚及相邻各国必经之路。资源之争,使得周边各国使出浑身解数,发展海洋经济与技术,1981年至2002年,越南就从南沙海域的油田中开采了1亿吨石油、15亿多立方米的天然气,获利250亿美元,南海石油已成为越南国民经济的第一大支柱产业。近半世纪中国南海油气勘探工作取得巨大的成就,发现了26个新生代盆地,取得了南海海域的基本石油地质成果,为南海的勘探开发奠定了基础。南海具有巨大的勘探空间及技术发展空间,每一次的技术进步,都会带来南海油气勘探的质的飞跃。

关键词 南海, 油气资源, 南海周边国家, 勘探现状

中图分类号 P631

文献标识码 A

文章编号 1004-2903(2007)04-1285-10

The status of the resource potential and petroleum exploration of The South China Sea

CHEN Jie, WEN Ning, LI Xue-jie

(Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou 510760, China)

Abstract Due to its abundant oil and gas resource potential, the South China Sea is known as the "Second Persian Gulf". The strategic position of South China Sea is very important because of its diverse landforms, complicated terrain and the very special location, which is the only way connecting the countries in East Asia and Southeast Asia. Struggle the resources results in the peripheral various countries to devote themselves on the development of sea economy and the technology. From 1981 to 2002, Vietnam has mined 100 million tons oil petroleum, 1.5 billion cubic metres natural gases from in the Nansha sea area oil field, making a profit of 25 billion dollars. The South China Sea petroleum has become the first big pillar Indus. The nearly half century China South China Sea oil gas prospecting work obtains the huge achievement; discovering 26 Cenozoic era basins, yielding basic petroleum geology result and laying the foundation for South China Sea's exploration development. The South China Sea has the huge exploration space and the technological development space. Each time technology advancement can bring the South China Sea oil and gas exploration the qualitative leap.

Keywords The South China Sea, oil and gas resource, perimeter state of The South China Sea, exploration the status quo

0 南海概况

南海位于中国大陆南部,是一个半封闭的海,总面积约350万平方公里(图1),属我国传统海疆范围以内的海域面积约187万平方公里,四周是半岛

和岛屿,通过巴士海峡、苏禄海和马六甲海峡等,与太平洋和印度洋相连。北边是我国广东、广西、福建和台湾四省区,东南边至菲律宾群岛,西南边至越南和马来半岛,最南边的曾母暗沙靠近加里曼丹岛。注入南海的河流主要有珠江、红河、湄公河、湄南河等。

收稿日期 2007-04-10; **修回日期** 2007-06-20.

基金项目 863计划海洋技术领域国家重大项目“2006AA09A101”资助。

作者简介 陈洁,女,1964年生,广东罗定人,1984年毕业于武汉地质学院(中国地质大学),教授级高级工程师,于中科院地质与地球物理研究所获博士学位,曾在胜利油田长期从事陆地油气勘探的科研生产工作。现在国土资源部广州海洋地质调查局,从事海洋油气勘探及综合地质地球物理研究工作。(E-mail: c-jie@vip.163.com)

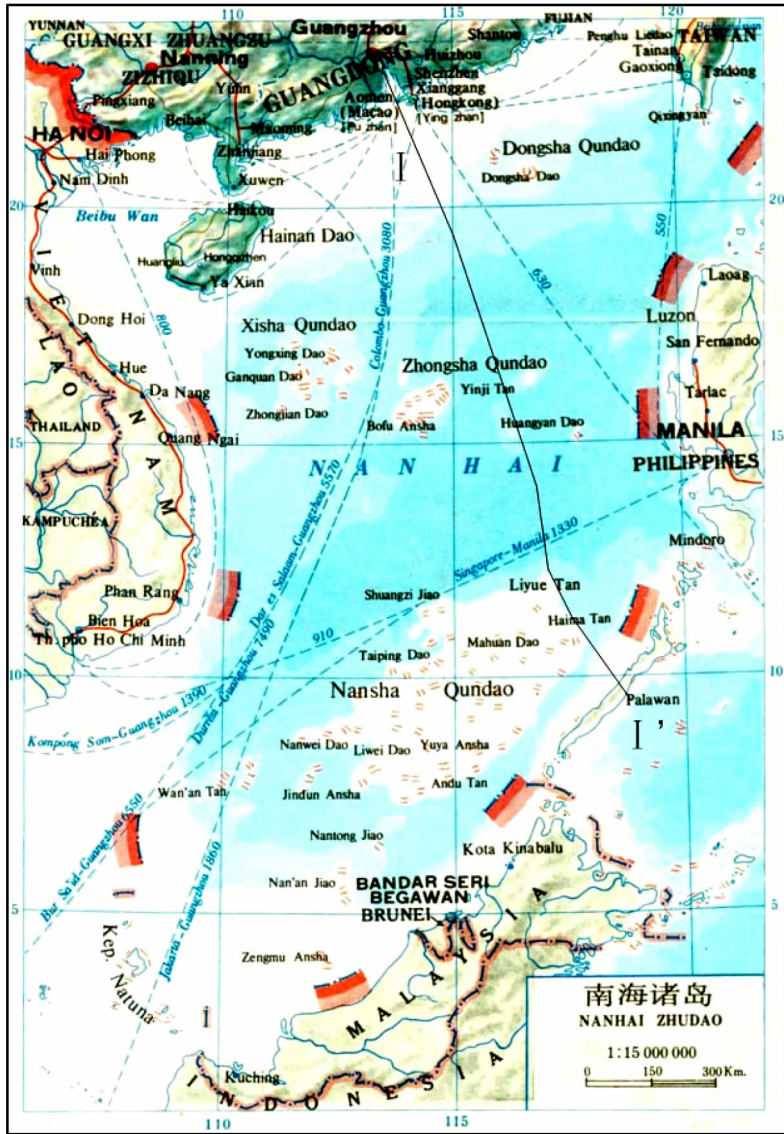


图 1 南海位置图

Fig. 1 Location map of the South China Sea

海底近似长轴北东—南西向的菱形海盆，海底地势自边缘向中心呈阶梯状下降，地貌类型复杂多样。北部和南部大陆架较宽，岛屿、浅滩和沟谷较多，河口展布有广阔的三角洲，陆架上有水下阶地；东部和西部大陆架窄而陡，岛屿与礁滩较多，地形复杂。

由于南海地处太平洋和印度洋之间，东亚国家国际战略物资运输几乎都要经过南海。南海是中国大陆和近海岛屿通往外部世界的交通要冲，也是亚洲东北地区各港口，如海参崴、釜山、横滨等，经马六甲海峡通往南亚国家、非洲和欧洲的必经之路。日本

运输石油的“海上生命线”要经过之，美国、新加坡等国的重要航线也多经此地。只有通过朝鲜海峡、琉球群岛诸水道、巴士海峡、马六甲海峡等才能进入日本海、太平洋和印度洋。南海不但战略位置重要，还是一个巨大的石油宝库，与波斯湾、墨西哥湾、北海齐名为世界四大海洋油气区。这一海域还拥有约 2100 万吨的砂矿和近 10.5 亿千瓦的海洋能。丰富的资源引起了周边国家的高度关注，它们出于各自国家利益的需要，纷纷加强对这一海域的开发和利用，南海开发浪潮步步升级。

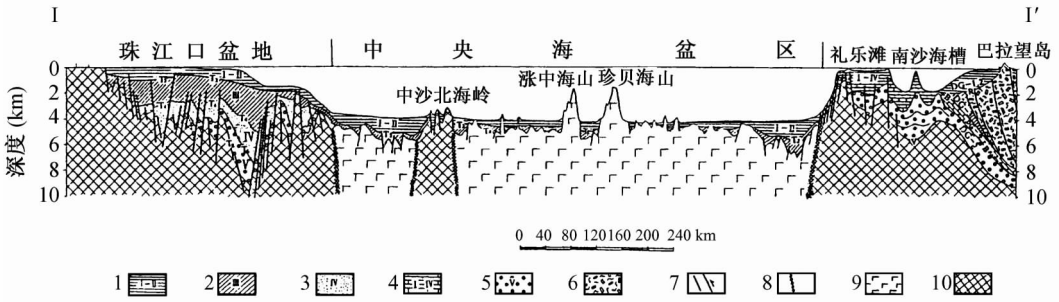


图 2 南海珠江口-巴拉望剖面结构图(据曾维军等,1991)

- 1. 第四系-上中新统;2. 中中新-下中新统;3. 中下新-上渐新统;4. 第四系-上渐新统(南缘);
- 5. 始新-古新统;6. 混杂岩;7. 断层;8. 陆-洋分界线;9. 洋壳基底;10. 陆壳基底

Fig. 2 The Zhu jiangkou -Palawan Cross structure section map of the South China Sea

据前人研究^[2~6],南海主要分为三个构造层,不同构造单元具有不同的性质.图 2 是北北西向穿过南海的剖面结构图,北部为珠江口盆地为代表的中生代张性盆地,中部为以洋壳基底为主的中央海盆区,南部为以南沙海槽为代表的俯冲混杂堆积或加积楔基底,上部构造层作均衡补偿引起的地壳弹性下陷形成的盆地.每一个构造单元资源类型不同,分布方式不同,但油气资源均极富潜力.

南海是西太平洋最大的边缘海之一,北靠华南大陆,南至加里曼丹岛,东临台湾、菲律宾群岛,西界中南半岛.在大地构造上,南海位于欧亚板块、印度-澳大利亚板块与太平洋-菲律宾板块相互作用的构造部位,又是太平洋构造域与特提斯构造域的联结地带(图 3),南海的形成演化与其周边板块的构造活动密切相关^[6~30].也就决定了南海的资源更为丰富,勘探难度也更大,更具有挑战性.

1 南海周边国家勘探概况

南海周边国家与地区主要是越南、马来西亚、文莱、菲律宾、新加坡,自上世纪 70 年代末、80 年代初期,语言描绘出来南海的“第二个波斯湾”前景,在为南海“招商”吸引了足够多的世界石油商到来的同时,也让处于南海海域周边的东盟国家对这块肥肉产生觊觎,并最终落在行动上——对原本属于中国领土的南沙数十个岛礁进行疯狂非法侵占,大肆进行油气资源开采.

到目前,越南、菲律宾、马来西亚、新加坡等周边国家都在南海开采石油,他们已经在南沙海域钻井 1000 多口,做了 126 万公里的地震测线,查明了油气资源量 268 亿吨,发现含油气构造 200 多个和油气田 180 个,年采石油量超过 5000 万吨,早已形成了事实上的“开发热”(中国国情咨询网 www.s007s.com).

以越南为例:

图 4 是越南于 20 世纪 90 年代初公布的海上油气合同区块图,沿着南海的西缘,划分出 135 个区块.据 2004 年 9 月 21 日出版的《PetroMin》报导,越南 2004 年的招标会提供 14,000 公里二维地震资料,见图 5.在近 30 个区块中获取了油气产量分成,目前,还有更多的区块招标,确定勘探与钻探的目标.据 petromin 在线消息(January30,2007),越南现有探明原油储量为 31~33 亿桶,主要产于 60 个近海油气层.1981 年至 2002 年,越南更是从南沙海域的油田中开采了 1 亿吨石油、15 亿多立方米的天然气,获利 250 亿美元,南海石油已成为越南国民经济的第一大支柱产业(中国国情咨询网 www.s007s.com).其中白虎油田的估计储量原是 2000

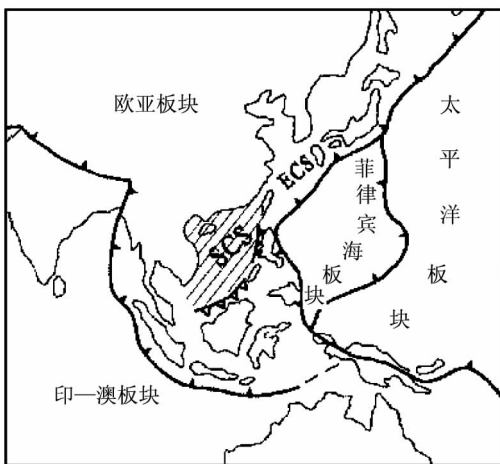


图 3 南海块体构造位置

Fig. 3 Plate Tectonics Location map of the South China Sea

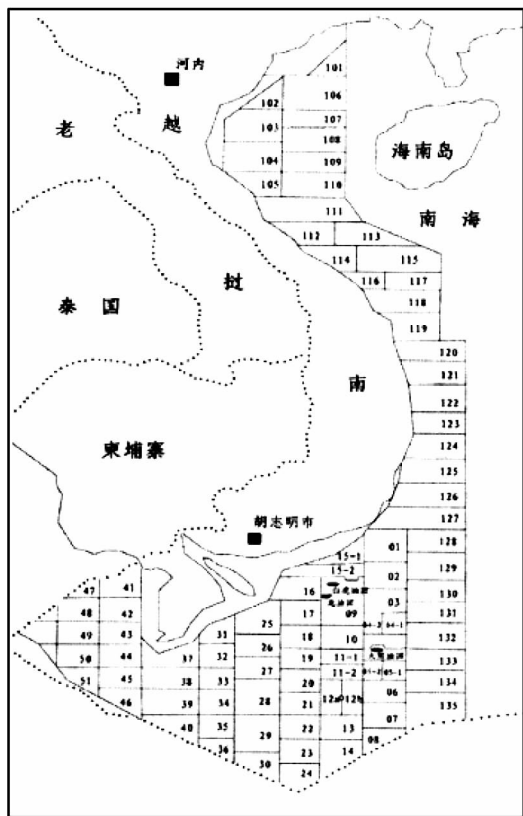


图4 越南近海合同区块图(1990)
Fig. 4 Offshore Contract Area map of Viet Nam(1990)

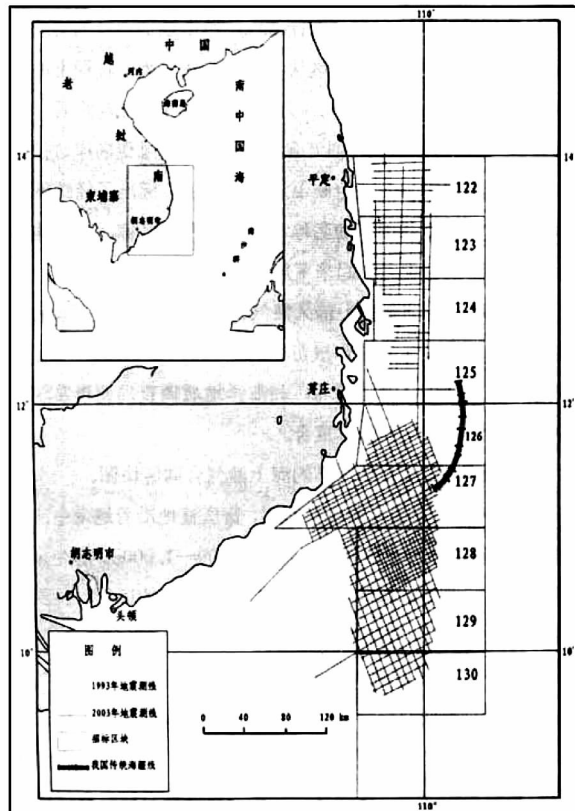


图5 越南在南海的勘探网(2004, petromin, p12)
Fig. 5 Exploration Survey Network of the South China Seain Viet Nam(2004, petromin, p12)

万桶,但 1986 年变成 5000 万桶至 1 亿桶,到 1990 年,其估计的开采量又上升到 5 亿桶。

1974 年 2 月,越南军队侵占了南沙群岛的 6 个小岛,为 1975 年南北统一后越南政府一反过去承认西沙、南沙群岛是中国领土的立场,并把西沙、南沙群岛划入越南版图打下了基础.从那时起,越南开始了关于东海(即中国南海,下同)和海洋的宣传.80 年代特别是 1988 年后,随着越南对南沙群岛海域的大规模蚕食,越南以所谓保卫东海为基础,充分认识海洋、开发海洋及海洋法为内容的宣传,也大规模、全方位、坚持不懈地展开.1994 年 6 月,孙小迎在越访问期间,正值越南国会批准《联合国海洋法公约》,在此前后,越南的报纸、广播、电视连续刊登和播放了关于东海和海洋宣传内容的文章和节目^[16].

1990 年以来,菲律宾与美国、澳大利亚等国石油公司合作,在巴拉望盆地深水区(水深 350~846 米)进行勘探,共发现马拉巴亚、西林纳帕肯 A、西林纳帕肯 B、卡马哥、奥克顿、卡兰努特等 6 个油气田,获天然气可采储量 1226 亿立方米,石油可采储量 6754 万吨。

2 我国南海勘探概况

2.1 勘探史简述

1957 年,南海莺歌海面那些燃烧的气苗,启动了我国海洋石油工业的未来。

1958 年,中国就开始了海洋综合普查性质的海洋区域地质调查.此后,相继开展了一系列的海洋地质调查工作,其中包括大陆架及邻近海域勘查、沉积地貌调查、海洋地质综合调查等调查,以及综合科学考察等海洋油气资源调查与评价。

1975~1980 年间,珠江口盆地获得工业油气流,揭开了南海油气勘探的新一幕。

1982 年,中国海洋石油总公司的组建,标志着新一轮南海油气勘探开发的启动.1986 年中海油在南海的第一个油田平台才开始搭建.又过了 3 年,南海的第一个油田建成投产.从 1996 年至今,中海油深圳分公司(以南海海域东经 113°10'为界)的油产量已经连续 10 年突破 1000 万立方.在南海海域的勘探开发,中海油基本上集中在浅海的北部湾海域和珠江口海域.先后与英荷壳牌公司、美国克里斯通

能源公司、阿吉普、雪佛龙、德士古公司、哈斯基石油中国有限公司、台湾中油公司、美国科麦奇、埃尼公司等合作进行上述海域不同区块的油气勘探开发。

2004年7月,国土资源部向中石油股份公司发放了南海海域勘探许可证,允许勘探和开采18个位于南海南部海域的深海区块,包括南沙群岛地区的区块。

2005年3月14日,中国海洋石油总公司与菲律宾国家石油公司、越南石油和天然气公司在菲律宾宿务都马尼拉正式签署《在南中国海协议区三方联合海洋地震工作协议》。根据协议三家石油公司将联手合作,在三年协议期内,收集南海协议区内定量二维和三维地震数据,并对区内现有的二维地震线进行处理。该协议合作区总面积超过14万平方公里。

2005年12月初,中海油先后与美国丹文能源公司、科麦奇公司以及加拿大赫斯基能源公司签署了珠江口海域不同区块的深水油气开发协议。

2.2 勘探现状及潜力

中国半个世纪的南海勘探历程,南海的勘探者做了大量的工作,取得了巨大的成就,主要表现在2个方面:

(1)国土资源部、中国科学院、中国海洋石油总公司、各大院所等部门做了大量的地球物理、地质调查等工作,包括多道地震、重力、磁力、水深测量、多波束、浅剖等,完成了南海的初步调查工作,为南海的勘探及维护国家的主权与权益提供了第一手资料。

表1 中国南海海区主要新生代盆地规模

Table 1 Primary kainozoic era basin scale of the South China Sea

盆地名称	面积(10^4 km^2)	新生界厚度(km)	沉积岩体积(10^3 km^3)
台西南	14.7	9	347
珠江口	6.0	9	
北部湾	2.7	8	38
琼东南	4.7	10	170
莺歌海	4.8	8~10	46
礼乐滩	2.7	>4	
巴拉望	2.9	8	
万安西	7.7	>5	
曾母	18.32	9	
文莱-沙巴	7.75	9	

南海在我国传统海疆线内除中国沿海大陆架几个沉积盆地外,在陆坡区及印支大陆陆架区,还有曾母盆地、文莱-沙巴盆地、万安盆地、巴拉望盆地、南沙海槽盆地、礼乐滩盆地、北康盆地、南薇盆地、中建盆地、西沙海槽盆地、笔架盆地、安渡滩盆地等26个沉积盆地^[9](图6)。单个盆地面积介于1万~20万 km^2 间,其中中新世沉积层厚度可达6000~12000m,如表1所示。中国南海海区主要新生代盆地的规模,与陆地上松辽盆地、渤海湾盆地等相当,沉积岩巨厚,盆地与盆地类型丰富,如此巨大的勘探空间,前景广阔。

南海第三纪沉积有海相、陆相及海陆交互相,具有良好的生油和储油岩系。有三角洲、生物礁、古潜山等多种储油类型。越南到加里曼丹岛之间的最宽陆架区,其中中生代和第三纪的沉积厚度很大,已探明石油储量为6.4亿吨,天然气储量9800亿 m^3 ,是世界海底石油的富集区。某些国外石油专家认为,仅南沙海域的石油资源量可达418亿吨^[4]。

2004年,应用“十五”863计划研究成果长排列大容量地震勘探技术在南海深水海域首次发现巨厚中生代地层,沉积地层厚度超过万米,为进一步开展深水领域油气资源调查指明了勘探方向,成为当年我国十大科技新闻之一。

按全国二轮评价结果,我国陆地油气资源量为994.03亿吨油当量,而我国管辖海域近300万 km^2 面积上的资源量为陆上资源量的39.84%~45.97%,即396.02亿~456.26亿吨油当量,南海石油地质储量约在230亿~300亿吨之间,号称全球“第二个波斯湾”。其中我国大陆近海5个盆地,即渤海盆地、东海陆架盆地、珠江口盆地、莺歌海盆地和琼东南盆地的总资源量为190.73亿~212.50亿吨油当量,而南海南部万安、曾母、北康、南薇西等六个盆地总资源量则为105.30亿~126.45亿吨油当量。

(2)在500米水深线以浅,南海油气勘探开发成果显著,逐渐成为了中国油气的重要支柱,勘探技术与水平较高。取得大量的南海石油地质认识,为南海的勘探提供依据。

南海海域烃源岩层钻探证实的主要有四套^[10]:侏罗-白垩系烃源岩,主要分布于台西南盆地、潮汕坳陷;始新-渐新统烃源岩,以湖相暗色泥岩、页岩为主,主要分布于近海陆架上断坳盆地、陆缘裂陷盆地,部分南沙裂离陆块盆地中;上渐新-下中新统烃源岩,以海陆过渡相和海相泥岩、页岩为主,主要分布于南海周边和台湾海峡两处的沉积盆地中;中中

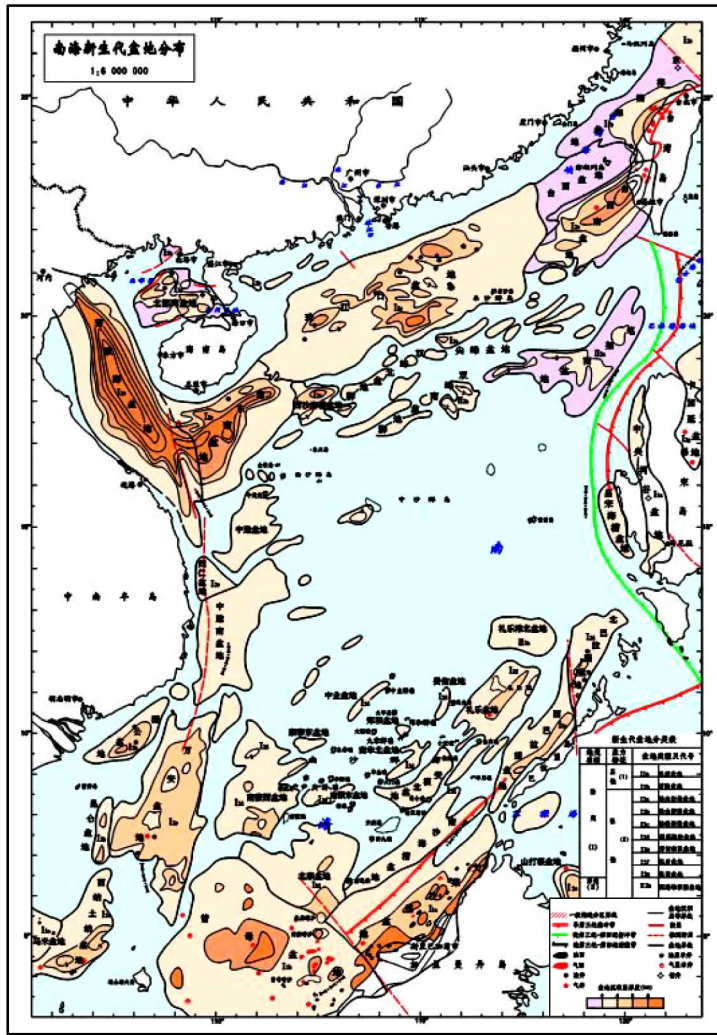


图6 南海新生代盆地分布图(刘光鼎,1992)

Fig. 6 Kainozoic era basin distribute map of the South China Sea

新-上新统烃源岩,岩性为一套浅海至半深海相沉积的泥岩,夹有少量灰岩或煤层,主要分布于南海西部和台湾海峡地区。

南海北部陆坡沉积了巨厚的新第三系、下第三系和第四系的湖相、海陆过渡相及海相地层。该区发育多套、多类型良好烃源岩,多以下第三系湖相、浅海相泥岩为主,有机质丰度中等,干酪根主要类型为II型和III型,潮汕坳陷烃源岩为中生界海相泥岩,TOC为0.6%~2.45%,最大可达4.26%。从邻近浅水钻探结果和地震资料分析看出,深水区发育三角洲、滨浅海相砂岩及低位扇砂体与海相泥岩、台地灰岩与海相泥岩等多套储盖组合,圈闭条件优越,存在多种类型构造和地层岩性圈闭^[41]。近年来又在琼东南盆地中央坳陷带和白云凹陷北部200~300 m的外浅海多个构造获得天然气发现或油气显示,这说明该区有较大的油

气资源潜力和良好的勘探前景,是海洋油气重要的勘探方向^[10]。白云凹陷烃源岩最优质烃源岩的分布与半深湖—深湖相有较好的对应关系,古近系陆相地层沉积的垂向剖面中,有机质含量的分布具有明显的规律性,凝缩段的沉积速率最低,有机质含量最高,由密集段向上或向下,有机质含量逐渐降低^[11]。始新统和渐新统是丰度较高,成熟度合适的裂陷期优质湖相烃源岩和高产气率的煤系烃源岩,面积超过10000 km²,最大厚度达6500 m,烃源岩体积是发现大量烃类的惠州凹陷的10倍以上,2001~2002年在白云凹陷北坡浅水海域,根据烃类检测和振幅异常体指示,勘探获得天然气的商业性突破,经过地球化学等综合分析证实白云凹陷深水区具有巨大的烃源潜力和良好的勘探前景。

琼东南盆地南部深水区基本上没有钻井揭示,

冲积相、河泛平原沼泽相、扇三角洲及湖相碎屑岩系列;晚始新世—早渐新世为盆地主裂解扩张断陷的发育阶段,以海陆过渡相、泻湖相和滨海—浅海碎屑岩组合为主,表现为下粗上细的正旋回序列;晚渐新世—中中新世,为盆地主裂解扩张断陷的发育阶段,岩性逐渐变细,以海相砂泥岩互层占优势;盆地在晚中新世转入裂后拗陷发育阶段,至上新世以后整体进入区域热沉降期,以浅海一半深海砂质泥岩、泥岩为主,东部发育浊积岩^[19]。

曾母盆地位于南海南部海域,其西界以万安—卢帕尔断裂与万安盆地相隔,东北侧以廷贾断裂为界与沙巴—文莱、北康盆地隔开,东南缘被穆卢断裂所限。全盆地面积 16.8 万 km²,位于我国传统疆界线内的面积占 12.7 万 km²。盆地内新生代最大沉积厚度为 11.5 km,主体水深小于 500 m。曾母盆地属南海较典型的周缘前陆盆地类型,整个盆地形状近似于一个三角形。曾母盆地自 1969 年以来相继发现了气田 33 个,其中 31 个气田的可采储量累计达到 22 591 亿 m³;油田 17 个;含气构造 11 个;含油构造 6 个。曾母盆地作为南海南部一个重要的含油气盆地,已引起国内外学者的关注和投资者的兴趣^[20,21](1997,刘宝明)。

南海地区历史上有过 2 次重要的海相沉积时期^[22],第 1 次是从三叠纪开始到早白垩世结束的特提斯海,尤其是南特提斯海主要发育于本区;第 2 次是新生代的 2 次(42~35 MaBP、32~17 MaBP)海底扩张。这 2 次海相沉积时期均为生物礁发育有利的时期,也是礁油气藏形成的最有利时期。南海生物礁主要发育于中新世以及第四纪,巴拉望盆地较特殊,发育于渐新世。南海生物礁不仅数量多,第四纪生物礁有 118 个,第四纪以前的生物礁约有百余个;而且类型多而全,有些是大型礁体,面积达几百平方公里。南海已发现的生物礁油气藏也很多,成为油气勘探的重要目标^[22]。世界上不少国家的油气产量中,产自礁油气藏的份额占有重要的比例,如加拿大占 60%;墨西哥占 70%。围绕南海的各产油国家,礁油气藏油气储量和产量也占有重要的地位。如万安盆地的万安滩 7、万安西 18、兰龙、吕葵花北一礁油气藏;曾母盆地南康盆地的 F6、L、F23 等 18 个大中型气田;西部斜坡的 L 礁大型油田;巴拉望盆地的尼多礁油田、盖洛克油田、马丁洛克油田、达拉油田、Octon 气田、LinapacanB 气田、M alampaya 气田、Camago 气田;珠江口盆地的流花 11-1 油田、流花 4-1 油田、陆丰 15-1 油田。南海海区生物礁勘探前景巨大,是直接获得储量与产能的首选目标。

南海资源潜力极大,还有巨大的勘探空间与新的勘探领域,我国由于勘探技术水平的限制,目前主要勘探层位集中在新生代,前新生代海相残留盆地也具有良好油气前景^[23~27,31],有望在新生代盆地之下出现油气资源的重大突破。

3 结 语

(1)海洋也是国土,维护我国的海洋国土的权利与权益,让海洋国土的资源为国家建设作出贡献,明确建立海洋强国的战略。中国未来能源发展依托于海洋,只有维护海洋主权和权益,才能有效地开发利用好海洋油气资源。

早在 2500 年前,古希腊海洋学者狄米斯托克利就预言:谁控制了海洋,谁就控制了一切。海域划界是主权之争,主权的背后是资源问题。经略海域,维护并拓展海洋权益。

南海是中国与东南亚各国相互联系的重要纽带;另一方面,也是中国与中东、欧洲和非洲等地区交往的必经之地。确保这一海域的安全和海上航线的畅通对中国有至关重要的意义。

南海从北到南分布着中国的东沙群岛、海南岛、西沙群岛、中沙群岛和南沙群岛等岛屿和岛礁,它们一方面构成了华南地区重要的海防前哨,扩大了这一地区的海上战略纵深,对这一地区有重要的屏护作用;另一方面它们深入东南亚地区纵深的地理位置,也使其成为扼控东南亚国家相互往来的海上通道和瞰制沟通两洋重要航线的交通要冲。其中南沙群岛更是中国西出马六甲海峡、跃进印度洋的重要前进基地,具有重要的战略价值。因此,控制这些岛屿和岛礁,掌握南中国海的制海权,不但可确保华南地区的安全,而且还可提高中国在东南亚乃至整个西太平洋地区的战略地位,增强在这一地区的影响力。

(2)南海的资源潜力巨大,2001 年的第二轮资源评价资料与技术成果更新很快,利用新的技术和成果摸清家底工作十分必要。

南海蕴藏的丰富的油气资源无疑使其成为中国的一个重要的油气来源地,这对减轻中国石油进口压力、提高经济安全系数有极为重要意义。

南海具有巨大的勘探空间,知己知彼,才能使得我国在南海资源勘探开发的竞争中取得主动。

(3)南海勘探工作取得巨大的成效,但与国家的经济建设的飞速发展比较,南海的勘探程度还是较低的,亟待发展深水油气勘探技术。

相比而言,中国南海勘探程度还较低,勘探层位

主要集中在近海的新生代盆地,主要的勘探成果也集中于 500 米水深线以浅的大陆架上.而对南海主体的深水区,还仅仅进行了路线概查和局部地区的地球物理普查.

由于技术装备落后,目前,我国海洋油气资源开发仍主要集中在 200 米水深以下的近海海域,尚不具备超过 500 米深水作业的能力,深海油气的规模开发几乎处于空白状态.

南海具有巨大的技术发展空间,每一次的技术进步,都会带来南海油气勘探的质的飞跃.

与陆地资源开发相比,海洋资源开发需要更加密集的高新技术群,因此海洋科技强国战略便成为整个海洋战略的先导.

参 考 文 献 (References):

- [1] 刘光鼎. 中国海区及邻域地质地球物理图集[M]. 北京: 科学出版社, 1993.
- [2] 中国地质调查局, 国家海洋局科学技术司. 海洋地质地球物理补充调查及矿产资源评价. “我国专属经济区和大陆架勘察”专项 HY126-03 项目综合报告[M]. 北京: 海洋出版社, 2004.
- [3] 杜德莉, 曾维军, 吴能友. 南海及邻域中、新生代盆地类型与油气资源关系探讨[J]. 地质评论, 1998, 44(6): 580~589.
- [4] 金庆焕. 南海地质与油气资源[M]. 北京: 地质出版社, 1989.
- [5] 金庆焕, 李唐根. 南沙海域区域地质构造[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2000, 20(1): 1~8.
- [6] 张羽中, 吴世敏, 丘学林. 南海南部海区前陆盆地形成与演化[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2007, 27(1): 61~71.
- [7] 吴世敏, 周蒂, 刘海龄. 南沙地块构造格局及其演化特征[J]. 大地构造与成矿学, 2004, 28(1): 23~28.
- [8] 夏戳源. 南沙群岛及其邻近海区地质地球物理与油气资源[M]. 北京: 科学出版社, 1996.
- [9] 高抒, 李家彪. 中国边缘海的形成演化[A]. 中国边缘海形成演化系列研究[C]. 北京: 海洋出版社, 2002.
- [10] 米立军, 刘震, 张功成等. 南海北部深水区白云凹陷古近系烃源岩的早期预测[J]. 沉积学报, 2007, 25(1): 139~147.
- [11] 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): 15~23.
- [12] 段铁军, 张抗. 中国海域深水区油气勘探方向与领域[J]. 当代石油石化, 2006, 14(8): 23~25.
- [13] 戴智红, 刘自明. 中国第一口超千米深水钻井液技术[J]. 钻井液与完井液, 2007, 24(1): 28~29.
- [14] 刘杰鸣, 王世圣, 冯玮, 喻西崇, 芦文生. 深水油气开发工程模式及其在我国南海的适应性探讨[J]. 中国海上油气, 2006, 18(6): 413~419.
- [15] 张功成, 米立军, 吴时国, 陶维祥, 何仕斌, 吕建军. 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): 15~23.
- [16] 潘继平, 金之钧. 中国油气资源潜力及勘探战略[J]. 石油学报, 2004, 25(2): 1~6.
- [17] 杨木壮, 王明君, 梁金强, 沙志彬. 南海万安盆地构造沉降及其油气成藏控制作用[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2003, 23(2): 85~89.
- [18] 刘宝明, 金庆焕. 南沙西南海域万安盆地油气地质条件及其油气分布特征[J]. 世界地质, 1996, 15(4): 35~41.
- [19] 徐行, 姚永坚, 王立非. 南海南部海域南薇西盆地新生代沉积特征[J]. 中国海上油气(地质), 2003, 17(3): 170~175.
- [20] 刘宝明, 金庆焕. 南海曾母盆地油气地质条件及其分布特征[J]. 热带海洋, 1997, 16(4): 18~25.
- [21] 金庆焕等. 南海地质与油气资源[M]. 北京: 地质出版社, 1989.
- [22] 陈国威. 南海生物礁及礁油气藏形成的基本特征[J]. 海洋地质动态, 2003, 19(7): 32~37.
- [23] 刘光鼎. 中国油气资源企盼二次创业[J]. 地球物理学进展, 2001, 16(4): 1~3.
- [24] 刘光鼎, 陈洁. 中国前新生代残留盆地油气勘探难点分析及对策[J]. 地球物理学进展, 2005, 20(2): 273~275.
Liu G D, Chen J. Analysis of difficulties in gas-petroleum prospecting in Chinese pre-cenozoic relic basin and the corresponding solutions [J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2005, 20(2): 273~275.
- [25] 刘光鼎. 前新生代海相残留盆地[J]. 地球物理学进展, 2001, 16(2): 1~5.
- [26] 刘光鼎, 陈洁. 中国海域残留盆地油气勘探潜力分析[J]. 地球物理学进展, 2005, 20(4): 881~888.
Liu G D, Cheng J. Potential analysis of petroleum exploration in residual basins of the China sea [J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2005, 20(4): 881~888.
- [27] 刘光鼎, 宋海斌, 张福勤. 中国近海前新生代残留盆地初探[J]. 地球物理学进展, 1999, 14(3): 1~7.
- [28] 张健, 宋海斌, 李家彪. 南海西南海盆构造演化的热模拟研究[J]. 地球物理学报, 2005, 48(6): 1357~1365.
- [29] 丘学林, 曾钢平, 胥颐, 郝天珧, 李志雄, Keith Priestley, Dan McKenzie. 南海西沙石岛地震台下的地壳结构研究[J]. 地球物理学报, 2006, 49(6): 1720~1729.
- [30] 徐行, 陆敬安, 罗贤虎, 等. 南海北部海底热流测量及分析[J]. 地球物理学进展, 2005, 20(2): 562~565.
- [31] 刘光鼎. 我国油气资源勘探开发中存在的主要问题及对策[J]. 地球物理学进展, 2005, 20(1): 1~3.
Liu G D. Main problems and countermeasures existed in exploring oil and gas resources in China [J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2005, 20(1): 1~3.
- [32] 鲍李峰, 陆洋, 王勇, 许厚泽. 利用多年卫星测高资料研究南海上层环流季节特征[J]. 地球物理学报, 2005, 48(3): 543~550.
Bao L F, Lu Y, Wang Y, Hsu H Z. Seasonal variations of upper ocean circulation over the South China Sea from satellite altimetry data of many years [J]. Chinese J. Geophys. (in Chinese), 2005, 48(3): 543~550.
- [33] 高星, 王卫民, 姚振兴. 中国及邻近地区地壳结构[J]. 地球物理学报, 2005, 48(3): 591~601.
Gao X, Wang W M, Yao Z X. Crustal structure of China ma-

- inland and its adjacent regions[J]. Chinese J. Geophys. (in Chinese), 2005, 48(3): 591~601.
- [34] 张国民, 马宏生, 王辉, 王新岭. 中国大陆活动地块边界带与强震活动[J]. 地球物理学报, 2005, 48(3): 602~610.
Zhang G M, Ma H S, Wang H, Wang X L. Boundaries between active-tectonic blocks and strong earthquakes in the China mainland[J]. Chinese J. Geophys. (in Chinese), 2005, 48(3): 602~610.
- [35] 郑勇, 傅容珊, 熊熊. 中国大陆及周边地区现代岩石圈演化动力学模拟[J]. 地球物理学报, 2006, 49(2): 415~427.
Zheng Y, Fu R S, Xiong X. Dynamic simulation of lithospheric evolution from the modern China mainland and its surrounding areas[J]. Chinese J. Geophys. (in Chinese), 2006, 49(2): 415~427.
- [36] 李延兴, 张静华, 何建坤, 李智, 郭良迁, 张中伏, 张俊青. 菲律宾海板块的整体旋转线性应变模型与板内形变-应变场[J]. 地球物理学报, 2006, 49(5): 1339~1346.
Li Y X, Zhang J H, He J K, Li Z, Guo L Q, Zhang Z F, Zhang J Q. Integral-rotation linear strain model and intraplate deformation- strain field of the Philippine Sea Plate[J]. Chinese J. Geophys. (in Chinese), 2006, 49(5): 1339~1346.
- [37] 刘建华, 胥颐, 郝天珧, 等. 中国边缘海及邻区地壳和上地幔速度结构特征[J]. 地球物理学进展, 2005, 20(3): 594~599.
Liu J H, Xu Y, Hao T Y, *et al.* Three dimensional velocity structure feature in the crust and upper mantle beneath Chinese marginal seas and adjacent regions[J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2005, 20(3): 594~599.
- [38] 李官保, 裴彦良, 刘保华. 海底热流探测技术综述[J]. 地球物理学进展, 2005, 20(3): 611~619.
Li G B, Pei Y L, Liu B H. Review of measurement techniques of seafloor heat flow[J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2005, 20(3): 611~619.
- [39] 王京, 赵珍梅, 曹代勇. 浅谈海外数字油田与勘探开发一体化集成系统建设[J]. 地球物理学进展, 2006, 21(1): 225~231.
Wang J, Zhan Z M, Cao D Y. Primitive investigation for the oversea digital oil field to develop with exploration the construction that integral whole turn integration system [J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2006, 21(1): 225~231.
- [40] 彭艳菊, 黄忠贤, 苏伟, 郑月军. 中国大陆及邻区海域地壳上地幔各向异性研究[J]. 地球物理学报, 2007, 50(3): 751~759.
Peng Y J, Huang Z X, Su W, Zheng Y J. Anisotropy in crust and upper mantle beneath China continent and its adjacent seas[J]. Chinese J. Geophys. (in Chinese), 2007, 50(3): 752~759.
- [41] 陈洁. 潮汕拗陷地球物理特征及油气勘探潜力[J]. 地球物理学进展, 2007, 22(1): 147~155.
Chen J. Geophysical characteristics of the Chaoshan depression and its hydrocarbon exploration potential[J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2007, 22(1): 147~155.
- [42] 马宗晋, 高祥林, 宋正范. 中国布格重力异常水平梯度图的判读和构造解释[J]. 地球物理学报, 2006, 49(1): 106~114.
Ma Z J, Gao X L, Song Z F. Analysis and tectonic interpretation to the horizontal-gradient map calculated from Bouguer gravity data in the China mainland[J]. Chinese J. Geophys. (in Chinese), 2006, 49(1): 106~114.
- [43] 袁玉松, 马永生, 胡圣标, 郭彤楼, 付孝悦. 中国南方现今地热特征[J]. 地球物理学报, 2006, 49(4): 1118~1126.
Yuan Y S, Ma Y S, Hu S B, Guo T L, Fu X Y. Present-day geothermal characteristics in South China[J]. Chinese J. Geophys. (in Chinese), 2006, 49(4): 1118~1126.
- [44] 江为为, 郝天珧, 胥颐, 刘振峰, 朱东英, 涂广红. 中国中南地区综合地质地球物理研究[J]. 地球物理学报, 2007, 50(1): 171~183.
Jiang W W, Hao T Y, Xu Y, Liu Z F, Zhu D Y, Tu G H. Comprehensive geological and geophysical study in middle southern region of China[J]. Chinese J. Geophys. (in Chinese), 2007, 50(1): 171~183.
- [45] 李延兴, 张静华, 何建坤, 李金岭, 李智, 郭良迁, 张中伏, 杜雪松. 由空间大地测量得到的太平洋板块现今构造运动与板内形变应变场[J]. 地球物理学报, 2007, 50(2): 437~447.
Li Y X, Zhang J H, He J K, Li J L, Li Z, Guo L Q, Zhang Z F, Du X S. Current-day tectonic motion and intraplate deformation-strain field obtained from space geodesy in the Pacific Plate[J]. Chinese J. Geophys. (in Chinese), 2007, 50(2): 437~447.
- [46] 傅容珊, 冷伟, 常筱华. 地幔对流与深部物质运移研究的新进展[J]. 地球物理学进展, 2005, 20(1): 170~179.
Fu R S, Leng W, Chang X H. Advancements in the study of mantle convection and the material movements in the deep Earth interior [J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2005, 20(1): 170~179.
- [47] 周龙泉, 刘福田, 刘劲松等. 利用 τ -p 波场反演法确定东沙群岛的地壳速度模型[J]. 地球物理学进展, 2005, 20(2): 503~506.
Zhou L Q, Liu F T, Liu J S, *et al.* Determination of the crustal velocity model of Dongsha islands using the inversion of τ -p wave field [J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2005, 20(2): 503~506.
- [48] 谢赛克, 周宇章, 张开毕等. 华南前寒武系基底变质杂岩高温高压下的波速特征及地壳结构[J]. 地球物理学进展, 2006, 21(1): 107~117.
Xie D K, Zhou Y H, Zhang K B, *et al.* The wave characteristic of Precambrian base metacomplex in high-temperature and high-pressure and the crust structure of South China [J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2006, 21(1): 107~117.
- [49] 刘光鼎, 陈洁. 坚持科学发展观建设中国海[J]. 地球物理学进展, 2007, 22(3): 661~666.
Liu G D, Chen J. Construct China seas adhering to idea of scientific development [J]. Progress in Geophysics (in Chinese), 2007, 22(2): 661~666.