

## 天然气地质学

# 世界深水油气勘探进展与南海深水油气勘探前景

何家雄<sup>1</sup>, 夏 斌<sup>1</sup>, 施小斌<sup>1</sup>, 姚永坚<sup>2</sup>, 刘海龄<sup>1</sup>, 阎 贫<sup>1</sup>, 张树林<sup>3</sup>

(1. 中国科学院边缘海地质重点实验室, 广东 广州 510640; 2 国土资源部广州海洋地质调查局, 广东 广州 510760; 3 中国海洋石油研究中心, 北京 100027)

**摘要:** 世界深水油气资源丰富, 近年来深水油气勘探已成为当今世界油气勘探开发的热点和油气增储上产新亮点, 也是当今海洋油气勘探必然发展趋势和油气资源接替的重要战略选区。南海陆坡深水属我国油气勘探与研究的新区, 处于准被动大陆边缘盆地位置, 从烃源岩、含油气储盖组合、圈闭及油气运聚条件等综合考量, 具备形成大中型油气田的基本地质条件, 颇具油气资源潜力, 其应是我国油气资源接替的重要战略选区和增储上产的现实区域。在以往研究和所获地质资料的基础上, 重点探讨了围绕南海深水油气勘探的关键问题, 以期促进和加快南海深水油气的勘探进程。

**关键词:** 世界深水油气; 南海深水盆地; 成藏地质条件; 油气资源潜力

**中图分类号:** TE51

**文献标识码:** A

**文章编号:** 167221926(2006)0620747206

## 1 世界深水油气勘探开发概况

20世纪70年代末期, 世界油气勘探开始涉足深水海域。随着世界各国对能源需求的日趋增长和陆地及陆架浅水区油气勘探逐渐步入成熟期, 陆坡深水盆地的油气勘探开发不断升温。近20多年来, 在南美巴西、西非大西洋沿岸、墨西哥湾、北海、巴伦支海、喀拉海以及东南亚、澳大利亚西北等深水海域, 相继发现了许多大型油气田, 勘探领域扩展到了水深3000m的深海区域, 深水油气勘探开发, 已成为当今世界油气增储上产及油气资源战略接替的重要新领域和油气勘探开发的发展趋势与新亮点<sup>[125]</sup>。

世界著名能源咨询公司 Douglas Westwood Ltd 在《2000-2004年世界深水报告》中指出, 2004年世界投入深水油田勘探开发费用已从2000年的76亿美元增加到约220亿美元, 其中西非地区增长最快, 从20亿美元增加到50亿美元。专家预测, 未来5a深水油气勘探开发投资将比过去5a增加1倍。从2000年到2010年, 全球深水区投产油气田的储量将分别达  $37.3 \times 10^8$  t 和  $6.07 \times 10^{12}$  m<sup>3</sup>, 约占油气开发总储量的16%, 其中西非、巴西、墨西哥湾最多,

其次是挪威、亚太地区、英国等。道格拉斯·威斯特伍德公司和Illfield Systems 工业数据公司新近联合出版的《2003-2007年世界深水报告》<sup>[4]</sup>也明确指出, 世界成熟浅水海域油气新发现的储量规模正在大幅下降, 例如, 近5a欧洲近海投产油气田的平均规模约为  $1.7183 \times 10^4$  t 油当量, 而今后5a其规模将减小50%以上。未来油气田的平均储量规模将随水深(500~1500m)而大幅增加, 超过1000m水深的油气田平均储量规模( $3.4503 \times 10^4$  t 油当量)将是浅水区域的2倍以上。

目前, 西非、巴西坎波斯盆地和墨西哥湾这3大热点地区, 在深水油气勘探开发方面不断有新进展和新发现。如西非深水油气勘探最热的2个地区安哥拉和尼日尔三角洲, 近期就不断有新的油气发现和新油田投产, 还有新一轮超深水区块的对外招标。另外, 在赤道几内亚和加蓬等地区深水勘探开发亦在积极进行之中。据Douglas Westwood Ltd 统计, 西非地区2000-2005年间已有17个深水油气田投产; 巴西2000年石油日产近  $17.8 \times 10^4$  t, 其中70%来自400~2000m的深水海域, 2005年其深水油气田日产已达  $25.3 \times 10^4$  t, 从而使该国石油达到自给。在

收稿日期: 2005207220; 修回日期: 20062082231

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(编号: KZCX32SW 223423); 国家自然科学基金项目(编号: 40306010)联合资助

作者简介: 何家雄(1956), 男, 湖北天门人, 研究员, 博士, 长期从事油气勘探与地质综合研究 E-mail: hejx@gig.ac.cn

王春修, 等 国外深水油气勘探成果和经验分析及南海深水勘探潜力 调研报告, 2001.

墨西哥湾,自美国国会1995年通过矿区使用费补助法案以来,大大刺激了该区深水油气勘探开发活动,租出的矿区亦急剧增多。截至2000年初,据统计该区已在深水区找到了112个油气田,石油产量(大于283 m 深水区)达到 $0.37 \times 10^8$  t,比上年度增加20%,使得深水区石油产量第一次超过了浅水区。

除了以上3大深水油气勘探热点地区外,近年来,在大西洋两岸北端的挪威、英国、加拿大、摩洛哥、毛里塔尼亚和南端的纳米比亚、南非和阿根廷,在地中海沿岸国家和埃及、以色列及土耳其,在亚太地区如印度、澳大利亚、新西兰、印尼等,都在积极开展深水油气勘探开发活动。与此同时,近年来南海周边地区的深水油气勘探开发也在广泛地进行之中。中国台湾、越南、马来西亚、印度尼西亚、文莱、菲律宾等国家和地区,都先后推出了深水区油气勘探的招标区块,并与国际石油公司合作,在一些区块实施了钻探且屡有油气发现。世界上已有60多个国家正在进行深水油气勘探开发活动,其勘探领域已扩展到了4 000 m 的深海区,且在具有被动大陆边缘地质背景的盆地中发现了石油储量 $600 \times 10^8$  t,天然气储量 $21 \times 10^{12}$  m<sup>3</sup> [51]。

截止2001年底,在全球6大洲18个盆地大于500 m 水深海域中,已找到了79.2亿t油当量的深水油气,且90%油气储量均富集于深水浊流沉积体系之中,其地域范围则主要集中分布于具有被动大陆边缘背景的墨西哥湾、西非与巴西三大区域的沉积盆地。深水油气勘探开发取得的辉煌成果,与多年来对深海海域的不懈探索及勘探技术方法手段的提高密切相关。正如彭大钧<sup>[6]</sup>所总结,20世纪70年代,沉积学与深海钻探计划所取得的阶段成果,使人们理解了深海沉积过程,扇体水道内幕结构、深水扇的总体形态;80年代建立了多种扇体沉积模式,分析扇体发育与相对海平面变化、构造环境、沉积物供给等关系,使得地震地层学获得了广泛应用并发挥了重要作用;80年代后期由于地震解释工作站的应用,加快了深水沉积体系的模拟研究,而大洋钻探计划的继续推进,则促进了海洋沉积学与海洋地质学的发展;90年代层序地层学、地震地层学与沉积学等相互结合渗透,则进一步推进了海洋深水沉积学研究的迅猛发展,三维地震资料及地震资料处理技术的发展和提高,更为其提供了强有力的技术支撑和手段;通过海洋沉积学、海洋地质学、沉积学等学科的交叉融合,油气勘探工业界与学术界对现代扇系统和古代扇系统,尤其是新近纪深水扇系统等认

识得到了进一步深化,并在油气勘探实践中取得了重大进展。同时,还特别强调了陆架边缘三角洲作为储层以及作为陆坡深水沉积物质供给系统的重要性,明确指出陆架边缘三角洲及相关联的下陆坡沉积系统的全球意义及油气勘探潜力。因此,深水沉积体系尤其是深水扇沉积系统研究取得的进展,均极大地推动了深水油气勘探。

综上所述,世界范围的深水油气藏,均主要形成富集于被动大陆边缘的区域构造动力学地质背景下和深水浊流沉积体系发育的储集层砂体之中,其油气则主要来自于断陷期和断拗期富有机质的陆相和海陆过渡相烃源岩以及热沉降拗陷期发育的海相烃源岩。

## 2 南海深水油气勘探现状及存在问题

南海深水海域广阔,其中南海北部琼东南盆地、珠江口盆地、台西南盆地和南海南部南沙海域13个新生代沉积盆地均部分或全部位于深水区,且这些深水盆地均属准被动大陆边缘盆地,从烃源岩、油气储盖组合、圈闭及油气运聚成藏条件诸方面综合分析,均具备形成大中型油气田的基本地质条件和良好的油气勘探前景与资源潜力。初步的油气资源评价结果表明<sup>[7]</sup>,南海北部陆坡深水区石油资源量高达 $19.0 \times 10^8$  t,天然气资源量达 $2.4 \times 10^{12}$  m<sup>3</sup>,然而,由于受技术经济条件的限制和海上高技术、高风险及高成本的影响和制约,南海海域油气勘探开发活动,多年来主要集中于近海大陆架水深小于500 m 的浅水海域,一般油气勘探钻井均局限于200 m 水深以内的陆架浅水盆地,对于水深大于500 m 的广阔的陆坡深水区之油气地质勘探与研究均做得甚少。下面将重点对该区油气勘探研究现状及存在的问题进行阐述。

### 2.1 区域地质综合研究现状

南海处在欧亚、印-澳及太平洋三大板块相互作用的交汇处,区域构造动力学条件相当复杂,对南海成因及其扩张时序的认识目前仍然存在较大分歧。多数学者对南海四大边缘属性(北部拉张裂陷、南部挤压变形、东部俯冲消减、西部走滑伸展)已取得共识<sup>[8215]</sup>。但对南海北部西区大陆边缘构造特征的认识,由于其陆架较窄,至今在该区投入的研究工作较少。近几年我国在该海域仅获得了一些重磁及地震资料和钻井资料,迄今尚未获得更多的诸如岩

石地球化学、同位素地球化学等资料。该断裂带在陆区构造形迹十分显著,前人在陆区从岩石地球化学、变质作用、变形构造、地质测年等方面均对该断裂系统做了不少研究,并认为这是一条在新生代早中期发生过左行走滑、晚期发生右行走滑伸展活动的大型剪切断裂带。因此,南海北部西缘断裂带是认识两大板块相互作用和南海扩张的主要桥梁。由于红河断裂带在南海的延伸涉及到全球重大的地学问题——青藏高原的隆升与南海的扩张演化及形成,且一直存在较大的分歧,为此,以往的研究均主要采用物理模拟和数值模拟等方法,重点对与红河大断裂有关的南海北部西区陆缘断裂体系作了较深入的研究<sup>[1628]</sup>,但对于该断裂带入海后在南海莺歌海盆地延伸展布特征及演化规律以及与盆地的成生关系等,均研究甚少且不深入。对于南海陆坡深水盆地(包括南海北部琼东南盆地南部、珠江口盆地珠二坳陷及东沙陆坡和台西南盆地南部、南海南部南沙海域大部分盆地)深部结构、断裂体系及其发育演化特征等亦研究较少,或尚未涉及。

对于南海沉积盆地地热及热流场研究,近年来根据南海数百个点热流数据,编制了南海热流趋势分布图,分析了南海不同地区海盆的热流场分布特征,计算了海盆冷却年龄与沉降及热流的关系,在此基础上,重点研究了南海北部莺-琼盆地及珠江口盆地地温场特征、西沙海槽地区的地幔岩石圈热结构特征<sup>[1920]</sup>。研究结果表明,造成南海不同区域地热特征的差异可能主要受其所在构造环境的制约。

## 2.2 油气地质调查与勘探研究现状

南海陆坡深水盆地由北部陆坡深水区和南部陆坡深水盆地构成。北部陆坡深水盆地系指北纬 $16^{\circ}30' \sim 21^{\circ}00'$ ,东经 $109^{\circ}00' \sim 118^{\circ}00'$ 之间的深水海域,面积 $12 \times 10^4 \text{ km}^2$ (未包括台西南盆地)。2002年国土资源部将该深水盆地确定为我国十大油气资源战略选区之一,主要包括水深大于500 m的琼东南盆地南部坳陷带向东南方向延伸的深水海域、珠江口盆地神狐隆起及东沙隆起以南的深水海域,具体由琼东南盆地华光、乐东、陵水、松南、北礁、宝岛凹陷和珠江口盆地西部长昌、长昌东凹陷以及珠江口盆地东部顺德、开平、白云凹陷等11个凹陷45个洼陷所构成。南海南部陆坡深水盆地即南沙海域大部分区域,系指北纬 $16^{\circ}30' \sim 5^{\circ}00'$ ,东经 $109^{\circ}00' \sim 120^{\circ}00'$ 之间的深水海域,面积约为 $37 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,主要发育有万安、曾母

中建南、北康、南薇西、礼乐、文莱-沙巴、西北巴拉望等8个沉积盆地。

20世纪70年代初,中国科学院南海海洋研究所和青岛海洋研究所分别对南海深水区和冲绳海槽深水盆地进行了多个航次的综合地质、地球物理科学考察,获取了大量地质和地球物理资料。20世纪80年代开始,地质矿产部在南海北部先后进行了1:200万和1:50万比例尺的综合地球物理调查亦涉及到该深水盆地<sup>[2]</sup>。1987年以来,根据国家油气资源地质调查专项和科技攻关工作的需要,广州海洋地质调查局先后在南海南部南沙海域开展了16个航次综合地球物理调查亦涉足该深水海域,其中有10个航次是以深水盆地油气勘查为目的进行的,但由于受当时技术条件限制所获高质量地质地球物理资料非常有限。迄今为止,我国在南海北部陆坡深水盆地完成地震测线28 000 km,测网密度在极个别地区为 $1.5 \text{ km} \times 1.5 \text{ km}$ ,大部分区域为 $40 \text{ km} \times 80 \text{ km}$ ,而南海南部陆坡深水盆地则地震勘探工作相当薄弱,仅做过少量地震测线,勘探及研究程度甚低。南海海域的油气钻探工作,亦主要集中在南海北部边缘盆地300 m水深范围的陆架浅水区,而广大的北部陆坡深水盆地( $> 500 \text{ m}$ )和南海南部陆坡深水盆地迄今尚无探井涉及。

20世纪80年代初我国油气勘探部门开始涉足南海北部陆坡深水盆地油气勘探与研究,如中海油曾对潮汕凹陷深水盆地进行地震普查,广州海洋地质调查局亦在南海北部陆坡实施了地球物理勘探,完成了9 000 km的地震测线。但由于缺乏探井的地质地球物理资料,前期油气地质调查与研究仅粗略地划分了层序地层和对该区新生代盆地地质构造特征进行了初步分析,对中生界盆地的解释和认识尚存在诸多疑点和不确定性<sup>[21]</sup>。此后,南海北部陆坡深水盆地的研究一直处于停滞不前状况。近年来,中海油、广州海洋地质调查局、中石化和中石油纷纷在南海北部陆坡深水盆地,开展了以油气勘探为目的的前期基础性和区域性地质研究<sup>[2227]</sup>。中海油根据国土资源部2002年油气资源战略选区的评价研究任务,在琼东南盆地南部坳陷带深水盆地和珠江口盆地珠二坳陷、潮汕坳陷和台西南盆地南部深水盆地率先开展了区域地质研究和油气资源调查评价工作,并在珠二坳陷白云凹陷北斜坡及琼东南盆地南部部署了9 000 km地震测线,在其邻近深水盆地位置(番禺低隆起上),近年来钻探获得了天然气勘探的重大突破,发现了番禺3021、3421、3521和流花1925等气田及含

气构造。最近中海油还与美国丹文公司签订了珠江口盆地白云凹陷近 7 000 km<sup>2</sup> 深水区块的油气勘探合同, 又与英国天然气集团公司(BG) 签订了琼东南盆地南部及珠江口盆地白云凹陷 25 800 km<sup>2</sup> 的 3 个深水区块油气勘探与物探作业合同, 且在与哈斯基公司的合作勘探区块钻探的第一口深水探井(LW 32 121 井), 获得了良好天然气发现, 拉开了我国南海北部陆坡深水油气勘探的序幕。同时, 广州海洋地质调查局在“南沙海域油气勘查专项”十五” 2 科考、“十五” 863”计划“深水油气地球物理勘探方法技术”课题和国土资源大调查“我国海洋新生代油气资源新领域调查与评价研究”等项目中, 不仅在南海北部陆坡深水, 同时也在南海南部陆坡深水部分海域, 进行了以多道地震为主的综合地球物理调查, 开展了陆坡深水区中深层油气地震勘探与深部结构OBS 勘探联合探测技术方法试验, 并取得了重大突破, 获得了可能为莫霍面的深部强反射, 取得了单船长电缆大容量震源探测地壳深部结构的良好效果。该局历时 17 a 对南海南部南沙海域的油气资源调查, 不仅在辽阔的南沙海域发现和证实了曾母、万安、北康、南薇西、中建南、礼乐、南薇东、南沙海槽、安渡北、南华北和永暑等盆地, 而且在此基础上, 对规模大、油气远景好的曾母、万安、北康、南薇西、中建南、礼乐等 6 个主要沉积盆地进行了比较详细的勘查和盆地边界圈定, 对盆地的地质构造特征与油气成藏地质条件<sup>[2429]</sup>进行了深入分析。调查及研究结果表明, 南沙海域油气资源丰富, 应是我国未来油气勘探的后备战场及油气资源战略接替的重要区域。

### 2.3 南海陆坡深水油气勘探存在的问题

南海陆坡深水盆地属于油气勘探与研究的新区和薄弱区、深部地质地球物理资料的缺乏区、探井及油气地质资料的空白区, 故其油气勘探与地质研究的难度亦相当大, 存在以下诸多地质问题和难题。第 1 方面, 缺乏对南海陆坡深水区的区域性、基础性 & 综合性的油气地质与盆地深部结构及盆地生成演化、沉积充填特征及层序地层特点的全面系统地综合研究。第 2 方面, 对南海陆坡深水油气成藏基本地质条件缺乏全面系统的综合研究, 如生烃凹陷的确定及主要烃源岩生烃潜力、成熟演化特征、主要储盖组合及勘探目的层、可能的含油气系统、油气运聚规律及成藏控制因素等等, 均未进行深入研究或涉及甚少。第 3 方面, 对南海陆坡深水油气资源潜力评价及资源量计算方面, 由于勘探研究程度非常低,

缺少探井油气地质资料, 所获评价成果及基础数据精度及可靠性差, 且没有分盆地分区带分层位精细计算油气资源量和评价预测油气资源潜力, 尤其没有在评价确定有效生烃凹陷的基础上, 进行不同类型圈闭油气资源量的计算与评价预测。第 4 方面, 南海陆坡深水所获有限的深部地震资料反射品质差, 反射时间不够, 盆地基底难以确定, 故不能正确反映盆地结构及构造发育特征, 导致对盆地深部结构认识不清, 尤其是盆地深部结构及发育演化的区域地质背景与油气资源分布富集的控制耦合关系不清楚。第 5 方面, 南海陆坡深水盆地远离物源区, 储层条件不确定, 碎屑物质能向陆坡及深海盆地中搬运多远? 南海北部边缘盆地有限的钻探成果表明, 陆坡区不同扇体砂岩储层发育状况差异明显, 何种物源条件对其起主导控制作用? 在远离物源的深海扇中, 是否存在其它搬运机制及侵蚀- 沉积过程, 可否形成不同类型深水沉积砂体? 第 6 方面包括南海陆坡深水尤其是北部陆坡深水油气资源潜力到底如何、资源规模及油气勘探前景怎样、是否具备形成大油气田的主要成藏地质条件、能否作为油气资源接替补充及可持续发展的最佳战略选区等问题。

### 3 南海深水油气资源潜力与勘探前景

总结和借鉴南海北部边缘陆架浅水盆地油气地质研究及勘探成果<sup>[30243]</sup>, 可以推测南海北部陆坡深水油气运聚成藏地质条件及富集规律, 初步分析其油气资源潜力与勘探前景。基于南海北部陆架浅水盆地油气运聚成藏地质规律, 对南海陆坡深水盆地油气地质特征、资源潜力及勘探前景进行初步剖析, 可归纳为以下几点:

(1) 南海北部陆坡深水处于准被动大陆边缘盆地位置, 其区域构造发展演化史与被动大陆边缘盆地基本一致, 具有相同或相似的油气成藏地质条件及油气富集规律<sup>[5]</sup>。南海北部边缘盆地是南海小洋盆 2 次扩张作用的产物。珠江口、琼东南等南海周边盆地, 均处于欧亚板块、太平洋板块及印- 澳板块相互作用的交汇处, 古生代晚期- 中生代早期, 印支- 巽他古陆区和南海北部边缘与古特提斯海相通; 中侏罗- 中白垩世早期, 东南亚地区属安第斯型弧边缘, 白垩纪末板块汇聚边缘向东转移, 南海小洋盆扩张开始(第一次扩张), 北巴拉望- 礼乐滩- 琼礁陆块与亚洲大陆分离, 并形成了复杂的构造格局及

诸多沉积盆地雏形; 晚渐新世- 早中新世 (32~17 Ma), 南海东部沿东西方向扩张中心拉开, 即南海小洋盆第二扩张期, 也是南海北部大陆架裂陷的结束时期, 该时期自东而西由珠江口盆地到东南盆地逐渐进入裂谷沉降阶段, 并且沉积了与之相应的断陷期 (包括陆相及海陆过渡相) 沉积层序和拗陷期海相沉积层序。从盆地演化机制及沉积充填史分析, 其与典型被动大陆边缘盆地具有一定相似性, 即由地幔流活动和陆壳衰减引发的 2 次海底扩张作用控制下形成, 且具明显断陷裂谷和拗陷热沉降充填沉积盆地的双层结构特征, 发育了相应的陆相断陷沉积层序、海陆过渡相沉积层序和海相拗陷沉积层序等。但存在的差别有二: 其一, 从盆地范围而言, 南海周边诸盆地的形成与南海小洋盆发育演化存在密切关系, 分布范围远比大西洋被动大陆边缘盆地小; 其二, 从盆地形成时间看, 典型被动大陆边缘盆地多形成于三叠纪以后, 劳亚大陆和冈瓦纳大陆破裂时, 而南海周边盆地则始于白垩纪末, 形成时间较晚。因此, 可将其划归为准被动大陆边缘盆地。

(2) 根据邻近的陆架浅水区钻探结果及油气地质综合研究分析<sup>[31,234]</sup>, 推测南海北部陆坡深水区可能发育 3 套烃源岩, 即: 断陷期始新世- 渐新世湖相泥岩及含煤岩系, 包括始新统文昌组和下渐新统恩平组——文昌组为中深湖相泥岩, 在地震剖面上具有“低频、连续、强反射”特征, 在白云凹陷中面积达 5 600 km<sup>2</sup>, 厚度 5 000 m, 下渐新统恩平组为河沼相煤系, 其在地震剖面上反映为“中低频、连续平行强反射”特征, 在白云凹陷中分布面积为 7 600 km<sup>2</sup>, 厚度 3 500 m, 上述 2 套烃源岩在陆架浅水区钻探中已证实是珠江盆地及琼东南盆地富有机质和生烃能力强的主要烃源岩; 断拗陷期晚渐新世半封闭浅海相泥岩及近海沼泽相含煤岩系——崖城组沉积时, 南部拗陷带浅海相沉积面积达 15 600 km<sup>2</sup> 以上, 最大厚达 4 600 m, 据该盆地北部拗陷钻探资料统计, 崖城组浅海相泥岩 TOC 平均为 0.74% (130 个样), 陵水组浅海相泥岩 TOC 平均 0.56% (268 个样), 高丰度段 TOC 达 1.06%, 另外还有有机质丰度高的含煤岩系, 生源母质类型均以 I 型干酪根为主, 已证实为该区煤型气的主要烃源岩, 珠三拗陷上渐新统珠海组为三角洲浅海相泥岩, 最大厚达 1 800 m, 其 TOC > 0.8%, 干酪根以 II 型为主, 浅水

区钻探证实为好烃源岩; 拗陷期新近纪中新世- 上新世浅海- 半深海相泥岩——整个新近纪南海北部普遍发育浅海- 半深海泥岩, 且分布规模大, 其中琼东南盆地有效分布面积大于 25 000 km<sup>2</sup>, 最大厚度达 3 500 m, 白云凹陷埋深在 3 000 m 以下的新近系外浅海- 半深海相泥岩, 厚度达 2 300 m, 分布也十分广泛, 属该区成熟度较低的潜在烃源岩。

(3) 根据南海北部边缘盆地陆架浅水区已钻到的油气储集层推测, 其陆坡深水区可能发育 3 种类型的储集层: 始新统- 下渐新统河流、三角洲相砂岩储层, 横向上与湖相烃源岩为相变关系, 垂向上与河流沼泽、湖侵泥岩成互层状, 进而构成有利的储盖组合, 但由于埋藏深, 物性较差, 加之分布范围有限, 因此, 其不能作为深水区主要储层及目的层, 但在白云凹陷西部及北部斜坡和东部低凸起区较发育;

上渐新统- 下中新统扇三角洲- 滨浅海相砂岩和碳酸盐岩台地储层, 主要分布于琼东南盆地和珠江口盆地陆架浅水区, 因此, 推测渐新统陵水组- 下中新统三亚组和渐新统珠海组- 下中新统珠江组下部砂岩储层及灰岩储层, 亦是陆坡深水区的重要储集层;

中新统半深海相浊流沉积及深水扇沉积体系砂岩储层, 南海北部陆坡深水区与全球被动大陆边缘盆地一样, 从外陆架到陆坡深水区亦可能形成了各种类型的低水位砂体, 主要包括斜坡扇、盆底扇、海底峡谷浊积水道和进积楔砂体等, 从而构成深水区最主要的油气储层类型及勘探目的层。

(4) 南海北部陆坡深水区油气圈闭类型多且保存条件良好。根据深部地震资料解释及盆地区域构造地质特征、层序地层学研究, 该区主要发育断背斜、断鼻、岩性和构造- 地层以及岩性复合型圈闭等多种类型的油气圈闭, 且规模大、埋藏较深, 上覆泥岩封闭盖层巨厚, 具有比陆架浅水区更好的油气圈闭保存条件。如白云凹陷北侧边界断层, 上下盘均分布有一系列断背斜、断块及构造- 地层岩性复合圈闭等, 油气运聚及圈闭保存条件良好; 琼东南盆地南部拗陷带亦分布有陵 2522、陵 2621、陵 2622、陵 3221、陵 3321 等大面积高幅度的构造圈闭, 且圈闭大多未遭后期的破坏和改造, 上覆泥岩封盖层巨厚, 埋藏较深, 油气圈闭保存条件极好。

总之, 南海北部边缘盆地陆坡深水区 and 陆架浅水区一样均属准被动大陆边缘, 与世界上典型被动大陆边缘盆地相比, 在盆地形成演化、区域构造发育

展布、沉积充填、生储盖条件发育特征和油气运聚成藏特点等方面,均具有一定的相似性和可比性,具备了油气运聚成藏及大中型油气田形成的基本地质条件,因此,南海北部陆坡深水区应该具有巨大的油气资源潜力及勘探前景,但该区勘探及研究程度低,加之油气地质资料有限,目前尚不能对其油气资源潜力和资源量进行更深入的评价和准确的预测。

#### 参考文献

- [1] 张抗. 向广阔的世界海洋石油市场进军[J]. 海洋石油, 2005, 25(1): 32237.
- [2] 陈建文. 深水盆地油气勘探新领域[J]. 海洋地质动态, 2003, 19(8): 38241.
- [3] 吴时国, 袁圣强. 世界深水油气勘探进展与我国南海深水油气前景[J]. 天然气地球科学, 2005, 16(6): 6932699.
- [4] 娄承. 世界深水油气勘探发展前景[J]. 国际石油经济, 2003, 11(8): 43244.
- [5] 杨川恒, 杜栩, 潘和顺, 等. 国外深水领域油气勘探新进展及我国南海北部陆坡深水区油气勘探潜力[J]. 地学前缘, 2000, 7(3): 2472256.
- [6] 彭大钧, 庞雄, 陈长民, 等. 从浅水陆架走向深水陆坡——南海深水扇系统的研究[J]. 沉积学报, 2005, 23(1): 1211.
- [7] 潘继平, 金之均. 中国油气资源潜力及勘探战略[J]. 石油学报, 2004, 25(2): 126.
- [8] 刘海龄, 杨恬, 吴世敏, 等. 南海西北部新生代沉积基底构造属性与演化[G]//中国边缘海形成演化系列研究丛书第二卷. 北京: 海洋出版社, 2003.
- [9] 刘海龄, 郭令智, 孙岩, 等. 南沙地块断裂构造系统与岩石圈动力学研究[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 12123.
- [10] 刘海龄. 论南海北缘琼南缝合带的存在和意义[J]. 科学通报, 2006, 51(24): 待刊.
- [11] 刘海龄. 南海西北部新生代沉积基底构造演化[J]. 海洋学报, 2004, 26(3): 54267.
- [12] 阎贫, 刘海龄. 南海北部陆缘地壳结构探测结果分析[J]. 热带海洋学报, 2002, 21(2): 1212.
- [13] 阎贫, 刘海龄. 南海及其周缘中新生代火山活动时空特征与南海形成演化模式[J]. 热带海洋学报, 2005, 24(2): 33241.
- [14] 姚永坚. 南海南部海域主要沉积盆地构造演化特征[J]. 南海地质研究, 2006, 待刊.
- [15] 姚永坚. 南海海域新生代主要构造运动的特征[J]. 中国海上油气: 地质, 2002, 16(2): 1132117.
- [16] 夏斌, 崔学军, 谢建华, 等. 关于南海构造演化动力学机制研究的一点思考[J]. 大地构造与成矿学, 2004, 28(3): 2212227.
- [17] 夏斌, 崔学军, 张宴华, 等. 南海扩张的动力学因素及其数值模拟讨论[J]. 大地构造与成矿学, 2005, 29(3): 3282333.
- [18] 丘学林, 施小斌, 阎贫, 等. 南海北部地壳结构的深地震探测和研究进展[J]. 自然科学进展, 2003, 13(3): 2312236.
- [19] 徐行. 南海北部海底热流测量及分析[J]. 地球物理学进展, 2005, 20(2): 45248.
- [20] 施小斌, 周蒂, 张毅祥, 等. 南海北部陆缘岩石圈的热流变结构[J]. 科学通报, 2000, 45(15): 116021165.
- [21] 苏乃容, 曾麟, 李平鲁. 珠江口盆地东部中生代凹陷地质特征[J]. 中国海上油气: 地质, 1995, 9(4): 2282236.
- [22] 刘铁树, 何仕斌. 南海北部陆缘盆地深水区油气勘探前景[J]. 中国海上油气: 地质, 2001, 15(3): 1642170.
- [23] 邱燕, 王英民, 温宁, 等. 珠江口盆地白云凹陷陆坡区有利成藏组合带[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2005, 25(1): 25230.
- [24] 金炎焕, 吴进民, 劳秋元, 等. 南沙西部海域沉积盆地分析与油气资源[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2001.
- [25] 姚伯初, 万玲, 刘振湖, 等. 南海海域新生代沉积盆地构造演化的动力学特征及其油气资源[J]. 地球科学, 2004, 9(5): 5432549.
- [26] 曾祥辉, 姚永坚. 南沙中部海域油气地质条件分析与评价[J]. 南海地质研究, 2002, (13): 62271.
- [27] 邱燕, 陈国能, 解习农, 等. 南海西南部曾母盆地新生界沉积充填演化研究[J]. 热带海洋学报, 2005, 24(5): 972102.
- [28] 邱燕, 南沙海域曾母盆地构造样式特征及其与油气聚集和圈闭的关系[J]. 地质通报, 2005, 24(1): 16222.
- [29] 刘昭蜀. 南海地质构造与油气资源[J]. 第四纪研究, 2000, 20(1): 69277.
- [30] 何家雄, 李明兴, 陈伟煌, 等. 热流体上侵活动与天然气运聚富集关系探讨[J]. 天然气地球科学, 2001, 11(6): 29243.
- [31] 何家雄, 梁可明, 黄保家, 等. 莺歌海盆地海相烃源岩特征及油气运移的证据[J]. 南海石油, 1990, 7(3): 8222.
- [32] 何家雄, 黄火尧, 陈龙操, 等. 莺歌海盆地泥底辟发育演化与油气运聚机制[J]. 沉积学报, 1994, 12(3): 1202129.
- [33] 何家雄, 李强, 陈伟煌, 等. 琼东南盆地油气成因类型及近期天然气勘探方向探讨[J]. 海洋石油, 2002, 22(1): 47256.
- [34] 何家雄, 陈伟煌, 李明兴, 等. 莺-琼盆地天然气成因类型及气源剖析[J]. 中国海上油气, 2000, 14(6): 3982405.
- [35] 王振峰. 琼东南盆地中新统油田运移聚集成藏条件及成藏综合分析[J]. 天然气地球科学, 2003, 14(2): 1072115.
- [36] 何家雄, 夏斌, 刘宝明, 等. 琼西莺歌海盆地中深层天然气成藏条件分析及其与浅层成藏条件的比较[J]. 地质通报, 2005, 24(1): 9215.
- [37] 何家雄, 夏斌, 刘宝明, 等. 莺歌海盆地中深层天然气运聚成藏特征及勘探前景[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(1): 37242.
- [38] 何家雄, 夏斌, 张树林, 等. 莺歌海盆地莺东斜坡带隐蔽油气藏类型及成藏主控因素剖析[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2005, 25(2): 1012107.
- [39] 何家雄, 聿立声, 梁可明, 等. 莺-琼盆地泥岩压实与油气运移[J]. 石油勘探与开发, 1991, 18(增刊): 34241.
- [40] 何家雄, 夏斌, 张树林, 等. 南海北部生物气及亚生物气资源潜力与勘探前景分析[J]. 天然气地球科学, 2005, 16(2): 1672174.
- [41] 何家雄, 夏斌, 王志欣, 等. 南海北部边缘盆地西区油气运聚成藏规律与勘探领域及方向[J]. 石油学报, 2006, 27(4): 12218.
- [42] 邱燕, 温宁. 南海北部边缘东部海域中生界及油气勘探意义[J]. 地质通报, 2004, 23(2): 1422146.
- [43] 郝沪军, 林鹤鸣, 杨梦雄, 等. 潮汕坳陷中生界——油气勘探新领域[J]. 中国海上油气: 地质, 2001, 15(3): 1572163.

## SEQUENCE STRATIGRAPHY AND MECHANISM OF THE COAL FORMATION IN JURASSIC OF BAIJIAHA I AREA IN JUNGGAR BASIN

L U Hai<sup>2</sup>tao, WEI Yan<sup>2</sup>zhao, ZHANG Guang<sup>2</sup>ya, SUN De<sup>2</sup>qiang, YUAN Xuan<sup>2</sup>jun,  
WU Feng<sup>2</sup>cheng, WU Wei<sup>2</sup>an, CU I Hua<sup>2</sup>juan

(Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Coal bed plays a reference role in sequence division and correlation. Taking Jurassic Formation of Baijiahai area in Junggar basin as an example, we analyze some inner and outer factors in stages of the Coal Formation such as degree of supply of clastic substance, configuration of paleogeomorphy, change of lake level(change of base level), climate and paleophyton, and study Jurassic high resolution sequence stratigraphy. We think that coal beds in this area were controlled by many factors, developed in early and late stage of long term rise of base level and they were organically related to temporal and spatial evolution of sequences

**Key words:** Junggar basin; Baijiahai area; Jurassic; Coal bed; Sequence stratigraphy.

(上接第752页)

## PROSPECT AND PROGRESS FOR OIL AND GAS IN DEEP WATERS OF THE WORLD, AND THE POTENTIAL AND PROSPECT FOREGROUND FOR OIL AND GAS IN DEEP WATERS OF THE SOUTH CHINA SEA

HE Jia<sup>2</sup>xiong<sup>1</sup>, XIA Bin<sup>1</sup>, SHI Xiao<sup>2</sup>bin<sup>1</sup>, YAO Yong<sup>2</sup>jian<sup>2</sup>, L U Hai<sup>2</sup>ling<sup>1</sup>, YAN Pin<sup>1</sup>, ZHANG Shu<sup>2</sup>lin<sup>3</sup>

(1. Key Laboratory of Marginal Sea Geology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China; 2. Guangzhou Marine Geological Survey, Ministry of Land and Resources, Guangzhou 510760, China; 3. Research Center of China National Offshore Oil Corp., Beijing 100027, China)

**Abstract:** There are abundant oil and gas resources beneath deep water basements of the world. In recent years, the deep water oil and gas has become a hotspot of the prospecting and exploitation for oil and gas and a new window for increasing the reserves and output of oil and gas around the world, also the inevitable tendency of marine oil and gas prospecting and an important strategic bull's-eye of looking for supersede oil and gas resources. The deep water area of the northern South China Sea slope, a new area of Chinese prospecting and researchment for oil and gas, is located on a parapassive margin. In this area, we consider that there are essential conditions for forming medium sized or large scale oil and gas fields, should be Chinese important strategic bull's-eye of looking for supersede oil and gas resources, and of increasing the reserves and output of oil and gas, based on the factors such as hydrocarbon source rocks, oil and gas reservoir capping assembled, trap and migration conditions, etc. Nevertheless, how about on earth are the potential, scale and foreground for the oil and gas resources in the area? No one knows the details of these key problems now. The authors carried out some discussions on the key problems in this paper, based on a great deal of geological data and previous research achievements, in order to accelerate the prospecting of oil and gas in the deep waters of the South China Sea.

**Key words:** Oil and gas in deep waters; Basins in deep waters of South China Sea; Geological conditions for oil and gas accumulations; Potential of oil and gas resources