科学通报 2012 年 第 57 卷 第 20 期：1833 ~ 1841
专题：南海深海过程演变 评 述 www.scichina.com csb.scichina.com
《中国科学》杂志社 SCIENCE CHINA PRESS

南海北部深水区油气成藏与勘探

朱伟林[①], 钟锴[①], 李友川[②], 徐强[②], 房殿勇[①]

① 中国海洋石油总公司, 北京 100010;
② 中海石油研究中心, 北京 100027
E-mail: zhuwl@cnooc.com.cn

2011-07-27 收稿, 2011-11-08 接受
国家重点基础研究发展计划(2009CB219400)资助

摘要 南海北部深水区油气勘探继荔湾 3-1 取得了历史性突破后, 相继获得了一系列商业性油气发现, 并证实了其勘探潜力; 然而深水勘探实践和相关研究也同时揭示了深水盆地油气成藏的特殊性和复杂性. 在对我国南海深水区勘探历程回顾的基础上, 结合最新勘探进展和研究成果, 对深水盆地油气成藏的主控关键因素进行了探讨, 提出海陆过渡相烃源岩是深水盆地的主力烃源岩, 海相烃源岩也有生烃贡献, 并可能成为珠江口-琼东南盆地以南深水-超深水区的主要烃源岩; 南海北部深水区东部来自珠江物源的白云凹陷陆架边缘三角洲沉积体系是目前珠江口盆地深水区的主要勘探领域, 来自深水区西部的红河三角洲-海底扇沉积体系可能是琼东南盆地深水区重要的储层类型, 并已得到了该盆地深水钻探的初步验证; 深水区大中型构造圈闭是当前深水勘探的首选目标, 珠江口-琼东南盆地以南的深水-超深水区是今后深水勘探的潜在领域. 南海深水油气勘探与相关基础科学研究间互为支撑、相互促进, 对缓解我国能源供需矛盾、推动南海地区基础科学研究和技术进步、带动我国深水相关产业发展、维护国家主权和领土完整具有重要意义.

关键词
南海北部
深水油气勘探
油气成藏

深水盆地是当今全球油气勘探的热点区. 21 世纪以来, 大西洋两侧的被动大陆边缘深水盆地及墨西哥湾等地区屡获深水油气重大发现, 现已成为全球油气勘探的前沿和重点领域之一. 近年来, 我国南海北部深水盆地的油气勘探也取得了历史性突破, 获得了荔湾 3-1 气田等一系列商业性油气发现, 正在成为全球深水勘探的新热点区之一.

然而, 研究表明, 南海深水盆地与世界上典型的被动陆缘深水盆地在区域构造背景和构造属性上存在明显差异, 进而造成了盆地形成和演化的诸多差异, 并最终控制了油气的生成、运移和最终成藏[1]. 此外, 深水油气勘探的巨大风险和高经济门槛决定了勘探早期的石油地质基础研究尤为关键. 因此, 深入研究我国南海深水盆地特殊地质背景下油气成藏的主控因素, 对指导深水油气勘探具有重要意义.

本文结合我国南海深水盆地的油气勘探实践, 对其油气成藏条件进行了探讨, 重点对烃源条件和资源潜力、沉积体系和储层特征展开了阐述, 并对今后的研究和勘探方向提出了建议.

1 我国南海深水区油气勘探历程回顾

回顾我国南海深水区油气勘探及其相关研究的历程, 对今后深水勘探以及深入展开深水油气成藏关键问题的研究具有借鉴意义. 现阶段, 我国深水油气勘探主要集中在南海北部珠江口盆地-琼东南盆地的陆坡深水区, 水深介于 300 ~ 3200 m, 面积约 12×10^4 km^2.

早在 20 世纪 30 ~ 50 年代, 我国地质工作者根据陆上地质调查以东亚区域构造提出我国南海海域存在新生代沉积盆地, 推测具有含油气远景. 20 世纪 60

英文版见: Zhu W L, Zhong K, Li Y C, et al. Characteristics of hydrocarbon accumulation and exploration potential of the northern South China Sea Deep-water Basins. Chin Sci Bull, 2012, 57, doi: 10.1007/s11434-011-4940-y

年代开始, 原石油部和地矿部等单位对我国南海海域的油气勘探开始了区域概查的实质性探索, 完成了一批重磁震地球物理资料采集和钻探工作, 首次发现了我国南海海域发育珠江口盆地、莺琼盆地等一系列大型新生代盆地, 最大沉积厚度达上万米, 并获得了油气发现, 初步揭示了油气资源潜力, 但限于技术条件的落后和认识的局限, 未能发现商业性油气田[2].

20 世纪 80 年代初, 中国海洋石油总公司开始对中国近海盆地进行了全面的调查和评价, 认为南海海域具有巨大的油气资源潜力, 其中珠江口盆地白云凹陷的总资源量达 32×10^8 t 左右, 占全盆地总资源量的 52%. 随着南海区块的对外开放, 一大批国际石油公司纷纷进入. 外方在 1983 ~ 1996 年间仅在珠江口盆地就采集了数万千米的二维地震资料, 并在白云凹陷北缘的浅水区共钻探井 14 口(其中 1987 年由西方石油公司钻探的 BY7-1-1 井水深达到 500 m, 接近当时钻探水深的世界纪录), 除了白云凹陷东北缘的流花 11-1 生物礁油田外, 未获得商业发现. 外方纷纷知难而退, 南海的对外合作进入低潮期, 深水区块的对外合作招标也因此"搁浅". 然而, 我们一方面通过对外合作积累了资金、技术, 另一方面通过和相邻陆架区的类比研究始终坚信深水盆地的巨大资源潜力, 坚持不懈地开展石油地质综合研究.

21 世纪初, 我们以证实白云凹陷深水区烃源潜力为目的, 选择了深水油气运移路径上的白云凹陷北坡浅水区域作为突破口, 钻探了 16 口探井均获成功, 发现了千亿立方米规模的番禺天然气田群, 证实了白云凹陷的油气资源潜力, 并再度吸引了外方的关注, 深水对外合作开始由冷趋热. 同时, 我们也大幅度增加了深水自营勘探和研究的投入, 共同推动了深水勘探的进程.

2006 年 6 月, 水深 1480 m 的 LW3-1-1 钻探获得了具有里程碑意义的深水重大天然气发现, 成功标志着我国深水勘探进入新的历史阶段. 之后, 深水勘探又相继获得了流花 34-2 和流花 29-1 两个商业性油气发现, 2010 年年底琼东南盆地的深水首次钻探也获得了陵水 22-1 构造的深水天然气发现, 深水勘探首次在珠江口盆地-琼东南盆地取得了全面突破. 但同时也遭遇了一些深水目标钻探的失利, 揭示了南海北部深水盆地油气成藏的复杂性.

回顾南海北部深水勘探及其研究的历程, 总结近年来深水勘探的经验和教训, 可以发现, 要提高深水勘探的商业成功率, 必须首先明确: (1) 深水盆地(凹陷)的规模; (2) 深水区烃源条件和资源潜力; (3) 深水区规模优质储集体的分布及预测; (4) 深水区勘探方向和钻探目标的优选. 因此, 深水油气勘探和研究必须首先紧紧围绕这些关键问题展开.

2 南海北部大陆边缘陆架(浅水区)-陆坡(深水区)区发育一系列新生代沉积盆地

与大西洋两侧的典型被动大陆边缘相比, 南海北部大陆边缘发育在南海边缘海一侧, 其规模相对较小, 经历了由中生代主动大陆边缘向新生代边缘海被动大陆边缘的构造体制转换, 除了受到太平洋板块向欧亚板块的俯冲造成的弧后扩张作用外, 还分别受到了南海扩张、印藏碰撞远距离效应引起的红河断裂带走滑作用、菲律宾板块的斜向挤压以及印澳板块碰撞等诸多构造作用的叠加和复合, 其构造属性和成盆机制具有特殊性[1,3~5]. 新生代以来, 南海北部大陆边缘经历了多幕裂陷作用, 形成了现今从陆架(浅水区)到陆坡区(深水区)的一系列沉积盆地(图 1).

南海北部陆架浅水区盆地是目前我国近海油气勘探的主要领域之一. 截至 2010 年底, 南海北部陆架浅水区盆地, 已探明原油超过 10×10^8 m^3、天然气近 4000×10^8 m^3. 相对而言, 目前南海北部陆坡深水区勘探程度仍然较低, 深水盆地是否具有与陆架浅水盆地相似的石油地质条件成为深水油气勘探能否成功的基本地质前提.

类比研究表明, 深水区发育于浅水区相似的新生代沉积盆地(凹陷). 南海北部大陆边缘经历了古近纪三幕裂陷作用、新近纪裂后热沉降作用和新构造运动等 3 个阶段构造演化[6](图 2). 相应地, 深水区盆地(凹陷)发育了与浅水区相似的古新统-始新统、下渐新统、中渐新统-上渐新统 3 套陆相-海陆过渡相沉积为主的裂陷期地层, 以及新近系海相沉积为主的裂后期和新构造期沉积地层[6](图 2). 地震剖面揭示, 南海北部深水区发育白云凹陷、乐东-陵水凹陷、松南-宝岛凹陷、长昌凹陷等大型沉积凹陷, 其新生界最大沉积厚度可达 8000 ~ 10000 m 以上, 资源潜力可观[7].

必须指出的是, 尽管南海北部陆坡深水区发育了与陆架区相似的新生代沉积盆地, 但随着陆架至陆坡区的岩石圈和地壳厚度的迅速减薄, 岩石圈热-流变结构和盆地变形机制会产生明显差异, 这种差

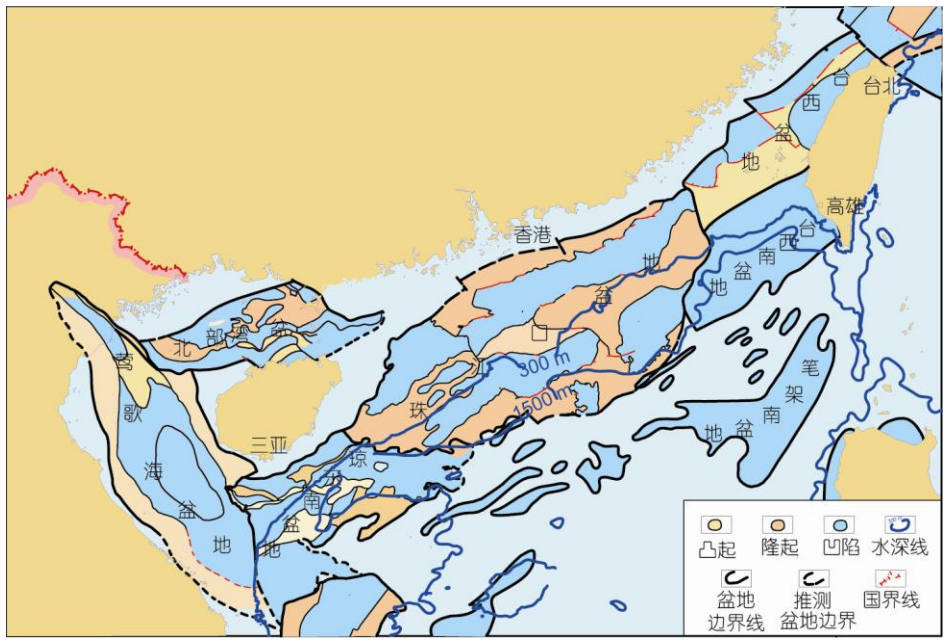

图 1　南海北部大陆边缘沉积盆地分布示意图

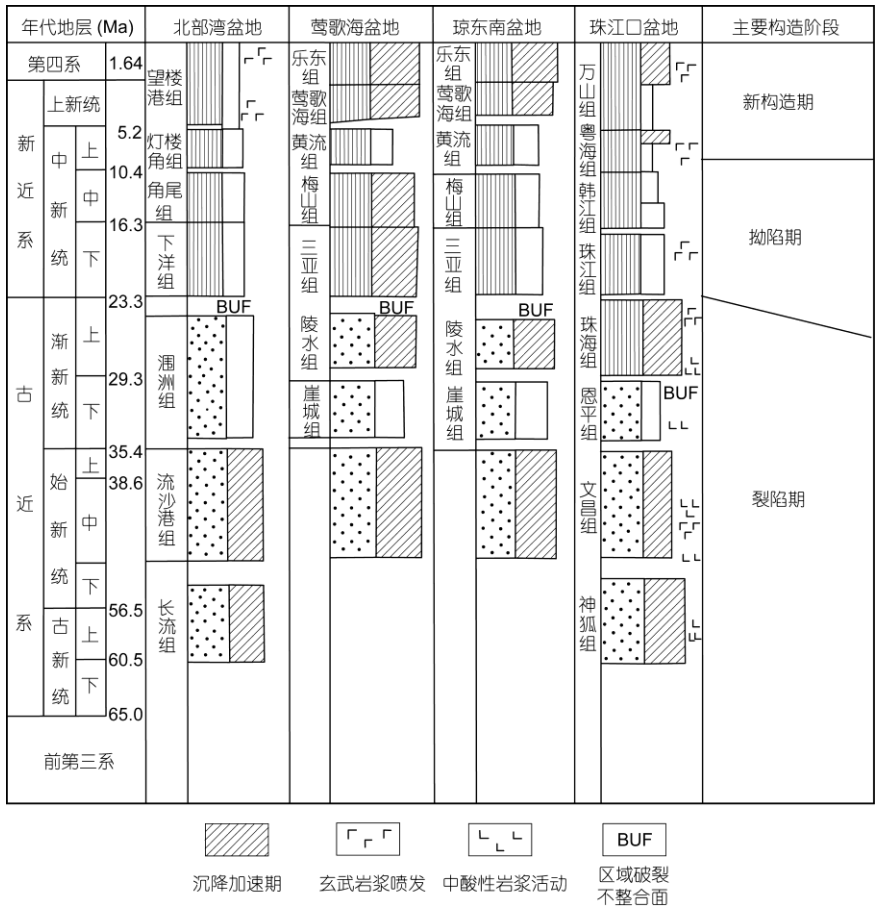

图 2　南海北部大陆边缘盆地主要构造演化阶段和地层分布

据朱伟林等人[7]修改

异将对深水盆地(凹陷)形成和演化产生深刻的影响. 此外, 南海北部大陆边缘新生代以来多期次的区域构造作用(特别是南海的形成和演化), 加上可能存在的早期先存构造导致的岩石圈横向结构不均一性, 造成了不同构造部位的应力分配和变形方式的不同, 进而造成陆架浅水区盆地与陆坡深水盆地之间、陆坡深水区不同盆地之间、甚至同一盆地内不同凹陷之间的形成和演化均存在着诸多差异.

因此, 探讨南海北部大陆边缘的区域性构造事件, 特别是南海的演化对南海大陆边缘盆地形成、演化的控制作用, 恢复南海大陆边缘盆地的构造演化序列和沉积充填样式, 将对阐明南海北部深水盆地的成盆-成烃-成藏等石油地质关键问题具有重要意义.

3 南海北部深水盆地发育 3 套烃源岩, 生烃潜力大

南海北部大陆边缘盆地发育 3 套烃源岩, 即主裂陷期的始新统湖相烃源岩、晚裂陷期的渐新统海陆过渡相烃源岩和拗陷期的中新统海相烃源岩[6]. 其中始新统湖相烃源岩已被证实为陆架区盆地最主要的油源岩, 例如北部湾盆地流沙港组和珠江口盆地的文昌组中深湖相烃源岩; 海陆过渡相煤系烃源岩是陆架区盆地主要的气源岩, 以珠江口盆地的恩平组和琼东南盆地的崖城组煤系地层为代表; 中新统的海相烃源岩仅发育在莺歌海盆地[6], 是该盆地的主要烃源岩. 南海北部陆坡深水区盆地具有和陆架盆地相似的演化过程, 也发育了这 3 套烃源岩, 即始新统湖相烃源岩、渐新统海陆过渡相煤系烃源岩和中新统海相烃源岩.

然而, 随着南海北部大陆边缘陆架-陆坡区岩石圈和地壳厚度的减薄, 大地热流值和地温梯度相应逐渐增大[1,7,8], 陆坡区深水盆地的这 3 套烃源岩的生烃机理和生烃作用将会有所差异, 需展开针对性研究.

近年来, 对深水油气来源的分析表明海陆过渡相烃源岩是深水盆地的主力烃源岩, 并首次发现了海相烃源岩的贡献.

3.1 海陆过渡相烃源岩是深水区盆地的主力烃源岩

南海北部深水区海陆过渡相烃源岩已被深水钻探直接揭示, 是南海北部深水区的主力烃源岩, 包括珠江口盆地恩平组和琼东南盆地崖城组的煤系地层, 为湖盆收缩期伴随着间歇性海侵形成的一套由煤层、碳质泥岩和暗色泥岩组成烃源岩, 分布广泛而稳定.

地球化学分析结果表明, 南海北部深水区海陆过渡相煤系烃源岩中有机质主要来源于陆生高等植物, 具有较高的有机质丰度(表 1), 其干酪根组分以煤质、木质、壳质和孢质为主, 既具有较大的生气能力, 同时在早期生烃阶段也具有较强的生成液态烃的能力. 珠江口盆地白云凹陷深水区已发现的天然气属于煤型气, 天然气中苯和甲苯含量高, 与恩平组烃源岩具有很好的对比性(图 3), 表明天然气主要来源于恩平组海陆过渡相源岩. 此外, 白云凹陷发现的原油中普遍含有丰富的双杜松烷(W, T), 双杜松烷是一类非常特征的高等植物树脂输入的标志化合物, 在东南亚原油和沉积物中广泛存在, 是被子植物的达玛树脂经过生物聚合形成的[9]. 双杜松烷在珠江口

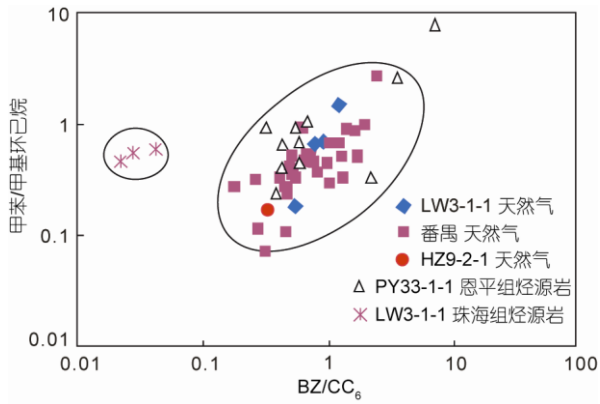

图 3 珠江口盆地天然气与源岩吸附气苯和甲苯含量关系图

表 1 南海北部深水区泥岩烃源岩有机质丰度

盆地	烃源层	沉积相	TOC(%)	S1+S2(mg/g)	沥青"A"(%)	HC(ppm)	有机质类型
琼东南盆地	陵水组	海相	0.568	1.641	0.0793	508	Ⅱ2-Ⅲ
	崖城组	海陆过渡相	0.818	1.531	0.155	1628	Ⅱ2-Ⅲ
白云凹陷	珠海组	海相	0.67	0.49	0.046	160	Ⅱ2-Ⅲ
	恩平组	海陆过渡相	2.19	2.30	0.096	804	Ⅱ2-Ⅲ

盆地恩平组和琼东南盆地崖城组海陆过渡相烃源岩中含量较为丰富，因此，白云凹陷恩平组海陆过渡相烃源岩对该区已发现原油也有重要贡献.

3.2 首次发现了海相烃源岩的贡献，深水勘探的领域得到了拓展

珠江口盆地白云凹陷荔湾 3-1、流花 34-2、流花 29-1 等深水油气藏中的原油含有丰富的双杜松烷和奥利烷. 前已述及，双杜松烷在恩平组海陆过渡相烃源岩中含量丰富，而同样反映陆生高等植物有机质来源的奥利烷则在珠海组和珠江组海相烃源岩中具有很高的含量，珠海组海相烃源岩与原油中奥利烷的含量具有很好的对比性[10]，说明白云凹陷深水区原油除恩平组海陆过渡相烃源岩的贡献外，珠海组海相烃源岩也有重要贡献. 白云凹陷原油中还检测出 C_{30} 甾烷，进一步验证了海相烃源岩对深水盆地生油的贡献.

南海北部深水区目前有多口钻井揭示了渐新统和中新统海相泥岩，虽然其中含有少量的沟鞭藻化石，但其有机质主要为陆生高等植物来源的镜质组、惰性组和壳质组，而藻类和无定形体含量很低，有机质类型主要为Ⅱ$_2$和Ⅲ型.

从有机质丰度(图 4)看，珠江口盆地珠海组海相烃源岩的有机质丰度总体高于珠江组海相烃源岩，珠江组仅在陆架浅水区的 XJ33-2-1 井和 PY15-1-1 井具有较高的有机质丰度，而陆坡深水区珠江组海相烃源岩有机质丰度普遍较低，深水区 LW3-1-1 井珠江组海相烃源岩的有机碳平均含量仅 0.44%，主要为差-非烃源岩，而珠海组海相泥岩的有机碳平均含量可达 1.08%，属于中等烃源岩. 烃源岩生烃动力学模拟实验结果表明，LW3-1-1 井珠海组海相泥岩具有较大的生烃潜力，累计产烃率达到 450 mg 烃/g TOC，并在早期生烃阶段有较多的液态烃生成.

重磁震等地球物理资料综合分析表明，在珠江口盆地-琼东南盆地以南的深水-超深水区还发育一系列的盆地或凹陷，其凹陷规模和沉积厚度相对较小，但这套海相烃源岩在这些盆地或凹陷内广泛分布，随着深水-超深水区的地温梯度不断升高，传统生烃门限范围外的这些规模较小的凹陷可能因此具备生烃潜力. 因此需要对珠江口-琼东南盆地以南深水-超深水区盆地或凹陷进行重新评价. 南海北部深水勘探的领域也将由深水区的大中型沉积凹

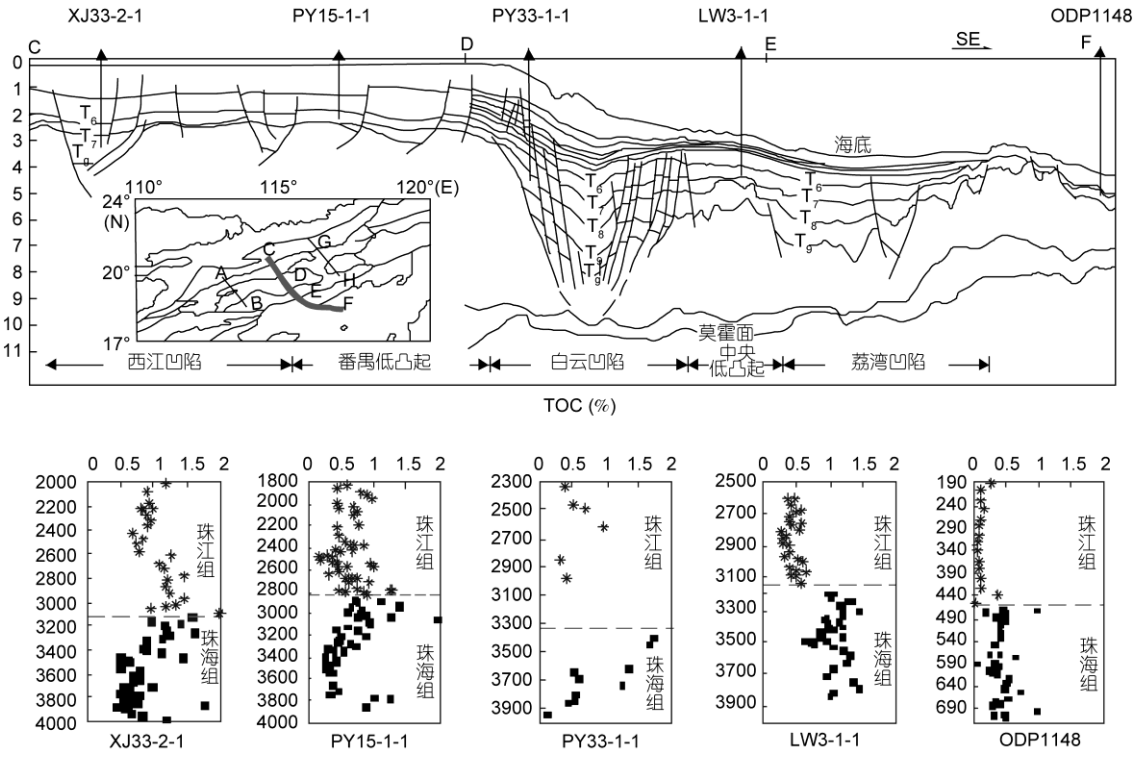

图 4　珠江口盆地浅水区至深水区珠海组和珠江组泥岩有机碳含量剖面(据李友川等人[10]修改)

陷进一步拓展至深水-超深水区规模相对较小的凹陷.

3.3 始新统湖相烃源岩是深水区潜在的烃源岩

南海北部大陆边缘始新世处在气候温暖湿润、生物繁茂的古湖泊发育鼎盛时期, 适宜的古气候和古环境有利于浮游植物繁盛乃至勃发, 在规模较大、水体较深的古湖泊中有机质得以大量保存和堆积, 具有较高的生产力[11]. 始新统中深湖相烃源岩已经被证实为南海北部陆架浅水区盆地内最主要的油源岩. 白云凹陷 LWX-1-1 井在 3190~3240 m 层段获得浮游藻类含量占绝对优势的微体植物化石组合, 所见组合中浮游藻类均为河湖相藻类, 含量可高达 90.7%, 其中最多者是盘星藻, 其次是粒面球藻和光面球藻, 尚零星见有葡萄藻和刺面球藻. 因此, 该井段为古近纪沉积序列中含河湖相藻类的富藻沉积层, 并可进一步推测该井段的沉积地层形成于湖泊环境, 且为具一定矿化度的淡水湖; 该井段的地层沉积时, 湖水生产力较高, 浮游藻类繁盛.

盆地模拟结果表明, 始新统这套烃源岩在陆坡区高热背景下, 其主体现今处于高成熟-过成熟阶段, 生排烃期较早, 目前可能以裂解气为主, 是深水区一套潜在的烃源岩.

3.4 三套烃源岩的分布特征

南海北部大陆边缘盆地 3 套烃源岩的分布还具有明显的分带性(图 5). 以珠江口盆地为例, 陆架浅水区珠一拗陷的烃源岩主要为始新统文昌组湖相烃源岩, 主体位于陆坡深水区的珠二拗陷烃源岩则主要为恩平组海陆过渡相煤系烃源岩, 而珠江口盆地深水区以南的深水-超深水区, 海相烃源岩将可能成为其主要烃源岩. 因此, 对南海北部深水盆地 3 套烃源岩类型及其分布的认识将对深水区的油气勘探具有指导意义.

4 南海北部深水区盆地得到珠江和红河两大沉积体系的长期供给

世界上深水区的油气发现多集中在大型深水海底扇的浊积沉积体系内. 而南海北部深水区缺乏世界级大江大河的注入, 其三角洲体系和深水浊积体系的规模相对较小, 而且沉积物自华南地区物源区向南海北部的搬运过程中, 先途经了陆架浅水区的拗陷带, 再进入陆坡深水区, 具有远源沉积特征, 其沉积样式和储层特征与大西洋两侧典型被动大陆边缘盆地和南海北部相邻陆架浅水区均存在明显差异. 而能否在南海北部深水盆地寻找大型优质储集体将

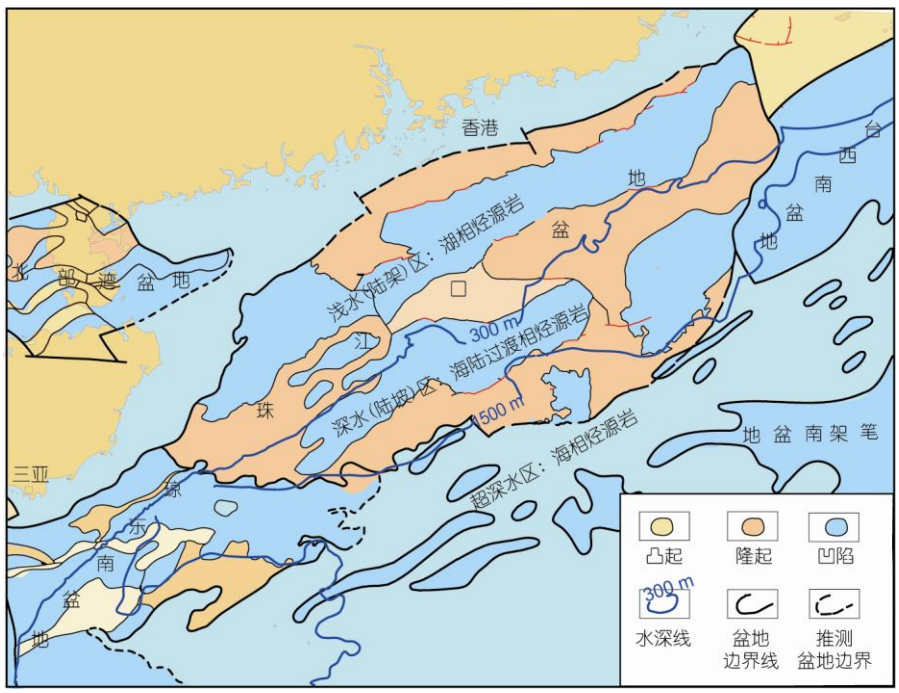

图 5 南海北部深水区烃源岩分带示意图

直接关系到深水勘探的成败.

研究表明, 华南陆区的珠江沉积体系和红河沉积体系长期以来是南海北部大陆边缘盆地的两个主要物源供给体系[5,6,12~14]. 来自古珠江的沉积物源在渐新世-中新世于珠江口盆地白云凹陷陆架边缘形成了一套陆架边缘三角洲沉积体系, 是目前深水勘探的主要层系. 近年来, 在琼东南盆地深水盆地还首次发现了来自红河沉积体系的中央水道砂体, 并得到了深水钻探的初步证实.

4.1 珠江口盆地白云凹陷陆架边缘三角洲沉积体系

基于近期珠江口盆地白云凹陷的大量钻井、三维地震资料的综合分析, 发现了渐新世-中新世白云凹陷陆架边缘三角洲及其沉积体系(图 6). 渐新世该陆架边缘三角洲以三角洲前缘沉积为主, 在陆架断阶坡折控制下呈“S”型向陆坡生长; 而中新世其自外陆架到上陆坡的延伸空间内, 沉积特征发生改变, 陆架边缘三角洲前缘沉积体在白云凹陷内形成三角洲前缘(包括分流水道、砂坝)到陆架-陆坡峡谷水道、三角洲前缘滑塌的重力流搬运舌状(斜坡扇)沉积, 期间偶有东沙隆起的碳酸盐岩近物源供给干扰. 这种沉积演化特征受控于陆架边缘三角洲体系发育和陆架断阶坡折带的演化, 形成陆架边缘三角洲体系并发育深水大型优质储集体(图 6).

近期, 白云凹陷深水区勘探相继获得了流花 34-2 和流花 29-1 两个商业性油气发现, 进一步证实了该陆架边缘三角洲体系形成演化和深水大型优质储集体分布关系, 揭示了该沉积体系的重要勘探潜力.

4.2 莺歌海盆地-琼东南盆地红河三角洲-海底扇沉积体系

红河是发育在南海北部的另一条重要河流, 是南海北部大陆边缘西侧莺歌海盆地的重要物源供给[5,6]. 通过对南海西北部莺歌海-琼东南盆地地震和钻井资料研究, 在两个盆地的结合部发现首次发现了一个主要发育于晚中新世(黄流期)的大型红河海底扇, 主要呈北西向展布[14]. 王英明等人[14]认为其在晚中新世黄流期(10.5~5.5 Ma)规模达到最大, 分布面积达上万平方千米, 最厚可达 2000 m, 通过沉积相分析进一步指出其沉积物主要来自红河, 并与红河三角洲以及相关的海底峡谷共同构成了红河沉积体系; 上新世以来, 红河海底扇转化为琼东南盆地内长达数百千米的中央峡谷.

琼东南盆地陆架坡折带靠近陆架一侧的钻探多年来未能取得商业性的油气发现, 储层因素是失利的主要原因之一, 推测其与琼东南盆地缺乏类似珠

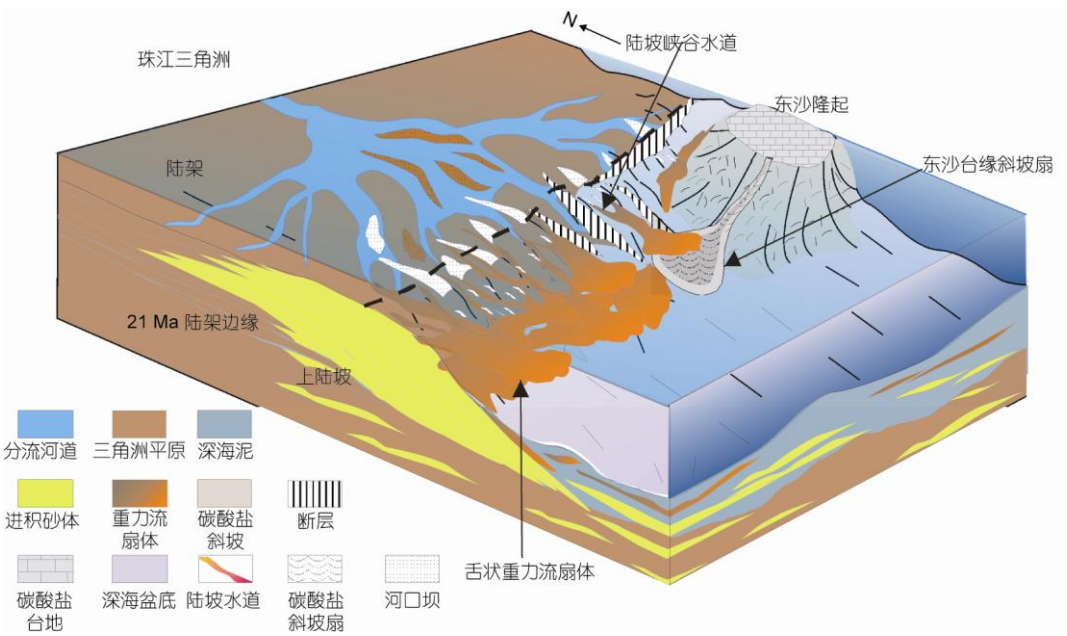

图 6　珠江口盆地白云凹陷陆架边缘三角洲沉积模式

江口盆地来自珠江水系携带足够规模的沉积物有关. 2010 年年底, 琼东南盆地深水区针对中央峡谷水道钻探了陵水 22-1 构造, 发现了近 60 m 的气层, 储层物性条件好. 对其物源进行深入研究, 将为琼东南盆地深水区储层研究和预测提供新的思路.

当然, 对南海北部深水盆地沉积体系和储层的研究不应局限于目前的勘探层系, 还应继续探究深水盆地演化过程中, 周边一系列重大事件, 如青藏高原隆升、台湾山脉隆起、南海扩张对深水盆地的物源供给以及沉积作用的影响和控制.

此外, 深水盆地还具备发育碳酸盐岩储层的有利条件, 在相邻陆架区和南海中南部均发现了大型的碳酸盐岩油气藏, 碳酸盐岩储层也是今后南海北部深水勘探的另一个重要领域.

5 南海北部深水盆地大中型油气田成藏特征与勘探方向

南海北部深水区发育了一系列新生代沉积盆地和凹陷, 除了在珠江口盆地-琼东南盆地深水区发育白云凹陷、乐东-陵水凹陷、松南-宝岛凹陷和长昌凹陷等大型凹陷外, 在盆地以南的深水-超深水区还发育有一批规模相对较小的盆地或凹陷.

南海北部深水区盆地普遍发育湖相、海陆过渡相和海相 3 套烃源岩, 3 套烃源岩均有生烃贡献, 其中主力烃源岩为海陆过渡相烃源岩, 其有机质主要为 Ⅱ_2-Ⅲ型干酪根, 在陆坡盆地超热背景下, 以生气为主. 生烃模拟结果进一步表明烃源岩热演化程度控制着深水盆地的油气分布. 琼东南盆地以生成高-过成熟天然气为主; 珠江口盆地处于成熟-高成熟阶段, 在生成天然气的同时, 还生成较多的油, 白云凹陷边缘烃源岩的热演化程度明显低于凹陷中心, 凹陷边缘主要处于成熟生油阶段, 而凹陷中心处于高成熟生气阶段. 此外, 深水-超深水区一批规模相对较小的盆地或凹陷在晚期高热背景下也可能生烃.

南海北部深水盆地有来自珠江沉积体系和红河沉积体系两大物源体系的长期供给, 发育浅水(扇)三角洲、深水扇和碳酸盐岩生物礁 2 种类别的 3 类储层. 目前, 在珠江口盆地-琼东南盆地深水区已经发现和落实了 50 余个大中型构造圈闭和 30 多个生物礁体. 新构造期的断裂活动和深部热流体底辟作用为深部油气的垂向运移创造了条件, 断裂带、区域性不整合面以及砂体的有效横向配置构成了深水盆地油气运移的有效通道.

鉴于深水油气勘探的高经济门槛, 深水油气勘探将以大中型油气田的发现为最终目的. 因此, 南海北部深水区必须在勘探领域上优选富生烃凹陷, 勘探层系上寻找主力成藏组合, 勘探目标上首选大中型构造圈闭. 在珠江口盆地白云凹陷深水区围绕 23.8 Ma 陆架坡折带一线以储层研究为核心, 在已发现油气藏的周边寻找有利构造和规模砂体, 继续落实和评价白云凹陷的大中型构造圈闭, 探索和证实荔湾凹陷的生烃潜力. 在琼东南盆地的中央峡谷水道拓展其他有利岩性圈闭, 在凹中隆和凸起区尝试大中型构造圈闭和生物礁构造. 此外, 还应对珠江口-琼东南盆地南部的深水-超深水区的新盆地或凹陷进行普查和评价.

6 结语

南海深水盆地的油气勘探对于缓解我国能源供需矛盾、推动南海基础科学研究和技术进步、带动深水相关产业发展、维护国家主权和领土完整均具有重要意义.

然而, 由于目前南海北部深水区钻井数量少, 对深水盆地的研究以地震资料为主. 地震资料揭示的深水盆地最大沉积厚度可达 8000 ~ 10000 m 以上, 当前研究的范围主要为新生界地层, 在部分地区的新生界地层之下, 可见与之呈大角度不整合接触的前新生代地层, 但这些前新生代盆地的性质、结构和地层分布情况尚不清楚. 即使在目前研究相对集中的新生代盆地, 由于钻探目的层为渐新统储层, 揭示的地层厚度在 3000 m 左右, 在新生代盆地的成盆机制和盆地构造沉积演化等方面还存在一些未解决的难题.

南海深水盆地油气勘探及其石油地质问题的研究不仅需要石油工业界的大量投入, 还需要基础研究领域的紧密配合和协同攻关, 二者互为支撑, 相互促进. 一系列诸如南海形成和演化等基础科学问题的阐明将有助于为深水盆地油气勘探相关研究提供理论依据和指导, 同时深水油气勘探获得的工业地震和钻井资料也将为基础研究提供更为翔实的第一手资料, 并对基础研究的成果和认识做进一步约束和验证.

参考文献

1 朱伟林. 南海北部深水区油气勘探关键地质问题. 地质学报, 2009, 83: 1059–1064
2 龚再升. 中国近海大油气田. 北京: 石油工业出版社, 1997. 1–5
3 Taylor B, Hayes D E. Origin and history of the South China Sea basin. In: Hayes D E, ed. The Tectonic and Geological Evolution of Southeast Asian Seas and Islands: Part 2. AGU Geophys Monogr, 1983, 27: 23–56
4 Northrup C J, Royden L H, Burchfiel B C. Motion of the Pacific plate relative to Eurasia and its potential relation to Cenozoic extension along the eastern margin of Eurasia. Geology, 1995, 23: 719–722
5 龚再升, 李思田, 谢泰俊, 等. 南海北部大陆边缘盆地分析与油气聚集. 北京: 科学出版社, 1997. 63–74
6 朱伟林, 张功成, 高乐. 南海北部大陆边缘盆地油气地质特征与勘探方向. 石油学报, 2008, 29: 1–9
7 朱伟林. 南海北部大陆边缘盆地天然气地质. 北京: 石油工业出版社, 2007. 71–112
8 米立军, 袁玉松, 张功成, 等. 南海北部深水区地热特征及其成因. 石油学报, 2009, 30：27–32
9 VAN Aarssen B G K, Cox H C, Hoogendoorn P, et al. A cadinene biopolymer in fossil and extant dammar resins as a source for cadinanes and bicadinanes in crude oils from southeast Asia. Geochim Cosmochim Acta, 1990, 54: 3021–3031
10 李友川, 邓运华, 张功成, 等. 南海北部第三地海相烃源岩. 石油学报, 2011, 32: 219–225
11 朱伟林. 中国近海新生代含油气盆地古湖泊学与烃源条件. 北京: 地质出版社, 2009. 90–94
12 陈长民, 施和生, 许仕策, 等. 珠江口盆地(东部)第三系油气藏形成条件. 北京: 科学出版社, 2003
13 庞雄, 陈长民, 彭大钧, 等. 南海珠江深水扇系统及油气. 北京: 科学出版社, 2007
14 王英明, 徐强, 李冬, 等. 南海西北部晚中新世的红河海底扇. 科学通报, 2011, 56: 781–787