

DOI: 10.16562/j.cnki.0256-1492.2017.06.017

南海成藏组合发育特征及勘探潜力评价

张强, 吕福亮, 贺晓苏, 王彬, 毛超林

(中国石油杭州地质研究院, 杭州 310023)

摘要:在南海区域地质综合研究基础上,通过对南海海域已发现油气藏系统分析,并对典型油气藏解剖,按照生、运、聚、保等特点,从纵向上将南海海域盆地划分出基岩、下部、中部、上部 4 套成藏组合,并剖析了各成藏组合内油气有利聚集带与油气成藏主控因素。最后指出南海北部以中下成藏组合为主、南部以中上成藏组合为主、上部成藏组合是南海深水区最重要的成藏组合。

关键词:成藏组合;勘探潜力;基岩潜山;生物礁岩性;深水沉积;南海

中图分类号:P618.13

文献标识码:A

文章编号:0256-1492(2017)06-0158-10

南海是西太平洋最大的边缘海之一,面积约 $350 \times 10^4 \text{ km}^2$, 其内发育着 25 个沉积盆地,蕴藏着极其丰富的油气资源^[1]。截至 2015 年,周边国家已累计在南海发现油气藏 557 个,探明油气可采储量分别为 25.2 亿 t、6.07 万亿 m^3 ,折合油当量 75.7 亿 t^[2]。以上油气藏几乎全部位于陆架与上陆坡区的 10 个盆地内,深水区盆地油气发现率极低(图 1)。此现象一方面是由于南海特殊的地缘政治背景与工程条件限制,另一个重要原因即对深水区盆地油气成藏条件、成藏组合划分与分布、组合内成藏特征与模式、油气有利聚集区及成藏主控因素认识不清,这极大制约了南海油气勘探进展与海疆领土维护。为此,笔者试图以收集到的截止到 2015 年南海所有已发现油气田数据为基础^[3],通过系统分类及统计学分析,对典型油气藏剖析,同时结合南海区域地质背景,系统总结南海油气地质条件,并对南海成藏组合进行划分,分别研究各成藏组合特征,最后指出有利勘探领域,为加快南海油气勘探步伐提供支撑。

1 南海区域地质背景与石油地质特征

1.1 区域地质背景

南海受欧亚、太平洋和印-澳三大板块的联合作用,经历了一系列微板块拼合、增生、裂解、滑移等过

程^[4],其演化阶段可分为始新世之前的断陷前期、始新世—渐新世中晚期的断陷期、渐新世晚期—中新世的断拗转换期和中新世之后的拗陷期。始新世之前的断陷前期,南沙地块尚未从华南地块分离出来,而是共同作为古南海北部的被动大陆边缘,此时珠江口、琼东南、中建南、南薇西、北康、礼乐、西北巴拉望等盆地均靠近华南大陆一侧,是在岩石圈伸展和拉张背景下形成的一系列地堑和半地堑^[5],此时远离古南海的盆地如北部湾、珠江口、琼东南等主要以冲积扇充填为主,邻近古南海的盆地如北康、礼乐等以滨浅海沉积为主。始新世末期—渐新世中晚期的断陷期,南海海盆开始扩张,进入新南海阶段,前期地堑—半地堑进一步发育,远离古南海的盆地如北部湾盆地、珠江口盆地等边缘三角洲—扇三角洲发育,盆地中央半深湖—深湖发育,靠近古南海的盆地如曾母盆地、南薇西盆地、北康盆地等由于南缘碰撞,形成半封闭海环境,潟湖—沼泽普遍发育。渐新世晚期—中新世断拗转换期,随着新南海的持续扩张,南沙地块向南漂移上千千米,古南海由于南沙地块向南推挤,逐渐消减殆尽^[6,7],此时期南海周边大型水系控制的三角洲大规模发育,远离水系供给的台地区生物礁碳酸盐岩发育。晚中新世至今的拗陷期,新南海海底南北扩张处于停滞状态,其整体进入区域热沉降阶段,以半深海—深海相沉积为主。

1.2 石油地质特征

南海在上述演化阶段发育了 3 套烃源岩^[8,9],第一套为始新统湖相泥质烃源岩,由于早期古南海存在,湖相泥质烃源岩只分布于现今南海北部陆缘盆地。该套烃源岩 TOC 含量为 $0.96\% \sim 2.84\%$,干酪根以 I—II₁ 型为主,成熟度 $0.8\% \sim 2.68\%$,平

基金项目:国家科技重大专项(编号:2017ZX05026006)

作者简介:张强(1982—),男,硕士,工程师,现主要从事油气成藏与资源评价工作,E-mail:zhangqiang-hz@petrochina.com.cn

收稿日期:2016-07-29;改回日期:2017-11-16 文凤英编辑

均 2.1‰^[10]。第二套为渐新统海陆过渡相煤系烃源岩,由于渐新世广泛海侵,滨海沼泽、潮坪、扇三角洲和潟湖普遍发育,加之南海特殊的古湿热气候,非常利于煤系发育,使渐新统煤系烃源岩在南海分布极其广泛,在南海北部与南海南部普遍发育,是南海最

重要的一套烃源岩,该套烃源岩 TOC 含量 0.53%~58%,干酪根类型以 II₂-III 型为主,成熟度 0.5%~2.2‰^[11-15]。第三套为中新统海相烃源岩,该套烃源岩是南海极具潜力的一套烃源岩。

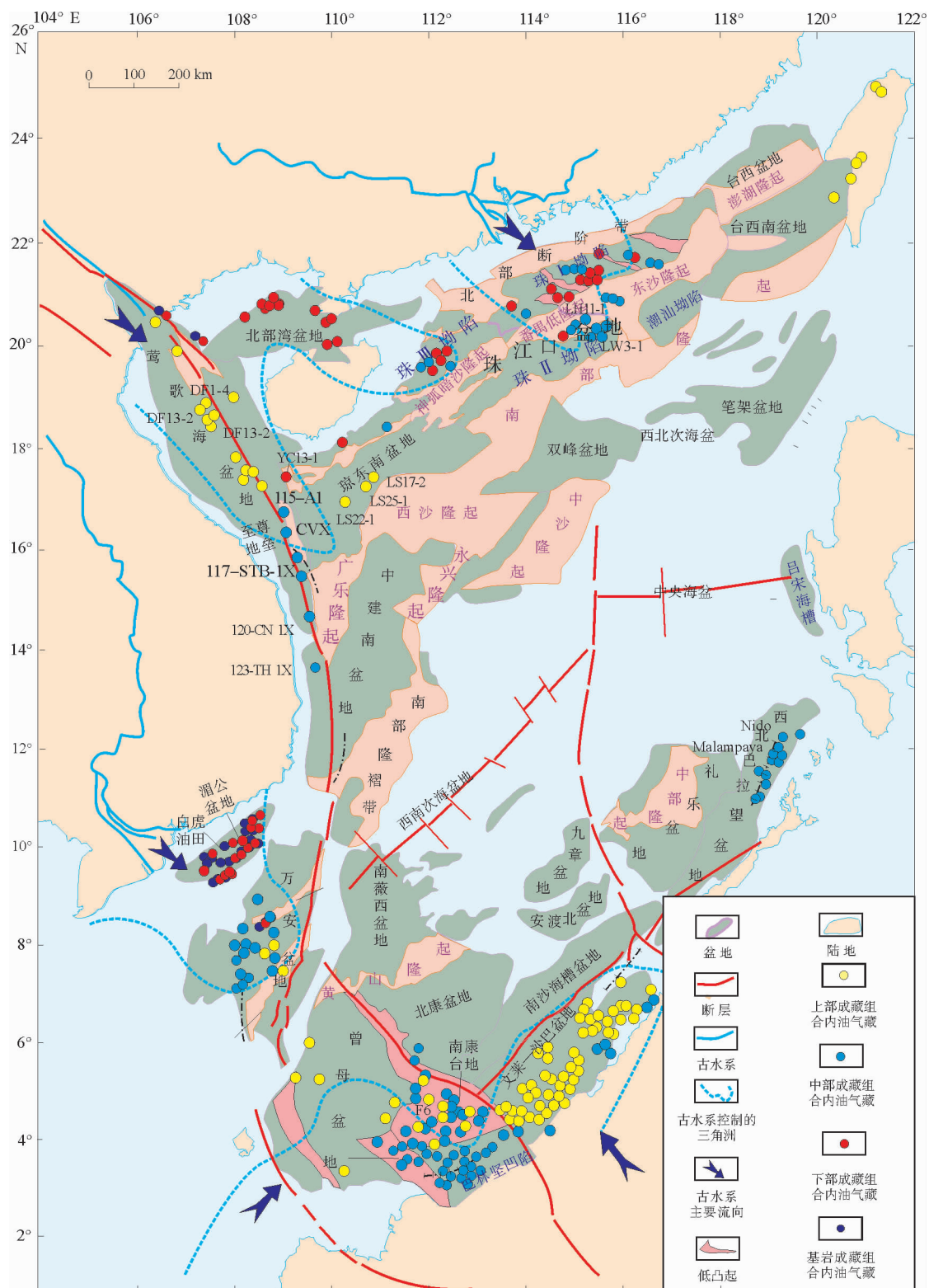


图 1 南海不同成藏组合内油气藏分布图(据文献[3]修改)

Fig. 1 Distribution of different petroleum plays in South China Sea (modified from reference [3])

南海地区发育基岩裂缝、碎屑岩和碳酸盐岩三类储层,时代上主要分布于古近纪之前、渐新世、中新世和上新世。储层类型与发育时代存在以下对应关系:古近纪之前主要发育花岗岩和碳酸盐岩潜山等以裂缝为主的储层,区域上主要分布于南海西缘盆地如莺歌海盆地、涠公盆地和万安盆地等;渐新世主要发育扇三角洲砂岩储层,区域上主要分布于南海陆架区;早一中中新世主要发育三角洲砂岩、滨海砂岩和生物礁碳酸盐岩储层,区域上三角洲—滨海砂岩储层主要分布于受大型水系输入控制的盆地凹陷区,生物礁碳酸盐岩储层主要分布于中新统远离水系的低隆起带,且南海南部盆地较北部盆地更发育,如曾母盆地,生物礁油气藏探明可采储量占该盆地总探明可采储量的 92%^[2];晚中新世以来主要发育水道—朵体等深水沉积体砂岩储层,区域上主要分布于南海陆坡深水区。

南海发育一套区域盖层与多套层间局部盖层,其中中新世晚期区域热沉降沉积的海相泥岩对南海大多数油气起封盖作用,是南海最重要的区域盖层。同时在始新统一渐新统内部发育多套层间盖层,对局部油气聚集成藏起到封盖作用。

圈闭类型上,南海发育断背斜、挤压背斜、滚动背斜、断鼻、泥底辟、生物礁岩性、基岩潜山和深水沉

积岩性等多种类型圈闭。由于南海不同区域所受构造应力不同,导致不同区域主力圈闭类型也存在差异。南海北部由于挤压应力欠发育,圈闭类型以断鼻、披覆背斜为主;而南海南部由于边缘板块碰撞,挤压背斜发育,如文莱沙巴盆地,背斜圈闭为盆地陆上和滨海区主要圈闭类型^[11]。生物礁岩性圈闭为台地区主要圈闭类型,而深水沉积岩性圈闭和岩性-构造复合圈闭为陆坡深水区主要圈闭类型。

2 南海成藏组合划分与特征

成藏组合是指相似地质背景下的一组远景圈闭或油气藏,它们在油气充注、储盖组合、圈闭类型、结构等方面具有一致性。成藏组合强调地质和成藏要素的相似性,以便于勘探对象的整体潜力评价和勘探^[16]。

根据南海区域地质背景与石油地质特征,将南海地区纵向上划分为 4 套成藏组合:古近纪之前基岩成藏组合、始新统一渐新统下部成藏组合、下一中新统中部成藏组合和上中新统一上新统上部成藏组合(图 2),其中中部成藏组合与上部成藏组合是目前南海最重要的成藏组合(表 1)。

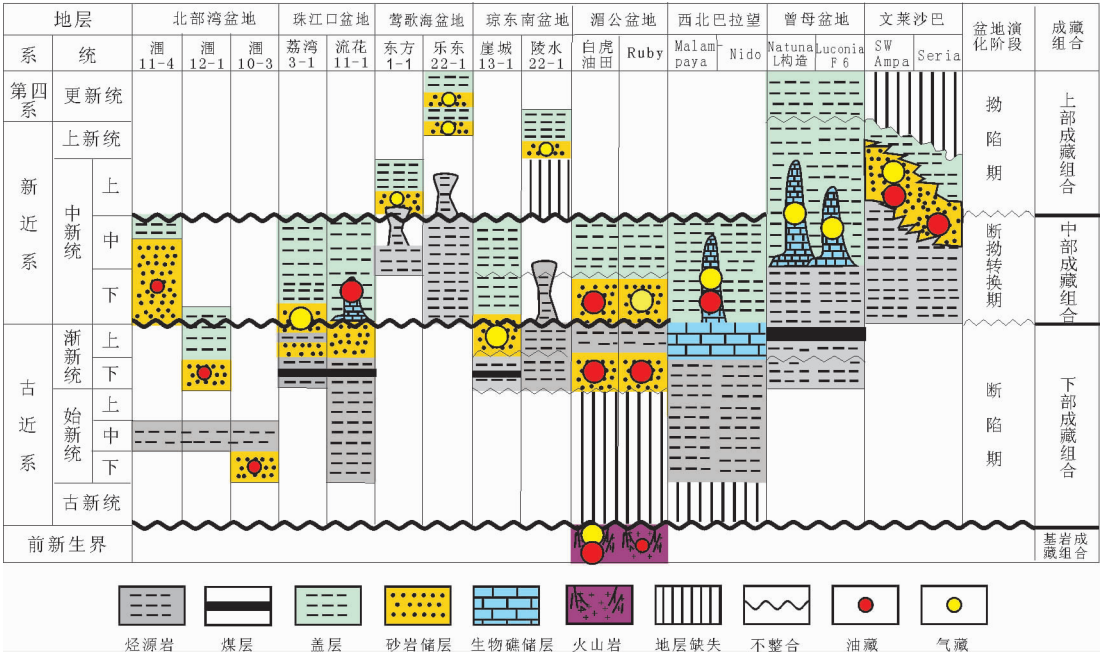


图 2 南海成藏组合划分图(据文献[17-19]修改)

Fig. 2 Play classification of South China Sea (modified from reference [17-19])

表 1 南海不同成藏组合油气特征

Table 1 Reservoir characteristics of different plays in South China Sea

成藏组合	油气藏个数	探明可采油当量/亿 t	占南海总储量百分比/%
上部成藏组合	165	26.7	35.25
中部成藏组合	300	41.6	54.92
下部成藏组合	76	3.46	4.57
基岩成藏组合	16	3.99	5.27

2.1 基岩成藏组合特征

基岩成藏组合主要指古近系之下基岩裂缝储层形成的含油气组合,基岩潜山经构造运动或暴露剥蚀形成裂缝,成为有效储层。区域上,由于红河走滑断裂张扭作用,对基岩可产生张扭裂缝,从而利于成为有效储层,因此该套成藏组合主要发育于南海西缘受红河走滑断裂带控制的盆地。位于南海西缘的涠公盆地即为以基岩成藏组合为主的典型盆地,截至 2015 年,该盆地累计探明油气可采储量分别为 5.5 亿 t、1724 亿 m³,合计油当量 6.97 亿 t,其中基岩成藏组合内富集油气折合油当量 3.86 亿 t,占盆地总探明可采储量的 55.3%。该盆地内最大也是目前南海最大的油田白虎油田即为该组合内油气藏的典型,该油田从 1998 年至 2004 年连续 7 年产油超过 1 千万 t,高峰时期达 1 370 万 t/年,已累计产油约 1.9 亿 t,时至今日仍然是涠公盆地最重要的油

田^[2]。

基岩成藏组合主要以古近系始新统湖相泥岩、渐新统炭质泥岩作为其主要烃源岩,储层为基岩,岩性主要为花岗岩与灰岩,盖层为内部局部盖层,圈闭类型为潜山岩性圈闭,运移通道以断层为主,成藏模式为新生古储式,即古近系烃源岩进入成熟门限,生成油气通过断层近距离运移至潜山聚集成藏(图 3)。

基岩潜山成藏组合以油为主,截至 2015 年,组合内累计发现油气藏 16 个,主要分布于涠公盆地,另外莺歌海盆地西北部、北部湾盆地西北部和万安盆地均有少量发现(图 1),油气藏类型为基岩潜山岩性油气藏,累计探明油气可采储量分别为 3.42 亿 t、689 亿 m³,折合油当量 3.99 亿 t,占南海已发现油气储量的 5.27%(表 1)。从已发现油气藏特征来看,受走滑张扭应力改造的凹中隆是该组合内油气藏的有利聚集带,裂缝发育程度直接影响到该组合内油气藏的聚集,因此基岩裂缝发育程度是该成藏组合内油气成藏的主控因素,同时由于圈闭发育于地垒,且以局部盖层为主,所以盖层有效性也是油气成藏的关键要素。

2.2 下部成藏组合特征

下部成藏组合主要是在始新世—渐新世断陷期形成的成藏组合,现阶段在北部湾盆地、珠江口盆地和涠公盆地等古近系发现的油气即位于该成藏组合内。区域上,该成藏组合主要分布于南海陆架区盆地。下部成藏组合发育时期也是南海主要烃源岩发

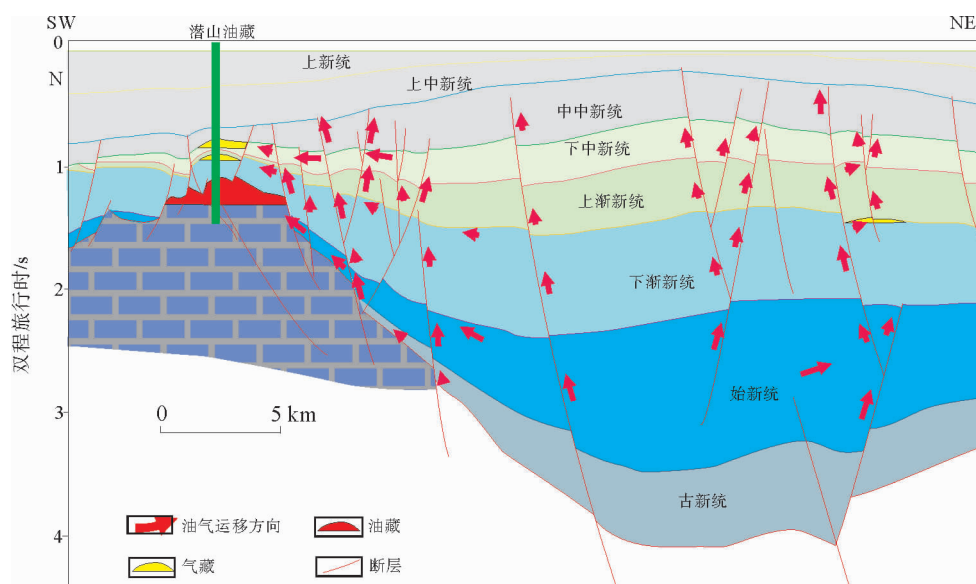


图 3 莺歌海盆地西北部灰岩潜山成藏模式

Fig. 3 Oil accumulation model of Pre-Tertiary buried hill in Northwest of Yinggehai Basin

育时期,包括始新统优质湖相泥质烃源岩和渐新统海陆过渡相煤系烃源岩,储层主要为扇三角洲砂岩,盖层主要为层间局部盖层,油气运移以断层沟通的垂向短距离运移为主,以断背斜、断块、断鼻等为主要圈闭类型。其油气成藏模式为自生自储短距离运聚成藏,即凹陷内始新统、渐新统烃源岩生成油气通过断层沟通短距离垂向输送至始新统、渐新统断块、断鼻等构造聚集成藏,组合内典型油气藏如琼东南盆地崖城 13-1 气田。

下部成藏组合油气兼备,截至 2015 年,组合内已累计发现油气藏 76 个,主要分布于南海北部北部湾盆地、珠江口盆地,另外在南海中南部涠公盆地与万安盆地有部分分布(图 1),以砂岩构造型油气藏为主,累计探明油气可采储量分别为 1.68 亿 t、2 142 亿 m³,折合油当量 3.46 亿 t,占南海总探明可采储量的 4.57%(表 1)。从已发现油气藏特征看,凹中隆与斜坡断阶带是该组合内油气有利聚集带。由于该组合内储层以扇三角洲砂岩为主,往往该类砂体横向物性变化大,非均质性强,所以砂体规模与有效性是该组合内油气成藏的关键要素。

2.3 中部成藏组合特征

中部成藏组合主要是在早中新世一中中新世断拗转换期形成的一套成藏组合。此时期由于南海地区处于大规模海侵期^[20],加之沉降速率减缓,且周边大型水系控制的三角洲发育^[21],区域上滨海砂岩与大型水系控制的三角洲砂岩普遍发育,同时由于沉降速率适宜,在远离水系的台地区生物礁、滩发育普遍^[22],以上有利条件为此时期优质碎屑岩储层与生物礁碳酸盐岩储层发育创造了条件,进而造成中部成藏组合在南海大部分盆地广泛分布,是南海地区最重要的一套成藏组合。

中部成藏组合以古近系始新统湖相泥岩、渐新统海陆过渡相炭质泥岩为主要烃源岩;滨海砂岩、河

流三角洲砂岩、生物礁碳酸盐岩为储层;晚中新世之后热沉降期沉积的海相泥岩为区域盖层,同时部分地区层内泥岩作为局部盖层;断层为主要输导通道,同时可配合砂体和不整合面构成复合输导体系;以断背斜、滚动背斜、生物礁岩性等为主要圈闭类型。其内发育三种成藏模式:①下生上储垂向近距离运移碎屑岩构造油气藏成藏模式。即古近系烃源岩生成的油气,通过断层垂向输导,进入新近系滨海砂岩、三角洲砂岩储层形成的构造圈闭内聚集成藏,这种成藏模式构成了南海大部分碎屑岩油气藏成藏模式。②下生上储垂向近距离运移生物礁岩性油气藏成藏模式。即古近系凹陷内烃源岩生成的油气,通过断层垂向输导,进入凹陷周缘低隆起带生物礁岩性圈闭内聚集成藏,在南海曾母盆地南康台地生物礁油气田群^[12]、西北巴拉望盆地生物礁油气田都具有此成藏特征^[15](图 4、图 5),是目前南海生物礁油气藏主要的成藏模式。③下生上储侧向远距离运移生物礁岩性油气藏成藏模式。即古近系烃源岩生成油气通过断层、横向连续展布的砂体,同时结合不整合面构成复合输导体系,将油气输送至台地内生物礁建隆圈闭内聚集成藏,在南海北部珠江口盆地东沙台地内发现的生物礁油气藏即为此种成藏模式,如 LH11-1 油田,油气长距离运移达 60 km^[23]。

中部成藏组合油气兼备,以气为主。截至 2015 年,组合内发现油气藏 300 个,几乎在南海已发现油气的盆地内均有分布(图 1),且是大部分盆地内主要的成藏组合,油气藏类型以砂岩构造型和生物礁岩性为主,累计探明油气可采储量分别为 9.28 亿 t、3.88 万亿 m³,折合油当量 41.59 亿 t,占南海总探明储量的 54.92%(表 1)。从已发现油气藏特征看,凹中局部隆起带是组合内碎屑岩油气藏主要聚集带,直接位于源上和源灶边缘地垒发育的生物礁是组合内生物礁碳酸盐岩油气藏的主要聚集带。对于组合内碎屑岩构造油气藏,由于砂体主要为滨海砂

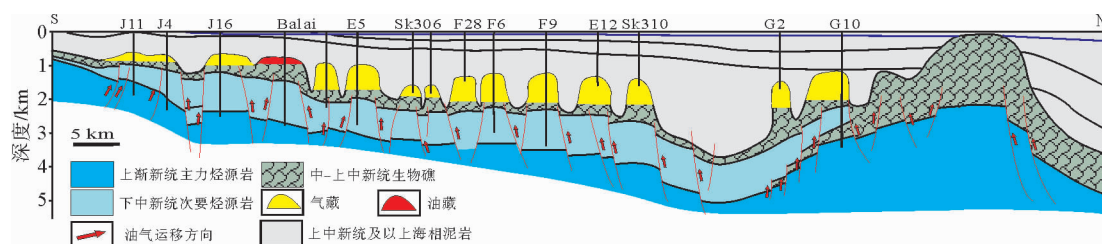


图 4 曾母盆地南康台地成藏模式图(据文献[24]修改)

Fig. 4 Oil accumulation model for carbonate reef of Nankang Platform

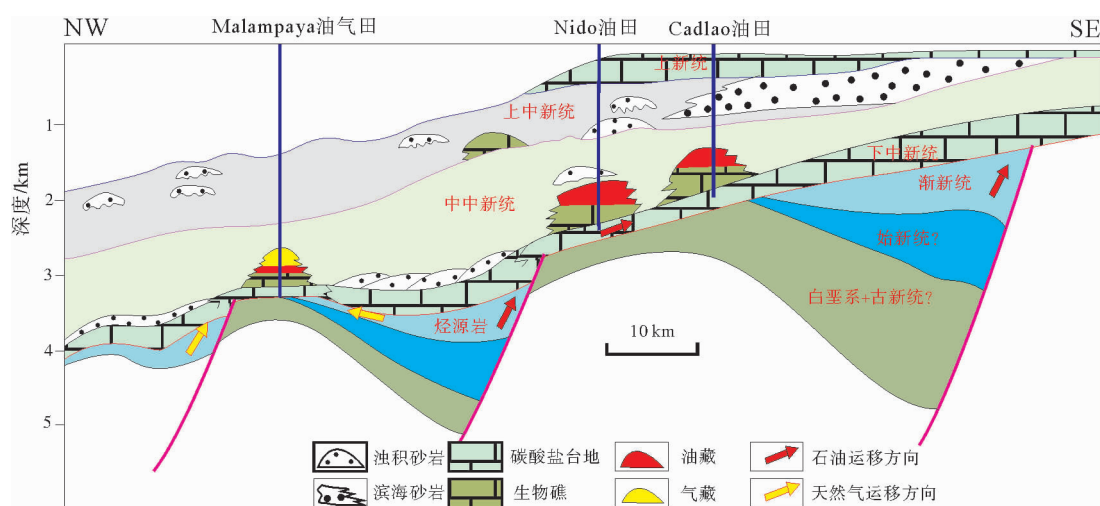


图 5 西北巴拉望盆地成藏模式图(据文献[25]修改)

Fig. 5 Oil accumulation model for Northwest Palawan Basin (modified from reference [25])

岩与三角洲砂岩,往往该类砂体规模较下部成藏组合规模大,且连续性相对较好,但圈闭类型以断背斜、断块为主,易造成油气侧向散失,因此圈闭有效性是该类油气成藏的关键要素。对于组合内生物礁岩性油气藏,由于生物礁位于隆起部位,且生长速率大于周缘沉积速率,往往致礁体顶部泥岩盖层较薄,所以生物礁顶部盖层有效性是组合内生物礁岩性油气藏成藏的关键要素,同时对于台地内部生物礁成藏,由于油气要经历长距离运移,所以输导通道对于台内生物礁成藏同样重要。

2.4 上部成藏组合特征

上部成藏组合主要是在晚中新世以来南海拗陷期形成的一套成藏组合,由于该时期南海除南缘碰撞发育文莱沙巴前陆盆地外,其整体处于热沉降阶段,发育大套海相泥岩,此时期南海整体沉降速率加快^[26],其典型陆架-陆坡-深海盆地三分体系开始出

现,同时加之周边大型水系持续供给物源^[21],在陆坡深水区重力流沉积体发育,成为陆坡深水区重要的储集体。因此区域上该成藏组合主要分布于陆坡深水区且受大型古水系控制的盆地与凹陷内,如琼东南盆地中央坳陷带和文莱沙巴盆地深水区等。

上部成藏组合烃源岩主要为古近系断陷期渐新统海陆过渡相煤系泥岩,同时上渐新统一下中新统海相泥岩在部分区域可作为重要的潜在烃源岩;储层主要为深水重力流水道、朵体等与深水沉积相关的砂岩;盖层为热沉降期沉积的海相泥岩;圈闭主要为差异压实岩性圈闭与底辟上拱背斜圈闭,另外在文莱沙巴盆地深水区受重力滑脱形成的挤压背斜圈闭也是重要的圈闭类型(图 6)^[27,28];油气运移方式主要为与热流体底辟上拱伴生的微裂隙垂向输导^[28-30];油气成藏模式主要为下生上储,即下部源岩生成的油气通过与超压热流体底辟伴生的微裂隙垂向运移至上部深水沉积体砂岩储层聚集成藏,如近

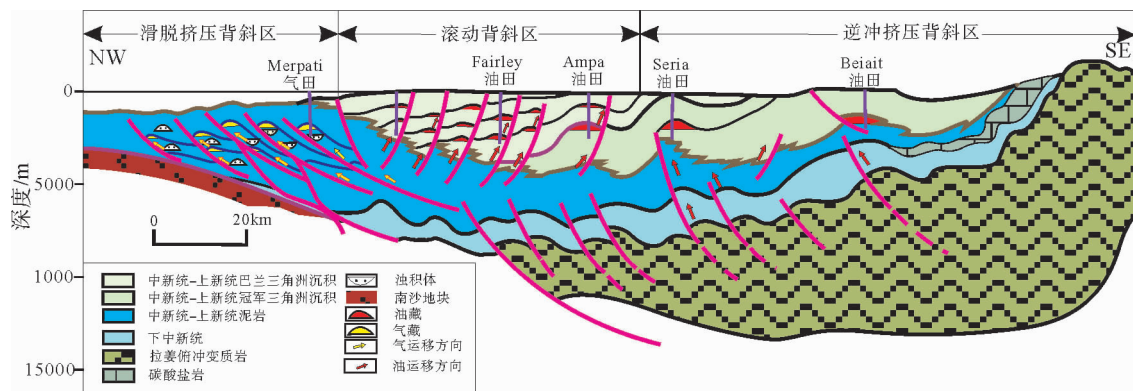


图 6 文莱沙巴盆地成藏模式(据文献[11]修改)

Fig. 6 Oil accumulation model for Sabah-Brunei Basin (modified from reference [11])

来勘探获得突破的琼东南盆地中央峡谷水道系列油气藏的发现,另外在南海南部文莱沙巴盆地深水区的系列发现。

上部成藏组合油气兼备,其中油主要分布于南部文莱沙巴盆地(图 1),剔除该盆地后,上部成藏组合气占绝对优势。该组合内已累计发现油气藏 165 个,主要分布于南部文莱沙巴盆地深水区,近来琼东南盆地中央峡谷、莺歌海盆地中央凹陷底辟边缘陆续有新发现,累计探明油气可采储量 10.79 亿 t、1.91 万亿 m^3 ,折合油当量 26.7 亿 t,占南海总探明储量的 35.25%(表 1)。从已发现油气藏特征看,凹陷中深水沉积体是组合内油气有利聚集带。由于其油气主要来源于古近系,要突破上千米厚海相泥岩进入上构造层有利部位聚集成藏,油气垂向运移通道是该组合内油气成藏的关键要素。

3 勘探潜力评价

若将南海以西南次海盆为界划分为南海北部盆地群与南海南部盆地群,可以发现现阶段南海北部盆地群探明油气主要富集于中下成藏组合,上部成藏组合近来新增储量较快,主要来自于琼东南盆地中央峡谷水道与莺歌海盆地中央底辟翼部地层岩性圈闭的突破。南海南部盆地群现阶段探明油气主要富集于中上成藏组合,且探明储量远远大于北部盆地群(图 7)。造成南海北部与南部油气差异分布特征的原因,一方面与南海构造演化过程中控制的盆地沉积充填史有关,南海地区随着古南海的俯冲消亡和新南海的扩张与萎缩,其所处盆地沉积充填相序具从北至南逐渐迁移过程,进而控制盆地烃源岩发育层段与储层发育层段具从北至南逐渐变新,最后控制了油气富集层位在南海南部较南海北部新。同时由于南海南部盆地发育早期随着南沙板块与婆罗洲板块碰撞,形成半封闭海湾环境,非常利于烃源岩大规模发育^[31],且由于婆罗洲板块碰撞,背斜构造等大型挤压背斜圈闭发育^[32,33],利于油气大规模聚集成藏,从而造成南海南部整体较南海北部油气资源丰富。因此,在南海油气勘探过程中要区别对待,南海北部盆地群要一如既往重视下部成藏组合勘探,但深水区上部成藏组合近来展示了良好的勘探前景,不应被忽视;南海南部应主要关注中上成藏组合勘探。

基岩成藏组合虽然目前探明储量较少,但近来越南在莺歌海盆地西北部灰岩潜山陆续获得油气发现,且产量极高^[2],同时南海北部广布着残留特提斯

沉积,分布着大面积古生代-中生代灰岩地层^[34,35],以上特征均预示该成藏组合具良好的油气勘探前景,特别对于南海西北缘盆地,勘探过程中对该组合不能忽视,研究过程中应加强灰岩储层裂缝预测研究。

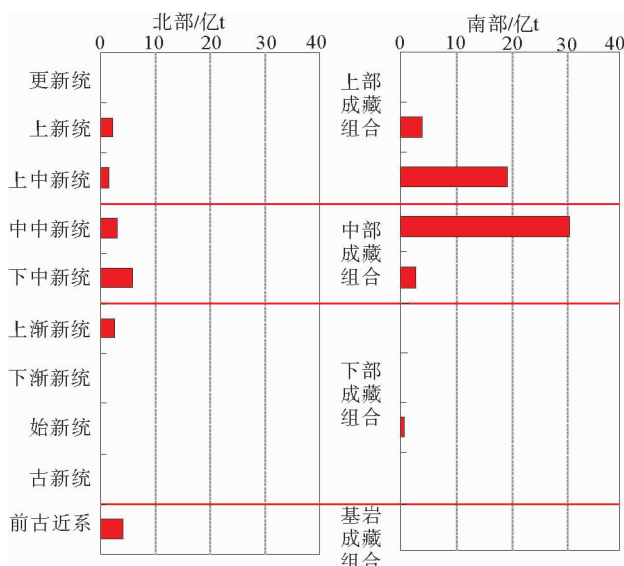


图 7 南海不同成藏组合内油气探明可采储量分布

Fig. 7 Distribution of proven recoverable reserves from different plays in the South China Sea

下部成藏组合目前在南海探明储量最少,但近来同样有重大发现,如 2015 年涸四井在北部湾盆地西北部于 3 600 m 钻遇始新统砂岩获得日产超千吨高产油气流。古近系断陷期在南海许多盆地接受冲积扇-扇三角洲沉积,且此相带砂体与凹陷内烃源岩直接接触,利于油气充注成藏,以上勘探形势与地质特征均预示下部成藏组合具较好油气勘探前景,特别对于南海北部陆缘盆地,由于整体演化要比南部盆地早,因此勘探过程中应尤为重视下部成藏组合,研究过程中要加强碎屑岩储层成岩演化过程研究。

中部成藏组合是南海北部与南海南部最重要的成藏组合,富集了南海大部分油气储量。勘探过程中要尤为重视直接位于源上或源侧生物礁的勘探。从以往勘探实践看,这种生物礁油气藏一般具“成群成带”分布特征,往往只要一点获得突破,立即带来周边大规模发现,具有极佳经济价值,特别对于海上油气勘探,面临勘探开发成本高,“成群成带”分布特征能极大降低经济开发门限,如曾母盆地南康台地分布着 200 多个礁隆构造,从 1968 年发现第一个生物礁油气田 E1-1X 至今约 50 年时间,在南康台地先后发现 66 个生物礁油气藏,且近 5 年仍然是该盆

地最重要的油气发现区域。

上部成藏组合以前主要在南部文莱沙巴盆地获得大量发现,另外在北部莺歌海盆地中央凹陷有部分发现,但近年来在南海陆坡深水区陆续获得重大突破,近 5 年来新增探明可采储量仅次于中部成藏组合,已逐渐成为南海油气资源战略接替区(表 2)。

表 2 2011—2015 年南海不同成藏组合
探明油气可采储量

Table 2 The characteristics of proven recoverable reserves from different plays in the South China Sea in 2011—2015

成藏组合	探明可采储量		
	油/万 t	气/亿 m ³	油当量/亿 t
上部	3.69	3 732	3.11
中部	4.13	5 082	4.24
下部	2.03	26	0.02
基岩	0.35	52	0.04
合计	10.20	8 892	7.41

4 结论

(1)南海纵向上可划分为 4 套成藏组合:基岩成藏组合、下部成藏组合、中部成藏组合和上部成藏组合,南海西缘走滑断裂带控制的凹陷内、南海陆架区凹陷内、南海陆架与陆坡区凹陷内及远离水系的台地、受大型水系控制的陆坡深水区凹陷内分别是 4 套成藏组合的有利分布区域;凹中地垒带、凹中隆与斜坡断阶带、凹中隆与台地边缘礁滩带和深水水道与朵体分别是 4 套成藏组合内油气有利聚集带,盖层有效性与基岩裂缝发育程度、碎屑岩储层规模与有效性、礁滩顶部盖层有效性和有效油气输导通道分别是 4 套成藏组合内油气成藏的关键要素。

(2)南海北部以中下成藏组合为主,南部以中上成藏组合为主,在实际勘探过程中要区别对待;基岩成藏组合与下部成藏组合虽然目前发现油气较少,但从近期的勘探形势看,具有极大的勘探潜力,研究过程中要重视基岩潜山裂缝预测研究与古近系碎屑岩储层成岩演化研究;中部成藏组合台缘带生物礁油气藏的勘探要一如既往地重视,特别对于远离大型物源供给、缺乏大规模碎屑岩储层发育的盆地要给予重视,它们是最为现实的勘探目标;上部成藏组合是南海深水区最重要的成藏组合,也是目前南海新增储量的主力军。在研究过程中要重视地质理论与多种地球物理手段相结合,寻找深水沉积体,同时重视成藏动力学研究,对油气输导通道有效性要特

别关注。

参考文献(References)

- [1] 姚伯初,万玲,刘振湖.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—中国地质大学学报,2004,29(5):543-549. [YAO Bochu, WAN Ling, LIU Zhenhu. Tectonic dynamics of Cenozoic sedimentary basins and hydrocarbon resources in the South China Sea[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 2004, 29(5): 543-549.]
- [2] IHS. IHS oil & gas field, reservoir & reserves data[DB/OL]. (2015-11-07). <http://www.ihs.com/productsoil-gas-informationfield-reservoir-data>.
- [3] 张强,吕福亮,王彬,等.南海油气分布特征及主控因素探讨[J].海相油气地质,2012,17(3):1-8. [ZHANG Qiang, LV Fuliang, WANG Bin, et al. Characteristics and controlling factors of hydrocarbon distribution in South China Sea[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2012, 17(3): 1-8.]
- [4] 朱伟林,张功成,钟锴,等.中国南海油气资源前景[J].中国工程科学,2010,12(5):46-50. [ZHU Weilin, ZHANG Gongcheng, ZHONG Kai, et al. South China Sea: Oil and gas outlook[J]. Engineering Science, 2010, 12(5): 46-50.]
- [5] 姚伯初.南海新生代的构造演化与沉积盆地[J].南海地质研究,1998:1-17. [Yao Bochu. The tectonic evolution and sedimentary basins of South China Sea in cenozoic[J]. Geological Research of South China Sea, 1998: 1-17.]
- [6] 张功成,屈红军,刘世翔,等.边缘海构造旋回控制南海深水区油气成藏[J].石油学报,2015,36(5):533-545. [ZHANG Gongcheng, QU Hongjun, LIU Shixiang, et al. Tectonic cycle of marginal sea controlled the hydrocarbon accumulation in deep-water areas of South China Sea[J]. Acta Petrolei Sinica, 2015, 36(5): 533-545.]
- [7] 朱伟林,吴景富,张功成,等.中国近海新生代盆地构造差异性演化及油气勘探方向[J].地学前缘,2015,22(1):88-101. [Zhu Weilin, Wu Jingfu, Zhang Gongcheng, et al. Discrepancy tectonic evolution and petroleum exploration in China offshore Cenozoic basins[J]. Earth Science Frontiers, 2015, 22(1): 88-101.]
- [8] 李友川,米立军,张功成,等.南海北部深水区烃源岩形成和分布研究[J].沉积学报,2011,29(5):970-979. [Li Youchuan, Mi Lijun, Zhang Gongcheng, et al. The formation and distribution of source rocks for deep water area in the northern of South China Sea[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2011, 29(5): 970-979.]
- [9] 李友川,傅宁,张枝焕.南海北部深水区盆地烃源条件和油气源[J].石油学报,2013,34(2):247-254. [LI Youchuan, FU Ning, ZHANG Zhihuan. Hydrocarbon source conditions and origins in the deepwater area in the northern South China Sea[J]. Acta Petrolei Sinica, 2013, 34(2): 247-254.]
- [10] 李友川,邓运华,张功成.中国近海海域烃源岩和油气的分带性[J].中国海上油气,2012,24(1):6-12. [LI Youchuan, DENG Yunhua, ZHANG Gongcheng. Zoned distri-

- bution of source rocks and hydrocarbon offshore China[J]. China Offshore Oil and Gas, 2012, 24(1): 6-12.]
- [11] IHS Energy. IHS Baram Delta[DB]. IHS Basin Monitor, Baram_Delta_gen.pdf, 2009 (unpublished PDF database).
- [12] IHS Energy. IHS CentrallLuconiaProvince[DB]. IHS Basin Monitor, Centrall_Luconia_Province_gen.pdf, 2009 (unpublished PDF database).
- [13] IHS Energy. IHS NamConSon Basin[DB]. IHS Basin Monitor, Nam_Con_SonBasin_gen.pdf, 2009 (unpublished PDF database).
- [14] IHS Energy. IHS NorthwestSabah Province[DB]. IHS Basin Monitor, Northwest_Sabah_Province_gen.pdf, 2009 (unpublished PDF database).
- [15] IHS Energy. IHS NorthwestPalawan Basin[DB]. IHS Basin Monitor, IHSNorthwest_Palawan_Basin_gen.pdf, 2009 (unpublished PDF database).
- [16] 童晓光. 论成藏组合在勘探评价中的意义[J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2009, 31(6): 1-8. [TONG Xiaoguang. Discussion on the role of Accumulation Association in the Exploration evaluation[J]. Journal of Southwest Petroleum University: Science & Technology Edition, 2009, 31(6): 1-8.]
- [17] IHS Energy. IHS CuuLongBasin[DB]. IHS Basin Monitor, Cuu_Long_Basin_ima_198393.pdf, 2009 (unpublished PDF database).
- [18] IHS Energy. IHS NorthwestPalawan Basin[DB]. IHS Basin Monitor, IHS Northwest_Palawan_Basin_ima_112205.pdf, 2009 (unpublished PDF database).
- [19] IHS Energy. IHS BaramDelta[DB]. IHS Basin Monitor, Baram_Delta_ima_186445.pdf, 2009 (unpublished PDF database).
- [20] 谯汉生. 南海第三纪海侵旋回及其含油性[J]. 石油勘探与开发, 1980(6): 9-11. [QIAO Hansheng. Marine transgression cycle and its control of hydrocarbon potential in South China Sea[J]. Petroleum Exploration and Development, 1980(6): 9-11.]
- [21] 邱燕. 南海南部主要含油气盆地沉积体系初步分析[J]. 海洋地质, 1996(2): 10-19. [QIU Yan. A preliminary analysis of the main oil and gas basin sedimentary system in the southern South China Sea[J]. Marine Geology, 1996(2): 10-19.]
- [22] 邱燕, 王英民. 南海第三纪生物礁分布与古构造和古环境[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2001, 21(1): 65-67. [QIU Yan, WANG Yingmin. Reefs and paleostructure and paleo-environment in the South China Sea[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2001, 21(1): 65-67.]
- [23] 寇养琦, 杜德利. 南海海域大油气田与中国东南海区油气地质分析[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1995, 15(4): 1-12. [KOU Yangqi, DU Deli. Geologic analysis of oil and gas in Southeastern China Sea areas on the basis of large oil and gas fields in the South China Sea[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1995, 15(4): 1-12.]
- [24] IHS Energy. IHS CentralLuconiaProvince[DB]. IHS Basin Monitor, Central_Luconia_Province_ima_194773.pdf, 2009 (unpublished PDF database).
- [25] IHS Energy. IHS NorthwestPalawan Basin[DB]. IHS Basin Monitor, IHS Northwest_Palawan_Basin_ima_112207.pdf, 2009 (unpublished PDF database).
- [26] 吴能友, 曾维军, 宋海斌, 等. 南海区域构造沉降特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2003, 23(1): 55-65. [Wu Nengyou, Zeng Weijun, Song Haibin, et al. Tectonic subsidence of the South China Sea[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2003, 23(1): 55-65.]
- [27] Ingram G M, Chisholm T J, Grant C J, et al. Deepwater North West Borneo: hydrocarbon accumulation in an active fold and thrust belt[J]. Marine and Petroleum Geology, 2004, 21(7): 879-887.
- [28] Morley C K, King R, Hillis R, et al. Deepwater fold and thrust belt classification, tectonics, structure and hydrocarbon prospectivity: A review[J]. Earth-Science Reviews, 2011, 104(1-3): 41-91.
- [29] 王振峰, 孙志鹏, 朱继田, 等. 南海西部深水天然气地质与大气田重大发现[J]. 天然气工业, 2015, 35(10): 11-20. [Wang Zhenfeng, Sun Zhipeng, Zhu Jitian, et al. Natural gas geological characteristics and great discovery of large gas fields in deep water area of the western South China Sea[J]. Natural Gas Industry, 2015, 35(10): 11-20.]
- [30] 杨金海, 李才, 李涛, 等. 琼东南盆地深水区中央峡谷天然气成藏条件与成藏模式[J]. 地质学报, 2014, 88(11): 2141-2149. [YANG Jinhai, LI Cai, LI Tao, et al. Accumulation condition and model of gas reservoir in central caynon in deep-water area of northern South China Sea[J]. Acta Geologica Sinica, 2014, 88(11): 2141-2149.]
- [31] 王建桥, 姚伯初, 万玲, 等. 南海海域新生代沉积盆地的油气资源[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2005, 25(2): 91-100. [WANG Jianqiao, YAO Bochu, WAN Ling, et al. Characteristics of tectonic dynamics of the Cenozoic sedimentary basins and the petroleum resources in the South China Sea[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2005, 25(2): 91-100.]
- [32] Hesse S, Back S, Franke D. The structural evolution of folds in a deepwater fold and thrust belt - a case study from the Sabah continental margin offshore NW Borneo, SE Asia[J]. Marine and petroleum geology, 2010, 27(2): 442-454.
- [33] Cullen A B. Transverse segmentation of the Baram-Balabac Basin, NW Borneo: refining the model of Borneo's tectonic evolution[J]. Petroleum Geoscience, 2010, 16(1): 3-29.
- [34] 颜佳新, 周蒂. 南海北部陆缘区中特提斯构造演化研究[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2001, 21(4): 49-54. [YAN Jiaxin, ZHOU Di. Advancement on the meso-Tethys along the northern of The South China Sea[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2001, 21(4): 49-54.]
- [35] 周蒂, 孙珍, 陈汉宗, 等. 南海及其围区中生代岩相古地理和构造演化[J]. 地学前缘, 2005, 12(3): 204-218. [Zhou Di, Sun Zhen, Chen Hanzong, et al. Mesozoic lithofacies, paleogeography, and tectonic evolution of the South China Sea and surrounding area[J]. Earth Science Frontiers, 2005,

12(3): 204-218.]

CHARACTERISTICS OF PETROLEUM ACCUMULATIONS IN THE SOUTH CHINA SEA AND THEIR EXPLORATION POTENTIAL

ZHANG Qiang, LV Fuliang, HE Xiaosu, WANG Bin, MAO Chaolin

(PetroChina Hangzhou Institute of Geology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: Influenced by the specific geopolitical position and the complicated engineering geological background, oil exploration in the deepwater basins of the SCS is much delayed. It has led to a lack of understanding of hydrocarbon accumulation conditions, favorable enrichment areas and main controlling factors. Through system analysis and case studies of some typical fields, based on the regional geological background, and the patterns of "source rocks, migration, accumulation and preservation", this paper reveals four petroleum plays, including the Pre-Tertiary basement play, lower play, middle play and upper play. At the same time, the hydrocarbon favorable accumulation zones and the main controlling factors of each play are described and discussed. From the study, the following conclusions are reached. First, the middle and lower plays are the main ones for the northern part of SCS. Second, the middle and upper plays are the main ones for the southern part of SCS. Third, the upper play is the most important one for deepwater areas.

Key words: petroleum play; exploration potential; buried hill; carbonate reef; deepwater deposition; South China Sea