

莺歌海盆地泥丘发育特征与油气远景

何家雄 咎立声 陈龙操 黄火尧

(南海西部石油公司勘探开发科学研究院)

莺歌海盆地第三系有巨厚的欠压实泥页岩, 泥丘的发育受北西向的红河大断裂及其派生的南北向雁行断裂所控制。泥丘本身就是生烃岩, 它所孕育的异常高温高压之巨大潜能, 是有机质成熟生烃和烃类排出运移的动力; 而它伴生的不同类型的构造所组成的泥丘隆起构造带则是油气运移聚集的有利场所。

关键词 莺歌海盆地 红河大断裂 泥丘 第三系 油气资源评价

第三系泥丘是莺歌海盆地具有独特特征的地质地震异常体。本文试图从泥丘成因及发育演化特征的探讨入手, 旨在研究其与油气生成、运聚的关系, 并就可能形成的油气藏进行预测, 和对全区油气远景进行初步分析与评价, 指明勘探方向。

一、泥丘存在的证据

区内是否存在泥丘, 曾有过诸多疑议, 笔者根据地质、地球物理及地球化学的综合研究,

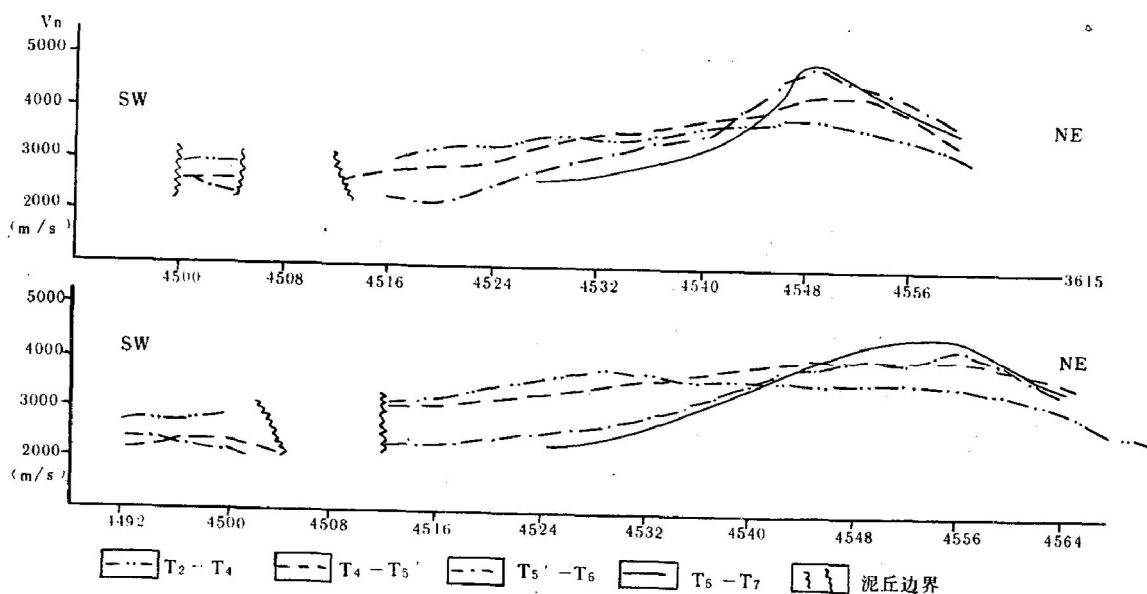


图1 莺歌海盆地地层速度分析对比剖面图

(据江汉评价组, 1981)

认为泥丘是客观存在的, 是毋庸置疑的。

1. 莺2井在井深2000—2335 m钻入泥岩时, 出现异常高压, 井筒含气泥浆发生持续井涌井喷, 泥浆喷出高达4 m, 被迫停止钻进; 当泥浆的比重由原来的1.1—1.2加大到1.42—1.44时, 才能平衡地层压力, 恢复正常钻进。

2. 莺歌海盆地地震层速度分析表明, T_4 至 T_7 反射层上部的层速度平面变化, 在盆地东北部为4200—4900 m/s, 而在盆地西南部其深度加大, 层速度却剧减为2400—2700 m/s, 在丘状无反射地震相的泥丘两侧层速度剧减为2200—2350 m/s, 表明有低层速度欠压实的塑性物质存在(图1)。

3. 钻井及地震资料证实, 莺歌海盆地第三系泥页岩沉积巨厚; 在Y102测线601—661炮点以及3615、3587、4508等测线上诸炮点所获得的地震层速度表明, 纵向上在2.6—4.4 s之间(相当于 T_4 — T_7), 为一套层速度特别低的层段, 厚度大于2000 m, 亦证实了低层速度欠压实的泥页岩存在(图2)。

4. 区域磁测资料表明, 莺歌海盆地磁异常背景值+60 γ 左右, 且变化微小。这种微小变化的磁异常, 说明泥丘异常体的磁性与围岩基本一致, 即上第三系不存在具有强磁性的火成岩侵入体。

5. 火成岩侵入体形成的底辟构造和泥岩底辟构造, 在地震剖面上具有根和无根的差别, 本区的底辟构造属后一类特征。

6. 本区东南部乐东30-1-1A井测井资料以及根据平衡深度法计算表明, 上新统至中新统(T_2 — T_5)异常压实带(3200—6000 m), 泥岩孔隙流体压力为55.48—107.72 $\times 10^6$ Pa, 其压力梯度最大可达0.022 $\times 10^6$ Pa/m, 平均为0.02 $\times 10^6$ Pa/m, 接近上覆地静压力梯度(0.023 $\times 10^6$ Pa/m)。根据真柄钦次研究墨西哥湾沿岸地区的资料, 处在如此巨大裂谷型盆地中的高温高压封闭体系之中的泥页岩, 其内摩擦力已完全消失, 泥页岩极易发生流动, 形成泥底辟^[2]。

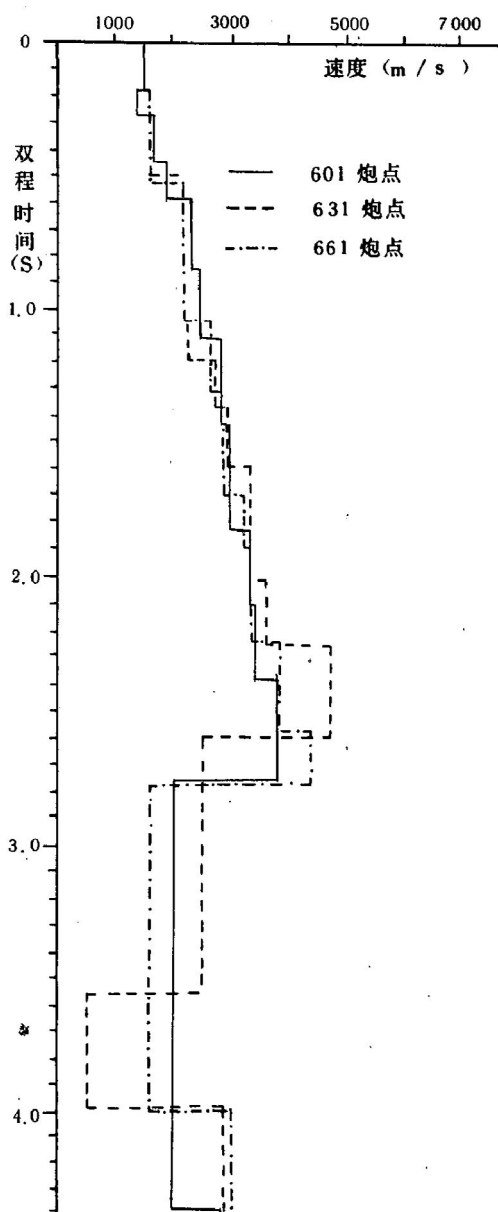


图2 Y102测线601、131、661炮点地震层速度纵向变化图

二、泥丘特征及成因分析

(一) 特征

平面上泥丘展布于盆地中部, 呈北西-南东向长约130 km、宽约43 km的地带上, 其内部可分为三个近南北向呈雁行式排列的泥丘组合体(图3)。泥丘分布面积最大的超过700 km²,

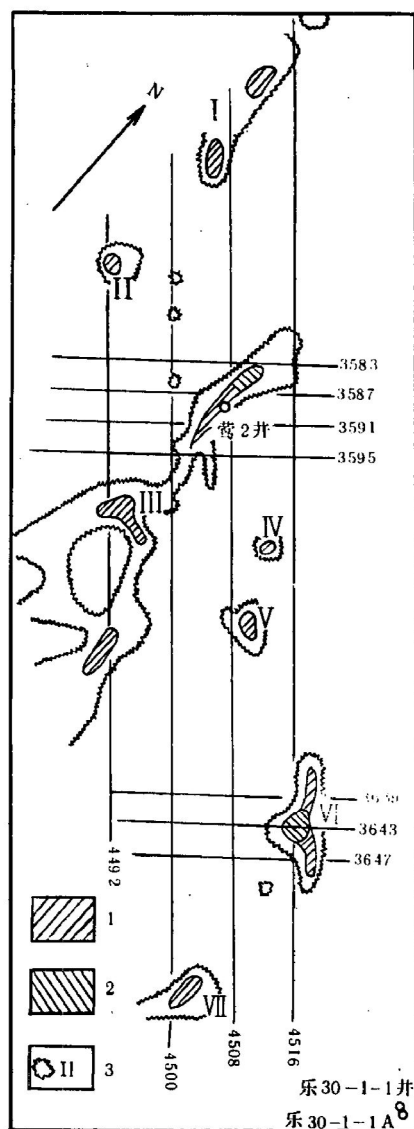


图3 莺歌海盆地中部泥丘发育展布图

1—中中新世晚期活动中心, 2—更新世活动中心, 3—泥丘边界线与编号

一般均在几十至一百多平方公里。

剖面上, 泥丘内部反射混乱, 或呈不连续的弱反射, 围岩地层的正常反射在此中断, 界线非常清楚。泥丘的剖面形态千姿百态, 根据其成因特点, 大体可分为两种类型: “刺穿型”和“未穿型”。前者是底辟泥上拱刺穿上覆地层时, 由于能量获得充分释放, 泥丘体排出流体并冷却收缩, 导致其顶部呈臼状特征; 后者是底辟泥上拱未能完全、彻底刺穿上覆地层而沿围岩裂缝或脆弱部位挤入, 因而形成各种各样的塔状、柱状、指状及枝状形态。

本区泥丘与世界上典型泥丘的发育演化特征差异颇大, 既具有某些泥底辟发育演化的共同特点, 又有其独特的特征, 具体可总结归纳为以下几点:

1. 莺歌海盆地泥丘刺穿层位多 (刺穿 T_1-T_2 所有地层), 高度大 (可达 4500—5500 m), 有的甚至穿至海底, 但围岩变形甚弱。究其原因, 可能与泥源层和围岩的密度差较小有关, 本区围岩岩性偏细, 泥丘发育区泥页岩含量高达 90% 以上, 加之第三系普遍含气, 且又多处于欠压实状态, 地层剖面中饱含流体, 因而导致其围岩的密度与底辟泥岩基本接近, 使得围岩变形相对微弱。其次, 泥丘发育较早, 泥页岩底辟是在围岩尚未固结成岩状态下进行的, 加之底辟泥页岩本身富含有机质且已成熟, 具有高温高压潜能, 在盆地边缘沉积物滑坡的外力作用下, 极易刺穿上覆地层而不会引起围岩强烈变形。

2. 在泥丘顶部没有典型的地堑断裂系, 仅在极个别泥丘顶部发育有小规模的地堑断裂, 且泥丘顶部地层变形较弱, 围岩多呈向斜型塌陷。这与世界典型的泥岩底辟构造特征差异甚大, 亦表明本区泥丘的形成机理应具有其独特性; 换言之, 本区泥丘成因不仅仅是单纯的重力因素, 而是重力和水平应力综合作用的结果, 关于这一点下文将详细论述。

3. 泥丘体周围的地层多向泥丘体塌陷, 常形成背斜或鼻状构造, 这与通常的底辟构造导致围岩上翘刚好相反。出现这种特征的原因, 可以解释为, 是由于塌陷部位的泥源岩层供给泥丘生长, 被挤出大量塑性泥质物, 导致地层下陷形成向下弯曲的背斜和鼻状构造。正如澳大利亚石油地质学家 R. E. 查普曼所描述的那样“底辟周围的边缘向斜或周边沉陷可以看成是母层势能的反映, 类似于产水井周围的水位降落” (Ramber, 1981)^[3]。上述泥丘伴生构造, 是本区泥岩底辟发育演化过程中比较普遍的地质现象。

4. 与世界上典型泥岩底辟一样, 其主体部位的泥页岩, 亦具有层速度低、密度低、视电阻率低、流体压力高的特点。莺歌海盆地泥丘区的泥岩层速度为 2200—2350 m/s, 远远低于非泥丘区, 密度及视电阻率亦大大低于非泥丘区。同时底辟泥岩均具有异常高的流体压力,

3000 m 以下 $\lambda=p/s$ 值为 0.74—0.97, 表明流体压力已接近上覆地层的负荷压力, 此时, 泥页岩自然处于塑性的流动状态。

(二) 成因

1. 巨厚欠压实泥页岩是形成泥丘的物质基础

莺歌海盆地沉积物主要来源于红河流域, 红河每年输入盆地的泥沙量达 $1.18 \times 10^8 \text{t}$ (江汉评价组, 1981)。如此巨量的沉积物输入到莺歌海盆地, 导致上第三系、第四系沉积厚度逾 10000 m, 加之这些沉积物经过长距离的搬运和分选, 剩下大量的细粒组分在盆地中部沉积下来, 形成了大面积的泥岩沉积区, 地震地层学解释及莺 2 井钻探结果表明, 泥丘分布区的泥岩含量高达 90% 以上, 尤以中新统泥岩含量最高, 这与盆地纵横向低速区带的变化规律相吻合。即平面上, 由盆地东北边缘向盆地中部, 层速度由 4500 m/s 降至 2500 m/s 左右, 如此特低的低速度带的出现, 说明盆地中部泥岩发育; 剖面上, 盆地中部亦有低速带出现, 在 2.6—4.4 s 之间, 见有一套层速度仅为 1800—2500 m/s 的岩层, 其层位为中新统到渐新统上部 (T_4 — T_7 上部), 总厚度约有 5000 m, 经莺 2 井钻入泥丘顶部, 证实它是一个含气的高压软泥岩层。由于泥页岩沉积埋藏速度快 (据构造沉积史分析, 沉积速度高达 0.79 mm/a), 使得沉积物未能充分压实, 其中的流体不能及时排出或排出不畅, 在其上覆地层负载不断加大时, 随埋深增加温度升高, 此时欠压实泥岩中内摩擦力即可完全消失, 呈塑性软泥状态, 极易流动。再者, 欠压实泥页岩富含有机质, 它与本区特定的高温热力演化条件相匹配, 导致快速成烃, 与滞留在泥岩中的水分形成高温高压流体, 并以其巨大的能量, 在上覆地层压力的薄弱带, 驱动塑性软泥发生底辟, 拱起或刺穿上覆地层, 同时形成有关的伴生构造。

2. 重力因素是形成泥丘的重要条件

巨厚的欠压实塑性地层的存在, 只是具备了形成底辟的物质基础和基本前提条件, 欲产生底辟, 还必须借助外力作用。世界上典型泥底辟形成的外力作用均是重力因素, 莺歌海盆地泥丘的形成重力因素亦是重要条件之一。重力因素主要表现为两个方面, 一是密度倒转, 其次为差异负载, 两者均与岩性、岩相及厚度变化有关。莺-琼盆地第三系剖面中, 密度倒转现象明显, 下、中渐新统崖城组及始新统以泥岩及煤为主的密度较小的地层之上, 覆盖着上渐新统陵水组以砂岩为主的密度较大的地层, 这种密度倒转关系所产生的最终结果, 就是导致了在陵水组和崖城组之间力学上的不稳定, 由于砂重泥轻, 重者下沉轻者上浮, 造成了泥、砂岩间的界面起伏不平, 发生初期底辟作用。差异负载在本区极为普遍, 亦是产生底辟的重要条件, 莺歌海盆地在晚第三纪至第四纪是一个向南倾没的沉积楔, 同一层位的地层由边缘向中心厚度变化差异甚大, 且岩性岩相也变化很大, 因而所形成的压力差是巨大的, 塑性泥岩在强大的压力差的推动下, 向低压区 (初期底辟隆起、断裂带、岩相或厚度剧烈变化区) 流动, 进而形成了泥丘构造带。

3. 区域构造动力控制泥丘发育展布

莺歌海盆地是一个呈北西向狭带状展布的走滑拉张的新生代沉积盆地, 向西北可能延至河内盆地, 因而, 其大地构造背景及其成因演化均与华南板块和印支板块间地缝合线红河大断裂有关。茹克认为: “自晚始新世起, 由于印度板块在喜马拉雅地区与欧亚板块碰撞, 印支地块被率先向东挤出, 沿红河断裂形成了大规模左行走向滑动。第四纪喜马拉雅山开始急剧上升, 在印支地块率先向东移动之后, 随着印度板块继续北进, 此时华南地块开始向东移动。印度板块再向北嵌入到一定程度, 就会使构造逃逸现象集中体现在华南地块上, 它的东移速

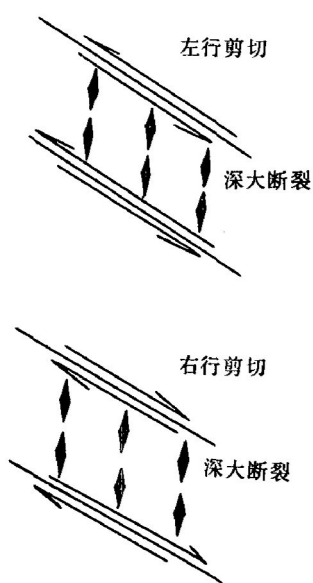


图4 盆地基底断裂
剪切滑动使盖层产生
雁列泥丘通道示意图

度最终超过了印支地块,从而使红河断裂从早期的左行剪切变为晚期的右行剪切活动^[4]。处于红河断裂东南延伸部分的莺歌海盆地在第三纪左行剪切活动和第四纪右行剪切活动的构造演变中,均导致了在盆地中部泥岩发育区形成了近南北向的张裂带(图4),进而促使其高压塑性软泥沿张裂带向上挤入或底辟,使上部地层拱起或被刺穿,形成现今的近南北向呈雁行排列的三组泥丘组合体的展布格局(图3),此为莺歌海盆地泥丘发育展布的另一独特条件。

4. 泥丘的泥源层及其发育演化时期

根据地震剖面的分析对比,笔者初步认为莺歌海盆地泥丘可能存在两套泥源层。第一套泥源层是渐新统崖城组,在盆地中部泥丘隆起带的4516、3643地震剖面上,可明显见到崖震组泥源层向上底辟的现象,剖面中 T_2 以上地层均被刺穿,有的可达海底,而 T_2 以下地层则可大致连续追踪,表明其泥源层为 T_2 以上的崖城组的泥页岩(图5-a)。第二套泥源层为中新统三亚组、梅山组,在经过泥丘隆起带的3635、3639地震剖面上,明显见到 T_6 以上地层均被刺穿,而 T_6 以下地层均可连续追踪,表明其泥源层为 T_6 以上的三亚组、梅山组泥页岩(图5-6),这为前述的地震地层学解释及层速度分析对比资

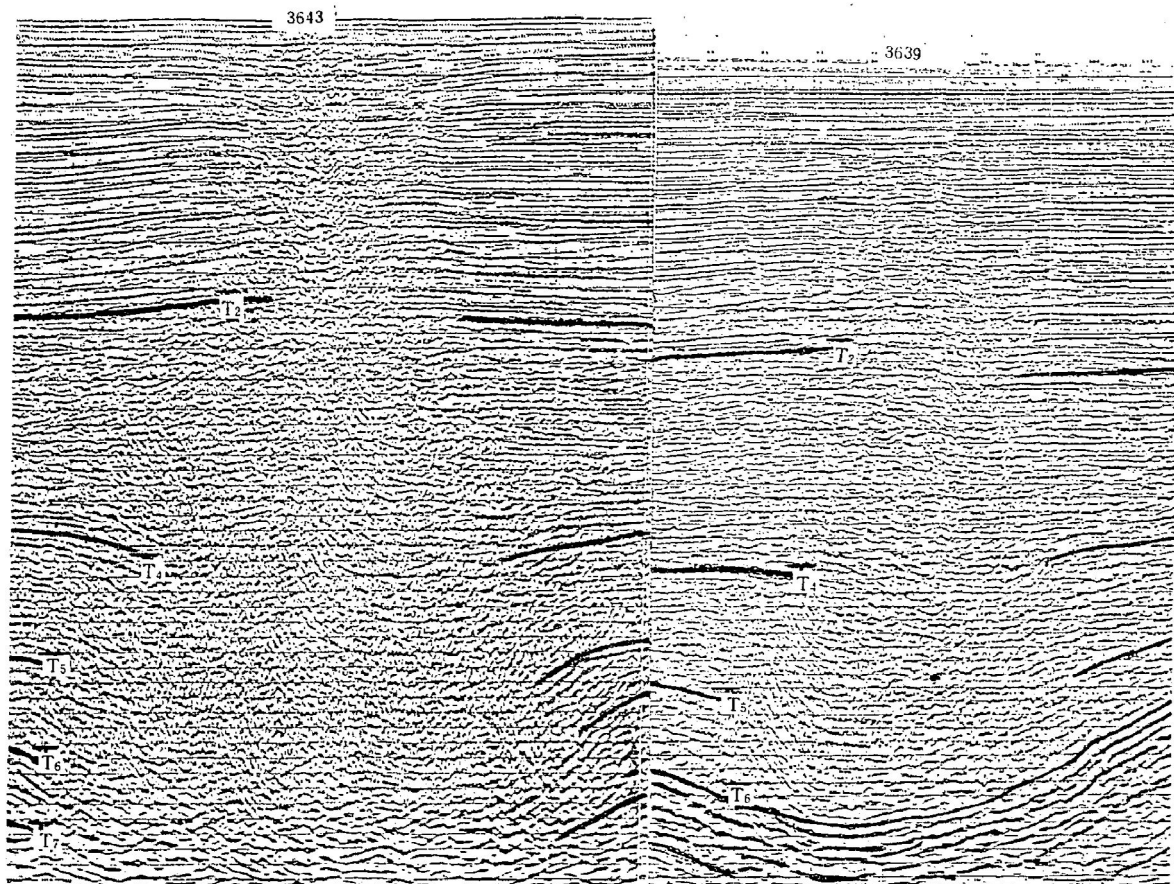


图5 崖城组(a)、三亚-梅山组(b)泥源层典型地震剖面

料所证实。

根据区内泥丘发育演化特征及构造沉积发育史的研究, 笔者认为本区泥丘的发育演化可能经历了一个相当长的地史时期, 大体上可划分为三个演化阶段: (1) 渐新世为始发期, 该阶段由于密度倒转及差异负载作用, 形成了一些幅度较小的雏底辟及初期底辟构造; 渐新世末期地壳区域性抬升, 地层遭受剥蚀, 使底辟一度停止活动。(2) 中新世为快速生长发育期, 也有一部分泥丘是从该期开始发育雏底辟的 (据泥源层分析), 由于渐新世末期基底深大断裂的左行剪切活动和中新世末期的右行剪切活动的区域水平应力作用, 导致在盆地中部产生了一系列呈南北向雁行式排列的断裂通道, 为泥丘迅猛发育、快速生长及其展布格局提供了有利条件, 这一时期的盆地快速沉降, 亦促进了泥丘的快速生长; 中新世末地壳又有所抬升, 泥丘生长发育再度停止。(3) 上新世至第四纪为继续发育演化生长期, 由于该期盆地整体大幅度快速沉降和沉积, 使得泥丘重新获得极大的生命力, 从而继续向上发育生长, 刺穿上覆地层乃至海底, 并出现很多烟筒式的气窗。本区泥丘的这种发育演化过程至现今可能仍在继续之中。

三、泥丘发育演化与油气远景

(一) 泥丘发育演化与油气生成、运聚的关系

本区泥丘的形成及发育演化过程与油气生成、运移乃至聚集均息息相关, 其石油地质及石油地球化学意义是不言而喻的, 但其最本质的乃是在于以下两点:

1. 烃类生成、运聚的动力

泥丘发育演化所孕育的异常高温高压之巨大潜能, 不仅是有机质生烃转化为油气的热动力, 而更重要的是可作为烃类排出的动力, 在其潜能逐渐释放或消失的演变历程中, 使得组成泥底辟的泥页岩生成的烃类克服源岩体系的吸附力而进入储集层形成油气藏, 这一过程往往与泥底辟作用同时发生或进行。

2. 烃类运移聚集的场所

由于泥丘均发育展布于盆地中部或坳陷深部区, 泥丘由深部向上可刺穿至 T_2 (第四系底) 以上, 且在其发育演化历程中, 把上覆地层拱起上隆, 在能量释放后, 围岩多向泥丘体塌陷, 从而在不同层位形成了众多的伴生构造, 构成了盆地中部泥丘隆起构造带 (图6), 该构造带处于凹中隆的有利位置, 具有邻近烃源的优越条件, 有利于油气运移聚集, 因而是本区有利的油气聚集带。

(二) 泥丘伴生构造类型及油气藏预测

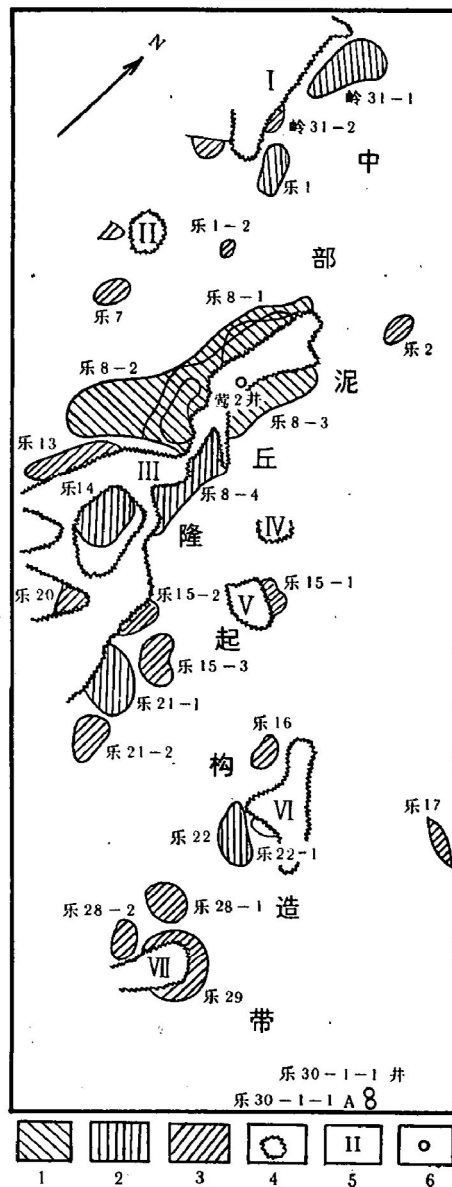


图6 中部泥丘隆起构造带

局部构造分布图

1—一类构造, 2—二类构造, 3—三类构造,
4—泥丘, 5—泥丘编号, 6—已钻井位

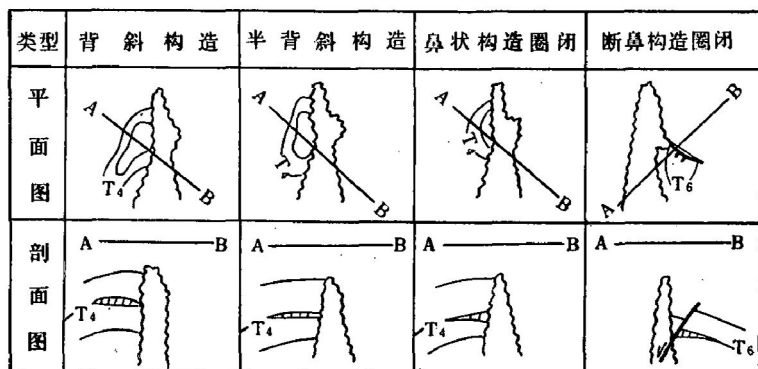


图7 泥丘构造圈闭类型示意图

本区盆地中部的局部构造绝大部分是在泥丘活动发育过程中形成的伴生构造, 根据其构造形态、圈闭类型以及与泥丘体的接触关系, 可大体划分为以下四种类型 (图7):

1. 由围岩向泥丘塌陷在泥丘体一侧或两侧所形成的背斜型构造。

2. 由泥丘刺穿封堵所形成的半背斜型构造。

3. 由泥丘刺穿封堵所形成的鼻状型构造。

4. 由泥丘和小断层封堵所形成的断鼻型构造。

以上四种类型的泥丘伴生构造均有可能形成不同类型的“泥丘型”构造油气藏, 而最有希望获得富集高产的, 应是背斜、半背斜及鼻状等三类“泥丘型”构造油气藏。这三类构造的圈闭幅度大 (114—472 m), 圈闭面积大 (29—164 km²), 虽然它们的目的层埋藏较深 (4400—7150 m), 不利于钻探, 但石油地质条件优越, 故仍不失为具有远景、能获得高产油气流的圈闭, 只要下决心钻探, 可望获得富集高产的大油气田 (图8, 9)。

(三) 油气远景初步分析

莺歌海盆地上第三系具有良好的烃源条件^{*}。据最近莺2井底辟泥岩甾、藓生物标志物的分析和检测, 以及以前所做的多项地化分析

结果, 都充分证实了上第三系莺歌海—黄流组、梅山组、三亚组发育有大套不同类型的海相生烃岩, 在盆地中部泥丘发育区则发育有半深海相的Ⅱ型、Ⅰ型干酪根为主的生烃岩。底辟泥岩的甾、藓生物标志物分布特征表明, 烃源母质偏腐泥型, 代表低等浮游动物的C₂₇胆甾烷相当丰富, 其量远远大于陆生高等植物的标记物C₂₉豆甾烷, 说明本区的海相底辟泥岩具有非常优良的生源先质, 这在不同的热力演化条件下的产烃率与其它类型母质相比都是甚高的。根

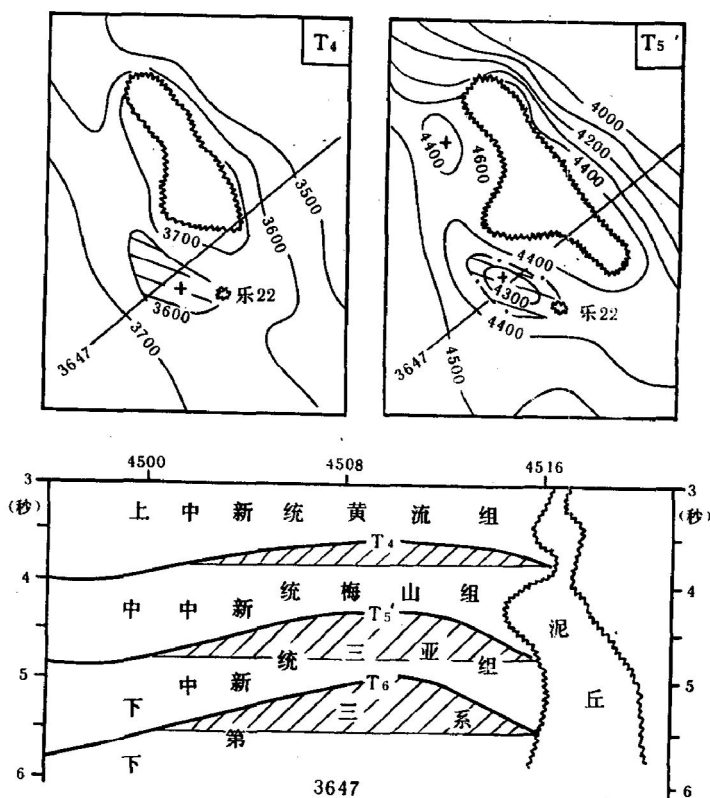


图8 泥丘型背斜构造油气藏预测图

* 何家雄等, 1986, 莺歌海盆地上第三系油气远景初步研究。

据热模拟实验的产烃率计算, 本区总生烃量高达数百亿吨, 油气源极为丰富。又据圈闭体积法和聚集系数法预测, 中部泥丘隆起构造带和东南块断构造带油气资源量可达数百亿吨, ①号断裂构造带油气资源量亦可达百亿吨。

本区第四系、上第三系海相沉积剖面为一套碎屑岩建造, 地层发育较全, 上新统莺歌海—黄流组以大套泥岩为主夹砂砾岩, 中新统梅山组、三亚组岩性组合则多为砂、泥岩不等厚互层, 其砂砾岩储油物性较好, 上述岩性组合均能构成自生自储、下生上储的成油组合, 具有良好的油气储集条件。

根据构造展布特点及其地质地化条件的综合分析, 笔者从盆地中分出三类油气远景区 (图 10)。

I 类油气远景区 (东南块断构造油气聚集带): 处于盆地东南部, 东邻琼东南盆地, 西南伸入盆地中部坳陷区, 构造类型以断块、断鼻、半背斜为主, 具有多构造层圈闭, 且是盆地油气向东运移聚集有利构造区, 该带所钻的乐东井已发现多层气显示, 电测解释及地化分析均证实为高压气层。

II 类油气远景区 (中部泥丘隆起构造油气聚集带): 位于盆地中部坳陷区, 处在凹中隆的有利构造位置, 具有优越的烃源供给和运聚条件, 构造类型均以“泥丘型”背斜、半背斜、鼻状构造为主, 构造面积大、幅度高, 但该区砂、砾岩储层不甚发育, 据钻入泥丘顶部的莺 2 井统计, 莺歌海—黄流组泥页岩含量高达 91.7%, 砂砾岩含量仅为 2.31%, 虽然位于泥丘体两侧的伴生构造 (围岩) 的砂砾岩含量可能会增加一些, 但也不会增加很多, 因而其储油条件明显比其它地区逊色。

III 类油气远景区 (①号断裂构造油气聚集带): 位于盆地北部及西北部的边缘斜坡区, 地质及地热研究表明, 该带的①号大断裂是一个热流释放带和高压释放带, 亦是油气运移聚集的有利地区。50 年代末 60 年代初在该带附近以北的岭头—莺歌海—崖城一带曾钻成三口低产油流井, 一口 CO₂ 气井, 发现油气苗 39 处, 在莺歌海海底附近至今仍见有气苗显示, 且在该处海底捞获油砂, 甾、萜生物标志物检测证实, 为一种海相原油, 其油气源来自盆地深部。以上事实充分表明该区有过油气运聚的过程, 是油气运聚的指向。但是, ①号大断裂两侧的断层圈闭或断块圈闭的封闭性较差, 主要靠地层岩性圈闭捕集油气, 因而远景略为逊色。

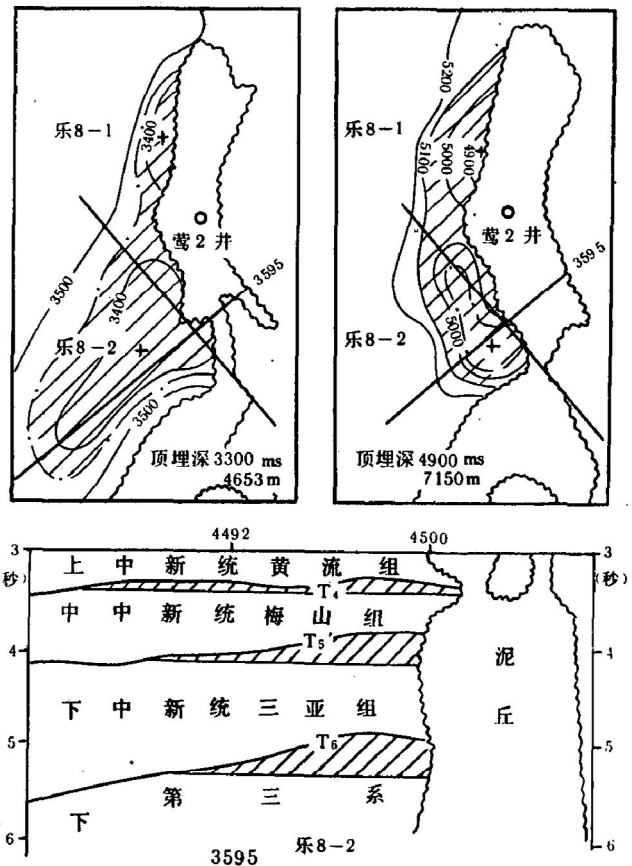


图 9 泥丘型半背斜构造油气藏预测图

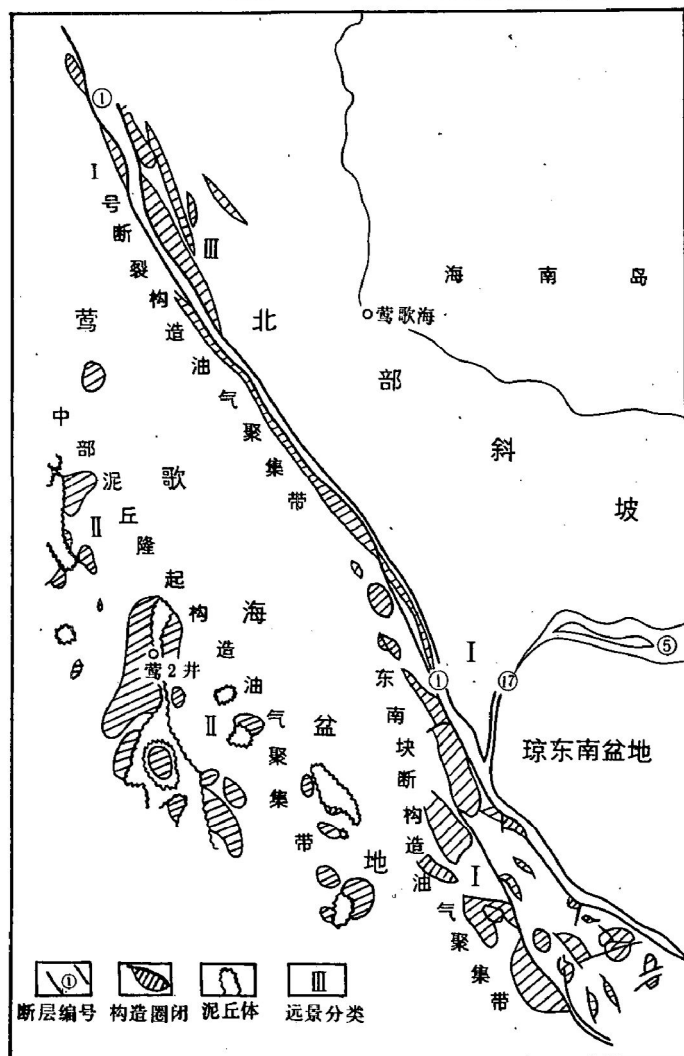


图10 莺歌海盆地油气远景评价图

级工程师审阅, 并提出宝贵意见, 在此谨致谢意!

结 论

1. 泥丘是本区独具特征的地质体, 其成因、展布主要取决于存在第三系快速沉积的巨厚欠压实泥页岩这一物质基础和区域构造动力环境、重力因素这两个外部条件。

2. 泥丘的发育演化与油气生成、运聚关系甚为密切, 主要集中体现在以下三点: 其一, 泥丘所孕育的异常高温高压之巨大潜能, 是有机质成熟生烃和烃类排出运移的动力; 其二, 泥丘本身就是极好的生烃岩; 其三, 泥丘伴生构造所组成的泥丘隆起构造带, 是油气运移聚集的有利场所。

3. 预测本区“泥丘型”构造油气藏以背斜型、半背斜型、鼻状型等三类为主, 断鼻型为辅。

4. 中部泥丘隆起构造带和东南块断构造带, 具有优越的烃源供给和聚集保存条件, 应作为近期勘探的重点; ①号断裂构造带聚集保存条件稍差, 可作为长远勘探目标。

本文承蒙张启明、翟才宇两位高

参 考 文 献

- [1] 王燮培等, 1981, 石油学报, 第2卷, 第3期。
- [2] 真柄钦次, 1977, 压实与流体运移, 陈荷立等译, 1981, 石油工业出版社。
- [3] R.E. 查普曼, 1982, 石油地质学, 李明诚等译, 1989, 石油工业出版社。
- [4] 茹 克, 1988, 石油与天然气地质, 第9卷, 第1期。
- [5] 张启明等, 1987, 中国海上油气, 第1期。
- [6] 彭大钧等, 1988, 石油学报, 第9卷, 第3期。

CHARACTERISTICS OF MUD-MOUNT EVOLUTION AND OIL POTENTIAL IN YINGGEHAI BASIN

He Jiexiong Zan Lisheng Chen Longcao Huang Huoyao

(Nanhai West Oil Corporation)

Abstract

The formation and evolution of mud-mounts in the Yinggehai Basin are closely related to hydrocarbon generation, migration and accumulation.

1. The mud mounts are distributed in Oligocene Yacheng Formation and the Miocene Sanya and Meishan Formations. The formation, evolution and distribution is decided by material base—the rapidly deposited, high thickness and undercompacting mud shales, regional dynamics and gravity factor.

2. Mud mounts themselves are source rocks; abnormal high temperature and high pressure produced by their evolution is the motive force for hydrocarbon generation and migration, especially for high pressure natural gases soluted in water.

3. The mud mount uplift structural belts are mostly distributed in the central part of the basin or the deeper parts of the depressions that are favourable locations for hydrocarbon migration and accumulation. It is predicted that the pools of mud mounts within the basin are mainly anticline, semianticline and noze types, and then faulted-noze type.

4. The mud mount uplift structural belts in the central part and the fault-block structural belts in the southeast, having abundant hydrocarbon source and fine accumulation and preservation conditions, are favourable enrichment zones, and should be taken as important targets for recent exploration; No. 1 fault-structural belt could be taken as exploration target in the future due to its poor accumulation and preservation conditions.