

王永臻,唐书恒,郑求根. 马来盆地构造特征及其对油气成藏的控制作用[J]. 海洋地质前沿, 2019, 35(4): 26-38, 56.

马来盆地构造特征及其对油气成藏的控制作用

王永臻¹, 唐书恒¹, 郑求根²

(1 中国地质大学(北京)能源学院, 北京 100083; 2 中国地质大学(北京)海洋学院, 北京 100083)

摘要:马来盆地为新生代断陷盆地, 经历始新世断陷期、渐新世凹陷期、中新世构造反转期 3 个演化阶段。中一晚中新世发生正反转构造, 构造反转导致区域左行旋转逐渐变换为右行, 中部和东南部反转作用强烈。马来盆地南部圈闭形成时间早, 北部圈闭形成时间晚; 早期生成的油在南部聚集, 北部逸散; 后期生成的气在北部有效聚集。北部烃源岩沉积、沉降快, 埋深大, 有利于成熟生烃, 目前多数烃源岩已经进入生气阶段; 由于后期东南部的抬升生烃受到抑制, 生气量较少。马来盆地油气分布具有东部和南部以油藏为主, 北部以气藏为主的特点。马来盆地划分了六大勘探区域, 其中东南挤压背斜油区是油气最为富集的区域, 也是主力油气产区。该区未来勘探重点主要位于深部 H 和 J 组超压带下的气藏和凝析油藏。通过对马来盆地构造特征、构造成因机制等方面的研究, 厘清了构造对油气成藏的控制作用, 并指出了下一步勘探的方向。

关键词:构造反转; 成因机制; 控制作用; 马来盆地; 勘探方向

中图分类号: P736; TE122

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2019.04004

0 引言

马来盆地勘探程度较高, 油气资源比较丰富, 但由于石油公司的很多研究成果尚未公开, 目前对马来盆地构造特征的研究不够系统, 特别是构造对油气成藏的控制作用的研究还不够深入。本文通过对马来盆地构造特征、构造演化及构造成因机制等方面的研究, 厘清构造对油气成藏控制作用, 并指出下一步勘探的方向。

1 研究区概况

马来盆地位于巽他块体的中心, 为新生代断陷盆地。盆地西北部为那拉提瓦隆起, 西南部为

天鹅岛弧, 东北部为呵叻隆起。马来盆地位于三宝塔断层南侧, 整体呈 NW—SE 走向, 长约 500 km, 宽约 250 km, 面积 12.8 万 km²。研究区是马来盆地位于马来西亚部分(图 1)。盆地沉积厚达 14 km, 是区域最深的盆地之一, 基底为前古近纪的火山岩和变质岩, 边缘沉积相对较薄 (<1.5 km)。

马来盆地的形成与欧亚大陆板块与印度板块的碰撞密切相关。始新世时期伴随着印度板块和欧亚大陆板块碰撞, 巽他块体沿着三宝塔断层发生左行旋转, 受拉张作用控制盆地进入同断陷期, 在巽他裂谷盆地南部和西部发育火成岩, 至早渐新世马来盆地基本形成。中一晚渐新世时期构造应力发生转换, 盆地进入凹陷阶段, 沉积地层厚。中中新世时期区域应力重组, 发生构造反转, 晚中新世达到顶峰。广泛发育挤压背斜、断背斜, 盆地中部反转强度比侧翼大, 东南部反转最为强烈^[1]。早期形成的半地堑受挤压作用形成大规模东西向的挤压背斜。晚中新世—第四纪是缓慢沉降期,

收稿日期: 2018-11-08

基金项目: 国家科技重大专项(2016ZX05033-001)

作者简介: 王永臻(1985—)男, 在读博士, 主要从事页岩储层评价和海外石油选区方面的研究工作。E-mail: 3578428633@qq.com

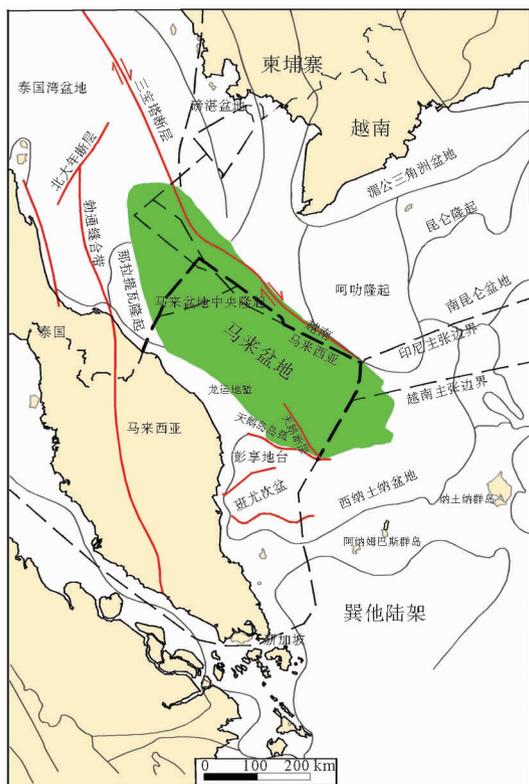


图1 马来盆地构造背景(据 HIS 资料修改)

Fig. 1 Tectonic setting of Malay Basin (modified from HIS)

该时期内没有大的构造活动,为完全开阔海环境(图2)。

盆地基底是前古近纪花岗岩、玄武岩、变质岩和古近纪的沉积岩。早始新世时期盆地进入断陷期,发育扇三角洲、高能河道、冲积平原、湖泊相沉积,沉积 M、L、K 组地层,沉积厚度达 3 000 m。L 和 K 组湖相泥页岩生油潜力好,其中 K 组为主力烃源岩,L 组内河成湖相砂岩和 K 组辫状河冲积扇砂岩可以作为优质储层。渐新世,盆地进入凹陷期,发育近海相、潮间—河口相、滨海平原相沉积,沉积 K、J、I 和 H 组地层。I 和 H 组河流相煤和页岩具有一定的油气潜力,I 组煤层生烃潜力较好,以生气为主。J 组滨岸砂岩为马来盆地最重要的储层,约 40% 的油气产量来自该套储层。随着中中新世构造反转,沉积环境由低能量滨海平原、沼泽、河口与潮汐环境的碎屑沉积,逐渐演变为河流、河口沉积,反转地层包括 F、E、D 组。F、E 和 D 组储层是盆地北部主要的天然气—凝析油产层,这些储层在盆地的南部普

遍缺失。晚中新世—上新世在整个泰国湾发生海侵不整合,沉积低能潮汐—海相沉积,发育 B、A 组地层(图 2、3)。

2 构造特征

古近纪时期印度板块与欧亚大陆板块碰撞引起区域性左行剪切,导致巽他块体沿着三宝塔断层左行旋转。剪切作用引起断裂带内向西走向断层的旋转,半地堑沿着边界断层发育(图 4)。由于区域构造应力的变化,这些半地堑遭受中后期的挤压作用^[2,3]。马来盆地经历同断陷、凹陷、构造反转 3 个演化阶段。早新生代,马来盆地南部和轴部构造活动为 NW—SE 向;盆地北部沿两翼构造活动由 SN 向转变为 NNW 和 NW—SE 向。中中新世—晚中新世,区域性 NE—SW 和 NEE—SWW 向挤压导致半地堑发生区域构造反转。反转主要集中在马来盆地的东南部和中部,构造反转与油气成藏关系密切(图 5)。

2.1 前第三纪构造活动

侏罗纪—白垩纪盆地基底断层开始活跃,向东倾的断层比向西倾斜的断层更为活跃,整体呈“西部陡,东部缓”的构造形态^[4]。

盆地南部和轴部发育 NW—SE 向断层,次级 NW—SE 向构造分布在盆地的东南部^[5]。北部断层为 S—N 走向,沿着盆地的侧翼逐渐变为 NNW—NW 向^[6]。受中生代区域应力影响,中部发育 NW—SE 向走滑断层,走滑位移约 80 km。轴部和西部断层呈阶梯状分布与主干断裂平行。

2.2 始新世—中中新世构造特征

晚始新世—中中新世,受左行拉张作用的控制,发育 E—W 向断层,并沿 NW—SE 向断裂带发生走向滑动,向 NW—SE 向旋转大约 35°,断裂作用引起盆地快速沉降。马来盆地南部边界为近 E—W 向断层,晚渐新世时期马来断层左旋走滑作用控制半地堑的形成,轴部断裂带发育白垩纪辉绿岩(Petronas, 1999 年)。龙运地堑形成于晚始新世—早渐新世时期,呈 NNW—SSE 向(图 5)。

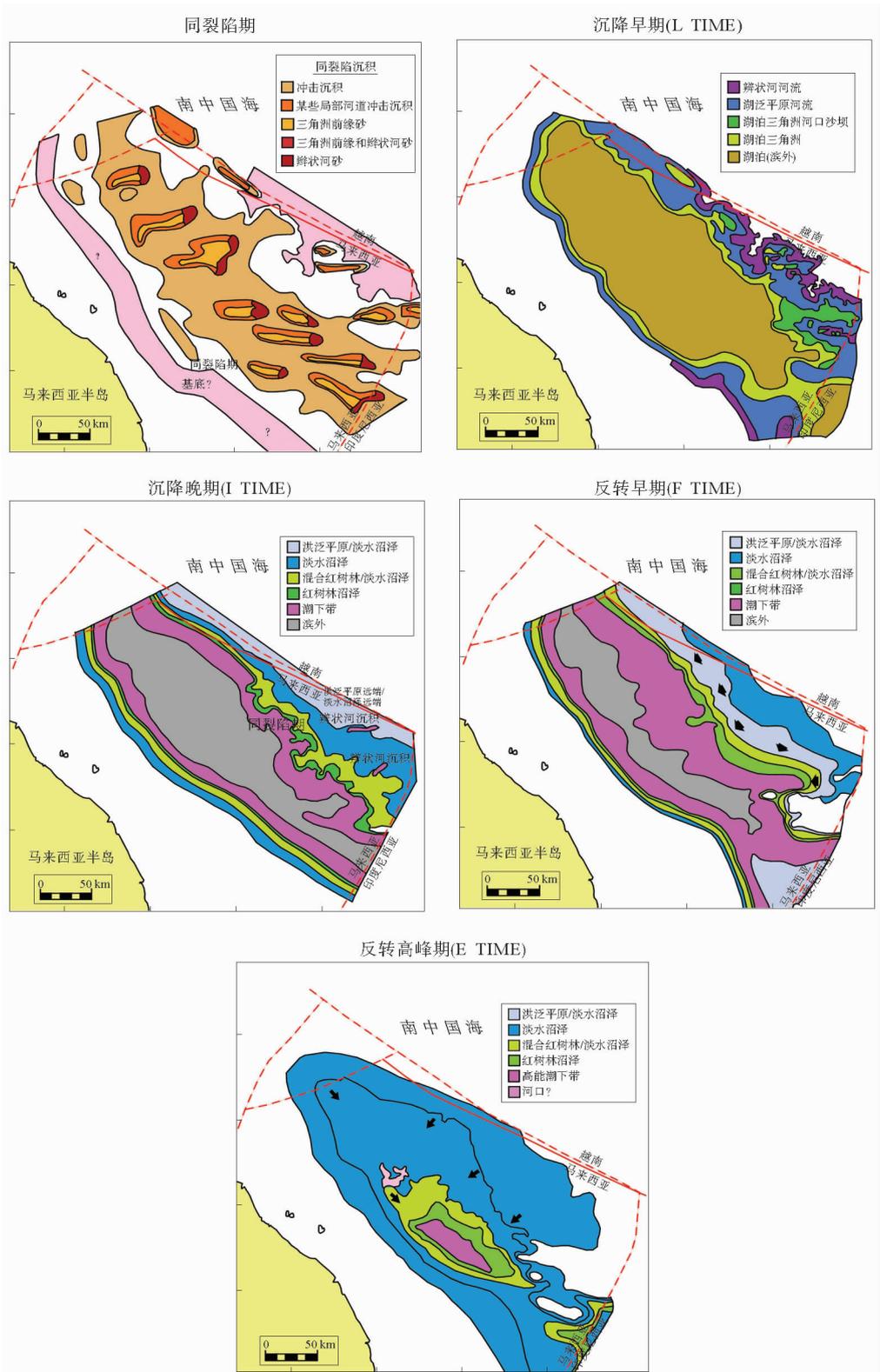


图2 马来盆地沉积古环境重建(据文献[2])

Fig. 2 Paleoenvironmental reconstruction of the Malay Basin (from reference [2])

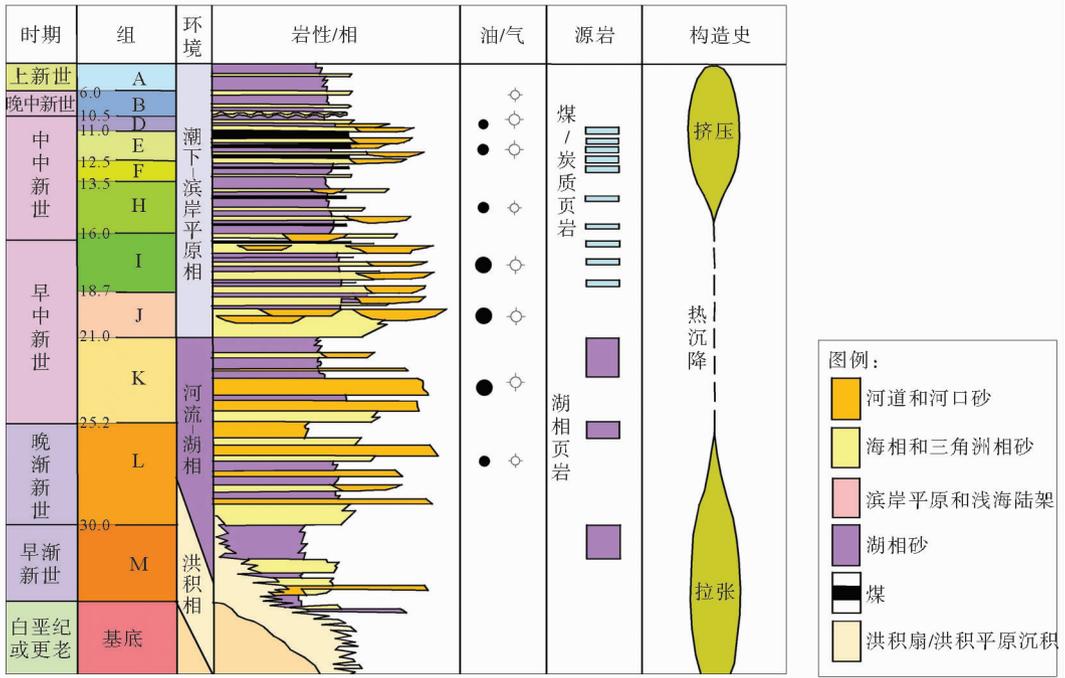


图 3 马来盆地构造演化史及储层、油气生成组合关系

Fig. 3 History of tectonic evolution, reservoir and hydrocarbon generation in the Malay Basin

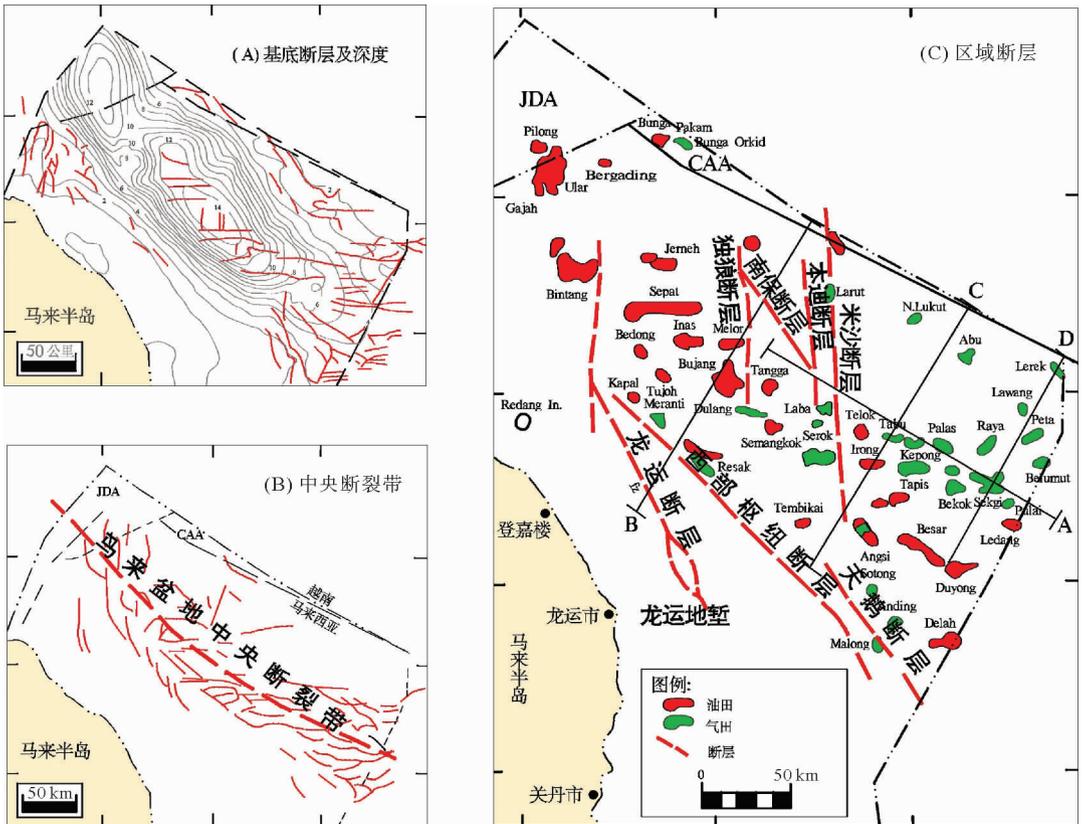


图 4 马来盆地的构造因素(据文献[6])

Fig. 4 Structural factors of the Malay Basin (from reference [6])

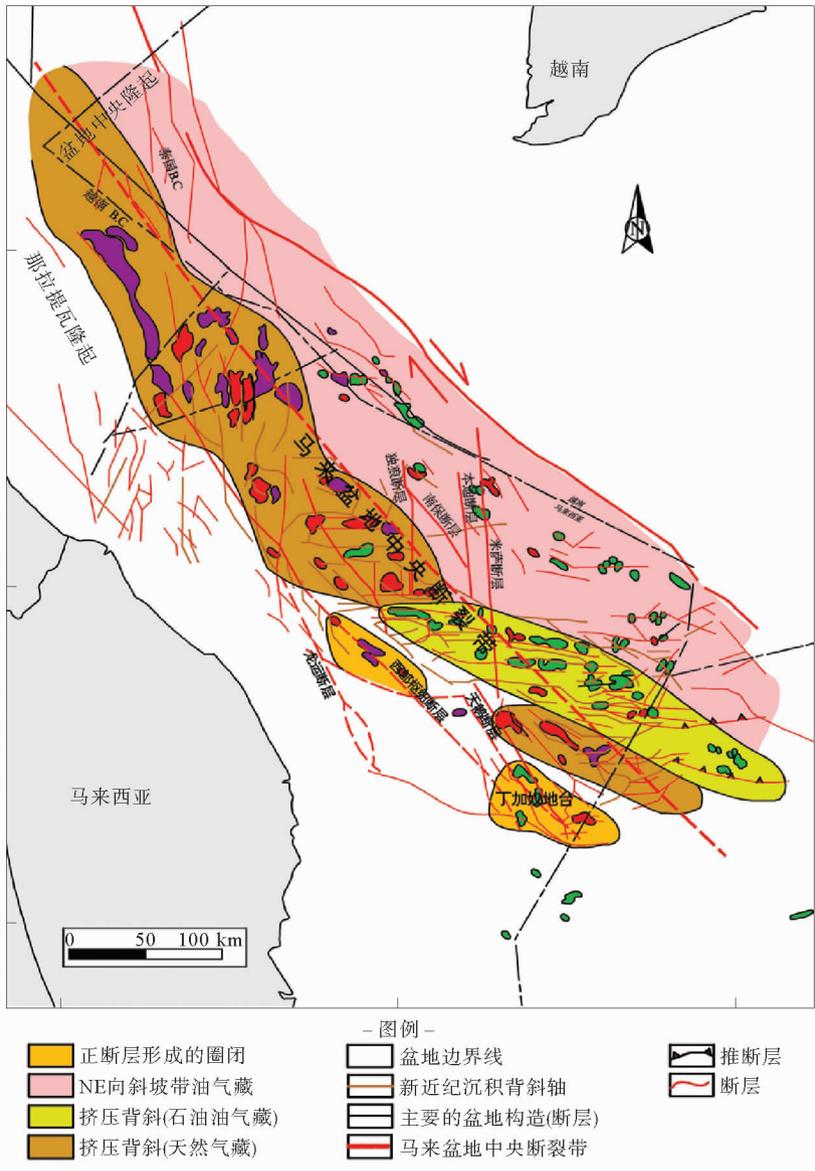


图5 马来盆地构造圈闭分布特征(据 IHS)

Fig. 5 Distribution of structural traps in the Malay Basin (from IHS)

2.3 中—晚中新世构造反转

中中新世,区域性 NW—SE 和 NEE—SWW 向挤压作用开始活动,在晚中新世时达到顶峰,盆地裂陷阶段形成的半地堑进一步发生构造反转^[4]。反转作用形成挤压背斜和与正断层相关的构造,三宝塔断裂带剪切拉张作用逐渐由左行转变为右行运动。

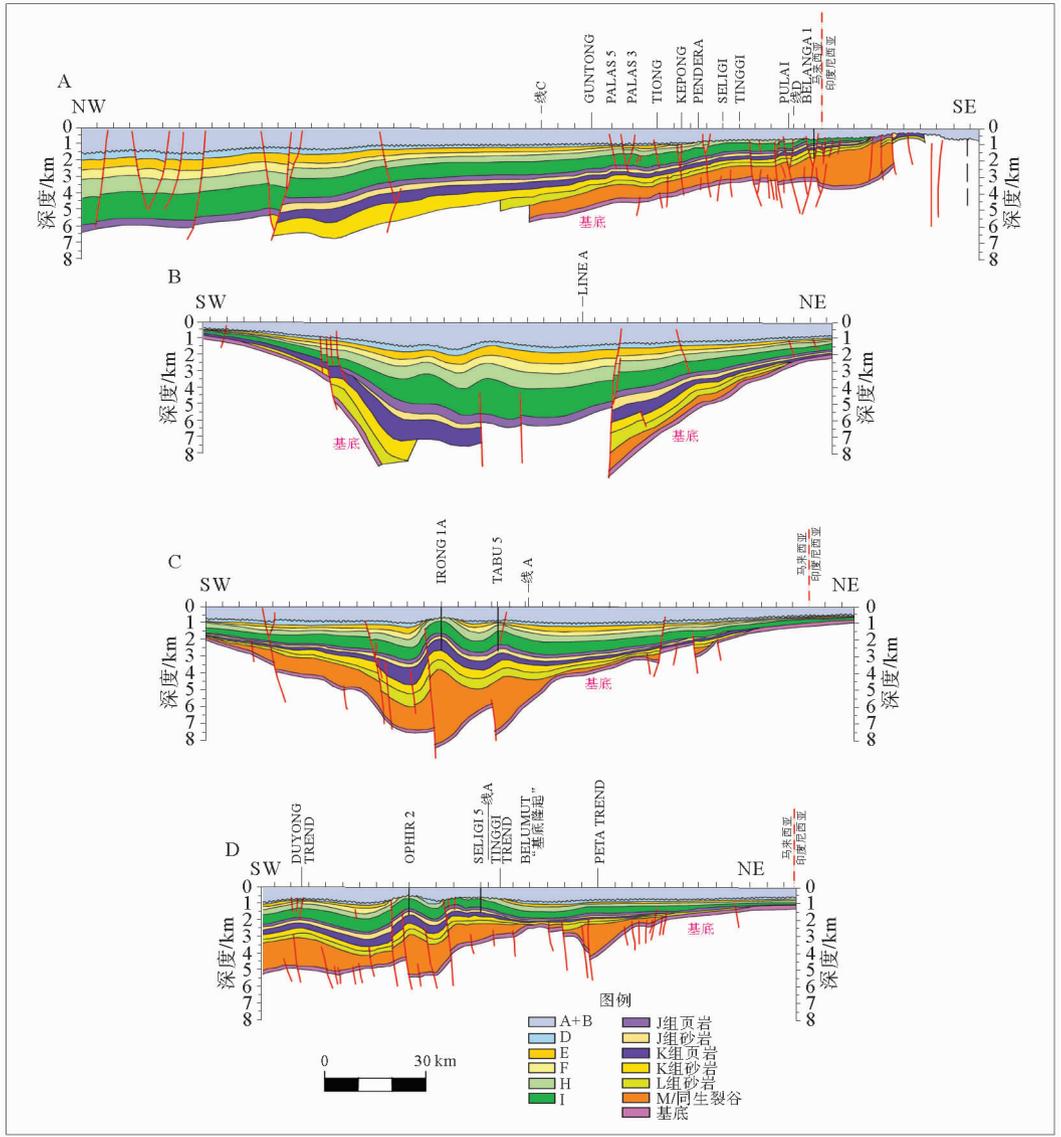
马来盆地轴部地区发育东西向挤压背斜,呈雁列状排列,位于 E—W 向半地堑构造之上^[6]。盆地西南部背斜走向为 NW—SE 向^[5],东北部背

斜走向为 S—N 向,受区域边界断层控制。半地堑的边界断层花状构造发育,走滑作用强烈(图 6)。晚中新世—第四纪,盆地为海相沉积,沉积速率变缓,构造活动减弱。

3 构造成因机制

3.1 构造成因

马来盆地走向长约 500 km、宽 250 km,长宽比约 2 : 1,中部和东南部呈 NW—SE 向,北部走



(A)NW—SE向;(B)、(C)、(D)SW—NE向(剖面位置见图4)(据文献[7])

图 6 马来盆地构造演化

Fig. 6 Tectonic evolution of the Malay Basin (from reference [7])

向近 NNW—SSE 向,受边界断层控制走向发生一定的旋转(图 7)。剖面上,盆地西南翼缓、东北翼陡,整体呈“西南断、东北超”的特征。马来盆地西南部和中央基底断层为 E—W 走向,基底断层倾向与盆地走向基本一致。基底断层控制新近系沉积,中新世形成挤压背斜,沿着马来盆地中央断裂带右行旋转,背斜形态进一步调整。盆地西南部边界为西部枢纽断层,为雁列状正断层,与盆地沿着西部枢纽断层右行旋转拉张作用有关^[6]。天鹅断层为天鹅岛弧边界断层,晚渐新一早中新世天鹅断层一直处于活动状态,早中新世发生海

侵,天鹅断层充当大陆架边缘^[7]。龙运断层为西部枢纽断层西侧一个分支断层,贯穿丁加奴地台。沿着龙运断层,发育一系列小型地堑,其中龙运地堑最大,长约 35 km,宽不到 10 km。龙运地堑为龙运断层右行旋转形成,为拉张型地堑^[6]。

马来盆地为新生代复合型断陷盆地,发育大量拉张型地堑^[8]。大部分地堑埋深较深,至今没有被钻透,但可以通过重力、磁及地震数据解释出来。通过地震识别出西部一些小型地堑,像龙运地堑等^[2]。中中新世晚期构造挤压和抬升作用,盆地西南部前古近纪基底抬升,盆地东南部背斜

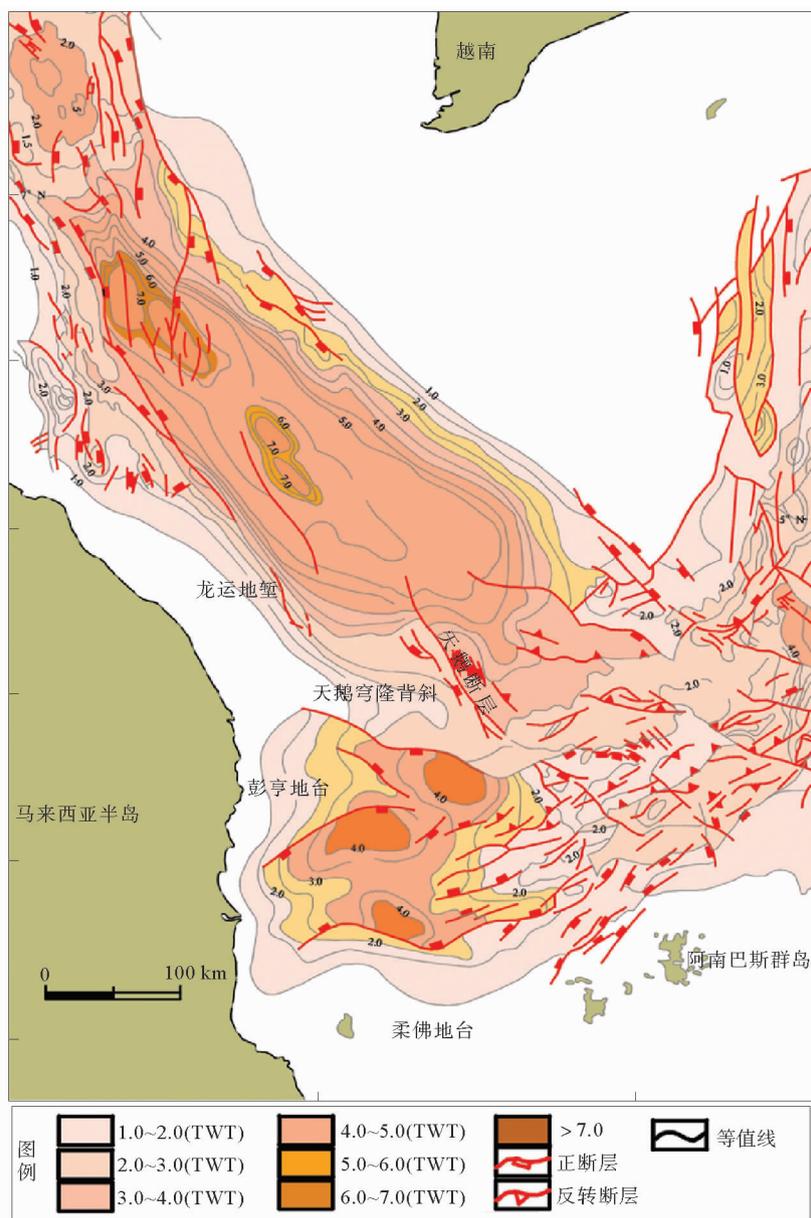


图7 马来盆地构造格架(据 IHS)

Fig. 7 Tectonic framework of Malay Basin (from IHS)

受挤压变形作用强烈,背斜的一侧被正断层侧向封堵,形成良好的圈闭。

3.2 成因机制

马来盆地构造成因机制存在一定争议。一种观点认为马来盆地属于弧后盆地^[9-10];另一种观点认为马来盆地是始新世由于印度板块和欧亚板块发生碰撞,沿着走滑断裂带拉张作用形成的断陷盆地^[11]。笔者认为马来盆地距苏门答腊海沟1 000多千米,弧后盆地可能不是主要成因,第2

种观点更为合理。马来盆地X井和Y井沉降曲线与典型断陷盆地特征一致,表现为断陷期快速沉降和凹陷期平稳沉降的特征(图8)。盆地测试热流值为74~175 mW/m²,平均为107.65 mW/m²,地温梯度平均为63 °C/km,高热流值和地温梯度与大陆地壳区域减薄有关^[12]。

Tap ponnier 等提出“挤压模式”,解释了导致区域地壳减薄的原因。“挤压模式”得到大家的认可,并在西纳土纳盆地、泰国湾盆地的研究中得到应用^[13-14]。“挤压模式”认为印度板块与欧亚板块

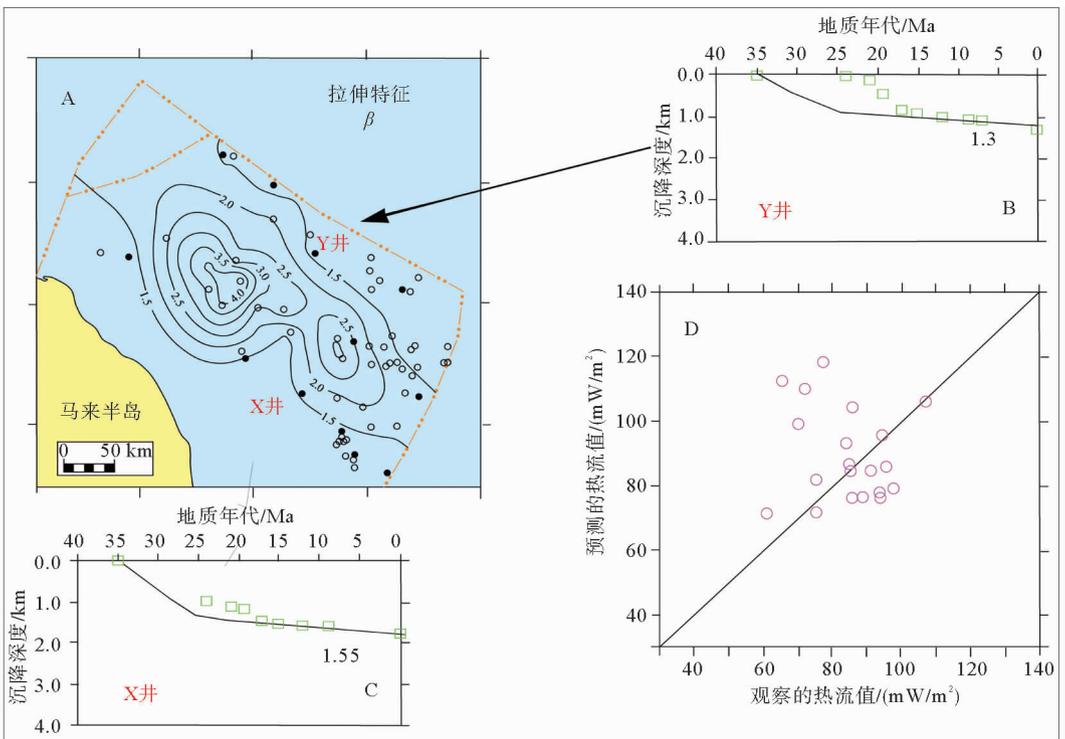
碰撞引起走滑断层的重新活动,形成断陷盆地。断陷作用与板块碰撞发生在几乎同一时间内,断陷盆地发育于碰撞带内分离出的一个相对有限的变形带内^[11]。三宝塔断层为区域性大断层,一直延伸到泰国,为马来盆地边界断层,马来盆地沿着 NW 向三宝塔剪切带左行旋转而发展。马来盆地与莺歌海盆地构造背景类似,莺歌海盆地就形成于红河断裂带的远端^[15]。

马来盆地与常规断陷盆地不同,并不是由垂直于盆地走向的断层控制的。盆地基底断层多数为 E—W 向,与盆地 NW—SE 走向呈 35° 夹角,基底断层充当半地堑的边界断层。造成这种构造的成因机制有 2 个方面:①盆地基底的非均质性;②古近纪印度板块与欧亚板块的碰撞导致沿着马来盆地中央断裂带发生区域性右行旋转^[16]。区域性右行旋转是造成这种差异更为重要的因素。中一晚渐新世由于区域应力变化,半地堑受挤压作用形成挤压背斜和断层相关圈闭。马来盆地中央构造反转强度比侧翼大,SE 方向反转强度增加。西纳土纳盆地广泛发育逆断层和转换断层,

就与构造反转作用有关。

综合上文,提出马来盆地构造反转成因机制模型(图 9)。前古近纪,马来盆地为大致 NW—SE 向狭窄的海峡,经西纳土纳盆地与古南海相连,沉积物主要来自 NE 和 SW 方向^[17]。早渐新世,随着印度板块与欧亚大陆碰撞马来盆地西南部火山喷发,导致盆地沿着马来盆地中央断裂带发生左行旋转,马来盆地受拉张作用发育一系列地堑、半地堑。中一晚中新世,受区域应力重组影响,盆地左行旋转逐渐转变为右行。马来盆地发生正反转构造,挤压作用导致地堑、半地堑南北方向缩短,断层重新活动,盆地东南部基底强烈抬升。

马来盆地构造反转对油气成藏具有明显的控制作用。受构造反转作用,挤压背斜在盆地轴部广泛发育,呈雁列式,多与基底断层平行。背斜发育的位置和几何形态受基底断层控制,基底断层又与沿着马来盆地中央断裂带的左行旋转有关。中一晚中新世发生构造反转,盆地以右行旋转为主,东南部构造反转最强烈,边界断层被重新激活,发育正花状构造,为典型的正反转构造特征。



(A)剥后沉降曲线;(B)、(C)典型的断陷盆地;(D)观察和预测的热流值

图 8 马来盆地热流特征(据文献[12,13])

Fig. 8 Heat flow in the Malay Basin (from references [12,13])

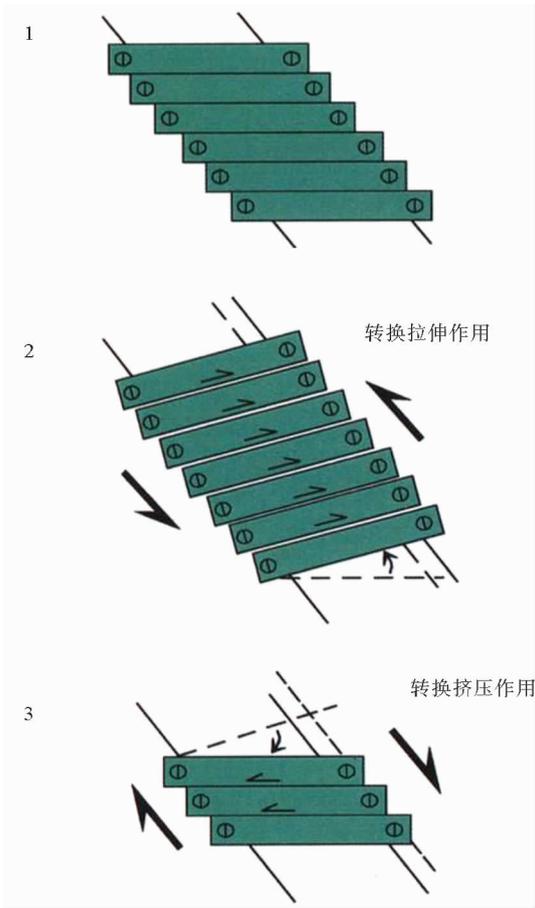


图9 马来盆地构造反转机制模型(据文献[16])

Fig. 9 Tectonic inversion of the Malay Basin
(from reference [16])

107.65 mW/m²,受断层影响热流值向盆地NW方向增加(图10)。受中中新世一晚中新世隆起、生长断层作用盆地西南部热流值比较高^[18](图10)。

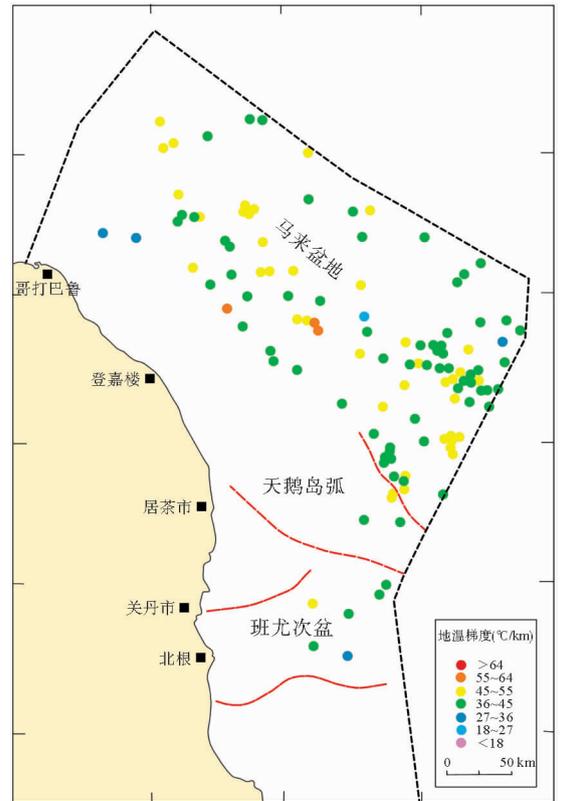


图10 马来盆地100口井地温梯度分布(据文献[19,20])
Fig. 10 Geothermal gradient distribution for 100 wells
in the Malay Basin (from references [19,20])

4 构造对油气藏的控制作用

4.1 对烃源岩的控制作用

马来盆地主要发育湖相和河流三角洲相烃源岩,湖相烃源岩分布在盆地边缘浅部和中央深部,河流三角洲相主要在盆地轴部发育。优质湖相烃源岩与同生断层相关,热流值较高,烃源岩成熟度高,盆地中部烃源岩处于生气阶段,边缘处于生油窗内。盆地东南部抬升早,烃源岩埋藏变浅,处于生油窗,易形成油藏;北部、东北部沉降区,烃源岩埋藏变深,处于生气阶段,易形成气藏。

受基底断层影响,盆地地温梯度和热流值普遍较高。盆地测试南部地温梯度为36 °C/km,北部63 °C/km,热流值为74~175 mW/m²,平均为

4.2 对圈闭位置和几何形态的控制作用

盆地主要发育挤压背斜圈闭、正断层相关圈闭及岩性地层圈闭等,圈闭类型及分布明显受构造控制。盆地轴部发育挤压背斜圈闭,南部圈闭形成时间较早,早期生成的油主要在南部聚集;北部圈闭形成时间晚,后期生成的气在北部聚集。东北部斜坡带主要发育岩性地层圈闭,西部和西南部主要发育正断层相关圈闭(图11)。

(1) 挤压背斜圈闭

挤压背斜主要分布在盆地轴部,中一晚中新世构造反转挤压作用形成。始新世形成的地堑、半地堑在挤压作用下形成挤压背斜,这些背斜多数以基底正断层为边界。盆地南部,这种圈闭类型比较常见,圈闭内部被黏土和页岩侧向封堵(图12)。

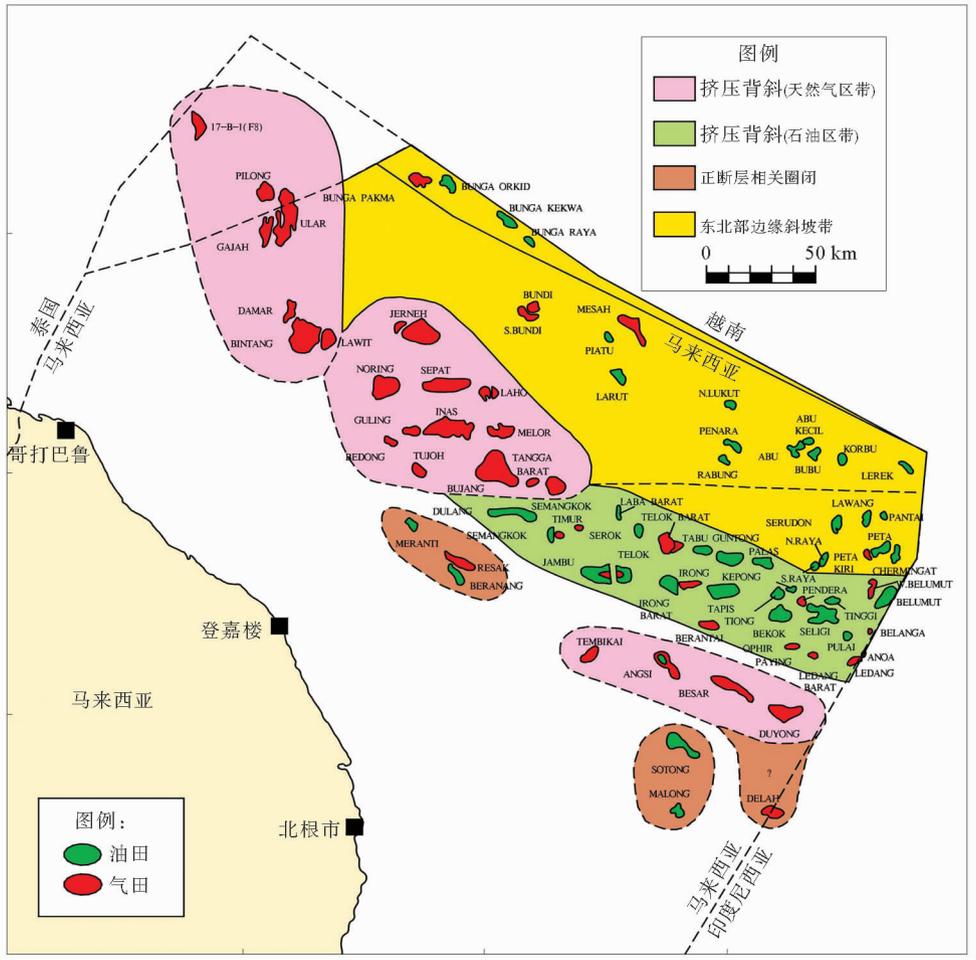
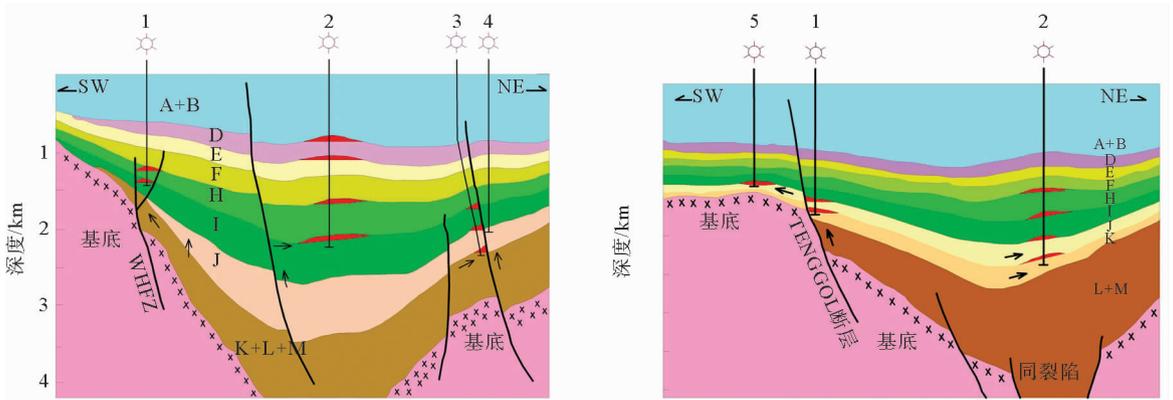


图 11 圈闭类型及分布
Fig. 11 Trap types and distribution



1: 正断层; 2: 挤压背斜; 3, 4: 东北部斜坡带; 5: 天鹅岛弧带(基底披覆构造)

图 12 马来盆地圈闭类型剖面图(据文献[21])

Fig. 12 Cross-sections of the trap types in the Malay Basin (from reference [21])

(2) 正断层相关圈闭

盆地西部和西南部圈闭类型主要是与正断层

有关圈闭为主^[21]。主要沿着西部枢纽断层、天鹅岛弧带发育,圈闭类型包括断层倾斜封闭、

断块圈闭、逆断层圈闭等。

(3) 地层岩性圈闭

马来盆地东北部斜坡边缘区,发现 19 个油田和 17 个气田,圈闭主要是岩性地层复合圈闭^[22]。盆地断陷期,发育河道相和洪积相砂体,可以作为未来勘探的重点。

4.3 对油气成藏的控制作用

断层既可以对油气藏侧向封堵,也可能造成油气藏的破坏(图 13)。马来盆地基底断层埋藏较深,一般未断穿盖层,基底断层可以作为油气运移的通道,控制油气藏的形成和分布。马来盆地中央枢纽断层受中新世构造反转作用,较为活跃,可能对油气藏造成破坏。盆地中部气田发现无机成因 CO₂ 含量偏高,可能与马来盆地中央枢纽断

层活动有关,上地幔无机成因 CO₂ 通过断层运移到浅部聚集。马来盆地生成的油气以横向运移为主,在中部和西南部油气垂向运移比较常见。中中新世构造抬升,使早期形成的油气藏埋藏变浅或者溢出点发生变化,打破油气藏平衡使油气发生 2 次运移。

5 勘探方向

按照构造及油气藏特征将马来盆地划分为六大勘探区域,依次为东南部挤压背斜油区、东北部斜坡带、中央构造带油气区、北部挤压背斜气区、西部断层圈闭区和西南部挤压背斜气区(图 14)。另外,班尤次盆作为一个独立的地质单元,在此不作讨论。

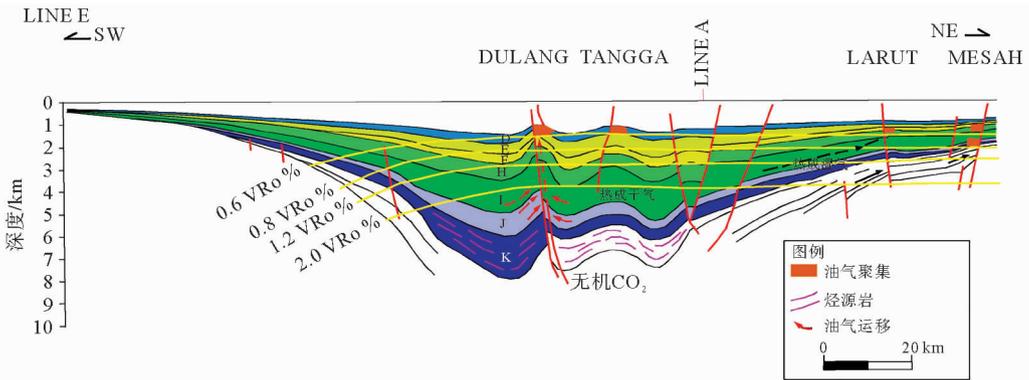


图 13 马来盆地典型成藏模式

Fig. 13 Typical reservoir models in the Malay Basin

东南挤压背斜油区:为油气最为富集的区域,石油储量占整个盆地的 69%,天然气储量占 62%,也是最主要的油气生产区。相继发现 Seli-gi、Guntong、Tapis 等亿吨级油田。马来盆地深部一般都是超压的,深部 H 和 I 是未来勘探的重点,可能存在大型气藏和凝析油藏。

中央构造带油气区:油气资源较为丰富,Se-mangkok 和 Dulang 油田仍在产。该区断裂较为发育,断层对油气藏形成具有控制作用,需加大断裂系统的研究。

东北部斜坡带:东北部的探井比中部多,产量却比中部少。东北斜坡带 H、L 组河道砂体及 J—L 岩性地层圈闭为勘探重点,具有发现油藏和气藏的潜力。

北部挤压背斜气区:为马来盆地重要的气区,发现 Jerneh、Lawit 等巨型气田,天然气产量占整个盆地的 34%。北部挤压背斜气区 H、L 组高压带是天然气勘探的有利区。

西部断层圈闭区:仅钻探井 12 口,发现 Re-sak 气田。整体勘探程度较低,为有利的油气远景区。主要勘探目标为 I、J、K 和 L 组断层圈闭。另外,I 组河道砂体和 J—L 地层圈闭为重要潜在勘探目标,由于勘探程度低,比较隐蔽,随着勘探的深入会有大的发现。

南部挤压背斜气区:随着 Angsi 油田的发现,最近勘探活动增加。南部挤压背斜气区 J 组与断裂有关的圈闭及基底披覆圈闭为主要的勘探目标,该区用新的地质观点仍有新发现的潜力。

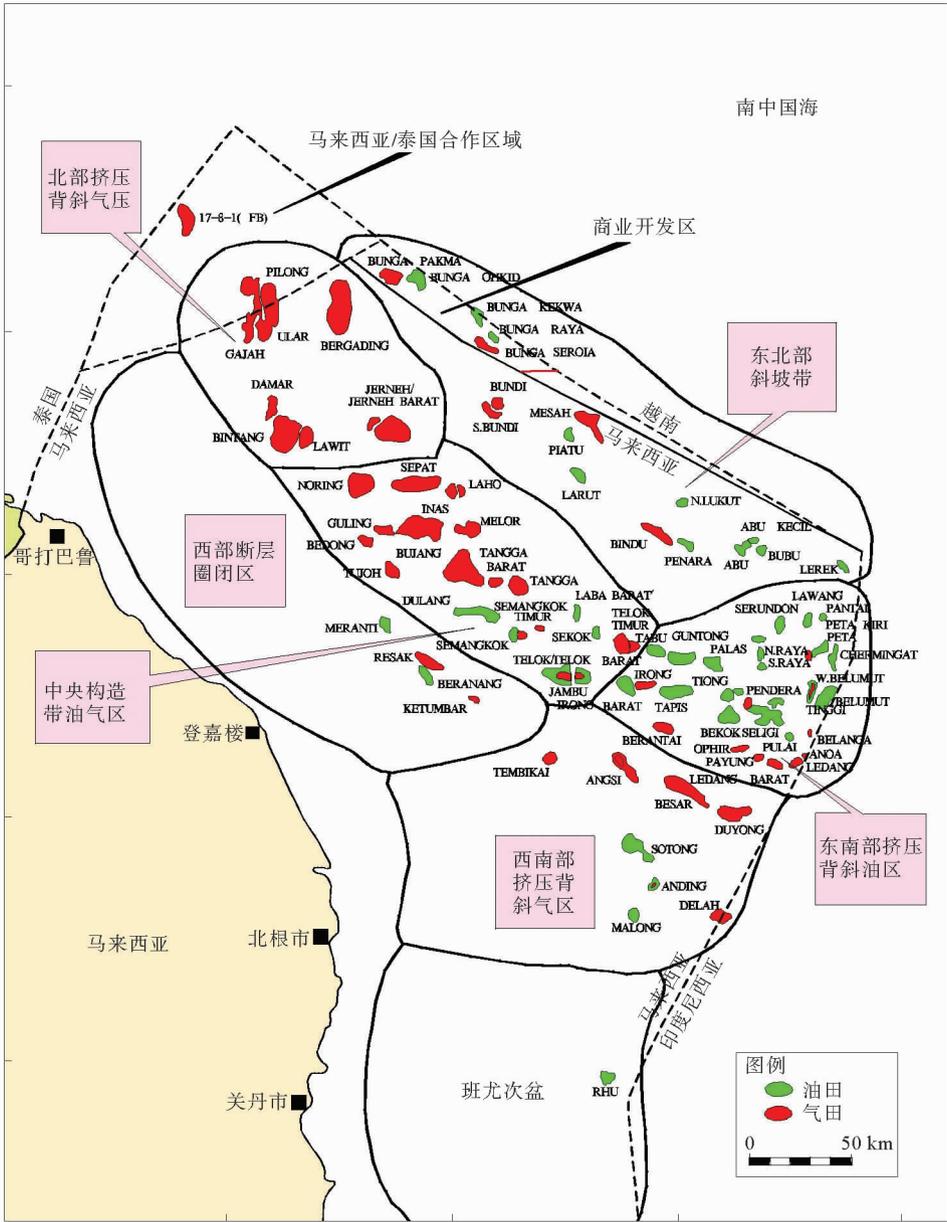


图 14 马来盆地 6 个勘探区划分图

Fig. 14 Six exploration areas in the Malay Basin

6 结论

(1) 马来盆地为新生代断陷盆地, 经历始新世断陷期、渐新世凹陷期、中新世构造反转期 3 个演化阶段。中一晚中新世发生正反转构造, 构造反转导致区域左行旋转逐渐变换为右行, 反转主要集中在马来盆地的东南部和中部。

(2) 构造对油气藏的控制作用主要体现在对

烃源岩、圈闭类型及分布、油气成藏等方面。湖相烃源岩主要分布在盆地边缘和中央的深部, 河流三角洲相主要分布在盆地中央, 中部处于生气阶段, 盆地边缘处于生油窗内。

(3) 马来盆地南部圈闭形成时间早, 北部圈闭形成时间晚; 早期生成的油在南部聚集, 北部逸散; 后期生成的气在北部有效聚集。北部烃源岩沉积、沉降快, 埋深大, 有利于成熟生烃, 多数烃源岩已经进入生气阶段; 由于后期东南部的抬升生

烃受到抑制,生气量较少。马来盆地油气分布具有“东部和南部油藏,北部气藏”为主的特点。

(4)将马来盆地划分为六大勘探区域,依次为东南部挤压背斜油区、东北部斜坡带、中央构造带油气区、北部挤压背斜气区、西部断层圈闭区和西南部挤压背斜气区。东南挤压背斜油区油气最为富集的区域,石油储量占整个马来盆地的69%,天然气储量占62%,该区未来勘探重点主要位于深部H和J组超压带下的气藏和凝析油藏。

参考文献:

- [1] Ginger D C, Ardjakusuma W O, Hedley R J, et al. Inversion history of the West Natuna Basin; examples from the Cumi Cum PSC [C]// Proceedings of the Indonesia. Petroleum Association 22nd Annual Convention, 1993; 635-658.
- [2] EPIC. Regional study of the Malay Basin-Final Portfolios [R]. Esso-PETRONAS Integrated Colla-Borative Study, Esso Production Malaysia Inc, 1994.
- [3] Tjia H D. Inversion tectonics in the Malay Basin; evidence and timing of events [J]. Bulletin of the Geological Society of Malaysia, 1994, 36: 119-126.
- [4] Madon N, Tjia H D. Role of pre-tertiary fractures in formation and development of the Malay and Penyu basins [C]. Hall R, Blundell D I. Tectonic Evolution of Southeast Asia. London: Geological Society of London Special Publication, 1996, 106: 281-289.
- [5] Ngah T S. Trap styles of the Tenggol Arch and the southern part of the Malay Basin [J]. Bulletin of the Geological Society of Malaysia, 1987, 21: 177-193.
- [6] Liew K K. Structural development at the west-central margin of the Malay Basin [J]. Bulletin of the Geological Society of Malaysia, 1994, 36: 67-80.
- [7] Madon, M B H. Depositional setting and origin of berthierine oolitic ironstones in the lower Miocene Terengganu shale, Tenggol Arch, offshore Peninsular Malaysia [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1992, 62(5): 899-916.
- [8] 杨福忠,薛良清. 南亚太地区盆地类型及油气分布特征[J]. 海外勘探, 2006(5): 65-70
- [9] Kingston D R, Dishroon C P, Williams P A. Global basin classification system [J]. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 1983, 67(12): 2175-2193.
- [10] Ismail M T, Amar S, Rudolph K W. Structural and sedimentary evolution of the Malay Basin [C]. Abstracts of AAPG international Conference & Exhibition, Kuala Lumpur, Malaysia. 1994: 21-24.
- [11] Tapponnier P, Peltzer G, Le Dain A Y, et al. Propagating extrusion tectonics in Asia: new insights from simple experiments with plasticine [J]. Geology, 1982, 10(12): 611-616.
- [12] White J M Jr, Wing R S. Structural development of the South China Sea with particular reference to Indonesia [C]// Proceedings of the Indonesian Petroleum Association 7th Annual Convention, Jakarta. 1978: 159-178.
- [13] Yusoff W I. Heat flow in offshore Malaysian basins [J]. CCOP Technical Publication, 1990, 21: 39-54.
- [14] Watts M. Gravity anomalies, subsidence history, and the tectonic evolution of the Malay and Penyu basins [J]. Basin Research, 1998, 10(4): 375-392. DOI: 10.1046/j.1365-2117.1998.00074.x.
- [15] Zhang Q M, Zhang Q X. A distinctive hydrocarbon basin-Yinggehai Basin South China Sea [J]. Journal of Southeast Asian Earth Sciences, 1991, 8(6): 69-74.
- [16] Madon M B H. The kinematics of extension and inversion in the Malay Basin offshore Peninsular Malaysia [J]. Bulletin of the Geological Society of Malaysia, 1997, 41: 127-138.
- [17] Ramli N. Depositional model of a Miocene barred wave-and storm-dominated shoreface and shelf, Southeastern Malay Basin, offshore West Malaysia [C]. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 1986, 70: 34-47.
- [18] Yusoff W I. Geothermics of the Malay Basin, offshore Malaysia [D]. Durham: University of Durham, 1993: 213.
- [19] Yusoff W I. Heat flow study in the Malay Basin [C]. CCOP Technical Publication, 1984, 15: 77-87.
- [20] Yusoff W I. Heat flow in offshore Malaysian basins [C]. CCOP Technical Publication, 1990, 21: 39-54.
- [21] Ngah T S. Trap styles of the Tenggol Arch and the southern part of the Malay Basin [J]. Bulletin of the Geological Society of Malaysia, 1987, 21: 177-193.
- [22] 叶德燎. 东南亚与南亚油气资源及其评价 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2004.

(下转第 56 页)

