

2018 年年度进展报告

特提斯域构造沉积演化对源盖关键成藏要素的控制作用 及其油气富集响应

白国平

中国石油大学（北京）

一、超级含油气系统划分

含油气系统是沉积盆地中一个自然的油气流体系统，该系统包含了活跃的烃源岩与已形成的油气藏及油气藏形成时一切必不可少、相互关联的地质要素和作用（Magoon and Dow, 1994）。本研究的超级含油气系统是指由沉积于同一个区域构造演化阶段烃源岩所形成的油气及其相关的地质要素和地质作用，可以是几个含油气系统的总和。

基于 IHS 和 Tellus 数据库油气藏的油源对比资料和我们阿拉伯板块区域成藏条件的综合分析，本研究提出阿拉伯板块发育 4 大超级含油气系统：前寒武系一下寒武统侯格夫（Huqf）、志留系、侏罗系和白垩系（图 1），此外阿拉伯板块还发育二叠系、三叠系和白垩系超级含油气系统。在阿拉伯板块发育的含油气系统中，侏罗系、志留系和白垩系含油气系统是最重要的超级含油气系统，它们的油气储量分别占阿拉伯板块油气总储量的 50.4%、26.0%和 21.2%。志留系、二叠系和三叠系超级含油气系统以天然气为主，侯格夫系统油气并重，而侏罗系、白垩系和古近系系统则以石油为主。

二、阿拉伯板块构造演化的油气成藏效应

基于多渠道收集的区域剖面，我们首先统一图例和地层划分，编制了区域地质剖面图。进而，采用平衡剖面技术，编制了两条 E-S 关键剖面的区域演化史图（图 2），演化剖面体现出了阿拉伯板块的演化史及其对盆地和古隆起形成演化的控制作用。

1. 构造演化控制了沉积轴线展布和沉积中心的迁移

阿曼盐盆的走向与前寒武纪一早白垩纪纳吉得走滑断层呈正交方向，阿拉伯板块西侧的纳吉得左旋走滑断裂和板块东缘的扎格罗斯右旋走滑断裂导致了阿曼盐盆以及霍尔木兹盐盆的形成。走滑断裂获得诱发的正断层控制了盐盆内盐岩

的展布范围，发育而成的裂谷盆地为前寒武系一下寒武统优质烃源岩的发育提供了沉积场所，阿曼盆地已发现油气储量的 72.9%源自前寒武系一下寒武统烃源岩，特别是其盐盆发育期间的下寒武统底部烃源岩。

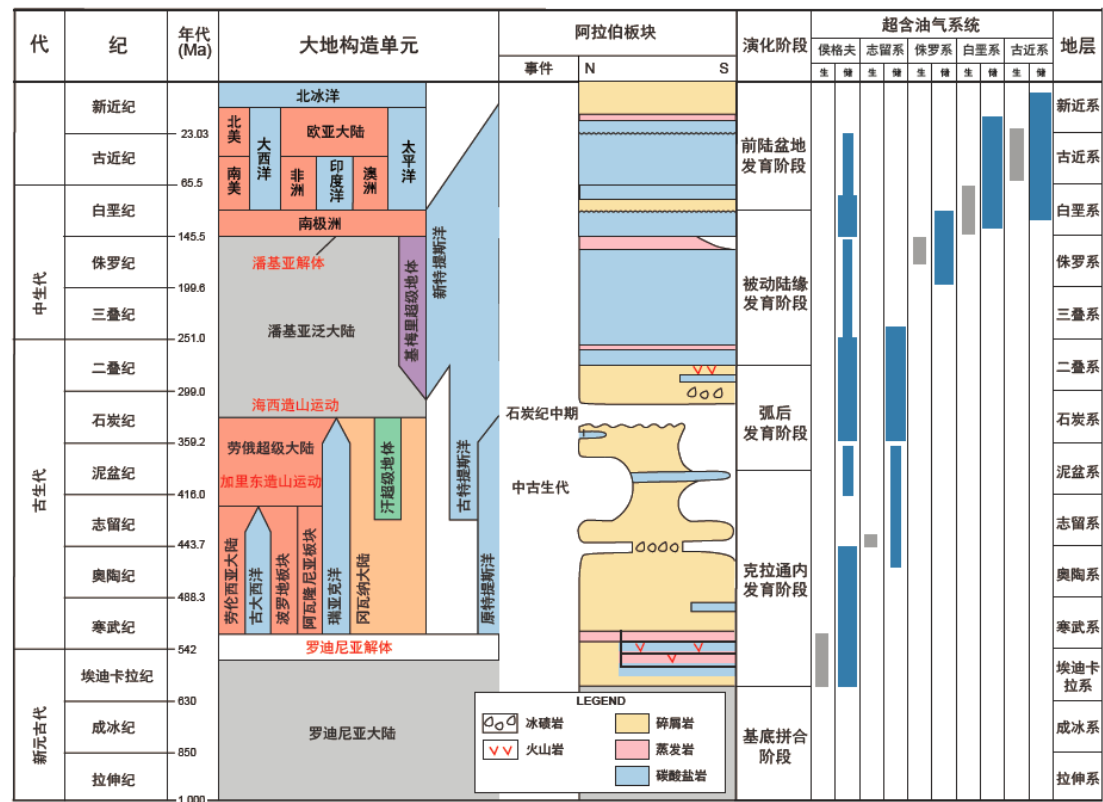


图 1 阿拉伯板块区域构造演化和超级含油气系统分布图

阿拉伯板块的沉积轴线总体表现为 N-S 向，南部的沉积轴线呈 NWW-SEE 向，东部的沉积轴线则呈现出 NW-SE 向。N-S 向沉积轴线与阿拉伯地盾内的南北向缝合线和阿拉伯板块的 N-S 向区域走滑断层有关，NWW-SEE 向沉积轴线的成因尚不清楚，NW-SE 向沉积轴线则与阿拉伯板块与欧亚板块的拼合有关，板块碰撞导致了前陆盆地的形成，沉积轴线是前渊走向的体现。

阿拉伯板块最西侧的沉积轴线是前寒武纪一早古生代的沉积中心，对应于 Alsharhan and Narin (1997) 的 Tabuk (泰布克) 盆地，其东侧的沉积轴线对应于 Wydian (维典) 盆地，该盆地是古生代一中生代的沉积中心。中部的沉积轴线的南段对应于西鲁卜哈利次盆，是前寒武纪一早古生代的沉积中心，其中北段则是晚古生代一中生代的沉积中心。NWW-SEE 沉积轴线对应于鲁卜哈利盆地，其西段是古生代的沉积中心，东段则为中生代—新生代的沉积中心。NW-SE 沉积轴线对应于扎格罗斯盆地，是晚白垩世—新近纪的沉积中心。

2. 构造演化控制了古隆起的形成与发育

阿拉伯板块的 N-S 向走滑断层对古隆起的形成与演化有着重要的控制作用，前寒武纪裂前期就发育的南北向走滑断裂在加里东末期（早志留纪末）和海西期末（早石炭世末），区域挤压导致这些走滑断层演化成扭压断层，结果导致 Summan、Qatar、Bulgan 和 Ghawar 古隆起的进一步隆升或者形成。这些古隆起呈现出多期发育的特征，共同的重要生长期包括海西末期、晚白垩世、新近纪等（图 2）。

烃源岩灶区内、临近灶区和优势运移通道上的古隆起是油气富集的有利场所。卡塔尔隆起、盖瓦尔隆起和布尔干隆起富集了阿拉伯板块已发现油气储量的 19.6%、13.8% 和 6.4%，远离烃源岩灶区的萨曼隆起仅聚集阿拉伯板块 0.7% 的油气储量，其西侧的未命名古隆起则尚未有油气发现。油气的这种分布与阿拉伯板块中部的构造格架密切相关，这里发育狭长的近南北向的轴状隆起和相间的坳陷，它们向北倾没于波斯湾，较难截然分开。隆起之间的坳陷在南端很明显，但向北逐渐合并，并逐渐变深。阿拉伯板块中部的这种隆坳构造格架的雏形形成于早古生代，于海西末和阿尔卑斯期（喜山期）进一步发育，隆起之上发育了大型构造圈闭并沉积了良好的储集岩，为油气聚集成藏提供了良好的圈闭和储集条件，而且由于这些隆起发育的比较早，长期处于油气运移的指向区，因此隆起之上往往形成大油气田，如诺斯气田位于卡塔尔隆起之上，盖瓦尔油田位于盖瓦尔隆起之上，布尔干油田位于布尔干隆起之上。

3. 构造演化控制了烃源岩的形成与演化

前寒武系一下寒武统烃源岩形成于走滑运动诱发的裂谷盐盆内，阿曼盆地接收裂谷期烃源岩沉积后，于古生代经历了几期构造隆升，结果是盐盆内的烃源岩未被深埋，合适的埋深导致了烃源岩的成熟与油气成藏。与之形成鲜明对比的是霍尔木兹盐盆，这些盐盆内可能亦发育了烃源岩，但现今埋深太深，烃源岩早已过成熟，因而影响了其油气远景。

下志留统热页岩形成于奥陶纪冰期后的海进期，热页岩呈“团”状分布，热页岩沉积时的冰蚀“洼地”控制了热页岩的展布范围。

侏罗系和白垩系烃源岩主要沉积于新特提斯洋被动陆架内的陆架内坳陷，这些坳陷在地质时期存在于相当长的时期（图 3），表明其发育主要受构造的控制。其成因机制主要归因于两种：差异沉积型（图 4）和差异沉降型（图 5）。

古近系烃源岩总体埋深不大，仅在扎格罗斯盆地前渊坳陷内的基尔库克凹陷

和迪兹富勒凹陷进入了生油窗，因此该套烃源岩对阿拉伯板块油气的整体贡献不大，古近系含油气系统的油气储量仅占阿拉伯板块油气总储量的 0.6%。

4. 构造演化控制了油气的富集层系

阿拉伯盆地多期封闭—半封闭海盆（陆架内坳陷）叠置发育造成多套富油气系统的叠置。自前寒武纪阿拉伯板块结晶基底克拉通化起，阿拉伯盆地开始了其漫长但却相对简单的演化历史。晚前寒武纪—早志留纪，盆地处于冈瓦纳大陆东北缘的原特提斯洋被动陆缘背景，晚志留纪—中二叠世盆地进入了古特提斯洋弧后发育阶段，到了晚二叠世，随着新特提斯洋的张开，盆地又处于了新形成的新特提斯洋的被动陆缘，这种状况一直持续至晚白垩世。自晚二叠世至晚白垩世早期盆地多期封闭-半封闭陆架内坳陷叠置发育，在中生代被动大陆边缘演化阶段，陆架内的滞留海盆地内沉积了烃源岩，而在邻近的台地边缘发育了颗粒碳酸盐岩和礁滩建造，蒸发岩和区域广布的页岩构成了区域盖层。此外，盆地发育海进期沉积的下志留统海相热页岩优质烃源岩。阿拉伯盆地占据了阿拉伯板块油气总储量的 78%。阿拉伯盆地上侏罗统和下白垩统占石油储量的 79%，上二叠统占盆地天然气储量的 71%。

扎格罗斯前陆盆地主要储层发育于新生界。扎格罗斯盆地是阿拉伯地台在新生界形成的周缘前陆盆地。自晚白垩世开始，板块边界从被动大陆边缘转换成活动大陆边缘，古新世至始新世末期，沿着阿拉伯板块的东缘发育了快速沉降的前陆盆地即扎格罗斯前陆盆地。随着非洲—阿拉伯板块持续的北东向俯冲，新特提斯洋逐渐闭合，中新世时，非洲—阿拉伯板块与欧亚板块发生碰撞，新特提斯洋消亡。新近纪的造山运动和褶皱作用在上白垩统—始新统致密岩石中形成了大量的微裂缝，这些微裂缝将中—上白垩统、渐新统—中新统阿斯马里石灰岩储集层与中白垩统烃源岩层连通起来，从而先期聚集于白垩系储集层中的油气和后期烃源岩继续排出的油气，在垂直运移机制下陆续进入阿斯马里组储集层，在同期背斜圈闭中聚集成藏，这种运移和成藏过程至今仍在进行。因此，第三系构成了扎格罗斯盆地最重要的油气富集层系。

阿曼盆地是前寒武纪—早寒武世裂谷型含盐盆地。晚前寒武纪—早寒武世的裂谷作用局限于海湾地区和阿曼地区，结果在这些地区发育了盐盆。海湾地区的盐盆因埋深较大，知之的甚少。阿曼盆地，盐盆的埋深一般小于 5000m，油气勘探和研究表明结晶基底之上沉积了前寒武系—下寒武统侯格夫群，该群富含有机

质，是阿曼最重要的烃源岩层序，阿曼盆地已发现油气储量的 73%源自这套烃源岩。这套古老烃源岩在阿曼盆地的发育造成了阿曼盆地的前寒武系和下古生界成为了该盆地的主要油气富集层系之一，而在阿拉伯盆地和扎格罗斯盆地，这套古老的烃源岩不发育，结果前寒武系和下古生界储集层没有或仅有少量的油气聚集。

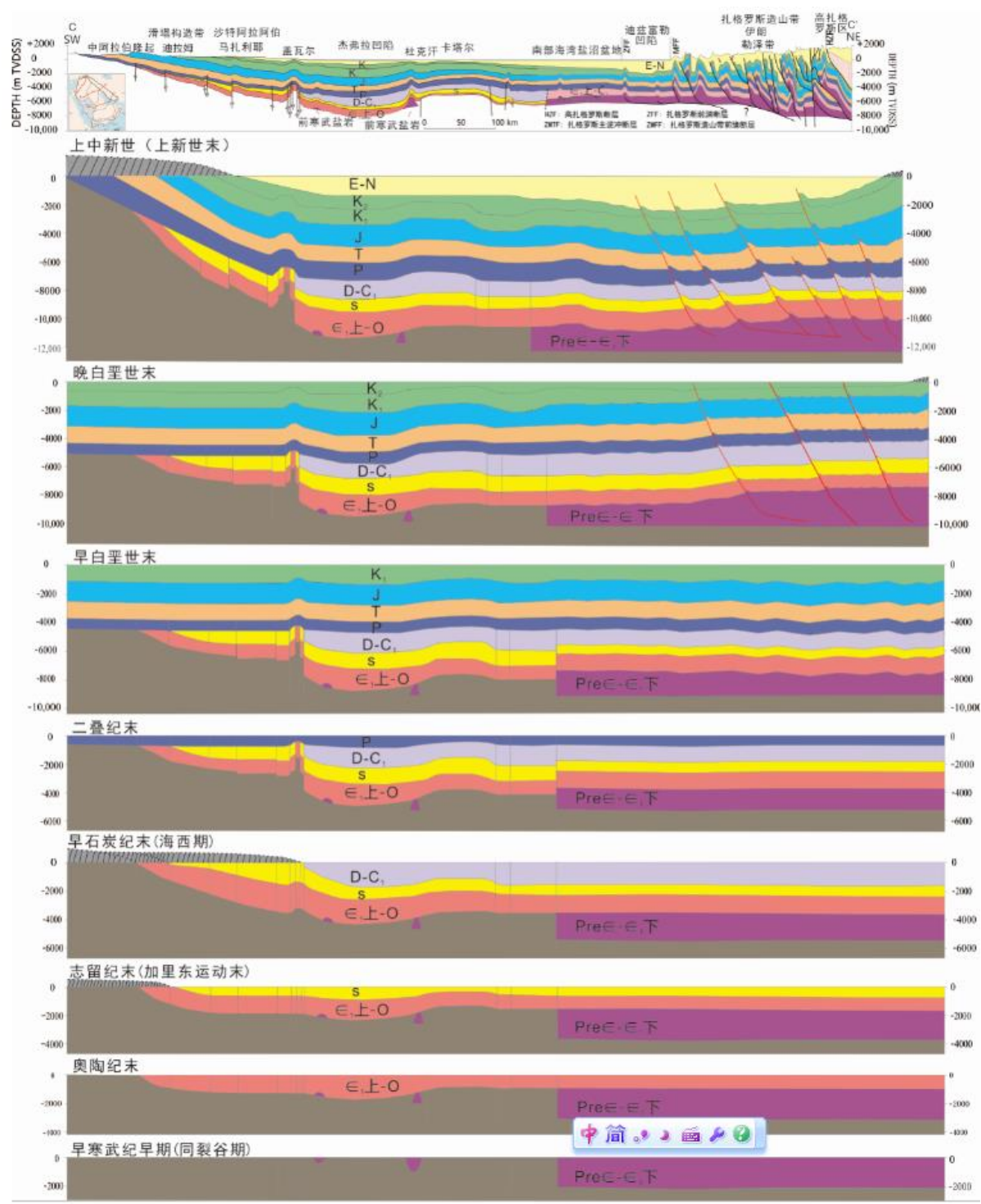


图 2 阿拉伯板块 C-C 区域剖面演化史图

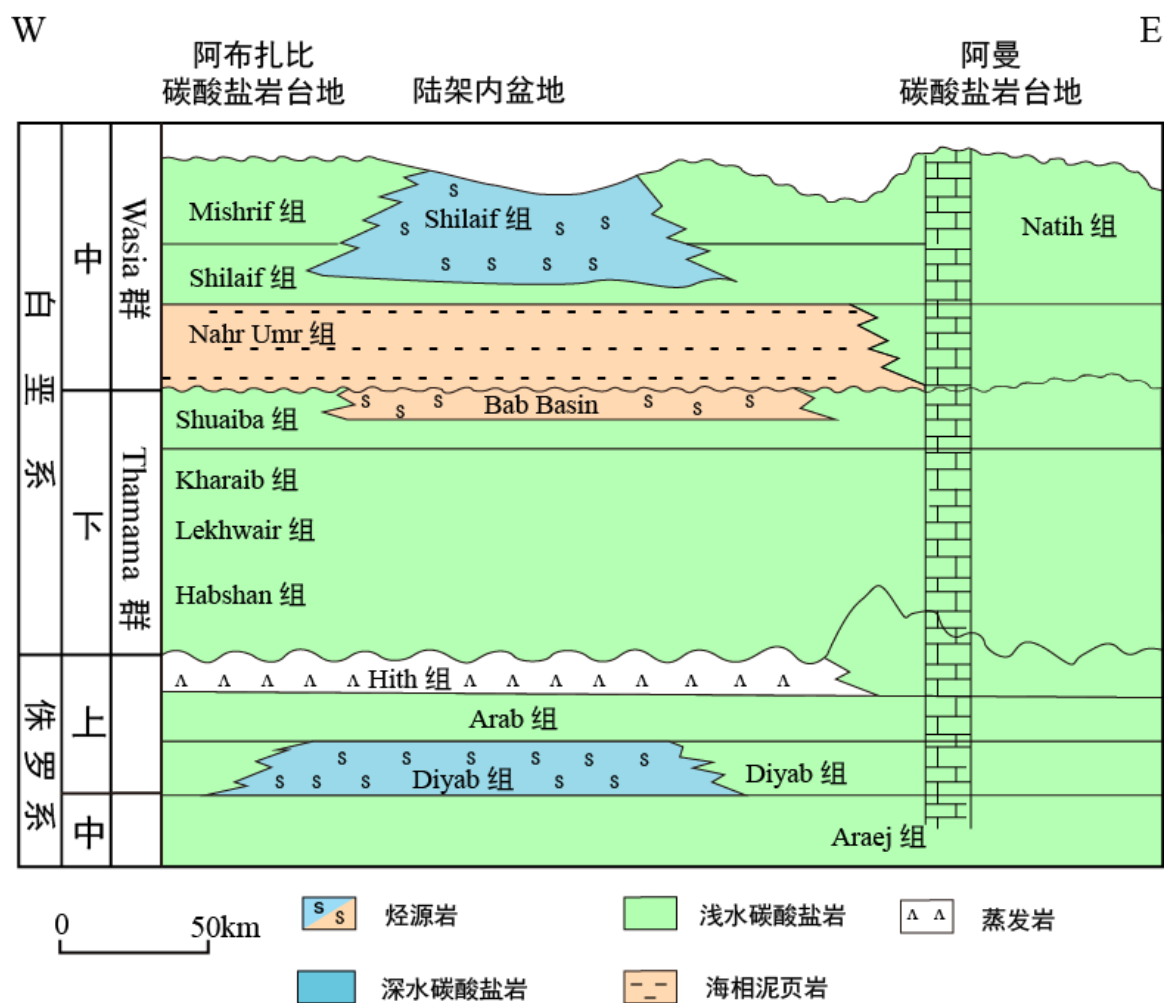


图 3 阿拉伯板块陆架内盆地相烃源岩发育演化模式图(据 Van Buchem et al., 2002; 有修改)

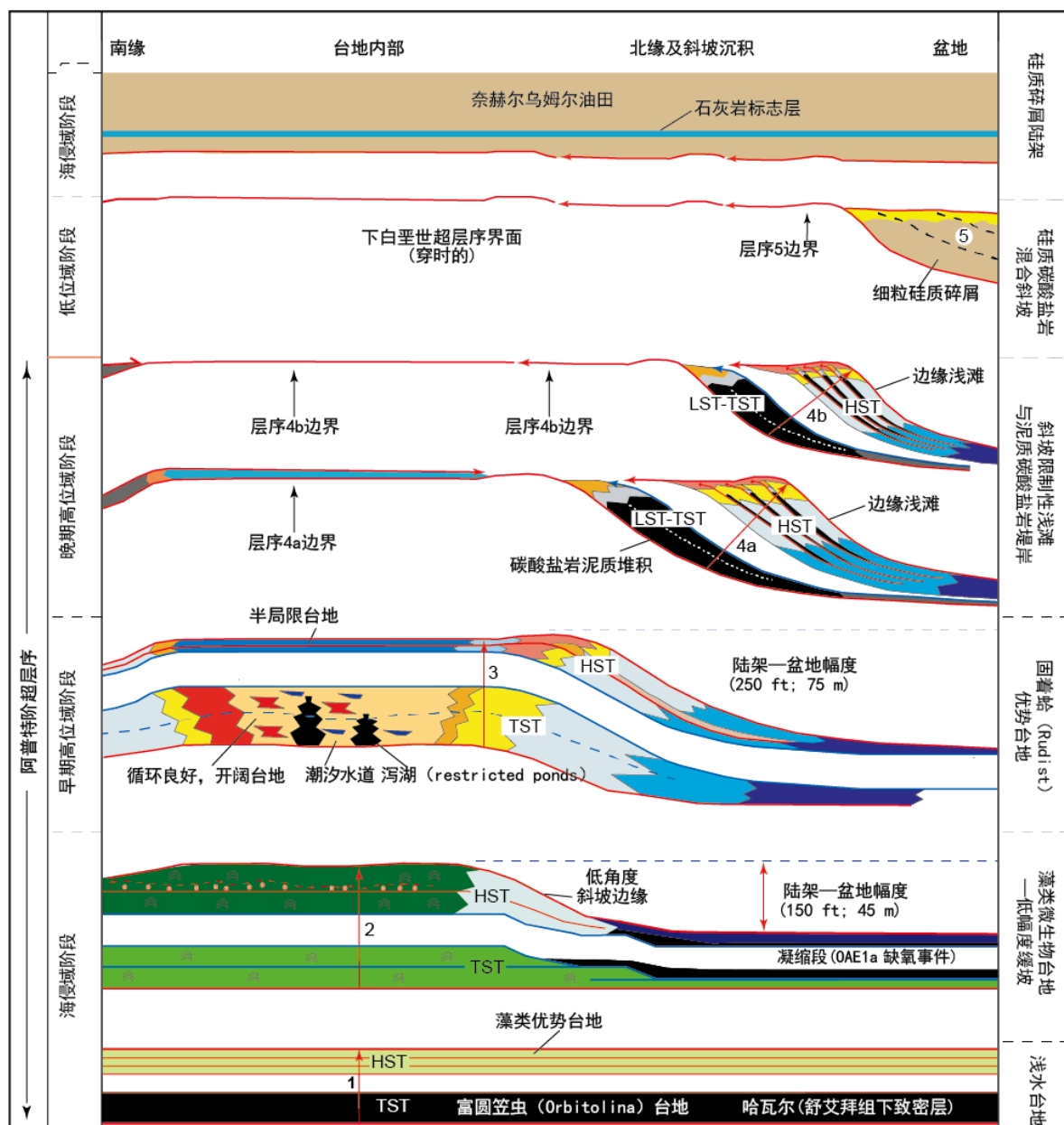


图 4 下白垩统阿普特阶 Shu'aiba 组层序地层发育模式图，该图显示了陆架内坳陷因差异沉积而形成（据 Yose, 2010）

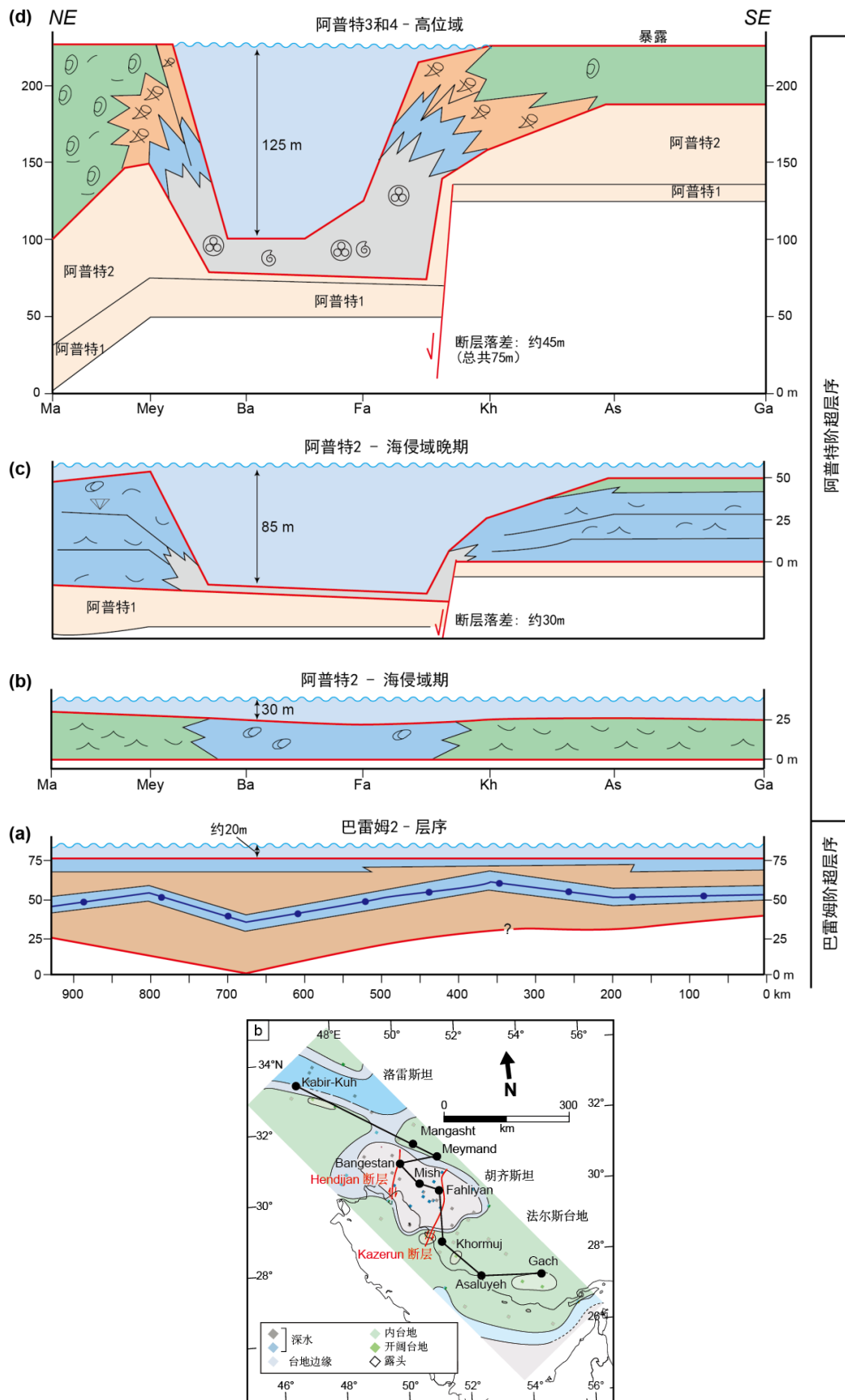


图 5 下白垩统阿普特阶层序地层演化史图，该图显示了陆架内坳陷因断层活动而形成
(据 Yose, 2010)