

文章编号: 0253-9985(2007)05-0653-11

# 塔里木盆地多旋回构造演化与复合含油气系统

张光亚, 赵文智, 王红军, 李洪辉, 刘磊

(中国石油勘探开发研究院, 北京 100083)

**摘要:** 塔里木克拉通多旋回构造演化控制了塔里木叠合盆地的形成及石油地质条件和复合含油气系统特征, 进而决定了油气的分布和资源潜力。受古亚洲构造域和特提斯构造域演化控制, 塔里木盆地经历了 3 个伸展-聚敛旋回、6 个演化阶段, 发育了多期不同类型的原型盆地, 其间还发生了加里东晚期、海西早期、海西末期、印支期、燕山晚期和喜马拉雅晚期 6 次规模较大的构造运动, 使先前形成的盆地遭受隆升、剥蚀、褶皱、断裂等改造作用。经历多旋回构造演化形成的塔里木叠合盆地, 具有发育多套烃源岩和多个生烃灶, 有多类储集层和多套储盖组合, 多期生烃与成藏及多期调整、改造乃至破坏等油气地质特征。按照生烃灶分布及其所形成的油气藏关系, 可以划分出 10 个复合含油气系统。古生界含油气系统有加里东晚期-海西早期、海西晚期和喜马拉雅期 3 个关键时刻, 不同关键时刻油气系统内的油气分布受有效生烃灶和古隆起匹配关系控制, 多期油气系统叠加最终控制油气的分布。

**关键词:** 多旋回演化; 复合含油气系统; 克拉通盆地; 前陆盆地; 塔里木盆地

**中图分类号:** TE111.1 **文献标识码:** A

## Multicycle tectonic evolution and composite petroleum systems in the Tarim Basin

Zhang Guangya, Zhao Wenzhi, Wang Hongjun, Li Honghui, Liu Lei

(Research Institute of Petroleum Exploration &amp; Development PetroChina, Beijing 100083, China)

**Abstract** The multicycle tectonic evolution of Tarim craton controls the formation of superimposed the Tarim Basin, petroleum-geology conditions as well as the features of composite petroleum system, thus determines hydrocarbon distribution and resources potential in the basin. Dominated by the evolution of Paleo-Asian tectonic domain and Tethyan tectonic domain, the basin experienced three extensional-compressional cycles which can be divided into six phases with various prototype basins. Affected by 6 large-scale tectonic movements including Caledonian, early Hercynian, latest Hercynian, Indosinian, Yanshan, and Himalayan, these prototype basins were reshaped by uplifting, denudation, folding and faulting. The Tarim Basin have the following geologic characteristics: many sets of source rocks, several hydrocarbon kitchens, various types of reservoirs, multiply of reservoir-cap rock combinations and multistage hydrocarbon generation and accumulation, as well as multiphase adjustment, reforming and destruction. According to the distribution of the hydrocarbon kitchens and their relation with reservoirs containing hydrocarbon generated by them, 10 composite petroleum systems can be recognized in the basin. The Palaeozoic petroleum system has the following three critical periods: Late Caledonian-early Hercynian, late Hercynian and Himalayan. The hydrocarbon distribution of the petroleum system in each critical period is controlled by the relationships between the hydrocarbon kitchens and paleohighs, and finalized by the superposition of multistage petroleum systems.

**Key words** multicycle tectonic evolution; composite petroleum system; craton basin; foreland basin; Tarim Basin

收稿日期: 2007-07-13

第一作者简介: 张光亚 (1962-), 男, 博士, 含油气盆地分析、石油地质综合研究与评价

基金项目: 国家自然科学基金项目 (49602033)

塔里木盆地面积  $56 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 具有前震旦系克拉通结晶基底, 震旦系—第四系沉积层序发育齐全, 最大厚度 16 000 m, 是一个经历了兴凯、加里东、海西、印支、燕山和喜马拉雅多旋回构造演化, 由多期、多类盆地组成的大型叠合盆地。

塔里木盆地处在古亚洲构造域和特提斯构造域之间, 古生代时期属于古亚洲构造域, 处在冈瓦那大陆北部边缘, 中、新生代处在特提斯构造域北缘, 相继受特提斯洋和印度洋两个动力体系控制<sup>[1]</sup>。受所处大地构造背景控制, 塔里木盆地经历了多旋回构造演化, 在不同构造演化阶段分别发育了不同类型的原型盆地, 总体上是在震旦纪—古生代海相克拉通盆地之上叠合了中、新生代陆相前陆—陆内拗陷盆地, 喜马拉雅造山运动刻画了其最新的构造—地貌形态。由于塔里木克拉通块体规模相对较小, 周边构造活动期次多、活动性强, 使得塔里木板块构造稳定性较差, 造成相互叠合的不同时期的盆地之间发生一系列重大的构造变格运动, 早期发育的原型盆地面貌及结构普遍受到后期构造运动的叠加和改造<sup>[2~6]</sup>。

塔里木盆地多旋回构造演化形成的叠合盆地, 不仅具有独特的油气成藏条件, 如发育多套烃源岩和多个生烃灶、有多类储集层和多套储盖组合、多期生烃与多期成藏, 更重要的是较早发育的盆地在经历多期叠加与改造后盆地面貌和结构发生很大变化, 早期形成的油气藏经受多期次调整、改造与破坏<sup>[7~9]</sup>。基于“源控论”已难以预测其所在的位置, 盆地出现多个含油气系统叠置、交叉、串通与油气混聚的现象, 简单含油气系统概念已不适用于这种复杂含油气系统的划分与评价, 需采用复合含油气系统的概念和方法进行研究<sup>[10~11]</sup>。

本文将以塔里木盆地多旋回构造演化及其对叠合盆地石油地质条件和成藏的控制作用为主线, 探讨塔里木叠合盆地复合含油气系统特征与油气分布规律。

## 1 塔里木盆地多旋回构造演化

### 1.1 大地构造背景

塔里木板块(克拉通, 地台)多旋回构造演化及叠合盆地形成与其所处的大地构造背景密切相关。塔里木板块的北界在南天山北缘北侧, 它与

西伯利亚板块之间的中亚构造域是古生代大陆岩石圈板块碰撞造山形成的古中亚复合巨型缝合带<sup>[12]</sup>或称古亚洲造山区<sup>[1]</sup>; 南界为康西瓦缝合带和阿尔金断裂带, 它与印度板块之间为特提斯构造域或特提斯造山区, 是随原特提斯洋、古特提斯洋及新特提斯洋演化, 地块拼贴、增生而形成的拼贴体。

塔里木板块具有前震旦系结晶变质基底, 克拉通化约在 750~800 Ma 是中国人陆内为数不多的几个前寒武纪小型克拉通(地台)之一<sup>[13]</sup>。塔里木板块南、北两侧的特提斯构造域、中亚构造域板块或地块的离散、聚敛作用控制着塔里木盆地的形成与演化。古生代, 塔里木克拉通属古亚洲构造域。寒武纪开始, 塔里木克拉通以北发育古生代亚洲洋, 塔里木板块周边形成天山—北山、昆仑—祁连—秦岭等小洋盆; 至早古生代末期, 这些小洋盆闭合形成加里东造山带。晚古生代, 塔里木板块之北的乌拉尔—南天山洋于早石炭世和二叠纪先后闭合, 形成海西造山带; 塔里木板块之南的昆仑—秦岭地区早期发育裂陷槽, 到早二叠世末闭合形成海西晚期造山带。至此, 古亚洲大陆形成。中、新生代, 塔里木盆地演化受特提斯构造域控制。海西期造山后, 特提斯开始打开, 在中国西南部形成结构复杂的海洋; 到中、晚三叠世, 特提斯开始消减; 三叠纪晚期到侏罗纪初期, 形成昆仑—秦岭等印支造山带; 晚白垩世以来, 特提斯最后封闭, 形成喜马拉雅造山带和中国西部新生代复活山系。

### 1.2 原型盆地

#### 1.2.1 3个旋回 6个演化阶段

震旦纪—显生宙以来, 塔里木盆地经历了三大构造演化旋回, 即震旦纪—泥盆纪的伸展—聚敛构造旋回、石炭纪—三叠纪的伸展—聚敛构造旋回与中—新生代的陆内弱伸展—挤压变形构造旋回(图 1)。其中, 可进一步划分为 6 个演化阶段: 震旦纪—早奥陶世的拉张伸展盆地阶段, 盆地发育在前震旦系结晶变质基底之上; ④中、晚奥陶世—泥盆纪的挤压挠曲盆地阶段; ⑤石炭纪—早二叠世的区域伸展—弧后裂陷盆地阶段; ⑥晚二叠世—三叠纪的前陆盆地阶段; 侏罗纪—古近纪的陆内弱伸展拗陷盆地阶段; 新近纪—第四纪的再生前陆盆地阶段。

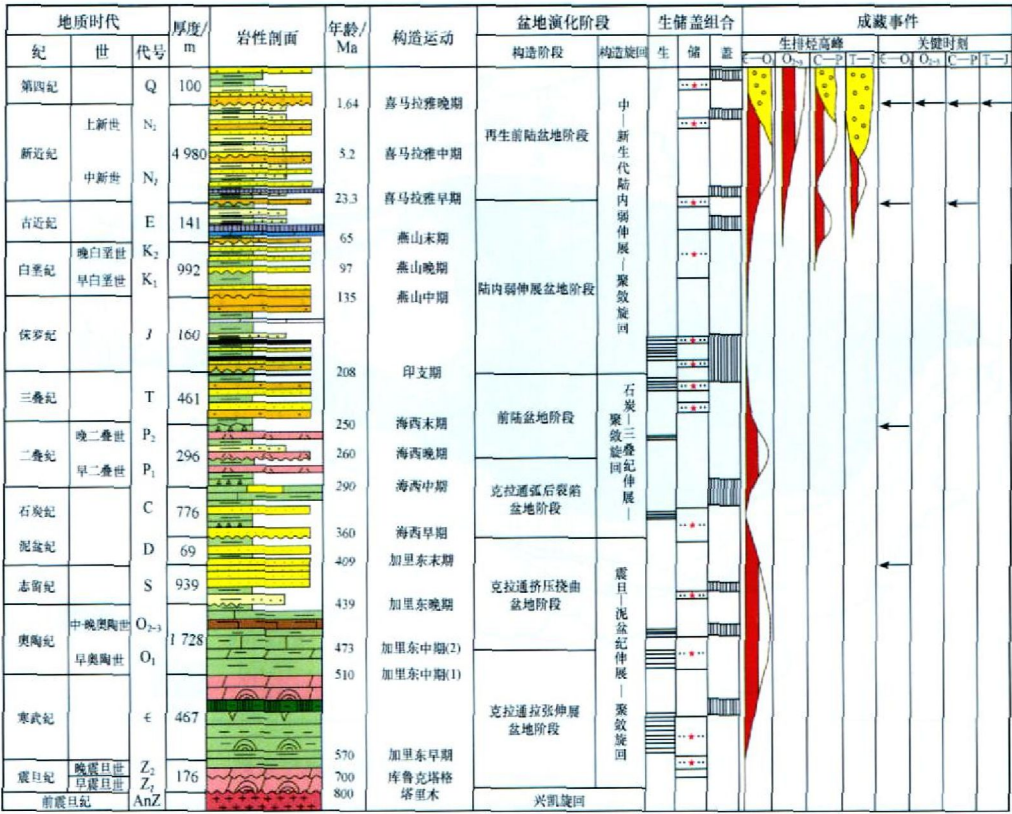


图 1 塔里木盆地多旋回构造演化与成藏事件的关系

Fig. 1 Relationship between multicycle tectonic evolution and hydrocarbon accumulation events in the Tarim Basin

1.2.2 原型盆地

在不同的盆地演化阶段,发育了多种类型的原型盆地。这些盆地在后来的构造演化中,有些由于造山作用而发生反转褶皱成为造山带的一部分,难以恢复其原始的面貌,如大洋盆地、残留洋盆地、裂陷槽盆地;有些则被上覆盆地叠加、改造,如克拉通内坳陷盆地、克拉通边缘坳陷盆地及前陆盆地等。

震旦纪一早奥陶世,前震旦纪末形成的新疆古克拉通<sup>[14]</sup>由于岩石圈区域伸展作用而裂解,在塔里木克拉通周边形成裂陷槽盆地、大洋盆地。如在塔里木克拉通北缘,随伊犁、中天山地块的裂解、漂离,南天山地区经历了从裂陷槽盆地到大洋盆地的演化;在西南缘,随中昆仑地块裂离塔里木板块,西北昆仑裂陷槽演化为西北昆仑洋;在东南缘,早古生代原特提斯洋可能在东昆仑中央断裂带发育,阿尔金断裂带可能于寒武纪晚期发育裂陷槽;东北缘,库鲁克塔格地区从早震旦世开始发育裂陷槽盆地。在克拉通主体部位,由于岩石圈伸展减薄及热沉降,在东、西部分别形成了克拉通

边缘坳陷盆地和克拉通内坳陷盆地,发育欠补偿盆地相、碳酸盐岩台地相、台地斜坡和台地边缘沉积(图 2)。

早奥陶世末加里东中期运动以后,在中、晚奥陶世至志留-泥盆纪,塔里木克拉通周围的大洋盆地、裂陷槽盆地开始闭合,发育残留洋盆地、前陆盆地。塔里木克拉通主体处于挤压聚敛构造环境,形成克拉通内挠曲坳陷盆地及其周围的克拉通边缘隆起。早期的欠补偿盆地相被超补偿复理石相所替代,早期的碳酸盐岩台地相也演化为混积陆棚相和局限台地相(图 3)。至泥盆纪末海西早期运动时,塔里木板块周围的洋盆闭合,结束了显生宙以来塔里木盆地的第一个伸展-聚敛演化旋回。

石炭纪一早二叠世,塔里木克拉通盆地进入第二个伸展-聚敛演化旋回。石炭纪,古特提斯洋、北天山洋张开。随后到早二叠世,北天山洋、古特提斯洋分别在南、北向塔里木板块俯冲,导致板块内部伸展、裂陷。在早期区域拉张和晚期弧后拉张作用下,塔里木克拉通周边形成了伊犁、北山、南天山等裂陷槽盆地。塔里木克拉通主体东

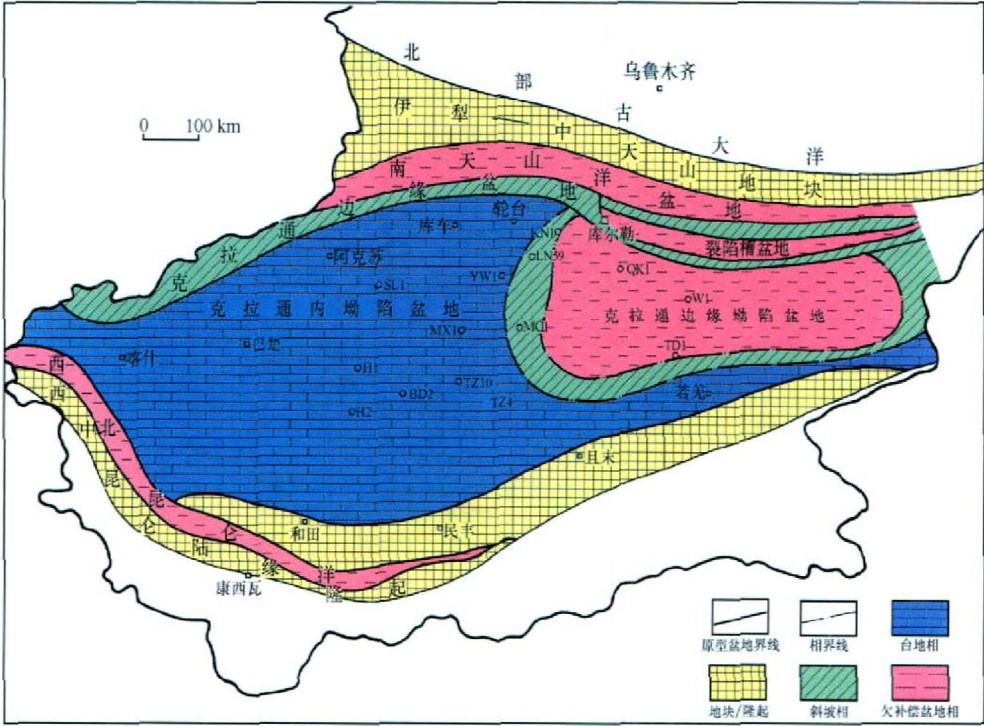


图 2 塔里木盆地及周缘寒武纪古构造环境与原型盆地

Fig. 2 The Cambrian paleo-tectonic environment and prototype basins in the Tarim Basin and its surrounding areas

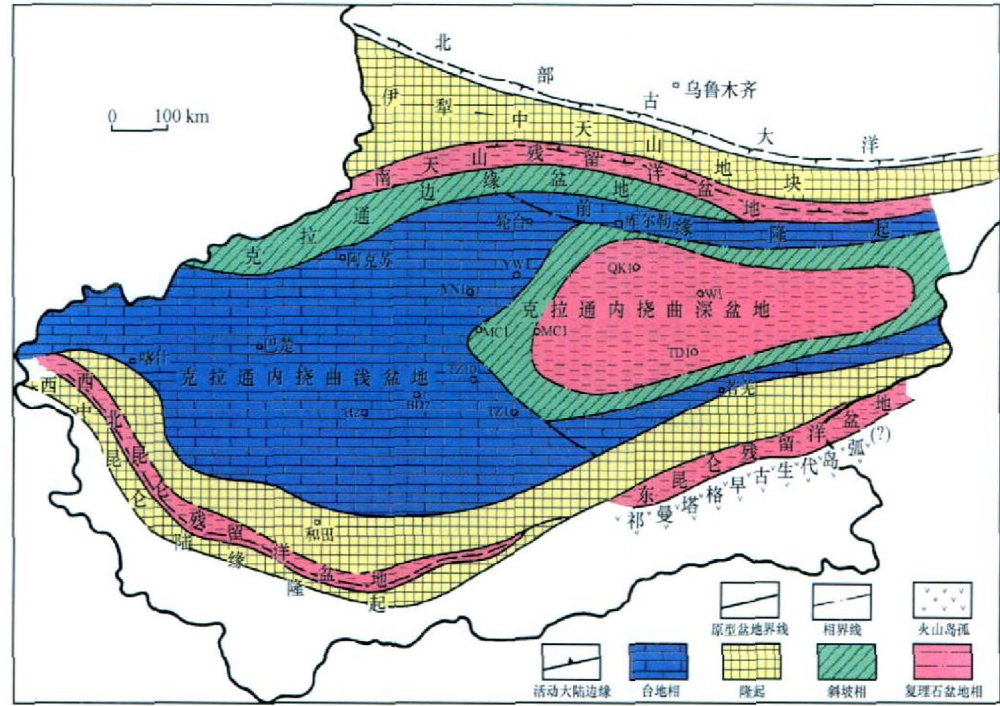


图 3 塔里木盆地及周缘中奥陶世古构造环境与原型盆地

Fig. 3 The Middle Ordovician paleo-tectonic environment and prototype basins in the Tarim Basin and its surrounding areas

部发育半环形古隆起,在隆起的西、西南方向发育克拉通内盆地潮坪相、潟湖相及台地相沉积,在接近西昆仑造山带部位可能发育克拉通边缘坳陷盆地台地斜坡-盆地相沉积(图 4)。早二叠世早期,

塔里木克拉通还广泛发育陆内裂谷型玄武岩。  
早二叠世末晚海西运动期间,古特提斯洋和南天山窄大洋-裂陷槽闭合,天山、昆仑山造山带形成,海水退出塔里木盆地并进入挤压挠曲构造

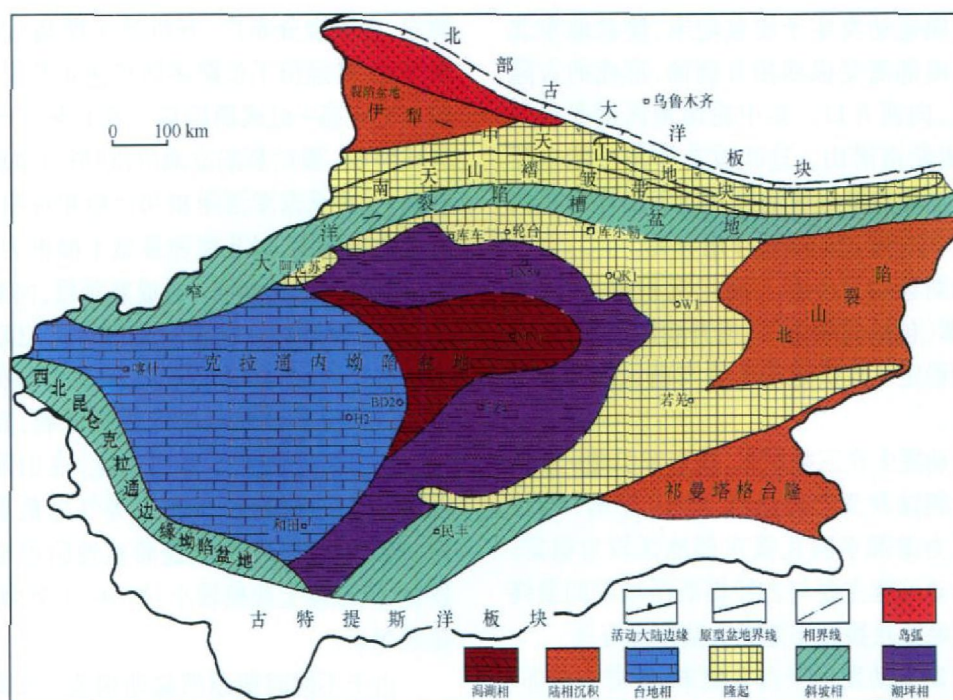


图 4 塔里木盆地及周缘石炭纪古构造环境与原型盆地

Fig. 4 The Carboniferous paleo-tectonic environment and prototype basins in the Tarim Basin and its surrounding areas

环境。晚二叠世—三叠纪, 分别在南天山南缘山前和克拉通腹部形成前陆盆地和克拉通内挠曲拗陷盆地, 以冲积扇、扇三角洲、河流三角洲、湖泊相沉积为主。至此, 塔里木盆地伸展—聚敛演化的第二个旋回结束。

侏罗纪—古近纪, 塔里木盆地处在造山带围限之中, 受新特提斯洋周期性伸展张裂、大陆板块内部均衡调整以及岩石圈冷却的影响<sup>[15]</sup>, 总体处于陆内弱伸展构造环境, 其间由于羌塘、拉萨地块拼贴于亚洲大陆南缘, 盆地发生区域性抬升剥蚀。侏罗纪, 受特提斯洋扩展的影响, 在弱伸展状态下, 在盆山结合处和克拉通内拗陷等汇水部位形成了库车、塔西南及满加尔等沉积区, 以湖泊、沼泽相为主。白垩纪基本继承了侏罗纪的构造背景。早白垩世, 分别在库车—满加尔地区和塔西南地区形成河流、三角洲和湖泊相沉积, 是优质储层发育的重要时期; 晚白垩世, 塔西南地区可能与特提斯洋连通, 发育碳酸盐岩、碎屑岩和膏泥岩等沉积。新近纪, 塔里木盆地受周围造山带隆升的影响而全面沉降接受沉积, 在盆地边缘山前地带形成一系列较深的沉降中心。特提斯洋海水自塔西南向东侵漫, 占据塔里木盆地的西部, 发育了滨浅海—局限台地相沉积, 其中发育了良好的膏盐岩和膏泥岩盖层。

新近纪以来, 随印度板块与欧亚大陆碰撞及其楔入的远程效应, 塔里木盆地周边造山带强烈隆升, 盆地则整体强烈下沉, 接受巨厚的磨拉石沉积。与此同时, 山前褶皱—冲断带形成, 盆地腹部也发生不同方式的调整。

### 1.3 盆地改造

显生宙以来, 塔里木盆地主要发生了 6 期跨重大构造期的区域性构造运动: 加里东晚期运动; ④海西早期运动; ④海西末期运动; 印支运动; 燕山末期运动; 喜马拉雅晚期运动 (图 1)。这些构造运动可发生在不同构造旋回之间, 也可伴随盆地构造性质的变化而发生, 与周边板块构造作用方式、方向变化等有关。这些构造运动使早期发育的原型盆地发生抬升剥蚀、断裂及褶皱变形, 对于早期的油气聚集具有调整、改造和破坏作用。

加里东晚期构造运动起因于西北昆仑洋向西中昆仑岛弧的俯冲, 西中昆仑岛弧与塔里木板块碰撞, 造成塔西南、巴楚东部至塔中地区强烈隆升和剥蚀。隆起最高部位在西南拗陷近昆仑山前和塔中凸起主坳带, 中、上奥陶统全部剥蚀殆尽, 出露下奥陶统。该期构造运动使塔北隆起遭受轻微剥蚀。

海西早期运动发生于泥盆纪末,使盆地东北部、东部、东南部遭受强烈抬升剥蚀,形成的古隆起呈半环状,向西开口。其中轮南地区遭受最强烈剥蚀,形成轮南潜山。这次改造作用可能主要与东中昆仑洋强烈聚敛活动以及南天山洋自东向西“剪刀式”闭合造成的挤压作用有关。

海西末期运动发生在三叠纪沉积前,盆地东北部、西北部(包括柯坪地区)抬升剥蚀最强烈,塔中地区最为稳定。这次运动主要与南天山洋的最终闭合有关。

印支运动发生在三叠纪末,塔东和巴楚-塔西南地区隆升剥蚀及变形最强烈,塔中、轮南-哈拉哈塘-英买力南部至阿瓦提东部地区较为稳定。这次构造运动可能主要与古特提斯洋东段的最终闭合以及羌塘地块拼贴于亚洲大陆南缘有关。

燕山末期运动发生于白垩纪末,使塔中西部、阿瓦提西部及整个塔西南-巴楚地区遭受强烈抬升剥蚀。这次构造运动可能与拉萨地块拼贴于亚洲大陆南缘,塔里木盆地周围山脉复合并向盆地内部挤压、逆冲有关。

塔里木盆地多旋回盆地叠置发育及多期叠加改造,铸就了其现今“三隆四坳”的构造格局,包括塔北隆起、中央隆起、塔南隆起、库车坳陷、北部坳陷、西南坳陷与塔东南坳陷等构造单元。

## 2 多旋回叠合盆地石油地质特征

塔里木盆地多旋回构造演化及叠合盆地的形成决定了其具有独特的油气地质条件,包括发育多套烃源岩和多个生烃灶、有多类储集层和多套储盖组合、多期生烃和多期成藏及油气藏多期调整、改造与破坏。

### 2.1 多旋回盆地发育多套烃源岩和多个生烃灶

塔里木盆地发育寒武系-下奥陶统、中-上奥陶统、石炭系-下二叠统、三叠系、侏罗系等多套烃源岩,其分布具有多源复合叠加的特征。

塔里木盆地经历了从拉张伸展作用开始至挤压挠曲结束 3 个大的构造演化旋回,烃源岩一般主要发育在伸展盆地阶段(图 1)。在震旦纪一早奥陶世拉张伸展盆地阶段,塔里木盆地东、西部分别发育了寒武系以及下奥陶统克拉通边缘坳陷欠补偿盆地相烃源岩和克拉通内坳陷咸化静海相烃

源岩,烃源岩分布广、有机质丰度高、以 iv 型干酪根为主,其经历了长期多期热演化和生烃过程,目前多处在高-过成熟阶段。在石炭纪一早二叠世区域伸展-弧后裂陷盆地阶段,塔西南地区发育了石炭、二叠系滨岸沼泽相和台地相烃源岩,烃源岩有机质丰度高、以 ①型和 ②型干酪根为主,在昆仑山前深坳陷区达到高-过成熟阶段,向麦盖提斜坡为低-成熟阶段。在侏罗纪-古近纪陆内弱伸展坳陷盆地阶段,分别在库车、塔西南和英吉苏等地区发育了侏罗系湖沼相煤系烃源岩,烃源岩厚度大、丰度高、以 ③型干酪根为主,在山前地带多处在高-过成熟阶段,是库车等气区最重要的气源岩。除此之外,在挤压挠曲盆地阶段也有烃源岩发育,但总体上规模较小,如中-上奥陶统、上三叠统烃源岩。

由于不同时期原型盆地构造-沉积格局的差异,上述几套烃源岩空间分布位置不尽相同,故可形成多个不同的生烃灶(图 5)。同时,即使同一套烃源岩,由于分期、分块成熟,有效生烃灶位置也在不断发生变化,故形成了多个生烃灶,如寒武系烃源岩有加里东晚期-海西早期、海西晚期以及喜马拉雅期 3 个生烃高峰,3 个时期烃源灶的有效分布区、产物类型均有差异(图 6)。

### 2.2 多旋回演化形成多类储集体与多套储盖组合

塔里木盆地是由震旦系-古生界海相盆地与中-新生界陆相盆地叠合而成的,因此主要发育了寒武系、奥陶系、石炭系海相碳酸盐岩,志留系、石炭系海相砂岩和三叠系、侏罗系、白垩系、古近系、新近系陆相砂岩储层(图 1)。

寒武系、奥陶系海相碳酸盐岩储层是塔北、塔中、巴楚及塔东等隆起区重要的含油气层系。目前发现的储层主要是岩溶风化壳型,其次是礁滩相颗粒灰岩;以裂缝-孔洞型和复合型储层为主,其次为裂缝型和裂缝-孔隙型储层。这些储层在纵向上和横向上均具有很强的非均质性<sup>[16]</sup>。

志留系为一套滨岸、滨外陆棚相沉积,由于受到强烈成岩作用的影响,物性一般较差,孔隙度一般为 5%~15%,渗透率为  $0.1 \times 10^{-3} \sim 30 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

石炭系发育海相碳酸盐岩和砂岩储层,自下而上主要包括东河砂岩、巴楚组生屑灰岩和小海

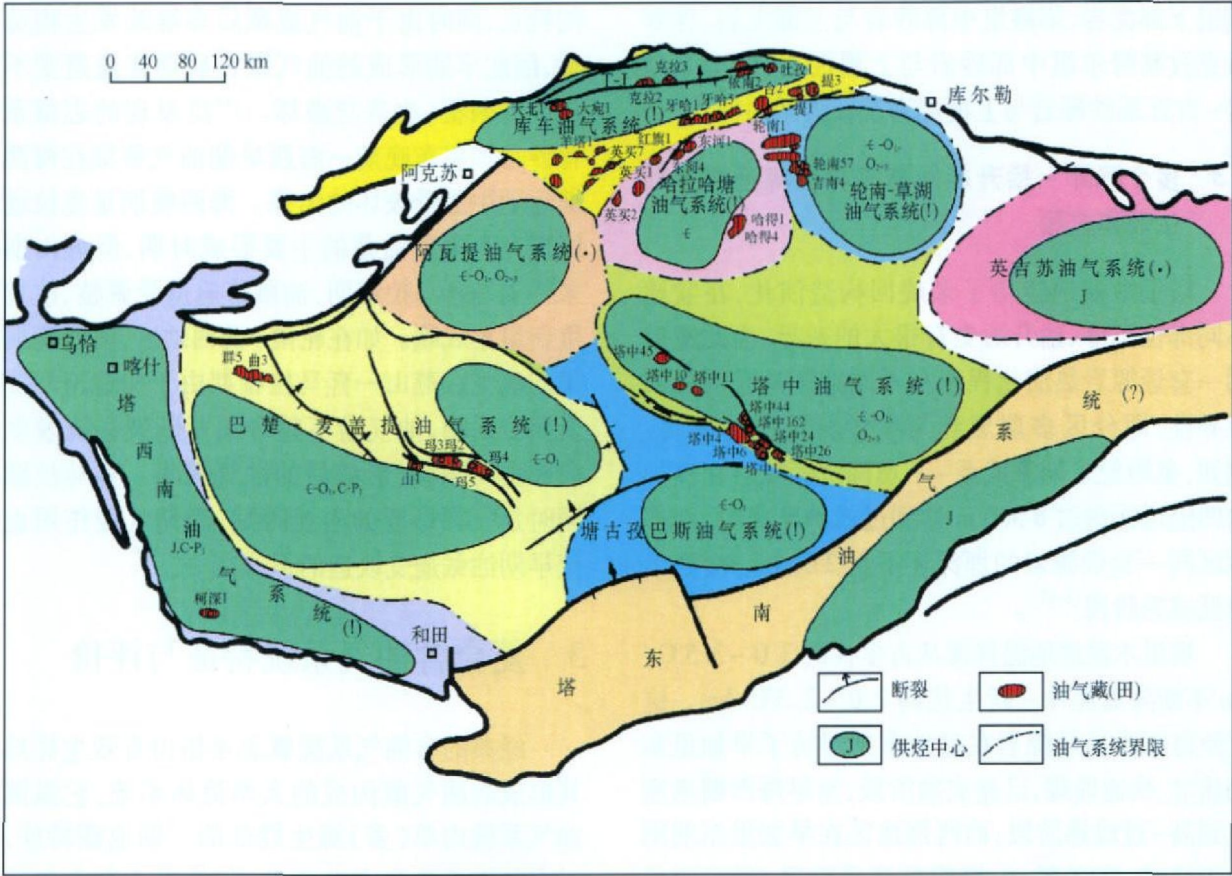


图 5 塔里木盆地含油气系统划分

Fig. 5 Division of petroleum systems in the Tarim Basin

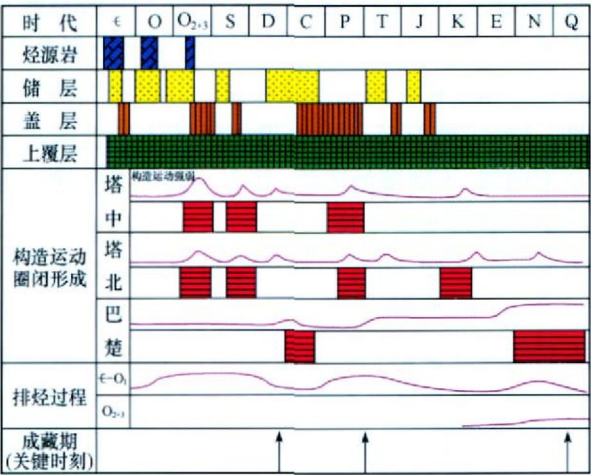


图 6 塔里木盆地古生界复合含油气系统事件

Fig. 6 Events of the Palaeozoic composite petroleum systems in the Tarim Basin

子组灰岩 3 个层段。其中小海子组和生屑灰岩段为碳酸盐岩储层,属浅海台地相-台地边缘相沉积,在溶蚀作用、白云岩化和构造裂缝发育的情况下可形成较好储层。东河砂岩是石炭系最好的一套储层,厚数十米至 100 余米,最厚达 210 m。这套储层主要为滨海相沉积,成分和结构成熟度均

较高,因而具有较好的储集条件,孔隙度一般为 12% ~ 22%,渗透率为  $10 \times 10^{-3} \sim 250 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

三叠-侏罗系为一套陆相碎屑岩储层。在塔北隆起,这套储层总体具有高孔、高渗的特点,孔隙度一般为 15% ~ 24%,渗透率为  $50 \times 10^{-3} \sim 500 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。储层物性随相带变化较大。砂体成因类型有辫状河三角洲砂体、扇三角洲砂体、河流砂体以及滨浅湖砂坝砂体。

白垩系为陆相红色碎屑岩储层,主要分布于库车、塔西南等前陆盆地区,是克拉 2 等大气田的主要储层。古近系和新近系储层主要为碎屑岩,其次白云岩,主要分布在库车、塔西南和塔北地区。

塔里木盆地发育多套储盖组合,含油气层系多。古生界海相层序包括 7 套储盖组合,主要分布在克拉通地区,即寒武系内幕、奥陶系内幕、奥陶系岩溶风化壳储层与上覆泥岩、志留系内部、东河砂岩与下泥岩段、生屑灰岩段储层与上覆泥岩段及小海子灰岩段;中-新生界陆相储盖组合主要有 6 套,多发育在前陆地区,在克拉通地区也有分布,包括三叠系内部、侏罗系下部阿合组砂岩与阳

霞组下部泥岩、阳霞组中部砂岩与上部泥岩、侏罗系克孜勒努尔组中部砂岩与上覆泥岩、白垩系砂岩-古近系砂砾岩与上覆泥岩及新近系内部。

## 2.3 多个沉降-抬升旋回与差异沉降造成多期生烃和成藏

塔里木盆地经历了多旋回构造演化,在盆地不同部位沉降、抬升历史有很大的差异,由此造成同一套烃源岩热演化程度在不同地区具有明显的差异性,即分区多期成熟与生烃特征十分明显。例如,奥陶纪末期寒武系-下奥陶统烃源岩在满加尔凹陷埋深超过 8 500 m 达到过成熟阶段时,西部地区同一套烃源岩的埋深还不足 2 000 m,尚处于较低成熟阶段<sup>[8 17]</sup>。

塔里木盆地地温梯度从古生代的 3.0~3.5℃/km 不断降低至中-新生代的 2.0~2.3℃/km。这就使得寒武系烃源岩在盆地东部经历了早加里东期热盆、快速埋藏、迅速成熟阶段,至早海西期迅速达到高-过成熟阶段;而西部地区在早加里东期则处于热盆、浅埋藏、生烃明显滞后阶段,到海西早期埋藏达到一定深度后开始成熟,至喜马拉雅期在冷盆、快速埋藏条件下才进入完全成熟阶段。

由于构造演化的多旋回性、隆升-沉降历史的地域差异性以及盆地古地温史的变化,塔里木盆地烃源岩生烃历史很长,并具有多个生、排烃高峰(图 1)。以寒武系烃源岩为例,它具有加里东晚期-海西早期、海西晚期和喜马拉雅期 3 个生、排烃高峰。中-上奥陶统、石炭-二叠系和三叠-侏罗系等几套烃源岩生烃高峰均在喜马拉雅期。

可以看出,烃源岩生、排烃高峰一般出现在构造旋回的晚期,即最大变格运动之前,这一时期是盆地沉降的鼎盛时期,如海西早期运动之前的中、晚奥陶世-志留纪、海西末期运动之前的二叠纪以及喜马拉雅晚期运动之前的新近纪。该时期同时是克拉通地区古隆起发育或山前冲断带发育的主要时期,二者可构成较好的匹配关系,有利于多期油气藏的形成。如在库车前陆区,新近纪快速沉降、生烃高峰与构造变形和圈闭发育几乎在同时发生,匹配关系良好,油气富集程度高。

## 2.4 盆地多次改造与油气藏多期调整、改造与破坏

塔里木盆地烃源岩具有多期生烃与多期成藏

的特点,同时由于油气成藏后多继续发生构造变动,因此早期形成的油气藏在后期普遍遭受不同程度的调整、改造与破坏。广泛发现的志留系沥青砂是加里东晚期-海西早期油气聚集在海西早期运动中遭受破坏的结果。海西晚期是克拉通地区现存古生界油藏的主要形成时期,但燕山期以来特别是喜马拉雅期,油藏普遍遭受调整、改造与重新聚集成藏。如在轮南-满西地区,海西晚期聚集的油气在燕山-喜马拉雅期由于构造格局变迁及断裂活动,油气沿不整合面及断裂系统发生侧向和垂向运移,形成新的油气聚集。喜马拉雅期同时是气藏形成的主要时期,晚期气侵作用也是使早期油藏遭受改造的形式之一。

## 3 复合含油气系统特征与评价

经典的含油气系统概念是指由有效生烃灶及其形成的油气藏构成的天然流体系统,它强调含油气系统内单(多)源生烃灶的一期成藏特征,同时含油气系统具有独立性,与外界不存在流体的交换<sup>[18~23]</sup>。由于塔里木盆地存在多套生烃层系、多个生烃灶,经历多期生烃、运聚成藏与调整改造,出现多个含油气系统叠置、交叉、串通与油气混聚,甚至已形成的油气藏大规模散失的现象,所以在应用经典含油气系统概念时存在很大的局限性。例如,现今同一构造带内的若干油气藏可能是不同期、不同源的产物,其中一部分油气藏可能是某一套烃源岩早期的产物,一部分是该套烃源岩晚期的产物,还有一部分是另外一套烃源岩甚至是混源的产物。早期油气系统形成时的烃源灶在后期构造运动中可能被破坏乃至消亡,造成现今的油气藏与可以确定的烃灶无法一一对应。因此,需要采用复合含油气系统的概念和技术手段进行研究<sup>[10]</sup>。

### 3.1 含油气系统的划分

塔里木盆地发育寒武系-下奥陶统、中-上奥陶统、石炭-二叠系和三叠-侏罗系等多套烃源岩。这些烃源岩空间吻合性较差,具有多源复合叠加的特征。同一套烃源岩由于演化历史的差异,有效生烃灶可不断发生迁移,从而形成多个生烃灶(图 5 图 6)。根据生烃灶的空间展布及其与形成油气藏的关系,可划分出多个复合含油气系

统, 如塔西南侏罗系、石炭—二叠系复合含油气系统及塔中寒武系—下奥陶统、中—上奥陶统复合含油气系统。油气来源普遍具有混源性。

对于以中生界为烃源岩的含油气系统相对较简单, 它们多具有一次成藏的特点, 可用经典含油气系统概念进行研究。但是, 对于古生界含油气系统, 在含油气系统形成过程中, 由于后期改造强烈, 油气有较大规模的散失与破坏, 早期盆地的生烃范围与其中油气的成藏过程具有某种不可预知性, 尤其是基于生烃灶分析和过程的追踪, 尚有一部分油气无法预知其去向与现今所在位置。

对这种复杂含油气系统的划分与评价, 可以借用复合含油气系统的研究思路, 即先划分出复合含油气系统, 然后在发生重大变革的时间界面上, 分析油气运聚、调整、改造乃至散失后的分布, 以期达到寻找油气富集区的目的。

研究表明, 塔里木盆地古生界油气成藏主要有 3 个时期, 即加里东晚期—海西早期、海西晚期和喜马拉雅期。加里东晚期—海西早期形成的油气藏普遍遭受破坏; 海西晚期形成的油气藏除在满加尔含油气系统东部和塔北地区部分遭受破坏外, 普遍得到保存; 喜马拉雅期油气藏形成最为广泛, 包括新生油气藏、调整再成藏等。据此, 可通过研究加里东晚期—海西早期、海西晚期、喜马拉雅期 3 个关键时刻含油气系统的油气聚集以及古油气藏的调整、改造与破坏, 最终研究它们复合与调整的结果, 评价其勘探潜力。

## 3.2 不同关键时刻的古生界含油气系统

### 3.2.1 加里东晚期—海西早期含油气系统

加里东晚期—海西早期含油气系统最早形成, 烃灶主体位于满加尔凹陷以东, 在中—上奥陶统沉积厚度大于 6 000 m 的凹陷深处烃源岩达到高演化程度进入生气窗, 其余大部分地区则处于生油窗内, 此外在阿瓦提凹陷、塘古孜巴斯凹陷也分别形成两个供烃中心。围绕这些供烃中心克拉通盆地古隆起开始形成。该期最大规模的成藏时间是海西早期的志留系古油藏形成, 其次是在寒武系、奥陶系烃源岩发育层系内部形成一些原生油藏。目前钻井已揭示大量该期油气系统形成的产物, 如广泛分布的志留系沥青砂、塔中隆起塔中 1 井的奥陶系干沥青、塔北隆起西部玉东 2 井的奥

陶系沥青以及柯坪地区寒武系、奥陶系露头中的残余油。海西早期末的强烈构造运动造成古油藏的大规模破坏, 但在满加尔凹陷南缘塔东 2 井仍发现得以保存的寒武系古油藏。

### 3.2.2 海西晚期含油气系统

海西晚期盆地构造格局发生了很大的变化, 古隆起范围进一步扩大, 塔北、塔东、塔中、巴楚古隆起进入强烈发育阶段, 有效烃源灶集中分布在克拉通盆地中心地带。该期含油气系统是克拉通盆地一期有效的含油气系统, 大量古油藏得以形成和保存, 如轮南—塔河奥陶系、塔中奥陶系、石炭系以及巴什托普石炭系油气藏。

### 3.2.3 喜马拉雅期含油气系统

喜马拉雅期盆地整体快速沉降, 寒武系有效烃源灶发生很大的变化。满加尔凹陷、阿瓦提凹陷、塘古孜巴斯凹陷深处寒武系烃源岩达到过成熟阶段, 基本不再具有供烃能力; 塔北隆起周缘(可能包括满西地区)寒武系烃源岩进入成熟高峰期, 成为有效烃源灶; 满加尔凹陷以东地区由于海西早期后始终处于抬升状态, 造成寒武系烃源岩早期成熟之后生烃终止, 在印支期—喜马拉雅期再次埋深, 特别是在英吉苏地区, 三叠纪—侏罗纪表现为一坳陷湖盆, 沉积了一套数千米厚的中生界, 由此造成喜马拉雅期寒武系烃源岩再次成烃, 早期形成的分散状液态烃可发生裂解、接力生气形成现今的英南 2 号、满东 1 号气藏, 其中天然气为寒武系高成熟气。

此外, 在喜马拉雅期塔中、塔北隆起上分别形成两个局部的中—上奥陶统烃源灶, 为寒武系多期演化的含油气系统的复杂性又加上了重重的一笔, 同时也表明这两个古隆起及其周缘地区具有长期油气聚集的有利条件, 油气都很富集, 成为叠合盆地油气资源及勘探潜力最大的地区。

## 3.3 含油气系统评价

在加里东晚期—海西早期、海西晚期以及喜马拉雅期含油气系统中, 油气运聚格局受不同时期有效烃源灶及其与古隆起匹配关系控制。

考虑到油气的多期成藏与调整, 即有效烃源灶与古隆起的多期匹配关系, 可将塔里木盆地古生界海相油气系统划分出 9 个有利油气运聚单

元: ①轮南凸起及其周缘, 目的层为奥陶系、石炭系与三叠系; ④英买力凸起及其周缘, 目的层为奥陶系; ④塔中凸起, 目的层为奥陶系、志留系与石炭系; ④哈得逊地区, 目的层为石炭系; ④巴楚凸起区, 目的层为寒武系; ④麦盖提斜坡, 目的层为奥陶系、志留系与石炭系; ⑧英吉苏凹陷区, 目的层为侏罗系与志留系; ④阿满过渡带, 目的层为奥陶系、志留系与石炭系; ④塔东隆起, 目的层为奥陶系。

从不同时期含油气系统比较可以看出, 海西晚期、喜马拉雅期含油气系统是油气聚集的主要场所, 目前发现的油气藏几乎都归属于这两期含油气系统。塔北古隆起、塔中古隆起在两期油气系统中都是主要的油气运聚单元, 勘探潜力最大。巴楚古隆起自海西期后一分为二, 隆起主体部位由于晚期抬升而缺乏油源条件, 只能寻找海西期形成的古油藏; 麦盖提斜坡部位则经历了海西期油气由北向南和喜马拉雅期油气由南向北的运移过程, 地层岩性油气藏勘探潜力大。塔东凸起在塔东 2 井发现了加里东期的古油藏、塔东 1 井寒武-奥陶系中见大量的气测显示、英东 2 井寒武系获低产气流, 这些证实该地区具有较好的油气保存条件和晚期天然气充注条件, 寒武-奥陶系储层条件成为制约油气大规模富集的主要因素。英吉苏地区中生界已发现寒武系高演化阶段的天然气, 证实喜马拉雅期该地区寒武系仍然具备供气能力。

## 4 结论

1) 塔里木板块在古生代和中-新生代分别受古亚洲构造域和特提斯构造域控制, 上述两个构造域内板块或地块的离散、聚敛作用控制着塔里木盆地的形成与演化。

2) 塔里木盆地经历了震旦纪-泥盆纪的伸展-聚敛、石炭纪-三叠纪的伸展-聚敛与中-新生代的陆内弱伸展-挤压变形 3 大构造旋回, 发育了震旦纪一早奥陶世拉张伸展盆地、中晚奥陶世-泥盆纪挤压挠曲盆地、石炭纪一早二叠世区

东晚期、海西早期、海西末期、印支期、燕山末期和喜马拉雅晚期 6 期跨重大构造期的区域性构造运动。这些构造运动使早期发育的原型盆地发生抬升剥蚀、断裂及褶皱变形, 对于早期的油气聚集具有调整、改造和破坏作用。

4) 塔里木叠合盆地发育寒武系-下奥陶统、中-上奥陶统、石炭系-下二叠统、三叠系、侏罗系多套烃源岩和多个生烃灶, 有海相碳酸盐岩、砂岩及陆相砂岩等多类储层和 13 套储盖组合, 有加里东晚期-海西早期、海西晚期和喜马拉雅期 3 个生、排烃高峰和成藏期, 以及油气藏多期调整、改造与破坏。

5) 塔里木盆地可划分出 10 个复合含油气系统, 油气来源普遍具有混源性。古生界含油气系统具有加里东晚期-海西早期、海西晚期、喜马拉雅期 3 个关键时刻。根据不同关键时刻油气聚集、调整、改造与破坏及它们复合与调整的结果, 可评价和优选有利油气运聚单元。

## 参 考 文 献

- 1 任纪舜, 王作勋, 陈炳蔚, 等. 从全球看中国大地构造——中国及邻区大地构造图简要说明 [M]. 北京: 地质出版社, 1999 18~19
- 2 张光亚, 宋建国. 塔里木克拉通盆地改造对油气聚集和保存的控制 [J]. 地质论评, 1998, 44(5): 511~521
- 3 张光亚. 塔里木古生代克拉通盆地形成演化与油气 [M]. 北京: 地质出版社, 2000 1~116
- 4 张恺. 论塔里木盆地类型、演化特征及含油气远景评价 [J]. 石油与天然气地质, 1990, 11(1): 1~15
- 5 罗开平, 周祖翼, 何治亮. 含油气系统理论在中国盆地研究中的应用与发展 [J]. 石油实验地质, 2007, 29(2): 143~148
- 6 徐旭辉. 塔里木古生代原型盆地分析的油气勘探意义 [J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(3): 224~228
- 7 张光亚, 王红军, 李洪辉. 塔里木盆地克拉通区油气藏形成主控因素与油气分布 [J]. 科学通报, 2002, 47(S0): 24~29
- 8 张光亚, 王红军, 宋建国, 等. 塔里木盆地满西寒武系-下奥陶统油气系统的确定及其在勘探上的应用 [J]. 中国石油勘探, 2002, 7(4): 18~24
- 9 李小地, 张光亚, 田作基, 等. 塔里木盆地油气系统与油气分布规律 [M]. 北京: 地质出版社, 2000 136
- 10 赵文智, 张光亚, 何海清, 等. 中国海相石油地质与叠合含油气盆地 [M]. 北京: 地质出版社, 2002 302~332
- 11 赵文智. 中国含油气系统基本特征与评价方法 [M]. 北京: 科

- 域地质, 1989 (4): 289~ 313
- 14 黄汲清, 姜春发, 王作勋. 新疆及邻区板块开合构造及手风琴式运动 [A]. 新疆地质科学 [M]. 北京: 地质出版社, 1990 3~ 14
  - 15 贾承造. 中国塔里木盆地构造特征与油气 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997. 244~ 245
  - 16 张抗. 塔河油田的发现及其地质意义 [J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(2): 120~ 124
  - 17 张光亚, 王红军, 宋建国, 等. 塔里木盆地满西寒武系-下奥陶统油气系统的确定及其在勘探上的应用 [A]. 见: 中国石油学会石油地质专业委员会, 编. 中国含油气系统的应用与进展 (第二辑) [C]. 北京: 石油工业出版社, 2001. 127~ 134
  - 18 Perrodon A. Dynamics of oil and gas accumulations [M]. Pau, France Elf Aquitaine, 1983. 187~ 210
  - 19 Perrodon A. Petroleum systems models and applications [J]. Journal of Petroleum Geology, 1992, 15(3): 319~ 326
  - 20 Meissner F F, Woodward J, Clayton J L. Stratigraphic relation and distribution of source rocks in the greater Rocky Mountain region [A]. In Woodward J ed Hydrocarbon source rocks of the greater region [C]. Rocky Mountain Association of Geologists, 1984. 1~ 34
  - 21 Demaison G, Bourgeois A K. Environment of deposition of middle Miocene (Alcanar) carbonate source beds, Cassablanca field, Tarragona basin, offshore Spain [A]. In Palacas J G, ed. Petroleum geochemistry and source-rock potential of carbonate rocks [C]. AAPG Studies in Geology 18, 1984. 151~ 161
  - 22 U n i s h e k G. Stratigraphic aspects of petroleum resource assessment [A]. In Rice D D, ed. Oil and gas assessment—methods and applications [C]. AAPG Studies in Geology 21, 1986. 59~ 68
  - 23 Magoon L B, Dow W G. The petroleum system—from source to trap [A]. AAPG Memoir 60, 1994. 261~ 283
- (编辑 李 军)

(上接第 652 页)

势耦合控藏突出表现在“优相-低势耦合控藏”。济阳拗陷 90% 以上已发现的油气藏分布在优相-低势耦合区内。

4) 应用“近源-优相-低势”控藏模式可以对陆相断陷盆地潜在隐蔽油气藏进行分布预测。

#### 参 考 文 献

- 1 李丕龙, 张善文, 宋国奇, 等. 断陷盆地隐蔽油气藏形成机制——以渤海湾盆地济阳拗陷为例 [J]. 石油实验地质, 2004, 26(1): 3~ 10
  - 2 李丕龙, 庞雄奇. 隐蔽油气藏形成 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2004
  - 3 张善文. 济阳拗陷第三系隐蔽油气藏勘探理论与实践 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(6): 731~ 740, 761
  - 4 吴东胜, 扬申谷, 刘少华. 陆相盆地隐蔽油气藏综合勘探方法与应用初探 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(1): 118~ 123
  - 5 李丕龙, 金之钧, 张善文, 等. 济阳拗陷油气勘探现状及主要研究进展 [J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(3): 1~ 4
  - 6 里丁 H G. 沉积环境和相 [M]. 周明鉴, 陈昌明, 译. 北京: 科学出版社, 1986
  - 7 Gressly A. Observation géologiques sur le Jura Soleurois. Neue Denkschr. allg. Schweiz, 1838, 2. 1~ 112
  - 8 H s u K J. The concept of tectonic facies [J]. Bulletin of Technique University Istanbul, 1991, 44(2): 25~ 42
  - 9 信荃麟, 刘泽容. 含油气盆地构造岩相分析 [M]. 北京: 地质出版社, 1993. 256~ 276
  - 10 Spain P R. 德克萨斯州沃克县樱桃谷组斜坡扇-盆底扇组合的岩石物理评价 [J]. AAPG Bulletin, 1992, 76(6): 1997~ 2013
  - 11 刘泽容, 信荃麟, 朱筱敏, 等. 断陷盆地构造岩相带与油气评价 [M]. 北京: 科学出版社, 1992
  - 12 孔凡仙. 东营凹陷北部陡坡带砂砾岩体的勘探 [J]. 石油地球物理勘探, 2000, 35(5): 669~ 676
  - 13 Hubbert M K. Entrapment of petroleum under hydrodynamic condition [J]. AAPG Bulletin, 1953, 37(8): 1954~ 2026
  - 14 England D A. The movement and entrapment of petroleum fluid in the subsurface [J]. Journal of Geological Society, 1987, 1(114): 327~ 347
  - 15 庞雄奇, 陈冬霞, 姜振学, 等. 隐伏砂岩透镜体成藏动力学机制与基本模式 [J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(20): 216~ 228
  - 16 庞雄奇, 陈冬霞, 李丕龙, 等. 砂岩透镜体成藏门限及其控油气作用机理 [J]. 石油学报, 2003, 24(3): 38~ 41
  - 17 符勇, 姜振泉, 马丽, 等. 油气运聚水动力作用中的耗散结构 [J]. 河南石油, 2005, 19(2): 17~ 19
  - 18 查明. 压实流盆地油气运移动力学模型与数值模拟——以东营凹陷为例 [J]. 沉积学报, 1997, 1(4): 25~ 30
  - 19 Hooper E C D. Fluid migration along growth faults in compacting sediments [J]. Journal of Petroleum Geology, 1991, 14(2): 161~ 280
  - 20 王捷, 关德范. 油气生成运移聚集模型研究 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1999. 99~ 112
- (编辑 李 军)