

文章编号: 1001-6112(2011)04-0364-07

塔里木盆地卡塔克隆起 古生界油气运移体系与成藏演化

李 坤

(“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室(成都理工大学), 成都 610059)

摘要:塔里木盆地中部卡塔克隆起古生界油气资源丰富,但受多期构造叠加改造影响,具有混源供烃、早期充油、晚期注气、三期成藏、层楼式富集的成藏特征,油气运聚过程的复杂性制约了成藏规律的认识。该文从卡塔克隆起复式油气成藏主控因素入手,将油气运移体系划分成断裂型、不整合型、储集体型 3 大类,并讨论其 4 种空间组合模式。同时以油源断裂及区域不整合面演化为突破口,重点分析加里东晚期—海西早期、海西晚期和喜马拉雅期 3 个成藏关键时刻,油气运移体系演化及其与烃源岩生排烃的配置关系,指出塔中 I 号、塔中 II 号以及 NE 向走滑断裂等油源断裂是油气垂向运移的主要通道,而高隆—斜坡区 T_6^0 , T_7^0 , T_7^4 复合—超覆不整合面与东河塘组骨架砂体叠置是油气侧向运移的关键因素,岩溶缝洞网络与继承性圈闭的空间展布决定了油气优势运移指向与富集部位。由断裂—溶蚀裂缝—不整合面以及骨架砂体组成的层楼式运移体系相互匹配,呈立体网状阶梯式多期充注、调整,是卡塔克隆起古生界油气成藏演化最显著标志。

关键词: 油气运移; 油气成藏; 古生界; 卡塔克隆起; 塔里木盆地

中图分类号: TE122.1+2

文献标识码: A

Hydrocarbon migration system and accumulation evolution in Paleozoic, Katake Uplift, Tarim Basin

Li Kun

(State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation,
Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China)

Abstract: Rich petroleum resources have been found in Paleozoic of the Katake Uplift, the Tarim Basin. Influenced by multiple stages of tectonic evolution, the study area is characterized by the following complicated accumulation features such as mixed hydrocarbon sources, early oil charging, late gas charging, 3 stages of accumulation, and multiple accumulations. The complicated accumulation processes restrict the studies of accumulation principles. Based on studies of the main controlling factors for hydrocarbon accumulations in the region, the hydrocarbon migration system has been divided into 3 big types: fracture, unconformity and reservoir body. 4 models for space combination are also discussed. From the aspect of source fracture and region unconformity evolution, the relationship between hydrocarbon migration system evolution and hydrocarbon generation and charging during the 3 key stages for accumulation (late Caledonian—early Hercynian, late Hercynian and Himalayan) are talked about. The regional hydrocarbon source faults such as Tazhong I and II as well as the NE oriented strike—slip faults work as the main pathways for vertical migration. In uplifting and slope regions, T_6^0 , T_7^0 , and T_7^4 unconformities work together with matrix sandbodies of the Donghetang Formation, providing horizontal pathways for migration. The spatial distribution of karst network and inherited trap controls the favorable direction and accumulation position for hydrocarbon. In the Katake Uplift, the most outstanding feature for accumulation evolution is the cooperation of multiple migration systems composed of fracture, karst and unconformity, resulting in multiple stages of hydrocarbon charging and adjusting in 3 dimensions.

Key words: hydrocarbon migration; hydrocarbon accumulation; Paleozoic; Katake Uplift; Tarim Basin

收稿日期: 2010-09-30; 修订日期: 2011-06-15。

作者简介: 李坤(1980—), 男, 博士后, 讲师, 从事油气成藏动力学研究与教学。E-mail: lk1210_7758@qq.com。

基金项目: 中国石油化工股份有限公司重点科技攻关项目(P04026)。

油气运移贯穿于油气藏的形成、调整和破坏的全过程,运移体系是油气藏的生命线,也是确定油气成藏模式以及分析油气藏分布规律的重要切入点^[1-4]。卡塔克隆起自 1983 年开始油气勘探以来,已发现 14 个油气田(藏),三级地质油气储量达 5×10^8 t,油气主要赋存于塔中 II 号断裂以北至塔中 I 号断裂以南的寒武—奥陶系碳酸盐岩与古生界碎屑岩两大层系中^[5],近期在古生界屡获突破,证实了塔里木多旋回叠合盆地中下部油气组合拥有巨大的勘探潜力。但受多期构造演化的叠加改造,具有多源供烃、多期运聚的成藏特征,油气运聚过程的复杂性极大地制约了油气成藏规律的认识和勘探工作的进行。本文从卡塔克隆起油气复式成藏控制因素入手,结合构造演化历史,以油源断裂及区域不整合面演化为突破口,讨论成藏关键时刻油气运移、聚集、改造的动态过程,总结油气分布规律。

1 地质背景

卡塔克隆起位于塔里木盆地中央隆起带中部,西邻巴楚隆起,东靠古城墟隆起,北与顺托果勒隆起相接,南部呈斜坡向塘古孜巴斯坳陷过渡(图 1),整体呈 NW 走向,是一个经历多期构造运动叠

加改造的大型稳定古隆起^[6-7]。平面上油气藏沿塔中 I 号、塔中 10 号和塔中 II 号 3 大断裂带富集,剖面上中、下奥陶统碳酸盐岩和石炭系、泥盆系、志留系碎屑岩等不同类型油气藏叠置连片含油,复杂的油气运移体系为早期成藏、后期调整、晚期再成藏的多期复式成藏提供了条件。

2 油气运移体系

二次运移过程中油气总是沿着阻力最小的路径移动,例如开启的断裂(裂缝)、不整合面、孔渗性能较好的储集体及其组合等。

2.1 断裂型

油源断裂作为连接烃源岩与圈闭之间的桥梁,是最快捷、最高效的一种油气运移方式。断裂处于静止或低速活动期(活动速率小于 10 m/Ma),油气仅在浮力作用下沿破碎带中的裂缝或连通孔隙呈低速—不连续渗流;而当断裂处于快速活动期(活动速率大于 25 m/Ma),体积增大,破碎带内形成空腔和裂隙网络,在地震泵作用下,油气沿这些开启的小阻力或无阻力的优势运移通道,呈涌流向上盘的储层中高速运移^[8-9]。因此,油源断裂快速活动是塔里木克拉通区油气垂向运移、纵向调整的主因,也是侧向运移的根源。

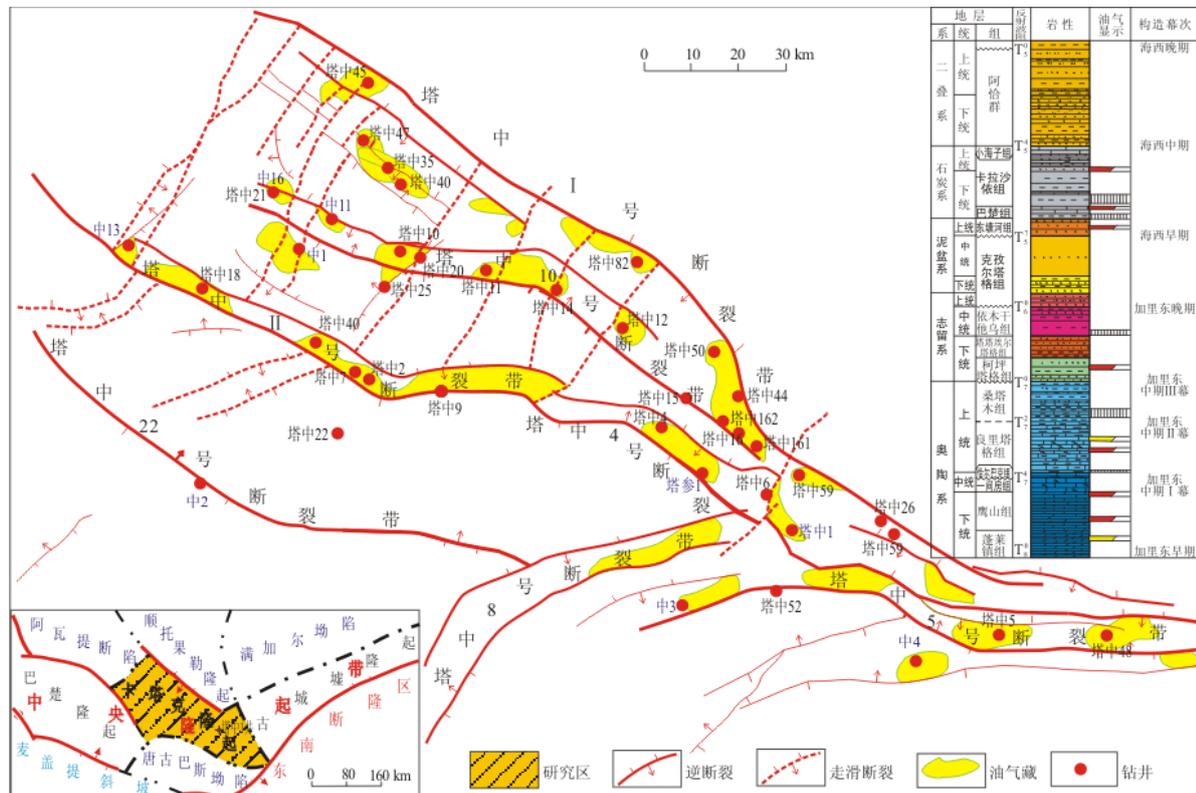


图 1 塔里木盆地卡塔克隆起构造及油气展布特征

Fig. 1 Structural attitude and hydrocarbon distribution in Katake Uplift, Tarim Basin

卡塔克地区受多期构造叠加改造,发育 4 组 NW 向逆冲断裂带(图 1 中塔中 I 号、塔中 10 号、塔中 II 号和塔中 22 号断裂),同时受海西期压扭应力场影响,发育多组 NE 向右阶左旋走滑断裂,控制构造的东西分段特征。断裂剖面上均以陡角度向下切入基底,多呈“Y”型背冲断垒特征(图 2 中塔中 10 号断裂)^[7]。烃源岩主生、排烃期,幕式开启的断裂在混源油气大规模垂向运移中扮演了重要角色(岩心裂缝中可见原油或软沥青充填),垂向上沟通了油源和背斜圈闭,纵向上断裂穿越的层位均有油气聚集,平面上油气藏在沿塔中 10 号、塔中 II 号、塔中 5 号断裂带呈串珠状分布(图 1)。断裂活动的差异性导致不同构造带油气垂向差异运聚成藏:塔中 I 号断裂带油气同产,主力产层是奥陶系;塔中 II 号断裂带以油为主,主力产层是石炭系含砾砂岩段;塔中 10 号断裂带以油为主,主力产层是志留系。另外 NW 向逆冲断裂与 NE 向走滑断裂交汇部位与原油性质东西分段点基本吻合,可见晚期活动断裂是晚期垂向气侵调整的主要入口,形成“下气上油”的复式聚集面貌^[10](图 2 塔中 47 井)。

2.2 不整合面

不整合面代表着区域性沉积间断或长期风化剥蚀事件,形成一个顶板底砾岩、中间风化粘土、底板半风化裂隙和溶蚀孔洞的 3 层结构地质体,顶底板岩石孔渗性较好,而且能把不整合面上、下相距

甚远的生油岩和储集岩联系起来,因此成为油气大规模和长距离侧向运移的重要通道^[11-12]。同时不整合面跨越不同时代、不同岩性的地层,利于多层系的油气平面汇聚,尤其是斜坡区及隆起区不整合叠置复合,大大提高了油气运移的强度^[13]。

卡塔克隆起经历多期挤压抬升剥蚀,构造变动具有明显的继承性和差异性,古生界不整合面组合叠加类型复杂。下奥陶统顶面 T_7^4 不整合面呈现区域性的削截—超覆特征;奥陶系顶面 T_7^0 不整合面呈现局部削截,区域性的超覆特征;中泥盆统顶面 T_5^7 不整合面剥蚀强度最大,表现为区域性削截特征^[14]。 T_7^4 、 T_7^0 不整合面顶部的碳酸盐岩经历风化、溶蚀,风化壳广泛发育,裂缝、残积物和角砾岩成为烃源岩区油气大规模侧向运移的有效通道;在塔中 II 号、塔中 5 号断裂构造带等隆起高部位 T_7^4 、 T_7^0 不整合面趋于聚合(图 2 塔中 II 号断裂),油气向古隆起长距离运移的强度显著增加;另外东河塘组砂岩油气藏是上奥陶统烃源岩产生的油气经 T_5^7 不整合面区域“展开”的结果,可见不整合面对古生界油气运聚、调整具有重要意义。

2.3 储集体型

2.3.1 溶蚀孔—缝—洞网络

卡塔克地区经历多期构造应力叠加影响,断裂交汇区是应力释放区和强应变区,产生多组不同方向、不同产状的裂缝切割形成裂缝网络,尤其是加里东中期古地貌高地及斜坡部位奥陶系鹰山组与

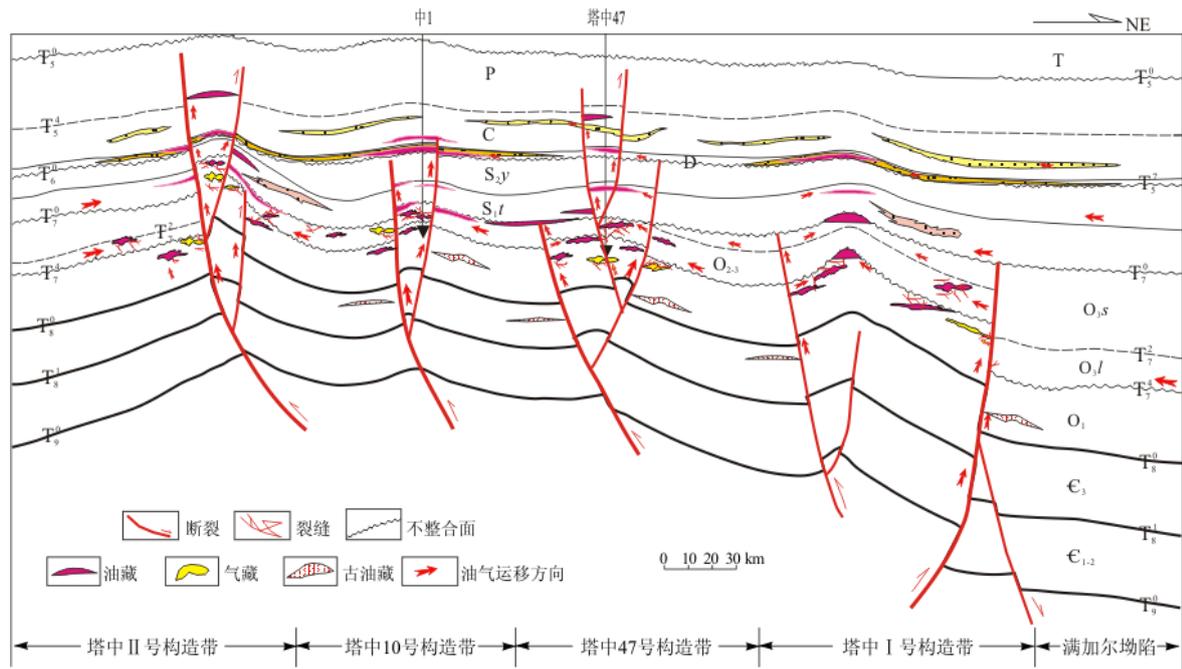


图 2 塔里木盆地卡塔克隆起油气运移模式

Fig. 2 Model of hydrocarbon migration system in Katake Uplift, Tarim Basin

良里塔格组中一高角度裂缝交错发育,部分剪切缝纵张开启,既提高了岩石的渗透性(塔中 45 井岩心裂缝中沉淀亮晶方解石)^[7],又为古水系下渗溶蚀提供了有利路径。高角度裂缝溶蚀扩大,同时形成了大量不规则溶蚀孔洞,网状分布的溶蚀洞穴内多见地下暗河沉积或崩塌堆积角砾岩,均为油气输导、富集保留了有效路径和广阔空间^[15]。而海西早期隆起东南部奥陶系进一步挤压抬升、暴露、溶蚀,断裂伴生的大量构造缝和风化裂隙,与众多的溶蚀孔洞纵横交错,形成互相连通的孔—缝—洞网络(图 2)。

2.3.2 骨架砂体

塔里木盆地古生界碎屑岩空间分布广泛,厚度较大,且平面连通性较好,其中古产状有利的骨架砂体是油气横向运移的优越通道,而且骨架砂体的展布范围决定了油气平面上的运移距离,砂体间的连通方式和连通体积决定了运移的有效性^[16]。研究区古生界碎屑岩已发现的油气成果主要集中在石炭—志留系的 6 套储盖组合,其中志留系柯坪塔格组发育潮坪相复合砂体,与上覆红色泥岩形成输导封盖组合,曾是加里东晚期—海西早期油气侧向输导的重要通道;泥盆系东河砂岩是海进体系发育的一套厚层石英砂岩,孔隙结构好,渗透率大(最高达 $110 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$),与下石炭统巴楚组泥岩形成输导封盖组合,特别是骨架砂体与构造相配合形成构造脊,是海西晚期油气长距离侧向运移的区域性

高效运载层^[15]。

卡塔克地区古生界的复式油气显示表明单一运移路径不可行,油源断层深入烃源岩中,开启时期与烃源岩生排烃期相配套,油气直接沿断面作垂向运移,同时油源断裂沟通了各期区域构造不整合面和岩溶风化壳,部分油气开始进行侧向大面积输导^[16]。同时 T_4^4 不整合面与烃源岩直接接触,生成的油气初次运移后直接沿构造脊向构造高部位聚集,途中遇到活动断层,此时纵向通道具有更大的“分流”优势,油气开始垂向调整,同时志留系、泥盆系的层状连通砂体也可以与断裂交叉、连通,3 类通道相互交错、叠置与连通,构成立体网络油气运移模式(图 2):断层+不整合面构造脊的“T 型”运移模式(塔中 38 井)、断层+岩溶缝洞的“礼花型”运移模式(塔中 4 井)、不整合面+断层+骨架砂体的“阶梯型”运移模式(塔中 1 井)、断层+溶蚀裂缝+多期不整合面+骨架砂体的“层楼型”运移体系等(中 1 井)。

3 油气运聚成藏演化特征

卡塔克地区多旋回的演化历史孕育了中、下寒武统和中、上奥陶统良里塔格组 2 套优质烃源岩;经历加里东晚期、海西晚期和燕山—喜马拉雅期 3 个生排烃期^[17](图 3);“前期油、后期气”的混源多期充注模式与古隆起主要变革期输导格局的有效配置,决定了油气优势运移方向、路径与富集部位,

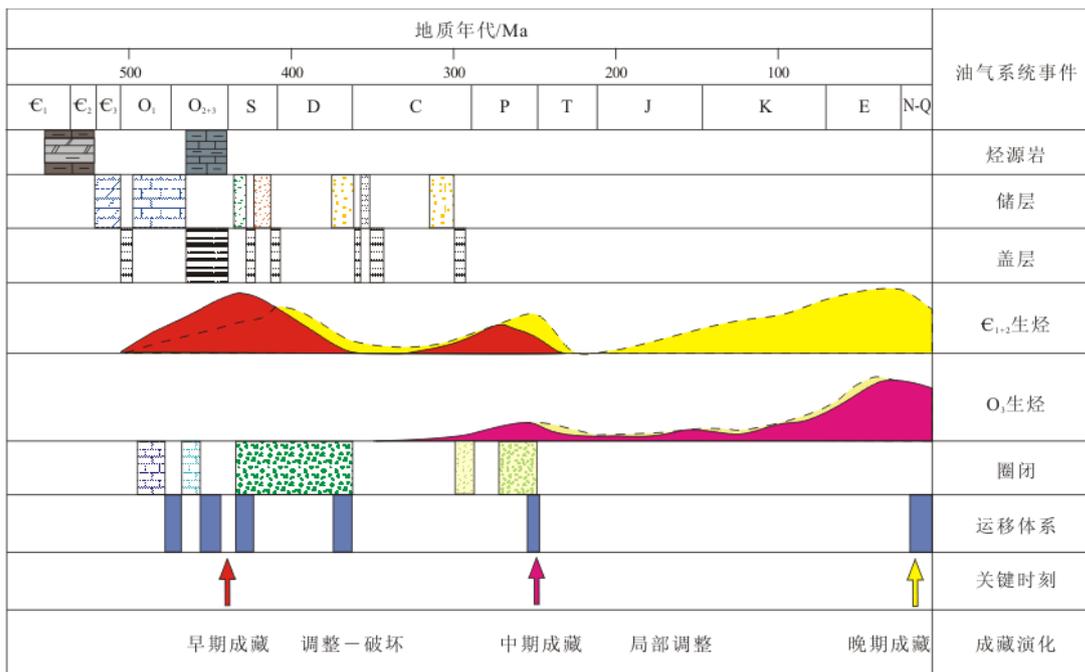


图 3 塔里木盆地卡塔克隆起古生界含油气系统

Fig. 3 Petroliferous system of Paleozoic in Katake Uplift, Tarim Basin

造就了加里东晚期—海西早期(中 1 井, O; 塔中 47 井, S)、海西晚期(塔中 45 井, O; 塔中 4 井, D_3d , C)和喜马拉雅期(塔中井 82, O; 塔中 47 井, S; 塔中 4 井, D_3d , C)3 个成藏关键时刻, 形成了纵向上深浅层叠置含油, 横向上断裂—斜坡区大面积富集的复式聚集特征。

3.1 加里东中晚期

中奥陶世末期, 塔里木盆地构造背景由拉张向挤压背景过渡, 卡塔克地区在加里东中期 I 幕南北向挤压作用下, 大型穹隆背斜雏形初具规模, 广大地区处于广泛碳酸盐岩台地剥蚀状态, 导致下奥陶统顶部鹰山组与上覆良里塔格组呈角度不整合接触关系, 形成 T_7^4 不整合面。尤其在卡塔克隆起西北倾末端的塔中 II 号、塔中 10 号早期反转逆冲断隆区, 构造裂隙极其发育, 导致 T_7^4 不整合面下垂直渗流带与水平潜流带内蜂窝状溶蚀孔缝密集, 控制了鹰山组白云岩中段风化壳型岩溶油藏的形成(图 2 的中 1 井)。同时塔中 I 号深层 NE 倾向的早期正断裂控制了中、上奥陶统沉积基底的局部陡变、挠曲, 为台缘礁滩复合体多期次加积提供了良好基础(塔中 82 井)^[7]。晚奥陶世中期, 加里东中期 II 幕构造作用强烈, 研究区完全反转为挤压背景, 在压扭应力作用下产生了一系列具走滑性质的区域性大断裂, 平面上具明显的帚状组合特征(图 1); 塔中 II 号、塔中 22 井断裂重新活动, 大规模反转逆冲, 并发育多条分支断裂, 开始出现断垒式或单断式背斜, 同时形成 SW 倾向的塔中 I 号边界主断裂(图 4 B), 北侧形成了落差达上千米的断崖, 多期坡折带生物礁滩叠合, 储盖组合良好, 并且 NE 向走滑断裂带对油气垂向输导起着重要作用, 形成一批碳酸盐岩油气藏^[18]。卡塔克古隆起在塔中 I 号、II 号断裂的控制下呈现东低西高的古地貌特征, 沿 NWW 向断裂带中、上奥陶统甚至下奥陶统遭受强烈剥蚀, 形成 T_7^2 区域不整合面(图 4 B); 隆起顶部塔中 I 号断裂带良里塔格组经历雨水淋滤, 发育第二期溶孔、溶洞和裂缝(塔中 58 井), 形成良好的油气储层, 中、下寒武统低熟油沿断裂和 T_7^4 不整合面向其中运聚成藏^[19]。同时早期古油藏被严重水洗和生物降解而破坏(塔中 12 井), 但上寒武—下奥陶统古油藏保存较好。奥陶纪末, 加里东中期 III 幕继承性挤压, 塔中 II 号构造带背冲式断隆抬升剥蚀, 沿构造高地围斜及断裂发育第三期溶蚀缝洞(中 12 井), 其后志留系下砂岩段填平补齐, 形成区域 T_7^0 不整合面; 同时卡塔克隆起周缘中、下寒武统烃源岩经历生排烃高峰, 低熟油气沿

塔中 I 号、塔中 II 号、塔中 10 号等断裂系统与岩溶孔缝及 T_7^4 , T_7^0 不整合面组成的交错叠合输导网络, 向隆起区进行大规模和长距离的运移(图 4 B), 在上寒武—下奥陶统内幕、奥陶系岩溶缝洞型古圈闭中聚集成藏。

志留纪晚期, 中央隆起及其南部地区强烈逆冲隆升, 古隆起表现为 NW 向展布的狭长褶皱, 在加里东晚期基本定型。研究区北部斜坡柯坪塔格组和塔塔埃尔塔格组广泛发育地层超覆及岩性圈闭, 此时寒武系烃源岩大量成熟并进入排烃高峰期^[15]。志留系典型油藏早期在塔中 10 号和塔中 II 号断垒带广泛聚集(塔中 11 井), 后期因局部活动而调整; 同时研究区主干断裂强烈活动, 直接延伸至地表, 构造高部位上寒武—下奥陶统古油藏油气逸散(塔中 44 井); 中央断隆高部位遭受强烈剥蚀, 志留系大面积缺失, 使古油气藏盖层遭受破坏, 原油遭受氧化、水洗, 塔塔埃尔塔格组残留大量沥青砂岩。后期上覆依木干他乌组红色泥岩盖层, 中、上奥陶统油气沿 T_6^2 , T_7^0 , T_7^2 , T_7^4 叠置不整合面、断裂向沥青砂岩充注, 侧向运移至削蚀楔形不整合圈闭中, 形成高产的二次成藏不整合油气藏(塔中 46 井)。

3.2 海西早期

中泥盆世末期, 在南北向挤压作用下, 研究区东抬西降, 调整为以塔中 10 号断裂带为轴的北西倾向鼻状隆起, 早期断裂复活走滑, 高熟油沿基底卷入型背冲断裂或花状构造充注, 同时深部古油藏向上调整改造, 塔中 I 号断裂带下盘呈现“边聚集、边调整”的特征; 而塔中 II 号断隆带以及东部 5 号断褶带抬升剥蚀强烈, 志留系古油藏经历“先聚集、再调整、后破坏”的动态过程^[20](图 4 C); 水洗或生物降解后残留大量沥青砂, 而构造翼部再次发育岩溶缝洞, 例如塔中 1 井下奥陶统形成岩溶缝洞油气藏。伴随着晚泥盆世东河塘组砂岩超覆于下伏地层之上, 形成 T_6^0 削蚀—上超不整合面(图 4 C), 提高了油气聚集强度; 同时东河砂岩渗透性良好, 通过与断裂交错组合, 构成了侧向与垂向联合高效输导体系, 使中下奥陶统古油藏的油气向志留系、泥盆系的地层—岩性圈闭中长距离调整^[20], 后期石炭系巴楚组泥岩具有很好的封盖作用, 油藏封闭系统得以重建(塔中 10 井, S)^[15]。

3.3 海西晚期

早二叠世末, 东部隆起区再次抬升, 形成大型 NWW 向宽缓鼻隆, 上奥陶统烃源岩成熟、开始排烃, 而中下寒武统—下奥陶统烃源岩进入生烃高峰(图 3),

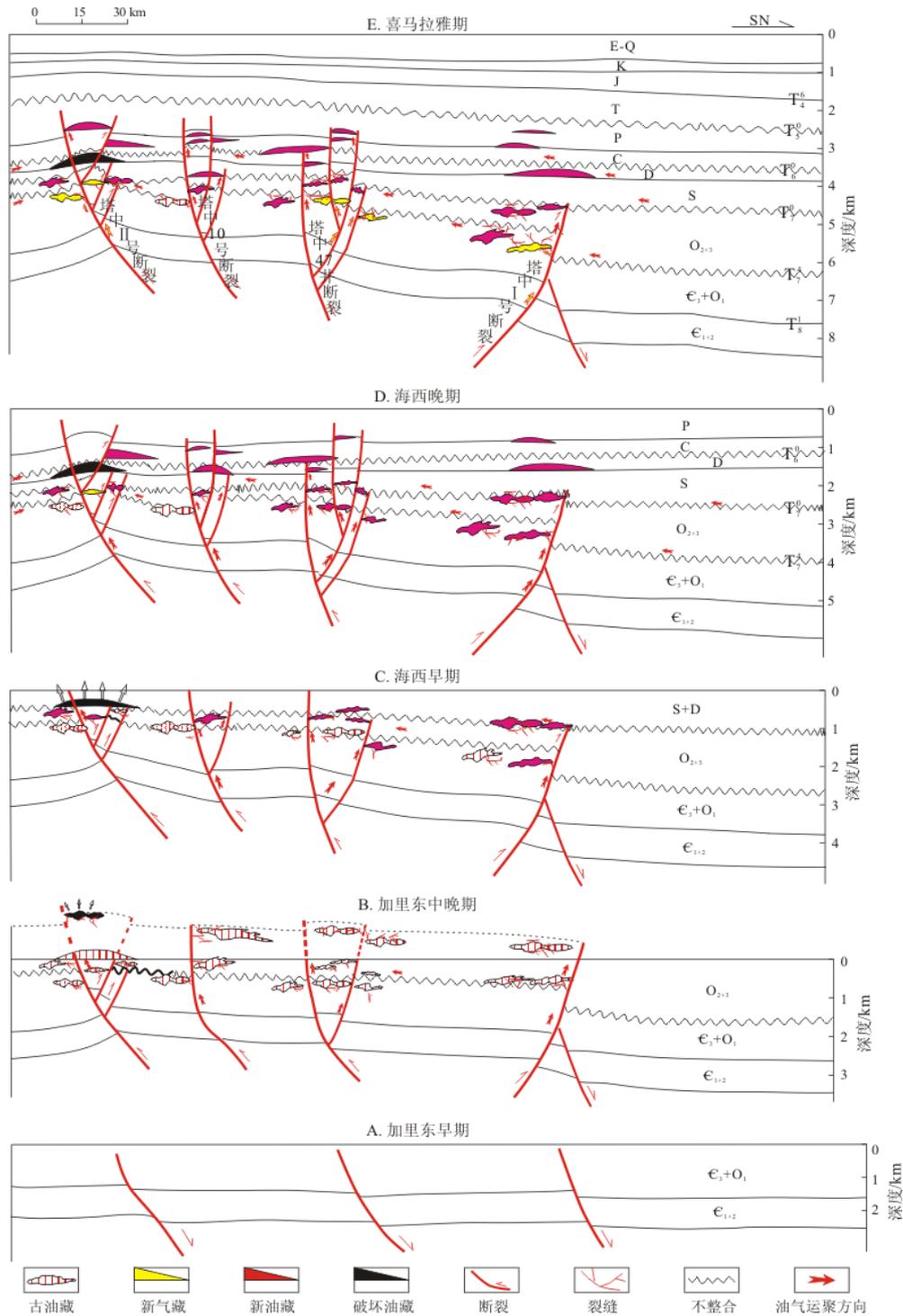


图 4 塔里木盆地卡塔克隆起油气成藏演化

Fig. 4 Reservoir evolution in Katake Uplift, Tarim Basin

高一过成熟油气直接充注于下奥陶统鹰山组和上奥陶统良里塔格组碳酸盐岩储层中,形成第二次重要成藏。同时油源断裂成为主要运移路径,高隆区古油藏中的烃类沿继承性活动断裂(塔中II号)向上调整,对志留系油藏再次注入,并配套由生油中心向隆起带上倾的 T_6^0, T_7^4, T_7^0 叠置不整合面以及东河塘组骨架砂体组成立体高效运移网络^[15](图 4 D),自南

向北对志留系、石炭系中披覆背斜、地层、岩性圈闭大规模充注,局部形成凝析气藏(塔中 6)。

3.4 喜马拉雅期

新生代,研究区构造平稳,断裂活动微弱,整体抬升形成向西北倾的单斜构造,深部中下寒武统过成熟干气和残留下奥陶统古油藏裂解天然气(图 3),沿塔中II号等油源断裂向早期奥陶系油藏气侵

(图4 E塔中47井),局部奥陶系古油藏由断裂沟通向志留—石炭系中调整(塔中4井),同时上奥陶统凝析油气沿上覆不整合面+断层+骨架砂体进行再充注(塔中45井),在中新统的膏泥岩的区域封盖下,继承性圈闭成为晚期油气聚集的有利场所。

4 结论

综上所述,卡塔克隆起古生界具有“混源供烃、早期充油、晚期注气、三期成藏、层楼式富集”的油气成藏特征;断裂、不整合面和储集体共同构成了油气运移的空间体系,切穿生油岩的油源断裂是油气垂向运移的有效通道;高隆—斜坡区多期复合不整合面与东河塘组骨架砂体叠置是油气大规模侧向运移的关键途径,岩溶缝洞网络与继承性圈闭的空间展布决定了油气优势运移指向与富集部位。断裂—溶蚀裂缝—不整合面以及骨架砂体相互匹配,呈立体网状“层楼型”多期充注、调整,是卡塔克隆起古生界油气成藏演化最鲜明的特点。

参考文献:

- [1] 赵忠新,王华,郭齐军,等. 油气输导体系的类型及其输导性能在时空上的演化分析[J]. 石油实验地质,2002,24(6):527—532.
- [2] 张照录,王华,杨红. 含油气盆地的输导体系研究[J]. 石油与天然气地质,2000,21(2):133—135.
- [3] 付广,薛永超,付晓飞. 油气运移输导系统及其对成藏的控制[J]. 新疆石油地质,2001,22(1):24—26.
- [4] Hindle A D. Petroleum migration pathways and charge concentration :a three - dimensional model[J]. AAPG Bulletin,1997,81(9):1451—1481.
- [5] 张达景,王英民,肖志高,等. 塔里木盆地台盆区古生界油气

输导体系与勘探方向[J]. 石油与天然气地质,2006,27(5):604—613.

- [6] 孙龙德,李曰俊,江同文. 塔里木盆地塔中低凸起:一个典型的复式油气聚集区[J]. 地质科学,2007,42(3):602—620.
- [7] 李坤. 塔里木盆地三大控油古隆起形成演化与油气成藏关系研究[D]. 成都:成都理工大学,2009:109—136.
- [8] 吴智平,陈伟,薛雁,等. 断裂带的结构特征及其对油气的输导和封堵性[J]. 地质学报,2010,84(4):570—578.
- [9] Chen Q, Kinzelbach W. An NMR study of single and two-phase flow in fault gouge filled fractures [J]. Journal of Hydrology,2002,259(1—4):236—245.
- [10] 陈治军,刘洛夫,王伟力,等. 塔中I号断裂带上奥陶统油气藏特征及主控因素[J]. 石油勘探与开发,2010,37(4):409—415.
- [11] 吴孔友,李林林,查明. 不整合纵向结构及其成藏作用物理模拟[J]. 石油实验地质,2009,31(5):537—541.
- [12] 隋风贵,宋国奇,赵乐强,等. 济阳拗陷陆相断陷盆地不整合的油气输导方式及性能[J]. 中国石油大学学报(自然科学版),2010,34(4):44—48.
- [13] 尹微,樊太亮,曾清波. 塔里木盆地巴楚地区输导体系类型及油气成藏[J]. 石油实验地质,2006,28(4):340—344.
- [14] 刘韵,赵锡奎,李坤,等. 塔中卡塔克隆起古生界主要不整合面与油气成藏关系[J]. 新疆石油地质,2009,30(6):683—685.
- [15] 高先志,吕双兵. 塔中地区古生界油气输导体系与油气运聚模式[J]. 天然气工业,2006,26(10):9—11.
- [16] 李坤,赵锡奎,张小兵,等. 塔里木盆地阿克库勒凸起油气输导体系类型与演化[J]. 地质科学,2007,42(4):766—778.
- [17] 张籍,王招明,杨海军,等. 塔中I号坡折带奥陶系流体包裹体期次及地质意义[J]. 新疆石油地质,2010,31(1):22—25.
- [18] 马红强,王恕一,蔺军. 塔里木盆地巴楚—麦盖提地区油气运聚与成藏[J]. 石油实验地质,2006,28(3):243—248.
- [19] 赵宗举,王招明,吴兴宁,等. 塔里木盆地塔中地区奥陶系储层成因类型及分布预测[J]. 石油实验地质,2007,29(1):40—46.
- [20] 庞宏,庞雄奇,石秀平,等. 调整改造作用对塔中油气藏的影响[J]. 西南石油大学学报(自然科学版),2010,32(1):33—39.

(编辑 黄娟)