

文章编号: 0253-9985(2006)03-0281-08

中国典型叠合盆地油气成藏研究新进展(之二) ——以塔里木盆地为例

金之钧

(中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院, 北京 100083)

中国石油大学 油气成藏机理教育部重点实验室, 北京 102249)

摘要:近年来, 中国西部典型叠合盆地油气成藏研究获得重大进展。成盆方面: 1) 地球物理综合剖面揭示了塔里木盆地与天山造山带的深、浅层耦合特征具有走向分段性, 大致以羊布拉克为界, 以东表现为近东西向斜向伸展的特征; 以西, 主要表现为近南北向垂直于地层走向的伸展状态; 2) 揭示了塔里木盆地的翘倾式叠合演化的特点, 自寒武纪到第四纪, 盆地沉降中心经历了由东向西向周缘的迁移过程。成烃方面: 1) 建立了海相碳酸盐岩优质烃源岩发育的环境指标及发育的盆地类型, 高丰度烃源岩仅发育于被动大陆边缘背景下的裂谷、克拉通内拗陷盆地和活动大陆边缘背景下的前缘斜坡、挠曲类前陆拗陷中; 2) 确立了有效碳酸盐岩烃源岩的有机质丰度下限为 0.25% ~ 0.30%。成藏方面: 1) 轮南地区早古生代碳酸盐岩储层中发育 3 期烃类包裹体, 与区域性油气充注事件有关, 分别形成于晚志留世—早泥盆世、晚白垩世及新近纪; 2) 通过油源对比分析, 指出轮南、塔河地区的原油可能源于中、上奥陶统源岩; 3) 同位素示踪研究及包裹体测温揭示了塔中地区流体具有深部来源特征。而且, 萤石交代灰岩对储层物性具有显著改善作用。并指出塔里木盆地近期油气勘探中, 在台盆区碳酸盐岩勘探领域不断有新层系和新类型油气的发现, 台盆区碎屑岩勘探领域于志留系和泥盆系也连获突破, 展示了塔里木盆地良好的勘探前景。

关键词: 成烃; 成藏; 成盆; 研究进展; 叠合盆地; 塔里木盆地

中图分类号: TE122.1 文献标识码: A

New progresses in research of China's typical superimposed basins and reservoiring of hydrocarbons (Part II): taking Tarim basin as an example

Jin Zhijun^{1,2}

(1. Research Institute of Petroleum Exploration and Production, SINOPEC, Beijing 100083)

2 Key Laboratory of Hydrocarbon Accumulation Mechanism,

Ministry of Education, China University of Petroleum, Beijing 102249)

Abstract Research of reservoiring in typical superimposed basins in China has made great progresses in recent years. In respect of basin formation: (1) Composite geophysical profiles reveal that the coupling of shallow and deep layers in Tarim basin and Tianshan orogenic belt is characterized by segmentation along strike. It appears as near EW trending oblique extensional features to the east of Yangbulake, and near SN trending extensional features vertical to the strike of strata. (2) The evolution of Tarim basin is characterized by tilting superimposition, i.e. from Cambrian to Quaternary, the depocenter migrated from the east to the west and finally to the periphery area. In respect of hydrocarbon generation: (1) Environmental indexes and basin types for development of good marine carbonate source rocks have been established. Source rocks with high abundance of organic mat-

收稿日期: 2006-03-30

作者简介: 金之钧(1957-), 男, 教授, 石油地质

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)(G19990433)

ter have only been developed in rift valleys of passive continental margin, intra-cratonic down-warped basins and frontal slopes and flexured foreland depressions in active continental margin. (2) The lower limit of organic matter abundance for effective carbonate source rocks has been determined to be 0.25%–0.30%. In respect of reservoiring: (1) Hydrocarbon inclusions in the Lower Paleozoic carbonate reservoirs in Lunnan area have been formed in Late Silurian–Early Devonian, Late Cretaceous and Neogene, respectively, and they are related with regional charging events of hydrocarbons. (2) Oil-source correlation shows that the oil in Lunnan and Tahe might have been sourced from the Middle–Upper Ordovician source rocks. (3) Isotope tracer study and temperature measurement of inclusions show that the fluids in Tazhong have deep source characteristics. Moreover, fluorite replaces limestone would have greatly improved the poroperm characteristics of the reservoirs. The discoveries in new series of strata and new type discoveries obtained in exploration of carbonates in Paleozoic craton area, as well as the breakthroughs got in exploration of Silurian and Devonian clastic rocks in Paleozoic craton area, show that Tarim basin has large exploration potentials.

Key words hydrocarbon generation; reservoiring; basin formation; advancement of research; superimposed basin; Tarim basin

通过近年来多学科、多领域的联合攻关研究,在叠合盆地形成与演化、叠合盆地源岩分布与控制因素、叠合盆地油气源对比与分析、叠合盆地多期成藏与多期改造等诸多方面取得了重大进展。本文以塔里木盆地为例,对“973”项目取得的重要进展进行简要介绍。

1 成盆方面

1.1 叠合盆地盆山(天山与两侧盆地)耦合的复杂特征

1) 深部盆山耦合特征

对于天山造山带和两侧盆地的深部结构,前人曾取得塔里木向北俯冲,准噶尔向南俯冲的双俯冲模式^[1]。国家“973”项目通过卡拉库姆–新都库什天然地震剖面、沙雅–布尔津综合地球物

理剖面、库尔勒–吉木萨尔地震宽角反射/折射剖面、可可托海–阿克塞深地震测深剖面的综合研究,发现了造山带与盆地深部耦合的复杂特征^[2,3],塔里木盆地与天山造山带的岩石圈结构具有明显的分段性,不同地区具有不同的特征(图1)。卡拉库姆–新都库什天然地震剖面揭示费尔干纳盆地由北向南插入到天山之下;沙雅–布尔津综合地球物理剖面表明塔里木盆地向天山造山带“层间插入与俯冲消减”,而准噶尔盆地与天山造山带主要以走滑接触为主;库尔勒–吉木萨尔高质量的地震宽角反射/折射记录,揭示了塔里木与准噶尔同时向天山造山带对冲;可可托海–阿克塞地震剖面是中国西北部第一条深地震测深剖面,探测结果没有发现明显的岩石圈俯冲。深部盆山耦合的复杂特征控制了浅层盆山结构的复杂性。

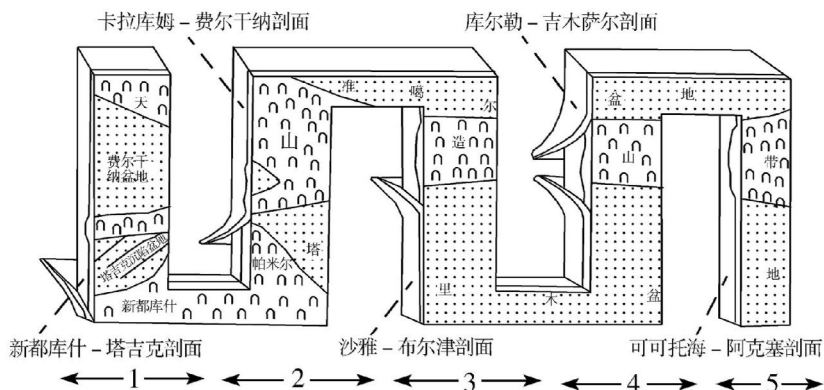


图 1 天山造山带岩石圈结构块状图^[3]

Fig. 1 Block diagram showing lithosphere structure in Tianshan orogenic belt^[3]

2) 浅层盆山耦合特征

天山造山带与塔里木盆地浅层的现今盆山结构复杂,不同的区段具有不同的特征^[4]。大致以羊布拉克为界,盆山边界产状分为两类:以西,第三系不整合覆盖在中生界之上,而其下部的三叠系又不整合在古生界岩层上;以东,第三系与古生界被断层隔开,策达雅沟观测到断层带内的运动学标志,指示向盆地方向滑落,地层下陡上缓的产状变化显示出同沉积构造特征。

通过对盆山边界处露头脆性变形的观测和研究,对有明确指向构造的断层及擦痕进行测量,获得了古应力张量的诸参数。结果显示,盆山边界的应力状态大致以羊布拉克为界:以东,阳霞和策达雅沟表现为近东西向的斜向伸展的特征。在羊布拉克以西,主要表现出明显的垂直于地层走向的伸展状态,多为近南北向。

浅层盆山结构的复杂性受到深层构造的控制,显示了盆山系统演化史和盆地叠合演化的复杂特征。

1.2 塔里木盆地叠合特征

塔里木盆地的叠合演化成果^[5~7],前人主要从不同阶段的盆地性质进行论述,本文根据地球物理资料和层序地层学方法揭示了塔里木盆地的翘倾式叠合演化的特点,自寒武纪到第四纪,盆地沉降中心发生了有规律的迁移。

寒武纪—奥陶纪,台盆区基底整体为向西、南方向的翘倾,呈现西台(碳酸盐台地)东盆(满加尔、库鲁克塔格深水盆地)的古地理格局^[5],成盆、沉积特征显示了烃源岩主要发育在盆地中部和东北部。

志留纪—二叠纪,塔里木盆地的海侵方向主要来自盆地的西、西南部,盆地的沉降区与早古生代相比,发生了方向性变化。志留纪—泥盆纪,库鲁克塔格至塔北隆起以及盆地东南部均抬升为陆地,盆地形成向西开口与广海相连的典型的陆内坳陷型海盆,其自西向东由滨海相、潮坪相变为近岸三角洲相沉积。泥盆纪的盆地格局继承了志留纪盆地的特点,水体逐渐变浅,反映了盆地萎缩消亡的演化过程。石炭纪—二叠纪是塔里木盆地再次大规模沉降成盆时期。早石炭世,塔北、塔中、

塔东南存在隆起物源区,盆地整体具有东高西低趋势,沉积具有填平补齐,以碎屑岩沉积为主的特征。其后随着海侵作用的加强,全盆地逐渐形成了统一的碳酸盐岩台地环境。晚石炭世,盆地东部、东北部,进一步抬升,发育三角洲平原—河流体系,西南部英吉莎地区为一套深水斜坡相的复理石沉积,显示了盆地西南深,东北浅的格局。早二叠世盆地基本继承了石炭纪晚期的古地理格局,普遍发育的中基性火山岩显示了该时期的拉张构造环境。晚二叠世,中国西北进入陆内演化阶段,塔西南地区成为最大的陆内湖相盆地,东、北部仍然是沉积物源区。石炭—二叠纪盆地的演化特点决定了该时期形成的烃源岩主要在塔西南地区。

三叠纪沉积厚度超过 2 000 m,原始地层沉积恢复显示塔西南地区是沉积中心,但目前塔西南地区仅在山前露头区残留有三叠系,显示了塔西南地区在侏罗系沉积前曾经经历了长期的、强烈的隆升剥蚀过程。目前三叠系仅残留在满加尔坳陷和库车地区。南天山山前是三叠纪的沉降中心,也是三叠系烃源岩发育区。

侏罗纪是塔里木盆地周缘山前烃源岩重要形成期,以南天山山前、阿尔金山前和昆仑山山前为沉降中心,整体形成了盆—山接合部位沉降、中部隆起的构造格局。

古近纪—新近纪,造山带隆升进一步加剧,盆地山前沉降进一步增强,前陆盆地形成。

综上所述,盆地的沉降中心经历了由东向西向周缘的迁移过程。沉降中心迁移的特点决定了烃源岩的分布具有横向相邻、纵向叠置、分布广泛的特点,为盆地形成丰富的油气资源奠定了物质基础。同时,由于同期烃源岩沉降格局的不断变化,烃源岩成熟过程、供烃时间也不相同。从而形成了塔里木盆地具有多套烃源岩、同一套烃源岩不同时期成熟供烃成藏和多个油气成藏系统平面、纵向相互叠合的特征。

2 成烃方面

2.1 海相碳酸盐岩优质烃源岩发育主控因素

通过地质学和地球化学综合研究,海相碳酸盐岩优质烃源岩发育的主控因素有^①: 1) 塔里木盆

① 钟宁宁, 耿安松. 中国典型叠合盆地碳酸盐岩烃源岩生排烃机理与效率. “973”项目年度报告, 2003

地下寒武统烃源岩的形成与海底热水流体密切相关,但不同地区有一定差异;2)适当低的无机物输入和沉积速率,有利于高丰度烃源岩形成;3)长时间尺度 CaCO_3 沉积对微藻生长、埋藏和有机质积累的控制作用研究表明,沉积有机质量增加的最佳 CaCl_2 浓度范围为 $0.001 \sim 0.100 \text{ mol/L}$, CaCl_2 浓度大于 0.100 mol/L 的沉积环境明显抑制甚至终止藻细胞的生长;4)重碳-重氧期与高丰度烃源岩呈正相关;5)塔里木盆地地下古生界中某些微量元素含量与高丰度烃源岩呈正相关,暗示海域中营养盐促使了生烃母质生物勃发。

高丰度烃源岩仅发育于被动大陆边缘背景下的裂谷、克拉通内裂谷、克拉通内坳陷盆地、克拉通边缘坳陷盆地和活动大陆边缘背景下的前缘斜坡、挠曲类前陆坳陷中。而被动大陆边缘背景下的克拉通台地,活动大陆边缘背景下的前渊坳陷没有烃源岩发育。

2.2 有效碳酸盐岩烃源岩有机质丰度下限的确定

针对我国碳酸盐岩烃源岩多处于高-过成熟

阶段的特点,通过大量的碳酸盐岩生排烃机理模拟实验,从生排烃机理和数值计算两个方面探索有效烃源岩的有机质丰度下限值,初步确定有效碳酸盐岩烃源岩的有机质丰度下限值应为 $0.4\% \sim 0.5\%$,而有效气源岩的成熟度下限应根据烃源岩有机质生烃潜力变化和热化学硫酸盐还原作用(TSR)两个方面加以确定。

根据物质平衡原理,以生气量、吸附气量、油溶气量、水溶气量、扩散气量计算模型为基础,制作了碳酸盐岩气源岩有机质丰度下限评价图版(图2)。图2直观反映了有机质丰度、类型和成熟度3方面指标对碳酸盐岩气源岩有机质丰度评价标准的影响。可以看出,碳酸盐岩作为气源岩的有机质丰度下限受源岩层厚度、有机质的生烃潜力和成熟度的影响很大,一般生烃潜力为 500 mg/g 成熟的碳酸盐岩烃源岩,有机质的丰度下限值约为 $0.17\% \sim 0.20\%$ 。但若考虑在构造运动期间以机械渗滤形式散失的天然气。因此,确定碳酸盐岩成为气源岩所要求的有机质丰度下限值可能为 $0.25\% \sim 0.30\%$ 。

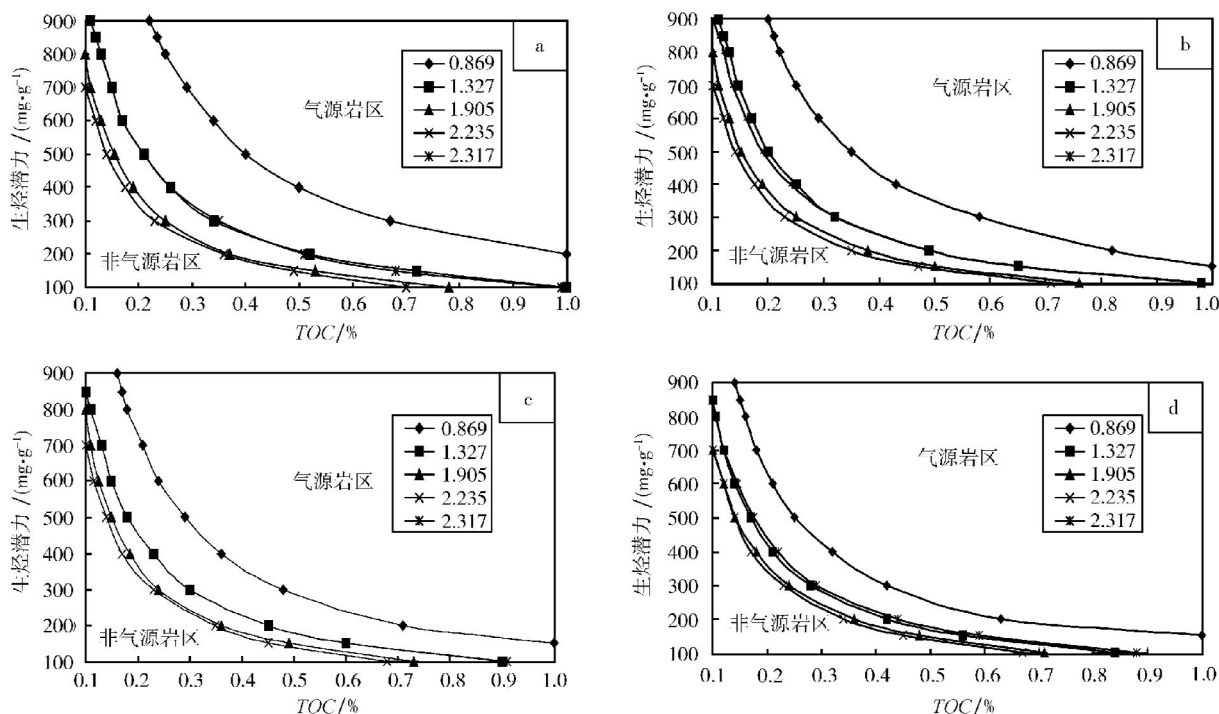


图 2 碳酸盐岩气源岩有机质丰度下限划分图版^①

Fig. 2 Chart board for classification of the lower limits of organic matter abundance in carbonate gas source rocks^①

a 源岩厚 100 m; b 源岩厚 200 m; c 源岩厚 500 m; d 源岩厚 1 000 m

① 钟宁宁, 耿安松. 中国典型叠合盆地碳酸盐岩烃源岩生排烃机理与效率. “973”项目年度报告, 2003

3 成藏方面

3.1 轮南地区不同时代储层中有机包裹体期次及形成时间

轮南地区不同时代储层石油包裹体具有明显分期性^①,采用石油包裹体产状、包裹体荧光特征、石油包裹体均一温度及其共生盐水溶液包裹体均一温度、与石油包裹体共生沥青特征及成熟度、石油包裹体成份与古压力、储层油气地化特征等进行综合分析,发现早古生代碳酸盐岩储层中发育 3 期石油包裹体(表 1)、3 期盐水溶液包裹体。3 期石油包裹体分布广泛,与区域性油气充注事件有关,分别形成于晚志留世—早泥盆世、晚白垩世及新近纪。

石炭系砂岩储层存在一期有机包裹体,呈黄色荧光,包裹的主要是正常原油,与奥陶系第Ⅱ期包裹体特征类似,其捕获温压分别为 135~139℃及 35.4~36.8 MPa 形成于新近纪;三叠系砂岩储层存在两类有机包裹体,虽性质不同,但成藏时间相当,其捕获温度为 110~136℃和 97~138℃,捕获压力分别为 28.1~37.1 MPa 和 38.7~39.3 MPa 均形成于新近纪。

平面上,奥陶系 3 期有机包裹体在东部均有发现,而在西部仅发现有第Ⅱ期。从 3 期有机包裹体丰度来看,分布最广的是第Ⅱ期与第Ⅲ期,第Ⅰ期最少,仅在东部地区的 LN10 井、LN14 井等样品中发现,暗示了轮南低隆起成藏历史东西有别,东部成藏期次多,西部成藏期次少。

3.2 轮南、塔河油田油源对比

自 20 世纪 80 年代沙参 2 井发现以来,油源研

究一直处于争论之中,目前争论的焦点集中在是寒武系一下奥陶统还是中上奥陶统作为主力烃源岩。

轮南、塔河油田稠油饱和烃色谱图中具有完整的正构烷烃分布,但基线呈不同程度抬升,普遍含有 25-降藿烷系列,表明原油存在两期充注过程。其三环萜烷以 C₂₃为主峰,C₂₄四环萜烷的丰度普遍较低,C₂₄-四环萜烷/C₂₆-三环萜烷比值为 0.6~0.8。藿烷系列中 C₂₉藿烷、C₃₁藿烷、C₃₅藿烷较高、伽马蜡烷含量较低,伽马蜡烷/C₃₀藿烷比值小于 0.15,甾烷的分布模式为 C₂₉大于 C₂₇大于 C₂₈。特殊标记化合物表明,轮南、塔河稠油甲藻甾烷和 4-甲基-24-乙基胆甾烷含量低,而 3-甲基-24-乙基胆甾烷含量高;三芳甲藻甾烷分布上,以 3β-甲基-24-乙基胆甾烷占优势,其他三芳甾烷含量低,甲藻甾烷几乎检测不到;具有较高含量的 27-降胆甾烷,这些特点与中上奥陶统烃源岩甾烷分布的面貌相似^[8]。

塔河稠油中广泛检出芳基类异戊二烯烃,该化合物来源于绿硫细菌。有该类化合物的沉积有机质形成于高盐度和强还原的水体环境中。这种沉积环境现代的典型类比物是黑海。原油中芳基类异戊二烯烷烃的检出表明,至少存在一套还原环境的烃源岩对现今的油藏有贡献^[9],可候选的烃源岩有:中、下寒武统烃源岩、中、下奥陶统黑土凹组、中、上奥陶统萨尔干组。

典型油气藏的成藏期分析表明:海西晚期和喜马拉雅期是绝大多数海相油气藏重要的成藏期。喜马拉雅期对应于上奥陶统良里塔格组烃源岩生烃和(或)油藏再调整成藏是没有争议的,绝大多数学者认为海西晚期对应于寒武系一下奥陶统烃源岩的生烃时期^[10]。对于满东地区的寒武系一下奥陶统烃源岩来说,在奥陶纪末,随着巨厚的中、上奥陶统沉积,烃源岩的成熟度 R_o值已超过

表 1 轮南低隆起奥陶系碳酸盐岩石油包裹体分期^①
Table 1 Ages of oil inclusions in Ordovician carbonates in Lunnan low uplift^①

期次	产状	荧光颜色	均一温度 /℃	共生沥青 R _o /%	古压力 /MPa
I	白云岩次生加大边、方解石细脉,次生加大边	绿、黄、黄绿色	90~100	1.20~1.50	20.0~22.0
II	方解石细脉、次生加大边	黄绿、绿黄色	120~130	0.80~1.00	23.5~25.0
III	方解石细脉	绿黄、黄绿色	140~150	小于 0.05	33.0~36.0

① 彭平安,吕修祥.中国典型叠合盆地成藏年代年学研究.“973”项目年度报告,2003

1.3%, 几乎丧失了生成液态烃的能力, 因而也不能对满东地区寒武系烃源岩寄予太多希望; 上奥陶统良里塔格组烃源岩尚不成熟, 因而也不可能提供大规模油源; 从油藏成藏期和源岩生烃史的角度出发, 中、下奥陶统烃源岩可能是台盆区海相原油的主力烃源岩。

静态的用甾烷类化合物进行的油源对比, 主体原油与上奥陶统良里塔格组烃源岩亲缘关系最为明显。而目前油气勘探的事实是上奥陶统烃源岩的分布相当局限, 主要分布在塔北隆起、塔中隆起和阿瓦提地区, 在塔中地区与塔北地区与目前所发现的油气藏重叠, 但所产出原油的地球化学特征在萜烷方面, 特别是 C_{24} 四环萜烷 / C_{26} 三环萜烷比值与上奥陶统高有机质丰度的良里塔格组烃源岩仍未很好吻合。

从野外剖面所获得的岩石样品地球化学分析结果来看, 中奥陶统萨尔干组烃源岩具有最高的生烃潜量和氯仿沥青“A”含量, 其氯仿沥青“A”含量几乎高于玉尔吐斯组、黑土凹组烃源岩一个数量级, 表明其是最好的烃源岩, 推测在西部地区存在这套烃源岩。但其生物标志物特征为 C_{21} 三环萜烷大于 C_{23} 三环萜烷, 伽马蜡烷含量高、 C_{28} 甾烷含量高, 均与目前的海相原油生物标志物有一定的差异。有意义的是这套烃源岩尽管沥青“A”含量高, 生物标志物的绝对含量却很低, C_{30} 藿烷、 C_{29} 甾烷含量远低于黑土凹组、却尔却克群烃源岩相应的生物标志物含量, 仅占后者的 1/5~1/10。特殊标志化合物如甲藻甾烷、甲藻三芳甾烷、 C_{26} 甾烷在该套烃源岩抽提物中含量低于检测低限, 无法检出。中奥陶统萨尔干组烃源岩生成的原油最容易被后期良里塔格组生成的烃类所污染, 即所谓的“墨水效应”。因为污染是低含量的化合物会被高含量的化合物所污染, 而不会出现高含量的化合物被低含量的化合物所污染^①。

王铁冠等^②使用 $Ts/(Ts+Tm)$ 、 $4M-1/IM-DBT$ 、含氮化合物总量和苯并[a] / (苯并[a] + 苯并[c] 呋唑) 4 项分子参数, 认为塔河油田主体部位与东部 5 区、9 区分别属于两个石油充注成藏系统, 前者的烃源灶位于塔河油田以南, 可能在顺托果勒(低)隆起部位, 主要提供成熟-高成熟石油,

总体上石油自南向北充注; 后者的烃源灶在塔河油田以东, 可能以草湖凹陷为烃源区, 提供高成熟-过成熟油气, 后期有大量天然气供给, 总体上油气由东往西充注。

塔河油田主体原油的烃源灶位于中西部, 而非东部。基于成藏期分析、原油运移方向、原油中芳基类异戊二烯烷烃的分布, 提出中奥陶统萨尔干组烃源岩和(或)等时异相的烃源岩可能为海相原油的主力烃源岩^①。

3.3 深部流体活动及成藏效应

1) 塔中地区同位素地球化学示踪研究揭示存在深部热流体活动

塔中 45 井及邻近井奥陶系中的萤石、方解石脉和灰岩的碳、氧和锶同位素分析结果显示, 灰岩和方解石脉之间的碳、氧同位素组成有明显的区别, 灰岩样品都较为一致的落在 Veizer 和 Hoefs^[11] 所确定的奥陶系正常海相碳酸盐岩的区域内(图 3), 而方解石脉的碳、氧同位素组成则落在原始幔源碳酸盐岩和海相灰岩之间(更接近于海相灰岩的区域), 表明许多方解石脉的形成受到深源流体不同程度的影响。

中、上奥陶统灰岩的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 比为 0.708 458~0.708 688, 方解石脉为 0.708 898~0.709 036, 萤石则为 0.708 891~0.709 305。方解石和萤石脉

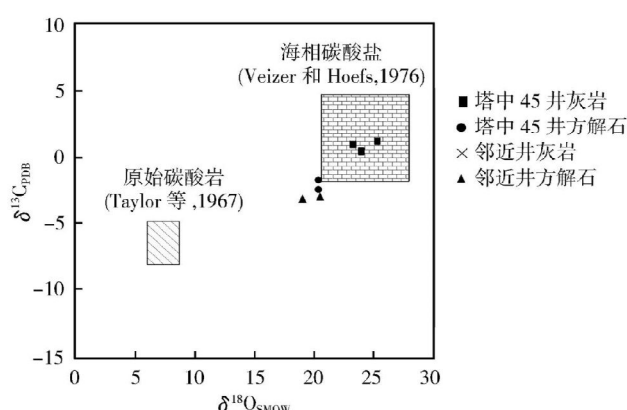


图 3 塔中 45 井区方解石脉及灰岩的 $\delta^{13}C_{PDB}$ 和 $\delta^{18}O_{SMOW}$ 分布

Fig. 3 Map showing distribution of $\delta^{13}C_{PDB}$ and $\delta^{18}O_{SMOW}$ in calcite veins and limestones in wellblock 45 in Tazhong

① 金之钧, 王毅, 马安来, 等. 塔里木盆地台盆区有效烃源及油气勘探方向. 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院, 2005

② 王铁冠, 王春江, 李美俊, 等. 塔河-塔中-塔西南地区成藏地球化学与油源对比研究. 中国石油大学(北京), 2005

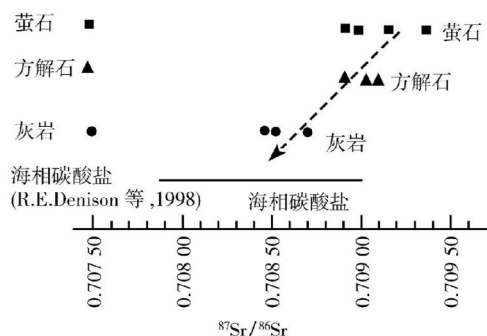


图 4 萤石、方解石、灰岩以及奥陶纪海相碳酸盐岩地层 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 分布特点^[12]

Fig. 4 Map showing distribution of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ in fluorite, calcite, limestone and Ordovician marine carbonate^[12]

的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 都比灰岩的比值要高, 并且萤石脉还要略微高于方解石脉, 表明从萤石到方解石脉再到灰岩是一个系列变化 (图 4), 是深源流体与奥陶系灰岩相互作用的结果。

萤石、方解石和石英中流体包裹体均一温度和盐度测量结果表明, 萤石中流体包裹体均一温度变化范围较大, 为 $82\sim 430^\circ\text{C}$, 其中, 约一半在 300°C 以上, 且均一温度与盐度具有正相关关系, 温度高的流体包裹体通常都具有较高的盐度。围岩方解石中流体包裹体的均一温度仅为 $84\sim 91^\circ\text{C}$ 。由此认为, 高温高盐度流体与岩浆热液有关, 深源热液流体与地层中的地温低盐度流体的混合, 造成了均一温度的大幅度变化。

综上所述, 同位素示踪研究揭示了该区流体具有深部来源特征, 包裹体测温表明了高温流体的加入。结合塔中地区广泛分布的火成岩, 塔中地区深部流体的活动是毫无疑问的。塔中 45 井中萤石的形成即是深部热液流体与奥陶系灰岩相互作用的结果。萤石交代灰岩对储层物性具有显著改善作用。

2) 塔中 11 等井区存在 3 期油气成藏叠加事件, 其中第二期与热流体活动密切相关

塔中地区志留系含油砂岩 (即沥青砂岩) 变化很大, 不仅颜色深浅不同, 而且荧光特征也很复杂, 既有黑色沥青质, 也有各种褐色成熟烃类, 还有浅黄—蓝色高熟烃。

对黑色沥青砂岩游离烃的气相色谱分析发现, 大多数烃类都遭受到了较为强烈的生物降解, 色谱基线呈不同程度抬起, 但同时又有不等量的后期轻烃叠加在基线之上 (图 5), 说明具有两期叠加的特征。对包裹体烃的测试分析表明, 大多

数图谱表现出正构烷烃呈双峰分布的特点, 多数色谱基线上隆明显 (图 6)。因此, 认为包裹体中有 3 种烃类: 其一为后峰型重质烃类, 是第一期成藏作用的产物; 其二为前峰型轻质烃类, 是伴随着热流体作用被捕获的第二期高熟烃; 其三是不同碳化的沥青, 是第一期烃类遭受生物降解和热液改造双重作用的产物。对游离烃和包裹体烃色谱质谱资料的详细对比发现, 游离烃的成熟度指标明显高于包裹体烃, 说明在包裹体烃形成之后, 又有一期更高成熟度的轻质烃类充注到被改造的沥青砂岩中, 因此推测, 在海西期运动之后的燕山期或喜马拉雅期, 塔里木盆地深部烃源岩又有一次

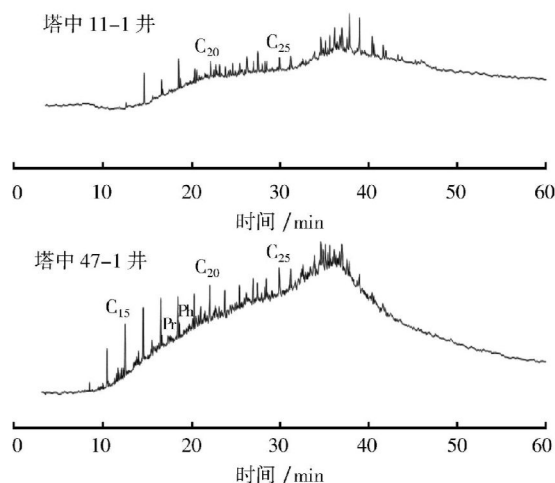


图 5 塔中志留系黑色沥青砂岩中游离烃气相色谱

Fig. 5 Gas chromatogram of free hydrocarbon gas in Silurian black asphaltic sandstone in Tazhong

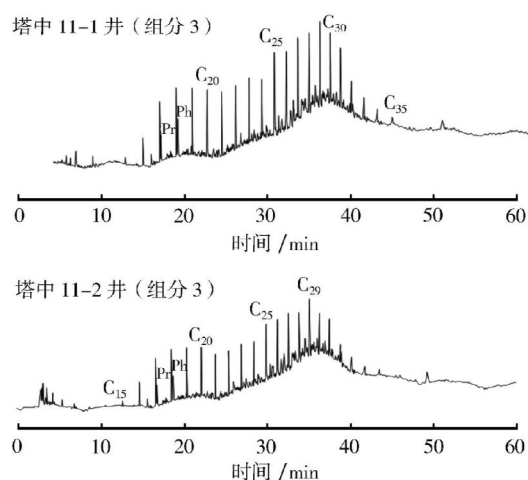


图 6 塔中志留系黑色沥青砂岩中包裹体烃的气相色谱

Fig. 6 Gas chromatogram of hydrocarbons in inclusion occurring in Silurian black asphaltic sandstone in Tazhong

明显的生烃过程(没有热液作用相伴),并运移到塔中浅部,再一次充注到志留系沥青砂岩中。

结合区域构造演化及前人资料,可以对塔中地区油气成藏历史作如下恢复:1)第一期成藏为晚加里东期,寒武和下奥陶统烃源岩成熟,油气运移到志留系中成藏,并形成 I 类有机包裹体。之后在加里东晚期-早海西期,古油藏遭受破坏,志留系油藏被抬升到地表附近,遭受严重的生物降解和氧化淋滤;2)第二期成藏为海西中晚期,盆地再次沉降,海西晚期火山-岩浆作用强烈,大量热液流体,不仅促进再次生烃作用,形成后期高(过)熟烃类,另一方面引起流体运移调整,使轻质烃类在次生孔隙再次成藏,同时部分烃类被捕获在包裹体中;3)第三期成藏为中新生代,随着中新生的不断沉积,促使烃源岩最后一次生烃,或者使早期烃类进一步裂解,形成更高成熟度的轻质烃,充注到沥青砂岩中。

4 勘探潜力

4.1 台盆区碳酸盐岩

台盆区碳酸盐岩主要发育于古生界台地相,分布在塔北、卡塔克、巴楚古隆起及麦盖提古斜坡,在塔西南和塔东南只有局部地区发育古生界台地相碳酸盐岩。该领域勘探面积大,资源潜力大。根据目前所达的勘探深度(埋藏深度小于 7 000 m),其有效勘探面积达 $18 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。目前该领域在 28 个有利构造带已完成探井 256 口,其中 102 口井获工业油气流,预测储量规模在 $20 \times 10^8 \sim 30 \times 10^8 \text{ t}$ 资源量 $160 \times 10^8 \text{ t}$ 可供勘探领域多,据目前勘探揭示,碳酸盐岩发育 5 套储盖组合,其中 4 套已发现了规模较大的油气藏。

近几年在碳酸盐岩勘探领域中的不断突破,如塔北隆起新发现的下奥陶统一间房组滩相颗粒灰岩裂缝-孔隙型灰岩优质储层(孔隙度为 4%~7%),拓宽了下奥陶统勘探的新类型;中、上奥陶统良里塔格组发现的缝洞型储层,拓宽了碳酸盐岩领域的新层位;塔河南盐下中、上奥陶统大型古潜山的发现及沙 106 井油气的突破,拓宽了碳酸盐岩的新领域。这些新层系、新类型、新领域的发现一方面使塔河油田的储产量呈大幅度提高,使其跨入特大型油气田行列,同时也展示了塔里木

盆地碳酸盐岩领域巨大的勘探潜力和广阔的勘探前景。近期主攻方向有塔北隆起的阿克库勒凸起及外围、沙西断凸、卡塔克隆起及斜坡区、麦盖提斜坡的和田古隆起等。

4.2 台盆区碎屑岩

台盆区碎屑岩主要有志留系、泥盆系和石炭系,多为滨岸沉积,主要分布在卡塔克、塔北、巴楚隆起及斜坡区。目前在各个层系均有不同程度的突破,展示了良好的勘探前景。但从区域地质背景及目前钻探揭示来看,该领域油气藏圈闭类型比较复杂,主要为低幅度构造、岩性、地层尖灭和复合型圈闭,在圈闭识别和预测上有一定的难度,这在很大程度上制约了该领域的勘探步伐。

近两年塔里木盆地该领域主要在卡塔克隆起及斜坡区于志留系和泥盆系(东河砂岩)获重大突破。卡塔克隆起在志留系连获突破(塔中 47 井、塔中 11 井、塔中 111 井和塔中 117 井),目前已获探明储量 $460 \times 10^4 \text{ t}$ 预测储量 $4 500 \times 10^4 \text{ t}$ 。塔里木盆地志留系油气显示范围达 $7 \times 10^4 \text{ km}^2$,表明志留系油藏具有一定的分布规模。以泥盆系东河砂岩为主力产层的哈得逊油田,近几年储量规模呈大幅度增加,2003 年储量规模已近亿吨级。这些发现表明,台盆区碎屑岩也是寻找大中型油气田的重要领域。

致谢:本文为国家“973”项目《中国典型叠合盆地油气形成富集与分布预测》(G19990433)众多科研人员多年来辛勤成果的结晶,在此深表谢忱!

参 考 文 献

- 高锐,肖序常,高弘. 西昆仑-塔里木-天山岩石圈深地震探测综述[J]. 地质通报, 2002, 21(1): 11~18
Gao Rui, Xiao Xuchang, Gao Hong et al. Summary of deep seismic probing of the lithospheric structure across the West Kunlun-Tarim-Tianshan[J]. Geological Bulletin of China, 2002, 21(1): 11~18
- 赵俊猛,李植纯,马宗晋. 天山分段性的地球物理学分析[J]. 地学前缘, 2003, 10(特刊): 125~131
Zhao Junmeng, Li Zhichun, Ma Zongjin. Geophysical evidence for segmentation of the Tianshan[J]. Earth Science frontiers, 2003, 10(S0): 125~131
- 赵俊猛,张先康,邓宏钊,等. 拜城-大柴旦剖面的上地壳 Q 值结构[J]. 地球物理学报, 2003, 46(4): 503~509

(下转第 294 页)