

塔里木多旋回盆地与复式油气系统*

何治亮¹, 毛洪斌², 周晓芬², 龚 铭¹, 余小宇¹

(1. 中国石化集团新星石油公司勘探研究院, 湖北荆州 434100;

2. 中国石化集团新星石油公司西北石油局规划设计院, 新疆乌鲁木齐 830011)

摘要:长距离漂移的小板块、条块分割的基底结构和相邻板块的复杂作用控制了塔里木盆地多旋回的演化历史。自塔里木运动后,盆地经历了古亚洲洋、古特提斯洋、中特提斯洋、新特提斯洋四大演化阶段,形成了多种原型盆地和统一、分割、又统一的叠加过程以及多变的热体制。多旋回盆地演化形成了复式油气系统。多套烃源、多个生烃坳陷和多期生烃构成了复式烃源;原生、次生孔隙型储层与“改造型”储层构成了复式储集空间;多套盖层与异常压力带构成了复式封盖系统;不整合、断裂、输导层和汇烃脊构成了复杂的输导网络;联合复合变形作用与沉积、成岩作用形成了复式圈闭系统;油气形成后的改造、重建封闭和保存导致了复杂的成藏史,形成了一些复式油气聚集带。基于上述认识,塔里木盆地今后油气勘探应立足于已知油气田,扩大储产规模,形成规模效应;积极向外拓展,争取战略突破;探索新类型、新层位、新深度,拓宽勘探领域;完善一批关键技术,攻克一批特殊目标,实现储、产量的快速增长。

关键词:板块;基底;多旋回;复式;塔里木盆地

第一作者简介:何治亮,男,37岁,教授级高级工程师,石油地质

中图分类号:TE121.1 **文献标识码:**A

塔里木盆地地层展布范围广,资源潜力大,具备形成大型甚至特大型油气田的地质条件,决定了今后大规模勘探开发的可行性。但其相对复杂的地表条件和勘探深度较大等,使油气勘探还面临一系列深层次的理论和技术问题。通过塔里木多旋回叠加盆地和复式成藏系统的分析,初步探讨了其中的一些问题。

1 多旋回叠加盆地

1.1 长距离漂移的小板块

塔里木板块这个仅相当于北美、非洲板块1/20左右的小板块,自显生宙以来经历了从南纬30°到北纬40°长距离的漂移,并发生了近90°的旋转^[1]。在与其它板块如哈萨克斯坦、西伯利亚、中朝、羌塘-冈底斯、印度等大大小小的板块,以及更小尺度的地体间的分离、敛合、拼贴、碰撞过程中,形成了多变的地球动力学背景。正是这种多变的背景使这些板块的内部和边缘形成了多种成因机制盆地的联合和复合,产生了复杂的沉降、沉积、抬升、剥蚀、岩浆活动、变质作用等丰富多彩的内外地质作用。

1.2 条块分割的基底结构

塔里木克拉通具有统一的前震旦系古老的陆壳基底,最老地层为中下太古界。盆地地壳厚37~55 km,各层界面同步起伏,基底隆坳与莫霍面的隆坳一致,地壳各层具刚性,没有明显的侧向蠕变。基底为具不同磁性的岩块相同排列,并为后期增生的元古界变质岩系所包裹,同时发育呈网状的基底断裂体系,表现出条块分割、具有极强不均一性的基底面貌。

塔里木克拉通破碎的基底结构,构成了盆地演化过程中不稳定的边界条件。在盆地形成与变形改造过程中,基底内在的差异也是克拉通演化过程差异性的深层原因之一。

1.3 相邻板块复杂的作用

塔里木板块经历了从洋-陆板块构造体制向大陆板内形变体制的转化,分别经历了不同的板块构造演化阶段和板块构造事件(表1)。

塔里木板块先后经历了古亚洲洋、古特提斯洋、中特提斯洋、新特提斯洋四大演化阶段。其间经历的主要构造事件有晚元古代末以古亚洲洋形成为代表的塔里木运动;中泥盆世末库地洋和南天山洋闭合的海西早期运动;早二叠世末古特提斯洋消失、中特提斯洋形成的海西晚期运动;三叠纪末

* 国家重点科技攻关项目(96-111)资助

收稿日期:2000-05-10

中特提斯洋局部关闭羌塘陆块拼贴于北部大陆的印支运动;早白垩世末中特提斯洋消失、印度板块拼贴于北部大陆的燕山晚期运动;以及早第三纪末印度板块向北强烈挤压、青藏高原快速隆升的喜山早期运动。

两大构造体制,四大构造阶段及多个板块构造事件,直接提供了克拉通板块多旋回、多阶段、风格迥异的盆地演化历史。

表 1 塔里木盆地构造演化阶段、盆地类型及主要板块运动事件

Table 1 Tectonic evolution stages, basin types and main plate movement events of Tarim Basin

地质年代		地震波组	演化阶段	主要构造运动	盆地类型			主要板块运动事件
					南部及周缘	中 部	北部及周缘	
第四纪		T ₃ ⁰	新特提斯挤压碰撞阶段	喜山期晚运动	碰撞前陆盆地			印度大陆与欧亚大陆碰撞,并持续向北推挤
第三纪	中-上新世			喜山早期运动				
	渐-古新世							
白垩纪		T ₄ ¹						
侏罗纪		T ₄ ⁰	中特提斯体制下局部走滑阶段	燕山早期运动	走滑盆地	陆内坳陷盆地	库车前陆盆地	古特提斯洋关闭,康西瓦缝合线形成
三叠纪		T ₄ ⁶		印支运动				
		T ₄ ⁸						
二叠纪	晚二叠世	T ₅ ⁴	古特提斯聚敛局部伸展阶段	海西晚期运动	弧后前陆盆地	克拉通(内)局部伸展坳陷盆地	周缘前陆盆地	南天山洋关闭,汗腾格里缝合线形成
	早二叠世	T ₅ ⁰						
石炭纪		T ₅ ⁴						
泥盆纪	晚泥盆世	T ₆ ⁰	古亚洲洋开合阶段	海西早期运动	周缘前陆盆地	克拉通(内)坳陷盆地	被动大陆边缘盆地	西昆仑早古生代岛弧与塔里木大陆碰撞,库地缝合线形成
	早-中泥盆世	T ₆ ²						
志留纪	中、晚志留世	T ₆ ³		加里东晚期运动				
	早志留世	T ₆ ⁹						
奥陶纪	中、晚奥陶世	T ₇ ⁰	拉开亚阶段	加里东中期运动	被动大陆边缘盆地	克拉通(内)坳陷盆地	被动大陆边缘盆地	伊宁地块从塔北缘分裂,塔北缘被动大陆边缘形成
	早奥陶世	T ₇ ⁴						
寒武纪		T ₈ ⁰						
震旦纪	晚震旦世	T ₉ ⁰	基底形成阶段	塔里木运动	被动大陆边缘盆地	克拉通(内)坳陷盆地	库鲁克塔格坳拉槽盆地	西昆仑地块从塔西南缘分裂,西南缘被动大陆边缘形成
	早震旦世	T ₁₀ ⁰						
青白口纪								
蓟县纪								
长城纪								
早元古代			兴地塔格运动					

1.4 多旋回的盆地演化

在全球性大地构造体制的宏观控制下,克拉通岩石圈深部的运动、相邻板块的相互作用与基底结构等因素联合制约了盆地的形成与叠加过程(图1)。

塔里木板块从震旦纪至中泥盆世经历了一个完整的开合旋回,初期为陆内、陆间裂谷,中期中部为克拉通坳陷、南北两侧为被动大陆边缘,晚期南北两侧为残留洋+周缘前陆盆地、中部为萎缩的克拉通坳陷盆地。晚泥盆一早二叠世,在古亚洲洋整体的聚敛体制下,在古准噶尔洋和古昆仑洋分别向南和向北的俯冲消减过程中,总体为挤压背景,早

期局部因弧后扩张或转换、走滑拉分形成了张性盆地,其后塔里木盆地南北两侧分别形成周缘前陆盆地、中部为萎缩的克拉通坳陷盆地。晚二叠世至早白垩世的特提斯阶段,总体为构造调整时期,在南部羌塘、冈底斯等小型陆块的正向或斜向碰撞下,盆内、盆缘基底断裂或逆冲推覆或走向滑移,形成了前陆挠曲和走滑拉分盆地的组合,侏罗纪塔西南的喀什、塔东南的于田、塔北的库车均属较典型的拉分盆地。晚白垩世后,印度洋大规模扩张,印度板块向北的挤压加强导致了盆缘断裂幕式冲断或走滑,盆地总体属叠加斜压走滑的碰撞型前陆挠曲盆地。

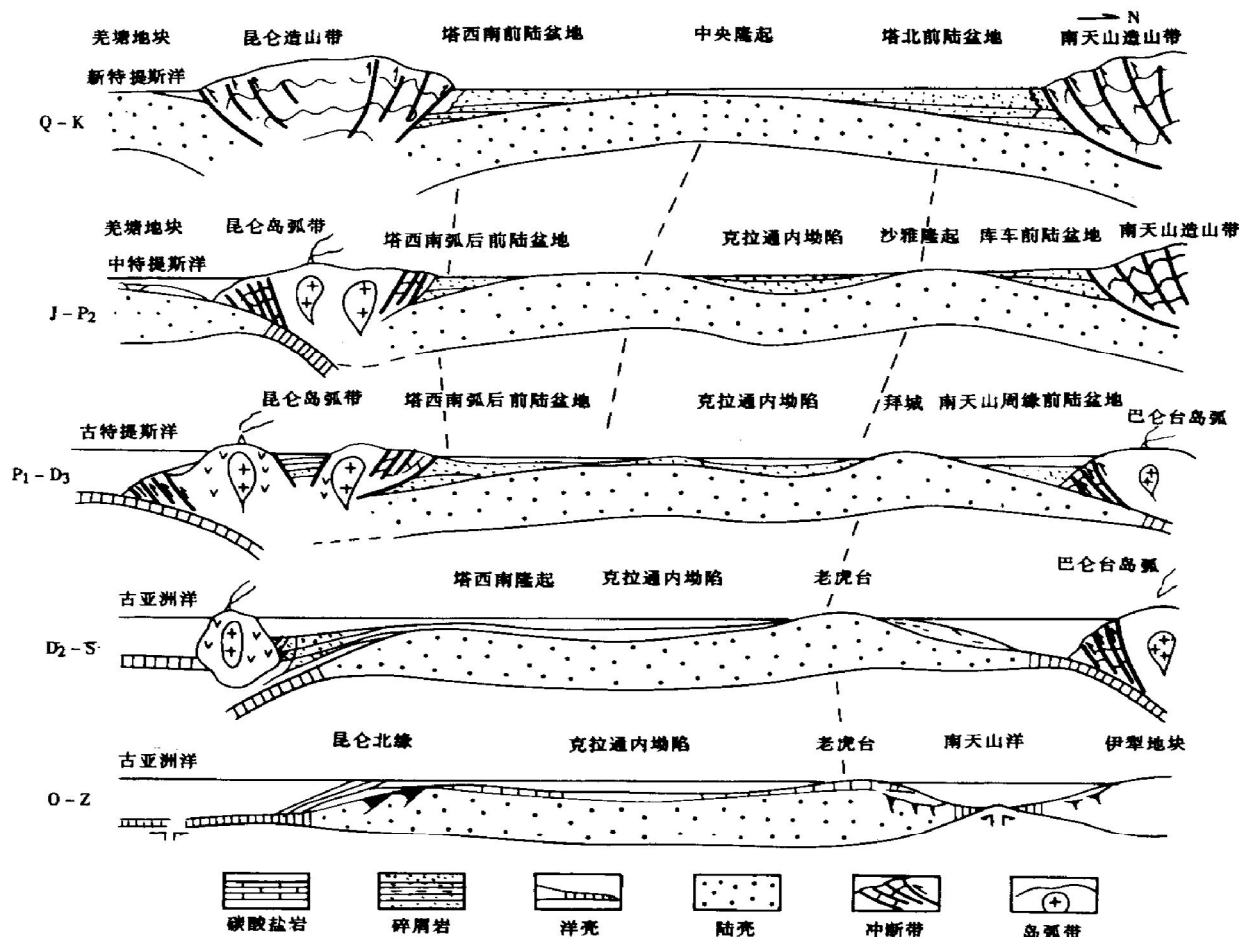


图1 塔里木盆地构造演化模式图

Fig. 1 Tectonic evolution model of Tarim Basin

1.5 统一、分割、又统一的叠加方式

塔里木板块在显生宙以来既有多阶段、多种方式的沉降和沉积过程,也有多阶段、多方式的抬升剥蚀过程,与之相伴的是丰富多彩的构造变形的改造作用和多期原型盆地的叠加过程。

根据时间地层对比分析,塔里木盆地沉积期与间断剥蚀期大致相当,并表现出大致相等的时间间隔,构成多个隆升、沉降旋回,服从于区域构造旋回与事件^[2]。

盆地的改造主要受控于相邻板块运动过程中的构造事件。板块的裂离、拼贴、碰撞均可导致盆地整体或局部被抬升,受作用力的方向、大小或先成构造等制约,表现出不同程度的拉张、挤压、走滑变形。因岩石介质条件、作用方式、构造部位等差异,则分别产生基底卷入与盖层滑脱两种不同的变形组合。

盆地的叠加方式取决于盆地的变形作用方式。塔里木盆地主体在古生代为整体沉降,间以弱改造的整体叠加,产生了几多期复合的古隆起。中生代则表现为以盆地边缘沉降、沉积为主的镶嵌叠加

方式。新生代则又统一为大型的复合盆地,呈披覆叠加方式。

1.6 多变的热体制

塔里木盆地现今的大地热流值为 $40 \sim 50 \text{ mW/m}^2$, 地温梯度为每百米 $1.8 \sim 2.0^\circ\text{C}$, 局部可达每百米 $2.0 \sim 2.5^\circ\text{C}$, 具有低地温梯度和低大地热流特点^[3], 这种“冷”盆的特点是由其固有的岩石圈结构所决定的, 如盖层厚度大, 近期沉降速度大, 岩石圈厚度较稳定, 深、浅层起伏一致, 岩石圈内少或无低速层分布, 岩浆活动不活跃等。塔里木盆地演化早期可能属正常热体制(一般克拉通及边缘盆地的热体制), 海西晚期存在一次全区性的岩浆活动, 盆地南北隆起区以中酸性岩浆活动为主, 阿-满坳陷区以基性岩浆活动为主, 因此推测, 当时应存在一个相对较高的异常岩浆活动热体制。从三叠纪到第三纪经历了从缓慢到快速的降温过程(图2)。

2 复式成藏系统

塔里木多旋回的盆地演化历史使盆地中发育了多套烃源岩系、储集层(体)和盖层, 构成了油气

形成与富集的雄厚的物质基础。

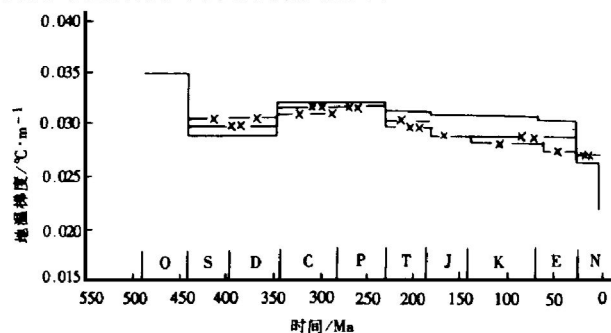


图2 塔里木盆地古地温梯度演化(据[3])

1—YM1; 2—LN5; 3—TZ1

Fig. 2 Evolution of paleogeothermal gradients in Tarim Basin

2.1 复式烃源

塔里木盆地存在震旦-奥陶系、石炭-二叠系、三叠-侏罗系三套烃源岩系。震旦-奥陶系主要分布于克拉通主体部位。由震旦系、下寒武统、下奥陶统、中上奥陶统所构成的下古生界叠加烃源厚度大于2 000 m, 叠加面积大于 $100 \times 10^4 \text{ km}^2$, 体积逾 $40 \times 10^4 \text{ km}^3$ 。由于埋藏史的差异, 满加尔坳陷下古生界下部的烃源岩($\text{E}-\text{O}_1$)在加里东晚期-海西早期即进入主生烃期, 并聚集于南北的古隆起及斜坡上, 仅从志留纪沥青砂岩的储量推测, 当时聚集量近 $100 \times 10^8 \text{ t}$ 。海西早期以后, 在斜坡及隆起的寒武-下奥陶统先后进入生烃高峰, 随后中上奥陶统

也逐渐进入生烃高峰。从克拉通主体部位的下古生界烃源丰度和生烃的时效性分析, 下寒武统是有效的主力气源岩, 中奥陶统是有效的主力油源岩。石炭-二叠系烃源主要分布西南坳陷, 叠加面积 $62 \times 10^4 \text{ km}^2$, 体积 $14 \times 10^4 \text{ km}^3$, 厚度逾1 500 m。三叠-侏罗系源岩分布于塔西南、库车、英吉苏、于田, 叠加面积 $32 \times 10^4 \text{ km}^2$, 体积 $4 \times 10^4 \text{ km}^3$ 。这3套烃源岩交错叠置于盆地不同的部位, 单独或联合构成各油气藏的油源。三套烃源在不同部位、不同层位、不同阶段分别生成了不同性质的油气, 构成了跨时代、跨地域、类型各异的复式油源。

2.2 复式储集层(体)

复式储集层(体)是多种原岩在多种地质作用下形成的多类型的储集空间。塔里木盆地存在碳酸盐岩和碎屑岩两大类和3种不同类型的储层, 包括原生孔隙与次生孔隙为主的孔隙型、压溶-溶蚀作用形成的溶缝洞型和构造成因的裂缝型。由于成岩后生变化, 古生代的孔隙型储集条件一般较差, 只有较早被油气充填的原生孔隙方可保留; 而中、新生界的孔隙型储集层又大多远离油源, 不易捕获油气。因此, 寻找溶缝洞型和构造裂缝型储层就显得极为重要。与不整合面和强应变区有关的改造型储集层(体), 局部储集性能和产能俱佳, 但储集性能变化极大, 横向延展不稳定, 均质性差(图3)。

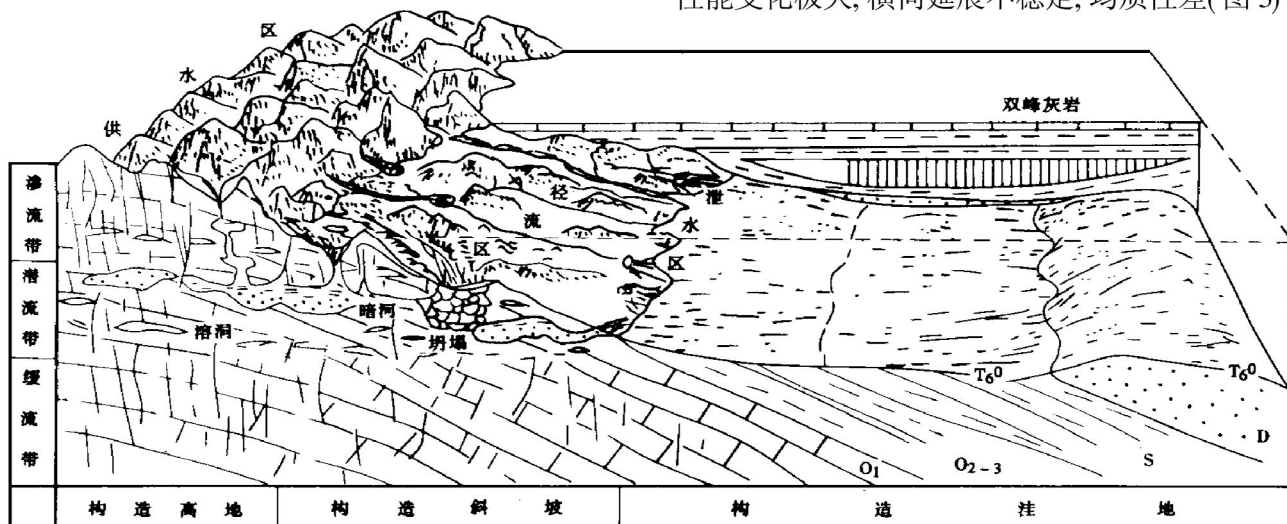


图3 阿克库勒凸起古岩溶地貌特征图

Fig. 3 Geomorphic features of Paleokarst in Akqile Uplift

2.3 多封盖体系与储盖配置

塔里木多旋回叠加盆地发育多套局部性与区域性盖层, 构成了盆地的多个封盖体系。区域性盖层主要为石炭系膏泥岩、侏罗系中部煤系及泥岩、第三系的膏泥岩。在塔里木存在多个由于欠压实

形成的压力封盖层, 如满北及塔中的石炭系和第三系, 构成了岩性和压力的复合封闭。

有效储盖组合需要有效储层与有效盖层的合理配置。塔里木盆地克拉通领域的石炭系膏泥岩及异常压力封闭的不整合面以上的东河砂岩、以下

的下奥陶统碳酸盐岩溶洞裂缝性储层, 是典型的复合型的储盖组合, 属配置优越的储盖组合。

2.4 复式输导网络

多旋回的叠加盆地、多期的复杂构造变形、联合与复合变形作用形成了复杂的断裂及不整合系统。这些多期开启与封闭的构造形迹组合与渗透性地层一起构成了复杂的油气运移系统。如塔里木北部隆起区存在由多期断裂和不整合面所构成的输导网络, 使多期多源形成的油气横向上沿断裂和不整合面成带成片富集成藏, 纵向上沿断裂多层聚集, 沿一些大型构造脊和鼻状构造, 常构成油气二次运移的“汇烃脊”(图4)。

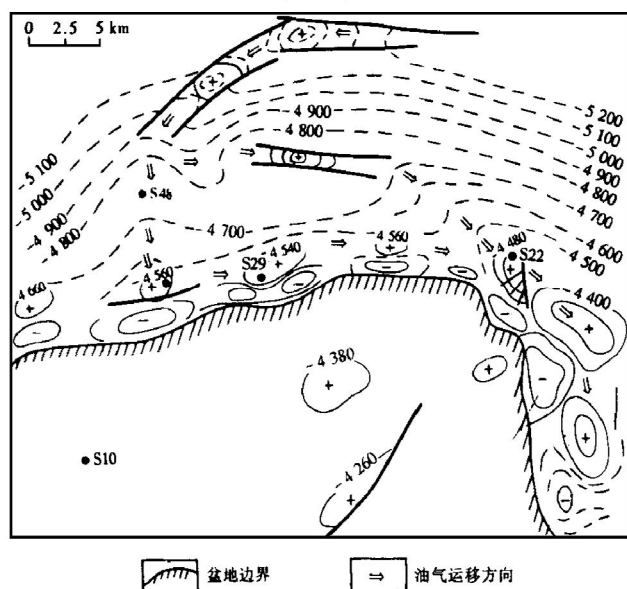


图4 阿克库勒地区T-II油组顶面“汇烃脊”示意图(单位:m)

Fig. 4 Sketch map of hydrocarbon collecting ridge on top of T-II oil set in Akkule area

2.5 复式圈闭

多旋回叠加盆地存在多期叠加的古隆起、古斜坡, 构成了油气运移的指向区。在这些部位存在多种类型的圈闭组合, 形成了多个具内在成因联系的复式圈闭系统。

不同构造变形方式导致了不同的圈闭组合样式, 不同的构造部位的演化过程又构成了不同的圈闭叠加样式, 不同变形区的构造形变与沉积充填方式的差异又形成了多种圈闭系统。塔里木盆地多期的挤压变形及局部的走滑、伸展变形形成了丰富的圈闭系统。库车北部山前冲断带属典型的多层滑脱, 同时叠加了走滑及重力作用下塑性变形的圈闭系统。阿克库勒则为克拉通斜坡背景下的多期活动古隆起的圈闭系统, 包括基底卷入型的背冲背斜、断块潜山、披覆背斜、地层削截及岩性尖灭等圈

闭类型。

值得指出的是, 多变的构造环境及沉积成岩环境, 极易形成由本身不圈闭的构造和地层、岩性共同构成的复合型圈闭。这类圈闭由于与输导体系的良好配置, 比一般隐蔽圈闭更易于构成有效封闭, 同时也易于描述, 应予以高度重视。

2.6 保存、改造与重建

多旋回叠加盆地多期次生烃、多次运聚, 导致了多次的成藏过程。早期形成的油气藏的保存, 既受控于区域的保存环境, 更取决于局部的保存条件。就层状盖层封闭保存系统而言, 油气的保存并不由最好的盖层分布区决定, 而取决于同一封闭系统中差盖层的封闭保存能力, 由层状盖层+断层和不整合面构成的封闭系统, 其保存能力多由断层或不整合面的封闭能力确定(油气封闭的水桶效应)。

塔里木盆地早海西期以前已形成了数百亿吨的油气聚集, 但大多未保存。构造改造的程度决定了早期油气保存的程度。在早期封闭系统被破坏后, 油气将重新分布于新建的聚集封闭系统之中, 从而形成次生油气藏。从多个烃源经多期生成的油气, 经复杂的输导网络聚集到复式储层和多封闭系统的圈闭群之中, 有时还经历改造和再次成藏, 这就是多旋回叠加盆地的复式成藏系统。阿克库勒凸起的下奥陶统、石炭系和三叠系油气藏群就是一个典型的复式成藏系统(图5)。

3 油气勘探的基本思路

塔里木盆地油气勘探的地区、层位、深度、类型均极不平衡, 还有不少勘探的回旋余地。回顾和总结过去的经验教训, 理清勘探思路, 将勘探效果与经济效益结合起来, 将近中期储产量的增长与中长期的战略储备结合起来, 使塔里木油气勘探步入良性发展的轨道。

(1) 在已知油区精查细找, 扩大储产规模, 建成一批大型甚至特大型的油气田(群), 形成规模效应。经过深入勘探, 盆地中已形成了阿克库勒凸起、雅-轮断凸、沙西凸起、牙哈背斜带、克拉苏盐下背斜带、塔中隆起、巴楚南缘断裂构造带、柯克亚背斜带等近10个油气区, 已探明了一批大中型规模的油气田群, 并已建成可观的产能。为了使勘探获得更明显的经济效益, 加大这些已知油区的勘探力度, 寻找类似和相关的圈闭, 沿已知油气层横向搜索目标, 沿已知含油气的断裂及背斜构造带搜寻新

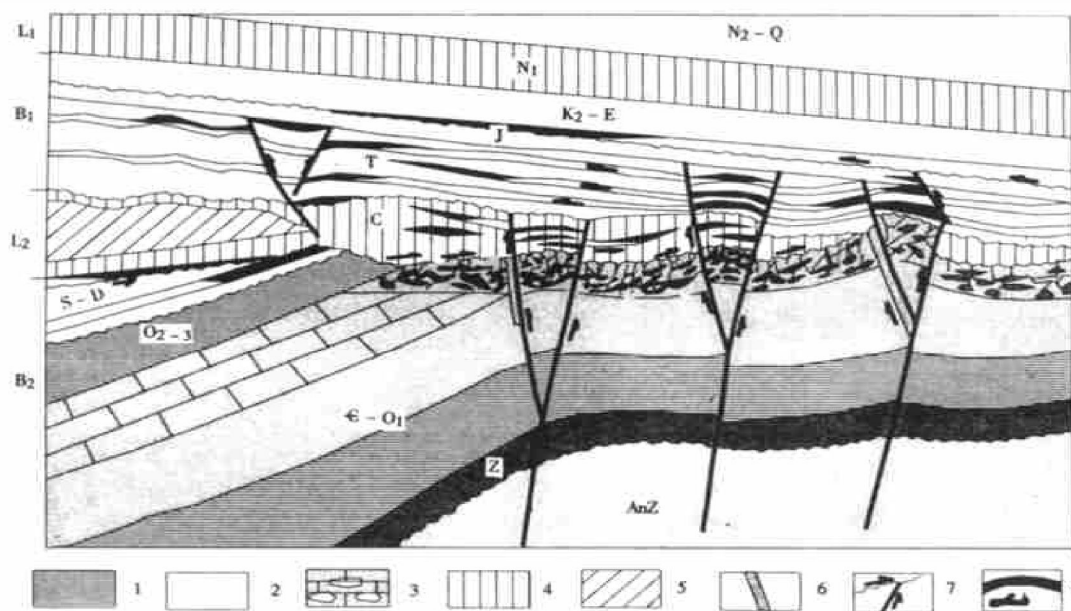


图5 阿克库勒地区油气综合成藏模式

Fig. 5 Synthetic Pool-forming model of hydrocarbon in Akqule area

1—烃源岩; 2—砂岩储层; 3—灰岩缝洞储层; 4—压力封盖层; 5—膏盐岩体; 6—成岩封隔墙; 7—运移方向; 8—油气藏

目标, 深入评价钻探目标, 可望使塔里木盆地储产量尽快上一个台阶, 建成一批亿吨级(累加近十亿吨)的油气田, 从而获得油气勘探的规模效应和较高的投资回报率。

(2) 积极向外拓展, 探索大型目标, 力争战略性的突破。尽管“九五”前期一批大型目标的钻探效果不太理想, 但原因比较复杂, 除对所钻目标的评价欠深入外, 只用一口井也难以对一个数十乃至数百平方公里的目标作出确切的评价。尽管如此, 许多井还是揭示了大量宝贵的油气信息。利用现有勘探资料, 通过井与地震资料对比分析, 认真部署勘探和评价工作, 进一步勘探具备成藏条件的大型目标, 尤其是“位置”优越的目标, 力争实现战略性的突破。

(3) 探索“新类型、新层位、新深度”, 寻求导向性的重大发现。塔里木盆地现今所勘探的目标绝大部分为背斜圈闭, 对其它类型少有涉及。单一地层、岩性圈闭仅利用现有勘探资料难以准确描述其形态和封闭的有效性; 但大量的鼻状构造在储层上翘方向存在封闭性断层、相变、尖灭线构成的侧向封堵, 则可构成断鼻、鼻状岩性、鼻状地层等复合型圈闭。由于断层、尖灭线、相变线描述的精度要求相对较低, 且这类圈闭聚集条件较单一的地层、岩性圈闭更为优越, 圈闭规模较大, 具有极大的探索价值。

现在对古生界的勘探主要集中于海西早、晚两

期不整合面上下的目的层, 对古生界内幕尤其是下古生界内幕的目的层探索极少。逼近烃源层找目的层, 探索后期得以保存的古油气藏应作为今后勘探的重点内容。

柯深1井和英科1井所揭示的良好油气成果提供了探索更深目标的线索。后期快速深埋的成岩环境有利于原生孔隙的保存和次生孔隙的形成, 在前陆变形区利用成熟的深钻技术, 探索深层(6 000 m 以下)勘探目标, 可望获得更大的油气成果。

(4) 完善一批关键技术, 攻克一批特殊目标, 评价已发现的一些复杂油气藏, 实现储产量的快速增长。受勘探及评价技术限制, 许多成藏条件优越的含油气构造和已知的含油气构造尚未投入实质性勘探或勘探效果不理想。形成和完善一批关键技术, 如山地地震技术, 盐下成像处理技术, 高陡、破碎、塑性和高压盐水层的钻井技术, 碳酸盐岩岩溶和裂缝性储层的描述技术等, 可望在库车、塔西南前陆变形区发现一批油气田, 对阿克库勒、塔中、巴楚南缘、雅-轮及沙西等地的下古生界碳酸盐岩油气藏的勘探与评价的进度也将大大加快, 从而实现塔里木盆地油气储产量的快速增长。

参 考 文 献

- 1 方大钧, 谈晓冬, 姜莉萍, 等. 塔里木盆地北部显生宙古地磁与构造演化[A]. 见: 童晓光, 梁狄刚, 贾承造, 等. 塔里木盆地石油地质研究新进展[C]. 北京: 科学出版社, 1996. 196~205

2 李京昌, 金之钧. 论塔里木盆地构造反转的周期性[J]. 石油大学学报(自然科学版), 1998, 22(3): 11~ 14

3 贾承造. 中国塔里木盆地构造特征[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997. 90~ 92

COMPLEX PETROLEUM SYSTEM AND MULTICYCLE BASIN IN TARIM

He Zhiliang¹ Mao Hongbin² Zhou Xiaofeng² Gong Ming¹ She Xiaoyu¹

(1. Research Institute of Petroleum Exploration, CNSPC, Jingzhou, Hubei; 2. Planning and Designing Institute, Northwest Petroleum Bureau, CNSPC, Urumqi, Xinjiang)

Abstract: The evolution history of multicycle in Tarim Basin is determined by long distance drifted small plates, complicated basement and complex tectonic activities of the neighbouring plates. The basin underwent four evolution stages such as Paleasian Ocean, Paleotethys Ocean, Mesotethys Ocean and Neotethys Ocean, which resulted in a multi-prototype basins, the superimposition in which the basin united as a whole at first, then disintegrated later and reunited again at last with variable thermal regime. The multicyclic evolution of the basin resulted in multiple petroleum system, multi-set of source rocks, multiple oil generating depression, multi-stage of oil generation, multi-type of reservoiring spaces, multi-type of sealing and covering system, complex passage networks and multi-type of trap system. The reformation, re-sealing and preservation of post-formation of oil and gas led to complicated hydrocarbon pool-forming history in multiple hydrocarbon accumulation belts. On this basis, oil and gas exploration in Tarim Basin from now on should aim at the discovered oil and gas fields, increase reserves and expand exploration realm.

Key words: plate; basement; multicycle; complex; Tarim Basin

(上接第 200 页)

RELATIONSHIP BETWEEN OIL(GAS) SATURATION AND MIGRATION

Wang Zhixin Zhang Yiwei

(Petroleum University, Beijing)

Abstract: The viewpoint that oil and gas in rocks can migrate only when they reach certain threshold is not correct. The primary condition for oil and gas migration (secondary migration) is that the dynamic force must be greater than capillary resistance and fractional resistance. The dynamic force includes hydrodynamic force and buoyancy, both of which are related to the length of oil and gas phases. That is to say, oil and gas can migrate so long as the length of oil or gas phase is sufficient. This suggests that there is no inevitable relationship between oil and gas migration and saturation. It is pointed out that differential pressure greater than 10 MPa between the two ends of the oil or gas phase is needed to cause the migration. Only sudden event can produce such differential pressure but not formation residual pressure. When dynamic differential pressure is certain, the reservoir's pore texture and wettability remain invariable, water-driving oil may reach stable residual oil saturation. But the residual saturation would change with the variation of water-driving condition. So it is considered that oil and gas can migrate or not is determined by the length of continuous oil (gas) phase but not the oil saturation.

Key words: oil(gas) saturation; capillary force; continuous oil phase; oil-gas migration