

塔里木盆地克拉通区油气藏形成主控因素与油气分布

张光亚 王红军 李洪辉

(中国石油勘探开发研究院, 北京 100083. E-mail: zgy@Petrochina.com.cn)

摘要 塔里木盆地克拉通区位于盆地腹部, 主要发育寒武系海相烃源岩, 其次是中、上奥陶统海相和石炭-二叠系海陆过渡相烃源岩。烃源岩分区、分期成熟, 形成不同时期的多个供烃中心。克拉通区经历了多期构造运动, 形成多个古隆起。不同时期有效供烃中心与古隆起相匹配是控制油气藏形成与分布的最主要因素, 古隆起具有多期油气充注历史, 并经历了多期调整甚至破坏, 有效供烃中心周围的古隆起及其斜坡区最有利于油气聚集, 油气相态与供烃中心演化历史有关。海西晚期是塔里木盆地克拉通区最广泛的成藏时期, 毗邻烃源岩、保存条件良好的原生油气藏是勘探的最有利目标; 区域盖层之下、断裂带周围、不整合面上和下油气最富集; 石炭系砂岩、奥陶系风化壳岩溶、内幕碳酸盐岩储层是油气聚集的主要层段; 石炭系、志留系砂岩尖灭油气藏、碳酸盐岩缝洞型岩性油气藏是进一步勘探的主要对象。

关键词 塔里木 克拉通盆地 油气藏 烃源岩 古隆起

塔里木盆地克拉通区主要包括塔北隆起南部和北部拗陷、中央隆起以及西南拗陷麦盖提斜坡的一部分^[1], 面积约330000 km²(图1)。克拉通区油气资源量为140×10⁸ t以上, 具有巨大的油气勘探潜力^[2]。通过近年来的勘探, 发现和探明了塔中4、轮南、塔河、东河塘、塔中16、和田河及哈得逊等一批油气田, 探明油气储量近5×10⁸ t油当量。但与盆地巨大的油气资源量相比, 油气探明程度还很低, 大中型油气田发现的数量还很少。特别是克拉通区控制大油气田形成的主要因素还不明朗, 如有效供烃中心与大油气田形成的关系^[3-6]、古隆起对油气聚集的控制作用^[1,2,7-11]、克拉通区优质储层发育规律^[12-16]等问题还有待深入研究。本文将综合分析克拉通区大油气田形成的主要控制因素, 总结克拉通区油气富集规律, 指出进一步寻找大油气田方向。

1 供烃中心对油气分布的控制作用

1.1 主力烃源岩的确定

主力烃源岩的确定对盆地勘探前景评价至关重要^[1,17,18]。克拉通区寒武系烃源岩在分布面积、厚度、质量上都优于中、上奥陶统和石炭-二叠系烃源岩, 是主力烃源岩^[4,5]。寒武系烃源岩分别形成于克拉通边缘拗陷和克拉通内拗陷盆地中, 分别发育被动陆缘型和陆架内拗陷型优质烃源岩^[9,19], 分布面积约20×10⁴ km²。克拉通边缘拗陷型烃源岩主要分布在东部满加尔凹陷, 以泥晶灰岩和泥岩为主, 有机质为腐

泥型, 有机碳含量为3.4%~5.52%, 平均为1.76%, 厚度为120~415 m, 平均为260 m。克拉通内拗陷型烃源岩主要分布在西部阿瓦提凹陷及其邻区, 以泥质泥晶白云岩和泥晶灰岩为主, 有机碳含量大于1%的烃源岩厚度可达100余米, 最高可达2.14%, 有机质为腐泥型。这类烃源岩是在陆架内拗陷中厌氧条件下形成的^[20-23]。

中、晚奥陶世, 在满加尔凹陷西斜坡和阿瓦提凹陷西北部发育一套烃源岩, 有机质为腐殖-腐泥型和腐泥型。塔中地区为台缘斜坡灰泥丘相泥质泥晶灰岩、宏观藻灰质泥岩, 分布面积约4800 km², 厚度约10~50 m, 有机碳含量0.5%~5.4%; 阿瓦提凹陷西北部为黑色页岩夹饼状泥灰岩, 有机碳含量0.3%~2.87%, 烃源岩最厚可达100 m。塔北隆起南坡也发育这套烃源岩, 但厚度较薄, 有机质丰度较低。

石炭-二叠系烃源岩分布在塔西南-巴楚地区, 形成于海陆过渡相沉积体系中, 有机质类型以腐殖型为主。

克拉通区油源对比结果表明, 塔河油田、轮南油田(群)、英买2油藏、塔中4油田、哈得逊油田中, 原油碳同位素值为-32.4‰~-33.8‰, Ph/Pr值为0.7~0.95, 表现出典型的海相腐泥型特征。原油生物标记化合物与寒武系的对应关系较好: 轮南、塔中地区部分原油碳同位素值为-31.4‰~-31.6‰, Ph/Pr值为1.0~1.5, 反映中、上奥陶统烃源岩的贡献。总体上, 寒武系烃源岩贡献最大, 中、上奥陶统在塔中和塔北

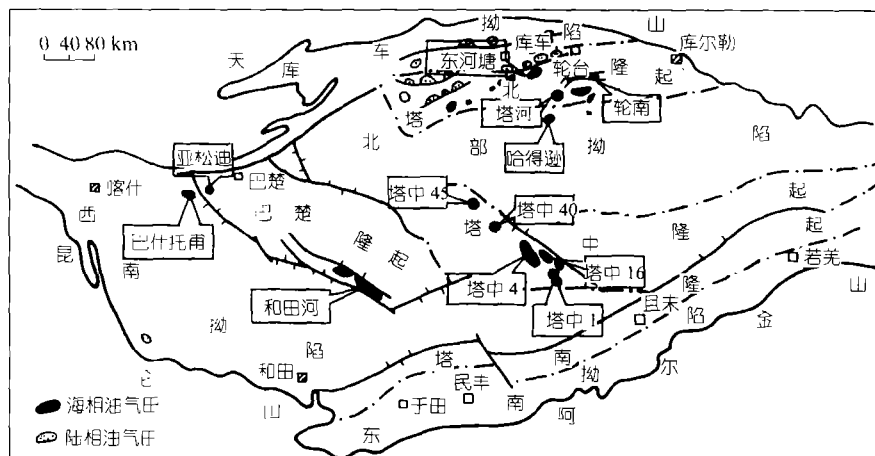


图1 塔里木盆地克拉通区油气藏(田)分布

隆起有一定的贡献。巴楚凸起西端巴什托普油田原油主体来自寒武系,部分来自石炭系^[24]。

1.2 供烃中心与油气分布

克拉通区寒武系主力烃源岩热演化史比较复杂,具有分区、分期差异成熟的特征,从而形成了多个供烃中心,这些供烃中心的有效性随时间发生变化,表现出连续供烃和阶段供烃两种情况,前者如塔中凸起北斜坡海西期以来供油气中心、哈拉哈塘凹陷海西

期以来供油中心以及草湖凹陷-塔北隆起南部海西期以来供油气中心;后者如满加尔凹陷东部加里东-早海西期供油中心、巴楚凸起-麦盖提斜坡海西晚期供油中心和麦盖提斜坡东南部喜马拉雅期供气中心。中、上奥陶统烃源岩分别在塔中凸起、塔北隆起形成两个喜马拉雅期供油中心,由此在克拉通区主要由寒武系及中、上奥陶统烃源岩形成了8个主要供烃中心(图2)。这些供烃中心控制克拉通区的油气富集^[16],供烃中心演化历史控制油气相态。

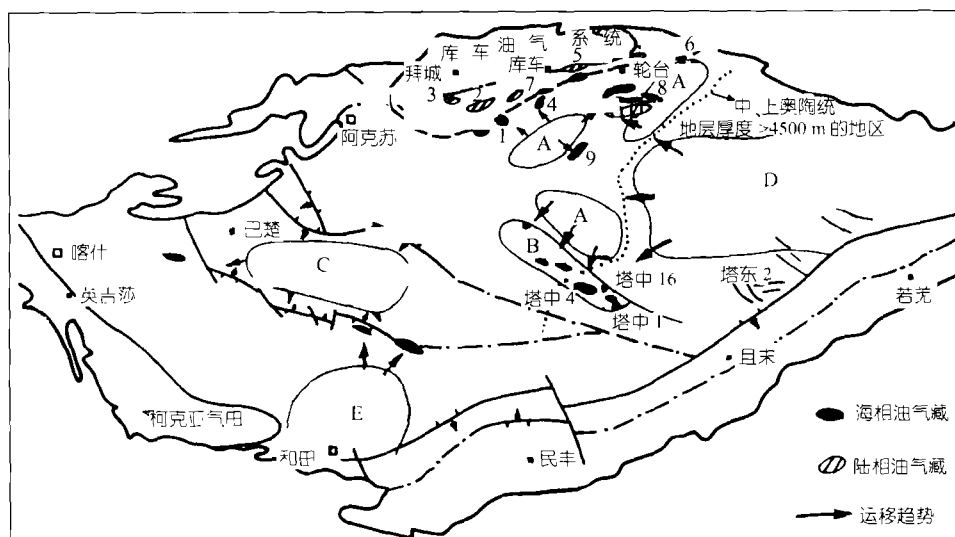


图2 塔里木盆地克拉通区供烃中心与油气藏的分布

A. 寒武系海西期后供烃中心, B. 中、上奥陶统喜马拉雅期供烃中心, C. 寒武系海西期供烃中心, D. 寒武系加里东-早海西期供烃中心, 1. 英买2油田, 2. 英买7油田, 3. 羊塔克油田, 4. 东河塘油田, 5. 牙哈凝析油气田, 6. 提尔根气田, 7. 红旗气田, 8. 乾南油田, 9. 哈得逊油田

广泛分布的寒武系主力烃源岩热演化史的差异是形成不同时期的多个供烃中心的主要原因,而热演化史差异又是与沉降史差异和古地温梯度的变迁相关联的。满加尔凹陷东部地区寒武系烃源岩从加里东早期开始成熟,至海西早期迅速达到高成熟演化阶段,故在此形成了加里东期-海西早期供油中心,该区在中生代以来又成为供气中心。塔中凸起北斜坡、哈拉哈塘凹陷、草湖凹陷-塔北隆起南部寒武系烃源岩从早海西期开始演化,海西晚期普遍达到成熟阶段,随后由于这些地区沉降相对缓慢,且地温梯度逐渐降低,生烃过程可延迟至喜马拉雅期。

现今的巴楚凸起在中生代前为一区域北倾斜坡,寒武系烃源岩演化至晚海西期已接近高演化阶段,是有效供烃中心。油气运移指向是由北向南,形成了巴什托普油气藏,并可能在和田北古隆起附近形成规模较大的古油藏。晚海西期末由于巴楚凸起抬升,寒武系烃源岩停止演化,其成熟度被“冻结”,该供烃中心即不具有有效性。因此巴楚凸起-麦盖提斜坡为晚海西期供油中心。喜马拉雅期,麦盖提斜坡东南部寒武系烃源岩以及早期的古油藏,由于快速深埋而发生裂解,形成一个向巴楚凸起南缘玛扎塔格构造带供气的中心。玛扎塔格气藏天然气即是来自这个供气中心的原油裂解气以及干酪根裂解气^[25]。

2 古隆起对油气分布的控制作用

古隆起油气聚集与其相邻的烃源区关系密切^[26]。目前在克拉通区发现的油气藏均围绕古隆起及其斜坡分布^[7,10],近期在北部拗陷中发现的哈得4油田亦位于塔中凸起向北倾没的鼻隆上^[11]。

塔里木盆地克拉通区发育了3类5个古隆起,即塔中稳定古隆起、塔北残余古隆起、塔东残余古隆起、巴楚活动古隆起以及塔南活动古隆起^[1]。这些古隆起开始发育的起始时间、定型的终止时间、后期的构造稳定性、改造情况以及古隆起的规模均有很大的不同,由此造成不同古隆起在油气藏形成特点与油气富集程度上存在明显差异。

由于塔里木盆地克拉通区主力烃源岩时代老,主成藏期较早,因此古隆起形成时间越早、发育时间越长、后期构造越稳定、古隆起规模越大,越有利于油气聚集和保存^[8],油气富集程度也越高。塔中凸起、塔北隆起为晚加里东期至晚海西期形成的两个大型古隆起,油气富集程度较高;巴楚凸起形成较晚,

且其主体部位在后期处于抬升剥蚀状态,油气富集条件不及塔北隆起和塔中凸起。

2.1 古隆起演化与油气多期成藏

古隆起大都经历了形成、发展与定型演化过程^[1,9],与有效供烃中心匹配的古隆起有利于油气聚集。由于古隆起演化的差异性,不同古隆起上油气藏形成表现出多期性^[2]和多样性。

塔中凸起为发育早、定型早的继承性古隆起,加里东末期即定型,后期稳定发展。该区石炭系、志留系和奥陶系储层中烃类包裹体均一化温度可分为3组:第1组为60~90℃,主要分布在奥陶系和志留系储层中;第2组为90~120℃,此类包裹体出现频率最高,在石炭系储层中分布最广泛,其次为奥陶系储层;第3组为120~150℃。结合塔中凸起构造演化史分析可以认为:第1组包裹体代表早海西期油气藏形成,油气来源于满加尔凹陷寒武系供烃中心;第2组包裹体代表晚海西-印支期成藏,形成了石炭系油藏,塔中1号构造石炭系气层伊利石 K-Ar 年龄为278.4~275.1 Ma,也反映了二叠纪末期的油气充注,原油亦来源于寒武系,但其供烃中心与前期相比已迁向塔中凸起北部地区(图2);第3组包裹体代表喜马拉雅期油气藏形成,是轻质油与天然气充注成藏时期,与之同时,在塔中凸起北坡还形成了中、上奥陶统供烃中心,由它提供的一些轻质油充注早期的古油藏,发生混源作用。塔中1井奥陶系中轻质油 $\delta^{13}\text{C} = -31.21\text{‰}$, Pr/Ph = 1.30,低碳数三环萜烷含量较高,甾烷分布 $\text{C}_{29} > \text{C}_{27} > \text{C}_{28}$,反映中上奥陶统烃源岩的贡献。

塔北隆起属于早发育晚定型古隆起,其形成具有东早(加里东-早海西期)西晚(海西晚期-印支期)的特点,中新生代以来由于北侧库车拗陷强烈沉降而发生向北翘倾。轮南油田(群)以及塔河奥陶系风化壳油田的形成具有多期性。晚海西期是油藏主体形成期,喜马拉雅期隆起的翘倾活动,使油气藏发生调整和改造^[27]。

巴楚凸起上的巴什托普、亚松迪石炭系油藏^[24]形成与海西早期开始发育、海西晚期定型的柯坪古隆起有关;和田河气田及山1井气藏的形成除与寒武系烃源岩在喜马拉雅期二次生烃有关外,还与晚海西期形成的古油藏的裂解有关。

继承性古隆起及其斜坡之所以富集油气,主要是因为这类古隆起一方面控制了油气多期运移的主流方向,另一方面也控制了优质砂岩储层的发育和

次生碳酸盐岩储层的改造,是克拉通区优质储层的主要发育地区。此外,古隆起斜坡还是多类圈闭的集中发育地区。

2.2 古隆起的多期改造与油气藏的调整与破坏

塔里木克拉通块体规模小,活动性强,遭受了多次的改造作用^[28],早期形成的油气藏后期遭调整和再成藏是普遍现象。塔中、塔北和轮南等地区的一些油藏的古今油水界面不一致,即可说明这一点。晚海西期是现存古生界油藏的主要形成时期,喜马拉雅期是早期油藏发生调整、形成次生油气藏的主要时期^[29],同时喜马拉雅期也是气藏形成的主要时期。

晚喜马拉雅期是塔里木盆地构造变动和断裂活动最强烈时期,而此时又是天然气大量生成排出气侵作用最强烈的时期,强烈的构造变动与气侵作用必然使早期形成的油气藏发生调整改造、重新聚集乃至破坏。油气藏调整的方式既有油气沿断裂垂向运移、再聚集,又有沿储集层的侧向运移和再聚集,并以垂向调整为主。调整的结果是使油气趋于分散,有利的方面则是使油气藏赋存深度变浅,较利于勘探。

早期构造运动及抬升剥蚀对油气藏的改造与破坏作用较为普遍,克拉通区广泛发育的志留系沥青

砂是古油气藏破坏的遗迹,已是不争的事实。在轮南地区,海西晚期运动和印支运动可使轮南断垒带油气遭到进一步破坏,到燕山-喜马拉雅期,中生界张性断层使古油藏进一步调整,油气沿断层向上运移,在石炭系、三叠系以及侏罗系中形成次生油气藏。

3 断裂带与不整合面对油气的控制作用

塔里木盆地克拉通区的主力烃源岩位于地层剖面的底层,油气除在深部形成原生油气藏外,还具有沿断裂和不整合面向上倾方向运移到中浅层、形成次生油气藏的趋势。油气沿断裂和不整合面运聚成藏有以下3种基本方式:(i)油气通过切穿烃源岩的断裂垂向运移,在断垒带聚集形成油气藏,如轮南、桑塔木断垒带、群苦恰克断裂带(亚松迪油藏)和玛扎塔格断裂带(和田河气田)。(ii)油气通过油源断裂运移至浅层后,再通过不整合面以及输导层侧向运移成藏,如塔中地区和哈得逊石炭系油气藏。(iii)油气聚集成藏后,通过切割储层的断裂向上覆地层运移,如轮南断垒带顶部与正断裂相关的三叠系油气藏等。因此目前发现的油气藏主要聚集在断裂带的周围和不整合面的上、下(图3)。已发现的油气在石炭系底部不整合面的上、下最富集。

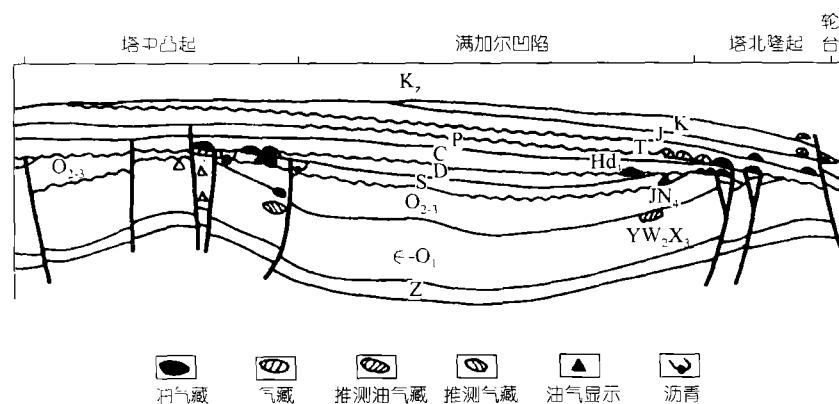


图3 塔北隆起-中央凸起和塔中凸起油气藏剖面分布示意图

4 优质储、盖组合对油气的控制作用

储、盖组合是控制油气分布的另一重要因素。在克拉通区,中、上奥陶统厚层泥岩与石炭系膏泥岩两套优质区域盖层之下的下奥陶统碳酸盐岩(风化壳或内幕),以及东河砂岩储层是已发现的油气最富集的层系。

塔北古隆起由于受海西早期运动影响,志留-泥盆系、中和上奥陶统被剥蚀殆尽,下奥陶统碳酸盐岩,经历了裸露期淡水岩溶、浅埋藏期淡咸水混合岩溶、深埋期地下水溶蚀及深部岩溶作用,形成了地表岩溶-渗流岩溶带与潜流岩溶带。海西早期北东向构造与海西晚期近东西向构造的交汇处及古背斜轴部等构造部位都是这种岩溶储集体发育的有利地带,缝

洞发育带大都位于风化面以下 200 m 范围^[2,13,14,16]。由下石炭统巴楚组下泥岩段与下奥陶统岩溶储集体构成了该区最优的储盖组合类型。勘探实践证明,古岩溶储集体作为优良的储层,是形成塔河古生界碳酸盐岩大油田的重要条件之一^[12,15]。

东河砂岩为细粒石英砂岩,分选好,厚度大(最厚可达近 200 m),泥岩夹层少。由于克拉通区晚古生代以来地温梯度低(20~30℃/km),长期处于浅埋藏环境(晚第三纪前大多小于 2000 m),成岩成熟度低($R_o = 0.6\% \sim 1.2\%$),从而有利于优质储层的形成和保存,溶蚀扩大粒间孔隙是主要孔隙类型,孔隙度一般为 13%~24%,渗透率一般为 $(50 \sim 290) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

5 克拉通区油气分布

(i) 古隆起与有效供烃中心相匹配控制油气分布总体格局。隆起不在于早晚,与有效供烃中心匹配则富油气。一般地,发育早、后期保存好并与有效供烃中心匹配的继承性古隆起最有利于油气富集,如塔北隆起南坡、塔中凸起北坡。塔中凸起北坡长期面向有效供烃中心且后期保存条件好,成藏条件优越。但发育晚的隆起,如果与有效供烃中心匹配,则仍可富集油气,如巴楚凸起在喜山期定型,此时南部有有效供烃中心,则有油气聚集。供烃中心的有效性,既包含了隆起发育期是否有有效供烃中心,又包括了早期油气聚集藏在后期的保存。如塔中凸起定型早,南、北两侧早期均有有效供烃中心,但后期南侧的抬升剥蚀及断裂活动使其保存条件变差,油气藏遭破坏;而后期南侧又缺乏有效供烃中心,故含油气潜力较差。

(ii) 不整合面及相关输导层和断裂是油气运移的主要通道,其邻近空间是油气富集主要场所。克拉通区,特别是中浅层次生油气藏的分布受运移通道控制。沿断裂垂向运聚与沿输导层和不整合面侧向运移和聚集是油气运移和聚集成藏的两种重要方式。因此,断裂和不整合面附近是油气最富集的部位,垂向运移与侧向运移的结合是油气田形成的必要条件。断裂带往往就是油气富集带,受断裂控制形成的油气藏一般具有多层系分布的特点,而侧向运移形成的油气藏分布具有“层控”的特点。

(iii) 油气分布受多套区域盖层及优质储盖组合的多层次控制。石炭系区域盖层与下伏储层(东河砂岩、奥陶系风化壳)和中、上奥陶统区域盖层及下伏礁滩相颗粒灰岩是最有利的储盖组合,因此中和下奥陶统碳酸盐岩、东河砂岩、奥陶系灰岩风化壳中油气最富集。在中、上奥陶统盖层缺失或破裂地区,油气向上运移至较高层位的石炭系区域盖层之下聚集,在石炭系区域盖层缺失或破裂处,油气向更高层位运移和聚集,如轮南断垒带、东河塘断裂带三叠-侏罗系油气聚集。因此,最接近烃源岩的区域盖层之下为原生油气藏的主要赋存场所。

(iv) 克拉通区多期成藏、晚期调整,区域盖层之下的构造、非构造油气藏勘探潜力最大。克拉通区主要有 3 个成藏期:加里东晚期-海西早期、海西晚期和喜马拉雅期。第 1 期成藏遭受破坏较普遍,第 3 期成藏相对局限,且以形成气藏为主,故海西晚期为主成藏期。喜马拉雅期调整再成藏是普遍现象,油气可以通过断裂向上运移发生垂向调整并再成藏,也可以通过构造格局的变迁沿输导层发生侧向运移调整再成藏。靠近烃源岩的构造、非构造原生油气藏一般遭受调整改造相对较弱,保存完整,是寻找大油气田的主要目标。

6 结论

塔里木盆地克拉通区多旋回发展特征决定了油气藏形成的复杂性。烃源岩的差异演化、古隆起的多期发展造成油气藏的多期成藏、多期调整与改造。由古老烃源岩在不同时期形成的有效供烃中心与古隆起相匹配控制油气分布的总格局,面向有效供烃中心的、具有继承性发育特征的古隆起的斜坡区是油气主要富集部位。区域盖层之下、断裂带周围和不整合面上下,油气一般较富集。与烃源岩最接近的区域盖层之下的原生油气藏油气最富集。如塔中、塔北、巴楚古隆起斜坡部位奥陶系潜山和内幕非构造或复合油气藏;较接近烃源岩的石炭系区域盖层之下的东河砂岩地层尖灭圈闭是大中型油气田形成的另一重要领域。

致谢 本工作受国家“九五”重点科技攻关项目(99-111)和国家自然科学基金项目(批准号:49602033)资助。

参 考 文 献

- 1 贾承造. 中国塔里木盆地构造特征与油气. 北京: 石油工业出版社, 1997. 1~5
- 2 康玉柱. 塔里木盆地海相古生界油气勘探的进展. 新疆石油地质, 2002, 23(1): 76~78
- 3 Ulmishek G. Geology and petroleum resources of basins in western China. Argonne National Laboratory, ANL/ES-146, 1984. 131
- 4 赵孟军, 周兴熙, 卢双舫. 塔里木盆地——富含天然气的盆地. 天然气工业, 1999, 19(2): 13~18
- 5 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. 北京: 地质出版社, 2000. 136
- 6 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. 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). 北京: 石油工业出版社, 2001. 127~134
- 7 梁狄刚, 贾承造. 塔里木盆地天然气勘探成果与前景预测. 天然气工业, 1999, 19(2): 3~12
- 8 王金琪. 塔里木奥陶系岩溶储集的油气前景. 石油与天然气地质, 1999, 20(4): 305~310
- 9 张光亚. 塔里木古生代克拉通盆地形成演化与油气. 北京: 地质出版社, 2000. 116
- 10 周永昌, 杨国龙. 塔里木盆地阿克库勒地区油气地质特征及勘探前景. 石油学报, 2001, 22(3): 1~5
- 11 赵靖舟, 田军, 廖涛, 等. 塔里木盆地哈得逊隆起的发现及其勘探意义. 石油学报, 2002, 23(1): 27~30
- 12 张抗. 塔河油田的发现及其地质意义. 石油与天然气地质, 1999, 20(2): 120~124
- 13 顾家裕. 塔里木盆地轮南地区下奥陶统碳酸盐岩岩溶储层特征及形成模式. 古地理论, 1999, 1(1): 54~59
- 14 周兴熙. 初论碳酸盐岩网络状油气藏——以塔里木盆地轮南奥陶系潜山油气藏为例. 石油勘探与开发, 2000, 27(3): 5~8
- 15 康竹林. 从塔河油田奥陶系油藏的特征看塔里木盆地台盆区碳酸盐岩找油前景. 海相油气地质, 2001, 6(2): 1~5
- 16 顾家裕, 张光亚, 李小地, 等. 理论技术和油气勘探的突破. 石油学报, 2002, 23(1): 6~10
- 17 Graham S A, Brassell S A, Carroll R, et al. Characteristics of selected petroleum source rocks. Xinjiang Uygur autonomous region, Northwest China. AAPG Bulletin, 1990, 74: 493~512
- 18 Hanson A D, Zhang S C, Moldowan J M, et al. Molecular organic geochemistry of the Tarim basin, northwest China. AAPG Bulletin, 2000, 84(8): 1109~1128
- 19 Van Buchem F S P, Razin P, Homewood P W, et al. Stratigraphic organization of carbonate ramps and organic-rich intrashelf basins. Natih formation (middle Cretaceous) of Northern Oman. AAPG Bulletin, 2002, 86(1): 21~53
- 20 Reed J D, Illich H A, Horsfield B. Biochemical evolutionary significance of Ordovician oils and their sources. Organic Geochemistry, 1986, 10: 347~358
- 21 Longman M W, Palmer S E. Organic geochemistry of mid-continent Middle and Late Ordovician oils. AAPG Bulletin, 1987, 71: 938~950
- 22 Prouty C E. Trenton exploration and wrenching tectonics-Michigan basin and environs. In: Keith B D, ed. The Trenton Group (Upper Ordovician Series) of Eastern North America. AAPG Studies in Geology, 1989, 29: 207~236
- 23 Obermajer M, Fowler M G, Snowdon L R. Depositional environment and oil generation in Ordovician source rocks from Southwestern Ontario, Canada: Organic geochemical and petrological approach. AAPG Bulletin, 1999, 83(9): 1426~1453
- 24 詹伟, 丁勇, 周晓芬, 等. 巴楚-麦盖提斜坡成藏条件分析. 见: 塔里木盆地北部油气田勘探与开发论文集. 北京: 地质出版社, 2000. 100~105
- 25 周兴熙. 塔里木盆地台盆区裂解气富集条件. 天然气工业, 1999, 19(2): 24~28
- 26 Drozd R J, Cole G A. Point Pleasant-Brassfield(?) petroleum system, Appalachian basin, USA. In: Magoon L B, Dow W G, eds. The Petroleum System-From Source to Trap. AAPG Memoir 60, 1994. 387~398
- 27 蒋华山, 叶德胜, 王少立, 等. 塔河油田奥陶系油气藏特征. 见: 塔里木盆地北部油气田勘探与开发论文集. 北京: 地质出版社, 2000. 56~67
- 28 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. 地质论评, 1998, 44(5): 511~521
- 29 赵靖舟. 油气水界面追溯法与塔里木盆地海相油气成藏期分析. 石油勘探与开发, 2001, 28(4): 53~56

(2002-04-05 收稿, 2002-08-09 收修改稿)