

塔里木盆地塔中低凸起奥陶纪油气成藏体系

刘克奇¹, 金之钧²

1. 石油大学盆地与油藏研究中心, 北京 102249

2. 中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院, 北京 100083

摘要: 国外含油气系统的概念和方法在国内的含油气盆地研究中的应用存在着局限, 应用油气成藏体系的理论方法对塔中低凸起奥陶系油气成藏过程进行了分析。塔中低凸起奥陶纪油气成藏体系的源岩为寒武系及下奥陶统烃源岩; 满加尔坳陷中的砂体和不整合面是油气侧向运移的输导体, 同时深部断裂是油气垂向运移的输导体; 圈闭类型主要为古隆起背景上的地层型圈闭和构造型圈闭。塔中 1 号断裂构造带是最为有利的油气聚集区, 塔中北坡次之, 中央断垒带最差。塔中 1 号断裂带依然是下一步勘探的重中之重。

关键词: 塔中低凸起; 奥陶纪; 油气成藏体系。

中图分类号: P618.1

文章编号: 1000-2383(2004)04-0489-06

收稿日期: 2004-03-04

Ordovician Petroleum Accumulation System in Tazhong Low Uplift of Tarim Basin

LIU Ke-qi¹, JIN Zhi-jun²

1. Basin & Reservoir Research Center, University of Petroleum, Beijing 102249, China

2. Petroleum Exploration & Development Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China

Abstract: The concepts and methods of petroleum system are applied to analyze the Ordovician petroleum accumulation process in Tazhong low uplift of central Tarim basin. Hydrocarbon in the Ordovician petroleum accumulation system originated from the Cambrian and Lower Ordovician source rocks. Sand beds and unconformities in the Manjiaer depression are taken as the pathway of lateral petroleum migration and deep faults as the pathway of vertical petroleum migration. Main traps are composed of stratigraphic and structural typed traps developed in palaeo structural high. The results indicate that the area in the No. 1 fault in Tazhong structure is inferred to be the most favorable zone of petroleum accumulation, and next, the northern slope of Tazhong structure, and the worst one, the middle fault-horst zone. Of them, the No. 1 fault zone in Tazhong structure would be taken as the favorable prospect of next exploration.

Key words: Tazhong low uplift; Ordovician; petroleum accumulation system.

Magoon 对含油气系统的定义是:“包含一个有效源岩体和所有有关油气存在的天然系统,它包括了油气藏存在所必须的一切地质要素和作用”。其中,“要素”(element)这一术语在 1987 年首次被应用于含油气系统分析,用以描述烃源岩、运移特征、储集岩、盖层和圈闭;“作用”则包括了圈闭的形成、油气的生成、运移和聚集(Magoon and Dow,

1994)。随后,含油气系统的评价图表研究方法被建立了起来。自 20 世纪 80 年代末期始,国内许多学者对含油气系统进行了积极的探索研究(窦立荣等, 1996;胡朝元和廖曦,1996;吴冲龙等,1997;何登发等,1998;刘银河等,1998;窦立荣,1999;何登发等, 2000;姜建群和胡建武,2000;汪时成和周庆凡, 2000;赵文智等,2001),但将国外含油气系统的概念

和方法运用于国内的含油气盆地时还存在着一些问题. 突出表现为: (1) 含油气系统概念的提出只是机械地应用了物理学中的“系统”概念, 对于物理学中“系统”的三要素, 即元素、结构及功能并没有很好地论述和分析; (2) 对含油气系统的研究还缺乏专门有效的方法, 特别是对系统内部油气分布规律的研究非常薄弱; (3) 中国的含油气盆地构造演化旋回多、烃源岩发育多、成藏期次多、破坏次数多, 同时油源混淆现象十分普遍. 若按照 Magoon 定义的一个含油气系统只能有一个烃源岩的原则, 中国多数盆地的含油气系统很难划分. 鉴于此, 提出了成藏体系的概念, 并对塔里木盆地塔中低凸起奥陶纪油气成藏体系进行了划分.

1 塔中低凸起地质背景

塔中低凸起位于新疆塔里木盆地塔克拉玛干大沙漠腹地, 是中央隆起带的一个次级构造单元, 它的西边是巴楚低凸起, 东边是塔东低凸起, 北边是满加尔坳陷, 南边是塘古孜巴斯坳陷. 塔中低凸起分为塔中 I 号断裂构造带、塔中北坡及中央断垒带 3 个构造单元(图 1). 塔中低凸起是一个长期发育的继承性隆起, 纵向上可分为明显的两大构造层: 震旦—泥盆系构成下构造层, 构造总体面貌表现为巨型复式台背斜; 石炭系—第四系构成上构造层, 构造总体面

貌表现为巨型鼻状隆起. 其构造演化经历了以下几个阶段: (1) 震旦—寒武—奥陶纪拉伸沉降, 接受沉积时期. 在震旦纪至奥陶纪期间, 满加尔坳陷和塘古孜巴斯坳陷是一个统一的坳陷. (2) 奥陶纪末期, 早加里东运动, 塔中隆起雏形出现. 奥陶纪晚期, 塔中隆起的雏形出现, 在隆起顶部开始出现断垒式或单斜式背斜, 这是塔中隆起最早形成的圈闭, 在隆起顶部, 巨厚的中上奥陶统暗色泥岩被剥蚀殆尽, 并有部分下奥陶统灰岩也被剥蚀, 形成早期的潜山, 由于遭受长期的淋滤、风化, 在这些碳酸盐岩潜山上部形成大量的溶蚀孔洞, 成为塔中地区第一套有利的储集层系. 同时, 由于塔中隆起的出现, 坳陷被一分为二, 形成满加尔坳陷和塘古孜巴斯坳陷. (3) 志留纪末期, 晚加里东运动, 塔中隆起进一步发展. 志留系在奥陶系古地形之上超覆沉积了一套地层, 志留系末期的抬升不但使得志留系被剥蚀, 而且部分奥陶系也被剥蚀. (4) 泥盆纪末期, 早海西运动, 塔中隆起定型. 塔中隆起的形态在该期构造运动中定型, 成为一个巨型复式背斜. (5) 石炭纪末期, 塔中隆起是一个向西倾没的巨型鼻状隆起. (6) 二叠纪末的海西运动, 石炭系披覆背斜大量形成. (7) 印支、燕山、喜山运动期, 塔中低隆主要表现为整体沉降和翘倾(赵治信等, 1997; 贾承造等, 1995). 1989 年塔中 1 井在下奥陶统碳酸盐岩潜山中获得高产油气, 开辟了在塔中低凸起寻找碳酸盐岩油气藏的新纪元.

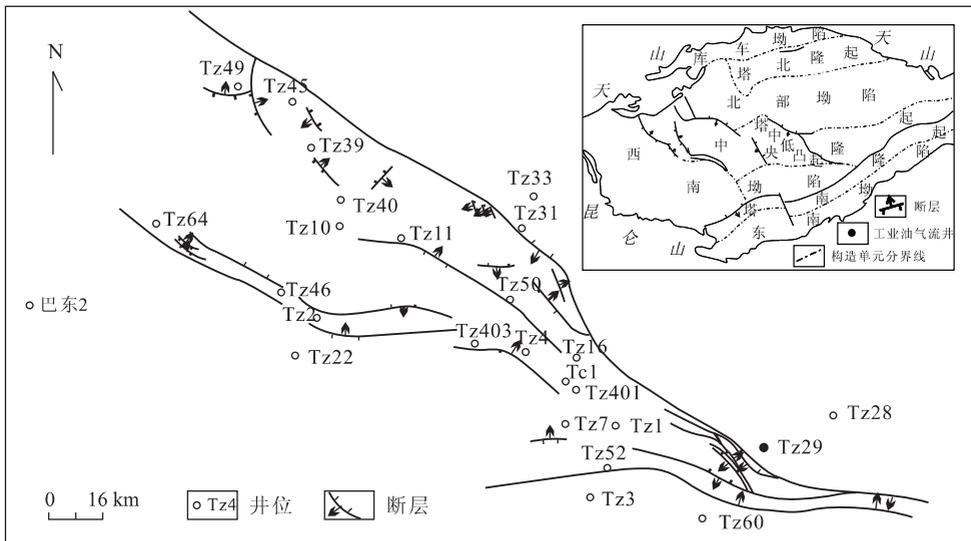


图 1 塔里木盆地塔中地区构造位置

Fig. 1 Structural location of Tazhong low uplift of Tarim basin

2 油气成藏体系的概念和分类

2.1 油气成藏体系的概念

油气成藏体系是地表以下含油气的自然系统,它包括了形成油气藏的一切必要元素(要素)以及这些元素之间有效的配置结构,其中的元素是烃源岩、输导体系和圈闭。油气成藏体系必须具备这样的结构,即能够产生任何单一元素所不具备的功能(形成油气藏)。油气从烃源岩到圈闭所经历的一切路径即为油气输导体系。油气成藏体系的内涵与 Magoon 等所定义的含油气系统的内涵有所不同(图 2):(1)在指导思想上,油气成藏体系将油气的成藏及分布过程认定为一个自然系统,使用“元素—结构—功能”这一真正意义上的“系统”思想来进行石油地质研究,更有利于系统论思想与石油地质研究的紧密结合;(2)在研究方法上,油气成藏体系研究强调了烃源岩、输导体系和圈闭之间相互关联、相互制约的“系统性”综合方法,其中更突出了具有纽带作用的输导体系研究;(3)油气成藏体系概念具有更普遍的适用性,它既可以是单烃源岩的,也可以是多烃源岩的;既可以是一次成藏的,也可以是多期成藏的;(4)油气成藏体系认为,一个油气藏只能归属于一个成藏体系。

2.2 油气成藏体系分类

从油气成藏条件和存在特征看,构成油气成藏体系的要素包括了流体(油、气、水)和围岩(烃源岩、储层及盖层)2 部分,但从成藏机理分析,油气藏的

形成必须具备物质来源、输送途径和存在空间 3 个方面。从系统论观点考察,上述 3 方面(元素)有机的组合将会产生出作为系统功能的油气藏,元素之间相互的匹配组合方式决定了系统所具有的特殊结构,构成了作为油气成藏体系分类特征上的鉴别标志。根据定义,油气成藏体系由烃源岩、输导体系和圈闭 3 个基本元素所构成,每一个基本元素又构成各自相对独立的子系统,即烃源岩子系统、油气输导子系统(以下简称输导体系)和油气圈闭子系统,3 个子系统间有效的匹配组合则构成了油气成藏体系的结构。在油气成藏体系研究中,烃源岩是物质基础,决定了成藏体系的基本属性。根据独立烃源岩的发育情况,油气成藏体系首先可以有单源和多源之分,表示了油气成藏体系作为系统特征的基本属性;根据 3 大元素的匹配组合关系,油气成藏体系又有一位、二位和三位特征之分,其中的位是指成藏体系三大元素在以不同方式进行匹配组合之后所产生的空间体系概念,决定了油气成藏体系的结构类型。从烃源岩、输导体系到圈闭,由于每一元素均包含了自身的时间和空间概念,成藏体系的时间也就涵盖了从“源”到“输导”,再到“藏”的基本过程,所以它们的匹配组合也就具有了表示油气成藏体系在时间和空间上分布规律的属性特征。

在上述分类方案中,“一位”类型反映为油气成藏体系宏观总体上的“源储一体化”特征,即成藏体系中的 3 大元素在空间上是吻合的。与此相应,它们在时间上也就基本能够达到协调。在“一位”类型中,成藏体系中油气藏的类型特点更多地表现为非常规性质,如在烃源岩中发育的裂缝性油气成藏体系和位于烃源岩中的砂岩透镜体成藏体系等;“二位”类型在宏观总体特征上反映为油气成藏体系“源储相通相连”的基本性质,由于输导作用直接发生在烃源岩和圈闭两者之间,烃源岩与圈闭 2 个元素就决定了作为系统的油气成藏体系的基本属性。在该类型的成藏体系中,油气藏类型较多地体现为特殊性质,如烃源岩与其上覆生物礁体构成的成藏体系和烃源岩与致密储层相接而构成的深盆成藏体系等;“三位”类型表现为成藏体系 3 大元素之间彼此独立的作用特点,油气成藏体系的“系统性”特征体现得更为明显,所形成的油气藏类型更为普遍。

在对成藏体系进行命名时,主要应当考虑几个方面:(1)油气成藏体系所处的地理位置、盆地位置或大地构造位置;(2)油气成藏体系发生、发育的地

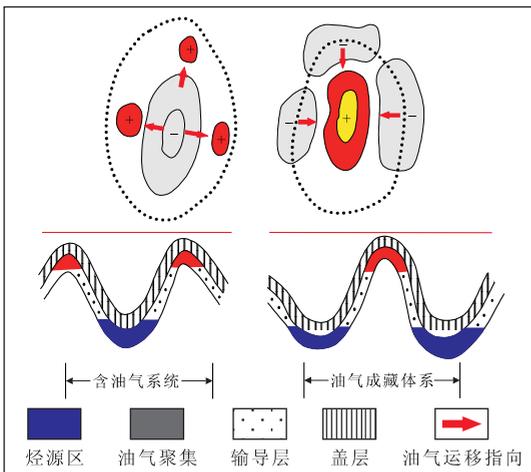


图 2 油气成藏体系与含油气系统的区别

Fig. 2 Difference between petroleum accumulation system and petroleum system

质时代;(3)油气成藏体系的烃源岩属性;(4)油气成藏体系的结构类型;(5)油气成藏体系的其他特征。如果将油气成藏体系的上述属性特征进行顺序展布并以此作为命名方案,那么就可以轻易掌握所讨论成藏体系的最基本特征和总体面貌。因此,对油气成藏体系的命名使用多项式表达法:油气成藏体系名称=位置+时代+源岩+结构+(其他)。

在进行油气成藏体系的划分时,首先根据单烃源岩和多烃源岩将成藏体系划分为单源成藏体系和多源成藏体系。再根据油源分布、储层类型及圈闭类型等情况,可以把油气成藏体系进一步划分为多个亚油气成藏体系。由于自然界是十分复杂的,所以油气成藏体系划分的原则就很难制定出统一的标准,标准制定过细或过粗都会给具体的操作带来很大困难,因此需要在实际操作过程中结合具体的盆地情况制定详细的划分标准。成藏体系划分的一般性原则如下:(1)在油气成藏体系划分时,兼顾烃源岩和主要的油气运移聚集区;(2)一个具有统一油气水界面的油气藏只能属于一个油气成藏体系;(3)对于多套烃源岩、多期成藏的多旋回盆地,首先应当根据构造层、高压封闭层等特征对成藏旋回进行划分,然后再进行油气成藏体系的类型划分;(4)以油气圈闭为核心,以输导体系为主线,以烃源岩为边界进行成藏体系划分;(5)在油气成藏体系内部,应具有统一的温压场和水动力场。

3 塔中低凸起奥陶纪油气成藏体系

塔中低凸起的构造演化史说明,塔中隆起自早

加里东运动开始形成,早海西运动基本定型,晚海西运动各类披覆构造大量发育,印支、燕山、喜山运动期处于压扭应力环境,长期处于低隆态势,成为多期生油凹陷油气运移的长期指向;同时,多次的隆升和沉降也造就了多套有利的储盖组合,形成了丰富的、多种类型的圈闭;多期区域性的不整合面和区域性大断裂的发育也为油气的运移聚集提供了优良的场所和通道;这一切都决定了塔中地区将是油气运聚、富集的有利地区,决定了塔中隆起油气勘探在全盆地中的重要地位。而奥陶系圈闭具有“近水楼台先得月”的优势,在地质演化过程中形成了多个油气藏。塔里木盆地是一个叠合盆地,具有“五多”特点:构造运动多、烃源岩层系多、生—排烃期次多、成藏期次多以及油气运移再分配次数多(金之钧,2001)。塔里木盆地可划分出三大成藏旋回(金之钧,1998),即寒武纪—中泥盆世末成藏旋回、晚泥盆世—侏罗纪成藏旋回及白垩纪—第四纪成藏旋回。第一成藏旋回油气来源主要为寒武系—下奥陶统碳酸盐岩烃源岩,储盖组合不发育,主排烃高峰发生在志留纪,主要发育了寒武—奥陶系内幕圈闭及志留系背斜圈闭。

3.1 烃源岩

塔中低凸起自早加里东运动形成至今,一直处于相对隆起状态,北临满加尔,南临塘古孜巴斯 2 个寒武—奥陶系下古生界生油拗陷,具有较丰富的油气来源。塔中地区寒武系—下奥陶统烃源岩以碳酸盐岩烃源岩为主,中上奥陶统烃源岩以暗色泥岩为主。由于构造发育史的不同,塔中隆起本身和周围拗陷区烃源岩的热演化史具有较大的差异,在满加尔拗陷腹地,由于地层的持续沉积加厚,使得下古生界

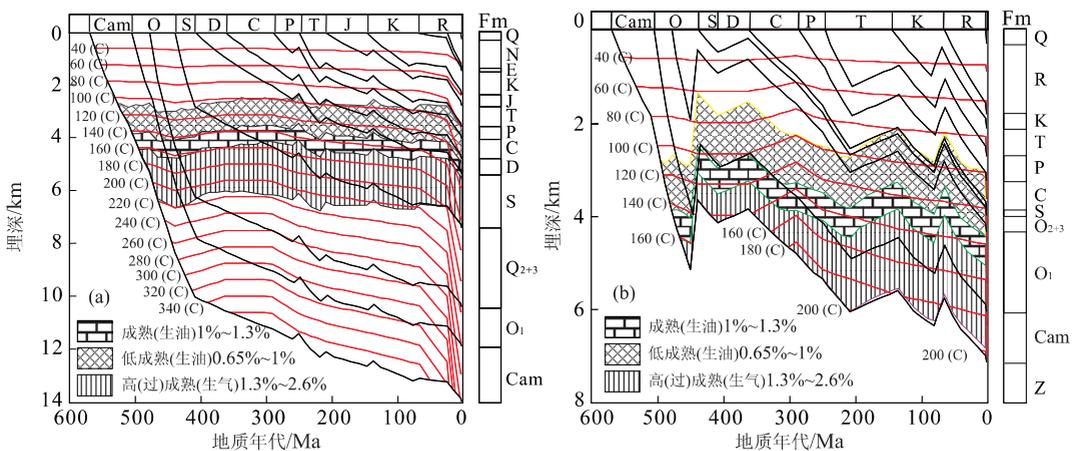


图 3 满参 1 井(a)和塔参 1 井(b)埋藏生烃史曲线

Fig. 3 Burial and hydrocarbon generation history curve of well Mcl (a) and well Tc1 (b)

烃源岩热演化进程明显快于隆起区,寒武系—下奥陶统烃源岩在早古生代末已进入高熟阶段,中上奥陶统烃源岩在志留纪也已开始大规模生烃,并随着上覆地层的逐渐沉积,有效烃源岩分布范围则不断地由生油拗陷的中心向四周迁移(图3a)。在塔中低凸起上,由于受多次构造隆升的影响,烃源岩发生多次抬升,埋藏相对较浅,再加上中生代盆地地温梯度的降低,烃源岩的热演化持续时间较长。塔参1井是塔中油气勘探史上的一座丰碑,揭示了塔中地区的沉积地层,在巨厚的沉积地层中寒武系—下奥陶统厚近3000m,下寒武统烃源岩在奥陶纪末期就达到生油高峰(图3b),晚海西期有机质成熟度约为2%,目前有机质成熟度已大于2%,主要是一套气源岩;中上奥陶统烃源岩在二叠纪晚期进入生油门限,在中生代仍处于低成熟阶段,自白垩纪以来,塔中一直处于持续沉降阶段,使其现今处于生油高峰;下奥陶统在二叠纪中期进入生油窗,现今已达生油晚期阶段。塔中及其邻区下古生界烃源岩具有成熟时间早、排烃时间长的特点,寒武系—下奥陶统碳酸盐岩烃源岩在奥陶纪已进入高熟阶段,共经历了奥陶纪末、石炭—二叠纪2次排烃高峰,中上奥陶统烃源岩经历了志留纪、二叠—三叠纪2次排烃高峰。

3.2 输导体系

塔中地区的不整合构成油气横向运移的通道,而发育于石炭系及其以下地层中的各级断裂以及断裂附近地层中的微裂隙构成油气运移的纵向通道。由于纵向及横向通道的相互交织成网使油气得以运移至有利的圈闭中,形成油气藏。塔中地区的构造活动特点是继承性较强,断裂的发育同样如此,在构造活动的间歇期,断层是封闭的,遮挡油气;而在构造活动期,断层可能开启而变成油气运移的通道,使已聚集的油气沿断层向上运移,并在新的部位重新聚集成藏。

3.3 圈闭条件

寒武系—中下奥陶统缝洞型储层在不同的地区具有不同的特点,在没有残留中上奥陶统泥质岩的地方,由于断裂的发育及长期出露地表遭受强烈的风化、淋滤,溶孔、溶洞及构造缝相当发育,储集空间以孔洞为主,形成裂缝—孔洞型储层,而在仍保留有部分中上奥陶统泥岩的地方,特别是在断裂发育的地方,储集空间则以裂缝为主,形成孔洞—裂缝型储层。奥陶系灰岩、白云岩储层可自成一个良好组合,也可与中上奥陶统泥岩、志留系泥岩或者石炭系泥

岩构成良好的储盖组合。从盖层的平面分布来看,石炭系中、上泥岩段的厚度在全区都十分稳定,构成塔中地区的区域盖层。从塔中地区圈闭类型的平面分布看,在隆起较高部位以各种背斜型、潜山风化壳型圈闭为主,而在斜坡部位则以低幅度背斜和地层圈闭为主。从圈闭形成时期与油气运移时间的相应关系看,塔中地区的有效圈闭应是形成于三叠纪末印支期及其以前的圈闭。

塔中及其邻区下古生界烃源岩的排烃史很长,可以从奥陶纪持续至三叠纪、侏罗纪,同时圈闭的形成时期也比较长,这种特征决定了油气成藏的多期性,以晚期形成的油气藏保存条件为好,斜坡部位油气藏的保存条件比隆起部位好。

塔中低凸起目前发现的奥陶系碳酸盐岩油气田有塔中1凝析气藏、塔中16油田、塔中24油田、塔中26油田、塔中44油田及塔中45油田。塔中16井中奥陶统潜山风化壳油藏,第一次圈闭形成期为奥陶纪末,而后接受下伏地层生成的油气,形成油气藏,早加里东运动使之暴露地表,油气被氧化,成为沥青,经过长期的淋滤风化,使原来的储层得到改善,形成许多缝洞,志留系沉积后,其下部泥岩构成下伏潜山的良好盖层,圈闭再次形成,在早海西以后再次接受油气,形成现今油藏风貌。早加里东期油气藏的圈闭形成期为晚奥陶世,主要是碳酸盐岩潜山内幕背斜,油气源为震旦系—下奥陶统的碳酸盐岩源岩。由于受早加里东期和早海西期的强烈剥蚀,在隆起高部位,该期所形成的油气藏均已遭到破坏,形成沥青。

综上所述,塔里木盆地塔中地区奥陶纪油气成藏体系定名为塔里木盆地塔中地区奥陶纪寒武系—中下奥陶统烃源岩单源三位成藏体系(图4)。塔中I号断裂构造带是最为有利的油气聚集区,塔中北坡次之,中央断垒带最差。

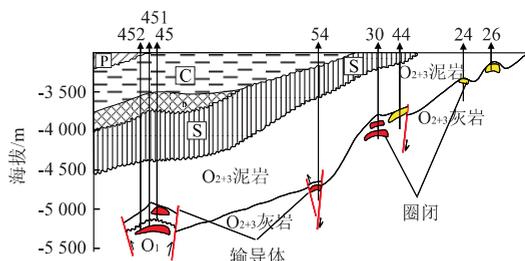


图4 塔中地区奥陶纪单源三位成藏体系

Fig. 4 Ordovician mono-source and three-body petroleum accumulation system of middle Tarim basin

4 讨论与结论

油气成藏体系使用“元素—结构—功能”的“系统”的思想对油气的成藏过程及分布规律进行研究,它强调了烃源岩、输导体系 and 圈闭之间的相互关联、相互制约,突出了具有纽带作用的输导体系的研究,同时,它具有更普遍的适用性,有利于指导我国含油气盆地的油气勘探。

塔中低凸起奥陶纪油气成藏体系的源岩为寒武系及下奥陶统烃源岩;满加尔坳陷中的砂体和不整合面是油气侧向运移的输导体,同时深部断裂是油气垂向运移的输导体;圈闭类型主要为古隆起背景上的地层型圈闭和构造型圈闭。塔中 I 号断裂构造带是最为有利的油气聚集区,塔中北坡次之,中央断垒带最差。塔中 I 号断裂带依然是下一步勘探的重中之重。

References

- Dou, L. R., Li, W., Fang, X., 1996. Genetic classification and distribution characteristics of continental petroleum systems in China. *Petroleum Exploration And Development*, 23(1): 1—6 (in Chinese with English abstract).
- Dou, L. R., 1999. A comparison of "petroleum system" with Chinese "petroleum forming system". *Petroleum Exploration and Development*, 26(1): 88—91 (in Chinese with English abstract).
- He, D. F., Zhao, W. Z., Lei, Z. Y., et al., 2000. Characteristics of composite petroleum systems of superimposed basins in China. *Earth Science Frontiers*, 7(3): 23—37 (in Chinese).
- He, D. F., Bai, W. M., Meng, Q. R., 1998. Geodynamic evolution and petroleum system cycle of Tarim basin. *Acta Geophysica Sinica*, 41 (Suppl.): 77—86 (in Chinese with English abstract).
- Hu, C. Y., Liao, X., 1996. The concept of petroleum system raised in China and its application. *Acta Petrolei Sinica*, 17(1): 10—16 (in Chinese with English abstract).
- Jia, C. Z., Wei, G. Q., Yao, H. J., et al., 1995. Tectonic evolution and regional structural geology of the Tarim basin. Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).
- Jiang, J. Q., Hu, J. W., 2000. On fluid conducting system in petroleum system. *Xinjiang Petroleum Geology*, 21(3): 193—196 (in Chinese with English abstract).
- Liu, Y. H., Jin, Z. J., Zhang, Y. W., 1998. The accumulation

rate of oil and gas in petroleum system. *Petroleum Exploration and Development*, 25(3): 83—85 (in Chinese with English abstract).

- Magoon, L. B., Dow, W. G., 1994. The petroleum system—from source to trap. *AAPG Memior*, 60: 3—24.
- Wang, S. C., Zhou, Q. F., 2000. Origin and intension of concept in petroleum system. *Oil & Gas Geology*, 21(3): 279—282 (in Chinese with English abstract).
- Wu, C. L., Wang, X. P., Zhou, J. Y., et al., 1997. Concepts and methods of petroleum system. *Geological Science and Technology Information*, 16(2): 43—50 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, W. Z., He, D. F., Chi, Y. L., et al., 2001. Major characteristics and exploration technology of multi-source petroleum systems in China. *Acta Petrolei Sinica*, 22(1): 6—13 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, Z. X., Yong, T. S., Jia, C. Z., et al., 1997. Stratigraphy of the Tarim basin. Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).

附中文参考文献

- 窦立荣, 李伟, 方向, 1996. 中国陆相含油气系统的成因类型及分布特征. 石油勘探与开发, 23(1): 1—6.
- 窦立荣, 1999. “含油气系统”与“成油系统”概念对比. 石油勘探与开发, 26(1): 88—91.
- 何登发, 赵文智, 雷振宇, 等, 2000. 中国叠合型盆地复合含油气系统的基本特征. 地学前缘, 7(3): 23—37.
- 何登发, 白武明, 孟庆任, 1998. 塔里木盆地地球动力学演化与含油气系统. 地球物理学报, 41(增刊): 77—86.
- 胡朝元, 廖曦, 1996. 成油系统概念在中国的提出和应用. 石油学报, 17(1): 10—16.
- 贾承造, 魏国齐, 姚慧君, 等, 1995. 盆地构造演化与区域构造地质. 北京: 石油工业出版社.
- 姜建群, 胡建武, 2000. 含油气系统中流体输导体系的研究. 新疆石油地质, 21(3): 193—196.
- 刘银河, 金之钧, 张一伟, 1998. 含油气系统油气聚集度. 石油勘探与开发, 25(3): 83—85.
- 汪时成, 周庆凡, 2000. 含油气系统概念的由来及内涵. 石油与天然气地质, 21(3): 279—282.
- 吴冲龙, 王燮培, 周江羽, 等, 1997. 含油气系统概念与研究方法. 地质科技情报, 16(2): 43—50.
- 赵文智, 何登发, 池英柳, 等, 2001. 中国复合含油气系统的基本特征与勘探技术. 石油学报, 22(1): 6—13.
- 赵治信, 雍天寿, 贾承造, 等, 1997. 塔里木盆地地层. 北京: 石油工业出版社.