

文章编号: 0253-9985(2007)02-0129-10

论成藏动力学与成藏动力系统

田世澄¹, 孙自明², 傅金华³, 韩军⁴, 胡春余¹

(1. 中国地质大学, 北京 100083 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)

3. 中国石油化工股份有限公司 胜利油田有限公司 临盘采油厂, 山东临邑 251500

4. 中国石油天然气股份有限公司 新疆油田勘探分公司, 克拉玛依 834000)

摘要: 油气成藏动力学包括油气成藏的各种动力、盆地地球动力学背景以及油气从源岩到圈闭形成油气藏所经过的“路”——成藏动力系统。成藏动力系统既是成藏动力学的载体, 也是成藏动力学研究的主要内容。成藏动力系统的构成要素包括排液(烃)单元、排液(烃)组合、成藏动力子系统、连通体系等。成藏动力系统研究的主要进展是: 1) 层序地层学研究在成藏动力系统识别和划分中的应用, 认识到最大洪泛面是识别和划分成藏动力系统的关键界面; 2) 异常压力封存箱发育区的成藏动力系统; 3) 构造动力在油气生、排、运、聚、再运移、再聚集、直至油气藏破坏的成藏作用过程中的研究。

关键词: 成藏动力学; 成藏动力系统; 排液(烃)单元; 排液(烃)组合; 连通体系

中图分类号: TE112.3

文献标识码: A

A discussion on dynamics and dynamic system for hydrocarbon migration and accumulation

Tian Shicheng¹, Sun Ziming², Fu Jinhua³, Han Jun⁴, Hu Chunyu²

(1. China University of Geosciences, Beijing 10083 2. Exploration and Exploration Research Institute, Sinopec, Beijing 10083)

3. Linpan Oil Production Plant of Sinopec Shengli Oil Company, Linyi Shandong, 251500

4. PetroChina Xinjiang Oil Company, Karamay Xinjiang, 834000)

Abstract Hydrocarbon migration and accumulation dynamics studies various driving forces of hydrocarbon migration and accumulation, geodynamic background of basins and dynamic systems for hydrocarbon migration from source rocks to traps and entrapment. The dynamic system not only serves as a carrier for hydrocarbon migration and accumulation dynamics, but also occupies a very important place in the dynamics studies. It consists mainly of hydrocarbon expulsion units and their combinations, subsystem of hydrocarbon migration and accumulation dynamics, pathway systems. The progresses in the study of dynamic systems include (1) the application of sequence stratigraphy to the determination and classification of the dynamic systems, resulting in a better understanding of the fact that the maximum flooding surface is critical for recognizing and classifying the dynamic systems; (2) achievements on the study of the dynamic system in the areas with abnormal pressure compartments; (3) researches on the role the tectonic dynamics in the process of hydrocarbon generation, expulsion, migration, accumulation, remigration, and re-accumulation, and the destruction of the reservoirs.

Key words dynamics of hydrocarbon migration and accumulation; dynamic system of hydrocarbon migration and accumulation; expulsion unit; expulsion unit combination; pathway system

自 1972 年 Dow W. G 提出石油系统“Oil System”^[1]以来, 经过近 20 年的不断丰富和发

收稿日期: 2007-03-12

第一作者简介: 田世澄(1936—), 男, 教授, 博士生导师, 石油地质和成藏动力学

展^[2~4], DOW W G 等在 1992 年提出了含油气系统并出版了论文集^[5]。我国学者胡朝元在 1963 年总结“松辽盆地陆相大油气田形成和分布规律”时提出了成油系统概念, 陈发景等^[6] 1989 年提出了排液层段和排液组合概念, 强调油气受盆地中大套泥岩和欠压实带的限制, 认识到在一般情况下油气只能在两个大套泥岩之间进行侧向运移。国外含油气系统理论提出后, 国内众多学者纷纷介绍^[7~9], 并出版了译文集^[10], 国内各大石油公司还召开了专题研讨会, 以期用该理论指导中国的油气勘探。一时间含油气系统热在中国兴起, 一些结合中国油气勘探实际的论文也陆续发表^[11~12]。随着与中国实际的紧密结合, 对含油气系统的研究出现了两个不同的方向, 一是强调中国地质特点提出了叠合盆地的含油气系统和复式含油气系统^[13~15]; 二是根据油气运移和聚集的动力学特征提出了成藏动力学系统^[16], 并陆续发表和出版了关于成藏动力学系统的系列论文和专著^[17~20]。本文主要就成藏动力学与成藏动力系统的内涵、成藏动力系统的研究进展以及应用成藏动力系统寻找油气田的实践谈一点认识。

1 成藏动力学与成藏动力系统的内涵

目前, 关于成藏动力学概念的理解还没有统一, 不同学者赋予成藏动力学的概念存在一定差异^[21~27]。作者认为油气成藏动力学主要包括 3 个方面: 1) 油气成藏的动力, 包括生烃动力学、排烃动力学、运聚动力学、油气保存破坏动力学, 更涉及沉积动力学、热动力学、化学动力学、流体动力学等内容; 2) 盆地的地球动力学背景, 油气成藏是在盆地演化到一定阶段发生的, 受盆地地球动力学背景的深刻影响, 盆地的地温场、地压场、地应力场、构造动力学、运动学等动力背景是直接影响油气成藏的重要因素, 是研究成藏动力学不可或缺的重要内容; 3) 油气是流体, 油气在盆地中的烃源岩生成后, 必然要在各种动力作用下沿着孔渗带运移到圈闭中聚集成藏。油气从源岩到圈闭形成油气藏所经过的“路”, 实际上就是一个由各种孔渗带构成的复杂天然的成藏动力系统, 它是

油气成藏作用和过程发生的地方, 是连接油气从源岩到圈闭的纽带, 它既是成藏动力学的载体, 也是成藏动力学研究的主要内容。

从成藏动力学角度分析, 含油气盆地实质上不仅是一个低温热化学反应器^[28], 而且是一个天然复杂的流体(油、气、水)运动的动力系统。因此, 成藏动力学是在地球动力学背景基础上, 以油气成藏动力系统为核心, 把油气的生、储、运、聚、散动力学连结成为统一的整体, 探讨油气生成、运移、聚集和分布规律, 进而指导油气勘探的科学。

2 成藏动力系统的研究进展

2.1 应用层序地层学识别和划分成藏动力系统

2.1.1 理论基础

层序地层学和成藏动力系统两者均以沉积盆地研究对象, 层序地层学研究沉积盆地地层的层序地层格架, 成藏动力系统研究的是地层中的流体。两者均以地层的旋回性为研究的基础。层序地层学应用沉积的旋回性研究地层的等时格架, 已成为研究沉积盆地层序地层格架和沉积体系展布的有效工具。成藏动力系统是研究盆地地层格架中流体(油、气、水)运动的规律, 它以构造沉积旋回为基础, 通过分析识别盆地中允许流体通过的层系和限制流体通过、推动流体运动的层系来识别和划分成藏动力系统, 来研究油气运移聚集成藏的规律。两者在研究对象和研究方法上具有相同的基础。

2.1.2 最大洪泛面是识别和划分成藏动力系统的关键界面

成藏动力子系统划分的界面是盆地中具有旋回性分布的异常高孔隙流体界面^[17]和致密层。在层序地层学分析中, 它存在于沉积旋回中具有区域分布的大套泥岩地层中, 是最大洪泛面的标志。

层序地层学研究揭示盆地中发育着多个沉积旋回, 发育数个最大洪泛面, 层序地层学将两个最大洪泛面之间划分为一个长期旋回。从沉积学上分析最大洪泛面是湖相、深湖相沉积, 岩性上是广泛分布的大套暗色泥岩; 从成藏动力系统分析, 它是烃源岩发育的有利带, 压实特征上是欠压实带

和高压异常带, 是孕育盆地自源动力的主要层系, 是阻止流体(油气)垂向运移的屏蔽层, 进入生烃门限后就是油气源层, 成为油气从源岩到圈闭的起点层, 它的存在把盆地纵向分割为若干个各自独立的流体动力系统, 流体只能在其间发育的低水位体系域、水进体系域和高水位体系域的砂体和不整合面等输导层中作侧向运移和聚集。

图 1 和图 2 是根据济阳坳陷埕东洼陷埕北 4 井层序地层划分图和埕东北坡 1071 测线层序地层划剖面图编制的成藏动力系统划分图。根据压实特征可以划分出 6 个成藏动力子系统, 其中的异常高孔隙流体压力界面、致密地层界面与层序地层格架中的最大洪泛面耦合。从层序地层学分析, 所谓成藏动力子系统实际上就是两个最大洪泛面之间所夹的一大套输导地层, 就是一个长期旋回。整个盆地中有几个最大洪泛面, 纵向上就有几个成藏动力子系统。成藏动力子系统与层序地层学在长期旋回上的耦合为在整个盆地开展成藏动力系统研究提供了基础, 成藏动力系统的结构和输导体系的研究、成藏动力系统的成藏条件和成藏作用研究以及沿着成藏动力系统寻找隐蔽油气藏的研究等方面提供了新的思路与方法。

2.2 成藏动力系统构成

2.2.1 排液(烃)单元

排液(烃)单元是成藏动力系统的基本单元, 它有侧向(水平)排液(烃)单元和垂向排液(烃)单元两种类型。陈发景等^[11]把水平排液(烃)单元称之为排液(烃)层段。多数沉积盆地以侧向排液(烃)为主。排液(烃)单元由上下两层泥岩(烃源岩)和其間所夹的一层砂岩所构成。在层序地层学上是一个单旋回。这是沉积盆地中流体排出的基本单元。厚层泥岩中夹的薄砂层或砂岩透镜体, 泥岩间的不整合面, 泥岩层中的富含砂质的条带, 某些层理面、间断面等由于它们侧向渗透率较高, 在各种动力的作用下, 也可以使泥质岩中部分流体沿这些通道排出, 它们也都是不同级别、不同样式的侧向排液(烃)单元。

沉积作用早期, 砂泥互层的地层中, 沉积物孔隙较大, 垂向渗透性好, 流体由深部向浅部, 以垂向运移为主。随着沉积压实, 上覆负荷增加。流体的流动方向逐渐发生变化。泥质沉积物随着流体逐

渐排出, 渗透率逐渐降低, 孔隙流体压力逐渐增加, 砂质沉积物中流体向外排出, 砂质颗粒接触紧密, 砂质骨架支撑了一部分上覆负荷, 孔隙流体压力相对较低, 在泥质与砂质之间形成了剩余的流体压力差, 使泥质中流体排向砂质地层, 再由砂质地层向两侧运移。随着埋深的继续增加, 压实作用进一步增强, 砂泥质逐渐成岩, 泥岩中的流体继续排向砂岩, 泥岩成为砂岩输导层的有效盖层。在压实作用下, 流体一般由盆地的中心向盆地的边缘排出^[29]。

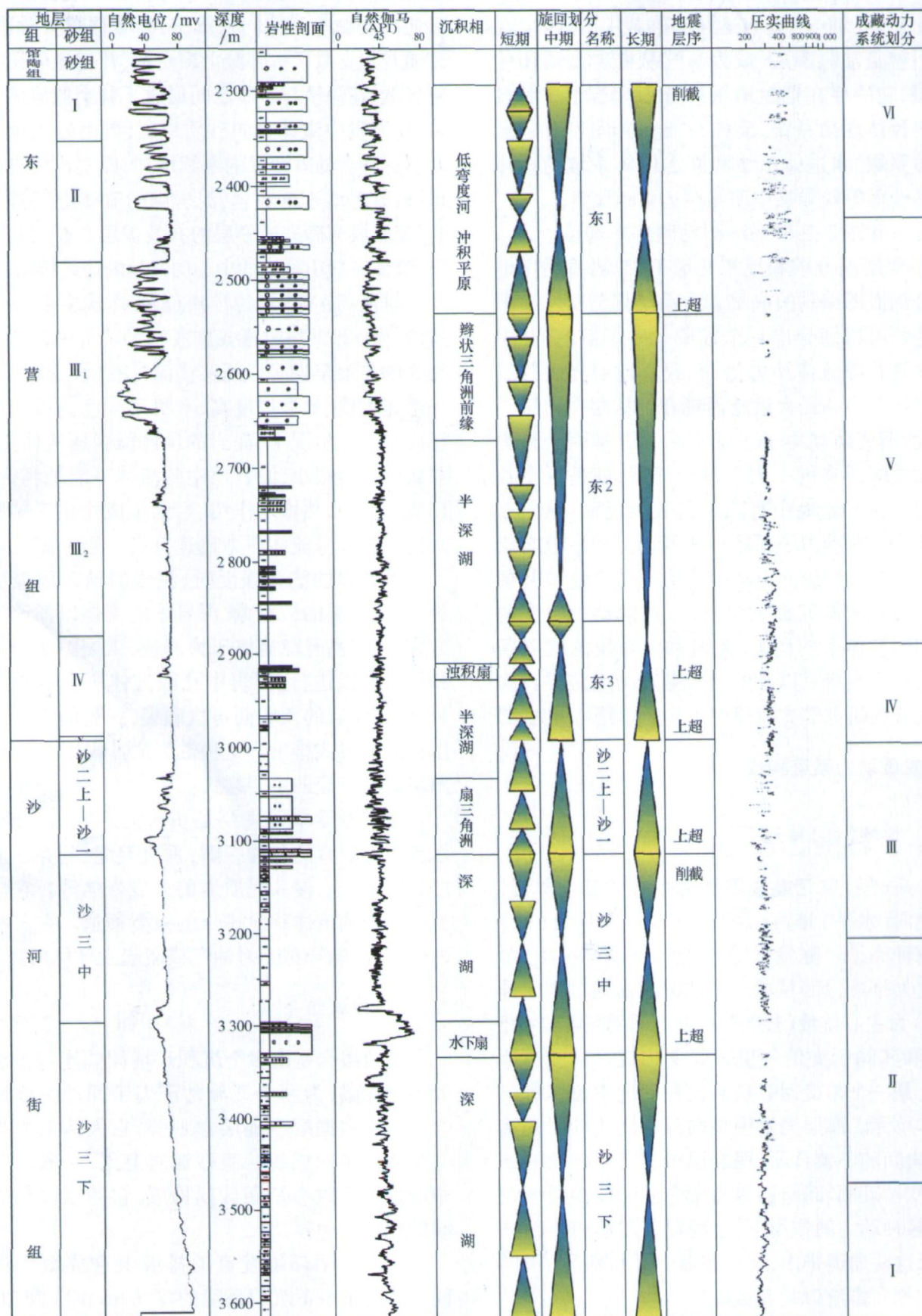
排液(烃)单元的排液(烃)样式主要有渗流排液(烃)和微裂隙幕式排液(烃)^[30], 多数情况下泥岩的排液早期多以压实渗流排液(烃)为主。在沉降速度快、地温梯度高、有机质丰度高或泥岩层厚度较大的情况下, 泥岩的顶底面因压实作用、孔渗条件变得很小, 泥岩层中的流体不能顺利排出, 压实作用、水热增压作用、烃的生成作用等膨胀因素使泥岩孔隙流体压力迅速升高。当孔隙流体压力大于泥岩的抗张强度时, 泥岩的顶底面表层破裂, 形成大量的微裂隙, 泥岩中的流体以涌流混相方式排出, 高孔隙流体压力释放, 微裂隙闭合。沉积作用继续进行, 泥岩中孔隙流体压力再次积累升高, 使泥岩的顶底面再次破裂, 泥岩的流体再次以涌流的方式排出。这种微裂隙幕式排液(烃)是厚层泥岩排烃的主要样式。

垂向输导单元主要是切入泥质岩中的断层, 泥质岩中发育的各种裂隙, 垂直裂缝、刺穿泥质岩的底辟、盐丘, 侵入泥质岩的火成岩体等。它们是泥质岩中的流体垂向排出的重要通道。在某些盆地中, 垂向输导单元对油气成藏起主导作用。

2.2.2 排液组合

排液组合是由多个沉积环境相关连的排液单元组合而成, 为两个高异常压力带间的一段砂泥岩互层。根据层序地层学划分, 它大体上相当于一个体系域构成的一组砂泥岩互层, 一般由一个中期旋回或数个短期旋回构成, 它的顶底是以连续的泥质岩为界。

不同沉积环境发育的排液组合成藏条件不同。发育于水下沉积环境的深湖相、滨浅湖相、三角洲或扇三角洲前缘相中的排液组合往往是生储盖组合。有时深湖相沉积中缺少好的储层, 发育于水上沉积的三角洲或扇三角洲平原相、河流相、冲击扇或洪积扇相构成的排液组合多为储盖组



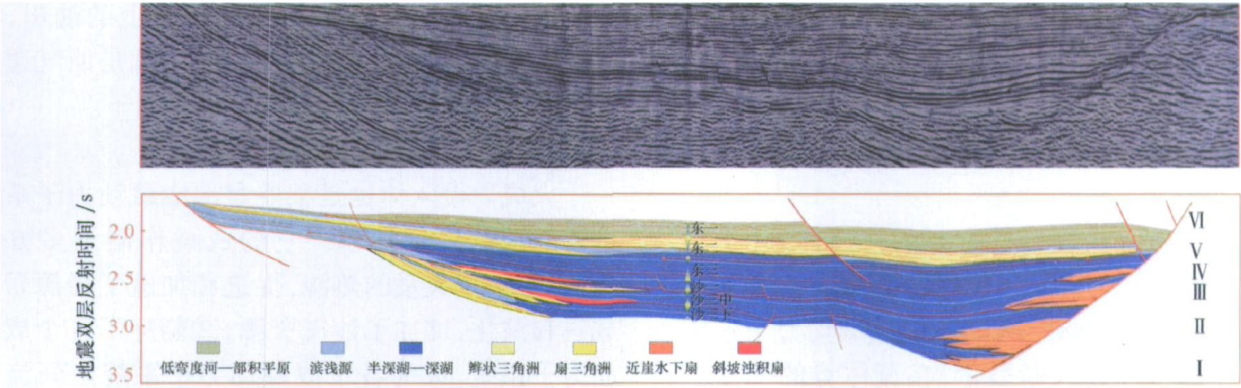


图 2 埕东北坡 L1071 测线下第三系层序地层划分与成藏动力系统划分剖面 (据邓宏文等改编)

Fig. 2 Divisions of the Paleogene sequence stratigraphy and dynamic system for hydrocarbon migration and accumulation on seismic line 1071 on the northern slope of Chengdong high

合, 后者往往缺乏好的盖层。各种沉积环境间发育的砂体一般为浊积砂体、滩坝砂体、水下分流河道砂体、三角洲平原砂体、河流砂体、冲积扇砂体等构成了成藏动力系统的输导体。

2.2.3 成藏动力子系统

1) 成藏动力子系统的概念和成藏条件

构造沉积旋回是划分成藏动力系统的基础, 区域分布的致密岩性层和异常高孔隙流体压力是区分不同成藏动力系统的界面^[17]。前已述及成藏动力子系统和层序地层学的一个长期旋回相耦合, 它由两个最大洪泛面和其间所夹的各个体系域 (相当于排液组合) 所构成。

成藏动力子系统本身构成了一个大的生储盖组合。底部发育最大洪泛面的湖相深湖相泥岩和处于水下沉积的几个排液组合中的泥岩是这一成藏动力子系统的烃源岩。其上发育的数个排液组合和不整合面是这个子系统的生储盖层或储盖层。输导体中的各种岩性圈闭以及受构造变动形成的各种构造圈闭等是这一成藏动力子系统的有利圈闭。

2) 成藏动力子系统的类型

一个沉积盆地自下而上可发育多个成藏动力子系统。根据各子系统的烃源岩条件、动力条件和系统的封闭性可将成藏动力子系统区分为不同的类型并自下而上加以命名。根据有无成熟的烃源岩条件, 可将成藏动力子系统区分为自源、它源和自源混源和它源混源系统; 根据的动力条件不同可区分为高压、常压和负压系统; 根据成藏动力子系统的封闭条件不同, 可区分为半封闭、封闭和开放型的成藏动力子系统, 并按照油源、动力、封

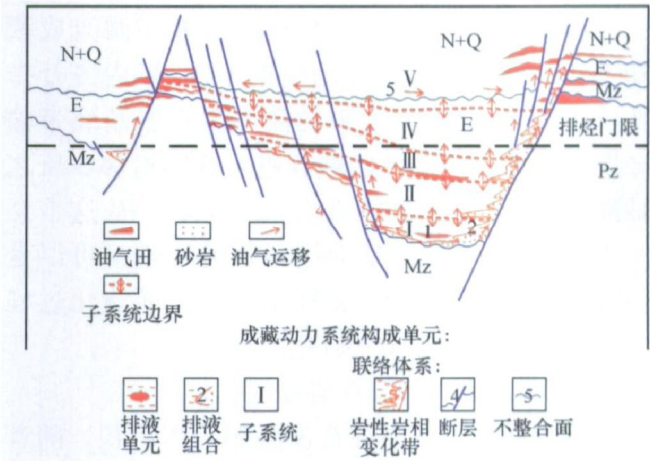


图 3 成藏动力系统构成 (单元) 示意图

Fig. 3 Sketch map showing the components (units) of the dynamic system for hydrocarbon migration and accumulation

闭性的组合关系给各系统命名。以图 3 为例, 它发育 4 个最大洪泛面, 自下而上区分为 5 个子系统。根据上述原则命名为: 底部高压自源半封闭成藏动力子系统 (iv)、下部高压自源半封闭成藏动力子系统 (㊟)、中部高压-常压自源-混源半封闭成藏动力子系统 (㊤)、上部常压它源混源半封闭成藏动力子系统 (㊢) 和顶部它源混源常压开放-半封闭成藏动力子系统 (㊦)。

2.2.4 成藏动力系统的连通体系

沉积盆地中各个成藏动力子系统相邻而分隔, 一般情况下流体在各自系统内运动。连通各个成藏动力子系统的地质体称为成藏动力系统的连通体系。它使具有成熟油气子系统中油气不仅可以在系统内成藏, 还可以通过连通体系进入其他没有成熟油气的系统运移聚集成藏。它包括切过各个

子系统的断层,不整合面,以及各子系统在盆地边缘的岩性,岩相变化带。除此以外,在某些盆地中发育的刺穿子系统的盐丘,泥底辟,火成岩侵入体、沟通各子系统的潜山等也是连通体系的组成部分。

1) 断层

是成藏动力系统中最重要的连通体系,是盆地中最重要的垂向输导单元。断裂带是一个复杂的破碎带、低势带,断层两侧任一成藏动力子系统内的流体都可以进入断裂带,在流体势的推动下向相对低势的成藏动力子系统运移,既可以沿断裂带向上运移,也可以向下运移,还可以从断层一盘沿断裂带向上或向下运移进入另一盘。断裂带结构比较复杂,断层的性质、规模大小、活动的特征、断裂带的结构、成岩演化程度、断层两盘成藏动力子系统输导层对置的情况不同、带内各处排替压力不同,进入断裂带的流体要克服断裂带输导层的排替压力才可以顺利进入其间运移。反之被断裂带所封闭,不能进入其间运移。从这个意义上说,断层既可以是油气运移的通道又可以是油气运移的封堵层,这两种作用在盆地演化过程中可以同时具有或相互转化。

2) 盆地边缘的岩性岩相变化带

湖相盆地的边缘往往发育粗碎屑沉积。随着盆地的沉降和演化,就会形成一套互相叠置由粗碎屑构成的洪积冲积扇体,分割成藏动力子系统的最大洪泛沉积在这里变薄或尖灭,泥岩的含砂率增加,异常高压界面压力变为常压,丧失了阻隔流体垂向运移的作用。使盆地边缘的岩性岩相变化带和控制它发育的断层一起成为盆地中又一沟通各个成藏动力子系统的重要垂向连通体系。值得注意的是,洪积扇冲积扇沉积岩性复杂,孔渗条件差,其垂向通道的作用不均一。另外,这里也是地表流体在重力作用下进入湖盆的通道。盆地压实流体势较低,既可能是有些油气聚集的地区,也是一个油气藏易于遭受水洗、氧化、破坏的地区。

3) 盆地中的盐丘和泥底辟构造

盐丘和泥底辟是某些盆地成藏动力子系统重要的垂向连通体系。盆地底部发育大套膏岩层或泥岩层。由于压实和构造动力的不均匀等作用,发育了刺穿上覆成藏动力系统的盐丘和泥底辟。这些盐丘和泥底辟成了沟通不同成藏动力子系统的垂向通道。周边上拱形成的环形垂直破裂系统和盐丘和泥底辟上拱形成的顶部穹隆背斜成了捕集

油气的最佳配置。滨里海盆地盐丘上的油田、莺歌海盆地发育流体底辟顶部的气田就是油气通过盐丘和泥底辟垂直运移成藏的最好例子。

4) 火成岩侵入体

火成岩侵入体也是某些盆地成藏动力子系统重要的垂向连通体系。它的成藏作用是多方面的:带来了大量的热源,促进和加速了烃源岩的成熟和演化,增加了油气资源;④刺穿了各个成藏动力子系统,成为各个成藏动力子系统之间流体和油气垂向运移的通道;④火成岩侵入体本身的裂隙和气孔可以成为有效的储层;火成岩侵入体的周边特别是顶部拱起形成各种构造圈闭是垂向运移上来的油气聚集的最好场所。临南洼陷东部商河地区发育了大量的玄武岩侵入体,可以清楚的看到上述 4 方面的作用。其中玉皇庙油田就是玄武岩侵入体刺穿了 iv, ④和 ④成藏动力子系统,将下面生成的油气汇聚到中上部它源常压半封闭成藏动力子系统 ④中的火成岩拱起的披覆背斜圈闭中形成了带气顶的油气田。

2.3 成藏动力系统的成藏作用和演化

成藏动力系统在沉积盆地的演化中产生,随着沉积盆地的演化也不断演化,油气在其中运聚成藏形成了多种类型的油气藏。

盆地中没有成熟烃源岩就没有成藏动力系统,只有流体动力系统,有了成熟烃源岩,发生了油气从源岩运移到圈闭的盆地形成了成藏动力系统。

当一个成藏动力子系统进入了排烃门限,其底部的最大洪泛层是本系统的烃源层,它的有机质丰度、类型、特别是成熟度决定了这个成藏动力子系统油气的类型和丰度。油气既可以在本子系统内的输导体中运移,也可以在输导体中发育的一系列地层岩性圈闭,如浊积砂体、各种上倾尖灭的砂体、受地层不整合削截封闭的砂体和输导体受到构造变动形成的断块和各种背斜构造等,在油气沿着输导体运移的过程中聚集充注成藏,形成自源油气藏,也可以通过连通体系进入它源系统成藏。

盆地的进一步深埋演化,两个成藏动力子系统的干酪根热降解和热裂解先后生成大量油气。这些油气既沿着各自的输导体在成藏动力子系统的中运聚形成自源油气藏。还可以通过垂向连通体系,在流体势和浮力的推动下进入上覆成藏动力子系统聚集形成它源或混源油气藏。

还要指出的是, 成藏动力子系统的干酪根热降解和热裂解生成大量油气的同时也生成了大量的二氧化碳、有机酸等多种物质, 在油气进入成藏动力系统输导体的同时也进入了成藏动力系统。在油气运移形成多种常规油气藏的同时, 不同浓度、不同介质和不同温压条件下, 这些二氧化碳、有机酸和围岩先后发生了溶蚀、沉淀、胶结、重结晶等多种成岩反应, 改变了输导系统的孔渗条件。成岩演化的进一步加深, 在某些大型盆地的深部, 由于不同输导体的原始沉积的孔渗物性的差异、生烃母质的差异、流体成分的差异, 随着温压场的升高、成岩作用的进行、成藏动力系统的孔渗条件的进一步降低, 干酪根热裂解大量生气, 在特定的地质条件下, 在盆地的深部演化形成了气水倒置的非常规的大型特大型深盆气藏。

沉积盆地中的成藏动力系统, 正是由排液单元、排液层段、成藏动力子系统、及其各种垂向连通体系所构成。它是一个复杂、天然的三维空间的流体运移聚集的动力系统。成藏动力系统本身和其成藏动力条件都是随着盆地的形成演化而逐渐形成和演化的, 在沉积盆地演化过程中油气在成藏动力系统中生成、运移、聚集成藏, 或者发生再运移、再聚集, 甚至破坏。成藏动力系统的连通性、封闭性、流体动力的大小以及成藏的动力作用和过程等也都是受控于盆地内构造、沉积条件的变化和演化而有序的发展和变化的。因而在沉积盆地中出现了多种油气藏类型和成藏样式。

2.4 异常压力封存箱地区的成藏动力系统

异常压力封存箱与油气关系密切^[31], 异常压力封存箱地区成藏动力系统的识别和划分是一个新的课题。作者通过对准噶尔盆地腹部和东部地区孔隙流体压力的分布特征研究发现, 该区上部为常压带具有旋回式压力分布特点, 可按传统的成藏动力系统划分的原则划分子系统, 中部具有异常压力封存箱的特征, 根据大套泥岩封盖层和异常压力系数相结合的原则将中部异常压力封存箱划分为箱上压力过渡带 (压力系数 1.2~1.5)、箱体 (压力系数大于 1.5) 和箱下压力过渡带 (压力系数 1.5~1.2) 3 部分, 盆地底部又为常压带 (压力系数一般小于 1.2)。油源对比表明, 侏罗系封存箱的油源主要来自二叠系烃源岩, 它是侏

罗纪末期二叠系—三叠系的封存箱破裂所致, 是侏罗系成箱前充注成藏的。也有来自侏罗系的油源, 是成箱后在箱内运聚成藏的。因此, 封存箱内仍然存在着油气从源岩到圈闭的成藏作用和过程^[32]。同时封存箱体随着异常压力的积累会导致封存箱顶部、侧缘、下部发生破裂, 从而油气以幕式排放的方式在封存箱上部、侧缘和下部过渡带成藏, 其中以上部和侧缘的比例最多。在特定情况下, 封存箱中的异常压力还可以突破上部压力封盖层, 在封存箱外的常压带成藏。

2.5 成藏动力系统的动力学机制

成藏动力系统流体的动力来源区分为盆地深部的动力 (包括深部热动力和构造动力)、盆地沉积作用过程中产生的自源动力、水的重力和油气的浮力及毛细管阻力 4 种类型^[19]。盆地深部的地温场是成藏动力系统的动力基础。最大洪泛层是成藏动力系统最大的自源动力源层, 其他泥岩也是主要的自源动力层。其自源动力的大小受地温场和沉降速度的控制, 与泥岩的厚度、展布的范围、黏土矿物的含量和有机质的丰度有密切的关系。在沉积作用的早期, 排液 (烃) 的主要动力是压实作用。随着埋藏深度和温度的增加, 膨胀因素所产生的动力 (包括水受热膨胀、蒙脱石脱水产生的膨胀作用以及干酪根热降解生成油气产生的膨胀作用) 导致泥质岩中的孔隙流体压力在压实作用的基础上进一步增强。使泥质岩中的流体 (包括新生成的油气) 不断从泥岩排向砂岩。流体

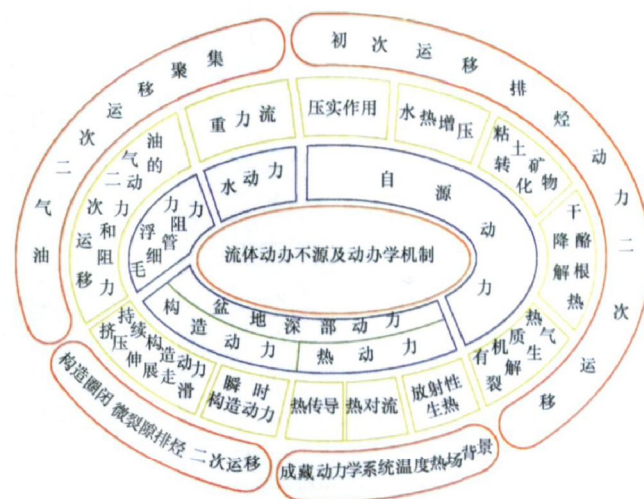


图 4 成藏动力学系统流体动力

Fig. 4 Dynaflow of migration-accumulation dynamic system

势(包括水势、油势和气势)是推动油气在成藏动力系统中运移的主要动力。

构造动力在某些盆地油气成藏中起着重要的作用。准噶尔盆地南缘的挤压和压扭构造动力十分突出,不少专家认为其孔隙流体压力来自构造动力^[33-34]。盆地南缘博格达山的隆升,既有持续的构造动力叠加在沉积岩体上,导致其内部的孔隙流体压力增加,构造变形,地层破裂,又有突发的瞬时构造变动,导致大规模褶皱、断裂,伴随着强烈的地震和大规模流体的涌流;流体包裹体资料表明,自侏罗纪以来,这种构造动力导致的地层孔隙流体异常压力增压和释放过程至少发生过 4 次,对二叠系和侏罗系烃源岩的排烃、运聚和成藏起着重要的控制作用。

2.6 成藏动力系统油气汇聚区和汇聚类型

油气在沉积盆地范围的运移汇聚作用是成藏动力系统研究的重要内容。区分各个成藏动力系统的油气在平面上的汇聚区和汇聚类型,识别油气运移的主流输导线和优势通道及其与各种圈闭的配置关系是寻找油气藏的关键。

运用构造沉积流体势以及地球化学指标等多种方法区分沉积盆地(坳陷、凹陷、洼陷)的汇聚区是划分油气汇聚类型的基础。在大量生排烃期的

古构造图上,以坳陷、凹陷和次凹的轴线划分出分烃槽;以不同二级构造带之间的深凹槽轴线划分出分烃区线;以垂直构造等高线划分出烃流线、识别出汇烃脊;根据流体运移线所指的方向进一步区分出汇聚、平行、发散等不同汇聚类型。

在准噶尔盆地阜东-北三台地区,通过详细研究各成藏动力系统成藏条件和成藏作用,以盆地(凹陷)构造剖面 and 平面演化史图为基础,编制各成藏动力系统平面动态演化史图,划分出烃源灶、分烃槽、汇烃脊和油气运移主流线,区分出不同的汇聚类型,结合古沉积环境、沉积相和砂体分布以及各种同期圈闭等地质信息,根据油气从源岩到圈闭的思路,可以在自源系统图上直观地看到油气的形成演化和分布(图 5)。在它源系统图上,则要着重解决油气进入该系统的油源通道及其供油的丰富程度,这是评价它源系统能否成藏的决定性因素。

3 应用成藏动力系统找油的思路和实践

3.1 应用成藏动力系统寻找油气田的思路

运用成藏动力系统的思想去寻找油气一要充分利用当前地质科学的新理论和油气勘探的新技

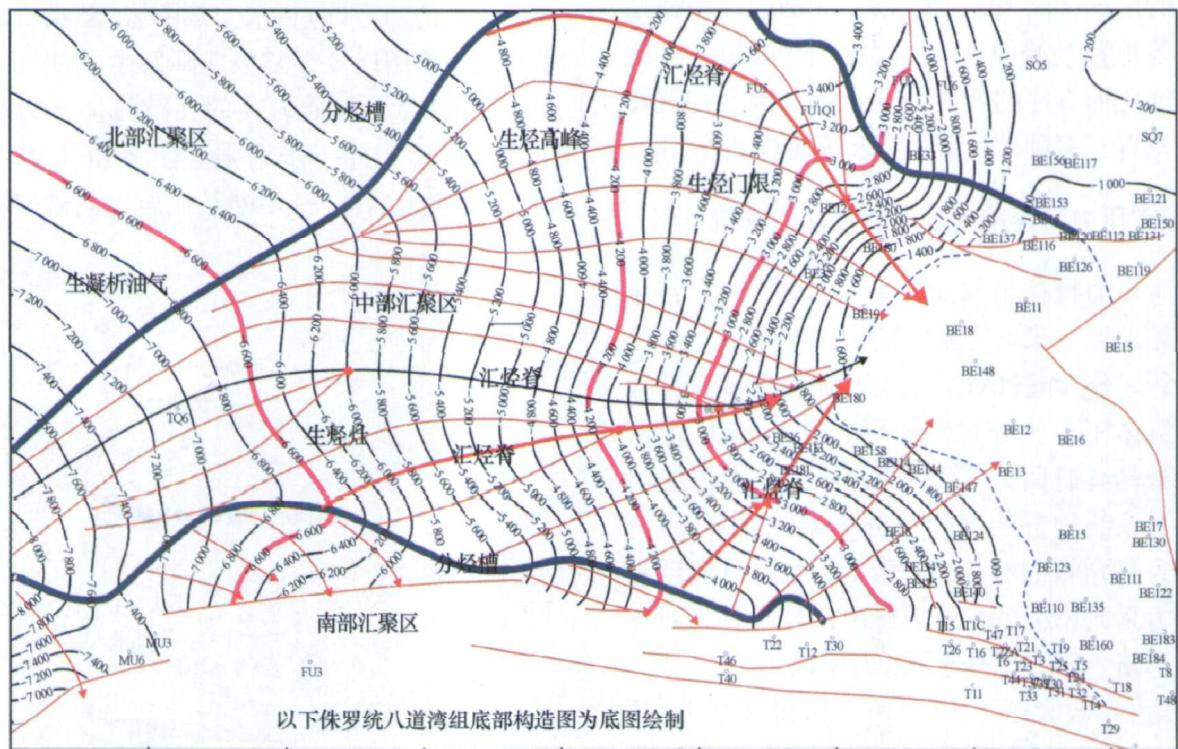


图 5 阜东斜坡-北三台下侏罗统成藏动力系统汇聚类型图

Fig. 5 Map showing the accumulation types of the dynamic system for hydrocarbon migration and accumulation in the Lower Jurassic of Fudong slope-Beisantai high

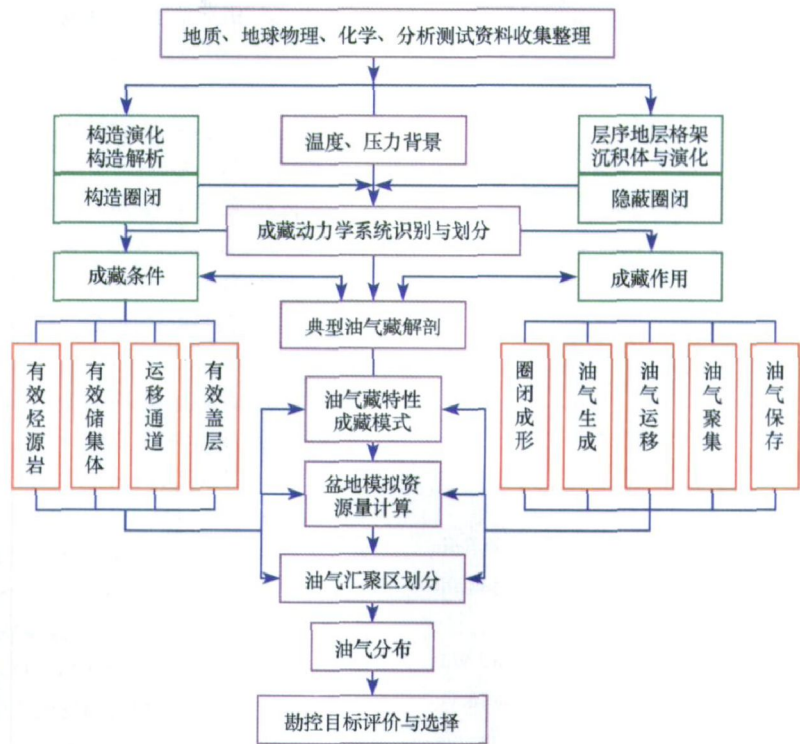


图 6 技术流程

Fig. 6 Flow chart of the research

术、新方法,对盆地进行多学科的整体、系统、动态、定量、宏观与微观相结合的研究,二要充分研究盆地的孔隙流体压力发育分布的特点,运用多种技术方法划分盆地的成藏动力系统。研究成藏动力子系统的成藏条件和成藏作用。分层、分期、分区、动态、定量计算洼陷的生烃量、排烃量、资源量,揭示油气资源在系统图上形成、运移和聚集分布的规律。并运用层序地层的方法揭示隐蔽圈闭在自源系统中的分布。用地球物理的方法落实圈闭,准备勘探目标以发现新的油气藏。图 6 为技术流程。

3.2 应用成藏动力系统寻找油气田的实践

继在沾化凹陷富林洼陷通过成藏动力系统研究取得油气突破之后^[18],在惠民凹陷临南洼陷又取得了重要进展。临南洼陷面积 2 000 km²,已发现临盘、商河、临南、曲堤和玉皇庙等油田,勘探难度较大。我们运用成藏动力系统研究思路与方法对其进行了研究,确定了烃源岩的演化阶段,分层、分期、分区、动态、定量计算了洼陷的生烃量、排烃量、资源量,划分了洼陷的成藏动力系统,油气汇聚区和汇聚类型(图 7)。运用层序地层学的技术和方法在洼陷中确定了 4 个有利目标区。在此基础上针对有利隐蔽圈闭实施钻探,均获得工业油气流,其中 1、2 号目标区被命名为江家店油田。

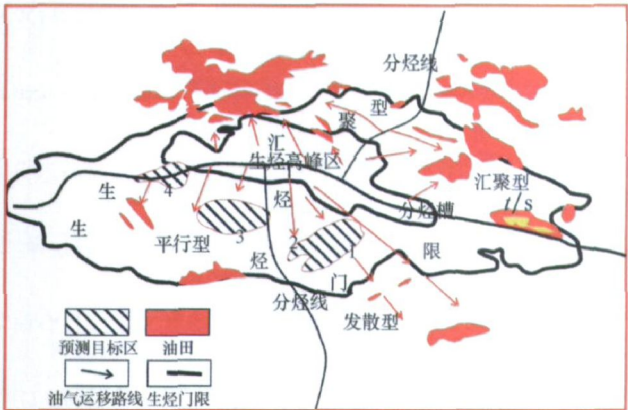


图 7 临南洼陷油气汇聚区和有利目标示意图

Fig. 7 Distribution of hydrocarbon accumulation areas and potential exploration targets in Linnan sag

4 结 论

油气成藏动力学是在含油气系统基础上发展而来的,研究内容主要包括油气成藏的动力、盆地地球动力学背景和成藏动力系统研究等三个方面。近年来,成藏动力系统分别在中国东部断陷盆地和中国西部大型复合叠合含油气盆地得到应用,并取得了重要进展,主要体现在应用层序地层学识别和划分成藏动力系统、成藏动力系统的构成要素、异常压力封存箱发育区的成藏动力系统研究、构造动力在成藏中的作用、以及

成藏动力系统油气的汇聚类型等。运用成藏动力系统的思想去寻找油气既要充分利用当前地质科学的新理论和油气勘探的新技术、新方法,对盆地进行多学科的整体、系统、动态、定量、宏观与微观相结合的研究,又要充分研究盆地的孔隙流体压力发育分布的特点,运用多种技术方法划分盆地的成藏动力系统。

参 考 文 献

- 1 Dow W G. Application of oil correlation and source rock data to exploration in Williston basin (abs) [J]. AAPG Bulletin, 1972, 56: 615
- 2 Perrodon A. Dynamics of oil and gas accumulation [A]. Bulletin Des Centres De Recherches Exploration Production Elf Aquitaine [C]. MEMS, 1983: 187-210
- 3 Meissner F F. Petroleum geology of the Bakken Formation, Williston basin, North Dakota and Montana [A]. In: Demaison G, Murris R J eds. Petroleum geochemistry and basin evaluation [C]. AAPG Memoir 35, 1984: 159-179
- 4 Ulnishek G. Stratigraphic aspects of petroleum resource assessment [A]. In: Rice D D, eds. Oil and gas assessment methods and application [C]. AAPG Studies in Geology, 1986: 21: 59-68
- 5 Magoon L B, Dow W G. The petroleum system: from source to trap [J]. AAPG Memoir 60, 1994
- 6 陈发景, 田世澄. 压实与油气运移 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1989
- 7 Magoon L B. 含油气系统及其研究方法 [M]. 杨瑞召, 译. 北京: 地质出版社, 1994
- 8 吴云燕, 吕修祥. 利用含油气系统认识油气分布 [J]. 石油学报, 1995, 16(4): 17-22
- 9 费琪. “成油体系”分析 [J]. 地学前缘, 1995, 2(4): 164-170
- 10 Magoon L B, Dow W G. 含油气系统—从烃源岩到圈闭 [M]. 张刚, 蔡希源, 高泳生, 等译. 北京: 石油工业出版社, 1998
- 11 赵文智, 何登发, 李伟, 等. 含油气系统的内涵与描述方法 [A]. 见: 胡建义. 中国含油气系统的应用与进展 [C]. 北京: 石油工业出版社, 1997
- 12 宋建国, 张光亚. 中国油气系统分类与勘探方向 [A]. 见: 胡建义. 中国含油气系统的应用与进展 [C]. 北京: 石油工业出版社, 1997
- 13 何登发, 赵文智, 雷振宇, 等. 中国叠合型盆地复合含油气系统的基本特征 [J]. 地学前缘, 2000, 7(3): 23-37
- 14 赵文智, 何登发. 中国复合含油气系统的概念及意义 [J]. 勘探家, 2000, 5(3): 1-12
- 15 赵文智, 张光亚, 汪泽成. 复合含油气系统的提出及其在叠合盆地油气资源预测中的应用 [J]. 地学前缘, 2005, 5(3): 458-467
- 16 田世澄, 陈建渝, 张树林, 等. 论成藏动力学系统 [J]. 勘探家, 1996, 1(2): 20-25
- 17 田世澄, 张树林, 袁国礼, 等. 论成藏动力学系统的划分和类型 [A]. 见: 胡建义. 含油气系统研讨会论文集 [C]. 北京: 石油工业出版社, 1998: 10-17
- 18 田世澄, 毕研鹏. 论成藏动力学系统 [M]. 北京: 地震出版社, 2000
- 19 田世澄, 陈永进, 张兴国, 等. 论成藏动力学系统中的流体动力学机制 [J]. 地学前缘, 2001, 8(4): 329-336
- 20 张树林. 裂陷盆地的断裂构造与成藏动力学系统 [M]. 北京: 地震出版社, 1997
- 21 陈红汉, 李思田. 活动热流体与成藏、成矿动力学研究进展 [J]. 地学前缘, 1996, 3(3-4): 259-262
- 22 叶加仁, 王连进, 邵荣. 油气成藏动力学中的动力场 [J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(2): 182-185
- 23 郝芳, 邹华耀, 姜建群. 油气成藏动力学及其研究进展 [J]. 地学前缘, 2000, 7(3): 11-21
- 24 吴冲龙, 王燮培, 何光玉, 等. 论油气系统与油气系统动力学 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2000, 25(6): 604-611
- 25 姜建群, 廖成君, 张福功. 指导油气勘探的新思路——从含油气系统到油气成藏动力学 [J]. 西北地质, 2002, 35(2): 34-40
- 26 杨甲明, 龚再升, 吴景富, 等. 油气成藏动力学研究系统概要 (上、中、下) [J]. 中国海上油气 (地质), 2002, 16(2): 92-97
- 27 褚庆忠, 张树林. 含油气盆地成藏动力学研究综述 [J]. 世界地质, 2002, 21(1): 24-29
- 28 Anderson R N, Hewett J, Hobart M A. Active fluid flow in the Eugene Island Area offshore Louisiana [J]. Geophysics, 1991, 10(4): 6
- 29 陈开远, 孙爱霞, 杜宁平. 成藏体系中的层序地层学 [J]. 石油与天然气地质 [J]. 1998, 19(3): 221-226
- 30 张树林, 田世澄. 油气初次运移研究方法的探讨 [J]. 地球科学, 1990, 15(1): 87-2
- 31 Hunt J W. Generation and migration of petroleum from abnormally pressured fluid compartments [J]. AAPG, 1990, 4(1)
- 32 田世澄, 陈永进, 施凤成, 等. 异常压力封存箱在油气成藏中的作用 [J]. 地学前缘, 2004, 11(3): 283-284
- 33 罗晓容, 肖立新, 李学义, 等. 准噶尔盆地南缘中段异常压力分布及影响因素 [J]. 地球科学, 2004, 29(7): 404-412
- 34 刘震, 金博, 贺维英, 等. 准噶尔盆地东部地区异常压力分布特征及成因分析 [J]. 地质科学, 2002, 37(增刊): 91-104

(编辑 高 岩)