

油气成藏与分布的递变序列

张金川¹, 金之钧², 袁明生³, 张 杰²

(1. 中国地质大学 能源地质系, 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. 吐哈油田分公司, 新疆 鄯善 838202)

摘要: 在分析成藏过程的基础上, 指出了不同类型油气藏分布的序列性。油气生成的多源性和不同聚集条件下成藏聚集的多变性构成了油气在平、剖面上发育和分布的序列性, 它由生供烃序列、运移序列、封存序列以及成藏序列等构成, 多因素变化导致不同盆地中的油气藏分布构成多种变化序列。若将不同盆地中的典型油气藏片段进行时空组接, 则上述所有油气藏类型都将在理想的盆地中出现, 构成理论上完整的油气成藏机理序列。对具体的盆地而言, 由于不同类型油气藏的存在几率及发育的规模和程度各有差异, 通常形成以几种机理类型为主的油气藏组合序列。单就一定条件下的天然气成藏分析而言, 煤层气或页岩气、根缘气、致密砂岩气、水溶气、常规圈闭气以及甲烷水合物等可构成完整的油气成藏机理递变序列。

关键词: 非常规油气; 油气藏类型; 机理序列; 序列模式

中图分类号: TE122.1⁺2

文献标识码: A

文章编号: 1000-852X(2003)03-0323-08

1 油气成藏机理递变序列的提出及其研究意义

含油气系统(成藏体系)是一个地表及其以下含油气的自然体系, 在这个体系中包括了形成油气藏的一切必要元素以及它们之间有效的配置结构。按照系统论观点, 烃源体系、输导体系和圈闭是构建成藏体系的基本要素。当盆地内具备这样的结构组成并在其间存在恰当的时空匹配时, 就必然会产生出系统的新功能——油气藏的形成。

含油气系统中由于构建成藏体系的要素特征具有复杂性、多样性和彼此渐变的过渡性, 而不同的成藏要素控制着不同类型油气藏的形成。因此, 在一个各种地质条件递次出现的理想盆地中, 不同类型的油气藏也在理论上依次形成而构成油气藏分布的连续过渡序列^{[1,2]①}。由于构建成藏体系的要素特征具有彼此过渡的序列性, 成藏系统内所形成的油气藏也将构成序列过渡: 一方面是其成藏条件及

其成藏机理所构成的递变序列, 形成了油气藏在平、剖面上从常规到非常规类型的顺序过渡; 另一方面则仅在考虑其资源或储量的基础上, 按照规模大小排列产生的油气藏位序。因此, 油气成藏分布的递变序列即是一系列相同或不相同类型油气藏在平、剖面上的规律性递次分布。实际盆地的油气成藏地质条件变化多样, 不同类型油气藏的分布组合也就各具特色。本文主要考虑其成藏条件, 从机理上分析油气藏的递变序列。

1.1 概念

Gussow^[3]曾对构造高点递变且连续展布的背斜圈闭油气藏组合做过描述讨论, 称之为常规油气藏序列。1967 年, 以 Levorson 等^[4-6]为代表的许多研究者又从主控因素方面对常规油气藏的基本类型和成藏组合进行了归类研究。至 20 世纪 80 和 90 年代, Lee et al.^[7]、金之钧等^[8]等基于常规油气资源的数量分布规律, 对油气藏大小分布规模的序列进行了理论分析和应用研究。

收稿日期: 2003-02-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(40172052、40272062); 国家重大基础研究“九七三”项目(G1999043309)

作者简介: 张金川, 男, 副教授, 博士, 1964 年出生, 石油地质学专业, 从事非常规天然气、成藏机理及资源评价的研究工作。

①张金川, 金之钧, 张一伟. 深盆地成藏机理与天然气成藏序列. 中国地质大学、湖北省石油学会. 成油体系与油藏动力学学术研讨会论文集. 2002.

油气成藏机理递变序列是由不同类型油气藏构成的具有机理过渡关系的油气藏组合。从油气来源演化、储集条件、机理类型、成藏分布以及构造保存的多样性组合观点来看,油气藏的形成和分布是一个有机的序列链,油气生成的多源性和不同机理条件下形成的油气藏构成了油气在平、剖面上发育和分布的组构序列(图1)。

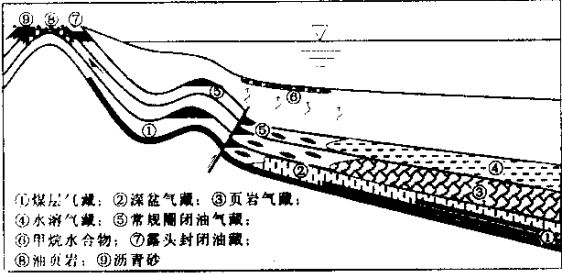


图1 理想盆地中油气成藏机理序列的一种可能模式
Fig.1 A possibly mechanic model of hydrocarbon spectrum in an ideal basin

1.2 概念提出的背景和研究意义

在技术手段日趋发展之今日,世界各国对非常规油气藏的发现日趋增多,生物气、低熟油气、深层油气、无机气、深盆气(根缘气)、煤层气、页岩气、水溶气、甲烷水合物、重油、稠油、沥青砂以及油页岩等已被越来越多地发现。在理论上,对各种类型油气藏的研究也已经相当深入。如美国石油地质学家协会在2002年出版了非常规天然气专辑,分别介绍了煤层气、盆地中心气、甲烷水合物、生物气、甲烷水合物等非常规含气系统(Gas Systems)的研究成果,他们^[9-13]将不同类型的非常规天然气分别作为独立的含气系统,但在方法和理论上尚未涉及各种类型气藏之间的相互关系。

Tadashi Asakawa^[14]在撰文讨论非常规天然气资源远景问题时,对美国的非常规天然气勘探开发现状进行了较为系统的论述,并将美国的致密砂岩气(主要为根缘气)、煤层气、页岩气和水溶气的平面分布叠置在一起,对该图分析后可以看出,页岩气、煤层气和根缘气常发育在一个盆地中,盆地条件不同,相应的气藏类型组合也不同。Tyler et al.^[2]从煤层气资源赋存特征的研究出发,将圣胡安描述为一个多类型气藏发育的盆地。

金之钧和张金川等^[3]曾根据 Masters et al.^[15,16]所提供的资料,编制了横切阿尔伯达盆地地层剖面的天然气藏类型的分布图,发现煤层气藏、深盆气藏与常规圈闭气藏在剖面上的分布同样为有序状态。在随后的深盆气成藏实验研究中,作者^[2,17]1999年对深盆气与常规圈闭气在同一盆地中的成藏作用进行了简单的分析,描述了不同类型的油气藏在盆地空间中的理论分布。2001年在进一步讨论深盆气成藏机理时,提出了油气成藏机理递变序列的概念以描述一系列具有成因联系和机理过渡特点的油气藏^[1],在此基础上讨论了典型深盆气藏^[8]与典型常规圈闭气藏之间的机理过渡关系。

到目前为止,对常规油气藏的成藏理论和勘探实践取得了显著成效,对各类非常规油气藏的理论 and 勘探的研究也正以迅猛的速度发展。油气成藏机理递变序列的研究方法以动态的成藏过程为主线,既避免了含油气系统的静态特点,又将孤立的各种类型的油气藏联系在一起,可为油气成藏机理的研究和分布规律的预测找到新的思路。开展该项研究具有下列意义。

(1) 按成藏序列的圆阙预测不同类型油气藏的分布。按照油气成藏机理递变序列,不同类型油气藏的形成和分布是顺序发生的并依次形成,即前一机理顺序油气藏类型的形成与饱和一般是后一机理顺序油气藏类型开始出现的必要条件,在成藏机理顺序上具有相隔关系的油气藏类型在分布上的相邻出现是没有绝对意义的,其间总会有哪怕是非工业意义的油气藏过渡。换句话说,如果存在并发现了在成藏机理顺序上不相邻的油气藏类型的分布,则其中间机理类型的油气藏理当存在,只是其发育程度、聚集规模和勘探价值视该种类型油气藏的形成条件而定。以含煤盆地来说,若作为源岩的煤层气存在、常规油气藏发育且储层物性致密,则应考虑深盆气藏的发育;根据已发现油气藏的机理类型和过程,还可按序列追溯其他更多类型油气藏的分布。

(2) 多机理类型油气藏的兼与顾。油气成藏机理递变序列是勘探程度较高,且各种油气藏类型发现较为齐全条件下出现的产物,通过对彼此间成因关系的研究而形成油气成藏分布序列性递变的观点

②Tyler R, Scott A R, Kaiser W R, et al. Geologic and hydrologic controls critical to coalbed methane producibility and resource assessment: Williams Fork Formation, Pisceans Basin, Northwest Colorado. Gas Research Institute Topical Report. 1995.
③金之钧,张金川等. 深盆气成藏原理、基本特征及勘探开发技术调查与初步研究报告. 石油大学(北京). 1997.

认识,有可能使油气田(藏)预测方法得到改进,为油气藏空间位置的早期预测提供帮助。在对常规油气藏进行勘探的同时兼顾出现的各种非常规类型,可少走许多弯路,亦可正确评价盆地的勘探潜力并预见勘探方略。

(3)按盆地特点预测油气藏的类型分布。中国以陆相为主的煤系地层和致密储层普遍发育,盆地类型和构造保存多样,各种油气藏类型发育齐全。从地理位置考虑,陆上的西、中、东部及海域各有差异,从常规油气藏按序列追溯,近期内具有较高勘探开发价值并可作为接替领域的非常规油气藏类型在许多地区都有分布,使用油气成藏与分布的机理递变序列研究方法有助于预测并发现新的油气藏类型。

2 油气成藏机理递变序列的构成

2.1 生供烃序列

对于不同类型的油气藏来说,除了干酪根(泥页岩、高碳泥岩、煤岩、碳酸盐岩等)正常热解和裂解生成的油气以外,尚有多种非正常来源和改造的烃源补充,延续范围从沉积物堆积界面直到盆地最深部(包括无机成因的则可延伸至地球壳幔深部),在时间和空间上为成藏体系中油气藏序列的产生提供了连续过渡的物质基础。

许多研究者分别从不同侧面深入分析了浅层生物气、低熟油气、正常热裂解生烃、高过成熟生油气等。但如果从连续的系统角度看,从地表沉积到盆地基底甚至更深部位,油气的生成过程则是一个连续的过程,从而在剖面上构成了连续的生供烃序列,即从地表处的有机物堆积产生沼气开始,经过浅埋时的生物成因甲烷气(沼气过程的延续)“生烃门限”附近的低(未)熟油气,越过“生烃门限”以后的干酪根正常热解和裂解生烃直到过成熟阶段的油气生成。此外,无机作用则将油气的生成和供给的深度延伸至更大范围。

2.1.1 浅层油气的生成

浅层油气的生成具有两种生烃机理:一是有机质在浅埋的还原环境下主要经厌氧细菌作用而产生的生物甲烷气(沼气机理);二是当有机质埋深较大,在接近成熟而未进入大量生烃阶段时($R_o=0.2\%\sim0.7\%$)所生成的低(未)熟油气(过渡带油气)。

2.1.2 复杂条件的有机质生烃

在复杂演化的地质条件下,油气的生成过程存

在更多的条件变化,可能导致在不同深度段上出现多个连续的生烃高峰(如煤成烃)。低丰度有机质生烃的累积效应、碳酸盐岩过成熟生烃作用以及深部和超深部有机质的非正常热解生烃过程都为油气成藏机理递变序列多样性的存在提供了多种可能。

2.1.3 生烃间断及其产物改造

在构造运动复杂的叠合盆地区,除了正常的热演化序列递变以外,生烃间断及其产物改造作用促成了油气生成序列的复杂化,生烃过程的非正常终止(如产生油页岩等)、干酪根二次生油气、生物降解和游离氧化作用(产生重油—沥青)等均使生烃序列更加复杂。

2.1.4 无机成因的烃类

无机成因的烃类一般与无机化学作用、地球壳幔活动和复杂流体活动有关,多出现在地壳活动带或有深大断裂发育的盆地内部以及碳酸盐岩区(碳酸盐的无机化学作用生气)等。它们在化学成分上可含有更多的非烃类气体,深度变化较大。

2.2 油气运移序列

从运动过程看,每种油气藏的形成和存在都必须满足物理学上的动力平衡关系原理。若将油气运移的力学作用简单地归结为以矢量表示的运移动力和运移阻力,则油气的运移状态是其动力作用大于阻力作用的结果,而油气的成藏聚集和保存状态则是运移阻力与运移动力相互平衡作用的结果。油气的运移方式有多种^[19 20],且受力类型多样,当油气从源岩中排出之后,下列过程中的任一阶段均有可能形成油气藏(图2)。

(1)油气排出——初次运移时期的吸附。从源岩中排出的油气首先具有被吸附的作用特点,当源岩微孔发育(内表面积较大)对油气的吸附力较强时,由吸附作用所造成的油气聚集规模逐渐增大(吸附累积效应),形成以吸附-扩散作用力为主导动力条件的油气聚集,如煤层吸附气、泥页岩吸附气等。但当吸附-扩散平衡条件不再满足并被打破之后,多余的油气脱离吸附作用而大量逃逸,新的平衡作用重新开始,主要表现为其他动力作用(如毛细管压力、浮力等)之间的相互平衡。

(2)油气初次运移——二次运移时期的连续型油气运聚。在非连续介质条件下,脱离吸附作用范围的油气数量逐渐增多并就近聚集,形成了有根状的连续型油气运聚类型(如根缘油气藏类型)。由于此时的地层孔隙水表现为非连续型介质条件,有根状的油气聚集不具有浮力作用产生的条件,油气

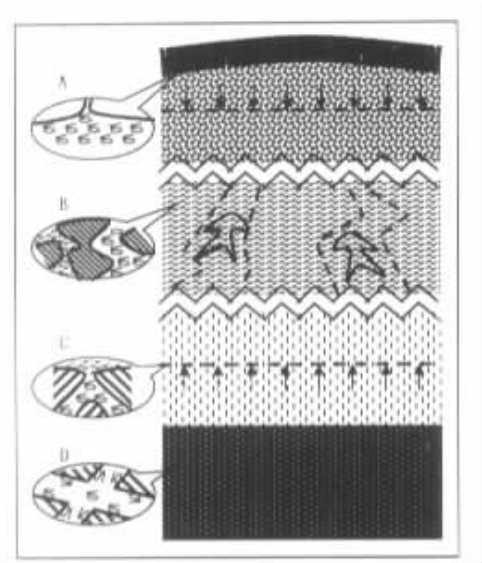


图2 天然气赋存机理递变序列示意图

Fig.2 Mechanism transitional spectrum for gas accumulation

A. 常规圈闭气：天然气向上的运移被盖层遮挡；B. 水溶气：天然气选择较大孔隙通道进行运移；C. 深盆气：天然气对孔隙水的活塞式整体推移；D. 煤层气：甲烷在煤岩表面上的吸附作用

的运聚动力更主要地表现为生烃膨胀力。连续型油气聚集产生的基本条件有两种：一是在储层孔隙较大、地层孔隙水连通性较好并能够产生浮力作用的条件下，较小油气柱高度所产生的有限浮力作用还不足以克服毛细管阻力而使油气聚集体脱离源岩，该种连续型油气的聚集规模较小且具有短暂性存在的特点。当油气柱高度一旦大于其临界值时，浮力的增加将促使油气聚集体转变为非连续性分布；二是连续型油气聚集产生于致密储层条件下，由于天然气向狭小孔隙（喉道）中的注入需要较高的充注压力，导致天然气进入孔隙（喉道）并压迫亲水性孔隙壁表面上的束缚水使之严重薄膜化，足够薄的束缚水膜无法对地层流体压力进行传导以产生天然气上升的浮力。由于不受浮力作用的影响，连续的天燃气柱高度不再服从霍勃逊－伯格方程式（1），形成根缘油气藏或盆地中心油气藏等。

$$p_c \geq (\rho_w - \rho_{og})gh \pm \Delta h\rho_w g \tag{1}$$

式中： p_c 为盖层毛细管压力； ρ_w 为地层水密度； ρ_{og} 为油气密度； g 为重力加速度； h 为油气柱高度； Δh 为剩余水压力。

与上述过程相对应，常规储层中油气的运聚形式更多地表现为置换式特点。由于致密储层孔隙结

构的复杂性和生供油气条件的变化性，地质过程中发生的活塞式油气运聚具有非典型机理的特征。主要表现为不均等性孔喉半径所造成的束缚水旁流及由此所引出的油气不连续问题，正是不同程度的旁流作用形成了典型的活塞式运聚与典型的置换式运聚之间序列的过渡，产生非此亦非彼的致密砂岩气藏。据上述机理过程的分析，连续型油气运聚发生的有利条件为靠近源岩的均质性致密储层。当储层条件不再满足或超出根缘气成藏的临界条件时，油气的浮力作用能够产生并发生向上推移油气的作用，从而开始通常意义上的置换式油气运移。

这一复杂过程可由油气成藏的普适性方程来表示：

$$p_p + K_w t \rho_{wg} (h + h_{og} \pm \Delta h) = p_c + \rho_{wg} (h + \Delta h) + h_{og} \rho_{og} g \tag{2}$$

式中： p_p 为生烃膨胀力； K_w 为油气藏内部的束缚水导通率； t 为油气运移时间； h_{og} 为油气柱高度。

（3）二次运移时期的非连续型油气运聚（正常油气运聚）。在孔渗物性较好的储层中，流体介质连续，由于生烃膨胀力作用与浮力作用互为消长，此时孔隙中存在的油气易于受到浮力作用而向上克服毛细管压力，形成了受正常运聚动力驱使的油气成藏过程。在该过程中，油气的运聚状态表现为非连续性，超出临界运移高度（受霍勃逊－伯格方程控制）的油气柱随时向上运移并被封闭于圈闭盖层之下，形成构造圈闭、地层圈闭等油气藏类型。

与连续型油气运聚过程相反，此阶段的油气运移总是首先寻找压力梯度减小最快的近垂向通道，沿通常所称的油气运移高速通道或优势通道进行运移；其次是选择倾斜或近水平的输导体系进行运移。根据浮力作用的原理，该阶段的油气聚集表现为从圈闭高点开始的向下推移。

（4）油气运聚状态的调整。由于圈闭以外存在的油气属于运移油气的范畴，故它可发生在油气生成之后的所有阶段，可能来源于油气的溶解、游离状上浮运移或正常圈闭的扩散、常规圈闭溢出点以外的超充注、改造及破坏后的逸散作用等。高丰度富集的溶解气有助于形成水溶气藏。对于溶解相的天然气来说，溶解作用与析出作用是其赋存成藏的平衡机理。运移途中相对低温高压的地质环境条件则有可能使它们以气水合物的方式重新聚集。

2.3 油气封存序列

从封闭介质的条件来看，油气藏的封闭机理同

样提供了构成完整序列的条件,形成了从盖层的严密封闭到储层性质的弱封闭,甚至温压环境与油气性质共同作用所造成的“无封闭”等类型之间不同程度的过渡,使油气的聚集摆脱了常规圈闭的束缚而可能形成全盆地范围内的分布序列:盆地向斜中心、斜坡过渡带、局部构造高点、近地表及地表。

(1) 毛细管排驱压力封存:表面张力作用发生在地层中的任意两相流体之间,因此毛细管排驱压力封闭是油气成藏封闭的基本形式和主要类型。从微观上看,毛细管排驱压力封闭也就是孔隙岩壁上吸附水薄膜(润湿相)对油气(非润湿相)运移的阻止作用,亦被称为薄膜封闭。从储层到盖层,毛细管排驱压力的突然增高阻止了油气在浮力作用下的继续上浮,所聚集的油气柱高度服从霍伯逊-伯格方程,常规圈闭油气藏(如背斜、断块、岩性、地层等油气藏)均属此种类型。受油气赋存介质的条件和流体性质两方面因素影响,毛细管封闭具体表现为受地层物性差和流体物性差所影响,从封闭条件要求非常严密的大型常规天然气聚集,到封闭条件相对较低的轻质油成藏,到常规油藏的封存,再到封存条件较弱的稠油藏,最后直至不需要圈闭封闭的焦油藏,构成了不同条件下油气封存的递变序列。

当储层物性致密,毛细管排驱压力升高时,致密储层形成对油气成藏的相对弱封闭。致密储层首先导致了油气柱临界运移高度的增加;其次,较高的束缚水相对含量降低了油气在其中的相对渗透率,有可能在其中出现不受霍伯逊-伯格方程所控制的油气柱高度。尤其是当致密储层具有较好的均质性条件时,油气运移方式的改变(从活塞式运移到置换式运移)以及相应驱动力的转变(从浮力转变为生烃膨胀力)为负向构造单元内形成大规模的根缘油气的聚集提供了机理条件。此外,就游离相油气成藏本身来说,典型根缘油气藏与典型常规油气藏之间同样存在着逐渐过渡和递变关系。

(2) 源岩吸附力封存:已生成油气的吸附作用存在于所有烃源岩中,当其聚集丰度和规模达到一定程度时便形成吸附类油气藏。典型类型是煤层吸附气、泥页岩吸附气、碳酸盐岩吸附气以及其它源岩残留油气等。与根缘油气藏相似,它们的存在不依赖于常规意义上的圈闭。

(3) 温压效应封存:温度和压力的作用使烃类以特殊的方式赋存或特殊形式的油气在特定的温压条件下得到聚集和保存。首先,不同的温压条件改

善或改变了油气赋存的基本条件,可更有利于不同相态油气的存在。凝析油(相对于天然气)、稠油、沥青、露头油气藏、沥青砂以及油页岩等依靠自身特殊的物理性质(如粘滞力)而存在;其次,不同的压力变化造就了良好的流体势能封闭或异常压力封闭,流体势的作用促使油气由高势区向低势区运移,当油气聚集带的流体势较低,而在其有趋向的运移方向和路径上存在较高的流体势能时,地层流体异常压力的作用导致或在很大程度上阻碍了油气的逃逸散失。其中,流体异常压力、构造应力以及流体密度等均有对其封闭性产生较大影响的机会,其影响程度通过流体势场而得到反映。最后,温度和压力的变化亦可以是产生非常规油气藏的决定性因素。相对封闭的高压高温环境有利于水溶气含量丰度的提高,即水分子之间的空隙中可以容纳更多的天然气分子;当气体分子在相对的低温高压条件下大量进入水分子晶隙并形成具有笼状结构的络合物时,水分子的物理活性发生质的改变而形成以固体状态出现的水合物。同样,水溶气藏和水合物气藏亦可不受常规意义上圈闭的制约。

如果认为上述封闭类型均可以单独形成油气藏,则水动力作用和烃浓度梯度作用一般只可作为对封闭机理序列的补充,两者均可使常规圈闭的封闭强度得到改善或改变。

2.4 油气成藏序列

2.4.1 以游离相为主的油气成藏序列

在孔隙介质条件下,从底部注入的油气具有活塞式和置换式两种运聚成藏方式,当孔隙的平均喉道半径较大或储层物性的非均质性较强时,油气在其中的运动主要以置换方式进行,但受时间因素的影响,与地层水的相对渗透率变化关系较大;反之,当储层的平均喉道半径较小或储层物性的各向均质性较强时,从底部注入的油气对孔隙水进行全面排驱,油气在其中的运移表现为活塞式特征。对于任意物性和均质性的储层来说,油气在其中的运聚都将服从或倾向于上述两种方式之一。由于实际存在的储层均为较小的孔渗物性条件,若单纯从时间因素考虑,由源岩中排出的油气将首先以活塞方式(根缘油气成藏)向上推进,但在推进过程中推进方式随时都有可能发生改变,如储层均质性条件的改变、地层水向油气柱底部渗流量随时间增长而造成的累积等因素,均为促使油气运聚方式由活塞式向置换式(常规油气成藏)方向转变的重要因素。由于转变效果各不相同,油气在成藏过程中的

运移方式也就千变万化，构成在一定时限内的分布序列（致密砂岩油气成藏）。

如果将根缘油气藏与常规油气藏看成成藏过程演变中的两个极端过程，则它们分别代表了油气成藏机理过程中典型的活塞式和置换式运聚机理，其他的油气成藏机理类型均介于两者之间。从成藏顺序分析来看，如果与源岩紧邻的储层条件较为致密且油气成藏条件恰好介于根缘油气与常规油气成藏的临界，则根缘油气首先形成，不同地质阶段所表现出的油气藏类型特征将与地层水机械势能的交换条件和交换结果有关，通常与源岩的供烃速率、致密储层的均质性以及时间的函数有关。所以，多种地质因素综合作用的结果将产生从典型根缘油气藏到典型常规油气藏连续过渡的多种油气藏递变模式。

2.4.2 复杂条件下的油气成藏序列

从赋存状态看，不同形式和存在状态下的油气构成了连续分布的油气藏序列。不同类型油气藏的分布是一种依据成藏条件变化且互为消长的紧密匹配关系，当油气生成和排出的总量确定时，每种类型油气的资源总量将依据成藏体系的具体特征进行配比；当时间或空间要素确定时，不同类型的油气藏也将依据成藏条件进行资源总量的分配。

由前述分析可见，多变的地质条件为不同机理类型油气藏的形成和同时存在提供了基本条件。当各自的形成条件顺序存在时，各种典型类型的油气藏将依次出现。由于各具体盆地的地质条件变化莫测，而各种类型油气藏之间又存在着彼此影响的消

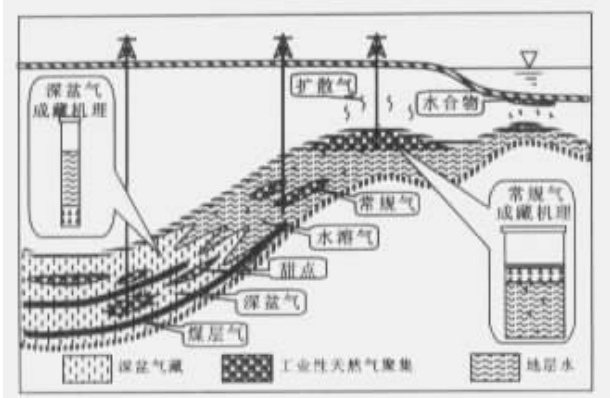


图 3 天然气成藏序列示意图

Fig.3 Sketch map for gas spectrum

长关系，因此尽管前述所有的油气成藏机理过程都可能在同一盆地中出现，但并不能保证所有机理类型的油气赋存都能形成具有工业丰度和聚集规模的油气藏。通常情况下，各盆地中油气成藏由于欠缺条件的差异仅能使其其中某种或某几种油气藏类型达到工业价值，形成残缺的油气成藏机理递变序列。因此，如果将不同盆地中的典型油气藏片段在理想盆地中进行时空组接，则前述所有油气藏机理类型都将出现，并在时间和空间上连续出现，构成理论上具有完整意义的油气成藏机理递变序列。

对天然气来说，煤层气或页岩气（半吸附、半游离）、水溶气—油溶气、常规圈闭气、凝析气、甲烷水合物分别以吸附态、溶解态、游离气态、液

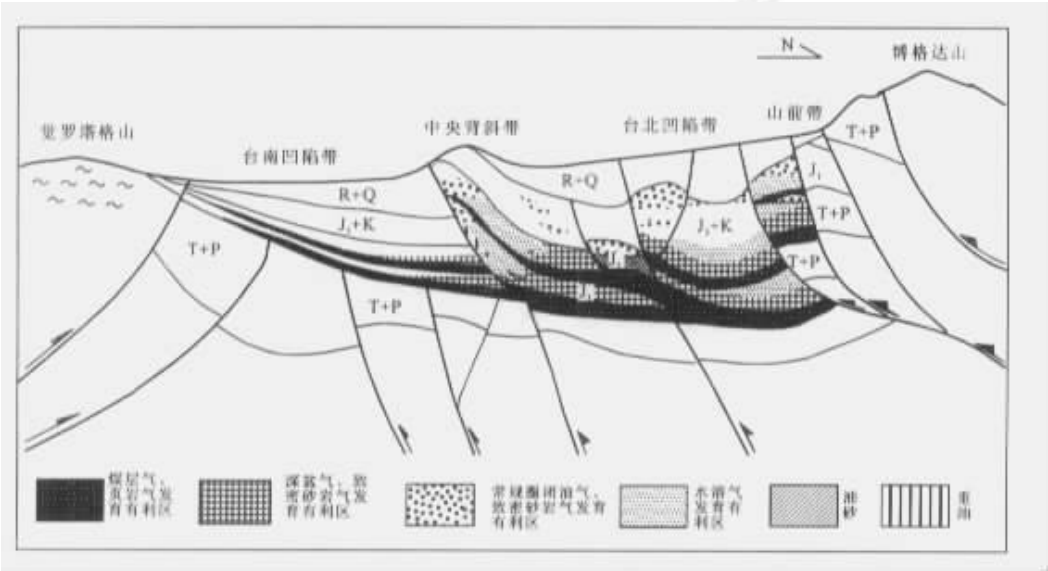


图 4 吐哈盆地油气藏分布序列示意图（未考虑前侏罗系油气）

万方数据 Hydrocarbon spectrum of the Turpan – Hami Basin without considering the Pre-Cretaceous

态和固态成藏为代表。就理想条件下的天然气成藏分析，可能形成煤层气或页岩气、根缘气（活塞式气水排驱作用）、致密砂岩气（非典型活塞式与非典型置换式运移）、水溶气（相对高温高压条件下天然气分子对水分子之间空隙的不完全侵占）、常规圈闭气（置换式运移）及甲烷水合物（相对高压低温条件下天然气分子充分进入水分子晶格）等构成较为完整的机理序列（图 3）。

2.5 油气成藏机理递变序列的勘探应用

油气成藏机理递变序列在实际的盆地中广为出现，如在吐哈盆地，烃源母质以生成天然气为主，但在目前以常规圈闭为主要目标的油气勘探中，所发现的石油储量（凝析油、轻质油、稠油等）又远大于天然气储量，预示了不同机理类型油气藏的大量赋存（图 4）。研究表明，该盆地至少发育煤层气、根缘气、致密砂岩气和常规圈闭气，常规圈闭油藏、重油以及沥青砂等也已被发现，页岩气和水溶气也具赋存及成藏条件。勘探成果显示，上述情况在鄂尔多斯盆地、四川盆地以及准噶尔盆地等中也时有发生。

3 结 论

从生烃物质的来源、油气生成过程、运移条件和结果、封闭机理以及保存条件等多方面因素的分析来看，油气藏的形成和分布存在着多类型之间的相互过渡，在成藏机理和分布规律上构成了递变的机理序列。就游离相油气藏来说，典型根缘油气藏和典型常规圈闭油气藏之间具有机理上的过渡递变关系，部分致密砂岩气藏既具有根缘气藏特征又具有常规圈闭气藏特征，为两者之间的过渡类型。油气成藏机理递变序列和分布序列在各盆地中普遍存在，由于各盆地地质条件相差较大，油气成藏时的机理递变序列变化也较大，体现为油气分布序列的多样性。就一般情况下的天然气成藏和分布来说，煤层气藏（页岩气藏）、根缘气藏、溶解气藏、常规圈闭气藏等类型所构成的分布序列具有其代表性。根据油气成藏机理递变序列和分布序列的原理，有利于对油气藏类型的早期预测以及对油气资源的合理评价。

参考文献：

[1] 张金川. 深盆地气成藏及分布预测 [D]. 北京：中国地质大学（北京）. 2001.

[2] 张金川，金之钧，袁明生，等. 基于运移动力暂时平衡条件下的运移气 [J]. 天然气工业，2002，22（5）：101—103.

[3] Gussow C W. Differential entrapment of oil and gas : a fundamental principle [J]. AAPG Bull，1954，38（5）：816—853.

[4] Levorson A I. Geology of Petroleum [M]. San Francisco : Freeman，1967.

[5] 潘钟祥. 石油地质学 [M]. 北京：地质出版社，1986.

[6] 张厚福，方朝亮，高先志，等. 石油地质学 [M]. 北京：石油工业出版社，1999.

[7] Lee P J，Wang P C C. Prediction of oil or gas pool sizes when discovery record is available [J]. Mathematical Geology，1985，17（2）：95—113.

[8] 金之钧，施比伊曼 B N，武守诚. 油气资源定量评价系统 [J]. 地质论评，1996（增刊）：247—258.

[9] Surdam B E，Curtis J B. Introduction to unconventional petroleum systems [J]. AAPG Bull，2002，86（11）：1851—1852.

[10] Schmoker J W. Resource-assessment perspective unconventional gas systems [J]. AAPG Bull，2002，86（11）：1993—1999.

[11] Law B E. Basin-centered gas systems [J]. AAPG Bull，2002，86（11）：1891—1919.

[12] Walter B，Ayers J. Coalbed gas systems，resources，and production and a review of contrasting cases from the San Juan and Powder River basins [J]. AAPG Bull，2002，86（11）：1853—1890.

[13] Montgomery S L，Tabet D E，Barker C E. Upper Cretaceous ferron sandstone : major coalbed methane play in central Utah [J]. AAPG Bull，2002，86（11）：199—219.

[14] Tadashi Asakawa. Outlook for unconventional natural gas resources [J]. Journal of the Japanese Association for Petroleum Technology，1995，60（2）：128—135.

[15] Masters J A. Deep basin gas trap，western Canada [J]. AAPG，1979，63（2）：152—181.

[16] Masters J A. Elsworth——case study of a deep basin gas field [J]. AAPG Memoir，1984，38：1—316.

[17] 张金川. 深盆地气成藏机理及其应用研究 [D]. 北京：石油大学（北京）. 1999.

[18] 张金川. 根缘气（深盆地）的研究进展 [J]. 现代地质，2003，17（2）：210.

[19] 李明诚. 石油与天然气运移研究 [M]. 北京：石油工业出版社，1994.

[20] 田世澄，陈永进，张兴国，等. 论成藏动力系统中的流体动力学机制 [J]. 地学前缘，2001，8（4）：329—336.

MECHANIC SPECTRUM FOR THE MIGRATION AND ACCUMULATION
OF HYDROCARBONS

ZHANG Jin-chuan¹, JIN Zhi-jun², YUAN Ming-sheng³, ZHANG Jie²

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China ; 2. Exploration & Development Research Institute, Sinopec, Beijing 100083, China ; 3. Turpan – Hami Branch, CNPC, Shanshan, Xinjiang 838202, China)

Abstract : The diversifications of generation, migration and accumulation of oil and gas constitute a continuous and perplexed mechanic sequence, in which the oil and gas reservoirs are formed and distributed successively in vertical sections and horizontal planes. As a sequence chain, the biochemistry gas, prematurely hydrocarbon, normally thermogenic oil and gas, post-mature gas, re-mature gas, abio-generated gas, and even the oxidative degraded oil compose the substance foundation of sequential chain of oil and gas. Affected mainly by the environmental pressures and temperatures, the sorption of source rocks and capillarity of cap rocks or tight-sand reservoirs structure the existing and sealing sequence of oil and gas, which was always complicated by hydrodynamic forces, abnormal pressures, and numerator diffusion. Since the gradual changes of reservoir media and hydrocarbon properties restrict the essential types of migration, sealing, and accumulation, the dominant couples of dynamic powers for oil and gas to migrate or accumulate will change successively. For respectively the adsorbed gas, source-contacting gas, normally trapped oil and gas, water dissolved gas and hydrate, and even the oil sands, the dominant couples of dynamic powers are correspondingly the sorption vs. diffusion, the generating expansibility of hydrocarbons vs. the sum of hydrostatic pressures and capillary pressures, the buoyancies vs. the capillary pressures, the dissolution vs. separation, and even the gravities vs. the earth agents. Finally, the distinctive conditions and powers result in varied sequences of oil and gas in different basins. Aimed at gas spectrums, the coal-bed gas or gas shale, source-contacting gas or basin-centered gas, tight-sand gas, dissolved gas, normally trapped gas and even hydrate constitute the whole sequence of gas accumulations.

Key words : unconventional oil and gas ; mechanic types of reservoirs ; spectrum of oil and gas accumulation ; spectrum model

