

文章编号: 1001 - 6112(2005)04 - 0327 - 06

油气成藏体系及油气输导子体系研究

梁书义¹, 刘克奇², 蔡忠贤³

(1. 中国石油大学 地球资源与信息学院, 山东 东营 257061; 2. 中国石化 胜利油田 东辛采油厂, 山东 东营 257094; 3. 中国地质大学, 武汉 430074)

摘要: 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以及这些元素之间的有效配置结构, 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能够产生任何单一元素所不具备的功能(形成油气藏)的结构。根据独立烃源岩的发育情况及三大元素的匹配组合关系, 油气成藏体系可分为单源一位、单源二位、单源三位、二源二位、二源三位及三源三位。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, 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。在输导体系成因分类方案的基础上, 提出了输导体系的理论空间配置关系。

关键词: 必要元素; 结构; 功能; 输导体系; 油气成藏体系

中图分类号: TE122

文献标识码: A

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”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”则包括了圈闭形成、油气生成、运移和聚集。随后, 又建立了含油气系统的评价图表研究方法^[1]。

自二十世纪八十年代末期始, 国内许多学者对含油气系统进行了积极的探索研究^[2]。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研究时还存在着许多问题。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, 本文提出了成藏体系的概念, 并对成藏体系中的油气输导子体系进行了初步探索。

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)以及这些元素之间的有效配置结构, 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: 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; 既可以是一次性成藏的, 也可以是多次性成藏的; 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。

收稿日期: 2004 - 02 - 27; 修订日期: 2005 - 06 - 30。

作者简介: 梁书义(1973 -), 男(汉族), 山东宁津人, 博士研究生, 主要从事油气成藏机理与成藏模式研究。

基金项目: 国家“九五”重大科技攻关项目(960007)和国家“973”重点基础研究发展规划项目(G1999043309)。

2 油气成藏体系分类及其划分

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)两部分,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)有机地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、输导体系和圈闭等 3 个基本元素所构成,每一个基本元素又构成了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 个子系统有效匹配组合则构成了油气成藏体系的结构,这一构成方式是成藏体系分类研究的基础。

根据上述分析,如果将 3 个子系统(元素)的属性特征以“元”来表征,将系统所产生的功能效应以“体”来表征,那么“三元一体”的研究方法就适用于对所有成藏体系的分析。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。如果同时将元素的匹配和系统的结构特征以“位”来表征,那么对成藏体系的研究就具体表现为“源位匹配”的思路方法。根据“三元”的属性及其匹配关系,可以在结构特征上将油气成藏体系划分为不同类型。

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 1),其中的多源又有

二源、三源等类型,表示了油气成藏体系作为系统特征的基本属性;根据三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,即成藏体系中的三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三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

表 1 油气成藏体系结构分类

Table 1 Structure classification of petroleum accumulation system

类型		一位	二位	三位
单源		单源一位 	单源二位 	单源三位
	二源		二源二位 	二源三位
多源	三源			三源三位

● 烃源岩 ● 圈闭 ● 烃源岩+圈闭 ➡ 输导体系

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) 油气成藏体系的其它特征。

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+(其它)。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。对于单源油气成藏体系,主要根据储层类型及圈闭类型来划分亚油气成藏体系;对于多源油气成藏体系可以根据油源条件来划分亚油气成藏体系。

由于自然界是十分复杂的,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 油气输导体系

3.1 油气输导体系现状

国内外学者对输导体系进行了大量研究^[3~21]。England^[10]在《二次运移和烃类聚集》中指出,“二次运移是油气从活跃的烃源岩向圈闭输导的过程,一旦油气开始向圈闭充注,弯弯曲曲的运移通道倾向于从一侧充注。”Wilkinson^[11]在《逆冲断层对流体流动的可能影响——阿尔伯达落基山脉的实例》中指出,“为了确定逆冲断层内的水压状态,必须首先识别出每条断层的影响。一条断层对流体流动的影响可以分为以下4种情景:1) 流通型断层(flow fault);2) 输导型断层(conduit fault);3) 阻碍型断层(obstruction fault);4) 屏障型断层(barrier fault)。

流通型断层和屏障型断层分别代表完全的水力连通和完全的非渗透性屏障;输导型断层可以为流体提供一种优势通道(preferential pathway),它是一个沿着断层聚集流体的高渗透域;而阻碍型断层可能会因部分减少水力连通而阻碍流体的流动。”李明诚^[12]在《石油与天然气运移研究综述》中指出“并不是所有可渗透岩石都是二次运移通道。”张照录^[14]在《含油气盆地的输导体系研究》中指出,“输导体系是泛指某一含油气系统中所有的运移通道及相关围岩的总和。根据油气运移主干道的不同,输导体系可分为断层型、输导层型、裂隙型及不整合型4种类型。在某一系统中,输导体系并非为单一类型,而是多种类型的组合。”付广等^[15]在《油气运移输导系统及其对成藏的控制》中对油气输导系统作了如下描述:“所谓油气输导系统指连接源岩与圈闭的运移通道所组成的输导网络。它作为油气成藏中连接生烃与圈闭之间的‘桥梁与纽带’,在某种程度上决定着含油气盆地内各种圈闭最终能否成为油气藏及油气聚集的数量,而且还决定着油气在地下向何处运移、在何处成藏及成藏类型。”吕修祥^[16]在《塔里木盆地不整合面石油运移散失量的实验研究》中指出,“不整合面是斜坡背景下油气侧向运移的重要通道。塔中隆起的油气主要是沿断层作垂向运移。”姜建群^[17]在《含油气系统中流体输导体系的研究》中指出,“流体输导体系是含油气系统的一大基本要素。含油气系统强调油气从烃源岩到圈闭的过程是一个动态的过程,因此,在进行流体输导体系的研究时,必须考虑烃源岩、流体输导层、封闭层在时空上的配置关系,然后才能建立起流体输导体系的整体格架。”向才富^[18]在《成矿流体运移的输导体系研究——以右江地区微细浸染型金矿为例》中指出,“从成矿流体运移的角度出发,认为该区存在断裂、不整合面及岩性通道等几种类型的成矿流体输导体系。”

输导体系有多种划分方案,按其成因不同,可分为构造成因、沉积成因和成岩作用成因3种类型的输导体系(表2)。

3.2 相邻输导体的理论空间配置关系

综上所述,油气输导体系是成藏体系的关键环节,它是研究烃源岩与圈闭的纽带。油气在输导体系中如何运移,什么样的输导体系最有效,都是研究油气成藏体系的关键问题。不过还有一点值得注意,前人对输导体系的研究往往多是仅就某一种输导体进行研究,而对它们之间的空间配置关系重视不够。在勘探实践中,输导体系并非为单一类型,而是多种类型的组合。为此,笔者在输导体系成因分

表 2 输导体系分类方案

Table 2 Classification of petroleum pathway system

形态(form)	形成时期(time)		成因(genesis)	
孔隙(pore), 断层(fault), 不整合(unconformity), 裂缝(fissure)	原生输导体 (primary pathway)	碎屑岩输导体 (clastic pathway), 碳酸盐岩输导体 (carbonate pathway)	构造输导体 (tectonic pathway)	断层(fault), 不整合(unconformity), 裂缝(fissure)
	次生输导体 (secondary pathway)	断层(fault), 不整合(unconformity), 裂缝(fissure), 溶孔(洞、缝), (solution pore), 晶洞(geode)	沉积输导体 (sedimentary pathway)	碎屑岩输导体 (clastic pathway), 碳酸盐岩输导体 (carbonate pathway)
			成岩输导体 (diagenetic pathway)	溶孔(洞、缝) (solution pore), 晶洞(geode)

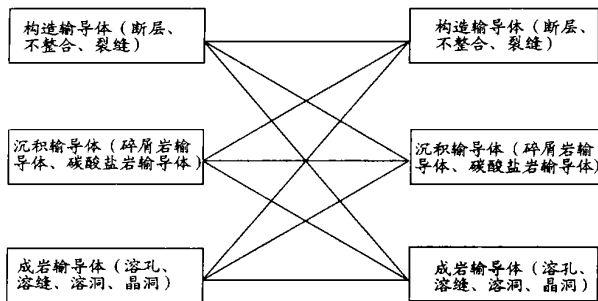


图 1 输导体系中 2 个相邻输导体的理论空间配置关系

Fig. 1 Theoretical configuration of adjacent pathway units in petroleum pathway system

类方案的基础上,提出了输导体系中两个相邻输导体的理论空间配置关系(图 1)。各种相同或不同类型的输导体相互配置便构成了输导体系。

4 油气成藏体系研究方法及实例

对于油气成藏体系中的三大要素,由于其各自的基本特征及其在作为系统的油气成藏体系中的作用各不相同,因此对三者的研究重点、基本方法和技术手段各有差异。本文结合系统论研究方法,运用油气成藏体系中烃源岩、输导体系及圈闭研究的各项关键技术,提出了油气成藏体系研究的基本思路:首先收集、整理基础资料(地质、地球物理、地球化学),岩心观察描述;接下来进行生、储、盖层研究,确定油气有利聚集区及有效供油区;然后研究油气输导体系,恢复输导体系演化与油气聚集史;最后进行油气输导体系物理模拟实验,加以验证。

钻探证实,塔里木盆地在纵向上发育多套含油气层系,既有海相碳酸盐岩又有陆相碎屑岩^[22,23]。

结合塔里木盆地现有勘探成果和认识,按照油气成藏体系研究方法,本文以塔里木盆地塔中地区早古生成藏体系为例对成藏体系研究简作讨论。

4.1 塔中地区早古生成藏体系的烃源岩

塔中早古生成藏体系具有单源属性,为寒武系及下奥陶统。研究表明,寒武系—下奥陶统烃源岩在早古生代中晚期就已进入成熟和高成熟阶段,到早古生代末期时就已处于高成熟和过成熟状态。下奥陶统中下部地层在中上奥陶统时期进入生油门限,在志留纪早中期进入大量生烃阶段,寒武系源岩的生排烃过程则更早。烃类流体主体来源于塔中北斜坡烃源岩,烃类流体沿不整合面和志留系砂岩层作侧向运移,再沿断裂向上运移,为早古生成藏体系提供油气。

4.2 塔中地区早古生成藏体系的输导体系

塔中早古生成藏体系的输导体系以储层砂岩(现今的沥青砂岩)为主,主要作用时间发生在早古生代末期。在早古生成藏体系的成藏期,塔里木表现为克拉通盆地特点,构造活动以垂向的差异运动为主,早期的隆升及斜坡部位就成为油气运移的指向,生油凹陷中的油气沿储层砂体(输导层)和不整合面的侧向运移便是该时期油气运移的主要方式(塔中隆起志留系较大规模沥青砂的存在为证)。同时,深部断裂是油气穿层运移的重要通道。

4.3 塔中地区早古生成藏体系的圈闭

塔中地区早古生成藏体系的油气藏类型主要为古隆起背景上的地层型圈闭和构造型圈闭。中央断垒带是塔中隆起断块活动最强、上隆剥蚀最大的构造带。加里东晚期及海西早期构造运动在该区的叠加,使得断垒带下奥陶统暴露地表并经过了较长时期的风化淋滤,同时强烈的构造运动构成了裂缝

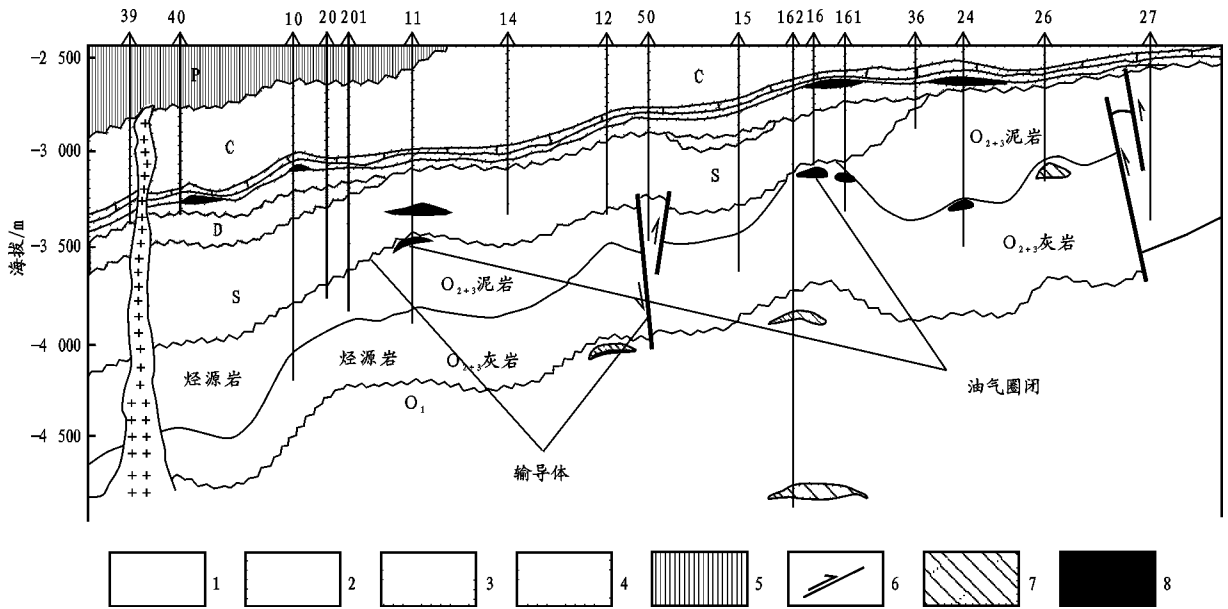


图2 塔中地区早古生代单源三位成藏体系

1. 奥陶系;2. 志留系;3. 泥盆系;4. 石炭系;5. 二叠系;6. 逆断层;7. 气;8. 油

Fig. 2 The Tazhong Eopaleozoic petroleum accumulation system of one source with three bodies

发育的重要条件,因此中央断垒带下奥陶统裂缝和潜山复合型圈闭是其主要类型。在斜坡带,中、上奥陶统有较好的保存条件,圈闭分布受碳酸盐岩的沉积相控制;下奥陶统未遭受明显的风化淋滤作用,圈闭发育与古构造关系密切。

综上所述,塔中早古生代成藏体系的源岩、输导体系和圈闭均为分离状,属于三位成藏体系,其油气来源单一(单源),故被称为塔中早古生代单源三位成藏体系(图2)。塔中地区早古生代成藏体系的油气来源是塔中北坡的烃源岩;油气沿不整合面和志留系砂岩作侧向运移,再沿断裂向上运移;最后在适合油气聚集的场所成藏。

5 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、输导体系和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,有利于指导油气勘探。

参考文献:

1 Magoon L B, Dow W G. 含油气系统——从烃源岩到圈闭[M]. 张刚译. 北京:石油工业出版社,1998. 1~103
 2 李铁军,罗晓容. 塔里木盆地喀什凹陷侏罗系含油气系统研究

[J]. 石油实验地质,2005,27(1):39~43
 3 王捷,关德范. 油气生成运移聚集模型研究[M]. 北京:石油工业出版社,1999. 146~170
 4 庞雄奇. 排烃门限控油气理论与应用[M]. 北京:石油工业出版社,1995. 109~146,189~213
 5 庞雄奇,金之钧. 油气藏动力学成因模式与分类[J]. 地学前缘,2000,7(4):507~514
 6 查明. 断陷盆地油气二次运移与聚集[M]. 北京:地质出版社,1997. 1~92
 7 李明诚. 石油与天然气运移[M]. 北京:石油工业出版社,1994
 8 张厚福,方朝亮,高先志. 石油地质学[M]. 北京:石油工业出版社,1999. 127~157
 9 张卫海,查明,曲江秀. 油气输导体系的类型及配置关系[J]. 新疆石油地质,2003,24(2):118~120
 10 England W A. Secondary migration and accumulation of hydrocarbons[A]. In: Magoon L B, Dow W G, eds. The Petroleum System - From Source to Trap, AAPG Memoir 60[M]. Tulsa, OK: AAPG, 1994. 211~217
 11 Wilkinson P K. Possible effects of a thrust fault on fluid flow: an example from the Rocky Mountains, West Central Alberta [A]. In: 1st CSPG/CWLS Explore, evaluation and exploit joint SYMP[C]. PAP ABSTR, 1995
 12 李明诚. 石油与天然气运移研究综述[J]. 石油勘探与开发, 2000,27(4):3~10
 13 李丕龙,张善文,宋国奇等. 断陷盆地隐蔽油气藏形成机制——以渤海湾盆地济阳凹陷为例[J]. 石油实验地质,2004,26(1):3~10
 14 张照录,王华,杨红. 含油气盆地的输导体系研究[J]. 石油与天然气地质,2000,21(2):133~135
 15 付广,薛永超,付晓飞. 油气运移输导系统及其对成藏的控制

- [J]. 新疆石油地质, 2001, 22(1): 24 ~ 26
- 16 吕修祥. 塔里木盆地不整合面石油运移散失量的实验研究[J]. 石油大学学报, 2000, 24(4): 112 ~ 114
- 17 姜建群, 胡建武. 含油气系统中流体输导体系的研究[J]. 新疆石油地质, 2000, 21(3): 193 ~ 196
- 18 向才富, 庄新国, 张文淮. 成矿流体运移的输导体系研究——以右江地区微细浸染型金矿为例[J]. 地质科技情报, 2000, 19(4): 65 ~ 69
- 19 赵忠新, 王 华, 郭齐军. 油气输导系统的类型及其输导性能在时空上的演化分析[J]. 石油实验地质, 2002, 24(6): 527 ~ 534
- 20 刘克奇, 金之钧, 吕修祥. 塔里木盆地塔中低凸起奥陶系碳酸盐岩油气成藏[J]. 石油实验地质, 2004, 26(6): 531 ~ 536
- 21 于翠玲, 曾溅辉. 断层幕式活动期和间歇期流体运移与油气成藏特征[J]. 石油实验地质, 2005, 27(2): 129 ~ 133
- 22 王敦则, 黎玉战, 俞仁连. 塔里木盆地塔河油田下奥陶统油藏特征及成藏条件分析[J]. 石油实验地质, 2003, 25(2): 122 ~ 128
- 23 何发岐, 俞仁连, 韩振华. 塔里木盆地塔河油田近年来勘探主要成果与下一步勘探方向[J]. 石油实验地质, 2004, 26(1): 23 ~ 27

STUDY OF PETROLEUM ACCUMULATION SYSTEM AND PATHWAY SYSTEM

Liang Shuyi¹, Liu Keqi², Cai Zhongxian³

(1. College of Georesources and Information, China University of Petroleum, Dongying, Shandong 257061, China;

2. Dongxin Petroleum Production Plant, Shengli Oilfield, SINOPEC, Dongying, Shandong 257094, China;

3. Department of Petroleum, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China)

Abstract : Petroleum accumulation system is a natural subsurface petroliferous system which includes all essential elements as source rock, pathway system and trap to accumulate petroleum and their effective configuration. The configuration of petroleum accumulation system must have the function of accumulating oil and gas which can be formed by none of the individual essential elements. Petroleum accumulation system can be divided into one source with one body, one source with two bodies, one source with three bodies, two sources with two bodies, two sources with three bodies, and three sources with three bodies according to source rock and the configuration of essential elements. Petroleum accumulation system involves the whole process of petroleum generation, migration and accumulation. The configuration of the essential elements has the function of indicating space-time regularities of distribution of petroleum accumulation system. The theoretical classification of configuration in space of the pathway system has been put forward on the basis of genetic classification method.

Key words : essential element; configuration; function; pathway system; petroleum accumulation system