

# 陆相成熟烃源岩区连通砂体 对油气运移的控制作用

郭丽丽, 张卫海, 吴刚, 韩园园, 张伟忠

(中国石油大学 地球科学与技术学院, 山东 东营 257061)

**摘要:** 基于成熟烃源岩稳态连续排烃机制, 分析陆相成熟烃源岩区内连通砂体对油气运移的控制作用, 并深入探讨烃源岩内砂体与烃源岩的接触面积、砂泥互层烃源岩层系中砂岩含量、砂体物性、砂体分布及其连续性对排烃效率的影响。结果表明: 将连通砂体与烃源岩的接触类型分为垂向沉积相变接触型、侧向沉积相变接触型及交错复合接触型, 其中前两者是烃源岩—连通砂体的主要接触类型; 烃源岩—连通砂体配置组合以在异常压力驱动下的稳态连续排烃为主; 烃源岩内砂体与烃源岩的接触面积越大、砂岩含量越大、砂岩物性越好、砂体分布稳定及连续性好有利于成熟烃源岩排烃, 则排烃效率越大, 进而控制主要排烃方向和资源量。烃源岩内连通砂体对油气二次运移的作用主要取决于其与烃源岩外连通砂体的分布连续性与物性连通性。如果烃源岩内砂体是孤立的, 油气无法运移出烃源岩区, 则形成烃源岩内油气藏; 如果烃源岩内砂体与烃源岩外砂体分布连续且物性连通, 则油气运移距离大, 可在更为有利的圈闭分布区成藏。

**关键词:** 连通砂体; 烃源岩; 排烃效率; 资源量评价; 油气运移; 输导体系

**中图分类号:** TE122.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2011)02-0159-04

## Control of Connected Sandbody on Oil-gas migration in Terrestrial Facies Mature Hydrocarbon Source Rock

GUO Li-li, ZHANG Wei-hai, WU Gang, HAN Yuan-yuan, ZHANG Wei-zhong

(School of Geosciences, China University of Petroleum, Dongying 257061, Shandong, China)

**Abstract** Based on the mechanism of steady state continuous hydrocarbon expulsion of mature hydrocarbon source rock, the control of connected sandbody on oil-gas migration in terrestrial facies mature hydrocarbon source rock was analyzed, and the effects of contact area between hydrocarbon source rock and sandbody in it, content of sandstone in the bed series of hydrocarbon source rock with interbedded sandstone and mudstone, physical property, distribution and continuity of sandbody to expulsion efficiency of hydrocarbon were discussed. The results showed that the contact type between connected sandbody and hydrocarbon source rock was divided into vertical sedimentary facies transition contact, lateral sedimentary facies transition contact and staggered compound contact, and the vertical and lateral sedimentary facies transition contacts were the main types; the type for the combination of connected sandbody and hydrocarbon source rock was mainly steady state continuous hydrocarbon expulsion driven by abnormal pressure; the greater contact area, content of sandstone, physical property, distribution and continuity of sandbody, the better expulsion efficiency of hydrocarbon of mature hydrocarbon source rock, and then the main hydrocarbon expulsion direction and resources were controlled. The effect of connected sandbody in hydrocarbon source rock on secondary oil-gas migration depended on the continuity of distribution and connectivity of physical property between the connected sandbodies inside and outside hydrocarbon source rock. If sandbody in hydrocarbon source rock was isolated and oil and gas could not migrate outside the rock, reservoir inside hydrocarbon source rock was formed; if the continuity of distribution and connectivity of physical property between the sandbodies inside and outside hydrocarbon source rock were great, the distance of oil-gas migration was large, and the reservoir formed in more favorable closed loop area.

收稿日期: 2010-07-20

基金项目: 中国石油化工股份有限公司江苏油田分公司科技项目(G0712-07-25-006)

作者简介: 郭丽丽(1985-), 女, 山东东营人, 工学硕士研究生, 从事油气藏形成与分布研究。E-mail: 85easy@163.com

**Key words:** connected sandbody; hydrocarbon source rock; expulsion efficiency of hydrocarbon; resources evaluation; oil-gas migration; conducting system

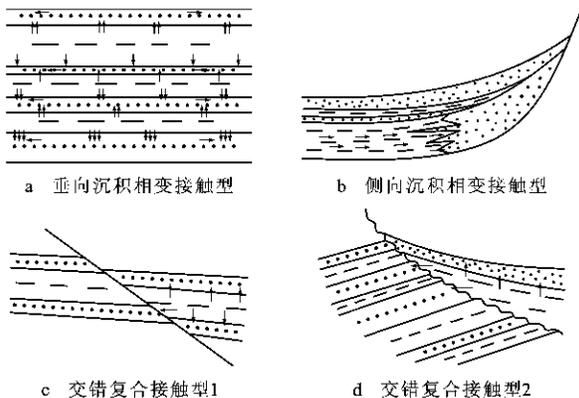
## 0 引言

与输导体系有效沟通的烃源岩才是有效的烃源岩<sup>[1-3]</sup>。砂体、断层和不整合是陆相断陷盆地成藏体系中最常见的输导体,是连接烃源岩与圈闭之间的纽带。各类输导体与烃源岩之间的接触关系,对油气运移具有重要的控制作用,目前尚无系统研究。在各类输导体中,烃源岩—砂体接触最为常见。烃源岩的排烃过程非常漫长,在相当长的地质历史时期内是持续进行的,而断层和不整合是特定构造运动的产物。相比之下,与烃源岩长期直接接触的砂体对油气运移的影响更为普遍和重要。笔者将连通砂体输导体系分为烃源岩内连通砂体和烃源岩外连通砂体,并在陆相断陷盆地成熟烃源岩排烃机制的基础上,着重讨论烃源岩内输导体系对油气运移的影响和控制作用。

## 1 烃源岩与连通砂体配置关系模型

王克等根据临南洼陷烃源岩与连通砂体接触关系,将其配置组合划分为垂向接触和侧向接触,并指出二者均为沉积成因,分别为垂向沉积相变和侧向沉积相变的结果<sup>[4]</sup>。这种分类方式只考虑了沉积过程连续的接触类型,构造成因则可以使烃源岩与砂体连通。

笔者将烃源岩与连通砂体的配置关系分为垂向沉积相变接触型(图 1a)、侧向沉积相变接触型(图 1b)和交错复合接触型(图 1c、d)。交错复合接



注:据王克等<sup>[4]</sup>修改。

图 1 连通砂体与烃源岩接触类型

Fig. 1 Contact Types of Connected Sandbody and Hydrocarbon Source Rock

触型中连通砂体与烃源岩既有垂向接触也有侧向接触,其中垂向接触是沉积相变的结果,侧向接触则是构造运动的结果。构造作用影响连通砂体与烃源岩接触关系有两种情形:一是构造运动产生断层,使地层错动而造成侧向上串层接触(图 1c),由于在断层两盘为“面接触”时才能形成烃源岩与连通砂体的侧向接触,实际上大多数断层两盘都为“带接触”,只有断开烃源岩层系的小级别断层才能形成烃源岩与砂岩的交错接触;二是构造运动在烃源岩层系沉积之前形成角度不整合,使后沉积的烃源岩层系与不整合面之下的连通砂体直接接触(图 1d)。垂向沉积相变接触型和侧向沉积相变接触型是烃源岩—连通砂体的主要接触类型。

## 2 烃源岩—连通砂体接触类型的排烃机制

在烃源岩中,浮力大小不足以克服泥岩细小孔隙中巨大的毛细管阻力的束缚,因此流体异常压力是排烃最重要的动力<sup>[7-11]</sup>。油气在异常压力作用下由烃源岩排入砂体,分为稳态连续渗流形式和幕式微裂缝排烃形式<sup>[12]</sup>。尽管幕式微裂缝排烃是间歇性排烃方式,与构造运动控制下大型幕式排烃的瞬时性相比,仍可以认为是一种连续运移方式。所以总体来说,烃源岩—连通砂体配置组合以稳态连续排烃为主。

在烃源岩埋藏较浅、孔隙度较高的连续压实阶段,油气以稳态渗流形式排入连通砂体。随着烃源岩埋藏深度的加深,烃源岩可压实性变得很小,渗透性很差,只能依靠黏土矿物脱水及有机质生烃等作用在烃源岩内形成异常高压。当异常高压超过烃源岩的破裂极限,便可在烃源岩内部及烃源岩与连通砂体的接触界面上形成大量微裂缝,使油气得以进入连通砂体。张俊等在牛庄洼陷沙三段下亚段烃源岩中发现大量沟通烃源岩层和连通砂体的微裂缝,可以作为烃源岩在异常高压作用下向直接接触的薄层砂岩中排烃的主要证据<sup>[13]</sup>。

## 3 烃源岩内连通砂体对油气运移的控制作用

烃源岩内连通砂体对初次运移的控制作用主要在于影响烃源岩的排烃效率和排烃方向,其与烃源

岩外砂体的连续性则影响了油气的二次运移及成藏模式。

### 3.1 烃源岩内连通砂体对初次运移的控制作用

前人对于烃源岩排烃效率的研究局限于烃源岩内部因素的研究。烃源岩与砂体之间的流体压力差是烃源岩排烃的主要动力,流体压力差越大,则越有利于油气自烃源岩中排出,它是烃源岩内部压力和砂体内压力共同作用的结果。在烃源岩内部压力状态确定时,砂体内压力状态是排烃动力的决定性因素。烃源岩内砂体与烃源岩的接触面积、砂泥互层烃源岩层系中砂岩含量、砂体物性及砂体的连续性是控制排烃效率的主要因素。

(1) 烃源岩内砂体与烃源岩的接触面积。连通砂体与烃源岩接触类型不同,排烃效率也不同。由于侧向接触面积要小于垂向接触面积,因此垂向接触型能够更好地使相邻烃源岩中的油气排出<sup>[9]</sup>。

(2) 砂泥互层烃源岩层系中砂岩含量。烃源岩层系中砂岩含量对排烃效率的影响主要体现在对烃源岩排烃厚度的影响。许多学者研究表明,单层泥岩厚度不大的砂泥间互层段是油气初次排运的最有利层段<sup>[14-16]</sup>。在烃源岩生油层总厚度不变的情况下,烃源岩层系中两砂岩层所夹的生油岩厚度小于有效排烃厚度则满足烃源岩中的油气能够全部排出,排烃效率大。陈中红等通过统计济阳拗陷烃源岩层系砂泥互层关系,发现在一定范围内排烃效率随烃源岩层系砂岩含量的增多而增大<sup>[17]</sup>。

(3) 连通砂体物性。流体首先从高孔隙流体压力的泥岩层向砂层活动,在砂层中则又从相对高的剩余孔隙流体压力带向较低带水平或侧向运动<sup>[15]</sup>。连通砂体的孔隙结构好、渗透率大且均质性好,则有利于烃源岩向某一方向的连通砂体中源源不断的排出油气,增大排烃效率;相反,烃源岩中的油气将无法完全排出,排烃效率较小。烃源岩内连通砂体的孔渗性受沉积环境及后期成岩作用的控制。沉积环境通过连通砂体的岩性、粒度、结构等决定砂体的孔渗性及非均质性;成岩作用对烃源岩内砂体物性的控制作用则取决于砂泥互层情况及单层砂体厚度。钟大康等统计了济阳拗陷较深埋藏条件(大于2 500 m)下砂泥互层情况对砂岩物性的影响,单层砂岩厚度越大,受相邻泥岩成岩作用影响越小,孔渗性则越好<sup>[18]</sup>。

(4) 砂体分布及连续性。砂岩分布不稳定或连续性不好,排入烃源岩砂体内的油气无法及时有效继续排出,导致砂体内部压力增大,流体压力差减

小<sup>[19]</sup>。若没有断层沟通,烃源岩层系中油气无法全部排出,直接影响资源量。若砂体分布稳定且连续性好,排入砂体内的油气及时排出,则能够维持流体压力差,使烃源岩中油气能够源源不断排出,排烃效率高。

总体来说,烃源岩内连通砂体对烃源岩排烃效率的控制作用进一步控制了主要排烃方向和油气资源量评价结果。与烃源岩接触面积大、互层关系良好、砂岩物性好且分布连续的连通砂体分布方向和层系是主要的排烃方向。估算资源量若仅仅考虑烃源岩的排烃能力,而不考虑连通砂体的受烃能力,则会导致油气资源量评价结果偏大<sup>[20-21]</sup>。

### 3.2 烃源岩内连通砂体对油气二次运移及成藏模式的控制作用

从运移角度来说,烃源岩内连通砂体连接着烃源岩与烃源岩外连通砂体。油气自烃源岩排入烃源岩内连通砂体以后,能否向外运移及如何向外运移及成藏,则主要取决于烃源岩内砂体与烃源岩外砂体的分布连续性与物性连通性。若烃源岩内砂体是孤立的砂体,油气无法运移出烃源岩区,则形成烃源岩内油气藏(图2中成熟烃源岩II)。若烃源岩内砂体与烃源岩外砂体分布连续且物性连通(图2中成熟烃源岩I),油气就能进行远距离运移,在更为有利的圈闭分布区成藏。

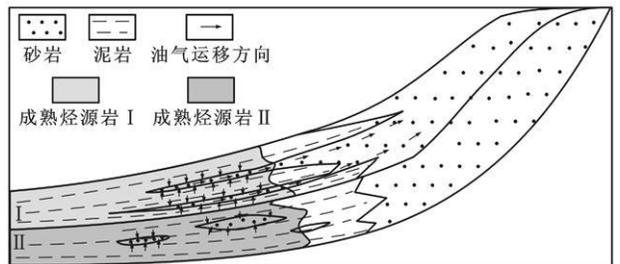


图2 烃源岩内连通砂体分布连续性对油气运移的控制  
Fig. 2 Control of Continuity of Distribution of Connected Sandbody on Oil-gas Migration in Hydrocarbon Source Rock

以牛庄洼陷为例,牛庄洼陷有沙三段下亚段和沙四段上亚段两套主力烃源岩。沙四段上亚段为强烈断陷期的深湖相沉积,烃源岩以深灰色泥岩和灰褐色钙质页岩为主,与该段连通砂体呈侧向沉积相变接触类型;沙三段下亚段烃源岩中砂体较为发育,主要为远岸水下扇砂体及浊积扇体<sup>[22]</sup>。砂体与烃源岩呈互层式或包裹式配置,相对于沙四段上亚段,垂向接触类型更为发育。在这种配置关系的控制下,沙四段上亚段烃源岩中油气主要由烃源岩横向运移至侧向相接的连通砂体中成藏;而沙三段下亚

段油气在异常压力作用下进入垂向相接的砂体中,然后在横向展布及物性较好的砂体中继续长距离垂向运移或在局部分布的砂岩透镜体中成藏。油源对比结果表明,牛庄洼陷外围南斜坡油气藏为沙四型,中部则主要为沙三型<sup>[23]</sup>。

## 4 结语

(1)将连通砂体与烃源岩的接触类型分为:垂向沉积相变接触型、侧向沉积相变接触型及交错复合接触型。

(2)烃源岩内连通砂体对初次运移的控制作用主要是通过烃源岩内砂体与烃源岩的接触面积、砂泥互层烃源岩层系中的砂岩含量、烃源岩内砂体物性及烃源岩内砂体的连续性等因素影响烃源岩与砂体之间的流体压力差,控制排烃效率大小,进一步决定主要排烃方向和资源量。

(3)烃源岩内连通砂体与烃源岩外连通砂体的分布连续性及其物性连通性控制了油气二次运移及成藏模式。若烃源岩内砂体是孤立的,则形成烃源岩内油气藏。若烃源岩内与烃源岩外砂体分布连续且物性连通,油气就能进行远距离运移,在更为有利的圈闭分布区成藏。

(4)通过对烃源岩与烃源岩内连通砂体配置关系探讨,认为油气运移是一项系统综合的工作,需要借助精度较高的录井、测井及地球化学资料,将物理模拟方法与地质方法相结合来开展综合研究。由于目前勘探手段和资料精度的限制,此项工作难度仍然较大,需要进一步深入研究。

### 参考文献:

- [ 1 ] 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.
- [ 2 ] 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.
- [ 3 ] 赵忠新, 王华, 郭齐军, 等. 油气输导体系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): 527-532.
- [ 4 ] 金晓辉, 闫相宾, 李丽娜. 松辽盆地长岭断陷烃源岩特征与油源对比 [ J ]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2010, 32(6): 53-56.
- [ 5 ] 吴孔友. 准噶尔盆地乌夏地区油气输导体系与成藏模式 [ J ]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2009, 31(5): 25-30.
- [ 6 ] 王克, 查明, 吴孔友, 等. 烃源岩与输导体系配置规律研究——以济阳坳陷临南洼陷为例 [ J ]. 石油实验地质, 2006, 28(2): 129-133.
- [ 7 ] 龚再升, 杨甲明. 油气成藏动力学及油气运移模型 [ J ]. 中国海上油气(地质), 1999, 13(4): 235-239.
- [ 8 ] Mann U, Hantschel T, Schaefer R G, et al. Petroleum Migration: Mechanisms, Pathways, Efficiencies and Numerical Simulations [ C ] // Welte D H, Horsfield B, Baker D R. Petroleum and Basin Evolution. Berlin: Springer, 1997: 405-515.
- [ 9 ] Magara K. Compaction and Fluid Migration, Practical Petroleum Geology [ M ]. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company, 1978.
- [ 10 ] 罗晓容. 油气初次运移的动力学背景与条件 [ J ]. 石油学报, 2001, 22(6): 24-29.
- [ 11 ] 朱志强, 曾溅辉, 王建君, 惠民凹陷临南洼陷油气运移特征研究 [ J ]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2010, 32(4): 33-38.
- [ 12 ] 郝石生, 柳广弟, 黄志龙, 等. 油气初次运移的模拟模型 [ J ]. 石油学报, 1994, 15(2): 21-31.
- [ 13 ] 张俊, 庞雄奇, 姜振学, 等. 东营凹陷牛庄—六户洼陷沙河街组三段下亚段烃源岩排烃通道及证据 [ J ]. 地质学报, 2007, 81(2): 261-266.
- [ 14 ] 陈中红, 查明. 济阳坳陷古近系烃源岩结构及排烃的非均一性 [ J ]. 石油勘探与开发, 2003, 30(6): 45-47.
- [ 15 ] 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.
- [ 16 ] 王明, 姜福杰, 庞雄奇. 渤中凹陷油气运移优势通道及有利区预测 [ J ]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2010, 32(4): 26-32.
- [ 17 ] 陈中红, 刘伟. 控制东营凹陷烃源岩排烃的几个关键因素 [ J ]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2007, 22(6): 40-43.
- [ 18 ] 钟大康, 朱筱敏, 张琴. 不同埋深条件下砂泥岩互层中砂岩储层物性变化规律 [ J ]. 地质学报, 2004, 78(6): 863-871.
- [ 19 ] 罗腾跃, 张金功, 吴汉宁, 等. 盆地演化过程中泥质岩及砂岩地层压力转换 [ J ]. 兰州大学学报: 自然科学版, 2008, 44(增): 42-45.
- [ 20 ] 马中振, 庞雄奇, 吴河勇, 等. 用生烃潜力法研究松辽盆地北部中浅层烃源岩资源潜力 [ J ]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2009, 33(4): 27-32.
- [ 21 ] 马中振, 庞雄奇, 孙俊科, 等. 生烃潜力法在排烃研究中应注意的几个问题 [ J ]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2009, 31(1): 14-18.
- [ 22 ] 肖淑民, 钟建华, 夏景生. 油气成藏条件及成藏模式分析 [ J ]. 特种油气藏, 2007, 14(5): 38-42.
- [ 23 ] 张林晔, 蒋有录, 刘华, 等. 东营凹陷油源特征分析 [ J ]. 石油勘探与开发, 2003, 30(3): 61-64.