

下生上储式油气运移优势路径确定方法及其应用

王浩然¹, 付广¹, 宿碧霖², 孙同文³, 汤文浩⁴

(1. 东北石油大学 地球科学学院, 黑龙江 大庆 163318; 2. 中国石油 大庆油田有限责任公司 第四采油厂, 黑龙江 大庆 163318; 3. 广东石油化工学院, 广东 茂名 525000; 4. 河北思科立珂石油科技有限责任公司, 河北 沧州 062650)

摘要:基于下生上储式油气运移模式及特征,结合三维地震资料、测井和录井资料,分别利用油气成藏期断层活动速率与断面油气势能相结合、砂地比与砂体顶面流体势能相结合的理论,建立了一套下生上储式油气运移优势路径的确定方法,进而可得到下生上储式油气优势成藏范围。将该方法应用到了海拉尔盆地贝尔凹陷局部构造南屯组一段下生上储式油气成藏中。结果表明:南屯组一段下生上储式油气成藏分为油气垂向运移模式和先垂向侧向运移模式,分别确定其中油气运移优势路径有17个和11个,相应的油气优势成藏范围分别为2.3 km和1 km。与研究区内油气实际分布规律相对比,计算结果与实际情况吻合,表明该方法可以用于确定下生上储式油气运移优势路径,有利于划定下生上储式油气优势成藏范围,可以为油气勘探提供指导作用。

关键词:下生上储;成藏组合;油气运移;优势路径;南屯组;海拉尔盆地

中图分类号:TE122.1

文献标识码:A

A method to determine preferential pathways for hydrocarbon migration in “lower source rock and upper reservoir” combination and its application

Wang Haoran¹, Fu Guang¹, Su Bilin², Sun Tongwen³, Tang Wenhao⁴

(1. College of Earth Science, Northeast Petroleum University, Daqing, Heilongjiang 163318, China; 2. The 4th Oil Production Plant, Daqing Oilfield Company Ltd., PetroChina, Daqing, Heilongjiang 163318, China; 3. Guangdong University of Petrochemical Technology, Maoming, Guangdong 525000, China; 4. Hebei Scoilmic Petroleum Technology Co., Ltd, Cangzhou, Hebei 062650, China)

Abstract: The study is based on the analysis of characters of hydrocarbon migration within a lower source rock-upper reservoir combination, and 3D seismic and logging data. We worked out a method to determine the preferential pathways for hydrocarbon migration through combining fault activity ratio with hydrocarbon potential energy on fault plane and combining net-to-gross ratio with fluid potential on top of sand bodies. It can be used to define the scope of preferential hydrocarbon accumulation in this mode. Its application in the 1st member of Nantun Formation (K_1n^1) within a local structure of Bei'er Sag, Hailar Basin, reveals that hydrocarbon migration in the reservoir could be divided into two modes: the mode of vertical migration and the mode of vertical migration followed by lateral migration. There are 17 preferential migration pathways for the former and 11 for the latter. Correspondingly, their scopes of preferential hydrocarbon accumulation are within 2.3 km and 1 km respectively, just coinciding with the practical hydrocarbon distribution. It demonstrates that this method is feasible for determining preferential pathways in hydrocarbon migration within a lower source rock-upper reservoir combination, and conducive to delineating the scope of petroliferous region in the reservoir. In conclusion, it is of importance to guide future petroleum exploration.

Key words: combination of “lower source rock with upper reservoir”, hydrocarbon accumulation assemblage, hydrocarbon migration, preferential pathway, Nantun Formation, Hailar Basin

油气运移作为油气成藏体系中的重点和难点,至今已有90多年的研究历史。最早在1921年 Em-

收稿日期:2017-08-23;修订日期:2018-08-22。

第一作者简介:王浩然(1989—),男,博士研究生,油气藏形成与保存。E-mail: wanghaoranpro@163.com。

通讯作者简介:付广(1962—),男,博士、教授,油气藏形成与保存。E-mail: fuguang2008@126.com。

基金项目:国家科技重大专项(2016ZX05007003003);中国石油天然气股份有限公司重大科技项目(2016D-0702);国家自然科学基金项目(41372153,41872157);东北石油大学研究生创新科研项目(YJSCX2017-003NEPU)。

mons^[1]就曾研究过砂岩样品中的油气运移过程。20世纪80年代以前主要是理论认识和定性研究,之后则逐渐开展物理实验、数值模拟与流体示踪等相关研究^[2],对油气运移的动力、通道与成藏体系等方面的认识进行了完善和提高。自从1953年Hubbert^[3]提出流体势的概念开始,通过物理实验研究油气运移的方法逐步采用珠粒填充模型、网渗模型与沙箱模拟等技术手段,发现了油气运移的非均一性和优势通道的存在^[4]。通过数值模拟研究油气运移的方法多见于20世纪90年代之后,借助于计算机的强大运算能力对油气运移进行数学方面的分析预测,可针对不同运移模式采用不同数值模拟方法,但需要结合丰富的地质资料进行^[5]。从20世纪80年代开始,通过流体示踪研究油气运移。目前常用方法有伊利石测年、流体组分析、含氮化合物分析与同位素分析等,可以根据流体物理化学性质的变化分析油气运移过程^[6]。

前人主要将油气运移分为初次运移、二次运移和三次运移^[7]。其中初次运移主要指油气从烃源岩生成后初次向储层运移的过程^[8];二次运移主要指油气进入储层之后的各种运移过程^[6];三次运移这一概念相对少见,最初是指已形成的油气藏遭到破坏后油气发生的再次运移过程,而在后人研究过程中多将三次运移归纳入二次运移中^[7]。在下生上储式油气成藏组合中,油气分布既有位于源岩范围正上方,也有位于源岩范围侧上方,因此油气运移也存在两种模式,一种是油气垂向运移模式(主要为初次运移),另一种是油气先垂向后侧向运移模式(初次运移与二次运移相结合)。关于这两种油气运移模式前人曾做过一定的研究,但主要是围绕油气垂向运移与侧向运移的转换关系^[9-10]以及不同运移模式下的油气有利富集部位^[11-12]。但下生上储式油气垂向运移模式和侧向运移模式在输导油气过程中存在明显差异,具有不同的油气运移优势路径,对于油气聚集成藏起到关键的控制作用。前人通过物理实验、数值模拟和流体示踪等相关研究方法对油气运移机制、模式及成藏匹配要素曾进行过大量研究,其中也有关于流体势的分析,但在油气垂向运移模式中的油源断裂分类及油气成藏期活动速率与断面流体势相结合,以及油气先垂向后侧向运移模式中的连通砂体识别与流体势能汇聚脊相结合,这二者共同控制的下生上储式油气运移优势路径的相关研究还较为缺乏,不利于分析下生上储式油气成藏规律及寻找有利目标。因此,通过开展油气运移优势路径确定方法的研究,对分析含油气盆地地下生上储式油气分布规律及指导油气勘探均具有重要意义。

1 下生上储式油气运移模式及特征

1.1 油气垂向运移模式及特征

当下生上储式油气分布在源岩范围正上方时,油气输导主要依靠垂向运移模式。在油气输导体系中,断裂为油气垂向运移的主要通道,但油气垂向运移模式中并非所有的断裂均为有效输导通道,而是主要由油源断裂构成油气垂向运移模式的有效输导通道。

油源断裂可以简单地定义为沟通有效源岩及储集层,且在油气成藏期活动开启的断裂^[13]。但在具体工作中,这一定义还不够具体详尽,还需要将油源断裂的类型进一步细分。如图1所示,油源断裂可以分为4类:Ⅰ型油源断裂,即沟通有效源岩与储层,并且在油气成藏期活动开启的断裂;Ⅱ型油源断裂,即沟通有效源岩与储层,并且在油气成藏期及其之后活动开启的断裂;Ⅲ型油源断裂,虽未沟通有效源岩,但连接Ⅰ型或Ⅱ型油源断裂与储层,并且在油气成藏期活动开启的断裂;Ⅳ型油源断裂,虽未沟通有效源岩,但连接Ⅰ型或Ⅱ型油源断裂与储层,并且在油气成藏期及其之后活动开启的断裂。

Ⅰ型和Ⅱ型油源断裂均直接沟通有效源岩,但其活动开启时间略有不同。Ⅰ型油源断裂仅在油气成藏期活动开启。而Ⅱ型油源断裂既在油气成藏期活动开启也在其之后活动开启。Ⅲ型和Ⅳ型油源断裂均不直接沟通有效源岩,而均通过沟通Ⅰ型或Ⅱ型油源断裂来获取油气来源。它们同样通过活动开启时间进行区分,Ⅲ型油源断裂仅在油气成藏期活动开启,而Ⅳ型油源断裂既在油气成藏期活动开启也在其之后活动开启。

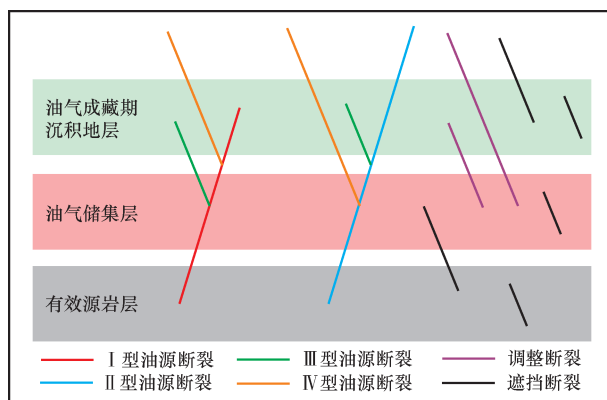


图1 下生上储式油气成藏组合中断裂类型划分示意图

Fig. 1 Schematic diagram showing the classification of fault types within the combination of "lower source rock and upper reservoir"

除去油源断裂之外,还存在两种类型的断裂:调整断裂,即未沟通有效源岩和油源断裂,但沟通储层并且在油气成藏期及其之后活动开启的断裂;遮挡断裂,即未沟通有效源岩与储层的断裂,或者已沟通有效源岩与储层但未在油气成藏期及其之后活动开启的断裂。

在油气垂向运移模式中,油源断裂主要起到垂向输导油气作用,调整断裂主要起到对原生油气藏的垂向调整作用,遮挡断裂主要起到对油气藏的侧向封闭作用。

1.2 油气先垂向后侧向运移模式及特征

当下生上储式油气分布在源岩范围侧上方时,油气输导主要依靠先垂向后侧向运移模式。在经过油源断裂的先垂向运移之后,砂岩输导层为油气后侧向运移的主要通道,但也并非所有砂岩输导层均为有效输导通道,而是主要由连通砂体构成油气后侧向运移的有效输导通道。

连通砂体是指砂岩输导层内有效连通的部分^[14-15]。前人通过建立砂体空间分布概率模型^[16-17],对砂体之间连通关系进行的研究表明,利用砂地比可以近似反映砂体相互之间的连通性。砂地比是指目的层位内砂岩层厚度与该层位地层总厚度的比值,不同研究区不同层位存在不同的砂地比门限值,低于该门限值的区域内砂体之间不连通,而高于该门限值的区域内砂体之间连通,且随着砂地比越高,砂体之间连通性越好。

根据这一理论,可以对上覆储层的砂地比进行统计分析。如图2所示,首先根据测井和录井资料,统计不同井位处上覆储层内的砂岩层厚度和地层总厚度,计算砂地比;再将砂地比平面分布规律与已钻井含油气性相结合,分析储层砂地比与油气分布之间的相关性;进而识别油气侧向运移的有效通道。图2中A井位于砂地比高值区,砂体连通性好,是油气侧向运移的

有效通道,且储集条件良好,为工业油流井;而B井位于砂地比低值区,砂体连通性差,不利于油气侧向运移,且储集条件差,为无油气显示井。通过将砂地比与已钻井含油气性相对应,确定含油气性较好的井所在区域的砂地比下限值,即为砂岩输导层内砂体连通所需的砂地比门限值,依此便可识别连通砂体范围。

在油气先垂向后侧向运移模式中,油源断裂起到先垂向输导油气作用,连通砂体起到后侧向输导油气作用,因此油源断裂-连通砂体组成了油气先垂向后侧向运移模式的有效输导通道。

2 下生上储式油气运移优势路径确定方法

下生上储式油气垂向运移模式和油气先垂向后侧向运移模式的有效输导通道不同,而在油气有效输导通道确定的基础上,油气也并非沿有效输导通道的所有部位进行运移,而是汇聚在其中的优势路径内进行运移的。

2.1 油气垂向运移优势路径

下生上储式油气垂向运移模式的有效输导通道主要由油源断裂构成,但油源断裂不同部位在油气成藏期输导油气能力存在很强的差异性,而这种差异性也是形成油气运移优势路径的主要原因。

首先,油源断裂不同部位在油气成藏期活动开启程度不同,不仅导致伴生裂缝和诱导裂缝发育程度不同,也导致输导油气动力不同。油源断裂不同部位在油气成藏期的活动开启程度可用断裂活动速率表示,即油源断裂不同部位在油气成藏期的断距变化值(可利用三维地震资料等间距选择测线剖面读取断裂断距并进行回剥获取)除以油气成藏期时间。断裂活动速率是前人研究断裂活动开启程度所常用的一项指标参数,其通常定义为某一时期内断裂断距变化值与持续时间的比值。最早在1963年,Thorsen C E^[18]研究断层生长指数时就曾提及断裂活动速率,后于2000年经过李勤英等^[19]引入这一概念,国内开展了广泛的研究。前人对断裂活动速率进行研究后,普遍认为断裂活动速率越大,伴生裂缝和诱导裂缝越发育,输导油气动力也越充足,输导油气能力越强;反之则输导油气能力越弱^[20-22]。

其次,油源断裂不同部位在油气成藏期的断面埋深也不同,导致断面流体势不同。而要获取油源断裂在油气成藏期的断面流体势,首先根据三维地震资料

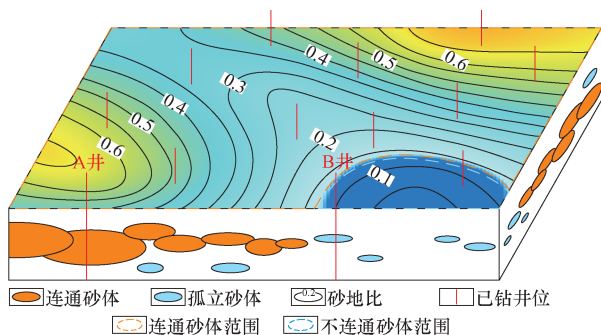


图2 连通砂体范围识别示意图

Fig. 2 Schematic diagram showing the delineation of connected sandbodies

等间距选择测线剖面读取断裂与不同层位交点处的坐标及埋深数据,从而获得现今油源断裂断面埋深,再进行回剥得到油气成藏期油源断裂断面埋深,进而可利用公式(1)计算得到油气成藏期的断面古流体势分布^[12]。油气由高势区向低势区运移,因此油气成藏期的油源断裂断面古流体势汇聚脊为油气运移的优势路径。

$$\Phi = gZ + \frac{p}{\rho_o} \quad (1)$$

$$\rho_o = 1 - \frac{Z}{16\,000} \quad (2)$$

$$p = \rho_w gZ \quad (3)$$

式中: Φ 为油气成藏期断面流体势能, $\text{K} \cdot \text{J}$; Z 为油气成藏期断面埋深, m ; p 为油气成藏期断面流体压力, MPa ; ρ_o 为油气密度, g/cm^3 ; ρ_w 为地层水密度, g/cm^3 ; g 为重力加速度,取 $9.8 \text{ m}/\text{s}^2$ 。

油气垂向运移优势路径既要考虑油气成藏期油源断裂的活动开启程度,又要考虑油气成藏期油源断裂的断面埋深,因此综合而言油源断裂在油气成藏期强活动速率区段内的流体势汇聚脊部位最有利于油气输导运移,即油源断裂在油气成藏期的强充注通道为下生上储式油气垂向运移优势路径,如图3所示。

2.2 油气先垂向后侧向运移优势路径

下生上储式油气先垂向后侧向运移模式中有效输导通道由油源断裂-连通砂体构成,其中前期油气垂向运移优势路径为油源断裂强充注通道,而后期油气侧向运移过程中连通砂体不同部位在输导油气能力方面也存在很强的差异性,因此也形成了油气运移优势路径。

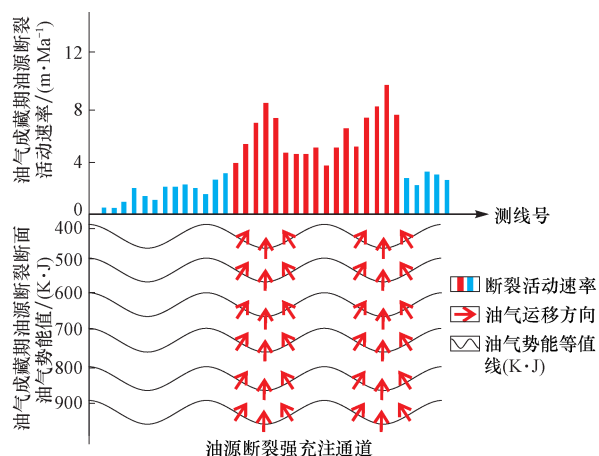


图3 油源断裂强充注通道厘定示意图

Fig. 3 Delineation of the dominant charging pathways along faults rooted in source rocks

油气经过油源断裂强充注通道垂向运移之后,在连通砂体内进行侧向运移过程中油气也是优先汇聚在流体势脊状通道内,然后由高势区向低势区进行侧向运移,因此连通砂体内流体势汇聚脊为后期油气侧向运移的优势路径。而要确定这一油气运移优势路径,首先需要在前文的基础上确定连通砂体范围。根据前人研究,油气在连通砂体内运移时往往会在浮力作用下沿砂体顶界面进行运移^[14-15],因此需要获取连通砂体顶界面埋深(可利用地震资料反演分析砂岩储层段顶界面埋深展布,并结合测井和录井资料进行校正获取),然后根据埋深同样可利用公式(1),对连通砂体的流体势能进行计算,进而可以得到连通砂体内流体势能的展布规律,从中识别出流体势能汇聚脊通道,即为连通砂体输导脊(图4)。

油气先垂向后侧向运移优势路径既要考虑前期油气垂向运移优势路径,又要考虑后期油气侧向运移优势路径,而油源断裂在油气成藏期强活动速率区段内的流体势汇聚脊部位最有利于油气垂向运移;连通砂体内流体势汇聚脊通道最有利于油气侧向运移,因此,油源断裂强充注通道-连通砂体输导脊为下生上储式油气先垂向后侧向运移优势路径。

3 实例应用

本文选取海拉尔盆地贝尔凹陷局部构造南屯组一段为例,利用上述方法分别确定其下生上储式油气垂向运移优势路径与油气先垂向后侧向运移优势路径,并通过油气运移优势路径与南一段目前已发现油气分布之间关系分析,验证该方法用于确定下生上储式油

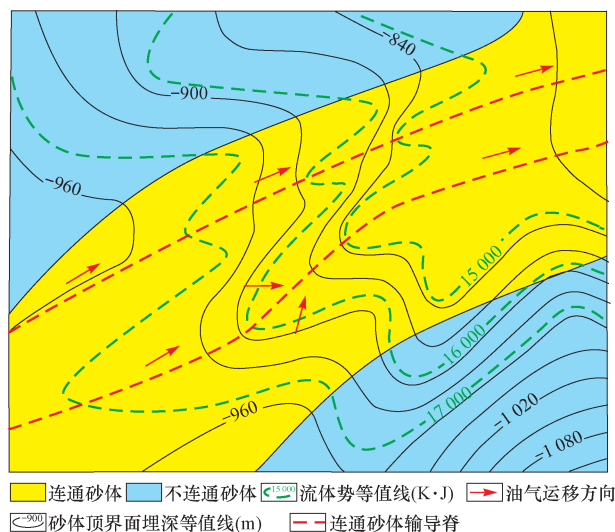


图4 连通砂体输导脊厘定示意图

Fig. 4 Delineation of carrier ridges in connected sandbodies

气运移优势路径的可行性。

海拉尔盆地是松辽外围盆地中最大的一个含油气盆地,位于内蒙古自治区呼伦贝尔盟境内,是一个多期叠合和多期改造的中新生代断-拗型盆地。贝尔凹陷位于海拉尔盆地西南部,本次研究所选取的贝尔凹陷局部构造自北向南依次包括贝尔凹陷北部的霍多莫尔油田、苏德尔特油田和贝尔凹陷西部的呼和诺仁油田。自下而上依次发育上侏罗统布达特群基岩(J_1b),下白垩统铜钵庙组(K_1t)、南屯组(K_1n)、大磨拐河组(K_1d)和伊敏组(K_1y),上白垩统青元岗组(K_2q),古近系呼查山组(E)和第四系(Q)^[23]。贝尔凹陷局部构造油气从布达特群基岩至大磨拐河组均有分布,但主要分布于南屯组。其中南一段上部是主力油气富集层位,而南一段下部是主力源岩发育层位,呈现下生上储式成藏组合。根据南一段下部有效源岩范围可确定下生上储式油气运移模式适用范围,有效源岩范围之内为油气垂向运移模式,有效源岩范围之外为油气先垂向而后侧向运移模式(图5)。

确定南一段下生上储式油气垂向运移优势路径前,首先需要划分断裂类型并识别油源断裂。贝尔凹陷局部构造源岩层位为南一段下部,油气储集层位为

南一段上部,油气成藏期为伊敏组沉积中期-青元岗组沉积时期,最终在南一段顶面构造图中识别出4条大型油源断裂和3条小型油源断裂。其中大型油源断裂具有分段生长的特征,主要为I型油源断裂,部分区段为II型油源断裂,而小型油源断裂均为I型油源断裂(图5)。油源断裂作为油气垂向运移模式的主要通道,其优势路径是油气成藏期油源断裂强充注通道部位,因此选取4条大型油源断裂为例进行分析。首先通过三维地震资料读取4条大型油源断裂断面的埋深数据并回剥至伊敏组沉积中期,再利用公式(1)计算其断面流体势分布,由此得到4条大型油源断裂在油气成藏期的断面流体势分布等值线图(图6a)及三维形态图(图6b),从而可识别出18个油气成藏期油源断裂断面流体势汇聚脊(油源断裂强充注通道同时也是油源断裂断面流体势汇聚脊)。然后利用三维地震资料中不同测线处伊敏组2+3段底界断距值减去青元岗组底界断距值得到其在油气成藏期的断距变化值,再将其除以油气成藏期时间即可得到4条大型油源断裂不同部位在油气成藏期的活动速率分布情况(图5a),进而选取位于油气成藏期强活动速率区段内的流体势汇聚脊为油源断裂强充注通道,最终在4条

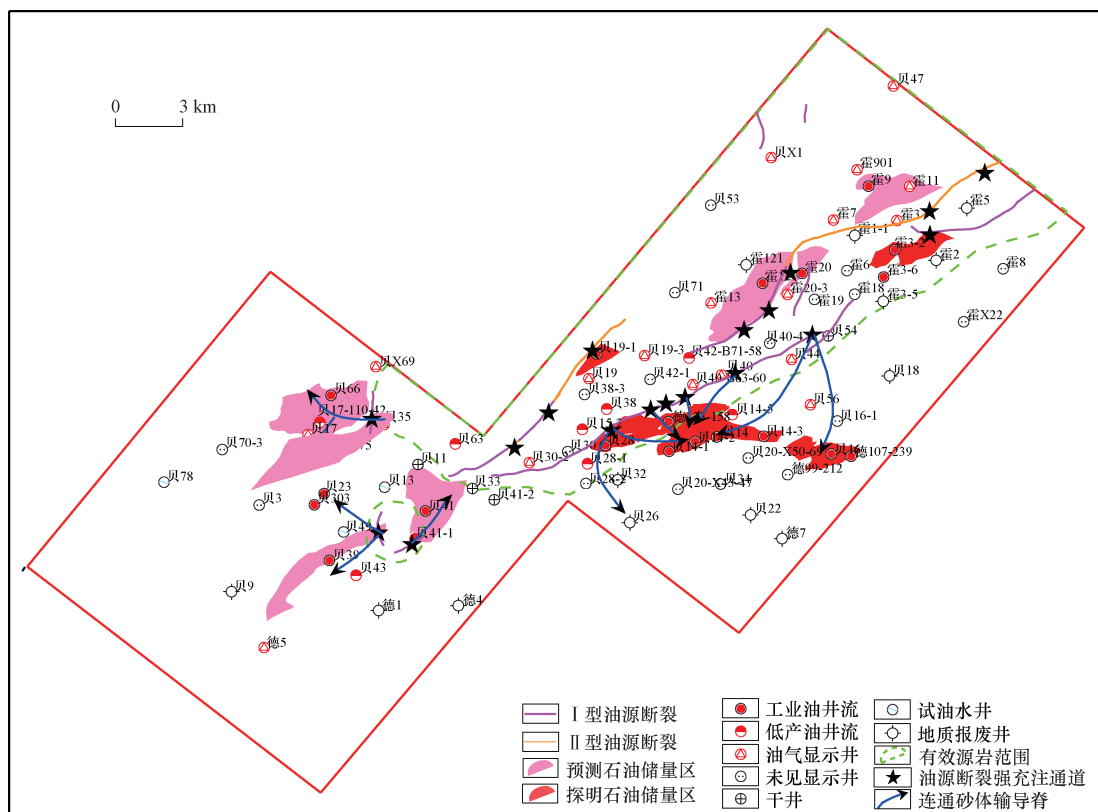


图5 贝尔凹陷局部构造南一段下生上储式油气运移优势路径分布特征

Fig. 5 Summary of preferential pathways for hydrocarbon migration within the combination of "lower source rock and upper reservoir" of K_1n^1 in a local structure in Bei'er Sag, Hailar Basin

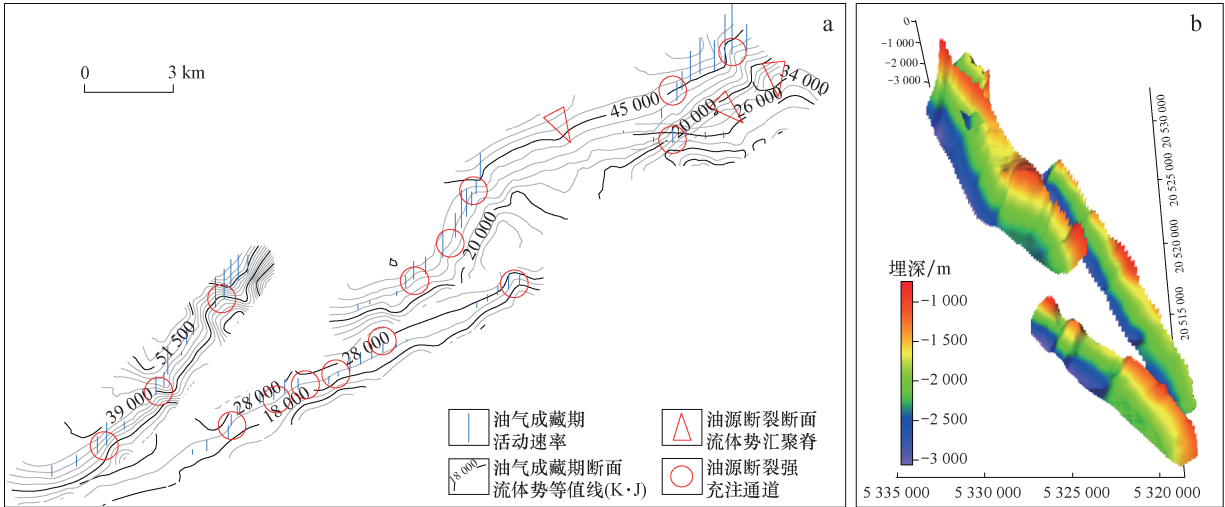


图 6 贝尔凹陷局部构造南一段 4 条大型油源断裂油气成藏期断面流体势汇聚脊(a)与断面形态(b)
Fig. 6 Delineation of fluid potential converging ridges on fault planes (a) and fault plane geometry (b) of four large source rock-rooted faults during hydrocarbon accumulation of K_1n^1 in a local structure in Bei'er Sag, Hailar Basin

大型油源断裂中确定出 15 个油气成藏期的强充注通道。通过上述方法对 3 条小型油源断裂也进行了分析,确定出 3 个油气成藏期的强充注通道。因此,贝尔凹陷局部构造南一段下生上储式油气垂向运移优势路径共 18 个(图 5)。

通过测井和录井资料统计贝尔凹陷局部构造已钻

井中南一段层位内的砂岩层厚度及南一段地层总厚度,计算砂地比,进而将砂地比平面分布规律与已钻井含油气性相结合,确定出砂岩输导层内砂体连通所需的砂地比门限值为 10%(图 7)。低于此门限值的蓝色区域即为不连通砂体范围,此外区域即为连通砂体范围。连通砂体作为油气后期侧向运移的主要通道,其

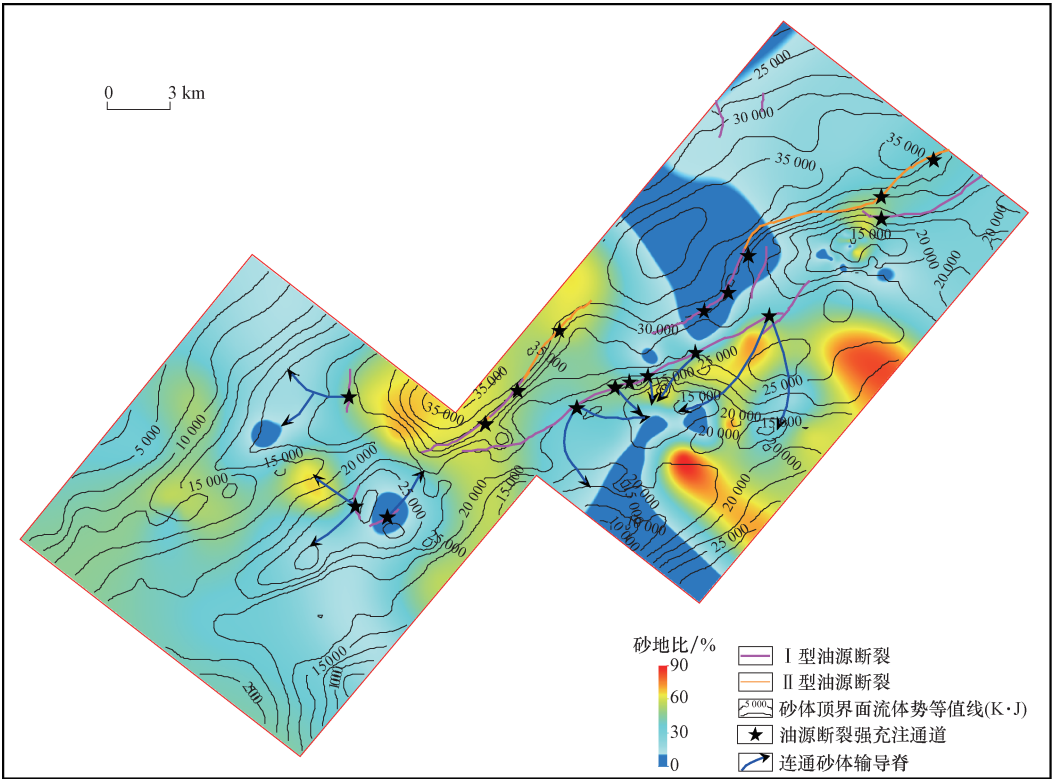


图 7 贝尔凹陷局部构造南一段连通砂体输导脊
Fig. 7 Determination of carrier ridges in the connected sandbodies of K_1n^1 in a local structure in Bei'er Sag, Hailar Basin

优势路径是连通砂体输导脊部位。通过地震资料反演获取贝尔凹陷局部构造南一段顶面构造图,并结合测井和录井资料进行校正获取砂体不同部位顶界面埋深数据,利用公式(1)计算可得到其不同部位对应的流体势能值,根据流体势能等值线图分布情况,并结合油气垂向运移优势路径从而识别连通砂体输导脊,最终贝尔凹陷局部构造南一段可识别出11个油源断裂强充注通道-连通砂体输导脊,即下生上储式油气先垂向后侧向运移优势路径共11个(图7)。

将贝尔凹陷局部构造南一段下生上储式油气运移优势路径与南一段油气分布情况相结合(图5),可以看出油气存在差异富集的特征。贝尔凹陷局部构造南一段油气主要受控于油源断裂,在大型油源断裂附近油气较为富集,而在油源断裂强充注通道部位油气最为富集;另一方面,贝尔凹陷局部构造南一段远离油源断裂区域同样有油气富集,油气主要分布在连通砂体输导脊附近。由此可以看出,贝尔凹陷局部构造南一段下生上储式油气运移优势路径对油气分布起到了明显的控制作用,为油气富集提供了良好的供给条件。

在此基础上,进一步统计贝尔凹陷局部构造南一

段下生上储式油气垂向运移模式中井距油源断裂强充注通道距离与井含油气性的关系(图8a)以及油气先垂向后侧向运移模式中井距连通砂体输导脊距离与井含油气性的关系(图8b),发现油气垂向运移模式中工业油流井和低产油流井均分布在距油源断裂强充注通道距离小于2.3 km的范围内,井的含油气性较好;大于该距离的井均为油气显示井或无油气显示井,井的含油气性较差。油气先垂向后侧向运移模式中工业油流井和低产油流井均分布在距连通砂体输导脊距离小于1 km的范围内,井的含油气性较好;大于该距离的井均为油气显示井或无油气显示井,井的含油气性较差。因此,可以确定贝尔凹陷局部构造南一段下生上储式油气垂向运移优势路径控制范围为2.3 km,油气先垂向后侧向运移优势路径控制范围为1 km。尽管在油气运移优势路径控制范围之内同样存在井含油气性较差,但这可能是由于圈闭、盖层或断层封闭性等其他地质条件差所导致的,而非油气输导供给条件所致。该研究区内既有构造圈闭发育,也有地层圈闭发育,局部位置可能由于构造幅度低或砂体不发育而无法形成有效圈闭^[24],因此井含油气性较差(图5,图7)。另一方

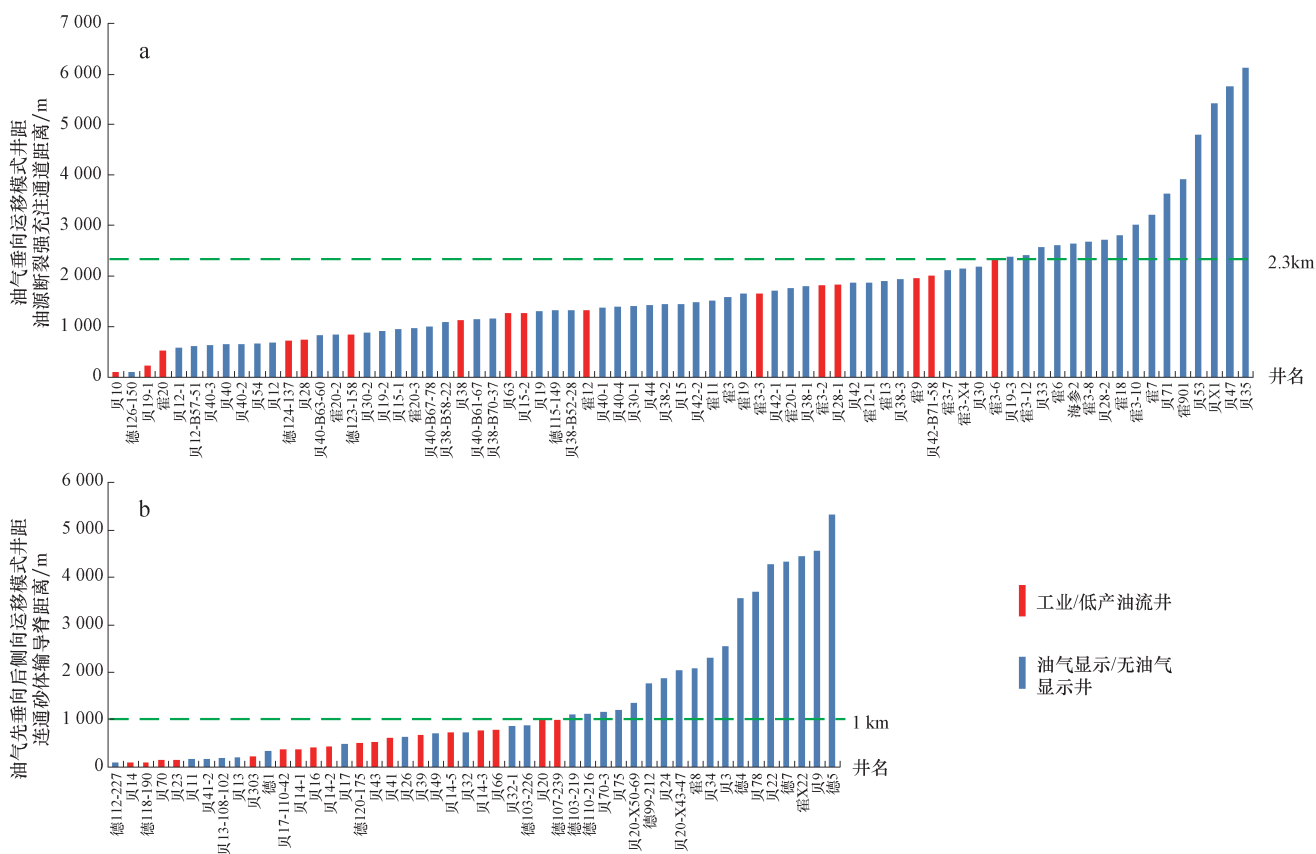


图8 贝尔凹陷局部构造南一段下生上储式油气运移优势路径控制范围

Fig. 8 Delineation of the scope controlled by the preferential pathways for hydrocarbon migration within the combination of “lower source rock and upper reservoir” of K_1n^1 in a local structure in Bei'er Sag, Hailar Basin

面,研究区内井含油气性呈现分区域聚集的特点,前人研究表明贝尔凹陷部分地区局部盖层分布小而薄,因此可能导致井含油气性较差^[25-26]。此外,断层封闭性也对局部断块圈闭起到控制作用,前人分析显示贝尔凹陷主干断裂不同部位的封闭性差异可能导致油气渗漏,从而影响井含油气性^[27-28]。因此,可以利用下生上储式油气运移优势路径控制范围对贝尔凹陷局部构造南一段的油气优势成藏区域进行初步遴选,对油气勘探起到指导性的作用。

4 结论

1) 下生上储式油气运移模式有两种,其输导通道构成及特征不同。油气垂向运移模式的输导通道主要由油源断裂构成,油气先垂向后侧向运移模式的输导通道主要由油源断裂-连通砂体构成。

2) 下生上储式油气运移优势路径有两种,其中油气垂向运移优势路径为油源断裂强充注通道,油气先垂向后侧向运移优势路径为油源断裂强充注通道-连通砂体输导脊。

3) 贝尔凹陷局部构造南一段下生上储式油气垂向运移优势路径共18个,含油气性较好的井均分布在距油气运移优势路径2.3 km范围内;油气先垂向后侧向运移优势路径共11个,含油气性较好的井均分布在距油气运移优势路径1 km范围内。油气运移优势路径与目前贝尔凹陷局部构造南一段已发现油气分布相吻合,表明该方法用于确定下生上储式油气运移优势路径是可行的。

参 考 文 献

- [1] Emmons W H. Experiments on accumulation of oil in sands: [J]. AAPG Bulletin, 1921, 5(1): 103-104.
- [2] 金之钧, 张发强. 油气运移研究现状及主要进展[J]. 石油与天然气地质, 2005, 26(3): 263-270.
Jin Zhijun, Zhang Faqiang. Status and major advancements in study of hydrocarbon migration[J]. Oil & Gas Geology, 2005, 26(3): 263-270.
- [3] Hubbert M K. Entrapment of petroleum under hydrodynamic conditions[J]. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 1953, 37(8): 1954-2026.
- [4] Catalan L. An experimental study of secondary oil migration[J]. AAPG Bulletin, 1992, 76(76): 638-650.
- [5] 周波, 金之钧, 王毅. 油气二次运移数值模拟分析[J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(4): 527-532.
Zhou Bo, Jin Zhijun, Wang Yi. Numerical simulation analysis of secondary hydrocarbon migration [J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(4): 527-532.
- [6] 徐波, 杜岳松, 杨志博, 等. 油气二次运移研究现状及发展趋势[J]. 特种油气藏, 2011, 18(1): 1-6.
Xu Bo, Du Yuesong, Yang Zhibo, et al. Current situation and development trend of the study on secondary hydrocarbon migration[J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2011, 18(1): 1-6.
- [7] 张树林, 田世澄, 朱水安, 等. 南堡凹陷的断裂构造与油气三次运移[J]. 石油与天然气地质, 1996, 17(4): 262-267.
Zhang Shulin, Tian Shicheng, Zhu Shui'an, et al. Fracture structures and hydrocarbon third migration in Nanpu depression[J]. Oil & Gas Geology, 1996, 17(4): 262-267.
- [8] 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.
Luo Xiaorong. Dynamic background and conditions for petroleum primary migration[J]. Acta Petrolei Sinica, 2001, 22(6): 24-29.
- [9] 付广, 展铭望. 油气沿断裂垂向与砂体侧向运移转换条件分析——以渤海湾盆地局部构造为例[J]. 中国矿业大学学报, 2017, 46(2): 336-344.
Fu Guang, Zhan Mingwang. Conversion condition analysis for vertical migration along faults and lateral migration along sandbodies of oil and gas; taking the local structure of Bohai Bay basin as an example [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2017, 46(2): 336-344.
- [10] 刘华, 蒋有录, 徐昊清, 等. 冀中坳陷新近系油气成藏机理与成藏模式[J]. 石油学报, 2011, 32(6): 928-936.
Liu Hua, Jiang Youlu, Xu Haoqing, et al. Accumulation mechanisms and modes of Neogene hydrocarbon in Jizhong Depression[J]. Acta Petrolei Sinica, 2011, 32(6): 928-936.
- [11] 沈扬, 贾东, 宋国奇, 等. 源外地区油气成藏特征、主控因素及地质评价——以准噶尔盆地西缘车排子凸起春光油田为例[J]. 地质论评, 2010, 56(1): 51-59.
Shen Yang, Jia Dong, Song Guoqi, et al. Reservoir-forming characters, key control factors and geological evaluation in the area outside oil source——take the Chunguang oilfield in Chepaizi uplift in western Junggar Basin as an example [J]. Geological Review, 2010, 56(1): 51-59.
- [12] 付广, 吴伟. 乌尔逊—贝尔凹陷油气成藏模式及其主控因素[J]. 岩性油气藏, 2015, 27(1): 14-20.
Fu Guang, Wu Wei. Oil-gas accumulation models and their main controlling factors in Wuerxun-Beier Depression[J]. Lithologic Reservoirs, 2015, 27(1): 14-20.
- [13] 王浩然, 付广, 孙同文. 油源断裂古转换带恢复及其输导油气的有利条件——以南堡凹陷2号构造F10断裂为例[J]. 天然气地球科学, 2016, 27(10): 1848-1854.
Wang Haoran, Fu Guang, Sun Tongwen. Recovery of oil-source fault ancient transfer zone and its favorable conditions to oil-gas transportation; Taking fault F10 in No. 2 structure of Nanpu Sag as an example [J]. Natural Gas Geoscience, 2016, 27(10): 1848-1854.
- [14] 罗晓容, 雷裕红, 张立宽, 等. 油气运移输导层研究及量化表征方法[J]. 石油学报, 2012, 33(3): 428-436.

- Luo Xiaorong, Lei Yuhong, Zhang Likuan, et al. Characterization of carrier formation for hydrocarbon migration: concepts and approaches [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2012, 33(3): 428–436.
- [15] 李浩, 高先志. 高邮凹陷有效砂岩输导层分布及控藏作用[J]. *中国石油大学学报: 自然科学版*, 2012, 36(2): 53–59.
- Li Hao, Gao Xianzhi. Effective sand carrier beds distribution and its reservoir forming control in Gaoyou sag[J]. *Journal of China University of Petroleum: Science and Technology*, 2012, 36(2): 53–59.
- [16] Jackson M D, Yoshida S J, Muggeridge A H, et al. Three-dimensional reservoir characterization and flow simulation of heterolithic tidal sandstones[J]. *AAPG Bulletin*, 2005, 89(4): 507–528.
- [17] 雷裕红, 罗晓容, 潘坚, 等. 大庆油田西部地区姚一段油气成藏动力学过程模拟[J]. *石油学报*, 2010, 31(2): 204–210.
- Lei Yuhong, Luo Xiaorong, Pan Jian, et al. Simulation on hydrocarbon migration and accumulation dynamics of the first member of Yaojia Formation in the west of Daqing Oilfield[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2010, 31(2): 204–210.
- [18] Thorsen C E. Age of growth faulting in Southeast Louisiana[J]. *Transactions, Gulf Coast Association of Geological Societies*, 1963, 13: 103–110.
- [19] 李勤英, 罗凤芝, 苗翠芝. 断层活动速率研究方法及应用探讨[J]. *断块油气田*, 2000, 7(2): 15–17.
- Li Qinying, Luo Fengzhi, Miao Cuizhi. Research on fault activity ratio and its application[J]. *Fault-Block Oil & Gas Field*, 2000, 7(2): 15–17.
- [20] 周心怀, 牛成民, 滕长宇. 环渤海地区新构造运动期断裂活动与油气成藏关系[J]. *石油与天然气地质*, 2009, 30(4): 469–475.
- Zhou Xinhui, Niu Chengmin, Teng Changyu. Relationship between faulting and hydrocarbon pooling during the Neotectonic movement around the central Bohai Bay[J]. *Oil & Gas Geology*, 2009, 30(4): 469–475.
- [21] 王冠民, 熊周海, 张健, 等. 渤海湾盆地渤中凹陷油藏断裂特征及对成藏的控制作用[J]. *石油与天然气地质*, 2017, 38(1): 62–70.
- Wang Guanmin, Xiong Zhouhai, Zhang Jian, et al. Characterization of fault system and its control on reservoirs in the Bozhong Sag, Bohai Bay Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 2017, 38(1): 62–70.
- [22] Jiang H, Pang X, Shi H, et al. Effects of fault activities on hydrocarbon migration and accumulation in the Zhu I Depression, Pearl River Mouth Basin, South China Sea[J]. *Australian Journal of Earth Sciences*, 2015, 62(6): 775–788.
- [23] 平贵东, 吕延防, 范立民, 等. 海拉尔盆地乌尔逊—贝尔凹陷油气富集规律及主控因素分析[J]. *中南大学学报: 自然科学版*, 2013, 44(10): 4167–4178.
- Ping Guidong, Lv Yanfang, Fan Limin, et al. Rules and main controlling factors of hydrocarbon enrichment of Urxun–Beier Depression, Hailar basin[J]. *Journal of Central South University: Science and Technology*, 2013, 44(10): 4167–4178.
- [24] 李文科, 张研, 方杰, 等. 海拉尔盆地贝尔凹陷岩性油藏成藏控制因素[J]. *石油学报*, 2015, 36(3): 337–346.
- Li Wenke, Zhang Yan, Fang Jie, et al. Control factors of hydrocarbon accumulation for lithologic reservoirs in Beier depression, Hailar Basin[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2015, 36(3): 337–346.
- [25] 杨勉, 陈艳丽, 付广. 海拉尔盆地贝尔凹陷盖层发育特征及封闭性[J]. *大庆石油地质与开发*, 2013, 32(4): 1–6.
- Yang Mian, Chen Yanli, Fu Guang. Development characteristics and sealing evaluation for the cap rocks in Beier sag of Hailar Basin[J]. *Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing*, 2013, 32(4): 1–6.
- [26] 付广, 胡欣蕾. 盖层封闭天然气有效性定量评价方法及应用[J]. *山东科技大学学报(自然科学版)*, 2015, 34(4): 28–36.
- Fu Guang, Hu Xinlei. Quantitative evaluation method of sealing gas efficiency of caprock and its application[J]. *Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science)*, 2015, 34(4): 28–36.
- [27] 黄劲松, 吕延防, 刘长国, 等. 利用断储排替压力差定量评价断层封闭性——以海拉尔盆地贝尔凹陷贝301区块为例[J]. *科学技术与工程*, 2011, 11(13): 2902–2909.
- Huang Jinsong, Lv Yanfang, Liu Changguo, et al. Quantitative evaluation method discussion of fault sealing by use of different displacement pressure between fault and reservoir——taking Bei 301 block in Beier depression Hailar as example[J]. *Science Technology and Engineering*, 2011, 11(13): 2902–2909.
- [28] 刘哲, 吕延防, 付晓飞, 等. 贝尔凹陷断层侧向封闭能力定量研究[J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2012, 42(2): 353–361.
- Liu Zhe, Lv Yanfang, Fu Xiaofei, et al. Quantitative research on lateral seal ability of faults in Beier depression[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2012, 42(2): 353–361.

(编辑 董立)