

文章编号: 0253-2697(2005)04-0029-05

鄂尔多斯盆地西峰油田油气成藏动力学特征

段 毅^{1,2} 吴保祥^{1,2} 郑朝阳¹ 王传远¹

(1. 中国科学院地质与地球物理研究所 甘肃兰州 730000; 2. 兰州大学 甘肃兰州 730000)

摘要: 应用油气成藏动力学原理和方法,研究了西峰油田的地质背景、油气成藏动力学条件和成藏过程,探讨了油气成藏动力学机制。从纵向上划分出自源高压封闭、混源低压半封闭和他源常压开放 3 个油气成藏动力学系统。自源高压封闭系统中浊积砂层系和混源低压半封闭系统中近源岩的三角洲前缘砂层系,是今后进一步勘探的主要目标层系。

关键词: 油气成藏动力学; 油气运移; 油气聚集; 三角洲前缘砂层系; 西峰油田; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE112 **文献标识码:** A

Pool-forming dynamic properties of Xifeng Oilfield in Ordos Basin

DUAN Yi^{1,2} WU Bao-xiang^{1,2} ZHENG Chao-yang¹ WANG Chuan-yuan¹

(1. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;

2. Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The pool-forming dynamic conditions and process of Xifeng Oilfield in Ordos Basin were studied, and the pool-forming dynamic mechanism was discussed according to the pool-forming dynamic principle. The studied region was vertically divided into three pool-forming dynamic systems including self-sourced and high-pressure sealed dynamic system, mix-sourced and low-pressure half-sealed dynamic system, outward-sourced and normal-pressure opened system. The further exploration should be focused on the turbidity sandstone layer in the self-sourced and high-pressure sealed dynamic systems, and the delta-front sandstone layer near source rocks in the mix-sourced and low-pressure half-sealed dynamic systems.

Key words: pool-forming dynamics; hydrocarbon migration; hydrocarbon accumulation; delta-front sandstone; Xifeng Oilfield; Ordos Basin

成藏动力学是石油地质学研究的热点领域^[1],是成藏动力学的重要发展方向^[2]。西峰油田位于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡的西南部,是新发现的一个大型油田。由于油田内部构造不发育,使岩性圈闭构成油藏的主要类型,并且在成因方面主要受控于沉积微相,因此目前对西峰油田油藏成因研究主要集中在与沉积相有关的储层方面。本文采用油藏动力学的研究新思路,系统地研究了西峰油田的地质背景、油气成藏条件和成藏过程,探讨了油气成藏的动力学机制。

1 地质背景

鄂尔多斯盆地处于华北地台的西部,其古生代时属于大华北盆地的一部分,中生代三叠纪晚期才开始形成为拗陷盆地。盆地边缘变形较强,内部变形构造很微弱,只存在地层间断或剥蚀,区域构造呈现为西倾

的平缓大单斜^[3]。整个盆地可以划分为 6 个一级构造单元^[4],研究区位于伊陕斜坡的西南部,为构造稳定地区。中生界三叠系延长组为盆地形成后接受的第一套沉积层系,其特征为河流三角洲—湖泊沉积体系,向内变为浅—深湖相,向外变为河流相。按沉积旋回将延长组从上到下划分为 10 个油层组,研究区和整个湖盆一样,经历了 3 个阶段:长₁₀—长₇ 期湖盆形成至发展全盛阶段;长₆—长₄₊₅ 期湖盆持续稳定下降阶段;长₃—长₁ 湖盆收缩至消亡阶段。其中:长₆、长₇ 和长₄₊₅ 期为三大湖侵期,特别是长₇ 时湖侵达到了鼎盛时期,形成了盆地中生界最厚、最好的烃源岩层;长₈、长₆ 和长₃ 为主要岸进时期^[5]。研究区的湖泊西缘形成的扇三角洲砂体构成了有利的输导层和油气聚集场所,这些沉积层系形成了完整的 6 套生储盖组合,为西峰油田油藏形成的基础。

基金项目: 中国科学院知识创新项目(KZCX3-SW-128)和中国科学院国际合作重点项目(GZH205)研究成果。

作者简介: 段毅,男,1956年5月生,1983年毕业于西安地质学院,在中国科学院兰州地质研究所和地球化学研究所分别获硕士和博士学位,现为中国科学院兰州地质研究所研究员、博士生导师,主要从事油气地球化学和有机地球化学研究及教学工作。

E-mail: Duany @ns. lzb. ac. cn

2 油气成藏条件

丰富的油源供给是油气成藏的物质基础。研究区具有很好的烃源岩,特别是其紧临东北华池—富县中生界延长组生油中心,油源充足。有效烃源岩分布在延长组长₄₊₅—长₉油层组中,为半深湖—深湖沉积的泥岩、碳质泥岩及油页岩,其厚度约60~160m,其中长₄₊₅油层组中烃源岩含量相对较少。烃源岩有机碳含量较高,各油层组平均约为1.0%~2.5%。长₇油层组中有机碳含量在本区最高,可达5.0%,而长₄₊₅油层组中烃源岩平均有机碳含量最低。烃源岩母质类型以混合型为主,相对而言,长₇油层组最好,长₈和长₆次之,长₄₊₅和长₉最差。烃源岩有机质均成熟, R_o 为0.70%~1.06%^[6]。

研究区储层发育,但储层物性较差。储层岩性为粉—细粒岩屑长石砂岩,储层分布和物性受沉积微相控制,长₈、长₆和长₄₊₅油层组储层主要为三角洲前缘砂体,长₇油层组储层主要为浊积砂体,而长₃则为三角洲平原相水上分流河道砂体。厚度一般为10~50m,长₄₊₅和长₃砂体较薄,长₈砂体最厚。孔隙度平均为8%~13%,渗透率平均为 $(0.1~0.6) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,最高可达 $0.048 \mu\text{m}^2$,长₈、长₄₊₅和长₃储层物性最好,长₆次之,长₇相对较差^②。

泥岩分布广泛,使其成为西峰油田油藏的良好盖层。长₄₊₅—长₉油层组中分布有湖相分流河湾和湖湾沉积的暗色泥岩及深湖相泥岩,厚度约700m,它们既是生油岩,也是封盖层。同时,侏罗系泥岩、煤和延长组上部湖沼相泥岩都是良好的盖层。

由于鄂尔多斯盆地地质构造稳定,区域构造呈现为西倾平缓大单斜,倾角不足1°,使研究区局部构造不发育,因而砂体既是油气储集体,又是油气运移的主要通道。延长组三角洲和浊流沉积砂体在平面上复合连片,成为油气侧向运移的通道。另外,延长组顶部存在古侵蚀面,是油气进入镇北地区侏罗系延安组底部砂体储层的主要通道。虽然在研究区未发现断裂构造,但是由于北东向基底断裂的后期小规模活动,在上覆砂体中可以产生微裂隙^[7](图1)。同时构造应力场的特征也反映了可以产生北东向的裂隙和节理^[8](图1),这些都是油气运移的通道。

西峰油田位于鄂尔多斯盆地三叠系延长组地层西倾单斜的西南部,其延长组油藏均为岩性油藏。由于储层主要为水下分流河道、平原分流河道和浊积砂体,

横向上为河间洼地或分流间湾相泥岩以及深湖相泥岩相隔,形成岩性尖灭油藏。另外,对于同一砂体,沉积作用或成岩作用会造成砂体岩性和物性的非均质性,形成岩性致密遮挡油藏。

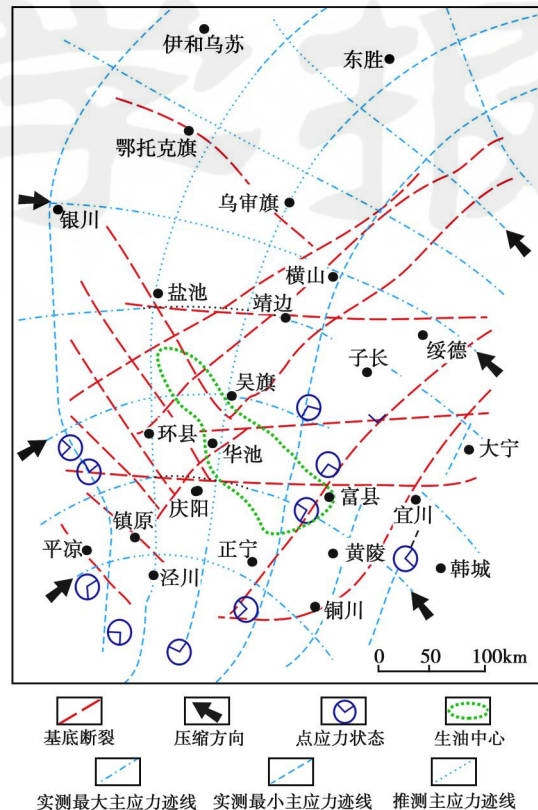


图1 研究区燕山运动构造应力场和基底断裂分布^[7,8]

Fig.1 Paleotectonic stress field of Yanshan movement and basement fault in the studied region

3 温度场、应力场和流体压力场分布特征及油气成藏过程

(1) 盆地古地热场控制着油气生成和演化的过程,同时也对储层的性能产生一定的影响。鄂尔多斯盆地现今和古地热场特征在不同构造单元存在差异,研究区的构造单元现今地热梯度大约为 $2.8 / 100\text{m}$,大地热流值一般略大于 $60\text{mW}/\text{m}^2$ ^[9];在中生代晚期,盆地及周围地区强烈燕山中期运动隐伏岩浆侵入^[10],使古地温梯度升至 $3.3~4.5 / 100\text{m}$,大地热流值达 $85~105\text{mW}/\text{m}^2$ 。与现今古地热场相比,反映异常高古地热场。这一热事件发生的时限大约为124~153Ma,其时代为晚侏罗世至早白垩世^[11]。晚白垩世至新生代以来,盆地不断抬升,地壳增厚,地温梯度降低,平均为 $2.8 / 100\text{m}$ (图2)。另外,根据上三叠系

①张晓明,马素萍. 优质油藏烃源岩地球化学特征与油源对比指标. 中国科学院兰州地质研究所内部报告, 2004.

②王多云,史基安,王琪,等. 陇东地区延长统长₆—长₈沉积特征与储层评价. 中国科学院兰州地质研究所内部报告, 2002.

和侏罗系镜质体反射率分布研究表明,庆阳—富县—吴旗一带地热场较高,向其他地区地热场变低。

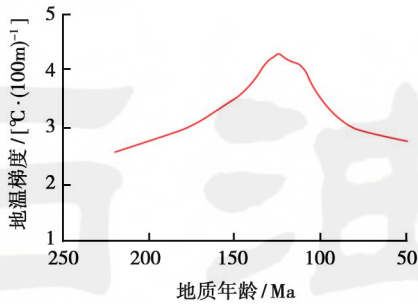


图2 研究区中-新生代地温梯度演化模式图

Fig.2 Geothermal gradient evolution pattern of the Mesozoic-Cenozoic in the studied region

油气的形成过程受上述地热场的控制。中生代早期地温梯度低,属于正常地热场,有机质的成熟度以埋藏引起的深度变质作用为主,三叠系延长组有机质处于未成熟至低成熟阶段,油气生成有限。在中生代晚期,研究区处于异常古地热场,地温梯度升高,有机质受埋藏和热事件共同作用,达到成熟阶段,进入生油主带。异常古地热场对延长组生油产主了非常重要的影响,如果是正常的热场,延长组有机质达到现今成熟度需要更长的有效加热时间,从而不能进入生油主带。因此,中生代晚期是延长组生油岩的主要生油期,也是油气的主要运移和成藏期。新生代盆地抬升遭受剥蚀,古地温梯度降低,同时有机质成熟度的时间影响极为有限,使延长组生烃作用处于停滞状态。

(2) 构造应力场和流体压力场对油气运移聚集有着重要的控制作用。鄂尔多斯盆地印支运动构造应力场最大主应力方向主要为北南向,但是研究区内主应力为北东向,这种应力场影响了三叠系裂隙的发育^[8](图1)。燕山运动对于该区是十分重要的,因为中生界油气的生成运移和成藏与此关系密切。燕山运动构造应力场在鄂尔多斯盆地不同地区存在一定的差异,与研究区有关的盆地南部最大主应力轴轨迹呈向北凸出的弧形^[8](图1),由此产生的张性裂隙走向应与主应力方向一致,或者呈北东和北西方向,这种张性裂隙为油气运移提供了通道。同时,油气运移也受构造应力的驱动,其运移的方向应与最小主应力方向一致,西峰油田原油含氮化合物指示的油气运移方向与最小主应力方向相似^[12]。这些反映了构造应力场在油气运移通道和驱动力两个方面影响着研究区油气的运移聚集过程。

泥岩异常压实作用可以导致异常过剩地层压力的存在。研究区延长组过剩地层压力纵向分布特征是:

过剩压力从长₄₊₅油层组就开始出现,至长₉油层组均存在^[13](图3)。

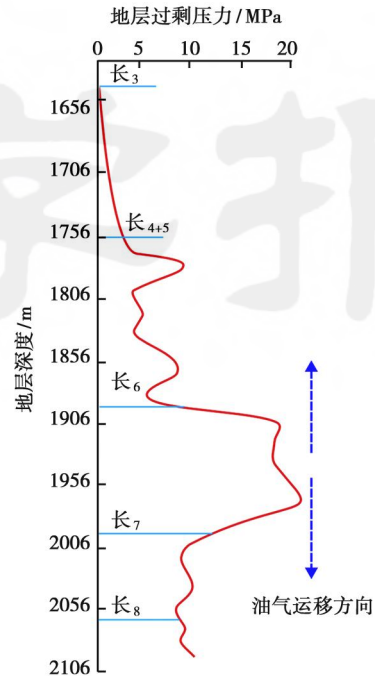


图3 西54井过剩压力剖面及油气运移方向

Fig.3 Excess pressure section of Xi-54 Well

虽然过剩压力在不同地区存在差异,但是长₇油层组普遍存在着很高过剩压力带,这与其深湖相大套泥岩的存在有关。其他油层组过剩压力很低,或者为正常压实带。平面上研究区延长组过剩压力分布与盆地低凹带有关。北东部的华池—富县一带为长₇油层组时期低凹地带(图1),与生烃中心线和沉积中心线一致^[14]。该地区过剩压力值较高,并向南西研究区方向变低^[13]。地下油气总是按照沿阻力最小的途径由相对高过剩压力区向相对低过剩压力区运移的总规律进行。由流体压力场特征可知,在纵向上以长₇油层组为界,油气可以向下或向上运移,进入砂体聚集成藏。在平面上,油气由北东生烃中心向南西研究区运移成藏。因此地下流体场同样控制了研究区油气运移聚集过程。这些已被西峰油田原油含氮化合物分布特征所证实。如图4(a)所示,随着样品深度的增加,长₈油层原油中总吡啶类化合物的绝对丰度降低。这种深处原油中吡啶类化合物含量低是由运移分馏作用造成的,说明长₈油层中原油的运移方向在纵向上是由上向下,其上覆的长₇油层组是延长组主力生油层,为其提供了充足的油源。西峰油田下部长₈至上部长₃油层组原油中吡啶类化合物地球化学参数变化特征如图4(b)所示,异构体比值都增加,吡啶类化合物的绝对丰度都有减小的趋势,说明油气的运移方向由下向上。原油中吡啶类化合物的绝对丰度分布在平面上表现

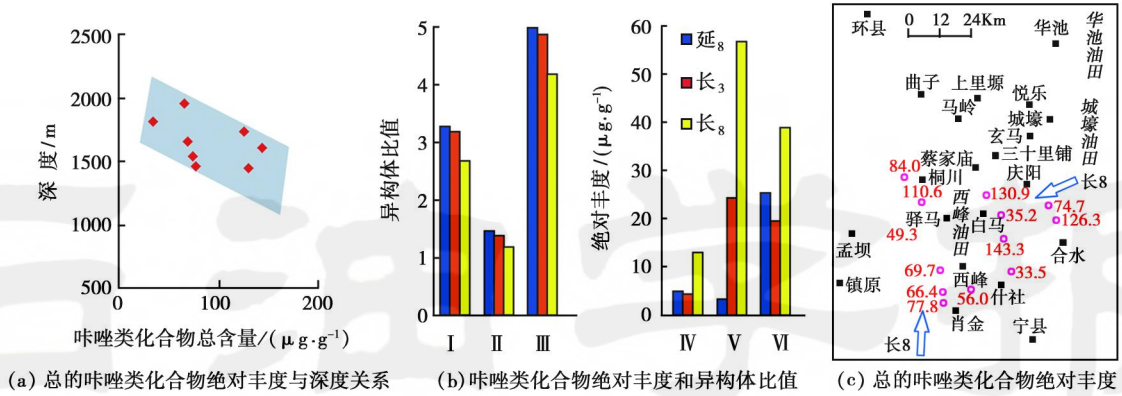


图4 西峰油田长8油层中原油含氮化合物分布特征

Fig. 4 Distributional characteristics of neutral nitrogen compounds in crude oils of Xifeng Oilfield

为:在长8油层组中,这些化合物的绝对丰度由东北部的西24-24井和庄16井向南西方向及由南部的西33井向北部方向降低[图4(c)].说明长8油层组原油主要通过东北部生油中心有利排烃区注入长8储层,然后向南西方向运移(图4中为1,7-4-甲基咪唑;为1,8-1,5-二甲基咪唑;为1,8-2,5-二甲基咪唑;为甲基咪唑;为二甲基咪唑;为三甲基咪唑)。

4 油气成藏动力学系统及特征

油气藏的形成是含油气盆地在地球动力学背景

下,由沉积动力学、热动力学、化学动力学和流体动力学综合作用的结果,成藏动力学系统包括成藏基本要素和动力学条件以及这些成藏动力学条件在地质历史中有机匹配所发生的动力学过程及结果^[1]。在西峰油田不同层系,油气来源、输导体系和储层等成藏要素以及油气成藏的动力条件存在一定差异,从而形成不同的成藏动力学机制。根据西峰油田地层异常压力的分布和油藏形成条件及其形成特征,可以将延长组油藏成藏动力学机制划分为3种类型(图5)。

4.1 自源高压封闭成藏动力学系统

以这类成藏动力学机制形成的油藏主要为长7油

系	统	组	段	油层组	岩性柱	岩性特征	沉积体系	湖平面变化趋势	构造运动	异常高压	成藏动力学系统	
三叠系	上统	延长组	三段	四段	长3	细粒砂岩夹泥岩	三角洲		印支晚幕		他源常压开放成藏动力学系统	
				长4+5	细砂岩粉砂岩泥岩	湖泊	混源低压半封闭成藏动力学系统					
				长6	泥岩细-粉砂岩	湖泊油积						自源高压封闭成藏动力学系统
				长7	泥岩油页岩夹细砂岩		混源低压半封闭成藏动力学系统					
			二段	长8	细砂岩泥岩互层	三角洲					印支早幕	
				长9	细砂岩泥岩	湖泊						
			中统	纸坊组		一段	长10				中-细粒砂岩炭质泥岩	河流三角洲

图5 西峰油田成藏动力学系统划分

Fig. 5 Division of pool-forming dynamic system in Xifeng Oilfield

层组油藏。长7油层组泥岩为深湖相沉积,是主力烃源岩,为长7油层组油藏提供了充足的油源,具有自源特征。该油层组属于欠压实带,流体压力异常高。储集砂体为浊积体,直接包裹于巨厚的生油岩之中,使烃

源岩中的油气在过剩压力驱力下以储集层为运移通道进行侧向运移,进入过剩压力相对较低的邻接烃源岩的浊积砂体中,形成自生自储型的生储配置关系,并具有相对封闭特征。该系统中虽然浊积砂储集层物性相

对较差,但是油源最好,且烃源岩的高异常压力与储集层之间压差大,有利于油气运聚,是今后进一步勘探的有利层位。

4.2 混源低压半封闭成藏动力学系统

这类油藏主要分布在长₈、长₆和长₄₊₅油层组中,其中长₈油层组是西峰油田的主力产层。油气除了部分来自各自油层组烃源岩外,主要来自长₇油层组,因此具有混源特征。长₈、长₆和长₄₊₅油层组存在过剩压力,但与长₇油层组相比其流体压力为低压。储集体主要为三角洲前缘相砂体;油气运移通道主要为砂体,其次为裂隙系统。在异常压力所驱动的压实水流作用下,油气主要向下或向上垂直运移,并且由北东生油岩中心向研究区方向运移,形成了岩性油藏。这种岩性油藏与浊积砂体岩性油藏相比其封闭性较差,具有半封闭型性质。该系统中三角洲前缘砂储层物性较好,但是由于受沉积和成岩作用的影响,物性在平面变化较大,影响了油气的侧向运移,因此近源岩的储层是今后有利的勘探层系。

4.3 他源常压开放成藏动力学系统

这类油藏分布在西峰油田长₃油层组和延安组下部。长₃油层组不具生油能力,该油层组中油气来自其下部烃源岩,特别是长₇油层组。由于研究区缺乏长₁和长₂油层组,长₃油层组受侏罗纪河流切割作用,破坏了长₃油层组的压力系统,使其为正常压力。储集体主要为三角洲平原相水上分流河道砂体,砂体较发育,砂岩粒度较粗,流体易于在其中运移。下部油气在过剩压力驱动下向上运移至该类砂体中成藏,盖层为沼泽相泥岩。该系统储层远离烃源岩,并且系统的开放性不利于油气藏的保存^[15],因此该系统油气运聚和保存条件比其他2个成藏动力学系统差。

5 结 论

西峰油田具备有利的成藏条件:烃源岩好,油源充足;储层以浊积砂体和三角洲前缘砂体为主;盖层条件良好,分布广泛;输导层好,以砂体为主,但是不排除裂隙和节理的作用;圈闭类型单一,均为岩性油藏。

研究区温度场、应力场和流体压力场控制着油气生成演化和运移聚集的过程。温度场反映了中生代早期只能生成一定数量的未成熟至低成熟原油,中生代晚期则为主要生油期,也是油气主要运聚成藏期。构

造应力场和流体压力场横向特征指示了油气从近北东向南西方向运移至研究区聚集成藏;流体压力场纵向特征说明油气可向下向上运移聚集成藏。

在纵向上比较典型地划分出3类成藏动力学系统:自源高压封闭成藏动力学系统,如长₇段的油藏;混源低压半封闭成藏动力学系统,如长₈、长₆和长₄₊₅段的油藏;他源常压开发成藏动力学系统,如长₃段的油藏。自源高压封闭系统中浊积砂层系和混源低压半封闭系统中近源岩的三角洲前缘砂层系为今后主要的勘探目标层系。

参 考 文 献

- [1] 田世澄,毕研鹏.论成藏动力学系统[M].北京:地质出版社,2000:3-20.
- [2] 褚庆忠,张树.含油气成藏动力学研究综述[J].世界地质,2002,21(1):24-29.
- [3] 任战利,赵重远,张军,等.鄂尔多斯盆地古地温研究[J].沉积学报,1994,12(1):56-65.
- [4] 杨俊杰.鄂尔多斯盆地构造演化与油气分布规律[M].北京:石油工业出版社,2002:60-85.
- [5] 喻建,韩永林,凌升阶.鄂尔多斯盆地三叠系延长组油田成藏地质特征及油藏类型[J].中国石油勘探,2001,6(4):13-19.
- [6] 段毅.鄂尔多斯盆地西峰油田原油地球化学特征及其成因[R].兰州:中国科学院兰州地质研究所,2004.
- [7] 赵文智,胡素云,汪泽成,等.鄂尔多斯盆地基底断裂在上三叠统延长组石油聚集中的控制作用[J].石油勘探与开发,2003,30(5):1-5.
- [8] 张泓.鄂尔多斯盆地中生代构造应力场[J].华北地质矿产杂志,1996,11(1):87-92.
- [9] 周江羽,吴冲龙,韩志军.鄂尔多斯盆地的地热场特征与有机质成熟[J].石油实验地质,1998,20(1):20-23.
- [10] 赵孟为, Behr H J.鄂尔多斯盆地三叠系镜质体反射率与地热史[J].石油学报,1996,17(2):15-23.
- [11] 高山林,韩庆军,杨华,等.鄂尔多斯盆地燕山运动及其与油气关系[J].长春科技大学学报,2000,30(4):353-358.
- [12] 段毅,张辉,吴保祥.鄂尔多斯盆地西峰油田原油含氮化合物分布特征与油气运移[J].石油勘探与开发,2004,31(5):17-20.
- [13] 陈荷立,刘勇,宋国初.陕甘宁盆地延长组地下流体压力分布及油气运移条件研究[J].石油学报,1990,11(4):8-16.
- [14] 付金华,罗安湘,喻建,等.西峰油田成藏地质特征与勘探方向[J].石油学报,2004,25(2):25-29.
- [15] Verweij J M. Hydrocarbon migration systems analysis [M]. Amsterdam:Elsevier, 1993:130-132.