

文章编号:1001-6112(2010)06-0572-06

# 鄂尔多斯盆地南部平凉组 烃源岩特征及其成烃演化分析

倪春华,周小进,王果寿,杨帆,刘运黎

(中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所,江苏 无锡 214151)

**摘要:**运用有机地球化学和有机岩石学相结合的方法,对鄂尔多斯盆地南部中奥陶统平凉组烃源岩进行了较系统的研究。研究区内平凉组烃源岩厚度平面分布特点为南厚北薄,纵向上岩性组合为上部灰岩、下部泥岩,下部烃源岩有机质丰度高于上部。烃源岩有机质类型属于 I—II 型,并以 I 型干酪根为主。作为海相烃源岩成熟度研究的指标,海相镜质组反射率揭示研究区平凉组烃源岩成熟度为西低东高,现今主体处于成熟晚期—高成熟的演化阶段。通过 PetroMod 软件盆地模拟,并结合生烃热模拟实验结果综合分析,认为该区平凉组烃源岩于晚三叠世早期开始生油,中侏罗世末到达生油高峰,大规模生气期为早白垩世,具有一定的天然气勘探潜力。

**关键词:**烃源岩;地球化学特征;成烃演化;平凉组;中奥陶统;鄂尔多斯盆地

中图分类号:TE122.1

文献标识码:A

## CHARACTERISTICS AND HYDROCARBON GENERATION EVOLUTION OF PINGLIANG FORMATION SOURCE ROCKS, SOUTHERN ORDOS BASIN

Ni Chunhua, Zhou Xiaojin, Wang Guoshou, Yang Fan, Liu Yunli

(Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214151, China)

**Abstract:** Combining organic geochemistry together with organic petrology, the source rocks of the Pingliang Formation of the Middle Ordovician in the southern Ordos Basin have been systematically studied in this paper. Controlled by sedimentary facies, the thickness of hydrocarbon source rocks of the Pingliang Formation was characterized by horizontal distribution of thick in the south but thin in the north. The abundance of organic matter was characterized by longitudinal distribution of high in the below but low in the upper area. The types of organic matter were identified by type index of carbon isotope and the result reflected that there was mainly sapropelic kerogen. The marine vitrinite reflectance showed that maturity was higher in the east than in the west and it was mainly during the late-mature and the high-mature stage. The hydrocarbon source rocks of the Pingliang Formation worked as effective source rocks. Using the PetroMod software, combined with the hydrocarbon generation simulation experiments, it had been concluded that, source rocks of the Pingliang Formation began to generate oil in the Late Triassic, reached oil generation peak in the Middle Jurassic and generated gas in large scale in the Early Cretaceous. The muddy hydrocarbon source rocks of the Pingliang Formation have some natural gas potential in the southern Ordos Basin.

**Key words:** hydrocarbon source rock; geochemistry characteristics; hydrocarbon generation evolution; Pingliang Formation; Middle Ordovician; Ordos Basin

勘探成果证实,鄂尔多斯盆地古生界天然气资源丰富,已发现靖边、榆林、苏里格、大牛地等十亿立方米以上储量的大气田,但主要集中在盆地的中北部地区;而南部地区由于野外露头少、钻井控制

程度低(钻遇下古生界的探井仅有 13 口),目前勘探程度很低,地质研究相对较为薄弱<sup>[1-4]</sup>,这在一定程度上制约了该区古生界的油气勘探进程。笔者较为系统地分析了鄂尔多斯盆地南部地区中奥陶

收稿日期:2010-03-12;修订日期:2010-10-08。

作者简介:倪春华(1981—),男,工程师,主要从事油气地质与地球化学研究。E-mail:nichunhua\_syky@sinopec.com。

基金项目:中国石油化工股份有限公司海相前瞻性研究项目(YPH08077)资助。

统平凉组烃源岩的空间展布规律和地球化学特征,采用盆地数值模拟和生烃热模拟实验相结合的方法,探讨了平凉组烃源岩的成烃演化史,以期进一步认识该地区平凉组烃源岩的成烃条件。

### 1 地质背景

鄂尔多斯盆地南部主体位于现今的渭北隆起一级构造单元,范围包括北纬 36°以南、渭河以北的地区,早古生代为一台缘拗陷(南缘古拗陷),主要接受来自秦岭海的海相沉积,持续时间长,地层层序较完整,沉积总厚度 6 500 m 左右。和盆地内部相比,因后期构造运动强烈,研究区构造变得复杂。

中奥陶世平凉早期,受加里东运动影响,鄂尔多斯盆地主体部分抬升为陆地,南部则快速沉陷,中央古隆起的西南边缘形成南倾斜坡带,接受沉积。如图 1 所示,鄂尔多斯盆地南部主要发育碳酸盐岩台地相和深水斜坡相。位于深水斜坡相的平凉银洞官庄剖面,平凉组下部为深灰色粉砂质泥岩、灰黑色—黑色页岩夹凝灰岩,且页岩中富含笔石。陈孟晋等<sup>[1]</sup>认为,这是由于平凉早期海平面总体继续下降,经过几次振荡性海平面急速升降之后,该区处于相对稳定的斜坡相沉积环境,因而形成了稳定分布的笔石页岩层。而浅水碳酸盐岩台地环境沉积的耀县桃曲坡剖面平凉组下部则主要为浅灰色灰岩,夹少量的薄层泥晶灰岩。平凉晚期,鄂尔多斯古陆的面积向西、向南有所扩大,但整体格局没有发生根本性的变化,南部的深水斜坡和碳酸盐岩台地地带仍然存在,只是范围有所缩小<sup>[5]</sup>。

### 2 样品采集及测试

本次研究在鄂尔多斯南部地区选择了位于不同沉积相的 5 条野外露头剖面,自西向东分别为:平凉银洞官庄剖面、陇县段家峡剖面、岐山苜蓿河剖面、泾阳西陵沟剖面和耀县桃曲坡剖面(图 1)。共采集新鲜岩样 40 余件,其中泥岩 14 件,泥灰岩

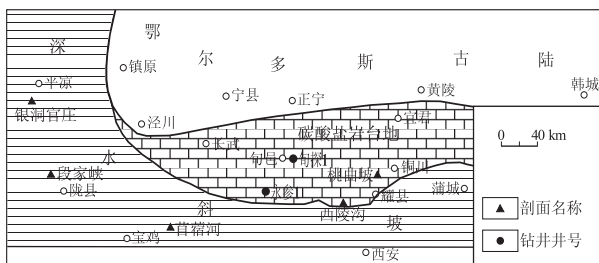


图 1 鄂尔多斯盆地南部平凉期岩相古地理

Fig. 1 Lithofacies palaeogeography during Pingliang Age of Middle Ordovician, southern Ordos Basin

8 件,灰岩 15 件,白云岩 3 件。残余有机碳含量测定:先将样品粉碎至 100 目,用 10% 的盐酸浸泡 24 h,除去无机碳,样品冲洗、烘干后,装入石英管内加热燃烧,由液氮冷阱收集,送 CS-200 碳硫测定仪测定其残余有机碳含量,分析精度 ±0.5%。干酪根碳同位素测定:先将岩样制备成干酪根样本,用 DELTA plus XL 气体稳定同位素质谱仪测定干酪根碳同位素,燃烧炉炉温 1 020 °C,还原炉炉温 650 °C,柱流量 110 mL/min,分析精度小于等于 0.25%。海相镜质组反射率测定:先将岩样制备成全岩抛光片,应用 MPV-SP 显微光度计测定。残余有机碳含量和干酪根碳同位素由中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院无锡石油地质研究所实验研究中心测试,海相镜质组反射率由长江大学地球化学实验室测试。

### 3 烃源岩特征

#### 3.1 空间展布规律

受中央古隆起构造的控制,平凉组地层主要发育于鄂尔多斯盆地西南缘,大体上呈“L”形分布。鄂尔多斯盆地南部泾川—正宁—黄陵—韩城线以南,至永参 1—耀县—铜川线以北,为碳酸盐岩台地相带,以灰岩和泥灰岩沉积为主,平凉组暗色泥岩平均厚度为 10 m,泥灰岩平均厚度为 20 m。平凉银洞官庄—陇县段家峡—岐山苜蓿河一带属深水斜坡沉积,平凉组暗色泥岩平均厚度达到 100 m 左右,泥灰岩平均厚度约为 60 m。总体表现为由北往南厚度逐渐增大。

中奥陶世平凉早、晚期,由于沉积环境发生变化,必然在烃源岩纵向分布特征上有所体现。以平凉银洞官庄剖面为例(图 2),从岩性组合来看,上部主要为灰岩、泥灰岩,含泥(页)岩,下部则以泥(页)岩为主;从有机碳含量来看,上部较低,下部相对较高,与平凉早、晚期的沉积环境相一致。

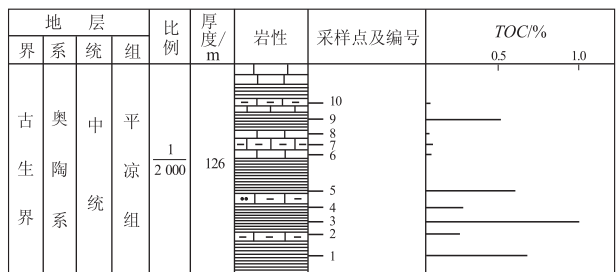


图 2 鄂尔多斯盆地南部平凉银洞官庄剖面平凉组有机碳含量纵向分布

Fig. 2 Vertical distribution of TOC of Pingliang Formation at Yingdongguanzhuang profile, southern Ordos Basin

### 3.2 有机质丰度

有机质丰度的高低直接影响着对油气资源前景的评价,评价指标包括有机碳含量、氯仿沥青“A”、总烃等,其中有机碳含量由于影响因素较少,能够相对更准确地反映有机质丰度,因此应用最为普遍。从 40 余件平凉组样品的测试结果(表 1)可以看出:岩性上,不同类型岩石有机碳含量差异明显,泥岩、泥灰岩、灰岩的有机碳含量依次减小,如 14 件泥岩有机碳含量平均值为 0.39%,8 件泥灰岩有机碳含量平均值为 0.15%,15 件灰岩有机碳含量平均值仅为 0.08%;沉积相带上,发育于深水斜坡相的样品有机碳含量普遍比碳酸盐岩台地相的高,前者平均值大约是后者的 2~4 倍。值得注意的是,处于同一相带的钻井样品有机碳含量总体上比邻近的露头样品高,以同处于碳酸盐岩台地相带的永参 1 井和桃曲坡剖面为例,前者平均值比后者高出约 30%,表明风化剥蚀作用会对烃源岩的有机碳含量造成一定影响<sup>[6-7]</sup>。

目前,对于高成熟—过成熟烃源岩残余有机碳含量是否需要恢复仍存在较大争议<sup>[8-9]</sup>。研究表明,碳酸盐岩在常规的油气生成的温度压力条件下,有机碳含量 0.2%~0.3% 可能满足有效排烃动力条件的临界有机质丰度<sup>[10]</sup>,而泥质岩在热模拟过程中排出的液体量明显高于碳酸盐岩,在完全排烃条件下,I 型、II<sub>1</sub> 型、II<sub>2</sub> 型、III 型泥质烃源岩有机碳含量最大减少幅度大致分别为 43%,20%,10% 和 10%<sup>[11]</sup>。结合下文有机质成熟度的分析结果,笔者认为对处于高演化阶段(高成熟—过成熟)的苜蓿河、西陵沟剖面及永参 1 井的烃源岩

进行有机碳恢复。基于热模拟实验结果和本区平凉组烃源岩的有机质类型和成熟度,恢复系数取 1.5 较为客观,恢复后结果见表 1。

### 3.3 有机质类型

有机质类型是评价烃源岩品质优劣的重要指标之一,一般可从烃源岩的母质来源及元素组成特征来确定。平凉组烃源岩有机显微组分中没有镜质组和惰质组,具有早古生代海相沉积烃源岩有机质组成的特殊性,且腐泥组以藻类体和沥青质体为主,其中藻类体呈微粒状藻类体集合体或藻屑体形态。

干酪根  $\delta^{13}\text{C}$  能够反映原始的生烃母质特征,常被用于鉴别烃源岩的有机质类型及其沉积环境<sup>[12-13]</sup>。如图 3 所示,银洞官庄剖面的 4 个样品和桃曲坡剖面的 3 个样品, $\delta^{13}\text{C}$  值分别介于  $-31.16\%$ ~ $-31.53\%$  和  $-29.49\%$ ~ $-29.70\%$ ,全部属于 I 型有机质(腐泥型);苜蓿河剖面的 2 个样品, $\delta^{13}\text{C}$  值分别为  $-24.44\%$ ,  $-25.90\%$ ,均大于  $-26\%$ ,为 II<sub>2</sub> 型有机质(腐殖腐泥型);段家峡剖面的 7 个样品, $\delta^{13}\text{C}$  值则在 I—II<sub>1</sub> 型有机质区间上。值得注意的是,已有研究表明干酪根碳同位素会随着演化程度的升高而增重,而且有机质类型越好,干酪根碳同位素增重幅度越大<sup>[14]</sup>。如图 4 所示,苜蓿河剖面的 2 个样品成熟度最高,其对应的干酪根  $\delta^{13}\text{C}$  也相应地增重。这一现象提示利用干酪根  $\delta^{13}\text{C}$  判别有机质类型时,需注意其演化程度。孙宜朴等<sup>[2]</sup>利用饱和烃/芳烃比值判别有机质类型的研究表明,平凉银洞官庄剖面的露头样品比值都大于 3,其他族组分含量偏低,具有典型的 I 型有机质生烃特征,与此次研究结果完全吻合。

表 1 鄂尔多斯盆地南部平凉组有机碳含量统计

Table 1 Statistics of TOC of Pingliang Formation, southern Ordos Basin

剖面/钻井	泥岩	泥灰岩	灰岩	全剖面	全剖面恢复后
银洞官庄	$\frac{0.52\sim 1.00}{0.67(5)}$	$\frac{0.09\sim 0.24}{0.17(2)}$	$\frac{0.05\sim 0.08}{0.06(3)}$	$\frac{0.05\sim 1.00}{0.39(10)}$	$\frac{0.05\sim 1.00}{0.39(10)}$
段家峡	$\frac{0.23\sim 0.36}{0.29(5)}$	$\frac{0.08\sim 0.19}{0.12(3)}$	$\frac{0.05\sim 0.10}{0.08(4)}$	$\frac{0.05\sim 0.36}{0.18(12)}$	$\frac{0.05\sim 0.36}{0.18(12)}$
苜蓿河	$\frac{0.05\sim 0.37}{0.15(4)}$	$\frac{0.11\sim 0.14}{0.13(2)}$	0.07(1)	$\frac{0.05\sim 0.37}{0.13(7)}$	$\frac{0.05\sim 0.37}{0.13(7)}$
西陵沟			$\frac{0.02\sim 0.11}{0.06(3)}$	$\frac{0.02\sim 0.11}{0.06(3)}$	$\frac{0.03\sim 0.17}{0.09(3)}$
桃曲坡		0.24(1)	$\frac{0.06\sim 0.18}{0.12(4)}$	$\frac{0.06\sim 0.24}{0.14(5)}$	$\frac{0.09\sim 0.36}{0.21(5)}$
永参 1*				0.20(5)	0.30(5)
南部地区	$\frac{0.05\sim 1.00}{0.39(14)}$	$\frac{0.08\sim 0.24}{0.15(8)}$	$\frac{0.02\sim 0.18}{0.08(15)}$	$\frac{0.02\sim 1.00}{0.21(42)}$	$\frac{0.02\sim 1.00}{0.32(42)}$

注:表中分式含义为  $\frac{\text{最小值}\sim\text{最大值}}{\text{平均值}(\text{样品数})}$ ; \* 数据引自参考文献[2]。

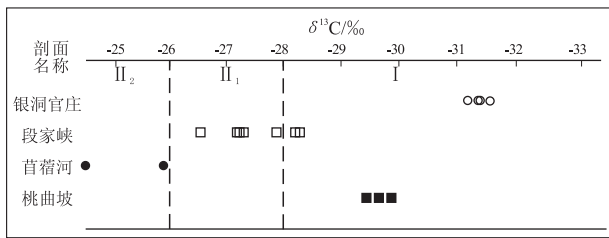


图 3 鄂尔多斯盆地南部干酪根  $\delta^{13}C$  值分布与有机质类型关系  
Fig. 3 Relationship between  $\delta^{13}C$  value of kerogen and types of organic matter of Pingliang Formation, southern Ordos Basin

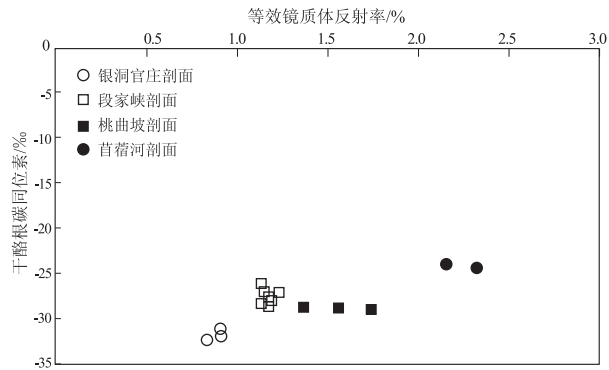


图 4 鄂尔多斯盆地南部干酪根  $\delta^{13}C$  值与等效镜质体反射率关系  
Fig. 4 Relationship between  $\delta^{13}C$  value of kerogen and equivalent vitrinite reflectance, southern Ordos Basin

### 3.4 有机质成熟度

自 Teichmuller<sup>[15]</sup> 将镜质体反射率由划分煤阶推广到确定沉积岩中分散有机质的成熟度以来, 镜质体反射率( $R_o$ )已成为目前应用最多且最为可靠的成熟度指标<sup>[16-17]</sup>。但我国海相烃源岩中由于缺少或没有镜质体, 无法利用该指标来评价其成熟度, 国外学者率先发现并提出了海相镜质组<sup>[18]</sup>, 国内许多学者也进行了深入的研究和应用<sup>[19-21]</sup>。

海相镜质组的热模拟实验表明, 海相镜质组反射率的热演化特征与富氢镜质体很相似, 基本上等同于富氢镜质体反射率。王飞宇等<sup>[22]</sup> 研究发现, 海相镜质组反射率可作为我国下古生界高一过成熟烃源岩的成熟度标尺, 并建立了等效镜质体反射率( $VR_o$ )和海相镜质组反射率( $VLR_o$ )的关系式:  $VR_o = 0.533VLR_o + 0.66$ 。本次研究对野外露头样品进行了海相镜质组反射率的测定, 并按照上述关系式进行了换算。从表 2 可以看出, 位于西部的银洞官庄剖面平凉组样品成熟度最低, 而位于东部的桃曲坡剖面平凉组样品成熟度最高, 即区内平凉组烃源岩成熟度呈现西低东高的格局。目前, 该区主体处于成熟晚期—高成熟演化阶段。

表 2 鄂尔多斯盆地南部平凉组样品成熟度对应关系

Table 2 Corresponding maturity relationship of samples from outcrop of Pingliang Formation, southern Ordos Basin

剖面名称	样品岩性	海相镜质组反射率/%	等效镜质体反射率/%	演化阶段
银洞官庄	页岩	0.44~0.52 0.50(5)	0.89~0.94 0.93(5)	成熟晚期
段家峡	泥岩、灰岩	0.90~1.13 0.99(9)	1.14~1.26 1.19(9)	成熟晚期
苜蓿河	泥灰岩、泥岩	0.86~3.12 1.54(6)	1.12~2.32 1.48(6)	高一过成熟
桃曲坡	灰岩、泥灰岩	1.27~1.97 1.63(5)	1.34~1.71 1.53(5)	高成熟

注: 表中分式含义为  $\frac{\text{最小值} \sim \text{最大值}}{\text{平均值}(\text{样品数})}$ 。

综上所述, 鄂尔多斯盆地南部平凉组泥质岩(页岩)厚度较大、有机质丰度较高、有机质类型好, 属于中等烃源岩, 主体处于成熟晚期—高成熟演化阶段, 具有一定的天然气勘探潜力; 平凉组碳酸盐岩(泥灰岩)厚度较小、有机质丰度较低, 为差烃源岩。

## 4 烃源岩成烃演化分析

成烃演化分析是烃源岩研究的重点, 也是开展油气成藏研究的基础。笔者通过数值模拟(反演), 结合前人开展的热模拟(正演), 来综合分析鄂尔多斯盆地南部平凉组烃源岩的生烃史。

### 4.1 热模拟实验

由于烃源岩漫长的自然演化过程是无法重复的, 热模拟生烃实验已成为了解烃源岩生烃全过程的主要手段。该实验以干酪根热降解成烃和有机质热演化的时间—温度补偿为理论基础, 在室内模拟地质体中的油气生成过程, 再现有机质在漫长的地质时期所经历的物理和化学演化过程, 为研究烃源岩的成烃演化过程、推导成烃模式、评价成烃潜力提供实验依据和基础资料, 且热模拟实验的结果可以与烃源岩在地质历史中的自然演化结果相互类比。

孙宜朴等<sup>[2]</sup> 选取银洞官庄平凉组泥岩样品( $TOC = 0.70\%$ ,  $R_o = 0.70\%$ )进行了 300, 350, 400, 450, 500 °C 系列的热模拟生烃实验。模拟实验结果(图 5)显示, 平凉组烃源岩在成熟阶段晚期  $R_o$  值为 1.2% 时, 基本达到生油高峰; 往后随着温度升高、成熟度增加, 生油量逐渐减小, 生气量逐渐增大, 表明此时可能为平凉组烃源岩生烃过程中由油变气的转折点。

### 4.2 数值模拟

盆地数值模拟经过近 30 年的不断发展, 在油气勘探生产与石油地质综合研究中发挥着越来越



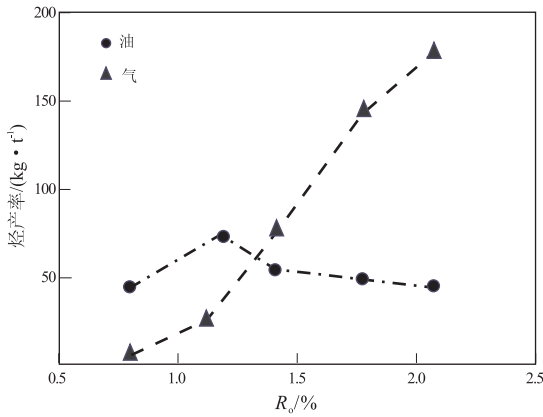


图 5 鄂尔多斯盆地南部平凉组泥岩烃产率与  $R_o$  关系

Fig. 5 Relationship between hydrocarbon generation rate and vitrinite reflectance of Pingliang Formation mudstone, southern Ordos Basin

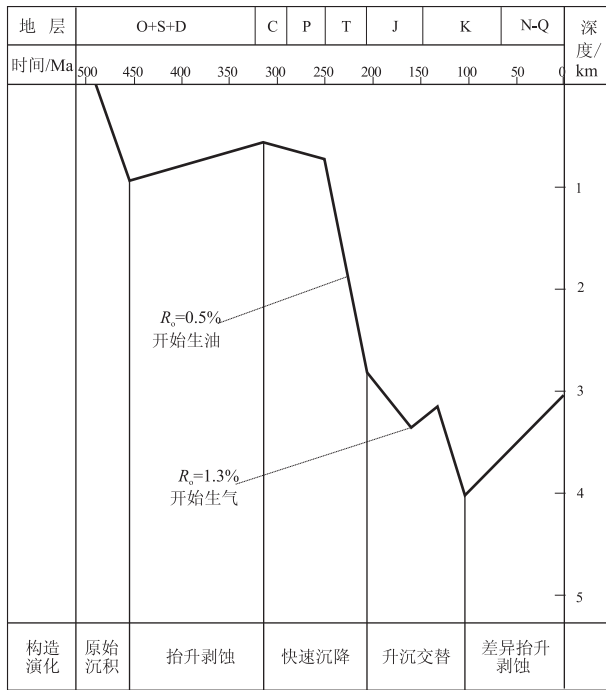


图 6 鄂尔多斯盆地南部旬探 1 井平凉组烃源岩构造与成烃演化史

Fig. 6 Evolution history of tectonic and hydrocarbon generation of Pingliang Formation source rocks of Well Xuntan 1, southern Ordos Basin

重要的作用。实践证明,盆地数值模拟改进和完善了含油气沉积盆地分析的方法,是含油气盆地定量动态分析的有效途径<sup>[23]</sup>。笔者应用德国有机地球化学研究所开发的 PetroMod 软件,对鄂尔多斯盆地南部地区旬探 1 井平凉组烃源岩的成烃演化史进行了模拟(图 6)。

模拟结果显示,旬探 1 井平凉组烃源岩总体上经历了 5 个构造演化阶段:原始沉积、抬升剥蚀、快

速沉降、升降交替和差异抬升剥蚀,与距离相近、且具有相同构造—沉积环境的永参 1 井埋藏史相似<sup>[24]</sup>。晚三叠世早期,平凉组埋深为 1 900 m 左右,成熟度  $R_o$  为 0.5%,达到 Quigley 等<sup>[25]</sup>提出的生油条件,开始生油;进入生油窗之后,随着埋深进一步增加,晚三叠世末—中侏罗世大量生油,并于中侏罗世末达到生油高峰,此时  $R_o$  为 1.3% 左右,与上述热模拟实验的结果基本吻合;同时,平凉组烃源岩也进入生气窗,且大规模生气期为中生代晚期的早白垩世,基本符合海相 I 型干酪根主生气期  $R_o$  值的范围(1.4%~2.4%)<sup>[26]</sup>。

## 5 结论

1) 鄂尔多斯盆地南部地区平凉组烃源岩厚度平面分布特点为南厚北薄,纵向上岩性组合为上部灰岩、下部泥岩,下部烃源岩有机质丰度高于上部,深水斜坡沉积的平凉组烃源岩有机质丰度明显高于碳酸盐岩台地相。

2) 鄂尔多斯盆地南部平凉组烃源岩有机质类型属于 I—II 型,并以 I 型干酪根为主,有机质类型较好。平凉组烃源岩中的海相镜质组反射率揭示,烃源岩成熟度为西低东高,现今主体处于成熟晚期—高成熟的演化阶段。综合评价认为,该地区泥岩为中等烃源岩,具有一定的天然气勘探潜力。

3) 通过 PetroMod 软件的数值模拟,并结合前人的热模拟实验结果,综合分析了鄂尔多斯盆地南部平凉组烃源岩的成烃演化史。结果表明,该地区平凉组烃源岩经历了原始沉积、抬升剥蚀、快速沉降、升降交替、差异抬升剥蚀等 5 个构造演化阶段,晚三叠世早期进入生油窗,晚三叠世末—中侏罗世大量生油,中侏罗世末达到生油高峰,大规模生气期则为中生代晚期的早白垩世。

## 参考文献:

[1] 陈孟晋, 宁宁, 胡国艺, 等. 鄂尔多斯盆地西部平凉组烃源岩特征及其影响因素[J]. 科学通报, 2007, 52(增刊 I): 78—85.  
 [2] 孙宜朴, 王传刚, 王毅, 等. 鄂尔多斯盆地中奥陶统平凉组烃源岩地球化学特征及勘探潜力[J]. 石油实验地质, 2008, 30(2): 162—168.  
 [3] 杨亮, 夏淑敏, 王代国. 鄂南台缘拗陷奥陶系烃源岩地化特征[J]. 天然气工业, 2001, 21(增刊): 56—61.  
 [4] 张传禄, 张永生, 康祺发, 等. 鄂尔多斯南部奥陶系马家沟群马六组白云岩成因[J]. 石油学报, 2001, 22(3): 22—27.  
 [5] 冯增昭, 陈继新, 张吉森. 鄂尔多斯地区早古生代岩相古地理[M]. 北京: 地质出版社, 1991.  
 [6] 张君峰, 王东良, 秦建中, 等. 青藏高原地面露头样品风化校正研究[J]. 石油实验地质, 2001, 23(3): 297—301.

- [7] 张建良,钟建华,李亚辉,等. 柴达木盆地东部石炭系石油地质条件及油气勘探前景[J]. 石油实验地质,2008,30(2):144-150.
- [8] 秦建中,金聚畅,刘宝泉. 海相不同类型烃源岩有机质丰度热演化规律[J]. 石油与天然气地质,2005,26(2):177-184.
- [9] 廖永胜. 高一过成熟气源岩评价的若干问题[J]. 石油勘探与开发,2005,32(4):147-152.
- [10] 黄志龙,钟宁宇,赵喆. 碳酸盐岩有效排烃动力条件与临界有机质丰度关系[J]. 石油勘探与开发,2005,32(6):25-28.
- [11] 周总瑛. 烃源岩演化中有机碳质量与含量变化定量分析[J]. 石油勘探与开发,2009,36(4):463-468.
- [12] 黄第藩,李晋超,张大江. 干酪根类型及其分类参数的有效性、局限性和相关性[J]. 沉积学报,1984,2(3):29-31.
- [13] 翟常博,郜建军,黄海平,等. 大巴山南侧城口油苗点油源分析[J]. 石油实验地质,2009,31(2):192-196.
- [14] 苏艾国. 干酪根碳同位素在成熟和风化过程中变化规律初探[J]. 矿物岩石地球化学通报,1999,18(2):79-84.
- [15] TEICHMULLER M, WOLF M. Application of fluorescence microscopy in coal petrology and oil exploration[J]. Journal of Microscopy, 1977,109: 49-73.
- [16] 杜佰伟,陈明. 羌塘盆地上侏罗统索瓦组烃源岩分布特征及远景分析[J]. 石油实验地质,2008,30(2):174-178.
- [17] 薛军民,高胜利,高鹏. 鄂尔多斯盆地神木地区上古生界煤储层特征及含气潜力[J]. 石油实验地质,2008,30(1):37-41.
- [18] BUCHARDT B, LEWAN M D. Reflectance of vitrinite-like macerals as a thermal maturity index for Cambrian-Ordovician Alum Shale, southern Scandinavia[J]. AAPG Bulletin, 1990,74(4):394-406.
- [19] 程顶胜,郝石生. 高过成熟烃源岩成熟度指标[J]. 石油勘探与开发,1995,22(1):25-27.
- [20] 肖贤明,吴治君,刘德汉,等. 早古生代海相烃源岩成熟度的有机岩石学评价方法[J]. 沉积学报,1995,13(2):112-119.
- [21] 曾凡刚,程克明,吴朝东. 应用海相镜质组反射率研究华北地区下古生界成熟度[J]. 地质地球化学,1998,26(3):21-24.
- [22] 王飞宇,何洋,程顶胜,等. 镜状体反射率可作为下古生界高过成熟烃源岩成熟度标尺[J]. 天然气工业,1996,16(4):14-18.
- [23] 胡宗全,朱建辉,周新科,等. 渤海湾盆地中南部上古生界生烃史与天然气勘探前景[J]. 石油与天然气地质,2008,29(3):312-319.
- [24] 叶加仁,赵鹏大,陆明德. 鄂尔多斯盆地古生界油气地质动力学研究[J]. 中国科学(D辑),2000,30(1):40-46.
- [25] QUIGLEY T M, MACKENZIE A S. The temperatures of oil and gas formation in the sub-surface[J]. Nature,1988,333:549-552.
- [26] 王云鹏,赵长毅,王兆云,等. 利用生烃动力学方法确定海相有机质的主生气期及其初步应用[J]. 石油勘探与开发,2005,32(4):153-158.

(编辑 韩 或)

- [10] 方宗杰. 评“论南海扇”:兼评大隆组地层的深水成因论[J]. 古生物学报,1989,28(6):711-723.
- [11] 徐安武,曾波夫,胡宁. 湖北建始牯牛坪二叠系岩石特征及沉积环境分析[M]//冯增昭编. 中下扬子地区二叠纪岩相古地理. 北京:地质出版社,1991:130-138.
- [12] 牛志军,段其发,徐安武,等. 论鄂西建始地区大隆组沉积环境[J]. 华南地质与矿产,1999(1):18-22.
- [13] 王宓君,包茨,李懋钧,等. 中国石油地质志(卷十):四川油气区[M]. 北京:石油工业出版社,1989.
- [14] 腾格尔,秦建中,付小东,等. 川西北地区海相油气成藏物质基础:优质烃源岩[J]. 石油实验地质,2008,30(5):478-483.
- [15] 中国石化勘探南方分公司. 中国石化勘探南方分公司2009年勘探成果与2010年勘探部署建议[R]. 成都:中国石化勘探南方分公司,2009.
- [16] 黄第藩,李晋超,张大江. 干酪根类型及其分类参数的有效性、局限性和相关性[J]. 沉积学报,1984,2(3):29-31.
- [17] TISSOT B P, WELTE D H. Petroleum Formation and Occurrence[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1984.
- [18] 秦建中,郑伦举,腾格尔,等. 海相高演化烃源岩总有机碳恢复系数研究[J]. 地球科学:中国地质大学学报,2007,32(6):853-860.
- [19] 戴金星,宋岩,张厚福. 中国大中型气田形成的主要控制因素[J]. 中国科学 D 辑,1996,26(6):481-487.
- [20] 戴金星,夏新宇,洪峰,等. 中国煤成大型气田形成的主要控制因素[J]. 科学通报,1999,44(22):2455-2464.
- [21] 马永生. 四川盆地普光超大型气田的形成机制[J]. 石油学报,2007,28(2):1-14.
- [22] 张水昌,朱光有,陈建平. 四川盆地川东北部飞仙关组高含硫化氢大型气田群气源探讨[J]. 科学通报,2007,52(增刊):82-93.
- [23] 秦建中,付小东,腾格尔. 川东北宣汉一达县地区三叠—志留系海相优质烃源岩评价[J]. 石油实验地质,2008,30(4):367-374.
- [24] 韩克猷. 川东开江古隆起大中型气田的形成及勘探目标[J]. 天然气工业,1995,15(4):1-4.
- [25] 李晓清,汪泽成,张兴为. 四川盆地古隆起特征及对天然气的控制作用[J]. 石油与天然气地质,2001,22(4):347-351.
- [26] 曾云贤,刘微,李西宁. 川东北地区飞仙关组构造演化与油气成藏研究[J]. 天然气工业,2005,25(增刊):21-23.
- [27] 饶丹,秦建中,腾格尔,等. 川西北广元地区海相层系油苗和沥青来源分析[J]. 石油实验地质,2008,30(6):596-605.

(编辑 徐文明)