

文章编号:1001-6112(2012)03-0314-05

# 准噶尔盆地东部石炭系烃源岩演化模拟

曹倩,江兴歌,朱建辉,陈拥峰

(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 214126)

**摘要:**利用 TSM 盆地模拟软件,对准噶尔盆地东部石炭系烃源岩的埋藏史、热演化史和生烃史进行分析。结果表明,研究区的沉降中心从侏罗纪到新生代存在由南向北迁移,而后又南移的跷跷板过程。南部的吉木萨尔凹陷内巴塔玛依内山组烃源岩有 2 个关键的生烃期:侏罗纪末,该烃源岩的镜质体反射率( $R_o$ )分布在 0.6% ~ 1.3% 之间,新生代中晚期之后, $R_o$  分布在 1% ~ 2% 之间;北部五彩湾凹陷内滴水泉组烃源岩的关键生烃期为白垩纪末期, $R_o$  大部分在 0.7% ~ 1.5% 之间,处于生烃高峰期;北部石钱滩凹陷石钱滩组烃源岩白垩纪末则刚进入生烃门限,演化程度低。另外,生烃强度从层位上看,滴水泉组和巴山组相对较大,可达 200 mg/g,而石钱滩组较小,最高只有 40 mg/g。

**关键词:**烃源岩演化; TSM 盆地模拟; 石炭系; 准噶尔盆地东部

**中图分类号:** TE122.1

**文献标识码:** A

## Simulation of source rock evolution in Carboniferous, eastern Junggar Basin

Cao Qian, Jiang Xingge, Zhu Jianhui, Chen Yongfeng

(Wuxi Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214126, China)

**Abstract:** The histories of bury, thermal evolution and hydrocarbon generation of Carboniferous source rocks in the east of the Junggar Basin were studied by means of the TSM basin stimulation software. It was concluded that the depocenter of the study area transferred from the south to the north and then back to the south from Jurassic to Cenozoic. In the Jimsar Sag in the south of the basin, the source rocks in the Batamayineishan Formation gave birth to hydrocarbon during 2 key periods: 1) the end of Jurassic when the  $R_o$  of source rocks ranged from 0.6% to 1.3%; 2) after the middle and late Cenozoic when the  $R_o$  of source rocks ranged from 1% to 2%. In the Wucaiwan Sag in the north of the basin, the source rocks in the Dishuiquan Formation generated hydrocarbon mainly at the end of Cretaceous when  $R_o$  ranged from 0.7% to 1.5%, indicating a large amount of hydrocarbon. In the Shiqiantan Sag in the north, the source rocks in the Shiqiantan Formation entered the threshold for hydrocarbon generation at the end of Cretaceous and the evolution degree was low. The hydrocarbon intensities of the Dishuiquan and Bashan Formations were higher, amounting to 200 mg/g, while the highest value of the Shiqiantan Formation was only 40 mg/g.

**Key words:** evolution of source rock; TSM basin stimulation; Carboniferous; eastern Junggar Basin

准噶尔盆地石炭系油气藏最早发现于盆地西北缘,近年来在盆地腹部、东部的石炭系中也发现了油气藏和含油气构造,随着中深层油气勘探的逐渐展开,准东石炭系烃源岩引起了人们的重视。根据地表露头剖面或有限的钻井岩心样品,前人对准噶尔盆地石炭系烃源岩进行过研究<sup>[1-6]</sup>,但关于烃源岩演化方面的研究却较少。有文献对滴水泉组烃源岩进行了生烃物理模拟研究<sup>[7]</sup>,但不能反映研究区石炭系烃源岩演化的整体特征。本文采用 TSM 盆地模拟软件,对准东地区不同凹陷石炭系烃源岩的演化进行了模拟,得到不同地质时期石炭系烃源岩热

演化程度和生烃强度,再现了其生烃演化过程。

## 1 地质概况

准噶尔盆地东部,北起克拉美丽山,南到博格达山,构造隶属准噶尔盆地东部隆起带(图 1)。根据侏罗系以及二叠系构造特征<sup>[8]</sup>,研究区由一系列小型凹陷和凸起组成,并以沙奇凸起为界,可分为南区和北区 2 部分:南区包括吉木萨尔凹陷、古城凹陷、木垒凹陷、北三台凸起、古西凸起和古东凸起;北区包括五彩湾凹陷、石树沟凹陷、石钱滩凹陷、梧桐窝子凹陷、纱帐断褶带和黑山凸起等。

收稿日期:2011-08-29;修订日期:2012-04-16。

作者简介:曹倩(1983—),女,硕士,工程师,从事油气成藏研究。E-mail: caoqian\_syky@sinopec.com。

基金项目:国家科技重大专项(2008ZX05002-006-002)资助。

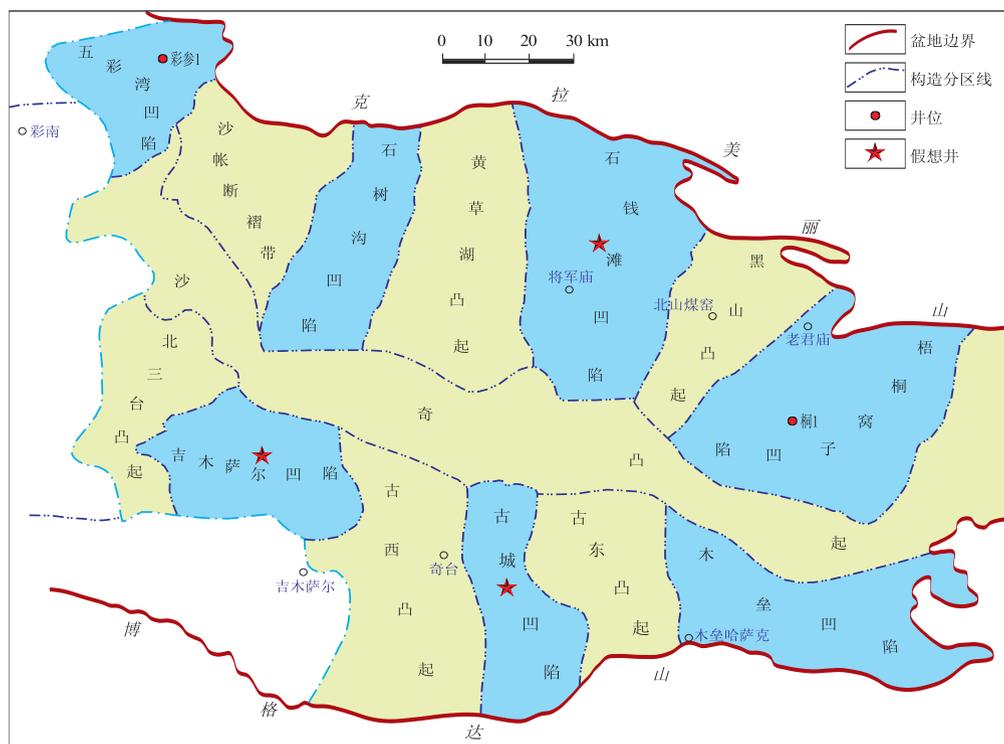


图1 准噶尔盆地东部构造纲要

Fig. 1 Structural outline of eastern Junggar Basin

准噶尔盆地的演化经历了石炭—二叠纪、三叠—侏罗纪、白垩—古近纪、新近纪等多次构造运动<sup>[9]</sup>。石炭—二叠纪,准噶尔盆地处于塌陷盆地原型阶段,此阶段是在古体制大陆会聚斜向拼贴过程中形成的<sup>[10]</sup>,它引起洋壳增生楔产生大型走滑作用,进而在残余洋壳组成的会聚带中诱发了地幔涌流和喷出,导致岩石层深部物质亏损,壳幔重力失衡,结果表壳塌落而在深水还原环境下快速补偿充填细质沉积物,提供了重要的油气源岩。三叠—侏罗纪、白垩—第三纪,准噶尔盆地经历了挤榨前渊的2期变格作用,此阶段也是准东石炭系烃源岩演化的主要时期。

准东石炭系主要为一套海陆过渡相沉积,夹沼泽相、潟湖相及火山岩相沉积,发育有海相及陆相烃源岩。烃源岩在上、中、下统均有发育,不同地区源岩的层位、厚度及岩性岩相特征亦不同:下统滴水泉组( $C_1d$ )烃源岩主要分布在滴水泉组剖面附近及五彩湾凹陷,为一套滨岸—沼泽相暗色泥岩、碳质泥岩及煤岩沉积;中统巴塔玛依内山组(以下称巴山组  $C_2b$ )烃源岩发育于彩南及五彩湾、吉木萨尔凹陷,为一套浅海—滨岸沼泽相的黑色泥岩、碳质泥岩及煤岩沉积;中上统石钱滩组( $C_{2-3sh}$ )烃源岩分布于石钱滩凹陷及北部露头区,属于浅海相暗色泥岩沉积。

## 2 盆地模拟

本次模拟采用中国石化无锡石油地质研究所开发的TSM盆地模拟软件,此软件以朱夏先生提出的TSM盆地分析为理论基础。模拟方法首先从“盆地是原型的组合”这一基本概念出发,建立合理的地质模型,由此选定相应的沉降模块和热模块,进而根据各个模块数学模型的计算,建立构造—热体制的变化引起盆地形成的地质作用(S)与油气响应(M)之间的动态关系<sup>[10-13]</sup>。具体的模拟过程是从埋藏史、热史、生烃史和运聚史4个方面进行模拟。前两者是对盆地形成的地质作用的模拟,后两者是对地质作用控制下的油气系统动态反应的模拟。本次研究主要完成了研究区埋藏史、热史及生烃史3方面的工作。埋藏史主要恢复了盆地的沉降史、沉积史,是整个模拟工作的基础;热史主要重建了研究区的古热流和古地温史,是影响模拟烃类成熟度的重要因素;模拟生烃史可以认识烃类生成的过程。

### 2.1 方法原理及参数选取

石炭纪以来,准噶尔盆地经历了复杂的演化过程,是多个盆地原型叠加的结果。但准东地区勘探程度太低,研究区没有一口井钻穿研究目的层,缺乏地震资料和完整的构造等值线图,导致无法建

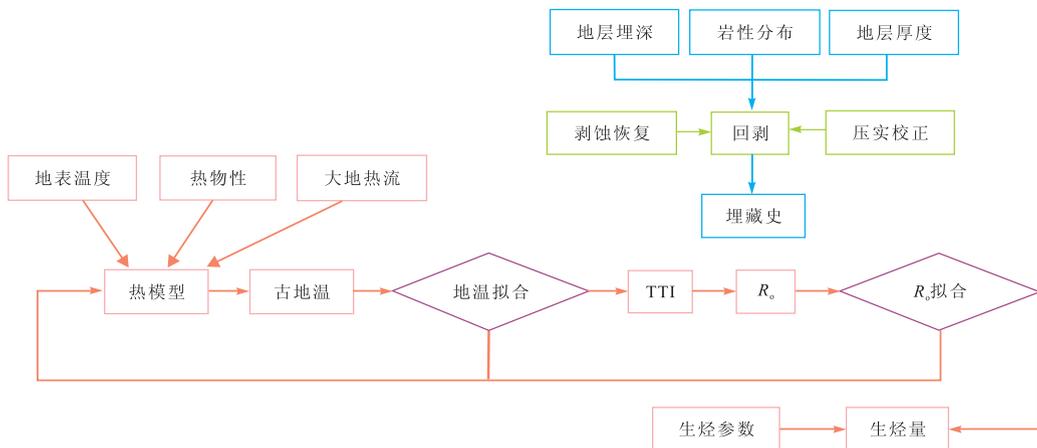


图 2 烃源岩演化模拟流程示意

Fig.2 Flow chart of source rock evolution

立完全反映复杂地质特征的原型模型,只能把地质模型简化为只考虑垂向升降变化的一维模拟模型,忽略其侧向挠曲的运动学特征。

基于上述模型,埋藏史的恢复采用了回剥法(图 2),考虑地层的剥蚀厚度和压实系数来恢复地层原始的沉积状态,所涉及的参数包括:现今地层埋深、剥蚀厚度、孔隙度随深度的变化等。准东地区对石炭系烃源岩的演化有重要影响的不整合面包括:二叠系顶界、三叠系顶界、侏罗系顶界、白垩系顶界。剥蚀厚度的恢复数据采用了刘震(1999)的研究结果。孔隙度随深度的变化关系,利用收集数据<sup>[14-15]</sup>统计分析得到,并充分考虑了砂、泥岩的差异性(图 3)。

在恢复埋藏史的基础上,根据大地热流值随时间变化计算古地温场的演化,再根据温度场计算时

间与温度并求取 TTI,从而进一步得到成熟度(图 2)。输入相应的参数模拟烃源岩的热演化、生烃史;参数包括:地表温度、大地热流、岩石物理参数及烃源岩的厚度及分布等。

### 2.2 模拟结果分析

利用上述方法,恢复了石炭系烃源岩的动态演化过程,可以给出地质历史上不同时期、不同地区、不同层位烃源岩的热演化程度、生烃强度。

#### 2.2.1 埋藏史分析

为了能够反映准东石炭系烃源岩演化在区域上和层位上的差异性,分别选取了吉木萨尔凹陷、石钱滩凹陷、古城凹陷中接近凹陷中心的假想井和五彩湾凹陷彩参 1 井(图 1),绘制了其埋藏史、热史演化图,进行对比研究。

南部的假想井位于吉木萨尔凹陷和古城凹陷中。从吉木萨尔凹陷假想井埋藏史、热史演化图看出(图 4a),从石炭纪到侏罗纪,研究区整体处于持续沉降阶段,三叠纪略有抬升,侏罗纪末埋深迅速增大超过 6 000 m;之后盆地沉降几乎停滞,直到新生代中晚期又快速沉降,石炭系埋深达到最大。古城凹陷中的假想井与吉木萨尔凹陷中的演化过程相似(图 4b),但是凹陷整体沉降小,地层的埋深相对较浅。

北部的井位于石钱滩凹陷和五彩湾凹陷。这 2 口井的埋藏史特征(图 4c, d)与南部的不同之处在于白垩纪凹陷出现明显的沉降,白垩纪末期却又抬升至今。从上述分析看出,准东的沉降中心从侏罗纪到新生代存在由南向北迁移,而后再南移的跷跷板过程。

除了上述分析的准东南北区域在埋藏史上的差异,在东西 2 区域也存在不同。对比石钱滩凹陷、

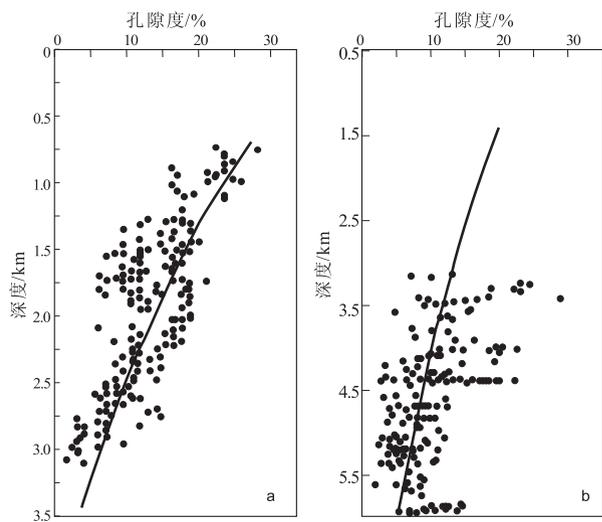


图 3 准噶尔盆地岩石孔隙度随深度的变化曲线  
a. 泥岩(据刘震<sup>[14]</sup>修改); b. 砂岩(据孟闲龙<sup>[15]</sup>修改)。  
Fig.3 Rock porosity vs. depth, Junggar Basin

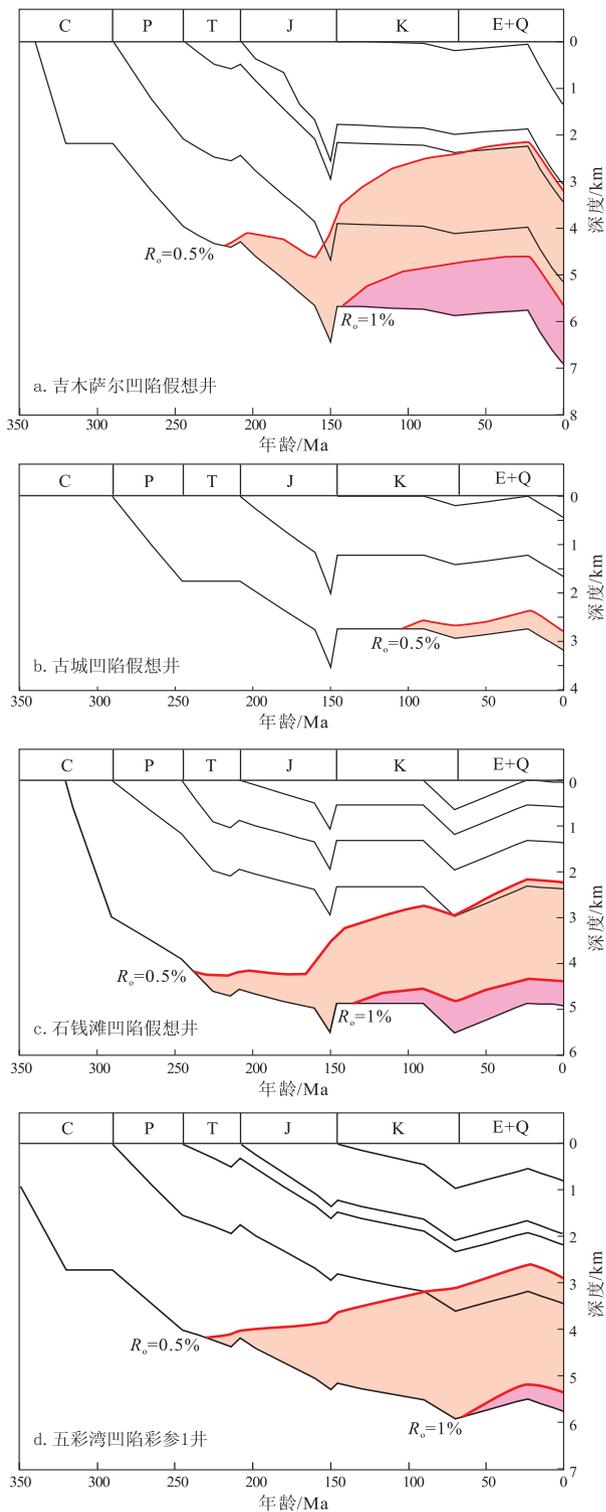


图4 准噶尔盆地东部各凹陷单井埋藏史、热史演化

Fig.4 Burial and thermal history evolution of single well in different sags, eastern Junggar Basin

古城凹陷和吉木萨尔凹陷可以看出,石炭纪之后,东部的沉降幅度一直要小于西部。

2.2.2 成熟度史分析

从4口井的埋藏史、热史的演化图(图4)可以看出,石炭系烃源岩在三叠纪初  $R_o$  达到0.5%,之

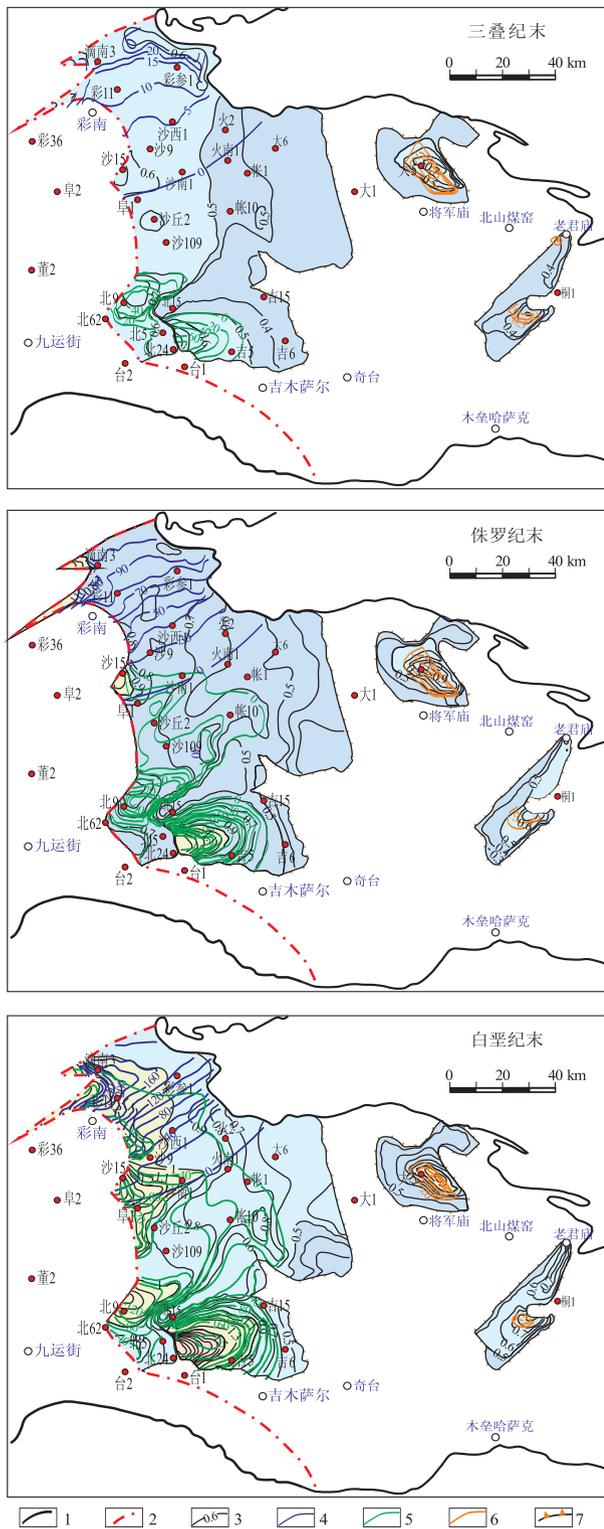


图5 准噶尔盆地东部石炭系烃源岩成熟度及生烃强度演化序列

- 1. 盆地边界;2. 一级构造分区线;3. 烃源岩镜质体反射率等值线;
- 4. 滴水泉组生烃强度  $10^4 \text{ t/km}^2$ ;5. 巴塔玛依山山组生烃强度  $10^4 \text{ t/km}^2$ ;
- 6. 石钱滩组生烃强度  $10^4 \text{ t/km}^2$ ;7. 烃源岩边界

Fig.5 Contour of  $R_o$  and hydrocarbon synthesis intensity of Carboniferous source rocks, eastern Junggar Basin

后烃源岩的成熟度史出现了分异。以吉木萨尔凹陷为代表的南部有2个重要的生烃期(图5):1) 侏罗

纪末,整个凹陷的烃源岩  $R_o$  主要分布在 0.6% ~ 1.3% 之间,处于生烃高峰阶段;2) 新生代中晚期,石炭系在经历抬升之后,迅速沉降埋深达到最深,整个凹陷烃源岩  $R_o$  分布在 1% ~ 2% 之间,深凹处已超过生烃高峰,以生气为主。在石钱滩和五彩湾凹陷为代表的北部地区,滴水泉组烃源岩的重要生烃期为白垩纪末期,烃源岩  $R_o$  在 0.7% ~ 1.5% 之间(图 5),处于生烃高峰期。虽然石钱滩组烃源岩在白垩纪末演化程度达到最大,但仍是刚进入生烃门限,成熟度远低于滴水泉组。

### 2.2.3 生烃强度史分析

从石炭系烃源岩的生烃强度来看(图 5),烃源岩的生烃强度随埋深增加和时间推移而增强,白垩纪末期达到最大。总体来看,滴水泉组和巴山组生烃能力较强,最大达到 200 mg/g;而滴水泉组较低,最高只有 40 mg/g。这主要是由于石钱滩组演化程度低造成的。

## 3 讨论与结论

盆地模拟第一步就是要建立合理的地质模型,然后把地质模型转换为数学模型。在这一阶段,本次研究由于研究区勘探程度低、资料缺乏,不能满足精确地质建模的需要,只能把地质模型加以简化。另外模拟过程对中石炭世的火山作用也未加考虑。但是,盆地模拟本身就是利用预测去认识油气的分布规律,这是一个反复的过程,面对模拟对象,在资料缺乏的情况下,只能简化地质模型。随着实际勘探研究进行得到的反馈信息,才能考虑更多的影响因素,建立更合理的地质模型进行模拟,再指导勘探。

对准东石炭系烃源岩的埋藏史、热演化史和生烃史的模拟分析表明,石炭系烃源岩演化存在显著的区域性的差异。研究区东部吉木萨尔凹陷的巴山组存在 2 个生烃关键时期,即侏罗纪末和新生代中晚期,演化程度较高,现今大部分处于生烃高峰阶段,深凹处已过高峰。五彩湾凹陷的滴水泉组烃

源岩生烃关键时期为白垩纪末期,大部分烃源岩进入生烃高峰,而石钱滩凹陷的石钱滩组烃源岩演化程度最低,大部分刚刚进入生烃门限。从生烃强度看,滴水泉组和巴山组明显好于石钱滩组。总的来说五彩湾凹陷的滴水泉组和吉木萨尔凹陷的巴山组烃源岩的生烃能力优于石钱滩组。

### 参考文献:

- [1] 石昕,王绪龙,张霞,等. 准噶尔盆地石炭系烃源岩分布及地球化学特征[J]. 中国石油勘探,2005(1):34-39.
- [2] 余腾孝,曹自成,徐勤琪,等. 准噶尔盆地北部古生代构造演化与石炭系烃源岩[J]. 石油与天然气地质,2010,31(1):91-97.
- [3] 徐兴友. 准噶尔盆地东部克拉美丽地区石炭系烃源岩研究[J]. 油气地质与采收率,2005,12(1):38-41.
- [4] 靳军,张朝军,刘洛夫,等. 准噶尔盆地石炭系构造沉积环境与生烃潜力[J]. 新疆石油地质,2009,30(2):211-214.
- [5] 达江,胡咏,赵孟军,等. 准噶尔盆地克拉美丽气田油气源特征及藏藏分析[J]. 石油与天然气地质,2010,31(2):187-192.
- [6] 国建英,李志明. 准噶尔盆地石炭系烃源岩特征及气源分析[J]. 石油实验地质,2009,31(3):275-281.
- [7] 徐兴友,朱日房,王岫岩. 准噶尔盆地准东滴水泉组烃源岩生烃物理模拟研究[J]. 大庆石油地质与开发,2003,22(4):9-11.
- [8] 韩晓黎,阿依古丽,伍菁华,等. 准噶尔盆地东部边缘区构造格架及构造样式[J]. 新疆石油地质,2001,22(3):202-205.
- [9] 徐旭辉,高长林,江兴歌. 中国含油气盆地动态分析概论[M]. 北京:石油工业出版社,2009.
- [10] 张渝昌. 动态的盆地和石油:从盆地原型系统的组合例解油气的形成与分布[M]. 北京:石油工业出版社,2010.
- [11] 徐旭辉,江兴歌,朱建辉. TSM 盆地模拟:在苏北溱潼凹陷的应用[M]. 北京:地质出版社,1997.
- [12] 徐旭辉,朱建辉,金晓辉. 中国海相残留盆地油气资源潜力评价技术探索[J]. 石油与天然气地质,2010,31(6):865-870.
- [13] 朱建辉,胡宗全,吕剑虹,等. 渤海湾盆地济阳、临清坳陷上古生界烃源岩生烃史分析[J]. 石油实验地质,2010,32(1):58-63.
- [14] 刘震,邵新军,金博. 压实过程中埋深和时间对碎屑岩孔隙度演化的共同影响[J]. 现代地质,2007,21(1):125-132.
- [15] 孟闲龙. 从成岩演化探讨准噶尔盆地腹部区块优质储层的分布规律[J]. 中国西部油气地质,2005,1(1):51-54.

(编辑 徐文明)