

文章编号: 1001-6112(2011)05-0468-06

# 成烃成藏定量研究及在泌阳凹陷的应用

谈彩萍<sup>1</sup>, 陈拥锋<sup>1</sup>, 江兴歌<sup>1</sup>, 罗家群<sup>2</sup>, 朱景修<sup>2</sup>, 程建<sup>1</sup>, 王宜芳<sup>1</sup>, 樊云鹤<sup>1</sup>

(1. 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;

2. 中国石油化工股份有限公司 河南油田分公司, 河南 南阳 473132)

**摘要:**石油生成后最初储存在烃源岩(泥质岩)的孔隙空间中,即烃源岩孔隙体积控制烃源岩的生油总量,当石油从烃源岩孔隙体积中排出后,在上覆岩层压实作用下,烃源岩(泥质岩)的孔隙体积将减少排出石油的相应体积,通过计算烃源岩孔隙体积及其变量可以定量计算烃源岩的生、排油量。上覆岩层的剥蚀,会引起岩层有效上覆压力发生变化,由于砂岩具有弹性特征,有效上覆压力的减小必然会引起砂岩回弹,砂岩回弹增加的孔隙度不仅使地层孔隙流体压力降低,为石油运移提供动力,而且为石油聚集成藏提供了有利的储集空间。此方法在泌阳凹陷的应用表明,核桃园组到廖庄组沉积末为持续沉降加载增压的主要生油期,主要生油层段的生油量和总生油量均在50%以上;廖庄剥蚀期卸载所产生的砂岩回弹量及减压较大的桂岸、双河、侯庄、王集等地区是石油成藏主要有利区。

**关键词:** 烃源岩; 孔隙体积; 流体压力; 砂岩回弹; 泌阳凹陷; 南襄盆地

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

## Application of quantitative examination of petroleum generation and accumulation in Biyang Sag, Nanxiang Basin

Tan Caiping<sup>1</sup>, Chen Yongfeng<sup>1</sup>, Jiang Xingge<sup>1</sup>, Luo Jiaquan<sup>2</sup>,  
Zhu Jingxiu<sup>2</sup>, Cheng Jian<sup>1</sup>, Wang Yifang<sup>1</sup>, Fan Yunhe<sup>1</sup>

(1. *Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214151, China;*

2. *He'nan Oilfield Branch Company, SINOPEC, Nanyang, He'nan 473132, China*)

**Abstract:** Petroleum was reserved in pores of source rocks (usually mudstones) after generation. The pore volume of source rock controlled the total amount of hydrocarbon generation. When petroleum had moved out from source rock, the pore volume of source rock decreased due to the compaction of overlying strata, and the decrease amount was equal to the petroleum expelling amount. In this way, we can calculate the total pore volume and the decrease amount so as to find out the generation and expelling amounts of petroleum. If the overlying strata were eroded, sandstones would rebound since pressure had changed. Pore increases resulted from sandstone rebounding caused the decrease of formation fluid pressure, providing both driving force and room for petroleum migration and accumulation. Case studies in the Biyang Sag have indicated that, from Hetaoyuan Formation to the end of Liaozhuang Formation, the sag kept subsiding and pressure increased. Petroleum mainly generated during this stage, accounting for over 50%. The regions such as Guian, Shuanghe, Houzhuang and Wangji are main accumulation locations, where sandstone rebounding amount and pressure decrease resulted from erosions during Liaozhuang stage are bigger.

**Key words:** source rock; pore volume; fluid pressure; sandstone rebounding; Biyang Sag; Nanxiang Basin

本文旨在从生、排油过程是一个物理、化学作用过程的角度,采用充分考虑烃源岩(泥质岩)提供其生成石油所能容纳空间的有限空间生、排油定量计算方法,计算泌阳凹陷主要烃源岩的生、排油量。根据廖庄剥蚀期剥蚀卸载引起的砂岩回弹量、地层孔隙流体古压力场变化与实际勘探成果的关联性

分析,预测石油聚集成藏有利区。

## 1 成烃成藏定量研究

### 1.1 有限空间生、排油量定量计算方法

石油是含油气盆地在长期的石油地质演化过程中形成的,是一个物理、化学作用过程,物理、化

收稿日期: 2011-06-20; 修订日期: 2011-10-08。

作者简介: 谈彩萍(1962—),女,高级工程师,从事石油地质研究工作。E-mail: tan cp. syky@sinopec.com。

基金项目: 中国石油化工股份有限公司科技开发部项目(P08060)资助。

学作用过程一定受到空间、时间、温度、压力等约束。关德范等认为,干酪根热降解生成的石油储存在烃源岩(泥质岩)的孔隙空间中,它受烃源岩(泥质岩)的孔隙空间限制,理论上干酪根热降解生油所具有的最大“可容纳空间”就是烃源岩(泥质岩)的孔隙空间,也就是烃源岩生油是在有限空间中进行的<sup>[1-2]</sup>。因此,对含油气盆地石油资源的定量研究,必须按含油气盆地的石油地质演化过程来进行动态的系统研究,特别要认识到烃源岩孔隙体积控制烃源岩的生油总量。郑伦举等通过成烃温压条件下水—油互溶性的实验研究表明,成烃温压条件下的水具有近临界特性,石油可以溶于近临界水中,即烃源岩生成的石油是以油溶液的形式存在于烃源岩的孔隙中。因此,通过烃源岩孔隙体积及其含油度等,可以定量计算烃源岩的生油量。

石油从烃源岩孔隙体积中排出后,在上覆岩层压实作用下,塑性烃源岩(泥质岩)的孔隙体积将减少排出石油的相应体积。因此,通过盆地整体抬升前后的烃源岩孔隙体积的变小量等可以定量计算烃源岩的排油量。

根据上述有限空间成烃基本思维,烃源岩生油量的定量计算公式如下:

$$Q_{\text{生}} = \int H \cdot S \cdot \varphi \cdot S_0 \cdot r \quad (1)$$

式中: $Q_{\text{生}}$ 为生油总量; $H$ 为烃源岩层厚度; $S$ 为烃源岩层面积; $\varphi$ 为烃源岩孔隙度; $S_0$ 为烃源岩含油度; $r$ 为原油密度。

以这种方法计算的生油量为基础,只要用 $R$ 。等于进入成熟阶段时的烃源岩排油前孔隙体积与排油后孔隙体积之差乘以排出液含油度,可以定量计算烃源岩排出的石油量。

烃源岩排油量的定量计算公式如下:

$$Q_{\text{排}} = \int H \cdot S \cdot \Delta\varphi \cdot S_{\text{排}} \cdot r \quad (2)$$

式中: $Q_{\text{排}}$ 为排出油总量; $H$ 为烃源岩层厚度; $S$ 为烃源岩层面积; $\Delta\varphi$ 为烃源岩排油前孔隙度与排油后孔隙度之差; $S_{\text{排}}$ 为排出液含油度; $r$ 为原油密度。

## 1.2 剥蚀前后压力差的计算

关德范等的研究认为,上覆岩层的剥蚀,会引起岩层有效上覆压力减小,同时减小岩层内的流体压力,由于砂岩具有弹性特征,有效上覆压力的减小必然会引起砂岩回弹,砂岩回弹会增加其孔隙体积从而进一步减小岩层内的流体压力,而盆地不同地区存在岩性发育差异、剥蚀量差异、岩石弹性差异等,

这些差异必然会造成盆地内流体压力场有较大变化,打破原来相对平稳的流体压力场,诱发启动岩层内的流体发生运移。通常烃源岩发育的深凹区剥蚀量小,砂岩发育的斜坡区剥蚀量大,大量的剥蚀使下部砂岩因卸载而产生较大的回弹量。这种剥蚀量和砂岩回弹量的差异造成烃源岩区成为相对高压区,砂岩发育区成为相对低压区,使得高压区烃源岩内的原油向低压的砂岩区运移聚集成藏<sup>[1-5]</sup>。

上覆岩层剥蚀、有效压力降低而引起砂岩回弹,砂岩回弹属于砂岩弹性特征的体现,可以根据上覆岩层的剥蚀量和砂岩的弹性特征等定量计算砂岩回弹量。因此,可通过上覆岩层剥蚀量和砂岩回弹量等定量计算剥蚀前后的压力差。

从理论上分析,只要烃源岩有足够的油排出,而且有足够的压差能使油运移到储集岩,那么这些储集岩只要具有良好盖层均能成藏。

## 2 在泌阳凹陷的应用

泌阳凹陷位于河南省南部唐河与泌阳县之间,属于我国东部的第三系沉积凹陷,是一个以“小而肥”著称的富油凹陷,展布面积达 970 km<sup>2</sup>;其主要的生、储油层段为核桃园组,该组厚度逾 3 000 m;已发现 9 个油田,石油储量集中分布在核桃园组,尤以核三段为主<sup>[6-12]</sup>。

### 2.1 泌阳凹陷的石油地质演化阶段

泌阳凹陷内主要沉积了第三系、第四系,其中古近系自下向上由玉皇顶组、大仓房组、核桃园组、廖庄组组成;新近系为凤凰镇组,第四系为平原组。其中核桃园组自上而下分为核一段、核二段和核三段 3 个段,核三段又可分为 8 个亚段。核桃园组沉积时期是凹陷的主要断陷期,深凹区既是沉降中心,也是沉积中心,沉积速率较高,大于 200 m/Ma;沉积环境为深湖相、滨—浅湖相、扇三角洲—三角洲相和河流相,持续沉积了一套巨厚的生油岩系,最厚达 3 000 余 m,其中烃源岩厚度最大可达 1 900 m,有机质丰度高,大部分在 1%~4%,最高大于 10%,平均 1.8%,有机质类型以 I, II a 型为主,属于较好到极好烃源岩;地温梯度相对较高,大于 4 °C/hm。古近纪末期由于喜山运动的影响,凹陷整体上升遭受剥蚀,采用米氏旋回地层学方法计算的剥蚀量,在沉积中心地区,仅廖庄组遭到剥蚀,凹陷东南部安棚一带剥蚀量小于 100 m;向凹陷西、西北以及北部边缘方向逐渐增大,至廖庄组缺失线附近,剥蚀厚度在 650 m 以上;凹陷边缘附近,核桃园组也遭到剥蚀,核桃园组的剥蚀厚度主要介于 4.1~

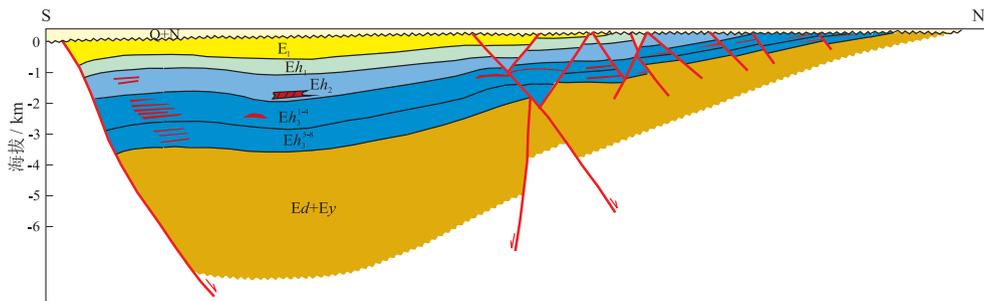


图 1 南襄盆地泌阳凹陷南北向剖面  
资料来自河南油田分公司。

Fig. 1 NS oriented geologic profile of Biyang Sag, Nanxiang Basin

666.5 m,总剥蚀量在 1 000 m 以上。新近纪凹陷进入了大面积的拗陷型沉积时期,沉积了 50~300 m 厚的岩层(图 1)。

泌阳凹陷廖庄组沉积末,其主要烃源层  $R_0$  基本都大于 0.8% (图 2),生油高峰期早,埋深相对较浅,烃源岩的孔隙度较大,烃源岩孔隙中可容纳的油量相对较多,因此持续沉积过程为持续沉降加载增压的成烃阶段。根据有限空间生油模式计算的生油量,此阶段各主要烃源层的生油量和总生油量均在 50% 以上(图 3),表明这阶段为主要生油期。

泌阳凹陷整体抬升阶段廖庄剥蚀期的剥蚀量有较大差异。烃源岩发育的深凹区剥蚀量小,最小剥蚀量小于 9 m;砂岩发育的斜坡区剥蚀量大,最大剥蚀量大于 1 570 m,大量的剥蚀使下部砂岩因卸载而产生较大的回弹量。剥蚀量和砂岩回弹量的差异造成烃源岩区成为相对高压区,砂岩发育区成为相对低压区,这种压力差异诱发高压区烃源岩内的原油向低压的砂岩区运移聚集成藏。根据有限空间排油模式计算的排油量,整体上升阶段主要生油层段的排油量和总排油量均在 50% 以上,核三 8,核三 7,核三 6,核三 5,核三 4 的排油量占其总排油量分别为 83.92%,85.78%,80.93%,73.4%,59.59%,表明这阶段为主要排油成藏期;核三 3,核三 2,核三 1,核二段分别为 44.39%,43.5%,25.79%,14.4%。

泌阳凹陷凤凰镇组沉积期是一个全凹陷相对比较均匀的沉积过程,其压力场特征继承了廖庄剥蚀期末的特征,这个时期烃源岩上覆岩层增加了近 50~300 m,烃源岩上覆岩层的增加使烃源岩进一步受到压实,排出的石油继续向廖庄剥蚀期形成的储集岩低压区运移聚集成藏。有限空间排油模式计算的排油量占总排油量的 31.63%,凤凰镇组沉积期至今为盆地全面萎缩、压力调整、石油成藏定型阶段。

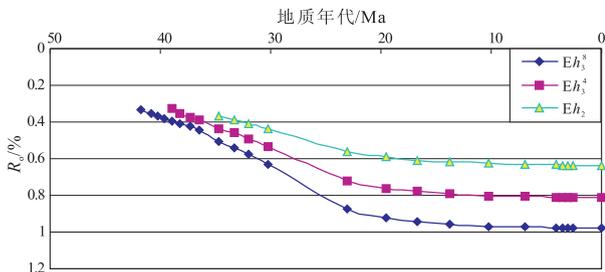


图 2 南襄盆地泌阳凹陷主要生油岩热演化史

Fig. 2 Thermal evolution history of main source rock in Biyang Sag, Nanxiang Basin

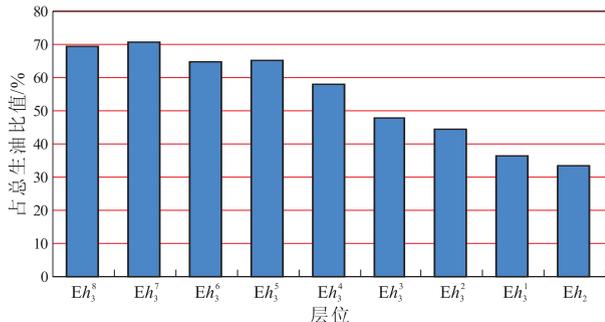


图 3 南襄盆地泌阳凹陷持续沉降末(23.03 Ma)各源岩生油量占其生油总量之比

Fig. 3 Petroleum generation amount at the end of subsidence (23.03 Ma) vs. total amount, Biyang Sag, Nanxiang Basin

泌阳凹陷新生界的演化反映,其石油地质演化阶段及特征(表 1)为:核桃园组到廖庄组沉积末是持续沉降的发育阶段,沉积了凹陷内的主要烃源岩系,实现了沉降沉积、沉积加载、加载增压、深埋加热、加热成油的过程;廖庄组沉积末(23.03 Ma)至凤凰镇组沉积前是整体上升遭受剥蚀的发展阶段,实现了上升剥蚀、剥蚀卸载、卸载减压、砂岩回弹、砂泥岩间形成压力差、压力差(能量释放)诱导烃源岩排油—运移—聚集成藏的过程;凤凰镇组至第四系平原组沉积期是全面萎缩的发展阶段,实现了沉降沉积、压力调整(能量调整)、排油—运移—成藏

表1 南襄盆地泌阳凹陷石油地质演化阶段及特征

Table 1 Petroleum geologic evolution stages and features in Biyang Sag, Nanxiang Basin

系	统	组	段	代号	厚度/m	地质作用	石油响应	演化阶段
第四系	全新统	平原组		Qp				
新近系	上新统一中新统	凤凰镇组		Nf	50~300	凤凰镇组、第四系沉积期沉降沉积压力调整(能量调整)	排油、运移、成藏定型	全面萎缩
						廖庄期末整体抬升剥蚀、卸载、减压、砂岩回弹(能量释放)	诱导排烃运移、聚集成藏	整体上升
古近系	渐新统	廖庄组		El	50~700			
	始新统一古新统	核桃园组	核一段	Eh <sub>1</sub>	200~600			
			核二段	Eh <sub>2</sub>	450~900			
			核三1-8亚段	Eh <sub>3</sub> <sup>1-8</sup>	530~2 000	沉降沉积、沉积加载、加载增压增热(能量积聚)	实现成油	持续沉降
	古新统一始新统	大仓房组		Ed	300~1 000			
	玉皇顶组		Ey	2 000~3 000				

定型的过程。

### 2.2 泌阳凹陷成藏过程综合分析

石油成藏是一个受多因素控制的复杂过程,在油源充足时,其主要受剥蚀减压提供运移所需的压力差,砂岩回弹造成局部低或负压的抽吸诱导成藏并提供储集空间。

泌阳凹陷碎屑物刚沉积时,具有40%以上的原生孔隙,随着埋深加大,上覆压力增高,原生孔隙被逐渐压缩,随着埋深的进一步增加,砂岩逐渐进入变形阶段,弹性能逐渐减小。其特性与同属于我国中东部的东营凹陷的发育、沉积物的形成和成岩都较相似,所以,本次采用东营凹陷的砂岩实测回弹图版(图4)来计算泌阳凹陷的砂岩回弹量。

泌阳凹陷的砂岩回弹量计算结果表明,廖庄剥

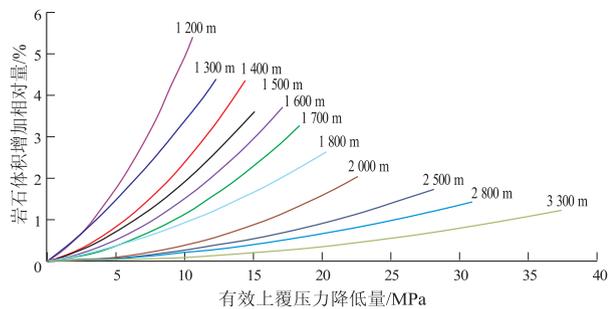


图4 砂岩回弹体积增加量与有效压力降低量关系经验图版  
Fig. 4 Relationship between sandstone rebounding amount increase and effective pressure decrease

蚀期卸载所产生的砂岩回弹量最大的桂岸地区达60余m,最小的安棚地区近1m(图5)。砂岩回弹增加的孔隙度不仅使地层孔隙流体压力降低,为石

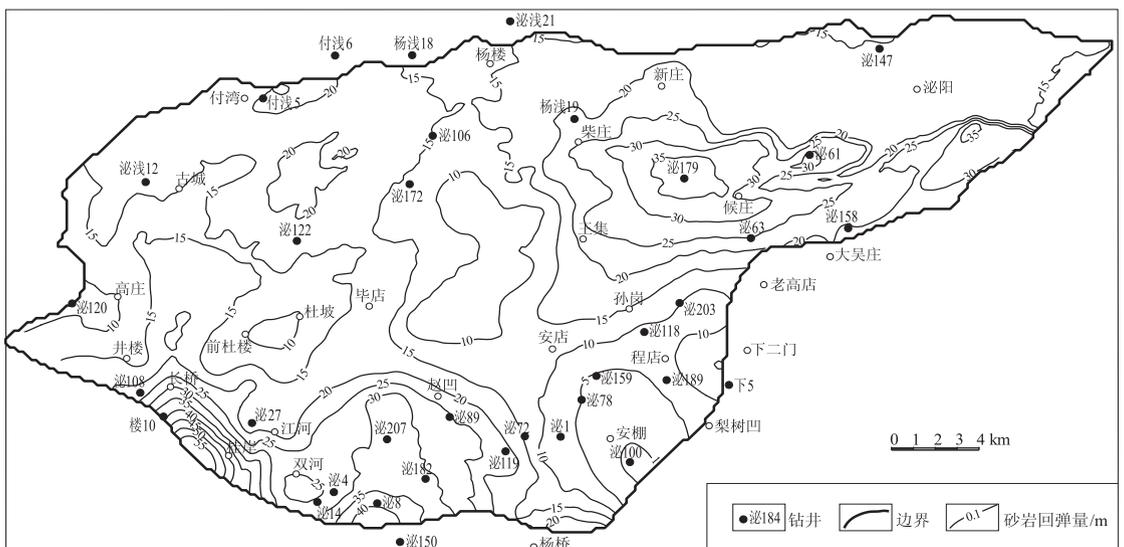


图5 南襄盆地泌阳凹陷砂岩总回弹量

Fig. 5 Total amount of sandstone rebounding in Biyang Sag, Nanxiang Basin



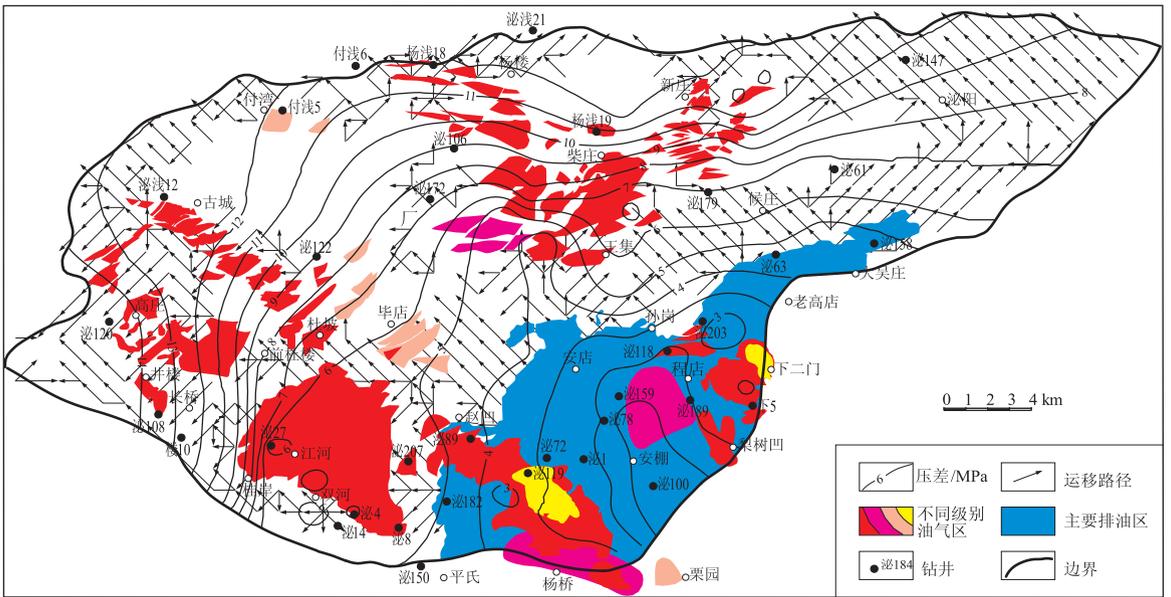


图8 南襄盆地泌阳凹陷廖庄剥蚀前后压差、运移路径与油藏分布

Fig. 8 Pressure differential, migration pathway and reservoir distribution before and after denudation during Liaoziang stage, Biyang Sag, Nanxiang Basin

集等油田,且深凹区排出的油主要往东北和西北方向运移成藏。桂岸、双河、侯庄、王集等地区是石油成藏主要有利区。

### 3 结论

1) 烃源岩随着埋深、地温增加,烃源岩中的有机物成熟度( $R_o$ )增加,当 $R_o$ 达到成熟时开始生成石油储存于烃源岩(泥质岩)的孔隙空间中,但随着埋深的增加烃源岩(泥质岩)的孔隙度会不断减小,即可生成石油储存的空间在不断变小。因此,如果有足够的有机碳,烃源岩成熟得越早,其埋深越浅,孔隙度越大,可供生成石油储存的空间越大,也就是可生成的石油量越大。泌阳凹陷烃源岩有机质丰富,成熟深度较浅,因此,其生油强度高,是我国东部著名的第三系小而肥的富油凹陷。

2) 控制石油运移成藏的主要因素有:上覆岩层剥蚀量及沉积量的差异引起的各区间的压力差;上覆岩层剥蚀引起的砂岩回弹产生的抽吸力;储集空间主要以砂岩回弹增加的空间为主。只要剥蚀期前后压力差大、砂岩回弹量大的地层上覆具有有效盖层并形成有利圈闭就是有利的石油成藏区。据此预测了泌阳凹陷的石油勘探有利区,廖庄剥蚀期卸载所产生的砂岩回弹量及减压较大的桂岸、双河、侯庄、王集等地区是石油成藏主要有利区。

### 参考文献:

- [1] 关德范,王国力,张金功,等. 成烃成藏理论新思维[J]. 石油实验地质,2005,27(5):425-431.
- [2] 关德范,徐旭辉,李志明,等. 成烃成藏理论思维与有限空间生烃模式[J]. 石油与天然气地质,2008,29(6):709-715.
- [3] 谈彩萍,江兴歌,陈拥锋,等. 石油运移成藏有利区预测方法研究:以渤海湾盆地东营凹陷为例[J]. 石油实验地质,2008,30(6):629-635.
- [4] 李志明,关德范,徐旭辉,等. 有效泥质油源岩有机碳丰度评价标准研究:以东营凹陷为例[J]. 石油实验地质,2009,31(4):379-383.
- [5] 姜振学,庞雄奇,金之钧,等. 地层抬升过程中的砂体回弹作用及其油气成藏效应[J]. 地球科学——中国地质大学学报,2004,29(4):420-426.
- [6] 蔡佳,罗家群,甘华军,等. 南襄盆地泌阳凹陷隐蔽油气藏模式与富集规律[J]. 石油实验地质,2009,31(3):244-248.
- [7] 邱荣华,林社卿,涂阳发. 泌阳凹陷油气成藏特征及勘探潜力分析[J]. 石油天然气学报,2005,27(2):158-161.
- [8] 林社卿,李连生,白振瑞,等. 泌阳凹陷复杂断块群油藏特征及勘探技术[J]. 河南石油,2002,16(3):12-14.
- [9] 秦伟军,林社卿,程哲,等. 南襄盆地泌阳凹陷油气成藏作用及成藏模式[J]. 石油与天然气地质,2005,26(5):668-673.
- [10] 夏东领,尹伟,李治. 南襄盆地泌阳凹陷南部陡坡带油气成藏过程分析[J]. 石油实验地质,2010,32(3):247-251.
- [11] 尹伟,吴胜和,林社卿,等. 双河油田油气成藏机理研究[J]. 石油学报,2003,34(5):40-45.
- [12] 秦伟军. 泌阳凹陷大型构造—岩性复合油藏的成藏要素[J]. 石油与天然气地质,2004,25(4):433-436.

(编辑 徐文明)