

文章编号: 1001-6112(2010)06-0527-05

# 华北古生界油气保存条件分析

杨帆, 周小进, 倪春华, 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:**以华北中生代构造演化对古生界油气保存的区域控制作用为研究重点, 除分析了古生界自身发育的盖层条件外, 着重分析了中生代盆地叠加所构成的上覆直接盖层、区域盖层以及整体封存条件。研究认为, 古生界的油气保存总体具有西部好于东部、下古好于上古、北华北好于南华北的特点, 本溪组、石盒子组是古生界内部主要区域盖层, 东部古近系和西部广布的三叠系为古生界后期油气保存提供了区域封盖条件, 同时圈闭条件是造成东西部油气保存差异的重要因素, 鄂尔多斯盆地腹部和东部断陷深凹—内斜坡区是油气保存的有利单元。

**关键词:**盖层; 构造演化; 油气保存; 古生界; 华北

**中图分类号:** TE122.3<sup>+</sup>4

**文献标识码:** A

## ANALYSIS OF PALEOZOIC RESERVOIR PRESERVATION IN THE NORTH CHINA

Yang Fan, Zhou Xiaojin, Ni Chunhua, Liu Yunli

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

**Abstract:** This paper mainly studied the regional controlling effect of Meso—Cenozoic tectonic evolution to the Paleozoic reservoir preservation in the North China. Beside the analysis of the condition of Paleozoic seal rocks, this paper mainly analyzed conditions of overlying direct cap rocks, regional cap rocks and the overall sealing composed by Meso—Cenozoic basins superposition. The results show that the hydrocarbon preservation was better in the west than in the east, better in Lower Paleozoic than in the Upper Paleozoic, and better in the northern part of North China than in the southern part of North China. Benxi Formation and Shihezi Formation are the main regional cap rocks in the Paleozoic. The eastern Paleogene and the western Triassic formations provided regional cap rocks for the Paleozoic hydrocarbon preservation. The sealing condition is an important factor which caused the hydrocarbon preservation difference between the east and the west. The Central Ordos Basin and the eastern deep fault depression to inside slope in the North China are favorable units for the hydrocarbon preservation.

**Key words:** cap rock; tectonic evolution; hydrocarbon preservation; Paleozoic; North China

目前, 尽管在华北上古生界发现了许多气田(藏), 并在下古生界甚至元古宇见有不同程度的油气显示, 但华北真正意义上的海相层系至今未获得实质性的突破。已发现的油气藏及钻探结果均表明, 华北古生界具备一定的生烃潜力, 能否形成有效的油气藏很大程度上取决于后期保存条件。我们认为, 华北古生界的油气保存主要取决于中生代盆地叠加对古生界的改造方式、古生界内部及上覆盖层条件、圈闭条件 3 个要素。

### 1 中生代盆地差异叠加对古生界的改造

在中生代之前, 华北克拉通内部构造总体稳

定, 晚古生代石炭—二叠纪至早、中三叠世持续发育的大型拗陷盆地基本呈面式叠加在下古生界寒武—奥陶系碳酸盐岩地台之上<sup>[1]</sup>, 从晚三叠世开始, 华北克拉通内部发生构造演化的分化, 原先统一的古生代盆地受到了肢解, 形成若干改造残留块体存在于中生代盆地之下。因此, 中生代差异构造演化是决定各区古生界在后期成烃—成藏条件差异的根本因素。东部古生界受不同方式的构造改造和不同性质的盆地叠加, 在各区形成了差异的油气保存条件。而西部中生代持续前渊盆地的叠加, 为古生界油气提供了优越的整体封存条件。

收稿日期: 2010-04-09; 修订日期: 2010-11-15。

作者简介: 杨帆(1979—), 男, 工程师, 主要从事盆地分析研究。E-mail: kyokyo@126.com。

基金项目: 中国石化科技项目(YPH08077)。

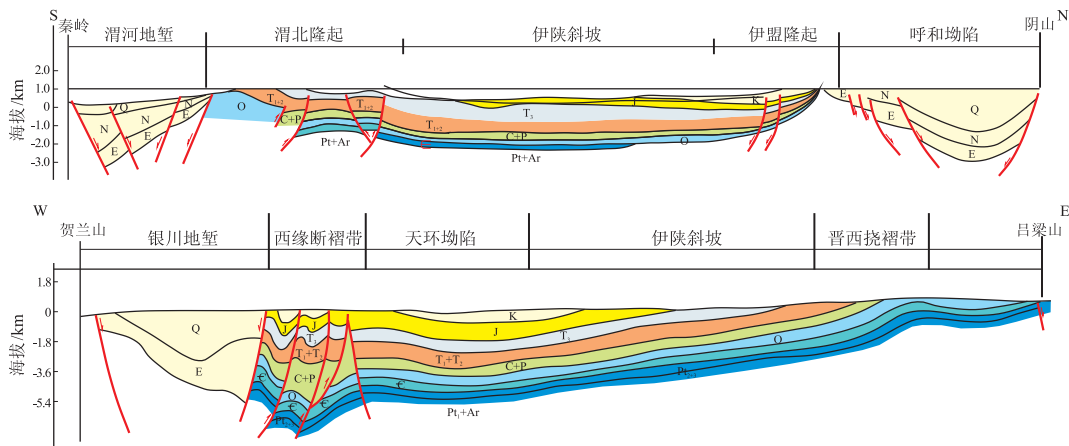


图 1 鄂尔多斯盆地南北向、东西向横剖面<sup>[2]</sup>

Fig. 1 The N-S and W-E tectonic profile of the Ordos Basin

### 1.1 鄂尔多斯盆地

西部鄂尔多斯盆地由于自三叠纪以来持续叠加,发育大型拗陷盆地,尽管其间经历了多期次构造运动,但盆地中央主体部位(天环拗陷—伊陕斜坡)未发生明显的褶皱变形,总体构造稳定<sup>[2-3]</sup>,古生界原生结构保存完整,并整体向盆地四周抬升,后期构造变动主要表现为整体的东抬西降,盆地内部中生界 T—J—K 沉积连续,厚度大,近平行地覆盖在古生界之上(图 1),它们层层叠置,内部发育多套湖泊相、沼泽相沉积的泥质岩盖层,多套盖层的垂向叠置为古生界油气提供了整体优越的封盖条件。

在鄂尔多斯盆地周缘分布有西缘断褶带、晋西挠褶带、伊盟隆起和渭北隆起 4 个构造单元,它们分别具有不同的构造特点。总体上看,这些单元内的古生界及上覆中生界三叠—白垩系盖层不同程度地受到断层、褶皱、剥蚀的改造作用。如:西缘断褶带发育众多由西向东逆冲断裂,将古生界及上覆中生界盖层切割成复杂断块构造,一部分断裂甚至上切至地表,并使部分古生界出露地表。在盆地东缘,受来自吕梁山的挤压及其山前离石断裂的冲断作用,古生界地层发生挠曲,并使中生界 T—J—K 由盆边向盆内依次遭受削截,形成 3 个明显不同的地层削截带,晋西挠褶

带的古生界之上仅有三叠系覆盖。在盆地南缘,古生界受到来自渭北隆起逆冲断裂的切割,中生界 T—J—K 同样遭到依次剥蚀削截,但比盆地东部削截带明显要窄得多,显示鄂尔多斯盆地在中新生代主要处于东西挤压背景,以盆地东南缘隆升幅度为最高,并形成较大规模的剥蚀。在盆地北缘,由于伊盟隆起的长期发育,缺失下古生界,上古生界和中生界沉积厚度也相对较薄,而且在晚古生代和中生代沉积期,该区紧靠物源区,主要以河流相沉积为主,盖层发育条件总体较差,加之受晚期新生代河套地堑的发育,隆起北侧受到了拉张断裂的切割。

总之,相比盆地腹部而言,盆地周缘地区受后期改造比较强烈,不仅上覆中生界盖层剥蚀较严重,而且不同程度地受到各种断裂的影响,油气保存条件总体比盆地腹部要差。

### 1.2 渤海湾和南华北盆地

华北东部地区由于受到中新生代挤压—走滑—伸展的多期构造变格作用,在各变格期发育了不同性质的原型盆地,并在各区形成了不同的原型盆地叠加组合<sup>[4]</sup>,从而使各区古生界形成了差异的油气保存条件。

就华北东部渤海湾和南华北盆地而言,古生界受后期拉张断陷改造而成为块隆、块拗构造(图 2)。

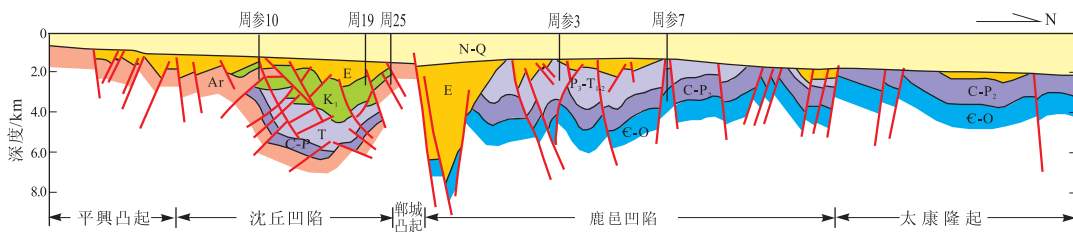


图 2 南华北周口拗陷平興凸起—太康隆起构造剖面

Fig. 2 The structure section from Pingxing Bump to Taikang Uplift in the Zhoukou Depression, the south of the North China

由于块隆区一般仅叠加有晚期 N—Q 拗陷,新近纪前多处于古隆起部位或古近纪断陷之间的高凸起位置,鉴于此类地区古生界生烃期较早(印支或燕山期),N—Q 盆地叠加期基本无生烃作用发生。因此,此类地区古生界因埋藏浅、整体封盖时间晚,其早期油气受长期隆升剥蚀和断裂切割改造而发生逸散,油气保存条件总体较差。而在块坳区,除局部有中生代盆地覆盖外,更重要的是古近纪大规模断陷的叠加,构建了地区性封盖条件,而且断陷盆地叠加期与古生界二次生烃期同步,有利于油气的保存。但是由于各区盆地叠加方式不同,构造风格不同,以及各期原型盆地沉积物质组成的差异,导致各区古生界上覆盖层条件与保存条件存在较大的差异。

## 2 盖层条件

### 2.1 古生界内部盖层条件

下古生界主要发育了马家沟组、峰峰组 2 套盖层,主要为致密碳酸盐岩、膏盐岩等。上古生界发育多套盖层,各层系均有分布,主要岩性为铝土岩、铝土质泥岩、泥岩、煤层及盐膏岩等。

#### 2.1.1 下古生界

鄂尔多斯地区下古生界马家沟组及峰峰组上部地层分布范围较广,其中的致密碳酸盐岩、膏盐岩层系可作为峰峰组下部及马家沟组上部的直接盖层。马家沟组膏岩层主要分布在盆地东部地区<sup>[5]</sup>,主要起侧向封堵的作用。

渤海湾地区下古生界马家沟组发育了一套膏岩层,厚度为 20~100 m 不等<sup>[6]</sup>。主要分布在临清拗陷、济阳拗陷西南部及东濮拗陷。临清东部至惠民地区发育有潟湖相石膏;平面上主要分布在堂邑—聊城附近,一般 5~30 m。由于膏岩和盐岩或含膏岩的可塑性随埋深加大而增加,加之其良好的

物性,与局部的泥岩、泥灰岩匹配可以形成对下古生界良好的封闭条件。

#### 2.1.2 上古生界

分布广泛的本溪组底部铝土岩是华北下古生界重要的区域直接盖层。鄂尔多斯盆地该套盖层岩性为铁、铝质泥岩及泥岩,厚度一般为 30~70 m<sup>[7]</sup>,主要分布在盆地中东部地区,它直接覆盖在奥陶系风化壳之上,成为靖边奥陶系大气田的直接区域盖层。

该套盖层在南华北和渤海湾地区亦有较广泛的分布。在渤海湾地区,其岩性主要为铝土岩、铝土质泥岩、暗色泥岩,一般厚 5~10 m,最大厚度可达 20 m<sup>[8-9]</sup>。受地层剥蚀及原始沉积环境的影响,残留铝土岩的分布沿黄骅拗陷至临清拗陷东部一带厚度较大,济阳拗陷及东濮拗陷厚度较小,一般小于 10 m。在南华北地区,该套盖层主要分布在周口拗陷的倪丘集—颜集凹陷、鹿邑凹陷和襄城凹陷等地,一般厚 5~15 m,最大厚度可达 25 m<sup>[10]</sup>;太康隆起上也有分布,最大厚度可达 15 m。

另外,太原组、山西组、下石盒子组、上石盒子组及石千峰组均发育有好的盖层,不仅自身构成了有效生储盖组合,而且为下古生界提供了区域封盖条件。尤其是上、下石盒子期是发育大型湖泊沉积的主要时期,泥质岩发育(图 3),是 C—P 上部的主要区域盖层。

鄂尔多斯盆地直接盖层主要包括太原组、山西组的三角洲平原和湖沼相沉积的泥岩、煤、碳质泥岩<sup>[11]</sup>,渗透率一般为 $(1 \times 10) \times 10^{-8} \mu\text{m}^2$ ,饱和空气突破压力一般小于 20 MPa。煤和泥岩有机质剪度高,生烃能力强,具有物性封闭和烃浓度/封闭双重封盖能力。区域盖层主要为上石盒子组以泥质岩和粉砂质泥岩为主的湖相沉积,具有分布广、单层厚度大的特点,一般厚度为 10~25 m,气体绝对渗透率一般为 $(1 \times 10) \times 10^{-8} \mu\text{m}^2$ ,饱和空气条件下

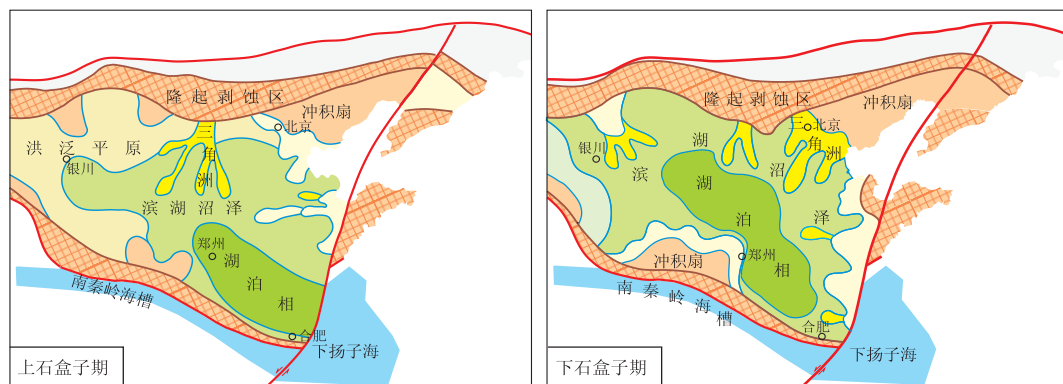


图 3 华北地区上、下石盒子期岩相古地理

Fig. 3 Sedimentary facies paleogeography during the late and early Shihezi period in North China

的突破压力为 1.5~2.0 MPa,物性封闭能力较强,且普遍存在过剩压力,是理想的自身区域盖层<sup>[9]</sup>。

渤海湾盆地上、下石盒子组盖层泥岩分布范围广,保存完整,湖泊相和泛滥平原相泥岩具有较好的封闭性,可作为区域盖层,下石盒子组盖层泥岩的孔隙度和渗透率又明显低于上石盒子组,封盖性更好;太原组和山西组的潟湖相和三角洲平原相发育的泥岩可作为局部盖层。各套盖层主要具如下分布特点:

1)太原组泥岩厚 25~100 m,在霸州—天津一带,最厚达 150 m。总体上,该组泥岩在东部和北部较厚,多在 75 m 以上,而在南部厚度较小,不足 30 m。

2)山西组泥岩一般厚 20~40 m,其厚度与砂体累积厚度具一定的正相关性(即在厚砂岩带附近,泥岩也较厚)。中西部和东北部的北京—天津—塘沽一带,泥岩具有较好的分布,厚度多在 30 m 以上,其它地区厚度多为 10~20 m。

3)下石盒子组泥岩厚 40~120 m,其厚度分布亦与该组砂体累积厚度有一定的正相关性。西部和中南部砂体较厚的地区,泥岩多在 80 m 以上,在东北部的廊坊—兴隆一带,泥岩厚度也较大,可达 80 m。

4)上石盒子组泥岩区内广泛发育,厚度大,通常为 100~300 m。总体上,该组泥岩在中南部较厚,多在 200 m 以上,靠近北部阴山隆起,其厚度急剧减薄。

南华北地区上古生界盖层主要包括 C—P 煤系和上石盒子组—下石盒子组中上部泥质岩<sup>[12]</sup>。其中,C—P 的四煤段和六、七煤段的泥岩突破压力高,封盖性能好于古近系和下白垩统,可作为区域性盖层。

## 2.2 古生界上覆盖层条件

由于受中生代差异构造演化的影响,华北各古生界上覆盖层条件差异大:西部单一稳定、连片分布,而东部多类型、横向变化大(图 4)。

鄂尔多斯盆地上古生界之上存在多套盖层,主要包括 T+J+K 的湖相泥岩、粉砂质泥岩。三叠系地层由于分布广,厚度大,是最主要的区域盖层。尤其是各时期的湖泊沉积相区是优质盖层发育的最有利区。

华北东部上古生界之上亦存在着多套盖层,由于中生代盆地叠加方式的不同,各区块的盖层发育条件存在着差异,主要有 T+J—K+E+N—Q, T+E+N—Q, J—K+E+N—Q, E+N—Q, N—Q 几种盖层叠加类型。中生界下部(J<sub>1-2</sub>)的煤系泥岩厚度

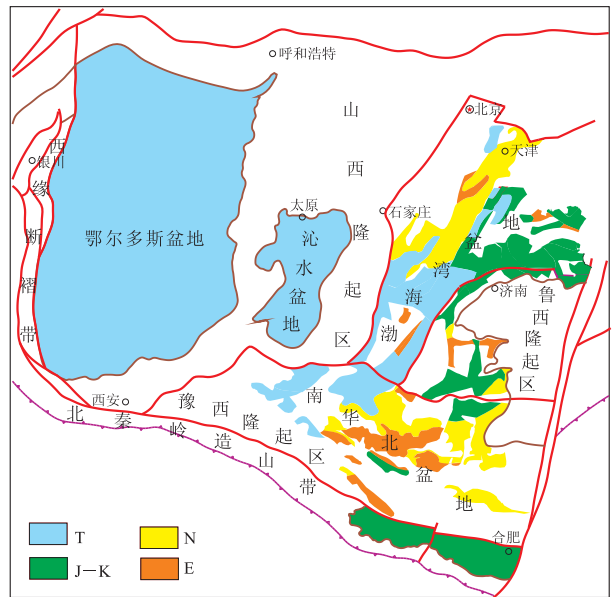


图 4 华北上古生界上覆直接盖层分布

Fig. 4 Distribution of the Upper Paleozoic overlying direct cap rocks in the North China

20~80 m,渗透率小于  $1 \times 10^{-6} \mu\text{m}^2$ ,中上部(J<sub>3</sub>—K<sub>1</sub>)的湖相泥岩厚度 50~300 m,渗透率小于  $1 \times 10^{-8} \mu\text{m}^2$ ,盖层评价可达到Ⅱ类盖层,均可作为 C—P 储层的直接盖层。但是由于中生界沉积分割性强,相变快,煤系泥岩和湖相泥岩的分布严格受原型盆地沉积相带的控制,分布局限,不宜作为区域盖层,只适合作为局部盖层。而古近纪断陷沉积在东部地区分布广泛,地层厚度大,分布较连续,是东部上古生界理想的区域盖层。尤其是古近纪的断陷湖盆中心,泥岩发育,盖层条件最为优越。其中,南华北地区由于古近纪断陷盆地小,分隔性强,深水湖盆发育程度差,湖相泥岩明显不及渤海湾地区发育(图 5),盖层条件略差,原因为南华北地区相比渤海湾地区缺少晚始新世主断陷期沉积。其中,洛伊、济源—开封、鹿邑和汤阴—临清地区以 T 为直接盖层;济阳拗陷、鲁西南拗陷以 J—K 为直接盖层;周口拗陷主要以 E 为直接盖层,局部为 T, K<sub>1</sub>;拗陷间隆起区以 N 为直接盖层,直接封盖条件主要受各自原型盆地的沉积相带分布控制。

## 3 圈闭条件

由于中生代华北东西部盆地构造演化与构造发育特点的不同,导致古生界的圈闭发育条件具有较大差异,这直接影响了古生界的油气保存条件。

### 3.1 鄂尔多斯盆地

勘探表明,鄂尔多斯盆地古生界的油气圈闭类型主要以地层、岩性圈闭为主,它们发育于古生界

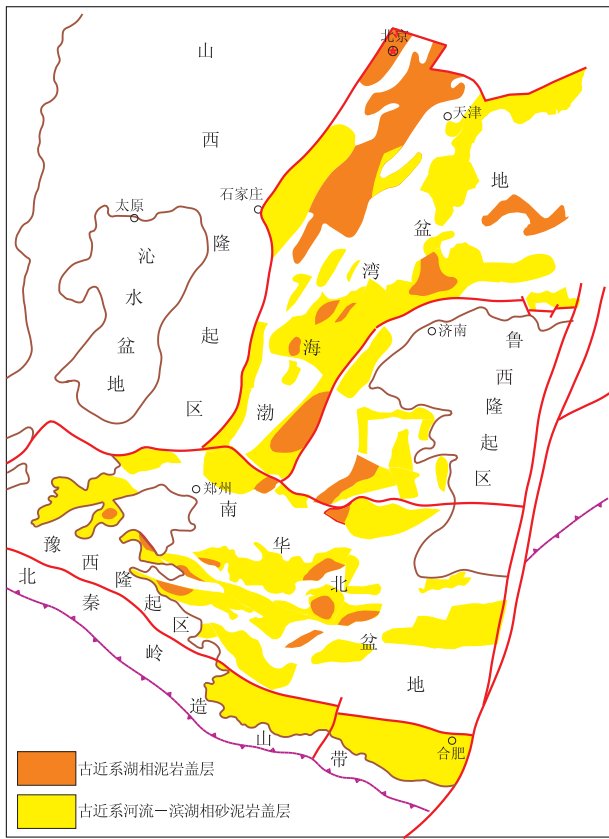


图 5 华北东部古近系区域盖层分布

Fig. 5 Distribution of the Paleogene regional cap rocks in the eastern part of North China

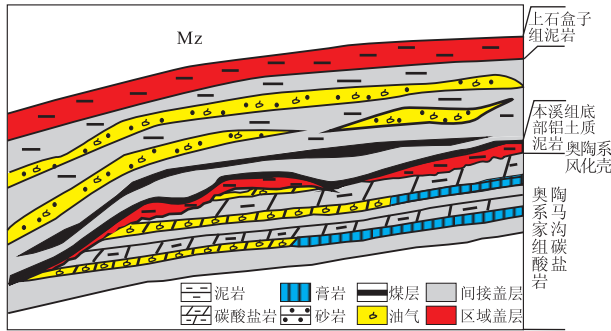


图 6 鄂尔多斯盆地古生界油气成藏模式

Fig. 6 The Paleozoic reservoir formation model of the Ordos Basin

内部,沿中央古隆起分布,都属于近源圈闭(图 6)。其中,上古生界 C—P 以其内部的砂岩上倾尖灭岩性圈闭为主,如苏里格、大牛地气田,它们由自北向南延展的鸟足状三角洲前缘砂体在分流间湾或湖相泥岩的侧向遮挡下形成,它们形成于向东抬升的斜坡构造背景,侏罗纪—早白垩世是其形成与定型期,圈闭形成期与 C—P 烃源岩主生气期同步;奥陶系风化壳大气田属于不整合面之下的地层圈闭,它形成于石炭—二叠纪,定型于中生代 J—K<sub>1</sub>,圈闭形成期远早于上、下古生界主生气期, J—K<sub>1</sub> 受

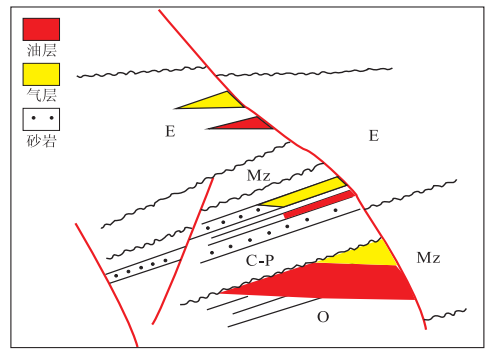


图 7 华北东部断陷区古生界油气成藏模式

Fig. 7 The Paleozoic reservoir formation model of fault depression area in the eastern part of North China

伊陕斜坡的形成而发生一定的油气调整。由于此类圈闭在纵横向上都具有良好的封挡条件,从而为古生界油气成藏与保存提供了最为有利的场所。但在鄂尔多斯盆地西缘断褶带,古生界以构造圈闭发育为主,受众多逆断层切割,古生界呈复杂的断块构造,以发育断鼻、断块圈闭为主,它们主要形成于侏罗纪,定型于早白垩世,圈闭形成期与古生界烃源岩主生气期基本同步,油气保存条件主要取决于逆断层的封闭性。

### 3.2 东部断陷区

在渤海湾和南华北断陷区,古生界主要以发育断鼻、断块圈闭为主,圈闭的形成和定型主要在喜山期,受控于古近纪的断陷作用。该期也是华北东部 C—P 二次生烃的主要时期,圈闭形成期与生烃期基本同步。此类圈闭的油气保存条件不仅需要古生界自身盖层的配置,更重要的是需要上覆中新生界盖层的纵横向封挡,尤其是古近系断陷层的整体封盖条件是决定此类圈闭有效性的关键因素(图 7)。另外从一些已知油气藏的成藏特征中我们也能发现,现今油气主要保存在凹陷中央—内斜坡带(断陷湖盆发育区),凹中隆、内斜坡断垒带是油气主要富集带。如孤北气田、东濮文留气田、高古 4 气藏等<sup>[13-15]</sup>。

## 4 结论

- 1) 华北古生界的油气保存受控于中生代盆地的差异叠加作用,油气保存条件总体具有西部好于东部、下古好于上古、北华北好于南华北的主要特点。
- 2) 本溪组是下古生界最重要的区域直接盖层,上、下石盒子组是 C—P 主要区域盖层。东部古近系和西部广布的三叠系为古生界提供了后期区域封盖条件。

度高的单元体;

(2)油气应该由流体势(液体压力)高势区流向低势区;

(3)断层封闭性对油气运移和聚集的影响。开启断层是油气运移的主要通道之一,封堵断层是形成油气聚集的重要控制因素;

(4)油气由低渗透性单元体流向高渗透性单元体;

(5)油气运移量不能超过本周期内运移量的最大值;

(6)油气形成聚集的条件就是根据(1)~(5)判断后,经过一个时间周期,油气运移量为 0,即认为油气已经处于平衡态,形成了聚集。

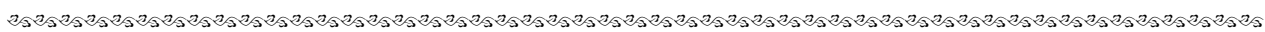
### 3 结语

本文所述方法在渤海湾盆地东营凹陷成熟勘探区进行了模拟试验,工区范围为 10.4 km×5.8 km,深度范围为 0~3 314.3 m,在该示范区基于角点网格模型建立的单元体数为 174 720 个(140×78×16),其模拟结果基本符合实际勘探成果。

#### 参考文献:

[1] 吴冲龙,刘海滨,毛小平,等. 油气运移和聚集的人工神经网络模拟[J]. 石油实验地质,2001,23(2):203-212.

[2] YUAN YIRANG, ZHAO WEIDONG, CHENG AIJIE, et al.



(上接第 531 页)

3)华北东西部差异的圈闭发育条件是影响古生界油气成藏与保存的重要因素。鄂尔多斯盆地古生界以发育地层、岩性圈闭为主,圈闭形成早,有利于油气的聚集与保存;东部断陷区古生界以发育断鼻、断块圈闭为主,圈闭形成晚,油气保存不仅需要古生界自身盖层的配合,而且需要中生界盖层的垂侧向封堵配合,断陷深凹—内斜坡区是油气保存的主要有利单元。

#### 参考文献:

[1] 张渝昌. 中国含油气盆地原型分析[M]. 南京:南京大学出版社,1997.

[2] 何自新. 鄂尔多斯盆地演化与油气[M]. 北京:石油工业出版社,2003.

[3] 何自新,杨华,韩申庭. 鄂尔多斯盆地上古生界天然气富集规律研究[R]. 长庆:长庆油田分公司,2000.

[4] 胡宗全,宋建辉. 渤海湾盆地中南部中—新生代盆地叠合特征及上古生界生烃规律[J]. 石油实验地质,2008,30(5):439-444.

[5] 冯增昭,鲍志东. 鄂尔多斯奥陶纪马家沟期岩相古地理[J]. 沉积学报,1999,17(1):1-7.

[6] 蒋有录. 渤海湾盆地盖层对天然气富集的影响初探[J]. 地

Numerical simulation analysis for migration—accumulation of oil and water[J]. Applied Mathematics and Mechanics (English Edition), 1999,20(4):405-412.

[3] 叶继根,吴向红,朱怡翔,等. 大规模角点网格计算机辅助油藏模拟历史拟合方法研究[J]. 石油学报,2007,28(2):83-86.

[4] YUAN YIRANG, ZHAO WEIDONG, CHENG AIJIE, et al. Simulation and application of three—dimensional migration—accumulation of oil resources[J]. Applied Mathematics and Mechanics (English Edition), 1999,20(9):999-1009.

[5] PONTING D K. Corner point geometry in reservoir simulation[C]//Proceedings of First European Conference on the Mathematics of Oil Recovery. Oxford: Clarendon Press, 1992:45-65.

[6] 吴冲龙,王燮培,毛小平,等. 油气系统动力学的概念模型与方法原理:盆地模拟和油气成藏动力学模拟的新思路、新方法[J]. 石油实验地质,1998,20(4):320-327.

[7] 吴冲龙,王燮培,何光玉,等. 论油气系统与油气系统动力学[J]. 地球科学:中国地质大学学报,2000,25(6):604-611.

[8] 石广仁. 油气盆地数值模拟方法[M]. 北京:石油工业出版社,2004:127-228.

[9] 吴冲龙,王燮培,周江羽,等. 含油气系统概念与研究方法[J]. 地质科技情报,1997,16(2):43-50.

[10] 吴冲龙,毛小平,王燮培,等. 三维油气成藏动力学建模与软件开发[J]. 石油实验地质,2001,23(3):301-311.

[11] 焦李成. 进化计算与进化神经网络:计算智能的新方向[J]. 电子科技,1995(1):9-19.

(编辑 黄娟)

质论评,1999,45(1):27-31.

[7] 夏日元,唐健生,关碧珠,等. 鄂尔多斯盆地奥陶系古岩溶地貌及天然气富集特征[J]. 石油与天然气地质,1999,20(2):133-136.

[8] 郑和荣,胡宗全. 渤海湾盆地及鄂尔多斯盆地上古生界天然气成藏条件分析[J]. 石油学报,2006,27(3):1-5.

[9] 张英利,赵长毅. 渤海湾盆地与鄂尔多斯盆地成藏条件对比[J]. 石油勘探与开发,2005,32(5):25-29.

[10] 全裕科,柳广弟,丁文龙. 南华北盆地倪丘集凹陷油气显示特征及找油意义[J]. 石油实验地质,2006,28(4):371-379.

[11] 邢厚松,肖红平,孙粉锦,等. 鄂尔多斯盆地中东部下二叠统山西组二段沉积相[J]. 石油实验地质,2008,30(4):345-351.

[12] 刘志武,周立发,何明喜,等. 周口坳陷石炭—二叠系油气成藏条件与富集控制因素[J]. 油气地质与采收率,2008,15(5):13-17.

[13] 李红梅. 孤北斜坡带煤成气成藏条件分析[J]. 天然气工业,2006,26(2):23-25.

[14] 许化政,周新科. 渤海湾盆地东濮凹陷文留构造发育特征与气藏形成[J]. 石油实验地质,2003,25(6):712-719.

[15] 杨克绳. 再谈临清拗陷古生界油气勘探前景[J]. 石油地球物理勘探,2006,41(4):476-483.

(编辑 黄娟)