

# 冀中坳陷马西洼槽异常高压与油气成藏

侯凤香<sup>1</sup>,董雄英<sup>1</sup>,吴立军<sup>2</sup>,李向阳<sup>1</sup>,侯凤梅<sup>1</sup>

(1. 中国石油华北油田勘探开发研究院,河北 任丘 062552;

2. 中国石油东方地球物理责任有限公司,河北 任丘 062552)

**摘要:**冀中坳陷马西洼槽古近系沙河街组普遍发育异常高压带,异常高压主要发育在沙二段、沙三段,其中沙三上亚段最大压力系数达1.37,且异常压力系数由洼槽向洼缘逐渐降低。烃源岩生排烃是该区形成异常高压的主要原因。异常高压对马西洼槽油气成藏主要有3种作用:一是改善储层;二是增加盖层的封闭性;三是为油气运聚成藏提供动力。在此基础上建立了任东斜坡区高压—中孔岩性—构造油藏、洼槽区高压—中孔构造—岩性油藏及南马庄陡坡区常压—中高孔岩性或构造岩性复合油藏等3种成藏模式。

**关键词:**马西洼槽;异常高压;油气成藏;成藏模式

**中图分类号:**TE121

**文献标志码:**A

**文章编号:**1672-1926(2012)04-0707-06

**引用格式:**Hou Fengxiang, Dong Xiongying, Wu Lijun, *et al.* Abnormal overpressure and hydrocarbon pooling in Maxi sag, Jizhong depression[J]. Natural Gas Geoscience, 2012, 23(4): 707-712.

[侯凤香,董雄英,吴立军,等.冀中坳陷马西洼槽异常高压与油气成藏[J].天然气地球科学,2012,23(4):707-712.]

## 0 引言

马西洼槽位于渤海湾盆地冀中坳陷饶阳凹陷东北部,为一南宽北窄、东断西超的三角形单断洼槽,面积约为690km<sup>2</sup>。东西向可划分为任东斜坡、马西洼槽和南马庄陡坡3个构造带。马西洼槽新近系和古近系沉积厚度最大,近6000m,其中古近系沙河街组沙二段、沙三段湖相地层厚约为2000m。钻井揭示洼槽区主力含油层系沙二段、沙三段异常高压带发育,与油气关系密切。本文通过对沙二段、沙三上亚段异常压力发育特征研究,分析了研究区内异常高压分布特征及其成因,探讨了高压对油气成藏的控制作用,建立了不同构造、不同压力系统下的油气成藏新模式,指导勘探实践,取得了较好的勘探成效。

## 1 异常压力分布特征

### 1.1 异常高压垂向分布特征

钻井试油测压数据表明,马西地区储层在浅部

处于正常压力,深部普遍发育异常高压;储层出现异常高压的深度约为3300m,最大压力系数达1.37(图1)。从马西洼槽东西向泥岩声波时差—深度曲线连井剖面也可看出(图2),层位上,超压系统主要发育在沙二段、沙三段,且不同构造带超压顶面深度不同。其中在任东斜坡中低部构造区,超压顶界发育在沙三上亚段,深度在3300~3400m之间;而马西洼槽区泥岩超压顶界移到沙二段及沙一段,深度上升到3200m左右,即异常高压顶面为一曲面。这与由试油资料得出的地层压力与深度交会确定的异常高压出现的深度是一致的。

### 1.2 异常高压平面分布特征

由于该区为继承性发育的洼槽,后期没有发生大规模的构造抬升,构造活动相对较弱,沉积中心未发生明显偏移,因此后期沉积相对稳定,异常压力分布范围也较小,且相对集中,主要集中于洼槽区,并以洼槽为中心向洼槽边缘地区逐渐降低。沙三段异

收稿日期:2012-02-02;修回日期:2012-03-09.

基金项目:中国石油重大科技攻关项目“成熟探区油气分布规律与精细勘探技术研究”(编号:20011D-07);中国石油重大科技攻关项目“成熟盆地油气成藏机制与精细勘探目标评价”项目(编号:2011D-0703)联合资助。

作者简介:侯凤香(1969-),女,河南杞县人,高级工程师,主要从事石油地质勘探综合研究. E-mail: yjy\_hfx@petrochina.com.cn.

常高压范围大于沙二段异常高压范围。从地层压力系数等值线图(图 3,图 4)也可看出,研究区内异常高压具有继承性。这在一定程度上反映出异常高压的形成受洼槽的沉积影响较明显。

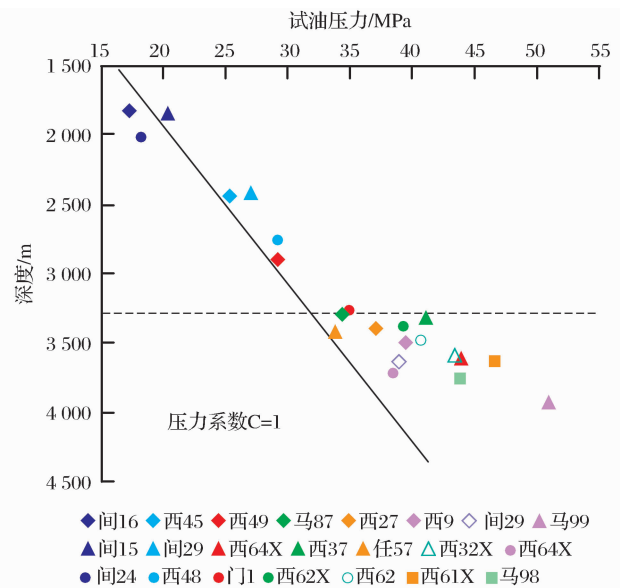


图 1 马西洼槽试油压力—深度关系

## 2 超压成因分析

超压的形成受多种因素的协同控制,普遍认为超压是构造作用、不均衡压实、生烃作用、水热增压、黏土矿物脱水及膏盐层封闭等一种或多种作用的结果<sup>[1-4]</sup>。但从目前超压成因研究现状来看,除构造作用外,不均衡压实和生烃作用是独立形成大规模超压的 2 种主要成因机制<sup>[5-7]</sup>。

本文研究主要结合泥岩声波时差、视电阻率和岩石密度等测井资料和烃源岩热演化资料对马西地区超压成因开展了初步探讨。选取典型深探井马 99 井(图 5)进行研究。从马 99 井电性特征来看,该区 3 250m 以深的超压带具有“高声波时差、高孔隙度、低

视电阻率、低岩石密度”等特点。其中,超压带内泥岩密度随深度增大越发偏离正常演化趋势,从 3 300~4 100m,泥岩密度迅速降低,说明超压面之下泥岩压实程度较高,由压实作用引起的高压效应不是很显著。另外,马西地区沙三段是该区主力烃源岩,且埋藏较深,热演化程度较高,已有大量的油气生成,从生烃潜量与埋深关系图(图 6)可见,较高的生烃潜量正好与产生异常高压的深度(3 300~3 400 m)重合,干酪根大量热降解生成的烃增加了孔隙流体体积,引起异常高压。因此,初步认为该区的异常高压成因可能与烃源岩生排烃作用的关系更为密切。

## 3 异常压力对油气的控制作用

### 3.1 储层的改善作用

超压对储集层物性的影响主要表现在 3 个方面:①超压的存在一方面使作用于沉积物颗粒的压实效应得以减缓,另一方面还可以阻止超压体系内流体的运动和能量的交换,减缓和抑制压实作用和胶结作用,从而有助于深部储层原生孔隙的保存;②超压的存在可进一步加强深部酸性孔隙水对长石颗粒和碳酸盐胶结物的溶解作用,从而促进次生孔隙的形成发育;③当异常压力超过岩石破裂压力时,会导致岩层破裂产生微裂缝,从而增加储层的储集空间,改善储层的渗透性。在马西地区的洼槽区及任东斜坡中低部位,由于异常压力的普遍存在,使深部仍保持较高的孔隙度,发育物性相对较好的储集段,有利于油气的储集。如研究区超压界面之上储层孔隙度随深度逐渐减小,而超压界面之下储层孔隙度则明显偏离正常变化趋势线,孔隙度值偏大(图 7)。另外,从压力系数与孔隙度等值线叠合图(图 8)也可看出,异常高压区孔隙度可达 12%~16%,属中孔储层,储层物性好于周缘地区。

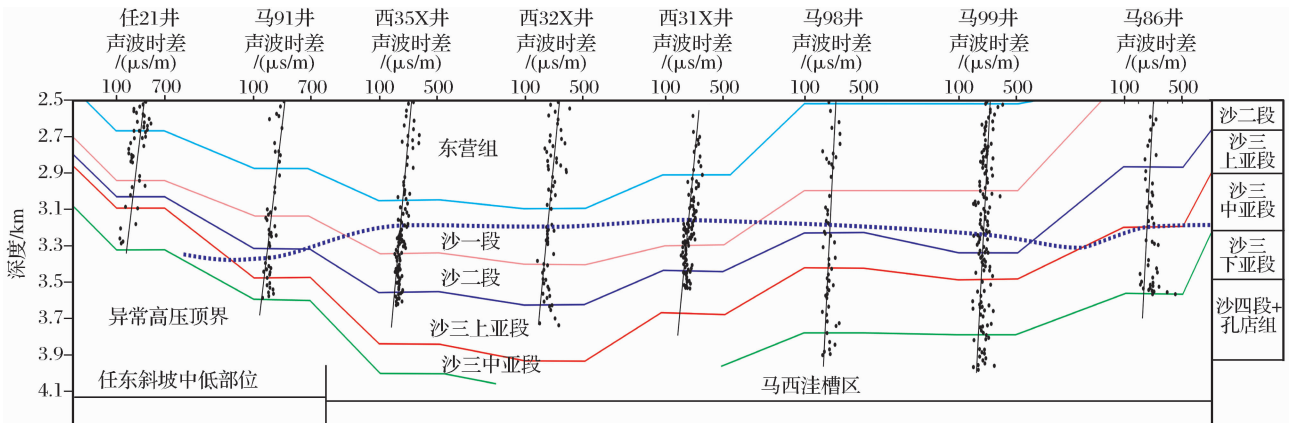


图 2 马西洼槽 WE 向不同构造带异常高压顶面分布特征

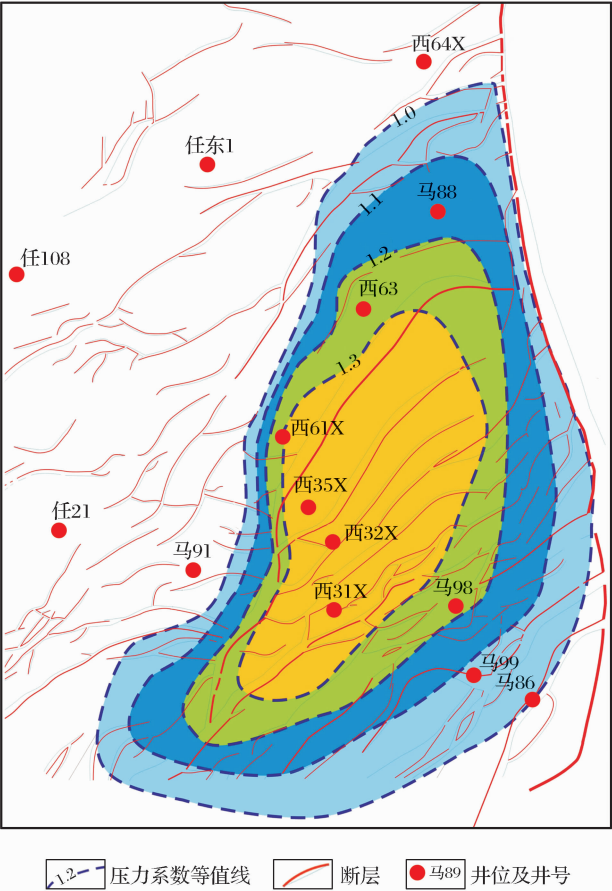


图3 马西洼槽沙二段压力系数等值线特征

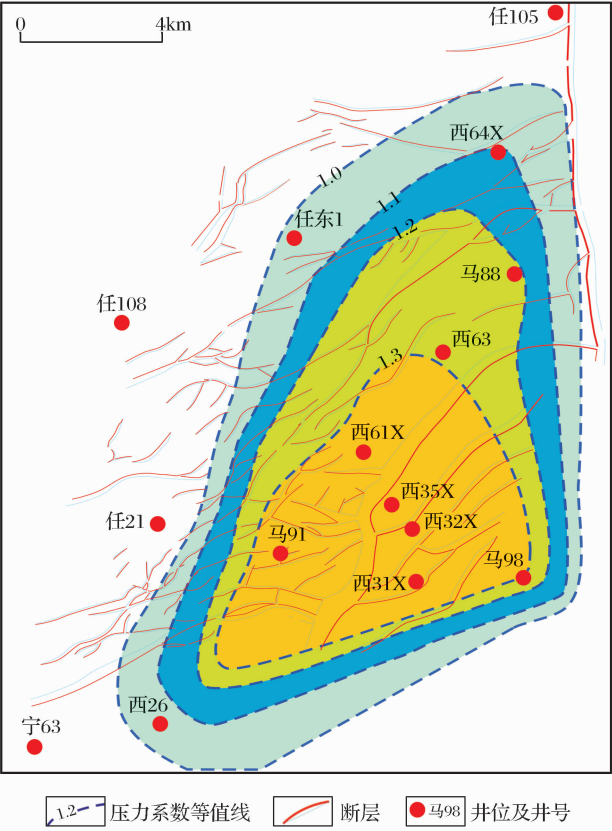


图4 马西洼槽沙三段压力系数等值线特征

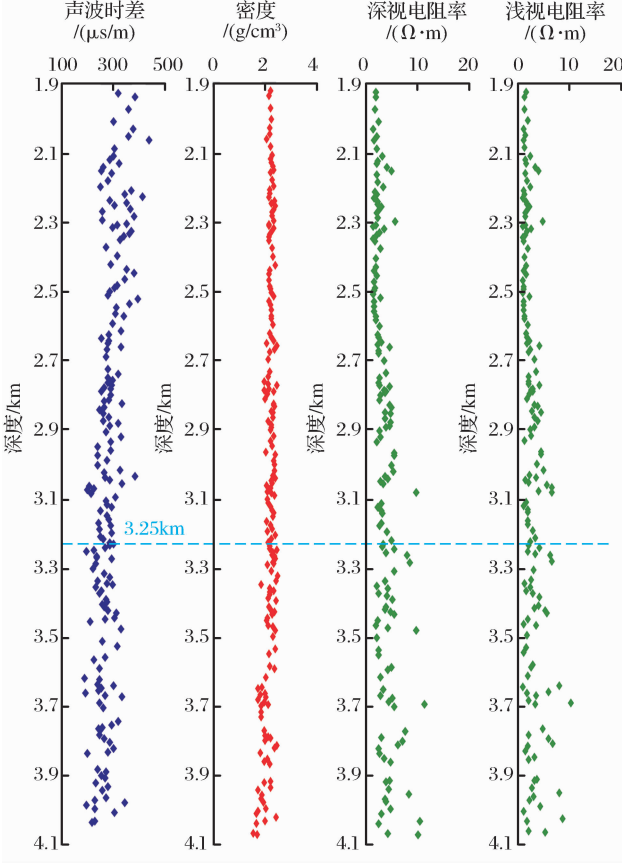


图5 马99井电性与超压特征分析

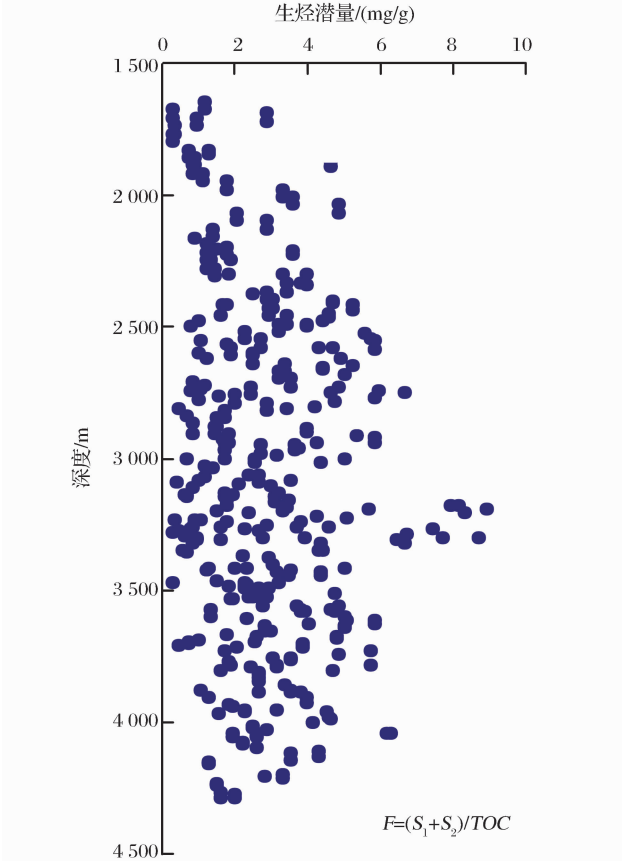


图6 马西洼槽生烃潜量与埋深关系

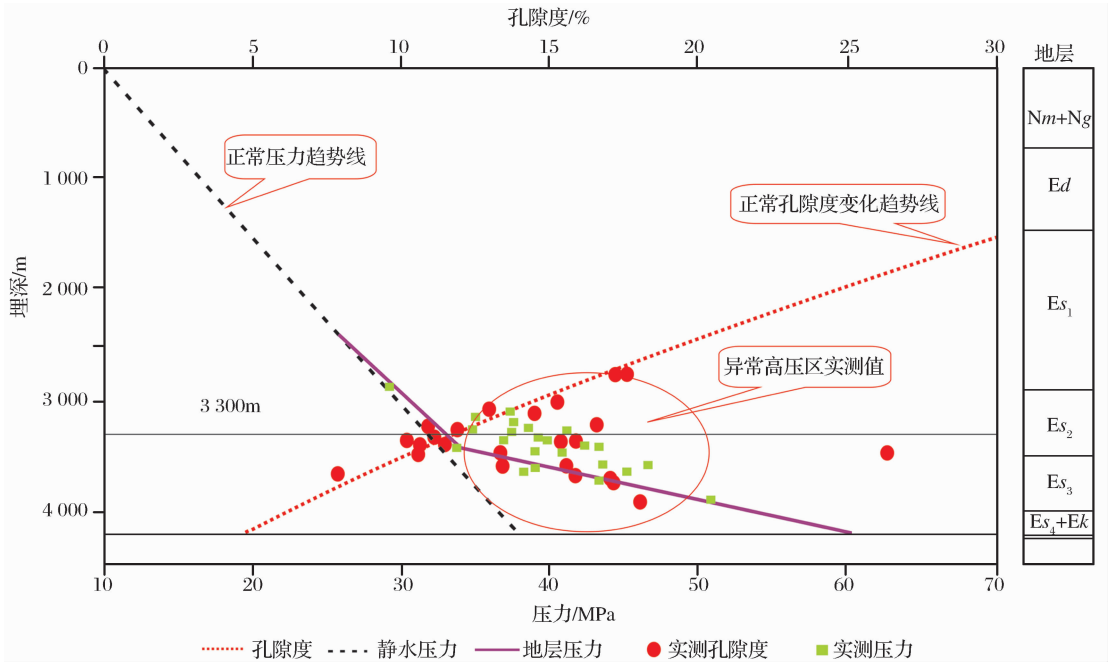


图 7 马西洼槽液体压力与孔隙度交会特征

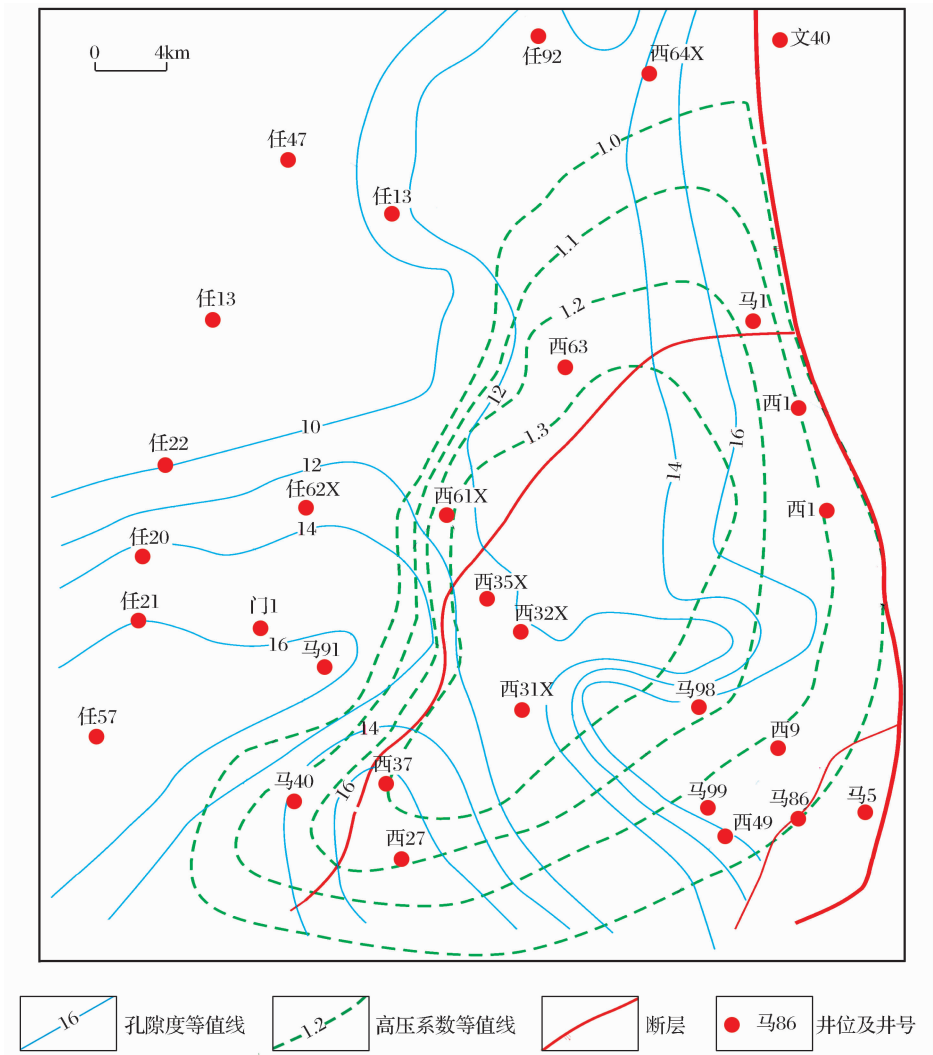


图 8 马西洼槽沙二段压力系数与孔隙度等值线分布特征



### 3.2 增加盖层的封闭性能

超压使盖层封闭性能更好,形成更有效的压力封闭体系<sup>[8]</sup>。压力将油气阻止于泥岩层的下方,形成烃类聚集。且超压体系中高的孔隙流体压力具有很强的封盖作用,它能阻止包括油气水在内的任何流体的体积流动<sup>[9]</sup>。马西洼槽沙三段普遍存在高压:一是沙三上亚段发育稳定的泥岩作为区域性盖层,对下伏烃类具有较强的封盖作用;二是超压液体对油气具有较好的封盖作用。

### 3.3 提供了中深层油气运聚成藏的主要动力

马西洼槽区及任东斜坡中低部位受烃类生成作用影响,沙二段及其下地层处于异常高压带,其既是油气源层,又是流体传递的动力层,为区域油气垂向及侧向运移提供了有利条件。

平面上,超压在任东斜坡较低部位及马西洼槽区发育,地层流体压力差成为烃源岩排烃的主要动力。沙三段烃源岩生成的油气,在异常高压的驱动下,向圈闭高部位的相对低值区运移,为油气侧向及垂向运移提供了原始动力。

### 3.4 成藏模式

根据以上分析,综合马西地区成藏研究,构建了任东斜坡区侧向运移、高压—中孔岩性—构造油藏成藏模式,洼槽区垂向运移、高压—中孔构造—岩性油藏成藏模式及南马庄陡坡区短距离侧向运移、常压—中高孔岩性或构造岩性复合油藏成藏模式(图9)。其中任东斜坡压力系数在1.1~1.3之间,孔隙度在7.8%~15.6%之间,以岩性构造油藏为主。洼槽区压力系数也在1.1~1.3之间,孔隙度在10.5%~18%之间,以构造岩性油藏为主。以上2种模式,高压是油气运聚成藏的主要动力。而南马庄陡坡古近系—新近系则以压力系数小于1的常压为主,孔隙度多在13%~26%之间,以岩性及构造岩性复合油藏为主,马西断层是其油气成藏的主控因素。

依据以上成藏模式,在任东斜坡、马西洼槽区及南马庄陡坡带这3个靶区部署钻井24口,其中14口井取得了成功的勘探成效,形成了一个5 000万t级规模储量区。

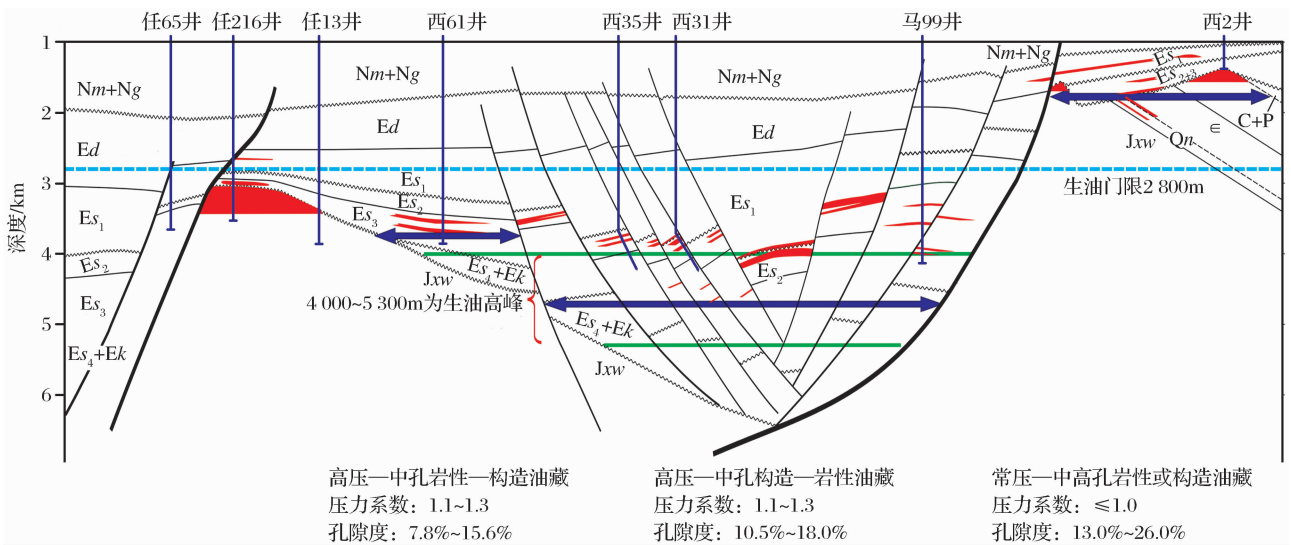


图9 马西洼槽不同构造带压力与物性综合评价

## 4 结论

(1)马西洼槽普遍发育异常高压带,发育层位主要为沙二段和沙三段以下地层。不同构造部位发育超压顶面深度不一,其中任东斜坡中低部构造区,超压顶界深度在3 300~3 400m之间;而马西洼槽区深度约为3 200m。平面上以洼槽为中心,向洼槽边缘地区逐渐降低。

(2)初步认为烃源岩生排烃作用是该区异常高压形成的主要原因。

(3)超压对油气运聚有着非常重要的影响,异常高压对该区油气成藏起到了多方面的积极作用:①改善了储层的储集物性;②增加了盖层的封闭性能;③为油气运聚提供了动力来源。在此基础上,最终建立了马西地区不同构造带异常高压作用下的成藏模式。

### 参考文献(References):

[1] Gao Gang, Huang Zhilong, Wang Zhaofeng, et al. Study on the mechanisms of the formation of formation abnormal high-pres-

- sure[J]. Journal of Xi'an Petroleum Institute: Natural Science Edition, 2005, 20(1): 1-7. [高岗, 黄志龙, 王兆峰, 等. 地层异常高压形成机理的研究[J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2005, 20(1): 1-7.]
- [2] Wan Zhifeng, Xia Bin, He Jiaxiong, *et al.* Formation mechanism of overpressure and its influence on hydrocarbon accumulation in sedimentary basins[J]. Natural Gas Geoscience, 2007, 18(2): 219-223. [万志峰, 夏斌, 何家雄, 等. 沉积盆地超压形成机制及其对油气运聚成藏过程的影响[J]. 天然气地球科学, 2007, 18(2): 219-223.]
- [3] Su Yushan, Wang Shenglang, Zhang Lianmeng, *et al.* The effect of abnormal overpressure on deep reservoir forming in Dongpu depression[J]. Petroleum Exploration and Development, 2002, 29(2): 49-57. [苏玉山, 王生朗, 张联盟, 等. 超压异常对东濮凹陷深层油气成藏的控制作用[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(2): 49-57.]
- [4] Hu Haiyan. Overpressure cause and it affects the reserve formation[J]. Natural Gas Geoscience, 2004, 15(1): 99-102. [胡海燕. 超压的成因及其对油气成藏的影响[J]. 天然气地球科学, 2004, 15(1): 99-102.]
- [5] Hao Fang, Dong Weiliang. Evolution of fluid flow and petroleum accumulation in overspressured systems in sedimentary basins[J]. Advance in Earth Science, 2001, 16(1): 79-85. [郝芳, 董伟良. 沉积盆地超压系统演化、流体流动与成藏机理[J]. 地球科学进展, 2001, 16(1): 79-85.]
- [6] Zha Ming, Qu Jiangxiu, Zhang Weihai. The relationship between overpressure and reservoir forming mechanism[J]. Petroleum Exploration and Development, 2002, 29(1): 19-22. [查明, 曲江秀, 张卫海. 异常高压与油气成藏机理[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(1): 19-22.]
- [7] Li Zhi, Dou Lirong, Ai Xiaolan. Abnormal high pressure and generation of hydrocarbon[J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(5): 28-30. [李志, 窦立荣, 艾小兰. 异常高压与油气的生成[J]. 石油勘探与开发, 2003, 30(5): 28-30.]
- [8] Wang Zhaoyun, Zhao Wenzhi, He Haiqing. Study on the interaction of overpressure and hydrocarbon generation and the influence of overpressure upon hydrocarbon accumulations[J]. Petroleum Exploration and Development, 2002, 29(4): 12-15. [王兆云, 赵文智, 何海清. 超压与烃类生成相互作用关系及对油气运聚成藏的影响[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(4): 12-15.]
- [9] Chen Zhonghong, Zha Ming, Qu Jiangxiu. Conditions and mechanism of hydrocarbon accumulation in overpressure systems in sedimentary basins[J]. Natural Gas Geoscience, 2003, 14(2): 97-102. [陈中红, 查明, 曲江秀. 沉积盆地超压体系油气成藏条件及机理[J]. 天然气地球科学, 2003, 14(2): 97-102.]

## Abnormal Overpressure and Hydrocarbon Pooling in Maxi Sag, Jizhong Depression

HOU Feng-xiang<sup>1</sup>, DONG Xiong-ying<sup>1</sup>, WU Li-jun<sup>2</sup>, LI Xiang-yang<sup>1</sup>, HOU Feng-mei<sup>1</sup>

(1. Exploration and Development Research Institute, Huabei Oilfield Company, PetroChina, Renqiu 062552, China;

2. BGP Company, CNPC, Renqiu 062552, China)

**Abstract:** In Maxi area, abnormal overpressure occurs widely in the lower Tertiary Shahejie Formation, including the second and third members of the Shahejie Formation, especially the upper of the third member of Shahejie Formation with pressure coefficient over 1.37. Laterally, the pressure coefficient decreases from central part of sag to the edge. The major cause of the overpressure is related to the hydrocarbon generation. Three functions of overpressure for hydrocarbon pooling in the sag follow as: improve reservoir property, enhance sealing capability, and provide the power for the deep hydrocarbon migration. Thus, the overpressure is important to hydrocarbon migration. We establish the pattern of overpressure-moderate pore-structural petroleum pool in the Rendong slope, the pattern of overpressure-moderate pore-lithological petroleum pool in the central part of Maxi sag, and the pattern of overpressure-moderate and high pore-structural and lithological composite petroleum pool in Nanmazhuang slope.

**Key words:** Maxi sag; Overpressure; Hydrocarbon accumulation; Accumulation pattern