

文章编号:0253-9985(2012)02-0166-07

苏北盆地张家垛油田阜三段油气富集规律

焦里力

(中国石化 华东分公司 石油勘探开发研究院,江苏 南京 210011)

摘要:苏北盆地张家垛油田阜宁组三段具有良好的油气勘探潜力,是今后中国石化华东分公司增储上产的一个重要领域。但由于该储层非均质性强,油气富集规律不清楚,严重制约了下一步的勘探开发。通过对烃源岩、储层、圈闭等成藏基本地质条件的研究,利用泥岩压实规律进行异常压力分析。研究结果表明:①阜宁组异常高压为欠压实成因,与干酪根生烃无关,深层优质储层与欠压实密切相关,异常压力高值区是优质储层分布区;②异常压力高值分布在阜三顶-阜四段,高异常压力形成区域性封闭层,油气主要富集于高异常压力之下的低势区;③高异常压力最有利于阜三段油气成藏,而低异常压力区有可能在阜三段的上覆地层戴南组成藏。最终利用高压封闭的区域性盖层和沉积微相研究,认为阜三段向南成藏条件会变好,是下一步勘探的目标区。

关键词:异常压力;欠压实;储层;阜三段;张家垛油田;苏北盆地

中图分类号:TE122.3

文献标识码:A

Hydrocarbon enrichment patterns of the 3rd member of Funing Formation in Zhangjiaduo oilfield, Subei Basin

Jiao Lili

(Research Institute of Exploration and Development, SINOPEC Huadong Oilfield Company, Nanjing, Jiangsu 210011, China)

Abstract: The 3rd member of Funing Formation has a great potential for oil and gas exploration and will be one of the most important targets for reserve growth and production addition of SINOPEC Huadong Oilfield Company. However, the reservoir heterogeneity is strong and hydrocarbon enrichment patterns are poorly understood, seriously constraining future exploration and development. Based on study of the basic geologic conditions for source rocks, reservoirs, and traps, abnormal pressure is analyzed according to the rules of mudstones compaction. The abnormal pressures of Funing Formation are caused by undercompaction, instead of hydrocarbon generation of kerogen. The deep high-quality reservoirs are closely related with undercompaction and the high-quality reservoirs occur in areas where the abnormal pressure is high. The high abnormal pressure occurs in interval from the top 3rd member to 4th member of Funing Formation and forms a regional seal. Hydrocarbons mainly accumulate in low potential areas below this seal. High abnormal pressure favors hydrocarbon accumulation in the 3rd member of Funing Formation, while low abnormal pressure may be favorable for hydrocarbon accumulation in the overlying Dainan Formation. Based on study of the regional high abnormal pressure seal and sedimentary microfacies, it is believed that the hydrocarbon accumulation conditions of the 3rd member of Funing Formation are better to the south, thus the 3rd member to the south is a favorable target for future exploration.

Key words: abnormal pressure; undercompaction; reservoir; the 3rd member of Funing Formation, Zhangjiaduo oilfield; Subei Basin

收稿日期:2012-01-29。

作者简介:焦里力(1958—),女,高级工程师,石油地质。

基金项目:中国石化科技项目(P09081)。

张家垛油田位于苏北盆地海安凹陷西部、曲塘次凹的北部陡坡带(图1),是一个由边界断层控制、位于断层下降盘的大型鼻状构造。1976年在张家垛构造高点部位钻探了苏88井,阜(阜宁组)三段经压裂试获日产油4.14 t,至2009年累计产油216.89 t。2010年部署的探井张3B井,在阜宁组三段发现了良好的油气显示,日产油23.8 t,显示出该地区良好的油气勘探潜力。

研究区古近系自下而上发育泰州组、阜宁组(E_f)、戴南组(E_d)、三垛组(E_s)4套地层。吴堡运动使阜宁组地层抬升,阜四段遭受不同程度的剥蚀,剥蚀量较小,普遍在100 m左右。之后构造下沉,三垛组开始沉积。古近纪末的三垛运动又使整个盆地抬升遭受剥蚀,剥蚀量较大,约800 m。新近系盐城组(N_y)与下伏三垛组呈不整合接触。

研究区阜三段储层岩性为长石细砂岩、粉砂岩和泥质粉砂岩,平均埋深接近3 000 m,孔隙度12%~18%、平均14.1%,渗透率 $1 \times 10^{-3} \sim 50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 、平均 $17 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,为中孔、低渗储层。目的层的异常高压广泛发育。从目前的勘探情况来看,油气富集区大多为异常高压发育带。

已有的勘探情况已经证实,该地区具有良好

的油气勘探潜力。但以下问题仍然困扰着地质工作者,制约了该地区下一步的勘探方向:①储层埋深近3 000 m,为什么还具有这么好储集性能?如果向南继续勘探,埋深将更大,储层储集物性是否会变差?②为什么异常压力高的区域储层储集物性好,且油层的充满度高?去哪儿找异常高压发育区?

本文通过大量的实测物性及铸体薄片,分析优质储层的形成机理,研究其与异常压力的关系;分析异常高压的形成机理,研究异常高压在油气成藏过程中的作用;明确阜三段油气富集的主控因素,为下一步的油气勘探提供理论依据。

1 成藏条件

1.1 烃源岩特征

海安凹陷内古近系泰州组和阜宁组的湖相泥岩,生油物质基础雄厚,具备良好的生烃能力,主力烃源岩是阜宁组二段和泰州组二段。张家垛构造中的烃类物质主要来自紧邻的曲塘凹陷,曲塘次凹烃源岩总厚度在420 m以上。

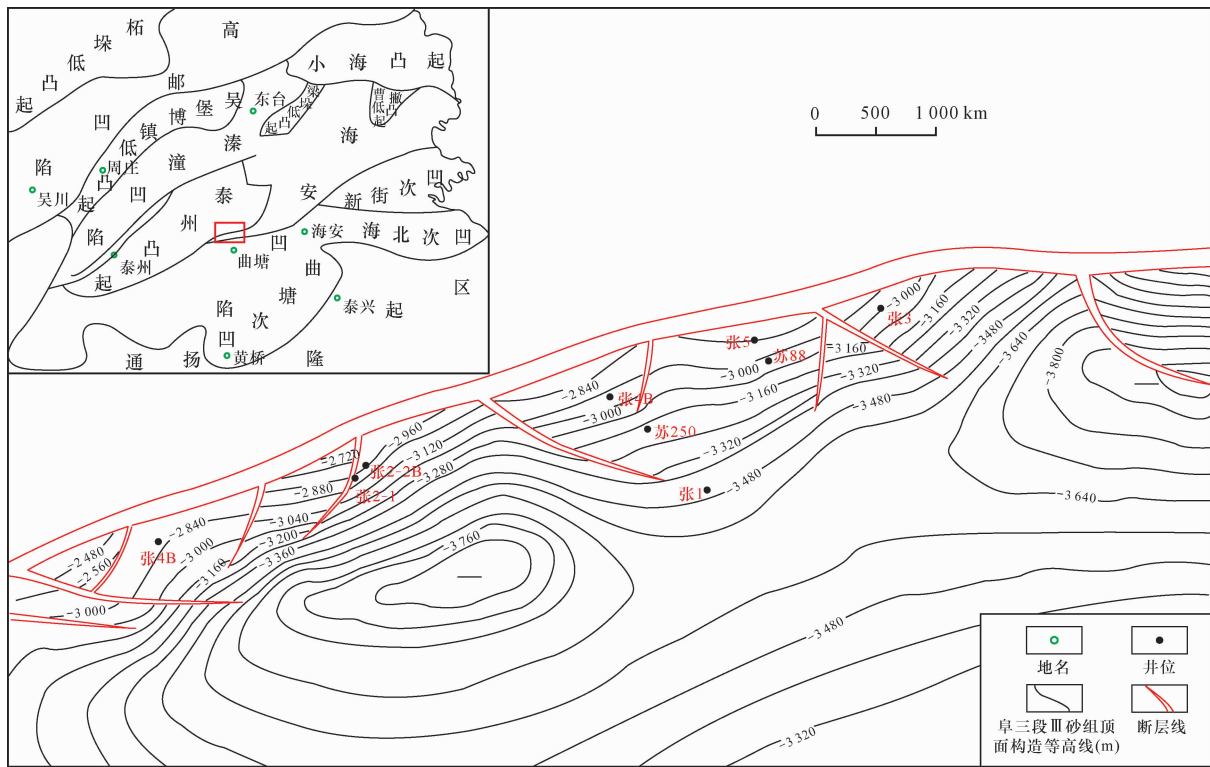


图1 张家垛油田构造位置及阜三段Ⅲ砂组顶面构造

Fig. 1 Location of Zhangjiaduo oilfield and top structural map of the III-sand unit in the 3rd member of Funing Formation

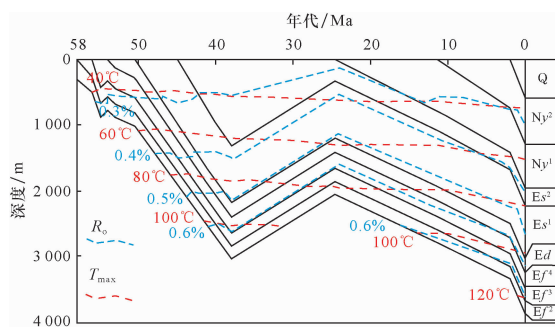


图2 张家垛油田新生代热史及生烃史

Fig. 2 Cenozoic thermal and hydrocarbon generation history of Zhangjiaduo oilfield

阜二段是曲塘次凹中最主要的烃源岩系,生油物质基础较雄厚,有机碳含量为 0.97% ~ 1.57%,氯仿沥青“A”含量为 0.101% ~ 1.080%,总烃含量为 $(76.59 \sim 907) \times 10^{-6}$,是一套很好的生油岩系。根据生烃史和热史的模拟(图2),阜二段存在两期生烃。烃源岩的 R_o (镜质体反射率)值自 40 Ma 以来,一直维持在 0.6% 左右,没有明显的增加,具有低成熟的特点。

1.2 储层特征

1.2.1 沉积环境

岩心观察显示,阜三段由泥岩夹薄层粉砂岩和细砂岩组成,细砂岩厚度普遍在 0.5 ~ 4 m。石英含量 70% ~ 75%,全部为单晶石英;长石含量 23% ~ 28%,主要为斜长石;岩屑含量 2% 左右,为

火山岩屑。碎屑颗粒分选好,磨圆好,结构成熟度高。泥岩颜色以浅黑色和黑色为主,表现出弱还原环境。沉积构造包括平行层理、水平层理、沙纹层理和生物扰动构造,未见代表三角洲沉积的交错层理及滑塌变形构造。在岩性剖面上几乎不见冲刷面构造,细砂岩、粉砂岩和泥岩往往呈渐变接触,为一套稳定环境的沉积产物。粒度分析显示跳跃组分较高,占 80% ~ 98%,斜率较大,表明分选好;悬浮组分也较高,占 2% ~ 20%,几乎不含滚动组分,说明其水动力条件相对较弱,淘洗作用不强,杂基含量偏高。阜三段之上的阜四段和之下的阜二段均为非常稳定的半深湖-深湖相泥岩。

结合以上分析,阜三段具备湖相沉积的典型特征,但未见代表滨湖亚相的暴露构造,所以阜三段应为浅湖亚相沉积,发育滩砂、坝砂和浅湖泥 3 种沉积微相。其中,坝砂沉积时水动力较强,具有粒度较粗、杂基含量低、成分成熟度和结构成熟度均较高的特点,坝砂厚度较大,但规模比较小;滩砂厚度不大,但是分布范围广泛,常伴生有生物扰动及泥质纹层构造,粒度较细且杂基含量高;浅黑色泥岩代表一种低能还原环境,往往分布在滩间、坝间。因此,阜三段储层主要以坝砂为主,其次是滩砂。

根据地震反演结果结合单井相,编制了阜三段Ⅲ砂组的沉积微相图和砂岩等厚图(图3)。从沉积微相图可以看出,滩坝砂体向南仍有大面积分布,并没有明显减薄的趋势。

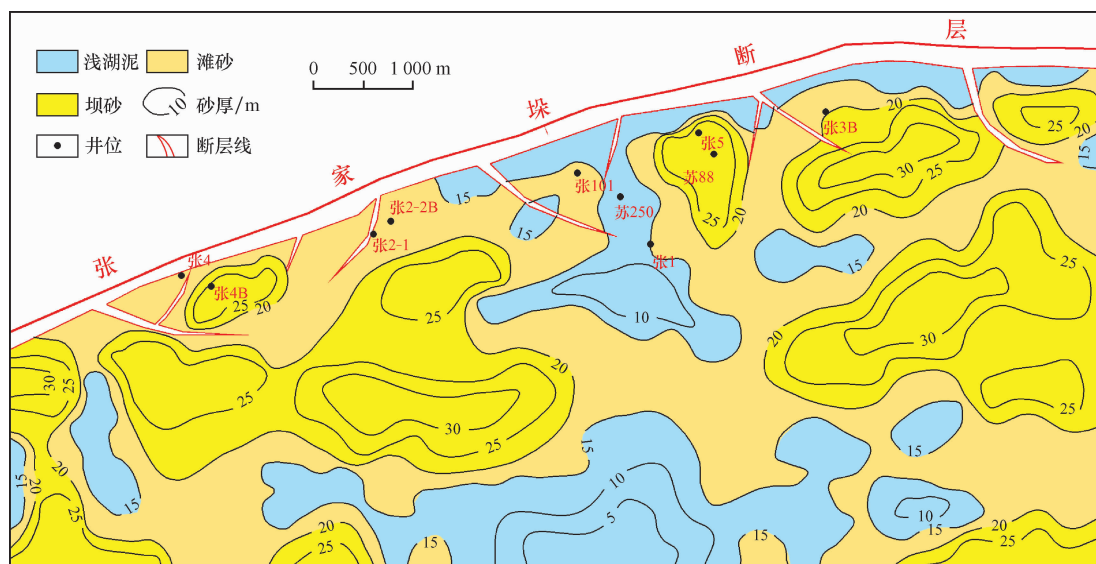


图3 张家垛油田阜三段Ⅲ砂组沉积微相及砂岩厚度

Fig. 3 Microfacies and sandstones thickness of the III-sand unit in the 3rd member of Funing Formation

1.2.2 储层物性

结合岩心观察及物性分析资料,将阜三段储层分为3类:细-粉砂岩、生物扰动粉砂岩及泥质纹层粉砂岩。细-粉砂岩主要指水动力较强条件下的坝砂和部分滩砂,粒度较粗且杂基含量低,孔隙度一般大于14.5%,渗透率超过 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,孔隙类型以剩余原生粒间孔和长石溶孔为主,含少量杂基内微孔。从目前试油情况来看,这种类型的储层往往具有自然产能。生物扰动粉砂岩及泥质纹层粉砂岩主要为水动力条件较弱时沉积的滩砂,厚度往往小于1 m,粒度细且粘土含量高,孔隙度小于16%,渗透率小于 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,孔隙类型以杂基内微孔和剩余粒间孔为主,偶见长石的溶孔。该类型的储层往往不具有自然产能,通过工艺改造方可获一定产能。

1.2.3 成岩作用

阜三段储层的成岩作用主要包括压实作用、胶结作用和溶蚀作用。

阜三段储层埋深接近3 000 m,但碎屑颗粒以点、点-线接触为主,线接触偶见(图4)。其原因有二:一是欠压实导致作用于骨架颗粒上的有效应力较小,由欠压实形成的高压可以抑制上覆地层的压实作用^[1-3],使原生粒间孔很好地保存下来。目的层压力系数可达1.3,计算的等效深度为2 200 m,所以储层埋深并不“深”。因此,异常压力越高,作用于骨架颗粒上的有效应力就越小,压实程度越弱。二是塑性岩屑少,塑性岩屑在上覆

地层压实作用下,由于形变可以堵塞粒间孔而使原生粒间孔遭到破坏^[4-5]。阜三段储层中骨架颗粒主要为石英和长石,岩屑极少(2%),所以由于压实作用导致塑性颗粒形变而破坏的孔隙是不明显的。由此可见,压实作用对3 000 m埋深的阜三段储层的破坏性作用是很弱的。

胶结作用在阜三段储层中常见,胶结物成分主要包括无铁方解石、铁方解石、硅质、高岭石、绿泥石和伊利石等。其中,无铁方解石胶结时间最早,占据整个粒间孔隙,形成致密层;铁方解石是所有成岩胶结物中最晚的,它直接交代碎屑颗粒或充填在石英次生加大之后,但含量并不高;硅质胶结物的主要表现为石英的次生加大,阜三段存在石英次生加大的砂岩均为粒度较粗的好储层,但这并不是说石英次生加大起建设性成岩作用,因其含量较低;高岭石易见,且粒度越粗的细砂岩中,含量越高;绿泥石与高岭石、伊/蒙混层一起产出,晶形不好,不具颗粒包壳;阜三段砂岩储层中伊利石含量较低,往往呈卷曲状和伊/蒙混层混在一起。

溶蚀作用非常明显,见大量的斜长石发生溶蚀,形成粒间蜂窝状溶孔,甚至铸模孔。溶蚀作用主要发育在粒度较粗的细砂岩中,在粉砂岩和含泥质纹层的细-粉砂岩中偶见。长石溶蚀明显,与此对应的高岭石含量并不高,说明长石溶蚀形成的高岭石大部分被带出反应体系,仅少量充填在长石的粒内溶孔中^[6]。因此溶蚀作用发生时,成岩体系尚未封闭。由此可见,长石溶蚀发生在异常高压形成之前,对储集物性有建设性作用。

1.3 圈闭特征

张家垛构造位于海安凹陷曲塘次凹北部边界断层下降盘一侧,由一断鼻型构造组成,由近南北向次级小断层进一步将该断鼻由东向西呈阶梯状断开,形成若干个小断块。边界断层断距大于1 500 m,为长期活动的同生断层,已有苏94井、苏88井钻遇边界断层。地层倾角大,陡坡带坡度为32°,缓坡带坡度为12°。从目前的勘探情况来看,研究区的圈闭类型以岩性-构造复合圈闭为主,其次为构造圈闭。圈闭面积较小,但其闭合高度较大,普遍在500 m左右。

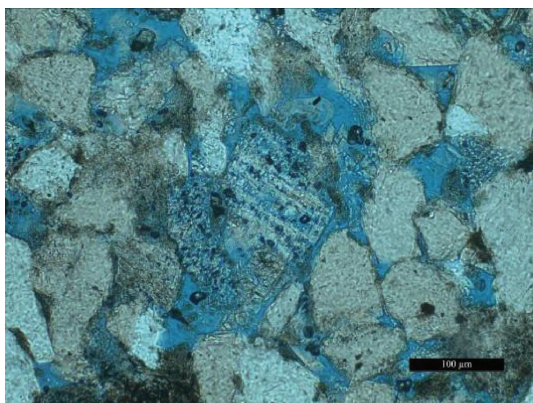


图4 张家垛油田张3B井岩心显微照片

Fig. 4 Microscopic photo of cores from Well Zhang 3B in Zhangjiaduo oilfield

(埋深2 958 m,欠高压导致碎屑颗粒以点接触为主。)

2 异常压力特征

2.1 泥岩的压实作用

泥岩欠压实现象是东部新生代断陷盆地,特别是苏北盆地古近系重要的地质特征之一。地层在正常沉积过程中,随着沉积埋藏深度的增加,上覆岩层的负荷增大,地层不断被压实。在压实的同时,地层孔隙中的流体逐渐排出,地层孔隙度减小,岩石颗粒间的有效应力增大,此时地层孔隙流体保持静水压力,称为正常地层压力。而在一些特殊的地质背景下,孔隙流体不能正常排出,形成相对封闭的地层系统,将会形成欠压实带^[7-13]。

声波时差一般情况下能反映地层的压实情况。正常沉积地层中,声波时差的对数与深度呈线性关系^[14]。随着上覆地层的沉积,声波时差逐渐减小,在异常压力发育带则表现出偏离正常压实趋势线。

通过读取该地区井眼规则处泥岩的声波时差,发现营二段以上,随着埋深的增加,声波时差逐渐减小;进入营一段后,声波时差随埋深的增加保持不变,偏离泥岩的正常压实曲线(图5);进入三垛组后,泥岩的声波时差又恢复到正常压实曲线值;直到戴南组(部分井在三垛组一段),随着埋深的进一步增加,声波时差又偏离正常压实曲线。从以上分析可以看出,该地区新生代存在两个异

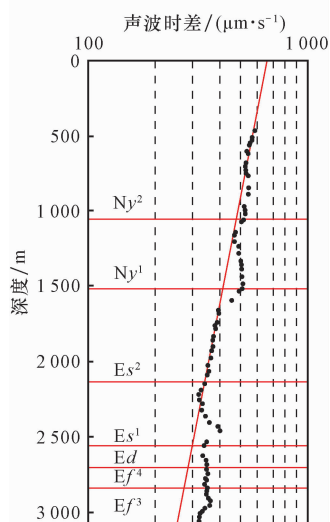


图5 张家垛油田张3B井泥岩压实曲线

Fig. 5 Mudstone compaction curves of well Zhang 3B in Zhangjiaduo oilfield

常高压带,本文重点探讨阜宁组的异常高压。

2.2 异常压力形成机理

沉积盆地内异常高压可以由多种因素造成,主要包括欠压实作用、构造作用、有机质生烃、矿物转化、液态烃裂解、水热增压等,其中欠压实、烃类生成作用和构造挤压是产生超压的主要机理^[15-18]。

泥岩在压实过程中由于孔隙流体未能及时排出或排出受阻,孔隙体积不能随压力增大而变小,使其中流体也承受了上覆地层的负荷,产生该现象的过程叫欠压实作用。存在欠压实的泥岩比正常压实的泥岩具有高的孔隙度。所以,存在欠压实的泥岩具有高声波时差、低密度和低电阻率的特征^[19-20]。

干酪根生烃也可导致高压,如胜利油田的沙三段^[21]。干酪根在向油气转化的过程中可以产生额外的流体,导致泥岩的压力增加。由于干酪根生烃导致的高压取决于干酪根类型、有机质丰度及热史等^[16],所以干酪根生烃导致的高压往往被用来解释老地层中的高压形成机理^[22]。因此,如果泥岩中的高压是由于干酪根生烃导致的,则泥岩的密度并不减小,而声波时差会增加,电阻率将较高^[2]。

图6为研究区张101井泥岩的声波时差、密度和电阻率随深度的变化图。从图中可以看出,阜宁组泥岩偏离正常压实曲线,具有高声波时差、低密度的特征,且泥岩电阻率随着埋深的增加越来越低。显然,阜宁组地层中的异常高压为欠压实成因,与干酪根生烃无关。在盆地沉降速率较高、地层压实程度较低时,压实不均衡是超压发育的主要因素;而在沉降速率较低,特别是机械压实趋于终止的埋藏阶段,生烃作用成为主要生压机制^[23]。阜宁组为一套湖相地层,泥岩厚度大且沉积速率快,下伏烃源岩又具有低熟的特点,具备发生欠压实的条件。

2.3 异常压力分布规律

由于研究区测压资料较少,用实测压力研究异常压力的分布存在很大的局限性。研究区最丰富的资料是测井资料。伊顿法利用泥岩声波时差进行压力的计算如下^[24]:

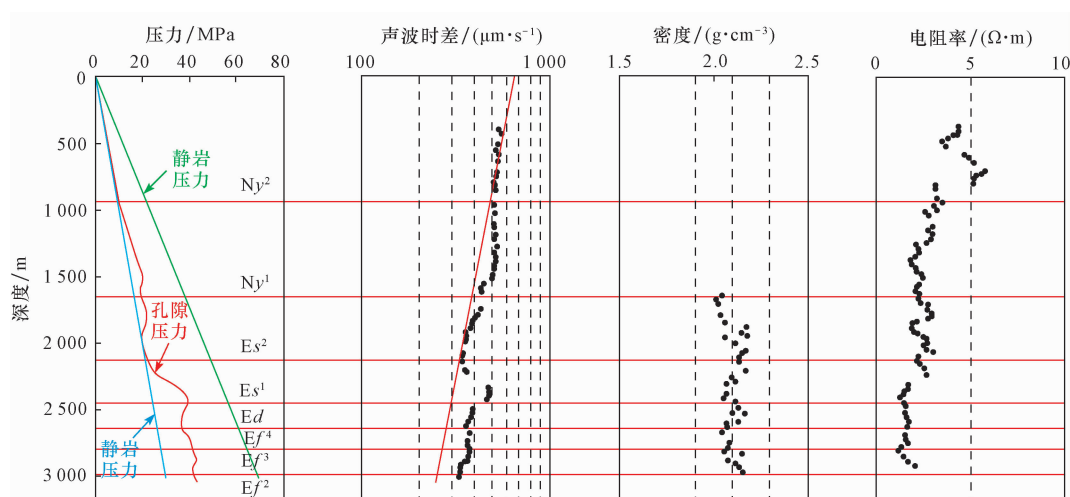


图6 张家垛油田张101井泥岩声波时差、密度、电阻率及压力剖面

Fig. 6 Profiles of interval transit time, density, resistivity and pressures of mudstones in well Z101 in Zhangjiaduo oilfield

$$p_p = S_v - (S_v - p_h) (\Delta t_n / \Delta t_i)^x \quad (1)$$

式中, x 为指数; p_h 为静水压力, MPa; p_p 为孔隙压力, MPa; S_v 为静岩压力, MPa; Δt_n 为理论声波时差值, $\mu\text{s}/\text{m}$; Δt_i 为测井声波时差值, $\mu\text{s}/\text{m}$ 。

伊顿法假定地层压力与声波时差偏离正常压实曲线的程度 ($\Delta t_n / \Delta t_i$) 有关, 均取决于有效压力的大小。本次研究通过反复计算, 指数 x 取 1.5, 进而建立了该区异常压力剖面 (图 7)。第一个异常压力带出现在盐城组一段, 除张 4 井外, 压力系

数均大于 1.2, 其中东区压力系数大于 1.3, 苏 250 井附近压力系数高达 1.4。第二个异常压力带出现在三垛组二段以下, 又可细分为两个次异常压力带: 第一次异常高压带在三垛组一段, 压力系数普遍超过 1.3, 在张 2-1 井到苏 250 井之间压力系数超过 1.4; 第二次异常高压带分布在阜宁组, 分布非常广泛, 压力系数除张 4 井外, 均超过 1.4, 压力系数最大值集中在阜三段顶到阜四段, 自阜三段向下压力系数有降低的趋势。总体上, 阜三

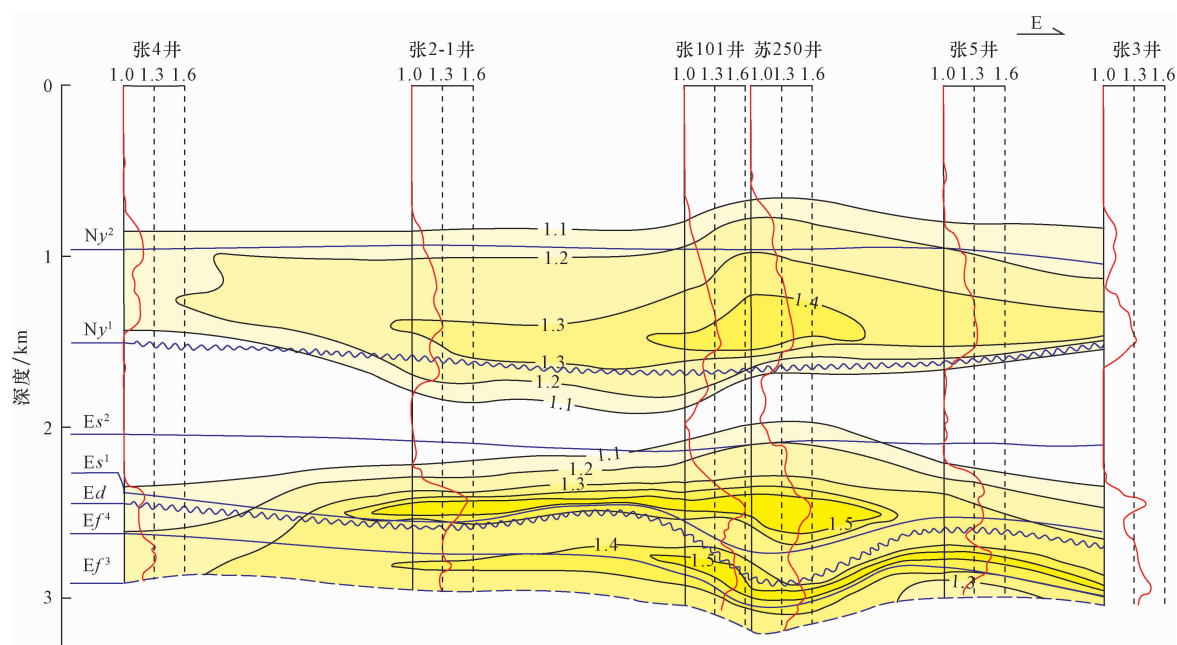


图7 张家垛油田压力系数剖面

Fig. 7 Pressure coefficient profiles of Zhangjiaduo oilfield

段异常压力具有东高西低的分布格局,异常压力最大值位于阜三段上部及阜四段。

3 油气富集规律

阜三段优质储层的形成机理与欠压实密切相关。正是欠压实的存在,致使大量的剩余原生粒间孔免受压实作用的破坏而被保留了下来,骨架颗粒中的大量斜长石在成岩早期受大气淡水的淋滤发生溶蚀而形成溶蚀孔隙,最终导致张家垛油田阜三段在深埋情况下还发育优质储层。从沉积微相图(图3)可以看出,向南仍有大面积的坝砂存在,且断裂不发育,说明其封闭性更好。

从压力剖面来看,第二个异常高压带中压力系数最大值出现在阜三段顶至阜四段中,异常高压为欠压实成因,形成时间早,在三垛运动发生之前已处于封闭状,高压箱内的流体与外界流体的交换速率变缓。阜三顶—阜四段异常高压形成压力封存箱的顶,封存箱侧部由边界断层和非渗透层所封闭,阜三段Ⅲ砂组为储层,阜二段为烃源岩。阜二段的烃源岩在40 Ma左右达到低成熟,开始生烃,形成的油气向上运移,高压封闭性盖层使油气大部分聚集在压力封存箱内的阜三段Ⅲ砂组中。高压封闭的区域性盖层在断裂发育处由于泄压导致箱顶破裂,箱内油气可以突破盖层在箱外形成戴南组次生油藏。向南由于断裂的不发育,压力封存箱保存完好,油气将主要富集在箱顶之下的低势区——阜三段中。

综上所述,阜三段油气成藏取决于高压封闭的区域性盖层和沉积微相,向南成藏条件可能会变好;戴南组油藏为高压封闭的区域性盖层破坏后形成的次生油藏,向南不具备成藏条件。

4 结论

1) 阜宁组异常高压的形成机理为欠压实,形成时间早。欠压实的存在导致阜三段储层在深埋情况下具有好的储集物性,优质储层向南仍然发育。

2) 异常高压峰值分布在阜三段顶—阜四段。高压封闭形成的区域性盖层构成压力封存箱的箱顶,阜二段烃源岩生成的油气主要富集在封存箱箱顶的低势区——阜三段Ⅲ砂组中。

3) 压力封存箱在南部封闭性更好,离烃源岩

距离更近。高陡构造利于油气的二次运移。阜三段成藏条件优越,可作为下一步的勘探目标区。

参 考 文 献

- [1] Mark W, Stephen O, Bitrus P, et al. Overpressure in the Tarana-ki Basin: distribution, causes, and implications for exploration [J]. AAPG Bulletin, 2009, 95(1): 339–370.
- [2] Agus M R, Neil R G. Overpressure and mudrock compaction in the Lower Kutai Basin, Indonesia: a radical reappraisal [J]. AAPG Bulletin, 2011, 95(10): 1725–1744.
- [3] 郝芳, 邹华耀, 倪建华, 等. 沉积盆地超压系统演化与深层油气成藏条件 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2002, 27(5): 610–615.
Hao Fang, Zou Huayao, Ni Jianhua, et al. Evolution of overpressured systems in sedimentary basins and conditions for deep oil/gas accumulation [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2002, 27(5): 610–615.
- [4] 张哨楠. 致密天然气砂岩储层: 成因和讨论 [J]. 石油与天然气地质, 2008, 29(1): 1–10.
Zhang Shaonan. Tight sandstone gas reservoirs: their origin and discussion [J]. Oil & Gas Geology, 2008, 29(1): 1–10.
- [5] 窦伟坦, 田景春, 王峰, 等. 鄂尔多斯盆地长6油层组储集砂岩成岩作用及其对储层性质的影响 [J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2009, 36(2): 153–158.
Dou Weitan, Tian Jingchun, Wang Feng, et al. Diagenesis and its influence on the reservoir quality of Member 6 of the Upper Triassic Yanchang Formation oil reservoirs in Ordos Basin, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2009, 36(2): 153–158.
- [6] 丁晓琪, 张哨楠, 周文, 等. 鄂尔多斯盆地北部上古生界致密砂岩储层特征及其成因探讨 [J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(4): 491–496.
Ding Xiaoqi, Zhang Shaonan, Zhou Wen, et al. Characteristics and genesis of the Upper Paleozoic tight sandstone reservoirs in the northern Ordos basin [J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(4): 491–496.
- [7] Colton B V. Role of pressure in smectite dehydration—effects on geopressure and smectite-illite transformation [J]. AAPG Bulletin, 1987, 71: 1414–1427.
- [8] 周荔青, 刘池洋, 陆黄生, 等. 苏北盆地阜三段油气成藏规律 [J]. 石油实验地质, 2004, 26(2): 187–193.
Zhou Liqing, Liu Chiyang, Lu Huangsheng, et al. Pool-forming rules of oil and gas in the third member of the Funing Formation, the North Jiangsu Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2004, 26(2): 187–193.
- [9] 吴永平, 王允诚, 李仲东, 等. 镇泾地区地层异常压力与油气运聚关系 [J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2008, 30(1): 47–50.
Wu Yongping, Wang Yuncheng, Li Zhongdong, et al. The relation between abnormal pressure and oil migration in Zhenjing

- region[J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2008, 30(1): 47-50.
- [10] 李仲东, 张峭楠, 李良, 等. 鄂尔多斯盆地上古生界压力演化及成藏过程分析[J]. 中国科技论文在线, 2008, 3(11): 841-848.
- Li Zhongdong, Zhang Shaonan, Li Liang, et al. Reservoir-processing analysis and the development of pressure in Upper Paleozoic of Ordos Basin[J]. Sciencepaper Online, 2008, 3(11): 841-848.
- [11] 郑丹, 徐思煌, 尚小亮. 珠江口盆地惠州凹陷泥岩压实特征及其成因[J]. 地球科学与环境学报, 2010, 32(4): 372-377.
- Zheng Dan, Xu Sihuang, Shang Xiaoliang. Characteristics and genesis of mudstone compaction in Huizhou Depression, Pearl River Mouth Basin[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2010, 32(4): 372-377.
- [12] 丁晓琪, 张峭楠, 谢世文. 鄂尔多斯盆地镇泾地区中生界成藏系统[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(2): 157-164.
- Ding Xiaoqi, Zhang Shaonan, Xie Shiwen, et al. Hydrocarbon accumulation system of the Mesozoic in Zhenjing oilfield, the Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(2): 157-164.
- [13] 徐东锋, 赵红佳, 刘见宝. 济阳坳陷沾化凹陷异常高压与油气成藏模式[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(4): 601-605.
- Xu Dongfeng, Zhao Hongjia, Liu Jianbao. Abnormal pressure and hydrocarbon reservoiring pattern of the Zhanhua sag in Jiyang Depression[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(4): 601-605.
- [14] 罗晓容, 陈荷立, 王家华, 等. 江汉盆地地层埋藏史研究[J]. 石油实验地质, 1989, 11(4): 369-378.
- Luo Xiaorong, Chen Heli, Wang Jiahua, et al. Study on burial history of the strata in Jianghan Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 1989, 11(4): 369-378.
- [15] Richard E, Swarbrick M J. Abnormal pressure in hydrocarbon environments[J]. AAPG Bulletin, 1986, 70(1): 13-34.
- [16] Osborne M J, Swarbrick R E. Mechanisms for generating overpressure in sedimentary basins: a reevaluation[J]. AAPG Bulletin, 1997, 81: 1023-1041.
- [17] Magnus W A. Quantitative comparison of some mechanisms generating overpressure in sedimentary basins[J]. Tectonophysics, 2001, 334(3): 211-235.
- [18] Holm G. How abnormal pressure affect hydrocarbon exploration, exploitation[J]. Oil & Gas Journal, 1998, 96(2): 79-84.
- [19] Sayers C M, Johnson G M, Denyer G. Predrill pore-pressure prediction using 4-C seismic data[J]. Geophysics, 2002, 67: 1286-1292.
- [20] 杜翔, 郑洪印, 焦秀琼. 异常压力与油气分布[J]. 地学前缘, 1995, 2(3-4): 137-146.
- Du Xu, Zheng Hongyin, Jiao Xiuqiong. Abnormal pressure and hydrocarbon accumulation[J]. Earth Science Frontiers, 1995, 2(3-4): 137-146.
- [21] Guo Xiaowen, Sheng He, Liu Keyu, et al. Oil generation as the dominant overpressure mechanism in the Cenozoic Dongying depression, Bohai Bay Basin, China[J]. AAPG Bulletin, 2010, 94(12): 1859-1881.
- [22] Hunt J M, Whelan J K. Gas generation—a major cause of deep Gulf Coast overpressures[J]. Oil & Gas Journal, 1994, 92: 59-62.
- [23] 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.
- Hao Fang, Dong Weiliang. Evolution, fluid flow and petroleum accumulation in overpressured systems in sedimentary basins[J]. Advance in Earth Sciences, 2001, 16(1): 79-85.
- [24] Mark R P T, Richard R H, Richard E S, et al. Origin of overpressure and pore-pressure prediction in the Baram province, Brunei[J]. AAPG Bulletin, 2009, 93(1): 51-74.

(编辑 李军)

中国渤海获新发现大型油田

中国海洋石油有限公司于2012年4月17日宣布,其2010年于中国渤海获得的新发现蓬莱9-1含油气构造评价日前获得成功,证实蓬莱9-1为一大型油田。蓬莱9-1构造位于中国渤海东部海域庙西北凸起上,平均水深约25 m。其中,评价井蓬莱9-1-5共钻遇200多米厚的油层,测试日产原油约700桶。此外,中海油消息称,公司在位于蓬莱9-1以南8 km的蓬莱15-2构造上也获得了成功发现。钻获发现的蓬莱15-2-1井共钻遇83 m厚的油层。经测试,该井日产油超过1 200桶。