

车镇凹陷北部陡坡带砂砾岩体识别与储层物性预测

王金铎^{1,2}, 许淑梅^{2,3}, 季建清¹, 于建国², 苏朝光^{2,3}

(1 北京大学 地球与空间科学学院, 北京 100871; 2 中石化 胜利油田物探研究院, 东营 257001;

3 中国海洋大学 海洋地球科学学院, 青岛 266100)

摘要: 车镇凹陷陡坡带沙三段砂砾岩扇体发育, 但目前对砂砾岩体横向展布范围及砂砾岩体边界的划分尚不清楚, 储层物性难以预测。首先, 利用相干分析技术开展砂砾岩扇体沉积相的划分, 明确了扇体的展布规律、分布范围、划清了砂砾岩扇体的边界。然后, 利用声波、速度谱等资料探讨了沙三下亚段(Es3x)地层压力情况, 认为Es3x存在欠压实超压带, 车镇凹陷欠压实超压带的发现为寻找沙三段砂砾岩扇体储层物性良好发育区指明了方向。最后, 利用地震高频能量衰减检测技术对储层物性进行了预测。通过地震高频能量衰减梯度法预测的储层物性良好发育区, 位于研究区欠压实超压区内, 用地震能量高频波段的衰减特征不但可预测不同井位的储层物性, 还可根据连井衰减梯度剖面的变化规律预测地震高频波段高衰减区的延伸范围。高频能量衰减梯度法预测的储层物性良好发育区带与实钻结果吻合度好。

关键词: 相干分析; 欠压实超压带; 地震能量衰减; 沙三下亚段; 车镇凹陷

中图分类号: P744.4

文献标识码: A

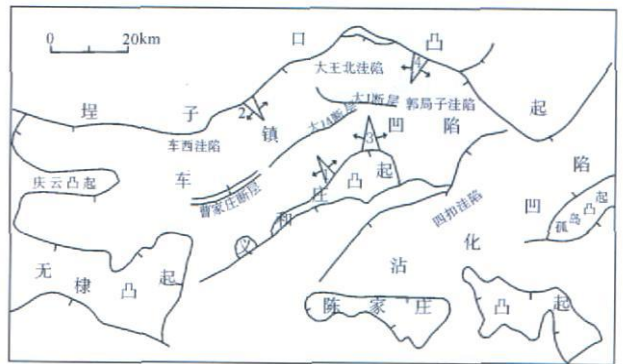
文章编号: 0256-1492(2008)02-0093-06

车镇凹陷属于济阳拗陷北部的一个次级构造单元, 凹陷北部陡坡带位于埕南断层下降盘, 长约 118 km, 宽 3~7 km, 由车西、大王北和郭局子 3 个三级次洼陷组成, 其间分别以车 3 和大 35 鼻状构造相隔, 总面积约为 2 300 km² (图 1)。车镇凹陷北部陡坡带主要发育一套冲积扇-扇三角洲-深水浊积扇砂砾岩体沉积序列, 其中沙河街组三段下亚段的砂砾岩扇体最为发育^[1]。虽然沙三段砂砾岩体极为发育, 但勘探程度较低, 其主要原因在于: ①生物化石缺乏, 传统的生物+岩-电关系地层划分法不再实用, 砂砾岩体发育的有利层位不清楚; ②砂砾岩体厚度大(最厚达 1 500 m), 期次不明显, 横向岩性不稳定, 全区对比困难, 对砂砾岩体横向展布及扇体边界的变化认识不清, 有效储层分布不落实, 储层物性难以预测。研究区陡坡带广泛发育的砂砾岩体具有以下特征: ①速度明显高于围岩; ②岩性、岩相横向变化快, 且多沉积于斜坡部位; ③地震反射杂乱, 储层描述困难。针对上述情况, 本文将采取相应的技术方法对砂砾岩扇体进行描述与识别, 然后对其进行储层物性预测, 达到指导砂砾岩扇体油气勘探的目的。

1 沙三段地层及砂砾岩体特征

作者简介: 王金铎(1967—), 男, 高级工程师, 博士, 从事石油地质研究, E-mail: Jsbswd@slof.com

收稿日期: 2007-09-15; 改回日期: 2007-11-30. 周立君编辑



1. 套尔河鼻状构造 2. 车3鼻状构造 3. 大王庄鼻状构造 4. 大35鼻状构造

图 1 研究区构造位置

Fig. 1 Tectonic location of the research area

车镇凹陷古新近系地层发育齐全, 自下而上依次发育有古近系孔店组、沙河街组、东营组, 新近系馆陶组、明化镇组^[1], 砂砾岩扇体的主要发育层段是沙河街组三段。沙三段可细分为下段、中段和上段, 简称为沙三下(Es3下)、沙三中(Es3中)、沙三上(Es3上), 厚约 1 000 m。沙三下亚段为深灰、褐灰色油页岩及灰质泥岩夹砾砂岩、粉砂岩、粉细砂岩等, 底部为大套的油页岩夹薄砂岩, 岩性分布稳定, 属深湖相沉积, 其底界面为地震第六标准层(T6) (图 2), 是车镇北部主要含油层系之一。沙三中亚段以深灰色泥岩夹灰岩、白云岩沉积为主, 为半深湖-深湖沉积体系。沙三上亚段主要发育大套块状、层状砂体, 以滨浅湖相、三角洲、扇三角洲沉积体系为主要特征, 仅见零星油气显示^[2]。

2 砂砾岩体识别

针对研究区砂砾岩扇体横向展布不清、边界确定困难、有效储层分布不落实的实际情况,首先利用相干分析技术开展砂砾岩扇体追踪和扇体边界的确定。

相干分析技术是根据波形的相似性,将三维地震反射数据体从其连续性过渡到数据体的不连续性。它通过量化处理地震相干属性,产生一个新的“连续性”数据体,以突出地震同相轴的不连续点或突变点,生成可解释的断层和隐蔽地层构造的图像,相关值的趋势性变化可反映物性的变化。相干技术不仅能有效识别出常规构造解释难以发现的断层,而且还可以研究岩性、岩相的横向非均匀变化,并借以划分沉积相带及预测有利储集相带的分布。

本文重点对车镇凹陷大王北洼陷沙三下亚段进行相干分析,并利用相干分析结果进行沉积相解释。根据地地震相干属性的强弱及对不连续点和突变点的追踪,把大王北洼陷 Es_{3x} 划分出 5 个砂砾岩扇体,每个扇体的边界均较清晰,可显示出不同砂砾岩扇体分布范围(图 3)。

从图 3 可以看出 5 个砂砾岩扇体的边界清晰,相带组合合理,符合砂砾岩扇体沉积学特征,表明用相干分析法对砂砾岩扇体进行相带划分和边界追踪是适合的。

车 66 井区沙三下亚段可分为 4 个砂组,进一步对大王北洼陷车 66 井区沙三下段分砂组进行地震相干处理,在相干图上进行沉积相解释,结果如图 4 所示。从车 66 井区 4 个砂组砂砾岩扇体的展布范围和发育形态来看,物源方向为东北和北西双向物源,东北向扇体更为发育,横向展布范围大。I 砂组、III 砂组和 IV 砂组砂砾岩扇体发育,预测其储集性较好,而 II 砂组砂砾岩扇体不太发育,储集性较差(图 4)。

从图 4 还可看出,车 660 井 1-4 储层物性都比较好,2、3 砂组储层物性更好,2 砂组日产油 40 t、3 砂组日产油 193 t,1 砂组、4 砂组储层物性稍差;车 66 井的 3、4 砂组储层物性好,而 1、2 砂组储层物性较差。车 662 井 4 砂组储层物性较好,而 1、2、3 砂组的储层物性均较差。基于相干数据体的储层物性预测结果与实钻结果吻合较好。

可以看出,利用相干数据体可以精细描绘砂砾岩体的横向展布范围并确定不同岩体的边界点,有利于进行砂体追踪并刻画砂砾岩扇体的分布规律。

3 砂砾岩体储层物性检测

异常高压可改善深层砂体的储集性能,不但有效保护了原生孔隙,形成了相对于埋深偏高的异常孔隙,而且在高温高压条件下,有机酸与无机物发生反应,促使大量次生孔隙产生,控制着深层油气藏的形成和聚集,尤其对于洼陷中的自生自储油藏的形成有重要作用^[3-6]。

在上述砂砾岩扇体划分和扇体边界追踪的基础上,利用声波和速度谱等资料研究并追寻异常高压分布区带,寻找储层物性良好保存区带,可作为储层物性检测的基础工作。然后结合地震能量衰减梯度、泊松比等储层物性检测手段进一步分析储层物性,为勘探提供高效开发井位。

3.1 异常高压分布区带预测

车镇凹陷古近系原生孔隙主要分布在埋深浅于 1 900 m 的地层,次生孔隙的主要发育深度位于大于 2 000 m 的地层^[7]。大部分原生孔隙甚至次生孔隙在 2 000 m 以下须借助于异常高压的存在才能保存,现今高流体压力是深部油气藏得以保存、具有异常高孔隙和较高产能的必备条件^[3-4]。研究区沙三段底界埋深在 3 200 ~ 4 500 m 之间,因此,寻找沙三下异常高压分布区带是发现高孔隙发育带和高产能区块的有效途径。

目前主要是利用声波测井和地震层速度谱资料研究和预测地层压力^[5-6]。采用地震速度谱资料预测异常压力适用于不均衡压实导致异常高压的地区,其原因是均衡压实导致的地层孔隙度偏正异常与超压带基本吻合,而由欠压实导致的孔隙度偏正异常在地震波速度上有明显响应。

图 5 为基于声波资料预测的研究区 Inline482 测线欠压实区带剖面(图 3 中标明了该测线的位置),图 6 为基于地震速度谱资料预测的 Inline482 测线压力系数变化曲线。可以看出,该测线在沙三下亚段存在欠压实带,由北向南,欠压实带由浅变深再变浅(图 5),与在该测线基于地震速度预测的压力系数变化曲线所形成的剖面分布形式吻合(图 6),表明研究区存在欠压实超压带。

建立在速度谱资料之上的压力系数等值线平面图(图 7)提供了本区地层压力分布信息。图 7 显示研究区 T6 界面附近压力系统的环状结构显著。车西洼陷的超高压系统发育显著,压力系数为 1.7。大王北洼陷也发育了洼陷级的超压系统,且发育规

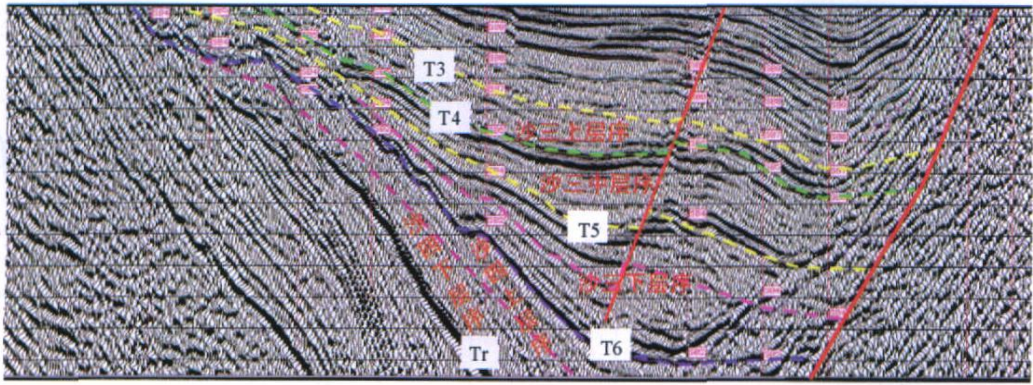


图 2 车镇凹陷古新近纪地震地层划分(Inline957 地震测线)

Fig. 2 The seismic strata partition of the Tertiary in the Chezhen sag (Inline957)



图 3 大王北洼陷沙三段地震相干图

Fig. 3 Seismic coherent graph of Es3x in the Dawangbei

模较车西洼陷有所扩展。郭局子洼陷也明显存在超压系统,但最大压力系数低于前两个洼陷,为 1.6。断裂带的泄压分隔作用明显,靠近盆地边缘埕南断裂为常压-低压系统,凹陷缓坡带断层泄压作用也较明显。

车镇凹陷欠压实超压带的存在与发现为寻找沙三段砂砾岩体储层物性良好发育区带指明了方向。

3.2 储层物性预测

当地质体储层物性良好、孔隙/裂缝等发育时,会引起地震能量的衰减,且地震波中的高频波段能量(地震波中的高频能量段指的是 45~70 Hz 的高频波段)衰减比低频波段能量衰减要大。

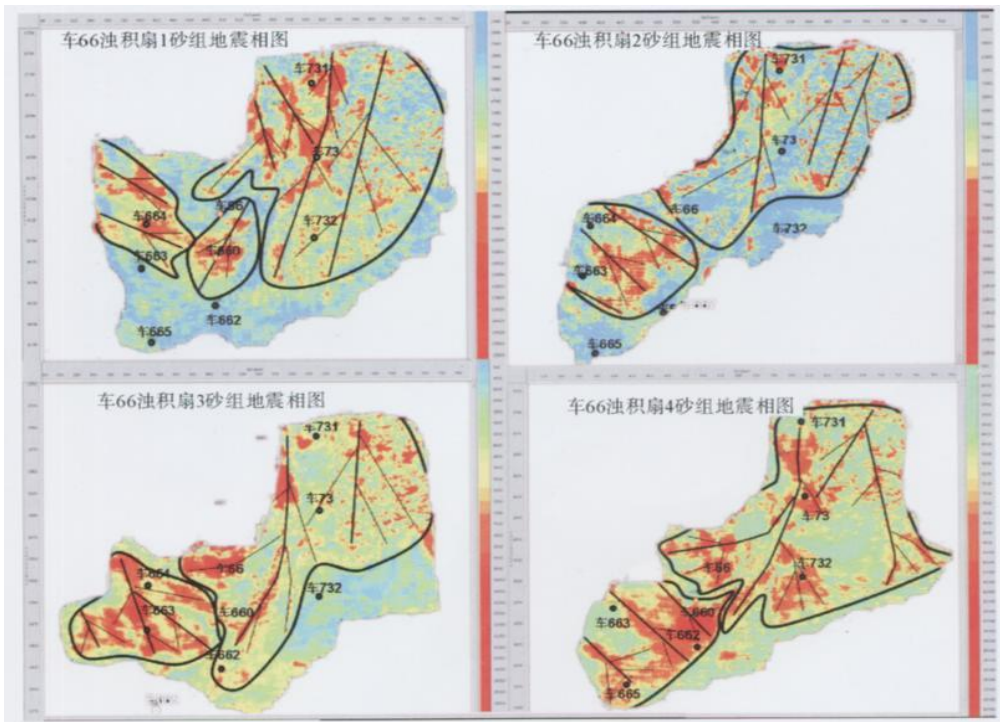


图 4 车 66 井区沙三段分砂组地震相干图

Fig. 4 Seismic coherent graph of Es3x in well Che66 area

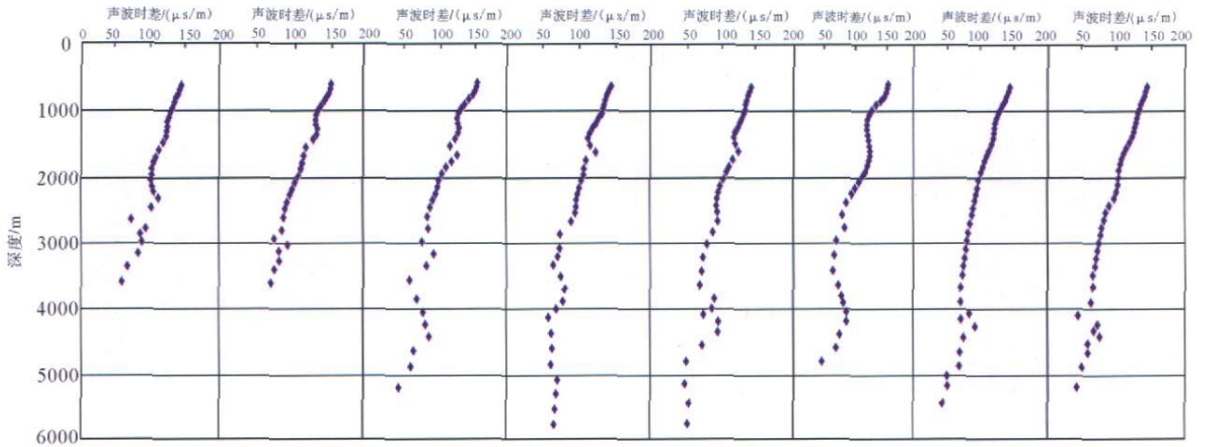


图 5 Inline482 测线欠压实带分布剖面

Fig. 5 Section of the under-compaction hyper-pressure zone of Inline 482

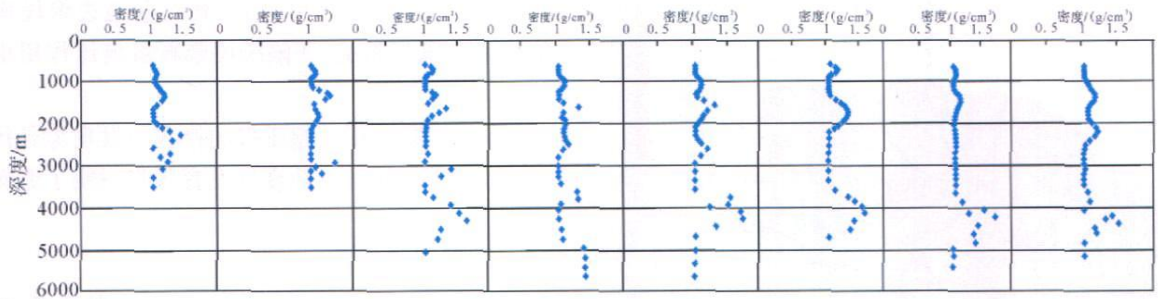


图 6 Inline482 测线预测压力系数变化曲线

Fig. 6 Predicted pressure index of Inline 482



图 7 车镇凹陷 Es3 下亚段异常高压带最大压力段压力系数平均值平面图

Fig. 7 Isoclines map of the max pressure in hyper-pressure zone of Es3x in the Chezhen sag

地震波中的高频波段能量衰减越强, 储层物性越好; 反之, 地震波中的高频波段能量衰减越弱或不明显, 则储层物性越差。因此, 可用地震高频能量衰减检测技术预测砂砾岩扇体储层物性^[8-9]。

研究区车 66、车 660 井在 45 ~ 70 Hz 高频区段地震信号的能量衰减量明显, 相比之下, 车 661 井在 45 ~ 70 Hz 的高频段地震信号的能量衰减不明显(图 8)。45 ~ 70 Hz 高频区段地震能量衰减梯度 ATN_GKT 值小于 -0.3 的区域是储层物性发育

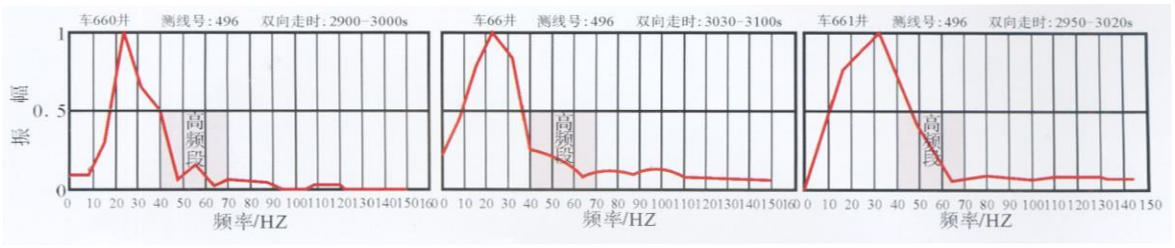


图 8 车 660、车 66、车 661 井地震能量高频段的衰减特征

Fig. 8 Seismic attenuation feature of the high frequency in wells Che660 Che66 and Che661

区。地震高频能量衰减检测技术预测结果表明车 660 井和车 66 井位于孔隙、裂缝发育区, 储层物性良好, 而车 661 井则位于孔隙、裂缝弱发育或不发育区, 储层物性较差。利用地震高频能量衰减检测技术预测的车 66、车 660 和车 661 井的储层物性与各井实钻结果的储层物性相符。

从连井地震高频波段能量衰减梯度剖面上还可预测地震高频波段高衰减区的扩展范围和延伸边界, 以此作为油气区块滚动开发和扩边的依据。从车 664-车 663 井高频波段能量衰减梯度剖面上看, 车 663 井沙三下亚段位于储层物性良好发育区, 向北扩展约 400 m 后, 在沙三下亚段仍存在一个非常有利的地震高频波段的高衰减区带。因此, 根据地震高频波段能量高衰减区段的延伸范围, 在车 663 向北扩展 300 m 至地震高频区段高衰减区的边部, 设计新的扩边井位车 664 井。正钻的车 664 井在沙三下钻遇油层 32 m、12 层, 取得了非常好的勘探效果(图 9)。

4 结论

(1) 根据相干性强弱, 把大王北洼陷沙三下亚段划分出 5 个砂砾岩扇体。依据扇体发育的不同位

置, 进一步将扇体划分为近岸水下扇和深水浊积扇两种类型。扇体的分布范围确定、边界清晰。

(2) 沙三下亚段超压带的分布区与欠压实带吻合。研究区欠压实超压系统呈环状结构, 靠近盆地边缘埕南断裂为常压-低压系统, 凹陷缓坡带断层的泄压作用也很明显。现今地层欠压实超压系统的存在使深部油气藏得以保存, 并使砂砾岩扇体具有异常高孔隙和较高产能。

(3) 地震高频能量衰减检测技术可预测砂砾岩扇体储层物性。研究区沙三下亚段不同砂砾岩体物性区带具有不同的地震能量高频波段衰减特征。根据连井地震高频波段能量衰减梯度剖面预测了地震高频区段高衰减区的延伸范围和边界, 作为油气区块扩边的证据。

参考文献 (References)

[1] 王蛟, 姜在兴, 陈世悦等. 渤海湾盆地车镇凹陷沙三—沙一段沉积演化与有利砂体预测[J]. 石油实验地质, 2005, 27(4): 371-377. [WANG Jiao, JIANG Zai-xing, CHEN Shi-yue et al. Sedimentary faces evolution and favorable sandstone body prospect in the third to first members of Shahejie Formation of Paleogene in the Chezhen Sag of the Bohaiwan Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2005, 27(4): 371-377.]

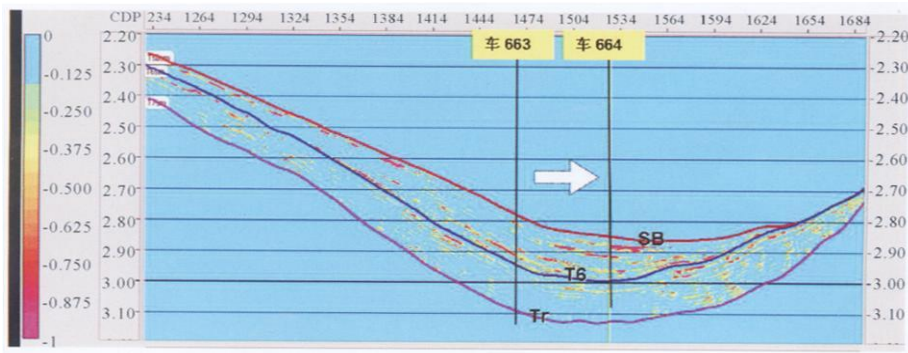


图 9 Inline406 南北向高频波段衰减梯度剖面

Fig. 9 Seismic attenuation section of the high frequency of Inline406

- [2] 周廷全, 鲜本忠, 林会喜, 等. 车镇凹陷陡坡带古近系湖底扇沉积规律及储层特征[J]. 油气地质与采收率, 2007, 14(2): 23-29. [ZHOU Ting-quan, XIAN Ben-zhong, LIN Hui-xi, et al. Sedimentary rules and reservoir characteristics of sub-lacustrine fan in Paleogene in steep of Chenzhen Sag[J]. Petroleum Geology and Recovery, 2007, 14(2): 23-29.]
- [3] 李洪香, 任继红, 马建英. 异常高孔隙流体压力与碎屑岩深部油气藏[J]. 石油勘探与开发, 2001, 28(5): 5-11. [LI Hong-xiang, REN Ji-hong, MA Jian-ying, et al. Abnormal high pore fluid pressure and deep oil and gas pools of clastic rock[J]. Petroleum Exploration and Development, 2001, 28(5): 5-11.]
- [4] 张先平, 张树林, 陈海红, 等. 东海西湖凹陷平湖构造带异常压力与油气成藏[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2007, 27(3): 93-97. [ZHANG Xian-ping, ZHANG Shu-lin, CHEN Hai-hong, et al. Abnormal pressure and related reservoir formation in the Pinghu Structural Belts of Xihu Depression, East China Sea[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 2007, 27(3): 93-97.]
- [5] 金业权, 王越之, 李自俊. 地震资料预测地层孔隙压力应基于欠压实成因[J]. 石油钻探技术, 2000, 28(3): 7-9. [JIN Ye-quan, WANG Yue-zhi, LI Zi-jun. Undercompaction causes for using seismic data to predict formation pore pressure[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2000, 28(3): 7-9.]
- [6] 李胜利, 于兴河, 陈建阳, 等. 渤海湾盆地济阳坳陷沾化凹陷地层流体压力分布规律及其对油气成藏的影响[J]. 地质力学学报, 2006, 12(1): 37-42. [LI Sheng-li, YU Xing-he, CHEN Jian-yang. Distributing characteristics of fluid pressure in the Zhanhua Subbasin, Jiyang Depression, Bohai Gulf Basin and their influence on oil and gas accumulations[J]. Journal of Geo-mechanics, 2006, 12(1): 37-42.]
- [7] 朱筱敏, 王英国, 钟大康, 等. 济阳坳陷古近系储层孔隙类型与次生孔隙成因[J]. 地质学报, 2007, 81(2): 197-206. [ZHU Xiao-min, WANG Ying-guo, ZHONG Da-kang, et al. Pore types and secondary pore evolution of paleogene reservoir in the Jiyang Sag[J]. Acta Geologica Sinica, 2007, 81(2): 197-206.]
- [8] 石彦. 含油气水地层的物性参数响应特征[J]. 石油物探, 2003, 42(2): 200-204. [SHI Yan. Petro-physical characteristics of formation filled with oil, gas, or water[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 2003, 42(2): 200-204.]
- [9] 胜利油田物探研究院. 砂砾岩体识别与描述技术[R]. 2003. [Geophysics Research Institute of Shengli Oilfield Ltd. Co. Identification and description of the sand-gravel body[R]. 2003.]

RECOGNITION OF SAND-GRAVEL BODY AND FORECASTING ITS PETROLEUM-BEARING FEATURE IN NORTHERN STEEP SLOPE OF CHEZHEN SAG

WANG Jin-duo^{1,2}, XU Shu-mei^{2,3}, Ji Jian-qing¹, Yu Jian-guo², Su Chao-guang^{2,3}

(1 Globe and Space Science Collage Peking University, Beijing 100871, China; 2 Geophysics Research Institute of Shengli Oilfield Company Ltd. Dongying 257001, China; 3 Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: Sand-gravel body of Es3x in the northern steep slope of Chezhen sag are well developed, but their spreading range and boundary are not obvious, and the distribution of effective reservoirs are not affirmative either. Due to above conditions of the research area, the authors first block out the sediment facies of the sand-gravel fan by using coherent analysis technique and affirm the spreading range and boundary of the sand-gravel fan. Then they discuss the Es3x pressure of the research area by using sound wave data and velocity spectrum data, believing there exists under-compaction hyper-pressure zone in Es3x in the research zone. At last the authors forecast the petroleum-bearing feature of the sand-gravel body by using techniques of attenuation gradient of seismic energy. The favorable petroleum-bearing zone forecasted by techniques of attenuation gradient of seismic energy is located in under-compaction hyper-pressure zone. Techniques of attenuation gradient of seismic energy not only forecast the petroleum-bearing feature of the well, but can be used as step-out evidence of the oil field. The conformity of petroleum-bearing feature between the results forecasted by techniques of attenuation gradient of seismic energy and by the drilling results is good.

Key words: coherent analysis; under-compaction hyper-pressure zone; attenuation of seismic energy; sand-gravel body; Es3x; Chezhen sag