

文章编号: 1000-0550(2006)06-0829-05

# 惠民凹陷的震积作用及低电阻率油层<sup>①</sup>

张小莉<sup>1</sup> 查明<sup>2</sup> 杨剑萍<sup>2</sup> 杨懿<sup>1</sup> 巨银娟<sup>1</sup>

(1 西北大学大陆动力学国家重点实验室 地质学系 西安 710069)

(2 中国石油大学(华东)地球资源与信息学院 山东东营 257061)

**摘要** 惠民凹陷沙河街组中存在古地震作用形成的原地扰动层、震浊积岩和震风暴岩,尤以原地扰动层和震浊积岩发育。可见微断层、层内阶梯状断层、震球枕构造、震碎角砾及各种变形构造等震积岩的识别标志。惠民凹陷中央隆起带基山砂体中,震积作用及震积岩分布与火山作用、火成岩分布具有同时间性与同空间性。震积岩,特别是震裂岩和震碎角砾岩中的孔、缝形成早,改善储集层渗透性,可成为一种非均质性很强的储层。该储层具有裂缝-孔隙双重孔隙网络,常形成相对低电阻率油层。

**关键字** 震积作用 测井响应特征 震积岩储层 低电阻率油层

**第一作者简介** 张小莉 女 1968年出生 工学博士 副教授 油气地质与测井资料处理与解释

**中图分类号** TE122.2 **文献标识码** A

具地震灾变事件记录的岩石称为震积岩(seismites),是具有成因联系的一组岩石的总称<sup>[1]</sup>。震积岩主要发育在裂谷、大陆边缘等构造活动地区<sup>[2]</sup>。其中,既有地震作用形成的原地扰动层,又有地震作用引发碎屑流和浊流而形成的震浊积岩,以及地震引发风暴流而形成的震风暴岩。由于一些震积构造难以与滑坡、膏溶塌落等非地震成因的类似特征相区别,尤其是地震液化脉、泄水脉等,极易与正常三角洲前缘滑塌成因构造相混淆,因此,建立准确、可信的识别标志,是准确识别震积岩及研究其油气意义的关键。

## 1 惠民凹陷区域地质背景

惠民凹陷断裂发育,各种沉积成因砂体纵横分布,间夹频繁火山作用。其构造演化主要经历4个阶段:孔店-沙四期伸展半地堑充填阶段、沙二-沙三期断块强烈活动阶段、沙一-东营期断块活动复杂化阶段和新近纪-第四纪埋深加大阶段<sup>[3]</sup>。

## 2 震积岩识别标志

地裂缝、微断层、层内阶梯状断层、震积砂枕构造、震碎角砾构造、层内褶皱、假结核、液化砂岩脉、火焰构造、振动液化卷曲变形构造、串珠状构造、混合层等是鉴别古地震记录的主要标志<sup>[4~8]</sup>。

地震作用强度与作用方式不同,震积岩特征及其

岩石记录也有明显的差异。

### 2.1 原地扰动层的特征及其测井响应

#### 2.1.1 原地扰动层的特征及垂向序列

地震扰动造成地壳表层(松软沉积层和固结的岩层)震动、破坏与改造,产生变形。结合杨剑萍、袁静等人对惠民凹陷中央隆起带基山砂体中震积岩的研究<sup>[9~10]</sup>,综合分析认为,地震扰动作用形成的震积岩的垂向序列,自下而上分为7个部分。①下覆未震层。②微同沉积断层段。微同沉积断裂和震裂缝较发育,断层落差自下而上逐渐减小,常伴有微褶皱、重荷模及火焰状构造,特点是上部小断层密集,向下变疏并逐渐消失,向下渐变为未震层。③震碎角砾岩段。震碎角砾棱角分明,一般不经位移和磨损,相邻角砾有时可完全拼接到一起。④微褶皱变形层段。地震过程中塑性沉积物振动和液化而成。地震液化变形主要见于固结前的砂岩、粉砂岩中,包括各种变形层理、碟状、球枕状、重荷、火焰等构造以及砂岩墙、砂岩脉等。⑤震积砂枕及伴生构造层段。碎块多为砂块、砂枕或砂球,垂向上按个体大小分异。向上过渡为液化均一层。⑥液化均一层。细粒沉积物由晃动、振荡而稀释液化,性质趋于均一,多为粉砂质泥岩,结构均一,无层理或纹理等沉积构造。向上突变为未受地震影响的沉积。⑦上覆未震层。

惠民凹陷中央隆起带基山砂体中,s543、s544、s548、s549、s550、s847、s848、s850井等沙三段中,均不

①国家自然科学基金(批准号:40474045)和中国石油化工股份有限公司课题“惠民凹陷油气成藏规律及勘探方向研究”(04370500200240)资助。  
收稿日期:2006-07-11;收修稿日期:2006-10-13

同程度地发育微断层、层内阶梯状断层、震积砂枕构造、震碎角砾构造、层内褶皱、液化砂岩脉、混合层等震积作用标志。

2.1.2 原地扰动层的测井响应特征

原地扰动层的常规测井曲线特征为：自然电位曲线微波状起伏或基本平直；声波时差曲线小幅度的齿状起伏，数值整体高；补偿密度、补偿中子曲线振荡起伏；电阻率值低—中等，微齿状（图 1）。

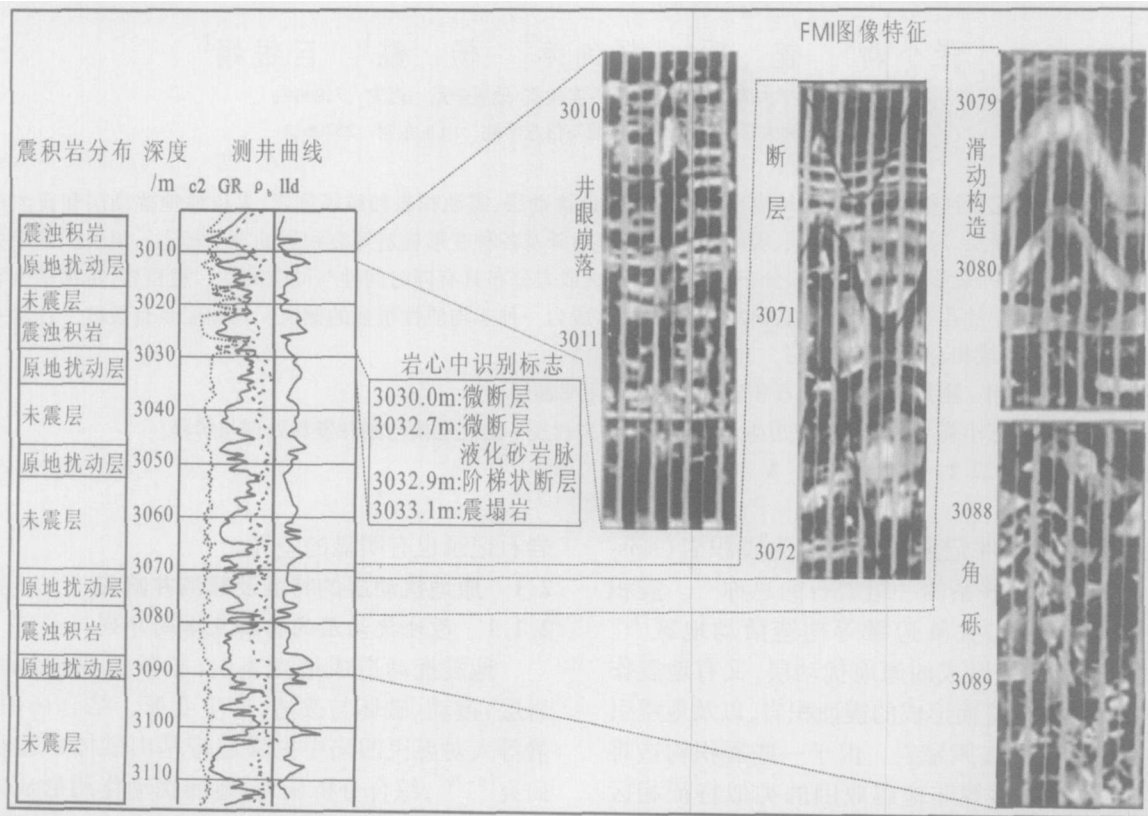


图 1 s550井中震积岩的识别标志

Fig 1 Identification marks of seismites in well s550

原地扰动层中普遍发育微断层和震裂缝，成像测井图中，微断层特征明显（图 1 中 3070 ~ 3072m）；其次，由于原地扰动层中存在裂缝，或岩石不同程度松动或破碎，井眼中见到明显的井眼崩落现象（图 1 中 3010 ~ 3011m）；第三，原地扰动层中震碎角砾棱角分明，成像测井图上也有特征的反映（图 1 中 3088 ~ 3089m）；另外，由于原地震动扰动导致岩石破碎的过程中，震积砂枕存在的概率较高，在 FMI 图像上表现为椭圆形枕状特征（图 2）。

2.2 震积岩特征及其测井响应

具有充足物源供给且具有一定坡度的地区，地震作用诱发碎屑流或浊流沉积，形成震积岩。震积岩常发育在地震原地扰动层之上，与下伏地震扰动层之间存在震积不整合面。

震积不整合面在岩心上易于识别（图 3）。成像

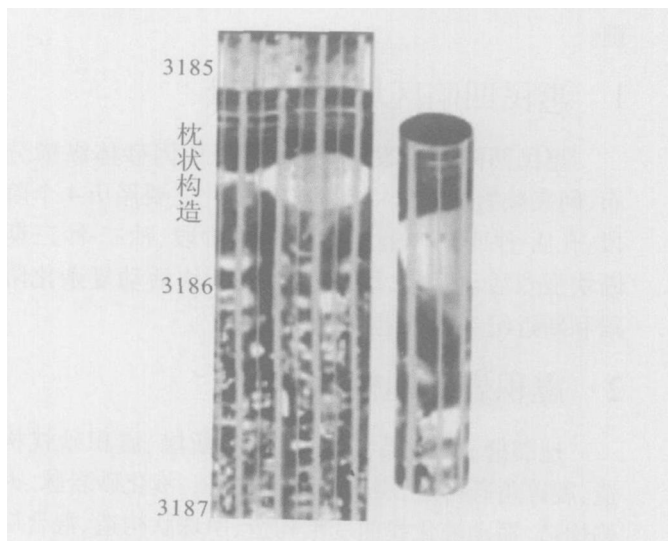


图 2 s549井中砂枕构造的 FMI 图像特征

Fig 2 FMI image characteristics of sand pillow structure well s549

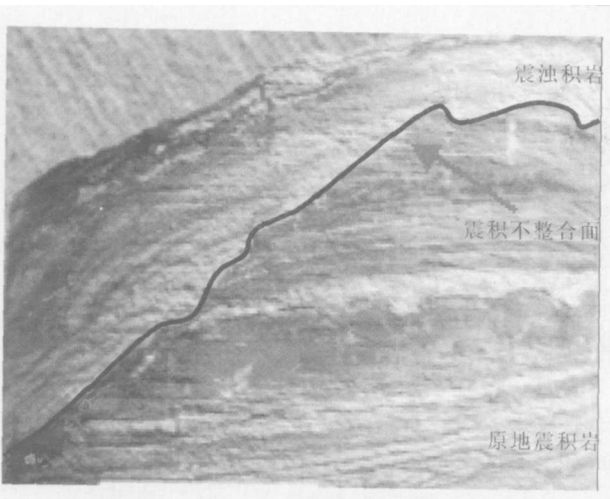


图 3 震积不整合面的岩心特征 (s847 井, 2841.0m)

Fig 3 Core characteristics of seismic unconformity  
(s 847 2841.0m)

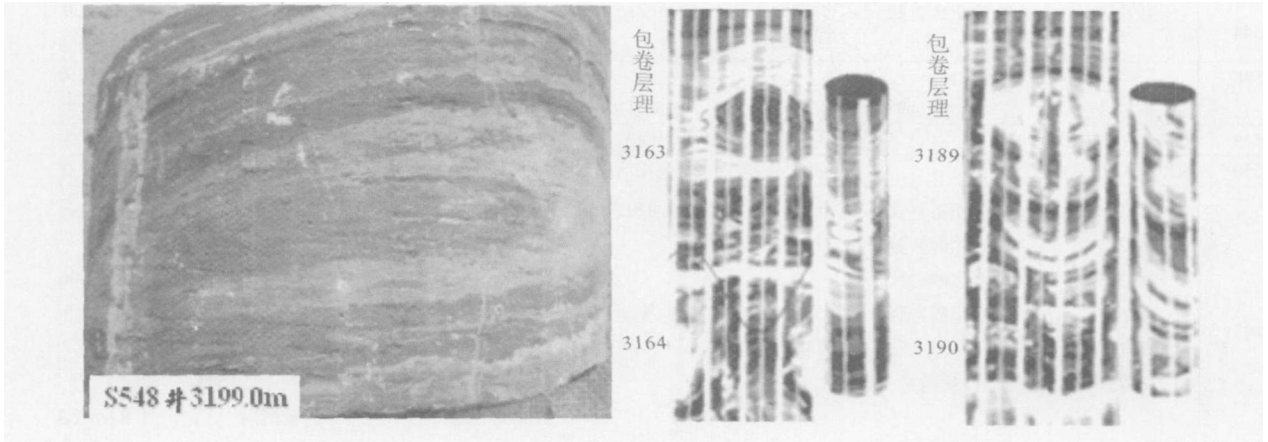


图 4 包卷层理特征

Fig 4 Characteristics of convolute bedding

### 3 惠民凹陷震积作用特征及震积岩分布

统计表明, 惠民凹陷古近系震积岩主要集中发育在阳信洼陷北部、夏口断裂带和中央隆起带基山砂体分布区, 均位于凹陷控盆断层和中央断裂带附近, 发育层段集中在沙三段到沙二段下部。震积岩大量发育时期是惠民凹陷湖盆强烈断陷时期, 也是控盆断裂强烈活动的时期<sup>[11]</sup>。

地震发生与构造变动、岩浆活动密切相关<sup>[12]</sup>。沙三段沉积时期, 为惠民凹陷断块强烈活动阶段, 中央隆起带岩浆活动强烈而频繁, 该时期超浅成侵入岩分布广、厚度大, 基山砂体分布区也是火成岩主要分布区。据<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar年龄测定结果, 中央隆起带岩浆侵入与地震事件具有同时间性<sup>[13]</sup>; 同时, 中央隆起带

测井 EM I 图像上一般也具有明显的特征。由于常规测井资料对“倾斜”的界面反映不灵敏, 应用常规测井资料难于识别出震积不整合面。

震积岩中常发育滑塌变形构造和撕裂缝, 岩心和成像测井图上均有明显反映 (见图 1 中 3079 ~ 3080 m)。

#### 2.3 震风暴岩特征及其测井响应

基山砂体中的风暴岩与地震扰动层共生, 且位于地震扰动层之上, 出现一些异常高能成因的沉积岩和沉积构造, 包括无序分布的塑性泥砾、层间褶曲、包卷层理、丘状交错层理、强烈冲刷—侵蚀构造、截切面等, 其中以包卷层理最为典型 (图 4)。

基山砂体分布区岩浆侵入与地震事件具同空间性。

### 4 震积岩的油气意义

#### 4.1 震积岩可成为一种非均质性很强的储层

地震作用所形成的震裂岩是一种非均质性很强的储层。郭建华等 (1999) 对湘西大庸上震旦统灯影组中碳酸盐岩震裂角砾岩的研究认为, 震裂角砾岩是一种较好的储集岩体, 以地震断裂系统为中心, 构成向两侧储集岩体尖灭的岩性圈闭类型。惠民凹陷沙三段原地扰动层和震积岩中, 地震活动所产生的阶梯状断层、微断层、自碎角砾岩等, 能够极大地改善储集层渗透性。特别是震裂岩和震碎角砾岩是一种储集性能偏优的储层。这是由于地震作用对岩石的破坏一般始于准同生期, 震裂岩和震碎角砾岩中的孔缝形成早, 裂缝沟通原有的孔隙, 使渗透率发生显著变

化,改善储集性能。

惠民凹陷中央隆起带基山砂体中,震积岩的孔隙网络与裂缝、微断层共同作用构成“块状储集体”,这类储集体被周围未经滑动的岩层或未受到地震作用影响的致密岩层遮挡,形成“物性圈闭”或“裂缝圈闭”。如 s550 井中因地震作用产生的原地扰动层多伴有微断层和裂缝。未遭受地震扰动的岩层一般不具备上述特征,从而进行综合分析并圈定裂缝性储集

体的范围<sup>[14]</sup>。

惠民凹陷中央隆起带基山砂体中,有关震积岩发育层段取心物性分析及其含油性统计结果表明,震积岩具有很强的非均质性。在其它油气成藏配置条件相同的情况下,微断层、阶梯状断层、震碎角砾岩及裂缝相对发育的部位,储层物性较好,为相对低孔低渗储层背景上的相对高渗透率储层,其含油性往往较好(表 1)。

表 1 震积岩及其含油性统计表

Table 1 Statistics of seismicites and its oil bearing characteristics

井号	井深 /m	岩心特征	EMI 特征	震积岩类型	试油井段及含油性		日产量
					井段 /m	含油性	油 /t·d <sup>-1</sup>
s43	4-30.40	阶梯状断层	原地扰动层	震油积岩	3198.3~3200.3	油层(低电阻率)	11.0/0.0
					3229.5~3241.0	油层	
s44	3192.5	液化砂岩脉		原地扰动层	3182.4~3187.0	油水同层(低电阻率)	7.35/3.9
					3336.0~3349.0	含油水层	0.17/18.9
s48	3313.1	包卷层理		震风暴岩	3280.5~3297.0	油水同层(高电阻率)	5.15/12.0
					3312.5~3325.0	油水同层	0.27/3.72
s49	3087.0~3091.3			震油积岩	3085.4~3090.8	油水同层(低电阻率)	7.5/15.3
s50	3020.0~3022.0			井眼崩落	原地扰动层	油层	9.94/0.0
s47	2841.0	震积不整合		震油积岩			
	2842.4	液化砂岩脉					
	2842.5	液化砂岩脉			2840.1~2848.5	含水油层(低电阻率)	15.0/2.06
	2846.5	液化砂岩脉		原地扰动层			
	2847.5		阶梯状断层				
	2847.7	砂枕构造					
	2796.5~2811.3				油水同层	1.87/0.68	
	2812.3	火焰构造、重荷模		原地扰动层			
s850	2888.0~3010.0	震积构造		原地扰动层	2876.6~2890.6	油水同层	

#### 4.2 震积岩中易形成相对低电阻率油层

震积作用的复杂性,使震积岩储层及其含油性的非均质性表现更为强烈。一方面,震积作用影响使一些相对低孔低渗储层的渗透率得到改善,具有一定含油性。另一方面,由于渗透率的提高主要依赖于裂缝、微断层或震碎作用,储层孔隙结构变得十分复杂。储层具有连通孔隙网络和一定束缚水含量,核磁共振测井 T<sub>2</sub> 谱分布反映为双峰分布的孔隙结构特征,而常规测井响应中,油层为相对低电阻率,与水层特征相似,难于区分。

此外,地震泵作用提供了动力,有利于油气运移,并在相对高渗储层中聚集成藏。震油积作用形成的震油积岩,一般沉积于湖盆或海盆的深水处,多被成熟烃源岩包裹或与成熟烃源岩侧向接触,具有利的烃源岩供给和成藏动力条件,容易形成岩性油气藏,且

形成相对低电阻率油气层的概率很高。

惠民凹陷 2003 年探明的相对低电阻率油层中,中央隆起带基山砂体和阳信凹陷阳 101 块中,相对低电阻率油层中的石油地质储量分别占其总地质储量的 46.6%、57.0%。由此可见,震积作用形成的岩石中,蕴含了丰富的石油资源。

### 5 结论

综合分析认为:

(1)惠民凹陷中央隆起带基山砂体中的震积作用与火山作用具有同时间性和同空间性。

(2)微断层、层内阶梯状断层、震积砂枕构造、震碎角砾构造、层内褶皱、假结核、液化砂岩脉、火焰构造、振动液化卷曲变形构造是识别震积岩的主要标志。

(3)震积岩可成为一种非均质性很强的储集层,

尤其是震裂岩和震碎角砾岩中的孔缝形成早。震积岩中的孔隙网络与裂缝、微断层共同作用构成“块状储集体”;这类储集体被周围未经滑动的岩层或未受到地震作用影响的致密岩层遮挡,形成“物性圈闭”或“裂缝圈闭”。

(4)震积作用的复杂性,使震积岩储层及其含油性的非均质性更为强烈,储层多具双重孔隙网络、高束缚水饱和度,易形成相对低电阻率油层。

### 参考文献 (References)

- Seilacher A. Fault-graded bed interpreted as seismites. *Sedimentary Geology* 1969 13(1~2): 155~159
- 杜远生, 韩欣. 论震积作用和震积岩. *地球科学进展*, 2000 15(4): 389~394 [Du Yuansheng Han Xin. Seismoclastic deposition and seismites. *Advance in Earth Sciences* 2000 15(4): 389~394]
- 戴俊生, 陆克政, 漆家福, 等. 渤海湾盆地早第三纪构造样式的演化. *石油学报*, 1998, 19(4): 46~50 [Dai Junsheng Lu Kezheng Qi Jiayu et al. The evolution of the Paleogene structural styles in Bohai Gulf basin. *Acta Petrologica Sinica* 1998, 19(4): 46~50]
- Seilacher A. Sedimentary structures tentatively attributed to seismic events. *Marine Geology* 1984 55(1): 1~12
- Frank T D Lyons T. W. “Molar tooth” structures a geochemical perspective on a Proterozoic enigma. *Geology* 1998 26(8): 683~686
- 宋天锐, 和政军, 丁孝忠, 等. 北京十三陵前寒武纪碳酸盐岩地层中的一套可能的地震—海啸序列. *科学通报*, 1988 38(8): 609~611 [Song Tianrui He Zhengjun Ding Xiaozhong et al. A study of geological event records in the Proterozoic Chuan Linggou Formation of Ming Tomb District. *Beijing Geological Review* 2000 46(4): 400~406]
- 乔秀夫. 中朝板块元古宙板内地震带与盆地格局. *地学前缘*, 2002 9(3): 141~149 [Qiao Xiufu. Intraplate Seismic belt and basin framework of Sino-Korean plate in proterozoic. *Earth Science Frontiers* 2002 9(3): 141~149]
- 乔秀夫, 宋天锐, 高林志, 等. 碳酸盐岩振动液化地震序列. *地质学报*, 1994 68(1): 16~32 [Qiao Xiufu Song Tianrui Gao Linzhi et al. Seismic sequence in carbonate rocks by vibrational liquefaction. *Acta Geologica Sinica* 1994 68(1): 16~32]
- 杨剑萍, 王辉, 陈世悦, 袁静, 鄢继华, 赵卫卫. 济阳拗陷古近系震积岩特征. *沉积学报*, 2004 22(2): 281~287 [Yang Jianping Wang Hui Chen Shiyue Yuan Jing Yan Jihua Zhao Weiwei. The features of seismite in Jiyang Sub-basin. *Paleogene Acta Sedimentologica Sinica* 2004 22(2): 281~287]
- 袁静. 山东惠民凹陷古近纪震积岩特征及其地质意义. *沉积学报*, 2004 22(1): 40~46 [Yuan Jing. The property and geological significance of seismites of Paleogene in Huimin Sag, Shandong Province. *Acta Sedimentologica Sinica* 2004 22(1): 40~46]
- 袁静. 中国震积作用和震积岩研究进展. *石油大学学报(自然科学版)*, 2005 29(1): 144~148 [Yuan Jing. Research of seismic deposition and seismites of China. *Journal of the University of Petroleum, China* 2005 29(1): 144~148]
- 乔秀夫, 宋天锐, 高林志, 等. 地层中地震记录(古地震). 北京: 地质出版社, 2006 1~4 [Qiao Xiufu Song Tianrui Gao Linzhi et al. Seismic records in strata (ancient earth quakes). Beijing: Geological Publishing House, 2006 1~4]
- 操应长, 姜在兴, 邱隆伟. 山东惠民凹陷商 741 块火成岩油藏储集空间类型及形成机理探讨. *岩石学报*, 1999 15(1): 129~136 [Cao Yingchang Jiang Zaixing and Qiu Longwei. Study on the type and origin of the reservoir space of igneous oil reservoir in Shang 741 block Huimin depression. *Shandong Acta Petrologica Sinica* 1999 15(1): 129~136]
- 张小莉, 查明. 惠民凹陷临邑洼陷岩性油藏控制因素分析. *沉积学报*, 2006 24(2): 289~293 [Zhang Xiaoli Zha Ming. Analysis of the controls on lithologic oil reservoir in Linyi Sub-sag. *Huimin Sag Acta Sedimentologica Sinica* 2006 24(2): 289~293]

## Seismic Deposition and Low Contrast Resistivity Oil Layers in Huimin Sag

ZHANG Xiaoli<sup>1</sup> ZHA Ming<sup>2</sup> YANG Jianping<sup>2</sup> YANG Yi<sup>1</sup> JU Yinjuan<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory for Continental Dynamics, Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069)

2. China University of Petroleum (East China), Dongying Shandong 237061)

**Abstract** Ancient earthquakes formed seismites, seismoturbidites and tempestites in Shahejie Formation in Huimin sag. Many kinds of soft identified structures have been found in seismites, such as micro-faults, step micro-faults, seismopillows, seismic breccias and deformation structures. Seismic deposition and seismite distribution have the same time and space with volcanism and igneous in Jishan sandstone body. Pores and fractures formed in early time and they improve the permeability in seismites, especially in seismic shattering rocks and seismic breccias. Seismites will become the reservoirs that have the strong heterogeneity. The reservoirs often form the low contrast resistivity oil layers because they have the dual pore networks, that is, fractures and pores.

**Key words** seismic deposition, characteristics of well logging response, reservoirs formed by ancient earthquakes, low contrast resistivity oil layers