

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

山东惠民凹陷古近系湖泊地震涌浪记录的新发现

杨剑萍, 王亚丽, 查明, 牟雪梅

中国石油大学(华东)地球资源与信息学院, 山东东营, 257061

内容提要: 在陆相湖盆中, 地震引起的各种作用力可以对各种先成沉积物进行改造而形成原地震积岩, 同样地震可引发涌浪、浊流及碎屑流而形成地震涌浪沉积及震浊积岩。通过大量岩心观察描述和成像测井资料分析, 首次提出惠民凹陷中央隆起带沙河街组含有丘状交错层理的碎屑岩与典型的原地震积岩(包括震裂岩、震褶岩、自碎屑角砾岩等)紧密共生, 当属于地震作用引发涌浪的沉积产物。本区地震涌浪沉积中发育丘状及洼状层理、包卷层理、平行层理、块状层理、波痕、冲刷及截切面等沉积构造。根据沉积特征和分布位置, 本区地震涌浪沉积划分为两种类型, 即位于涌浪基面附近的含塑性泥砾的搅动型和涌浪基面与正常浪基面之间的回流型。垂向上地震涌浪沉积一般位于原地震积岩之上, 震浊积岩之下, 组成完整的原地震积岩—地震涌浪沉积—地震浊积岩序列或原地震积岩—地震涌浪沉积序列。本区地震涌浪沉积的发现和认识, 将为地质学家识别陆相湖盆地震事件沉积提供对比标准。

关键词: 震积岩; 地震涌浪沉积; 古近系; 山东惠民凹陷

早在 20 世纪 50~60 年代, 一些学者就注意到地震作用对海底沉积物变形和位移的影响, 如 Heezen 等(1952, 1964)先后对 1929 年加拿大格兰德班克地震对海底沉积物位移、变形和引发的浊积岩进行了研究, Kastens 等(1981)论述了地中海海啸引起的沉积物搬运过程。国内学者对海啸沉积作用和海啸岩的研究始于 20 世纪 80 年代, 最早报道见于宋天锐(1988)对北京十三陵雾迷山组震积岩—海啸岩沉积序列的报道。之后, 龚一鸣等(1993)、乔秀夫等(1994)、杜远生等(2000)、田洪水等(2003)、严兆彬等(2005)通过野外观察, 发现了海啸岩并且作了相关报道。陆相湖盆中的各种断裂活动、火山活动等都可能触发地震, 地震引起的各种作用力可以对各种先成沉积物进行改造而形成原地系统的震积岩(Seilacher, 1969), 也可引发浊流及碎屑流形成异地系统的地震浊积岩, 同样陆相湖盆中, 地震作用还可以引发涌浪而形成与海相中海啸津浪丘状层相似的沉积类型, 本文称地震涌浪沉积。

1 区域地质概况

惠民凹陷位于渤海湾盆地济阳坳陷西部, 是济阳坳陷内部最大的次级凹陷, 南部以齐河广饶断裂与鲁西隆起相接, 北部以陵县—阳信断裂与埕宁隆

起相邻, 西部为临清坳陷, 东部为东营凹陷(图 1)。惠民凹陷是典型的中、新生代断陷湖盆, 凹陷中堆积了厚达万米的古近系及新近系沉积(姜在兴等, 2000)。古近系发育了孔店组、沙河街组和东营组, 其中沙河街组自下而上分为沙四段、沙三段、沙二段和沙一段。盆地其他凹陷一样具有两洼一隆一斜坡的构造格局(姜在兴等, 2000), 中央隆起带是惠民凹陷的主力油气分布区。沙三段上部沉积时期, 强烈而频繁的岩浆活动和构造运动引发地震, 在地震作用下, 中央隆起带中部临邑和商河之间形成了一套典型的原地震积岩—地震涌浪沉积—地震浊积岩组合。本文重点阐述地震涌浪沉积的发现、沉积特征、岩石类型、沉积模式及组合关系。

2 湖盆地震涌浪记录新发现

惠民凹陷中央隆起带古近系沙河街组沙三段上部的储集砂体厚度大, 面积广, 成因类型复杂, 是惠民凹陷的有利的油气储层, 许多学者投入了大量精力对研究区的储集体的成因进行研究。笔者曾对其中一种成因类型的砂体作为湖盆“风暴岩”储层作了报道(杨剑萍, 2000)。近年来, 随着研究区勘探开发的深入, 取心井大量增加, 在大量取心井中发现了典型的原地系统的震积岩。其沉积与成岩标志主要有

注: 本文为国家“十五”科技攻关项目(编号 2001BA605A09)和中国石化科技攻关项目(编号 P03013)资助的成果。

收稿日期: 2006-05-10; 改回日期: 2006-09-11; 责任编辑: 周健。

作者简介: 杨剑萍, 女, 1965 年生, 博士, 副教授, 主要从事沉积学教学及科研工作。通讯地址: 257061, 山东东营, 中国石油大学(华东)地球资源与信息学院地科系; 电话: 0546-8391307; Email: yangjp3028@sina.com。

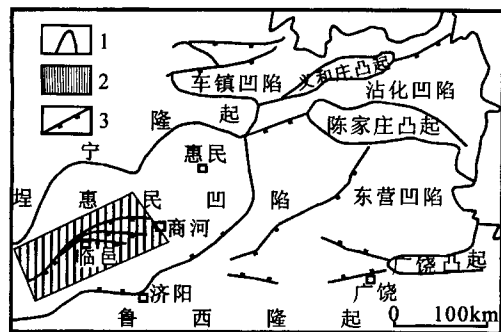


图1 研究区位置图

Fig. 1 Tectonic location of the study area

1—构造单元划分;2—研究区位置;3—断层

1—Tectonic units division;2—location of the study area;3—fault

液化砂岩脉(图版 I-1)、震积砂球(图版 I-2)、震积砂枕构造(图版 I-3、19);构造标志主要有阶梯状微断层(图版 I-4)、震裂缝(图版 I-17)、液化卷曲变形构造(图版 I-6)等;岩石类型标志主要有震裂岩(图版 I-17)、自碎屑角砾岩(图版 I-5)、震褶岩(图版 I-6)及震塌岩(图版 I-7、20)等。

笔者曾报道过的惠民凹陷古近系沙河街组含有丘状交错层理的“风暴岩”(杨剑萍,2000)与最新发现的原地震积岩紧密伴生,沉积特征与海相地层中的津浪丘状层极为相似。由于地震和风暴事件没有因果关系,这显然与湖盆风暴流或风暴浪无关,而应该是湖盆中地震引发的涌浪的沉积产物,笔者称其为地震涌浪沉积。

有关陆相湖盆地震作用引发涌浪而形成地震涌浪沉积,迄今未见相关报道,本文所报道的惠民凹陷古近系的地震涌浪沉积可以填补这方面的空白,为正确认识济阳拗陷储集砂体的“多元”性提供地质理论依据。

3 地震涌浪沉积特征

原地震积岩的识别和确定对于判断地震涌浪沉积的地震成因至关重要。对地震扰动层的确定,至少应具自碎屑角砾岩这一特征明显,易于保存,岩心易于识别的原地相单元(孙晓猛等,1995)。过去研究区被描述为“角砾岩”或“具角砾构造”的岩石,据作者观察,大部分是“自碎屑角砾”在原地迅速被泥质胶结而成的,属于原地扰动层的一部分。

与原地震积岩伴生的地震涌浪沉积中可见一些异常的高能成因岩石类型和沉积构造,包括无序分布的蠕虫状、飞鸟状的塑性泥砾(图 2a,图版 I-

14)、层间褶曲、滑塌变形构造、旋卷层理(图 2b,图版 I-8、9、18)、泥质包裹的红色“孤石”(图版 I-10)、丘状及洼状交错层理(图 2c,图版 I-11、15)、平行层理(图版 I-12)、递变层理、浪成波痕(图版 I-13)、强烈冲刷-充填构造、截切面(图版 I-12)等。通过镜下薄片观察,本区地震涌浪沉积物的颗粒发育震裂缝构造(图版 I-16),而在非地震成因的沉积物中难以见到具有震裂构造的颗粒。地震涌浪沉积中旋卷层理与阶梯状小断层伴生及震积砂球共生(图版 I-8),旋卷层理的纹层有明显错断现象(图版 I-9),说明纹层的旋卷与错断现象同时发生,这些现象与其他非地震成因的沉积物显著不同。

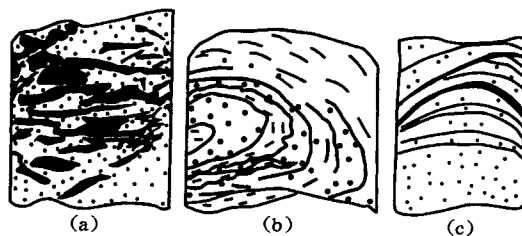
图2 地震涌浪沉积中典型沉积构造素描图
(岩心直径 10cm)

Fig. 2 Sketch showing of typical sedimentary structures in seismic surge wave deposits

(a)—塑性泥砾(商 543 井 4-25/40);(b)—包卷层理(商 543 井 2-14/29);(c)—丘状交错层理(商 13-107 井 2316.0m)

(a)—Mud gravel having plastic feature (well Shang 543 4-25/40);
(b)—convolute bedding (well Shang 543 2-14/29);
(c)—hummocky cross bedding (well Shang 13-107, 2316.0m)

4 地震涌浪沉积类型

通过大量岩心观察、结合成像测井资料分析,在本区识别出搅动型和回流型两种地震涌浪沉积。

4.1 搅动型

搅动型的地震涌浪沉积位于涌浪基面附近(图 3 I),主要为含塑性泥砾的内碎屑副角砾岩。泥砾呈柔性变形特征,呈云朵状、漂带状,大小差别显著(图版 I-14),一般在 0.5~5cm,颜色呈黑色和灰黑色,与砂岩界线清楚,杂乱分布在砂质中。塑性泥砾和砂质沉积物不是砾屑和填隙物的关系,显然也不是同源物质,将二者混合形成飞鸟状或蠕虫状砂岩是涌浪作用的结果。

飞鸟状或蠕虫状内碎屑副角砾岩中,砂质和塑性泥砾成因不同。砂质沉积物系涌浪的回流将物源区三角洲沉积物带入到涌浪基面附近或之下的较深湖区而形成。而蠕虫状、飞鸟状泥砾系旋涡流冲蚀、

扰动下伏的正常较深湖泥质沉积物形成的,泥砾的塑性变形状态表明下伏岩层尚未成岩,处于软泥状态(钱守荣,1996)。泥砾杂乱分布,无分选和磨圆,说明此时塑性泥砾含水量较高,密度与涌浪的回流携带的砂质沉积物相差无几,故在近距离悬浮搬运和沉积过程中无分选和磨圆,不遵从机械分异规律,以悬浮状态混杂于旋涡流中,这种类型的地震涌浪沉积难以形成一般浊积岩常见的递变层理,用机械分异的观点很难解释其成因。塑性泥砾的柔性变形是确定原地型的地震涌浪沉积物的典型证据。

4.2 回流型

4.2.1 近源回流型

岩石类型:主要为含砾粗砂岩,砾石 0.2~4cm,磨圆、分选中等。有一种红色泥岩砾石呈“孤石”、“飞石”落入块状细砂岩中或平行层理的砂岩中,产生“刺穿层理”现象,软块呈“团包”构造(图版 I-10),推测是地震引发的涌浪回流将滨湖或陆上环境中的红色泥砾带到正常波基面之下。梁定益等(1994)在“再论震积岩及震积不整合”一文中也曾描述川西和滇西二叠系的震积岩中出现过类似现象,他推测这是地震-海啸岩的特征。

沉积构造:底面侵蚀构造发育,多呈不规则状和复杂状。底面侵蚀构造是涌浪回流对底床造成的形

态各异的冲蚀和刻蚀,是涌浪回流强度、性质等因素的反映;另一沉积构造特征为块状层理,是涌浪回流能量减弱时碎屑颗粒快速堆积的结果,近源回流型的地震涌浪沉积为涌浪回流作用较强时形成的(图 3Ⅲ)。

4.2.2 远源回流型

岩石类型:主要为中、细砂岩、粉砂岩,较近源回流型地震涌浪沉积粒度细。

沉积构造:①底部侵蚀构造,以微型槽状和不规则状为主;②递变层理,是该种地震涌浪沉积所具的独特的沉积构造标志,是涌浪回流将碎屑物搬运到深水中,水流强度衰减所致;③平行层理、丘状交错和洼状交错层理,平行层理发育在粒序层之上,一般不超过 5cm,多由中、粗砂组成,说明水动力条件较强。丘状交错层理发育在平行层理之上,一般认为它是在涌浪减弱和多向水流形成的孤立沙波迁移造成的;④缓波状交错层理、旋卷层理、变形层理发育,本区包卷层理非常发育(图版 I-18),变形层为强烈的不规则褶曲、其中层理尚连续,形成同心圆状,而且和震积砂枕、阶梯状小断层伴生(图版 I-8、9、18)。

由以上岩石类型和沉积构造特征可以确定远源回流型的地震涌浪沉积物是涌浪回流衰减期形成的碎屑流或颗粒流向浊流转变的产物(图 3Ⅱ)。

5 沉积模式

地震作用引发的涌浪受能量大小、湖水深度、湖盆地形、底床性质的影响,可产生不同流态,形成不同的沉积类型。

强烈涌浪的冲蚀作用将滨浅湖区的刚沉积不久

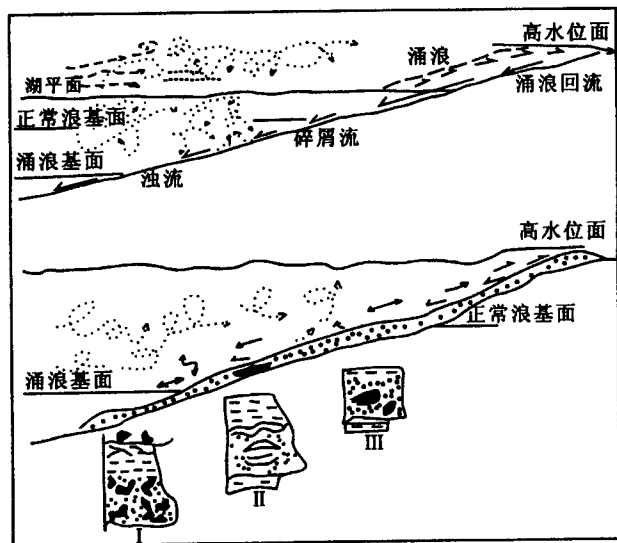


图 3 惠民凹陷中央隆起带古近系地震涌浪沉积模式图

Fig. 3 Sedimentary model of seismic surge wave deposits of Paleogene of the central uplift belt in Huimin depression

I — 搅动型; II — 远源回流型; III — 近源回流型
I — Stirring type; II — distal undertow type;
III — proximal undertow type

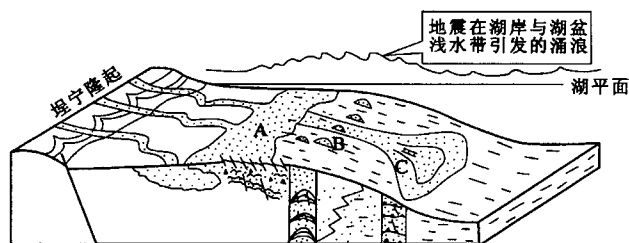


图 4 惠民凹陷古近系原地震积岩、地震涌浪沉积及地震浊积岩关系图

Fig. 4 Relationship of seismite, seismic surge wave deposits and seismoturbidite rocks of Paleogene in Huimin depression

A — 原地震积岩; B — 地震涌浪沉积; C — 地震浊积岩
A — Seismite; B — seismic surge wave deposits;
C — seismoturbidite rock

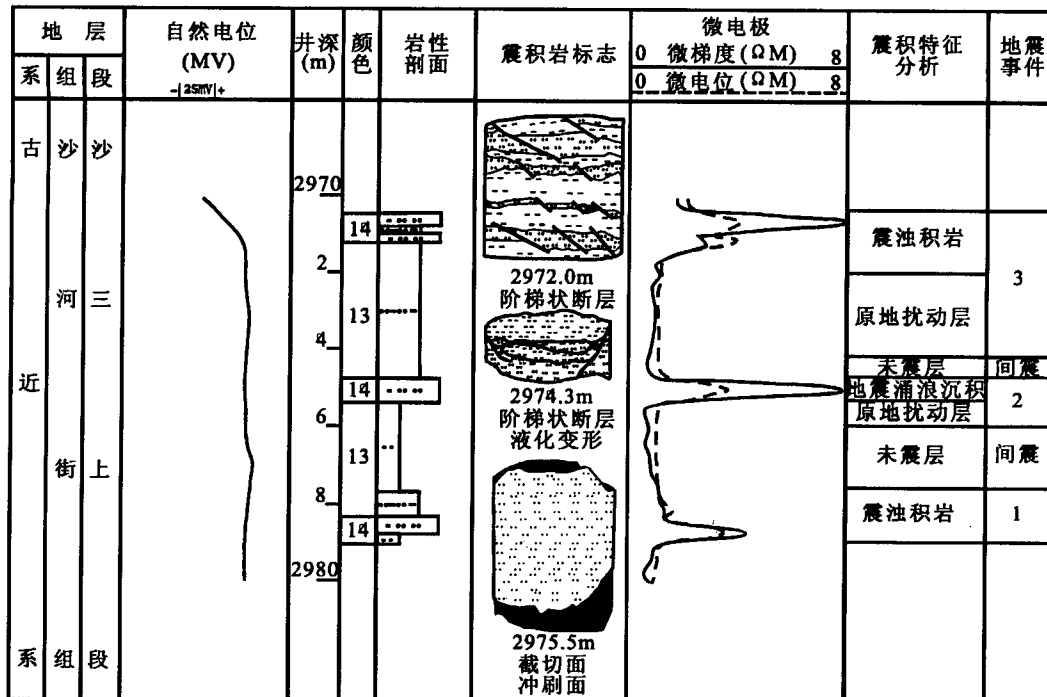


图 5 惠民凹陷中央隆起带商 550 井震积作用分析图

Fig. 5 Seismism analysis of well Shang-550 of the central uplift belt in Huimin depression

的砂质、泥质沉积物搅起,在回流和重力作用下形成碎屑流或颗粒流,从而形成回流型地震涌浪沉积(图 3Ⅱ、Ⅲ);而在涌浪基面以下和地势平坦的地带,涌浪能量大大减弱,侵蚀和携带碎屑的能力也随之降低,此时的涌浪作用下的沉积物流主要为细粒沉积物和水的混合物,表现为浊流态。涌浪作用形成的旋涡流冲蚀、扰动下伏较深湖泥质沉积物形成的各种形状的塑性泥砾,形成搅动型地震涌浪沉积(图 3 1)。在浅水地带也可以形成搅动型地震涌浪沉积,但是分布局限,厚度也小,不易保存。

6 分布特征

地震涌浪沉积一般与原地地震扰动层共生,平面上位于地震浊积岩和原地震积岩之间,组成原地地震扰动层—地震涌浪沉积—震浊积岩的沉积序列,沉积模式如图 4 所示。商 550 井的取心井段中,具有冲刷面和截切面的地震涌浪沉积位于原地地震扰动层之上(图 5),组成原地地震扰动层—地震涌浪沉积序列或组成完整的原地地震扰动层—地震涌浪沉积—震浊积岩沉积序列。

7 讨论

在海洋中,不是每次的地震都能引发海啸(杜远

生等,2000),同样在陆相湖盆中,也不是每次地震都能引发涌浪。笔者在对东营凹陷古近系沙河街组震积岩的研究过程中,没有发现地震涌浪沉积和地震浊积岩,加强对陆相湖盆新生代震积岩的研究,可能会有更多的发现。对湖盆中震积岩、地震涌浪沉积及地震浊积岩等事件沉积的研究,不仅可以加深对陆相事件沉积的认识,而且对于正确认识陆相湖盆油气储集砂体的“多元”性、恢复沉积盆地的构造性质和演化历史都具有重要意义。

参 考 文 献

- 杜远生,韩欣. 2000. 论海啸作用与海啸岩. 地质科技情报, 19(1): 19~23.
- 龚一鸣,刘本培. 1993. 新疆北部泥盆纪火山沉积岩系的板块沉积学研究. 武汉: 中国地质大学出版社, 62~63.
- 姜在兴,操应长,邱隆伟,杨剑萍,陈发亮. 2000. 砂体层序地层及沉积学研究. 北京: 地质出版社, 144~148.
- 梁定益,聂泽同,宋志敏. 1994. 再论震积岩及震积不整合——以川西、滇西地区为例. 地球科学, 19(6): 845~850.
- 钱守荣. 1996. 蠕虫状灰岩中的同生变形构造及其成因. 安徽地质, 6(1): 38~42.
- 乔秀夫,宋天锐,高林志,等. 1994. 碳酸盐岩振动液化地震序列. 地质学报, 68(1): 16~32.
- 宋天锐. 1988. 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, (8): 609~611.

- 孙晓猛, 梁定益, 聂泽同. 1995. 大陆边缘震积岩序列——以金沙江中段震积岩为例. 现代地质, 9(3): 1~27.
- 田洪水, 万中杰, 王华林. 2003. 鲁中寒武系馒头组震积岩的发现及初步研究. 地质论评, 49(2): 123~131.
- 严兆彬, 郭福生, 彭花明, 杨志, 郭国林. 2005. 浙西寒武系大陈岭组地震事件沉积的初步研究. 地质学报, 79(6): 730~736.
- 杨剑萍. 2000. 惠民凹陷中央隆起带西部下第三系沙河街组三段上部的风暴重力流沉积. 石油大学学报(自然科学版), 24(1): 26~29.
- Du Yuansheng, Han Xin. 2000. Tsunami and Tsunamites. Geological Science and Technology Information, 19(1): 19~23 (in Chinese with English abstract).
- Gong Yiming, Liu Benpei. 1993. Plate sedimentology of volcanic sedimentary rock of Devonian in the north of Xinjiang Province. Wuhan: Chian University of Geosciences Press, 62~63 (in Chinese).
- Heezen B C, Ewing M. 1952. Turbidity current sand submarine slumps and 1929 Grand bank earthquake. Am., J. Sci., 250(12): 849~873.
- Heezen B C, Dyke C L. 1964. Grand bank Slump. Bull. Am. Ass. Petrol. Geol., 48(2): 221~225.
- Jiang Zaixing, Cao Yingchang, Qiu Longwei, Yang Jianping, Chen Faliang. 2000. Study of sandstone sequence stratigraphy and sedimentology. Beijing: Geological Publishing House, 144~148 (in Chinese).
- Kastens K M, Cita M B. 1981. Tsunami-induced sediment transports in the abyssal Mediterranean Sea. Geol. Soc. Am. Bull., 92: 845~847.
- Liang Dingyi, Nie Zetong, Song Zhimin. 1994. A re-study on seismites and seismo-unconformity: taking Western Sichuan and western Yunnan as an example. Earth Science, 19(6): 845~850 (in Chinese with English abstract).
- Qian Shourong. 1996. Contemporaneous deformation structures in vermicular limestone Geology of Anhui, 6(1): 38~42 (in Chinese with English abstract).
- Qiao Xiufu, Song Tianrui, Gao Linzhi, et al. 1994. Seismic sequence in carbonate rocks by vibrational liquefaction. Acta Geologica Sinica, 68(1): 16~32 (in Chinese with English abstract).
- Seilacher A. 1969. Fault-graded bed interpreted as seismites. Sedimentology, 13(1~2): 155~159.
- Song Tianrui. 1988. A possible suit of seismo-tsunami sequence in Precambrian carbonate rock stratum in Shisanling in Beijing. Chinese Science Bulletin, 38(8): 609~611 (in Chinese).
- Sun Xiaomeng, Liang Dingyi, Nie Zetong. 1995. Seismite sequence in continental margin: take seismite in middle region of Jinsha river as an example. Geoscience, 9(3): 1~27 (in Chinese with English abstract).
- Tian Hongshui, Wan Zhongjie, Wang Hualin. 2003. Discovery and preliminary study on seismic of the Cambrian Mantou Formation in the central Shandong area. Geological Review, 49(2): 123~131.
- Yan Zhaobin, Guo Fusheng, Peng Huaming, Yang Zhi, Guo Guolin. 2005. Pilot study on sedimentation of Cambrian Dacheiling Formation resulting from seismic events in the west of Zhejiang Province. Acta Geologica Sinica, 79(6): 730~736.
- Yang Jianping. 2000. Storm deposit of the upper part of Member 3 of Shahejie Formation of Eocene of central uplift belt in Huimin Depression. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 24(1): 26~29 (in Chinese).

图 版 说 明

岩心直径 10cm。

1. 砂岩脉底部与砂质沉积物相连, 脉体与层面基本垂直, 脉体中含有灰黑色泥质丝絮状碎屑, 商 744 井 1-18/25。
2. 岩心底部可见微型错断, 泥质沉积物中有顶部砂质震动变形后脱落形成的震积砂球, 商 847 井 2847.65m。
3. 震积砂枕, 砂枕中原始砂质沉积物层理变形, 田 5-5 井 2938.65m。
4. 阶梯状正断层, 商 550 井 3032.8m。
5. 自碎屑角砾岩 (autoclast breccia), 角砾完全是原地原位的, 呈“骨排”式顺层分布, 相邻角砾可完全拼接到一起, 商 550 井 6-30/40。
6. 震褶岩, 商 641 井 7-26/65。
7. 震塌岩, 角砾发生塑性变形, 原始层理清晰可见, 商 550 井 6-36/40。
8. 旋卷层理与上部的震积砂球及下部的阶梯状小断层伴生, 商 550 井 3247.5m。
9. 旋卷层理与阶梯状小断层伴生, 商 548 井 3233.2m。
10. 红色泥砾, 被灰黑色泥质包裹, 呈“团包”构造, 商 741 井 1-1/25。
11. 丘状交错层理, 商 67 井 2440.7m。
12. 截切面, 平行层理的砂岩一侧高出, 一侧变平, 截切角度较大, 并被泥质充填, 表现为泥质冲刷砂质, 田 5-5 井 2-3/85。
13. 浪成波痕, 新商 60 井 6-6/77。
14. 内碎屑副角砾岩, 商 548 井 3313.10m。
15. 洼状交错层理, 夏 42 井 2-23/45。
16. 地震涌浪沉积中颗粒具有碎裂结构, 田 5-5 井 2-4/85(一)×79。
17. 震裂缝, 商 549 井, 3125~3126m。
18. 包卷层理, 商 550 井, 3189~3190m。
19. 震积砂枕构造, 商 549 井, 3185.5m。
20. 震塌岩, 商 550 井, 3088~3089m。

(图版 I-17~20 为 1:10 成像测井资料)。

Discovery of the Seismic Surge Wave Deposits Record of Paleogene in Huimin Depression, Shandong Province

YANG Jianping, WANG Yali, ZHA Ming, MU Xuemei

China University of Petroleum, Dongying, Shandong, 257061

Abstract

The seismism can reform the formed sediments and develop seismites in lacstrine basin, as well as induce surging wave, turbidity current and debris flow and then form seismic surge wave deposits and seismoturbidite rocks. Based on core observation and image logging analysis, the author points out for the first time that the clastic rocks harving hummocky cross-stratification and typical seismites (shattered rocks, seismic corrugated rocks and autoclastic breccia) coexist in the third member of Shahejie Formation of central uplift belt in Huimin depression, therefore they belong to the result of surge wave deposits. Many sedimentary structures develop in the seismic surge wave deposits of this area, such as hummocky cross-stratification (HCS) and swaley cross-stratification (SCS) convolute bedding, parallel bedding, massive bedding, ripple and scouring and truncated surface, etc. According to the sedimentary characteristics and distribution, the seismic surge wave deposits are classified into two types, that is, the stirring type seismic surge wave deposits with mud gravel having plastic feature near the surge base and the undertow type seismic surge wave deposits between surge wave base and normal wave base. Vertically, the seismic surge wave deposits are usually above seismite and under seismoturbidite rocks. They compose a integrated sequence of seismite-seismic surge wave deposits-seismoturbidite rock or a sequence of seismite-seismic surge wave deposits. The discovery and research of seismic surge wave deposits caused by seismism can provide geologists with one of correlation standards for identifying the seismic event deposition of lacstrine basin.

Key words: seismite; seismic surge wave deposits; Paleogene; Huimin depression

