

文章编号: 1000-0550(2009)06-1131-07

几种常见震积岩相标志在模拟实验中的识别^①

鄢继华¹ 崔永北² 陈世悦¹

(1 中国石油大学地球资源与信息学院 山东东营 257061; 2 中国石化胜利油田有限责任公司胜利采油厂 山东东营 257051)

摘要 震积岩相标志是识别震积岩的最有效依据。在对震积岩形成过程的水槽模拟实验中,发现了同沉积断裂、微褶皱纹理、液化砂岩脉、液化均一层、同沉积变形构造、震积岩等典型的软沉积物震积岩相标志,他们形成于地震作用的不同阶段,有规律的分布在三角洲—震积岩体系之中。同时,模拟实验中也发现了一些与震积岩相标志易混淆的其他成因相标志,因此在分析过程中应该充分考虑各种相标志的组合特征、与沉积环境的配置关系以及区域的构造背景等。依据模拟实验得出的震积岩相标志分布模式,通过相标志类型和组合特征分析,可进行震积岩体发育区带预测,指导断陷盆地隐蔽油气藏勘探。

关键词 震积岩 相标志 模拟实验 震积岩

第一作者简介 鄢继华 男 1977 年出生 博士 讲师 沉积学 E-mail upcyanhua@gmail.com

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

震积岩是由地震作用所产生的具有震积构造和震积岩序列的灾变事件沉积^[1],它是具有古地震事件纪录的一类岩石的总称。由于其在古地震灾变的识别、恢复古构造的活动性和构造演化、研究地震韵律、寻找不同类型优质储层等方面具有重要意义^[2~7],因此引起了众多地质学家的关注。

震积岩相标志是区分震积岩与其他类型沉积岩的主要依据,也是区分地震引发重力流形成的浊积岩与其他类型的重力流沉积的唯一证据^[8]。从近年来地质学家在海相、河流相以及湖泊相地层中陆续发现的大量的震积岩特征来看^[9~16],识别震积岩的相标志主要包括液化砂岩脉(液化泥晶脉、砂火山、泥火山、灰岩墙等)、层内阶梯状断层(微同沉积断裂、微裂缝、断裂缝)、层内褶皱(微褶皱纹理、震褶岩)、滑揉构造(液化变形、包卷层理、枕状构造等各种同沉积变形构造)、液化均一层、自碎屑角砾岩(震塌岩)、震积岩等。由于地震作用强度不同,发生地震作用的环境不同,受地震影响的沉积物其自身岩性特征、埋藏深度和固结程度也不同,因此不同震积岩往往具有不同类型的识别标志。

笔者在对断陷湖盆震积岩形成过程的物理模拟实验中发现了几种常见的震积岩相标志,其性质属于地震作用在尚未固结的软沉积物中的响应,下面做一总结,希望能够对古地震产生的震积岩研究提供更全面的认识。

1 实验中见到的震积岩相标志

模拟实验在中国石油大学(华东)地球资源与信息学院的水槽实验室进行。实验采用稳定的水流速度和加砂速度模拟出三角洲砂体(中型水槽)或三角洲前缘朵叶体(小型水槽),然后分别观察地震作用、波浪作用以及无外界触发机制作用(洪水作用)下三角洲前缘滑塌浊积体的形成过程^[17~19]。地震作用的模拟采用的是瞬间强震,用外力敲击震源触发点,将已知势能转变为地震能量。根据能量守恒原理以及能量和震级的关系($\lg E = 1.5M + 11.8$ E 能量, M: 震级),假设已知势能全部转化为地震能量,中型水槽实验中的实验震级为 -1.18 级(24 磅的磅锤抬高 0.5 m 通过自由落体连续敲打震源触发点 20 下)。

在地震作用模拟过程中,发现了几种常见的震积岩识别标志,主要包括:同沉积断裂、微褶皱纹理、液化砂岩脉、液化均一层、杂乱变形、震积岩等。这些特征性标志形成于地震作用的不同时期,分布于三角洲前缘斜坡至深洼陷区的不同位置,综合构成了震积岩的典型相标志。

1.1 同沉积断裂(阶梯状断层)

同沉积断裂(阶梯状断层)是岩心中识别震积岩的主要标志之一^[20]。实验中的同沉积断裂形成于地震作用的强震期,主要发育在三角洲前缘斜坡。由于振动作用产生的地震剪应力大于三角洲前缘斜坡的

① 国家十五科技攻关项目(No 2001BA605A09)资助。

收稿日期: 2008-10-16 收修稿日期: 2009-01-04

抗剪强度,使得三角洲前缘发生断阶滑塌,形成一个前缘断阶或多个与前缘斜坡倾向相同的同沉积断裂(图 1)。沿着断裂倾向有断距减小、相邻断层间距也减小的趋势。

此外,振动作用诱发产生的三角洲前缘滑塌体对下部沉积物的差异性压实作用也会产生一系列断层,断层可单独发育,也可平行排列呈阶梯状。这种断层多表现为微型的层内断层,在地层中容易保存下来^[21~23]。由于水槽规模小,该类断层在实验中不发育。

1.2 微褶皱纹理

模拟实验中的微褶皱纹理发育在三角洲前缘斜坡坡脚附近,形成于地震作用衰减早期。振动作用发生后,前缘沉积物发生滑塌,在前缘斜坡坡脚处快速堆积,导致坡脚附近表面沉积泥岩发生堆挤而形成褶曲(图 2)。这种褶曲不同于乔秀夫等的震褶岩^[9]。震褶岩是一种层内褶曲,系与液化作用伴生的不规则卷曲变形构造或由砂岩液化变形形成的“肠状构造”^[11]。实验中的微褶皱纹理实际上是一种层面泥岩的褶皱变形构造,褶曲轴面走向大致与滑塌体运移方向垂直。其上部被后续沉积物覆盖后很容易被认认为是层内褶曲。

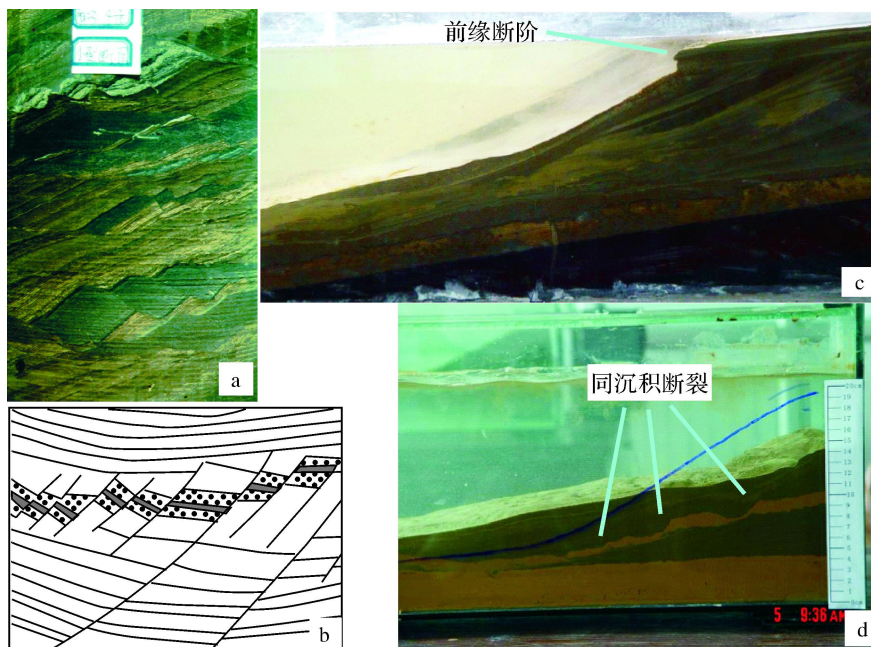


图 1 同沉积断裂(阶梯状断层)在岩心观察和模拟实验中的对比

Fig 1 Comparison of syndepositional faulting (or step faults) in cores and simulated experiments

a 岩心中的阶梯状正断层(阳 23 井, 2 528.1 m); b 济阳凹陷古近系震积岩阶梯状断层素描图(据陈世悦等, 2003);

c 中型水槽模拟实验中的前缘断阶; d 小型水槽模拟实验中的同沉积断裂。

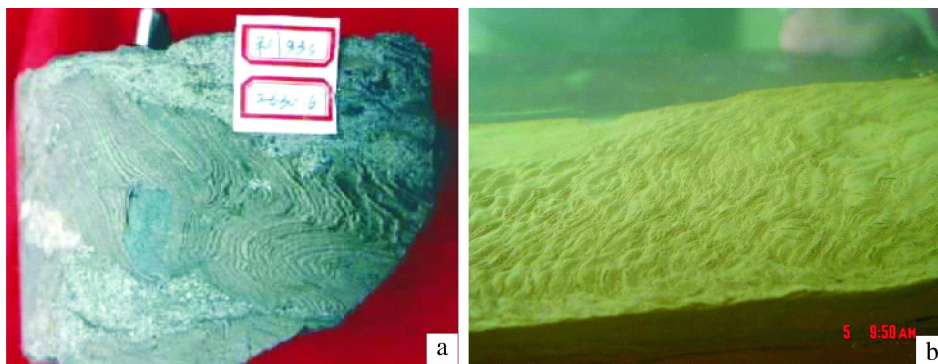


图 2 微褶皱纹理在岩心观察和模拟实验中的对比

Fig 2 Comparison of microconvolution laminae in core and simulated experiment

a 岩心中观察到的泥岩卷曲变形构造(利 933 井, 2 630.6 m); b 小型水槽模拟实验中的微褶皱纹理

1.3 液化砂(泥)岩脉

对于已固结或半固结的沉积物而言,液化的砂、泥岩是沿着地震作用形成的裂缝溢出或上涌而形成砂岩脉和泥岩脉^[8-24]。对于实验中所针对的尚未固结的软沉积物而言,液化现象主要发育在地震作用末期。三角洲前缘主滑塌体在二次搬运过程中发生结构重组,塑性的泥岩夹层发生变形,富含水的砂岩结构状态重新排列,孔隙水则相互集中,并在地震剪切力作用下形成超压孔隙水。当压力达到一定界限时,孔隙水会冲破上覆地层压力而发生泄水作用,携带悬浮其中的砂或泥,在沉积表面形成喷水冒砂(泥)现象(图 3),在剖面上则表现为砂岩脉或泥岩脉^[25-26]。与其伴生的是软沉积物的各种变形构造。

1.4 液化均一层

液化均一层是细粒沉积物由晃动、振荡而稀释液化,性质趋于均一的结果。其结构均一,多为砂泥,无层理或纹理等沉积构造^[27]。中型水槽模拟实验中的

液化均一层发育在靠近震源一侧的三角洲前缘,由于振动作用比较强烈,液化现象非常发育,砂(泥)火山将下部沉积物携带至沉积表面,完全破坏了原有的沉积结构和构造,使其表层趋于均一化(图 4)。液化均一层是较强地震作用的响应。

1.5 同沉积变形构造

震积岩在形成过程中,由于沉积物的液化、颤动、泄水、局部滑塌等,可形成负荷构造、枕状构造、火焰状构造、球状构造、包卷层理、滑揉构造等各种同沉积变形构造^[8]。实验表明,变形构造发育的程度和类型与地震作用的强度有明显关系。一般来说,振动作用越强则变形构造越复杂。地震作用早期,三角洲前缘滑塌体的迁移和差异压实可形成负荷构造、火焰状构造、球枕状构造等;地震作用晚期,随着液化、泄水作用的发生,形成滑揉构造、包卷层理等相对复杂的变形构造。在强烈地震作用之后,三角洲前缘斜坡几乎被夷平,形成杂乱变形构造(图 5)此后三角洲前

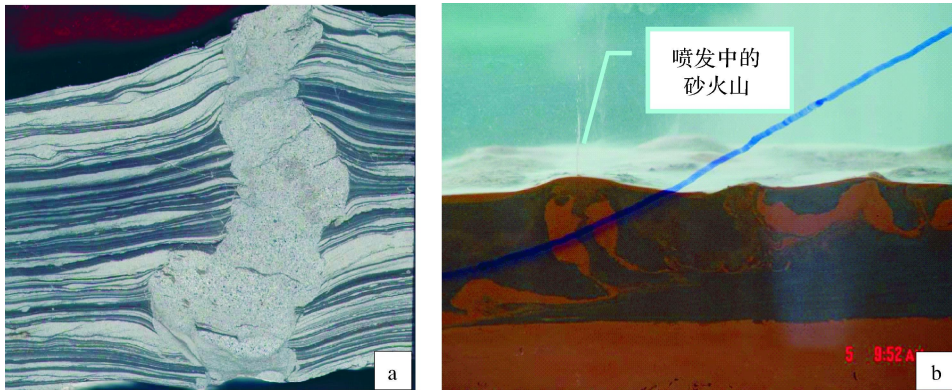


图 3 岩心中观察到的液化砂岩脉与模拟实验中砂火山的对比

Fig 3 The liquefied sandstone dike in core and sand volcano in simulated experiment

a 岩心中观察到的液化砂岩脉(牛 110 井, 3 009.6 m); b 小型模拟实验中观察到的砂火山。

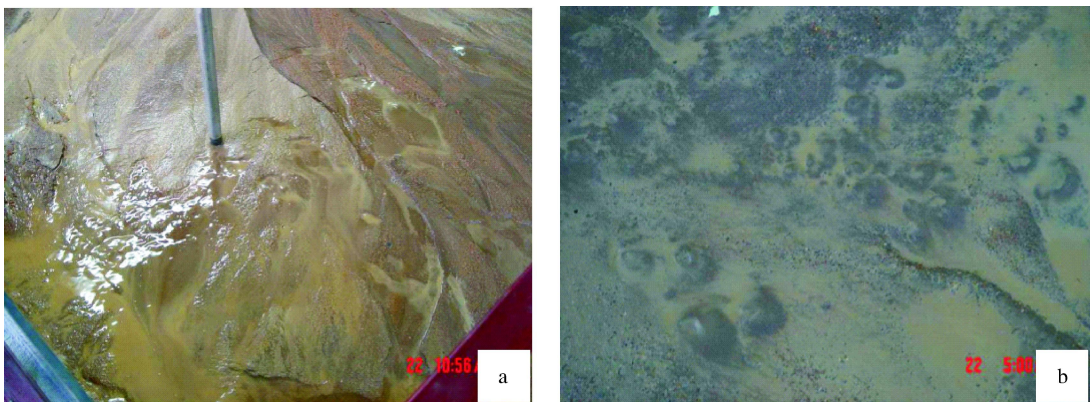


图 4 中型水槽模拟实验中的液化均一层

Fig 4 The liquefied uniform bed in simulated experiments of middle-sized flume

a 振动作用初期的局部液化现象; b 振动作用后的液化均一区域

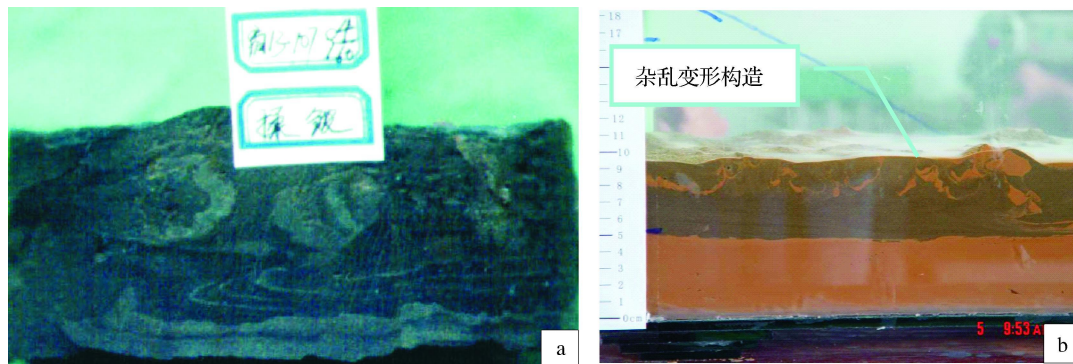


图 5 同沉积变形构造在岩心观察和模拟实验中的对比

Fig 5 Comparison of syndepositional deformation structures in core and simulated experiment

a 岩心中观察到的揉皱变形构造 (商 13-107 井, 2 512.08 m); b 小型模拟实验中发育的杂乱变形构造

缘处于相对稳定状态,下一期的地震作用对前缘不会产生进一步的影响。因此,杂乱变形构造往往形成于强烈地震作用之后。

1.6 震浊积岩

震浊积岩是地震作用间接作用的产物,是识别震积岩的良好辅助标志。震浊积岩可以是地震作用导致三角洲前缘发生滑塌所形成^[28],也可以是地震引起的海啸诱发的浊流所致^[29-30]。实验中,震浊积体是三角洲前缘滑塌体在重力作用下沿着地形坡度运移至深洼陷区沉积而成,其运移过程中会发生沉积分异作用而形成粒序层理以及与重力流相关的变形构造。

模拟实验表明,震积岩主要相标志的形成时间和分布位置都有一定的规律性。同沉积断裂(阶梯状断层)主要发育在三角洲前缘斜坡,形成于地震作用的强震期;若紧邻震源且地震作用强烈,前缘斜坡表面可形成液化均一层;微褶皱纹理主要发育在前缘斜坡坡脚,形成于地震作用衰减早期;液化砂岩脉主要发育于紧邻前缘斜坡的前三角洲,形成于地震作用衰

减晚期;震浊积体主要发育在盆地内部的深洼陷区。总体来说,随着地震作用的持续,沉积构造变形程度愈来愈高;从三角洲前缘向盆地方向变形程度由弱到强(图 6)。

2 易与震积岩相标志混淆的其他成因相标志

模拟实验过程中还发现了一些与震积岩相标志相似的其他成因的相标志。从其特征来看很难将他们区分开来,但是他们的形成过程和成因机制有明显差别。

2.1 非地震成因的同沉积断裂

三角洲前缘主河道发育期,大量砂质沉积物经河道搬运至河口处,直接沉积在河道间歇期的厚层泥质沉积之上。当其重量大于下部泥岩的承载能力时,前缘斜坡处会产生一条正断层(断层倾角大于前缘斜坡的坡角),断层上盘沉积物在重力作用下滑塌沉陷并向盆地方向推移。这种断层往往单条出现,断面长、断距大,而且容易被后期河道携带的沉积物所破

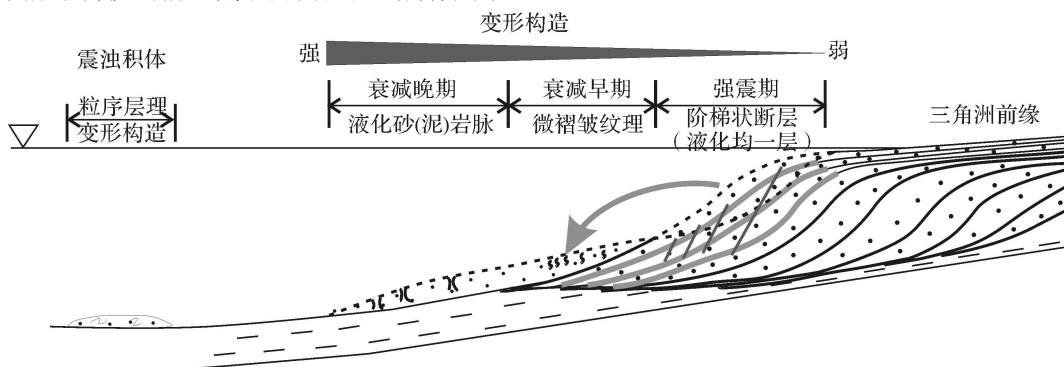


图 6 三角洲体系震积岩相标志剖面分布示意图

Fig 6 Profile map showing the distribution of facies indicators of seismite in delta system

坏而不易保存下来。湖平面下降和洪水作用都有利于此类断层的形成。

此外,非地震成因的滑塌体在向盆地推移过程中,同样会对前三角洲泥岩产生差异性压实而形成断层。这些断层与震积岩的阶梯状断层相似,单从特征上很难将二者区分开来。

2.2 非地震成因的液化现象

波浪作用下,浪基面所波及的三角洲前缘是液化现象发育的有利场所。由于上部沉积物被波浪回流作用带走,下部富含水的砂、泥岩因上部压力的突然消失而形成相对超压,进而形成砂火山、泥火山等液化现象,平面上具有明显的区带性,剖面上显示砂岩脉、泥岩脉等液化标志,容易与地震作用下的液化砂岩脉等混淆。不同的是波浪作用形成的液化区带仅限于波浪改造区带,且层位靠上。

2.3 非地震成因的浊积岩

波浪作用、洪水作用以及湖平面的突然下降都可以导致三角洲前缘发生滑塌形成浊积体,容易与地震作用形成的震浊积体混淆^[18]。震浊积岩是震积岩的间接产物,伴有震积岩典型的相标志组合和震积岩序列。此外,震浊积体发育规模大,运移距离远,主要沉积在三角洲前缘的深洼陷区,而其他成因的浊积体多分布在三角洲前缘斜坡至地形坡折之间^[19]。

此外,由于无外界触发机制下的重力压实沉降作用、波浪作用下的液化作用、非地震成因三角洲前缘的滑塌作用等,在三角洲前缘也会形成负荷构造、滑揉构造等同沉积变形构造。因此,在判断是否是震积岩相标志时,要充分考虑各种相标志的组合特征、与沉积环境的配置关系以及区域的构造背景等。

3 震积岩相标志的研究意义

(1)震积岩相标志是判断震积岩最直接的有效证据。但在分析震积岩相标志时,应充分考虑各种相标志的组合特征、与沉积环境的配置关系及区域的构造背景等。

(2)根据震积岩相标志的类型和特征可以判断地震作用的强度。模拟实验表明,对于尚未固结的软沉积物而言,大部分震积岩相标志很难保存下来,因为地震初期形成的相标志往往会被地震末期的或后期更强大的地震作用所破坏,所以地层中保留的同沉积期的震积岩相标志往往代表了最大地震作用的强度。

(3)正确识别震积岩相标志,结合沉积体系平面

展布及古地形,可有效预测震浊积岩的发育位置,进而指导人们对震浊积岩这一隐蔽油气藏的勘探。随着油气勘探的不断深入,震浊积岩已经成为断陷盆地隐蔽油气藏勘探的有利目标之一^[31~33],但由于震浊积岩发育规模较小,分布规律不明显,往往很难进行有效预测。我国东部断陷盆地勘探成熟度高,取心井网密度大,目前已经发现了大量的震积岩相标志。根据模拟实验总结的震积岩相标志发育特征,将岩心中的震积岩相标志及组合归位到三角洲—震浊积岩体系之中,再结合三角洲的发育规模和形态、前缘沉积底形的变化、构造的活动性以及沉降中心的位置等,可有效预测震浊积体的有利发育区带。

参考文献 (References)

- 1 孙晓猛,梁定益,聂泽同. 大陆边缘震积岩序列——以金沙江中段震积岩为例[J]. 现代地质, 1995, 9(3): 1-27 [Sun Xiaomeng, Liang Dingyi, Nie Zetong. Seismic sequence in continental margin: Taking seismic in the middle region of Jinsha river as an example. J. Geosciences, 1995, 9(3): 1-27]
- 2 袁静. 山东惠民凹陷古近纪震积岩特征及其地质意义[J]. 沉积学报, 2004, 22(1): 41-46 [Yuan Jing. The property and geological significance of seismites of Paleogene in Huimin sag, Shandong province [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(1): 41-46]
- 3 乔秀夫,高林志,彭阳,等. 古郑庐带沧浪铺阶地震事件、层序及构造意义[J]. 中国科学: D辑, 2001, 31(11): 911-918 [Qiao Xiufu, Gao Linzhi, Peng Yang, et al. Seismic event sequence and tectonic significance in Canglangpu Stage in Paleo-Tanlu fault zone [J]. Science in China Series D, 2001, 31(11): 911-918]
- 4 殷秀兰,杨天南. 胶州—莱阳盆地白垩纪莱阳群中的震积岩及构造意义讨论[J]. 地质论评, 2005, 51(5): 502-506 [Yin Xiulan, Yang Tiannan. Seismites in the Laiyang group in the Jiaozhou-Laiyang Basin, Shandong province and their tectonic implications [J]. Geological Review, 2005, 51(5): 502-506]
- 5 陈杰,周鼎武,杨仁超. 辽河盆地东部凹陷震积岩发现及研究[J]. 特种油气藏, 2007, 14(4): 44-47 [Chen Jie, Zhou Dingwu, Yang Renchao. Discovery and significance of seismite in the eastern depression of Liahe Basin [J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2007, 14(4): 44-47]
- 6 袁静. 中国震积作用和震积岩研究进展[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 2005, 29(1): 144-149 [Yuan Jing. Research of seismic deposition and seismites of China [J]. Journal of the University of Petroleum China, 2005, 29(1): 144-149]
- 7 魏垂高,张世奇,姜在兴. 塔里木盆地志留系震积岩特征及其意义[J]. 地质学报, 2007, 81(6): 827-833 [Wei Chuigao, Zhang Shiqi, Jiang Zaixing. Character and significance of Silurian seismite in the Tarim Basin [J]. Acta Geologica Sinica, 2007, 81(6): 827-833]
- 8 杜远生,韩欣. 论震积作用和震积岩[J]. 地球科学进展, 2000, 15(4): 389-394 [Du Yuansheng, Han Xin. Seismo-deposition and seis-

- mities [J]. *Advance in Earth Sciences* 2000 15(4): 389-394]
- 9 乔秀夫, 宋天锐, 高林志, 等. 碳酸盐岩振动液化地震序列 [J]. *地质学报*, 1994 68(1): 16-34 [Qiao Xiufu Song Tianrui Gao Linzhi et al. Seismic sequence in carbonate rocks by vibration liquefaction [J]. *Acta Geologica Sinica* 1994 68(1): 16-32]
 - 10 夏青松, 田景春, 黄昌武. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组震积岩识别标志研究 [J]. *成都理工大学学报: 自然科学版*, 2007 34(3): 312-317 [Xia Qingsong Tian Jingchun Huang Changwu Study on the recognition marks of seismites in the upper Triassic Yanchang formation Ordos Basin China [J]. *Journal of Chengdu University of Technology Natural Science* 2007 34(3): 312-317]
 - 11 魏垂高, 张世奇, 姜在兴, 等. 东营凹陷现河地区沙三段震积岩特征及其意义 [J]. *沉积学报*, 2006 24(6): 798-805 [Wei Chuigao Zhang Shiqi Jiang Zaixing et al. Discovery and significance of seismite of Silurian in member III at Shahejie formation in Xianhe area of Dongying Sag [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 2006 24(6): 798-805]
 - 12 杨大欢, 王朝宗, 陈建书. 贵州雷山一带的震积岩 [J]. *贵州地质*, 1999 16(2): 136-140 [Yang Dahuan Wang Chaozhong Chen Jianshu [J]. Rock in seismic genesis in Leishan area Guizhou Geology 1999 16(2): 136-140]
 - 13 Christian Montenat Pascal Barrier Philippe Ott d Esteveu et al. Seismites: An attempt at critical analysis and classification [J]. *Sedimentary Geology* 2007 196: 5-30
 - 14 刘鹏举. 河北平泉中元古代高子庄组震积岩及地震节律 [J]. *现代地质*, 2001 15(3): 266-268 [Liu Pengju Seismite and its rhythm in the Gaoyuzhuang formation of Mesoproterozoic in Pingquan county Hebei province [J]. *Geoscience* 2001 15(3): 266-268]
 - 15 路慎强. 济阳拗陷古近系碎屑岩地层中震积岩识别标志研究 [J]. *中国石油大学学报: 自然科学版*, 2006 30(5): 8-13 [Lu Shenqiang Study on the distinguishing marks of seismites in clastic rock strata of Paleogene in Jiyang depression [J]. *Journal of China University of Petroleum* 2006 30(5): 8-13]
 - 16 田洪水, 万中杰, 王华林. 鲁中寒武系馒头组震积岩的发现及初步研究 [J]. *地质论评*, 2003 49(2): 123-131 [Tian Hongshui Wan Zhongjie Wang Hualin Discovery and preliminary study on seismites of the Cambrian Mantou Formation in the central Shandong area [J]. *Geological Review* 2003 49(2): 123-131]
 - 17 鄢继华, 陈世悦, 宋国奇, 等. 三角洲前缘滑塌浊积岩形成过程初探 [J]. *沉积学报*, 2004 22(4): 573-578 [Yan Jihua Chen Shiyue Song Guoqi et al. Preliminary study on the formation of fluxoturbidite in front of delta [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 2004 22(4): 573-578]
 - 18 张关龙, 陈世悦, 鄢继华, 等. 三角洲前缘滑塌浊积体形成过程模拟 [J]. *沉积学报*, 2006 24(1): 50-55 [Zhang Guanlong Chen Shiyue Yan Jihua et al. Simulation of fluxoturbidite in front of delta [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 2006 24(1): 50-55]
 - 19 鄢继华, 陈世悦, 姜在兴. 三角洲前缘浊积体成因及分布规律研究 [J]. *石油实验地质*, 2008 30(1): 16-19 [Yan Jihua Chen Shiyue Jiang Zaixing Genesis and distribution regularity of the turbidite bodies in the delta front [J]. *Petroleum Geology & Experiment* 2008 30(1): 16-19]
 - 20 安明泉. 震积岩在岩心中的识别及研究 [J]. *断块油气田*, 2005 12(3): 25-27 [An Mingquan Identification study on seismite in core [J]. *Fault-Block Oil & Gas Field* 2005 12(3): 25-27]
 - 21 贾松, 彭军, 刘建锋. 国内震积岩研究现状 [J]. *地质灾害与环境保*护, 2006 17(1): 39-44 [Jia Song Peng Jun Liu Jianfeng Status of the research on seismites in China [J]. *Journal of Geological Hazards and Environment Preservation* 2006 17(1): 39-44]
 - 22 赵卫卫, 查明, 杨剑萍. 中国震积岩研究综述 [J]. *地层学杂志*, 2006 30(2): 171-176 [Zhao Weiwei Zhao Ming Yang Jianping An overview of seismite research in China [J]. *Journal of Stratigraphy* 2006 30(2): 171-176]
 - 23 陈世悦, 袁文芳, 鄢继华. 济阳拗陷早第三纪震积岩的发现及其意义 [J]. *地质科学*, 2003 38(3): 377-384 [Chen Shiyue Yuan Wenfang Yan Jihua Discovery and significance of earthquake event deposits of early Tertiary in the Jiyang Depression [J]. *Chinese Journal of Geology* 2003 38(3): 377-384]
 - 24 宫丽清, 杨剑萍. 济阳拗陷古近系沙河街组震积岩特征及其储集性能 [J]. *新疆石油地质*, 2007 28(1): 44-47 [Gong Liqing Yang Jianping Seismite feature and its reservoir quality of Shahejie formation of Paleogene in Jiyang depression [J]. *Xinjiang Petroleum Geology* 2007 28(1): 44-47]
 - 25 乔秀夫, 彭阳, 高林志. 桂西北二叠纪灰岩墙(脉)的地震成因解释 [J]. *地质通报*, 2002 21(2): 102-104 [Qiao Xiufu Peng Yang Gao Linzhi Interpretation of seismic origin of Permian limestone dikes in northwestern Guangxi [J]. *Geological Bulletin of China* 2002 21(2): 102-104]
 - 26 Tobias Morz Evan A Karlik Stefan Kreiter et al. An experimental setup for fluid venting in unconsolidated sediments: New insights to fluid mechanics and structures [J]. *Sedimentary Geology* 2007 196: 251-267
 - 27 钟万培. 震积岩的特征、成因与浊积岩比较 [J]. *内蒙古石油化工*, 2007 (9): 144-146 [Zhong Wanpei The cause and feature that seismite are compared with turbidites [J]. *Inner Mongolia Petrochemical* 2007 (9): 144-146]
 - 28 鄢继华, 陈世悦, 姜在兴, 等. 断陷湖盆震积岩成因模拟实验 [J]. *古地理学报*, 2007 9(3): 277-282 [Yan Jihua Chen Shiyue Jiang Zaixing et al. Simulation experiment on genesis of seismo-turbidites in rift lacustrine basin [J]. *Journal of Palaeogeography* 2007 9(3): 277-282]
 - 29 杜远生, 韩芹. 论海啸作用与海啸岩 [J]. *地质科技情报*, 2000 19(1): 19-22 [Du Yuansheng Han Xin Tsunami and tsunamites [J]. *Geological Science and Technology Information* 2000 19(1): 19-22]
 - 30 Takashinizu Y, Masuda F. Depositional facies and sedimentary successions of earthquake-induced tsunami deposits in Upper Pleistocene incised valley fills central Japan [J]. *Sedimentary Geology* 2000 135: 231-239
 - 31 高永进, 邱桂强, 陈冬霞, 等. 牛庄洼陷岩性油藏含油气性及主控因素 [J]. *石油与天然气地质*, 2004 25(3): 284-287 [Gao Yongjin Qiu Guiqiang Chen Dongxia et al. Oil/gas shows in lithologic reservoirs in Niuzhuang sag and their main controlling factors [J].

- Oil & Gas Geology 2004, 25(3): 284-287]
- 32 赵密福, 信荃麟, 刘泽容. 惠民凹陷临南洼陷滑塌浊积岩的分布规律及其控制因素 [J]. 石油实验地质, 2001, 23(3): 267-271 [Zhao Mifú, Xìn Quānlín, Liú Zéróng. Distribution rules of fluvio-turbidite in the Linnan sag of the Huimin depression and their control factors [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2001, 23(3): 267-271]
- 33 王金铎, 韩文功, 于建国, 等. 东营凹陷沙三段浊积岩沉积体系及其油气勘探意义 [J]. 石油学报, 2003, 24(6): 24-29 [Wang Jinduo, Han Wengong, Yu Jianguo, et al. Turbidity system in the third section of Shahejie formation of Dongying sag and its implications on petroleum prospecting [J]. Acta Petrolei Sinica, 2003, 24(6): 24-29]

Identification of Common Facies Indicators of Seismites in Simulated Experiments

YAN Jihua¹ CUI Yong-bei² CHEN Shi-yue¹

(1. Faculty of Geo-Resources and Information, China University of Petroleum, Dongying, Shandong, 257061;

2. Shengli Production Plant, Shengli Oilfield Company Ltd., SINOPEC, Dongying, Shandong, 257051)

Abstract Sedimentary facies indicators are the best effective criteria to identify seismites. In the flume experiments to simulate seismo-turbidites, several typical facies indicators of seismites are found in soft sediments, such as synsedimentary faulting, microcorrugation, liquefied sandstone dike, liquefied uniform bed, syndepositional deformation, seismo-turbidites, and so on. They formed in different periods of seismism and distribute regularly in the system of delta to seismo-turbidites. At the same time, some facies indicators induced by other contributing factors are discovered, which is confused with facies indicators of seismites. So when analyzing seismites, we should also consider the assemble characteristics of all kinds of facies indicators, their allocation relationship with depositional environment and regional tectonic setting. The distribution pattern of facies indicators of seismites can be derived from simulated experiments. According to analyzing the types and assemble characteristics of facies indicators of seismites, we can forecast the best zones that develop seismo-turbidites and guide subtle reservoir exploration in faulted basin.

Key words seismites; facies indicator; simulated experiment; seismo-turbidites