

文章编号: 1000-0550(2008) 05-0772-08

鄂尔多斯盆地三叠系延长组震积岩特征研究¹

李元昊^{1,2} 刘池洋¹ 王秀娟²

(1 大陆动力学国家重点实验室(西北大学) 西安 710069 2 长庆油田勘探开发研究院 西安 710021)

摘要 震积岩是具有古地震记录的岩层。根据大量岩心观察,鄂尔多斯盆地三叠系延长组广泛发育震积岩沉积标志,如液化砂岩脉、阶梯状小断层、液化卷曲变形、砂球枕构造、泥岩撕裂屑、滑揉构造等。详细分析了各种震积岩特征及其分布,初步建立了鄂尔多斯盆地延长组震积岩垂向沉积序列,包括:A段为下伏未震层;B段为微同沉积断裂层;C段为振动液化卷曲变形层;D段为液化砂岩脉和砂岩墙段;E段为砂球枕及碎块层;F段为液化均一层和G段上覆未震层。震积岩的首次发现为研究盆地周边构造演化强度和期次提供了佐证,同时震积岩也是一种潜在的有利储层。

关键词 震积岩 鄂尔多斯盆地 延长组 垂向沉积序列

第一作者简介 李元昊 男 1976年出生 工程师 在读博士生 石油地质 E-mail: liyuanh_α@ petrochina. com. cn

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

1 震积岩研究现状及问题的提出

在地层中,具有古地震事件记录的岩层称为震积岩(seismites),是具有成因联系的一组岩石的名称,包括对先成沉积物的改造(原地),也包括由地震触发的重力流(碎屑流和浊流)沉积(异地)^[1,2]。地震常常由断裂构造活动、火山活动等一些诱发因素引起,特别是在汇聚型和伸展型的地壳构造活动带更是频繁;大的陨石坠落到地球上也能引起强烈地震^[3]。因此,震积岩不仅具有沉积学意义,更具有构造意义。早在20世纪50~60年代,国外就有学者对海底地震作用引起的沉积现象进行了研究^[4]。1969年,Seilacher把地震作用改造未固结的水下沉积物形成再沉积层定义为震积岩(seismite)^[5]。1984年,美国《Marine Geology》刊登了“地震与沉积作用”专集,并对地震与震积作用进行了系统总结。

我国自1986年对古生代海相地层中的震积岩与震积构造现象进行研究以来,以乔秀夫、杜远生等为代表,在海相地层震积岩的研究中取得了丰硕的成就,提出了辨别震积岩的典型沉积和成岩标志,总结出震积岩类型,建立了碳酸盐岩振动液化地震序列,并与盆地构造演化相结合^[2,6]。近年来,我国学者赵澄林、袁静、杨剑萍等在陆相断陷湖盆地中对震积岩作了较为系统的研究;吴贤涛在四川晚侏罗世湖泊中也发现了震积岩并进行了研究,系统总结了陆相湖盆

震积岩的识别标志、沉积序列和伴生构造^[7-13]。鄂尔多斯盆地晚三叠世发育陆相湖盆沉积,盆地周缘构造活动频繁,也具有发育震积岩的条件。近期研究中,在三叠系延长组多口井的岩心观察描述时发现了具有典型震积岩特征的构造现象,如液化砂岩脉、阶梯状小断层、液化卷曲变形、砂球枕及伴生构造等。由于震积岩是周边构造活动的一种沉积响应,同时也可能是一种新的油气储集体。因此,笔者对此沉积构造现象进行了初步研究。

2 鄂尔多斯盆地三叠系延长组震积岩特征

鄂尔多斯盆地延长组岩心中保留有许多与古地震有关的地质记录,主要是未固结沉积物在地震的影响下发生的各种变形构造。通过大量岩心观察描述,发现了丰富的具有震积岩特征的构造现象,描述如下。

2.1 液化砂岩脉(墙)

在白246庄38剖20里56井、正11等井的长8长7长6长4+5段岩心中,发现多处液化砂岩脉构造(图1)。根据砂岩脉刺穿体的岩性差别,可分为两种类型,一是暗色泥岩中发育的砂岩脉,岩脉呈肠状,易分枝,走向无规律,既有水平方向顺层发育也有垂向穿层发育,垂向发育的砂岩脉往往较水平岩脉粗大(图1a);二是在砂泥岩薄互层中发育的砂岩脉,脉体往往刺穿砂泥薄互层,薄互层层理受挤压往往向上

¹ 国家重点基础研究发展规划(973计划)项目(批准号:2003CB4607);长江学者和创新团队发展计划(RT0559)项目资助成果。

收稿日期:2007-11-20 收修修改稿日期:2008-01-07

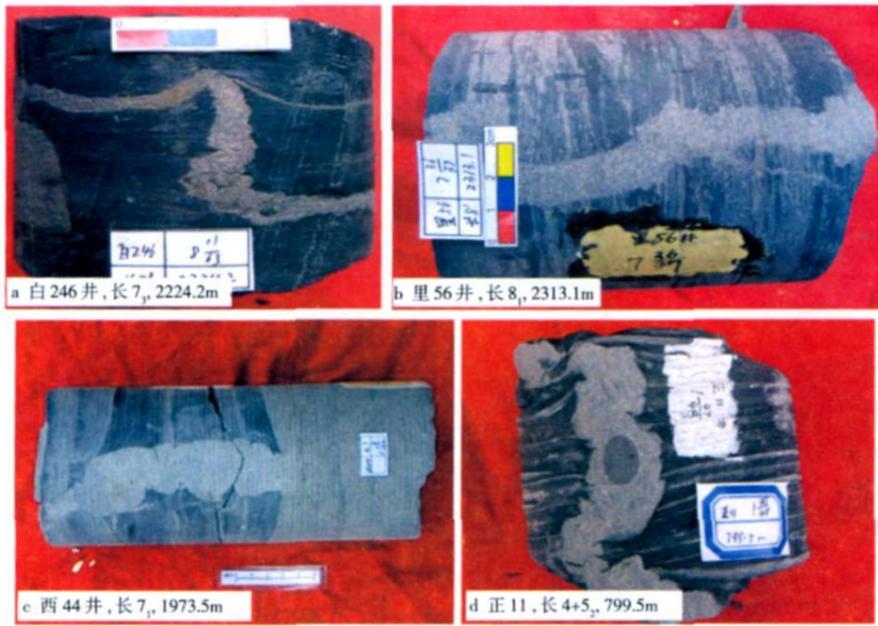


图 1 液化砂岩脉构造

Fig. 1 Liquefied sandstone veins structure

下两端发生明显弯曲, 岩脉中间膨大, 走向以垂向为主(图 1c、d)。液化砂岩脉体大小不等, 一般 0.2~4 m 宽, 长度 1~几十 m, 如在正 11 井观察到的砂岩脉长约 80 m。

一般情况下, 由沙粒和水组成的沉积物是稳定的。当地震发生时, 由于地震波的影响, 砂土和水在振动作用下改变其原来的排列状态而液化。强地震引起的剪切力, 促使未固结沉积物中的沙粒滑移改变排列状态, 使应力由沙骨架转移至水, 引起超孔隙水压力, 沙层产生液化作用, 沙与水浑然一体, 产生了悬液, 水与沙粒混合体在层内能像水一样运动, 遇到缝隙刺入后便形成泄水脉^[10]。如果上下已固结岩层因振动断裂, 就会产生喷砂冒水现象, 液化砂岩脉露出

地表可形成砂火山、泥火山。泥砂颗粒的液化脉除了向上移动外, 由于受到上部及四周压力, 迫使泥沙向压力小的下方移动, 导致泄水脉同时向岩层内上方及下方两个相反的方向液化。液化砂岩脉是强地震的产物, 只有大于 5 级的地震才能发生液化现象, 地震级别越大, 液化范围越大, 八级地震液化范围达 200 km^[10]。

2.2 振动液化卷曲变形构造

在岭 52、岭 79 等井中都可见到各种类型的液化卷曲变形构造, 液化的砂岩往往顺层发生移动, 同时拖动泥岩发生变形、移动, 共同形成形态各异的各种卷曲、扭曲现象(图 2)。液化卷曲变形层厚一般几个厘米, 多发育在粉砂岩和粉砂质泥岩中。



图 2 振动液化卷曲变形构造

Fig. 2 Vibrational liquefaction curled deformation structure

地震活动引起可塑性泥质或粉砂质沉积物液化, 形成以卷曲、弯曲、扭曲为主的变形构造, 而上、下岩层中的层理保持不变。液化卷曲变形构造大小不一, 形态各异。

2.3 阶梯状断层及层内错断

在剖 20 白 246 里 52 等井观察到大量的小断裂 (图 3)。根据断层规模大小和发育密度, 可分为层内错断和阶梯状小断层两种类型。层内错断断距相对较大, 一般 1~2 cm, 倾角较大。因取心范围所限, 观察到的多为单条断层, 多表现为正断性质 (图 3c), 也有表现为逆断层的 (图 3b); 在剖 20 等井可见阶梯状小断层 (图 3a), 阶梯状小断层为一系列小型近平行排列断层, 一般仅分布在岩层中较薄的范围内, 剖面长度一般 1~2 mm, 断距 2~5 mm, 倾角较陡, 呈上盘下降的正断层, 剖面平行排列呈阶梯状, 断层密度较大。

地震活动后, 沉积物重新受压实作用, 体积减小, 导致沉积物下沉, 形成了以张性断裂为主的断层, 可单独发育, 也可平行排列呈阶梯状, 与袁静^[11]提出的微同沉积断裂概念相同。常与地裂缝相伴生, 地裂缝剖面呈 V 字形, 开口指向古地层的顶面。

2.4 震积砂球枕构造

在环 60 白 167 耿 71 丹 49 等井中, 发现大量砂球枕构造, 这种现象发育非常普遍。砂块的大小从几毫米到几厘米不等, 由于粒度细、饱含水, 在振动下沉

过程中可发生塑性变形而呈不规则碎块状、球状、枕状、瘤状、拖曳拉长状及其它各种变形 (图 4)。研究区发现的砂球、砂枕通常在垂向上按个体大小分异, 向上可过渡为均一液化层, 砂球内砂纹隐现, 且总体平行于层面, 以此与异地重力分异产物相区别^[11]。

形成原因主要是由于上下相邻的沉积物存在较大的密度差, 在振动的作用下, 上覆细砂、粉砂层发生断裂、解体, 形成大小不一的砂块, 在重力的作用下, 向软性泥质沉积物中沉陷而成的。此类构造多出现在以泥质沉积物为主的层段中。

负荷构造、枕状构造、球状构造、包卷层理、泄水构造等同沉积变形构造是沉积物沉积之后固结之前的变形构造, 它们与沉积物的液化、颤动、沿裂隙泄水有关。虽然不完全排除非地震成因, 但这些构造在地震过程中是可以形成的, 库南 (Kuenen, 1986) 曾在振动的条件下模拟出砂球枕构造。

2.5 泥岩撕裂屑

在白 246 井、环 62 里 52 里 55 里 63 等井中可见到大量的泥岩撕裂屑, 其特征为剖面上泥岩条带、团块具有明显的撕裂现象, 平面上泥岩团块具有一定的磨圆度, 大小不一, 总体平行于层面, 相邻撕裂屑有时可以拼接 (图 5)。泥岩撕裂屑构造是地震振动后夹于砂岩中的泥岩条带发生撕裂、断裂, 短距离搬运后又陷入砂岩当中形成的, 也可能是地震等引发的浊流强烈侵蚀下伏泥岩搅混沉积而成。



图 3 阶梯状小断层及层内错断构造

Fig 3 Fault-graded faults and inner stratum faults structure



图 4 砂球枕构造

Fig. 4 Pillow and ball structure

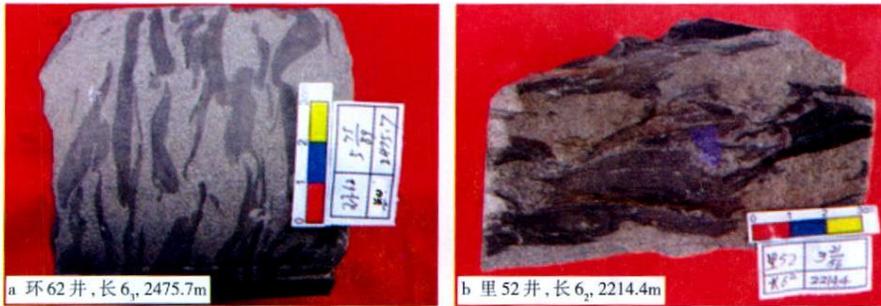


图 5 砂岩中泥岩撕裂屑

Fig. 5 Teared mudstone fragments in sandstone

2.6 滑揉构造

滑塌和揉皱构造常简称为滑揉构造。在旺 19 白 246 等井中见到多个滑揉构造 (图 6), 其特征是塑性纹层状泥、页岩强烈变形扭曲, 呈旋涡状、肠状; 脆性的粉—细砂岩呈大小不一的碎块; 半塑性的泥质粉砂岩碎块也可出现圆滑外缘或塑性变形特点。砂泥混杂, 有时可出现杂基支撑结构, 可见漂浮状砂块存在于砂泥混杂的基质中, 一般成层性差, 厚度变化较大。

滑揉构造通常是这样形成的: 在一定坡度的斜坡上, 地震振动产生的剪切力使粉—细砂岩与泥页岩间

互层产生一系列复杂的褶皱、断裂, 滑塌后形成一种砂、泥混杂的堆积体。虽然其它机制也能形成这种构造现象, 但在地震振动作用下, 延长期沉积地层在整体坡度较缓的情况下更易于产生滑揉现象。

3 震积岩垂向沉积序列

根据对白 246 里 51 里 52 里 55 环 60 环 62 庄 20 镇 58 耿 71 元 140 正 11 旺 19 等井的观察结果, 结合前人研究成果, 初步概括出鄂尔多斯盆地延长组的震积岩垂向沉积序列 (图 7)。



图 6 滑揉构造

Fig. 6 Slumping and wrinkle structure

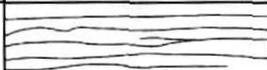
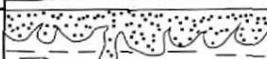
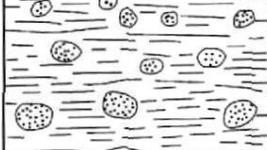
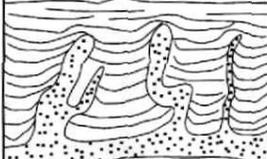
地震活动阶段	震积岩垂向沉积序列	典型沉积构造	实例
地震停止期		G段:上覆未震层	
地震衰弱期		F段:液化均一层	图4
		E段:砂球枕构造	图4
		D段:砂岩墙(脉)	图1
地震强烈期		C段:液化卷曲变形	图2
		B段:阶梯状微断层	图3
		A段:下覆未震层	

图 7 鄂尔多斯盆地三叠系延长组震积岩垂向沉积序列

Fig 7 A comprehensive model of seismic succession of late Triassic Yanchang Formation in Ordos Basin

自下而上为:

A 段: 为下伏未震层: 岩层内未经任何振动干扰, 原生层理保存良好;

B 段: 为微同沉积断裂层: 该层段厚约 5~10 cm, 断层密度最密可达 3~4 条/cm, 断距很小, 向下逐渐消失于下伏未震层段中。其下可能有一层震裂(塌)角砾岩。

C 段: 为振动液化卷曲变形层: 主要特征表现为砂岩薄层的弯曲, 规模小, 变形强烈, 一般几个厘米厚。

D 段: 为液化砂岩脉和砂岩墙段: 平面上无统一走向, 多个层可以同时被液化, 厚度 20~30 cm, 是强地震作用的典型标志^[10]。

E 段: 为砂球枕及碎块层: 碎块多为形态多变的砂球、砂枕。泥岩撕裂屑也常见, 有时相邻泥岩可以对接, 甚至可见到弯曲层理。碎块大小分异, 向上过渡为液化均一层。

F 段: 为液化均一层: 多为粉砂质泥岩或薄层砂

岩, 结构均一, 无层理或纹理等沉积构造。

G 段: 为上覆未震层: 为地震结束后正常的沉积岩层, 与下伏液化均一层突变接触。

其中, B 到 F 为震积岩的主体, 一般厚度小于 1m。由于震积岩属于事件沉积序列, 垂向上震积岩序列单元在剖面上常常发育不完整, 缺失一个或多个单元。这与震积岩序列组成的本身无关, 而与观察剖面的位置有关, 也与地震强度和地震发生处的岩性有关。

4 延长组震积岩的时空分布、形成背景和地质意义

现代地震研究表明, 地震主要发生在活动的大地构造背景下, 依将今论古的原则, 地史时期的地震同样发生在活动的构造背景下。发生在湖盆中间及其周边的地震, 可对湖盆底部软沉积物产生影响, 形成各种独特的变形构造, 地震的强度和节律不同, 形成的震积岩特征及其组合也有差异。因此, 震积岩的研究对恢复盆地的沉积和构造背景具有十分重要的意义。

义。

4 1 延长组震积岩的时空分布

4 1 1 震积岩多分布在湖盆的较深水区

从震积岩分布的层位看(表 1), 长 8 长 7、长 6、长 4+ 5、长 3 均有分布, 但主要集中在长 7 和长 6 占 90% 左右。长 7 的三个小层长 7₃、长 7₂、长 7₁ 和长 6 的三个小层长 6₃、长 6₂、长 6₁ 均有分布, 而这个时期是湖盆演化的强烈湖泛期和缓慢湖退期。从震积岩发育的沉积环境分析(表 1), 半深湖—深湖为震积岩保存的主要环境, 三角洲前缘也是有利的震积岩发育环境。总之, 震积岩多出现在利于沉积物保存的湖盆沉积补偿区。三角洲平原环境目前还未发现震积岩, 可能与震积岩形成后受后期改造强、保存较差有关。

4 1 2 震积岩集中出现在湖盆构造演化的活跃期

震积岩常常与盆地构造演化强烈期相伴生, 长 7 和长 6 期是湖盆水体最深、构造活动最强的时期, 火山活动(多层凝灰岩发育)和地震活动频繁, 导致大

量的软沉积物发生滑塌、变形。自晚三叠世鄂尔多斯湖盆形成以来, 盆地周边地震一直在活动, 强烈的地震活动时常发生。鄂尔多斯地块周缘是华北地震区西部的一个强震活动地带, 它的地震活动强度和频度在华北地震区最高的, 但鄂尔多斯内部 6 级以上地震很少^[14-16]。

4 2 震积岩形成的构造机制及地质背景分析

晚三叠世, 印支运动导致了华北板块南部的秦岭洋闭合, 秦岭地区全面碰撞造山^[17], 盆地西北受阿拉善地块向东的挤压作用, 盆地周缘构造活动处于活跃期。晚三叠世延长期, 受秦岭造山带强烈碰撞和快速隆升, 鄂尔多斯盆地南部沉降幅度较大, 总体呈古地理北高南低、水体北浅南深、沉积北薄(400~800 m)南厚(900~1300 m)特征^[18]。此时, 盆地处于大型内陆拗陷湖盆演化阶段, 具有盆大、坡缓、水浅、物源多、内部构造稳定的总体特征, 广泛发育河流—三角洲—湖泊相沉积。

表 1 鄂尔多斯盆地延长组发育震积岩的井位、层位表

Table 1 The stratum location and wells of seismites in Yanchang Formation, Ordos Basin

井号	层位	深度 /m	亚相	沉积构造特征
白 246	长 7 ₃	2224~2238.6	深湖	液化砂岩脉、泥岩撕裂屑
	长 6 ₁	2052.2~2056.89	深湖	阶梯状小断层
环 60	长 7 ₂	2782.5	三角洲前缘	液化砂岩脉、泥岩撕裂屑
	长 6 ₃	2714.09~2716.74	三角洲前缘	假结核、液化卷曲变形
环 62	长 6 ₃	2493.45~2496	半深湖	鲍玛层理、微断裂
		2481.6	半深湖	泥岩撕裂屑
	2475.6~2475.65	半深湖	泥岩撕裂屑、液化卷曲变形	
	2471.9	半深湖	震裂缝	
	长 6 ₂	2463.13~2463.2	半深湖	液化砂岩脉、泥岩撕裂屑
里 51	长 7 ₃	2590~2594.31	半深湖—深湖	滑塌变形、断裂
	长 7 ₁	2267.96	半深湖—深湖	震裂缝
里 52	长 7 ₂	2294.03~2294.37	半深湖—深湖	小正断层、滑塌变形层理、液化卷曲变形
	长 6 ₂	2189.55	半深湖—深湖	滑塌变形、阶梯状小断层
		2187.1	半深湖—深湖	液化卷曲变形
里 55	长 7 ₁	2352.8	半深湖—深湖	泥岩撕裂屑、鲍玛序列(AE)
岭 52	长 8 ₁	2313.1	三角洲前缘	液化砂岩脉
	长 7 ₃	2309.1	半深湖—深湖	震裂缝
	长 7 ₂	1906~1912	半深湖—深湖	泥岩撕裂屑、滑塌、揉皱变形
	长 6 ₃	1851.2	半深湖—深湖	液化卷曲变形
剖 20	长 6 ₁	1932.6	半深湖—深湖	阶梯状小断层
庄 20	长 7 ₁	1728.3	半深湖—深湖	同沉积断裂(层内错断)
镇 58	长 6 ₂	2277.9	半深湖—深湖	微褶皱
元 139	长 4+5 ₂	2082.15	三角洲前缘	震裂缝
耿 71	长 4+5 ₂	2381.4	三角洲前缘	砂球枕构造
元 140	长 7 ₁	2211.4	半深湖	砂球枕构造
正 11	长 4+5 ₂	799.5	浅湖	液化砂岩脉、变形层理
白 167	长 3 ₃	1843.4	浅湖	砂球枕构造
白 217	长 6 ₃	2201.5	半深湖	液化砂岩脉、阶梯状小断层

地震是一种自然灾变现象,是地球动力作用的表现。板块边部通常是应力聚集、释放的集中区,构造活动、火山爆发和地震活动非常频繁。现代地震多集中于板块的边界地带与板块内部的扩张地区。晚三叠世延长期,鄂尔多斯盆地与多个板块(地块)接触,盆地西南部的秦岭造山带位于扬子板块与华北板块之间,盆地西缘处于多个大地构造单元的结合部位。因此,尽管盆地本部构造稳定,但盆地自中晚三叠世形成以来周边构造一直比较活跃。延长组发育的多层凝灰岩是盆地周边火山多次活动的证据之一,火山爆发必然引起地震产生。湖泊和三角洲沉积的软沉积物往往遭受地震、火山活动等产生的作用力的改造,发生各种液化变形构造和大规模的滑塌现象。

4.3 震积岩研究的地质意义

4.3.1 良好的储层

地震事件对地层的改造作用能改善储集层的储集物性,为油田的勘探开发提供了一个新的方向。这是因为地震的震源一般位于地层的深处,震源发出的地震波向地表传播的过程中,能量逐渐减弱,因此同一砂体埋藏越深,受到地震事件作用越剧烈,从而受震积作用影响越大,产生较多的微裂缝,从而在基本不改变储集层孔隙度的情况下,使其渗透率发生显著变化,极大改善了储集层渗透性^[13]。

目前,震积岩在油气勘探领域中的作用还未引起足够的重视,由于震积岩往往在半深湖—深湖中存在,也是烃源岩发育的最有利部位,油气运移距离短,是非常良好的油气储层。目前,已在鄂尔多斯盆地半深湖—深湖区找到多个与地震作用有关的厚层滑塌浊积岩油藏,如白豹地区的白217井在长6₃取心段发现了液化砂岩脉、阶梯状断层等典型的震积岩构造现象。

4.3.2 等时地层界面

震积岩是一种突发性的事件沉积,不仅具有构造内涵,更具有良好的等时性。因此,震积岩的出现为层序地层的划分提供了佐证。同时,通过震积岩的研究,特别是震积岩的平面分布组合研究,结合层序地层学的理论,也可形成一种新的学科——震积地层学^[19]。

5 讨论及展望

鄂尔多斯盆地三叠系延长组震积岩的首次发现和发现,为湖盆中部广泛发育的砂体提出了一种动力机制上的解释。由于震积岩的发现主要来自岩心的

观察、描述,关于震积岩的很多内容目前未深入研究。如震积岩的平面展布范围及组合规律、不同岩性地层在同一次地震中的改造情况、震积岩与浊积岩的关系、震积岩成藏规律等等,都是今后研究的重点和难点。

震积岩属于事件沉积,虽然发生、形成的时间短,但影响往往巨大。鄂尔多斯盆地周边构造强烈,事件沉积频繁,通过震积岩的深入研究不仅能够分析盆地周边构造演化期次和强度,而且能够为湖盆中部事件沉积研究奠定基础。

参考文献 (References)

- 1 杨剑萍,王辉,陈世悦,等. 济阳拗陷古近系震积岩特征 [J]. 沉积学报, 2004, 22(2): 281-285 [Yang Jianping Wang Hui Chen Shiyue, et al. The features of seismites in Jiyang Sub-basin, Paleogene [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(2): 281-285]
- 2 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. Seismic deposition and seismites [J]. Advance in Earth Sciences, 2000, 15(4): 389-394]
- 3 Michael J Simms. Uniquely extensive seismites from the latest Triassic of the United Kingdom: evidence for bolide impact [J]. Geology, 2003, 31: 557-560
- 4 Heezen B C, Dyke C L. Grand bank Slump [J]. AAPG Bulletin, 1964, 48(2): 221-225
- 5 Seikacher A. Fault-graded bed interpreted as seismites [J]. Sedimentology, 1969, 13(1-2): 155-159
- 6 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): 16-32 [Qiao Xiufu Song Tianrui Gao Linzhi et al. Seismic sequence in carbonate rocks by vibrational liquefaction [J]. Acta Geologica Sinica, 1994, 68(1): 16-32]
- 7 乔秀夫. 中国震积岩的研究与展望 [J]. 地质论评, 1996, 42(4): 317-320 [Qiao Xiufu. Study of seismites of China and its prospects [J]. Geological Review, 1996, 42(4): 317-320]
- 8 吴贤涛,尹国勋. 四川峨眉晚侏罗世湖泊沉积中震积岩的发现及其意义 [J]. 沉积学报, 1992, 10(3): 19-24 [Wu Xiantao Yin Guoxun. The discovery and significance of the seismites in late Jurassic lake sediment of Emei Sichuan Province [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1992, 10(3): 19-24]
- 9 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): 144-147 [Yuan Jing. Research of seismic deposition and seismites of China [J]. Journal of the University of Petroleum, China (Nature Science Edition), 2005, 29(1): 144-147]
- 10 赵澄林. 沉积学原理 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2001: 185-195 [Zhao Chenglin. Sedimentology Theory [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001: 185-195]
- 11 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): 41-44 [Yuan Jing. The property and geological significance of seismites of Paleogene in Huimin Sag, Shandong Province [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(1): 41-44]

- 12 安明全. 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 and study on seismicites in core [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2005, 12(3): 25-27]
- 13 付文利, 王艳琴, 杨光, 等. 东营凹陷沙三段、沙四段震积岩研究 [J]. 油气地质与采收率, 2004, 11(2): 6-8 [Fu Wenli, Wang Yanqin, Yang Guang, et al. Study on seismicites of Sha 3 and Sha 4 member in Dongying Sag [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2004, 11(2): 6-8]
- 14 邵辉成, 苏刚. 鄂尔多斯地块周缘近期地震活动趋势分析 [J]. 西北地震学报, 1999, 21(4): 395-406 [Shao Huicheng, Su Gang. Analysis on the seismicity trend around the Ordos block [J]. Northwestern Seismological Journal, 1999, 21(4): 395-406]
- 15 方炜, 刘春, 张春生. 鄂尔多斯块体周缘中强地震序列类型及其活动特征 [J]. 地震研究, 2004, 27(3): 216-218 [Fang Wei, Liu Chun, Zhang Chunshen. Type of mid-strong earthquake sequence and its active features at the edge of Ordos Block [J]. Journal of Seismological Research, 2004, 27(3): 216-218]
- 16 彭浩, 彭美煊, 啜永清. 鄂尔多斯周缘地震活动性和近期地震趋势分析 [J]. 东北地震研究, 2001, 17(3): 7-14 [Peng Hao, Peng Meixuan, Chuai Yongqing. Analysis on seismicity and earthquake tendency in the peripheral area of the Ordos [J]. Seismological Research of Northeast China, 2001, 17(3): 7-14]
- 17 张国伟, 张本仁, 袁学诚, 等. 秦岭造山带与大陆动力学 [M]. 北京: 科学出版社, 2001: 1-165 [Zhang Guowei, Zhang Benren, Yuan Xuecheng, et al. Qinling Orogen and Continental Dynamics [M]. Beijing: Science Press, 2001: 1-165]
- 18 刘池洋, 赵红格, 桂小军, 等. 鄂尔多斯盆地演化—改造的时空坐标及其成藏(矿)响应 [J]. 地质学报, 2006, 80(5): 617-633 [Liu Chiayang, Zhao Hongge, Gui Xiaojun, et al. Space-time coordinate of the evolution and reformation and mineralization response in Ordos basin [J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(5): 617-633]
- 19 梁定益, 聂泽同, 宋志敏, 等. 正在萌芽阶段的震积地质学 [J]. 高校地质学报, 1997, 3(4): 458-461 [Liang Dingyi, Nie Zetong, Song Zhimin, et al. Seismostratigraphy at its germination stage: a brief history of research on seismicites and its prospect [J]. Geological Journal of China Universities, 1997, 3(4): 458-461]

Discovery and Significance of Seismicites in Late Tertiary Yanchang Formation of Ordos Basin

LI Yuanhao^{1,2} LIU Chiayang¹ WANG Xiujuan²

(1 Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069;

2 Exploration and Development Research Institute of Petrochina Changqing Oilfield Company, Xi'an 710021)

Abstract Seismicites is a kind of catastrophic event rock. By the observation of drilling cores, there are many special structures which were generated by ancient widespread earthquake recorded in the seismicites of the Triassic Yanchang Formation in Ordos Basin, such as liquefaction sandstone vein, fault-graded vibrational liquefaction deformation structure, pillow structure, ball structure, tearing mudstone fragment and slumps. The vertical sequence of seismicites in Triassic Yanchang Formation, from bottom to top, included 7 units: underlying unshocked layer, shattered layer, ladder-shaped faulted layer, vibrational liquefaction deformation structure bed, liquefied sandstone vein bed, pillow structure and partner structure layer, homogenized bed and overlying unshocked layer. The first discovery of seismicites could be used to analyze the intensively active period of basin-controlling boundary, and the seismicites themselves were a kind of potential reservoir.

Key words seismicites, Ordos Basin, Yanchang Formation, vertical succession of seismicites