

文章编号: 1000-0550(2008) 06-0967-08

柴达木盆地西南缘新近系与地震沉积有关的软沉积物变形构造及其地质意义¹

杨剑萍^{1, 2} 聂玲玲² 杨君²

(1. 中国石油大学 北京 102249; 2 中国石油大学 山东东营 257061)

摘要 在区域构造背景研究和岩心观察的基础上,在柴达木盆地西南缘新近纪地层中识别出与地震沉积有关的软沉积物变形构造。软沉积物变形构造包括液化砂岩脉、泄水构造、重荷模、火焰构造、震积砂枕、砂球构造、枕状层、层内错断、地裂缝、串珠状构造、震褶层、混合层及地震角砾状构造等。液化砂岩脉有喉道状、脉络状、飘带状、尖突状及“V”字形五种,主要是由振动流体化作用、振动液化挤压作用和振动拉张裂缝充填作用形成的;重荷模、火焰构造、枕状构造、球状构造是受地震震动在砂、泥岩界面上由于砂层下沉、泥层上穿形成的;地裂缝、层内错断、震褶层是地震震动直接引起的断裂、错断和褶皱;枕状层是地震震动引起的砂层脱水、下沉、变形形成的;混合层构造的完整性取决于地震强度和地震持续时间;地震角砾状构造是由地震震动使原始沉积层断裂形成的自碎屑角砾、脆性角砾和塑性角砾组成。该成果从沉积学角度证明了新近纪是昆仑山造山带北侧断裂活动较强烈时期,也为柴达木盆地新生代构造演化研究提供了依据。地震作用极大地提高了储层的渗透率,改善了油气储层的储集物性。

关键词 软沉积物变形 地质意义 新近系 柴达木盆地

第一作者简介 杨剑萍 女 1965年出生 博士 教授 沉积学 E-mail yangjp3028@sina.com

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

目前国内对地震事件沉积所形成震积岩的研究主要集中于中上元古界和下寒武统,对湖盆新生代沉积岩层中的地震记录很少涉及。在陆相湖盆中,各种断裂活动、火山活动都可能触发地震,而地震引起的各种作用力(振动力、挤压力、拉张力和剪切力)对各种先成沉积物(包括软沉积物、半固结沉积物、固结沉积物)进行改造可以形成震积岩。震积岩和油气储层关系十分密切,油气储层中经常出现一些特殊的沉积岩脉、奇特角砾岩等地震成因的软沉积物变形构造目前大多尚未得到研究,或者被解释为其它成因,歪曲了储层的形成历史,因此系统研究地震事件沉积特征,将有助于更准确地判断储集砂体的成因、恢复盆地充填史和构造演化史。

近几年来,国内对陆相湖盆新生代震积岩的研究主要集中在我国东部渤海湾盆地古近系地层中,对新近系地层中的古地震记录研究很少。许多学者通过观察描述油气田勘探开发过程中的钻井取心,对渤海湾盆地济阳拗陷新生界古近系中由构造断裂引发地震形成震积岩的特征进行了研究,探讨了陆相断陷湖盆震积岩的特征与控盆边界断层活动、火山活动及与

盆地构造演化的关系^[1-4],而在中国西部柴达木盆地中该研究目前仍处于空白。通过对柴达木盆地西南部的乌南油区及跃进油区新近系的岩心观察和描述,发现了大量的软沉积物变形构造,认为地震是最主要的触发机制。本文主要探讨这些软沉积物变形构造的特征、成因机制及地质意义。

1 研究区概况

乌南油田和跃进油田为柴达木盆地西部拗陷区的昆仑山北侧断阶亚区的两个三级构造(图 1)。新近系自下而上发育了中新统上干柴沟组及上新统的下油砂山组、上油砂山组和狮子沟组(表 1)。研究区古近纪、新近纪沉积时期主要受昆仑山前扇三角洲沉积和尕斯湖泊体系所控制。渐新世沉积时期,整个西部南区发育以河流—泛滥平原沉积为主的红色碎屑岩。渐新世晚期—中新世早期,尕斯断陷区形成了较大规模的稳定内陆湖区。上新世以后湖水逐渐向北、向东迁移,上新世的下油砂山组沉积时期,研究区处于干旱条件下的内陆湖盆中的滨、浅湖相带,发育了一套砂、泥岩薄互层的沉积组合,其中发现了大量的

¹ 国家自然科学基金项目(批准号:40772081)资助。
收稿日期:2007-09-29 收修改稿日期:2008-04-09

软沉积物变形构造。

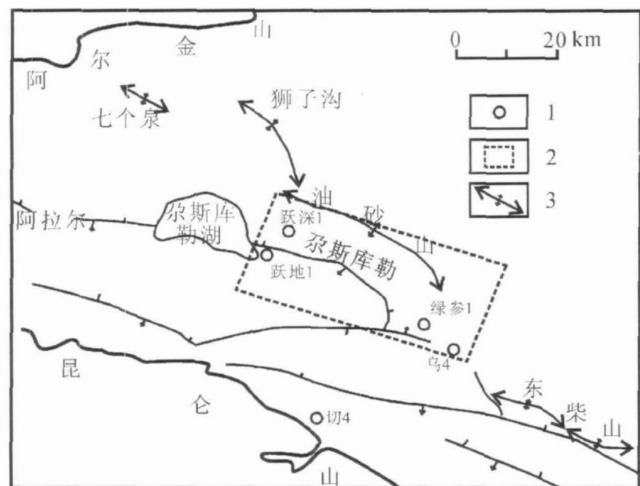


图 1 研究区构造位置图

1. 井位; 2 研究区位置; 3 构造线

Fig 1 Tectonic location of the study area

1 well location; 2 the study area 3 tectonic line

表 1 柴达木盆地新生界地层划分表

Table 1 Stratigraphy of the Cenozoic in Qaidam Basin

| 界 | 系 | 统 | 组 |
|-------------------------|-------------|-------------|----------------------|
| 新 生 界 | 新 近 系 | 上新统 | 上部 狮子沟组 (N_2^3) |
| | | | 中部 上油砂山组 (N_2^2) |
| | | | 下部 下油砂山组 (N_2^1) |
| | 中 新 统 | 上部 | 上干柴沟组 (N_1) 上段 |
| | | 下部 | 上干柴沟组 (N_1) 下段 |
| | 古 近 系 | 渐 新 统 | 上部 |
| 下部 | | | 下干柴沟组 (E_3) 下段 |
| 古 新 统及始 新 统 | | | 路乐河组 (E_{1+2}) |

2 软沉积物变形构造特征及成因

柴达木盆地西部乌南油区和跃进油区下油砂山组发育典型的震积岩, 与之伴生发育多种软沉积变形构造。与地震活动有关的软沉积物变形构造包括液化砂岩脉、泄水构造、重荷模、火焰构造、震积砂枕、砂球构造、枕状层、层内错断、地裂缝、串珠状构造、震褶层及混合层等。

2.1 液化砂岩脉

液化砂脉是研究区最普遍的软沉积物变形构造, 砂岩脉形态各异, 可分为五种类型。

(1) 喉道状砂岩脉

喉道状砂岩脉主要是下部砂质沉积物在振动作用下发生流体化时, 流体携带细砂冲破上覆沉积物的阻碍, 形成下粗上细的砂岩脉 (图 2a)。砂岩脉连通着上下两个或多个砂岩层 (图版 iv-1), 宽度为 1~3

cm, 内部有砂质向上的流动痕迹, 泥岩层与砂岩脉的交界处常见泥岩层稍稍向上翘起。与原始砂岩层相通的垂向砂岩脉的出现反映了砂质沉积物的垂向运动, 砂岩脉在岩心横剖面上一般为平直均匀的“一”字形 (图版 iv-2), 或略有分叉, 砂岩脉可以单独出现, 也可以成排出现。

(2) 脉络状砂岩脉

砂岩脉较曲折, 或是水平充注在砂、泥薄互层中, 或是倾斜切割泥质层并连接相邻的两个薄细砂层, 或是垂直切穿细砂岩与泥岩的薄互层。脉体的宽度不均匀, 1~3cm 不等, 具有分支现象 (图 2b), 在岩心纵切面和横切面上都呈脉络状 (图版 iv-3)。

(3) 飘带状砂岩脉

当下部的砂岩层较薄而上部的泥岩层较厚时, 底部富含水的砂质沉积物在振动作用条件下液化并挤入上覆泥岩, 沿压力较小的方向延伸并逐渐消失于泥岩中 (图 2e)。砂岩脉在泥岩中的延伸方向时常发生变化, 宽度 0.3~2 cm, 延伸几厘米到十几厘米, 呈细长、弯曲的飘带状脉体 (图版 iv-4)。

(4) 尖突状砂岩脉

这类砂岩脉与层内错断及地裂缝相伴生, 砂岩脉的形态与裂缝的形态有关。岩心观察中发现两种类型的尖突状砂岩脉, 一种是沿着层内错断面的断层面充注的砂岩脉 (图 2c), 另一种是沿地裂缝充注的砂岩脉 (图 2d)。沿地裂缝充注的脉体与围岩呈锯齿状接触, 脉体宽度向上变小并逐渐消失 (图版 iv-5); 沿断层面充注的脉体与断面呈平整接触, 脉体宽度沿裂缝延伸方向逐渐变小 (图版 iv-6)。

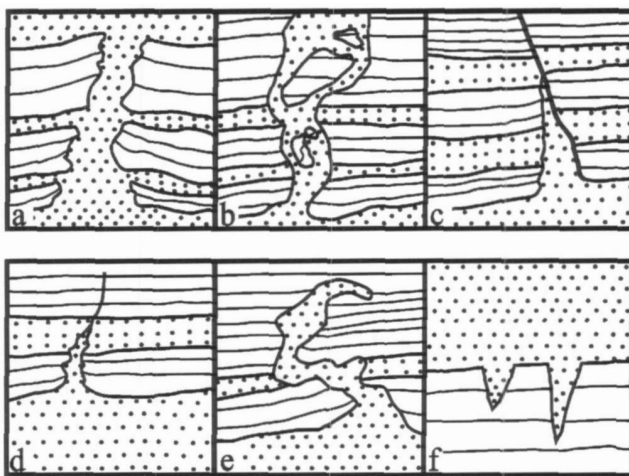


图 2 研究区液化砂岩脉的主要类型

Fig 2 Main types of liquefied sandstone vein observed in the study area

(5) “V”字形砂岩脉

由于拉张力作用, 泥岩层产生裂缝, 在振动以及自身重力作用条件下, 砂质沉积物沿裂缝向下充注。脉体上宽下窄, 呈“v”字形向下逐渐消失于泥岩中(图 2f 图版 iv-7)。

2.2 泄水构造

振动作用下, 由于松散的沉积物内孔隙水的泄出而形成的同生变形构造。在孔隙水向上泄出的过程中, 破坏了原始沉积物的颗粒支撑关系, 而引起颗粒移位和重新排列, 形成新的变形构造。在岩心观察中发现的泄水构造主要有泄水嘴、碟柱状构造。

(1) 泄水嘴

泄水嘴为砂体刺入到上覆的砂层中形成的^[5], 在形态上与火焰构造很相似, 只是火焰构造发生在泥岩中, 而泄水嘴是下伏的变形砂岩上拱刺入到上覆的砂层中(图 3a)。泄水嘴构造形状弯曲, 呈尖嘴形, 规模从 1~5 cm 不等(图版 iv-8)。

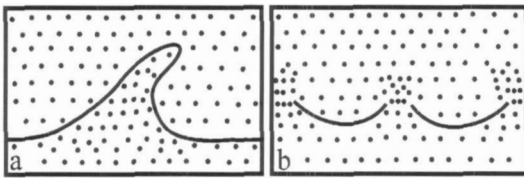


图 3 泄水嘴和碟柱状构造

Fig 3 Water escape cup and dish-and-pillar structure

(2) 碟柱状构造

本区的碟柱状构造是粉、细砂岩中的模糊纹层向上弯曲如碟形(图 3b)直径通常 2~5 cm, 互相重叠, 中间被泄水通道的砂柱分开(图版 iv-8), 岩心中发现有的碟状构造向上强烈卷曲变为包卷层理。

2.3 重荷模、火焰构造、枕状构造、球状构造

重荷模、火焰构造、枕状构造、球状构造是本区较普遍发育的软沉积变形构造。岩心观察中发现两种类型的重荷模, 一种出现在粉、细砂和薄层泥岩互层的层段中, 相邻层段沉积物的密度差较小, 下伏沉积物的密度略小于上覆沉积物的密度($\rho_1 < \rho_2$), 地震过程中受地震颤动的影响, 上下相邻层同时下沉, 但

是变形幅度较小, 形成较宽缓的重荷模(图 4a 图版 iv-9), 与 Alfaro^[6]的“sagging load cast”相似。另一种重荷模出现在上下相邻的沉积物有较大的密度差的层段中($\rho_1 < \rho_2$), 上部砂质在振动作用下沉陷到下部泥质沉积物中, 下沉幅度较大, 重荷模厚度在侧面有变化, 内部的层理通常轻微变形并且和火焰构造伴生(图 4b 图版 iv-10), 与 Alfaro^[6]的“drop structures”相似。当砂层呈枕状或球状脱落并坠入下伏泥质沉积物中, 则形成枕状构造(图版 iv-11, ⊕-2)或球状构造^[7](图版 ⊕-1, 2)。

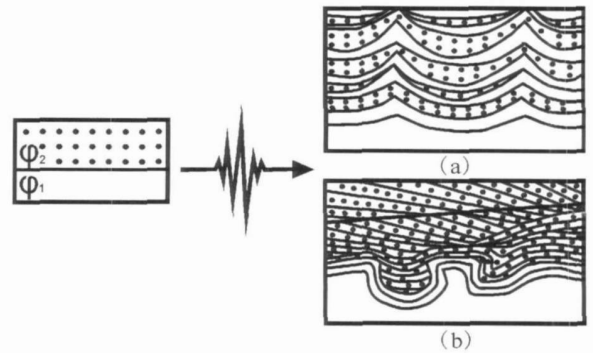


图 4 重荷模的成因模式图(据 Alfaro 等, 1997)

Fig 4 Genetic model diagram of load casts (after Alfaro et al., 1997)

2.4 枕状层

枕状层一般出现在以砂质沉积物为主的层段中, 为砂层中形成的枕状体。原始砂质沉积物(图 5a), 地震作用结束后脱水导致体积收缩(图 5b), 在振动和重力的双重作用下, 细砂、粉砂层发生断裂、解体, 形成大小不一的砂块向下部沉陷、变形而成的不规则枕状、球状层(图 5c)。

枕状层一般层包括 3 种类型: 完全变形的枕状层、非完全变形的枕状层和刚性变形的枕状层^[8]。研究区的枕状层底面呈下凹的枕状, 剖面上为长椭圆状, 单个枕状体宽度一般 1~5 m, 高度 0.5~3 m, 枕状体呈层状分布, 枕状层的厚度为 5~10 cm。本区发现的枕状层属于非完全变形的枕状层, 枕状体内部纹层有时发生震褶变形, 纵向上枕状层常与液化砂岩脉共生(图版 iv-4)。

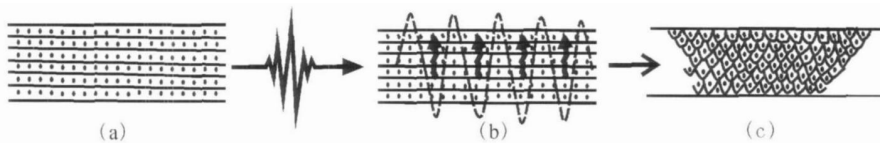


图 5 枕状层的成因模式图(据 Roep 和 Events, 1992)

Fig 5 Genetic model diagram of pillow beds (after Roep and Events 1992)

2.5 震褶层、串珠状构造

本区震褶层常见于砂、泥岩薄互层的剖面中，一般与地震成因的自碎屑角砾状构造、层内错断和泄水构造毗邻伴生。它是地震一断裂活动引发的软沉积物以垂向运动为主的变形构造。震褶层厚度 5~10 cm，多数呈不规则状，常见平缓的背斜和紧闭向斜褶曲组成的震褶层(图版 ㉔-3)或斜歪褶曲(图版 ㉔-4)及平卧褶曲组成的震褶层。震褶曲属于层内变形，它的形态特征与沉积物粘度、密度等有密切关系^[9]。

串珠状构造主要出现在砂、泥岩薄互层剖面中，侧向挤压使砂层变厚，拉伸使其变薄，它的形状与香肠构造相似^[10]。它变形的样式、大小及与其它地震成因的同沉积变形构造伴生，都说明是地震引发的沉积层拉伸和挤压的结果，如乌 15 井 1 168.8 m 串珠状构造与层内错断和微裂缝伴生(图版 ㉔-5)。

2.6 混合层构造

混合层构造(mixed layers)最早由 Marco 和 Agnon^[11]首先使用，后来将其解释为地震成因^[12,13]。典型的混合层自下而上分为四个小层(图 6)，由底部未变形纹层、向上依次为褶皱纹层(塑性变形层)、褶皱破碎层(塑性-脆性变形带)，最上部为液化沉积物层^[12]。

每一混合层可以认为是单个地震事件的结果，也是一个原地震积岩的震积序列。随着地震作用时间的持续，地震作用使沉积物变形由上向下传递，从顶部向底部不同程度地影响了刚沉积不久的软沉积物，在局部地区，这种混合层缺少最上部的液化单元。乌 14 井 1 354.6 m 发现这种混合层，最下部为未变形的泥岩层，中部为褶皱纹层，褶皱纹层自下而上变形程度逐渐强烈，上部为褶皱破碎层，顶部缺少液化层(图版 ㉔-6)，这可能是由于地震强度或者地震持续的

时间还达不到使沉积物液化条件，因此缺失上部液化层，研究区混合层厚度一般不超过 12 cm。

2.7 层内错断、地裂缝

层内错断是沉积地层振动过程中在层内形成的小规模错断，可单独发育，也可成组出现，限于层内发育，本区的层内错断主要为小型的正断层(图版 iv-6)或者断层组合成地垒(图版 ㉔-7)。断层规模小，延伸 1~10 cm，断距 0.5~10 cm，倾角较陡，多在 30°~50°，部分断层有砂质沉积物沿断层面充填(图版 ㉔-8)。

地裂缝剖面上呈“尖突状”和“V”字形。“V”字形裂缝多出现在泥岩中，顶部宽度 0.5~1 cm，底部尖灭，裂缝深度约 1.5 cm，被上覆砂质沉积物充填(图版 iv-7)。尖突状裂隙底部宽度约 0.5 cm 向上延伸 5~10 cm，裂隙边缘呈锯齿状，被液化的砂岩充填(图版 iv-5)。

2.8 地震角砾状构造

本区地震角砾状构造主要由自碎屑角砾和内碎屑角砾组成。自碎屑角砾指地震振动破坏原沉积层形成的初始断裂角砾，完全是原地原位的^[14]。研究区自碎屑角砾表现为岩层或条带在横向上突然出现破碎现象，破碎的角砾一般呈“骨排”式顺层分布，角砾棱角分明，直径一般 0.5~5.0 cm，相邻角砾可完全拼接到一起(图版 ㉔-9)。内碎屑角砾是指自碎屑进一步移动形成的近原地异位的角砾，内碎屑角砾可分为塑性角砾和脆性角砾^[14]。本区塑性角砾呈复杂的拉长、侧向变细和弯曲，具撕裂状和“藕断丝连”痕迹(图版 ㉔-10)。脆性角砾主要为泥质角砾，角砾呈破裂特征，无磨圆和分选，直径一般 0.5~3.0 cm(图版 ㉔-11、12)，其形成机制是固结或半固结的泥质沉积物受到地震波冲击后被抖动碎裂而成。

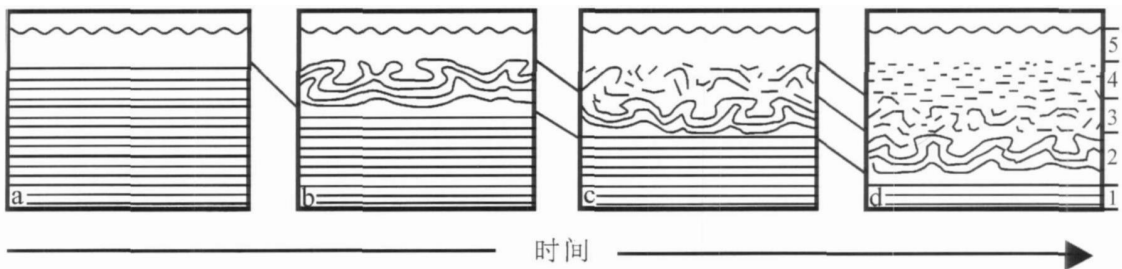


图 6 连续地震作用下混合层形成过程图(据 Rodriguez-Pascua M. A. 等, 2000)

1 未震层; 2 褶皱纹层; 3 褶皱破碎层; 4 液化层; 5 湖水

Fig 6 Evolution diagram of mixed layers under continuous seismic

1. basal undisturbed laminated bed 2. folded laminae 3. fractured and fragmented laminae

4. liquefied bed 5. lake water (after Rodriguez-Pascua M. A. et al. 2000)

3 地质意义

3.1 从沉积学角度为柴达木盆地构造演化研究提供依据

柴达木盆地位于青藏高原的东北隅,在大地构造位置上属于特提斯构造域的东部,处于祁连山构造带、阿尔金构造带和东昆仑构造带之间。在盆地的形成和发展过程中,始终与特提斯—喜马拉雅构造域的强烈活动密切相关^[15],柴达木盆地新生代构造变形和构造演化相当复杂。

柴达木盆地具有相对刚性的深部地壳基底,基底褶皱作用不明显,而断裂活动较强烈^[16]。多期构造活动,尤其是喜马拉雅运动阶段,盆内形成了多组断裂系统。盆地与周缘造山带之间表现为以深大断裂为界,新近纪昆仑山北侧断裂活动较强烈,从而诱发多期地震,形成了多种类型的与地震活动有关软沉积物变形构造。柴达木盆地新生代构造演化、变形特征一直存在较大的争议^[17],研究区发现的软沉积物变形构造也从沉积学角度证明了新近纪是柴达木盆地南部的东昆仑构造带构造运动较强烈的时期,为柴达木盆地新生代构造演化的研究提供了依据。

3.2 地震活动改善储集性能

地震总是与断裂活动相伴生。从对油气的储集角度看,由于震积岩通常发育在断裂活动期,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、缝形成时间较早,裂缝沟通原有的孔隙,使渗透率发生显著变化,从而能够改善储集性能。在油气勘探领域中,古地震作用目前还没有引起足够的重视,有意义的地震作用是对储集岩层的改造或形成新的储集岩类。乌南油田乌 12 井取心井段从 1 365 ~ 1 375 m 储层的渗透率急剧增大,在岩心观察中发现大量的地震成因的软沉积物变形构造,镜下观察到石英颗粒发生严重的破裂变形和波状消光现象。

总之,地震作用能够使储层产生较多的微裂缝,虽然对储集层孔隙度的改变不显著,但能使储层渗透率发生显著变化,极大改善了储集层渗透性,这为油田的勘探开发提供了一个新的方向。

4 结论

受新近纪昆仑山构造带断裂活动的影响,柴达木盆地西南缘地震活动强烈,发育一系列与地震有关的震积岩,形成多种类型的与地震活动有关的软沉积物变形构造。软沉积物变形构造主要包括重荷模、火焰

构造、震积砂枕、砂球构造、枕状层、液化砂岩脉、泄水构造、层内错断、地裂缝、串珠状构造、震褶层、震积混合层等。

液化砂岩脉主要是液化的砂层注入地震形成的裂隙形成的,本区液化脉有五种形态:重荷模、火焰构造、枕状构造、球状构造是受地震震动在砂、泥岩界面上由于砂层下沉、泥层上穿形成的;地裂缝、层内错断、震褶层是地震震动直接引起的断裂、错断和褶皱;枕状层是地震震动引起的砂层脱水、下沉、变形形成的;混合层构造自下而上分为四个小层,其完整性取决于地震强度和地震持续时间;地震角砾状构造由自碎屑角砾和内碎屑角砾组成,是由于地震振动使原沉积层断裂形成的,自碎屑角砾是原地原位的,内碎屑角砾是近原地异位的。

地震作用能够使储层产生较多的微裂缝,虽然对储集层孔隙度的改变不显著,但能使储层渗透率发生显著变化,极大改善了储集层渗透性。

参考文献 (References)

- 1 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): 413-424 [Chen Shi yue Yuan Wenfang Yan Jihua Discovery and significance of earthquake event deposits of Early Tertiary in the Jiyang Depression [J]. Earth Science, 2003, 38(3): 413-424]
- 2 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): 281-287 [Yang Jianping Wang Hui Chen Shi yue et al The features of seismicite in Jiyang Sub-basin Paleogene [J]. Acta Sedimentologica Sinica 2004 22(2): 281-287]
- 3 杨剑萍,王亚丽,查明,等. 山东惠民凹陷古近系湖泊地震涌浪记录的新发现 [J]. 地质学报, 2006, 11(80): 1715-1720 [Yang Jianping Wang Yali Zha Ming et al Discovery of the seismic surge wave deposits record of Paleogene in Huimin Depression, Shandong Province [J]. Acta Geologica Sinica 2006, 11(80): 1715-1720]
- 4 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): 40-46 [Yuan Jing The property and geological significance of seismicites of Paleogene in Huimin Sag Shandong Province [J]. Acta Sedimentologica Sinica 2004 22(1): 40-46]
- 5 Ralph Newirth. Soft-sediment deformation in a tectonically active area the Plio-Pleistocene Zarzal Formation in the Cauca Valley (Western Colombia) [J]. Sedimentary Geology, 2006 186: 67-88
- 6 Alvaro P. Morotti M, Soria JM. Soft-sediment deformation structures induced by earthquakes (seismicites) in Pliocene lacustrine deposits (Guadalupe Basin, Central Betic Cordillera) [J]. Ecological Geology Helvetiae 1997, 90: 531-540
- 7 杜远生, 关荣, 龚一, 等. 东澳大利亚南悉尼盆地二叠系与地震沉积有关的软沉积变形构造 [J]. 地质学报, 2007, 81(4): 511-517 [Du Yuansheng Guan R Gong Yi et al Permian

- soft-sediment deformation structures related to earthquake in the Southern Sydney Basin, Eastern Australia [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2007, 81(4): 511-517
- 8 Roep T B, Events A J. Pillow-beds: a new type of seismites: an example from an Oligocene turbidite fan complex, Alicante [J]. *Sedimentology*, 1992, 39: 711-724
- 9 Vanneste K, Meghraoui M, Camelbeek T. Late Quaternary earthquake-related soft-sediment deformation along the Belgian portion of the Feltbiss Fault, Lower Rhine Graben system [J]. *Tectonophysics*, 1999, 309: 57-79
- 10 Knaut D. Pinch-and-swell structures at the Middle/Upper Muschelkaalk boundary (Triassic): evidence of earthquake effects (seismites) in the German Basin [J]. *International Journal of Earth Sciences*, 2002, 91(2): 291-303
- 11 Marco S, Agnon A. Prehistoric earthquake deformations near Masada, Dead Sea graben [J]. *Geology*, 1995, 23: 695-698
- 12 Rodriguez-Pascua M A, Calvo J P, De Vicente G, *et al*. Soft-sediment deformation structures interpreted as seismites in lacustrine sediments of the Prebetic Zone, SE Spain, and their potential use as indicators of earthquake magnitudes during the Late Miocene [J]. *Sedimentary Geology*, 2000, 135: 117-135
- 13 Rodriguez-Pascua M A, De Vicente G, Calvo J P, *et al*. Similarities between recent seismic activity and paleoseismites during the late Miocene in the external Betic Chain (Spain): relationship by 'b' value and the fractal dimension [J]. *Journal of Structural Geology*, 2003, 25: 749-763
- 14 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 seismites [J]. *Advance in Earth Sciences*, 2000, 15(4): 389-394]
- 15 李廷栋. 青藏高原隆升的过程和机制 [J]. *地球学报*, 1995, 1: 1-9 [Li Tingdong. The uplifting process and mechanism of the Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 1995, 1: 1-9]
- 16 王桂宏, 谭彦虎, 陈新领, 等. 新生代柴达木盆地构造演化与油气勘探领域 [J]. *石油地质*, 2006, 1: 80-84 [Wang Guohong Tan Yanhu Chen Xinling *et al*. Cenozoic tectonic evolution and oil/gas exploration field in Qaidam Basin [J]. *Petroleum Geology*, 2006, 1: 80-84]
- 17 Song T, Wang X. Structural styles and stratigraphic patterns of syndepositional faults in a contractional setting: examples from the Qaidam Basin, northwestern China [J]. *AAGU Bulletin*, 1993, 77: 102-117

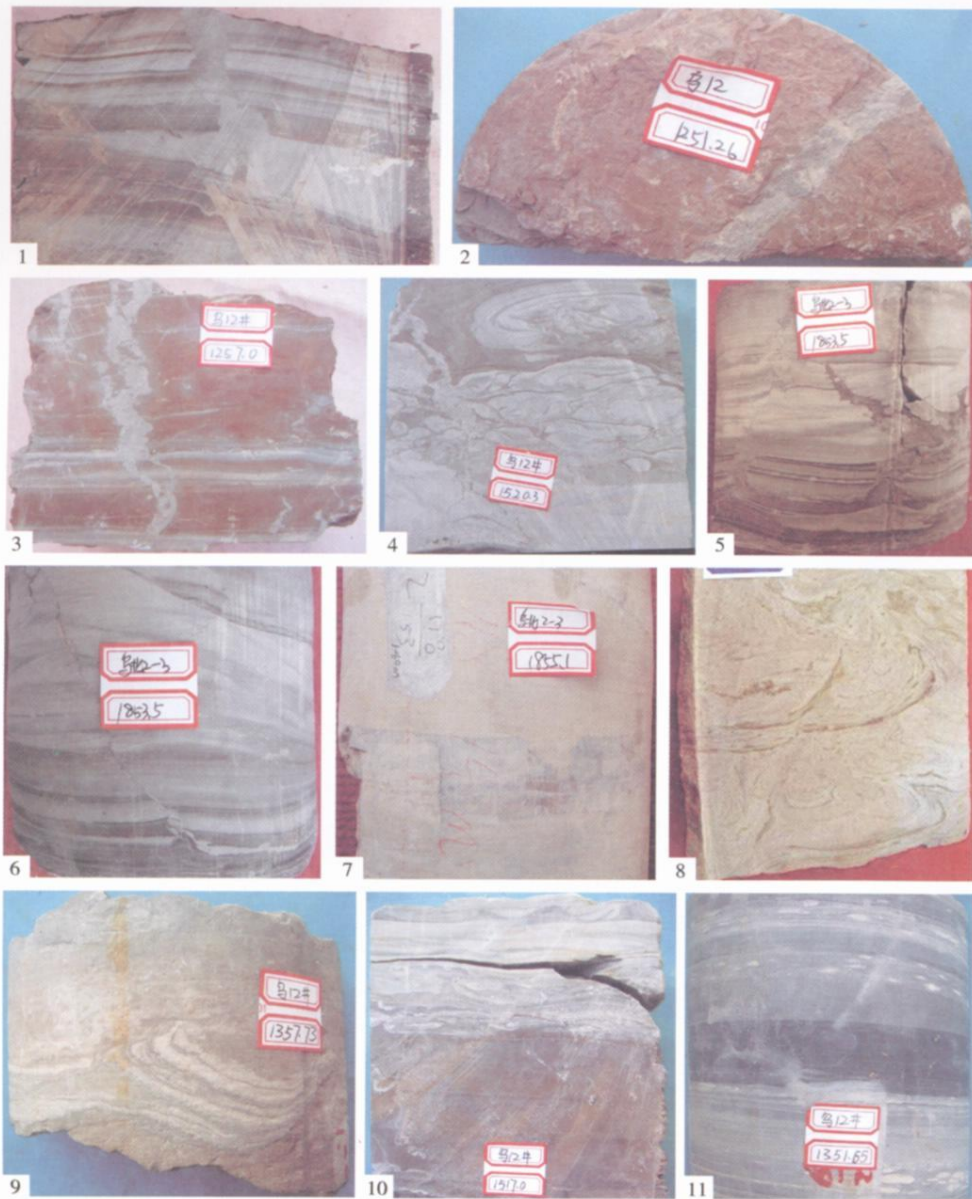
Soft-Sediment Deformation Structures of Neogene Related to Earthquake and Its Geological Significance in the Southwestern Margin of Qaidam Basin

YANG Jian-ping^{1,2} NIE Ling-ling² YANG Jun²

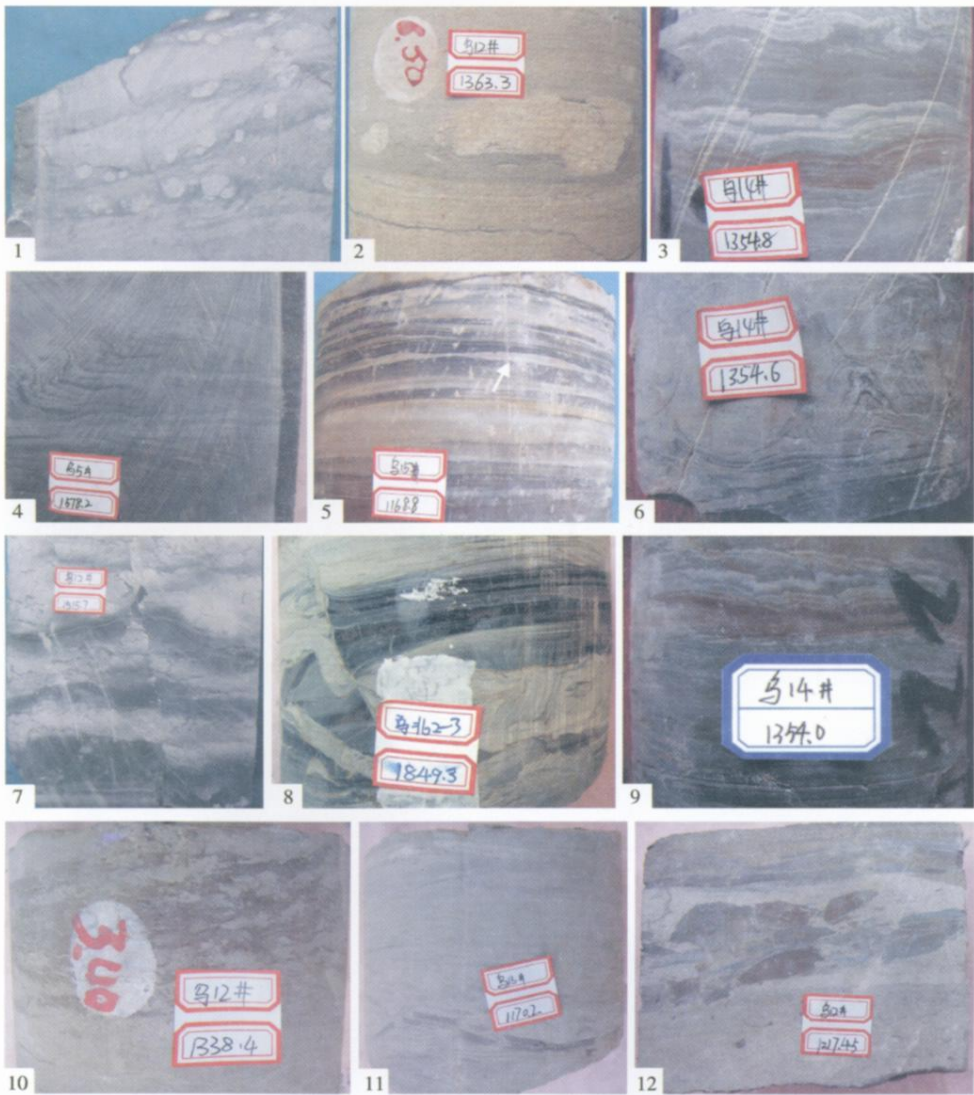
(1. China University of Petroleum, Beijing 102249; 2. China University of Petroleum, Dongying Shandong 257061)

Abstract Based on studies of regional tectonic setting and observation of drilling cores, soft-sediment deformation structures of Neogene related to earthquake are recognized in the southwestern margin of the Qaidam Basin. The soft-sediment deformation structures consist of liquefied sandstone vein, water escape structures, load casts, flame structures, pillow structures, ball structures, pillow beds, micro-faults, seismo-cracks, pinch and swell structures, seismo-folds, mixed layers structures and seismic brecciated structures. There are five kinds of sand dikes, such as throat-like sand dikes, venation-like sand dikes, belt-like sand dikes, upward wedge sand dikes and v-shape sand dikes. They are caused by shaking-fluidization, shaking-liquefaction-pushing and after shaking-pulling soft-sediments filling in cracks. The load casts, flame structures, pillow structures and ball structures are formed by sinking and instilling caused from oscillation of earthquake along the face between sandy and muddy beds. The seismo-cracks, micro-faults and seismo-folds are cracks, faults and folds formed directly by oscillation of earthquake. The pillow beds form by dehydration, sinking and deforming of the sandy beds during earthquake's oscillation. The integrity of mixed layers structure depends on the magnitude and duration of earthquake. The seismic brecciated structures are made up of autoclastic breccias, plastic breccias and brittle breccias formed by the cracking of basal undisturbed laminated bed because of oscillation of earthquake. The discovery demonstrates that the movement of earthquake was violent on the time of Neogene in the north of Kunlun Orogenic Belt from sedimentology, and it provides a theoretical foundation for the tectonic evolution studies of the Qaidam Basin. Seismic events affect greatly on the physical properties of reservoirs and the permeability of reservoirs can be improved obviously.

Key words soft-sediment deformation; geological significance; Neogene; Qaidam Basin



图版 I 说明(岩心直径 10 cm) 1. 喉道状砂岩脉,乌 5 井,井深 1 616.0 m; 2. 喉道状砂岩脉在岩心横剖面上呈“一”字形,乌 12 井,井深 1 251.26 m; 3. 脉络状砂岩脉,乌 12 井,井深 1 257.0 m; 4. 岩心中部为枕状层,左上部为飘带状砂岩脉,乌 12 井,井深 1 520.3 m; 5. 沿地裂缝充注的砂岩脉体呈尖突状,乌北 2-3 井,井深 1 853.5 m; 6. 底部为沿断层面充注的砂岩脉体,乌北 2-3 井,井深 1 853.5 m; 7. “V”字形砂岩脉,乌北 2-3 井,井深 1 855.1 m; 8. 岩心下部右侧为泄水嘴,左侧为碟柱状构造,跃 42 井,井深 2 106.0 m; 9. 岩心下部变形幅度较小,较宽缓的重荷模,乌 12 井,井深 1 357.73 m; 10. 岩心上部重荷模下沉幅度较大,重荷模厚度在侧面有变化,内部的层理通常轻微变形,重荷模之间为火焰构造,乌 12 井,井深 1 517.0 m; 11. 震积砂枕,乌 12 井,井深 1 351.65 m。



图版 II 说明 (岩心直径 10 cm) 1. 震积砂球, 乌 5 井, 井深 1 598.0 m; 2. 岩心左侧为震积砂球, 右侧为震积砂枕, 乌 12 井, 井深 1 363.3 m; 3. 上部为震褶层, 乌 14 井, 井深 1 354.8 m; 4. 震褶层, 乌 5 井, 井深 1 578.2 m; 5. 串珠状构造, 乌 15 井, 井深 1 168.8 m; 6. 混合层构造, 乌 14 井, 井深 1 354.6 m; 7. 岩心中部两正断层组合成地垒, 乌 12 井, 井深 1 515.7 m; 8. 微断层的断层面稍弯曲, 砂质沉积物沿断层面充填, 乌北 2-3 井, 井深 1 849.3 m; 9. 自碎屑角砾, 角砾岩完全是原地原位的, 相邻角砾可拼接到一起, 乌 14 井, 井深 1 354.0 m; 10. 塑性角砾, 乌 12 井, 井深 1 338.4 m; 11. 脆性角砾, 乌 15 井, 井深 1 170.2 m; 12. 脆性角砾, 乌 12 井, 井深 1 217.45 m。