

柴达木盆地西南缘乌南油田新近系古地震 纪录及储集性能研究

杨剑萍^{1, 2)}, 聂玲玲²⁾, 张琳璞²⁾, 杨君²⁾, 张跃²⁾

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

内容提要: 柴达木盆地为一新生代以来形成的叠合盆地, 由于多期构造活动, 盆内形成了多组断裂系统。受新近纪昆仑山北侧断裂活动的影响, 盆地西南缘乌南地区地震活动强烈, 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。乌南油田新近系的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、假结核、枕状层、液化砂泥岩脉、泄水构造、层内错断、地裂缝、串珠状构造、微褶皱纹理等。本区震积岩的岩石类型主要包括震褶岩、震裂岩、震塌岩、自碎屑角砾岩等。地震活动使岩层产生大量的微裂缝, 裂缝沟通了原有的孔隙。尽管储集层孔隙度没有大幅度增加, 但能够极大地改善储集层渗透性, 使渗透率大幅度增加。震积岩特别是震裂岩和震碎角砾岩是一种潜在的油气储层, 为油气勘探和开发提供了新的视角和领域。

关键词: 震积岩; 软沉积变形; 储集物性; 新近系; 柴达木盆地

早在上世纪 20~60 年代, 地质学家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)先后对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, 1969 年 A. Seilacher 对地史时期和现代地震活动都极频繁的美国加州地区做了调查, 认为那里的中新世具断裂特征的蒙特里页岩是由圣安德烈斯活断层活动引起的, 并首先提出了震积岩(seismite)的概念。此后, 地震作用作为沉积过程的一种动力, 引起了人们的重视。国内对震积岩的研究始于宋天锐(1988)对华北元古宙的震积岩的研究, 此后乔秀夫、杜远生等(乔秀夫等, 1994, 1999, 2001; 乔秀夫, 1996; 杜远生等, 2001; 彭阳等, 2001; 段吉业等, 2002)对胶辽徐淮地区及川滇地区元古宙的震积岩进行了研究, 提出了碳酸盐岩液化序列、地震-海啸序列及萨布哈震积岩序列等一系列成果。许多学者对国内古生代和中生代的震积岩进行了研究, 探讨了震积岩形成的构造背景及构造意义(吴贤涛等, 1992; 梁定益等, 1994; 张琴等, 2003; 田洪水等, 2003; 殷秀兰等, 2005; 严兆彬等, 2005; 吕洪波等, 2006; 周志广等, 2006)。

国内外对中生代以来的陆相沉积岩层中震积岩的研究成果也为本次柴达木盆地西南缘乌南地区

新近系古地震纪录的研究提供了借鉴意义。国外对中生代陆相沉积层中的研究成果主要集中于非洲、美洲、西班牙和红海等地, 其中既有对震积岩的识别(Obermaier et al., 1993; Alfaro et al., 1999; Rossetti et al., 2000; Rodriguez-Pascua et al., 2000; Bowman et al., 2004), 也有对震积构造的成因解释(Rodriguez-Pascua et al., 2000; 杜远生等, 2007), 还有对震积岩地质意义的探讨(Plaziat et al., 1988), 并对古地震级别进行了推测(Guiraud et al., 1993)。国内许多学者通过观察描述油气田勘探开发过程中的钻井取芯, 对中国东部渤海湾盆地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, 探讨了中生代陆相断陷湖盆震积岩的特征与控盆边界断裂活动及盆地构造演化的关系(陈世悦等, 2003; 杨剑萍等, 2004, 2006; 袁静, 2004)。

目前, 国内对新生界震积岩的研究主要集中在我国东部渤海湾盆地古近纪地层中, 对新近纪地层中的古地震记录研究很少, 中国西部柴达木盆地新近系震积岩的研究迄今未见相关报道。在对柴达木盆地乌南油田新近系的岩芯观察和描述过程中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。本文主要针对这些古地震纪录的特征进

注: 本文为国家自然科学基金项目(编号 40772081) 资助成果。

收稿日期: 2007-10-11; 改回日期: 2008-03-24; 责任编辑: 周健。

作者简介: 杨剑萍, 女, 1965 年生。博士, 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。

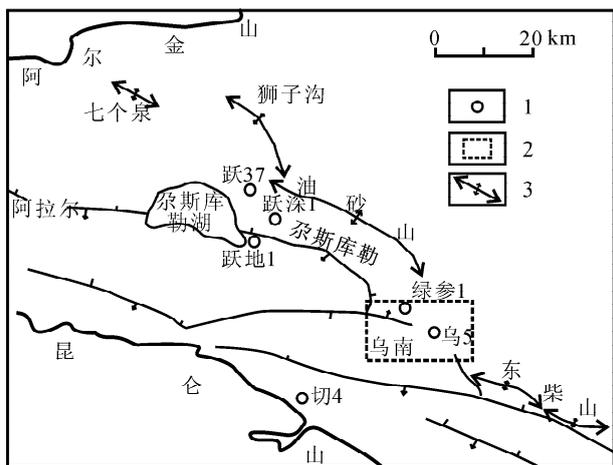


图1 研究区构造位置图

Fig. 1 Tectonic location of the study area

1—井位; 2—研究区位置; 3—构造线

1—Well location; 2—location of the study area; 3—tectonic line

行分析,并探讨了震积岩对油气储层物性的影响。

1 区域地质概况

乌南油田为柴达木盆地西部坳陷区的昆仑山北侧断阶亚区的一个三级构造(图1),构造整体为一由东南向北西方向倾没的鼻状背斜。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。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,也是本次震积岩研究的主要层段。

2 软沉积物变形构造特征

目前通过油田钻井取芯所观察到的震积岩的信息较少,多为野外露头区的观察。国内外的研究表明:地裂缝、微断层、震积砂枕构造、震碎角砾构造、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、环状层理等软沉积物变形构造都是鉴别古地震记录的主要标志(杜远生等,2000)。本区丰富的软沉积物变形构造出现在昆仑山北侧断层带附近,软沉积物变形构造主要包括负载构造、泄水构造、软沉积物的侵入及其他构造等。

2.1 负载构造

负载构造是研究区普遍发育的软沉积变形构造,主要有重荷模、火焰构造、震积砂枕及砂球构造、假结核和枕状层,这些构造是在地震过程中,受地震颤动的影响形成的。

2.1.1 重荷模

(1)简单重荷模:大小从5 mm~4 cm,在不同的岩性中均可见到(图2a)。主要是地震过程中受地震颤动的影响,上覆的砂质沉积物沉陷到下伏的泥质沉积物中形成的(图版I-1),也与倒置的密度梯度有关(Anketell et al., 1970)。在许多情况下是和包卷层理和泄水构造等变形构造相伴生,跟Alfaro等(1997)提出的“下沉重荷模”相似。

(2)摆动重荷模:通常与简单重荷模伴生(图版I-1),大小从5 mm~3 cm,它们的形状各异,一般情况下它们是向上变窄的(图2b)。摆动重荷模显示的特征与Anketell等(1970)所提出的“下沉构造”很相似,底部大体是平的,和下凸的舌形体相似,厚度在侧面有变化,内部的层理通常轻微变形。

2.1.2 震积砂枕及震积砂球构造

震积砂枕及震积砂球构造一般出现在以泥质沉积物为主的层段中,是由于上下相邻的沉积物存在

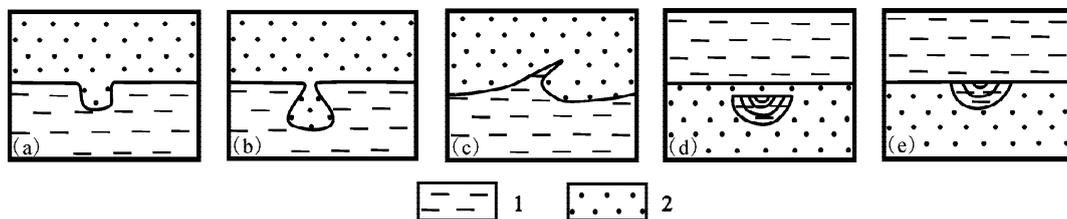


图2 研究区负载构造的主要类型

Fig. 2 Main types of load structures observed in Wunan oilfield

(a)—简单重荷模; (b)—摆动重荷模; (c)—火焰构造; (d)—孤立假结核; (e)—附着假结核; 1—泥岩; 2—砂岩

(a)—Simple load cast; (b)—pendulous load cast; (c)—flame structure;

(d)—detached pseudonodules; (e)—attached pseudonodules; 1—mudstone; 2—sandstone

较大的密度差,地震液化作用结束后,沉积物体积收缩,在振动和重力的作用下,上覆的细砂、粉砂发生断裂、解体,形成大小不一的砂块向软性沉积物中沉降而成(Knaust, 2002),形成机理如图3a。砂块的大小从几毫米到几厘米不等,由于粒度细且饱含水,在振动下沉的过程中可发生塑性变形而呈不规则的块状、球状(图版 I-3)、枕状(图版 I-2)、拖曳拉长状及其他各种变形形状。乌12井1248.22 m岩芯中发现震积砂枕的内部纹层明显弯曲(图版 I-2),反映了在振动、坠入泥质的过程中发生震褶变形。砂枕总体上平行于层面,通常在垂向上按个体大小分异,向上可过渡为均一液化层。

2.1.3 枕状层

枕状层是指地震振动引起的软沉积物变形形成的不规则枕状、球状层(Roep and Events, 1992),为砂层中形成的枕状体。枕状层包括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(Roep and Events, 1992)。研究区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 cm,高度0.5~3 cm,枕状体呈层状分布,枕状层的厚度5~10 cm。纵向上,枕状层常与液化砂岩脉伴生(图版 I-4)。本区的枕状层属于Roep and Events (1992)的非完全变形的枕状层,枕状体内部纹层有时发生震褶变形。

2.1.4 火焰构造

在地震作用下,围绕重荷模、砂球、砂枕的泥质沉积物强烈上拱挤入砂层中形成火焰构造(图2c,图版 I-1),它与“泥刺穿”不一致。火焰构造的形成归因于相邻层动力粘滞系数的不同,下层的动力粘滞系数明显的小于上层的,所以在振动作用下细粒沉积物底辟侵入发生形成火焰构造(Anketell et al., 1970)。

2.1.5 假结核

假结核与负荷构造相比出现较少,本区最常见的是附着假结核,孤立假结核少见。

(1)孤立假结核:研究区薄层的砂岩中发现这种泥岩或粉砂岩的假结核,一般附着假结核进一步下沉可以形成孤立假结核。它是一种变形结构,是由镶嵌在下伏密度较大的沉积物中的孤立的密度较小的沉积物组成,形态有碟状、枕状、块状(图2d)。假结核非常不规则,大小1~5 cm,形态和“震积砂枕构造”相似,但不同的是“震积砂枕构造”中,下沉的物质由高密度沉积物组成。在许多情况下,这种构造被解释为较轻的沉积物陷入到密度较大的沉积物

中,这可能是因为在地震的作用下,下伏的砂岩层的液化使得其体积密度和抗剪切强度急剧下降(Rodriguez-Pascua et al., 2000; Ralph Neuwerth et al., 2006),从而引起上覆粘土或粉砂下沉。

(2)附着假结核:在岩芯观察中,附着假结核从1~3 cm不等。多在细粒砂岩中发现这种泥质附着假结核(图版 I-5)。它们的形态多样,但是都有一个凹的剖面,有时轻微变形。内部的层理不总是同心的,有的呈倾斜状,有时轻微变形(图2e)。

2.2 软沉积物的侵入

2.2.1 液化砂、泥岩脉

液化砂、泥岩脉是由地震一断裂作用引发的软沉积物液化作用形成的,是地震液化高潮期的主要识别标志。在乌南油田乌5井、乌14井、乌12井及乌北2-3井岩芯中发现粉、细砂岩脉体和泥岩脉体。粉细砂岩脉体是富水砂质沉积物在地震活动中振动,迫使粉、细砂向压力小的方向移动,导致了脉体向岩层内上方及下方两个相反的方向液化,挤入泥质沉积物所形成(图版 I-4)。脉体的宽度一般0.5~2.5 cm,长几厘米至十几厘米,多由粉砂和细砂颗粒组成,纯度较高,有时有分叉现象(图版 I-7),还有的为砂质(图版 I-10)或者泥质(图版 I-13)沿地震裂隙溢出、充填或穿插形成。在岩芯横断面上进行观察,脉体一般呈平直或稍弯曲的“一”字形(图版 I-6)。

2.2.2 泄水构造

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,在完全水平的砂层中便产生了液化作用,水与沙粒混合体在层内运动,形成泄水脉(乔秀夫等, 2001)。它的分布很广泛但是易与其他构造相混,本区观察到的泄水构造为砂体刺入到上覆的砂层中,在形态上与火焰构造很相似,只是火焰构造是发生在泥岩刺入到上覆的砂层中,而泄水构造是下伏的变形砂岩上拱刺入到上覆的砂层中(图版 I-8)。

2.3 其他构造

2.3.1 层内错断、地裂缝

本区层内错断和地裂缝可单独发育,也可成组出现,组成地垒(图版 I-11)或其他形状,但是限于层内发育。微断裂之间的岩层常发生褶曲和揉皱现象,同时伴有砂泥质的重荷和火焰状构造。断层规模小,延伸1~10 cm,断层间距亦小,断距0.5~2 cm,倾角较陡,多在30°~50°,部分微断层有砂质沉积物沿断层面充填,如乌北2-3井1849.3 m砂质沉

积物沿断层面侵入(图版 I-10)

2.3.2 微褶皱纹理

微褶皱纹理属于层内变形,即地震微褶皱纹理局限于地震扰动层内,形态不规则(杜远生等,2000),多限制在较薄的层内变化。其特征为褶曲轴面无规律可循,纹层连续弯曲很少错断,一般厚度为几厘米,本区表现为不对称的歪斜(图版 I-9)或平卧褶曲(图版 I-8),上下多为未变形的泥岩或砂岩。研究区岩芯中微褶皱纹理通常与层内错断(图版 I-9)和泄水构造(图版 I-8)毗邻伴生

2.3.3 串珠状构造

串珠状构造是在层内变形形成,侧向挤压使沉积层变厚,拉伸使沉积层变薄,它的形状与香肠构造相似(Knaust,2002),由于沉积物挤压和局部集中发生侧向迁移而形成透镜体(图版 I-14),形成机理如图 3b 所示。它变形的样式、变形的大小及与其他地震成因的同沉积变形构造伴生,都说明是由于地震引发的沉积层拉伸和挤压的结果,如乌北 2-3 井 1853.5 m 串珠状构造和液化脉及微裂缝伴生(图版 I-13)。

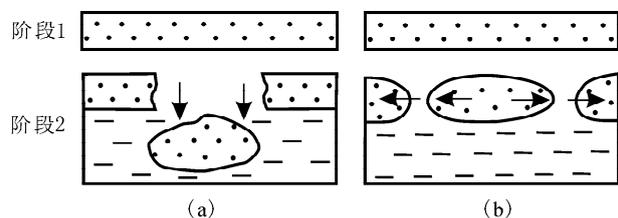


图 3 串珠状构造和球枕构造形成演化图

(据 Knaust,2002)

Fig.3 Evolution diagram of pillow structure and pinch and swell structure (after Knaust,2002)

3 震积岩的岩石类型

研究区内的震积岩为原地震积岩,主要包括震褶岩、震裂岩、震塌岩、自碎屑角砾岩等。

3.1 震褶岩

震褶岩一般具有地震成因的微褶皱纹理,乌南油田震褶岩较常见(图版 I-8,9)。震褶岩的识别标志是褶曲构造,其形态特征为褶曲程度高,褶曲轴面无规律可循,纹层连续弯曲很少错断。震褶岩的形态与沉积物粘度、密度等有密切关系。发育厚度较小,一般厚几厘米到十几厘米,上下多为正常的泥层或砂层,指示地震作用的间歇性。

3.2 震裂岩

震裂岩的特征是以破裂变形为主(具微地震断

裂)。它是固结及未固结岩层受到强烈的震动,岩层发生破裂而形成的(图版 I-10,11)。有时震裂岩与震褶岩也具有藕断丝连的关系,因为一般物质的变形是随外力的增加发生塑性变形之后才发生断裂的,因此有时震裂岩是由更强的地震振动使震褶岩进一步发生变形直至破裂而成的。

3.3 震塌岩

震塌岩主要是由地震成因的不协调岩块组成的岩石。震塌岩识别标志是不协调岩块,其表现为不协调岩块在岩层中与围岩有清楚的边界,其内部层理与围岩不一致,是地震液化作用停止后,地面下沉过程中产生的负载构造(图版 I-2)。这些大小不同的岩块可以在其附近找到相同岩性的原始层,其形成机理是地震诱发局部较高部位岩层发生坍塌进入低部位未固结沉积物中而成的(图 4)。

3.4 自碎屑角砾岩

自碎屑角砾岩是 Spalletta 等(1984)提出的。指地震震动破坏原沉积层形成的初始断裂角砾岩,这种角砾岩完全是原地原位的,其表现特征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,位移不大,棱角分明,相邻角砾有时可完全拼接到一起,在乌 5、乌 12 等井可见这种自碎屑角砾岩(图版 I-15)。

4 油气储层意义

地震总是与断裂活动相伴生。从对油气的储集角度看,由于震积岩一般发育于断裂活动期,有时处于深大断裂附近,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。另外,刚沉积不久的处于塑性状态下的沉积物还可以在地震的诱发下滑塌于深水区再次沉积,周围往往是暗色的致密泥岩,因此是油气有利的运移方向。一方面油气的注入有利于原生孔隙的保存,另一方面烃类注入带来的含有机酸的地层水会进一步改善发生地震的沉积物(岩)的储集物性,因此震积岩是一类值得重视的油气储层,甚至可以构成岩性圈闭。前人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即认为震裂角砾岩是一种较好的储集岩体,以发生地震的断裂系统为中心组成了向两侧储集岩体尖灭的岩性圈闭类型(郭建华等,1999)。

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。在石油地质研究中,有意义的地震

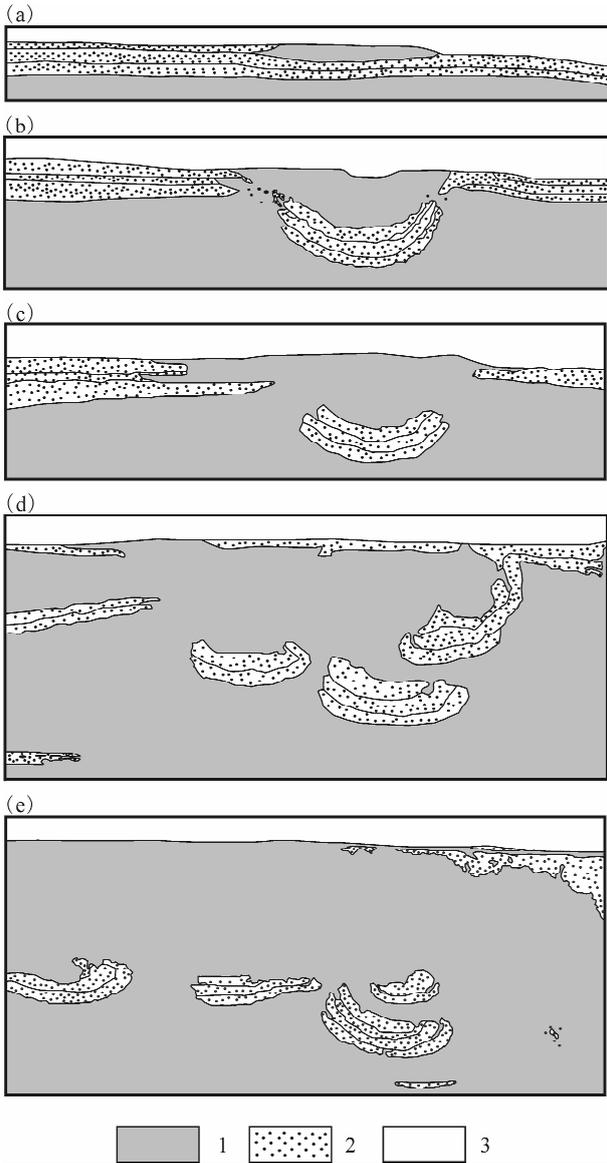


图 4 震塌岩的形成演化过程图(据 Kuenen,1958)
Fig. 4 Seismic collapse rocks formed by shaking
(after Kuenen,1958)

(a)一砂岩层覆盖在未经压实的松软泥岩层之上;(b)、(c)一由于震动作用,上覆砂岩脱落,开始形成砂枕;(d)、(e)一砂枕被泥岩完全包围;1—泥岩;2—砂岩;3—空气或水
1—mudstone; 2—sandstone; 3—air or water; A layer of sand overlies very soft clay in (a). With shaking, sand pillow structures developed (b and c). Sand pillow structures became completely enclosed in clay (d and e)

地质作用是对储集岩层的改造或形成新的储集岩类。本文以乌 5 井为例,探讨分析地震作用对油气储集层物性的影响情况。

乌 5 井位于乌南油田,1325~1650 m,1437~1478 m,1560~1630 m 为 3 次不连续取芯段,孔隙度分布在 5%~18%(图 5a),渗透率变化较大,渗透率

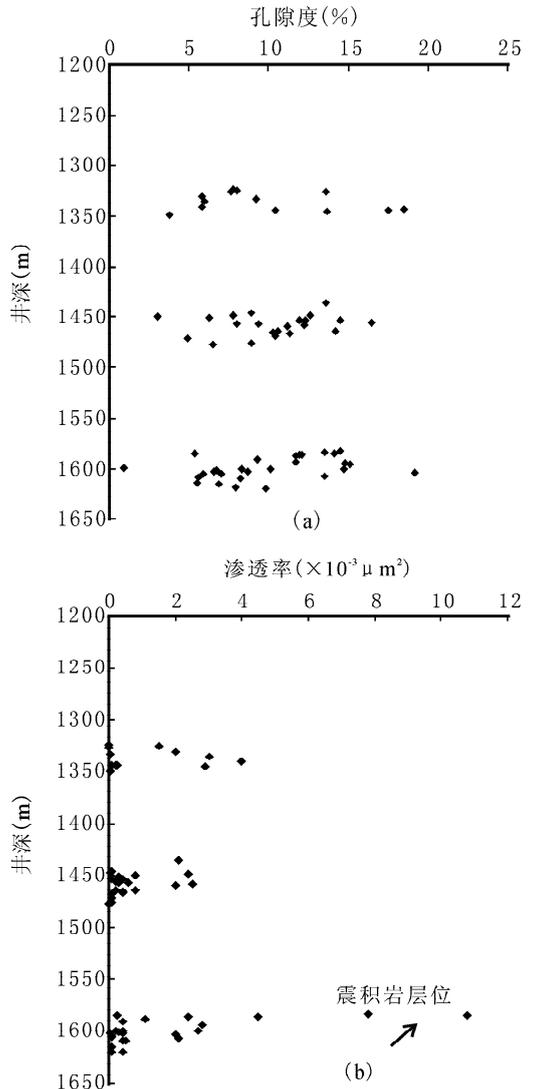


图 5 乌南油田乌 5 井储层物性和深度关系图

Fig. 4 The relationship between depth and porosity (a) and permeability (b) in the well Wu-5 of Wunan oilfield

在 1580~1595 m 附近突变,最大可达 $12 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (图 5b),这是由于在 1580~1600 m 附近发育震裂岩和自碎屑角砾岩,裂缝和微断层(图版 I-12)发育,使渗透率明显增大。同样在乌 12 井的 1365~1375 m 之间渗透率也发生急剧增大,在岩芯观察中发现大量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(图版 I-16)。

5 结论

柴达木盆地位于青藏高原内,现今的柴达木盆地主要为中生代以来形成的叠合盆地,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(王桂宏等,2006)。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。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地震记录。

研究区内的震积岩类型较多,特征复杂。在不同部位接近10口井的岩芯中,都不同程度地发现了震积岩,只是震积岩序列的完整性和震积构造的发育程度不同,震积岩在单井岩芯中多次重复出现也表明了该区断裂活动的间歇性和周期性的特点。

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,极大地改善了储集层渗透性,这为油田的勘探和开发提供了一个新的方向。

参 考 文 献

- 陈世悦,袁文芳,鄢继华. 2003. 济阳拗陷早第三纪震积岩的发现及其意义. *地质科学*, 38(3): 413~424.
- 杜远生,韩欣. 2000. 论震积作用和震积岩. *地球科学进展*, 15(4): 389~394.
- 杜远生,张传恒,韩欣,顾松竹,林文娇. 2001. 滇中中元古代昆阳群的地震事件沉积及其地质意义. *中国科学(D辑)*, 31(4): 284~290.
- 杜远生, Shi G R, 龚一鸣, 徐亚军. 2007. 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. *地质学报*, 81(4): 511~517.
- 段吉业, 刘鹏举, 万传彪. 2002. 华北燕山中—新元古代震积岩系列及其地震节律. *地质学报*, 76(4): 441~445.
- 郭建华, 王方平, 刘贵, 王正允, 高振中. 1999. 湘西大庸上震旦统灯影组震裂角砾岩. *石油实验地质*, 21(3): 219~224.
- 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.
- 吕洪波, 章雨旭, 肖国望, 张绮玲. 2006. 内蒙古白云鄂博南东黑脑包腮林忽洞群下部发现地震滑塌岩块. *地质论评*, 52(2): 163~169.
- 彭阳, 杨天南, 乔秀夫, 李典志, 王国楨, 杨中柱, 杨小波. 2001. 大连上震旦统地震灾变事件研究. *地质学报*, 75(2): 221~227.
- 乔秀夫, 宋天锐, 高林志, 彭阳, 李海兵, 张巧大. 1994. 碳酸盐岩振动液化地震序列. *地质学报*, 68(1): 16~32.
- 乔秀夫. 1996. 中国震积岩的研究与展望. *地质论评*, 42(4): 316~320.
- 乔秀夫, 高林志. 1999. 华北中新元古代及早古生代地震灾变事件及与Rodinia的关系. *科学通报*, 44(16): 1753~1758.
- 乔秀夫, 高林志, 彭阳, 李海兵. 2001. 古庐庐带沧浪铺阶地震事件层序及构造意义. *中国科学(D辑)*, 31(11): 911~918.
- 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*, 38(8): 609~611.
- 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): 121~131.
- 王桂宏, 谭彦虎, 陈新领, 马立协, 苏爱国, 张水昌, 张斌. 2006. 新生代柴达木盆地构造演化与油气勘探领域. *石油地质*, 1: 80~84.
- 吴贤涛, 尹国勋. 1992. 四川峨眉晚侏罗系湖泊沉积中震积岩的发现及其意义. *沉积学报*, 10(3): 19~24.
- 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): 731~736.
- 杨剑萍, 王辉, 陈世悦, 袁静, 鄢继华, 赵卫卫. 2004. 济阳拗陷古近系震积岩特征. *沉积学报*, 22(2): 281~287.
- 杨剑萍, 王亚丽, 查明, 牟雪梅. 2006. 山东惠民凹陷古近系湖泊地震涌浪记录的新发现. *地质学报*, 11(80): 1715~1720.
- 殷秀兰, 杨天南. 2005. 胶州—莱阳盆地白垩纪莱阳群中的震积岩及其构造意义讨论. *地质论评*, 51(5): 503~506.
- 袁静. 2004. 山东惠民凹陷古近纪震积岩特征及其地质意义. *沉积学报*, 22(1): 40~46.
- 张琴, 朱筱敏, 张建军, 宋刚, 闫伟鹏, 张伟群. 2003. 酒西盆地青南凹陷柳沟庄—窟窿山地区下白垩统震积岩的发现及意义. *地质学报*, 77(2): 158~162.
- 周志广, 梁定益, 刘文灿, 万晓樵, 赵兴国, 王克方. 2006. 藏南晚白垩世宗卓组巨型混杂堆积的特征及其地裂—地震成因特征. *地质论评*, 52(3): 314~320.
- Alfaro P, Moretti M, Soria J M. 1997. Soft-sediment deformation structures induced by earthquakes (seismites) in Pliocene lacustrine deposits (Guadix-Baza Basin, Central Betic Cordillera). *Eclogae Geol. Helv.*, 90: 531~540.
- Alfaro P, Estevez A, Moretti M, et al. 1999. Sedimentary deformation structures interpreted as seismites in the Quaternary of the Low Segura Basin (Eastern Betic Cordillera). *Earth and Planetary Science*, 328: 17~22.
- Anketell J M, Cegla J, Dzulyński S. 1970. On the deformational structures in systems with reversed density gradients. *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 40: 3~30.
- Bowman D, Korjenkov A, Porat N. 2004. Late-Pleistocene seismites from Lake Issyk-kul, the Tien Shan range, Kyrgyzstan. *Sedimentary Geology*, 163: 211~228.
- Chen Shiyue, Yuan Wenfang, Yan Jihua. 2003. Discovery and significance of earthquake event deposits of Early Tertiary in the Jiyang depression. *Earth Science*, 38(3): 413~424 (in Chinese with English abstract).
- Du Yuansheng, Han Xin. 2000. Seismoeismo-deposition and Seismites. *Advance in Earth sciences*, 15(4): 389~394 (in Chinese with English abstract).
- Du Yuansheng, Zhang Chuanheng, Han Xin, Gu Songzhu, Lin Wenjiao. 2001. Earthquake events deposition and geologic significance of Kunyang group in Mid-Proterozoic in Dianxi. *Science in China (series D)*, 31(4): 284~290 (in Chinese).
- Du Yuansheng, Shi G, Gong Yiming, Xu Yajun. 2007. Permian soft-sediment deformation structures related to earthquake in the Southern Sydney basin, Eastern Australia. *Acta Geologica Sinica*, 81(4): 511~517 (in Chinese with English abstract).
- Duan Jiye, Liu Pengju, Wan Chuanbiao. 2002. Mesoproterozoic and Neoproterozoic seismites and its rhythm in the Yanshan area, North China Platform. *Acta Geologica Sinica*, 76(4): 441~445 (in Chinese with English abstract).
- Guiraud M, Piazat J C. 1993. Seismites in the fluvialite Bima sandstones; identification of paleoseisms and discussion of their

- magnitudes in a Cretaceous synsedimentary strike-slip basin (Upper Benue, Nigeria). *Tectonophysics*, 225:493~522.
- Guo Jianhua, Wang Fangping, Liu Gui, Wang Zhengyun, Gao Zhenzhong. 1999. Shattered breccia of the Upper Sinian Dengying Formation in Dayong, West Hunan Province. *Petroleum Geology and Experiment*, 21(3): 219~224 (in Chinese with English abstract).
- Heezen B C, Ewing M. 1952. Turbidity currents and submarine slump sand 1929 Grandbank earthquake. *Am. J. Sci.*, 250(12): 849~873.
- Knaust D. 2002. Pinch-and-swell structures at the Middle/Upper Muschelkalk boundary (Triassic): evidence of earthquake effects (seismites) in the Germanic Basin. *International Journal of Earth Sciences*, 91(2):291~303.
- Kuenen P H. 1958. Experiments in geology. *Geol. Mag.*, 23:1~28.
- Liang Dingyi, Nie Zetong, Song Zhimin. 1994. A re-study on seismite and seismo-unconformity taking western Sichuan and western Yunnan as an example. *Earth Science*, 19(6): 845~850 (in Chinese with English abstract).
- Lü Hongbo, Zhang Yuxu, Xiao Guowang, Zhang Qiling. 2006. Earthquake slump blocks discovered in lower part of the Sailinhuodong Group, Heinaobao, Southeast Bayan Obo, Inner Mongolia. *Geological Review*, 52(2):163~169 (in Chinese with English abstract).
- Obermaier S F, Martin J R, Frankel A D, et al. 1993. Liquefaction evidence for one or more strong Holocene earthquake in the Wabash Valley of southern Indiana and Illinois, with a Preliminary estimate of magnitude. *US Geol. Surv. Prof. Paper*, 1536:27~30.
- Peng Yang, Yang Tiannan, Qiao Xiufu, Li Dianzhi, Wang Guozhen, Yang Zhongzhu, Yang Xiaobo. 2001. A study of seismic event in the Late Sinian carbonates of Dalian. *Acta Geologica Sinica*, 75(2):221~227 (in Chinese with English abstract).
- Plaziat J C, Purser B, Philobos E. 1988. Diversity of Neogene seismites of the northwest Red Sea (Egypt): a characteristic sedimentary expression of rifting. *Tectonophysics*, 153:295.
- Qiao Xiufu, Song Tianrui, Gao Linzhi, Peng Yang, Li Haibing, Zhang Qiaoda. 1994. Seismic sequence in carbonate rocks by vibrational liquefaction. *Acta Geologica Sinica*, 68(1):16~32 (in Chinese with English abstract).
- Qiao Xiufu. 1996. Study of seismites of China and its prospects. *Geological Review*, 42(4): 316~320 (in Chinese with English abstract).
- Qiao Xiufu, Gao Linzhi. 1999. Earthquake events in Neoproterozoic and Early Paleozoic and its relationship with super continental Rodinia in North China. *Chinese Science Bulletin*, 44(16): 1753~1758 (in Chinese).
- Qiao Xiufu, Gao Linzhi, Peng Yang, Li Haibing. 2001. Seismic event, sequence and tectonic significance in Canglangpu Stage in paleo-tanlu fault zone. *Science in China (series D)*, 31(11):911~918 (in Chinese).
- Ralph Neuwerth et al. 2006. Soft-sediment deformation in a tectonically active area; The Plio-Pleistocene Zarzal Formation in the Cauca Valley (Western Colombia). *Sedimentary Geology*, 186:67~88.
- Rodriguez-Pascua M A, Calvo J P, De Vicente G, Gomez-gras D. 2000. 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. *Sedimentary Geology*, 135:117~135.
- Roep T B, Events A J. 1992. Pillow-beds; a new type of seismites? An example from an Oligocene turbidite fan complex, Alicante. *Sedimentology*, 39:711~724.
- Rossetti D F, Góes A M. 2000. Deciphering the sedimentological imprint of paleoseismic events: an example from the Aptian Codó Formation, northern Brazil. *Sedimentary Geology*, 135:137~156.
- Seilacher A. 1969. Fault-graded bed interpreted as seismites. *Sedimentology*, 13(1~2):155~159.
- Song Tianrui. 1988. A possible seismite-sunami sequence in Precambrian carbonate stratigraphy in Shisanling area, Beijing. *Chinese Science Bulletin*, 38(8):609~611 (in Chinese).
- Spalletta C, Vail G B. 1984. Upper Devonian intraclast parabreccias interpreted as seismites. *Mar. Geol.*, 55(1~2):133~144.
- Tian Hongshui, Wan Zhongjie, Wang Hualin. 2003. Discovery and preliminary study on seismites of the Cambrian Mantou Formation in the central Shandong area. *Geological Review*, 49(2):121~131 (in Chinese with English abstract).
- Wang Guihong, Tan Yanhu, Chen Xinling, Ma Lixie, Su Aiguo, Zhang Shuichang, Zhang Bin. 2006. Cenozoic tectonic evolution and oil-gas exploration field in Qaidam Basin. *Petroleum Geology*, 1:80~84 (in Chinese with English abstract).
- Wu Xiantao, Yin Guoxun. 1992. Discovery of seismite and its significance of the Late Jura lacustrine deposit in Emei, Sichuan Province. *Acta Sedimentologica Sinica*, 10(3): 19~24 (in Chinese with English abstract).
- Yan Zhaobin, Guo Fusheng, Peng Huaming, Yang Zhi, Guo Guolin. 2005. Polot study on sedimentation of Cambrian Dachenling Formation resulting from seismic events in the west of Zhejiang Province. *Acta Geologica Sinica*, 79(6):731~736 (in Chinese with English abstract).
- Yang Jianping, Wang Hui, Chen Shiyue, Yuan Jing, Yan Jihua, Zhao Weiwei. 2004. The features of seismite in Jiyang sub-basin, Paleogen. *Acta Sedimentologica Sinica*, 22(2): 281~287 (in Chinese with English abstract).
- Yang Jianping, Wang Yali, Zha Ming, Mu Xuemei. 2006. Discovery of the seismic surge wave deposits record of Paleogene in Huimin depression, Shandong Province. *Acta Geologica Sinica*, 11(80): 1715~1720.
- Yin Xiulan, Yang Tiannan. 2005. Seismites in the Laiyang Group in the Jiaozhou-Laiyang basin, Shandong Province, and their tectonic implications. *Geological Review*, 51(5): 503~506 (in Chinese with English abstract).
- Yuan Jing. 2004. The property and geological significance of

seismites of Paleogene in Huimin Sag, Shandong Province. *Acta Sedimentologica Sinica*, 22(1):40~46 (in Chinese with English abstract).

Zhang Qin, Zhu Xiaomin, Zhang Jianjun, Song Gang, Yan Weipeng, Zhang Weiqun. 2003. The discovery of seismite and its significance in Lower Cretaceous in Liugouzhuang and Kulongshan region, Qingnan Sag, Jiuxi Basin. *Acta Geologica Sinica*, 77(2):158~162 (in Chinese with English abstract).

Zhou Zhiguang, Liang Dingyi, Liu Wencan, Wan Xiaoqiao, Zhao Xingguo, Wang Kefang. 2006. Characters of slumping accumulation of Upper Cretaceous Zongzuo Formation and demonstrate its caused by large break-up and earthquakes, southern Xizang (Tibet). *Geological Review*, 52(3):314~320 (in Chinese with English abstract).

图 版 说 明

岩芯直径 10cm

1. 下部右和中箭头所指处为简单重荷模,左侧箭头所指为摆动重荷模,三箭头之间为火焰构造,上部箭头所指处为泄水构造,乌 12 井 1218.25 m。
2. 震积砂枕构造,砂枕内纹层发生震褶变形,乌 12 井 1248.22 m。

3. 震积砂球构造,乌 5 井 1598.0 m。

4. 枕状层,乌 12 井 1520.3 m。

5. 附着假结核,上部泥岩陷于下部粉砂岩中,乌 5 井 1455.5 m。

6. 将岩芯沿横向剖切,在断面上观察,脉体呈弯曲的“一”字形,乌 14 井 1371.6 m。

7. 砂岩脉向上分叉呈网格状,乌 12 井 1257.0 m。

8. 上部为发生微褶皱纹理的震褶层,下部箭头所指处为泄水构造,乌 5 井 1456.35 m。

9. 下部为发生微褶皱纹理的震褶层,上部箭头所指处为薄岩层错断,乌 12 井 1354.8 m。

10. 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 1849.3 m。

11. 岩芯中部的微断层组成地垒,乌 12 井 1515.7 m。

12. 微断层断面上的擦痕和阶步,乌 5 井 1598.9 m。

13. 右下部箭头所指处为串珠状构造,右上部和左下部箭头所指处为顺裂缝侵入的泥岩脉,左上部箭头所指处为微裂缝,乌北 2-3 井 1853.5 m。

14. 串珠状构造,乌 5 井 1616.8 m。

15. 自碎屑角砾岩,角砾岩完全是原地原位的,相邻角砾可拼接到一起,乌 12 井 1478.85 m。

16. 石英颗粒破碎变形和波状消光,乌 12 井 1369.5 m(+)

Reservoir Characters and Paleoseismic Records in Neogene Wunan Oilfield, Southwestern Margin of the Qaidam Basin

YANG Jianping^{1,2)}, NIE Lingling²⁾, ZHANG Linpu²⁾, YANG Jun²⁾, ZHANG Yue²⁾

1) *China University of Petroleum, Beijing*, 102249;

2) *China University of Petroleum, Dongying, Shandong*, 257061

Abstract

Qaidam Basin is a superimposed basin developed under the different tectonic backgrounds during Cenozoic. Because of multi-stage tectonic activities, multiple sets of rift system developed. The Wunan area in the southwestern margin of the Qaidam Basin was intensely affected by a series of faulting movement of Neocene in the north of Kunlun Mountain, and developed seismite presented serious seismic-related soft-sediment deformation structures. The Neocene soft-sediment deformation structures in the Wunan oilfield consist of load casts, flame structures, pillow structures, ball structures, pseudonodules, pillow beds, liquefied sandstone vein, liquefied mudstone vein, water-escape structures, micro-fault, micro-fracture, pinch and swell structures, micro corrugated lamination. Seismites can be subdivided into many types, such as seismic corrugated rocks, shattered rocks, seismic collapse rocks and autoclastic breccias. When earthquake was active, a great amount of micro fractures formed and connected with original pore. Though the porosity of reservoirs would not be improved greatly, the permeability of reservoirs can be improved obviously. Seismites, especially the shattered rocks and seismic breccias, are potential reservoirs and will become new exploration areas in the near future.

Key words: seismite; soft-sediment deformation; reservoir character; Neogene; Qaidam Basin