

柴达木盆地西南缘下干柴沟组 震积岩的发现及地质意义

谭先锋^{1,2}, 蒋威^{2*}, 吴康军^{1,2}, 况昊^{1,2}, 冉天², 王佳^{1,2}, 赵欣³, 张勤学⁴

(1.复杂油气田勘探开发重庆市重点实验室, 重庆 401331; 2.重庆科技学院石油与天然气工程学院, 重庆 401331;
3.成都理工大学能源学院, 四川成都 610059; 4.中国石油青海油田分公司研究院, 甘肃敦煌 736202)

摘要:柴达木盆地西南缘昆北断阶带下干柴沟组发现大量与地震活动有关的非正常沉积岩石, 为此对研究区的震积岩垂向序列进行深入研究, 并探讨其构造意义和油气地质意义。通过对研究区下干柴沟组切8井、乌8井、跃东110井、切6井、红地107井和绿13井的钻井岩心系统观察与对比发现, 能指示古地震作用的标志主要有微同沉积断裂及震裂缝、液化砂岩脉、振动液化卷曲变形构造、震浊积岩、震积角砾岩及滑塌构造。根据研究区地震作用的发生过程, 将振动液化序列由上至下依次划分为震浊积岩、上覆正常沉积、液化均一层、震积角砾层、液化扭曲变形层、微断裂层和下伏正常沉积。震积岩的发现可以为古地震研究提供依据, 通过对比震积岩结构特征, 将地震强度由强到弱划分为5个等级; 震积岩可以作为构造活跃期的标志, 指示构造活动的强烈时期; 震积岩不仅可以储集油气, 而且可以作为油气运移的输送导体, 为油气聚集提供条件。

关键词:震积岩 事件沉积 下干柴沟组 地质意义 柴达木盆地西南缘

中图分类号: TE111.3

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2016)04-0011-08

Discovery and geological significance of seismites of the lower Ganchaigou Formation, the southwest margin of Qaidam Basin

Tan Xianfeng^{1,2}, Jiang Wei², Wu Kangjun^{1,2}, Kuang Hao^{1,2}, Ran Tian², Wang Jia^{1,2}, Zhao Xin³, Zhang Qinxue⁴

(1. Key Laboratory of Exploration and Development of Complex Oil and Gas Fields in Chongqing, Chongqing City, 401331, China;
2. School of Petroleum Engineering, Chongqing University of Science and Technology, Chongqing City, 401331, China;
3. College of Energy, Chengdu University of Technology, Chengdu City, Sichuan Province, 610059, China; 4. Research Institute, Qinghai Oilfield Company, PetroChina, Dunhuang City, Gansu Province, 736202, China)

Abstract: Many abnormal sedimentary rocks are found in the lower Ganchaigou Formation, Kunbei step-fault zone of the southwestern margin of Qaidam Basin. The vertical sequence of seismites in the study area was researched further and its tectonic significance and importance to oil and gas accumulation were discussed. Through systemic observation and comparison of drilling cores from Well Qie8, Wu8, Yuedong110, Qie6, Hongdi107 and Lü13, symbols indicating the role of ancient earthquakes mainly include synsedimentary micro-fractures, earthquake cracks, liquefied sandstone veins, structures of vibration liquefaction and deformation, seismic turbidites, seismic breccia and collapsed structures. According to the occurring process of earthquake in the study area, the vertical vibration and liquefaction sequence of the seismites from top to bottom is as follows: seismically turbid bed, normal homogenized overlying bed, liquefied sandstone vein bed, seismites breccia bed, vibrational liquefaction deformation structure bed, ladder-shaped faulted bed and shattered rock bed. The discovery of the seismites can provide evidences for the study of ancient earthquakes. Through comparing the structural char-

收稿日期: 2016-04-13。

作者简介: 谭先锋(1982—), 男, 重庆人, 博士, 副教授, 从事沉积地质与古环境方面的研究。联系电话: 15025471127, E-mail: xianfeng-tan8299@163.com。

*通讯作者: 蒋威(1995—), 男, 重庆人。联系电话: 15523702710, E-mail: 529722086@qq.com。

基金项目: 中国石油科技创新基金项目“深部埋藏条件下陆相碎屑岩成岩系统及储层形成机理”(2014D-5006-0108), 重庆市教委科学技术项目“陆相碎屑岩旋回沉积记录中的差异成岩作用研究”(KJ1401316)。

acteristics of the seismites, the seismic intensity was divided into five grades. Seismites can be used as a symbol of tectonic active period, indicating a strong period of tectonic activities. Seismites can not only be reservoir rock for oil and gas enrichment but also can be the carrier for oil and gas migration, which provides the conditions for hydrocarbon accumulation.

Key words: seismites; event deposition; lower Ganchaigou Formation; geological significance; southwest margin of Qaidam Basin

地震作用是一种灾变现象,是地球动力作用的表现^[1]。在地层中,具有古地震记录的岩层被称为震积岩^[2-3]。近年来,关于震积岩的研究越来越受到广大学者的重视^[3-10]。这些研究大部分集中在构造活动比较强烈的地区,特别是一些断裂带附近,涉及不同的时代、不同的沉积环境和不同的岩性^[11-15]。前人对柴达木盆地中、新生代震积岩做过系统的研究,指示了中、新生代频繁的构造活动^[16-19],但是针对柴达木盆地西南缘下干柴沟组震积岩尚未见系统的报道。笔者在对柴达木盆地西南缘昆北断阶带下干柴沟组下段沉积相研究的过程中,通过对野外岩心的观察与对比,发现了系列与地震作用相关的软沉积构造,为此对研究区的震积岩垂向序列进行研究,并探讨其构造意义和油气地质意义,对认识该区新生代地震沉积作用具有重要意义。

1 地质背景

柴达木盆地西南缘昆北断阶带夹持在西北阿尔金山与西南祁漫塔格山之间(图1),受昆仑造山带活动所控制,以基底隆升为主要特点,位于祁漫塔格山以北,昆北断裂带以南,在平面上呈弧顶向北突出的弧形,东南与东柴山隆起过渡,西南与铁木里克断隆相邻,面积约为3 000 km²,总体上呈北西—南东向展布,为一系列南倾北冲、向昆仑山抬升的断隆,一直以来勘探程度较低。近年来,昆北断阶带多口井都见到了工业油流,使得该区越来越受到石油工作者的重视。

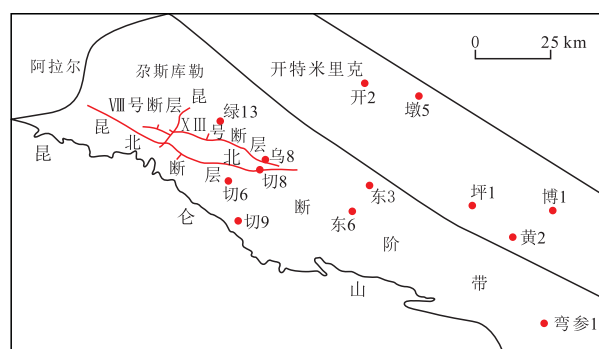


图1 柴达木盆地西南缘昆北断阶带位置

Fig.1 Location of Kunbei step-fault zone in the southwest margin of Qaidam Basin

昆北断阶带位于逆冲推覆带的上盘,在下干柴沟组沉积时期构造活动比较活跃,同沉积断裂构造活动频繁。研究区古近纪以来经历了初期沉降(E_{1+2})、早期断陷(E_3)、中期拗陷(N_1)、晚期抬升($N_2^1-N_2^2$)和末期挤压($N_2^3-Q_{1+2}$)5个阶段^[20-22]。初期沉积一套下粗上细的正旋回沉积,路乐河组的底部普遍分布一套厚度不等的砾石层,不整合超覆于老地层之上,表示盆地进入较快速的整体沉降阶段^[20-24]。下干柴沟组沉积时期为喜马拉雅运动时期,与底部的路乐河组为不整合接触,在有些地方缺失路乐河组沉积。该时期处于断陷早期,昆北断阶带主要沉积一套辫状河三角洲沉积,下干柴沟组下段以这套辫状河三角洲沉积为主,是非正常沉积记录的主要层位。

2 震积岩识别特征

昆北断阶带下干柴沟组岩心中有大量非正常沉积的岩石类型,通过对该区域构造环境分析和对岩心观察描述,发现这些非正常沉积岩石与地震活动有关,主要是未固结或半固结的沉积物受到强烈的震荡作用发生的各种变形构造。震积岩中有一些独特的变形构造标志,包括微同沉积断裂、微阶梯状断层、地裂缝及网状缝、断裂递变层;重要沉积和成岩标志包括泥晶脉、液化砂岩脉(墙)、砂火山、液化泥岩脉(墙)、泥火山、包卷层理、丘状层理等变形层理;与典型震积岩伴生的泄水构造、滑塌构造、负荷构造、滑移构造、枕状构造、滑揉构造、球状构造等也是地震作用的识别标志^[25]。经钻井岩性观察发现,研究区能指示古地震作用的标志主要有微同沉积断裂及震裂缝、液化砂岩脉、振动液化卷曲变形构造、震浊积岩、震积角砾岩及滑塌构造。

2.1 微同沉积断裂及震裂缝

研究区下干柴沟组岩性主要为砂岩,微同沉积断裂与震裂缝主要发育于岩性较脆的砂岩中。微同沉积断裂是在沉积地层轻微错动的过程中形成的,其具体成因可能为地震引起的砂岩地层液化作用停止后,在压实作用下地层下降,砂体因粘性较低发生差异塌陷而形成断裂^[10]。主要以张性断裂

为主,断距通常为2~20 mm,由于体型微小,因此主要在层内发育,不切穿上、下岩层。如乌8井的微同沉积断裂为层内断裂,断距为3 mm,倾角约为75°(图2a)。微同沉积断裂除了单独发育外,还可以成组平行排列呈阶梯状断层,通常为正断层,发育在厚度较薄的岩层中,断距为2~5 mm,如跃东110井的阶梯状断层(图2b)。

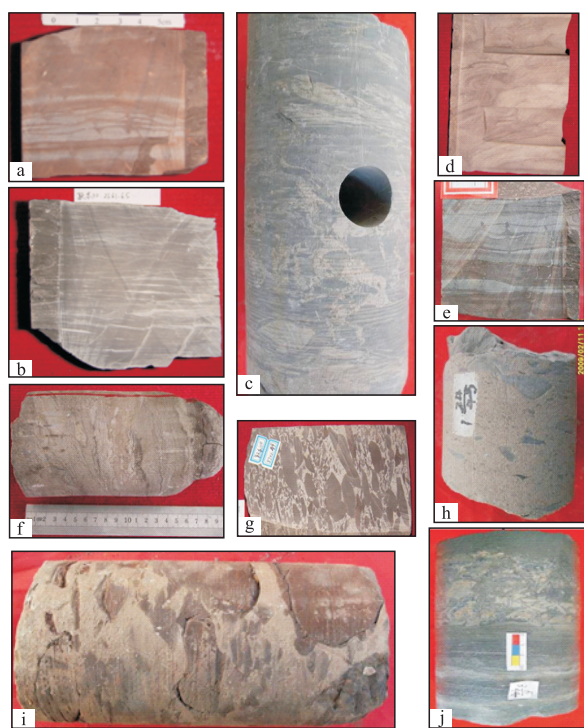


图2 柴达木盆地昆北断阶带下干柴沟组特殊地质现象岩心照片

Fig.2 Drilling core photos of special geological phenomenon in the lower Ganchaigou Formation, Kunbei step-fault zone of Qaidam Basin

a—震裂岩(砂岩层断裂),乌8井,3 288.43 m;b—阶梯状小断层,跃东110井,2 381.85 m;c—震动液化沉积,切8井,1 385.9 m;d—震褶岩,跃东110井,3 768 m;e—火焰构造,乌8井,3 288 m;f—肠状构造,绿13井,2 673.4 m;g—震浊积岩,跃东110井,3 722.2 m;h—撕裂泥岩碎块,切8井,1 384.8 m;i—震塌岩,红地107井,2 040 m;j—可拼接撕裂泥岩碎块,切6井,1 705.6 m

砂岩夹薄层泥岩或砂岩中常发育震裂缝,其常刺穿夹层,但上、下岩层不被刺越,产状垂直于层面,是地层振动和砂岩液化共同作用的结果^[26]。震裂缝可在拉张应力环境下形成,也可在挤压应力环境下形成^[10]。软沉积物沉积时的主环境为印支运动I期逆冲推覆带的上盘,可知当时主应力为挤压应力,因此震裂缝是在挤压环境下形成的,具有高角度和低裂缝宽度等特点。

2.2 液化砂岩脉

液化砂岩脉是地震液化高潮期的主要识别标志,其成因可能为软沉积物砂体受到由强地震引起

的振动作用并重新排列,应力从开始作用于砂粒骨架逐渐转移至水,从而引起超孔隙水压力,砂层粘度减小,在完全水平的砂层中便产生了液化^[4]。平行层理的液化代表液化开始的阶段,直立脉代表液化高潮期,直立脉通常为中间膨大、两头尖灭,分叉现象较普遍,且在平面上无固定走向,形态弯弯曲曲,一般呈不规则脉状、板状和蠕虫状。液化脉可分为水压破裂脉和侧向滑移脉2种,其在切穿围岩时都会发生弯曲,尤其是脉体两端出现上凸或下凹的现象,可形成岩脉或岩墙^[26-27]。在压力作用下液化脉可向上或向下侵位于围岩中形成水压破裂脉,脉体与围岩高角度相交,脉体周边的围岩中发育向脉体侵位方向的卷曲变形构造;侧向滑移脉是在压力作用或重力作用下侵位于先于脉体形成的裂缝中,脉体与围岩界面截然、弯曲,且围岩不发育与脉体主动侵位相匹配的弯曲变形构造,脉体的形态就是张性裂缝的形状^[27]。如切8井的液化砂岩脉,长度为1 cm至几十厘米不等,大多数为0.2~5 cm,脉体形态各异,有与围岩斜交的,也有与围岩垂直的,大多数为中部膨大、两端尖灭,这类脉体为有脉源的液化脉,岩样中也有少量没有脉源的液化脉,即盲脉(图2c)。

2.3 振动液化卷曲变形构造

振动液化卷曲变形构造又称震褶岩,属于层内变形,是地震波作用导致尚未固结的岩层发生卷曲变形而形成的,仅限于地震扰动层内^[28]。卷曲变形构造发育于粉砂岩与泥岩的薄互层中,褶曲程度高,褶曲轴面无规律可循,纹层连续弯曲很少错断,这与沉积物的粘度和密度密切相关^[18]。与液化脉发育于同一岩层,都是在地震作用最强烈的时候形成的,并且在液化脉两端卷曲变形构造常朝向液化脉方向弯曲发育。卷曲变形构造包括肠状构造、火焰构造、包卷层理、碟状构造和丘状层理等,如跃东110井的震褶岩岩样中发育包卷层理和丘状层理(图2d)、乌8井的火焰构造(图2e)、绿13井的肠状构造(图2f)和切8井的与液化脉同生的卷曲变形构造(图2c),它们发育厚度较小,一般为几厘米至几十厘米不等,上、下岩层多为正常沉积的泥岩或砂岩。研究区的沉积环境与王昌勇等发现的准噶尔盆地地下侏罗统八道湾组震积岩的沉积环境相同,都是辫状河三角洲沉积相,并且震褶岩的沉积特征也极其相似^[28],说明不同时空不同区域的震积岩在相同沉积环境下其形成机制都是相同的。振动液化卷曲变形构造与构造成因的变形构造有着明显的区别,前者体型较微小,发育于岩层内,后者体型比

前者大几十倍甚至上百倍,并且都是整个岩层发生弯曲变形。

2.4 震浊积岩

地震作为事件沉积的源动力,通过构造运动改造半固结或固结的沉积物形成有地震记录的沉积岩,震浊积岩就属于此类沉积岩^[29]。震浊积岩是高密度流的岩石类型,由地震作用导致岩石破裂(碎)而成的岩屑发生位移形成,包括碎屑流和浊积流^[30]。大多数震浊积岩是三角洲前缘砂体在地震作用下进行第2次搬运后沉积形成的浊积体,具有与非地震浊积岩相似的鲍马序列,碎屑颗粒的分选性和磨圆性较差,以块状层理和粒序递变层理为主^[29-30]。研究区为辫状河三角洲沉积相,同时又沉积浊积岩(图2g)。地震作用会引发海啸,海啸会形成浊积岩,且在垂向上又位于震积岩上方,与震积岩顶部的角砾层相邻。因此可以推断研究区浊积岩的形成过程为以地震作为触发机制,震碎已形成的原岩,再在地震引起的海啸的推动下碎屑岩块开始迁移,与同时被搬运的砂质、泥质沉积物一起沉积形成,所以浊积岩应为地震成因。

2.5 震积角砾岩和滑塌构造

震积角砾岩是一套分选性、磨圆性很差的岩层,是地震引起地表“喷沙冒水”时被震碎岩层岩块在超孔隙水压力下被带到地表的结果,另一种情况是被震碎岩块掉落到就近软沉积物中沉积,因此震积角砾岩被分为内碎屑副角砾岩和自碎屑角砾岩2种类型^[31-32]。自碎屑角砾岩即初始断裂角砾岩,由地震作用破坏原沉积层而形成;内碎屑副角砾岩指被震松的、截断的和撕裂的泥岩碎块就近搬运堆积而成。这2种类型的角砾具有3个特征:①被截断、撕裂的泥砾具有可拼合性;②角砾层的下伏砂层常伴有液化现象;③原岩排除干化成因,基本属于水下沉积^[28]。研究区切8井(图2h)和切6井(图2i)都表现出这3种特征,其岩性多为灰色和紫红色泥岩岩块,顺层排列,棱角分明,位移不大,有些角砾可完全拼合在一起。

震积角砾岩还可按位置划分为原地相和异地相2类,原地相震积角砾岩又被称为自碎屑角砾岩;异地相震积角砾岩与下伏地层呈不整合接触,与围岩的形成时代也不同^[33-35]。震塌岩指由地震引起的滑塌构造,其特征与异地相震积角砾岩相同,形成过程也相同,都是从高位岩层掉落到低位未固结沉积物中形成,因此笔者认为震塌岩应属于异地相震积角砾岩。研究区红地107井2040 m处发现的滑塌构造(图2j),其邻近的下伏地层具有因地震形成

的震积构造,底部为同沉积断裂和震裂缝,中部为大量液化砂岩脉和弯曲变形构造,顶部就是震积角砾岩和滑塌构造,与吴贤涛提出的碎屑岩振动液化序列极其相似^[11],因此该滑塌构造应为地震成因。

3 震积岩垂向序列

震积岩作为一种特殊的事件沉积岩,其沉积序列反映了地震作用从弱—强—弱的变化特征,因此震积岩在垂向上具有一套独特的振动液化垂向序列,在侧向上也无明显偏移^[26]。地震作用可以触发多种自然灾害,比如海啸、火山喷发等,它们都会对早期沉积产生影响,因此在沉积位置上就会有区分,乔秀夫等认为,震积岩序列分为原地系统与异地系统^[36]。原地系统为一个垂向的液化系统,异地系统主要为风暴海啸引起的碳酸盐质浊积岩和波浪丘状层,这个序列存在于浅水环境下未固结的碎屑岩或者碳酸盐岩中。振动液化垂向序列的提出引起了中外地质学家们的广泛关注,从而成为识别震积岩的重要标志^[25]。中国地质学家近30 a对震积岩垂向序列提出了海相碳酸盐岩振动液化地震序列和陆相碎屑岩振动液化序列2种主要类型^[11,36]。研究区属于海陆过渡相,仍处于碎屑岩振动液化序列的范畴,也受海啸影响会产生异地沉积系统。本文所用岩样均取自不同井位和不同深度,因为在岩心上并不能发现完整的震积岩序列,一般都缺失一个或多个单元,这与地震强度和地震发生处的岩性有关,也与剖面的观察位置有关,而与组成震积岩垂向序列本身无关^[37],所以笔者结合局部发现的震积岩标志和陈武杰等对柴达木盆地震积岩的研究^[16]总结出柴达木盆地独特的振动液化序列。虽然研究区与吴贤涛等研究的四川峨眉湖泊相和陈世悦等研究的济阳拗陷断陷盆地的沉积相不同^[11,15],但是震积岩振动液化序列却极其相似。柴达木盆地南缘下干柴沟组在切8、乌8、跃东110、切6、红地107和绿13等6口井的岩心中发现了震积岩的识别标志,并且能很好的组合为一套完整的震积岩振动液化序列。因此,根据研究区地震作用的发生过程,将振动液化序列由上至下依次划分为震浊积岩、上覆正常沉积、液化均一层、震积角砾层、液化扭曲变形层、微断裂层和下伏正常沉积(图3)。

A段—下伏正常沉积,岩性为深灰色粉砂质泥岩,原生的小型沙纹交错层理和水平层理保存完好,岩层内未经任何地震干扰。

B段—微断裂层,主要包括微断裂缝和小型阶


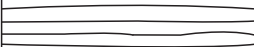




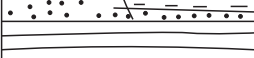

沉积相	成因	震积垂向序列	说明	单元	位置
辫状河三角洲相	海啸		震浊积岩	G	原地
			上覆正常沉积	F	
	地震		液化均一层	E	
			震积角砾岩	D	
			液化脉 柔褶层	C	
	地震		震裂缝	B	
			微同沉积断层		
			下伏正常沉积	A	

图3 柴达木盆地西南缘下干柴沟组震积岩垂向沉积序列
Fig.3 Vertical sedimentary sequence of seismites in the lower Ganchaigou Formation, the southwest margin of Qaidam Basin

梯状断层,是识别地震作用的重要标志。微断裂缝因张性断裂而成,断距通常为2~20 mm不等,由于体型微小,因此主要在层内发育,不切穿上、下岩层。微同沉积断裂除了单独发育外,还可以成组平行排列呈阶梯状断层,通常为正断层,发育在厚度较薄的岩层中,断距为2~5 mm。这是由于岩石的脆性反应,通常发生在遭受一定压实作用后的河道砂体中,其断距越向下越大,范围在数十厘米内,再向下进入下伏正常沉积。

C段—液化扭曲变形层,砂岩薄层的弯曲和交错层理与砂体液化脉都是岩石塑性的表现,构造类型多样,形态复杂,规模小,包括包卷层理、丘状层理、肠状构造、火焰构造和错综复杂的液化脉,在地震作用过程中属于不稳定层位。

D段—震积角砾层,角砾形态多种多样,主要为棱角状和次棱角状,多为泥岩碎块,常见可拼接撕裂泥岩碎块和撕裂泥岩碎块,可拼接撕裂泥岩碎块具有“藕断丝连性”,可完整拼接在一起,这些角砾在地震中未被液化,只是被振破碎,向上接近液化均一层逐渐消失。

E段—液化均一层,为红色薄层泥质粉砂岩或粉砂质泥岩,结构均一,无层理或纹层等沉积构造,是上覆正常沉积层和震积角砾层的过渡层。

F段—上覆正常沉积,为正常沉积岩层,没有受地震作用的影响,突变接触下伏液化均一层。

G段—震浊积岩,属于异地沉积,是海啸引发的

海水回流而形成的浊流沉积物。具有与非地震浊积岩相似的鲍马序列,碎屑颗粒的分选性和磨圆性较差,以块状层理和粒序递变层理为主。

4 地质意义

震积岩的发现具有重要的地质意义,每次断裂活动引起的地震作用都是短时期的、周期性的。因此,在正常沉积中夹杂这些非正常沉积的震积岩说明了该时期为构造活跃期。柴西南地区古近系和新近系都发现了震积岩,说明整个新生代受喜马拉雅运动的影响,断裂活动频繁。这些震积岩主要沿着断裂带分布,主要受到昆北断裂的影响,逆掩断层的上盘沉积厚度远远比下盘小,在这些断裂带附近还容易产生滑塌构造,事实上,这也是一种与地震作用有关的岩类,并对古构造运动有一定指示作用。同时,这类震积岩具有重要的石油地质意义,地震活动改善了储层物性。

4.1 震积岩为研究古地震提供依据

震积岩就是一种与地震作用有关的岩类。通过研究震积岩,可以发现地史时期地震的活跃期,通过研究震积岩的空间分布,可以找出区域地震带,再结合其他地区的震积岩研究资料,可以推测地史上地震宁静期与活跃期交替的周期,从而制定地震规律图表,可以从一个新的方向确定地球的活动规律,也可以用来研究任一地区的构造活动周期及其发展史^[38-41]。段吉业等在对华北燕山中—新远古代震积岩的研究中强调在相似地质背景下,震积岩的结构特征能准确反映地震强度的相对大小^[42],又根据乔秀夫等关于震级必须大于里氏5级才能发生液化的理论^[36],笔者通过对柴达木盆地西南缘震积岩的研究,根据地震作用与震积岩特征的关系将地震强度从强—弱分为5级(图4)。弱地震不会引起地层剧烈振动,仅影响沉积物受力均匀性,由于上覆砂岩层负荷的压力不均匀,导致下伏饱和水的塑性软泥沙“吞并”上覆泥质碎屑,形成重荷构造和火焰构造;较弱地震容易引起高位未固结或半固结沉积物向低位掉落,陷入软沉积物中形成滑塌构造;当地震强度大于里氏5级时就开始发生砂岩液化现象,形成液化脉,层内形成弯曲褶皱;随着地震强度的进一步加强,引起半固结或固结的沉积物发生断裂,生成微裂缝、层内阶梯状断层;如果地震震级非常高时,加之研究区沉积相为辫状河三角洲前缘,容易引起海啸,形成震浊积岩。魏垂高等在对东营凹陷现河地区沙三段震积岩的研究中提出了

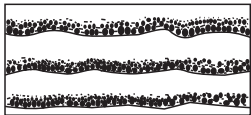

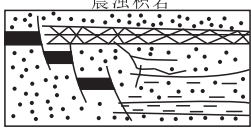
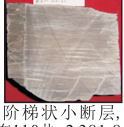
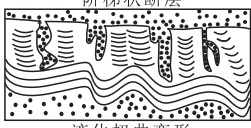
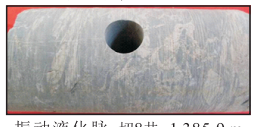
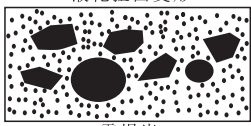

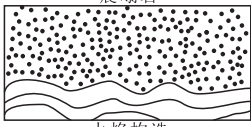
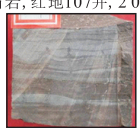
震积岩特征	地震强度	实 例
	强	 震浊积岩, 跃东110井, 3 722.2 m
	较强	 阶梯状小断层, 跃东110井, 2 381.85 m
	中等	 振动液化脉, 切8井, 1 385.9 m
	较弱	 震塌岩, 红地107井, 2 040 m
	弱	 火焰构造, 乌8井, 3 288 m

图4 柴达木盆地西南缘下干柴沟组震积岩特征与地震强度关系

Fig.4 Relationship between seismite characteristics and seismic intensity in the lower Ganchaigou Formation, the southwest margin of Qaidam Basin

同样的构造意义,王克等也提出了同样结论^[38-40]。因此震积岩可以作为研究古地震的一种重要手段。

4.2 震积岩指示构造活跃期

现代地震主要集中在板块内部的伸展区域和板块边界地带,按照将今论古的原理,发生在盆地中的地震应该与断裂等构造活动有关,并对其沉积物和沉积作用产生巨大影响。因此,通过震积岩的研究可以揭开盆地构造活动史,从而帮助我们了解沉积盆地的大地构造背景^[38,40-41]。柴达木盆地在中生代就进入大陆动力学演化阶段,与邻近的昆仑山脉形成板内盆山关系^[19]。研究区首先经历了印支运动,改变了三叠纪中期以前中国“南海北陆”的局面,海平面快速下降,使大部分地区从浅海变为陆地;再经历了燕山构造运动,形成板内造山成盆的格局;然后经历喜马拉雅构造运动,同青藏高原整体发生快速隆升作用^[19]。本文研究时代正是柴达木盆地经历喜马拉雅构造运动时期,所以沉积相发生着快速变化,由底层的深灰色砂质泥岩到顶部的红色泥质砂岩代表着水深的快速降低。同朱萌等对柴达木盆地南缘岩性的观察相同^[19],沉积层内碳酸盐岩减少,膏岩类增多。研究区在下干柴沟组沉积时期断裂活动比较发育,存在间歇性的由断

裂作用引起的地震作用,主要断裂包括昆北断裂和XⅢ号断裂,而发现这些非正常沉积的井位也处于断裂带附近,标志该时期为构造活跃期。并且震积岩大量发育的时期也标志着构造活动强烈的时期^[41]。

4.3 震积岩的油气地质意义

地震作用形成的震积岩可能具有有利的油气储集性能,但是在目前油气勘探领域震积岩并没有引起勘探者们的广泛重视^[15,37,39-40]。最早提出震积岩具有油气意义的是郭建华等在研究湘西大庸上震旦统灯影组的碳酸盐岩震积角砾岩时,震积角砾岩能成为一种良好的储集岩体^[43]。地震作用使岩层破裂、坍塌,形成良好的储集体。裂缝不仅可以用来储集油气,同样可以作为油气运移的输送导体,为油气聚集提供条件^[44]。另外,杨剑萍等通过对柴达木盆地乌南油田震积岩的研究发现,震裂岩、自碎屑角砾岩、裂缝和微断层发育使渗透率明显增大^[18],陈武杰等对柴西南地区的研究发现了同样的现象^[16-17]。柴西南地区昆北断阶带下干柴沟组下段属于辫状河三角洲沉积相,能够形成有利的生、储、盖组合,加之震积岩又保存在这个时期,震裂岩、自碎屑角砾岩、震裂缝和微断层等就更为油气聚集提供较好的条件。从岩心观察,切6井在1 709 m发现油浸砂岩,并且在1 705.6 m发现了可拼接撕裂泥岩碎块。因此,震积岩的震裂缝、微断层和震积角砾岩等确实具有一定的油气地质意义。

5 结论

通过对切8井、乌8井、跃东110井、切6井、红地107井和绿13井的钻井岩心系统观察与对比发现,柴西南地区下干柴沟组古地震作用记录主要有微同沉积断裂及震裂缝、液化砂岩脉、振动液化卷曲变形构造、震浊积岩、震积角砾岩及滑塌构造,震积岩的这些构造变形特征主要是未固结或半固结的沉积物受到强烈的震荡作用而形成;该时期主要发育辫状河三角洲沉积,形成了异地系统的震浊积岩和原地系统的震积岩,震积岩的振动液化垂向序列由上至下依次划分为震浊积岩、上覆正常沉积、液化均一层、震积角砾层、液化扭曲变形层、微断裂层和下伏正常沉积。柴西南地区震积岩的发现具有重要的构造意义和油气地质意义,可以为柴达木盆地古地震研究提供条件,指示该时期为构造活跃期,地震作用使岩层破裂、坍塌,形成良好的储集体或运移通道,并且震裂岩、自碎屑角砾岩、裂缝和微

断层发育能使渗透率明显增大,对油气聚集或运移具有重要意义。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] Seilacher A.Fault-graded beds interpreted as seismites[J].Sedimentology,1969,13(1/2):155-159.
- [3] 龚一鸣.风暴岩、震积岩、海啸岩——几个名词含义的商榷[J].地质论评,1988,34(5):481-482.
Gong Yiming.Several terms of meaning about stormrocks, seismites and tsunamites[J].Geological Review,1988,34(5):481-482.
- [4] 乔秀夫,高林志,彭阳,等.古庐带沧浪铺阶地震事件、层序及构造意义[J].中国科学:D辑 地球科学,2001,31(11):911-918.
Qiao Xiufu, Gao Linzhi, Peng Yang, et al.Seismic event, sequence and tectonic significance of Canglangpu stage in paleo Tanlu fault zone[J].Science in China: Series D Earth Sciences, 2001, 31(11):911-918.
- [5] 乔秀夫,李海兵,王思恩,等.新疆境内塔拉斯-费尔干纳断裂早侏罗世走滑的古地震证据[J].地质学报,2008,82(6):722-730.
Qiao Xiufu, Li Haibing, Wang Sien, et al.Paleoseismic evidence of the Talas-Ferghana strike-slip fault during early Jurassic, Xinjiang[J].Acta Geologica Sinica, 2008, 82(6):722-730.
- [6] 乔秀夫,宋天锐,李海兵.是地震液化泄水成因,不是“渗流管”构造[J].科学通报,2002,47(14):1118-1120.
Qiao Xiufu, Song Tianrui, Li Haibing.Is cause of earthquake liquefaction drainage, not is “seepage pipe” structure[J].Chinese Science Bulletin, 2002, 47(14):1118-1120.
- [7] 乔秀夫,高林志.燕辽裂陷槽中元古代古地震与古地理[J].古地理学报,2007,9(4):337-352.
Qiao Xiufu, Gao Linzhi.Mesoproterozoic palaeoearthquake and palaeogeography in Yan-Liao Aulacogen[J].Journal of Palaeogeography, 2007, 9(4):337-352.
- [8] 乔秀夫.中朝板块元古宙板内地震带与盆地格局[J].地学前缘,2002,9(3):141-149.
Qiao Xiufu.Intraplate seismic belt and basin framework of Sino-Korean Plate in Proterozoic[J].Earth Science Frontiers, 2002, 9(3):141-149.
- [9] 乔秀夫,李海兵.枕-球-枕构造:地层中的古地震记录[J].地质论评,2008,54(6):721-730.
Qiao Xiufu, Li Haibing.Pillow, ball-and-pillow structures: Paleoseismic records within strata[J].Geological Review, 2008, 54(6):721-730.
- [10] 岳信东,林春明,李艳丽,等.二连盆地白音查干凹陷下白垩统震积岩的发现及其地质意义[J].高校地质学报,2009,25(1):57-62.
Yue Xindong, Lin Chunming, Li Yanli, et al.The discovery of seismites in the lower Cretaceous of Baiyinchagan Depression, Erlian Basin and its geological implications[J].Geological Journal of China Universities, 2009, 25(1):57-62.
- [11] 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(1):19-26.
Wu Xiantao, Yin Guoxun.Features and significance of seismites from upper Jurassic lacustrine deposits of Emei, Sichuan[J].Acta Sedimentologica Sinica, 1992, 10(1):19-26.
- [12] 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.
- [13] Rossetti D F, Goes A M.Deciphering the sedimentological imprint of paleoseismic events: An example from the Aptian Code Formation, northern Brazil[J].Sedimentary Geology, 2000, 135(1/4):137-156.
- [14] 杜远生,张传恒,韩欣,等.滇中中元古代昆阳群的地震事件沉积及其地质意义[J].中国科学:D辑 地球科学,2001,31(4):283-289.
Du Yuansheng, Zhang Chuanheng, Han Xin, et al.Ancient earthquake event deposition of Kunyang group in Central Yunnan and its geological significance[J].Science in China: Series D Earth Sciences, 2001, 31(4):283-289.
- [15] 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.
- [16] 陈武杰,袁静,李红哲,等.柴达木盆地西南区震积作用及其研究意义[J].天然气地球科学,2010,21(2):230-237.
Chen Wujie, Yuan Jing, Li Hongzhe, et al.Seismic deposition in southwestern Qaidam Basin and its implication[J].Natural Gas Geoscience, 2010, 21(2):230-237.
- [17] 石亚军,陈武杰,曹正林,等.柴达木盆地西南区震积岩的发现及其引发的勘探启迪[J].地质学报,2009,83(8):1178-1187.
Shi Yajun, Chen Wujie, Cao Zhenglin, et al.Discovery of seismites in southwestern Qaidam Basin and its significance for exploration[J].Acta Geologica Sinica, 2009, 83(8):1178-1187.
- [18] 杨剑萍,聂玲玲,张琳璞,等.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[J].地质学报,2008,82(6):805-812.
Yang Jianping, Nie Lingling, Zhang Linpu, et al.Reservoir characters and Paleoseismic records in Neogene Wunan oilfield, southwestern margin of the Qaidam Basin[J].Acta Geologica Sinica, 2008, 82(6):805-812.
- [19] 朱萌,李德威,刘德民,等.柴达木盆地西南缘更新统震积岩特征及其意义[J].古地理学报,2011,13(6):657-664.
Zhu Meng, Li Dewei, Liu Demin, et al.Characteristics and significance of seismites in the Pleistocene in southwestern margin of Qaidam Basin[J].Journal of Palaeogeography, 2011, 13(6):657-664.

- [20] 陈迎宾,胡焯,王彦青,等.柴达木盆地鄂博梁Ⅲ号构造深层天然气成藏条件[J].油气地质与采收率,2015,22(5):34-39,63.
Chen Yingbin, Hu Ye, Wang Yanqing, et al. Research on the deep gas accumulation conditions of Eboliang-Ⅲ structure, Qaidam Basin[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015, 22(5): 34-39, 63.
- [21] 喻廷旭,汤达祯,许浩,等.柴西北地区油泉子油田浅层油藏异常低压形成机制[J].油气地质与采收率,2014,21(5):32-35.
Yu Tingxu, Tang Dazhen, Xu Hao, et al. The formation mechanism of lower pressure in the shallow reservoirs of Youquanzi, northwestern Qaidam basin [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(5): 32-35.
- [22] 甘贵元,张建英,宋兵,等.柴达木盆地北缘马西气藏储集层研究[J].石油实验地质,2014,36(5):546-549.
Gan Guiyuan, Zhang Jianying, Song Bing, et al. Study of Maxi gas reservoir in northern margin of Qaidam Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36(5): 546-549.
- [23] 李建森,李廷伟,彭喜明,等.柴达木盆地西部第三系油田水文地球化学特征[J].石油与天然气地质,2014,35(1):50-55.
Li Jiansen, Li Tingwei, Peng Ximing, et al. Hydrogeochemical behaviors of oilfield water in the Tertiary in western Qaidam Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(1): 50-55.
- [24] 葛岩,刘成林,谢英刚,等.柴达木盆地石炭系油气勘探前景[J].油气地质与采收率,2014,21(2):57-61.
Ge Yan, Liu Chenglin, Xie Yinggang, et al. Exploration prospect of Carboniferous oil and gas exploration in Qaidam basin [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(2): 57-61.
- [25] 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: Edition of Natural Science, 2005, 29(1): 144-149.
- [26] 夏青松,田景春.鄂尔多斯盆地南部上三叠统延长组震积岩的发现及地质意义[J].沉积学报,2007,25(2):246-251.
Xia Qingsong, Tian Jingchun. Characteristics and geological significance of seismites of the Yanchang Formation, Upper Triassic, Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25(2): 246-251.
- [27] 张传恒,武振杰,高林志,等.华北中元古界雾迷山组地震驱动的软沉积物变形构造及其地质意义[J].中国科学: D辑 地球科学,2007,37(3):336-343.
Zhang Chuanheng, Wu Zhenjie, Gao Linzhi, et al. Soft sediment deformation in the Mesoproterozoic Wumishan formation of earthquake driven and geological significance [J]. Science in China: Series D Earth Sciences, 2007, 37(3): 336-343.
- [28] 王昌勇,郑荣才,高振中.准噶尔盆地地下侏罗统八道湾组震积岩的发现及其研究意义[J].地质论评,2008,54(6):821-826.
Wang Changyong, Zheng Rongcai, Gao Zhenzhong. The discovery and significance of seismites from the Lower Jurassic Badaowan Formation in Junggar Basin [J]. Geological Review, 2008, 54(6): 821-826.
- [29] 杨仕维,李建明.震积岩特征综述及地质意义[J].岩性油气藏,2008,20(1):89-94.
Yang Shiwei, Li Jianming. Characteristics and geological significance of seismites [J]. Lithologic Reservoirs, 2008, 20(1): 89-94.
- [30] 吴勘.震积岩、海啸岩、震浊积岩研究进展[J].四川地质学报,2010,30(2):136-139.
Wu Kan. Advances in research for seismite, tsunamite and seismoturbidite [J]. Acta Geologica Sichuan, 2010, 30(2): 136-139.
- [31] Spalletta C, Vai G B. Upper Devonian intraclastparabreccias interpreted as seismites [J]. Marine Geology, 1984, 55(1/2): 133-144.
- [32] 杜远生,韩欣.论震积作用和震积岩[J].地球科学进展,2000,4(4):389-394.
Du Yuansheng, Han Xin. Seismo-deposition and seismites [J]. Advance in Earth Sciences, 2000, 4(4): 389-394.
- [33] 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):271-278.
Sun Xiaomeng, Liang Dingyi, Nie Zetong. Seismite sequence in continental margin—Take seismite in middle region of Jinsha River as an example [J]. Geoscience, 1995, 9(3): 271-278.
- [34] 钟华明,夏军,童劲松,等.洛扎县幅地质调查新成果及主要进展[J].地质通报,2004,23(5/6):451-457.
Zhong Huaming, Xia Jun, Tong Jinson, et al. New results and major progress in regional geological survey of the Lhozag County Sheet [J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23(5/6): 451-457.
- [35] 周志广,梁定益,刘文灿,等.藏南晚白垩世宗卓组巨型混杂堆积的特征及其地裂-地震成因论证[J].地质论评,2006,52(3):314-320.
Zhou Zhiguang, Liang Dingyi, Liu Wencan, et al. Characters of slumping accumulation of Upper Cretaceous Zongzuo Formation and demonstrate its caused by large break-up and earthquakes, Southern Xizang (Tibet) [J]. Geological Review, 2006, 52(3): 314-320.
- [36] 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 vibrational liquefaction [J]. Acta Geologica Sinica, 1994, 68(1): 16-34.
- [37] 李元昊,刘池洋,王秀娟.鄂尔多斯盆地三叠系延长组震积岩特征研究[J].沉积学报,2008,26(5):772-779.
Li Yuanhao, Liu Chiyang, Wang Xiujuan. Discovery and significance of seismites in Late Tertiary Yanchang Formation of Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2008, 26(5): 772-779.
- [38] 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.
- [39] 王克,刘显阳,赵卫卫,等.济阳拗陷阳信洼陷古近纪震积岩特征及其地质意义[J].岩性油气藏,2008,20(2):54-59.
Wang Ke, Liu Xianyang, Zhao Weiwei, et al. Characteristics and geological significance of seismites of Paleogene in Yangxin Sub-sag of Jiyang Depression [J]. Lithologic Reservoirs, 2008, 20(2): 54-59.