

塔里木盆地志留系震积岩特征及其意义

魏垂高¹⁾, 张世奇¹⁾, 姜在兴²⁾, 朱井泉³⁾

1) 中国石油大学地球资源与信息学院, 山东东营, 257061

2) 中国地质大学能源学院, 北京, 100083

3) 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京, 100029

内容提要:在区域构造背景研究和岩心观察的基础上,在塔里木盆地志留纪地层中识别出震积岩。震积岩的主要标志是发育各种类型的软沉积变形构造,包括微阶梯状正断层、层内小褶皱、扭曲变形、振动液化砂岩脉、震塌岩等。通过对中1井、顺1井、沙98井等岩心的系统观察,发现由于地震强度的不同,震积岩的垂向序列有所不同,地震越强烈,其震积岩序列的完整性越好,确定出震积岩的两种垂向序列。由于不同的震积岩构造特征对应不同的地震强度,因此进一步研究了各种震积岩构造与地震强度的关系。这些研究为塔里木盆地构造演化研究及震积岩的识别和描述提供了重要的地质理论依据,并可为研究该区古地震提供依据。

关键词:震积岩;识别标志;砂岩脉;震积序列;志留系;塔里木盆地

地震是一种灾害性地质事件,是地壳运动的一种特殊而直观的表现形式。它是由断裂活动、火山爆发、崩塌陷落等因素引起的地壳快速而剧烈的颤动。现代地震发生时,除表现为房屋倒塌、破坏道路、引起火灾等一系列灾难外,还在沉积物中引起沙土液化(如喷砂冒水)、地面开裂(地裂缝)等。地震学家们注重地震预报(远期、近期及临震)研究,而地质学家则把注意力集中在地震发生的构造背景,及其对地质构造和地史发展研究的意义上。现代地震可以直接观测,而地史时期中的地震作用则可通过震积岩来辨认。在不同的构造与沉积背景下的地震活动对沉积物进行改造并重新沉积,从而形成了记录地震事件的震积岩。震积岩(Seismitite)最早由A. Seilacher(1969)提出,原意指一个构造活动区未固结的水下沉积物受到地震活动改造再沉积的沉积层(杜远生等,2000)。早在20世纪中叶,Heezen and Ewing(1952)就对1929年加拿大格兰德班克地震引起的浊流和海相地层中的地震位移和沉积变形构造进行了研究。1969年,Seilacher提出震积岩的定义。之后,许多学者都对地震活动引起的沉积物变形构造及其形成机理进行了系统研究。国内对震

积岩的研究也取得了很大的进步,宋天锐等(1998)对华北元古宙震积岩进行了研究,后乔秀夫等(1994,1996)分别对华北、华南和西南三江地区中新元古代、古生代海相地震事件沉积研究方面取得了许多重要成果。近年来,地质学家已陆续在河流相、湖泊相及海相地层的野外露头中发现了不同类型的震积岩,但在钻井取心中发现地震作用留下的信息较少,塔里木盆地至今未有相关的报道。笔者在研究塔里木盆地志留系沉积相和沉积环境时,通过岩心观察发现大量软沉积变形构造,认为是震积岩的特征,并进一步对其与塔中隆起及地震强度的关系进行了研究。

1 区域地质背景

塔里木盆地自北向南包括库车坳陷、塔北隆起、北部坳陷、中央隆起(含塔中低凸起)、西南坳陷、东南坳陷、塘古孜巴斯坳陷和塔东南隆起等8个一级构造单元。此次发现的震积岩主要集中在中央隆起带上。自震旦纪到第四纪,塔里木盆地经历了从海相、海陆过渡相到陆相的完整海侵海退沉积旋回。塔里木盆地志留系为早古生代海侵晚期的滨岸、潮

注:本文为中石化西部指挥部与中国石油大学、中国地质大学联合攻关课题“塔里木盆地古生界碎屑岩储层特征与油气成藏背景研究”(编号XBKY04-44-03)资助成果。

收稿日期:2006-11-23;改回日期:2007-05-08;责任编辑:周健。

作者简介:魏垂高,男,1979年生,中国石油大学(华东)教师。通讯地址:257061,山东省东营市,中国石油大学(华东)资信学院团委;电话:0546-8398267、13706360397。

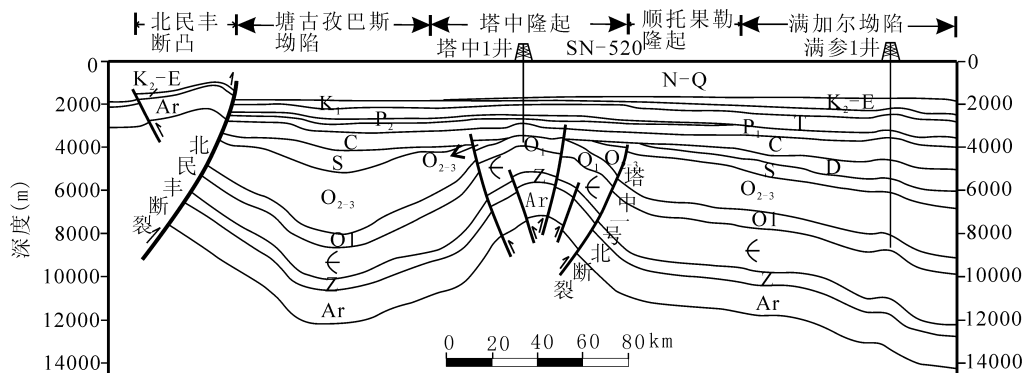


图1 塔里木盆地安迪尔兰-满加尔拗陷地震地质解释图(胡德庆等, 2003[●])

Fig. 1 The geologic interpretation chart of Andierlan and Manjiaer depression in Tarim basin

(after Hu deqing et al., 2003[●])

Ar—太古宇; Z—震旦系; ←—寒武系; O₁—下奥陶统; O₂₋₃—中上奥陶统; S—志留系; D—泥盆系; C—石炭系; P₁—下二叠统; P₂—上二叠统; T—三叠系; K₁—下白垩统; K_{2-E}—上白垩统—古近系; N-Q—新近系—第四系

Ar—Archean Erathem; Z—Sinian; ←—Cambrian; O₁—Lower Ordovician; O₂₋₃—Middle—Upper Ordovician; S—Silurian; D—Devonian; C—Carboniferous; P₁—Lower Permian; P₂—Upper Permian; T—Triassic; K₁—Lower Crataceous; K_{2-E}—Upper Crataceous—Paleogene; N-Q—Neogene—Quaternary

坪沉积,在塔北隆起、北部拗陷和塔中低凸起均有较广泛的分布。志留纪—泥盆纪,塔里木板块北缘、南缘分别是被动边缘发展和活动大陆边缘发展阶段。在中央隆起带上,中奥陶统的构造反转,使下奥陶统原张性正断层反转为逆断层或是产生了新的逆断层,从而使塔中地区呈现具有明显逆冲断层控制的隆起状态,这一阶段是塔中古隆起的主要形成期(图1)。晚奥陶世,盆地区域性抬升,塔中古隆起断裂继续活动,隆起区地层受剥蚀。加里东晚期运动主要继承了晚奥陶世的特点。而海西运动早期塔里木盆地内部则发生拉张,但是断陷不发育,具有断陷程度较小的特点。海西运动晚期由于周缘古大洋聚敛闭合的影响,塔里木盆地普遍遭受剥蚀,塔中地区形成大规模鼻状古隆起和一系列逆冲断层。这些构造运动和断层的发育,为震积岩的发育提供了前提条件。研究区志留系储层岩性主要为细粒岩屑砂岩,局部夹中—细粒岩屑砂岩。储集岩中岩屑的含量较高,一般为30%~67%,成分以浅变质岩类(千枚岩和片岩类)和火山岩为主,碳酸盐岩类岩屑也常见。

2 震积岩的识别标志

陈世悦等(2003)、杨剑萍等(2004, 2006)在钻井取心中观察到部分震积岩信息,宋天锐等(1988)、乔秀夫等(1994)通过对华北中—新元古代及古生代地震及海啸沉积的研究,总结出震裂岩、震褶岩和震塌岩等沉积岩相类型,但至今也没有提出严格的标志。国内外的研究表明,微同沉积断裂、地裂缝、阶梯状

小断层、层内褶皱、假结核、液化砂岩脉、泄水构造及卷曲变形构造等是鉴别地史时期地震记录的主要标志(乔秀夫等, 1994; Plaziat J C, 1998; 张琴等, 2003; 杨萍, 2006)。这些标志在沙102井、沙98井、顺1井、中1井、沙99井等多口井中均有发现。

(1) 砂岩脉: 是一种在砂、泥岩互层沉积物中发育的砂质岩脉或岩墙,呈不规则状延伸,并切穿围岩的水平层理(图2a)。是由地震—断裂作用引发软沉积物液化泄水的结果,与碳酸盐岩震积序列中的液化泄水泥晶脉(molar tooth, Smith A G, 1968)形态和成因相似(乔秀夫, 1996)。岩心中见到的粉砂、细砂岩脉是富水砂质沉积物在地震活动中由于受到上部及四周压力,迫使粉细砂向压力小的方向移动,导致泄水脉存在向岩层内上方及下方两个相反方向液化,挤入泥质沉积物所形成的脉状体(图版I-3、6)。砂岩脉规模大小不等,一般宽0.5~5 cm,长度1 cm至几十厘米。中1井4618.8 m处岩心在显微镜下可清楚地观察到液化脉的形状,砂岩脉的结构及成分特征基本相似(图2c),砂岩脉在成分、结构上与围岩都存在较大的差异。砂岩脉形态不规则,剖面形态呈不规则弯曲,中部膨大,向两端变细,且分叉现象较普遍,平面上无统一走向。砂岩脉在穿切围岩时可见围岩纹层随之发生弯曲,尤其在脉体两端弯曲迫使纹层围绕脉端形成上拱或下凹弯曲。在沙98井、沙102井、顺1井中都有发现(图版I-6、8)。

(2) 阶梯状微断层: 是在沉积地层震动过程中

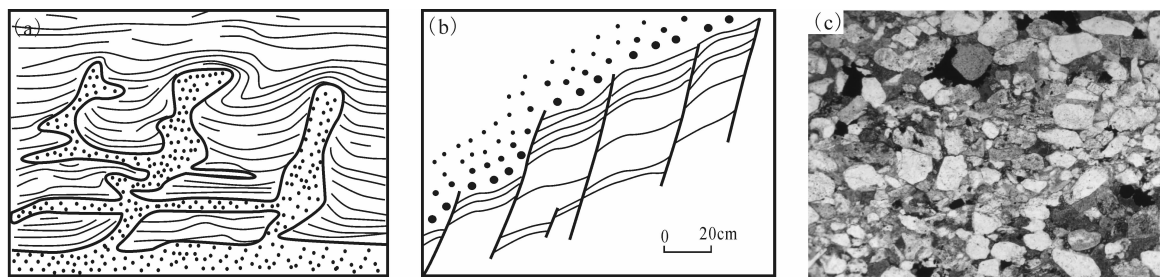


图 2 震积岩特征素描

Fig. 2 A sketch showing of seismite character

(a) —砂岩脉; (b) —阶梯状微断层; (c) —砂岩脉镜下特征

(a) —Sand dikes; (b) —fault-graded; (c) —optical character of sand dikes

形成的,以张性断裂为主,可单独发育,也可以平行排列呈阶梯状(图 2b),限于层内发育,与乔秀夫(1996)提出的震裂岩相当。断裂断距小,一般为 0.1~2 cm,倾角较陡。在中 1 井中观察到的微断裂发育在砂泥岩互层的岩石中,产状近正交于层面,可切断砂泥岩层,止于上部砂岩层。微断裂之间的岩层常发生褶曲和揉皱现象(图版 I-7、9)。

(3) 震塌岩:即自碎屑角砾岩(Spalletta, 1984)指地震震动破坏原沉积层形成的初始断裂角砾岩。是原地固结及半固结的岩层震碎后形成的角砾岩,表现为岩层中的砾石呈不规则状分布,分选极差,角砾直径从 0.5 cm 到 10 cm 均有分布,角砾棱角较分明,部分泥质砾岩边缘被挤压而变圆滑,表明当时处于半固结状态,顺层分布,相邻的角砾部分可以拼接,岩性仍保持了原地的潮坪沉积,在中 1 井中观察到上述现象(图 3,图版 I-5)。

(4) 液化卷曲变形:主要表现为薄层泥岩和砂质泥岩在层内发生明显褶曲,形成一系列形态各异的小型紧闭型褶曲,卷曲构造相互连接,也有人称其为“肠状构造”(图版 I-4),而上下岩层中的纹理保持不变,这是由于地震时液化作用引起的层内卷曲变形,相当于乔秀夫等(1994)所称的震褶岩。通常与阶梯状微断层和地下水岩脉伴生。卷曲变形构造形态多样,如“马尾丝”状层理(图版 I-2),定向性差,宽度较小,多限制在较薄的层内变化,褶曲层的厚度一般仅为几厘米到十几厘米。许多学者曾对其进行过描述,一致认为是地震产物,并在实验室成功地进行了模拟。

(5) 球枕构造:多为泥质粉砂岩或粉砂岩碎块,多出现在泥质沉积物为主的层段中,是由于上下相邻的沉积物存在较大的密度差,地震液化作用结束后,沉积物体积收缩,地面下沉,在振动和重力的作

用下,上覆细砂、粉砂层发生断裂、解体,形成大小不一的砂块向软性泥质沉积物中沉陷而成的。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、拖曳拉长状及其他各种变形形状,与 Roep T. B. 所说的枕状层(pillow beds)相当。砂块一般 1~5 cm,形态以次圆状和圆状为主,其中可见被弯曲的层理。这些碎块在地震过程中只遭到破碎而弱液化(图 3,图版 I-1)。

3 震积岩垂向序列

离震源距离的远近不同或者地震强度的差异,即距离构造活动带的位置不同,震积岩的特征和垂向序列也不同(陈世悦等,2003),如图 3 所示,中 1 井靠近震源位置,其震积岩特征最明显,垂向序列完整,随着离震源距离的增加,震积岩特征不明显,垂向序列不完整。从岩心观察中发现存在两种垂向序列,其各层段发育特点如下(曹国强等,2004):

(1) 底部未震层段:位于地震波及范围之外,岩性为灰色砂岩夹泥岩条带,岩层内未经任何振动干扰,原生的水平层理和小型沙纹交错层理保存良好。

(2) 阶梯状微断层层段:厚度约 5~15 cm,断层密度最密可达 2~3 条/10 cm,也可单独出现,断距很小,向下逐渐消失于下伏未震层段中。

(3) 震塌岩层段:厚度约 10~50 cm,碎块多为泥质粉砂岩或泥岩岩块,岩块中可见弯曲的层理。这些碎块在地震过程中只遭到破碎而液化程度轻,并以不同方向向上略具正向递变,接近液化均一层逐渐消失。

(4) 砂岩脉层段:此层段在多口取心井中出现,厚度 5~30 cm,砂岩脉呈现出复杂的空间形态,平面上无统一走向,边缘有撕裂的痕迹。多层薄砂层

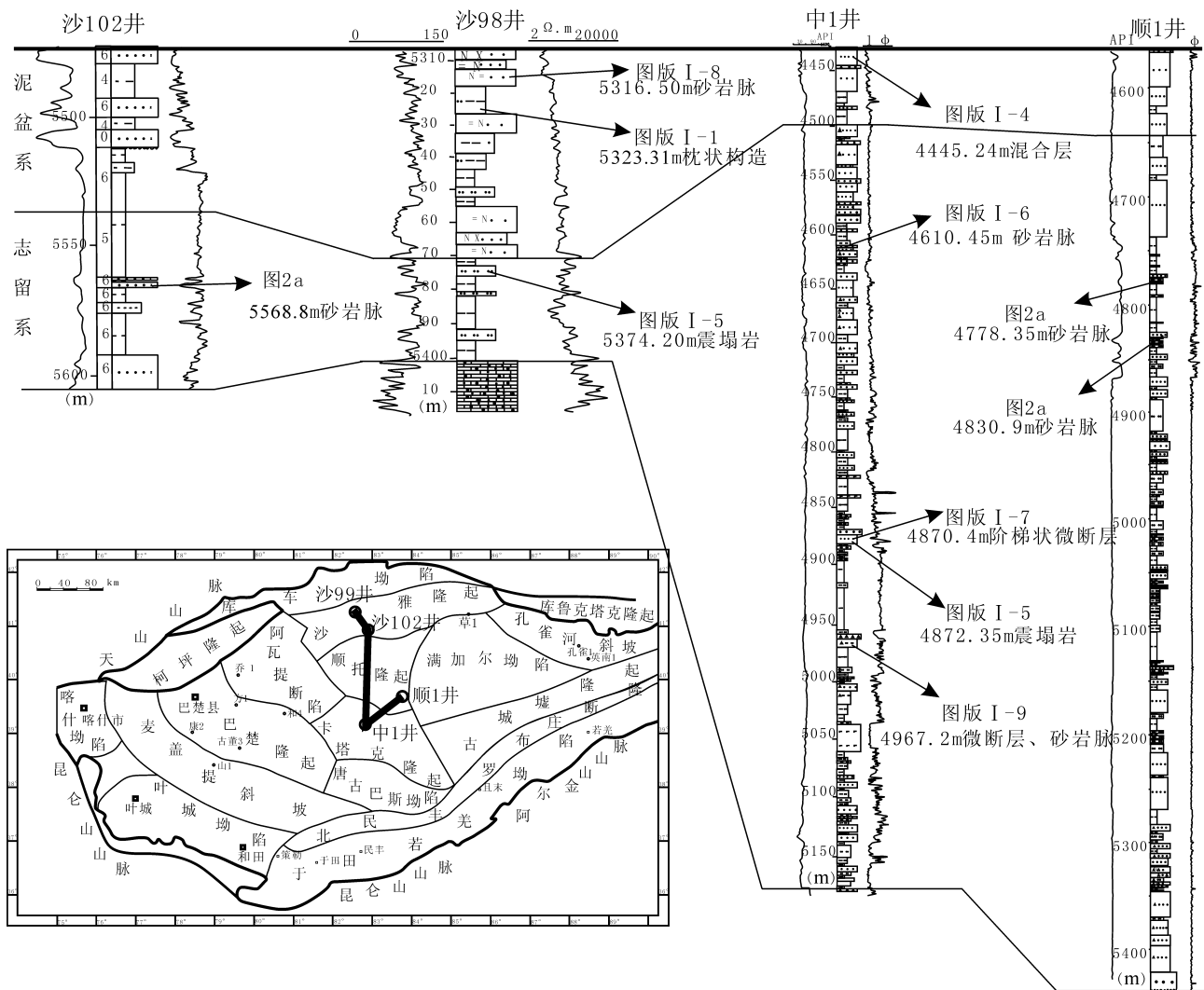


图3 塔里木盆地志留系震积岩横向展布特征及地震强度对比图

Fig. 3 Character of horizontal exhibition and comparison of seismic strength in Tarim basin

可以同时被液化,共同参与砂岩脉的形成。

(5) 液化卷曲变形层段: 主要表现为薄层泥岩和砂质泥岩在层内发生明显褶曲, 形成一系列形态各异的小型紧闭型褶曲, 卷曲构造相互连接, 而上下岩层中的纹理保持不变。

(6) 顶部未震层段: 当地震能量减少到不足以影响到的层段, 又开始继续原始的沉积作用, 不再具备震积岩的特点。沉积仍以原先的潮坪沉积为主。

垂向序列一: 下段发育阶梯状正断层及受其影响的震碎角砾岩, 角砾岩破碎程度较小, 部分可以拼接; 中部发育震褶岩和层内阶梯状微断层, 规模小、断距也小; 上段发育滑塌角砾岩(自碎角砾岩), 从岩性上可知其是近原地相, 其上为震荡混合层发育块状砂岩, 是地震影响的尾声, 最上部继续沉积原始的沉积物如图4a所示(梁定益等, 1994)。

垂向序列二: 下段为振动液化扭曲变形与阶梯状正断层共同发育层段, 阶梯状小断层规模小、断距小, 但薄层砂岩的扭曲变形则十分强烈; 中下段为震塌岩层段, 在细砂岩层内夹有1~10 cm大小的砾岩, 中上段为砂质泥岩扭曲变形层段, 形成复杂的砂岩脉, 变形程度比下伏层段有所减弱; 上段为振动液化形成的均一层段到顶部未震层段, 如中1井(图4b)。

4 意义

地震是活动构造背景下的一种自然灾变现象。从地质历史的角度看, 地震活动带上的地震作用是频繁发生的, 因此在古地震活动带震积现象应是比较普遍的。目前对震积岩的文献记录较少, 原因在于对震积岩的识别标志了解不够, 或原地系统的震积岩的识别标志不够显著。震积岩和震积作用的进

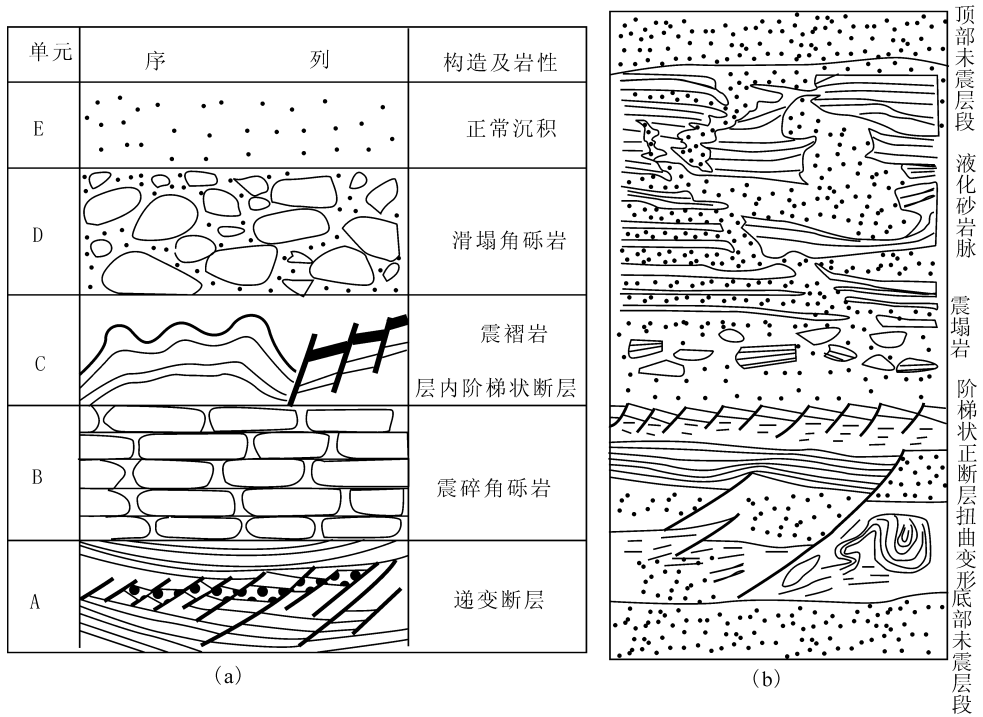


图 4 塔里木盆地志留系震积岩垂向序列综合模式图

Fig. 4 A comprehensive model of seismite vertical succession of Silurian in Tarim basin

(a) — 垂向序列一; (b) — 垂向序列二

(a) — The first vertical series; (b) — the second vertical series

一步研究可以更有利地指导古地震研究的进行。

4.1 震积岩研究为古地震研究提供有效的手段

研究震积岩的空间分布规律,可以了解全球的古地震带;研究震积岩的时间分布规律,可以了解地史时期古地震的活跃期,当具备充足的资料时,就可以了解地史上地震活跃期与宁静期交替的周期性规律,从而确定地震规律图表,从一个新的侧面反映地球的自然规律。当然也可以研究某一盆地的构造发展史及其活动规律。目前对地震活跃期地震强度的判别,主要依据震积岩出现的频率(层数及密集程度)及震积岩特征的比较来确认地震活动的相对强度。在相似地质背景下,根据震积岩结构特征,能准确地对比震积岩间强度的相对大小(段吉业等,2002)。

通过对塔里木盆地志留系震积岩的研究笔者认为不同震积岩构造特征反映不同的地震强度,根据乔秀夫等关于震级大于里氏 5 级才能发生液化的理论,做出震积岩特征与地震时期关系图(图 5),可作为研究古地震的一种方法。研究过程中,将地震活动划分为 4 个阶段,并分析了各个阶段对应的震积岩的发育特征。地震活动初期仅能影响沉积物的受力均匀性,使上覆砂质层的负荷压力不均匀,从而使上覆砂质沉积物陷入到下伏饱和水的塑性软泥中,形成重荷构造

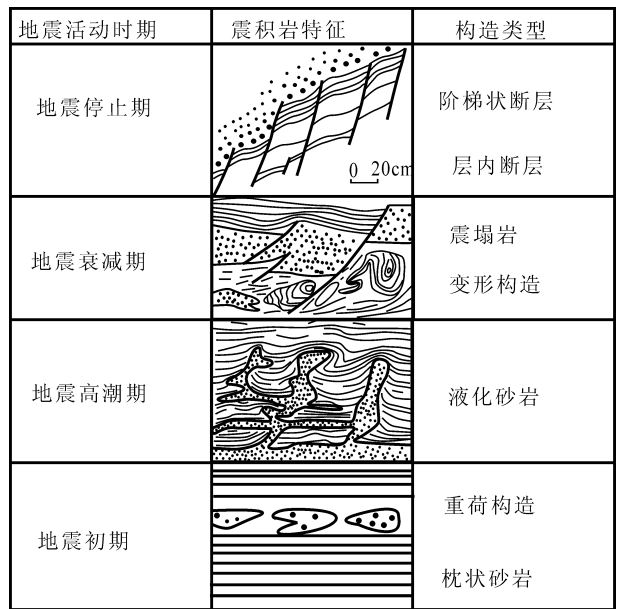


图 5 震积岩特征与地震时期关系图

Fig. 5 The relationship between seismite character and period of seismic

和枕状砂岩;地震高潮期,强地震产生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,随着应力加大

产生液化作用,形成砂岩脉等;地震衰减期,地震活动使原地固结及半固结的岩层被震碎而形成震塌岩,使薄层泥岩和砂岩在层内发生明显褶曲,形成液化扭曲变形;地震停止期,沉积物重新压实,由于前期的液化变形导致沉积物差异性下沉而形成阶梯状断层、层内断层等。通过震积岩沉积构造特征的研究,可以作为研究古地震的一项标志。

4.2 震积岩出现是确定构造活动期的标志

现代地震主要集中在板块边界和板块内部的伸展地带,按照将今论古的现实主义原理,发生在盆地中的地震,也应该与断裂等构造活动有关,并对其沉积作用和沉积物产生影响。因此,可以通过震积岩的研究恢复盆地的构造活动史,帮助我们认识沉积盆地的大地构造背景。目前观察到的有震积岩发育的中1井、顺1井位于塔中低凸起上(见图3),此期塔里木盆地区域性抬升,塔中古隆起断裂继续活动,隆起区地层受剥蚀。震积岩主要发育在志留系中—晚期,说明该时期是塔里木盆地幕式构造活动较强烈的时期。而且在图3塔里木盆地志留系震积岩横向展布特征及地震强度对比图中,将沙102井、沙98井、中1井、顺1井中的震积岩特征进行了横向对比分析,认为中1井应该是离震源或者说构造活动带最近的井,其震积岩序列最为完整,且其微断裂发育,卷曲变形构造强烈,震积岩特征明显,从中1井向北到沙雅隆起上其震积岩序列的完整性变差,震积岩的特征性也不够明显,而离塔中隆起较近的顺托果勒隆起上的顺1井则发育相对比较完整。因此震积岩的特征可以反映出构造活动的强度。由此可见,震积岩大量发育的时期可能就是塔里木盆地塔中隆起活动强烈的时期,即为确定构造活动的标志。

4.3 地震活动改善储集性能

在油气的勘探过程中寻找有利的储集空间是地质工作者的首要任务,然而目前古地震对储层的影响还没有引起人们的普遍认识,据郭建华等(1999)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,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向两侧储集岩体尖灭的岩性圈闭类型。塔里木盆地志留系储集层多为低孔低渗储集层,孔隙度一般为3%~11%,平均约6%,渗透率一般为 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,而笔者在对塔里木盆地志留系储集岩岩心观察中发现:当存在由地震所引发的裂缝发育时,储集层物性明显变好,孔隙度一般大于10%,渗透率也超过 $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,由此可见地震活动能够起到改善储集空间的作用。另一

方面,在地震能量足够大的时候($M \geq 5$),震积岩振动引起液化及流动过程中沉积物剪切力急剧下降,使压力系统达到平衡,有利于沉积物的正常压实,而且地震引起的破碎成为液化的沉积物在地震振动时向上涌入的通道,也可作为油气运移的通道。因此震积岩可能是一种潜在的储集空间,具有重要的石油地质意义。

注 释

① 胡德庆,柳德全,瞿方源等. 2003. 塔里木盆地构造演化史与构造控油特征研究报告.

参 考 文 献

- 曹国强,等. 2004. 济阳拗陷早第三纪地震事件沉积序列. 地质找矿论丛,19(4):252~256.
- 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.
- 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):441~447.
- 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.
- 郭建华,王方平,刘贵,等. 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.
- 胡德庆,柳德全,瞿方源等. 2003. 塔里木盆地构造演化史与构造控油特征研究报告.
- 贾承造,等. 1997. 中国塔里木盆地构造特征与油气. 北京:石油工业出版社.
- 梁定益,聂泽同,宋志敏. 1994. 再论震积岩及震积不整合. 地球科学—中国地质大学学报,19(6):845~851.
- 乔秀夫,宋天锐,高林志,等. 1996. 中国震积岩的研究与展望. 地质论评,42(4):317~320.
- 乔秀夫,等. 1994. 碳酸盐岩振动液化地震序列. 地质学报,68(1):16~32.
- 宋天锐,等. 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):123~131.
- 杨剑萍,王辉,陈世悦,等. 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,80(11):1715~1722.
- 杨萍,杜远生,徐亚军. 2006. 黄骅拗陷古近纪地震事件沉积研究. 地质学报,80(11):1711~1715.
- 张琴,朱筱敏,张建军,等. 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):158~163.
- A. Seilacher. 1969. Fault—graded bed interpreted as seismites. *Sedimentology*,13(1~2):155~159.
- Cao Guoqiang. 2004. The Early Tertiary sedimentary sequence of earthquake events in Jiyang Depression. *Geology Exploration Commentation*, 19(4): 252~256 (in Chinese with English abstract).
- Chen Shiyue, YuanWenfang, YanJihua. 2003. Discovery and significance of earthquake event deposits of Early Tertiary in the

- Jiyang Depression. Chinese Journal of Geology, 38(3): 413~424 (in Chinese with English abstract).
- Duan Jiye, Liu Pengju, Wan Chuanbiao. 2002. Mesoproterozoic and Neoproterozoic seismite and its rhythm in the Yanshan area, North China Platform. Acta Geologica Sinica, 76(4): 441~447 (in Chinese with English abstract).
- Du Yuansheng, Han Xin. 2000. Study on seismite action and seismite. Advance in Earth Science, 15(4): 389~394 (in Chinese with English abstract).
- Guo Jianhua, Wang Fangping, Liu Gui, et al. 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, Dyke C L. 1964. Grand bank slump. Bull Am Ass Petrol Grol, 48(2): 221~225.
- Jia Chengzao, et al. 1997. Structure Character and Oil and Gas in Tarim Basin China, Beijing: Petroleum Industry Press.
- Liang Dingyi, Nie Zetong, Song Zhimin. 1994. A re-study on seismite and seismo-unconformity. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 19(6): 845~851 (in Chinese with English abstract).
- Qiao Xiufu, et al. 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): 317~320 (in Chinese with English abstract).
- Roep T B, Events A J. 1992. Pillow-beds: a new type of seismites? An example from Oligocene turbidite fan complex, Alicante. Sedimentology, 39: 711~724.
- Song Tianrui, et al. 1988. A possible seismic-tsunami sequence in Precambrian carbonate stratigraphy in Shisanling area, Beijing. Geological Bulletin of China, 38(8): 609~611 (in Chinese with English abstract).
- Spalletta C, Vai G B. 1984. Upper Devonian intraclast parabreccias interpreted as seismites. Mar. Geol., 55(1~2): 133~144.
- TianHongshui, WanZhongjie, WangHualin. 2003. Discovery and preliminary study on seismites of the Cambrian Mantou Formation in the Central Shandong area. Geological Review, 4(2): 123~131
- Wu Xiantao, Yin Guoxun. 1992. Features and significance of seismite from Upper Jurassic lacustrine deposits of Emei, Sichuan Province. Acta Sedimentologica Sinica, 10(3): 19~24 (in Chinese with English abstract).
- Yang Jianping, Wang Hui, Chen Shiyue, et al. 2004. The features of seismites in Jiyang Sub-Basin, Paleogene. Acta Sedimentologica Sinica, 22(2): 281~287 (in Chinese with English abstract).
- Yang Jianping, Wang Yali, Zha Ming, Mou Xuemei. 2006. Discovery of the Seismic Surge Wave Deposits Record of Paleogene in Huimin Depression, Shandong Province. Acta Geologica Sinica, 80(11): 1715~1722.
- Yang Ping, Du Yuansheng, Xu Yajun. 2006. Eogene Seismite of Huanghua Depression. Acta Geologica Sinica, 80(11): 1711~1715.
- Yang Dahuan. 1999. Rock in seismic genesis in Leishan area. Guizhou Geology, 16(2): 136~140 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Qin, et al. 2003. The discovery of seismite and its significance in Lower Cretaceous in Liugouzhuan and Kulongshan region, Qingnan Sag, Jiuxi Basin. Acta Geologica Sinica, 77(2): 158~163 (in Chinese with English abstract).

Character and Significance of Silurian Seismite in the Tarim Basin

WEI Chuigao¹⁾, ZHANG Shiqi¹⁾, JIANG Zaixing²⁾, ZHU Jingquan³⁾

1) College of Earth Resources and Information, University of Petroleum, Dongying, Shandong, 257061

2) School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing, 100083

3) Institute of Geology and Geophysics Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100029

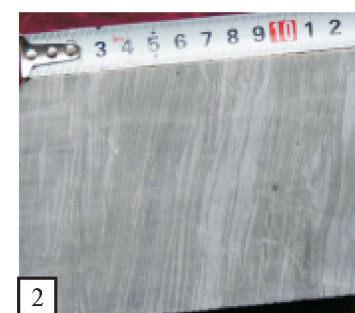
Abstract

Based on studies of regional tectonic setting and observation of drilling cores, seismite is recognized in Silurian strata of in the Tarim Basin. Many kinds of soft-sedimentary deformation structures are found in seismite, such as step micro-faults, pleate within layers, liquefaction sandstone and clay veins, vibrational liquefaction deformation structure and seismic breccias. Observation in drilling cores found that the sequence of seismite is different for the different seismic intensity, and the stronger the seismic intensity, the sedimentary sequence integrity of seismites gets better. Two kinds of seismite sequence are recognized. Because different seismite structures are formed in different seismic intensity, the relationship between seismite character and seismic intensity is studied. It provides a theoretical foundation for the tectonic evolution studies and seismite recognition in the Tarim Basin, and supplies evidence for research of paleo-seismicity.

Key words: seismite; distinguishing mark; sand dikes; seismite sequence; Silurian; Tarim Basin



1



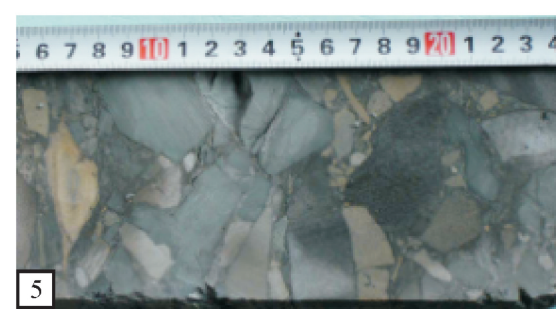
2



3



4



5



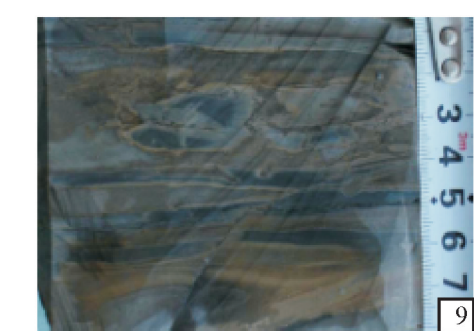
6



7



8



9

1. 砂枕中原始砂质沉积物层理变形, 沙98井5323.31 m。
2. “马尾丝”状变形层理, 沙102井5646.25 m。
3. 液化砂岩脉穿切围岩时顶部围岩纹层随之发生向上弯曲, 顺1井4830.75 m。
4. 液化卷曲变形构造, 中1井4445.24 m。
5. 震塌岩(自碎角砾岩), 中1井4872.35 m。
6. 液化砂岩脉, 中1井4610.5 m。
7. 阶梯状微断层, 中1井4870.4 m。
8. 液化砂岩脉, 沙98井5316.50 m。
9. 微断层与砂岩脉共生, 中1井4967.2 m。