

文章编号: 1000-0550(2004)02-0281-07

济阳拗陷古近系震积岩特征

杨剑萍 王辉 陈世悦 袁静 鄢继华 赵卫卫

(石油大学(华东)地球资源与信息学院 山东东营 257061)

摘要 通过岩芯观察和描述,在济阳拗陷古近系沙河街组沙四段上部和沙三段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,包括小规模阶梯状正断层、层内小褶皱、扭曲变形、振动液化砂岩脉、微裂缝、震碎角砾岩、火焰构造等。各凹陷的北部陡坡带的沙三段震积岩较发育,沙四段上部次之。凹陷的不同位置,震积岩的序列有所不同,远离控盆边界断裂,震积岩序列的完整性变差,这反映出震积岩是由控盆边界断裂强烈活动引发的地震所产生的直接结果。震积岩在地层剖面中多次出现表明边界断裂的活动具有周期性和幕式特点。这一成果为陆相断陷湖盆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。

关键词 震积岩 软沉积变形构造 震积序列 识别标志 古近系 济阳拗陷

第一作者简介 杨剑萍 女 1965 年出生 副教授 在读博士 沉积学

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

具地震灾变事件纪录的岩层称为震积岩(seismites),它不是一种岩石名称,而是具有成因联系的一组岩石的总称。震积岩是灾变事件的典型代表,主要发育在裂谷、大陆边缘等构造活动地区^[1]。然而,在陆内断陷盆地的形成过程中,伴随着控盆边界断裂强烈的幕式构造运动而出现地震活动也是一种普遍的现象,吴贤涛等在研究四川峨嵋晚侏罗世湖泊沉积时,建立了一个碎屑岩的原地系统的地震液化序列^[2];M. A. Rodriguez 将西班牙东南部 Prebetic 地区湖相沉积物中的软沉积变形构造解释为震积岩,并探讨了利用不同的变形构造指示晚中新世地震活动强度的可能性^[3]。

目前,国内对震积岩的研究已经有了很大的进展,逐渐认识到震积岩以其自身独特的鉴别标志和震积序列有别于其它类型的沉积岩,而且在古地震灾变的识别、灾变事件的研究、灾变事件地层的划分、对比及古构造地理环境恢复上具有重要意义。近年来,地质学家也陆续在河流相、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,但在钻井取芯中发现地震作用所留下的“遗迹”的报道却极少。笔者在对济阳拗陷古近系地层及沉积相的研究过程中,通过岩芯观察和描述发现了大量的同沉积变形构造,认为具有震积岩特征,并且在盆地不同的构造部位震积岩的特征不同,显示出震积岩的发育与控盆边界断层的活动具有密切关系。

1 区域地质背景

济阳拗陷位于渤海湾盆地东南缘,郯庐断裂带西侧,是在晚白垩世末期开始的上地幔上隆所导致的伸

展裂陷作用的构造背景上发育起来的断陷盆地,包括东营凹陷、沾化凹陷、惠民凹陷和车镇凹陷等 4 个二级构造单元,各凹陷均具有北断南超、北陡南缓的半地堑盆地结构(图 1)。济阳拗陷古近系地层包括孔店组、沙河街组和东营组,沙河街组自下而上又分为沙四段、沙三段、沙二段和沙一段。其构造演化可分为三个阶段:孔店-沙四期伸展半地堑充填阶段(裂陷早期阶段):埕南断层、陈家庄断层等控盆边界断层强烈活动,导致东营凹陷、沾化凹陷、惠民凹陷和车镇凹陷强烈下陷,形成河、湖相碎屑岩充填。沙三期-沙二早期断块强烈活动阶段(裂陷中期阶段):伸展裂陷作用强烈,除埕南断层及陈家庄断层等持续活动,在各凹陷南部斜坡带发育盆倾断层,并且各凹陷出现多个沉降中心。沙二晚期-东营期断块活动复杂化阶段(断陷晚期阶段):伸展作用渐趋和缓,产生一系列规模较小的断层,受断层影响沉降中心多而且远离边界断层。由于新生断层的切入使断块活动更加复杂化,后期抬升遭受剥蚀。

2 震积岩的识别标志——软沉积变形构造

对震积岩的识别,至今尚未提出严格的标志,也没有标准术语来描述震积变形构造^[4]。根据 A. Seilacher, Lowe, Rodriguez M A 等,宋天锐,乔秀夫等的研究,地裂缝、层内错开、层内阶梯状断层、层内褶皱、假结核、液化砂岩脉、火焰构造及振动液化卷曲变形构造等是鉴别地史时期地震记录的主要标志^[4~11]。这些标志在济阳拗陷下第三系地层的岩心观察中均有发现。

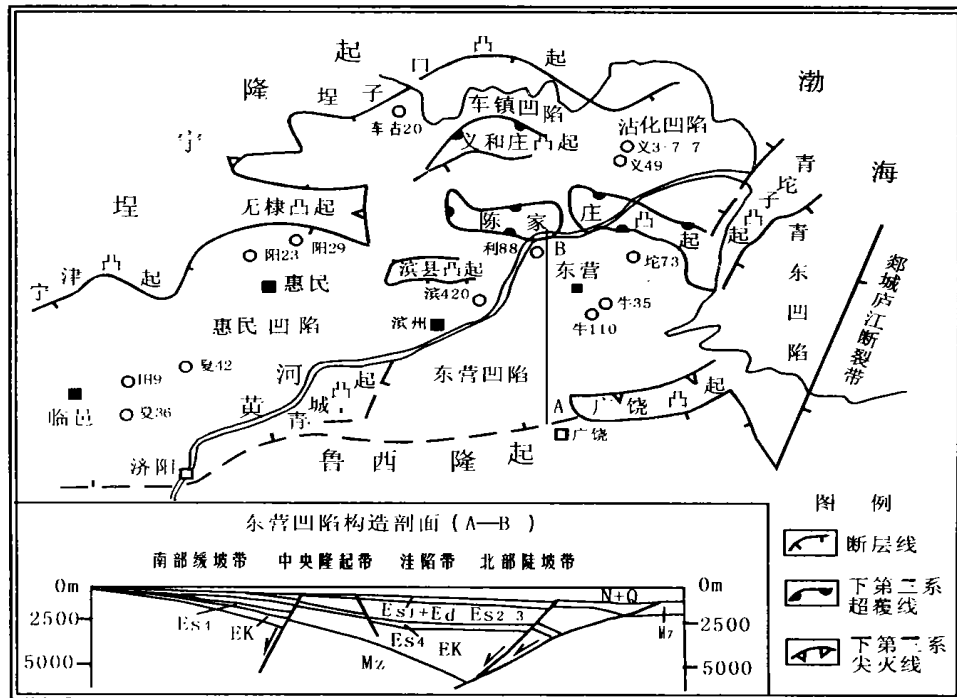


图1 济阳拗陷构造位置及古近系震积岩分布井位略图

Fig.1 The structural division and the wells of seismite in Jiyang sub-basin, Paleogene

2.1 微断层

微断层是地震振动液化过程中在层内形成的小规模阶梯状正断层。在研究区车古20、滨420、利88、滨648、义3-7-7、义49、阳23井、阳29井、田9井、商13-107井和商67井等井的沙四—沙三段地层中均有发现。断层规模小,延伸1~10cm,断层间距亦小,一般0.5~3cm,断距0.5~2cm,倾角较陡,剖面平行排列呈阶梯状,多限于层内发育(图版-1,2)。部分断层有砂质沉积物沿断层面充填。其成因为地震引起液化作用停止后,沉积物重新压实使体积变小,导致沉积物表面差异性下沉而形成的^[12]。

2.2 液化砂、泥岩脉

砂、泥岩脉是一种在砂泥岩互层沉积物中发育的砂、泥质岩脉或岩墙,呈不规则状延伸,并切穿围岩的水平层理,在牛110、牛35、车古20、夏36井、阳23井、阳29井等井沙三段岩心中大量发育。砂岩脉规模大小不等,一般0.2~3cm宽,长度1~几十cm。显微镜下可见有一些宽度小于1mm的细脉。砂岩脉呈现复杂的空间板状几何形态(图版-3,4),剖面形态呈不规则弯曲,中部膨大,向两端变细、尖灭,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。

一般情况下,未固结的软沉积物在遭受地震波影

响时,则发生液化作用。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,当全部应力转移至孔隙水后,超孔隙水压力等于饱和沙所承受的总应力,在完全水平的沙层中便产生了液化作用,沙与水浑然一体,产生了悬液,水与沙粒混合体在层内运动,形成泄水脉^[9,13]。

泥沙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(图版-4)

2.3 振动液化卷曲变形构造

振动液化卷曲变形构造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-5),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(图版-6),相当于乔秀夫等所称的震褶岩^[9]。褶皱轴面无规律可循,枢纽方向不定,附近岩层无明显变形而区别于重力流中的滑塌构造及构造顺层剪切褶曲。许多学者曾对其进行过描述,一致认为系地震产物,并在实验室成功地进行了模拟^[9]。振动液化卷曲变形构造在滨420、利993、营11-8、大65井、田9井和商13-107井均有发现。

2.4 震碎角砾岩

震碎角砾岩含义同 Spalletta 1984 提出的自碎角砾岩。是原地固结及半固结的岩层被震碎而成角砾岩,角砾棱角分明,顺层分布,相邻角砾有时可以完全拼接到一起,清楚地反映出沉积物的原始状态。研究区震碎角砾岩中角砾直径一般 0.5 ~ 5.0 cm,最大可达 7 cm (图版 -7)。

2.5 假结核

假结核多为泥质粉砂岩或粉砂岩碎块(图版 -8),大小 1 ~ 5 cm。岩块形态以棱角状和次棱角状为主,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未被液化。在平直的岩层内突然出现不协调的岩层块体称为震塌岩。边界整齐清晰。它们是液化作用停止后,沉积物体积收缩,地面下沉过程中产生的负载构造形成不协调岩块。

3 震积岩的平面分布及层位

3.1 震积岩的平面分布

济阳拗陷古近系被第四系全部覆盖,震积岩的识

别主要依据岩心观察描述获得。目前的观察结果表明震积岩在车镇凹陷北部陡坡带(车 57 井、车古 201 井、车古 20 井),沾化凹陷北部陡坡带(义 49 井)和渤南洼陷(义 140 井、义 3-7-7 井),东营凹陷北部陡坡带(滨 420 井、滨 648、利 88 井、利 85 井、利 561 井、坨 134 井、坨 73 井)和中央隆起带(牛 110 井、牛 35 井),惠民凹陷阳信北坡(阳 23 井、阳 29 井)和中央隆起带都有发育(商 67 井、商 13-107 井、临深 1 井、临 10-1 井、田 9 井、夏 42 井、夏 36 井,参见图 1)。绝大多数震积岩发育在各凹陷受控盆边界断层制约的北部陡坡带和中央断裂发育的隆起带附近,少数发育在洼陷地区,距离控盆边界断裂越近震积岩的标志越明显。

3.2 震积岩发育层位

震积岩发育的时代主要在沙四期至沙三期。从目前岩心观察结果来看,在 24 口井的岩芯中发现了震积岩,其中 4 口井的震积岩发育在沙四上段,占总数的 17%,17 口井的震积岩发育在沙三段,占总数的 71%,有 3 口井在沙四段和沙三段都有震积岩发育,占总数的 13%。可见,震积岩主要发育在沙三期,沙四晚期次之(表 1)。

表 1 济阳拗陷古近系震积岩层位、井位一览表

Table 1 The stratum location and wells of seismite in Jiyang sub-basin, Paleogene

井号	地层时代	深度/m	构造带位置	软沉积变形构造
阳 23 井	E _{s3}	2 528.10	惠民凹陷北部陡坡带	阶梯状小断层
阳 29 井	E _{s3}	2 388.69	惠民凹陷北部陡坡带	阶梯状小断层、水下岩脉
商 13-107 井	E _{s3}	2 438.45	惠民凹陷中央隆起带	阶梯状小断层、卷曲变形
临 10-1 井	E _{s3}	3 081.55	惠民凹陷中央隆起带	火焰构造
田 9 井	E _{s3}	2 873.05	惠民凹陷中央隆起带	阶梯状小断层、卷曲变形
夏 42 井	E _{s3}	3 124.00	惠民凹陷中央隆起带	水下岩脉
夏 36 井	E _{s3}	3 316.00	惠民凹陷中央隆起带	液化砂岩脉
车古 201 井	E _{s3}	2575.00	车镇凹陷北部陡坡带	滑塌变形
车古 20 井	E _{s3}	2 509.90 ~ 2 513.40	车镇凹陷北部陡坡带	阶梯状小断层、细砂岩充填断面
义 49 井	E _{s3}	2 997.00 ~ 2 999.00	沾化凹陷渤南洼陷	卷曲变形、阶梯状小断层
义 140 井	E _{s3}	2 819.38	沾化凹陷渤南洼陷	液化砂岩脉、阶梯状小断层
义 3-7-7 井	E _{s3}	3 582.40 ~ 3 582.80	沾化凹陷渤南洼陷	阶梯状小断层、卷曲变形
滨 648	E _{s3}	2 227.50 ~ 2 231.50	东营凹陷北部陡坡带	阶梯状小断层、液化砂岩脉
牛 110 井	E _{s3}	3 009.00 ~ 3 010.30	东营凹陷中央隆起带	液化砂岩脉
牛 35 井	E _{s3}	2 952.40	东营凹陷中央隆起带	卷曲变形、滑塌变形
利 993 井	E _{s3}	2 630.60	东营凹陷北部陡坡带	卷曲变形
营 11-8 井	E _{s3}	3 073.00	东营凹陷中央隆起带	卷曲变形、层内小褶皱
车 57 井	E _{s3} E _{s4}	3 650.0 ~ 3 658.5/4 218.0	车镇凹陷北部陡坡带	微裂缝、阶梯状小断层、振裂碎块
坨 73 井	E _{s3} E _{s4}	2 995.00 ~ 3 373.90	东营凹陷北部陡坡带	液化砂岩脉、阶梯状小断层
滨 420 井	E _{s3} E _{s4}	2 625.60 ~ 2 679.30	东营凹陷北部陡坡带	肠状构造、液化、阶梯状小断层、假结核、自碎角砾岩、液化砂、泥岩脉
坨 134 井	E _{s4}	2 350.80	东营凹陷北部陡坡带	阶梯状小断层
利 85 井	E _{s4}	2 672.20 ~ 2 681.50	东营凹陷北部陡坡带	阶梯状小断层、火焰构造
利 561 井	E _{s4}	2 056.60	东营凹陷北部陡坡带	阶梯状小断层
利 88 井	E _{s4}	2 986.70 ~ 3 097.30	东营凹陷北部陡坡带	卷曲变形、微裂缝、阶梯状小断层、火焰构造

根据统计结果,震积岩均发育在沙三期,沙四期次之,表明沙三期是控盆边界断裂强烈活动的时期,沙四晚期构造活动强度相对较弱。由此可以认为,震积岩大量发育的时期也就是济阳拗陷湖盆强烈扩张断陷的时期,震积岩在地层剖面中多次重复出现表明了边界断裂的活动具有周期性和幕式特点。

4 震积岩与边界断裂的关系

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。发生在湖泊盆地中的地震,则对盆地底部沉积物产生影响,形成各种震积变形构造。因此,可以通过震积岩研究恢复盆地的沉积和构造背景^[11]。

从目前观察到有震积岩发育的空间位置来看,发现有3种震积岩垂向序列,分别发育在盆地的北部陡坡带、洼陷带和中央隆起带,越靠近凹陷北部边缘,震积岩的层序越全,规模越大,特征越明显,远离北部边缘,震积特征逐渐减弱,这就表明该时期的地震活动与控盆边界断裂的活动密切相关。

4.1 北部陡坡带

发育在凹陷北部控盆边界断裂下降盘的车古20井、利561井、利85井、利88井、滨420井、滨648井、坨134井、坨73井的沙三—沙四段的震积岩以发育小型正断层为特征,并伴随有层内卷曲变形构造和火焰构造。小型正断层具有自下而上断距减小的规律,这种自下而上断距的减小反映了压实作用的梯度变化^[6],火焰构造也与沉积物压实形成的火焰构造不同,具有上下近于对称的变形样式,这是由于在振动液化过程中孔隙水不仅向上排泄,同时也向下排泄造成的。小型正断层和火焰构造反映了在同沉积作用过程中处于固结或半固结状态的沉积物受到剧烈振动而发生变形。现以车古20井为例讨论如下:

车古20井位于车镇凹陷北部陡坡带埕南断裂下降盘,震积岩发育在沙三段上部2509.31~2514.7m的水下扇沟道间亚相沉积物中。以阶梯状小断层发育为特征(图2)。该段共有10层小断层,总体表现为下部小断层密度大,向上逐渐变少。垂向序列由三段构成,下部为阶梯状小型正断层层段,一般厚3~10cm,中部发育或不发育振动液化卷曲变形构造和火焰构造层段,上部为振动液化均一层段,砂泥混合均匀,不显层理。

4.2 中央隆起带

发育在东营凹陷中央隆起带的牛110井、牛35井和营11-8井沙三段下部的震积岩,以发育强烈变形的

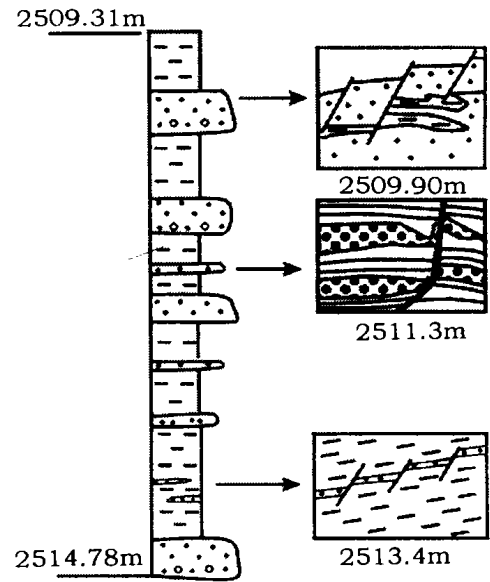


图2 车古20井沙三段上部震积岩垂向序列

Fig. 4 Seismite sequence of Well Chegu20 in the upper part of Shahejie Formation

振动液化砂岩脉和振动液化卷曲变形构造为特征,而不发育小型正断层。反映了该区受到地震作用的影响相对较弱,主要是未固结的沉积物受到振动后,砂质沉积物被液化,形成向上冒出的砂岩墙砂岩脉,且多层薄砂层相互联合,共同参与砂岩墙的建立,致使砂岩墙在空间上相互穿插,形态各异。

从牛110井来看,震积岩发育在沙三段下部3009.0~3010.3m处的三角洲前缘亚相沉积物中。主要以振动液化砂岩脉十分发育为特征,并出现多层液化砂岩脉与未动层交替发育的震积序列。强烈变形的液化砂岩脉规模较大,一般宽0.5~3cm,长3~10cm以上。砂岩脉呈现复杂的空间几何形态(图3),剖面形态呈不规则弯曲,中部膨大,向两端变细、尖灭,且分叉现象较普遍,平面上无统一走向。砂岩脉在切穿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。这种纹层变化形式与软沉积物在准同生阶段由于上覆沉积物重力作用形成的泄水液化砂岩脉显著不同,泄水液化砂岩脉中砂质点均向上运动,致使围岩纹层的变形样式都呈向上弯曲状态。

4.3 洼陷带

发育在凹陷内部的义49井和义3-7-7井沙三段中部的震积岩,以发育小型正断层及强烈同生变形构造为特征,并伴随有小规模的振动液化砂岩脉发育。虽然小型正断层的规模不如凹陷北部控盆边界断裂下降盘发育,液化砂岩脉不如中央隆起带发育,但各种变形的

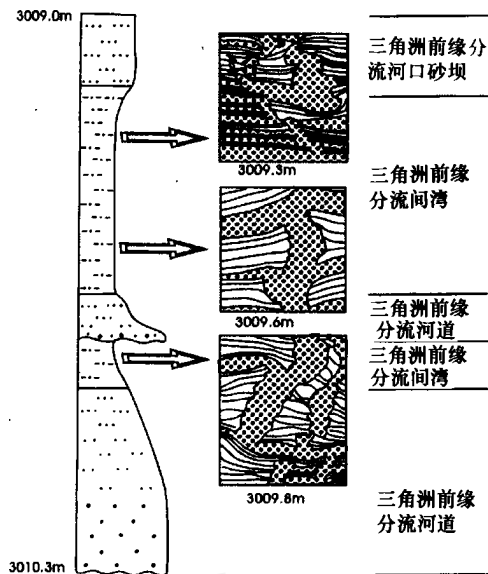


图 3 牛 110 井沙三段下部震积岩垂向序列
Fig. 3 Seismite sequence of Well Niu110 in the lower part of Shahejie Formation

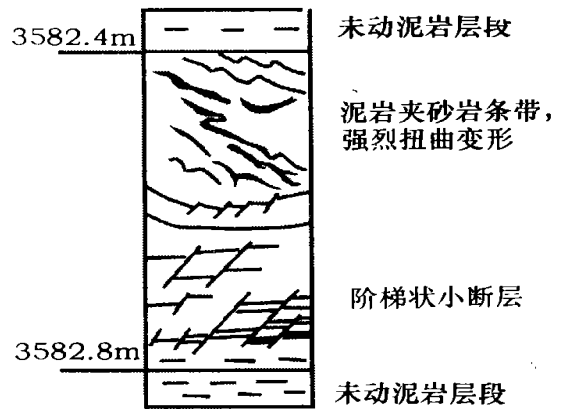


图 4 义 3-7-7 井沙三段中部震积岩垂向序列
Fig. 4 Seismite sequence of Well Yi3-7-7 in the middle part of Shahejie Formation

构造都有出现,表明该区受到振动作用的影响介于上述二者之间。

义 3-7-7 井位于沾化凹陷的次级构造单元渤南洼陷北部,震积岩发育在沙三段中部 3 581.4 ~ 3 582.8m 的半深湖—深湖相深灰色砂质泥岩中。震积序列由三段构成(图 4),下段为阶梯状正断层层段,小型正断层发育,小断层的影响范围一般 2 ~ 5 cm,断距 0.5 ~ 1 cm,断层间距 2 ~ 3 cm,且小断层规模下部较大,向上断距变小;中段为薄层细砂岩发生强烈扭曲变形层段,向上扭曲变形程度减弱;上段为振动液化形成的均一层段。

上述自凹陷北部陡坡带、洼陷带至中央隆起带软沉积变形构造及震积序列的变化规律反映了地震作用能量的逐渐衰减,三种震积序列代表了距离震中的距离越来越远的变形样式。推测震中可能出现在北部陡坡带附近,控盆边界断裂的强烈幕式活动是引起地震的直接原因。

5 结论

(1) 济阳拗陷古近系震积岩主要发育在沙三期,沙四期次之,表明沙三段沉积时期是控盆边界断裂强烈活动的时期,沙四段沉积晚期相对较弱。震积岩在地层剖面中多次重复出现表明了边界断裂的活动具有周期性和幕式特点。

(2) 济阳拗陷的不同部位震积岩序列不同,完整的

震积岩序列主要发育在北部陡坡带,远离控盆边界断裂带震积岩序列的完整性变差,表明震积岩是由于控盆边界断裂强烈活动引发的地震所产生的,据此可以根据地层中震积岩的发育程度来研究边界断层的活动强度。

参考文献(References)

- 1 杜远生,韩欣. 论震积作用和震积岩. 地球科学进展,2000,15(4): 389 ~ 394 [Du Yuansheng, Han Xin. Seismite-deposition and Seismites. *Advance in Earth Sciences*, 2000, 15(4): 389 ~ 394]
- 2 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. 沉积学报,1992,10(3): 19 ~ 24 [Wu Xiantao, Yin Guoxun. Discovery of seismite and its significance of the Late Jura lacustrine deposit in Emei, Sichuan province. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1992, 10(3): 19 ~ 24]
- 3 Rodriguez Pascua M A, Calvo J P, De Vicente D, Gomez - Gras D. 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*, 2000, 135(1 ~ 4): 117 ~ 135
- 4 Fairchild I J, Einsele G, Song T. Possible seismic origin of molar tooth structures in Neoproterozoic carbonate ramp deposits, north China. *Sedimentology*, 1997, 44(4): 611 ~ 630
- 5 Seilacher A. Fault-graded beds interpreted as seismites. *Sedimentology*, 1969, 13(1/2): 155 ~ 159
- 6 Seilacher A. Sedimentary structures tentatively attributed to seismic events. *Marine Geology*, 1984, 55(1): 1 ~ 12
- 7 Frank T D, Lyons T W. "Molar-tooth" structures, a geochemical perspective on a Proterozoic enigma. *Geology*, 1998, 26(8): 683 ~ 686
- 8 宋天锐,和政军,丁孝忠,等. 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,1988, 38(8): 609 ~ 611 [Song Tianrui, He Zhengjun, Ding Xiaozhong, et al. A study of geological event records in the Proterozoic Chuanlinggou Formation of Ming tombs District, Beijing. *Geological Review*, 2000, 46(4): 400 ~ 406]

- 9 乔秀夫,宋天锐,高林志,等. 碳酸盐岩振动液化地震序列. 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. *Acta Geologica Sinica*, 1994, 68(1):16~32]
- 10 乔秀夫,李海兵,高林志. 华北地震旦纪—早古生代地震节律. 地质前缘,1997,4(3~4):155~160 [Qiao Xiufu, Li Haibing, Gao Linzhi. Siniar-early paleozoic seismic rhythms on the north China platform. *Earth Science Frontiers*, 1997, 4(3~4):155~160]
- 11 乔秀夫. 中朝板块元古宙板内地震带与盆地格局. 地质前缘,2002,9(3):141~149 [Qiao Xiufu. Intraplate Seismic belt and basin framework of sino-korean plate in proterozoic. *Earth Science Frontiers*, 2002, 9(3):141~149]
- 12 乔秀夫,高林志,彭阳,等. 古郑芦带沧浪铺节地震事件、层序及构造意义. 中国科学(D辑),2001,31(11):910~918 [Qiao Xiufu, Gao Linzhi, Peng Yang, *et al.* Seismic event, sequence and tectonic significance in Canglangpu stage in paleo-tanlu fault zone. *Science in China (series D)*, 2001, 31(11):910~918]
- 13 周晓东,陈跃军. 吉南地区晚震旦世震积岩特征. 吉林地质,1998,17(9):24~29 [Zhou Xiaodong, Chen Yuejun. The lates sinian seismic depositional rock characteristics in the southern part of Jilin province. *Jilin Geology*, 1998, 17(9):24~29]

The Features of Seismite in Jiyang Sub-Basin, Paleogene

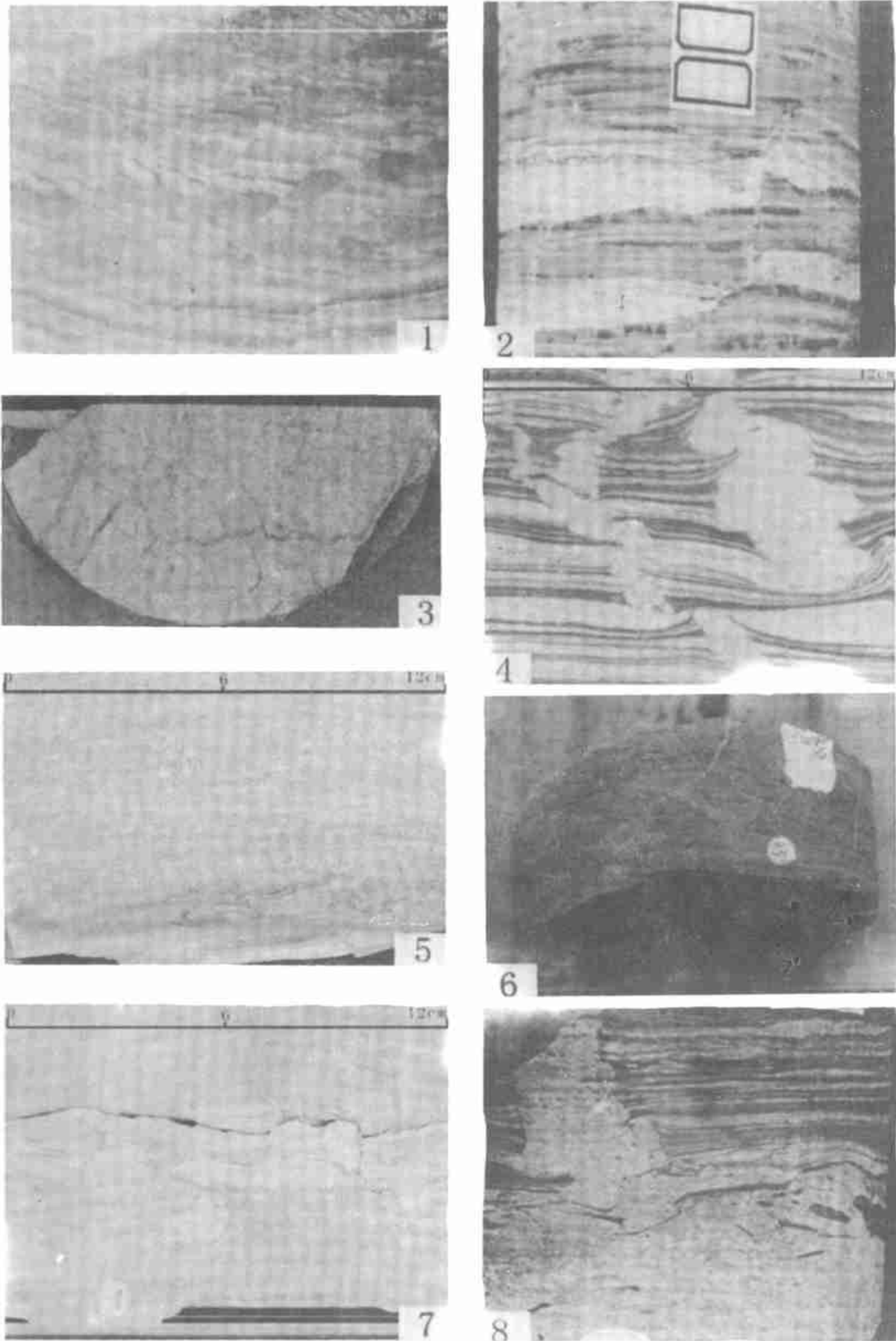
YANG Jian-ping WANG Hui CHEN Shi-yue

YUAN Jing YAN Ji-hua ZHAO Wei-wei

(University of Petroleum, Dongying Shandong 257061)

Abstract By the observation of drilling cores, the seismite is recognized which mainly occurred in the upper part of Member 4 and Member 3 of Shahejie Formation in the Lower Tertiary in Jiyang sub-basin. Many kinds of soft sedimentary deformation structures have been found in seismite, such as step micro-faults, pleated within layers, liquefaction sandstone and clay veins, vibrational liquefaction deformation structure, seismic breccias and flame structure. Seismites mainly occur in the northern steep zone of rift lacustrine basin. There develop more seismites in Member 3 than in the upper part of Member 4. Away from the basin-controlling boundary fault, the sedimentary sequence integrity of seismites gets worse. This reflects that seismites are the direct results of earthquake which caused by the intense action of basin-controlling boundary fault. The repeated emergence of seismites in strata section shows that the movement of boundary faults has periodicity and episodicity. The research provides theoretical foundation for the tectonic evolution studies and seismite recognition in continental rift lacustrine basin.

Key words seismite, soft sedimentary deformation structure, seismite sequence, distinguishing mark, Paleogene, Jiyang sub-basin



图版 说明(岩心直径 12 cm) 1. 微型阶梯状小断层(利 561 井, 2 665.6 m, 沙四段); 2. 小型正断层, 断层面有砂质充填(车古 20 井, 2 511.3 m, 沙三段); 3. 液化泥岩脉(滨 420 井, 2 633.66 m, 沙三段); 4. 液化砂岩脉(牛 110 井, 3 009.6 m, 沙三段); 5. 震动液化卷曲变形(肠状构造)(滨 420 井, 2 634.70 m, 沙三段); 6. 震动液化卷曲变形(滨 420 井, 2 665.10 m, 沙四段); 7. 自碎角砾岩(震塌岩)(滨 420 井, 2 678.95 m, 沙四段); 8. 假结核及液化砂岩脉(牛 110 井, 3 009.70 m, 沙三段)。