

文章编号: 1000-0550(2004)01-0041-06

# 山东惠民凹陷古近纪震积岩特征及其地质意义

袁 静

(石油大学(华东)地球资源与信息学院 山东东营 257061)

**摘 要** 震积岩是具有古地震事件记录的岩层,讨论了在山东惠民凹陷古近纪陆源碎屑断陷湖盆砂泥质沉积中发现地震灾变事件的典型变形构造,包括微同沉积断裂和震裂缝、卷曲变形构造、水下岩脉和泄水构造、震积枕状及伴生构造等。在此基础上,建立了该区古近系碎屑岩震积岩垂向序列:A段下伏未震层,B段微同沉积断裂层,C段微褶皱变形层,D段枕状构造及伴生构造层,E段液化均一层和F段上覆未震层。层序的完整性取决于剖面位置,地震震级,特别是发生地震处的岩性。根据震积岩的分布规律和沉积特征讨论了其地质意义:震积岩集中发育在凹陷边界断层和中央断裂带附近,代表凹陷边界断裂和中央断裂强烈活动时期,有助于断陷盆地构造演化的动力学解释;可能是一种潜在的油气储层。

**关键词** 震积岩 地质意义 古近纪 山东惠民凹陷

**作者简介** 袁静 女 1973年出生 副教授 博士 沉积学

**中图分类号** P512.2 P534.61 **文献标识码** A

地震是一种自然灾变现象,是地球内动力作用的表现,它主要是由断裂活动、火山爆发、崩塌陷落及其它一些诱发因素引起的地壳快速而剧烈的颤动。在地层中,具有古地震事件记录的岩层称为震积岩。对震积岩的研究始于1969年<sup>[1]</sup>。我国对震积岩的研究始于1988年<sup>[2]</sup>,十几年来许多地质学家对地层中的震积岩开展了卓有成效的研究,涉及了华北元古宙-古生代、西南三江地区古生代、四川三叠纪、云南中元古代、四川峨眉晚侏罗世等不同地区、不同时代、不同构造环境和不同岩性中的震积岩,取得了丰硕的成果<sup>[3-13]</sup>。总的来说,目前对震积岩的研究主要集中在古生代以前的海相碳酸盐岩地层,而对我国东部新生代断陷盆地古近纪碎屑岩地震系列,迄今未见相关报道,本文所报导的惠民凹陷震积岩,不仅填补了这方面的空白,还对盆地构造演化提供了动力学解释。

## 1 区域地质背景

惠民凹陷是渤海湾盆地济阳拗陷最大的一个次级凹陷,西与临清拗陷中的莘县凹陷相连,东与东营凹陷相通,南以齐河-广饶断裂与鲁西隆起相接,北以陵县-阳信断裂与埕宁隆起为邻。凹陷长轴大致呈NNE走向,面积约7000 km<sup>2</sup>。根据其构造特点及地层发育情况,本区又可进一步划分为临南、滋镇、阳信、里则镇和肖庄等次一级洼陷以及中央隆起带和南斜坡八个次级

构造单元(图1)。惠民凹陷新生代古近纪经历了济阳运动和东营运动两次扩张-萎缩的演化过程,具有北断南超盆地结构,以裂谷型湖盆沉积为特征,形成了下部的沙四段-沙二下旋回和上部的沙二上-东营组两个完整旋回,砂泥岩为主的沉积岩系总厚度达万米。

## 2 震积岩特征

惠民凹陷古近系的岩心中保留了许多与古地震事件有关的地质记录,总结起来有如下几种类型。

### 2.1 微同沉积断裂和震裂缝

微同沉积断裂在研究区中央隆起带和阳信洼陷北部沙三段均有发现。它是在沉积地层振动过程中形成的,以张性断裂为主,可单独发育,也可平行排列呈阶梯状,限于层内发育,具有此类微地震断裂的岩石与乔秀夫等<sup>[3]</sup>提出的震裂岩相当。微断裂之间的岩层常发生褶皱和揉皱现象,同时伴有砂泥质的重荷和火焰状构造,单条断层一般延伸1~10 cm,断层间距1~3 cm,断距0.5~3 cm,倾角多在25°~45°之间(图版1,2)。

在阳29井发现的震裂缝(图版-5上方)发育于泥岩的砂质夹层中,产状正交于层面,可贯穿夹层,但不穿越上下岩层。裂隙纵剖面宽2~6 mm,其中充填暗色泥质沉积物,部分已被溶蚀。这种裂缝是地震时沉积层振动、液化共同作用的结果。

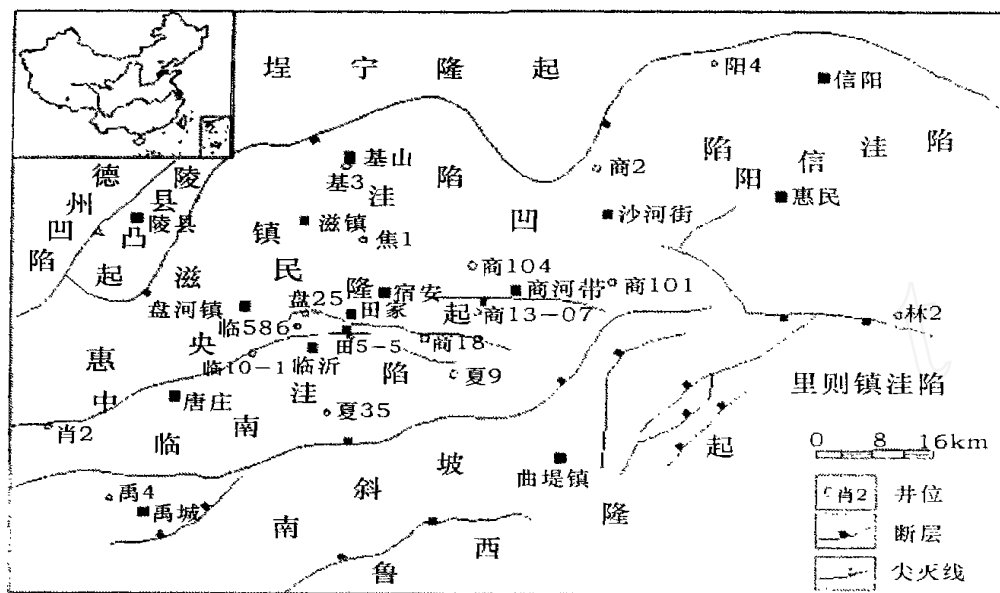


图1 惠民凹陷区域地质概况

Fig. 1 Regional geology of Huimin Sag

## 2.2 卷曲变形构造

卷曲变形构造是震积岩中十分普遍的构造变形现象,在惠民凹陷中央隆起带、夏口断裂带和阳信洼陷北部古近系均有发现(图版-6)。地震-断裂活动引起可塑性泥质或粉砂质沉积物液化,从而形成以卷曲、弯曲、扭曲为主的变形构造,可统称为包卷层理,或卷曲层理,通常与阶梯状微断层和下水岩脉伴生。卷曲变形构造形态多样,定向性差,尺度较小,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。具有卷曲变形构造的震积岩相当于乔秀夫等<sup>[3]</sup>所称的震褶岩。

## 2.3 水下岩脉和泄水构造

水下岩脉和泄水构造是由地震-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)<sup>[14-16]</sup>形态和成因相似。在夏36井、阳23井、阳29井、临10-1井沙三段岩心中见到的粉砂、细砂质水下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,导致泄水脉同时向岩层内上方及下方两个相反方向液化<sup>[17-18]</sup>,挤入泥质沉积物所形成的脉状体。脉体一般宽0.1~2 cm不等,长几厘米到几十厘米,多由粉砂和细砂颗粒组成,纯度较高,有时内部具暗色泥质丝絮状碎屑。脉体多呈不规则状延伸(图版-7),在纵切面上向上方或侧向时有分叉,呈丝絮状、飘带状等多种形态,顶端多消失在泥页岩中或与上部砂质层串通,底部与下伏砂质沉积物相连;在横切面上为弯曲脉状或网状;立体形态呈弯曲或分叉的板状体。与水下岩脉共生的泄水构造有泄水管、碟状

构造以及微褶皱纹理等。

## 2.4 震积砂枕构造及伴生构造

此类构造多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。砂块的大小从几毫米到几厘米不等,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、拖曳拉长状及其它各种变形形状,构成 Roep T. B.<sup>[19]</sup>所说的枕状层(pillow-beds),与杜远生等<sup>[20]</sup>所称的塑性角砾岩(属于自碎屑角砾岩<sup>[21]</sup>的一种特殊类型)、乔秀夫<sup>[3]</sup>震塌岩相当,而与 Rodriguez-Pascua M A等<sup>[22]</sup>的 pillow structures 以及乔秀夫的液化角砾岩<sup>[23]</sup>在成因上和形态上不同。按 Roep 的解释,地震振动作用造成的枕状层是指沉积物变形形成的不规则枕状、球状层。研究区发现的砂球、砂枕、塑性角砾岩通常在垂向上按个体大小分异,向上可过渡为均一液化层(图版-3,8),砂球内砂纹隐现,且总体平行于层面,以此与异地重力分异产物区别。由于不一致承压,围绕重荷模、砂球、砂枕的泥质沉积物强烈上拱或下陷构成火焰状构造。

## 3 地震记录在层序中的位置

根据对惠民凹陷阳23、阳29、商67、商13-107、临10-1、田9、田27、夏42、夏36等多口井岩心的观察结果,概括出该凹陷古近系地震记录垂向序列,由下向上包括以下单元。

A 段:下伏未震层

岩性为正常湖相沉积,岩层未经地震干扰。

B 段:微同沉积断裂层

该层主要构造类型包括微同沉积断裂和震裂缝,在砂质、灰质等脆性较大的沉积物含量较高的情况下较为发育,一般厚约 5~30cm,横向上断层密度可达 2~3 条/cm,常有微褶皱、重荷模及火焰状构造与之伴生,向下渐变为未震层。

C 段:微褶皱变形层

该段厚度不稳定,一般在 3~20cm,构造类型多样,形态复杂,包括卷曲变形构造、水下液化岩脉和泄水构造等,主要成因于地震过程中塑性沉积物的振动和液化作用。

D 段:砂枕及伴生构造层

该段相当于吴贤涛<sup>[11]</sup>的“碎块层”,层厚 0~30cm,碎块多为形态多变的砂块、砂枕或砂球,常在垂向上按个体大小分异,向上可过渡为液化均一层。

E 段:液化均一层

该层是细粒沉积物由晃动、振荡而稀释液化,性质趋于均一的结果,与 D 段连续过渡,多为粉砂质泥岩,结构均一,无层理或纹理等沉积构造,厚度一般在

0~10cm,向上突变为未受影响地震的正常砂泥质沉积。

F 段:上覆未震层

该段为地震结束后未受其影响的正常沉积岩层,与下伏液化均一层突变接触。

上述为惠民凹陷古近系碎屑岩较完整的震积岩垂向序列,从 B 段到 E 段反映了一次地震事件的地层记录,厚度一般不超过 1m。与其它事件沉积序列一样,很难在单一剖面上见到完整的震积岩垂向序列,这既与所观察剖面的位置有关,也与地震震级和地震发生处的岩性有关(图 2)。例如商 67 井 2 422.80~2 422.87m, C 段微褶皱变形层上方无砂质沉积,则不发育 D 段枕状构造及伴生构造层,而直接过渡到 E 段液化均一层(图版 -4)。

### 4 地质意义

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,发生在古断陷湖盆中的地震,一定与断裂活动有关,并对沉积作用和沉积物产生影响。因此,研究震积岩有助于恢复盆地的构造活动史、沉积充填作用和流体矿产成藏史。

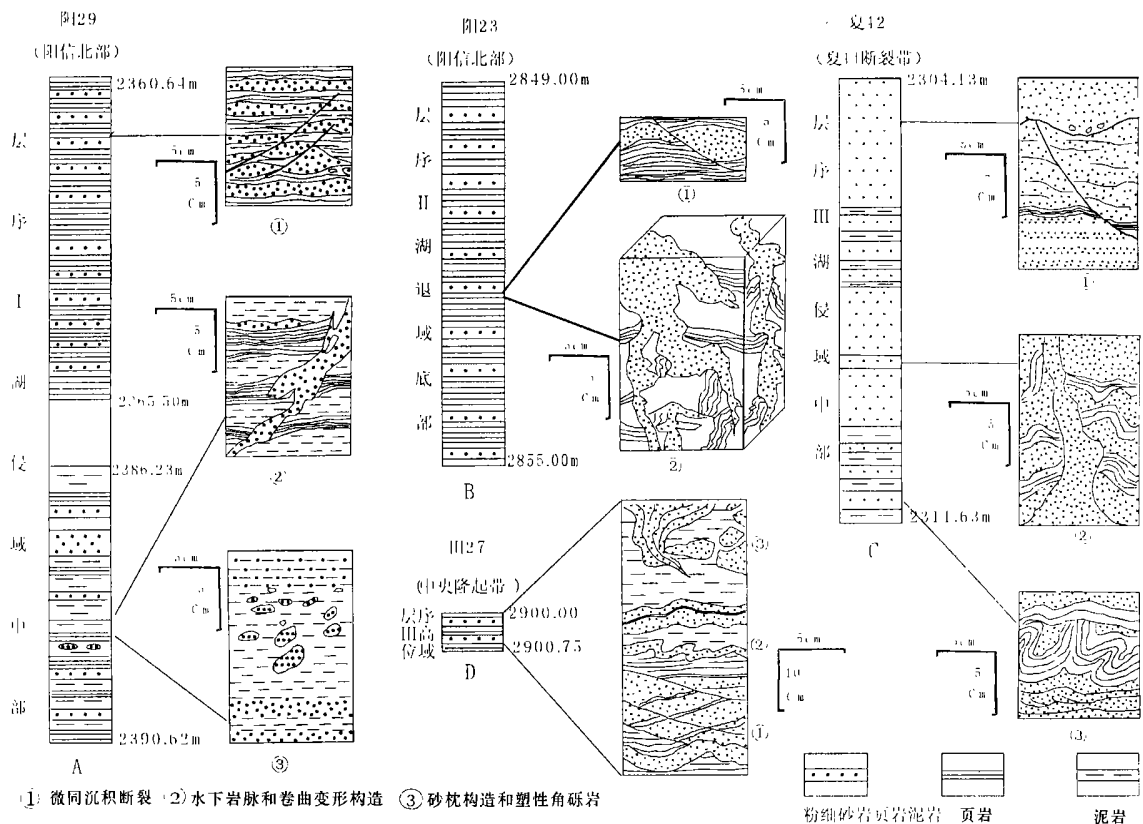


图 2 地震液化记录在层序中的分布

Fig. 2 Distribution of seismic liquefaction records in sequence stratigraphy

表1 惠民凹陷古近系震积岩发育特征

Table 1 The development property of seismites of Paleogene in Huimin sag

井号	井位	深度/m	层序	体系域	体系域位置	构造特征
阳23	阳信洼陷北部	2 517.55 - 2 517.65		湖退域	底	阶梯状微断层
		2 528.10 - 2 528.30		湖退域	底	阶梯状微断层、水下岩脉
		2 853.20 - 2 854.00		湖退域	底	水下岩脉、同沉积断层、卷曲变形构造
阳29	阳信洼陷北部	2 282.50 - 2 282.62		湖侵域	顶	震裂缝、卷曲变形构造
		2 361.85 - 2 361.95		湖侵域	中	阶梯状微断层
		2 388.69 - 2 388.97		湖侵域	中	岩脉、重荷、砂球
商67	中央隆起带	2 421.72 - 2 422.87		低位域	底	微断层、卷曲变形构造、液化均一层
商13-107	中央隆起带	2 438.25 - 2 438.50		低位域	底	阶梯状微断层、卷曲变形构造
田9	中央隆起带	2 873.00 - 2 873.10		高位域	中	阶梯状微断层、卷曲变形构造
田27	中央隆起带	2 900.00 - 2 900.75		高位域	底	微同沉积断层、卷曲变形层理、砂枕
临10-1	中央隆起带	3 081.55 - 3 081.65		湖侵域	底	泄水构造、卷曲变形层理
夏36	夏口断裂带	3 316.00 - 3 316.12		湖侵域	底	水下岩脉
夏42	夏口断裂带	2 306.82 - 2 306.92		湖侵域	中	泄水构造、卷曲变形构造

#### 4.1 震积岩集中发育在凹陷边界断层和中央断裂带附近

惠民凹陷古近系发育具有典型震积岩特征的取心井集中在阳信洼陷北部、夏口断裂带和中央隆起带,均位于凹陷控盆断层和中央断裂带附近(表1)。

#### 4.2 震积岩集中出现在凹陷边界断裂和中央断裂强烈活动时期

统计结果表明,惠民凹陷古近系震积岩均发育在沙三段到沙二段下部,即层序<sub>1</sub>~层序<sub>2</sub>(表1),从沉积学角度证明了这段地质时期正是惠民凹陷幕式构造运动最强烈的时期。

更确切地说,9口井、至少13次的震积岩中,61.5%发育在各体系域的底部,30.8%发生在体系域的中部,7.7%发生在体系域的顶部;16.4%发生在低位域,46.1%发生在湖侵域,38.5%发生在高位域或湖退域;46.1%发生在层序<sub>1</sub>,23%发育在层序<sub>2</sub>,30.9%发育在层序<sub>3</sub>。由此可见,震积岩大量发育的时期是惠民凹陷湖盆强烈断陷的时期,也是控盆断裂强烈活动的时期。

#### 4.3 震积岩可能是一种潜在的油气储层

尽管在油气勘探领域中古地震作用还未引起足够的重视。但从其特殊的构造背景来看,由于其处于深大断裂附近,是油气有利的运移方向,如果能和岩性、成岩作用、孔隙演化相匹配,应具有一定的石油地质意义,是一类值得重视的潜在油气储层。

## 5 结束语

山东惠民凹陷古近纪陆源碎屑断陷湖盆砂泥质沉积中发现的地震成因的变形构造包括微同沉积断裂和震裂缝、卷曲变形构造、水下岩脉和泄水构造、震积枕状构造及伴生构造等。该区古近系碎屑岩震积岩垂向

序列自下而上为:A段下伏未震层,B段微同沉积断裂层,C段微褶皱变形层,D段枕状及伴生构造层,E段液化均一层和F段上覆未震层。其完整性与剖面位置,地震震级,特别是发生地震处的岩性有关。

震积岩集中发育在凹陷边界断层和中央断裂带附近,代表凹陷边界断裂和中央断裂强烈活动时期,有助于断陷盆地的构造演化解释;由于其处于深大断裂附近,是油气有利的运移方向,震积岩可能是一种潜在的油气储层。

#### 参考文献(References)

- Seilacher A. Fault - graded bed interpreted as seismites. *Sedimentology*, 1969, 13(1~2): 155~159
- 宋天锐. 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. A possible suit of seismic-tsunami sequence in Precambrian carbonate rock stratum in Shisanling in Beijing. *Chinese Science Bulletin*, 1988, 38(8): 609~611]
- 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): 16~34]
- 乔秀夫, 李海兵, 高林志. 华北地震震旦纪-早古生代地震节律. *地球科学前沿*, 1997, 4(3~4): 155~160 [Qiao Xiufu, Li Haibing, Gao Linzhi. Sinian - early Paleozoic seismic rhythms on the north China platform. *Earth Science Frontiers*, 1997, 4(3~4): 155~160]
- 乔秀夫, 高林志. 华北中新元古代及早中生代地震灾变事件及与Rodinia的关系. *科学通报*, 1999, 44(16): 1753~1758 [Qiao Xiufu, Gao Linzhi. Earthquake events in Neoproterozoic and early Paleozoic and its relationship with supercontinental Rodinia in North China. *Chinese Science Bulletin*, 1999, 44(16): 1753~1758]
- 乔秀夫. 中国震积岩的研究与展望. *地质论评*, 1996, 42(4): 317~320 [Qiao Xiufu. Study of seismites of China and its prospects. *Geological Review*, 1996, 42(4): 317~320]
- 梁定益, 聂泽同, 万晓樵. 试论震积岩及震积不整合——以川西、滇

- 西地区为例. 现代地质, 1991, 5(2): 138 ~ 147 [Liang Dingyi, Nie Zetong, Wang Xiaoqiao. On the seismites and seismodiconformity - take the W. Sichuan and W. Yunnan regions as an example. Geoscience, 1991, 5(2): 138 ~ 147]
- 8 梁定益, 聂泽同, 宋志敏. 再论震积岩及震积不整合 - 以川西、滇西地区为例. 地球科学, 1994, 19(6): 845 ~ 850 [Liang Dingyi, Nie Zetong, Song Zhimin. A restudy on seismites and seismo-unconformity: Taking western Sichuan and western Yunnan as an example. Earth Science, 1994, 19(6): 845 ~ 850]
- 9 孙晓涛, 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. 现代地质, 1995, 9(3): 1 ~ 27 [Sun Xiaomeng, Liang Dingyi, Nie Zetong. Seismite sequence in continental margin - Taking seismite in middle region of Jinsha river as an example. Geoscience, 1995, 9(3): 1 ~ 27]
- 10 杜远生, 张传恒, 韩欣. 滇西地区中元古代大龙口组震积岩的新发现. 沉积学报, 1999, 24(增刊): 28 ~ 37 [Du Yuansheng, Zhang Chuanheng, Han Xin. New discovery of seismites in Dalongkou group in Mid-Proterozoic in Dianxi. Acta Sedimentologica Sinica, 1996, 14(Suppl.): 28 ~ 37]
- 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. 沉积学报, 1992, 10(3): 19 ~ 24 [Wu Xiantao, Yin Guoxun. Discovery and significance of seismites of lake deposition of late Jurassic in Ermei in Sichuan. Acta Sedimentologica Sinica, 1992, 10(3): 19 ~ 24]
- 12 南凌, 崔之久. 地震混杂岩(震积岩)的沉积特征和识别. 地震地质译丛, 1996, 18(6): 1 ~ 9 [Nan Ling, Cui Zhijiu. Sedimentary characteristics and recognition of seismites. Seismology and Geology Versions, 1996, 18(6): 1 ~ 9]
- 13 杜远生, 韩欣. 论震积作用和震积岩. 地球科学进展, 2000, (4): 389 ~ 394 [Du Yuansheng, Han Xin. Seismo-deposition and seismites. Advance in Earth Sciences, 2000, (4): 389 ~ 394]
- 14 Bauerman H. Report on the geology of the country near the forty-ninth parallel of north latitude west of the Rocky Mountains. Geological Survey of Canada Report(1882 - 83 - 84 .pt. B), 1985. 1 ~ 42
- 15 Ian J Fairchild, Gerhard Einsele, Tianrui Song. Possible seismic origin of molar tooth structures in Neoproterozoic carbonate ramp deposits, north China. Sedimentology, 1997, 44: 611 ~ 636
- 16 Rossetti D F, Goes A M. Deciphering the sedimentological imprint of paleoseismic events: an example from the Aptian Codo formation, northern Brazil. Sedimentary Geology, 2000, 135: 137 ~ 156
- 17 乔秀夫, 高林志, 彭阳, 等. 古郯庐带沧浪铺阶地震事件、层序及构造意义. 中国科学(D 辑), 2001, 31(11): 911 ~ 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): 911 ~ 918]
- 18 Brain R, Pratt. Oceanography, bathymetry and syndepositional tectonics of a Precambrian intracratonic basin: integrating sediments, storms, earthquakes and tsunamis in the belt supergroup Helena formation, ca. 1.45 Ga, western north America. Sedimentary Geology, 2001, 141 ~ 142: 371 ~ 394
- 19 Roep T B, Events A J. Pillow-beds: a new type of seismites? An example from an Oligocene turbidite fan complex, Alicante. Sedimentology, 1992, 39: 711 ~ 724
- 20 杜远生, 张传恒, 韩欣. 滇西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), 2001, 31(4): 284 ~ 290 [Du Yuansheng, Zhang Chuanheng, Han Xin. Earthquake events deposition and geologic significance of Kunyang group in Mid-Proterozoic in Dianxi. Science in China(Series D), 2001, 31(4): 284 ~ 290]
- 21 Spallotta C, Vail G B. Upper Devonian intraclast paragneiss interpreted as seismites. Marine Geology, 1984, 55(1 ~ 2): 133 ~ 144
- 22 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. Sedimentary Geology, 2000, 135: 117 ~ 135
- 23 乔秀夫. 中朝板块元古宙板内地震带与盆地格局. 地学前缘, 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]

## The Property and Geological Significance of Seismites of Paleogene in Huimin Sag, Shandong Province

YUAN Jing

( College of Earth Resource and Information, University of Petroleum, Dongying Shandong 257061 )

**Abstract** This paper discussed the sedimentary property, vertical sequence and geological significance of seismites of Paleogene in Huimin sag, Shandong Province. Seismite is a kind of catastrophic event rock, being the terrane with ancient earthquake records. Huimin sag was a fault lake in Paleogene in Bohaiwan basin. The sandstones and mudstones were the main sedimentary rocks with in the sag. Many typical deformation structures were caused by widespread earthquake in the sag. They were syn-sedimentary microfractures (including fault-graded), seismic fissure bed, sandstone vein, water-escape structure, "pillow structure", ball structure, convolute lamination, load structure and flame structure, etc. The vertical sequence of seismite of petroclastic rock in Paleogene in Huimin

sag, from bottom to top, included 6 units: underlying unshocked layer, fissure layer, microfold layer, pillow structure and partner structure layer, liquefied homogeneous layer and overlying unshocked layer. The completeness of the vertical sequence depends on the location of section, seismic level, especially the lithology. It is of important geological significance to study seismite. Most seismites in Paleogene in Huimin sag developed near the peripheral faults and central fault zone of the sag. The mass appearance of seismites reflected the intensively active period of basin - controlling boundary faults, and can be used to interpret the tectonic evolvement of fault basin. The seismites in fault basin can be likely reservoir for their special tectonic location and structures.

**Key word** seismite, sedimentary property, geological significance, Paleogene, Huimin sag

