

文章编号: 1000-0550(2006)04-0488-08

山东惠民凹陷古近系基山砂体地震作用成因新论^①

杨剑萍 查明 牟雪梅 王辉

(中国石油大学(华东)地球资源与信息学院 山东东营 257061)

摘要 通过岩心观察和成像测井资料分析,对惠民凹陷中央隆起带古近系基山砂体成因进行了研究,笔者首次提出惠民凹陷中央隆起带基山砂体沉积动力学机制为地震作用而非洪水沉积。基山砂体主要由原地地震积岩(原地地震扰动层)、“似海啸岩”(准原地)、及震浊积岩(异地)组成,在此基础上,建立了相应的地震沉积序列和震积作用模式。地震扰动层对识别基山砂体的地震成因十分关键,震浊积岩构成基山砂体的主体,两者之间为一规模不等的震积不整合面。研究结果表明,基山砂体与超浅成侵入岩共生,地震是由深部岩浆的上拱引起,中央隆起带地震事件与岩浆侵入事件具有同时间和同空间性。

关键词 震积岩 岩浆活动 震积不整合 基山砂体 山东惠民凹陷

第一作者简介 杨剑萍 女 1965年出生 博士 副教授 沉积学

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

震积岩(seismites)是地层中具有古地震事件记录的岩石^[1],我国对震积岩的研究始自1988年^[2],十几年来,对地震事件沉积所形成的震积岩的研究主要集中于中、上元古界和下寒武统。许多地质学家对地层中地震—海啸序列、碳酸盐岩振动液化地震序列、震积岩与震积不整合序列等方面开展了卓有成效的研究,涉及了华北元古宙—古生代、云南中元古代、西南三江地区古生代、四川三叠纪等不同地区、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^[2~8]。

目前,对沉积盖层,特别是新生界震积岩的研究较少,相对而言较为薄弱,陆相断陷湖盆古近系震积岩的文献记录更少。原因之一,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。原因之二,因钻井取心成本高,取心井数量有限,发现震积岩机会较少,通过观察描述油气勘探开发过程中的钻井取心来研究震积岩是一个崭新的领域。

1 研究区概况

惠民凹陷位于渤海湾盆地济阳拗陷西部,是济阳拗陷内部最大的次级凹陷,凹陷内部按构造特征分为滋镇洼陷、中央隆起带、临邑洼陷、南部斜坡等次级构造带(图1),同渤海湾盆地其他凹陷一样具有两洼一隆一斜坡的构造格局。中央隆起带是该地区主力油气分布区。

基山砂体的主体位于惠民凹陷中央隆起带中部临邑和商河之间的宿安地区,北起滋镇洼陷基1井附近,经中央隆起带向南延伸至临南洼陷北坡(图1)。形成于沙河街组三段沉积的中后期,面积约400 km²,最大砂砾岩累计厚度可达400 m以上。

基山砂体厚度大,面积广,作为重要的油气储集体的地位是毋庸置疑的,许多学者^[9~13]投入了大量精力予以研究,相应地提出基山砂体为三角洲、扇三角洲、湖底扇等许多观点和认识,但是,长期处于争论和困惑的沉积动力问题始终未能得到解决。

通过本次最新的研究,笔者首次提出基山砂体沉积动力学机制为地震作用,本文将重点阐述基山砂体地震成因识别标志、原地地震扰动层的震积序列、震积不整合面特征及地震作用与岩浆活动的关系。

2 基山砂体地震成因的识别标志

惠民凹陷基山砂体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。

原地地震积岩是地震过程中沉积物振动形成的各种震积构造的岩石(原地相)。构造标志主要有震裂缝(图版I-9)、阶梯状断层(图版I-4)、微断层(图版I-8)等;沉积与成岩标志主要有砂岩脉(图版I-1)、泥质脉、枕状构造(图版I-3、7)、震积砂球(图版I-2)、包卷层理、泄水构造等;岩石类型标志主要有震裂岩(图版I-9)、震褶岩(图版I-6)、自碎屑角

①国家“十五”重大科技攻关项目(编号:2001BA605A09)资助。
收稿日期:2005-10-20;收修改稿日期:2006-01-13

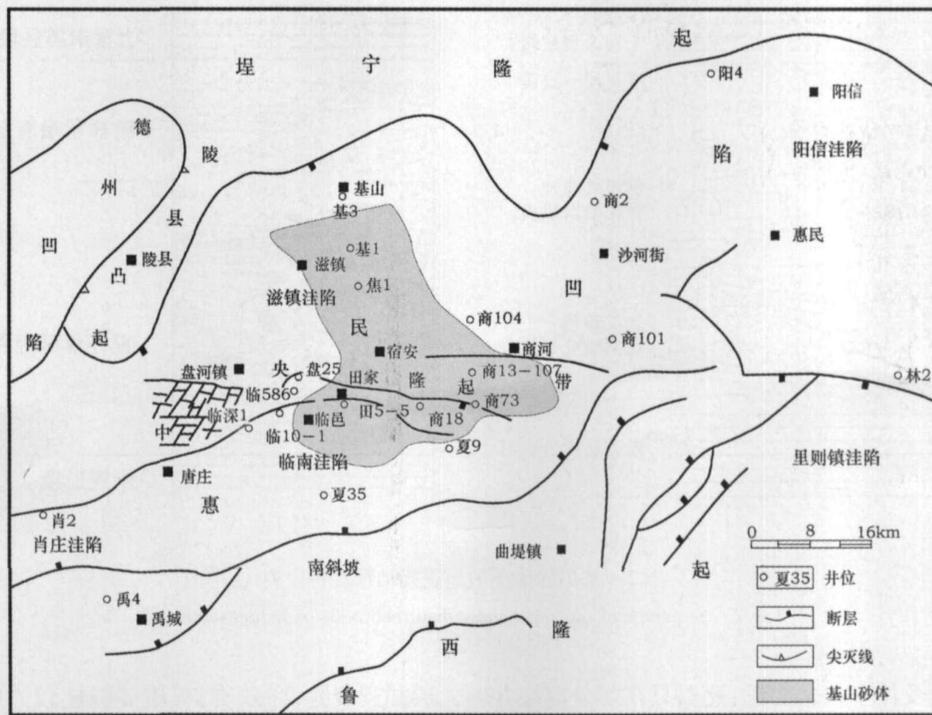


图 1 基山砂体区域位置图

Fig 1 Regional location of Jishan sandbody in Huimin depression

砾岩等(图版 I -5)。

震浊积岩是地震引发的重力流沉积(异地相),包括碎屑流和浊流沉积。严格地讲,地震引发的重力流与其它因素引发的重力流沉积从沉积物本身不易区分,地震引发的重力流与其它非地震引发的重力流具有类似的沉积与堆积过程,具有典型的重力流沉积构造。本区主要见滑塌变形构造、块状层理、递变层理、鲍马序列等,但是基山砂体与非地震引发的重力流沉积的最大区别是与原地地震扰动层伴生,最典型的是在原地扰动层和震浊积岩之间发现震积不整合面(图版 II -1),不整合面之上见到典型的滑塌变形构造(图版 II -1,2),岩石颗粒破碎明显(图版 II -8)。

在陆相断陷湖盆地地震可引发涌浪,形成类似于海啸岩的沉积类型,本文称“似海啸岩”。基山砂体中的“似海啸岩”与地震扰动层伴生,且位于原地地震扰动层之上,沉积构造主要包括无序分布的塑性泥砾(图版 II -3)、层间褶曲、包卷层理(图版 II -4)、丘状交错层理(图版 II -5)、平行层理、粒序层理、强烈冲刷一侵蚀构造、截切面(图版 II -7)、波痕等(图版 II -6)。

本区原地地震扰动层的确定对判断基山砂体的成因至关重要,原地地震扰动层中至少应具有自碎屑

角砾岩这一特征明显,易与保存,岩心易于识别的原地相单元。基山砂体中过去被描述为“角砾岩”或“具角砾构造”的岩石,据作者观察,大部分是自碎屑角砾岩。

3 基山砂体原地地震扰动层震积序列特征

地震扰动序列是地壳表层(松软沉积层和固结的岩层)受地震震动、破坏与改造,自下而上变形状况。通过对中央隆起带基山砂体大量岩心观察,概括出基山砂体两种地震扰动垂向序列(图 2A、B),序列 A 代表了本区常见的未固结的富含孔隙水的软沉积物的地震液化序列,自下而上包括以下单元。

下伏未震层段:岩性为正常较深湖相泥质沉积,岩层未经地震干扰。

软沉积物微褶皱变形层段:软沉积变形段厚度不稳定,一般在 5~20 cm,构造类型多样,形成各种复杂的褶皱;轴面与枢纽不具定向性,易与构造变形区别。地震液化变形主要见于固结前的砂岩、粉砂岩中,包括各种变形层理、模糊层理、球枕构造、重荷模、火焰等构造以及砂岩墙、砂岩脉等。主要应归因于地震过程中塑性沉积物的振动和液化作用。

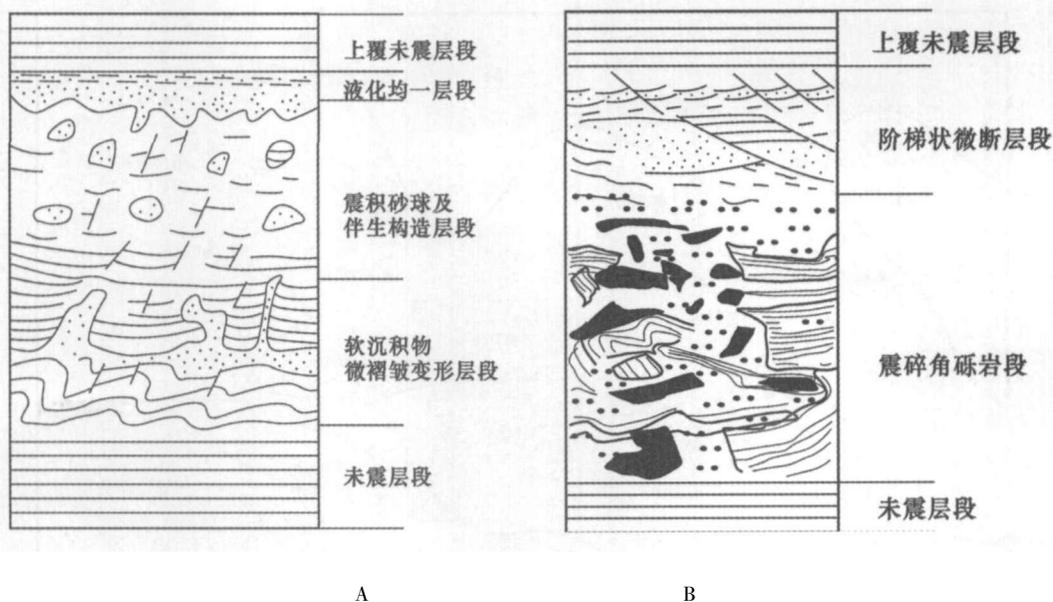


图 2 基山砂体原地地震扰动层震积序列

Fig 2 Sequence of the seismically disturbed beds of Jishan sandbody

震积砂枕及伴生构造层段: 此段只在部分取心井出现, 厚度 0~20 cm, 相当于吴贤涛^[15]的“碎块层”, 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, 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未被液化, 向上可过渡为液化均一层。

液化均一层段: 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 0~10 cm, 向上突变为未受地震影响的正常湖相沉积。有些学者^[14, 15]十分重视“均一层”的意义, “均一层”也是地震液化变形的一种形式。

上覆未震层段: 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。自下而上反映了一次地震事件的地层记录, 厚度一般不超过 1 m。

序列 B 代表半固结或固结的沉积物的震积序列。序列的顶和底是未震层段, 中间自下而上为脆性变形的震碎角砾岩段和微同沉积断层段。

脆性变形的震碎角砾岩段: 有的学者将震碎角砾岩也称之为自碎屑角砾岩 (Autoclastic breccia)^[14], 强调它的原地性, 震碎角砾棱角分明, 一般不经位移和磨损, 相邻角砾有时可完全拼接到一起, 此段在靠近震中的位置较发育。

微同沉积断层段: 主要构造类型包括微同沉积断

层和震裂缝, 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 10~30 cm, 横向上断层密度可达 2~3 条/cm, 断层落差自下而上逐渐减小, 其特征是上部小断层密集, 向下变疏并逐渐消失。

与其它事件沉积序列一样, 很难在单一剖面上见到完整的原地震积岩垂向序列, 这与所观察剖面距震中的距离、地震扰动层发育程度、地震强度、岩石抗震性能有关。同一期地震扰动层也并不是处处相同, 因震浊积岩的滑移、刨蚀, 地震扰动层常部分缺失或全部缺失, 基山砂体商 847 井沙三段取心段下部未震层上部直接过渡到震浊积岩。

4 震积不整合面特征

4.1 震积不整合面特征

震积岩一般由两个不同特征的岩层组成, 一是原地相的地震扰动层, 是早期的沉积层 (固结或未固结) 因受地震的影响、破坏和改造, 形成岩层松动, 裂缝、微断层、微褶皱和层理严重变形等。另一层是接踵滑移而来的震积层, 本文称震浊积岩。能量巨大的地震形成的震浊积岩, 往往包含大量不同岩性的、粒径悬殊的异地相成分。上述两层之间为一规模不同的滑移面而分割, 这一滑移面即具有识别标志性、瞬时形成于水下的“震积不整合面”^[16, 17]。

上覆的滑来震浊积岩是震积岩的主体, 下伏的地震扰动层对识别震积岩十分重要, 地震扰动层和震浊

积岩是不可分割的组成部分。它们之间的关系如下所示:

震积岩 { 异地相—滑来震积层 (震巨浊积、震浊积、震滑体)
 ~~~~~~震积不整合面 ~~~~~~  
 原地相—地震扰动层 (岩层松动、裂缝发育、褶皱、震碎角砾)

震积不整合面与正常的不整合面是不同的。震积不整合面不是由于下伏地层抬升露出水面,遭受风化剥蚀,使沉积过程长期中断所形成,而是突然地发生于沉积盆地和水体之下,早先的沉积层并未抬升露出地表,沉积过程也是连续的,但由于震浊积岩的“刨蚀”作用,可以造成其下伏地震扰动层甚至更多地层的消失,这种不整合与层序地层学强调的海(湖)平面升降造成的不整合概念有本质区别<sup>[16,17]</sup>。

### 4.2 基山砂体震积不整合面特征与识别

基山砂体商 550、田 27、商 847 等多口取心井中均识别出地震扰动层和震浊积岩之间的震积不整合面,如商 847 井 2 841.0 m (图 3) 岩心中下部粉砂和泥质互层,可见微阶梯状断层、震积重荷模构造,为典型的原地地震扰动层,向上为一凹凸不平的震积不整合面,震积不整合面之上可见滑塌变形构造,具有震浊积岩特征 (图版 II -1)。

在基山砂体中,上覆的震浊积岩构成基山震积岩的主体,但下伏的地震扰动层对区别震浊积岩和非震浊积岩十分重要,因此,岩心观察中更应侧重对地震扰动层的识别<sup>[18]</sup>。

### 5 基山砂体沉积背景分析

基山砂体在惠民凹陷中央隆起带沙三段中上部大规模发育,此时正是断陷高峰期,惠民凹陷处于深陷期,湖盆水体范围广,深度大。由于临邑大断层剧烈活动的影响,临南洼陷快速沉降,使惠民凹陷的沉

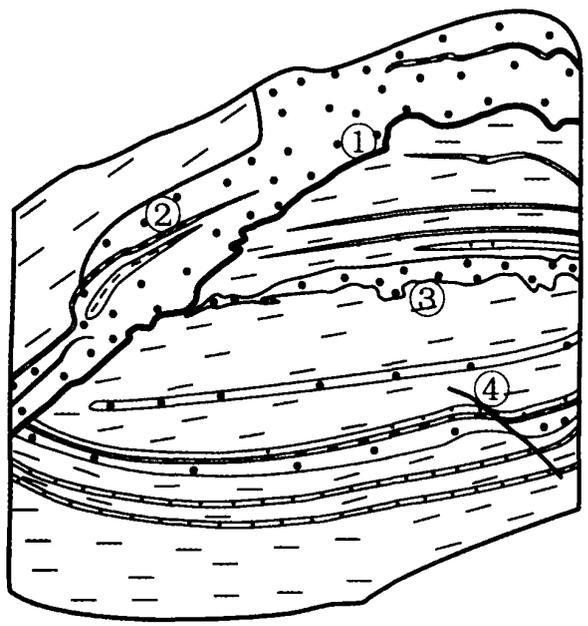


图 3 基山砂体商 847 井震积不整合面特征

①震积不整合面;②滑塌变形构造;③震积重荷构造;④地震成因小断层

Fig 3 The feature of the seismodisconformity plane of well Shang847 in Jishan sandbody

积、沉降中心向南转移。中央隆起带进一步隆升,盘河地区和商河地区基底强烈抬升,在中部宿安一带形成一个近南北向的继承性发育的沟槽,使滋镇洼陷与临南洼陷得以沟通,同时由于北部基山断层的断裂活动强度降低,滋镇洼陷相对于南部临南洼陷抬升,由洼陷变为斜坡。因此,北部三角洲前缘砂体在地震作用影响下被改造,形成原地地震扰动层,同时地震作用引发涌浪和浊流,形成“似海啸岩”和地震浊积岩,最终在地震作用下,北部三角洲砂体沿宿安“沟槽”越过中央隆起带一直延伸到临南洼陷北坡,形成原地震积岩—“似海啸岩”—震浊积岩组合 (图 4)。

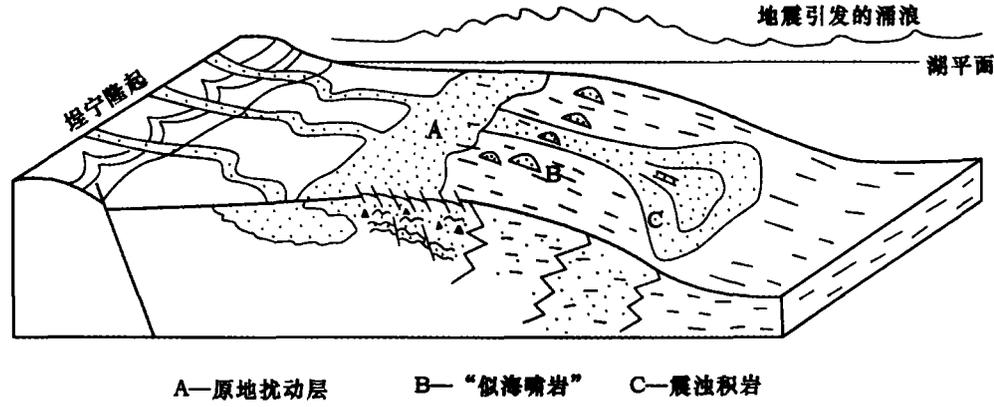


图 4 惠民凹陷基山砂体震积作用模式图

## 6 惠民凹陷中央隆起带地震事件与岩浆侵入事件的关系

### 6.1 岩浆侵入事件与地震事件的同空间性

沙三段沉积时期,惠民凹陷中央隆起带岩浆活动强烈而频繁,该时期超浅成侵入岩分布广、厚度大,惠民凹陷基山砂体分布区也是火成岩主要分布区。地震遗迹和岩浆活动都记录在基山砂体分布区,从宏观上讲中央隆起带岩浆侵入事件与地震事件具有同空间性,并推测基山砂体沉积时期地震事件的震中应位于基山砂体主体部位的商河地区。

### 6.2 岩浆侵入事件与地震事件的同时间性

对基山砂体分布区火成岩利用  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  快中子活化法进行测年,沙三段中部火成岩的  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  年龄为  $48.4 \pm 1.2 \text{ Ma}$  (该结果由中国科学院地质研究所  $\text{Ar}-\text{Ar}$  定年实验室分析)<sup>[19]</sup>,即超浅成侵入岩形成时期正是基山砂体形成时期,说明中央隆起带岩浆侵入作用与地震事件具有同时间性。

钻入基山砂体的部分井资料表明,有地震活动记录的层位与基性岩浆侵入的层位是相间出现的,这一现象意味着,在构造作用下深部岩浆的上隆,使断裂进一步扩展,从而引发地震,而地震活动又可促进岩浆不断向上侵位。岩浆上侵过程是漫长的,有时会受到后续的地震作用影响,在该区岩浆岩中发现大量的构造裂缝<sup>[19]</sup>,表明岩浆在上侵过程中曾受到构造应力作用。刘武英等<sup>[20]</sup>认为,1976年唐山大地震就是由岩浆垂直上拱过程引发的。

## 7 结论

山东惠民凹陷中央隆起带基山砂体沉积动力学机制为地震作用。基山砂体主要由原地震积岩(原地地震扰动层)、“似海啸岩”(准原地)、及震浊积岩(异地)组成。

惠民凹陷中央隆起带沙三段上部沉积时期地震事件与岩浆侵入事件有直接关系,地震是由深部岩浆的上拱引起,中央隆起带地震事件与岩浆侵入事件具有同时间和同空间性,沙三段沉积时期是惠民凹陷幕式构造运动较强烈的时期。

### 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 Tianru. 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,高林志. 华北中新生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,高林志,彭阳,等. 古郑庐带沧浪铺地地震事件、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 ]
- 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 ]
- 郭力宇,干枝茂,张国伟,等. 陕西洛南陶湾砾岩地震机理新认识. *北京大学学报(自然科学版)*, 2002, 38(4): 497~503 [ Guo Liyu, Gan Zhimao, Zhang Guowei, et al. The seismic stratigraphic analysis of Taowan Conglomerate in Luonan. *Shanxi University Pekinensis (Acta Scientiarum Naturalium)*, 2002, 38(4): 497~503 ]
- 杨剑萍,王辉,陈世悦,等. 济阳拗陷古近系震积岩特征. *沉积学报*, 2004, 22(2): 281~287 [ Yang Jianping, Wang Hui, Chen Shiyue, et al. The features of seismite in Jiyang Sub-basin. *Paleogene Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22(2): 281~287 ]
- 袁静. 中国震积作用和震积岩研究进展. *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. *Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science)*, 2005, 29(1): 144~149 ]
- 姜在兴,操应长,等. 砂体层序地层及沉积学研究. 北京:地质出版社, 2000. 144~148 [ Jiang Zaixing, Cao Yingchang, et al. Study of Sandstone Sequence Stratigraphy and Sedimentology. Beijing: Geological Publishing House, 2000. 144~148 ]
- 杨剑萍,操应长. 惠民凹陷下第三系沙河街组基山砂体成因及石油地质意义. *石油大学学报(自然科学版)*, 1999, 23(4): 9~12 [ Yang Jianping, Cao Yingchang. Origin and significance for petroleum geology of Jishan sand body in the Eocene Shahejie Formation in Huimin depression. *Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science)*, 1999, 23(4): 9~12 ]
- 张宇,邱桂强,李趁义,等. 惠民凹陷沙河街组三段岩性油藏勘探方向. *石油与天然气地质*, 2002, 23(2): 162~165 [ Zhang Yu, Qiu Guiqiang, Li Chenyi, et al. Exploration trend for litho-oil reservoir in 3rd member of Shahejie Formation of Huimin depression. *Oil & Gas Geology*, 2002, 23(2): 162~165 ]
- 张勇. 惠民凹陷西部早第三纪沙河街组浊积扇及砂岩体沉积特征研究. *地球学报*, 2001, 22(1): 43~48 [ Zhang Yong. Turbidites of palaeogene Shahejie Formation in western Huimin Basin of Shengli oil field, Shandong province. *Acta Geoscientia Sinica*, 2001, 22(1): 43~48 ]
- 蔡忠,曾发富. 临南油田沉积微相模式及剩余油分布. *石油大学学*

- 报(自然科学版), 2000, 24(1): 44~47 [Cai Zhong Zeng Fafu. Micro-facies modes and distribution of remaining oil in Linnan oil field. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2000, 24(1): 44~47]
- 14 Spalletta C, Vail G B. Upper Devonian intraclast paragneisses interpreted as seismites. *Marine Geology*, 1984, 55(1~2): 133~144
- 15 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. The discovery and significance of the seismites in late Jurassic lake sediment of Emei Sichuan Province. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1992, 10(3): 19~24]
- 16 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 re-study on seismites and seismic unconformity: taking Western Sichuan and Western Yunnan as an example. *Earth Science*, 1994, 19(6): 845~850]
- 17 梁定益, 聂泽同, 万晓樵, 等. 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, Wan Xiaojiao, et al. On the seismites and seismic unconformity: taking the Western Sichuan and Western Yunnan regions as an example. *Geoscience*, 1991, 5(2): 138~147]
- 18 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. *现代地质*, 1995, 9(3): 1~27 [Sun Xiaomeng, Liang Dingyi, Nie Zetong. Seismicite sequence in continental margin: take seismicite in middle region of Jinsha river as an example. *Geoscience*, 1995, 9(3): 1~27]
- 19 操应长, 姜在兴, 邱隆伟. 山东惠民凹陷商 741 块火成岩油藏储集空间类型形成机理探讨. *岩石学报*, 1999, 15(1): 129~136 [Cao Yingchang, Jiang Zaixing, Qiu Longwei. Study on the type and origin of the reservoir space of igneous oil reservoir in Shang 741 block. *Huimin depression, Shandong. Acta Petrologica Sinica*, 1999, 15(1): 129~136]
- 20 刘武英, 李龙海. 唐山地震与海城地震之共性特征及有关问题的讨论. *地震研究*, 1995, 18(2): 161~167 [Liu Wuying, Li Longhai. Common features of 1976's Tangshan earthquake and 1975's Haicheng earthquake and discussion on some questions. *Journal of Seismological Research*, 1995, 18(2): 161~167]

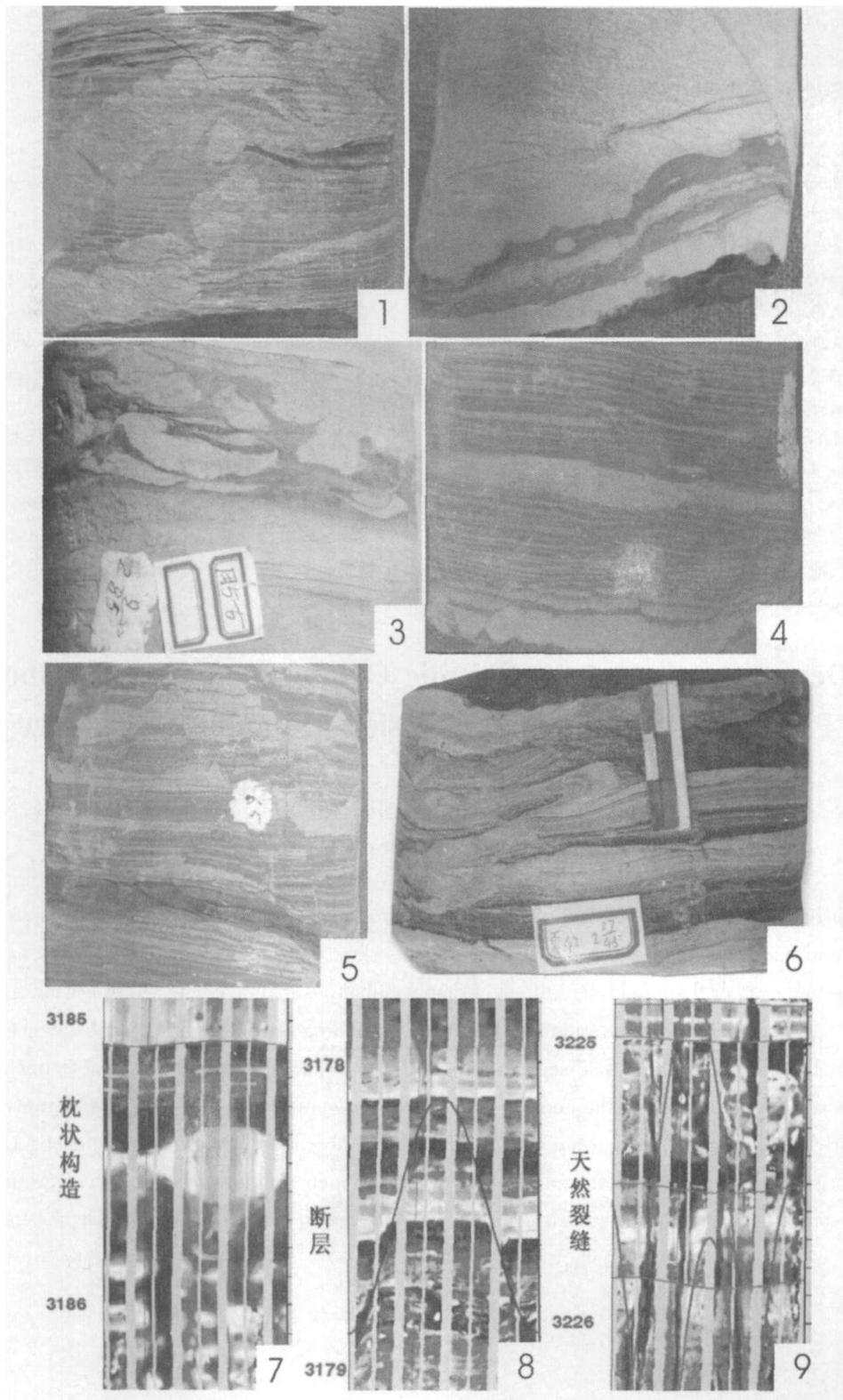
## New Demonstration of the Seismic Origin for Jishan Sandbody of Paleogene in Huimin Depression, Shandong Province

YANG Jianping ZHA Ming MU Xue mei WANG Hui

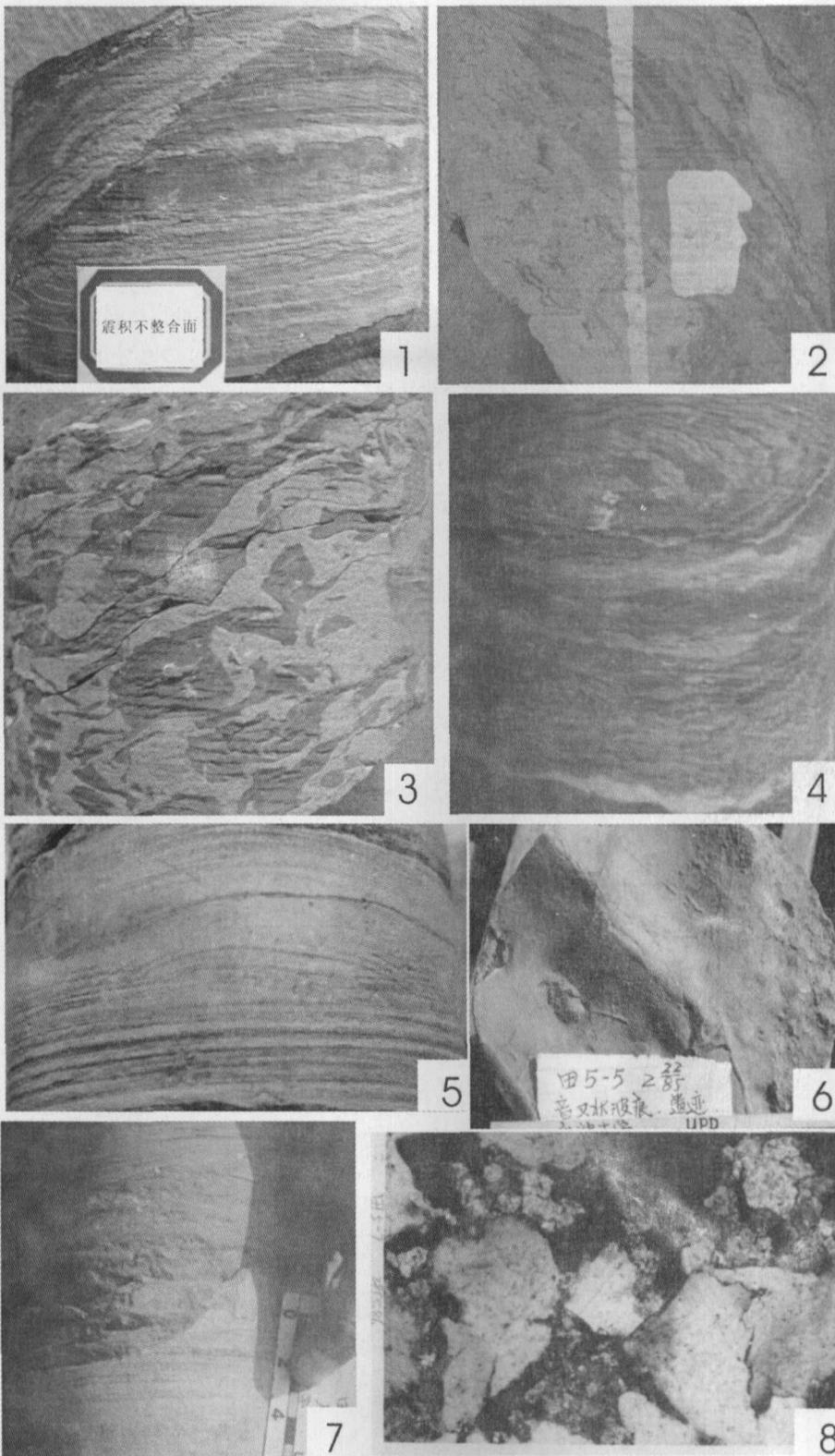
(China University of Petroleum, Dongying Shandong 257061)

**Abstract** The Jishan sandbody of central uplift belt of Paleogene in Huimin depression has been studied in terms of core observation and image logging datum analysis. The results show that the sedimentary dynamic mechanism for Jishan sandbody is seismic, rather than flood deposition. Jishan sandbody is mainly composed of seismites (seismically disturbed), similar tsunamites and seismoturbidite rocks. A corresponding seismic sedimentary sequence and model have been established. The seismically disturbed series is crucial for analyzing the origin of Jishan sandbody, and the seismoturbidite rocks are the main body of the series. Both layers are contact with seismic unconformity plane of varied scale. During early Sha<sup>3</sup> period, the seismic events are resulted directly from magmatic intrusions and the upward of deep magma in origin. Magmatic intrusions and seismic events happen simultaneously at the same time and space.

**Key words** seismite; magmatic activity; seismic unconformity; Jishan sandbody; Huimin Depression



**图版 I 说明** (岩心直径 10 cm) 1. 砂岩脉挤入灰黑色泥质沉积物中, 与层面斜交, 向侧方有分叉, 脉体中含有灰黑色泥质丝絮状碎屑, 商 544 井 3 192.4 m; 2 岩心底部可见微型错断, 泥质沉积物中有顶部砂质振动变形后脱落形成的震积砂球, 商 847 井 2 847.65 m; 3 震积砂枕, 砂枕中原始砂质沉积物层理变形, 田 5-5 井 2 938.65 m; 4 阶梯状同生微断层或“韵律断层”, 商 550 井 3 032.2 m; 5 自碎屑角砾岩, 角砾棱角分明, 位移不大, 相邻角砾可完全拼接到一起, 商 550 井 6-36/40; 6 震积岩, 粉砂质沉积物液化, 发生卷曲、弯曲、扭曲为主的变形, 夏 42 井 2-27/45; 7 上部为震积砂枕构造, 下部为震塌岩, 商 549 井 3 185.5 m; 8 层内小断层, 商 550 井 3 178.5 m; 9 震裂缝, 商 549 井 3 125~3 126 m。(图版 I-7~9 为 1:10 的成像测井资料)



**图版 II 说明** (岩心直径 10 cm) 1 岩心下部为原地震积岩, 上部为震蚀积岩, 它们之间为震积不整合面; 下部为原地震积岩可见重荷模, 左侧和右侧为层内断层, 商 847 井 2 841.0 m; 2 具有滑塌变形构造的震蚀积岩, 商 543 井 3-15 /35; 3 泥质碎屑角砾呈塑性变形, 商 543 井 2-25 /40; 4 旋卷层理与阶梯状小断层伴生, 商 548 井 3 233.2 m; 5 丘状交错层理, 商 67 井 27-10 /10; 6 音叉状波痕, 田 5-5 井 2 941.33 m; 7 截切构造, 平行层理的砂岩一侧高出, 一侧变平, 截切角度较大, 并被泥质充填, 表现为泥质冲刷砂质, 田 5-5 井 2-3 /85; 8 震裂岩, 颗粒破碎严重, 田 5-7 井 2 955.86 m (+) × 100.