

# 蒙古塔木察格坳陷白垩系震积岩特征及其地质意义

王化爱, 钟建华, 陈鑫, 高玉飞

中国石油大学(华东)资源与信息学院, 山东东营, 257061

**内容提要:**通过岩芯观察,结合构造背景研究,在蒙古塔木察格坳陷白垩系地层中识别出震积岩。震积岩的主要标志有微同沉积断裂、同沉积塑性变形构造、液化脉、震积枕状及伴生构造等。通过对塔 21-9 井、塔 19-43 井等岩芯的系统观察,建立了蒙古塔木察格坳陷白垩系震积岩的垂向序列。震积岩的垂向序列自下而上依次为砂岩脉(砂火山)层段、水塑性褶皱变形层段、斧式构造层段、滑塌构造层段、阶梯状微断层和震裂缝层段、准原地沉积湖泊津浪丘状层理和内碎屑角砾岩层段、异地沉积震浊积岩层段,对应于地震由强变弱的一个变化过程。震积岩的发现具有重要的研究意义,有助于分析盆地边界断裂的强烈活动时期。

**关键词:**古地震;软沉积变形构造;液化构造;白垩系;蒙古塔木察格坳陷

震积岩(Seismitite)最早由 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(Seilacher,1984),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(杨剑萍等,2004)。

震积岩是当今国内外研究的一个热点。1984年,《Marine Geology》杂志出版了“地震与沉积作用”专集,对地震事件沉积作用进行了系统总结(Cita and Ricci Lucchi, 1984);Shiki 等(2000)编辑出版了《Sedimentary Geology》震积岩、海啸岩、震浊积岩的专辑;《Sedimentary Geology》2007 年 196 期编辑出版了与震积岩密切相关的软沉积变形专辑。我国的震积岩研究始于 1988 年(宋天锐等,1988),近 20 年来,取得了丰硕的成果。主要体现在以下两个方面:①对海相震积作用和震积岩的研究。涉及了华北元古宙—古生代(乔秀夫等,1994,1997,2001)、西南三江地区古生代(孙晓猛等,1995)、云南中元古代(杜远生等,2001)等,其中以 20 世纪 90 年代初期由乔秀夫等(1994)在华北地台东部震旦系建立的碳酸盐震动液化序列为代表。②对陆相湖盆震积作用和震积岩的研究。涉及了四川峨眉晚侏罗世(吴贤涛等,1992;尹国勋等,1993)、酒西盆地早白垩世(张琴等,2003)、济阳凹陷古近纪(袁静,2004;杨剑萍等,2004,2006;魏垂高等,2006;付文利等,

2004)、鄂尔多斯盆地南部上三叠统(夏青松等,2007)等,其中以吴贤涛等(1992)在研究四川峨眉晚侏罗世湖泊沉积时,建立的碎屑岩原地系统的地震液化序列为代表。最近几年,陆相断陷盆地陆续有震积岩的报道,袁静(2004)、付文利等(2004)、杨剑萍等(2004,2006)、魏垂高等(2006)通过对中国东部渤海湾盆地济阳坳陷古近系震积岩的特征研究,建立了陆相断陷湖盆碎屑岩地震序列,开创了由古生代海相地层向东部新生代陆相断陷湖盆震积岩研究的转移。在研究震积岩沉积特征的同时,许多学者探讨了震积岩形成的构造背景及构造意义(彭阳等,2001;杜远生等,2001;Du et al.,2001;段吉业等,2002;张琴等,2003;田洪水等,2003;杜远生,2005;殷秀兰等,2005;严兆彬等,2005;吕洪波等,2006;周志广等,2006)。

地质学家已陆续在河流相(Michel et al.,1993)、湖泊相(袁静,2004;杨萍等,2006)及海相(乔秀夫等,1994,1997,2001)地层的野外露头中发现了不同类型的震积岩,蒙古塔木察格坳陷至今未有相关的报道。笔者在研究蒙古塔木察格坳陷白垩系沉积相和沉积环境时,发现大量软沉积变形构造,经过分析研究,认为是震积岩的特征,这一发现是震积岩研究的有效补充,对控盆边界断裂和盆内主要断裂的强烈活动时期研究具有重要意义。

注:本文为国家自然科学基金项目(编号 40272082)资助成果。

收稿日期:2008-03-05;改回日期:2008-06-23;责任编辑:周健。

作者简介:王化爱,男,1969 年生。高级工程师,1993 年毕业于大庆石油学院石油地质勘查专业,长期从事油气勘探研究工作,现为中国石油大学(华东)在读博士。Email:whanghuaai@yahoo.com.cn。

## 1 区域地质背景

蒙古塔木察格坳陷距我国内蒙古自治区呼伦贝尔市新巴尔虎右旗贝尔乡南约 20 km,构造位置为蒙古一大兴安岭裂谷盆地群的东部,东以大兴安岭隆起相隔,与大杨树盆地、松辽盆地相邻;西为西北隆起,与蒙古乔巴山盆地相望;北部与布拉达林盆地相连;东南部以巴音宝力格隆起为界,与二连盆地遥遥相对。其中两个重要凹陷为塔南凹陷和南贝尔凹陷。塔南凹陷为双断结构,面积大约 5000 km<sup>2</sup>,基底最大埋深 4500 m;南贝尔凹陷面积约 3000 km<sup>2</sup>,由二洼一凸构成,基底最大埋深 2000 m。

塔木察格坳陷震积岩主要发育在白垩系下宗巴音组和查干组,分别对应于盆地断陷 II 幕和 I 幕。下宗巴音组为浅湖—深湖相沉积,主要由深灰、灰黑色泥岩夹粉砂岩组成;查干组为滨浅湖—半深湖沉积,主要由棕灰色泥岩夹粉砂岩组成。

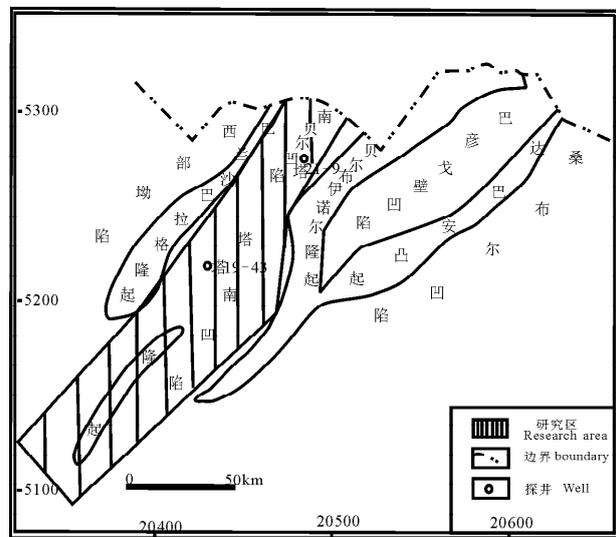


图 1 蒙古塔木察格坳陷区域位置图

Fig. 1 Regional geology of Tamuchage depression, Mongolia

## 2 震积岩的识别标志

国内外的研究表明,震裂缝、层内错开、层内阶梯状断层、层内褶皱、液化脉、火焰构造及同沉积塑性变形等构造是鉴别地史时期地震记录的主要标志 (Seilacher, 1969; 宋天锐等, 1988; 乔秀夫, 1996; Fairchild, 1997; Frank, 1998; Du et al, 2001; 彭阳, 2001; 田洪水等, 2003; 赵澄林, 2003; 杨剑萍等, 2004; 杨萍, 2006; 魏垂高等, 2006, 2007)。塔木察格

坳陷岩芯中保留了许多与古地震事件有关的地质记录,主要有以下几种类型。

### 2.1 微同沉积断层和震裂缝

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。其中以阶梯状平行排列最为典型,断层规模较小。塔 21-9 井岩芯中多处见阶梯状断层,单条断层延伸长度较短,多在 0.5~5 cm 内,断距多在 0.2~1 cm,一般不超过 3 cm,角度相对较陡,仅限于层内发育 (图版 I-1)。

震裂缝也是在沉积地层振动过程中形成的,以张性断裂为主,主要发育于砂岩或砂岩夹薄层泥岩中,产状较陡,可贯穿夹层,但不穿越上下岩层。有时可发育成小型地堑 (梁定益等, 1991)。塔 21-9 井 2120.6 m 处发育小型地堑,上口宽约 8 cm,底宽约 4.5 cm,深 3 cm (图版 I-2)。其上部及边部均发育一层薄薄的暗色泥岩 (厚度小于 1 mm),界面清楚。

### 2.2 液化脉和泄水构造

液化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 (Bauerman et al., 1985; Fairchild et al., 1997; Rossetti, 2000; 魏垂高等, 2007)。脉体多呈不规则状延伸,在纵切面上呈丝絮状、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。一般宽 0.5~5 cm 不等,长几厘米到十几厘米。塔 21-9 井岩芯 2115.92 m 发育“之”字状液化脉,似炊烟飘曳,脉宽 2~6 mm,高 2~3 cm (图版 I-3); 2400.33 m 处发育反“C”形液化脉,脉体主体宽 4~5 cm,高 5~6 cm (图版 I-4),有研究者将之称为砂火山 (付文利等, 2004)。

### 2.3 内碎屑角砾岩

内碎屑角砾岩 (intraclastic parabreccia) 是指自碎屑进一步位移形成的近原地异位的角砾岩。它是沉积岩层受地震振动被震裂破碎再沉积的产物。岩块大小和形状差异均较大,多为飞鸟状和蠕虫状,杂乱分布,从 0.5 cm 到 10 cm 均有,多数棱角分明,有的泥质砾岩边缘被挤压而变圆滑,表明当时处于半固结状态。塔 21-9 井 2116.4 m 暗色泥岩碎屑分布于灰色砂岩中,碎屑拉长、侧向变细和弯曲,具有明显撕裂痕迹 (锯齿状边缘) 的截面,大小混杂,从几毫米至 2 cm 不等 (图版 I-5); 2117.58 m 处 4 条长 4~5 mm、宽 2 mm 的泥屑和一条长 1.5 mm、宽 2 mm 的泥屑组成梅花形状,显然是在较大能量作用下向多个方向倾斜形成的 (图版 I-6); 2119.1 m 砂

岩塞入撕裂开的暗色泥岩碎屑中,形成眼球状构造(图版 I-7)。其中砂质和塑性泥砾成因不同,砂质沉积物系涌浪的回流将物源区沉积物带入到涌浪基面附近或之下的较深湖区而形成,而蠕虫状、飞鸟状泥砾系旋涡流冲蚀、扰动下伏的正常较深湖泥质沉积物形成的,泥砾的塑性变形状态表明下伏岩层尚未成岩,处于软泥状态。泥砾以悬浮状态混杂于旋涡流中,这种类型的地震涌浪沉积难以形成一般浊积岩常见的递变层理,用机械分异的观点很难解释其成因(杨剑萍等,2006)。

## 2.4 同沉积塑性变形构造

细粒沉积物在未固结或半固结而呈塑性状态时,在振动力作用下可形成小褶皱或微褶皱(pleated lamination),微褶皱亦被震积岩研究者称为含水塑性变形(Hydroplastic deformation),是震积岩判别的重要标志之一(周志广等,2006)。这些小揉皱、卷曲变形构造互相连接,形态各异,此种构造以其褶曲轴面无规律可循而与构造作用引起的层间褶皱构造及沉积物沿斜坡滑动产生的变形构造有明显的区别(刘鹏举,2001)。塔 21-9 井 2115.3 m 砂泥岩薄互层,1~2 mm 厚的砂岩夹于层厚仅 3~4 mm 的暗色泥岩中,液化的微褶皱像被风吹皱一样发生明显褶曲(图版 I-8);2115.34 m 由灰白色砂岩与暗色泥岩组成的薄互层段厚 4~5 cm,其中砂岩单层厚约 1 cm 左右,泥岩单层厚 0.4~0.5 cm,3~4 层叠置而成。由于振动整个岩层段形成两个微褶皱相连的波状弯曲。单个褶皱大小约 2 cm,不对称。其底部具有枕状构造和滑移现象(图版 I-8)。

## 2.5 振动滑塌与充填构造

振动滑塌与充填构造是在地震振动力和重力共同作用下,塑性的砂质或砂泥质薄互层沉积物向下运动、充填下伏岩层中大小不等的地震裂隙或塌落于下伏岩层中而成。滑塌层伴生一系列滑动面和地裂缝、液化脉等震成标志(杜远生等,2007)。塔 21-9 井 2116.28 m 砂岩层震裂逢内的泥质碎屑可见明显的塌落滑动痕迹(图版 I-9);2119.34 m 发育砂泥质薄互层的滑塌构造,塑性砂岩滑塌拉拽出细长的“尾巴”清晰可见,其下发育阶梯状断层(图版 I-1)。

## 2.6 震积砂枕及伴生构造

此类构造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、拖曳拉长状等形状,构成 Roep 等(1992)所说的枕状层(pillow-beds)。塔 21-9 井 2115.34 m 见拖曳拉长的枕状沉积构造(图版 I-8)。

## 2.7 (半)环形层

Rodriguez-Pascua 等(2000)讨论了环形层(loop bedding)的地震成因机制,认为环形层是由弱地震诱发、整个纹层状软沉积物尚未达到液化程度时的伸展变形。乔秀夫等(2007)在研究中元古代白云岩地震作用时,指出环形层是地震作用的重要记录。环形层横断面呈封闭的同心圆环状层,环形层长轴平行于岩层面,短轴垂直于层面。这种环形层在华北奥陶系纹层灰岩及古近系纹层砂岩中也有出现(乔秀夫等,2007)。塔 21-9 井 2398.48 m 发育短轴长约 10 cm 的(半)环形层,长轴略微向下倾斜,由于其长度超过岩芯直径,故不能见到完整的环形层(图版 I-10)。

## 2.8 斧式构造

斧式构造是在地震 P 波(纵波)上下振动和 S 波(横波)剪切共同作用下形成的小型地垒构造。由于同生断层具有的弧形几何形态,使地垒块表现出斧头的形状;更有趣的是由于地震 S 波(横波)具偏振现象,造成垒块顶部常常发育地震破碎的高角度碎屑,俨然斧子的把柄。塔 21-9 井 2120.64 m 发育高 2~3 cm、宽约 2 cm 的斧式构造(图版 I-2)。

## 2.9 丘状交错层理

地震津浪作用和风暴作用均可形成丘状交错层理,区别在于前者有地震作用的其他沉积构造伴生(杜远生等,2000b),且可出现在深水中。塔 21-9 井 2116.45 m 处发育一丘状构造,丘波长约 10 cm,丘高约 2.5 cm,底部有 1 cm×0.6 cm 大小的暗色砾块,丘内部不具粒序性,纹层倾角在 12°~15°左右,其上发育自碎屑角砾岩;塔 19-43 井 1772.3 m 丘状层理内砾岩更大,为 3 cm×4.5 cm 的三角形,其上部一块 0.5 cm×1.5 cm 的长条形砾石顺下面的丘状层纹理倾斜,丘状层理上发育震浊积岩(图版 I-11、5)。

## 2.10 震浊积岩

震浊积岩是在地震作用下,岩石震裂发生位移后形成高密度重力流的沉积岩类型。震浊积岩与非地震浊积岩的区别在于:①地震浊积岩鲍马层序 AB 段以含震裂构造砾石为特征;②地震浊积岩与其母岩之间,可发现发育震裂构造的震积岩和海(湖)啸岩。杜远生(2000a)指出“与原地震积岩共生

的浊积岩应为地震引发的震浊积岩。”塔 21-9 井 2116.28 m 自碎屑角砾岩中发育 2.5 cm 厚地震形成的浊积砾岩(图版 I-9)。塔 19-43 井 1772.25 m 含砾细砂岩,无论砾石的含量还是大小均向上减少(小),正粒序明显。底部有 3 块砾石较大,约 4 mm × 8 mm,砾石左边缘齐整,棱角分明,两条边成直角或近于直角相交;右边缘无棱角,呈圆状一次圆状(图版 I-11)。砾石的这种结构表明具有断裂特征。

### 3 震积岩垂向序列

沉积序列是沉积单元的规律组合,它反映沉积环境的规律变化(环境)或沉积作用过程(事件相)(杜远生等,2000a)。地震沉积序列相应是指在地震作用的特殊事件条件下,反映地震沉积作用过程的沉积序列。当地震发生时,首先引发对先存沉积物的原地改造形成震积岩,继而触发海(湖)啸形成海(湖)啸岩,最终引发重力流形成震浊积岩;当地震过后,地壳恢复平静接受正常沉积(即背景沉积)(郭力宇等,2002)。蒙古塔木察格坳陷震积岩的垂向序列包括以下 5 层(图 2),自下而上简述如下。

(1)振动液化单元(A):主要为液化脉层段,可伴有负荷、火焰、枕状等构造。

(2)半固结变形单元(B):主要包括同沉积塑性变形、滑塌构造和斧式构造层段。

(3)阶梯状断层、微断裂单元(C):为地震衰减期产物。塔木察格震裂缝主要通过小型地堑表现出来。

(4)准原地沉积的湖泊津浪丘状层理和内碎屑角砾岩层段(D):发育于震积岩之上,由具丘状交错层理的岩层和内碎屑角砾岩组成。丘内部不具粒序性,常具粗的碎屑或内碎屑沉积。

(5)异地沉积的震浊积岩层段(E):层厚 5~20 cm,与原地震积岩共生,无论砾石的含量还是大小均向上减少(小),正粒序明显。

与其他事件沉积序列一样,震积岩垂向序列中各单元在剖面上常常发育不全,缺失其中一个或多个单元。这既可能是由于剖面处于事件发生的相对位置不同所致,也可能是由于两次地震的时间间隔太短以致地震作用“叠置”而成。如图 3a 下部灰色砂岩中暗色纹层显阶梯状断层,其上的黑色泥岩中发育液化脉,泥岩上砂岩层中夹的薄层具微断裂特征,之上为未受地震影响的薄层砂泥岩互层,再之上发育滑塌构造—同沉积塑性变形—微断层和斧式构造,为 C-AC-BC-B 序列;图 3b 为由丘状交错层理和震浊积岩组成的 DE 序列;图 3e 为斧式构造和震裂缝组成的 BC 序列;图 3f 为丘状层理—内碎屑角砾岩—震浊积岩组成的 DE 序列。更有甚者,图序列发生“颠倒”,如图 3c 为由震浊积岩和内碎屑角砾岩组成的 EC 序列;图 3d 为内碎屑角砾岩和阶梯状断层及震裂缝组成的 DC 序列;图 3g 为由阶梯状断层(微断裂)和滑塌构造组成的 CB 序列。这既可能是上述所提“叠置”原因造成的,也可能与沉积物物源、沉积后压实固结程度、地震的震级等多种因素有关。

### 4 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,按照将今论古的原则,湖盆中软沉积物记录的古地震一定与早期断裂活动有关,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,可以推断控盆边界断裂和盆内主要断裂的强烈活动时期。蒙古塔木察格坳陷震积岩分布层位主要为白垩系下宗巴音组和查干组,说明下宗巴音组和查干组时期是控盆边界断裂和盆内主要断裂(如中央断裂)的强烈活动时期。

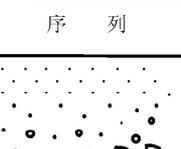
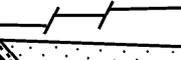
地震活动时期	单元	序 列	构造与岩性	位置
	E		震浊积岩	异地沉积
	D		内碎屑角砾岩 丘状层理	准原地沉积
地震活动停止期	C		阶梯状微断层和震裂缝	原地沉积
地震活动衰减期	B		滑塌构造	
			斧式构造	
地震活动高潮期	A		液化脉	

图 2 蒙古塔木察格坳陷白垩系震积岩垂向序列综合模式图

Fig. 2 Compositive vertical succession model of the seismite of Cretaceous in Tamuchage depression, Mongolia

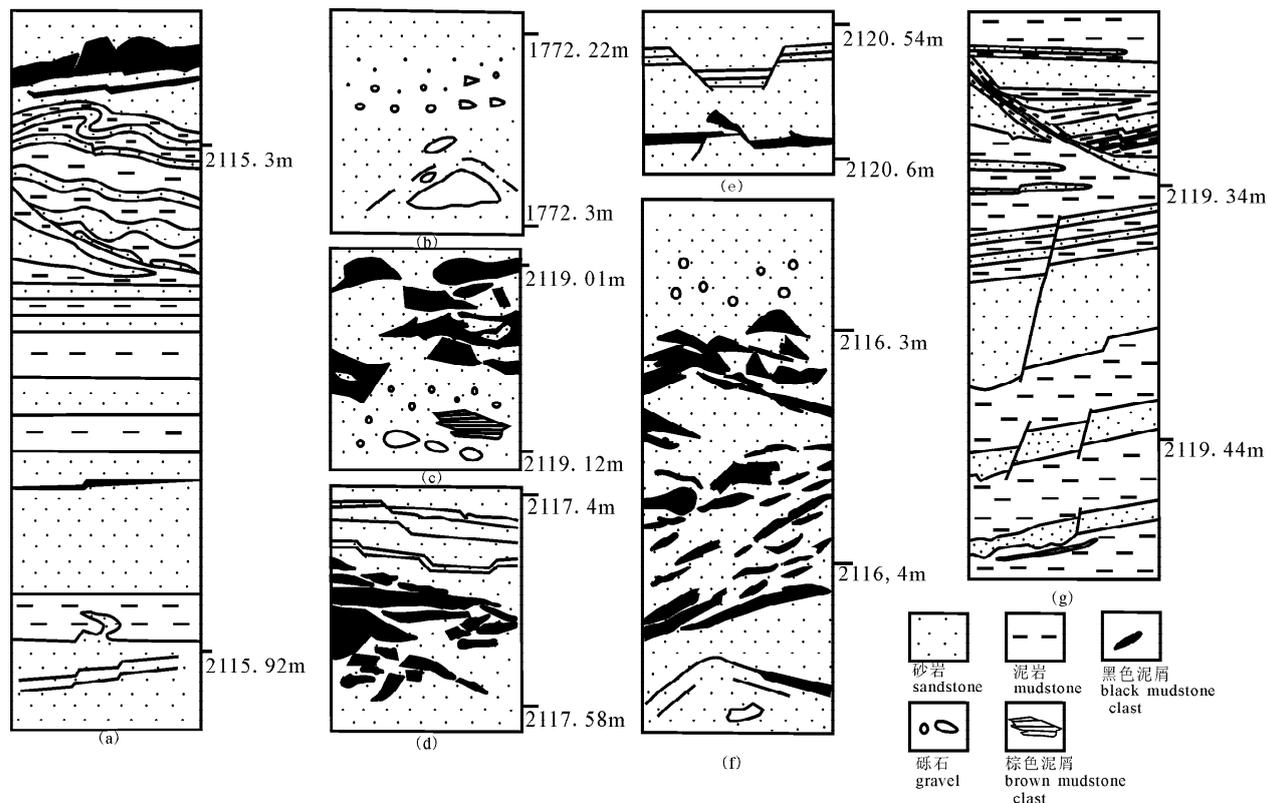


图3 蒙古塔木察格坳陷白垩系震积岩垂向序列

Fig. 3 Vertical sequence of the seismite of Cretaceous in Tamuchage depression, Mongolia

(b)为塔19-43井,余者为塔21-9井

(b)from Well Ta19-43, others from Well Ta21-9

**致谢:**审稿专家细致、认真地审阅了本文,并提出了建设性的修改意见;中国石油大学(华东)的袁静教授在论文的修改过程中给予了宝贵的帮助;在此一并表示感谢!

### 参 考 文 献

- 杜远生,韩欣. 2000a. 论震积作用和震积岩. 地球科学进展, 15(4): 389~394.
- 杜远生,韩欣. 2000b. 论海啸作用与海啸岩. 地质科技情报, 19(1): 19~22.
- 杜远生,张传恒,韩欣. 2001. 滇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), 31(4): 283~289.
- 杜远生. 2005. 广西北海涠洲岛第四纪湖光岩组与火山活动有关的震积岩. 沉积学报, 23(2): 203~209.
- 杜远生,SHI G,龚一鸣,等. 2007. 东澳大利亚南悉尼盆地二叠系与地震沉积有关的软沉积变形构造. 地质学报, 81(4): 511~518.
- 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.
- 付文利,王艳琴,杨光,等. 2004. 东营凹陷沙三段、沙四段震积岩研究. 油气地质与采收率, 11(2): 6~8.
- 郭力宇,甘枝茂,张国伟,等. 2002. 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), 38(4): 497~503.
- 梁定益,聂泽同,万晓樵,等. 1991. 试论震积岩及震积不整合——以川西、滇西地区为例. 现代地质, 5(2): 138~146.
- 刘鹏举. 2001. 河北平泉中元古代高于庄组震积岩及地震节律. 现代地质, 15(3): 266~268.
- 吕洪波,章雨旭,肖国望,等. 2006. 内蒙古白云鄂博南东黑脑包腮林忽洞群下部发现地震滑塌岩块. 地质论评, 52(2): 163~169.
- 彭阳,杨天南,乔秀夫,等. 2001. 大连上震旦统地震灾变事件研究. 地质学报, 75(2): 221~227.
- 乔秀夫,宋天锐,高林志,等. 1994. 碳酸盐岩振动液化地震序列. 地质学报, 68(1): 16~34.
- 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,李海兵,高林志. 1997. 华北地震旦纪—早古生代地震节律. 地学前缘, 4(3~4): 155~160.
- 乔秀夫,高林志,彭阳,等. 2001. 古郑庐带沧浪铺阶地震事件、层序及构造意义. 中国科学(D辑), 31(11): 911~918.
- 乔秀夫,高林志. 2007. 燕辽裂陷槽中元古代古地震与古地理. 古地理学报, 9(4): 338~352.
- 宋天锐. 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.
- 孙晓猛,梁定益,聂泽同. 1995. 大陆边缘震积岩序列——以金沙江中段震积岩为例. 现代地质, 9(3): 1~27.
- 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.
- 魏垂高,张世奇,姜在兴,等. 2006. 东营凹陷现河地区沙三段震积岩

- 特征及其意义. 沉积学报, 24(6):798~805.
- 魏垂高, 张世奇, 姜在兴, 等. 2007. 塔里木盆地志留系震积岩特征及其意义. 地质学报, 81(6):827~833.
- 吴贤涛, 尹国勋. 1992. 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, 10(3):19~24.
- 夏青松, 田景春. 2007. 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. 沉积学报, 25(2):246~252.
- 严兆彬, 郭福生, 彭花明, 等. 2005. 浙西寒武系大陈岭组地震事件沉积的初步研究. 地质学报, 79(6):731~736.
- 杨剑萍, 王辉, 陈世悦, 等. 2004. 济阳坳陷古近系震积岩特征. 沉积学报, 22(2):281~286.
- 杨剑萍, 王亚丽, 查明, 等. 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. 黄骀坳陷古近纪地震事件沉积研究. 地质学报, 80(11):1711~1715.
- 殷秀兰, 杨天南. 2005. 胶州—莱阳盆地白垩纪莱阳群中的震积岩及其构造意义讨论. 地质论评, 51(5):503~506.
- 尹国勋, 汤友谊. 1993. 地史时期地震事件的岩石学证据——以四川峨嵋晚侏罗世湖泊沉积中的震积岩为例. 地震地质, 15(1):61~65.
- 袁静. 2004. 山东惠民凹陷古近纪震积岩特征及其地质意义. 沉积学报, 22(1):41~46.
- 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):158~162.
- 赵澄林. 2003. 沉积学原理. 北京:石油工业出版社, 182~194.
- 周志广, 梁定益, 刘文灿, 等. 2006. 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. 地质论评, 52(3):314~320.
- Bauerman H. 1985. 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), 1~42.
- Cita M B, Ricci Lucchi F. 1984. Seismicity and sedimentation. Mar. Geol., 55(122):1~161.
- Du Yuansheng, Gong Shuyun, Han Xin, et al. 2001. Silurian seismites in Hanxia, Yumen, north Qilian Mountains, and their tectonic significance. Acta Geologica Sinica (English Edition), 75(4):385~390.
- Fairchild I J, Einsele G, Song Tianrui. 1997. Possible seismic origin of molar tooth structures in Neoproterozoic carbonate ramp deposits, north China. Sedimentology, 44(4):611~630.
- Frank T D, Lyons T W. 1998. "Molar tooth" structures, a geochemical perspective on a Proterozoic enigma. Geology, 26(8):683~686.
- Michel Guiraud, Jean-Claude Plaziat. 1993. Seismites in the fluvialite Bima sandstones; identification of paleoseisms and discussion of their magnitudes in a Cretaceous synsedimentary strike-slip basin (Upper Benue, Nigeria). Tectonophysics, 225(4):493~522.
- 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.
- Rodriguez-Pascua M A, Calvo J P, Vicente G D, et al. 2000. Soft-sediment deformation structures interpreted as seismites in lacustrine sediments of the Prebetic, SE Spain, and their potential use as indicators of earthquake magnitudes during the Late Miocene. Sedimentary Geology, 135(1-4):117-135.
- Rossetti D F, Goes A M. 2000. Deciphering the sedimentological imprint of paleoseismic events: an example from the Aptian Codo formation, northern Brazil. Sedimentary Geology, 135:137~156.
- Seilacher A. 1969. Fault-graded bed interpreted as seismites. Sedimentology, 13(1~2):155~159.
- Seilacher A. 1984. Sedimentary structures tentatively attribute to seismic events. Marine Geology, 55(1):1~12.
- Shiki T, Cita M B, Gorsline D S. 2000. Seismoturbidites, seismites and tsunamites. Sedimentary Geology, 135:1~326.

## 图 版 说 明

所有照片为统一比例尺, 参照物为 1 元硬币。

1. 上部滑塌构造, 下部阶梯状断层, 塔 21-9 井 2119.4 m。
2. 上部发育成小型地堑的震裂缝, 下部斧式构造, 塔 21-9 井 2120.6 m。
3. 上部液化脉, 下部阶梯状微断层, 塔 21-9 井 2115.92 m。
4. 砂火山, 塔 21-9 井 2400.33 m。
5. 顶部震浊积岩, 中部内碎屑角砾岩, 下部丘状层理, 塔 21-9 井 2116.4 m。
6. 上部发育成小型地堑的震裂缝, 下部内碎屑角砾岩(泥岩碎屑呈梅花状), 塔 21-9 井 2117.5 m。
7. 右上部眼状构造, 下部震浊积岩, 塔 21-9 井 2119.1 m。
8. 同沉积塑性变形构造, 底部滑塌与枕状构造, 塔 21-9 井 2115.34 m。
9. 顶部(左)振动滑塌与充填构造, 中部震浊积岩, 下部内碎屑角砾岩, 塔 21-9 井 2116.28 m。
10. (半)环形层, 塔 21-9 井 2398.48 m。
11. 丘状层理与震浊积岩, 塔 19-43 井 1772.3 m。

## Characteristics of Cretaceous Seismites in the Tamuchage Depression, Mongolia, and Its Significance

WANG Huaai, ZHONG Jianhua, CHEN Xin, GAO Yufei

*China University of Petroleum, Dongying, Shandong, 257061*

### Abstract

Based on observation of drilling cores and study of tectonic setting, seismites were recognized in the Cretaceous strata of the Tamuchage depression. Seismites are mainly characterized by various soft-sediment deformation structures such as synsedimentary faulting and microfractures, liquefaction vein, pillow structure, and accompanying structures, etc. Based on observation of drilling cores from Ta 21-9 and Ta 19-43 wells, a vertical succession of seismites was established, which is in ascending order, liquefied veins, hydroplastic deformation, axe-formed, slump, ladder-shaped microfracture, and shatter fissure, and so on, which correspond to a change process of earthquake with an intensity from strong to weak. The discovery of seismites is of great significance and will be conducive to understanding of intense action period of basin-controlling boundary fault.

**Key words:** paleoearthquake; soft sedimentary deformation structure; liquefaction vein; Cretaceous; Tamuchage Depression; Mongolia

