

文章编号: 1000-0550(2009)05-1012-06

# 川东地区飞一段震积岩的发现及识别标志<sup>①</sup>

罗冰<sup>1</sup> 谭秀成<sup>1</sup> 刘宏<sup>1</sup> 李凌<sup>1</sup> 邹娟<sup>2</sup> 岑永静<sup>3</sup> 邱文彬<sup>3</sup>

(1. 西南石油大学资源与环境学院 成都 610500 2. 西南油气田分公司川西北气矿 四川江油 621700  
3. 西南油气田分公司川中油气矿 四川遂宁 629000)

**摘要** 川东华蓑山断裂带附近飞仙关组一段发育大量同生变形构造。通过野外剖面和岩心观察分析,认为液化岩脉、重力断层、刺穿层理、肠状构造、火焰构造及卷曲变形构造等同生变形构造为震积成因。震积作用沉积可分为原地震积岩(A)、震积—海啸岩(B)和背景沉积(C)三个单元,其中A单元包括液化碳酸盐岩脉(a)、震褶岩(b)、震裂岩(c)发育 a-b-c(A<sub>1</sub>)和 b-c(A<sub>2</sub>)两种组合。飞一段各震积单元组成 A<sub>1</sub>-B-A<sub>2</sub>-C 沉积序列。结合对区域构造背景的分析,认为震积岩的发育与华蓑山断裂带的阶段性活动有关,华蓑山断裂带强烈活动诱发地震是飞一段震积岩形成的动力机制。

**关键词** 沉积序列 识别标志 震积岩 飞一段 川东地区

**第一作者简介** 罗冰 男 1982年生 博士研究生 储层沉积学 E-mail: swpilib2001@yahoo.com.cn

**通讯作者** 谭秀成 E-mail: tanxiucheng0@163.com

中图分类号 P512.2 文献标识码 A

地震活动作为沉积过程中的一种动力,必然在沉积物中留下记录,通常把具有古地震事件记录的岩层称为震积岩。震积岩具有沉积学和构造双重意义,震积岩研究对断裂带活动性和构造演化研究具有重要的科学意义。自 Heezen, Ewing 和 Dyke 开创震积岩研究先河之后<sup>[1,2]</sup>,国外学者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<sup>[3-6]</sup>。国内对震积岩的研究始于对北京十三陵地区中元古界雾迷山组的碳酸盐岩地震—海啸序列的研究<sup>[7]</sup>。之后,地质学家对海相震积作用和震积岩的研究取得了丰硕的成果:建立了碳酸盐岩振动液化地震序列及萨布哈相震积序列<sup>[8-11]</sup>;对震积序列及震积岩的识别标志做了总结与研究<sup>[12,13]</sup>;建立了石油湖盆中生油层和储层的垂向震积岩序列<sup>[14]</sup>;概括了鄂尔多斯盆地延长组地震层序特征,建立了震积层序<sup>[15,16]</sup>。

近期在川东华蓑山断裂带附近的飞仙关组野外露头 and 岩心中发现了大量同生变形构造,如:液化泥晶岩脉、重力断层、刺穿层理、肠状构造、泄水构造(火焰构造)及卷曲变形构造等。通过对沉积构造特征及组合特征研究,结合区域构造背景分析,笔者认为川东飞一段同生变形构造成因的合理解释是地震成因,地震是这些同生变形构造形成的可靠驱动机制。

## 1 震积岩形成的构造背景

四川盆地是上扬子准地台内北东向和北西向交叉的深大断裂(指岩石圈断裂和壳断裂)活动形成的菱形构造—沉积盆地<sup>[17]</sup>,盆地周缘及内部深大断裂构造非常发育(图1),断裂带在不同时期的强烈演化对盆内的沉积物及其特征影响深远。研究区位于川东南断皱带内,紧邻华蓑山断裂带。华蓑山深大断裂带为阶段性活动断裂带,断裂活动始于加里东期。由于上扬子地台在印支初期所受应力由张应力转化为压应力,华蓑山断裂带在早三叠世飞仙关期活动加剧<sup>[17]</sup>,并开始由正断活动向逆断活动转换。

断裂带的阶段性强烈活动往往伴随着地震的发生,这是地壳内部巨大能量快速释放的过程。华蓑山断裂带在印支期早期的强烈活动性,使得研究区早三叠世飞仙关期地震的发生及飞一段震积岩形成成为可能。

## 2 川东下三叠统飞仙关组震积岩识别标志及特征

川东下三叠统飞仙关组中保留有许多层内构造变形等非正常沉积构造现象。通过对野外剖面和岩心的观察描述发现,这些构造现象是未固结或半固结

① 中国石油中青年创新基金(06E1018),四川省重点学科建设项目(SED0414)

收稿日期: 2009-02-22 收修改稿日期: 2009-06-27

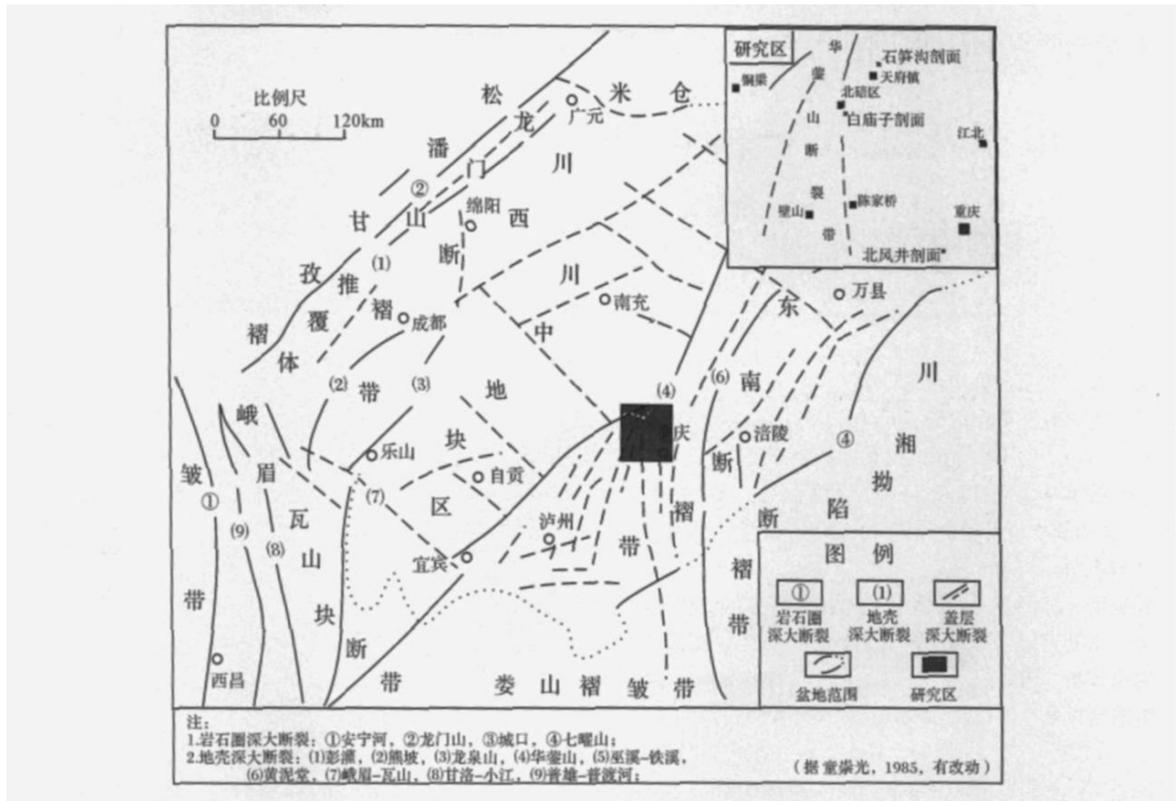


图 1 四川盆地构造纲要及研究区位置示意图

Fig 1 Structural section and the study area in Sichuan Basin

的沉积物在某种诱因下发生的变形构造,主要有液化泥晶岩脉、重力断层、刺穿层理、肠状构造、泄水构造(火焰构造)及卷曲变形构造等识别标志。

## 2.1 液化岩脉

沉积岩脉是一种沉积物液化泄水的结果<sup>[8]</sup>。北碚白庙子剖面飞一段可见液化碳酸盐岩脉(图 2A),在露头上长短、宽窄不一致,一般 10~5 mm 宽。岩脉为泥晶灰岩,围岩为钙质泥岩,岩脉呈绕曲状,与丘状层伴生。

## 2.2 重力断层

重力断层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,也见平行排列呈阶梯状小断层,限于层内发育,一般不切穿上下岩层。断距一般 1~10 mm 倾角较缓,呈上盘下降的正断层。如重庆北碚白庙子野外剖面(图 2B)和临 12 井飞一段的层内错断。

## 2.3 “刺穿层理”现象

北碚白庙子飞一段发现有较大的岩片与地层层面垂直,砾石周围泥灰岩呈绕曲状,成“八”字型排列(图 3)。似乎为“飞石”状落入较细的围岩中,产生“刺穿层理”现象<sup>[18]</sup>。“八”字型不协调岩块内层理

与围岩不一致,呈零散的块体,属于地震震塌的掉块。可能是地震诱发局部较高部位已固结岩层发生坍塌滑入低部位未固结沉积物中而形成,具有“刺穿层理”现象的岩石称为震塌岩<sup>[8]</sup>。

## 2.4 肠状构造

肠状构造集中发育在飞一段的生屑砂屑灰岩中,褶曲轴面无规律可循,纹层连续弯曲,少量错断。厚几厘米到十几厘米,上下多为正常的泥灰层。在北碚白庙子飞一段剖面可见大量的肠状构造(图 4A)。它是振动引起半固结的生屑砂屑灰岩液化,液化物在垂向重力作用下滑动变形,形成一系列形态各异的小型紧闭型褶曲。

## 2.5 包卷变形构造

包卷变形构造主要表现为泥灰岩、泥条带在层内发生明显褶曲,为振动液化形成的形态各异的小型褶曲,呈包卷状、波状或槽状起伏。包卷变形构造和肠状构造相当于乔秀夫等(1994)所称的震褶岩。包卷变形构造在北碚白庙子飞一段剖面比较典型(图 4B)。

## 2.6 火焰构造

北碚白庙子飞一段发现有火焰构造(图 5),火焰



图 2 川东地区飞一段液化岩脉和重力断层(阶梯状小断层)

Fig. 2 Liquefied vein and gravity fault of the Fei 1 Member in the eastern Sichuan Basin



图 3 川东地区飞一段“刺穿层理”现象

Fig. 3 Piercement bedding of the Fei 1 Member in the eastern Sichuan Basin

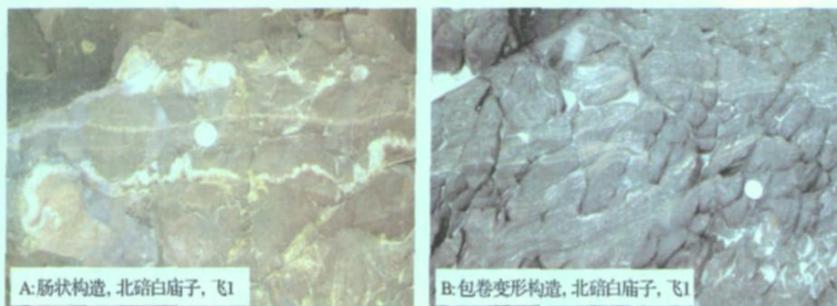


图 4 川东地区飞一段液化曲卷变形构造(肠状构造和包卷变形构造)

Fig. 4 Liquefied fold deformation structure of the Fei 1 member in the eastern Sichuan Basin



图 5 川东地区飞一段火焰构造

Fig. 5 Flame structure of the Fei 1 member in the eastern Sichuan Basin

构造是泥质沉积物受强烈震动引起的沉积物液化后，由于上覆沉积物的差异挤压，高压孔隙水沿受压相对小的固定通道泄出时携带的泥质滞留形成的。飞一

段的火焰构造显示孔隙水以向上排泄为主，“火焰”高 1~5 m。

以上论及的鉴别标志并非仅有古地震成因的唯

一解释,单个标志形成的驱动机制或具有多解性。然而,从保留这些识别标志的沉积单元在时间和空间上的组合规律分析,地震是这些变形构造最可靠的驱动机制。

### 3 飞仙关组震积岩序列

震积岩序列是地震沉积序列的简称,是震积沉积单元的规律组合,它反映了地震波改造或破坏先成沉积物的全过程<sup>[19]</sup>。

#### 3.1 沉积单元

通常震积作用形成的沉积包括原地震积岩、海啸岩、震浊积岩和背景沉积组成震积岩沉积序列的基本沉积单元<sup>[12]</sup>。受距震源位置、地震强度以及观察剖面位置不同的影响,震积单元可能缺失一个或多个单元。据笔者对川东飞一段震积岩的研究,飞一段震积沉积单元包括:原地震积岩(A)、震积—海啸岩(B)和背景沉积(C),每个沉积单元的内部组成存在差别。

原地震积岩(A单元),川东飞一段原地震积岩主要包括液化碳酸盐岩脉(a)、震褶岩(b相当于液化包卷层、肠状构造层等)、震裂岩(c相当于震裂岩、阶梯状断层)等。完整的有序组合为 a-b-c 但多数为不完整的组合方式甚至是无序的组合方式。如北碚白庙子剖面 A 单元的 a-b-c 和 b-c 组合(图 6)。

震积—海啸岩(B单元),震积—海啸岩为地震诱发局部较高部位已固结岩层发生坍塌滑入低部位

未固结沉积物中而形成,为异地来源。川东飞一段震积—海啸岩为脆性角砾状碳酸盐岩,背景地层层面与角砾垂直或呈绕曲状(图 3),角砾内层理与围岩不一致,角砾呈零散状,属于地震震塌的掉块。

背景沉积(C单元)是地震停止期或间歇期的未震层。

#### 3.2 震积岩序列

对震积岩序列研究有利于认识地震沉积作用的规律,再造当时的地震作用,对分析地震对沉积岩(物)的影响具有重要的意义。笔者依托对川东飞一段震积岩沉积单元及其组合特征的研究,建立了川东地区飞一段震积岩序列: A<sub>1</sub>-B-A<sub>2</sub>-C(图 7),震积岩序列反映了飞一期地震沉积作用的规律。

A<sub>1</sub>单元,由液化碳酸盐岩脉(a)、震褶岩(b)、震裂岩(c)构成,位于序列下部,代表从地震发生到衰减期的原地沉积系统。以液化岩脉为代表标志的 a 处于底部,为地震初始期的沉积物液化产物;向上为以包卷、皱曲构造为代表的 b 为液化后揉皱的产物,形成于地震强烈期; A<sub>1</sub>单元上部的 c 为液化揉皱后期错断而成,是地震衰减期的产物。

B 单元,位于 A<sub>1</sub>单元上部,为不协调砾石层,砾石大小不等,具有正粒序特征。该单元以发育“刺穿层理”为典型特征,刺穿砾石周围泥灰岩呈绕曲状,表明砾石为异地系统的外来物,可能为地震震塌的掉块,是地震强烈期或海啸阶段产物。

A<sub>2</sub>单元,位于 B 单元之上,由震褶岩(b)和震裂

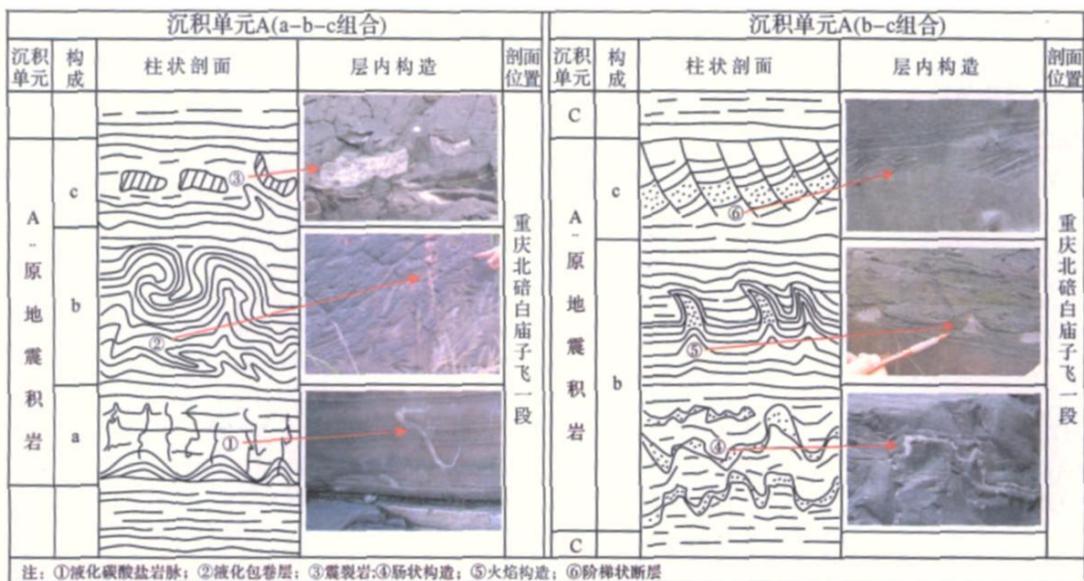


图 6 川东地区飞一段原地震积岩(A单元)

Fig 6 Autochthonous seismite(A) of the Fei 1 Member in the eastern Sichuan Basin

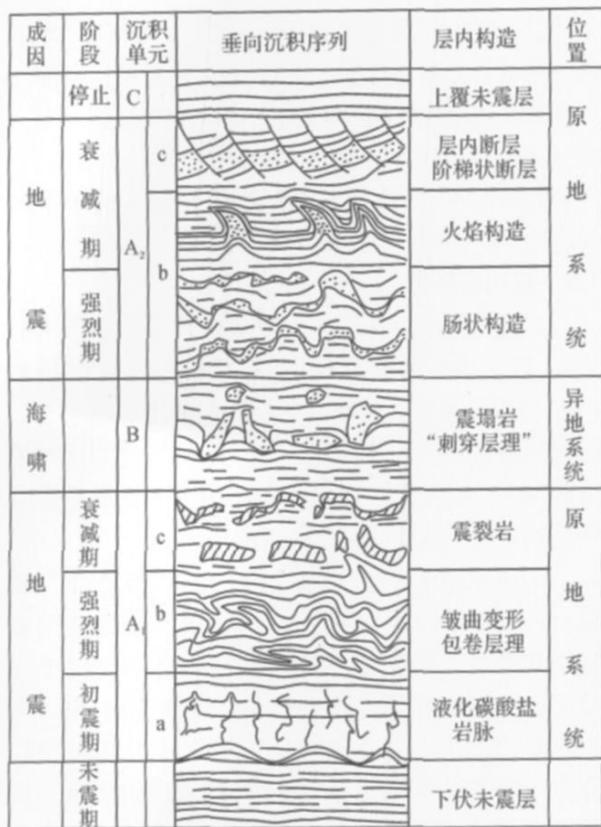


图 7 川东飞一段震积岩垂向序列模式图

Fig 7 Seismicite sequence of the Fei 1 Member in the eastern Sichuan Basin

岩(c)构成。震褶层(b)以肠状构造和火焰构造为代表,肠状构造为液化物在强烈震动下滑动变形形成的紧闭型褶曲,发育在地震强烈期;火焰构造为液化物受上覆沉积物挤压泄水形成,多处出现在地震衰减期。A<sub>2</sub>单元震裂岩(c)以发育阶梯状断层为标志,是地震衰减后期的产物。阶梯状断层为液化泄水作用停止后,在自身重力作用下地面(沉积物表面)下沉所致。

C单元,为地震停止或间歇期的正常沉积物,常称为背景沉积。

依据杜远生<sup>[12]</sup>提出的地震沉积完整组合,川东飞一段震积岩至少是两个震积序列(A-B和A-C)的垂向叠置,但各震积序列发育不全。这表明川东飞一段震积岩为多次地震的产物,飞一沉积期为川东地区地震活动的频发期。

#### 4 震积岩的形成机理及地质意义

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,仍将今论古的原则,地史时期的地震同

样应与构造强烈活动像伴生。所以,可以通过震积岩的研究恢复古构造的活动性<sup>[12]</sup>,帮助认识沉积盆地的大地构造背景。

川东地区飞一段震积岩仅局限在华蓥山断裂带附近,如北碚白庙子剖面。在远离断裂带的地区未见典型震积岩,如石笋沟剖面、重庆北风井剖面等。这表明飞一段震积岩的形成与华蓥山深大断裂带有着某种成因联系。

前以叙述,受上扬子地台区应力转换的影响,华蓥山断裂带在早三叠世活动加剧,断裂带的活动性为地震频发提供了条件。川东飞一段震积岩的发现说明飞一沉积期为古地震频发期,古地震为华蓥山断裂带活动诱发成因。川东飞一段震积岩的发现印证了早三叠世飞仙关期华蓥山断裂带正处于断裂活动强烈期。

#### 5 结论

(1)川东华蓥山断裂带附近飞一段发育震积岩,发育液化岩脉、重力断层、肠状构造、泄水构造(火焰构造)、刺穿层理及卷曲变形构造等识别标志

(2)川东飞一段震积岩由原地震积岩(A)、震积—海啸岩(B)和背景沉积(C)三个沉积单元组成,各震积单元组成A<sub>1</sub>-B-A<sub>2</sub>-C地震沉积序列。

(3)川东飞一段震积岩的发现说明早三叠世飞仙关期华蓥山断裂带正处于强烈活动期。华蓥山断裂带强烈活动诱发地震是飞一段震积岩形成的动力机制。

#### 参考文献 (References)

- 1 Heezen B C Ewing M. Turbidity currents and submarine slumps and 1929 Grand bank earthquake J. American Journal of Science 1952 250(12): 849-873
- 2 Heezen B C Dyke C L. Grand bank slump J. AAPG Bulletin 1964 48(2): 221-225
- 3 Mohindra R Bagati T N. Seismically induced soft sediment deformation structures (seismites) around Sumdo in the Lower Spitti valley (Tethys Himalaya) J. Sedimentary Geology 1996 101(1-2): 69-83
- 4 Bhattacharya H N Sandip B. Seismites in a Proterozoic tidal succession Singbhum Bihar India J. Sedimentary Geology 1998 119(3-4): 239-252
- 5 Plaziat J C Almanou M. Mechanic processes active in seismites their identification and tectonic significance in the Pliocene Basin of the Saïs of Fes and Meknes (Morocco) J. Geodynamic Acta 1998 11(4): 183-203

- 6 Shiki T, Cita M B, Gorsline D S. Sedimentary features of seismite, seisno-turbidites and tsunamites: an introduction [ J ]. *Sedimentary Geology*, 2000, 135(1-4): 7-9
- 7 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 [ J ]. *科学通报*, 1988, 38(8): 609-611
- 8 乔秀夫, 宋天锐, 高林志, 等. 碳酸盐岩振动液化地震序列 [ J ]. *地质学报*, 1994, 68(1): 16-32
- 9 乔秀夫, 李海兵, 高林志. 华北地台震旦纪—早古生代地震节律 [ J ]. *地学前缘*, 1997, 4(3-4): 155-160
- 10 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 [ J ]. *科学通报*, 1999, 44(16): 1753-1758
- 11 乔秀夫, 高林志, 彭阳, 等. 古郑庐带沧浪铺阶地震事件、层序及构造意义 [ J ]. *中国科学: D 辑*, 2001, 31(11): 911-918
- 12 杜远生, 韩欣. 论震积作用和震积岩 [ J ]. *地球科学进展*, 2000, 15(4): 389-394
- 13 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 [ J ]. *中国科学: D 辑*, 2001, 31(4): 284-290
- 14 陈世悦, 袁文芳, 鄢继华. 济阳拗陷早第三纪震积岩的发现及其意义 [ J ]. *地质科学*, 2003, 38(3): 377-386
- 15 夏青松, 田景春. 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 [ J ]. *沉积学报*, 2007, 25(2): 246-252
- 16 李元昊, 刘池洋, 王秀娟. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组震积岩特征研究 [ J ]. *沉积学报*, 2008, 25(5): 772-779
- 17 童崇光. 四川盆地断褶构造形成机制 [ J ]. *天然气工业*, 1992, 12(5): 1-6
- 18 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 [ J ]. *地球科学*, 1994, 19(6): 845-850
- 19 田洪水, 张增奇. 山东安丘地区郑庐断裂带古近纪冲积物震积岩序列 [ J ]. *地质科学*, 2006, 41(2): 208-216

## Discovery and Recognition Marks of Seismite of the Fei 1 Member in the Eastern Sichuan Basin

LUO Bing<sup>1</sup> TAN Xiu-cheng<sup>1</sup> LIU Hong<sup>1</sup> LI Ling<sup>1</sup>  
ZOU Juan<sup>2</sup> CEN Yong-jing<sup>3</sup> QIU Wen-bin<sup>3</sup>

(1 Department of Resource and Environment, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500)

2 Northwest Sichuan Gas Field of Southwest Oil and Gas Field Branch Company, PetroChina, Jiangyou Sichuan 621700

3 Central Sichuan Mining District of Southwest Oil and Gas Field Branch Company, PetroChina, Suining Sichuan 629000)

**Abstract** Syn depositional deformation structures were well developed in the Fei 1 Member nearby the Hua Yingshan fracture belt in the eastern Sichuan Basin. Based on studies of regional tectonic setting and observation of geologic cross-sections and drilling cores, it is concluded that these structures, such as liquefied vein, gravity fault, bedding phenomenon, enterolithic structure, flame structure, convolute beddings were mainly produced by seismic liquefaction. According to recognition marks and combination characteristics, seismic sedimentary process can be divided into autochthonous seismite (A), tsunamite (B) and background deposit (C) units, of which unit A consist of liquefied vein (a), seismic corrugated rock (b) and shattering rock, which are associated into two types of associations, a-b-c (A<sub>1</sub>) and b-c (A<sub>2</sub>). The sedimentary sequence of seismite of the Fei 1 Member in the eastern Sichuan Basin is A<sub>1</sub>-B-A<sub>2</sub>-C. Combining with the cognizance of regional tectonic setting, it indicates that the seismite is in connection with the Hua Yingshan fracture belt, and the seismic activities due to the activities of the Hua Yingshan fracture belt provided dynamics for the developing of seismite of the Fei 1 Member in the eastern Sichuan Basin.

**Key words** sedimentary sequence; recognition mark; seismite; Fei 1 Member; Eastern Sichuan Basin