

文章编号: 1000-0550(2012)03-0477-13

四川盆地东南部早三叠世地震事件沉积及其地质意义^①

张廷山^{1,2} 陈晓慧² 刘治成¹

(1. “油气藏地质与开发工程国家重点实验室”(西南石油大学) 成都 610500; 2. 西南石油大学资源与环境学院 成都 610500)

摘要 四川盆地南部及东南部下三叠统飞仙关组和嘉陵江组中常发育有一系列宏观及微观的软沉积物变形、震积角砾岩块、板状砾屑、层内微断层等特殊的地震成因沉积构造。飞仙关组震积岩在重庆北碚白庙子剖面飞仙关组第一、二段中产出,嘉陵江组震积岩产于四川叙永龙洞湾嘉陵江组第二段及四川兴文、贵州习水等地的相同层位中,其沉积序列明显,反映了古地震从开始至平静的全过程。作者认为,早三叠世时,上扬子板块西缘以川西义敦弧的演化为代表的三江构造带活动强烈,可能与四川盆地早三叠世震积岩的形成有联系,随着三江构造带板块碰撞、洋壳俯冲消减,能在较大区域内引发地震活动、火山喷发。

关键词 震积岩 沉积序列 成因及地质意义 早三叠世 四川盆地

第一作者简介 张廷山 男 1961年出生 博士 教授 博士生导师 沉积地质学 E-mail: zts_3@126.com

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

地震为瞬时灾变事件,多为构造运动所引起。自1969年 Seilacher 定义震积岩(seismites)后,国内外许多学者对地震所形成的震积岩及地震引发海啸所形成的沉积—海啸岩(tsunamite)进行了较为系统的讨论和总结,推动了地震事件沉积学的发展。我国幅员辽阔,地质构造多样,从地质历史时期到今天,地震事件时有发生。从20世纪80年代后期开始,许多地质学家对我国从前寒武纪以来至新生代保存于各地地层中的震积岩、震积岩序列等开展了大量研究,取得了一系列丰硕的成果,其研究程度与国际上基本同步^[1-10]。但是,前人研究涉及到上扬子板块,特别是四川地区的较少,仅梁定益等^[11,12]对川西、滇西二叠纪时古大陆边缘因地震而形成的不整合和震积岩特征,以及吴贤涛、尹国勋^[13]对四川盆地峨眉晚侏罗世湖相碎屑岩中的震积岩序列等有过研究。作者在进行野外地质调查过程中,发现四川盆地南部及东南部下三叠统飞仙关组和嘉陵江组中常发育有一系列宏观及微观的软沉积物变形、震积角砾岩块、板状砾屑、层内微断层等特殊的地震成因沉积构造,经仔细分析,推断这些特殊的沉积构造应与上扬子板块西缘的构造演化关系密切。早三叠世时,上扬子板块西缘以川西义敦弧的演化为代表的三江构造带活动强烈,可能与四川早三叠世震积岩的形成有联系。

1 震积岩地层分布

震积岩分别发现于四川盆地东南部重庆市北碚

区下三叠统飞仙关组一、二段和四川盆地南部叙永县龙洞湾下三叠统嘉陵江组第二段中。在四川兴文县及贵州习水县下三叠统嘉陵江组第二段中也有发现(图1)。

重庆市北碚区白庙子飞仙关组下部一至三段位于观音峡背斜倾伏端,嘉陵江观音峡段南岸,其飞一段(T_1f^1)主要是紫褐色钙质泥岩、泥灰岩,总厚度为72.72 m。其下部含有较多的火山碎屑物,即凝灰质粉砂岩^[14],并发育水平层理及沙纹层理。中部具含砾泥质灰岩(震积岩)、泥晶灰岩夹层,发育水平层理、单向流沙纹层理、小型同生断层、液化变形构造、层间微侵蚀、微型泄水构造、遗迹化石等。仅在底部页岩中产 *Claraia* sp.、*Lingula* sp.、*Hollinella tingi* 等化石。飞二段(T_1f^2)主要为灰色纹层状灰岩夹藻叠层灰岩、震积岩、鲕粒灰岩,发育羽状交错层理、脉状层理、波状纹层、干裂等。总厚度为29.35 m。飞三段(T_1f^3)是厚薄相间的紫褐色泥灰岩,生屑灰岩点缀其间(图1)。飞一及飞二段都为潮坪沉积环境。

重庆北碚地区飞仙关组第一至第三段化石较少,也未获得牙形刺化石。仅在飞仙关组第四段获得了较多的牙形刺化石, *Neogondolella carinata*(龙骨新舟刺)带由飞四段底延续到飞四段中部,为早三叠世印度阶中部的代表^[15]。因此,本区飞仙关组第一至第二段应归于印度阶下部。

^①国家自然科学基金重点项目(批准号:40334038)及国家自然科学基金项目(批准号:40572077)的联合资助。
收稿日期:2011-05-20; 收修改稿日期:2011-07-21

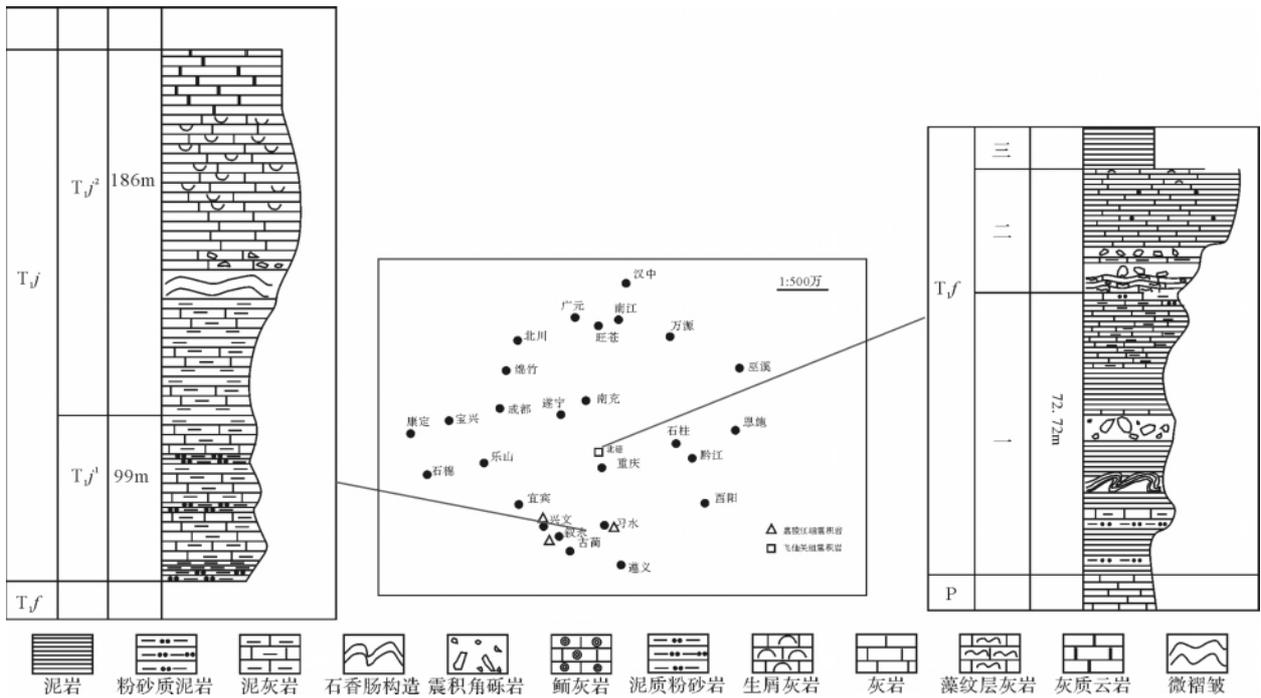


图1 四川盆地东南部下三叠统地层及震积岩分布图

Fig. 1 The Lower Triassic seismites distribution in the southeast part of Sichuan Basin

四川盆地南部叙永县龙洞湾下三叠统嘉陵江组可分为五段 第一段(T_{1j}^1) (铜街子段) 为灰、绿灰、杂色中厚—薄层泥质灰岩夹板状含钙粉砂质泥岩 底部为灰绿色粉砂质页岩 厚 99 m。产 *Entolium disoites*, *Eumorphotis inaequicostata*, *Gervillia* sp., *Lingula* sp. 等化石。第二段(T_{1j}^2) 为深灰夹灰黑色薄—中厚层灰岩 夹生物碎屑灰岩透镜体。其中下部发育发育水平层理、单向流沙纹层理、液化变形构造、层间微侵蚀、波痕、遗迹化石等。向上泥质逐渐增多 至顶部为灰质白云岩夹薄层泥质灰岩 厚 186 m。产 *Eumorphotis inaequicostata*, *Unionites fassaensis*, *Gervillia* sp. 等化石(图 1)。上述化石组合均为扬子板块早三叠世的重要分子。

2 震积岩主要类型

震积岩为在不同构造与沉积背景下 因地震作用而产生的各种作用力对原来沉积的沉积物改造、再沉积而形成的具有特殊沉积构造的沉积类型。震积作用可以表现为对大陆沉积物(包括地表和地下) 的改造 也包括地震、海啸及其触发的重力流对海底沉积物的各种改造。震积岩具有不同类型的识别标志 但对震积岩的识别 至今尚未提出统一的标志 也没有标准术语来描述震积变形构造。根据前人研

究^[16~21] 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。一般认为 由震积作用形成的沉积包括震积岩(A 单元 原地系统)、海啸岩(B 单元 准原地系统)、震蚀积岩(C 单元 异地系统) 加上背景沉积(D 单元) 组成震积岩沉积序列的基本沉积单元 每个沉积单元的内部组成又有差别^[22, 23]。不仅在露头剖面及岩芯上能观察到宏观地震事件沉积构造 而且在薄片中也常常能见到微观的地震事件沉积构造^[24]。本区飞仙关组及嘉陵江组宏观及微观地震事件沉积构造有以下基本类型。

2.1 宏观特征

2.1.1 软沉积物变形

软沉积物液化变形构造包括卷曲变形(滑动变形构造、“香肠状构造”) 和微褶皱(纹层塑性变形)。在重庆北碚飞仙关组飞一段中卷曲变形构造表现为在泥岩层内发生发生卷曲 呈包卷状、波状等(图版 I-1); 四川叙永龙洞湾嘉陵江组第二段中卷曲变形构造表现为薄层泥晶灰岩层呈紧闭形、波状褶曲 褶曲长约 20 cm × 10 cm 左右(图版 I-2)。香肠状构造产于重庆北碚飞一段厚层粉砂质泥岩层中 成分为灰质 厚几厘米至十几厘米不等 其褶曲轴面多变 褶

曲形态各异(图版 I-3)。微褶皱(纹层塑性变形)见于重庆北碚飞二段及四川叙永龙洞湾嘉陵江组第二段中,微褶皱产于纹层状薄层灰岩层中,表现为纹层状薄层灰岩层轻微褶皱,褶皱的弧度不高,仅为波状起伏状(图版 I-4、5)。除了研究区外,四川宣化县鸡唱^[25]及旺苍双汇飞仙关组第一段中也发育有包卷层、微褶皱等软沉积物变形构造,也可能与古地震活动有关。软沉积物变形是沉积物沉积后,在固结之前由于差异性压实、液化、滑动、滑塌等所形成,其形成过程往往伴随有地震的触发因素^[26]。在通常条件下,卷曲变形构造一般形成于台缘斜坡、三角洲前缘或大陆坡等具有一定坡度的沉积环境中^[27、28],但地震也可引发平坦沉积环境中沉积物的卷曲变形,Field等^[29]在详细研究了加利福尼亚州 Klamath 河三角洲现代沉积后提出,因地震所形成的卷曲变形构造可以在坡度小于 0.25° 的海底平坦环境中产生,而引发此类变形构造的地震需达 6 至 7 级(Magnitude)。虽然飓风等所引发的大风暴浪可产生很强的底流,但前人^[28、30-32]对大巴哈马滩等地现代大陆架碳酸盐台地沉积环境及大陆架灰泥沉积物及沉积特征研究后,认为大风暴浪通常不会使软沉积物发生变形。Guiraud等^[33]讨论了震积岩与白垩纪古地震震级的关系,将软沉积物液化卷曲变形形成过程与同沉积断层活动所引发的地震相联系,同时考虑了震源深度、地震震级和沉积物液化关系,排除了古斜坡、重力负荷及成岩作用引起的变形。在地质历史中,软沉积物的卷曲变形构造分布较广,同时具有小型的同沉积断层,这种沉积构造常与地震的震动成因相联系,并被认为是确定古地震存在的关键证据之一^[34-39]。乔秀夫等^[20]将具包卷变形及香肠状沉积构造的岩层称为震褶岩,代表原始的沉积物在原地被地震作用所改造而形成。

2.1.2 板状砾屑

重庆北碚飞仙关组第二段纹层状薄层泥晶灰岩层为碳酸盐潮坪沉积产物^[40],其下部发育有砾径大小不一的板状砾屑层,夹于正常层序的纹层状薄层泥晶灰岩层中。过去,一般将其定义为风暴成因的沉积产物^[40],但是仅仅归结为风暴成因不能很好的解释此板状砾屑层下部为何无侵蚀面,层内也无粒序。根据其沉积特征,推测此碳酸盐潮坪沉积产物在构造活动平静期,沉积形成具藻纹层、水平纹层的薄层泥晶灰岩层,在地质构造活动期,一些处于半固结状的塑性薄层沉积层被地震震裂,形成大小不一的板状砾屑

块体,表现为板状砾屑在横向上突然出现碎裂现象。碎裂的板状砾屑一般呈撕裂状,顺层分布,相邻岩块有时能拼接到一起(图版 I-6),但基本上还呈原始沉积状态,没有产生位移,为一类震裂岩。有些被地震震裂的板状块体后来又被由地震引发随之而来的大风暴浪(海啸)扰动、再沉积,形成较为杂乱堆积的板状砾屑(图版 I-7、8,图 2)。Pratt^[41]研究了美国蒙大拿州中北部上寒武统潮下沉积的死木(Deadwood)组的沉积特征,其中杂乱堆积的钙质细砂岩、粉砂质泥页岩板状砾石层夹于具水平纹层的薄层钙质细砂岩、粉砂质泥页岩中,他认为板状砾石层的成因与较强地震引发的大风暴浪(海啸)扰动有关。此板状砾石层沉积特征与重庆北碚飞仙关组第二段中的板状砾石层有一定可比性,均为准原地沉积。

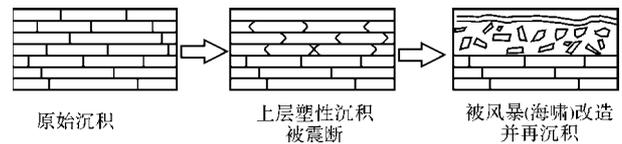


图 2 板状砾屑形成示意图

Fig. 2 The formation of tabular-pebbles

2.1.3 震积角砾岩

在重庆北碚白庙子剖面飞仙关组第一段和四川叙永龙洞湾剖面嘉陵江组第二段中,均发育有大小、形态和磨圆度都不相等的砾石沉积,其形态有不规则块状、近球形或板状,大小从 $0.5 \sim 25$ cm不等,岩性为灰、灰白色厚层块状泥晶灰岩,部分具一定的磨圆度,与围岩岩性有一定的差异,呈不协调状,显示其来源于相邻地点沉积。有些较大的呈“八”字产出的板状砾石(重庆北碚飞一段)或块状砾岩(重庆北碚飞一段及叙永龙洞湾嘉二段)沉陷于围岩层中,它们在下沉、下插入未固结的围岩过程中,对未固结的围岩造成牵引而形成了向下微曲的纹理(图版 II-1、2、3、4,图 3)。罗冰等^[42]将其描述为“刺穿层理”现象。通常,此种特征被认为是在地震发生的过程中,震动使相邻地点的未完全固结的岩层破裂,经海啸浪等的扰动和短距离搬运,沉落入本区未固结的塑性沉积物中而形成此类型沉积构造^[43]。而杜远生等^[44]将此类型沉积构造称为落石沉陷构造,代表了准原地沉积。震积角砾岩与乔秀夫等^[20、21]定义的震塌岩不同,虽然震塌岩在地层中也与围岩的边界清楚,呈零散分布的块体,其层理与围岩不一致,但其成分与围岩相同,是原地岩层被地震震塌而形成。

2.1.4 层内微断层

在重庆北碚白庙子剖面飞仙关组第一段、第二段中都发育有层内微断层,有的单独产出,也见有平行排列呈阶梯状。它们都限于层内发育,不切穿上下岩层,且断距小,断层面倾角较缓。层内微断层是在地震发生时,震动使未固结的沉积层产生的断裂。

2.2 微观特征

在四川叙永龙洞湾、四川兴文建设村、兴文大理村、兴文城东及贵州习水黄木坪等地嘉陵江组第二段的岩石薄片,都发现有发育较好的微观震积岩沉积构造特征,它们与本区宏观震积岩沉积构造沉积层位相同,起到了相互补充的作用。

2.2.1 微观液化卷曲变形构造

微观液化卷曲变形构造为泥晶灰岩纹层所反映出的卷曲变形、褶皱等现象,其特征在形态上与宏观液化卷曲变形构造特征十分相似,反映了在地震活动期末完全固结的灰泥沉积纹层因震动产生液化变形,代表了地震事件的原地沉积(图版II-5f)。

2.2.2 微观板状砾屑层

在薄片,可见毫米级纹层状泥晶灰岩薄层夹有显微板状砾屑层,排列杂乱,有的呈“八”字形或呈菊花状排列,有的呈叠瓦状排列。而其下伏显微板状砾屑虽然破裂,但未变位,其原始沉积产状不变。微观板状砾屑层的形态与成因与宏观特征具可比性(图版II-78)。

2.2.3 微观错断

在四川叙永龙洞湾嘉陵江组第二段部分薄片可见使毫米级纹层断开的微型层内错动,这种显微层内断层也被以为是地震诱发而形成(图版III-1)。

2.2.4 微观火焰构造

微观火焰构造是由于地震震动使未固结的沉积物液化后,因上覆沉积物的差异压实作用,高压孔隙水向上层泄水时所留下的构造。由于研究区嘉陵江组第二段中有的层中含有较多细砂屑的沉积物,其含水比灰泥沉积的多,在地震时易产生液化,因此形成了火焰构造(图版III-2)。据宋天锐等[24]研究,震积岩中显微级的火焰构造因易于保存而比较常见。

2.2.5 介壳层

研究区嘉陵江组第二段部分震积岩序列上部,发育有壳体反扣沉积的介壳层。由于其产于震积岩序列中,因而可能与地震诱发海啸的扰动作用有关(图版III-3),Seilacher[16]将其成因与古地震相联系。

3 震积岩沉积序列

重庆北碚飞仙关组第一段中震积岩特征明显,沉积序列发育清晰,从下至上,可划分出三个地震活动期(图5)。第一地震活动期在飞一段下部,发育地震震期和上覆地震诱发海啸期沉积,可与英国三叠纪震积岩序列对比[45]。其上为第二地震活动期,发育了地震震动而形成的香肠状构造、火焰构造及层内微断层,海啸沉积不发育,可能地震第二活动期的震级小于第一地震活动期,没有引发海啸。第三地震活动期在飞二段中下部,与第一地震活动期一样,具有地震震期和地震诱发海啸期沉积,但沉积特征有所不同。其上部为具羽状交错层理的潮坪沉积(图版III-4)。

层位	特征	诱因	沉积位置	剖面结构
T ₁ ^f	具水平层理,羽状交错层理	平静期	原地	
	藻纹灰岩板状砾石破碎呈竹叶状,八字形,叠瓦状排列	地震诱发海啸	准原地	
	上部藻纹层灰岩呈破裂状,但没有位移;下部藻纹层灰岩具微型褶皱,微断层	地震	原地	
T ₂ ^f	上部具微断层,中部具火焰构造,下部发育香肠状构造	地震	原地	
	水平层理、丘状层理、震积角砾岩沉积。有呈“八”字形板状砾,有不规则砾石,砾石落入未固结沉积,使其向下弯曲	地震诱发海啸	准原地	
	液化卷曲变形,包卷层理,下部具少量微断层	地震	原地	
	地震事件前正常沉积			

图3 重庆北碚飞仙关组震积岩沉积序列

Fig.3 The sedimentary sequence of seismites in Feixianguan Fm., Chongqing

嘉陵江组第二段震积岩序列以四川叙永龙洞湾剖面中震积岩为代表,发育了从地震前至地震震期再到地震诱发海啸期的各期沉积,震积岩序列清楚(图4)。嘉陵江组第二段震积岩序列从下至上,发育有:纹层状泥晶灰岩,为地震前期沉积;具小型褶皱的纹层状泥晶灰岩层,代表了因地震活动而引起的塑性变形,约10 cm厚,为原地沉积系统;沉陷于围岩层中的大型震积角砾层,以及其上部沉陷于围岩层中的小型震积角砾层和塑性变形褶皱组合,厚约35 cm,为准原地沉积系统;层面具波痕的纹层状泥晶灰岩,代表地震平静期沉积(图版III-5)。地震的发生对海底生

态环境也具有较大的影响,在四川叙永嘉陵江组第二段沉积期,地震发生前底栖生物较丰富,地层中具大量遗迹化石,有 *Palaeophycus* 遗迹组合及 *Planolites - Helminthopsis* 遗迹组合^[46],至地震震期,生态环境遭到破坏,不适于底栖生物生活,震积岩层中未发现遗迹化石,地震平静后,生态环境获得恢复,底栖生物又开始出现,在地震平静后沉积的具波痕的地层层面上,又产有一定数量的遗迹化石(图版 III-6)。

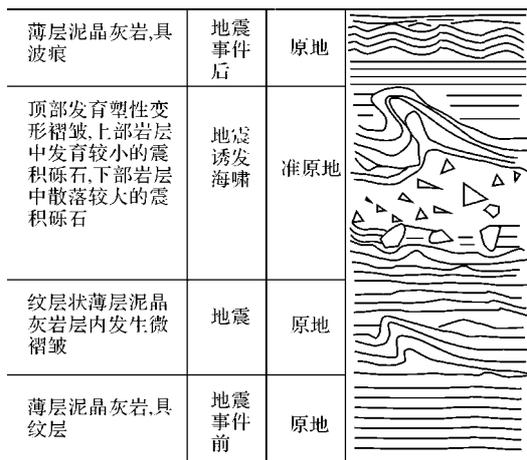


图 4 四川叙永嘉陵江组震积岩沉积序列

Fig. 4 The sedimentary sequence of seismites in Jialingjiang Fm. at Xuyong, Sichuan

4 震积岩的形成机理及地质意义

地震的发生必然与构造活动有关。重庆北碚白庙子飞仙关组剖面位于华蓥山断裂带附近,其震积岩的发育曾被认为与华蓥山断裂带活动有关^[42]。但是,据李忠权等研究^[47, 48],包括华蓥山在内的川东南“隔档式构造”的形成经历了褶前张裂、初步褶皱、晚期定型 3 个主要演化阶段,其活动主要在喜马拉雅运动期,而飞仙关期及嘉陵江期断裂活动性不强,不可能产生强震。另外,龙门—锦屏山的崛起与白垩纪以来扬子板块岩石圈对于松潘—甘孜地体的陆内俯冲作用有关^[49],因此,龙门—锦屏山构造带的活动也不是引起本区早三叠世地震的原因。飞仙关期及嘉陵江期震积岩除在研究区分布外,在四川盆地其它地方也有发育,同时,重庆北碚白庙子飞仙关组第一段下部具有较多的火山碎屑物沉积,因此,要形成三叠纪早期在四川盆地内较为广泛分布的震积岩,当时在上扬子板块某区域必定有较强的大地构造活动,即持续的火山作用及地震活动。

四川盆地早三叠统中所发育的震积岩不仅横向

分布较广,在纵向上也有多套产出,而且具有典型的软沉积物液化变形构造,还发育有海啸所形成的沉积层,因此要求形成这些震积岩的地震震级强,时间长,板块内部的断裂活动可能不足以形成如此广泛分布的震积岩。作者认为,如此广泛分布的震积岩可能与印支期地块间的相互作用运动有关。以川西义敦弧的演化为代表的三江构造带在上扬子板块西缘的构造活动强烈,可能与四川盆地早三叠世震积岩的形成有联系。川西义敦弧位于松潘甘孜褶皱系与羌塘地块之间,本区发生在早三叠世的最强的构造变形及变质作用反映在义敦弧及羌塘地块之间,其中,甘孜—理塘蛇绿混杂岩带是义敦弧与扬子地块碰撞的缝合带,代表了古特提斯洋俯冲、消减。该带是一个宽数至数十千米的巨型构造域^[50-53]。岩浆火山活动主要为古特提斯洋壳沿理塘巴塘火山弧向东俯冲及沿金沙江缝合带向西俯冲时产生^[54-56]。Reid 等^[57, 58]通过对 7 个花岗岩体中铪石(Hf) 钨同位素分析,获得了代表中生代时构造运动的三组年龄数据:早三叠世—中三叠世(~245 至 229 Ma),晚三叠世(~219 至 216 Ma) 和白垩纪(~105 至 95 Ma)。古生代地层在早三叠纪时的变形源于金沙江缝合带的闭合,中—上三叠统岩层在晚三叠世时的变形源于松潘甘孜理塘盆地的关合。总体上,义敦岛弧的演化主要受理塘缝合带演化的控制,也受金沙江缝合带演化的影响,总体在上三叠纪经历了夭折裂陷槽→不成熟岛弧→成熟岛弧→残余盆地的演化历程^[59, 60]。

早三叠世时,随着上扬子板块西缘的板块碰撞、洋壳俯冲消减,能在较大区域内产生引发海啸的地震活动和火山的频繁喷发。通过松潘—甘孜地区三叠系铪石(Hf) 同位素分析^[57, 58, 61]所获得的代表中生代时构造运动的年龄数据与四川盆地内下三叠统地层中震积岩的地层分布时代较为匹配。同时,在板块碰撞、洋壳俯冲消减的过程中,火山喷发活动沿火山弧进行,强烈的火山喷发后,喷发到大气中的火山灰等火山物质可以大范围扩散,除了在松潘—甘孜—理塘等地早三叠世地层中有沉积外,在四川盆地内也有沉积,重庆北碚白庙子飞仙关组第一段下部夹的火山灰沉积物可能与理塘巴塘火山弧当时的火山活动有关,推测义敦弧在早三叠世的构造演化,持续的板块碰撞,洋壳俯冲消减,是四川盆地内早三叠世震积岩形成的主要原因(图 5)。

5 结论

(1) 震积岩分别发现于四川盆地东南部重庆市

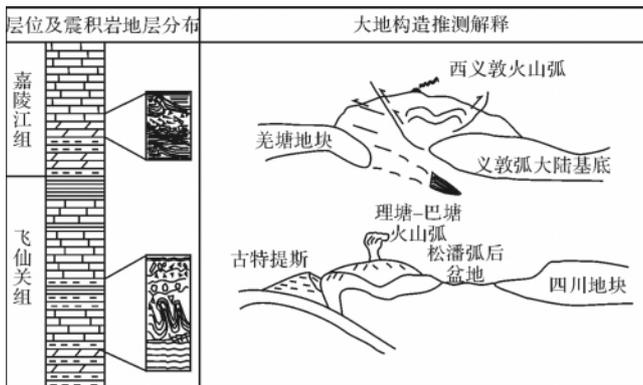


图5 早三叠世扬子板块西缘金沙江缝合带构造演化相关震积岩发育的关系

Fig. 5 The Jinshajiang tectonic belt evolution in the west margin of the Upper Yangzi plate and the relationship of seismites development during the early Triassic

北碚区下三叠统飞仙关组一、二段和四川盆地南部叙永县龙洞湾下三叠统嘉陵江组第二段中,在四川兴文县、贵州习水县下三叠统嘉陵江组第二段中也有发现,同时,四川盆地宣汉鸡唱及旺苍双汇下三叠统飞仙关组下部可能也有产出,震积岩分布较广。飞仙关组和嘉陵江组中常发育的一系列宏观及微观软沉积物变形、板状砾屑、震积角砾岩块、火焰构造、介壳层、层内微断层等特殊的沉积构造,代表了地震事件的沉积。

(2) 以四川盆地东南部重庆市北碚区白庙子下三叠统飞仙关组一、二段和四川盆地南部叙永县龙洞湾下三叠统嘉陵江组第二段中所产出的地震事件沉积出露良好,沉积序列清楚、完整,从下至上,反映了地震活动从开始至平静的全过程。

(3) 四川盆地地下三叠统中所发育的震积岩不仅横向分布较广,在纵向上也有多套产出,作者认为,以川西义敦弧的演化为代表的三江构造带在上扬子板块西缘的构造活动,可能与四川盆地早三叠世震积岩的形成有联系。上扬子板块西缘发生在早三叠世最强的构造变形及变质作用反映在义敦弧及羌塘地块之间,代表了古特提斯洋俯冲、消减。岩浆、火山活动主要为古特提斯洋壳沿理塘巴塘火山弧向东俯冲及沿金沙江缝合带向西俯冲时产生。早三叠世时,随着板块碰撞、洋壳俯冲消减,能在较大区域内引发地震活动、火山喷发。推测义敦弧在早三叠世的构造演化,持续的板块碰撞,洋壳俯冲消减,是四川盆地内早三叠世震积岩形成的主要原因。

致谢 撰写过程中曾就上扬子板块构造演化的

一些问题与贾东教授、陈伟教授进行讨论,贾东教授提供了部分资料。野外工作得到博士研究生黄世伟、王明磊、硕士研究生袁浩、尹富平、杨巍的协助,图件由硕士研究生董银磊清绘,在此表示感谢。

参考文献 (References)

- 1 南凌,崔之久. 地震混杂岩(震积岩)的沉积特征和识别[J]. 地震地质译丛,1996,18(6): 1-9 [Nan Ling, Cui Zhijiu. Sedimentary characteristics and recognition of seismites[J]. Seismology and Geology Versions, 1996, 18(6): 1-9]
- 2 周晓东,陈跃军. 吉南地区晚震旦世震积岩特征[J]. 吉林地质,1998,17(4): 24-28 [Zhou Xiaodong, Chen Yuejun. The Late Sinian seismic depositional rock characteristics in the southern part of Jilin province[J]. Jilin Geology, 1998, 17(4): 24-28]
- 3 乔秀夫,高林志. 华北中新元古代及早古生代地震灾变事件及与Rodinia的关系[J]. 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[J]. Chinese Science Bulletin, 1999, 44(16): 1753-1758]
- 4 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[J]. 沉积学报,1999,24(增刊): 28-37 [Du Yuansheng, Zhang Chuansheng, Han Xin. New Discovery of seismites in Dalongkou Group in Mid-Proterozoic in Dianxi[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1996, 24(Suppl.): 28-37]
- 5 郭胜哲,张立东,张长捷,等. 辽宁太子河流域晚元古宙青白口系震积岩的发现及其意义[J]. 中国区域地质,1999,18(1): 106-109 [Guo Shengzhe, Zhang Lidong, Zhang Changjie, et al. Seismites of the Late Proterozoic Qingbaikou System in the Taizi River Valley of Liaoning[J]. Regional Geology of China, 1999, 18(1): 106-109]
- 6 杜远生,张传恒,韩欣,等. 滇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): 283-289 [Du Yuansheng, Zhang Chuansheng, Han Xin, et al. Mesoproterozoic seismic event deposit and its geological significance in Kunyang Group, Central Yunnan[J]. Science in China: Series D, 2001, 31(4): 283-289]
- 7 乔秀夫,宋天锐,李海兵. 是地震液化泄水成因,不是“渗流管”构造[J]. 科学通报,2002,47(14): 1118-1120 [Qiao Xiufu, Song Tianrui, Li Haibing. Being generated by earthquake liquefaction, not being “seep tube” structure[J]. Chinese Science Bulletin, 2002, 47(14): 1118-1120]
- 8 曹国强,陈世悦,鄢继华,等. 济阳拗陷早第三纪地震事件沉积序列[J]. 地质找矿论丛,2004,19(4): 252-256 [Cao Guoqiang, Chen Shiyue, Yan Jihua, et al. The Early Tertiary sedimentary sequence of earthquake events in Jiyang Depression[J]. Geology Exploration Commentation, 2004, 19(4): 252-256]
- 9 严兆彬,郭福生,彭花明,等. 浙西寒武系大陈岭组地震事件沉积的初步研究[J]. 地质学报,2005,79(6): 730-736 [Yan Zhaobin, Guo Fusheng, Peng Huaming, et al. Polot study on sedimentation of Cambrian Dachenling Formation resulting from seismic events in the west of Zhejiang Province[J]. Acta Geologica Sinica, 2005, 79(6):

- 730-736]
- 10 赵卫卫, 查明, 杨剑萍. 中国震积岩研究综述[J]. 地层学杂志, 2006, 30(2): 171-176 [Zhao Weiwei, Zha Ming, Yang Jianping. An overview of seismite research in China [J]. Journal of Stratigraphy, 2006, 30(2): 171-176]
 - 11 梁定益, 聂泽同, 万晓樵, 等. 试论震积岩与震积不整合——以川西、滇西地区为例[J]. 现代地质, 1991, 5(2): 138-146 [Liang Dingyi, Nie Zetong, Wan Xiaoqiao, et al. On the seismite and seismic disconformity: take the western Sichuan and western Yunnan regions as an example [J]. Geoscience, 1991, 5(2): 138-146]
 - 12 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——中国地质大学学报, 1994, 19(6): 845-850 [Liang Dingyi, Nie Zetong, Song Zhimin. A re-study on seismite and seismo-unconformity: taking western Sichuan and western Yunnan as an example [J]. Earth Science. 1994, 19(6): 845-850]
 - 13 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[J]. 沉积学报, 1992, 10(3): 19-26 [Wu Xiantao, Yin Guoxun. Discovery and significance of seismites of lake deposition of Late Jurassic in Emei in Sichuan [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1992, 10(3): 19-26]
 - 14 杨国美. 重庆北碚地区下三叠统飞仙关组沉积相的基本特征[J]. 西南石油学院学报, 1987, 9(2): 1-14 [Yan Guomei. Fundamental characteristics of sedimentary facies of Feixianguan Formation in Lower Triassic System, Beibei Area, Chongqing City, Sichuan Province [J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 1987, 9(2): 1-14]
 - 15 蒋武. 重庆北碚地区上二叠—下三叠统牙形刺及油气意义[J]. 西南石油学院学报, 1982, 4(1): 12-24 [Jiang Wu. Upper Permian-Lower Triassic Conodonts in Chongqing-Beibei Area and their significance in exploring oil and gas [J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 1982, 4(1): 12-24]
 - 16 Seilacher A. Sedimentary structures tentatively attributed to seismic events [J]. Marine Geology, 1984, 55(1-2): 1-12
 - 17 Lowes D R. Subaqueous liquefied and fluidized flows and their deposits [J]. Sedimentology, 1976, 23(3): 285-308
 - 18 Rodriguez-Pascua M A, 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 [J]. Sedimentary Geology, 2000, 135: 117-135
 - 19 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 [Song Tianrui. A set of possible earthquake-tsunami sequence in Precambrian Carbonate, Shisanling, Beijing [J]. Chinese Science Bulletin, 1988, 33(8): 609-611]
 - 20 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 [Qiao Xiufu, Song Tianrui, Gao Linzhi, et al. Seismic sequence in carbonate rocks by vibrational liquefaction [J]. Acta Geologica Sinica, 1994, 68(1): 16-32]
 - 21 乔秀夫. 中国震积岩的研究与展望[J]. 地质论评, 1996, 42(4): 317-320 [Qiao Xiufu. Study of seismites of China and its prospects [J]. Geological Review, 1996, 42(4): 317-320]
 - 22 杜远生, 韩欣. 论海啸作用与海啸岩[J]. 地质科技情报, 2000, 19(1): 19-22 [Du Yuansheng, Han Xin. Tsunami and tsunamites [J]. Geological Science and Technology Information, 2000, 19(1): 19-22]
 - 23 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 [Du Yuansheng, Han Xin. Seismo-deposition and seismites [J]. Advance on Earth Science, 2000, 15(4): 389-394]
 - 24 宋天锐, 刘燕学. 古地震记录与岩相古地理[J]. 沉积学报, 2009, 27(5): 872-879 [Song Tianrui, Liu Yanxue. Ancient earthquake records and litho-paleogeography [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27(5): 872-879]
 - 25 王一刚, 文应初, 洪海涛, 等. 四川盆地北部晚二叠世—早三叠世碳酸盐岩斜坡相带沉积特征[J]. 古地理学报, 2009, 11(2): 143-156 [Wang Yigang, Wen Yingchu, Hong Haitao, et al. Carbonate slope facies sedimentary characteristics of the Late Permian to Early Triassic in Northern Sichuan Basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2009, 11(2): 143-156]
 - 26 杜远生, Shi G R, 龚一鸣, 等. 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[J]. 地质学报, 2007, 81(4): 511-518 [Du Yuansheng, Guang R Shi, Gong Yinming, et al. Permian soft-sediment deformation structures related to earthquake in the Southern Sydney Basin, Eastern Australia [J]. Acta Geologica Sinica, 2007, 81(4): 511-518]
 - 27 Elliot C G, Williams P F. Sediment slump structures: a review of diagnostic criteria and application to an example from Newfoundland [J]. Journal of Structural Geology, 1988, (10): 171-182
 - 28 Morton R A. Nearshore responses to great storm [C] // Clifton H E, ed. Sedimentary Consequences of Convulsive Geologic Events [J]. Geological Society of America Special Paper 229, 1988: 222
 - 29 Field M E, Gardner J V, Jennings A E, et al. Earthquake induced sediment failures on a 0.25 slope, Klamath River Delta, California [J]. Geology, 1982(10): 542-546
 - 30 Vaughan N D, Johnson T C, Meams D L, et al. The impact of hurricane Diana on the North Carolina continental shelf [J]. Marine Geology, 1987(76): 169-176
 - 31 Boss S K, Neumann A C. Impacts of hurricane Andrew on carbonate platform environments, northern Great Bahama Bank [J]. Geology, 1993, (21): 897-900
 - 32 Shinn E A, Steinen R P, Dill R F, et al. Lime-mud layers in high-energy tidal channels: A record of hurricane deposition [J]. Geology, 1993(21): 603-606
 - 33 Guiraud M, Plaziat J C. Seismites in the fluvial Bima sandstones: identification of Paleoseisms and discussion of their magnitudes in a Cretaceous synsedimentary strike-slip basin (Upper Benue, Nigeria) [J]. Tectonophysics, 1993(225): 493-522
 - 34 Obermeier S F. Use of liquefaction-induced features for paleo-seismic analysis—An overview of how seismic liquefaction features can be distinguished from other features and how their regional distribution and properties of source sediment can be used to infer the location and

- strength of Holocene paleo-earthquakes [J]. *Engineering Geology*, 1996, 44(1-4): 1-74
- 35 Pope M C, Read J F, Bambach R, *et al.* Late Middle to Late Ordovician seismites of Kentucky, southwest Ohio and Virginia: sedimentary recorders of earthquakes in the Appalachian basin [J]. *GSA Bulletin*, 1997, 109(4): 489-503
- 36 张传恒, 武振杰, 高林志, 等. 华北中元古界雾迷山组地震驱动的软沉积物变形构造及其地质意义 [J]. *中国科学: D 辑*, 2007, 37(3): 336-343 [Zhang Chuanheng, Wu Zhenjie, Gao Linzhi, *et al.* Meso-proterozoic earthquake induced soft-sediment deformation and its geological significance in Wumishan Formation, North China [J]. *Science in China: Series D*, 2007, 37(3): 336-343]
- 37 Ettensohn F R, Rast N, Kulp M A. Locating possible epicentral areas for paleoearthquakes, middle Ordovician Lexington Limestone, central Kentucky [J]. *Geological Society of American Abstract Program*, 2000, 32: A215
- 38 Moretti M. Soft-sediment deformation structures interpreted as seismites in middle-late Pleistocene Aeolian deposits (Apulian foreland, Southern Italy) [J]. *Sedimentary Geology*, 2000, 135(1-4): 167-179
- 39 John Houston, Dan Hart, Andrew Houston. Neogene sedimentary deformation in the Chilean forearc and implication for Andean basin development, seismicity and uplift [J]. *Journal of the Geological Society, London*, 2008, 165: 291-306
- 40 廖太平, 胡明主编, 重庆天府地区地质考察指南 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2008 [Liao Taiping, Hu Ming, ed. *Geological Field Trip Guide in Tianfu Area, Chongqing City* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008]
- 41 Brian R Pratt. Storms versus tsunamis: Dynamic interplay of sedimentary, diagenetic, and tectonic processes in the Cambrian of Montana [J]. *Geology*, 2002, 30(5): 423-426
- 42 罗冰, 谭秀成, 刘宏, 等. 川东地区飞一段震积岩的发现及识别标志 [J]. *沉积学报*, 2009, 27(5): 1012-1017 [Luo Bing, Tan Xiucheng, Liu Hong, *et al.* Discovery and recognition marks of seismite of the Fei 1 Member in the eastern Sichuan Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2009, 27(5): 1012-1017]
- 43 Shanmugam G. The tsunamite problem [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2006, (76): 718-730
- 44 杜远生, 彭冰霞, 韩欣. 广西北海涠洲岛晚更新世火山活动引起的地震同沉积变形构造 [J]. *沉积学报*, 2005, 23(2): 203-209 [Du Yuesheng, Peng Bingxia, Han Xin. Syn-depositional deformation structures by earthquake related to volcanic activity of the Late Pleistocene in Weizhou Island, Beihai City Guangxi [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2005, 23(2): 203-209]
- 45 Simms M J. Uniquely extensive seismite from the latest Triassic Kingdom: Evidence for bolide impact? [J]. *Geology*, 2003(31): 557-560
- 46 刘志成, 张廷山, 魏祥峰. 四川盆地南部赤水地区下三叠统嘉陵江组遗迹化石及其沉积环境 [J]. *海相油气地质*, 2009, 14(1): 46-50 [Liu Zhicheng, Zhang Tingshan, Wei Xiangfeng. Ichnofossils and sedimentary environment of Lower Triassic Jialingjiang Formation in Chishui Area, southern part of Sichuan Basin [J]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 2009, 14(1): 46-50]
- 47 李忠权, 冉隆辉, 陈更生, 等. 川东高陡构造成因地质模式与含气性分析 [J]. *成都理工学院学报*, 2002, 29(6): 605-609 [Li Zhongquan, Ran Longhui, Chen Gengsheng, *et al.* Geologic model and gaseous analyses about the origin of high-steep structures in eastern Sichuan Basin [J]. *Journal of Chengdu University of Technology*, 2002, 29(6): 605-609]
- 48 吕宝凤, 夏斌. 川东南“隔档式构造”的重新认识 [J]. *天然气地球科学*, 2005, 16(3): 278-282 [Lü Baofeng, Xia Bin. New knowledge about ejective structure in Southeast Sichuan [J]. *Nature Gas Geoscience*, 2005, 16(3): 278-282]
- 49 许志琴, 李化启, 侯立玮, 等. 青藏高原东缘龙门—锦屏造山带的崛起——大型拆离断层和挤出机制 [J]. *地质通报*, 2007, 26(10): 1262-1276 [Xu Zhiqin, Li Huaqi, Hou Liwei, *et al.* Uplift of the Longmen-Jinping Orogenic Belt along the eastern margin of the Qinghai-Tibet Plateau: large-scale detachment faulting and extrusion mechanism [J]. *Geological Bulletin of China*, 2007, 26(10): 1262-1276]
- 50 邹光富, 侯立玮, 尹显科. 甘孜—理塘蛇绿混杂岩带特征及其构造意义 [J]. *四川地质学报*, 1994, 14(1): 17-24 [Zou Guangfu, Hou Liwei, Yin Xianke. Characteristics of Garze-Litang ophiolite melange zone and its tectonic implication [J]. *Acta Geologica Sichuan*, 1994, 14(1): 17-24]
- 51 邹光富. 甘孜—理塘板块缝合带研究的新进展 [J]. *四川地质学报*, 1995, 15(4): 257-263 [Zou Guangfu. Advance of the research on the Garze-Litang plate junction [J]. *Acta Geologica Sichuan*, 1995, 15(4): 257-263]
- 52 姚学良, 兰艳. 甘孜—理塘蛇绿混杂岩带存在 N 型洋脊玄武岩 [J]. *四川地质学报*, 2001, 21(3): 138-140 [Yao Xueliang and Lan Yan. N-type oceanic ridge basalt in the Garze-Litang ophiolite melange zone [J]. *Acta Geologica Sichuan*, 2001, 21(3): 138-140]
- 53 杨宗让. 川西松潘—甘孜弧前盆地的形成及演化 [J]. *沉积与特提斯地质*, 2002, 22(3): 53-59 [Yang Zongrang. The formation and evolution of the Songpan-Garze fore-arc basin, western Sichuan [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2002, 22(3): 53-59]
- 54 Françoise Roger, Marc Jolivet, Jacques Malavieille. Tectonic evolution of the Triassic fold belts of Tibet [J]. *Geoscience*, 2008, (340): 180-189
- 55 魏永峰, 罗森林, 周幼云, 等. 甘孜—理塘结合带中段蛇绿岩中石榴硅镁石角闪片岩首次发现及地质意义 [J]. *四川地质学报*, 2004, 24(1): 1-3 [Wei Yongfeng, Luo Senlin, Zhou Youyun, *et al.* Discovery of garnet-humite-hornblende schist in ophiolite suite and its geological significance in the Garze-Litang suture zone [J]. *Acta Geologica Sichuan*, 2004, 24(1): 1-3]
- 56 王清晨. 浅议华南陆块群的沉积大地构造学问题 [J]. *沉积学报*, 2009, 27(5): 811-817 [Wang Qingchen. Preliminary discussion on sedimentary tectonics of the clustered continents of South China [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2009, 27(5): 811-817]
- 57 Anthony J Reid, Christopher J L, Wilsona, Shun Liu. Structural evidence for the Permo-Triassic tectonic evolution of the Yidun Arc, eastern Tibetan Plateau [J]. *Journal of Structural Geology*, 2005, 27: 119-137

- 58 Anthony J Reid , Christopher J L Wilson , Shun Liu , et al. Mesozoic plutons of the Yidun Arc , SW China: U/Pb geochronology and Hf isotopic signature [J]. *Ore Geology Reviews* , 2007 , 31: 88-106
- 59 曲晓明, 侯增谦, 唐绍华. 义敦岛弧带弧后区板内岩浆作用的时代及意义 [J]. *岩石矿物学杂志* , 2003 , 22 (2) : 131-137 [Qu Xiaoming , Hou Zengqian and Tang Shaohua. Age of intraplate volcanism in the back-arc area of Yidun island arc and its significance [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica* , 2003 , 22 (2) : 131-137]
- 60 戴宗明, 孙传敏. 松潘-甘孜造山带义敦岛弧中段三叠纪火山-沉积盆地的演化 [J]. *地质通报* , 2008 , 27 (6) : 799-813 [Dai Zongming , Sun Chuanmin. Evolution of Triassic volcanic-sedimentary basins in the central segment of the Yidun island arc of the Songpan-Garzê orogenic belt , Western Sichuan , China [J]. *Geological Bulletin of China* , 2008 , 27 (6) : 799-813]
- 61 刘飞, 陈岳龙, 苏本勋, 等. 松潘-甘孜地区三叠系碎屑沉积岩地球化学特征及其锆石年龄研究 [J]. *地球学报* , 2006 , 27 (4) : 289-296 [Liu Fei , Chen Yuelong , Su Benxun , et al. Geochemistry and zircon ages of Triassic detrital sedimentary rocks from the Ganze-Songpan block [J]. *Acta Geoscientica Sinica* , 2006 , 27 (4) : 289-296]

Seismites and Their Geological Significance in Early Triassic of Southeast Sichuan Basin

ZHANG Ting-shan¹ CHEN Xiao-hui² LIU Zhi-cheng¹

(1. State Key Lab of Oil & Gas Researvoir Geology and Exploitation Engineering(Southwest Petroleum University) , Chengdu 610500;

2. Southwest Petroleum University , Chengdu 610500)

Abstract: The seismites emerge in the first and sencond members of Lower Triassic Feixianguan Fm. in Baimiaozi section , Beibei , Chongqing , China and in the second member of Lower Triassic Jialingjiang Fm. in Longdongwan , Xuyong county , the southern Sichuan province , China ,as well as in the same stratigraphic sequences in Xingwen county , Sichuan province and Xishui county , Guizhou province.

There are some macroscopic and microscopic sedimentary structures of seismic events in the outcrops , drilling cores and thin sections including the following basic types could be observed:

Soft-sediment liquefied deformation structures include curled deformation (sliding deformation structure , " sausage structure") and microscopic folds (laminated plastic deformation) . In the first member of Feixianguan Fm. at Beibei , Chongqing. Microscopic folds (lamina plastic deformation) are found in the second member of Feixianguan Fm. at Longdongwan , and microscopic folds emerge in laminated thin-layer limestone , presenting slight folds in laminated thin-layer limestone and their low radian with undulation. In addition to study areas , some soft-sediment deformation structures such as convolute beddings , microscopic folds and so on are developed in the first member of Feixianguan Fm. at Jichang , Xuanhan county , Sichuan province , China , and may be related to paleoearthquake activities.

The tabular-pebbles with different-size diameters are developed in the lower part of the second member of Feixianguan Fm. , interbedded with laminated thin-layer micritic limestone of normal sequences. The sedimentary characteristics of tabular gravel layers are also comparable with those in the second member of Feixianguan Fm. at Beibei , Chongqing.

The gravels are developed with different size , shape and psephicitie in the first member of Feixianguan Fm. in Baimiaozi , Beibei Chongqing , and the second member of Jialingjiang Fm. in Longdongwan , Xuyong , Sichuan province , the shape being irregular mass , nearly spherical or tabular , the size ranging from 0.5 to 25cm , the lithology being grey or grey white thick-bedding massive micrite , some of which have certain psephicities.

The intraformational microscopic faults are developed in the first and second member of Feixianguan Fm. at Beibei , Chongqing , they are limited to develop intraformationally , and don't cut through the upper and lower beds with short slip of fault and slow angle of fault plane.

Some well-developed microscopic seismites can also be discovered in some thin sections of the second member of

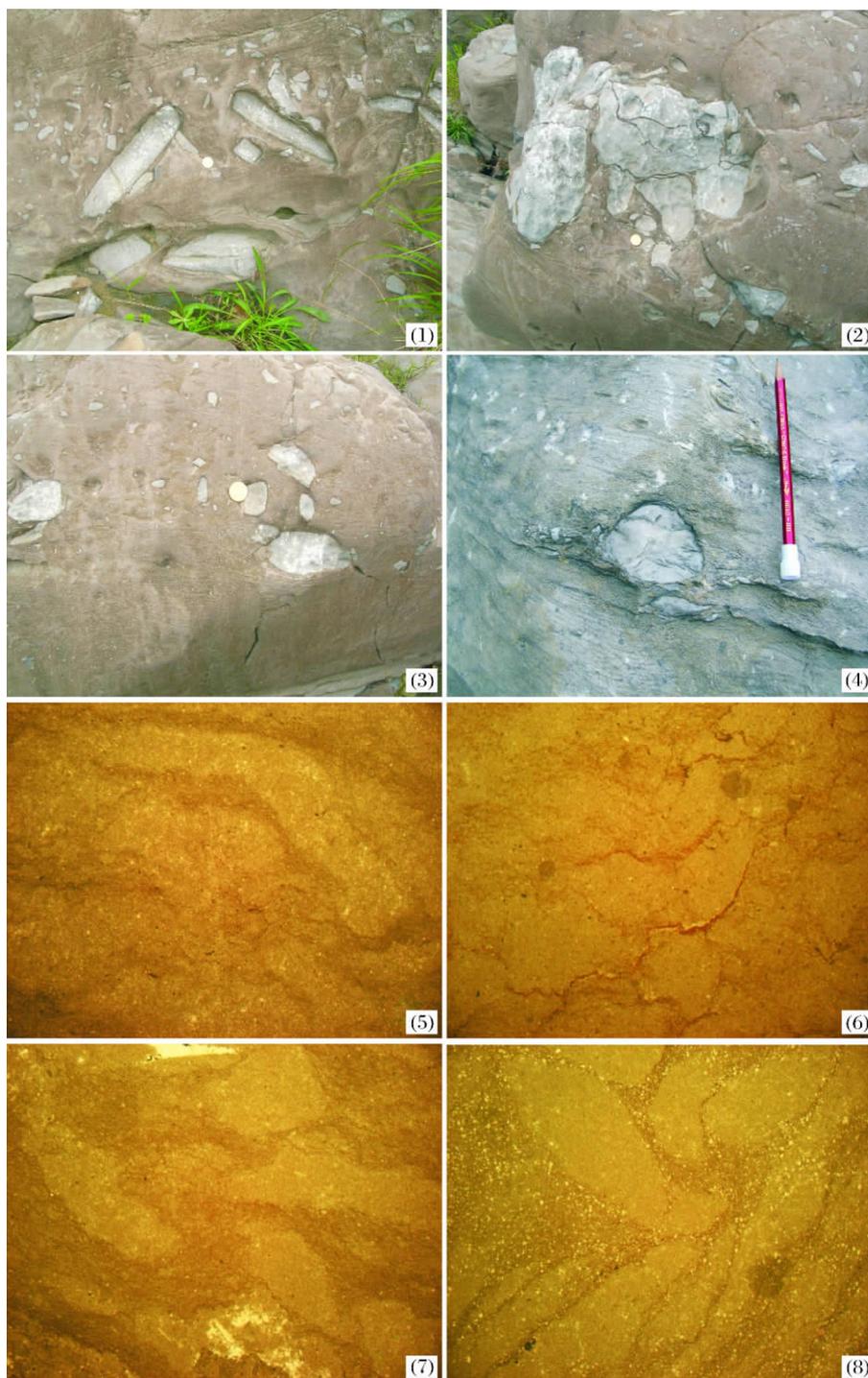
Jialingjiang Fm. at Longdongwan , Xuyong county and Jianshe ,Dali ,Chengdong , Wenxin county Sichuan province , Huangmuping ,Xishui county , Guizhou province including the following basic types: microscopic liquefied curled deformation structure; microscopic tabular-pebbles layer; microscopic slip and microscopic flame structure.

Seismites developed in the lower Triassic in Sichuan Basin have not only wide transverse distribution ,but also are distributed longitudinally. Some seismites with volcanic debris sediments of Early Triassic have been found in other places of Sichuan basin besides research area. The author argues that the Sanjiang tectonic belt represented by the evolution of Yidun arc in the western Sichuan had strong activities at the west margin of the upper Yangtze plate , which may be related to the formation of seismites in the early Triassic. At the west margin of the upper Yangtze plate , the strongest tectonic deformation and metamorphism occurred in the early Triassic emerge between YiDui arc and Qiangtang mass , representing the subduction of the Paleo-Tethys. Magmatic and volcanic activities occur when the paleo-Tethyan oceanic crust subducts eastward along Litangbatang volcanic arc and westward along Jinsha River suture zone. In the early Triassic , seismic activities and volcanic eruption can be triggered in large areas with plate collision and ocean crust subduction. The author speculates that Yidui arc is the major cause of formation of seismites in Sichuan Basin that emerge in the early Triassic.

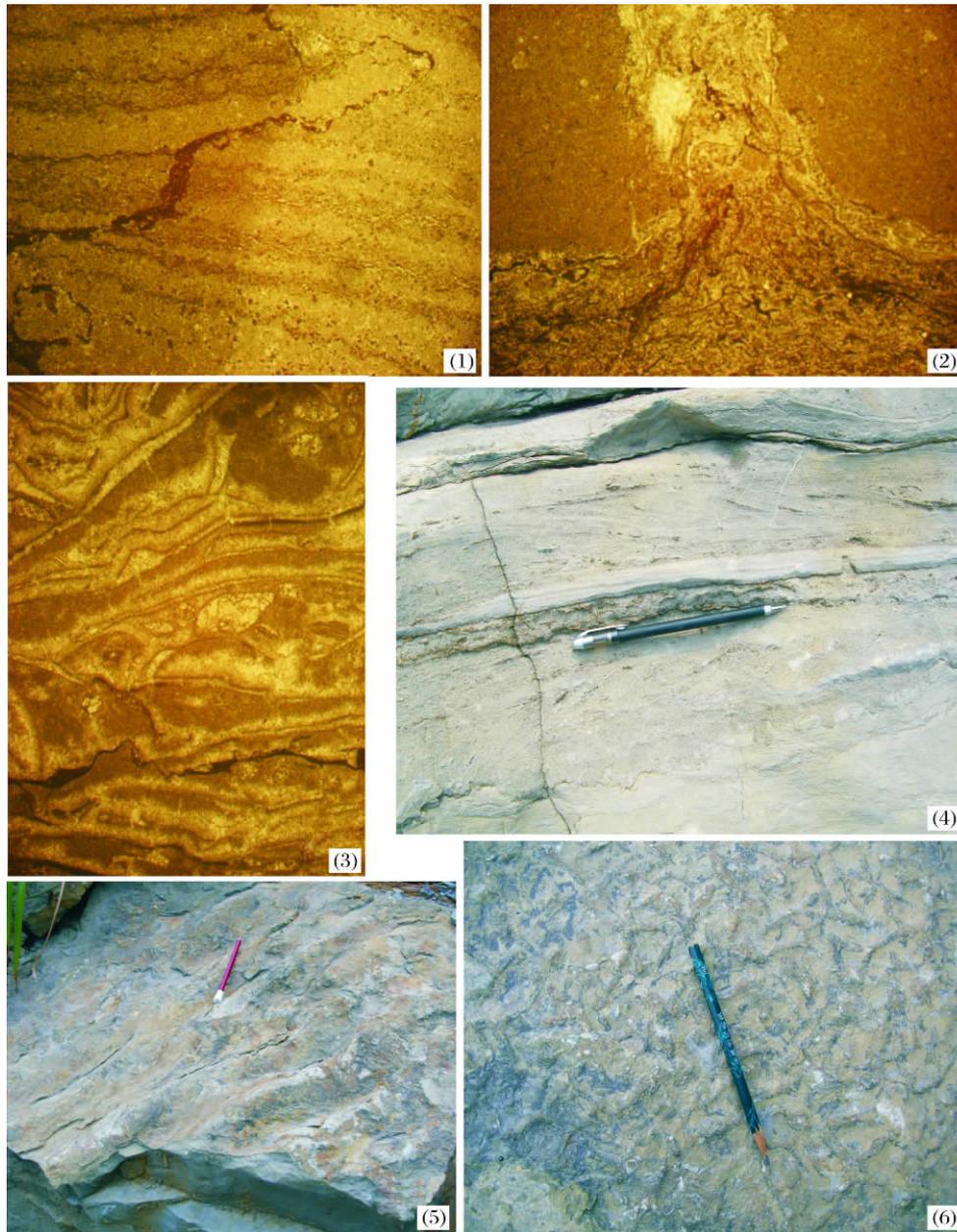
Key words: seismites; seism-depositssequence; geological significance; early Triassic; Sichuan Basin



图版 I 说明: 1. 重庆北碚白庙子飞仙关组飞一段中卷曲变形构造; 2. 四川叙永龙词湾嘉陵江组第二段中卷曲变形构造, 表现为薄层泥晶灰岩层呈紧闭形、波状褶皱; 3. 产于重庆北碚飞一段厚层粉砂质泥岩层中的香肠状构造, 成分为灰质, 厚几厘米至十几厘米不等, 其褶皱轴面多变, 褶皱形态各异; 4. 重庆北碚白庙子飞仙关组飞二段中的微褶皱(纹层塑性变形); 5. 四川叙永龙词湾嘉陵江组第二段中的微褶皱(纹层塑性变形); 6. 顺层分布的碎裂状板状砾屑, 相邻岩块有时能拼接到一起。产于重庆北碚白庙子飞仙关组飞二段; 7. 杂乱堆积的板状砾屑, 产于重庆北碚白庙子飞仙关组飞二段; 8. 杂乱堆积的板状砾屑, 产于重庆北碚白庙子飞仙关组飞二段。



图版 II 说明: 呈“八”字型产出的板状震积角砾, 产于重庆北碚白庙子飞仙关组飞一段; 2. 重庆北碚白庙子飞仙关组飞一段中的震积角砾, 大小混杂, 部分具有一定的磨圆度, 与围岩岩性有一定的差异; 3. 同上; 4. 四川叙永龙词湾嘉陵江组第二段中的震积角砾; 5. 微观的液化卷曲变形构造。四川兴文建设村嘉陵江组第二段。单偏光, $\times 40$ 。薄片号: J-4; 6. 微观的液化卷曲变形构造。四川叙永龙词湾嘉陵江组第二段。单偏光, $\times 40$ 。薄片号: L-46; 7. 毫米级纹层状泥晶灰岩薄层中排列杂乱的显微板状砾屑。四川兴文大理村嘉陵江组第二段。单偏光, $\times 40$ 。薄片号: D-62; 8. 毫米级纹层状泥晶灰岩薄层中排列杂乱的显微板状砾屑, 有的呈“八”字排列。贵州习水黄木坪嘉陵江组第二段。单偏光, $\times 40$ 。薄片号: \times -83。



图版 III 说明: 1. 显微型层内错动, 四川叙述龙洞湾嘉陵江组第二段。单偏光, $\times 40$ 。薄片号: L-47; 2. 微观火焰构造, 四川兴文大理村湾嘉陵江组第二段。单偏光, $\times 40$ 。薄片号: D-63; 3. 介壳层, 四川叙述龙洞湾嘉陵江组第二段。单偏光, $\times 40$ 。薄片号: L-48; 4. 羽状交错层理, 重庆北碚白庙子飞仙关组飞二段; 5. 波痕, 四川叙述龙洞湾嘉陵江组第二段; 6. 遗迹化石, 四川叙述龙洞湾嘉陵江组第二段。