

文章编号: 1009-3850(2016)01-0062-08

## 成都金沙遗址区全新统震积岩的发现及其地质意义

何 碧<sup>1</sup>, 朱利东<sup>1</sup>, 杨文光<sup>1</sup>, 付 顺<sup>1</sup>, 张 擎<sup>2</sup>, 陶 刚<sup>1</sup>,  
李 超<sup>1</sup>, 李杜文<sup>3</sup>, 田光龙<sup>1</sup>, 解 龙<sup>1</sup>

(1. 成都理工大学沉积地质研究院, 四川 成都 610059; 2. 成都市文物考古研究所, 四川 成都 610059; 3. 成都理工大学地球科学学院, 四川 成都 610059)

**摘要:** 震积岩是灾变性事件岩的典型代表,是具有震积构造和震积岩序列有一定成因联系的一组岩石的总称。成都金沙遗址区全新统地层中首次发现震积岩,该地层自下而上为底部砾石层、中部暗色(含炭)泥质层、上部褐黄色土壤层,整体属河流冲积物。通过野外观察,研究区发育一组走向SE120°的正断层,断层两盘的底部砾石层顶界面有明显的错断。构成地垒构造;在IT6511、IT6610层位中的断层带中见明显阶梯状断裂,其以张性正断层为主,断距约为10~90cm。在靠近阶梯状断裂的IT6512、IT6613-6614层位中发现一系列地震成因的软沉积物变形标志及破裂构造,包括砂土液化(脉)、液化卷曲变形构造、负载构造、微断裂、地裂缝、震塌岩等。分析认为这些软沉积物变形标志及破裂构造是由同期地壳活动引起的地震作用形成的。金沙遗址区震积岩的发现,对研究四川盆地全新世以来的古环境有重要意义。

**关键词:** 金沙遗址;震积岩;震积作用;软沉积物变形;破裂构造

中图分类号: P539.1

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,主要是由于区域性断裂构造活动、火山活动、崩塌陷落等一些诱发因素影响引起的<sup>[1]</sup>。震积岩是灾变性事件岩的典型代表,它不是一种岩石名称,而是具有震积构造和震积岩序列有一定成因联系的一组岩石的总称<sup>[2-3]</sup>。1969年,Seilacher首次提出震积岩术语并将地震作用改造未固结的水下沉积物形成的再沉积层定义为震积岩(seismites)<sup>[4]</sup>。随后许多学者进行了研究和完善,对震积岩有了更加深入的认识,包括软沉积物变形构造类型、形成机理和垂向序列、识别标志、研究方法的研究趋势等<sup>[5-18]</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碳酸盐岩地震-海啸序列的研究<sup>[19]</sup>。之后,我国地质学者对不同的地区、构造环

境、岩性和时代地层中的震积岩及震积作用进行了系统的研究和描述,在包括震积岩典型的震积序列、震积岩的新类型及成因机制、现代地震的沉积物变形标志及同震构造、地震学与沉积学研究方法、古地震与区域构造的关系、古地震与火山活动的关系、古地震与能源矿产关系等方面取得了重要进展<sup>[20-38]</sup>。

本文在研究金沙遗址第四系全新统地层过程中,首次在IT6512、IT6613-6614的H2313层位中发现了软沉积物(沉积物未固结)变形构造及破裂构造,初步认为金沙遗址全新统地层具有地震作用形成的震积岩特征及震积现象。本研究对更加深入地了解四川盆地全新世以来的构造活动以及地震活动对古沉积环境的影响具有重要意义。

收稿日期: 2015-04-30; 改回日期: 2015-05-04

作者简介: 何碧(1990-),男,硕士生,地层与古生物学专业。E-mail: hebidzgs@163.com

资助项目: 国家十五科技攻关项目(2004BA810B05)

## 1 研究区地质概况

金沙遗址区位于成都平原东南边缘,处于成都市西二环路和西三环路之间的青羊区苏坡乡金沙村和金牛区黄忠村。研究区位于金沙遗址第 I 区的“梅苑”祭祀区西北部<sup>[39]</sup>。根据放射性<sup>14</sup>C 测年数据,金沙遗址的早期文化可以追溯到 3830 ± 40 aB. P. (据成都考古研究所提供 40 层树木<sup>14</sup>C 测年数据,测试样品为木屑和竹片),这一时期的文化发现在中部的暗色泥质层底部。

### 1.1 地貌

金沙遗址除表面为一层厚约 1~2m 的近代扰乱土外,都是一套松散的第四系全新统河流冲积物。金沙遗址位于成都平原东南部,成都平原发育在成都地堑的基础上,由多个冲积扇所组成,自北而南依次是绵远河冲积扇、石江亭冲积扇、湔江冲积扇、岷江冲积扇、西河冲积扇、斜河冲积扇和南河冲积扇,共同组成了微具倾斜的复合冲积扇平原。在各个冲积扇之间及其边沿,有扇间河和扇缘河分布,水系构式十分复杂。

成都平原地势具有西北高、东南低的特点,源自龙门山及川西高原的岷江、沱江等多条河流的散流水系形成了宽广的成都平原。平原内部一般仅存 I、II 级阶地,III、IV、V 级阶地主要分布在东西两侧边缘地带,形成高地或台地。I 级阶地在平原区的拔河高度一般为 2~3m,两侧为 4~6m,为全新世。II 级阶地拔河高度 8~10m,主要地层为成都粘土及广汉层,覆盖成都平原的主要为成都粘土,为晚更新世晚期。广汉层主要分布于成都平原东侧。III 级阶地拔河高度 25~30m,称雅安粘土或雅安砾石层,为晚更新世。IV 级阶地拔河高度 70m 左右,V 级阶地拔河高度达 90~110m,为中更新世末期。分布于平原周边的 III 级以上阶地都以基座阶地的形式出现,反映盆地周边的相对抬升。盆地内部老于 II 级阶地的沉积物由于沉降作用被埋于地下。

### 1.2 地层

研究区出露的地层主要为第四系,探坑 WT7908 和 IT8305 地层发育完整,沉积序列分为 3 部分,自下而上为:下部为砾石层,偶夹中层粗砂(~4m 以下,未见底),中部暗色(含炭)泥质层(~4~2m)和上部浅褐黄色土壤层(<2m),整体属河流冲积物。共记录 36 个层位(含 H2313, L58, L27),1~20 层横向连续性完整,大部分探坑中发育良好;21~33 层主要分布在遗址区的南部古地貌坡地,呈条

带状分布;34 层以下分布范围受到南部断裂控制,主要发育于遗址区的中部和北部。

### 1.3 构造

金沙遗址处于成都盆地内,盆地的第四纪沉积主要受控于其西北侧龙门山断裂系和东南侧龙泉山断裂系的控制。其中,早更新世地层分布局限且受龙门山前缘北东走向冲断裂控制,中更新世以后地层受龙门山前断裂与龙泉山前断裂共同控制。

位于成都盆地东部金沙考古遗址的构造活动受控于盆地边界断层,发育了一组走向 SE120°的正断层,断层两盘的底部砾石层顶界面有明显的错断,构成地垒构造。地堑的南侧断裂由于位于考古发掘区内,有良好的露头,其西部 IT6511 的断距为 186cm(图 1a),IT6610 断距为 120cm(图 1b),东部 IT7109 断距减少为 65cm(图 1c)。地堑北侧断层位于摸底河边,由于未开展大面积发掘,仅有一条探沟切过断层,对断层的走势是通过地貌与构造组合的关系、沉积学分析推测得出的,其走向与摸底河及地堑南部断层相近,在探沟出露的断层切面上,砾石层顶面的垂直短距为 50cm(图 1d)。靠近断层附近的 IT6512、IT6613-6614 中发育明显的软沉积物变形构造及破裂构造。在 IT6511、IT6610、IT7109 中,断层中见明显阶梯状断裂(图 1a、b、c),其以一系列近平行正断层为主,断距约 10~90cm,倾角较陡。

### 1.4 沉积学记录

通过对金沙遗址的现场观测以及前人对沉积物粒度变化、色谱特征、磁化率曲线等研究分析,结合沉积和构造分析得出金沙遗址的沉积环境历经 3 个主要阶段:(1) 约 3830aB. P. 以前为砾质冲积扇沉积环境,其特征为复成分粗砾石堆积,砾石直径为 3~10cm,可见砾石最大直径达 60cm。砾石层厚度约 6m 以上,砾石磨圆度较好而未见明显定向性,表明冲积扇河流堆积环境;(2) 3830~3400aB. P.,为一套泥炭和河流沉积,早期发育丰富的植物碎屑、炭屑,代表了沼泽环境,沼泽泥炭沉积之上发育了河流、洪泛平原沉积,为一套浅灰色-黄色粉砂岩,局部发育河道沉积,该序列反映了沉降作用减弱到终止后沼泽淤塞被河流取代的过程;(3) 3400aB. P. 以来,环境为水上氧化环境,土壤化作用强烈,由多个古土壤堆积旋回构成,在下部夹有少量小规模不稳定泥炭沉积。

## 2 震积岩软沉积物变形标志

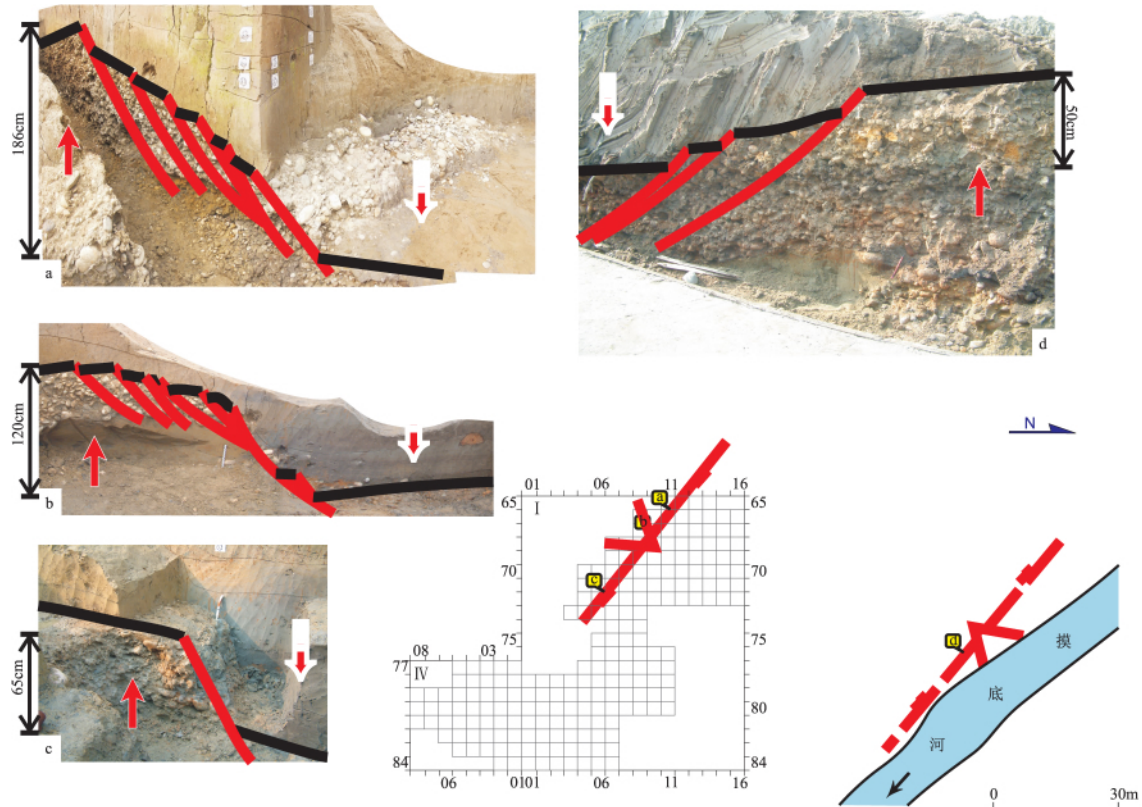


图1 金沙遗址区地堑构造及边界断裂<sup>[40]</sup>

Fig. 1 Graben structures and boundary faults in the Jinsha site, Chengdu

目前,鉴别与描述的震积岩类型很多,但使用的专业术语不完全一致。国内外将同沉积断裂、阶梯状断层、碟状构造、负载构造(枕状构造、球-枕构造)、地裂缝、振动液化卷曲变形、砂土液化、与液化砂岩脉、震塌岩等共同作为震积岩的鉴别标志<sup>[4,8,19,24,32]</sup>,其中,振动液化卷曲变形、砂土液化、负载构造和破裂构造是研究区震积作用及震积岩最明显的鉴别标志。作者根据现有分类方法,结合金沙遗址的软沉积物变形特征与构造变形标志,将该区内发现的震积岩鉴别标志分为软沉积物变形标志与破裂构造。研究区内发现的软沉积物变形标志包括砂土液化、振动液化卷曲变形构造、负载构造等。

### 2.1 砂土液化(脉)

砂土液化(脉)是一种在砂土、泥岩互层沉积物中发育,并切穿围岩的不规则砂土岩脉,是软沉积物在地震液化泄水过程中充填上下沉积层所形成,呈液化构造<sup>[32]</sup>。研究区 IT6613-6614 中发育灰白色砂土液化(脉)规模大小不等,差别较大,界线清楚,形成极不平整的上下层面,界线部位可见揉皱现象(图 2a、b、c、d)。砂土液化脉露头上观察一般宽 1~10mm,最宽达 50mm,长度一至几十厘米,可见砂土

充填地裂缝、砂土脉被微断裂所切断(图 2b、d)。剖面形态呈不规则弯曲,局部可见与层面近于平行。常与地震成因的振动液化卷曲变形构造相伴生。

### 2.2 振动液化卷曲变形构造

振动液化卷曲变形构造发育于砂、泥等软沉积物薄互层中,砂泥互层发生以卷曲、弯曲、扭曲为主的变形作用卷曲限于层内部,上下岩层几乎不受影响,表现为一系列形态各异、褶皱轴面及枢纽方向不一致的微褶曲,相当于乔秀夫等所称的震褶岩<sup>[23]</sup>和杜远生所称的微褶皱纹理<sup>[24]</sup>,附近岩层无明显变形而区别于重力流形成的滑塌构造及构造顺层剪切褶曲。振动液化卷曲变形构造在研究区的 IT6613-6614、IT6512 中均有发育(图 2a、b、c、d,图 4c、d),以平缓褶皱为主,褶皱层内发育负载构造、砂土液化脉等一系列软沉积物液化变形特征。单个褶曲的厚度较小为 0.2~2.5cm,褶曲程度高,轴面、枢纽不规则(图 2a、c)。地震成因的卷曲变形与构造挤压、滑坡等运动成因的卷曲变形区别在于前者的褶曲形态及轴面是无规则的,而后者遵循一定的力学性质<sup>[32]</sup>。许多研究者曾对其“进行过描述,一致认为系地震产物,并在实验室成功地进行了模拟”<sup>[23]</sup>。

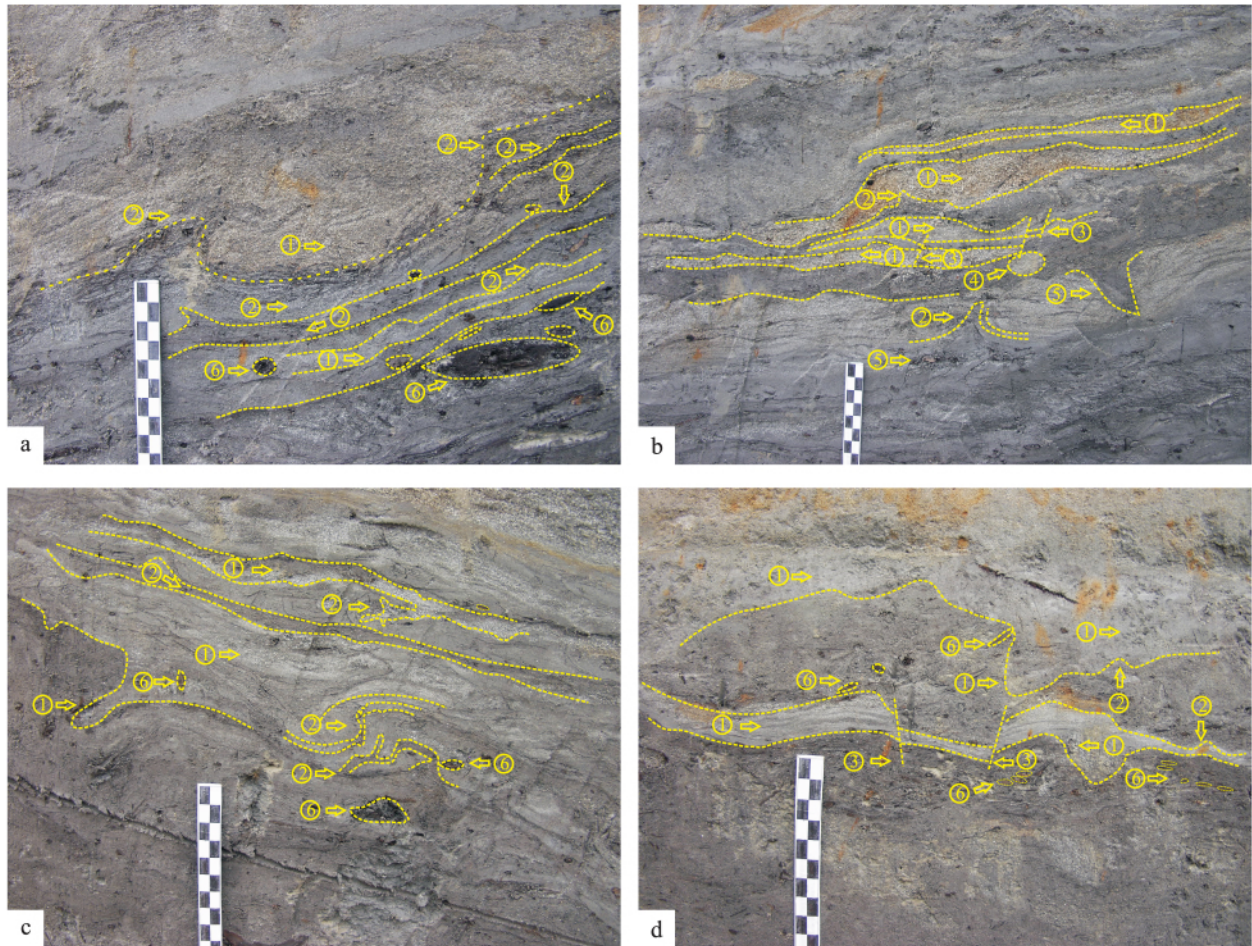


图2 金沙遗址区全新统中软沉积物变形标志

a、b、c、d 均为 IT6613-6614 中的砂、泥互层的软沉积物变形以及伴随的破裂构造。①砂土液化(脉);②液化卷曲卷曲变形(层);③微断裂;④负载构造;⑤地裂缝;⑥泥砾、炭屑、植物碎片

Fig.2 Deformational structures of the Holocene soft sediments in the Jinsha site, Chengdu

### 2.3 负载构造

该区的负载构造极为发育,是最明显的震积构造。乔秀夫等前人认为负载构造是地震作用过程中,发生液化作用的未固结沉积物层在上下层沉积物密度差差异下,上覆较重的沉积物层发生负荷下陷而形成的,较粗的砂石层在负荷作用下会在砂层底部形成负载构造<sup>[41]</sup>。本次野外系统观察,研究区 IT6613-6614、IT6512 中发育负载构造(图 2b、图 4a、b)构造规模几十厘米不等,构造特征明显,形态完整。

重荷模是由于液化砂层在地震作用下落入于未固结的塑形软泥层中形成,同时软泥层被砂层负载体下陷挤压以火焰状向上穿插到上覆的砂层中,形成火焰状构造(图 4a、b)。砂层负载体中含泥砾、炭屑及少量植物碎片。

在地震振动作用下,形成液化砂层负载体脱离母岩完全落入下伏泥质层形成球体或椭球体,即球-

枕构造(图 2b)。该区球-枕构造直径多为 2~5cm,最大可达 8cm 以上,多呈椭球形、圆形、“口袋”状、不规则状,是砂层负载体在下沉过程中受到泥质层等软沉积物浮力阻挠所致。

负载构造的形成演化如图 3 所示,下伏为软的低密度粉砂粘土,与上覆高密度的砂层受到震积作用以后,随着液化梯度的不同,形成各种负载构造如,重荷模与火焰状构造、球-枕构造。Moretti 等研究表明<sup>[42]</sup>,负载体大小除取决于软沉积物原始厚度外,主要取决于地震强度,并认为大于 1.0cm 规模的负载构造为地震诱发形成。

## 3 震积岩破裂构造标志

研究区的未固结沉积物正处于成岩阶段,并且未受后期成岩作用和构造运动改造,所以震积作用形成的破裂构造保存完整,容易识别。

### 3.1 微断裂

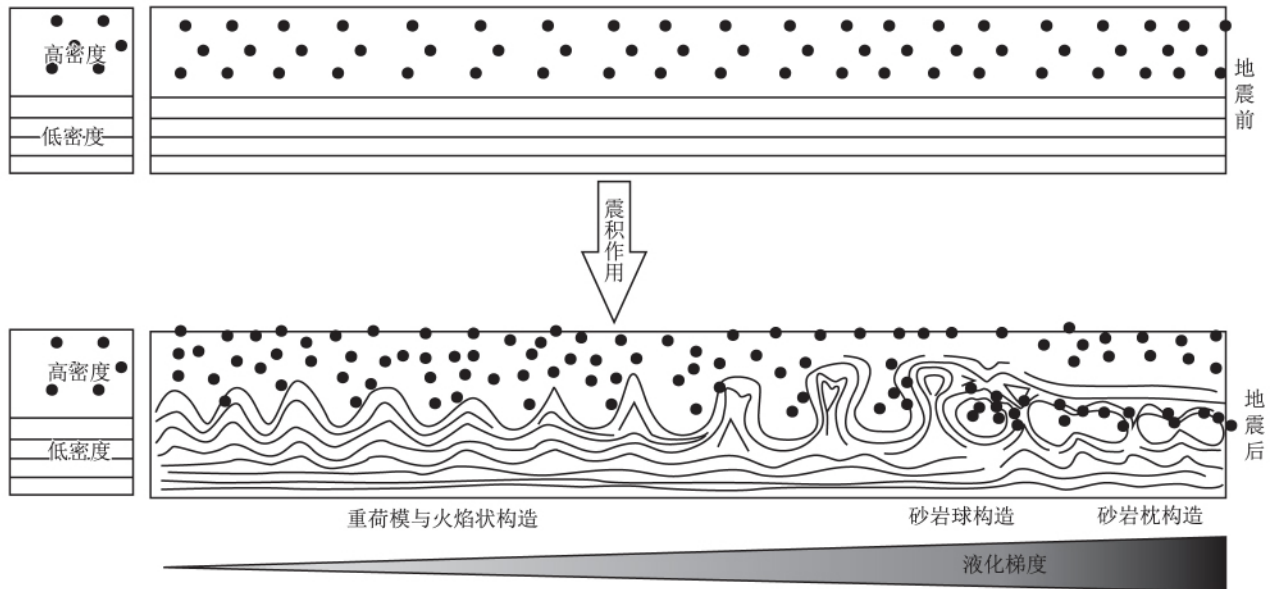
图3 负载构造的形成演化示意图<sup>[38]</sup>

Fig.3 Schematic illustration of the formation and evolution of load structures

研究区 IT6613-6614 中发育层内微断裂(图 2b),是震积作用形成的一系列小型正断层,可形成小型地堑发育(图 2d)。一般仅分布在岩层中较薄的范围内,不切层、不具共轭性,与后期构造形成的断裂的主要区别在于此。断距一般为 1~6mm,倾角较陡,多大于 60°。成因为地震引起液化作用停止后,沉积物重新压实使体积变小,导致沉积物表面差异性下沉而形成的<sup>[42]</sup>。

### 3.2 地裂缝

地裂缝为原地沉积物在地震作用过程中发生破裂而形成的一系列裂缝,多发育于砂、泥互层中,剖面呈楔形,产状垂直于层面,偶见平行层面。研究区 IT6613-6614 中地裂缝较发育,分为两部分,一部分为上部约宽 0.5~1cm,向下尖灭,裂缝深度约 2.0cm,呈“V”字型,被上覆砂、泥质沉积物充填(图 2b);另一部分由于研究区的地层较新,后期受地层压实作用影响较小,故地裂缝未被充填,裂隙较大,清晰可见(图 2b)。

### 3.3 震塌岩

震塌岩是指由地震成因的不协调岩块组成的岩石,相当于 Spalletta 等提出的自碎屑角砾岩,是地震振动破坏原沉积层形成的初始断裂角砾岩<sup>[8 23]</sup>。通过对研究区野外系统观察,认为研究区的震塌岩系经震积作用将各类岩性、炭屑、泥砾、植物碎片等固结沉积物混杂的堆积,并伴随着一系列复杂的小型“褶皱和断裂”,同时发生振动液化作用。其因是

研究区的沉积物处于成岩阶段。研究区的震塌岩分布于 IT6512、IT6613-6614 中(图 2a、d,图 4b、c、d),其特征是塑性纹层状泥岩强烈变形弯曲,粉砂质泥岩破碎呈砾状,强烈地破裂,甚至角裂,磨圆较差,分选极差,与围岩界线清晰,无定向性,约 0.2~2.5cm,可见较大者约 4cm。部分角砾边缘因液化而变圆滑(图 4c、d),相邻泥砾、炭屑等可以拼接到一起,可见炭屑、植物碎块杂乱无章的分布。震塌岩呈层性较差,厚度变化无规律性,底部与下伏泥质层形成负载构造。

研究区的微断裂、地裂缝、震塌岩等与振动液化卷曲变形、砂土液化(脉)、负载构造等软沉积物变形构造共生,进一步证明前述的软沉积物变形构造为地震成因,表明该区全新世时期发生过地震活动。

## 4 震积岩的地质意义

地震事件是地壳运动的一种特殊且直观的表现形式,表现为地壳快速而剧烈的颤动,主要由断裂构造活动、火山活动、崩塌陷落及一些诱发因素影响引起<sup>[1 24 42]</sup>。与其它地史时期的事件沉积一样,在单一研究区很难见到完整的震积岩的识别标志,这与研究区距震源的距离、地震扰动层发育程度、地震强度、岩石抗震性能以及所处构造位置等有关。

从研究区的断层走向、断层性质及其对盆地沉

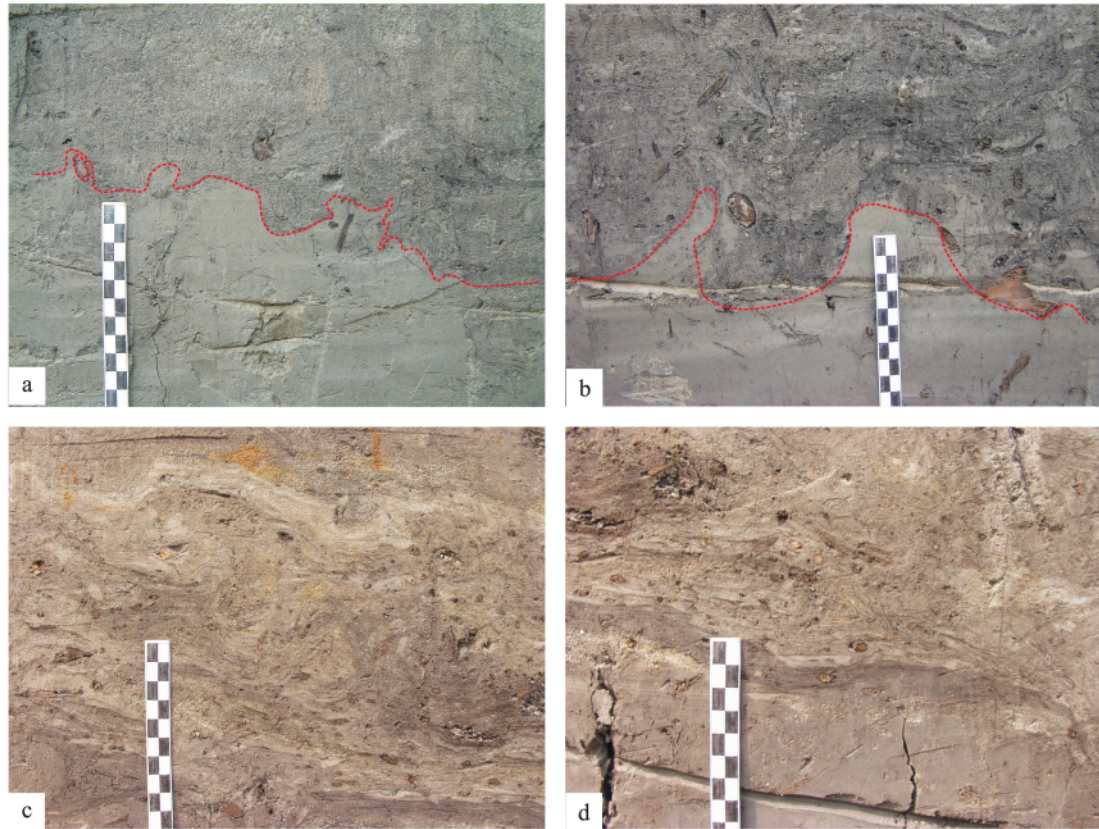


图4 金沙遗址区全新统中负载构造及震塌岩特征

(a、b 均为 IT6613-6614 中负载构造伴随着震塌岩 红色虚线为负载构造的界线 c、d 均为 IT6512 中的震塌岩)

Fig. 4 Holocene load structures and seismites in the Jinsha site, Chengdu

积的影响特征上看,金沙地堑与第四纪成都盆地的宏观构造-沉积特征相近:盆地内部拗陷主要受北东方向断层控制,同时也发育南东方向次级断层,构成了拗陷北西和南西两侧为活动构造控制的特征。在金沙遗址并未发现北东方向的断层,走向南东方向断层表现出由西北到东南断距递减的特征,地堑的西南侧断距大、东北侧断距小的不对称样式,其特征与盆地西部拗陷特征相似。对于金沙遗址西侧是否存在北东走向断裂虽然没有直接证据,但从沉积学和区域构造上分析应该存在,其证据为(1)在地堑内沉积的暗色泥炭在 IT6513 和 IT6613 中见由西向东分布的砾石层,砾石为直径大于 10cm 的卵圆形石英质砾石,砾石间为暗色泥炭充填,砾石层厚度由西向东减薄,而在金沙遗址内发育砾石的层位都在泥炭层之下。砾石的沉积特征说明其是近源再沉积产物,来源方向应该在西侧,断层活动形成的古地势高差是砾石向东搬运的能量来源;(2)在区域上,金沙遗址北侧存在着北北东方向的断层活动,依据控制的沉积物时代分析,其活动时间可推至中更新世,这一断裂的规模几乎贯穿成都

盆地的东部,金沙遗址西侧的断裂可能与其在全新世的活动有关;(3)在研究区 IT6613-6614、IT6512 中的 H2313 层发现明显的震积岩软沉积物变形及破裂构造特征,进一步为金沙遗址西侧存在北东走向断裂提供了有利的证据,更加确定金沙遗址构造活动受控于盆地边界断层的发育并与地震活动有关。

## 5 结论

(1) 在金沙遗址区首次发现全新统震积岩层。

(2) 金沙遗址全新统的震积岩识别标志包括砂土液化(脉)、液化卷曲变形构造、负载构造、微断裂、地裂缝、震塌岩。震积岩主要发育在 IT6613-6614、IT6512 中的 H2313 层位,是河流相地层中保留下来的古地震活动的原始记录。

(3) 成都平原早更新世地层分布局限且受龙门山前缘北东走向冲断裂控制,中更新世以后地层受控于龙门山前断裂与龙泉山前断裂共同控制。全新世时期,龙门山前断裂与龙泉山前断裂的活动伴随着地震活动及震积岩的发育。

## 参考文献:

- [1] 乔秀夫. 中国震积岩的研究与展望[J]. 地质论评, 1996, 42(4): 317-320.
- [2] 杨剑萍, 王辉, 陈世悦, 等. 济阳坳陷古近系震积岩特征[J]. 沉积学报, 2004, 22(2): 281-287.
- [3] 吴堪. 震积岩、海啸岩、震浊积岩研究进展[J]. 地质学报, 2010, 30(2): 136-139.
- [4] SEILACHER A. Fault-graded bed interpreted as seismites [J]. *Sedimentology*, 1969, 13(1-2): 155-159.
- [5] SIMS J D. Earthquake-induced structure in sediments of van Norman Lake, San Fernando, California [J]. *Science*, 1973, 182: 161-163.
- [6] SIMS J D. Determining earthquake recurrence intervals from deformational structure in young lacustrine sediments [J]. *Tectonophysics*, 1975, 29: 141-152.
- [7] CITA M B, LUCCHI F R. Seismically and Sedimentation [J]. *Marine Geology (Special Issue)*, 1984, 55(1-2): 1-145.
- [8] SPALLCTTA C, VAIL G B. Upper Devonian intraclastparabreccias interpreted as seismites [J]. *Marine Geology*, 1984, 55(1-2): 133-144.
- [9] PLAZIAT J C, PURSER B H, PHILOBBOS E. Seismic deformation structures( seismites) in the syn-rift sediments of the N W Red ( E-gyp) [J]. *Bull. Soc. Geol. France*, 1990, 8(3): 419-434.
- [10] REOP T B, EVERTS A J. Pillow-beds: A new type of seismites? An example from an Oligocene turbidite fan complex, Alicante, Spain [J]. *Sedimentology*, 1992, 39(5): 711-724.
- [11] OWEN G. Soft-sediment deformation in upper Proterozoic Torridonian sandstones ( Applecross Formation) at Torridon, Northwest Scotland [J]. *Sediment. Res.*, 1995, A65: 495-504.
- [12] OWEN G. Experimental soft-sediment: structure formed by the liquefaction of unconsolidated sands and some ancient examples [J]. *Sedimentology*, 1996, 43: 279-293.
- [13] SHIKI T, CITA M B, GORSLINE. Seismoturbidities, Seismites and Tsunamites [J]. *Sed. Geol. (Special Issue)*, 2000, 135(1-4): 1-295.
- [14] JEWELL H E, ETTENSOHN F R. An ancient seismite response to Taconian far-field forces: The Cane Run Bed, Upper Ordovician (Trenton) Lexington Limestone, central Kentucky (USA) [J]. *Journal of Geodynamics*, 2004, 37: 487-511.
- [15] BACHMANN G H, MAHMOUD A. M. AREF. A seismite in Triassic gypsum deposits ( Grabfeld Formation, Ladinian), southwestern Germany [J]. *Sedimentary Geology*, 2005, 180: 75-89.
- [16] DEEV E V, ZOLNIKOV I D, GUS' KOV S A. Seismites in Quaternary sediments of southeastern Altai [J]. *Russian Geology and Geophysics*, 2009, 50: 546-561.
- [17] ETTENSOHN F R, ZHANG C, GAO L, et al. Soft-sediment deformation in epicontinental carbonates as evidence of paleoseismicity with evidence for a possible new seismogenic indicator: Accordion folds [J]. *Sedimentary Geology*, 2011, 235: 222-233.
- [18] OWEN G, MORETI M, ALFARO P. Recognising triggers for soft-sediment deformation: Current understanding and future directions [J]. *Sedimentary Geology*, 2011, 235: 133-140.
- [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.
- [20] 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[J]. 现代地质, 1991, 5(2): 138-147.
- [21] 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.
- [22] 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): 19-24.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] 杜远生, 张传恒, 韩欣, 等. 滇中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), 2001, 31(4): 283-289.
- [26] 张琴, 朱筱敏, 张建军, 等. 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[J]. 地质学报, 2003, 77(2): 158-162.
- [27] 陈世悦, 袁文芳, 鄢继华. 济阳坳陷早第三纪震积岩的发现及其意义[J]. 地质科学, 2003, 38(3): 377-384.
- [28] 袁静. 山东惠民凹陷古近纪震积岩特征及其地质意义[J]. 沉积学报, 2004, 22(1): 41-46.
- [29] 杜远生, 彭冰霞, 韩欣, 等. 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.
- [30] 路慎强. 济阳坳陷古近系碎屑岩地层中震积岩识别标志研究[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2006, 30(5): 8-13.
- [31] 乔秀夫, 宋天锐, 高林志, 等. 地层中地震记录(古地震) [M]. 北京: 地质出版社, 2007. 1-263.
- [32] 乔秀夫, 李海兵. 沉积物的地震及古地震效应[J]. 古地理学报, 2009, 11(6): 593-610.
- [33] 乔秀夫, 李海兵, 枕、球、枕构造: 地层中的古地震记录[J]. 地质论评, 2008, 54(6): 721-730.
- [34] 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.
- [35] 杜远生. 中国地震事件沉积研究的若干问题探讨[J]. 古地理学报, 2011, 13(6): 581-586.
- [36] 冯增昭. 中国沉积学(第二版)(上) [M]. 北京: 石油工业出版社, 2013. 507-615.
- [37] 陈旭, 陈红汉, 董玉文, 等. 地震沉积学研究方法评析[J]. 沉积与特提斯地质, 2010, 30(1): 54-60.
- [38] 杨剑萍, 王海峰, 聂玲玲, 等. 冀中坳陷晋县凹陷古近系震积岩的发现及地质意义[J]. 沉积学报, 2014, 32(4): 634-652.
- [39] 朱利东, 阚璟珂, 王绪本, 等. 考古地层的三维可视化及应用研究-以成都金沙遗址为例[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2007, 34(5): 564-568.
- [40] 付顺. 蜀蜀区域环境演变与蜀蜀文化关系研究[C]. 成都: 成都理工大学, 2006. 92-93.
- [41] 杜远生, Shi G, 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.
- [42] MORETTI M, SABATO L. Recognition of trigger mechanisms for soft-sediment deformation in the Pleistocene lacustrine deposits of the Sant Arcangelo Basin( Southern Italy): Seismic shock vs. overloading [J]. *Sedimentary Geology*, 2007, 196( III - IV): 31-46.
- [43] 石亚军, 陈武杰, 曹正林, 等. 柴达木盆地西南区震积岩的发现及其引发的勘探启迪[J]. 地质学报, 2009, 83( 8): 1178-1187.

## Discovery and geological significance of the Holocene seismites in the Jinsha site in Chengdu , Sichuan

HE Bi<sup>1</sup>, ZHU Li-dong<sup>1</sup>, YANG Wen-guang<sup>1</sup>, FU Shun<sup>1</sup>, ZHANG Qing<sup>2</sup>, TAO Gang<sup>1</sup>, LI Chao<sup>1</sup>, LI Du-wen<sup>3</sup>, TIAN Guang-long<sup>1</sup>, XIE Long<sup>1</sup>

( 1. *Institute of Sedimentary Geology , Chengdu University of Technology , Chengdu 610059 , Sichuan , China*; 2. *Chengdu Institute of Archaeology , Chengdu 610059 , Sichuan , China*; 3. *College of Earth Sciences , Chengdu University of Technology , Chengdu 610059 , Sichuan , China*)

**Abstract:** The seismites are interpreted as a typical representative of catastrophic event deposits , and a general term for a group of genetically related rocks with the structures and sequences of the seismites. The seismites and seismic deposition are recognized for the first time in the Holocene strata in the Jinsha site , Chengdu , Sichuan. These strata are assigned to the alluvial deposits , and display gravel layers at the base , dark ( carbonaceous) argillaceous layers ( shale layers) in the middle part , and brown yellow soil layers in the upper part. There occurs a series of SE-trending normal faults on both sides of which well-defined faults at the top interface of the basal gravel layers constitute the horst structures. In the IT6511 and IT6610 horizons , there occur stepped faults composed of extensional normal faults with the slips of faults from 10 to 90 cm. In the IT6512 , IT6613 and IT6614 horizons , there are many deformational indicators and fracture structures in the soft sediments such as sand liquefied veins , liquefied convolute deformational structures , load structures , microfaults , microfractures , and seismites. The above-mentioned soft sediment deformational structures and fracture structures are believed to be caused by the crustal movement-induced earthquakes. The discovery of the seismites in the Jinsha site in Chengdu is of great value for the approaches to the palaeoenvironments of the Sichuan Basin from the Holocene onwards.

**Key words:** Jinsha site; seismite; seismic deposition; soft sediment deformation; fracture structure