

李光涛, 程理, 吴昊, 等. 雅鲁藏布江下游沿岸更新世末—全新世软沉积物变形构造特征、成因及其地质意义[J]. 华南地震, 2019, 39(S1): 109–117. [LI Guangtao, CHENG Li, WU Hao, et al. Soft Sediment Deformation Along the Lower Reaches of the Brahmaputra River and Its Geological Significance [J]. South China journal of seismology, 2019, 39(S1): 109–117]

雅鲁藏布江下游沿岸更新世末—全新世软沉积物 变形构造特征、成因及其地质意义

李光涛, 程理, 吴昊, 苏刚

(中国地震灾害防御中心, 北京 100029)

摘要: 林芝地区雅鲁藏布江下游位于喜马拉雅东构造结附近, 这里一直是青藏高原构造演化的重要地区, 许多断裂活动和重要构造事件都发生在该地区。通过对雅鲁藏布江沿岸大量软沉积物沉积类型、特征和成因等观察分析, 发现了大量与地震活动有关的震积岩, 形成了与地震活动有关的多种类型的软沉积物变形构造。主要包括液化卷曲变形、层内错断、负载构造和火焰构造等, 表明了该区曾遭受过大范围的地震活动和构造运动。通过对该区软沉积物变形构造的研究, 有助于补充该区古地震记录, 这对于研究该区的构造活动性具有重要的地质意义。

关键词: 雅鲁藏布江; 震积岩; 软沉积物变形; 古地震

中图分类号: P539.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8662(2019)S1-0109-09

DOI: 10.13512/j.hndz.2019.S1.018

Soft Sediment Deformation Along the Lower Reaches of the Brahmaputra River and Its Geological Significance

LI Guangtao, CHENG Li, WU Hao, SU Gang

(China Earthquake Disaster Prevention Center, Beijing 100029, China)

Abstract: The middle and lower reaches of the Brahmaputra River in the Nyingchi area are located near the eastern Himalayan tectonic knot and have been an important area for the tectonic evolution of the Qinghai-Tibet. Many fault activities and important tectonic events occurred in this area. Through observation and analysis of the types, characteristics and genesis of a large number of soft sediments along the Brahmaputra River, a large number of seismic base rocks related to seismic activity were discovered, and various types of soft sediment deformation structures related to seismic activity were formed. It mainly includes liquefaction crimp deformation, intra-layer fault, load structure, flame structure, etc. It shows that the area has suffered from a wide range of

收稿日期: 2019-02-26

基金项目: 中国地震灾害防御中心主任基金项目(2220045016);雅鲁藏布江下游地区区域构造稳定性研究项目(011518)

作者简介: 李光涛(1980-), 男, 助研, 硕士, 主要从事地震地质、构造地质等研究。E-mail: taoguangli521@163.com.

通信作者: 苏刚(1961-), 男, 副研究员, 硕士, 主要从事地震地质、构造地质等研究。E-mail: 565894914@qq.com.

seismic activities and tectonic movements. The study of the soft sediment deformation structure in this area will help to supplement the paleoearthquake record of the area, which has important geological significance for studying the tectonic activity of the area.

Keywords: Brahmaputra river; Seismites; Soft sediment deformation; Ancient earthquake

0 引言

震积岩 (seismite) 一词, 首先由 Seilacher 于 1969 年提出, 用以解释软沉积物中发育的同沉积变形构造, 而软沉积变形构造则是确定古地震是否发育的关键标志^[1]。国内对震积岩的研究始于 1988 年宋天锐^[2]等对华北元古代震积岩的研究, 他认为在北京十三陵前寒武纪碳酸盐岩地层内存在许多异常的沉积构造, 而这些软沉积变形沉积构造可以暂时地归咎于地震事件。由此至 21 世纪初, 众多学者关于震积岩的序列、分类和鉴别标志等的研究起到了引领和推动作用^[3-9]。

软沉积物变形 (又叫软沉积变形) 是一种准同生沉积变形, 所谓准同生, 是指沉积物沉积之后、

固结之前的沉积物变形^[10-12]。软沉积物变形构造是多成因的, 地震岩是指由地震引起的具软沉积物变形构造的岩层, 决不能把所有的具软沉积物变形构造的岩层都当作地震岩。目前, 对于软沉积物变形构造的分类方案主要有三种^[13]: ① 软沉积物变形的形态特征^[14]; ② 软沉积物变形的形成机理和成因^[15-17]; ③ 结合形态和成因进行的分类^[1]。国内已有不少学者利用软沉积物变形来识别古地震事件^[4, 13-16, 18-24]。当然, 除了地震引起的软沉积物变形之外, 还有诸多其他非地震成因的软沉积物变形, 这些软沉积物变形可以和地震关系密切, 由地震引发, 也可以和地震无关。为此, 杜远生^[12]对软沉积物变形构造进行了详细的分类(表 1)。

表 1 软沉积物变形构造分类及典型沉积物 (据文献 [12])

Table 1 Classification of soft sediment deformation structures and typical sediments (According to [12])	
软沉积物变形成因类别	软沉积物变形构造
地震引发的同生软沉积物变形	地裂缝、同沉积断裂、同沉积褶皱、震碎角砾岩
地震引发的准同生软沉积物变形	负荷构造、火焰构造、枕状构造、球状构造、枕状层
冰融作用引发的软沉积物变形	冰融滑塌(不协调褶曲)
天然气水合物泄漏引发的软沉积物变形	底辟构造、泥火山、不协调褶曲、气泡构造
水力破裂引发的软沉积物变形	底辟构造、水力破裂角砾岩
滑坡、滑塌、泥石流引发的软沉积物变形	岩崩、滑坡、滑塌、泥石流、震浊流沉积
液化作用引发的软沉积物变形	液化脉、沙火山、泄水沟造(泄水管状构造、碟状构造)、液化角砾岩、液化卷曲变形层理

本文所选林芝地区雅鲁藏布江下游位于印度板块向欧亚板块俯冲的东构造结附近, 这里是青藏高原周缘新构造与活动构造最为复杂、断裂活动最为频繁的地区。但由于该区多为高山峡谷地貌, 植被茂密, 滑坡、泥石流等地质灾害频繁, 地震记录少, 古地震研究程度低。为了尽可能多的揭露古地震事件, 我们选择了该区雅鲁藏布江沿岸连续沉积的河流阶地及湖湘地层内的软沉积物构造变形来进行研究, 以此来丰富和完善该区的古地震事件。

1 区域背景

雅鲁藏布江下游地处地处喜马拉雅山脉、念

青唐古拉山脉和横断山脉的交会处, 欧亚板块与印度板块碰撞的东喜马拉雅构造结附近(图 1), 地理位置为米林、林芝、波密及墨脱之间, 雅鲁藏布江在这里形成了世界著名的大峡谷和大拐弯。这里是两大板块在新生代碰撞和汇聚过程中挤压应力最强的地区之一, 构造十分复杂, 活动断裂发育, 地震频发^[25-30]。然而该区所记录到的历时地震则是相当少的, 尤其是 1900 年以前的地震缺失更多, 这与该区强烈的构造活动极其不符。

对该区古地震的研究, 因雅鲁藏布江及其支流两岸分布着大量的连续性软沉积物, 所以本文从这些软沉积物的构造变形现象来进行着手研究。该区发育的软沉积物主要是指雅鲁藏布江及其支流尼洋曲发育的多级阶地和湖相沉积, 其中雅鲁

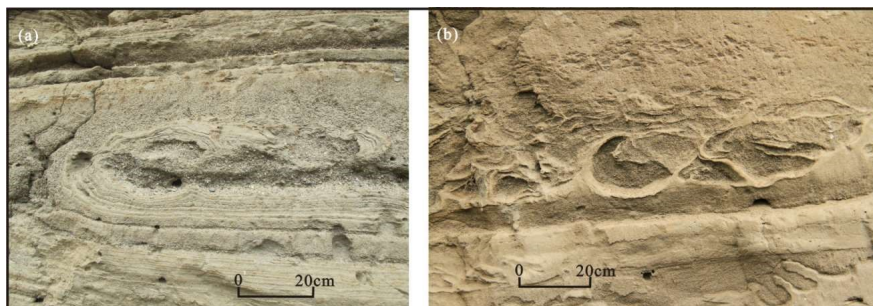


图3 液化卷曲变形中的包卷构造 (93.8722°, 29.1085°)

Fig.3 Convolute structure in liquefaction crimp deformation

2.2 层内错断

层内错断是沉积地层振动过程中在层内形成的小规模错断,可单独发育,也可成组出现,限于层内发育,本区的层内错断主要为小型的正断层或者断层组合成地垒。在林芝米瑞乡三级阶地,可见到多处层内断错现象,这种小的层内断错可能发生在任意层位,不受层内物质的影响,介于

两层或多层之间,没有贯通。这些小断层规模小,一般只断错一层或几层粉砂层,而上下粉砂层则未被断错,在局部发育纹层的地点,可清晰见到层内小断层(图4),这些小断层一般延伸1~10 cm,断距0.5~10 cm,倾角较陡,多在30°~50°,部分断层有砂质沉积物沿断层面充填。这种层内断错现象一般发育在雅江断裂带附近,与断层共生。

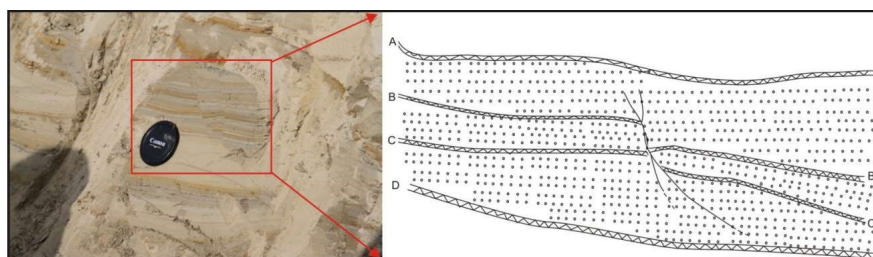


图4 细砂层中的层内断错及解译图 (94.6160°, 29.4984°)

Fig.4 Inter-layer fault and interpretation in the fine sand layer

2.3 负载构造、火焰构造以及球-枕构造

负载构造、火焰构造以及球-枕构造均是上下相邻的存在一定密度差的软沉积物在振动和重力作用下,发生坠入或挤入而形成的塑性变形构造。负载构造是上部较粗重的砂石层在振荡作用下下陷到砂层底部形成的构造^[5];火焰构造是下伏的泥层向上挤入砂层形成的火焰状构造,随着高密度砂岩层液化强度的增高,可形成一系列不同形态的负载构造和火焰状构造(图5)^[20];球-枕构造则是上覆砂层完全落入下伏层形成的球体或椭球体构造^[15,36-37]。本次发现的塑性变形构造为负载构造与火焰构造的集合体(图5),既有中粗砂层下陷,又有泥质粉砂层挤入中粗砂层,它们相互伴生,同时存在。其中以负载构造为主形成的火焰状构造并不完整(图6a、6b);而以火焰构造为主形成的“火焰”尖部特征更加明显,受到的挤压及振动作用更大(图6c、6d)。负载构造与火焰构造的虽然在形态近似,但它们还是有比较明显的区别:一是负载构造是上部层位密度大,下部层位密度小,而火焰构造

则正好相反,下部密度大,上部密度小;二是负载构造在持续震动的过程中,是上部大密度物质不断下陷的过程,而火焰构造这是下部大密度物质在持续震荡下不断向上挤出的过程;还有一个区别是负载构造形成的“火苗”规模一般比较小,短粗型、尖端不够细;而火焰构造形成的“火苗”规模一般比较大,细长型、尖端较细。

2.4 液化砂管

液化砂管主要是下部砂质沉积物在振动作用下发生流体化时,流体携带细砂冲破上覆沉积物的阻碍,形成下粗上细的砂管,是一种典型的砂土液化现象。这种砂土液化现象在湖相层中分布较为常见,由于流体移动,在砂管两侧的管壁上形成了清晰的擦痕及印模(图7a、图7b),且管壁两侧自上而下都是由这种含有泥质的物质形成,说明在砂土液化过程中,在震荡及挤压作用下,水体携带大量泥沙冲出地表,因而留下了清晰深切的沟槽,这与重力滑塌或冰川作用明显不同。



图 5 不同形态液化砂岩脉和重荷模—火焰状构造形成条件示意图(据文献[20],有修改)
Fig.5 Schematic diagram of boundary conditions of different sand dykes(according to[20],modified)

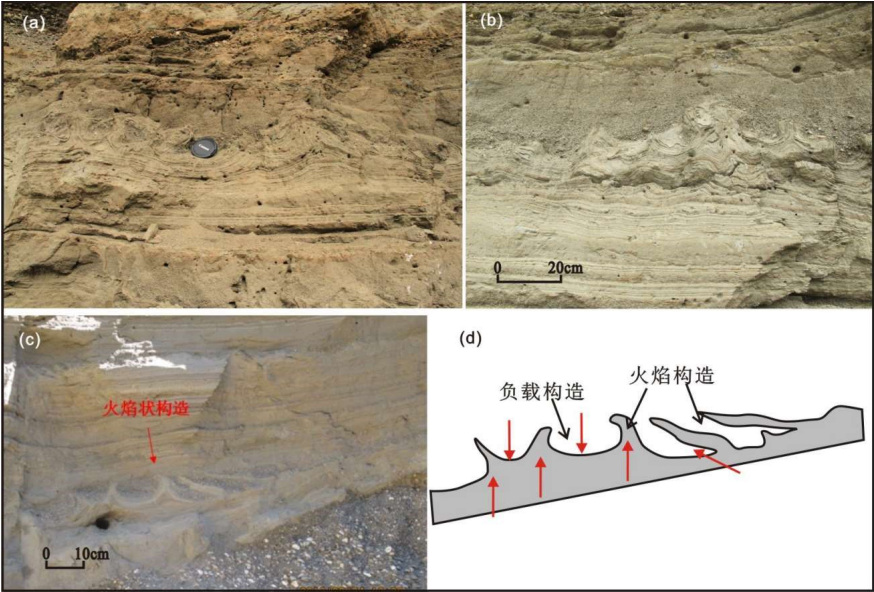


图 6 负载构造、火焰构造及示意图(93.8722°, 29.1085°)
Fig.6 Schematic diagram of load structure and flame structure

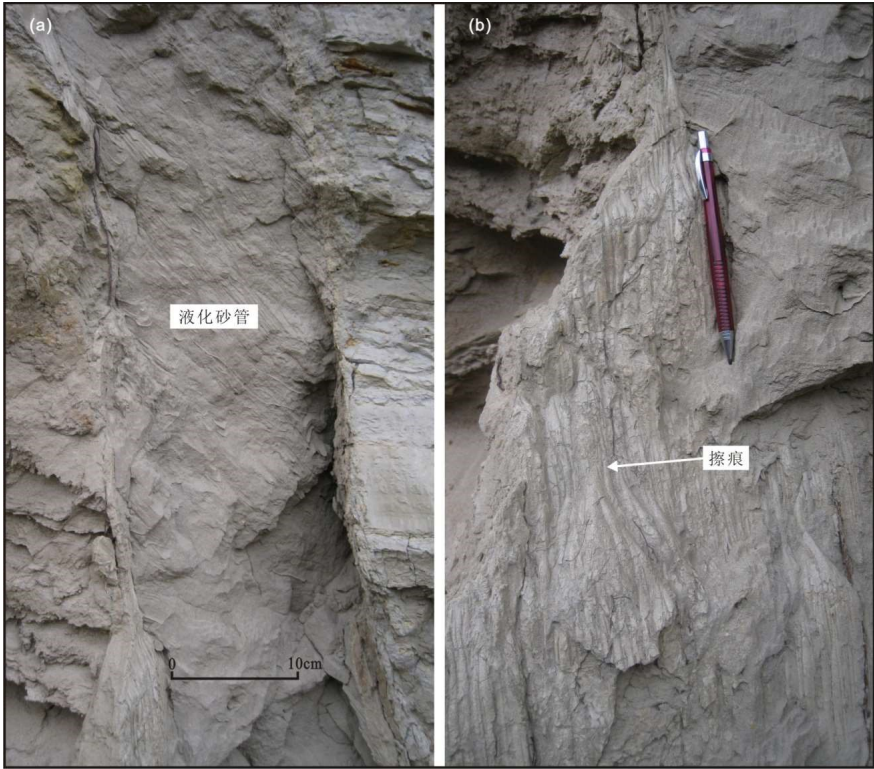


图 7 液化砂管现象及形成的擦痕 (94.5391°, 29.4291°)
Fig.7 Liquefied sand tube phenomenon and the formation of scratches

3 震积岩垂向序列特征

根据对雅鲁藏布江下游软沉积物变形构造的研究, 该区软沉积物变形构造较分散, 大多零星分布, 缺少完整的沉积序列和剖面组合, 这可能与该区地层出露程度有关。只在里龙乡附近观察到较少的震积岩垂向序列特征, 这种沉积序列能够较好的反映地震作用过程^[30]。里龙乡震积岩垂向序列由下至上分别为(图 8):

- ① 下伏未变形层段, 浅黄色细粉砂层, 未受振动干扰。
- ② 液化变形层段, 细粉砂层受振动作用发生变形, 伴有火焰构造。
- ③ 未变形层段, 同层①类似。

- ④ 液化变形层段, 形成液化卷曲变形层理, 并伴有液化砂脉形成。
- ⑤ 未变形层段, 下部物质形成液化砂脉穿过该层进入上部地层。
- ⑥ 液化变形层段, 地震作用过程中, 砂层不均匀负载部分陷入下伏含水塑性泥质层中, 同时泥质呈火焰状被挤入下垂的负载构造之间, 形成火焰状构造^[30]。
- ⑦ 未变形层段, 同层①类似。
- ⑧ 液化变形层段, 类似于层⑥, 但幅度大于层⑥, 上部砂层陷入粉砂层内形成了负载构造与火焰状构造, 并伴有球枕构造。
- ⑨ 上覆未变形层段, 未受振动影响的正常沉积层, 由浅黄色细粉砂层组成。

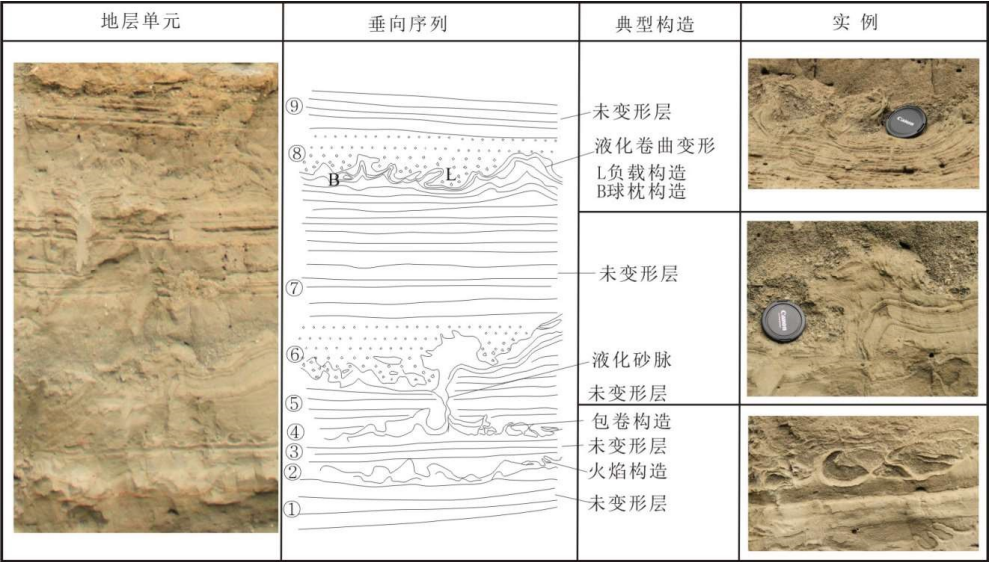


图 8 里龙乡震积岩垂向序列
Fig.8 Vertical sequence of seismite in Lilong township

4 软沉积物变形构造的空间分布特征

在对该区进行软沉积物变形构造研究的过程中, 发现这些变形构造较分散的沿雅鲁藏布江河谷 100 多公里范围内分布(图 9), 没有特定的集中在某地, 这种情况可能暗示着发生地震的震中位置与这些构造变形距离相近。这些软沉积物变形在阶地中主要位于雅江两岸的 T3 级阶地内, 表明这些沉积物变形可能发育于同一时期, 可能由一次地震或同一时期内的多个地震形成。由于 T3 阶地出露于较高的位置, 且主要沿着山谷的拐弯部位分布, 形成数量较少, 植被茂密, 这也限制了对更多 T3 阶地内软沉积物变形的研究。

5 沉积物变形构造成因机制及地质意义

古地震是依据地层中保留的沉积物变形记录而确定的^[16]。而触发沉积物变形则有多种因素, 包括内在因素(重力流、冻土融化、地下水渗出等)和外部因素(滑坡、地震、海啸等)两个方面^[17], 因此, 如何判断沉积物变形与古地震有关, 需要仔细分析其成因机制, 了解变形分类方法, 并结合区域地质构造特征及地层结构进行综合分析。

一般来说, 由重力滑塌引起的软沉积物变形构造一般涉及很多地层、变形规模较大, 并且具有一个明显的滑脱面, 而震积变形则无滑脱面^[19,24], 本研究区内发现的软沉积物变形多是规

模较小,涉及地层比较单一,因此可排除是重力滑塌引起。典型的河湖相沉积负载形成的卷曲变形具有粒度变化,上覆为河流相沉积,见冲刷的槽状交错层理,下覆为粘土质粉砂层,变形比较微弱、层理清晰,具有一定的优势方向^[13,40],而本文图6中下伏粘土质粉砂层则变形强烈。

关于软沉积物变形构造是否由地震引起有两条特定的标准^[41]:

(1) 软沉积物变形构造应位于以地震震中为中心和以大约40 km为半径的范围内^[42]。

(2) 地震的震级应大于4.5~5级^[43]。

而本文中的软沉积物变形位置距离1862年6¼级地震震中大多小于40 km,且不包括未被记录到的一些历史地震。这些软沉积物变形构造均符合

这两条特定的标准。

雅鲁藏布江下游沿岸发育有雅鲁藏布江断裂带,而地震活动主要分布于构造活动带^[44],但该地区曾发生的有记录以来的最大历史地震为1862年6¼级地震,其余中强震记录很少。这对于处于强活动区的欧亚大陆缝合带来说地震明显偏少,缺失很多地震记录。因此,通过对该区软沉积物变形构造的研究来判别古地震发生时间具有重要意义。但由于对该区沉积物的研究缺少一个较为完整的沉积序列,只是对某一些特定层位沉积物变形的研究,因此,无法判断更多的软沉积物变形事件,也无法确定古地震复发间隔,这也是我们本次工作的不足之处,希望在今后的工作中将这些不足进一步完善。

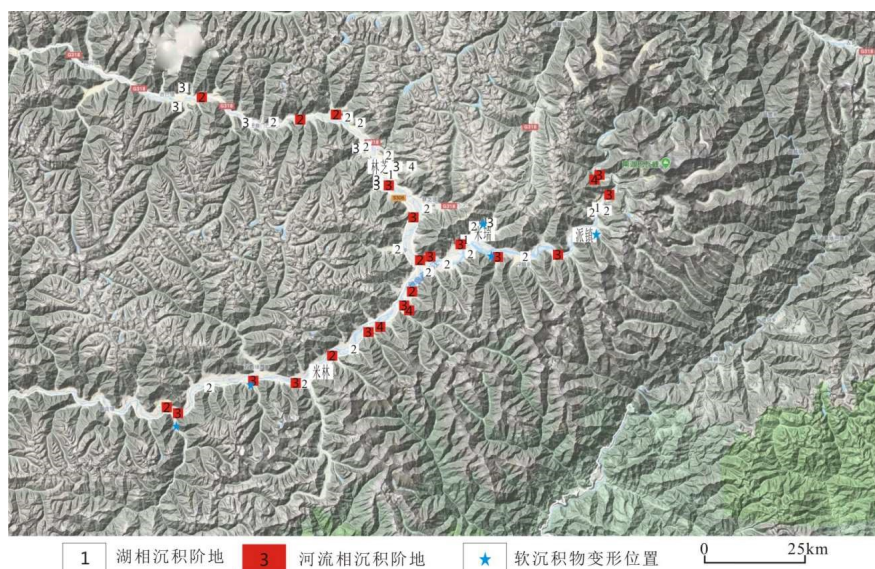


图9 雅鲁藏布江下游林芝段河流阶地分布图(据[21],有改动)

Fig.9 Distribution map of river terraces in the Linzhi section of the lower reaches of the Brahmaputra river (according to [20], modified)

通过对雅鲁藏布江下游沿岸软沉积物变形的研究,发现该区软沉积物变形构造多数独立存在,这反映出不同沉积层在地震过程中的不同表现。同时,这些软沉积物的变形现象多存在于雅鲁藏布江T3级阶地之中,分布范围也比较广泛,这可能表明在T3阶地形成一段时期内本地区曾发生过较大地震;而在T1、T2级和更高的T4级阶地内沉积物变形较少,原因可能很多,一种可能是在这些阶地地层内没有完整的地层出露,无法判断是否存在沉积物变形,一种可能是在这些历史时期也曾发生过地震,只是地震的大小不足以使得沉积物发生变形。

6 结语

在雅鲁藏布下游沿岸地区的软沉积物中发现了大量的构造变形现象,其中包括液化卷曲变形、层内错断、负载构造、火焰构造及液化砂管等同震构造变形。这些构造变形特征使得古地震的原始记录被保存在软沉积物中,对于研究该区的古地震特征具有重大帮助。

致谢:审稿专家对本文进行了认真细致的审阅并提出具体的修改意见,在此表示衷心的感谢!

参考文献:

- [1] Allen J R L. Sedimentary structures, their character and physical basis [J]. *Development in Sedimentology*, 1982 (30B): 1-663.
- [2] 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(8): 609-611.
- [3] 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): 845-853.
- [4] 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): 16-34.
- [5] 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, 2006.
- [6] 张传恒, 刘典波, 张传林, 等. 新疆博格达地区早二叠世软沉积物变形构造: 弧后碰撞前陆盆地地震记录[J]. *地学前缘*, 2006(04): 255-266.
- [7] 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: 地球科学)*, 2007(03): 336-343.
- [8] 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(01): 19-26.
- [9] 尹国勋, 汤友谊. 地史时期地震事件的岩石学证据—以四川峨眉晚侏罗世湖泊沉积中的震积岩为例[J]. *地震地质*, 1993(01): 61-65.
- [10] Greb S F, Dever G R. Critical evaluation of possible seismites: Examples from the carboniferous of the appalachian basin. *Special Paper of the Geological Society of America*, 2002: 109-125.
- [11] Montenat C, Barrier P, d'Estevou P O, et al. Seismites: an attempt at critical analysis and classification [J]. *Sedimentary Geology*, 2007, 196: 5-30.
- [12] 杜远生, 余文超. 地震和非地震引发的软沉积物变形[J]. *古地理学报*, 2017(1): 65-72.
- [13] 钟宁, 蒋汉朝, 梁莲姬, 等. 软沉积物变形中负载、球—枕构造的古地震研究综述 [J]. *地质评论*, 2017, 63(03): 719-738.
- [14] Reineck H E, Singh I B. *Depositional Sediment Environments*[M]. Berlin: Springer: 1973. 1-439.
- [15] 乔秀夫, 李海兵, 王思恩, 等. 新疆境内塔拉斯—费尔干纳断裂早侏罗世走滑的古地震证据 [J]. *地质学报*, 2008, 82(6): 721-730.
- [16] 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.
- [17] Owen G, Moretti M. Identifying triggers for liquefaction-induced soft-sediment deformation in sands [J]. *Sedimentary Geology*, 2011, 235(3): 141-147.
- [18] Su Dechen, van Loon A T, Sun Aiping. How quiet was the epeiric sea when the Middle Cambrian Zhangxia Formation was deposited in SW Beijing, China? [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2016, 72, 209-217.
- [19] 张斌, 王萍, 王建存. 岷江上游堰塞湖沉积中软沉积物变形构造成因讨论[J]. *地震研究*, 2011, 34(1): 67-74.
- [20] 杨剑萍, 李亚, 李凤群, 等. 饶阳凹陷古近系沙河街组古地震记录及地质意义[J]. *中国石油大学学报(自然科学版)*, 2018, 42(01): 1-10.
- [21] 宋方敏, 李如成. 四川大凉山断裂带古地震研究初步结果[J]. *地震地质*, 2002, 24(1): 27-34.
- [22] Qiao Xiufu, Song Tianrui, Gao Linzhi, et al. Seismic sequence in carbonate rocks by vibration liquefaction [J]. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 1994, 7 (3): 243-265.
- [23] Qiao Xiufu, Gao Linzhi. Earthquake events in Neoproterozoic and Early Paleozoic and its relationship with supercontinental Rodinia in North China [J]. *Chinese Science Bulletin (English Edition)*, 2000, 45 (10): 931-935.
- [24] Wang Ping, Zhang Bin, Qiu Weili, et al. Soft-sediment deformation structures from the Dixi paleo-dammed lakes in the upper reaches of the Minjiang River [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2011, 40(4): 865-872.
- [25] 滕吉文. 喜马拉雅弧形造山带东部弧顶—“东构造结”区的特异重力场转换、反演与深部壳、幔结构初探[C]//中国青藏高原研究会 2006 学术年会论文摘要汇编. 北京: 中国青藏高原研究会, 2006.
- [26] 唐方头, 宋键, 曹忠权, 等. 最新 GPS 数据揭示的东构造结周边主要断裂带的运动特征[J]. *地球物理学报*, 2010, 53(09): 2119-2128.
- [27] 许志琴, 杨经绥, 李海兵, 等. 印度—亚洲碰撞大地构造[J]. *地质学报*, 2011, 85(01): 1-33.
- [28] Molnar P, Tapponnier P. Cenozoic tectonics of Asia: Effects of a continental collision [J]. *Science*, 1975. 189: 419-426.
- [29] Gansser A. *The Geology of the Himalayas*. London, Wiley interscience, 1-289 [J]. *Geology*, 1964, 13(10): 679-682.
- [30] Powell C Mc A, Conaghan P J. Plate tectonics and the Himalayas [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1973, 20: 1-12.
- [31] 刘宇平, D. R. Montgomery, B. Hallet, 等. 西藏东南雅鲁藏布大峡谷入口处第四纪多次冰川阻江事件[J]. *第四纪研究*, 2006(01): 52-62.
- [32] 刘颖, 谢君斐. 沙土振动液化 [M]. 北京: 地震出版社, 1984.
- [33] Qiao Xiufu, Gao Linzhi, Gao Mai. Event stratigraphy, biostratigraphy and sequence stratigraphy of Neoproterozoic in North China [J]. *Journal of China University of Geosciences (English Edition)*, 1999, 10 (2): 93-101.
- [34] 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.
- [35] 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.
- [36] Moretti M, Pieri P, Tropeano M. Late Pleistocene soft. Sediment deformation structure interpreted as seismites in paralic deposits in the city of Bari (Apulian forland southern Italy)[C]//Ettensohn F R, Rast N, Brett C E(eds). Ancient Seismites. Geological Society of America, Society paper, 2002. 359: 75-85.
- [37] 邵晓岩, 田景春, 张锦泉, 等. 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组长 4+5 油层组中的古地震记录 [J]. 古地理学报, 2009, 11(2): 177-186.
- [38] 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): 581-590.
- [39] Moretti M, Ronchi A. Liquefaction features interpreted as seismites in the Pleistocene fluvio-lacustrine deposits of the Neuquén Basin (Northern Patagonia)[J]. Sedimentary Geology, 2011, 235: 200-209.
- [40] Suter F, Martínez J I, Vélez M I. Holocene soft-sediment deformation of the Santa Fe—Sopetrán Basin, northern Colombian Andes; Evidence for pre-Hispanic seismic activity[J]. Sedimentary Geology, 2011, 235(3): 188-199.
- [41] 冯增昭, 鲍志东, 郑秀娟, 等. 中国软沉积物变形构造及地震岩研究简评[J]. 古地理学报, 2017, 19(01): 7-12.
- [42] Moretti M, Van Loon A J. Restrictions to the application of 'diagnostic' criteria for recognizing ancient seismites[J]. Journal of Palaeogeography, 2014, 3(2): 162-173.
- [43] Van Loon A J, Pisarska-Jamroz M. Seismites resulting from high frequency, high magnitude earthquakes in Latvia caused by Late Glacial glacio-isostatic uplift[J]. Journal of Palaeogeography, 2016, 5(4): 363-380.
- [44] 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 辑: 地球科学), 2001(04): 283-289.