

安徽寿县新元古界一个滑塌-滑脱软沉积物 变形复合构造的发现及地质初探

王 熙, 王明镇

山东科技大学地质科学与工程学院, 山东青岛 266510

摘 要: 安徽寿县新元古界四十里长山组底部粉砂岩层中发现了一个滑塌-滑脱软沉积物变形复合构造, 剖面观察显示, 该沉积变形构造经历了滑塌变形、滑脱变形、震动液化变形等 3 次以上的变形过程, 很好地保存了原始沉积面貌和沉积变形特征; 分析该沉积变形构造的成因, 发现变形构造属于软沉积物变形构造类型, 形成于浅海陆棚边缘斜坡相带。引起软沉积物变形的动力是地震事件产生的多次震动波作用, 造成软沉积物滑塌、滑脱褶皱、震动液化泄水等变形作用, 形成了具有复杂变形特征的软沉积物变形复合体, 是一次地震事件多次地震活动的沉积记录。

关键词: 滑塌变形; 软沉积物变形构造; 地震事件; 变形复合体; 泄水构造

中图分类号: P542; P511.2 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2012.01.06

The Discovery and Geological Preliminary Investigation of A Slump-slip Soft-sediment Deformation Multilayer Complex Structure in Neoproterozoic Strata in Shouxian County, Anhui Province

WANG Xi, WANG Ming-zhen

*Geological Science and Engineering College, Shandong University of Science and Technology,
Qingdao, Shandong 266510*

Abstract: A slump-slip soft-sediment deformation multilayer complex structure was found in siltstone layer at the bottom of Neoproterozoic Sishilichangshan Formation in Shouxian County of Anhui Province. An observation of rock profile reveals that the sedimentary deformation structure has experienced three deformation processes, i.e., landslide deformation, slip deformation and seismic liquefaction deformation. The soft-sediment deformation structure is a good presentation of the original sedimentary deformation process and sedimentary features. Based on an analysis of the sedimentary deformation structure, the authors have found that the deformation structure belongs to the soft-sediment deformation structure formed in a shallow slope facies. Multiple seismic waves produced in seismic events caused soft-sediment slumping, fold slip and liquid discharge through the shock and sliding rolling deformation activities, resulting in the formation of the soft-sediment deformation composite structure with complex deformation features. The soft-sediment deformation structure is a record of the multiple seismic activities in one seismic event.

Key words: landslide deformation; soft-sediment deformation structure; seismic event; deformation complex; sluing structure

在安徽寿县新元古界四十里长山组底部粉砂岩层中发现了一个同沉积变形构造,外形很像是一个复杂的褶皱构造(Bowman et al., 2004),初看以为是包卷层理(刘宝君, 1980)或枕、球-枕构造(乔秀夫等, 2008; 杨仕维等, 2008; 赵卫卫等, 2006),但经过本文作者仔细观察、认真分析后发现并非如此,它既不是包卷层理,也不是枕、球-枕构造,其形成机理也不像上述构造那样简单;它的形成过程和形成机理有其独特的变形轨迹,它是沉积物沉积以后,在完全固结成岩之前受到沉积期某种动力作用产生的软沉积物变形构造(Blanc et al., 1998; 张传恒等, 2006, 2007),是经过同期多次软沉积变形后形成的滑塌-滑脱变形复合体。从剖面上可以观察到该变形构造最少经历了3次变形过程,即滑塌变形(梁定益等, 1997; 李双应等, 2003),滑脱褶皱变形,震动液化变形(乔秀夫等, 1994, 1996; 武振杰等, 2009)等。一个软沉积物变形构造体之上,能观察到如此多的沉积变形信息,不仅为研究软沉积物变形构造提供了极好的实物标本,而且对全面真实地了解其形成时的沉积过程和古地理环境有不可多得的地质意义。

安徽寿县新元古界属安徽地层区,淮河流域分区,淮南地层小区,发育有青白口系、南华系及震旦系,青白口系、南华系相对完整、震旦系后期剥蚀严重,仅有部分残存。四十里长山组在四顶山剖面实测厚度约 102.57 m,以滨海相灰黄色厚层-薄层石英细砂岩夹薄层粉砂岩、泥岩为特征(乔秀夫等, 2001b)。本次实测剖面位于寿县八公山(图 1),实测厚度 66.36 m,相当于四顶山剖面第 18 层(乔秀夫等, 2001b)。下伏地层为刘老碑组一套浅海相潮下低能环境的沉积,下部为薄层状-中厚层状泥灰岩夹泥岩,上部逐渐过渡为含陆源碎屑的砂质灰岩夹灰质细粉砂岩沉积。上覆地层为九里桥组紫灰色厚层状泥质灰岩夹青灰色薄层状灰岩和薄层泥质灰岩,具水平层理和波状斜层理。四十里长山组可分为 3 段:下段为褐灰色中厚层-厚层状含铁质钙质细粉砂岩,具波状斜层理及交错斜层理,厚度 11.37 m,发育软沉积变形构造——滑塌-滑脱变形复合体(图 2);中段分为两层,下层为灰褐色厚层状含铁粗粉砂岩,发育交错斜层理,厚度 16.79 m,上层为褐灰色厚层状钙质石英细砂岩,含少量海绿石颗粒成分,具波状斜层理,厚度 35.25 m;上段为青灰色中厚层含铁白云石细粉砂岩,含海绿石颗粒及少量暗色矿物,块状构造,厚度 2.95 m。本组下与刘老碑组为整合接触,上与九里桥组亦为整合接触。

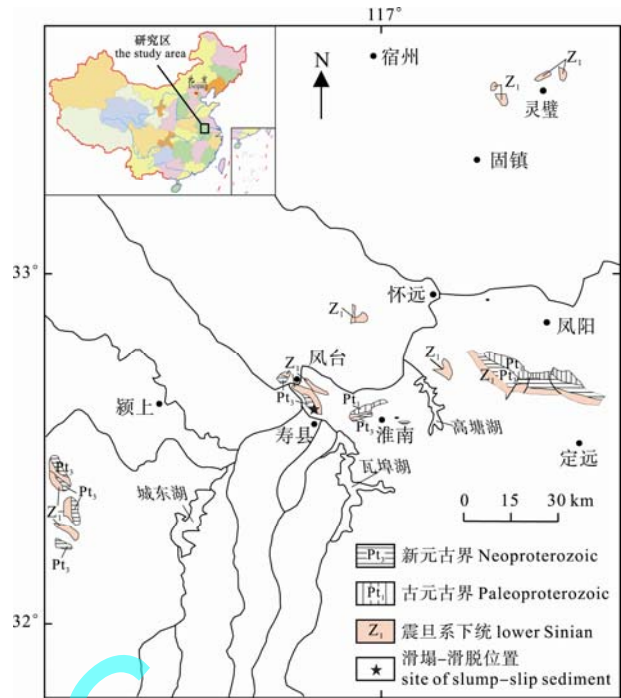


图 1 软沉积物变形构造位置示意图
Fig. 1 Location of the soft-sediment deformation structure

地层系统			厚度 /m	岩性柱状 1:500	沉积构造	岩性特征
界	系	统				
新元古界		四十里长山组	2.95	青灰色中厚层状含铁白云石细粉砂岩		青灰色中厚层状含铁白云石细粉砂岩
			35.25	褐灰色厚层状钙质石英细砂岩, 波状斜层理		褐灰色厚层状钙质石英细砂岩, 波状斜层理
			16.79	灰褐色厚层状含铁质粗粉砂岩, 发育交错斜层理		灰褐色厚层状含铁质粗粉砂岩, 发育交错斜层理
			11.37	灰色中厚层-厚层状含铁质钙质细粉砂岩, 发育震积岩软沉积变形构造: 滑塌-滑脱变形复合体		灰色中厚层-厚层状含铁质钙质细粉砂岩, 发育震积岩软沉积变形构造: 滑塌-滑脱变形复合体

图 2 安徽寿县新元古界四十里长山组地层柱状图
Fig. 2 Stratigraphic column of Neoproterozoic Sishilichangshan Formation in Shou County, Anhui Province

1 软沉积物变形构造主要特征

软沉积物变形构造主要发育于四十里长山组下段灰色中厚层-厚层状含铁钙质细粉砂岩层中，下伏地层为刘老碑组合陆源碎屑的砂质灰岩夹灰质细粉砂岩沉积；其上为灰褐色厚层状含铁粗粉砂岩，属浅海陆棚边缘缓坡相沉积环境。软沉积物变形构造为一个滑塌-滑脱褶皱变形构造复合体(图 3)，滑塌-滑脱变形构造复合体之上，发育未变形层。从剖面上可以观察到该变形构造至少经历了 3 次变形过程，即滑塌变形，滑脱褶皱变形，震动液化变形等，现将其形态特征描述如下。

1.1 滑塌变形作用——滑塌角砾岩特征

在横剖面观察发现，变形体最早为滑塌堆积形成的滑塌角砾岩状集合体，而不像是流化构造或滑混层构造(张传恒, 2006)角砾呈大小混杂状，砾屑从毫米级颗粒到二十几厘米的砾石相互混杂，并经过短期固结成岩，砾屑形状有颗粒状、短柱状、长条状、团块状、椭球状等，多数为棱角状，也有钝角状，无分选性(图 3A-)；滑塌变形主要以破碎为主，碎裂岩块中的微裂隙，砾屑间的微空隙等为细碎屑及泥状物充填，并形成充填构造。局部能见到受挤压形成的滑塌扁豆体(图 3A-)及扁豆体上同生的包卷层理与小揉皱(杨仕维等, 2008; 赵卫卫等, 2006; 张继庆等, 1985)。由于受后期变形的严重干扰，已很

难看清塌积岩所具有的沉积构造序列。

1.2 滑脱变形作用——滑脱褶皱构造体特征

本区滑脱褶皱变形构造是在滑塌变形沉积后，又产生的再一次软沉积物变形形成的，剖面上可看到由平卧的向斜、背斜褶曲组成，向斜宽缓舒展，呈弓形弯曲状，背斜狭窄扭曲，呈“>”字形，总体上似“ ”字形(图 3、图 4)，局部可见有次级揉皱小褶曲；由于是软沉积物变形，可看到十分清楚的软沉积物变形特征，如部分长条状砾石随褶曲呈弯曲状，甚至出现弧形、飘带状、放射状等复杂形态，显然是沉积物在滑脱移动过程中，受褶皱弯曲变形力的挤压引起同生变形所致。

滑脱褶皱变形构造中间保留了滑脱褶皱变形过程中产生的多条滑脱层面或滑脱褶皱变形裂隙，有的随褶皱变形构造辗转弯曲，并不切穿褶皱构造，有的沿固定方向延伸，特别是上平卧褶曲核部，至今仍保存了褶皱过程中的滑脱顶构造——滑脱帽(图 3A-②)；滑脱褶皱层面和变形裂隙中充填有细屑物质或泥质；仔细观察可发现，它们有的是软沉积层滑脱褶皱变形后保留在变形体内的原始层面，有的为滑脱面，能反映出滑脱褶皱变形的运动轨迹。

1.3 震动液化作用——液化泄水构造特征

泄水构造是软沉积物震动液化后出现砂涌或喷水时形成的变形构造，有泄水纹，喷水管等泄水痕迹存在，最典型的为碟状泄水构造(乔秀夫等, 2009;

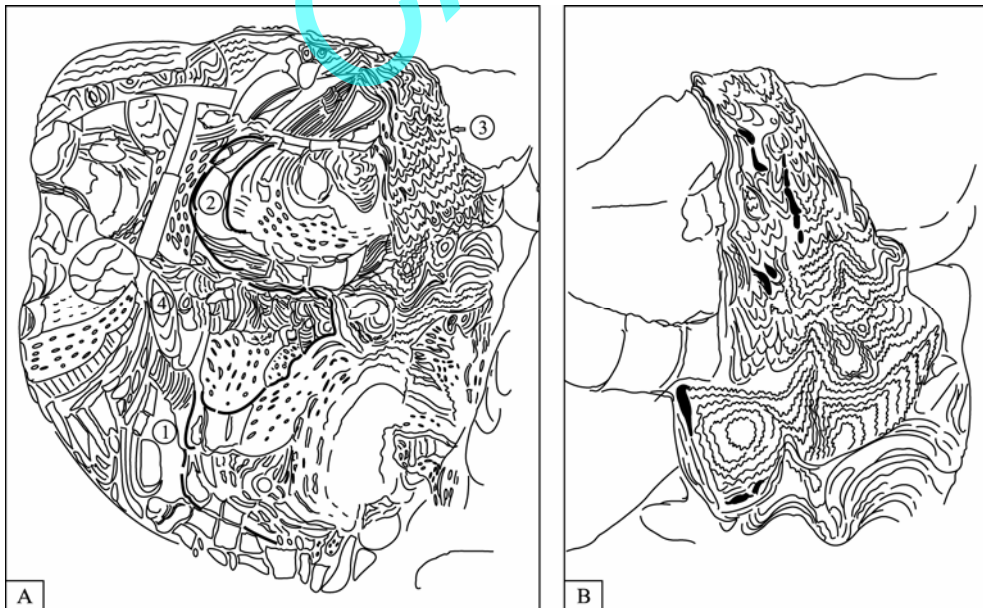


图 3 滑塌-滑脱软沉积变形复合构造素描示意图(地质锤把长 30 cm)

Fig. 3 Schematic sketch of slump-slip soft-sediment deformation multilayer complex structure (the hammer handle is 30 cm long)

A-整体效果素描图; B-图 A-③局部放大素描图

①-滑塌角砾岩; ②-滑脱褶皱构造中的滑脱帽; ③-泄水构造; ④-挤压扁豆体

A-sketch of the whole slump-slip deformation complex; B-magnified sketch of partial structure A-③

①-slump breccia; ②-fold-slip structures; ③-sluicing structures; ④-extrusion-lenticular structure

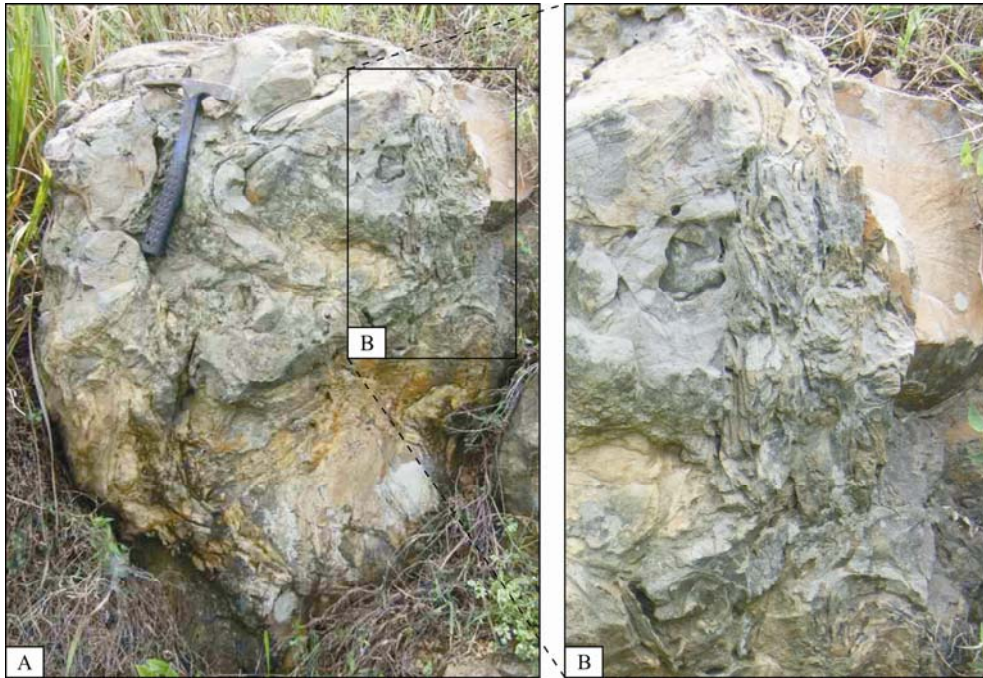


图4 滑塌-滑脱软沉积变形复合构造实测剖面记录

Fig. 4 Measured profile of slump-slip soft-sediment deformation multilayer complex structure

A-整体效果图; B-局部放大效果图

A-sketch of the whole slump-slip deformation complex; B-magnified sketch of partial structure

张传恒等, 2007; 武振杰等, 2009; 杨剑萍等, 2008)。本区所见泄水构造是典型的碟状泄水构造, 所有泄水纹纹路清晰, 似游丝曲折盘环, 构成向上开放的碟形曲线, 并伴有明显的泄水孔构造, 是由于液化水流喷射时穿插原来的纹层, 或因载荷下沉作用, 使原来的纹层弯曲变形而成(乔秀夫等, 2009)。碟形构造的开口向上, 反映水流喷射具有一定的方向性。液化泄水构造的存在, 说明软沉积物变形复合构造在滑塌-滑脱变形的同时, 又产生过液化泄水过程(图 3A-③、图 4B)。

2 滑塌-滑脱变形复合构造的地质成因

从该变形体所具有的复杂变形特征看, 它是经过滑塌、滑脱、震动液化脱水等多种变形过程形成的软沉积物变形复合构造。

2.1 自身重量产生势能——滑塌作用的原动力

由于本区在四十里长山组沉积期, 正处于浅海陆棚边缘斜坡地带(乔秀夫等, 2001b), 因斜坡上方软沉积物自身重量产生势能, 受到触发动力作用后, 最先产生了滑塌变形过程; 在受到震动的瞬间, 大量软沉积物塌落形成了粗细混杂的滑塌粗碎屑堆积物。滑塌堆积物的结构特征显示, 砾屑大者 20~30 cm, 小者为 mm 级, 均具有很好的棱角状外形, 亦无明显的分选性(图 3A-①); 证明是瞬间塌落

堆积形成的堆积物。塌落后堆积物的孔隙被具有黏着力的泥质和碳酸钙胶体胶结后, 形成了弱固结的滑塌角砾岩砾屑层, 局部受动力挤压作用形成滑塌扁豆体(图 3A-④)。

2.2 软沉积物液化失水引起底辟作用——产生滑脱褶皱变形作用的主因

滑塌堆积物水下沉积后形成的滑塌角砾岩砾屑层, 与其下伏地层存在因成份差异引起的突变层面或不连续面, 在液化失水过程中容易产生底辟作用, 在触发动力作用下, 顺斜坡产生滑脱褶皱变形, 是二次软沉积物变形的重要原因。本区二次变形主要以滑脱褶皱变形为主, 从剖面上可看出二次变形形成了复式褶皱体, 褶曲轴近于平卧, 其中两个向斜褶曲较宽缓, 褶曲两翼完整, 呈弓形弯曲, 核部圆钝, 并排列组合呈“ ”字形, 下方褶曲上翼完整, 下翼因受拖拽影响, 完整性稍差, 但核部仍较清晰, 两向斜之间, 为一平卧背斜, 背斜呈狭窄的“ > ”型, 因挤压严重, 背斜弧顶尖锐, 核部稍显杂乱, 呈不对称斜歪状态(图 3、图 4)。

滑脱褶皱变形构造中间保留的多条滑脱层面和滑脱褶皱变形裂隙, 滑脱顶构造——滑脱帽(图 3A-)等均证明本区在滑塌变形后, 又发生了滑脱变形。保存的滑脱褶皱如此完整, 结构清晰, 说明滑脱发生时, 速度相对和缓, 幅度不大, 也与滑塌

角砾岩砾屑被具有黏着力的泥质和碳酸钙胶体胶结, 稳定性增强有关。

2.3 震动液化作用——造就了液化泄水构造

由于颗粒支撑的粉细砂层充水后最容易液化失水, 并产生高压液态流, 从而形成液化泄水构造。本区滑塌-滑脱变形复合构造经过 2 次变形后, 又经受了第 3 次动力过程。第 3 次动力过程是经滑塌-滑脱褶皱变形的软沉积物, 因裂隙、滑褶面及各种碎屑颗粒结构的粒间孔隙再度充水充砂, 当受到震动作用后, 产生了原地液化-泄水等一系列地质作用, 形成液化泄水变形构造; 图上部右侧(图 3A-、图 4B)。碟状泄水构造是变形体在震动液化作用下形成的第 3 次软沉积变形构造。

由此可以看出该变形构造是经过多次运动变形后形成的软沉积物变形复合体。它可以证明本区的四十里长山组沉积早期曾发生过多动力过程。

3 沉积变形构造的驱动机制分析

软沉积物变形构造形成于水下环境, 引起软沉积物变形作用的驱动机制可以有 3 种情况, 一是重力滑坡作用, 二是风暴潮汐作用, 三是地震事件(杜远生等, 2000)。

根据本区软沉积物变形复合构造的特征, 与重力滑坡作用、风暴潮汐作用引起的软沉积物变形构造都不完全相符。因为, 虽然重力滑坡作用能产生滑塌变形构造和滑脱变形构造, 但不具备产生震动液化作用的直接条件; 而风暴潮汐作用虽然能产生浊流沉积砾屑层, 但在深水条件下能否产生海底震动液化作用值得怀疑, 因为在浪击面以下, 风暴潮汐作用所产生的同频率震动波是无法传送到海底软沉积层的, 而只有地震事件可以在浅海-深海的任何海洋环境中发生, 其产生的地震波完全能成为软沉积物变形构造形成的驱动力。这也从滑塌-滑脱变形复合体本身的变形特征得到证明。

一块标本之上保存了滑塌-滑脱-震动液化多种软沉积物变形信息, 显示出三位一体的变形特征: 即滑塌-滑脱和震动液化变形三位一体, 这一特征说明软沉积物的沉积过程中, 不同阶段经受了不同的动力过程。初始阶段软沉积物堆积于斜坡, 积累了足够的势能, 仅需要很小的驱动力, 便可产生足够的滑塌作用, 形成滑塌变形体; 而随后的滑脱变形, 则需要震动液化和脱水过程。有研究显示, 饱水砂层靠颗粒之间的摩擦力和弱固结作用维持稳定, 在地震波 P 波和 S 波的作用下, 因重力重排促使孔隙水排出(袁静等, 2006), 从而可导致因泄水变形引

起的底劈作用和喷水作用, 单靠自身重力和风暴潮汐作用的驱动力是难以完成这一重力重排作用过程的, 而地震作用具有产生这一过程的足够能量。

近年来对地震引起的同沉积变形构造的研究显示, 在海洋环境中由古地震驱动力触发形成的震积岩序列经常被发现(乔秀夫等, 1994, 1996, 1997, 1999, 2001a, 2008; 杜远生, 2000; 梁定益等, 2002; 赵卫卫等, 2006; 段吉业等, 2002)。乔秀夫等(2009)通过对软沉积物的地震与古地震效应的研究, 为野外识别软沉积物变形构造提供了许多有用的技术方法。特别是对华北东部新元古界沉积地层震积岩的研究揭示, 在辽宁的南关岭组, 安徽的贾园组, 淮南的刘老碑组, 四十里长山组, 均发现含有多期、多幕次的震积岩存在, 无疑也为本区发现的滑塌-滑脱软沉积物变形复合构造体的驱动力来源, 提供了重要的理论依据(乔秀夫等, 1994, 1996, 1997, 1999, 2001a, b, 2008; 李双应等, 2003; 彭阳等, 2001; 潘国强等, 2000; 贾志海等, 2003; 洪天求等, 2004; 李壮福等, 2000)。另据孙林华、桂和荣等皖北新元古界贾园组混积岩物源和构造背景的地球化学示踪揭示, 新元古界贾园组混积岩的碎屑成分可能主要来自于大陆岛弧构造背景有关的环境, 但比较靠近活动大陆边缘和被动大陆边缘, 推测大陆岛弧的形成与 Rodinia 超大陆汇聚有关(孙林华等, 2011; 乔秀夫, 1999), 由于岛弧的火山作用不仅为贾园组沉积提供了大量的物源, 同时伴随火山作用引起的地震作用, 不可避免地同期的大地构造作用带来了源源不断的动力。四十里长山组位于贾园组(淮南为四顶山组)之下, 与贾园组为连续沉积, 属于同一时期统一盆地的沉积; 已有的研究成果也显示, 四十里长山组泥岩中发育大量代表地震灾变事件记录的液化碳酸盐岩岩脉(乔秀夫等, 2001b)。完全有理由相信, 造成本区软沉积物变形构造: 滑塌-滑脱软沉积变形复合体的驱动力是新元古代地震事件。

4 结论

以上软沉积物变形构造特征及成因分析显示, 本区新元古界四十里长山组软沉积物变形期间, 由于沉积环境处于深水缓坡环境, 具有形成重力势能的有利地形条件, 古地震驱动力诱发软沉积物滑塌-滑脱及液化泄水作用形成了该软沉积物变形复合体。由于粉砂质软沉积层颗粒之间有碳酸盐胶体粘结产生的黏滞力, 形成弱固结状态, 不仅维持了自身的稳定性, 而且仍保持一定的柔韧性, 为软沉积物变形构造的形成和保存创造了条件。

一块标本之上保存了如此丰富多彩的软沉积物变形信息,不能不说大自然造化之神奇,但更重要的是让我们看到,本区新元古界四十里长山组软沉积物变形期间,诱导软沉积变形的触动力是连续不间断的灾变事件,具有同期多次活动的特点,这与地震事件层的变形特征及活动规律非常吻合。因此有理由认为新元古界四十里长山组沉积期,这里曾发生过波澜壮阔的地质事件——地震事件,在浅海陆棚缓坡环境条件下,由地震作用产生的驱动力,引起浅海陆棚缓坡环境的软沉积物产生滑塌-滑脱及液化泄水变形作用,最终形成了滑塌-滑脱变形复合体。

致谢:对专家提出的修改意见,本文做了认真的修改补充。对专家的真诚指导表示深深的谢意!

参考文献:

杜运生,韩欣. 2000. 论震积作用和震积岩[J]. 地球科学进展, 15(4): 389-304.

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[J]. 地质学报, 76(4): 441-445.

洪天求,贾志海,郑文武,李双应. 2004. 宿州地区震旦系望山组主要沉积类型及其形成环境分析[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 34(1): 5-11.

贾志海,洪天求,郑文武,李双应. 2003. 皖北新元古代望山组震积岩的基本特征及其形成环境分析[J]. 地层学杂志, 27(2): 146-158.

李双应,洪天求,郑文武,贾志海. 2003. 皖北新元古代刘老碑组滑塌沉积及其地质意义[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 26(6): 1115-1120.

李壮福,郭英海. 2000. 徐州地区震旦系贾园组的风暴沉积[J]. 古地理学报, 2(2): 19-27.

梁定益,聂泽同,宋志敏,万晓樵. 1997. 正在萌芽段的震积地层学[J]. 高校地质学报, 3(4): 458-461.

梁定益,宋志敏,赵崇贺,聂泽同. 2002. 河北省白石山中元古代地震遗迹的发现[J]. 地质通报, 21(10): 625-631.

刘宝君. 1980. 沉积岩石学[M]. 北京:地质出版社: 7, 81-86.

潘国强,刘家润,孔庆友,吴俊奇,张庆龙,曾家湖,刘道忠. 2000. 徐宿地区震旦纪地质事件及其成因讨论[J]. 高校地质学报, 6(4): 566-575.

彭阳,杨天南,乔秀夫,李典志,王国桢,杨中柱,杨小波. 2001. 大连上震旦统地震灾变事件研究[J]. 地质学报, 75(2): 221-227.

乔秀夫,高林志,彭阳,李海兵. 2001a. 古庐带沧浪铺阶地震事件、层序及构造意义[J]. 中国科学(D 辑), 31(11): 911-918.

乔秀夫,高林志,彭阳. 2001b. 古庐带新元古界——灾变、层序、生物[M]. 北京:地质出版社: 4.

乔秀夫,高林志. 1999. 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, 44(16): 1753-1758.

乔秀夫,李海兵,高林志. 1997. 华北地震震旦纪-早古生代地震节律[J]. 地质前缘, 4(3-4): 155-160.

乔秀夫,李海兵. 2008. 枕、球-枕构造: 地层中的古地震记录[J]. 地质论评, 54(6): 721-730.

乔秀夫,李海兵. 2009. 沉积物的地震及古地震效应[J]. 古地理学报, 11(6): 593-610.

乔秀夫,宋天锐,高林志,彭阳,李海兵,高劭,宋彪,张巧大. 1994. 碳酸盐岩震动液化地震序列[J]. 地质学报, 68(1): 16-33.

乔秀夫,宋天锐,李海兵,高林志. 1996. 辽东半岛南部震旦系-下寒武统成因地层[M]. 北京:科学出版社: 31-53.

孙林华,桂和荣,陈松,马艳平,王桂梁. 2010. 皖北新元古代贾园组混积岩物源和构造背景的地球化学示踪[J]. 地球学报, 31(6): 833-842.

武振杰,张传恒,姚建新. 2009. 滇中元古界大龙口组地震灾变事件及地质意义[J]. 地球学报, 30(3): 375-386.

杨剑萍,聂玲玲,杨君. 2008. 柴达木盆地西南缘新近系与地震沉积有关的软沉积物变形构造及其地质意义[J]. 沉积学报, 26(6): 967-974.

杨仕维,李建明. 2008. 震积岩特征综述及地质意义[J]. 岩性油气藏, 20(1): 89-94.

袁静,陈鑫,田洪水. 2006. 济阳拗陷古近纪软沉积变形层中的环状层理及成因[J]. 沉积学报, 24(5): 666-671.

张传恒,刘典波,张传林,王自强. 2006. 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]. 地质前缘, 13(4): 255-265.

张传恒,武振杰,高林志,王巍,田彦林,马超. 2007. 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), 37(3): 336-343.

张继庆,官举铭. 1985. 湖南大庸上震旦统中的重力滑塌沉积[J]. 中国地质科学院成都地质矿产研究所所刊, (6): 25-31.

赵卫卫,查明,杨建萍. 2006. 中国震积岩研究综述[J]. 地层学杂志, 30(2): 171-175.

References:

BLANC E J P, BLANC-ALÉTRU M C, MOJION P O. 1998. Soft-sediment deformation structures interpreted as seismites in the uppermost Aptian to lowermost Albian transgressive deposits of the Chihuahua basin (Mexico)[J]. Geologische Rundschau, 86(4): 875-883.

BOWMAN D, KORJENKOV A, PORAT N. 2004. Late-Pleistocene

- seismites from Lake Issyk-kul, the Tien Shan range, Kyrgyzstan[J]. *Sedimentary Geology*, 163(3-4): 211-228.
- DU Yuan-sheng, HAN Xin. 2000. Seismo-Deposition and Seismites[J]. *Advance in Earth Sciences*, 15(4): 389-304(in Chinese with English abstract).
- DUAN Ji-ye, LIU Peng-ju, WAN Chuan-biao. 2002. Mesoproterozoic and Neoproterozoic Seismite and Its Rhythm in the Yanshan Area, North China Platform[J]. *Acta Geologica Sinica*, 76(4): 441-445(in Chinese with English abstract).
- HONG Tian-qiu, JIA Zhi-hai, ZHENG Wen-wu, LI Shuang-ying. 2004. The analysis of the depositional types and the environments of the Wangshan Formation of Sinian in Suzhou Area, Anhui Province[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 34(1): 5-11(in Chinese with English abstract).
- JIA Zhi-hai, HONG Tian-qiu, ZHENG Wen-wu, LI Shuang-ying. 2003. The characters and environments of the seismites of the neoproterozoic Wangshan Formation in North Anhui[J]. *Journal of Stratigraphy*, 27(2): 146-158(in Chinese with English abstract).
- LI Shuang-ying, HONG Tian-qiu, ZHENG Wen-wu, JIA Zhi-hai. 2003. Neoproterozoic slumping deposit in the Liulaobei Formation in the north of Anhui and its implication[J]. *Journal of Hefei University of Technology (Natural Science)*, 26(6): 1115-1120(in Chinese with English abstract).
- LI Zhuang-fu, GUO Ying-hai. 2000. Storm Deposits in the Sinian Jiayuan Formation of Xuzhou Area[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2(2): 19-27(in Chinese with English abstract).
- LIANG Ding-yi, NIE Ze-tong, SONG Zhi-min, WAN Xiao-qiao. 1997. Seismostratigraphy at its Germination Stage-A brief history of research on seismite and its prospect[J]. *Geological Journal of China Universities*, 3(4): 458-461(in Chinese with English abstract).
- LIANG Ding-yi, SONG Zhi-min, ZHAO Chong-he, NIE Ze-tong. 2002. Discovery of Mesoproterozoic seismites at Baishi Mountain, Hebei Province and its geological significance[J]. *Regional Geology of China*, 21(10): 625-631(in Chinese with English abstract).
- LIU Bao-jun. 1980. *Sedimentary Petrology*[M]. Beijing: Geological Publishing House: 7, 81-86(in Chinese).
- PAN Guo-qiang, LIU Jia-run, SUN Qing-you, WU Jun-qi, ZHANG Qing-long, ZENG Jia-hu, LIU Dao-zhong. 2000. Study on Sinian Geologic Events in Xuzhou-Suzhou Area and Discussion on their Origin[J]. *Geological Journal of China Universities*, 6(4): 566-575(in Chinese with English abstract).
- PENG Yang, YANG Tian-nan, QIAO Xiu-fu, LI Dian-zhi, WANG Guo-zhen, YANG Zhong-zhu, YANG Xiao-bo. 2001. A Study of Seismic Events in the Late Sinian Carbonates of Dalian[J]. *Acta Geologica Sinica*, 75(2): 221-227(in Chinese with English abstract).
- QIAO Xiu-fu, GAO Lin-zhi, PENG Yang, LI Hai-bing. 2002. Seismic event, sequence and tectonic significance in Canglangpu Stage in paleo-tanlu fault zone[J]. *Science in China (Series D: Earth Sciences)*, 45(9): 781-791.
- QIAO Xiu-fu, GAO Lin-zhi, PENG Yang. 2001. Neoproterozoic in Paleo-Tanlu fault zone—Catastrophe · Sequence · Biostratigraphy[M]. Beijing: Geological Publishing House: 4(in Chinese).
- QIAO Xiu-fu, GAO Lin-zhi. 2000. Earthquake events in Neoproterozoic and Early Paleozoic and its relationship with supercontinental Rodinia in North China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 45(10): 931-935(in Chinese with English abstract).
- QIAO Xiu-fu, LI Hai-bing, GAO Lin-zhi. 1997. Sinian-early paleozoic seismic rhythms on the North China platform[J]. *Earth Science Frontiers*, 4(3-4): 155-160 (in Chinese with English abstract).
- QIAO Xiu-fu, LI Hai-bing. 2008. Pillow, Ball-and-pillow Structures: Paleo-seismic Records within Strata[J]. *Geological Review*, 54(6): 721-730(in Chinese with English abstract).
- QIAO Xiu-fu, LI Hai-bing. 2009. Effect of earthquake and ancient earthquake on sediments[J]. *Journal of Palaeogeography*, 11(6): 593-610(in Chinese with English abstract).
- QIAO Xiu-fu, SONG Tian-rui, GAO Lin-zhi, PENG Yang, LI Hai-bing, GAO Mai, SONG Biao, ZHANG Qiao-da. 1994. Seismic sequence in carbonate rocks by vibrational liquefaction[J]. *Acta Geologica Sinica*, 7(3): 243-265(in Chinese with English abstract).
- QIAO Xiu-fu, SONG Tian-rui, LI Hai-bing, GAO Lin-zhi. 1996. Genetic stratigraphy of the Sinian and Lower Cambrian strata in South Liaoning province-Guidebook of the National Scenic Area of Jinshitan Beach[M]. Beijing: Science Press: 31-53(in Chinese).
- SUN Lin-hua, GUI He-rong, CHEN Song, MA Yan-ping, WANG Gui-liang. 2010. Provenance and Tectonic Setting of the Neoproterozoic Diamictites from Jiayuan Formation in Northern Anhui Province: Evidence from Geochemical Study[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 31(6): 833-842(in Chinese with English abstract).
- WU Zhen-jie, ZHANG Chuan-heng, YAO Jian-xin. 2009.

- Neoproterozoic Seismic Catastrophic Events in Dalongkou Formation of Central Yunnan and Their Geological Significance[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 30(3): 375-386(in Chinese with English abstract).
- YANG Jian-ping, NIE Ling-ling, YANG Jun. 2008. Soft-Sediment Deformation Structures of Neogene Related to Earthquake and Its Geological Significance in the Southwestern Margin of Qaidam Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 26(6): 967-974(in Chinese with English abstract).
- YANG Shi-wei, LI Jian-ming. 2008. Characteristics and geological significance of seismites[J]. *Lithologic Reservoirs*, 20(1): 89-94(in Chinese with English abstract).
- YUAN Jing, CHEN Xin, TIAN Hong-shui. 2006. Formation of Loop Bedding in Jiyang Sub-basin, Paleogene[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 24(5): 666-671(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Chuan-heng, LIU Dian-bo, ZHANG Chuan-lin, WANG Zi-qiang. 2006. Early Permian seismically induced soft-sediment deformational structures in Bogda region, Xinjiang: stratigraphic records of earthquakes in the retroarc collisional foreland basin[J]. *Earth Science Frontiers*, 13(4): 255-265(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Chuan-heng, WU Zhen-jie, GAO Lin-zhi, WANG Wei, TIAN Yan-lin, MA Chao. 2007. Earthquake-driven Soft-sediment deformation structures and its geological significance in Mesoproterozoic Erathem Wumishan Formation in North China[J]. *Science in China(Series D: Earth Sciences)*, 37(3): 336-343(in Chinese).
- ZHANG Ji-qing, GUAN Ju-ming. 1985. The Gravity Slump Deposits of Upper Sinian in Dayong, Hunan Province[J]. *Bulletin of the Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources Chinese Academy of Geological Sciences*, (6): 25-31(in Chinese with English abstract).
- ZHAO Wei-wei, ZHA Ming, YANG Jian-ping. 2006. An Overview of Seismite Research in China[J]. *Journal of Stratigraphy*, 30(2): 171-175(in Chinese with English abstract).

中国地质科学院董树文研究员被评为 “2011 年中国科学杰出创新人物”

2012 年 1 月 18 日, 由科学网主办的“2011 中国科学年度人物评选”活动揭开所有谜底, 根据广大网友的投票结果, “2011 中国科学年度新闻人物”和“2011 中国科学年度杰出创新人物”两项大奖各有其主。中国地质科学院副院长、《地球学报》主编董树文研究员获此殊荣。

“2011 年中国科学年度新闻人物”当选者为王晓东、方舟子、朱清时、杜光东、杨宝峰、周其凤、赵跃宇、饶毅、屠呦呦、颜宁。“2011 年中国科学杰出创新人物”当选者为邓涛、史玉升、李传锋和黄运锋、刘泽金、安芷生、张俐娜、何芳良、袁隆平、董树文、韩家淮(以上人物按姓氏笔画排序)。

董树文作为候选人的推荐理由是: 由董树文领导的国家“地壳探测工程”培育性计划的“深部探测技术与实验研究”专项, 实施一年来取得了四项突出进展: 一、获得了岩石圈地幔的强地震反射。二、地球微观物质探测研究取得重要发现。三、隐伏金属矿上方发现纳米级金属微粒, 直接获得了深穿透地球化学科学实证。四、首次实现大型矿集区三维透明化。如此宏大的地球探测计划已经开始引世界关注的目光。

中国科学年度人物旨在评选出 2011 年度在国内科技界产生重要影响力, 并在一段时间内成为引导公众舆论的风向标式的科技新闻事件当事人。同时, 本次活动在关注国内科技界年度最具影响力的新闻人物的基础上新增了“杰出创新人物”的评选, 侧重于评选出 2011 年度在个人及团体的科研工作中充分体现科技创新价值, 并取得突破性进展, 其科研成果对基础科学研究产生重要影响, 为国家科技实力提升及产业科技升级做出杰出贡献的科学家。

活动同时得到了中国科学报、科技日报、光明日报、人民日报、腾讯网、新浪网、人民网、中国科学院网等媒体的支持。