

扬子北缘志留系新滩组震积岩的发现及其地质意义

吴新斌, 陈剑祥, 郝云蛟, 那正清

(陕西地矿局汉中地质大队, 陕西 汉中 723000)

摘 要: 宁强县黄家坝一带下志留统新滩组上部发育了 2 层震积岩, 其表现形式为震积岩中有微裂缝、微褶皱 (液化砂岩卷曲构造)、半塑性角砾岩、碎块-液化均一层。为一个地震活跃期的 2 次地震事件, 是区内首次发现, 填补了区内震积岩的空白。该地震事件与板块的裂解有着直接的联系, 是早古生代 Rodinia 超大陆再次发生大规模裂解引起地震活动的结果, 是加里东构造运动的有力证据。

关键词: 扬子北缘; 下志留统新滩组; 震积岩; 变形构造; 加里东运动

中图分类号: P51 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-6248(2013)02-0081-06

Discovery and Geological Significance of the Silurian Xintan Formation Seismite Along the North Margin of Yangtze Plate

WU Xin-bin, CHEN Jian-xiang, HAO Yun-jiao, NA Zheng-qing

(Hanzhong Geological Team of Shannxi Bureau of Geology & Mineral Resources, Hanzhong, Shannxi, 723000)

Abstract: Two seismite strata are developed in the upper part of the lower Silurian Xintan Formation around Huangjiaba village, Ningqiang county, which contains many micro cracks, micro folds (coiled structure of liquefied sandstone), semiplastic breccia and fragment liquefied homogeneous layers and represents two seismic events during a single seismic active period. This is the very first discovery that fills the gap of seismite in the region. The seismic event is directly related to the splitting of plates, and the discovery of seismite offers a powerful evidence for the late Caledonian movement at the end of the early Paleozoic, namely the Rodinia's massive splitting in Early Paleozoic caused seismic activities.

Key words: north margin of Yangtze Plate; Lower Silurian Xintan Formation; seismite; deformation Structure; Caledonian Movement

由古地震作用在不同构造与沉积背景下地震作用过程中地壳颤动引起的各种作用力 (地震震动力、剪切力、挤压力、拉张力等) 对未固结的水下沉积物形成再沉积层, 后经固结成岩, 称为震积岩 (Seilacher, 1969)。由于地震活动是地壳内部巨大能量快速释放过程, 因此在沉积物内形成了大量特

征的变形构造。一个完整的震积作用沉积序列包括: 震积岩 (原地系统)、海啸岩 (准原地系统)、震浊积岩 (异地系统)、背景沉积, 组成震积岩沉积序列的基本沉积单元, 但不完整的组合方式甚至是无序的组合方式也很常见 (杜远生, 2000)。2010 年笔者在“1:5 万陕西中子铺等三幅区调”工

收稿日期: 2012-10-16; 修回日期: 2012-12-03

基金项目: 陕西省 1:5 万中子铺、宁强、黎坪幅区域地质调查

作者简介: 吴新斌 (1969-), 男, 工程师, 长期从事区域地质调查及矿产勘查工作。E-mail: wuxinbin163@163.com

作过程中，于下志留统新滩组上部发现了 2 层震积岩，本震积岩层的发现填补了上扬子地层区宁强-三元地层小区中震积岩的空白。

1 区域地质背景及大地构造位置

测区位于华南板块扬子陆块，属于秦祁昆中央造山带范畴，测区地质构造是秦岭造山带、扬子陆块、松潘-甘孜造山带三者长期相互作用的结果。在约 25 亿年地质历史中经历了青白口纪基底形成，南华纪—中三叠世主造山期板块构造体制（陆表海），晚三叠世—现代大陆板内演化三大阶段，6 个演化时期（新太古代—古元古代、中元古代—青白口纪、南华纪—志留纪、泥盆纪—中三叠世、晚三叠世—早白垩世、晚白垩世以来，陈高潮等，

2007）。前南华纪沿扬子陆块西缘伸展裂开形成碧口-平武-盐边裂谷带和被其分开的木里-若尔盖和米仓山-龙门山-攀西两个陆块，随着碧口-平武-盐边裂谷海槽的闭合，于测区外西北方向形成晚元古代陆缘弧（刘树根等，2006）。南华纪以后，扬子陆块为稳定地块，进入盖层阶段，接受台地相-陆棚相稳定沉积，伴随着区外北侧商丹洋的形成、消减、俯冲，华北板块与华南板块碰撞，扬子陆块出现间歇性整体隆升剥蚀。印支—燕山期测区属于秦岭造山带、松潘-甘孜造山带的前陆，板内陆-陆叠覆“A”型俯冲环扬子周缘形成冲断褶带，其构造变形主要是在印支—燕山期形成，并定型。

测区构造单元隶属华南板块-上扬子古陆块-米仓山基地逆冲带-宁强-三元上扬子克拉通（图 1）。测区外北东部与汉南岩浆弧相邻，北西为阳平关构

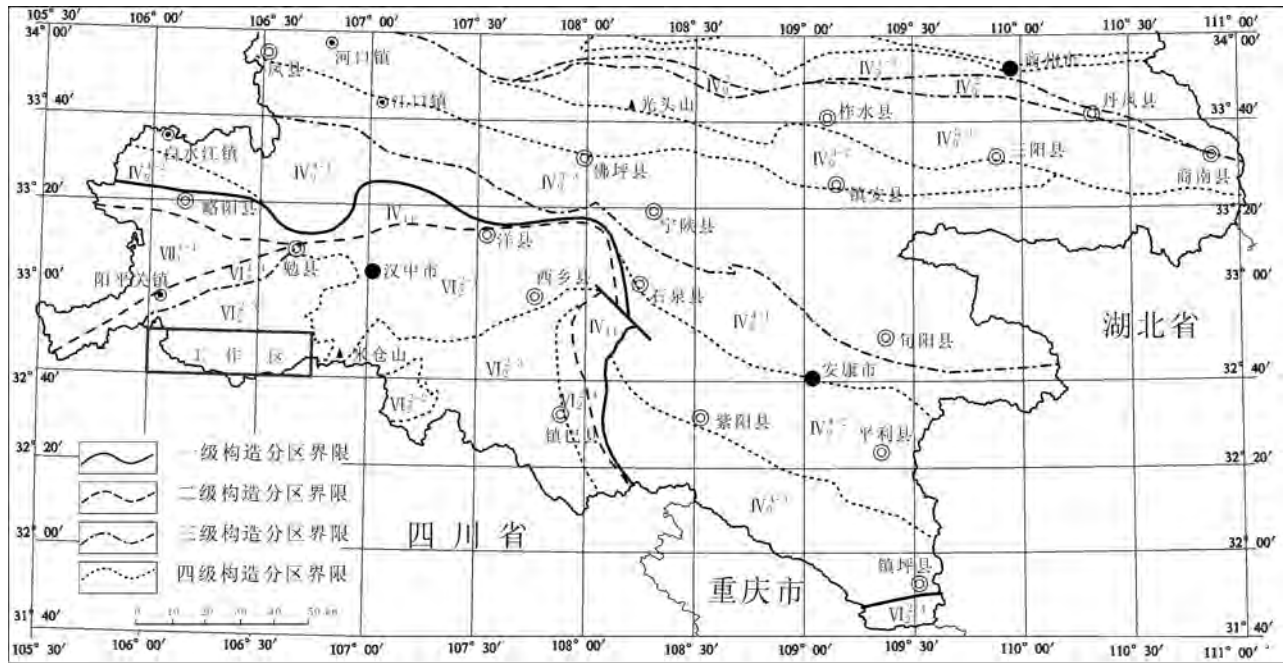


图 1 大地构造分区图

Fig. 1 Map showing geotectonic division

VI₁. 华南强块；VI₂. 上扬子古陆块；VI₃. 龙门山基底选冲带华南陆块；VI₃⁻¹. 阳平关构造带；VI₃⁻². 米仓山—大巴山基底逆冲带；VI₂₋₁₂. 汉南岩浆弧；VI₁⁻³. 碑坝岩浆弧；VI₂⁻². 宁强-三元上扬子克拉通；VI₂⁻³. 司上弧形冲断带；VII₁. 摩天岭古陆块；VII₁₋₁. 碧口-陈家坝洋岛弧盆地

造楔，构造线呈北东向展布。

地层区划隶属华南地层大区-上扬子地层区-米仓山-大巴山地层分区-宁强-三元地层小区。区内新元古代—三叠纪地层均有出露，以新元古代—古生

代地层为主体，缺失中上志留统、泥盆系、石炭系，而少量第四系多呈带状沿河谷叠置在不同的地质体之上。

南华纪—早三叠世测区盖层地层发育较全，新

元古界南华系在测区分布局限, 仅见上南华统南沱组; 震旦系分布于测区东北角和西北角, 为陡山沱组、灯影组。下古生界为下寒武统牛蹄塘组、石牌组、仙女洞组、沧浪铺组, 中寒武统西王庙组; 中下奥陶统赵家坝组、西凉寺组, 中上奥陶统宝塔组; 下志留统龙马溪组、新滩组和罗惹坪组; 上古生界仅出露二叠系, 有下二叠统梁山组, 中二叠统阳新组、上二叠统吴家坪组、大隆组。中生界仅见三叠系大冶组。各地层间未见明显的角度不整合, 仅在震旦系与南华系、寒武系与震旦系、奥陶系与寒武系、志留系与奥陶系、二叠系与志留系之间形成平行不整合, 表现为区域整体沉降隆升。

2 震积岩特征

震积岩发现于下志留统新滩组 (S_{1x}) 上部, 新滩组为陆棚相, 高水位体系域, 该组在区内分布较广, 沉积厚度 >407 m, 为一套细碎屑岩建造, 水平层理发育、波痕较发育, 下与龙马溪组黑色页岩, 上与罗惹坪组生物碎屑灰岩、粉砂质页岩均为整合接触。

笔者在新滩组上部发现的 2 层震积岩层, 在柱面上相距 $2.5\sim 3$ m, 应是一个地震活跃期的 2 次地震活动事件记录。

第一层(下层)震积岩厚约 $1.5\sim 4.6$ m, 主要分为 2 部分: 下部为半塑性角砾岩层(又称内碎屑副角砾岩或枕状层, 杨仕维等, 2008, 照片 1), 厚约 $0.9\sim 2.05$ m, 岩性为粉砂岩, 半塑性, 角砾大小不等, 一般在 $0.2\sim 0.4$ m, 属近原地相(有一定位移), 为母岩在固结或半固结条件下经受地震震动破坏原沉积层形成的初始断裂角砾岩(内碎屑角砾岩, 这种角砾岩完全是原地原位的)进一步位移形成的近原地异位的半塑性角砾岩(杜远生, 2000)。其中, 夹少量次棱角状粉砂岩砾石, 部分半塑性角砾中微褶皱纹理发育, 形态复杂(照片 2)。局部半塑性角砾岩层下发育同沉积塑性变形层(震动液化卷曲变形层), 厚约 0.3 m, 为石英粉砂在地震震动和重力作用下产生液化, 发生弯曲、卷曲、扭曲为主的变形, 形成微褶皱纹理(照片 3、照片 4), 其形态不规则、不协调, 轴面无规律可循, 与构造褶皱不同。部分地段亦可见微裂隙层(照片 5), 厚 $20\sim 40$ cm, 发生在半固结-已固结地

层中, 微裂隙仅限于层内, 主要有 3 组, 产状分别为 $65^\circ\angle 38^\circ$ 、 $70^\circ\angle 50^\circ$ 、 $50^\circ\angle 86^\circ$; 局部呈网状(照片 6), 厚 $10\sim 20$ cm, 由多组裂缝相互交错而成。下伏背景层粉砂岩的产状为 $15^\circ\angle 15^\circ$, 岩层面上不对称波痕较发育, 波长 $10\sim 12$ cm, 波高 0.5 cm, 古水流方向 315° 。

上部为碎块-液化均一岩层, 厚约 $1.0\sim 1.3$ m, 岩性为粉砂岩, 无层理和纹理等沉积构造, 含粉砂岩碎块, 碎块一般在 $10\sim 30$ cm, 层内偶尔可见圆柱状半塑性砾石(照片 7)。岩石较破碎, 岩石中微裂隙较发育, 不穿透背景层, 主要微裂隙有 1 组(照片 8), 产状为 $18^\circ\angle 82^\circ$, 其成因可能与地震引起的液化作用停止后, 沉积物重新压实使体积变小, 导致沉积物发生差异性沉陷而成(岳信东, 2009)。少数剪节理穿透背景层, 应为后期形成。碎块-液化均一岩层与下伏半塑性角砾岩层渐变过渡, 与上覆背景层粉砂岩界面截然, 这与陈世悦(2003)所述液化均一层与上覆背景突变接触一致。在上覆背景层底面上见有舌状槽模, 判断古水流方向为 315° , 与下背景层古水流方向一致。第一层震积岩在局部地段下部半塑性角砾岩层缺失, 仅形成碎块-液化均一岩层。

本层在宁强县黄家坝一带延伸稳定, 向西在宁强县景家沟、广元市中子铺, 向东在四川桃园镇小落漆山一带亦见有该层, 其延伸长度大于 58 km, 厚度稳定。

第二层(上层)震积岩厚约 $0.5\sim 1.0$ m, 与第一层相比规模小很多, 层内震积岩仅形成碎块-液化均一岩层, 岩性为粉砂岩, 无层理和纹理等沉积构造, 岩石破碎未见塑性变形, 含粉砂岩碎块, 岩石中微裂隙较发育, 不穿透背景层, 少数后期形成的剪节理穿透背景层。与上覆背景层薄层粉砂岩界面截然, 与下伏背景层薄层粉砂岩渐变过渡。本层仅见于宁强县黄家坝一带, 延伸短、厚度小, 其所体现的地震级别较第一层小。

3 震积岩的垂向序列

根据第一层震积岩的特征, 其垂向序列包括以下 6 层, 由下向上简述如下:

(1) 下伏未震层(背景层): 岩性为灰色薄层粉砂岩, 层内未经地震震动干扰, 原生水平层理和



照片1 半塑性角砾岩层



照片2 半塑性角砾中的微褶皱纹理



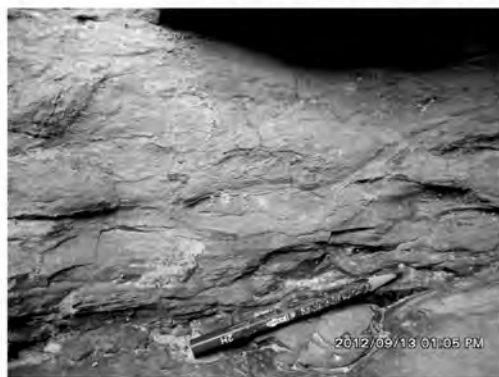
照片3 半塑性角砾中的微褶皱纹理



照片4 同沉积塑性变形层中的微褶皱纹理



照片5 微裂隙层中的裂隙



照片6 微裂隙层中的网状裂隙



照片7 碎块-液化均一层中的圆柱状半塑性砾石



照片8 碎块-液化均一层中的裂隙

砂纹层理保存完好。

(2) 微裂隙层：厚 20~40 cm，微裂隙发育，微裂隙不穿透背景层，主要有 3 组，产状分别为 $65^{\circ}\angle 38^{\circ}$ 、 $70^{\circ}\angle 50^{\circ}$ 、 $50^{\circ}\angle 86^{\circ}$ ，局部呈网状，厚 10~20 cm，由多组裂缝相互交错而成。本层仅在局部出露。

(3) 同沉积塑性变形层（震动液化卷曲变形层）：厚约 0.3 m，为石英粉砂在地震震动和重力作用下产生液化，发生弯曲、卷曲、扭曲为主的变形，形成微褶皱纹理，其形态不规则、不协调，轴面无规律可循。本层仅在局部出现，推测未出现地段是由于半塑性角砾岩层在滑移过程中将其破坏。

(4) 半塑性角砾岩层（又称内碎屑副角砾岩或枕状层）：厚约 0.9~2.05 m，半塑性角砾岩性为粉砂岩，有一定位移，为母岩在固结或半固结条件下经受地震颤动破坏原沉积层形成的初始断裂角砾岩，并进一步位移形成近原地异位的半塑性角砾岩。部分半塑性角砾中微褶皱纹理发育。

(5) 碎块-液化均一层：厚约 1.0~1.3 m，岩性为粉砂岩，无层理和纹理等沉积构造，含粉砂岩碎块，岩石较破碎，岩石中微裂隙较发育，不穿透背景层，少数后期形成的剪节理穿透背景层。

(6) 上覆未震层（背景层）：为正常沉积岩层，岩性为灰色薄层粉砂岩，层理清楚，与下伏液化均一层界面截然。

与其他事件沉积序列一样，震积岩垂向序列中各单元在剖面上常常发育不全，缺失其中一个或多个单元。这与震积岩序列组成的本身无关，而是由于剖面所处事件发生的相对位置不同，仅在条件适当部位表现出来（陈世悦，2003）。

4 地质意义

志留系新滩组中观察到的事件沉积层，长度大于 58 km，厚度稳定，与张抗 1994 年所著《滑塌堆积及其构造意义》中所述滑塌堆积的特征明显不同，也与风暴沉积不同，无疑是震积岩。

板块运动必然引起地震作用，强烈的地震作用引起的地壳变化在同时期的软塑性沉积物中得以保存下来，形成震积岩，在正常的沉积层序中形成不协调夹层，展示了地质历史中的构造运动及地壳剧烈变化的结果（单学东等，2000）。

晋宁期间，包括南秦岭在内的扬子陆块群完成主体拼合，并使中新元界褶皱变质，形成统一的基底，变质过渡基底克拉通化形成大陆边缘海盆，经剥蚀夷平，沉积充填，沉积盆地呈南低北高近东西向展布，底形相对平缓的古地理格局。加里东期间，早古生代，Rodinia 超大陆再次发生大规模裂解，商丹洋盆（原特提斯洋）打开，南北秦岭再次分开；在志留纪末（晚加里东运动），商丹洋盆的洋壳板块向北俯冲，南、北两板块开始拼接，受此控制，晚志留世南秦岭—上扬子地区早古生代盆地基底急骤抬升，盆地萎缩，使下古生界褶皱变形，扬子海盆海水退出，扬子主体上升为陆，经受长时间剥蚀和准平原化，测区内缺失泥盆—石炭纪地层。本次区调工作在志留系新滩组中发现的 2 层震积岩便是早古生代 Rodinia 超大陆再次发生大规模裂解，引起地震活动的结果，是加里东构造运动的有力证据。

此外，半塑性角砾岩可以作为油气或含矿热液运移的通道，一定规模的半塑性角砾岩可以作为油气的储集体（郭建华等，1999；陈世悦等，2003）或含矿热液运移和沉淀的场所。因此，对这些特殊地质现象的研究将对石油和矿产地质研究具有一定的意义。

致谢：测区内震积岩的发现得到了汉中地质队高福平副总，西安地调中心李荣社教授级高工、校陪喜教授级高工、陈隽璐研究员在野外验收时的确认，并对他们在野外验收中提出的宝贵意见和给予野外工作期间的指导，在此致以衷心的感谢！

参考文献 (References):

- 单学东、刘文海、潘明臣，等. 辽西蓟县系迷雾山组震积岩的发现及其构造意义[J]. 辽宁地质，2000，17（4）：267-270.
- Shan Xuedong, Liu Wenhai, Pan Mingchen, et al. Discovery and Tectonic Significance of the Jixian System Miwushan Formation Seismite in West Liaoning [J]. Liaoning Geology, 2000, 17（4）：267-270.
- 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 Seismite [J]. Advance in Geoscience, 2000，15（4）：P389-394.
- 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]. 地球科学, 2003, 38 (3): 413-424.
- Chen Shiyue, Yuan Wenfang, Yan Jihua. Discovery and Significance of the Early Tertiary Seismites in Jiyang Depression [J]. Earth Sciences, 2003. 38 (3): 413-424.
- 岳信东, 林春明, 李艳丽, 等. 二连盆地白音查干凹陷下白垩统震积岩的发现及其地质意义 [J]. 高校地质学报, 2009, 15 (1): 57-62.
- Yue Xindong, Lin Chunming, Li Yanli, et al. The Discovery of Seismites in the Lower Cretaceous of Baiyinchagan Depression, Erlian Basin and Its Geological Implications [J]. Geological Journal of China Universities, 2009. 15 (1): 57-62.
- 杨仕维, 李建明. 震积岩特征综述及地质意义 [J]. 岩性油气藏, 2008, 20 (1): 89-94.
- Yang Shiwei, Li Jianming. Characteristics and geological significance of seismites [J]. Lithologic Reservoirs, 2008, 20 (1): 89-94.
- 陈高潮, 张俊良, 王炬川, 等. 1:25 万《南江幅》报告 [R]. 2007.
- Chen Gaochao, Zhang Junliang, Wang Juchuan, et al. 1:250,000 Nanjiang Sheet Report [R]. 2007.
- 刘树根, 李智武, 刘顺, 等. 大巴山前陆盆地-冲断带的形成演化 [M]. 北京: 地质出版社, 2006.
- Liu Shugen, Li Zhiwu, Liu Shun, et al. Tectonic Evolution of Babashan Foreland Basin-Thrust Belt [M]. Geological Publishing House, Beijing, 2006.
- 张抗. 滑塌堆积及其构造意义[J]. 岩相古地理, 1994, 14 (6): 15-23.
- Zhang Kang. Olistostrome and its significance [J]. Lithofacies Palaeogeography. 1994. 14 (6): 15-23.

《西北地质》被评为 RCCSE 中国核心（扩展板）学术期刊

为了进一步扩大《西北地质》在外界的影响力, 2013 年度《西北地质》在提高办刊质量方面狠下功夫, 使《西北地质》在学术影响力、传播效果与推动科技创新及促进中心科研工作等方面有了明显的成效。《西北地质》杂志又被中国学术期刊评价委员会、武汉大学中国科学评价研究中心评为" RCCSE 中国核心（扩展板）学术期刊", 并颁发了证书。

中国科学评价研究中心 (RCCSE) 是我国高等院校中第一个综合性的科学评价研究中心, 以" 创新研究, 开放服务" 为宗旨, 凝聚国内外社会资源、创新学术研究机制, 是国内一流、国际知名的评价中心之一。中国科学评价研究中心对中国学术期刊评价的遴选是根据各刊 5 个指标值: 基金论文比、总被引频次、影响因子、web 即年下载率、国外重要数据库收录情况 (自然科学期刊)、二次文献收录 (社会科学期刊) 按矩阵计算各刊指标值隶属度计分, 采用定量评价与定性分析相结合的方法, 按照科学、合理的多指标评价体系, 对我国 6170 种中国学术期刊进行分析评价, 核心期刊约占总数的 21.46%。

此项荣誉的获得, 更加提高了《西北地质》杂志在学术界的影响和地位。

(西北地质编辑部)