

文章编号: 1009-3850(2010)04-0011-08

晚白垩世西峡盆地和夏馆盆地古地震事件的发现及意义

曹高社¹, 高立祥¹, 林玉祥², 俎新许¹, 王亚伟¹, 邢娜娜¹, 陈俊侠¹, 徐光明¹

(1. 河南理工大学 资源环境学院, 河南 焦作 454000; 2. 山东科学技术大学 地球信息科学与工程学院, 山东 青岛 266510)

摘要: 以大量的野外工作为基础, 辅以地球化学研究, 确定了西峡盆地和夏馆盆地普遍存在着古地震事件的物质记录。同沉积期古地震事件主要表现为同沉积小断裂、同沉积角砾岩层等, 且同沉积地震事件对于河流侵蚀作用的产生具有重要的影响; 成岩期古地震事件主要表现为沿断裂上盘砾岩的“涂抹”和成岩期形成的方解石擦磨晶体, 以及由断裂(裂隙)所围限的不同于周侧岩性的块体。古地震事件的研究不仅可以为恐龙蛋的埋藏作用提供信息, 也可以为研究古地理和古构造背景提供信息。

关键词: 西峡盆地; 夏馆盆地; 晚白垩世; 古地震

中图分类号: P315.2

文献标识码: A

1 引言

晚白垩世西峡盆地和夏馆盆地位于河南省西部, 分别沿南北秦岭的分界断裂-龟山-梅山断裂和朱阳关-夏馆断裂的南侧呈长条状分布(图1), 面积分别为700 km²和170 km²。这两个红色盆地以发育丰富的恐龙蛋化石群而闻名(王德有和周世全, 1995)^[1], 具有相似的古构造背景、相同的沉积时代和相近的沉积学特征(周世全等, 2002)^[2], 且地理位置靠近, 故放在一起加以讨论。前人对其古生物学、地层学和岩相古地理等均有较详细的研究, 一般认为, 这两个盆地以发育近源的冲积扇和辫状河沉积为主^[3,4](张国成等, 2004; 宋慧波和胡斌等, 2008)。

本项研究以大量野外工作为基础, 辅以地球化学研究, 揭示了这两个盆地沉积物中存在有大量的古地震事件的物质记录和表现, 这对于研究它们的构造背景和蛋化石的保存原因具有一定的意义。

近年来, 地层中古地震事件的揭示已成为沉积

学的一个重要研究方向^[5](梁定益等, 1997), 但目前国内外学者对古地震作用和震积岩的研究主要集中在中生代以前的海相地层^[6,7](Seliacher A, 1969; 乔秀夫, 1996), 主要原因是海盆地易于对地震作用的构造标志(断裂递变层、断裂均一层、地裂缝、微同沉积断裂、重力断层、微褶皱纹理等)进行保存。而对于陆相地层, 尤其是粗粒沉积物中的古地震作用研究较少, 主要原因是粗粒沉积物不易产生软沉积物变形, 并且强烈的水动力作用对于古地震作用的标志也容易产生再改造作用。但是, 一个不争的事实是, 中国板块在中新生代具有显著而强烈的构造作用, 在此背景下, 陆相小盆地中也应该见有古地震作用的记录, 可能的表现形式不同于海盆地。所以, 通过仔细的辨识, 仍可对陆相粗粒沉积物中的古地震作用进行研究, 为沉积环境和古构造背景研究提供信息。

2 古地震事件的表现特征

古地震作用主要是通过研究震积岩序列和地震

收稿日期: 2010-01-18; 改回日期: 2010-11-29

作者简介: 曹高社(1965-), 教授, 博士, 从事构造地质学和沉积学的教学及研究工作。E-mail: caogs@hpu.edu.cn

资助项目: 中石化重大前瞻性项目“华北西南部晚三叠世-新近纪岩相古地理研究与编图(CW800-07-2s-165-01)”和河南理工大学博士基金(648511)联合资助

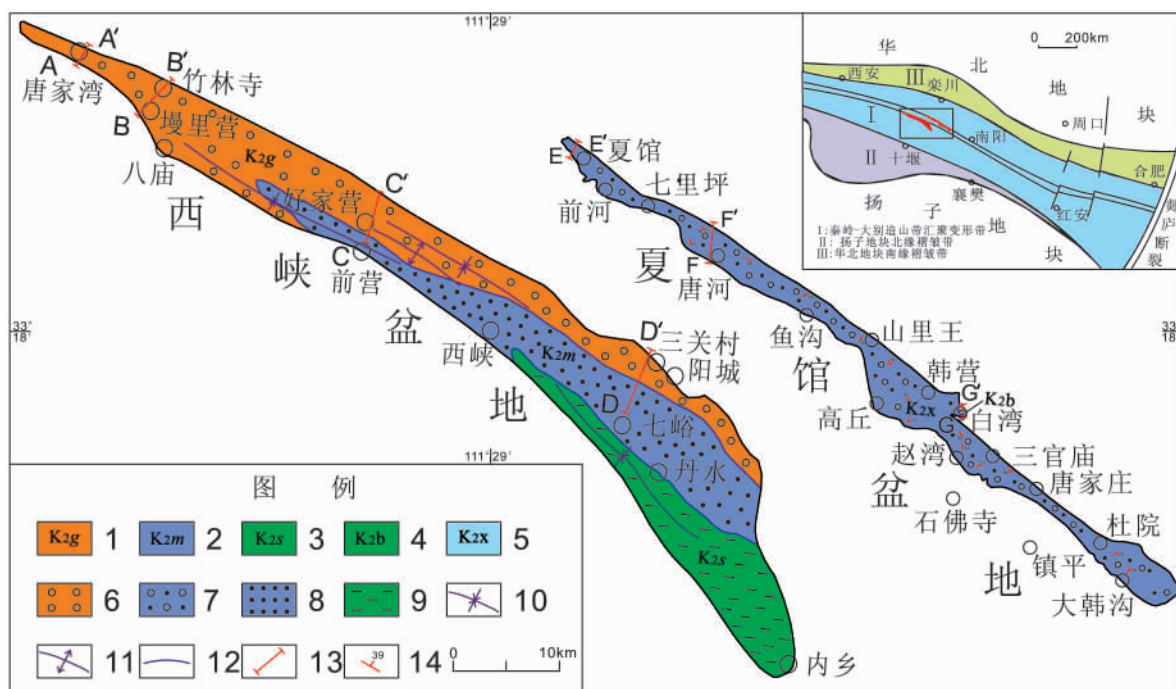


图1 西峡盆地、夏馆盆地构造位置图

1. 上白垩统高沟组; 2. 上白垩统马家村组; 3. 上白垩统寺沟组; 4. 下白垩统白湾组; 5. 上白垩统夏馆组; 6. 冲洪积扇相砾岩; 7. 河流相砂砾岩; 8. 河流相砂岩; 9. 滨浅湖相泥岩; 10. 向斜; 11. 背斜; 12. 地层界线; 13. 剖面线; 14. 产状

Fig. 1 Tectonic settings of the Xixia and Xiaguan Basins

1 = Upper Cretaceous Gaogou Formation; 2 = Upper Cretaceous Majiacun Formation; 3 = Upper Cretaceous Sigou Formation; 4 = Lower Cretaceous Baiwan Formation; 5 = Upper Cretaceous Xiaguan Formation; 6 = alluvial fan conglomerate; 7 = fluvial sandstone and conglomerate; 8 = fluvial sandstone; 9 = littoral and shallow lacustrine mudstone; 10 = syncline; 11 = anticline; 12 = stratigraphic boundary; 13 = profile line; 14 = occurrence

作用的构造标志来确认的^[8] (袁静, 2005)。一般认为, 震积岩序列自下而上分为未震层、微断裂层、微褶皱层、碎块层、液化均一层及上覆未震动层^[9] (吴贤涛等, 1992)。但这一序列的建立主要是通过易于软沉积物变形的细粒沉积物而概括出来的。对于近源的冲积扇和辫状河, 由于其沉积物不易进行软沉积物变形和均一的液化, 而仅能从地震作用的构造标志来分析, 这些标志包括同沉积小断裂、同沉积 = 同沉积的角砾岩层等。

2.1 同沉积期古地震事件

西峡盆地同沉积期古地震事件主要表现为同沉积小断裂和同沉积角砾岩层。同沉积小断裂一般产状较陡, 倾角大于 60°, 向下部有一定的延伸, 上部一般消失在粗粒碎屑岩中。小断层两侧岩性差异较大, 一侧为岩性为灰白色含砾粗砂岩, 颗粒成分主要为花岗岩, 呈杂基支撑, 其成分也主要为花岗质, 砾石最大直径 3cm, 平均 0.5cm 左右, 靠近小断层处呈杂乱状堆积状态, 但向上部发育平行层理, 反映近源的辫状河河道沉积特征; 另一侧岩性主要为红色含砾细砂岩, 反映远源河漫滩相沉积。两者之间界线

截然, 小断层上部一般被统一的发育平行层理的河流相灰白色含砾粗砂岩覆盖 (图 2)。此外, 也可见到红色含砾细砂岩可以呈不规则团块状和呈层状包裹于灰白色含砾粗砂岩中。局部可以见到薄层的灰白色含砾粗砂岩不仅发育阶梯状小断层, 并且在下降盘的变粗端产生红色含砾细砂岩角砾以及与其伴生的同沉积角砾岩层, 角砾均为原地组分, 反映地震事件中对原地岩块的破碎 (图 3)。

夏馆盆地的古地震事件也主要表现为阶梯状小断层, 对上下部地层均有不同程度的影响, 上部地层岩性为灰白色砾岩, 砾石成分主要为花岗质, 最大砾径 9cm, 一般在亦为 3cm 以下, 棱角状, 分选性较差, 颗粒支撑, 上部发育平行层理, 亦显示了辫状河河道沉积的特征; 下部地层主要为红色含砾粉砂岩与灰白色含砾粗砂岩不规则互层, 反映河漫滩与河道的交互沉积。小断层整体呈右阶羽状分布, 并且对下部地层具有明显的切割, 但羽状断层仅对砾岩层下部有所切割, 上部统一地被一层发育平行层理的灰白色砾岩所覆盖 (图 4)。



图2 灰白色含砾粗砂岩与红色含砾细砂岩接触现象,两者之间发育阶梯小断层,红色含砾细砂岩呈不规则团块状和层状夹持于灰白色含砾粗砂岩中,西峡县阳城乡三关村,J = 110°

Fig.2 Contacts between grayish white gravel-bearing coarse-grained sandstone and red gravel-bearing fine-grained sandstone in Xixia, J = 110°

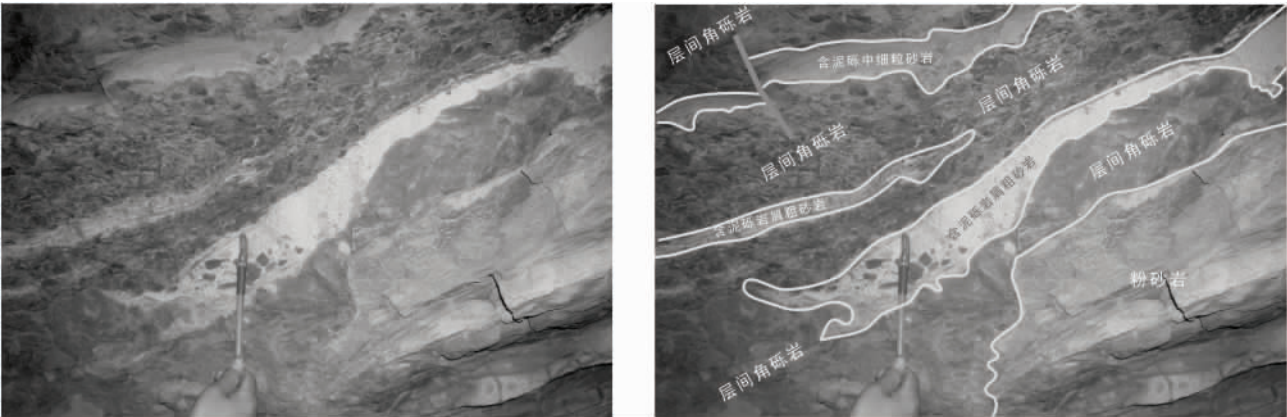


图3 灰白色含砾粗砂岩与红色含砾细砂岩接触现象,薄层灰白色含砾粗砂岩不仅发育阶梯状小断层,并且在下降盘的变粗端产生红色含砾细砂岩角砾,西峡县阳城乡三关村,J = 270°

Fig. 3 Contacts between grayish white gravel-bearing coarse-grained sandstone and red gravel-bearing fine-grained sandstone in Xixia, J = 270°

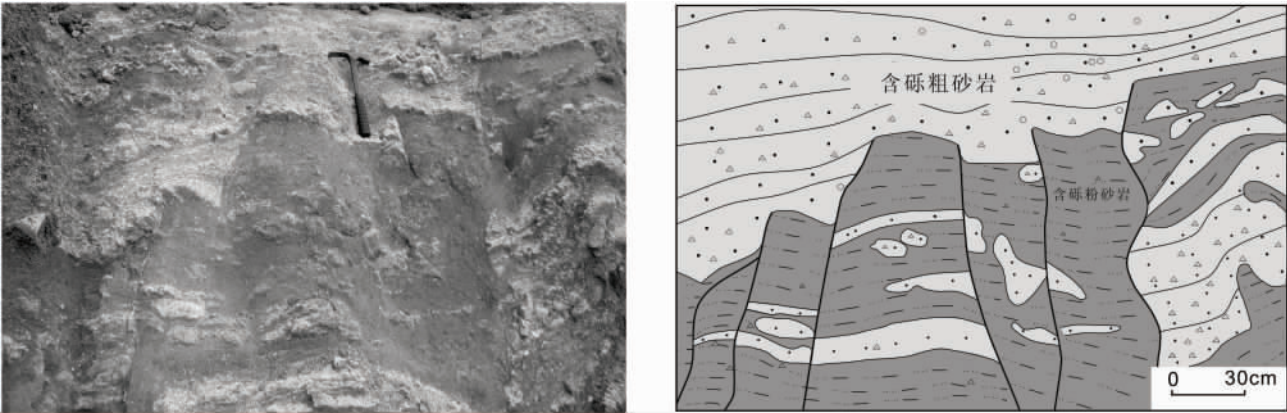


图4 灰白色砾岩与红色含砾粉砂岩接触现象,两者之间发育右阶羽状小断层,上部统一地被一层发育平行层理的灰白色砾岩覆盖,镇平县赵湾水库,J = 215°

Fig.4 Contacts between grayish white conglomerates and red gravel-bearing siltstone in Zhenping, J = 215°

根据图2剖面中小断裂发展的先后序次关系以及与小断层相伴的沉积作用,反演出该剖面的如下发展演化序列(图5)。可以看出,在河漫沉积的背景下(图5a),由于地震事件发育小断层,小断层对于沉积作用的效应主要是形成一个小的地堑,在此相对低洼处,发育河床相,发育冲刷作用和河道滞积沉积,当小断层停止活动,则整体恢复原始的河漫滩沉积(图5b);而再一次的地震事件,再次产生小断层,同样在低洼处,产生冲刷作用,对已沉积的河漫沉积产生改造,小断层停止活动后,再次产生河漫沉积(图5c);最后一次断层活动,不仅对已沉积河漫沉积进行了切割改造,并且也使已沉积的河道沉积产生较小的滑动,产生再改造,原始的平行层理被改造成块状,含砾粗砂岩成为混杂堆积状态(图5d)。

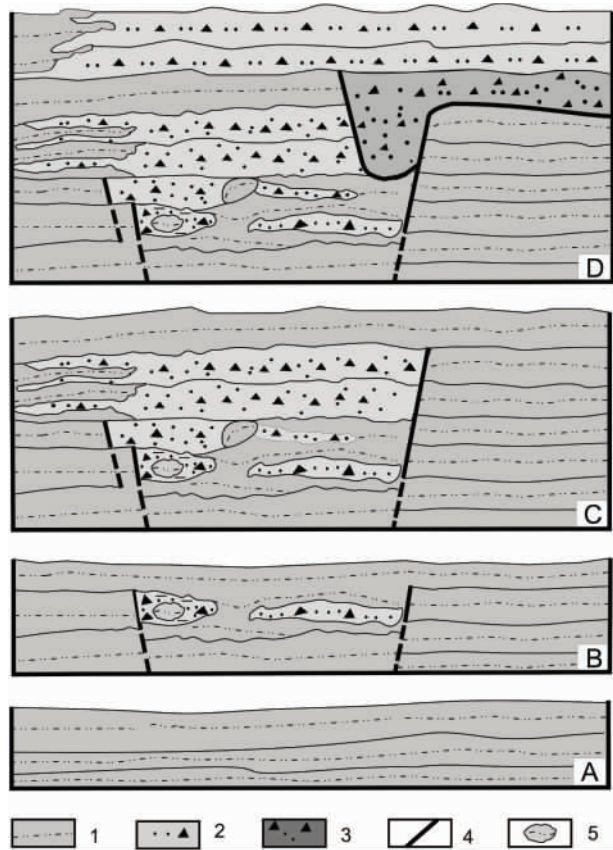


图5 西峡盆地地震事件对沉积作用的影响演化剖面图,西峡县阳城乡三关村

1. 河漫滩沉积红色含砾细砂岩; 2. 河道沉积灰白色含砾粗砂岩; 3. 再改造的河道沉积, 呈块状混杂堆积状态; 4. 小断层; 5. 再改造的河漫沉积角砾

Fig. 5 Evolutionary profiles showing the effects of the palaeoseismic events in the Xixia Basin

1 = overbank red gravel-bearing fine-grained sandstone; 2 = channel grayish white gravel-bearing coarse-grained sandstone; 3 = reworked channel deposits; 4 = fault; 5 = reworked overbank breccias

地震事件产生的小断层对沉积作用,尤其是对河流侵蚀事件的影响,也可以从图3、图4中反映出来。

同沉积小断裂和同沉积层间角砾岩层的产生需要有一定的触发力,与沉积作用同时期发育的地震事件可以产生这样的触发力,而其它的触发力,如火山活动、海啸、风暴、重力滑坡等,根据研究区沉积和构造背景分析,存在的可能性相对较小。由于河流河床的坡降一般较小,而不易产生大规模的滑动,仅表现为对原始河道沉积物的较小改造,所以,古地震事件常见的显著的滑塌构造和微褶皱纹理在河流沉积环境中表现的不甚明显,同沉积小断层对河流侵蚀事件的影响可能是河流沉积环境中古地震事件的主要表现。

2.2 成岩期古地震事件

相对于同沉积期古地震事件,成岩期古地震事件的表现要丰富得多。因为,成岩期沉积物已有一定的固结,可以较容易地保留地震作用的标志,尤其是与地震事件相伴生的断裂(或裂隙)构造。

成岩期古地震事件主要表现为断裂(或裂隙)两侧岩性或岩性组合的差异(图6-1),或地层产状的差异(图6-2),断裂(或裂隙)或表现为波状起伏形态(图6-3),或表现为平直状(图6-4,图6-5)和羽列状(图6-6),断裂(或裂隙)内部或为砾岩充填,或没有砾岩充填,而充填的砾岩多为断裂上盘河道砾岩(或冲积扇砾岩),在多数情况下,断裂(或裂隙)见有0.2~0.5cm的方解石擦磨晶体。上面描述的构造特征常被作为成岩以后新近时期的断裂活动特征,但用成岩期断裂进行解释似乎更加合理:(1)断裂(或裂隙)内部充填的“砾岩脉”成分完全相同于上盘的河道砾岩(或冲积扇砾岩),而不同于断裂角砾岩,可能是成岩期未完全固结时,上盘岩石“涂抹”的结果;(2)波状起伏的断裂,无一定的优势方向,多表现为首尾相连,围限成岩性不同、形状不一的块体,块体长轴可达百余米(图6-3)。若这些块体是巨型构造带的构造角砾岩,其并非呈带状分布,且构造角砾岩的胶结物一般为粒级较小岩粉或岩屑,而所见到的多是这些巨大“角砾”之间有截然的界线,未见到任何的断裂破碎现象,这一类断裂多被解释成成岩期断裂,系成岩期未完全固结条件下剪切力作用的结果。一般来说,岩石在未完全固结时,抗剪强度(内聚力)极小,极易在构造活动时和有一定围压的情况下,形成剪切破裂,由于局部应力的差异,这些剪切破裂的相互交织,可以围限成岩性具有差异的巨大块体^[11](A. Aydin等,2009)。

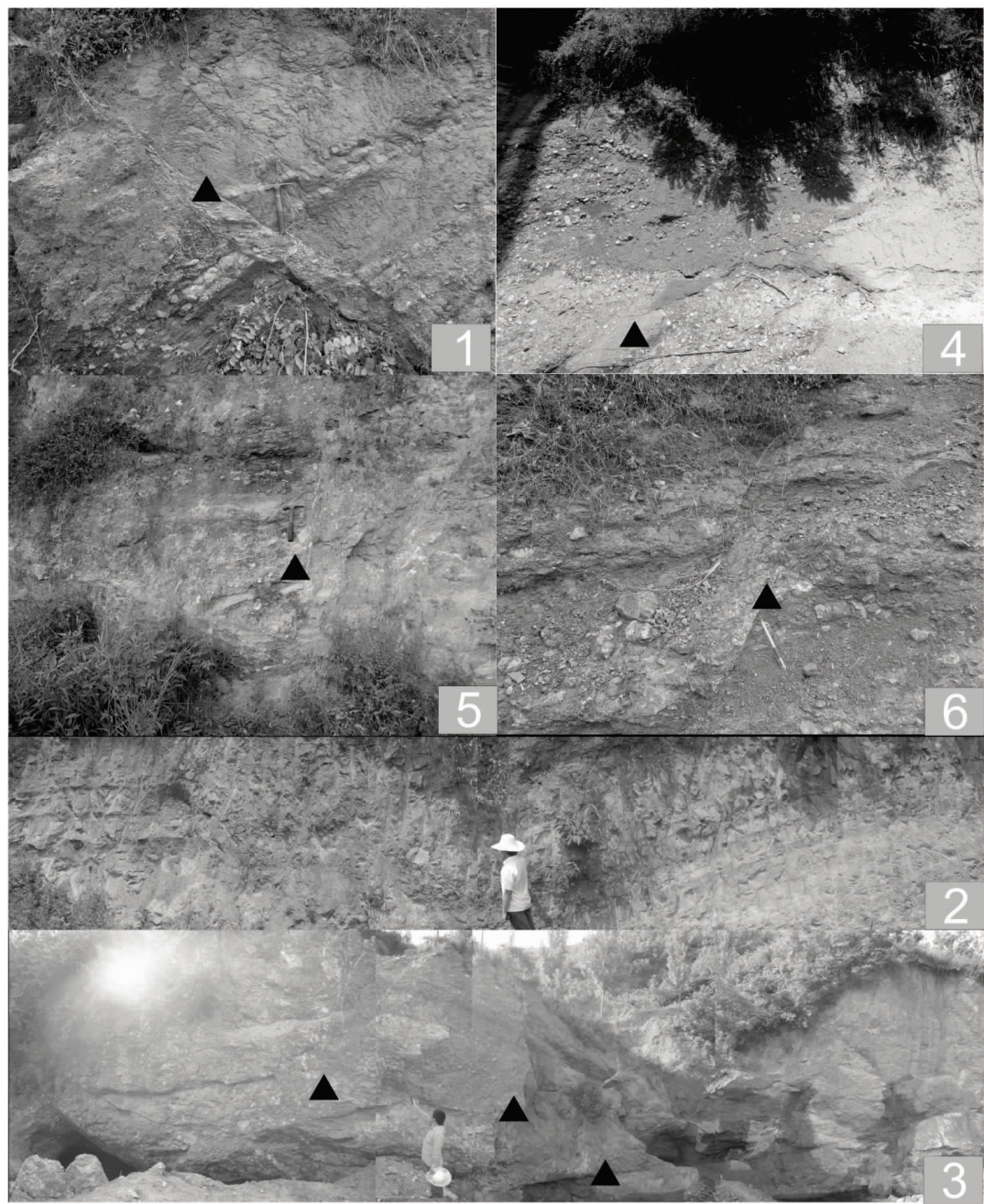


图 6 西峡盆地和夏馆盆地成岩期古地震事件的主要表现

a. 成岩期古地震事件造成的小断层, 断层两侧岩性差异, 左侧主要为含砾粉砂岩, 右侧为粉砂岩和砾岩互层, 断裂中见有上盘砾岩的“涂抹”现象, 西峡县阳城乡三关村, $J = 180^\circ$; b. 成岩期古地震事件造成的小断层, 含砾粉砂岩两侧产状差异, 左侧: $241^\circ \angle 26^\circ$; 右侧: $224^\circ \angle 31^\circ$, 中部见有滑塌角砾岩, 角砾和胶结物成分为两侧的围岩, 西峡县田关乡曹沟村好家营, $J = 260^\circ$; c. 冲积扇砾岩中断裂(或裂隙)的波状起伏形态, 并围限成一个个块体, 不同的块体在颜色、砾岩成分和粒度上具有差别, 断裂(或裂隙)中见有方解石擦磨晶体, 西峡县西坪镇唐家湾村, $J = 105^\circ$; d. 辫状河沉积中的平直状断裂(或裂隙)两侧岩性差异, 其间呈紧闭状, 见有方解石擦磨晶体, 西峡县重阳镇香坊沟村漫里营, $J = 270^\circ$; e. 辫状河沉积中的平直状断裂(或裂隙), 两侧岩性差异, 其间呈紧闭状, 见有方解石擦磨晶体, 镇平县赵湾水库旁, $J = 40^\circ$; f. 冲积扇中的羽列状断裂, 两侧岩性差异, 断裂中见有上盘砾岩的“涂抹”现象, 断层面上见有方解石擦磨晶体, 西峡县老李沟。▲为取样位置

Fig. 6 Features of the diagenetic palaeoseismic events in the Xixia and Xiaguan Basins

a. Minor faults caused by the diagenetic palaeoseismic events in Xixia, showing the “smear” phenomena of conglomerates along the hanging wall of faults; b. Minor faults caused by the diagenetic palaeoseismic events in Xixia; c. Fault-bounded blocks in the alluvial fan conglomerates in Xixia; d. Flat-lying faults showing the rubbing of calcite crystals; e. Flat-lying faults in the braided stream deposits in Zhenping, showing the rubbing of calcite crystals; f. Pinnate faults in the alluvial fan in in Xixia, showing the “smear” phenomena of conglomerates along the hanging wall of faults and rubbing of calcite crystals along the fault surface

此外,本项研究为了进一步证实这些断裂(或裂隙)为成岩期的构造,对上述断裂(或裂隙)中的方解石擦磨晶体,以及沉积岩层内部普遍发育的钙质结核进行了C、O同位素分析。

首先取每个样品10g以上,经风干、粉碎,并用玛瑙研钵磨细至过200目筛,取2g于60℃的烘箱里烘4小时,然后采用常规的磷酸法获得纯CO₂,由取样管套液氮瓶吸取冷冻CO₂,在国土资源部宜昌同位素实验室252型质谱仪上测定同位素组成(表1,图6)。

西峡盆地方解石擦磨晶体 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}(\text{‰})$ 介于-4.04~-4.86之间,平均-4.50, $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}(\text{‰})$ 介于-8.91~-14.08之间,平均-12.88,钙质结核 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}(\text{‰})$ 平均-4.57, $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}(\text{‰})$ 平均-11.64,两者之间差异很小;夏馆盆地方解石擦磨晶体 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}(\text{‰})$ 介于-2.75~-0.54之间,平均-1.24, $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}(\text{‰})$ 介于-15.33~-18.28之间,平均-17.48,钙质结核 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}(\text{‰})$ 为-0.71, $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}(\text{‰})$ 为-18.11,两者之间也差异很小。但两个盆地比较,碳氧同位素范围却具有明显

的差异,可能的原因是,高沟组和夏馆组形成的时期具有差异,尽管他们均形成于晚白垩世,周世全等^[12-13](2003)根据恐龙蛋化石和孢粉资料,推定夏馆组形成于晚白垩世早期,要早于高沟组的形成时代,由于不同时期大气降水的性质存在差异,可能导致了它们碳氧同位素的差异。

两个盆地与盆地基底秦岭群大理岩的碳氧同位素值差异较大,反映方解石擦磨晶体与基底大理岩没有必然的联系。Keith and Weber(1964)曾提出了划分海相和淡水相碳酸盐岩的经验公式^[10]: $Z=2.048(\delta^{13}\text{C}+50)+0.489(\delta^{18}\text{O}+50)$, $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 值均为PDB标准, $Z\geq 120$ 为海相, $Z<120$ 为淡水相。本次测试的方解石擦磨晶体和钙质结核Z均小于120,表示成岩环境应为淡水相。而西峡盆地基底地层秦岭群大理岩的Z值均大于120,表示了海相成岩环境。所以,方解石擦磨晶体不可能是构造热运动产生的基底大理岩造成的热液脉,亦即不可能由深部流体提供。

表1 西峡盆地和夏馆盆地地震滑塌构造中断裂(或裂隙)方解石擦磨晶体和地层中钙质结核碳($\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$)、氧($\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$)同位素测试数据

Table 1 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ and $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ values for the calcite crystals and calcareous concretions in the Xixia and Xiaguan Basins							
样品编号	样品名称	取样地点	取样层位	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}(\text{‰})$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}(\text{‰})$	Z值	资料来源
XX-K2-1	方解石擦磨晶体	唐家湾村	高沟组	-4.86	-14.09	110.01	本文
XX-K2-2	方解石擦磨晶体	唐家湾村	高沟组	-4.72	-13.52	110.57	本文
XX-K2-4	方解石擦磨晶体	唐家湾村	高沟组	-4.84	-13.23	110.47	本文
XX-K2-4	方解石擦磨晶体	唐家湾村	高沟组	-4.81	-13.35	110.47	本文
XX-K2-6	方解石擦磨晶体	唐家湾村	高沟组	-4.51	-8.91	113.26	本文
XX-K2-7	方解石擦磨晶体	唐家湾村	高沟组	-4.65	-14.20	110.38	本文
XX-K2-8	方解石擦磨晶体	唐家湾村	高沟组	-3.83	-13.43	112.44	本文
XX-K2-10	方解石擦磨晶体	唐家湾村	高沟组	-4.79	-13.14	110.61	本文
XX-K2-11	方解石擦磨晶体	唐家湾村	高沟组	-4.37	-10.73	112.65	本文
XX-K2-14	方解石擦磨晶体	竹林寺沟	高沟组	-4.01	-13.66	111.96	本文
XX-2	方解石擦磨晶体	唐家湾村	高沟组	-4.08	-13.44	111.92	本文
XX-K2-13	钙质结核	竹林寺沟	高沟组	-4.55	-11.62	109.61	本文
XX-K2-13	钙质结核	竹林寺沟	高沟组	-4.62	-11.66	111.85	本文
XG-K1-1	方解石条带	赵湾水库	夏馆组	-2.75	-15.33	114.03	本文
XG-K1-2	方解石脉	赵湾水库	夏馆组	-0.54	-18.28	117.09	本文
XG-K2-2	方解石	赵湾水库	夏馆组	-0.85	-17.96	116.62	本文
XG-K2-3	方解石	赵湾水库	夏馆组	-1.35	-17.67	115.74	本文
XG-K2-4	方解石	赵湾水库	夏馆组	-0.71	-18.11	116.83	本文
XG-K2-4	钙质结核	赵湾水库	夏馆组	-0.71	-18.14	116.81	本文
01SJH27-1	大理岩	苏家河	秦岭群	3.2	17.9	142.2	冯伟民等 ^[15] ,2003
01SJH27-2	大理岩	苏家河	秦岭群	4.9	19.4	146.4	冯伟民等,2003
01SJH27-3	大理岩	苏家河	秦岭群	5.0	22.9	148.3	冯伟民等,2003

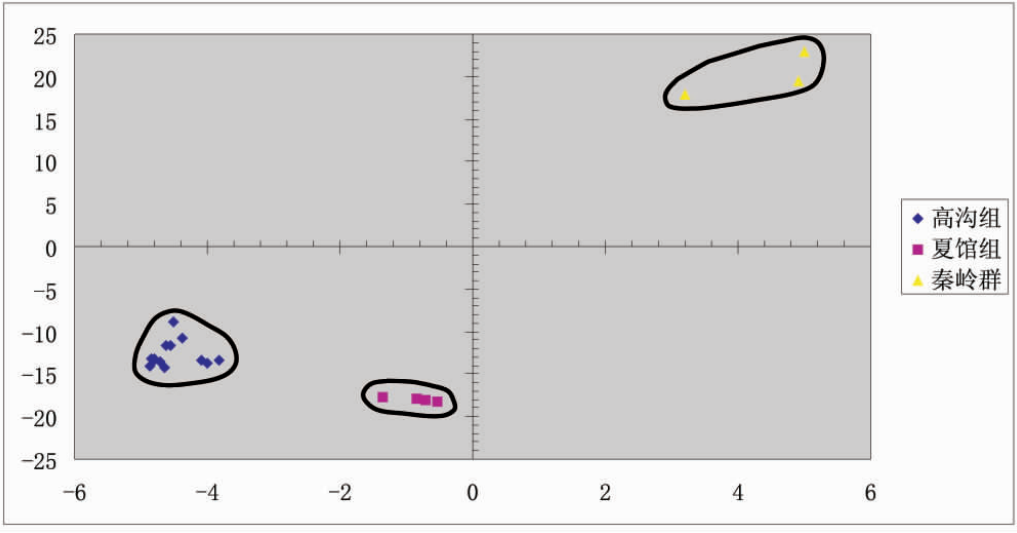


图7 西峡盆地、夏馆盆地方解石擦磨晶体和钙质结核,以及盆地基底秦岭群大理岩碳氧同位素组成
Fig. 7 Carbon and oxygen isotopic compositions of the calcite crystals, calcareous concretions and Qinling Group marbles in the Xixia and Xiaguan Basins

此外,无论是方解石擦磨晶体还是钙质结核 $\delta^{18}\text{O}$ 值均表现为高负值,显示了大气淡水环境。钙质结核主要是次生碳酸盐沉积物,其同位素值主要反映后期(成岩)环境的信息,方解石擦磨晶体与其碳氧同位素值的一致性,表示了它们均为成岩期的产物,与大气淡水作用有关的溶解与沉淀作用的产物。

成岩期的活动断裂(或裂隙)主要限制两侧不同的岩性或岩性组合,但它们的断距都很小,且这一现象在盆地沉积物中普遍存在,不可能由基底断裂直接控制,所以,它们最有可能是在成岩过程中,由于地壳的震动,在未完全固结的沉积物中留下的地质记录。

3 结论

西峡盆地和夏馆盆地存在有古地震事件,其可以分为同沉积期和成岩期的两种。同沉积期古地震事件主要表现为同沉积断裂和层间角砾岩层,成岩期古地震事件主要表现为沿断裂的上盘砾岩的“涂抹”、成岩期的方解石擦磨晶体,以及由断裂(裂隙)所围限的不同于周侧岩性的块体。古地震事件的研究不仅可以为研究古地理和古构造背景提供信息,也可为恐龙蛋的埋藏作用提供信息。

西峡盆地和夏馆盆地含有丰富的恐龙蛋化石,它们大都为原地埋藏,且集中区分布在冲积扇下、中部(周世全等,1999)^[12],此外,恐龙蛋化石蛋壳均有破裂,蛋壳内的物质源于蛋壳外部(李艳芳等,2006)^[14],无疑表明,恐龙蛋化石的保存与引起冲积扇沉积的灾变事件有关。通过上述分析,河道沉积

(包括冲积扇)等粗粒沉积物的产生在一定程度上可能与地壳运动引起的地震作用有关。所以,沉积过程中频繁的地震事件可能是恐龙蛋化石保存的原因之一。

致谢:感谢河南理工大学张国成教授和河南省第一地质勘查院周世全高工对野外工作的指导。

参考文献:

[1] 王德有,周世全. 西峡盆地新类型恐龙蛋的发现[J]. 河南地质,1995,13(4): 262-267.
[2] 周世全,梁新权,冯祖杰. 河南西南部含恐龙蛋化石盆地沉积及构造特征[J]. 大地构造与成矿学,2002,26(3): 306-313.
[3] 张国成,郭卫星,曾玉凤. 河南西峡盆地上白垩统河流及湖泊沉积中的遗迹组构[J]. 古地理学报,2004,6(4): 434-441.
[4] 宋慧波,胡斌,王德有等. 河南西峡盆地上白垩统高沟组沉积特征与沉积环境[J]. 石油地质与工程,2008,22(4): 1-6.
[5] 梁定益,聂泽同,宋志敏等. 正在萌芽段的震积地层学[J]. 高校地质学报,1997,3(4): 458-561.
[6] SELIACHER A. Fault-graded beds interpreted as seismites[J]. Sedimentology,1969,13(1-2): 155-159.
[7] 乔秀夫. 中国震积岩的研究与展望[J]. 地质论评,1996,42(4): 317-320.
[8] 袁静. 中国震积作用和震积岩研究进展[J]. 石油大学学报(自然科学),2005,29(1): 144-149.
[9] 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.
[10] KEITH M H, WEBER J N. Isotopic composition and environmental classification of selected limestones and fossils[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta,1964,28: 1787-1816.
[11] AYDIN A, AHMADOV R. Bed-parallel compaction bands in aeolian

- sandstone: Their identification, characterization and implications [J]. *Tectonophysics*, 2009, 479: 277 – 284.
- [12] 周世全, 李占杨, 冯祖杰等. 河南西峡盆地恐龙蛋化石及埋藏特征 [J]. *现代地质*, 1999, 13(3): 298 – 330.
- [13] 周世全, 朱广彬, 冯祖杰. 河南内乡夏馆—高丘盆地的夏馆组及其时代 [J]. *资源调查与环境*, 2003, 24(1): 69 – 74.
- [14] 李艳芳, 蔡厚安, 梁汉东等. 西峡晚白垩世恐龙蛋化石宏观矿物组成研究及意义 [J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 2006, 36(2): 158 – 168.
- [15] 冯伟民, 郑永飞, 周建波. 大别—苏鲁造山带大理岩碳氧同位素地球化学研究 [J]. *岩石学报*, 2003, 19(3): 468 – 478.

Discovery and significance of the palaeoseismic events in the Late Cretaceous Xixia and Xiaguan Basin

CAO Gao-she¹, GAO Li-xiang¹, LIN Yu-xiang², Zu Xin-xu¹, WANG Ya-wei¹, XING Na-na¹, CHEN Jun-xia¹, XU Guang-ming¹

(1. *School of Resources and Environment Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, Henan, China*; 2. *College of Geo-info Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510, Shandong, China*)

Abstract: The palaeoseismic events in the Late Cretaceous Xixia and Xiaguan Basin may fall into two categories: synsedimentary and diagenetic. The synsedimentary palaeoseismic events led to the formation of synsedimentary faults and breccias horizons, and exercised an important effect on the erosion of rivers. The diagenetic palaeoseismic events are manifested in the “smear” phenomena of conglomerates along the hanging wall of faults, rubbing of calcite crystals, and fault-bounded blocks which are different from the surrounding rocks. The study in this paper may provide useful approaches not only to the burial of dinosaur eggs but also to palaeogeography and palaeotectonic settings.

Key words: Xixia Basin; Xiaguan Basin; Late Cretaceous; palaeoseismic event