一种事件沉积的标志——陆相流水波痕

蔡雄飞　顾延生　李长安
（中国地质大学，武汉）

[内容提要] 本文从现代洪水事件作用可以形成大片不对称流水波痕入手，“将今论古”，发现古代地层剖面中也有大量水下至水上的沉积旋回序列，每个旋回单元与下伏岩层为突变接触。水下沉积环境富含不对称流水波痕，水上则为富含泥裂，它们系为洪水事件沉积产物。这些洪水事件具有不同的规模和级别，在地学上具有重要意义。

关键词　不对称流水波痕　事件沉积　地质意义

在我国中新生代陆地河湖相沉积环境中，广泛发育了对称流水波痕。流水波痕可以大小不一，即可以宽阔，也可以很窄。它们的形成环境既可以在长年流水的浅水地区，又可以形成在短暂流水的漫岸环境。这种流水波痕的形成，显然与洪水沉积作用紧密相关，它们蕴藏着事件沉积作用的一系列信息，也就说，这种流水波痕的形成，往往受控于外部地质作用。揭示这种作用，有助于提高对陆相地层的划分与对比的精度，更好地认识陆相层序地层的一些自身独特控制因素。

1　洪水作用是控制陆相湖水面的重要因素

陆相盆地与海相盆地存在着根本性的差异。陆相盆地一般规模远较海相盆地小，水体深度也浅得多。在物源供给上，海相盆地从大陆一个方向供给，而陆相盆地则由四周供给，不存在陆源碎屑物质供给不到的地区。因此，外部地质作用自始至终控制着陆相盆地的生长和沉积类型演化。

陆相盆地与盆外因素存在着紧密的节律耦合关系[1]，其中以构造、源区岩性、气候尤为重要。因此，河湖水面的升降变化并不是控制沉积类型的因素。除构造作用外，古气候变化是引起陆相河、湖面整体扩展和萎缩的最直接因素。气候作用常造成陆相盆地岩性、岩相变化频繁。这种气候作用最主要的是潮湿和干旱作用，潮湿作用常造成大小不等的洪水泛滥面，引起陆相河湖水面上升，而干旱作用则引起河湖水面整体萎缩。因此，地质历史长河中经常出现的洪水泛滥，是陆相盆地幕式沉积作用比较重要的方式。如著名的美国华盛顿州荒脊山地的洪水是由冰川贮集的水突然释放引起的，形成大于10m厚度的砾石层，同时形成间距达100m的巨型波痕[2]。再以现代长江、鄱阳湖为例，每年5月～9月常是洪峰季节，每次洪峰，水面常可上升几至几十米，并留下深刻的洪水泛滥面的灾变沉积物记录。至于次一级洪水更不计其数。以现代黄河边上岸后冲沟沼泽地为例[3]，只要天气连续下二、三天中雨，洪水地质作用就会形成大片波

❶ 本文1998年4月21日收稿。

长30～50cm、具宽阔的不对称流水波痕。因此，地质历史中大小不等的洪水泛滥面是屡见不鲜的。这些大小不等的洪水泛滥面常含突发性事件沉积特点，其洪水作用不但引起河、湖水面暴涨，而且对沉积物供给影响更明显，常造成灾变沉积和非灾变沉积的岩性组合。

因此，陆相河、湖面的升降变化，并不是控制陆相层序地层的因素。以层序地层为单元的体系域为例，凝缩层，除非在特殊的大型湖盆深湖区可以见到，这是因为陆相湖盆几乎没有物源区供给不到的地区，充足的物源和频繁的洪水泛滥周期性旋回变化抑止了凝缩层的生长。再如，低水位、高水位、水进体系域在陆相河、湖水面变化十分缓慢的环境并不明显，其层序地层单元划分仅仅适合具一定条件的少数地区，如构造活动频繁，岩性、岩相变化快的地区。那种照搬海相层序地层的做法，并不符合陆相盆地的充填序列。

因而，地质历史中的洪水泛滥和干旱作用是控制陆相河湖相沉积环境变化的主控因素，它们的沉积类型往往以突变和不连续沉积为主要特点。这些事件沉积单元在纵向上表现为十分有序，它们可以是气候旋回、事件旋回或者是环境-事件复合旋回的产物，其中以事件旋回和事件-环境复合旋回为主，具多级别特点。洪水事件沉积作用可以分为暴洪和洪水沉积作用两种类型。暴洪事件指发生在湖盆体系内的特大洪泛事件。由于特大和较持续的暴雨，河湖水面发生较大幅度的暴涨暴落，水流能量剧增，以重力作用而形成的泥石流、碎屑流以及颗粒流等，在沉积剖面上明显出现不连续现象。一般洪水作用主要是每年季节性发生的，湖水面涨落的幅度相对小一些，沉积剖面上的沉积序列似乎表面上是连续的，而实际存在着明显的间断性，它往往形成冲刷面、不对称流水波痕。两种洪水事件，前者已广为大家所熟悉，后者，特别是不对称流水波痕，还远未被人们所认识，但这种洪水事件沉积作用在河、湖相环境中大量存在。

2　不对称流水波痕的事件沉积组合特点

现代不对称流水波痕是由洪水泛滥作用形成的，这已被现代黄河岸后沼泽环境现代沉积所证实。如果“将今论古”进行类比分析，古代的大量流水波痕也因与洪水沉积作用息息相关。这些灾变沉积往往具有特定的岩性组合标志。以民和盆地白垩系第七岩组为例。

第七岩组在区内分布广泛，一般分布在半山腰上，以细砂岩居多为特征，野外十分醒目。该组根据沉积特征可划分为两个准层序组(图1)。下部准层序组以薄层富含不对称的流水波痕和富含大量泥裂的粉砂质泥岩为组合，纵向上不断出现，表现为砂层薄泥层厚的特点。这种水下沉积构造和水上暴露构造相互组合，显然为洪水沉积作用和洪水后的沉积产物。底部的薄层流水波痕的细砂岩，显然是洪水期高能事件形成的产物，其上富含大量龟裂的泥岩则是洪水回落后长期处于干旱暴露的产物。上部的准层序与下部很不相同，其底部由中至厚层含舌状波痕、流水波痕的细砂岩和其上含龟裂的粉砂质泥、页岩组成，该组合在垂向上可以出现5～6 次，它的成因类型显然与下部准层序组相同，但洪水规模、持续时间远较下部为大，形成的流水波痕也较宽。

由上可见，这些不对称流水波痕在岩性、沉积构造组合上与下伏岩性往往呈突变接触，而这些突变接触因岩性较细而易被人们忽略。以盆地边缘为例，一个洪水事件沉积单元的底部与其下伏岩性一般为低能环境或处于水上暴露时期的泥质岩，两者无论在岩性还是沉积构造上均呈突变接触。其上岩性、沉积构造均呈渐变性，岩性由细砂岩、粉砂岩、粉砂质泥岩，沉积构造由高能的流水波痕和低能的水平层理以及处于陆上暴露构造的泥裂，其水动力是

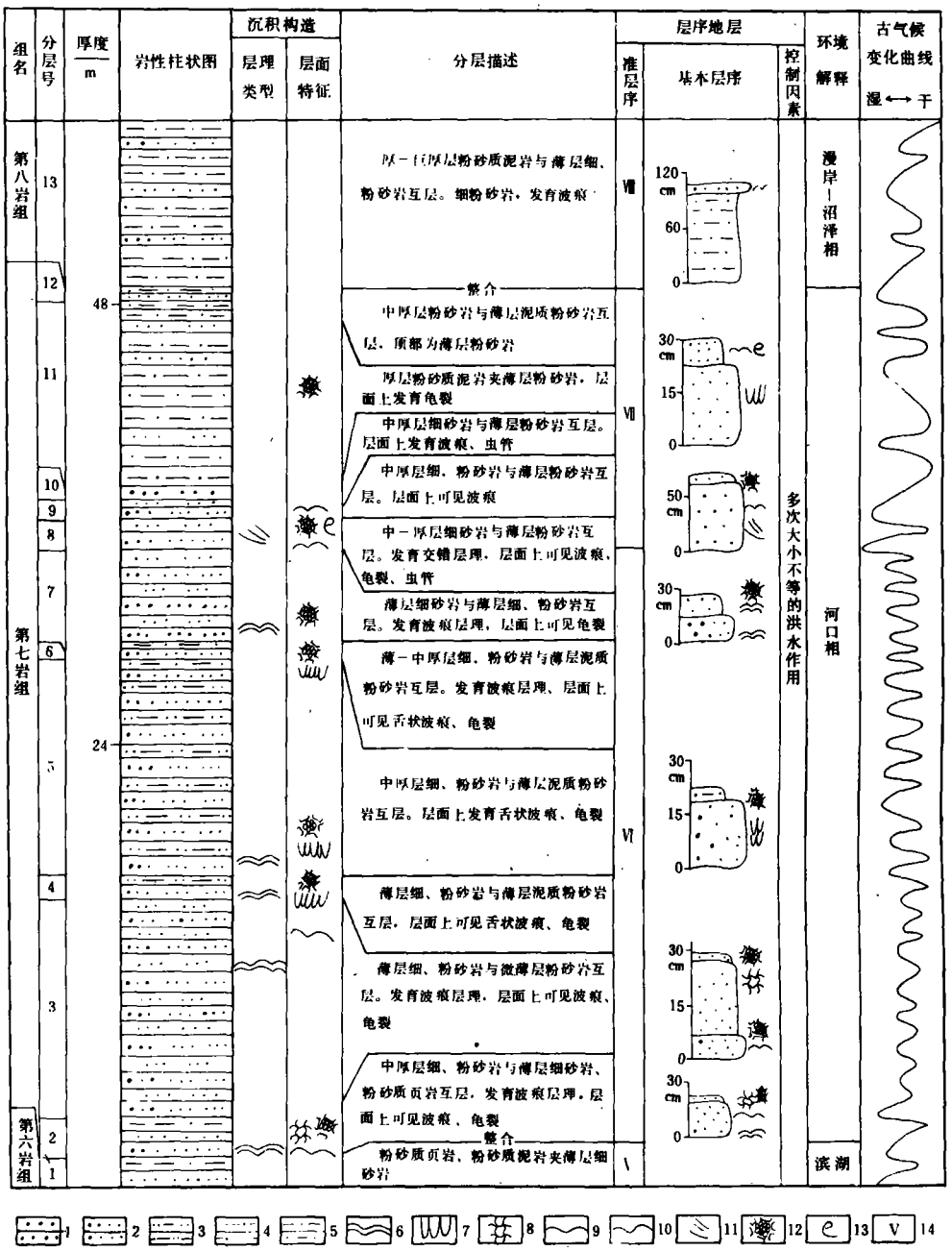

图1 甘肃红古城地区下白垩统第七岩组岩性柱状图

1. 细砂岩；2. 细—粉砂岩；3. 泥质粉砂岩；4. 粉砂质页岩；5. 粉砂质泥岩；6. 波痕层理；7. 舌状波痕；8. 干涉波痕；9. 对称波痕；10. 不对称波痕；11. 交错层理；12. 龟裂；13. 遗迹化石；14. 准层序组编号

Fig. 1 Lithologic column of the Lower Cretaceous 7th rock group in the Honggucheng region, Gansu

1=fine-grained sandstone; 2=fine-grained sandstone and siltstone; 3=muddy siltstone; 4=silty shale; 5=silty mudstone; 6=ripple bedding; 7=tongue ripple mark; 8=interference ripple mark; 9=symmetrical ripple mark; 10=asymmetrical ripple mark; 11=cross bedding; 12=desiccation crack; 13=trace fossil; 14=parasequence set

不断递减，沉积环境也不断变化。反映了底部不对称流水波痕形成于洪水高峰时期。洪水作用的特点总是来得快，去也快，在来得快的过程其动能是相当大的，它可以形成大片的流动构造，因此不对称流水波痕代表洪水高峰期；而其上的具水平层理的粉砂岩则为洪水衰减期产物；顶部发育大量泥裂的粉砂质泥岩则为洪水后的产物。

尚需指出，在不对称流水波痕形成过程中，无底栖生物出现，而伴随出现的则是大量遗迹化石，特别是潜穴甚多，表现为个体单调，但丰度高的特征。潜穴生物往往是高能环境下的产物，从生物上也佐证了洪水沉积作用的灾变性特点。

这种不对称流水波痕的事件沉积组合具有多级别的剖面结构。第一种由薄层细—粉砂岩与厚—块状泥岩互层，以民和盆地白垩系第八岩组下、上段为代表；底部薄层细、粉砂岩虽富含波痕，但波痕规模并不大，显然属于小规模的洪流事件作用，多形成于在岸后沼泽环境。第二种为薄—中厚层富含流水波痕的细砂岩与中—厚层粉砂质泥岩互层，泥岩层面上富含泥裂，以民和盆地白垩系第七岩组下部旋回岩系为代表；底部细砂岩富含流水波痕，其规模显然比前一种要大，一般形成于滨湖中、上部环境，属于中等规模的洪水事件沉积作用。第三种中—厚层富含波痕的细砂岩与厚层富含泥裂的粉砂质泥岩互层，以民和盆地白垩系第七岩组上部准层序组为代表。它们经历的洪水事件作用、规模、时间显然较前两种为大，一般形成于滨湖的下部环境。此外还有一种接近暴洪事件规模，但缺乏典型特征。剖面结构由下往上，由强烈的冲刷面和滞留的厚—巨厚层中、细砾岩与含砾细砂岩互层，其中发育大型板状交错层理，以民和盆地白垩系第五岩组为代表，一般形成于水下环境，属于扇三角洲的沉积类型。这些不同的互层剖面结构，都有一个显著共同特征：具下粗上细的进积型旋回序列。这些不同的组合特征，可以大致反映洪水事件作用的强度和规模。

3　地质学意义

不对称流水波痕作为洪水事件沉积作用的产物，在陆相盆地理论和工作方法上都具重要意义。

它改变了不对称流水波痕过去长期认为“正常沉积说”的观点。对陆相盆地剖面序列大量的从水下到水上的沉积旋回层序，以往用“忽而水进，忽而水退”以及“盆地不断下沉”等观点作解释，不能令人信服。现在用洪水事件沉积作用则很好地解释了这种垂向上不断旋回性，能够自圆其说，而且比较符合陆相盆地河、湖水面变化的真正占主导的控制因素。

不对称流水波痕作为事件沉积的产物，可以提高陆相地层划分与对比的精度，抓住区域一级洪水泛滥面，可以有效地进行组的划分。

以陆相盆地洪水事件沉积作用为主，使我们进行陆相层序地层学的研究和对比有了一定基础。陆相层序地层学与海相层序地层学存在着很大异同。陆相层序地层则能运用海相层序地层学的基本理论、基本概念去探索，而不能盲目套用。陆相盆地的洪水事件大量存在，使我们有可能应用层序地层学的准层序、准层序组结合岩性变换带，能够在时间过程中进行有效划分，而且能够在空间上进行有效对比，使得那些相互隔离的地层在横向上联系起来研究提供了可能。

总之，陆相河、湖环境洪水事件沉积作用的大量揭示，一方面丰富了陆相盆地的理论研究，另一方面开阔了研究思路，使我们对陆相盆地的研究把握了本质，这样才能不断提高其研究的程度，把陆相层序地层学工作做好。

参 考 文 献

1 蔡雄飞. 陆相沉积盆地的构造与沉积演化节律耦合关系. 地学前缘,1997,第4期
2 余素玉. 沉积学进展中的若干主要方向. 地学前缘,1994,第1～2期
3 蔡雄飞、李长安、顾延生等. 一种现代不对称波痕的成因特征及类比分析——以民和盆地红古城地区下白垩统第8岩组为例. 岩相古地理,1998,第1期

The continental current ripple marks as an indicator of event deposits

Cai Xiongfei Gu Yansheng Li Chang'an
China University of Geosciences, Wuhan

ABSTRACT

The asymmetrical current ripple marks occur over a wide range of scales in the Mesozoic and Cenozoic continental fluvial and lacustrine sedimentary environments in China. They may exhibit diverse morphologies: very wide or very narrow, indicating a permanent shallow-water environment or an ephemeral overbank environment. The results of research in this paper have disclosed that within the ancient stratigraphic sections, there are many subaerial and subaqueous sedimentary cyclic sequences, each of which show sharp contacts with the underlying strata. The subaerial environments abound in asymmetrical current ripple marks, whereas the subaqueous ones in desiccation cracks. This implies that the current ripple marks resulted from the flood event deposition. These flood events of varying sizes may have important geological implications.

Key words: asymmetrical current ripple mark, event deposit, geological implication