

泥石流沉积相模式*

崔之久 熊黑钢

(北京大学地理系)

提要 共划分泥石流沉积为6种类型或相即A相泥石流层, B相类泥层, C相冲刷层, D相泥流层; E相泥流层, A1相细粒泥石流层。标准的泥石流相模式是从底层的泥层D相开始, 往上为A相、C相。且以C相为沉积间断标志。

主题词 泥石流 相模式 沉积结构与构造。

作者简介 崔之久 男 57岁 教授 地貌及第四纪地质学

泥石流的研究已有较长的历史了, 然而, 迄今国内外尚未建立科学、系统的泥石流相模式。这主要是因为对泥石流沉积体本身研究不够, 大部分人认为这是仅一种“杂乱无章”的沉积体而已。对于任何一种类型沉积物研究深度与广度评价的重要标志就是该类型的相模式是否建立了。相模式的建立将成为这一类沉积物对比的标准。预测以及对环境作出合乎逻辑解释提供基础。因此高度概括一种沉积物的相模式是沉积学者努力追寻的目标。

的确, 泥石流沉积较之海洋、湖泊、河流、风砂等等沉积是杂乱一些。但它还是有其特殊规律可循。通过笔者多年在甘肃、陕西、川西、云南等地对各种泥石流剖面的岩性、沉积构造、相序列及其它相标志的深入研究, 已将复杂的沉积序列归纳为能够应反泥石流沉积规律的相模式。在应用中也都得到了较为理想的结果。

一、方法及标志

1. 采用方法

由于地层沉积序列、露头情况以及研究者的侧重点、方法、经验等不同, 故做出的相模式也不同。表示相模式的方式也就不同, 如理想化的相序、图解、立体图和各种方程等等。为了减少这些差异所带来的人为因素影响, 应该采用一种科学的方法建立相模式。概率统计学中的马尔柯夫链对具有很好的垂直剖面的地层沉积相模式的建立比较适用。因此笔者采用此法对实测的第四纪泥石流沉积剖面进行了分析、概括, 并用以建立相模式。

2. 分层的标志

仔细观察甘肃武都、云南蒋家沟、陕西、川西等地区巨厚的泥石流沉积剖面, 就会发现剖面是由不同的层(相)所组成。为使所统计出的相模式更为合理、更有普遍性、更具概括性。实测时选择了不同地区的剖面, 其中符合统计学要求的有: 甘肃武都地区全家沟的3个纵剖面 and 3个横剖面; 小墩崖的1个横剖面; 甘-川公路426km处的2个横剖面以及陕西眉

* 本文系自然科学基金资助项目成果之一, 所论仅指气下环境的泥石流堆积, 时间上也限于第四纪且以中更新世以来为上

县鸚鵡嘴附近的 1 个横剖面。这些剖面的特点是:

- (1) 都发育在现代泥石流活动区域、对其成因没有争议。
- (2) 厚度大, 一般都在 15m 以上, 最厚 30m。层数多, 大多可分出 40—50 层。
- (3) 剖面清晰, 剖面中各层间的接触关系清楚。

值得指出的是划分沉积类型是整个工作中最重要的一环。野外详细地划分各种相, 充分对比这些相的特征, 了解它们在泥石流流体中的空间位置以及沉积时间的先后, 才可得到反映沉积环境的最正确的信息, 以建立可靠的相模式。这里必须掌握一个原则, 即这些相必须要有明确的地质意义, 同时要符合马尔柯夫链计算要求。如过去人们对同一层泥石流的碎屑是下粗上细、还是下细上粗, 即粒序, 有争议。实际上因观察的剖面不同及观察点位置的差异, 两种情况都可能出现。笔者对 9 个泥石流剖面进行实测时也注意到这个问题。笔者对泥石流沉积体中同一层的上、下砾石砾径有较明显变化的层进行了细分层, 即分为: 粗砾泥石流层和细砾泥石流层。这里粗砾、细砾的砾径没有固定的标准, 只要同一层上、下砾径有较大的变化就分开。这是为更好地讨论泥石流粒序问题而划分的。然后从统计学的角度研究它们之间的层位关系。

通过对剖面的结构、构造、粒度、层与层之间关系的分析, 可以把剖面中的各种相划分为 6 种不同的类型。它们在空间上不同的排列组合便构成了泥石流沉积体。结合甘肃武都地区全家沟左岸泥石流剖面 (图 1)。现将各相特征分析如下:

A 相 粗砾泥石流层 这种层在剖面中的厚度最大, 是泥石流暴发后沉积的主体有不同表现形式* (图 1 中的各厚层)。它具有连续的粒度组成, 以砾石为主, 从粘土到大漂砾都有, 分选极差。含有各种反映泥石流流动特征和沉积特征的结构与构造。如载荷构造、石线构造、迭瓦构造、袋状构造、环状构造、悬浮结构、支撑结构、迭置结构等等。砾石的扁平面多倾向上游。

A₁ 相 细砾泥石流层 同 A 层一样为一次泥石流暴发形成的沉积体。较之 A 层砾径较小, 含细粒物质明显增多。厚度较小 (图 1, A 层之上的 A₁ 层)。

B 相 表泥层 是泥石流停积后, 细颗粒物在一些低洼地或平整地上上浮铺垫而成。而在稀性泥石流地区, 表泥层可能是在泥石流停滞下来后由泥浆漫流而成。特点是: 由砂、粉砂及粘土组成, 与下部层逐渐过渡。部分层中可见到小蜗牛及植物根系 (图 1, B 层)。

C 相 冲刷层 在泥石流沉积以后较长时间内, 其顶部受流水冲刷改造而成。顶部的细粒物质被搬运走后残留粗砾物。流水对砾石进行了一定程度的改造, 成为具叠置或镶嵌结构的冲刷砾石层, 厚度以小股水流冲刷深度为限, 一般厚 20—30cm。下界平整, 小于 20—30cm 的砾石发育叠瓦构造, 孔隙度大、松散、略与冲积扇堆积中的筛滤沉积层相似。它在剖面中具有沉积间断的意义, 是泥石流活动过程中有较长时间停歇的代表层 (图 1, C 层)。

D 相 底泥层 是泥石流初始阶段铺床过程所形成的。一般厚 10cm 左右, 由砂、粘土组成, 随下伏界面起伏, 干涸后十分坚实。与下伏层有一个明显的界线。一些底泥层中可见树叶、枝以及草等植物体被卷裹在层中。D 相一般呈波状起伏, 当 A 相堆积而受挤压时常发生变形, 迫使 D 相减薄、增厚或缺失。这种变形有时是与基底 (如冲积层) 表层同时

* 可以表现为混杂砾石层和悬浮变粒级层。

发生的。

E相 泥层 由于甘肃、陕西等地区黄土较发育，因此在剖面中时常可见到由泥流堆积而成的泥层。是泥流堆积主体部分，它与泥石流流体在含泥、含石量上有很大的差别。

二、相模式的建立

笔者主要根据 R、G、Warker 所介绍的方法建立相模式。结合全家沟左岸剖面 (图1) 有下述几个步骤。

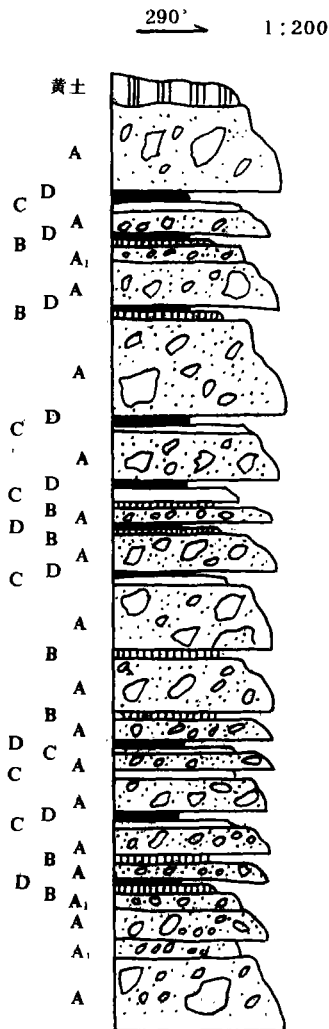


图1 全家沟左岸泥石流剖面实测图
Fig.1 Section of debris flow deposit in left band of Quanjiagou Creek

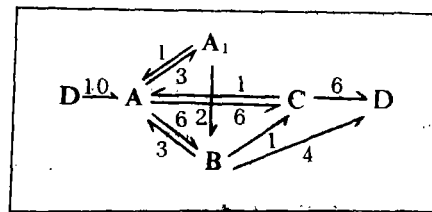


图2 观察到的相关系图(全家沟左岸)
Fig.2 Diagram of observed facies relationship (in left bank of Quanjiagou Creek)

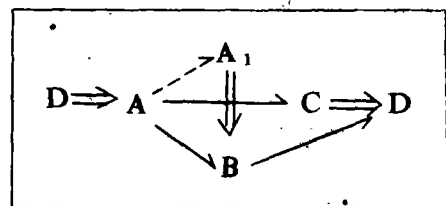


图3 优选的相关系图(全家沟左岸)
Fig.3 Diagram of preferred facies (in left bank of Quanjiagou)

(1) 仔细观察对比典型剖面、分层并进行实测后, 建立柱状剖面图。分析各层间的关系, 做出相关系图 (图 2)。说明剖面中相与相之间的关系。(图 2 中的数字表示相之间变化的数目)。

(2) 根据相之间变化的数目, 建立观察到的相关系矩阵 (表 1)

表 1 观察到的相关系矩阵(全家沟左岸)

Table 1 Matrix of observed facies relationship(in left band of Quanjiagou Creek)

	A	A ₁	B	C	D
A		3	6	6	
A ₁	1		2		
B	3			1	4
C	1		-		6
D	10				

(3) 根据马尔柯夫链的定义, i 相转变为 j 相的概率 P_{ij} 为:

$$P_{ij} = \frac{n_{ij}}{\sum_{j=1}^m n_{ij}}$$

式中 n_{ij} 为 i 相转变为 J 相的次数, m 为 i 相转变为 $j, j+1, i+2, \dots$ 相的总次数。 i 和 j 分别为泥石流中不同的相。

求出观察到的转移概率 (表 2)。

表 2 观察到的转移概率(全家沟左岸)

Table 2 Observed transition probabilities (in left bank of Quanjiagou Creek)

	A	A ₁	B	C	D
A		0.200	0.400	0.400	
A ₁	0.333		0.667		
B	0.375			0.125	0.500
C	0.143				0.857
D	1.000				

(4) 利用方程

$$r_{ij} = \frac{n_j}{N - n_j}$$

式中, n_i 是 i 相出现的数目, n_j 是 j 相出现的数目, r_{ij} 是 i 相转变 j 相的随机概率, N 是所有相出现的总数。此方程可用于各种情况。

求出随相序列的转移概率 (表 3)。这是根据所有相变都是随相的假设作出的一种转换概率矩阵, 概率只取决于各相的绝对丰度。

(5) 用观察概率减去随机概率, 即 P_{ij} 减 r_{ij} 得到一个差矩阵 (表 4)。

(6) 用差值矩阵 (表 4), 根据比随机更常出现的相变对观察到的相关系图 (图 2) 进行简化, 建立新的相关系图 (图 3)。表 4 中很高的正值 (相变比相是随机的常见的多) 在图

中用双线箭头表示, 只是比随机稍微常出现一些的相变用虚线箭头表示, 而单线箭头表示粗线与虚线之间的中间相变。

表3 随机序列的转移概率(全家沟左岸)

Table 3 Transition probabilities for random sequence (in left bank of Quanjiagou Creek)

	A	A ₁	B	C	D
A		0.103	0.276	0.241	0.345
A ₁	0.366		0.195	0.171	0.244
B	0.417	0.083		0.194	0.278
C	0.405	0.081	0.216		0.270
D	0.441	0.088	0.235	0.206	

表4 观察概率与随机概率之差(全家沟左岸)

Table 4 Observed minus random transition probabilities (in left bank of Quanjiagou Creek)

	A	A ₁	B	C	D
A		0.097	0.124	0.159	-0.345
A ₁	-0.033		0.472	-0.171	-0.244
B	-0.042	-0.083		-0.069	0.222
C	-0.226	-0.081	-0.216		0.587
D	0.559	-0.088	-0.235	-0.206	

(7) 用新的相关系图, 作出充分反映剖面的优选相序图 (图4)。

(8) 取 0.09 为界线值, 舍去差值小于 0.09 的相变。再考虑相之间的接触关系。厚度等作出剖面反映地方性泥石流沉积特征的模式 (图5)。

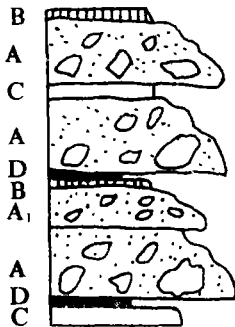


图4 优选的相序图(全家沟左岸)
Fig.4 Diagram of preferred facies sequence (in left bank of Quanjin gou)

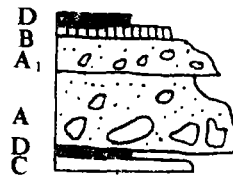


图5 全家沟左岸泥石流沉积相模式
Fig.5 Facies modle of debris flow deposit in left bank of Quanjia gou

2.标准相模式的建立

用上述方法笔者共做出了 9 个满足统计要求的地方性相模式。对比这些地方性相模式可以看出, 它们大同小异的。其中以 CDAB 组合最为常见。一次完整的泥石流沉积包含了 DAB 三层, 而 C 层是经过较长时间的流水冲刷后形成的。A 相与 A₁ 相关系的统计结果是 A₁ 相常出现在 A 相之上, 说明泥石流沉积以正粒序为主。统计中泥流层常出现在 C 层之上, D 层之下, 但由于其仅在黄土区出现, 没有普遍意义, 因此笔者在标准相模式中并没有将它列出。综合、概括统计出的 9 个地方性的相模式, 并结合 25 个层总数较少、厚度较小实测剖面的相变规律, 得出了标准的泥石流沉积相模式 (图 6)。它由 C、D、A、B 4 个相组成。代表一次包含泥石流沉积及后期各个阶段动力过程的沉积物。这一模式是笔者解释环境及其沉积过程的基础。

厚度 (cm)	符号	沉积类型	特 征	解 释
10-20	B	表泥层	砂、粉砂、粘土组成与下伏层逐渐过渡	后期泥类铺盖或粘粒上浮沉积
30-200	A ₁	细砾泥石流层	与 A 同层, 但粒度小, 含细颗粒物明显比 A 多	高流态快速沉积, 并有粒度分异作用
50-1000	A	粗砾泥石流层	泥石流沉积主体, 分选差含各种泥石流运动及沉积结构、构造	高流态的快速沉积
		底泥层	砂粘土组成, 块状层理, 与下伏层截然过渡一些层卷裹有树枝、叶及草	初期铺床过程沉积
5-20	D			
10-50	C	冲刷层	主要由砾石组成, 类似河床相	经流水冲刷而再沉积

图 6 标准的泥石流沉积相模式

Fig.6 Standard facies model of debris flow deposit

3. 泥石流扇的环境模式

从整个泥石流沉积体在空间中的分布和随时间产生的变化来看。泥石流扇不同部位的相序与标准相模式对比时都略有差异。它们都明显包含标准相模式的一些主要要素, 但又有所不同。这是在整体沉积环境上因局部的差异造成的。根据笔者对多处泥石流扇的详细研究, 把不同的相序与不同的空间位置、地貌单元和时间变化结合起来。并在不同部位进行了组构量测。得出了泥石流扇的模式——综合相模式。

在泥石流扇顶部的沟口处, 通道窄、坡度陡, 历次泥石流暴发通过此区时速度快、砾石滚动、跳跃而下。细颗粒物不易沉积下来。同时这里又是泥石流停积后后期流水的必经之路, 流水冲刷强烈。主要发育了 A 相和 C 相。这里的 C 相是整个扇上厚度最大、最发育的。几乎见不到 B 相和 D 相。因此其相序是 AC-AC 型-AC 型 (图 7, a)。因沟道窄、泥石流停积时束缚了它的自由度, 砾石不易改变其方向, 砾石的 ab 面和 a 轴都无明显的优势倾向 (图 8, b)。

在扇的中、下部相组合很接近标准的泥石流相模式。这些地方不仅 A 相发育好, 而且由于这里是泥石流堆积的主要地带, 堆积过程和后期流水冲刷过程较为平衡。铺床过程的

D相、冲刷过程的C相也较发育。在沟道两侧的泥石流台地和洼地中可见到发育很好的B相(图7, c)。笔者在此地对砾石组构的量测发现砾石扁平面倾向上游(图7, d)。因为在泥石流快速停积并缓慢蠕动前进的过程中,砾石不再跳跃、翻滚,而是在运动惯性和前部阻挡力的作用下,逐步调正自己的方位使扁平面倾向上游,保持动态平衡以适应外力作用。

在泥石流扇两侧的相模式中,表泥层很发育。泥石流暴发出山口后,地形开阔流速减低,大砾石因惯性大不易改变方向,它们保持一定的速度顺扇轴部而下。泥石流浆体中的细颗粒物质被挤上浮,形成较厚的表泥层。这类沉积体中,由于很少受后期流水的影响,相模式中缺少C层(图7, e)。支沟的泥石流进入主沟后,常常全部或部分堵塞主沟,使主沟产生壅水。泥石流暴发期间的大雨使大量泥土冲入主沟,它们因堵塞在支沟与主沟汇合的上游一侧沉积下来。增加了泥石流体表面的泥层。1987年5月22日甘肃武都地区马街处,支沟泥石流堵塞主沟后形成的表泥层可达0.5m左右,因此这类相模式中表泥层很发育。

泥石流扇的正前缘的相模式是以巨砾为其特征。这里是泥石流“龙头”所在地,砾石相撞强烈,ab面和a轴的优势的排列方位不明显。由于细粒物质较少,B相和D相不发育(图7, f)。

值得注意的是,每次泥石流暴发后的沉积体只能部分将泥石流扇覆盖住,并以中部沉积最厚向两侧逐渐变薄。同时,泥石流总是改变其运动通道。粘性大的泥石流内聚力很强常常在扇面上形成纵向的垄状(或舌状)堆积。同一横剖面在很近的距离上相序可能就相差较大,而同一纵剖面的相序差别就小得多。

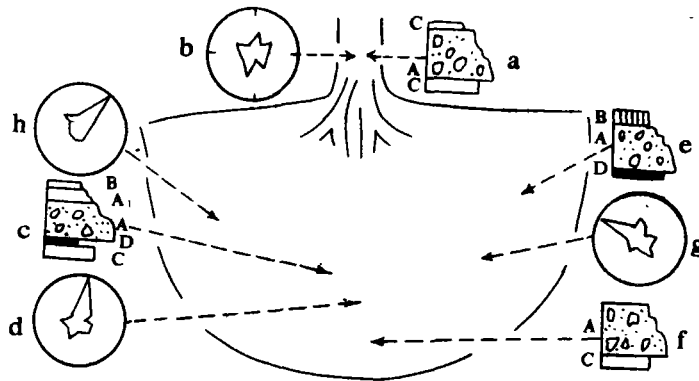


图7 泥石流扇的环境模式(图形为砾石组构的玫瑰图,长条形为相序)

Fig.7 Environment model of debris flow fan
(circle is rose map of boulder fabric, rectangle is facies sequence)

较为典型的纵向相序,从扇顶到扇前缘的变化是: CAC组合—CDAA₁B组合—CA组合。横剖面上相序的变化为: DAB组合—CDAA₁B组合—CA组合。横剖面上相序的变化为: DAB组合—CDAA₁B组合—DAB组合。这种综合的模式在新产生的泥石流扇上最为明显。泥石流出口后,因地形开阔流体的厚度、流速都迅速减小,砾石受力为辐射状,因

而砾石 ab 面倾斜方向的变化规律是中、下部的砾石 ab 面, 不仅仅倾向上游而且倾向辐射中心——沟口 (图 7、g、h)。在沟口和正前缘则无明显的优势方向。

4. 泥石流相模式的作用

相模式是对一个特定沉积环境的全面概括, 每一个旋回都可以与模式相比较, 识别其共同点和不同点, 其中的冲刷面可解释为旋回之间的界线。R、G、Warker 认为“相模式本身除了一个环境的概括外, 还要为进一步考虑提供一个提纲⁽³⁾”。

(1) **标准作用** 泥石流相模式是帮助我们认识复杂自然现象和过程的简化图式。当我们用其它实例来与之进行比较研究时, 它起着标准作用。在笔者作出的各剖面地方性相模式中可以看出, 不同的剖面, 不同的部位泥石流沉积相组合是不同的。有 CDAA₁, ACD, DABD, DAA₁CD, CDAB, AC 等组合。它们都明显地含有泥石流相模式的主要要素, 但与标准相模式又略有不同。这样我们就可以发现问题, 进一步深入研究地方性的变化。例 AC 型的组合与标准泥石流相模式对比后可知, 该组合形成过程中, 泥石流的铺床作用不明显或泥石流暴发迅速猛烈与铺床过程几乎同时进行, 因此缺失 D 相。同时在泥石流运动和停积后的几小时内, 流体中的粒度分异作用不明显没有形成正粒序。缺少 A₁ 层。很多有关泥石流沉积文献中对泥石流剖面的层状描述, 只要同笔者的相模式比较, 对照后就知道其沉积是属于那种组合, 并可得知其形成过程及环境。

(2) **提纲和指南作用** 1987 年笔者利用泥石流相模式对山西、陕西、甘肃、新疆、四川等地的混杂堆积剖面进行了比较研究。由于该模式概括了泥石流最重要的特征。因此在野外规定了新的剖面中需要收集和描述资料和沉积现象。较快地找出了沉积体的特点, 并区别出泥石流沉积与其它成因的混杂堆积。

(3) **预测作用** 从前述已知泥石流综合模式和标准相模式的特征, 并且了解到泥石流的纵剖面层位较稳定、相序变化不大, 易对其进行横向对比、连结。因此在新的地区工作时, 只要根据有限的该区纵向剖面资料和对该区泥石流地方性相模式的了解, 知道它的意义就可以进行预测了。同时根据观察到的相组合还可以预测其沉积时在泥石流扇上的大致部位, 恢复其原始形态。

5. 相组合与沉积环境

(1) **区域分异规律** 从笔者实测的泥石流沉积剖面中可以把不同的相组合分为两大类。第一类组合是 AB、DAB、DA、EA。若剖面中这类相组合重复出现, 说明两次泥石流沉积时间间隔短, 后期流水在短时期内没有将 A 相改造成冲刷层——C 相。或者两次泥石流沉积之间是一个长时间的无雨期。如果一个剖面中这类组合出现的频率很高, 可能反映该地区在该时段内泥石流暴发较频繁。我国西南山区泥石流沉积多属于这类组合。该区新构造运动强烈, 地震繁多, 岩石裸露, 节理纵横, 地层多经强烈的挤压褶皱和断裂。山高谷陡, 常产生滑坡和崩塌, 有充足的碎屑堆积物。同时受东南季风和西南季风的影响, 降水丰富, 可产生连续不断的堆积。例如, 该区小江流域的蒋家沟每年暴发泥石流十几次至几十次。故这里的剖面中很少有发育清晰的冲刷层。

第二类相组合是 AC、DAC、CDA、CAB、ACE 等等带有 C 层的组合。这类相组合在剖面中出现较多时, 则说明泥石流暴发频率不高。这类相组合多出在我国北方山区的泥石流剖面中。例如陕西的秦岭北坡、山西的五台山。因为这里松散物质积累过程很缓慢。而且降水相对较少。因此泥石流堆积中冲刷层特别发育, 层厚而且延续长。

上述两类不同的泥石流沉积相组合代表了不同的气候环境。第一类是亚热带气候的产物,第二类是暖温带气候的产物。甘肃武都地区在地理位置上处于上述两气候带之间,因此泥石流堆积体中相组合表现了处于气候过渡地带二类兼而有之的特点。

从全家沟叉口泥石流实测剖面图中(图1),它可以分为7个沉积旋回。其中第二个旋回的相组合为:DAB→DAB→AB→AB→A,这期间有5次泥石流堆积。第4个旋回的相组合为DAB→DAB→DAB→AB→DAB→DA,这一堆积期有6次泥石流堆积。很明显它们属于第一类相组合,在这两个时期泥石流暴发频繁,后期的流水没有将泥石流体改造成冲刷层。沉积较为连续。其各层之间的界线往往是用不同的粒度、含泥浆的颜色、表泥层或底泥层等来鉴别。而第1、3、5、6这4个旋回都仅有一层泥石流沉积,反应这些时期泥石流活动不频繁,沉积间断的时间长。后期流水对泥石流体改造较强烈。A相之上都有发育很好的C相。这是典型的第二类相组合。

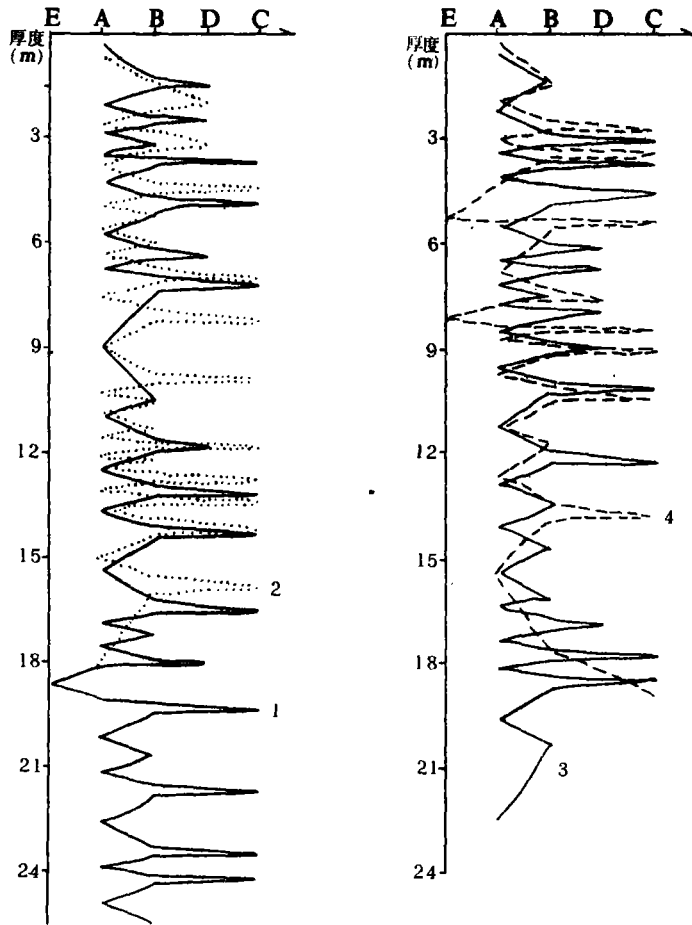
在笔者所测的剖面中4个剖面皆有泥流层。这些泥流层与其上、下层的组合关系是:三个是CEAD组合,一个是CEA组合。从这些组合来看,它们反映环境的情况可能是泥石流一次大的暴发过后,沟谷里缺少碎屑物质,后期暴雨只能将黄土冲下形成泥流层——E相。在这两次堆积期间,流水冲刷形成了C相。泥流层形成之后才是新的泥石流覆盖,否则剖面中应出现ABE或DAE等组合。另一方面,即使在降水量不够大,不能将沟谷上游的砂、砾石等风化碎屑冲下,而仅将黄土冲刷的条件下,剖面中也应该出现ABE或DAE的组合。因此泥流层的这种特殊组合可能是判断沟谷里是否有足够形成泥石流的松散碎屑的一个标志。

(2) 沉积旋回与时间上的变化 整个沉积体是由作用时间长短完全不同的许多沉积单元组成的。无论是泥石流暴发时沉积的DAB相组合或是泥流暴发时形成的E相,虽然经常是很复杂的。在整个地层序列中,厚度上它占很大的比例。但从地层学上讲它们是同时形成的岩性旋回。这种沉积代表了很短的沉积时间,而C相虽然很简单厚度很小,却代表了较长的时间。后者同前者的组合序列则是较长时期环境变化的结果。因此它们是地质历史时期环境变化的记录。

为了使沉积剖面所反映的环境更为合理、更具普遍性、更为可靠。笔者实测时选择了不同地区纵、横剖面,实测剖面中泥石流层和泥流层代表泥石流暴发期,以冲刷层代表泥石流不活动期。作出了泥石流沉积旋回曲线图(图8)。同时将9个厚度大于15m,相数超过30的剖面的特征归纳在表5中。这样可更充分地反映各个泥石流整体剖面的动态环境特点,尽管各剖面冲刷层数不完全相同,变化在7—13之间。换言之这些剖面反映泥石流活动与不活动的小旋回变化在7—13之间。但仔细研究各剖面可以发现它们都是由三个较大的旋回组成。只是这三个旋回在每个剖面中表现略有差异。它们反映了整个泥石流沉积的大时间尺度中(大旋回)还有三个次一级的泥石流活动的变化(中旋回)。这些变化是同碎屑的供给量以及降水量等气候变化密切相关的。

通过对比,笔者认为表5中甘肃武都地区的8个剖面的时代、层位是基本一致的,属于晚更新世。全家沟的5个剖面与甘—川公路上的426km处的2个剖面相距20km左右,是不同的二条泥石流沟的堆积剖面。同时两处各层堆积的厚度及厚度的变化都不相同。但它们泥石流活动的中等旋回都是3个(图8)。因此可以推断这3个旋回所反应的变化与碎屑供给量关系不大,而主要与沉积时的气候变化相关。反映了晚更新世泥石流堆积期间,气候有过

3 次较大的变化, 即有 3 次由较温暖、降水多湿润转向干燥、寒冷的气候周期。我们所测到的不同地区泥石流沉积变化趋势普遍一致的, 现象不是偶然的。从这 9 个时代、层位基本一致的泥石流剖面所反映出的三个气候变化旋回表明泥石流沉积记录气候变化的规律是相当好的。这为今后研究混杂堆积的沉积环境又开创了一条新路。这种研究还刚刚开始, 需做大量细致的工作。



1.甘肃武都全家沟公路旁 2.陕西眉县鹦鸽嘴 3.甘肃武都 全家沟叉口 4.甘-川公路 426.2km
 1.Quanjia gou 2.Ying Gezui 3.Quan jia gou fork 4.Gansu-Sichuan highway 462.2km

图 8 泥石流沉积旋回曲线

Fig.8 The cyclic cruve of debris flow deposit

毫无疑问, 沉积体中层的厚度及变化也能提供一定的环境信息。泥石流层的厚度及其变化可以反映泥石流的规模、堆积量以及气候的变化。

从图 8 和表 5 可以看出, 甘肃武都全家沟的 5 个剖面泥石流层的厚度变化的大致规律

是：下部和上部的泥石流层厚度相对较小，中部的泥石流层厚度大，即厚度呈“薄→厚→薄”的变化。而甘—川公路 426km 处的 2 个泥石流剖面层厚度的变化规律是，下部层厚度大，向上逐渐减少。即呈现厚变薄的变化趋势。因为气候变化是大范围的，这两地相距较远的、在同样气候变化中，同时代形成的泥石流剖面中层的厚度变化却不一样。因此可以推断这种层厚度的变化主要与泥石流沟上游的碎屑供给量以及积累量有关，与气候大范围的变化关系不大。426km 剖面所反映的碎屑供给量变化呈现逐渐减少的趋势。这可能说明沟上游的风化程度、岩性和构造等有了变化，碎屑积累量减少。而全家沟的各剖面碎屑供给量初期少，中期多，后期又逐渐减少。反映了泥石流的规模、堆积量小到大，又逐渐减少。但这两地的剖面都反映了晚更新世后期武都地区的泥石流规模是逐渐减少的。陕西眉县鸚鹄嘴处的晚更新世泥石流剖面中层的厚度后期也是减小的（图 8，表 5），同武都地区的各泥石流剖面一样其泥石流顶部也堆积了黄土。笔者认为泥石流沉积主要是间冰期的产物，因此这种大范围内，同一时代的泥石流规模都逐渐减小，顶部都堆积了黄土，可能意味着气候在大尺度（大旋回）的变化中逐渐转向寒冷、干燥而使泥石流活动减弱。

表 5 泥石流剖面特征与沉积环境

The sectional feature of debris flow deposit and sedimentary environments

剖面名称	剖面特征				反应的环境	
	冲刷层数	中旋回数	暴发次数	层厚变化		
横剖面	甘肃武都全家沟	7	3	16	中部泥石流厚度大、上、下小	碎屑供给量由小到大后又逐渐减小，气候有三个中尺度的旋回。
	甘肃武都全家沟叉口	7	3	19	中部泥石流厚度大、上、下小	碎屑供给量由小到大后又逐渐减小，气候有三个中尺度的旋回。
	甘肃武都全家沟公路旁	10	3	23	中部泥石流厚度大、上、下小	碎屑供给量由小到大后又逐渐减小，气候有三个中尺度的旋回。
	甘—川公路 426km(1)	7	3	14	从下向上逐渐变小	碎屑供给量由大逐渐减小，有三个中尺度的气候旋回。
	甘—川公路 426km(2)	7	3	12	从下向上逐渐变小	碎屑供给量由大逐渐减小，有三个中尺度的气候旋回。
	陕西眉县鸚鹄嘴	9	3	16	大→小→ →大→小	碎屑供给量由大到小，又增大最后减小，三个中尺度的气候旋回
纵剖面	甘肃武都全家沟右岸	7	3	18	中部厚度大上、下部小	比上述三个全家沟横剖面反映气候变化更准确。
	甘肃武都全家沟左岸	7	3	15	中部厚度大上、下部小	比上述三个全家沟横剖面反映气候变化更准确。
	甘肃武都小墩崖	13	3	16	上部、下部小，中部大	碎屑供给量由小到大后又减小，气候有三个中尺度旋回。

收稿日期：1988年4月20日

参 考 文 献

- (1) 崔之久, 1986, 初探沟谷泥石流及其扇形地的沉积类型, 宏观特征与形成机制, 沉积学报, 第4卷, 第2期, 69—79页。
- (2) 杜榕桓, 1981, 中国自然地理、地貌, 第301—310页, 科学出版社。
- (3) W. 期瓦尔扎克, 1984, 沉积模型和空量地层学, 地质出版社。
- (4) Bouma, A. H., 1962, Sedimentology of some Flysch Deposits. Elsevier, Amsterdam.

A FACIES MODEL OF DEBRIS FLOW

Cui Zhijiu Xiong Hei gang

(Department of Geography, Peking University)

Abstract

Based on observation and statistical analysis of the textural, structural, grainsize and stratigraphic relationship data of ten profiles, we found six types of debris flow facies:

Facies A (Coarser) Debris flow layer, which is the main body of debris flow, has a gravel content 25 percent to 50 percent and suspensio and support framework.

Facies B surface mud layer, which is formed by fane sediment floating up to the surface at flat area after the debris flow stopped, is the contemporaneous out-facies of the erosional layer (Facies B) and not be eroded. The deposit consists of coarser sediment and has dry polygonal ground sometimes.

Facies C Erosional layer, which is formed by fluvial erosion reforming on the surace after the debris flow deposited, The deposit appears loosely and porously, and deposit break hiatus.

Facies D Basal mudh layer, which is formed by sedimentary bed paving processes in the earlier stage flood before debrcs flow appears.

Facies E Mud layer, which is the main deposit body of mud flow in loess area.

By means of statistical analysis, nine local facies models had been found that can satisfy the statistical equire. The facies C.D.A. and B are the most common layers appear in deposit. A complete debris flow succession consists of facies D, A and B layer. The facies C layer is formed by later fluvial erosion and sometimes replaces the facies B. Therefore, a typical facies model of debris flow consists of C, D, A and B layer.

The above mentioned models show some difference at different landforms. For example, at the top of debris flow fan, the deposition is strong and the later stage erosion is strong also, therefore, facies A and facies C develop, but on facies B and D. In this situation, facies succession is AC-AC type. At middle and base of a fan, the deposit shows typical facies model, with a well developed facies A, an obvious facies D and a less developed facies C. The facies B sometimes develops at both sides of debris flow valley. The AB planes of gravel in sediment show upper course forward fabric feature. At the margin and flanks of debris flow fan, facies B is well formed, but no facies C, because the fluvial erosion is weak. Apart from the dif-

ferent facies succession assemblage in space. The different assemblage of succession appears in different time in some profile, this shows a change in environment of the drainage area. The measured profile of Quanjia Valley shows seven successions, which are consisted by facies C developed group and no facies C group, which illustrates the change of climatic condition.