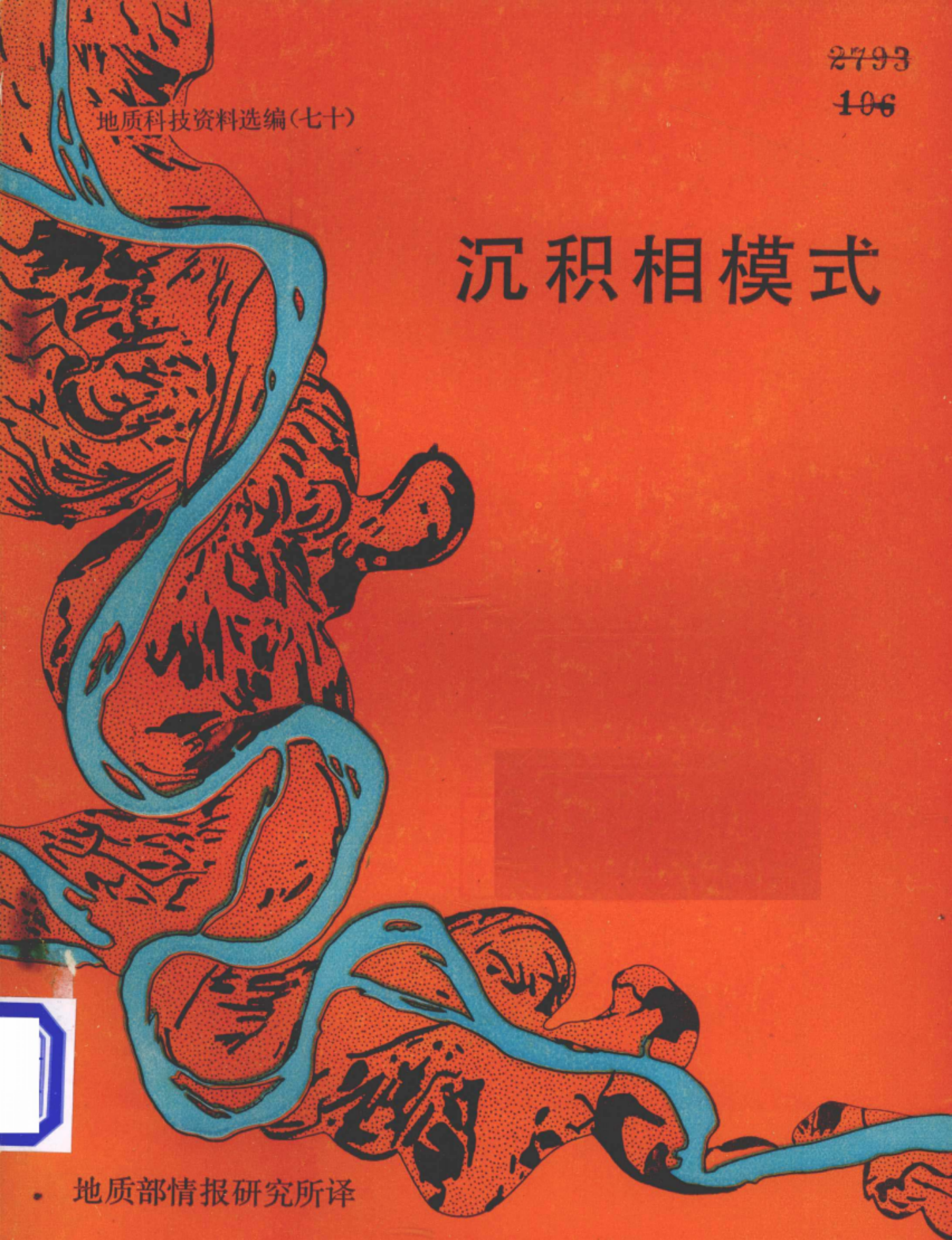


地质科技资料选编(七十)

沉积相模式



地质部情报研究所译

《加拿大地球科学》重印论文集（一）

沉 积 相 模 式

经修订后重印的《加拿大地球科学》杂志 1976—1979 年的一组连载文章，
加拿大地质协会出版。

罗杰 G. 沃克 编

一 九 七 九 年 五 月

编者的话

国外近二十年来在沉积学方面的研究发展很快，目前已进入对整个盆地进行分析研究阶段。因此，认识各种类型的沉积相，建立相应的相模式已成为当前沉积学研究的重要方面。通过对沉积相模式的研究，可以重建沉积环境，对预测和寻找油气田、煤田、沉积砂矿、层状和层控金属床矿以及许多非金属矿床具有重要的指导意义。为了配合我国广大地质工作者对沉积相方面的研究工作的开展，我们翻译出版了加拿大地质协会 1979 年编辑的《沉积相模式》(Facies Models) 一书。

本书各篇文章一般都从基本概念入手，结合实例论述各种沉积相的特征和鉴别标志，比较系统而概括地介绍了沉积相的分析方法。

全书共收集了十八篇文章，其中有十三篇已译载于 1979—1980 年地质部情报研究所编辑出版的《国外地质科技》杂志上。这次翻译全书时，除补译五篇文章外，对已译载的文章又做了校订。原书列有许多参考文献，但多数是关于加拿大情况的，翻译出版时都已略去。

本书对我国地质科研、教学、生产人员，特别是从事油气、煤及其它沉积矿产调查研究工作的地质工作者有重要参考价值。

参加本书审校工作的，除署名者外，还有王绍伟同志、王立文同志。王慧同志做了部分校订工作并补译了照片说明。全部译文最后由王绍伟同志、何庆先同志负责编辑。舒令泓、赵秀兰同志绘图。

在本书编译出版过程中，岳希新、杨起、周质朴等同志曾给予大力支持和协助。

编者谨向参与、支持和协助本书译校、出版的各位同志表示谢意。

地质部情报研究所情报期刊编辑部

一九八二年四月十日

前 言

《Geoscience Canada》(《加拿大地球科学》)杂志上连载的“沉积相模式”方面的论文,是编者 G. V. Middleton (米德尔顿)倡导的,部分地是为了响应 E. Dimroth (迪姆罗思)的建议:“概括地阐述解释岩石的技术以及从事区域评价的概念和依据方面的简短、通畅、扼要的论文,对‘广大的野外地质工作者’理应有很大的帮助。”曾经要求每一位作者都准备一篇述评,要包括基本概念,不要用不必要的专业行话,要用学生和广大的野外地质工作者能懂的名词。文中大部分插图也都是以这个目标为中心准备的。文章引起了足够的重视,因此加拿大地质协会决定把它们在这里重印出来。

原有论文当中,有许多篇都为这次重印本做了校订,并且增加了一些插图和参考目录。此外,这里还登载了三篇不曾在《Geoscience Canada》上发表过的文章,以便扩大本书的范围。并不打算要使本书成为一切相的全面的介绍,而且有些相(比如像含铁层和火山碎屑岩)之所以在这里收入了,是因为它们在加拿大方面有重要性。不过,我们希望所涉及的概念和实例已经达到了国际的范围。

我把论文重新编排了一下,又重新编了号,使之更符合逻辑顺序:由冲积扇到深海盆地,又从碳酸盐类,经过蒸发盐类,到达含铁层。本书的收尾是关于火山碎屑岩和地震地层的文章。

在规划的初期,我曾请 N. James (詹姆斯)就碳酸盐和蒸发盐方面的稿件帮助选题,并提出意见。在编辑工作中和向出版厂家传达我们的意愿方面,《Geoscience Canada》的总编辑, M. Czerneda (切内达),给了我们很大帮助。向加拿大地质协会和出版委员会主席 G. Caldwell (考德威尔)表示谢意,感谢他们的帮助和支持。各篇的题头插图都是 P. Russell (拉塞尔)的作品,封面设计是 P. Russell (拉塞尔)和 D. Bartholomew (巴塞洛缪)两人合作的。要特别向许多好意地让我们使用他们的插图的作者和杂志社表示感谢。这些都在插图说明中用“据或引自某某作者,年数”的字样表达出来。最后,还要向作者们致谢,由于他们按期交稿,使我们的工作大为顺利。

原书编者 R. G. 沃克 (Walker)

1979年5月

(马万钧译)

目 录

前言

一、沉积相和沉积相模式总论	R. G. 沃克 (1)
二、粗粒冲积物	B. R. 拉斯特 (8)
三、沙质河流系统	R. G. 沃克 D. J. 坎特 (22)
四、风成沙	R. G. 沃克 G. V. 米德尔顿 (32)
五、三角洲	A. D. 米阿尔 (42)
六、堡岛系统	G. E. 莱因森 (53)
七、浅海沙	R. G. 沃克 (72)
八、浊积岩及其有关的粗碎屑沉积物	R. G. 沃克 (87)
九、碳酸盐相模式导论	N. P. 詹姆斯 (100)
十、碳酸盐中向上变浅的序列	N. P. 詹姆斯 (103)
十一、礁	N. P. 詹姆斯 (115)
十二、碳酸盐大陆坡	I. A. 麦克尔里思 N. P. 詹姆斯 (128)
十三、大陆蒸发岩和潮上带 (萨布哈) 蒸发岩	A. C. 肯德尔 (140)
十四、水下蒸发岩	A. C. 肯德尔 (156)
十五、含铁层的物理沉积模式	E. 迪姆罗思 (174)
十六、含铁层成岩相	E. 迪姆罗思 (184)
十七、火山碎屑岩	J. 拉乔埃 (193)
十八、地震地层相模式	T. L. 戴维斯 (207)

一、沉积相和沉积相模式总论

R.G. 沃克

前言

这篇总论比原在《加拿大地球科学》杂志中发表的那篇总论在内容上扩充了许多。我在这篇总论中将要说明三个概念：相、相序和相模式。说明这三个概念的目的是把来自玄学家的这些有用的概念简单化，破除神秘感，并将它们交回给地质工作者。

沉积相

自 1830 年 A. 格雷斯利引进相这一术语以来，关于该术语的含义和用途一直在讨论着（见 G.V. 米德尔顿，1978）。争论特别集中在：（1）相是不是包含着与岩体自身相对立的一组特征；（2）相只是一个指定地层单位的面积有限的一部分呢（R.C. 穆尔，1949），还是在地质上不受限制的岩体（正如 A. 格雷斯利及其欧洲同事最初使用的那样）；（3）相是纯描述性的术语呢（例如“A相的砂岩”），还是解释性的术语（例如“河流相”）。G.V. 米德尔顿（1978）和 H.G. 里丁（1978）简要地讨论了这些问题。我使用这个术语将有具体的含义，而不只是抽象地包含一组特征，我还将以地质上不受限制的方式来使用这个术语。G.V. 米德尔顿（1978）指出：

“J. F. M. 德雷夫等人（1965）举例说明了较普遍（近代）的用法，他们将三个组构成的一个群的地层划分成旋回性地重复的若干相，这些相在‘野外观察到的岩性、构造和生物组成上’彼此有所不同。相可以给予一个非正规的名称（“A相”等等），或简要的描述性名称（例如纹层状的粉砂岩相），不用说它们是一些最终可以赋以环境解释的单位；但是相的定义是很客观的，它是根据岩石自身在野外总的情况作出来的……相解释的关键是，把空间关系和内部特征（岩性和沉积构造）的观察结果与来自其它作过详尽研究的地层单位的相应信息，特别是与来自现代沉积环境研究的信息结合起来。”

相的定义

把一个岩体划分成几个相，在某种程度上是一种分类过程。划分程度首先取决于研究的目的。例如，如果目的只是描述和解释一个特定的地层单位，那么粗略地划分一下就可以了。相反，如果目的是使现有的相模式更为精确，或者是建立一个全新的模式，那么在野外划分相无疑要更详尽一些。

划分程度不仅取决于划分的目的，而且也取决于用以划分的时间以及岩石中物理构造和生物构造的丰富程度。一个很厚的块状泥岩系就很难分相，而同样厚度的砂、页岩互层（带有大量各式各样的波痕、交错层和痕迹化石）则可以划分出许多不同的相。作为总的原则，我赞成在野外要详细地划分，因为在室内相总是能重新组合的，而粗略的野外划分是不能在室内再加以细分的。

在人们详尽地了解岩体之前是不能理想地将岩体划分成相的。只是在了解之后才能弄清有多少变化，需要用多少个不同的相来描述该单位。在野外，大多数的相研究都依靠沉积构造和生物构造特殊结合的情况（例如，J. F. M. 德雷夫等人，1965；P. F. 威廉斯和B. R. 拉斯特，1969；D. J. 坎特和R. G. 沃克，1976）。统计方法也可用来确定相，尤其是，关于重要的定量描述性参数在分析人员意见相当一致的情况下。碳酸盐岩中各种生物组份的百分比、泥晶和（或）亮晶方解石的百分比可以用作输入进行聚类分析和因子分析，结果，样本的归组（在Q型中）被解释为相（J. 英布里和E. G. 珀迪，1962；J. E. 克洛万，1964；J. W. 哈博和F. 戴米尔曼，1964；还可参阅J. W. 哈博和D. F. 梅里亚姆1968年一书的第七章：论计算机在地层分析中的应用——分类系统）。遗憾的是，统计方法不适用于碎屑岩，因为这些岩石大多数的重要信息（沉积构造和生物构造）不是很容易定量的。不熟悉岩体划分相的过程的读者可查阅注释文献中列出的论文，以了解这里简要讨论的一般原则可以怎样在实践中予以运用。

相 序

G. V. 米德尔顿（1978）指出：“不用说，相最终可以作出环境解释。”然而，在野外确定的相如果不是大多数，那么也是有許多在环境解释上是含糊的。例如，交错层砂岩相可以形成在曲流河流或辫状河流中，也可形成在潮道、以顺岸水流为主的滨外地区，或者是在以潮流为主的开阔的大陆架上。解释的关键是从上下左右关系方面一起来分析所有的相。它们出现的序列可以提供和相本身一样多的信息。

J. 沃塞尔（以前亦有译“瓦尔特”或“沃尔特”的——编者注）在他的相关系定律中首次强调了空间上的一些沉积环境与最终作为海进和海退结果而在时间上发育的地层序列之间的关系（J. 沃塞尔，1894，见G. V. 米德尔顿，1973）。沃塞尔说：“具有深远意义的基本陈述是，只有那些目前可以观察到是彼此毗邻的相和相区才能原生地重叠在一起。”所以，该定律的细心使用表明，在垂向序列上由一个相向另一个相的逐渐过渡意味着，这两个相代表侧向上曾经是相邻的环境。G. V. 米德尔顿（1973）强调指出，笼统地把这个定律用于一些相旋回性地重复的地层序列存在着危险。J. F. M. 德雷夫等人（1965）和H. G. 里丁（1978）强调，在垂向剖面中，与剧变的界线或侵蚀的界线相反，明显过渡的相界线具有重要的意义。如果界线是剧变的或侵蚀的，那就无法知道垂向上两个相邻的相是否代表侧向上两个曾经相邻的环境。相之间的明显中断，尤其是由意味着无沉积作用的薄的生物扰动层所表明的中断，确实有可能表示沉积环境上有重大的改变以及新的沉积旋回的开始（例如伴有生物扰动的剧变的相关系，见J. F. M. 德雷夫等人，1965；R. G. 沃克和J. C. 哈姆斯，1971）。

J. F. M. 德雷夫等人（1965）以一种蜘蛛网状的图形发表了表示相之间关系的第一份

正式文献。图 1 给出了现在称作“相关系图”的实例。在这个图上，在野外观察到的一个相转变为另一个相的数目用带数字的箭头表示。可以看到，过渡关系与剧变接触或侵蚀是很容易区别开的。

在第一张“相关系图”发表之后大约 15 年期间内，我相信已经出现一种比其它方法好得多的处理数据的方法。该法是以 R. C. 塞利 (1970) 提出的方法为基础的。

首先，作出相关系图，把一个相转变成另一个相的数目列成表 (图 2 A)，并换算成概率 (图 2 B)。我用 D. J. 坎特和 R. G. 沃克 (1976) 来自魁北克省泥盆纪巴特里角砂岩的数据作为例子说明这种方法。在图 2 A 中，例如，F 相之后为 G 相有一次，为 SS 相的有两次，因此观察的相变概率 P_{ij} 分别是图 2 B 中的 0.333 和 0.667。图 2 B 中每一行的和应是 1.0。

第二，根据所有的相变都是随机的假设作出另一种转换概率矩阵。概率只取决于各个相的绝对丰度，其方程式如下：

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

图 2 A: 观察到的相变数

	SS	A	B	C	D	E	F	G
SS	12	2	1					
A	4	1	6	2		1		1
B		2	4	2				2
C				1				
D	1							
E							2	
F	2						1	
G	5							1

图 2 B: 观察到的相变概率

	SS	A	B	C	D	E	F	G
SS	.800	.133	.067					
A	.154	.077	.231	.077		.077		.077
B	.308	.286	.571	.154	.143		.077	.154
C	.333			.500			.667	
D	.667						.500	
E	1.000							.333

图 2 C: 随机序列的相变概率

	SS	A	B	C	D	E	F	G
SS	0.260	0.320	0.245	0.151	0.075	0.038	0.075	0.094
A	0.259	0.315	0.260	0.160	0.080	0.040	0.080	0.100
B	0.237	0.298	0.220	0.148	0.074	0.037	0.074	0.083
C	0.222	0.270	0.206	0.127	0.068	0.034	0.068	0.085
D	0.215	0.262	0.200	0.123	0.062	0.032	0.063	0.079
E	0.222	0.270	0.206	0.127	0.063	0.032	0.062	0.077
F	0.226	0.274	0.210	0.129	0.065	0.032	0.065	0.079

图 2 D: 观察到的相变概率减去随机的相变概率

	SS	A	B	C	D	E	F	G
SS	-0.480	-0.112	-0.084	-0.075	-0.038	-0.075	-0.029	
A	-0.126	-0.202	-0.071	-0.080	-0.037	-0.080	-0.024	
B	-0.049	-0.236	-0.006	-0.080	-0.040	-0.003	-0.066	
C	-0.237	-0.062	-0.351	-0.075	-0.034	-0.068	-0.065	
D	-0.111	-0.270	-0.206	-0.127	-0.032	-0.064	-0.079	
E	-0.215	-0.262	-0.200	-0.123	-0.062	-0.032	-0.077	
F	-0.445	-0.270	-0.206	-0.127	-0.063	-0.032	-0.065	
G	-0.774	-0.274	-0.210	-0.129	-0.063	-0.032	-0.065	

图 2 相关列表。详细说明见正文，字母的含义见图 1 的说明

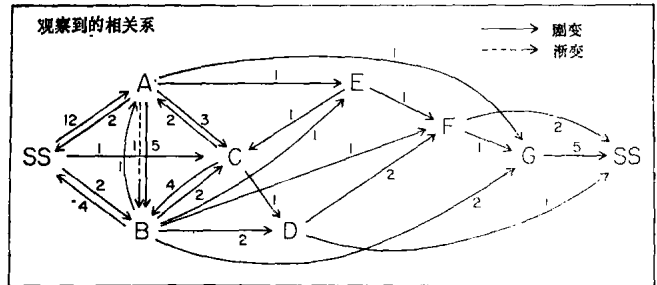


图 1 相关系图的实例，图上表示出观察到的相之间剧变和渐变的数目。数据据 D. J. 坎特和 R. G. 沃克 (1976) 的资料，它们来自魁北克省泥盆纪巴特里角砂岩。SS—冲刷面；A—很不清楚的槽状交错层；B—很清楚的槽状交错层；C—大型的板状交错层；D—小型的板状交错层；E—孤立的冲刷；F—槽形交错层状的细砂岩和页岩；G—低角度的层理

式中， r_{ij} 是 i 相转变为 j 相的随机概率， n_i 和 n_j 分别是 i 相和 j 相出现的数目。N 是所有的相出现的总数。不管相序是连续的，还是包含有断层和被掩盖的层段，该方程式可用于各种情况。A. D. 米阿尔 (1973) 发表的方程式只能用于连续的相序，即出现的相数为 N 个，相变为 N-1 个。例如，米阿尔的方程式就不能用于 D. J. 坎特和 R. G. 沃克 (1976) 的原始数据，那里出现有 67 种不同的相，但由于存在着 6 个被掩盖的层段，所以只有 60 个相变。图 2 C 表示随机相变的概率。

第三，计算一个差矩阵，表示观察概率减去随机概率：

$$P_{ij} - r_{ij}$$

结果表示在图 2 D 上，数值的可能范围为 +1.0 到 -1.0。

第四,我们进入到了了解该差矩阵能告诉我们什么的阶段。人们注意到,某些值是很高的正值(相变比相是随机的常见得多),而某些值是很高的负值(相变比相是随机的少得多)。我提议,新的相关系图要逐步编制,在纸上首先只表示那些带有高正值的相变(图3上的粗箭头)。高正值中所包括的东西取决于差矩阵中数目的范围。某种反复试验是件好事,因为它迫使人们仔细地检验数据,考虑每一个比随机更经常的相变在地质上可能意味着什么。重要的是,在作新的相关系图时要重新检查原始的“蜘蛛网”(图1),因为如果愿意的话,相变的绝对数目可以表示在新的相关系图上。

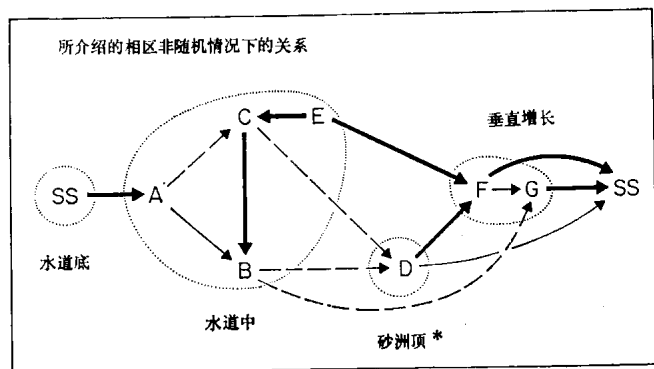


图3 根据比随机更常出现的相变对图1进行的简化。粗线表示比随机更常出现的相变。虚线表示比随机稍微经常一些的相变。细实线表示粗线和虚线之间的中间相变。研究图2D可以看出这个图是怎么作出来的。字母解释见图1的说明

更重要的是,可以画出新的箭头指出主要的剧变接触和渐变接触。这就可以克服H.G.里丁就塞利的方法所说的许多主要的缺点(见R.C.塞利的讨论,1970)。

随着详细检验差矩阵,在相关系图上(图3)就可画出细的箭头来表示只是比随机稍微经常一些的相变(随机是值近于零的这些相变)。这种数据分析方法的结果将能更好地认识原始数据的结构以及最终可以用作整个解释基础的相关系图的结构(图3)。

现在重要的是要识别单个的相序和重复的相序(旋回)。图3的相关系图与基本的相解释一起,证实巴特里角砂岩可能是河流成因的。冲刷面可以解释为旋回之间的基本界线,由此根据原始的完整的地层剖面可以确定单个的旋回(D.J.坎特和R.G.沃克,1976)。使用相关系图作为所有的结合起来的旋回的理想模式(地方性模式,见下一节),每个单个旋回就可以与模式相比较以识别共同点和不同点。读者可以用巴特里角旋回作为练习试一试(见D.J.坎特,1978)。

相 模 式

相模式的建立和使用是普通地层学领域中最为活跃的一个方面。强调这一点并不新鲜,因为许多观点在邓巴和罗杰斯1957年的《地层学原理》一书中已得到了体现,而且这些观点是以A.格雷利和J.沃塞尔早在十九世纪所从事的研究为基础的(G.V.米德尔顿,1973)。然而,由于对模式的需要在日益增加,赖以构成模式的基础资料也在迅速增多,因此相模式现在就显得更为重要了。

在本文集中,表示相模式的几种不同方式是:理想化的相序、立体图、图解和方程。这里,模式这个术语具有普遍性已经超出了单纯研究一个组的范围,巴特里角组最终的相关系图(图3)只是一个局部的概括,而不是河流沉积的模式。但是,在把巴特里角相关系图与其它古代辫状河流沉积物的相关系图作对比,并与现代辫状河流的数据相结合时(例如,D.J.坎特,1978),所有这些研究成果之间的共同点可以假设为普遍性,这种普遍性就称

之为模式。

所以，相模式可以定义为对一个特定沉积环境的全面概括，相模式的描述应使这种概括至少可用于四个不同的方面。概括的基础是对古代岩石和现代沉积物的大量研究；基础资料的迅速增加，至少部分是由于最近十五年来对现代沉积物的大量研究造成的。对模式需要的增多则是由于地质工作者根据有限的地方性基础资料进行预测的数量的增加造成的。这种预测可能涉及油气储层中地下砂岩体的几何形态，也可能涉及到矿床与特定沉积环境的伴生关系(例如含铀砾岩)，或者涉及到现代沙洲在浅水中的移动(劳迪湾，潮水的能力)有关。总之，有限数量的地方性资料，加上一个很好认识了相模式的指导，就可以对这种局部环境作出有潜在重要性的预测。

沉 积 环 境

沉积学工作者在如何把全世界的沉积环境划分成通常反复出现的类型方面有了某些一致的意见。按最近的计算(1972)，共有 18 种主要环境类型，40 种亚型，14 种亚亚型，20 种亚亚亚型。笔者故意不引用这方面的文献！但是，根据形态学、物理和化学作用以及生物作用进行这样一种最根本的划分，意见大体一致。对于研究古环境的地质人员来说，除上述准则外，还要考虑地层记录和成岩作用准则。现将大多数沉积学工作者同意的一套典型环境列于表 1。还可以增加一些风成和受冰川影响的环境，这就包含着混乱的开始，因为有些环境是根据地貌下的定义(如冲积扇)，有些则是根据作用下的定义(如风成的)。风成沉积物可能自己独立存在(如在许多沙漠中)，也可能被吹进冲积扇和河流环境中，但仍被看成是风吹的。

表 1 碎 屑 岩 的 主 要 沉 积 环 境

陆相：冲积扇
河流及河漫滩
边缘海相：三角洲
沿岸沙体(沙滩、沼泽沙堆、堡堤)
海相：陆架
海底扇—浊积岩—深海平原

值得提出的是，我们地质人员的目的，不仅是识别环境，而且是理解在这些环境中能起作用的那些地质作用的范围。我们还必须弄清我们为什么要首先鉴别环境。是提出一个名称来表示我们对已经填图的那个单位的成因的想法(如“由深水浊积岩组成的奥陶纪克洛里多米组”)呢，还是为进一步考虑提供一个提纲？当然是后者，是为进一步考虑提供一个提纲。我认为这就是识别环境的技术与相分析和建立相模式的技术的区别所在。这些术语的意义和含义是很明确的。

相 模 式——建 立 和 使 用

图4表示的是相分析的原理、方法和目的，特别是对浊积岩而言。这有助于把本文相模式的总论与以后将要讨论的浊积岩模式的专论联系起来。图4中，地方性实例1—6是浊积岩的例子，但是，我要强调指出，图4中所体现的思想能够而且应当适用于所有其它环境的相模式。

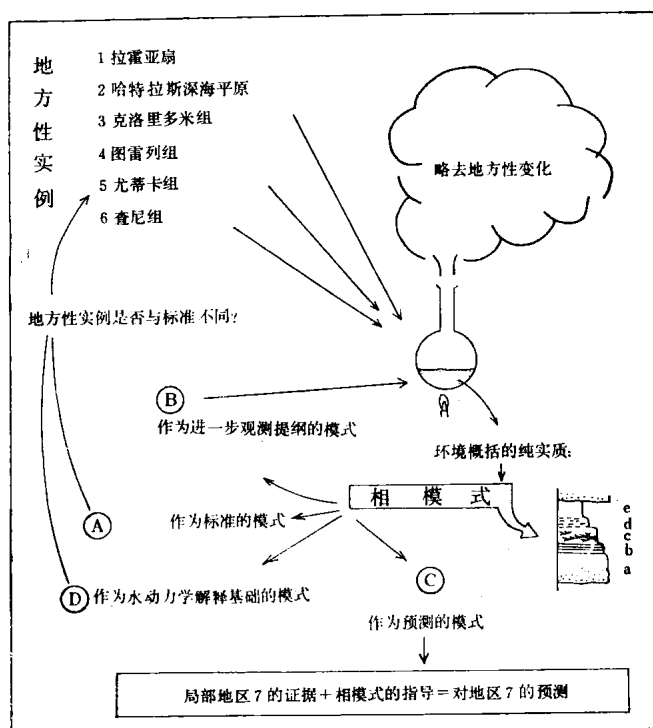


图4 从各个地方性实例中提炼出来的一般的相模式及其作为标准、观察提纲、预测和水动力学解释基础等的用途。详细说明见正文

“鲍玛模式”——编者注)。但是，什么是一个地方性例子的实质？什么是“噪音”？我们应当不考虑的是哪些方面？我们应当提炼的和认为重要的又是哪些方面？这些问题的回答涉及到沉积学工作者的经验、判断、知识和论据。这些问题的回答也涉及到环境综合和概括的最终目的。我们这里不探讨提炼资料的过程，但是要在现有认识水平上探讨每个环境——强调它的有利方面，也指出它的不利方面。

我在上面已经提出，环境概括和相模式概括之间的差别可能主要在于对所做出来的概括如何使用。相模式本身除了一个环境的概括外，还必须起到下列四个方面的重要作用：

1. 对于比较的目的来说，它必须起一个标准的作用；
2. 对于进一步观察来说，它必须起提纲和指南的作用；
3. 在新的地质区，它必须起“预测”的作用；
4. 对于所代表的环境或系统的水动力学解释来说，它必须起一个基础的作用。

图4表示的就是相模式所起的这些不同的作用。以浊积岩模式为例，1—6表示的是在各

相模式。如果能根据岩心研究足够数量的近代浊积岩的实例，又能在野外研究足够数量的古代浊积岩层，那么我们就能够对浊积岩作某些一般性的评述，而不是仅仅能对一个特殊例子作评述。提炼一般性资料的过程如图4所示，图中的1、2代表的是研究的近代沉积物（如来自拉霍亚扇和哈特拉斯深海平原的岩心），3—6代表的是所研究的古代浊积岩（例如，加斯佩的克洛里多米组和图雷列组、蒙特莫雷普福尔斯的尤蒂卡组、魁北克市周围的查尼组）。这样就可以提炼出有关现代和古代浊积岩的大量资料，不过要删去地方性的细枝末节，但又要提炼和集中浊积岩所共有的重要特征。如果我们能从足够的数量的独立的浊积岩中提炼一些重要资料，我们最后就能很好地了解“浊积岩的实质”（现在称为布马模式）（或译

个地方所研究的现代和古代浊积岩。例子之间有一个经常的反馈，这样，沉积学工作者就可以运用他的判断来确定共同的特征和鉴别“地方性的不规则性”。这就是“提炼”的过程，根据这个过程就能对环境进行概括（起相模式的作用）。

建立的相模式首先要起标准的作用（图 4，A），应可以利用它对各个例子进行比较。没有一个标准，我们就不能说图 4 的实例 5 是否有什么罕见的特征。在这个实例中，蒙特莫雷普福尔斯的尤蒂卡组浊积岩是十分薄的，粉砂质的，许多岩层不是从布马模式的单位 a 开始的（图 4），而是从单位 b 或单位 c 开始的。因为有这个标准（布马模式）存在，我们就能对实例 5 提一些问题，否则就提不出问题，用这种方法可以开辟富有成效的新思路。所以，在模式和它的各个实例之间有一个经常的反馈。例子越多，提炼的资料越多，标准也就越好，因此我们必须解释的地方性变化也就越多。

相模式的第二个作用是为进一步观察确立一个提纲（图 4，B）。由于模式能概括重要的资料，所以地质人员就知道在新的条件下必须收集类似的资料。在我们举的例子中，它包括布马序列五个单位的个体特征。虽然，只要有可能，提纲可保证这种资料都能被记录下来，但它对那些忽视某些证据的粗心大意的人来说也可能不起什么作用，因为这些证据并不是模式能够清楚地揭示出来的。这就会得出不确切的解释，并会妨碍相模式的进一步改进，所以反馈箭头（图 4，B）就意味着凡是进一步的观察资料都应该一一加以提炼，以便更好地明确一般的模式。

相模式的第三个作用是在新的地质区内起预测的作用（图 4，C）。在实例 7 中（例如，安大略省西北部马尼特湖地区的太古代岩石），我们设想我们有足够的证据能对浊积岩进行解释。因为我们掌握浊积岩的模式，并且（在理想的环境下）了解它的意义，所以我们就能把模式和地区 7 的有限资料结合起来对地区 7 作出进一步预测。这显然是建立相模式的极其重要的方面。根据有限的资料对地表或地下情况作出很好的预测，可以节省不必要的勘查工作量和大量的资金。

相模式的第四个重要作用是在水动力学解释中起基础的作用（图 4，D）。它对于消除地方性的“噪音”以进行一般的水动力学解释也是重要的，此外，在水动力学标准和地方性实例之间也可能有一个反馈（图 4，D），指向实例 5 的反馈箭头就表明了这一点，它暗示着这样一个问题，即“实例 5 的解释是否不同于理想化的水动力学解释？”如果是不同的话，我们还能再问一些问题，而这些问题，如果不用相模式来把一般解释加以公式化，是提不出来的。相模式的这种用途以浊积岩模式表现得最为突出。关于浊积岩模式将在以后的文章中讨论。

浊积岩（海底扇）模式之所以首先被选作讨论对象，是因为它从道理上很好理解，而且因为它能很好地讨论图 4 所示的相模式的四种作用。本文集所要讨论的某些其它模式还认识得不太好，因为环境概括得较差，所以模式所起的作用也较差。我要强调的是，相模式的建立和它所起的作用对所有环境来说本质上是相似的，这里之所以用浊积岩作为例子来进行讨论，是为了使对相模式的总的评述比较具体一些。

（项仁杰译，王立文校）

二、粗粒冲积物

B. R. 拉斯特

前言

粗粒冲积物是地层记录中比较次要的组份，但因其构造方面的意义而具有相当大的重要性。这种粗粒冲积物是由于大陆边缘岩石圈上升或大陆板块内部发生断层而产生的急剧地势起伏的良好标志。在这方面，它们不同于冰川砾石（冰碛物，粗粒陆相沉积物的另一种主要类型），冰川砾石并不一定显示直接邻近的地势。冲积砾石、冰川砾石、海滩砾石和海底扇砾石之间的主要区别将在以后讨论。

正如R. G. 沃克（1976）所指出的那样，粗粒冲积物在加拿大是丰富的，现代和古代的这种地层都有很好的代表。粗粒冲积物也具有重要经济价值，著名的例子有南非（阿扎尼亚）维特瓦特斯兰德金和铀的砂矿（W. E. L. 明特，1978）以及加拿大布莱恩德河伊利奥特湖区的相似的含铀砾岩（P. J. 皮纳，1963）。D. S. 罗伯逊等（1978）指出铀的砂矿床只限于年龄在30亿年到22亿年之间的岩石里，因为当大气圈变得含有氧气时，这种矿床的形成作用便停止了。换言之，这种矿床所代表的也是一种受地球化学条件控制的碎屑相。

这里所使用的研究相模式的方法基本上就是R. G. 沃克（1976）提倡的那种方法。将采用A. D. 米阿尔（1977）提出的冲积物的代码，但是经过A. D. 米阿尔（1978）和B. R. 拉斯特（1978）修改过的。这些相（表1）是在冲积砾石层中发现的主要类型；这个表并不是包罗无遗的，然而它对于以相与相之间最普遍的关系为基础来建立模式总是一种有用的指南。

表1 冲积砾石层最基本的相

主要的相	Gm: 呈水平层状的受碎屑支撑的砾石，一般是鳞覆状（或译“叠瓦状”——编者注）的
	Gms: 受泥质基质支撑的砾石，缺少鳞覆状构造和内部层理
	Gt: 槽状的交错层状的、受碎屑支撑的砾石
次要的相	Gp: 板状的交错层状的砾石，是从受碎屑支撑的砾石通过受沙质基质支撑的砾石到沙（Sp相）的过渡
	Sh: 有水平层理的沙
	St: 有槽状的交错层理的沙
	Sp: 有板状的交错层理的沙
	Fm: 块状的细沙质泥或泥
	Fl: 有纹理或交错纹理的很细的沙、粉沙或泥
	P: 结核状碳酸盐（成土作用产生的）

术 语

“粗粒的”这个术语在这里是用来指含有 50 % 或更多的砾石（颗粒直径大于 2 mm）的序列。然而其他作者已把只含有 25 % 砾石级的物质的沉积物作为砾石包括在内了（F. J. 佩蒂庄, 1975）。另外一个重要的区别就是受碎屑支撑的与一个受基质支撑的砾石或砾岩之间的区别。碎屑支撑表明水的有力搬运, 把砾石沉积在底床上, 而沙则仍在悬浮中被搬运; 当水流速度减小时, 沙就渗到了较大颗粒之间的空隙里, 基质支撑的砾石有两种类型: (1) 基质是有层理的沙, (2) 基质无层理的通常由泥质沙构成 [A. D. 米阿尔 (1978) Gms 相的, B. R. 拉斯特 (1978)]。前一种情况也表明是水的搬运, 不过搬运能力水平较低, 沙和颗粒较细的砾石都一起沉积了。基质支撑的第二种类型表明是从泥石流整体流 (mass flow) 产生的沉积作用, 这在冲积的情况下就是泥石流 (描述见后)。

对沉积砾石及其固结的对应物这里将根据两种最主要的环境进行讨论: 冲积扇和河流, 后者包括冲积平原 (R. G. 沃克, 1976)。冲积扇是地貌特征: 是在河流从狭窄的山谷流出注入到干流或宽阔的冲积平原上的地方形成局部的堆积 (A. 霍姆斯和 D. L. 霍姆斯, 1978)。比较起来, 河流和冲积平原比其支流冲积扇坡度低, 并且范围大得多; 河流在长度上大得多, 而冲积平原则在面积上大得多。大多数以砾石为主的河流和冲积平原具有辫状河道的型式, 但是有几条河蜿蜒曲折地流。支流冲积扇和辫状干流之间的地貌区别清楚地表示在图 1 和图 2 中。然而, 正如后面所要讨论的, 识别古代记录中的冲积扇和河流沉积物就取决于对沉积过程和由此产生的岩相类型的鉴定, 因为地貌上的区别很少是明显的。

有些学者把冲积扇这一术语的含义扩大到把在这里应当认为是河流或冲积平原的也包括在内了。例如, J. C. 布思罗伊德和 D. 纽梅达尔 (1978) 把阿拉斯加和冰岛的海岸外冲积平原称作湿冲积扇。这种沉积物是被从冰川末端流出的融化水搬运的, 这种物质来源随时间变化而不断迁移, 不同于冲积扇顶部受基岩控制的谷口。一般说来, 这种地形在地貌上不同于冲积扇, 并且其内部的沉积相是属于辫状河流和冲积平原的那一些 (描述见后)。对古代冲积物也作了相当粗略的解释。例如, G. H. J. 鲁格 (1977) 把同现代冰岛外冲积平原沉积物极为相似的荷兰的更新世沉积物命名为“典型的”冲积扇沉积物。

“冲积扇三角洲”这个名词被用于部分地是在湖、海静水中沉积的冲积扇 (A. 霍姆斯和 D. L. 霍姆斯, 1978)。然而, 除了受波浪小规模改造作用不算以外, 并没有什么证据证明这种方

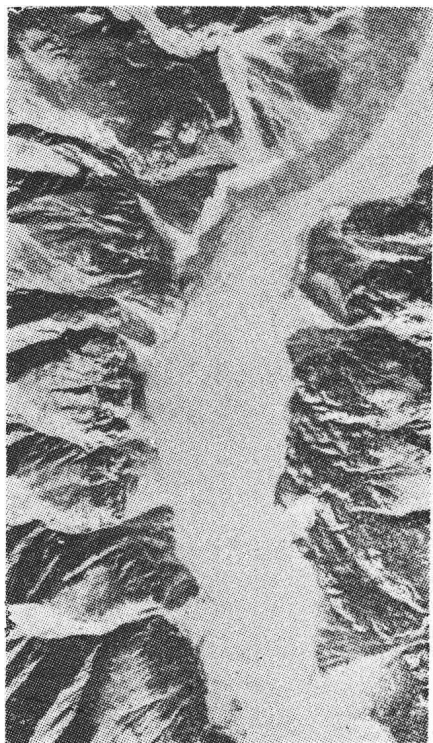


图 1 育空 (61°55' N, 138°38' W) 斯利姆斯河的上段的垂直航空照片 (A 15517—19), 表明支流冲积扇与干流之间的明显对比。注意下左扇的嵌入地形 (参阅 W. B. 布尔, 1977, 图 20b)。原照片由加拿大能源矿产和资源部测量和制图处提供。北至相片顶部视域宽度约 7.5 公里

式形成的粗粒冲积扇与完全是陆上成因的大不相同（图3）。三角洲的这种含义是令人误解的，因为这些冲积扇是由各种陆生作用所控制的，而且并不显示陆上和水下的两种作用和两种沉积物之间在海平面上有明显分界，而这种分界却是三角洲的极大特征。因此，看来，

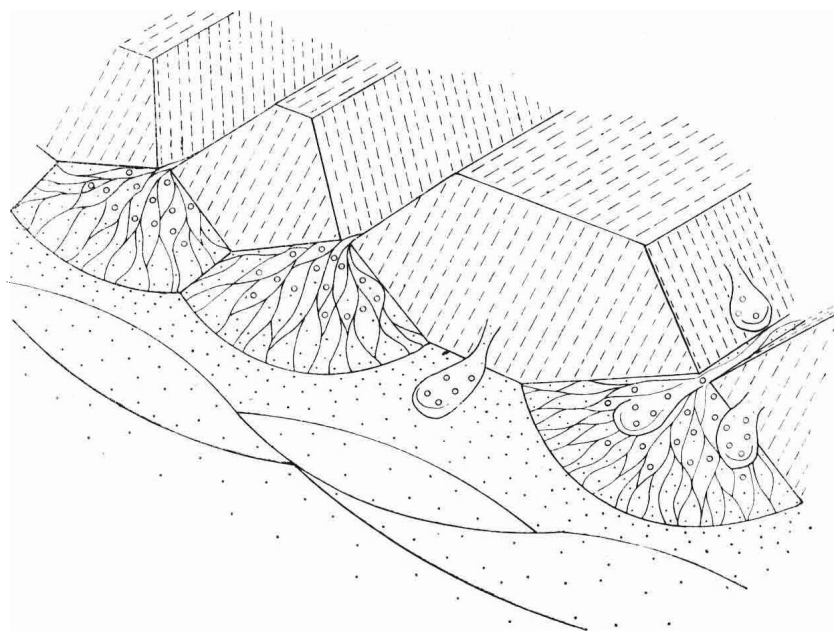


图2 冲积扇从山前进入干流河谷的立体图解。舌条状地形是泥石流

与其把这些地形称为冲积扇三角洲，倒不如把它们称为海岸冲积扇似乎更为可取，因为在古代记录中，只有在冲积物同含有海相化石的层呈互层的地方，才能识别这些地形（B. 戴利等，在印刷中）。

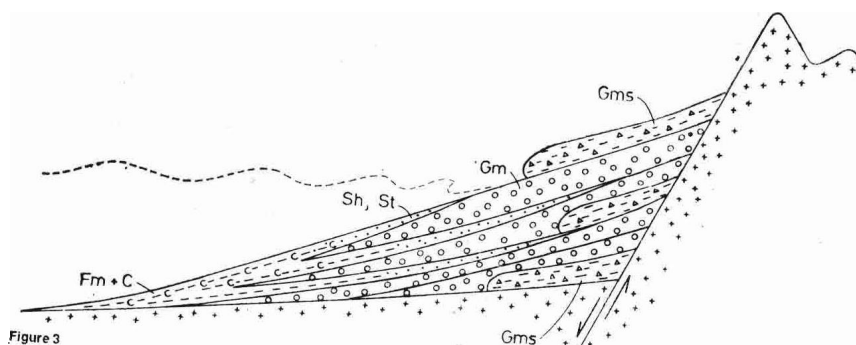


图3 冲积扇横剖面示意图。图上相的符号在正文内有解释。对于陆上的情况应略去波状虚线，但是在沿岸冲积扇的情况下，虚线表示海面或湖面。沿岸冲积扇内部相的分布与陆上冲积扇情况基本相同

冲 积 扇

现代实例 对现代冲积扇的经典描述大都是根据美国西南部多山的半干旱区 (W. B. 布尔, 1963, 1964, 1972, 1977; R. L. B. 胡克, 1967)。这种类型的冲积扇在加拿大并不普遍, 但是冰缘冲积扇 (与山谷冰川后退相伴生的那些) 却相当多 (J. M. 雷德, 1971; M. 丘奇和 J. M. 雷德 1972)。在每一种情况中, 冲积扇都在地势高的地区附近形成, 这种地区被迅速剥蚀, 提供了构成冲积扇的沉积物。在半干旱环境中, 这种地形通常就是断层山的前缘, 并且由于植被稀疏和偶有暴雨, 促使剥蚀作用加剧。冰缘冲积扇在支流悬谷进入到经过冰川作用的主谷的地方形成 (图 4), 在此情况下, 剥蚀作用由于受季节性的温度变化和春季的强大迳流而加强了。

冲积扇的特有形态主要起因于当比较深的山间河流变为冲积扇上河道宽而浅的辫状水系时所增加的摩擦阻力 (图 2)。W. B. 布尔 (1977), 指出, 从峡谷到冲积扇, 在坡度上通常并没有变化。不过在支流冲积扇和相关的干流之间却有明显的坡度差别。例如, 斯普林溪冲积扇是育空地区的顿杰克河的支流 (图 4), 坡度为 0.019, 而在同一地点的干流其坡度却为 0.006。斯普林溪冲积扇是顿杰克河的第二个最大的支流冲积扇; 更小的冲积扇, 坡度也相应地更陡 (B. R. 拉斯特, 1972)。

由于地形背景和水力特性, 冲积扇以在扇顶区段内有粗粒砾石而向扇底方向则粒度迅速减小为典型 (图 3 和 A. P. 海瓦德, 1978, 图 1)。大多数冲积扇都是以水卸的 (water-laid) 沉积物为主, W. B. 布尔 (1972) 将其分为大片洪水沉积物, 河道沉积物和筛

滤沉积物等三种类型。前两种类型在古代层序中很难加以区分, 因为河道的范围一般都超过露头的范围, 而筛滤沉积物则极为稀少 (W. B. 布尔, 1972)。这种沉积物在很少从来源区接收到沙或泥的冲积扇面上形成象舌条一样的水卸沉积物。横向脊是冲积扇河道中另一个次要而有意义的特征, 可用于估计古深度、速度和弗劳德 (Froude) 值 (E. H. 科斯特, 1978)。然而, 这种特征也只是最近才被 V. A. 高斯廷和作者在地层记录中认识到 (E. H. 科斯特, 1978)。

就一种相模式来说, 因此看来除了按客观标准规定的相以外, 最好避免水卸沉积物的更细的分类。在冲积扇的顶部区段内, 主要的相是呈水平层状的、受碎屑支撑的粗大砾石, 这种砾石一般呈鳞覆状 (A. D. 米阿尔的 Gm 相, 1978)。鳞覆状构造通常所取的形状是碎屑的 ab 面向上游倾斜, 而 a 同流向横交 (B. R. 拉斯特, 1972)。向冲积扇的边缘方向, 板状交错层系有所增多, 从受碎屑支撑的细小砾石, 通过受沙质基质支撑的砾石过渡到

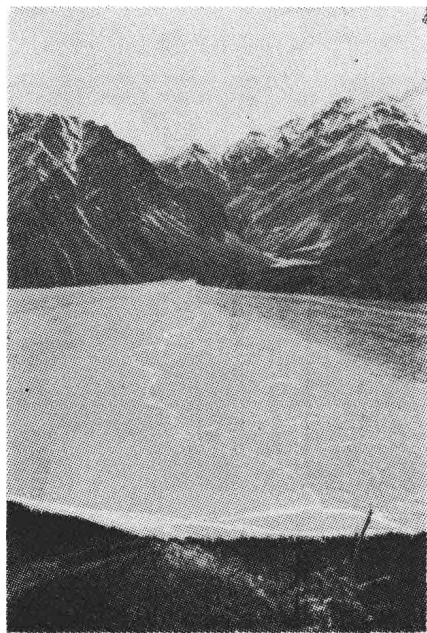


图 4 育空顿杰克河的一个支流 (参阅 E. H. 科斯特, 1978, 图 1) 斯普林溪的冲积扇

等(从G_p相到S_p相)。这种变化反映出当河流搬运能力向冲积扇下游减小时,粒径与水深的比值也逐渐减小。水平纹层的沙(Sh相)和纹层状到块状的泥(F1相,Fm相)之类次要沉积物也向冲积扇下游方向增多。完全由沙和更细粒的沉积物形成的冲积扇是很稀少的,因为这种冲积扇需要有个由固结不好的沙或更细粒的物质构成的地势高的来源区,而这种地形在景观上是短暂的现象(R. F. 莱盖特等,1966)。

泥石流(或泥流)沉积物既是半干旱环境又是冰缘环境中大多数冲积扇序列的另一个主要组份(图2,图3)。按照W. B. 布尔(1977)的看法,促成泥石流的有利条件是坡陡、植被稀少、短期大量供水以及向碎屑提供泥质基质的来源区等。A. M. 约翰逊(1970)讨论过泥石流,还提供了目睹者的详细说明,正如R. P. 夏普和L. H. 诺布尔斯(1953),R. C. 柯里(1966)和R. J. 华逊(正付印中)等讨论了的那样。G. V. 米德尔顿和M. A. 汉普顿(1976)指出,泥石流是沉积物重力流连续范围内的一个组成部分。在某些环境



图5 在新普林溪和顿杰克冰川之间的顿杰克谷的西侧泥石流舌条的天然堤边。地质背包(地中间)和人体(右上角)可作为比例尺

的侵蚀作用,而不是大规模整体运动,但是降雨量的短期变动却毫无疑问能够在潮湿区产生泥石流(R. C. 柯里,1966; C. G. 温德,1965)。R. J. 华逊所描写的泥石流(在付印中)就发生在一条常年河注入的冲积扇上。

S. A. 舒姆所采用的那个湿冲积扇的例子是印度的科西河,但是相的类型并没有用资料证明。等高线表明科西河缺少冲积扇的形态(S. A. 舒姆,1977),并且这个地形单元的大小也显示是冲积平原的一部分,而不是冲积扇。由此可以得出结论,除了少数例外,泥石流沉积物是冲积扇的特征,而且可以用来(与其它标准一起)识别古代冲积扇沉积物,因为扇状的地貌形态很少是显而易见的。

中(特别是水下的环境)要将泥石流从其它类型的泥石整体流沉积区别出来是困难的,但在冲积扇上,它们与水卸沉积物通常截然不同。泥石流在末端上一般呈舌条状,并且往往把较大的颗粒集中在泥石流的顶部和外部边缘处(图5)。

S. A. 舒姆(1977)识别出冲积扇的两种类型“……干扇或泥流扇,由季节性河流形成;湿扇,由常年性河流形成”,言外之意是“湿”扇不形成泥石流。果然不错,连续降雨有利于平稳



图6 雨水冲刷的泥石流(图5)顶面,表示多变的,但主要是近于直立的巨大碎屑组构。野外记录簿长19厘米