

古 水 文

G. 佩蒂斯

I. 福斯特

通过古水文参数对重建古环境尽管有一定局限性,但对恢复古环境仍提供了重要证据。的确,在大陆上的许多地区,第四纪河流沉积物是唯一易于研究古环境的记录。

古流量估计 古河床形态和古洪水堆积物的研究提供了确定古流量的方法。有三种有效途径,第一种是据现代河流建立河床形态和流量(通常是满槽流量)之间的经验关系,这种关系可用来确定于古河道形态相应的水文条件。如杜里(1976)利用下列关系式确定不对称河流河谷发育时的流量(Q_b)

$$Q_b = (W/279)^{1.8 \text{ bar}} = (L/32.857)^{1.8 \text{ bar}}$$

式中 W = 河床宽度, L = 河曲波长。

上述方程表明,奥萨哥型不对称的塞夫勒河古河曲的平滩流量是现代河流的1—5倍(杜里,1983)。不过,所有经验方法仅适用于一定的河型,没有考虑河型变化或输沙量的影响,并假定平滩流量的频率为常数。在杜里的工作中,假定平滩流量有1.58年的频率。同时,不同的地形组成可能与不同频率的水流有关:例如曲流河谷(基岩)中的有效流量可能有20—50年的重现期。

第二种方法是地貌——水力学方法,在谢才——满宁均匀水流公式基础上,利用稳定流的理论——物理原理,并结合野外测定古河床横断面形态,坡降和糙率来估算古水文。罗特尼斯基(1983)按照这一方法估算了温带低地沙砾质裁直河床的流量:

$$Q_b = (0.9208/n) AR^{0.167} RS + 2.3616$$

式中 n = 河床糙率, A = 河床容量, R = 水力半径, S = 河床比降。

根据波兰普罗斯纳河的资料估算表明:在早全新世期间,平滩流量从11779米³/秒减

少到1736米³/秒,河床收缩。此后,在过去的4000年间,流量略有增加,达20.6米³/秒。

在某些河流交汇处,一次洪水可形成沉积夹层(图1 2、3层)。每一层各有由早期支流沉积形成的粗粒基底层,上覆后期干流堆积的细粒沙和粉沙。高平地憩流堆积提供了估计古洪水的证据,据此估算的古洪水流量往往很大。憩流沉积通常具水平层理,无构造,并通常被水退时堆积的粉沙和细粒有机质薄层所覆盖。假定憩流堆积的顶面相当于洪水的水位;在行洪期间没有重大的加积和冲刷;而且从行洪以来,变化不大,那么,利用坡度——面积方法可计算古洪水流量。

第三种方法是通过测定粗粒洪水堆积物,应用泥沙粒径和水流参数之间的水力学关系来估算瞬时(或短期稳定)流速和流量。不过,应用明渠水流方程要做三个主要的假设:第一,稳定均匀流(即,在研究河段内,垂向上的流速不随时间和向下游的距离而变化);第二,所有泥沙均为有效搬运,所以,出现的最大粒径反映了河流动能,而不是在泥沙来源区缺乏任何较大的颗粒(忽略植物覆盖保护作用,叠瓦作用和颗粒随机起动的冲填作用);第三,水流阻力受颗粒阻力的支配,形态阻力可忽略。最后一条假定是古水力学分析的基本错误来源,因为,在估计河床糙率时可能产生很大误差。

梅泽尔斯(1983)在典型颗粒粒径(D)、河宽(W)和比降(S)的基础上建立了几个确定临界流量的方程,如下:

$$Q_c = W (25.64 c^{1.667} D^{1.5} / S^{1.167})$$

• 本文是摘译,图幅编号有所变动,译者

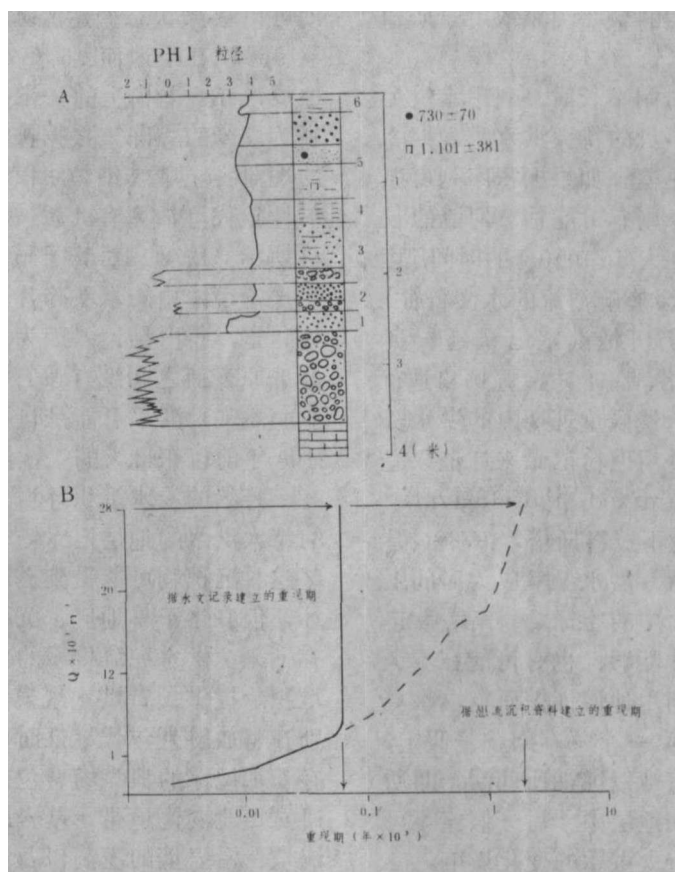


图1 憩流沉积形成的古洪水证据

(A) 得克萨斯州佩科斯河台维斯谷地憩流沉积序列;

(B) 在水文记录和憩流沉积物基础上建立的台维斯谷地洪水频率 (据科克尔和佩顿, 1982)

式中古水流流速系数 $C = \psi (r^6 - r) / r$, $r^6 =$ 泥沙容重 (2650 公斤/米³), $r =$ 水的容重 (1000 公斤/米³), $\psi =$ 希尔兹的推移质输入函数 (对雷诺数较大的粗粒河床为 0.056)

梅泽尔斯 (1983), 估算北埃斯克古冰水沉积平原上河流的峰值流量为 1040—3120 米/秒, 而有记载的峰值流量仅为 262 米/秒, 但可与现代冰水平原河流的夏季最大流量进行对比。然而, 利用 5 种不同的方法对格陵兰西部废弃的冰水阶地上的 69 条古河道系列估算的流量竟相差 100%。这可能是采用了辨状河流是瞬时作用的偏见。而且, 丘奇 (1978) 谨慎地指出: 利用希尔兹的输入函数可适当

地重建流量级别。梅泽尔斯强调, 重要的是要把古水流的估算和置信区间结合起来, 才能得出一定堆积物的可能界限值。

应用全新世地层分析洪水频率

洪水频率分析通常包括评价重现期长于记录期的特大洪水事件的河川径流。现代水文评价方法是利用理论上的频率分布, 借助历史资料 (如文件记载) 的补充来测定水位流量记录并利用降雨——径流模式, 根据降雨量资料估算洪水。然而, 水文学家对分析洪水频率的最佳理论频率分布还没有一致的看法, 因为短期水流取样不可能是无限洪水的随机取样。一次特大洪水 (有时称为一次偏离) 代表一次与其它资料总趋势的偏离,

并且,建立不同尺度的频率关系取决于所利用的频率分布(见肖,1983)。

当积累资料的时间不长时,利用水位站和历史资料来估算罕见的特大洪水重现期的常规方法其可靠性更差。如果沉积序列可提供洪水的长期记录,则有可能估算河流的长期洪水频率。尽管在大于10000年的时间尺度中,气候的显著波动会影响河流的水文特征,但利用洪水沉积物仍可把洪水记录延长到10000年以上(科斯塔,1978)。佩顿和迪布尔(1982)通过分析气候重现期内的洪水资料来重建古环境,并用孢粉记录来订证以避免混合的水文群体(mixed hydrological populations)问题。不过科斯塔(1978)提出对于评价洪水险情,洪水频率应为时间上的指标,而不是过程中的指标。科斯塔假定,地史上已发生的事件能够、也有可能在今后的将来再次发生。利用地层证据研究洪水频率,无论其目的如何,一个基本问题是假定,记录是连续的,没有被侵蚀期所间断,即所有的事件都被记录在地层中。后一假定不可能属实,至少因为特大洪水的变化影响。

沉积资料仅提供了相对的时间尺度;但利用断代技术可提供洪水频率的绝对年代,已经证明,对研究全新世地层有两种断代技术是特别有用的,即洪积平原上被洪水破坏的树木的年轮分析以及洪水堆积物中的有机质和洪水(堆积物中)侵蚀地形的放射性碳(^{14}C)断代。利用树木横断面和钻孔中反映的年轮生长树轮分析来研究冰后期距今7500年的地形发展和气候变化(弗茨,1976)。只要树木是被洪水所破坏的,那么,从最近被洪水破坏的成年树木的年代可得出从相似规模的事件发生以来的最少时间。如果没有被洪水破坏的树木,则可对洪水期间由粗粒沉积物形成的陡壁进行断代,确定自从洪水发生以来的时间,而且对陡壁的评价可用来估价流量,对间接地发展洪水频率曲线具有一定意义。

在洪积平原的局部地方,洪水的大型扰

动可以悬浮状态搬运漂砾。斯科特和格雷里(1968)在距地面1.5米处的树干上发现了擦痕,在一颗树上的一米高处,切入一块直径为1米的漂砾。根据被洪水堆积物所覆盖的埋藏古土壤或细粒冲积物中的有机质的放射性年代可估算有机质被埋藏以来的时间。科斯特(1978)对美国马里兰州西伦冲积物粘土透镜体中的木头碎片和坚果做了 ^{14}C 年代测定,得出结论:因为在粘土透镜体和泛滥平原表面之间没有砾石堆积,所以阿根斯(Agnes)洪水可能是自从距今 ^{14}C 年代为2100年前以来最大的一次洪水事件。

连续的浅水沉积环境是最可靠,最有效的特大洪水的地层记录场合。虽然在湿润地区这种沉积物可能受到迅速的生物扰动的破坏,但在半干旱地区,沉积层理完整地保存下来。洪水憩流堆积的细粒(沙和粉沙)堆积物提供了古洪水规模和频率的证据,特别在有放射性年代订证时更为有效。能够保存长期记录的典型场合包括某些支流汇合处,河宽迅速变化地带,基岩山嘴和岩屑堆的背流坡、沿岩墙的浅洞以及沿河东边缘的低阶地。实然的地层破坏、埋藏古土壤、残留的泥裂和崩积层可确定一次洪水事件。据此,科克尔(1982)等人研究了得克萨斯地区佩科斯河的憩流沉积地层后认为,1954年流量为24400 m^3/s 的一次大洪水(54年记录中最大的一次),具有2000年的重现期(图1b)。在佩科斯河的阿朗莎·谢尔特段有一地点,因考古、孢粉和古生物资料提供了有关气候波动、文化形式以及 ^{14}C 断代的标本,特别有利于估算古洪水在10000年前,基岩山洞缓慢地被憩流泥沙和史前人类居住达高峰时期的文化层所冲填;截止1954年洪水时,堆积堆的沙层厚度在1米以上(佩顿和迪布尔,1982)。地层记录反映了与直到1954年洪水水位序列相似的重现期。洪水位可能高于每一次憩流堆积物的顶面,但对等于或高于一定水位的洪水概率可做出估算。

古环境重建 详细测定沉积物和地形是

重建河流环境的基础,并用断代技术以及估算古流量和洪水频率的方法加以订证。舒姆

(1977)强调了沉积序列中沉积砂矿的意义,因为河谷冲填物的垂向断面中的重矿物分布反映了流域的侵蚀历史。如果沉积作用迅速且连续,则重矿物将散布在整个冲积物中。当细粒粉沙、粘土被搬运时,形成砂矿需要一定的沉积、再作用和重矿物的富集过程。不过,更新世和全新世河流沉积序列更常借助于现代河流的岩相模式的研究来解释。例如,布赖特(1983),利用岩相序列和化石的订证把英国南部更新世堆积物确定为冰缘辫状河流沉积。认识区域的和当地的背景可进一步改进对古环境的解释。据此,布里格斯和吉尔伯森(1980)得出结论,泰晤士河河流阶地(UK)是在寒冷期间,由辫状河流堆积而成的,因为阶地归并于冰缘坡地堆积物,并含有表示寒冷气候的动物遗迹。

然而,侵蚀作用往往破坏了环境证据,使沉积记录很不完整,而且水文变化可能受来沙量变化的影响,这使重建古环境复杂化。无疑,壮观的河流变形常发生在宽阔的冲积平原上:澳大利亚新南威尔士的弗里赖纳平原(舒姆,1968)、美国的格尔夫海岸平原(贝克和彭特多·奥伦,1977)以及北欧平原(斯塔克尔,1982)。

河床形态和沉积变化反映了流域径流和

产沙量的变化,由此可研究河流变形的古气候意义。舒姆(1968)首先利用这一方法研究了澳大利亚弗里赖纳平原的三种河床(表1)。现代弯曲的默伦比季河被局限于不规则的泛滥平原上,平原上保存着巨大的牛轭湖(古河道1),泛滥平原以冲积平原为界,平原上有更早的曲率较小的河道遗迹(古河道2)。两期古河道形成很早,河床宽浅,冲填着粗沙。这些特征表明,古河道是在比今更干旱的条件下形成的。随着山坡上植被覆盖度的减少,在罕见的洪水过程中,使大量泥沙进入河道。晚更新世形成的古河道2后来被悬移质泥沙河床所代替,河道加深,变弯,河床形态反映了更加湿润的气候环境,流域植被很好,虽然年洪水量增加,但输沙量受到限制。估算的平滩流量是现代河流的5倍。

利用斯塔克尔(1983)所总结的方法重建过去15000年中温带森林地区的河床变化序列(图2)。曲流周期中参插着河流作用不断加强的辫状河道阶段,周期约2000年。这些循环是有关 Q_w 和 Q_s 在两控制变量减小的一般趋势附近的循环。然而对中欧河谷,这种图式可概括为三个阶段:第一阶段,在晚冰期中,随着冰退,河流从辫状(Ab)趋于弯曲状;第二阶段,在森林覆盖的流域,频率很高的洪水阶段和水文变率更稳定阶段

表1 澳大利亚弗里赖纳平原的古地貌(据舒姆1965)

	默伦比季河	古河道1	古河道2
宽(米)	183	140	67
深(米)	2.7	10.7	6.1
宽深比	67	35	10
比降(米/公里)	0.38	0.15	0.13
曲率	1.1	1.7	2.0
河曲波长(公里)	5.19	2.13	0.85
河床粉沙粘土含量(%)	1.6	16	25
推移质(%)	34	3.4	2.2
平滩流量(米 ³ /秒)	651	14.43	311

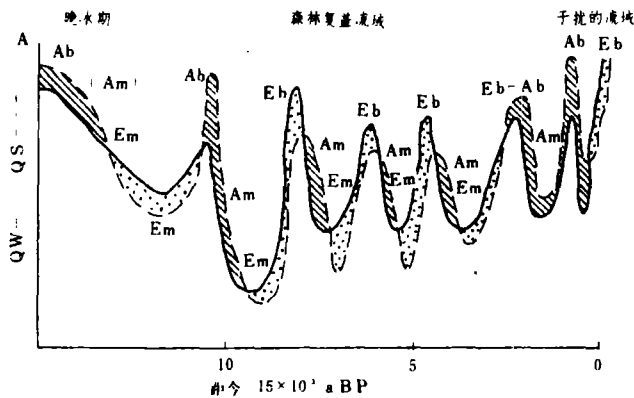


图2 中欧河谷地貌变化序列 (据斯塔克尔, 1983)

交替出现, 使河床形态发生了一系列变化, 从辫状瞬时下切河道 (Eb) 到加积性曲流系统 (Am), 然后到曲流底切作用阶段; 第三阶段后罗马时期或中世纪, 森林遭受破坏, 改变了土地利用条件, 使河流悬移质泥

沙超载, 并引起循环变化 (Ab→Am→Ab), 由此而形成了泛滥平原。在最近几个世纪, 由于农田水系和耕作制度上的变化, 随着径流的增加, Ab阶段已由Eb阶段所代替。

在半干旱地区, 由于植被度的变化和河

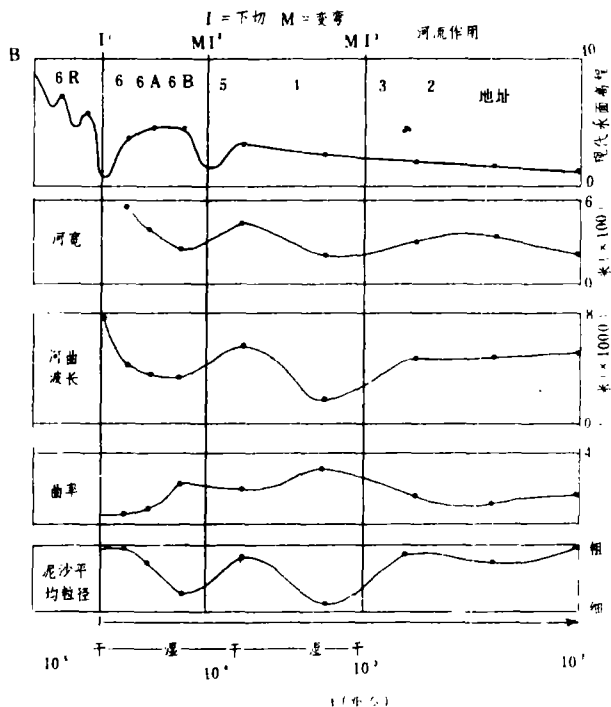


图3 得克萨斯地区科罗拉多河的古地貌

撒哈拉是怎样变成大沙漠的

Г. 豪福林柯

要是有人确信他在世界上最大的沙漠撒哈拉看到巨大的热带鱼和海生动物珊瑚礁的话，那会被讥笑为狂热的幻想家。

但是，在那儿事实确是这样的。在撒哈拉西北部，这片受炎热的太阳照射的遍地沙石的荒漠中，有耸出地面高达百米的珊瑚礁。当然，它不是活的东西，而是变得和石头一样的、史前的东西。它的建筑师，是生活在3—4亿年以前，即泥盆纪，温热海浪下那些无数分离出石灰的极微小的珊瑚水螅体。

扩展到礁石周围的多岩的沙漠表面，也就是已经变成岩石的、古海洋的某个时期的淤泥沙的海底。这儿布满了成千上万的、曾经栖栖在礁石周围的海生动物化石。撒哈拉三分之一以上的巨大表面是由变成岩石的各个地质时期的海相地层构成的。今天的大沙漠的一些地方，在百万年的历史中曾大面积的八次被海水吞没，然后又分出。能石化的生物体部分——骨骼、甲壳、腔肠——沉积到了洋底。由于风暴活动和河水的流动而从古代大陆带到海洋中的沙子、砾石和这些生物体的残迹，在撒哈拉的泛滥时期（这个时期不少于五千万——六千万年），

流改道，即是在年平均温度和降雨量变化很少的条件下，产沙量和产流量将发生巨大波动变化。贝克和彭特多·奥伦（1977）对比了河型组合、阶地和沉积资料，证实了更新世半湿润地区的地貌成因变化。然而，已确定了泛滥平原发育的10个不同阶段，反映了河流变率的复杂变化（图3）。晚更新世深切之后，河道以古曲流陡壁和基岩深槽与浅滩为特征，加积作用引起了地貌上的变化。河流加积（第6段）首先在曲率不大的辫状河道中堆积砂砾石，这表明在干旱气候环境下，来自裸露山坡的泥沙量很多。从6A到6B，河床曲率增加，泥沙变细，形成单一线状曲流，也许是在湿度不断增加的环境下，虽然造床流量的频率较高，但水量不大。深切之后，是在曲率不大的河床中输移粗泥沙的第二阶段（5），此后为一高度弯曲、河曲波长不大的狭窄河道，在造床流量减小的条件下，河流输送着细粒泥沙（粘土、粉沙和

细沙）（4）。不过，这是一湿润阶段，植被覆盖增加，减少了推移质输沙量，而高洪水的影响也大为减弱。在第三阶段期间，开始仍为一下切时期，然后再次加积。在第二和第一阶段期间，仍参插着一小规模的下切时段，河曲波长仍基本不变，但河床宽度减小这表明流量变小，结果形成了奥萨哥型的不对称河谷。

这种河床变形序列的特点是从粗泥沙构成的辫状河流到细粒泥沙构成的曲流的反复变形。每一周期以下切开始，形成宽而弯曲的河槽。每一次循环都遵循着一定的环境变化，即从在干旱气候条件下，来自植被稀少的高地的低频特大洪水环境到更湿润、降水更均匀以及植被繁茂条件下，规模不太大的高频洪水环境。在过去的8000年中，总的趋势是趋向于干旱，但其中加杂着一些较湿润的阶段。

曹银真摘译自《Rivers and Landscapes》，1985