

地球上的侵蚀和悬移质径流

А. П. 吉德柯夫 В. И. 莫也丁

前言 据马卡维也夫和其他研究者的意见, 固态径流分析法是评价侵蚀强度的众多方法之中最客观的方法之一。但是应该着重指出: 河流中的固体径流量不是流域中侵蚀的全部物质, 侵蚀的物质中有相当大的一部分堆积在流域内。在流域上堆积多少, 各个流域是不一样的, 它取决于地质地貌、景观气候条件, 现在还不能正确地定出, 但是河流的固态流与流域的侵蚀强度和整个机械剥蚀是直线相关。因此, 固态径流的资料可以用来评价不同地区侵蚀和剥蚀作用的强度。

目前的工作试图以陆地上3671个点的悬移质径流资料为基础来分析侵蚀的发展过程。这样可以断定: 以前发表的文章是建立在资料相当少的基础上的。

原始资料的整理方法 悬移质径流指标系采用它的多年平均模数(吨/平方公里·年), 其值来自全大陆(除南极外)大量的已发表了的资料。任何一个流域总的模数值用平均算术值, 精确度达95%。平均模数的计算分为小流域(面积小于5000平方公里)和大流域(面积大于5000平方公里)、5000平方公里首先可似作为地带性和非地带性河流之间的界线。

对于每个流域要确定其景观属性和人类改变景观的程度(按三级分类), 以及岩石成分(三类主要岩石的更细的划分)、地形特征(低地, 高地等等)。假如不小于流域面积75%的范围属于同一指标的范围, 那么该流域被认为相同的流域(景观带、岩石组、地形类型)。

平原侵蚀和景观带 大河(地带性)悬移质径流的分析, 可以根据侵蚀强度, 把所有景观带分出五个组: 1. 很弱的侵蚀带 (< 10吨/平方公里·年)——针叶、混交林带、温带半荒漠, 2. 弱侵蚀带 (10—15吨/平方公里·年)——冻土, 温带森林草原和草原, 赤道森林, 3. 中度侵蚀带 (50—100吨/平方公里·年)——阔叶林带亚热带森林和草原、热带稀树草原, 4. 强烈侵蚀带 (100—250吨/平方公里·年)——地中海, 5. 很强的侵蚀带 (> 250吨/平方公里·年)——热带森林。

相似的分类还可以根据小河的固体径流进行分类, 很明显最突出的是热带和亚热带侵蚀固体径流最大。在亚南极, 温带、赤道形成比较低度的侵蚀和固体径流带(图1), 在温带明显反映出阔叶林带最大, 半荒漠带最小。

多泥石流的年代虽有一定差异, 但这仅占一小部分, 夏天局地暴雨至少对各流域形成大量小型泥石流是有一定作用的。泥石流发生期间的树轮形态分析表明, 泥石流造成的树木毁坏和生长异常都发生在树木的生长季节。

生长在惠特尼河和波伦河、马德河、阿什河和潘瑟河河床及其附近的木本植物以及堆积特征为夏斯塔山区提供了古代泥石流的证据和年代。树轮断代结果和历史记载结果(如1924、1935及1977年)的一致性证实了树木年轮断代是基本可靠的。如能与地貌证据相结合, 则植物证据就可为估计周期在几百年以上的泥石流的规模和频率提供一个较好的方法。

刘希林摘译自《Environ. Geol. Water Sci.》, Vol. 6, No. 2, 1984, 张丹、曹银针校

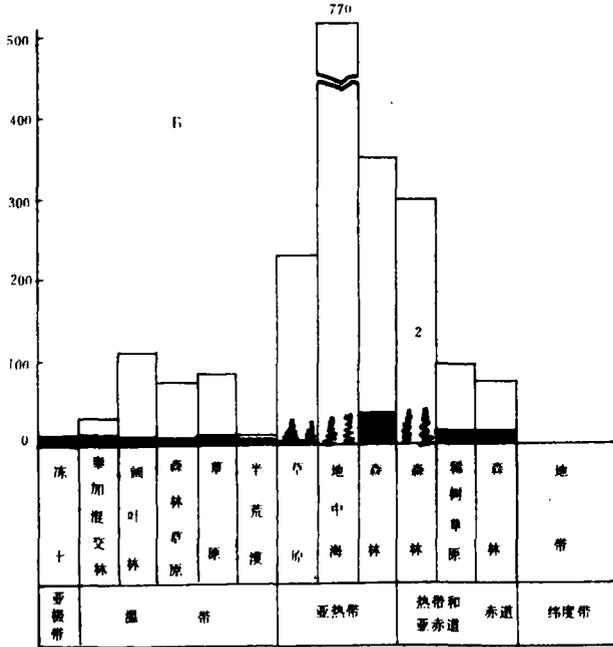
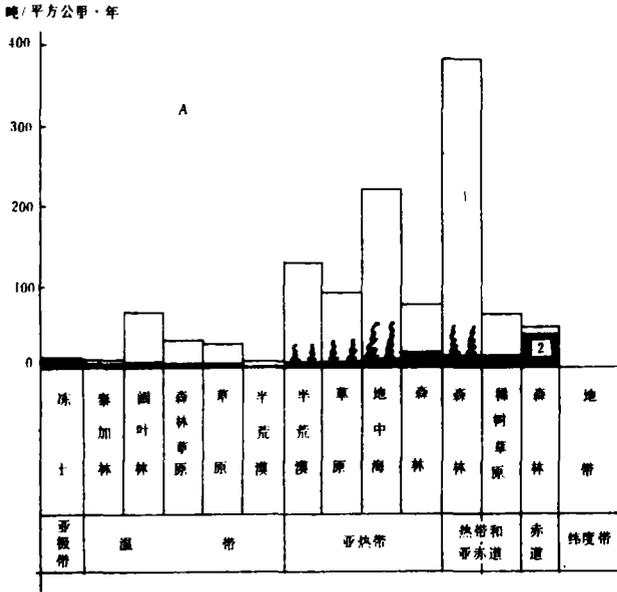


图1 地球平原上的不同景观带的现代(1)和垦前期(2)的悬移质模数 A—大河 B—小河流

流越大，在森林迹地和垦荒地侵蚀就强，泥沙就越多。经济开发程度越高，固态径流随径流变化反映就越强。小流域侵蚀和固体径流在很大程度上是受非地带性因素影响，固态径流随径流的变化关系则易高。分析 I 类经济开发程度的流域悬移质径流证明，在农垦时期以前

统计分析表明，侵蚀强度和固体径流有地带性分布，主要因素是经济活动程度和径流（图 2）。大河悬移质径流模数和人类的开垦指数平均地带性相关系数为 0.63，悬移质径流模数和径流模数为 0.61，在小河上地带性因素影响减小，非地带性（地形、地质）因素增长。

人为因素影响地带性特征表现在：由于各自然条件固有的特性，不同的地理带人类开垦的程度是不一样的。例如在冻土区和赤道森林区几乎所有的流域属于 1 类（也就是开垦指数很弱），那么在草原带和地中海的流域就不是这样，在经济活动比较低的环境地带（开垦指数 $A < 2$ ），大河悬移质径流平均模数不超过 50 吨/平方公里·年，在开垦指数高的环境地带（ $A > 2$ ）大多数带平均模数要大大地超过这个数量（图 2）。

在经济活动达到很高的地方，悬移质径流比在大河上自然景观带大 8 倍，比小河上大 13 倍。目前的实际情况悬移质径流增加 3.5—8 倍，这也就是差不多相当最小的可能量（表 1）。

通过相同开垦程度的大河流的分析，径流对侵蚀强度和固态径流的影响特别明显（图 3），如图所示，径

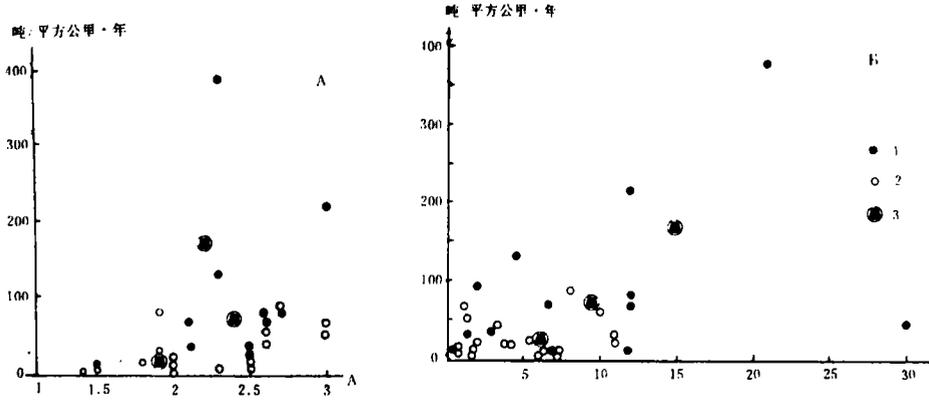


图2 A.地球平原开垦程度与悬移质模数的关系; B.地球平原上径流模数与悬移质模数的关系
1—景观带的平均量; 2—区域的平均量; 3—气候带的平均量

表1 地球上平原流域里悬移质径流与经济活动程度

人类开垦程度	小 河		大 河	
	N	r	N	r
I	228	10 ± 4.5	231	16 ± 8.0
II	327	36 ± 4.8	275	33 ± 6.1
III	572	130 ± 19	221	130 ± 44
合计	1127	79 ± 10	727	56 ± 14
y_m / y_l	—	13	—	8.1
y / y_l	—	7.9	—	3.5

注: 在表1和2里没有考虑到黄土沉积发育、固体径流量异常高的14个流域。 N = 流域数量

中纬度的平原上悬移质径流模数不超过10吨/平方公里·年, 亚热带20—25吨/平方公里·年, 热带40—50吨/平方公里·年。自然侵蚀强度和泥沙径流多少首先取决径流的总量和强度。

侵蚀的地带性同样取决于风化物的土壤特性, 在热带强烈侵蚀不仅有丰富的大气降雨的促使, 还有厚的风化壳发育。在每个景观带的范围内分出具有不同侵蚀强度的大类, 这些大类的差异取决于各个因素的影响(人类改造景观的程度, 气候和径流、地形、地质结构)。

山区侵蚀和景观带 山区河流泥沙径流模数的变化同样反映出地带性特点(图4)。根据悬移质径流模数的大小, 可以分出四个带: 1. 中等侵蚀(50—100吨/平方公里·年——中纬度的草原和泰加林, 混交林, 2. 强侵蚀(100—250吨/平方公里·年)——亚热带草原, 温带和亚热带半荒漠, 森林草原, 阔叶林带; 3. 很强侵蚀(250—500吨/平方公里·年)——稀

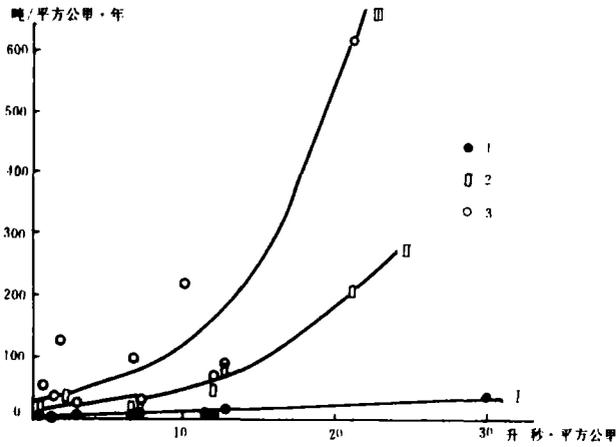


图3 地球平原的径流模数与悬移质模数的关系
I II III代表不同开垦程度的 r - M 线性关系
1. 2. 3. 分别代表不同开垦程度的流域平均量

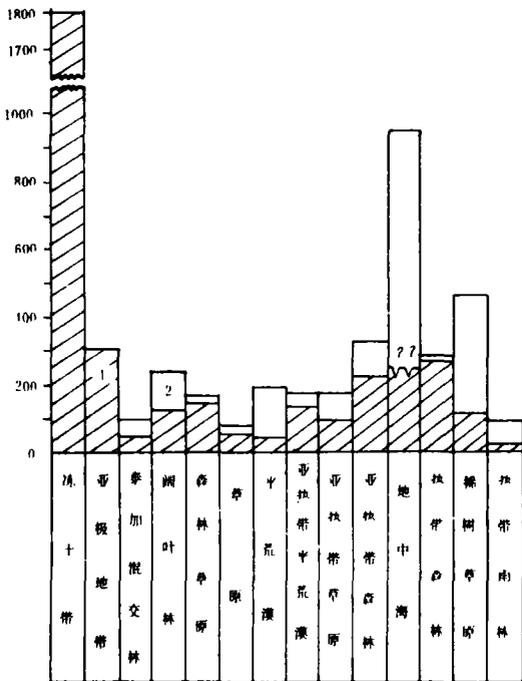


图4 山区现代(1)和开垦前期(2)不同景观带悬移质模数的分布, (采用大河与小河的平均资料)

树草原, 热带森林, 湿热的亚热带森林, 亚雪带(高山带和亚高山带草原和颓山等), 4. 极强侵蚀(>500 吨/平方公里·年)——冻土带和地中海区。

侵蚀强度在垂直景观带上有类似于在平原上有两个基本因素控制开发程度和径流的分布。根据大河的平均情况, 开发的等级和悬移质径流模数之间存在密切的直线关系(相关系数0.71)(图5), 因此开发程度不一样, 那么在人类作用因素影响下侵蚀程度也不一样(图4)。在山区从I类过渡到III类, 侵蚀要增加2.1倍(表2)。通过这些清楚地反映出小河的悬移质径流平均2.2倍, 大河小一些(增加1.8倍)。但是在山区III级开发流域仅占总的12%, 因而实际的观察在人类经济活动影响下的侵蚀强度和悬移质径流增加是相当少(平均1.4倍)。

在农垦时期以前, 山区悬移质径流和机械剥蚀分布图受景观特征的制约, 整个流域都象现在一样, 冻土带和亚雪带属于最大, 热带和亚热带属于另一样(图4)

在自然条件下, 悬移质径流模数的地带性变化取决于径流量(图5), 但是与平原区相比较径流和固态径流之间的关系明显的减弱(相关系数0.55), 这是由于山区流域面积比较小, 而非地带性因素影响比较大。

在同一个景观带的范围内, 剥蚀强度是由高纬度向赤道增加(图6), 与此相关的是在这方向地形的切割也是逐渐提高。在高纬度地区剥蚀过程中, 同样表现出山区湿度、植物的特性、土壤的形成和气候存在着差异。

表 2 山区河流悬移质径流与流域的经济开发的关系

人类开发程度	小 河		大 河		整 体	
	N	r	N	r	N	r
I	744	260 ±56	250	200 ±43	994	240 ±44
II	451	560 ±150	141	290 ±68	592	500 ±88
III	136	580 ±120	81	360 ±120	217	350 ±88
整体	1331	390 ±61	172	250 ±37	1803	350 ±46
y_{III} / y_I	—	2.2	—	1.8	—	2.1
y / y_I	—	1.5	—	1.2	—	1.1

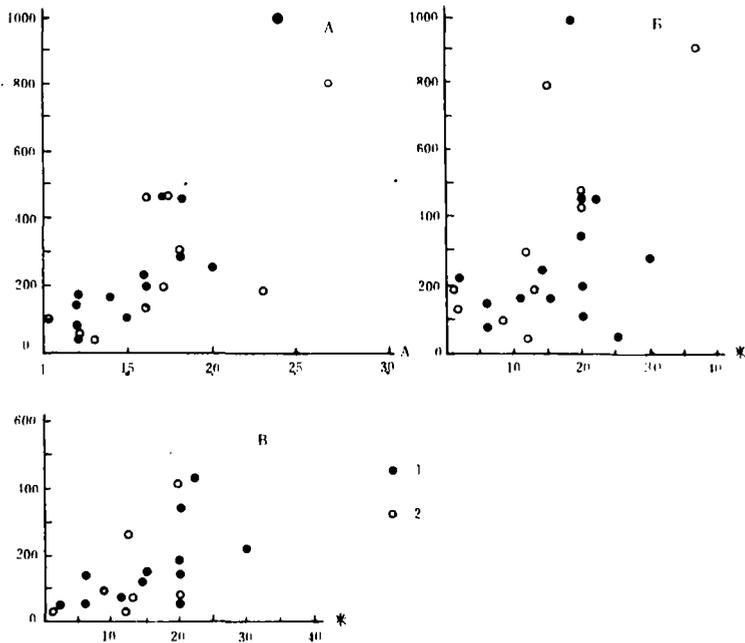


图 5 山区不同景观带悬移质模数与开垦程度 (A)、径流模数 (B、B') 的关系 1—小河 2—大河

根据自然和人类制约特征在侵蚀中的表现可以分出三级：季风海岸，非季风海岸，内陆。在三级中一般内陆级具有最小的泥沙径流特征，山区的海岸级最大，特别是开发比较充分的地方。

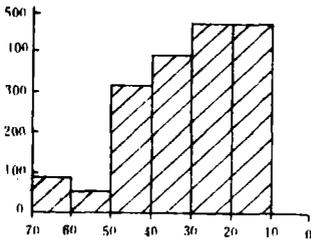


图6 北半球山区河流悬移质模数变化图

超过中山区，在现在的条件下结果是平原区侵蚀最弱（图7）

地形的高度是以最新构造运动为基础，К. Н. Ласицыной和 В. И. Александяров指出与此有关的规律，悬移质径流取决于地壳最新构造运动的方向和强度，地层是属一种特殊的作用，这种作用短暂，因而机械剥蚀作用和泥沙径流都是突发式增加。在平原与山区明显地反映侵蚀取决于岩石的组成（表3）。在陆地上复杂的沉积岩区比结晶岩区悬移质径流模数大2.4倍，比混合岩大1.4倍。在山区这个关系比平原大。结晶岩区侵蚀较小是由于这地区比混合岩和沉积岩区经济开发程度低。

最强的侵蚀区是黄土和黄土状的亚沙土区，最弱的侵蚀区是砂岩和砾石区，以及结晶的岩浆岩，石灰岩区。由于岩石的组成不一样，侵蚀就有选择性的特点。在凝灰岩或透水性好的岩类经过侵蚀形成正地形。在山区侵蚀的选择性比平原更加明显。不但在山区，而且在亚热带、冻土带、赤道森林带的平原侵蚀特性有比较大的选择，而在温带、热带森林带的平原侵蚀特征具比较小的选择。

侵蚀和泥沙的一般规律 所有泥沙搬运河流，根据成因能够分为河床和流域两部分，相应地侵蚀又可以分为河床侵蚀和流域侵蚀（片蚀与沟蚀），由于大陆具有不同侵蚀形式，侵蚀过程有自然和自然—

非地带性因素的影响 地形决定了水流的能量、侵蚀强度和泥沙径流。在自然景观带中山区泥沙径流和侵蚀几乎比平原大28倍（图7）。但是人为的改造平原景观比山区大，由此缩小了它们之间的差值3.2倍，因此在目前人类活动比较小的景观带（冻土泰加、半荒漠）侵蚀强度由平原向山区过渡是增加了，处在自然景观的平原上高地与低地之间的侵蚀强度差是不很大的。随着经济开发，高地有比较好的排水，其差值要增加。在自然景观保护比较好的山区，可以观察到侵蚀和泥沙径流随着高度增加而增加，但有时也违背景观带的影响。但是大多数人类活动都在低山区，因此泥沙径流和侵蚀强度

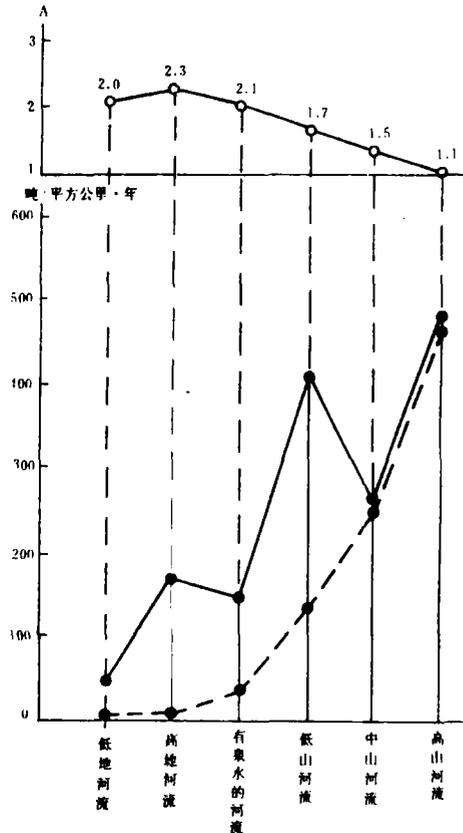


图7 河流悬移质与流域地形（实线：类开垦程度（虚线）的关系，

图上方（A）人为变化景观平均类别的变化

表 3 不同岩类地区的泥沙径流

岩石	陆地		山区		平原	
	N	r	N	r	N	r
全结晶岩	705	120 ± 39	530	140 ± 51	175	50 ± 41.0
侵入岩	105	91 ± 30	95	100 ± 33	10	8.7 ± 3.5
变质岩	99	220 ± 260	19	120 ± 530	50	26 ± 9.4
喷出岩	151	88 ± 26	129	100 ± 30	22	20 ± 11
沉积岩	2311	290 ± 10	866	570 ± 81	1145	130 ± 41
陆相岩	914	310 ± 64	573	550 ± 100	311	120 ± 32
陆相粉散土	805	230 ± 78	10	1300 ± 630	765	170 ± 75
黄土和黄土状沙和卵石	211	750 ± 110	21	1800 ± 980	187	620 ± 140
化学和生物岩	65	71 ± 14	2	860 ± 670	63	16 ± 40
混合岩	191	150 ± 60	77	310 ± 150	117	11 ± 13
	655	210 ± 56	415	290 ± 88	240	75 ± 21

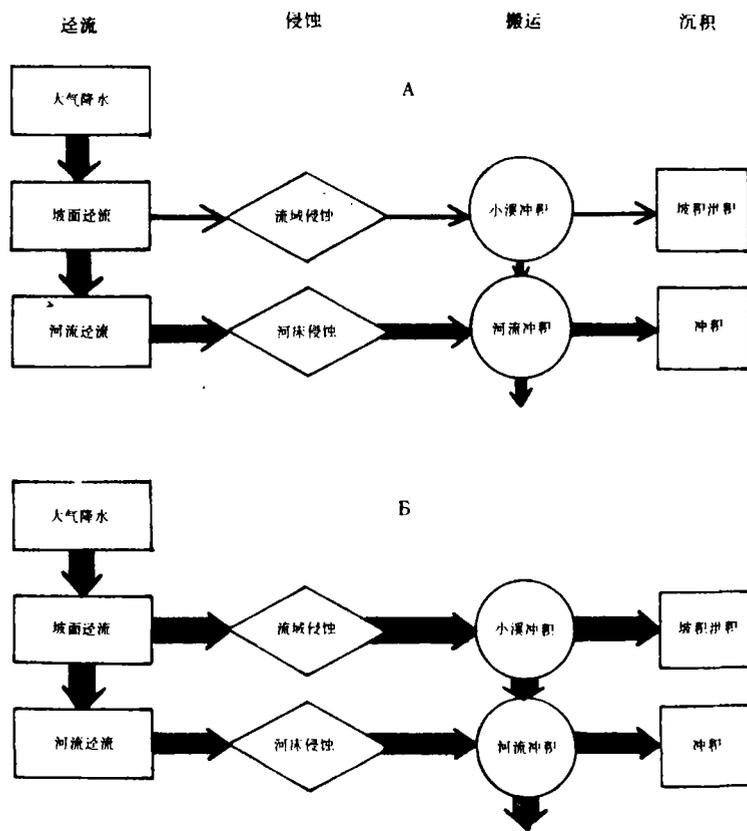


图 8 A、山区自然景观带和森林带侵蚀的一般图式；B、与A相同地区人为改变自然条件和无森林的山区侵蚀的一般图式（图上线的粗度表示侵蚀作用的强弱）

南极冰盖的晚第三纪历史：干谷的例证

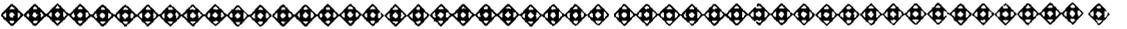
G. H. 登顿等

干谷的叠覆 南极横断山脉的干谷有两种主要冰川侵蚀痕迹（图1, 2），在山脉两侧是较早的部分遗迹。目前西侧山谷位于内陆冰川之下，而东侧是无冰干谷。干谷之间的山脉呈现为高山冰川侵蚀特征，这些冰川侵蚀特征是较早一期冰川活动的完整痕迹。

局部冰川覆盖了这些广泛遭受切割的山谷系统，很象北维多利亚陆地或布鲁斯高原的山谷系统（图1），并没有被广泛的厚冰所覆盖。因为山谷低于山脉西侧冰盖之下的内陆，我们认为靠近冰盖边缘被堕入边缘各深部而形成冰川出口并逐渐显露谷内山脉。小型高原和高山冰川侵蚀了这些山脉，以后冰盖中心不断消耗，而使高山和山谷冰川边缘缓慢的扩展。

冰川侵蚀的较晚期痕迹反映出由北东向流动的冰的叠覆（图2），我们推测为一个广泛的冰盖，并有足够的厚度覆盖山脉及斜流横入山谷。部分冰盖流过生成谷。我们得到位于伯德冰川和康沃依（Convoy）山之间横贯南极山脉的同样角状叠覆的野外证据（图1），这进一步表明为一广阔的冰盖。

在奥隆德和奥林波斯山脉及大四方山（Quartermain）和库克里丘陵区叠覆冰改造了早期高山地形，并形成了冰川下沉积和侵蚀特征。干谷东部的高山，冰斗以及花岗岩和变质岩山脊都受到冰川的改造，磨光及褶皱。西部高山，冰斗和比肯超群（Beacon Supergroup）沉积岩石及费勒粗玄武岩床构成的山脊受到强烈的侵蚀。面向上行冰川的高山冰斗和山坡被磨成平坦的鼻状斜坡。冰下溶化改造了背着冰流方向的冰斗和山脊形成了背冰川面槽，山溪分水岭以及孤立的的山脊和角峰。在奥林波斯山脉中部前进的冰川侵蚀，形成了孤立的的山脊和角峰，峰脊之间为谷地。

叠覆冰盖堆积形成了底碛沉积。在背坡上和背槽中，系统的排列着冰碛岩碎片和冰川弄皱的基岩，延伸于靠近里上格利冰川和泰勒冰川，由高山峰顶向下至更新世的冰碛岩，这是一个未曾遭受破坏的类型。费勒粗玄武岩覆盖山峰形成的漂砾带下延至背冰川面槽部1—3公里。背冰川面槽一般呈现巨大的锅穴跌水人为两个基本模式（图8）。

所有的平原带和山区森林带具有自然模式的特征，在这种条件下侵蚀仅能克服河床的阻力，但是在流域上融解和降雨的暂时流是不能克服。由于岩石、土壤特别是植物引起的侵蚀活动的阻力，因此这儿的流域侵蚀是不大的。形成泥河的基本作用是在河床和河岸上的侵蚀。大陆性气候越强，径流越小，植物密度越小，流域侵蚀就越小。研究表明：这样的条件下，悬移质径流模数的增加与径流量和流域面积成正比。

自然植物的破坏使表面径流增加，侵蚀作用的阻力明显地减小，由此，流域的侵蚀强度成数十倍、百倍甚至成千倍的增长。流域侵蚀的物质首先进入小河，随之泥沙搬运到大河的干流部分，就沉积在河漫滩上和河床上，结果出现悬移质径流模数和流域面积的反相关系。对于经济开发程度相当高的地区和平原区更加如此，它同样合乎无森林的山区景观的自然条件，那里有强烈的流域机械剥蚀作用（泥流、滑坡、岩屑锥、崩塌、泥石流）。

流域侵蚀的物质成为河流的固体径流是具有自然—人为模式的特点，人为因素影响的变化明显地表现在侵蚀强度与径流和地形的关系上。不仅在平原上，而且在山区人为作用成为侵蚀强度和固体径流的地带性分布的主要因素之一。

景可译自《Геоморфология》，1983，第四期，美国元校