

# 不同景观条件下机械剥蚀与化学剥蚀间之比

А.П.杰德科夫 В.И.莫兹执林 А.Н.沙里福林

机械剥蚀和化学剥蚀的数量是地形形成变化的主要指标，早在上一世纪末就已开始对其进行定量评定。通常，评定剥蚀的基础是离子径流和悬移泥沙径流。当认为这种方法是最客观和最精确时，还必须指出其极大局限性，这种局限性首先是由于机械剥蚀物和化学剥蚀物的形成与搬运的不同机制的缘故。

1. 悬移泥沙径流和离子径流的绝对值与发生在河川流域中的机械剥蚀和化学剥蚀的量值不等。前者只表示剥蚀的被移运(тразитная)部分。

2. 对按悬移泥沙径流所确定的机械剥蚀被移运部分还必须加上拖曳泥沙径流，拖曳泥沙径流在平原区平均为悬移物质和拖曳物质总量的5—10%，在山区为20%或20%以上。与此相反，并不是全部离子径流(R)都与化学剥蚀有关。必须从离子径流总量中扣除下列物质：由大洋中通过大气而来到陆地而又返回大洋中的离子；生物产生的物质；矿物胶质；地下矿泉中的离子和石灰岩溶解时由大气进入河水中的碳酸盐离子。O.A.阿列金等人为苏联领土所作的以及Л.Г.邦达列等人为世界非冰川陆地所作的对这种“未经剥蚀”离子径流组成部分的评定证明，离子径流总量的50%与化学剥蚀有关。

3. 剥蚀物具有不同的被移运性。如果说被溶物质在潮湿气候条件下处处都被移运，并随着气候干燥度的提高而部分沉积，那么机械剥蚀物的大部分则沉积于山麓下、河滩地及各种地形的低处。

4. 悬移泥沙径流反映了河川流域的地表剥蚀和河床侵蚀，而离子径流则是岩石表面和地下各种化学剥蚀的综合指标，该岩石构成了河川流域并以水交换活动带为其下界。

考虑到这些意见，剥蚀的被移运部分( $\Pi\tau$ )是 $\Pi\tau = lP + mR$ ，在这里 $l$ 和 $m$ 是相应的拖曳泥沙径流和离子径流“被剥蚀的”部分修正值的系数，由于个别流域的 $l$ 和 $m$ 值的可靠性很小或者常常缺乏，所以只能以上述的平均值——在平原区 $l = 1.1$ ， $m = 0.5$ ；在山区 $l = 1.2$ ， $m = 0.5$ 。在这种情况下机械剥蚀值将是 $M \approx lP$ ，化学剥蚀值是 $P \approx mR$ 。本文今后引用的就是这些数值，因为它们比较真实地反映了剥蚀值。

分析用的原始资料是最近数十年所发表的大陆各地区河流的溶解物质径流和悬移物质径流的数据。分析选取的流域满足于以下两个条件：(1)在同一地点具有溶解物质径流和悬移物质径流资料(通常是多年观测或多年系列观测)；(2)该流域在景观、地貌和地质方面具有同一性。我们以为，如果该流域的75%面积上具有同一种景观带、同

一类地形或同一种岩石,那么该流域就具有同一性。考虑到这些限制,选取了世界各大陆316个流域进行分析。

取悬移泥沙径流和离子径流模数(以吨/平方公里·年计)作为剥蚀强度指标,每个区域(景观带、同一类岩石等)的平均模数按所取许多流域的泥沙(离子)年径流总和对流域面积总和的比来确定。再按上述公式求出剥蚀强度。

为了查明按这种计算所获得的悬移物质径流和离子物质径流模数的代表性,把它们与按照相同方法(但所取的点数更多,而且在这些点上通常对离子径流和悬移径流不是同一时刻测定的)所确定的类似值进行比较,结果它们间的偏差不超过11—27%。这种不大的差别说明所使用的原始资料具有足够广泛的代表性。

**地理地带性的影响** 在具有不同的气候、土壤和植物组合规律的不同地理带中,化学剥蚀和机械剥蚀的强度是不同的(图1)。我们已经指出,在平原区机械剥蚀有两个明显的最大值:主要在热带干草原,其次在森林草原带。我们也已证明,森林草原的最大值主要是由于人类活动所造成。最小的机械剥蚀是在热带和温带的森林带。本文所引用的资料再次证明了这个规律。化学剥蚀的分布则完全是另一种景象。其最大值无论在平原还是在山区都是在森林带,即与机械剥蚀的最小值相吻合。化学剥蚀的最小值是在苔原带和半沙漠带。

这样一来,在不同地理带中机械剥蚀与化学剥蚀间的比值是不同的。在机械剥蚀急剧减小的地方(森林带),化学剥蚀则急剧增加。化学剥蚀只在森林带占优势,在这里M/P值在平原区等于1,在山区稍小于1。在其他地带的平原区和山区中,M/P值大大超过1,这说明机械剥蚀大大超过化学剥蚀。机械剥蚀的这种优势在热带干草原、半沙漠带和苔原带表现的特别明显,尤其是在冰川补给的山地河川流域中。

至于总剥蚀量的地带分布,大体上与机械剥蚀量的分布相同,因为机械剥蚀是总剥蚀的主要组成部分。这里也有两个最大值:在热带干草原和森林草原、草原带。但在森林带没有最小值,因为这里机械剥蚀的减少得到了化学剥蚀的最大值的补偿。。

**地形的影响** 由图1可以看出,当从平原向山区过渡时,机械剥蚀和化学剥蚀都在增加。此时机械剥蚀增加的特别多(增加1.3—9倍),而化学剥蚀增加的不太明显(增加0.1—2倍)。结果被移运剥蚀总值增加0.8—5.6倍。这个结论首先是由H.M.斯特拉霍夫得出,而且也对这种现象加以解释。只是在温带森林带和赤道森林带的平原区化学剥蚀才超过机械剥蚀(超过0.5—3倍)。类似的关系在山区没有发现,但在森林带M/P值也同样很小(1.88—2.07),而在其他地带则急剧增大(6.71—12.47)。在同一地带中,M/P值在山区比在平原区大0.2—7.3倍。各大陆机械剥蚀和化学剥蚀的平均值与其平均高度的比(表1)证实了上述结论。

这些数字证明了各大陆平均高度与M/P值之间存着正比关系。大陆愈高,垂直切割就愈大,机械剥蚀就愈大于化学剥蚀。最高的亚洲大陆有最大的M/P值(23.5),最低的欧洲和澳大利亚大陆M/P值最小(2.9和3.1)。在整个地球陆地上,被移运的机械剥蚀比化学剥蚀大9倍。此外,化学剥蚀的变化范围比机械剥蚀小得多。

因此,地形高度的变化使机械剥蚀和化学剥蚀向同一方向变化。取决于地形高度的各种状况对每种剥蚀都给予巨大影响,地形越高,垂直切割就越深,形成地表的坡度也

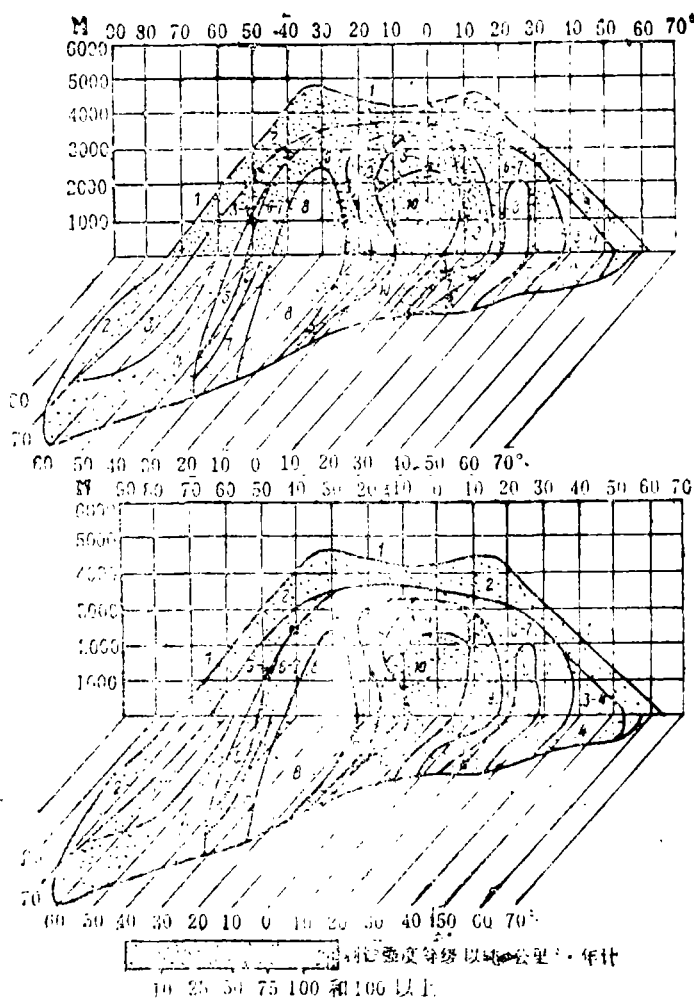


图1 在理想大陆上被移运的机械剥蚀(上图)和化学剥蚀(下图)的变化图。作为该图大陆和地带性基础的是A.M.里亚布奇科夫的图。

平原区的景观带以及其在山区的对应带:

- 1——雪原沙漠和副雪原沙漠带; 2——苔原和森林苔原带; 3——泰加林带; 4——混合林和阔叶林带; 5——森林草原带; 6——草原带; 7——半沙漠带; 8——沙漠带; 9——热带干草原和疏林带; 10——赤道雨林和副赤道森林带。

就越大。而坡度则是决定机械剥蚀过程强度(侵蚀和坡面重力作用)的主要因素之一。而且地形切割愈深,水力活动带的厚度就愈大,即岩石厚度愈大,以后大气降水经过这种岩石而流入河中,带走了最容易溶解的岩石成分。此外,如象H.M.斯特拉霍夫所说,河流搬运的悬移泥沙越多就有更多的物质被溶解。

**岩石组成的影响** 岩石组成在很大程度上决定着机械剥蚀和化剥蚀的强度(表2)。M/P的最大值是在陆源沉积岩中,因为该地区的机械剥蚀强度很大。M/P的最小值出现在结晶岩、碳酸和硫酸沉积岩中,前者是由于机械剥蚀比较小,而后则是由于化学剥蚀急剧增大,此时化学剥蚀值在平原区大于,在山地等于机械剥蚀值。

在不同岩石地区,被移运剥蚀总量在平原区变化不大(22.7—33.3吨/平方公

**表1 各大陆机械剥蚀与化学剥蚀间的比**

地 区	平均高度 (米)	M	P	M/P	D
亚 洲	950	374.0	15.9	23.5	382.9
非 洲	750	52.8	15.2	3.5	68.0
北 美 洲	700	51.7	14.8	3.5	66.5
南 美 洲	580	165.0	16.2	10.2	181.2
澳 洲	350	42.9	14.6	2.9	57.5
欧 洲	300	258.3	19.0	3.1	77.3
整个地球	840	165.0	15.8	10.4	180.8

注 M和P的平均值是根据B.B.阿刘克谢耶夫和K.利西钦娜所确定的悬移泥沙径流以及O.A.阿刘金所确定的离子径流计算出来的。

**表2 岩石组成对机械剥蚀和化学剥蚀的影响**

岩 石	平 原					山 地				
	N	M	P	M/P	D	N	M	P	M/P	D
陆源沉积岩	152	23.5	9.8	2.40	33.3	52	103.1	15.9	6.48	119
碳酸岩和硫酸岩	48	12.0	16.4	0.73	28.4	7	32.9	30.4	1.08	63.3
结晶岩	40	12.9	9.8	1.32	22.7	17	18.0	7.6	2.37	25.6

里·年)。此时,其最小值在这两种情况下均与结晶岩露头有关,而最大值则与陆源沉积岩有关。剥蚀所表现的这些特点说明在山区有形成次生构造(硬化沉积)地形的良好条件,特别是在结晶岩露头地区。

**流域面积** 以前我们曾指出,流域面积对被移运的机械剥蚀量影响很大。根据机械剥蚀模数与流域面积关系的特点,所有景观带被分为两大类。第一类是流域地表严重机械剥蚀地带。被冲走的泥沙物质首先大量流入小河流中,因而使它们具有极大的泥沙径流模数。在继续搬运中部分物质沉积下来,而且随着流域面积扩大,模数逐渐减少。我们已经查明,根据机械剥蚀所在地的自然条件,表现出这种关系的地带有苔原带、半沙漠带、地中海沿岸和热带干草原,而且由于人类的活动使混合林与阔叶林带、森林草原带和草原带亦发生大面积侵蚀。属于第二类的是泰加林带和赤道森林带,在这里由于集水区地表受到保护使坡面剥蚀大减弱,因而小河的泥沙径流不大。泥沙物质主要来自河床及沿岸的受侵蚀,所以随着流域面积扩大和水量增加,泥沙径流也增大。

为了根据流域面积大小查明机械剥蚀和化学剥蚀的比,把所有流域分成小流域(面积在10000平方公里以下)和大流域(面积在10000平方公里以上)两种。原来,在泰加林带平原区和森林带的山区中,机械剥蚀在大河流域增大,而在高原带、混合林和阔叶林带以及靠冰川补给的河流中,机械剥蚀在小河流域达到最大。这些差异的原因无疑是由于固体径

流的形成机理的缘故。

**表3 某些景观带中流域面积对机械剥蚀与化学剥蚀之比的影响**

地 带	地形	小 流 域					大 流 域				
		N	M	P	D	M/P	N	M	P	D	M/P
冰川补给河流	山地	5	830.8	116.8	947.6	7.11	2	786.0	57.0	843.0	13.8
高原带	山地	4	76.7	15.7	92.4	4.88	6	38.2	4.5	42.7	8.49
泰加林	平原	9	3.5	11.0	14.5	0.32	31	8.4	12.4	20.8	0.68
混合林和 阔叶林	平原	50	20.1	17.2	37.3	1.17	36	5.7	11.8	17.5	0.48
森林带	山地	23	32.5	17.6	50.1	1.85	21	36.7	19.2	55.9	1.91

在所有地带中（除高原带和发源于冰川的河流外），化学剥蚀都没有反映出与流域面积有一定的联系，这再次证实了化学剥蚀物在潮湿条件下被移运的结论。已查明化学剥蚀模数在高原带大流域和冰川补给河流中急剧地减少（表3），这可能是由于部分溶解物 and 大量固体物质在搬运过程中沉积的缘故。但是也不能排除对这些地带所引用的资料是不精确的，因为所统计的流域数量很少。一般说来，由于流域面积而使M/P值发生变化首先反映了机械剥蚀在从小流域向大流域过渡时的变化规律。

**人类因素的影响** 上述资料与其说是说明了自然景观，不如说是说明了被人类改变了的景观。人类改变自然使机械剥蚀加剧。根据我们的资料，在森林草原带和混合林与阔叶林带，因开垦荒地使森林复盖率减少3/4，从而使大河中的悬移泥沙径流约增加2倍，使小河中的悬移泥沙径流约增加4—5倍。根据П.Г. 帮达列夫和С.П. 戈尔什科夫的资料，人为活动使非冰川陆地的被移运剥蚀（主要是机械剥蚀）的强度几乎增加了一倍。人为因素同样也引起了化学剥蚀的加剧。因此，两种主要剥蚀都在增加。那么就出现这样一个问题：哪一种剥蚀增加得多。在人为活动影响下它们间的关系怎样变化？

根据B.И. 斯图尔曼的资料，在一些荒地开垦区（奥里河与恰干河流域），当开垦率增加86%—144%时悬移泥沙径流就增加32%—153%，离子径流增加62%—123%。换句话说，机械剥蚀和化学剥蚀是同步增加的，它们间的比实际上是不变的。

我们求出了俄罗斯平原68个流域在不同森林复盖率条件下的M/P值（表4）。这些资料表明，森林复盖率的降低（而土地开垦率必然增加）将引起机械剥蚀迅速的增加，但对化学剥蚀影响很小，结果M/P值增大。

当然，这些结论还需要用更加广泛的资料来证实。

**机械剥蚀变化与化学剥蚀变化之间的关系** 上面已经指出，在各种自然因素和人为因素的影响下，机械剥蚀和化学剥蚀都在变化。为了查明这两种主要剥蚀变化之间的一般关系，我们把所有具有悬移物质径流和溶解物质径流资料的河川流域，按悬移泥沙径流模数值划分为序列区间。对每个区间中的流域求出其机械剥蚀模数和化学剥蚀模数的平均值。所得的结果（图2）清楚地说明M和P间的正比关系，这就证明了O.A. 阿列金

表4 在各流域的不同森林复盖率条件下机械剥与化学剥比的变化。

剥 蚀	森林复盖率区 %				
	0—20 (34)	21—40 (13)	41—60 (8)	61—90 (9)	81—100 (4)
M	17.6	14.4	12.9	5.5	10.0
P	9.45	13.9	14.8	10.5	10.5
M/P	1.86	1.04	0.87	0.52	0.96

注：括号里为流域数

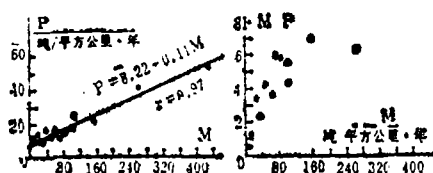


图2 机械剥蚀变化与化学剥蚀变化（左图）以及机械剥蚀变化与M/P之间（右图）的一般关系

和Л.Б. 布拉日尼科娃的结论：悬移泥沙径流的增加伴随着离子径流的增加。但是此时机械剥蚀所发生的变化比化学剥蚀的变化要大的多。因此，随着M的增大，M/P迅速增大，特别是在M=100吨/平方公里·年区间中的流域。（见图2）。

M和P变化间的这种正比关系的原因，必须首先从影响M和P变化的各种因素中去寻找。在上面所列举的因素中，机械剥蚀变化与化学剥蚀变化间的正比关系仅取决于地形和人类影响。地理带和岩石组成在M与P变化间所引起的反比大于正比，再加上流域面积影响这种关系就很复杂（见图1）。在这些因素共同影响下而形成的M与P间的正比关系可以用地形和人类活动在机械剥蚀和化学剥蚀过程中起主导作用来解释。

H.M. 斯特拉霍夫对上述关系提出了另一种解释，他说这是由于部分悬移泥沙被溶解的缘故。在这种情况下，悬移和拖曳所挟带的物质质量越大，其被溶解的部分也就越大。冰川补给河流流域中极大的（在所研究流域中最大的）化学剥蚀资料（63.4吨/平方公里·年）也证实了这一现象。显然，这些河流中离子径流的主要部分是在悬移和拖曳物质被溶解的过程中形成的。

**某些古地貌学方面问题** 上面所研究的资料说明了在不同自然条件下现代地表剥蚀的结构与数量，然而所得的结论对古地貌分析也具有重要意义。

早在19世纪关于溶解物质径流和悬移物径流的著作中，就试图对一定时间间隔内被剥蚀断面或“剥蚀米”（把厚度1米的岩石从一定区域内搬运出去所需要的年数）进行定量评定。近年来曾提出了许多类似的定义。在它们的基础上形成了很多现代的古地貌学、新构造地质学等方面理论。但是从上面所研究的资料来看，纵然有比较充分的根据，但

对待这样的理论还需要极其谨慎。

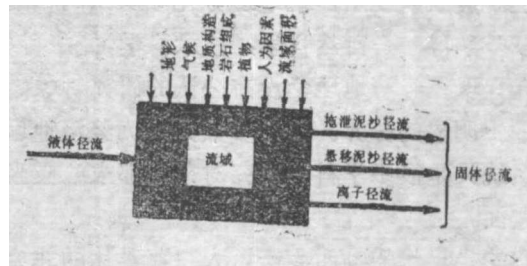
1. 对拖曳泥沙径流和离子径流的“被剥蚀部分”不加修正而采用悬移物质径流和被溶物质径流在总量上是不能评定剥蚀的。因为它们所反映的只是剥蚀的被移运部分,移运部分与剥蚀总量的关系现时还不清楚,现时对剥蚀的所有评定都存在着极大的波动性。

2. 对剥蚀的评定是以现代固体径流为依据,而现代固体径流是在被人类改变了的自然条件下形成的。如上所述,这些改变至少能使固体径流提高若干倍。

3. 对剥蚀断面的评定并不是在任何条件下都具有实际的地貌意义,因为这些评定没有考虑到严重固体径流形成的特点。如果说在全流域剥蚀占优势的条件下固体径流还在某种程度上反映了整个流域地表的降低,那么在河床剥蚀占优势的条件下(例如森林带)则不能反映出来。正因为这样,位于两河之间的地形形状和古地表遗迹则保存的很好。

4. 把现代固体径流资料外延到很长时间间就很难求得剥蚀强度变化的修正值,这是由于气候的变迁、地形的演化以及不同硬度岩石断面的相互交替的缘故。

总之,发生在河川流域内的剥蚀过程可以用“黑箱子”模式图表示出来。此时,由黑箱子输出的是拖曳物质径流、悬移物质径流和被溶解物质径流,而输入的则是各种不同的,在时空上变化的流域特徵:气候、植物和地形等(图3)。显然,只研究输出部



分,而不考虑输入参量,就不能理解“黑箱子”内发生的过程。这就是对现代河川固体径流被剥蚀断面评定的现代原理。

宋广生 李秀英译自《География и Современность》

Издательство Ленинградского Университета, 1982, 124стр.

陈家振校