

河床过程类型及其形成

Б.Ф. 斯尼辛科

研究的出发点

据对河床大地貌形态成因的研究得到下列认识。

水流形成河床类型，其活动场所在谷底由于来沙堆积而形成河漫滩。水流的特性是平面上的不稳定性，表现在平面动力轴线在平面上的周期性弯折，显然，水流动力轴线离限制其活动的边界越远，转折的幅度就越大，所以河床平面外形将取决于水流稳定的程度。

在每一种大形态中，泥沙运动都取决于水流的内部结构，河床水流的平面形态决定着其能量损耗的主要方式，可自由变动的流束，能量损耗主要是通过增大弯曲，而受限制的顺直水流，则是依靠河底形状增加阻力。

从一种平面形态向另一种转变，或河床过程类型的变换都与能量损耗的方式有关，而后者又与一定的泥沙运动方式有联系，这样就反映了基本造床因素的作用。

莱列伊第一个研究了无边际水体中流束的水动力不稳定性。他指出了边壁对不稳定性的限制作用，如果固体边界之间的流速剖面是连续的，即运动就是稳定的。B.M. 马卡维耶夫曾获得了稳定流束的理论解决方法。

业已知道，大形态的形成和水流在平面上的不稳定与河漫滩上某些因素的结合状况有关，所以后者又可视为是不同类型

河床的形成过程。限于资料，用数学方法从理论上证明这一点在目前还有困难，下面仅就物理图形加以阐明，再根据实际资料建立一个普遍图式。

取河谷谷底特征宽度（包括河漫滩和河床的活动部分） B_0 ，平滩水位下河宽 B 以两者之比 $\frac{B_0}{B}$ 作为河流流束横向收缩指标。

以谷底比降 I_0 和沿深泓线的比降 I 之比，即 $\frac{I_0}{I}$ 表示各种不同弯曲程度下水流能量损失的关系。

I_0/I 常可视为是弯曲系数 K 的变相，但实际上有很大差别， K 值仅有几何意义， I_0/I 却可赋予能量解释，在曲流和顺直河道上，不同的比降差值 $\Delta I = I_0 - I$ 即反映了这种河床过程类型的能量损失。

可以认为，形态单一的河段处在动力平衡的状态，即河床和河漫滩在长时间内不改变自己的平均水文地貌参数，这样河床和河漫滩的稳定条件就能用某种河床稳定性指标来表达，对于均匀水流而言，广泛采用的是K.B. 格里沙宁的稳定性指标

$$M = \frac{h(gB)^{\frac{1}{3}}}{Q^{\frac{1}{3}}} \quad (1)$$

式中， h 断面平均水深， B 上部断面宽度， Q 断面流量。

格氏认为，河床基本尺寸保持不变的均匀水流能充分地调节它的糙率，既然每一种处在稳定状态的大形态都能看作是河

床和河漫滩的糙率要素,那么就可以将均匀水流的概念扩大至任一种河床过程类型的河段上,由格氏理论推导得的指标可写

$$\frac{B}{H} \cdot FrB = inv \quad (2)$$

成式中Fr佛氏数, B水的相对密度

近年来国立水文研究所的研究指出,在一定的河床过程类型内M值=常数,如安德罗波夫斯基所获得的,在不完全曲流上M=0.9—1.1,向心滩型河床转变时M值减小至0.5—0.4,但每种过程内部仍是不变的。

A.H.利亚宁和H.K.阿列克桑德罗洛夫确定了平均情况下的M值,自由曲流1—1.3,边滩型0.8—1.0,心滩型0.5,在心滩十分发育的阿姆河上可降低至0.25。

将式(1)与希齐公式一起联解,格氏得到摩阻比降

$$I = \frac{1}{M^4} \frac{gh}{C^2 B} \quad (3)$$

式中, C希齐系数。将C换成曼宁公式形式

$C = \frac{1}{n} h^{\frac{1}{6}}$, n糙率系数,得

$$I = \frac{1}{M^4} \frac{gh^{\frac{1}{6}} n^2}{B} \quad (4)$$

式(4)即表示了天然均匀河床中均匀流的阻力。

考虑到M是河床过程类型的函数,对每种河床过程类型近似不变,并且取水流均匀运动的条件和河床的平衡性在形态单一、断面水位达河漫滩边缘的河段上仍保持不变,那么可以认为式(4)反映了一定河床过程类型水流的阻力,即

$$I_p = \frac{1}{M_p^4} \frac{gh^{\frac{1}{6}} \Pi_p^2}{B_p} \quad (5)$$

如果认为大形态系由现代河漫滩范围内满布谷底的水流所造成的假说成立,那么可以设想,在河宽大体不变河段的经常

被淹的河漫滩上,水流的运动将是均匀的,那么对于河漫滩水流来说,就象在河漫滩边界内的单一水流一样,可以采取河漫滩上的阻力与河槽内的阻力服从于同样的关系,即

$$I_n = \frac{1}{M_n^4} \frac{gh^{\frac{1}{6}} \Pi_n^2}{B_n} \quad (6)$$

所以 I_n/I_p 可具有形式

$$\frac{I_n}{I_p} = \left(\frac{M_p}{M_n}\right)^4 \frac{B_p}{B_n} \left(\frac{h_n}{h_p}\right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{n_n}{n_p}\right)^2 \quad (7)$$

据Д.Е.斯科罗杜莫夫在宽大被淹河漫滩上的实测资料,当河漫滩宽沿程变化不大时,流速分布和水流运动以单一均匀水流形式进行,动力效果十分微弱。可以认为河漫滩上水流比降等于河槽比降,即 $I_n = I_0$,因而将有

$$\frac{I_0}{I_p} = f\left(\frac{B_n}{B_0}, \frac{h_n}{h_0}, \frac{n_n}{n_0}\right)$$

此关系式间接地反映了平面非稳定性和水流能量损失与河床过程类型的关系。式中

$\left(\frac{n_n}{n_p}\right)^2$ 项系阻力特征,反映了在大形态内部河漫滩和河床糙率的关系以及从一种河床过程类型向另一种转变的关系。遗憾的是,至今尚不能按河床过程类型分出 Π_n 和 Π_p ,仅能定性地估算。显然在河漫滩不发育和有较高谷底糙率的顺直河段上 $n_n < n_p$,而在具有宽阔河漫滩的曲流河床上则 $n_n > n_p$ 。

h_n/h_p 表征不同河床过程类型下河漫滩被淹没的程度。业已知道,在水文地貌理论中,从自由曲流向不完全曲流,或从后者向河漫滩多议的转变皆与河漫滩上被淹水层厚度有关系,参数 h_n/h_p 被广泛用来估算河床和河漫滩的各种水力过程,如计算河床和河漫滩流速的差异,河床的动力效果和损沙能力等。卡拉谢夫认为 h_n/h_p 与河床和河漫滩的平均纵向流

速之差 $k_v = \frac{V_p - V_n}{V_p}$ 有关, 当淹没程度增

加时, $\Delta V = V_p - V_n$ 将减小, 显然这主要是由于 V_n 的增长所致。

可以证实, 淹没程度与河床过程类型的关系程度, 淹没多流速大, 考虑到河床和水流之间的自动调节机理, 很容易定性地解释何以强烈被淹的河漫滩其特征是相对较低的高度, 而其表面又被多支汊流所分割。

分析资料后得出, 在谷底被出现频率很少的水位淹没的条件下, $h_n/h_p \approx 0.6 - 0.9$, $(\frac{h_n}{h_p})^{\frac{2}{3}}$ 的变化范围不大 (0.85—0.95), 或者近似地说接近于1, 所以可以在式 (8) 中将其排除。

斯科洛杜莫夫曾确定 $(\frac{M_p}{M_n})^4$ 的值, 在发育有宽阔河漫滩的曲流上, $\frac{B_n}{h_n} = 250-750$, $M_n \approx 0.6$ 。在河漫滩狭窄的河段上 $B_n/h_n = 50-100$ 。在边滩类型的微弯河段和限制性曲流河段上, $M_n > 1$, 变动

于1.25—2.5之间, 显然在狭河段上 M_n 增大, 除比值 $\frac{B_n}{h_n}$ 外, 它的不大的底部相对糙率也起作用。

目前还不能获得按河床过程类型指标 M_n 的定量分类, 同时考虑到比值 $\frac{M_n}{M_p}$ 的方次较高以及系数 M_p 和 M_n 的经验性质, 式 (8) 中基本项即 $\frac{I_0}{I}$ 和 $\frac{B_p}{B_0}$ 的分析还是困难的, 所以可以以下式近似地代替式 (7)

$$\frac{I_0}{I_p} = f \left(\frac{B_0}{B_p} \right) \quad (8)$$

二、河谷和河床的特征宽度, 特征比降与河床过程类型的定量关系

2.1 原始资料和定义 形态资料取自地形图, 流量资料取自水文站, 整理了30条具有不同河床过程类型的无支流河段的资料, 由于地图上难于判断, 带状砂波型未与研究, 总计35条河流, 183段, 长约4523公里。表1是根据资料获得的河床形态和水力要素的临界值。

以阶地斜坡之间的河谷部分作为河谷

表1 所研究河段形态和水力要素的临界值

要素	要素值		要素	要素值	
	最大	最小		最大	最小
B_0 Km	0.80	25.0	I_0	0.00069	0.000014
$B_n \cdot p$ Km	0.20	20.0	I	0.00057	0.000007
B Km	0.04	4.5	\bar{Q}_{max} M ³ /s	40000	82

的宽度 B_0 。在此范围内可看到有现代河床水流活动的痕迹, 所以 B_0 包括河床变形带的宽度 $B_n \cdot p$ 和河漫滩河岸之间的河床宽度 B 。

在曲流上 $B_n \cdot p$ 是通过上下两个河弯顶端联线之间的距离, 在其它河型上则是河漫滩边线之间河流的宽度, 在此范围内

有各种河床形态——边滩、心滩、江心洲等的变化, 在分汊河床上则是所有汊河宽度的总和。

谷底比降 I_0 是从变形带中轴线取得的, 河床比降则是沿深泓线的量值。

2.2 各种河床过程类型条件下的河谷和河床特征宽度值

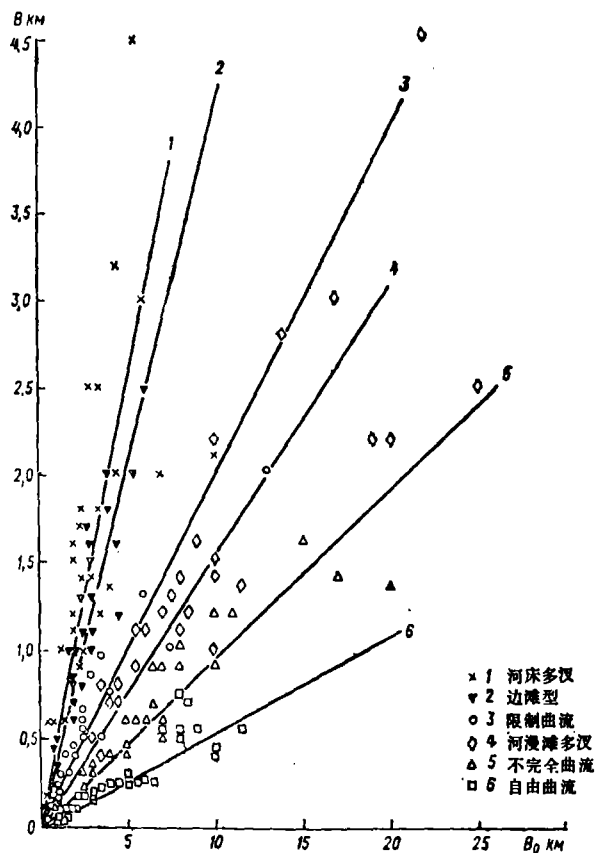


图1 河床过程类型分布与河床宽度 (B) 和谷底宽度 (B_0) 的关系

表2

过 程 类 型	B_0/B	B_0/B	$B_0/B_{\pi \cdot p}$
自由曲流	18.30	8.86	2.07
不完全曲流	10.39	5.67	1.83
边滩多汉	6.50	5.68	1.18
限制性曲流	5.11	3.41	1.48
河滩型	2.43	1.18	2.08
床河多汉	1.92	1.01	1.90

时, 指标 B_0/B 变小, 而河床变形带的相对值变化很少。

5. $B \sim B_0$ 之间比例的稳定关系使得计算天然河流大形态类型几何相似的临界值成为可能。对于河床内部的形态, 尔扎尼

为了满足式 (8) 的需要, 对每一种河床过程类型建立了 B/B_0 关系 (图1)。

间接地表征了水流在平面上变动幅度的特性。

从图可以看出关于上述关系的下列特性。

1. 图上每一分支表征了一定过程类型所出现的区域, 这种过程类型形成的必要条件是一定的相对河漫滩宽度值。

2. 当河谷束狭但 B 不变时, 可看到连续性的转变, 即从自由流向不完全曲流转变, 然后向河漫滩多汉、限制性曲流, 边滩河床和多汉河床转变。

3. 实现上述转变的必要条件在于接近或保持表2 中所列这些关系的平均值。

很明显, 自由曲流发育的条件是不存在河谷谷坡限制的影响, 河流流束在平面上可以自由摆动。

4. 当自由曲流向顺直型转变

齐恩也曾得到类似的结论, 他指出浅滩和深槽的相对平面尺度在任何一级水流上都是固定不变的。

从大形态类型得到的各种特征宽度间的相关系数达到0.7—0.97。

2.3河流和河谷比降在大形态形成中的作用

式(8)中与河型有关的并不是河谷比降的绝对值,而是它的正常值,亦即

表3

河 床 类 型	I/I_0	K
自由曲流	0.50	2.00
不完全曲流	0.71	1.41
河漫滩多汉	0.82	1.22
限制性曲流	0.86	1.16
边滩型	0.93	1.07
河床多汉	0.97	1.03

罗马申指出,在山区和山前地区的河流上,河谷比降绝对值与河床大形态之间存在较密切的关系,但在平原河流上这种现象就看不到。原因在于山区河流每当河床过程类型有变化时, I_0 和河宽的变化差不多外在同样的数量级,即2—4倍,而在平原河流上,河漫滩宽度改变的程度比 I_0 要大的多,这就使得 I_0 绝对值和河型之间的直接关系难以确立。

因此必须采取其它的途径。据已有资料,作者作出了表 $I_0 = f(B_0)$,由此再 $B \sim B_0$,得到结论为,宽河漫滩量低比降河谷所具有的特性。再考虑到 $B \sim B_0$ 的正比关系,可知在低比降河谷的条件下将发育较宽的河床。

在一种河床过程类型内部,比降和河宽保持着最为确定的关系,例如自由曲流和限制曲流,当河漫滩宽度从2公里增大至20公里时,比降便相应减小10倍,从0.3%降至0.03%。在 $I_0 = f(B_0)$ 上点群较散,所以这还仅是一个定性特征的结果。

因此当 I_0 按 I , B_0 按 B 来规定时,

与 I_0/I 有关。

采用关于不同类型大形态中河谷比降和河床弯曲系数的概念得出了 I/I_0 和K的平均值(表3),相关系数为0.86—0.99。

就得到最确定的比降、河宽与河床过程类型之间的定量关系,其一般形式为:

$$\frac{I_0}{I} = f\left(\frac{B_0}{B}\right)$$

2.4河谷比降和河谷宽度相对值与河床过程类型的一般关系

用最小二乘法式(9)可定出线性关系(图2)

$$\frac{I_0}{I} = 0.05 \frac{B_0}{B} + 0.95 \quad (9)$$

可见,随着河漫滩的相对束狭,河床弯曲系数减小,比降被水流所利用的程度增

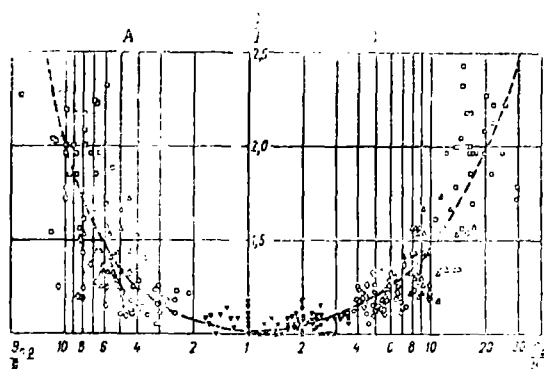


图2 河床过程类型与相对比降(I_0/I)和谷底相对宽度(B_0/B)的关系(B),河床变形带相对比降(I_0/I)和相对宽度($B \cdot p/B$)的关系(A)

加。 $\frac{B_0}{B}$ 和 $\frac{I_0}{I}$ 一定的间距相应于一定的河床过程类型，图上各区界线的交错证实了自然界中河型之间存在过渡带。

从图2 还可获得平原河流上谷底活动带的相对河宽和水流的相对比降的近似范围。与河谷比降相比，河床水流比降的减小最多不超过2.5倍，而河谷活动带宽度则不超过河宽的30倍。

所以从自由曲流转变为顺直河型的必要条件是谷底相对宽度的减小，和谷底比降被水流所利用程度的增加。

表4列出了参数 B_0/B ， $B_{\Pi} \cdot p$ 和 I_0/I 的统计结果。可见， $\frac{I_0}{I}$ 和 $\frac{B_0}{B}$ 的大小在一种河型内部是不相关的，但按各种河型全部资料算得的相关系数为0.87，这就证实了类型交替的明确规律性。

表4 参数 B_0/B ， $B_{\Pi} \cdot p/B$ 和 I_0/I 的统计结果

类 型	参 数	平 均 值	标 准 差	相 关 系 数
自由曲流	B_0/B	18.30	4.57	0.08
	I_0/I	2.00	0.22	
	$B_{\Pi} \cdot P/B$	8.86	2.53	
不完全曲流	B_0/B	10.39	5.70	0.17
	I_0/I	1.41	0.02	
	$B_{\Pi} \cdot P/B$	5.67	1.35	
河漫滩多汉	B_0/B	6.50	1.79	0.30
	I_0/I	1.22	0.09	
	$B_{\Pi} \cdot P/B$	5.58	1.85	
限制性曲流	B_0/B	5.11	1.10	0.14
	I_0/I	1.16	0.06	
	$B_{\Pi} \cdot P/B$	3.41	0.71	
边滩型	B_0/B	2.43	0.54	-0.05
	I_0/I	1.07	0.04	
	$B_{\Pi} \cdot P/B$	1.18	0.24	
河床多汉	B_0/B	1.92	0.64	0.01
	I_0/I	1.03	0.03	
	$B_{\Pi} \cdot P/B$	1.01	0.05	

2.5 I_0/I 和 B_0/B 与水沙特征的关系
式(7)和(8)中的参数已间接地考虑了水沙因素在河床过程中的作用，上述参数的实质就在于水沙特性。

属于水沙特征的参数很多，从已有情况和其重要程度考虑，选择了流量、单宽底沙输沙量和含沙量等因素并考虑它们在河床过程类型中的作用。

取多年平均最大流量表示流量特征，以 I_0/I 和 B_0/B 的乘积 A 与 \bar{Q}_{max} 建立关系（图3），可见不同河床过程类型的点群只能在沿纵座标的方向上被区分开来，在横座标上它们是平行的，这证明了它们与 \bar{Q}_{max} 的绝对值无关。

因此，参数 $A = \frac{I_0}{I} \times \frac{B_0}{B}$ 可称为河床过程类型判别指标。表5列出了各种大形态 A 值的平均值

表5

类 型	A	B (标准差)
自由曲流	36.60	11.50
未完成曲流	14.65	4.01
河漫滩分汉	7.93	2.43
限制性曲流	5.93	1.34
边滩型	2.60	0.59
河床多汉	1.97	0.63

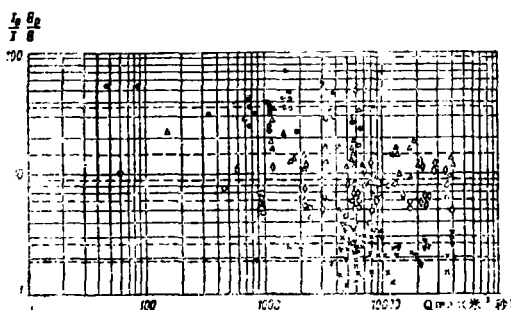


图3 河床过程类型判别图

水文地貌理论认为，河型的交替与水流挟沙能力和沙量变化有关，从曲流向顺直型转化的一个必要条件是比降差减小，即水流比降接近河谷比降，这种过程是与水流比降的绝对值的增加联系在一起的。作者认为，比降 I 与固体径流特别是与底

沙的单宽输沙量成正比，因而在从曲流向顺直河床转变时，比降增加与沙量增加有联系。经过一些简单的计算，可以得到

$$q_r = 0.00033hrVc^{2.0}I^{1.45} \quad (10)$$

式中， q_r 单宽流量， hr 小形态高度， C 希齐系数， V 流速， I 比降

表6

河床过程类型在含沙量带内的分布

含沙量 (克/立方米)	自由曲流	限制曲流	未完成曲流	分汉河床
<10	10	2.0	84.0	—
10—25	56	4.8	30.4	9
25—50	61	2.4	21.6	15
50—100	57	3.5	18.5	21
100—250	56	5.4	17.9	21
250—500	54	12.0	29.0	5
500—1000	44	9.8	24.0	22
1000—2500	85	2.6	—	12

所以当从自由曲流向边滩型和心滩型河床转变时,水流对谷底比降的利用导致底沙单宽输沙量随之而来的增加。

含沙量与河床过程类型则并不相关(表6)

三、结 论

1.在河床过程类型形成中起主要作用的是河谷相对宽度 B_0/B 和河谷相对比降 I_0/I 。河谷宽度的影响在于,这是使水流在平面上稳定的主要因素,调节着水流的弯曲系数,因而决定着河床平面变形的程度。相对比降 I_0/I 标志着各种大形态类型的水流能量损失,它与不同的输沙方式、输沙量有关,因此指标 I_0/I 和 B_0/B 不是一个单纯的水动力参数,它确定了基本因素对河床过程类型形成中的作用。

2. 相对比降和谷底宽度是相互联系的,且成直线相关,表现为河谷的相对比降随谷底相对宽度增加而增加。

谷底相对宽度 B_0/B 在式(9)中是独立因素,河流比降 I 则是非独立因素,在这

个意义上来说,大形态河段的平均比降可

据式(9)写成 $I = \frac{I_0}{0.05 \frac{B_0}{B} + 0.95}$

3.确定河床过程类型的指标是 $\frac{I_0}{I} \times \frac{B_0}{B}$,该值与流量因而与河流大小有关,可以作出各种河型的判断准则图,划分出表示各种河型的区域,各区的界线与大形态类型和流量无关。

4.流量大小对河床过程类型形成不产生决定的影响,它只与河流大小的绝对值成正比。

5.从自由曲流向心滩型转变时, I_0/I 的增长导致底沙单宽输沙量的增加,在动力平衡条件下后者相应于水流单宽挟沙力。

尤联元 摘译自《Труды ГГИ》,
1980, выпуск 263

凌美华校

苏联经济区方案定量研究的经验

Ю.К.亚历山德罗夫 B.B.基斯塔诺夫 A.C.爱泼斯坦

通常,经济区划的任务包括以下几个主要阶段:1)确定作为基础区的地域;2)按照基础区选择区划指标系统及其定量评价;3)选择区域系统模式;4)阐明课题建立算法,直接把基础区进行分类计算;5)解释已获得的结果,选出最好的区划方案和有关进一步改善工作方法的结论等等。

基础区的范围视所要解决的任务性质而定。一般地说,所确定的区域分类等级

越低,则基础区应该越小。对于大区域来说,可取俄罗斯联邦、乌克兰、哈萨克斯坦共和国的州和其余整个加盟共和国。同时,西伯利亚北部边区州也宜划入基础区。

选择基础区的经济地理情况指标系统的出发点是在进行生产配置时将所要考虑的要害作为指标。同时,将建设费用的地域差异,按劳动力扩大再生产的投工量进