

河型分析及其在河道整治上的应用

方宗岱

(水利水电科学研究院河渠研究所)

提 要

从河道平面外形的不同,河道可划分为江心洲河型、弯曲河型和摆动三类河型。本文主要研究水文泥沙两个因素对各种河型形成的影响。

首先研究江心洲两股叉道的并存及稳定和滩面上升及滩槽高差增加两个问题。经过分析获得: $\rho_0/\rho_p \leq 1$ 表示两股叉道并存及稳定的条件; C_v 较小,表示滩面上升及滩槽高差增加的条件。而弯曲河型恰恰不需要两股叉道并存而要求一般叉道淤塞的条件(即 $\rho_0/\rho_p > 1$),同时弯曲河型同样需要滩面上升及滩槽高差不断增加的条件(即 C_v 较小)。而摆动河型,既不是两股叉道并存和稳定,又不是滩槽高差不断增加,只是滩面不断上升,因此摆动河型的水文、泥沙条件是: $\rho_0/\rho_p \gg 1$,和 C_v 较大。

许多天然河道的 B/b 值(B 为河带宽度, b 为单股河道的水面宽度)的分析结果和水文泥沙资料 C_v 和 ρ_0/ρ_p 的分析结果是一致的,即 $C_v < 0.4$, $\rho_0/\rho_p \geq 1$, $B/b = 7 \sim 40$ 是属于弯曲河型;而 $C_v < 0.3$, $\rho_0/\rho_p \leq 1$, $B/b = 2 \sim 7$,为江心洲河型。比较结果江心洲河型属于最稳定的河型。这与以往公认的弯曲河型是最稳定河型的概念是不一致的。

多沙河流上修建巨型水库后, C_v 和 ρ_0/ρ_p 值都比修库前减小,水库下游河道将向江心洲河型发展,而江心洲河型又是最稳定的河型,因此提出在多沙河流修建巨型水库后,首先应考虑把下游河道整治向江心洲河型发展的建议。

多沙河流修建巨型水库后,水文泥沙条件受到变化,如这些变化的范围较大,会引起下游河性的转化,因之,我们把这种演变,看成是水文泥沙变化而引起的河道演变,它与一般因边界条件改变而引起的河道演变有所区别。

既然是研究河性转化问题,就需要研究各类河型与水文泥沙条件间的关系,而选择江心洲作为研究的对象,因为江心洲是经常出现在含沙量较小的河流上,而在多沙河流的中下游都是不存在的,把经常出现的和不存在的两种特殊情况进行分析,则较易得出其因果关系。

这里所提的江心洲,是四面皆水变动性不大可以居住和耕种的比较稳定的江心洲。

一、江心洲形成的影响因素

(一) 含沙量的影响 江心洲系泥沙淤积形成,但高含沙量的黄河($\rho_{sp} = 36$ 公斤/

米³)和永定河($\rho_{op} = 46$ 公斤/米³)的下游,却没有一个稳定的可耕种的江心洲;而低含沙量的长江($\rho_{op} = 0.5$ 公斤/米³,汉口)和珠江($\rho_{op} = 0.1$ 公斤/米³),其中下游到处都是可耕种的江心洲。同是一条黄河,中上游的兰州和包头的年平均含沙量约为3公斤/米³和8公斤/米³,但在兰州附近和青铜峡下游却有許多江心洲,因此,可初步认为高含沙量不是形成江心洲的原因。

(二) 水流边界条件的影响 江心洲总是发生在束窄河段上下游的宽浅河段或是急弯河段上。这说明江心洲形成与水流边界条件有关。但长江和黄河同样都有束窄段、上下游的宽浅段和急弯段,长江到处都是江心洲,黄河下游则无。这说明江心洲的形成除水流边界条件本身外还与别的因素有关。

另外黄河、永定河的中下游都没有江心洲,但在河道出峡谷不远的地区,如黄河的孟津附近和永定河的三家店下游都有稳定的江心洲;欧洲多脑河在中下游也是无江心洲,但出峡谷不远则有稳定的江心洲。从这些例子说明,河道出峡谷后,因边界条件比较稳定,即使是高含沙量的河道,还是可以发生江心洲的,因此可以说稳定的水流边界条件是江心洲形成原因之一。

在这方面,我国宋朝的户部侍郎苏轍分析黄河情况得出的结论是:“黄河之性,急则流通,缓则淤淀,既无东西皆急之势,安有两河并行之理”。这个结论是极其精确的。因黄河含沙量高,易淤也易冲,水流边界条件极不稳定自然不会形成“两河并行”的江心洲了。

二、江心洲的成因分析

江心洲总是发生于束窄段的上下游的宽浅河段,在宽浅河段的断面,有一个共同性,其断面形式总以复式断面形态出现,这是天然河道流量有洪水和枯水现象的反映。

深槽两边都要形成天然堤,流量超过天然堤顶高度时,则可能冲破或漫过天然堤形成叉流,在下游适合地址,汇入正流形成沙滩,这是江心洲的幼年时期。在黄河,永定河的中水位时期到处都是沙滩,但未形成江心洲。这要求我们研究为什么有些河道的沙滩能逐渐形成江心洲,而有些河道的沙滩却又不能形成江心洲的原因。

现对江心洲形成的基础进行分析如下。

(一) 叉道稳定性问题(平面稳定问题) 当洪水将天然堤冲破时,突然分为两个叉道,一个是较深的故道,一个是较浅的新道,由于垂线上含沙量分布上下不均和上细下粗的特性,因此深槽的含沙量多一些,粗一些,同时新道的比降较旧道陡一些,结果深槽是向淤积和死亡方向发展,而新的浅槽却朝着冲刷或生长的方向发展。

从上段说明叉道稳定问题实质上是叉道分水分沙的比值问题。在含沙量小的河道中,叉道间分水,分沙比值大致相等,或相差不大即 $(G/Q)_x \div (G/Q)_y$ (G 为输沙率, Q 为流量),使两个叉道在一个较长的时期能继续存在;而在含沙量高的河流则 $(G/Q)_x \gg (G/Q)_y$,因而两个叉道的分水,分沙比值相差悬殊,其结果是一个叉道淤积,一个冲开。沙滩不是向江心洲发展,而是形成边滩。因此可以理解,高含沙量对于叉道稳定是不利的。这样在多沙河流的黄河和永定河的中下游为什么没有江心洲,就容易理解了。

(二) 沙滩形成江心洲过程问题(沙滩滩面上升问题) 在复式河道中,沙滩表面被冲

刷和深槽被淤塞，实际上是一个问题，有时沙滩先被冲刷后水流分散。有时深槽先落淤，水位高涨，以致水流漫溢或冲刷天然堤而冲刷滩面。因此研究复式河槽中深槽和浅滩的水流挟沙能力，和他们比值的关系，具有重大意义。

因为复式河槽有系统实测资料的比较少，作者利用德国恩格斯教授于 1953 年在德国进行治导黄河的实验资料和苏联热烈兹拿柯夫 (Г. В. Железняков) 教授于 1948 年的试验资料^[1] 绘出下列两条曲线：(1) 浅滩水流挟沙能力 (ρ_n) 和深槽水流挟沙能力 (ρ_p) 比值 ρ_n/ρ_p 与浅滩水深 (H_n) 和深槽水深 (H_p) 比值 H_n/H_p 的关系曲线 (图 1)；(2) 全河流量 Q 和平槽流量 Q_c 比值 Q/Q_c 和 ρ_n/ρ_p 的关系曲线 (图 2)。图 1, 2 表示，当全河流量

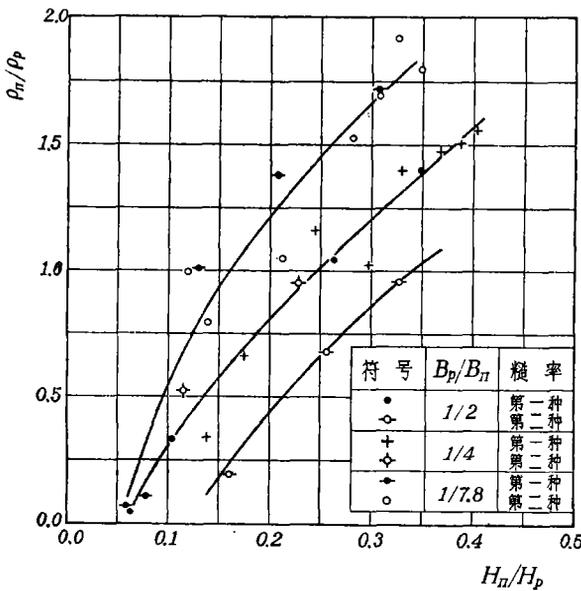


图 1 $\rho_n/\rho_p \sim H_n/H_p$ 关系曲线 (根据热烈兹拿柯夫资料)

较小时，亦即 H_n/H_p 和 Q/Q_c 较小时， $\rho_n/\rho_p < 1$ ，在这种情况下不论来沙量大小，不是浅滩淤高，就是深槽冲深，结果 H_n/H_p 逐渐变小，即 H_p 绝对值变大，亦即平槽流量增大

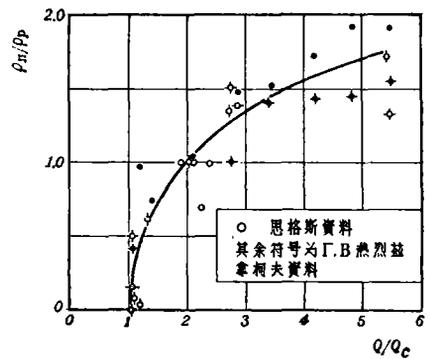


图 2 $\rho_n/\rho_p \sim Q/Q_c$ 关系曲线

河槽更趋稳定。所有这些因素都使沙滩滩面不断提高，由一般的沙滩逐渐形成稳定的江心洲。

反之，当 $Q/Q_c > 2$ ，及 H_n/H_p 大于一定值时， $\rho_n/\rho_p > 1$ ，结果使滩槽高差不断减小，平槽流量亦逐渐减小，河槽更趋不稳定，沙滩面受冲刷，不能形成江心洲。

从上述分析可以得出结论：当 $\rho_n/\rho_p < 1$ ，或是 $Q/Q_c < 2$ ，或是 H_n/H_p 小于一定值时，是沙滩形成江心洲的条件之一。

三、洪峰变差系数 $C_v < 0.30$ 和 $\rho_n/\rho_p < 1$ 是江心洲形成的主要因素

上述的三个判别数 $\rho_n/\rho_p < 1$ ， $Q/Q_c < 2$ ， H_n/H_p 小于一定值，实质上是同一个内容，即浅滩的滩面不受冲刷，它不断落淤升高，或是深槽不断冲深，最后形成稳定的江心洲。应用这三个判别数都有困难。因 ρ_n/ρ_p 的天然实测资料太少， H_n/H_p 和 Q/Q_c 与比值 B_p/B_n 有关，且 $Q/Q_c < 2$ 的机遇如何？亦不知道。不过从上述分析可以理解，如果历年洪峰流量相差不太大，已经渐具雛形的沙滩或幼年江心洲则不会被特大洪水冲掉，这

样用历年中洪峯变差系数 C_v 来作判別数是比較适合的。利用 C_v 作判別数的优点是：1. 它是无尺度的系数；2. 較激烈的河道演变都是在洪水时发生的；3. 它本身具有机率性质。

表 1

河道	C_v	ρ_{ep} (公斤/米 ³)	有无江心洲	河道	C_v	ρ_{ep} (公斤/米 ³)	有无江心洲	河道	C_v	ρ_{ep} (公斤/米 ³)	有无江心洲
1	0.570		无	26	0.780	0.470	无	51	0.273		有
2	0.450		无	27	0.360	0.280	无	52	0.490		无
3	0.720		无	28	0.240		有	53	0.350		无
4	1.190	132.000	无	29	0.221	0.350	有	54	0.820		无
5	0.911	188.000	无	30	0.220	0.144	有	55	0.310		有
6	0.44	29.000	无	31	0.188	0.144	有	56	0.800		无 (铁路上下有 江心洲)
7	0.920		无	32	0.160		有	57	0.600		无
8	0.800		无	33	0.380		无 (下游有江心 洲)	58	0.440	6.800	无
9	0.730		无	34	0.401		无	59	1.010		无
10	0.267		有	35	0.288		有	60	0.480		有 (在河口附近 有江心洲)
11	0.324		有	36	0.550		无	61	1.000	21.800	无
12	0.263		有	37	0.406		无	62	0.580		
13	0.480	40.000	无 (出峡谷口有 江心洲)	38	0.514		无	63	0.500		无
14	0.150	30.000	无	39	0.400		无	64	0.260		有
15	0.800		无	40	0.450		无	65	0.230		有
16	1.100	46.000	无 (出峡谷口有 江心洲)	41	0.670	2.750	无	66	0.100		无
17	1.370	6.000	无 (铁桥下有江 心洲)	42	0.660		无	67	0.220		有
18	0.617		无	43	0.250		有	68	0.350		有
19	0.461		无	44	0.200		有	69	0.390		有
20	0.393		无	45	0.172		有	70	0.260	0.850	有
21	1.260	13.000	无	46	0.244	0.500	有	71	0.450	0.300	无 (出峡谷外有 江心洲)
22	1.200		无	47	0.280	0.190	有	72	0.23~ 0.34	0.220	有
23	0.630		无	48	0.330		有	73	0.14~ 0.21	0.250	有
24	0.900		无	49	0.420		有	74	0.16~ 0.24		有
25	1.200		无	50	0.270	0.210	有				

注： C_v 系由年水量偏差系数乘 1~1.5 倍計算得出。

从国内一些主要河流和国外一部分河流洪峰变差系数 C_v 和有无江心洲进行对比分析,如表 1 所示,得出这样的结论,即: $C_v < 0.30$ 的河流都发生江心洲。

另外一个因素是含沙量小于某一定数值,因高含沙量足以破坏叉道的稳定性,因此可以采用 $\rho_0/\rho_p \leq 1$ 作为另一个江心洲形成因素之一。 ρ_0 为河道上游来的含沙量, ρ_p 为河道实际水流挟沙能力,亦即 $\rho_0/\rho_p \leq 1$ 是叉道稳定的因素,而 $C_v < 0.30$ 是沙滩形成江心洲上升过程的条件。

四、弯曲河道成因分析

上述分析的结果是: $C_v < 0.30$ 和 $\rho_0/\rho_p \leq 1$ 两个条件下才能发生江心洲,在研究弯曲河道成因时,也可同样用这两个参变数。既然 $C_v < 0.30$ 是决定滩面上升的因素,这样很容易理解: $C_v < 0.30$ 是江心洲成因之一,同时也是弯曲河道形成原因之一,因为弯道有环流的作用,不断用凹岸向凸岸输沙,它的 C_v 可以略大于 0.30,从表 1 所示, $C_v < 0.40$,还是可以发生弯曲河道的。

$\rho_0/\rho_p \leq 1$, 是两个叉道长期稳定的因素,但弯曲河道恰恰相反,它需要两个叉道中有一个不断淤塞的条件使河道向弯曲方向发展,因此 $\rho_0/\rho_p \geq 1$ 是弯曲河道形成的另一个因素。

根据 $C_v < 0.40$ 和 $\rho_0/\rho_p \geq 1$ 两个条件,才发生弯曲河道,现就天然弯曲河流资料加以叙述,更容易把这论证说得清楚一些。

(一) 荆江弯曲河道 长江中游自枝江至城陵矶称为荆江,以藕池口分界,分为上下荆江,上荆江多江心洲,下荆江则属弯曲性河道,而没有江心洲,姚琢之同志根据近 200 年来荆江河道图集^[2](该图 1756 年所绘),当时上下荆江的河道弯曲率基本相同,其弯曲率亦较小,约为 1.5,俟后藕池口、松滋口分别在 1852, 1870 年决口。另从 1952 年测绘图分析结果,上荆江的河道弯曲率自 1.5 增加至 1.7,而下荆江的弯曲率自 1.53 竟增加到 2.84,兹将详细数字简列如表 2 所示。

表 2 上下荆江弯曲率统计表

地段名称	直 线 长 度 (公里)	1756 年		1952 年	
		弯曲长度 (公里)	弯 曲 率	弯曲长度 (公里)	弯 曲 率
上 荆 江 陈家湾至藕池口	56.6	85	$\frac{85}{56.6} = 1.50$	96	$\frac{96}{56.6} = 1.70$
下 荆 江 藕池口至城陵矶	87.0	133	$\frac{133}{87} = 1.53$	247	$\frac{247}{87} = 2.84$

经过比降、河道稳定系数等简要分析后所得主要的结论是藕池口、松滋口决口后,荆江河道由于分水、分沙不相适应,使决口后的下游河道不断淤积,造成下荆江河道过渡到没有江心洲的弯曲河道。这个结论与作者的分析,弯曲河道形成是由于 $C_v < 0.40$ 和 $\rho_0/\rho_p \geq 1$ 两个条件所决定的,虽然采取分析方法不同,但所得的结论是一致的。

因决口以后,下游洪峰有所减低,而泄出水量都是表层水,使原河道含沙量增大,同时由于洞庭湖水量增加,延长洞庭湖出口城陵矶顶托的时间,使下荆江的比降相应减少,水

流挟沙能力亦减少。因此,决口后下荆江的 C_v 变小,又因未决口前河道基本趋于稳定,而决口后水流挟沙能力失去平衡,即由原来的 $\rho_0/\rho_p \approx 1$, 变为 $\rho_0/\rho_p \geq 1$ 结果使下荆江的弯曲率由 1.58 增至 2.84。

(二) 卫运河 根据水利水电科学研究院河渠研究所的南运河裁弯工程总结卫运河自秤钩湾至四女寺一段,全河平均弯曲率达 1.96,该河上游有两大支流,一为漳河,一为卫河,漳河历年实测最大流量为 9,200 米³/秒,最大含沙量为 266 公斤/米³,卫河因承纳山区泉水,洪峯流量及含沙量均较小,历年实测最大含沙量为 25 公斤/米³,两河在秤钩湾汇合,汇合点上下游经常溃堤泛滥,据不完全统计,自 1934 年至 1939 年六年间,秤钩湾至四女寺间即决口 16 次,每年平均决口 2.7 次,使下游临清历年洪峯大为减小,根据 1918~1944 年二十七年的资料,临清最大流量为 653 米³/秒(裁弯后曾产生 1,110 米³/秒的最大洪峯),并得出未裁弯前临清站 $C_v = 0.39$,临清最大含沙量为 38 公斤/米³,平均含沙量为 2.2 公斤/米³,堤内滩地高程比堤外地面高出不多(一般仅 0.2 米),说明卫运河是一条

表 3 各弯曲河流特征

河名	站名	弯曲率	C_v	年平均输沙量 (10 ⁶ 吨)			统计年限
				汛期	非汛期	全年	
下荆江	观音寺	2.84	0.26	415	75	490	1951~1957
	城陵矶			373	85	458	
汉江	新城	2.63	0.19	78.8	13.9	92.7	1951~1955
	岳口	1.53	0.19	71.0	15.2	86.2	1934~1937
	新沟			60.4	21.3	81.7	1953~1955
沅水	桃源	2.36	0.34*	10.23	0.17	10.40	
	常德			9.93	0.35	10.28	
黄河	艾口	受河堤约束 弯曲率较小	0.15	940.7	346.7	1287.4	1951~1958
	洛口			906.6	325.0	1231.6	
卫运河	临清	1.96	0.39	5.15	1.67	6.82	1951~1955
	德州			4.82	1.74	6.56	
渭河**	华县	1.60	0.29				

* 系沅陵站资料。

** 渭河华县以下时受黄河顶托,发生淤积,但缺实测数值。

淤积缓慢的河道向弯曲河型发展。

长江流域规划办公室河流研究室曾分析我国 14 条弯曲河道资料提出“自然弯曲河道特性与荆江弯曲分析报告”,作者利用该项资料补充了 C_v 和 ρ_0/ρ_p 数值,所得结果也说明弯曲河道是在 $C_v < 0.4$ 和 $\rho_0/\rho_p \geq 1$ 两条件下形成的(见表 3)。

五、河道形态分类及其指标

从上述分析表明, 具有江心洲的河段 $C_v < 0.30$, $\rho_0/\rho_p \leq 1$; 弯曲河段 $C_v < 0.4$, $\rho_0/\rho_p \geq 1$. 即使水文因素相同而泥沙因素不一样, 可以发生两种河型, 如 $\rho_0/\rho_p > 1$ 的程度增加, 弯曲河道将发展为蛇曲河道, 说明泥沙因素在河型成因中起的重要作用. 一般说来: 具有江心洲的河段不向弯曲河道发展, 而弯曲河段内不会有江心洲存在, 在 $\rho_0/\rho_p > 1$ 的程度较高的情况下特别显著, 如南运河, 黄河下游, 下荆江都是弯曲河道而没有江心洲.

关于摆动性河型的成因, 因为 $\rho_0/\rho_p \leq 1$ 是叉道稳定的因素, $C_v < 0.3$ 是滩面上升的因素, 不难了解 $\rho_0/\rho_p \gg 1$, 和 $C_v > 0.4$ 是摆动性河型的指标. 因为摆动性河型不具平面稳定和滩面稳定两个条件也容易了解束窄段下游的宽浅段, 或是弯曲段的过渡段, 只要在 $C_v > 0.4$, $\rho_0/\rho_p \gg 1$ 的条件下则该河段一定属于摆动性河段.

根据以上水文泥沙条件的不同, 河道稳定性可以分为下列四类: (1) 具有江心洲的河段, 属于稳定的河道, 其条件为 $C_v < 0.3$, $\rho_0/\rho_p \leq 1$; (2) 弯曲性河段, 属于次稳定的河道, 其条件为 $C_v > 0.40$, $\rho_0/\rho_p \geq 1$; (3) 摆动性河段是属于最不稳定的河道其条件为 $C_v > 0.4$, $\rho_0/\rho_p \gg 1$; (4) 在河道中上游修建大型水库后, 如在区间洪水的机遇会发生宽浅的河道即 $C_v > 0.40$, $\rho_0/\rho_p < 1$.

以上四类河道都是泥沙质河床. 这里特别说明一下, 以往都认为弯曲河道是泥沙质河床中最稳定的河道. 但从这次分析中得知具有江心洲的河道是比弯曲河道更稳定的河道.

六、 C_v 和 ρ_0/ρ_p 指标的应用

(一) 用 C_v 和 ρ_0/ρ_p 值解释一些河道形态现象 多沙河流总是中游宽浅, 摆动性强, 而其下游较狭窄, 并呈弯曲河型. 如黄河中游宽达十余公里、摆动性强, 而下游河宽一、二公里, 并呈弯曲河型, 又如永定河中游宽达三公里, 摆动甚烈, 而在下游河宽不到一公里, 略具弯曲雏形, 其他山东的沂河泗河, 亦均具上宽下窄、上直下弯的特性, 群众称为猪尾巴河道. 用 C_v 和 ρ_0/ρ_p 值就易解释产生这种特征的原因, 因多沙河道中游总是 $\rho_0/\rho_p \gg 1$, 而华北受纬度及气候影响, C_v 值较大, 故在中游属于摆动性河道. 且易在中游决口, 削减下游洪峰和它的变差系数 C_v 值, 因受中游大量淤积影响, 下游的 $\rho_0/\rho_p \geq 1$, 结果中游属于摆动性河型, 下游属弯曲性河型.

又如水库末端, 因受迴水作用, 如来沙较多总是 $\rho_0/\rho_p \gg 1$, 如进库 C_v 值大, 则水库末端的河段将属于摆动性河型. 如来水的 C_v 值较小, 来沙亦较少, 有向弯曲河型发展的可能, 而水库末端的 ρ_0/ρ_p 值与水库水位下降上升有密切关系, 当库水位下降即 $\rho_0/\rho_p < 1$, 反之则 $\rho_0/\rho_p \gg 1$, 这说明水库运用对库末河道形态变化有很大影响.

又如支流汇入干流处一般受干流迴水顶托, 特别是汛期容易在支流发生淤积, 在非汛期干流水位下降, 支流发生冲刷, 一般情况是淤多冲少, 亦即 $\rho_0/\rho_p \geq 1$, 如遇支流的 C_v 较小, 支流将呈弯曲型, 如黄河的支流渭河, 长江的支流汉江, 都属于弯曲河型.

(二) 用 C_v 和 ρ_0/ρ_p 值作为河道稳定性的指标 河道稳定性指标是河道演变和河道

整治的一項重要課題,以往研究多在縱向穩定方面(如表4),甚少涉及平面穩定問題,今用 C_v 和 ρ_0/ρ_p 值作为平面穩定的指标,而 ρ_0/ρ_p 值亦具有縱向穩定的概念。

表 4

編号	作 者	年份	河道稳定性指标	备 注
1	洛赫欣	1897	$K = \frac{d}{\Delta h}$	d 河床质平均直径(毫米) Δh 每公里水位落差(米)
2	維立卡諾夫	1949	$K = \frac{gd}{v^2}$ 或 $\frac{d}{J}$	
3	坦尔洛夫	1952	$K = \frac{\gamma_s - \gamma_f}{\gamma_f} \frac{d}{hS}$	h = 水深
4	雷布金	1955	$K = \frac{\omega}{\sqrt{ghi}}$	
5	馬卡維也夫	1955	$K = \frac{d}{hS}$	
6	薩瓦速斯基	1954	$K = \frac{\gamma_s - \gamma_f}{\gamma_f} \cdot \frac{gQ_s}{QJ}$	
7	伏哈蒂	1957	$K = \frac{d}{RJ}$	R = 水力半径
8	寶国仁	1956	$K = \frac{d}{v_0^2} + 0.107h$	v_0 = 河底流速
9	錢 宁	1958	$K = \frac{d}{hJ}$	
10	王书华	1960	$K = \frac{\omega}{F^2 J^2} \frac{Q_{max}}{Q_{cp}}$	

表4中河道稳定指标,就其物理意义来说,基本上可以分为三类:第一类——河道稳定性指标基本上取决于河流的水流冲刷力和河床泥沙的抵抗力間对比关系,指标公式的编号1~5,7~9都属于这一类;第二类——河道稳定性指标基本上取决于河道輸沙能力和上游来沙量間关系,如指标式编号6;第三类——河道稳定性指标,取决于除了上述一

般泥沙因素与水流因素間的关系外,并考虑到流量的参变数指标公式编号10。可惜沒有实测資料进行分析。

根据上述分析結果,自然形成河床的河道稳定指标用 C_v 和 ρ_0/ρ_p 两个数值来表示,比用一个公式更具有物理意义和反映实际情况,这是因为用 C_v 和 ρ_0/ρ_p 值作为河道稳定性指标它既包涵平面稳定又具纵向稳定的概念的。同时因河道形态的变化主要

依据流域的土质条件和降水量及其强度两个因素所决定的。所以用一个简单的图式(如图3)来表示,更为适合。

图4为文献[3]中的一张修建水库前后河道演变的实例示意图,在其图下附有較詳細的說明,作者用上述分析的概念写成表5,并加以說明,然后与原图說明加以比較,比較分

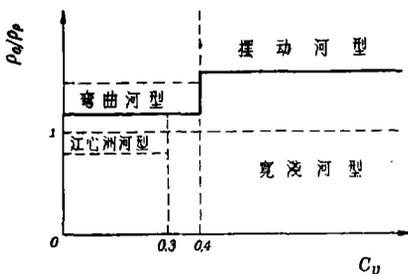
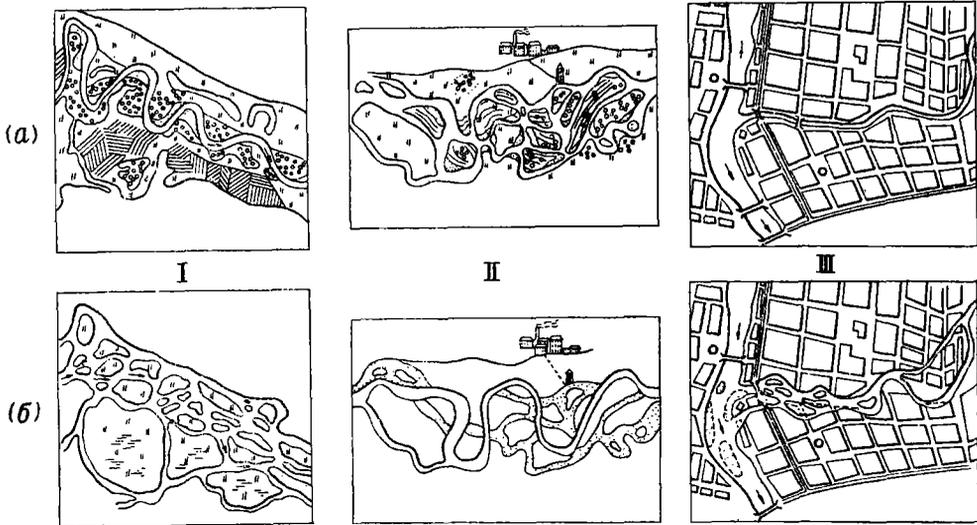


图 3

析的結果,基本的概念是一致的,現將該图附后,作为本文的补充資料,以資引証。



- I. 壅水区: a. 建庫前河床 6. 建庫后河床
- II. 下游区: a. 建庫前河床 6. 經径流多年調节后的河床
- III. 会入庫下游的支流: a. 修庫前的干流与支流 6. 建庫以后的支流与干流

說明: 在壅水地段,建坝以后,水情与过去天然状况相同,不过壅水区位置有了移动,由于滩地被淹没以及泥沙的堆积更为严重,明显地成为多汊河道,以前滩地的开发利用均丧失殆尽。

在下游地区,流量与水位年内分配比过去变得更加均匀,由于降低了水位及拦蓄了来沙,过去流經滩地的串沟将干涸,滩地水位降低后又要求灌溉。

会入下游区支流,由于干流水位的降低,洪水流速相应增大,随着侵蚀基准面下降将引起支流河岸的强烈冲刷,危及两岸工程及村庄,来自支流的泥沙,又引起干流航运的困难。

图 4 径流調节 after 强烈改变河床及河滩状况实例

表 5

河段区别	建庫前情况	建庫后情况	河型变化
1. 壅水区	$C_v \frac{\rho_0}{\rho_p} \geq 1$, 弯曲河型	C_v 不变 $\frac{\rho_0}{\rho_p} \gg 1$,	由弯曲河轉为摆动河型
2. 下游水庫河段	$C_v \frac{\rho_0}{\rho_p} \gg 1$, 摆动河型	C_v 变小 $\frac{\rho_0}{\rho_p} \leq 1$,	由摆动河型轉为弯曲或江心洲河型
3. 会入庫下游的支流	$C_v \frac{\rho_0}{\rho_p} \geq 1$, 弯曲河型	C_v 不变 $\frac{\rho_0}{\rho_p} \leq 1$,	由弯曲河型轉为叉道或江心洲河型

七、用于因水文泥沙条件改变的河道演变預測及河道整治方面

多沙河流在修建水庫以前, C_v 和 ρ_0/ρ_p 两值較大,多属于摆动性河道; 修建巨型水庫后 C_v 和 ρ_0/ρ_p 两值均变小, 庫下游河道将向弯曲河型或江心洲河型发展, 而因洪峯减小,

亦需要及时束窄河槽宽度,进行整治。

了解河流平面上的稳定程度,对治河工程具有指导意义,对于平面极不稳定的摆动河型进行整治,不但工程整治工作量大,而且其效果亦极不可靠,黄河、永定河和印度的柯西河都是世界有名的摆动性强烈的河道,修库以前只能采取固堤办法,而频繁的决口就说明这类河流整治的困难和整治效果的不可靠性。因此,在这摆动性强烈的河道上,除非在中上游修建巨型水库使来水来沙条件改变,河流平面稳定程度改善后,才能进行彻底整治。至于弯曲河道,一般都认为是稳定的河型,故历来整治均以整治弯曲河流为准则。

至于河道的平面稳定程度,除上述用 C_v , ρ_0/ρ_p 两值作判别数外,亦可用 B/b 来代表, b 为洪水时的河面宽度, B 为河带的宽度,凡摆动性河流,如无外力(堤防)以阻之, B/b 值的巨大是惊人的,根据印度柯西河 197 年的记载自柏耳希至普尔尼亚西移 97.6 公里,其变化情况见表 6。黄河七次改道分别北自天津,南由吴淞口入海,也说明 B/b 值是多么巨大。

表 6 柯西河历年河道摆动资料表

年 代	期限	摆动距离 (公里)	摆动强度 (公里/年)
1736~1770	34	10.8	0.32
1770~1823	53	9.3	0.16
1823~1856	33	6.1	0.18
1856~1883	27	12.9	0.48
1883~1907	24	18.5	0.77
1907~1922	15	11.0	0.73
1922~1933	11	29.0	2.630
总 计	197	97.6	平均 0.5

关于弯曲河流的 B/b 值长办河流室对我国十四条弯曲性河道的分析,当洪水流量范围在 $105 \sim 35,600$ 米³/秒之间,所得 B/b 值最小为 9,最大为 41。英格利斯 (C. C. Inglis) 所统计九十多条河流的资料^[4] 所得的 B/b 值最小为 6,最大为 40,其中有一个特殊的 B/b 值竟达到 60,关于弯曲河流 B/b 值的统计,长办河流室和英格利斯的结果是一致的。

关于具有江心洲河流资料,国内外在这方面的研究较少,我们仅根据长江、珠江及黄河中游所搜集的片断资料,所得的结果是 $2 < (B/b) < 7$ 。

将上述资料绘于图 5,便可看出:具有江心洲的河流是最稳定的河型,因为它的 B/b 最小;弯曲河道次之;最不稳定的是摆动河型,这与从河道水文、泥沙条件 ($C_v, \rho_0/\rho_p$) 研究的結果是一致的。

上述分析对治理河道的应用有下列几方面:

1. 从 $C_v, \rho_0/\rho_p$ 两值为河道稳定的判别数,或是 B/b 值为判别数,都说明江心洲河型是比弯曲河型更为稳定的一种河型,因此历来均以弯曲河流为准则的概念值得进一步探讨。

2. 因具有江心洲的河道是最稳定的河型,在多沙河流修建水库后的下游进行整治,它

能起保护滩地和新淤滩地的作用，对减少下泄的沙量和稳定水流流路都是有利的，因此首先考虑整治成具有江心洲河型的条件，如原系弯曲河道（如黄河山东段），仍以因循老河型整治成为弯曲河型为宜。

3. 因江心洲河型是最稳定的河型，对工程的整治费和将来维护费也将达到最少的程度，因弯曲河道是以线定线，而江心洲河道是以点定线，而工程经费和维护费主要取决于险工的长度，根据黄河、长江资料统计弯曲河道的险工长度约为 22~30%，而江心洲河道的险工长度仅 10~14%。

4. 多沙河流修建水库后下游的一个水文特征，是沿程发生冲刷，含沙量随距离和时间的增大而减小，而河道弯曲率的大小，又与含沙量有密切的关系一般河道都在入海处或汇入干流处附近发生弯曲，其弯曲率越靠下游越大，说明河道弯曲率与含沙量成正比的关系，1939 年迪芬 (Tiffang) 和纳尔逊 (Nelson) 两氏^[5]曾做过这方面的试验研究 (图 6)，

也得到同样的结果。因此如果把多沙河流在修建水库后的下游整治成为一条弯曲性河道，在河工整治工程布置上就有一定困难，如果把原来工程安排在“*A*”点附近 (见图 6) 但隔了相当时间，含沙量小了，随之弯曲率也小，流路也变，需在 *B* 点布置工程，意思说在含沙量不断减少情况下，水流流路逐渐变化，不是整治长度不断延长，就是原工程不着溜，而需新建防护工程，不论那一种情况，都需增加整治工程的投资。至于将河道整治成江心洲河道，不论其含沙量变化如何，水流流路是通过卡口下泄，至于两个卡口间的江心洲河段，因属于稳定河段不需要防护工程，而卡口之间距如何决定，尚值得进一步研究。

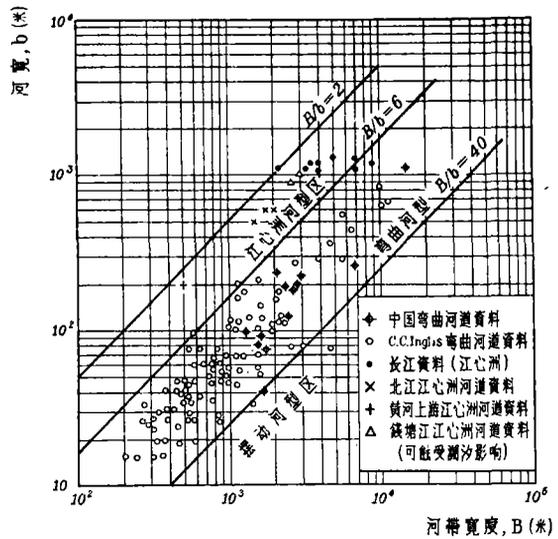


图 5

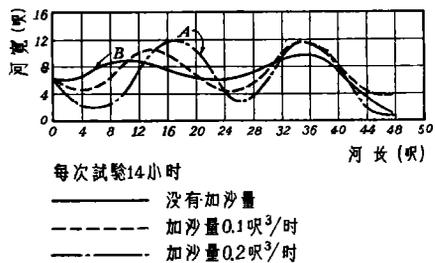


图 6 加沙量不同对河湾及弯顶位置的影响

参 考 文 献

[1] 热列兹拿柯夫, 河流水文测验方法在水力学基础上的论证. 水利出版社, 1956 年.
 [2] 姚琢之, 下荆江河道弯曲原因分析探讨. 武汉水利学院学报, 1957 年第 1 期.
 [3] Попов И. В., Методические основы исследования руслового процесса. 1960.
 [4] Blench, T., Regime Behaviour of Canal and Rivers. London Butterworths scientific publications, 1957.
 [5] Tiffang, J. B., Studies of Mechanics of Model-Streams. Transaction of A.G.U, Part IV, 1939.

АНАЛИЗ РЕЧНЫХ ТИПОВ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В РЕГУЛИРОВАНИИ РУСЛА

Фан Цзун-дай

(Научно-исследовательский институт водного хозяйства и гидроэнергетики)

Резюме

Реки по очертанию в плане можно делить на три типа: островные, меандрирующие и блуждающие. В данной статье главным образом рассматривается влияние гидрологического и наносного факторов на формирование разных типов рек.

Прежде всего здесь рассматриваются два вопроса, т. е. 1) сосуществование и устойчивость двух рукавов речного острова; 2) повышение поверхности поймы и увеличение разности высот поймы и русла. После анализа получаются следующие: когда $\rho_0/\rho_p \leq 1$, тогда имеет место условие сосуществования и устойчивости двух рукавов; когда C_v сравнительно малый, тогда имеет место условие повышения поверхности поймы и увеличения разности высот поймы и русла. Меандрирующие реки не требуют условия сосуществования двух рукавов, а требуют условия заиления одного рукава (т. е. $\rho_0/\rho_p > 1$). Причем меандрирующие реки также требуют условия повышения поверхности поймы и непрерывного увеличения разности высот поймы и русла (т. е. C_v сравнительно малый). Блуждающие реки не требуют как сосуществования и устойчивости двух рукавов, так и непрерывного увеличения разности высот поймы и русла, а только требуют непрерывного повышения поверхности поймы. Поэтому гидрологическим и наносным условиями блуждающей реки являются: $\rho_0/\rho_p \gg 1$ и C_v сравнительно большой.

После анализа натуральных данных нашей страны и зарубежья и анализа данных V/b ряда естественных речных русел (V —ширина полосы реки, b —ширина поверхности воды в одорукавном русле) получаются следующие: островные: $C_v < 0.3$, $\rho_0/\rho_p \leq 1$, $V/b = 2-7$, самые устойчивые; меандрирующие: $C_v < 0.4$, $\rho_0/\rho_p \geq 1$, $V/b = 7-40$, менее устойчивые; блуждающие: $C_v > 0.45$, $\rho_0/\rho_p \gg 1$, $V/b > 40$, самые неустойчивые.

Это совпадает с результатами, полученными методом анализа значений C_v и ρ_0/ρ_p (Русло островной реки относится к самому устойчивому) и противоречит ранее признанному всеми понятию, что русло меандрирующей реки представляет самое устойчивое.

После создания крупного водохранилища на многонаосной реке значения C_v и ρ_0/ρ_p уменьшаются. Речное русло ниже водохранилища будет развиваться к типу островной реки, так как русло реки этого типа является самым устойчивым. Поэтому автор предлагает, что после создания крупного водохранилища на многонаосной реке, прежде всего надо учитывать регулирование русла нижнего течения так, чтобы оно развивалось к типу островной реки.