

弯曲河型与稳定江心洲河型的关系

倪晋仁

(北京大学)

张 仁

(清华大学)

提 要: 结合天然河流及室内实验所反映的河型演变过程, 本文讨论了弯曲河型与稳定江心洲河型之间的相似性, 认为江心洲河型应属于弯曲型河流的范畴。

主题词: 弯曲河型 江心洲河型

一、引 言

Lane^[1]在尝试用 $Q \sim J$ (流量与比降) 关系来划分各种大小河流的河型时, 曾发现长江中下游等河流中的江心洲型河流的资料点群居然位于弯曲型河流资料的点群范围内, 从而使这种江心洲河型成了一种令人费解的河型。稳定江心洲河型 (以下简称江心洲河型) 顾名思义是指具有一个或一个以上较为稳定的江心洲的分叉河流, 它既不同于心滩移动不定的游荡型河流, 也不同于介于弯曲型河流与游荡型河流之间的心滩移动缓慢的过渡型河流。实验证实^[2]在一个由初始顺直河流开始的河型演变的过程中, 出现边滩交错形式的弯曲型河流是在任一种边界组成及河谷比降条件下都必然要经历的阶段, 而江心洲河型却并没有在河型演变过程中占有明确的地位。正因为这样, 江心洲河型是在各种河型中属于研究最不充分的一种。江心洲河型的特性及其与其它河型的区别还不甚清楚。由于我国一些重要河流尤其是在长江中下游存在许多江心洲河段, 而这些河流又与国民经济的联系十分紧密, 所以江心洲河型的研究具有重要的实践意义。结合有关各种边界组成条件下的河型演变过程的实验结果^[2], 本文有可能从不同边界条件及整个河型演变过程这样的大角度来探索有关江心洲河型的问题。

江心洲型河流按其形成方式可分为三类: 即原生江心洲型、滩动式江心洲型及堆积式江心洲型。

原生江心洲型是由地质构造运动决定的, 江心洲就是由地质构造运动产生的突出于江心的基岩块体, 后来的泥沙淤积仅是以该基岩为基础的淤长, 如西江、湘江上都有所见。在桂林的漓江上也存在许多直立于江中心的与岸边石灰岩组成一致的江心洲, 江心洲上几乎看不到淤积物。由于原生江心洲型河流在无泥沙时也必然以分叉的形式出现, 所以它并不是河流自动调整而形成的河型。

滩动式江心洲型的形成方式一般都与边滩的移动有关。滩动式江心洲有许多是弯曲型河流发展到一定阶段的直接产物, 并不需要其它的辅助条件, 而当一定的局部条件加在弯曲河

流上时, 将促使河流扭曲变为较稳定的江心洲型河流。山区河流虽因气候、边界条件及构造运动使得它与平原河流不同, 但山区河流也存在着限制性河湾和与之相应的江心洲河流, 也存在着裁弯和撇滩。但这类河流更类似于原生江心洲型河流, 且江心洲不很稳定。

堆积式江心洲河型是因泥沙在江心长期淤积而成, 这种分汊河流常常需要一定的局部边界条件作辅助, 起壅水和挑流的作用。但稳定的江心洲存在是以局部边界条件作用在弯曲河流上为前提的。

上述 3 类江心洲河流若按其外型则均可粗略地分为 3 种, 即: 顺直分汊、微弯分汊及鹅头型分汊, 且汊数可以多于两个。

目前, 国内关于江心洲型河流的研究多着重于既成汉道的水流结构、水沙流过流能力和冲淤计算^{〔3-5〕, 1, 2)}等, 但这些研究本身很少涉及河型的成因问题。虽然河型成因的室内试验研究已有很多, 但与江心洲河型成因有关的实验却很少。文献〔6〕、〔7〕通过室内试验, 说明了地质构造运动及二元结构对江心洲型河流形成的影响, 也指出了节点的影响。试验表明, 地质构造对江心洲型河流的影响主要表现在局部河段的升降、掀斜引起江心洲河流与单一河型之间的转化。由于长江中下游的江心洲型河段大都存在着局部耐冲的节点, 所以不少研究者设想江心洲型河流的形成与节点有关, 而有些室内试验又表明节点并非决定因素。看来节点以什么形式或在多大程度上影响江心洲型河流之形成仍有待于进一步细致的工作。

在研究江心洲河型成因时, 有的作者仿照杨志达的 $(UJ)_{\min}$ 假说, 认为江心洲型河流可能是 $(UJ)_{\min}$ 的要求^{〔8〕}, 并给出了某些江心洲河型的 UJ 小于单一段 UJ 的例证。与此相反, 尹国康^{〔9〕}等则认为江心洲型河段的输沙能力高于单一段。由于输沙能力与 UJ 成正比, 所以以上两结论似有矛盾。究其原因, 实与不同作者所采用的计算方法及两汊加权方法不一致有关。

为了维持江心洲的稳定, 需要有效应的流量变幅不大的水沙条件相匹配。为此, 方宗岱^{〔10〕}以流量变差系数 C_v 为指标, 统计得出 $C_v < 0.3$ 才易生成江心洲型河流。此外, 江心洲型河流所表现出的沿程的藕节状使得人们提出了江心洲型河流的形成与沿程边岸组成物有差异的观点。

总之, 以往的研究多数是讨论江心洲型河流的必要条件, 而很少涉及河型形成的本质问题——江心洲河型形成的充分条件或充分必要条件。此外, 由于把江心洲型河流作为介于游荡河型和弯曲河型之间的一种独立河型^{〔7, 11〕}, 这就使得人们花很大精力去力图划分出这些河型之间的(有些是根本就不存在的)界限, 因之, 又出现了某些相互矛盾的结论。如果在吸取前人成果的基础上, 结合模型试验和野外实测资料进行分析, 是有可能对江心洲型河流的形成过程及其原因有更深入的认识的。

二、弯曲河型与江心洲河型之间的关系

(一) 弯曲河型与江心洲河型的相似性

1) 武汉水电学院泥沙室, 顺直型汉道尾部水流结构及泥沙运动的试验研究, 1983。

2) 张兴荣, 微弯型汉道洲头水流结构及分流问题探讨, 武汉水电学院, 1981。

本文开头曾提到Lane发现了江心洲型河流的资料点群位于弯曲型河流资料点群范围内的令人费解的现象。这是由于人们认定江心洲型和弯曲型河流存在本质上的差异,而力图加以划分所致。假如我们并不认定这两种河型之间存在本质上的界限,则将会发现自然界及实验室中弯曲河型与江心洲河型之间还有更多的相似之处。进一步的对比分析将会表明,这些相似性并不是偶然的和表面的,而是这两种河型有密切内在联系的见证。弯曲河型与江心洲河型的相似性主要包括:

(1) 大的地貌单元的相似

在研究一条河流沿程的变化时,人们已发现在上游往往是受地质构造运动与基岩控制的山区河流,而河流进入冲积平原后经过一段距离的调整,往往能在边界具有较强的抗冲力(但又可以冲刷)的地貌单元上发育出天然弯曲型河流来。世界各国的各种河流的弯曲型河段多发育在河流的中下游,而对应的边界条件则往往是二元相结构或具有亚粘土层的边界组成。在分析稳定江心洲型河段在整个冲积河流中所占据的位置时,我们会发现它与弯曲型河流相似,它也位于河流的中下游段。长江、松花江、黑龙江、西江、北江、湘江、赣江、沅江、尼日尔河、密西西比河中的江心洲型河段都分布在其中下游。这就是在大的地貌单元方面的相似。

(2) 形态上的相似

江心洲型河流具有两股以上的水沙通路,且中间存在心洲。实际观察得出,在具有江心洲的地方,河流的总宽度大于未分汉的单一河道段的宽度,且通常各汉弯曲率也大于1。弯曲型或鹅头型的江心洲河型的弯曲率就更大,通常与不发生分汉的对应情形的弯曲率相当。因而,就其平面形态来说,若设想将绕江心洲两侧而过的水流交叉式地掩盖其中一汉,则其形态与弯曲型河流十分相似。就其断面形态来说,弯曲型河流的典型断面(在弯段)呈不对称三角形,而且凸岸一侧坡度较缓,凹岸一侧坡度较陡;而江心洲型河流的典型剖面则呈W形,且靠近江心洲一侧的坡度要缓。比较弯曲型河流的剖面图与江心洲型河流剖面图就可看出前者与后者中的每一汉都是相似的。

(3) 稳定性的相似

弯曲型河流因其边滩稳定发育,河曲有规律的蠕动而被公认为一种较为稳定的河型。江心洲型河流也因其心洲的稳定发育而具有稳定性,有的江心洲型河流甚至比弯曲型河流更加稳定。这种稳定性的相似正是人们把江心洲型河流看作一个类型的主要原因。

(4) 周期性的相似

自然界中的弯曲型河流具有周期性运动的特点,主要表现为年内浅滩和弯段的交替冲淤和更长时间的大水趋中,小水走弯直至发展到一定阶段后发生裁弯取直再开始新的循环,等等。对江心洲型河流,其周期性则主要表现为主汉和支汉的交替冲淤,在年内则当大小水不同时,两汉分流比发生对应变化,随着边滩的移动还会发生周期性的展宽运动,等等。

(5) 延续性的相似

对弯曲型河流来说有着“一湾变,湾湾变”的说法,意即当上游某个弯道发生了变化则其后下游众多的弯道都将受影响而有相应的变化,河湾作为整体以波的形式向下游传递及大小水时引起各沿程河湾的一系列变化都是这种延续性的表现。对江心洲型河流来说,虽然有时因为节点的存在,在一定程度上限制或破坏了这种延续作用,但当上游分汉段的分流分沙

情况发生变化时,下游分汉段的相应变化往往仍是十分明显的,反映出弯曲型河流与江心洲型河流在延续性上的相似。

(6) 内部水流结构的相似

环流是弯曲河型水流的一个显著标志。在弯曲河流的弯段,环流结构较为简单,多呈单向环流,可由马卡维也夫方程描述^[4、5]。在弯曲河流的过渡段(即较顺直的河段),环流结构比较复杂,还可能出现多层或多向的环流结构(这种现象也常出现在山区河流的推移质河流上),而江心洲型河段除了在汉道的进出口因汇流和分流使得水流结构较为复杂外,实验证实^[4、5]在汉道内也存在着环流并和弯曲型河流的环流结构遵循同一规律。较顺直的江心洲型河段,则和弯曲型河流过渡段的情况类似¹⁾,环流结构较为复杂。山区河流以推移质为主的分汉河流之环流结构也有类似于浅滩段的情形,在弯曲型河流的长过渡段内存在的顺直型江心洲分汉河段的情形也与此类似。此外,汉道内和弯道内的环流结构的相似还表现在环流沿程衰减的规律方面^[4、5]。

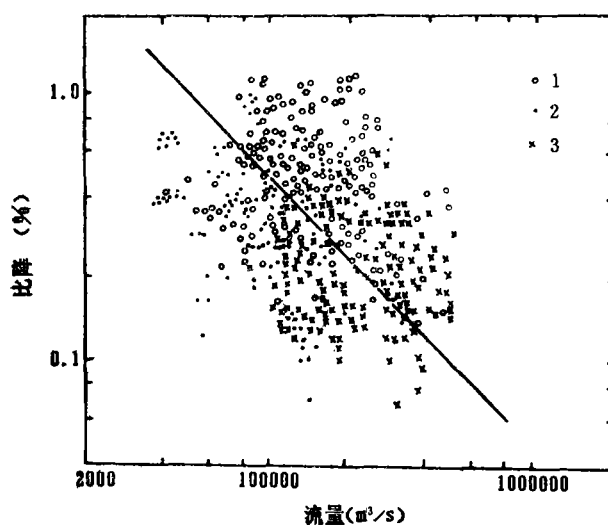
(7) 流量变幅的相似

如果以流量变差系数 C_v 来衡量一个河流的流量变幅,文献^[10]得出,对于弯曲型河流通常有 $C_v < 0.4$,对于江心洲型河流则有 $C_v < 0.3$ 。考虑到天然河流中的许多其它因素,实际上 $C_v = 0.3$ 和 0.4 是极其接近的,从统计的精确度来分析也很难辨清 C_v 为 0.3 和 0.4 的严格区别。另外,由江心洲型河流所对应的 C_v 为小于 0.3 的值也可看出,江心洲型河流和弯曲型河流所需满足的 C_v 条件在绝大部分区域是重叠的。

(8) $Q \sim J$ 关系的相似

在划分河型时,人们常用 $Q \sim J$ 关系来对多种资料进行统计并据以划分河型,有人试图找到一个各河型间的转化界限。从Lane用 $Q \sim J$ 关系划分的结果来看,长江的江心洲型河道及尼日尔江心洲型河道的资料都落在了弯曲型河流的点群范围内。而当我们重新分析文献^[7]中试图划分弯曲型和江心洲型河流的界限的图时,也会从中发现该图不能说明两者存在任何界限,多种点群均匀地杂拌在一起倒是说明两者恰好应属同一范畴的河型,见图1。

综上所述,无论从宏观上还是从微观上,无论是从河流的外部条件还是从其内部结构来看,弯曲型河流和江心洲型河流都是相似的。二者的区



1. 上荆江 2. 下荆江 3. 城陵矶—江阴

图1 长江江心洲型与弯曲型河流的 $Q \sim J$ 关系
The $Q \sim J$ relation for the anabranching and meandering rivers in the Yangtze River

1) 武汉水电学院泥沙室,顺直型汉道尾部水流结构及泥沙运动的试验研究,1983。

别仅仅在于江心洲型河流是以多于一个通道的方式流动,且有时因某些局部条件的限制使得其摆幅小于弯曲型河流。上述诸多相似点的存在看来并不是偶然的,这些相似性可能隐藏着某种必然的联系,这可以从河流在不同的边界条件下由顺直型始发展的全过程来进一步分析。

(二) 江心洲河型在河型演变过程中的地位

实验证明^[2],在任一沿程组成均匀的边界条件下河流均由顺直型开始向弯曲型演变,深泓弯曲型河流必然在整个河型演变过程中占据明显的地位。然而,在相同实验条件下我们并不能看到江心洲河型作为一种独立的河型在整个河型演变过程中占据明显的阶段。对于整体或河岸耐冲段的边界,往往在河型演变过程到达弯曲型的阶段就能使边滩稳定发育,因而在后期除了弯曲率发展到一定程度后发展裁弯现象外,河流中没有心洲产生。对于组成松散的边界条件,由顺直型发展到弯曲型河流,当边滩遭到破坏时,河流会产生一系列心滩,由于心滩移动变化较快,也不会出现稳定发育的江心洲型河流。由此看来,在定常流量及沿程边界组成均匀的条件下,江心洲型河流或是因边滩稳定而没有心滩出现,或是边滩虽遭切割形成心滩,但因心滩不稳定而成为摆动河型。所以,江心洲河型在河型演变过程中并不占据明显的地位。显然,我们在研究江心洲河流时首先应该排除心滩摆动的游荡性河流,这样江心洲河型的问题就只能自然地归结到产生稳定发育的弯曲型河流的一类问题中了。也即在稳定的弯曲型河流中或在类似于产生弯曲型河流的水沙边界条件下发育稳定的江心洲型河流。

三、江心洲型河流的形成条件与过程

本文主要讨论滩动式江心洲型及堆积式江心洲型的形成条件与过程,原生江心洲型因不属于河流自然过程而在此不作讨论。

(一) 滩动式江心洲型河流的形成条件与过程

形成滩动式江心洲河流的主要方式是切滩和裁弯,通常这类江心洲外形呈微弯型或鹅头型。天然资料表明,在江心洲河段中,同时存在着弯曲河段,另一方面,当弯曲型河流裁弯以后也既可能使老河迅速淤废又可能存在两河并存的情况,这说明滩动式江心洲型河流与弯曲型河流的稳定性大致相当,但后者更为稳定。因此从维持河型稳定性的角度来看,二者的输沙条件及水文条件都应大致相当。

通常,在适宜发育弯曲型河流的水沙和边界条件下,由特殊的较大流量经过时切滩,或因河弯的弯曲率发展到极限值时裁弯而发育江心洲河型;在弯曲河流的顺直过渡段中,则因过渡段环流结构在不同流量下的复杂变化致使边滩时离时合,并形成不太稳定的江心洲河型。对于定常流量,在产生稳定的弯曲型河流的边界组成上,一般至多能够产生因裁弯而形成的江心洲河型。

江心洲河型的形成并不等于能够维持稳定,江心洲河型的稳定包括江心洲自身的稳定和各汉流路的稳定。对于滩动式江心洲河型来说,江心洲本身的稳定因与原有形成弯曲型河流的抗冲能力较强的边界组成条件相联系而易于维持,至于各汉过流的维持则必然与造成水流动力轴线周期性摆动的流量过程和决定各河是否死亡或堵塞的沙量过程有关。由于滩动式江

心洲河型与弯曲河型的边界和水沙条件基本一致,因而我们可以推断出这类河型一旦产生之后维持稳定所需的条件是:(1)定常流量下(若不辅以其它局部边界条件)也能因弯曲率增大到一定限度后裁弯造成江心洲型河流,但因水流动力轴线相对稳定单一而难以维持各汉流路同时都稳定。因此,弯曲型河流可能在定常流量下(当给定对应的边界条件时)产生并能维持稳定,而江心洲型河流要维持稳定则需要一定的流量过程来保证水流动力轴线的摆动以使主支汉中任一汉都不死亡。显然,这种流量过程也必然是与原有的有利于产生弯曲河流的那种较为平缓的流量过程相类似的,前面提到的 C_v 相似也是一个例证。(2)弯曲型河流也可能在较高的含沙量条件下产生并维持,但在这种条件下产生的江心洲河型却因在含沙量较高时汉道易堵而无法维持,因此只有在含沙量较低时,才可能出现稳定的江心洲河型。例如松花江和渭河这两条弯曲型河流中只有含沙量较小的松花江才可能有江心洲河型出现。(3)柯氏力有时是一种使水流偏离主流并向另一侧靠拢的因素,但它究竟在多大程度上起作用还有待比较。(4)如果在滩动式江心洲河道的首部存在将水流挑向支汉的局部边界条件,也可能会促使各汉维持稳定过流,但这与边界条件的类型有关〔2〕。

(二) 堆积式江心洲型河流的形成条件与过程

对于沙卵石居多的山区性河流,江心洲河型多是先由较大的洪水将粗沙卵石冲到江心形成一个较为稳固的、中小水冲不到的基础,而后在中小水时又有细沙落淤使心滩加固淤长并使下一次洪水也相对不易冲刷,这样渐次形成一种类似于强制性的平面形态。

冲积平原上堆积式江心洲河流所具有的河岸土质往往和弯曲型河段的相似,实质上它是在产生弯曲型河流的边界条件上,由于局部条件的作用而造成的一种平面形态。有利于堆积式江心洲型河流形成的条件主要是:从整体看来具有产生弯曲型河流的水流条件及边界条件,但从局部看来却存在着与整体(沿程)组成略有差异的局部边界条件。这类条件可以由狭窄段到突然放宽段的地形条件构成,也可以是由局部地质构造运动(诸如抬升、沉陷、掀斜等)造成,还可以是因节点控制等造成。由于这类河型的其它条件均与弯曲河流的类似,所以河型一旦形成,则相对也较稳定,并在特性上继承了弯曲型河流的各种属性。同样,这类河型的稳定也象滩动式江心洲型一样要求具有较平缓的流量过程(而不是定常流量)来保持水动力轴线的摆动和各汉分流的周期性变化。此外,堆积式江心洲一方面需要较小的含沙量来保证不易使汉道淤堵,另一方面还要求含沙量不能太小,以致于不利江心洲的淤长或江心洲渐渐被冲掉。对于柯氏力的作用,也存在着类似于前面提到的情况。应该指出,尽管是在大的地貌单元及水流条件一致的前提下,因局部边界条件的不同造成了弯中有汉,汉中有弯的沿程河流的平面形态,使江心洲河型能在一定程度上有近乎弯曲型河流的稳定性,但并非一旦有局部边界条件的作用就能产生并维持江心洲河型,这里还存在一个局部边界条件自身特性及搭配的问题〔2〕。

四、结 论

通过以上分析,本文得到下列主要结论:

1. 弯曲河型和江心洲河型从外部条件到内部结构都具有明显的相似性。这些相似

性所反映的物理实质是：江心洲河型是属于弯曲河型范畴的一种“扭曲”形式，在本质上它保留了其母体所具有的一切特性。这也正是仅从二者的差异性入手研究江心洲河型的产生和发展规律常常不能达到预期目的的原因。

2. 江心洲河型虽属于弯曲河型的范畴，但它却要比弯曲河型要求更多的附加条件。

3. 江心洲型河流的形成条件与过程因其类型不同而有所不同，但若要维持这种河型，都必须具有一定的流量过程与泥沙输移特性。定常流量因其不能保证江心洲型河流两汉交替发展所需的动力轴线摆动而不利于江心洲的稳定发展，太大的流量变幅又会使河型发展为游荡型。因此，有利于江心洲河型产生及其发展的流量过程是产生和维持稳定的弯曲河型所需流量过程的范围内偏大的那一部分。有利于江心洲产生和维持的泥沙含量则是产生和维持稳定的弯曲河型所需的泥沙含量范围的适中的那一部分。

参 考 文 献

- 〔1〕 Lane, E. W., A study of the shape of channels formed by natural streams flowing in erodible material, M. R. D. sediment series No. 9, U. S. Army Engineer Division, Missouri River, Corps Engineers, Omaha, Nebraska, 1957.
- 〔2〕 倪晋仁. 不同边界条件下河型成因的试验研究: [博士论文], 北京: 清华大学, 1989.
- 〔3〕 丁君松等. 分汊河段若干问题探讨, 泥沙研究, 1982年第4期.
- 〔4〕 胡绍林. 汉道分流区环流结构探讨: [学位论文], 武汉: 武汉水电学院, 1985.
- 〔5〕 张启卫. 汉道汇流区水流结构的研究: [学位论文], 武汉: 武汉水电学院, 1986.
- 〔6〕 中国科学院地理研究所. 长江中下游分汊河道演变的实验研究. 地理学报, 1978, 33(4):
- 〔7〕 中国科学院地理研究所等. 长江中下游河道特性及其演变. 北京: 科学出版社, 1985.
- 〔8〕 尤联元. 分汊型河床的形成与演变——以长江中下游为例. 地理研究, 1984, 3(4):
- 〔9〕 尹国康, 陈宝冲. 从河相关系探讨长江冲积河床的自动调整, 泥沙研究, 1983.9.
- 〔10〕 方宗岱. 河型分析及其在河道整治上的应用. 水利学报, 1964.2
- 〔11〕 钱宁, 张仁, 周志德. 河床演变学. 北京: 科学出版社, 1987.

THE RELATIONSHIPS BETWEEN THE PATTERNS OF MEANDERING AND ANABRANCHED RIVERS

Ni Jinren

Zhang Ren

(Beijing University)

(Qinghua University)

Subject terms: The meandering river, the anabranched river

Abstract

The relationships (including both the similarities and the differences) between the meandering river and anabranched one have been discussed with some relevant experimental results. The analysis shows that anabranched pattern is one that belongs to the realm of the meandering river, but the former needs more additional limited conditions than the latter for its development.