

弯曲性河流形成原因及造床試驗初步研究*

尹 学 良
(水利水电科学研究院)

一、前 言

弯曲性河流是一种重要的河流类型。对这种河型的成因的研究由来已久。各家主张大约可归结为两大类。一类从水流结构、水流能量或振动等出发,即纯粹讨论水流本身弯曲运动的原因;另一类则纯粹统计流域因素包括流量、比降、泥沙等的影响,设法将弯曲性河流及其他类型河流在受外界影响的差异性上区别开来。从理论的完整性来说,前者至多只能说明水流弯曲运动的原因和可能性,但回答不了何以一些河流属于弯曲性而其他则否;后者只能发现弯曲性河流形成原因中的特殊性,而难以说明何以具有这些条件后河流才可以弯曲。

最早在模型内设法造成小河道的,当推 Tiffany, T. M. (1939)^[1] 及 Friedkin, J. F. (1942)^[2]; 到 50 年代,苏联和我国学者亦分别开展了这项工作。然而,认为造成了弯曲性小河的,其河线最多只是微弯的、近似正弦曲线的,与自然河流的弯曲特性相去尚远;多数试验成果由于试验历时太短(例如 Tiffany 的试验历时仅 14 小时;Friedkin 的试验,除了几组特殊试验以外,其他都在 12 小时以下),所造成的河线形式很难说已达到稳定。

和我们的试验同时,长江水利科学研究院也做出了弯曲的河道³⁾。不过,他们的试验方法和我们的不同,是在预先铺好的、下层为纯沙、上层加粘土的床面上放入水流,待出现边滩后,就在边滩上陆续植草护滩,避免发生切滩;同时调节尾门,使大水期比降减小,模拟下荆江的特性。我们的试验则在天然河沙铺成的床面上放入事先严格规定的水流过程,并控制一定的输沙条件,让小河自己发展。

本文限于讨论流动于水流自己造成的床面上的弯曲性河流;阐明其形成条件,并报导在室内进行造床印证试验的一些成果。

二、弯曲性河流的重要特性和我們的研究方法

人们曾注意到,弯曲性河流的水流过程较平稳,输沙基本平衡^{2)[3]},河床比降较平缓。然而,例外的情况是很多的。

看一看弯曲性河流本身的面貌,可发现如下几个性质:

1. 单股无汉 弯曲性河流河线迂迴曲折,河槽整齐单一,很少分汉。应该注意,只有不易发生切滩改道,才能出现单股无汉的河道。

* 先后参加和协助试验工作的有下列同志:万兆惠、乐培九、秦荣昱、尤三宝、孙德英、武志峯等。
1) 唐日长等:蜿蜒性河流形成条件的初步分析和造床试验研究,1963。
2) 尹学良等:卫运河裁弯研究总结,1961。

2. 单向的螺旋流 任何河道水流中都存在着螺旋流，唯独单股无汉的水流才可能具有单向的螺旋流。

3. 泥沙的单向输移 河床泥沙输移的方向总是和近底流向大致一致，因而单向螺旋流也造成在同一河段上的泥沙单向输移。

4. 单向蠕动 泥沙单向地由一岸输往另一岸，导致一岸单向地后退而对岸单向地前进。河槽的单向蠕动是河流迂迴蛇曲的直接原因。

由此可见,蛇曲河流的形成是以单向蠕动作为直接基础的;单向蠕动则是由泥沙的单向输移引起,后者又是单向螺旋流作用的结果;而单向螺旋流的出现必须以河道的单股无汉作为前提,这一前提又要求河道不易切滩改道才能出现。列其系统如下:

不易切滩改道→单股无汉→单向螺旋流→
→单向泥沙输移→单向蠕动→蛇曲。

这个系统的完成就是水流和河床矛盾统一的结果。根据这个系统，可以提出问题：有了什么条件河道就不易切滩改道并进而向蛇曲发展？造成单股无汉河道的条件，应从来水过程、来沙条件及河谷比降等去寻找。这三者全面支配着河道各方面的特性,包括河床形态、河床土质、冲淤强度、冲淤分布及冲淤的泥沙组成等。来水过程和来沙条件不受河性的支配是不举自明的。河谷比降则可以看成是原始河谷比降、来水来沙条件及由原始河床变到目前河床所经历的时间等的函数。可见河谷比降既是河床特性之一，又对河道特性起支配作用;归根到底，可以看成是独立于河性之外的一个基本条件。因此可以认为：河型的形成,是在来水过程、来沙条件及河谷比降这三个条件之上，由河床水流内部矛盾发展而自己造成的。即：

河型 = f(来水过程、来沙条件、河谷比降)。

(1)

三、弯曲性河流形成条件的探讨

1. 来水过程

来水过程将通过下列四方面对河型起影响:

(1) 流量大小不同,河线弯曲程度也不同 流量愈大,运动途径愈需顺直。在河道内,如果大小流量相差悬殊,大水河线与小水河线相差较远,相互破坏,就不能出现单股无汉的河道。然而,如果流量均匀不变,就淤不出高滩地,河道也要变成宽浅而多汉;除非是不在自己淤成的床面上,并且迅速冲刷下切的河道。

(2) 流量大小不同,对滩地的冲淤强度及位置也不同 漫滩水深较小时,水流挟沙可起淤滩的作用;漫滩水深加大,淤滩作用将减小,甚至变为刷滩。当离开主槽较远的滩面可以在洪水中刷出深槽,洪水过后全部水流不能回归旧槽时,就发生切滩改道。切滩的难易程度,可用河床可动性来表示;后者则与水流对河床泥沙的作用力和泥沙的反作用力之比 $\frac{\rho u^2}{(\rho_s - \rho)gd} \propto \frac{\rho}{\rho_s - \rho} \frac{HJ}{d}$ 有关。此处 u 为流速; H 为水深; ρ 、 ρ_s 分别为水及泥沙的比重; d 为河床泥沙粒径,含有粘性土时应考虑粘性的影响。对长河段平均而言, d 本身也是受来水、来沙条件及河谷比降所支配的。另外,一般沙质河床的水深 H 约与流量 Q 的 1/3 次方成正比,也与该级流量的作用历时 T 有关。代入上式可得河床可动性表达式

为:

$$Z = \frac{\rho}{\rho_s - \rho} \frac{J}{d} (QT)^{1/3} \quad (2)$$

(3) 洪水频率大小不同,切滩改道的机遇也不同 短暂的一次尖峰洪水,不一定能造成切滩;但若多次连续而来,就有可能刷出新道。这已在 Z 值中用 T 值概括。水流涨落频繁的重要意义还在于,它使得切滩不断发生,河道迁徙不定;同时滩地淤积物不能压实,不能长出植物,以起护滩作用。

(4) 流量绝对值愈大,冲刷能力愈强 这一概念,已在 Z 值中表达。

2. 来沙条件

来沙条件主要通过河段上泥沙输移的平衡情况、冲淤部位及泥沙组成而起作用。前面谈到,弯曲性河流输沙情况一般处于平衡状态,但也不尽然。辽河铁岭到巨流河 120 公里间,平均每年淤积约 500 万吨,占上游来沙的 10% 以上,仍能发展成很好的弯曲性河流。冲刷条件下形成弯曲性河流的例子也很多。相反地,冲淤平衡条件下不能形成弯曲性河流的例子亦比比皆是(见下文及武汉水电学院的研究¹⁾)。

冲淤部位对河型的影响至大。滩地易淤而河槽易冲显然对形成单股无汉河道有利。相反地,如果滩地易被切割而河槽发生淤积,将出现游荡性河流。出现单股无汉河道的条件,应是大水期来沙稍许偏大,既能淤滩,又不大到迅速淤死河槽;小水期来沙则尽量偏小,使河槽受到冲刷。反过来,河道游荡散乱的条件则是大水期来沙偏小而小水期来沙偏大。黄河过去的情况是汛期冲刷而非汛期淤积,这些条件正好与其强烈的游荡性相应。下荆江、汉江、沅江等则相反,是大水期稍淤、小水期冲刷,这与河道属于单股无汉型也刚

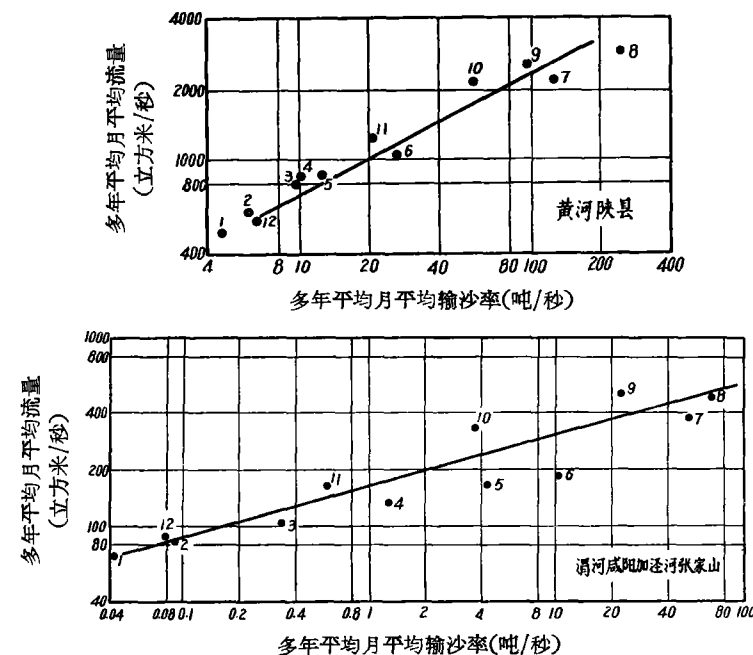


图1 黄河和渭河的流量-输沙率关系(点旁数字表示月份)

1) 武汉水电学院: 定流量造床试验, 1959。

好相应。这表明,来水与来沙的配合情况支配河道的冲淤部位,从而又支配河道特性。图 1 为弯曲性的渭河和游荡性的黄河的流量 Q 与输沙率 Q_s 关系,渭河 $Q_s = KQ^m$ 曲线的斜率约为 $m = 3.7$, 比黄河(约为 2)大得多。将弯曲性的南运河与游荡性的永定河相比,也可以看到同样的关系。设想河道输沙长期平衡,则 m 值大的表示大水期来沙偏大,易于淤滩;小水期来沙偏小,易于刷槽,这就是出现单股无汉河道的有利条件。 m 值小则应是出现游荡性河道的有利条件。在输沙不平衡的情况下, m 值的这种影响仍应存在。来水来沙过程的这种关系,是流域加诸于河流的条件;河流特性迟早要符合于这个条件。

滩地上水深较浅,较细的泥沙也有可能落淤。如果洪水漫滩期间,上游有大量细泥下泄,滩上就可以出现淤泥层,这将有利于防止切滩改道。

3. 比降

比降对河道造床的影响,应从水流刷滩强度及水流输沙强度来了解。

水流强度愈大,愈容易发生切滩改道,变为多汉散乱。式(2)已表明比降对切滩改道的难易程度的影响。

输沙能力也与比降有关。在一定的来水来沙条件下,比降过小,不足以挟走全部来沙,致使河槽发生严重淤积时,将导致河槽的经常改道不定,而变为多汉散乱。

从此看到,单股无汉河道的河谷比降不能大于可以切滩的比降,不能小于河槽发生严重淤积的比降。称前者为上限比降,后者为下限比降,则上述条件为:

$$\text{下限比降} < \text{河谷比降} < \text{上限比降}。$$

黄河下游过去的情况恰好与这个条件相反,是下限比降大于河谷比降,河槽不断猛烈堆积;河谷比降又大于上限比降,不断发生切滩改道。这自然不能维持单股无汉的河槽。

比降的季节性变化也是值得重视的。由于四口分流进入洞庭湖等的影响,下荆江高水常与洞庭湖高水相遇,致使下荆江比降减小至枯水季节的 50% 左右,如图 2。这无异加大了大水期来沙的偏大程度。因此虽然其 $Q - Q_s$ 关系的 m 值不如别的弯曲性河流

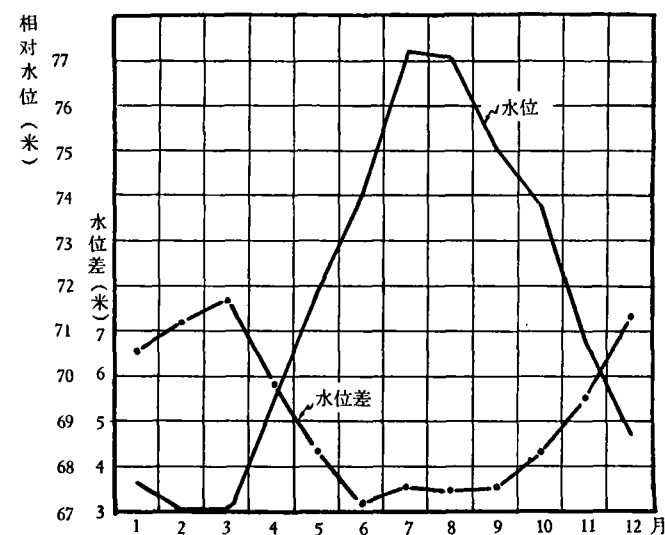


图 2 1954 年荆江调弦口月平均水位变化及调弦口与城陵矶月平均水位差的变化

大,仍得形成很好的弯道。鄱阳湖湖口以上的长江则不然,由于鄱阳湖与长江洪水遭遇的机会较少,前者成了后者的调蓄场地,使长江在大水时比降大,小水时比降小。亦即鄱阳湖会加强长江的大水冲刷能力和小水淤槽强度;它与该段河道多江心洲滩有关。顺便指出,受四口分流影响,上荆江比降也是大水期大而小水期小,河道特性也是分汉性的。

四、造床試驗成果

试验槽全长 17 米,试验段长 12 米,宽 3 米;两头分别为水库和沉沙池。具有独立的水流系统,用 10 升/秒的抽水机自行循环。不论放清水或浑水,都定期地从进口加入底沙,使模型内水面比降基本不变。尾门高也固定不变。

除了水流过程及加沙过程接着事先规定严加控制外,试验过程中主要观测水位和测绘河势、照象等,局部地施测断面和流速。

1962 年 4 月到 1963 年 9 月之间,一共进行 6 组试验,主要目的是探讨河床可动性及洪水期悬沙对河型的影响。各组概况如表 1 所示。除了第Ⅱ组是在第Ⅰ组所造成的床面上进行试验以外,其他各组均在试验前新铺床面,中间开一条宽 20 厘米,深 3 厘米的直槽。以下分别简述各组试验成果及对比。

1. 小河发展的一般过程

在人为的直线河槽内放入带底沙的水流后,由于河床比降较大,水流也集中,槽内流速很大,可达 0.45 米/秒。此时可以看到水面具有网状纹路,属于急流状态($\frac{u^2}{gH}$ 达 1.8)。受到强烈冲刷,河底开始出现局部冲刷坑,并逐渐形成跌坎。在加沙适当的条件下,跌坎下游不远处要发生回淤,其结果是跌坎和跌坎下游的冲刷坑不断向上游移动,冲刷坑以外的河床并不比原来降低。在这一阶段内,河床上还看不到沙纹。

表 1 各组试验概况

组 次	试验历时 (小时)	床沙中径 (毫米)	河谷比降	流 量 (升/秒)	加 沙 情 况	试 验 目 的
I	412	0.16	0.01	1.0	清水加底沙	了解松散河床上河道形成过程
II	452	0.16	0.01	0.5	” ”	在 I 组床面上观察减少流量后河道的改造过程
III	519	0.16	0.01	0.5	” ”	与 I 组比较河床可动性的影响,与 II 组比较前期河床的影响
IV	1441	0.16	0.005	0.5	” ”	与 I、III 组比较河床可动性的影响
V	1600	0.16	0.01	1 升/秒 2 小时与 0.5 升/秒 22 小时连续循环	小水时清水加底沙,大水时浑水(含沙量约 23 公斤/立方米)加底沙	了解洪水期细粒悬沙的作用
VI	634	0.16	0.01	” ”	清水加底沙	与 V 组比较悬沙的作用,与 I、III 组比较流量变幅的作用

与此同时,河槽两岸不断坍塌展宽,流速逐渐减缓;坍下的泥沙部分淤于河槽内,使它逐渐变得宽浅。此后,河槽内就局部出现沙纹,渐次扩及全部。

在这以前,河岸坍塌展宽速率未见随河长而有明显差异。各地的坍塌是随机进行的,因之两岸呈现不规则的锯齿状。水流情况也比较均匀。河槽展宽较多之后,水流情况偏离均匀的程度加大,两岸的锯齿状也更加明显,河底沙纹的运动开始有些歪扭;最后出现有些地方冲刷稍多,对岸则淤积稍多,这就是第一个边滩。

从第一个边滩形成发展到全线出现系统的排列整齐的边滩还需要相当长的时间(表2)。在这个阶段内,已有边滩的河段以其较集中的主流带对下游河道给以明显的影响,促使该处也出现边滩和主流,或改变其原有的主流位置和边滩情况。这就是说,在出现主流和边滩之后,河段的变形特性不再是仅受当地的水流情况和输沙情况的控制,还要受上游河段变化过程所支配。这一阶段中,边滩总是先在下游出现和发展得较完整,河宽的发展也以下游段为迅速。这一现象也应是上游河道变化对下游有支配作用的结果。就在下游边滩先成熟,上游也逐渐出现边滩,以及上游边滩和主流的变化不断对下游发生影响这两重交替作用下,终至全河上下都出现系统的排列整齐的边滩。

兹根据绘制的河势图将放水后到出现沙纹、第一个边滩及出现完整的边滩的历时列如表2,表内并列入河床可动性Z值。

表2 各组河床演变特征

组 次		I	III	IV
流 量 (升/秒)		1.0	0.5	0.5
河 床 可 动 性* Z		168	133	67
历时(放水后小时数)	出现沙纹	0:15	0:20	1:15
	出现第一个边滩	3:30	9:30 以后	128
	出现全河完整的边滩	7:00	50:30	264
	第一个切滩	9:00	72:00	337
	滩坎间距展宽到0.8米	28	130	1440
水 面 宽 B (米)		1.17	0.65	0.50
平均水深H (米)		0.0064	0.0053	0.0055
\sqrt{B}/H (以米计)		169	152	128
无 汉 段 占		22%	52%	62%
分 汉 段 占		78%	48%	38%

* 使 $T = 86400$ 秒作为一个水流周期,以便与以后各组比较。

系统的、排列整齐的边滩出现后,河线左右弯曲,近似正弦曲线。不少前人的试验似乎就在这个阶段结束,认为已造成了弯曲性河道。在我们这里,继续试验就发现已形成的边滩复被切碎,并发生改道分汉。

表2中粗略地统计了河床变形历时;它们表明变形以第I组最快,第IV组最慢;与河床可动性很好地相应。

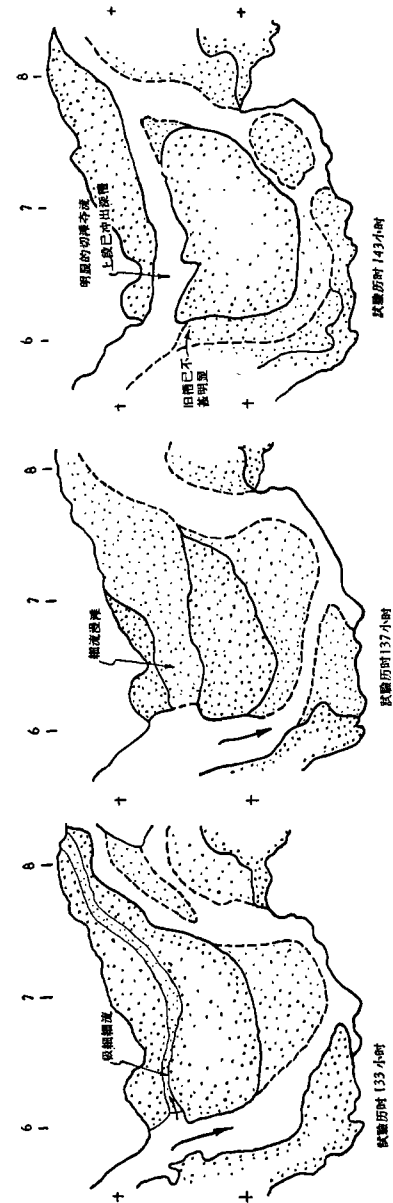


图 3 串沟过流切滩(第 I 组)

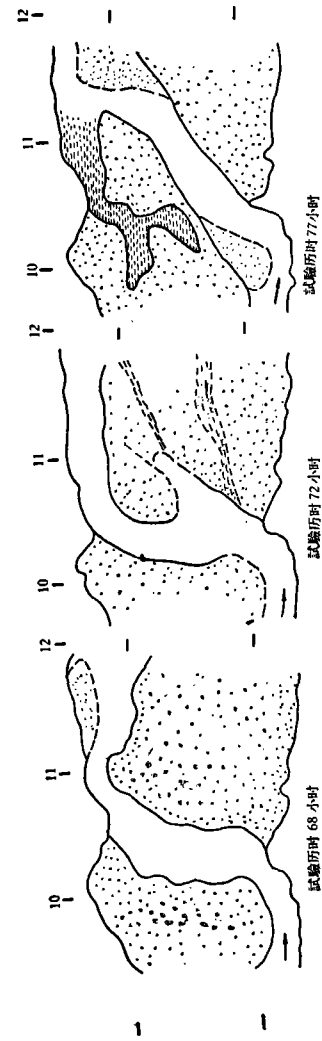
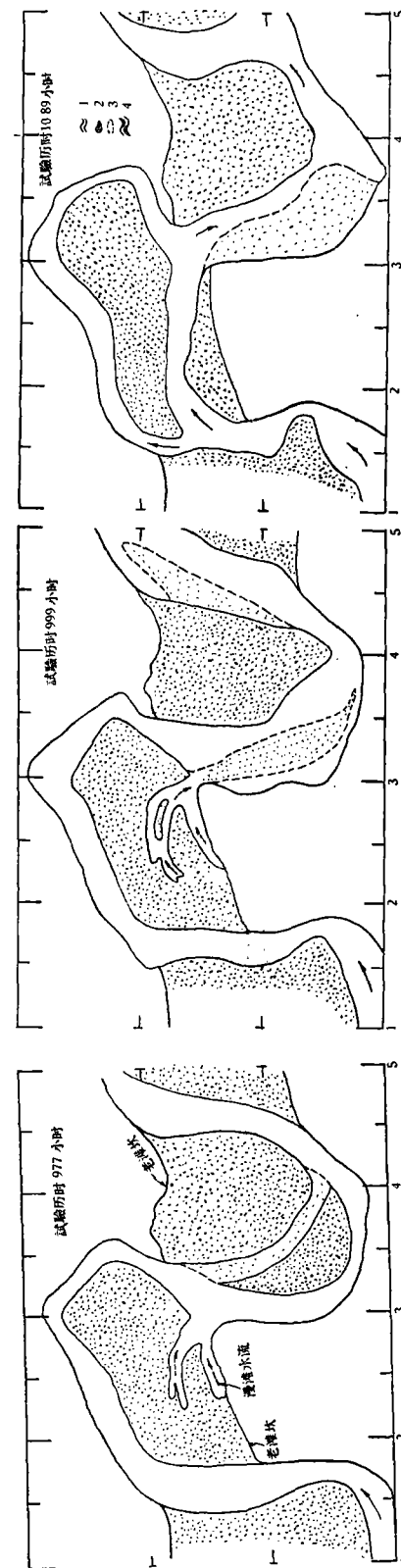


图 4 主流顶冲切滩(第 I 组)



1. 滩坎线, 2. 高滩(淤有粘土), 3. 低滩(过水), 4. 主流
图 5 溯源切滩过程(第 V 组)

按照发生的原因,切滩可有下列 5 种:

(1) 串沟过流扩大 旧河槽未能足够淤高而形成的干沟或浅水串沟,在主流弯曲发展较甚,或上游来水加大,或者上游河势变化致使主流淤积而壅高水位时,扩大而发生切滩,如图 3。

(2) 主流带顶冲 上游河势变化,主流带直接顶冲滩缘,逐渐自上而下地冲出河槽,随而发生切滩,如图 4。切滩时,滩面泥沙被冲起送到前方和两侧淤下。如果前方淤高较快,逐渐形成沙坎,切滩得免于产生;这是漫滩水深不大而主流流速较大时的情况。

(3) 溯源切滩 漫滩浅流集中后,可在当地冲成局部冲刷坑。上游坑边冲刷最为剧烈,因而发生溯源移动。在水流强度较大,可把冲出的泥沙带走较远时,坑下首的小河可以保持不淤。待冲刷坑上首与上游河道连通后,就发生切滩改道。第 V 组试验多见这类切滩,与其滩缘比降较陡有关,如图 5。

(4) 主流侧蚀 主流逐渐向一岸侵入,对岸的边滩也得以正常发展。上游河势改变后,主流蠕动的方向可能反过来,逐渐侵蚀滩缘,而出现渐移性切滩。这种切滩,不仅在过程及速度方面不同于前面三种跃移性切滩,对下游的影响也比较缓和,而且基本上只会使下游河道蠕动的强度和方向发生改变;跃移性切滩则可使下游也发生突发性的切滩改道。

(5) 向倒套的切滩 边滩下缘延伸过长,近岸边的旧河槽又未能及时淤死而形成死水倒套时,从主流到其上段的比降较大,一旦有漫滩水流,很容易在此发生切滩,如图 6。这种切滩可归属于串沟切滩或主流侧蚀后滩地上端被切穿而发生的跃移性切滩。但因倒套下段往往与下游主流平顺相接,因而切滩后不致引起下游河势的突发性变化。

不论那一种切滩,都会引起下游发生渐移性或突发性切滩。图 7 中选绘了一次河槽

尚未充分展宽变浅时的切滩及其对下游河道的影响。可以看出,至少有5个边滩被连续切掉并在对岸长出新滩。在水流较宽浅散乱时,一个切滩后的改造未完毕,另一个切滩又已发生。这是促使和维持河道散乱多汊的一个直接因素。

从以上的分析可以看出,要维持单股无汊河道,应尽量避免发生串沟切滩、溯源切滩和主流顶冲切滩。为达到这一要求,使滩面抗冲性加强和不使漫滩水深过大是很重要的。或者综合地说,应使河床可动性小及流量变幅小。

试验成果表明,不同的河床可动性相应得出不同的河性。第V组试验由于大水期加入悬沙,使滩面得到细泥淤结,就造成了自由蠕动的弯曲性河流。

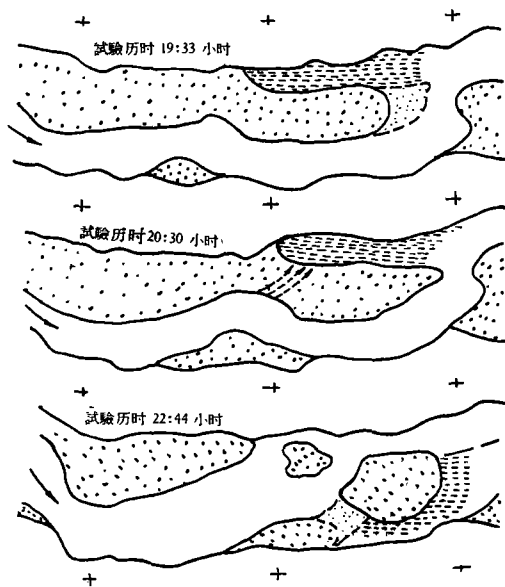


图6 向倒套的切滩(第I组)

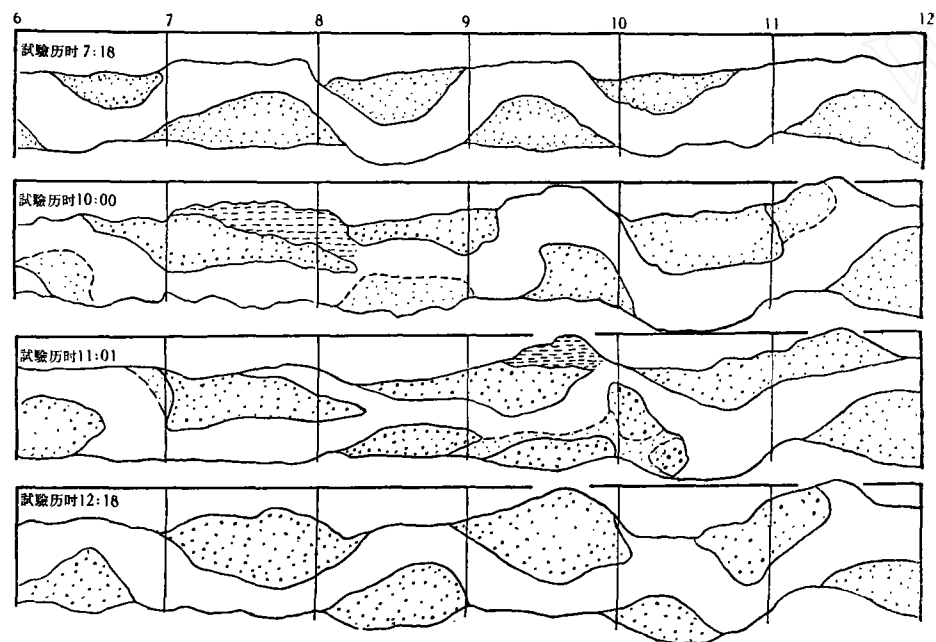
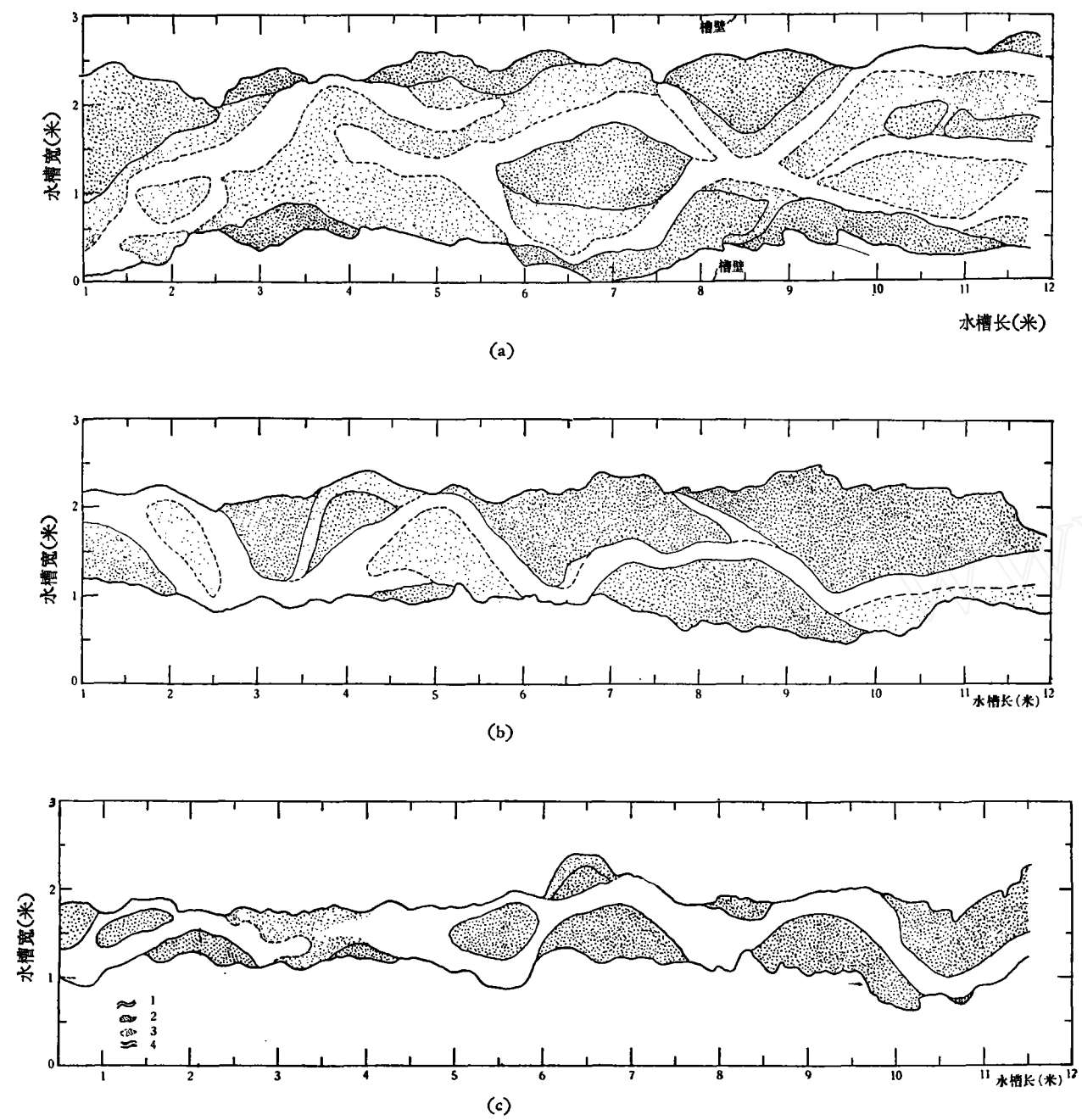


图7 切滩及改造过程(第I组)

2. 河床可动性对河型的影响

第I、III、IV三组试验用来考查河床可动性 Z 值与河性的关系。这三组试验的河床组成都相同,加入的流量也都是定常的,但流量和比降互不相同, Z 值也依次减小。

表2说明河床可动性愈小,河道发展也愈慢。河床绝对尺寸的变化速度(如展宽速率)也以第I组最大,第IV组最小。值得注意的是第III、IV组流量相同,但所需历时



a) 第 I 组(历时: 406 小时) b) 第 III 组(历时: 496 小时) c) 第 IV 组(历时: 1423 小时)

图 8 第 I、III、IV 组河势图

都相差很大,说明不能单用流量来衡量河床变形问题,还必须考虑河床可动性。河床绝对尺寸的大小,也同时视河床可动性及流量而定。从表 2 中可以看到断面深窄程度与河床可动性的关系。

前面已提到,我们更着重注意河道是不是单股无汉或者单股无汉段所占比例的大小。将各组试验后期 100 小时内分汉段与无汉段所占百分数平均值列入表 2,可知河床可动性愈小,河道愈近于单股无汉。

图 8 为第 I、III、IV 三组的河势平面图。可见第 I 组河道远较其他各组为散乱,第 IV 组则整齐得多。再结合表 2 资料可以认为,第 I 组试验结果属于游荡性河流,第 III、IV 组为过渡性河流,其中第 IV 组比较接近于弯曲性。

由此可以得出结论:河床可动性愈小,河性愈接近于弯曲性。

3. 悬移泥沙对河型的影响

我们安排了第 V、VI 两组试验,以了解悬移泥沙对河型的影响。两组试验的河床泥沙、比降、流量过程和底沙的加入情况完全相同;不同的是第 V 组试验的大水期间同时加入中径为 0.008 毫米的细泥(组成见图 9),第 VI 组则否。

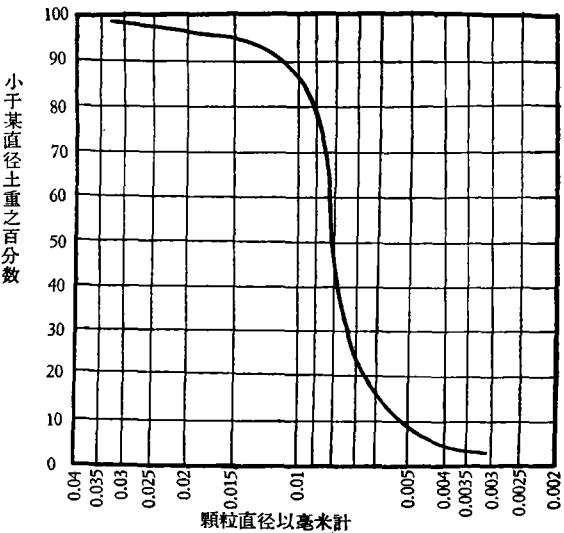


图 9 第 V 组试验用悬沙颗粒级配曲线

第 V 组大水期加入的悬移质含沙量并不算很大,约在 20—25 公斤/立方米之间。每一浑水时段过后,滩上的淤泥仅有薄薄一层,且易被清水洗掉。然而在较高的滩面上,清水冲洗不到的地方,经过一个小水时段后新淤的细泥可以变得较为干实。到下一次大水通过时,虽然仍不足以抗拒水流的强制切滩作用,但已能在正常漫滩情况下保持不被冲走。这样积累多次后,抗拒切滩的能力大大加强。从此出现如下的演变过程:小水期间,主槽凹岸继续坍塌后退,凸岸沙质低滩继续淤长,凸岸高滩的细泥则得以逐步固结;大水期间,凸岸高滩上又得到更多的淤高,终于变成如凹岸一样的老滩。这个过程正是弯曲性河流的蠕动发展过程,也正是一般弯曲性河流土质二元结构的形成过程。

图 10 为河道主流的变迁情况。由 142 小时起开始出现与河谷方向垂直的河段,到

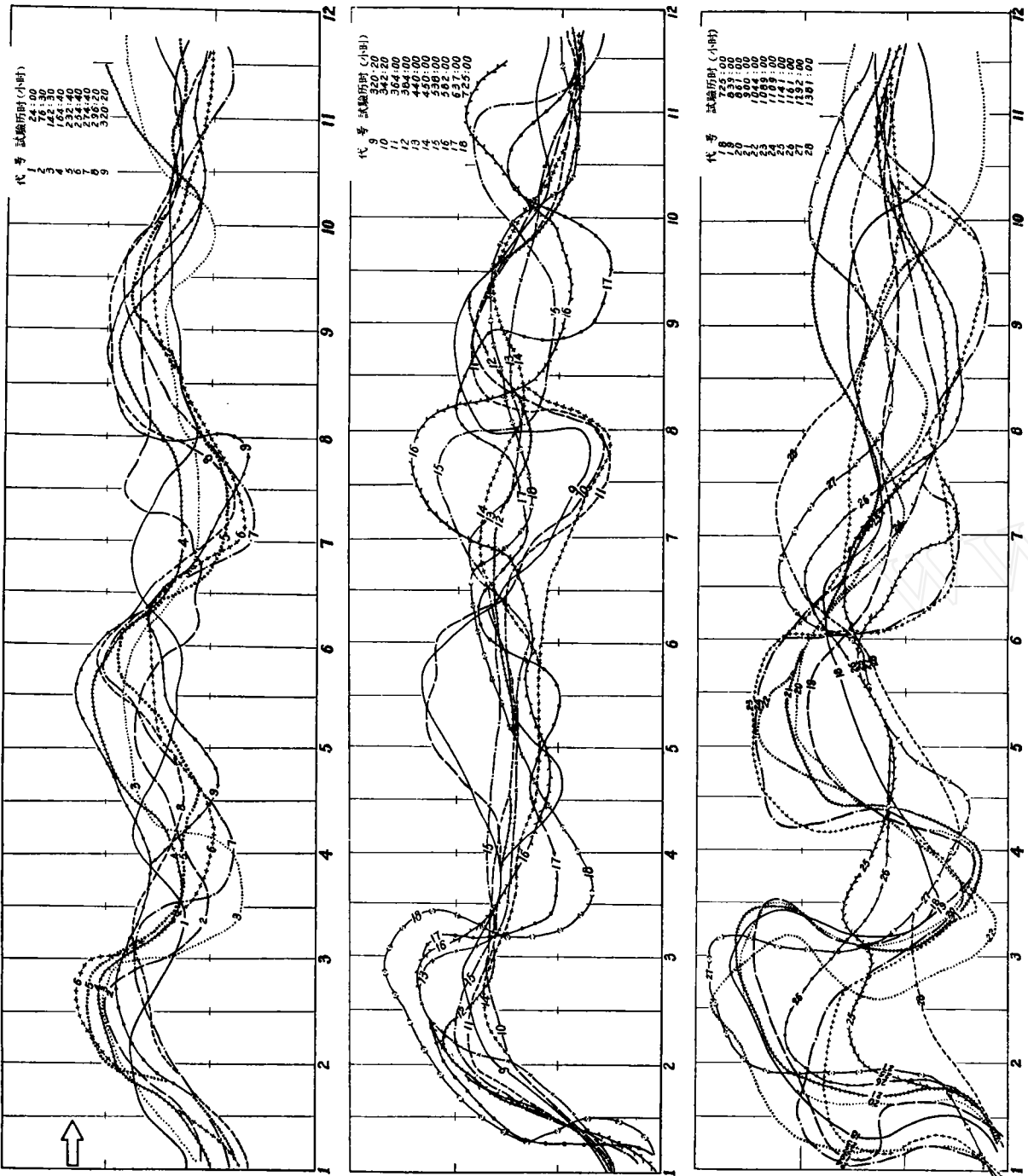


图 10 第 V 组深泓线的蠕动

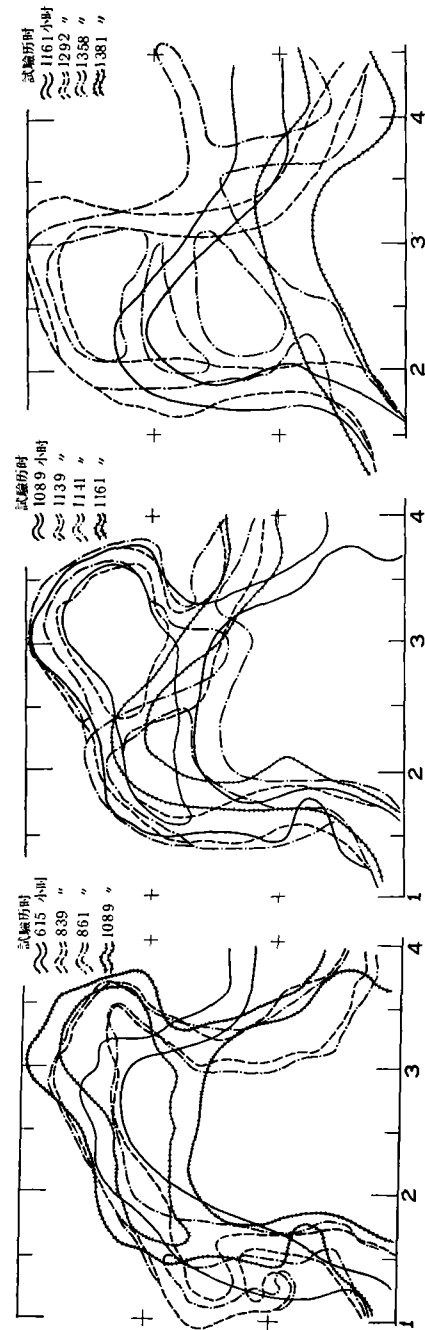


图 11 河湾发展及其裁弯(第 V 组)

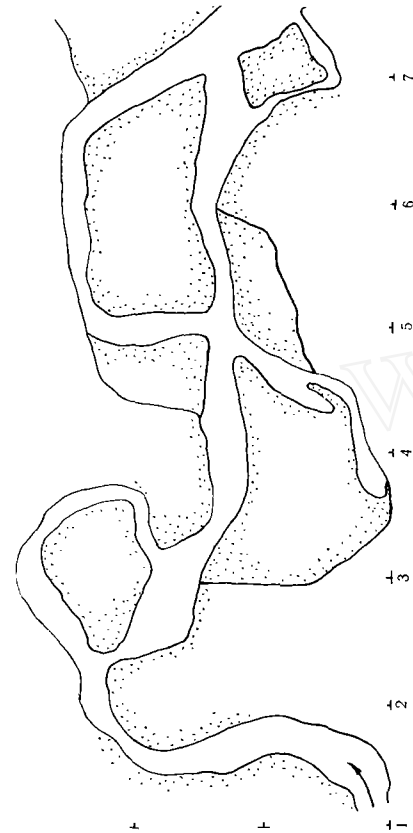


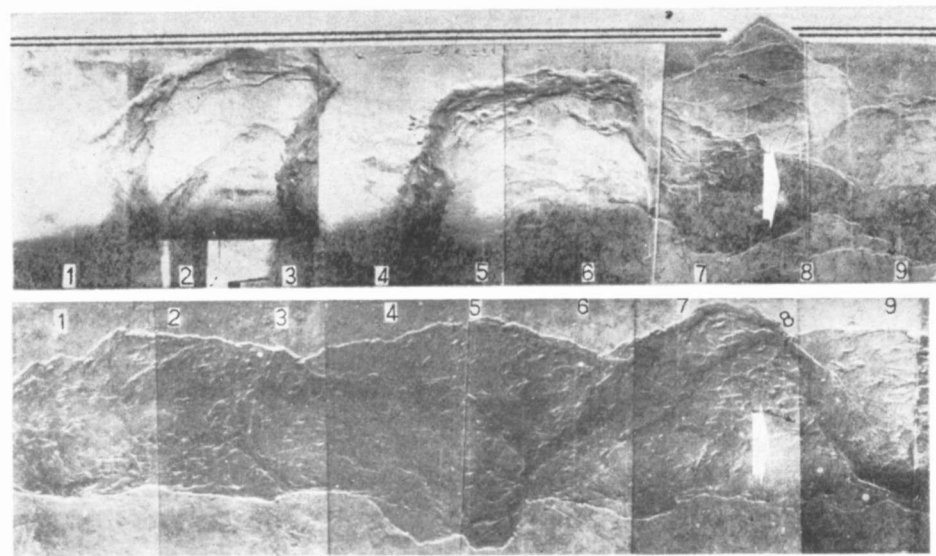
图 12 连串裁弯(第 V 组试验历时 1132 小时)

320 小时就有倒向迂回的河湾,发生于 8 号断面附近。此后倒向迂回河湾愈来愈多,特别是 5 断面以上,形成了多个河环,局部河段的曲折率达到 3.5 以上。从图 10 还可以看到河道依次蠕动的现象,如数序所列。它们与 И. В. 波波夫 (Попов) 根据航空照片研究野外河道所得成果十分相似^[4]。在蠕动过程中,有些地段河道摆动的范围比较小,成为河势变化图中的藕节;如 9—18 线在 3 断面、6.5 断面处,18—26 线在 4.5 断面、6 断面处等等;这些也都与 И. В. 波波夫从野外河道研究中所揭示的现象很相一致。这些藕节并非受河床土质限制而成,它是上湾蠕动对下湾蠕动起制约作用的结果。一当上湾蠕动特性有所改变,这种节点的位置也将改变。

图 10 中未绘分叉的河线。实际上河道演变比该图所示的为复杂:

模型小河中曾出现多次裁弯,裁弯及裁切后复又变弯的过程,例如图 11。从 615 小时到 839 小时之间,在 1 断面稍下裁切了一个急弯,839 小时故河上口已淤死,下口淤积仍少。再过 20 多小时,附近又发生一次急弯裁切,其故河与前一故河连在一起,形成很长的一段死水沟。由于溯源切滩作用,1089 小时以前在 1.5 断面到 3.5 断面之间发生一次大裁弯,故河长约 4.5 米,引河长约 1.5 米,裁弯比为 3。因为引河口以上的流向更有利于故河进口,水流直冲引河口孤岛一岸,使引河口迅速沿故河下移;到 1139 小时,故河上段变成了新河,下段仍旧过水,孤岛也缩小了一半。此后原裁弯上段复又裁弯,形成两个孤岛,这时上游河势已对新引河更为有利,因而新老故河上口迅速淤死。此后到 1161 小时,河道变成简单的 V 形河湾。然而,曾几何时,又复出现了很明显的河环。

裁弯对下游的影响一般是很剧烈的。有时会引起下游连串裁弯,如图 12。连串裁弯发生后,新河两岸留下众多的故河,或者形成暂时通流的汉道,或者成为上口已不通的半截河,过后再逐渐两口俱不通流和淤平。



上: 第 V 组(放水 922 小时,其中浑水 85 小时)

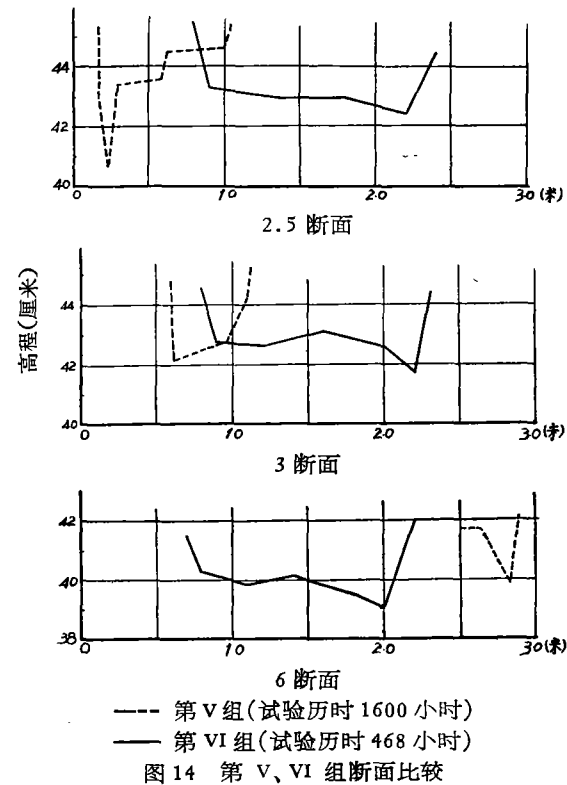
下: 第 VI 组(放清水 544 小时)

图 13 弯曲性河流造床试验小河平面图

从上述现象可以看到,第Ⅴ组试验所造成的小河与野外弯曲性河流在很大程度上是相似的,举凡河线形态、分汊情况、蠕动特性、裁弯、发展以及裁弯的影响等等,都可以比拟。试验成果表明,小河上段弯曲发展比下段为好,下段常受上段裁弯影响而变得散乱。上段则因来水方向和位置较稳定而得以较整齐。这一特点说明,我们所造成的小河,作为弯曲性河流来说其稳定性还是比较差的。

与第Ⅴ组试验条件完全相同,仅在大水期不加悬沙的第Ⅵ组,不仅未能形成河环,连与河谷方向垂直的河线也很难见,河道的散乱多汊是很触目的。图13是两组的平面照片,可以看出其分野。

第Ⅵ组河宽也远比第Ⅴ组为大,如图14。从中可见前者河道很宽浅。



第Ⅵ组造成的河道是属于游荡性的。由此可以作出结论,大水时的悬移泥沙对于弯曲性河流的形成具有十分重要的影响。

4. 原始河床形态对河型的影响

人们注意到古代地质地貌对河道特性的影响。然而当这些地貌单元已被改造,河床基本上是河流本身冲积造成,床沙来自上游河段以后,这种古代地质地貌的影响就可以认为是很微弱了。

前面曾谈到在顺直整齐的河槽中放水初期,河床上发生各种随机性的变化。其发生时间与部位不应对试验结果给以什么影响。

为了进一步了解这个问题,我们安排第Ⅱ组试验,使与第Ⅲ组相比较。它们的试验条件都一样,唯一不同的是第Ⅱ组是在第Ⅰ组造成的散乱床面上进行,而第Ⅲ组则是在

新铺的床面上进行。

第Ⅱ组初放水时,几乎全河分汊,散乱异常。放水 2 小时后全河约有 80 % 是分汊的,到 123 小时分汊段占 75 %;变化十分缓慢,但总的趋势是分汊段逐渐减少,单股无汊段逐渐增多,如表 3。

表 3 第Ⅱ组分汊段长度的变化

历 时 (小时)	123	279	313	355	381
长 度 (米)	7.8	6.5	6.0	5.5	5.5
占全河长(%)	75	62	67	52	52

到试验结束前,分汊程度已接近第Ⅲ组,但仍比第Ⅲ组为大。试验后期,主流长度也已发展到与第Ⅲ组相接近,全河曲折率约 1.2。

断面宽浅程度改造得比较缓慢。到试验后期,第Ⅱ组断面仍比第Ⅲ组远为宽浅,主流两侧仍有很多的旧河汊未能淤到与两岸高滩齐平。——看来这是不可能的,原因是在本组试验中,我们并未加悬移细沙。

从上可以得知,新的水流条件和输沙条件有能力改造原始河床形态,使获得与本身相应的河型,但这需要有足够的时间。

5. 进口方向对河型的影响

不少人很注意河道上游进口条件,认为它会对河性起很大影响。其实这是不必要的。永定河出山口前先拐一个大弯;黄河受邙山头的挑导,当地流势常很集中而且与河谷方向很不一致;这些都未能使永定河和黄河变成弯曲性河道。辽河过铁岭桥后就直泻而下;下荆江郝穴、新厂一带并无任何山峦;这些也未能使辽河下游和下荆江变成顺直游荡。为了考查这个问题,我们还可以用第Ⅲ或Ⅰ组来和第Ⅴ组比较。在这几组试验中,加底沙的方法都是定期集中(每天加 2—4 次)加的。为了反映野外弯曲性河流凸岸不断淤长的特性,在进口断面上加沙时横向分布比较均匀,这样由于加到河槽上的沙逐渐被冲去,加到凸岸边上的沙则较多地淤下,进口下首第一个边滩得以不断发展,河道进口不断变弯。最后Ⅰ、Ⅴ组的进口都似乎移到了右岸边,或者等于在模型左岸进口加一挡板,将河道先挑到右岸。然而,即使进口如此相同,紧接在第一个边滩以下,第Ⅰ、Ⅲ组河道立即呈现散乱多汊(见图 8),第Ⅴ组却出现倒挂金钩的迂迴河湾,并且延续到整个河道。

由此可以得知,在进口先做成弯道或加挑水板,除了可以加速河道发展速度,并影响挑到对岸以前的一段河道以外,再往下的河段的河性就不是由它们所决定的了。

(收稿日期: 1964 年 10 月)

参 考 文 献

[1] Tiffang T. M., Nelson G. M., Studies of Meandering of Model Streams, Trans. AGU, 1939, pp. 644—649.
[2] Friedkin J. F., A Laboratory Study of the Meandering of Alluviol River, U. S. Water, Exp. Sta. 1942.
[3] Senour C., New Project for Stabilizing and Deepening Lower Mississippi River, Trans. ASCE, 1947, Vol. 112, p. 227.
[4] Попов И. В., О Формах перемещения речных излучин, Труды ГГИ. вып. 56 (110), 1956.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ПО ПРИЧИНАМ ФОРМИРОВАНИЯ МЕАНДРИРУЮЩЕЙ РЕКИ И ЭКСПЕРИМЕНТУ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ

Инь Сюэ-лянь

Научно-исследовательский институт водного хозяйства и гидроэнергетики при АН Китая и МВХ и Э

Резюме

Данная статья посвящена извилистой реке, которая течет в образованном самой рекой русле. Автор считает, что непосредственной основой формирования меандрирующей реки является одностороннее перемещение оси реки, вызванное односторонним переносом наносов, а последнее возникает под действием одностороннего винтообразного течения потока. Одностороннее винтообразное течение потока появляется только тогда, когда река не разветвляется. Это требует, чтобы река не изменяла свой путь и не создала отмели у выпуклого берега. На основании вышесказанного можно считать, что меандрирующая река сформированна в результате развития внутреннего противоречия потока реки при условии отсутствия изменения русла реки и образования отмелей у выпуклого берега.

Это основное условие создано характером процессов наступания воды и наносов а также уклоном реки.

Автор считает, что извилистая река образуется только при таком условии, когда расход воды колеблется в определенных пределах, причем русло, образованное паводочными и меженными расходами, не нарушает друг друга. Но равномерный расход тоже не может создать извилистую реку, за исключением расхода со сильной эрозией. На это влияет и абсолютная величина расхода, которую можно выразить подвижностью русла реки Z :

$$Z = \frac{\rho}{\rho_s - \rho} \frac{J}{d} (TQ)^{1/3}.$$

Чем больше величина Z , тем труднее образование извилистой реки. Для образования реки с повышенной поймой и глубоким руслом, необходимо чтобы, на пойме происходило накопление наноса во время паводка с повышенным содержанием наноса, и в русле происходил размыв при межени с меньшим наносом. Поэтому это требует, чтобы входящая в зависимость $Q_s = KQ^m$ степень имела большую величину. В отношении уклона реки требует чтобы уклон был больше уклона, при котором происходит заиление русла, и меньше уклона, при котором происходит образование отмелей у выпуклого берега.

Аналитическая работа исходит из того представления, что извилистая река может образоваться только при условии отсутствия заиления русла и образования отмелей. Лабораторные работы тоже основываются на этом представлении. В лаборатории выполнено всего 6 серий опыта. Исследованы влияние подвижности русла и действие мелких частиц при паводке на образование извилистой реки. В пятой серии опыта была получена речка, очень похожая на натуральную извилистую реку по конфигурации и характеру эволюции.