

水库下游再造床过程的若干问题

尤联元 金德生

(中国科学院 地理研究所)
(国家计划委员会)

提 要: 取河流动力学与地貌学的分析相结合,并辅之以模型试验作验证的途径,对水库下游河床演变中的纵向冲刷、横向变形和河型变化等问题进行了讨论,获得了若干形式简单,但有一定实用价值的定量关系和评估方法。

主题词: 水文地貌理论 纵向冲刷 横向变形 河型

天然河流上修建水库以后,水文情势、输沙过程的改变,引起下游河道的复杂响应,表现为纵向冲刷和横向冲淤变化的再造床过程。其变化强度均沿程向下并随时间的推移而逐渐变小,至一定距离和时间以后又重新恢复平衡。同时还伴随有河床粗化有时甚至是河型的重大改变。采用河流动力学方法与地貌学分析相结合,辅之以模型试验(包括物理模型和数学模型)是研究这一现象的一个有效途径。本文遵循这一思想,以理论分析为主,结合模型试验,探讨水库下游再造床过程中的若干问题。

一、纵向冲刷

(一) 冲刷深度

水文地貌理论认为,由于长时期的相互作用和调整,河道形态与其各种控制因素之间存在一定的函数关系。河流上建库以后,一些控制因素发生变化,随之再及于河道形态,因此,一个合理的设想是,利用某种合适的关系来推断河道形态在建库前后的变化幅度和方向。

流量表征河流能量的大小,而含沙量则反映上游来沙的多寡。在正常含沙量范围内,河道是冲还是淤应与流量(Q)成正比,而与造床质泥沙的含沙量(ρ)成反比。河床形态与河床变形直接有关,它们与其各自的 Q 和 ρ 值关系的一般形式为:

$$H = K_1 Q^{\alpha_1} \rho^{\beta_1} \quad (1)$$

$$B = K_2 Q^{\alpha_2} \rho^{\beta_2} \quad (2)$$

式中 H 为水深, B 为河宽,均以 m 计; K_1 和 K_2 为系数; α_1 、 α_2 和 β_1 、 β_2 为指数, α 表正值, β 表负值。

水深的变化是水位变化和河床冲淤变化的综合反映,不计因水位不同所引起的变化即是冲淤深度。因而可将变化前后的水深值放在同一流量标准上作比较,扣除因流量自然增减所引起的水位变化,从而得到冲淤深度值。

下面举实例进行讨论。

1. 汉江丹江口水库下游河道 丹江口水库修建前有关系 $H = 0.23Q^{0.34}\rho^{-0.06}$ ，已知建库前汉江多年平均流量为 $1710\text{m}^3/\text{s}$ （黄家港站，下同），含沙量为 $2.39\text{kg}/\text{m}^3$ ，建库后平均流量削减为 $1388\text{m}^3/\text{s}$ ，含沙量约为 $0.02\text{kg}/\text{m}^3$ 。将这些数据代入上式计，并用前后流量差值 $322\text{m}^3/\text{s}$ 所引起的水位变化进行校正（取汉江已有的水位～流量关系曲线，查得在该级流量值范围内的水位差值应为 1.38m ），可得出冲刷深度约为 $3.40 - 2.74 + 1.38 = 2.04\text{m}$ ，而实测资料表明，至1978年止，丹江口水库下游黄家港至光化段的冲刷深度为 2.52m ，并已接近平衡¹⁾，可见两者比较接近。

2. 未来长江三峡水库下游河段 该河段为冲积性河流，经统计、整理，其水深与流量和造床质泥沙含沙量之间有关系式^[1]：

$$\text{宜昌 } H = 0.4Q^{0.36}\rho^{-0.02}$$

$$\text{新厂 } H = 0.02Q^{0.63}\rho^{-0.02}$$

$$\text{沙市 } H = 0.025Q^{0.57}\rho^{-0.2}$$

$$\text{监利 } H = 0.02Q^{0.58}\rho^{-0.12}$$

据长江流域规划办公室提供的建库后出库，和据数学模型计算所得的下游各站的水沙资料，按上列各式计算，并经水位校正，得到沿程纵向冲刷结果如图1。

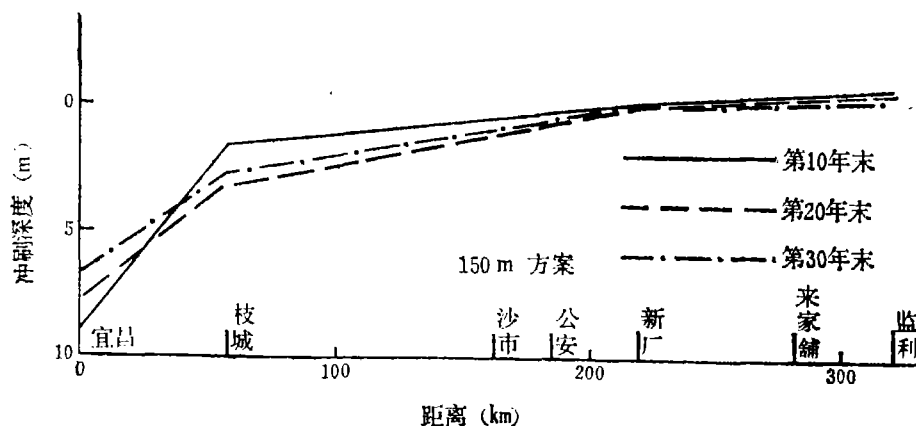


图1 未来长江三峡水库修建后下游纵向冲刷预测

Prediction of longitudinal degradation at the downstream channel after the construction of Three-Gorge-Project of the Yangtze River

三峡水库尚未兴建，不可能有实测资料验证，但可以以数学模型的计算结果来比较和印证。在取得相对平衡的冲积河流上，下游河道的冲刷量与床沙质泥沙在水库中的淤积量应大致相当。根据利用长江关系式所算得的冲刷深度，再框算了未来长江三峡水库下游第一个10年内的冲刷体积，大约为 $5.25 \times 10^8\text{m}^3$ （150m方案），而同一期间上游水库淤积量按数学模型计算结果为 $4.73 \times 10^8\text{m}^3$ ²⁾，可见两者也相当接近。

1) 长江流域规划办公室丹江水文总站：汉江丹江口水库下游河道平衡河段初步研究，1981年。

2) 长江科学院：长江三峡水利枢纽初步设计报告，三峡水库泥沙淤积计算及成果分析，1985年。

· 自然界中不存在含沙量等于零的情形，因此H值不会趋于∞，而即使ρ趋于接近零的某一数值，ρ的低次幂值仍将保持一定数值。

上述关系式均系根据河床表面边界情况获得,适用于现时的河床边界条件。实际上,由于地质地貌条件在三度空间各个方向和时间上分布的不均和变化,边界条件也随之有变,主要表现在:(1)沿程不均匀,如图2所示,可见冲刷深度除了沿程向下逐渐减小的一般规律外,还存在随河谷宽狭的次级变化,狭段所在的冲刷深度又要略大于宽段所在;(2)河床组成物质常随深度有变,经常是上细下粗,特别是冲刷过程中伴有粗化现象,两者的作用都可以导致,或是形成抗冲刷铺盖,阻止河床进一步下切,或是加速达到新的平衡。仍以长江三峡水库下游河道为例,在紧靠坝下的宜昌一枝城河段,河床表层为2.7m厚的砂层¹⁾,以下为中径6.5mm的卵石层,厚12.7m起有极强的保护作用,因此该河段的容许最大冲深将不超过2.7m,该河段未能满足的冲刷深度将从下一河段得到补偿。由此可见,利用水文地貌关

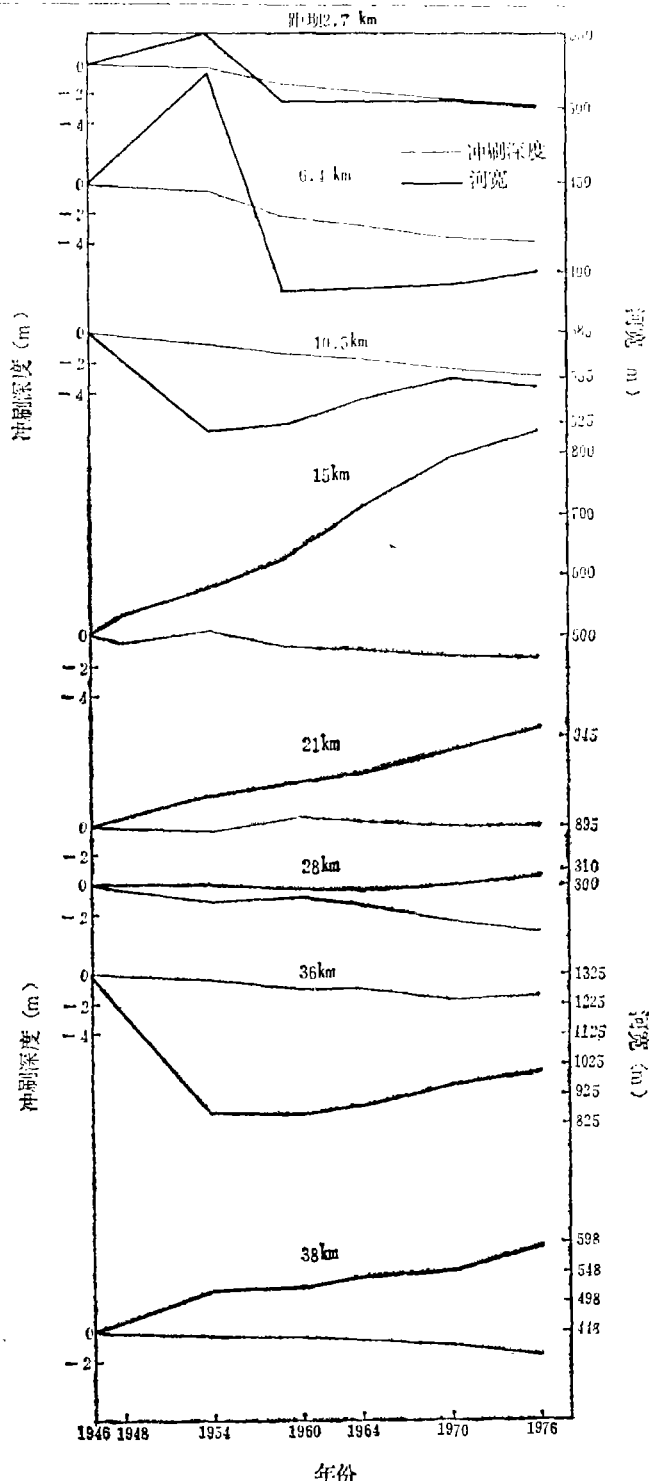


图2 密苏里河加里森水库下游河道沿程历时变化
Channel deformation with time below
Garrison Reservoir in Missouri River

1) 长江科学院:长江三峡大坝下游宜昌一枝城段河床冲刷变形的边界条件,1984年。

系算得的数值主要适用于地质地貌条件比较均匀、单一的情况下,并应按具体情况加以修正,但如果与数学模型计算相结合,作为宏观控制,仍具有较大意义。

(二) 冲刷距离

水库下游河道纵向冲刷不断下移的一个重要原因是沿程悬沙和床沙之间的不断交换^[3],所以冲刷距离的长短必然与床沙组成(以 d_{50} 为代表)的沿程变化状况有关(可以以 d_{50} 沿程每公里递减的百分数 P 来表示),如果其沿程变细的速率缓慢,则悬沙和床沙之间的交换不显著,冲刷距离就较短,反之,冲距距离就较长。影响冲刷距离的另一个因素是流量的大小,一般说来,流量大,水流的惯性大,可以冲刷较远^[4]。然而,作者认为,流量大小还存在另一相反方向的作用,大的流量由于冲刷力强,可以在较短的距离和时间内达到最大深度,并达到新的平衡,而小的流量则正相反。因此流量大小的作用似乎是这两者的组合,视具体情况而定。据黄河、汉江和国外部分河流建库前后实测的 P 和 Q (流量)值和 L (冲刷距离)资料,可拟合关系*

$$L = 91.6 - 0.013Q + 4134P \quad r = 0.98 \quad (3)$$

水库下游河道纵向冲刷的下移是复杂的,还有其它因素对冲刷距离产生制约,限于篇幅,仅择其要者作讨论,至少其关系是明确的。

二、横向变形

从地质地貌观点来看,河岸和河床边界的相对可动性对制约横向变形的过程和强度具有重要意义,这一点与天然河流的情况有一定程度的相似。当库下游河流的河岸可动性大于河床可动性时,河床将出现较强烈的展宽,反之,当河岸可动性小于河床可动性时,则河床将以刷深为主,或展宽不强烈。表示河岸对河床相对可动性的方法颇多,这里采用式^[5],

$$M = (\Delta h/D) \times 10^{-4} \quad (4)$$

式中, M 为河岸与河床的相对可动性, M 增大意味

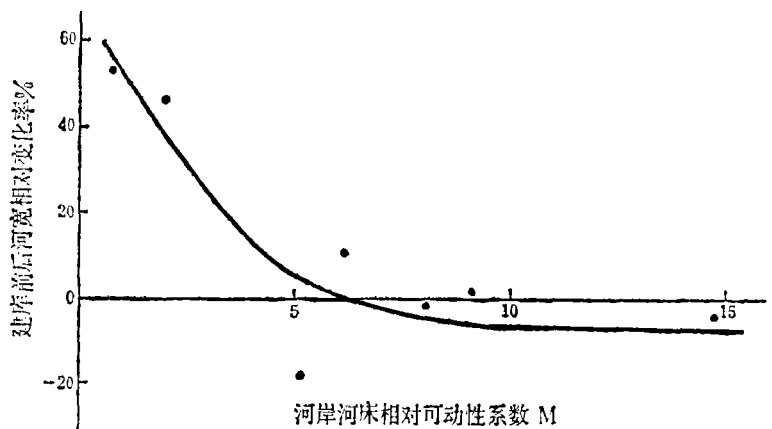


图 3 河岸和河床相对可动性与河宽相对变化率的关系
Relationships between relative erodibility of bank to bed and relative variability of width

* 鉴于最大冲刷距离在恢复平衡到来之前随时间而下移,拟合关系中所取河流资料可能有的尚未达到平衡,而冲刷已伸至河口,对此即取从水库至河口的距离作为最大冲刷距离。由此也可推论,按式(3)算得的 L 值较实际值可能略为偏小。

着相对可动性减小, Δh 为滩槽高差(m), D 为床沙中径(mm)。图3表示的是国内一部分河流在修建水库以后, 下游河道河宽相对变化与 M 值的关系, 可见, 随 M 值增大, 河宽相对变化率明显减小。

河岸对河床的相对可动性沿程分布并不均匀, 因此各不同河段的横向变形强度也有差异。黄河三门峡水库清水下泄期下游河道沿程横向变形的差别即由此所致¹⁾(表1)。

表 1 黄河三门峡水库修建前后下游河道坍塌情况

Collapse of the bank below the dam before and after the reservoir is constructed

河 段	滩地坍塌面积 (km ²)		二滩之间宽度 (m)		边 界 条 件
	1949—1958均值	清水下泄期 1960—1964均值	1960	1964年	
铁谢—花园口		15.4	4115	2580	右岸为邙山崖控制
花园口—东坝头	29.33	16.7	2563	3633	土质疏松, 边界控制弱
东坝头—高村	11.5	17.8	2310	3610	同上
高村—陶城埠	12.4 (高村至孙口值)	19.1	1211	1115	土质较上段为好, 又有较多控制工程

图2中所示的宽河段横向变形大于狭河段, 同样也是由于边界可动性差别的原因^[2]。

如同纵向冲刷一样, 也可以建立包括边界条件特征在内的各种控制因素与河岸变形强度之间的经验关系。例如在长江的荆江段, 据实际资料建立有关系^[1]:

$$\text{顺直段 } \Delta W = 0.0004 Q^{0.99} (h/h_0)^{0.03} \quad (5)$$

$$\text{弯曲段 } \Delta W = 0.000012 Q^{1.43} (h/h_0)^{0.47} \quad (6)$$

式中, ΔW 为崩坍强度 (m/a), Q 流量 (m³/s), h/h_0 为表示边界特征的无因次比值, h 为河岸中砂层厚度, h_0 滩槽高差。由于建库以后, 随着纵向冲刷, 河道被刷深, h/h_0 值也发生变化, 根据变化后的 Q 和 h/h_0 值, 就可计算得新的河岸崩坍强度值。

一些研究者业已指出^[6], 由于调整过程中的复杂响应过程, 河岸相对于河底的抗冲性将随时间而递减, 因此水库下游河床纵、横向变形的相互关系也将随时间而变化, 笼统地说某一河段以刷深为主, 某一河段以展宽为主是不全面的, 式(5)和(6)中的 ΔW 值也会随时间而变化, 不同时段可有不同的变形值。汉江丹江口水库下游横向变形性质已呈现出这一特征。对于黄河三门峡水库下游来说, 由于蓄水拦沙运用的历时较短, 这一现象尚未得以充分显现。京广铁桥以上虽已发生强烈冲刷, 但铁桥以下河段在时间上有所滞后, 再加上冲刷过程中悬沙和床沙之间的不断交换, 从上段冲起的较粗的床沙在下段河床上沉积, 这样就使得下段河床的抗冲性较之原来略有增大, 从而该段河段的河岸和河床的相对可动性也较原来有所增加, 于是河道明显展宽。

水库运行方式对库下游河道横向变形也有相当影响。中枯水流量小而历时又长, 河道就有较多的机会冲刷下切, 相反, 如果仍有较大的洪水经常出现, 河道就可被拓宽。没有或较少细颗粒泥沙下泄, 使得河岸不易再继续淤高, 在坍塌以后也得不到补偿, 因而横向变形加强。相反, 如果下泄的细颗粒泥沙较多, 有可能在河槽两侧淤成边滩, 甚至滩面也继续淤

1) 黄河水利科学研究所: 三门峡水库修建后黄河下游河床演变, 1985年。

高，从而使横向变形减弱。所有这些必须同时综合地分析、考虑。

三、河型变化

天然河流上建库以后，原有河型将进行调整，一般地说，建库以后一段时间内，来沙量有所减少，来水量或有增减，或被调平，所以影响河床形态的变化趋势有如下式〔7〕表示

$$Q^{\pm} Q_s^{\pm} \approx B^{\pm} H^{\pm} \lambda^{\pm} S^{\pm} P^{\pm} F^{\pm} \quad (7)$$

式中， Q 流量， Q_s 来沙量， B 河宽， H 水深， λ 曲流波长， S 坡降， P 曲折率， F 宽深比， $+$ 号表示增大， $-$ 号表示减小。可见河道大多都有向单一、窄深方向发展的趋向。然而，具体情况比较复杂，不仅不同河流不一样，同一河流在不同时段和空间也会有差异，原因在于影响因素的复杂性。下面以汉江丹江口水库下游河型变化为例，从建库前后各种因素的变化情况来进行分析。

（一）河谷地貌条件

河谷地貌条件建库前后基本上无变化，因而其对河型发育的影响也仍如建库前一样，适合于原来的河型（丹江口至皇庄为游荡至分叉河型，皇庄以下为弯曲河型）。

（二）边界条件

（1）滩槽高差 由于纵向冲刷，滩槽高差不断增大（表 2）。按式（4），这将增大河道对水流的约束性，减小河岸可动性。

表 2 汉江庙岗—碾盘山段滩槽高差的变化*

Change of height difference between the river bank and the bed in
Hanjiang River in average

河 段	平均滩槽高差 (m)	
	1978年	1984年
庙岗—襄阳	5.64	7.9
襄阳—宜城	6.91	8.39
宜城—碾盘山	6.13	7.96

* 据董中均、韩其为：汉江丹江口水库下游河床冲刷和演变特点，1989年。

（2） h/h_0 值 汉江河岸组成物质比较复杂，常因地貌部位不同而异。高阶地以粘土类土为主，低阶地主要是上部为粘土、亚粘土，下部为砂和卵石，河漫滩河岸则是上部亚砂土和粉砂，下部为砂和卵石。建库以后，随着纵向冲刷， h' 和 h'/h_0 值增大，从而河岸相对于河床的可动性也略有增大〔8〕。由于汉江纵向冲刷深值（庙岗至碾盘山段平均为 1.01—1.69m）与 h_0 值相比仅是一部分，所以河岸可动性的增大值也不会很大。

（3）河床组成 建库后的冲刷使河床组成不断粗化（表 3），从而又使河床可动性减小。

表 3 建库前后各站床沙中值粒径比较* (mm)

A comparison of bed material d_{50} before and after the reservoir is constructed

时 期	站 名	黄 家 港	襄 阳	皇 庄	仙 桃	蔡 甸
1959 (建库前)		0.24	0.15	0.12	0.11	0.105
1980 (建库后)		19.4	0.82	0.18	0.13	0.115

* 董中均, 韩其为: 汉江丹江口水库下游河床冲刷和演变特点, 1989年。

就对河型形成的影响来说, 上述3项因素中, (1)对形成和保持弯曲和顺直微弯河型有利, 而(2)和(3)则起有相反的作用, 但程度不大。

(三) 来水状况及水动力特征

(1) 水流动量 水流动量大, 或在年内分布状况不稳, 则水流趋直, 河道难以发展成弯曲, 反之, 动量小且年内分布稳定, 则河道就易于弯曲。据研究, 存在有关系^[9]。

$$R = 48.1 (J^{1/2} Q^{0.88}) \quad (8)$$

式中, R 河道弯曲半径, J 坡降。建库以后下游河道坡降调平, 年平均 Q 值有所变小, 且年内分布更加稳定, 从而 R 也变小, 对发展微弯和弯曲河型有利。

(2) 洪峰变差系数 水库修建后洪峰变差系数变小, 对形成弯曲河型来说, 这也是有利的^[10]。

(四) 泥沙

(1) 造床质泥沙输沙比例 建库后从水库下洩的泥沙变细, 特别是原有的造床质泥沙殆全截留于水库中, 下游河床冲刷和河岸的坍塌成为河道输沙的主要来源。而从河床上冲起的泥沙颗粒普遍较粗, 大部分均属造床质泥沙, 从而使得造床质泥沙在全部输沙量中的比例增加, 按S.A.Schumm的意见, 这可以促进河道向分汊和游荡方向发展^[7]。

(2) 漫滩淤积 建库后悬移质细颗粒泥沙无论绝对量和相对量均减少, 加上因冲刷而导致的水位降低和洪峰被削平, 漫滩淤积的机会大减。河漫滩的不断淤高可以增大滩槽高差和河岸对河槽的约束性, 不再淤高意味着这种约束不再加强, 然而它也不会再减弱, 维持原来的水平。

综合以上各方面因素的分析, 可以看出, 在丹江口水库修建以后, 同时存在着对河型发育、演变具有不同方向的各种作用, 或对弯曲型有利, 或又有促进分汊乃至游荡的因素。最终的表现应该是这些因素彼此间相互作用的综合结果。现尝试通过一个定性的评估系统来作出回答。

(表4中所列数字为评估分值, 从小至大表示影响程度的不断增强, 正号表示与分汊和游荡特性减弱, 顺直微弯和弯曲趋势加强有关, 而负号则相反。最后正负值的代数和+2。因此汉江丹江口水库下游河型变化的趋势应是前者, 这与实际情况(分汊河段, 主汊冲刷、支汊逐渐淤堵; 游荡河段, 游荡特性削弱或消失; 弯曲河段, 保持弯曲和局部微弯等)基本一致。

表 4 汉江丹江口水库下游河型变化评估系统
A brief assessment system on the change of river patterns below the
Danjiangkon Reservoir in the Hanjiang River

因 素		建库后的变化		对原有河型发育的影响	程度
		方 向	程度		
河谷地貌条件		不变	0	保持原有河型不变	0
边界条件	滩槽高差	>大	1	游荡特性减弱，有利于顺直微弯和弯曲型的发育	+ 1
	h/H_0	→大	1	保持游荡和分汊特性，对弯曲河型稍有不利	- 1
	河床组成	>粗	2	同上	- 1
来水动力状况特征	水流动量	>小	2	游荡特性减弱，有利于顺直微弯和弯曲型的发育	+ 2
	洪峰变差系数	→小	1	同上	+ 1
	动力轴线变化	>小	1	同上	+ 1
泥沙	造床质输沙比例	>大	1	保持游荡和分汊特性，对弯曲河型稍有不利	- 1
	漫滩淤积	→少	1	维持原有河型不变	0

四、模拟实验成果

为对上述分析作进一步的论证，作了大坝下游河流再造床过程的室内模拟试验。模型按过程响应原理设计，并参照了长江设想中三峡工程的出库水沙过程（表 5）。

表 5 模型内出库水沙过程
Outflow and sediment conditions out of the reservoir

状况	水 沙	平滩	1—4 月	5—6 月	7—9 月	10 月	11—12 月	全 年
原型	流量 $Q(m^3/s)$	35000	5795	16849	26758	9640	7831	13700
	含沙量 $\rho(kg/m^3)$	1.52	0.017	0.167	0.452	0.188	0.038	0.324
	Q/Q 平均	1.0	0.166	0.452	0.765	0.275	0.224	0.391
	ρ/ρ 平均	1.0	0.011	0.110	0.297	0.124	0.025	0.231
模型	流量 $Q(l/s)$	2.0	0.33	0.91	1.53	0.55	0.45	0.78
	含沙量 $\rho(g/l)$	7.0	0.078	0.769	2.082	0.866	0.175	1.492
	输沙率 $G(g/s)$	14.0	0.026	0.700	3.185	0.476	0.079	1.164
	加沙率 $G(g/m)$		1.56	42.00	191.10	28.56	4.74	69.84

按三峡工程下游荆江河道的具体情况, 预制的模型曲流的曲率为1.72, 曲流波长波幅比为1.76, 河谷比降0.00688, 湿周中的粘土粉砂百分比为11.2%, 并按荆江段实际情况制作了具有二元结构的河岸。在造床试验取得相对稳定后, 就按表2所示施放不同流量及输沙率的水沙, 过程总历时269小时。

试验过程中显示出如下的特征:

1. 冲刷的总趋势十分明显, 然而在不同距离及不同时段有复杂的情况。在早期阶段, 冲刷集中在上段, 中下段呈冲淤交替现象, 而到了后期, 上段已不再冲刷, 甚至个别时段或断面上还显现微量回淤, 最强烈的冲刷出现在中段, 表明建库后河道的冲刷由近坝段向下游递推前进。图4显示了这一试验结果。

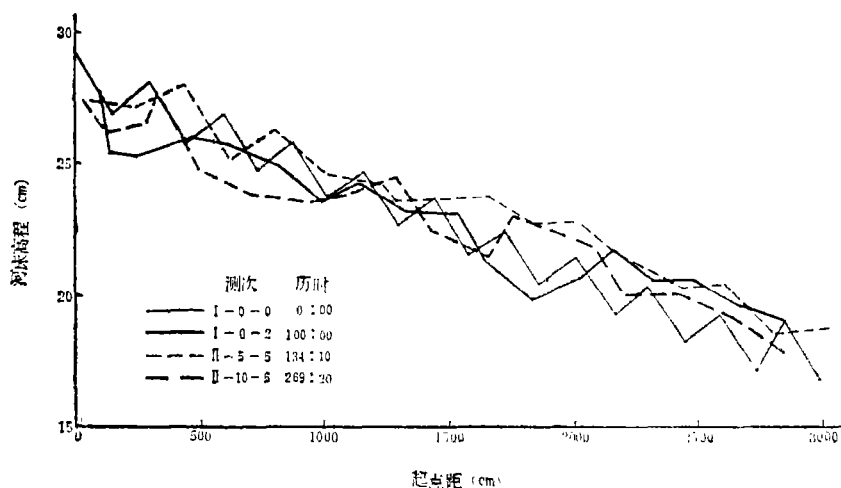


图4 水库下游河道纵剖面历时变化

Change with time of the longitudinal profile of the channel below the reservoir

2. 横向变幅不大。图5显示的是横断面的历时变化。可见, 最大横向位移量仅及全断面的9%左右。之所以如此, 与长江荆江河段河岸与河床的相对可动性较小有关。

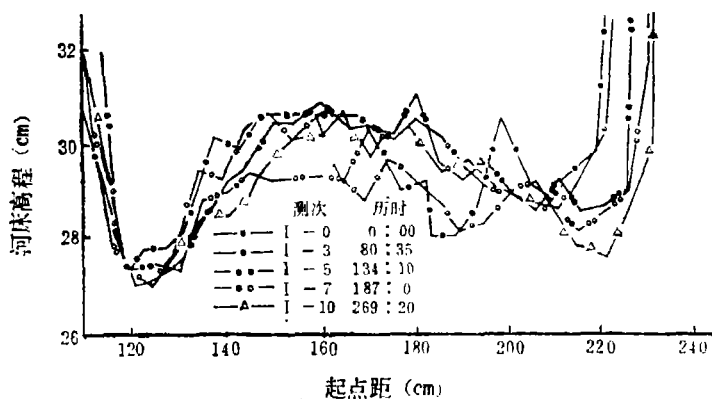


图5 横断面的历时变化

Change with time of the section

3. 床沙粗化。直接靠近坝下的近坝段粗化最为突出,并且随时间的推移而愈益明显,中下段的粗化不如上段。

河流动力学和地貌学分析相结合,并辅之以模型试验,是研究水库下游再造床过程的有效途径,上文的分析表明,至少在下列方面已见诸成效。

1. 纵向冲刷,受边界条件在三度空间上变化的影响,沿程减弱总趋势的发展过程也并不均匀。冲刷深度和冲刷距离可以根据水文地貌理论建立起来的、适用于每条具体河流的某种函数关系来宏观地确定。

2. 横向变形在相当大程度上受制于河岸与河床的相对可动性。同样可以建立包括边界条件特征在内的各种控制因素与河岸变形强度之间的函数关系。而由于调整过程中的复杂响应过程,河岸相对于河底的抗冲性将因时而递减,因此水库下游河床纵向变形和横向变形之间的相互关系也将随时间而变。

3. 建库后下游河道河型的变化是复杂的。不同河型在河宽、水深、比降、河床起伏、床沙粗化等方面的调整方式和数量均不相同,不同河段在不同时段也有差异。可以用影响河型形成发育各种因素的综合评估系统来对建库后的河型变化进行预估。

参 考 文 献

- 〔1〕 尤联元等:长江三峡工程修建后下游河道变化预估,长江三峡工程对生态与环境影响及其对策研究文集,科学出版社,1987年。
- 〔2〕 G. P. Williams and G. Wolman: Downstream Effects of Dams on Alluvial Rivers, Geo. Survey Prof. Paper 1286, U. S. Gov. Printing Office, Washington, pp72-74, 1984.
- 〔3〕 童中均等:水沙过程的改变对蓄水水库下游河床变形的影响,第二次河流泥沙国际学术讨论会论文集,水利电力出版社,1983年。
- 〔4〕 钱宁等:河床演变学,科学出版社,1987年。
- 〔5〕 明宗富:冲积河流的河相关系,泥沙研究,1983年4期。
- 〔6〕 许炯心:汉江丹江口水库下游河床调整过程中的复杂响应,科学通报,1989年6期。
- 〔7〕 S. A. Schumm: The Fluvial System, Wiley, New York, 1977.
- 〔8〕 许炯心:边界条件对水库下游河床演变的影响,地理研究,2(4),1983年。
- 〔9〕 欧阳履泰:试论下荆江河曲的发育与稳定,泥沙研究,1983年4期。
- 〔10〕 方宗岱:河型分析及其在河道整治上的应用,水利学报,1964年1期。

A STUDY ON CHANNEL DEFORMATION AND RIVER PATTERN OF THE DOWNSTREAM CHANNEL AFTER A RESERVIOR IS CONSTRUCTED

You Lianyuan Jin Desheng

(Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences and
State Planning Commission of the People's Republic of China)

Subject terms: hydro-morphology theory, longitudinal degradation,
lateral deformation, river pattern

Abstract

By adopting hydro-morphology theory and methods and combining with experiment in the laboratory as well, this paper deals with the following 3 aspects of problems:

1) Longitudinal degradation

Depending upon boundary conditions that is characterized by nonuniform distribution in 3 dimensional space, the development of longitudinal degradation, besides a general tendency, is getting weaker and weaker along the course with time and is also nonuniform. The degraded magnitude and the scouring distance, in general, can be determined by some experimental formulas established with measured data based on hydro-morphology theory.

2) Lateral deformation

It is depended in a nice bit of degree upon relative erodibility of the bank to the bed. Just the same as longitudinal degradation, experimental formulas are also established, by which relationship between deformation intensity of the bank and controlling factors, including boundary conditions can be represented well. Due to complex response phenomenon in adjusting process, relative erodibility of the bank to the bed decreases with time, consequently, the relationship between longitudinal and lateral deformation changes with time, too.

3) Change of river pattern

It is a very complex problem. Adjusted magnitude for width, depth, slope, relief of the bed and roughness and ways taken in adjusting process are different from each other in different river pattern. We establish a comprehensive assessment model, in which factors influencing on formation and development of river pattern are fully considered. It may be used for predicting of changes of river patterns after the reservior is constructed.