



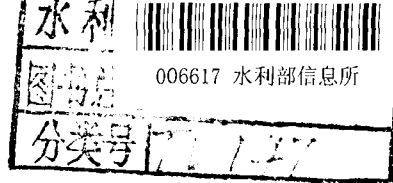
余新河基金会资助出版科技丛书

河床演变河道整治 论文集

尹学良 著

中国建材工业出版社

56

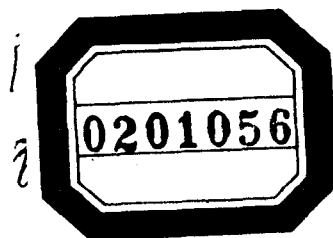


河床演变河道整治 论文集

中国水利水电科学研究院泥沙研究所资助出版

尹学良 著

尹学良



尹学良谨启

中国建材工业出版社

(京)新登字 117 号

图书在版编目(CIP)数据

河床演变河道整治论文集/尹学良著. -北京:中国
建材工业出版社,1996.10
ISBN 7-80090-513-6

I. 河… I. 尹… III. ① 河床演变-中国-研究-文集
② 河道整治-中国-研究-文集 IV. TU882-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 10976 号

21074/35 03

河床演变河道整治论文集
尹学良 著

*

中国建材工业出版社出版(北京海淀区三里河路 11 号)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
河北吴桥印刷厂印刷

*

开本:787×1092 毫米 1/16 印张: 16 字数: 400 千字
1996 年 8 月第一版 1996 年 8 月第一次印刷
印数: 1—1000 册 定价: 38 元
ISBN 7—80090—513—6/TV·1

序

冲积河流是可变、易变、常变的。沧海变桑田是大型的变,三十年河东三十年河西是巨幅的变,游荡无常是迅速的变,航道、引水口淤塞是严重的变,决口改道是灾难的变,坏河变好河是人们力求的变,好河变坏河是必须防止的变。“不能两次过同一条河”,虽然只限于哲学上的辩论,但每次过河都能看到差异则是事实。黄河的深重灾难是平均每天不足1毫米的淤高造成的,长江防洪、航运、港湾的困难是平均每天不到1厘米的崩岸造成的。积少成多,从量变到质变的后果常常极为可怕。

变有一定的规律,变会达到一定的平衡。但平衡是相对的,有一定条件的。条件改变,平衡也就被改造。不平衡是绝对的。

应该从变中去看事物,看各因素及其相互联系、相互制约,它们变的可能,变的原因,变的趋向,变的利害,变的可利用和引导变的方法。这就是认识事物、改造事物的研究,就是河床演变,河道治理的研究。

著者从50年代初致力于认识黄河、治理黄河的研究。并努力通过永定河、长江、废黄河、南运河、辽河、松花江等国内外河道去认识黄河。希望从里从外去观察,从正从反去理解,从新从头去认清,从细从全去看透。虽然才力有限,成就寥寥,但将一切置之度外之后,经过几十年的胼胝苦斗,也算有些领悟,无悔今生。谨将历年所写论文,择其要者,辑成本书,以供有关人士参考、点评。倘能对学科和治黄事业有所裨益,也就不辜负其出版了。

深深感谢广大水文工作人员,测绘人员;本书的一切都是从他们用血汗铸成的资料中搜寻、获取的。深深感谢前辈、同侪的启迪、提携、争辩,甚至是严厉的抨击。来自反面的声音,往往能起着激砺的作用。

中国水利水电科学研究院泥沙研究所领导很关心并资助本书的出版,谨致深深谢意。

陈金荣工程师长期辛勤协助工作,刘峡工程师极力推动本书的出版,满伟女士及中国建材工业出版社对该书的出版也给予了很大帮助,谨在此深深致谢。

作者谨志

1996年5月

目 录

第一篇 河床演变泛论	1
清水冲刷河床粗化研究.....	1
清水冲刷河道重建平衡问题	11
弯曲性河流形成原因及造床试验初步研究	24
河型成因研究	36
永定河、黄河下游河道的摆动与展宽问题.....	46
黄河下游纵剖面的形成	56
黄河下游河性的形成	66
长江中下游汊道和节点的形成及演变	74
闹得海滞洪水库库区及下游河道的变化	83
黄河口的大型并汊改造	93
关于分流淤积问题.....	104
断面形态问题.....	113
第二篇 黄河问题专论	123
黄河的害沙及其处理问题.....	123
三门峡水库运用和增建问题.....	131
三门峡水库增建后下游河道问题.....	133
黄河下游河道的改造问题.....	137
三门峡水库蓄水春灌运用后黄河下游的河床演变.....	155
黄河下游的河性.....	165
黄河山东河段河槽冲淤量计算初步成果.....	175
黄河口的河床演变.....	185
黄河口清水沟行水年限的计算.....	198
第三篇 河道整治问题	206
永定河下游 50 年代的河道治理	206
对永定河下游河道进一步整治的意见.....	221
黄河下游的防洪策略问题.....	223
“束水攻沙”伸论.....	231
黄河中游河沟滞沙问题.....	237
改造黄河根治黄河.....	243

第一篇 河床演变泛论

清水冲刷河床粗化研究*

天然河流上修建水库后,下游河道将因遭受清水冲刷而发生一系列变化。明显的变化之一是河床组成变粗,即河床粗化。卵石夹沙河段首先通过河床粗化而重新建立平衡。因此探讨其粗化规律就是寻找预报河床冲刷深度、水位降低和河相变化的钥匙。细沙河段河床粗化与河道重建平衡过程有何关系,也是预报河道演变趋势和考虑河道整治方针时需先解决的问题。

卵石夹沙河床粗化问题,哈利逊(A. S. Harrison)^[1]和克诺罗兹(B. C. Кнороз)^[2]都曾在水槽中做过试验,并发现粗颗粒的铺盖不需要完整的一层,粗化过程即可完成。此外,在阿尔图宁(С. Т. Алтушин)和罗辛斯基(К. П. Россинский)的工作中也曾接触到这个问题。

探讨沙质河床粗化问题的还不多。首先应提到利用爱因斯坦(H. A. Einstein)函数的计算和拜格诺(R. A. Bagnold)的风沙拣选研究,此外卡拉乌舍夫(A. B. Караушев)和米海也夫(Л. В. Михеев)等也曾作过一些设想。

一、卵石夹沙河床的粗化

受清水冲刷后,河床中的较细颗粒被水流悬走,或以沙浪形式向下游推移,较粗颗粒逐渐集聚,最终形成一层水流冲不动的床面,称为抗冲粗化层。抗冲粗化层的形成是很迅速的,永定河下游一百余公里的卵石夹沙河段,在官厅水库建成后三、四年内,即已完成粗化过程,获得了新的平衡。

(一) 抗冲粗化层的特性

图1列出永定河在修建官厅水库以后卢沟桥附近所形成的典型粗化层颗粒级配曲线。在同一图中,还列出了水槽试验所得到的结果。可以看出它们都呈“躺椅”形,即含有粗颗粒和细颗粒而缺乏中等颗粒。“椅子”坐板部分的左端(A点),表明粗粒径的下限,这一粒径的起动流速约与曾经发生的最大冲刷流速(相当于最大洪峰流量下的流速)接近。因此可以认为,粗颗粒部分就是水流冲不动的部分,是构成粗化层的主体的粗化颗粒;细颗粒部分则是

* 《水利学报》1963年第1期刊载。其卵石夹沙河床粗化部分的主要内容,曾于1959年1月油印发表,题为《永定河河床粗化的分析研究》,水利水电科学研究院。参加工作的还有王会合、张世俊、万兆惠等先生。

受到粗化颗粒荫蔽影响而遗留下来的。图1还显示出“椅子”坐板的高度大致相差不多,说明在粗化层中,粗化颗粒所占百分数大致相差不多。兹将从永定河和水槽试验所得该项百分数 P_1 列如表1,它们变化于55%~75%之间,较集中于65%左右。

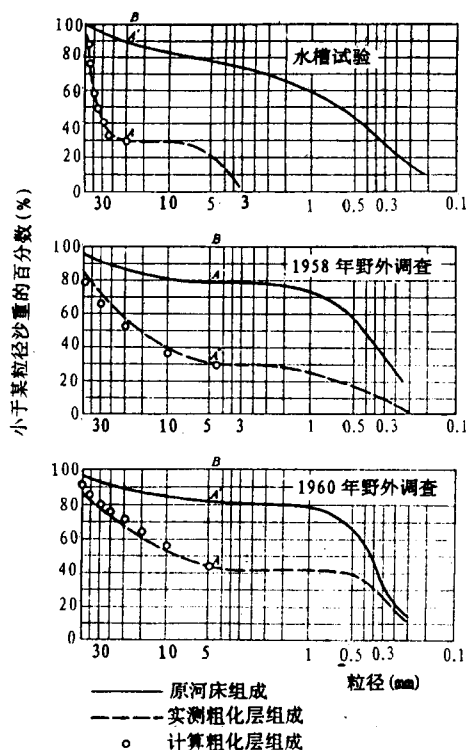


图1 原河床泥沙组成及抗冲粗化层泥沙组成

图1中同时列出了原始河床组成粒配曲线。将原始河床和粗化层的粒配曲线相比较,可见它们的上端具有比例的相似。如把原始河床粒配曲线的 A' 点(粗化颗粒的下限)移到粗化层粒配曲线的 A 点上,然后按同样比例($AB:A'B$,亦即下面计算中的 P_1/P_0)重新绘制原河床粒配曲线的上段,得如图中的圈点。圈点与粗化层粒配曲线的吻合程度尚令人满意,说明粗化层中的粗化颗粒数量相当于本地原有的全部粗化颗粒数量;从上游滚来的和从本地滚走的可以相抵。这样,只要知道粗化颗粒的下限粒径,则粗化层中粗颗粒部分的组成,可由本地原始河床组成直接推得。但对位于拦沙建筑物稍下的短河段,和由卵石夹沙河床至沙质河床间的过渡段,这个结论不能适用;因为在这两种河段上,从上游滚下来的和从本地滚走的粗化颗粒数量不相等。

对永定河的调查,也发现粗化颗粒铺盖不满一整层,河床就可以达到稳定。表1中已一并列出粗化层厚度 d_m ,粒径比 d_m 为细的颗粒占粗化层总重量百分数 $1-P_{1r}$,和粗化层中粗化颗粒铺盖的面积百分数 $f(P_{1r}, P_1, d_m$ 等的关系可参见图2)。可见 $1-P_{1r}$ 的数值约为50%~80%,亦即粗化层的厚度约相当于粗化层级配中的 $d_{50} \sim d_{80}$ 。粗化颗粒所铺盖的面积百分数 f 则约等于50%~80%。水槽试验曾发现 f 值与流速 V 还有一些关系,即流速愈大,河床达到稳定,粗化颗粒所要覆盖的面积百分数也愈大(见表1)。

表 1 粗化层特性

资 料 来 源		粗化颗粒 含 量 $P_1(\%)$	粗化层 厚 度 $d_m(\text{cm})$	比 d_m 细的 颗粒含量 $(1-P_1)(\%)$	粗化颗粒 铺盖面积 $f(\%)$	流 速 V (m/s)	备 注
1958 年 永定河资料	130 断 面	85	10	65			1. 断面号自水库向 下排列,每公里 1 个;
	131 断面稍下	80	10	60			
	134 断 面	75	5	60			
	134 断面岸边	65	3	70			
1960 年 永定河资料	117~118 断面间	70	20	60	52.5		2. 135 断面以上已 形成抗冲粗化 层,136 断面以下 为沙质河床; 3. 水槽试验河床质 甲类 $d_{95}=28\text{ mm}$, $d_{75}=12\text{ mm}$, $d_{50}=7\text{ mm}$; 乙类 $d_{95}=20\text{ mm}$, $d_{75}=12\text{ mm}$, $d_{50}=8\text{ mm}$.
	120 断 面	70	15	65	62		
	124 断 面		11	64	61		
	127 断 面	70	12	52	57		
	132~133 断面间	76	7	86	69.8		
	133 断面稍下	84	5	80	58		
	133 断面下 100 m	61	6	54	52.1		
	134 断 面	58	3.5	80	41.6		
水 槽 试验资料	134 断面稍下	63	4	88			
	甲 一 组	64	3.7	65		1.01	
	甲 二 组	50	3.3	85	50	0.76	
	甲 三 组	62	3.2	86	62	0.95	
	甲 四 组	72	3.5	85	68	1.20	
	甲 五 组	60	3.6	80	78	1.35	
	乙 六 组	67	1.8	67	84	1.33	
	乙 七 组	65	1.7	52		1.16	
	乙 八 组	50	1.9	53		1.37	
	乙 九 组	60	2.6	63		1.40	

试验结果说明,如果原始河床组成相同,水流最大冲刷流速也相同(可用 $V/H^{0.2}$ 表示, H 为水深;并要求有足够的作用历时),则所形成的粗化层的特性也相同,而与流量变化过程无关。在最大冲刷流速发生之前,相应于最大冲刷流速的粗化颗粒不致遭到损失;而在最大冲刷流速发生后,抗冲粗化层已经形成,随后的小流速当不致再引起冲刷。

上面对于抗冲粗化层特性的认识,是从非片状卵石的资料中得出的。对于片状卵石,粗化层的厚度和其组成可能与上面谈到的不同,留待以后进一步研究。哈利逊的试验中发现片状卵石在形成粗化层的同时,具有鳞片结构,当这种鳞片结构被破坏后,即使组成没有改变,河床也会失去稳定,一直等到鳞片结构恢复后才稳定下来。

(二) 河床极限冲刷计算

根据对抗冲粗化层特性的认识,使我们可以通过抗冲粗化层所需要的厚度和粗化颗粒所占百分数来计算河床冲刷的极限深度。设粗化颗粒的重量占原始河床组成总重量的百分数为 P_0 ,占粗化层总重量的百分数为 P_1 ;原始河床组成和粗化层的孔隙率各为 n_0 和 n_1 ;冲刷深度为 Δh ;粗化层厚为 d_m ;则在水平面积 A 上,粗化层中的粗化颗粒重量为

$$G_1 = (1 - n_1)\gamma_s P_1 A d_m$$

式中 γ_s 为泥沙容重。在同一面积上, $\Delta h + d_m$ 的一层原始河床组成中粗化颗粒的重量为

$$G_0 = (1 - n_0)\gamma_s P_0 A (\Delta h + d_m)$$

上面已提到,粗化层中粗化颗粒数量相当于当地原有数量,即 $G_1 \approx G_0$,因此得冲刷深度为

$$\Delta h = \left(\frac{1 - n_1}{1 - n_0} \frac{P_1}{P_0} - 1 \right) d_m \quad (1)$$

根据表 1, $P_1 = 55\% \sim 75\%$, 一般可用 65% 。 P_0 可根据最大冲刷流速算得不冲颗粒(粗化颗粒)的下限粒径 d_0 后, 从原始河床粒配曲线上查得。其次, 既然可以按照 P_1/P_0 比值从原始河床粒配曲线, 计得粗化层粒配曲线的粗化颗粒部分, 即大于粗化层厚 d_m 的颗粒, 在粗化层中的含量 P_{1i} , 与在原始河床中的 P_{0i} 之比值 P_{1i}/P_{0i} , 应等于 P_1/P_0 , 由此得 $P_{0i} = P_{1i}(P_0/P_1)$, 如图 2 所示。根据表 1, $1 - P_{1i}$ 约为 $50\% \sim 80\%$, 一般可用 $P_{1i} = 35\%$, 由此算得 P_{0i} 值, 即可以从原始河床粒配曲线上查得 d_m 值。此外, 在缺乏资料时, 可取 $n_1 = n_0$ 。这样, 已知最大冲刷流速和原始河床粒配曲线后, 式 1 右端各数也都可以求得。

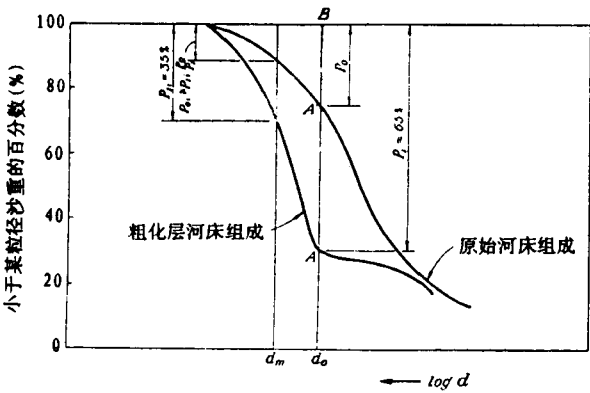


图 2 决定 P_0 及 d_m 示意图

表 2 为水槽试验冲深数值及按照式 1 计得的冲深数值, 可以看出后者多比前者为大, 主要原因是在卵石粗化层上实测河底一般定得偏高, 也可能因为有些组次放水历时不够, 粗化过程尚未完成。如表 2 中偏差最多的几组, 在表 1 中 P_1 及 $1 - P_{1i}$ 的数值也最小。

表 2 水槽试验冲深数值与计算数值的比较

组次	实测冲深(cm)	计算冲深(cm)	组次	实测冲深(cm)	计算冲深(cm)
甲 一 组	4.3	6.6	乙 六 组	2.5	3.9
甲 二 组	2.0	3.7	乙 七 组	5.0	3.8
甲 三 组	4.0	6.3	乙 八 组	8.5	14.8
甲 四 组	5.5	7.3	乙 九 组	6.6	6.4
甲 五 组	5.0	6.1			

将哈利逊^[1]所作三组试验的基本资料, 及用式 1 计得的冲刷深度一并列入表 3。表中 d_0 为恰能起动的颗粒直径, 亦即粗化颗粒的下限粒径, 用 $V_{01} = V/H^{0.2}$ 值从沙费纳克(F. Schaffernak)试验资料点带上查取[所得 d_0 值比沙玉清公式略粗, 而比沙莫夫(Г. И. Шамоу)的为细^[3]]。表 3 数值说明, 计算的冲深数值与试验成果吻合尚好。

(三) 糙率等水流因素的变化

随着河床组成变粗, 河床糙率也相应加大。根据永定河及水槽试验的资料, 河床糙率与粗化颗粒下限粒径 d_0 有较好的关系, 约得如下式:

$$n = \frac{1}{21} d_0^{1/6} \tag{2}$$

d_0 以 m 计。将水槽试验和永定河观测所得数值列如表 4。式 2 一般适用于卵石河床。

表 3 哈利逊试验基本资料及用式 1 算得的冲刷深度

组别	水深 H (m)	流速 V (m/s)	实测冲深 Δh (m)	$V_{01} = \frac{V}{H^{0.2}}$	d_0 (mm)	$P_0(\%)$	P_{01} (%)	d_m (mm)	$\frac{P_1}{P_0} - 1$	Δh (m)
A	0.263	0.98	0.022	1.31	7.0	27	14.5	11.0	1.4	0.015
B	0.226	0.87	0.046	1.17	6.0	12	6.45	12.0	4.4	0.050
C	0.226	0.87	0.390	1.17	6.0	2	1.07	11.0	32.5	0.360

表 4 河床糙率 n 与粗化颗粒下限粒径 d_0 的关系

试 验 组 次	d_0 (m)	$\frac{1}{21} d_0^{1/6}$	实 测 n
甲一组	0.0250	0.0258	0.0292
甲二组	0.0040	0.0189	0.0167
甲三组	0.0048	0.0196	0.0189
甲四组	0.0096	0.0220	0.0215
甲五组	0.0090	0.0217	0.0215
永定河 130 断面	0.0800	0.0312	0.022~0.029

一般没有较大支流汇入的情况下，卵石夹沙河段河床组成及河相关系沿程变化较小，因而受清水冲刷后，极限冲刷深度沿程变化也较小，结果使得纵比降不致发生较大变化。因此卵石夹沙河段经清水冲刷后，主要是通过河床粗化，形成抗冲粗化层而得以重建平衡的。

二、沙质河段河床粗化

(一) 沙质河床粗化现象

多沙游荡河道经泄入清水后，河床中的细颗粒逐渐被带走，粗颗粒逐渐集聚于床面，河床组成逐渐粗化。图 3、图 4 为永定河在修建官厅水库以后下游沙质河段河床组成不断粗化的情况。官厅水库于 1953 年开始起作用，但到 1956, 1957 年始有河床质资料。图 3 内一并列出水槽试验中的粗化资料。沙质河床粗化现象不仅在清水冲刷段上发生，在其下游的冲淤平衡段以及淤积段上也要发生。

为了了解河床粗化的发生和影响，曾在宽深各 50 cm、有效长 10 m 的活动水槽内用两种河沙进行清水冲刷试验。所用河沙的粒配曲线如图 5；试验流速 0.28~0.90 m/s；冲刷后粗化情况如图 6 所示。从试验资料中可以看出沙质河床受清水冲刷，而且流速介于最细颗粒的起动流速和最粗颗粒的扬动流速之间时，就要发生河床粗化现象。粗化后的河床泥沙组成，随着流速的增大而加粗(见图 6)。因为流速越大，能跃起甚至能悬走的泥沙也越粗。不能跃

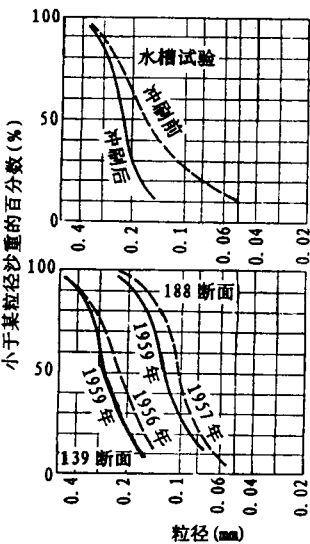


图 3 清水冲刷沙质河床组成变化

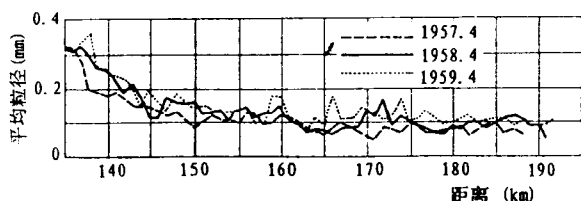


图4 永定河下游河床组成历年变化

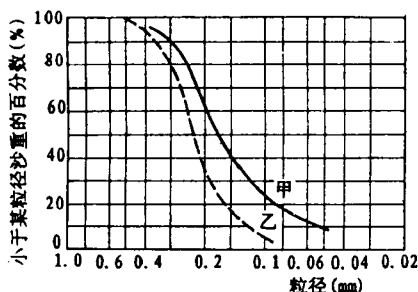


图5 沙质河床清水冲刷水槽试验所用原沙的组成

起的泥沙则以沙浪的形式向前推移。河床粗化的范围仅限于表层泥沙,其厚度一般稍大于沙浪的高度。

在永定河下游沙质河段上也发现,在流速大于河床中最粗颗粒的扬动流速时,则全部泥沙均可以跃起或被悬移,粗化程度反而会减轻,甚至不再发生粗化,河床要被层层剥蚀。

(二) 粗化原因探讨

挟沙不足的水流进入沙质河段后,从河床刷取并带走其较细颗粒,含沙量得以沿程递增,河床组成也随之粗化。将从河床刷起的泥沙(亦即悬沙

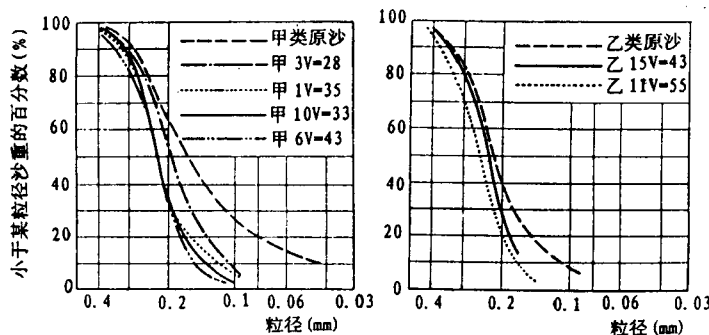


图6 水槽试验泥沙组成变化情况

(V——流速,cm/s)

在该河段上的增量)按粒径大小分组后,初步发现各组沙量与其 $P_i(1-V_{si}/V)$ 成正比。此处 P_i 为该组泥沙在河床中的含量百分比; V_{si} 为该组泥沙的扬动流速。泥沙颗粒愈细, V_{si} 愈小, $1-V_{si}/V$ 和 $P_i(1-V_{si}/V)$ 则愈大,因此这一关系表达了细颗粒优先被刷走的现象。另外,这一关系表明,冲刷带走的泥沙组成不仅与可被冲起的床沙的组成有关,还与水流的冲刷能力有关。很明显,河床冲刷的这种“选择”性,是冲刷河段河床粗化的一个重要原因。利用这一关系还可以说明,当流速很大,全部泥沙均可以跃起或被悬移时,粗化程度会减轻的现象。因为此时 V_{si}/V 较小,粗颗粒和细颗粒的 $(1-V_{si}/V)$ 值差别也较小,“拣选”作用不如流速低时明显。

然而,在冲刷河段以下的冲淤平衡段及淤积段上河床组成为什么也要变粗呢?

图 7 表明永定河下游受清水冲刷后沿程各站含沙量按粒径的分解(均用各站含沙量与 160 断面含沙量之比绘图);其中包括含沙量沿程增加的冲刷情况,如 1957 年 6 月和 1959

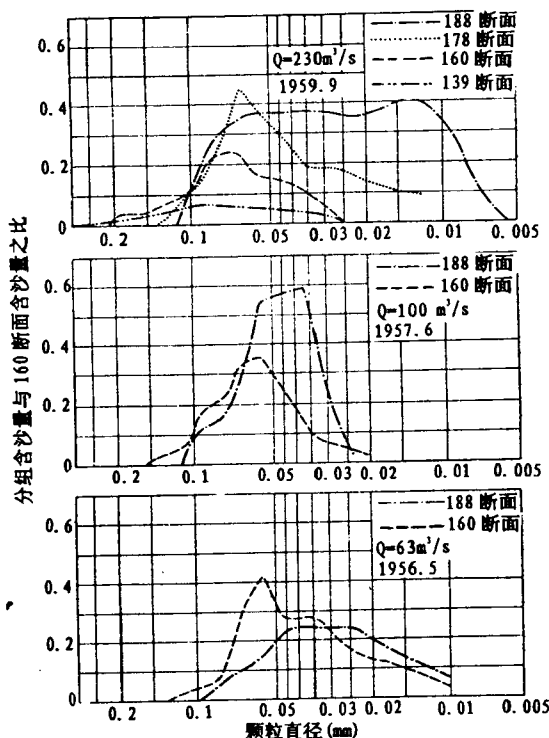


图 7 含沙量沿程变化

年 9 月的实测资料;也有含沙量沿程减少的淤积情况,如 1956 年 5 月的实测资料。图 8 为黄河的同类曲线,只列出冲刷河段的实测资料。图 7 和图 8 的曲线都表明,从上游站到下游站粗粒泥沙都有落淤而细粒泥沙都有刷起的现象;正确的说,前者有净落淤而后者有净冲刷。它说明这样的事实:悬沙中的粗颗粒在沿程运行中不断地与床沙中的细颗粒进行“交换”。它也是在含沙量沿程恢复过程中,粗颗粒较快达到饱和,细颗粒则恢复较慢的反映。交换可能是等量的或不等量的,等质(粒径组成)的或不等质的。在拦沙水库下游的河道上,冲刷河段进行着不等量和不等质的交换,即冲刷多于淤积和多冲起细颗粒而粗颗粒甚至发生淤积。冲淤平衡段进行着等量而不同质的交换。淤积段也进行着不等量和不等质的交换,但与冲刷段不相同,这里淤积多于冲刷,淤的是较粗的颗粒而细颗粒甚至有净冲刷。其结果是比降逐渐调平,河床组成逐渐变粗,河床形态和河性也将逐渐改变。河道就是通过这种交换而重新建立平衡的。而这里叙述的不等值

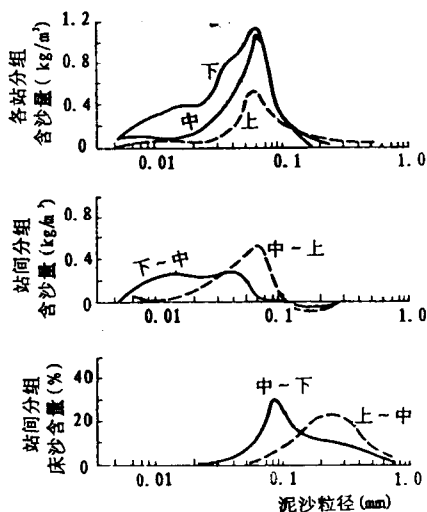


图 8 黄河下游清水冲刷段含沙量变化与河床组成关系

是较粗的颗粒而细颗粒甚至有净冲刷。其结果是比降逐渐调平,河床组成逐渐变粗,河床形态和河性也将逐渐改变。河道就是通过这种交换而重新建立平衡的。而这里叙述的不等值

(量与质的)交换,是河床组成粗化的另一个重要原因。它使得不仅在冲刷段上,而且在其下游的冲淤平衡段和淤积段上,河床都要发生粗化;除非通过沿程冲刷,悬沙量和组成均已恢复到原来的那样。这里所说的淤积段,是指自然冲积河流受清水冲刷后,含沙量沿程增加到最大值以下的淤积河段,与由于壅水而出现的淤积段不同。

(三) 河床粗化的影响

水槽试验结果使我们获得如下的认识:

1. 在清水冲刷过程中,床沙组成逐渐变粗,糙率也随之加大,如图 9 所示。其中在放水初期糙率突增的现象,主要是由原平坦床面迅速变为沙浪床面的结果。此后糙率还随粗化过程而陆续加大。糙率的加大从两方面进行,一为沙粒阻力逐渐加大,一为沙浪阻力逐渐加大。

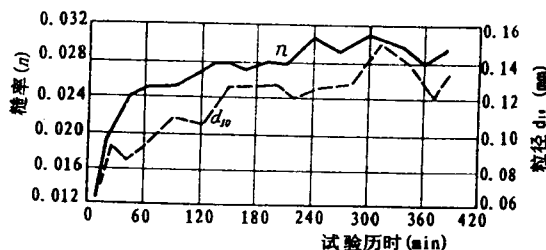


图 9 水槽试验泥沙粒径及糙率的变化

对于细沙河段来说,可按张有龄公式计算与沙粒阻力相应的糙率 n_b

$$n_b = 0.0525d^{1/6} \quad (3)$$

式中 d 以 m 计(一般以 mm 计时, $n_b = 0.0166d^{1/6}$)。再计算沙粒阻力 T_b

$$T_b = \gamma R_b J = \gamma V^{3/2} n_b^{3/2} J^{1/4} = 0.012\gamma V^{3/2} d^{1/4} J^{1/4} \quad (4)$$

式中 J ——能面比降; γ ——水的么重; R_b ——相当于无沙浪时的水力半径。则沙浪阻力为

$$T_s = \gamma R J - 0.012\gamma V^{3/2} d^{1/4} J^{1/4} \quad (5)$$

将 $T_s / \left(\frac{1}{2} \rho_f V^2 \right)$ 与爱因斯坦函数 $\psi = \frac{\rho_s - \rho_f}{\rho_f} \cdot \frac{d_{35}}{R_b J}$ 对绘,得出的结果与爱因斯坦所绘的河流沙浪阻力曲线^[5]很相符合,如图 10 所示。此处, ρ_s , ρ_f 分别为泥沙和水的密度。由图 10 看出, T_s 约与泥沙粒径 d 的一次方成正比。在沙质河床上,一般 T_s 比 T_b 为大;再由式 4 看出 T_b 与 d 的 $1/4$ 方成正比。由此可知,由于床沙组成变粗以致阻力变大,主要是沙浪阻力加大的结果;沙粒阻力增大的影响是比较次要的。

2. 随着粗化层形成和发展,水流输沙量也逐渐减小。因为一方面,在粗化层掩盖下的细粒泥沙不再被扬起参加跃移或悬移运动(仅有在浪谷露出的部分仍可被扬起),或者说悬沙组成变粗了;另一方面,由于河床阻力加大,夹沙能力也随着减小,推移质输沙率也减小。

永定河实测资料也显示出由于河床组成变粗,糙率增大的现象。图 10 中同时列出了永定河清水冲刷河段的沙浪阻力点子。它们都很好地组成与曲线平行的点带。其分布所以偏于曲线的上方,可能是未除去河岸阻力及形状阻力所致。

由上列分析可以得到如下认识:受清水冲刷的细沙河床,其表面可以形成粗化层,这一层是不稳定的,也不能抗拒水流的推移。在一般流速下,沙粒以沙浪的形式向下游运动。但这一粗化层的出现,加大了河床阻力,减小了水流夹沙能力及输沙量,从而减缓含沙量沿程恢复速率,加长冲刷段,延长河床比降的调平过程。由于沙浪运行的不均衡性,浪谷部分的细

沙仍有机会被扬起带走,加上粗化层泥沙仍有可能被悬移,河床仍然逐渐被刷深(粗化层不断地向下推移也会引起上端河床的逐渐降低)。

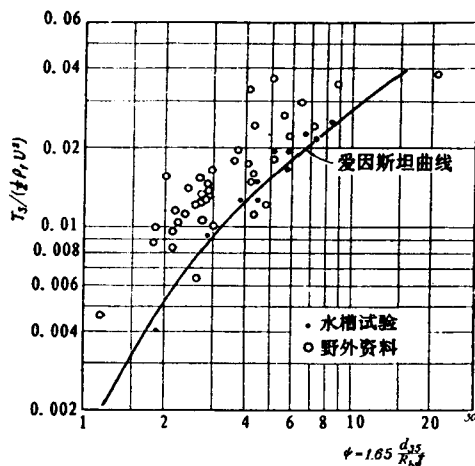


图 10 沙浪阻力与水流强度的关系

三、 结 论

1. 卵石夹沙河床经清水冲刷后,可以形成抗冲粗化层。组成抗冲粗化层的主体的全部粗化颗粒,可以认为就是当地原始河床组成中的全部粗化颗粒,在河床冲刷下降后集聚而成的。根据现有资料初步得知,在非鳞片状卵石夹沙河床上,抗冲粗化层中粗化颗粒的重量约占 55%~75%。抗冲粗化层的厚度约相当于粗化层粒配曲线上的 $d_{50} \sim d_{80}$ 。粗化颗粒铺盖面积达到 50%~85%时,抗冲粗化层即可完成。同一原始河床组成和最大冲刷流速,所形成的抗冲粗化层的特性也相同,不因水流过程不同而异。

2. 卵石夹沙河床受清水冲刷后的极限冲刷深度可用下式计算:

$$\Delta h = \left(\frac{1 - n_1}{1 - n_0} \cdot \frac{P_1}{P_0} - 1 \right) d_m$$

3. 卵石夹沙河床抗冲粗化层形成后,河床糙率可用 $n = \frac{1}{21} d_n^{1/5}$ 计算。

4. 沙质河床受清水冲刷后,将通过水流扬沙的分选作用和泥沙的交换作用而发生粗化。粗化不仅在冲刷河段上发生,在其下游的冲淤平衡段和淤积段上都会发生。

5. 沙质河床受清水冲刷后也能形成粗化层。它是不稳定的,不能抗拒水流的推移;在一般流速下,以沙浪的形式向下游运移。这一粗化层的出现,使河床阻力加大,水流夹沙能力及输沙量减小,从而减缓含沙量沿程恢复速率,加长冲刷段,延长河床的比降调平的过程和河道重建平衡过程。

6. 受上游拦沙水库的影响,卵石夹沙河段将通过形成抗冲粗化层而重新建立平衡。沙质河段则将通过泥沙的不等值交换而重新获得平衡;一般是冲刷段比降逐渐调平,河床组成变粗,河床形态改变;冲淤平衡和淤积段的河床组成也将变粗,河床形态将发生相应的改变。

参 考 文 献

- [1] Harrison, A. S. , Report on Special Investigation of Bed Sediment Segregation in a Degrading Bed. University of California, Sept. 1950.
- [2] Кнороз В. С. , Образование естественной отмостки при размыве русла. Гидротехническое Строительство, № 4, 1956.
- [3] 沙玉清, 泥沙运动的基本规律。泥沙研究, 第1卷, 1956年 第2期。
- [4] Караушев А. В. , Проблемы динамики естественных водных потоков. Гидрометеорологическое издательство, 1960 , стр. 298.
- [5] Einstein, H. A. , Banks, R. B. , Linearity of Friction in Open Channels. Union Géodésique Internationale-Association Internationale d'Hydrologie Scientifique Assemblée Générale de Bruxelles, Tome I , 1951.

清水冲刷河道重建平衡问题*

河流上修建水库,拦截了泥沙,下游河道都将被冲刷改造。研究其改造过程及重建平衡过程,是一个重要课题。官厅水库建成后永定河下游的河床演变,成了我们研究的主要对象^[1]。同时做了水槽试验研究,并参考了国内外其他河道的资料。三门峡水库建成后黄河下游将如何演变,则是这项研究的主要目的。

一、清水冲刷前河道概况

(一) 来水来沙特性

与邻近各河流相比,永定河是一条干旱的河流,年径流模数不足邻近河流的 1/3;枯水季节流量常仅 3、5 m³/s,甚至断流。最枯水年年平均流量仅 17.6 m³/s;丰水年也不大,年平均仅 112.7 m³/s。多年平均流量为 45 m³/s。

研究河段的主要特征是流量变幅变率大,含沙量大而颗粒细。最大流量曾达 5280 m³/s。洪水涨水历时常仅数小时,落水历时也不过一天多。洪水集中发生于 7、8 月间,每年约发生一、二次;丰水年则常发生连续洪水,一年可达十余次。

最大含沙量曾观测到 700 kg/m³ 多,多年平均含沙量为 44 kg/m³,比黄河干流各站都大;最大年平均含沙量 122 kg/m³。也比黄河干流各站为大。平均年输沙量 0.82×10^8 t。与流量变化相应,沙量随时间的分配很集中,如丰水年可有 80% 余的沙量集中于一个月内。

悬沙颗粒很细,中值粒径约 0.02 mm。

(二) 河床组成及河床形态

水库以下 110 km 间属山峡区,再下约 25 km 为山麓地带,以下为冲积平原。山峡区河宽仅数十至百余米,出山峡后迅速展宽,两岸络续建堤(在 130 km 处为卢沟桥所束),最大堤距达 3800 m 左右。山麓区以上河床由卵石夹沙组成,以下则为沙质,中数粒径变化自 145 km 处的 0.12 mm 减至 190 km 的 0.08 mm 左右。河床纵比降在山峡区内为 30/10000 左右,沙质河段则自 7/10000 减到 4/10000。计出山峡后纵剖面形态约得如下关系

$$Z = 64.5 \log \frac{1260}{L - 107} \quad (1)$$

Z 为河底高程(m); L 为距水库里程(km);山区剖面不符合这一规则。

在 145 km 处钻探结果,得知卵石层埋藏深度约 16 m,计得与 134 km 处的卵石床面联成的比降约为 25/10000,与山麓区的河床剖面比降恰相近。

据估算:出山峡的悬沙量约有 40% 淤落于 130 km 到 190 km 的河段内,使得这一段迅速淤高,终致成为地上河;两岸不再有支流汇入,也没有支流分出。河道平面形态比较顺直,水流散乱多汊,断面宽浅。除了靠堤地段有险工护岸外,河槽岸边均有滩地,较老的滩地上生长草本植物或开垦成耕地。老滩地土质比河槽土质细,如以河床土质中占 5% 的细颗粒作为

* 《中国地理学会 1961 年地貌学术讨论会》文件。摘要刊登于《中国地理学会一九六一年地貌学术讨论会论文摘要》科学出版社,1962 年。此次刊出,做了一些删节。

非造床质,则非造床质在滩地上的含量可达60%以上;但细于0.01mm的泥沙绝少。这一河段平均堤距约1400m,河槽宽约550m,此外为老滩地。上段堤距很宽阔,下段则较小,这应与洪水大,急涨猛落及含沙量大有关。中低河槽宽度则上下比较接近。

(三) 河道演变特性

如以河床质平均粒径 d (mm)和比降 J (每米落差毫米数)之比 d/J 作为河道稳定系数,则145km处稳定系数为0.3,160km处为0.24,属游荡性很强的河道。130km以上河段较为稳定。

虽然缺乏过去的资料来直接说明河段的游荡强度,也可从下列一些现象或传闻来观其鳞爪。这条河道曾以其游荡多变而得名;自130km(卢沟桥)以下,过去一直没有一个长期连续工作的水文站和水位站,都是时设时撤,经常搬家;自130km以下,过去根本没有固定桥梁,甚至连渡船也少有;过去老滩耕地不纳粮,没有地亩数,不仅是因为滩地有被大水淹没的危险,也是因为滩地容易被冲坍的缘故;两岸流传着这样一句老话“吓唬庸人,不拉亏空”,意思是说水流一摆过来,滩地就迅速坍塌,真可吓死庸人,但当主流一离开,原被冲走的滩地马上又淤回,决不拉亏空;将1920年测图与1950年测图对比,如图1所示,可见河道主流几乎翻了一个身,其实自1920年到1950年三十年间还不知共翻了多少次;1953年河道主流又翻了一次,这一次摆动是因为主槽逐渐淤高,甚至高出对岸串沟之上,到了大水时就从滩唇决口而摆移过去的。多年平均流量下,过水断面宽深比达300以上,平均水深不过30、40cm。所有这些,都可说明这个沙质河段的游荡性是很强烈的。至于山麓区和山峡区的河道,也远非稳定少变。分析各水文站断面的资料就可知道,主流摆动,河床此冲彼淤都很频繁而迅速。水文资料的整理和整编都很困难,甚至无法下手。

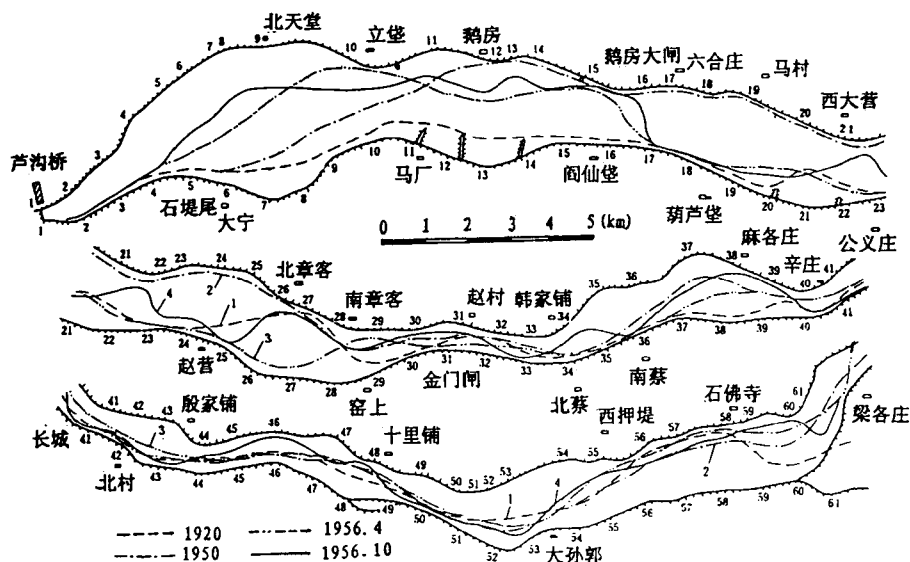


图1 永定河下游形势

二、清水冲刷时期水情特征

1953年汛期水库起自然拦洪作用;1955年7月开始用闸门控制水流并开始蓄水;1956