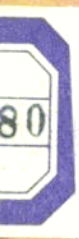


黄河水利委员会
水利科学研究院

科学研究论文集

第四集(泥沙·水土保持)

中国环境科学出版社



编辑委员会

主 编 钱意颖

副主编 王恺忱 张胜利

编 委 (以姓氏笔画为序)

时明立 屈孟浩 张红武

赵文林 赵业安 程秀文

秘 书 张红武(兼) 姚文艺

前 言

展现我院泥沙、水土保持科研风貌,交流成果和经验,促进水利科研事业发展,使您阅有所获,是本论文集之宗旨;选材多样,内容丰富,是本论文集之特点。

黄河水利委员会水利科学研究院《科学研究论文集》(泥沙·水土保持)已分别于1989、1990、1991年出版了三集,这是第四集。本专集收集的论文除少部分已在国内期刊发表外,大都为最新研究成果。主要包括河床演变、高含沙水流、泥沙物理模型及数学模型、河口泥沙、水土保持、土壤侵蚀、量测技术等方面的内容,共计22篇。这些论文大部分为生产科研课题,在解决生产实践问题方面和泥沙科学理论的发展方面都起到了很大作用。

论文中所涉及的许多泥沙问题十分复杂,有些还解决得不够,有待进一步研究。限于水平及时间,文中难免存在疏漏和不足,欢迎指正。

本论文集的出版,得到了中国环境科学出版社的大力支持和帮助,谨此致谢。

编 者

1992年6月

目 录

孟加拉国布河(Brahmaputra)Jamuna 河段河型与河道演变	李保如 丁六逸 傅崇进(1)
人类活动对黄河环境的改变及黄河下游河床演变的影响	赵业安 潘贤梯(17)
黄河流域修建水库对水库下游冲积河流的调整作用	钱意颖 程秀文 傅崇进 尚红霞(28)
渭河下游河槽调整及输沙特性	赵文林 茹玉英(40)
黄河、渭河、汾河、北洛河粗细泥沙来源及汇流区河道分组泥沙冲淤规律	杜殿勋 杨胜伟(59)
黄河中游干支流汇流壅水高度计算方法的探讨	屈孟浩(74)
黄河下游泥沙数学模型及小浪底水库对下游河道的冲淤影响	张启卫 高际平 韩巧兰(86)
黄河下游艾山以上河道调沙特性分析	刘月兰(96)
黄河下游河道输沙用水量的初步研究	赵业安 潘贤梯 李 勇 申冠卿(110)
黄河下游高含沙洪水的模拟及“异常现象”成因分析	张红武 江恩惠(117)
复杂河工模型的流量、尾门自控及沿程水位采集系统	邵苏梅 刘 利 华春雷(130)
80年代黄河下游水沙特性及河道冲淤演变分析	李 勇 陈孝田(136)
黄河口拦门沙河段水文泥沙特性	李泽刚(146)
黄河下游引水引沙对河道冲淤的影响	傅崇进 尚红霞(155)
上海市蕴藻浜东闸闸下减淤实验研究	王恺忱 曹茂林 王万战 王开荣(162)
黄河下游滩区引洪放淤研究与实践	张永昌 杨文海 兰华林 王普庆(176)
巴家嘴水库高含沙水流淤积与排沙的研究	焦恩泽 韩宗孝(186)
黄河中游水沙系列的延长及其变化阶段性与周期性的探讨	王云璋 吴祥定 伊训钢(197)
略论水土保持型生态农业问题	吴以敦(207)
近期水土保持减水减沙效益计算方法研究	张胜利 姚文艺(213)
降水影响下坡面流的基本方程	姚文艺(221)
黄河中游大型煤田开发对侵蚀和产沙影响的研究	张胜利(231)

Collected Research Papers Institute of Hydraulic Research Yellow River Conservancy Commission

(Vol. 4, Sedimentation and Soil Conservation)

Contents

River Pattern and Channel Alluvial Process of Jamuna Reach of Brahmaputra River in Bangladesh	Li Baoru Ding Liuyi Fu Chongjin (1)
Impact of Mankind Activity on Environment and Channel Changes in the Yellow River Basin and It's Lower Reaches	Zhao Yean Pan Xiandi (17)
The Regulating Effect on the Lower Alluvial Channel of Reservoirs in the Yellow River Basin	Qian Yiyi Cheng Xiuwen Fu Chongjin Shang Hongxia (28)
Channel Adjustment and Characteristics of Sediment Transport in the Lower Weihe River	Zhao Weilin Ru Yuying (40)
Resource of Scour Sand for Yellow River, Weihe, Fenhe and Beilouhe River and Sedimentation Law of Different Faction in the Confluence Area	Du Dianxun Yang Shengwei (59)
A Estimating Method of Backwater Height on the Main Middle Yellow River Caused by the Tributaries Inflow	Qu Menghao (74)
Sediment Mathematical Model of Lower Yellow River and Forecasting Impacts of Xiaolongdi Reservoir on the Lower Yellow River	Zhang Qiwei (86)
Adjustment of Sediment in the Reach Upstream of Aishan in the Lower Yellow River	Liu Yuelan (96)
Preliminary Study on Water Requirement for Sediment in the Yellow River	Zhao Yean Pan Xiandi Li Yong Sheng Guanqing (110)
The Modeling Techniques of the Hyperconcentrated Flood in the Lower Yellow River and the Analysis on the Unusual Phenomena ...	Zhang Gongwu Jiang Enhui (117)
Automatic System of the Discharge and Tail Stage—controlling and Stage—collecting Along Model channel in Complicated Model River	Shao Sumei Liuli and Hua chun Lei (130)
Characteristics of Streaflow and Sediment and Analyses of Scouring and Deposition in the Lower Yellow River in 1980s	Li Yong Cheng Xiaotian (136)
Characteristics of Hydrology and Sediment on Yellow River Estuary ...	Li Zegang (146)
Effect of Water and Sediment Withdrawn on Channel Sedimentation in the Lower Yellow River	Fu Chongjin Shang Hongxia (155)
Experimental Study on Reducing the Deposition on the Downstream Section of	

Wenzaobang Gate in Shanghai City	
.....	<i>Wang Kaichen Wang WanZhan and Wan kairong</i> (162)
Investigation and Practise on Drawing Flood to Warp in Floodplain Area of the	
Yellow River	
.....	<i>Zhang Yongchang Yang Wenhai Lan Hualin Wang Puqing</i> (176)
Deposition and Sediment Sluice of Hyperconcentrated Flow in Bajiazui Reservoir	
.....	<i>Jiao Enze Han Zongxiao</i> (186)
Series Extension and Changes of Water and Sediment Sediment in Middle	
Yellow River	<i>Wang Yunzhang</i> (197)
Brief Discussion on Ecological Agriculture problem of Soil and Water Conservation	
Type	<i>Wu Yixue</i> (207)
Review of Study on Estimation Methods of Benefits of Reduction Water and	
ediment Runoff Recently	<i>Zhang Shengli Yao Wenyi</i> (213)
Bsic Equations of Overland Flow Affected by Rainfall	<i>Yao Wenyi</i> (221)
Study on Influence of Wajor Coalfield Development on soil Erosion and Sediment	
Yield in Middle Reaches of the Yellow River	<i>Zhang Shengli</i> (231)

孟加拉国布河(Brahmaputra)

Jamuna 河段河型与河道演变

李保如 丁六逸 傅崇进

提 要

为研究制定布河 Jamuna 河段河道整治规划及防洪工程方案,对该河段的河型与河床演变特点进行了研究,本文为主要研究成果。

一、孟加拉国主要河流简况

孟加拉国大部分土地由布河、Ganges 和 Meghna 三条大河所形成,其三角洲为世界上最大的三角洲之一,面积 59567km²,虽小于亚马孙河、刚果河及密西西比河,但其流量则仅小于亚马孙河、刚果河与长江。

(一) Brahmaputra 河简况^[1]

Brahmaputra 河发源于中国西藏南部喜马拉雅山北麓杰马央宗冰川,在中国境内称雅鲁藏布江。该河自河源大体沿峡谷由西向东流,在中国米林县附近折向东北,之后改向南流,经中国的巴昔卡后进入印度 Assam 省,后称 Brahmaputra 河。

雅鲁藏布江全长 2057km。该流域位于北纬 28°00'~31°00'和东经 82°00'~97°07',流域面积 24.048 万 km²,流域呈东西方向的狭长形,地势西高东低,东南部最低。流域平均海拔 4500m 左右,其中源头 5590m,中、印边境处约 155m。在长 2057km 的河段中,总落差为 5435m。平均坡降为 2.6‰。多年平均流量 4425m³/s,多年平均径流量 1395.4 亿 m³[2]。

雅鲁藏布江进入印度 Assam 省后,流至 Dibrugarh 东北约 40km 处与 Dihang 河和 Luhil 河汇流,汇流后称 Brahmaputra,继而向西南陡转,后达印度—孟加拉边界,在印度境内有五大支流汇入,进入孟加拉国后称 Jamuna,河长 260km。再向南流又接纳了 Teesta 河与 Hurasagar 河,流至 Archa 附近与来自印度的 Ganges 河相汇,其下游称 Padma 河,Padma 河流向东南在 Chandpur 与 Meghna 河相会,长 100km,汇流后仍称 Meghna 河。汇流后向东南流,约 241km 后注入孟加拉湾。

在 Brahmaputra 左岸的 Bahadurabad 附近,有 Old Brahmaputra,自 Brahmaputra 分流,Old Brahmaputra 流路历史超过 200 年,由 Old Brahmaputra 分流处至 Ganges 与 Brahmaputra 交汇处的河段称 Jamuna,该河段即为此次中、孟合作进行河道防洪规划的河段。另一条由 Brahmaputra 左岸分出的河道为 Dhaleswari,它在 Siraganj 下游分出并在 Dhaka 南汇入 Meghna 河,这一分流河道形成较晚,约在 1870~1920 年间形成。

• 本文原载泥沙情报,1991.2.

(二)Ganges(恒)河简况

Ganges 发源于喜马拉雅山,河源高程 4500m,从这条山脉的山坡,切穿许多山岭,流向东南,经印度进入孟加拉国。然后流向东南,最后在 Aricha 与布河相会,汇合后称 Padma 河。在 16 世纪以前,Ganges 的大部分水量由加尔各达附近的 Hooghly 河直接注入孟加拉湾。此后 Ganges 逐渐向东移动,废弃了一些主要流路后进入了现河道位置。

该河的水源主要由融雪、融冰及夏秋雨季的热带季风雨组成,每年有两次泛滥,最大洪峰常出现在 8 月后期或 9 月初。河流中带有大量泥沙,泛滥后在河谷的田地上铺上很厚的一层淤泥。

该河 1910 年在 Harding 桥开始有水位观测,1934 年开始有流量观测。其水文观测资料在所介绍的三条河中系列最长。统计 Harding 桥站 1963~1964 年至 1988~1989 年(内缺 1971 与 1972 年资料)25 年的流量特征值为:日平均流量最大、最小值分别为 $76000\text{m}^3/\text{s}$ (1987 年 9 月 19 日)和 $436\text{m}^3/\text{s}$ (1989 年 3 月 26 日);年平均流量最大、最小值分别为 $14100\text{m}^3/\text{s}$ (1978~1979 年)和 $6620\text{m}^3/\text{s}$ (1979~1980 年)。25 年年平均流量的平均值为 $11132\text{m}^3/\text{s}$,相应年平均来水量为 3511 亿 m^3 。

(三)Meghna 河简讯

Meghna 河为孟加拉国东北部的排水河道,在三条河中最小,大体上属弯曲性河流,但在某些河段,特别在有泥沙的小支流汇入处其分汉型明显。该河比降很小,一般为 0.114‰。

二、布河河道流路的历史变迁

根据“中国及邻区海陆大地构造图”中提供的资料可以看出,布河 2000 多年来流路有较大的变化:

(1)距今 2000 年以前,布河在 Madhupur 台地以西入海,而 Ganges 则在布河以西单独入海。

(2)公元 1700 年以前,布河的河道迁移到 Madhupur 台地以东入海,同期内 Ganges 也东移,但仍分别入海。

(3)到 1778 年,Ganges 又东移并与布河在 Chandpur 附近汇流后一起入海。

(4)到 1968 年前,布河已由 Madhupur 台地以东回到台地以西。实际上,据孟方提供的资料,该河在 1830 年已沿 Madhupur 台地以西流动。

(5)在二千年以前,布河与 Ganges 入海的海岸线在北纬 $23^{\circ}00'$ 以北,以后向南移动,到公元 1700 年以前,移到北纬 $23^{\circ}00'$ 以南,以后继续南移,至 1778 年大体已移至现在位置。

三、布河 Jamuna 河段河型分析

天然河流具有不同的河型,对不同河型的河流进行整治时需采用不同的方法。为确定 Jamuna 河段的整治方案,需首先判明该河段的河型。

通过对 Jamuna 河段的静态与动态特性进行研究,并参照过去的经验方法对该河段的

河型作出判断。

(一)河型分类与其特征

河型的分类目前尚无统一标准。主要有稳定性与不稳定性河流,侵蚀性、均衡性与堆积性河流,冲积性与非冲积性河流等,也有的按河流平面的静态特性与动态特性分类。在中国一般把河型分为顺直、弯曲、分汊(江心洲)、游荡四类。

(二)河段的形态特征及运动特征

由 Jamuna 河段 1985~1986 年的平面流路图可知,该河段总的平面外形比较顺直,只在 J_{-9} 至 J_{-12} 间为微弯外型,河流中大小江心洲、心滩甚多,水流分汊散乱。

由 Bahadurabad 水文站的两次(1965~1966 年及 1988~1989 年)大断面套绘图可见,河道分汊明显,主槽在横向上有很大位移,1965~1966 年的主槽到 1988~1989 年已变为滩地,而 1965~1966 年的滩地有的已变为主槽(图 1)。

由 Jamuna 河 Siraganj 站一年内流量过程线及相应时期主流线位置的变化可见, Jamuna 深泓线的位置随流量过程改变而变化,主流线有左、右摆动的特征,年内主流线的摆幅达 1200 多米,可见该河段具有一定的游荡性。

综上所述,从该河段的静态与动态特征看, Jamuna 河段属于游荡性分汊型河流。

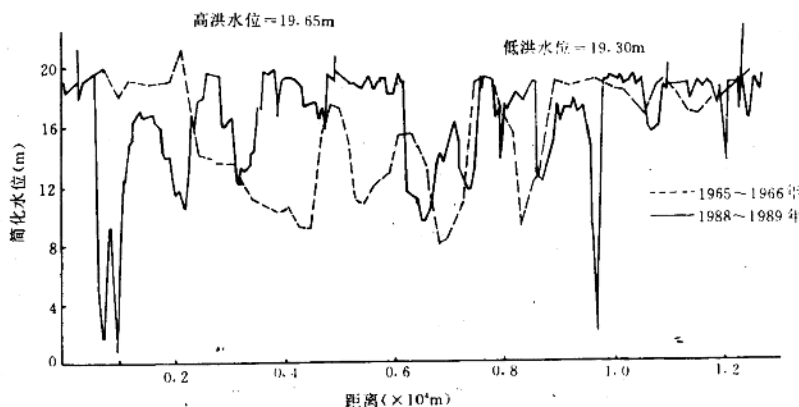


图 1 1965~1966 年与 1988~1989 年 J_{-13} 断面比较

(三)河段河型的定量分析

目前尚没有定量的确定河型的理论方法,但一些经验的定量方法可供判断河型之用。

1. 判别河型的经验方法^[3]

(1)钱宁—麦乔威利用中国与美国河流资料给出图 2,得到区分游荡型河流与弯曲型河流的判别式为:

$$J = 0.01Q_f^{0.44} \quad (1)$$

式中, J ——河道纵比降(‰); Q_f ——平滩流量(m^3/s)。当 $J > 0.01Q_f^{0.44}$ 时,为游荡型河流;反之为弯曲型河流。

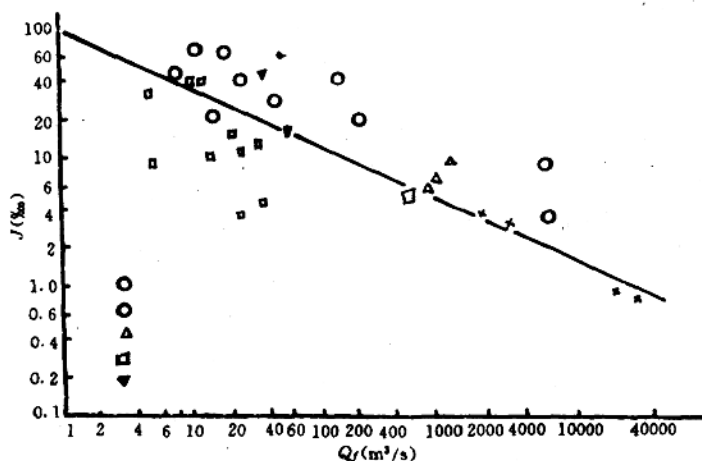


图2 不同河型河流的比降与平均流量关系

(2) 罗海超将河流分为江心洲型与弯曲型河流, 在图3中给出两类河流的比降与平均流量关系:

$$J = 0.248Q_f^{-0.85} \quad (2)$$

当河流 $J > 0.248Q_f^{-0.85}$ 时, 为江心洲型, 反之为弯曲型河流。

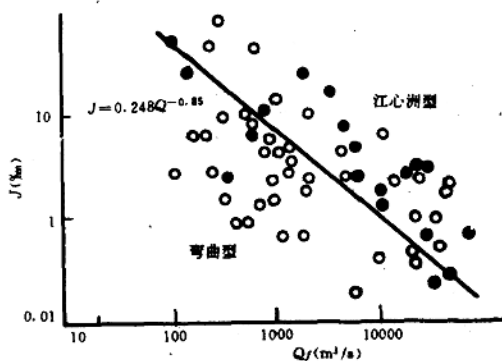


图3 不同河型河流的比降与平均流量的关系

(3) 罗曼逊(В. В. ромалцин)根据苏联河流资料, 提出用年最大洪峰流量平均值 Q_{max} (m^3/s) 与河谷比降 J (%) 的关系, 把河槽划分为分汊、未形成曲流和自由曲流的河型, 根据图4可得出河床多汊和未形成曲流的临界条件为:

$$J = \frac{1.4}{Q_{max}} \quad (3)$$

自由曲流与未形成曲流的临界条件为

$$J = \frac{0.35}{Q_{max}} \quad (4)$$

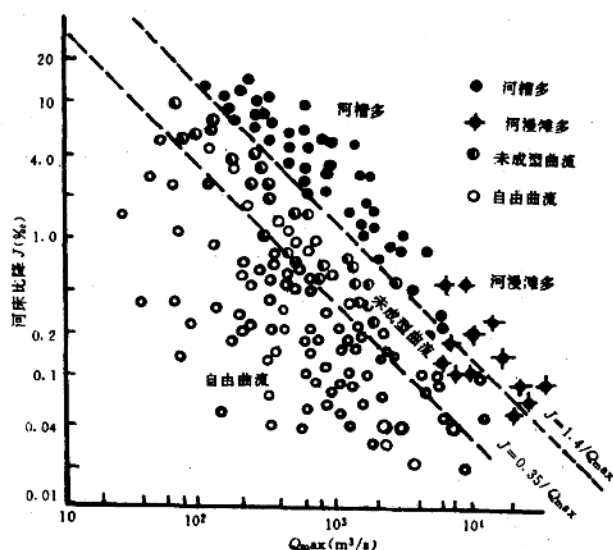


图4 河床比降 J 与最大流量平均值的关系

(4) E. W. Lane 认为在游荡与弯曲河流之间有一个过渡区域, 根据世界一些河流资料提出:

$$J_1 = 0.0041 Q_m^{-0.25} \quad (5)$$

$$J_2 = 0.0007 Q_m^{-0.25} \quad (6)$$

式中, Q_m 为年平均流量 (m^3/s)。

系数大于 0.0041 时为游荡型河流, 小于 0.0007 时为弯曲型河流, 介于二者之间时为自由弯曲向游荡过渡的区域。

2. Jamuna 河的水力要素

(1) 特征流量。主要包括①平滩流量。根据 Bahadurabad 1988 年实测的水位与流量数据, 可求得该站 1988 年水位 (y) 与流量 Q_m 的关系为:

$$y = 5.063 \lg Q_m - 4.886 \quad (7)$$

根据该站 1988~1989 年实测大断面可确定高、低两个平滩水位为 19.5m 与 19.35m, 可用式(7)算得该站平滩流量为 $59800 m^3/s$ 与 $70200 m^3/s$ 。②年最大洪峰平均流量。用该站的各年日平均最大流量代替实测洪峰最大流量, 可得年最大洪峰平均流量为 $Q_{max} = 65434.4 m^3/s$ 。③年平均流量。用该站各年平均流量进行算术平均求得多年平均流量为 $19772 m^3/s$ 。④造床流量。用两种方法计算: a. 用黄河下游曾采用的经验公式确定的平滩流量作为造床流量:

$$Q_f = 7.7 Q_m^{0.85} + 90 \quad (8)$$

Jamuna 河段, 汛期为 6~10 月, 多年汛期平均流量 $Q_m = 35817 m^3/s$, 代入(8)得 $60176 m^3/s$ 。

b. 用 MakkaBeeB. H. И 方法确定造床流量。该法认为 Q^*JP 值为最大值时的流量为造床流量:

$$Q_* = KQ^*, K = JP \quad (9)$$

式中, Q_* ——输沙率; Q ——各流量级的平均值; J ——比降; P ——各级流量出现的频率; m

——输沙率公式(9)中的 m 值,经分析,Bahadurabad 站的 $m=1.563$ 。图 5 给出 $Q^{1.563}JP$ 与 Q 的关系,可见当 $Q=37500\text{m}^3/\text{s}$ 时, $Q^{1.563}JP$ 有最大值。

实际上,如根据 QJP 与 Q 的关系(QJ 为水流能量),也可得到相应于 QJP 为最大值时的相应流量为 $37500\text{m}^3/\text{s}$ 。最后取 Jamuna 河平滩流量为 $60000\text{m}^3/\text{s}$,造床流量为 $40000\text{m}^3/\text{s}$,作为计算标准。

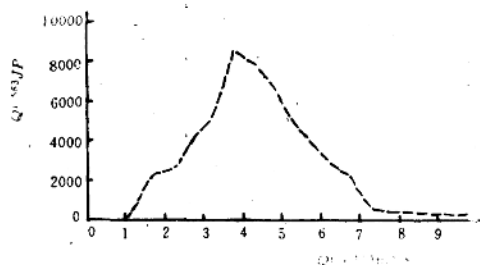


图 5 $Q^{1.563}JP$ 值与 Q 的关系

(2)Jamuna 河段比降。①根据 1983~1984 年实测河床纵剖面,求得平均河床比降(J_{-1} 至 J_{-17})为 $J_1=0.000079$ 。②根据 1988~1989 年实测大断面图(J_{-4} 至 J_{-17}),求得平滩水位时的纵比降为 $J_2=0.000081$ 。可见二者差别不大,平均取 $J=0.00008$ 。

3. Jamuna 河型判别

根据前述河型判别式,采用各公式所需要的特征流量,计算出判别河型的临界比降 J_c ,计算结果见表 1。

表 1 河型判别计算

方 法	公式序号	Q	J_c	实测 J	河型判别
钱宁—麦乔威	(1)	60000	0.000079	0.000079~ 0.000081	$J \geq J_c$ 接近 游荡型
罗海超	(2)	60000	0.000022	0.000079~ 0.000081	$J > J_c$ 江心 洲型
罗曼逊	(3)	65434	0.000024	0.000079~ 0.000054	$J > J_c$ 多 汉型
E. W. Lane	(5)	19772	0.00345	0.000079~	游荡性与非 曲流之间
	(6)		0.00059	0.000081	

为进一步判别河型,可采用黄科院如下形式的河流综合稳定性指标进行计算^[4]:

$$Z_w = \frac{(\frac{\tau_s - \tau}{r} D_{50} H)^{1/3}}{J B^{2/3}} \quad (10)$$

式中, B, H ——造床流量下河宽及平均水深(m); D_{50} ——河床质中径(mm); τ_s, τ ——泥沙及水流的比重。

研究结果表明, Z_w 随河型不同呈现规律性变化,当 $Z_w < 5$ 时,为游荡型河流; $Z_w > 15$ 时为弯曲型;分汉型则介于两者之间。用 Jamuna 河及我国几条河流典型河段求得的综合稳定性指标见表 2。由此可以看出, Jamuna 河的指标 Z_w 大于 5,位于分汉区,但其值较小,具

有明显的不稳定性(接近游荡与分汉的分界点)。

表 2 河流综合稳定性指标的计算结果

河段名称	J (‰)	$\sqrt{B/H}$	$\frac{r_s - r}{r} \cdot \frac{D_{50}}{HJ}$	Z_w	河 型
Jamuna 河	0.8	7.45	0.60	5.96	(位于分汉区)
黄河花园口	2.0	38.0	0.53	1.45	游 荡
至夹河滩					
汉江太平	2.34	17.3	1.05	4.46	带有游荡性
店至襄阳					
长江团风河段	0.35	22.8	1.74	7.14	鹅头分汉
松花江哈	0.88	14.2	1.25	7.36	次稳定分汉
尔滨河段					
长江八卦洲	0.23	18.3	2.13	10.95	鹅头分汉
长江下荆江	0.30	2.55	0.77	53.4	弯曲

综上所述,可以认为 Jamuna 河的河型为游荡性分汉型或不稳定的分汉型河道。

四、主要水文站的来水和输沙量

与本河段演变与整治研究有关的干流主要水文站的来水来沙条件分别分析如下。

(一) Pandu 站的来水与输沙量

Pandu 站位于印度 Assam 省内布河段的下段,其纵比降与下游 Jamuna 河的纵比降基本一致,距布河入海口约 570km,为 Bahadurbad 站来水来沙的主要供应站。由于缺乏资料,该站的水、沙资料只能引用前人成果:

(1) 雨季(5~10月)流量占年平均值的 82%,日平均流量变幅很大,年平均洪峰流量为 $51156 \text{ m}^3/\text{s}$,其重现期为 2.1 年。

(2) 1955~1979 年间,年平均悬沙量为 4.028 亿 t,雨季(5~10月)的悬沙量占年输沙量的 95%,雨季日平均悬沙量为 212 万 t。

(3) 1955~1963 年间的年平均流量为 $16530 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

(4) 1969~1976 年间平均流量为 $19850 \text{ m}^3/\text{s}$,年平均悬移质输沙量为 1.25 亿 t。

(5) 悬移质粒径为 0.06mm,床沙粒径为 0.09mm。

D. C. Gaswami 给出 Pandu 站的沙量与流量的下列经验公式^[5]:

$$1955 \sim 1960 \text{ 年} \quad \lg W_s = 2.284 \lg Q - 7.9289 \quad (11)$$

$$1971 \sim 1976 \text{ 年} \quad \lg W_s = 1.7764 \lg Q - 6.80673 \quad (12)$$

式中, Q 与 W_s 的单位分别为 m^3/s 和 万 m^3 。

比较式(11)与(12)中同流量的输沙量,可见 1971~1976 年的输沙量比 1955~1960 年的输沙量为小,说明不同时期不同流量的来沙量并不相同,可以判定 Bahadurabad 的水、沙关系也会有类似情况。

进一步分析 Panuna 站上游支流的水沙资料关系,可见,支流站的水沙点群关系更为散

乱,说明该站的水沙关系更多的取决于其上游的来水来沙条件。分析证明,上述各站 $Q_s \sim Q$ 关系中,来沙有“多来多排”的特点。这一特点必将影响 Bahadurabad 站的水沙关系。

(二)Bahadurabad 站的来水与输沙量

(1)Bahadurabad 站的来水。据 1956~1989 年(内缺 1971~1972 年)32 年资料统计,得到多年平均流量为 $19769 \text{ m}^3/\text{s}$,多年平均来水量为 6234 亿 m^3 。分析表明,多年月平均流量值大于多年平均流量值的月份为 6~10 月,因此 6~10 月可视为汛期。

(2)Bahadurabad 站的输沙量。法国学者给出的 1956~1988 年(内缺 1971 年资料)间该站多年平均来沙量为 4.31 亿 t,最大年来沙量为 12.86 亿 t(1988 年),最小年来沙量为 2.49 亿 t(1986 年)二者比值为 5.17。

根据多年平均来沙量与多年平均来水量,得出多年平均含沙量 $S = 0.69 \text{ kg/m}^3$ 。

根据 M. D. Habibullah 的统计^[6],Jamuna 河多年平均流量为 $19412 \text{ m}^3/\text{s}$,Coleman 估计 Jamuna 年平均输沙量为 6.08 亿 t^[1]。

由于法国学者在有关文献中,未给出计算用的经验公式,因而无法判断其计算结果是否可靠。Coleman 计算的时段仅为 1958~1962 年成果,时段过程不能代表长系列的年平均输沙量。因此笔者重新按不同时段分析并计算了 Bahadurabad 站来沙量。

根据孟方所提供的实测水、沙资料,可以求得 Bahadurabad 站的输沙率关系式,其基本形式仍采用下式:

$$Q_s = MQ^n \quad (13)$$

经分析 1974~1988 年该站的实测水、沙资料,发现不同时段 $\lg Q_s \sim \lg Q$ 关系十分散乱,但如分为不同时段,则其关系较好,不同时段的输沙率计算式见表 3。表中列出了定线所用资料及计算中可以使用的年份。利用表 3 中的经验公式,根据 Bahadurabad 站逐日平均流量计算的逐日输沙量,最后求得 1956~1957 年至 1988~1989 年间的(水文年)平均来沙量为 4.18 亿 t,此值与法国学者的结果接近。

由于 1955~1960 年为丰沙系列,因此用表 3 中的公式计算的沙量可能偏小。如将 1957~1959 年的沙量改用丰沙系列(1958~1962 年)的水沙关系计算,从而得出的该系列多年平均来沙量应为 4.4 亿 t。

表 3 Bahadurabad 站的 $Q_s = f(Q)$ 经验公式

泥沙判别	经验公式	定线资料年份	计算年份
细	$Q_s = 1.999 \times 10^{-3} Q^{1.725}$	1974~1976, 1978	1957~1983
		1980~1983	
细	$Q_s = 0.7186 \times 10^{-3} Q^{1.576}$	1984~1985	1984~1985
细	$Q_s = 0.423 \times 10^{-3} Q^{1.489}$	1987~1988	1986~1988
粗	$Q_s = 0.8142 \times 10^{-3} Q^{1.399}$	1968~1969	1957~1981
粗	$Q_s = 0.9845 \times 10^{-3} Q^{1.508}$	1982	1982
粗	$Q_s = 0.1728 \times Q^{1.19}$	1983~1988	1983~1988

注:表中 Q_s 为日平均输沙率(t/s); Q 为日平均流量(m^3/s)。

(三)Baruria 站的来水及输沙量

(1)Baruria 站位于 Jamuna 与 Ganges 两河的汇流口以下,接纳了两河的来水来沙。根据 1966~1989 年(内缺 1971~1972 年及 1979~1980 年)间 20 年资料统计,该站多年平均流量为 $28400\text{m}^3/\text{s}$,多年平均来水量为 8956 亿 m^3 ,为 Bahadurabad 站多年平均来水量的 1.437 倍。由于该两站统计年份不一致,该比值仅为近似值。根据 Baruria 站多年各日平均流量可见,日平均流量大于多年平均流量的月份为 6~10 月,即 6~10 月为汛期。

(2)Baruria 站的输沙量。经分析 Baruria 站的实测流量 Q 与输沙量 $Q_s(\text{kg/s})$ 资料,发现二者的多年关系点群散乱,不能定出平均线,无法推算多年输沙量,因此采用对该站不同时段(Q 与 Q_s 关系较好者)分别定出经验公式。此外,由于在低水期($Q < 10000\text{m}^3/\text{s}$)的输沙率观测资料很少,且沙量不大,因此对枯水期及大流量期分别定出经验关系式。所得经验关系式及其适用条件列入表 4。利用该站实测日平均流量及表 4 中的经验关系式,算出的各年输沙量为 1966~1989 年(缺测流量资料年份未计算)总输沙量为 78.437 亿 t,其中粗沙输沙量为 38.081 亿 t,细沙输沙量为 43.352 亿 t。平均年输沙量为 3.922 亿 t,其中粗沙为 1.754 亿 t,细沙为 2.168 亿 t,即粗细沙约各占一半。20 年平均全沙输沙量为 3.92 亿 t。

表 4 Baruria 站粗细沙的 $Q_s = f(Q)$ 经验公式

沙 类	公 式	定线资料年份	计算年份	适用月份
粗 沙	$Q_{sc} = 0.268 \times 10^{-25} Q^{7.029}$	1968~1970	1966~1989	12 月至次年 4 月
	$Q_{sc} = 0.2171 \times 10^{-6} Q^{2.229}$	1968~1970	1966~1976	5~11 月
	$Q_{sc} = 0.251 \times 10^{-12} Q^{3.725}$	1976~1977	1976~1978	5~11 月
	$Q_{sc} = 0.127 \times 10^{-10} Q^{2.99}$	1983	1983~1984	5~11 月
	$Q_{sc} = 0.2339 \times 10^{-7} Q^{2.462}$	1978~1982 1984~1988	1978~1983 1984~1989	5~11 月
细 沙	$Q_{sf} = 0.9786 \times 10^{-7} Q^{2.583}$	1972~1978	1966~1983	4 月至次年 3 月
	$Q_{sf} = 0.1082 \times 10^{-7} Q^{2.364}$	1983	1983~1984	4 月至次年 3 月
	$Q_{sf} = 0.7393 \times 10^{-2} Q^{1.078}$	1984~1986	1984~1989	4 月至次年 3 月

(四)Harding 桥站的来水及输沙量

该站位于 Ganges 河汇入 Jamuna 河的汇流口稍上游,控制了 Ganges 河进入 Padma 河
的流量与沙量。

根据 1963~1989 年(内缺 1971~1972 年)间 25 年的资料,该站多年平均流量为 $11132\text{m}^3/\text{s}$,多年平均来水量为 3511 亿 m^3 ,是 Baruria 站多年平均来水量的 39.2%;日平均流量大于多年平均流量者也为 7~10 月,可视为汛期。

法国学者给出的 1956~1988 年间该桥站的多年平均流量为 $11800\text{m}^3/\text{s}$,比本文的计算结果稍大;给出的该站平均输沙量为 3.38 亿 t。

经分析该桥站实测流量(Q)与输沙率(Q_s)的关系,发现粗、细沙的输沙率关系不同,且

粗沙在不同时段也有不同关系。因此,对粗、细沙分别给出了其输沙率经验关系式,式中对粗沙又按不同时段分别求出其经验关系式(见表5)。

表5 Harding 桥站粗细沙输沙计算经验公式

沙类	公式	定线用资料年份	计算年份
粗沙	$Q_{sc} = 10^{-6.529} \times Q^{2.356}$	1966	1963~1966
		1968~1970	1968~1977
		1978~1986	1979~1981
			1983~1988
粗沙	$Q_{sc} = 10^{-8.885} \times Q^{2.873}$	1976	1976
	$Q_{sc} = 10^{-8.938} \times Q^{2.661}$	1978, 1982	1978, 1982
细沙	$Q_{sc} = 10^{-5.436} \times Q^{2.115}$	1971, 1973~1976	1963~1988
		1978, 1982~1986	

利用表5中的经验关系式,算得该站1963~1988年间24年(内缺1971~1972年)的年平均输沙量为2.659亿t,其中粗沙输沙量为1.366亿t,细沙输沙量为1.293亿t,二者比例为1.056,即粗、细沙约各占一半。

五、Jamuna 河段的冲淤量与河岸线的变化

由于Jamuna河段经常泛滥分流,又没有分流的水沙资料,因此不能用输沙率法计算河段冲淤量。河岸线的变化则利用过去的成果以及中国专家组最近收集整理的资料。

(一)河段近期的冲淤量

1. 断面法

为比较Jamuna河段的冲淤变化并计算冲淤量,套绘了1965~1966年及1988~1989年两次实测大断面图。对 J_{-4} 与 J_{-17} 间26个大断面测量资料,全部进行了套绘。由于有些大断面的两次测量宽度不同,因此在利用大断面资料计算冲淤量时采用了不同的标准,一种是以两次测量中宽度较小者作为计算标准(以下简称方法1),另一种是以两次测量中宽度较大者作为计算标准(方法2),(方法2中将宽度较小断面两端点高程水平延长至全河宽),计算结果见表6。

表6 J_{-4} 至 J_{-17} 河段1955~1989年总冲淤量

计算方法	总 量 ($\times 10^6 m^3$)	年平均淤积量 ($\times 10^6 m^3$)
方法1(部分宽)	3.14	0.137
方法2(总宽)	5.54	0.241

按淤积物的容量重 $\gamma_s = 1.40$ 估算,则总淤积量为4.396亿t和7.756亿t,从而可得年平均淤积量分别为1911万t及3372万t。

图6为用方法1算得的各小河段(两个相邻大断面之间的小河段)的冲淤量沿程分布,从中可以看出全河段根据冲淤性质不同分为三个子河段: J_{-4} 至 J_{-6-1} 间以淤积为主; J_{-6-1}

至 J_{-11} 间以冲刷为主; J_{-11} 至 J_{-17} 间以淤积为主。

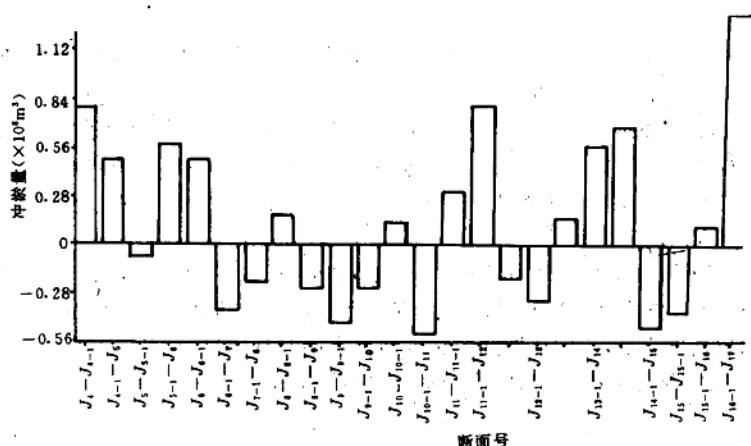


图6 断面冲刷量沿程分布(方法1,部分河宽)

根据各大断面的冲刷量及断面间距可分别算得上述三个子河段的冲刷量(表7)。

表7 各小河段的冲(-)淤(+)量

子河段	冲刷量 ΔW_s	
	方法1 ($\times 10^6 \text{m}^3$)	方法2 ($\times 10^6 \text{m}^3$)
J_{-4} 至 J_{-6-1}	+2.306	+3.791
J_{-6-1} 至 J_{-11}	-1.831	-1.987
J_{-11} 至 J_{-17}	+2.668	+3.732
合 计	+3.143	+5.536

由于 Jamuna 河段的三个子河段的冲刷性质不同,需分别计算各子河段的冲刷厚度,计算式为:

$$\Delta Z = \frac{\Delta W_s}{B \Delta L} \quad (14)$$

式中, ΔZ —— 平均冲(-)淤(+)厚度(m); ΔW_s —— 冲刷量(m^3); B —— 平均河宽(m); ΔL —— 各子河段的长度(m)。

根据孟方提供的资料和利用式(14)算得的 ΔZ , 得出: J_{-4} 至 J_{-6-1} 河段年平均淤积厚度为1.4~2.3cm; J_{-6-1} 至 J_{-11} 河段年平均冲刷厚度为0.38~0.41cm, J_{-11} 至 J_{-17} 河段年平均淤积厚度为0.32~0.44cm。

由图6可知, 该河段的冲刷沿程分布有如下特点: ①河段上段(J_{-17} 至 J_{-11-1})与下段(J_{-4} 至 J_{-1})为淤积, 中段(J_{-6-1} 至 J_{-11})为冲刷。②上段的淤积有沿程递减性质, 下段的淤积有沿程递增性质。③上段淤积沿程递减的现象表明该河段的水流挟沙能力不足, 与来沙量不相适应。④下游淤积有沿程递增现象可能是该河段受 Ganges 来水顶托而形成的溯源淤积。