

浑水河流的河道与防洪特性——兼论黄河防洪

刘善建

(水利部,北京 100761)

TV87
TV147

摘要:根据我国北方以黄河为主的浑水河流多年来规划研究及运行管理的经验,通过对比论证,提出浑水单列的实用性质与现实意义.重点阐述不同含沙浓度对河床形态的决定性作用.特别是,由长江看黄河,对黄河与长江以不同级别的洪峰洪量产生同样严重的洪水灾害,对国计民生产生同等影响,作了一定程度的原因分析,并重点突出黄河防洪的特点.防洪必须因河制宜.

关键词:防洪;浑水;含沙浓度;河床演变;河床形态

中图分类号:TV8;TV147

文献标识码:A

文章编号:1006-7647(2000)-01-0010-04

1 浑水概述

1.1 背景条件与新的想法

浑水的某些水文特性、河道形态与输沙规律有别于含沙量相对较少的清水.如果不注意两者之间的差别,以清水河流的运行规律去治理开发浑水河流,必然导致失败或失误.黄河三门峡枢纽的规划和50年代末期下游梯级的安排就是典型的事例.

虽然我国水文泥沙方面的科技人员,长期以来在各自领域做了大量工作,取得了不少成就.但是,无论是科研或规划设计部门总是将水文与泥沙分为两个专业,设置两个科室分别工作,彼此之间衔接交往的紧密程度似嫌不够.本文将水资源按水与沙的不同组合,粗略地划分为清水与浑水两种类型,不但可以将水与沙结合起来,而且在开发利用和整治方面可以各显其特点.

长期以来,人们总是以多沙或少沙区分不同的河流,笔者认为这种概念比较模糊.密西西比河、亚马逊河和长江的年均输沙量分别为3.12亿t、3.63亿t、5.30亿t,沙量可谓不少,但这些河流并不以多沙而闻名,因为其年均每立方米水含沙量分别只有0.56kg、0.06kg、0.5kg.而另一些河流,像我国的海河和美国的科罗拉多河沙量只有1亿t左右,年均每立方米水含沙量都在10kg/m³以上,人们都称之为浑水.由此可知,水与沙的分离,导致名称与实情的脱节.科研部门曾经提出高含沙水流一词,将水和沙结合到一起,对于开展水沙相对关系的研究,显示出很好的影响.但是该高含沙水流有其特定的含义,在黄河上,一般含沙浓度达到300~400kg/m³(或以

上),形成有异于普通的牛顿体水流,另称为宾汉体水流,该水体的粘滞系数对其流动特性有着明显影响.对于这种水流在河道输沙中的某些特殊现象如揭底冲刷以及推广到水力输煤、人体的血液循环等方面的理论研究,有其重要意义.但是对河道整治及水资源的开发利用,这种水流尚不够普遍.为此,本文提出浑水这一概念,界定在含沙量介于10~300kg/m³之间的牛顿体水流.这并非标新立异,哗众取宠,因为在我国土壤侵蚀比较严重的情况下,这种水流在全国范围内占相当大的比重,与含沙浓度相对较轻的清水分别开来进行研究,对江河整治与水资源的开发利用都有其现实意义.同时,这一简明的名词,既适合我国的文词用语,也合乎民俗民情.

1.2 全面考察分析共性

本文为说明浑水在河流与水文方面的特性,一般都以黄河为例,加以解说.但是并不限于黄河,同样适用于其他浑水河流,研究浑水有一定普遍意义.

海河流域片的永定河水系,桑干河的含沙浓度达52kg/m³,辽河流域片的大凌河和西辽河含沙浓度达16kg/m³,美国科罗拉多河胡弗坝的含沙浓度达27kg/m³;虽然与黄河流域在地形、土壤、气候等方面有不少差异,但是流量的年内年际变化悬殊,河道淤积游荡等主要特性,却有一定程度的类似,在河道整治与水资源利用上有同样的问题.

采用同流域输沙量的北方浑水河流与南方清水河流对比见表1.

由表1可见,浑水河流的 C_{50} 值与清水河流相比,高出2~5倍.科罗拉多河,缺少 C_{50} 的统计,但据有关文献,其流量的最大与最小值对比,相差400倍,

表1 同一输沙量的含沙浓度与 C_d 值对比

输沙量/亿 t	河 流	含沙浓度/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	C_d
2.0	嘉陵江	2.8	0.25
2.0	无定河	135	0.40
0.8	西 江	0.34	0.15
0.8	祖厉河	312	0.45
0.6	岷 江	0.62	0.10
0.6	延 水	260	0.53

年内与年际变化也很悬殊。笔者认为:这种浑水水流与 C_d 的高值相关并非偶然,有其内在的必然联系,因为来沙的多寡决定于地表植被与土壤本身的涵蓄能力,这种能力脆弱必然导致土壤冲刷与 C_d 值的增大。同时,对雨水充沛的地区,一般植被也较好,且有较强的径流涵蓄能力, C_d 较小,虽然有些河流土壤侵蚀也很严重,但由于水量大,相对浓度就小,显示清水特性,彼此之间也是有内在联系的。浑水河流的下游河床在盆地或平原,一般都是多年淤积形成的,土质疏松,极易冲刷变形,形成游荡河性。而清水河流的河床,一般是岩石、卵石或粗沙,比较固定,不易变迁。对于大江大河的下游部分也因为冲淤性质的不同,在河床粒径、河道比降以及平面形态等方面,显示各自的特点(这在下面讨论黄河长江对比时还将谈到)。

1.3 业务需求与现实意义

总之,本文认为河流的某些水文和河道特性对于浑水和清水是很不一样的,诸多因素之间有不少内在联系,不要孤立地看问题。能否深刻认识这一点,对于河道整治和水资源的开发利用至关重要。

水文泥沙事件,不但随机性强,相关因素多,而且与人类活动紧密相联系,千变万化,十分复杂。当前人们对它的了解,可以说,未知数远大于已知数,很多问题还有待科学家专题探索。本文大部分就其现象而论,很少追溯其机理与根源,所论某些规律与特点,仅就大多数情况而言,切不可绝对化。例如,我国七大江河,长期以来,人们思想上,基本上认为:“江为清,河为浑”,在总体上应当说是合乎实际的,但是不能排除三江中的某些支流也以河为名,四河中的某些支流也属含沙轻微的清水。实际上清水与浑水也常是你中有我,我中有你,错综复杂,某些问题在浑水中有,在清水中也同样存在。所以不能仅论个别事件上的异同,必须从总体上去认识、去判别;从开发利用与整治的关系中去理解、去评论,以便更

好地为水利事业服务。

2 浑水浓度与河道形态

2.1 浑水浓度与河道比降

浑水水流比清水水流需要更多的能量,因为要携带较多的泥沙,这种能量经常要靠河道的比降来供给。对比黄河长江,前者比后者,浑水浓度相差 40 倍左右,比降相差 60 倍左右。

一般挟沙能力与流速三次方相关,流速又与比降的二分之一次方相关;因此,河道比降约为浑水浓度的三分之二次方所控制。推导的实际说明:两者正向关系基本一致,但由于还存在其他一些因素,两者也并非绝对相关。

在河床演变中,我们看到浑水河流一出峡谷坡度变缓,流速降低,从而造成大量淤积。这种淤积逐步向下游发展,形成由陡变缓的河道纵断面。当河流下游修建水坝或河口延伸抬高侵蚀基面以后,回水上延,使比降变平,流速减缓,形成淤积并逐步向上游的发展。无论从上而下的沿程淤积,或者从下而上的溯源淤积,最终总要达到基本与来水来沙相适应的新的比降而后止。当水库向下游排泄清水,浑水浓度削减,又会发生强烈冲刷,调整原有比降,调整范围由数十 km 至数百 km 不等。无论是淤是冲,比降的调整都是缓慢的。

2.2 浑水河道的河宽与河性

河道宽浅,河性游荡是一般浑水河流行经平原地带的特征,这里含沙量大,水文条件直接受中上游来水来沙的影响,流量的年际和年内变化大,洪水陡涨陡落。河岸和河床组成物质一般由中上游来水来沙长期堆积而成,具有较弱的抗冲性能,床面物质易于活动。在较大的比降和较大的能量条件下,必然造成冲淤频繁,主溜游荡不羁。

清浑水的河床形态见表 2,黄河与长江相比,比降高出 5~6 倍,弯曲系数高出 1.5~2.0 倍,宽深比($\sqrt{B}/H$)黄河为长江的 10 倍,充分显示了河道的宽浅特性。

河道的稳定性决定于河床物质的启动流速,一般以启动流速与实际流速的平方比值表达,比值大,实际流速启动泥沙的能力弱,河床稳定。利用水沙之间多种因素进行转换运算,简化后的河床稳定性可

表2 清浑水河流的河床形态对照

河 流	比降/ 10^{-4}	弯曲系数	宽深比 $\sqrt{B}/H$	河床稳定系数	河岸不稳定系数	游荡指标 $\frac{\sum \Delta l}{BT}$
长江(荆江河段)	0.20~0.24	1.0~1.2	2.0~4.0	3.0~4.0	0.65~1.20	<2
黄河(河南河段)	1.2~1.3	1.5~2.5	20~40	0.3~0.5	2.5~5.5	>5

以写成 $\frac{d}{HJ}$, 即与河床泥沙颗粒成正比, 与比降和水深成反比。相应长江荆江河段的河床稳定性为黄河河南河段的 10 倍左右。岸边稳定性与造床流量下的河宽乘比降 ($BJ^{0.2}$) 成正比, 与造床流量 ($Q^{0.5}$) 成反比, 其值愈大, 岸边愈不稳定; 有时也可比较简单地以造床流量的河宽与枯水流量的河宽之比来表达。相应黄河河南河段为长江荆江河段的 4~5 倍。

河性的主要指标用 $\frac{\sum \Delta l}{BT}$ 表达, $\sum \Delta l$ 是洪峰过程中, 深泓线累积摆动的幅度, T 是洪峰历时, B 是河宽, 指标愈大, 河道游荡愈为严重。其主要影响因素为平原河流的边界条件和中上游的来水来沙; 流量变幅大, 洪峰涨落快, 流域来沙粗, 床沙质来量大, 都将增加河流的游荡性。

河道宽度与洪峰期的主泓线摆动, 相互影响, 关系密切。而宽深比对游荡指标的影响更为显著。黄河永定等河 $\sqrt{B/H}$ 在 20~40 之间, 并随浑水浓度的增加而增加; 长江 $\sqrt{B/H}$ 只有 2~4, 相当于黄河的 1/10 (见表 2)。与此相应的游荡指标, 黄河高出长江 2 倍以上。

总之, 游荡性河流逐年淤积抬高, 在平面形态上一般比较顺直, 通常有两股或两股以上的叉道; 在纵向上比降较陡, 含沙多, 颗粒粗; 虽与弯曲型河流同样具有分叉的特点, 但是沙洲的数量多, 面积小, 在流量变化时随之更动, 整个外形十分散乱, 各股河道迁徙频繁, “三十年河东, 三十年河西”, 河势不稳, 给河流的开发与整治, 兴利与除害, 都带来一系列的困难。

2.3 浑水浓度变化对河床形态的影响

由于人类活动, 对比黄河 1985 年前后两个水沙系列, 浓度的变化十分显著, 见表 3。近期年沙量减少 48%, 年水量减少 35%, 减沙量大于减水量, 含沙量降低 20%, 平均淤积量由 50 年代的 3.61 亿 t 减为 2.0 亿 t 左右。其中非汛期含沙量由 11.2 kg/m³ 降为 4.2 kg/m³, 在非汛期水量基本变化不大的情况下, 低浓度水流对下游造成冲刷, 年均 0.65 亿 t, 同时由于流量相对较小, 冲刷难以普及全下游, 艾山以下仍有淤积。汛期 1985 年前后两个系列的含沙量相差不大, 但是由于流量小, 而且经过三门峡调节, 下泄水量比较均匀, 从而使得输沙能力大为降低, 使得

表 3 黄河不同时段浑水浓度的变化

项 目	1985~1995 年			1919~1985 年		
	来水量 /亿 m ³	沙量 /亿 t	含沙量 /(kg·m ⁻³)	来水量 /亿 m ³	沙量 /亿 t	含沙量 /(kg·m ⁻³)
年 均	301	8.06	26.8	464	15.6	33.5
汛 期	140	7.52	53.8	278	13.5	48.5
汛期/年均	46.5%	93.3%	200.7%	59.9%	86.5%	144.7%

1985 年以后的 10 年汛期淤积量仍然达到 2.75 亿 t。全年平均每输送 1 亿 t 泥沙入海, 从过去的 35~40 亿 m³ 水增加到现在的 55~60 亿 m³ 水。

淤积量在纵向上的分布, 后 10 年与 50 年代相比, 艾山以下由冲淤平衡变为年均淤积 0.35 亿 t, 主要是近期进入这一河道的流量大多在 2000 m³/s 以下, 是小水造成的淤积。淤积量的横向分布, 由于小水历时长, 缺少上滩漫淤的机会, 主槽淤积严重, 一般占全断面的 80%。高村以上为 75%, 高村以下为 100%。东坝头以上河段连续枯水, 河道冲淤主要在宽浅河道内进行, 从而形成浅水小槽。艾山以下河段深槽淤积严重, 过水断面缩小。总之, 上下河段河槽均有萎缩趋势, 值得注意。

近年来, 虽然淤积量与主泓线摆动幅度有所降低, 但淤积抬高和继续摆动的趋势并没有扭转; 同时, 由于断面萎缩, 使得洪水水位相对抬高的速度比过去更为严重。小流量历时较长, 按中小流量制定的治导工程, 大多与目前小水河势不相适应, 各河段主泓线上提较多, 主流坐湾顶冲时段较长, 从而增加险情, 使汛期防守更为被动。

3 浑水河流的防洪特性

3.1 不利的水文特性

浑水河流年际 C_d 值偏大, 年内水量分配又比较集中; 洪水过程中的猛涨猛落, 以黄河花园口和长江汉口相比, 洪峰相对陡峻度, 前者为后者的 40 倍^[1], 从而使得防洪抢险措手不及, 陷于被动 (见表 4)。三门峡建成运用以来的滞洪削峰, 虽然坦化了洪水过程, 但从另一方面又调整了水沙搭配, 形成小水带大沙, 不但增加河道淤积, 也改变了过去上提下挫的水文条件, 大堤险工和护滩工程有的脱溜, 有的冲垮, 难以维持旧观; 中水流量历时加长, 主流坐湾顶冲的时间增加, 防守更为困难。过去的条件有其不利之处, 现在的情况又有新的问题。汛期防洪任务, 任重道远。

表 4 清水河流与浑水河流的水文特性对照

河 流	年均径 流量 /亿 m ³	平均含 沙量 /(kg·m ⁻³)	悬移质 粒径 d_{50}/mm	年均水 量大小 比值	峰枯流 量大小 比值	洪峰涨 落幅度
长 江 (汉口)	7410	0.60	0.035	2.26	26	0.022
黄 河 (花园口)	482	30.0	0.028	3.33	446	0.789

注: ①洪峰上涨幅度以一次洪峰上涨幅度对比于平滩流量的相对值, 即 $\frac{\Delta Q}{0.5TQ_{\text{平}}}$, T 为洪峰历时, 以天计。②悬移质 d_{50} , 长江采用宜昌站实测数, 以便于研究荆江河段与黄河之对比。

3.2 年际水位不断抬高

浑水河流不断淤积抬高。以黄河为例, 从长时段看, 花园口由淤积引起的水位上升多年平均为 0.05

~0.06m。1949年以来,虽然在干支流修建了滞洪蓄洪工程,在中上游开展了拦沙减沙措施,但是开发整治过程中的正负效益相互干扰,近10年来由于人类活动,以及对水沙资源的利用不当,下游各河段同流量($3000\text{m}^3/\text{s}$)的水位,迅速抬高,年均上升值,花园口以上0.1m,花园口至艾山区间0.13m,艾山以下超过0.15m。如果采用洪峰流量 $22000\text{m}^3/\text{s}$,相应于90年代中期可能发生的水位与1958年实际情况对比,花园口抬高1.34m、高村抬高2.0m、艾山以下抬高3.0m以上。水涨船高,年复一年加高大堤,提升每米堤高的工程量愈来愈大,防汛抢险愈来愈困难,防洪的被动形势不但未能改观,而且有进一步加重的趋势。人们期待着小浪底的拦沙减淤作用,但二三十年后又将如何?

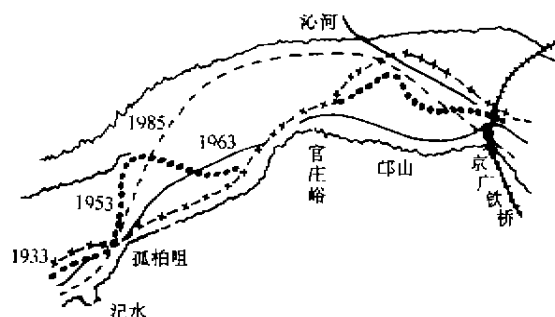


图1 黄河京广桥以上主流线变迁(摘自文献[1])

浑水河流的洪水传播时间,直接受河谷储蓄影响,间接受平滩流量与主槽宽度控制,漫滩流量所占比重决定了上下游洪水的传播时间,主槽过水能力大,水位相应比较低;漫滩过水阻力大,水位必然拥高,增加漫滩流量,必然降低断面平均流速,增加洪水传播时间。

图2 黄河大宫至古城河段 1996 年洪水河势(摘自文献[2])

表5 洪水传播速度的变化

注:摘自《人民黄河》(黄河“96·8”洪水专辑),1997(5).

黄河的游荡特性,使河道主溜位置变化无常,图1给出了黄河孤柏咀至京广铁路桥河段近60年来的主流线变迁情况,滚来滚去的变迁毫无规律,堤防险工,滩地防护,经常赶不上河势摆动.特别是防汛期间,一场洪水前后,主流线位置可以完全颠倒,犹如麻花,两股交叉扭曲.在黄河小北干流、朝邑永济河段有这样的流传:“过了河的人,没有过河;没有过河的人,却过了河”.一二十小时之间,由于洪水河槽主溜的更动,改变了人与河槽的相对位置,变迁之快,由此可见.黄河下游1954年一场洪水,花园口附近的主溜原来靠近北岸,洪峰到达后主槽南移,北岸

随着来水来沙的浓度不一,洪水过程中的断面冲淤变化程度各异,从而使同一洪水过程中,由于涨水冲刷,断面扩大,同样流量在落水时的水位又大幅度下降,见图 3. 1958 年 7 月 $22\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 流量的大洪水,花园口 $6\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 和 $10\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 的前后水位相差 1.0 m 左右;演进到孙口, $10\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 以上的水位基本重合, $6\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 的涨落水水位差约 0.3 m . 1977 年 7 月洪水,花园口洪峰 $8\,000\text{ m}^3/\text{s}$,洪水不大,但含沙浓度达到 $450\text{ kg}/\text{m}^3$,铁桥以上驾部河段发生揭底现象,水位突然涌高,然后再逐渐下降,花园口断面受其影响 $4\,000 \sim 6\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 的涨落水水位差达 $1.2 \sim 1.5\text{ m}$. 1982 年 8 月花园口发生 $15\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 的中等洪水,涨落水水位差, $12\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 时为 0.8 m , $6\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 时为 0.2 m . 这种行洪过程中的水位变化,既与洪水峰值、洪水历时有关,更与来沙浓度、断面位置与边界条件有关,因素很多. 在黄河防汛工作中,水位重于流量,这与清水河流是很不一样的.

(下转第 54 页)

格均布置成等跨.发电机层荷载较大,次梁间距一般在1.8~2.2m,板厚不小于0.15m.安装场因荷载大,一般采用密肋形结构,次梁间距1.5~2.0m,板厚不小于0.25m,为了减少主梁跨度,安装场下设立柱,其房间可按立柱分隔.副厂房荷载相对较小,板厚为0.08~0.12m,次梁间距2.5~3.0m.

d. 屋盖梁板系统.立式厂房屋架跨度在12m以下,一般采用变截面T型梁,其上配置预制大型屋面板;当跨度在20m左右可采用钢筋混凝土或预应力混凝土折形屋架,超过30m应采用钢桁架式屋架.屋盖尽量少用现浇板梁混凝土结构,以减少架立模困难.

e. 墙厚.立式机组厂房高度大于10m,一般采用37墙,水下部分墙厚按构架断面高度尺寸延伸;卧式机组厂房高度大约在8m以下,墙厚为24墙.

f. 门窗.厂房门窗按工民建的要求以30cm模数配置,从地坪90cm上开窗,发电机层主厂房通常开通窗,而副厂房窗则按工民建要求,在立面要按韵律要求布置.窗顶应配置过梁,屋架下和基础处分别设圈梁与地梁,以加强厂房纵横向框架结构.

g. 大门.安装场大门尺寸取决于运输车辆,通火车大门宽4.2m,高5.4m;通汽车宽3m,高4.5m;通平板车宽4.2m,高4.5m;主变在厂内检修时其大门按主变尺寸定.主厂房还设边门,其宽度不小于1.0m.

所有房间应设有门,门尺寸决定于设备尺寸.副厂房各层应有两道出口,防火安全出口门应向外开.

6 尺寸的标注

为了使厂房尺寸明了、美观,尺寸标注应标准化、规格化,长度单位为mm或cm,高程以m计.须注意以下几点:

a. 厂房横剖面尺寸标注.高程有:水轮机安装高程,水轮机层高程,接力器坑高程,尾水室底板高程及开挖高程,发电机层高程,进(尾)水平台高程,吊车轨顶高程,天花板高程,屋顶高程.高程数字应尽可能沿一条线范围标注,高度尺寸一般不标注,仅带轴转轮(子)标数字.厂房横剖面的下游侧应标上下游最高、正常和一台运行时最低水位,并注在一直线范围内,在水影线上画▽并写上高程数字.

厂房尺寸与设备位置,发电机层和水轮机层墙柱及房间的尺寸,尽可能用几条水平线加以标注.

应标上桥式吊车标准跨度 L_k 及主副吊钩与轨道中心距离 L_1 , L_3 和 L_2 , L_4 等尺寸.

b. 发电机层、水轮机层平面布置图尺寸标注.应标上以下尺寸:①水轮发电机型号、机组序号和调

速设备型号;②各层设备尺寸与位置座标(x, y)及土建结构尺寸(蝶阀、吊物孔、楼梯)等,尽可能用一两根纵、横贯通线定出其相互位置与尺寸;③各层高程,其数字注入小矩形框内,同一层中不同高程均要注上,以便与横剖面上的高程相互校对;④机组中心线位置、桥式吊车主副钩工作范围限制线、尾水渠、墩、闸门等尺寸.

c. 建筑尺寸的标注.水轮发电机层、水轮机层建筑尺寸的标注,一般用三条平行直线,各线间隔1cm,最内线标注门窗柱尺寸,第二条线为墙柱中心线位置,上(下)用①、②、③……在第三线外加以索引,左(右)用A⑥C…….厂房上下、左右墙柱窗门尺寸不同时分别画线标注.第三条线为总尺寸,并注意校对各分尺寸等于总尺寸.

参考文献:

- [1] 水电站机电设备手册编写组.水电站机电设备手册:水力机械[M].北京:水利电力出版社,1983.
- [2] 湖南水利勘测设计院.小型水电站机电设计手册:水力机械[M].北京:水利电力出版社,1989.
- [3] 顾鹏飞,刘启钊,王世泽.水工设计手册:水电站建筑物[M].北京:水利电力出版社,1989.

(收稿日期:1998-10-15 编辑:熊水斌)

(上接第13页)

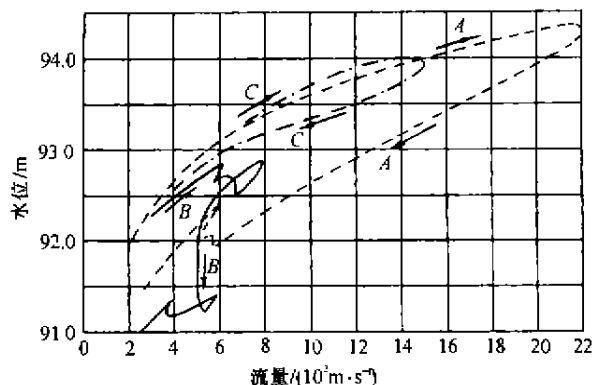


图3 黄河花园口洪水水位流量关系

A—1958-07-13~1958-07-29, $Q = 2$ 万 m^3/s , $S = 180 kg/m^3$;

B—1977-07-07~1977-07-15, $Q = 0.8$ 万 m^3/s , $S = 450 kg/m^3$;

C—1982-08-01~1982-08-06, $Q = 1.5$ 万 m^3/s , $S = 50 kg/m^3$

参考文献:

- [1] 钱宁,张仁.河床演变学[M].北京:科学出版社,1987.
- [2] 钱宁,万兆惠.泥沙运动力学[M].北京:科学出版社,1983.
- [3] 钱意颖.黄河干流水沙变化及河床演变[M].北京:中国建材出版社,1993.
- [4] 刘月兰,胡一三.引黄用水发展概况及其对黄河下游冲淤变化及防洪的影响[J].人民黄河,1995,10(1):1~6.

(收稿日期:1999-06-18 编辑:马敬峰)