

对黄河下游河道输沙能力的新认识

齐 璞

(黄河水利委员会水利科学研究院 郑州 450003)

提要 综述了10 a来利用高含沙水流特性治理黄河下游河道的研究进展,其中包括黄河水沙变化趋势,高含沙洪水的输沙特性,阻力特性,河槽形态调整变化规律,河道特性与来水来沙之间的关系;改造下游宽浅河道的最优水沙组合,水库调水调沙运用原则,及治理前景等内容。如能实现,下游河道淤积可大幅度减少,输沙用水可大量节省,黄河水资源可得到充分利用,并能形成窄深稳定的新河槽。

关键词 高含沙水流 塑造窄深河槽 最优水沙组合 调水调沙 治理前景 黄河

1 引言

造成黄河下游洪水危害的根源是大量泥沙在河道中堆积。50年代曾以正本清源的指导思想,用节节蓄水,分段拦沙的方法,根治黄河水害,开发黄河水利。然而由于黄土高原水土保持与多沙支流治理减沙作用不明显,被列为根治黄河第一期重点工程的三门峡水库,因淤积严重被迫进行两次改建,改变了原设计的“蓄水拦沙”为“滞洪排沙”运用。直到目前黄河的泥沙问题仍没有得到很好的解决。随着清水资源的优先开发,今后汛期进入下游的清水基流将逐渐减少,含沙量增加,高含沙洪水出现的机会增多,水少沙多的矛盾更加突出。为此,研究利用高含沙水流输沙入海,在今后的黄河治理中具有十分重要的战略意义。

2 黄河水沙变化总趋势

2.1 水沙异源 黄河的大部分径流来自兰州以上,兰州站集水面积占全河的30%,年径流量占全河的58%。兰州至河口镇为干旱地区,几乎无径流汇入。河口镇至三门峡区间径流量占全河的33%,但来沙量却占90%,其中河口镇至龙门区的来沙占60%,为集中产沙区。黄河的来水来沙条件,受这两个自然地理条件不同的区域所左右,它们之间的不同组合构成黄河下游来水来沙条件的多变性;其中任一区域水沙条件的根本性变化,必然会对黄河下游的水沙条件产生趋向影响。

2.2 黄土高原的自然地理条件与水沙特性 黄土高原在近200多万年的地质时期中,以风成堆积为主,几经新构造运动抬升与河流下切,呈现沟壑纵横的特殊地貌,目前黄土高原正处于强烈侵蚀下切阶段^[1]。在现有经济技术条件下,还无法做到完全制止水土流失。

本文于1992年5月30日收到,1992年12月14日收到修改稿。

黄土的性状, 地表形态与暴雨, 构成黄河中游地区产水产沙的三大要素, 其中年产沙量的多少, 主要取决于当年的降水情况。从表 1 给出的主要支流含沙量的数值可知, 最大含沙量在 1000 kg/m^3 以上, 月平均含沙量多数为 $300 \sim 500 \text{ kg/m}^3$, 10 条多沙支流的产沙总量 10.24 亿 t。这些由暴雨洪水挟带的大量泥沙是黄河泥沙的主体, 由于黄河中游地区主要沟道多数已切割到基岩, 从长时段看, 泥沙在支流河道中很少淤积。因此, 该地区这种独特的水沙关系的变化, 决定着黄河沙量变化的前景。

表 1 黄河中游主要支流月平均、最大含沙量统计表

单位: kg/m^3

Table 1. Maximum values of the monthly average sediment concentration at the main tributaries of the Middle Yellow River

河 名	站 名	时 段	项 目	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	年 沙 量 ($\times 10^8 \text{ t}$)
皇甫川	皇 甫	1953年~1970年	平均	411	523	369	216		0.641
			最大	1370	1570	1480	1240	262	
孤山川	高石崖	1953年~1979年	平均	327	410	373	178		0.278
			最大	1300	1190	1090	892	437	
窟野河	温家川	1953年~1979年	平均	162	405	319	90.6	8.69	1.35
			最大	1400	1700	1500	970	175	
无定河	白家川	1956年~1979年	平均	12.5	352	323	90.8	20.5	1.06
			最大	1290	1270	1180	958	32.5	
清涧河	延 川	1954年~1979年	平均	384	503	448	105	19.2	0.453
			最大	1150	1080	970	881	680	
延 水	甘谷驿	1952年~1979年	平均	287	454	368	119		0.546
			最大	1200	1190	1033	1070	37.7	
汾 河	河 津	1934年~1979年	平均	19.0	43.0	59.4	37.6	14.5	0.438
			最大	174	386	227	143	56.5	
渭 河	咸 阳	1934年~1976年	平均	37.1	71.4	80.2	28.5	10.1	1.68
			最大	654	588	729	662	99.0	
泾 河	张家山	1931年~1979年	平均	168	349	329	110	17.1	2.86
			最大	906	1430	984	946	590	
北洛河	湫 头	1933年~1979年	平均	121	337	287	58.1	8.59	0.963
			最大	987	1150	1190	1340	902	

2.3 黄河中游地区水沙变化趋势 河口镇至龙门是黄河泥沙的集中产区, 该地区的水沙变化, 可代表黄河中游地区水沙变化发展方向。由于先开发利用清水资源, 及水土保持与水利措施, 在拦沙的同时也耗用了清水。因此, 使得该地区河流的含沙量不会显著减小, 甚至会有所增加。资料统计表明, 50年代至70年代同样汛期水量, 有沙量逐渐增加, 含沙量增大的趋势^[2]。80年代的测点有高低, 变化趋势不明显。可以预料, 在今后若干年内, 黄河中游地区的治理, 虽然会减少产沙总量, 但是河流的含沙量不会降低, 多沙河流的特性也不会改变^[2]。在暴雨强度较大的年份, 由于水土保持工程的破坏, 其产沙量将更为集中。未来的水沙特性是, 产沙量在枯水年显著减少, 丰水年可能会增加, 朝两极分化发展。

2.4 黄河中游大型水库运用带来的新问题 刘家峡与龙羊峡水库均位于兰州以上清水区。刘家峡水库自 1968 年 10 月蓄水运用, 调节库容 41 亿 m^3 , 因水库汛期蓄水, 河口镇的水沙年内分配发生了改变, 汛期水量占全年水量的比重, 由 62.1% 降为 53.8%, 减少 8.3%, 水量为 27 亿 m^3 , 沙量在年内的变化与水量变化方向相同, 但数量远不如水量变化显著。

龙羊峡水库于1986年10月蓄水,死库容54亿 m^3 ,调节库容194亿 m^3 ,连同刘家峡水库调节库容共计235亿 m^3 ,构成多年调节。经计算汛期蓄水40~70亿 m^3 ,再加上宁夏、内蒙两省灌溉引水量的发展,到2000年水平,河口镇同期的水量将会减少50%。在灌溉用水旺季6月~8月,河口镇会出现长期断流。此时,黄河中游地区若无降水,黄河下游也将会出现断流。

冲积河流普遍存在着小水淤积、大水冲刷的特性。然而黄河下游河道过去在大流量高含沙洪水时,也会造成河道的严重淤积。据文献[3]分析,从1950年~1983年黄河下游11场高含沙洪水的来水量来沙量,分别占该时段总来水量的20%,总来沙量的14%,而下游河道的淤积量却占该时段总淤积量的54%,其中82.1%集中在高村以上宽浅河段。一场高含沙洪水的淤积量达5~6亿t。由此可见,高含沙洪水是造成下游河道严重淤积的主要水沙。

综上所述,今后汛期进入黄河下游的基流明显减小,含沙量增加,高含沙洪水出现机会增多,在灌溉用水旺季将会出现长期断流。如不预谋对策,下游河道淤积状况势必更加恶化。

3 对黄河下游河道输沙能力的新认识

3.1 高含沙水流研究 早在50年代,著名泥沙专家钱宁教授就开创了高含沙水流流变特性的研究。随着黄河清水资源的优先开发,黄河高含沙水流的研究,逐渐形成高潮。在70年代末和80年代初,水利系统各单位进行了系统的试验研究,对高含沙水流的流变特性、运动特性和输沙特性的基本规律有了较全面的了解。

黄河高含沙水流所以具有强大的输沙能力是由于细颗粒的存在改变了流体的性质,使水流的粘性大幅度增加,粗颗粒的沉速大幅度降低,使得很粗的泥沙颗粒在高含沙水流中输送也变得很容易[4,5],而河床对水流的阻力并没有明显改变,只要有一定的水深和流速,处于紊流区,即可长距离输送。因此,利用黄河高含沙水流特性输送黄河泥沙,是十分经济理想的技术途径。最早提出利用高含沙水流特性,解决黄河下游泥沙问题的是著名治河专家方宗岱。他提出利用小浪底水库调沙产生高含沙水流的堤外放淤,清水冲刷下游河道。

3.2 多沙并非一定形成游荡堆积河流 以往对黄河下游严重淤积,常笼统地归结为水少沙多。从国内外主要大河的统计资料表明,黄河的确是年输沙量最多,达16亿t,含沙量最高,年平均达37.7 kg/m^3 。然而多沙河流是否一定形成游荡堆积河流呢?其实不然。

以黄河中游的主要支流渭河、北洛河下游河道为例,说明含沙量高的河流,并非一定形成强烈游荡堆积的河流。表2表明,渭河、北洛河下游河道的流量与比降比黄河干流小,含沙量比黄河高,以流量最小的北洛河为例,多年平均流量仅25.4 m^3/s ,含沙量128 kg/m^3 ,与黄河下游相比,流量为1/53,含沙量为3.4倍,河道比降为1.7‰,略缓于黄河下游的上段。但是前者却形成窄深稳定的弯曲性河流,而后者却形成宽浅游荡堆积河道,是什么缘故呢?

如果用 $Q_s = KQ^m$ 表示河流的来水来沙条件,则北洛河的 m 值最大。根据北洛河水沙条件与河床演变资料分析,主要是它的来水来沙条件有利。其泥沙主要由高含沙洪水输送,而造成坍塌的低含沙洪水很少发生。从表1可知北洛河的来沙非常集中,7月、8月的平均含沙量分别为337 kg/m^3 和287 kg/m^3 ,几乎年年出现800~900 kg/m^3 的高含沙洪水,洪水挟

表 2 黄河主要干支流不同河段特性比较
Table 2. Characteristics of different sections of the Yellow River
and its inflow sediment regime

河 段 名 称	河 性	河 长 (km)	比 降 (‰)	多年平均来水来沙				$Q_s = KQ^m$ 公式中的 m 值
				流 量 (m ³ /s)	含 沙 量 (kg/m ³)	d_{50} (mm)	$d < 0.01$ mm (%)	
黄河小北干流 (龙门~潼关)	宽浅 游荡	132	3~6	1090	33.4	0.044	16.2	2.5
黄河下游 (铁谢~夹河滩)	宽浅 游荡	214	2~2.5	1350	37.7	0.038	20.5	2.0
渭 河 (临潼~潼关)	窄深 稳定	165	1~3	296	47.3	0.024	27.2	4.0
北洛河 (17°~朝邑)	窄深 稳定	87	1.7	25.4	128	0.036	12.4	5.0

表 3 北洛河小流量高含沙洪水输沙情况
Table 3. Characteristics of sediment transport of minimum flood with
hyperconcentration in the Northern Luohe River

时 段 (年-月-日)	淤 头 站				淤头至朝邑	
	平均流量 (m ³ /s)		平均含沙量 (kg/m ³)		冲 淤 量 (亿 t)	排沙比 (%)
	最大日	时段	最大日	时段		
1968-7-28~29	169	122	738	687	-0.012	108
1970-8-25~31	166	88	842	632	-0.025	107
1973-6-15~19	125	52	607	457	-0.010	109
1973-7-11~15	174	59	741	578	+0.006	96
1974-7-28~8-3	118	61.5	915	683	+0.011	96

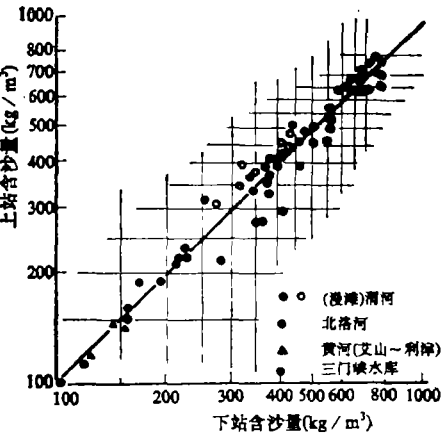


图 1 窄深河槽的输沙特性
Fig. 1. Relationship of sediment concentration
between upstream (u) and downstream
(d) stations in a narrow deep channel

带75%的泥沙。平水期流量小，含沙量低，河床不仅不淤，还会发生冲刷。而造成塌滩的低含沙洪水很少发生，从1958年到1978年的20a中，仅1976年发生一次。在这样特殊条件下，塑造出比渭河更窄深的断面形态，河宽与水深的比值甚至小于10，显然这样的窄深河槽适合高含沙水流的输送。甚至日平均流量仅100m³/s的洪水，含沙量高达400~900 kg/m³，经100km长的河道时均不淤积，河段的排沙比达100%（详见表3）。由此可见在一定的条件下，含沙量高的河流，也可以形成稳定的河流。

3.3 窄深河槽的冲淤特性与输沙特性 系统分析黄河主要干支流不同河段大量实测资料得知，河道具有窄深河槽是保证高含沙洪水长距离输送的必要条件^[5]。

图1给出不同窄深河段,比降 $0.3\text{‰}\sim 2\text{‰}$,单宽流量 $3\sim 6\text{m}^3/\text{s}$,含沙量范围为 $100\sim 800\text{kg}/\text{m}^3$,上游站与下游站间含沙量相关成 45° 线表明,窄深河槽具有极大的输沙能力。

黄河下游河段的输沙特性,本站的输沙能力不仅与本站的流量有关,还与上游站含沙量有关。其河道的输沙能力与上游站含沙量成正比,在其他条件不变时,输沙能力取决于上游站含沙量^[6]。其中含沙量的方次与河槽形态有关,在游荡性的宽浅河段仅为 $0.6\sim 0.8$,艾山站以下的窄深河段达 1.0 ,表现出河槽形态愈窄深愈有利于泥沙输送的特性。在洪水不漫滩时上下游站间的流量相等,构成窄深河槽“多来多排”的高效输沙特性。

黄河下游艾山站,实测最大含沙量达 $200\text{kg}/\text{m}^3$ 以上的洪水共发生3次,从含沙量在断面上分布情况可知,其表层含沙量 $140\sim 150\text{kg}/\text{m}^3$,底层含沙量 $300\text{kg}/\text{m}^3$,没有达到均质流的输沙状态。但从河段排沙比达 100% ,洪水前后河床断面变化分析,在流量 $3000\sim 4000\text{m}^3/\text{s}$ 时,可以顺利地长距离输送而不淤。艾山以下的河道虽然没有输送过高含沙洪水,但是考虑到含沙量增加,流体的粘性增大,粗颗粒的沉速会大幅度降低,当含沙量增加到 $400\sim 500\text{kg}/\text{m}^3$ 以上时,会更有利于泥沙颗粒的悬浮。1977年7月、8月在三门峡库区曾发生这样未曾预想的情况^[7],两场洪水进库的最大含沙量分别为 $616\text{kg}/\text{m}^3$ 和 $911\text{kg}/\text{m}^3$,悬沙组成 d_{50} 分别为 0.045mm 和 0.105mm ,坝前 40km 范围,最高日平均水面比降分别为 0.27‰ 和 0.92‰ ,进出库的排沙比分别为 97% 和 99% 。从以上分析可知黄河高含沙水流在窄深河槽中,可以在较弱的水流条件下输沙。

含沙量的增加,虽然有利于泥沙颗粒的悬浮。但是为了保障高含沙水流的稳定输送,必须控制流态不进入层流。因此,对含沙量的上限必须控制。水槽试验表明,其有效雷诺数必须大于 2000 ^[4]。由于高含沙水流的阻力规律在紊流区与清水相同^[8],所以按实测水深流速关系确定流速值。分析计算结果表明,在流量 $4000\text{m}^3/\text{s}$,含沙量 $800\text{kg}/\text{m}^3$ 时,有效雷诺数均远大于 2000 ,可以保证在上述含沙量时不进入层流。山东河道在流量 $4000\text{m}^3/\text{s}$ 时水深 $4\sim 5\text{m}$,是高含沙水流容易控制在紊流区的重要条件。

以上分析计算表明,目前的山东河道在流量 $4000\text{m}^3/\text{s}$ 时,不仅能够输送含沙量 $200\text{kg}/\text{m}^3$ 以上的洪水,即使含沙量增加到 $400\sim 800\text{kg}/\text{m}^3$,也能顺利输送。黄河窄深河槽存在的巨大输沙能力,为解决黄河下游泥沙指明了方向。

假定黄河中游地区的治理对减少泥沙完全不起作用,以年沙量 16亿t 计算,当输沙流量为 $4000\text{m}^3/\text{s}$,含沙量为 $500\text{kg}/\text{m}^3$,每天可输送泥沙 1.73亿t , 16亿t 泥沙 9d 即可输送入海,用水量仅为 32亿m^3 ,与目前年均入海水量 300亿m^3 相比仅为十分之一。由此可见,治理黄河的前景是乐观的,治理好黄河下游河道也可称为治本。

3.4 游荡性河道的演变特性与改造 利用河道输送高含沙水流入海的主要障碍是改造高村以上宽浅河段。

游荡性河道都具有比降陡,河槽宽浅的特性,但随着水沙条件的变化,其河槽形态也会发生相应的调整:来沙量大幅度减少,河槽冲刷趋向窄深;小水带大沙淤积河槽;高含沙洪水塑造窄深河槽;较大的清水基流冲刷塌滩河槽展宽。在游荡性河道比降陡、河岸抗冲能力差、水沙变幅大的情况下,各种水沙相互制约,相互破坏,使其经常出现宽浅散乱状态。由于无窄深河槽约束水流,常造成河势的突然摆动,给防洪造成被动,也造成高含沙洪水严重淤积,只有利用特殊的水沙组合对其进行改造,才会取得显著效果。

渭河、北洛河的来水来沙模式表明,若能产生 m 值较大的水沙组合,就会形成窄深稳定河道。但在目前情况下,还不能按照上述水沙模式改造下游河道。原因是黄河下游河道比降陡,清水流量大,高含沙水流塑造的窄深河槽无法稳定。关于宽浅河段的改造,可以通过河道整治进行,也可以利用高含沙水流自行塑造,然后充分利用其输沙入海。后者可能更为经济可行,只要能人为地产生历时较长、流量比较稳定的高含沙水流,则可产生显著的改造河道和减少淤积的效果。

1977年黄河小北干流和1973年黄河下游夹河滩以上河段,在洪水连续发生和历时较长时,河道的输沙能力都曾迅速提高,河段的排沙比分别由第一场洪水的78%和66%,迅速上升到101%和124%,经过210km长的宽浅河道,夹河滩站的含沙量仍达 $456\text{kg}/\text{m}^3$ 。河道输沙能力迅速提高的主要原因,是在高含沙洪水输送过程中,塑造了适合输沙的窄深河槽。游荡性河道输沙能力能有如此迅速的变化,为调水调沙减少高含沙洪水在下游宽浅河段严重淤积提供了可能。

通过水库调节,若能产生适宜输送的高含沙水流当然好,若受某些条件的限制,只能产生 $200\sim 300\text{kg}/\text{m}^3$ 含沙量较高的洪水,也可形成窄深河槽输沙入海。从河道输沙特性看,对水库调水调沙要求并不是很高。

为实现上述目的,需要从根本上改造进入下游的水沙条件,因此,对在建的小浪底水库调水调沙,提出了特殊的要求。

4 小浪底水库调水调沙运用与下游河道治理前景

4.1 小浪底水库的运用方式与高含沙水流的产生^[10] 小浪底水库为黄河进入平原前最后一个巨型峡谷水库,原河床比降11‰,库容126亿 m^3 ,具有较强的调节能力与形成强烈溯源冲刷产生高含沙水流的可能。其运用方式应为多年调节,拦沙期水库高水位运用,下泄清水发电,大部分泥沙拦在库内。调节库容淤满后,利用丰水年汛期的天然径流,控制坝前水位下降过程,由强烈的溯源冲刷产生适宜输送的高含沙水流,待库区冲刷告一段落后,再蓄水拦沙发电,水库如此循环运用。

由已有蓄水运用水库的空库实践说明,空库后会产生流泥,随着水流冲刷和粘土的滑塌,很容易产生高含沙水流与恢复库容。空库后淤泥的运动主要决定于粘土的力学性质。水库虽然有大中小,但淤积物的土力学特性相近,中小型水库空库发生的淤泥滑动现象在大型水库中也会发生。

由于蓄水拦沙运用水库的淤积形态为三角洲,粗沙总是淤在洲面上,当洲面上发生冲刷时,只要库水位不断下降,主槽不断下切,细泥会不断地向主槽内滑塌,冲刷出的泥沙粗细总会有一定搭配,不会出现冲刷出来的泥沙全是粗沙的情况。

根据现有公式估算,小浪底水库出库的含沙量可达 $300\sim 500\text{kg}/\text{m}^3$ 。由于在冲刷过程中,有大量的淤泥变成流动的浑水,故出库的流量随着冲刷出库含沙量的升高而大幅度增加。当淤土的容重为 $1100\text{kg}/\text{m}^3$,进库的流量为 $3000\text{m}^3/\text{s}$,冲刷出的含沙量为 $400\text{kg}/\text{m}^3$ 时,出库的浑水流量则为 $4710\text{m}^3/\text{s}$,由此可见冲刷流量不需很大,即可满足下游河道输送要求。

4.2 小浪底水库泥沙多年调节的减淤效果 据上述调沙要求,对水库和下游河道冲淤进行了

详细的冲淤计算, 考虑了高含沙水流塑造窄深河槽淤积及输沙能力的巨大变化, 清水冲刷对窄深河槽的破坏作用。按 1950 年~1974 年设计系列演算结果表明, 有 70%~80% 的泥沙通过水库调节成高含沙水流下泄, 平均 3~4a 为一运行周期, 水库泄空冲刷一次, 其减淤效果分述如下:

当调沙库容大时, 出库的高含沙洪水历时长, 塑造的窄深河槽可以得到充分利用, 多输沙, 河道的减淤效果自然好。反之, 调沙库容小, 塑造的窄深河槽得不到充分利用, 就遭水库下泄的清水破坏, 减淤效果则差, 甚至不减淤。分析计算表明, 当调沙库容由 10 亿 m^3 增加到 25 亿 m^3 时, 年淤积量可由 3 亿多吨减少到 1 亿多吨。由因可见, 要保证下游河道有较好的减淤效果, 小浪底水库应保留较大的调沙库容。

由于清水冲刷不仅会破坏高含沙水流塑造的窄深河槽, 中小流量的清水还会造成黄河下游河段上段冲刷, 下段淤积。因此引走中小流量的清水可以调整河道冲淤纵向分布, 减少下游河段的淤积。计算结果表明, 假定由小浪底水库坝下引走含沙量小于 $5\text{kg}/\text{m}^3$, 流量 $600\sim 2000\text{m}^3/\text{s}$ 间的水量, 年均引水量可达 130 亿 m^3 , 艾山以上河段年均少冲 0.28 亿 t, 艾山以下河段年均少淤 0.08 亿 t。由此可见, 引走中小流量清水有助于控制山东河道淤积。

4.3 多库联合运用调沙 为了提高以小浪底水库调水调沙为中心的水库群的运用效果, 使下游河道得到彻底的改造, 并能长期稳定, 水资源得到更充分利用, 在中游需修建碛口水库, 对上游的弃水进行调节, 在小浪底水库冲刷时适时补水, 提高调沙运用效果; 在下游需修建桃花峡水库, 进一步控制洪水与调节小浪底水库下泄的清水, 以能最大限度地满足华北地区的需水要求, 并保护高含沙洪水塑造的窄深河槽少遭破坏。

4.4 黄河下游河道治理前景 黄河的来水来沙条件, 随着时间的推移, 虽然愈来愈不利, 但仍有数百亿 m^3 的水量入海。若能利用高含沙水流特性, 通过水库群的调节, 不仅可减缓下游河道淤积, 还将有大量清水资源可供华北地区。

初期高含沙洪水塑造的窄深河槽, 虽然不能完全稳定, 但由于水库排沙历时长, 塑造的窄深河槽可以得到充分利用; 在远期随着中上游地区水利工程的兴建和工农业用水的增长, 下游水少沙多的矛盾更加突出, 黄河的来水来沙将更为不利。此时, 小浪底等水库将发挥更大的作用。最终黄河下游将变成几年排泄一次高含沙洪水入海, 和偶尔宣泄大洪水的窄深河道, 黄河下游的洪水和泥沙问题可以得到根本性解决。

要想付诸实施上述设想, 尚有许多问题需要进一步研究论证。

(1) 结合小浪底工程建设, 深入研究小浪底水库的运用方式, 高含沙水流产生条件, 水库的泄流规模, 进行排放高含沙水流试验。

(2) 详细论证利用河道输沙入海的可行性, 高含沙水流输送到河口地区的运动规律及对上游河道的影响。

(3) 完善多库联合调沙运用方案, 明确各水库开发的目标, 各自承担的主要任务, 联合运用对下游的减淤效果, 输沙用水量等。

(4) 提出可能出现的问题和解决办法, 争取早日实施。

参 考 文 献

- 1 戴英生. 黄河中游流域土壤侵蚀基本规律. 人民黄河. 1985, (1): 47~54
- 2 齐璞. 黄河中下游水沙变化趋势. 地理研究. 1988, (2): 74~81
- 3 赵业安, 潘贤娣. 黄河下游河道冲淤情况及基本规律. 中美黄河下游防洪措施学术讨论会论文. 北京: 中国环境科学出版社, 1987. 124~145
- 4 钱意颖, 杨文海, 赵文林等. 高含沙水流的基本特性. 北京河流泥沙国际学术讨论会论文. 北京: 光华出版社, 1980. 175~184
- 5 齐璞. 黄河高含沙洪水输移特性及其河床形成. 水利学报. 1982, (8): 34~43
- 6 齐璞, 赵业安. 黄河山东河道输沙特性分析. 人民黄河. 1985, (3): 22~26
- 7 齐璞. 1977年高含沙洪水在三门峡水库中输移特性分析. 水利水电技术. 1992, (2): 5~10
- 8 齐璞, 韩巧兰. 黄河高含沙水流阻力特性及计算方法. 人民黄河. 1991, (3): 16~22
- 9 齐璞. 黄河下游游荡性河道治理方向探讨(兼论河槽形态与河型). 泥沙研究. 1989, (4): 159~167
- 10 齐璞. 利用窄深河槽输沙入海调水调沙减淤分析. 人民黄河. 1988, (9): 7~13

New Knowledge on Sediment Transport Capacity of the Lower Yellow River

Qi Pu

(Institute of Hydraulic Research, Yellow River Conservancy Commission, Zhengzhou)

Abstract: This paper reviews harnessing of the Lower Yellow River based on the characteristics of hyperconcentrated flows, including the tendency of water and sediment changes in the river, transport features of hyper-concentrated flows resistance properties laws of river processes, relationships between river channel geometries and incoming water and sediment, optimal composition of water and sediment to remodel the wide and shallow course of the Lower Yellow River, operation criteria to regulate water and sediment in reservoirs, harnessing measures, etc. when the harnessing is realized, the deposition in the Lower Yellow River can be decreased significantly, the water used for transporting sediment can be saved largely, the water resources can be utilized fully, and a new narrow, deep and stable channel will be formed.

Key words: hyper-concentrated flow; optimal composition of water and sediment; conjunctive operation of water and sediment; Yellow River.