

2000 年以来黄河下游河道巨变与前景展望

齐 璞¹, 齐宏海², 田世民¹

(1. 黄河水利委员会水利科学研究院, 河南 郑州 450003; 2. 美国柏诚(PB)工程咨询公司, 新泽西 劳伦斯维尔 08648)

摘要:随着黄河中上游水利工程的大量兴建,以及水土保持与灌溉的发展,洪水发生的会与洪峰流量大幅度减小,不再需要下游宽河漫滩削峰。近年来对黄河窄深河槽泄洪输沙机理、河道输沙能力有了新认识,认为下游河道具有极强的泄洪和输沙能力,可为黄河下游河道的治理指明方向。三门峡水库改建后“蓄清排浑”运用的减淤作用已经使花园口以上河道基本不淤。小浪底水库投入运用 13 a,下游河道均发生巨大变化,下游河道水位全程降低 1.0~2.2 m,平滩流量迅速增大,但是游荡性河道依然宽浅散乱,急需进行两岸整治,形成窄深、稳定河槽;通过小浪底峡谷水库的泥沙多年调节,优化进入下游的水沙组合,并长期发挥作用。将小浪底水库泥沙调节到流量大于 3 000 m³/s 时宣泄,利用改造后新河槽输沙入海,可以控制河槽不抬高,并大幅度增加水库兴利库容。

关键词:黄河;泥沙淤积;水沙变化;窄深河槽;洪水排沙

中图分类号:TV212.5⁺2 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2013)06-0023-06

Great changes on the Lower Yellow River channel since 2000 and future prospective//QI Pu¹, QI Honghai², TIAN Shimin¹ (1. Institute of Hydraulic Research, Yellow River Conservancy Commission, Zhengzhou 450003, China; 2. Parsons Brinckerhoff Engineering Consulting Corporation, Laurenceville 08648, USA)

Abstract: With the construction of large hydropower projects on the upper and middle reaches, the development of soil-water conservation and irrigation projects, the probability that a big flood event will occur and flood peak discharges have been greatly reduced. It is unnecessary to widen the lower-reach river to allow floodplain inundation for flood peaks reduction. In recent years, there is a major breakthrough in the understandings of the mechanism and capacity of the sediment transport in the narrow and deep channel of the Yellow River. Lower-reach channel has huge flood discharge and sediment transport capacity, which points out the future direction of harnessing the river. After the reconstruction of Sanmenxia Reservoir and the operational mode of “storing clear water and releasing muddy water” to reduce deposition, non-siltation has already been achieved for the channel upstream of Huayuankou. After the operation of Xiaolangdi Reservoir for 13 years, great changes have taken place in the lower-reach channel with maximum longitudinal water surface elevation reduction of 1.0~2.2 meters, and the bankfull discharge has been increased dramatically. But the wandering reaches are still wide, shallow, scatter and ill-conditioned, and they need to be regulated at both banks to form a stable, deep and narrow channel. Through multi-year sediment regulation of valley type of reservoirs like Xiaolangdi, the combinations of flow and sediment entering the lower-reach can be optimized, and the reservoir can be used for a long time. Sediment should be managed to be released when discharge is greater than 3 000 m³/s, and it should be transported through the regulated new channel to sea. By using this approach, the river bed will not be elevated by deposition, and the beneficial use of the reservoir will be significantly increased too.

Key words: Yellow River; Sedimentation; variations of flow and sediment; narrow and deep channel; sediment release by flood

泥沙淤积是洪水危害黄河下游的根源。1955 年,第一届全国人民代表大会第二次会议曾通过了《关于根治黄河水害和开发黄河水利的综合规划的决议》,曾以“节节蓄水、分段拦泥”的原则对黄河做了全面规划,目的是使黄河变清,从根本上解决下游的洪水灾害。第一期重点工程三门峡水库被迫改建两次,水库运行方式由“蓄水拦沙”改为“滞洪排沙”,但黄河下游的泥沙淤积问题仍然没有得到根本解决。进入 21 世纪,水利部针对黄河治理提出了“堤防不决口、河道不断流、水质不超标、河床不抬高”的目标,其中最难实现的是河床不抬高。泥沙随洪水而来,随洪水而去是最好的归宿。笔者认为要改变过去通过拦截泥沙治理黄河的观念,而应以调沙为主,充分利用黄河洪水的巨大输沙能力将泥

沙输送入海。

近年来人们对黄河下游河道泄洪输沙规律有了新的认识,对黄河的治理也有了很大的进展。严军等^[1]根据1950年以来黄河下游河道实测水沙资料,以及2002—2008年小浪底水库8次调水调沙期间的实测数据,得出河道淤积比随来沙量、出库平均含沙量和来沙系数的增大而增大的结论。陈建国等^[2]通过对1999年小浪底水库运用以来实测资料的分析,从河道的冲刷和河道平面形态变化两方面阐述小浪底水库拦沙运用10a来水库淤积及下游河道的再造床过程及其特点,为今后的水沙调控提供了借鉴。张艳艳等^[3]分析了黄河下游河道近30a来277场洪水的输沙特性,建立了考虑各变量高次方和交叉作用的排沙比回归模型,认为排沙比公式能够反映洪水的输沙特性,对了解黄河下游河道的输沙特性和河床变形规律有一定的帮助。刘国伟^[4]从河流地貌学角度总结了黄河下游河道的形成演化过程,认为黄河河性不可能发生变化。以上研究表明,黄河下游河道的治理方略一直都是学术研究的热点,各方所持观点有所不同。

近年来笔者对河道输沙能力有了新的认识,发现窄深河槽具有很强的输沙潜力和过洪能力。由于黄河长期多沙,且水沙组合不合理,小水挟沙过多,形成0.01%~0.02%的较陡河道,较淮河、长江下游河道更陡,洪水期流速可达3~4m/s。在涨水期河床遭到冲刷,水深和流速均迅速增大,最大洪峰时河床高程最低,过流能力最大。黄河下游河道花园口站的河床高程为90多m,长江武汉站的海拔高程只有20多m。黄河河道成为华北平原海河流域与淮河流域的分水岭,目前河床纵坡面对利用洪水输送泥沙入海很有利。这些新认识为实现“河床不抬高”的目标提供了坚实的理论基础和切实可行的技术保证。

1 黄河中上游的治理引起水沙条件发生巨大变化

黄河流域属干旱、半干旱地区,随着中上游大量水利工程的兴建,黄河流域工农业用水的日益增长和水土保持治理措施的不断完善,引起下垫面汇流条件发生巨大变化,黄河实测洪水大幅度减小。

1968年、1986年刘家峡和龙羊峡水库相继投入运用,水库对水量进行多年调节,汛期进入黄河下游的水量大减少。截至1994年,黄河干支流上已修建大、中、小型水利枢纽600余座,总库容达700亿 m^3 ,超过黄河的年来水量。仅小浪底、三门峡、刘家峡、龙羊峡4座水库的防洪库容就有156.2亿 m^3 ,相当于黄河千年一遇洪水12d的总来水量。黄河支流

也兴建了很多大型水库,如防洪库容为6.77亿 m^3 的伊河陆浑水库和库容为6.98亿 m^3 的洛河故县水库。黄河中上游多座水库的修建使黄河实测洪峰流量大幅度减小,如花园口站千年一遇洪水的洪峰流量由42300 m^3/s 降为22500 m^3/s ;百年一遇洪水的洪峰流量由29200 m^3/s 降为15700 m^3/s 。花园口站1950—2010年历年实测最大洪峰流量变化过程见图1。1982年以来的30a内花园口站的洪峰流量均未超过8100 m^3/s ,小浪底水库投入运用以来洪峰流量未超过5000 m^3/s 。这说明黄河大洪水发生的几率大幅度减小,洪水基本上得到了有效的控制。

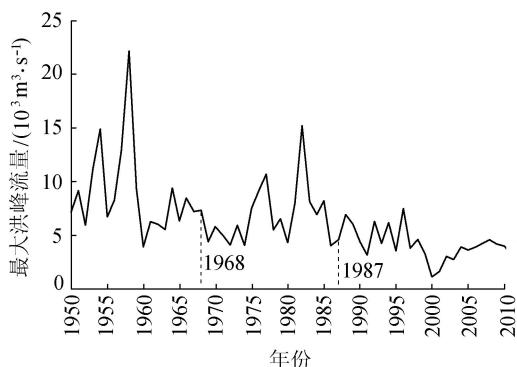


图1 花园口站1950—2010年实测最大洪峰流量的变化

由图1看出,花园口站1987年以前经常发生最大洪峰流量大于7000 m^3/s 的洪水,1987年龙羊峡、刘家峡水库联合运用以后,花园口站的最大洪峰流量再未超过7000 m^3/s 。黄河水沙条件已经发生巨大变化,洪峰流量大幅减小,洪水造床作用显著减弱,水少沙多的矛盾也更加突出,因此利用过去的资料分析得出的“宽河滞洪堆沙作用”的结论,不能指导今后黄河下游河道的治理。而且,黄河洪峰流量的大幅度减小是不可逆转的变化,今后黄河下游只要河床不抬高,洪水灾害便不难解决。

2 小浪底水库投入运用后河床发生强烈冲刷

小浪底水库投入运用后,河南、山东河道都发生了冲刷。1999年10月至2012年10月小浪底水库库区淤积量为27亿 m^3 ,水库处于拦沙运用的初期。近年来流域来沙量明显偏小,水库淤积速度比原来预计得慢。根据黄河下游河道大断面的测量成果,2000—2012年利津以上河道冲刷量共计16.6亿 m^3 ,年平均冲刷量为1.26亿 m^3 ,其中夹河滩以上河段的冲刷量为9.94亿 m^3 ,占冲刷总量的60.46%;夹河滩—高村河段冲刷量为1.95亿 m^3 ,占11.87%;高村—艾山河段冲刷量为2.36亿 m^3 ,占14.35%;艾山—利津河段冲刷量为2.19亿 m^3 ,占13.32%。图2给出了各河段主槽冲刷面积的变化,其中黄河前9次调水调沙期间共冲刷3.4亿t,占该时段冲刷量的28.5%。

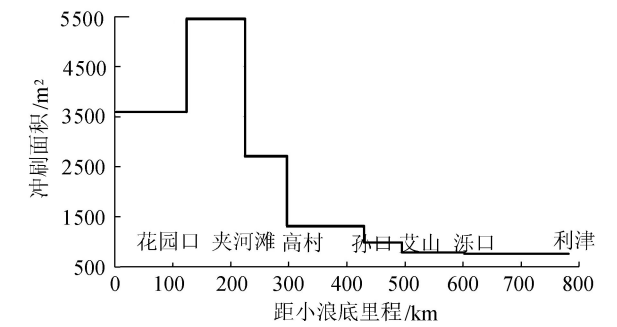


图2 1999年10月至2012年10月各河段主槽冲刷面积

与2000年汛后相比,2012年汛后小浪底水库在相同流量($2\,000\text{ m}^3/\text{s}$)时下游水位降低 $1.25\sim 2.20\text{ m}$,见表1,水位下降幅度呈现两头大、中间小的特点。经过13 a的冲刷,黄河下游河道的排洪能力显著增大,与小浪底水库运用前相比,平滩流量增加了 $1\,100\sim 3\,200\text{ m}^3/\text{s}$ 。2012年汛后黄河下游各站的平滩流量达 $4\,100\sim 6\,900\text{ m}^3/\text{s}$,其中花园口站的平滩流量最大。

表1 2000—2012年小浪底水库运用前后下游河道同流量水位变化

站名	$2\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 时 水位差/m	2000年 平滩流量/ ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$)	2012年 平滩流量/ ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$)	平滩流量 增加值/ ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$)
花园口	-1.88	3 700	6 900	3 200
夹河滩	-2.20	3 300	6 500	3 200
高村	-2.20	2 500	5 400	2 900
孙口	-1.46	2 500	4 200	1 700
艾山	-1.25	3 000	4 100	1 100
利津	-1.25	3 100	4 500	1 400

目前花园口站以上河段的平滩流量大于 $7\,000\text{ m}^3/\text{s}$,夹河滩以上河段大于 $6\,000\text{ m}^3/\text{s}$,高村以上达 $5\,400\text{ m}^3/\text{s}$,再加上 $1.2\sim 2.5\text{ m}$ 高的生产堤,可通过 $7\,000\sim 9\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 的流量。平滩流量最小的孙口河段也有 $4\,200\text{ m}^3/\text{s}$,加上 $1.5\sim 2.5\text{ m}$ 高的生产堤,可通过 $5\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 的流量。今后小浪底水库还要进行泥沙多年调节,相机利用洪水排沙,河床还会向下冲刷,河段平滩流量还会增大。

3 黄河窄深河槽具有强大的输沙泄洪潜力

3.1 巨大的输沙潜力

20世纪80年代,研究者对黄河干支流高含沙洪水的输沙特性进行了分析,认为窄深河槽更有利于高含沙洪水的输送。由花园口、夹河滩、高村、孙口等9个水文站的96组实测流量输沙率原始资料^[5]分析得出,垂线含沙量分布均匀系数(相对水深0.2与0.8处测点含沙量的比值)随含沙量(质量浓度,下同)的变化见图3。由图3可知,粒径组成 $0.03\sim 0.10\text{ mm}$ 时,含沙量大于 $200\text{ kg}/\text{m}^3$ 后垂线含沙量分布变得均匀。由此可见,黄河适宜输送

的是含沙量大于 $200\text{ kg}/\text{m}^3$ 的高含沙水流^[5-7]。

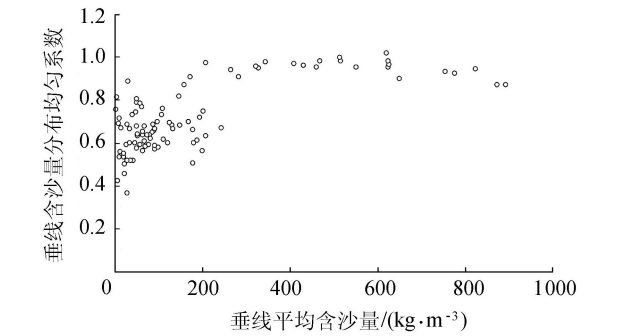


图3 垂线含沙量分布均匀系数随含沙量的变化

黄河下游含沙量最高的5次洪水的平均含沙量沿程变化曲线见图4。由图4可知,高含沙洪水在黄河下游河道中发生严重淤积以及在输送过程中产生异常现象的根本原因是高村以上为宽浅游荡河道,不适合高含沙洪水的长距离输送^[7]。

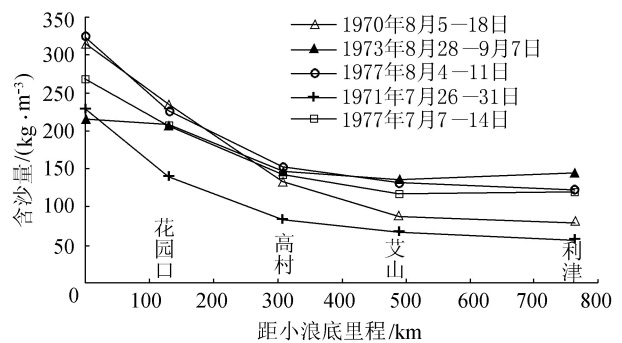


图4 黄河下游含沙量最高的5次洪水的平均含沙量沿程变化

河床冲刷与淤积主要取决于底沙的运动状况,与床面形态关系密切^[7]。在低含沙量时,当水流流速在 $1.8\sim 2.0\text{ m}/\text{s}$ 时,床面形态转化为高输沙动平整状态;在高含沙量时,由于黄河泥沙组成较细,含沙量增高引起流体黏性增大,粗颗粒泥沙易浮不易沉。利用曼宁公式进行水力计算,结果表明河床对水流的阻力并没有增加。窄深河道适宜输送含沙量在 $200\sim 800\text{ kg}/\text{m}^3$ 之间的高含沙水流^[8],而不是低含沙量水流。

黄河下游艾山以下河道比降为 0.01% ,表2列出的1973年和1977年3场高含沙洪水中艾山—利津窄深河段的输沙情况表明,在流量为 $3\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 、最大含沙量为 $200\text{ kg}/\text{m}^3$ 时,以水流中含沙量变化表示的河段排沙比在 $0.97\sim 1.04$ 之间;洪峰前后河床明显发生冲刷;流量 $3\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 时水位变化在 $-0.20\sim 0.46\text{ m}$,表明上述洪水期间泥沙能够顺利输送而河床基本不淤积。

三门峡库区也表现出黄河高含沙洪水输移的高效输沙特性。1977年7月和8月发生高含沙洪水时,库区水面宽度为 $600\sim 800\text{ m}$,水库发生严重壅水,坝前 41.2 km 范围内水面比降为 $0.0027\%\sim$

表2 艾山—利津河段较高含沙洪水输沙与河床冲淤特性

时 段	站名	最大流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	平均流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	最大含沙量/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	平均含沙量/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	河段排沙比 (S_F/S_U)	河床冲淤 面积/ m^2	3 000 m^3/s 时 水位差/ m
1973 年 8 月 30—9 月 8 日	艾山	3 880	3 010	246	145	1.04	-54.1	0.46
1973 年 9 月 1—10 日	利津	3 680	2 994	222	151		-174.0	-0.09
1977 年 7 月 9—8 月 5 日	艾山	5 540	4 490	218	121	1.02	-292.0	-0.02
1977 年 7 月 10—16 日	利津	5 280	4 160	196	124		-168.0	0.36
1977 年 8 月 8—14 日	艾山	4 600	3 100	243	147	0.97	20.8	0.15
1977 年 8 月 9—15 日	利津	4 100	2 944	188	143		62.4	-0.20

0.0092%,其中悬沙中 $d_{90}=0.35\text{ mm}$, $d_{50}=0.105\text{ mm}$, 2 场洪水水库排沙比分别达 0.97 和 0.99,见表 3。实测出库最大含沙量分别为 589 kg/m^3 和 911 kg/m^3 ,说明粗颗粒泥沙在高含沙水流中也可以顺利输送。

在窄深河槽中水流流速随着流量的增大而增大,河床由淤积变为冲刷,艾山以下窄深河槽形成“多来多排”的规律^[8]。黄河下游各河段输沙特性见图 5,图中给出了上游不同含沙量(50~100 kg/m^3 、100~150 kg/m^3 、大于 150 kg/m^3)时洪水输沙实测点据,黑线代表河道排沙比为 1 的输沙状态。在流量大于 2 000 m^3/s 时,高村以上 2 个宽浅河道(图 5(a)、(b))在来水含沙量大于 100 kg/m^3 时,河段的排沙比均小于 1,表现为“多来多排多淤”,其中主河槽为“多来多排”,而边滩则为“多来多淤”;艾山以下河道(图 5(d))实测最大含沙量为 200 kg/m^3 ,河段排沙比仍可达到 1。根据对山东河道高含沙水流输沙特性的研究得出,在流量为 2 000~3 000 m^3/s 时,可输送含沙量小于 200 kg/m^3 的洪水,当含沙量进一步增大到 500~600 kg/m^3 时更有利于泥沙的输送,表明该河段具有巨大的输沙潜力。

3.2 极强的泄洪能力

窄深河槽过流能力与水深的 5/3 次方成正

比^[9]。花园口站附近的河道比降是 0.02%,在 1977 年 7 月和 8 月两场高含沙洪水期间,实测主槽宽度分别为 467 m 和 483 m,相应水深分别为 5.4 m 和 5.3 m,平均流速分别为 3.85 m/s 和 3.73m/s,流量分别达 8 980 m^3/s 和 9 540 m^3/s (图 6)。由此可知,要使主槽拥有较大的过流能力,只需保持较大的水深,而对河宽的要求并不是很高。

艾山站附近河道比降是 0.01%,1958 年 7 月洪水期间,在河宽为 476 m 和 468 m、平均水深分别为 8.9 m 和 10.6 m 时,过流能力达到了 12 300 m^3/s 和 12 500 m^3/s ;岳口站在主槽宽度为 295 m、平均水深分别为 10.6 m 和 13.1 m 的条件下,过流能力达到了 10 100 m^3/s 和 11 100 m^3/s 。高、低含沙量的洪水均随着流量的增加水位不断上升,由最容易起动的粉细沙组成的河床不断刷深,河道的过流能力迅速增大,其中河床冲刷对过洪能力增大的影响大于水位抬升的影响,甚至会出现由于河床剧烈冲刷导致洪水水位不涨反降的现象。由于过洪能力受水深高次方的影响,窄深河槽会随着流量的增大不断被刷深,从而水位涨势趋缓。

河床的冲刷或淤积取决于底沙的运动状况,涨水期作用在床面的剪力或功率不断增大,引起底沙

表3 三门峡水库 1977 年 7、8 月两场高含沙洪水排沙情况

洪水时段	洪峰流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	平均流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	最大含沙量/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	平均含沙量/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	d_{50}/mm	库区 比降/%	水库 排沙比	库区 冲淤量/亿 t
7 月 6—9 日	13 600	5 069	616	391	0.04~0.05	0.002 7	0.97	0.200
8 月 3—9 日	15 400	3 908	911	369	0.06~0.10	0.009 2	0.99	0.104

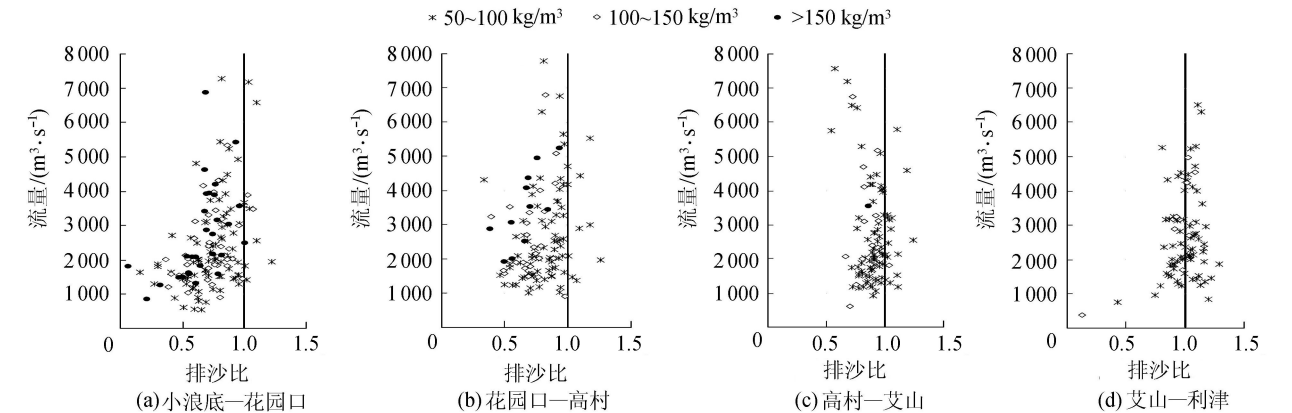


图5 黄河下游沿程各河段输沙能力的沿程变化

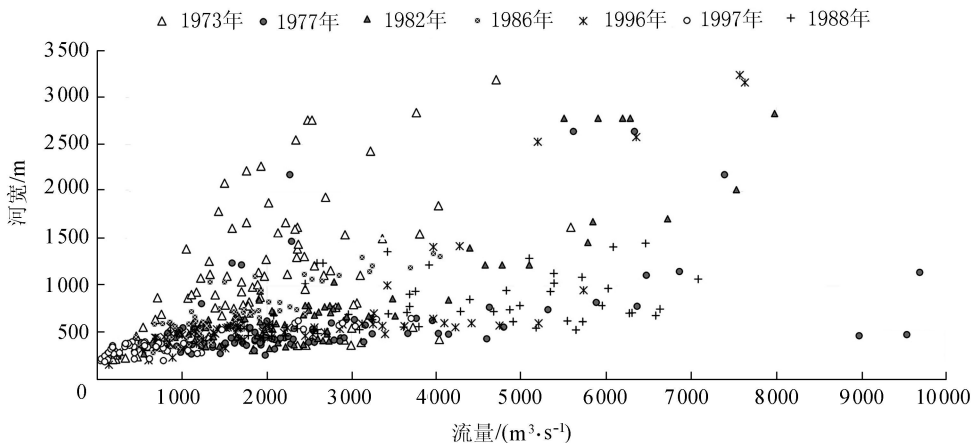


图6 花园口站历年流量与河宽的关系

输沙能力增强,使河床发生冲刷^[10];落水期作用在床面的剪力或功率不断减弱,使河床发生淤积。

由于底沙的运动速度远小于洪水波传播速度,水流流速没有因沿程比降变缓而降低。比降变缓,河宽减小,水深增加,从而流速保持不变,甚至沿程增大,以维持河流纵向输沙的平衡。从实测资料分析来看,洪水在长达几百甚至上千 km 的河道中,比降变化甚至达 10 倍(在 0.006% ~ 0.06% 之间),河道可产生强烈冲刷,因此在利用洪水进行排沙时不必刻意拦粗排细。

4 利用洪水排沙入海是黄河泥沙的主要出路

4.1 水库多年调沙

三门峡水库的改建成功,创造了在多沙河流上长期保持水库有效库容的范例。然而三门峡水库的“蓄清排浑”运用方式有其局限性:一是受潼关高程的限制,调沙库容小,不能对黄河泥沙进行多年调节,每年汛期不得不降低水位运用,往往使小水带大沙进入下游;二是水位变幅小,不能产生强烈的溯源冲刷,难以维持长历时、高含沙量的出库水沙条件,因而不能充分利用下游河道的输沙能力。

在“拦、排、调、放、挖”的治河方略中,以“调”为核心,为下游形成窄深河槽提供技术支撑。黄河的泥沙随洪水而来,输沙入海也要利用洪水。水库排沙机会多,为利用洪水处理泥沙提供了条件。

小浪底水库为峡谷型水库,具有进行泥沙多年调节的能力,可以将泥沙调节到洪水期进行输送,为进一步治理游荡性河道创造条件。要充分利用黄河下游河道在洪水期的输沙潜力,增大主槽的过流能力,控制洪水漫滩几率,发挥洪水造床和输沙入海作用,未来黄河下游河道发生一般洪水时不需要宽河削峰。

小浪底水库利用洪水输沙不仅有利于河口河段冲刷,也有利于河口治理,因为高含沙洪水输沙到河

口地区可形成异重流,从而使泥沙在更大海域堆积,减少河口淤积对上游河道的影响。河口流路的规划应使泥沙在更大范围内堆积,以便充分利用海洋动力将泥沙尽量输送至外海。

4.2 高含沙水流产生的机理

小浪底水库可以在洪水期主动进行泄空运用,此时库水位快速降低,随着主槽强烈冲刷,滩槽高差增大,淤积泥沙体内发生超孔隙水压力,引发淤积体向主槽坍塌,为形成高含沙水流、利用洪水排沙创造了有利条件^[11]。

小浪底水库的设防库容为 40.5 亿 m^3 ,相应水位为 254 m。水库调水调沙可控制库水位在 200 ~ 254 m 之间。评价黄河调水调沙水库运用方式的标准主要有两个:一是有多少泥沙可以调节到洪水期进行输送;二是多少水量可以通过水库调节得到有效利用。根据研究,小浪底水库库区淤积量大于 30 亿 m^3 后才可以利用洪水冲刷排沙,目前库区的淤积量为 27 亿 m^3 ,说明水库仍为拦沙运用期。在相同的水沙条件下,库区的淤积量小则水库冲刷的机会多,但冲刷效率较低;首次起冲的冲刷量大时库区淤积量多,冲刷效率高,但冲刷机会将减少。在同样的来水条件和库区泄空水位下,水库淤积量大则冲刷效率高,出库含沙量也大。对小浪底水库泥沙多年调节系列年进行计算后得出 70% ~ 90% 的泥沙可以调节到洪水期进行输送。

在上述调节原则下,进入黄河下游的水沙为小流量清水和挟带大量泥沙的洪水。由于水库主动空库进行泄洪排沙,淤土滑塌所形成的新的调沙库容可以长期重复利用,为维持黄河下游河槽长期不淤创造了有利的水沙条件。

4.3 水库多年调沙综合效益

经过多年研究,在小浪底水库拦沙运用初期,当拦沙库容淤满后,通过水库进行泥沙多年调节^[12],

把泥沙调节到洪水期进行输送,可以控制下游主槽不抬高,甚至发生冲刷下切。因为每当黄河下游发生高含沙洪水时,主槽都是冲刷的,洪水存在“涨冲落淤”的输沙特性。小浪底水库运用初期下泄清水,拦沙库容淤满以后进行泥沙多年调节,利用洪水排沙,二者结合可使下游河床不抬高,平滩流量逐渐增大,漫滩机会少,黄河泥沙与洪水问题可以得到根本解决。

采用水库泥沙多年调节后,多年平均输沙用水将保持在60亿 m^3 左右,节省了2/3,且均发生在丰水年小浪底水库无法进行调节利用的洪水期;多年平均发电量比当前汛期低水位运用的初步设计状况下的年发电量增加20%,由50亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 增加至60亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。

5 形成稳定的窄深河槽是防洪输沙的需要

黄河下游游荡性河道的特点是宽浅散乱。从防洪和高洪水输沙角度来说都需要形成一个稳定和窄深河槽^[13]。为了保证黄河下游的防洪安全,就必须形成稳定的窄深河槽,才能提高下游河道的输沙能力,充分利用河道在洪水期的输沙潜力实现多输沙入海。将游荡性河道改造成窄深、归顺、稳定的高效排洪输沙通道,既可以保护滩区,又提高了下游河道的输沙能力。因此,黄河下游河道的治理目标是形成窄槽宽滩,窄槽用于排洪输沙,宽滩用于特大洪水时滞洪削峰。

6 结 论

a. 今后无论黄河水沙如何变化,都要经过小浪底水库的调节才进入下游。暴雨多,洪水多,来沙多,水库排沙机会多;降雨少,洪水少,来沙少,水库无排沙条件,则水库以蓄水拦沙方式运用,调节径流供水并发电兴利。

b. 在黄河的治理中,充分利用洪水排沙入海具有十分重要的战略意义,不仅可以解决河床淤积问题,还可节省大量输沙用水量,不必再从千里之遥的长江调水冲刷黄河下游泥沙,可为国家节省大量资金。

c. 通过利用洪水排沙入海可解决河床不抬高的问题,主槽过流能力增大,洪水漫滩机会减少,包括防洪在内的河道内滩区的所有问题将逐渐得到缓解,实现黄河滩区人与河流的和谐相处,体现以人为本的科学发展观,是对当前和未来黄河下游河道治理的客观要求。

d. 黄河经过今后若干年的治理和开发,可以从一条灾害频繁的害河转化为一条效益巨大的利河。黄河的泥沙问题能得到根本性解决,黄河将发生巨变,即洪水不再泛滥,黄河的水资源也能得到充分利用。

参考文献:

- [1] 严军,王艳华,王俊,等. 黄河下游水沙条件对河道冲刷的影响[J]. 人民黄河,2009(3):17-18. (YAN Jun, WANG Yanhua, WANG Jun, et al. Influence of silt-discharge condition of the Lower Yellow River to the scour and fill of the channel[J]. Yellow River,2009(3):17-18. (in Chinese))
- [2] 陈建国,周文浩,陈强. 小浪底水库运用十年黄河下游河道的再造床[J]. 水利学报,2012,43(2):127-135. (CHEN Jianguo, ZHOU Wenhao, CHEN Qiang. Channel reestablishment of the Lower Yellow River in ten years operation of Xiaolangdi Reservoir[J]. Journal of Hydraulic Engineering,2012,43(2):127-135. (in Chinese))
- [3] 张艳艳,吴保生,傅旭东. 黄河下游河道场次洪水输沙特性分析[J]. 水力发电学报,2012,31(3):70-76. (ZHANG Yanyan, WU Baosheng, FU Xudong. Characteristics of sediment transport by flood events in the Lower Yellow River [J]. Journal of Hydroelectric Engineering,2012,31(3):70-76. (in Chinese))
- [4] 刘国伟. 黄河下游治理的地质基础[J]. 中国科学:地球科学,2011,41(10):1511-1623. (LIU Guowei. On the geo-basis of river regulation in the lower reaches of the Yellow River[J]. Science China:Earth Sciences,2011,41(10):1511-1623. (in Chinese))
- [5] 齐璞,孙赞盈,齐宏海. 黄河下游泄洪输沙潜力和高效排洪通道构建[M]. 郑州:黄河水利出版社,2010:73-77.
- [6] 赵文林,茹玉英. 渭河下游河道输沙特性与形成窄深河槽的原因[J]. 人民黄河,1994(3):1-4. (ZHAO Wenlin, RU Yuying. Sediment transport characteristics of the Lower Wei River Channel and the rational for formation of a narrow and deep channel[J]. Yellow River, 1994(3):1-4. (in Chinese))
- [7] 齐璞,孙赞盈. 黄河下游冲积河流动床阻力、冲淤特性与输沙特性形成机理[J]. 泥沙研究,1994(2):1-10. (QI Pu, SUN Zanying. Mechanism of movable bed resistance force, scour, deposition and sediment transport characteristics of the fluvial Lower Yellow River [J]. Journal of Sediment Research, 1994(2):1-10. (in Chinese))
- [8] 齐璞,余欣,孙赞盈,等. 黄河高含沙水流的高效输沙特性形成机理:黄河下游河道存在巨大的输沙潜力[J]. 泥沙研究,2008(4):74-81. (QI Pu, YU Xin, SUN Zanying, et al. Efficient sediment transport theory of the hyperconcentrated flow in the Lower Yellow River [J]. Journal of Sediment Research,2008(4):74-81. (in Chinese))
- [9] 齐璞,孙赞盈,刘斌,等. 黄河下游游荡性河道两岸整治方案研究[J]. 水利学报,2003,34(5):98-106. (QI Pu, SUN Zanying, LIU Bin, et al. Study on river bank training in the wandering Lower Yellow River [J]. Journal of Hydraulic Research, 2003, 34(5):98-106. (in Chinese))

(下转第47页)

Journal of Irrigation and Drainage,2004,23(1):14-20. (in Chinese))

[3] 彭世彰,艾丽坤. 提高灌溉水利用系数,保障国家粮食安全与水安全[J]. 水资源保护,2012,28(3):79-82. (PENG Shizhang, AI Likun. Improving irrigation water use coefficient and ensuring national food and water safety[J]. Water Resources Protection, 2012, 28(3):79-82. (in Chinese))

[4] 陈朱叶,郭相平,姚俊琪. 水稻蓄水控灌的节水效应[J]. 河海大学学报:自然科学版,2011,39(4):426-429. (CHEN Zhuye, GUO Xiangping, YAO Junqi. Water-saving effect of water-catching and controllable irrigation technology of rice[J]. Journal of Hohai University:Natural Sciences,2011,39(4):426-429. (in Chinese))

[5] 黄俊友. 水稻节水灌溉与雨水利用[J]. 中国农村水利水电,2005(7):11-12. (HUANG Junyou. Utilization of rainfall and rice water-saving irrigation[J]. China Rural Water and Hydropower,2005(7):11-12. (in Chinese))

[6] 徐俊增,彭世彰,丁加丽,等. 控制灌溉的水稻气孔限制值变化规律实验研究[J]. 水利学报,2006,37(4):486-491. (XU Junzeng, PENG Shizhang, DING Jiali, et al. Stomata limitation of rice under control irrigation[J]. Journal of Hydraulic Engineering,2006,37(4):486-491. (in Chinese))

[7] 郭相平,袁静,郭枫,等. 水稻蓄水-控灌技术初探[J]. 农业工程学报,2009,25(4):70-73. (GUO Xiangping, Yuan Jing, Guo Feng, et al. Preliminary study on water-catching and controlled irrigation technology of rice[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2009,25(4):70-73. (in Chinese))

(收稿日期:2012-11-26 编辑:熊水斌)

(上接第 28 页)

[10] 齐璞,孙赞盈,侯起秀,等. 黄河洪水的非恒定性对输沙及河床冲淤的影响[J]. 水利学报,2005,36(6):637-643. (QI Pu, SUN Zanying, HOU Qixiu, et al. Influence of unsteady floods on sediment transport and riverbed evolution in Yellow River[J]. Journal of Hydraulic Research,2005,36(6):637-643. (in Chinese))

[11] 齐璞,姬美秀,孙赞盈. 水库泄空冲刷高含沙水流形成机理[J]. 水利学报,2006,37(8):906-912. (QI Pu, JI Meixiu, SUN Zanying. Formation mechanism of hyperconcentrated sediment flow caused by scouring of reservoir emptying[J]. Journal of Hydraulic Research, 2006,37(8):906-912. (in Chinese))

[12] 齐璞,曲少军,孙赞盈. 关于优化黄河调水调沙运用方式的建议[J]. 人民黄河,2012(1):5-9. (QI Pu, QU Shaojun, SUN Zanying. Suggestion on optimizing flow and sediment regulations as the operational methods of the Xiaolangdi Reservoir[J]. Yellow River,2012(1):5-9. (in Chinese))

[13] 齐璞,孙赞盈,齐宏海. 再论黄河下游游荡河道双向整治方案[J]. 泥沙研究,2011(3):1-9. (QI Pu, SUN Zanying, QI Honghai. Research on two-bank training strategy for wandering channels of Lower Yellow River[J]. Journal of Sediment Research,2011(3):1-9. (in Chinese))

(收稿日期:2012-12-14 编辑:骆超)

(上接第 39 页)

参考文献:

[1] 傅功年,唐耿红. 冉铺湾隧洞衬砌断面型式选择[J]. 人民长江,2002,33(5):14-16. (FU Gongnian, TANG Genghong. Ran ping bay tunnel lining section type selection[J]. Yangtze River, 2002, 33(5):14-16. (in Chinese))

[2] 王子宜. 蛋形衬砌在白莲灌区武家坳隧洞中的应用[J]. 湖南水利水电,2006(6):70-71. (WANG Zhiyi. Application of egg-form lining in Wujiaao tunnel of Bailian irrigation area[J]. Hunan Water Resources and Hydropower,2006(6):70-71. (in Chinese))

[3] 华东水利学院. 水工设计手册[M]. 北京:水利电力出版社,1986.

[4] 谢成玉,滕凯. 抛物线形断面渠道均匀流水深的近似计算公式[J]. 水电能源科学,2012(7):94-95. (XIE Chengyu, TENG Kai. Approximate formula of uniform flow depth for parabolic cross-section channel[J]. Water Resources and Power,2012(7):94-95. (in Chinese))

[5] 刘刚,滕凯. 梯形断面均匀流水深的近似计算公式[J]. 水利与建筑工程学报,2012(1):41-44. (LIU Gang, TENG Kai. Approximate calculation formula uniform flow depth of trapezoidal cross-section[J]. Journal of Water Resources and Architectural Engineering,2012(1):41-44. (in Chinese))

[6] 滕凯. 消力池深的简化算法[J]. 人民长江,2012,43(15):77-79. (TENG Kai. Simplified calculation method of depth of stilling basin[J]. Yangtze River, 2012, 43(15):77-79. (in Chinese))

[7] 张志昌. 水力学[M]. 北京:中国水利水电出版社,2011.

[8] DL/T 5195—2004 水工隧洞设计规范[S].

[9] 王慧文. 偏最小二乘回归法及其应用[M]. 北京:国防工业出版社,1999.

[10] 阎凤文. 测量数据处理方法[M]. 北京:原子能出版社,1988.

(收稿日期:2012-11-14 编辑:熊水斌)