

【防洪减淤】

# 黄河泥沙处理和利用配置方案研究

安催花<sup>1</sup> 郭选英<sup>2</sup> 吴海亮<sup>1</sup> 李 敏<sup>3</sup> 张 建<sup>1</sup>

(1. 黄河勘测规划设计有限公司, 河南 郑州 450003; 2. 华北水利水电大学, 河南 郑州 450011;  
3. 黄河上中游管理局, 陕西 西安 710021)

**摘 要:** 根据不同时期入黄泥沙处理和利用的状况和特点, 提出对黄河泥沙应采取“拦、调、排、放、挖”等多种措施综合处理和利用。通过不同方案及泥沙治理效果的比较, 研究提出了2030年前采用水土保持特别是多沙粗沙区拦沙工程拦沙、骨干水库拦沙, 以及调水调沙、河道排沙、放淤、挖河疏浚及泥沙利用等多种措施相结合的综合处理和利用泥沙的配置方案。分析论证了在配置方案条件下, 2020年前进入黄河下游河道的年平均泥沙量为4.41亿t, 下游河道年平均冲刷泥沙0.41亿t, 可维持4000 m<sup>3</sup>/s以上的中水河槽; 2020—2030年进入黄河下游河道的年平均输沙量为5.32亿t, 下游河道年平均淤积0.46亿t, 可维持4000 m<sup>3</sup>/s左右的中水河槽。

**关 键 词:** 泥沙处理和利用; 粗泥沙; 配置方案; 黄河

中图分类号: TV882.1; TV152 文献标志码: A doi:10.3969/j.issn.1000-4379.2013.10.018

## Study on Configuration Scheme of Sediment Treatment and Utilization of the Yellow River

AN Cui-hua<sup>1</sup>, GUO Xuan-ying<sup>2</sup>, WU Hai-liang<sup>1</sup>, LI Min<sup>3</sup>, ZHANG Jian<sup>1</sup>

(1. Yellow River Engineering Consulting Co. Ltd, Zhengzhou 450003, China; 2. North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450011, China; 3. Upper and Middle Yellow River Bureau, Xi'an 710021, China)

**Abstract:** According to the situation and characteristics of treatment and utilization of sediment into the Yellow River during different periods, this paper proposed the Yellow River sediment should be taken in various measures as “trap, regulate, discharge, release and dredge”, with comprehensive treatment and utilization. By comparing different schemes and the treatment effect, the paper studied and proposed the configuration scheme of sediment comprehensive treatment and utilization before 2030. The configuration scheme contains various measures such as retaining sediment by soil and water conservation measures especially by sediment-retention project in more sediment and coarse sediment region and key reservoirs, water and sediment regulation, sediment discharging in the river, warping, river dredging and sediment utilization. The paper analyzed and demonstrated that the annual average sediment amount into the lower reaches of the Yellow River will be 0.441 billion tons before 2020 under the condition of the configuration scheme, and the lower reaches will be scoured and the annual average scouring amount is 0.041 billion tons, and the normal channel with discharge over 4000 m<sup>3</sup>/s can be maintained. The annual average sediment amount into the lower reaches of the Yellow River will be 0.532 billion tons between 2020 and 2030, and the annual average sedimentation amount in the lower reaches is 0.046 billion tons, and the normal channel with discharge about 4000 m<sup>3</sup>/s can be maintained.

**Key words:** sediment treatment and utilization; coarse sediment; configuration scheme; Yellow River

### 1 不同时期入黄泥沙处理和利用特点<sup>[1]</sup>

黄河泥沙主要来源于中游的河口镇至三门峡区间。1919—1960年三门峡站多年平均输沙量16.06亿t, 其中河口镇以上、河口镇至龙门区间、龙门至三门峡区间来沙分别占8.8%、57.2%、34.0%。黄河泥沙进入干流后, 一部分淤积在黄河下游、宁蒙河段、禹门口至潼关(简称小北干流)等冲积性河段的河道, 一部分输送至河口填海造陆或输往深海, 还有一部分由人工处理和利用。

在人类活动影响较小的1950年7月至1960年6月, 进入

黄河干流的年均沙量(利津输沙量、黄河干流河道淤积量, 以及人工处理和利用泥沙量之和)为20.55亿t。该时期入黄泥沙大部分被输送到河口地区填海造陆, 占入黄沙量的64.0%; 干流河道年均淤积泥沙5.57亿t, 占27.1%; 人工处理和利用泥沙主要为引水引沙, 年均均为1.39亿t, 仅占6.8%。该时期黄河冲积性河道表现出“多来、多排、多淤”的特点。干流河道泥沙淤积集中在黄河下游、上游宁蒙河段、中游小北干流3个冲积性河段, 分别为3.61亿、1.08亿、0.88亿t, 分别占干流河道淤

收稿日期: 2013-08-05

作者简介: 安催花(1963—), 女, 河南汝南人, 高级工程师(教授级), 主要从事泥沙研究和水利规划工作。

E-mail: anch542@sina.com

积量的64.8%、19.4%、15.8%。下游河道平均每年抬高约0.1 m,同流量情况下水位不断抬高,严重威胁防洪安全,但由于该

时期中常洪水出现较多,因此河道平滩流量相对较大。不同时期黄河干流泥沙分布特征值见表1。

表1 黄河干流泥沙分布特征值

项目	水文站或河段	1950—1960年	1960—1986年				1986—1999年	1999—2005年
			1960—1964年	1964—1973年	1973—1986年	平均		
年平均输沙量	下河沿水文站	2.35	2.03	1.43	1.09	1.36	0.89	0.42
	头道拐水文站	1.51	2.13	1.34	1.23	1.41	0.44	0.27
	龙、华、河、湫四站	17.74	16.60	17.00	9.88	13.38	8.96	4.24
	三(小)、黑、武三站	18.09	5.93	16.31	10.79	11.95	7.99	0.65
	利津水文站	13.15	11.22	10.74	7.96	9.42	4.16	1.52
利津站输沙量占进入黄河干流沙量比例		64.0	53.6	58.9	64.5	60.0	37.4	24.7
年平均淤积量	宁蒙河段	1.08	0.20	-0.13	0.18	0.08	0.96	0.52
	黄河小北干流	0.88	2.20	1.81	0.12	1.02	0.67	-0.04
	黄河下游	3.61	-5.78	4.39	0.90	1.08	2.05	-1.90
	合计	5.57	-3.38	6.07	1.20	2.18	3.68	-1.42
年均水库拦沙量		12.26	-0.06	0.94	2.34	0.97	4.58	
年均引沙量	宁蒙河段	0.50	0.36	0.29	0.32	0.31	0.50	0.40
	黄河小北干流						0.04	0.05
	黄河下游	0.89	0.25	1.10	1.54	1.19	1.32	0.36
	合计	1.39	0.61	1.39	1.86	1.50	1.86	0.81
放淤固堤等措施年均利用沙量		0.44	0.24	0.08	0.39	0.26	0.46	0.67
年均进入黄河干流沙量		20.55	20.95	18.22	12.35	15.70	11.13	6.16

注:1950—1960年按水文年统计,其他时段按水库运用年统计;黄河下游1950—1960年和宁蒙河段淤积量采用输沙率法计算,其他淤积量采用断面法计算;三(小)、黑、武三站指三门峡站(或小浪底站)、黑石关站、武陟站;龙、华、河、湫四站指龙门、华县、河津、湫头站;年平均输沙量、年平均淤积量、年均水库拦沙量、年均引沙量、放淤固堤等措施年均利用沙量,年均进入黄河干流沙量单位为亿t,利津站输沙量占进入黄河干流沙量比例单位为%。

1986—1999年,由于降水偏少和水利水保工程拦减泥沙,因此该时期入黄沙量减少,年平均入黄沙量为11.13亿t,且随着经济社会用水的不断增长,进入黄河下游的水量也大幅度减少,年平均水量为277.8亿m<sup>3</sup>。干流河道年平均淤积量为3.68亿t,占入黄沙量的33.1%。人工处理和利用泥沙年平均为3.29亿t,其中水库拦沙、引水引沙、其他措施处理和利用泥沙分别占入黄沙量的8.7%、16.7%、4.1%。利津站年平均输沙量为4.16亿t,占入黄沙量的37.4%。由于降水偏少、工农业用水增加以及龙羊峡、刘家峡水库汛期蓄水等,因此进入黄河中下游的汛期水量减少、中常洪水的量级降低和历时缩短,小流量历时增加,水流动力减弱,致使河道淤积比例增加,主槽淤积萎缩,平滩流量减小,黄河下游和宁蒙河段年平均淤积量分别为2.05亿、0.96亿t,分别占干流河道淤积总量的55.7%、26.1%,且河道淤积的泥沙大部分集中在主槽中。河道形态恶化致使宁蒙河段防凌问题突出。

1999—2005年,由于黄河中游地区降水强度偏小以及水利水保工程拦减泥沙,因此该时期年均入黄沙量仅为6.16亿t,进入黄河下游的年平均水量为209.0亿m<sup>3</sup>。该时期小浪底、万家寨水库相继投入运用,以小浪底水库为主体进行了拦沙和联合调水调沙,黄河下游河道发生全程冲刷,年均冲刷量为1.90亿t,最小平滩流量由2002年的1800m<sup>3</sup>/s提高到4000m<sup>3</sup>/s左右。人工处理和利用泥沙年平均为6.06亿t,占入黄沙量的98.4%。利津站年平均输沙量为1.52亿t,占入黄沙量的24.7%。该时期的突出问题:一是宁蒙河道淤积萎缩,防凌问题突出;二是黄河下游平滩流量小。

## 2 泥沙处理和利用总体布局

总结人民治黄60a的实践经验,处理和利用黄河泥沙应采

取“拦、调、排、放、挖”等多种措施。在“拦、调、排、放、挖”综合处理和利用泥沙的多种措施之间存在着内在联系。水土保持措施“拦”沙减少入黄泥沙,骨干工程“拦”沙减少进入下游河道的泥沙,减少河道淤积,减轻“排”、“调”等其他措施的压力。“调”是提高“排”沙能力的措施之一。进行河道、河口治理,塑造有利的河床边界和河口条件,通过水库“调”节出来的水沙,在有利的河床边界条件下可多“排”沙入海。古贤、小浪底水库“调”节水沙可分别为小北干流、温孟滩“放”淤创造有利的水沙条件。有针对性地“挖”河疏浚可有效提高河道排洪、排沙、排凌能力,是“拦、调、排、放”等措施的重要补充。进行黄河下游“二级悬河”治理、背河低洼地改造等,“挖”、“放”等可结合使用。

## 3 泥沙处理和利用措施配置方案<sup>[2-3]</sup>

### 3.1 多沙粗沙区拦沙工程

为控制进入黄河的粗泥沙,在黄河中游7.86万km<sup>2</sup>的多沙粗沙区的沟道中建设拦沙工程,将泥沙就地拦截在千沟万壑中,减少中游泥沙尤其是粗泥沙进入黄河河道。多沙粗沙区拦沙工程以支流为骨架,以小流域为单元,以中型拦沙坝为主,干、支、毛沟合理布局。在小流域,按照控制面积为3km<sup>2</sup>左右合理布设中型拦沙坝;在中型拦沙坝无法控制的干支沟,合理布设大型拦沙坝。

到2030年,在多沙粗沙区的25条支流(片)建成较为完善的沟道拦沙工程体系,共建设大中型拦沙坝7065座。库容在500万m<sup>3</sup>以上的大型拦沙坝13座,主要布设在粗泥沙集中来源区;库容为50万~500万m<sup>3</sup>的中型拦沙坝7052座,分布在多沙粗沙区25条重点支流(片),其中粗泥沙集中来源区拦沙坝1827

座。2020年以前重点安排粗泥沙集中来源区拦沙工程及原有坝系配套工程建设,建设拦沙坝4238座。其中,大型拦沙坝10座,中型拦沙坝4228座;粗泥沙集中来源区建设拦沙坝1837座,主要分布在皇甫川、孤山川、窟野河、秃尾河、无定河等10条支流(片),包括大型拦沙坝10座,中型拦沙坝1827座。

### 3.2 骨干水库拦沙及调水调沙

在水沙调控体系建设的基础上,通过骨干水库拦沙和联合调水调沙,协调水沙关系,改善河道边界条件,提高河道排沙能力,是处理和利用入黄泥沙的关键措施。在上游水库拦沙比例较大的1960—1986年,宁蒙河段冲淤基本平衡。小浪底水库拦沙和调水调沙运用使黄河下游河槽全程发生冲刷。

黄河水沙调控体系的骨干工程拦沙潜力为375.8亿 $m^3$ ,扣除已建骨干水库淤积占用的拦沙库容,碛口以下的中游水库剩余拦沙库容为298.7亿 $m^3$ 。已建的三门峡、刘家峡水库的拦沙作用已发挥完毕,小浪底水库为目前唯一有较大拦沙和调水调沙作用的水库,其地理位置重要,通过拦沙和调水调沙在一定时期内可实现黄河下游河槽不淤积抬高,截至2010年4月水库已拦沙25.6亿 $m^3$ ,占设计拦沙库容的1/3,其拦沙年限的延长对黄河下游河道防洪减淤具有重要意义。在新的骨干水库投入运用前,小浪底水库要合理拦减进入黄河下游河道的泥沙,尽量延长其拦沙年限,以小浪底水库为主体进行现状水库联合调水调沙,提高黄河下游河道的输沙能力。

考虑延长小浪底水库拦沙年限、减缓黄河下游河道淤积和维持中水河槽的要求,需要在2020年前后建成古贤、东庄水库。古贤水库位于碛口水库下游,控制了黄河主要产沙区62%的来沙及82%的对下游淤积影响最大的粗泥沙,和现状水库联合运用,可显著减少黄河下游河道泥沙淤积。东庄水库位于渭河支流泾河上,水库建成后,通过水库拦沙和调水调沙,对减少渭河下游和黄河下游河道的泥沙淤积具有重要作用。

### 3.3 河道排沙

来水来沙、河道边界和河口侵蚀基准条件是影响黄河下游河道排沙能力的主要因素。为了提高河道排沙能力,在水库调水调沙运用的基础上,进行河道整治、局部河段挖河疏浚、河口治理等。远期结合外流域调水采取增加输沙水量、有计划安排入海流路等措施,进一步提高河道排沙能力。

### 3.4 放淤

结合淤滩、淤地、放淤固堤等,利用河道两岸有条件的地形放淤处理和利用一部分泥沙,尤其是处理一部分粗颗粒泥沙,是处理和利用黄河泥沙的重要措施。根据来水来沙、地形和河道条件分析,适合开展放淤的区域主要有小北干流滩区、温孟滩区、下游滩区和内蒙古河段的十大孔兑,放淤潜力约195亿 $t$ 。2030年前安排小北干流放淤、黄河下游滩区放淤及十大孔兑放淤。

#### 3.4.1 小北干流放淤

小北干流河段左右岸共有9块较大的滩区,总面积约710 $km^2$ ,2004年以来开展了放淤试验,取得了一些研究成果。规划近期开展无坝自流放淤,远期在古贤水利枢纽进入拦沙后期时实施有坝放淤,以充分利用小北干流河道滩地堆沙容积。无坝自流放淤范围为高程335m以上、治导控制线以外的滩区,

包括左岸的清涧、连伯、永济滩和右岸的管村、芝川、新民、朝邑滩7个滩区,放淤总面积为303.1 $km^2$ ,总放淤量为10.9亿 $t$ 。有坝放淤推荐采用甘泽坡坝址放淤方案,放淤范围为太里滩以外的8个滩区,放淤面积为410.4 $km^2$ ,估算最大放淤量为136.0亿 $t$ 。

#### 3.4.2 黄河下游滩区放淤

结合黄河下游“二级悬河”治理进行下游滩区放淤,近期优先安排对堤防安全危害较大的堤河与串沟放淤,淤填土方5.2亿 $m^3$ ;远期选择面积较大、放淤条件较好的长垣滩、习城滩、陆集滩、清河滩、兰考东明滩和左营滩等滩区进行放淤,使放淤河段的“二级悬河”基本得到治理。

#### 3.4.3 内蒙古十大孔兑放淤

十大孔兑位于内蒙古河段三湖河口至头道拐河段南岸,多年平均入黄泥沙0.27亿 $t$ ,其中60%以上是粒径大于0.05mm的粗泥沙,且来沙比较集中,造成孔兑下游段和入黄干流段河床淤积抬升,防洪(凌)形势日益严峻,还经常在入黄口形成沙坝淤堵黄河。选择引沙条件和地形条件适宜的毛不拉孔兑、西柳沟、罕台川等进行放淤,放淤量约4.0亿 $t$ 。

### 3.5 挖河疏浚及其他处理利用泥沙措施

挖河疏浚及其他处理利用泥沙措施主要包括挖河固堤、低洼地改造、泥沙资源化,以及引黄供水引沙等。黄河下游挖河疏浚的重点是“二级悬河”严重、畸形河势发展影响防洪安全的河段和陶城铺以下河段。黄河下游背河低洼地、盐碱地共496处,多集中在距大堤500m范围内,总面积1.3亿 $m^2$ ,可淤填土方量约1.9亿 $m^3$ 。预估未来黄河干流河道年平均引沙量约1.0亿 $t$ ,其中下游年平均引沙量约0.6亿 $t$ 。

## 4 泥沙处理和利用效果

### 4.1 近期(2020年以前)

黄河三门峡多年平均天然输沙量16亿 $t$ ,现状水利水保措施减沙量3.5亿~4.5亿 $t$ ,到2020年水利水保措施减沙量为5.0亿~5.5亿 $t$ ,则正常降水条件下2020年龙、华、河、湫四站年输沙量为10.5亿~11.0亿 $t$ 。根据预测的1968—1979年和1987—1996年系列的水沙条件,数学模型计算和实测资料分析表明:2020年以前,利用小浪底水库剩余拦沙库容继续拦减进入黄河下游的泥沙,年平均拦沙5.80亿 $t$ ,小北干流无坝自流放淤平均每年处理泥沙0.71亿 $t$ ,小北干流河段、三门峡水库冲淤调整后,进入黄河下游河道的泥沙为4.41亿 $t$ 。在黄河下游河道,结合“二级悬河”治理实施滩区放淤,结合淤背、背河低洼地改造等泥沙利用进行挖河疏浚,以及引黄供水引沙年平均处理泥沙0.64亿 $t$ 。通过泥沙的综合处理和利用,2020年以前下游河道年平均冲刷泥沙0.41亿 $t$ ,可维持4000 $m^3/s$ 以上的中水河槽,输送至利津断面的沙量为4.18亿 $t$ 。

### 4.2 远期(2030年)

2020年以后继续开展黄土高原水土保持和多沙粗沙区拦沙工程建设,2030年年均减少入黄泥沙6.0亿~6.5亿 $t$ ,正常降水条件下,龙、华、河、湫四站多年平均年输沙量为9.5亿~10.0亿 $t$ 。通过数学模型计算和

(下转第59页)

I级建筑物。根据险工存在的主要问题,对坝顶高程低于设计高程0.5 m以上的进行加高,将砌石坝全部拆改为扣石坝或乱石坝,对其坡度不够的进行拆改,对根石坡度和深度达不到设计要求的坝垛进行加固。工程设计顶部高程低于大堤设计顶部高程1 m,根石台与3 000 m<sup>3</sup>/s水位平,坝垛平均稳定冲刷深度为12 m。

防护坝工程是在有顺堤行洪、偎堤走溜可能的堤防平段修建丁坝抗溜防冲,以保护堤防安全。目前黄河下游偎堤行洪走溜堤段较多,现有防护坝工程大部分工程标准低,很多坝垛年久失修,多年未加高,有的仅有土坝体,抗洪能力较差,加之工程数量较少,不能满足抗溜护堤要求。为防止滚河引起顺堤行洪,造成堤防决溢,需要加强防护坝工程建设。对易发生顺堤行洪的堤段修建、改建加固防护坝。

### 3.2.2 河道整治工程

在科学分析游荡型河道演变趋势的基础上,根据多年实践经验,通过多方案比选,推荐黄河下游河道采用微弯整治方案,规划整治流量为4 000 m<sup>3</sup>/s,排洪河槽宽度为2.5 km。考虑未来河势变化,高村以上河段已建工程长度不足,主流摆幅仍较大,是河道整治的重点;高村以下河段河势已得到基本控制,主要解决局部河段河势上提下挫、塌滩形成新弯、工程脱溜等问题。针对部分工程标准低、高度不足、根石坡度陡、深度浅、工程自身稳定性差等问题,也需进行改建加固。

### 3.2.3 蓄滞洪区工程

按照2009年国务院批复的《全国蓄滞洪区建设与管理规划》,东平湖蓄滞洪区是黄河流域惟一的重要滞洪区,主要防洪

工程有围坝、二级湖堤、河湖两用及山口隔堤、分退水闸、大清河南北堤及河道治理工程等。北金堤滞洪区作为黄河流域的蓄滞洪保留区,主要工程有北金堤堤防护坡加固、渠村分洪闸等涵闸(洞)拆除改建加固。考虑到该滞洪区的运用几率较低,安全建设采用临时撤离、修建撤退道路和桥梁。大功、垦利、齐河展宽区已取消蓄滞洪区功能,主要通过解决遗留问题补偿多年来展宽区内居住的群众为黄河防洪做出的巨大贡献和牺牲,帮助群众改善生产生活条件,尽快脱贫致富。

### 3.2.4 沁河下游工程

除建设河口村水库控制洪水外,还亟待加强河防工程建设。

## 4 结 语

黄河下游的防洪形势与上中游来水来沙密切相关,为使管理手段更丰富、措施更得力,需要对目前采用的径流、洪水、泥沙成果做进一步的修订。水利部高度重视此项工作,已组织开展了相关基础成果的修订。未来将针对水沙变化形势,进一步完善黄河下游的防洪对策措施。

### 参考文献:

- [1] 李文家. 黄河下游防洪工程调度运用[M]. 郑州:黄河水利出版社,1998.
- [2] 李国英. 维持黄河健康生命[M]. 郑州:黄河水利出版社,2005.

【责任编辑 张华兴】

(上接第56页)实测资料分析,利用建成的古贤、东庄等骨干水库的拦沙库容拦减泥沙,每年可处理泥沙5.96亿t,考虑龙门至潼关区间来沙和小北干流河段、三门峡水库的冲淤调整,以及小浪底水库的调控等,进入黄河下游河道的年平均输沙量为5.32亿t。在黄河下游继续进行滩区放淤,结合泥沙利用进行挖河疏浚,结合引黄供水处理泥沙,处理泥沙0.71亿t。在各种措施的综合作用下,2020—2030年下游河道年平均淤积0.46亿t,并维持4 000 m<sup>3</sup>/s左右的中水河槽,输送至利津断面的沙量为4.15亿t。

## 5 结 语

(1)黄河泥沙进入干流后有三个归宿,即一部分淤积在黄河下游、宁蒙河段、禹门口至潼关等冲积性河段的河道,一部分输送至河口填海造陆或输往深海,还有一部分由人工处理和利用。不同时期泥沙处理和利用的特点表明,在人类活动影响较小的1956—1960年,河道“多来多排多淤”,滩槽平行抬高,河床抬高速度快,严重威胁防洪安全;泥沙分布相对较合理的时期为水库拦沙和调水调沙作用较大的时期。

(2)黄河泥沙处理应采取“拦、调、排、放、挖”多种措施,综

合处理和利用。2030年前采用水土保持特别是多沙粗沙区拦沙工程拦沙、骨干水库拦沙,以及调水调沙、河道排沙、放淤、挖河疏浚及泥沙利用等多种措施相结合的综合处理和利用泥沙的配置方案。

(3)按照采用的水沙条件,采用多种措施处理和利用泥沙后,2020年前进入黄河下游河道的年平均泥沙量为4.41亿t,下游河道年平均冲刷泥沙0.41亿t,可维持4 000 m<sup>3</sup>/s以上的中水河槽。2020—2030年进入黄河下游河道的年平均输沙量为5.32亿t,下游河道年平均淤积0.46亿t,可维持4 000 m<sup>3</sup>/s左右的中水河槽。

### 参考文献:

- [1] 安催花,郭选英,吴海亮,等. 黄河泥沙处理和利用的措施及效果分析[C]//第4届黄河国际论坛论文集. 郑州:黄河水利出版社,2009:126-136.
- [2] 胡春宏,安催花,陈建国,等. 黄河泥沙优化配置[M]. 北京:科学出版社,2012.
- [3] 黄河勘测规划设计有限公司. 黄河泥沙处理和利用规划[R]. 郑州:黄河勘测规划设计有限公司,2009.

【责任编辑 吕艳梅】