

黄河下游游荡性河道两岸整治面临的问题

于守兵

(黄河水利科学研究院,河南 郑州 450003)

摘要:为全面认识黄河下游游荡性河道两岸整治的效果和可能带来的影响,对两岸整治的实施背景和预期效果进行总结,详细分析了两岸整治面临的工程和社会环境等方面的问题。认为当前黄河下游防洪形势虽得到改善,但也面临下游游荡性河道输沙能力不足、下游部分河段河势恶化等问题。指出两岸整治的主要效果在于通过丁坝等工程实施黄河下游两岸整治,塑造窄深河槽,利用窄深河槽很强的泄洪输沙能力并结合小浪底水库的调节运用使得大部分泥沙通过洪水输运,同时依靠整治工程消除横河、斜河等不利河势;两岸整治面临的主要问题有:黄河下游大洪水仍有可能出现,整治工程带来的水位壅高,整治河段挟沙能力提高造成的下泄泥沙对山东窄河道和黄河河口产生影响,以及工程实施带来的土地权属、引黄供水和环境影响等问题。

关键词:黄河下游;游荡性河道;两岸整治;防洪;河势;输沙能力

中图分类号:TV853 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2016)05-0081-06

Problems regarding two-bank regulation of the wandering lower Yellow River//YU Shoubing(*Yellow River Institute of Hydraulic Research, Zhengzhou 450003, China*)

Abstract: In order to examine the effect and possible influence of the implementation of two-bank regulation of the wandering lower Yellow River, through summary of the background of implementation and the expected effect, project and social environmental problems regarding two-bank regulation are analyzed. Although the flood control situation in the lower Yellow River Basin is improved, there exist some problems, such as the insufficient sediment transport capacity of the wandering lower river and the deteriorated river regime of some lower channels. Two-bank regulation can generate a narrow deep channel through spur dikes or other regulation projects, cause most of the sediment to be transported by floods due to the large sediment transport capacity of the narrow deep channel and the operation of the Xiaolangdi Reservoir, and eliminate adverse river regimes, such as transverse rivers and inclined rivers. It is pointed out that the main problems regarding two-bank regulation are as follows: large floods are still likely to occur in the lower Yellow River, the regulation project leads to rises in the water lever, the increasing sediment-carrying capacity causes the discharged sediment to influence the narrow channels in Shandong Province and the Yellow River Estuary, and the implementation of regulation projects leads to land ownership problems, diversion of water from the Yellow River, and environmental impacts.

Key words: lower Yellow River; wandering river; two-bank regulation; flood control; river regime; sediment transport capacity

黄河下游河道整治始于 20 世纪 60 年代。国家“八五”重点科技攻关项目“黄河治理与水资源开发利用”研究了多种整治方案,确定采用微弯型整治方案^[1-2]。经过长期不懈的整治,达到了减少河道游荡摆动范围、防止大堤冲决的预期目的^[3-4]。但是,目前黄河下游游荡性河段河槽仍较为宽浅,河道的输沙能力仍较低。小浪底水库投入运用后,长期清水、小水条件下局部河势变化剧烈,出现横河、斜河等不利情况^[5-6]。

随着黄河干支流一系列水库的修建和工农业用

水的不断增加,黄河下游的防洪形势有了一定程度的改善。在此背景下,黄河下游游荡性河道进一步整治的目标应着眼于“提高河道输沙能力、减少河道淤积、稳定河势”。为此有专家提出了黄河下游两岸整治方案^[7-9],通过丁坝等工程进行两岸整治,塑造窄深河槽,提高河道输沙能力;结合小浪底水库泥沙多年调节运用,利用洪水排沙,实现黄河下游河道不淤或少淤;通过两岸整治,形成固定河槽,稳定河势。在多沙河流上尚未有两岸整治成功实施的先例,以及黄河下游游荡性河道两岸整治还存在很多

不同认识的背景下,总结黄河下游双岸整治的实施背景和预期效果,探讨双岸整治可能带来的影响,对黄河下游游荡性河道整治十分必要。

1 双岸整治的实施背景

1.1 黄河下游防洪形势改善

长期以来黄河下游一直面临特大洪水的威胁,河道整治的主要目的在于防洪,河道设计宽度达到 2.0~2.5 km,以保证足够的排洪能力。20 世纪 80 年代以来,随着龙羊峡、刘家峡、小浪底等水库的投入运用以及上中游地区工农业用水的增长,黄河下游的来水条件发生了重大变化。

2013 年水利普查统计的黄河流域水库防洪库容为 252 亿 m^3 ^[10],其中小浪底、三门峡、刘家峡、龙羊峡 4 座水库的防洪库容达到 156.2 亿 m^3 ,相当于黄河千年一遇洪水 12 d 的总来水量。通过水库调节,花园口千年一遇洪峰流量由 42 300 m^3/s 降低为 22 500 m^3/s ,百年一遇洪峰流量由 29 200 m^3/s 降低为 15 700 m^3 ^[11]。花园口站洪峰流量 1982 年以来未超过 8 100 m^3/s ,小浪底水库运用以来未超过 5 000 m^3/s ^[12]。经过多年调水调沙,利津以上河道 2000—2012 年平均冲刷 1.26 亿 m^3 ,汛后同流量 (2 000 m^3/s) 水位降低 1.12~2.34 m,平滩流量增加至 4 100~6 900 m^3/s ^[13]。

总体而言,黄河下游出现特大洪水的几率大幅度减小,而且下游河道的平滩流量有了很大提高,整体的防洪形势有较大改善,这为黄河下游河道整治目标由防御特大洪水向提高河道输沙能力奠定了基础。

1.2 黄河下游游荡性河道挟沙能力不足

泥沙淤积是黄河下游治理的根本问题。针对 21 世纪黄河的治理思路,水利部提出“堤防不决口、河道不断流、水质不超标、河床不抬高”宏观治理目标,其中最难实现的是河床不抬高。因此,提高河道挟沙能力将是以后整治的主要目标。黄河下游游荡性河道过于宽浅,2007 年汛后夹河滩以上 200 km 长的河段,实测断面的主槽宽度在 1 500~3 000 m,最宽处达 4 000 m。

宽浅河道容易导致挟沙能力不足。20 世纪 70 年代以来,含沙量最高的 5 次洪水平均含沙量沿程变化情况表明^[12],在高村以上宽浅河段含沙量降低很快,由 220~320 kg/m^3 迅速降至 80~150 kg/m^3 ,艾山以下比降平缓的窄深河段经过 300 km 长的河道,含沙量不仅没有降低,反而略有增加。因此,提高河道挟沙能力的重要途径在于缩窄河宽。

1.3 黄河下游部分河段河势恶化

现阶段黄河下游河道整治以防洪为主要目标,

按照中水河槽进行整治。1986 年以来,黄河下游连续出现枯水,特别是小浪底水库 2000 年建成并投入运用后,在长时间低含沙小水作用下,伊洛河口—花园口—黑岗口河段河势变化剧烈,出现畸形河湾以及河势下挫等现象^[13]。

伊洛河口—花园口河段河势下挫明显,工程靠河几率分别由 1993—1999 年的 61% 降低为 2006—2010 年的 51%,原来靠河一直较好的驾部、老田庵、双井、九堡等工程目前都近乎脱河,花园口险工靠溜位置严重下挫。桃花峪—保合寨—南裹头—花园口河段主流向右摆动幅度较大、南岸坍塌比较严重。花园口—黑岗口河段工程适应性一直较差,特别是赵口—黑岗口河段,工程靠河几率仅为 55%,并在韦滩处出现较大的畸形河湾,已超出工程控制范围,有“被抄后路”的危险。

出现这些情况的原因是多方面的,除了工程不配套外,设计整治流量偏大、工程间距离过长、弯道半径过大导致对小水河势控制不力也是主要原因。

1.4 小浪底水库的调节运用

小浪底水库控制了黄河 91% 的径流量和近 100% 的泥沙^[14]。不管黄河上中游水沙如何变化,绝大部分水量和沙量都要经过小浪底水库的调节进入下游河道,这为黄河下游双岸整治工程塑造协调的水沙关系提供了条件。

黄河下游不利的水沙关系是形成游荡性河道的重要原因。一般地,河流输沙率 Q_s 与流量 Q 呈一定的指数关系,即 $Q_s \propto Q^m$ 。当指数 $m < 2.0$ 或 $m < 2.5$ 时^[15-16],小水期挟沙过多,导致河槽淤积严重,形成宽浅游荡河道。 m 值较大时,如支流北洛河和渭河的 m 值分别为 5 和 4,大水时含沙量高,淤滩刷槽形成窄深河道。黄河下游的 m 值仅为 2.0,这是形成游荡性河道的重要原因。

2 双岸整治的预期效果

2.1 窄深河槽较强的泄洪输沙能力

2.1.1 窄深河槽具有极强的泄洪能力

位于弯曲性河道的艾山水文站于 1958 年 7 月 21 日、22 日,在河宽 476 m、468 m,平均水深 8.9 m 和 10.6 m 的条件下,分别通过 12 300 m^3/s 和 12 500 m^3/s 洪水;泺口水文站于 1958 年 7 月 22 日、23 日在主槽宽 295 m,平均水深 10.6 m 和 13.1 m 的条件下,通过洪峰流量分别为 10 100 m^3/s 和 11 100 m^3/s 。

对于游荡性河道,虽然同流量洪水时水面宽远大于窄河道,但在宽达几千米的水面中主流带的宽度常常只有几百米。由花园口水文站 1958 年实测过流能力资料可知,主槽宽为 600 m 时,过流量可超

出 $10\,000\text{ m}^3/\text{s}$, 占全断面过流总量的 $70\% \sim 99\%$ [7]。

在河宽不变的情况下, 单宽流量与水深的 $5/3$ 次方成正比, 水深越大, 水位涨率越小 [7]。另外, 随着流量的增加, 河床也在不断刷深, 过流能力也迅速提高。1958 年, 冻口站流量从 $5\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 增至 $10\,000\text{ m}^3/\text{s}$, 平均河底高程冲深 3.45 m , 主槽平均水深由 6.70 m 增加到 13.1 m , 水位只升高 2.95 m 。

2.1.2 窄深河槽具有极强的输沙能力

在 20 世纪 60 年代, 麦乔威等 [17] 研究发现黄河下游具有“窄深河段多来多排, 宽浅河段多来多排多淤、主槽多来多排而滩地多淤”的特点。黄河下游的输沙率与本站的流量和上站的含沙量有关, 通常表示为

$$Q_s = KQ^\alpha S_\perp^\beta \quad (1)$$

式中: K 为用实测资料率定的系数; $S_\perp$ 为上站的含沙量; α 为与河段比降有关的指数; β 为与河槽形态有关的指数。实测资料表明游荡性河段的 β 值在 $0.6 \sim 0.8$ 之间, 窄深河段为 0.976 。也即河槽形态越窄深越有利于泥沙输送, 接近 1 时即呈“多来多排”的输沙特性。实测洪水资料分析也表明, 窄深河段的输沙效率高于宽浅河段, 在含沙量较大时也可保持临界不冲不淤状况 [18]。

“多来多排”输沙特性出现的条件为流量大于 $1\,500\text{ m}^3/\text{s}$, 此时平均糙率 n 值最小, 约为 0.01 , 床面进入高输沙动平整状态, 较粗的床沙 ($0.05 \sim 0.10\text{ mm}$) 在河床上强烈运动, 较细的悬沙 ($<0.05\text{ mm}$) 自然会顺利输送。在黄河下游床沙组成条件下, 流速 $1.8 \sim 2.0\text{ m/s}$ 可以作为不淤流速设计参考值 [19]。

2.2 两岸布置工程整治稳定河势

20 世纪 30 年代恩格思和沈怡等指出黄河下游游荡河道治理首先是固定中水河槽, 其次是刷深河槽 [20]。宽河是造成横河、斜河的主要原因。河槽宽浅一则对水流约束作用差, 造成河势变化具有随机性; 二则由于河道经常摆动, 河床中耐冲的黏土层与易冲的粉沙层分布复杂, 是产生横河、斜河的物质基础。

黄河下游游荡性河道由于河槽极为宽浅, 很多河段都曾经出现过横河和斜河等畸形河势。但是双井至来童寨约 10 km 长的河道在 1990—2012 年一直稳定为宽 600 m 、深 $4 \sim 6\text{ m}$ 的河槽。根据现场调查发现, 河道稳定的主要原因在于左岸有整治工程, 右岸物质主要由耐冲刷黏土组成, 小于 0.005 mm 的黏粒质量分数为 $25\% \sim 55\%$ [21]。这段稳定河道的形成说明抗冲刷河岸是控制河势和稳定流路的关键。

此外, 花园口—夹河滩河段动床模型试验表明 [22]: 两岸整治工程在小浪底水库泥沙多年调节运用的条件下, 拦沙期起到护滩作用, 阻止河槽展宽,

使冲刷向纵深方向发展; 相机排沙期在洪水排沙输沙为主、清水冲刷与少量小水挟沙的共同作用下, 能维持输沙的基本平衡。

3 两岸整治面临的问题

3.1 大洪水仍有可能出现

目前, 黄河流域的 3 个洪水来源区中, 河龙区间和龙三区间有三门峡、小浪底等水库控制, 小花区间 (小浪底—花园口) 还存在 2.7 万 km^2 无控制区。根据有关分析, 小花区间未控区百年一遇洪峰流量为 $12\,900\text{ m}^3/\text{s}$, 在水库联合调度运用情况下, 花园口仍能产生 $15\,700\text{ m}^3/\text{s}$ 的洪水。另外, 该区域洪水预见期只有 $8 \sim 10\text{ h}$, 对黄河下游危害很大。

因此, 虽然黄河下游的防洪形势有了很大改观, 但是下游特大洪水的形成因素并未完全消除。发生大洪水时两岸整治工程自身的稳定性值得慎重考虑。目前, 沁河口村水库工程即将投入运用。该水库是控制沁河洪水、径流的关键工程, 控制流域面积 $9\,223\text{ km}^2$, 占黄河小花间流域面积的 34% 。小花间暴雨洪水预警预报系统业已建成, 黄河小花间无控区数学模型正在建设, 这可为黄河下游防汛争取更多的时间。

3.2 水位的壅高

两岸整治工程实施后缩窄了河道的过流面积, 增加了工程阻力, 这会造成同流量条件下水位的壅高。但另一方面, 整治工程控制河道展宽, 避免滩地坍塌, 使河道主流集中增加河道冲刷, 又能在一定程度上降低洪水水位壅高幅度。

冲积性河道河床边界显著改变后引起水位变化的实例很多。20 世纪 30 年代密西西比河中游长河段整治后水面宽度由 $1\,100\text{ m}$ 缩窄至 640 m 。由于河槽下切, $8\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 流量时水位大幅下降。但 $8\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 流量以上, 由于滩区生产堤变成大堤而减小了过洪面积, 水位抬升 $0.9 \sim 1.2\text{ m}$ [23]。

与密西西比河不同的是, 黄河下游河道在大洪水期间河道刷深较为显著。花园口站 1958 年实测资料分析表明, 在整治河宽由 $1\,000\text{ m}$ 减少到 600 m 时, 流量由 $5\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 升至 $10\,000 \sim 15\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 时水位壅高值只增加 $0.10 \sim 0.20\text{ m}$ 。可见, 河槽整治宽度在 $600 \sim 1\,000\text{ m}$ 范围变化时对水位升高的影响并不突出 [7]。

3.3 下泄泥沙的影响

3.3.1 对山东窄河段的影响

黄河下游游荡性河段两岸整治实施后, 河道挟沙能力提高, 这样输往山东窄河段的泥沙将会增加。很多学者担心在这种情况下可能造成窄河段的淤

积。对于该问题可以从两方面进行分析:一方面,双岸整治工程实施后可以有效地防止游荡河段小水期河岸坍塌,减小进入窄河段的泥沙;另一方面,从前文所述可知,当流量大于 $1500\text{ m}^3/\text{s}$ 时,艾山以下河段输沙特性进入“多来多排”状态。因此,在小浪底水库调节运用使得进入下游河段的水沙条件有利的情况下,下泄泥沙对窄河段的影响不会很大。

韩巧兰等^[24]利用黄河下游水动力学泥沙数学模型,采用小浪底水库 15a 设计水沙系列,计算了花园口—夹河滩河段布置双岸丁坝群后的冲淤以及典型断面平滩流量变化。与现状工程相比,花园口—高村河河段淤积量减小,河道平滩流量增加;而高村以下窄河段仍保持较强的过洪能力。如果进一步优化小浪底调水调沙运用方式,把更多的细泥沙调到洪水期输送,山东河道可能会出现不淤或淤积量较小的有利局面。

3.3.2 对黄河河口的影响

双岸整治工程实施后,由于游荡性河段输沙能力提高,同时窄河段淤积不会明显增加,这样输送至河口的泥沙不可避免地要增加。由于黄河河口海洋动力条件较弱,虽然统计区域和时段有所差异,但海洋动力的输沙能力在 $1.66\text{ 亿} \sim 2.83\text{ 亿 t}^{[25-28]}$,而且海洋动力主要是将浅水区较细的泥沙输往深海^[29],因此,双岸整治工程实施后口门淤积将不可避免地增加,尾间不断延伸,纵剖面趋于平缓,反过来会影响黄河下游河道的挟沙能力。

这种情况下就涉及进入黄河下游泥沙的淤积部位问题。大体来讲,泥沙淤槽不如淤滩,淤窄河段不如淤宽河段。而淤积在河口的反馈影响与淤积在游荡性河段的影响孰大孰小目前尚未进行研究。不过,直观上理解通过河口延伸对下游造成反馈影响需要一定的传播时间,而淤积在游荡性河段的影响

则会很快体现出来。而且,目前关于黄河河口淤积反馈影响的范围仍存在很大分歧,有学者认为仅影响到局部区域而不是整个黄河下游。

3.4 社会环境问题

3.4.1 土地权属问题

土地权属问题由双岸整治规划流路与现有河势不一致引起。下面以双岸整治推荐试点河段的规划方案为例进行说明。由于黄河水沙条件的复杂性和多沙河流双岸整治经验的不足,经过不同河段的比选,建议在黄河下游老田庵—武庄河段进行整治试点研究,并提出相应的规划流路与工程布置方案(图 1)^[21]。花园口—双井河段和马渡—武庄河段,规划流路与现有河势差别不大。而在老田庵下延—花园口河段,规划流路在现有河势偏向右岸方向布置。该河段属于明清故道,已行河 500 余年。滩区面积广阔,耕地、村庄、人口众多。两岸行政区域划分以河为界,北岸滩地由新乡市等管辖,南岸由郑州市管辖。由于整治工程自身永久占地 451.7 hm^2 ,且在规划流路与现状流路差别较大的地方,两岸滩区土地将重新分配,部分百姓必将失去土地,这都会引起土地权属纠纷,处理这种矛盾将涉及不同地市的管理协调问题,非常棘手。若在整个游荡性河道实施双岸整治工程,将会涉及更多的土地、人口和政府部门,难度更大。

3.4.2 引黄供水问题

河段内灌区分布有老田庵、马庄、花园口、东大坝、双井和马渡共 6 个引水口(表 1)。从图 1 可以看出,整治工程实施后,马庄和保合寨工程将不再靠河,将影响马庄引水口的正常使用。这将给两岸工农业发展和群众生活造成一定影响。另外,双岸整治后河道挟沙能力提高,河床会有一定程度的冲刷下降,从而也会影响引水工程的运用保证率。

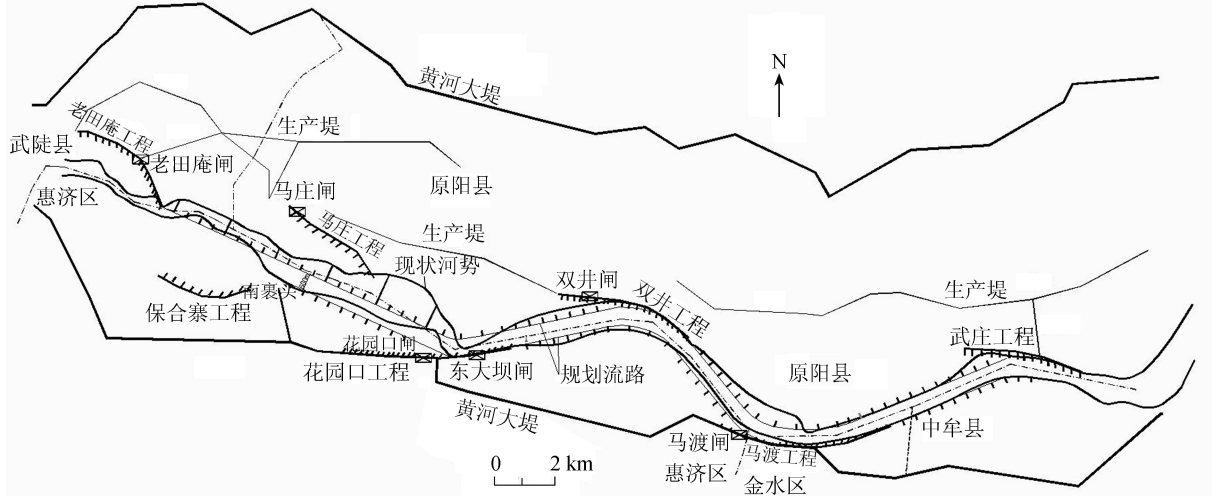


图 1 黄河下游双岸整治试点推荐河段工程布置图

表 1 黄河下游老田庵—武庄河段引水口分布情况

水闸名称	岸别	引水口位置
老田庵	北岸	17—18 号坝之间
马庄	北岸	1—2 号垛之间
花园口	南岸	花园口险工 91—92 号坝
东大坝	南岸	花园口险工 127 号坝和东大坝 下延工程 1 号坝之间
双井	北岸	9—10 号坝之间
马渡	南岸	马渡险工 41—42 号坝之间

3.4.3 环境影响问题

黄河下游京广铁路桥至东坝头河段大部分滩地为黄河湿地自然保护区。该保护区是中国中部地区湿地生物多样性分布的重要地段,是中国三大候鸟迁徙通道中线的中心区域。按照自然生态条件、生物群落特征、重点保护对象,湿地自然保护区划分为核心区、缓冲区和实验区 3 个功能区域。具体而言,老田庵—保合寨河段位于实验区,南裹头—马庄河段位于缓冲区,花园口附近河段位于实验区,双井附近位于核心区,马渡—武庄河段位于实验区。

整治工程的实施将对试点河段周围环境造成一定的影响。一方面根据对口丁坝建设布局,两岸工程范围内占地约占整个河道面积的 30%,且工程选址集中在自然保护区的核心区和实验区。这将对鸟类繁衍产生影响,并可能破坏湿地生态系统平衡,造成珍稀物种灭绝。另一方面,工程规模较大,工程建设周期较长,整治工程的施工也会对湿地生态系统产生较大干扰。

4 结 语

随着黄河下游防洪形势有较大改善,河道进一步整治应着眼于提高河道挟沙能力和稳定河势。在此背景下,提出了两岸整治方案,通过对口丁坝等工程塑造窄深河槽,提高河道输沙能力,减少下游河道淤积,同时稳定河势。

但是,两岸整治方案仍面临着一些工程和社会环境问题。黄河下游小浪底—花园口区间缺乏洪水控制工程,下游大洪水仍有可能出现,整治工程可能会造成大洪水时的水位壅高,增加防洪风险。整治河段挟沙能力提高致使下泄泥沙增加,河口淤积延伸速率增加并可能加重不利的反馈影响。整治工程对现状流路的调整造成两岸土地权属变更、部分引水口的正常运用和湿地环境保护问题。这些问题的顺利解决对两岸整治工程的实施起着至关重要的作用。

参考文献:

[1] 胡一三. 黄河下游游荡性河段整治研究综述[J]. 人民黄河,1996,18(10):5-7. (HU Yisan. Reviews on river

training of the wandering reaches of the lower Yellow River [J]. Yellow River,1996,18(10):5-7. (in Chinese))

[2] 胡一三,张原锋. 黄河河道整治方案与原则[J]. 水利学报,2006,37(2):127-134. (HU Yisan, ZHANG Yuanfeng. Principles of river training and implemented scheme for Yellow River [J]. Journal of Hydraulic Engineering,2006,37(2):127-134. (in Chinese))

[3] 姚文艺,王卫红,李勇. 基于河势稳定原理的黄河游荡性河道整治机制研究[J]. 水利学报,2007,38(10):1172-1177. (YAO Wenyi, WANG Weihong, LI Yong. Research on river regulation mechanism in the wandering reach of Yellow River based on the river regime stabilization principle [J]. Journal of Hydraulic Engineering,2007,38(10):1172-1177. (in Chinese))

[4] 张林忠,江恩惠,赵新建. 黄河下游游荡型河道整治效果评估[J]. 人民黄河,2010,32(3):21-22. (ZHANG Linzhong, JIANG Enhui, ZHAO Xinjian. Evaluation on river training effects of meandering channel of the Lower Yellow River[J]. Yellow River,2010,32(3):21-22. (in Chinese))

[5] 孙赞盈,叶春生,曲少军,等. 畸形河势对河道排洪能力的影响及对策[J]. 人民黄河,2007,29(8):13-15. (SUN Zanying, YE Chunsheng, QU Shaojun, et al. Influence of irregular channel regime to the flood discharge capability of channel and countermeasures [J]. Yellow River,2007,29(8):13-15. (in Chinese))

[6] 王卫红,王万战,孙赞盈. 长期枯水枯沙作用下黄河游荡型河段变化特点[J]. 人民黄河,2014,36(1):22-23. (WANG Weihong, WANG Wanzhan, SUN Zanying. Regime features of the wandering channel changes of the Yellow River due to low flow and sediment [J]. Yellow River,2014,36(1):22-23. (in Chinese))

[7] 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 Engineering, 2003, 34(5):98-106. (in Chinese))

[8] 齐璞,孙赞盈,齐宏海. 再论黄河下游游荡性河道双向整治方案[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))

[9] 史宗伟. 黄河下游稳定主槽之节点整治[J]. 水利学报,2007,38(增刊1),324-329. (SHI Zongwei. Study on nodal point training of stabilizing main channel in the lower reach of the Yellow River[J]. Journal of Hydraulic Engineering,2007,38(Sup1):324-329. (in Chinese))

[10] 中华人民共和国水利部,中华人民共和国国家统计局. 第一次全国水利普查公报[M]. 北京:中国水利水电出

- 版社,2013.
- [11] 李文家. 小浪底水库防洪作用分析[J]. 人民黄河,1993(3):1-15. (LI Wenjia. Analysis on flood controlling effect of the Xiaolangdi Reservoir[J]. Yellow River,1993(3):1-15. (in Chinese))
- [12] 齐璞,齐宏海,田世民. 2000 年以来黄河下游河道巨变与前景展望[J]. 水利水电科技进展,2013,33(6):23-28. (QI Pu, QI Honghai, TIAN Shimin. Great changes on the lower Yellow River channel since 2000 and future prospective[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources,2013,33(6):23-28. (in Chinese))
- [13] 黄河水利科学研究院. 2012 年黄河河情咨询报告[M]. 郑州:黄河水利出版社,2013.
- [14] 李国英. 黄河调水调沙[J]. 人民黄河,2002,24(11):1-4. (LI Guoying. The Yellow River water and sediment regulation[J]. Yellow River, 2002, 24 (11): 1-4. (in Chinese))
- [15] 卢金友,罗敏逊. 下荆江蜿蜒性河道成因分析[R]. 武汉:长江科学院,1980.
- [16] 尹学良,陈金荣,刘峡. 黄河下游河床演变三大基本问题的研究[J]. 水利学报,1998,29(11):1-5. (YIN Xueliang, CHEN Jinrong, LIU Xia. Three aspects of morphological evolution process in the lower Yellow River [J]. Journal of Hydraulic Engineering,1998,29(11):1-5. (in Chinese))
- [17] 麦乔威,赵业安,潘贤娣. 多沙河流拦沙水库下游河床演变计算方法[C]//麦乔威. 麦乔威论文集. 郑州:黄河水利出版社,1995:96-103.
- [18] 许炯心. 黄河下游洪水的输沙效率及其与水沙组合和河床形态的关系[J]. 泥沙研究,2009(4):45-50. (XU Jiongxin. Sediment transport efficiency of floods in the lower Yellow River in relation with water-sediment combination and channel geometry [J]. Journal of Sediment Research,2009(4):45-50. (in Chinese))
- [19] 高航,齐璞,彭红. 黄河下游“多来多排”的输沙机理与不淤河槽设计[J]. 人民黄河,2007,29(7):14-16. (GAO Hang, QI Pu, PENG Hong. Sediment transport mechanism of “discharge as there are” and design of un-deposited channel of the lower Yellow River[J]. Yellow River,2007,29(7):14-16. (in Chinese))
- [20] 黄河水利委员会黄河志总编辑室. 历代治黄文选(下)[M]. 郑州:河南人民出版社,1989.
- [21] 齐璞,孙赞盈,于守兵. 黄河下游游荡河段自然形成的稳定河道对黄河治理的启示[J]. 水利水电科技进展,2014,34(6):45-48. (QI Pu, SUN Zanying, YU Shoubing. Enlightenment on Yellow River governance from naturally developed stable channels in wandering reaches of lower Yellow River[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources,2014,34(6):45-48. (in Chinese))
- [22] 武彩萍,齐璞,张林忠,等. 黄河下游游荡性河道两岸整治模型试验研究[J]. 人民黄河,2005,27(1):12-13,17. (WU Caiping, QI Pu, ZHANG Linzhong, et al. Test and study on banks regulation model of wandering section in the lower Yellow River [J]. Yellow River, 2005, 27 (1):12-13,17. (in Chinese))
- [23] STEVENS M A, ŠCHUMM S A, ŠIMONS D B. Man-induced changes of Middle Mississippi River[J]. Journal of Waterways, Harbours, and Coastal Engineering, ASCE, 1975,101(2):119-133.
- [24] 韩巧兰,张双艳,高际平,等. 游荡型河段两岸整治对黄河下游河道的影响分析[J]. 人民黄河,2006,28(10):13-14. (HAN Qiaolan, ZHANG Shuangyan, GAO Jiping, et al. Analysis on influence of river training works on both sides of meandering section to the channel of the lower Yellow River[J]. Yellow River,2006,28(10):13-14. (in Chinese))
- [25] 曹文洪. 黄河河口海岸泥沙输移规律和演变机理及湿地变迁研究[D]. 北京:中国水利水电科学研究院,1999.
- [26] 张世奇. 黄河口海洋动力输沙能力分析[J]. 泥沙研究,2007(1):8-16. (ZHANG Shiqi. Analysis on sediment transporting capacity by sea power in the Yellow River Estuary[J]. Journal of Sediment Research,2007(1):8-16. (in Chinese))
- [27] 王崇浩,曹文洪,张世奇. 黄河口潮流与泥沙输移过程的数值研究[J]. 水利学报,2008,39(10):1256-1263. (WANG Chonghao, CAO Wenhong, ZHANG Shiqi. Tidal current and its sediment transport capacity in Yellow River Estuary[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2008, 39 (10):1256-1263. (in Chinese))
- [28] 于守兵,王万战,王开荣,等. 现阶段黄河入海流路输沙动态平衡研究[J]. 人民黄河,2012,34(6):10-12. (YU Shoubing, WANG Wanzhan, WANG Kairong, et al. Study on dynamic balance of sediment transported by present Yellow River flow path to the sea[J]. Yellow River,2012,34(6):10-12. (in Chinese))
- [29] 王万战,于守兵,徐丛亮,等. 利用海洋动力减缓黄河口淤积延伸速率的研究[J]. 人民黄河,2012,34(2):19-21. (WANG Wanzhan, YU Shoubing, XU Congliang, et al. Slowdown seaward progradation of the Yellow River Mouth by using current and waves[J]. Yellow River, 2012, 34 (2):19-21. (in Chinese))

(收稿日期:2015-09-30 编辑:郑孝宇)