水利水运工程学报
HYDRO-SCIENCE AND ENGINEERING

黄河下游复航的生态建设方案探讨

张金良，张远生，练继建，安催花

Discussion on ecological construction scheme for navigation recovery in the lower Yellow River

ZHANG Jinliang, ZHANG Yuansheng, LIAN Jijian, AN Cuihua

在线阅读 View online: https://doi.org/10.12170/20200117001

您可能感兴趣的其他文章
Articles you may be interested in

黄河下游生态型引黄灌区水资源承载力研究
Study on water resources carrying capacity of ecological diversion irrigation district in the lower reaches of the Yellow River
水利水运工程学报. 2020(2): 22 https://doi.org/10.12170/20200209001

金华江下游灵马枢纽建设与航道深开挖方案比选分析
Comparative analysis of Lingma hydropreject construction and deep channel excavation schemes for lower reaches of Jinhua River
水利水运工程学报. 2019(5): 108 https://doi.org/10.16198/j.cnki.1009-640X.2019.05.014

2015年长江口航道运行维护特征分析
Characteristic analysis of dredging maintenance for Yangtze River estuary deepwater navigation channel in 2015
水利水运工程学报. 2017(2): 82 https://doi.org/10.16198/j.cnki.1009-640X.2017.02.011

黄河上游连续弯曲多滩险河道整治方案数值分析
Numerical analysis of regulation schemes of continuous bending and multi-beach dangerous channels in the upper Yellow River
水利水运工程学报. 2020(2): 9 https://doi.org/10.12170/20190901001

长江下游航道承载力指标与评价方法研究
Study on the indexes and evaluation method of carrying capacity of the navigation channel in the lower Yangtze River
水利水运工程学报. 2019(1): 85 https://doi.org/10.16198/j.cnki.1009-640X.2019.01.011

感潮河段航道整治设计理论与方法探讨
Study on design theory and method of waterway regulation in tidal river
水利水运工程学报. 2019(6): 86 https://doi.org/10.16198/j.cnki.1009-640X.2019.06.010



扫码进入官网，阅读更多精彩文章



关注微信公众号，获得更多资讯信息

DOI:10.12170/20200117001
张金良, 张远生, 练继建, 等. 黄河下游复航的生态建设方案探讨 [J]. 水利水运工程学报, 2021(1): 45-52. (ZHANG Jinliang, ZHANG Yuansheng, LIAN Jijian, et al. Discussion on ecological construction scheme for navigation recovery in the lower Yellow River[J]. Hydro-Science and Engineering, 2021(1): 45-52. (in Chinese))

黄河下游复航的生态建设方案探讨

张金良[1,2], 张远生[2], 练继建[2], 安催花[1]
(1. 黄河勘测规划设计研究院有限公司, 河南 郑州 450003; 2. 天津大学, 天津 300072)

摘要: 泥沙淤积、河势游荡、涉水工程碍航等是制约黄河下游生态航道建设的关键问题。采用实测资料分析、数学模型计算、综合分析等方法, 分析得出小浪底水库运用以来, 黄河下游最小平滩流量已达到 4 300 m³/s, 最小通航流量相应水面宽度达到 120~200 m, 水深达到 1.0~2.5 m; 未来通过水沙调控体系的完善和联合运用, 可在较长时间内维持下游 4 000 m³/s 左右的中水河槽, 具备一定的复航条件。研究提出随着古贤、东庄等水库建成生效和黄河下游生态廊道建设, 通过中水河槽和通航河槽的生态疏浚、游荡性河段整治及碍航建筑物生态改造, 可打造长约 800 km、航道标准达到整体Ⅳ级局部Ⅲ级的生态航道。建议按照"统筹部署、先易后难、先通后畅、逐步提高"的原则, 加快推进黄河下游生态航道建设。

关 键 词: 黄河下游; 生态航道; 生态疏浚; 航道维持
中图分类号: U612.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-640X(2021)01-0045-08

黄河航运历史悠久, 早在春秋时期(公元前 647 年)就有"秦粟输晋, 泛舟之役"[1] 的记载。清末民初, 公路、铁路兴起, 黄河水运逐渐衰落。20 世纪 50 至 70 年代, 下游河道 (见图 1) 治理力度加大, 下游航运能力得以提高, 山东段最高年水运运量曾达到 120 万 t; 河南段年吞吐量达数十万吨; 80 年代中期以后, 下游河道淤积萎缩, 航运停滞至今, 并逐渐成为河南、山东两省交通运输体系短板。利用黄河丰富的水运资源、文化旅游资源和自然生态资源, 研究黄河下游复航的生态建设方案, 对完善河南、山东两省交通运输体系, 促进流域经济社会协调发展, 推进黄河生态旅游发展具有重要意义。

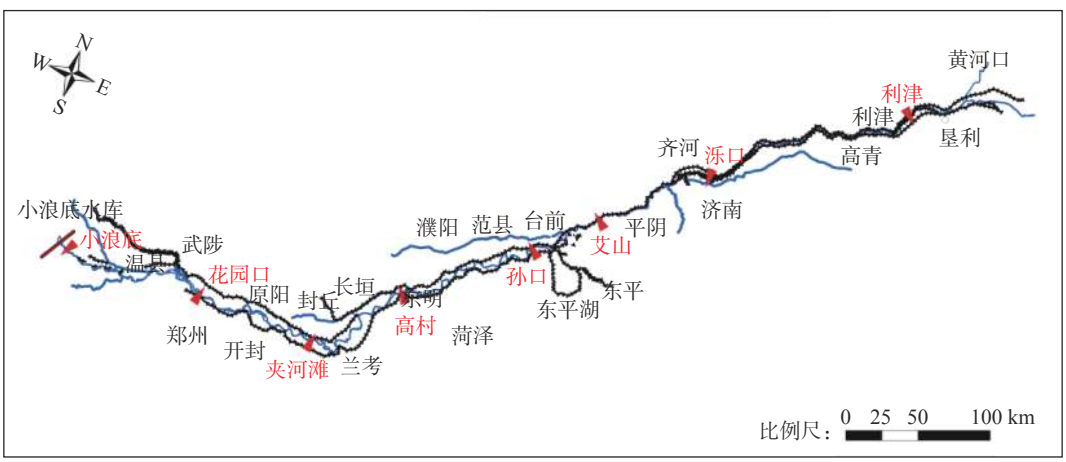


图 1 黄河下游河道示意

Fig. 1 Schematic diagram of the lower reaches of the Yellow River

收稿日期: 2020-01-17
基金项目: 国家重点研发计划资助项目 (2017YFC0404402)
作者简介: 张金良 (1963—), 男, 河南新安人, 正高级工程师, 博士, 主要从事洪水泥沙管理、水利水电工程设计等工作。E-mail: jlzhangyrec@126.com 通信作者: 张远生(E-mail: zhangyuangshengpp@foxmail.com)

关于生态航道建设，目前国内已进行了大量探索，研究集中于生态技术在航道整治中的应用[2-5]、航道生态治理效果评价[6-8]等方面，对黄河下游生态航道建设面临的关键问题及应对措施研究较少。

当前黄河水沙调控体系仍不完善，泥沙问题尚未妥善解决，下游还有 299 km 游荡型河道河势未完全控制。泥沙淤积、河势游荡、涉水工程碍航等是制约黄河下游生态航道建设的关键问题。本文重点从河道冲淤和河势演变的角度分析黄河下游通航面临的问题，围绕航道疏浚、河势控制、碍航建筑物生态改造等方面进行建设方案探讨，以期为黄河下游生态航道建设提供技术支撑。

1 通航条件分析

1.1 通航条件的演变

黄河水少沙多，水沙关系不协调，导致黄河下游不断淤积抬高。1950—1999 年黄河下游累积淤积泥沙约 92 亿 t。小浪底水库运用以后，通过水库拦沙和调水调沙，至 2019 年汛前黄河下游共冲刷泥沙 30.17 亿 t，河道淤积抬升的趋势得到遏制，下游最小平滩流量已达到 4 300 m^3/s，适宜的中水河槽规模已初步形成，河槽形态也正在向有利于通航的方向发展，以下游宽河段的下官庄断面和窄河段的阴柳科断面为例(图 2)，中水河槽下切深度分别为 2.74 和 2.36 m，小流量水深大幅增加。除此之外，小浪底水库建成后下游凌情也大幅减轻，高村以上河段常年不封冻。以上变化为黄河下游复航提供了有利的条件。

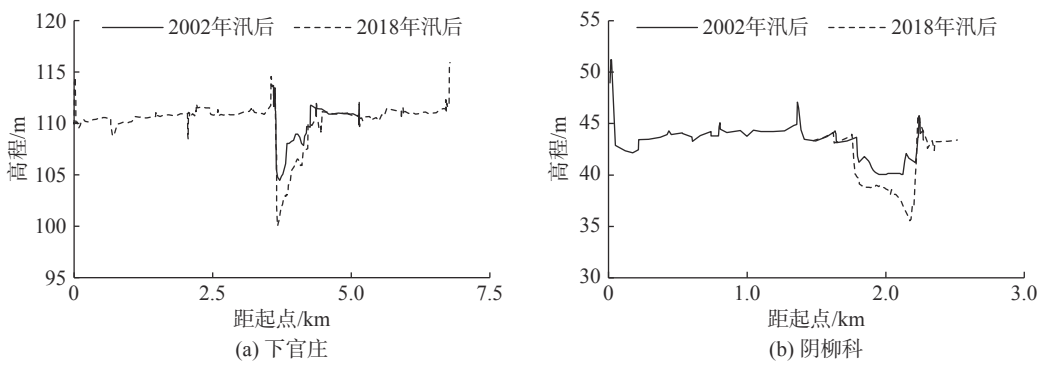


图 2 下官庄和阴柳科断面形态变化

Fig. 2 Morphological change of Xiaguanzhuang and Yinliuke sections

黄河下游自 20 世纪 50 年代以来，开始有计划地治理，特别是“十五”以来，依据国务院批复的《黄河流域防洪规划》，对黄河下游进行了多次治理，实施了大量河道整治工程建设，坚持采取“以坝护弯，以弯导溜”的微弯型整治方案，取得了明显成效。目前除高村以上 299 km 游荡性河段外，黄河下游河势基本得到控制。通过水利水电规划设计总院审查的《黄河下游防洪工程“十四五”可行性研究》将对高村以上河段进行重点治理，共安排控导工程新续建 69 处，工程长度 39.48 km。未来工程实施后，该河段中水流路将基本得到控制，形成贯通黄河下游的稳定流路，为复航和长期通航提供基本条件。

20 世纪 70 年代，黄河开始出现断流。1972—1999 年有 22 年发生断流，其中 1997 年断流达 226 d，断流河道长达 704 km，从入海口一直上延至河南开封。1999 年 3 月起，黄河水量统一调度，至 2020 年，黄河实现连续 21 年不断流，花园口站、夹河滩站、高村站常年的流量均超过 250 m^3/s，孙口站、艾山站 90% 流量保证率也达到了 250 和 220 m^3/s，各站相应流量下的水面宽为 120~200 m，水深达到了 1.0~2.5 m。这些将为下游复航提供最基本的通航保障。未来，随着黄河水沙调控体系工程建设和南水北调西线工程实施，下游通航流量将进一步提高，通航的基本条件将进一步得到保障。

1.2　河道泥沙冲淤趋势预测

黄河古贤水利枢纽工程将于 2030 年建成, 综合考虑未来不同来水来沙情景, 分析泥沙淤积对未来黄河航道建设的影响。

1.2.1　*泥沙冲淤计算方法*　采用一维非恒定流水沙数学模型对未来黄河下游河道泥沙冲淤趋势进行预测。

水流连续方程:

$$B\frac{\partial z}{\partial t}+\frac{\partial Q}{\partial x}=q_{\mathrm{l}} \tag{1}$$

水流运动方程:

$$\frac{\partial Q}{\partial t}+2\frac{Q}{A}\frac{\partial Q}{\partial x}-\frac{BQ^2}{A^2}\frac{\partial z}{\partial x}-\frac{Q^2}{A^2}\frac{\partial A}{\partial x}\Big|_z=-gA\frac{\partial z}{\partial x}-\frac{gn^2|Q|Q}{A(A/B)^{4/3}} \tag{2}$$

式中: B为河宽; z为水位; t为时间; Q为流量; x为沿流向的坐标; q_{l}为单位时间单位河长汇入(流出)的流量; A为过水断面面积; g为重力加速度; n为糙率。

将悬移质泥沙分为 M 组, 以S_k表示第 k 组泥沙的含沙量, 可得悬移质泥沙的不平衡输沙方程为:

$$\frac{\partial(AS_k)}{\partial t}+\frac{\partial(QS_k)}{\partial x}=-\alpha\omega_k B(S_k-S_{*k})+q_{\mathrm{ls}} \tag{3}$$

式中: α为恢复饱和系数; ω_k为第 k 组泥沙颗粒的沉速; S_{*k}为第 k 组泥沙挟沙力; q_{ls}为单位时间单位河长汇入(流出)的沙量。

将以推移质运动的泥沙归为一组, 采用平衡输沙法计算推移质输沙率:

$$q_{\mathrm{b}}=q_{\mathrm{b}^*} \tag{4}$$

式中: q_{b}为单宽推移质输沙率; q_{b^*}为单宽推移质输沙能力, 可由经验公式计算。

河床变形方程:

$$\gamma'\frac{\partial A}{\partial t}=\sum_{k=1}^{M}\alpha\omega_k B(S_k-S_{*k})-\frac{\partial Bq_{\mathrm{b}}}{\partial x} \tag{5}$$

式中: γ'为泥沙干重度。

采用有限体积法对前述数学模型的控制方程进行离散, 用 SIMPLE 算法处理流量与水位的耦合关系。在模型进口给定流量和含沙量过程、出口给定水位过程作为定解条件。

1.2.2　*水沙条件*　为了分析不同来沙条件下泥沙淤积对河道冲淤的影响, 本文设定未来黄河来沙 3 亿 t、6 亿 t 和 8 亿 t 共 3 种情景。考虑古贤水库和现状水库的联合调节作用, 采用一维非恒定流水沙数学模型进行古贤水库以下黄河干流河道冲淤计算。经过黄河小北干流河道、三门峡水库、小浪底水库的冲淤调整, 3 种水沙情景条件下进入黄河下游的水沙特征值见表 1。

表 1　不同水沙情景方案进入黄河下游的水沙特征值

Tab. 1　Characteristic values of runoff and sediment in different scenarios of water and sediment in the lower Yellow River

情景方案	径流量/亿m³			输沙量/亿t		
	汛期	非汛期	全年	汛期	非汛期	全年
3 亿t	104.06	137.67	241.73	0.88	0.04	0.92
6 亿t	128.99	138.15	267.14	3.04	0.10	3.14
8 亿t	129.90	137.76	267.65	3.79	0.12	3.91

1.2.3 河道冲淤 数学模型计算得出的不同水沙情景下游河道冲淤情况见表 2。自 2017 年开始计算，未来 30 年，在来沙 3 亿 t 情景下，下游河道年均冲刷 5 103 万 t，各个河段均表现为冲刷；在来沙 6 亿 t 情景下，河道年均冲刷 426 万 t，从分河段来看，除高村-艾山河段年均淤积 1 298 万 t 外，其他河段表现为冲刷；在来沙 8 亿 t 情景下，河道年均淤积 3 125 万 t，从分河段来看，淤积主要发生在高村-艾山河段，占全河段淤积量的 58.9%。

表 2 不同水沙情景下游河道冲淤

Tab. 2 Erosion and deposition in the lower reaches of different water and sediment scenarios

来沙量/亿t	时 段	河段年均冲淤量/万t				
		铁谢-花园口	花园口-高村	高村-艾山	艾山-利津	铁谢-利津
3	2017—2047年	−1 316	−2 544	−11	−1 232	−5 103
	2017—2067年	−824	−1 692	94	−812	−3 234
6	2017—2047年	−13	−688	1 298	−1 023	−426
	2017—2067年	293	−253	1 216	−449	806
8	2017—2047年	921	683	1 841	−320	3 125
	2017—2067年	1 161	1 016	1 718	203	4 099

2017—2067 年，在来沙 3 亿 t 情景下，下游河道年均冲刷 3 234 万 t，除高村-艾山河段年均微淤 94 万 t 外，其他河段表现为冲刷；在来沙 6 亿 t 情景下，河道年均淤积 806 万 t，其中高村-艾山河段淤积量最大，年均淤积达 1 216 万 t；在来沙 8 亿 t 情景下，河道年均淤积 4 099 万 t，从分河段来看，高村-艾山河段年均淤积 1 718 万 t，占全河段淤积量的 41.9%。

总体来看，目前小浪底仍处于拦沙期，对下游仍有减淤作用，古贤水库 2030 年建成生效后，与小浪底联合调控水沙，在不同来水来沙条件下，都可在较长时间内维持下游 4 000 m^3/s 左右的中水河槽规模，并可使黄河下游河道淤积维持在较低的水平，为下游航运发展提供非常有利的条件。

2 生态航道建设方案

根据以上黄河下游水沙条件与河道冲淤分析，结合黄河下游生态廊道建设总体规划，以防洪保安全为前提，统筹生态环境保护、绿色航道建设和沿黄经济发展需求，顺应下游滩区“洪水分级设防、泥沙分区落淤、滩槽水沙自由交换、三滩分区治理”的总体布局[9-10]，按照“控导主流、稳定河槽、保护岸滩”的总体思路实施航道生态整治，打造出黄河下游长达 800 余千米的生态航道。通过“相机排沙减淤、适时挖河扩槽”实现行洪输沙通道和航运通道的长期维持，最终可形成集防洪、生态、经济、文化、航运等功能于一体的黄河下游河道生态体系。

2.1 航道建设标准

黄河下游生态航道通航标准，按照已有航运规划，综合考虑与京杭运河和山东内河水系联通确定。1988 年、1998 年《黄河水系航运规划报告》提出，2030 年前后，黄河下游航道标准达到Ⅳ级；《海河流域综合规划》将京杭运河黄河北岸至天津段规划为内河Ⅲ级航道；《山东省综合交通网中长期发展规划》提出，构建以京杭运河、小清河、黄河、徒骇河航道“一纵三横”为主骨架，配合国家开展京杭运河黄河以北段复航。综合考虑黄河水系规划，和今后京杭运河，以及山东内河水系的联通，下游生态航道建设标准整体按照Ⅳ级航道，局部河段考虑与京杭运河和山东内河水系联通，按照Ⅲ级航道建设。

2.2 主要措施

2.2.1 航道疏浚 当前黄河下游 250 m^3/s 左右的通航流量相应河槽宽度已经达到 120~300 m，水深约达到 1.0~2.5 m，只需要对通航河槽稍加整治即可满足航道建设标准[11]。但黄河下游存在“槽高、滩低、堤根洼”的

断面形态阻碍了滩槽水沙交换和物质能量循环, 是黄河下游二级悬河发育、防洪形势严峻、生态系统脆弱的症结所在, 需要通过河槽疏浚消除二级悬河, 重塑“槽低、滩高”的正向断面形态。因此, 对黄河下游河道进行生态疏浚, 即是黄河生态治理所需, 又可满足通航需求。

根据实测资料分析, 黄河下游河道断面存在 V 型和 U 型断面两种形态。在相同流量条件下, V 型断面疏浚后有利于提高排洪输沙效果, U 型断面则有利于保障通航安全。综合考虑, 建议对中水河槽进行疏浚, 采用 V 型断面, 河相系数应控制为 6~10; 对枯水河槽疏浚采用 U 型断面, 疏浚宽度不小于 90 m。考虑到黄河冲淤调整幅度大, 疏浚后水深不小于 2.0 m, 典型疏浚断面概化见图 3。疏浚后 250 m^3/s 流量下水深达到 3.3 m, 满足Ⅳ级航道通航水深要求。另外, 对未来局部河段泥沙淤积形成的碍航段, 可采用“挖河扩槽”放淤方式, 疏浚航道或碍航浅滩并输送泥沙至滩区改造良田, 通过泥沙综合处理利用, 实现生态航道的长期运营。

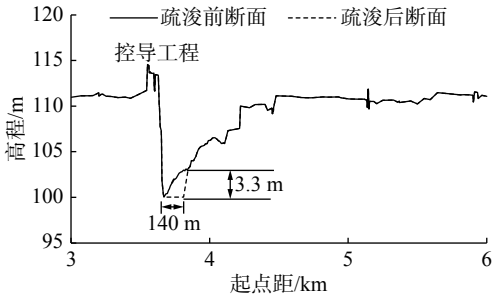


图 3　黄河下游典型疏浚断面概化

Fig. 3　Generalized diagram of a typical dredging section in the lower Yellow River

2.2.2　河势控制　黄河下游河道经过长期整治, 中水流路已基本得到控制, 但对长历时的小流量过程适应能力不足。为稳定小流量流路, 满足通航要求, 结合当前河道整治工程总体布局, 建议采用中水、小水兼治的航道治理措施, 即: 沿治导线修筑生态潜坝, 潜坝与现有控导工程联合稳定小水流路。生态潜坝不仅对水流的流量、流速、冲淤平衡、环境外观等影响最小, 而且适宜于创造动植物生存和繁衍的多样性生活空间。修筑的生态潜坝坝顶高程与现状滩面齐平, 以此增加小流量送流长度; 大流量时, 水流漫过生态潜坝, 滩槽水沙可自由交换, 开仪-裴峪河段小水流量整治示意图见图 4。

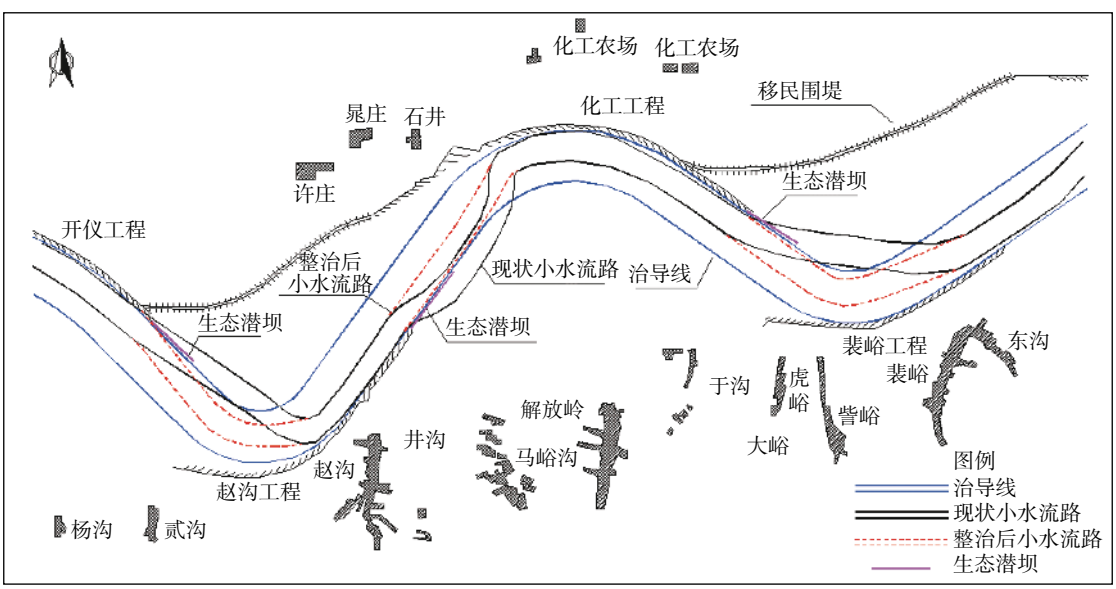


图 4　开仪-裴峪河段小水流量整治示意

Fig. 4　Regulation schematic diagram under low flow of Kaiyi-Peiyu River section

控导工程设计和实施过程中, 应根据现场条件选择最优的生态水工技术, 如采用生态砖、鱼巢砖等土体生态工程技术, 选用石笼席、天然材料垫、间插枝条的抛石、椰壳纤维捆、木框墙、三维土工网垫等生态构件作为工程修筑的主要原料。生态潜坝的工程设计, 应结合水体功能区划和周边湿地建设情况, 因地制宜

地选择潜坝类型,同时应满足通航、景观、生态、游憩等多种功能需求。

2.2.3 *碍航建筑物生态改造* 浮桥一般以船体作为桥面支撑,属航道阻断构筑物;跨径不足的桥梁,如郑州黄河公路大桥,跨径只有 30 m,年久失修,桥面通行能力差,已失去原有基本功能,均予以拆除。对不满足通航净空要求但仍发挥重要通行功能的桥梁,目前可通过技术手段对其提升改造,使其满足通航所需的桥下净空。

一些年代久远、以实用性为主的老桥,与周边环境往往不太协调,且由于河势变化,主流从通航孔跨范围摆动至引桥桥跨范围,导致现状跨径不能满足通航要求。可根据桥位河段河势情况,通过修建河道整治工程或桥梁改建,将主流导向通航孔跨,并适当增加桥面及桥下的绿化工程,打造桥梁伴生生态廊道,以降低桥梁对野生生物的胁迫效应[12]。

2.2.4 *码头建设* 下游码头建设一方面要综合考虑沿黄城市的自然资源禀赋和货运需求,另一方面要考虑环境敏感区的制约因素,码头选址应避开国家自然保护区、饮用水水源地保护区和水产种质资源保护区核心区,确需在水产种质资源保护区实验区建设码头,须进行专题论证,并采取严格的环保措施,避免对珍稀水生生物造成不利影响。综合考虑以上因素,将沿黄城市规划为一级航运城市及二级航运城市。一级航运城市设观光、货运两类码头,二类级航运城市主要考虑规划观光码头,在满足下游货运需求同时,实现全线大河水上观光。下游共规划郑州市、济南市等 12 个一级航运城市,洛阳市、聊城市等 15 个二级航运城市,下游沿黄城市航运分级见表 3。下游共计规划货运码头 12 个,旅游观光码头 27 个,黄河下游码头规划示意见图 5。

表 3 下游沿黄城市航运分级

Tab. 3 Classification of shipping along the Yellow River downstream

一级航运城市		二级航运城市	
河南省	山东省	河南省	山东省
郑州市区	东阿县	洛阳市	聊城市
巩义市	齐河县	孟津县	菏泽市区
中牟县	济南市	焦作市区	东明县
平原新区	滨州市	孟州市	平阴县
长垣县	东营市	温县	济阳县
开封市区		武陟县	邹平市
兰考县		原阳县	淄博市
		封丘县	

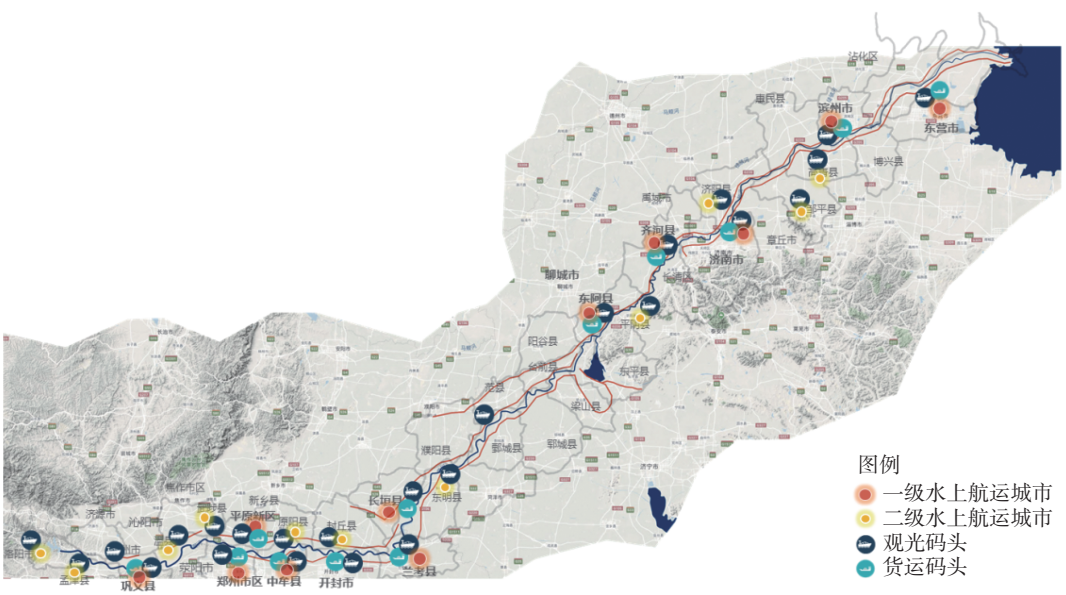


图 5 黄河下游码头规划示意

Fig. 5 Schematic diagram of wharf planning for the lower Yellow River

3　结　语

黄河下游河道持续冲刷, 河槽已明显恢复, 最小平滩流量达 4 300 m^3/s, 最小通航流量相应水面宽度达 120~200 m, 水深达 1.0~2.5 m; 未来通过水沙调控体系的完善和联合运用, 可在较长时间内维持下游 4 000 m^3/s 左右的中水河槽, 具备一定的复航条件。在黄河下游生态廊道建设总体规划基础上, 通过生态疏浚、河势控制、碍航建筑物生态改造和码头建设等一系列有效举措, 黄河下游可打造成整体Ⅳ级、局部Ⅲ级航道标准生态航道。生态航道建设后, 应综合运用古贤、东庄等水沙调控工程, 提升黄河下游河道和滩区治理效果, 利用输沙通道结合水沙调控相机"排沙减淤", 适时"挖河扩槽", 解决航道淤积问题, 实现生态航道的长期运营稳定。

建议按照"统筹部署、先易后难、先通后畅、逐步提高"的原则, 抓紧开展黄河下游生态航道建设规划, 加快推进黄河下游生态航道建设, 让黄河成为造福人民的幸福河。

参　考　文　献:

[1] 黄河水利委员会. 黄河流域综合规划(2012—2030年)[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2013. (Yellow River Conservancy Commission. Comprehensive planning of Yellow River Basin (2012—2030)[M]. Zhengzhou: Yellow River Water Conservancy Press, 2013. (in Chinese))

[2] 张桂荣, 张家胜, 王远明, 等. 河流冲刷作用下石笼网生态护坡技术研究[J]. 水利水运工程学报, 2018(6): 112-119. (ZHANG Guirong, ZHANG Jiasheng, WANG Yuanming, et al. Preliminary study on eco-slope protection with stone cage under river scouring[J]. Hydro-Science and Engineering, 2018(6): 112-119. (in Chinese))

[3] 蔡喆伟, 夏云峰, 徐华, 等. 深水航道整治中新型结构淹没丁坝水流力特性研究[J]. 水利水运工程学报, 2018(3): 16-23. (CAI Zhewei, XIA Yunfeng, XU Hua, et al. Flow force characteristics of new-type structure submerged spur dike during deep waterway regulation[J]. Hydro-Science and Engineering, 2018(3): 16-23. (in Chinese))

[4] 曹民雄, 马爱兴, 胡颖, 等. 航道整治建筑物及防护结构模拟技术研究[J]. 水利水运工程学报, 2016(5): 115-123. (CAO Minxiong, MA Aixing, HU Ying, et al. Simulation technology of waterway regulation structures and protective structures[J]. Hydro-Science and Engineering, 2016(5): 115-123. (in Chinese))

[5] 程铁军, 张俊, 李善奇, 等. 生态护岸在航道整治工程中的应用[J]. 水运工程, 2012(10): 128-131. (CHENG Tiejun, ZHANG Jun, LI Shanqi, et al. Application of ecological revetment technology in waterway regulation project[J]. Port & Waterway Engineering, 2012(10): 128-131. (in Chinese))

[6] 李天宏, 丁瑶, 倪晋仁, 等. 长江中游荆江河段生态航道评价研究[J]. 应用基础与工程科学学报, 2017, 25(2): 221-234. (LI Tianhong, DING Yao, NI Jinren, et al. Ecological waterway assessment of the Jingjiang River Reach[J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2017, 25(2): 221-234. (in Chinese))

[7] 王业祥, 徐静, 欧阳飞. 梯级水利枢纽生态调度对库区航道影响案例分析[J]. 水运工程, 2019(11): 81-85, 113. (WANG Yexiang, XU Jing, OUYANG Fei. Case study on impact of ecological dispatch of cascade hubs on waterway in reservoir area[J]. Port & Waterway Engineering, 2019(11): 81-85, 113. (in Chinese))

[8] 秦建桥, 黄晓萍, 阮文刚. 广东省西伶通道内河航道底泥重金属污染状况与生态风险评价[J]. 水土保持研究, 2019, 26(3): 331-338. (QIN Jianqiao, HUANG Xiaoping, RUAN Wengang. Heavy metal pollution and ecological risk assessment in sediments of the Xiling channel of inland waterway of Guangdong province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2019, 26(3): 331-338. (in Chinese))

[9] 张金良, 刘继祥, 万占伟, 等. 黄河下游河道形态变化及应对策略——"黄河下游滩区生态再造与治理研究"之一[J]. 人民黄河, 2018, 40(7): 1-6, 37. (ZHANG Jinliang, LIU Jixiang, WAN Zhanwei, et al. Channel morphology evolution and corresponding coping strategy in the Lower Yellow River—"Study on ecological reconstruction and management of the floodplains in the Lower Yellow River"(Ⅰ)[J]. Yellow River, 2018, 40(7): 1-6, 37. (in Chinese))

[10] 张金良. 黄河下游滩区再造与生态治理[J]. 人民黄河, 2017, 39(6): 24-27, 33. (ZHANG Jinliang. Reconstruction and

ecological management of the Lower Yellow River floodplain[J]. Yellow River, 2017, 39(6): 24-27, 33.(in Chinese))

[11] 中华人民共和国建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 内河通航标准: GB 50139—2004[S]. 北京: 中国计划出版社, 2004.(Ministry of Construction of the People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Navigation standard of inland waterway: GB 50139—2004[S]. Beijing: China Planning Press, 2004.(in Chinese))

[12] 李正玲, 陈明勇, 吴兆录. 生物保护廊道研究进展[J]. 生态学杂志, 2009, 28(3): 523-528.(LI Zhengling, CHEN Mingyong, WU Zhaolu. Research advances in biological conservation corridor[J]. Chinese Journal of Ecology, 2009, 28(3): 523-528.(in Chinese))

Discussion on ecological construction scheme for navigation recovery in the lower Yellow River

ZHANG Jinliang[1,2], ZHANG Yuansheng[2], LIAN Jijian[2], AN Cuihua[1]

(1. *Yellow River Engineering Consulting Co., Ltd., Zhengzhou* 450003, *China*; 2. *Tianjin University*, *Tianjin* 300072, *China*)

Abstract: The key issues, such as sediment accumulation, wandering river regime and the obstruction of water-related projects, are of great significance of restricting the construction of ecological waterway in the lower Yellow River. After the analysis with measured data, calculation with mathematical model and comprehensive analysis, it is believed that the minimum back-full discharge in the lower Yellow River has already reached 4,300 m^3/s, the water surface width corresponding to the minimum navigable volume has reached 120~200 m and water depth has reached 1.0~2.5 m since the operation of Xiaolangdi Reservoir. Along with the completion and combined application of water-sediment regulating system in the future, a middle-water-level river channel of about 4,000 m^3/s will be maintained in a relatively long time, with a certain condition for navigations. It is proposed that with the operation of Guxian Reservoir and Dongzhuang Reservoir and the construction of ecological corridor in the lower Yellow River, an ecological waterway in compliance with Class Ⅳ waterway standard (Class Ⅲ at some sections) and with a length of about 800 km can be formed by virtue of ecological dredging works as a middle-water-level navigable river channel, through regulation of wandering river reaches and ecological reconstruction to remove navigation-hampering structures. It is suggested to promote and accelerate the construction of the ecological waterway in the lower Yellow River under the principles of "unified arrangement, step by step, dredging before navigation and gradual improvement".

Key words: lower Yellow River; ecological waterway; ecological dredging; waterway maintenance