

DOI:10.13476/j.cnki.nsbdkq.2022.0022

许琳娟,王森森,李军华,等.河道整治工程对游荡型河道断面形态的影响[J].南水北调与水利科技(中英文),2022,20(1):201-208. XU L J, WANG S S, LI J H, et al. Influence of river regulation works on the section shape of wandering reach[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2022, 20(1):201-208. (in Chinese)

河道整治工程对游荡型河道断面形态的影响

许琳娟¹, 王森森^{1,2}, 李军华¹, 赵万杰^{1,3}, 李名扬^{1,3}

(1. 黄河水利科学研究院水利部黄河下游河道与河口治理重点实验室, 郑州 450003;
2. 郑州大学水利科学与工程学院, 郑州 450001; 3. 河海大学水利水电学院, 南京 210098)

摘要:基于 1960—2014 年黄河下游游荡型河道整治工程修建情况和实测流量及断面地形资料,分析各时期工程密度和在同流量条件下断面形态(河宽、水深、河相系数)的变化情况,结果表明:黄河下游游荡型河道整治工程的修建有效改善了河道断面形态,在河道整治工程密度较小时不能有效控制河势,整治工程对河道断面形态影响较小;随着河道整治工程密度的增大,在同流量条件下河宽减小,水深增大,河相系数减小,河道断面形态向窄深方向发展,可见河道整治工程在达到一定密度时对河道断面形态有明显的改善作用,在一定程度上限制河段的游荡特性,起到了稳定主流、控制河势的作用。

关键词:河道整治工程;工程密度;断面形态;河道宽度;水深;河相系数

中图分类号:TV147 文献标志码:A 开放科学(资源服务)标志码(OSID):



为了保障黄河下游两岸防洪及滩区人民生命财产安全,20 世纪 50 年代,在黄河下游陶城铺以下弯曲性河段开始修建控导工程;取得成功后,20 世纪 60 年代推广至高村—陶城铺之间的过渡性河段;随着河道整治原则的不断改进,20 世纪 80 年代,黄河下游高村以上的游荡型河道开始进行重点整治^[1],在“八五”科技攻关期间,治黄工作者通过对黄河下游游荡型河道河势演变规律进行分析,提出了“微弯型整治方案”^[2-3]。实施该方案后,游荡型河道主流及边界摆动范围明显减小,大部分河段河势得到初步控制,在一定程度上保护了堤防安全,缓解了下游防洪压力。尤其是 2006 年以来,河道整治建设进程加快,工程密度大幅增加,其“宽、浅、散、

乱”的河槽形态进一步改善。近些年,黄河下游的水沙条件发生变化使得下游河道的断面形态演变更为复杂。

长期以来,治黄工作者及科研人员针对黄河下游河道的断面形态变化开展了大量研究,积累了丰富的成果:厘清了影响断面形态的最主要因素^[4];探讨了在不同水沙条件下河道断面形态演变的机理^[5]以及在不同时期、在不同水沙条件下河道断面形态变化的过程^[6]及调整规律^[7-8];分析了黄河水沙变化与河道断面参数的响应关系^[9-10]以及河道边界条件对断面形态的影响^[11-12]。在河道形态参数自身演变方面,采用实测资料、理论推导及物理模型试验等手段,分析了不同时期黄河下游主槽断面形态参数的时空变化规律和调整过

收稿日期:2021-04-15 修回日期:2021-09-18 网络出版时间:2021-10-08

网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/13.1430.tv.20211005.1108.002.html

基金项目:国家自然科学基金项目(42041004;42041006);中央级公益性科研院所基本科研业务费项目(HKY-JBYW-2018-03;HKY-JBYW-2020-15)

作者简介:许琳娟(1984—),女,河南巩义人,高级工程师,博士,主要从事河流泥沙运动、河床演变及河道整治等研究。E-mail:xlj2112003@163.com

通信作者:李军华(1979—),男,河南睢县人,正高级工程师,博士,主要从事河流泥沙、河床演变及河道整治等研究。E-mail:ljhyym@126.com

程^[13-14],已初步建立了河道横断面形态调整的理论体系^[15]。

以上研究表明,不同来水来沙及河道边界条件均对河道断面形态演变起着非常重要的作用,然而目前的成果大多是基于这两方面来分析下游河道形态的演变,偶有河道整治工程对其影响的研究也是通过试验手段进行的定性描述^[16],尚缺乏整治工程密度与河道断面形态参数间相关关系的定量研究。本文统计 1960—2014 年游荡型河道整治过程及形成的工程密度,基于黄河下游游荡段长系列实测水文和断面地形资料,采用单因素分析方法研究在同流量条件下不同时期游荡型河道整治工程密度对断面形态参数(河宽、水深及河相系数)的影响。

1 研究区域与数据来源

1.1 研究区域概况

黄河下游河道不同河段河型特点见图 1。其中,高村以上为游荡型河道,长 299 km,纵比降为 0.172‰~0.265‰,河身相对顺直,滩槽高差较小、滩地广阔,河道水流散乱、断面宽浅,主河槽宽度达 3~5 km,主流迁徙不定,河道泥沙冲淤严重,河势游荡强烈,断面形态变动频繁,河相系数变动范围大。新中国成立前历史上频繁决口,黄河下游游荡型河道是黄河防汛重点河段。新中国成立后,通过河道整治工程试验、河势演变规律分析、河段治理经验总结等,对游荡型河道进行了长期的综合整治,在防洪安全、河势控制等方面取得诸多成就和成果。

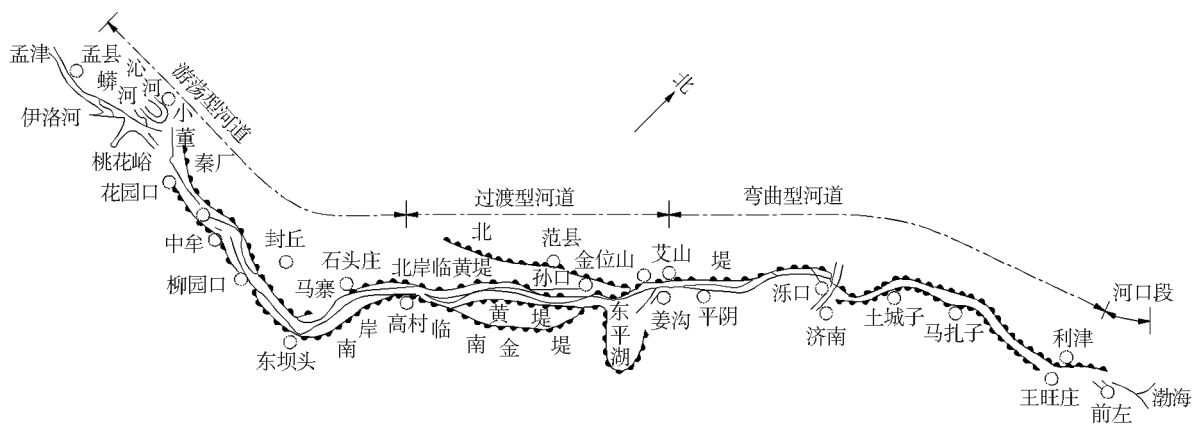


图 1 黄河下游河道

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

21 世纪初小浪底水利枢纽运用以来,黄河下游的水沙过程发生了显著变化,流量年内分配方案更改,进入下游的沙量锐减,游荡型河道整治面临新的水沙情势。近年来,随着国家投资力度增加,河道整治工程修建的步伐明显加快。2002—2006 年,江恩慧等^[17-18]开展了黄河下游游荡型河道河势演变的机理研究,取得重大突破性成果,并应用该成果进一步优化了游荡型河道整治方案。至此,东坝头至高村河段的河道整治工程进一步完善,东坝头以上河段的河道整治工程得到了快速发展。

为更好地反映游荡型河道工程建设情况,定义河道整治工程密度为游荡型河道修建的河势控制工程总长度与河道长度的比值,该指标间接反映了河道整治工程对该河段河势的约束能力。为进一步细化游荡型河道整治工程建设周期的划

分,收集了黄河下游游荡型河道逯村控导工程至三合村控导工程(白鹤—高村河段)的修建及改建的具体过程,将收集到的数据按照年份统计梳理后,绘制出 1960—2014 年该河段河道整治工程密度的变化情况,见图 2。这里的河道整治工程只包含对河势起约束作用的控导工程,不包含险工。从图 2 可以看出,该河段的工程密度整体呈逐年增大的趋势,结合图中变化曲线的拐点以及黄河下游河道整治工程建设实际情况,工程建设大致可分为 3 个时期:即 1960—1973 年、1974—2005 年、2006—2014 年。1974—2005 年为游荡型河道河势控导工程的密集建设期,工程密度从 1974 年的 16% 增加到 2005 年的 55%,增幅约达 244%。2005 年以后,由于河道所受的人工约束已较强,河道整治工作多为已有工程的改建和扩建,截至 2014 年,游荡型河道河势控导工程密度已达 70% 以上。

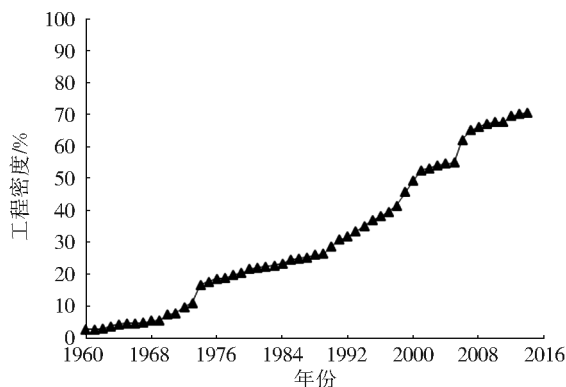


图2 1960—2014年黄河下游游荡型河道整治工程密度
Fig. 2 Density of wandering river regulation works
in the lower Yellow River from 1960 to 2014

1.2 数据来源

收集1960—2014年黄河下游游荡段铁谢至花园口和花园口至夹河滩河段的断面地形数据和河道整治工程长度数据。文中的河道整治工程长度和断面地形数据均由黄河水利委员会实测得到。通过河道整治工程长度数据可计算河道整治工程密度,基于断面地形数据可计算断面河宽 B 、水深 H 、河相系数 $\xi=\sqrt{B}/H$ 等数据,文中1960—1999系列年同流量河宽、水深、河相系数数据来源于文献3。具体做法为:找出与大断面地形测量日期对应的当日实测流量,将相同流量的各测次进行归类,对应不同时期河道整治工程密度,分别建立河道断面形态参数与工程密度的关系,分析不同时期河道整治工程对河道断面形态演变的影响。需要说明由于断面地形实测资料每年测2次(汛前、汛后各1次),而其他时间不能保证断面地形的准确性,且流量数据时间系列较长而且经过筛选分级(500、1 000、1 500 m^3/s ,……),故选用地形测量日期当天的流量基本不受偶然性的影响。

2 游荡型河道整治工程对断面形态的影响

2.1 游荡型河道典型河段整治工程密度

以水文站测量断面为划分依据,分别统计铁谢至花园口和花园口至夹河滩这两个河段的河势控导工程密度情况,进而分析不同的整治工程密度对河道断面形态的影响。铁谢至花园口河段全长约为103 km,河段内有控导工程17处,截至2014年,控导工程总长度近80 km。河段内首个控导工程——花园镇控导工程于1964年开始建设,工程长度仅0.44 km。1970年,铁谢至花园口河段工程密度仅为2.90%,开展河道整治工程建设后该河段工程密度快速增大,1974年已经提升到18.67%。1974年

开始大规模修建河道整治工程,河段内的控导工程长度由1973年的10 km增长至1974年19 km,工程密度增长了近1倍。此后,该河段内河道整治工程不断开始建设、延长、完善,工程密度逐年增大,见图3。1974—2014年,河段内控导工程的密度从18.67%提升至77.45%,游荡性河势得到了更加有效控制,主流摆动范围明显缩小,在一定程度上缓解了下游的防洪压力。

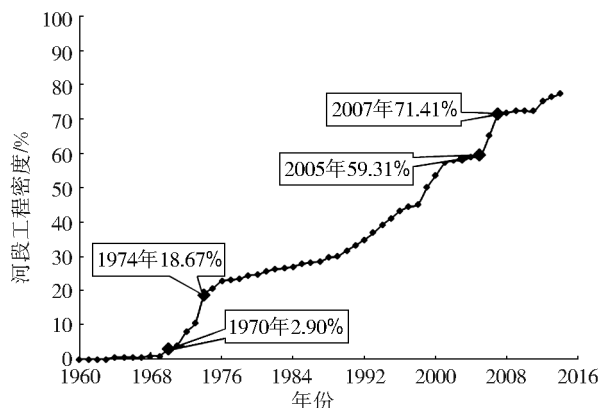


图3 1960—2014年铁谢至花园口河段工程密度
Fig. 3 Project density of the section from Tiexie to
Huayuankou from 1960 to 2014

花园口至夹河滩河段全长约为107 km,到2014年河段内有河道整治工程22处,全长约为69 km,河段内的工程密度自1960年起呈逐年增大的趋势,截至2014年达到63.87%,见图4。1989年之后,尤其是2006年以后,河段内整治工程的建设明显加快,工程密度的增长率明显高于1989年之前。

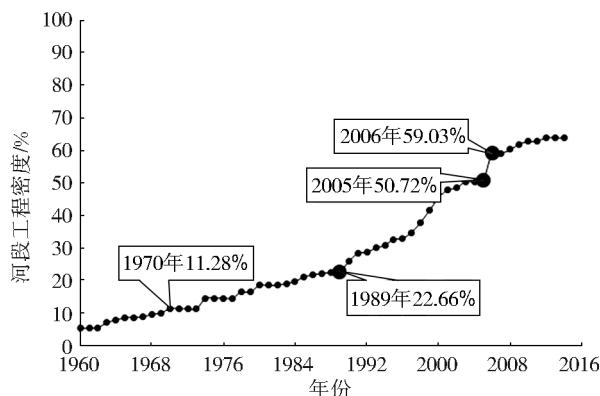


图4 1960—2014年花园口至夹河滩河段工程密度
Fig. 4 Project density of the section from
Huayuankou to Jiahetan from 1960 to 2014

2.2 游荡型河道整治工程密度对断面形态影响

2.2.1 不同时期在同流量条件下河道宽度变化
图5(a)为铁谢至花园口河段不同时期在同流量条件下河道宽度的变化情况。整体来看,河道整

治后河道宽度明显比河道整治前变窄。随着时间的推移,在同流量条件下河道宽度呈现逐年减小的趋势。流量在 $1\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$ 和 $1\ 500\ \text{m}^3/\text{s}$ 时,河道宽度分别由 1974 年前两个时期的 $1\ 500\ \text{m}$ 和 $1\ 700\ \text{m}$ 逐时期缩小至 2011—2014 年的 $708\ \text{m}$ 和 $747\ \text{m}$,河道宽度分别缩小 52.8% 和 56.1% 。具体来看,在同流量条件下,1981 年(工程密度达 25.62%)之后的河道宽度相比之前一个时期明显缩窄,此后随着河

道整治工程密度逐年增大,断面河道宽度基本呈逐年减小的趋势,说明河道整治工程在一定程度上起到了控制河道宽度的效果。2000 年至今,随着小浪底等水利枢纽工程的投入使用,进入下游的水沙条件发生了一定变化,小水流量过程居多,河道整治工程密度逐年增长,断面河道宽度也随之逐渐减小并得到了较好控制,河道宽度明显缩窄并维持在 $500\ \text{m}$ 至 $1\ 000\ \text{m}$ 。

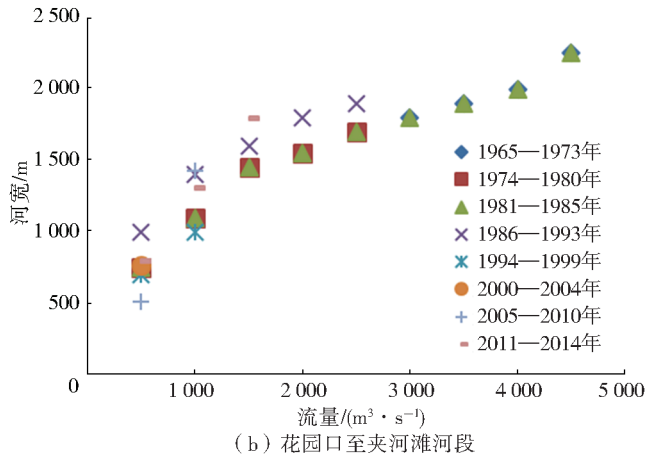
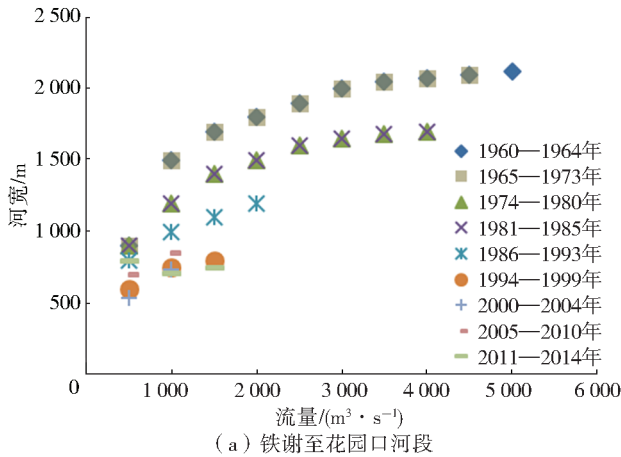


图 5 不同河段在同流量条件下河道宽度变化

Fig. 5 Variation of river width with the same discharge in different river sections

图 5(b)为花园口至夹河滩河段不同时期在同流量条件下河道宽度的变化情况。由于该河段前期河道整治程度较低,故前期在同流量条件下整治工程对河道宽度影响不明显;1992 年 8 月的高含沙洪水刷深主槽、淤高低滩,在一定程度上归顺了主槽,使得截至 1993 年(工程密度达 29.94%),在同流量下河道宽度有所增加,该时间段内来水来沙对河道宽度影响较大。该时期后,随着整治工程密度的增加,在同流量条件下河道宽度有所减小,一直到 2010 年,整治工程密度增加到约 62.76% ,其后工程密度基本保持稳定,故从 1994 到 2010 年,随着时间的推移,在同流量条件下河道宽度持续减小。2011—2014 年,随着小浪底水库的运用,下游河道整体保持冲刷状态,河道平滩流量增大,过水能力增强,同时,该时期整治工程密度从 2011 年的 62.76% 增加到 2014 年的 63.87% ,新建、增建的工程很少,故该段时期内水沙条件对河道宽度影响较大。由此可见,在花园口至夹河滩河段,除特殊年份外,其余年份随着工程密度的增加,在同流量条件下河道宽度也呈现减小的趋势。

由以上两河段不同时期的同流量与河道宽度关系以及河段内工程密度随时间的变化过程可知:河道整治工程对控制断面河道宽度的作用是显著的,工程建设完善、工程密度较大的河段,断面河道宽度

明显缩窄;而工程密度较小时,河段的游荡性尚未得到控制,在同流量下河道宽度变幅较大。

2.2.2 不同时期在同流量条件下水深变化

图 6(a)为铁谢至花园口断面不同时期在同流量条件下水深的变化情况。1980 年之前,花园口以上河段河道整治工程特别少,工程密度仅为 24.64% ,该时期工程对水深影响很小。1981—1999 年,工程密度增加到 50.03% ,该时期内在同流量条件下水深整体呈现出逐渐增大的趋势;而 2000—2004 年在同流量条件下水深下降,是因为该时期工程密度增加较慢,对水深影响较小,同时遇上前几年持续的枯水少沙年,主槽淤积,水深降低,该时期水沙条件对水深影响较大。2004 年以后,尤其是 2006 年以后,国家加大了对河道整治工程的投资力度,工程密度增加较快,一直到 2014 年,均呈现出在同流量条件下水深逐渐增大的趋势。

图 6(b)为花园口至夹河滩河段不同时期在同流量条件下水深的变化情况。与铁谢至花园口河段水深变化相似,截至 1985 年,该河段河道整治工程密度仅有 21.09% ,故该时期及以前时期整治工程对水深影响很小。1986 年之后,随着河道整治工程密度的增加,在同流量条件下水深呈现出逐渐增大的趋势。当流量为 $1\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$ 时,在同流量条件下水深从 1981—1985 年的 $1.05\ \text{m}$ 增加到

2011—2014年的2.8 m,增幅为166.7%;当流量为1 500 m³/s时,在同流量下水深从1981—1985年的

1.2 m增加到2011—2014年的2.9 m,增幅为141.7%。

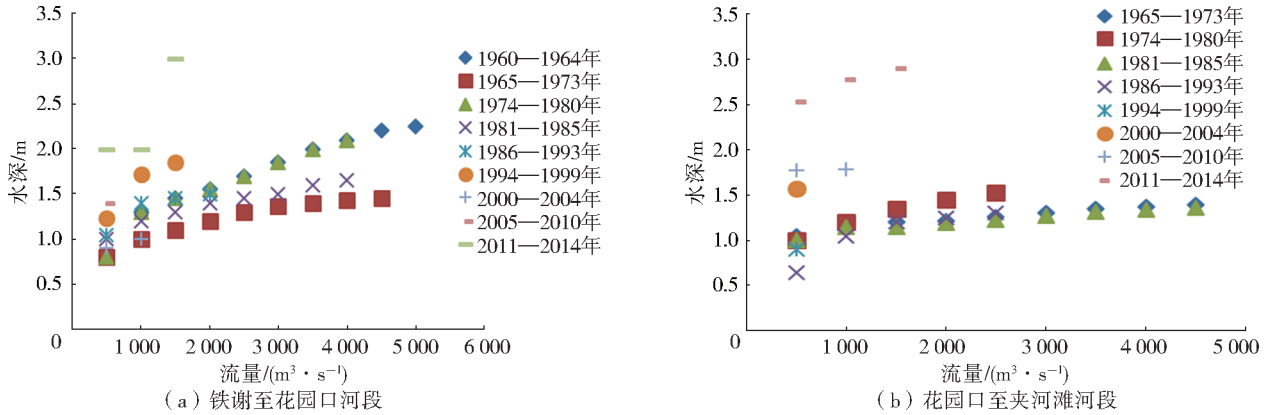


图6 不同河段在同流量条件下水深变化

Fig. 6 Variation of water depth with the same discharge in different river sections

以上分析表明,河道整治工程对断面水深也有一定影响。有些学者提出,由于整治工程主要通过改变河道的边界条件来约束主流,起到控导主流、稳定河势的作用^[17],因而工程对断面河道宽度的影响是直接的,但对水深的影响是间接的;同时,断面水深变化是河道冲淤的直接结果^[19-22],河道整治工程对水深的影响存在一定的滞后性。因此,不管从哪个层面来讲,在相同水沙条件下,河道整治工程的修建约束了天然水流在横向上的展宽,水流开始向下淘刷河床,河道逐渐向纵深方向发展,使得断面水深逐渐增大。

2.2.3 不同时期在同流量条件下河相系数变化

河相系数能反映出河道断面形态的基本特征,河相系数越大表示河道断面越趋于宽浅,而对于窄深型的河槽其河相系数往往较小,通常用 $\xi = \sqrt{B}/H$

来计算河道断面的河相系数,以此表征河道的断面形态,见图7。由图7可见,断面的河相系数整体随着流量的增大呈现显著减小的趋势,说明较大的流量对于塑造较好的河道断面形态是非常有利的。同时,河相系数在2000年之前变化大,变动频繁。对于花园口及以上河段,在2000年时工程密度达到53.63%,此后时期该河段在同流量条件下河相系数整体呈现出逐渐减小的趋势(图7(a));对于花园口至夹河滩河段,在2005年时工程密度达到50.72%,此后时期该河段在同流量条件下河相系数也整体呈现出逐渐减小的趋势(图7(b))。由此说明,河道整治工程密度达到50%以上将会明显影响断面的河相系数,且工程密度越大,在同流量条件下河相系数越小。

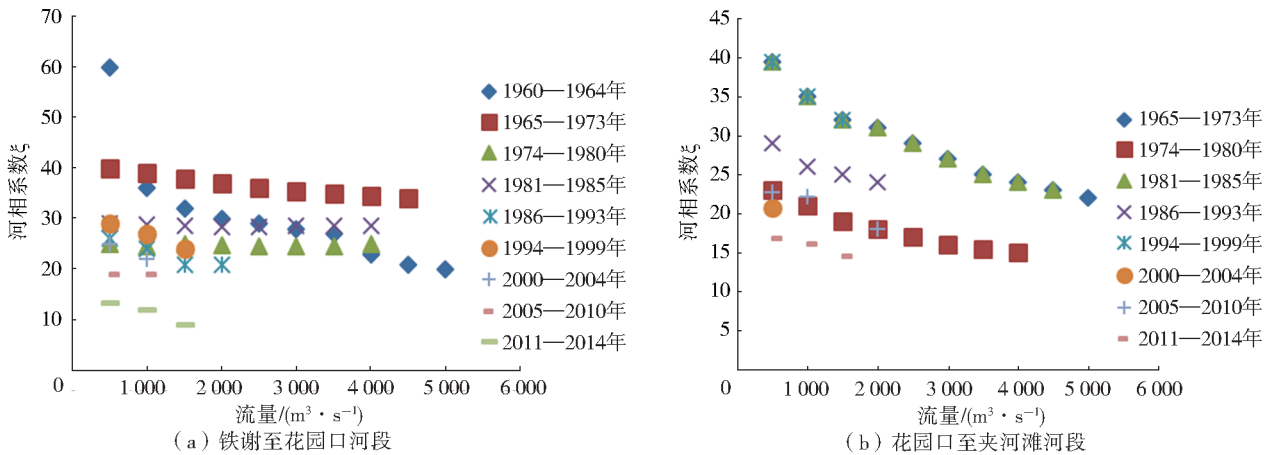


图7 不同河段在同流量条件下河相系数变化

Fig. 7 Variation of river facies coefficient with the same discharge in different river sections

由于黄河下游游荡型河道宽浅,水流迁徙不定,河道断面变化空间大,河相系数变动较大。在进行河道整治前,河相系数变幅较大,河相系数随流量增

大而剧烈减小。开展河道整治工程之后河相系数随流量增大而减小,变化比较稳定。在同流量条件下,当工程密度达到50%以上时,河相系数基本随工程

密度的增大而减小,反映出河道整治工程对河道断面形态的调整有重要影响;当工程密度小于 50% 时,河相系数受工程影响较小,受水沙条件影响较大。在整治工程修建较完善的近些年,在同流量条件下黄河下游游荡段河相系数明显减小,说明在河道整治工程的影响下,断面趋于窄深,整治工程在一定程度上对河势具有较好的控制作用。

3 结 论

河道整治工程通过改变河道边界条件对河势起到控制作用,影响水流对河道断面形态的塑造。利用 1960—2014 年黄河下游游荡型河道铁谢至花园口、花园口至夹河滩河段大断面流量和地形资料,结合河道整治工程密度,比较各河段河道整治过程中在不同时期、不同工程密度下的断面形态参数的变化,分析了河道整治工程对黄河下游游荡型河道断面形态的影响,主要结论如下:河道整治工程在达到一定密度时对河道断面形态有明显的改善作用,在一定程度上限制了河段的游荡特性。随着河道整治工程密度的增大,在同流量条件下河道宽度逐渐减小,水深有所增大,河相系数逐渐减小,断面明显趋于窄深,该断面形态有利于河势稳定,提高主槽输沙能力。河道整治工程在密度较小时,不能有效控制河势,河段的游荡特性突出,在同流量条件下的河道宽度、水深、河相系数都变动频繁,变幅较大。在特殊年份,如丰水、丰沙年份,来水、来沙条件对河道断面形态影响较大,当河道整治工程密度达到一定条件(如 50% 以上)且遇特殊年份时,应对该情况下影响河道断面形态的主要因素做进一步深入分析。

参考文献(References):

[1] 李军华,许琳娟,江恩慧.黄河下游游荡型河道提升治理目标与对策[J].人民黄河,2020,42(9):81-85,116. (LI J H, XU L J, JIANG E H. Goals and countermeasures for upgrading wandering channels in the lower Yellow River [J]. Yellow River, 2020, 42(9): 81-85, 116. (in Chinese)) DOI: 10. 3969/j. issn. 1000-1379. 2020. 09. 015.

[2] 胡一三.黄河河势演变[J].水利学报,2003(4):46-50,57. (HU Y S. Evolution of the Yellow River regime [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2003(4): 46-50, 57. (in Chinese)) DOI: 10. 13243/j. cnki. slxb. . 2003. 04. 009.

[3] 胡一三,江恩慧,曹常胜,等.黄河河道整治[M].北

京:科学出版社,2020:721—728. (HU Y S, JIANG E H, CAO C S, et al. Yellow River Channel Regulation [M]. Beijing: Science Press, 2020: 721—728.)

- [4] 刘慰,王随继,王彦君.黄河下游河道断面形态参数变化及其水沙过程响应[J].地理科学,2020,40(9):1563-1572. (LIU W, WANG S J, WANG Y J. Changes in channel profile parameters of the lower Yellow River and their response to the water-sediment process [J]. Scientia Geographica Sinica, 2020, 40(9): 1563-1572. (in Chinese)) DOI: 10. 13249/j. cnki. sgs. 2020. 09. 018.
- [5] 戴清.河道演变机理及其成因分析系统探讨[J].泥沙研究,2007(5):54-59. (DAI Q. Discussion on the mechanism of river channel evolution and its cause analysis system [J]. Sediment Research, 2007(5): 54-59. (in Chinese)) DOI: 10. 16239/j. cnki. 0468-155x. 2007. 05. 010.
- [6] 李洁,夏军强,张诗媛.高含沙洪水后黄河下游游荡段宽深比变化规律[J].人民黄河,2016,38(11):26-30. (LI J, XIA J Q, ZHANG S Y. Changes in the ratio of width to depth in the wandering section of the lower Yellow River after floods with high sediment content [J]. Yellow River, 2016, 38(11): 26-30. (in Chinese)) DOI: 10. 3969/j. issn. 1000-1379. 2016. 11. 007.
- [7] 夏军强,李洁,张诗媛.小浪底水库运用后黄河下游河床调整规律[J].人民黄河,2016,38(10):49-55. (XIA J Q, LI J, ZHANG S Y. Riverbed adjustment law of the lower Yellow River after the operation of Xiaolangdi reservoir [J]. Yellow River, 2016, 38(10): 49-55. (in Chinese)) DOI: 10. 3969/j. issn. 1000-1379. 2016. 10. 010.
- [8] 余阳,夏军强,李洁,等.小浪底水库对下游游荡河段河床形态与过流能力的影响[J].泥沙研究,2020,45(1):7-15. (YU Y, XIA J Q, LI J, et al. The influence of Xiaolangdi reservoir on the riverbed shape and flow capacity of the wandering downstream reach [J]. Sediment Research, 2020, 45(1): 7-15. (in Chinese)) DOI: 10. 16239/j. cnki. 0468-155x. 2020. 01. 002.
- [9] 陈琳.小浪底水库运用后黄河下游水沙变化及河道冲淤演变[D].北京:中国水利水电科学研究院,2017. (CHEN L. Water and sediment changes and river erosion and silting evolution of the lower Yellow River after the operation of Xiaolangdi reservoir [D]. Beijing: China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2017. (in Chinese)) DOI: CNKI: CDMD; 2. 1017. 092596.
- [10] 胡春宏,陈建国,刘大滨,等.水沙变异条件下黄河下游河道横断面形态特征研究[J].水利学报,2006,37(11):1283-1289. (HU C H, CHEN J G, LIU D B,

- et al. Study on the morphological characteristics of the cross section of the lower Yellow River under the condition of water and sediment variation[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2006, 37(11): 1283-1289. (in Chinese) DOI:10.3321/j.issn:0559-9350.2006.11.001.
- [11] 姚文艺,杨邦柱. 黄河下游游荡河段河床演变对河道整治的响应[J]. 水科学进展, 2004, 15(3): 324-329. (YAO W Y, YANG B Z. The response of river bed evolution to river regulation in the wandering reach of the lower Yellow River[J]. Advances in Water Science, 2004, 15(3): 324-329. (in Chinese) DOI: 10.3321/j.issn:1001-6791.2004.03.011.
- [12] 刘燕. 河道整治工程对黄河下游游荡性河段影响的试验研究[C]//第十八届全国水动力学研讨会文集, 海洋出版社, 2004: 709-715. (LIU Y. Experimental study on the influence of river improvement projects on the wandering reaches of the lower Yellow River[C]// Proceedings of the 18th National Hydrodynamics Symposium, China Ocean Press, 2004: 709-715. (in Chinese))
- [13] 王彦君,吴保生,申冠卿. 1986—2015 年小浪底水库运行前后黄河下游主槽调整规律[J]. 地理学报, 2019, 74(11): 2411-2427. (WANG Y J, WU B S, SHEN G Q. Adjustment of the main channel of the lower Yellow River before and after the operation of Xiaolangdi reservoir from 1986 to 2015[J]. Acta Geographica Sinica, 2019, 74(11): 2411-2427. (in Chinese) DOI:10.11821/dlxb201911011.
- [14] 刘欣,刘远征. 小浪底水库调水调沙以来黄河下游游荡河段河床演变研究[J]. 泥沙研究, 2019, 44(5): 56-60. (LIU X, LIU Y Z. Research on riverbed evolution of the wandering reach of the lower Yellow River since Xiaolangdi reservoir diversion and sedimentation [J]. Sediment Research, 2019, 44(5): 56-60. (in Chinese) DOI:10.16239/j.cnki.0468-155x.2019.05.009.
- [15] 张敏. 黄河下游河道横断面形态演变特点及调整规律探讨[D]. 太原: 太原理工大学, 2006. (ZHANG M. Discussion on the evolution characteristics and adjustment laws of the cross-section morphology of the lower reaches of the Yellow River [D]. Taiyuan: Taiyuan University of Technology, 2006. (in Chinese) DOI:10.7666/d.y979329.
- [16] 张天宇. 黄河游荡型河段典型河道整治工程效果分析[D]. 北京: 清华大学, 2016. (ZHANG T Y. Analysis of the effects of typical river regulation projects in the wandering reach of the Yellow River [D]. Beijing: Tsinghua University, 2016. (in Chinese) DOI: CNKI:CDMD;2.1017.817719.
- [17] 江恩慧. 黄河泥沙研究重大科技进展及趋势[J]. 水利与建筑工程学报, 2020, 18(1): 1-9. (JIANG E H. Major scientific and technological progress and trends in sediment research of the Yellow River [J]. Journal of Water Resources and Architectural Engineering, 2020, 18(1): 1-9. (in Chinese) DOI: CNKI: SUN; FSJS.0.2020-01-001.
- [18] 江恩慧,曹永涛,张林忠,等. 黄河下游游荡型河段河势演变规律及机理研究[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006: 1-6. (JIANG E H, CAO Y T, ZHANG L Z, et al. Study on the law and mechanism of river regime evolution in the wandering section of the lower Yellow River [M]. Beijing: China Water Resources and Hydropower Press, 2006: 1-6. (in Chinese))
- [19] 苏腾,王随继,梅艳国. 水库联合运行对库下汛期河道过水断面形态参数变化率的影响: 以黄河内蒙古河段为例[J]. 地理学报, 2015, 70(3): 488-500. (SU T, WANG S J, MEI Y G. The effect of combined operation of reservoirs on the change rate of morphological parameters of river crossing sections in flood season under the reservoir: A case study of the Inner Mongolia reach of the Yellow River [J]. Acta Geographica Sinica, 2015, 70(3): 488-500. (in Chinese) DOI: 10.11821/dlxb201503011
- [20] 胡春宏,张治昊. 黄河下游复式河道滩槽分流特征研究 [J]. 水利学报, 2013, 44(1): 1-9. (HU C H, ZHANG Z H. Study on the diversion characteristics of the compound channel beach and trough in the lower Yellow River [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2013, 44(1): 1-9. (in Chinese) DOI: 10.3969/j.issn.0559-9350.2013.01.003.
- [21] 吴保生,李凌云. 黄河下游河道横断面的若干特点 [J]. 人民黄河, 2008, 270(2): 15-16, 79. (WU B S, LI L Y. Some characteristics of the cross section of the lower Yellow River [J]. Yellow River, 2008, 270(2): 15-16, 79. (in Chinese) DOI: 10.3969/j.issn.1000-1379.2008.02.007.
- [22] 李晓娟,夏军强,张晓雷,等. 近期黄河下游游荡段平滩河槽形态变化计算[J]. 水力发电学报, 2014, 33(5): 86-92. (LI X J, XIA J Q, ZHANG X L, et al. Calculation of morphological changes of flat-tan channel in the wandering section of the lower Yellow River in recent years [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2014, 33(5): 86-92. (in Chinese) DOI: CNKI: SUN; SFXB.0.2014-05-014.

Influence of river regulation works on the section shape of wandering reach

XU Linjuan¹, WANG Sensen^{1,2}, LI Junhua¹, ZHAO Wanjie^{1,3}, LI Mingyang^{1,3}

(1. Key Laboratory of Lower Yellow River Channel and Estuary Regulation, MWR, Yellow River

Institute of Hydraulic Research, YRCC, Zhengzhou 450003, China;

2. College of Water Conservancy Science and Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China;

3. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: The river channel of wandering type is wide and shallow; the water flow is scattered, the mainstream migrates uncertainly, the river regime changes violently, which is extremely unfavorable to flood control. In order to ensure the flood control safety on both banks of the lower Yellow River, the control and guide project was built in the curved section of the lower Yellow River as early as in 1950s, and gradually extended to the transition section, and finally successfully renovated in the wandering section. In recent years, with the continuous construction of the wandering channel regulation project in the lower Yellow River and the change of water and sand situation, the cross-section shape of the river has changed greatly. It is momentous to study the influence of river regulation projects on the shape of wandering channels, especially the relationship between engineering density and shape parameters of the river sections.

Based on the construction process, measured discharge, and section topographic data of the river regulation project of the wandering river in the lower Yellow River from 1960 to 2014, the length and density of the river regulation project in different periods are calculated, and the relationship between the engineering density and the morphological indexes (width, depth and river phase coefficient) of each section in each period is established under the condition of the same discharge. The influence of river regulation projects in different periods on the evolution of river section morphology is analyzed.

The results show that the density of the regulation project of the wandering reach of the lower Yellow River increases year by year, and now the density of the regulation project has reached over 70%. When the density of the regulation works is small, the wandering characteristics of the river reach are not completely controlled, and the width of the river varies greatly under the same discharge; after the river remediation, especially in the river section with complete engineering construction and high engineering density, the width of the river at the same flow is significantly narrowed. The regulation works have a certain impact on the section water depth. Under the same water and sediment conditions, the construction of the regulation project constrains the lateral expansion of the flow, and the flow begins to wash down the riverbed, which makes the water depth of the section increase gradually. Before river regulation, the river phase coefficient of the wandering river course and its variation range are all large. After river regulation, the river phase coefficient of cross-section decreases and tends to be stable as the density of regulation project increases under the condition of same discharge, which shows that the perfect river regulation project makes the cross-section form develop to narrow and deep direction, and the river regime is more stable.

It is shown that the river regulation project can obviously improve the river section when the river regulation project reaches a certain density, and limit the wandering characteristics of the river section. With the increase of the density of the river regulation project, the width of the river decreases, the depth of water increases, and the coefficient of the river phase decreases. When the density of the river regulation project is low, the river regime can not be controlled effectively, and the wandering characteristics of the river section are prominent, the river width, water depth and river facies coefficient under the same flow change frequently and greatly.

Key words: river regulation work; density of engineering; section shape; river width; water depth; river phase coefficient