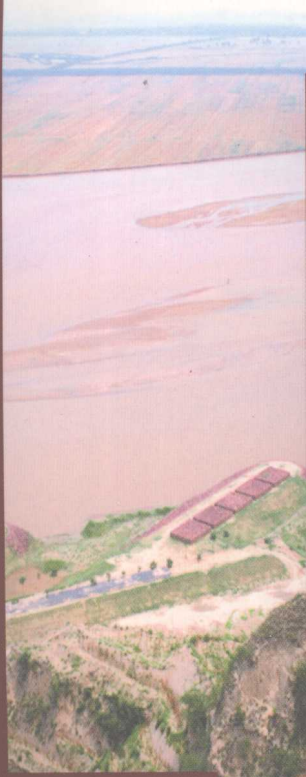




黄河

下游游荡性河段河势 演变规律及机理研究



江恩惠 曹永涛 张林忠 赵寿刚 张清 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

黄河

下游游荡性河段河势 演变规律及机理研究

江恩惠 曹永涛 张林忠 赵寿刚 张 清 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是有关黄河下游游荡性河道最新研究成果。内容包括：黄河下游游荡性河段河道概况；典型口河段河床物质土力学特性与河岸稳定性；游荡性河道整治模范河段微弯型整治效果分析；游荡性河段河势演变规律与机理；游荡性河道河势演变关联性及河湾流路方程。

本书可供水利研究人员使用，也可供相关水利人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

黄河下游游荡性河段河势演变规律及机理研究 / 江恩惠等著. —北京：中国水利水电出版社，2005

ISBN 7-5084-3369-6

I. 黄... II. 江... III. 黄河—下游河段：游荡性河段—河道演变—研究 IV. TV882.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 130687 号

书 名	黄河下游游荡性河段河势演变规律及机理研究
作 者	江恩惠 曹永涛 张林忠 赵寿刚 张清 著
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266(总机)、68331835(营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 13.75 印张 326 千字
版 次	2006 年 12 月第 1 版 2006 年 12 月第 1 次印刷
印 数	0001—2000 册
定 价	35.00 元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

序

黄河流域横贯东西、幅员辽阔，是中华民族的摇篮，在我国历史发展中占有十分重要的地位。同时，黄河也是一条桀骜不驯的忧患之河，在过去的 2000 多年里，下游河道“三年两决口，百年一改道”，曾经给两岸人民带来了深重的灾难。新中国成立以后，在黄河下游开展了大规模的堤防建设和河道整治工作，经过 60 年的不懈努力，基本控制了高村以下过渡性及弯曲性河道的河势摆动，大大减小了白鹤至高村游荡性河段的河势游荡范围，黄河的防洪能力显著提高，创造了 60 年岁岁安澜的奇迹。

自 20 世纪 80 年代末期开始，进入黄河下游的水沙条件发生了较大变化，河道的平滩流量在长期小水作用下逐年减小，河道整治工程对长期的小水河势表现出了一定的不适应性，部分工程对河势的控制作用减弱，“横、斜河”及“畸形河湾”时有发生，给防洪安全带来了很大威胁。

本书作者长期从事黄河下游河床演变与河道整治的研究工作，针对目前水沙条件下黄河下游河道整治工程的现状，近几年系统开展了游荡型河床演变机理的研究工作。由于天然河流河床演变情况极度复杂，要深刻剖析其机理，在目前泥沙基本理论研究现状下，难度之大是众所周知的。作者系统总结了游荡性河段河势演变基本规律，对黄河下游河道整治的模范河段——白鹤至伊洛河口河段的土质特性进行了详细研究，分析了不同组成的河床物质土力学特性对河床演变的作用。进而，从天然河流紊动涡的形成、边壁区次生环流的发展以及涡与环流对河流平面形态演变的贡献入手，运用密西西比大学美国国家水科学与工程计算中心 CCHE3D 模型对不同水力条件下环流结构进行了模拟，深入探讨了河床演变的某些问题，如揭示了“河性行曲”、“河床演变关联性”、“畸形河湾”发生发展的机理等，为游荡性河段河道整治方案的研究奠定了一定的理论基础。

在深入研究河床演变机理的基础上，作者又通过对水流涡旋强度与边壁泥沙颗粒间受力平衡的分析，建立了边壁泥沙颗粒的起动条件公式；将最小方差理论运用于河湾流路的分析中，建立了黄河下游游荡性河道河湾整治流路的基本方程。此外，通过对黄河下游游荡性河道整治模范河段整治效果的分析，作者提出了一些适应性较强、可在工程优化布局等方面直接运用的经验公式，为游荡性河道进一步整治提供了借鉴。

该书的研究成果丰富了河流泥沙工程学、河床演变学等学科，为河道整治方案确定探

索出了较全面的研究分析方法，更为重要的是，这些成果为今后黄河下游游荡性河道整治及其有关经验和数据提供了理论支撑。本书具有很大的现实意义和前瞻性，必将对黄河下游河道整治工作产生深远的影响。虽然黄河下游游荡性河道演变和整治是十分复杂的，要走的路还很长，但本书的成果对今后的研究必将会发挥有力的推动作用。

中国工程院院士

韩其为

2006年10月

前言

黄河是中华民族的摇篮，是我们伟大祖国的象征。然而，过去的黄河“三年两决口，百年一改道”给中国人民带来了深重灾难。新中国成立以来，党和国家对黄河治理与开发高度重视，进行了大规模的治理，已初步形成了“上拦下排、两岸分滞”控制洪水和“拦、排、放、调、挖”综合处理泥沙的防洪工程体系，取得了 50 多年伏秋大汛不决口的伟大胜利，有力地保障了黄河下游两岸广大地区经济社会的稳定发展。但是，黄河多泥沙的特点，决定了黄河治理的特殊性、复杂性，尤其是经济社会的快速发展，给黄河治理又带来了许多新问题，黄河的健康生命也受到了严重威胁。突出表现在：一是黄河下游河道“二级悬河”形势越来越突出，致使“横、斜河”发生的几率明显增加，严重影响防洪安全；二是进入黄河下游河道的水沙关系呈进一步恶化趋势，河槽淤积加重，主槽过流能力显著下降；三是滩区安全设施建设严重滞后，滩区经济发展与治河矛盾突出；四是游荡性河段的河势尚未得到有效控制；五是堤防质量差、存在险点隐患，工程强度还没有完全达到安全标准。

小浪底水库投入运用后，大洪水得到了有效控制，进入黄河下游的水沙条件也发生了变化，不过黄河下游宽河段游荡多变的特性并没有发生较大的改变，加之下游堤防多由砂壤土构成，堤基地质条件差，堤身险点隐患多，所以中常洪水发生“横、斜河”，甚至冲决堤防的可能性依然存在。该河段防洪保护区内两岸城市密布、交通发达、经济发展迅速，一旦发生洪水灾害，损失将十分惨重。同时，该河段两岸堤距较宽，最宽达到 20km 以上，滩区居住人口达 181 万，河势的游荡多变，也使滩区群众的生命财产安全经常受到威胁，经济无法稳步发展。因此，从全局出发，加快黄河下游游荡性河段河道整治工程建设，对控制河势、提高河道的排洪输沙能力、实现“河床不抬高”的治理目标，保证堤防安全、确保“堤防不决口”，保护滩区及广大黄淮海平原人民群众生命财产安全具有十分重要的意义。

黄河水利委员会（以下简称黄委会）对黄河下游河道的综合治理非常重视，2001 年以来，先后开展了全国范围内的“黄河下游二级悬河治理研讨会”、“黄河口治理研讨会”、“黄河下游综合治理高层专家论坛”等，并相机开展了三次大规模的原型调水调沙试验。作为黄河下游综合治理重点工作之一的游荡性河段河道整治工程建设，也备受黄委会党组

的重视，在广泛征求各方面意见的基础上，及时提出了开展小浪底水库运用以后黄河下游游荡性河段河道进一步整治的研究工作。为此，专门成立了以黄委会李国英主任为组长的黄河下游游荡性河段河道整治研究项目领导小组，由黄委会规划计划局、黄河水利科学研究院、防汛办公室、总工程师办公室、国际合作与科技局、河南黄河河务局和黄河勘测规划设计有限公司等单位的技术骨干组成的项目工作组，于2002年开始系统地研究了小浪底水库运用以后游荡性河道整治的方案及实施原则。

黄河水利科学研究院（以下简称黄科院）长期致力于黄河下游游荡性河道河床演变基本规律的研究，提出了一系列颇有见地的研究成果，特别是国家“八五”、“九五”攻关及黄河流域（片）防洪规划期间，借助原型资料分析和实体模型试验，深入地进行了游荡性河型的形成与转化、黄河下游河道演变规律、黄河下游游荡性河道整治等研究，这些都直接指导了黄河下游游荡性河道整治的生产实践。小浪底水库运用以来，研究人员更是紧紧抓住黄河下游游荡性河道河势演变及河道整治中的关键问题，不仅开展了一系列河道整治方案及工程布局实体模型试验研究，而且通过总结实体模型试验有关成果，在理论分析和原型实测资料分析的基础上，探讨了新形势下黄河下游游荡性河道整治工程设计有关问题、高含沙洪水造床规律及河相关系、畸型河湾形成机理、节点工程控制河势的机理、河道整治与挖河固堤的辩证关系、“二级悬河”的发展与趋势预测，并明确提出游荡性河道进一步整治必须“抓关键性控制工程建设”，实现游荡性河道整治的有机统一。鉴于此，本次研究不仅要开展一系列河道整治方案及工程布局的实体模型试验，而且应通过进一步开展游荡性河道河势自然演变规律的研究，从机理层面揭示“大水趋直”、“小水坐弯”、“小水上提”、“大水下挫”、“水性行曲”等现象的原因，同时，针对目前河势控导效果较好的白鹤至神堤、马庄至武庄、东坝头至高村三个“模范河段”，深入研究其工程布置特征，找出其造型规律，为游荡性河道进一步整治奠定理论基础，为其他河段的河道整治提供借鉴。

开展游荡性河床演变机理的研究是河道整治研究工作的基础，基于目前泥沙基本理论研究现状，开展这项研究难度之大是众所周知的。实际上，关于游荡性河道河床演变问题的研究由来已久，取得了丰富的研究成果，但是，由于天然河流河床演变情况的极度复杂性，到目前为止，大多数的专家与学者仍然仅仅把河床演变规律很谨慎地表述为河床演变“特点”或“特征”，真正基于力学基础深刻剖析其机理的参考文献极少看到。黄科院受此重任之后，专门成立了“黄河下游游荡性河道河床演变机理及河道整治关键技术问题研究”攻关组，邀请国内有关专家，反复研究、讨论工作思路、工作方法，寻求工作突破点，并确定该项研究工作总体思路为：基于目前现有的河流泥沙动力学基本理论研究成果、黄河下游河床演变研究成果，开展河床淤积物典型土质土力学特性实验，探讨不同组成的河床物质土力学特性对河床演变的作用、天然河流紊动涡的形成、边壁区次生环流的

发展以及涡与环流对河流平面形态演变的贡献；探讨与揭示“河性行曲”、“河床演变关联性”、“畸形河湾”发生发展的机理；对河道整治比较完善的白鹤至伊洛河口河段以及其他两个整治模范河段（马庄至武庄、东坝头至高村河段）的整治效果进行剖析，提出适合于黄河下游游荡性河道河床演变规律的整治参数、河湾流路方程等。

本书涉及的内容不仅总结了作者自“九五”攻关以来的研究成果，同时，主要介绍了经过近四年的潜心钻研，在上述几个方面取得的一些进展。研究成果不仅丰富了河流泥沙工程学、河床演变学、多沙河流河道整治的理论研究，更重要的是，为今后一定时期内黄河下游游荡性河道整治工作奠定了理论基础和应用基础。

值得一提的是，在本项目研究的过程中，于2003年又获得了国家自然科学基金与黄委会联合基金项目——黄河下游河道整治约束机制及调控效应的资助（编号：50339020），极大地促进了本次研究的顺利进行。除本书作者外，常向前、潘恕、李军华、万强、刘燕、钮本良、赵连军等人也参与了研究和本书部分内容的编写工作。在项目开展期间，还得到了我的导师中国水利水电科学研究院韩其为院士、清华大学王兴奎教授和河海大学毛野教授、武汉大学韦直林教授、郑邦民教授以及黄委会许多专家的帮助和指导，谨致谢意！由于水平有限，书中可能出现错漏，敬请读者批评指正！

江恩惠

2006年9月

目 录

序

前言

第一章 黄河下游游荡性河段河道概况	1
第一节 河道基本情况	1
第二节 黄河下游水沙及河道冲淤概况	2
第三节 河道整治工程建设状况	6
第四节 河道整治与“二级悬河”形成的关系	10
参考文献	17
第二章 游荡性河段河床物质土力学特性与河床稳定性	19
第一节 概述	19
第二节 勘测断面布设及研究方法	20
第三节 土力学特性试验成果	28
第四节 小结	58
参考文献	58
第三章 游荡性河段河道整治模范河段微弯型整治效果分析	60
第一节 黄河下游游荡性河段整治方案演变过程	60
第二节 微弯型整治方案的整治效果	67
第三节 模范河段整治参数统计规律	73
第四节 小结	83
参考文献	84
第四章 不同水沙条件下游荡性河段河势演变特点与基本规律	86
第一节 影响河势演变的主要因素	86
第二节 不同水沙条件下河势演变特点	87
第三节 游荡性河段河势演变基本特征	99
第四节 游荡性河道河势演变基本规律	100
参考文献	108
第五章 河势演变基本规律之机理探讨	110
第一节 “河性行曲”机理探讨	110

第二节 边壁泥沙颗粒起动条件	133
第三节 “大水趋直、小水坐弯”机理分析	138
第四节 畸形河弯形成机理	149
第五节 小结	172
参考文献	174
第六章 游荡性河道河湾流路方程	177
第一节 研究现状	177
第二节 黄河下游游荡性河道自由发展河湾与正弦派生曲线	184
第三节 黄河下游游荡性河道河湾流路基本方程	194
第四节 强烈游荡性河流微弯型整治方案的适应性评价	199
参考文献	202
第七章 结语	203
S	
B	
01	
11	
01	
11	
09	
89	
82	
83	
08	
08	
18	
87	
88	
48	
88	
88	
18	
88	
001	
801	
011	
011	

第一章 黄河下游游荡性河段河道概况

第一节 河道基本情况

黄河下游游荡性河段起于河南孟津白鹤，止于山东东明高村，河道全长 299km。流经洛阳、焦作、郑州、新乡、开封、菏泽、濮阳等地市。该河段河道长期堆积抬升，在京广铁路桥以下形成了著名的地上悬河。目前该河段临河滩面一般高出背河地面 4~6m，最大临背高差达 10m 以上。黄河大堤一旦在此决口，将会给黄淮海平原广大地区造成深重的灾难。

白鹤至高村河段河道比降在 0.17‰~0.265‰之间。河床断面宽浅，河槽宽度达 1.5~3.5km，平滩流量下河相系数 $\sqrt{B}/H$ 值在 20~40 之间。天然情况下河道内沙洲密布，水流分散，汊流丛生，有时多达 4~5 股。自 20 世纪 60 年代末开展游荡性河段河道整治以来，陆续修建了一些河道整治工程，“宽、浅、乱”的河槽形态有所改善，河道整治工程控制较好的河段河势比较稳定，主溜基本为单股，如神堤以上、花园口至马渡、辛店集至高村等河段。河道整治工程控制较弱的河段，常出现二、三股河，仍具有“宽、浅、乱”的基本特点。从整体看，该河段河道游荡多变的特性基本没有大的改变。

根据地理位置、河岸边界条件及其形成等特点，黄河下游游荡性河段河道可划分为白鹤至京广铁路桥、京广铁路桥至东坝头、东坝头至高村三个河段。

白鹤至京广铁路桥河段长 98km，河道宽 3~10km。河出孟津焦枝铁路桥以后，水流突然展宽，大量卵石和粗砂沉积，洛阳公路桥以上床面基本由卵石和粗砂组成。洛阳公路桥以下卵石埋深逐渐加大，床面由粗砂组成，在自然条件下，心滩多为浅滩，出没不定，溜势极为散乱，水面宽有时达 3km。该河段的主要入黄支流右岸有伊（河）洛河、左岸有沁河，均是黄河下游洪水主要来源区。

京广铁路桥至东坝头河段全长 131km，堤距 5.5~12.7km。由于堤距较宽，溜势分散，泥沙易于淤积，加之主溜摆动频繁，新淤滩岸抗冲能力弱，又进一步加剧了主溜塌滩坐弯，形成“横、斜河”顶冲大堤，威胁堤防安全。该河段历史上决口频繁，建国后虽然没有发生决口，但是危及堤防安全的重大险情不断，是历年汛期重点防守河段。1986 年以来，下游来水来沙条件发生了较大变化，河槽淤积加重，逐渐出现了高滩不高的现象，二级悬河的态势也逐渐明显。1996 年 8 月 6 日花园口洪峰流量 7860m³/s，原阳高滩大部分漫水，100 多年来不靠水的左岸大堤大范围偎水，堤根水深 1~3m。

东坝头至高村河段长 70km，是清咸丰五年（1855 年）铜瓦厢决口后形成的河道，两岸堤距上段最宽处超过 20km，下段最窄处也达 4.7km。由于长期不利的水沙组合和边界条件等因素的综合影响，主槽淤积大于滩地淤积，形成典型的“二级悬河”，是黄河下游防洪的薄弱河段，素有“豆腐腰”之称。

目前黄河下游河槽淤积萎缩严重，主河槽行洪能力降低，一旦发生较大洪水，滩区行

洪流量将明显增加，容易发生“横、斜河”甚至“滚河”，河势发生变化，同时漫滩水流在滩区串沟和堤河低洼地带形成过流，出现顺堤行洪，严重威胁下游堤防的安全。

第二节 黄河下游水沙及河道冲淤概况

一、水沙

黄河流域气候干旱，降雨偏少，且又流经水土流失严重的黄土高原，因此，黄河下游具有水少沙多、年内时空分布不均、年际之间变化大、受人类活动影响显著等特点。

1986 年以来，由于龙羊峡、刘家峡水库的调节作用，降雨量的减少，加上沿程工农业用水增加等因素的影响，黄河下游来水来沙条件发生了明显的变化，主要表现为：年实测水量减少，连年出现枯水少沙现象；水库运用改变了年内水沙过程，汛期水量减少、非汛期水量增加更加显著；中常洪水洪峰流量削减；全年泥沙相对集中在汛期进入下游；9 月下旬~10 月水沙特性已基本接近非汛期的水沙特性。表 1-1 为黄河下游来水来沙主要控制站实测水沙资料统计，表 1-2 为各典型时段的水沙量和洪峰情况，从这些表中可以明显看出上述趋势。

表 1-1 黄河下游控制站实测来水来沙统计表（三十黑十小）

时 段（年．月） 项 目		1919. 7~ 1985. 6	1985. 11~1999. 10		1989. 11~1999. 10		1999. 11~2004. 10	
		量	量	占多年(%)	量	占多年(%)	量	占多年(%)
水 量 (亿 m ³)	全 年	464	278	60	259	56	203	44
	非汛期	186	150	81	146	78	122	66
	汛 期	278	128	46	113	41	81	29
沙 量 (亿 t)	全 年	15. 6	7. 64	49	7. 61	49	0. 75	4. 8
	非汛期	2. 1	0. 41	20	0. 46	22	0. 009	0. 43
	汛 期	13. 5	7. 23	54	7. 15	53	0. 74	5. 5
含沙量 (kg/m ³)	全 年	33. 6	27. 5	82	29. 4	88	3. 68	11
	非汛期	11. 3	2. 7	24	3. 1	27	0. 07	0. 65
	汛 期	48. 6	56. 5	116	63. 2	130	9. 14	18. 8

注 1. 1999 年以后为小+黑+小。
2. 1976 年 1 月 1 日，小董水文站改名为武陟站。

表 1-2 黄河下游控制站各时段年平均水沙量统计表（三十黑十小）

时 段 (年．月)	水量 (亿 m ³)	沙量 (亿 t)	含沙量 (kg/m ³)	花园口 最大流量 (m ³ /s)	时 段 (年．月)	水量 (亿 m ³)	沙量 (亿 t)	含沙量 (kg/m ³)	花园口 最大流量 (m ³ /s)
1950. 7~1960. 6	480	17. 95	37. 4	22300	1980. 11~1985. 10	482	9. 7	20. 1	15300
1960. 11~1964. 10	573	6. 03	10. 5	9430	1985. 11~1999. 10	278	7. 64	27. 5	7860
1964. 11~1973. 10	426	16. 3	38. 3	8480	1999. 11~2004. 10	203	0. 75	3. 68	3550
1973. 11~1980. 10	395	12. 4	31. 3	10800	1950. 7~2004. 10	389	11. 04	28. 4	22300

注 1. 1999 年以后为小+黑+小。
2. 1976 年 1 月 1 日，小董水文站改名为武陟站。

1985年11月~1999年10月进入下游(三门峡、黑石关、武陟之和)的年均水量278亿 m^3 ,为多年均值的60%。其中,汛期平均水量128亿 m^3 ,仅为多年均值的46%;汛期水量占全年的比例由多年均值的60%降至46%,非汛期水量占全年的比例由多年均值的40%升至54%。实测年均沙量7.64亿t,为多年均值的49%。其中,汛期沙量7.23亿t,为多年平均值的54%,但汛期沙量占全年的比例由多年的86.5%进一步增至94.6%。

20世纪90年代以来进入下游的水沙量又进一步减少,汛期水量减少的幅度明显大于沙量减少的幅度,致使汛期平均含沙量明显增大,由1985年前的多年平均48.6 kg/m^3 增加到1985年后的56.5 kg/m^3 ,其中1990~1999年汛期平均含沙量高达63.2 kg/m^3 ,为1985年前平均含沙量的1.3倍。

1999年10月小浪底水库运用后,这种趋势进一步发展。1999年11月~2004年10月进入下游(小浪底、黑石关、武陟之和)的年均水量下降为203亿 m^3 ,是多年均值的44%。其中,汛期平均水量81亿 m^3 ,仅为多年均值的29%;汛期水量占全年的比例由多年均值的60%进一步降至40%,非汛期水量占全年的比例由多年均值的40%进一步升至60%。实测年均沙量0.75亿t,仅为多年均值的4.8%。其中,汛期沙量0.74亿t,为多年平均值的5.5%,但汛期沙量占全年的比例由多年的86.5%进一步增至98.7%(受小浪底水库控制运用影响)。

二、河道冲淤概况

黄河下游水少沙多,河道长期处于淤积抬升状态,特别是游荡性河段两岸堤距较大、河道宽浅、河道淤积严重,但在水沙条件有利的年份,下游河道的冲刷也较为明显。随着小浪底水库投入运用(1999年10月),下游河道将处于较长时期的冲刷过程中。

根据水沙条件和三门峡水库运用阶段的不同及小浪底水库的运用,下游河道冲淤演变大致可划分为天然条件(1950年7月~1960年6月)、三门峡水库蓄水拦沙期(1960年9月~1964年10月)、滞洪排沙期(1964年11月~1973年10月)、蓄清排浑控制运用期(1973年10月~1999年10月)和小浪底水库运用初期(1999年11月以后)等五个阶段,以实测大断面划分滩槽,进行的滩槽冲淤计算结果见表1-3。

由表1-3可以看出:

(1) 20世纪50年代下游河道淤积较为严重,年均淤积3.61亿t。由于洪水较多,淤积主要集中在滩地上,滩地淤积占全断面淤积的77%。其中,铁谢至高村游荡性河段年均淤积1.99亿t,占下游淤积总量的55%;滩地平均淤积量1.37亿t,占全断面淤积量的69%。

(2) 1960~1964年,三门峡水库蓄水拦沙运用,下游河道第一次发生较为明显的持续冲刷,下游年均冲刷泥沙5.78亿t,冲刷主要集中在中水河槽里。其中,游荡性河段年均冲刷达4.21亿t,占下游冲刷总量的73%。

(3) 1964~1973年,三门峡水库滞洪运用阶段,由于前期淤积在三门峡库区的泥沙大量下排,下游河道相应出现了淤积最为严重的历史时期。下游年均淤积量达到4.39亿t,为50年代年均淤积量的1.2倍,淤积的67%集中在河槽里。其中,游荡性河段的淤积量年均均为2.97亿t,为50年代年均淤积量的1.49倍,占下游淤积总量的68%。

表 1-3

黄河下游游荡性河段各时段年均冲淤量纵横向分配

单位: 亿 t

时段 (年. 月)	项 目	铁谢至 花园口	花园口至 夹河滩	夹河滩 至高村	铁谢至高村			铁谢至利津	
					冲淤量	河段冲淤占 全下游比例 (%)	滩槽冲淤量 占全断面的 比例 (%)	冲淤量	滩槽冲淤量 占全断面的 比例 (%)
1950. 7~ 1960. 6	主 槽	0. 32	0. 16	0. 14	0. 62	76	31	0. 82	23
	滩 地	0. 30	0. 41	0. 66	1. 37	49	69	2. 79	77
	全断面	0. 62	0. 57	0. 80	1. 99	55		3. 61	
1960. 9~ 1964. 10		-1. 90	-1. 47	-0. 84	-4. 21	73		-5. 78	-6
1964. 11~ 1973. 10	主 槽	0. 47	0. 74	0. 51	1. 72	59	58	2. 94	67
	滩 地	0. 48	0. 34	0. 43	1. 25	86	42	1. 45	33
	全断面	0. 95	1. 08	0. 94	2. 97	68		4. 39	
1973. 11~ 1999. 10	主 槽	0. 04	0. 18	0. 14	0. 36	58	45	0. 63	42
	滩 地	0. 06	0. 18	0. 20	0. 44	50	55	0. 87	58
	全断面	0. 10	0. 36	0. 34	0. 80	53		1. 50	
1999. 11~ 2004. 10	主 槽	-0. 73	-0. 61	-0. 02	-1. 35	68. 2		-1. 98	91. 2
	滩 地	0. 02	0. 01	0. 05	0. 08			-0. 19	8. 8
	全断面	-0. 71	-0. 60	0. 03	-1. 27	58. 5		-2. 17	
1950. 7~2004. 10 淤积总量		6. 36	16. 03	22. 33	44. 72	54. 4		82. 24	

注 +为淤积, -为冲刷, 1960年7月~1960年8月下游河道淤积量1.53亿t。

(4) 1973年10月, 三门峡水库开始实行“蓄清排浑”控制运用。非汛期下泄清水, 下游河道发生冲刷, 冲刷一般能够发展到夹河滩附近; 汛期排泄全年泥沙, 河道发生淤积。非汛期冲刷减缓了下游游荡性河段, 主要是花园口以上长约100km河段的淤积。

统计表明(见表1-4), 1973年11月~1999年10月, 下游河道累计淤积泥沙39.04亿t, 年均淤积1.50亿t, 其中, 高村以上游荡性河段淤积20.86亿t, 年均淤积0.80亿t, 占全下游淤积量的53%。该时段是年均淤积量较少、游荡性河段所占比例数较低的一个历史时期, 尤其是花园口以上河段年均淤积0.1亿t, 占游荡性河段淤积量的12%, 明显低于历史各时段所占比例(约30%)。由于水沙条件的不同, 游荡性河段在三门峡水库蓄清排浑运用时期的不同时段也表现出不同的冲淤特点。

三门峡蓄清排浑控制运用前期(1973~1985年), 水沙条件较为有利, 汛期水量丰沛、来沙少、含沙量低, 中常洪水较多, 其中1975年、1976年和1982年汛期洪水较大, 下游河道发生了较大范围的漫滩, 游荡性河段发生了以“淤滩刷槽”为主要特征的冲淤调整, 河道淤积量不大、甚至是冲刷的。其中, 1973年11月~1980年10月高村以上游荡性河段只淤积0.65亿t, 并且全部集中在滩地上, 主槽还略有冲刷; 1980年11月~1985年10月游荡性河段年均冲刷泥沙1.19亿t, 其中主槽年均冲刷0.94亿t, 占全断面的79%。

表 1-4 三门峡水库运用后游荡性河段各时段年均冲淤量与冲淤总量纵横向分配 单位: 亿 t

时段 (年·月)	项 目	铁谢至 花园口	花园口至 夹河滩	夹河滩至 高村	铁谢至高村			铁谢至利津	
					冲淤量	河段冲淤占 全下游的 比例 (%)	滩槽冲淤量 占全断面的 比例 (%)	冲淤量	滩槽冲淤量 占全断面的 比例 (%)
1973. 11~ 1980. 10	主 槽	-0.18	0.01	0.03	-0.14	-700	-22	0.02	1
	滩 地	-0.04	0.33	0.5	0.79	44	122	1.79	99
	全断面	-0.22	0.34	0.53	0.65	36		1.81	
1980. 11~ 1985. 10	主 槽	-0.3	-0.35	-0.29	-0.94	75	79	-1.26	130
	滩 地	-0.06	-0.1	-0.09	-0.25	-86	21	0.29	-30
	全断面	-0.36	-0.45	-0.38	-1.19	123		-0.97	
1985. 11~ 1999. 10	主 槽	0.27	0.46	0.35	1.08	67	68	1.61	72
	滩 地	0.15	0.2	0.16	0.51	82	32	0.62	28
	全断面	0.42	0.66	0.51	1.59	71		2.23	
1973. 11~ 1999. 10 淤积总量	主 槽	1.02	4.76	3.66	9.44	58	45	16.38	42
	滩 地	1.52	4.61	5.29	11.42	50	55	22.66	58
	全断面	2.54	9.37	8.95	20.86	53		39.04	

三门峡水库蓄清排浑控制运用后期(1985年11月~1999年10月),进入下游的水沙量和洪峰流量大幅度减小,洪水出现频率降低,河道发生大量淤积,淤积主要集中在两岸生产堤之间的河槽里,尤其主槽的淤积更加明显。统计表明,该时段下游年均淤积2.23亿t,约为50年代的62%,淤积总量不大,但主槽年均淤积量1.61亿t,占全断面淤积量的72%,为50年代主槽年均淤积量0.82亿t的2倍。其中游荡性河段淤积量占全下游淤积量的71%,主槽淤积量占全断面淤积量的68%,所占比例都是较高的。

(5) 1999年10月小浪底水库下闸蓄水后,进入下游的水沙条件又发生了较大改变,下游河道再次处于持续冲刷状态,1999年11月~2004年10月全下游年均冲刷泥沙2.17亿t,冲刷主要集中在主河槽内(占91.2%)。其中游荡性河段年均冲刷达1.27亿t,占下游冲刷总量的58.5%;冲刷基本上全部发生在主河槽,年均冲刷1.35亿t,滩地有极少量淤积。

从河床冲淤演变的总体情况看,由于受人为因素的影响,游荡性河道各河段淤积情况差别也较为悬殊。花园口以上由于三门峡清水下泄期大幅度的冲刷及三门峡蓄清排浑期控制运用期非汛期的冲刷,20世纪50年代至今河道淤积量相对不大;京广铁路桥至东坝头河段1855年铜瓦厢决口后,产生溯源冲刷,部分河段形成高滩,但由于其后河道的回淤,目前多数高滩已不再明显;东坝头至高村河段淤积较多,淤积主要集中在两岸生产堤之间的主槽及嫩滩范围内,生产堤至大堤之间的广大滩区、特别是远离主槽的堤根附近淤积较少,二级悬河发展快,部分河段堤河低洼地带的高程低于嫩滩面高程约3m,滩地横比降由20世纪50年代以前的 $2.2‰\sim 0.3‰$ 逐步增大到目前的 $0.3‰\sim 0.5‰$,由此增大了较大洪水发生“横、斜河”特别是“滚河”的可能性。

三、河道横断面特点

与平面形态相对应,黄河下游游荡性河段为典型的复式断面,根据不同部位的排洪输

沙特点和历史演变情况,自主槽向两岸依次可分为主槽、嫩滩、滩地和高滩4个部分,其中主槽和嫩滩合称为河槽或中水河槽。河槽是中小水时泄洪排沙的主体。

京广铁路桥至东坝头河段,两岸滩地系1855年铜瓦厢决口溯源冲刷、河道下切形成的高滩,经140余年的河槽摆动,高滩沿不断坍退,随着河道的持续淤积抬升,该河段已明显表现为高滩不高的现象。由统计断面资料来看,左岸平滩水位高于平均临河滩面1.30m,滩地横比降均值达0.333‰,大于河道纵比降;右岸有一部分断面平滩水位低于临河滩面,其他断面平滩水位平均高于临河滩面0.41m,横比降均值为0.12‰,小于河道纵比降,二级悬河不明显。

东坝头至高村河段,两岸滩地高程低、滩面宽,面积大。由该河段统计断面来看,左岸平滩水位高于平均临河滩面1.96m,存在明显的滩地横比降,均值达0.515‰,明显大于河道纵比降;右岸断面平滩水位平均高于临河滩面2.09m,滩地横比降均值为0.584‰,也明显大于河道纵比降。说明该河段两岸二级悬河形势最为严重(参见图1-1),部分断面主槽河底高程已高于临河滩面高程。

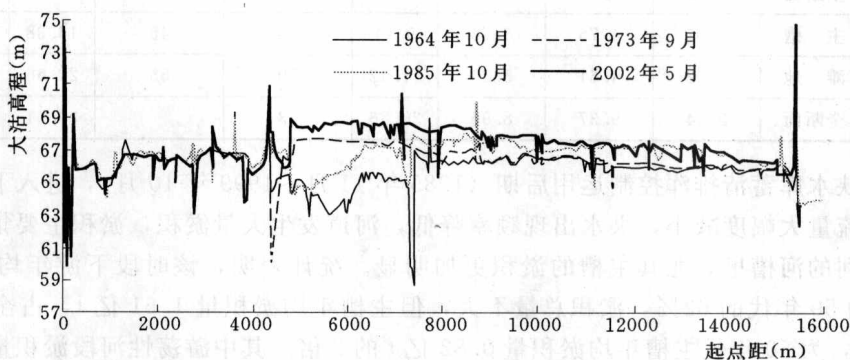


图 1-1 东坝头至高村河段马寨断面变化图

第三节 河道整治工程建设状况

一、建设回顾及现状统计

黄河下游特殊的水沙条件及河床特性,决定了下游河道河势游荡多变的特点,为了保证防洪安全,历代治黄都比较重视河道整治工程建设。

1948年以前白鹤至高村游荡性河段有险工15处,护滩工程3处。1948~1958年由于河势变化等原因又增加了5处险工和部分护滩工程。1958年制定了下游各枢纽间自由河段的河道整治规划,在2年多的时间内修建了坝垛近百道。

1960~1973年,三门峡水库运用后洪水虽然有了一定的控制,但是中水流量持续时间增长,造床作用增大,由于河道整治工程少,主溜缺乏控制,塌滩严重,河势恶化,出险多,险情大,抢护难、防守十分被动。为此,在重点整治高村至陶城铺河段的同时,高村以上也不断修建控导、护滩工程。该时段共修建各种坝垛444道。

1974年继续加大整治速度,当年修建了13处控导工程坝垛176道,成为修建控导工

程数量最多的年份,但自此以后,受国家投资的限制,工程修建的比较少。1974~1989年共修建了665道坝垛。

1990年以后,随着国家对河道整治工作的重视,投资明显增加,特别是1998年长江、嫩江、松花江发生大洪水以后,国家进一步加大了水利投资力度,成为有史以来河道整治工程修建最多的时期。据统计,1990~2001年共修建了833道坝垛,其中,1998~2001年修建了455道坝,占1990年以来修建坝垛总数的54.6%,占该河段已有坝垛总数的20.4%。

截至2001年底,黄河下游白鹤至高村游荡性河段共有险工和控导工程110处,工程长度305.2km,裹护长度261.3km,坝垛2830道,对控制河势发挥了重要作用(见表1-5);其中,在规划治导线上的工程共有59处,工程长度210.2km,占河道长度的70.3%(见表1-6)。

表 1-5 游荡性河段河道整治工程现状统计表

河 段	河段长度 (km)	工程处数 (个)	坝垛数 (道)	工程长度 (m)	裹护长度 (m)
白鹤至京广铁桥	98	24	759	83981	76532
京广铁桥至东坝头	131	61	1472	156446	131378
东坝头至高村	70	25	599	64724	53397
合 计	299	110	2830	305151	261307

表 1-6 游荡性河段规划治导线上工程现状统计表

河 段	河段长度 (km)	工程处数 (个)	坝垛数 (道)	工程长度 (m)	裹护长度 (m)
白鹤至京广铁桥	98	15	603	61907	63329
京广铁桥至东坝头	131	31	959	104904	93140
东坝头至高村	70	13	389	43359	39647
合 计	299	59	1951	210170	196116

但实际上,目前白鹤至高村河段对河势有一定控制作用的工程共有79处(因行政区划或其他原因存在一处工程由几个工程组成的现象),工程长度251.9km,占河道长度的84.2%(见表1-7)。工程靠河几率超过50%以上的工程仅有47处,仅占工程总数量的60%,平均每处工程的靠溜长度约为30%左右。

表 1-7 对河势有控制作用的现状工程统计表

河 段	河道长度 (km)	工程数量 (个)	工程长度 (km)	占河道长度 (%)
白鹤至伊洛河口	52	12	48.2	92.7
伊洛河口至铁桥	46	5	15.1	32.8
京广铁桥至赵口	47	17	62.6	133.2
赵口至东坝头	84	26	76.2	90.7
东坝头至高村	70	19	49.8	71.1
合 计	299	79	251.9	84.2