

HUANGHE XIAYOU TANQU FANGYU YU
NISHACHULI JISHU

黄河下游滩区放淤与 泥沙处理技术

兰华林 曾 贺 霍风霖 编著



黄河水利出版社

黄河下游滩区放淤与 泥沙处理技术

兰华林 曾 贺 霍风霖 编 著

黄河水利出版社

· 郑州 ·

内 容 提 要

根据处理和利用泥沙途径与作用的不同,黄河下游滩区放淤可分为全滩淤筑、堤河淤筑、串沟淤堵、控导工程淤背、村台淤筑、洼地淤筑、坑塘淤筑和沙荒地淤筑等模式。结合黄河下游滩区实际情况,提出了“挖”、“放”结合,“滩”、“槽”同步治理的理念。利用基于 GIS 的空间分析等方法,计算了滩区放淤能力,近期处理利用泥沙能力为 21.44 亿 t。论证了滩区放淤试验方案,并进行了投资估算。

本书可供水利系统科研、规划、工程技术人员和管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

黄河下游滩区放淤与泥沙处理技术 / 兰华林, 曾贺, 霍风霖
编著. — 郑州: 黄河水利出版社, 2011. 12

ISBN 978 - 7 - 5509 - 0172 - 8

I. ①黄… II. ①兰…②曾…③霍… III. ①黄河 - 下游 -
放淤②黄河 - 下游 - 河流泥沙 - 处理 IV. ①TV152

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 263532 号

出 版 社: 黄河水利出版社

地址: 河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码: 450003

发行单位: 黄河水利出版社

发行部电话: 0371 - 66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail: hhsclbs@126.com

承印单位: 河南省瑞光印务股份有限公司

开本: 787 mm × 1 092 mm 1/16

印张: 10

字数: 164 千字

印数: 1—1 000

版次: 2011 年 12 月第 1 版

印次: 2011 年 12 月第 1 次印刷

定价: 36.00 元

前 言

黄河是一条著名的多泥沙河流,历史上决口改道频繁,洪水泥沙灾害历来十分严重。人民治黄以来,修建了一系列的防洪工程,初步形成了以中游干支流水库、下游堤防、河道整治、分滞洪工程为主体的“上拦下排,两岸分滞”的防洪工程体系。同时,加强了防洪非工程措施建设和人防体系建设,取得了半个多世纪伏秋大汛不决口的辉煌成就,扭转了历史上频繁决口改道的险恶局面。在保障黄河下游防洪安全的同时,加强了对上中游干流及主要支流的治理,并初见成效,大大减少了水患灾害。但是,黄河水少沙多,水流含沙量高,造成河道淤积,泥沙问题长期难以得到解决,消除黄河水患是一项长期的任务。黄河防洪面临的突出问题,需要我们科学面对,逐步解决。

(1)黄河下游仍有发生大洪水的可能。小浪底水库建成后,与三门峡、陆浑、故县等水库联合调度,大大提高了黄河下游的防洪标准。但小浪底至花园口之间还有 2.7 万 km^2 流域面积尚无工程控制,100 年一遇和 1 000 年一遇洪水花园口水文站流量仍有 $15\,700 \text{ m}^3/\text{s}$ 和 $22\,600 \text{ m}^3/\text{s}$,且洪水预见期短,对下游防洪安全威胁很大。

(2)泥沙问题在相当长的时期内难以解决。大量的泥沙淤积在下游河道,使河道日益高悬,冲淤变化异常复杂,这是黄河下游水患威胁严重又难以治理的根本原因。根据实测资料分析,1950 年到 1998 年,下游河道共淤积泥沙约 92 亿 t,与 20 世纪 50 年代相比,河床普遍抬高 $2 \sim 4 \text{ m}$ 。1996 年 8 月,花园口水文站出现 $7\,600 \text{ m}^3/\text{s}$ 的中常洪水,其洪水位比 1958 年 $22\,300 \text{ m}^3/\text{s}$ 洪水位还高 0.91 m 。

(3)历史上形成的“地上悬河”局面将长期存在。黄河下游河道不仅是“地上悬河”,而且是槽高、滩低、堤根洼的“二级悬河”,近年来“二级悬河”日益加剧。黄河下游“二级悬河”于 20 世纪 60 年代在东坝头—高村河段的部分断面开始出现。20 世纪 80 年代中期以来,受降水减少、用水增加、水库调节、下游生产堤制约等因素的影响,下游河道主槽泥沙淤积比例迅速加大,陶城铺以上河段主槽泥沙淤积比例由以前的 30% 增加到 70%,陶城

铺以下河段 90% 以上泥沙淤积在主槽,平滩流量由 20 世纪 80 年代初的 $6\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 减少为目前的 $3\,000\sim4\,000\text{ m}^3/\text{s}$,“二级悬河”呈越来越严峻之势。

(4)河道整治工程不完善,河势游荡多变。下游有 299 km 的宽河段缺少控导工程,河势尚未得到有效控制,中常洪水时极易出现“横河”、“斜河”、顺堤行洪和“滚河”,加之新修工程未经大水考验,堤防有“冲决”和“溃决”的可能。

(5)黄河下游滩区安全设施少、标准低。黄河下游两岸大堤之间具有广阔的滩地,既是行洪的通道,又是滞洪沉沙的重要区域,并且居住着 189.5 万人,有耕地 25 万 hm^2 ,因此滩区防洪也是黄河下游防洪的一项重要任务。目前,滩区安全建设存在的主要问题是:修筑的村台、避水台面积人均约 30 m^2 ,现状与需要相比相差甚远;随着河槽的不断淤积,已修建的避水工程高度不够;交通道路稀少,救生船只短缺,大洪水时不能满足群众撤退转移的需要。黄河下游洪水漫滩频繁,对滩区群众生命和财产安全威胁很大。

泥沙是造成黄河河道淤积严重、防洪防凌形势严峻的根本原因。多途径处理和利用泥沙,尽量减少河道的泥沙淤积,是黄河综合治理的关键。黄河下游滩区放淤作为“拦、排、放、调、挖”综合处理和利用泥沙的措施之一,已引起有关部门的高度重视。

2004 年 4 月 2 日,水利部黄河水利委员会主任李国英主持召开的关于“研究黄河下游治理方略有关问题”的专题办公会上,提出了 5 个专项研究课题,包括“黄河下游滩区生产堤加高加固利弊分析研究”、“黄河下游滩区治理模式和安全建设研究”、“塑造和维持黄河下游中水河槽措施研究”、“南水北调东线工程相机向黄河补水研究”和“人工淤滩形成相对窄深河槽分析与试验方案研究”。这些课题紧紧围绕黄河下游治理方略开展研究,并采用向社会公开招标的方式选定研究单位。2004 年 6 月 15 日由黄河网发布招标公告后,黄河水利科学研究院防汛抢险技术研究所和泥沙研究所组成联合课题组中标“人工淤滩形成相对窄深河槽分析与试验方案研究”专题。

2006 年 11 月,“黄河健康修复关键技术研究”项目正式列入“十一五”国家科技支撑计划。项目包括 8 个研究课题,分别是:黄河流域水沙变化情势研究、基于 GIS 的黄河水沙输移模拟系统开发、黄河泥沙空间优化配置技术与模式研究、维持黄河主槽不萎缩的水沙条件研究、黄河中下游水沙调控

关键技术研究、黄河水资源管理关键技术和一体化管理机制研究、黄河生态系统保护目标及生态需水研究、黄河健康修复目标及对策研究。专题“黄河下游滩区放淤能力与泥沙利用研究”是“黄河泥沙空间优化配置技术与模式研究”(2006BAB06B03)课题的内容之一。

黄河下游滩区放淤是泥沙处理和利用的重要途径,采取由控制工程自流放淤和机械挖河放淤技术措施,达到“放”、“挖”结合、主槽与滩地同步治理的目的,逐步消除“二级悬河”,从而实现人与自然和谐发展和黄河下游的长治久安。

《黄河下游滩区放淤与泥沙处理技术》一书的编著,是在“人工淤滩形成相对窄深河槽分析与试验方案研究”、“黄河下游滩区放淤能力与泥沙利用研究”和其他已有研究成果的基础上完成的。界定黄河下游滩区边界,利用 ArcGIS 空间数据分析方法,计算了滩区面积和淤筑体积;在分析放淤条件的基础上,论证了引洪放淤、机械放淤和综合放淤技术;以引黄灌溉沉沙池泥沙运动规律和调控运用为研究基础,利用 Visual Fortran 语言开发工具建立淤区泥沙数学模型,为大规模开展黄河下游滩区放淤提供技术支撑;根据处理和利用泥沙途径与作用的不同,黄河下游滩区放淤可分为全滩淤筑、堤河淤筑、串沟淤堵、控导工程淤背、村台淤筑、洼地淤筑、坑塘淤筑和沙荒地淤筑等模式;根据处理泥沙实际情况,分析黄河下游滩区放淤能力,提出不同时期处理泥沙方案;在分析滩区放淤技术措施及应用条件的基础上,论证黄河下游滩区放淤试验方案;深入分析了滩区放淤对社会环境的影响,提出了具体的防护措施;根据不同时期处理泥沙方案,提出了滩区放淤投资估算。

在“黄河下游滩区放淤能力与泥沙利用研究”项目研究中,得到了胡春宏、陈建国、安催花的指导,在此表示诚挚的感谢。需要说明的是,本书成果是在参加上述项目研究的所有人员共同努力下完成的,除作者外,还包括江恩惠、汪自力、田治宗、苏运启、赵连军、李远发、岳瑜素、谢志刚、张宝森、邓宇、张晓华、顾列亚、于国卿等。在此,对他们的忘我精神和辛勤劳动表示衷心感谢。

限于作者水平,书中难免存在不当之处,敬请读者指正。

作 者

2011 年 8 月

目 录

前 言

第 1 章 黄河下游滩区概况	(1)
1.1 河道基本情况	(1)
1.2 下游洪水	(2)
1.3 水沙特性	(7)
1.4 河道冲淤变化	(11)
1.5 滩区自然地理	(15)
1.6 社会经济概况	(28)
1.7 滩区土地利用	(29)
1.8 自然灾害	(31)
1.9 滩区发展存在问题	(34)
第 2 章 放淤沿革及其作用	(36)
2.1 放淤技术的发展历史	(36)
2.2 放淤实践与研究状况	(37)
2.3 滩区放淤作用	(45)
第 3 章 放淤技术	(48)
3.1 滩区放淤条件	(48)
3.2 引洪淤滩技术	(52)
3.3 机械淤滩技术	(60)
3.4 综合放淤技术	(67)
第 4 章 引洪放淤数学模型	(69)
4.1 研究内容	(69)
4.2 泥沙数学模型研究现状	(70)
4.3 黄河数学模型发展趋势	(75)
4.4 开发环境及模型设计	(76)
4.5 淤区数学模型基本理论	(77)
4.6 程序结构化设计	(82)

4.7	计算方法与模拟	(84)
4.8	淤区数学模型验证	(91)
第5章	滩区放淤模式及淤筑潜力	(96)
5.1	滩区淤滩模式	(96)
5.2	放淤模式评价	(98)
5.3	滩区放淤潜力分析	(101)
5.4	放淤综合潜力与放淤规划	(106)
第6章	滩区放淤试验方案	(111)
6.1	试验方案选择	(111)
6.2	范县陆集滩河段挖河试验方案	(111)
6.3	东明南滩村台淤筑方案	(123)
6.4	引洪放淤辅助人工加沙淤筑堤河试验方案	(126)
第7章	滩区放淤经济投资估算	(137)
7.1	放淤综合单价分析	(137)
7.2	不同试验方案经济投资分析	(138)
7.3	近期滩区放淤泥沙配置经济投资分析	(139)
7.4	远期滩区放淤泥沙配置经济投资分析	(140)
第8章	滩区放淤社会环境影响	(141)
8.1	社会影响	(141)
8.2	环境影响	(142)
8.3	不利影响的预防措施	(144)
参考文献		(147)

第 1 章 黄河下游滩区概况

1.1 河道基本情况

黄河下游在河南省孟津县西霞院由山区进入平原,流经华北平原,于山东省垦利县注入渤海,全长为 911.7 km,河道面积为 5 652.5 km²(其中封丘倒灌区面积为 372.8 km²),黄河下游河道基本情况见表 1-1。由于黄河泥沙的大量淤积,下游河床普遍高出两岸地面 4~6 m,部分河段达 10 m 以上。黄河下游河道被约束在大堤内,成为海河流域与淮河流域的分水岭,也是举世闻名的“地上悬河”。黄河下游河道上宽下窄,比降上陡下缓,由 2.65‰到 1‰。按照河道自然形态,黄河下游河道可分为游荡型、过渡型和弯曲型三类。

表 1-1 黄河下游河道基本情况

河段	河型	河道长度 (km)	堤距 (km)	河道面积 (km ²)	平均比降 (‰)	说明
西霞院—高村	游荡型	328.9	4.1~20.0	3 083.1	0.214	本次统计计算采用 1999 年 1:10 000 河道地形图,河口地区采用 Google 卫星图片(拍摄时间:2004 年 2 月 9 日),河道长度由 2008 年 5 月卫星图片解释水面量得。大地基准面: D_Beijing_1954; 投影: Gauss_Kruger
高村—陶城铺	过渡型	164.4	1.4~8.5	784.4	0.148	
陶城铺—宁海	弯曲型	320.8	0.4~5.0	898.1	0.101	
宁海—河口	弯曲型	97.6	1.6~5.5	886.9	0.101	
全下游		911.7		5 652.5		

西霞院—高村河段,河道长 328.9 km。其中,郑州京广铁路桥以上,右岸为高出河面 100~150 m 的邙山黄土丘陵;左岸温县以上一般高出河面 10~40 m,称为青风岭,温县以下地面逐渐降低,沁河口两侧修有堤防。京

广铁路桥以下为广阔的大平原,两岸均修有堤防。河段内滩地广、河宽水散,冲淤幅度大,主流摆动频繁,为典型的游荡型河段,两岸大堤堤距一般为 5 ~ 10 km,最宽处有 20 km,河槽一般宽 3 ~ 5 km,河道比降为 $2.56‰ \sim 1.72‰$ 。本河段防洪保护面积广,历史上重大改道都发生在本河段,是黄河下游防洪的重要河段。支流伊洛河、沁河在此段汇入。

高村—陶城铺河段,河长 164.4 km,由于河道控导工程的作用,尽管河势仍然变化较大,但主河槽已趋于稳定,属于由游荡型向弯曲型转化的过渡型河段。两岸堤距为 1.4 ~ 8.5 km,大部分在 5 km 以上,河道平均比降为 $1.48‰$ 。

陶城铺—宁海河段,河长 320.8 km,除右岸东平湖至济南郊区宋庄为石质山区未修堤防外,其余全靠堤防挡水。两岸整治工程较多,河势稳定。两岸堤距为 0.4 ~ 5.0 km,一般为 1 ~ 2 km。河道平均比降为 $1‰$ 左右,属弯曲型河段,支流汶河在此段汇入。

宁海—河口河段,河长 97.6 km,随着黄河入海口的淤积、延伸、摆动,流路相应改道变迁,现行入海流路是 1976 年人工改道清水沟流路,目前已行河 30 多年。

1.2 下游洪水

1.2.1 洪水来源

黄河流域的暴雨主要发生在 6 ~ 10 月,大暴雨只出现在夏季季风盛行的 7、8 月两月,黄河洪水的发生时间与暴雨出现时间基本一致,全河主要为 6 ~ 10 月,但大洪水和特大洪水在上、中、下游的出现时间则有所不同。黄河上游的兰州站,大洪水以 7、9 月两月出现机会较多,黄河中游龙门站、三门峡站和下游花园口站的大洪水,基本上都集中在 7 月中旬至 8 月中旬,特别是 8 月上旬出现的机会较多。

黄河下游的暴雨洪水有五个来源区,即兰州以上地区、河口镇至龙门区间(简称河龙间)、龙门至三门峡区间(简称龙三间)、三门峡至花园口区间(简称三花间)及下游汶河流域。

1.2.1.1 兰州以上洪水

兰州以上洪水多由强度小、面积大、历时长的连阴雨所形成。洪水的主

要特征是洪峰低,历时长,峰形矮胖,含沙量小。洪水主要来自吉迈至唐乃亥近 8 万 km^2 的地区,兰州站实测最大流量为 1946 年的 $5\,900\text{ m}^3/\text{s}$ 。据兰州站洪峰流量大于 $4\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 的洪水资料统计,唐乃亥站的洪峰所占比重为 50% ~ 80%。大洪水发生时间在每年的 6 ~ 9 月,以 7、9 月两月出现机遇最大。洪水历时一般为 20 ~ 40 d,最长为 66 d,洪水总量为 60 亿 ~ 100 亿 m^3 。如 1967 年 9 月洪水,历时 40 d,洪峰流量为 $5\,510\text{ m}^3/\text{s}$,洪水总量为 136.5 亿 m^3 。再如 1981 年 9 月的大洪水,降雨自 8 月 13 日至 9 月 13 日,历时 32 d,降雨量在 100 mm 以上的面积约 12 万 km^2 ,降雨中心久治站最大日降雨量为 43 mm,总降雨量为 313 mm,吉迈站洪峰流量为 $1\,240\text{ m}^3/\text{s}$,玛曲站洪峰流量为 $4\,470\text{ m}^3/\text{s}$,唐乃亥站洪峰流量为 $5\,570\text{ m}^3/\text{s}$ 。唐乃亥以下是当时正在施工的龙羊峡水库,由围堰拦蓄洪水近 10 亿 m^3 ,出库最大流量削减为 $4\,570\text{ m}^3/\text{s}$ 。龙羊峡至刘家峡间无洪水加入,刘家峡水库为确保水库安全,提前加大泄量,最大出库流量为 $4\,870\text{ m}^3/\text{s}$ 。加上湟水、大通河来水,兰州站 9 月 15 日洪峰流量为 $5\,610\text{ m}^3/\text{s}$,45 d 洪量为 162.0 亿 m^3 。

1.2.1.2 河龙间洪水

河龙间黄土区占 58.8%,水土流失严重。洪水主要由暴雨形成,暴雨多发生在 6 ~ 10 月,洪水也多产生在这一时段,较大洪水和大洪水主要产生在 7 ~ 9 月。这一地区的暴雨主要特征是强度高、历时短,冲刷大量泥沙,形成涨落迅猛、峰高量小、含沙量很高的洪水。洪水历时,吴堡为 16 ~ 68 h,龙门为 20 ~ 80 h;上涨历时,吴堡为 2 ~ 21 h,龙门为 2 ~ 30 h。这一区间的洪水又分为吴堡以上和吴堡以下两个来源区。

吴堡以上由天桥水库控制。天桥水库以上洪水主要来自浑河、偏关河及黄甫川等几条较大支流,尤以黄甫川的洪水泥沙对天桥水库威胁较大。黄甫川实测最大洪峰流量为 $10\,600\text{ m}^3/\text{s}$,发生在 1989 年 7 月;实测最大含沙量为 $1\,570\text{ kg}/\text{m}^3$,发生在 1974 年 7 月。天桥水库以下洪水主要来源于孤山川和窟野河等支流,孤山川实测最大洪峰流量为 $10\,300\text{ m}^3/\text{s}$,发生在 1977 年 8 月;实测最大含沙量为 $1\,300\text{ kg}/\text{m}^3$,发生在 1976 年 6 月。窟野河实测最大洪峰流量为 $14\,000\text{ m}^3/\text{s}$,发生在 1976 年 8 月;实测最大含沙量为 $1\,700\text{ kg}/\text{m}^3$,发生在 1958 年 7 月。因此,吴堡的洪水主要由天桥水库下泄流量及孤山川和窟野河等支流洪水形成,其中一个支流的洪水就可以形成吴堡大于 $10\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 的洪峰,各支流常常同时发生洪水,但由于洪峰尖瘦,洪峰不易完全遭遇。

吴堡至龙门区间洪水主要来自无定河、清涧河、延水、三川河和昕水河五条支流。根据多年实测资料统计,这五条支流均未发生大于 $10\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 的洪峰流量。龙门的大洪水主要来自吴堡以上,龙门大于 $10\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 的洪水即或不全是吴堡以上来水,吴堡以上来水也占 80% 以上。吴堡上、下同时发生大洪水的机遇很小。

1.2.1.3 龙三间洪水

龙三间黄土区占 65.7%, 水土流失也很严重。洪水主要来自泾河、渭河、北洛河流域。汾河流域已修建了很多大中型水库,洪水主要为水库拦蓄,汇入黄河的洪水很小。泾河、渭河、北洛河洪水主要来自泾河张家山、渭河咸阳及北洛河交口河以上,均由强度较大的暴雨形成。泾河洪水一般峰高量小,渭河洪水相对峰低量大。华县一次洪水历时为 60 ~ 108 h, 上涨历时为 17 ~ 54 h。北洛河洪水峰高量小。各河洪水含沙量都很大。渭河、北洛河下游多年来泥沙大量淤积,洪水漫滩严重,渭河华县和北洛河狄头的洪峰至潼关的传播时间明显增长。

1.2.1.4 三花间洪水

三花间洪水主要来自伊洛河、沁河。三花间包括三门峡至小浪底区间(简称三小间)和小浪底至花园口区间(简称小花间)。洪水均由强度较大的暴雨形成。由于三花间山区和平原区占 55.4%, 并且植被较好,洪水中含沙量较小。三花间内除有陆浑、故县两座大型水库外,尚有中小型水库 500 余座,总库容约 33 亿 m^3 , 对拦蓄降雨径流和减小洪峰流量有很大作用。1982 年 8 月洪水(简称“82·8”洪水),三花间最大五日平均降雨量为 264 mm, 七日洪水总量为 32 亿 m^3 ; 1958 年 7 月洪水(简称“58·7”洪水),三花间最大五日平均降雨量为 155 mm, 七日洪水总量 26 亿 m^3 , 两次洪水相比,前者降雨量是后者的 1.7 倍,而前者洪水总量仅为后者的 1.2 倍,洪峰流量前者为 $11\,000\text{ m}^3/\text{s}$, 后者则为 $16\,000\text{ m}^3/\text{s}$, 其原因除前者前期比较干旱,暴雨时空分布比较分散,降雨中心不同及伊洛河夹滩地区决口滞洪影响较大外,水库的蓄水也是一个重要因素。

伊洛河洪水由伊河及洛河洪水组成,伊河上游有陆浑水库,洛河上游有故县水库,库容分别为 13.8 亿 m^3 和 11.7 亿 m^3 , 来自水库上游的洪水大部分蓄在库内,下泄流量很小。如“82·8”洪水,伊河陆浑水库入库洪峰流量超过 $4\,000\text{ m}^3/\text{s}$, 水库最高水位为 311.61 m, 相应蓄水量为 4.58 亿 m^3 , 下泄最大流量仅 $890\text{ m}^3/\text{s}$ 。有的洪水主要产生于陆浑至龙门镇之间。如“58·7”洪

水龙门镇洪峰流量为 $6\,850\text{ m}^3/\text{s}$, 陆浑水库尚未修建, 陆浑以上来水约 $1\,000\text{ m}^3/\text{s}$, 陆浑至龙门镇区间加水近 $6\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 。伊洛河夹滩地区滞洪是影响伊洛河洪水的重要因素, 削峰作用很大。1931 年伊洛河大水, 龙门镇洪峰流量为 $10\,400\text{ m}^3/\text{s}$, 洛阳洪峰流量为 $11\,100\text{ m}^3/\text{s}$, 经夹滩地区滞洪后, 汇流至黑石关, 洪峰流量为 $7\,800\text{ m}^3/\text{s}$ 。“82·8”洪水, 伊河龙门镇洪峰流量为 $2\,900\text{ m}^3/\text{s}$, 洛河白马寺洪峰流量为 $5\,400\text{ m}^3/\text{s}$, 经夹滩决堤滞洪后, 汇流至黑石关, 洪峰流量仅 $4\,100\text{ m}^3/\text{s}$ 。这两场洪水经夹滩滞洪后削峰率都很高。另外, 流域内有中小型水库 300 多座, 对削减洪水也有一定作用。

沁河洪水主要来自上中游及支流丹河, 丹河已修建了许多中小型水库, 特别是任庄水库和青天河水库, 拦洪作用较大。“82·8”洪水, 沁河洪峰流量超过历史最高实测记录, 五龙口站洪峰流量为 $4\,280\text{ m}^3/\text{s}$, 武陟站洪峰流量为 $4\,130\text{ m}^3/\text{s}$, 丹河山路平站相应流量为 $450\text{ m}^3/\text{s}$ 。沁河下游有堤防束水, 防洪标准为 $4\,000\text{ m}^3/\text{s}$, 超过该标准即进行分洪。因此, 沁河进入黄河的最大流量一般不会大于 $4\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 。

三小间洪水由暴雨形成, 洪水特点是峰高、量小、历时短, 洪水受降雨强度和降雨的时空分布影响很大。如“58·7”洪水, 区间五日平均降雨量为 180 mm , 降雨比较集中, 强度大, 有两个雨峰, 中心在垣曲。第一个雨峰历时为 12 h , 中心最大雨量为 190 mm , 平均降雨强度为 15 mm/h , 区间形成净峰流量约 $5\,200\text{ m}^3/\text{s}$; 第二个雨峰历时为 6 h , 中心最大雨量为 245.5 mm , 平均降雨强度为 40 mm/h , 区间形成净峰流量为 $10\,500\text{ m}^3/\text{s}$, 径流总量共 4.5 亿 m^3 。再如“82·8”洪水, 五日平均降雨量为 302 mm , 有三个雨峰, 中心平均降雨强度为 20 mm/h 。区间三个雨峰的相应净峰流量分别为 $3\,500\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $5\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 、 $4\,300\text{ m}^3/\text{s}$, 径流总量约为 6.0 亿 m^3 。

小花间紧邻黄河下游, 大部分地势平坦, 一般暴雨产流较少。“58·7”洪水平均降雨量为 163 mm , 径流量约为 0.66 亿 m^3 。“82·8”洪水平均降雨量为 324 mm , 径流量约为 7 亿 m^3 , 洪峰流量达 $3\,000\text{ m}^3/\text{s}$, 为有记载以来的最大区间洪水, 与小浪底和伊洛河、沁河洪水组成花园口洪峰流量为 $15\,300\text{ m}^3/\text{s}$ 。

1.2.1.5 汶河洪水

汶河洪水首先进入东平湖水库滞蓄, 然后汇入黄河, 由于黄河下游河道逐年淤积, 影响东平湖出流, 当黄河水位较高时, 便会顶托湖水。

汶河是黄河下游的最大支流。汶河洪水由暴雨形成, 汛期雨量丰沛, 流

域出口站戴村坝实测最大洪峰流量为 $6\,930\text{ m}^3/\text{s}$, 发生在 1964 年 9 月 13 日, 径流总量为 7.5 亿 m^3 。流域内修建有大中小型各类水库 100 余座, 控制流域面积近 $3\,000\text{ km}^2$, 占流域总面积的 33%, 大中型水库多在汶河干支流上游, 对本流域的洪水影响较小。

1.2.2 洪水组成与遭遇

黄河下游洪水来源于五个区域, 但较大洪水和大洪水主要来源于河龙间、龙三间和三花间三个地区。兰州以上的洪水一般只对下游洪水起抬高基流、加大洪水总量的作用。9 月兰州以上的洪水有时与中游地区秋汛洪水遭遇, 造成黄河下游长历时大流量过程。汶河大洪水一般不与黄河大洪水遭遇, 但有的年份汶河大洪水与黄河中等洪水遭遇, 一旦遭遇, 汶河洪水首先进入东平湖, 影响黄河洪水向东平湖分洪。黄河下游的严重洪水有三门峡以上的大洪水, 称上大洪水; 三门峡以下的大洪水, 称下大洪水。根据前述黄河流域暴雨特点, 三门峡上、下不会同时发生大洪水。

1.2.2.1 上大洪水

历史调查 1843 年特大洪水, 陕县洪峰流量为 $36\,000\text{ m}^3/\text{s}$, 以及 1933 年陕县实测大洪水, 洪峰流量为 $22\,000\text{ m}^3/\text{s}$, 为上大洪水的典型, 这两场洪水都是由河龙间和龙三间大洪水遭遇组成的。据实测资料统计分析, 由于河龙间洪水峰高量小, 龙三间洪水峰低量大, 一个地区的洪水一般不会形成黄河的大洪水。当发生上大洪水时三花间一般流量不大, 1933 年大洪水期间, 三花间未来洪水。

三门峡水库在 335.0 m 水位以下, 目前尚有近 60 亿 m^3 的库容, 对入库洪水有较大的调蓄能力。如 1933 年洪水, 花园口的相应洪峰流量为 $20\,400\text{ m}^3/\text{s}$, 按三门峡水库现有泄流设施全开, 最大出库流量不超过 $12\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 。

1.2.2.2 下大洪水

下大洪水主要由三花间洪水组成。历史调查 1761 年特大洪水, 花园口洪峰流量为 $32\,000\text{ m}^3/\text{s}$, 主要来自三花间。一般情况, 三花间发生大洪水时, 三门峡以上多有一般洪水加入。如“58·7”洪水, 花园口洪峰流量为 $22\,300\text{ m}^3/\text{s}$, 三门峡水库相应下泄流量为 $6\,400\text{ m}^3/\text{s}$; “82·8”洪水, 花园口洪峰流量为 $15\,300\text{ m}^3/\text{s}$, 三门峡水库相应下泄流量为 $4\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 。

三花间洪水来自伊洛河、沁河、三小间及小花间四个地区, 其中伊洛河与三小间同时发生暴雨洪水的机遇较多, 与小花间同时发生暴雨洪水的机

遇也较多,但由于小花间不易产流,所以同时产生洪水的机遇相对较小,三花间全区同时发生暴雨洪水的机遇相对更小。当全区同时发生暴雨时,往往产生较大或特大洪水。如 1954 年 8 月的暴雨洪水,花园口洪峰流量为 15 000 m³/s,“82·8”暴雨洪水虽然暴雨笼罩全区,但各区洪峰未完全遭遇。1761 年的特大洪水是各区暴雨洪水互相遭遇的结果。

1.2.3 洪水传播时间

黄河下游花园口至河口河长 768 km,河道平均比降为 1.25‰,河床冲淤严重,河势多变,加之滩区生产堤的影响,洪水传播时间很不稳定,洪峰流量与传播时间的关系十分散乱。黄河下游漫滩流量由 20 世纪 50 年代的 8 000 m³/s 左右,减小到目前的 4 000 m³/s。不漫滩的洪水传播时间短,漫滩的洪水传播时间长。目前,5 000 m³/s 以上的洪水传播时间相当于 20 世纪 50 年代 8 000 m³/s 以上的洪水传播时间。更由于生产堤的影响造成滩区低洼,洪水漫滩后不能正常运行,加大滩区滞水量,延长洪峰传播时间。这些影响还在不断变化,加上人为影响,造成黄河下游极为复杂的洪水传播。

根据实测资料统计,花园口—利津洪峰流量传播时间为 55 ~ 183 h,平均为 93 h,花园口洪峰流量大于 10 000 m³/s 的洪峰传播时间平均为 155 h。黄河下游各河段洪水传播时间见表 1-2。

表 1-2 黄河下游各河段洪水传播时间

项目	花园口 — 夹河滩	夹河滩 — 高村	高村 — 孙口	孙口 — 艾山	艾山 — 冻口	冻口 — 利津	花园口 — 孙口	花园口 — 利津
平均(h)	20	17	22	8	12	18	60	93
最大(h)	65	46	124	30	47	59	152	183
最小(h)	4	6	2	2			19	55
>1 万 m ³ /s(h)	13	24	59	14	40	45	95	155
间距(km)	104	83	130	63	108	174	317	662

1.3 水沙特性

黄河是世界上输沙量最大、含沙量最高的河流,也是一条受人类活动影

响较大的河流。根据 1919 ~ 1960 年实测资料统计,三门峡站的多年平均输沙量约为 16 亿 t。在进入黄河下游的泥沙中,粗泥沙($d > 0.05 \text{ mm}$,下同)约占总沙量的 21%,其淤积量约为黄河下游河道总淤积量的 50%。黄河泥沙具有水流含沙量高、水沙异源、年际变化大、汛期中常洪水出现机遇大幅度减小的特性。

1.3.1 含沙量高

三门峡站多年平均含沙量为 35 kg/m^3 ,实测最大含沙量为 911 kg/m^3 (1977 年),均为大江大河之最。河口镇—三门峡河段两岸支流时常有含沙量为 $1\,000 \sim 1\,700 \text{ kg/m}^3$ 的洪水出现。

1.3.2 水沙异源

根据 1919 年 7 月 ~ 2006 年 6 月实测资料统计,黄河中游干支流主要控制站的水沙特征值见表 1-3。多年平均进入下游的水量、沙量分别为 417.56 亿 m^3 、 12.88 亿 t 。

表 1-3 黄河中游干支流主要控制站的水沙特征值

站名	水量(亿 m^3)			沙量(亿 t)			含沙量(kg/m^3)		
	7 ~ 10 月	11 月 ~ 次年 6 月	7 月 ~ 次年 6 月	7 ~ 10 月	11 月 ~ 次年 6 月	7 月 ~ 次年 6 月	7 ~ 10 月	11 月 ~ 次年 6 月	7 月 ~ 次年 6 月
河口镇	132.62	99.00	231.62	0.96	0.24	1.20	7.2	2.4	5.2
龙门	163.57	126.96	290.53	7.51	1.07	8.57	45.9	8.4	29.5
四站	220.42	162.06	382.48	11.90	1.48	13.38	54.0	9.1	35.0
三门峡	215.75	161.74	377.49	10.86	1.78	12.64	50.3	11.0	33.5
伊洛河、沁河	25.39	14.69	40.08	0.21	0.02	0.23	8.2	1.6	5.8
三黑武	241.13	176.43	417.56	11.07	1.81	12.88	45.9	10.2	30.8
利津	195.30	123.53	318.83	6.70	1.21	7.91	34.3	9.8	24.8

- 注:1. 四站指龙门、华县、河津、湫头之和;
 2. 三黑武指三门峡、黑石关、武陟三站之和;
 3. 利津站水沙为 1950 年 7 月 ~ 2006 年 6 月年平均值。

黄河水沙具有水沙异源的特性。河口镇以上河段来水多、来沙少,水流较清,河口镇站多年平均水量占全河的 55.7%,而沙量仅占 9.8%。河口镇至三门峡区间(简称河三间,下同),来水少、来沙多,水流含沙量高,水量占

全河的 35.1%,来沙量占 88.5%。三门峡以下的伊洛河和沁河,为黄河又一清水来源区,两条支流合计多年平均来水量占全河水量的 9.2%,而含沙量仅占 1.7%。以上表明,黄河的来水大部分来自河口镇以上,沙量则主要来自河口镇以下的河三区间。

1.3.3 水沙量年际、年内分布不均

黄河泥沙年内分配极不均匀,汛期 7~10 月来沙量约占全年来沙量的 90%,且主要集中在汛期的几场暴雨洪水中。黄河来沙的年际变化很大,实测最大年输沙量(1933 年陕县站)为 39.1 亿 t,实测最小年输沙量(2008 年三门峡站)为 1.3 亿 t,年际变化悬殊,最大年输沙量为最小年输沙量的 30 倍。水沙量年内分布不均,主要集中于汛期。三黑武多年平均汛期水量占全年水量的 57.8%,汛期沙量占全年沙量的 86.0%。

1.3.4 汛期中常洪水出现机遇大幅度减小

统计下游花园口站 1960~1986 年、1987~1999 年和 2000~2006 年三个时段汛期各流量级洪水出现概率和水沙特征值表明(见表 1-4),日平均流量为 2 000~4 000 m³/s 的出现天数,上述三个阶段分别为 43.2 d、17.5 d 和 14.6 d,呈逐步递减趋势;该级水量占汛期水量的比例,1960~1986 年为 41.4%,1987~1999 年降为 30.9%,2000~2005 年为 32.8%;相应的输沙量占汛期沙量的比例三个时段分别为 45.1%、43.1%、62.5%。小浪底水库运用后,由于水库汛期进行了调水调沙运用,使该流量级水量、沙量占汛期的比例较上一时段有所增加。

表 1-4 花园口站各时段汛期各流量级洪水出现概率和水沙特征值

项 目	时段	日平均流量 (m ³ /s)									汛期
		<500	500 ~ 1 000	1 000 ~ 2 000	2 000 ~ 3 000	3 000 ~ 4 000	4 000 ~ 5 000	5 000 ~ 6 000	6 000 ~ 7 000	> 7 000	
天数 (d)	1960~ 1986 年	5.19	16.30	38.26	27.59	15.63	11.59	5.56	1.93	0.96	123.01
	1987~ 1999 年	24.92	37.46	41.00	12.92	4.54	1.23	0.54	0.31	0.08	123.00
	2000~ 2006 年	50.29	50.43	9.71	12.29	0.29	0	0	0	0	123.01