

SHUISHA ZAIHAI

JIQI

FANGZHI JUECE

ZHICHI XITONG

水沙灾害及其防治 决策支持系统

李文学 梁志勇 梁国亭 向立云 李 娜 盛震东 著

黄河水利出版社

水沙灾害及其防治决策支持系统

李文学 梁志勇 梁国亭 向立云
李 娜 盛震东 著

黄河水利出版社

内 容 提 要

本书系国家自然科学基金委员会与水利部联合资助国家自然科学基金重大项目(59890200)部分研究成果的总结。全书以水沙灾害学的一般知识为基础,首先介绍了水沙灾害的一般特性,然后阐述了三门峡水库及黄河下游泥沙运动特性与专家经验,提出了水沙灾害管理与防治方法,最后给出了黄河下游水沙运动的数学模型以及决策支持系统。

本书可供水文、泥沙、防洪减灾、河道整治、地理、气象、资源开发等方面的科研技术人员、工程管理人员、决策人员和有关大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

水沙灾害及其防治决策支持系统/李文学等著. —郑州:

黄河水利出版社, 2002. 10

ISBN 7-80621-611-1

I. 水… II. 李… III. ①泥沙运动-影响-河道-研究
②黄河-河道整治-淤积控制-决策支持系统③黄河-下游河段-泥沙运动-数学模型 IV. TV85

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 077393 号

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号 邮编:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话及传真:(0371)6022620

E-mail:yrpc@public2.zz.ha.cn

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开 本:787mm×1 092mm 1/16

印 张:10.75

字 数:248 千字

印数:1—1 800

版 次:2002 年 10 月 第 1 版

印次:2002 年 10 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7-80621-611-1/TV·284

定价:26.00 元

前 言

洪水灾害是发生最为频繁和严重的自然灾害之一,其发生的频繁程度,影响范围的广度,造成损失的程度,在我国各种自然灾害中均名列前茅。泥沙灾害虽然并没有出现在国际减灾委员会所列的29种自然灾害之中,但隐含在其他自然灾害中。其中直接致灾因子是泥沙的为数不少,泥沙灾害所造成的直接危害不容忽视,特别是在黄河。洪水与泥沙是黄河的两大问题,洪水灾害与泥沙灾害对人民生命财产、国民经济建设都构成了严重威胁,影响社会、经济、政治的稳定与发展。因此,研究水沙灾害,开发水沙灾害防治决策支持系统,无疑是治理黄河的大事。

随着计算机技术的迅猛发展,网络的快速普及,协助决策和管理人员进行决策的决策支持系统、会商决策系统应运而生。决策支持系统是一门新兴的、综合性的边缘学科,是以计算机为基础的、能够协助决策者利用数据库和模型库进行决策的人机交互作用系统,它涉及统计学、运筹学、知识获取、数据可视化、高性能计算、专家系统、行为科学、系统理论等学科的相关知识。水沙灾害防治决策支持系统是有效地减少水沙灾害损失的科学决策方法,也是防汛指挥系统工程的重要组成部分。计算机以其大容量、高速度为信息处理、实体模拟提供了可靠保障,网络以其快速、广泛的传播,为信息获取、决策会商提供了途径,通过人机互动模式的决策会商系统,不仅可以借助资料库、知识库快速查询相关事件的历史经验与教训,相关灾害的防治方法,而且可以进行实时模拟,重演或预测水沙过程,让决策和管理者在获取大量相关信息的同时,结合自身的主观能动性,迅速制定方案,做出抉择,实施有效的灾害防治措施。

水沙灾害防治决策支持系统的研究与开发不仅受益于计算机与网络,而且也是洪水灾害学与泥沙灾害学等新学科发展的结果。洪水灾害学是一门以洪水的水文气象特性、洪水发生发展的机理为基础,论述洪水灾害及其防治对策的学科。洪水灾害包括天然堤坝与人工堤坝出险所产生的各类洪水灾害,防治对策包括不同工程与非工程减灾措施等。本书侧重阐述河流泥沙灾害学。泥沙灾害学是一门以泥沙运动为基础,论述泥沙灾害及其防治对策的学科,泥沙灾害包括泥沙灾害概论、流域泥沙灾害、河流泥沙灾害、河口海岸泥沙灾害、风沙灾害、生态环境影响等。防治对策包括泥沙灾害的评估、预测及防治方法等。

水沙灾害防治决策支持系统是以水沙灾害学原理为基础的,而洪水灾害学与泥沙灾害学又都是新兴学科,很多方面的研究还不够成熟,相信随着相关学科的进步和研究技术的发展,还会得到不断地丰富和完善。本书将对水沙灾害做一个概述,主要以黄河为研究对象,阐述黄河水沙灾害及其防治决策支持系统。由于作者水平有限,在章节安排、内容阐述等方面一定会存在不少谬误之处,恳请读者批评指正。

本书首先对洪水与泥沙灾害进行一般描述,然后以黄河为例,讨论三门峡水库与下游河道河床演变的专家经验,在此基础上,分析黄河下游洪水与泥沙灾害及其防治对策,最

后提出洪水与泥沙灾害防治决策支持系统。全书分四个部分,共十章内容。

本书的编写与出版得到了国家自然科学基金委员会与水利部联合资助国家自然科学基金重大基金项目(59890200)的支持,在此谨表谢意。

本书系集体创作,撰稿人情况及其撰稿章节如下所列。

李文学,黄河水利科学研究院院长,博士,教授级高级工程师,译著有《泥沙输送理论与实践》等。负责全书的撰写与统稿。

梁志勇,水利部防洪抗旱减灾工程技术研究中心高级工程师,博士,著作有《引水防沙与河床演变》、《黄河高含沙水流水沙运动与河床演变》、《黄河水沙变化与下游河道减淤措施》等。参与本书第一、二、四、五、七章的撰写以及全书的统稿。

梁国亭,黄河水利科学研究院高级工程师。参与本书第八、十章的撰写。

向立云,水利部防洪抗旱减灾工程技术研究中心高级工程师,译著有《自然灾害风险评估与减灾对策》,参与编写的著作有《中国公共政策分析 2002 年卷》、《中国 21 世纪治水方略》等。参与本书第一、三章的撰写。

李娜,水利部防洪抗旱减灾工程技术研究中心工程师,博士。参与本书第六、九章的撰写。

盛震东,黄河水利委员会亚行项目办公室工程师。参与本书第二、四章的撰写。

作者
2002 年 5 月

目 录

| | |
|---------------------------|-------|
| 前言 | |
| 第一章 绪论 | (1) |
| 第二章 洪水灾害泛论 | (12) |
| 第一节 洪水概述 | (12) |
| 第二节 防洪减灾学概论 | (16) |
| 第三节 洪水灾害展望 | (19) |
| 第四节 黄河的洪水管理 | (22) |
| 第三章 泥沙灾害评价 | (25) |
| 第一节 泥沙灾害现象 | (25) |
| 第二节 泥沙灾害评价 | (30) |
| 第四章 水库冲淤特性与专家经验 | (36) |
| 第一节 三门峡水库冲淤影响因素 | (36) |
| 第二节 来水来沙变化的影响 | (39) |
| 第三节 水库运用方式的影响 | (44) |
| 第四节 水库排沙方式的影响 | (46) |
| 第五节 专家经验 | (47) |
| 第五章 下游河道冲淤特性与专家经验 | (58) |
| 第一节 河道一般冲淤特性 | (58) |
| 第二节 三门峡水库不同运用方式对下游河道冲淤的影响 | (65) |
| 第三节 专家经验 | (71) |
| 第六章 黄河下游洪水风险管理与分析 | (79) |
| 第一节 洪水风险管理 | (79) |
| 第二节 黄河下游洪水灾害、防洪体系与防洪效益 | (87) |
| 第三节 黄河下游洪水风险分析 | (89) |
| 第七章 黄河下游泥沙灾害与减灾对策 | (102) |
| 第一节 河流泥沙灾害及其研究现状 | (102) |
| 第二节 黄河下游泥沙灾害分类 | (103) |
| 第三节 侵蚀型泥沙灾害 | (104) |
| 第四节 堆积型泥沙灾害 | (106) |
| 第五节 近期泥沙灾害减灾方略 | (112) |
| 第八章 一维泥沙模型库及其应用 | (114) |
| 第一节 黄河泥沙数学模型发展概况 | (114) |
| 第二节 黄河一维泥沙数学模型 | (115) |
| 第三节 关键技术问题处理 | (120) |

| | | |
|------------|-----------------------------------|--------------|
| 第四节 | 黄河泥沙数学模型验证及应用····· | (122) |
| 第九章 | 二维水沙运动数学模型 ····· | (132) |
| 第一节 | 基本方程与计算方法····· | (132) |
| 第二节 | 关键问题处理····· | (133) |
| 第三节 | 应用实例一:黄河花园口至孙口河段洪水演进水沙运动仿真模型····· | (136) |
| 第四节 | 应用实例二:黄河下游山东段堤防保护范围研究····· | (139) |
| 第十章 | 泥沙灾害防治决策支持系统研究与开发 ····· | (144) |
| 第一节 | 泥沙灾害防治决策支持系统总体框架····· | (144) |
| 第二节 | 泥沙灾害数据库的研究与开发····· | (145) |
| 第三节 | 泥沙灾害决策支持系统模型库集成方法····· | (150) |
| 第四节 | 泥沙灾害预估和减灾对策研究与开发····· | (155) |
| 第五节 | 泥沙灾害防治决策信息需求及系统开发原则····· | (160) |

第一章 绪 论

灾害通常是指给人类生命、财产造成重大损失的自然事件或以自然力为主的事件。洪水灾害是最严重的自然灾害之一,所造成的经济损失相当严重。从泥沙运动和沉积造成的不利后果(每年约有 100 人量级的死亡和数百亿元人民币量级的经济损失)衡量,泥沙的确已经构成了灾害。凡是致灾因子是泥沙,或由泥沙诱发的其他载体给人类的生存、生存环境和物质文明建设带来危害,给经济带来损失,这样的泥沙事件就构成泥沙灾害^[1]。简言之,造成生命、财产损失的泥沙运动或沉积过程即为泥沙灾害。泥沙过程涉及范围较广,因此泥沙灾害的类型也较多,滑坡、泥石流、水库、湖泊、河道淤积、崩塌、冲刷破坏、土地沙化、水土流失、含沙洪水中泥沙的落淤与冲击对洪泛区财产造成的损失等都可归结为泥沙灾害。

一、黄河水沙灾害

历史上黄河下游以水灾频繁、严重而著称。频繁的洪水决口泛滥和河流改道给两岸人民带来了深重的灾难。据记载,自周定王五年(公元前 602 年)到 1938 年的 2 540 年中,黄河在下游决口的年份达 543 年,总计决溢次数达 1 590 多次,平均三年两决口。由于泥沙淤积严重,黄河下游发生了多次规模不同的改道。在西起黄河小浪底峡谷口,北至海河、南到淮河约 25 万 km² 的黄淮海平原广大地区,都有黄河洪水泛滥的痕迹,并因此造就了黄淮海平原。

黄河的洪水以及由此挟带的大量泥沙,塑造了广袤而肥沃的华北平原,中华民族的祖先开始在这片土地上生存繁衍,并创造了古代最为灿烂的文明,成为中国社会、经济发展的中心地带。由于人类的生存和社会的持续发展需要安定的环境,人类在华北平原定居之后,约束黄河泛滥、与黄水抗争的治黄事业,随之成为黄河流域发展的一个永恒的主题。

黄河的泥沙问题一直困扰着历代的决策者和治水人,究其主要原因,在于黄河的洪水灾害与泥沙的冲淤密切相关:首先,泥沙在黄河下游河道不断淤积,使得黄河河床处于悬河状态,一旦发生决溢,应急堵口极为困难,河水倾泻而下,波及广大的平原地区,淹没范围广,泛滥历时长,常造成巨大的经济损失和大量的人员伤亡,严重时可能导致改道;其次,泥沙在河床内大量淤积,使得主流在河道内游荡迁徙频繁,没有规律,常出现“横河”、“滚河”,主溜直接冲击堤防的情况时有发生,造成两岸堤防的冲决;其三,黄水泛滥后,将造成大面积耕地被粗颗粒黄沙覆盖,而长期丧失生产能力,人民流离失所,遗留下荒芜的黄泛区,导致生态环境长期损害。

因此,中国历代政府无不将黄河洪水视为“心腹之患”。“治黄”因而成为政府的主要任务之一,“治黄先治沙”是历代治黄人的基本共识。

二、历史上对黄河水沙特性的认识

人类一经定居,对其生存环境的了解和认识即告开始,并在此基础上逐步形成适应自然环境和改造自然环境的发展模式。黄河流域也不例外,特别是在黄河堤防修筑之后,对黄河水沙特性的认识更进入了一个不断深化和调整的过程。

传说中共工的“壅防百川”,鲧的“障洪水”与大禹的“因势利导,疏浚排洪”是对黄河洪水特性的最早期的争议与认识。

黄河含沙量之大,由来已久,东汉张戎就有“河水重浊,号为一石水而六斗泥”(《汉书·沟洫志》)。黄河不仅含沙量高,而且时间分布不均,明潘季驯称“黄河最浊,以斗计之,沙居其六,若至伏秋,则水居其二矣”(《河防一览·卷二》)。

历史上,以明代潘季驯对黄河泥沙冲淤现象阐述比较完整,“水分则势缓,势缓则沙停,沙停则河饱,尺寸之水,皆由沙面,止见其高;水合则势猛,势猛则沙刷,沙刷则河深,寻丈之水,皆由河底,止见其卑”(《河防一览·卷二》),“以二升之水,载八升之沙,非极迅溜,必至停滞”(《河防一览·卷二》)。这些论述,已经对黄河泥沙冲淤特性有了总体上的把握。

三、历史上的治河方略与实践

(一)古代治河方略

从传说中的共工筑堤埝挡水,大禹在此基础上因势利导、疏通河道,到现在的高坝大库,为保护黄河流域社会、经济发展的治河实践已经历了4 000余年。

筑堤挡洪、导洪是最古老、在许多情况下也是最有效的防洪措施。黄河比较系统的堤防建设始于战国,治河方略由以疏为主转变为以堤为主,这是人口增加、社会经济发展需要一个安定环境的必然结果。尽管此后有各种防洪方略的争议,但以堤为主的防洪政策一直延续至今。

初时的筑堤基于单纯的挡水思路,对黄河泥沙与洪水的关系基本没有认识。堤防体系形成的初期,水行低槽,流路相对通畅,堤防通常可以防御常遇洪水。随着泥沙的淤积,河床逐步抬高,而形成增修堤防与泥沙淤积抬高之间竞赛的局面,当河床淤积到一定程度,巩固堤防的能力便难抵泥沙淤积和洪水的双重压力,堤防溃决和洪水灾害随之变得日趋频繁,防洪局面极为被动。

到汉代,尤其是西汉后期,黄河下游频繁决溢,由此引出对治黄方略的争议与讨论。比较有代表性的有分疏说、滞洪说、水利刷沙说、改道说、筑堤说等治黄思想。其中带有明显政策研究性质的首推贾让三策。

上策建议“徙冀州之民当水冲者,决黎阳遮害亭,放河使北入海。河西薄大山,东薄金堤,势不能远泛滥”(《汉书·沟洫志》),以期黄河“左右游波,宽缓而不迫”(《汉书·沟洫志》)。中策建议在黄河下游多开支渠,这些支渠除有灌溉作用之外,还可以分洪减水。认为其“兴利除害,支数百岁”(《汉书·沟洫志》)。下策为单纯利用堤防防洪的策略,他认为“若乃缮完故堤,增卑倍薄,劳费无已,数逢其害,此最下策也”(《汉书·沟洫志》)。

后代对贾让的治河三策,尤其是上策,争议较多,有肯定的,也有否定的,清代靳辅对贾让上策的评价是“言之甚可听而行之必不能者,贾让之论治河是也”。实际上,历史上对

黄河的治理多采用贾让所说的下策,分洪减水措施也有运用,但主要是作为堤防的辅助措施。贾让的上策虽然没有被主动地运用,但历史上黄河的几次改道,实际上是自然对其上策的选择,代价是很大的。

东汉王景治河(公元69年)后,直到唐末的800余年,黄河处于相对安流状态,这期间对黄河治理方略的讨论较少。

到五代和北宋,王景故道严重淤积,洪水威胁防不胜防。河患日盛,决口平均每2~3年就发生一次,大决溢后改道、改流和分流先后达七次之多,由此再次引发了对治河方针的思考与讨论。归纳起来主要有以下五种。

宽河缓流和遥堤约水。这种策略以宋代姚仲孙叙述的较为完整,他认为河道狭窄之处,洪水湍急,堤防易溃,建议增筑遥堤展宽,则“水缓而不迫,可以无湍悍之忧”,并列举了这一治河方针“其利有八”(《长编》卷一三一)。

分流减水。这一策略认为“治遥堤不如分水势”(《宋史·河渠志》),并且在对黄河形势描述的基础上提出了一系列分水的建议。该策略最终导致了黄河分洪道——二股河的开通。

局部减水。这种策略包括在上游分洪(类似当今的蓄滞洪区)缓解下游洪水压力或辅助下游堵口和在大河险段开旁通引河分杀水势。前者成功的事例较多,后者对黄河而言,从实践的结果看,似乎不合适。

放任行流。鉴于遥堤缓流、分水减洪等策略未起到预期的效果,宋神宗提出了“纵水所之”、“无为而治”的方针,他论述说:“河之为患久矣,后世以事治水,故常有碍。夫水之趋下,乃其性也,以道治水,则无违其性可也。如能顺水所向,迁徙城邑以避之,复有何患?虽神禹复生,不过如此”(《宋史·河渠志》)。

疏河减淤。该策略着眼于泥沙,其代表人物是欧阳修。他认为“河本泥沙,无不淤之理。淤常先下流,下流淤高,水行渐壅,乃决上流之低处,此势之常也”(《宋史·河渠志》),建议疏河减淤,稳定下游河床。

上述各种策略,有的实施,有的半途而废,有的仅停留在议论,而黄河水患并无大的改观。到金代黄河夺淮入海,至元代,河患更加严重,直到威胁到大运河安全时,大规模治河变得刻不容缓。元末贾鲁治河即是在此背景下进行的,其基本策略还是筑堤防洪,并辅之以疏、浚、塞,维持黄河夺淮入海的格局。

由于漕运对明、清经济和国家安全具有至关重要的作用,黄河治理服从于漕运要求的指导思想一直左右着这一时期的治黄方略和实践。明朝前期的治黄方法是北堵南分、分流杀势,黄河在此期间呈多支入淮的局面,主流在南自宿迁、北至沛县之间摆动不定。

多支分流,分杀洪水水势,增加泄洪能力,用于其他河流可能不失为一种防洪的有效手段,但对于黄河这样的多泥沙的河流,无疑是一种短视的、违背黄河水沙运动规律的方法。分流的结果势必造成水流挟沙能力降低,河道淤积,水患加剧。明代前期的分流方略的结果,使得位于分流区的丰县、沛县、徐州、砀山一带水患日烈,灾害不已。

鉴于这种局面,改变治河策略势在必行,束水攻沙的治黄思路应运而生。明隆庆六年(公元1572年)万恭任总理河道,虞城一位秀才提出了“束水攻沙”、“以河治河”的设想,认为“以人治河,不若以河治河也。夫河性急,借其性而役其力,则浅可深,治在吾掌耳”(明

万恭《治水筌蹄》)。以河治河的方法是：“如欲深北，则南其堤而北自深；如欲深南，则北其堤而南自深；如欲深中，则南北堤两束之，冲中间焉，而中自深”(明万恭《治水筌蹄》)。而将此法反用之，则可淤滩固堤。万恭进而总结道：“欲河不为暴，莫若令河专而深。欲河专而深，莫若束水急而骤，使由地中，舍堤别无策。”“夫水之为性也，专则急，分则缓；而河之为势也，急则通，缓则淤。若能顺其势之所趋，而堤以束之，河安得败？”(明万恭《治水筌蹄》)。这些论述已在很大程度上把握了黄河水沙运动的总体规律，体现了治黄必须水沙兼治的科学方法，是对历史上治黄成功经验的总结与发展。自此，筑堤束水、以水攻沙、淤滩固堤的治河方略形成，并成为此后治黄策略的主流。

将上述思想成功运用到治黄具体实践中的代表人物是明代潘季驯和清代靳辅。潘季驯的办法是筑缕堤束水攻沙，以遥堤拦洪防溃，建格堤淤滩固堤，而形成了一套较完善的“以河治河”的堤防措施体系。明代时，黄、淮合流入海，潘季驯又提出并实践了以淮河清水刷黄河泥沙的“蓄清刷浑”的方略，即利用洪泽湖蓄淮河清水冲黄河泥沙。

靳辅基本上全面继承了潘季驯的治黄方略并有所发展，例如他认识到入海口淤积必将波及到内河：“关外之底既点垫，则关内之底必淤”(《行水尽鉴》)，而强调对河口泥沙施行“束堤攻之”和“挑浚导之”的治理措施。认识到超过堤防约束能力的洪水必将发生，靳辅在黄河沿岸和洪泽湖东岸修建了二十几座滚水坝，总分洪量达到 $10\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$ 以上，并在堤防修筑后所涸出的原有的黄泛荒地和分洪后所淤出的土地上屯垦，以补修防。

束水冲沙的思想及相应的具体措施若运用得当，“总以因势利导，随时制宜为主”(陈潢)，虽然在相当时期内可以稳定黄河河道，但束水并不能冲尽黄河泥沙，河高堤增的总趋势仍然存在，当淤高到一定程度，则会出现工大费巨、岁修岁坏、劳民伤财、被动防洪、难以继的局面。基于这种认识，在明、清时期则有“分黄导淮”和“两河轮流行水”的治黄方略提出。“分黄”是开新河，使黄河多支入海；“导淮”是既开辟淮河入海水道，又引淮河部分支流入江。这一方略在明潘季驯后由总督漕运杨一魁具体实施。据说工程完成后，“泗陵水患平，而淮扬安”(《明史·河渠二》)。不久，黄河在徐州以上决口，“分黄导淮”偃旗息鼓。而“两河轮流行水”仅限于议论。

我国现代水利的先驱李仪祉先生在肯定潘、靳治水方略的基础上，认为黄河治理需上、中、下游综合考虑。上、中游治理重点在减少入河泥沙，措施是设谷坊、植畔柳、开沟洫、修道路；下游除建顺坝、丁坝稳定主溜外，并建护滩坝达到淤滩、固滩、刷槽的效果。

(二)古代治河实践

历史上成功的治河都是建立在审时度势，对黄河水沙特性正确认识基础之上的。借鉴古人成功的经验，而不拘泥于古人的具体做法，“总以因势利导，随时制宜为主”，“水沙兼治”，是治黄的不二法门。

大禹、王景、贾鲁、潘季驯、靳辅是历史上成功治河的代表人物。

相传在尧、舜、禹时，黄河流域连续发生特大洪水。为治理黄河洪水，先是各部落首领共推鲧治水，他沿用共工筑堤堰围护居住地和田地的办法，未果。各部落又拥戴禹治水。禹的治水策略是因势利导、疏浚排洪，收到了“水由地中行……然后人得平土而居之”(《孟子·滕文公下》)的效果。

大禹治水后 1 000 多年间，基本上没有大洪水的记载，到公元前 602 年，黄河大改道，

约 600 年后(公元 11 年),黄河发生了有记载以来的第二次大改道。公元 69 年,王景受命治河,修卜渠,筑自荥阳东至千乘海口千余里河堤。“商度地势,凿山阜,破砥绩,直截沟洫,防遏冲要,疏决壅积,十里立一水门,令更相洄注,无复溃漏之患”(《后汉书·王景传》)。王景治理黄河的主要办法仍是筑堤约束洪水,商度地势,稳定了公元 11 年决口改道后的河床,选择了一条最短的入海路线。

王景治河以后,黄河维持了 800 多年的相对安流的局面。唐末以后,由于自然和人为的因素,黄河进入多灾多难期。北宋时期,虽倾天下一半之财力治河,河患仍日盛一日,几乎年年决溢,大决溢后改道、改流和分流达 7 次之多,而有宋神宗放任行流,迁城邑以避之的消极主张。到金代,黄河夺淮入海,开始了 700 余年的黄、淮合流的历史。

元末,为防黄河北侵影响漕运,公元 1351 年朝廷下决心,命贾鲁为总治河防使,治理黄河。贾鲁治河的基本方针有四:挽河南流,避开黄河对漕运的威胁,疏、浚、塞并举,先疏后塞,做到一举成功。全部工程历时 7 个月完成,奠定了黄河会淮入海的基本格局。贾鲁的疏、浚、塞的治河思想,对河势的规划、施工组织部署,以及障水堵口技术等,都为后来的治河者所遵从和借鉴。

到明嘉靖后期,黄河河势变得极为混乱,特别是在徐州、沛县、砀山、丰县一带更是串沟众多,洪水横流,“贾鲁故道”几乎完全淤废。这一局面与此前实行的多支分流的方略密切相关。分流治河方式失败,束水攻沙的思想便应运而生。首先阐述束水攻沙设想并运用于治河实践的,是明隆庆年间的河臣万恭,此后的潘季驯和清代的靳辅,是实现这一方略的集大成者。

潘季驯在四任总理河道期间,对“以河治河、束水攻沙”策略采取的具体措施是,修筑双重堤防,以缕堤束水攻沙,以遥堤拦洪防溃,缕堤与遥堤之间设格堤,既保护遥堤堤根不受洪水冲刷,又可淤滩固堤(图 1-1)。鉴于黄、淮在清口以下合流的具体情况,潘季驯又提出了逼淮入黄,利用洪泽湖蓄淮河清水,冲刷清口以下黄河河道泥沙的措施,以缓解此段河道淤积抬高的速度(图 1-2)。靳辅基本上沿用并进一步完善了潘季驯的治河措施体系。

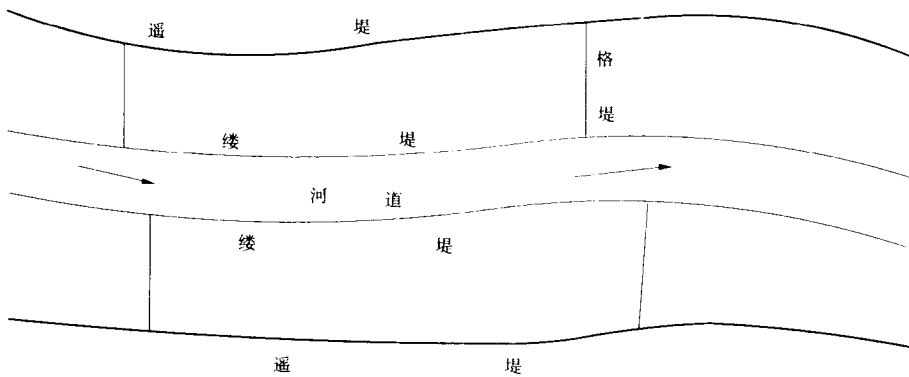


图 1-1 双重堤防示意图

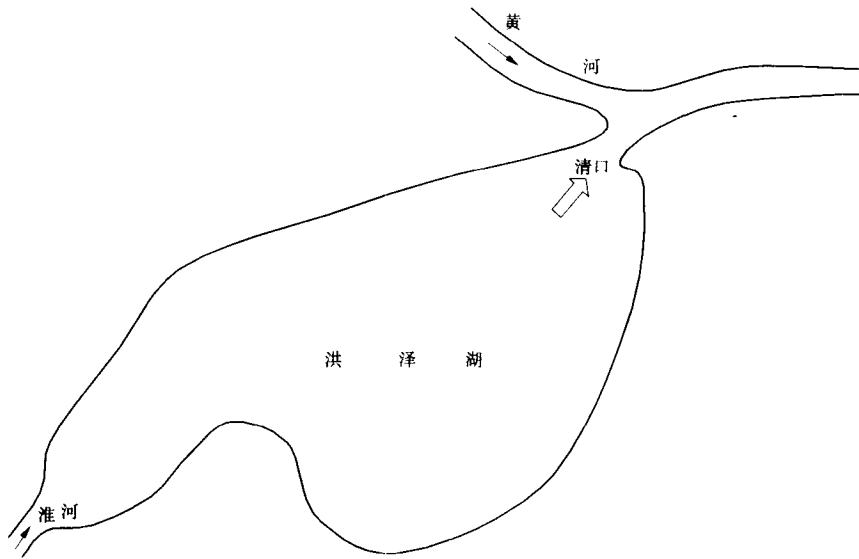


图 1-2 蓄清刷浑示意图

(三)现代治河方略

黄河水患集中于下游,而下游洪灾的形成则主要是由于泥沙太多,致使河道不断淤积抬高、排洪能力日益降低。我国历代在治理黄河洪水灾害的过程中,积累了丰富的经验,一代又一代治黄专家提出和总结了许多治黄方略,为我们留下了宝贵的财富^[2~4]。

治黄方略是历代专家在总结前人实践经验的基础上,针对当时黄河的实际情况提出的,对当今治黄起到了相当的借鉴作用。历代治黄的措施主要包括分流分洪、筑堤防洪、束水攻沙、蓄洪滞洪和拦沙蓄水等。

新中国成立后,黄河的治理方略经历了一个从单一治理到综合治理的阶段。在 20 世纪 50 年代采取“分段拦泥”、“宽河固堤”,60 年代的“蓄水拦沙”或“上拦下排”,70、80 年代的“上拦下排、两岸分滞”、“拦、排、放、调”,一直到 90 年代的“拦、排、放、调、挖”综合治理措施。“拦”就是靠中游水土保持和干、支流水库拦截泥沙;“排”是保证一定输沙水量,利用现行河道排沙入海;“放”主要是靠黄河以及沿黄灌区处理和利用泥沙;“调”是利用干流骨干水库调节水沙,以利于排沙入海,减少河道淤积;“挖”是采取机挖方法处理泥沙,挖河淤背、加固大堤,以逐步形成相对地下河^①。

在黄河治理从单一治理向综合治理过渡的过程中,学术界和工程界有过三次热潮。第一次在 20 世纪 50 年代,新中国刚刚成立,国内工程与研究机构如雨后春笋,海外学子纷纷回国,一派蒸蒸日上的情景,不少黄河治理方略浮出水面。第二次是在 70 年代末期,“科学的春天”到来了,学术界恢复了“百花齐放、百家争鸣”,在郑州召开了有上百人参加的黄河中、下游治理学术讨论会,政治家、科学家、工程师们各抒己见,畅所欲言,为黄河的

① 黄河水利委员会. 黄河重大问题及其对策. 1999

治理出谋划策,涌现出了很多治黄思想^①。第三次是进入 21 世纪以后,黄河水利委员会提出了“三条黄河”的治黄构想,在互联网上进行了黄河治理开发新思路的征文活动,涌现出了很多新思想、新方法,也推动了治黄事业的发展。以下对重要学者的治黄方略做一简要介绍。

1. 方宗岱的高含沙放淤或输沙入海方略

1975 年渭惠渠出现高含沙水流(含沙量 700 kg/m^3)输沙 50 km 而不淤,据此方宗岱于 1976 年^[5]提出了利用高含沙水流调沙灌溉或放淤处理黄河泥沙,并从根本上治理黄河的设想。他建议小浪底水库建一条进口位置较低、出口较河床为高的排沙隧洞,利用高含沙水流通过排沙隧洞(或明渠)调沙放淤至黄河两岸低洼地区,既节约了水量,又能使黄河基本上行清水,使河槽受到冲刷,从根本上治理黄河。

方宗岱认为,含沙量大于 500 kg/m^3 的高含沙水流是一相流并具有非牛顿体性质,具有较大的宾汉极限切应力,足以支持泥沙不下沉而实现远距离输送,可以在万分之一点五的比降下用管道或渠道输沙入海或向两岸放淤。当时主要有以下几点异议:①高含沙水流一般属于两相流,需要一定的粗细颗粒泥沙的比例搭配。细颗粒泥沙过多容易形成一相层流,阻力增加;粗颗粒过多,则输沙能力又不会很大。②河道高含沙水流大属于宾汉体,但不是一相流,沿程有大量淤积。

后来的研究表明,黄河高含沙水流多属于非均质两相流,在紊流发展的情况下,宾汉极限切应力趋近于零。

2. 钱宁等的调水调沙治黄方略

河流的演变主要取决于流域的来水来沙与河道边界条件。治黄不仅可以通过改变河流的边界条件(如加高、加宽大堤,修建控导工程等),也可以通过利用水利枢纽工程来调节进入下游河道在水沙过程,使下游河道朝着有利的方向发展。

钱宁等^[6,7]曾建议,可利用人造洪峰下泄清水冲刷下游河道,利用水库进行“拦大沙、排小沙”、“拦粗沙、排细沙”;认为“淤槽不如淤滩”、“淤窄河段不如淤宽河段”,提出可在下游河道修建干流旁引水库或支流水库,创造使下游洪水漫滩的机会,在非汛期预蓄一部分清水,待干流洪水来临后,还可利用干流旁引水库或支流水库进行补水,加大洪峰流量,使下游河道普遍漫滩,将大量泥沙淤积搬到滩地上,为下游河槽的长距离冲刷创造有利条件。

后来的研究表明,利用人造洪水冲刷下游河道的距离可能是有限的,甚至会冲了上段淤了下游。另外,从现今的发展来看,水资源矛盾日益突出,利用黄河流域之水进行排沙几乎不可能;而且,洪水漫滩后也会造成一些环境和社会问题(如滩区群众生活问题等)。

3. 尹学良的大、小水分流方略

尹学良在 1964 年就指出黄河的害沙是小水期的粗颗粒泥沙,认为黄河问题的关键是小水期河槽不断淤积抬高,排洪能力逐渐下降。提出利用上、中、下游水库来调节水流过程,避免下游河道的小水期淤积。

后来根据当时西河口大堤防洪高度、河道特性、海域容沙输沙特性等计算,得到当时

^① 中国水利学会黄河中下游治理规划学术讨论会秘书处. 黄河中下游治理规划学术讨论会简报. 1979

河口能再用 50 年,西河口水位也不会超过当时西河口大堤的防御水位,而且留有较大的富裕安全度。尹学良认为河口河槽有大水冲刷、小水淤积的特点,提出了大、小水分流治理黄河的设想,将使河槽淤积的小水从小浪底水库或郑州以上分流到黄河的一岸或两岸,让小水沿黄河之外的“渠道”顺黄河的方向而下行,或灌溉农田,或进行淤背加固大堤,或流入大海,同时河口流路的使用年限还能大大延长^[8]。

尹学良所提出的大、小水分流治黄思想虽然没有实现,但是为了避免小水期淤积而不下泄小流量的调节方式已经为大家所接受,并成为小浪底水库的调度方式之一。

4. 齐璞的高含沙调水调沙方略

齐璞以渭河为例,认为中、小洪水造成渭河下游淤积,南山支流来清水造成河道冲刷,泾河发生高含沙洪水时下游河道也发生冲刷。他指出河流治理中存在两个治理方向,一是清水治河,二是高含沙水流治河。齐璞认为黄河下游的来沙有粗有细,通过水库调节可能形成高含沙水流,提出了进行人造高含沙水流治理黄河的设想。一方面可以塑造窄深河道,另一方面通过高含沙水流将黄河的大量泥沙输送入海,从而减缓下游河道的泥沙淤积。

随着认识的深入,有的学者指出了窄深断面情况下高含沙水流输沙的局限性,认为窄深断面形态有利于高含沙水流的稳定输送,但窄深断面有相当的不稳定性,在中、小含沙量情况下河道两岸往往出现坍塌,窄深断面难以维持,造成高含沙输沙时泥沙的大量落淤。齐璞也注意到了宽浅游荡河段与高含沙水流输送的关系,从渭河、北洛河的水沙条件与河床演变关系出发,认为只要能人为地产生历时较长、流量比较稳定的高含沙洪水,再借助对宽河道的整治,促使河槽稳定,并利用水库联合调度使黄河下游成为排泄洪水或高含沙洪水的通道,可从此解决黄河下游的泥沙淤积问题^[9]。

5. 费祥俊的渠道高含沙长距离输沙入海方略

费祥俊结合上述高含沙与大、小水分流两种治黄策略之优势,指出可以利用高含沙水流将水库之泥沙引入渠道到两岸放淤,从而大大减轻高含沙水流对河道的危害^[10]。

费祥俊认为,天然河道与渠道高含沙水流输沙不同。其主要区别在于:①虽然二者可能均为非均质两相流,存在输沙的不淤流速,但其不淤流速的大小有所不同。在同样条件下,天然河道的不淤流速多大于渠道的不淤流速。②窄深断面有利于高含沙水流输送,天然河道与渠道的断面形态参数也相差较大。这种差别将导致输送同样含沙量泥沙,河道的比降不得不远大于渠道的比降。正因为如此,天然河道不可能长距离输送含沙量较高的浑水。

实际上以上两个差别是随泥沙粗细与组成以及断面形态而变化的,在特定条件下也可能不再存在。例如渭河下游常常泥沙颗粒较细、断面形态较为窄深,所以出现长距离输沙不淤的情况。

6. 胡一三的宽河定槽方略

“宽河”是指河流两岸堤防间的堤距宽,河道面积广;“定槽”是指稳定河流的中水河槽。胡一三认为:宽河可以削减洪峰,滞蓄洪量,减轻下游的防洪压力;宽阔滩区落淤沉沙可以减缓河床的抬升速度,通过洪水期滩槽水流交换,淤滩刷槽,保持河槽的排洪输沙能力;由于滩区淤积,减少了输向河口的泥沙,在某种意义上宽河可以延长河道的寿命。

河势演变往往危及堤防安全,需要稳定中水河槽。实践表明,河道整治可以稳定中水河槽,并在防洪、工农业生产及滩区安全中发挥明显作用。滩区是洪水通道,又居住有居民,必须进行安全建设。治河实践,尤其是近半个世纪的实践表明,“宽河定槽”是黄河防洪的有效策略^[11,12]。

(四)评述

自有人类在黄河流域定居、繁衍以来,与水争地、与沙争地便在所难免。在4 000余年的与黄河水沙灾害不断抗争的过程中,人类对黄河水沙特征已有了较全面的认识,并摸索和总结出了相对成功的治黄工程措施。

水沙兼治是治黄必须遵循的基本原则之一。黄河的高含沙量使其具有善淤、善决、善徙,水灾频繁的特性,脱离了治沙的治黄策略通常是不可能成功的。

对于黄河水沙灾害,历史上提出过许多治理方略,例如贾让的治水三策,后汉明帝和宋神宗的放任自流、避水而居、随高而处,汉代提出的、明宋时期曾采用的多支分流,清代有人提出的两河轮流行水等。从成功治河的先例看,筑堤束水防洪是治理黄河水患的有效手段,王景、贾鲁、潘季驯、靳辅、陈潢等治河大家的实践证明了这一点。

与其他河流的堤防不同,由于担负水沙兼治的双重任务,面临着因泥沙运动造成的主溜游荡、河势善变的河道演变特征,黄河的堤防体系更为复杂(图 1-1),综括起来可归纳为治导、束水、固滩、防洪四个方面。丁坝、顺坝(缕堤)兼有治导和束水功能,稳定河势、束水攻沙;固滩则依靠格堤、丁坝、固滩坝^[3]以及滩地植被等使泥沙落淤来实现,对于固滩的作用,有“守堤不如守滩”之说;黄河大堤(遥堤)则担负防洪的任务,这一堤防体系一直沿用至今。对超过大堤标准的洪水,古时用滚水坝有控制地将洪水滞蓄于某一区域,现在则将其蓄于水库或滞洪区内。

“以河治河”、“以河治沙”是在对黄河水沙特性及其运动规律深刻认识的基础上总结出来的一项根本性治水治沙方针。束水攻沙、淤滩固堤、蓄清刷浑、蓄清排浑是实现这一方针的具体措施,往往能达到事半功倍的效果。1935年李仪祉先生在《利津以下筑堤不如巩岸论》一文中曾提出完全通过利用黄河水沙特性渐次形成天然高岸的设想,可以说达到了“以河治河”、利用泥沙特性的最高境界,与目前所提倡的可持续发展、风险管理和人水协调的治水思路基本一致,惜乎未能实施。文尾先生感叹:“假使黄河向来无有堤防,而年受漫溢之患,则余敢言起始即用此法,可以不使河病如今日之甚。既往者不可追矣,未来者宁可再蹈其覆辙哉?”

虽然合理的堤防体系可使黄河在较长时期内安流,但河床因泥沙淤积日益抬高则是总的趋势。不筑堤则水患不断,受黄河洪水威胁区域的社会、经济发展难以获得相对安定的环境;筑堤则河床抬高不可避免,与之相应的是工大费巨,变成加高培厚堤防与河床抬高之间的恶性竞赛,最终则不堪重负、防不胜防,岁修岁坏,酿成大决堤和改道,几成黄河千古不变的定式。面对这种进退两难的困境,一些人主张分流,一些人(如汉明帝、宋神宗、清代陈法等)倡导被靳辅认为是“言之甚可听而行之必不能”的贾让的上策,一些人则开始从泥沙来源考虑,将治理黄河的思路向中、上游扩展。

一些人将西汉末年到唐末 800 多年黄河相对安流的原因归结为这一期间黄河上、中游植被良好,入黄泥沙大量减少,而中唐以后,植被遭破坏,黄河泥沙增多,所以河患愈演

愈烈¹³。李仪祉先生也将黄河治本的方略放在中、上游产沙区,具体措施是开沟洫、筑谷坊、植畔柳、修道路,以减少入黄泥沙量。

上、中、下游综合治理,治本与治标相结合将是未来防治黄河水沙灾害的基本方略。通过对上、中游入黄泥沙的控制,下游巩固堤防,辅之以水库的调水调沙,或可期望黄河维持长治久安的局面。

四、水沙灾害防治决策系统

决策支持系统(Decision Support System, DSS)是一门新兴的边缘学科,是以计算机为基础的、能够协助决策者利用数据库和模型库进行决策的人机交互作用系统,它涉及统计学、运筹学、知识获取、数据可视化、高性能计算、专家系统、行为科学、系统理论等学科的相关知识。决策支持系统的产生,从意识、目标来讲,它是人类长期以来探索不仅能够进行计算,还能够模拟人类大脑思维、推理等活动的智能机器的必然趋势;从理论基础来看,它是控制论、信息论、系统论、计算机科学、神经生理学、心理学、数学、哲学、社会经济学等学科相互渗透的结果;从物质技术基础来看,它是电子计算机技术的出现及其迅猛发展的结果。

水沙灾害防治决策支持系统是有效地减少洪水与泥沙灾害损失的科学决策方法,也是防汛指挥系统工程的重要组成部分。水沙灾害防治决策支持系统的研究开发应考虑以下几个方面的内容:

- (1)分析水沙灾害的一般情况,对水沙灾害进行分类总结,形成知识库;
- (2)对历史水沙灾害现象进行分类总结,形成信息库;
- (3)根据水沙灾害的特征以及历史水沙灾害的经验与教训,提出灾害防治的一般方法,形成专家经验库;
- (4)建立水沙灾害模拟的模型库,利用模型库可以进行不同情况或方案的计算模拟和预报;
- (5)建立与水沙灾害基本信息有关的其他信息库,如水文信息库、社会经济地理信息库等;
- (6)利用知识库、信息库、专家经验库、模型库等进行符合实际的逻辑判断、快速准确地计算、大容量的信息检索与分类等,提供良好的人机交互系统,与人的创造性、随机应变能力、主观意愿相结合,形成决策支持系统或会商决策系统。

决策支持系统的开发可以分为三个阶段:

(1)“人工”阶段:这一阶段为决策系统建立的初级阶段,所有工具和系统都是由决策系统完成者或专业人员将专家知识编辑成某一工具、系统或知识库,将专家经验编辑成信息库,并利用有关信息进行检验,生成所需的水沙灾害防治决策支持系统或其子系统。在这一阶段,系统的正常运行往往需要专业人员或经过培训的管理人员进行编辑与校正,人工干预较多,可谓“人工”阶段。

(2)“傻瓜”阶段:尽管“人工”阶段通过简单培训管理者就可能学会使用,但仍需要熟悉如何将专家知识、经验转化为按知识描述语言规定的格式进行编辑。当决策支持系统发展到“傻瓜”阶段后,用户不必了解决策系统的术语、词汇、甚至机器语言,就可以完全按