



黄河下游

洪水灾害风险与后备流路

刘燕华 康相武 吴绍洪 等著



国家科学技术学术著作出版基金资助出版

黄河下游洪水灾害风险 与后备流路

刘燕华 康相武 吴绍洪 等 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书针对黄河治理这一经典论题,从宏观的时空视野、多学科结合的角度,用翔实的数据、先进的技术和缜密的逻辑研究了目前黄河下游存在的洪水灾害风险,系统总结了黄河下游河道发育的自然规律,并据此提出为现行黄河预留后备流路作为治黄的远景战略,将黄河之害限于可控的范围内,具有重要的理论和实践意义。主要成果包括提出从地域系统角度探索治黄途径的意义与必要性;构建了黄河下游决溢风险评价模型,综合评价了各个河段的决溢风险;运用黄河下游决溢洪水演进模型,预演了黄河下游决溢洪水的演进过程及淹没状况;建立了大尺度洪水灾害影响与损失评估方法,预估了黄河下游典型位置发生决溢将会造成的社会经济损失;提出顺应黄河发育规律,确定后备流路作为治黄远景战略,以规避黄河下游的洪水灾害风险。

本书可供风险管理、灾害防治、地球科学、黄河水资源管理、区域发展等领域的科技工作者和管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

黄河下游洪水灾害风险与后备流路/刘燕华等著. —北京:科学出版社, 2008

ISBN 978-7-03-020389-2

I. 黄… II. 刘… III. 黄河-下游河段-防洪-研究 IV. TV882.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 196677 号

责任编辑:赵 峰 朱海燕 李久进/责任校对:陈玉凤

责任印制:钱玉芬/封面设计:王 浩

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008年2月第一版 开本:787×1092 1/16

2008年2月第一次印刷 印张:16 1/2

印数:1—1 500 字数:376 000

定价:98.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈科印〉)

前 言

黄河下游以及与之息息相关的黄淮海平原是中国的心腹之区，其在我国社会经济可持续发展中具有举足轻重的地位。然而作为闻名于世的多泥沙河流，黄河也是世界上最难治理的河流之一。黄河下游自古就具有善淤、善决、善徙之特点，洪水灾害十分频繁。从先秦时期到民国年间的 2500 多年中其决溢达 1600 余次，改道 26 次，其中大改道 7 次。黄河下游现行河道从 1875 年至 1938 年间两岸大堤决口达 116 次。

1949 年以来，国家对黄河的治理一直高度重视，修建众多水库、河道治理工程，基本形成“上拦下排，两岸分滞”的防洪工程体系，使得黄河下游两岸大堤 1958 年来未曾发生过一次决溢，人民治黄事业取得了举世瞩目的成就。

然而福亦祸所伏，黄河 1958 年来的安澜无恙却使下游河道泥沙大量淤积，加之两岸大堤不断加高，使下游悬河加剧；而且随着河床的不断淤积升高，形成滩唇高、堤根低、滩面向堤根倾斜的地貌，部分河道形成“二级悬河”。由于目前河床不断淤积抬高，河道过洪能力不断下降，当达到 $2600\text{m}^3/\text{s}$ 流量时滩区就会被淹成灾，达到 $3000\text{m}^3/\text{s}$ 流量时下游大堤就会出险，而黄河下游小浪底至花园口间的无控制区百年一遇洪水为 $12\ 900\text{m}^3/\text{s}$ ；由于小浪底水库并不能完全控制小浪底以上洪水，加之在当今全球气候变化的影响下，我国各地极端天气事件频繁发生，流域内气温及降雨变差系数增大，黄河下游的防洪形势变得更加复杂。黄河一旦决口将对黄淮海平原地区国民经济发展致以重创，甚至会打乱我国社会经济发展的整体部署。

本项研究针对黄河下游洪水灾害风险加剧的局面，为保障社会经济健康发展，以提出前瞻性、战略性的规避风险策略作为目标，综合运用地理学、水文学、水力学、地貌学、地质及工程地质学、灾害经济学等学科的理论与方法，全面分析评价了目前黄河下游的洪水灾害风险，系统总结了黄河下游的发育规律，并根据黄河淤徙改道的自然发育规律，提出后备流路作为治黄远景战略。

本书共六章，第一章为绪论，阐明了开展本项研究的缘由，本研究的目标、内容和方法，及相关研究进展；第二章为黄河中下游环境特征，系统分析总结了黄河下游的主要环境特征及影响黄河下游发育的环境因子的作用规律；第三章为黄河下游悬河决溢风险评价，主要是建立黄河下游悬河决溢风

险的评价指标体系和模糊数学综合评价模型,评价了不同洪水情景下、不同空间位置的决溢风险;第四章为黄河下游决溢洪水淹没特性分析,主要是建立了决溢洪水的演进模型,模拟了黄河下游决溢洪水的淹没状况;第五章为黄河下游决溢洪水灾害损失与影响预估,构建了大尺度洪水灾害影响与损失预估技术和方法,预估了典型洪水情景下可能造成的灾害损失及其影响;第六章为黄河下游后备流路,根据黄河下游河道的发育规律,以行河最优为原则,采用基于GIS的数学模型对黄河下游地区进行综合分析,确定了黄河下游的最优后备流路方案。本项研究在国内外期刊上发表学术论文10余篇,其中SCI收录论文6篇,编写科研报告2份,出版专著1部。

本项研究是课题组成员从2002年开始通力合作历经三年完成的研究成果。刘燕华提出了本项研究的研究方向和研究思路,刘燕华、康相武、吴绍洪、杨勤业、戴尔阜设计了本项研究的总体研究方案和本书的总体框架,吴绍洪、康相武统筹负责研究方案的具体执行。各部分研究工作和章节撰写完成情况如下:

刘燕华、康相武、戴尔阜完成本研究总体思想和第一章的撰写工作;

吴绍洪、杨勤业、马欣完成黄河下游发育规律研究和第二章的撰写工作;

夏富强、马欣完成黄河下游决溢风险评价部分的具体研究和第三章的撰写工作;

杨佩国、夏富强、杨思全完成黄河下游决溢洪水淹没特性分析部分的具体研究和第四章的撰写工作;

康相武、杨佩国、杨思全完成黄河下游决溢洪水损失与影响预估的具体研究和第五章的撰写工作,刘自强参与了部分研究工作;

马欣、康相武完成黄河下游后备流路的具体研究和第六章的撰写工作;

全书由康相武统稿,由刘燕华、吴绍洪审定。

在开展本项研究的过程中,得到了很多专家学者在学术上的不吝赐教和热情帮助,对本项研究成果水平的提高助益很多,他们是科技部社会发展司孙洪副司长,资源环境处沈建中处长、吕学都处长、延吉生处长,科技部基础司周文能处长,中国21世纪议程管理中心傅小锋处长;黄河水利委员会刘晓燕副总工、徐福龄先生、胡一三总工,国科局张建中处长,防办减灾处黄淑阁处长,黄河水利委员会勘测规划设计研究院毋光荣总工、刘金勇处长、戴祺祥总工、张晓玉工程师、丁大发工程师,黄河水利委员会水文局信息中心王清斋处长、林来照总工、赵淑饶工程师;中国科学院地理科学与资源研究所的陆中臣研究员、李秀彬研究员、张镜锂研究员、周成虎研究员、金凤君研究员、许炯心研究员、李荣生研究员、尤联元研究员、池天河研究

员；国家地震局李飞鸣处长，国家地震局地壳应力研究所谢富仁所长、陈连旺研究员，国家地震局地质研究所高建国研究员，国家地震局天津第一形变观测中心杨国华研究员、王若柏研究员；国家测绘局国土测绘司孙承志处长，国家基础地理信息中心吴剑锋处长、吴茜冰女士；水利部水利科技推广中心张金宏主任，中国水利水电科学院水力学研究所吴一红所长、王晓松博士，防洪减灾所陆吉康总工、程晓陶所长、丁留谦副所长、万洪涛博士、李娜博士；河南省地质调查研究院新乡水环分院皇甫行丰副院长；中山大学陈建耀教授；新疆师范大学李志忠教授；新疆大学李晓东教授；河南省统计局姚琨璞处长、罗勤礼处长；DHI公司中国分部王菲霞女士等。在黄河下游实地考察时，国家防总综合处侯英杰处长，黄河水利委员会防办张希玉工程师，河南河务局邙金局王东月副局长、开封河务局王松鹤局长，山东菏泽河务局付帮勤总工、东平湖河务局谢军局长、济南河务局王军处长、贾明永主任、河口河务局程天文总工，中国石化集团公司科技研发部关晓东处长、胜利油田科技处陈建平处长、胡重浩总工；民政部救灾救济司郑远处长给予了大力支持和帮助。在此，全体作者对所有给予帮助的人表示衷心的感谢。

黄河下游洪水灾害风险及治理途径研究包含的内容极为广泛，涉及因素众多，是一个需要不断探索的重大课题，本书难免存在不足之处，敬请读者批评指正。

作 者

2007年8月于北京

目 录

前言

| | |
|-------------------------------|----|
| 第一章 绪论 | 1 |
| 第一节 黄河下游面临严峻的洪水灾害威胁..... | 1 |
| 第二节 当前黄河治理困境与远景战略..... | 4 |
| 一、当前黄河治理的困境与解析 | 4 |
| 二、突破当前治黄困境的远景战略..... | 6 |
| 第三节 本项研究的研究目标、内容和方法..... | 7 |
| 一、研究目标 | 7 |
| 二、研究内容 | 7 |
| 三、研究方法与技术路线 | 8 |
| 第四节 相关研究进展..... | 8 |
| 一、洪水灾害风险 | 8 |
| 二、悬河决溢风险评价的研究现状 | 10 |
| 三、决溢洪水淹没特性分析方法研究进展..... | 11 |
| 四、大流域洪水灾害影响与损失评估 | 12 |
| 五、黄河下游治理策略 | 13 |
| 六、黄河下游改道治理研究 | 14 |
| 本章小结 | 16 |
| 第二章 黄河中下游环境特征 | 18 |
| 第一节 研究区概况 | 18 |
| 第二节 黄河中下游环境特征 | 19 |
| 一、自然环境特征 | 19 |
| 二、河道及河床特征 | 24 |
| 第三节 影响黄河下游发育的环境因子作用规律 | 26 |
| 一、黄土高原的土壤侵蚀主要是自然过程..... | 26 |
| 二、平原型多泥沙河流的发育规律 | 27 |
| 三、黄河下游发育的地质控制机理 | 28 |
| 四、人类活动对黄河下游发育的影响 | 32 |
| 五、黄河河道萎缩致灾机理 | 32 |
| 本章小结 | 33 |
| 第三章 黄河下游悬河决溢风险评价 | 35 |
| 第一节 决溢风险评价的总体思路 | 35 |
| 第二节 黄河下游悬河决溢的影响因素 | 36 |

| | |
|---------------------------------|------------|
| 一、黄河下游河道的历史决溢改道 | 36 |
| 二、来水来沙条件对悬河决溢的影响 | 39 |
| 三、区域地壳稳定性对悬河决溢的影响 | 44 |
| 四、河势演变对悬河决溢风险的影响 | 49 |
| 五、堤防稳定性对悬河决溢的影响 | 50 |
| 六、黄河下游悬河决溢风险的发展趋势 | 52 |
| 第三节 悬河决溢风险评价指标体系 | 53 |
| 一、决溢风险评价原则 | 53 |
| 二、评价指标选择及其作用机理 | 54 |
| 第四节 评价模型的构建与指标数据处理 | 60 |
| 一、悬河决溢风险评价定位与来水来沙类型的选择 | 60 |
| 二、评价模型的建立 | 62 |
| 三、评价指标权重的确定 | 64 |
| 四、评价指标数据的处理 | 66 |
| 第五节 黄河下游悬河决溢风险综合评价 | 71 |
| 一、下游悬河决溢风险界定标准 | 71 |
| 二、下游悬河决溢风险影响因素评价 | 71 |
| 三、不同洪水情景下的决溢风险综合评价结果分析 | 85 |
| 四、黄河下游悬河决溢风险分布规律 | 94 |
| 五、决溢风险较大河段的主要影响因素及指标分析 | 96 |
| 本章小结 | 108 |
| 第四章 黄河下游决溢洪水淹没特性分析 | 110 |
| 第一节 黄河下游决溢洪水淹没模拟模型 | 110 |
| 一、黄河下游洪水特性分析方法的选择 | 110 |
| 二、二维洪水模拟模型的建立 | 111 |
| 三、黄河决溢洪水演进的基本方程 | 111 |
| 四、初始条件及边界条件的设定 | 112 |
| 五、糙率系数的确定 | 113 |
| 六、洪水演进模型的界面与应用技术流程 | 113 |
| 七、模型的验证 | 114 |
| 第二节 数据资料的准备及分析条件的确定 | 115 |
| 一、洪水决口位置的确定 | 115 |
| 二、典型洪水的选择 | 116 |
| 三、确定模拟方案 | 117 |
| 四、数据资料的准备及前期处理 | 118 |
| 第三节 黄河下游决溢洪水淹没模拟结果与分析 | 119 |
| 一、开封黑岗口决溢洪水淹没特性分析 | 119 |
| 二、东明决溢洪水淹没特性分析 | 126 |

| | |
|------------------------------------|------------|
| 三、济南决溢洪水特性分析 | 131 |
| 四、原阳决溢洪水特性分析 | 135 |
| 五、不同地点决溢模拟结果的对比分析 | 141 |
| 本章小结 | 144 |
| 第五章 黄河下游决溢洪水灾害损失与影响预估 | 146 |
| 第一节 黄河下游洪水灾害影响与损失预估的方法与技术 | 146 |
| 一、黄河下游历史洪水灾害的特点 | 146 |
| 二、大尺度洪灾损失预估的特点与问题 | 147 |
| 三、评估思路与评价技术模式设计 | 149 |
| 第二节 社会经济财产易损性分析 | 153 |
| 一、影响各类社会经济财产洪灾损失率的因素 | 153 |
| 二、黄河下游洪泛区各类社会经济财产损失率的确定 | 154 |
| 第三节 社会经济数据的收集整理与空间化 | 157 |
| 一、社会经济财产数据的收集与整理 | 157 |
| 二、社会经济财产数据的空间化 | 159 |
| 三、人口及交通设施数据空间化 | 160 |
| 第四节 黄河下游洪水灾害影响与损失预估 | 161 |
| 一、黄河下游决溢洪水的社会影响 | 161 |
| 二、决溢洪水造成的经济损失预估 | 188 |
| 三、黄河下游决溢洪水造成的生态环境损失预估 | 200 |
| 本章小结 | 201 |
| 第六章 黄河下游后备流路 | 203 |
| 第一节 黄河下游后备流路研究的基本思路 | 203 |
| 一、黄河下游后备流路研究的思路 | 203 |
| 二、黄河下游后备流路研究的技术方法支撑 | 205 |
| 第二节 黄河下游后备流路研究核心区的确定 | 206 |
| 一、现黄河南北两岸行河历史对比 | 206 |
| 二、南北岸地质条件的对比 | 207 |
| 三、黄河北岸地形与行河 | 208 |
| 四、黄河可能夺取的河流及其影响 | 209 |
| 五、后备流路研究的核心区域 | 211 |
| 第三节 后备流路的地形优选 | 212 |
| 一、基于水力学模拟的地形分析 | 212 |
| 二、汇流模拟 | 213 |
| 三、地形适宜区 | 216 |
| 第四节 后备流路与地质构造影响的顺应与回避 | 217 |
| 一、黄河下游地区构造运动对黄河行河的影响 | 217 |
| 二、构造格局与地壳形变的分析技术方法 | 218 |

| | |
|-----------------------------|------------|
| 三、构造运动综合评价 | 221 |
| 第五节 后备流路研究的区域地壳稳定性评价 | 224 |
| 一、黄河下游地区地壳稳定性主要特征 | 225 |
| 二、研究核心区内的地壳稳定性特征 | 226 |
| 第六节 黄河下游后备流路 | 226 |
| 一、后备流路的起点与终点 | 226 |
| 二、社会经济条件对后备流路的影响 | 228 |
| 三、最优流路网络分析原理 | 229 |
| 四、栅格网络最优路径建模 | 231 |
| 五、各种情景下后备流路预案的特征分析 | 236 |
| 六、最优后备流路的选择 | 241 |
| 七、现行黄河决溢损失与启用后备流路成本比较 | 242 |
| 第七节 黄河下游后备流路的启用及后效影响 | 243 |
| 一、后备流路启用 | 243 |
| 二、后备流路启用引起的后效影响 | 244 |
| 本章小结 | 247 |
| 主要参考文献 | 249 |

第一章 绪 论

第一节 黄河下游面临严峻的洪水灾害威胁

黄河下游历来洪水灾害频繁,但由于近 20 年来的水资源短缺、20 世纪 90 年代的断流和 50 多年的安澜局面使人们对黄河下游洪水灾害风险的认识逐渐淡薄。但是随着全球环境变化所引起的降水异常、自然灾害增加以及厄尔尼诺等极端灾害性天气的频繁爆发,加之黄河流域近 20 年来水来沙状况以及人类生产活动引起的新问题,黄河下游面临更加严峻的洪水灾害威胁。

由于其特殊的流域自然环境特征,黄河自古以来就是善淤、善决、善徙的多灾河流。历史上黄河改道大多因洪水灾害所致,属于自然过程,并且每次洪水灾害都造成惨重的人员伤亡,并给当时社会、经济发展以重创。

针对黄河下游的洪水灾害,我国政府曾经耗费巨大的人力、物力和财力,多次加高加固大堤,并且在黄土高原实施水土保持,在干流及支流上修建三门峡、小浪底等水利枢纽工程及其他措施。这些措施在过去的 50 多年里对预防黄河的洪水灾害起了重大作用,但黄河下游泥沙淤积问题始终未得到根治。过去 50 多年的泥沙淤积和近年来人类生产活动引起的新问题,孕育着更加严峻的洪水灾害危险。导致黄河下游洪水灾害的主要因素包括:

1) 黄河下游仍存在特大洪水。小浪底至花园口的无控制区百年一遇洪水设计洪峰流量为 $12\ 900\text{m}^3/\text{s}$,考虑该区间以上来水经三门峡、小浪底、陆浑、故县 4 水库联合调度后,花园口百年一遇洪水设计洪峰流量仍达 $15\ 700\text{m}^3/\text{s}$,且预见期短,对堤防有很大威胁(陈效国、邓盛明,2002)。2003 年华西秋雨的天气形势,以上 4 座水库联合调度对小浪底以上来水的控制能力有限。

黄河流域年平均降水量为 $600\sim 800\text{mm}$,集中于 7~9 月,且多以暴雨形式出现;黄河中下游是全国年降水量变差系数最高的地区之一,最大年降水量是最小年降水量的 4 倍。此外,由于全球气候变化的影响,黄河流域的各种自然环境因素也在不断变化,并表现为更加复杂化,流域内气温及降雨变差系数增大(叶青超等,1997),流域发生洪水灾害的潜在危险增加。

2) 河道淤积萎缩,河床增高,悬河形势加剧,主槽行洪能力锐减。黄河中游流经的黄土高原地区存在严重的水土流失,大量泥沙输入黄河;黄河下游所处的黄淮海平原地势平坦,比降只有 $1.25\text{‰}\sim 1.67\text{‰}$,微弱起伏的地形造成了排水缓慢,河道内泥沙容易淤积,河床不断抬升形成高出地面平均 $3\sim 8\text{m}$ 的地上悬河,为洪水的发生及蔓延创造了便利的自然条件。

受构造提升以及脆弱区域环境的影响,黄土高原极易发生土壤侵蚀。截至目前,黄土高原近 30万 km^2 水土流失区尚未得到有效治理,大规模的能源重化工基地建设产生的水土流失,使中游来沙量尚未显著减少;中下游地区大量引黄灌溉也使下游河水输沙

入海的能力降低（叶青超等，1997）。再加上黄河的水量减少大于沙量减少，尤其自1982年以来，黄河下游未发生过大洪水，中小洪水也显著减少，加之下游滩区修筑生产堤，减少了洪水漫滩几率，加重了河槽淤积，泥沙主要淤积在主槽，主河槽的淤积速率远大于历史上任何时期，造成河床横比降加大，逐渐形成槽高滩低、“悬河中的悬河”（刘红宾，1997）。这些因素造成河床抬升和地上河增高的局面不断加剧，在洪水期间极易发生斜河、横河和滚河，将形成重大险情。而且当前二级悬河的长度已经超过550km，黄河下游的滩面与明清古道已比较接近（图 1.1），孕育着自然改道的危险。

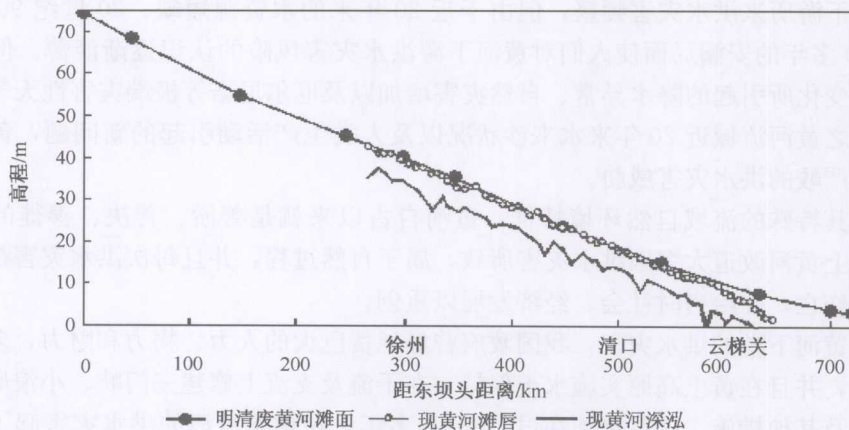


图 1.1 现行黄河与明清故道滩地纵剖面比较^①

废黄河数据引自张仁、谢树南（1985）；现黄河数据引自黄河水利委员会 2000 年 5 月实测大坝断面

由于河槽萎缩加剧，黄河下游河道行洪能力已经远远不如以前，形成同流量水位抬升量增大、小流量高水位的情势。1992 年 8 月 16 日 18 时花园口洪峰流量为 6260m³/s，水位比 1982 年 15 300m³/s 流量的水位还高 0.34m。2002 年调水调沙试验，夹河滩、高村和孙口断面在不足 3000m³/s 流量的条件下，水位已经达到或接近 1996 年洪水的水位，夹河滩至高村河段在 1800m³/s 流量时就出现漫滩和生产堤破口（周建军、林秉南，2003）。濮阳刁城滩双合岭断面流量 1800m³/s 时，河水漫滩，形成顺堤行洪，堤根处的水深达 4~5m（李国英，2002a）。

河槽萎缩、主槽行洪能力降低的直接表现是洪水水位增高，滩区淹没面积增加。“96·8”洪水中，花园口最大流量 7600m³/s、最高水位 94.73m，为该站实测资料的最高水位，比 1958 年 22 300m³/s 流量的相应水位高 1.06m，比 1982 年 15 300m³/s 流量的相应水位高 0.74m。这次洪水流量不大，但漫滩范围很广，其中 1855 年铜瓦厢决口改道形成的原阳、封丘、中牟等大部分高滩也漫滩上水（这些滩地 140 余年来未上水），淹没耕地 23 万 hm²，倒塌房屋 11.6 万间，受灾人口 107 万，比 1958 年特大洪水所造成的淹没损失还大（齐璞，2000）。

3) 库坝堤防工程体系承受洪水能力有限。小浪底水库可以适当缓解小浪底水库以上洪水的压力，而小浪底以下洪水仍然对下游堤防构成威胁。小浪底以下的防洪工程体

^① 周建军. 2002. 降低三门峡水库潼关高程可能性研究. 中国工程院“西北水资源咨询项目专题研究报告”. 清华大学水利系

系防洪标准不高, 承受洪水的能力有限。黄河下游的洪水完全靠堤防来约束, 洪水能否顺利下泄安全入海, 很大程度上取决于堤防的高度和质量。黄河大堤是随着河道变迁经历代不断修筑而成。下游各类堤防共 2272km, 其中临黄大堤总长约 1370km; 堤防高度一般为 7~10m, 最高达 14m, 堤防顶宽 7~15m, 临背坡 1:2.5~1:3, 大堤的临背地面高差 6~8m, 最大超过 10m (胡一三, 1997)。

目前, 黄河下游堤防工程体系的主要问题有: ①堤防断面偏小。由于下游河床的淤积抬高, 为防御洪水, 大堤越修越高, 越高越险。大堤加高后, 堤防断面更显得薄弱, 不能满足堤基防渗设计要求。按 2000 年水平设计洪水水位测算现状大堤的渗径, 在堤坡逸出的堤段有 835km, 占临黄大堤总长的 60% (陈银太, 1997)。②堤身险点隐患多。由于黄河下游堤防经历代加培, 堤身质量参差不齐; 加上历史决口堵口堤段堤身土质和基础情况复杂, 现状堤身狐獾洞穴时有发生。据 1996 年 5 月险点统计, 扣除 1996 年安排的除险加固部分, 仍有较大险点 29 处, 长 100km。在“96·8”洪水期间, 发生渗水、管涌等严重险情的有 76 段, 总长 180km, 给下游防洪带来很大压力 (李文家, 1998)。③部分堤段高度不足。按 2000 年水平计, 现状大堤除东坝头以上和垦利以下大堤高度尚能满足设防水位要求外, 与设计堤顶高程相差 0.5m 以上的堤段有 678km, 相差 1.0m 以上的堤段有 251km (张蕾, 2000)。

4) 河道整治工程标准偏低。黄河下游河道整治工程包括控导护滩工程和险工两类。控导护滩工程设计高程一般为 $5000\text{m}^3/\text{s}$ 流量的相应水位加 0.5~1.0m 的超高, 由于河床淤积严重, 许多工程在 $3000\sim 4000\text{m}^3/\text{s}$ 流量时即发生漫顶; 险工设计高程一般比大堤顶高程低 1.5~2.0m, 随着大堤的加高, 有许多险工的高度不能满足要求, 当发生大洪水时, 洪水漫过险工直冲大堤, 威胁大堤的安全。另一问题是, 根石一般就当地河床修筑, 当洪水冲刷下切时根石下沉和流失, 造成坝身不稳定, 遇大溜冲刷容易造成重大险情, 即使在中小洪水和枯水期, 有时也有整体滑动和垮坝发生, 如 1981 年 12 月山东王家梨行和 1985 年 11 月山东沂口两处险工发生了整体滑动险情 (李文家, 1998)。

5) 分滞洪区不能正常启用。黄河下游建设有东平湖水库分洪区和北金堤滞洪区, 目前这两个功能区域中有 150 多万人口定居。一旦遇特大洪水分洪, 150 多万居民的撤离成为问题; 此外黄河河床及水位逐年抬高, 北金堤滞洪区在滞洪后通过金堤河, 张庄入黄闸退水流入黄河越来越困难; 目前, 东平湖蓄洪区总面积的 28.46% 已经被围湖造田。这些问题的存在关系到滞洪区能否安全启用。

6) 地质活动影响河道安全。影响下游河道安全的地质活动包括泰山隆起、菏泽活动性突起及穿黄活动断裂。泰山隆起使河道突然收缩, 宽仅 400~500m, 河型转变为弯曲型河流, 泄流量锐减, 排洪能力大为降低, 成为卡口河段。该河段与明清古道的徐州段相似, 对河道稳定性的威胁极大。菏泽活动性凸起的阻滞作用使河道输沙能力减弱, 下游粗泥沙输移总量的 85% 沉积于高村以上河段 (皇甫行丰等, 2003)。穿越黄河的 7 条大断裂与深断裂新生代以来一直处于活动状态, 并持续至今 (李莲花等, 2001)。断裂突变活动将产生强烈地震, 预测未来 50 年内多数地区地震烈度为 7~8 度, 新乡、原阳、菏泽、范县、东阿和齐河等地的震中可能出现烈度为 9 度的强烈地震 (国家地震局, 1990), 而超过 8 度的地震可使大坝坝体和基础失稳。若洪峰与强烈地震遭遇, 可能引发重大险情。黄河古河道有 4 次大改道地点均在活动大断裂与派生断裂的交汇带或

压剪性断裂带上(皇甫行丰等, 2003), 断裂活动对古河道稳定性的灾难性破坏是毋庸置疑的。现在下游黄河多处被活动大断裂切割, 其潜在的灾难性隐患不容忽视。

由于以上因素的作用黄河下游过洪能力日渐降低。当前 $3000\text{m}^3/\text{s}$ 同流量水位已较历史不同时期愈来愈高, 且洪水演进速度愈来愈慢, 1996年8月的洪水在孙口出现双峰叠加的现象。目前下游“二级悬河”总长已经超过550km, 主槽的平滩流量已降至 $3000\text{m}^3/\text{s}$ 以下, 并且在2002年黄河水利委员会组织的调水调沙试验中当流量在 $2600\text{m}^3/\text{s}$ 时部分河段就已经出现了险情, 但是黄河下游小浪底至花园口间的无控制区千年一遇洪水为 $20\ 100\text{m}^3/\text{s}$, 百年一遇洪水为 $12\ 900\text{m}^3/\text{s}$ 。2000年小浪底水库投入使用后下游河床仍然在持续淤积抬高。面对黄河下游如此脆弱的防洪形势, 2003年面临“华西秋雨”的天气形势, 虽然三门峡、小浪底、故县及陆浑四库联合调度已经运用到极限, 甚至超限汛水位超负荷运用, 将河南境内的洪水流量控制在 $2500\text{m}^3/\text{s}$ 左右, 还是导致了兰考境内生产堤决口、蔡集控导工程出险, 大堤偎水超过50km。

黄河一旦发生决溢将对我国国民经济造成不堪设想的重大损失。黄河滩区有180多万人, 黄河下游两岸 $30\ \text{万}\ \text{km}^2$ 余的面积上有1亿左右人口, 郑州、济南、开封、东营等100多座城镇, 京广、京沪、京九、津浦、陇海等铁路干线及很多公路干线经由此地, 还有正在迅速发展的胜利油田、中原油田和兖济煤田、淮北煤田等能源工业基地, 以及正在加速发展的以粮食和棉花为主的黄淮海平原农业综合开发区, 黄河如果决口势必造成巨大灾难, 甚至可能打乱我国整体国民经济发展的部署和进程。

第二节 当前黄河治理困境与远景战略

当前黄河下游日益严峻的洪水灾害形势, 需要有效的治黄措施。但是黄河的治理涉及的问题十分复杂, 可以说黄河是当今世界上最难治理的河流之一, 当前针对黄河洪水灾害的各种防洪减灾措施都不能完全规避风险, 实现黄河的长治久安。

一、当前黄河治理的困境与解析

1) 通过上中游地区的水土保持和干支流骨干工程建设拦减泥沙。应该赞成在水文气象条件允许时尽可能建设黄土高原植被。但赞成的出发点主要是为了改进生态环境, 而不是减沙。据史载, 秦时黄河(下游)已是“浊”河, 西汉时更有“河水重浊, 号为一石水而六斗泥”之说, 而且已形成地上河。从现在起, 即使花大力气, 要恢复秦汉时代的植被也是极困难的。此外, 美国在1911年即开始注意土壤侵蚀。1934年大尘暴爆发后, 于1935年制定了土壤保持法, 由联邦土壤保持局负责执行, 迄今已70余年。其间对土壤侵蚀和土壤保持都进行了大量研究, 并大量推广各种土壤保持方法, 除生物措施外还包括拦沙坝、梯田、等高线种植等各种工程措施。美国全国有土壤保持推广站几千处。然而黄秉维(1993)转述1992年美国MG Wolman教授来信说: “大面积的推广应当有明显保持土壤的作用, 输入河流的泥沙却没有减少。问题很复杂, 还没有研究清楚。”美国小流域土壤保持的短期经验以前也是减沙的。现在大面积、长期土壤保持结果(包括生物和工程措施的结果)不能减少河流泥沙的原因究竟是什么, 应弄清楚。

所以除应继续加紧我国水土保持研究外,还应安排一定力量总结国外长时期、大面积水土保持经验,以进一步落实“拦”字在治黄方略中的地位。

此外,钱正英(2003)认为在半湿润区,天然和人工植被(包括农作物)的年蒸腾量大约是300~400mm,植物生长期内的降水量如在400mm以内,很可能全被植物吸收,而不产生多少地表径流。如遇连续干旱年,多年生植物为维持其生长,往往吸收土壤内储存的水分,形成较深的干土层,使以后年份的径流系数减少。因此黄土高原的生态环境建设将面临三个问题:一是黄土高原的环境条件究竟能支持多少植物成活;二是生态环境改善后,水沙条件改变是否有利于黄河下游防洪;三是假如以上两点有乐观的答案,几代人以后才能起作用还是未知数。而且有些专家学者认为黄土高原的土壤侵蚀主要是地质活动等自然环境因素作用的结果,人为不起作用(洪业汤,1990)。

2) 关于在黄河中游增建水库问题。在黄河两岸已过度引水的今天,增建中游大水库还会引发人们进一步从黄河引水,加剧黄河断流的危机。当然,中游是否建大水库还需要考虑其他诸多因素,尚需从长计议。黄河宜于建大库的坝址已不多,如能保留一些良好坝址,也可为子孙后代留有回旋余地。而且关键问题是对于下游防洪,中游建坝所起作用也是很微弱的。

3) 加强河道整治,利用现行河道输送泥沙入海。实际泥沙出口门后约有2/3在口门区沉积,使口门外延,而不是全部进入深海。口门外延将引起溯源淤积,抬高河床。所以单纯加大现行河道输沙能力增强排沙并不能解决河道持续淤积抬升问题。而且输沙入海需要利用河流自身流量、断面形态和水库调度,由于近年黄河水源短缺,排沙的作用受到较大限制。

4) 放淤和调水调沙。“放”和“调”可以部分地解决黄河下游的泥沙问题,但是这两种治理途径受到很多因素的制约。例如黄河是地上河,所以在堤外放淤时,清水不能回河,造成河道淤积;如堤内放淤,则淤土很薄,移民数量很大。至于调水调沙,一方面会加快水库淤积,而且会引起河道大冲大淤,对河道的治理也不利;另一方面调水调沙使水资源的利用效率极低。如在2002年黄河水利委员会组织的调水调沙中,试验下泄水总量26.1亿 m^3 ,水库淤积1.512亿t,黄河下游河道共冲刷0.362亿t。该次调沙单位水量输沙率仅0.007t/ m^3 ,输沙效率不但远低于黄河主要输送泥沙的汛期,甚至比全年的平均输沙效率还低。按此计算黄河下游每年4亿t淤积泥沙需要571亿 m^3 水冲刷,但小浪底水库年均入库水量仅为199.1亿 m^3 。实验中为保证沿程的冲沙效果,沿岸不让取水,所以上述水资源全部用于输沙。2002年山东部分地区出现严重旱灾,客观上与调水调沙浪费水资源是有关的。

此外,小浪底水库的运用虽可以冲深河南境内的河道,对山东却鞭长莫及。何况从河南冲起的泥沙较粗,如不直接淤在山东河槽,便被送到河口,一部分将在河口淤积、使河口外延,由此又会引发溯源淤积(林秉南、周建军,2002)。

因此,在实践中这两种方法实施的规模都很小。

5) 关于挖河疏浚。挖泥加高加宽大堤作为筑堤手段是有效的。但如果河床持续抬升的趋势没有得到遏制,则仍然是“水涨船高”的局面,即随着河床的上升大堤必须随之加高;而且因为堤顶宽了所需土方量比一般堤防更大,投资更多。只要河床仍然持续抬高,所形成的“相对地下河”便只能存在一个时期。“长治久安”是不大可能的。在

形成这样的相对地下河后便“解放”滞洪区,似乎也不是长远和万全之计。1985~1996年,黄河 $3000\text{m}^3/\text{s}$ 流量的水位每年平均抬高约 15cm 。小浪底水库建成后,在一定时间内,部分河床将下切,但过若干年后,随着水库排沙比的加大河床又会逐渐淤高,仍然要呈现出上面所说的“水涨船高”的局面。这样,每过若干年便须加高堤防。随着堤防的加高,溃决的风险也加大,滞洪区也相应要受到威胁。所以用加高堤防的办法来形成“相对地下河”,似乎并不是治黄的好办法。

黄河既以善决善淤著称,挖泥后会很快回淤。要用挖的办法来降低黄河河床,必然耗费大而收效微。有人认为如果每年在河口段挖几千万立方米泥沙,同样可以造成局部水面跌差,并引起溯源冲刷。问题是挖深河口段并不能改变河口段的平衡坡降,以致河道迅即回淤,溯源冲刷将随之消失。

在黄河挖沙由于事后回淤量大,如果不是为了取土筑堤,则因挖沙效果不能持久,将造成大量投资浪费。例如,挖沙 $5\text{亿}\text{m}^3$ 约需投资 10亿元 。如果回淤了,这 10亿元 便付诸东流而浪费了。有一种说法认为回淤量便是黄河输沙的减少量。所以挖沙回淤仍是值得的。问题是这个输沙量的减少只意味着入海沙量的减少,河槽早晚要回淤复原。这有点像用一桶水灌杯子,水很快就会灌满杯子而溢出。如果将桶内的水减少 $1/3$,水仍然会很快灌满杯子而溢出,只是溢出量减少而已。而在这里我们所关心的是杯子是否可以不灌满。1998年黄河水利委员会在实体模型上做了9次挖槽试验,每次放水后都被淤掉。显然在如此多沙的河流上挖沙是不值得的。

6) 关于南水北调增水冲刷。也有人寄希望于南水北调增加冲刷,但是南水北调的代价比较高,当前南水北调东线在黄河下游的水价是 0.9元 至 2.5元 ,按2002年调水调沙试验中单位水量输沙率 $0.007\text{t}/\text{m}^3$ 计算,冲刷成本为 514亿元 至 1428亿元 。何况用这个水冲刷,河口继续延伸的话,河道还是会继续抬升的。

7) 关于通过河口治理,降低黄河悬高。赵业安等(1998b)在进行“八五”国家重点科技攻关项目“黄河治理与水资源开发利用”的研究结果中指出“黄河下游纵剖面的调整主要受制于来水来沙条件,以自上而下的沿程冲淤调整为主,边界条件及河口条件改变的影响处于次要地位,影响范围仅限于局部河段。”

8) 关于通过改道治理。通过改道治理是目前可以考虑的一种治本思路,黄河本身几千年来也在遵循着淤积、决口、改道的客观规律,但当前所提的几种改道方案不够深入,比如平行北移黄河可以降低当前的悬河高度但并未考虑地质、地貌及当前经济布局等限制性因素,此外有些研究结果只是针对局部河段。假如采取改道这种治理措施就应该实现改道后的河道使用年限更长,对当前国民经济布局影响更小。因此有必要对该治理思想进行深入研究。

二、突破当前治黄困境的远景战略

无疑,黄河下游的治理处于一种困境:水土保持需要至少几代人的努力才能起到减沙作用(黄秉维,1993);建碛口、古贤水库对小浪底以下洪水的控制作用甚微(马秀峰等,1996);南水北调或利用小浪底水库调水调沙效果不佳且严重浪费水资源(周建军、林秉南,2003);挖河疏浚成本很高且回淤迅速(林秉南等,2000);如果继续加高

大堤,将会增加决溢危险、防汛抢险会更加困难、而且增加每米大堤高度的工程量越来越大;淤背固堤构筑相对地下河只能减少河床抬高的量的问题,但不能解决悬河的实质性问题。而且采取以上措施时,沿黄 100 多座城镇的防洪投入成本都很高,年年都要面对洪灾风险,同时也影响沿黄区域经济的发展。而且如不能采取正确的治理方案,还会极大的影响到国家治黄资金的使用效益(如 2010 年前国家将投入治黄资金 1500 亿元人民币)(李殿魁,2002)。

以上治理措施所处的困境在于存在以下关键性问题:一是过分强调了黄河下游的人工河定位,忽视了平原型多泥沙河流作为一个整体所遵循的自然发育规律,忽视了黄河下游河道在 1855 年决口以后,在民埝的基础上巩固成堤,形成时就存在许多致命隐患;二是过多依赖于降水、径流、产沙、水沙输移等水文学单学科研究成果以及水利工程技术的发展,而忽视了地质、地貌、气候等环境因子对黄河形成发展、调整演化的作用规律;三是对黄河下游系统性认识不够,对河道内部问题认识很细化,但对影响河道内部的周边及上中游环境因素作用机制认识不足;四是对当前黄河悬河处于暮年期的现状缺乏客观认识。

针对当前的治黄困境及所存在的关键问题,本研究提出克服以上这些问题的研究方向:科学、客观地评价黄河下游洪水灾害风险,系统研究黄河的形成发展、调整演化规律以及地质、地貌、气候等环境因子对黄河发育的作用规律,从而提出与黄河下游泥沙淤积现状及黄河下游发育规律相符的洪水治理措施,为规避黄河洪水灾害风险和黄河洪水影响区的长远发展规划提供科学支持。

第三节 本研究的研究目标、内容和方法

一、研究目标

本研究的研究目标是系统总结黄河下游发育规律,运用地理学、水文学、水力学、地貌学、地质及工程地质学等学科的理论与方法评价黄河下游的洪水灾害风险,探索并确定符合下游黄河发育规律的后备流路作为治理途径,以有效规避黄河下游洪水灾害风险,并在现今黄河下游的泥沙淤积、河床抬高、防洪压力增大到极限时,替代现今黄河下游河道。

二、研究内容

本研究的研究内容包括黄河下游平原型多泥沙河流发育规律总结,黄河下游悬河决溢风险评价,黄河下游决溢洪水淹没分析,黄河下游决溢洪水灾害的影响与损失预估,黄河下游后备流路研究等几部分,具体研究内容如下:

- 1) 综合分析、总结黄河下游平原型多泥沙河流的发育规律,主要内容是分析黄河中下游的自然环境背景,总结黄河下游作为平原型多泥沙河流的发育规律和环境因子对黄河下游发育的控制作用。

- 2) 黄河下游悬河决溢风险评价,主要内容是根据影响黄河下游发育的环境因子作