

“八五”国家重点科技攻关项目
“黄河治理与水资源开发利用”系列专著

黄河下游 河道演变基本规律

赵业安 周文浩 费祥俊 胡春宏 申冠卿 陈建国 等编著



黄河水利出版社

“八五”国家重点科技攻关项目
“黄河治理与水资源开发利用”系列专著

黄河下游河道演变基本规律

赵业安 周文浩 费祥俊 胡春宏 申冠卿 陈建国 等编著

黄河水利出版社

内 容 提 要

本书系“八五”国家重点科技攻关项目“黄河治理与水资源开发利用”中“黄河下游河道演变基本规律”专题研究成果的总结。主要包括黄河下游河道在三门峡水库不同运用方式情况下不同粒径泥沙的输沙和冲淤调整规律,不同泥沙来源区洪水下游各级粒径泥沙的冲淤特性及泥沙组成在下游河道的调整,不同来沙组成对下游河道的影响,粗细泥沙来量对输沙能力影响的水槽试验;黄河下游高含沙洪水的水沙特性、沿程调整特性及异常现象的机理和原因,高含沙水流的阻力及不淤流速、长距离输送条件和计算方法,高含沙水流的挟沙力公式;黄河下游河道纵横剖面的调整特点,水沙条件对纵横剖面的影响,泥沙运行及滩槽淤积的特点;三门峡水库、刘家峡水库及龙羊峡、刘家峡水库联合运用对水沙条件的改变及对上、中、下游干流河道冲淤的影响。

本书可供水利、水电、水文、泥沙、河道治理、河口海岸、水土保持、自然地理、地貌、土壤侵蚀及沉积地质等专业技术工作者、高等院校师生及有关部门的技术人员参考。

“八五”国家重点科技攻关项目

“黄河治理与水资源开发利用”系列专著

黄河下游河道演变基本规律

赵业安 周文浩 费祥俊 胡春宏 申冠卿 陈建国 等编著

责任编辑:陈同善 雷元静

责任校对:赵宏伟

责任印制:徐海珍

出版发行:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼12层

邮编:450003

印 刷:黄河水利委员会印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

版 别:1998年3月 第1版

印 次:1998年3月郑州第1次印刷

印 张:13.25

印 数:1--1000

字 数:306千字

ISBN 7-80621-148-9/TV·108

定价:41.20元

“八五”国家重点科技攻关项目
“黄河治理与水资源开发利用”系列专著
编 审 委 员 会

主 任 严克强

副主任 董哲仁 陈效国 庄景林

顾 问 徐乾清 龚时旻 吴致尧

委 员 (以姓氏笔画为序)

龙毓骞 朱兰琴 许红波 祁建华

华绍祖 庄景林 严克强 李文学

李春敏 沈国衣 陆亚洲 陈志恺

陈效国 陈霁巍 张启舜 张良弼

府仁寿 姚传江 徐明权 席家治

董保华 董哲仁 潘贤娣 戴定忠

序

黄河流域是中华民族的发祥地,黄河哺育了中国灿烂的古代文明。黄河流域自然资源十分丰富,是我国最大的能源和重化工基地,宁、蒙、汾渭河和黄淮海平原是我国主要的粮棉基地,流域经济发展前景广阔。但是,黄河流域水资源匮乏,人均水资源占有量仅为全国人均的四分之一,单位耕地面积水资源量不足全国的五分之一。近几年来,黄河下游在枯水季节常常出现断流,且断流时间逐年加长,断流河段逐年延伸,给下游沿黄地区的工农业生产和生态环境造成了不良影响。据有关部门的调查统计,1991年~1996年年均造成工农业产值损失30多亿元,其中1995年达70多亿元。

黄河流域降雨时空分布极不均匀,全年降雨量的60%~70%集中在6月~9月份,极易产生洪水。黄河又是世界上泥沙含量最高的大河,河道泥沙淤积形成了下游“地上悬河”,洪水灾害十分频繁。据统计,从先秦时期到民国年间的2500多年中,黄河下游决口1600多次,改道26次,基本上是三年两决口,百年一改道,每次决口和改道都给中华民族带来了极其深重的灾难。

新中国成立以来,人民治黄事业取得了举世瞩目的成就,确保了黄河的岁岁安澜,但是由于黄河流域自然地理环境脆弱,黄河的洪水仍是国家的心腹之患,治理开发任务仍十分艰巨。全国人大七届四次会议通过的《国民经济和社会发展“八五”计划和十年规划纲要》,把黄河治理开发和防洪列为重点,体现了中共中央和国务院对治黄的重视。

当前我国改革开放和社会主义现代化建设已进入一个新的发展阶段。黄河的治理开发,事关我国经济发展的大局。为使我国经济发展实现三步走的目标,治黄作为水利工作的重要组成部分,就必须贯彻落实好“科教兴国”、“科教兴水”和可持续发展战略。黄河的出路在于科技进步。

“黄河治理与水资源开发利用”被列为“八五”国家重点科技攻关项目,既表明了国家对治黄工作的高度重视,也显示出黄河问题的高难度和复杂性。这次科技攻关中广大科研人员深入黄河两岸调查研究,收集了大量的实测资料,在认真汲取以往成果和经验的基础上开展科研试验工作,取得了新的进展和突破,科研成果为黄河的治理与开发提供了大量的科学依据和决策支持。应该说这些成果是集此次科技攻关之大成,是治黄几十年经验总结的集中体现,是广大治黄科技工作者智慧的结晶。

这次出版的项目和专题的系列专著,其目的就是把这些成果推荐给读者,并期望得以推广应用,以提高治黄工作的整体水平,加速流域治理和经济发展的步伐,取得更大的经济、社会和环境效益。

毋庸置疑,黄河问题是很复杂的。黄河自身因水沙的变化而处于不断的变化之中,在其发展过程中还会不断出现新情况和新问题,现已取得的成果只是人们现阶段的认识,要彻底解决黄河问题,还有一段很长的路要走,可以说是任重而道远。我们应当继续加强现场观测、试验和研究工作,探索黄河的规律,不断提高科技水平,充分推广应用新的科技成果,使黄河的治理开发工作不断取得新成就。

严克勤

1997年7月17日

总 前 言

新中国成立以来,对黄河治理开发进行了大量的科学研究工作。50年代,曾组织各方面力量对全流域进行了大规模综合考察和科学试验研究,在此基础上编制了“黄河综合利用规划技术经济报告”,为黄河的全面治理开发做出了贡献。60年代,围绕三门峡水利枢纽工程改建和改变运用方式,开展了水库淤积、河道演变规律、河道整治工程和防洪等方面的试验研究。70年代,开展了三门峡水库运用泥沙问题基本经验总结、高含沙水流特性研究和水坠坝技术试验推广。80年代,开展了黄土高原地区综合治理、黄河流域环境变迁和水沙变化、水资源利用、引黄灌区泥沙处理和黄河防洪工程技术等方面的试验研究工作。几十年来的治黄研究工作,取得了一大批具有国际先进水平的成果,形成了一支多学科、高水平的科研队伍,并广泛开展了国际合作交流。

“七五”后期,水利部和中国科学院提出的关于加强黄河综合治理与开发研究工作的建议,得到国务院主要领导的高度重视,在各方面专家充分论证的基础上,国家科委把“黄河治理与水资源开发利用”列为“八五”国家重点科技攻关项目,由水利部、中国科学院和地质矿产部作为项目主持部门,组织有关科技人员进行跨部门、多学科联合攻关。经过充分论证,项目分解为7个课题、22个专题和92个子专题分别开展工作。经过近4年的卓越工作,取得了辉煌的成绩,经专家鉴定委员会对成果的全面鉴定,22个专题中有2个专题成果总体达到国际领先水平,8个专题成果总体达到国际先进水平、部分达到国际领先水平,9个专题成果总体达到国际先进水平,3个专题成果总体达到国内领先水平、部分达到国际先进水平,项目通过了国家科委组织的验收。攻关成果应用所创造的经济、社会和环境效益是长期的和巨大的,其影响也将是深远的。

为了使已取得的成果在黄河治理和开发中发挥更大的作用,并在实践中不断深化,给后人留下一份宝贵的科学财富,水利部有关部门决定编辑出版这套系列专著,其中包括20册专题专著和1册项目综合专著。专题专著由原专题负责人组织编写,对原专题报告进行提炼和深化,其主要编写人员与专题研究人员不尽相同。综合专著由“黄河治理与水资源开发利用”系列专著编审委员会组织专人编写。本丛书因篇幅较大,编审委员会难以逐篇审定,故责成专著主要编写人分别请部分顾问和委员审稿。

由于编辑出版整个过程时间仓促,加之水平有限,难免有不足和错误之处,敬请批评指正。

**“黄河治理与水资源开发利用”
系列专著编审委员会
1997年9月**

前 言

黄河下游河道（本书指孟津至黄河入海口）是一条著名的地上河，临背差 3m~5m，最大达 10m，而且仍在继续淤高，年均淤积厚度 0.05m~0.1m；同时，河道冲淤变幅很大，特别是高村以上的宽河段，河势游荡多变，易于出现横河，危及堤防安全。黄河安危，事关大局。减缓下游河道淤积，进一步提高防洪能力，确保黄河下游长治久安，是我国国土整治与开发的重大战略任务之一，对促进黄淮海平原地区经济全面发展具有重要意义。

黄河下游水沙运动和河床演变规律是黄河治理和水资源开发利用的基础之一。几十年来，紧密结合各个时期治黄任务开展研究，取得了许多重要成果，及时解决了治黄中的各种问题。但是黄河下游水沙运动及河道演变极为复杂，随着人类活动对流域环境影响日趋增强，黄河的水沙条件已经发生了重大改变，黄河下游河道正进行着剧烈调整，河床演变出现了许多新情况、新特点；黄河干流正在兴建和拟建的大型水利水电工程，如小浪底工程等必将进一步改变黄河下游河道的水沙条件，对河床演变产生新的影响；黄河流域的治理开发更要求对黄河下游的水沙运动和河床演变有更深层次的认识。所有这些，需要对黄河下游的河床演变规律进行新的、认真的总结和研究。

鉴于黄河问题的特殊性和复杂性，国家科委批准将“黄河治理与水资源开发利用”项目正式列入“八五”国家重点科技攻关计划。“黄河下游河道演变基本规律”为该项目中第二课题的专题之一。专题由黄河水利委员会水利科学研究院（以下简称黄委会水科院）和中国水利水电科学研究院（以下简称中国水科院）共同主持，参加单位有：清华大学、武汉水利电力大学、华北水利水电学院、四川联合大学及南京水利科学研究院等科技人员共 70 余人，提出子专题报告 4 个、子子专题报告 16 个，其中部分成果已在各级学术刊物上发表。研究工作在水利部科技司、水利部黄河水利委员会（以下简称黄委会）的领导下，得到了黄委会水文局、河南黄河河务局、山东黄河河务局、三门峡水利枢纽管理局等单位的大力支持。因此，本专题所取得的成果是各方面大力协作和支持的结果，也是全体科技人员智慧的结晶。经水利部组织专家鉴定、验收，认为“成果整体上达到国际先进水平”，“部分达到国际领先水平”。

本书根据该专题的研究报告编写，主要内容有四个部分：①粗细泥沙的输移规律及沿程冲淤调整；②高含沙水流运动规律与河床演变特性；③不同水沙条件黄河下游纵横剖面的调整规律；④黄河干流大型水利水电工程对水沙条件的改变及对黄河下游的影响。

本书囊括了专题研究成果的主要特色：

(1) 以丰富的实测资料为基础。除了黄河下游长时期的水文泥沙、地形等较系统的观测资料外，还包括三门峡水库单独运用 35 年、刘家峡水库单独运用 18 年、龙羊峡和刘家峡水库联合运用 9 年所积累的丰富资料，大部分资料截至 1993 年。在十分重视黄

河实测资料的收集与整理的同时,尽可能用最新的资料来充实认识。同时还对黄河下游实测输沙率资料进行了精度分析及误差修正,对60年代和70年代采用粒径计颗粒分析所得到资料统一修正为80年代光电法资料,显著提高了成果精度与可靠性。

(2)大量的室内试验研究弥补了原型观测资料的不足。如开展高含沙水流挟沙能力水槽试验,重点河段高含沙洪水河床演变试验,高含沙水流河床形态试验研究,漫滩高含沙水流结构及滩槽冲淤演变规律的试验研究,高含沙水流“揭河底”冲刷机理试验研究,漫滩水流泥沙运动规律的试验研究,粗细泥沙输沙特性的水槽试验等多项试验,取得了大量极为珍贵的资料,得到了很多重要的认识。

(3)采用黄河泥沙研究多年行之有效的实测资料分析、模拟试验与数学模型计算相结合的综合分析方法,不仅取得了定性的认识,还得到比较可靠定量结果。

本书为黄河治理,及水资源开发利用,黄河下游防洪减淤,黄河下游河道及河口治理,以及小浪底水库运用方案的选定提供了科学依据,并对发展多泥沙河流的河床演变学科具有重要意义。

本书前言由赵业安撰稿,周文浩修订;绪论由周文浩撰稿,赵业安修订;第一章由周文浩、陈建国、申冠卿撰稿,周文浩修订;第二章由费祥俊、赵业安、陈立、李勇撰稿,费祥俊修订;第三章由胡春宏、赵业安撰稿,胡春宏、周文浩修订;第四章由赵业安、申冠卿撰稿,赵业安修订。最后,由周文浩、赵业安统编。由于编者水平有限,难免有欠妥之处,恳请批评指正。

张晓华、侯素珍、李勇、陈孝田等在撰稿、修订中进行了大量整理、打印、校对、绘图等工作,对本书的出版作出了重要贡献,谨致谢意。

编 者

1997年7月1日

本研究专题承担单位及人员

专题名称 黄河下游河道演变基本规律
承担单位 黄河水利委员会水利科学研究院
中国水利水电科学研究院

专题负责人 赵业安 周文浩
主要完成人员 赵业安 周文浩 费祥俊 胡春宏 申冠卿
陈建国 李 勇 张红武 匡尚富 陈 立
侯素珍 李国庆 曹文洪 陈孝田 王国兵
刘兴年 王明甫 姜乃森 赵华侠 孙东坡
张晓华 徐永年
参加人员 岳德军 李宜斌 陈建武 曾 卫 江恩惠
姚文艺 刘海凌 李文武 苏晓波 刘 葳
周宜林 于为信 王向明 高亚军 牛建新
吉祖稳 付玲燕 张俊华 张淑英 赵连军
报告撰写人 赵业安 周文浩 费祥俊 胡春宏 申冠卿
陈建国
技术顾问 潘贤娣

本书编委会委员名单（以姓氏笔划为序）

王明甫 李国庆 王国兵 刘兴年 申冠卿
李 勇 孙东坡 匡当富 陈 立 陈孝田
陈建国 周文浩 张红武 赵业安 赵华侠
胡春宏 姜乃森 费祥俊 姚文艺 侯素珍
曹文洪 徐永年

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 研究的重大意义	(1)
第二节 研究的内容及目标	(2)
第三节 研究的主要进展	(3)
第二章 粗细泥沙的输移规律及沿程冲淤调整	(8)
第一节 概述	(8)
第二节 黄河下游河道粗细泥沙冲淤调整总貌 (1960年9月至1990年10月)	(10)
第三节 三门峡水库不同运用期下游河道粗细泥沙的输移和冲淤调整	(15)
第四节 不同洪水下游河道粗细泥沙的输移及冲淤调整	(32)
第五节 高含沙洪水下游河道粗细泥沙的输移和调整	(44)
第六节 宽河道粗细泥沙冲淤对窄河道的影响	(54)
第七节 河道输沙能力及其实验研究	(56)
第三章 高含沙水流运动规律与河床演变特性	(62)
第一节 概述	(62)
第二节 高含沙水流运动基本特性	(62)
第三节 游荡性河段高含沙水流对河床边界调整特点及其影响	(67)
第四节 高含沙洪水河床演变特殊现象及对河道防洪的影响	(71)
第五节 高含沙水流河床演变试验研究	(80)
第六节 高含沙水流的长距离输送问题	(90)
第七节 高含沙水流挟沙力研究	(98)
第四章 不同水沙条件黄河下游河道纵横剖面的调整规律	(110)
第一节 概述	(110)
第二节 黄河下游河道纵剖面的调整	(110)
第三节 黄河下游河道横剖面的调整规律	(124)
第四节 漫滩水流泥沙运动规律的试验研究	(132)
第五章 黄河干流大型水利水电工程对水沙条件的改变及对黄河下游的影响	(145)
第一节 概述	(145)
第二节 三门峡水库不同运用期对水沙的调节及对下游河道冲淤的影响	(146)
第三节 刘家峡水库单库运用对中下游河道冲淤演变的影响	(166)
第四节 黄河上游龙羊峡、刘家峡水库运用对干流河道冲淤的影响	(177)

第一章 绪 论

第一节 研究的重大意义

一、黄河下游河道演变研究在黄河治理中的作用

黄河流域是中华民族的摇篮，自然资源丰富，黄河的治理与开发对于促进流域经济和社会发展，对我国社会主义建设都具有十分重要的意义。但是由于黄河的来沙量大，下游河道淤积严重，早已成为“地上悬河”，一旦决口，将打乱整个国民经济部署。黄河安危，事关大局，黄河下游的洪水威胁一直是国家心腹之患，下游防洪、减淤乃是治理黄河的首要任务。

治河的基本原则是因势利导，这就是要根据河流自身的河性和河道演变规律，及人类生存发展的需要，来制定治河的方针和措施。这是治河成败的关键。所以，掌握黄河下游河道演变规律，是黄河治理的基础之一。

人民治黄 50 年来，黄河下游安渡伏秋大汛，改变了历史上“三年两决口”的悲惨局面，基本经验之一就是紧密结合各个时期的治黄任务，开展黄河下游水沙运行和河道演变基本规律的研究，科学治黄。流域是一个整体，中上游人类活动及环境改变都会通过水沙条件的改变集中影响到黄河下游的河道演变。近年来，在新的水沙条件下，黄河下游已经出现了许多新情况、新问题。随着小浪底工程的建成及其他水利水电建设的开展，黄河的开发与治理将进入一个新的发展时期，这就要求进一步深化和扩充对黄河下游水沙运行和河道演变规律的认识，为制定黄河流域的可持续发展战略提供科学依据。这对我国社会主义经济建设无疑是十分重要的。

二、黄河下游河道演变规律研究的回顾

从大禹治水起，先人已对黄河进行了不少研究，出现了如贾让、王景、潘季驯、靳辅等一大批治河家。但囿于历史、社会、科学的限制，他们对黄河的认识不免具有局限性。系统地对黄河下游河道演变规律的研究始于新中国成立之后。50 年代，结合三门峡水利枢纽建设和三门峡水库建成以后黄河下游河床演变与河道整治问题，研究了天然状况下，黄河下游河道水沙运行和河床演变基本规律，取得了重大进展。60 年代，把三门峡水库运用与下游河道演变联系起来，指导了三门峡工程的两次改建，取得了成功。70 年代，把流域与下游河道联系起来，重点研究了不同地区来水来沙对下游河道冲淤的影响，取得了突破性进展，明确了粗泥沙来源区的泥沙对黄河下游河道的危害最

为严重，对黄河治理起到了重大的指导作用；此外，还开展了高含沙水流特性及河床演变，“多来多排”的输沙机理及三门峡水库“蓄清排浑”运用后黄河下游河道演变规律等研究。80年代开始，把流域作为整体，开展了水沙变化对下游河道影响，黄河流域环境演变与水沙运行规律等研究，都取得了明显的进展。

目前的黄河已是一条受人类活动影响很大的多泥沙河流，尽管几十年来进行了大量研究工作，但新情况、新问题层出不穷。对于如黄河下游粗细泥沙沿程冲淤规律，高含沙水流在宽浅的游荡型河段的运行规律及游荡型河道的形态调整规律等的认识还很粗浅；由于人类活动造成的环境变化、水沙条件变化对下游河道的影响及可能引起的剧烈调整，认识尚不统一。这些关系到21世纪初治黄决策的基本问题，是本专题研究的主要方面。可以预期，在今后相当长的时间内，随着黄河流域的水沙变化，黄河下游河道演变规律的研究，还将不断发展和深化。

第二节 研究的内容及目标^①

根据项目及课题设置要求，本专题设四个子专题，研究内容及目标如下：

一、粗细泥沙的输移规律与沿程冲淤调整

各粒径组泥沙的输沙特性及输沙能力；沿程各河段粗细泥沙的冲淤调整；各级洪水粗细泥沙的冲淤特性；宽河道泥沙冲淤对窄河道的影响。

二、高含沙水流运动规律与河床演变特性

游荡型河道及窄深型河道高含沙水流的运动特性；水流输沙能力及远距离输送、河床演变规律及揭河底等特殊河床演变现象及机理研究。

三、不同水沙条件黄河下游河道纵横剖面的调整规律

各个时期不同水沙条件下纵横剖面调整机理；水沙变化对纵横剖面调整的影响；滩槽泥沙交换规律。

四、黄河干流大型水利水电工程对水沙条件的改变及对黄河下游河道的影响

三门峡水库蓄清排浑运用对水沙的调节作用及对下游河道的冲淤影响；三门峡水库拦沙对下游的减淤作用；龙羊峡、刘家峡水库对水沙的调节作用及对下游河道的冲淤影响。

^① 水利部科技教育司，“八五”国家重点科技攻关项目，黄河治理及水资源开发利用（85—926）.1993.4

第三节 研究的主要进展^{●●●}

本专题经三年半努力,采用黄河泥沙研究行之有效的实测资料分析、模拟试验与数学模型计算三结合的综合分析方法,对确定的攻关任务进行了全面研究,取得了很大进展,并有新的发现和突破。

一、粗细泥沙的输沙规律及沿程冲淤调整

(1) 作为研究分析的基础,首次对1960年至1990年三门峡以下干支流的实测输沙率资料进行了精度分析和误差改正,对60年代和70年代采用粒径计颗粒分析所得到的级配统一修正为80年代光电法相应的颗粒级配,从而显著地提高了研究成果的精确度和可靠性。

(2) 搞清了30年来(1960年9月至1990年12月)黄河下游河道各级粒径泥沙的冲淤概况:与50年代相比,来沙显著减少,来沙组成变化不大;下游河道经历了冲刷、淤积两个阶段,年平均淤积1.09亿t,其中细泥沙(粒径小于0.025mm)基本没有淤积或微有冲刷,中泥沙(粒径0.025mm~0.05mm)占下游淤积量的19%,粗泥沙中粒径0.05mm~0.1mm的泥沙占56%,粒径大于0.1mm的泥沙占30%。

(3) 首次搞清了三门峡水库不同运用方式和出库水沙条件下下游河道粗细泥沙的输移和冲淤调整,为指导水库调水调沙运用提供依据。在水库蓄水运用期,下游河道平均每年冲刷5.58亿t,其中细泥沙占43.4%,中泥沙占30.9%,粗泥沙占25.7%。在冲刷中,含沙量沿程恢复,细泥沙恢复慢,恢复距离长,最大值出现在艾山、利津一带,含沙量仅 $7\text{kg}/\text{m}^3 \sim 12\text{kg}/\text{m}^3$;中泥沙一般到高村附近即可达到最大值 $4\text{kg}/\text{m}^3 \sim 6\text{kg}/\text{m}^3$,当流量超过 $2000\text{m}^3/\text{s}$ 后可达利津,但最大含沙量不超过 $10\text{kg}/\text{m}^3$;粗泥沙恢复距离在高村上下,含沙量 $3\text{kg}/\text{m}^3 \sim 6\text{kg}/\text{m}^3$;还建立了清水冲刷量与来水量的定量关系。

在汛后集中排沙期,“小水带大沙”、“小水带粗沙”,下游淤积严重。初期水库排沙细,下游淤积量占来沙量的60%~70%,其中90%以上淤积在高村以上河段;中后期下泄流量小,泥沙粗,淤积量占来沙量的80%,部位下移,高村以下淤积量增加到占下游淤积量的30%~40%。淤积以中、粗泥沙为主,分别占它们来沙量的90%,主要淤在花园口以上河段;细泥沙的淤积量占其来沙量的38%,主要淤积在花园口至高村之间。由于泥沙淤积在主槽,减少主槽排洪能力,对防汛不利。

(4) 首次阐明了不同来源区洪水各级粒径泥沙在下游河道的冲淤调整特点,泥沙组

● 黄河水利委员会水利科学研究院,中国水利水电科学研究院.黄河下游河道演变基本规律(缩印本).1996.1

● 黄河水利委员会水利科学研究院,中国水利水电科学研究院.黄河下游河道演变基本规律(主要成果简介).1996.1

● 黄河水利委员会水利科学研究院,中国水利水电科学研究院.黄河下游河道演变基本规律专题执行情况评价报告.1995.12

成沿程调整及其对山东河道的影响。

多沙粗泥沙来源区洪水通过下游河道时，全沙的淤积比为 62.4%，中、粗泥沙的淤积比分别为 71.8%、88.6%，细泥沙为 36.4%。主要淤积在高村以上河段，占下游淤积量的 86%，艾山到利津只占 3.2%。

多沙细泥沙来源区洪水，全沙淤积比为 27.4%，细泥沙的淤积比为 16.7%，中、粗泥沙分别为 32.4% 及 48.4%。高村以上全面淤积，高村以下“冲细淤粗”。

少沙来源区洪水，除粒径大于 0.1mm 的泥沙淤积外，粗、中、细泥沙全面冲刷，其冲刷量分别为下游冲刷总量的 3%、43% 及 54%。

粗泥沙来源区洪水各级粒径泥沙的淤积比约为细泥沙来源区洪水相应粒径泥沙淤积比的 2 倍左右；粗泥沙来源区洪水中粒径大于 0.1mm 的泥沙几乎全部淤在下游河道，而细泥沙来源区的洪水粒径大于 0.1mm 的泥沙有 20.73% 可以通过利津下泄。粗泥沙来源区洪水中粗泥沙的沿程衰减要比细泥沙来源区的快，前者到艾山、利津站粗泥沙含量为 12% 和 9%，后者则为 15% 和 13%。来沙粗细对下游河道的影响也不同，来沙粗的洪水各级粒径泥沙的淤积量均大于来沙细的洪水，前者的淤积量为后者的 3 倍多，多淤的粗泥沙部分是多来粗泥沙量的 2 倍。来沙粗的洪水中粗、中、细泥沙淤积量普遍增加，说明粗泥沙含量的增加、细泥沙含量的减少，不仅降低水流对粗泥沙的输沙率，也使其他各级粒径泥沙的输沙能力都随之降低。来沙粗的洪水，粗泥沙含量沿程降低得快；来沙细的洪水，各级粒径含量除大于 0.1mm 的外，沿程变化不大。在艾山站，来沙粗的洪水的泥沙组成比来沙细的洪水略粗，但经艾山以下河道的调整，到利津站的泥沙组成基本接近。

(5) 阐明了在不同水沙条件下，黄河下游宽河道对窄河道各级粒径泥沙的调节作用。漫滩洪水，艾山以上淤积，艾山以下冲刷。艾山以上淤积中以中泥沙为主，艾山以下各级粒径泥沙的冲刷取决于艾山的洪峰流量。艾山洪峰流量 $5\ 000\text{m}^3/\text{s} \sim 6\ 000\text{m}^3/\text{s}$ 对艾山以下河段粗泥沙的冲刷最为有利。中等洪水艾山以上各级泥沙全面淤积，艾山以下“冲粗淤细”。小洪水中粗泥沙淤在花园口以上，细泥沙主要淤在花园口至高村之间的河段。

(6) 根据 1960 年至 1990 年非汛期 242 组月平均水沙资料及汛期 223 组洪峰资料，考虑了粒径大于 0.05mm 泥沙的影响，探讨了黄河下游各水文站不同粒径泥沙的输沙能力公式，有实用意义。

二、高含沙水流运动规律与河床演变特性

(1) 通过 1969 年至 1989 年三门峡站瞬时最大含沙量超过 $300\text{kg}/\text{m}^3$ 的 16 次高含沙洪水实测资料分析，首次揭示了高含沙洪水中不同粒径泥沙沿程的冲淤调整规律。高含沙洪水通过下游河道时发生严重淤积，16 次高含沙洪水在下游的淤积量占同期来沙量的 57%，占同期下游淤积量的 82%。其中粗泥沙的淤积量占其来沙量的 80%，粒径大于 0.1mm 的泥沙几乎全部淤在高村以上河段。含沙量沿程衰减，粗泥沙含沙量减少得多，细泥沙含沙量减少得少。悬沙组成沿程分选细化，粗泥沙从三门峡占 27%，至利津减为 11.8%，粒径从三门峡的 0.02mm ~ 0.039mm，到利津细化为 0.01mm ~

0.02mm。所以艾山站的最大含沙量虽曾达到 $270\text{kg}/\text{m}^3$ ，但已不同于三门峡站同样含沙量的泥沙组成。

(2) 通过理论、实测资料分析，论证了黄河下游的高含沙洪水流型属于两相非均质流，流态则为强烈紊流，宾汉剪应力为 0，而不是伪一相流或均质流，也不属于宾汉体。

(3) 水力学、泥沙运动力学及实测资料分析，概化模型和动床模型试验，澄清和深化了对高含沙洪水异常现象的机理和在宽浅散乱河段塑造窄深河槽的演变过程的认识。

(4) 首次提出了断面形态与流量、含沙量有关的表达式和高含沙水流远距离输送的条件：水流输送流速大于按水沙条件确定的不淤流速和与之相应的临界坡降，提出一套计算公式和图表，可以应用于节水渠道和引黄干渠高含沙水流远距离输送的设计，在黄河下游也有应用前景。

(5) 从能量平衡出发建立了多家挟沙力公式，为进一步研究挟沙力，并提高其精度打下了坚实的基础。

三、不同水沙条件黄河下游河道纵横剖面的调整规律

(1) 在分析近百年来地形、地质和水文泥沙资料基础上，复现了 1855 年以来的纵剖面，指出黄河下游自铜瓦厢决口以来不同河段经历了不同的发育阶段，目前还未形成平行上抬的均衡剖面，东坝头至艾山，至今还是下游的淤积重点。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。

(2) 黄河下游河道横剖面的调整与水沙条件的关系更密切。漫滩洪水淤滩刷槽，高含沙洪水在一定条件下可使宽浅散乱的断面变为高滩深槽，中低含沙量的中小洪水使游荡河段更加宽浅，连续的小水小沙使河槽萎缩，主流摆动，使游荡性河段窄深断面重回宽浅散乱。1960 年前漫滩洪水和主槽摆动使滩槽平行上抬；三门峡建库后洪水削平，生产堤修建等，使主槽淤积加重，滩唇淤积加重，一些河段出现“二级悬河”，大水时可能产生“滚河”现象，威胁防洪安全。

(3) 进行了漫滩浑水的概化模型水流，揭示了滩槽水流的运动机理。由于主槽、滩区间的动量交换，主槽的流速及挟沙能力降低，比同样面积的非复式断面的挟沙能力减少 15%~25%。含沙量分布除中心部分外，其余部分发生变形。滩地的悬沙和床沙均比主槽细。

四、黄河干流大型水利水电工程对水沙条件的改变及对黄河下游河道的影响

通过资料分析、数学模型计算及野外调查，探讨了三门峡水库、刘家峡水库、龙羊峡水库和刘家峡水库联合运用对水沙条件及河道的影响，给出了定量结果，为治黄决策提供了依据。

1. 三门峡水库对下游河道的影响

三门峡水库运用以来，水库共淤积泥沙 65 亿 m^3 。水库拦沙运用期间，由于水库拦

沙减少下游淤积约 30 亿 t, 水库拦沙量与下游河道减淤量之比为 1.63:1。水库滞洪排沙期, 下游河道增加淤积 5 亿 t。水库蓄清排浑运用期, 下游河道每年减少淤积 0.2 亿 t ~ 0.3 亿 t, 减少的是滩地淤积。研究结果还表明, 蓄清排浑以来, 下游河道的增淤或减淤随来水来沙而不同。1973 年 11 月至 1990 年 11 月, 17 年累计减淤 4.3 亿 t, 年均减淤 0.255 亿 t, 但时空分布不同。其中 1973 年 11 月至 1979 年 10 月, 蓄清排浑初期, 减淤明显, 年均减淤 0.717 亿 t, 下游河道全程减淤。1979 年 11 月至 1985 年 10 月, 各年增淤、减淤交替出现, 总的年均减淤 0.147 亿 t, 高村以上减淤, 高村以下增淤。1985 年 11 月至 1990 年 10 月, 各年增淤、减淤交替, 总的年均减淤 0.171 亿 t, 高村以上增淤, 高村以下减淤。90 年代以来, 随着中上游用水量进一步增大及水库群汛期蓄水, 三门峡水库蓄清排浑运用对下游河道已起不到减淤作用。

2. 刘家峡单库运用对中、下游河道的影响

刘家峡水库蓄水 20 年来, 汛期蓄水, 非汛期泄水, 显著地改变了黄河干流的水沙条件: 汛期来水减少, 非汛期来水增加; 洪峰流量削减, 洪水总量减少; 中下游高含沙洪水出现机遇增多。在水库平均每年汛期蓄水 30 亿 m^3 、非汛期泄水的运用条件下, 对宁蒙河段的影响较小, 对于中游禹门口至潼关河段, 由于河道短, 坡度大, 汛期泥沙淤积不多, 非汛期水库泄水有利于河床冲刷, 冲淤相抵, 影响也不大。刘家峡水库的影响主要反映在黄河下游, 如遇多沙系列 (如 1969 年至 1973 年), 黄河下游年均淤积 5.3 亿 t, 由于刘家峡水库影响, 增淤约 0.6 亿 t, 占下游总淤积量的 12%; 遇少沙系列 (如 1974 年至 1988 年), 黄河下游年均淤积 1.2 亿 t, 刘家峡水库影响增淤 0.23 亿 t, 占下游淤积量的 19%。1969 年至 1986 年, 刘家峡水库使下游年均增淤 0.34 亿 t, 占下游淤积量的 14%。由于黄河下游河道上宽下窄, 河南段汛期多淤, 非汛期多冲, 造成的影响较小; 山东段汛期冲刷减少, 非汛期淤积加重, 1969 年至 1986 年年均增淤 0.2 亿 t, 相当于同期淤积量的一半, 河槽每年升高 0.1m, 是山东河道近 20 年淤积加重的重要原因。

3. 龙羊峡、刘家峡水库联合运用对干流的影响

龙羊峡水库、刘家峡水库于 1986 年 10 月联合运用, 至 1993 年 10 月共蓄水 167 亿 m^3 , 刘家峡水库泄水 7 亿 m^3 。龙羊峡水库控制了黄河上游主要低含沙洪水的来源区。两库联合运用以后, 由于水沙条件的变化, 上游宁蒙河段淤积严重, 河势变坏, 危及滩区生产, 平滩流量减少, 排洪能力降低。内蒙河段河槽抬高 0.56m, 同流量 (2 000 m^3/s) 的水位上升 0.7m ~ 1.1m, 每年平均上升 0.09m ~ 0.14m。按设计防洪标准计算, 1982 年防洪能力为 8 000 m^3/s ~ 6 000 m^3/s , 1991 年降为 5 500 m^3/s ~ 5 000 m^3/s 。

“四站” (龙门、河津、华县、淤头四个水文站) 至潼关河段, 两库联合运用初期蓄水阶段 (1986 年 10 月至 1991 年 11 月), 汛期蓄水大于非汛期泄水, 年均增淤 0.41 亿 t; 正常运用前两年内, 汛期蓄水小于非汛期泄水, 年均减淤 0.19 亿 t; 后两年汛期蓄水大于非汛期泄水, 年均增淤 0.19 亿 t。整个联合运用期年均增淤 0.21 亿 t, 占实测淤积量的 25%。

潼关至三门峡河段, 由于三门峡水库采用蓄清排浑运用, 非汛期由于龙、刘两库泄水, 使“四站”至潼关多冲的泥沙几乎全部淤在这一河段; 汛期由于来水减少及流量调