

XIAOLANGDI SHUIKU LANSHA HOUQI

XIAYOU HEDAO XIANGYING TAISHI YUCE JI DUICE

小浪底水库拦沙后期

下游河道响应态势预测及对策

江恩惠 曹永涛 刘 燕 赵连军 夏修杰 著
李军华 张林忠 张 清 董其华 顾霜妹



黄河水利出版社

小浪底水库拦沙后期下游河道 响应态势预测及对策

江恩惠 曹永涛 刘 燕 赵连军 夏修杰 著
李军华 张林忠 张 清 董其华 顾霜妹

黄河水利出版社

· 郑州 ·

内 容 提 要

本书结合黄河水利科学研究院开展的小浪底—陶城铺河道动床模型试验,综合分析了不同运用方式下黄河下游游荡性及过渡性河道的响应态势,根据黄委对未来一定时期黄河水沙变化预测和近些年小浪底水库与下游河道冲淤及二级悬河演变发展状况,认为黄河下游河道严重淤积的主要原因是高含沙洪水问题,并指出换个思路认识水库的淤积,把黄河中游的水库看作黄河泥沙自然的分选场,为泥沙资源化利用提供了前提条件,进而提出了黄河水库泥沙处理与泥沙资源化利用有机结合的总体思路。

本书不仅可为今后小浪底水库的调度和黄河治理决策提供科技支撑,也可作为在校学生及科研工作者的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

小浪底水库拦沙后期下游河道响应态势预测及对策/
江恩惠等著. —郑州:黄河水利出版社,2014. 12
ISBN 978-7-5509-0184-1

I. ①小… II. ①江… III. ①水库泥沙—研究—洛阳市
IV. ①TV145②TV632. 613

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 269268 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:hhslebs@126.com

承印单位:河南新华印刷集团有限公司

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:22.25

字数:514 千字

版次:2014 年 12 月第 1 版

印数:1—1 000

印次:2014 年 12 月第 1 次印刷

定价:48.00 元

前 言

小浪底水库拦沙后期运用方式十分复杂,一方面,水库拦沙后期具备了降水泄空冲刷排沙条件,为充分发挥水库对下游河道的减淤作用并减少库容淤损速率,水库应尽可能利用大水排沙;另一方面,就下游河道而言,前期经历的是冲刷过程,水库有一定排沙时,来水来沙条件发生新的变化,下游河道又会作出新的调整,由此对水库减淤运用又提出新的要求。

拦沙后期运用方式大体分为两类,即逐步抬高“拦粗排细”运用和多年调节泥沙、相机降水冲刷调水调沙运用。其中方式一基本是小浪底初步设计和招标设计的运用方式,方式二是对方式一的继承和发展。在分析方式一与方式二研究成果的基础上,吸收方式一拦粗排细、出库流量两极分化的思想及方式二流量两极分化、较大流量有持续历时和水库降水冲刷重复利用水库拦沙库容的思想,本次研究提出了拦沙后期最终推荐运用方式。

自 2002 年开始,历时 8 年,黄河水利科学研究院下游河道实体模型试验项目组的科研人员利用小浪底—陶城铺河道模型,对小浪底水库拦沙后期防洪减淤不同运用方式进行了试验研究,内容包括专题试验和方案试验两方面,为拦沙后期最终运用方式的确定提供了坚实的技术支撑。最后,对选定的运用方案,通过长系列模型试验,从下游减淤效果、平面变形及对河道整治工程的影响等方面检验其合理性,并提出控制河势变化的对策和措施。

本书系统总结了 8 年来下游河道实体模型试验的研究成果,对下游河道在河势调整及工程适应性、冲淤演变及断面形态变化等方面的响应态势进行了预测,进而提出了小浪底水库拦沙后期下游河道的治理对策。

本书编写人员具体分工如下:第 1 章,江恩惠;第 2 章,曹永涛、夏修杰、董其华;第 3 章,赵连军;第 4 章,江恩惠、李军华、张林忠;第 5 章,刘燕、张清、顾霜妹;第 6 章,张林忠;第 7 章,夏修杰、顾霜妹。

由于时间仓促,书中疏漏之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2011 年 12 月

目 录

前 言

第1章 概 述	1
第2章 大水相机降水冲刷运用专题试验研究	4
2.1 专题试验方案简介	4
2.2 专题试验各方案河势调整态势	12
2.3 专题试验各方案冲淤演变	44
2.4 认识与建议	73
第3章 小浪底水库拦沙后期不同运用方式实体模型试验方案简介	79
3.1 方式一与方式二方案对比	79
3.2 无小浪底方案与最终推荐方案对比	99
第4章 不同运用方式下游河道河势调整响应态势	114
4.1 方式一推荐方案河势调整态势	114
4.2 方式二推荐方案河势调整态势	129
4.3 方式一与方式二河势变化对比	143
4.4 无小浪底方案河势调整态势	156
4.5 最终推荐方案河势调整态势	179
第5章 不同运用方式下游河道冲淤演变响应态势	203
5.1 方式一推荐方案河道冲淤演变	203
5.2 方式二推荐方案河道冲淤演变	233
5.3 方式一与方式二河道冲淤演变对比分析	252
5.4 无小浪底方案河道冲淤演变	275
5.5 最终推荐方案河道冲淤演变	290
第6章 水库拦沙后期排沙方式在下游河道的综合反应效果	313
6.1 小浪底水库拦沙后期不同运用方式水沙特征	313
6.2 不同运用方式下游河道综合反应效果	316

第 7 章 小浪底水库拦沙后期治理对策..... 320

7.1 近期水沙变化特点及未来泥沙情势 320

7.2 “二级悬河”对防洪安全所构成威胁的严重性 328

7.3 近期小浪底水库与下游河道的淤积状况 333

7.4 泥沙处理和利用 336

参考文献..... 349

第1章 概述

黄河是世界上最复杂、最难治理的河流。大量的泥沙淤积在下游河道内,使下游河道滩面高于大堤背河地面,成为举世闻名的地上悬河。如何把黄河的事情办好,一代又一代黄河人进行了孜孜不倦的探索和实践。

小浪底水利枢纽位于黄河中游三门峡水库以下约 130 km 黄河最后一个峡谷的出口处,其控制流域面积 69.4 万 km^2 ,占黄河流域总面积的 92.3%,控制黄河天然年径流总量的 87% 及近 100% 的黄河泥沙,处在承上启下控制黄河水沙的关键部位,是解决黄河下游防洪、减淤问题的关键性控制工程,在黄河的治理开发中具有十分重要的战略地位。

根据库区水流泥沙运动特点和水库淤积发展过程,小浪底水库运用可分为拦沙初期、拦沙后期和正常运用期。拦沙初期是指水库泥沙淤积量达到 21 亿 ~ 22 亿 m^3 以前;拦沙后期是指水库淤积量达到 22 亿 m^3 之后至库区形成高滩深槽、坝前滩面高程达 254 m 的整个时期;其后水库将转入正常运用期。

小浪底水库运用涉及问题较多,为确定其合理的运用方式,充分发挥水库的综合利用效益,在小浪底水库工程规划设计阶段及“八五”国家重点科技攻关有关项目中,对小浪底水库运用方式进行了大量的研究工作。工程开工建设后,1996 ~ 2000 年,黄委组织开展了小浪底水库拦沙初期水库运用方式研究工作,建成了小浪底库区和黄河下游河道小浪底—苏泗庄河段实体模型,重点对水库的初期运用方式进行了大量研究,并列入了“九五”国家重点科技攻关项目。这一时期的研究提出了小浪底水库 2000 年运用方案和初期 3 ~ 5 年的运用方式。工程投入运用以来,较好地发挥了防洪、防凌、减淤、供水、灌溉和发电等综合利用效益,特别是通过拦沙初期的调水调沙运用,大大提高了下游主河槽的过流能力,有效改善了防洪形势,实现了黄河下游不断流,为继续开展小浪底水库拦沙后期运用方式研究提供了坚实的基础。

黄河下游河道演变问题十分复杂,短期变化与长期发展、水沙变化与河道调整、部分河段变化与整体演变的关系等方面都需要持续不断的研究;相应地,小浪底水库的运用也是一个动态的发展过程,水库运用方式既要有宏观的长远分析和展望,又要针对水库不同运用阶段的具体情况做好相应的调度方案,并在实践中不断检验、完善。因此,小浪底水库的运用方式不可能一成不变,必须结合工程运行实践,结合治黄建设和科技发展,充分考虑沿黄经济社会发展需求,继续开展研究,逐步深化认识,及时调整调度运用方案。

正是基于上述认识,在完成小浪底水库拦沙初期运用方式研究后,黄委于 2002 年开始,启动了小浪底水库拦沙后期防洪减淤运用方式研究,其中利用小浪底库区及下游河道实体模型开展试验研究是主要研究手段之一。2003 年 10 月,黄河勘测规划设计有限公司根据小浪底水库拦沙后期防洪减淤运用方式研究总体安排,编制了《关于实体模型试验、原型观测工作的意见》,提出黄河下游实体模型试验包括大水相机降水冲刷运用专题

试验研究和拦沙后期防洪减淤运用方式方案试验研究。

小浪底水库拦沙后期运用方式十分复杂,一方面,水库拦沙后期具备了降水泄空冲刷排沙条件,为充分发挥水库对下游河道的减淤作用并减少库容淤损速率,水库应尽可能利用大水排沙;另一方面,就下游河道而言,前期经历的是冲刷过程,水库有一定排沙时,来水来沙条件发生新的变化,下游河道又会做出新的调整,由此对水库减淤运用又提出新的要求。因此,拦沙后期水库运用既要适当拦调高含沙水流,利用大水输沙、相机降水排沙,使水库保持较大的调节库容,长期发挥减淤作用,又要充分发挥下游河道的输沙能力,最大限度地减少下游河道的淤积,并且尽量使减淤部位合理。因此,小浪底水库拦沙后期防洪减淤运用方式研究的指导思想,就是在满足黄河下游防洪要求的前提下,使得水库单方拦沙库容的损失取得下游最大的防洪减淤效益,以充分发挥水库防洪减淤作用,并统筹考虑河道生态用水和供水、灌溉、发电等任务。

根据数十年的研究成果,尤其是通过“八五”、“九五”国家重点科技攻关计划,清华大学、中国水利水电科学研究院、黄河勘测规划设计有限公司(黄河设计公司)、黄河水利科学研究院(黄科院)等单位的研究成果和小浪底水库初期运用方式研究成果,认为根据对下游冲淤规律认识的不同,拦沙后期运用方式大体分为两类,即逐步抬高“拦粗排细”运用(简称方式一,下同)和多年调节泥沙、相机降水冲刷调水调沙运用(简称方式二,下同)。其中方式一基本是小浪底初步设计和招标设计(简称设计阶段)的运用方式,方式二是对方式一的继承和发展。在分析方式一与方式二研究成果的基础上,吸收方式一拦粗排细、出库流量两极分化的思想及方式二流量两极分化、较大流量有持续历时和水库降水冲刷重复利用水库拦沙库容的思想,本次研究提出了拦沙后期最终推荐运用方式。

下游河道实体模型专题试验的目的是研究不同流量级、不同含沙量级的洪水水库降水冲刷时相应黄河下游形成的冲淤和演变情况,重点是含沙量较高的洪水在下游的水沙演进特性,以分析总结水库相机降水冲刷的可行性和合理的冲刷方式(包括冲刷时机、流量、含沙量、洪水历时等),为制定合理的小浪底水库拦沙后期防洪减淤运用方式提出依据。方案试验的目标是研究小浪底水库不同运用方式调控指标的合理性,研究不同水沙系列条件下各运用方式的减淤量、减淤部位以及河段平面变形,为优选水库的运用方式提供可靠的支撑。同时,对选定的运用方案,通过长系列模型试验,从下游减淤效果、平面变形及对河道整治工程的影响等方面检验其合理性,并提出控制河势变化的对策和措施。

自2002年开始,历时8年,黄科院下游河道实体模型试验项目组的科研人员利用小浪底—陶城铺河道模型,对小浪底水库拦沙后期防洪减淤不同运用方式进行了试验研究,为拦沙后期最终运用方式的确定提供了坚实的技术支撑。本书系统总结了8年来下游河道实体模型试验的研究成果,对下游河道在河势调整及工程适应性、冲淤演变及断面形态变化等方面的响应态势进行了预测,进而提出了小浪底水库拦沙后期下游河道的治理对策。本次研究得出的主要认识有:

(1)专题试验成果表明,从排沙比、输沙效率和高村以上河段淤积效率等方面综合考虑,降水冲刷历时较长、平均流量在 $3\ 200\text{ m}^3/\text{s}$ 、平均含沙量在 $107\text{ kg}/\text{m}^3$ 的水沙条件对下游河道最为有利。

(2)方案试验由于水沙过程搭配的不同,造成下游河道冲淤差别也较大。对试验河

段小浪底—陶城铺,1990 系列 15 年方式一和方式二主槽及全断面均呈现淤积,全断面累积淤积量分别为 18.00 亿 t 和 7.55 亿 t,其中主槽累积淤积量分别为 6.01 亿 t 和 1.99 亿 t,占总淤积量的 33% 和 26%。无论是全断面还是主槽淤积量,方式二都明显小于方式一。从分河段来看,方式一和方式二在铁谢—花园口河段主槽和全断面均呈现冲刷,花园口—陶城铺河段均呈现淤积,特别是高村—陶城铺河段,呈现较为严重的淤积。

(3) 从实体模型试验河势变化来看,工程对方式二水沙过程的适应性总体表现强于方式一,尤其是花园口—赵口河段,方式一试验该河段双井工程长期处于脱河状态,以下马渡险工、赵口工程河势下挫,武庄河势虽有所上提,但很不稳定。方式二试验该河段主流均在工程控导范围内,河势虽有所上提下挫,但变幅都不是很大。此外,由于方式二大流量持续时间较长,因此方式二试验河势调整较方式一快,且试验中后期工程靠溜情况也好于方式一。

(4) 在方式一、方式二基础上进一步优化提出的最终推荐方案,对水沙的调节效果进一步增强。方式一调节的 1990 系列,15 年单位水量的输沙效率为 12.65 kg/m^3 ;在方式一基础上优化的方式二,对于同样的 1990 系列,15 年单位水量的输沙效率为 16.88 kg/m^3 ,输沙效率比方式一提高了 33.4%;在方式二基础上进一步优化后提出的最终推荐方案,对于 1960 系列 15 年过程,单位水量的输沙效率为 20.07 kg/m^3 ,输沙效率又比方式二提高了 18.9%。因此,从输沙效率来讲,最终推荐方案调节的水沙明显是最合理的。此外,在冲淤横向分布上,三种运用方式明显是逐渐好转的,主槽淤积量逐步减少:方式一主槽淤积量占总淤积量的 33.4%,方式二主槽淤积量占总淤积量的 26.3%,最终推荐方案主槽淤积量占总淤积量的 18.2%。这也从另一个侧面表明,最终推荐方案调节的水沙过程是比较合理的。

(5) 从工程适应性来看,最终推荐方案基本能适应试验水沙过程,但在工程不配套、不完善的河段,河势还没有得到有效控制,尚处于调整过程中,这些河段整治工程对试验水沙过程的适应性较差,因此在完善整治工程的同时,应优先完善节点工程,使之尽快发挥控制河势的作用,必要时,可以辅以辅助工程,确保节点工程能充分发挥控导主流的作用。

(6) 最终推荐方案进行的 1960 系列试验,小浪底—陶城铺河段、铁谢—陶城铺河段试验前 17 年断面法计算总淤积量为 15.87 亿 t,无小浪底水库铁谢—陶城铺河道全断面累积淤积量 53.10 亿 t,水库拦沙减淤比为 1.61(水库拦沙 60.01 亿 t)。小浪底水库拦沙后期最终推荐运用方式,在黄河下游河道减淤、河势稳定等方面,都较方式一、方式二有较大改善,是较优的运用方案。

(7) 对比小浪底水库拦沙期防洪减淤运用不同方式的试验研究结果发现,不同运用方式使进入下游的水沙过程有所差别,水库的合理调度会使出库水沙相对协调,从而减少或减缓下游河道的淤积。水库泥沙采用蓄清排浑、水库清淤、自吸式管道排沙、异重流排沙等对策,下游河道淤积泥沙采用调水调沙、泥沙资源化利用等对策。

第 2 章 大水相机降水冲刷运用 专题试验研究

黄河下游小浪底—苏泗庄(或陶城铺)模型试验研究是黄河洪水管理亚行贷款项目“小浪底水库运用方式研究”课题中的主要研究内容之一,为完成亚行项目安排的模型试验研究内容,现有的小浪底—苏泗庄模型需下延 127.13 km 至陶城铺断面。

2003 年 10 月,黄河设计公司根据小浪底水库拦沙期防洪减淤运用方式研究总体安排,编制了《关于实体模型试验、原型观测工作的意见》,提出黄河下游模型试验包括大水相机降水冲刷运用专题试验研究和拦沙后期防洪减淤运用方式试验研究。

2003 年 10 月 28 日,小浪底水库运用方式研究项目领导小组组织召开亚行项目协调会决定,黄河下游模型首先在现模型上进行专题试验。

降低库水位冲刷排沙是研究小浪底水库拦沙后期防洪减淤运用方式的关键问题。专题试验的目的是研究不同流量级、不同含沙量级的洪水水库降水冲刷时相应地在黄河下游形成的冲淤和演变情况,重点是含沙量较高的洪水在下游的水沙演进特性,以分析总结水库相机降水冲刷的可行性和合理的冲刷方式(包括冲刷时机、流量、含沙量、洪水历时等),为制定合理的小浪底水库拦沙后期防洪减淤运用方式提出依据。

2.1 专题试验方案简介

2.1.1 模型概况及试验初始边界条件

黄河小浪底—苏泗庄河道动床模型于 1998 年 9 月建成,水平比尺 $\lambda_L = 600$,垂直比尺 $\lambda_H = 60$,模型模拟范围自小浪底坝下至山东鄄城苏泗庄险工,原型河道总长 349 km。模型除模拟黄河干流来水来沙状态外,还模拟伊洛河、沁河两条支流的入流条件。

模型的设计依据黄科院多年动床模型试验经验,遵循黄河泥沙模型相似律,选取郑州热电厂粉煤灰作为模型沙。该模型相似律不但能全面反映河工模型水流泥沙运动的相似性,还可同时兼顾时均流速输移和紊动扩散对泥沙悬移影响的相似,而且克服了一般比尺模型不考虑河型相似的缺陷。此外,所选模型沙活动性好,使中小水河床演变也可模拟。经过验证试验最终确定的模型主要比尺值见表 2.1-1。

表 2.1-1 各式中, λ_R 为水力半径比尺; λ_J 为比降比尺; λ_{ω} 为水流挟沙力比尺; λ_{γ_0} 为淤积物干容重比尺; λ_{ν} 为水流运动黏滞性系数比尺; $\lambda_{\gamma_s-\gamma}$ 为泥沙与水的容重差比尺。

该模型自建成以来,先后通过了小浪底—花园口河段 1963 年验证和整个模拟河段 2000~2001 年过程验证,并利用该模型先后开展过小浪底水库运用初期不同运用方式黄河下游河道演变趋势研究,1999 年、2000 年及 2002 年、2003 年黄河下游洪水演进预报试验以及黄河下游游荡性河段河道整治规划治导线的检验与修订试验、黄河下游游荡性河

段进一步整治方案研究等多项试验研究工作。

表 2.1-1 模型主要比尺值表

比尺名称	模型比尺	备 注
水平比尺 λ_L	600	根据场地条件及试验要求确定
垂直比尺 λ_H	60	满足变率限制条件等
几何变率 D_i	10	$D_i = \lambda_L / \lambda_H$
流速比尺 λ_V	7.75	$\lambda_V = \lambda_H^{1/2}$
糙率比尺 λ_n	0.626	$\lambda_n = \lambda_R^{2/3} \lambda_V^{-1} \lambda_f^{1/2}$
水流运动时间比尺 λ_{t_1}	77.5	$\lambda_{t_1} = \lambda_L / \lambda_V$
沉速比尺 λ_w	1.38	$\lambda_w = \lambda_V (\lambda_H / \lambda_L)^{3/4}$
悬沙粒径比尺 λ_d	0.81	$\lambda_d = (\lambda_V \lambda_w / \lambda_{\gamma_s - \gamma})^{1/2}$, 根据水温变化略有调整
含沙量比尺 λ_s	1.8	$\lambda_s = \lambda_{s_s}$, 并根据验证试验确定
河床变形时间比尺 λ_{t_2}	83	$\lambda_{t_2} = \lambda_{\gamma_0} \lambda_L / (\lambda_s \lambda_V)$, 并根据验证试验确定

为使专题试验各方案之间具有可比性,试验均采用相同的初始边界条件。

黄河设计公司最初在“关于实体模型试验、原型观测工作的意见”中,计划专题试验采用 1996 年河势、地形资料作为初始边界条件;后又考虑到小浪底运用后河势及工程边界条件、河床地形条件都发生较大变化,试验初始边界条件应作适当调整。鉴于问题的复杂性,黄科院与黄河设计公司对 1996~2000 年、2000~2003 年各河段冲淤量以及 1996 年、2003 年地形、断面形态、河势、水位等实测资料做了大量的对比分析,并多次邀请有关专家进行了咨询。

通过对河道冲淤量、平滩流量变化以及河槽形态变化的综合分析,鉴于当时 2003 年汛后实测大断面资料还未取得,专题试验推荐采用的地形条件为:夹河滩以上采用 2003 年汛前地形,夹河滩以下采用与 1996 年汛后地形相应的主槽面积,以 2003 年汛前河相系数计算求得的相应的河宽与水深进行放大,滩地部分则全部采用 2003 年汛前地形。初始河势采用 2003 年汛前河势。

黄河设计公司按照上述原则完成本次专题试验的初始大断面设计后,及时取得了 2003 年汛后试验河段的实测大断面资料(未整编)。经对比分析,发现夹河滩以下河段修正后的主槽形态与 2003 年汛后实测大断面形态比较接近,夹河滩以上主槽形态有一定差别。为了使上下河段断面形态协调,黄委会设计院又参考 2003 年汛后的实测大断面资料,对夹河滩以上河段的大断面主槽进行了修正。

为了提高制模精度,模型初始地形制作时除布置小浪底—苏泗庄河段实测的 112 个大断面外,我们还专门布置、内插了 313 个小断面。在小断面的内插和模型制作过程中,还特别关注了沿程各断面的两岸滩唇的模拟和制作,滩唇的位置与高程均根据实测大断面并结合河势图进行内插。滩地、村庄、植被状况按 1999 年航摄、2000 年调绘的 1:10 000 黄河下游河道地形图塑制,并结合以往现场查勘情况给予了修正。

与初始地形相应的河道整治工程按黄委完成的“游荡性河段河道整治方案”近期安

排工程布设,见表 2.1-2。

表 2.1-2 黄河下游游荡性河段河道整治方案工程修建情况统计表 (单位:m)

序号	河段	工程名称	规划工程					近期安排工程				
			上延	下延	新建	改造	合计	上延	下延	新建	改造	合计
一	白鹤—伊洛河口	白坡		500			500					
		铁谢				1 000	1 000				1 000	1 000
		逯村		200			200		200			200
		花园镇	1 200	600			1 800	500				500
		开仪										
		赵沟	500	200			700		200			200
		化工		600			600		200			200
		裴峪	500	500			1 000					
		大玉兰		500			500		500			500
		神堤	500	500			1 000	500	300			800
		小计	2 700	3 600		1 000	7 300	1 000	1 400		1 000	3 400
二	伊洛河口—京广铁路桥	张王庄			5 000		5 000			4 000		4 000
		金沟			4 700		4 700			1 000		1 000
		孤柏嘴			4 000		4 000			1 000		1 000
		驾部		1 500			1 500		500			500
		枣树沟		1 000			1 000		500			500
		东安工程	2 700	1 500			4 200	1 500	1 500			3 000
		桃花峪	2 500	1 500			4 000	1 000	1 000			2 000
		小计	5 200	5 500	13 700		24 400	2 500	3 500	6 000		12 000
三	京广铁路桥—武庄	老田庵		1 000			1 000		500			500
		保合寨	1 000				1 000	1 000				1 000
		马庄		100			100					
		花园口上延			1 000		1 000					
		东大坝下延		500			500					
		双井		500		2 200	2 700					
		马渡下延		1 500			1 500		1 500			1 500
		武庄	1 300	1 200			2 500	1 300	500			1 800
		小计	2 300	4 800	1 000	2 200	10 300	2 300	2 500			4 800

续表 2.1-2

序号河段		工程名称	规划工程					近期安排工程					
			上延	下延	新建	改造	合计	上延	下延	新建	改造	合计	
四	赵口——东坝头	赵口		770			770		550			550	
		毛庵	1 400	800			2 200	1 400	800			2 200	
		九堡		500			500		500			500	
		三官庙	2 000	1 000			3 000	1 000	1 000			2 000	
		韦滩	2 700	1 000			3 700	2 000	1 000			3 000	
		徐庄		1 400			1 400						
		黑岗口上延	500				500	500				500	
		黑岗口下延		700			700		600			600	
		顺河街	1 000	800			1 800	1 000	500			1 500	
		柳园口		500			500						
		大宫	1 000	500			1 500	1 000				1 000	
		王庵	1 000	700			1 700	700				700	
		古城	800	1 500			2 300	600	1 000			1 600	
		府君寺	500			1 500	2 000				1 500	1 500	
		曹岗		2 500			2 500		1 800			1 800	
		欧坦	1 000	1 000			2 000		1 000			1 000	
		贯台		500			500		500			500	
		东坝头控导		200			200						
			小计	11 900	14 370		1 500	27 770	8 200	9 250		1 500	18 950
五	禅房——高村	禅房		1 500			1 500		1 000			1 000	
		蔡集	1 500				1 500	1 500				1 500	
		王夹堤		800			800		800			800	
		大留寺		1 200			1 200		1 200			1 200	
		辛店集		500		800	1 300						
		周营		500		900	1 400						
		老君堂	1 000	500			1 500	500				500	
		于林											
		堡城				700	700						
		三合村		700			700		300			300	
		高村											
			小计	2 500	5 700		2 400	10 600	2 000	3 300			5 300
		合计		24 600	33 970	14 700	7 100	80 370	16 000	19 950	6 000	2 500	44 450

为了反映河床冲刷后床沙的粗化,初始床沙级配尽量与 2003 年汛后测验成果相对应。

在初始地形制作完成后,根据 2003 年汛后的原型水位资料,在模型上施放 $1\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 流量对河槽进行了率定与调整。

根据试验过程中沙量情况,模型进口加沙池含沙量设定为 $500\text{ kg}/\text{m}^3$,浑水流量采用孔口箱严格按照要求控制,清水流量根据浑水流量的大小相应折减。模型尾门水位根据进口流量过程,采用苏泗庄水位站 2003 年汛末及汛后实测水位流量关系线概化后控制。由于模型在试验开始前初始流量为 $800\text{ m}^3/\text{s}$,试验开始后进口流量需 2 天左右才能到达苏泗庄站,故在试验开始的前 2 天,尾门水位按苏泗庄水位站 2003 年汛后 $800\text{ m}^3/\text{s}$ 流量时的水位控制;同时,为了保证上游水流向苏泗庄传播过程不变形,尾门控制时间在进口试验结束后延长 2 天。

模型进出口的实际控制采用仪器自动控制。

2.1.2 专题试验各方案水沙条件简介

专题试验拟安排 4 个组次的方案试验,按照小浪底水库前期淤积量分别为 22 亿 m^3 、 42 亿 m^3 ,每一种淤积状况分别试验两种水沙条件。试验的水沙条件由黄委设计院提供,原计划试验各组次水沙特征值见表 2.1-3。

表 2.1-3 降水冲刷专题试验方案表

淤积量 (亿 m^3)	组次	历时 (d)	蓄水量 (亿 m^3)	流量(m^3/s)		含沙量(kg/m^3)		洪水时段 (年-月-日)
				平均	范围	平均	范围	
22	1	8	5	2 414	1 550 ~ 3 410	190	75.48 ~ 340	1994-8-10 ~ 8-17
	2	14	5	3 204	1 610 ~ 4 660	107	43.1 ~ 189	1970-8-26 ~ 9-8
42	3	8	5	2 414	1 550 ~ 3 410	190	75.48 ~ 340	1994-8-10 ~ 8-17
	4	14	5	3 204	1 610 ~ 4 660	107	43.1 ~ 189	1970-8-26 ~ 9-8

试验过程中,黄河设计公司根据试验情况 and 研究需要,对试验组次 2、组次 3、组次 4 的水沙过程又进行了修改,实际采用的各组次水沙过程见表 2.1-4,水沙特征见表 2.1-5。

为了分析研究不同悬沙粒径在下游河道的冲淤演变情况,黄河设计公司对各组次水沙过程每天的悬沙级配也进行了设计;在模型试验过程中,为便于控制,进口加沙按两种级配概化。图 2.1-1 ~ 图 2.1-3 为专题二、专题三、专题四设计悬沙级配与模型试验实际选用级配的对比情况,各组次原设计每级对应的悬沙中值粒径与模型试验概化后相应的中值粒径见表 2.1-6。

表 2.1-4 降水冲刷专题试验各方案水沙条件

专题一			专题二			专题三			专题四		
历时 (d)	流量 (m^3/s)	含沙量 (kg/m^3)	历时 (d)	流量 (m^3/s)	含沙量 (kg/m^3)	历时 (d)	流量 (m^3/s)	含沙量 (kg/m^3)	历时 (d)	流量 (m^3/s)	含沙量 (kg/m^3)
1	3 000	40	1	3 000	30	1	3 000	40	1	3 000	40
2	3 000	40	2	3 000	80	2	3 000	80	2	3 000	80
3	3 000	60	3	2 114	500	3	2 882	300	3	3 400	180
4	3 333	330.6	4	3 490	350	4	3 600	350	4	2 930	140
5	2 931	283.2	5	2 865	260	5	4 057	392	5	3 500	120
6	3 496	210	6	1 923	120	6	4 525	289	6	2 900	70
7	2 902	117	7	1 793	96.5	7	2 735	191	7	1 950	50
8	1 951	72.6	8	2 333	115.22	8	1 957	107			
9	1 612	50	9	2 931	330.62						
			10	3 196	283.18						
			11	2 902	170.91						
			12	1 951	117.4						

表 2.1-5 降水冲刷专题试验各方案水沙特征统计表

项目		专题一	专题二	专题三	专题四
水	总水量(亿 m^3)	21.79	27.21	22.25	17.87
	日均水量(亿 m^3)	2.42	2.27	2.78	2.55
	平均流量(m^3/s)	2 803	2 625	3 220	2 954
	最大流量(m^3/s)	3 496	3 196	4 525	3 500
沙	总沙量(亿 t)	3.15	5.72	5.28	1.82
	日均沙量(亿 t)	0.35	0.48	0.66	0.26
	平均含沙量(kg/m^3)	144.6	210.3	237.4	101.7
	最大含沙量(kg/m^3)	330.6	500.0	392.0	180.0
	悬沙粒径(mm)	0.023 ~ 0.037	0.012 8 ~ 0.046	0.019 5 ~ 0.031 2	0.014 6 ~ 0.023 8

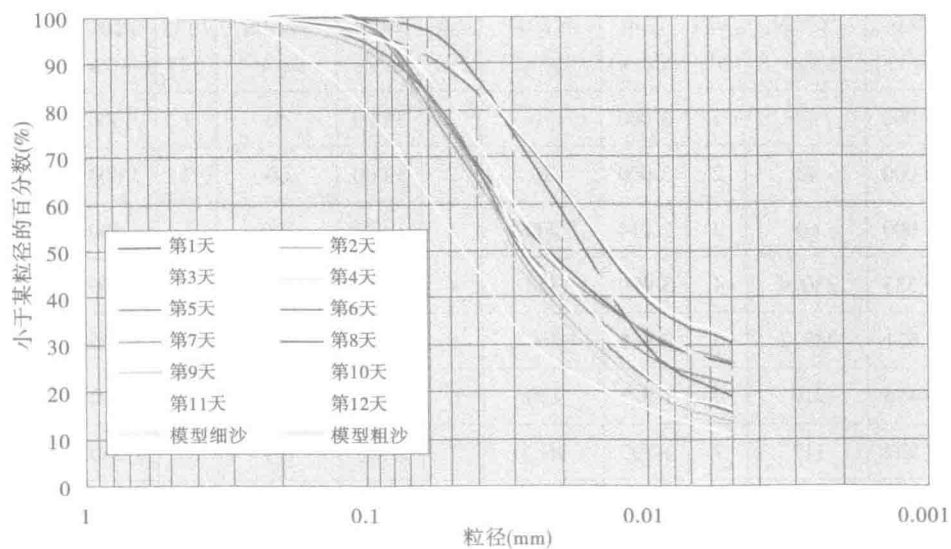


图 2.1-1 专题二设计悬沙级配与模型选用悬沙级配对比图

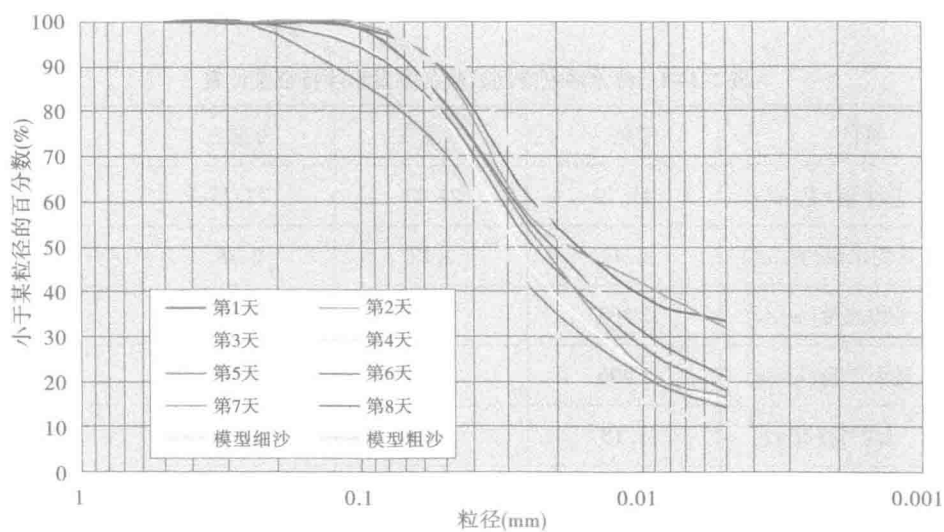


图 2.1-2 专题三设计悬沙级配与模型选用悬沙级配对比图

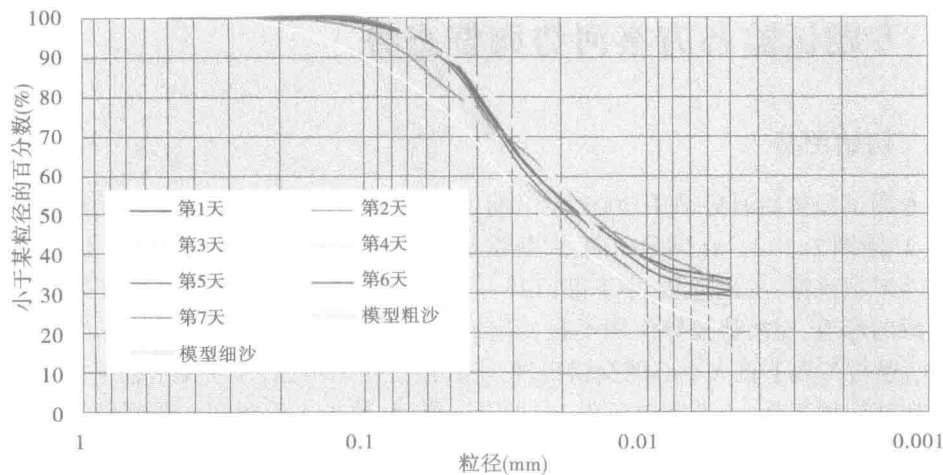


图 2.1-3 专题四设计悬沙级配与模型选用悬沙级配对比图

表 2.1-6 专题试验各方案设计悬沙中值粒径与模型实际选用悬沙中值粒径统计表

专题一悬沙中值粒径			专题二悬沙中值粒径			专题三悬沙中值粒径			专题四悬沙中值粒径		
历时 (d)	设计 (mm)	实用 (mm)	历时 (d)	设计 (mm)	实用 (mm)	历时 (d)	设计 (mm)	实用 (mm)	历时 (d)	设计 (mm)	实用 (mm)
1	0.023 0	0.027 5	1	0.022 7	0.022 6	1	0.019 5	0.024 0	1	0.017 6	0.020 4
2	0.023 0	0.027 5	2	0.023 0	0.022 6	2	0.020 0	0.024 0	2	0.020 1	0.026 5
3	0.023 0	0.027 5	3	0.046 0	0.036 0	3	0.027 2	0.039 5	3	0.023 8	0.026 5
4	0.031 5	0.039 0	4	0.032 1	0.036 0	4	0.031 2	0.039 5	4	0.020 7	0.026 5
5	0.037 0	0.039 0	5	0.029 0	0.036 0	5	0.029 5	0.039 5	5	0.020 1	0.026 5
6	0.027 0	0.027 5	6	0.034 5	0.036 0	6	0.024 5	0.039 5	6	0.018 5	0.020 4
7	0.027 0	0.027 5	7	0.027 0	0.036 0	7	0.023 2	0.024 0	7	0.014 6	0.020 4
8	0.025 0	0.027 5	8	0.015 6	0.022 6	8	0.021 6	0.024 0			
9	0.025 0	0.027 5	9	0.030 3	0.036 0						
			10	0.027 2	0.036 0						
			11	0.021 7	0.022 6						
			12	0.012 8	0.022 6						