

黄河小浪底水利枢纽规划设计丛书

林秀山 总主编



工程规划

李景宗 主编

中国水利水电出版社
黄河水利出版社

黄河小浪底水利枢纽规划设计丛书

工 程 规 划

林秀山 总主编

李景宗 主 编

中国水利水电出版社
黄河水利出版社

内 容 提 要

本书为黄河小浪底水利枢纽规划设计丛书的工程规划卷。主要内容包括黄河径流、洪水、泥沙特性分析,工程规划、工程规模研究,水库泥沙及影响分析,水库防洪、防凌、减淤、供水、灌溉和发电作用研究,以及经济评价等。黄河泥沙多、含沙量高,居世界之冠,黄河下游河道泥沙淤积严重,形成地上悬河,威胁防洪安全。解决黄河下游洪水、泥沙淤积问题,解决小浪底水利枢纽工程的高含沙水流的泥沙问题,保障工程的安全正常运用,是小浪底水利枢纽面临的挑战性问题。书中对这些重要问题在充分总结黄河和其他河流水利水电工程实践经验的基础上,作了基础理论和科学技术的创新研究成果介绍。

本书内容丰富,反映了研究成果的先进性水平,实用性强,可供从事水利水电工程规划、设计、科研、建设管理的有关人员参考,亦可作为大专院校相关专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

工程规划/李景宗主编. —郑州:黄河水利出版社,
2006.5
(黄河小浪底水利枢纽规划设计丛书/林秀山总主编)
ISBN 7-80734-059-2

I. 工… II. 李… III. 黄河—水利枢纽—水利工程—水利规划 IV. TV632.613

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第022460号

出版社:中国水利水电出版社

地址:北京市西城区三里河路6号

邮政编码:100044

黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路11号

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940

传真:0371-66022620

E-mail:yrp@public.zz.ha.cn

承印单位:河南省瑞光印务股份有限公司

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:35.5

字数:820千字

印数:1—2000

版次:2006年5月第1版

印次:2006年5月第1次印刷

书号:ISBN 7-80734-059-2/TV·454

定价:140.00元

总序一

黄河小浪底水利枢纽是“以防洪(包括防凌)、减淤为主,兼顾供水、灌溉、发电,蓄清排浑,除害兴利,综合利用”为开发目标的大型水利工程,是国家“八五”重点建设项目,也是当时我国利用世界银行贷款最大的工程项目。小浪底主体工程于1994年9月开工,2001年底按期完工。工程采用国际招标方式选择了世界上一流的承包商,从施工管理、工程设计、移民搬迁到环境影响评价全面和国际接轨,为我国水利水电建设积累了宝贵经验。工程建成运行5年来,在黄河下游防洪、防凌、减淤冲沙、城市供水、发电、灌溉方面发挥了不可替代的作用。截至2004年底,累计发电约150亿kW·h。在黄河连续枯水的情况下为确保黄河不断流提供了物质基础。显著的社会效益和经济效益使小浪底水利枢纽成为治黄的里程碑工程。

本着建设我国一流工程的目标,我有幸参与了小浪底工程的建设管理。一流的工程首先要以一流的设计为龙头。小浪底工程由于其独特的水文泥沙条件、复杂的工程地质条件和严格的水库运用要求,给工程设计提出了一系列挑战性的课题,被国内外专家公认为是世界上最具挑战性的工程之一。黄河勘测规划设计有限公司^①的工程技术人员,经过近30年的规划论证和10多年的方案比选,以敢于创新和科学求实的精神,在国内科研院所和高等院校的配合下,较满意地解决了一个个技术难题,诸如深式进水口防泥沙淤堵、施工导流洞改建为孔板消能泄洪洞的重复利用、排沙洞后张预应力混凝土衬砌、洞室群围岩稳定、大坝深覆盖层基础处理、进出口高边坡加固、20万移民的生产性安置等,提出了以集中布置为鲜明特点的枢纽建筑物总体布置方案,同时也创造了许多国内国际领先水平的设计。小浪底工程于1999年10月蓄水运行以来,已安全正常地运行了5年,并经历了2003年高水位的运用考验,实践证明,小浪底工程的设计是成功的。

小浪底工程成功的设计,为小浪底工程的建设提供了可靠的技术保障。

① 编者注:黄河勘测规划设计有限公司为原水利部黄河水利委员会勘测规划设计研究院。

黄河勘测规划设计有限公司的同志们认真总结小浪底工程的设计经验,编写出版了这套技术丛书。这套丛书的出版,无疑将促进我国水利水电建设事业的发展,也希望通过这套丛书使小浪底水利枢纽的成功经验得到更好的推广和应用。

钱 星 光
二〇〇二年三月一日

总 序 二

小浪底水利枢纽是黄河治理开发的关键工程。如今这座举世瞩目的工程已全面竣工,几代黄河人的小浪底之梦终成现实。宏伟的小浪底工程犹如一座巍峨的丰碑,记载着人民治黄的丰功伟绩,同时又是一座黄河治理开发的里程碑工程。它的建成运用,使治黄工作进入了一个能够对黄河下游水沙进行调控的新阶段。

黄河是世界上最复杂、最难治的河流。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着孜孜不倦的探索和实践。

位于黄河中游最后一个峡谷出口处的小浪底,是三门峡水利枢纽以下惟一能够取得较大库容的坝址,处于承上启下控制黄河水沙的关键部位。修建小浪底水库对于黄河下游防洪、防凌、减淤等具有非常重要的作用,其战略地位是其他治黄工程无法替代的。

小浪底工程规模宏大,地质条件复杂,水沙条件特殊,运用要求严格,被公认为世界坝工史上最具挑战性的工程之一。面对这些难题,设计人员总结国内外的工程实践经验,克服重重困难,以勇于开拓创新又实事求是的科学精神,攻克了一个个技术难关,创造了多项国内外领先的设计成果。目前,工程已经开始发挥巨大的综合效益,特别是在调水调沙及塑造黄河下游协调水沙关系方面更是发挥了突出作用。

小浪底工程的勘测、规划和设计实践体现了“团结、务实、开拓、拼搏、奉献”的黄河精神,凝聚了广大治黄人员的智慧,同时也为今后的工作积累了丰富的经验。现在黄河勘测规划设计有限公司的同志总结小浪底工程的设计经验,编撰了这套规划设计丛书,非常必要、及时。这套丛书注重工程特点,论述设计思路和方法,突出创新成果,体现时代特征,系统全面反映了工程设计情况,对于今后的治黄工作乃至我国水利水电工程建设都将具有很好的借鉴作用。

小浪底工程建成后,黄河治理开发的任务依然非常繁重。小浪底水库本身的运用方式仍然需要深入研究,以保证其最大限度地发挥综合效益。同时,必须抓住小浪底水库投入运用的大好机会,抓紧开展黄河下游治理工作,并加快黄河干流骨干工程和南水北调西线工程建设、中游水土保持以及小北干流放淤等工作,构建完善的黄河水沙调控体系,使治黄工作朝着“维持黄河健康生命”的终极目标迈进。

李国英
2005年9月22日

总 前 言

小浪底水利枢纽位于黄河中游三门峡以下约 130km 黄河最后一个峡谷的出口处。从三门峡到小浪底,河床比降 0.1%,南岸是秦岭山系邙山,北岸是中条山、王屋山,河谷宽 500~1 000m,洪水水面宽 200~300m,每遇洪水,黄河波浪滔天、咆哮而下。黄河出小浪底峡谷之后,河道突然展宽,大浪没有了,小浪也到底了,进入了由黄河泥沙堆积而成的黄淮海平原。郑州花园口以下约 800km 的下游河道高悬于两岸地面,在约 1 400km 堤防的约束下流入渤海。居住在峡谷出口右岸黄河岸边一个小山村的先人们,观黄河流态的变化,以“小浪底”命名了自己的小山村。年年岁岁,世世代代,先人们并不知道今天小浪底竟成了家喻户晓的一个巨大的水利枢纽的名字。这个名字牵系着国内外许多专家、学者,牵系着曾为之奋斗的上万名中外建设者,牵系着上至中央领导、下至黎民百姓。

小浪底水利枢纽控制黄河流域面积 69.4 万 km^2 ,占黄河流域总面积(不包括内陆区)的 92.3%,控制黄河天然年径流总量的 86.9% 及近 100% 的黄河泥沙。小浪底工程处在承上启下控制黄河水沙的关键部位,与龙羊峡、刘家峡、大柳树、碛口、古贤、三门峡一起成为开发治理黄河的七大骨干工程,在治黄中具有十分重要的战略地位。

小浪底工程建在因含沙量高而闻名于世的黄河上。黄河不仅水少沙多,而且水沙在时间上分布不均,黄河下游为地上悬河,河道上宽下窄,比降上陡下缓,排洪能力上大下小,凌汛也威胁着黄河两岸人民的安全。我国近代治河的先驱者,总结我国的治河经验,引进西方科技,提出了“全面开发,综合利用”的水利规划思想。新中国成立以后,开始了人民治黄的历程。历经 50 多年,治黄取得了举世瞩目的成就。在黄河流域整体规划的基础上,小浪底工程的开发论证经过了近半个世纪漫长的历程。根据黄河的特点及小浪底工程在黄河流域规划中所处的位置,对小浪底工程的开发目标进行了多次分析论证,一致认为小浪底水库处在控制黄河下游水沙的关键部位,是黄河干流三门峡以下惟一能取得最大库容的重大控制工程,在治黄中具有重要的战略地位。国家计委于 1986 年 5 月明确小浪底水利枢纽的开发目标为“以防洪(包括防凌)、减淤为主,兼顾供水、灌溉和发电,蓄清排浑,除害兴利,综合利用”。要求达到的目标是:提高下游防洪标准;基本消除下游凌汛威胁,在一定时段内遏制黄河下游河床淤积的趋势;调节径流提高下游灌溉供水保证率;水电站在系统中担任调峰。

小浪底水利枢纽由于其独特的水文泥沙条件,复杂的工程地质条件,适应多目标开发的严格的运用要求,以及巨大的工程规模和治理黄河中重要的战略地位,被国内外专家公认为是世界坝工史上最具挑战性的工程之一。多年来,参与工程规划设计和研究的人员如履薄冰,认真总结借鉴前人的经验,以求实创新的精神开展工作,攻克了工程规划设计中的许多技术难关,保证了工程的规划设计达到先进水平。设计人员既尊重科学,又敢于突破常规,开拓创新,先后进行了 400 余项科学试验和专题论证分析,融汇了国内外许多专家的心血和智慧,解决了一个又一个难题。在建造深 82m 的混凝土防渗墙、将 3 条

直径 14.5m 的导流洞改建为永久的多级孔板消能泄洪洞、在地质条件极为复杂的左岸单薄山体内建造了规模宏大和数量众多的地下洞室群、在高水头大直径排沙洞设计中采用了双圈缠绕的后张无黏结预应力混凝土衬砌结构、在国内大规模采用了双层保护的预应力锚索和钢纤维喷混凝土技术等多方面取得突破,在国内外处于领先地位。如今,小浪底水利枢纽以其独具鲜明特色的总体布置和建筑物设计展现在世人面前。小浪底工程为黄河治理开创了崭新的局面。

小浪底工程的规划设计、研究和论证,以及工程建设一直得到中央领导、水利部和国家有关部委的关注,并得到国内外许多专家的支持和帮助,融汇了他们的心血和智慧。

小浪底工程的成功设计,为小浪底工程的建设做出了巨大的贡献。为总结小浪底工程规划设计方面的经验和教训,我们组织了直接参与小浪底工程规划设计的人员从工程规划、设计的各个方面,认真总结小浪底工程的设计经验,并出版黄河小浪底水利枢纽规划设计丛书,以期和同行进行技术交流,丰富和促进我国水利水电建设事业,使小浪底工程的成功经验得到更好的推广和应用。黄河勘测规划设计有限公司对该丛书的出版给予了大力支持,国务院南水北调建设委员会办公室主任张基尧和水利部黄河水利委员会主任李国英亲自为丛书作序,在此表示衷心的感谢。

由于水平所限,谬误之处在所难免,敬请指正。

黄河小浪底水利枢纽设计总工程师

林秀山
2005年9月

黄河小浪底水利枢纽规划设计丛书

编辑委员会

主 任：李文学

副主任：林秀山 许 人 宗志坚 景来红

委 员：(按姓氏笔画排列)

王庆明 刘继祥 刘豪杰 张汉青

张会言 李惠安 罗义生 杨法玉

高广淳 路新景 潘家铨

总主编：林秀山

前 言

泥沙问题是黄河难治的症结所在。黄河多年平均输沙量 16 亿 t, 多年平均含沙量 $37\text{kg}/\text{m}^3$, 居世界诸河之冠, 因此这是世界上最复杂、最难治理的河流。大量泥沙进入下游河道, 导致河道逐年淤积抬高, 形成高出两岸地面的悬河。历史上黄河下游决口频繁, 洪水泛滥, 灾情严重, 举世闻名, 是中华民族的心腹之患。小浪底工程位于黄河干流上, 控制了黄河 86.9% 的径流和几乎全部的泥沙, 是防治下游水害、开发黄河水利的重大战略措施。

小浪底水利枢纽工程处在控制黄河下游水沙的关键部位, 工程规划所涉及的问题相当复杂。小浪底工程如何避免三门峡工程所出现的问题, 水库能否长期保持有效库容, 能否发挥巨大的防洪减淤效益, 这是人们关注的首要问题; 由于汛期黄河含沙量大, 小浪底工程不能蓄水, 非汛期才能蓄水, 工程建成后能否发挥供水、灌溉、发电等兴利作用, 也是人们关心的问题。小浪底工程规划, 既要研究几乎全部黄河流域的径流、泥沙、洪水特性, 又要研究流域经济社会发展变化趋势; 既要研究历史上的水文、泥沙、洪水变化情况, 又要预测未来人类活动对水文情势的影响; 既要研究工程本身的规划问题, 尤其是工程泥沙问题, 又要研究黄河下游防洪工程体系的联合调度以及防凌、河道泥沙冲淤变化等问题; 既要研究枢纽的发电问题, 又要研究下游引黄灌溉、城市供水等综合利用问题。这些问题交织在一起, 互相影响, 使得工程规划具有特殊的复杂性。

自 1954 年黄河综合利用规划开始, 针对小浪底工程的径流、泥沙、洪水分析及工程建设的必要性、开发任务、工程规模、工程作用等规划问题, 做了大量的论证工作, 直至小浪底工程开工, 历时 40 余年。1954 年底提出的《黄河综合利用规划技术经济报告》, 拟定小浪底水利枢纽工程是以发电为主的径流电站。1958 年提出的《小浪底水利枢纽工程设计任务书》, 拟定小浪底枢纽以发电为主, 综合利用。1960 年 5 月提出的《小浪底水利枢纽选坝报告》, 确定小浪底枢纽以发电为主, 结合防洪、航运、灌溉和供水。1974 年提出的《黄河三秦干流河段规划》及小浪底工程规划设计报告, 推荐三门峡至小浪底河段采用小浪底高坝一级开发方案, 确定小浪底枢纽的开发任务是防洪、防凌、减淤、灌溉、发电等综合利用。1975 年之后, 特别是 20 世纪 80 年代初期, 为解决黄河下游面临的洪水威胁严重、水资源供需矛盾尖锐等突出问题, 对小浪底工程各种可能的替代方案, 诸如开辟新河道(大改道)、加高大堤、温孟滩和小北干流放淤、引汉刷黄、增加三门峡蓄水以及修建龙门、桃花峪水库工程等方案做了大量的论证和比选工作, 最后推荐小浪底工程作为黄河下游防洪减淤并兼顾兴利的首选方案。1984 年提出的《黄河小浪底水利枢纽可行性研究报告》, 水利电力部于 1984 年 8 月组织了审查, 原则上同意《黄河小浪底水利枢纽可行性研究报告》, 要求按照审查意见编报设计任务书。1986 年 1 月上报《黄河小浪底水利枢纽工程设计任务书》, 1986 年底通过中国国际工程咨询公司的评估。国家计委对水电部报送的《小浪底水利枢纽工程设计任务书》和咨询公司的评估报告进行了审查, 于 1987 年 1 月

向国务院提出《关于审批黄河小浪底水利枢纽工程设计任务书的请示》报告。1987年2月,经国务院领导批准,国家计委以计农[1987]177号文通知水电部,请按此办理。小浪底工程设计任务书,确定工程开发任务以防洪(包括防凌)、减淤为主,兼顾供水、灌溉、发电等综合利用,水库按最高蓄水位275m方案设计,总库容126.5亿 m^3 ,长期有效库容约51亿 m^3 ,装机容量1560MW。据此,1988年3月提出《黄河小浪底水利枢纽初步设计报告》,共分九篇,其中有《水文气象》、《工程规划》、《经济评价》等分篇报告。1989~1996年,在招标设计阶段及世界银行贷款评估过程中,对小浪底工程的防洪、防凌、减淤、供水、灌溉、发电等作用 and 效益进行了大量的补充论证工作,水电站装机容量由初步设计的1560MW扩大为1800MW,并论证了一次完成装机1800MW的经济合理性。1996年之后,在初步设计和招标设计基础上,又开展了小浪底水库运用方式研究,以结合工程建成后的调度运用。

工程规划既是小浪底工程设计的基础,又是小浪底工程能否开工建设的核心,也是小浪底工程建成后能否正常发挥防洪(包括防凌)、减淤、供水、灌溉、发电等综合利用效益的关键。小浪底工程规划具有特殊的复杂性和艰巨性,40多年的论证积累了大量的阶段成果,但因篇幅所限,本次编写的小浪底水利枢纽技术总结《工程规划卷》,重点对20世纪80年代以来开展的初步设计、招标设计以及世界银行贷款评估等阶段取得的最终成果进行总结。书中主要总结水文及气象调查和径流、洪水、泥沙等设计成果,同时也总结了工程规模、水库泥沙、工程导截流和围堰溃坝洪水、下闸蓄水调度方案以及防洪、防凌、减淤、供水、灌溉、发电作用和经济评价、财务评价等设计论证成果。

回顾小浪底水利枢纽近40年的规划设计历程,每一阶段的规划研究成果和突破性的进展都凝聚着许多治黄规划前辈的心血和许多国内外水利规划专家的真知灼见。王长路、王国安、王居正、王益能、邓盛明、史辅成、白炤西、石春先、龙毓骞、刘玉茹、安增美、吴致尧、张实、张挺、张成林、张俊华、李世滢、李国英、汪祖沔、陆俭益、陈先德、陈枝林、陈炳荣、郑秀雅、易元俊、林秀山、罗宝琴、胡尔昌、胡汝南、席家治、高治定、韩曼华等数十位同志(按姓氏笔画为序)先后参加了小浪底水利枢纽初步设计、招标设计阶段工程规划工作;黄河水利委员会的历届领导班子对小浪底水利枢纽的工程规划进行直接领导和指导;钱正英、张光斗、潘家铮、徐乾清、林秉南、谢鉴衡、窦国仁、韩其为等国内专家对小浪底水利枢纽的工程规划提出许多很好的意见和建议。借此,对大力帮助及指导小浪底工程规划论证的所有专家表示衷心的感谢,对已故专家谨表深切怀念。

李景宗

2005年10月8日

《工程规划》编写人员名单

主 编：李景宗

副主编：涂启华 安新代

统 稿：李景宗 涂启华 安新代 王玉峰

章 名	编写人员
前 言	李景宗
第一章 流域及库区概况	安新代
第二章 径流	李景宗 李福生
第三章 洪水	李海荣
第四章 泥沙	安催花 涂启华
第五章 库、坝区水文泥沙分析	李海荣 涂启华（第二节）
第六章 小浪底水利枢纽工程规划概述	李景宗
第七章 工程规模研究	李景宗 杨振立（装机容量）
第八章 水库泥沙及影响分析	涂启华 安催花 慕平（第九节）
第九章 工程导截流和围堰溃坝洪水研究	王玉峰
第十章 水库下闸蓄水调度方案研究	王玉峰
第十一章 小浪底水库防洪作用研究	李文家 李海荣
第十二章 水库防凌作用研究	李福生
第十三章 水库减淤作用研究	涂启华 安催花
第十四章 小浪底水库供水灌溉作用	安新代 李福生
第十五章 小浪底水电站在电网中的作用和效益	杨振立
第十六章 经济评价	丁大发

目 录

总序一	张基尧
总序二	李国英
总前言	林秀山
前 言	李景宗
第一章 流域及库区概况	(1)
第一节 流域概况	(1)
第二节 库区概况	(4)
第三节 坝区气候与冰情	(4)
第二章 径 流	(7)
第一节 基本资料	(7)
第二节 天然年径流量	(14)
第三节 黄河水资源开发利用预测	(17)
第四节 小浪底水库设计水平年入库径流设计	(20)
第五节 小浪底水库下游设计水平年径流	(25)
第六节 设计入库径流合理性分析	(27)
第三章 洪 水	(28)
第一节 基本资料	(28)
第二节 暴雨洪水特性	(31)
第三节 洪水频率分析	(35)
第四节 可能最大暴雨洪水	(47)
第五节 设计洪水过程线拟定	(54)
第四章 泥 沙	(76)
第一节 黄河中游泥沙特性	(76)
第二节 设计水平水沙条件分析	(84)
第三节 小浪底水库设计水沙条件	(88)
第四节 设计水平伊洛河和沁河水沙条件	(91)
第五节 黄河近期输沙量变化分析及设计入库泥沙的评价	(92)
第六节 小浪底水库洪水水沙条件	(93)
第七节 水位流量关系	(95)
第五章 库、坝区水文泥沙分析	(107)
第一节 坝区支沟设计洪水	(107)
第二节 库区推移质输沙量估算	(110)

第六章 小浪底水利枢纽工程规划概述 ·····	(114)
第一节 小浪底水利枢纽工程规划的研究过程及特点·····	(114)
第二节 小浪底水利枢纽的开发背景·····	(120)
第三节 工程开发任务和主要作用·····	(130)
第四节 工程规划的主要指标·····	(133)
第七章 工程规模研究 ·····	(135)
第一节 水库正常蓄水位论证与选定·····	(135)
第二节 死水位及泄流规模的论证与选定·····	(140)
第三节 防洪特征水位·····	(142)
第四节 小浪底水电站装机容量选择·····	(144)
第八章 水库泥沙及影响分析 ·····	(181)
第一节 水库调节库容的要求·····	(181)
第二节 水库淤积形态·····	(183)
第三节 水库淤积形态设计·····	(191)
第四节 有效库容变化·····	(205)
第五节 泥沙冲淤计算方法·····	(212)
第六节 水库防洪运用泥沙冲淤计算·····	(223)
第七节 小浪底水库施工期洪水泥沙淤积计算·····	(228)
第八节 枢纽工程泥沙·····	(230)
第九节 水库回水计算·····	(254)
第十节 小浪底水库运用对下游桥渡影响分析·····	(263)
第九章 工程导截流和围堰溃坝洪水研究 ·····	(274)
第一节 截流期洪水处理方案研究·····	(274)
第二节 导流期洪水处理方案研究·····	(279)
第三节 施工围堰溃坝影响与应急措施·····	(288)
第十章 水库下闸蓄水调度方案研究 ·····	(297)
第一节 方案制定的前提条件·····	(297)
第二节 来水分析及下游用水预估·····	(298)
第三节 水库调度方案分析拟定·····	(301)
第四节 实施调度方案分析计算·····	(303)
第五节 下闸蓄水期间后期洪水风险分析·····	(312)
第六节 结论及建议·····	(316)
第七节 实施调度结果·····	(316)
第十一章 小浪底水库防洪作用研究 ·····	(318)
第一节 黄河下游防洪工程布局及小浪底水库的防洪任务·····	(318)
第二节 小浪底水库投入运用后的干、支流水库联合防洪运用方式·····	(320)
第三节 小浪底水库防洪计算·····	(324)
第四节 小浪底水库对下游防洪作用·····	(326)

第五节 三门峡、陆浑、故县水库联合防洪运用作用有关问题补充说明·····	(341)
第十二章 水库防凌作用研究 ·····	(347)
第一节 黄河下游凌汛概况·····	(347)
第二节 黄河下游凌汛成因及凌情特点·····	(353)
第三节 黄河下游凌汛灾害·····	(360)
第四节 黄河下游防凌实践·····	(365)
第五节 小浪底水库防凌作用·····	(372)
第六节 小浪底水库建成生效后下游凌情形势·····	(376)
第十三章 水库减淤作用研究 ·····	(381)
第一节 水库运用方式·····	(381)
第二节 水库减淤作用·····	(401)
第三节 小浪底水库对下游河道减淤效益论证分析·····	(414)
第四节 小浪底水库初期拦沙运用下游河道最大冲刷时的河槽和滩地冲淤变化 ·····	(417)
第五节 小浪底水库拦沙运用与三门峡水库拦沙运用下游冲刷对比分析·····	(419)
第六节 小浪底水库拦沙和调水调沙运用下游各河段减淤效益·····	(422)
第七节 小浪底水库拦沙和调水调沙运用下游沿程洪水位变化·····	(425)
第八节 小浪底水库运用对山东河段的减淤作用分析·····	(429)
第九节 小浪底水库运用对下游河槽水力几何形态和输沙能力调整的影响 ·····	(430)
第十节 小浪底水库运用对下游河道水流含沙量的影响分析·····	(434)
第十一节 结语与展望·····	(436)
第十四章 小浪底水库供水灌溉作用 ·····	(437)
第一节 黄河下游引黄用水要求·····	(437)
第二节 初步设计和优化设计阶段水库供水灌溉作用分析·····	(440)
第三节 招标设计阶段4 000万亩灌区方案研究·····	(451)
第十五章 小浪底水电站在电网中的作用和效益 ·····	(462)
第一节 河南电网概况·····	(462)
第二节 基于常规方法的小浪底水电站的发电效益计算·····	(471)
第三节 基于电源优化扩展规划的发电经济效益分析·····	(480)
第十六章 经济评价 ·····	(502)
第一节 国民经济评价·····	(502)
第二节 财务评价·····	(526)
参考文献 ·····	(550)

第一章 流域及库区概况

黄河流域位于中国的中东部,东经 $96^{\circ} \sim 119^{\circ}$ 、北纬 $32^{\circ} \sim 42^{\circ}$ 之间,西起青藏高原的巴颜喀拉山,东临渤海,北抵阴山,南至秦岭,流域面积 79.5 万 km^2 (其中内流区为 4.2 万 km^2)。黄河发源于青藏高原巴颜喀拉山北麓的约古宗列盆地,流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、河南、山东九省(区),在山东垦利县注入渤海,干流全长 $5\,464 \text{ km}$ 。自河源至内蒙古托克托县的河口镇为上游,河口镇至河南郑州桃花峪为中游,桃花峪至河口为下游。小浪底坝址位于黄河中游的河南省洛阳市境内。

第一节 流域概况

一、自然地理概况

黄河流域的地势西高东低,大致分为三个阶梯。第一阶梯是流域西部的青藏高原,一般海拔 $2\,500 \sim 4\,500 \text{ m}$ 。有一系列的西北—东南向山脉,如北部的祁连山,南部的积石山和巴颜喀拉山,黄河迂回于山峦之间,在兰州以上呈“S”形大转弯。雄踞黄河第一大河曲的阿尼玛卿山(又称积石山)主峰玛卿岗日海拔 $6\,282 \text{ m}$,是黄河流域的制高点,山顶终年积雪,冰峰起伏,气象万千。

第二阶梯是青藏高原以东至太行山,海拔 $1\,000 \sim 2\,000 \text{ m}$,由河套平原、鄂尔多斯高原、黄土高原和秦岭山脉、太行山脉等组成。本阶梯内白于山以北属内蒙古高原的一部分,包括黄河河套平原和鄂尔多斯高原两个自然地理区域;白于山以南为黄土高原和崤山、熊耳山、太行山等。

鄂尔多斯高原的西、北、东三面均为黄河所环绕,南界长城,高原面积为 13 万 km^2 ,大部分海拔为 $1\,000 \sim 1\,400 \text{ m}$,是一块近似方形的台状干燥剥蚀高原,风沙地貌发育,高原内盐碱湖泊众多,地表径流大部分汇入湖中,是黄河流域内最大的闭流区,面积达 4.22 万 km^2 。

黄土高原北起鄂尔多斯高原,南界秦岭,西抵青藏高原,东至太行山脉,海拔 $1\,000 \sim 2\,000 \text{ m}$ 。黄土塬、梁、峁、沟是黄土高原的地貌主体。黄土高原土质疏松,垂直节理发育,植被稀疏,水土流失严重,是黄河泥沙的主要来源地区。

横亘黄土高原南部的秦岭,是我国亚热带和暖温带的南北分界线和黄河与长江的分水岭,它阻挡了部分来自西南方向的水汽,使秦岭以北的年降雨量显著减少。豫西山地由秦岭东延的崤山、熊耳山、外方山、伏牛山、嵩山组成,大部分海拔在 100 m 以上,这些山脉也是黄河流域同长江流域、淮河流域的分水岭。太行山耸立在黄土高原与华北平原之间,是黄河流域与海河流域的分水岭,也是华北地区一条重要的自然地理界线。

第三阶梯自太行山系以东至滨海,是黄河下游冲积平原和鲁中南低山丘陵。黄河下