

DOI: 10.3724/SP.J.1224.2009.03265

# 治理黄河的关键工程——小浪底水利枢纽

李中锋

(中华人民共和国水利部办公厅宣传信息处, 北京 100053)

**摘要:** 小浪底水利枢纽工程是我国治理黄河的一项重要控制工程, 这项工程意义重大, 作用突出, 效益广泛。本文从小浪底水利枢纽的概况、论证决策过程、设计目标、建设内容、复杂性与挑战性、建设成就、管理成就以及效益发挥等方面, 对小浪底水利枢纽工程进行了较为全面和客观的介绍, 以期读者了解这一经典工程的价值。

**关键词:** 黄河; 水利; 工程; 小浪底, 水利枢纽

中图分类号: TV

文献标识码: A

文章编号: 1674-4969(2009)03-0265-10

黄河是中华民族的母亲河, 但在数千年的华夏历史中, 黄河带给中华民族的并不仅仅是利益, 同时也有频繁而又深重的灾难。“三年两决口, 百年一改道”<sup>[1]</sup>, 以善淤、善决、善徙为特性的黄河, 历史上频频酿造影响深远的社会灾难。黄河在改写华夏山川河流面貌的同时, 也在改写中华大地国家和民族发展变化的轨迹。历朝历代, 治国者莫不以治理黄河为大事、要事和难事。

新中国成立 60 年来, 党和国家非常重视黄河的系统开发与治理, 在黄河流域相继兴建了一大批重要的水利枢纽、堤防、灌区、泵站、水闸以及蓄滞洪区等基础设施, 兴水利, 除水害, 为黄河流域及周边经济社会发展提供了坚实的保障。在枢纽工程中, 黄河干流上的小浪底水利枢纽, 以其位置和作用的重要性、设计与建设的复杂性、效益与影响的广泛性, 以及成就与经验的宝贵性等, 堪称水利工程的经典之作。小浪底水利枢纽不仅在当代治黄事业中发挥着关键的作用, 而且对于其他水利工程的建设与管理也有着借鉴与启发价值。

## 1 小浪底水利枢纽工程概况

小浪底水利枢纽工程位于河南省洛阳市以北

黄河中游最后一段峡谷的出口处, 上距三门峡水利枢纽 130 km, 下距郑州花园口 128 km, 是黄河干流三门峡以下唯一能取得较大库容的控制性工程, 控制流域面积 69.4 万平方公里, 占黄河流域面积的 92.3%, 是一座集防洪、防凌、减淤、供水、灌溉、发电等为一体的大型综合性水利工程, 是治理开发黄河的关键性工程。

小浪底水利枢纽坝顶高程 281 m, 正常高水位 275 m, 库容 126.5 亿  $m^3$ , 淤沙库容 75.5 亿  $m^3$ , 长期有效库容 51 亿  $m^3$ , 千年一遇设计洪水蓄洪量 38.2 亿  $m^3$ , 万年一遇校核洪水蓄洪量 40.5 亿  $m^3$ 。死水位 230 m, 汛期防洪限制水位 254 m, 防凌限制水位 266 m。防洪最大泄量 17000 亿  $m^3/s$ , 正常死水位泄量略大于 8000  $m^3/s$ 。

小浪底水利枢纽工程 1991 年 9 月开始进行前期准备工程施工, 1994 年 9 月主体工程正式开工, 1997 年 10 月截流, 2000 年初第一台机组投产发电, 2001 年底主体工程全部完工<sup>[2]</sup>, 2008 年 12 月通过由国家发展和改革委员会、水利部共同主持的竣工技术预验收, 2009 年 4 月通过国家竣工验收。

收稿日期: 2009-08-12; 修回日期: 2009-09-06

作者简介: 李中锋(1968-), 男, 安徽临泉人, 博士, 处长, 主要从事水利工程管理研究。Email: fli@mwr.gov.cn

## 2 建设小浪底水利枢纽的酝酿及决策过程

小浪底水利枢纽工程从最初的项目酝酿到最终的项目决策实施,前后经历了四十多年的时间,大体可分为四个时期,一是项目的设想与酝酿期,二是项目重要性的突显期,三是项目的论证与设计期,四是项目的决策与实施期。

20世纪50年代及以前是小浪底工程的设想与酝酿期。早在新中国成立之前,一些水利学家即有在黄河干流上建一系列水利枢纽的想法,小浪底是其中一处。新中国成立后,毛泽东主席于1951年10月亲临黄河视察,提出“要把黄河的事情办好”,黄河全面治理的规划工作开始进行。1953年黄河水利委员会组织力量进驻小浪底坝址开展勘探和测量工作。1955年7月,一届全国人大二次会议通过《关于根治黄河水害和开发黄河水利的综合规划》,将小浪底列为一个梯级电站项目。1958年8月,三门峡至花园口区间出现暴雨,小浪底水文站实测洪水 $17000\text{ m}^3/\text{s}$ ,黄河堤防多处出险,沿黄军民200万人上堤抗洪,周恩来总理亲临郑州指挥。这场洪水使人们认识到:仅靠三门峡水库不足以保证黄河下游的安全。

20世纪60、70年代是小浪底工程重要性的突显期。三门峡水库于1960年9月首次蓄水,至次年2月初坝前最高水位达 $332.5\text{ m}$ ,回水超过潼关,潼关段河床平均淤高 $4.3\text{ m}$ ,致使渭河排水不畅,严重影响关中平原防洪。国务院决定自1962年3月起降低三门峡运行水位,将水库运行方式由“蓄水拦沙”改为“滞洪排沙”,后进一步改为“蓄清排浑”。三门峡水库运行方式几经调整之后,拦洪、拦沙能力明显降低,黄河防洪能力不足的问题进一步体现。1975年8月,淮河上游发生特大暴雨,板桥、石漫滩水库溃坝,惨痛的“75.8”洪灾震惊中外。经气象分析,这场暴雨完全有可能发生在三门峡—花园口区间,使黄河产生 $40000\sim 55000\text{ m}^3/\text{s}$ 的特大洪水,而花园口的最大泄洪量仅为 $22000\text{ m}^3/\text{s}$ 。这意味着,如果“75.8”暴雨降至三

门峡—花园口区间,郑州一带黄河大堤将无可防守,黄河决口改道的历史惨剧极有可能重演。同年12月,河南省、山东省和水电部联合向国务院报送《关于防御黄河下游特大洪水意见的报告》,提出为防御黄河下游特大洪水,建议在干流兴建小浪底工程。国务院于1976年5月做出批复,原则同意对黄河重大防洪工程进行规划设计<sup>[3]</sup>。

20世纪80年代是小浪底工程的论证与设计期。1980年11月,水利部对小浪底工程规划进行了审查,经过论证,小浪底在黄河中下游防洪规划中的地位被确定下来。1981年3月,黄河水利委员会设计院完成《黄河小浪底水库工程初步设计要点报告》,确定枢纽开发任务为防洪、减淤、发电、供水、防凌,工程等级为一等,水库设计水位 $270.5\text{ m}$ ,校核洪水位 $275\text{ m}$ ,坝顶高程 $280\text{ m}$ ,总库容 $127\text{ 亿 m}^3$ ,初期采取“蓄水拦沙”运用,后期采取“蓄清排浑”运用,电站装机6台,单机容量 $260\text{ MW}$ 。1983年2月,国家计委和中国农村发展研究中心在北京召开小浪底水库论证会,要求把小浪底水库建设放在整个黄河治理与开发中去考虑,把不利因素和有利因素分析透,为中央领导决策提供实际的科学依据。1984年9月至1985年10月,黄河水利委员会与有关方面进行小浪底轮廓设计,确定了以洞群进口集中布置为特点的枢纽建筑物总布置格局。1986年国家计委委托中国国际工程咨询公司对设计任务书进行评估,评估意见建议国家计委对该“设计任务书”予以审批。1988—1989年黄河水利委员会设计院根据多次审查意见对初步设计进行优化,将原初步设计6座错台布置的综合进水塔改为直线布置的9座进水塔。后来又將水电站装机由原初步设计 $6\times 260\text{ MW}$ 增容至 $6\times 300\text{ MW}$ ,将原初步设计半地下厂房改为地下厂房。

20世纪90年代是小浪底工程的决策与实施期。1991年2月,江泽民总书记视察黄河小浪底工程坝址,指出小浪底工程是黄河治理开发的一

个重要控制工程，要做好各方面的工作，把这个工程搞上去。1991年4月，七届全国人大四次会议将小浪底水利枢纽工程列入我国国民经济和社会发展十年规划和第八个五年计划纲要，确定在“八五”期间开工建设。1991年4月，水利部于七届全国人大四次会议闭幕后，成立黄河小浪底水利枢纽工程建设准备工作领导小组，全面负责小浪底工程建设准备工作。同年9月1日，小浪底工程前期准备工作开工。1994年9月，小浪底水利枢纽主体工程开工，工程进入全面高强度建设实施时期。

### 3 小浪底水利枢纽工程的设计目标

防洪是小浪底水利枢纽的首要目标。小浪底水库通过与三门峡水库、陆浑水库和故县水库联合运用，可将郑州花园口 $42100\text{ m}^3/\text{s}$ 的洪峰削减至 $22000\text{ m}^3/\text{s}$ ，把防洪标准由60年一遇提高到千年一遇，还可以将花园口百年一遇的洪水削减至 $16000\text{ m}^3/\text{s}$ ，同时把三门峡水利枢纽的抗洪几率由20年一遇减少到70年一遇。可避免250万亩耕地、140多万人口和中原油田的巨大淹没损失，大大减小特大洪水对黄淮海大平原的威胁。

防凌方面，小浪底水库与三门峡水库的联合运用，可以基本解除黄河下游凌汛威胁，还可减少三门峡水库防凌运用几率，保证三门峡水电站凌汛期发电。

减淤方面，小浪底水库在初期运用的36年内，利用死库容可拦沙97亿吨，可保证下游河道20年不淤积，36年后利用槽库容调水调沙，仍可长期发挥减淤作用。

供水、灌溉方面，黄河下游控制灌溉面积约4000万亩，每年平均实灌面积1760万亩，年引水量80亿~100亿 $\text{m}^3$ ，由于黄河来水丰枯不匀，又缺乏足够的水量调节能力，灌溉用水保证率仅32%。20世纪70年代以来，沿河工农业迅猛发展，城市供水需求急剧增长，水资源供需矛盾十分突出。小浪底水利枢纽的建成，一般可每年增加40

亿 $\text{m}^3$ 左右的供水量，为沿河工农业和人民生活提供可靠水源，使下游1500万亩灌区的用水保证率由32%提高到75%。

发电方面，小浪底水利枢纽装机6台，每台300 MW，总装机容量1800 MW，额定水头112 m。初期运用年平均发电量为44亿~54.5亿 kWh，后期运用阶段，年平均发电量可达61.2亿 kWh，可为以火电为主的华中电网调峰补谷，保证安全运行。

### 4 小浪底水利枢纽工程建设的主要内容

小浪底水利枢纽主体工程由大坝、泄洪排沙建筑物、引水发电建筑物等三大部分组成。枢纽为一等工程。主要建筑物为一级建筑物。与主体工程有关的施工前期准备工程和配套工程，包括生产生活、公路桥梁、水土保持、环境保护、移民安置等。

大坝 拦河大坝采用带内铺盖的斜心墙堆石坝，以垂直混凝土防渗墙为主要防渗幕，并利用黄河泥沙淤积形成天然铺盖，作为辅助防渗防线。左岸坝口设壤土心墙副坝一座。最大坝高160 m，坝顶长1667 m，坝体方量5185万 $\text{m}^3$ ，为我国第一壤土斜心墙高堆石坝。

泄洪、排沙建筑物 泄洪、排沙建筑物主要由3条直径14.5 m的导流洞、3条由导流洞改建的三级孔板消能泄洪洞、3条明流泄洪洞、3条直径6.5 m压力排沙洞、1条直径3.5 m压力灌溉洞、1座正常溢洪道、10座进水塔、1个综合消力塘等构成。

引水发电建筑物 引水发电建筑物主要由主厂房、主变室、尾水闸、进水塔、压力引水隧洞等部分构成。主厂房为地下式，采取首部布置方式，并且尽可能地使厂房靠近进水口，以缩短压力引水道长度。主变室为地下式，位于主厂房下游，平行于主厂房布置。

### 5 小浪底水利枢纽工程的复杂性与挑战性

小浪底水利枢纽工程所处的环境特殊，工程

规模宏大, 结构复杂, 技术要求高, 管理方式与国际惯例接轨。世界银行的官员和国内外专家在评估小浪底工程时, 无不认为它是世界上最具有挑战性的工程之一。建设小浪底工程所面临的复杂与挑战, 无论在中国水利工程史上还是在世界水利工程史上都是罕见的。

### 5.1 泥沙条件的挑战

水少沙多、水沙不平衡是黄河的最主要特点, 其年径流量是长江的  $1/23$ 、珠江的  $1/8$ , 而其含沙量却是长江的 47 倍、珠江的 84 倍, 比世界著名的含沙量较高的美国密西西比河也要高出 20 多倍。泥沙含量之大, 高居世界榜首。黄河径流的多年平均含沙量  $37.6 \text{ kg/m}^3$ , 多年平均输沙量 13.51 亿 T。在一年之中, 泥沙主要集中在汛期, 干流站 7~9 月沙量占全年沙量的 80% 左右, 支流站接近 100%; 汛期沙量又集中在几次暴雨洪水之中。黄河泥沙约有  $1/4$  沉积在下游河床, 致使下游河床每年以 10 cm 速度抬高。20 世纪 60 年代初建成的三门峡工程, 由于泥沙关系难以处理, 几经改建, 给人们留下了十分深刻的教训。小浪底工程几乎控制着 100% 的黄河泥沙, 实测最大含沙量  $941 \text{ kg/m}^3$ 。如何处理好泥沙关系, 是小浪底工程面临的巨大挑战。

### 5.2 地质条件的挑战

小浪底坝址的地质条件很不理想, 不是建设水利工程尤其是特大型水利工程的优秀坝址。小浪底坝址主要由砂岩和粘土质砂岩组成, 两岸山体多向东北方向的黄河下游倾斜, 岩层之间多有软化夹泥, 而且断层较多, 地质结构支离破碎, 承载力差, 易形成滑坡。大坝坝基冲积层厚度达 70 米, 国内外罕见。左岸山体由于沟道切割形成了单薄分水岭, 水库蓄水后存在稳定问题。近坝区右岸包括右坝肩有多处大的滑坡和倾倒变形体。坝址区基本地震烈度为 7 度。即使没有复杂的泥沙问题, 在这里建大坝, 本身就是一项极富挑战性的工程。对小浪底地质情况颇为了解的一位领导

人当年曾说: 长江三峡工程的技术问题, 我敢签字, 但黄河小浪底工程的技术问题我不敢签字。

### 5.3 结构设计的挑战

小浪底工程建设中使用了很多新颖独特的设计和施工技术。如洞群设计, 为集中流道、互相保护, 解决泄水及引水建筑物泥沙淤堵问题, 枢纽所有泄洪洞、排沙洞、引水发电洞和地下发电厂均集中布置在左岸的一个山体中, 洞群进口分布在 6 个高程。在这个长宽约 1000 米、高 280 多米的山体中, 纵横交错, 上下垂直, 布置了 108 条洞, 直径相当于三四层或五六层楼高的几条大洞贯穿在整个山体中, 地下厂房体积达 40 余万立方米。进水塔上集中布置 16 条隧洞的进水口, 这是世界上最大最复杂的进水塔, 是水利建设史上单位体积内布置洞子最多、洞径最大而洞间距又远小于常规的洞群。导流洞后期增设 3 级孔板环改建为永久泄洪洞, 是世界上最大的孔板消能泄洪洞。在结构处理方面, 工程使用了大量起固定作用的、高强度的锚杆、锚索, 把松散的岩体牢牢地固结在一起。

### 5.4 施工强度的挑战

小浪底大坝总填筑方量  $5185 \text{ 万 m}^3$ , 是国内最高、填筑量最大的土石坝。土石坝明挖和填筑最高强度分别为每月  $110 \text{ 万 m}^3$  和  $130 \text{ 万 m}^3$ 。大量建筑物布置在地下, 石方洞挖最高强度约每月  $15 \text{ 万 m}^3$ 。洞室断面大、建筑物结构复杂, 结构砼分层分块多。3 条导流洞洞身直径 14.5 m, 开挖最大直径近 20 m, 3 条尾水洞开挖断面  $12.8 \text{ m} \times 19.5 \text{ m}$  (宽  $\times$  高), 均分 3 层开挖, 施工难度大。导流洞中闸室段开挖最大净高达 42.26 m, 混凝土衬砌共分 24 层施工, 上下部同时作业, 每洞浇筑块多达 133 块。进水塔孔洞多, 体型复杂, 钢筋林立, 各类埋件和止水片多, 很难提高浇筑强度。

### 5.5 管理复杂性的挑战

小浪底水利枢纽主体工程开工前, 根据招标、

投标结果，大坝作为一标由以意大利英吉罗公司为责任公司的黄河承包商承建，洞群作为二标由以德国旭普林公司为责任公司的中德意联营体承建，发电厂房作为三标由以法国杜美兹公司为责任公司的小浪底联营体承建。由于部分使用世界银行贷款，按世行要求，工程要实行与市场经济接轨的、国际通用的管理模式，即依照“菲迪克条款”对工程实行合同管理。主体工程开工后，各国承包商及技术工人相继进驻工地，很快就形成 50 个国家和地区的近 700 名外国人和 1 万多名中国人参加小浪底建设的局面，小浪底被人们形象地称为“小联合国”，工程管理面临着前所未有的复杂局面与形势。

由于二标施工中设计变更、实际地质条件与原来设想的不同，再加上承包商主要设备进场晚，数量和完好率与投标文件不符，施工中对塌方处理不积极、不及时，雇用的劳工素质低且缺乏有效管理等，致使二标工期一拖再拖，到 1995 年底，共延误工期长达 1 年多，眼看 1997 年截流计划无望实现。二标责任公司投标前对中标缺乏准备，没有认识到小浪底工程的复杂性和艰巨性，采取的是“低报价，高索赔”的补偿策略。该公司凭其所具有的丰富的国际工程承包经验，很想在中国多挣些钱。该公司认为，工期的延误是好事，只要能把理由都归到业主身上，该公司就可以坐收巨额的索赔利益。所以，该公司不希望赶工期。而对中方来说，工程如不能按期截流，不仅经济上要蒙受巨额损失，更重要的是，将造成无法挽回的政治影响。针对外方对挽回工期消极而中方又无可奈何的实际情况，中方决定，成建制引进中国国内较有经验的水电工程局，分包外方承包的剩余工作量。于是，中国成建制的水电工程局于 1996 年上半年分别从中国国内各地开赴小浪底工地。在小浪底，中方从工程管理实际中学了许多生动形象的经济、法律、技术知识，如各种工作的计算、索赔的依据、使用多达 145 个的国际技术规范等。

## 5.6 移民问题的挑战

移民项目是小浪底水利枢纽工程的重要组成部分，包括施工区移民、库区移民和特殊专项工程三部分，移民人口 20.14 万，其中河南省 15.94 万人，山西省 4.2 万人，安置区涉及两省的 16 个县(市、区)。小浪底工程移民工作标准高，政策性强，矛盾多，按工程进度要求完成各阶段移民安置任务的困难很大。小浪底工程移民以大农业安置为主，走整建制搬迁开发性移民的道路，是我国移民安置工作的新尝试。

施工区动迁年移民 1.17 万人，搬迁安置工作从 1992 年 8 月开始，1994 年 4 月通过水利部组织的施工区移民征地拆迁、清场验收。库区移民搬迁安置分三期进行：一期共 4.61 万人，全部在河南境内，从 1994 年开始搬迁，到 1997 年 6 月底安置完毕；二期移民 12.65 万人，其中河南省 8.91 万人，山西省 3.74 万人，从 1998 年开始，2001 年完成；三期移民 1.7 万人，其中河南省 1.22 万人，山西省 0.48 万人，从 2001 年开始，2003 年底完成。特殊专项工程包括温孟滩河道整治及放淤改土工程、后河水库及灌区工程、中条山供水工程、库区黄河公路大桥工程，这四个工程分别在 2002 年、2003 年通过竣工验收。

## 6 小浪底水利枢纽工程的建设成就

小浪底水利枢纽工程在论证、设计及施工过程中，广泛吸收和汲取国内外水利水电工程技术领域中的许多经验，特别是汲取三门峡水利枢纽的建设经验，将国内外先进的设计思想、施工技术与小浪底水利枢纽工程的具体情况紧密地结合在一起，开放性、创造性地进行工程设计与施工，克服重重难关，取得了一系列令人瞩目的技术成就。

### 6.1 合理拦洪排沙、综合兴利的规划思想取得了成功

借鉴三门峡水库蓄清排浑运用的成功经验，按

照合理拦排, 综合兴利的规划思想, 以防洪和减淤为主要开发目标, 合理规划小浪底水库 126.5 亿  $\text{m}^3$  的总库容, 既能使下游河床 20 年不淤积抬高, 又可保持 51 亿  $\text{m}^3$  长期有效库容, 汛期防洪调水调沙, 非汛期蓄水兴利, 使小浪底水利枢纽能够长期发挥作用。

### 6.2 垂直防渗与水平防渗相结合, 利用黄河泥沙淤积形成防渗铺盖的防渗方式适应了黄河的特点

小浪底大坝位于深覆盖层上, 是中国第一个壤土斜心墙堆石坝; 最大造孔深度 81.9 m、厚 1.2 m 的防渗墙是国内最深、最厚的混凝土防渗墙。小浪底大坝运用初期由混凝土防渗墙和斜心墙形成垂直防渗体系, 斜心墙通过坝内短铺盖与作为坝体一部分的主围堰斜墙防渗体连接, 随着水库淤积的发展, 可形成辅助的水平铺盖防渗体系。

### 6.3 集中流道互相保护, 保持进水口冲刷漏斗, 解决了进水口防淤堵问题

小浪底水利枢纽所有泄洪、排沙及引水发电建筑物集中布置在左岸, 16 条隧洞进水口布置为“一”字形排列, 共 10 个进水塔; 充分利用左岸山体最厚实的部分集中布设洞线, 出口集中消能; 16 条隧洞的进口在平面和立面上错落有致, 形成低位泄洪排沙, 高位泄洪排污, 中间引水发电的布置格局。这种集中流道的布置通过合理运用, 可以保持进口冲刷漏斗。

### 6.4 设计建造了世界上最大的多级孔板消能泄洪洞

三条直径 14.5 m 的导流洞, 蓄水后封堵前段并加设三级直径分别为 10 m 和 10.5 m 的孔板环, 进口抬高至 175 m 高程, 设龙抬头段与导流洞相连, 孔板后设中间弧形工作门控制室。水流通过孔板环逐级消能, 在最高水位运用时, 可控制最大流速不超 35 m/s。孔板洞为多泥沙河流重复利

用导流洞提供了借鉴, 也解决了枢纽建筑物总布置的难题。小浪底工程对于孔板洞技术的使用在国内尚属首次, 国外虽有使用的先例, 但运用规模小于小浪底。它对水流通过三次收缩、三次扩散, 可削弱水能 50%, 达到泄洪、消能、减速的目的。

### 6.5 综合解决汛期发电问题

为了解决泥沙磨蚀问题, 分别在发电引水口下方 15 m 和 20 m 布置排沙洞进口, 采用两台机进口一联的通仓式布置和主副拦污栅结构, 尽量减少过机沙量; 设计了低比转速的新型抗磨保护措施; 设计了筒形进水阀和带有环形廊道便于检修的机墩, 以保证小浪底水电站在多沙的汛期能正常发电。

### 6.6 设计并成功实施了单薄山体下地下洞群

小浪底工程在左岸相对单薄山体约一公里的范围内布置了 100 多个不同功能的洞室(井), 这些洞室(井)群纵横交错、立体交叉, 其密集度在国内外工程中罕见。小浪底地下厂房跨度 26.2 m、高 61.44 m, 长 251.5 m, 在节理裂隙发育且有多层泥化夹层颁布的层状岩层中开挖形成; 地下厂房顶拱和高边墙采用喷锚双层保护的预应力锚索、张拉锚杆及薄层喷混凝土等柔性支护作为永久支护; 承重 1000T 的吊车梁采用了岩壁吊车梁结构。小浪底地下厂房是我国在同类地层中跨度最大的地下厂房。小浪底地下洞室群的成功建设为我国地下工程的设计和施工积累了经验。

### 6.7 成功实施无黏结环锚预应力混凝土衬砌

小浪底三条直径 6.5 m 的排沙洞为可局部开启运用的压力式隧洞, 是枢纽中使用最频繁的泄流设施。为防止高压水外渗影响左岸单薄山体的稳定, 在帷幕后采用了无黏结环锚预应力混凝土衬砌结构, 一般围岩段混凝土衬砌厚 0.65 m, 每 0.5 延米布置 8 根双圈缠绕、带 PE 套管的锚索。该衬砌结构施工简单, 锚索预应力效率高, 衬砌受

力均匀。

## 6.8 高强度机械化施工

小浪底工程采用了多种大吨位，大容量，高效率施工机械，创造了多项施工记录。小浪底工程创造了大坝平均月填筑强度 120 万  $m^3$ ，日最高填筑强度 6.75 万  $m^3$  的国内最新纪录。

## 6.9 大量运用新技术

小浪底工程首次成功地采用了 GIN 帷幕灌浆技术，首次在国内采用了塔带机混凝土浇筑技术；首次在高边坡处理及厂房顶拱支护中大量采用了双层保护预应力锚索；首次在国内混凝土防渗墙施工中采用了槽口平接技术。

## 7 小浪底水利枢纽工程的管理成就

小浪底水利枢纽工程不仅在水利水电工程技术领域取得了一系列显著的成就，而且在管理工程上也取得了许多新成就。

### 7.1 成功引进外资并进行国际竞争性招标

小浪底水利枢纽工程合同利用世界银行贷款 10 亿美元。在当时的背景和国家财政状况下，适应了改革开放的新形势，解决了财政资金不足问题，使得小浪底工程能够动工兴建，并实行国际招标，为以后的工程建设管理模式奠定了基础。机电设备采用出口信贷招标采购方式，在水利水电建设中首开先河。

### 7.2 全面实践“三制”建设管理模式

小浪底工程主体工程施工全面实行“业主负责制”、“招标投标制”、“建设监理制”，业主负责工程建设重大问题的决策、支付、外部环境的协调，责任集中避免了有关各方对自己上级负责，难以协调的弊端，保证了工程建设在质量、进度、投资问题上能够统筹兼顾。工程的土建施工、设备制造安装、原材料供应全面实行监理，全方位实践了建设监理，培养锻炼了队伍，取得了成绩。主体工程全部通过招标选择施工承包商、设备制造

商、材料供应商、设备安装承包商，为工程建设选择了合格的承包商，节约了投资，保证了工程质量。

### 7.3 合同管理成效显著

合同管理是小浪底工程建设一切管理工作的核心，合同管理贯穿于工程建设管理的各个环节。参建单位通过工程建设，学习应用了合同管理的思想和方法，索赔、反索赔能力增强，工作效率提高，培养了参与国际合作的工作经验。小浪底建管局在处理导流洞赶工问题上，创造性地运行合同条件，引入国内成建制专业水电施工队伍作为劳务分包进行抢工，为按期截流创造了条件。在处理与二标、三标承包商的合同争议问题上，业主、工程师运用合同条款的规定，引入争议评审机制，成功地解决了重大合同争议，既避免了旷日持久的仲裁，又将投资控制在概算范围以内。小浪底工程以合同管理为基础，按计划实现了截流、蓄水、发电目标，主体土建工程工期普遍提前，工程投资较概算节余 38 亿元，取得了质量优良、工期提前、投资节约的好成绩。

### 7.4 移民安置取得了成功

小浪底工程移民安置实行“水利部领导，业主管理，两省包干负责，县为基础”的管理模式，是移民管理体制的创新。移民工作实践表明，以大农业安置为主，走开发性移民的道路，适合农村移民的经济文化发展要求。安置区生态环境得到保护，生活水平比搬迁前普遍提高。小浪底移民项目取得的成效为国内和国际知名专家所认同，在竣工初步验收中被评定为优良，被世界银行誉为国际移民工程的典范。

### 7.5 建设与管理紧密衔接

小浪底建管局既是小浪底工程建设的业主，也是建成后枢纽的运行管理机构。在工程建设过程中充分考虑了将来运行管理各个方面的需要，按照设备精良，管理先进，人员精干，运行安全的

标准,组织了运行管理队伍,并在建设过程中,适时进行机构和体制改革,建立了一套适应运行管理与多种经营协调发展的经营管理体制,使枢纽具有长期良性运行的管理环境。

## 8 小浪底水利枢纽工程的运用效益

1999年10月小浪底水利枢纽开始下闸蓄水,自此,小浪底水利枢纽工程开始发挥各方面的综合运用效益。

### 8.1 防洪作用重大

2000年小浪底水库就为黄河下游提供了25.8亿 $m^3$ 的防洪库容,使花园口的防洪标准从不足60年一遇提高到500年一遇;2001年汛期,小浪底水库的防洪库容达到66.49亿 $m^3$ ,使黄河下游的防洪标准提高到超过1000年一遇。特别是在2003年8月至10月,黄河中下游发生了历史罕见的“华西秋汛”,渭河下游河段发生1983年以来的最大洪水,黄河潼关河段发生4次较大洪水过程。三门峡断面最大洪峰流量4500 $m^3/s$ ,加之伊河、洛河来水,花园口断面洪峰流量将超过6000 $m^3/s$ ,黄河下游滩区300多万亩耕地可能被洪水淹没,滩区180万居民需要转移。2003年小浪底水库全面投入防洪运用,拦蓄上游来水63亿 $m^3$ ,严格控制下泄流量,将花园口断面可能形成的6000 $m^3/s$ 洪峰削减到2700 $m^3/s$ 以下,大大缓解了下游的防洪压力,直接防洪效益超过110亿元。2005年秋汛,小浪底水库拦洪25.75亿 $m^3$ ,有效减少了滩区人民群众的财产损失<sup>[4]</sup>。

### 8.2 基本解除下游凌汛威胁

小浪底水利枢纽的建成,不仅增加了30亿 $m^3$ 的防凌库容,而且可以对下游河道的流量进行更加直接的调节,与已建成的三门峡、故县、陆浑等水库联合运用,基本解除了黄河下游的凌汛威胁。2001年冬天,黄河下游气温较常年偏低,防凌形势严峻。在即将封河的关键时期,小浪底水利枢纽持续以500 $m^3/s$ 的流量向下游补水,使封河

形势得到缓解,开创了严寒之年黄河下游不封河的先例。由于小浪底水库对下游流量的有效控制作用,使传统的防凌方法得以突破,近年来,通过小浪底水库连续成功实施了小流量封河方案,大大减少了防凌用水,有效保证了黄河下游地区的防凌安全。至2008年,黄河下游已连续8年安全度过凌汛期。

### 8.3 减淤效果明显

小浪底水利枢纽的投入使用,丰富了黄河流域的水库调度手段,为各种来水来沙条件下实施调水调沙提供了可能。小浪底水库运行以来,采取拦粗排细的办法,通过调水调沙,利用人造洪峰冲刷下游河道,使黄河下游主河槽得到全面冲刷,有效延缓了黄河下游淤积。自2002年以来,通过小浪底水库及其他水库,黄河已连续八年进行了调水调沙,显著提高了河道冲刷效果,并为黄河河道形态控制与塑造积累了宝贵的调度经验。至2008年底,小浪底水库泥沙总淤积量约24.11亿 $m^3$ ,水库拦沙和调水调沙使小浪底以下河道由建库前的淤积抬高,转变为冲刷下切,总冲刷量约12亿 $m^3$ ,局部河段主河槽过流能力由以前的1800 $m^3/s$ 扩大到约3810 $m^3/s$ ,黄河下游部分地区“二级悬河”的严峻形势有所缓解,几代人苦苦追寻的梦想变成了现实。

### 8.4 供水灌溉作用突出

小浪底水库投入运用以来,适逢黄河连续枯水年,黄河及周边地区水资源形势严峻,供水矛盾紧张。从2000年到2003年,黄河水量极枯,下游旱情严重,为避免黄河断流,小浪底水库连续两年停止发电,向下游供水。2000年春夏之交,黄河下游地区出现严重旱情,小浪底向下游补水12亿 $m^3$ ,为有效缓解旱情和黄河枯水年份首次不断流作出了贡献。之后的数年间,通过小浪底水库下泄水量,国家跨流域实施了引黄济津、引黄济青、引黄济(白洋)淀等多项应急调水任务,一次次

缓解了北方地区的缺水之急。2008年我国北方小麦主产区河南、山东等省发生严重春旱，有的地方达到30年一遇，有的地方甚至超过了50年一遇。根据上级调度指令，小浪底水库多次加大下泄流量，支援河南、山东抗旱，确保了沿黄粮食主产区在大旱之年仍然获得了丰收。

### 8.5 提供优质电力

小浪底水电站总装机容量1800MW，在河南电网中发挥着不可替代的调峰、调频作用，是中原地区最大的清洁能源。电站投入使用后，安全运行，削峰填谷，发电专供河南电网，使河南电网供电质量明显提高。从首台机组投运至2008年8月底，小浪底水电站累计发电370余亿度，相当于节约标准煤约1175.8万吨。

### 8.6 生态效益显著

黄河一度断流严重，给下游地区生产、生活和生态均带来一系列不利影响。小浪底水库的建成使用，为解决黄河不断流问题提供了有效的工程控制手段。如今，黄河已实现连续十年不断流，产生的生态效益十分显著。大量淡水注入大海，不仅维持了黄河河道保持一定的流量，使沿途水生态得到保护，而且使黄河河口生态系统也得到恢复和改善。河口三角洲湿地生态系统目前已有4238公顷湿地恢复了原貌，三角洲的植被逐年增多，曾一度消失的特有鱼类又重新出现。

此外，小浪底水利枢纽工程的建成运用，使其本身及库区周围也成为一片旅游热土，水库形成浩瀚无际的“北方千岛湖”，枢纽成为国家级环

保百佳工程和国家水利风景区，吸引了海内外游客前来观光旅游，对促进地方经济发挥了显著的拉动和引领作用。

2009年4月，经过8年的试运行，小浪底水利枢纽工程正式通过国家验收。中国科学院和中国工程院院士潘家铮指出，小浪底水利枢纽的胜利建设及有效运行，是治黄工程的重大成就。实践证明，小浪底水利枢纽已经基本上实现了防洪、防凌、减淤、供水、灌溉、发电等综合效益，保证了黄河下游河道的安全，刷深了黄河河道主河槽，进行了调水调沙试验，为地区经济、社会的发展提供了宝贵的水资源和清洁能源。小浪底工程的竣工条件已经完全具备<sup>[5]</sup>。新一阶段，小浪底水利枢纽将统筹兼顾综合效益的发挥，精心搞好运行管理和维护，优化水库调度管理，使工程能够充分发挥作用。

### 参考文献

- [1] 国家防汛抗旱总指挥部办公室. 全国防汛抗旱组织体系简介[EB/OL]. [2009-09-30]. <http://fxkh.mwr.gov.cn/jgsz/jgsz1.htm>.
- [2] 小浪底网. 建设历程[EB/OL]. (2009-09-27) [2009-09-30]. <http://www.xiaolangdi.com.cn/2009/0918/16.html>.
- [3] 赵炜. 王化云在黄河治理方略上的探索与实践[J]. 中国水利, 2009(15): 4-7.
- [4] 黄河水利委员会. 人民治理黄河六十年[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2006: 336-339.
- [5] 潘家铮. 在小浪底水利枢纽工程竣工技术预验收会议上的讲话[EB/OL]. (2008-12-17) [2009-09-30]. <http://www.mwr.gov.cn/ztpd/2008ztbd/xldslnsgcjjgsyssh/zyjh/2008121708051042bb77.aspx>.

## **A Crucial Project for Harnessing the Yellow River: Xiaolangdi Multi-purpose Dam Project**

Li Zhongfeng

*(General Office, The Ministry of Water Resources, P.R.China, Beijing 100053)*

**Abstract:** As one of the most challenging schemes in the history of hydraulic engineering in the world, the Xiaolangdi Multi-purpose Dam Project is the only control project that provides a large storage capacity on the mainstream of the Yellow River. In this paper, the author investigates the decision-making, design, construction, performance and outcomes of the project in a comprehensive manner. In doing so, the huge challenges and the great achievements in terms of construction and management are discussed, and the enormous benefits of the project for flood control, hydropower, irrigation, municipal and industrial water supply are analysed.

**Key words:** Yellow River; water affairs; engineering project; Xiaolangdi; Muti-purpose Dam Project

责任编辑：王佩琼