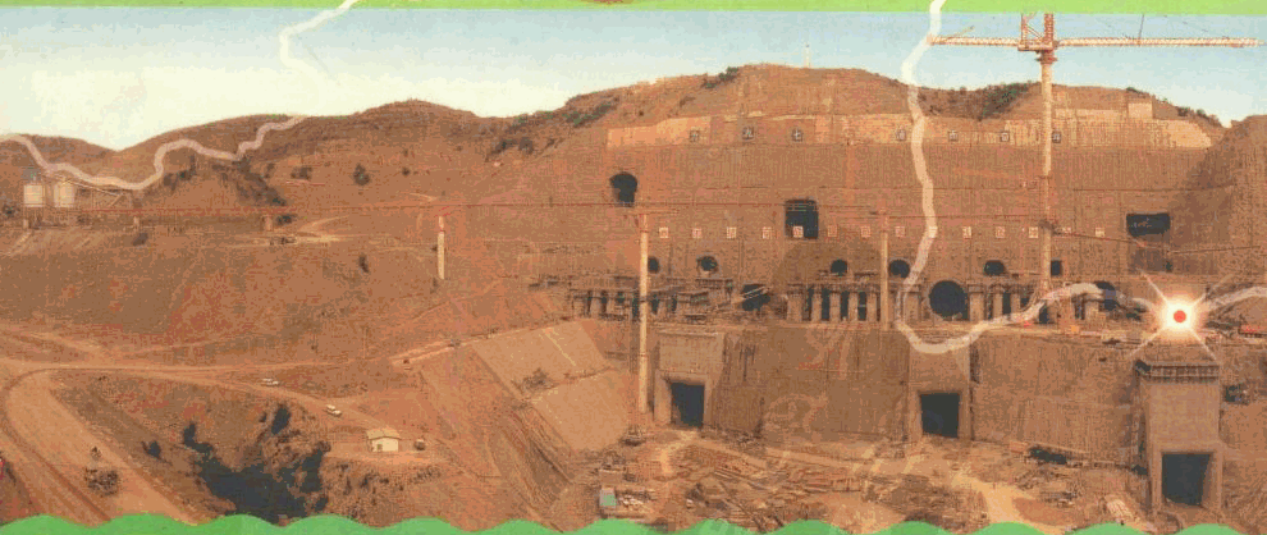


水利部小浪底水利枢纽建设管理局

黄河小浪底建设 工程技术论文集

Collection of Engineering & Technical Papers
— Xiaolangdi Multipurpose Dam Project on the Yellow River



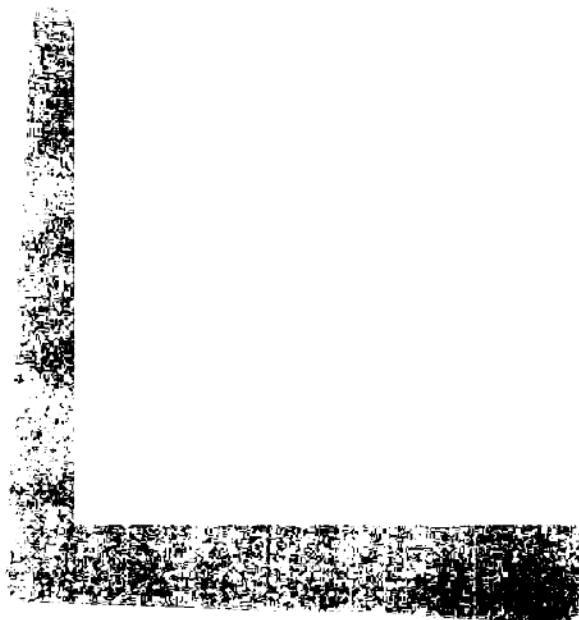
中国水利水电出版社

加
密
PDG

水利部小浪底水利枢纽建设管理局

黄河小浪底建设工程技术论文集

Collection of Engineering & Technical Papers—Xiaolangdi
Multipurpose Dam Project on the Yellow River



内 容 提 要

本文集介绍了举世瞩目的小浪底水利枢纽工程斜心墙高土石坝、排列密集的洞群系统和大型地下厂房的施工方法和施工组织;总结了高土石坝机械化联合作业、深覆盖层基础处理、不良地质洞群开挖和支护、高边坡稳定分析和综合锚固、大型地下厂房开挖和支护、排沙洞预应力混凝土衬砌、ROTEC 系统、计算机应用等先进技术和先进机具设施的应用;概括了加强工程监理、技术管理和技术咨询的做法和基本经验。本书内容翔实,实用性强。可供水利、电力、铁道、交通、冶金、煤炭、建筑等部门的工程技术人员、管理人员及大专院校有关专业师生参考。

【编者特别声明】

本文集所刊文稿的观点、结论和数据,不对小浪底工程合同构成任何影响。

图书在版编目(CIP)数据

黄河小浪底建设工程技术论文集/水利部小浪底水利枢纽建设管理局编.
—北京:中国水利水电出版社,1997.10
ISBN 7-80124-534-2

I. 黄… II. 水… III. 水利枢纽-水利工程-黄河-洛阳-文集
IV. TV632.61-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第18947号

书 名	黄河小浪底建设工程技术论文集
作 者	水利部小浪底水利枢纽建设管理局编
出 版	中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100044)
经 售	全国各地新华书店
排 版	《中国农村水利水电》激光照排中心
印 刷	海军工程学院印刷厂
规 格	787×1092毫米 16开本 23印张 4插页 552千字
版 次	1997年10月第一版 1997年10月武汉第一次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	60.00元

《黄河小浪底建设工程技术论文集》

编辑委员会

名誉主任 张基尧

顾问 李其友 李武伦

主任 王咸儒

副主任 曹征齐

委员 (以姓氏笔划为序)

刘经迪 孙国纬 吴 熹 陈中泉

李纯太 金诚铭 赵 宏 钟光华

徐德林 谢才萱 韩宗海 魏小同

执行主编 孙国纬

序

小浪底水利枢纽是治理开发黄河、治国安邦的关键工程。其重要的战略地位,宏大的工程规模,复杂的自然条件,紧凑的工程布置,高难度的技术课题,苛刻的运用要求和显著的社会、经济效益,举世瞩目,被国内外专家公认为世界上最具挑战性的工程之一。同时,小浪底工程又是我国利用世界银行贷款额度最大,主体工程全方位通过国际招标选择承包商承建,全面按照国际惯例进行建设管理的巨型基本建设工程。小浪底主体工程的兴建,是在我国水利职工经过几十年不懈努力,出色地完成勘探、设计和施工准备的基础上进行的;它的建设,标志着我国特大型水利枢纽工程建设的技术和管理已接近世界先进水平,将为治理开发黄河发挥不可替代的巨大作用,同时,也必将为我国建设特大型水利水电工程积累十分宝贵的经验。

在极其复杂的水文、泥沙和地质条件下建设如此宏伟的水利工程,是人类认识自然,征服自然,叫高山低头,河水让路,除黄河水害,兴黄河水利的艰苦卓绝的大搏斗;中国水利工作者受国家委托,对由国际知名公司组成的联营体承建的小浪底工程实施全面管理,更是具有中国特色的管理模式与国际惯例接轨的有效探索。具有高度的主人翁意识,丰富的实践经验,优良的艰苦奋斗传统和昂扬的开拓进取精神的小浪底工程建设者,怀着必胜的信念面对严峻的挑战,坚定不移地朝着“建设一流工程、总结一流经验、培养一流人才”的总体目标进发。在党中央、国务院的亲切关怀下,在水利部的直接领导下,经过全体小浪底建设者的顽强拼搏,工程建设取得突破性进展。小浪底水利枢纽建设的第一个重要里程碑——高标准、高质量地于1997年10月实现大河截流的目标胜券在握。

在小浪底工程大河胜利截流的前夕,《黄河小浪底建设工程技术论文集》付梓出版,令人欣喜,令人鼓舞!这部文集是从工程技术角度对小浪底工程建设经验的阶段性总结。每篇每章都凝聚着小浪底工程建设者建设一流工程的心志;字里行间都记录着小浪底人攀登水利水电技术高峰的足迹。特别值得高兴的是,文章的作者都是日夜奋战在工程建设第一线的水利战士,是一代跨世纪的

中青年水利技术骨干,是把全部身心都献给伟大母亲河——黄河的大禹传人!

文集介绍了小浪底斜心墙高土石坝、排列密集的洞群系统和大型地下电厂的施工方法和施工组织;总结了高土石坝机械化联合作业、深覆盖层基础处理、不良地质洞群开挖和支护、高边坡稳定分析和综合锚固、大型地下厂房开挖和支护、排沙洞预应力混凝土衬砌、ROTEC 系统、计算机应用等的先进技术和先进机具设施的应用;概括了加强工程监理、技术管理和技术咨询的做法和基本经验。因此,这是一部集施工、管理于一体的综合性的技术文集。它的问世,必将给我国大型水利水电工程建设的设计、施工管理人员,以及大专院校师生提供有益的借鉴和启示。

由于成书时间仓促,还有不少值得总结的课题未能见诸笔端,书中有的文章分析还不够深入,但无论如何,这部书的出版是一个良好的开端。它不仅是小浪底建设经验总结的一份成果,而且对于进一步丰富我国水利水电建设技术宝库,无疑是一次很有意义的实践。

总结经验是发展科技、推动工作的重要方法,是由感性认识提高到理性认识的一个关键环节。我们要把小浪底建成一流工程,就必须在工程建设的进程中,坚持及时总结,深化认识,发扬成绩,纠正失误,做到:有所发现,有所发明,有所创造,有所前进。同时,总结经验也是每个人提高与进步的有效途径。具有深远意义的小浪底人才开发工程已经启动,每一位有志于在小浪底工程这个大熔炉里锻炼成才的同志,都应该抓住机遇,勇于实践,善于总结,不断进取。以我们的实际行动,响应和落实江泽民总书记1996年6月视察小浪底工地时发出的“水利要打出去,你们有能力打出去!不光是承包工程,要输出工程技术,输出管理,占领国际市场”的号召,在把小浪底建成一流工程的同时,培养出一批跨世纪人才,锻炼出一支高素质队伍,为发展我国的水利事业,为中国水利走向世界,贡献我们的聪明才智。

为中国水利争气!

为中华民族争光!

张基尧

1997年8月8日

目 录

序

小浪底水利枢纽工程建设与施工进展	王咸儒 殷保合 肖大强	(1)
小浪底水利枢纽工程建设的监理实践	李其友 李 勇	(10)
小浪底水利枢纽工程建设的技術管理	曹征齐	(20)
小浪底水利枢纽的设计思想及设计特点	林秀山	(28)
小浪底水利枢纽工程的专家技术咨询	王咸儒	(35)
小浪底大坝标工程施工和监理实践	吴 熹	(44)
小浪底大坝填筑的施工技术和施工方法	王 碧 李玉洁	(57)
小浪底大坝标施工进度控制实践	王者才 段振梅	(67)
小浪底工程大坝基础开挖的特点和水平	廖多禄	(75)
大型斜心墙土石坝填筑的质量控制	李玉洁 王 碧	(80)
坝体堆石填筑的加水问题及岩石质量	郭庆国	(89)
小浪底大坝的反滤料和过渡料加工系统	王者才 盛松涛	(99)
小浪底水利枢纽工程主坝81.9 m深混凝土防渗墙的施工	高钟璞 王国民	(106)
稳定浆液在小浪底水利枢纽帷幕灌浆工程中的应用	罗鲁生 吴昌春 张利莉	(109)
小浪底水利枢纽2号灌浆洞GIN法帷幕灌浆试验	赵存厚 韩 伟	(114)
小浪底水利枢纽泄水建筑物总布置	罗义生	(122)
ROTEC系统在小浪底水利枢纽工程中的运用	祁志峰 赵立民	(129)
小浪底工程进水塔基础薄层开挖	胡守江	(137)
小浪底工程进水塔混凝土施工方法	刘树君	(141)
管式锚杆在不良地质地段支护中的应用	袁文传	(150)
小浪底工程导流洞混凝土施工	于守才	(155)
小浪底工程中闸室的开挖施工方法	徐运汉 薛喜文 肖 强	(161)
小浪底工程中闸室的混凝土衬砌双层施工	刘学东 潘志新 贾伟东	(164)
小浪底水利枢纽导流洞混凝土衬砌裂缝分析	徐运汉 薛喜文 肖 强	(171)
小浪底导流洞工程固结灌浆孔的封堵技术	李志刚 崔雪玉	(175)
小浪底洞群出口高边坡Ⅱ区的加固措施	殷保合	(177)
小浪底水利枢纽工程消力塘混凝土施工机械的布置	赵立民 翟 建	(183)
小浪底工程消力塘3米厚混凝土底板的一次浇筑与温度控制	阎 明	(190)
小浪底水利枢纽工程二标砂石骨料加工系统的设计和运行	祁志峰 赵立民	(194)
明流洞经过F ₂₄₀ 断层的开挖与支护	杜清平 姜仁东 朱红生	(202)
排沙洞预应力混凝土衬砌的两种方案	谢宝嵩	(206)
预应力锚几个问题的探讨	王俊石 胡守江	(210)
小浪底水利枢纽工程引水发电系统的施工	李纯太 韩德保 李晓刚	(214)

地下厂房顶拱支护1 500 kN 预应力锚索的施工	许本礼	刘贵岭(227)
小浪底地下厂房顶拱锚索施工及其对工期影响的处理	董德中	(235)
17C 交通洞在小浪底工程地下厂房施工中的作用	王亚春 李鸿君	韩德保(240)
小浪底工程引水发电洞中的环形帷幕灌浆	刘贵岭	(245)
尾水洞顶拱取消混凝土衬砌的技术经济分析	杜清平 董德中	朱红生(250)
小浪底工程压力钢管的安装方法	苏志祥	(256)
小浪底水电站水轮机模型的验收试验介绍	张利新 胡宝玉 张瑞金	李光勉(260)
小浪底工程通信系统的网络结构	熊金水	梁 宏(267)
现场记录在小浪底地下工程合同管理中的应用	董德中	翟 建(271)
《小浪底水利枢纽工程月进度报告》的编制	陈 玉	(274)
小浪底工程导流洞扩挖阶段施工监测及资料分析	张兴武	杜国文(279)
小浪底工程进水口高边坡的稳定监测与资料分析	侯新华	(286)
小浪底工程的施工测量和工程量计量	渠守尚	金诚铭(293)
数字化测图和工程计量一体化的应用	邱文华	蒋金虎(297)
小浪底泄洪工程进出口项目的测量监理	袁孟尧	(302)
高强混凝土施工强度匀质性评定标准探讨	王铁城	(306)
大型水电项目的信息管理	韩宗海	(311)
项目管理软件 P3 的引进与应用	韩宗海	王江涛(317)
P3 软件在小浪底泄洪工程中的应用	张鸿喜	(322)
小浪底工程合同目标进度计划更新浅议	王江涛	(327)
P3 软件的应用探索	谷凤勇	(330)
Paradox 数据库系统在泄洪工程师代表部信函管理系统中的运用	刘罗炳 仇咏杰	张德钧(338)
JI-100 系统的应用	覃谷昌	王志刚(343)

附录1 小浪底水利枢纽工程特性表

附录2 小浪底水利枢纽工程照片

CONTENTS

Preface

Construction Progress of Xiaolangdi Multipurpose Dam Project	
.....	<i>Wang Xianru Yin Baohe Xiao Daqiang</i> (1)
Construction Supervision Practice of Xiaolangdi Multipurpose Dam Project	
.....	<i>Li Qiyou Li Yong</i> (10)
Constructional Technique Management of Xiaolangdi Multipurpose Dam Project	
.....	<i>Cao Zhengqi</i> (20)
Design Criteria and Characteristic of Xiaolangdi Multipurpose Dam Project	
.....	<i>Lin Xiushan</i> (28)
Technical Consulting of Xiaolangdi Multipurpose Dam Project	
.....	<i>Wang Xianru</i> (35)
Main Dam Construction and Supervision Practice of Xiaolangdi Multipurpose Dam Project	
.....	<i>Wu Xi</i> (44)
Construction Technique and Method of Xiaolangdi Main Dam Embankment	
.....	<i>Wang Bi Li Yujie</i> (57)
Construction Progress Control of Xiaolangdi Main Dam	
.....	<i>Wang Zhecai Duan Zhenmei</i> (67)
Characteristic of Xiaolangdi Main Dam Foundation Excavation	
.....	<i>Liao Duolu</i> (75)
Quality Control of Embankment of Heavy Rock and Earth Dam with Inclined Clay Core	
.....	<i>Li Yujie Wang Bi</i> (80)
Water Control and Rock Quality During Main Dam Rockfill	
.....	<i>Guo Qingguo</i> (89)
Filter and Transition Materials Processing Plant	
.....	<i>Wang Zhecai Sheng Songtao</i> (99)
Construction of Xiaolangdi Main Dam 81.9 Meter Deep Concrete Cutoff Wall	
.....	<i>Gao Zhongpu Wang Guomin</i> (106)
Application of Stable Mix Grouting in Curtain Grouting of Xiaolangdi Multipurpose Dam Project	

.....	<i>Luo Lusheng Wu Changchun Zhang Lili</i>	(109)
GIN Curtain Grouting Test in No. 2 Grouting Tunnel of Xiaolangdi Project		
.....	<i>Zhao Cunhou Han Wei</i>	(114)
General Layout of Discharge Structures of Xiaolangdi Multipurpose Dam		
Project	<i>Luo Yisheng</i>	(122)
Application of ROTEC System in Xiaolangdi Multipurpose Dam Project		
.....	<i>Qi Zhifeng Zhao Limin</i>	(129)
Shallow Cover Excavation at Intake Towers of Xiaolangdi Multipurpose Dam		
Project	<i>Hu Shoujiang</i>	(137)
Concrete Placement at Intake Towers of Xiaolangdi Multipurpose Dam Project		
.....	<i>Liu Shujun</i>	(141)
Application of Alluvial Rock Bolt in Supporting Works in Bad Rock Areas		
.....	<i>Yuan Wenchuan</i>	(150)
Concrete Placement in Diversion Tunnels of Xiaolangdi Multipurpose Dam		
Project	<i>Yu Shoucai</i>	(155)
Excavation Methods of Mid Gate Chambers at Xiaolangdi Multipurpose Dam		
Project	<i>Xu Yunhan Xue Xiwen Xiao Qiang</i>	(161)
Application of Parallel Construction in Mid Gate Chambers Concrete Lining of		
Xiaolangdi Multipurpose Dam Project		
.....	<i>Liu Xuedong Pan Zhixin Jia Weidong</i>	(164)
Analysis of Concrete Cracks in Diversion Tunnels of Xiaolangdi Multipurpose		
Dam Project	<i>Xu Yunhan Xue Xiwen Xiao Qiang</i>	(171)
Plugging Technique of Consolidation Grouting Holes in Diversion Tunnels of		
Xiaolangdi Project	<i>Li Zhigang Cui Xueyu</i>	(175)
Reinforcing Measures of High Slope(Zone II) at Outlet of Xiaolangdi Project		
.....	<i>Yin Baohe</i>	(177)
Construction Equipment Arrangement at Plunge Pools of Xiaolangdi Project		
.....	<i>Zhao Limin Zhai Jian</i>	(183)
Base Slab Concrete Placement in 3 Meter Lift at Plunge Pools and Its		
Temperature Control at Xiaolangdi Multipurpose Dam Project		
.....	<i>Yan Ming</i>	(190)

Design and Operation of Aggregate Plant for Concreting of Intake, Tunnels & Spillway Contract—Xiaolangdi Project	<i>Qi Zhifeng Zhao Limin</i> (194)
Excavation and Support of Fault Zone 240 in Free Flow Tunnels	<i>Du Qingping Jiang Rendong Zhu Hongsheng</i> (202)
Alternative Proposals of Prestressed Concrete Lining in Sediment Tunnels	<i>Xie Baosong</i> (206)
Study of Rock Anchor Problems	<i>Wang Junshi Hu Shoujiang</i> (210)
Construction of Power Facilities of Xiaolangdi Multipurpose Dam Project	<i>Li Chuntai Han Debao Li Xiaogang</i> (214)
Construction of 1500 kN Rock Anchor (Tendon) in Supporting of Underground Powerhouse Crown	<i>Xu Benli Liu Guiling</i> (227)
Rock Anchor Construction at Underground Powerhouse Crown and Its Influence to Construction Progress	<i>Dong Dezhong</i> (235)
Usage of No. 17C Access Tunnel During Construction of Underground Powerhouse	<i>Wang Yachun Li Hongjun Han Debao</i> (240)
Ring Curtain Grouting in Power Tunnels of Xiaolangdi Multipurpose Dam Project	<i>Liu Guiling</i> (245)
Technical and Economic Analysis Concerning the Cancellation of Crown Concrete Lining in Tailrace Tunnels	<i>Du Qingping Dong Dezhong Zhu Hongsheng</i> (250)
Installation Methods of Penstocks at Xiaolangdi Multipurpose Dam Project	<i>Su Zhixiang</i> (256)
Acceptance of Turbine Model Test	<i>Zhang Lixin Hu Baoyu Zhang Ruijin Li Guangmian</i> (260)
Network Structure of Xiaolangdi Communication System	<i>Xiong Jinshui Liang Hong</i> (267)
Application of Site Record in Contractual Management of Xiaolangdi Underground Works	<i>Dong Dezhong Zhai Jian</i> (271)
Construction Monthly Report of Xiaolangdi Multipurpose Dam Project	<i>Chen Yu</i> (274)

Construction Monitoring and Data Analyzing During Enlargement of Diversion Tunnels at Xiaolangdi Project	<i>Zhang Xingwu Du Guowen</i> (279)
Intake High Slope Stability Monitoring and Data Analyzing of Xiaolangdi Project	<i>Hou Xinhua</i> (286)
Construction Survey and Quantity Measurement at Xiaolangdi Project.....	
.....	<i>Liang Shoushang Jin Chengming</i> (293)
Applications of Numerical Mapping System and Integrated Quantity Measurement System in Xiaolangdi Project	
.....	<i>Qiu Wenhua Jiang Jinwu</i> (297)
Survey Supervision at Intake and Outlet Areas of Xiaolangdi Project ...	
.....	<i>Yuan Mengjiao</i> (302)
Evaluation Standard of High Strength Concrete Uniformity	
.....	<i>Wang Tiecheng</i> (306)
Information Management System of Large Hydropower Electrical Project	<i>Han Zonghai</i> (311)
Introduction and Application of P3 Software	
.....	<i>Han Zonghai Wang Jiangtao</i> (317)
Application of P3 Software in Xiaolangdi Multipurpose Dam Project ...	
.....	<i>Zhang Hongxi</i> (322)
Updating of Contract Base Line Schedule at Xiaolangdi Multipurpose Dam Project	<i>Wang Jiangtao</i> (327)
Exploratory Application of P3 Software	<i>Gu Fengyong</i> (330)
Application of Paradox Program in Correspondence Administration System of Intake, Tunnels & Spillway Engineer Representative Department	<i>Liu Luobing Qiu Yongjie Zhang Dejun</i> (338)
Application of JI—100 System	<i>Qin Guchang Wang Zhigang</i> (343)
Appendix 1 Characteristic Table of Xiaolangdi Multipurpose Dam Project	
Appendix 2 Site Photographs of Xiaolangdi Multipurpose Dam Project	

小浪底水利枢纽工程建设与施工进展

王咸儒 殷保合 肖大强

小浪底水利枢纽工程位于河南省洛阳市以北 40 km 的黄河干流上,坝址上距三门峡水利枢纽 130 km,下距郑州花园口 128 km,是黄河干流在三门峡以下唯一能够取得较大库容的控制性工程。该枢纽建成后,可有效控制黄河水沙,治理黄河将进入新阶段。其开发目标是防洪、防凌和减淤,兼顾灌溉、供水和发电。

小浪底水库最高蓄水位 275 m,正常死水位 230 m,总库容 126.5 亿 m^3 ,淤沙库容 75.5 亿 m^3 ,长期有效库容 51 亿 m^3 ,其坝址以上流域面积为 69.4 万 km^2 ,占花园口以上流域面积的 95.1%。工程建成后,可使黄河下游防洪标准从目前不足 100 年一遇,提高到 1 000 年一遇,基本解除下游洪水及凌汛的威胁,减缓下游河道淤积,每年还可增加 40 亿 m^3 左右的供水量,改善下游的农业灌溉和城市供水条件。

小浪底枢纽大坝为壤土斜心墙堆石坝,最大坝高 154 m,坝顶长 1 667 m,坝体总填筑量达 5 185 万 m^3 。由于地形、地质条件的限制,全部泄洪发电建筑物布置在左岸。最高洪水位时,最大下泄洪水能力达 1.7 万 m^3/s (不包括非常溢洪道泄量 3 000 m^3/s)。

泄洪洞、发电洞、灌溉洞和溢洪道进口建筑物布置在大坝上游左岸风雨沟内,出口消力塘也集中布置在大坝下游北岸的西沟内。

发电系统由 6 条发电引水隧洞和地下式厂房、尾水洞和防淤闸组成,水电站装机 6 台 30 万 kW 机组,总装机容量 180 万 kW。

一、建设体制

小浪底水利枢纽是部分资金利用世界银行贷款建设的项目。从 1988 年起,世界银行先后 15 次组团对小浪底工程建设项目进行考查和评估。1993 年 5 月中旬,工程顺利通过世界银行的正式评估。1994 年 6 月,世界银行董事会正式决定为小浪底工程提供 10 亿美元的贷款。其中一期贷款承诺 5.7 亿美元。世界银行董事会于 1997 年 6 月又批准了第二期贷款 4.3 亿美元。

小浪底工程采用以单价为基础的合同,分三个国际土建合同标,机电项目进行国际招标的有 6 台水轮机及其附属设备以及 500 kV 主变压器设备、干式电缆、电站计算机监控设备等电气一次和二次部分设备。其余土建项目(开关站、副坝、排水洞、灌溉洞等)和机电项目为国内招标。

三个土建国际合同标:一标是大坝工程标;二标是进出水口、洞群、溢洪道工程标;三标是发电设施工程标。

通过资格预审的 10 个国际联营体共 34 家成员公司全部投了标。经过评标机构的评审,三个标的中标承包商分别为:以意大利英波吉洛(Impregilo S. P. A)为责任公司的黄河承包商(YRC);以德国旭普林(Zublin A. G)为责任公司的中德意联营体(CGIC);以法国杜美思(Dumez)为责任公司的小浪底联营体(XJV)。中国水利水电 14 局、7 局和 11 局、6 局分别参加一、二、三标联营体。为加快工程进度,中国水利水电局 1、3 局、4 局和 14 局组成的联营体(OTFF)、水电 11 局、14 局和 7 局分别对导流洞、进口和消力塘工程进行了成建制劳务分包。

小浪底工程是在我国改革开放、基本建设实行项目业主负责制、建设监理和招标承包制取得重要成果的形势下动工兴建的。这就为与国际惯例接轨创造了必要的条件。按照国际咨询工程师联合会(FIDIC)条款的要求,水利部在组建小浪底水利枢纽建设管理局作为项目业主单位的同时,组建了小浪底工程咨询有限公司作为工程师单位。

为落实项目业主负责制,建管局充分发挥管理的主导作用,协调设计、监理、施工以及地方等各方面的关系,实行目标管理。业主与设计、监理、工程承包单位是合同关系。

工程师单位受业主的委托,实行总经理负责制,依照合同全权负责工程监理,有效地进行工程进度、质量和投资控制,并按照合同进行工程管理、现场协调。设计单位——黄委会勘测规划设计研究院依据与业主签订的勘测设计合同提供图纸及其他技术文件,并组成小浪底工程设计分院常驻现场工作。这样就形成了业主对国家负责,监理、设计对业主负责的有序机制。

二、技术特点

小浪底工程地理位置特殊,社会效益显著,规模宏大,结构复杂,管理方式与国际惯例接轨。许多知名的国内水利工程专家和世界银行官员称小浪底水利枢纽工程是世界上最复杂、最具挑战性的工程之一。这里仅就工程的技术特点分述如下:

(一)主坝工程

1. 深覆盖层防渗墙的施工

小浪底主坝河床段基础条件比较复杂,覆盖层最深处 70 多 m,根据多方论证并考虑了施工的可能性,河床段采用混凝土防渗墙。防渗墙全长约 440 m,墙厚 1.2 m,墙底嵌入基岩不少于 1 m,墙顶插入心墙土体高度 14 m。为缩短大坝施工工期,减轻截流后的施工强度,防渗墙分为两期施工。截流前完成右岸滩地及河床深槽部位的混凝土防渗墙,由国内承包商施工。

第一期混凝土防渗墙轴线总长 259.6 m,造孔最大深度达 81.9 m(从平台高程 140 m 计算)。工程从 1993 年 2 月开始施工,至 1994 年 10 月全部完工。钻孔进尺 15 183.7 m,浇筑混凝土 21 527 m³,阻水面积 10 600 m²。

防渗墙有以下技术特点:

(1)覆盖层厚,是目前国内最深的防渗墙。槽孔施工采用钻劈法。所用设备为 CZ-30 和 CZ-20 型冲击钻机。槽孔长度大部分为 7.2 m,为保证清孔质量,清孔泥浆加入了适当的膨润土。

(2)混凝土强度要求高,常态混凝土要求 $R_{28}=35$ MPa。在施工过程中,由于早期强度过

高,接头造孔难度大,改为缓凝型混凝土,要求 $R_{90}=33\text{ MPa}$ 。

(3)地质条件复杂,覆盖层内有约 1~4 m 的夹砂层,基岩存在陡坎,成孔难度大。

第一期防渗墙工程完工后,进行了钻孔检查和 CT 检测,认为施工质量符合技术规范,墙体连续性和整体性满足有关技术条款的要求。

2. 大坝基础灌浆处理

大坝心墙基础岩石破碎,裂隙十分发育,根据设计要求,全部岩石基础均进行固结灌浆处理。由于在灌浆过程中串、冒浆严重,影响灌浆质量,因此,由原来的非压重灌浆改为普遍浇筑 50 cm 厚混凝土盖板后进行。灌浆孔呈梅花形布置,孔排距均为 3 m,基岩孔深 5 m。从已施工的情况看主要存在以下问题:

(1)由于岩石破碎,从总体情况看吸浆量普遍较大。

(2)由于串、冒浆严重,难以形成较大灌注压力,所以一般只采取 0.2 MPa 左右。

(3)由于上述原因,相当一部分区域要在原设计孔排距的基础上进行加密处理。

(4)实践证明,常规浆液难以达到预期的目的,经反复试验,采用了稳定浆液,取得了比较好的效果。

(5)检查手段难以用 Lu 值作为标准,经多方研讨,决定以单位耗灰量进行控制。

除河床深槽部位采用防渗墙外,两岸坝肩和山体均设置了灌浆帷幕。左岸山坡和右岸滩地断层影响带采用 3 排帷幕,两岸山体,设 1 排帷幕,孔、排距均为 2 m。帷幕灌浆总进尺约 14 万 m。其施工特点是:帷幕灌浆一般采用从上而下孔口封闭、孔内循环的灌浆工艺;推荐采用稳定浆液;针对小浪底地质的特殊情况,进行了“GIN”(灌浆强度值法)灌浆试验,并取得较满意的效果;根据合同技术条款,小浪底基础灌浆普遍采用了自动记录系统,这对保证质量,确保资料的真实性,起了很大作用。

3. 高强度的主坝填筑施工

小浪底水利枢纽主坝填筑的特点是体积大、强度高、分类细、要求严。

大坝总的填筑工程量为 5 185 万 m^3 ,分两期填筑。截流前为一期工程,截流后为二期工程。截流前月平均强度 40.3 万 m^3 ,高峰月强度 62 万 m^3 ,日上坝强度 2.9 万 m^3 ;截流后月最大填筑强度 122 万 m^3 ,日最大填筑强度 5.6 万 m^3 。要实现以上计划,必须具备充足的料源,先进配套的设备和合理的施工组织。

为了充分利用坝址附近丰富的石料储量和工程开挖石渣以及对坝体不同部位的不同要求,坝体共分为 10 个填筑区,每区的料质有不同要求。其优点是有助于对开挖料的充分利用,节约投资。但相应的也增加了填筑的难度。

由于大坝填筑工程量大,施工强度高,采用分区流水作业施工,一般的施工工序为:铺料、洒水、碾压和质检。土料采用底卸车卸料,石料采用进占法铺筑。各工序流水分段,平行于坝轴线布置,进退法压实。土料选用 13.5 t 凸块振动碾,铺土厚度 35 cm,碾压 7 遍;石料选用 14 t 振动碾,铺料厚度 1.2 m,碾压 8 遍;反滤料铺料厚度 0.3 m,碾压 2 遍。在实际施工过程中,可以适当调整施工参数,以达到设计指标值为准。在工程师指导下,1995 年创月开挖强度 101 万 m^3 的坝基开挖世界先进水平;1996 年 11 月和 1997 年 1 月两个月,大坝填筑创 185 万 m^3 最高纪录。

4. 坝基液化和抗震稳定课题

小浪底坝基河床砂卵石层厚 30~40 m, 深槽部位厚达 70 多 m, 夹有粉细砂薄层, 地震时会产生液化。另外, 两岸坝肩基岩存在 10° 左右缓倾角泥化夹层, 地震时也会威胁大坝安全。对此, 设计和施工都采取了妥善处理方案。

(二)泄洪工程

小浪底枢纽工程的主要泄洪建筑由 3 条导流洞改建成的 3 条孔板泄洪洞、3 条排沙洞、3 条明流洞和一条正常溢洪道组成。其技术特点如下。

1. 地下建筑物布置集中而且地质条件复杂

由于地下泄洪排沙防止进口淤堵的要求以及受地形条件的限制, 小浪底工程由 9 条大直径洞室(最大开挖直径达 19.8 m)组成的洞群布置在枢纽左岸、风雨沟与翁沟之间不到 2 km 的单薄山脊下。此外 6 条直径 7.8 m 的发电洞也在单薄山脊下与泄洪洞穿越, 形成了峰窝状的断面。而正常溢洪道则布置在这个单薄山脊的地面上。排沙洞与导流洞的净间距在 25 m 左右, 排沙洞的开挖与导流洞的混凝土衬砌作业在施工计划图上将有直线搭接。

整个泄洪洞群位于狂口背斜的东翼, 其主要断层带有 F_{28} 、 F_{236} 、 F_{238} 和 F_{240} 。因岩层受扭曲和断层的影响, 岩层间发生剪切, 在硬软互层中形成泥化夹层和剪切破碎带。这种地质现象在 2 号孔板洞以北的下游区更为明显。这是小浪底工程的重要特点。因此, 在施工中必须科学组织施工, 严格控制爆破, 合理适时支护, 以确保工程安全。

2. 进水塔混凝土方量大, 结构复杂, 施工难度大

配合洞群的设计和进口泄洪排沙的运用要求, 选择了一字型排列组成的泄洪、排沙、排泥、发电灌溉共用的高塔架结构, 16 个进水口组成 10 座进水塔呈一字形排列布置在风雨沟东侧。为了避免 F_{28} 断层对进水塔的影响和尽量减少开挖量, 将 16 个进水口合理组合和排列。

进水塔前缘宽 276.4 m, 高 113.0 m, 最大长度 70 m。其开挖量国际标工程土石方 472 万 m^3 , 混凝土量达 100 万 m^3 。该塔架共有 16 条隧洞的进水口, 又分为 50 个进水孔口, 55 个闸门槽井, 36 个拦污栅槽井和 26 个启闭机室。其工程规模、结构复杂性和施工难度堪称世界第一。

小浪底工程混凝土量中的 90%(约 243 万 m^3)集中在泄洪洞群项目。为此承包商 CGIC 在连地滩修建了产量为 700 t/h 的砂石加工场。在洞群出口和进口各设了一个混凝土拌和系统, 其常规混凝土产量各为 200 m^3 /h。

进水塔混凝土采用 ROTEC 塔带机入仓浇筑, 利用 200 HC/H 塔机作辅助作业, 这是目前国际上较先进的施工工艺和施工设备。

按照进度计划, 塔基混凝土基础约束块在 1996 年 7~8 月份高温季节浇筑, 为保证浇筑质量, 采取了有效的温度控制措施。

进水塔基础高程 171 m, 2 号、3 号导流洞顶部高程为 160 m, 导流洞上的净覆盖层仅有 11 m, 因施工安排, 塔基开挖与导流洞开挖有搭接期, 但在塔基开挖中由于使用了灌浆弱爆破措施, 使薄覆盖层的稳定得到了保证。

塔基下的 F_{28} 断层对 3 号导流洞、灌溉塔、3 号明流塔的基础有较大影响, 施工时及时确定了开挖范围, 采取了混凝土抗滑桩等措施。

3. 导流洞施工工期紧,要求机械化程度高

3条导流洞为圆型断面,衬砌后的直径为14.5m,1号、2号、3号导流洞的长度分别为1 220 m、1 183 m和1 149 m,石方洞挖达80万 m^3 ,混凝土34万 m^3 。共计450块混凝土。 F_{236} 、 F_{238} 为主的断层带与洞轴线呈 $150^\circ\sim 200^\circ$ 的交角,斜穿导流洞,对3号导流洞的下游段影响最大。整个导流洞的开挖分5次进行:第1次开挖的上中导洞在1994年完成,第2至第5次扩挖于1996年7月结束。洞内混凝土衬砌作业全部采用机械化,即步行式底模台车 $\rightarrow$ 轨道式钢筋台车 $\rightarrow$ 轨道顶拱台车的舰列式的循环连续浇筑。以5~8d浇筑一块混凝土的循环周期进行连续浇筑。3条导流洞混凝土浇筑于1997年8月全部完工。

4. 孔板消能和后张混凝土衬砌新技术增加施工难度

3条导流洞将在1997年第4季度截流后过水,1999年汛期1号孔板消能泄洪洞投入运用。在大型水工隧洞中,利用孔板消能在国内外水工建设中尚属首次,其规模目前在世界上为最大。由于孔板洞改建必须在8个月内完成,需要进行龙抬头段的石方开挖,导流洞前部封堵和部分钢筋混凝土开挖,混凝土浇筑以及孔板、闸门安装等工作,工序十分复杂,而施工通道又受到严格限制,其进度计划安排难度极大。在建管局的统一组织下,工程师、承包商和设计院正在抓紧研究切实可行的方案,以保证孔板洞改建工程如期顺利完成。

3条直径为6.5m的排沙洞,每条长1 105 m。为提高混凝土的耐磨性、限制混凝土衬砌裂缝的开展,除选用了高强度的硅粉混凝土外,还在排沙洞中首次使用这样的水工结构。后张法预应力衬砌段约占排沙洞衬砌总长的70%。为确保施工顺利进行,进行了张拉试验。为正式施工提供了经验。

5. 进出口高边坡加固措施

进水口坡体开挖后迎水坡长约270 m,最高处120 m左右,主要由 $T_1^{3-2}\sim T_1^5$ 岩组组成,其稳定性将直接影响到工程的安危。为保证进水塔后边坡的稳定,在高达120 m的边坡上安装578根锚索,其中双层保护一次张拉的800~1 000 kN级锚索在国内水电工程中尚属首次使用。

泄洪洞出口高达60 m的边坡,受 F_{238} 、 F_{244} 、 F_{236} 断层的切割,岩石破碎,层面倾向下游,且几条断层在此交汇,在开挖过程中曾发生较大塌方。为了保证洞群出口边坡的稳定,在其边坡上增加了387根长25~50 m的双层保护预应力锚索,并且在边坡上游新增了一条长达800 m的排水洞以降低地下水位。为3号导流洞和3号排沙洞出口边坡的施工安全,在边坡135.0~136.9 m高程增设了5根断面为2 m $\times$ 5.5 m、深35~36.9 m钢筋混凝土抗滑桩。

上述泄洪洞群工程集中了小浪底工程的重点、难点和关键项目。进水塔、导流洞、消力塘都是1997年截流的关键项目。完成这些项目必须完成土石方开挖1 400万 m^3 ,混凝土117万 m^3 ,其混凝土最大浇筑强度13万 m^3 /月。

由于业主坚持以工程建设为中心,加强管理,并与参建单位共同努力,从1996年11月至1997年5月,连续7个月实现混凝土浇筑超10万 m^3 。其中1997年4月创月浇筑混凝土13.08万 m^3 的最高纪录。

(三)发电工程

发电工程由6条7.8 m的直径、长324.27~423.79 m的引水发电钢管,一座长251.5