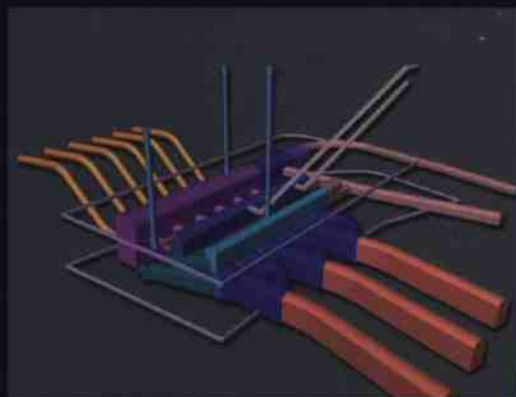


黄河小浪底水利枢纽规划设计丛书

林秀山 总主编



引水发电建筑物设计

杨法玉 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

引水发电建筑物设计

林秀山 总主编

杨法玉 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引水发电建筑物设计卷。本卷全面、系统地论述了小浪底水利枢纽工程引水发电系统各建筑物的设计特点,内容涉及电站枢纽建筑物布置、方案比较,地下厂房布置,地下洞室稳定分析及喷锚支护设计,引水发电洞设计,尾水洞以及防淤闸设计,地下厂房建筑及结构设计等,并对工程设计优化与创新以及设计中的经验与体会作了介绍。

本书内容丰富,实用性强,可供从事水利水电工程设计、施工、运行管理人员以及大专院校有关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

引水发电建筑物设计/杨法玉主编. — 郑州:黄河水利出版社,2006.11

(黄河小浪底水利枢纽规划设计丛书/林秀山总主编)

ISBN 7-80734-078-9

I. 引… II. 杨… III. 黄河-水利枢纽-引水式
水电站-建筑设计 IV. ①TV632.613②TV74

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 096033 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: hhsicbs@126.com

承印单位:河南省瑞光印务股份有限公司

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:26.5

插页:3

字数:620 千字

印数:1—2 000

版次:2006 年 11 月第 1 版

印次:2006 年 11 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7-80734-078-9/TV·475

定价:108.00 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kWh。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，无疑将丰富和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。

张 志 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唯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。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 87% 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犬骨干工程，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唯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

厂房是水电站枢纽的重要组成部分,随着我国水电站建设的快速发展,水电站厂房的设计和施工技术也获得了明显的进步和提高。水电站厂房根据不同的地形、地质条件、开发方式以及枢纽总体布置,其型式多种多样,按结构及布置特点可分为河床式、坝后式、岸边式、坝内式、厂顶溢流式及厂前挑流式、地下式等。

地下厂房由于其特殊的优点将会越来越广泛地被采用。其主要特点是布置灵活,适应高山峡谷地区及各种坝型,特别是高拱坝、高土石坝采用地下式厂房更具有优越性;同时因施工不受气候影响,与大坝同步施工干扰少,随着开挖技术和监测手段的提高,地下厂房型式将会愈来愈广泛地应用于大中型水电站中。装机容量 12 000MW 的溪洛渡水电站,单机容量 750MW,主洞室尺寸 $369\text{m} \times 33\text{m} \times 78\text{m}$,将成为世界上最大的地下厂房。此外,三峡右岸、龙滩、小湾、洪家渡、水布垭、向家坝、三板溪等一批大型水电站均推荐采用地下式厂房。近期建设和研究的一批抽水蓄能电站,如浙江桐柏、江苏铜官山、安徽响水涧、山东泰安、辽宁蒲石河、河北张河湾、山西西龙池、北京板桥峪、内蒙古呼和浩特、黑龙江荒沟、天津桃花寺等也都采用地下式厂房。

小浪底厂房型式的选定与枢纽总布置密切相关,多年来曾做过不少厂房方案,按型式分有地面厂房、半地下厂房、圆塔厂房和地下厂房。随着设计优化和总布置方案的确定,可供选择的只有西沟地面厂房和半地下厂房以及首部式地下厂房。西沟地面厂房位置是 1985 年中美联合设计选定的。为了减少开挖工程量和增加工程安全度,同时基于对于小浪底左岸地下洞室群和地下厂房稳定的担心,在 1988 年 8 月和 1990 年 3 月两次经水利部水利水电规划设计总院审查同意,初设时又选择了半地下厂房方案。随着设计工作的不断深入,以及我国地下工程设计和施工技术的迅速发展,对地下厂房方案的认识不断深化,同时 1990 年 11 月世界银行特别咨询专家组第一次会议认为地下厂房方案有许多优点,建议进一步研究地下厂房方案。设计在 1991 年对于半地下厂房和地下厂房方案从七个方面进行了比较,认为地下厂房方案技术经济条件明显优于半地下厂房方案,经规划总院批准,最终选定首部式地下厂房方案。现场开挖表明,如采用半地下厂房方案可能会遇到类似泄洪排沙系统出口高边坡稳定问题,给施工带来很多麻烦,证明该方案的选择是正确的。

小浪底水利枢纽受地形及地质条件的限制,引水发电系统、施工导流系统、泄洪及排沙系统均布置在左岸狭窄的山体中,形成极其复杂的地下洞室群体。在地质条件十分复杂的左岸单薄分水岭中布置多层洞室群这在工程界是罕见的,为此,进行了大量地质勘察、岩石力学试验和相应的科学研究工作,在这个基础上进行了精心的设计。在施工过程中进行周密的监测工作,除遇到较小规模的塌方外,顺利地完成了洞室群的开挖和衬砌工作。特别是小浪底地下厂房顶拱以上有 3 层连续的泥化夹层,对稳定不利,经分析研究确定采用 1 500kN 预应力锚索和张拉锚杆及挂网喷混凝土的联合支护方案,为我

因在Ⅲ类层状砂岩中采用喷锚支护加固大跨度洞室创造了成功的范例。

小浪底地下厂房采用应力解除法和水压致裂法进行了地应力现场测试,同时采用有限元回归分析法反演出的三维初始地应力场,经原型观测资料验证,成果是合理的。在论证小浪底地下洞室稳定分析中,进行了多裂隙介质力学模型试验和大跨度隧洞开挖试验研究。同时采取了多种数值分析方法对地下厂房进行稳定分析,如不连续介质模型平面有限元分析、三维非线性有限元分析、两组相交节理岩体模型平面有限元计算、离散元(块体单元法)平面数值模型分析,同时对于地下厂房洞室群施工顺序进行了优化研究。

鉴于小浪底电站厂房的重要性,在岩体力学指标试验建议值基础上,通过地下厂房开挖过程中及完工后4年主厂房上下游边墙实测收敛位移反分析,得到了数值计算采用的岩体力学指标,包括蠕变参数。主厂房测线位置收敛位移计算结果与实测结果比较吻合。实践证明,小浪底地下厂房设计是合理的、安全的。小浪底地下厂房设计成功也融会了国内外许多专家的智慧 and 心血。

黄河以多泥沙著称于世,小浪底水利枢纽控制黄河近100%的泥沙,在引水发电系统建筑物布置中考虑排沙洞进口与电站进水口布置在同一进水塔内,不仅布置紧凑而且排沙效果好。同时为了防止泄洪及排沙建筑物在宣泄洪水时泥水回流,造成不发发电机组尾水系统泥沙淤积,特在尾水出口设置防淤闸。

地下建筑物涉及的专业领域非常广泛,其设计不但要掌握地下结构设计的理论和方法,还需要了解工程地质、岩石力学、围岩监测和施工等技术。本书总结了小浪底引水发电建筑物十多年来的设计研究成果和施工中的经验和教训,着重阐述了地下厂房支护设计和试验研究成果,以及在小浪底工程施工中的实践。本书内容翔实、资料可靠,可供工程技术人员参考借鉴,希望柔性支护设计理论能够进一步得到发展和推广,发挥其潜在的社会经济效益。小浪底引水发电系统建筑物的设计,凝聚了许多人的心血和汗水,是集体智慧的结晶。钱祯祥、常振华、齐震明、王爱兰、陈卓等同志曾为小浪底引水发电工程设计辛勤工作,在此向他们表示感谢!

在本书编撰过程中,黄河勘测规划设计有限公司、小浪底建管局等单位的有关领导和专家给予了大力支持和帮助,谨致谢忱!

对书中可能存在的错误,恳请读者批评指正。

杨法玉 王积军

2005年12月

《引水发电建筑物设计》编写人员名单

主 编 杨法玉

副主编 王积军

章 名	编写人员
第一章 概述	杨法玉 王积军 李振连
第二章 电站枢纽布置	杨法玉 王积军 史仁杰
第三章 地下厂房布置及主要尺寸确定	王积军 杨法玉 李振连
第四章 地下洞室群围岩稳定分析及试验研究	杨法玉 王积军 柴志阳
第五章 数值分析方法在地下工程中的应用	杨法玉 王积军 史仁杰
第六章 地下厂房洞室群开挖与喷锚支护设计	杨法玉 王积军 柴志阳
第七章 地下厂房排水与防潮设计	王积军 杨法玉 熊 卫
第八章 地下洞室安全监测与围岩稳定性评价	杨法玉 王积军 李振连
第九章 反馈分析	杨法玉 王积军 熊 卫
第十章 电站引水发电系统设计	史仁杰 李振连 熊 卫 丁 易
第十一章 电站厂房混凝土结构设计	史仁杰 熊 卫
第十二章 电站建筑设计	王积军 魏 萍 史淑娟

目 录

总序一	张基尧
总序二	李国英
总前言	林秀山
前 言	杨法玉 王积军
第一章 概 述	(1)
第一节 工程概况	(1)
第二节 小浪底引水发电系统设计要求及特点	(2)
第三节 设计标准及基本资料	(5)
第四节 厂区工程地质条件	(6)
第二章 电站枢纽布置	(13)
第一节 电站枢纽建筑物布置沿革	(13)
第二节 电站枢纽布置	(20)
第三节 主厂房位置及纵轴线方向确定	(23)
第四节 变电站位置选择	(25)
第五节 水道系统布置	(28)
第六节 厂区附属洞室及附属建筑物布置	(31)
第三章 地下厂房布置及主要尺寸确定	(34)
第一节 水轮机发电机组主要参数和尺寸	(34)
第二节 厂房主要尺寸的确定	(34)
第三节 地下厂房上覆岩体和洞室之间岩柱厚度的确定	(38)
第四节 厂房内部布置	(41)
第四章 地下洞室群围岩稳定分析及试验研究	(46)
第一节 地应力量测	(46)
第二节 多裂隙介质力学模型试验研究	(69)
第三节 大跨度隧洞开挖试验研究	(85)
第五章 数值分析方法在地下工程中的应用	(102)
第一节 不连续介质模型平面有限元分析	(102)
第二节 三维非线性有限元分析	(117)
第三节 两组相交节理岩体模型平面有限元计算	(126)
第四节 离散元(块体单元法)平面数值模型分析	(132)
第五节 地下厂房洞室群施工顺序优化研究	(137)
第六章 地下厂房洞室群开挖与喷锚支护设计	(145)
第一节 厂区围岩分类及岩石力学指标	(145)

第二节	围岩稳定性分析	(148)
第三节	喷锚支护设计的基本原理	(151)
第四节	地下洞室支护设计方法	(156)
第五节	地下厂房喷锚支护设计	(160)
第六节	无柱吊车梁设计	(179)
第七节	地下厂房 1 500kN 预应力双层保护锚索的设计与应用	(190)
第八节	国际招标文件——技术规范编制	(201)
第九节	地下洞室群施工开挖特点	(218)
第七章	地下厂房排水与防潮设计	(225)
第一节	排水与防潮的重要性	(225)
第二节	设计原则	(225)
第三节	系统排水设计	(225)
第四节	防潮设计	(232)
第五节	施工期及运用期厂房渗水处理	(232)
第八章	地下洞室安全监测与围岩稳定性评价	(239)
第一节	洞室群监测设计	(239)
第二节	监测成果分析	(242)
第三节	围岩允许变形控制标准	(254)
第四节	地下洞室围岩稳定性评价	(256)
第九章	反馈分析	(259)
第一节	反馈分析方法简述	(259)
第二节	地下厂房岩体二维弹塑性计算分析	(262)
第三节	岩体流变与长期稳定性三维数值分析	(283)
第四节	结 论	(297)
第十章	电站引水发电系统设计	(299)
第一节	引水发电系统布置	(299)
第二节	电站水道系统水力设计	(300)
第三节	电站引水发电洞设计	(309)
第四节	尾水管及尾闸室下部结构设计	(324)
第五节	尾水洞结构设计	(329)
第六节	尾水明渠及防淤闸设计	(335)
第七节	尾水导墙设计	(349)
第十一章	电站厂房混凝土结构设计	(351)
第一节	设计原则及要求	(351)
第二节	厂房结构与混凝土分区	(353)
第三节	主厂房上部结构设计	(358)
第四节	安装间上部结构设计	(361)
第五节	机墩风罩结构设计	(368)

第六节	蜗壳外围混凝土结构设计·····	(379)
第七节	地下副厂房、主变室结构设计·····	(385)
第十二章	电站建筑设计·····	(390)
第一节	地下建筑物建筑设计·····	(390)
第二节	地面建筑物建筑设计·····	(396)
第三节	电站消防设计·····	(399)
参考文献	·····	(403)

第一章 概 述

第一节 工程概况

小浪底水利枢纽位于河南省洛阳市以北 40km 的黄河干流上,上距三门峡水库 130km,下距郑州京广铁路桥 115km。坝址位于黄河中游最后一个峡谷段的出口,控制流域面积占花园口以上流域面积的 91.5%,是黄河干流三门峡以下唯一能够取得较大库容的控制性工程,处在承上启下控制黄河水沙的关键部位,在治黄中具有重要的战略地位。

工程开发目标: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。

整个枢纽由三部分组成:一是拦河大坝,坝型为带内铺盖的壤土斜心墙堆石坝,最大坝高 160m,总库容 126.5 亿 m^3 ,坝体方量 5 073 万 m^3 ;二是泄洪排沙建筑物,包括 10 座进水塔、3 条孔板泄洪洞、3 条排沙洞、3 条明流泄洪洞、1 条灌溉洞、1 座正常溢洪道、1 个综合消能水垫塘;三是引水发电建筑物,包括与排沙洞共用的 3 座综合进水塔、6 条直径为 7.8m 的高压引水隧洞、地下厂房、尾水洞、尾水渠和防淤闸等。

电站厂房共装 6 台机组,总装机容量为 1 800MW,多年平均发电量为 45.99 亿 kWh/58.51 亿 kWh(前 10 年/10 年后)。

小浪底枢纽工程受地形地质条件限制和运行要求,16 条引水和泄水隧洞、溢洪道、地下厂房洞群均集中布置在左岸山体内,且呈空间立体交叉,地下洞室之多、程度之复杂为国内外所罕见。

根据小浪底坝址地形地质条件和水沙特征,枢纽总布置的核心是泄水排沙建筑物型式选择及其布置。引水发电系统布置和厂房型式的选择与枢纽总布置密切相关,设计过程中曾做过不同厂房型式、不同位置的比较工作,随着设计工作的深化和总体布置方案的确定,可供选择的方案只有西沟半地下厂房和首部式地下厂房。从枢纽布置、地质条件、工程量及投资、发电效益、施工条件、运行条件等方面,对地下厂房方案和半地下厂房方案进行了全面比较,结果表明地下厂房方案明显优于半地下厂房方案。

在设计过程中,进行了大量的科学研究工作,主要有:

(1)在多泥沙河流上,电站进水口和出水口的泥沙淤堵问题。

(2)在多泥沙河流上,电站汛期的安全发电问题。

(3)在地质条件复杂的层状砂页岩地层中,建造大跨度的地下厂房问题。为此,进行了大跨度隧洞开挖试验研究、多裂隙介质力学模型试验研究、有限元数值分析计算、反馈分析,以及地下厂房洞室群施工顺序优化研究等。

设计中的重点技术问题是地下厂房支护设计参数的确定、岩壁吊车梁、排水防潮、引水及尾水系统布置等。

引水发电建筑物布置见图 1-1-1。