

高山峡谷岩溶地区
水电工程实践技术丛书



中国水电顾问集团贵阳勘测设计研究院 主编

洪家渡水电站工程 设计创新技术与应用

杨泽艳 湛正刚 文亚豪 肖万春 慕洪友 等 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

高山峡谷岩溶地区
水电工程实践技术丛书



中国水电顾问集团贵阳勘测设计研究院 主编

洪家渡水电站工程 设计创新技术与应用

杨泽艳 湛正刚 文亚豪 肖万春 慕洪友 等 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书以位于高山峡谷岩溶地区的“西电东送”启动工程——洪家渡水电站设计创新与工程实践为背景,围绕工程布置、200m级高面板堆石坝、300m级高边坡、厂房新结构、特大型水工隧洞、少开孔压力钢管、岩溶勘察及处理等技术,系统地介绍了工程设计与建设中创新技术研究及其应用实例。内容完整、资料翔实、实例丰富,涉及的技术问题均是当前水利水电工程中的技术难题,技术具有创新性和实用性。

本书可供从事水利水电工程的技术人员阅读参考,也可作为相关领域大专院校师生的参考资料和工程案例读物。

图书在版编目(CIP)数据

洪家渡水电站工程设计创新技术与应用/杨泽艳等著;
中国水电顾问集团贵阳勘测设计研究院主编. —北京:中
国水利水电出版社, 2008

(高山峡谷岩溶地区水电工程实践技术丛书)

ISBN 978-7-5084-5731-4

I. 洪… II. ①杨…②中… III. 水力发电站 工程设计
IV. TV73

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第100420号

书 名	高山峡谷岩溶地区水电工程实践技术丛书 洪家渡水电站工程设计创新技术与应用
作 者	中国水电顾问集团贵阳勘测设计研究院 主编 杨泽艳 温止刚 文亚豪 肖万春 慕洪友 等 著
出版发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 63202266(总机)、68367658(营销中心) 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市地矿印刷厂
规 格	210mm×285mm 16开本 22.5印张 711千字 8插页
版 次	2008年7月第1版 2008年7月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	78.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换
版权所有·侵权必究

“高山峡谷岩溶地区水电工程实践技术丛书”

编辑委员会

主任委员 兰春杰

副主任委员 潘继录 范福平

委	员	蔡金良	封云亚	韦晓明	罗友余	许朝政	杨家修
		冉懋鸽	杨泽艳	湛正刚	郑 治	庞 峰	白学翠
		周 威	肖万春	杨益才	陈能平	陈寅其	王 勇
		姚元成	李明卫	陈 宏	何金荣	李月彬	王 波
		赵 刚	沈春勇	张晋秋	王 芳	周维娟	

《洪家渡水电站工程设计创新技术与应用》

参 加 人 员

杨泽艳	湛正刚	文亚豪	肖万春	慕洪友	罗光其	颜义忠
蔡大咏	张晋秋	吴基昌	李明卫	何金荣	蒋 剑	王 波
赵继勇	黄 琼	陈 娟	李运良	邹 林	席灿勇	李晓彬
覃丽纳	陈本龙	周维娟				

在我国开发建设的水电工程中，洪家渡水电站并不十分为人所瞩目。但作为国际上第三座高度200m级混凝土面板堆石坝工程，2006年之前国内少有的200m级高坝和最高的土石坝工程，且地处高山峡谷岩溶地区，洪家渡水电站工程具有特有的工程特点和技术难题。

中国水电顾问集团贵阳勘测设计研究院以中青年为主的技术干部面对这些技术难题，不畏艰难、勇攀高峰，与合作单位一起，开展了大量科学研究，大力进行设计优化，取得了节约直接工程投资4.69亿元，缩短工期2年3个月的巨大经济效益。工程蓄水近5年并经历了高水位运行的初步考验。实现了安全运行和在保护生态的基础上有序开发水电的目标。在工程建设中，经科研设计、施工实施和运行检验，形成了洪家渡特有的创新技术。其中“高山峡谷地区200m级高面板堆石坝筑坝”、“300m级高边坡处理”和“快速施工大型厂房新结构”等技术得到了国内同行的高度评价，部分成果获得了国家或省部级科技进步奖，向国家“西电东送”战略工程交上了一份满意的答卷。

20世纪90年代，是面板堆石坝建设从100m级向200m级高坝的过渡期，这一时期建设的200m级高坝只有墨西哥的阿瓜米尔巴坝和国内天生桥一级坝两座。这两座坝在成功建设和取得丰富筑坝经验的同时，也出现坝体变形较大、面板破裂或产生结构性裂缝、渗漏量偏大等问题，甚至有专家对建设更高混凝土面板堆石坝提出了质疑，洪家渡坝址更有“河谷狭窄，岸高坡陡，两岸极不对称”等不利条件，筑坝的技术难度位居世界前列。洪家渡设计者在分析100m级和200m级坝及自身工程特点的基础上，提出混凝土面板堆石坝需解决好抗滑稳定、渗透稳定和变形稳定等三大基础问题，200m级高混凝土面板堆石坝在坝体抗滑稳定和渗透稳定得到有效保障之后，重点在于解决好坝体变形控制问题。针对堆石坝整体变形、不均匀变形和大梯度变形等变形方式和主压缩变形、次压缩变形和蠕变变形（也可称流变变形）等变形过程，设计者从筑坝材料、坝体结构及填筑工艺等综合措施入手，提出了面板施工前堆石预沉降时间和速率量化控制指标、选用中硬岩原岩料、较高的堆石压实度水平、主次堆石同密度碾压、陡坡带设特别碾压料区及坝体填筑总体平衡上升等坝体变形集成控制技术，取得了坝体变形小、面板无结构性裂缝、渗漏量小的良好效果。洪家渡坝的成功建设，标志着200m级高面板堆石坝筑坝技术由探索走向成熟，客观上也促进了2000年后国际上200m级高混凝土面板堆石坝建设高峰期的形成。本书总结的200m级高混凝土面板堆石坝建设的关键技术问题，许多观点和认识在过去是很少涉及的。

洪家渡工程在高混凝土面板堆石坝接缝止水、堆石碾压及检测、趾板型式、坝体非对称性监测、大坝施工导流等筑坝技术,以及300m级高陡边坡、大型顺层边坡处理技术,适应快速施工厂房新结构技术等方面都有所创新和突破,在枢纽布置和施工总布置技术、岩溶地区特大水工隧洞结构设计和施工成洞技术、埋藏式高压压力钢管少开孔技术、岩溶地质勘察及处理技术方面也有所发展。书中论述的7项特色技术均通过扎实的计算分析和试验研究,并进行了精心设计,解决了工程技术难题,经受了实践的检验,证明是成功的。本书内容既有设计技术又有施工技术,具有较高的实用和参考价值。

贵阳院有大胆创新的传统,其承担设计的普定碾压混凝土拱坝筑坝技术就曾经获得过国家科技进步一等奖,东风薄拱坝防裂技术和天生桥二级高边坡处理技术也曾获得过国家科技进步二等奖,另外还获得过多项国家优秀勘测设计金、银奖。贵阳院也有重视技术总结的良好传统,原副总工程师邹成杰于1993年主编了《水利水电岩溶工程地质》,1996年又以他为主编著了《典型层状岩体高边坡稳定分析与工程治理》。在贵阳院建院50周年之际,以中青年设计人员为主,大力开展技术总结,立志出版“高山峡谷岩溶地区水电工程实践技术丛书”可喜可贺。今天,作为该丛书首发的《洪家渡水电站工程设计创新技术与应用》一书即将问世,虽然这本书由多人分章编撰,繁简不一,文笔尚欠整齐,但内容充实、资料翔实、论证充分,希望本书能带给读者切实的收获。

我国正进入水电建设的兴旺时代,年青工程技术人员也需要更多的磨练,希望进一步加大水电工程技术总结的力度,编著出更多更好的技术专著,为推动我国水电事业的发展 and 科技进步作出更大的贡献。

中国工程设计大师

王柏乐

2008年6月

• 序二 •

一部反映贵州乌江水电梯级开发首级大型水电站的技术专著——《洪家渡水电站工程设计创新技术与应用》就要出版面世了！这是继洪家渡水电站成功建设之后的又一重要成果。这本书的按时付印和出版，无疑是参与该工程建设的广大工程技术人员的心愿，是他们献给中国水利水电工程界和广大读者的珍贵礼物，也是献给中国水电顾问集团贵阳勘测设计研究院建院 50 周年的一份厚礼。我作为洪家渡水电站的建设者和这本书的策划者之一，感到由衷的高兴，特向完成这本书的作者表示感谢！向贵阳院表示祝贺！

贵阳院是中国水电工程顾问集团公司所属成员单位之一，50 年来，它全过程参与了贵州省丰富的水力资源开发和建设，由其设计的已建、在建大中型水电站 20 余座，总装机容量近 10000MW。尤其是进入 21 世纪，国家实施“西电东送”战略，贵州省水力资源得以快速开发。贵阳院先后承担了贵州省“西电东送”工程首批、第二批共 8 座大型水电站勘测、设计和科研任务，为大规模的水电建设提供了强有力的技术支持，从而成为贵州省“西电东送”的主力军。

贵阳院在长期的工程实践中，始终坚持科技创新和技术进步，走出了一条技术先进、建设水电的道路，因此，不同时期都有科技成果问世，形成了贵阳院独具特色的技术优势。贵阳院的目标是：建设一项工程，培养一批人才，产生一批成果。

为总结 50 年来贵阳院在贵州等地高山峡谷岩溶地区水电工程建设的经验，提高设计技术水平，开展技术交流，迎接建院 50 周年，贵阳院成立了“高山峡谷岩溶地区水电工程实践技术丛书”编辑委员会，要求以设计人员为主，对已建工程的特色技术进行系统总结，编撰成书。凭着对科学技术的追求和不懈的努力，经过近一年的时间，以中青年为主的洪家渡工程设计人员在本就繁忙的工作之余挤出时间，克服时间紧张、工作量巨大等诸多困难，使得这部技术专著率先编撰完成。这是洪家渡水电站科技成果的重要体现。

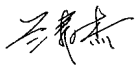
作为“西电东送”工程首批开工标志性工程之一，世界上第三座 200m 级高混凝土面板堆石坝工程，国内 2006 年之前建设最高的土石坝工程，洪家渡水电站地处高山峡谷岩溶地区，具有特有的工程特点和技术难题。设计人员与工程科研、建设、施工和监理人员紧密协作，以高度负责的精神，精心设计、确保质量、争创精品。高度重视工程中的关键技术问题，积极引进和吸收最新水电科研成果，依靠科技进步，提高设计水平，确保工程安全、优质、快速建设。取得了节约直接工程投资 4.69 亿元，工期缩短 2 年 3 个月，创累计经济效益 10 多亿元的巨大经济效益，实现了在保护生

态的基础上有序开发水电的目标。经科研设计、施工实施和运行检验,形成了洪家渡特有的创新技术。其中大坝所采用的成套筑坝技术先进、可靠,部分技术填补了我国筑坝技术的空白,电站厂房首次采用新型墙板式机墩及上部钢—混凝土组合排架柱结构,实现了我国水电站地面厂房结构革命性变革,经过工程院院士、设计大师和知名专家等组成的专家组鉴定认为:“洪家渡面板堆石坝筑坝技术在同类工程中总体处于国际先进水平,部分成果达到国际领先水平”,“厂房新型结构成果达到国际先进水平”。“峡谷地区200m级高面板堆石坝筑坝技术研究及其洪家渡坝工程应用”荣获2007年度国家科学技术进步二等奖,还有部分成果荣获省部级科技成果进步奖十余项;“贵州乌江洪家渡水电站工程勘察”荣获2006年度全国优秀工程勘察银奖,工程勘测和设计分别获贵州省优秀勘察、设计特等奖。电站已蓄水运行近5年,2007年库水位接近正常蓄水位,作为多年调节水库非常难得。监测表明,枢纽工程各项指标稳定、正常。电站初步经受了运行的考验。

本书对峡谷岩溶地区工程布置技术、200m级高混凝土面板堆石坝筑坝技术、300m级高陡边坡处理技术、快速施工大型厂房新结构技术、岩溶地区特大型水工隧洞成洞技术、埋藏式高压压力钢管少开孔技术及岩溶工程地质勘察及处理技术等7项特色技术进行了总结与提炼,填补了贵阳院的技术空白,丰富了已有技术优势的内涵。内容完整、资料翔实、成果丰富,涉及的技术问题均是当前水利水电工程中的技术难题,技术具有创新性和实用性。本书可供从事水利水电工程的技术人员阅读参考,也可以作为相关领域大专院校师生的参考资料。

组织工程设计人员来完成一部技术专著的编撰,的确是一项大的挑战,成果来之不易。由于时间、精力和经验的限制,书中难免错误和不当之处,但好在是作者的经验总结,实属原汁原味。因此,我希望广大水利水电工程技术人员和读者能够喜欢它。

由工程设计人员亲自编撰技术专著,这本书是一个尝试,也是一个良好的开端。希望贵阳院广大工程技术人员与全国水利水电科技工作者一起,共同努力,繁荣技术专著创作,加强交流,为促进我国水利水电工程技术的发展作出更大贡献。



2008年6月

洪家渡水电站工程作为“西电东送”启动工程之一，于2004年下同蓄水，2005年完工，至今已蓄水运行近5年。2007年最高库水位达到大坝正常挡水水头的97%，工程各项指标稳定、正常。2008年4月枢纽工程顺利通过竣工验收，标志着洪家渡水电站历经近半个世纪的勘测设计及只有5年半的工程建设圆满地画上了句号。

2000年洪家渡水电站工程开工时，正值我国水电建设由低谷走向高潮的转折期，之前国内200m级高坝为数寥寥。混凝土坝工程已建的只有高240m的二滩双曲拱坝、高178m的龙羊峡重力拱坝，在建的仅有高181m的三峡重力坝。堆石坝工程已建的仅有高178m的天生桥一级面板堆石坝。200m级高坝工程建设可供借鉴的工程经验有限。洪家渡水电站工程地处高山峡谷岩溶地区，坝体三维效应明显，地质条件复杂，设计当时国内最高混凝土面板堆石坝在技术上面临巨大的挑战，加之新的建设体制正处于肇始阶段，要求摆脱水电工程“工期长、投资大”的积习和沉疴，对洪家渡水电站工程技术、质量和进度提出了更高的要求。

针对“高边坡、窄高坝、强岩溶、多洞室”的工程特点及工程布置、200m级高面板堆石坝、300m级高边坡、厂房新结构、特大水工隧洞、岩溶工程地质勘察及处理等技术难题，洪家渡工程设计者与其他建设者一起大胆设想、小心求证、准确判断，勇于采用新技术，进行了大量分析计算和试验研究，进行了大幅度的设计优化。“十年磨一剑”，使得洪家渡工程技术难题得以一一化解，取得了节约直接工程投资4.69亿元，工期缩短2年3个月，较初步设计方案累计多创10多亿元的经济效益，并在技术上有所创新和发展。混凝土面板堆石坝采用的成套筑坝技术部分填补了我国筑坝技术的空白，电站厂房采用的新型墙板式机墩及上部钢筋混凝土新型排架柱结构为国内首次采用，300m级特高边坡处理技术有创新和突破，工程布置技术、岩溶地区特大水工隧洞设计和施工技术、埋藏式高压压力钢管少开孔技术、岩溶地质勘察和处理技术方面也有新发展。

中国水电顾问集团贵阳勘测设计研究院为总结50年来在贵州等高山峡谷岩溶地区水电工程建设取得的成绩、经验和教训，提高设计技术水平，迎接2008年8月建院50周年，成立了“高山峡谷岩溶地区水电工程实践技术丛书”编辑委员会，要求以贵阳院设计人员为主，对洪家渡水电站等工程技术进行系统总结，开展技术交流。洪家渡工程设计项目部对此也充满热情，在编委会的领导下，进行了本书的编撰工作并按期完成。

全书共8章。第1章介绍工程特点、创新技术及设计优化与科研工作。第2章介

绍在综合协调地形地质、防渗依托、消能防冲、发电布置、施工安全等诸多因素的条件下,形成的截弯取直的枢纽布置和因地制宜的施工总布置。第3章为本书的重点内容,在总结国内外两座已建高面板堆石坝的经验与教训的基础上,提出混凝土面板堆石坝抗滑稳定和渗透稳定得到有效保障之后,200m级高坝的重点在于解决好坝体变形控制问题,且变形控制应从坝填材料、坝体结构及填筑施工等综合措施入手。介绍了堆石预沉降时间和速率控制指标等坝体变形集成控制、防渗与自愈相结合的周边缝及具有吸收变形能力的受压垂直缝止水新结构和新材料、堆石冲碾压实和附加质量法堆石密度检测、等宽连续窄趾板、面板混凝土“三双”防裂、非对称性坝体安全监测、河道水流控制与坝料开采等筑坝创新技术的研究与应用。第4章介绍高310m近直立左坝肩陡边坡、高360m大规模进水口顺层边坡及1号和2号塌滑堆积体的力学参数指标及稳定性分析计算情况和加固处理新技术。第5章介绍为加快厂房施工进度,在借鉴国内外技术的基础上,围绕墙板式机墩、钢管混凝土排架柱和钢吊车梁等厂房新结构所进行的计算分析与工程应用。第6章介绍以减小洞身衬砌厚度为目的的围岩“固结圈”衬砌理论、配套固结灌浆和锚杆检测及岩壁排水等确保特大型隧洞结构成洞的技术、采用新型管棚法在V类充填型溶洞围岩中的施工成洞技术,同时介绍确保衬砌混凝土浇筑平整度的大断面裸形钢模台车、具有良好施工性能的抗冲耐磨混凝土材料及掺气槽设置等防空蚀措施的应用。第7章介绍为减少埋藏式高压钢管灌浆开孔数量,采用的回填收缩补偿混凝土、利用排水洞回填灌浆和设置管身排水及管壁脱空检测等技术措施。第8章介绍在常规勘察与经验分析的基础上,借助先进的物探CT和探测EH4等勘察技术,对岩溶水文地质的宏观了解与精确分析,及相应防渗堵排处理技术。每项技术均联合了国内科研院所和高等院校及参建单位主题开展专项研究,进行了多方法计算分析、室内室外试验研究或多方案比较选择,经历了“引进、吸收、消化、研发、组合、提高、应用、创新”阶段。本书由直接参与工程设计的洪家渡水电站设计项目部中青年工程技术人员为主编著。写作中,从工程技术人员角度,着重反映相关技术当前的国内外发展水平、解决问题中的思路、方法,主要研究内容和成果及应用和监测情况,力求在理论和方法上有所提高。

本书前言、第1章、第2.1节、第2.3节、第3.1节~3.5节、第4.1节~4.3节、第8.2节、第8.3节由杨泽艳执笔;第6章、第7章由湛正刚执笔;第2.2节、第3.6节由文亚豪执笔;第8.1节由肖万春、邹林执笔;第5章由慕洪友执笔,第3.7节由颜义忠执笔,第4.4节由蔡大咏执笔。全书由文亚豪、罗光其、张晋秋、李明卫、邹林等分别校稿。全书由杨泽艳统稿。

洪家渡技术成果的取得,凝聚了全国水电工作者,特别是全体参与过工程研究与建设的工程技术人员辛勤劳动和聪明才智。原电力工业部副部长、总工程师、国际大坝委员会副主席李鹗鼎院士对坝型选择给予了肯定与支持。原中国水利学会理事长朱尔明对新技术、新材料应用给予了鼓励与指导。工程前任设计总工程师张嘉民、陈德川为工程基本格局和前期工作奠定了良好基础。工程特别咨询组谭靖夷院士、曹克明设计大师、蒋国澄等知名专家给予悉心帮助与耐心指导。长期承担洪家渡科研工作

的陈祖煜院士对出书总结提出了积极倡议。中国水利水电科学研究院、南京水利科学研究院、中国科学院武汉岩土力学研究所、武汉大学、河海大学、大连理工大学和哈尔滨工业大学等单位在科研工作中给予了通力协作。乌江水电开发有限公司、中国水电顾问集团昆明勘测设计研究院、中国水利水电建设工程咨询中南公司、贵州宏建水电工程联营体、贵州洪家渡水电站 148 联营体等单位在建设过程中给予了通力合作。《贵州水力发电》编辑部为基础资料收集提供了支持。王柏乐设计大师亲自为本书作序。兰春杰亲自对本书进行了策划、审阅和作序。王照瑜编审也为本书的出版做了大量工作。本书虽然以设计人员为主编撰，但在撰写过程中，大量引用了参与单位的研究和应用成果，并参阅了大量的与洪家渡工程有关的科技文献和资料，虽已列出，难免遗漏。谨此一并表示衷心的感谢！同时，感谢贵州省委、省政府对“西电东送”工程建设者的关怀，感谢贵州省人才工作领导小组给予本书的经费资助！

由于时间仓促、水平有限，书中的语言还有些青涩，文字还有些粗糙，结构还完全没有摆脱技术报告的窠臼。恳请读者对本书的缺点和错误批评指正。

作者

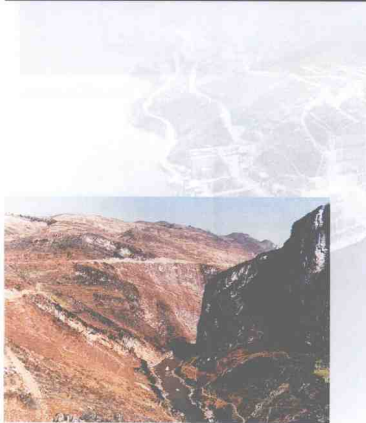
2008 年 6 月



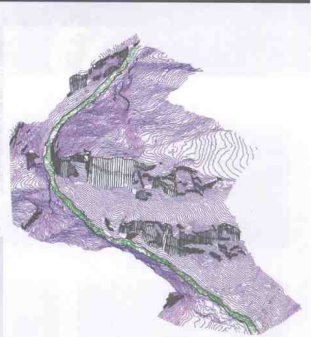
● 原始地貌



坝区地形（上游往下游视）



坝区地形（下游往上游视）



坝址数字地形（下游往上游视）

工程布置



枢纽工程空中俯视



工程区上游俯视



工程区下游鸟瞰



泄洪洞 2004 年 7 月 13 日泄洪调试



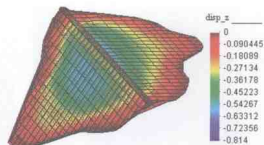
下游河道格宾笼保护全貌



200m 级高混凝土面板堆石坝



坝内陡边坡整形处理——
碾压干贫混凝土应用范围
示意图



坝体三维有限元分析——蓄水
期坝体沉降分布 (m)



碾压干贫混凝土工作面



左岸垫层料坡面裂缝



右岸垫层料坡面裂缝



处理后的左岸垫层料坡面裂缝



处理后的右岸垫层料坡面裂缝



周边缝止水结构的 stainless 保护罩



周边缝内一次成型铜止水“T”型接头



受压垂直缝面施工情况



受压垂直缝嵌缝材料



冲击碾压机坝面冲碾压实作业



附加质量法堆石干密度检测作业准备



附加质量法堆石干密度检测质块作业



附加质量法堆石干密度检测数据采集



等宽连续窄趾板二序块预留槽



施工中的左岸等宽连续窄趾板



坝面喷乳化沥青作业



面板双层配筋



坝内纵向位移计埋设施工



截水沟反滤塑料排水盲材施工



坝面喷乳化沥青



面板保温保湿养护

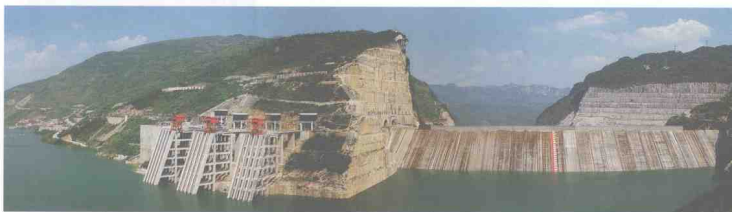


渗漏分区监测截水沟

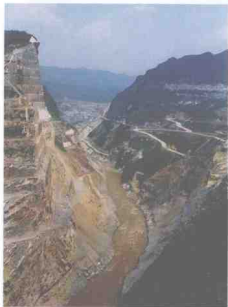


坝后量水总堰 (WE₃)

● 岩质特高边坡及堆积体边坡处理



上游全貌



开挖中的左坝肩高边坡



左坝肩高边坡喷锚支护



左坝肩高边坡预应力锁口锚索



左坝肩高边坡全貌