

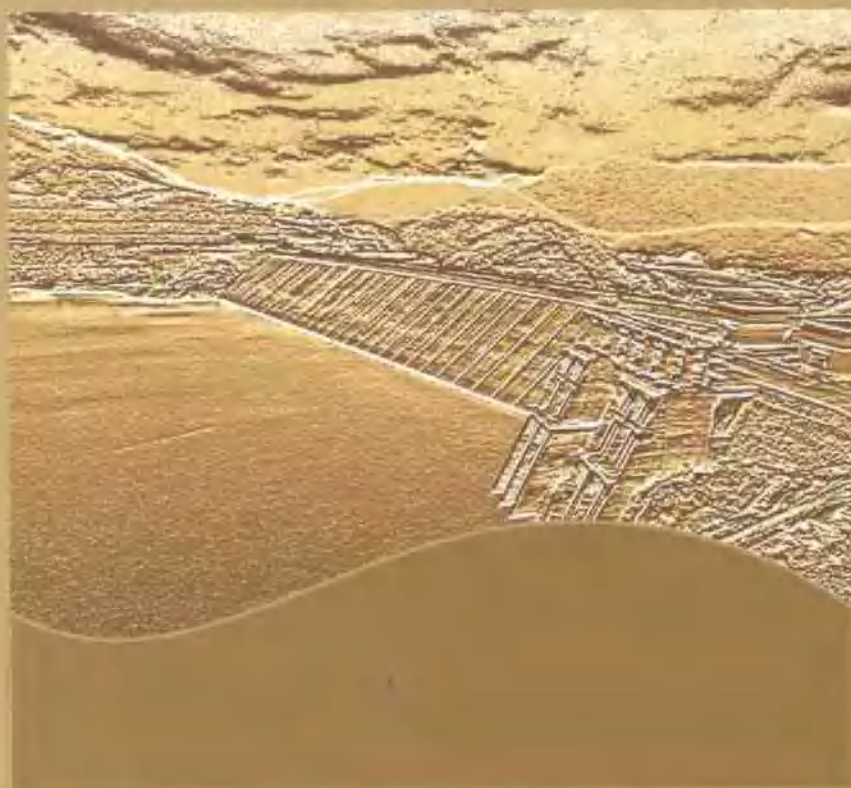
土石坝技术

Technology for Earth-Rockfill Dam

2007年论文集

水利水电土石坝工程信息网
中国水电顾问集团华东勘测设计研究院

组编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn



土石坝技术

Technology for Earth-Rockfill Dam
2007年论文集

水利水电土石坝工程信息网
中国水电顾问集团华东勘测设计研究院

组编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

图书在版编目 (CIP) 数据

土石坝技术: 2007 年论文集/水利水电土石坝工程信息网, 中国水电顾问集团华东勘测设计研究院组编. —北京: 中国电力出版社, 2007

ISBN 978-7-5083-6221-2

I. 土… II. ①水…②中… III. 土石坝-文集
IV. TV641-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 169200 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京市铁成印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2007 年 12 月第一版 2007 年 12 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 28.25 印张 641 千字

印数 0001—1000 册 定价 59.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签, 加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

本书编委会

顾问：潘家铮 曹克明 林 昭 周建平
彭 程 刘志明 关志诚 陈祖煜
蒋国澄 赵增凯 蒋效忠

委员（按姓氏拼音排序）：

陈振文	陈绍松	陈松滨	蔡昌光
蔡正银	程展林	樊路琦	费京伟
何定恩	吕明治	刘斯宏	毛文然
沈益源	汤 旻	翁新雄	王金锋
王君利	吴高见	杨西林	张春生
张宗亮	张顺高	张沁成	湛正刚

一、综 述

堆石坝工程设计实践与技术创新	张宗亮 赵亚明 刘 强 杨建敏 (1)
峡谷地区 200m 级高面板堆石坝筑坝技术研究及洪家渡坝应用	杨泽艳 湛正刚 (10)
趾板建在深厚覆盖层的混凝土面板坝主要技术问题	安盛勋 (22)
抽水蓄能电站的土石坝设计	王樱峻 李金荣 (27)

二、工 程 设 计

糯扎渡心墙堆石坝设计特点及技术创新	张宗亮 袁友仁 (32)
巴山水电站设计优化	陈振文 齐立景 高礼洪 李金荣 (40)
新疆开都河察汗乌苏水电站趾板建在深覆盖层上	
混凝土面板堆石坝设计	苗 喆 李学强 王君利 (47)
天生桥一级混凝土面板堆石坝设计特点与技术创新	张宗亮 冯业林 (62)
琅琊山抽水蓄能电站上水库钢筋混凝土面板堆石坝设计	
.....	吴吉才 赵 轶 莫慧峰 (70)
泰安抽水蓄能电站上水库面板堆石坝设计及优化	
.....	侯 靖 徐建军 何世海 李岳军 赵历涛 (81)
马里共和国中巴尼水利枢纽工程黏土心墙坝设计	张忠辉 金宏安 (88)
伊朗 TALEGHAN 黏土心墙土石坝设计	党振虎 付恩怀 (93)
汉坪嘴水电站砂砾石深覆盖层上的混凝土面板坝	钱应德 陈洪天 (101)
泰安工程上水库土工膜防渗设计及研究	侯 靖 何世海 李岳军 吴毅瑾 (107)
滩坑水电站混凝土面板堆石坝接缝止水设计特点	彭 育 (116)
下坂地水库坝基防渗墙设计	周春述 (122)
泰安抽水蓄能电站下水库(大河水库)溢洪道改建工程设计	李向阳 吴春鸣 (126)
琅琊山抽水蓄能电站上水库主坝趾板廊道结构设计	莫慧峰 吴吉才 赵 轶 (131)

三、施 工 技 术

滩坑水电站“先闭气、后截流”新型导截流施工技术	李中方 (137)
-------------------------------	-----------

滩坑水电站面板堆石坝筑坝新工艺	黄献新	(148)
汉坪嘴水电站混凝土面板堆石坝填筑施工	陈天骄 张一国	鲁成霞 (156)
滩坑水电站施工导流与度汛	黄献新	李中方 (161)
泰安抽水蓄能电站上水库土工膜防渗系统施工应用	周 渊 李秋生 李洪林 刘树军	(170)
泰安抽水蓄能电站上水库面板施工防裂措施	李秋生 李洪林	(182)
泗南江水电站混凝土面板堆石坝左岸强卸荷体塌滑处理	刘建生 刘立贵 惠世前	(187)
水牛家大坝碎石土心墙冬季施工研究	阙丕林	(192)
张峰水库土石坝施工及铺料箱应用	郭庆国 常民生 郝文怀 张如海 贾佑臣	(199)
浅谈混凝土面板堆石坝坝体反渗排水处理	李世中 徐 萍	(204)
泗南江水电站混凝土面板堆石坝坝料开采施工	惠世前 刘立贵	(208)
泗南江水电站混凝土面板堆石坝填筑施工	阙进彬 杨大志 杨 键 刘建生	(213)
陡岭子面板堆石坝止水的连接方法	潘福营	(227)
麦洛维大坝右岸面板堆石坝面板及防浪墙混凝土施工方案	王 华 韩林燕	(230)
狮子坪水电站大坝 101.8m 深防渗墙施工	张世荣 夏可凤	(239)
西藏阿里狮泉河水电站混凝土防渗墙施工	东义军	(244)
向家坝水电站塑性混凝土防渗墙施工	程 频 田学良 黄灿新	(249)
土坝坝基渗漏基础处理实例	刘瑞懿 涂 健	(264)
高压旋喷试验技术在沙湾电站尾水渠工程的应用	范光华	(269)
浅析土石坝的快速施工	张少卫	(276)
振动沉模防渗板墙施工新技术应用及费用分析	杜立红	(283)
宁夏渡槽防渗治理	谭建平	(287)
水牛家工程碎石土心墙施工质量控制与管理	刚永才 朱 平	(290)

四、监 测 运 行

珊溪混凝土面板堆石坝五年来运行实测性态评价	朱锦杰 陈振文 杜雪珍	(296)
琅琊山水电站上水库主坝安全监测设计及观测资料分析	张淑梅 张晨亮 耿贵彪	(306)
山东泰安抽水蓄能电站上水库安全监测设计	郑晓红 王玉洁 张 立	(316)
尼尔基水利枢纽施工期坝体沉降整编分析	彭立斌 徐岩彬 于柏强	(321)
柴石滩水库面板堆石坝防渗效果初步分析	何若冰 阮兆忠	(327)

三插溪面板堆石坝观测资料分析	王浩军 沈贵华 (332)
----------------------	---------------

五、试验研究

考虑剪胀的土体三维非线性 K-G 模型	刘斯宏 汪易森 (342)
糯扎渡水电站心墙料现场碾压试验及掺砾工艺研究	张永全 李仕胜 栗国忱 沈 蓉 胡春风 谢正明 (349)
琅琊山抽水蓄能电站上水库主坝下游堆石 3C 区充分利用	吴吉才 赵 轶 (362)
劣质薄层灰岩开挖料填筑的研究	宫海灵 高立东 (369)
琅琊山抽水蓄能电站上水库喀斯特渗漏化学示踪试验及	吴立新 夏荣立 (375)
注水连通试验的方法与特点分析	詹贤周 (389)
沥青混凝土的蠕变特性	刘斯宏 傅中志 杨建洲 (394)
摩洛哥塔纳弗尼特水坝边坡填筑材料稳定性研究	黄君宝 (402)
宜兴抽水蓄能电站上水库主坝堆石料变形参数反演分析	王民侠 (407)
ANSYS 软件在堤防三维渗流计算中的应用	鲁 电 (410)
土坝渗流分析及 UNSST2 程序运用的体会	温自明 (414)
堆石坝面板混凝土防裂设计与试验方法研究	吉 刚 (423)
老龙口水利枢纽工程坝体填筑料料场选择、试验与施工	崔阿李 刘康和 (427)
强夯法在湿陷性黄土地区水库坝基处理中的应用与研究	刘守田 肖树斌 (432)
物探技术在土石坝病害探查中的应用	侯石华 侯玉成 (439)
防渗墙施工过程中土石坝产生裂缝的探讨	
土石坝健康诊断可调重要性确定方法	



一、综 述

堆石坝工程设计实践与技术创新

张宗亮 赵亚明 刘 强 杨建敏

(中国水电顾问集团昆明勘测设计研究院)

〔摘 要〕 本文总结了以毛家村红黏土、鲁布革风化残积土、糯扎渡人工掺砾料为代表的心墙堆石坝技术创新历程,回顾昆明勘测设计研究院混凝土面板堆石坝设计代表性工程的技术创新要点,提出 300m 级混凝土面板堆石坝的研究方向。

〔关键词〕 堆石坝工程 设计实践 技术创新

1 概述

土石坝工程是昆明勘测设计研究院的优势学科领域,已建的毛家村水库心墙坝、鲁布革水电站心墙堆石坝、天生桥一级水电站混凝土面板堆石坝,在建的糯扎渡水电站的心墙堆石坝,分别代表了我国 20 世纪 70 年代、80 年代、90 年代和 21 世纪初期的土石坝勘察设计科研的领先水平。

“十五”期间,昆明勘测设计研究院承担了 30 多座堆石坝工程的设计研究工作,主要堆石坝工程见表 1,其中坝高 100m 以上的有 14 座。

表 1 十五期间昆明院承担的主要土石坝工程项目简表

序号	项 目	坝 型	坝高 (m)	坝顶长度 (m)	坝体积 (10^4m^3)	设计阶段	备 注
1	天生桥一级水电站	混凝土面板堆石坝	178	1104	1500	施工详图设计	于 2002 年底竣工
2	糯扎渡水电站	心墙堆石坝	261.5	527	3234	招标设计 施工详图设计	2003 年 12 月可行性 研究报告通过审查
3	古水水电站	心墙堆石坝	205	568	4203	预可行性研究	
		混凝土面板堆石坝	210	529	3124		
4	那兰水电站	混凝土面板堆石坝	109	333	231	施工详图设计	2005 年 12 月 底建成发电
5	摩羊山水电站	混凝土面板堆石坝	88	236	129	施工详图设计	
6	云鹏水电站	心墙石渣坝	96	457	323	施工详图设计	
7	洒南江水电站	混凝土面板堆石坝	115	344	260	施工详图设计	
8	威远江水电站	心墙堆石坝	93	244	164	施工详图设计	
9	马鹿塘二期水电站	混凝土面板堆石坝	154	493.4	615	施工详图设计	
10	龙马水电站	混凝土面板堆石坝	135	315	367	施工详图设计	

续表

序号	项 目	坝 型	坝高 (m)	坝顶长度 (m)	坝体积 (10^4 m^3)	设计阶段	备 注
11	林口水库工程	混凝土面板堆石坝	79	168	71.5	施工详图设计	
12	梨园水电站	混凝土面板堆石坝	145.8	522.4	912.4	可行性研究	
13	萨水水电站	混凝土面板堆石坝	176	810	1968	可行性研究	
14	思爱桥水电站	心墙土石坝	140	368	540	预可行性研究	
15	普西桥水电站	混凝土面板堆石坝	132	350	380	预可行性研究	
16	阿墨江三江口水电站	心墙堆石坝	77	352	176	可行性研究	
17	三岔河水电站	混凝土面板堆石坝	74	220	96	可行性研究	
18	红河三江口水电站	混凝土面板堆石坝	110	358	531	可行性研究	
19	萨庞水电站	混凝土面板堆石坝	150	845	1175	可行性研究	
20	苏家河口水电站	混凝土面板堆石坝	145	444	640	施工详图设计	

2 心墙堆石坝设计实践

2.1 毛家村黏土心墙土坝

毛家村黏土心墙土坝工程 1958 年开工, 首台机组 1971 年 10 月投产发电, 1971 年 12 月工程竣工。

黏土心墙土坝心墙为红黏土, 心墙与上下游坝体之间设厚 1.5m 的过渡带, 上游坝体为坡积料, 下游坝体由坡积料和冲积料组成, 下游坝趾设有堆石排水体。

最大坝高 82.5m, 坝顶高程 2230.5m, 坝顶宽 8m, 长 467m, 最大坝底宽 487.7m, 坝体上游边坡 1:2.75, 1:3.25 和 1:4.5。下游坝坡 1:2.25, 1:2.5, 1:3.0 和 1:3.25。心墙顶高程 2229.7m, 顶宽 4.0m, 上游边坡 1:0.2, 下游边坡 1:0.15, 心墙底部与混凝土防渗墙及帷幕灌浆连接, 两岸和混凝土齿槽及基岩灌浆帷幕相接。

通过毛家村土坝的工程实践, 掌握了红黏土作土石坝防渗体的勘察、试验、设计技术, 首次从理论到实践摸索了一套较为完整的经验。

1978 年毛家村土坝工程获全国科学大会奖。

2.2 鲁布革心墙堆石坝

鲁布革水电站心墙土石坝最大坝高 103.8m, 坝顶高程 1138m, 坝顶宽度 10m, 上、下游坝坡均为 1:1.8, 上游坝体与施工度汛围堰结合; 心墙顶高程 1137m, 上、下游坡均为 1:0.175, 心墙上游设置一层, 水平宽度 4m, 下游设置两层反滤, 水平宽度均为 5m; 紧靠上、下游反滤层设 1 条宽 6m 的细堆石体。鲁布革水电站是我国第一座采用风化石料做防渗体的 100m 以上高坝。

鲁布革水电站工程于 1985 年 11 月截流, 1991 年 6 月工程竣工。

主要设计特点和技术创新:

(1) 鲁布革水电站拦河坝采用砂页岩风化石作防渗体,在心墙与基础接触面铺一层厚 0.5~1m 的高塑性红土做接触黏土,同时加强下游反滤,下游设置了各为 5m 宽的两层反滤以及一层 6m 宽的细石料。

(2) 优化坝基防渗处理设计。根据现场灌浆试验和室内平面、三维电模拟防渗试验结果,在施工时将两排帷幕全改为单排帷幕,设计最小孔距 2m。大幅度的消减帷幕灌浆的延伸长度和提出了勘探性灌浆的概念。

(3) 简化反滤层设计,用河滩料代替部分加工反滤料。经深入研究认识到上、下游反滤层工作条件不同,在技术实施设计中将上游反滤层由两层优化为一层,取消细反滤料,减少填筑细料 3.44 万 m^3 ,降低造价 88 万元。河滩料的级配位于设计的粗细反滤层级配曲线之间,级配相对稳定。设计提出将河滩料筛去 20mm 以上粗粒做下游 I 层反滤料,筛去 80mm 以上粗粒作下游 II 层反滤料,生产工艺简单,造价低。

(4) 系统的大坝原型观测设计并得以实施,取得了完整的观测资料。

2.3 糯扎渡心墙堆石坝

糯扎渡水电站心墙堆石坝最大坝高 261.5m,基本剖面为中央直立心墙形式,即中央为砾质土直心墙,心墙两侧为反滤层,反滤层以外为堆石体坝壳。坝顶高程 821.50m,宽度为 18m,心墙基础最低建基面高程为 560.0m,最大坝高为 261.5m,比国内已建成最高的小浪底水电站大坝(154m)高约 100m。上游坝坡坡度为 1:1.9,下游坝坡坡度为 1:1.8,心墙顶部高程为 820.5m,心墙顶宽为 10m,上、下游坡度均为 1:0.2。心墙 720m 高程以上采用混合土料,以下采用掺加 35% 人工碎石后的砾质土料。

昆明勘测设计研究院于 2002 年 3 月启动并组织了国家电力公司科技项目“糯扎渡水电站高心墙堆石坝关键技术研究”工作,于 2006 年 5 月完成研究工作,提交了课题报告和 5 个专题报告及 27 个子题报告。2006 年 8 月 8 日在昆明通过了国家电网公司委托中国水力发电工程学会组织的验收。

开展研究的 5 个专题主要内容为:

- (1) 心墙堆石坝坝料试验及坝料特性研究。
- (2) 土石坝计算分析理论及抗裂措施研究。
- (3) 心墙堆石坝坝料分区及结构优化研究。
- (4) 心墙堆石坝动力反应分析计算理论及抗震措施研究。
- (5) 心墙堆石坝渗流分析及渗控措施研究。

2.4 古水电站心墙堆石坝方案

心墙堆石坝方案挡水坝坝型初拟选用冰积砾质土心墙堆石坝,最大坝高 305m,坝顶高程 2355m,长度 568m,宽度 20m;上游坝坡 1:2.1,下游坝坡 1:2.0。心墙顶部高程 2354m,顶宽 10m,上下游坡度均为 1:0.2。

对冰积砾质土的工程特性进行初步试验研究,坝体进行了初步分区和计算分析,成果表明选用冰积砾质土心墙堆石坝技术基本可行。

图 1 为毛家村、鲁布革、糯扎渡和古水四个电站心墙堆石坝的简图。

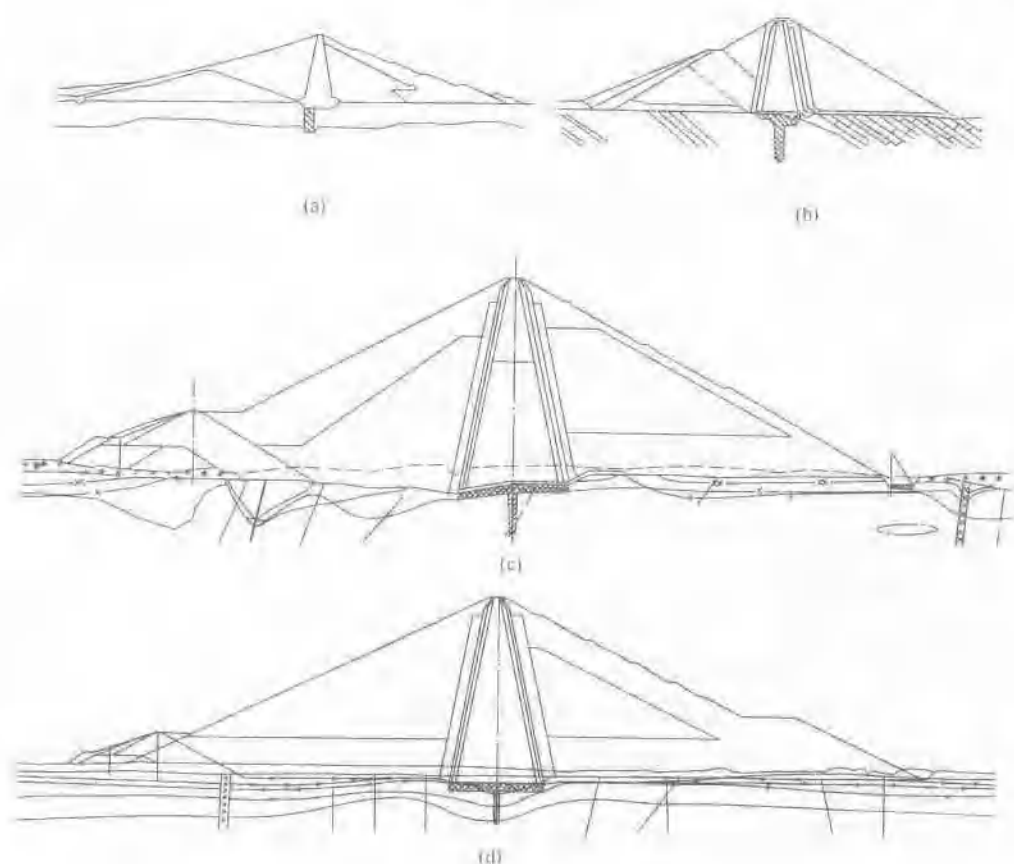


图1 昆明勘测设计研究院代表性心墙堆石坝简图

(a) 毛家村; (b) 鲁布革; (c) 糯扎渡; (d) 古水

3 混凝土面板堆石坝设计实践

我国从1985年开始用现代技术修建混凝土面板堆石坝,已有20年实践。通过引进、消化、吸收、再创新,这种新坝型已在我国水利水电工程中得到广泛应用,筑坝技术在不断创新中得到了较快发展。实践证明,面板堆石坝具有良好的安全性、经济性和适应性,应用前景十分广阔。

昆明勘测设计研究院面板堆石坝设计起步早,起点高,已建和在建的面板坝有天生桥一级、茄子山、那兰、崖羊山、泗南江、龙马、马鹿塘二期、林口等项目。目前正在以古水电站为依托,组织开展着300m级面板堆石坝的关键技术研究。

3.1 天生桥一级面板堆石坝

天生桥一级水电站位于广西壮族自治区隆林县和贵州省兴义市交界的南盘江上,是红水河梯级开发的第一级梯级。面板堆石坝最大坝高178m,坝顶长1104m,面板面积 $17.27 \times 10^4 \text{ m}^2$,填筑量约 $1800 \times 10^4 \text{ m}^3$;水库总库容达102.6亿 m^3 。因技术难度高,工程规模巨大而举世瞩目。

1982年6月昆明勘测设计研究院开始承担天生桥一级水电站的勘测设计工作,1986年1月提出了《南盘江天生桥一级水电站坝型选择报告》,选择采用了混凝土面板堆石坝。同年5月,水电部水利水电建设总局批复了该报告,同意坝型选择意见。此时,我国引进和推广面板坝仅有1年多时间。在现代混凝土面板堆石坝坝型在世界上出现不久、处在发展时期,在国内尚处在引进学步的20世纪80年代初期,我国还没有建成一座面板堆石坝的情况下,在如此重要的工程项目和如此巨大的工程规模上,能够选择并成功的设计这种坝型,无论是对设计者,还是对咨询、评估、审查单位的专家领导都体现出敢为天下先的胆略和精神,为该种坝型在我国推广应用起到积极作用,为许多高面板堆石坝提供了技术佐证。

此后,结合国家“七五”、“八五”科技攻关,在引进和消化超百米级堆石坝筑坝成套技术的基础上,不断探索研究,一步步把工程付诸实践。大坝于1996年2月开始填筑,1996年坝面过水,1999年坝体填筑到顶,2000年大坝竣工。

主要设计特点和技术创新:

(1) 根据坝址实际地形地质条件,将坝轴线缩短了64m和抬高了趾板高程;经优化设计,将坝顶宽度由14m改为12m。相应地减少了工程量。

(2) 调整大坝灌浆帷幕线,增强了枢纽防渗能力。

(3) 充分利用工程开挖料作坝料,约90%的坝料采用了工程开挖料;大量使用软岩料筑坝,软岩料占坝体填筑总量的25%。充分体现了就地取材的设计原则,达到了经济合理的目的。

(4) 在灌浆帷幕后,将垫层料和过渡料向下游延伸 $0.3H$ 的长度,在坝基面上形成 $0.3H$ 的条带,提高了地基渗透稳定性和工程安全度。

(5) 接缝止水优化,周边缝顶部止水由常用的柔性材料(如Mastic, Igas, GB等)改为无黏性材料(粉细砂、粉煤灰);这在国内首次采用。使其具有更好的自愈能力,提高了接缝止水结构的可靠性。

(6) 原型观测项目齐全,布置独特。研制和采用了世界上管线最长(350m)的垂直水平位移计;在国内首次引进了电平器量测面板变形;并针对施工过程中出现的垫层料裂缝及面板脱空等问题,创造性的增设了相应的监测仪器。为工程安全运行提供了良好的条件。

3.2 茄子山面板堆石坝

茄子山水电站位于云南省龙陵县龙新乡境内,是怒江右岸一级支流苏帕河梯级电站的第一个梯级水电站。混凝土面板堆石坝最大坝高为106.2m,大坝坝顶长236m,宽10m,大坝设计地震烈度为Ⅷ度。库容1.25亿 m^3 ,茄子山面板堆石坝处于典型的狭窄河谷,其河床宽高比为2:2。大坝于1997年2月开始填筑,1999年9月竣工。

茄子山面板坝设计的主要设计经验和创新有:

(1) 茄子山面板堆石坝枢纽是在与拱坝枢纽方案比选后选定的,这给我们提供了一种借鉴,即在极其狭窄的河谷采用面板堆石坝枢纽是可行的甚至还可能是比较优的,哥伦比亚的格里拉斯面板堆石坝河谷宽高比仅为0.87,说明了同样的道理。

(2) 茄子山面板堆石坝设计地震烈度为Ⅷ度,其设计方法和设计成果可供其他高地震

区面板坝设计借鉴。

(3) 垫层料采用花岗岩风化沙与人工碎石掺合而成, 为垫层料生产提供了新途径。

3.3 那兰面板堆石坝

那兰水电站位于云南省红河州金平县境内藤条江下游河段上, 水库总库容 2.86 亿 m^3 。面板堆石坝最大坝高 109m, 是国内首座在河床覆盖层上建设的 100m 级面板堆石坝。那兰面板堆石坝于 2004 年 1 月开始填筑, 2006 年 6 月竣工。主要设计特点和技术创新有:

(1) 枢纽区受地形、地质条件制约, 可供枢纽布置的范围十分有限, 坝轴线位置基本无调整余地; 建筑物布置相对紧凑, 且不能避开断层和挤压带。采取了相应的结构工程措施。

(2) 河床覆盖层较厚, 从节省工程投资、缩短工期和提前发电等多方面考虑, 针对趾板设置型式进行了多方案的技术经济比较, 采用趾板置于河床覆盖层上面板堆石坝方案, 是我国已建趾板置于河床覆盖层上最高的混凝土面板堆石坝。

(3) 充分利用品质不太理想的天然砂砾料筑坝节省工程投资。

3.4 崖羊山面板堆石坝

崖羊山水电站位于云南省思茅地区墨江哈尼族自治县与普洱哈尼族彝族自治县的界河把边江河段上, 为李仙江干流规划七级开发方案的龙头水库, 水库总库容 $2.47 \times 10^8 \text{m}^3$, 面板堆石坝最大坝高 88m, 坝顶长度 236m, 总填筑量 138 万 m^3 。

根据现场物料较差的实际情况, 设计对坝料分区及物料要求作了调整: 主次堆石分界线由原与坝轴线重合调整为倾向上游的 1:1 坡面线, 缩小了主堆石料的范围, 主堆石料由 51.4 万 m^3 缩减为 30.7 万 m^3 , 相应地扩大了软岩料的填筑范围; 针对物料含泥量及细颗粒较多, 压实后有可能导致排水不畅, 在坝体中间 773.60~780.00m 高程间铺填一道宽 30m 的强排水带, 上游与主堆石区相接, 下游延伸至坡外; 强排水带由剔除 5mm 以下的主堆石料构成。这样就可降低对软岩料的级配要求, 只要求其为难风化及以下砂岩料, 允许局部夹有弱风化及以下泥岩, 但含量不得大于 15%, 同时通过提高其压实密度来达到限制坝体变形的要求。

崖羊山面板坝于 2004 年 5 月开始坝体填筑, 目前坝体填筑已经完成, 坝高 88m, 最大沉降变形只有 37cm, 是坝高的 0.4%。其软岩料的利用经验, 可以为其他工程提供借鉴参考。

3.5 泗南江面板堆石坝

泗南江水电站位于云南省思茅地区墨江县境内, 水库总库容 $2.64 \times 10^8 \text{m}^3$, 混凝土面板堆石坝最大坝高 115.0m, 坝顶长度 344.463m, 坝体填筑量为 260 万 m^3 。

泗南江面板坝左岸坝轴线下游是 1 号堆积体, 为崩积混坡积物, 分布范围大, 厚度多在 20~30m 间, 勘探揭露最大垂直埋深 33.3m、最大水平埋深 42m, 自然状态下处于稳定状态, 开挖边坡稳定性差。

1 号堆积体是否可作坝基颇受争议, 现场原位试验表明, 其承载力差别较大, 分别为 0.953MPa、0.18MPa、0.11MPa、0.89MPa, 变形模量差别也较大, 分别为

56.764MPa, 6.85MPa, 5.17MPa, 47.26MPa。通过应力应变和坝坡稳定分析, 并对主要计算参数在 $\pm 20\%$ 范围变化对坝体的影响作了敏感性分析。分析表明采取如下措施后 1 号崩塌堆积体可作坝基。

(1) 挖除堆积体表层 3~5m 架空及相对不密实层, 减少坝基沉降; 在建基面上设置反滤保护层, 确保崩塌体的渗透稳定。

(2) 在堆积体内增设排水设施, 保证水库蓄水后堆积体内浸润线不抬高, 不恶化坝坡稳定条件。

(3) 将 875.00m 高程以下原 1:1.4 的坝坡放缓至 1:1.7, 可确保坝坡稳定。

泗南江坝基内堆积体的处理方案, 可供类似工程借鉴。

3.6 古水面板堆石坝方案研究

古水面板堆石坝方案最大坝高 310m, 坝顶长度 539m, 坝体填筑量 3124 万 m^3 , 总填筑量比心墙坝方案减少约 1100 万 m^3 , 节省投资 6 亿元; 从工期来看, 主体工程施工工期至少可缩短一年, 发电工期提前一年, 按一半机组提前一年投产发电, 多获得电量 50 亿 kWh (多年平均发电量的一半), 按上网电价 0.2 元/kWh 计, 可获效益 10 亿元。在其他方面, 由于面板堆石坝坝坡可相对较陡, 故坝基宽度比心墙堆石坝缩短约 300m, 使枢纽布置更具灵活性, 减少施工干扰, 进一步节约工程造价及加快施工进度。

即将完建的湖北清江水布垭坝, 坝高 233m, 为目前世界第一高度, 古水面板坝高出了 77m, 攻克 300m 级面板坝的筑坝关键技术, 成为了采用面板坝方案现实问题。

此外, 我国目前正在进行预可行性研究、可行性研究的黄河上游班多、怒江马吉及松塔等水电站的龙头水库均拟采用 300m 级的混凝土面板堆石坝。上述巨型水电站特点是: ①工程位于经济落后地区; ②区域边远、交通运输条件差; ③属于高寒山区和高纬度严寒地区; ④坝址区工程地质条件复杂。根据工程自然条件, 综合经济技术比较更适合于修建混凝土面板堆石坝, 应用前景十分广阔。

目前昆明勘测设计研究院以古水水电工程为依托, 积极组织开展 300m 级面板堆石坝筑坝关键技术的研究工作, 主要的研究方向:

(1) 对国外已建的 200m 级混凝土面板堆石坝进行系统调研分析。

(2) 对国内已建的 200m 级混凝土面板堆石坝经验及教训进行系统总结, 对运行的监测成果进行系统地反演分析。

(3) 筑坝材料工程特性与坝体分区深化研究。

(4) 高性能混凝土材料与面板混凝土结构设计理论和方法研究。

(5) 混凝土面板分缝新准则与高性能止水材料研究。

(6) 对于已建的混凝土面板裂缝发生的原因进行机理分析, 研究防止混凝土面板产生裂缝的措施。

(7) 筑坝工序与坝体变形控制措施研究。

(8) 快速优质筑坝施工技术研究。

(9) 高面板堆石坝的地震反应及抗震措施研究。

(10) 安全监测设备研究。

目前已取得了一些初步的研究成果。

4 设计研究工作展望

通过毛家村土坝的工程实践,掌握了红黏土作土石坝防渗体的勘察、试验、设计技术,首次从理论到实践摸索了一套较为完整的经验。深厚覆盖层上混凝土防渗墙技术应用,为后续的工程奠定了基础。

鲁布革水电站采用风化残积土作为防渗土料,这对我国南方多雨潮湿,深沟峡谷而缺乏土料的地区有普遍意义,是我国筑坝材料方面的重大突破,拓宽了防渗土料范围。它不但有显著的经济效益,而且使用得当还有如下优良性能:因减少与坝壳的刚度差而避免拱作用和水力劈裂的可能性;因缝壁抗冲刷性较好,从而可提高防渗体裂缝的耐冲刷能力;因提高填土承载力使重型机具能正常操作。

天生桥一级水电站混凝土面板堆石坝是坝工建设里程碑,所采用的一些新技术具有推广应用的价值。通过对天生桥坝运行的反馈分析,研究得出许多超高坝的结构性裂缝是堆石徐变造成的,因此提出超高坝需设置堆石预沉降时间,在堆石体沉降趋于稳定后再浇筑面板,对坝体的原则提出新的设计理念。得到了国际著名专家库克的充分肯定,并在洪家渡、三板溪等工程得到应用,取得很好效果。

糯扎渡采用人工掺和砾质土料,是我国筑坝材料方面的又一次重大突破,进一步拓宽了防渗土料范围。人工掺和砾质土料提高了抗剪和变形能力,减少与坝壳的刚度差使坝体变形协调,减免拱作用和水力劈裂的可能性;人工掺和施工工艺经论证可行,重型机具能正常施工。

昆明勘测设计研究院将以糯扎渡、古水等水电站的勘察设计科研工作为依托,进一步加强对堆石坝工程技术的研究工作,主要的研究思路是:开展高心墙堆石坝、高面板坝的关键技术研究,包括防渗材料与筑坝材料工程特性,动静力应力应变分析研究及计算机软件包研制;抗震结构分析与措施研究;渗流控制工程及基础处理措施研究;新型土石坝工程研究;坝体健康诊断与工程修补加固技术研究。并且以经济、合理、高效为目标,进行高心墙堆石坝、高面板坝的关键施工技术研究,包括施工机械设备配置研究,施工道路布置研究,筑坝材料调配研究,施工工艺研究,施工总进度研究,施工安全措施及环保措施研究。施工动态模拟计算及可视化技术软件包研制,对已经完成的工程项目进行深入整合集成研究,在理论上形成体系,促进勘测设计技术水平的提高,进一步指导工程实践。

重点研究项目有:

- (1) 300m级混凝土面板堆石坝筑坝技术研究。
- (2) 心墙堆石坝设计、建设与运行数据管理及安全评价系统研究,结合糯扎渡心墙堆石坝进行。
- (3) 超高心墙堆石坝设计控制标准与设计方法体系研究,结合糯扎渡心墙堆石坝进行。
- (4) 100m级的石渣坝筑坝技术深化研究。
- (5) 100m级趾板建在覆盖层上混凝土面板堆石坝筑坝技术深化研究,结合那兰水电

站进行深化研究,重点进行反演分析,总结、提高、推广。

(6) 碾压混凝土与碾压堆石混合坝等新坝型研究。

(7) 土石坝施工机械配置优化组合研究,研发施工机械配置设计软件支撑施工模拟系统软件。

(8) 土石坝上坝材料运输方式研究。

(9) 土石坝枢纽布置三维可视化设计研究。

参考文献

- [1] 潘家铮,何璟主编. 中国大坝 50 年. 北京:中国水利水电出版社,2000 年 8 月.
- [2] 黄家森,陈玲. 毛家村土坝防渗心墙加高完善. 大坝与安全,1995 (3).
- [3] 魏寿松. 鲁布革心墙堆石坝的设计特色及其回顾和评价. 云南水力发电,1994 (4).

峡谷地区 200m 级高面板堆石坝 筑坝技术研究及洪家渡坝应用

杨泽艳¹ 湛正刚²

(1 中国水电工程顾问集团公司 2 中国水电顾问集团贵阳勘测设计研究院)

[摘 要] 国内外已建两座 200m 级高面板堆石坝出现了坝体变形大、面板裂缝多、渗漏量偏大等非常现象。洪家渡坝河谷狭窄且不对称,属峡谷地区 200m 级高面板堆石坝,地形上更为不利。经研究,在坝上集成创新了坝体变形控制新技术,研发了止水新结构和新材料,引进吸收了堆石碾压和检测新工艺,在 310m 高陡坝肩应用了窄趾板新结构,发展了监测新技术等一系列筑坝技术研究及应用成果,取得大量创新技术研究成果。大坝经 3 年蓄水运行的考验,坝体最大沉降 132.2mm,占坝高的 0.74%,渗漏量约 20L/s,各项监测数据稳定、正常,均处于世界已建、在建同类坝的前列。

[关键词] 200m 级高面板堆石坝 筑坝技术研究 洪家渡坝应用

1 研究背景

洪家渡水电站^[1]位于贵州省黔西县,是乌江干流梯级开发中的“龙头”水库电站。工程任务为以发电为主,兼有径流调节、供水、养殖、旅游及改善生态环境和航运条件等综合效益。跨入 21 世纪,随着国家“西部大开发”战略的确立和“西电东送”工程的启动,洪家渡工程列为首批开工的重点项目。工程枢纽由峡谷地区高混凝土面板堆石坝、洞式溢洪道、泄洪洞、发电引水系统和坝后地面厂房等建筑物组成。洪家渡河谷呈不对称“V”形,最大坝高 179.5m,坝顶长 427.79m,宽高比 2.38,属狭窄河谷高面板堆石坝^[2]。

面板堆石坝在实践中体现出来的安全性、经济性和良好的适应性,深受坝工界青睐,经常成为首选的富有竞争力的坝型,得到了广泛应用和迅速发展^[3]。20 世纪 90 年代,面板堆石坝开始从 100m 级向 200m 级坝高发展,洪家渡坝高约 180m,1992 年初步设计中选定为混凝土面板堆石坝。

洪家渡坝之前世界两座已建 200m 级高面板堆石坝均不同程度出现了坝体变形大,面板裂缝多和坝体渗漏量偏大等问题^{[4][5]},说明世界上 200m 级高面板堆石坝筑坝技术尚不成熟,已有技术和经验不能完全满足 200m 级高面板堆石坝建设的需要。

洪家渡坝址河谷宽狭窄,岸高坡陡,两岸极不对称,在地形上更为不利,筑坝技术难度居世界前列,面临着许多复杂、特殊的问题,无成熟经验可供借鉴,带来了前所未有的挑战。其后的三板溪坝、水布垭坝等几座高面板堆石坝也希望以早一步建设的洪家渡坝为跟踪目标。因此,能否安全、高质量建成,圆满完成“西电东送”工程任务,为后续工程提供可借鉴的经验,洪家渡坝建设面临着严峻的考验。