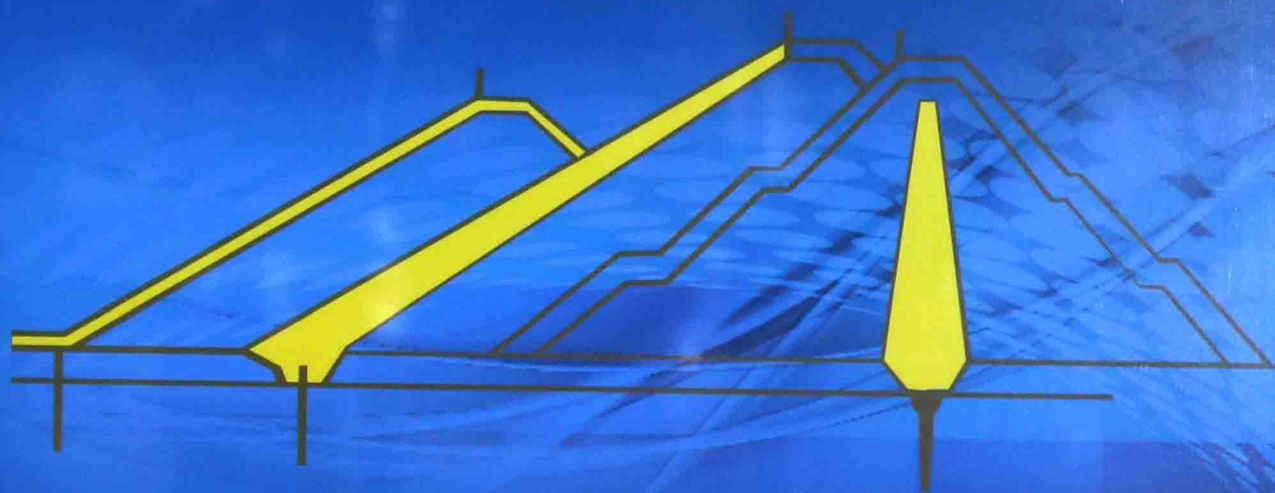


土石坝技术

Technology for Earth-Rockfill Dam

2014年论文集

水电水利规划设计总院
中国水力发电工程学会混凝土面板堆石坝专业委员会
中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司 组编
水利水电土石坝工程信息网
国家能源水电工程技术研发中心高土石坝分中心



www.sstsbw.com



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

土石坝技术

Technology for Earth-Rockfill Dam

2014年论文集

水 电 水 利 规 划 设 计 总 院
中国水力发电工程学会混凝土面板堆石坝专业委员会
中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司 组编
水 利 水 电 土 石 坝 工 程 信 息 网
国家能源水电工程技术研发中心高土石坝分中心



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

土石坝技术 2014 年论文集/水电水利规划设计总院等
组编. —北京: 中国电力出版社, 2015. 1

ISBN 978-7-5123-6921-4

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 295633 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2015 年 1 月第一版 2015 年 1 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 27.75 印张 630 千字
定价 120.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签, 刮开涂层可查询真伪
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

编 委 会

顾 问	马洪琪	陈祖煜	曹克明	林 昭	王柏乐
	周建平	宗敦峰	刘志明	彭 程	冯峻林
	关志诚	蒋国澄	梅锦煜		
主 任	张宗亮				
副主任	杨泽艳	党林才			
委 员	蔡昌光	陈振文	陈绍松	陈 江	迟世春
	程展林	邓毅国	冯业林	樊路琦	何定恩
	黄晓辉	孔宪京	李 勇	李国英	李庆云
	练继建	吕明治	刘斯宏	毛文然	孙永娟
	孙来成	孙 役	沈益源	汪小刚	王仁超
	王君利	王亚文	温彦锋	吴关叶	吴晓铭
	吴高见	吴毅瑾	徐卫亚	徐泽平	熊泽斌
	叶发明	杨和明	杨建敏	杨西林	姚栓喜
	殷宗泽	袁友仁	于玉贞	余 挺	朱俊高
	朱 晟	张社荣	张丙印	张跃民	湛正刚
编 辑	周少萍	梁礼绘	马淑君	雷红军	刘一萍

众所周知,土石坝由于具有对地质条件适应性强、能就地取材、充分利用建筑物开挖料、工程经济效益好等优点,随着施工技术和施工重型机械的发展,该坝型在水电开发过程中得到了广泛应用和快速发展,尤其是在西部高山峡谷地区,由于其交通及地形地质等条件的制约,土石坝的优势尤为明显。20世纪90年代至21世纪初,小浪底水电站(坝高154m)、天生桥一级水电站(坝高178m)、洪家渡水电站(坝高179.5m)、水布垭水电站(坝高233m)等200m级超高土石坝工程的成功建设和运行,标志着我国超高土石坝的设计、施工技术已步入世界先进行列。

21世纪以来,糯扎渡水电站(坝高261.5m)、古水水电站(坝高310m)、两河口水电站(坝高295m)、双江口水电站(坝高314m)等300m级超高土石坝工程的建设或启动,也必将进一步推动我国和世界超高土石坝技术的发展。尤其是糯扎渡水电站,其心墙堆石坝坝高261.5m,为同类坝型世界第三、我国第一,坝高比国内已建最高的小浪底心墙坝提升了100m,许多技术问题超出现行规范的适用范围。中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司经过15年的勘测设计研究工作,在超高心墙堆石坝设计准则、计算分析理论、施工工艺及安全控制技术等方面取得了多项具有中国自主知识产权的国际领先创新性成果,使我国超高心墙坝设计与筑坝技术迈上新台阶,其设计承建的糯扎渡水电站工程目前已完建并成功经受了正常蓄水位的考验。

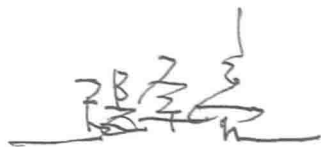
在取得成绩的同时,也应看到我国土石坝建设起步较晚,特别是已建的200m级以上的高土石坝较少,运行时间也较短,因此关于高土石坝的建设及运行方面的经验积累较少,还有较多需进一步深入解决的问题。例如,近期建设的几座200m级高土石坝在取得成功及宝贵经验的同时,部分工程出现坝体变形偏大、产生裂缝、防渗体系破损、渗漏量较大等问题。现有监测资料表明,高土石坝的坝体变形与设计阶段的预测值相比经常偏大很多,且稳定时间偏长。有些高土石坝在经过10多年的挡水运行后,其变形(尤其是不均匀变形)的量值变化尚未稳定。诸如此类暴露出了一些高土石坝的共性问题,即在“高水头、大体积、大变形”条件下,高土石坝的渗流稳定、变形稳定、坝坡稳定及抗震安全问题。这些问题均在不同程度上影响了工程的经济指标,也在一定程度上降低了土石坝的竞争力。这些关键制约因素,使得人们对建设高土石坝总有些信心不足。

针对以上问题,我们的技术人员和专家应借鉴国内外已建和在建高土石坝工程建设的经验,对工程进行深入调研,广泛收集资料,认真分析研究与本工程的类似和不同特性,对已有的高土石坝设计准则和一些常规的做法进行适当的调整,以适应高坝的特殊情况,创新性地找出解决工程技术难题的方法。

在我国西部，尤其是三江上游（金沙江上游藏川段、澜沧江上游西藏段、怒江上游西藏段）和西藏雅鲁藏布江等河流蕴藏着巨大的水能资源，我们相信土石坝凭借其自身的特色和优势将有广阔的施展空间，澜沧江上游如美水电站（坝高 315m）、怒江上游马吉水电站（坝高 280m）均已将其作为代表性坝型。但这些地区将面临区域板块构造稳定、复杂地质条件勘测、高地震烈度、超深厚覆盖层建坝问题、高地应力区深埋隧洞问题、高海拔高原高寒条件下的施工技术等一系列难题，因此急需我们开展深入的技术研究，以适应西部高土石坝工程建设的需要，切实推动西部水资源开发进程。

水利水电土石坝工程信息网是我国水利水电系统开展土石坝技术信息交流的协作组织。信息网成立 20 多年来，广泛收集和积累专业信息资料，深入总结土石坝工程的设计和施工经验，认真做好信息网内外专业技术交流，积极介绍和推广国内外新技术，现已发展成为一个网员众多、技术交流活跃的信息网，为土石坝筑坝技术的发展起到了积极的促进作用。该论文集由信息网主办，作为土石坝技术领域的专业论文集，致力于适应新形势下土石坝工程建设的技术需求，共享土石坝建设发展的新技术、新经验、新理念，研究土石坝建设中的新问题。信息网坚持每年出版 1 册论文集，甄选当年土石坝工程领域的最新学术论文，为土石坝建设领域搭建一个展示新成果、分享新技术、促进交流与合作的平台，受到水利水电专家和技术人员的广泛关注和好评。

我们相信，本论文集的出版对于推动我国水利水电土石坝工程设计、施工、管理技术的发展具有重要理论意义和实践价值；同时，也将会给广大从事土石坝研究工作的同仁们提供有益的借鉴和参考。



前言

一、工 程 设 计

含部分软岩的堆石料在糯扎渡高心墙堆石坝的应用研究	张宗亮 袁友仁 (1)
高土石坝深厚覆盖层地基勘察及处理实践	王自高 马显光 高 健 王国良 李民生 冯汉斌 (9)
糯扎渡大坝坝料现场压实特性及心墙安全性研究	雷红军 刘兴宁 冯业林 (17)
考虑堆石体湿化变形的面板堆石坝有限元分析	方国宝 彭荣生 汪亚超 (25)
高寒狭窄河谷中高面板堆石坝变形控制研究	刘万新 (36)
刘家管水库拦河坝心墙用料问题初探	王 克 (40)
安徽省龙须湖水库均质土坝防渗加固设计	程淑艳 但 颖 李 涛 高大水 (46)
土石坝设计研究综述	赵 琪 (52)
糯扎渡心墙堆石坝初蓄期应力变形及抗水力劈裂特性研究	雷红军 冯业林 刘兴宁 (58)
援津瓦利水坝灌溉工程黏土心墙坝设计及施工综述	吴宝隆 吴朝月 (64)
小湾水电站放空底孔工作弧形闸门设计研究	易 春 (70)
抽水蓄能电站土石坝的挖填平衡设计	赵 轶 吉乐琳 (78)
某工程分散性残积土的工程地质特性与危害	杨玉春 张志恒 (85)
糯租水电站水力机械设计	潘雪梅 (88)
黄登水电站水轮机参数选择	潘雪梅 (97)
年水温变化下黏土铺盖的温度计算	吴一匡 (105)
水电工程中截流方式浅谈	余 晖 (108)

二、试 验 研 究

公伯峡面板堆石坝面板裂缝成因数值计算分析	刘斯宏 张秀丽 王玉洁 王子健 王柳江 (114)
不同输入地震波作用下高土石坝地震反应分析与评价	赵剑明 刘小生 陈 宁 刘启旺 杨正权 杨玉生 (124)
某蓄能电站水库坝基物理力学特性研究	范 华 (133)
标准贯入击数的挖填方校正方法研究	杨玉生 刘小生 赵剑明 温彦锋 陈 宁 刘启旺 (140)

西龙池电站筑坝材料室内试验研究 范 华 (154)

滚弄水电站岩体变形特性试验研究 苏智光 戴培志 廖建军 钱东宏 (160)

龙开口水电站砂石骨料加工及混凝土拌和系统 赵明华 (170)

Hardfill 坝结构破坏模型试验研究 熊 堃 何蕴龙 吴 迪 (177)

多布水电站混凝土防渗墙配合比设计与试验 ... 谢 武 王 华 李晨光 王 楠 (189)

水泥掺入时间对水泥土最大干密度与最优含水率影响试验 周 政 王宏远 (194)

长河坝水电站大坝心墙砾石土料压实质量快速检测方法 韩 兴 郭林平 (198)

武都水库复杂岩溶处理泵送混凝土配合比设计浅析 石 峰 娄旭峰 张家俊 (202)

三、工 程 建 设

缅甸道耶坎二级水电站坝基防渗技术 刘加龙 闵征辉 卢增木 (209)

长坡面大面积混凝土面板下无砂混凝土垫层施工技术 潘福营 (214)

岩溶充填粉细砂层防渗处理复合灌浆技术 王玉生 娄旭峰 陆文浩 (218)

藏区砂、卵砾石地层防渗加固新技术研究 司马世华 李焱华 辛建芳 (225)

贯穿性岩溶涌水洞内帷幕灌浆度汛施工技术 娄旭峰 王玉生 张家俊 (236)

某电站沥青面板堆石坝斜坡碎石垫层施工技术及其质量控制
..... 贺爱军 吴元辉 刘凤成 任占杰 (240)

响水涧抽水蓄能电站上水库面板堆石坝填筑施工 潘福营 (247)

现浇钢筋混凝土箱梁施工技术及其质量控制 李书藏 王文范 (255)

积石峡水电站混凝土面板堆石坝施工综述 张 伟 (261)

排架施工平台在面板土石坝扭曲趾板灌浆中的应用 李 壮 (267)

岩溶地区高速铁路覆盖层桩基施工 吴 杨 (274)

面板堆石坝铜止水带施工过程研究 潘福营 (280)

龙开口水电站工程大坝碾压混凝土施工关键环节及其质量控制措施
..... 付 彬 陈利刚 邵先高 (284)

天然砂砾料在老挝水电工程中的利用 余 晖 (288)

四、监 测 检 测

高面板堆石坝沉降监测性态研究 谭志伟 冯燕明 (298)

云鹏水电站心墙堆石坝工作性态分析与评价 邹 青 张礼兵 刘 伟 (307)

管道机器人在山前水库涵洞检测中的应用 黄院生 (315)

面板坝垂直缝止水失效对渗流场的影响分析 ... 吕高峰 周建波 朱锦杰 王玉洁 (319)

苗尾左坝基边坡监测与加固机理研究 张玉龙 聂成良 鲁米香 (327)

混凝土面板堆石坝面板脱空检测中的综合物探方法及应用
..... 刘 杰 余灿林 段 炜 陆 超 徐 辉 (335)

水电工程坝基砾卵石层工程地质特性研究 王启国 严绎强 (343)

堆石坝坝体沉降监测方法的对比分析 贺爱军 张利军 王彦华 刘凤成 (356)

红河宋山水电站白马山引水隧洞综合物探

..... 苏智光 钱东宏 廖建军 张 辉 邓 军 (363)

猴子岩高面板堆石坝坝料快速检测技术研究 浮绍玮 陈卫烈 谭恺炎 (379)

综合物探方法在水库大坝渗漏探测中的应用

..... 刘 杰 余灿林 何世聪 肖长安 徐 辉 (387)

探地雷达在电力勘察中的一些应用 苏智光 廖建军 钱东宏 (394)

云南省水库大坝监测自动化系统设计与建设 沈 静 张礼兵 (401)

五、其 他

长河坝水电站大坝工程高强度施工交通安全管理 许江豪 (406)

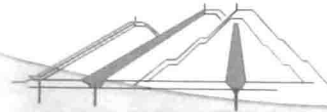
长河坝水电站数字化信息管理系统的建设与应用

..... 王 洋 曹海君 韩 兴 张建栋 (412)

水电勘测设计企业拓展水利水务工程业务策略分析 贺鹏程 陈正发 (419)

工程资料在土石坝安全监测中的作用 姜志敏 (425)

卡塔尔国际工程项目货物清关详解 崔立彬 (428)



一、 工 程 设 计

含部分软岩的堆石料在糯扎渡 高心墙堆石坝的应用研究

张宗亮 袁友仁

(中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司)

[摘 要] 以坝高 261.5m 的糯扎渡心墙堆石坝为对象,对含有部分软岩的开挖堆石料进行不同劣化程度的试验研究,整理出相关计算参数,采用虚拟荷载法针对堆石料含部分软岩对高心墙堆石坝应力及变形的影响进行了研究,得出从坝体应力和变形角度,软岩风化造成堆石料力学性能劣化,仅使心墙上游面的应力水平有所增加,但仍未出现破坏区,因此含有部分软岩的堆石料用于高心墙堆石坝的次堆石料区是可行的。

[关键词] 糯扎渡 高心墙堆石坝 含软岩堆石料 应力应变

1 问题的提出及研究方法

糯扎渡水电站溢洪道及电站进水口部位的开挖石料中含有部分软岩,软岩很容易崩解、风化,造成堆石料力学性质的劣化,从而有可能对大坝安全造成不利影响。对应力水平较高的高心墙堆石坝,将含有部分软岩的开挖了用于堆石料填筑一直都是比较慎重的。但心墙堆石坝的优势之一就是充分利用当地材料筑坝,对枢纽建筑物开挖料应尽可能地加以利用。如果通过研究论证,含有部分软岩的开挖石料在高心墙堆石坝的某些部位也可以加以利用,则无疑可以带来巨大的经济效益。

采用虚拟荷载法进行堆石料力学性质劣化的模拟计算分析来对该问题进行研究,即分别对软岩风化前与风化后的堆石料试样进行两种状态下的应力—应变关系试验,假定某种应力状态下的劣化应变就是该应力状态在风化前与风化后两种应力—应变关系上所对应的应变之差,由两种应力状态下的试验曲线整理出两套参数,通过有限元计算求得堆石料由于风化而引起的劣化变形量。

糯扎渡心墙堆石坝最大坝剖面详见图 1,其坝壳堆石料分为两个区,其中Ⅰ区为主堆石料区,Ⅱ区为次堆石料区。工程来源于溢洪道和电站进水口的弱风化及以下开挖料拟用于坝体Ⅱ区堆石料填筑,但其岩性复杂,其构成岩性及相应含量比例见表 1,其中泥岩为软岩,粉砂质泥岩为中硬岩,泥质粉砂岩介于中硬岩和硬岩之间,砂岩和角砾岩为硬岩。为了便于研究,本文假定Ⅱ区均采用该含有部分软岩的开挖料填筑。

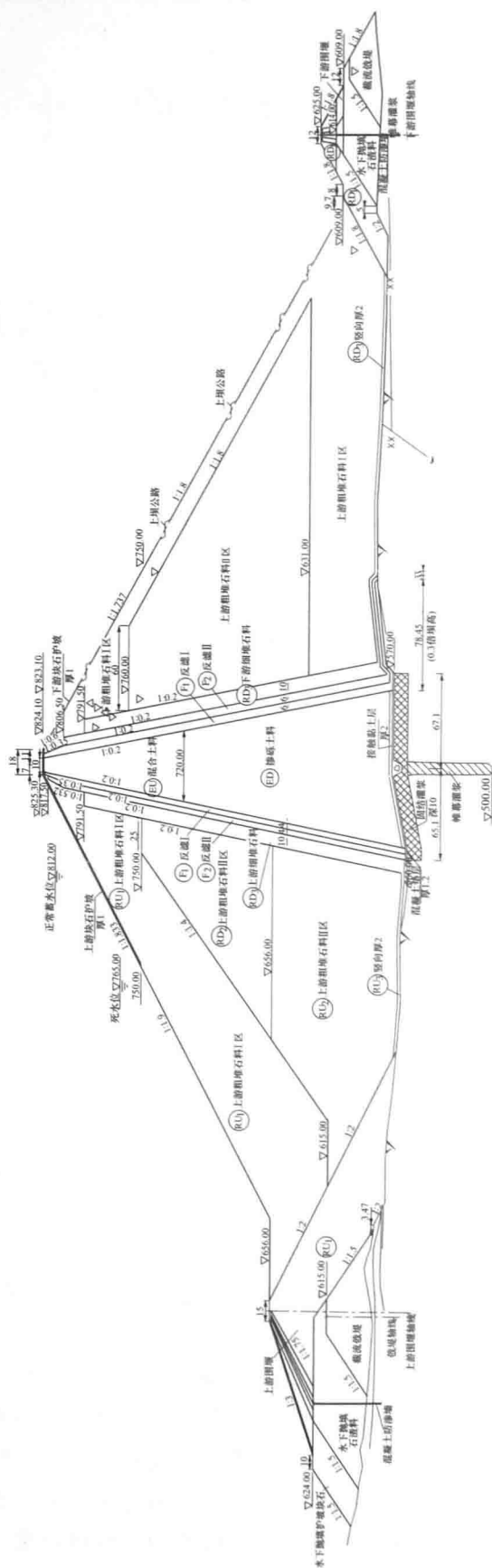


图1 糯扎渡心墙堆石坝最大坝剖面 (单位: m)

表 1 II 区堆石料各岩性含量及不同状态试验配比

配 比	各岩性石料含量 (%)				
	泥岩	粉砂质泥岩	泥质粉砂岩	砂岩	角砾岩
1	3	27	33	22	15
2	3 ⁽⁺⁾	27 ⁽⁺⁾	33	22	15
3	3 ⁽⁺⁾	27 ⁽⁺⁾	33 ⁽⁺⁾	22	15

注 (+) 表示全风化, 其余均为弱风化及以下石料。

2 试验研究

针对 II 区堆石料的三种不同状态开展试验。第一种状态为刚开挖出来用于筑坝的堆石料, 全部为弱风化及微新石料; 第二种状态假定若干年后其中的泥岩和粉砂质泥岩已完全风化, 试验时采用全风化料制样 (下同), 第三种状态假定再过若干年后其中的泥质粉砂岩也已完全风化。具体试验配比按各构成岩性的实际比例, 详见表 1。通过试验, 得出用于计算分析的坝料主要参数, 见表 2。

表 2 坝料有限元应力应变计算参数 (沈珠江双屈服面模型)

材料		$\rho_d (\text{g/cm}^3)$	R_t	$\varphi_0 (^\circ)$	$\Delta\varphi (^\circ)$	K	K_{ur}	n	D	F	G	$K_v (\text{cm/s})$
I 区粗堆石料		2.00	0.719	54.37	10.47	1491	2980	0.241	7.65	0.2	0.41	—
II 区 堆石料	原参数	2.15	0.706	51.36	9.58	1400	2800	0.175	8.26	0.16	0.36	—
	配比 1	2.15	0.73	49.1	8.4	965.0	1930	0.24	4.55	0.12	0.29	—
	配比 2	2.15	0.74	43.3	3.9	635.2	1270	0.33	3.92	0.15	0.34	—
	配比 3	2.15	0.67	39.5	3.2	360.2	720	0.32	4.39	0.17	0.32	—
细堆石过渡料		2.04	0.692	50.54	6.73	1100	2200	0.280	8.37	0.17	0.39	—
II 反滤料		1.89	0.761	52.60	10.16	1100	2200	0.235	7.07	0.22	0.41	—
I 反滤料		1.80	0.66	50.95	7.97	1020	2040	0.27	6.08	0.21	0.44	—
混合土料		1.80	0.783	36.69	9.92	264	528	0.49	3.47	0.09	0.34	2×10^{-6}
掺砾土料		1.96	0.755	39.47	9.72	388	776	0.311	2.89	0.08	0.36	2×10^{-6}

3 计算分析研究

3.1 计算方案

首先, 对上、下游 II 区堆石料采用配比 1 的计算参数进行有限元计算, 模拟大坝填筑、蓄水及运行 10 年的过程, 并考虑坝料的湿化和流变变形。这是模拟 II 区堆石料尚未劣化的正常工况的计算分析, 计算后分别整理竣工期 (对应坝体填筑到顶)、蓄水期 (对应蓄水至正常水位) 和运行期 (对应运行 10 年时) 大坝的应力和变形成果。

其次, 在大坝运行 10 年后 (此时坝料的流变变形已经趋于停止), 假定上、下游 II 区堆石料中的泥岩、粉砂质泥岩已完全风化, 即采用配比 2 的力学参数按虚拟荷载法计算求

得Ⅱ区堆石料劣化后大坝的应力变形，整理出采用虚拟荷载法计算得到的坝体总的应力变形及其增量变形。

最后，假定再过若干年后，上、下游Ⅱ区堆石料中的泥质粉砂岩也已完全风化，即采用配比3的力学参数按虚拟荷载法计算求得Ⅱ区堆石料进一步劣化后大坝的应力和变形，整理出采用虚拟荷载法计算得到的坝体总的应力变形及其增量变形。

为便于表述，以下将上述三种计算方案分别称为方案一、方案二和方案三。

3.2 方案一计算成果及分析

(1) 竣工期应力变形。竣工期坝体最大沉降为291.8cm，位于坝体心墙坝轴线670m高程附近；指向下游向最大水平位移为26.8cm，指向上游向最大水平位移为37.1cm；心墙内产生了一定的超静孔隙水压力，由于底部边界不透水，心墙内最大孔隙水头位于心墙底部，其值为49.5m。竣工期坝体大、小主应力最大值都位于心墙底部与坝壳交界处，大、小主应力最大值分别为4.9、1.9MPa。上、下游坝壳内应力水平普遍较小，而心墙内特别是720m高程附近应力水平相对较高，但并没有出现塑性区，最大为0.84。坝壳料对心墙有一定的拱作用，心墙 $\sigma_1/\gamma H$ 值为0.79，这种横向拱效应使心墙自重荷载经此向坝壳转移。但心墙上游面小主应力未出现负值，因此心墙内不会产生拉裂缝。另应力水平在岸坡接触部位也较大，但最大值只有0.89，不会产生塑性区。

(2) 蓄水期应力变形。在水荷载作用下坝体最大沉降有所增大，达到295.5cm，同时由于上游坝壳料的湿化变形，上游坝壳料发生了较为明显的下沉；在顺河向，指向下游向水平位移较竣工期显著增加，最大下游向变形为63.5cm；由于大坝蓄水时间长达两年之多，从孔隙水压力分布曲线来看，坝体渗流向稳定渗流发展。蓄水期上游坝壳及心墙上游的主应力，特别是小主应力有明显下降；水库蓄水后，心墙上游面附近以及上游坝壳中应力水平较竣工期有较大提高，但坝体内并没有产生塑形区域。

(3) 运行期应力变形。由于大坝填筑及蓄水时间长达7年之多，先期填筑的坝料其流变已在该期内完成，故而在运行期内大坝的后期变形增量主要发生在710m高程以上，在运行期坝料流变量不大，心墙内最大沉降增大为298.7cm；在顺河向，流变变形使指向上、下游向的最大水平位移均有所减小；运行10年后心墙中已基本形成稳定渗流。相比较填筑期和蓄水期的变形，运行期坝料流变变形所占比例较少，故与蓄水期相比，大坝应力状态没有明显的变化。运行期大坝位移、应力及应力水平主要等值线详见图2~图4。

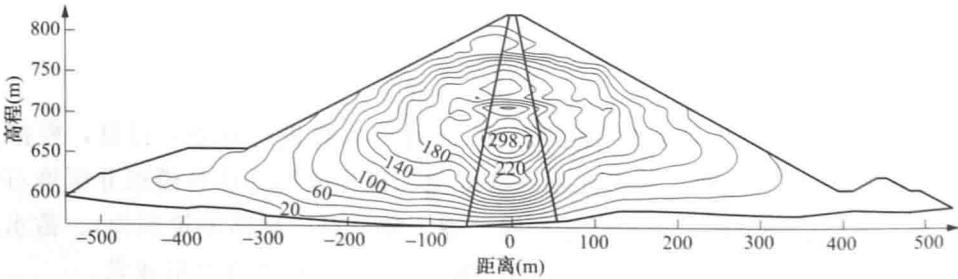


图2 方案一运行期河床断面沉降分布图（单位：cm）

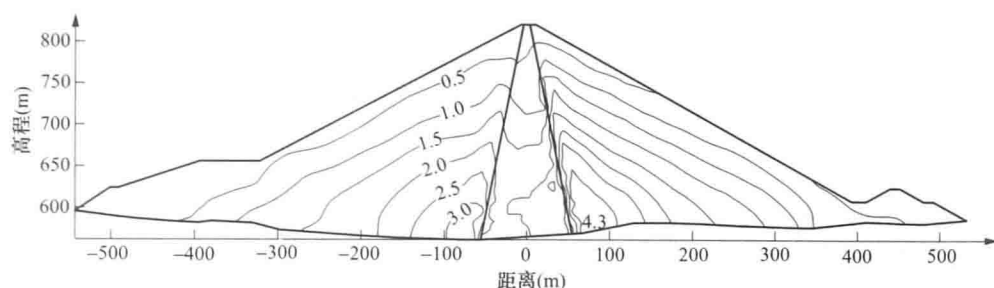


图3 方案一运行期河床断面大主应力分布图 (单位: MPa)

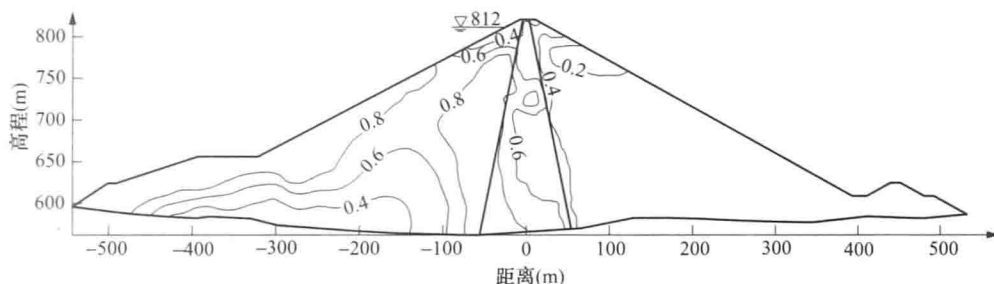


图4 方案一运行期河床断面应力水平分布图 (单位: MPa)

3.3 方案二计算成果及分析

计算结果显示: II区堆石料中泥岩、粉砂质泥岩风化后,在坝壳料变形的挤压下,坝体最大沉降增加为306.8cm,增量为49.2cm;指向下游向的最大变形增加为73.2cm,增量为12.6cm;指向上游向的最大变形增加为24.7cm,增量为15.4cm。坝体沉降等值线见图5。

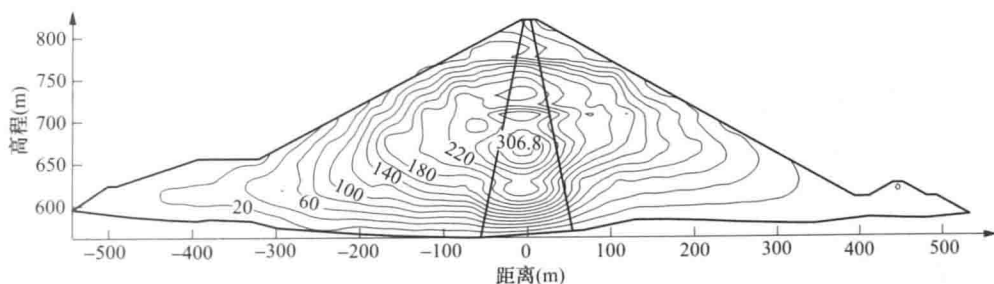


图5 方案二河床断面沉降分布图 (单位: cm)

图6、图7分别为河床断面大主应力和应力水平等值线图。相比方案一运行期的应力分布图可以看出, II区堆石料中泥岩、粉砂质泥岩风化后大坝应力状态没有明显的变化。但由于软岩料风化后模量降低导致拱效应减小,从而使心墙上游面大、小主应力有所增加,尤其是大主应力增加较多,偏应力有所增加,从而使应力水平有所增加。不过从计算结果来看,高应力水平区域主要限于心墙与岸坡接触部位,同时心墙上游面小主应力未出现负值,因此心墙内不会产生拉裂缝。

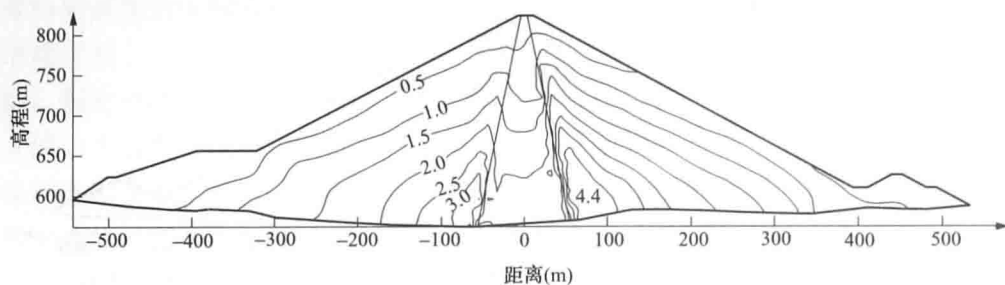


图6 方案二河床断面大主应力分布图 (单位: MPa)

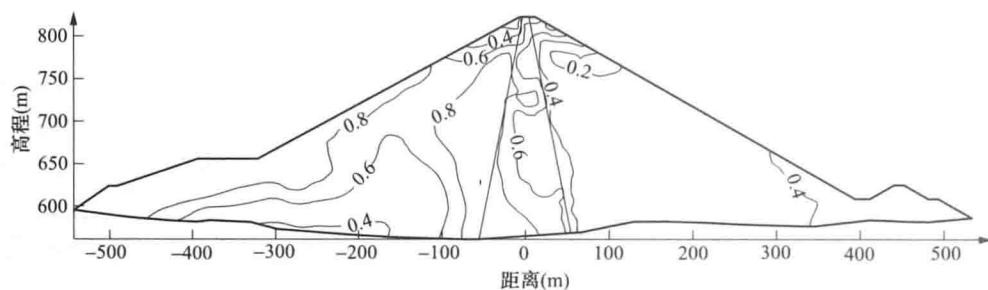


图7 方案二河床断面应力水平分布图

3.4 方案三计算成果及分析

该方案假定Ⅱ区堆石料中的软岩、中硬岩完全风化,河床断面沉降等值线见图8,河床断面大主应力和应力水平等值线分别见图9、图10。计算结果显示:在坝壳料变形的挤压下,相比方案一运行期,坝体最大沉降增加为310.7cm,增量为72.8cm;指向下游向的最大变形增加为74.7cm,增量为23.2cm;指向上游向的最大变形增加为41.6cm,增量为26.3cm。由于Ⅱ区堆石料软岩、中硬岩完全风化后模量降低,导致拱效应减小,从而使心墙上游面大小主应力有所增加,尤其是大主应力增加较多,使应力水平有所增加。不过从计算结果来看,应力水平并没有达到塑性极限状态,且心墙上游面小主应力未出现负值,不会产生拉裂缝。

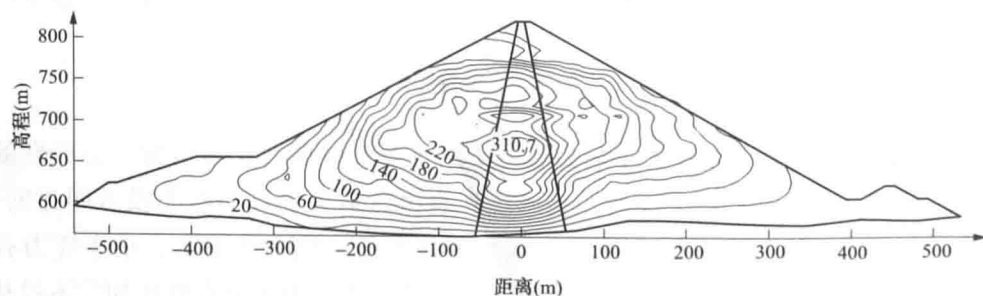


图8 方案三河床断面沉降分布图 (单位: cm)

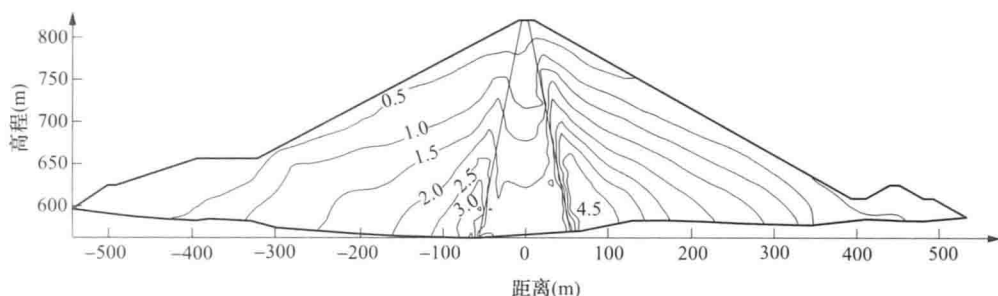


图9 方案三河床断面大主应力分布图 (单位: MPa)

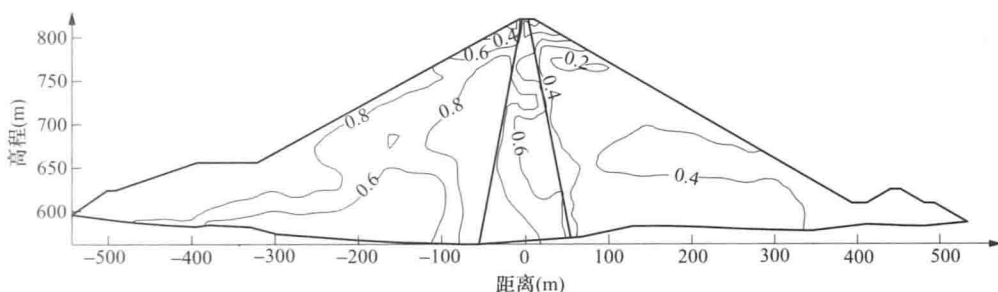


图10 方案三河床断面应力水平分布图

4 结论

(1) 堆石料风化程度加剧会使其压缩模量、渗透系数和变形模量降低,使其湿化变形和流变变形增大。

(2) 由于堆石料变形模量降低造成坝壳变形增大及其湿化变形和流变变形增大,带来了坝体总体变形量增加,特别是心墙沉降量增加较多。

(3) 堆石料变形模量的降低,使得其对心墙的拱效应的作用有所减少,心墙上、下游面的竖向应力及主应力均有所增加,这对于防止心墙发生水平裂缝是有利的。

(4) 虽然由于拱效应减少使得心墙上、下游面的主应力均有所增加,但大主应力增加较多,小主应力增加较少,从而使得心墙上游面的应力水平有所增加。针对糯扎渡心墙堆石坝进行的计算,即使Ⅱ区堆石料中的泥岩、粉砂质泥岩及泥质粉砂岩均已完全风化(方案三),心墙应力水平最大值也只有0.84,不会出现塑性极限状态。因此,含部分软岩的堆石料是可以利用的,这为糯扎渡工程节省了大量的投资。

参考文献

- [1] Fookes P G, Gourley C S and Ohikere C. Rock weathering in engineering time[J]. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 1988, 21: 33-57.
- [2] Sayao, A S F J Maia, P. C. A. Nunes, A. L. L. S. Considerations on the shear strength behavior of weathered rockfill[A]//Proceedings of the International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering[C], 2005, Conf 16; Vol 3: 1917-1920.

- [3] Pye K, miller J A. Chemical and biochemical weathering of pyritic mudrock in a shale embankment [J]. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 1990, 23: 365-381.
- [4] 沈珠江. 抗风化设计——未来岩土工程设计的一个重要内容[J]. 岩土工程学报, 2004, 26(6).
- [5] 朱百里, 沈珠江. 计算土力学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1990.
- [6] Castellanza R, Nova R. Oedometric tests on artificially weathered carbonatic soft rocks [J]. Geotechnical and Geoenvironmental Engineering ASCE, 2004, 130 (7): 728-739.

作者简介

张宗亮 (1963—), 男, 山东济南人, 全国工程设计大师, 教授级高级工程师, 博士, 博士生导师, 中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司副院长兼总工程师, 土石坝工程技术领域著名专家。