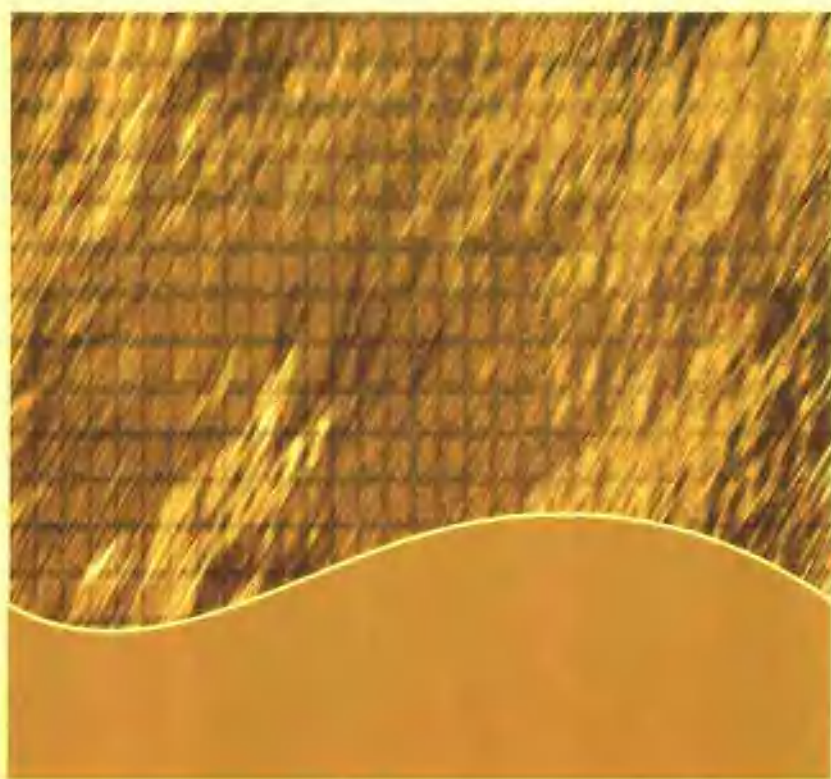


土石坝技术

Technology for Earth-Rockfill Dam

2005年论文集

水利水电土石坝工程信息网 组编
中国水电顾问集团华东勘测设计研究院



中国电力出版社
www.cepp.com.cn



土石坝技术

Technology for Earth-Rockfill Dam

2005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: 2005 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, 2006

ISBN 7 - 5083 - 4040 - X

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 158512 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>)

北京铁成印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2006 年 2 月第一版 2006 年 2 月北京第一次印刷

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 27.5 印张 625 千字

印数 0001—1500 册 定价 52.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

本书编委会

顾问：潘家铮 曹克明 林 昭 周建平
彭 程 沈凤生 关志诚 将国澄
赵增凯 殷宗泽 蒋效忠 刘瑛珍
邴能惠

委员（按姓氏拼音排序）：

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

虽然我们无法考证人类是在什么时候开始筑坝的，但可以肯定人类修建的第一座坝一定是土石坝。土石坝不仅是最古老的坝型，而且到今天仍然是数量最多和最重要的一种坝型。

也许有的人更偏爱混凝土坝。中国目前最重要的大坝中，土石坝和混凝土坝可说是平分秋色、各有特点。混凝土坝的最大优点是：万一遭遇超标洪水而漫顶时，具有较强的抵抗溃决的潜力，土石坝则以其经济性和适应各种地形地质条件见长。所以，绝大多数地方中小工程都采用土石坝，而且我估计将来如果要修建 500m、1000m 的高坝，也会采用土石坝，可以说是生命力强大、前景无量。

当然，现在修建的高土石坝和古代的原始小土坝是不可相比的，简单回顾一下它的发展历史是很有意义的。最明显的变化是坝高记录的不断刷新，从最初几尺高的土堤发展到今天 300m 以上的高坝。坝型也由均质土体演变成各种类型的分区填筑土石坝，防渗结构包括了土料防渗、混凝土面板防渗、沥青混凝土防渗和土工膜防渗等各种型式。特别是混凝土面板堆石坝问世以来，不再受当地防渗土料料源的限制，并常可利用开挖料直接上坝碾压，极大地解除了土石坝建设的制约条件。对地基处理的技术，也不断进步，可以在百米甚至数百米深的覆盖层上建坝。这些成就都能充分发挥土石坝的优势，如今全球已建在建的土石坝数量已难尽数。

我国从 1949 年以来，土石坝建设也取得了举世瞩目的成就。我国目前已建、在建的土石高坝中，用土料防渗的有黄河小浪底水电站斜心墙土石坝，坝高 167m，四川瀑布沟水电站的黏土心墙土石坝，坝高 186m；云南糯扎渡水电站的砾质土心墙堆石坝，坝高 261.5m，在一定时期内，将是我国最高的土石坝。

我国在 20 世纪 80 年代开始面板堆石坝建设，发展迅猛，通过“八五”、“九五”攻关，掌握了 250~300m 量级面板坝的筑坝技术。已建的百米以上高坝有：浙江珊溪水利工程面板堆石坝高 132.5m，白溪水利工程坝高 124.4m，云南茄子山工程坝高 107m，新疆吉林台水电站大坝为砂砾石面板坝，高 157m，黄河公伯峡水电站坝高 132.2m，天生桥一级面板堆石坝坝高 178m，紫坪铺工程坝高 156m，洪家渡工程坝高 179.5m；三板溪工程坝高 185.5m。清江水布垭混凝土面板坝工程，坝高 235m，是目前国内在建最高的混凝土面板坝。

近年来，我国在沥青混凝土防渗堆石坝筑坝技术上亦取得了较大成就。如三峡茅坪溪副坝为碾压式沥青混凝土心墙坝，坝高 104m，四川冶勒沥青混凝土心墙堆石坝，坝高 125.5m，覆盖层深达 420m，新疆下坂地沥青混凝土心墙砂砾石坝，坝高 80 多米，覆盖层

深达 148m。天荒坪抽水蓄能电站上库坝为解决大坝基础和大部分库底全风化土的处理问题,在主副坝的迎水面、库盆(28.5 万 m^2)和库岸均采用沥青混凝土护面。目前河北张河湾抽水蓄能电站上库,山西西龙池抽水蓄能电站的上下库均采用这种防渗型式。

土石坝采用土工膜防渗亦是近年来发展起来的,如黄河西霞院工程,坝高 21m,用复合土工膜斜墙防渗。泰安抽水蓄能电站上库为混凝土面板堆石坝,库底用土工膜防渗,面积约 16 万 m^2 ,这些工程的运行,将为进一步探索土工膜的使用提供有益的经验。

土石坝深覆盖层防渗处理技术的发展,使在许多高坝工程中土石坝成为惟一可行的方案。小浪底斜心墙土石坝,覆盖层采用混凝土防渗墙,深达 70 多米,四川冶勒沥青混凝土心墙坝工程,基础覆盖层最深达 420m,采用 130 多米悬挂式防渗墙,上段为深约 70m 的混凝土防渗墙,下段为帷幕灌浆,深 80m 左右,新疆下坂地沥青混凝土心墙坝,采用上半部混凝土防渗墙(悬挂式墙),与下部深层灌浆防渗相连接的方式,解决了基础防渗问题。

根据工程的具体条件和特定要求,我国在土石坝工程设计中还创造性地采取了一些有特色的结构措施。如在抗震设计方面,西藏满拉心墙土石坝,按 IX 度地震设防,坝体内加设混凝土框格,以增强其抗滑稳定性。黄河公伯峡工程,按 VIII 度地震设防,在坝体内加设了钢筋网。又如建在覆盖层上的混凝土面板堆石坝的地基内防渗墙需与面板趾板相连,就在防渗墙与趾板间设置连接板,以适应坝体与防渗墙的不同变形,保证防渗墙与面板的共同联合防渗作用。另一有创造性的设计是溢流面板堆石坝。如新疆哈密榆树沟工程和桐柏抽水蓄能电站下库坝就采用这种设计方式,技术上可行,经济上可节约投资。

科技发展促进了工程建设,建设需要也促进了科技进步。近年来由于土石坝工程的快速发展以及实施了多项国家科技攻关项目,使土石坝工程的科研、设计、施工、管理等诸方面的技术得到了全面的发展。包括土石坝的理论计算与分析、施工技术和管理以及原型观测及监测分析。大量的工程建设提供了丰富的实际观测数据,对其进行反分析研究又验证了设计理论。当然土石坝这样复杂的坝型还存在着许多问题有待继续研究解决,如面板的防裂、土工膜长期运行的可靠性、接缝处理以及土石料的本构定律、抗震设计等等。

实践出真知,我国近年来发表的有关土石坝论著也不断增加。在技术交流和经验总结方面,土石坝工程信息网做了出色的工作,最近更决定将内部交流的网刊改为正式论文集,逐年出版。现第一集《土石坝技术》即将问世,其中收集的 60 篇论文全部来自工程第一线。我对这些为祖国建设脚踏实地辛勤努力的同志深表敬意,并希望论文集愈办愈好,论文质量不断提高,成为一本有影响的、高品质的专业期刊。

展望前景,由于我国水利水电建设的快速发展特别是西部大水电工程的全面开发,土石坝建设又迎来新的高潮。水利水电建设功在当代,利及千秋,目前我们遇到空前的有利发展时期,同时也面临着新的挑战。我们要以科学的发展观指导科研、设计、施工,锐意创新,勇攀高峰,让土石坝这种古老的坝型焕发出更加灿烂的光彩,为民族振兴的大业做出贡献。

潘家铮

2005 年 11 月 28 日

由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主编的《土石坝技术》论文集和广大读者、作者见面了。

在 2004 年的“水利水电土石坝工程信息网”网长工作会议上研究决定,为使信息网的出版物办得更好,适应社会主义市场经济条件下广大作者、读者的需要,高质量地为广大网员单位和工程技术人员提供更多、更好的信息,自 2005 年起,网刊《土石坝工程》改名为正式出版物《土石坝技术》,由每年 4 期的内部交流资料改为每年出版一册的正式论文集。

经过半年多的组稿、审稿、编辑、印刷,一册汇编了 60 篇论文,有 5 个专题,集中了工程技术人员大量实践经验和研究成果的、约 50 万字的论文集出版了。

在论文集的出版过程中,我们得到了许多老专家的大力支持,得到了网员单位的通力合作,得到了许许多多关心土石坝信息网的水电同仁的帮助,同时我们还得到了水电规划设计总院的关心和指导,在此,我们代表全体信息网的技术人员向他们以及踊跃投稿的技术人员和为本论文集做出大量组织工作的单位致意,向他们表示衷心的感谢。

土石坝工程技术近年来发展非常快,随着我国水利水电项目建设的不断开工,土石坝这种具有悠久历史的坝型有着无限的前景,随着具有国际先进水平的高土石坝工程不断兴建,土石坝工程的设计、科研和施工技术必将达到一个崭新的高度。

本论文集的审稿工作主要由蒋效忠、陈振文、费京伟、钟家驹、程展林、陈绍松等同志完成。

目录

序

前言

土石坝设计应重视工程实践经验	林 昭 (1)
中国混凝土面板堆石坝 20 年回顾	蒋国澄 赵增凯 (6)
滩坑水电站混凝土面板坝设计	彭 育 陈振文 汤 旻 (22)
泰安抽水蓄能电站上水库面板堆石坝设计及优化	侯 靖 何世海 李岳军 (29)
刚果英布鲁水电枢纽工程土石坝设计与计算	李秀明 时铁城 (37)
江苏沙河抽水蓄能电站上水库面板堆石坝设计	巩绪威 陆忠民 (48)
黄河沙坡头水利枢纽土石副坝设计	席燕林 余伦创 梁全民 (57)
深覆盖层基础高面板坝的设计及坝体变形特性评价	徐建荣 (62)
白鹤滩水电站心墙堆石坝平面有限元应力应变计算分析	张小兵 (73)
山东泰安抽水蓄能电站上水库防渗	
设计	何世海 侯靖 李孙权 李岳军 吴毅瑾 (82)
那兰混凝土面板堆石坝渗控工程设计	冯业林 李 云 (89)
混凝土面板坝设计特例	钟家驹 (95)
上张水库心墙砂砾石坝	郑永明 (118)
抽水蓄能电站面板坝基础处理	郑齐峰 (125)
江苏沙河抽水蓄能电站混凝土面板堆石坝面板、趾板及止水设计	聂爱军 (129)
那兰混凝土面板堆石坝坝体分区及坝料设计	冯业林 李 娟 (138)
莲花水电站面板堆石坝坝体填筑施工	许连辉 (144)
三板溪水电站混凝土面板堆石坝“一枯抢拦洪”快速施工	施荣跃 (150)
紫坪铺水利枢纽工程混凝土面板堆石坝施工	吴成根 (153)
土工膜在蓄能电站上水库防渗系统中的应用	李洪林 (155)
水布垭面板坝一期混凝土面板垂直缝 SR 防渗体系止水施工	谭建平 (159)
混凝土面板堆石坝面板裂缝施工防控	许连辉 (164)
黄河公伯峡水电站混凝土面板堆石坝超长混凝土面板施工	
技术	范亦农 李宜田 李宏伟 (168)

挤压式混凝土边墙技术在龙首混凝土面板堆石坝工程中的推广

应用	马福民	鲁志超	(177)
浇筑式沥青混凝土心墙防渗结构施工关键技术	杨伟	秦边疆	(182)
几项实用新技术在东河水库除险加固工程中的设计			
应用	宋剑鹏	杨泽慧	关洪涛 (188)
汉坪嘴水电站坝基防渗墙施工综述		孙志峰	(192)
汉坪嘴水电站大坝垫层料填筑与边墙挤压施工综述		周彦	(198)
碾压式土石坝的反滤层简易施工方法		张永春	(203)
三原西郊水库均质土坝工程坝基降排水施工	侯敏	张少卫	(206)
振动切槽成墙新技术在东湖水工程中的应用	王晓燕	杜青	刘希成 (212)
土石坝复合土工膜防渗斜墙的施工设计		李星	(218)
物探在水利水电工程中的应用及成果综述	魏树满	刘康和	(222)
建在倾斜基础面上的混凝土面板堆石坝筑坝材料研究		肖贡元	(229)
滩坑水电站面板堆石坝筑坝材料湿化变形研究	彭育	陈振文	汤阳 (236)
论土工沥青混凝土的变形性能及其在土石坝防渗面板设计中的应用		吴立新	(247)
从土的压实机理分析心墙土料的压实质量控制		胡晓阳	(262)
SR 塑性止水材料的研制和应用		谭建平	(267)
水牛家水电站心墙堆石坝工程高塑性黏土替代材料试验			
研究	田中涛	何竞学	钟德辉 千海勇 (290)
对混凝土面板堆石坝压实质量检测方法的评估		吴放鹤	(296)
汉坪嘴水电站面板混凝土配合比设计		孙志峰	(300)
砾质土在华东宜兴抽水蓄能电站黏土心墙堆石坝的应用	李霞	王伟	(304)
200m 级高面板坝混凝土接缝表层止水结构研究和			
应用	谭建平	王志宏	陈乔 吴启民 (307)
江苏宜兴抽水蓄能电站上水库混凝土面板堆石坝填筑碾压试验成果分析		吴放鹤	(313)
k_{30} (k_{50}) 法检测坝料填筑质量技术在公伯峡高固板坝工程中的应用			
研究	赵继成	徐联红	(326)
碾压式土石坝防渗土料的选择及其填筑标准		孙胜利	(334)
某水库大坝抗渗设计	王江涛	张爱华	(341)
泥山坝心墙漏水事件及处理		曹克明	(344)
白溪水库混凝土面板堆石坝施工运行分析	徐建军	曹克明	(349)
天生桥一级面板堆石坝变形分析	朱锦杰	赵晓宇	(364)
天生桥一级大坝固板应力分析	朱锦杰	邢林生	(375)
石砭峪沥青混凝土固板坝除险加固		钟家驹	(382)

混凝土轻型坝面板病害及治理	聂广明 (389)
江苏沙河抽水蓄能电站安全监测系统设计	曹国福 潘江岩 和再良 (394)
渗流反演分析在明光坝扩建工程设计中的应用	段世超 杨永叶 (401)
松树水库土坝除险加固设计	常万军 吕洪飞 尹一光 (409)
新疆下坂地水库坝基防渗处理设计	周春选 王 健 刘凤兰 (413)
浅谈张家坝水库大坝用料与观测资料分析	王 克 (419)
花凉亭水库大坝结构及渗流分析	王天星 (422)
坝基深层软岩对土石坝防渗系统的影响	李 星 (425)

基础,熟悉各种计算方法,这是一个容易被人们所重视的一个方面。

工程实践中容易被忽视的另一面是工程实践经验对做好土石坝设计的重要作用。土石坝设计中,无论坝体、坝基都不均匀,都属于非匀质弹塑性体,进行计算往往要对应力应变关系、物理力学参数和边界条件等做一些假定,属于半经验半理论,通常委托几家做计算,会得出互不相同的结果,故有时只能供判断和采取工程措施时参考,而不能作为设计决策的惟一依据。如深厚覆盖层中的混凝土防渗墙计算,涉及两侧土压力、下游侧覆盖土的弹性抗力系数以及墙顶填土与两边填土因拱效应而增加作用在墙顶的填土竖向应力问题,都不容易算准,计算出来防渗墙的压应力往往远大于实测值。又例如,当局部应力水平大于1,产生局部塑性区,但不等于整体剪切破坏,两者关系是难以定量的,常由经验判断。再例如,混凝土重力坝与土石坝采用插入式相连接,则插入土体中的重力坝上下游侧土压力就不容易算清。还有目前按孔、排距计算灌浆帷幕厚,据以核算其水力梯度是否超过允许值。实际上灌浆浆液在压力作用下,在裂隙中扩散,其厚度不仅取决于孔、排距,更主要取决于裂隙分布情况,灌浆材料和灌浆压力等,很难算清。所以岩土计算很多属于半经验半理论,往往只能定性,难以定量,难以准确无误反映客观实际,因此涉及岩土的设计规范,在总结已成工程实践基础上,把计算方法、参数选定和允许的最小安全系数相互匹配,做出相应规定,使计算结果接近实际情况。如用圆弧滑动进行土坝坝坡稳定分析,以往多采用不计条块间作用力的瑞典圆弧法,近年来引入计算条块间作用力的简化毕肖普法,后者比前者更合理,算出坝坡也常比前者陡些。但是以往已建成的土石坝坝坡,大半采用不计条块间作用力的瑞典圆弧法和相配套的安全系数来计算确定,并已经受实践考验,而简化毕肖普法虽更合理,但实践经验相对少些,如何确定相配套的安全系数,考虑到大坝失事后果严重,为保险计,必须类比已建成的经过实践考验的土石坝坝坡。因此在新修订的SL274—2001《碾压式土石坝设计规范》中,对坝坡稳定分析虽首选简化毕肖普法,但要求其允许的最小安全系数比瑞典圆弧法提高约8%,使两种方法算的坝坡接近。又例如散粒体(堆石、砂砾)的抗剪强度 ϕ ,比较精确应以众所周知的非线性方程式来表示($\phi = \phi_0 - \Delta\phi \lg \sigma_3 \text{ Pa}$),这更符合实际情况。但以往多采用线性,即假定 ϕ 为一定数,算出的最危险滑弧往往为浅层,靠近坝坡,不尽合理。由于已建工程多用线性设计坝坡,并已有配套安全系数,而非线性虽更合理,算出坝坡也常比线性陡,但尚未经广泛实践,还未能形成相配套的允许最小安全系数,因此新版碾压式土石坝设计规范规定,对散粒料抗剪强度仍建议采用线性。如建在岩基上的混凝土重力坝,用抗剪断强度及抗剪强度公式分别进行相同断面的抗滑稳定计算,前者算出抗滑安全系数比后者大。因此规范规定,允许的最小抗滑稳定安全系数用抗剪断强度公式计算,要求远大于用抗剪强度公式计算,使算出坝坡不会相差太大,更符合实际。又如面板堆石坝规范,通过总结大量工程实践经验后,规定在一般情况下,上下游坝坡可采用1:1.3~1:1.4,可不进行抗滑稳定计算。

综上所述,进行土石坝设计,不能只靠书本知识和计算,更重要在于紧密联系实际,重视工程实践经验。首先应深入分析研究地勘所取得的第一手资料,再采取相应工程对策。例如根据当地筑坝材料种类、分布情况、性质和蕴藏量等来确定断面型式;又例如对

建在砂砾覆盖层上土石坝,在进行坝基渗流控制设计时,应深入研究分析覆盖层厚度,砂砾的分层情况和物理力学性质等,针对不同情况,采取不同工程措施。如对于覆盖层比较厚的中低坝,如果地基比较均匀,而且对控制渗漏水量要求不高时,可采用水平铺盖防渗;如覆盖层不厚,不超过10~15m,以设置土质截水槽为妥;如覆盖层厚,而且是透水层和不透水层互为夹层的多层结构,可能设置混凝土防渗墙为宜。在排渗方面,对于表层为相对不透水层的双层结构地基,在表层不透水层不厚的情况下,应将其挖穿,以利排渗;如表层不透水层厚,可设减压井等等。其次,进行土石坝设计还应该重视类比已建土石坝工程的经验。已建成土石坝的运行情况,等于是在现场进行1:1模型试验,无论成功或失败经验都很宝贵。在进行土石坝设计时,无论参数取值、布置、所采取的结构措施,都要注意和已建成工程进行类比,做到心中有数,因此,应该广泛积累并熟悉已建成土石坝工程的设计经验和运行资料。所以作为一个成熟的土石坝设计工程师,不仅应有扎实的理论基础和熟悉各种计算,更重要应通过实际工程锻炼,具有丰富的工程实践经验,能紧密联系实际,结合坝址地形地质和筑坝材料等具体条件,借鉴已建成工程的成功经验,在土石坝布置、结构选型和工程措施等方面,提交一个既经济又安全的设计成果。

3 运用实践经验解决工程问题实例

作者参加许多土石坝工程问题的处理,都不是单纯依靠书本和计算,而是要结合理论知识,凭借经验,针对具体问题进行具体分析,提出行之有效的工程措施,加深了对工程实践重要性的认识。

3.1 小浪底大坝右岸漏水问题

小浪底水利枢纽工程为黄河下游骨干工程,库容127亿 m^3 ,河床为砂砾覆盖层,最大厚度81m,采用壤土斜心墙堆石坝,最大坝高160m,现仅介绍对早期右岸1号排水洞漏水问题的分析和对待。右岸基岩为二叠系岩层,透水砂岩与相对隔水的黏土岩互为夹层,相对隔水层P12分布较深,设计采用悬挂式帷幕灌浆,未将P12层上面的P22透水层完全封闭。在帷幕下游设1号排水洞,平面成“U”形,由下游岸坡进入坝壳下面,再在洞内打上下排水孔排水。1999年10月25日下闸蓄水,至同年12月初,库水位蓄至205米左右(库水深仅60多米),1号排水洞渗漏量达5000 m^3/d 左右,引起各方忧虑,恐怕影响大坝安全,召开了专家会,会上甚至有人对岸水可否继续上蓄表示怀疑。而作者认为继续蓄水不会影响大坝安全,理由是:①渗水原因主要是由于排水孔深入到P12隔水层上面的P22透水层,其上游裸露于库区支流小清河,以10°倾向下游,有充沛水源,但随库区淤积,进口会逐渐被淤,情况好转;②P22为砂岩不容易产生管涌破坏,而且排水孔进水部分还包有土工织物,可起反滤作用,防止渗水带出土粒;③P22与坝底间有15m厚相对隔水岩层P3-12,可对大坝起屏障作用,不会直接冲刷心墙,还提供了足够盖重,防止P22渗水产生顶托破坏;④沿心墙与基岩接触面已设混凝土盖板,将斜心墙与基岩隔开,不至因基岩渗水而引起壤土心墙的接触冲刷。根据以上分析,认为不影响蓄水,仅需在局部地段适当补充灌浆,加强渗水观测即可。以上建议得到有关领导认可,决定继续蓄水。至今已蓄水数年,最高已蓄至265.7m水位(库水深约120多m),离正常高水位275m不到

10m。通过蓄水考验,情况正常,随水库淤积,情况逐渐好转,1号排水洞渗水量已明显减少,如当库水位为230~240m时,库水位每升高1m的渗水量增幅由以往 $290\text{m}^3/\text{d}$ 降至目前 $24.2\text{m}^3/\text{d}$,证明上述分析判断正确。

3.2 建在活断层上的新疆克孜尔土坝

新疆克孜尔水库位于阿克苏地区拜城县,库容614亿 m^3 ,水库任务是灌溉、防洪和发电,受益者主要为少数民族。拦河坝采用心墙土坝。左岸副坝高约20多m,位于 F_2 活动逆断层上。根据现场精密观测,证实上下盘每年都有相对位移,年平均垂直方向0.307mm,水平方向0.48mm。坝址区按Ⅷ度地震设防,粗估如发生Ⅷ度地震,副坝会被 F_2 活断层错裂,导致溃决。由于 F_2 贯穿上下游,延伸甚远,无法避开,必须解决在活断层上安全建坝的问题。1988年11月应新疆水利厅邀请,在现场研究处理办法,建议在副坝下游,在 F_2 两侧附近增设1道圈坝,其两端与原副坝相连,将 F_2 圈住,再在副坝与圈坝之间填筑砂砾并压实,如地震时 F_2 将副坝错裂,但两道坝之间的砂砾不会开裂,可暂时挡住库水,赢得时间抢修副坝。此建议被采纳实施,再配合其他措施,解决了活断层上筑坝的技术难题,现水库已建成运行,情况正常。

3.3 石景山火电站扩机工程拦灰坝右坝肩处理

北京石景山火电站60万kW扩机工程为国家“七五”计划重点工程,其堆放粉煤灰用的拦灰土石坝高约60m。施工时发现右坝肩岩石中存在五六条与坝轴平行,直径1.5~2m,长40~60m的小洞,经了解是当地农民1958年开挖石笔矿脉而留下的。设计单位因担心洞子坍塌影响坝体质量,投产后可能通过洞子产生绕坝集中渗漏,故坚持对右坝肩进行大开挖,把小洞全部挖除。将增加100多万 m^3 的石方开挖,并使工期延长1年。1987年应邀前往现场研究处理办法,通过考察调研,作者认为洞径小,即使坍塌,影响范围不大;两岸地下水位远低于地面,尾矿坝蓄水后不会产生绕坝渗流,故极力主张只需将洞口用浆砌块石堵塞,不必进行大开挖。被工程指挥部采纳,节省石方开挖100多万 m^3 ,节约投资2000多万元,使扩机工程按时向北京供电,经多年运行,情况良好。

3.4 碧口土坝加固

甘肃省碧口水库位于白龙江,库容514亿 m^3 ,拦河坝采用心墙土坝,最大坝高101m,河床砂砾覆盖层厚36m,在心墙下面设1道混凝土防渗墙,切断砂砾覆盖直达基岩。原设计在心墙与砂砾坝壳接触面设有反滤层,后被施工单位取消,填筑砂砾坝壳时,由于卸料时产生分离,坝壳与心墙接触而普遍有大卵石集中,与心墙土料之间不能满足反滤要求,蓄水后可能使心墙发生管涌。此外,在某些坝段,在混凝土防渗墙下游侧,遗留有造墙平台所抛填的堆石未清,也未设反滤与心墙土料隔开,蓄水后可能沿防渗墙与心墙接触而产生管涌破坏。1971年11月在现场研究加固处理,当时坝体已填筑30多m,不可能挖开处理,建议在第一道防渗墙下游再打1道混凝土防渗墙,穿过已填坝体和砂砾覆盖层,直达基岩,防渗墙最大深度达68m。该建议被接受并实施,现碧口土坝已蓄水多年,情况良好。

3.5 22万伏高压输电铁塔基础处理

北京—宝坻220kV高压供电线路,需跨越潮白河,设置过河铁塔,其基础为129号塔

基框架,由 4 根直径为 1.2m 的管柱桩上接直径为 1.2m 的立柱组成,冬季河水结冰后,挤压塔基框架,将其剪切破坏,两次加大框架断面进行加固,均告失败,累计停电半年多,每天直接经济损失 1 万元。1998 年,作者建议填筑高 4.8m 土墩(高出最高水位),将塔基埋在土墩中,沿土墩四周在迎水坡上浇筑混凝土板,冬季结冰,冰盖沿混凝土板向上移动,最终破裂,解除冰压力。使埋在土墩中的塔基得到保护,至今已经受 6 个冬天结冰考验,情况良好,该法还被业主用在其他 3 个类似情况的过河高压线铁塔塔基的保护,效果显著。

4 结语

国内外筑坝实践表明,土石坝由于可就地取材,对地基要求相对低,故被广泛采用,其数量远超过其他坝型。土石坝无论坝体坝基,都属于岩土范畴,都是非均质弹塑性体,计算时往往需对应力应变关系、物理力学参数或边界条件等做一些假定。计算公式常属于半理论半经验,计算结果难以准确反映客观实际,有时只供判断用,不能成为设计决策的惟一依据。因此涉及岩土的计算,有关规范常将参数取值、计算方法及要求的安全系数相互匹配,使结果尽量符合实际。做好土石坝工程设计,不仅应有扎实的理论基础,熟悉计算方法,更重要应重视工程实践,在参加具体设计工作中积累丰富经验,用来指导土石坝设计。作者参加过许多土石坝工程处理,本文从中举出 5 例,说明行之有效的处理办法都不是来自书本,也不仅仅根据计算,而是依靠实践经验分析判断,提出了有效措施,希望以此强调做好土石坝设计要重视工程实践经验这一原则。

中国混凝土面板堆石坝 20 年回顾

蒋国澄¹ 赵增凯²

(1 中国水利水电科学研究院 2 水利水电规划设计总院)

中国自 1985 年开始用现代技术修建混凝土面板堆石坝, 已经过 20 年历程。从引进、吸收到自主研究开发, 积极推广, 至 2004 年在建和已建的已有 150 座左右, 在数量、规模和技术进步方面, 都处于世界前列。本文对 20 年来中国混凝土面板堆石坝的工程实践和技术进步作一简要回顾。

1 回顾

中国自 1985 年开始用现代技术修建混凝土面板堆石坝, 已经过 20 年历程。起步虽晚, 但起点高, 发展快。到 2004 年的不完全统计, 已建成和在建的坝高大于 30m 的有 150 座左右, 其中坝高大于等于 100m 的有 37 座, 见表 1。已建成最高的是天生桥一级, 高 178m, 居世界第二, 而其库容、坝体体积、面板面积、电站装机容量等指标均居世界同类工程之首。在建最高的是水布垭大坝, 高 233m, 为目前世界第一高度。中国的混凝土面板堆石坝的数量、规模、技术难度都已居于世界前列。

表 1 中国混凝土面板堆石坝 (坝高不小于 100m, 2004 年)

序号	坝名	地点	河流	坝高 (m)	坝体体积 (万 m ³)	面板面积 (m ²)	库容 (亿 m ³)	装机容量 (MW)	完成年份
1	水布垭	湖北巴东	清江	233	1526	137000	45.8	1600	在建
2	三板溪	贵州锦屏	清水江	185.5	828	84000	40.95	1000	在建
3	洪家渡	贵州黔西	六冲河	179.5	920	75100	49.47	600	在建
4	天生桥	贵州、广西	红水河	178	1800	177000	102.6	1200	2000
5	滩坑	浙江青田	小溪	162	980	95000	41.9	600	在建
6	紫坪铺	四川都江堰	岷江	158	1117	108800	11.12	760	在建
7	吉林台	新疆尼勒克	喀什河	157	836	74000	24.4	460	在建
8	马鹿塘	云南麻栗坡	盘龙江	154	800			300	在建
9	龙首二级	甘肃张掖	黑河	146.5	253	26400	0.86	157	2004
10	瓦屋山	四川洪雅	周公河	140	350	20000	5.5	240	在建
11	九甸峡	甘肃	洮河	136.5	385	41300	9.72	300	在建
12	珊溪	浙江文成	飞云江	132.5	580	70000	18.24	200	2001

续表

序号	坝 名	地 点	河 流	坝 高 (m)	坝体积 (万 m ³)	面板面积 (m ²)	库 容 (亿 m ³)	装机容量 (MW)	完成年份
13	公伯峡	青海循化	黄 河	132.2	476	57500	6.2	1500	2004
14	乌鲁瓦提	新疆和田	喀拉喀什	133	649	75800	3.47	60	2000
15	龙 马	云南墨江	把边江	130				280	在 建
16	引子渡	贵州平坝	三岔河	129.5	310	37500	5.31	360	2002
17	街 面	福建尤溪	尤 溪	129	340	30000	18.2	300	在 建
18	白 溪	浙江宁海	白 溪	124.4	403	48400	1.68	18	2001
19	鄂 坪	湖北竹溪	汇湾河	124.3	298	43000	2.96	114	在 建
20	黑 泉	青海大通	宝库河	123.5	540	79000	1.82	12	2000
21	芹 山	福建周宁	穆阳溪	122	248	42000	2.65	70	1999
22	白 云	湖南城步	巫水	120	170	14500	3.6	54	1998
23	古洞口	湖北兴山	古夫河	117.6	190	28100	1.48	45	1999
24	芭蕉河	湖北鹤峰	芭蕉河	115	192	36000	0.99	34	在 建
25	泗南江	云南墨江	泗南江	115	297		2.63	200	在 建
26	高 塘	广东怀集	白水河	111.3	195	26400	0.96	36	2000
27	金造桥	福建屏南	金造溪	111.3	175		0.95	60	在 建
28	双 沟	吉林抚松	松江河	109.7	258	37500	3.9	280	2003
29	那 兰	云南金平	藤条江	108.7	259	40800	2.86	150	在 建
30	鱼 跳	重庆南川	大溪河	106	195	18800	0.95	48	2001
31	鲤鱼塘	重庆开县	桃溪河	105	180	25300	1.02	1.5	在 建
32	洞 巴	广西田林	西洋江	105	316	52700	3.15	72	在建
33	茄子山	云南龙陵	苏帕河	103.6	129	22000	1.26	16	2000
34	思安江	广西桂林	思安江	103.4	210	41200	0.94	12	2003
35	盘石头	河南鹤壁	淇 河	102.2	548	73500	6.08	10	2003
36	柴石滩	云南宜良	南盘江	101.8	235	38200	4.37	60	2000
37	白水坑	浙江江山	江山港	101.3	150		2.46	40	2003