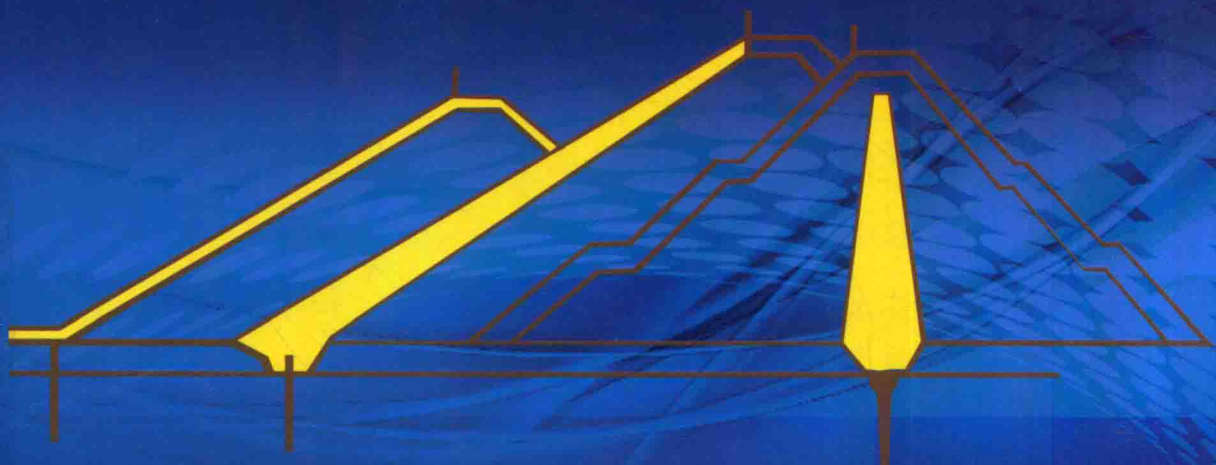


土石坝技术

Technology for Earth-Rockfill Dam

2015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

2015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

图书在版编目 (CIP) 数据

土石坝技术. 2015 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. 12

ISBN 978-7-5123-8754-6

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 315024 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>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2015 年 12 月第一版 2015 年 12 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 37.25 印张 850 千字

定价 140.00 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 江	迟世春	程展林
	邓毅国	冯业林	何定恩	黄晓辉	孔宪京
	李 伟	李 勇	李国英	李庆云	练继建
	吕明治	刘战生	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	张 蕊
	刘一萍				

我国西部水能资源丰富,交通及地形地质条件复杂,土石坝因对地质条件的适应性强、能就地取材、充分利用建筑物开挖料、工程经济效益较好等优点,在水电工程建设中占据了重要地位。近年来完建、在建及拟建的多座坝高 200m 以上的水电站如糯扎渡水电站(坝高 261.5m)、古水水电站(坝高 240m)、双江口水电站(坝高 314m)、两河口水电站(坝高 295m)、如美水电站(坝高 315m)等均将土石坝作为代表性坝型。这些高土石坝工程的建设将进一步推动我国和世界土石坝技术的发展,特别是在糯扎渡高心墙堆石坝工程建设中,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创新性成果,使我国堆石坝筑坝技术水平迈上了一个新台阶。

在近期土石坝建设取得较大进展的同时,依然存在较多需要进一步解决的问题。例如,近期建设的几座 200m 级高土石坝出现变形较大且稳定时间较长、防渗体系破损及渗漏量较大、产生裂缝等问题,对于这些问题产生的机理、过程及其防治和治理措施,都需要进一步开展研究。另外,在西部高海拔地区,将面临复杂区域地质、高地应力、高地震烈度、深厚覆盖层、高寒等条件下的一系列工程技术难题,急需开展深入研究,推动西部大开发进程。

水利水电土石坝工程信息网成立 30 多年来,致力于适应新形势下土石坝建设的技術需求,广泛收集和积累专业信息和资料,总结土石坝工程建设经验,促进信息网内外专业技术交流,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,为土石坝工程技术的发展起到了积极的促进作用。

水利水电土石坝工程信息网通过甄选当年土石坝工程领域的最新学术论文,每年出版 1 册《土石坝技术》论文集,为广大水利水电工作者特别是从事土石坝设计研究的同仁们搭建一个交流和分享的平台。《土石坝技术》2015 年论文集是中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司继任网长单位后组织编制的第 3 册论文集,编制过程中得到了各网员单位的大力支持,在此表示感谢。

相信本论文集的出版、发行能为广大从事土石坝工程设计、施工、管理技术的同仁们提供有益的借鉴。

《土石坝技术》编委会
2015 年 12 月

前言

红石岩堰塞湖永久整治工程

云南鲁甸“8·03”地震天花板水电站应急处置过程与思考

..... 周海慧 易玉平 黄启平 (1)

牛栏江红石岩堰塞湖除险防洪工程设计 程 凯 杨再宏 张 承 (9)

红石岩堰塞湖堰塞体探测方法研究与应用

..... 吴学明 高才坤 王 俊 戴国强 徐 辉 刘 杰 (20)

红石岩堰塞湖应急处置的关键技术

..... 王 琳 李守义 于 沐 杜效鹤 邓 刚 (31)

红石岩堰塞湖整治工程施工导流设计 欧 岗 杨宏斌 王 强 (38)

高风险等级堰塞湖应急处置洪水重现期标准

..... 周兴波 陈祖煜 李守义 王 琳 (50)

牛栏江红石岩堰塞湖堰上水位及出流变化分析..... 师宝寿 舒远华 王绍志 (64)

3S集成技术在牛栏江红石岩堰塞湖整治工作中的应用 闻 平 桂 林 吴小东 (68)

云南鲁甸“8·03”地震红石岩堰塞湖水文应急监测工作回顾与探讨

..... 尹炳槐 何顺波 彭德才 陈 杨 (76)

非工程措施在牛栏江红石岩堰塞湖排险处置中的应用..... 舒远华 师宝寿 赵 伟 (82)

牛栏江红石岩堰塞湖流域水文特性分析 赵 伟 (88)

水库联合调度在堰塞湖排险处置中的作用研究..... 王绍志 舒远华 郎学友 (93)

红石岩堰塞湖洪水风险分析..... 任继周 赵 伟 (98)

浅谈特殊工期条件下溢洪洞开挖方式研究 马红钧 马 炜 (103)

云南鲁甸“8·03”地震恢复重建龙头山镇设计洪水分析

..... 舒远华 王绍志 师宝寿 (107)

VPN技术在红石岩堰塞湖整治工程中网络组建解决方案 孟 宇 (112)

云南鲁甸“8·03”地震牛栏江红石岩堰塞湖水文预报误差及成因分析

..... 宋昭义 谢开荣 肖 军 晋方强 (116)

工 程 设 计

茨哈峡混凝土面板堆石坝技术可行性及大坝安全性初步研究

..... 周 恒 翟迎春 张晓将 陆 希 徐宏璐 (125)	
糯扎渡水电站导截流关键技术研究及实践	曹军义 李仕奇 (132)
猴子岩水电站面板堆石坝变形控制研究	姜媛媛 (140)
金沙江梨园水电站面板堆石坝坝料分区设计	魏亮亮 刘绍川 杨再宏 (146)
混凝土面板堆石坝料场布置优化问题研究	吴学雷 赖永明 (152)
朱家洞水库混凝土坝段与均质土坝的连接设计	包芬芬 李 艳 何 楠 (158)
糯扎渡水电站左岸上游人工砂石加工系统设计研究	钟亚辰 胡丹书 赵 寅 (162)
马鹿塘水电站二期工程大坝设计施工综述及运行期监测情况简析	
..... 张 承 刘项民 (169)	
金沙江梨园水电站坝址复杂堆积体作为坝基的适宜性研究	
..... 刘绍川 魏亮亮 杨再宏 王国良 (175)	
黄角树电站等电位接地网浅析	龚 俊 (181)
古水高面板堆石坝安全指标和设计工程措施研究成果 ...	冯业林 陈 域 雷红军 (185)
高心墙坝反滤料及掺砾石料加工系统设计创新与实践	
..... 胡丹书 李 果 赵 寅 梁皓哲 (193)	
文莱都东水坝反滤料除泥系统设计	陈 航 姚 远 沈增良 (205)
莲花寺水库混合坝型方案设计	李 艳 何 楠 陈晓年 (212)
涵洞顶坍落拱设计	吴一匡 (217)
梨园水电站施工导流研究及实践	曹军义 杨宏斌 (220)
对紫坪铺、多诺、卡基娃、猴子岩四座面板堆石坝设计、施工中一些细节问题的观察及思考	冯 军 (225)

试 验 研 究

300m 级高混凝土面板堆石坝应力变形特性研究	徐泽平 邓 刚 (232)
面板坝混凝土面板动力损伤有限元分析	孔宪京 徐 斌 邹德高 单其宽 (243)
堰塞湖天然坝安全性状快速评估研究	严祖文 李维朝 (252)
中欧规范液塑限试验成果对比分析	郭天龙 徐 涛 (258)
长河坝水电站大坝砾石土心墙填筑质量控制研究	
..... 保华富 谢正明 庞 桂 王海波 (261)	
仙居抽水蓄能电站上水库面板堆石坝碾压试验参数合理选择	王 波 王宏伟 (271)
杂曲面板堆石坝的地震响应分析	洪玉童 董霄峰 (283)
关于碎石土回填碾压中压实系数控制的讨论 ...	周 政 张 超 李宝国 王金乾 (289)
加筋土石坝坡抗震稳定的上限极限分析	杨昕光 迟世春 吕小龙 (295)
水布垭面板堆石坝大坝料场爆破试验的技术分析	顿 江 陈怀均 徐新桐 (305)
砾砂渗透、渗透变形参数统计分析研究	
..... 齐俊修 赵晓菊 刘 艳 张中炎 张广禹 (317)	
水泥稳定土材料的压实特性和质控关键	高宏志 (322)

辊筒筛分系统的改进及优化 李德镇 姚福拴 邓 禹 崔立彬 (329)
 无凝聚性粗粒料用作筑坝材料压实特性研究
 保华富 谢正明 王海波 庞 桂 王 磊 (335)

工 程 建 设

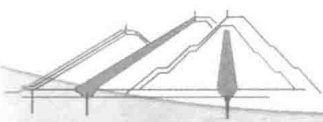
GIN 法灌浆施工在曼维莱水电站中的运用 徐建闽 王进城 郭天龙 (344)
 番禺地区病险水库地质特点及加固对策
 王启国 杨汉良 祐卫华 陈连军 熊顺峰 丁淑平 (349)
 塔贝拉 100m 级深水区无导轨下闸关键技术简介 张光辉 (357)
 高寒高海拔地区堆石坝面板混凝土浇筑质量控制 金永才 杨 杰 李晓玲 (367)
 复杂地质条件下土石方动态平衡调配管理与实践 劳俭翁 严大顺 占 懿 (373)
 某水电站尾水洞围岩稳定性三维数值模拟研究
 张 蕊 钟亚辰 王自高 王 昆 冯汉斌 (382)
 混凝土面板堆石坝施工数字化管理系统应用技术 项建明 劳俭翁 周一峰 (389)
 刚果(布)英布鲁水电站砂岩工程特性及处理 李德群 岑 萍 (397)
 长河坝水电站大坝度汛填筑施工关键技术与新工艺 李法海 韩 兴 薛 凯 (401)
 西南某水电站坝基裂隙岩体渗透性分析 王永辉 李 忠 王 忠 杨 建 (407)
 马延坡蠕滑变形体抗滑桩和锚索施工技术 刘加朴 (413)
 杨庄水库混凝土面板堆石坝坝基处理 王 昊 屈志勇 (420)
 长河坝水电站接触黏土调水工艺研究与应用 熊 亮 杨培青 陈 曦 (423)
 挤压式混凝土边墙施工技术在混凝土面板堆石坝中的应用
 钱军强 王式川 王芳琳 (429)
 苏丹上阿特巴拉电站基础处理综述 王碧峰 (435)
 积石峡水电站面板堆石坝不均匀沉降控制措施
 张 伟 崔文娟 蔡新合 郭永康 顾 斌 (442)
 改性水玻璃浆液在基础处理中的应用 石 峰 毛建新 (448)
 高寒、高蒸发地区察汗乌苏、柳树沟面板坝钢筋混凝土面板防裂抗裂技术探讨
 赵 庆 苗 喆 李学强 (453)
 泥浆机械喷涂新工艺在高土石坝施工中的应用 陈 曦 黄 哲 (459)
 浅谈窄巷口水电站左岸 K_{18.2} 溶洞处理施工技术 赵攀峰 王 龙 赵克欣 (464)
 格宾石笼护坡技术在老虎嘴水电站下游左岸边坡塌陷处理工程中的应用
 乔秀笙 (471)
 浅谈长河坝坝体填筑施工质量控制 裴 伟 韩 兴 杨培青 孙国兴 (477)
 索风营水电站 Dr2 危岩体锚固洞施工技术 王晓平 周国锋 王正军 (483)
 长河坝水电站拦河大坝砾石土心墙分区填筑施工方法 ... 陈 曦 韩 兴 黄 哲 (490)
 新三管中压浆往复高喷成墙施工工法 石 峰 毛建新 王 勇 刘启国 (495)
 西藏夏布曲干流拉洛电站坝址比选地质分析 司马世华 辛建芳 普 布 (504)

监 测 检 测

观音岩水电站心墙堆石坝施工质量强度检测 ...	李小群	刘斯宏	赵红伟	杨家卫	(512)
200m 级高面板堆石坝安全监测技术调查与总结	邹 青	谭志伟	张礼兵		(519)
某大坝右岸渗水来源和季节性存在分析	吕高峰	王玉洁	周建波	朱锦杰	(529)
某水库坝体填筑土质量检测评价	李德群	张吉才	岑 萍		(536)
积石峡水电站混凝土面板堆石坝监测设计	黄燕妮	陈树联	顾永明	唐鹏程	(542)
高面板堆石坝变形性态分析与研究		张礼兵	冯燕明		(549)
高面板堆石坝面板脱空影响因素研究		冯燕明	张礼兵		(555)

其 他

苛刻环境条件下大方量土石挖运工程环保水保综合管理技术	练新军	汪宏旺	劳俭翁		(562)
南美深覆盖层地基液化处理技术及经济效益分析			林学军		(569)
糯扎渡水电站移民安置综合设代工作管理方面存在的问题及对策建议			沈 静		(576)
南美冲积地层坝基防渗技术及经济效益分析			林学军		(580)



红石岩堰塞湖永久整治工程

云南鲁甸“8·03”地震天花板水电站 应急处置过程与思考

周海慧 易玉平 黄启平

(中电投云南国际电力投资有限公司)

[摘要] 2014年8月3日16时30分,云南省昭通市鲁甸县境内发生6.5级地震,地震烈度达Ⅸ度,震源深度12km,地震引起了山体垮塌,在天花板水电站上游19km处形成堰塞湖,堰塞体总方量约1200万 m^3 。堰塞湖严重危及上下游人民生命财产安全及电站安全,本文就天花板水电站应对红石岩堰塞湖的处置过程做了一个简单的回顾,对堰塞体溃坝风险、天花板水电站大坝及近坝库岸变形堆积体安全稳定做了初浅的分析,对处置过程中的不足做出了一些不成熟的思考,希望从实战中积累经验,可为处置类似事件提供借鉴。

[关键词] 云南鲁甸 红石岩堰塞体 天花板电站 堆积体 溃坝

1 云南鲁甸“8·03”地震及红石岩堰塞湖概述

2014年8月3日16时30分,云南省昭通市鲁甸县境内发生6.5级地震,地震烈度达Ⅸ度,震源深度12km。震中位于鲁甸县龙头山镇,距离天花板水电站大坝约11km。地震引起了两岸山体崩塌,在牛栏江干流形成了堰塞湖。堰塞体位于红石岩水电站大坝下游600m处,堰塞体坝顶高程1216m,坝高83~96m,上游侧坝宽286m,下游侧坝宽78m,顺河方向长度753m。堰塞体为两岸强风化白云岩高速崩落而成,总方量约1200万 m^3 。堆积物中巨石体约占10%,粒径30cm以上的块石约占30%,粒径10~30cm的块石约占40%,粒径10cm以下的块石约占20%。在堰塞湖水位达到1216m时,总库容约为2.6亿 m^3 。堰塞湖见图1。

2 红石岩堰塞湖应急处置回顾

2.1 应急预案的启动

云南鲁甸“8·03”地震的震级高、震源浅,造成重大人员伤亡及地质灾害,因山体滑坡形成了牛栏江红石岩堰塞湖,水位以1m/h的速度迅速上涨,对中国电力投资集团公司(简称中电投集团)牛栏江流域各个水电站及人员安危形成严重威胁。中电投集团高度重视,立即研究部署抗震救灾工作,成立了应急领导小组,指派4位专家赶赴灾区了解灾



图1 牛栏江红石岩堰塞湖

情，协助指导有关工作。二级公司中电投云南国际电力投资有限公司（简称云南国际）第一时间启动了应急预案，总经理紧急带队赶赴灾区，现场指挥救援工作；建立与地方政府及牛栏江红石岩堰塞湖排险处置指挥部的工作联系，安排专人跟踪堰塞湖处理方案及实施进度；按牛栏江红石岩堰塞湖排险处置指挥部要求，加大天花板水电站下泄流量，尽快腾空库容；将天花板水电站现场人员撤至安全区域，并做好现场值守人员安排，请求地方政府给予现场值守人员生活物资的补充；加强天花板水电站库区左岸变形体监测，要求设计单位开展地震对天花板水电站大坝及库区左岸变形体影响分析；为防止因堰塞湖水位上升可能导致小岩头水电站尾水水淹厂房，拟定了修筑临时挡水子堤方案；组织安排各电站开展排查，评估本次地震造成的损失等。

2.2 红石岩堰塞湖对天花板电站可能产生的主要危害

堰塞湖位于红石岩水电站大坝与厂房之间，距离下游天花板水电站大坝约 19km。堰塞湖与上下游电站平面位置见图 2。



图2 堰塞湖与上下游电站平面位置示意图

天花板水电站为碾压混凝土双曲拱坝,坝顶高程 1076.8m,坝高 107m,坝顶长 159.87m,装机容量 $2 \times 90\text{MW}$ 。正常蓄水位 1071m,相应库容 6569 万 m^3 ,校核洪水位 1076.5m,相应库容 7878 万 m^3 。若不采取措施降低堰顶高程或对堰塞湖引流降低湖水位,堰塞湖将持续蓄水,最大可能蓄水量达 2.6 亿 m^3 ,若发生大范围溃坝,高速、大流量洪水可能影响大坝、厂房及附属建筑物的安全,且会剧烈冲刷由国家能源局云南省监管办列为二级重大安全隐患的天花板水电站库区左岸田坝村堆积体的坡脚,可能导致其失稳,引发三次灾害。

2.3 采取的应急措施

为了尽可能地减小天花板水电站库水位快速下降可能对库区左岸变形体的影响,天花板水电站采取了必要的控泄措施。地震发生前,库水位为 1069.01m。2014 年 8 月 3 日 16:30 地震发生后,机组全部停机,坝顶电源中断,迅速启动柴油发电机开启了表孔闸门,库水位控制在 1069.00m。8 月 3 日晚,发现堰塞湖后,陆续开启中孔,8 月 4 日 9 时库水位控制在 1063.3m。8 月 4 日 14 时,云南国际分析德泽水库关闸控制其上游来水量和堰塞湖以上总体来水情况,经研究拟按 48h 将库水位降至死水位 1050m 的标准调整中孔开度,8 月 5 日 9 时,库水位为 1056.8m;当日,应牛栏江红石岩堰塞湖排险处置指挥部的要求,尽最大可能迅速腾空水库,于是中孔全开,库水位迅速下降,8 月 6 日 16 时,水库基本达到来泄水平衡,库水位大约 1022 左右,腾出库容约 7500 万 m^3 。具体水位变化情况见表 1。

表 1 天花板水电站库水位变化情况表

放水时间	3 日 16:30	3 日 19:00	4 日 9:00	4 日 23:00	5 日 9:00	5 日 16:00	5 日 21:00	6 日 9:00
库水位 (m)	1069	1069	1063.3	1060.6	1056.8	1050.0	1045.7	1025.0

2.4 堰塞体溃坝对天花板大坝的风险分析

2.4.1 溃坝洪水分析

堰塞湖形成后,牛栏江红石岩堰塞湖排险处置指挥部决定采取工程措施和转移群众相结合的处置方案。工程措施是在堰塞体顶部右侧开挖一条上口宽 29m、底宽 5m、深 8m、长 753m 的泄流槽。国内多家著名设计、科研院所根据前方传回的水位库容关系曲线(见图 3)、堰塞体现场查勘收集的资料,参考唐家山堰塞体计算成果,采用 IWHR-DB、MIKE 11 软件对堰塞体进行了初步的溃决流量计算分析。采用 IWHR-DB 程序计算得到的溃决流量峰值大约为 $6110\text{m}^3/\text{s}$,历时 6h 左右。采用 MIKE 11 软件,研究了堰塞体全溃、2/3 溃坝和 1/3 溃坝三种情况,全溃坝和 2/3 溃坝情况下,由于洪峰流量及水量

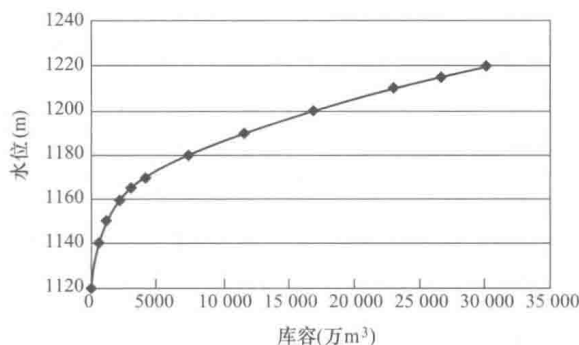


图 3 堰塞湖库容曲线

均很大，即使天花板水库调蓄后仍超过了天花板大坝校核洪水位下的坝体建筑物泄流能力 $5003\text{m}^3/\text{s}$ ，天花板水库将漫坝，全溃坝情况下坝顶以上水头为 $16.4\sim 20.1\text{m}$ ； $2/3$ 溃坝情况下坝顶以上水头为 $8.3\sim 10.9\text{m}$ ； $1/3$ 溃坝情况下天花板水库大坝处洪峰流量为 $3500\sim 1700\text{m}^3/\text{s}$ ，洪水均可以通过坝身泄洪设施下泄。

2.4.2 天花板大坝的安全风险

(1) 天花板水电站泄水建筑物包括 2 个中孔和 3 个表孔，校核洪水位 1076.61m ，校核洪水位时，最大泄量 $5003\text{m}^3/\text{s}$ ，水库水位在 1078m 时，最大泄量 $5557.1\text{m}^3/\text{s}$ 。泄洪建筑物泄流能力见表 2。

表 2 泄洪建筑物泄流能力

库水位 (m)	1050	1055	1060	1065	1070	1075	1078
表孔泄流 (m^3/s)	0	0	0	229.5	1229.1	2677.9	3728.5
中孔泄流 (m^3/s)	1239.8	1368.3	1480.5	1581.8	1676.4	1775.3	1828.6
总泄量 (m^3/s)	1239.8	1368.3	1480.5	1811.3	2905.5	4453.3	5557.1

(2) 根据有关专家计算成果，为了将溃坝风险降低到最小，根据洪水调节计算，在遭遇上游溃坝洪水时，水库从泄洪中孔底板高程 1020m 起调，调洪高水位 1076.62m ，最大泄量 $5048\text{m}^3/\text{s}$ ，削峰流量 $1062\text{m}^3/\text{s}$ 。

(3) 参考相关专家的计算成果，在堰塞体降低 8m 后，发生 50% 溃坝时，坝顶溢流水深 4.63m 。经原设计单位计算分析，溢流水深 5m 时，大坝整体名义安全系数为 3.10 ，最大拉应力为 1.36MPa ，小于设计允许值 1.5MPa ，最大压应力 5.06MPa ，小于设计允许值， 5.88MPa ；溢流水深 20m 时，大坝整体名义安全系数为 2.41 ，最大拉应力为 1.75MPa ，最大压应力 6.87MPa ，均大于设计允许值，初步分析，当发生上述情况的洪水漫坝时，恶化了大坝的应力状态，高应力区范围有所扩大，但范围为局部，初步判断不会影响大坝的整体安全。

2.5 近坝库岸堆积体失稳风险分析

天花板水电站库区左岸田坝村堆积体距离大坝 $1.0\sim 2.3\text{km}$ ，变形体沿河流方向宽约 1.3km ，坡体斜长约 0.6km ，堆积体总方量约 4406万 m^3 。堆积体共分为三个区，分别为 I、II、III 区，其中 I 区分为四个亚区，分别为 I-1 区、I-2 区、I-3 区、I-4 区；II 区分为三个亚区，分别为 II-1 区、II-2 区、II-3 区。表面共布置五个表观自动化监测点、两个深部监测点。表面 GPS 自动化监测点布置见图 4。

经原设计单位复核计算分析后认为，地震后表面实时 GPS 监测点在 2h 内出现了小幅变化，变化后趋于收敛，属于地震引起的正常变形。水库水位陡降后，造成了 I-4 区前部产生局部错落、I-1 区与 I-2 区前缘底部产生库岸再造，仍属局部现象，不会影响堆积体稳定性。水库地震后蓄水会提高堆积体的稳定性；如果不发生大的余震及库水位陡降，堆积体整体是稳定的。上游堰塞湖下泄如形成高速水流持续冲刷会对边坡的稳定性有加大影响，使现有的岸坡坍塌范围进一步扩大，边坡坍塌模式仍为局部牵引式分散解体为主，考虑到堆积体靠近大坝，库水位上升较快，高速水流剧烈冲刷时间有限，因此，堰塞

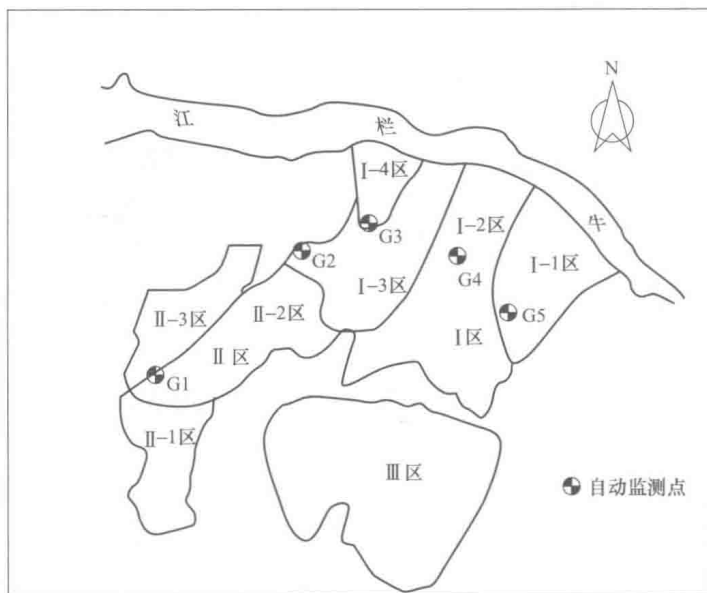


图 4 表面 GPS 自动化监测布置图

湖水流下泄不会对堆积体整体稳定造成大的影响。

3 堰塞湖排险处置基本完成，天花板水电站恢复生产

3.1 堰塞湖排险处置基本完成

经过解放军、武警和民兵预备役部队 1100 多名官兵 7 天紧张奋战，牛栏江堰塞湖泄流槽于 8 月 12 日 17 时全面打通，当晚 21 点云南省昭通鲁甸“8·03”地震抗震救灾指挥部举行新闻发布会，宣布云南鲁甸“8·03”地震牛栏江红石岩堰塞湖应急排险工程任务已经完成，通过专家分析测算，联合运用堰塞体右岸应急泄流通道的堰塞体顶部泄洪槽，可以达到渲泄 5 年一遇标准的洪水，满足国家相关规范规定的应急处置阶段的行洪要求。有关专家认为，借鉴国内外大型堰塞湖处置的先进经验，针对红石岩堰塞湖的具体情况，后期可以将变堰塞湖为控制性水库，使其成为具有综合效益的水利工程，发挥灌溉、发电、防洪、旅游等功能。

3.2 天花板水电站恢复生产

云南省昭通鲁甸“8·03”地震抗震救灾指挥部宣布牛栏江红石岩堰塞体排险处置基本完成后，云南国际随即向指挥部上报了关于天花板水电站临时蓄水发电的请示，并于 8 月 13 日获得了指挥部的批复同意。8 月 16 日 22 时 22 分，经过近 3 天的大坝蓄水、引水隧洞充水、机组设备恢复等生产准备，天花板水电站 2 号机组顺利并网运行，开始恢复发电生产。标志着天花板水电站抗震自救、恢复生产运行取得初步胜利。

4 红石岩堰塞湖应急处置思考

4.1 及时构建权威信息平台，统一对外发布口径

现在红石岩堰塞湖险情已基本排除，正在开展堰塞湖的后期处置工作，堰塞湖对上下

游的危害程度,政府有关部门也做了比较详细的解释和权威信息发布,广大人民群众也没了当初的恐慌,全身心地投入到灾后恢复重建工作当中。然回顾地震刚发生的那两三天,有关部门和网络媒体的信息发布还是有些需要总结提高的地方,因为当时信息发布略显混乱和无序,有些信息甚至相互矛盾,如堰塞湖的位置,有的部门说位于红石岩电站大坝上游,有的部门说位于红石岩大坝与厂方之间;再如堰塞湖规模更是五花八门,笔者所听说的堰塞体高度就有好几种,起初说坝高 66m,中间又说坝高 116m,最终确定为 83~96m,堰塞体的方量也从 100 万 m^3 逐步扩大了 1700 万 m^3 ,最终回到 1200 万 m^3 。如此这般,不利于稳定民心 and 救灾工作的有效开展。

今后遇到类似事件,建议地方政府有关部门在第一时间加强相关信息的归口管理,统一对外发布口径,通过行政、技术手段取得前方的一手资料,组织权威专家迅速做出判断。如应对红石岩堰塞湖,一是及时发布堰塞体的规模、高度等,对其做出科普性的介绍;二是根据流域水文、气象资料,预报上游的来水情况,并考虑上游德泽水库的拦蓄能力,对堰塞湖水位上升的速度做出相对准确的预测,有序地组织湖区群众撤离;三是深入浅出的介绍堰塞体溃决的前提条件,抓紧分析绘制堰塞湖溃决影响区域风险图,对红石岩堰塞体 80% 为堆石组成、体积硕大,稳定性好的素性可做重点阐释,其全溃的可能性较小,很有可能是小范围溃坝,下泄流量较小,洪峰持续时间较长,对上下游、水库大坝可能造成的危害较小,重点检查落实监测预警措施,消除下游群众的恐惧情绪,不宜简单处理,按照全溃,大范围撤离群众,腾空下游水库。

4.2 尊重科学,进一步提高次生财害应急处置能力

我国自 2008 年“5·12”汶川大地震后,基本建立了救灾应急体系,为了适应突发事件应急管理形势的发展变化,在充分吸取四川汶川、青海玉树抗震救灾经验基础上,2012 年 8 月国务院办公厅正式印发了修订后的《国家地震应急预案》。国务院编制《国家地震应急预案》的主要目的就是依法科学统一、有力有序有效地实施地震应急,最大程度减少人员伤亡和经济损失,维护社会正常秩序。虽然我国应急救援、运输保障、生活救助、卫生防疫等应急处置能力大大增强,这次鲁甸“8·03”地震也得到了充分验证,社会总体评价良好。不过,如果处置得当,有些经济损失是可以减小的。

我国是一个地震灾害频发的国家,从历史震例来看,最主要的地震次生灾害有火灾、水灾、毒气污染、细菌污染、放射性污染、滑坡、海啸、瘟疫等。自然规律和历史记录表明,大地震过后往往会产生次生灾害,危害不可小视,如防范不当,仍会带来巨大损失。政府有关部门应在全国范围内筛选专家,建立地震次生灾害防治专家库,分专业分层级建立子库,并成立专家委员会,明确工作章程,规定应急响应原则,地震发生后,政府有关部门就可令专家委员会启动预案,及时组织相关专家开展现场考察和勘察,有序有效地拟定重大次生灾害的处置方案,作为抢险救灾决策的依据。

笔者认为红石岩堰塞湖处置模式值得商榷,政府有关部门临时找了几家设计、科研院所搭班子,各家按各家的习惯计算分析研究,计算结果千差万别,提出了不少“选择题”,政府有关部门还得另外组织专家对计算成果进行评审,在专家意见出台之前,政府只能按最大可能性组织上下游群众撤离及腾空下游水库。如果专家意见能够及时形

成,就能明确堰塞湖的溃决条件,预测溃决时间及泛滥范围,制定工程排险措施和下游危险区的应急处置方案。如果能够准确把握险情,减少下游几千群众撤离的可能性应该存在,也有可能不需要腾空天花板水电站库容,这样,天花板水电站震后 1~2 天就有可能恢复生产,每天发 400 多万 kWh 电,能为抗震救灾提供稳定的电力支持,1 亿 m^3 多的水可能不会白白流掉。因此说,科学技术是第一生产力,应尊重科学,进一步提高应急处置能力。

4.3 重视三次灾害的风险

地震灾害包括直接灾害、次生灾害和三次灾害,直接灾害的预防是个巨大的系统工程,难以一步到位,但次生灾害应以预防为主,贯彻躲避和综合治理相结合,长远的措施和短期的工程措施相结合的原则,合理制定对策。由次生灾害引起的或因抗震防灾体制不健全,人们防灾意识淡薄、指挥系统失灵而造成社会恐慌动乱,使震灾加重称三次灾害。按理说,次生灾害防治到位、组织得力的话,三次灾害是可以避免的。因此需重视三级灾害的风险。

灾情面前,中电投集团把履行社会责任放在第一位,根据政府有关部门的要求,不顾水位骤降可能引发近坝库岸田坝村巨型堆积体失稳的重大三次灾害风险,不顾电量巨损,迅速腾空天花板水电站库容,以应对上游红石岩堰塞湖溃决,防止洪水对下游村镇造成的破坏。

天花板水电站左岸近坝库岸田坝村堆积体一直在变形,属于二级重大安全隐患项目,地震过程中发生了较小变形,后趋于稳定,但根据以前边坡稳定分析成果,影响边坡稳定的主要因素为地震、暴雨和库水位陡降陡升,尤其库水位骤升骤降影响明显,因此水库调度时要求库水位变化每天不能超过 2m。事实也证明水位骤降会引起边坡较大变形,自 8 月 5~6 日,日降幅超过 20m 后, G3 监测点水平位移几天内就超过了 2m,虽然电站已经重新蓄水发电,但变形仍在发展,只是变形速率趋小,已经进一步恶化了边坡稳定条件,如果再遭遇暴雨、余震,堆积体有可能出现失稳。

建议政府有关部门今后在处理类似问题时,多倾听相关方的意见,既要考虑带有普遍性的地质灾害,还要考虑特殊情况,实事求是,更加有针对性地加强科学分析,高度重视三次灾害风险。如果这样,也许就不会迅速下达腾空天花板库容的命令,因为当时已有求援人员达到堰塞体,无人机也完成了航拍,基本确定堰塞体主要由大小不同的岩石堆成,坡缓、体积庞大,根据国内外工程经验,应不至于整体溃坝,而且根据有关专家的计算,即使发生 1/3 溃坝,下游天花板水电站可以自由泄洪,无需腾空库容。另外,8 月 5 日 10 时堰塞湖湖面水位为 1170.9m,距离坝顶 1216m,尚差 45m 多,假定堰塞体不会渗漏、红石岩电站发电引水洞淤塞、不发挥上游德泽水库的拦蓄作用,湖水位尚需一周才能到达堰顶,何况这些假定都不成立,其实到 8 月底堰塞湖水位离坝顶还差 30m 多,且水位不断降低,这说明有足够的时间来缓慢降低库水位。

5 结束语

本文就天花板水电站如何应对红石岩堰塞湖做了一个简单的回顾,对堰塞湖溃坝风

险、天花板水电站大坝及近坝库岸变形堆积体的安全稳定做了初浅的分析，对处置过程中的不足做出了一些不成熟的思考，希望从实战中积累经验，可为处置类似事件提供借鉴。

作者简介

周海慧（1970—），华中科技大学工学硕士，高级工程师，现任中电投云南国际电力投资有限公司设计管理处处长。