

第9次水利水电
地基与基础工程
学术会议论文集

●主编 夏可风

水工建筑物

水泥灌浆与边坡支护技术

中国水利学会地基与基础工程专业委员会 编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

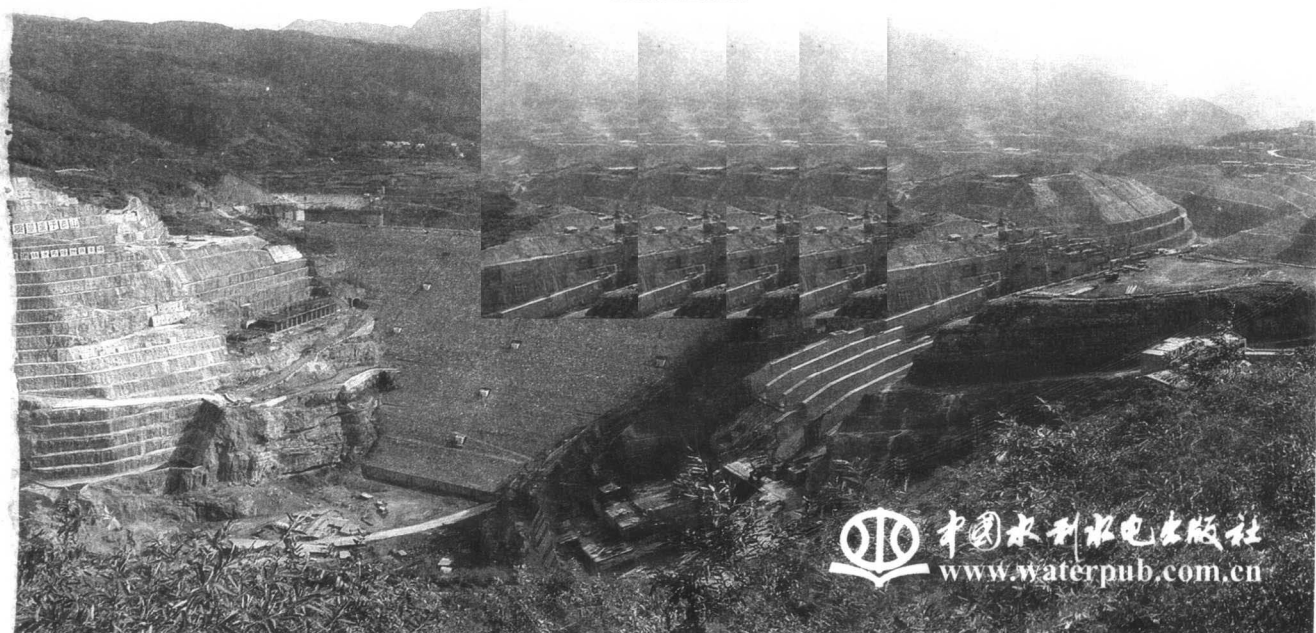
第9次水利水电
地基与基础工程
学术会议论文集

●主编 夏可风

水工建筑物

水泥灌浆与边坡支护技术

中国水利学会地基与基础工程专业委员会 编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书为第9次水利水电地基与基础工程学术会议论文集。主要内容包括近年来我国在灌浆工程和高边坡支护两方面的技术成果,共辑录论文93篇。涉及灌浆技术研究、大坝基础灌浆、地下洞室灌浆、覆盖层和围堰灌浆、高喷灌浆、国外灌浆工程、灌浆信息管理、预应力锚固和其他形式支护技术等内容。

本书内容丰富,资料翔实珍贵,实用性强,可供水利水电行业及其他建筑领域的工程技术人员和院校师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

水工建筑物水泥灌浆与边坡支护技术:第9次水利水电地基与基础工程学术会议论文集 / 夏可风主编;中国水利学会地基与基础工程专业委员会编. —北京:中国水利水电出版社, 2007

ISBN 978-7-5084-4733-9

I. 水… II. ①夏…②中… III. ①水工建筑物—灌浆—学术会议—文集②水工建筑物—边坡稳定—学术会议—文集 IV. TV543-53 TV223.3-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第084063号

书 名	水工建筑物水泥灌浆与边坡支护技术 ——第9次水利水电地基与基础工程学术会议论文集
作 者	夏可风 主编 中国水利学会地基与基础工程专业委员会 编
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 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	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	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16开本 30.75印张 730千字
版 次	2007年7月第1版 2007年7月第1次印刷
印 数	0001—2500册
定 价	68.00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

《水工建筑物水泥灌浆与边坡支护技术》

编 辑 委 员 会

顾 问 孙 钊 李允中

主 编 夏可风

副主编 郑 治 朱均超

委 员 (以姓氏笔画为序)

马晓辉 毛亚杰 王明森 韦 伟 丛蔼森

刘 勇 安中仁 杨晓东 余开云 赵存厚

高 翔 傅文洵 董建军 蒋振中

秘书长 肖恩尚

审 稿 (以姓氏笔画为序)

王泰恒 丛霭森 刘 勇 杨月林 杨晓东

肖恩尚 肖树斌 郑 治 郝鸿禄 夏可风

傅文洵 董建军

编 务 李 玲

中国水利学会地基与基础工程专业委员会

第二届委员会

名誉主任委员	陈赓仪						
顾问	孙 钊	李允中					
主任委员	夏可风						
副主任委员	马晓辉	毛亚杰	王明森	韦 伟	丛蔼森		
	刘 勇	安中仁	余开云	杨晓东	赵存厚		
	高 翔	傅文洵	董建军	蒋振中			
秘 书 长	肖恩尚						
副 秘 书 长	于子忠	张金接	焦家训				
委 员	于洪治	马邦凯	孔祥生	王自高	王松春	王泰恒	
	王爱民	邓文明	孙晓范	朱汉元	朱均超	朱鸿兵	
	何承伟	何培章	吴晓铭	杨俊志	张 平	张丕定	
	张玉莉	张玉华	张维明	李 力	李 焰	李范伍	
	李慎宽	邢光辉	肖立生	陈 俊	陈敦刚	周立本	
	尚 伟	罗朝文	郑亚平	祝 红	茹建辉	贺永利	
	郭 威	席燕林	涂建湘	曹洪波	梁 真	黄灿新	
	黄炳福	彭春雷	程家文	程聚辰	葛怀光	雷有栋	
	熊 进	薛砺生					
咨 询 专 家	尤立新	王志仁	王学彦	王洪恩	刘传文	刘瑞钾	
	刘德良	张广敦	张月江	张志良	张良秀	张芳芭	
	张运舒	张景秀	张福贤	李思慎	李旺雷	李昌华	
	李绍基	杨月林	肖田元	肖树斌	邱小佩	陈珙新	
	罗鲁生	范锦华	郑 治	查振衡	胡与民	胡迪煜	
	郝鸿禄	陶景良	高广淳	康景俊	温文森	蒋乃明	
	蒋养成	蒋硕忠					
秘 书	李 玲						

(各组名单均以姓氏笔画为序)

《水工建筑物水泥灌浆与边坡支护技术》暨 第9次水利水电地基与基础工程学术会议

主办单位

武警水电一总队

组织单位

中国水利学会地基与基础工程专业委员会

贵州省水力发电工程学会

武警水电一总队

贵州乌江水电开发有限公司

中国水电顾问集团贵阳勘测设计研究院

中国水电基础局有限公司

协办单位

中国国电贵州公司

贵州黔源电力股份有限公司

贵州北盘江电力股份有限公司

中国水利水电第九工程局

天津市水利学会施工专业委员会

天津市水力发电工程学会基础处理施工专业委员会

序

(一)

中国水利学会地基与基础工程专业委员会组织编撰的《水工建筑物水泥灌浆与边坡支护技术》论文集即将出版了，第9次水利水电地基与基础工程学术会议也将要举行，我感到很高兴，衷心地祝贺论文集出版和学术会议取得圆满成功。

当前，我国经济规模持续增长，西部开发和西电东送的伟大战略给水电开发进一步带来了机遇。2004年我国水电装机容量突破1亿kW，长江三峡水利枢纽将要全面建成，南水北调工程全面展开，一大批大中型水电站已经建成或正在建设之中，国家整治病险水库持续保持较大的投入，水利水电建设的形势很好。

本论文集以灌浆和边坡支护为主题，学术研讨会议在贵阳举行，由中国水利学会地基与基础工程专业委员会与贵州省水力发电工程学会等单位共同举办，这是很有意义的。贵州省是我国水电资源的“富矿”，水力资源和开发速度都位居前列。特别是我听到至2010年贵州水电开发比例将达到76.44%，至2015年将达到91.75%，这是很了不起的，是前所未有的速度，是社会主义制度和改革开放政策优越性和正确性的生动体现。

贵州为我国碳酸盐岩分布区，地处云贵高原，因此灌浆处理和边坡工程问题较为突出，本次会议抓住这两个议题进行研讨具有针对性，起到了为工程服务的作用。需要注意的是，社会发展了，人们对水电建设的要求也高了，因此我们的施工水平应该更高，更应该注意保护环境，保护自然生态。灌浆技术、边坡加固对于保护环境和生态都是大有用武之地的，希望大家在这方面做出贡献。

我们既要把工程建好，同时也要出人才，出技术成果。本论文集作者

中有许多是年轻的技术人员，我感到很欣慰，人才辈出，是我们事业发展最重要的标志和基础条件。

谢谢同志们，你们做出了很好的成绩。

陈贻仪

2007年5月30日

注：陈贻仪同志为原水利部副部长，中国长江三峡工程开发总公司顾问，中国水利学会和中国水力发电工程学会原副理事长、名誉理事，中国水利学会地基与基础工程专业委员会名誉主任委员。

序 (二)

中国水利学会地基与基础工程专业委员会组织召开“第9次水利水电地基与基础工程学术会议”，征集了反映近年来有关水泥灌浆和高边坡支护为主要内容的论文93篇出版发行，包括了大坝基础、地下洞室、围堰及覆盖层处理等的水泥灌浆，以及边坡及基坑支护工程的内容，并有一些房屋建筑、公路工程，以及国外工程的实例。在进行工程实践总结的同时，还作了探讨作用机理等方面的理论研究。论文内容丰富，有较高的学术水平，是近年来在该领域中工程技术和科研成果的结晶，对推广和发展水泥灌浆和边坡处理技术意义重大。论文集的出版凝聚了水电系统地基与基础工程领域中广大工程技术人员的智慧，他们来自于设计、施工、科研、院校，以及业主和监理等单位，作者中有很多活跃在生产第一线的中青年技术骨干，他们的聪明才智，将促进我国水电事业的发展，创造更多的奇迹，作出更大的贡献。开一次学术会议，出版一本论文集，积累一批有价值的资料，也是珍贵的社会财富，意义深远。在此谨向为此而付出辛勤劳动的领导、专家和组织者表示敬意！

我国水电事业在工程规模和工程技术上，不少领域已达到国际先进水平，或处于国际领先地位。在灌浆技术方面，改性水泥、超细水泥、掺合料、外加剂、稳定剂，以及膏状浆材等的使用；风动和液压冲击回转式钻机、12MPa级高压灌浆泵、60MPa级高压旋喷设备、高速搅拌机集中制浆站、灌浆自动记录仪等的应用，以及综合信息管理技术的应用，都有许多发展和创新。在边坡支护加固处理技术方面，预应力锚索的形式多样化，拉力分散型、压力分散型、拉压复合型、无粘结型锚索，以及对穿、环型预应力锚索等的使用，10MN级大吨位及80m级超长锚索的应用等，是高边坡处理的有效手段，为工程安全提供了保障。预应力锚固技术已在很多工程普遍采用，使用数量越来越多，一个工程可多达数千索，大坝两岸布满整齐的锚头，成了一道独特的风景线。

灌浆和高边坡支护是水利水电工程中十分重要的工程项目，解决了很多复杂的工程难题，是一项不可缺少的关键工程措施。在这个领域中，还有许多需要我们去研究和解决的问题。例如：利用水泥和化学材料的复合灌浆技术，对坝基进行补强加固，提高低强及破碎岩体物理力学性能，使其满足混凝土重力坝和高拱坝受力的要求；地下工程基岩高压大漏量涌水的封堵及处理；预应力锚索群的受力变形特点的研究；预应力锚索的锚固损失及耐久性问题；以及灌浆和边坡支护工程中的作用机理、受力变形特点、设计理论等方面的探讨和研究；施工工艺、施工技术的进一步改进和突破；制定相关的技术标准和施工工法，向标准化方向发展；引进国外先进设备的同时，自主研制性能良好，价格合理的设备；等等。随着我国水电事业的发展，通过大量的工程实践和理论研究，将会取得更多的科研成果，将进一步扩大它们的使用范围，在工程中发挥更大的作用。

贵州是我国西电东送的主要水电基地，有着丰富的水电资源和众多的大型水电工程，为学术会议召开的召开提供了良好的工程氛围。经组委会的精心组织，以及承办和协办单位的热情支持，学术会议将会取得丰硕成果，预祝会议圆满成功！

梅锦煜

2007年6月

注：梅锦煜同志为中国人民武装警察部队水电指挥部少将，原总工程师。

前言



在磅礴而神秘的西部崇山峻岭的之中，沉闷的开山炮和隆隆的机器声打破了千年的寂静，人们截断一条条急流，又沟通一道道峡谷，以“芝麻开门”式的密码，呼唤出一座座巨大的宝库：银色的大坝凌空崛起，宽阔的隧道穿山而过，巨人般的铁塔屹立山巅，强大的电力输向远方……这就是我国水利水电建设持续和快速发展的画面，这是西部开发日新月异的情景。

贵州省水力资源十分丰富，地理位置距东部发达地区负荷中心相对较近，是我国西部开发和西电东送的前沿。改革开放以来，贵州省已经建成了一批大型水电站，根据规划至 2010 年，贵州水电装机将达 13055MW，占经济可开发资源的 69%；至 2015 年，装机可达 16058MW，占经济可开发资源的 84%。这是何等辉煌的成绩，老一代水电工作者梦寐以求的目标很快就要实现。在这样的形势下，中国水利学会地基与基础工程专业委员会应广大会员的要求，决定于 2007 年在贵阳召开第 9 次水利水电地基与基础工程学术会议，并以西南地区工程实践中常见的地基与基础工程问题——水泥灌浆和高边坡支护技术为主题，是很有现实意义和技术价值的。

本次活动共收到技术论文 110 余篇，选录了 93 篇文章编辑成这本论文集。这些文章水平虽有高低之分，但都是经过作者亲身体验、认真总结的成果，是值得称赞的。读罢沉思，觉得以下几个问题更为值得关注：

(1) 关于灌浆技术和机理研究的若干问题。现在我国的灌浆工程实践的规模和难度都很大，但是对于灌浆技术和机理的研究显得不足，对于特种灌浆材料的研究显得不足，或者说基本上还是停留在 20 世纪 60~90 年代的水平上。由于市场经济这只“看不见的手”的作用，一些很有造诣的人才不得不离开研究岗位，或停止或减少研究工作，这是很可惜的。我们用灌浆技术解决了许多复杂的工程技术难题，但是我们付出的代价，能源和物质的消耗却比西方发达国家高得多。当前我国经济已经步入了必须坚持可持续发展的轨道，粗放的、低效率的生产方式、施工工法必将被淘

汰。正因为如此,本书中的《灌浆理论与实践若干技术问题的探讨》、《孔口封闭灌浆法讨论》等一组论文就显得弥足珍贵。

(2) 加快固结灌浆速度,减少与混凝土浇筑矛盾。这本是一个老问题,只是由于高坝修建越多,矛盾就越突出、越普遍罢了。本书中有《光照水电站坝基固结灌浆技术》、《龙滩水电站左岸大坝坝基固结灌浆》等多篇文章反映了如何解决这一矛盾的实践。

(3) 粉煤灰的使用。贵州是我国灌浆工程应用粉煤灰的发源地,是在灌浆工程中使用粉煤灰最多的地区,有着许多应用水泥粉煤灰浆液经验丰富的专家和施工队伍。书中《高掺粉煤灰混合浆液灌浆研究与应用》等介绍了这方面的经验。

(4) 高压喷射灌浆技术。高喷灌浆在我国应用已经十分广泛,《高压喷射灌浆技术的最新进展》主要反映了该项技术在国外的进展,而《深基坑防渗帷幕结构形式的研究》一文则总结了我国深基坑防渗工程采用高喷灌浆技术的经验。

(5) 介绍了几个由中国人承建的国外灌浆工程。随着综合国力的增强和对外贸易的开展,我们将会走出国门承建更多的国外工程。与其他的工程和工法不同,我国灌浆工法与国外差异较大,总体说,国外对灌浆的要求较低,方法更简便,工效很高,有值得我们借鉴的地方。

(6) 预应力锚固技术与边坡支护。由于大量高边坡工程的出现,预应力锚固技术在我国获得了长足的进展。大吨位、长锚索广泛应用到工程中,各种新的锚固型式、锚索结构、锚固工艺不断被开发出来。本书这一组文章中既有对锚固机理的试验研究、对锚固设计和锚索计算的分析探讨,也有许多对工法、工艺技术和工程实例的介绍。

精彩的地方还有更多,恕不一一评介。值得说明的是各篇文章中的观点毕竟是个人心得、经验,是一家之言。编者看到有的同类文章结论并不一致,各有各的说法和道理,请读者阅读时自行鉴别。

感谢贵州省水力发电工程学会、中国水电基础局有限公司、武警水电一总队、贵州乌江水电开发有限公司、中国水电顾问集团贵阳勘测设计研究院、中国水利水电第九工程局、中国国电贵州公司、贵州黔源电力股份有限公司、贵州北盘江水电开发股份有限公司,他们与本专委会共同发起召开第9次水利水电地基与基础工程学术会议,并支持了本论文集的出版工作。

编者

2007年5月30日

贵州水电开发与地基处理

郑 治

(中国水电顾问集团贵阳勘测设计研究院)

【摘 要】 本文介绍了贵州水电开发现状、岩溶勘察技术、岩溶坝基处理、高边坡与滑坡、危岩体等的治理措施。

【关键词】 贵州水电开发 岩溶坝基 勘察 岩溶治理

1 贵州省水力资源

贵州省水力资源十分丰富,理论蕴藏量大于10MW的河流有170条,技术可开发量为19490MW,发电量778亿kW·h,占全国的第六位;经济可开发量为18980MW,发电量752亿kW·h,占全国第四位。水力资源主要分布在乌江流域和北盘江流域;赤水河流域限于生态鱼类需求,水电尚未开发。大型水电站在中部,中小型水电站以西南部居多。

按照规划,贵州大型水电站有16座,总装机容量13000MW(界河电站仅计1/2装机,下同),占全省水电经济可开发量的65.8%;中型电站有38座,总装机容量3090MW,占16.3%;装机5MW以上的小型电站约420座,总装机容量为2890MW,占15.2%。

2 贵州水电开发

贵州省第一座水电站是桐梓天门河水电站,装机2台,单机容量288kW,1939年开工,1945年4月15日首台机组发电。

新中国成立以来,水电开发历程可分为四个阶段:

第一阶段,从1949年至1979年。第一座小电站修文河口水电站 $2\times 750\text{kW}$,于1951年投产。猫跳河六个梯级电站,第一座大型水电站装机630MW的乌江渡水电站相继开工建设。地方小型水电站的开发达318MW,猫跳河梯级总装机267MW,是我国首批实现梯级完整开发的河流。这一阶段水电总装机约1200MW,还为贵州水电的后续发展作了技术储备和人才培养。

第二阶段是20世纪80年代至90年代初期。该阶段是贵州水电建设的第一个高潮。小水电开发达到324MW,一批大、中型水电站陆续开工,如鲁布格、天生桥一、二级、东风、普定等,总装机容量约2469MW,是前30年水电开发量的2倍。

第三阶段是20世纪90年代中后期。该阶段是水电建设调整时期,国家计划经济向社会主义市场经济转型,改革不断深化,提出了“流域、梯级、滚动、综合”水电开发方

针，形成“业主负责制、工程招投标制、工程监理制”的项目建设制度。这一阶段无大、中型水电站开工建设，成立了新型水电企业，如贵州乌江水电开发公司、黔源公司等，理顺了产权关系，并对一大批水电项目开展了深入、全面的前期工作，为水电大发展在组织、技术、资金、人才等方面作了较充足的准备。

第四阶段是 1999 年至今。在“西部大开发”战略方针指引下，实施“西电东送”战略。第一批“西电东送”水电项目洪家渡、引子渡、乌江渡扩机、索风营水电站相继建成，总装机容量 2180MW；第二批水电项目构皮滩（5×600MW）、光照（4×260MW）、思林（4×250MW）、南盘江上的平班水电站（3×135MW）和首批“西电东送”项目同时投入建设，已相继建成。而在建的、建成的中、小型水电站也是不胜枚举，这是贵州水电开发的“第二个春天”。

贵州省大、中型水电开发情况见表 1，“十五”、“十一五”、“十二五”水电开发水平和在电网中的比重见表 2。

表 1 贵州省大、中型水电站建设统计表 单位：MW

序号	工程名称	装机容量	调节性能	备 注
1	猫跳河梯级	267	多年调节	已建
2	洪家渡	600	多年调节	已建
3	东风	695	季调节	已建 510MW，扩机增容 185MW
4	乌江渡	1250	季调节	已建
5	普定	84	季调节	已建
6	天生桥一级	1200/2	多年调节	已建
7	天生桥二级	1320/2	日调节	已建
8	鲁布革	600/2	季调节	已建
9	平班	405/2	日调节	已建
10	三板溪	1000	年调节	已建
11	关脚	64		已建
12	引子渡	360	季调节	已建
13	索风营	600	日调节	2006 年完建
14	大花水	180	季调节	已开工，2008 完建
15	善泥坡	180	日调节	拟建
16	毛家河	180	日调节	拟建
17	象鼻岭	240	季调节	在建，2012 年发电
18	格里桥	150		在建
19	石堰子	140		在建，2010 年发电
20	光照	1040	不完全多年调节	已开工，2008 年第一台机投产
21	董菁	880	日调节	已开工
22	马马崖	510		拟建

续表

序号	工程名称	装机容量	调节性能	备 注
23	构皮滩	3000	年调节	已开工, 2009 年第一台机投产
24	思林	1000	日调节	已开工
25	沙沱	1120	日调节	拟建
26	白市	102		拟建
27	远口	112		拟建
28	从江	90		拟建
29	团坡	80		在建
30	上尖坡	60		2010 年发电
31	五马河口	210		拟建
32	冗各	90		拟建, 2011 年发电
33	灰洞	50		拟建, 2011 年发电
34	生本滩	100		拟建, 2012 年发电
35	坪岩	93		拟建, 2013 年发电
36	鱼塘	75		在建
37	掛治	76		拟建
38	黔中枢纽	100		拟建
39	叉河口	105		拟建
40	榕江	162		拟建
41	革东	80		拟建

表 2 “十五”、“十一五”、“十二五”贵州电网水电比重及开发比例

项 目	2005 年	2010 年	2015 年
贵州省电力装机 (MW)	14965.07	37269.07	44172.07
其中: 火电 (MW)	9344	24214	28114
大中型水电 (MW)	5455.75	12889.75	15892.75
小水电 (MW)	165.32	165.32	165.32
水电合计 (MW)	5621.07	13055.07	16058.07
水电比重 (%)	27.98	35.03	36.35
贵州水电技术可开发量 (MW)	19489.63		
贵州水电经济可开发量 (MW)	19022.33		
已开发水电占技术可开发量比例 (%)	27.99	67	82.4
已开发水电占经济可开发量比例 (%)	28.68	68.63	84.42

表 2 小水电装机以大于 10MW 进入统计数, 实际小水电总装机为 1560MW, 则至 2010 年水电开发比例达 76.44%, 至 2015 年水电开发比例达 91.75%。

至 2012 年贵州省水电开发水平将接近欧美水平。大中型水电站建设基本完成,水电开发速度居国内前列。贵州省水电开发速度如此之快,取得如此辉煌的成就,这主要得益于:

(1)“西电东送”的战略部署。贵州煤炭和水力资源都比较丰富,又是西部和东部的衔接点,是“西电东送”的桥头堡。

(2)“流域、梯级、滚动、综合”的开发方针为水力资源开发提供了强大动力。乌江流域开发以已建的乌江渡和东风电站作为母体电站,将其收益和部分折旧作为新项目的资本金进行滚动开发。乌江公司探索出一条“自我发展、滚动开发、带动区域、综合效益”的新路子。

(3)水电开发前期工作充分。贵州省已进行四次水力资源普查,并进行了水电站的规划设计。20 世纪 80 年代中期,由贵阳院和长江委设计院共同编制的“乌江干流规划报告”获国家科技进步一等奖,为乌江流域的快速开发打下坚实的基础。北盘江、南盘江、清水江、赤水河、洪渡河、芙蓉江等流域规划报告为水电开发提供许多电源开发点。

(4)岩溶地基的勘察和处理技术。应用地下水流动系统理论,采用大纵深物探勘测技术,通过地质分析确定岩溶系统发育的空间边界,针对性地采用勘探手段查明喀斯特个体形态特征。岩溶处理是根据工程特点,以防止管道渗漏为主,将管道型渗漏变为裂隙性渗流,创造了孔口封闭、孔内循环、小口径无塞高压灌浆法。

3 岩溶地基勘察与处理

3.1 岩溶勘察

贵州省国土面积 17.62 万 km^2 ,山地占 84%,丘陵河谷占 11%,70%以上的面积是岩溶发育区,地表岩溶地貌广布,极度崎岖破碎,故有“地无三尺平”之说。已建、在建、拟建的水电站几乎全部在岩溶地区,这是贵州省有别于其他省区水电开发的难题。

通过近 50 年的工程实践,从传统勘探发展到采用先进的物探技术,如微伽重力仪、地质雷达、 EH_4 、GDP—32 等大功率音频电磁法,解决了喀斯特地区大范围、大纵深探测的难题。可探测深部(达 300m 左右)的地质结构和岩溶发育程度,对大于 5m 的溶蚀区,充填型及无充填型溶洞,相对隔水层及断层带分布均可获清晰的解析图像。应用遥感资料结合计算机图形处理软件,可分析地表水系统演化和地下水系统形成及演变过程。

3.2 岩溶处理

对岩溶地基稳定影响最大的是岩溶洞穴和溶蚀裂隙,以及充填物。岩溶处理应以建筑物的应力应变计算成果为依据。岩溶坝基处理按项目的区分可以归纳为:①改善坝体结构;②提高岩体完整性;③提高岩体的抗渗能力。

岩溶地基处理措施可分为:

(1)结构处理。①扩大建基面宽度,减少地基单位面积上作用力。②选择适应的坝型,如乌江渡的拱形重力坝、窄巷口双拱坝(拱桥上的双曲薄拱坝)。③设置混凝土或钢筋混凝土垫层,如窄巷口、红岩拱坝坝肩。

(2)置换。对溶洞及其充填物,采用开挖回填混凝土是比较彻底的可靠的处理方法,

容易达到变岩溶化岩体为裂隙岩体的目的。对于溶蚀地带,采用有限的挖除并设置混凝土塞,以传递坝体应力,可使坝基均匀受力,这是普遍采用的方法。

(3) 锚固。在结合面设插筋、锚杆等,以提高坝基接触面的抗剪强度。

(4) 固结灌浆。由于岩溶影响,建基面以下岩体承载能力差异较大,采用固结灌浆可改善岩体的各向异性,提高完整性。对局部溶蚀充填物、夹层不能挖除时,可采用深孔高压固结灌浆措施,避免大规模开挖,耽误工期。

(5) 防渗处理。防止岩溶水库渗漏,是岩溶地区筑坝的重要任务。

岩溶地区防渗处理必须查明坝址的岩溶水文地质条件,判断可能发生管道渗漏地段。经技术经济比较,选择较优的处理方案和方法。防渗工程应尽可能利用坝区隔水层或相对隔水层,当无相对隔水层时,可建悬挂式帷幕,插入透水率较低的地层中。

岩溶地区防渗难以做到滴水不漏,允许渗漏量以小于坝址区多年平均流量的 1% 为宜。

岩溶防渗处理范围大、工程量大、历时长、费用高,防渗处理设计难度大,实施难度也大。东风水库防渗帷幕线长达 3000 多 m,防渗面积 55 万 m^2 ,帷幕灌浆 32.15 万 m,防渗工程投资超过大坝,乌江渡左岸局部深(岩溶)达 220 余 m。

岩溶防渗处理主要有以下几种方法:①堵塞岩溶洞穴,将管道型渗漏变为裂隙性渗流,灌浆隧洞和施工支洞尽可能穿过岩溶洞穴,便于采用浆砌块石、混凝土、级配料等封堵。②帷幕灌浆。这是岩溶防渗处理的主要方法,对难以开挖回填封堵的洞穴、岩溶裂隙、溶沟、溶槽,采用孔口封闭、孔内循环、小口径无塞高压灌浆是最有效的方法,也可以采用自上而下分段灌浆法,灌浆材料可采用水泥、粉煤灰、粘土等。③高压旋喷,适用于填充型的大型溶洞。

贵州水利水电工程岩溶防渗处理有许多成功的经验,也有失败的教训。乌江渡、东风、天生桥和西电东送工程(如索风营电站)的防渗,都获得满意的效果。猫跳河四级窄巷口电站,限于当时(20 世纪 60 年代)的岩溶勘察技术和处理技术,出现了大渗水,渗漏量达 $15\sim 20\text{m}^3/\text{s}$ 。现受大唐电力公司委托,正研究大流量、大流速、深岩溶的堵漏方案。当然,贵州省地方小水库有许多岩溶渗漏的病险水库,都在加固处理中。

4 高边坡和滑坡治理

贵州主要分布沉积岩层状岩体地层,水利水电工程建设常遇不同规模的边坡失稳问题,有时成为工程建设和安全的关键问题。如南盘江天生桥二级电站厂房至调压井边坡高 380m,治理面积 50 余万 m^2 ,开挖量达 410 万 m^3 。洪家渡面板堆石坝坝肩边坡高达 310m,构皮滩拱坝坝肩边坡高达 400m。

查明边坡岩体地质结构、力学特性、水文地质条件,分析边坡的应力场,研究边坡破坏的力学机制,是高边坡处理的必要程序。边坡破坏模式有蠕滑拉裂、溃屈破坏、倾倒破坏、复合式滑动、楔体滑动等。应根据不同的模式采取不同的措施,综合治理方法有减载、抗滑桩、预应力锚固、地表地下排水系统等。开挖宜自上而下,不能挖“墙角”,加固措施宜集中地布置在前沿。滑坡治理方法见图 1。