

水利部信息研
图书总号 中 95 2000
分类号 D 5



006924 水利部信息所



水利水电 岩溶工程地质

邹成杰 张汝清 光耀华 编 著
徐福兴 林仁惠 王家骏

水利部科技专著出版基金资助项目

水利电力出版社

出 版 说 明

书籍是人类进步的阶梯。科技图书集聚着科学研究和发明创造的成果,凝结着人们生产活动、科学实验的实践经验和聪明才智。当今,在振兴中华的“四化”建设中,要把科学技术转化为现实的生产力,科技图书的出版是一个重要的环节。它担负着传播科技信息,扩大科技交流,推广科技成果,普及科技知识,培养科技人才,积累科学文化,提高全民族科技意识和劳动者素质的重任,是科技事业的一个重要组成部分。

改革开放以来,我国的科技出版事业取得了飞速的发展。但在还很不完善的社会主义市场经济中,科技图书出版的合理经营机制尚未形成,“出书难、买书难、卖书难”一直困扰着许多科技人员和出版工作者。特别是一些专业性很强的科学专著,发行范围有限,出版更为困难,影响了科学技术的发展。广大知识分子在不断呼吁,出版界也竭力探索解决这一问题的途径。1985年以来,中央领导同志和中宣部曾多次指示,要求国家和各主管部门筹款,为专家学者撰写学术专著建立出版基金。其后,从中央到地方各类出版基金陆续建立,有力地推动了学术专著的出版。

水利在我国具有悠久的历史,对治国安邦起着重要的作用。新中国建立40多年来,水利建设事业取得了举世瞩目的成就,已成为我国国民经济的基础设施和基础产业,是发展工农业生产的命脉。为了支持水利科技专著的出版,以适应我国水利科研、设计、建设、管理、教学的需要,水利部于1991年9月5日向全国发布了《水利部科技专著出版基金试行条例》,拨出专款用于资助科技专著的出版,并相应地建立了出版基金评审委员会和办公室。

本出版基金主要用于资助有明显社会效益而印数较少的水利优秀科技著作的出版,包括:学术水平高、内容有创见、在学科上居领先地位的水利基础学科理论专著;反映水利重大科研成果或填补我国水利科技某个空白领域的学术专著;在水利工程技术和经济管理方面有重大科学和实用价值的专著;对我国水利科技发展有重要参考价值的国外水利科技著作的中译本。申请者在已有详细编写提纲和部分样稿时,即可向本基金办公室提出申请。

本出版基金申请项目的评审,坚持“专家评议,公平竞争,择优支持”的原则,其做法是:对所有申请项目,先由基金办送请三名同行专家评议,然后再提交评审委员会讨论、评选。对被通过的申请项目,即转入水利电力出版社的计划,由基金赞助出版。

我们希望本出版基金的实施对推动水利科技的进步和人才培养,对促进水利建设事业的发展,会起到积极的作用。为此,我们热切地希望水利界的学者、专家,能潜心将自己的创见和经验撰写成专著,踊跃向本出版基金提出申请出版,为繁荣我国的水利科技事业添砖加瓦,奉献自己的才智和力量。

水利部科技专著出版基金委员会

1992年8月

序 (一)

为了总结我国在岩溶地区水利水电工程地质勘察研究的基本经验,提高我国岩溶工程地质科学的水平,促进我国在岩溶地区水利水电工程建设的发展,在水利水电规划设计总院和水利电力出版社的主持下,由邹成杰同志任主编,会同张汝清、林仁惠、光耀华、徐福兴、王家骏和方宗贤同志编写的《水利水电岩溶工程地质》一书,经过自1988年至1992年近5年的不懈努力,终于编写完成,正式出版了。本书作者,均是在岩溶地区工作几十年的工程地质工作者,具有坚实的理论基础和丰富的实践经验。

本书从岩溶作用机理与岩溶发育基本规律的理论研究探讨开始,结合总结实践经验,全面深入论述了在岩溶地区水利水电建设中遇到的各种岩溶工程地质问题以及分析判断这些问题的方法,还包括一些防治处理的措施,是一本有较高理论水平又有实际应用价值、理论联系实际的著作。在一些重要理论研究,如对岩溶管道水汇流及跨越流,岩溶渗漏的数量化理论计算等方面,都具有新的探索。特别是作者系统总结和发展的15种岩溶工程地质分析方法,具有实用价值,在认识论和方法论上又前进了一步。在某些方面,已走在水利水电岩溶工程地质学科的前沿。它是我国水利水电工程地质工作者在岩溶工程地质理论和实践经验总结方面,做出的一个有价值的贡献,对我国今后水利水电岩溶工程地质理论水平的提高和促进我国今后在岩溶发育地区水利水电工程建设的发展,有着重要的意义。相信本书的出版,将会受到广大岩溶工程地质工作者和水利水电工作者的欢迎,并从中获得有益的启发、指导和帮助。

我国碳酸盐岩层的分布面积,在全国960万 km^2 的面积上,约有340万 km^2 ,其中出露面积为91万 km^2 ,约占9.4%,遍及全国各省、区。这里岩溶发育,水利水电资源也十分丰富,如云贵高原以及广西红水河流域等地区,往往有不少十分优越的库、坝址和水电站址,如乌江渡、鲁布革和在建的东风、隔河岩以及天生桥、岩滩、龙滩等。为了开发这些地区丰富的水利水电资源,就必须首先解决好由于岩溶发育带来的许多复杂问题,如库、坝岩溶渗漏,岩溶坝基和边坡的稳定,地下洞室的涌水和稳定,以及因岩溶发育引起的水库诱发地震和岩溶塌陷等问题,因此,这些问题就成为在岩溶发育地区筑坝、建库所必须解决的首要问题。欲妥善解决这些问题,首先要依靠先进的正确的理论作指导,同时还应有一定的勘察手段和系统的分析方法。对任何岩溶地区,必须首先查明岩溶发育的来龙去脉和基本规律及其对工程建设可能产生的影响,从而作出正确的判断,然后才能针对问题,找出最适当的处理办法。这本书正是为了帮助我们来妥善地解决这些问题,以促使在这些地区丰富的水能资源能尽快地得以开发利用,更多、更快、更好地造福于人民。我想这也就是编写此书的目的和意义所在。

我国在岩溶发育地区建设水利水电工程,是在新中国建立以后随着水利水电建设的迅速发展才逐渐开展起来的。在50至60年代,开始勘测设计和建设的水槽子、六郎洞、官厅

等水电站和猫跳河梯级水电站，都是成功和基本成功的。特别是猫跳河梯级开发，可以说是我国在岩溶地区梯级电站最多，开发最系统的一条河流。

由于岩溶工程地质问题十分复杂，在建设中，也曾有过一些教训，存在一定的问题，主要是岩溶渗漏问题。此问题的关键在于当时还缺乏经验，勘探和测试手段都比较落后，研究也不够深入。由于问题的出现，才开始引起人们的重视，并在实践中创造了一些颇有成效的勘察和防渗处理方法。

在岩溶发育地区建设高坝大库和大型水电站，是从70年代乌江渡开始的。当时，岩溶地质知识不多，经验缺少，顾虑重重，并曾因此半途停建，最后经过地质人员认真的勘察研究和设计、施工人员的共同努力，并加紧学习国外在岩溶地区筑坝的经验，通过反复深入的研究讨论，才制定了全面的防渗处理方案。以后又通过高压灌浆试验，制定出严格的灌浆工艺，并在施工过程中进行补充勘探。通过精心设计，精心施工，终于圆满地解决了乌江渡岩溶渗漏的重大难题。电站运行十多年来，经受了较长时间的考验，在1991年乌江渡大坝安全检查鉴定会上，充分肯定了大坝防渗处理的成功和优良的质量。乌江渡电站的建成，大大地增强了我国在岩溶发育地区建设高坝大库的信心。在岩溶工程地质的理论水平方面，也有很大提高。在勘察、研究和分析判断以及工程处理等各方面，都积累了宝贵的经验，也促进了如东风、隔河岩等大型工程的兴建。

至目前为止的初步统计，我国在岩溶地区已建和正在进行前期工作的主要水利水电工程已有50多个。通过对这些工程的实践和理论研究，使我国岩溶工程地质科学有了较快的发展，并培养出一批岩溶地质专家，从而为今后更好地解决岩溶工程地质问题打下了良好的基础。我想这也是本书能有较高的理论水平和实用价值的一个重要前提。

我国近三四十年来，在岩溶发育地区建造水利水电工程，取得了不少成功的经验。今后随着岩溶地区水利水电工程建设的发展，岩溶工程地质的理论研究水平也将会得到更快的提高。建设越发展，遇到的问题也越多，也越能促进理论和技术的研究；理论和技术越高，解决问题的能力越强，也就越能促进建设的发展。

当前我国在岩溶发育地区的水利水电建设中，也还存在不少疑难问题，有待更好地解决。例如东风、隔河岩等大型工程的水库渗漏问题，目前设计上虽已做出处理方案并已付诸实施，但要确保圆满成功还有待于完工蓄水后的实际考验，也有赖于在施工过程中，经常不断地密切了解剖析岩溶地质情况的变化和对原设计的改进、完善。又如在鲁布革、天生桥、东风等的地下洞室工程中所遇到的溶洞问题，都曾影响到施工进度及以后的安全，今后如何增加对这些问题的预见性，并取得完善的处理措施，也有待改进提高。又如乌江渡水库诱发地震到底与库区岩溶发育有什么关系也需要进一步研究，从而为今后在岩溶地区建库提出确切的预见。

随着今后在岩溶发育地区建设水利水电工程的迅速发展，问题也会更多、更复杂，要求也会更高，还需要我们继续不断地努力，继续不断地提高我们在岩溶工程地质方面的理论技术水平，不断壮大我们岩溶工程地质的专家队伍。

本书探讨了岩溶工程地质的理论，总结了过去一段时间内的实践经验，是很有贡献的。但仍只应把本书看做是一个很好的开端，为今后继续研究岩溶工程地质问题打下一个有利

的基础，并引导广大读者提高对岩溶工程地质的兴趣，共同努力钻研，促进我国岩溶工程地质科学向更高的水平发展，为加快岩溶地区的水利水电资源的开发利用做出更大的贡献。

原水利电力部副部长、总工程师、
国际大坝委员会副主席、教授

李鹄

1993年10月

序 (二)

在岩溶学的发展中,与水有关的各个应用学科具有重要地位。这一方面是由于水在塑造各种岩溶形态中的重要作用,另一方面也是由于各种岩溶形态制约着水的贮存和运动,因而为确保水利水电、铁路、矿山等重点工程的安全、经济、有效的施工、运行,人们不得不投入大量的地质勘测工作,采用各种先进的手段去查明岩溶形态的细节。而且,从事实际工作的工程师们,为了提高自己工作的预见性和效率,也越来越不满足于就事论事地查清岩溶形态,而致力于探索岩溶形成机理和分布规律的基础研究。

我们看到,国内外岩溶地区的水利水电建设工程,特别是那些大型工程,都以其深入细致的勘测、试验、监测和研究工作,积累了很多新资料,开拓了岩溶学的新领域。例如,在阿尔卑斯山区的水电建设曾揭示了冰川作用对岩溶发育深度的影响;罗纳河上的大坝工程揭示了白云岩含水介质的特征。在我国,如乌江、猫跳河等峡谷岸边深部岩溶的发现,及其成因的解释;岩溶含水介质模式及其水动力学功能这一水文地质学中经久不衰的课题的进展,在这些方面,水利水电工程在典型地区投入的密集的钻孔、硐探,多种试验和深入、细致、持续的监测工作,起了巨大的作用。

1974年出版的、由水利电力部和中国科学院地质研究所合作编写的《水利水电工程地质》一书中,岩溶问题占了很大篇幅,它曾受到我国水文地质工程地质和岩溶工作者的普遍欢迎。在过去20年中,我国的水利水电建设及其工程地质工作又有了很大进展。在长江、珠江、黄河中上游及其支流的岩溶区,从理论到实践都进行了新的探索。这部《水利水电岩溶工程地质》是对这些地区,特别是对大中型工程中所积累的经验和认识理论的最新全面总结。值得提出的是,这一时期,我国成功地实施了改革开放的方针,同整个科技领域一样,不论是岩溶学,还是水利水电岩溶工程地质,都吸取了国内外同行一些新理论,采用了许多新技术,并根据我国的实践加以消化发展。我们从本书可以明显地看到这一时代的特色。

本书作者在概括对岩溶发育规律认识的基础上,总结了长江、黄河、珠江流域岩溶特征,对岩溶地区水利水电建设中最关键的问题——渗漏问题,从评价、计算到防渗处理,均总结了近年来采取的许多新方法、新理论和成功经验,在某些方面,已达到国内外先进水平。本书对于人们日益关注的水利水电建设可能引起的环境效应问题,也给予了充分注意,对岩溶地区水库诱发地震、岩溶塌陷、边坡稳定、地下洞室外水压力及涌水等问题作了专门的探讨。

我国的水利水电建设队伍,在三峡巨型工程的勘察设计(包括水库中岩溶工程地质勘察)及国际竞争中已显示其实力。这是其设计、施工以及工程地质勘察工作水平的综合体现。本书总结和论述的我国岩溶地区水电建设中采用的遥感技术,综合物探、示踪技术和渗流场、水化学场、温度场和同位素场等15种分析方法以及岩溶坝基、边坡、地下洞室稳

定分析和工程治理等，从这些重要侧面，反映了我国水利水电岩溶工程地质勘察和研究工作的新水平。我们相信，这部专著将会受到广大水文地质工程地质工作者、岩溶工作者和环境地质工作者的普遍欢迎。在此我以一个岩溶科技工作者的名义，向广大读者推荐这本书。

以地球系统科学思想为指导，通过各国同行的共同努力，进行全球对比，岩溶学正在不断地开拓新的道路，无疑它将为在水利水电工程地质工作中更好地掌握岩溶的发育和分布规律，提供新的理论基础。同时，我国岩溶地区还有大量的水利水电工程正在勘察、设计和施工，已投入运行的工程还在继续积累新的监测资料，显然，它们将不断地给岩溶学增添新的内容、新的活力。我们希望，岩溶学和水利水电工程地质之间这种相辅相成的关系，将一如既往，不断地结出丰硕的果实！

国际地质对比计划IGCP299“地质、气候、
水文与岩溶形成”国际工作组主席
中国科学院院士

袁世光

1993年12月

前 言

为了总结我国在岩溶地区水利水电工程地质勘察研究的基本经验,提高我国岩溶工程地质科学水平,1988年12月,原能源部、水利部水利水电规划设计总院和水利电力出版社,组织贵阳勘测设计院等单位编写《水利水电岩溶工程地质》一书。确定邹成杰同志任本书主编,张汝清同志为本书副主编。参加编写组的同志共七人。

全书共分5篇20章,根据各位作者所长,打破了篇、章、节的界限,统一分工编写,最后由主编进行修改、加工和统稿。

本书第一篇“岩溶作用与岩溶水动力特征”,是研究岩溶水文地质和工程地质问题的基础。本篇从理论和实践的角度,对碳酸盐岩溶解作用的机理,作了比较系统的论述,并提出了一些新概念,同时,也总结和论述了岩溶发育的基本规律和岩溶地下水的运动特点,提出了岩溶管道水汇流理论。该理论是研究岩溶管道水运动、特点和规律性的新探索。

第二篇“我国碳酸盐岩分布及主要江河流域岩溶发育特征”,扼要地阐述了我国碳酸盐岩的分布概况以及沉积模式。水利水电建设主要是在江河上进行的,因此,本书以我国主要江河为单元,对长江、黄河和珠江三大河流及其主要支流岩溶发育的基本规律和主要水文工程地质条件进行了系统地概括与论述,对今后的河流规划和梯级开发,有一定的指导意义。

第三篇“水库岩溶渗漏及有关环境地质问题”,是在总结分析国内外大量岩溶水库渗漏及防渗处理实际资料的基础上编写的,是全书的一个重点篇章。从第一章至第五章,主要论述岩溶水库类型和渗漏条件的判别原则;水库岩溶渗漏分级及允许渗漏量问题;岩溶渗漏计算和防渗处理,并附有国内外比较典型的工程实例分析。如猫跳河、乌江渡、大化、鲁布革和凯班、英古里等水库工程。在“水库岩溶——工程环境问题”一章中,论述了水库岩溶——工程环境研究的意义和内容,其中主要是水库诱发地震和水库岩溶塌陷等问题。本篇总结了国内外水库岩溶渗漏评价、渗漏计算和防渗处理等方面的基本经验,同时还提出了一些新的理论和见解,为研究水库岩溶渗漏和有关环境问题打下了基础。

第四篇“岩溶区坝基、边坡与地下洞室稳定问题”,在坝基稳定部分,主要论述了坝基岩体质量分类和岩溶洞穴及溶蚀结构面的稳定分析。在边坡部分,重点论述了碳酸盐岩的边坡类型及稳定分析。在地下洞室部分,着重论述了岩溶稳定、涌水等问题,为岩溶工程地质分析和评价,提出了一些有价值的理论和方法。

第五篇“岩溶工程地质勘察与分析方法”,是本书另一个重点篇章。在总结我国工程地质勘察经验的基础上,从理论和实践角度着重论述了15种岩溶工程地质分析研究方法。这些方法,大多是作者和我国岩溶工程地质工作者近几年来建立和发展起来的新理论和新方法。如渗流场、水化学场、水温场以及同位素场分析法(简称“四场”分析法);还有水库岩溶渗漏地质模型、数学模型和岩溶地下水趋势面等多种分析方法,表明了我国的岩溶工

程地质研究在定量化和科学化发展的进程中,有所发现,有所创造,有所前进,把我国的岩溶研究水平向前推进了一步。

本书的前言,绪论,第一篇第三章,第四章第一、四节,第二篇第二章第四节部分,第三篇第一、二、四、五章,第三章第六节,第六章第一节,第四篇第二章第一、三、六节,第五篇第一章第五节部分、第二章第一、二、四、五、六、九、十一、十二节和第十四节,由邹成杰编写。并对第三、四篇统稿。

第一篇第一、二章,第四章第二、三节,第二篇第二章第四节部分、第五篇第一章第三节由张汝清编写。并对第一篇统稿。

第二篇第三章,第三篇第三章第一至五节,第六章第二节,第五篇第一章第一、二、四、五节,第二章第七、八、十节,由光耀华编写。并对第五篇统稿。

第二篇第一章、第二章,第四篇第一、三章,第二章第四节部分,第五篇第二章第十三节,由徐福兴编写。并对第二篇统稿。

第三篇第六章第三节,第四篇第二章大部分,第五篇第二章第三、十五节,由王家骏编写。

第四篇第四章由林仁惠、邹成杰编写。

第二篇第四章部分内容和有关北方岩溶由方宗贤提供编写资料。

本书在编写过程中,得到了能源部、水利部水利水电规划设计总院杨惠芳副院长、勘测处陈祖安处长等的关怀与支持;水利电力出版社金炎副总编辑、王照瑜编辑,为这本书的编辑出版和组织编写工作付出了辛勤的劳动。

主编单位贵阳勘测设计院原院长鲁慎吾、现任院长梁炎、总工程师王柏乐等领导同志,对本书和主编给予了很大支持;参编单位昆明勘测设计院、长江水利委员会、广西电力工业勘察设计院、湖南省水利水电勘测设计院和天津勘测设计院的领导,对本书的编写工作也给予了帮助。水利部科技专著出版基金委员会评审委员朱建业同志,两次审查了书稿,提出了宝贵的意见。

原水利电力部副部长、总工程师、国际大坝委员会副主席李鹗鼎教授,原地矿部桂林岩溶研究所第一任所长,现任国际地质对比计划IGCP299“地质、气候、水文与岩溶形成”国际工作组主席、中国科学院院士袁道先教授,不仅审查了全部书稿,还分别为本书书了“序”。

刘效黎、崔政权、卢耀如、张寿越、曹而斌、陈德基、金德濂、杨明德、何宇彬、邓自民、陆宏、朱壅权、王肖宜、马国彦、石金良、吴世铮、李森、李茂秋、谭以安、汪从锦、濮声荣、黄宝文、欧阳孝忠、谢树庸、朱燕谋、孙仲乐、任钟魁、韦港、方致轩、耿大来、廖际仁等同志,都为本书提供了不少宝贵的意见。

没有上述领导和专家们的大力支持、关心与帮助,这本书是难以问世的。

在书稿的整理过程中,方江山、杨士润、杨益才、廖际仁和朱萍等同志,协助抄写、校阅及译稿等工作。在此,谨向以上领导、专家和同志们表示诚挚的谢意。

由于作者水平所限,书中错漏之处,敬望读者指正。

作者

1993年12月

目 录

出版说明

序(一) 李鹤鼎

序(二) 袁道先

前言

绪论 1

第一篇 岩溶作用与岩溶水动力特征

第一章 碳酸盐岩的溶解作用 7

第一节 碳酸盐岩的溶解反应 7

第二节 溶解要素之间的平衡关系 9

第三节 溶解作用中的场效应 11

第二章 岩溶发育的基本规律 16

第一节 岩性与岩溶发育的关系 16

第二节 地质构造对岩溶发育的重要控制作用 17

第三节 岩溶发育对河流排水基准面的适应性 18

第四节 岩溶发育的不均一性 19

第三章 深岩溶类型及发育的基本规律 21

第一节 深岩溶的基本概念及岩溶基准面的划分 21

第二节 区域深岩溶发育的基本规律 22

第三节 河谷深岩溶发育的水动力类型及其发育的基本规律 24

第四章 岩溶地下水运动与汇流理论 31

第一节 河谷岩溶水文地质结构 31

第二节 河谷岩溶水动力条件与类型 34

第三节 岩溶区地下水与地表水运动的特殊性 38

第四节 岩溶管道水汇流理论 44

第二篇 我国碳酸盐岩分布及主要江河流域岩溶发育特征

第一章 我国碳酸盐岩的沉积类型及其分布 56

第一节 碳酸盐岩的沉积类型 56

第二节 碳酸盐岩的分布 60

第二章 长江流域岩溶发育特征 64

第一节 流域地质概况 64

第二节	长江流域岩溶类型及分区	65
第三节	长江流域岩溶发育简史	69
第四节	长江流域典型岩溶发育区	71
第三章	珠江流域岩溶发育特征	88
第一节	流域地质概况	88
第二节	珠江流域岩溶类型及分区	89
第三节	珠江流域岩溶发育简史	94
第四节	珠江流域典型岩溶发育区	95
第四章	黄河流域岩溶发育特征	102
第一节	流域地质概况	102
第二节	黄河流域岩溶类型及分区	102
第三节	黄河流域岩溶发育简史	106
第四节	黄河流域典型岩溶发育区	108

第三篇 水库岩溶渗漏及有关环境地质问题

第一章	我国岩溶水库分布与渗漏条件	113
第一节	我国岩溶水库的主要类型	113
第二节	水库岩溶渗漏基本条件和判别标准	118
第二章	水库岩溶渗漏评价	119
第一节	水库岩溶渗漏分级问题	119
第二节	岩溶水库允许渗漏量问题	121
第三章	水库岩溶渗漏计算	122
第一节	水文地质学方法	122
第二节	地下水力学方法	129
第三节	逻辑信息法	131
第四节	模糊综合评判方法	133
第五节	数量化理论方法	135
第六节	汇流理论计算方法	143
第四章	岩溶水库防渗处理	145
第一节	岩溶水库防渗处理的基本原则与主要特点	145
第二节	岩溶防渗处理的基本方法	146
第三节	防渗帷幕	148
第四节	铺盖防渗	166
第五节	堵洞与截水墙防渗	170
第六节	围井与隔坝防渗	171
第七节	坝基排水与监测	172
第五章	水库坝址岩溶渗漏与防渗处理实例分析	176

第一节	邻谷渗漏.....	176
第二节	库首渗漏.....	181
第三节	坝区渗漏.....	188
第四节	库底渗漏.....	193
第五节	不渗漏水库.....	195
第六章	水库岩溶——工程环境问题.....	208
第一节	水库岩溶——工程环境概述.....	208
第二节	岩溶水库诱发地震.....	210
第三节	水库岩溶塌陷.....	217

第四篇 岩溶区坝基、边坡和地下洞室稳定问题

第一章	碳酸盐岩的物理力学性质.....	225
第一节	岩石的物理力学性质.....	225
第二节	岩石(体)的抗压(拉)强度.....	226
第三节	岩石(体)、混凝土/岩体胶结面的抗剪强度.....	227
第四节	岩石(体)的变形特性.....	229
第五节	岩体中软弱结构面的抗剪强度.....	233
第六节	碳酸盐岩力学参数建议指标.....	237
第二章	岩溶区坝基稳定问题及工程处理.....	239
第一节	岩溶区坝基的特点及主要类型.....	239
第二节	岩溶区坝基岩体质量分类及其稳定评价.....	240
第三节	坝基洞穴和溶蚀结构面的稳定分析.....	246
第四节	岩溶区坝基渗透稳定分析.....	247
第五节	基坑岩溶涌水问题.....	254
第六节	坝基工程处理.....	256
第三章	碳酸盐岩区边坡稳定及工程治理.....	261
第一节	碳酸盐岩边坡特点及分类.....	261
第二节	碳酸盐岩边坡的岩溶水动力作用.....	262
第三节	碳酸盐岩自然边坡变形破坏模式.....	263
第四节	碳酸盐岩边坡稳定分析与评价.....	268
第五节	碳酸盐岩边坡的工程治理.....	276
第四章	岩溶区地下洞室围岩稳定及涌水问题.....	280
第一节	地下洞室布置的基本特点.....	280
第二节	地下洞室岩溶稳定评价及工程处理.....	281
第三节	地下洞室岩溶涌水的预测与防治.....	296
第四节	地下洞室岩溶外水压力问题.....	299

第五篇 岩溶工程地质勘察与分析方法

第一章 岩溶工程地质勘察方法.....	302
第一节 岩溶工程地质勘察特点与主要内容.....	302
第二节 遥感技术的应用.....	304
第三节 钻探及水文地质试验.....	306
第四节 平硐开挖追索.....	310
第五节 地球物理勘探.....	311
第二章 岩溶工程地质分析方法.....	317
第一节 岩溶地貌与水文网分析法.....	317
第二节 岩溶地下水渗流场分析法.....	319
第三节 岩溶水化学场分析法.....	324
第四节 岩溶水温度场分析法.....	329
第五节 岩溶地下水压渗系数分析法.....	333
第六节 水库岩溶渗漏的地质模型与数学模型分析法.....	337
第七节 岩溶趋势面分析法.....	340
第八节 岩溶地下水均衡分析法.....	346
第九节 岩溶地下水位动态分析法.....	349
第十节 岩溶地下水衰减分析法.....	354
第十一节 岩溶地下水同位素场分析法.....	359
第十二节 岩溶地下水示踪试验分析法.....	363
第十三节 岩溶地下水堵洞抬水试验分析法.....	367
第十四节 岩溶地下水电网络模拟分析法.....	371
第十五节 岩溶洞穴堆积物分析法.....	376
主要参考文献.....	380
Contents.....	384

绪 论

一、水利水电岩溶工程地质的含义及研究内容

水利水电岩溶工程地质，系指在岩溶地区以研究水利水电工程勘察设计过程中各种水文工程地质问题为主要对象的一门边缘学科。它是在岩溶地区进行水利水电建设最重要的基础工作之一。

水利水电岩溶工程地质（以下简称岩溶工程地质）研究的真正起步是从新中国建立后才开始的。水利水电岩溶工程地质的主要研究内容包括岩溶工程地质基础理论、水库岩溶渗漏与防渗处理、水工建筑物地基稳定、水库岩溶环境及岩溶工程地质勘察与分析方法等。详见图01。

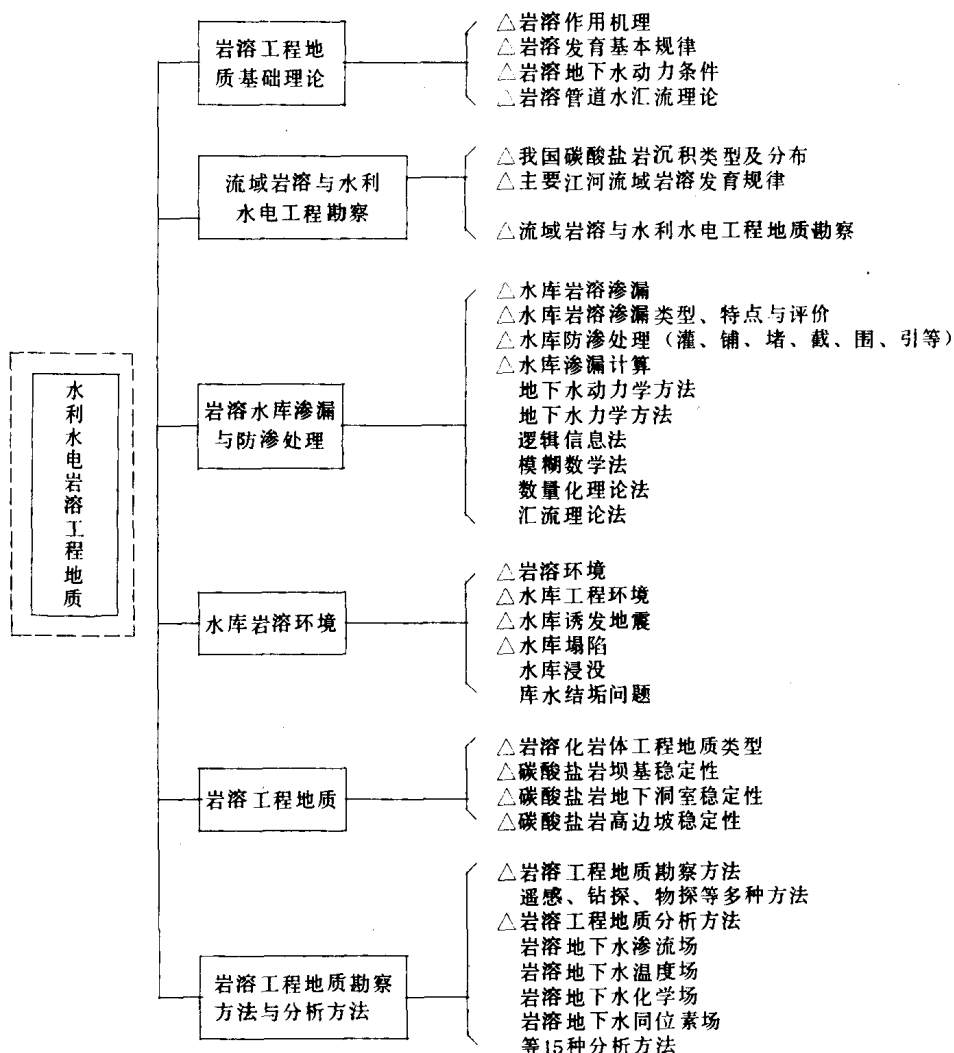


图 01 水利水电岩溶工程地质主要研究目标框图
(△为重点研究项目)

岩溶水库或岩溶工程系指分布在岩溶地区的水库或电站工程。依据坝址地区是否分布在岩溶地区,可将其分为两类。一类是坝址和水库均在岩溶地区,岩溶分布面积约在30%以上。如乌江渡、猫跳河7座水库、隔河岩水库等。另一类是坝址在非岩溶地区,而水库区有30%以上的面积处于岩溶地区。如水槽子、大化、岩滩等水库或工程。在某些情况下,虽然岩溶分布面积较小,但对水库和水工建筑物影响较大,在勘察设计阶段,曾作过详细研究,也可以列入这一范畴。如毛家村、新安江、龙滩、天生桥一级和长江三峡等水库或工程。凡属于此类的岩溶水库或岩溶工程,均是水利水电岩溶工程地质学科研究的主要对象。

二、国内外岩溶区水利水电建设概况

(一) 国外概况

在人类赖以生存的地球上,71%的面积为水圈所占据,大陆面积仅占29%,其中碳酸盐岩(可溶岩)分布的面积,占地球大陆面积的15%,主要分布在中国南部、地中海沿岸、欧洲东部、东南亚和美国东南部等地区。

国外最早在岩溶地区修建的大坝,是法国的阿朗坝,该坝建于1845年,为土坝,坝高13m,由于岩溶渗漏,1860年开始进行防渗灌浆工作,最后获得成功。在随后的140多年间,世界上不少国家先后在岩溶地区兴建了规模不等的水库和大坝,在开发岩溶区的水能资源方面取得了显著成就。

据不完全统计,在国外岩溶地区已修建大中型水利水电工程130座以上,其中坝高在100m以上者有20余座,这些大坝和水库,大多在19世纪50年代以后兴建,从第十届国际大坝会议(1970年于蒙特利尔)至第十五届国际大坝会议(1985年于瑞士)的15年间,岩溶工程地质发展异常迅速,在岩溶地区修建水库和大坝的国家愈来愈多,而且规模愈来愈大,岩溶防渗和工程处理技术也日益发展。

原苏联英古里坝,坝高271.5m,1978年建成,是目前在岩溶地区修建的最高的坝。土耳其的凯班水库,总库容106亿 m^3 ,是目前在岩溶地区建造的最大的水库。

上述岩溶水库,成功的是绝大多数。由于岩溶工程地质工作做得不够或由于防渗处理不彻底而发生严重渗漏的水库,是极少数,其中美国在1920年修建的赫尔斯·巴尔坝,坝高仅25m,水库渗漏量达50 m^3/s ,防渗处理持续26年之久,最后因处理无效而被迫放弃。土耳其的凯班水库建成于1974年,由于岩溶问题未能查清,水库蓄水后,渗漏达26 m^3/s ,但经过复杂的防渗处理,后期的渗漏量已减少至8.7 m^3/s 左右,还有一些产生渗漏的水库,渗漏量在1~10 m^3/s 之间,但经过防渗处理,大多能保证水库正常蓄水和安全运行。

防渗帷幕线路长,深度大,也是一个比较普遍的现象,已知伊拉克的多康(Dokzn)坝,坝高116.5m,帷幕总长达2541m,相当坝高的21倍。南斯拉夫的斯拉诺水库,坝高22.5m,防渗帷幕总长达7000m。河床帷幕最深的是南斯拉夫的腊马(Rama)坝,为坝高(100m)的2倍。有些低坝,帷幕深度相当坝高(14~20m)的5倍,如南斯拉夫尼克希奇水库群。

在防渗技术上,通常多采用5~6MPa的高压灌浆,利用各种混合材料,对于封闭岩溶裂隙和洞穴起到良好作用,还利用大面积的混凝土防渗墙处理特大的岩溶洞穴,如在凯班坝,成功地处理了一个体积10~12万 m^3 的溶洞(蟹洞),使渗漏量大为减少,并对地基起

到了加固作用。

在勘测技术方面,发展也很快,多种测试和钻探技术以及物探技术的应用,为查明岩溶洞穴起到一定作用,如遥感技术、岩性探测仪、微重力仪和地质雷达等都有一定的应用前景。用定时炸弹探测暗河通道,即起源于南斯拉夫。洞穴和地下水同位素研究,也是从西欧、南斯拉夫等国开始的。

(二) 国内概况

我国地域辽阔,幅员广大,在960万 km^2 的土地上,江河纵横,千水汇流,蕴藏着丰富的水能资源。据统计,全国水能资源蕴藏量达6.76亿kW,可以开发3.76亿kW,居世界首位。

在这块广阔的土地上,分布着各种岩石类型。其中碳酸盐岩层分布面积344.3万 km^2 ,约占我国国土面积36%,出露面积约91万 km^2 ,占我国国土面积的9.4%。

1949年前,我国的水利水电建设工程屈指可数,其中在岩溶地区的水利水电工程,可以说是个空白。1949年后,在全国范围内,掀起了大办水利水电的热潮,一大批水库和水电站如雨后春笋般地在大江南北、长城内外建设起来。据统计,已开发的水能资源,约占全国水能资源蕴藏量的10%。其中在岩溶区已建的水利水电工程,装机在1万kW以上的水电站在38座以上;库容在1亿 m^3 以上的水库32座以上。除此还有数千座小型水库,分布在我国广大岩溶地区。这些工程的建成,为促进我国的水利水电事业和工农业发展,起到了重要的作用。

现阶段,正在兴建的大中型水库主要是天生桥一级、龙滩、观音阁等。正在勘测设计的在15座以上,主要有构皮滩、洪家渡、思林、光照、万家寨、恶滩和江垭等(图02)。

投身于岩溶地区水利水电建设的广大工程地质工作者,40多年来,付出了艰辛的劳动,在曲折而崎岖的道路上,一步一个脚印地向着岩溶地质科学的高峰攀登,为祖国为人民做出了突出的贡献。正因为有了广大岩溶工程地质工作者的辛勤劳动成果,我们这次写作才有此丰厚的基础。

(三) 国际学术交流

我国水利水电系统从50年代开始,先后数批派人前往南斯拉夫、法国、英国、土耳其等地考察学习,并带回了宝贵的学习资料。如袁道先、卢耀如、张寿越、曹尔斌等同志。在水利电力部门,也曾多次派出代表,参加有关岩溶方面的国际会议。1981年在土耳其伊斯坦布尔举行的“在岩溶地区的水工建筑物”专题讨论会,我国派林仁惠、邹成杰、徐福兴等9人组成的代表团参加。在会上提交岩溶工程地质论文3篇,其中《中国西南岩溶地区水库渗漏与防渗处理》等两篇在大会上发言,受到了好评。这两篇论文,已收入国际工程地质协会1981年的会刊。1982年,又派出了李元亮、陈德基、张汝清、徐瑞春和李德富组成的代表团赴南斯拉夫考察岩溶地区修建的水利水电工程,取得了良好的效果。

南斯拉夫、前苏联、法国、美国等国家的岩溶专家,也应邀来我国进行岩溶工程的实际考察,他们到过猫跳河、乌江和三峡、清江、南盘江、黄泥河等地区。特别是近几年来,国际上的合作更为频繁,对于提高我国的岩溶研究水平,对于推动国内外的学术交流,起到了一

定的作用。

三、我国水利水电建设岩溶工程勘察发展简史及取得的主要成就

我国古代的岩溶地区的水利建设，主要是从秦朝开始的，当时在广西、湖南交界的岩溶地区开凿的灵渠，至今仍发挥着良好的水利灌溉效益。而大规模的水利水电建设是从20世纪50年代初期开始的。它经历了由初期的小河流小工程起步，逐步走向大江大河和大工程的勘察设计与施工，岩溶研究也由初期的定性评价，逐步发展到半定量和定量研究，这是一个实践——认识——再实践——再认识辩证唯物主义的发展过程。

根据各时期岩溶工程勘察及水利水电建设的特点，将这一过程综合划分为三个阶段。

第一阶段，从1951~1960年，为小范围、小规模岩溶工程地质勘察研究阶段。此期，在华南进行了六郎洞、水槽子及新安江水库的勘察研究工作。1958年建成了水槽子电站，1960年建成了六郎洞电站。在华北，1956年建成了官厅电站，这是我国在岩溶地区最早兴建的一批水电站，与此同时，在长江三峡的南津关灰岩坝址，开展了大规模的前期勘察工作，此期，我国岩溶研究水平已经初步显示出来了。

由于当时参加这些工程的同志尚缺少经验，有些水库曾出现过一些岩溶渗漏问题。但通过防渗处理，最后仍取得了成功。

由于上述水库和电站成功的兴建，使人们对岩溶的特殊性和复杂性有了初步认识，从而增强了广大岩溶地质工作者在更广阔的领域上向岩溶进军的决心与信心。

第二阶段，1961~1982年，为大规模的开展岩溶工程地质勘察研究阶段。

随着我国社会主义工农业的发展，在前一阶段工作的基础上，在西南和中南的广大地区，开辟了一个又一个岩溶水库坝址勘察研究的现场。在广西的龙江，连续完成了拉浪、拔贡、六甲等电站的勘察设计和工程建设。

在贵州全面开展了猫跳河梯级开发规划和岩溶工程地质勘察研究。该河流域内岩溶分布面积在80%以上，6个电站的坝址和水库全部在岩溶发育地区。这些电站，虽然均属中型电站，但水工建筑物型式各异，有堆石坝、混凝土重力坝和拱坝，还有长达5km的引水发电隧洞。我国最新颖的双拱坝，在岩溶发育特别强烈的窄巷子地区胜利建成。经过20年的艰苦奋战，于1979年，获得了猫跳河梯级开发的成功，成为我国在岩溶地区进行梯级开发的一个典范，也是对流域岩溶研究较系统、较全面的河流之一。1991年，在猫跳河二级及三级电站之间，又建设了李官电站，自此，猫跳河7级开发已全部完成。

在猫跳河梯级开发的同时，从1958年始，在乌江干流上开展了乌江渡电站的勘察设计工作。1982年，建成了我国岩溶地区的第一座高坝（坝高165m）、第一座大库（库容23亿 m^3 ）、第一个大型的水电站（装机63万kW）——乌江渡水电站。

乌江渡电站的胜利建成，标志着我国岩溶工程地质勘察研究水平达到一个新的高度，赶上了世界先进水平，其中深岩溶高压防渗帷幕灌浆和高坝地基岩溶处理技术，为以后的岩溶工程处理提供了先例，同时，也为岩溶工程地质学积累了宝贵的经验，进一步证明了任何岩溶工程地质问题都是可以认识的。

在乌江渡电站开工兴建不久，1975年，在红水河下游的大化电站相继开工。由于水库左岸亮山分水岭地区岩溶发育比较强烈，地下分水岭低于库水位9~12m，对于水库岩溶