

SHUILI SHUIDIAN GONGCHENG  
YANRONG KANCHA YU CHULI

# 水利水电工程 岩溶勘察与处理

主 编 沈春勇  
副主编 余 波 郭维祥



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

# 水利水电工程 岩溶勘察与处理

主 编 沈春勇  
副主编 余 波 郭维祥



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

## 内 容 提 要

本书系统归纳总结了贵州及其他岩溶地区的水利水电勘察方面的成果，是一部全面、系统的水利水电工程地质专著和工具书。

本书共 10 章，内容包括岩溶发育的基本条件及形态，水利水电岩溶工程地质勘察方法，岩溶水文地质分析方法及应用，水库、坝址区岩溶防渗处理，洞室、基坑岩溶涌水处理，伏流及暗河封堵成库处理，岩溶地基评价与处理和工程岩溶环境地质问题等。第 1 章~第 3 章侧重于介绍岩溶的基础概念，岩溶地区水利水电工程建设可能面临的地质问题和勘察、分析方法；第 4 章~第 9 章分别针对具体的工程问题作了详细的论述，并结合工程实例介绍了各类工程问题的处理原则和技术；第 10 章对水利水电、矿山和城市建设中面临的工程岩溶环境地质问题进行了简要的介绍。

本书主要供从事一线工作的水利水电工程地质专业技术人员和有关院校相关专业的师生参考。

### 图书在版编目 (C I P) 数据

水利水电工程岩溶勘察与处理 / 沈春勇主编. -- 北京 : 中国水利水电出版社, 2015. 4  
ISBN 978-7-5170-3371-4

I. ①水... II. ①水... III. ①水... IV. ①水...  
I. ①水... II. ①水... III. ①水... IV. ①水...  
I. ①水... II. ①水... III. ①水... IV. ①水...

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第155575号

审图号: GS (2015) 672 号

书 名	水利水电工程岩溶勘察与处理
作 者	主编 沈春勇 副主编 余波 郭维祥
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 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
刷 印	北京嘉恒彩色印刷有限责任公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 31.75 印张 762 千字 6 彩插
版 次	2015 年 4 月第 1 版 2015 年 4 月第 1 次印刷
印 数	0001—2000 册
定 价	118.00 元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

# 水利水电工程岩溶勘察与处理

主 编 沈春勇

副主编 余 波 郭维祥

参 编 徐光祥 封云亚 肖万春 杨益才 吴述或

郑克勋 朱代强 王 波 王仲龙 朱永清

钟国华 张国富 屈昌华 曾 创 刘祥刚

陈占恒 周林辉 张 毅 皮开荣

# 序

近日看到中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司（以下简称贵阳院）送审的《水利水电工程岩溶勘察与处理》这本专著，感到非常高兴，从中也学习到很多有益的知识。

中国岩溶地区分区广泛，特别是西南地区，在贵州、云南、重庆、四川、湖北西部、湖南西部、广东北部这个连片的地区，岩溶分布面积达 50 多万  $\text{km}^2$ ，岩溶类型众多，为国内外所瞩目。而且，贵州省处在这片岩溶地区的核心部位，岩溶分布面积占全省面积的 74%。这片岩溶地区，岩溶与各项建设以及人民生活关系密切。因此，如何更好地开发这片岩溶地区的各种资源，特别是水资源、水电能源，就显得更为突出。这就需要很好地调查研究岩溶，并对岩溶可能带来的不良地质条件进行正确的治理。

贵阳院是我国岩溶地区进行水利水电建设方面的领军单位。早期的邹成杰、任钟魁等为猫跳河的梯级开发，乌江东风和南盘江二级水利枢纽，以及贵州省域内许多大、中、小型水利水电枢纽的建设作出了重要贡献。

沈春勇主编的这本专著，在继承原来已有的成果基础上，全面系统地总结了改革开放以来，主要在贵州水利水电建设的发展中，他们在地质勘测与研究方面所作出的重要贡献。此外，也归纳总结了其他岩溶地区的水利水电勘测方面的成果。

初读之后，感到这本专著有以下几个特点：

## 1. 岩溶区划方面的创新认识

以水利水电方面为出发点，分析了所涉及中国岩溶发育的基本规律与特

征，将中国岩溶分为华北、华南和西部三大区，各区又分相应亚区。这方面，以水利水电上的建设为准，进行区划，可相应更好地归纳岩溶特点对水利水电建设方面的影响，也可有力地推动已取得的经验与认识。

## 2. 综合勘测技术上的提高与创新

以往在勘测岩溶地基方面，多是以钻机勘探为主，在岩溶山区只依靠钻探及相对试验而获得的资料是有限的。在这本专著中，除了一般论述水库、坝址等工程地质勘探之外，重点总结了地球物理勘探包括高密度电法、地质雷达、CT、连续电导率等方法在岩溶工程地质勘察方面的应用所取得的重要成果。虽然这些方法本身，不是他们发明的，但是创新应用这些方法在岩溶山区，能取得符合客观的勘测成果，本身就是一个重要创新，这创新更体现在综合勘探手段上的有效应用上。

## 3. 岩溶水文地质系统与有关“四场”的分析方法

研究岩溶水系统是非常重要的，是进行工程地质条件评价的基础。这本专著中，将遥感成果与有关调查结合，分析水文网演化及水文地质系统，取得很好的成效。并深入分析其“四场”，即：水文地质系统的渗流场、化学场、温度场和同位素场，这系统性的“四场”分析，在岩溶水研究中是不多见的，为正确区分与掌握岩溶水文地质系统特性，有着极为重要的作用。

## 4. 基础处理上的综合创新成就

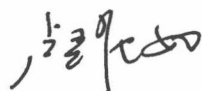
本专著中分别论述了有关水库渗漏、坝基防渗、洞室渗水、基坑涌水等方面岩溶地基的处理方法，在改革开放后大量水利水电建设运行没有出现问题，就深刻说明了在诸多岩溶地基处理上的突出成就。特别要提及的是，20世纪60年代后期，在猫跳河6级开发中，4级窄巷口由于诸多因素影响，未能很好地进行防渗处理，结果建成后，左岸河湾最大渗漏量达 $21\text{m}^3/\text{s}$ 。后来，又经详细勘测研究。近期通过处理后，渗漏量由 $17\text{m}^3/\text{s}$ 减为 $1.5\text{m}^3/\text{s}$ ，收到减少90%渗漏量的好功效，从这一例中，就可看到贵阳院工程地质专家们的重大成就。

从20世纪50年代后期，我就与贵阳院有过密切的合作，我从邹成杰、任钟魁以及费英烈、姜德甫等同志处也学习了很多，我也有些建议得以共同探讨。后来，在贵州一些大型工程上，也有较多的讨论。21世纪初，在中国工程院“中国可持续发展与水资源战略研究”这一重大咨询项目中，我负责西南地区水资源的开发利用课题研究，和贵阳院许多同志也有合作。当时的结

论是强调要加快水利水电建设，西电东送。本专著充分反映了贵州的水电能源已经得到很好的快速的开发，贵阳院的地质同行们作出了重要的贡献。在岩溶地区水利水电建设中，这本专著在国内外来说都是一个非常好的创新成果。

当然，今后岩溶山区仍需更好地发展大、中、小型枢纽结合的水利水电工程网络，也需在防治综合灾害及建设良好生态环境上，再取得更多贡献。

中国岩溶地区水电建设在世界上是领先的。这本专著反映了岩溶地区大规模水利水电建设方面的地质综合成果，也是处于世界领先的水平。



2014年11月26日

(卢耀如：中国工程院院士)

# 序 二

作为曾经在贵阳院工作多年的老同志，获悉《水利水电工程岩溶勘察与处理》一书完成编撰即将出版，心情十分高兴。这是贵阳院的一项重要成果，也是参编人员不懈努力、辛勤耕耘的结果，在此表示衷心的祝贺！

贵州省是我国可溶岩分布范围广阔地区之一，可溶岩面积占全省国土面积的74%。在漫长的地质历史中，由于长期的溶蚀作用，形成了众多的峰林、洼地、伏流、暗河、瀑布、溶洞等独特的岩溶景观，真可谓贵州岩溶甲天下！但是，贵州自然风光的绚丽多姿、山清水秀难以掩饰地下的岩溶构造和暗流涌动，岩溶问题几乎成了工程地基不可逾越的门槛，尤其对于建设大型水利水电工程，更是面临着巨大挑战。

贵阳院自20世纪50年代末开始在贵州岩溶地区开发水力发电，先后在猫跳河、乌江、南盘江及北盘江流域等岩溶地区设计建成了数十座高坝大库，开展了系统的勘测设计和科技攻关，取得了丰硕的成果，岩溶理论、探测技术、分析方法、工程实践不断进步，积累了丰富的岩溶勘测、设计与处理经验，历练出一批又一批岩溶勘测设计与处理技术的专家团队。进入世纪之交，借助国家实施“西电东送”工程建设的东风，贵阳院又在岩溶地区先后勘测设计并建成了洪家渡、引子渡、索风营、思林、光照、董菁、沙沱等一批大型水电站，成库条件极为复杂的洪家渡、索风营水电站建成蓄水，以及猫跳河4级岩溶堵漏顺利完成，使贵阳院的岩溶勘测设计与处理技术、岩溶科技攻关得到快速发展，岩溶勘察设计处理技术跃居于国内领先水平，荣获国家优秀勘察设计金奖、银奖和贵州省科技进步奖、水力发电科学技术奖、中国电力科学技术奖二等奖等40余项奖励及数十项专利技术。岩溶勘察设计与处理技术成为贵阳院的一大技术优势。

2006年，我还在主持贵阳院工作的时候，为加强岩溶勘察设计与处理技



术总结与提炼，宣传贵阳院这一大技术优势，传播先进的技术和经验，促进岩溶地区工程建设，我提议由院立项启动编撰岩溶专著的计划。今天，当我看到书稿后颇感欣慰，现谈几点感想：

(1) 本书系统归纳总结了贵州及其他岩溶地区的水利水电勘察成果，是一部全面、系统的水利水电工程地质专业著作，对常用、有效的岩溶地球物理勘探方法也进行了系统介绍，具有很高的实用价值，是水利水电工程师不可多得的专业工具书。

(2) 侧重工程实例进行总结与提炼，是本书的鲜明特色。本书在岩溶防渗处理、基坑岩溶涌水处理、伏流及暗河封堵成库处理、岩溶地基评价与处理和工程岩溶环境地质问题等采用了大量成功的工程实例，可供水利水电工程师借鉴。

(3) 本书的编撰者大部分是20世纪80年代、少部分是90年代参加工作的本科—博士研究生学历，具有学历高、创新性强的特点，同时也是国家“西电东送”工程的主力军，参加水电工程多、规模大，他们上承老一辈成功经验，下启科技创新先进手段，既具有较强的理论水平，也具有丰富的实践经验，因而本书的可读性、借鉴性很强。

(4) 本书介绍了大量新设备、新技术、新方法，如物探连续电导率剖面成像法、电磁波CT、地质“四场”分析法。新技术、新方法在岩溶探测方面具有经济、快捷、准确的特点，在贵州索风营和大花水、四川武都、安徽琅琊山等水电站工程上均取得了很好的效果，值得推广。

(5) 与时俱进，开拓创新。第8章“伏流及暗河封堵成库处理”针对随着水利水电开发的深入和岩溶地区工程性缺水问题的日益突出，开展对暗河、伏流等强岩溶发育区工程地质问题及处理方法的研究；第10章“工程岩溶环境地质问题”主要是为了贯彻“在开发中保护、在保护中开发”的理念，对我国可持续健康发展具有重要的现实意义。

岩溶地质永远是复杂和神秘的。在本书出版发行之际，希望能够促进岩溶勘察与处理技术发展和岩溶地区工程建设，也希望广大工程技术人员加强科技创新和技术总结，在建设世界级工程的同时，也出一批世界级成果，造就一批世界级的人才！



2014年12月26日

(兰春杰：中国能源建设集团公司副总经理)

# 序 三

---

斗转星移，演绎着沧海桑田，曾经海相沉积的碳酸盐岩，经过亿万年岁月风雨，造化了甲天下的桂林山水、路南石林、兴义万峰林、织金洞这些迷人景点，也形成了无数地下水通道，让滔滔河水消失于无形，在工程意义上代表着溶蚀、漏水，关系到水电建设项目的成败，考验着水电勘察设计技术人员的智慧，也难倒不少地质精英，记得在 20 世纪 80 年代以前的教科书上，对岩溶地层还是以避让为主。

1958 年贵阳院建院之时，我国对岩溶的研究还是空白，工作在贵州高原，贵阳院人面对的是占国土面积 74% 的岩溶地层这一严峻现实，狭路相逢，退无可退，避无处避，只能以大无畏的精神放手一搏，去探索、研究、勘察、治理。伴随企业发展的 56 个风雨岁月，贵阳院先后转战于猫跳河、清水江、南盘江、乌江、北盘江开展水电勘测设计，在岩溶地区复杂的水文、工程地质条件下，经历了强烈的岩溶渗漏、大流量地下洞室涌水、复杂岩溶地基处理等工程地质难题，汇聚了贵阳院几代技术人员的智慧和不懈努力，通过数十个工程不同地质问题处理的工程实践，在岩溶勘察技术、复杂岩溶工程问题的处理以及岩溶地质灾害治理等方面积累了丰富的工程经验，多年来一直保持国内同行业的领先地位。

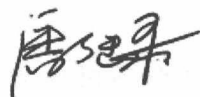
1994 年，由院副总工程师邹成杰先生主编出版的《水利水电岩溶工程地质》一书，对贵阳院猫跳河梯级、天生桥二级水电站、东风水电站、普定水电站以及同时期兄弟单位完成的乌江渡、水槽子、六郎洞等工程岩溶勘察及研究的经验进行了总结。介绍了当时的岩溶勘察技术，归纳了地貌、水文网、

地下水渗流场等 15 种岩溶分析方法，代表了我国当时的岩溶工程地质研究水平，在水利水电岩溶勘察中有较高的应用价值，在行业内具有较大的影响。

《水利水电岩溶工程地质》出版 20 多年了，这一阶段正是我国水利水电工程建设最为辉煌的时期，随着综合国力的高速增长，一批大型、巨型水电站相继建成投产，贵州省境内大江大河上水电开发基本完成。对岩溶勘察处理的技术手段有了飞速发展，遥感、物探技术有了质的突破，新型防渗堵漏材料和施工工艺不断创新，使得在岩溶建坝成库的成功率大幅度提高，我国对岩溶地区水利水电建设的水文工程地质勘察研究处理达到了国际领先水平。

为总结经验，给国内国际岩溶地区工程建设提供指导，贵阳院决定由院岩溶研究中心组织技术力量编写《水利水电工程岩溶勘察与处理》专著，指定沈春勇副院长任本书主编。本书在《水利水电岩溶工程地质》基础上，结合西电东送战略一大批重点工程如乌江流域洪家渡、引子渡、索风营、思林、沙沱，北盘江流域光照、清水河大花水、格里桥以及省外有代表性的武都水电站、中梁水电站等工程经验，介绍了包括物探、遥感、钻探等勘察技术的发展和创新发展应用经验；将地理信息系统应用于地貌和水文网演化分析，利用先进物探技术完善了岩溶地下水场分析的方法，补充了岩溶地下水系统分析理论；针对水库岩溶防渗处理、坝区防渗处理、岩溶洞室涌水处理、基坑涌水处理、伏流及暗河封堵成库处理、岩溶地基评价与处理等补充了工程实例，为适应现代城市工业民用建设，增加了“工程岩溶环境地质问题”的内容。

本书代表了我院水利水电岩溶勘察与工程处理方面取得的新的经验，具有较高的参考价值。本书的出版，若能对水利水电工程勘测设计人员实际工作有所帮助，则是我院为国家水利水电建设贡献的一份微薄力量。



2014 年 12 月 26 日

(潘继录：中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司总经理)

# 前言

---

中国岩溶地区分布广泛，特别是西南云、桂、渝、黔地区，岩溶分布面积达 50 多万  $\text{km}^2$ ，岩溶类型众多。而且，贵州省处在这片岩溶地区的核心部位，岩溶分布面积占全省面积的 74%，无论何种工程建设活动，只要是开发利用这片岩溶地区的各种资源，特别是水能资源，都与岩溶息息相关。

根植于贵州省的中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司（以下简称贵阳院）长期从事岩溶地区水利水电建设勘察设计，积累了丰富的科研、设计与工程经验，20 世纪八九十年代，原能源部、水利部水利水电规划设计总院组织贵阳院等单位，由贵阳院副总工程师邹成杰先生担任主编，编写了《水利水电岩溶工程地质》一书，该书系统地总结了我国在岩溶地区水利水电建设勘察设计研究的基本经验，将我国岩溶工程地质科学提高到新的水平，成为当时岩溶工程地质师的必备工具书。

从 20 世纪 90 年代中期至今已经 20 多年，这一阶段正是贵阳院在贵州岩溶山区开展水利水电工程建设最为辉煌的时期，随着“西电东送”拉开序幕，位于贵州境内的乌江、北盘江、南盘江三条干流及主要一级支流上，短短的 20 年间，贵州省境内岩溶地区 10 个大型、7 个中型水电站相继建成投产，标志着贵州的大、中型水电资源已基本开发完成。这得益于在岩溶勘察处理方面的技术手段有了飞速发展，遥感、物探技术有了质的突破，大大缩短了勘察周期，提高了勘察精度，为水电的快速发展奠定了基础。在工程处理上，新型防渗堵漏材料和施工工艺不断创新，使在岩溶地区建坝成库的成功率大幅度提高，我国对岩溶地区水利水电建设的水文工程地质勘察研究处理达到

了国际领先水平。2008年8月，原水电顾问集团贵阳勘测设计研究院决定编写《水利水电工程岩溶勘察与处理》专著，由贵阳院岩溶研究中心组织技术力量，沈春勇任本书主编，余波、郭维祥担任副主编，参加编写的共22人。

结合贵阳院在岩溶地区50多年来工作成果，由主编提出编写大纲和章节安排，全书共分10章，前面3章以岩溶基础理论和分析方法为主，后7章以岩溶工程地质问题分析和处理工程实例，根据作者专长，统一分工，负责编写、校审，会议集体讨论修改，最后由主编统稿。资料收集力求全面，以贵阳院承担的项目为主，并尽可能利用各兄弟单位的成功经验。

第1章“岩溶发育的基本条件及形态”，论述了岩溶发育的基本知识，是研究岩溶工程地质的基础。总结论述了我国岩溶区域特征，岩溶发育的基本条件、影响因素、发育规律和基本形态。

第2章“水利水电岩溶工程地质勘察方法”，论述了水利水电工程建设中可能遇到的主要岩溶工程地质问题，系统总结了岩溶工程地质勘察方法，分别对水库区、枢纽区、地下洞室、抽水蓄能和堵洞成库作了详细论述，重点突出了物探方法在水电勘察中的应用。

第3章“岩溶水文地质分析方法及应用”强调系统理论分析的应用，是传统理论和新卫星遥感技术应用的结合，从定性分析判断到定量分析及精确定位有了质的飞跃。

第4~第7章是水利水电岩溶工程处理的主要章节，分工程部位对渗漏和涌水问题的危害处理作了论述，以工程实例介绍了新技术新工艺新方法的应用，将我国在岩溶地区建坝成库成功率提高到世界领先水平。

第8章“伏流及暗河封堵成库处理”，随着水利水电开发的深入和岩溶地区工程性缺水问题的日益突出，开展对暗河、伏流等强岩溶发育区工程地质问题及处理方法的研究十分必要，本书从成功的案例中总结了主要工程地质问题 and 处理方法，是一个新的突破。

第9章“岩溶地基评价与处理”，主要评价了岩溶化可溶岩体的强度特性和变形特性，以及产生的破坏对工程的影响，提出了系统的处理原则和方法，列举了近些年来成功的案例。

第10章“工程岩溶环境地质问题”，主要论述了工程建设中的典型环境地质问题。地表水与地下水的关系在岩溶区十分密切，交互迅速，岩溶地区生态环境脆弱，工程建设易改变岩溶地下水的补、径、排关系，从而引起水文

地质、工程地质和环境地质问题。以实例介绍了可能产生的危害和勘察治理方法。

本书前言和绪论由封云亚编写；第1章由余波、王仲龙编写；第2章由余波、张国富、王波、陈占恒、周林辉、张毅和皮开荣编写；第3章由徐光祥、沈春勇、郑克勋和朱永清编写；第4章由杨益才、郭维祥编写；第5章由吴述或编写；第6章由余波、朱代强、郭维祥和曾创编写；第7章由肖万春编写；第8章由沈春勇、郭维祥和屈昌华编写；第9章由郭维祥编写；第10章由余波、钟国华和刘祥刚编写。

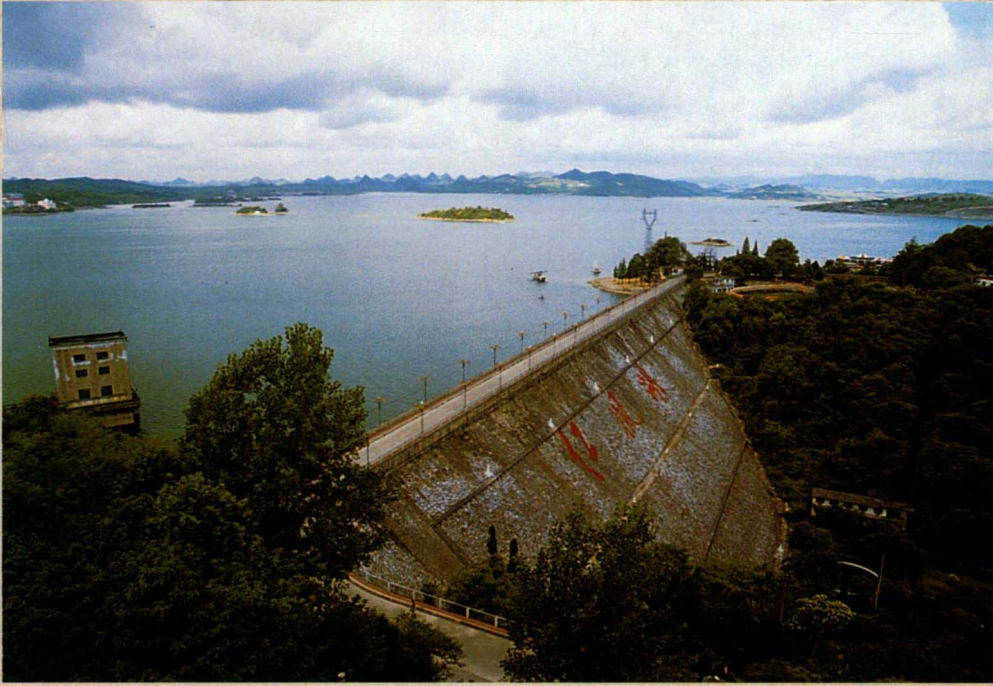
本书校审责任人：绪论、第5章、第6章——沈春勇；第1章、第2章——沈春勇、欧阳孝忠、谢树庸、封云亚和袁景花；第3章——徐光祥、李月杰、欧阳孝忠和谢树庸；第4章——吴述或和郭维祥；第6章、第8章——郭维祥；第9章——杨益才；第10章——沈春勇和肖万春。全书由沈春勇主持定稿。

本书在编写过程中得到了主编单位贵阳院原院长兰春杰、现任院长潘继录、总工程师范福平等领导的关心支持和指导；卢耀如院士十分关心本书的编写，从立项开始就给予指导，并为本书作“序”；贵阳院原副院长欧阳孝忠、原副总工谢树庸以其丰富的岩溶工程经验为本书的编著给予了悉心指导，并提供了大量的珍贵资料；院科技信息部主任李月杰力促本书立项，多次参与本书工作安排及校审会议；中国水利水电出版社王照瑜编审为本书的编撰、出版做了大量指导工作；贵州省水利电力学校秦刚老师为本书彩插提供了部分典型岩溶地貌照片；院岩溶中心郑克勋承担了大量事务管理，并对本书进行校对；本书的插图清样由高宁、周泽怀、任廷秀、叶小琴和林恩珍完成。在本书付梓之际，对为本书提供指导和帮助的各位领导、专家，表示衷心的感谢！

由于资料收集未能全面覆盖我国更多工程，加之作者水平所限，错漏之处，敬请读者指正！

编者

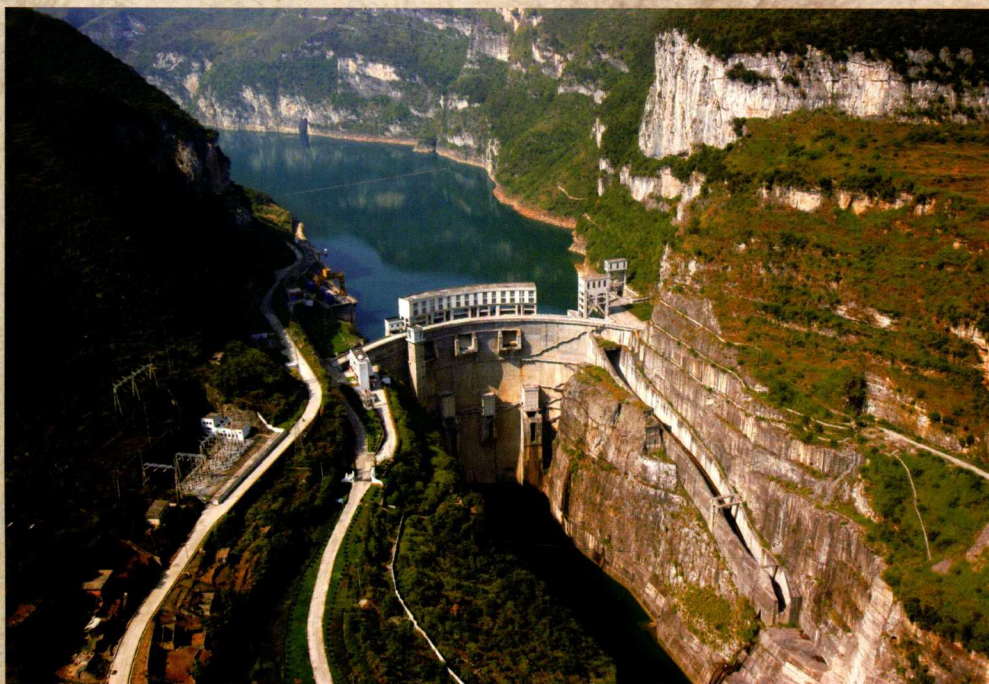
2014年12月12日



猫跳河一级红枫水电站，木斜墙堆石坝，坝高 54.28m，于 1960 年建成



猫跳河四级窄巷子水电站，溢流式双拱坝，坝高 54.7m，于 1970 年建成



乌江东风水电站，拱坝，坝高 162.3m，于 1995 年建成



乌江洪家渡水电站，面板堆石坝，坝高 179.5m，于 2004 年建成





乌江索风营水电站，重力坝，坝高 115.8m，于 2006 年建成



清水河大花水水电站，碾压混凝土双曲拱坝，坝高 134.5m，于 2007 年建成