

SHUIDIAN SHUILI GONGCHENG

DIANXING SHUIWEN DIZHI WENTI YANJIU

水电水利工程 典型水文地质问题研究

张世殊 许模 等 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

水电水利

水电水利工程 典型水文地质问题研究

张世殊 许模 等 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书以西南地区数十个水电水利工程实践中的典型水文地质问题为基础,系统研究了水电水利工程水文地质基础理论和勘察试验方法,总结了水电水利工程库区和枢纽区典型水文地质问题和评价方法。本书既有研究方法的总结,又有相关问题的深入分析和工程实例的定性、定量评价,突出和体现了水电水利工程水文地质研究的最新成果。

本书可供水电、水利、岩土、交通、国防工程等领域的科研、勘察、设计、施工专业技术人员及有关院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

水电水利工程典型水文地质问题研究 / 张世殊等著

— 北京 : 中国水利水电出版社, 2018.4

ISBN 978-7-5170-6418-3

I. ①水… II. ①张… III. ①水利水电工程—水文地质—研究 IV. ①TV51②P642

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第087056号

书 名	水电水利工程典型水文地质问题研究 SHUIDIAN SHUILI GONGCHENG DIANXING SHUIWEN DIZHI WENTI YANJIU
作 者	张世殊 许模 等 著
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 (营销中心)
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
印 刷	北京中科印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 19.25印张 456千字
版 次	2018年4月第1版 2018年4月第1次印刷
印 数	0001—1500册
定 价	120.00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

序

工程水文地质问题是人类工程活动中最为常见、最为突出的工程技术问题之一。地下水及其渗流既是工程岩土的重要赋存环境，同时又是不可忽视的致灾因子，地下水活动常常引发各种地质灾害，例如滑坡、山崩、泥石流、地面沉降、岩溶塌陷等等，造成岩土及其相关结构的破坏，从而带来严重工程灾难事故。

水电水利工程本身是涉水工程，地下水对水电水利工程的影响比其他工程活动更为明显，地质体—地下水—工程结构的相互作用的范围更大、作用的强度更高、作用机理更复杂、致灾的危害更大，而目前工程水文地质领域研究相对比较薄弱，勘察评价方法不够成熟，工程灾害事件时有发生，例如法国马尔帕塞坝失事和意大利瓦伊昂坝水库滑坡破坏等，因此重视和加强工程的水文地质研究，具有重要理论和工程现实意义。

《水电水利工程典型水文地质问题研究》一书内容由理论研究和工程实践两大部分组成，前者侧重于工程水文地质学理论研究和勘察试验技术创新的最新成果的系统介绍；后者注重于基本理论和勘察方法在水电水利工程中的应用研究。毫无疑问，工程实践部分是本书的重点，在这部分内容中，作者按照工程区域特点分为水库区和枢纽建筑物区两个区域，结合大量的实际工程案例，分别详述了水电水利工程中由地下水引起的特定的水文地质问题，如水库区的水库渗漏、水库侵没、水库滑坡塌岸、水库诱发地震等问题和枢纽建筑物区坝基承压水、坝基渗漏、基坑涌水、隧洞涌水、泄水雾化边坡稳定等问题，并研究提出了对这些水文地质问题的勘察、分析和评价方法，以及相应的工程对策措施。

《水电水利工程典型水文地质问题研究》是在工程实践基础上系统总结形

成的一本研究专著，成果的取得，离不开编写者们不断的工程实践与总结，也离不开编写者们重视引进和发展先进的技术手段，如首次将环境同位素技术应用到水文地质调查中，为水电工程地下水径流调查分析提供了低成本、高效率的新手段，并首次从水文地质结构控制机理出发，提出水电工程的渗控措施，为水电工程的渗漏控制提高了可靠性。而诸如此类的创新性成果，本书中还有很多，并在许多正在建设的水电工程得到应用。

水文地质学是一门综合性、实践性很强的学科，本书中的水文地质问题也不仅仅适用于水电水利工程行业，同样也适用于交通、采矿等行业中遇到的各种水文地质问题。本书尽管以归纳总结为主，但仍能反映工程实践过程中遇到的主要水文地质问题，适合广大一线从事水文地质行业的调查、设计及科研人员借鉴和参考。

是为序。

宋胜武

2018年2月

前言

我国水能资源丰富，其中 50% 以上水能资源集中于西南地区。随着国民经济持续快速发展及对清洁能源的需求，西南地区水能资源开发步伐明显加快。近年来，西南地区相继建成了金沙江溪洛渡和向家坝，雅砻江锦屏和官地，大渡河瀑布沟、猴子岩、长河坝，澜沧江小湾和糯扎渡等巨型电站，正在建设白鹤滩、乌东德、两河口、双江口等一批巨型水电工程，工程建设技术处于世界领先水平。

西南地区地处青藏高原地带，其区域地形地质条件复杂，水电工程建设过程中，往往遭遇了大量的复杂工程水文地质问题，如锦屏二级引水隧洞岩溶水问题、大岗山水电站坝区异常承压水、长河坝水电站基坑降水、瀑布沟水电站库区浸没等。这些工程遭遇的水文地质问题均通过工程处理措施得以解决，但系统总结偏少，同时，从水文地质领域方面看，还存在众多关键技术问题值得研究和总结，如西南地区中高山区复杂水文地质问题产生机理、多样化的水文地质条件调查方法、水电工程重大水文地质问题分析和评价方法等。

为系统总结和研究西南地区水电水利工程典型水文地质问题的勘察和评价，在各方支持下，中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司特组织编撰《水电水利工程典型水文地质问题研究》一书。

本书以水电水利工程建设过程中遭遇的典型水文地质问题为出发点，并结合工程实例，对水文地质问题勘察、评价进行系统的总结和研究，内容共分 6 章。第 1 章概述，介绍了西南地区水电工程建设情况，并概括了水电工程

中典型的水文地质问题；第2章工程水文地质基础理论，对工程中工程—水—地质体相互作用机理、工程水文地质问题关键控制因素等基础理论进行阐述；第3章工程水文地质勘察试验方法，从勘察内容、勘察手段和方法、各种试验内容等方面对水文地质勘察试验方法进行系统总结；第4章和第5章是对水电工程库区、枢纽区的水库渗漏、浸没、基坑降水、地下工程涌突水等典型水文地质问题的特点、评价方法进行系统研究和总结，提供了不同类型、不同地质背景条件和不同水文地质问题研究的典型案例；第6章对全书的主要内容进行了总结。

书中主要工程实例有金沙江溪洛渡水电站、鲁地拉水电站，雅砻江锦屏一级水电站、官地水电站、桐子林水电站，大渡河双江口水电站、长河坝水电站、瀑布沟水电站、泸定水电站、大岗山水电站、铜街子水电站，岷江紫坪铺水电站、福堂水电站，澜沧江古水水电站，澜江关口水库，青衣江雅安大兴河道及湿地综合整治，木里河卡基娃水电站，红水河岩滩水库、百龙滩水库。

编撰团队历时两年，全面总结，深入研究，精心编写。第1章由彭仕雄、张世殊编写；第2章由许模编写；第3章由许模、康小兵编写；第4章由张世殊、康小兵、夏强、郭健、杨艳娜、漆继红、王刚、赵小平、李青春编写；第5章由康小兵、张世殊、漆继红、夏强、张强、王在敏、冉从彦、李青春、袁国庆编写；第6章由彭仕雄、张世殊编写。全书由张世殊主持定稿。

本书在编写过程中，还得到了中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司的领导和公司技术经济委员会、科技质量部、勘测设计管理部等职能部门以及地质处、勘察中心、监测与试验研究所等相关专业生产单位的大力支持和帮助。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，加之作者水平有限，时间仓促，书中不足和错误之处在所难免，敬请读者批评和指正。

著 者

2018年2月

中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司简介

中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司（简称“成都院”），其历史可以追溯至1950年成立的燃料工业部西南水力发电工程处，正式建制于1955年，拥有成都与温江科研、办公场所22.9万多 m^2 ，成都办公区位于风景秀丽的浣花溪畔，毗邻历史人文胜迹青羊宫、杜甫草堂。薪火相传的60多年里，始终秉承“贡献国家、服务业主、回报社会”的价值理念，致力于实现人与自然、社会的和谐发展，服务全球清洁能源与基础设施、环境工程建设。

成都院是中国电建集团直属的国家级大型综合勘测设计科研企业，业务覆盖能源、水利、水务、城建、市政、交通、环保等全基础设施领域，涵盖规划、勘察、设计、咨询、总承包、投融资、建设运营、技术服务等全产业链；持有工程设计综合甲级、工程勘察综合类甲级、工程造价咨询、工程监理、水土保持、水文水资源调查评价、建设项目环境影响评价、污染治理设施运行服务、地质灾害治理设计勘察与施工、环境污染防治工程、对外承包工程等34项资质证书及发电业务许可证。建立了质量、职业健康安全、环境管理体系。

成都院2014年成功跨入集团特级子企业行列，资产规模突破百亿元大关；2015年新签合同实现百亿元目标，各项经济指标保持稳健增长势头，营业收入、利润和经济增加值均创历史新高。

成都院高精尖人才众多，专家团队实力雄厚，包括中国工程院院士、全国勘察设计大师（3人）、新世纪百千万人才工程国家级人选、国家监理大师、国务院政府特殊津贴专家、全国优秀科技工作者、四川省学术和技术带头人、四川省工程勘察设计大师、四川省突出贡献的优秀专家。

60多年来，成都院完成了西南及西藏地区100余条大中型河流的水力资源普查和复查，普查的水能资源理论蕴藏量占全国的54.4%；承担雅鲁藏布江、金沙江、大渡河、雅砻江、嘉陵江等流域和河段的开发规划，水利枢纽和水电站规划约350座，总装机容量约2.1亿kW，约占我国可开发水力资源的39%，居行业首位；勘察设计并建成发电的羊湖、映秀湾、龚嘴、铜街子、沙牌、瀑布沟及中国20世纪投产的最大水电站二滩、装机容量世界第三的溪洛渡、世界第一高拱坝锦屏一级等大中型水电站；正在从事前期勘察设计的水电站约30座，装机容量2000万kW，正在建设的水电站15座，装机容量1500万kW，涉及长河坝、两河口、双江口等世界级大型水电站。2016年，溪洛渡水电站拿下“菲迪克工程项目杰出奖”，瀑布沟水电站荣获詹天佑大奖。

成都院在国家能源规划、高端技术服务方面培育出核心竞争能力，代表着我国乃至世

界水电勘察设计的最高水平。国内前 10 座高坝中，成都院勘察设计了 6 座；国内 200m 以上特高拱坝和特高土石坝均为 7 座，成都院勘察设计各有 4 座；国内已建和在建单机 50 万 kW 以上的 16 座大型地下厂房，8 座由成都院勘察设计。在高混凝土拱坝勘察设计、高土石坝勘察设计、深厚覆盖层复杂地基处理、巨型复杂地下洞室群勘察设计、高陡边坡稳定控制、高水头大流量窄河谷泄洪消能设计、大坝施工过程仿真与智能监控、数字流域与数字工程等领域形成了企业核心优势技术，引领行业技术进步。

成都院形成了“产学研”相结合的科技创新体系，拥有国家能源水能风能研究分中心、高混凝土坝研发分中心、大型地下工程研发分中心，博士后工作站、四川省首批院士工作站，成都院—IBM 智慧流域研究院、法国达索—成都院工程数字化创新中心等智慧平台。2008 年，被认定为国家级高新技术企业；2012 年，被认定为第五批国家级创新型试点企业；2013 年，被认定为四川省创新型示范企业；2015 年，成功获评国家级企业技术中心。

成都院依托重大工程建设，坚持科技创新，取得了大批科技成果并得到推广应用。“高坝坝基岩体稳定性评价及可利用岩体质量研究”“碾压混凝土拱坝筑坝配套技术研究”“中国数字水电”等数十项成果处于国际或国内领先水平。先后编制并发布国家和行业技术标准 106 项，成为水电行业技术标准编制的主力军。共获得国家级、省部级奖励 540 余项，其中国家科技进步奖 25 项（一等奖 2 项）、国家级“四优”奖 25 项。连续多年稳居“全国勘察设计综合实力百强单位”和工程设计企业 TOP60 强前列。

成都院在保持传统业务优势的同时，从专注水利水电、新能源等领域，全面拓展到交通、建筑、市政及水环境、水务、岩土工程、数字工程、环境工程、移民工程代建、设备成套供应等多元业务领域，构筑可持续发展的全产业价值链，形成了工程勘测设计、工程总承包、投资及资产运营“三大产业”格局。

成都院从 2003 年开始进军总承包业务市场，先后承担水电、水利、交通、市政、水环境、集控改造、移民代建等各种类型的总承包业务，带来了项目管理水平的大幅提高，逐渐形成“以设计为龙头的总承包”品牌优势。成功建成四川首个风电项目德昌一期示范风电场和世界最大山地光伏项目群首期工程万家山光伏电站，开启了川藏能源结构调整的关键一步。2015 年，中标两河口库区移民代建工程设计施工总承包项目，为集团库区代建制规模最大的总承包项目。投资业务推动构筑全产业服务链作用日益显著，截至 2015 年底，参股控股公司 30 家，拥有发电权益容量 245 万 kW；城市污水处理及工业废水 BOT 项目 9 个，污水处理能力近 26.1 万 t/d。

成都院坚持国际优先发展战略，积极对接“一带一路”倡议，努力打造“出海”能力，业务范围遍布亚洲、非洲、欧洲、南北美洲、大洋洲等 60 余个国家或地区，控股哈萨克斯坦水利设计院，参股欧亚电力有限公司，成功建设格鲁吉亚卡杜里、越南洛富明、哈萨克斯坦玛依纳等项目；承担中亚五国可再生能源规划和塞拉利昂国家水电规划；开展南亚最大污水处理厂 EPC 项目、越南国家风电示范项目富叻风电 EPC 项目，承担科特迪瓦最大水电站苏布雷勘测设计和机电设备成套任务。经过十多年经营、探索和实践，积累了丰富的国际工程勘测设计与施工总承包经验。

成都院坚守“诚信、负责、卓越”企业精神与“服务、关爱、回报”企业价值观，勇

于承担中央企业的社会责任和义务，在水电工程抢险、堰塞湖整治、次生灾害防治、帮扶救助、精准扶贫等方面做出积极贡献，荣膺“中央企业先进集体”“中央企业先进基层党组织”“全国五一劳动奖状”“全国用户满意企业”“四川省最佳文明单位”等 30 多项荣誉称号。

引领新常态，迎接新挑战，激发新优势，成都院将强力深化改革，着力推动创新，持续提升管理，向着“具有全球竞争力的质量效益型国际工程公司”目标阔步前行。

目 录

序

前言

第1章 概述	1
1.1 西南地区地质背景	1
1.2 水电开发概况	2
1.3 水电开发遇到的主要水文地质问题	4
第2章 工程水文地质基础理论	8
2.1 工程水文地质概述	8
2.2 水电工程中工程—水—地质体相互作用机理	10
2.3 工程水文地质问题关键控制要素	11
2.4 工程水文地质问题分类	12
第3章 工程水文地质勘察试验方法	14
3.1 工程水文地质勘察主要内容	14
3.2 工程水文地质勘探技术方法	30
3.3 工程水文地质试验及资料整理	55
第4章 水库区典型水文地质问题	69
4.1 概述	69
4.2 水库渗漏问题	70
4.3 水库浸没问题	84
4.4 浸没型岩溶内涝问题	101
4.5 浸没性矿床充水问题	112
4.6 库岸斜坡地下水致灾作用	124
4.7 水库诱发地震问题	148

4.8 特殊水文地质景观问题 170

第 5 章 枢纽区典型水文地质问题..... 188

5.1 概述 188

5.2 枢纽区异常承压水问题 189

5.3 坝基及绕坝渗漏问题 209

5.4 深厚覆盖层区坝基基坑降水 229

5.5 基坑开挖底板涌突水问题 246

5.6 下游雾化边坡稳定问题 255

5.7 水工隧洞突涌水问题 266

5.8 地下建筑物渗水及大坝析出物问题 277

第 6 章 结论..... 285

参考文献 291

第 1 章 概 述

我国水电工程建设从 20 世纪 90 年代以来得到迅猛发展，目前在世界上已经处于领先水平。在水电工程建设突飞猛进的过程中，遭遇了大量复杂的工程地质、水文地质问题，也积累了利用先进技术、理论研讨问题的实例及教训。从水文地质领域方面看，中高山区复杂地质条件下的复杂水文地质问题产生机理、多样化的水文地质条件调查方法、水电工程重大水文地质问题分析和评价方法等，在国内外还没有成熟的方法或指南。已经建设的大型水电工程，如溪洛渡、锦屏、紫坪铺、官地、坪头等提供了不同类型、不同地质背景条件和不同水文地质问题研究的典型案例，值得认真总结分析。

本专著以水文地质学与工程地质学交叉形成的新的学科方向——工程水文地质学理论为指导，依托官地、锦屏、卡基娃、开茂、溪洛渡、长河坝、紫坪铺、自一里、瀑布沟等已建和在建水电工程，通过资料收集分析和补充调查试验，系统分析、总结水电工程中重大水文地质问题以及调查、分析、评价这些问题的技术方法和有效手段，形成从问题产生背景、工程-地下水-地质环境相互作用机理、问题表现及评价、问题处理原则与方案、问题处理效果监控等系统技术主线，建立包括问题调查、分析、评价、处理、监控的完整方法体系。

1.1 西南地区地质背景

西南地区地形比较复杂，多以高原、山地和丘陵为主，地貌类型多样，高低悬殊，有世界最高的珠穆朗玛峰，海拔大于 7000m 的山峰有 66 座；呈现西高东低的特征。较为显著地分为三个地形单元：①巴蜀盆地及其周边山地，主要范围包括四川省中东部、贵州省中北部、云南省东北部和重庆大部；②云贵高原中高山山地丘陵区，主要范围包括贵州省全境与云南省的中南部和中东部；③青藏高原高山山地区，主要范围包括西藏全境，四川省北部、西部、西南部和云南省的西北部。

西南地区地层出露齐全,自元古到第四系均有出露,第四系主要有各种成因的覆盖层;第三系主要为一套红色碎屑岩、砂砾岩;白垩系主要为紫红色砂岩、粉砂岩、泥岩等;侏罗系主要为紫红色泥岩、砂页岩、砂砾岩等;三叠系主要为砂岩、砾岩、页岩、碳酸盐岩等;二叠系主要为灰岩、硅质岩等;石炭系主要为灰岩、白云质灰岩、砂岩等;泥盆系主要为碳酸盐岩为主夹页岩、板岩等;志留系主要为砂岩、粉砂岩、页岩、泥灰岩、碳酸盐岩等;奥陶系主要为页岩、砂岩、页岩、碳酸盐岩等;寒武系主要为碳酸盐岩、页岩、砂岩等;震旦系主要为碳酸盐岩、碎屑岩、变质岩等。

西南地区位于印度板块与欧亚板块相互碰撞汇聚接触带的东侧附近,在大地构造上地处阿尔卑斯—喜马拉雅山造山带东段弧形转折部位,形成了不同性质和规模的陆块相间拼合的构造格局。

中生代以来发展的构造显示,西部构造线主要为北西向和北北西向;古生代以来中国地质构造发展表明,在青藏高原,从祁连山到喜马拉雅山,自东北向西南依次形成祁连加里东褶皱带、昆仑—秦岭华力西褶皱带、巴颜喀拉印支褶皱带、唐古拉山及拉萨燕山褶皱带及喜马拉雅带。

晚近以来,由于印度板块向欧亚板块的强烈推挤,致使青藏高原急剧抬升的同时,岩石圈物质向东及南东方向侧向挤出。西南地区构造格架主要为:北部川西北三角形断块、中部川滇菱形断块、南部滇西南构造区及东部川中断块。断块边界断裂主要有龙门山断裂、鲜水河断裂、安宁河断裂、则木河断裂、小江断裂和金沙江断裂等。区内活动断裂发育,新构造活动强烈,地震频发。

西南地区水文地质可概略划分为青藏高原区、云贵高原区、四川盆地区等三个大的水文地质单元。青藏高原区可进一步划分为高原冻土水文地质亚区、高山峡谷水文地质亚区和“一江两河”河谷平原水文地质亚区;云贵高原区可进一步划分为岩溶石山水文地质亚区、断陷盆地水文地质亚区和碎屑岩—火成岩—变质岩山地水文地质亚区;四川盆地区可进一步划分为成都平原水文地质亚区、盆地红层水文地质亚区和盆周山地水文地质亚区。

西南地区是我国水能资源的富集地区,是当前和未来水电建设的重点所在,但该区域地形地质条件十分复杂,地震烈度高(不少达Ⅷ~Ⅸ度),断裂构造发育(四川省著名的有龙门山断裂带、鲜水河断裂带、安宁河断裂带等,西藏地区主中央断裂、主边界断裂等),岩石条件差异较大,变形岩体广布、地应力高、水文地质条件十分复杂、泥石流等地质灾害频发。

1.2 水电开发概况

随着国民经济持续快速发展及对清洁能源的需求,我国对水电资源的开发利用进入了前所未有的发展时期。近20年(特别是进入21世纪)以来,我国建成许多大中型水电站。根据水利部、国家统计局于2013年3月26日对外发布的《第一次全国水利普查公报》,全国已建成各类水库98002座,水库总库容9323.12亿 m^3 。其中,大型水库756座,总库容7499.85亿 m^3 ,占全部总库容的80.44%;中型水库3938座,总库容1119.76亿 m^3 ,占全部总库容的12.01%。

国家发展和改革委员会、国家能源局在2016年12月公开发布的《能源发展“十三五”规划》中针对常规水电提出：坚持生态优先、统筹规划、梯级开发，有序推进流域大型水电基地建设，加快建设龙头水电站，控制中小水电开发。在深入开展环境影响评价、确保环境可行的前提下，科学安排金沙江、雅砻江、大渡河等大型水电基地建设时序，合理开发黄河上游等水电基地，深入论证西南水电接续基地建设。创新水电开发运营模式，探索建立水电开发收益共享长效机制，保障库区移民合法权益。2020年常规水电规模达到3.4亿kW，“十三五”新开工规模6000万kW以上。发挥现有水电调节能力和水电外送通道、周边联网通道输电潜力，优化调度运行，促进季节性水电合理消纳。加强四川省、云南省等弃水问题突出地区水电外送通道建设，扩大水电消纳范围。

四川省水力资源丰富，居全国之首，四川省境内共有大小河流1000多条，河流年径流量约3000亿 m^3 ，居全国之冠。除阿坝州境内的白河、黑河注入黄河外，其余均属长江流域。大部分河流分布在长江北岸。东部四川盆地主要河流有岷江、沱江、涪江、嘉陵江、渠江；西部高山高原区主要河流有大渡河、雅砻江、金沙江、青衣江。水能蕴藏量约占全国的1/5，占整个西部的1/3，其蕴藏量达1.43亿kW，技术可开发量1.2亿kW。水电资源在1万kW以上的资源河流约有850条。特别是金沙江、雅砻江、大渡河，约占全省水力资源的2/3，全国规划的13个大型水电基地就有3个在四川。金沙江、雅砻江、大渡河是我国著名的水电基地，有“水电王国”之美誉。“十二五”时期，水电实现跨越式发展，2015年水电装机容量达到6939万kW，比2010年增长126%，年均增长17.7%；水电发电量2767亿kW时，比2010年增长143%，年均增长19.4%。

云南省水能资源丰富，具有得天独厚的能源优势，作为全国第二大水电资源大省，全省128个县区中有118个县区可开发万kW以上的中小水电，尤其是滇西北金沙江、澜沧江、怒江三大流域，约占云南省经济可开发容量的85.6%，“三江”干流可开发装机容量达8254万kW，拥有25万kW以上的可开发大型水电站站点35处，这在全国其他省区都是绝无仅有的。根据《中国能源报》（2016年11月7日第11版），截至2016年11月1日，接入云南电网水电装机累计已达5901万kW，占全省电力装机总量的73%，水电已经成为云南省能源结构中的核心型支柱产业。

西藏有河流356条，全区水力资源理论蕴藏量占全国的29%，居全国第一位。西藏水力资源量巨大，雅鲁藏布江、怒江、澜沧江、金沙江干流梯级水电站规模大多在100万kW以上，个别为1000万kW级的巨型电站，是全国乃至世界少有的水力资源“富矿”，现今开发程度较低。

近些年来，西南地区相继建成了雅砻江二滩、锦屏一级和锦屏二级、官地，金沙江溪洛渡和向家坝，大渡河瀑布沟、大岗山、长河坝、猴子岩等巨型电站，正在建设大渡河双江口、雅砻江两河口等一批巨型水电工程。代表性的有世纪工程——二滩水电站，世界最高拱坝（305m）和最难建设的电站——锦屏一级水电站，我国第二大水电站——溪洛渡水电站（总装机容量为1386万kW）、西部开发的标志性工程——紫坪铺水利枢纽，水电工程建设进入了大发展阶段，水电工程工程地质和水文地质实践取得了辉煌成就。尤其是在300m级高拱坝坝基和抗滑稳定、渗漏和渗透稳定、数百米级高陡边坡、超大规模和深埋地下洞室（群）、高地应力环境、复杂水文地质环境等工程研究和设计方面积累了丰富的

的工程经验。

1.3 水电开发遇到的主要水文地质问题

从已经建成的一批大型水库来看,蓄水后水文地质问题仍然较为突出,重大地质灾害时有发生,如锦屏一级、溪洛渡、毛尔盖、狮子坪、瀑布沟等水库蓄水后大多数都存在着变形、塌岸、滑坡、渗漏、浸没等地质问题。需要我们在区域构造稳定性评价技术、水库工程地质评价技术、超高坝坝基和超高陡边坡与超大型洞室群的勘测设计,水-岩作用机理、复杂赋存环境下岩体力学特性与试验方法、岩石工程不确定性与风险评估、岩体工程监测与反馈、地质灾害评价方法与治理技术等方面取得理论突破,需要我们去进行科技攻关,更好地为工程建设服务。

就水电建设现状而言,面临更加复杂的地质环境,复杂的水文地质问题。归纳起来主要包括水库区典型水文地质问题和枢纽区典型水文地质问题两大类。

1.3.1 水库区典型水文地质问题

水库区典型水文地质问题主要包括水库渗漏问题、水库浸没问题、浸没型岩溶内涝问题、浸没性矿床充水问题、库岸斜坡地下水致灾作用、水库诱发地震问题、特殊水文地质景观问题等。

(1) 水库渗漏问题。已经建成的水库表明,因渗漏问题引起失事的大坝占失事工程总数的 40.5%。水利部对中华人民共和国成立 20 多年来全国 241 座大型水库发生的 1000 宗工程事故进行整理分类,其中渗漏事故(包括管涌)有 317 宗,占事故总数的 37.1%。从含水介质角度,岩溶渗漏是当前最主要的水库渗漏,水库岩溶渗漏主要勘察方法有岩溶水文地质测绘、溶洞调查、物探、钻探、洞探、水文地质试验、岩溶地下水观测等。需要研究基于主控要素的渗漏类型、特征及识别、渗漏量估算,评价对工程的影响,提出综合对策措施。

(2) 水库浸没问题。水库蓄水引起水库周边地带地下水壅高,地下水壅高可使毛管水抬升,当其上升高度达到建筑物地基或农作物和树木的根系,且持续时间较长时,将产生浸没问题。当多年平均降雨量大于蒸发量时,水库浸没一般表现为沼泽化问题;当多年平均蒸发量大于降雨量时,水库浸没一般表现为盐渍化问题。浸没对滨库地区的工农业生产和居民危害甚大。它可使农田沼泽化或盐渍化,农田作物减产;可使建筑物地基条件恶化甚至破坏,影响其稳定和正常使用;可造成附近矿坑充水,采矿条件恶化;可使铁路、公路发生翻浆、冻胀次生灾害。因此,浸没问题可能影响到水库正常高水位的选择,甚至影响到坝址的选择。对浸没问题,需要研究水文地质结构、地下水流动系统、影响水库浸没的关键控制因素、地下水致灾作用,预测评价农作物区土地沼泽化、盐碱化,建筑物区地基软化及沉降,提出对策措施建议。对浸没型岩溶内涝问题需要研究岩溶区水文地质结构及浸没型内涝分类、地下水作用机制分析,进行岩溶内涝灾害风险评价等;对浸没性矿床充水问题需要研究充水通道水文地质结构分析、充水矿床地下水致灾作用,进行矿床充水灾害风险评价等。

(3) 浸没型岩溶内涝问题。我国南方的岩溶峰丛洼地或峰林谷地地区,发育众多的地

下河系。每年汛期,地下河因当地暴雨而增大流量,由于岩溶管道断面所限使排泄受阻,通过岩溶谷地的天窗或消水洞涌出,淹没谷地中的农田,称为“内涝”。如果此时地表河流水位因上游来水而上涨,淹没了地下河出口,就会循地下河倒灌,顶托了地下河的排泄,发生所谓“两峰遭遇”(即雨量峰与水位峰同时出现),则内涝更加严重。如果在河流上建造水库抬高水位,使地下水排泄基准面相应升高。位于库岸边缘的一些高于水库正常蓄水位的岩溶谷地或洼地,虽不受水库直接淹没,但因库水通过岩溶管道产生回水顶托,使地下河水力坡降减小,地下水流速减缓,导致排泄能力降低,从而壅高地下水位,当达到洼地或谷地地面时就发生浸没、农田受涝现象,称为“浸没型岩溶内涝”。在一些溶蚀洼地、谷地和峰林平原,因水库蓄水或连续降雨条件下,地下岩溶管道排泄受阻,经常发生内涝。这使原本就少有的农田受淹,成为农村经济发展的障碍。因此有必要查明岩溶内涝灾害发生机理和分布特点,并据此提出灾害的防治措施。岩溶内涝灾害是岩溶地区特有的,并且是一种与岩溶生态环境和人类活动密切相关的灾害类型。

(4) 浸没性矿床充水问题。矿床充水是指矿体尤其是围岩中赋存地下水的现象,这些地下水与其他水源在开采状态下导致矿坑的不间断涌水,将水源矿坑的途径称为充水通道,水源和通道一起构成了矿床充水的基本条件。在水库工程建设中,水库蓄水后,使得周围的地下水位抬升,含水层规模扩大,加之水库与矿区之间的地形地貌、水文地质条件,有可能因水库的兴建使得原本安全的矿区发生充水问题。矿床突水引起的突发性事故,不仅仅是经济上的损失。有相当一部分矿山的水害,是由勘探时水文地质条件不清楚、充水条件复杂性认识不足或矿井涌水量预测不准确而造成的。因此查明矿场水文地质条件及矿床充水机理对于矿山安全生产、降低开采成本、减少地质灾害等具有重要的理论和实际意义。

(5) 库岸斜坡地下水致灾作用。水对岸坡岩土体的作用主要表现为物理作用和化学作用。物理作用主要表现为润滑、软化、泥化作用以及对岸坡的冲磨、淘刷机械作用。润滑、软化和泥化作用反映在力学特性上,使岩土体的强度降低;冲磨、淘刷机械作用使岸坡岩土体遭到了细观或宏观变形破坏。化学作用主要是通过水与岩土体之间的离子交换、溶解作用(湿陷)、水化作用(膨胀)、水解作用、溶蚀作用等使岩土体的微观或细观结构发生变化,一般的化学作用越强烈,其岩土体的强度越容易降低。库水位的反复升降变化对岸坡岩土体产生的动水压力降低了岸坡土体的稳定性,如降低土体的抗滑力、动水压力沿边坡临空面产生的推力使下滑力增加等都可降低岸坡岩土体的稳定性。库岸斜坡地下水致灾作用需要研究库岸斜坡水文地质结构及破坏类型、地下水作用机制分析,进行库岸边坡稳定性评价并提出对策措施。

(6) 水库诱发地震问题。因水库蓄水而诱使坝区、水库库盆或近岸范围内发生的地震,叫作水库诱发地震。水库诱发地震早在20世纪40年代就已提出,到了60年代世界上发生4例6级以上破坏性地震后才被人们所重视。我国发震水库有21例,最大震级是新丰江水库地震6.1级,参窝、丹江口和大化的水库地震分别是4.8级、4.7级和4.5级,其他水库地震震级均小于4.0级。我国已建坝高100m以上的水库有10座发震;库容大于20亿 m^3 的水库有9座发震。对于水库地震问题,需要研究水库诱发地震的孕灾条件及控制要素、水库诱发地震机理、基于主控要素的水库诱发地震类型划分及特征识别,