

“九五”国家重点图书

# 中国水力发电工程

工程地质卷

---



中国电力出版社

China Electric Power Press

www.cepp.com.cn

“九五”国家重点图书

# 中国水力发电工程

工程地质卷

---

HYDROPOWER

ENGINEERING

IN CHINA

Engineering

Geology



中国电力出版社

China Electric Power Press  
www.cepp.com.cn

**图书在版编目 (CIP) 数据**

中国水力发电工程. 工程地质卷 / 《中国水力发电工程》编审委员会编. -北京: 中国电力出版社, 2000.8

ISBN 7-5083-0317-2

I. 中… II. 中… III. ①水力发电工程-中国 ②水利工程-工程地质-中国 IV. TV752

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 06935 号

**中国水力发电工程  
工程地质卷**

出版、发行	中国电力出版社 北京三里河路 6 号(100044 <a href="http://www.cepp.com.cn">http://www.cepp.com.cn</a> )
印刷	水电印刷厂
经售	各地新华书店
版次	2000 年 8 月第一版
印次	2000 年 8 月第一次印刷
规格	787 毫米×1092 毫米 16 开本 28.5 印张 608 千字
插页	2
印数	2500 册
定价	75.00 元

**版权所有 翻印必究**

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

# 中国水力发电工程

HYDROPOWER ENGINEERING IN CHINA

工程水文卷(Engineering Hydrology)

规划经济卷(Planning and Economy)

移民环保卷(Resettlement and Environmental Protection)

▲工程地质卷(Engineering Geology)

水工卷(Hydraulic Structures)

机电卷(Electromechanical Equipment)

施工卷(Construction)

运行管理卷(Operation and Management)

# 《中国水力发电工程》

## 编审委员会

名誉主任	汪恕诚	陆佑楣	李鹗鼎			
主任	周大兵					
副主任	张学知	高安泽	程念高	郭建堂	陈东平	毛亚杰
	宗健	程忠智	张克让	邹范湘	沈崇刚	
	邴凤山(常务)					
委员	(按姓氏笔画排列)					
	丁学琦	王平	王冰	王信茂	王柏乐	王锐琛
	毛亚杰	方春阳	孔令兵	左东启	石瑞芳	冯涪生
	刘义洲	刘兰桂	安申义	纪云生	许百立	朱经祥
	朱建业	朱铁生	邴凤山	余卫国	汪先纯	宋德敦
	宗健	陈东平	陈叔康	陈祖安	陈道周	陈德基
	邹范湘	何璟	何格高	何根寿	李新	李维藩
	李鹗鼎	杨金栋	杨德晔	沈崇刚	沈淦生	沈维义
	沈磊	青长庚	范成贤	张庆堂	张克让	张进谦
	张学知	周大兵	林伯洗	单鹰	贺至刚	赵志钦
	赵毓昆	段荣国	高安泽	徐珍懋	梁瑞驹	郭建堂
	傅元初	曾念	程忠智	程念高	谭靖夷	潘家铨
主编	潘家铨	何璟				
副主编	邴凤山(常务)	贺至刚	沈崇刚	陈叔康	王锐琛	
	赵毓昆	安申义	陈祖安	朱经祥	王冰	谭靖夷
	沈磊					

## 编审委员会办公室

主任	王宁					
副主任	杨万涛	王琪				
成员	朱军	王辉	祁宁春	谈鹏	姜萍	杨伟国
	丁莉	王玉				

# 《工程地质卷》编审人员

主 编 陈祖安

副主编 孙仲乐 彭土标 郝绮霞

主 审 陈德基 朱建业

特约编审 陆兆溱

## 各章编写人、统稿人

章序	章 名	编写人	统稿人
第一章	概论	陈祖安	陈祖安
第二章	区域构造稳定性研究	汪雍熙	
第三章	坝基(肩)岩体稳定性研究	刘克远 邵宗平 袁志君	彭土标
第四章	岩质高边坡稳定性研究	杜伯辉 胡大可 钟辉亚	
第五章	地下建筑物围岩稳定性研究	李文纲 汪泽斌	郝绮霞
第六章	喀斯特渗漏问题研究	谢树庸	

# 序

半个世纪以来,我国的水电建设事业有了飞跃发展,特别是近20年,建设规模之大,速度之快,技术创新之多,令世界水电同行注目。我国的水力发电整体技术水平,已跻身于世界先进行列,并且可以预见,不久的将来,我国将成为世界水电第一大国。

为实现我国21世纪社会经济的持续发展,最近,党中央提出了西部大开发的伟大战略决策。发展水电,西电东送是实施西部大开发战略的重大课题之一,也是实现我国电力资源优化配置的关键。西部大开发,水电要先行。我们要审时度势,不失时机地实施水电开发规划,把我国水电开发推上一个新台阶。

水电的开发,一靠改革,二靠政策,三靠科技。改革是解放和发展生产力,政策是生产力发展的保障,科学技术是第一生产力。

知识的力量是无穷的,人们把后工业经济时代称为知识经济时代,在这个时代中,主导因素是知识,是科学技术。在即将进入21世纪之际,编纂一部大型水力发电工程技术专著,总结50年的经验,指导21世纪的水电开发,是十分有益的。为此,三年前,电力工业部要求科技司、水电开发司和中国水力发电工程学会等单位开始组织编写《中国水力发电工程》专著,并由潘家铮、何璟两位著名水电专家出任主编。在各有关单位的支持下,经过参编各位专家三年的共同努力,终于实现了这一计划。这部约500万字、分八卷、被列为“九五”国家重点图书的水电技术专著,今天终于与广大读者见面了。

这部专著,系统反映了中国特色工程技术和江河治理开发规划思想。它以工程建设新成就为主体,以科技进步为主线,全面展示了水电各学科的发展。这部专著是半个世纪我国水电建设伟大实践和科学技术创新的实录,也是我国广大水电职工创造性劳动的结晶,它集中了水电界200余名专家、学者们的智慧,堪称为中国水电工程技术大全,是一部水电事业的史鉴。这本专著是献给新世纪水电事业的一份厚礼。它的出版,必将促进水电事业的进一步发展。

展望未来,前程似锦,一个水电大开发的新高潮即将到来。水电界的同仁们,努力吧,再创辉煌!

汪恕诚

2000年8月

# 总 前 言

我国水电建设历经坎坷曲折，从小到大，从弱到强，不断发展。旧中国水电建设十分落后，1912年，在云南建成的石龙坝水电站是中国的第一座水电站，其后的几十年间，也建设了一些水电站，但规模都较小。1949年，全国水电装机容量仅为36万kW，年发电量12亿kW·h，其中主要的还是日本侵略者为掠夺我国资源在东北修建的丰满等水电站。

新中国建国后的50年，特别是改革开放以来，由于党和政府重视水电开发，水电建设迅猛发展，工程规模不断扩大。代表性的工程50年代有新安江、柘溪、新丰江、盐锅峡等水电站；60年代有刘家峡、丹江口、三门峡等水电站；70年代有葛洲坝、乌江渡、龚嘴、凤滩、东江等水电站；80年代有龙羊峡和广蓄、水口、岩滩、隔河岩、漫湾“五朵金花”；90年代有五强溪、李家峡、天荒坪、十三陵、莲花、二滩、天生桥等水电站；世纪之交有三峡、小浪底、大朝山、棉花滩等水电站。据初步统计，全国已建、在建大中型水电站约220座，其中100万kW以上的大型水电站就有20座。三峡枢纽是世界上最大的水利枢纽，也是最大的水电工程。截至1999年底，全国水电装机总容量达7297万kW，年发电量2129亿kW·h，均居世界第二位。

半个世纪以来，水电建设不仅在规模上有了腾飞性的进展，而且整体实力更是今非昔比。我们坚持自力更生、独立自主的方针，同时积极引进和学习外国的先进技术，不断培养壮大自己的力量，培养造就了一支训练有素、实力强大的勘测、设计、施工、科研、制造、安装、运行队伍，积累了丰富的经验。50年中，我们依靠自己的力量，在长江、黄河等大江大河上兴建了不同类型的水电站，解决了一系列设计、施工技术难题，取得了许多重大成就，技术水平不断提高，很多已达到甚至超过世界先进水平。比如在坝工建设上，在建成大量100~150m高度的混凝土坝和土石坝的基础上，我们进行了一批200m以上乃至300m量级高坝的研究、设计和建设工作，使坝工设计理论与筑坝技术有了新的突破，特别是已建成并顺利蓄水发电的二滩水电站，混凝土抛物线双曲拱坝坝高240m，是我国第一座坝高超过200m



的高拱坝水电站，其坝高目前在世界同类型坝中名列第三，如考虑泄洪等条件，综合难度应居首位。80年代以来，我国大力推广混凝土面板堆石坝和碾压混凝土坝。目前，百米以上的混凝土面板堆石坝至少有10座，天生桥一级最大坝高达178m；在建的水布垭工程大坝将达233m。已建、在建的碾压混凝土坝约50座，已形成了有中国特色的碾压混凝土技术。刚建成的江垭碾压混凝土坝，最大坝高131m，列世界第三位；待建的龙滩大坝初期就将达192m，后期将达216.5m；在建的沙牌大坝是世界上最高的碾压混凝土拱坝。水电机设备制造、安装技术也明显进步，继刘家峡、龙羊峡水电站之后，岩滩、隔河岩、广蓄等电站的一批单机容量30万kW以上的大型水轮发电机组相继投产发电，李家峡电站单机容量为40万kW，二滩电站单机容量为55万kW，已先后投产发电，三峡电站单机容量为70万kW，正在建设中。

尽管我们已取得了很大的成就，我国水电开发仍潜力巨大。我国水能资源理论蕴藏总量（未包括台湾省）达6.76亿kW，可开发容量约3.78亿kW，相应年发电量19200亿kW·h，居世界第一。但是，目前我国水电开发程度仍较低，开发率按电量算只有10%左右，不但远远落后于美国、加拿大、西欧等发达国家，而且也落后于巴西、埃及、印度等发展中国家。我们的征途尚远，前程似锦。

进入新千年，水电建设将迎来新的高潮。特别是在西部大开发战略中，开发西部水电宝藏，实现“西电东送”，促进全国联网，实现资源优化配置是重要内容之一。近期即将开工建设龙滩、小湾、公伯峡、三板溪、洪家渡等一批大型水电站，接着将全面开发金沙江、雅砻江、大渡河、澜沧江、乌江、红水河和黄河上游的水电资源，形成南、中、北三条“西电东送”大通道，这将是世界上最宏伟的水电基地和输电通道。在水能资源相对少和开发程度较高的东部地区，我们除对常规水电进行深度开发和改造外，还要开发一批100万kW级以上的大型抽水蓄能电站，如山东泰安、河北张河湾、浙江桐柏、江苏铜官山、山西西龙池等。根据国家“十五”计划和2015年远景规划，到2005、2010、2015年水电装机将分别达到9520万、1.25亿和1.5亿kW，分别占全国总装机的27%、28%和28%。这个计划完成之日，全国主要江河上条件最好的骨干工程都将建成，中小河流得到梯级开发，抽水蓄能电站将充分发挥效益，全国水能资源开发程度可达40%，并拥有较强的调蓄能力。全国建成统一、强大的电网，可以充分发挥水火、地区联调的效益。届时，中国将成为名副其实的水电和电力大国与强国。

我们取得的成就是举世瞩目的，而且今后的发展前景十分光明，但我们清醒地认识到，在过去工作中有过失误和教训，我们的技术水平、管理水平和效率有待继续提高，否则难以完成历史赋予我们的任务。在世纪交替之际，为了总结建国 50 年以来水电建设的成就、经验和教训，特别是“六五”、“七五”、“八五”和“九五”期间国家科技攻关成果中一些具有推广价值的新理论、新技术、新工艺，以便对 21 世纪的水电开发起参考、借鉴和指导作用，原电力工业部 1995 年决定编纂大型综合专著《中国水力发电工程》，具体由水电水利规划设计总院、水利水电工程总公司、中国水力发电工程学会、中国电力出版社共同组织完成。经过近一年的筹备，1996 年 7 月，原电力工业部办公厅正式下文成立了该书编审委员会。三年多来，在全国有关单位的大力支持下，经过近 200 名水电专家的共同努力，终于完成了全书的编审工作。在此，谨代表编审委员会，向所有支持和参与此项工作的单位和专家表示感谢！

这部巨著以其重要的影响和价值，已在 1996 年列为“九五”国家重点图书。全书共分八卷，分别为工程水文卷、规划经济卷、移民环保卷、工程地质卷、水工卷、机电卷、施工卷、运行管理卷。各卷的重点内容包括建国以来，该专业领域取得的成就和经验教训，以及当今国内外该专业领域的新技术、新理论、新成果、新发展等两方面。相信这套书出版发行后一定会对我国的水电建设起到重要的指导作用，受到广大水电工作者的欢迎。

相对这部专著的份量而言，编纂审查时间仍嫌仓促，书中内容可能不足以全面反映我国水电建设的辉煌成就，所列举的实例可能不够全面、典型，资料数据容有不精确或不一致之处，此类疵瑕恐在难免，敬请广大读者指正。联系地址：100761，北京宣武区白广路 2 条 1 号，中国电力出版社《中国水力发电工程》编委会办公室。

中国工程院副院长  
中国科学院院士  
中国工程院院士  
国家电力公司顾问

潘家铮

2000 年 3 月于北京

# 本卷前言

70年代末，在开展西南地区水电勘测设计工作之前，规划设计总院勘测处曾为此收集并编制了一份背景资料，指出工程地质勘察将面临深厚河床覆盖层、活断层和高地震烈度、高坝地基稳定、高边坡、大型地下洞室以及喀斯特渗漏问题等几大课题。二十多年后的今天，我国中西部地区已经兴建了一批大型水电站，还有一批水电站正在建设和待建中。各个工程的勘测设计和建设的全过程都证实了以上预见是符合实际情况的。

在筹备编写《中国水力发电工程》工程地质卷时，本卷编写组经过详细讨论，深深感到要全面总结建国以来、特别是近20年来水电工程地质经验的这一担子实在过于沉重，很难完成。讨论中大家认为：近20年来已建水电站建筑物在规模上有了很大的发展，坝高从150m左右已升到240m（二滩拱坝），地下厂房跨度已超过30m，坡高达200m的工程边坡已屡见不鲜，结合具体工程特别是近期已建工程，归纳介绍所遇到的工程地质问题及经验，对于实践性很强的工程地质科学可能更为适宜，编写工作的难度也相对较小。另外近期工程资料新，可以代表当前水平，资料也比较容易收集齐全。在上述思想的指导下，本卷的结构和内容就成为现在的概论（第一章）和五项专题（第二～第六章）。五项专题是近期工程中较普遍存在的问题，也是今后仍将经常遇到的主要工程地质问题。其中每一专题尽量以一二个近期工程为主，也注意结合介绍以往工程实例的经验。

第一章概论中概括介绍了中国水电开发的地质条件和水电工程地质勘察各阶段的要求，以及水电工程地质的一些主要问题，特别是近20年来常遇到的一些主要工程地质问题及取得的基本经验。

第二章阐述了水电建设中区域构造稳定性研究的主要内容和要求，各勘察阶段工作内容和工作方法。论述了活断层时间下限采用10万～15万年作为标准的依据，测年方法和资料应用中存在的问题；活断层调查和评价中应注意的问题和经验，强调了野外地质调查和宏观地质判断是第一位的观点；介绍了地震危险性分析的基本内容；系统介绍了水库诱发地震当前的研究水平，水库诱发地震的分类及其判别标志，研究方法及其危险性评价的内容、

方法及已有经验。对区域构造稳定性综合评价问题进行了一般性讨论。对断层活动性监测和地震（包括水库诱发地震）监测的现状作了归纳，提出了建议。

第三章重点介绍了成都勘测设计研究院（简称成都院）总结已有工程经验，并结合二滩工程的研究初步建立的坝基岩体工程研究体系——“分层多元系统分析法”。讨论了坝基和拱坝坝肩岩体稳定性分析的方法和各不同类型大坝工程的实例，以及建基面的确定与优选。详细说明了二滩工程岩体力学参数的选取，阐述了二滩工程岩体抗剪参数选取中采用的优定斜率法，这一方法由成都院提出，用于二滩工程是我国在工程上的首次应用；根据采用的不同抗滑稳定分析方法，提出了一整套与之相配套的抗剪参数值；对坝基中断续分布的缓倾角节理面，采用有岩桥作用的综合抗剪强度取代了传统的连通率的概念，在国内工程上也是首例。

第四章首先阐述了岩质高边坡稳定性研究的现状。在岩质高边坡稳定性勘察上强调了边坡的岩体结构对变形破坏类型的控制作用，总结出与稳定性相联系的岩质边坡分类。介绍了在 RMR—SMR 分类基础上作了改进的我国的 CSMR 分类体系；论述了不同岩体结构边坡的稳定条件及失稳破坏实例；结合工程实例阐述了倾倒、溃屈、楔体和平面滑动的稳定分析方法；介绍了国内外边坡原位监测的现状和进展，国内监测系统的设计、仪器和监测数据分析及预测，并以五强溪工程为例加以说明。边坡治理与加固部分对漫湾水电站左岸坝肩、天生桥二级水电站厂房区下山包滑坡、东风水电站进水口边坡和五强溪水电站左岸船闸边坡等四个工程边坡的处理作了系统介绍。

第五章回顾了建国以来，特别是近 20 年来地下建筑物围岩稳定性研究的历程，肯定了从实践中得到的围岩是一种具有自稳能力的结构体这一基本认识，并贯穿于围岩稳定性研究的工程地质勘察和评价的全过程。重点介绍了我国水电围岩分类。以工程实例阐述了水工隧洞选线和地下厂房选址、轴线确定的一般要求，提出了围岩稳定性分析中应注意的问题。介绍了鲁布革、小浪底等工程以围岩监测实际资料对工程开挖作出预估和施工后的工程地质评价的情况，以及二滩工程地下厂房洞室群勘察—施工围岩稳定性工程地质研究的全过程。阐述了喀斯特地区常遇的工程地质问题及不同自稳能力围岩中的各种开挖、支护方法，对喀斯特区的涌水、高外水压力、溶洞段地基和围岩的加固及岩爆问题作了专题讨论。

第六章简要叙述了中国南、北方喀斯特发育特点，讨论了河谷谷底喀斯特和深部缓流带喀斯特发育特点、时代和成因，以及与工程建设的关系。论

述了水库喀斯特渗漏的判别标志及水库渗漏勘察研究的方法和手段，总结了喀斯特渗漏勘察的主要经验和库坝址选择中应注意的主要问题。以东风水电站为例，详细阐述了库首右岸喀斯特渗漏勘察的过程和结论，防渗线路沿地下水分水岭布置，利用了分水岭地区喀斯特化程度较低的岩体，帷幕防渗效果良好。水库水位已达设计蓄水位五年，监测未发现渗漏，排水孔总流量小于预计值，扬压力折减系数小于0.2。

本卷各章在本章作者各自完成初稿后，由主编、副主编统稿上交编审委员会。本卷主审为朱建业和陈德基。朱建业主审第三、四、五章；陈德基主审第一、二、六章。限于几位主编的水平，统稿中可能对已有工作和经验归纳反映不够，甚至还有错误亦在所难免，敬希读者批评指正。同时，也对各章作者所在单位为本卷的编写提供资料和热情支持表示深切的谢意。

主编 陈祖安

2000年4月

# 目录

序	
总前言	
本卷前言	
<b>第一章 概论</b> .....	1
第一节 工程地质在水力发电工程中的位置 和作用 .....	1
第二节 中国水力发电工程地质勘察的要求 .....	3
第三节 中国水电工程地质概况 .....	4
<b>第二章 区域构造稳定性研究</b> .....	22
第一节 导言 .....	22
第二节 断层活动性的研究 .....	27
第三节 地震危险性研究 .....	48
第四节 水库诱发地震研究 .....	56
第五节 区域构造稳定性综合评价 .....	86
第六节 活动断层监测和地震监测 .....	93
<b>第三章 坝基(肩)岩体稳定性研究</b> .....	101
第一节 概述 .....	101
第二节 坝基岩体工程地质条件及赋存 环境研究 .....	107
第三节 岩体力学特性研究 .....	130
第四节 坝基岩体稳定性分析与评价 .....	151
<b>第四章 岩质高边坡稳定性研究</b> .....	183
第一节 概述 .....	183
第二节 高边坡稳定性勘察 .....	187
第三节 边坡岩体稳定性分析评价 .....	228
第四节 边坡原位监测技术 .....	248
第五节 边坡治理与加固 .....	265
第六节 发展趋势 .....	274

<b>第五章 地下建筑物围岩稳定性研究 .....</b>	<b>276</b>
第一节 概述.....	276
第二节 地下建筑物围岩稳定性研究.....	281
第三节 喀斯特地区地下建筑物围岩稳定性研究.....	330
第四节 地下建筑物的工程地质勘察.....	353
第五节 地下建筑物围岩稳定性研究发展趋向.....	367
<b>第六章 喀斯特渗漏问题研究 .....</b>	<b>370</b>
第一节 概述.....	370
第二节 中国喀斯特发育特征.....	378
第三节 喀斯特渗漏勘察及库坝址选择.....	395
第四节 东风水电站喀斯特渗漏及处理.....	423
第五节 喀斯特渗漏研究发展趋向.....	431
<b>主要参考文献.....</b>	<b>433</b>

# 第一章

## 概 论

---

### 第一节 工程地质在水力发电工程中的位置和作用

#### 一、世界著名坝库失事实例的启示

马尔帕塞坝失事后，研究工作持续了 20 多年。1985 年，美国土木工程师学会、国际土力学和地基工程学会、Purdue 大学和美国大坝委员会还组织召开了国际大坝失事专题讨论会，就世界四个知名的库坝的失事原因进行了探讨。这说明总结库坝失事教训，提高坝工设计水平是国际上共同关心的问题。但就工程地质专业来说，马尔帕塞坝事先没有进行充分的地质勘察工作是一个教训，在设计和施工阶段并未探明位于坝基开挖面以下 15~40m 的断层和坝后 20m 以外的断层露头。设计者根本不知道坝基下有断层存在，只是在失事后才认识到这一点。几乎所有的人都同意马尔帕塞坝失事的根本机制是坝基岩体沿下游的断层产生了滑动。因此，从广义上来说，对一个坝址首要的问题是勘察，首先要查明坝址的地质条件和岩体物理力学特性，也就是要弄清设计工作的基础，使设计建立在一个可靠的基础上是非常重要的。马尔帕塞坝失事以后，我国组织出版了《世界大坝失事原因分析》一书，并在组织总结国内工程的基础上编写出版了《水利水电工程地质》一书。在工程地质勘察方面给予了足够的重视，虽然这需要花费一定的资金和时间，但对于我们必须面对的问题，应该说是值得的。正在兴建中的三峡大坝河床坝基开挖后验证，大小断层与勘察预测的吻合率达到 90% 以上。最近建成的二滩高拱坝在地基开挖后，基坑地质情况与招标文件预测的基本一致；施工过程中，边坡和地下工程开挖未出现大的失稳，施工比较顺利，施工重视和加强了监测是一个方面，此外可能也与前期勘察工作做得深入细致有一定关系。其次，查明地质条件并不是最终目的，工程地质人员还必须结合建筑物的工作条件深入分析所研究的建筑物的稳定条件。最后，工程地质人员还需要多参与监测设计和监测资料的分析。完善的监测网、性能可靠和安装质量良好的监测仪器以及对地基和建筑物的系统监测，是保证大坝和其他水工建筑物施工和运行安全最主要的手段。工程地质人员应当在这一领域发挥自己的优势，做出应有的贡献。



## 二、中国水电开发的地质条件

中国水能可开发资源总量按 1977~1980 年全国水能资源普查约 3.78 亿 kW, 但分布很不平衡。中西部(中南、西南、西北)资源集中, 约 3.41 亿 kW, 占总量的 90%。其中西南占约 2.32 亿 kW, 占中西部的 68%, 占全国可开发总量的 75%。可见中西部是全国水电开发的重点地区, 而西南地区又是重点中的重点。我国西南地区是欧亚板块与印度板块的接壤地带, 构造复杂, 断层和地震活动性强。除中、新生代褶皱带构造活动与地震活动强烈外, 古生代褶皱带如天山、昆仑山、祁连山和阿尔泰山褶皱带也都是构造活动和地震相对强烈地带, 这些褶皱带内部, 尤其是它们的边缘地带常发育有规模较大的活断层, 在第四纪晚期仍有强烈的活动性, 甚至在一般应属第四纪构造相对稳定的地台区, 如华北地台内部(一些断陷带)及其边缘在 15~17 世纪还发生 5 次里氏 8 级特大地震。我国境内各个地质时期的地层出露较全, 岩相岩性种类多变化大。在岩性分布上, 花岗岩、片麻岩等块状结构岩石所占比例较小, 变质的片状岩(板岩、千枚岩、片岩)、沉积的砂岩、页岩及其互层所占比例相对较大, 且构造复杂, 软弱夹层多; 古生代、中生代砂页岩煤系地层岩性多变, 并存在煤窑采空区等问题; 中生代红色岩层(红层)强度低, 工程性质差, 软弱夹层多, 还有易溶矿物; 全国石灰岩出露面积约 91 万 km<sup>2</sup>, 主要是在中部和西南部, 其中强岩溶区也基本集中于西南部。水能资源最集中的西南地区水电开发中常见的工程地质问题粗略归纳有以下几个方面:

(1) 深厚覆盖层: 河床覆盖层不仅厚度大, 结构变化也大, 成因和组成成分复杂。一般厚达 30~50m, 最厚时可达 100m 以上。如大渡河瀑布沟工程河床覆盖层厚约 80m, 南桎河冶勒工程更是厚达 200m。岷江的河床覆盖层向上游增厚, 如都江堰为 20m—紫坪铺 30m—映秀湾 50~60m—兴文坪 90m—福堂坝约 100m—汶川 >100m。河床覆盖层深厚制约了坝型, 增加枢纽布置的复杂程度, 也增大地基处理的难度。

(2) 活断层和高地震烈度: 活断层多, 规模大, 活动强度高, 大部分地区地震基本烈度在 VII 度或 VII 度以上, 局部地区强震周期短。里氏 7 级强震的周期有的不足百年。

(3) 高边坡、大滑坡: 河谷深切, 临河自然岸坡高达 500m 以上, 工程开挖边坡高度一般达到 100~200m 或更高。滑坡数量多, 规模大, 常可见数千万至上亿立方米的大滑坡。

(4) 大跨度地下洞室: 河流流量大, 导流、泄洪洞的规模相应增大, 如二滩工程导流洞断面高 23m, 宽 17.5m, 泄洪洞断面高 13.5m, 宽 13m。河谷谷窄坡陡, 大容量装机地面厂房布置困难, 迫使开挖大型地下厂房, 如二滩地下厂房为 25.5m(宽) × 65.38m(高) × 280.29m(长)。

(5) 泥石流: 暴雨多, 地质条件差, 较易发生大型泥石流产生堵江和抬高尾水位, 以及对建筑物造成危害。大朝山工程为避免泥石流堵尾水, 改变布置延长引水洞至泥石流沟下游; 太平驿工程在厂址选择上放弃了泥石流沟沟口的地面厂房, 改选靠上游的地下厂房, 尾水洞洞口相应上移避开泥石流影响区。