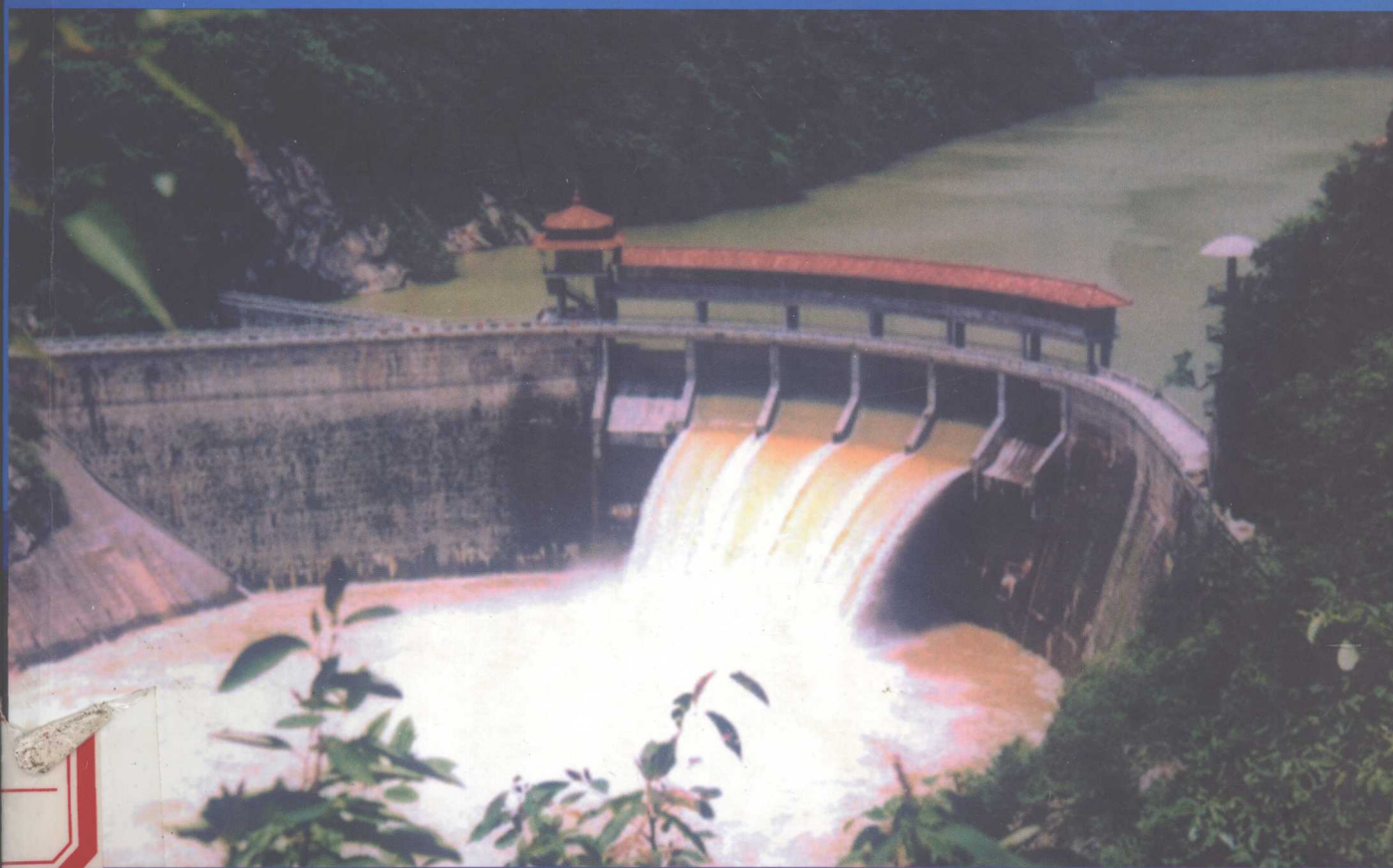


西部水利水电开发与岩溶水文地质论文选集

曹安俊 伍法权 刘世凯 涂光美 主编
陈 飞 钟子文 苏爱军 田九如



中国地质大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

西部水利水电开发与岩溶水文地质论文选集/曹安俊等主编. —武汉: 中国地质大学出版社, 2004. 8

ISBN 7-5625-1915-3

I. 西…

II. ①曹… ②伍… ③刘… ④涂… ⑤陈… ⑥钟… ⑦苏… ⑧田…

III. 水利水电 岩溶水文地质 西部地区 文集

IV. P64

西部水利水电开发与
岩溶水文地质论文选集

曹安俊 伍法权 刘世凯 涂光美
陈 飞 钟子文 苏爱军 田九如

主编

责任编辑: 贾晓青

责任校对: 张咏梅

出版发行: 中国地质大学出版社 (武汉市洪山区鲁磨路 388 号) 邮编: 430074

电话: (027) 87482760 传真: 87481537 E-mail: cbs@cug.edu.cn

经 销: 全国新华书店

开本: 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

字数: 480 千字 印张: 19 图版: 4

版次: 2004 年 8 月第 1 版

印次: 2004 年 8 月第 1 次印刷

印刷: 中国地质大学出版社印刷厂

印数: 1—1 050 册

ISBN 7-5625-1915-3/P · 625

定价: 80.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

《西部水利水电开发与岩溶水文地质论文选集》编辑委员会

顾问委员：王思敬（中国工程院院士）
袁道先（中国科学院院士）
刘广润（中国工程院院士）
陈德基（中国工程勘察大师）
崔政权（中国工程勘察大师）
范士凯（中国工程勘察大师）
陶建生（教授级高级工程师）
范中原（教授级高级工程师）

主 任：曹安俊

副 主 任（以姓氏笔画为序）：

卜永喜	王坤元	石伯勋	田九如	许 兵
伍法权	刘世凯	陈 飞	苏爱军	宋悦明
胡立山	涂光美	徐福兴	陈国金	陈汉宝
唐辉明	雷明堂	梁 杏		

委 员（以姓氏笔画为序）：

卜永喜	万军伟	王坤元	王旭忠	王继红
石 林	田九如	许 兵	邓传立	伍法权
陈 飞	刘世凯	刘红星	刘玉山	孙云志
朱华军	苏爱军	宋悦明	沈贵文	杨世松
周平记	陈国金	范玉龙	胡立山	胡南山
欧阳俊	姚世成	钟子文	欧湘萍	涂光美
徐福兴	徐扬青	黄鼎成	黄宝华	黄定强
唐辉明	曹安俊	曹光荣	常福远	程伯禹
曾渠丰	雷明堂	潘益林	熊友平	彭汉发
夏金梧	满作武	李丛华	梁 杏	曹木生

序

我国西部水力资源十分丰富，加强水利建设、开发水力资源是我国西部建设的重要任务。岩溶问题是我国西部水利水电开发中十分广泛而又困难的问题。中国地质学会工程地质专业委员会、湖北省地质学会、恩施土家族苗族自治州电力总公司和恩施土家族苗族自治州水利电力勘测设计院等单位在湖北省恩施联合举办“岩溶地区水利水电工程地质学术研讨会”，并出版了《西部水利水电开发与岩溶水文地质论文选集》，这对总结我国岩溶地区水利水电建设中工程地质工作方法，发展岩溶工程地质问题的处理技术具有重要的推动作用。我对这次会议的召开和文集的出版表示衷心祝贺，并感谢会议和文集的组织者们为我国岩溶科学研究和工程实践作出的贡献。

我国可溶岩分布十分广泛。碳酸盐岩在云南、贵州、四川等 27 个省、区均有出露，分布总面积达到 344.2 万 km^2 ，其中贵州省、广西壮族自治区、云南省碳酸盐岩出露面积占省、区面积比例分别达到 51%、33% 和 26%。这些地区的许多水库都不同程度地遇到与岩溶相关的工程地质问题。金沙江流域以礼河木槽子水库、广西龙江拔贡电站、陕西耀县桃曲坡水库等分别遭遇因岩溶引起的向邻谷渗漏、坝区渗漏和库底渗漏问题，成为我国著名的存在岩溶渗漏条件的水库工程实例。上述这些水库以及湖北清江隔河岩水库、乌江渡水库、猫跳河下游的红岩水库、广西红水河大化水库以及滇东黄泥河上的鲁布革水库等都是通过充分的工程地质选址论证和合理的工程处理而避免发生岩溶渗漏的成功例子，也正是因为这些工作，在我国培养和成长起一批岩溶工程地质工作者。

岩溶问题的工程地质研究与工程处理，难点在于对岩溶发育规律性的认识。我们知道，这一问题几十年来一直是学术界和工程界，特别是水利水电行业的一个国际性难题和热点问题，目前还有许多基础性和应用性问题没有得到解决。例如，岩溶动力系统的运行和岩溶发育分布规律问题、深部岩溶问题、受水动力学等条件影响的差异溶蚀作用规律问题、岩溶探测技术与成果解译方法、岩溶渗漏处理技术与岩溶地基利用问题、岩溶地区水库诱发塌陷地震的机制问题等，都有待进一步的深入研究。同时这也告诉我们，岩溶工程地质有着十分广

阔的发展前景，岩溶工程地质工作者肩负着十分艰巨的使命。

1994年水利电力出版社出版了由邹成杰等编著的我国第一部《水利水电岩溶工程地质》专著，对全国岩溶工程地质学术研究和工程实践进行了很好的总结，也对这一领域的研究工作和生产实践起到了重要的指导作用。岩溶地区的水利水电工程地质问题，长期以来是国际岩溶和工程地质学术界共同关注的问题，2000年出版的P. T. Milanovic编著的*Geological engineering in Karst*一书，总结了许多国家岩溶地区水利水电工程勘测、评价和治理的经验，其中也收录了我国的一些实例。我们今天出版的这本《西部水利水电开发与岩溶水文地质论文选集》，展现了近年来鄂西地区和全国水利水电岩溶工程地质研究及工程实践的新成果。本书以众多的工程实例为其特色，汇集了岩溶渗漏勘察与分析、岩溶区地下水资源评价、地质灾害治理和岩溶工程处理方面的研究成果与实践经验，是继《水利水电岩溶工程地质》之后一本与水利水电开发有关的岩溶工程地质学术文集，对这一领域的工作将具有十分重要的指导意义和参考价值。

21世纪是我国经济建设蓬勃发展的世纪，也是我国岩溶工程地质工作者大有可为的世纪。我向大家推荐本书，并热切地希望有更多成果涌现出来，不断推动岩溶工程地质学科的发展。

中 国 科 学 院 院 士
中国地质学会岩溶地质专业委员会主任
中国地质科学院岩溶地质研究所研究员

袁道先

2004年5月

前 言

在中国地质学会的大力支持下，中国地质学会工程地质专业委员会和湖北省地质学会联合主办的“岩溶地区水利水电工程地质学术研讨会”在湖北省恩施土家族苗族自治州召开。我国西部水利水电工程建设的尖兵——地质工作者们带着 20 世纪 80 年代以来工作的丰硕成果汇集恩施，展开交流，切磋岩溶地区工作经验与教训，进一步推动我国岩溶地区地质学科暨岩溶地区水利水电建设的发展。

本次会议收到论文百余篇，选择优秀论文 44 篇出版了《西部水利水电开发与岩溶水文地质论文选集》。文集以岩溶地区工程实例为特色，主要内容有：岩溶水文工程地质、理论与技术方法应用、岩溶地区地质环境、经验与总结。本论文集对岩溶地区水利水电建设有一定的指导意义和参考价值。

在论文集的编辑和出版过程中，中国科学院院士袁道先先生为论文集的出版提出了宝贵意义并为文集作序，伍法权研究员、徐福兴教授级高工、卜永喜秘书长、刘世凯教授、涂光美教授级高工、苏爱军教授级高工、万军伟教授等审阅了论文文稿并提出了宝贵意见，同时得到恩施土家族苗族自治州水利电力系统的领导和学会有关的常务理事单位的大力支持和帮助，恩施土家族苗族自治州水利电力勘测设计院朱华军院长、邓传立总工、黄宝华工程师和中国地质大学出版社贾晓青责任编辑为本文集的出版付出了辛勤的劳动。

没有上述各单位领导和专家的大力支持、关心和帮助，这本论文集是难以问世的，在此谨向他们表示诚挚的谢意！

谨以此文集献给致力于岩溶地区水电建设的地质工作者们！

《西部水利水电开发与岩溶水文地质论文选集》编辑委员会

2004 年 8 月

目 录

一、岩溶水文工程地质

水库岩溶渗漏问题研究	徐福兴	陈 飞	(3)		
清江招徕河河段岩溶水文地质及坝址选择.....	刘世凯		(10)		
鄂西南岩溶区水库渗漏类型浅析.....	周 宁		(16)		
强岩溶化地层中建坝成库的探索.....	熊友平		(21)		
洞坪水库岩溶发育规律及水库渗漏条件分析.....	范玉龙	万军伟	晁念英	汪玉松	(28)
对龙洞水库河间地块岩溶发育特征及水库渗漏问题的探讨.....	涂光美	范玉龙			(34)
小溪口水电枢纽工程河间地块岩溶渗漏问题的研究.....	涂光美	熊友平			(40)
小溪口枢纽工程坝址地质条件.....	涂光美	吴红光			(45)
湖北省咸丰小河水电站库区岩溶渗漏分析.....	李同革	黄定强			(50)
老渡口水利水电枢纽工程岩溶工程地质问题.....	黄东海	许立华			(56)
峡口水电站河间地块岩溶渗漏浅述.....	李佑明	王继红			(62)
长阳招徕河水电站库区岩溶渗漏分析.....	陈汉宝	姚显文	熊友平		(67)
狮子关水电站堵洞成库的岩溶水文地质条件.....	万军伟	田光胜	范玉龙		(73)
湖北省恩施市云龙河三级水电站主要工程地质问题研究					
.....	李丛华	吕 锋	刘红星	徐复兴	(81)
湖北恩施太阳河分水滩水电站水库渗漏研究.....	苏爱军	刘红星	王永平	邓清禄	(88)
基于平硐揭露信息的溶蚀岩体渗透特性分析.....	陈祥军	马凤山	王思敬	程国明	(97)
江口水电站工程地质勘察研究	甘三才	樊长华	向国成		(103)
江口水电站水库岩溶渗漏问题研究	樊长华	罗兴建	陈残云		(108)
江口水电站地下厂房围岩稳定性研究	甘三才	王 颂	王雪波		(114)

二、理论与技术方法应用

清江流域活动构造的卫星遥感信息分析	谢广林	孔凡健	徐春阳	(121)
长顺水电站坝址主要工程地质问题及处理	涂光美			(131)
鄂西南岩溶地下水资源潜力评价及其开发利用	杨世松	程伯禹		(137)

芭蕉河水利水电枢纽工程大坝基础处理	黄宝华	崔伟	(145)
BP 神经网络方法在三峡库区滑坡预测中的应用	钟洛加	沈贵文	(150)
岩溶区溶洞顶板稳定性评价中力学参数的选取 ...	石祥锋	汪稔	孟庆山
张家铭	(156)		
用聚类法分析岩溶系统的初步探讨	冯明权	樊长华	刘丽
龙三	(160)		
岩溶塌陷灾害监测预报技术与方法初步研究——以桂林市柘木岩溶塌陷监测站为例			
.....	雷明堂	李瑜	蒋小珍
甘伏平	蒙彦	(166)	
同位素测年在三峡库首区断层活动性研究中的应用	夏金梧	李长安	周继颐
(174)			
锁金山水电站主干引水隧洞主要工程地质问题及工程处理措施	李茂华	刘聪元	(180)
天桥水电站岩溶水文地质特征与工程处理	畅建成	崔玲秋	(185)
浅谈高速公路建设中的岩溶勘察新技术	方怀霞	欧湘萍	周伟
曾舜	(190)		
布袋式止浆环在龙滩水电站左岸高边坡预应力锚索施工中的应用 ...	常福远	成红军	(195)
岩溶勘察中的电法勘探工作	付家灿	彭建辉	卢军
(198)			
岩溶地区尾矿库主要岩土工程问题的探讨	刘敬先	(202)	
狮子关电站工程地质钻探施工	常福远	(207)	
水库坝址岩溶渗漏及防渗处理实例分析*	邹成杰	(211)	

三、岩溶地区地质环境

纳吉滩水库库区地质灾害发育特征及其防治措施建议	陈海波	杨世松	陈海洋	(245)
鄂西巴东马鬃山村地震动及地质灾害的形成条件分析	李峰	韩晓光	(252)	
湘中南碳酸盐岩地区地下水资源及开发利用	阮岳军	潘晟	(258)	
三峡库区聚集坊危岩体特征及治理方法	陈少平	冯吉东	(264)	
湘中南岩溶石山地区石漠化特征及成因分析	毛蓬亭	鲁丽姣	(270)	
黄土边坡失稳概率分析探讨	冯德顺	邵中勇	(274)	

四、经验与总结

改变观念 发展恩施水电事业	涂光美	(281)
在石灰岩地区修建水库的探索与实践——鹤峰桃花山水电站工程建设始末 ...	田九如	(285)

CONTENT

Karst hydrogeology Engineering Geology

Study on the problems of karst infiltrating in reservoir	Xu Fuxing <i>etc.</i> (3)
Research on Karst hydrogeology characteristics & the Selection of the damsite of ZhaoLai river in QingJiang	Liu Shikai (10)
Primary analysis on the types of reservoir Karst infiltration in southwest Hubei karst districts	Zhou Ning (16)
Exploration of the Construction of Reservoir and Dam in Strongly Corroded Karst Stratum	Xiong Youping (21)
Analysis of the Conditions of Reservoir Infiltration & the Developing Regulations of Karst in DongPing Reservoir	Fan Yulong <i>etc.</i> (28)
Discussion on the Reservoir Infiltration & the developing charaters of karst in interstream block of LongDong reservoir	Tu Guangmei <i>etc.</i> (34)
Study on karst infiltration in interstream block of Xiaoxikou hydroelectric project	Tu Guangmei <i>etc.</i> (40)
Engineering geological conditions of damsite of XiaoXikou hydroelectric project	Tu Guangmei <i>etc.</i> (45)
Analysis of karst reservoir infiltration of Xiaohe hydroelectric station in Xianfeng County, Hubei Province	Li Tongcao <i>etc.</i> (50)
The Karts Engineering geology problems on Laodukou hydroelectric project	Huang Donghai <i>etc.</i> (56)
Analysis of the Karst infiltration in interstream block in Xiakou hydraulic power station	Li Youming <i>etc.</i> (62)
Analysis of the Karst infiltration of Zhaolaihe hydraulic power station reservoir in ChangYang County	Chen Hanbao <i>etc.</i> (67)
Analysis of the Karst hydrogeology condition on closing hole to reservoir of ShiZiguan electric station	Wan Junwei <i>etc.</i> (73)
Study on the main geological problems of the Three Lever electric station in YunLong river, Enshi	Li Conghua <i>etc.</i> (81)
Study on the infiltration problems of the reservoir of TaiYang River Fenshuitan hydroelectric station in Enshi, Hubei Province	Su Aijun <i>etc.</i> (88)
Analysis of the corroded rockmass infiltrating character based on the information of dis-	

closed cavity	Chen Xiangjun <i>etc.</i> (97)
Study on the Engineering Geological investigation of Jiangkou hydroelectric station ...	
.....	Gan Saicai <i>etc.</i> (103)
Study on the Karst Infiltration problems of the reservoir of Jiangkou hydroelectric station	Fan Changhua <i>etc.</i> (108)
Study on the stability of underground plant rockwall of Jiangkou hydroelectric station	Gan Sancai <i>etc.</i> (114)

Application of Theory & Technology method

Analysis of satellite RS information on tectonic activity in QingJiang area	
.....	Xie Guangling <i>etc.</i> (121)
Treatments and the main geological problems of ChangShun hydroelectric dams site ...	
.....	Tu Guangmei (131)
Assessment & exploitation and utilization of potential underground water resources in HuBei Westnorth Karst area	Yang Shisong <i>etc.</i> (137)
Dam Foundation Treatment of BaJiao river Hydroelectric Project	
.....	HuangBaohua <i>etc.</i> (145)
Application of BP neural network method in the prediction of landslide in Three Gorges district	Zhong LuoJia <i>etc.</i> (150)
Determination of Mechanical parameters in the assessment of roof stability in Karst district	Shi Xiangfeng <i>etc.</i> (156)
Elementary Discussion on the analysis of Karst system with clustering methodauthor	Feng Mingquan <i>etc.</i> (160)
Elementary study on the monitoring prediction technology and method of Karst collapse hazard—taken the Tuomu Karst collapse monitoring station in Guiling city as an example	Lei Mingtang <i>etc.</i> (166)
Application of isotopic dating in the studing of fault activitiy in Three Gorges head reservoir	Xia Jingwu <i>etc.</i> (174)
The main engineering geological problems in main derivation tunnel & measure on engineering treatments	Li Maohua <i>etc.</i> (180)
Karst Hydrologic geology characters and engineering treatments for TianQiao hydroelectric station	Chang Jiancheng <i>etc.</i> (185)
Simply discussion on the new technology of karst investigation in the construction of express way	Fang Huaixia <i>etc.</i> (190)
Application of Bag-shaped snap ring duing the construction of prestressed anchor cable into high slope of lefe reserivor in Longtan hydroeletrical plant	

.....	Chang Fuyuan <i>etc.</i>	(195)
Electric prospecting working in the karst investigation	Fu Jiacaan <i>etc.</i>	(198)
Discussion on the main rock and soil problems of tailing area in karst district		
.....	Liu Jingxian <i>etc.</i>	(202)
Engineering geology drilling construction in ShiZiguan hydroelectric plant		
.....	Cang Fuyuan	(207)
Analysis of karst infiltration and infiltration preventing treatment cases reservoir		
.....	Zou Chengjie	(211)

Geological Environment In Karst District

Development properties of geological hazard and treatment measure in NaJitan reservoir district	Chen Haibo <i>etc.</i>	(245)
Analysis of the formative conditions of the earthquake vibration at Mazongshan village , Badong County West Hubei	Li Feng <i>etc.</i>	(252)
Exploitation and utilization of potential underground water resources in central southern HuNan Karst district	Yuan Yuejun <i>etc.</i>	(258)
Property of hazarded rock mass assembly and its treatments in Three Gorges reservoir	Chen Shaoping <i>etc.</i>	(264)
Property of karst rock graphitized and genetic analysis in karst districts of central southern Hunan	Mao Fengting <i>etc.</i>	(270)
Analysis on unstability probability of losse slope	Feng Deshun <i>etc.</i>	(274)

Experience and Summary

Breaking down the traditional ideal and developing hydroelectric enterprise in Enshi	Tu guangmei	(281)
Exploration and Practice of the Reservoir Construction in Karst Districts——Entireness of the Construction of HeFeng Canton Taohuashan Hydroelectric Plant		
.....	Tian Jiuru	(285)

一、岩溶水文工程地质

水库岩溶渗漏问题研究

徐福兴 陈 飞

(长江水利委员会, 武汉 430010)

摘要 水库岩溶渗漏是碳酸盐岩地区建坝的主要工程地质问题之一。国内外工程实例说明, 只要对这一问题进行勘察查明, 并进行相应的防渗处理, 一般都能发挥效益。本文主要简述水库岩溶渗漏研究中的若干理论和实践问题, 如岩溶化岩体中地下水的赋存条件、河谷岩溶水动力类型及分带、河谷区深部岩溶、岩溶渗漏的评价方法等; 其次介绍水库岩溶渗漏勘察研究中常用的勘察技术和分析方法。

关键词 岩溶 水库 渗漏 研究 技术与方法

1 研究综述

从 1845 年法国在岩溶地区修建第一座坝以来的 100 多年间, 南斯拉夫、美国、前苏联、意大利、土耳其等国, 在岩溶地区修建了大型水利水电工程 130 多座。据不完全统计, 其中坝高大于 100m 的有 18 座, 最高的是前苏联的英古里 (ингури) 拱坝, 最大坝高 271.5m; 最大的水库为土耳其的凯班水库, 总库容 340 亿 m^3 。从水库岩溶渗漏分析可见, 早期修的工程, 一般存在渗漏问题, 其中比较严重的如美国德克萨斯州的奥斯丁坝, 因坝基渗漏而导致垮坝 (1920 年坝高 20.7m); 西班牙的蒙特热克 (坝高 72m), 水库蓄不住水; 卡马拉萨高坝 (坝高 103m), 蓄水后渗漏量 $2\sim 3\text{m}^3/\text{s}$, 并逐年增加到 $11\text{m}^3/\text{s}$, 经进一步处理后仍有 $2\text{m}^3/\text{s}$ 。20 世纪 50 年代以后修建的坝高 100m 以上的 17 座大坝, 基本上都是成功的, 其中渗漏量较大的有凯班水库 ($21\text{m}^3/\text{s}$)、多康坝 ($6\text{m}^3/\text{s}$)、瓦格兰斯 ($4\text{m}^3/\text{s}$), 但并不影响工程效益的正常发挥。相对而言, 在大江大河上修建大型工程, 勘测工作比较深入, 渗漏问题研究较清楚, 防渗工程也做得可靠, 一般都是成功的, 而中小河流上的中小型工程问题较多。

我国在 20 世纪 50 年代初修建官厅水库, 拉开了在岩溶地区修建水利水电工程的序幕。20 世纪 50 年代末至 60 年代初, 对碳酸盐岩分布为主的猫跳河梯级水电站进行了开发; 对乌江、清江、红水河等流域进行规划, 开展了一大批大型工程的勘察设计; 对长江三峡工程南津关灰岩坝区进行了详细的勘测研究, 在岩溶地区已修建了一大批中小型工程。20 世纪 60 至 70 年代, 猫跳河梯级水电站及一批坝高在 50m 以上或库容 1 亿 m^3 以上大中型水库的建成, 为我国在岩溶地区建坝建库积累了经验。20 世纪 80 年代初, 乌江渡水电站的胜利建成, 标志着我国在岩溶地区兴建高坝大库登上了新的台阶。其后, 隔河岩、岩滩、鲁布革、

观音阁、万家寨、天生桥一级、二级、东风、江垭、江口等大中型水利水电工程相继建成,更为我国在岩溶地区建坝建库积累了丰富的经验。目前在建的有构皮滩、彭水、洪家渡、水布垭等大型工程,其中构皮滩水电站坝高 232m,库容达 65 亿 m^3 ,电站装机容量达 3 000MW,是我国在岩溶地区修建的最高薄拱坝和最大的水电站,水布垭水电站是目前世界上最高的混凝土面板坝,最大坝高达 233m。

我国在岩溶地区兴建的大中型工程中,出现较严重渗漏的有水槽子、桃曲坡、拉浪、拔贡、大龙洞、猫跳河二级、四级、小排吾、肖家山、南川、温峡口等水库。其中大部分经第二期处理后渗漏量明显减小,发挥了正常效益。在岩溶地区兴建的中小型工程,据云南省的统计,大多数是基本成功的;贵州省库容 10 万 m^3 以上的水库 2 000 余座,发生严重漏水的约占 5%;在岩溶强烈发育的广西南宁地区,50 万 m^3 以上的水库 93 座,基本成功的占 40%。发生严重漏水或失败的水库,绝大部分是 20 世纪 50、60 年代兴建的,建前未做详细的地质勘察工作,也没有采取必要的和有效的防渗措施。

经过 50 多年勘察研究和工程实践,我国在岩溶渗漏的基本理论研究与实践、岩溶渗漏问题的勘察研究、渗漏评价和防渗处理等方面都已达到了较高的水平。

2 水库岩溶渗漏的几个基本理论与实践问题的研究

2.1 碳酸盐岩岩体中地下水的赋存条件、地下水位及岩溶系统(水系)

地下水位、等水位线和岩溶系统,是判断水库渗漏的重要指标。实践证明,在岩溶不发育的分水岭地段,地下水位略低于设计蓄水位时,可以由于蓄水后地下水位升高而不发生渗漏(猫跳河一级电站)。在地下水位低于分水岭较多,但无明显的地下水位低槽,即无岩溶排水系统存在时,可不发生严重渗漏或不渗漏,如猫跳河六级电站右岸和隔河岩水电站右岸河弯地块,江口水电站右岸河间地块等;但当存在岩溶管道时,可发生管道性漏水,如猫跳河四级左岸和六级水电站的左岸。

不言而喻,碳酸盐岩岩体中的地下水主要赋存于溶洞、溶隙中,并且主要以岩溶管道或岩溶裂隙泉的形式排泄。但对于岩溶岩体中是否有统一地下水位,即孤立水流和统一水面两种观点曾发生过长期争论。勘探资料逐渐证明,在岩溶化岩体中既有统一地下水面,也有孤立、半孤立水流,随着岩溶的发育过程可以相互转化(卢耀如等)。岩溶岩体各点之间只要有水力联系(不论是通畅或不太通畅),就能形成统一的地下水面(袁道先)。孤立水流和统一水面共处于一个统一的岩溶含水体中(邹成杰、王家骏等)。在岩溶化岩体中能否作等水位(压)线图,也是长期争论的问题,直到今天认识也不完全一致。在没有水力联系的岩溶管道系统间不能把各自的等水位线图连起来,而对于被裂缝或岩溶管道串通,具有或强或弱水力联系的管道系统之间,可以作等水位线图(袁道先)。在临近排水面附近的岩溶平原或开阔的大谷地,因岩溶发育较均匀,各向连通性好,即水力联系好,一般都存在统一流场,可以勾画出等水位线图(刘振中等)。因此,碳酸盐岩岩体中的地下水位、等水位线与岩体岩溶化的程度有密切的关系,与岩体中存在的岩溶排水系统密切相关,在判断地下水位、编绘地下水等水位线时应充分考虑这些因素。一般情况下,等水位线的低槽部分是汇集地下水的通道。岩溶地下水的排泄就是通过这些通道汇集而形成地下排水系统的,即一般称为岩溶系统(水系)。因此,不同岩溶排水系统之间是否存在水力联系、水力联系的通畅程度等是

评价水库渗漏的重要依据，而不仅是依据地下水位。

2.2 河谷岩溶水动力类型及分带

碳酸盐岩河谷岩溶水动力类型的研究，对了解岩溶发育规律以及岩溶渗漏预测评价有着重要意义。

2.2.1 河谷岩溶水动力类型

根据我国岩溶地区河谷岩溶水动力条件的研究，基本上可以分为以下类型：

(1) 补给型：河谷两岸与邻谷间有地下水分水岭，地下水补给河水，如乌江、清江、北盘江、澧水各梯级等。

(2) 补排型：河谷一侧有地下水分水岭，地下水补给河水，另一侧无地下水分水岭，河水补给地下水或排向下游河谷，如云南绿水河、黄河万家寨等坝址。

(3) 排泄型：河谷两岸无地下水分水岭，河水补给地下水或排向下游河谷，如猫跳河四级电站坝址，位于岩溶塌陷形成的天然堆石坝前，两岸地下水位低于河水位 18m，河水补给地下水，从坝下游 K_7 落水洞一带排出；山西桃曲波水库两岸地下水位低于河水位。

(4) 悬托型：岩溶含水层地下水位低于河谷底部，河水排泄给邻谷或下游河谷，如以礼河水槽子水库库盆为较厚的粘土砾石层覆盖，下部岩溶含水层地下水位低于河水面数十米，建库后粘土砾石层被击穿，库水沿岩溶通道向远邻谷金沙江渗漏。大宁河上游支流，其中有一段通过二叠系下统灰岩河谷时，灰岩中地下水位低于河水位，而局部成为悬托型河谷。

补排型、排泄型和悬托型河谷岩溶水动力类型一般存在水库渗漏问题。

2.2.2 河谷岩溶水动力分带

在经典岩溶学理论中，把补给型河谷岩溶水动力剖面自上而下分为四个带：垂直渗流带（饱气带）、地下水位季节变化带、全饱水带和深循环带，各个带发育与渗流状态相联系的岩溶类型（见图 1）。由于地壳升降造成河谷深切或埋藏，各个带相应的岩溶形态会被后期的地质作用所改造。这种分带也受到岩体岩性的差异，特别是非岩溶层的制约，因此，在分析判断河谷区岩溶发育形态、强度、深度等特征时，应注意后期岩溶作用的叠加和改造。

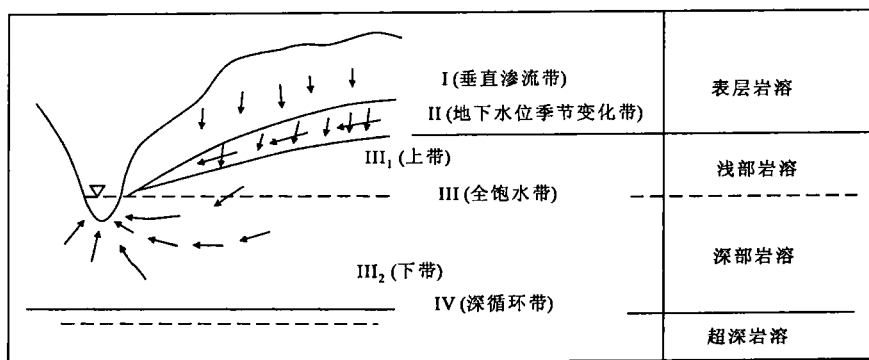


图 1 补给型河谷区岩溶水动力及岩溶垂直分带示意图

2.2.3 河谷一分水岭岩溶水动力剖面类型

在补给型河谷岩溶水动力类型地区，研究河谷至分水岭的水动力剖面类型，对确定岩溶强烈发育带的位置、宽度，进而确定防渗帷幕的重点部位、帷幕端点等有较强的实际意义。

河谷—分水岭的水动力剖面基本上可分为三种类型（图 2）。

（1）均匀渗流剖面：岩溶不发育，地下水位线呈凸型由河岸向分水岭迅速升高，坡降较大；

（2）平缓渗流剖面型：岩溶较发育，近河处地下水位线呈低平型，坡降一般 $<3\%$ ；

（3）局部平缓段或低槽段的渗流剖面型：近岸坡岩溶发育，地下水位低平，或发育有汇流通道，形成地下水低槽，向山内一定距离岩溶才减弱，地下水面上翘。

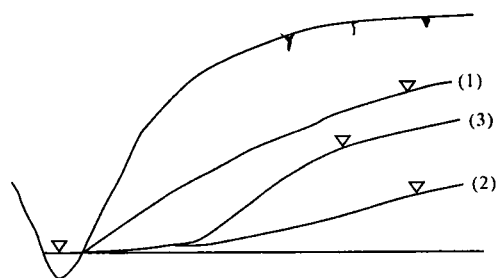


图 2 河谷—分水岭岩溶水动力分带示意图

2.3 河谷区深部岩溶

河谷区深部岩溶对大坝防渗具有重要意义。20 世纪 70 年代，乌江彭水坝址在河床枯水位以下 60~100m 揭露了溶洞和较畅通的溶蚀裂隙，而乌江渡水电站的防渗帷幕钻孔，在枯水位以下 212m 揭露了直径达 9.33m 的溶洞。由此开始，河谷区深部岩溶才引起人们的重视和研究。

“河谷区深部岩溶”的划分标准目前尚没有统一的认识，从水利水电工程实际出发，为便于掌握和统一，建议以低于当地排水基准面的岩溶称为“河谷区深部岩溶”。

2.3.1 河谷深部岩溶形成的主要因素

河谷深部岩溶的成因主要与地下水的虹吸循环有关，并且与岩溶排水系统有联系。河谷深部岩溶形成的主要因素有：

- （1）有利的岩溶水文地质结构，如溶蚀层面、透水断层带等。
- （2）有利的地下水虹吸循环条件，如有承压水等。
- （3）有利于深部岩溶发育的水化学条件，如混合溶蚀，以及由不同浓度的水溶液间造成的渗透，促进地下水向深部交替循环，深部具较强侵蚀的地下水等。
- （4）温差效应（常与有利的水化学条件相伴存在）造成冷热水对流，促进交替循环，如彭水枢纽的两个坝址，在温泉与冷水交汇部位深部岩溶发育。
- （5）河谷至分水岭地形相对高差大，两岸地下水具有较高的渗透压力。
- （6）深循环温泉在河谷出露与浅层地下水混合形成较深岩溶。

2.3.2 河谷深部岩溶的分布特征

（1）河谷区深部岩溶的平面分布。深切上升峡谷区深部岩溶主要分布在河谷两侧，并与岩溶系统相联系，河床下岩溶发育较弱，如彭水枢纽的两个坝址、乌江渡电站等。

宽河谷区深部岩溶在河床下及两岸均较发育，其原因可能地壳相对稳定时期较长，河谷由峡谷演变为宽谷的过程中，原来位于两岸的深部岩溶，当今却位于河床之下，如湖南澧水三江口坝址和辽宁太子河观音阁坝址等均属于此。

（2）河谷区深部岩溶的垂向分带。河谷深部岩溶发育强度一般有随深度的增加而逐渐减弱的趋势。较强烈发育带的深度一般在排水基准面以下 50~60m 范围，中等—弱岩溶发育带深度 50~100m 左右，100m 以下岩溶发育程度大为减弱。