

# 岩溶地质

Y A N R O N G D I Z H I

中国水电顾问集团贵阳勘测设计研究院 主编

欧阳孝忠 著



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

# 岩溶地质

中国水电顾问集团贵阳勘测设计研究院 主编

欧阳孝忠 著



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

## 内 容 提 要

本书总结了当前岩溶地质勘察中遇到的种种问题,较为系统地论述了岩溶发育的条件、作用、形态、规律及古岩溶、深岩溶等问题;探讨了岩溶地下水的补给类型、径流特点、地下水位与地下河水位、钻孔水位的关系;讨论了水库防渗原则,提出了按稳定地下水位确定防渗帷幕底界的判别标准和允许渗漏量的概念;论述了红黏土、土洞、溶洞等的岩溶稳定问题;总结了人类工程活动引起的岩溶地下水径流改变、地应力突然释放所产生的外水压力、涌水、岩爆等地质现象;在岩溶地下水开发利用上,分析了利用暗河、岩溶洼地建库理论上的可能性和要注意的岩溶水文地质问题。

本书可供从事岩溶地质工作,特别是水利水电地质工作的人员参考;同时,也适于大专院校相关专业的师生教学之用。

## 图书在版编目(CIP)数据

岩溶地质 / 欧阳孝忠著; 中国水电顾问集团贵阳勘测设计研究院主编. — 北京: 中国水利水电出版社, 2013.6

ISBN 978-7-5170-0949-8

I. ①岩… II. ①欧… ②中… III. ①岩溶地貌—水文地质勘探 IV. ①P641.134

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第123380号

|      |                                                                                                           |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 书 名  | 岩溶地质                                                                                                      |
| 作 者  | 中国水电顾问集团贵阳勘测设计研究院 主编 欧阳孝忠 著                                                                               |
| 出版发行 | 中国水利水电出版社<br>(北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100036)<br>网址: www.waterpub.com.cn<br>E-mail: sales @ waterpub.com.cn       |
| 经 售  | 电话: (010) 68367658 (发行部)<br>北京科水图书销售中心 (零售)<br>电话: (010) 88383994、63202643、68545874<br>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  | 北京瑞斯通印务发展有限公司                                                                                             |
| 规 格  | 140mm×203mm 32 开本 5 印张 100 千字                                                                             |
| 版 次  | 2013 年 6 月第 1 版 2013 年 6 月第 1 次印刷                                                                         |
| 印 数  | 0001—2000 册                                                                                               |
| 定 价  | 26.00 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

# 序

我国碳酸盐岩出露面积为 91 万  $\text{km}^2$ ，约占国土面积的 9.4%，遍及全国各省、区，尤以滇、黔、桂为最。云南省碳酸盐岩出露面积占全省土地面积的 52%；广西壮族自治区为 43%；以贵州省比例最大，为 73%。

碳酸盐岩主要分石灰岩和白云岩两个大类，虽然可溶岩类包含硫酸盐和氯化物类的石膏岩盐等更易溶解的岩石，但由于分布有限，地质上对岩溶的研究还是以碳酸盐岩为主。

自人类历史以来，生活、生产等活动，不可避免地与之相互作用影响，由于可溶性，造就了许多鬼斧神工的地表地下景观，如众多著名的地下溶洞、暗河，峰林、峰丛供人们游览观赏，甚至居住。

在工程建设方面，碳酸盐岩一般属于硬岩或中硬岩，承载力和抗剪强度较高，具有良好的力学特征，抗物理风化能力强，完全可以满足建工业民用建筑和各类水工建筑物的强度要求；同时又是良好的人工骨料料源。河谷多为峡谷，坝址地形条件优越，大坝工程量相对较小；河谷地形陡峻，沿河大型城镇分布较少，移民搬迁数量与碎屑岩河段相比要少，可节约建设投资。

贵州高原气候温湿，降雨量充沛，岩溶强烈发育，地表负地形，地下管道规模巨大，要开发岩溶区域丰富

的水利水电资源，就必须解决由于岩溶发育所带来的复杂的水文工程地质问题，如果选址不当，工程就会遭受巨大损失，甚至是毁灭性的。诸如：渗漏、基坑及地下洞室涌水，坝、厂基础和边坡稳定，因岩溶发育引发的水库诱发地震及塌陷，这些都是建坝成库的关键问题。

我国在岩溶地区进行水利水电建设始于 20 世纪 50～60 年代，主要有水槽子、六郎洞、官厅及猫跳河梯级水电站的开发，其中猫跳河梯级水电站是我国岩溶地区开发最系统的一条河流。

由于岩溶地区水文工程地质条件极其复杂，在早期的开发建设中也曾出现不少教训，最为突出的是岩溶渗漏问题，区别于非可溶岩体的是常表现为大规模的管道型渗漏，渗漏量大，不易处理，给工程建设造成工期、费用增加，甚至使工程不能充分利用，有相当数量的小水库成为废库。如猫跳河四级电站、水槽子、桃曲坡、拉浪、拔贡、大龙洞、肖家山等水库在建设期都曾遇到严重的岩溶渗漏问题。其中猫跳河四级电站渗漏量曾高达  $22\text{m}^3/\text{s}$ ，虽经多次处理，在 2012 年前仍有一台机组不能正常发电。

新中国成立之前，岩溶的研究几近空白，20 世纪 70 年代末，水电建设选址对于岩溶地层仍以避开为首选，但在贵州的主要河流上，避开是不可能的，岩溶地层的勘察治理研究成为必然。通过五十多年的发展，尤其是近二十年大型水电站的开发建设，岩溶地区的常规勘测技术和理论分析已日臻成熟。改革开放以来，国家“六五”“七五”及之后的针对性科技攻关，新的勘测手

段不断发展，其探测深度和精确程度已经令人满意，70年代以后，随着引进勘测、设计与施工先进技术，乌江渡、东风、隔河岩、天生桥二级等大型水电站成功地解决了岩溶问题建成投产，使我国在岩溶地区水利水电建设方面的理论研究迅速提高，勘测、处理手段也日臻成熟有效。进入新世纪，西电东送工程带动了水电大规模开发，仅在贵州省境内，位于乌江干流的洪家渡、引子渡、索风营、构皮滩、思林、沙沱水电站和位于北盘江干流的光照、董箐8座大型水电站相继建成。更多中小型电站投产，基本位于岩溶地层之上。

五十多年不懈努力，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，中水顾问集团贵阳勘测设计研究院（简称贵阳院）在岩溶勘察治理方面的研究也得到了业界的普遍肯定。贵阳院和中国水利水电科学研究院共同开展大流量高流速岩溶管道探测技术研究，以猫跳河四级水电站为依托，采用综合物探手段和高精度钻孔技术，终于将主渗漏通道精确定位，运用新的处理技术将这一影响电站三十多年痼疾彻底解决，为猫跳河的水电开发画上圆满的句号。与此同时，也涌现出一批理论水平较高，经验丰富的专家。

本书作者欧阳孝忠先生自20世纪50年代起，一直在贵阳院工作，参加、组织、领导了猫跳河各梯级以及天生桥二级、东风等一大批大型水电站的水文工程地质勘察，退休后又应邀参加了水电、水利、交通等部门的建设项目咨询及评审工作，对技术精益求精，学风严

谨，在岩溶勘察方面有着丰富的经验和理论造诣。为指导后进，作者集 50 余年经验与思考，以洗练的语言，精准的描述，对岩溶的成因、形态、发育规律和可能造成的人文工程地质问题进行了论述，较为集中、系统地总结了岩溶地质方面的诸多问题，提出对岩溶地下水开发应用的建议，有不少内容属于创新，实为在岩溶地区工作的地质工程师不可多得的指导书。



2013 年 4 月

# 前 言

作者编写本书的目的：

(1) 贵州全省国土面积 17.62 万  $\text{km}^2$ ，其中岩溶地区面积占 70% 以上。1949 年新中国成立以来，贵州省的水利水电建设事业如同全国一样，取得了伟大成就。截止到 2011 年的不完全统计，已经建成和即将建成库容大于或等于 0.5 亿  $\text{m}^3$  的水库总库容约 333.71 亿  $\text{m}^3$ ，占全省年降雨量的 15.9%、年径流量的 32.2%；已经建成和即将建成装机容量大于或等于 10MW 的水电站总装机容量约 14738.1MW，占全省水力资源理论蕴藏量的 78.6%。乌江、南盘江、北盘江、清水江等大江、大河的梯级水电站开发接近尾声，但是仍然存在靠天吃饭、人畜饮水困难的情况，石漠化现象也没有得到根本改善。作为一位水利水电事业的参与者和见证者，想提点自己的看法和建议。

(2) 笔者自 20 世纪 60 年代初只身来到贵州，便一直在水利水电部门工作。退休后又参加了水电、水利、交通等部门的咨询及评审工作，有参与和见证工程竣工的激动和喜悦，也有参与和见证工程走弯路的迷茫和苦恼。为了让还在从事和即将从事这方面工作的同行少走弯路，在历年零零碎碎积累资料的基础上，写成了这本书。在写作过程中，力图用工程实例来解答在岩溶地区

工作遇到的种种问题，因此本书实际是一个总结，只不过较为集中、系统地总结了岩溶地质方面的诸多问题。

全书共 14 章，为了简单明了，附了 52 幅简图或略图。有的内容与传统理论一致，有的内容则与传统理论不一致。不一致的，有的现在已取得共识，有的还没有取得共识。

兹将本书内容、特点扼要介绍如下：

(1) 针对目前岩溶用语比较紊乱的情况，也为了叙述的方便，首先对岩溶术语进行了定义。将石膏晶簇、红黏土、白云岩风化砂、溶滤角砾岩等岩溶作用的产物写进了岩溶形态。

(2) 在岩溶层组划分时，论述了岩溶含水层与透水层的异与同，最大区别在于岩溶透水层的透水性具有方向性。区分这一点，对研究水库防渗具有重要意义。

(3) 对岩溶地下水补给类型进行了分类，分为垂直渗流补给、线性集中渗流补给、向心集中渗流补给、外源集中流补给和越流补给 5 种类型。向心集中渗流补给和外源集中渗流补给是岩溶地区独特的补给类型。

(4) 对溶蚀作用进行了分类，引入了交代溶蚀的概念。交代溶蚀不仅较好地解释了可溶岩溶蚀残留物红黏土厚度与可溶岩中非可溶物含量不匹配的矛盾，而且为每每见到的红黏土覆盖下的溶沟溶槽、石芽石柱的成因提供了不同于传统的解释。

(5) 论述了岩溶发育规律，即选择性、受控性、继承性和不均匀性。是岩溶发育的选择性、受控性和继承性造成岩溶发育的不均匀性。不均匀性既是规律，又是

特点。

(6) 论述了岩溶地下水径流特性，即系统性、孤立性、悬托性、变迁性和穿跨性。系统性表明岩溶地下水径流如同地表水径流一样具有自己独立的补给、径流、排泄区，具有干、支流，只是明暗不同而已。孤立性是由岩溶发育的不均匀性造成。有了孤立性，才会产生悬托性和穿越性，才使得岩溶地下水既具统一性，又具孤立性。变迁性可由非可溶岩隔水作用产生或失去引起，也可由当地和异地排泄基准面变化引起，其本质是袭夺。穿跨性是岩溶地下水径流最显著的特点。岩溶地下水赋存的多样性和径流的特殊性，决定了岩溶地下水的复杂性和多变性。只有在查清这些特征后，才能准确圈定水库的地下水汇流面积，才能论述清楚水库的成库条件。

(7) 根据岩溶正、负地形的组合关系，对地表岩溶地貌景观进行了分类；还根据地下岩溶形态的复杂性、分布特征，对地下岩溶组合形态进行了分类。

(8) 岩溶发育与构造运动关系十分密切，一部构造运动史也就是一部岩溶发育史。从地层分布特点入手，论述了贵州 10 次主要构造运动，论述了新生代以前和以后，特别是晚近期以来构造运动的不同特点及对岩溶发育的不同影响。新生代以前的构造运动以褶皱断裂为主，岩溶发育的特点由于掌握的资料有限，只能提及种种迹象。新生代，特别是晚近期以来，构造运动以隆升为主，而且隆升运动具有间歇性、自西向东的掀斜性和局地差异性，岩溶发育的特点是具有垂直方向上的分带

性（成层性），而且这种成层性与剥夷面（含阶地）具有对应性。根据中国水电顾问集团贵阳勘测设计研究院的习惯划法，将新岩溶发育分为大娄山期、山盆期和乌江期。山盆期又分 2 亚期。将习称的宽谷期划为乌江期，因此乌江期也分宽谷和峡谷 2 亚期。

（9）论述了深岩溶的成因，将深岩溶分为原生水上升循环形成的深岩溶、古岩溶随构造变动形成的深岩溶、深部渗流带形成的深岩溶、特殊地质结构形成的深岩溶、岩溶地下水径流变迁形成的深岩溶 5 大类。前 2 大类系不受排泄基准面控制形成的深岩溶，后 3 大类系受当地或异地或局地变化排泄基准面控制形成的深岩溶。后 2 大类又各细分 3 个亚类。

（10）分别论述了常态地表河、非常态地表河〔〈岩溶天生桥塌陷或岸坡失稳形成的悬托河（河流裂点）、低邻谷袭夺或河流截弯取直形成的悬托河、地表河演变成地下河尚不彻底形成的悬托河及地表河潜伏形成的断头河（盲谷）〉〕、地下河及岩溶洼地等所建不同类型水库的主要岩溶水文地质问题及经验教训；根据诸多工程防渗帷幕既不接非可溶岩隔水层，又不接相应水库正常蓄水位的地下水位，也获得成功的事实，论述了水库防渗原则，并在此基础上提出了允许渗漏量的概念；论述了深岩溶渗漏问题；论述了可按地下水位以下一定深度确定帷幕底界的原因及需注意的事项。

（11）论述了红黏土的物理力学特性及稳定问题、土洞及溶洞的承载稳定问题；论述了岩溶地区边坡地质特点、边坡失稳破坏模式，将边坡失稳模式分为：座落

崩塌、倾倒崩塌、点头哈腰崩滑、座落滑移、顺层滑动和溃屈破坏等 6 种类型。讨论了大型崩塌及座滑堆积体的稳定性及水库岸边再造的特点、超大型顺层滑坡堆积体的稳定性。大型崩塌及座滑堆积体的水库岸边坡再造，由于边坡失稳后形成的架空坡角较失稳前的地形坡度大幅降低，难于再次出现整体滑移。超大型顺层滑坡，由于滑面的不连续或滑面起伏变化大，往往难于形成整体滑动。因此，虽然滑坡规模巨大，但单宽下滑力不是很大，滑坡体处在蠕变状态。讨论了承压渗透稳定问题。

(12) 岩溶涌水与外水压力同是人类工程活动改变岩溶地下水径流状态带来的地质现象，处理不当都会酿成地质灾害。讨论了按传统的达西公式计算岩溶涌水存在的难度和出入性，提出了岩溶涌水的水文计算方法。讨论了目前所采用岩溶涌水和外水压力防治方法的利与弊，在采取防治措施时要防止副作用的产生。在确定外水压力时，由于建筑物的堵截，有时外水压力比钻孔地下水水位高，最好的防治措施是不改变岩溶管道水的径流条件。

(13) 岩爆与水库诱发地震同是人类工程活动引起的地应力改变并突然释放所产生的地质现象。论述了岩爆产生的规律，引述了岩石抗压强度与抗拉强度、岩石抗压强度与最大主应力之比值的概念，用以宏观判断会否产生岩爆；论述了岩溶型水库诱发地震的特点，用以水库诱发地震预测及防治。

(14) 根据不同补给特征，将岩溶泉分为暗河 [又细

分为单一或树枝状洼地形成的暗河、断头河（盲谷）潜伏形成的暗河及地表河潜伏形成的暗河 3 亚类] 出流形成的岩溶泉、向斜汇水构造及背斜储水构造地下水出流形成的岩溶泉、背斜倾伏端及翼部地下水出流形成的岩溶泉，以及深循环形成的岩溶温泉 5 种基本类型。从岩溶温泉的分布特点论述了岩溶温泉的成因。不是所有具备深循环地形地质条件的岩溶地下水出流都能形成温泉，还要看地表水与地下水交替的情况。岩溶泉的成因不同，开发利用方式不一样。岩溶地区最缺水的是深埋暗河分布地区。因此建议大力推进强岩溶地区筑坝建库工作。

本书大量引用了中国水电顾问集团贵阳勘测设计研究院的大量资料，还部分引用了中国水电顾问集团中南勘测设计研究院和贵州省及贵阳市、遵义、铜仁、安顺地区等水利水电勘测设计单位的资料。构造运动及岩溶发育史是根据贵州几十个大中型水库的地质资料，并参考原贵州省地质矿产局的资料写就。在写作过程中，还得到了封云亚、杨益才、肖万春、沈春勇、郭维祥、徐光祥、余波、王世龙、李月杰等同志的指正；得到了陶用彦、高成诚、周维娟同志的大力支持；张明齐同志自始至终帮助校对、打印、编排等工作，在此表示深深的谢意！限于本人的业务水平，谬误之处，敬请读者批评指正。

敬 谢 忠

2013 年 3 月

于筑

# 目 录

序

前言

|                     |    |
|---------------------|----|
| <b>1 岩溶、岩溶形态及类型</b> | 1  |
| 1.1 岩溶              | 1  |
| 1.2 岩溶形态            | 1  |
| 1.3 岩溶类型            | 6  |
| <b>2 岩溶发育条件</b>     | 8  |
| 2.1 可溶岩分类           | 8  |
| 2.2 岩溶层组分类          | 9  |
| 2.3 河谷地质结构分类        | 12 |
| 2.4 地下水补给类型         | 14 |
| 2.5 排泄基准面           | 15 |
| <b>3 岩溶发育作用</b>     | 21 |
| 3.1 溶蚀作用类型          | 21 |
| 3.2 溶蚀作用与侵蚀作用       | 22 |
| 3.3 溶蚀作用与崩塌作用       | 23 |
| 3.4 溶蚀作用与堆积作用       | 24 |
| <b>4 岩溶发育规律</b>     | 25 |
| 4.1 岩溶发育的选择性        | 25 |
| 4.2 岩溶发育的受控性        | 25 |

|          |                            |           |
|----------|----------------------------|-----------|
| 4.3      | 岩溶发育的继承性 .....             | 28        |
| 4.4      | 岩溶发育的不均匀性 .....            | 28        |
| <b>5</b> | <b>岩溶水特征</b> .....         | <b>30</b> |
| 5.1      | 岩溶地下水赋存形式 .....            | 30        |
| 5.2      | 岩溶地下水径流特征 .....            | 31        |
| 5.3      | 均匀状纯可溶岩的河谷岩溶地下水垂直分带 ...    | 42        |
| 5.4      | 均匀状纯可溶岩的河谷岩溶水动力类型 .....    | 44        |
| 5.5      | 岩溶地下水位 .....               | 47        |
| 5.6      | 岩溶地区河流分类 .....             | 50        |
| 5.7      | 岩溶地下水动态 .....              | 51        |
| <b>6</b> | <b>岩溶组合形态</b> .....        | <b>53</b> |
| 6.1      | 岩溶地貌景观类型 .....             | 53        |
| 6.2      | 地下岩溶组合形态 .....             | 54        |
| <b>7</b> | <b>构造运动与岩溶发育史</b> .....    | <b>58</b> |
| 7.1      | 地层分布特点 .....               | 58        |
| 7.2      | 构造运动 .....                 | 60        |
| 7.3      | 新构造运动 .....                | 64        |
| <b>8</b> | <b>古岩溶</b> .....           | <b>70</b> |
| 8.1      | 古岩溶概述 .....                | 70        |
| 8.2      | 古岩溶的种种迹象 .....             | 71        |
| <b>9</b> | <b>深岩溶及岩溶随深度发育规律</b> ..... | <b>74</b> |
| 9.1      | 岩溶发育深度 .....               | 74        |
| 9.2      | 深岩溶的定义 .....               | 74        |

|           |                           |            |
|-----------|---------------------------|------------|
| 9.3       | 深岩溶的成因 .....              | 74         |
| 9.4       | 岩溶发育随深度增加而减弱的规律 .....     | 78         |
| <b>10</b> | <b>岩溶渗漏 .....</b>         | <b>80</b>  |
| 10.1      | 不同类型水库的主要岩溶水文地质问题 .....   | 80         |
| 10.2      | 水库防渗评价原则 .....            | 88         |
| 10.3      | 深岩溶渗漏问题 .....             | 90         |
| 10.4      | 暗河间地下分水岭的利用 .....         | 93         |
| 10.5      | 允许渗漏量 .....               | 94         |
| <b>11</b> | <b>岩溶稳定 .....</b>         | <b>97</b>  |
| 11.1      | 红黏土承载及抗滑稳定 .....          | 97         |
| 11.2      | 土洞承载稳定 .....              | 98         |
| 11.3      | 溶洞承载稳定 .....              | 99         |
| 11.4      | 岩溶地区边坡稳定 .....            | 103        |
| 11.5      | 承压渗透稳定 .....              | 111        |
| <b>12</b> | <b>岩溶涌水与外水压力 .....</b>    | <b>114</b> |
| 12.1      | 概述 .....                  | 114        |
| 12.2      | 岩溶涌水 .....                | 115        |
| 12.3      | 外水压力 .....                | 120        |
| <b>13</b> | <b>岩溶与岩爆及水库诱发地震 .....</b> | <b>122</b> |
| 13.1      | 概述 .....                  | 122        |
| 13.2      | 岩爆 .....                  | 123        |
| 13.3      | 水库诱发地震 .....              | 125        |
| <b>14</b> | <b>岩溶地下水的开发和利用 .....</b>  | <b>127</b> |

|            |                         |     |
|------------|-------------------------|-----|
| 14.1       | 贵州省的水资源量及岩溶地下水资源量 ..... | 127 |
| 14.2       | 岩溶地下水的开发利用 .....        | 128 |
| 14.3       | 岩溶温泉的开发利用 .....         | 132 |
| 14.4       | 大力推进岩溶地区的建库工作 .....     | 134 |
| 参考文献 ..... |                         | 141 |