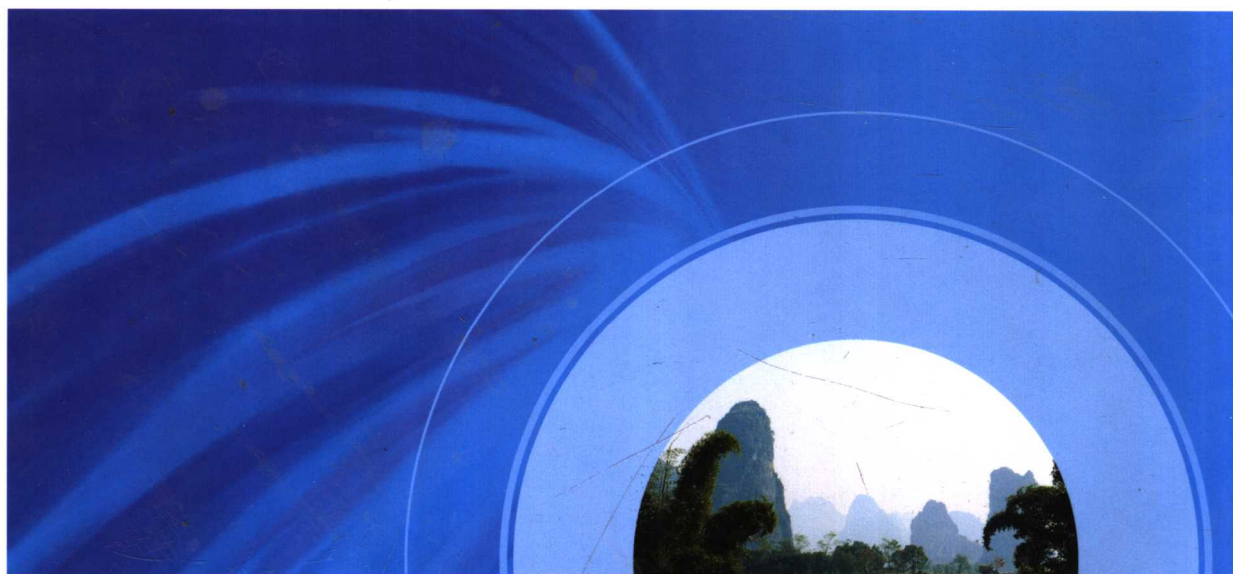




普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ZHONGGUO YANRONG SHENGTAI SHUIWENXUE

中国岩溶生态水文学



● 主编 郭纯青

地质出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

中国岩溶生态水文学

郭纯青 主编

曹建华 田西昭 刘羽 赵相忠 代俊峰 等编

地质出版社

· 北京 ·

内 容 提 要

本书运用最新科研成果,采用理论与实践相结合的原则,着重阐述岩溶生态水文学的基本概念、原理和方法,紧密结合中国岩溶区水文与水资源工程中的主要岩溶问题——岩溶水文和岩溶生态安排教学内容。

本书可供水利类、地质类及相关专业的高等院校学生使用,也可供其他工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

中国岩溶生态水文学/郭纯青主编. —北京:地质出版社, 2007. 11

教育部普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-116-05517-9

I. 中… II. 郭… III. 岩溶地貌-生态学:水文学-中国-高等学校-教材 IV. P931.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第170827号

责任编辑:祁向雷

责任校对:关风云

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路31号,100083

电 话:(010) 82324508(邮购部);(010) 82324577(编辑部)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京朝阳区小红门印刷厂

开 本:787 mm × 1092 mm^{1/16}

印 张:10.25

字 数:235千字

印 数:1—2000册

版 次:2007年11月北京第1版·第1次印刷

审 图 号:GS(2007)1574号

定 价:16.00元

书 号:ISBN 978-7-116-05517-9

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

前 言

本教材是根据教育部“十一五”高等学校水利类专业教材要求组织编写的。

在编写过程中，力求运用最新科研成果，并注意贯彻教材简明、理论与实践相结合的原则，着重阐述岩溶生态水文学的基本概念、原理和方法，紧密结合中国岩溶区水文与水资源工程中的主要岩溶问题——岩溶水文和岩溶生态安排教材体系。此外，还适当反映了本学科的成就和发展方向。

本教材适用于水利类、地质类和相关专业高等院校学生，也可供其他专业和工程技术人员参考使用。

参加本教材编写的有：桂林工学院郭纯青、刘羽、赵相忠、代俊峰；中国地质科学院岩溶地质研究所曹建华；河北省环境地质勘查院田西昭等。

全书由郭纯青主编，其中，曹建华编写了第四章，郭纯青、田西昭编写了第六章，余下章节均由郭纯青编写，刘羽、赵相忠、代俊峰为全书图件描绘和初校，最后，由郭纯青对全书统编、定稿。本教材出版得到桂林工学院教材建设基金和环境工程博士点建设基金联合支持。

本教材由中国地质科学院岩溶地质研究所朱德浩、裴建国主审，对教材进行了认真的审阅，提出了许多宝贵的意见和建议。桂林工学院研究生胡君春、马婷、王佳佳、邓坤等参加本书初稿的打字、排版和校对工作。在此，一并致谢。

对于本教材存在的缺点和错误，诚恳地希望读者提出宝贵意见。

编 者
2007年8月

目 次

前 言

第一章 绪 论	(1)
第一节 水文学与多学科研究的关系	(1)
一、水文学的特点	(1)
二、水文学与岩溶学	(1)
三、水文学与生态学	(2)
第二节 生态水文学与岩溶生态水文学	(2)
一、生态水文学.....	(2)
二、岩溶生态水文学	(3)
第三节 中国岩溶研究的成就与发展	(3)
第四节 本教材的特点和学习要求	(3)
第二章 岩溶、岩溶形态与岩溶多重介质环境	(4)
第一节 岩溶的含义与科学定义	(4)
第二节 中国岩溶发育的基本条件	(5)
一、中国岩溶分布状况	(5)
二、中国岩溶区气候、水文特征.....	(9)
三、中国岩溶区地理、地质背景	(11)
四、中国岩溶发育的类型与特征	(13)
第三节 岩溶的特殊形态 (具汇水、蓄水和输排水功能)	(18)
一、岩溶峡谷	(19)
二、岩溶地下河系 (详见第五章)	(19)
三、岩溶管道 (或岩溶管道水系统)	(19)
四、岩溶洞穴	(22)
五、岩溶洼地、岩溶泉、岩溶湖、岩溶湿地、岩溶落水洞与岩溶竖井	(23)
六、峰林、峰丛、孤峰、峰林平原、峰丛洼地、孤峰平原.....	(24)
第四节 岩溶多重介质环境	(25)
一、定义与特征	(25)
二、脆弱性与成灾性	(28)
第五节 岩溶、水文与生态过程	(29)
一、岩溶过程分析	(29)

二、水文过程分析	(31)
小结	(31)
第三章 岩溶水文系统	(32)
第一节 一般岩溶水文系统结构	(32)
一、整体性	(34)
二、质能转换性	(35)
三、自身的调节性	(35)
第二节 岩溶水文系统分类	(36)
第三节 岩溶水文系统水流的效应	(38)
一、岩溶水文系统水流运动的“源”	(38)
二、岩溶水文系统水流的“流”	(40)
三、岩溶水文系统水流运动的“场”	(41)
四、岩溶水文系统水流运动的“径”	(41)
五、岩溶水文系统水流运动的“蓄”和“排”	(42)
第四节 中国南北方岩溶水文系统间的差异	(42)
一、系统内部等级划分的差异	(42)
二、地下水流、资源特征的差异	(43)
三、系统“域”的差异	(44)
小结	(49)
第四章 岩溶生态系统	(50)
第一节 岩溶生态系统（特指中国南方岩溶区）	(50)
一、岩溶生态系统研究的意义	(50)
二、中国南方岩溶生态系统研究前景	(52)
第二节 岩溶生态系统形成、演化过程中的生物作用	(54)
一、构成岩溶生态系统的物质基础——碳酸盐岩形成中的生物作用	(54)
二、驱动岩溶生态系统运行的现代生物作用	(57)
第三节 岩溶生态系统是岩溶地质条件制约的生态系统	(63)
一、岩溶生态系统中的土壤	(63)
二、岩溶生态系统中的植被	(69)
三、岩溶生态系统中的水文过程	(74)
四、岩溶生态系统中的水土资源	(80)
第四节 岩溶生态系统中的物质循环	(83)
一、岩溶生态系统中的碳迁移与全球碳循环	(83)
二、岩溶生态系统中的水循环及生物作用	(85)
三、岩溶生态系统中的生命元素循环特征	(88)

第五节 岩溶生态系统的脆弱性、石漠化的发生及综合治理途径	(89)
一、岩溶生态系统的脆弱性	(89)
二、石漠化的发生及综合治理的对策	(94)
小结	(97)
第五章 中国岩溶地下河系发育特征及其分类	(99)
第一节 岩溶地下河系	(100)
一、岩溶地下河系的平面形态	(101)
二、岩溶地下河系的剖面形态	(101)
三、岩溶地下河系空间展布的其他形态特征	(101)
第二节 现代岩溶地下河系与化石洞穴的关系	(105)
第三节 岩溶含水层洞穴发育的机理	(106)
第四节 外源水参与的重要性	(107)
第五节 碳酸盐岩分布面积大小是岩溶地下河发育多样性的重要条件	(107)
第六节 中国岩溶地下河系分类	(108)
一、简单型岩溶地下河系	(108)
二、复杂型岩溶地下河系	(112)
小结	(117)
第六章 中国北方岩溶大泉水文生态特征 (以山西岩溶大泉为例)	(118)
第一节 泉域与岩溶水盆地	(118)
一、泉域与岩溶水盆地	(119)
二、泉水出露特征及成因分类	(119)
第二节 岩溶大泉水流运动的基本特征	(120)
一、水流运动的水动力场特征	(120)
二、岩溶水流的补、径、蓄、排条件	(122)
第三节 岩溶大泉的水文与生态	(124)
一、工业化的加剧与经济的发展和,化石能源的加速开发和利用,使得大气中化学成分产生异变	(125)
二、矿山开采,森林破坏,天然植被面积高速缩小,水土流失加大,降低了岩溶大泉的稳定性,自然灾害频度明显增加,自然环境的变化一旦超过岩溶大泉所能承受的阈值,岩溶大泉就难以维持自身的客观存在	(125)
三、建筑物的大规模兴建,零入渗面的不断扩大,改变水循环态势与质能变换方式	(125)
小结	(129)
一、岩溶大泉水资源形成与转化机理研究	(129)
二、岩溶大泉水资源开发与利用	(129)
三、岩溶大泉与生态环境	(130)
第七章 中国南方岩溶石山区水文与生态的特殊性	(131)
第一节 岩溶石山区特殊的水文与生态效应	(131)

一、岩溶石山区的地位和作用	(131)
二、岩溶石山区的主要特点	(131)
三、岩溶石山区生态承载力内涵	(133)
四、岩溶石山区正负地形承载力 (以峰丛洼地为例)	(134)
五、岩溶石山区现状评定	(136)
六、岩溶石山区农业—水文—生态系统分析	(137)
第二节 岩溶天坑的植物与水文	(140)
一、岩溶天坑的形成与分类	(141)
二、岩溶天坑的植物	(141)
三、岩溶天坑水文	(142)
小结	(144)
第八章 生态水文学展望	(145)
第一节 生态水文学的发展背景	(145)
第二节 生态水文学的科学定义	(145)
第三节 生态水文学研究框架及主要内容	(146)
一、干旱、半干旱地区的生态水文学研究	(146)
二、湿地水文学	(146)
三、森林区生态水文学研究	(147)
四、河流生态水文学研究	(147)
五、湖泊水库生态水文学研究	(147)
六、人工沟渠生态水文学研究	(147)
七、地表水—地下水的交错带生态水文学研究	(148)
第四节 生态水文学研究展望	(148)
参考文献	(149)

第一章 绪 论

第一节 水文学与多学科研究的关系

水文学理论体系在形成和发展的过程中，不断地吸收同时代自然科学和社会科学的成就，把分析、综合、集成结合起来，把宏观、中观和微观的观察与研究结合起来，把传统与现代方法结合起来，使研究内容、研究方法和研究手段日趋综合化和整体化。所谓水文学多学科研究，就是合理地运用现代科学体系中的有关理论和方法、技术和手段、思维方式、内涵与外延等对水文学进行多学科的交叉和渗透，进行跨学科联合运用的深入研究。

一、水文学的特点

水文学属地球系统科学，是研究地球表层水的时空分布、运动规律、水能开发、水资源利用与水环境保护、水灾防治的科学。水文学的研究领域十分广泛。从陆地表面的水到土壤中的水和地下含水层中的水，都是水文学的研究对象。在地球表层内，水圈同大气圈、岩石圈和生物圈等相互作用及相关关系，也是水文学的研究领域。水文学不仅研究水量，也研究水质，并涉及地球表层的水环境。所以，水文学不仅有自己的特点和规律，而且也具备各个不同历史时代的特点和规律，水文学是人们在长期观测与实验中逐渐发展的一门自然科学，水文学兼有实践性、整体性、辩证性和模糊性等特点，水文学研究的核心内容是地区和全球水文循环（表 1-1）。

表 1-1 水文学的分支学科

按研究对象划分	河流水文学	湖泊水文学	地下水文学	岩溶水文学	山地水文学	冰下水文学	……
按服务对象划分	工程水文学	农业水文学	森林水文学	城市水文学	军事水文学	环境水文学	……
按研究手段划分	水文测验学	水文调查	水文实验	同位素水文学	遥感水文学	灰色系统水文学	……

二、水文学与岩溶学

岩溶是水体与可溶岩体相互作用的产物。岩溶的本质是溶质、溶液、溶剂的组成部分的不断自我更新，各种不同的岩溶作用在于可溶岩体内部结构的变化和水体内部化学成分的改变。水文学从水循环角度把岩溶现象加以概括，说明了水循环中的岩溶过程和岩溶作用。

岩溶学属地球系统科学，是研究地球表层可溶岩的时空分布、岩溶作用机理、发生发展规律、岩溶区地质调查、环境保护、资源开发、灾害防治的科学。岩溶是发生在地球表

层岩石圈、水圈、大气圈、生物圈界面上的物理、化学和生物的综合作用的结果，受碳、水、钙三者共同循环的影响。

水文学与岩溶学相关甚密，岩溶发育的基本条件之一是“流动的水”。水文学中一个分支学科是岩溶水文学。水是地球表层中最活跃的物质，水又是太阳能、生物能的重要载体，岩溶作用多数发生在水热条件良好的可溶岩区，岩溶作用的基础就是可溶岩被水溶解。

总之，运用水文学理论与方法有利于岩溶学阐明岩溶的本质，运用岩溶学的理论与方法有利于水文学在岩溶区把握水流运动的机理。岩溶学与水文学结合，可对岩溶区的各种资源、环境问题的发生机制和相互关系作出科学解释，为岩溶区资源、环境合理利用与保护提供科学依据。

三、水文学与生态学

生态学是研究生物（包括动物、植物、微生物及人类本身）及环境（指生物生活中的无机因素）相互关系的科学。所以，生态学涉及地球表层各圈层之间的相互作用，特别是人类活动所导致的环境问题。

水是地球表层生态系统生存、维持稳定的重要条件及生态系统自身组构的重要组成部分。因水循环时空分布的不均匀性，致使地球表层生物对水的适应性与需求也各不相同，生物就有陆生与水生之分。生态学与水文学相互协同，共同研究地球表层各圈层“生态关系”问题，通过水—生物关系研究，共同提出二者学科的内涵，使之与全球变化相关联，保护地球走可持续发展之路。

第二节 生态水文学与岩溶生态水文学

一、生态水文学

目前，地球表层的水与其相关生态系统及水环境的合理利用与防治保护已成为全球科学研究与工程治理的热点问题。由于地球表层的水（大气水、地表水、地下水、土壤水、生命水（生态水））、水生态系统和水环境的多样性和复杂性，科学研究与工程治理需水文学、水力学、生物学、环境科学、地理学、地质学、经济学、社会学等多学科交叉融合与多学科集成运用造就出多个新兴分支科学——生态水文学、环境水文学、生态水力学、环境水力学、环境经济学、生态经济学等。

水文学、水生态和水环境问题研究导致生态水文学及其相关理论、方法、层次、技术和研究基础的发生和发展。国际水文科学协会（IAHS）不断推进水文学研究领域的扩宽与研究内容创新，水文学的创新研究要探索水文循环中的物理、化学和生物集成作用，水文循环的生物控制，气候、水文、环境和全球变化的相互作用等。生态水文学已成为现代水文学发展的一个重要分支，其主要研究内容涉及地球表层各圈层，并以水圈为核心，重点研究“水—土—岩—生物”复合系统的时空配置关系，生态需水量、生物多样性与水资源等。

二、岩溶生态水文学

在中国岩溶区（特别是南方岩溶区）内，由水体（大气水、地表水、土壤水和生态水）、碳酸盐岩（岩溶化程度不同的地表、地下结构）、土体和生物等组成的“水—土—岩—生物”复合体系，并以地表水为支链，岩溶地下河系统和岩溶管道系统为主链，通过岩溶水的运动和循环一以贯之，构成特殊的环境——岩溶多重介质环境。水在岩溶多重介质环境中，有多种介质环境类型及其形态组合，致使岩溶多重介质环境可分为不同层次，具时空展布的多样性，并构成其内岩溶水运动的复杂性与多变性。岩溶多重介质环境的塑造是一种复杂的化学、物理和生物作用过程，并受控于地质、气候和人类活动等多种因素。

岩溶生态水文学以岩溶多重介质环境为对象，将岩溶地区水文学、岩溶学、生态学等综合集成，解答研究、处理岩溶地区内有关资源及环境变化、利用与保护等方面的问题。岩溶生态水文学涉及水文学、生态学和岩溶学三方面的内容。它的提出，其主要目的是突出岩溶地区水文与生态问题的重要性，便于研究岩溶区内各种水文现象和各种生态系统的相似性与差异性，并对岩溶地区的水文气候与生态、景观水文与生态、湿地河流与生态、森林水文与生态等几个方面进行对比研究，探索岩溶生态水文学科学内涵与人类参变作用。

第三节 中国岩溶研究的成就与发展

中国岩溶因其得天独厚的地理地质条件而分布广泛、类型齐全、发育充分、保存完好，为世界其他国家所不及，堪称世界之冠。岩溶研究历史可追溯到纪元之前。《山海经》、《水经注》及《徐霞客游记》等均有关于岩溶的描述记载。时至今日，中国岩溶研究进入到持续深入和创新阶段，出版了大批专门学术著作，开展了一系列科研攻关、国际合作和学术活动，取得了良好的社会与经济效益，扩大了国际影响，奠定了“中国岩溶研究的国际领导地位”。

中国岩溶地区富钙的、不连续的岩石圈，与大气圈、水圈、生物圈关系甚密，致使其内部出现多级多处与水、土、岩和生物联为一体的地表地下双层结构，产生一系列特殊的环境地质问题，如水土流失、旱涝、石漠化、水源枯竭、地面沉降和塌陷、矿山水患等等。例如，中国北方岩溶区（山西岩溶高原）煤炭在上、水在下、煤水一体的基本地质构造格局和中国南方岩溶区（云贵岩溶高原）土地在上、水源在下、水土分离的基本地理分布格局所带来的一系列岩溶水文与生态问题，将是中国新世纪岩溶生态水文学研究的重要内容。

第四节 本教材的特点和学习要求

本教材是一部专业性与实践性都很强的教材。希望各相关院校在使用本教材时，特别注重培养学生独立观察、思考、分析和野外实践的能力，加强野外（现场）教学和实习，运用多媒体教学手段，加深、巩固教学内容。

本教材可供水利类、地质类及相关专业的大学高年级学生和研究生使用，也可供其他工程技术人员参考使用。

第二章 岩溶、岩溶形态与岩溶多重介质环境

第一节 岩溶的含义与科学定义

岩溶，最早称为喀斯特（Karst），这一学术名词从19世纪末或20世纪初便成为世界上通用的一个专门术语。喀斯特是斯洛文尼亚共和国一处石灰岩高原的地名名称，位于斯洛文尼亚与意大利交界处，是世界上最重要的喀斯特区——狄纳尔喀斯特区的一部分，狄纳尔通常被称作“经典喀斯特”区，那里发育了多种多样的喀斯特形态。在当地的文字中，喀斯特写成KARS或KAS，意思是“石头山”或“裸露的岩石”，德语为“KARST”，欧洲的地质地理工作者最早研究了此处名为“喀斯特”的地区的喀斯特现象。由于当时喀斯特（高原）属于奥匈帝国的一部分，而最早的有关研究是由奥匈帝国的主要研究中心——维也纳大学进行，有关著述多用德语书写。于是人们便将石灰岩地区所出现的地表山峰奇特、洼地和落水洞众多、地下多洞穴和地下河、有大量喀斯特泉出露的自然景观称之为喀斯特（karst）。这样一来，喀斯特这一地名便成为一个专门的科学术语。喀斯特（岩溶）包括喀斯特过程和喀斯特现象两个方面，喀斯特作用过程及其所产生的地貌现象和水文现象被统称为喀斯特。

虽然中国对喀斯特现象的考察有悠久的历史，但并没有使用专门的术语。在1931年出版的《地质辞典》上第一次出现karst这一名词，当时译为“喀斯脱尔”。此后，中国一直沿用喀斯特这一名词。“岩溶”这一名词取代“喀斯特”且普遍使用是从20世纪60年代后期开始的。

1966年春，在广西桂林召开了中国地质学会第一届喀斯特学术会议，因为这一术语用音译“喀斯特”不易为社会大众所理解，于是建议另用可反映这种作用与现象的名称来代替，在会上与会代表议论了用中文名词取代“喀斯特”，“岩溶”便是当时被提及的替代名词之一，其内涵与外延与喀斯特相同。现在在中国，“岩溶”和“喀斯特”同时并用，内涵和外延完全相同。

狄纳尔岩溶区一直被誉爲经典岩溶区，但随着中国岩溶科学研究的深入，以广西桂林岩溶峰林地貌为代表的中国南方湿润热带亚热带岩溶峰林地貌愈来愈受到世界岩溶界的重视，英国牛津大学岩溶地貌学家斯威廷（M. M. Sweeting）从1976年开始，十余次到桂林等地进行考察和科学研究，早在1976年第一次访问桂林后就指出：“中国南方岩溶可以成为世界岩溶发育研究的最好模式”。在广西、贵州等省区广泛分布的峰丛、峰林岩溶形态已为国际岩溶学界广为接受，成为全世界湿润热带亚热带岩溶类型的典型形态，fengcong（峰丛）和fenglin（峰林）已成为专业术语，被国际岩溶界所应用。

基于地球系统科学，广义的岩溶，指受大气圈、水圈和生物圈的综合作用，岩石圈可溶性岩石内产生物质流和能量流，并在岩石圈与大气圈、水圈、生物圈的分界面上发生物

质和能量传输，由多种时空尺度物理、化学和生物过程链接，在地球表层可溶性岩石空间形成的地质体及各种现象的统称。狭义的岩溶，主要是指水对可溶性岩石（碳酸盐岩、硫酸盐岩、卤化物岩）等进行以化学溶蚀作用为主，并包括水流的机械侵蚀、崩塌作用，物质和能量的传输作用，生物的生命活动和死亡机体的分解作用等等，以及由此所产生的现象的统称。

第二节 中国岩溶发育的基本条件

岩溶的发育，其基本条件是可溶物质（可溶岩），流动的、具溶蚀能力的水流，及可供水流运动的通道。针对碳酸盐岩岩体讲，影响岩溶发育的主要因素是水流通道的、运动的水流、水流中 CO_2 的含量（ CO_2 的作用，在于由气态变为液态，形成碳酸，其来源有大气、土壤、地球深部和其他酸类的生成等）及地质构造条件和气候因素等。总之，碳酸盐岩岩溶的发育是受岩性、构造、水中 CO_2 含量和气候等诸多因素控制的。首先，地质构造使碳酸盐岩岩体产生破裂、形变，提供水流运动的地理位置和通道；其次，大气降水和气温的演变过程，提供水源和水流运动的梯度场等；再次，各种来源的 CO_2 ，溶于水变为碳酸，发生岩溶作用；再次，运动的水流加速岩溶过程，并使碳酸盐岩岩体产生“碳、水、钙”物质循环；最后，各种因素和作用综合集成，形成碳酸盐岩岩体岩溶的发育。

一、中国岩溶分布状况

全球岩溶地区面积 $2.2 \times 10^7 \text{ km}^2$ ，占全球陆地总面积的 15%，居住人口约 10 亿。世界陆地上主要的岩溶区分布在地中海盆地、北美、中美洲、加勒比海盆地、东南亚、中国、俄罗斯、乌克兰和大洋洲。最为集中的岩溶区是中国的云贵高原与湘桂丘陵盆地、青藏高原、中南欧的阿尔卑斯山、法国中央高原、俄罗斯乌拉尔山地、美国中东部印第安纳州和肯塔基州、澳大利亚南部、越南、老挝北部及加勒比海的古巴、牙买加等地，其中尤以中国云贵高原为核心的中国南方岩溶区分布面积最大，约为 $5.4 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。中国南方岩溶区在全球岩溶区占据重要地位，主要表现在连片面积大，碳酸盐岩时代老且岩石坚硬，未受末次冰盖刨蚀，新生代以来大幅度抬升，岩溶水文和生态系统复杂、脆弱，地貌景观组合优美独特，受亚热带季风影响岩溶发育完整多样等。

中国可溶岩可划分为三大类：硫酸盐类、氯化物类和碳酸盐岩类。

1. 硫酸盐类

硫酸盐类岩石中最重要的是石膏（ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）和硬石膏（ CaSO_4 ）。它们虽然在沉积条件上有所不同，但它们在沉积以后随着赋存条件的改变而相互转化，往往是并存的，所以把它们统称为石膏。

中国石膏储量居世界之首，产地遍及全国各省（区）。从地质时代来看，自太古宙至第四纪的各个地质时期的石膏几乎都有，但是以第三纪、三叠纪、白垩纪、石炭纪和奥陶纪 5 个时期最为重要。就成因而论，属于蒸发型，三叠纪以前的都是海相蒸发型，而侏罗纪以后则主要是陆相蒸发型。

2. 氯化物类

氯化物类包括石盐（亦称岩盐）和光卤石。它是成膏后期卤水进一步浓缩的产物，

往往在其产出的上下部有硬石膏伴生。目前中国所发现的石盐矿点基本上都是中、新生代形成的，其中，新生代的产地占3/4，主要分布于西北地区；而中生代石盐主要分布在西南地区。从成因上讲，所有的石盐均为蒸发型。

与碳酸盐岩相比，硫酸盐和氯化物类岩层的分布比较有限，所以对它们也不进行详细的讨论。但是，从岩溶、水文与工程角度看，它们也占有重要的地位。这些岩石溶解速度快，并对围岩的岩溶发育过程施加影响，造成复杂的水文与工程地质条件。膏岩层被溶蚀淋滤之后，顶板塌落，形成溶塌角砾和陷落柱，在水文地质勘探和工程地质勘探中都必须慎重对待。

3. 碳酸盐岩

碳酸盐岩的岩溶研究无论在理论上，还是在国民经济中的地位都显得特别重要。

中国碳酸盐岩的主要特点是分布广泛且集中，厚度大，时代老，类型繁多，是中国多样性岩溶发育的物质基础。所以，从狭义上说，研究岩溶，最重要的是掌握碳酸盐岩在时间和空间上的分布规律。中国近年来不少单位和作者编制了不同比例尺的碳酸盐岩（或岩溶）类型分布图，并对碳酸盐岩分布面积进行了测量和计算。由于分类原则不同，所以计算的结果也不尽相同。

中国地质科学院岩溶地质研究所编制了一幅“中国可溶岩类型图（1:400万）”，并对中国的碳酸盐岩分布面积进行了测量和计算。作者在编图过程中引进了3个关于面积的概念：

(1) 碳酸盐岩出露面积，即裸露于地表的碳酸盐岩分布面积之总和。

(2) 含碳酸盐岩地层的出露面积，其地层中只有一部分是碳酸盐岩的出露面积，而其余部分为非碳酸盐岩所占据。

(3) 碳酸盐岩分布面积，应该是含碳酸盐岩地层的出露面积与埋藏（覆盖）区的总和，即地壳表层某一深度内（包括地表面）存在沉积的或变质的碳酸盐岩并具有一定厚度的区域，均可纳入碳酸盐岩分布区的范围。

按照这3个概念的计算结果表明，中国碳酸盐岩的出露面积为 $90.7 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，若按碳酸盐岩地层出露面积计，为 $206 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，加上已知的隐伏于不同深度（埋藏在非可溶岩之下者）的碳酸盐岩，其总分布面积可达 $344.3 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，约占国土面积的1/3（图2-1）。

中国的碳酸盐岩基本上分布于天山-阴山纬向构造带以南，即大致在北纬 $42^\circ \sim 43^\circ$ 以南。在此以北仅有小面积的碳酸盐岩零星分布。这一点和现代碳酸盐岩的沉积作用受纬度制约（南、北纬 40° 之间）的认识极为相近。

中国碳酸盐岩区分布以中国北方山西高原及临近省区的岩溶高原（面积 $47 \times 10^4 \text{ km}^2$ ）和中国南方滇、黔、桂岩溶高原以及川、渝、鄂、湘部分地区两个连片面积最为重要。除此之外，碳酸盐岩的分布还有更广阔的地理环境跨度，由北纬 3° 的南海礁岛直到北纬 48° 的小兴安岭地区，从东经 74° 的帕米尔高原直到东经 122° 的台湾岛，从海拔8844.43 m的珠穆朗玛峰直到东海海滨。已经研究过最北面的岩溶是北纬 48° 附近黑龙江省伊春市附近的十二林场岩溶地下河系，还有干谷、地面塌陷、贝窝等溶蚀形态等。上述两个连片发育的岩溶区，在中国经济建设、人民生活 and 历史文化发展中具有重要地位，同时也是世界上连片发育岩溶的重要地区。青藏高原也有较大面积的碳酸盐岩出露，其资

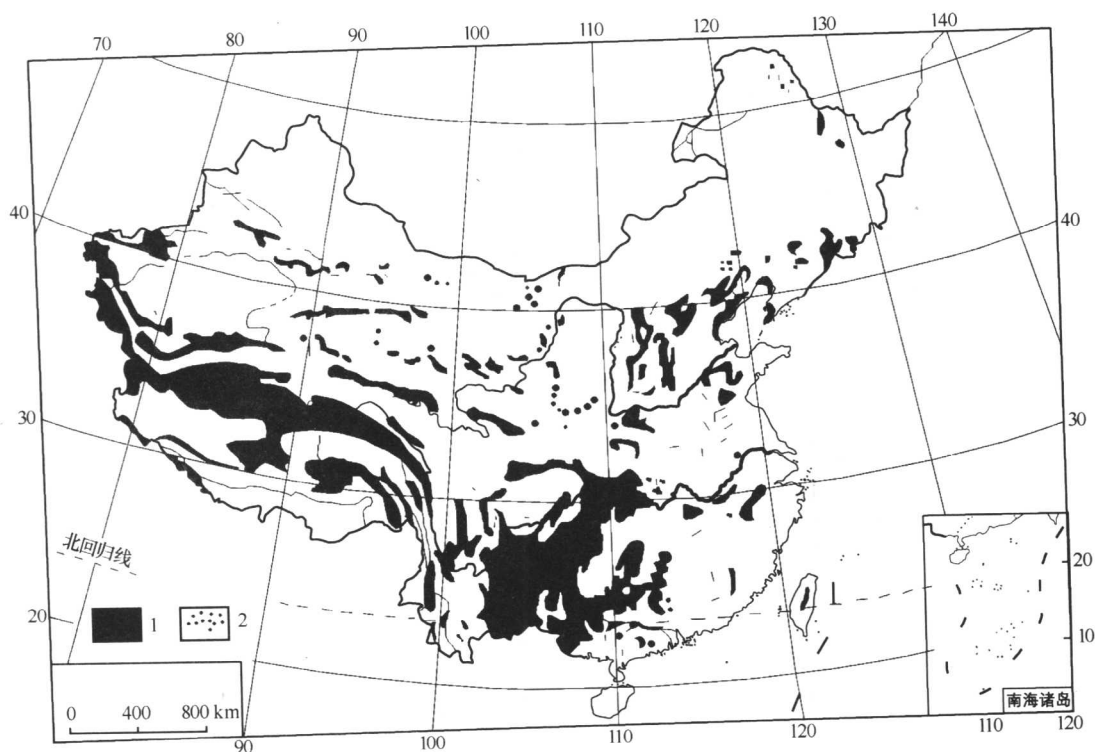


图 2-1 中国岩溶分布图
(据袁道先, 1994)

源、环境问题亦日显突出, 这里气候寒冷, 碳酸盐岩中夹层较多, 对高山岩溶的研究有着重要的科学价值。

4. 碳酸盐类岩石的成分和分类

(1) 纯碳酸盐岩类。主要由方解石 (CaCO_3) 和白云石 [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$] 两种矿物组成, 按它们的相对含量可划分为石灰岩、白云岩及其两者之间的过渡类型 (图 2-2, 表 2-1)。

表 2-1 纯碳酸盐岩定名

岩石名称	方解石含量/%	白云石含量/%
石灰岩	95 ~ 100	0 ~ 5
含白云质石灰岩	75 ~ 95	5 ~ 25
白云质石灰岩	50 ~ 75	25 ~ 50
灰质白云岩	25 ~ 50	50 ~ 75
含灰质白云岩	5 ~ 25	75 ~ 95
白云岩	0 ~ 5	95 ~ 100

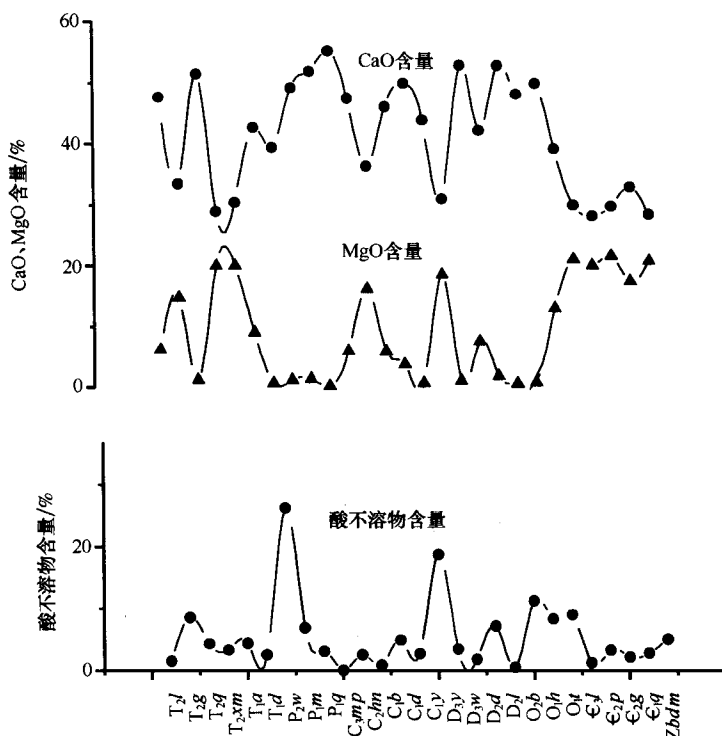


图 2-2 黔中南岩溶区不同层位碳酸盐岩的化学成分
(据聂跃平, 1993)

(2) 不纯碳酸盐岩类。是碳酸盐类(方解石、白云石组成者)与碎屑岩(砂质或粘土质)之间的过渡类型,它们之间的含量相互比例见表 2-2。

表 2-2 碎屑岩与碳酸盐岩过渡岩石分类

岩石类别	岩石名称	碳酸盐 (方解石或白云石) 含量/%	碎屑质 (砂质、粘土质) 含量/%
纯碳酸盐类	石灰岩(白云岩)	95~100	0~5
不纯碳酸盐类	含砂(粘土)质灰岩(白云岩)	75~95	5~25
	砂(粘土)质灰岩(白云岩)	50~75	25~50
碎屑岩类	灰质(白云岩)砂岩(粘土岩)	25~50	50~75
	含灰质(白云岩)砂岩(粘土岩)	5~25	75~95
	砂质(粘土岩)	0~5	95~100

(据任美镔等, 1983)

中国碳酸盐岩除个别层位(如扬子地块的志留系等)酸不溶物含量较高外,从总体来看,成分较纯,主要由方解石(CaCO_3)组成,白云石 $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$ 次之,酸不溶物含量较低。而在同一地区,碳酸盐岩的时代愈老,白云石含量越高。

(3) 碳酸盐类岩石的结构-成因类型。从岩石成因来看,中国碳酸盐岩主要分为三大类:①各种成分的大理岩和结晶灰岩,主要由变质作用形成的,常呈粒状变晶结构;②白云岩,由成岩后生阶段白云岩化作用形成,常呈晶粒结构;③石灰岩,主要是浅海碳酸盐岩台地沉积而成,并往往伴有生物成因。

近年国际上对碳酸盐岩的研究十分重视,提出许多新的分类,其中以美国 R. L. Folk 提出的结构成因分类最具有代表性。这个分类模式与碎屑岩有相似之处,其结构特征与沉积环境密切相关,主要受沉积地区的水流和波浪作用的控制。不同成因类型的碳酸盐岩,具有不同的结构类型,又不同程度地影响到岩溶的发育。大部分碳酸盐岩,尤其是石灰岩,可以根据颗粒、泥晶、亮晶和孔隙 4 种结构组成及其含量进行分类。该分类既满足于给岩石定名,又反映岩石的成因形成环境,并逐渐从定性走向定量,从描述提高到成因分析。结构-成因分类方案是目前世界上最流行、最有使用价值的分类方法。首先,它认为碳酸盐岩基本上是由颗粒、泥晶基质和亮晶胶结物组成,按每种组成相对比例可以划分为 3 种主要类型,加上礁岩和交代白云岩,一共有 5 种主要类型,即亮晶粒屑碳酸盐岩、泥晶粒屑碳酸盐岩、泥晶碳酸盐岩、原地生物礁岩和化学岩以及成岩交代与重结晶亮晶碳酸盐岩(表 2-3)。

这种分类方案对分析碳酸盐岩的沉积环境,对研究岩相古地理、岩溶发育速度和强度、岩溶类型和分布规律都有重要意义。

中国碳酸盐岩时代比较老,所以绝大部分的石灰岩的孔隙度都小于 2%,渗透率几乎等于零;白云岩孔隙度稍高,但大部分都小于 4%,渗透率也相应较高。

(4) 岩溶层组类型及其时空变化规律。根据碳酸盐岩与非碳酸盐岩的厚度比例及其组合形式,岩溶层组类型可划分为连续型、夹层型、互层型、间层型以及它们的复合型(图 2-3)。

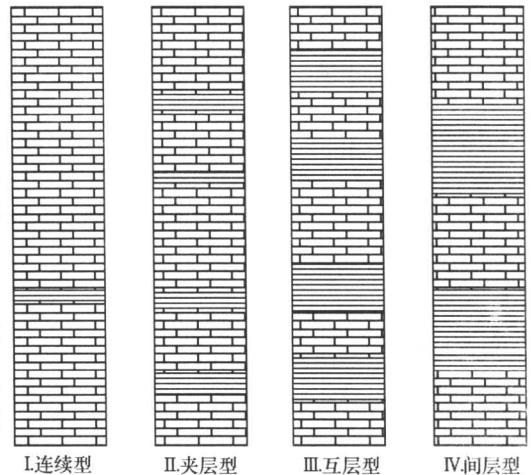


图 2-3 岩溶层组类型示意图

以系为单位,对中国碳酸盐岩集中分布的几个地区(华北区、扬子及江南区、华南区)进行统计,各个时代的岩溶层组类型如图 2-4 所示。

从地质年代来看,寒武纪以前的碳酸盐岩以白云岩连续型或连续型与间层型的复合为主,白云岩的比例随着时代变新而减少;奥陶纪以后的碳酸盐岩则以石灰岩连续型或连续型与间层型的复合为主,石灰岩的比例随着时代的变新而增加。从空间变化规律来看,中国东部从北方到南方,碳酸盐岩出露层位愈来愈新。华北地块主要是中新元古界和下古生界,扬子地块主要是古生界,而华南准地块主要是上古生界。

二、中国岩溶区气候、水文特征

气候是岩溶作用的重要外动力因素。各种气候因子,如气温、降水、蒸发等以及与其有密切关系的因素,如水文、植被、土壤、水文地球化学条件等都有很重要的影响作用。