



岩溶学概论

任美锷 刘振中 主编

岩 溶 学 概 论

任美镠 刘振中 主编

任美镠 刘振中 王飞燕 程俊贤 编著
俞锦标 刘泽纯 潘瑞鸿

商 务 印 书 馆

1983年·北京

岩溶学概论

任美镔 刘振中 主编

任美镔 刘振中 王飞燕 程俊贤 编著
俞锦标 刘泽纯 潘瑞鸿

商务印书馆出版

(北京王府井大街36号)

新华书店北京发行所发行

北京第二新华印刷厂印刷

统一书号：13017·211

1983年4月第1版 开本 850×1168 1/32

1983年4月北京第1次印刷 字数 254千

印数 4,600册 印张 10³/₄，插页 1

定价：1.40元

目 录

前言	1
第一章 绪论	3
一、岩溶的定义	3
二、岩溶学的研究内容	5
三、岩溶研究方法	9
四、岩溶学研究概况	14
第二章 岩溶发育的基本条件	21
一、岩石的可溶性	21
(一) 碳酸盐类岩石的成分和分类	22
(二) 碳酸盐类岩石的结构—成因分类	27
(三) 碳酸盐类岩石的成岩作用	35
二、岩石的透水性	39
(一) 碳酸盐岩的孔隙和裂隙	39
(二) 碳酸盐岩的孔隙度	43
(三) 影响碳酸盐岩透水性的其它因素	44
三、岩溶水的溶蚀力	45
四、岩溶水的运动	48
五、岩溶发育的自然因素	52
(一) 气候对岩溶发育的影响	53
(二) 植被、土壤对岩溶发育的影响	55
(三) 地貌对岩溶发育的影响	57
第三章 岩溶形态及类型	60
一、岩溶个体形态	60

(一) 地表岩溶形态	61
(二) 地下岩溶形态	73
二、岩溶地貌形态组合	78
(一) 地表岩溶形态组合	78
(二) 地表岩溶与地下岩溶形态组合	80
(三) 岩溶与非岩溶地貌组合	81
三、岩溶类型	81
(一) 按可溶性岩石的出露条件划分	81
(二) 按气候带划分	83
(三) 按地质岩性标志划分	83
(四) 以水文标志划分	85
第四章 碳酸盐类岩石的溶蚀机制	86
一、各种可溶性岩石、矿物的溶解度及侵蚀性水的形成	86
(一) 可溶性岩石和矿物的溶解度	86
(二) 水中碳酸的生成	87
(三) 水中其它酸的生成	88
二、碳酸盐类岩石的溶解过程	91
三、混合溶蚀作用	94
(一) 饱和溶液的混合溶蚀作用	94
(二) 温度的混合溶蚀作用	96
(三) 含碳酸盐的水溶液与卤水的混合溶蚀作用	98
第五章 岩溶水	100
一、岩溶水的循环	100
(一) 岩溶水循环的基本模式	101
(二) 岩溶水循环系统分析	102
(三) 岩溶水循环的动力特征	102
(四) 岩溶水循环中的水位	103
(五) 岩溶水的循环速度	104
二、岩溶水的基本特征与分类	105

(一) 岩溶水的基本特征	105
(二) 岩溶水的分类	117
三、岩溶含水层的分类	125
(一) 岩溶含水层的分类	125
(二) 岩溶含水层的主要参数	127
四、岩溶水资源的估算	129
(一) 岩溶水资源的基本概念与分类	129
(二) 岩溶水资源估算的基本方法	130
第六章 岩溶发育的若干问题	154
一、岩溶发育的地带性和多代性	154
(一) 岩溶发育的地带性	155
(二) 岩溶发育的多代性	159
二、岩溶基准面及深部岩溶的发育	161
(一) 岩溶的侵蚀基准面和溶蚀基准面	161
(二) 深部岩溶	163
三、溶洞的成层性与河流阶地的对比	170
(一) 溶洞的成层性	170
(二) 溶洞与河流阶地的对比	173
四、岩溶发育阶段	181
第七章 岩溶洞穴的成因与分类	188
一、洞穴成因	188
二、洞穴分类及其特征	193
(一) 渗流带洞穴	194
(二) 浅饱水带洞穴	198
(三) 深饱水带(深潜水带)洞穴	202
(四) 承压水形成的洞穴	205
三、洞穴的发育阶段	206
四、洞穴气象	212
(一) 洞穴空气的运动	212

(二) 洞穴气温	216
(三) 洞穴湿度	217
第八章 洞穴堆积物	220
一、洞穴堆积物的主要类型	221
(一) 碳酸盐化学沉积	221
(二) 洞穴角砾堆积	230
(三) 洞穴流水堆积	236
(四) 溶蚀残余物质堆积	240
(五) 灰烬层和生物化石堆积	240
二、洞穴堆积物反映的古气候变化	241
(一) 岩溶本身是古气候的一个标志	241
(二) 洞穴堆积所记录的古气候曲线	243
(三) 中国洞穴沉积所反映的古气候变化	245
三、关于洞穴堆积地层的划分和对比	253
(一) 洞穴堆积地层的特点	253
(二) 洞穴堆积地层与洞外沉积地层之间的联系	259
第九章 岩溶的改造利用	262
一、岩溶与水利水电建设	262
(一) 岩溶水动力特征研究	263
(二) 岩溶发育特征研究	268
(三) 岩溶渗漏问题的评价	276
二、岩溶与交通、建设工程	277
(一) 铁路工程中的岩溶问题	277
(二) 基础工程建筑中的岩溶问题	282
(三) 洞室工程的岩溶问题	284
三、岩溶与矿产	286
(一) 岩溶砂矿	286
(二) 岩溶原生矿床	287
(三) 岩溶地区矿井涌水	292

第十章 中国岩溶概述	297
一、影响岩溶发育的因素	297
二、我国的主要岩溶地区	302
(一) 华南地区	302
(二) 西南地区	307
(三) 中部地区	310
(四) 华北地区	314
(五) 干燥和半干燥地区	316
(六) 青藏高原	317
三、中国岩溶的发育规律	318
(一) 岩溶类型	318
(二) 溶洞的形成和分布规律	320
(三) 岩溶水文	322
(四) 古地理问题	323
主要参考文献	330

前 言

岩溶在我国分布很广，在国民经济和科学上有重要意义。因此，南京大学地理系从1960年起即开设岩溶学课程，作为地貌和第四纪地质专业同学的选修课。1962年编写了比较完整的岩溶学讲义（油印本，任美镔、王飞燕合编）。以后在教学中逐年有所修正、增删。由于国内至今还没有一本系统的岩溶学著作出版，历年来，国内各地有关人员向南京大学地理系索取岩溶学讲义的很多。为了满足国内广大岩溶工作者和其他有关方面的需要，兹将原讲义比较系统地加以重写，充实了许多新的内容，公开出版。

建国以来，我国岩溶研究工作有了很大发展。南京大学地理系有关同志亦曾对贵州、云南、广西、长江三峡地区、湖南西部、西藏及北京周口店地区的岩溶进行过考察和研究，积累了大量第一手资料。本书即根据作者对我国岩溶的研究和认识，并参考大量中外文献，编写而成。由于作者专业知识的限制，本书内容偏重于岩溶地貌和洞穴学方面，对岩溶的水文、工程地质方面则论述较少。书中有些论点是作者自己提出的见解，如有不妥之处，希望国内岩溶工作者批评指正。

本书编写过程中参考中外文献不下四、五百种，其中有许多尚未出版的全国第一次（1966年）和第二次（1978年）岩溶会议论文，这里都没有一一注出，仅在此向有关作者致以深切的谢意。书中的附图除作者自编的外，大部引自有关文献；所附照片，除作者自摄者外，多由人民画报社、新华社等单位提供，特在此一并致谢。

本书编写时，由任美镔拟定章节及主要内容，由下列同志分别

执笔：刘振中——第一、二章，第六章第一部分；王飞燕——第三章；俞锦标——第四、七章，第六章第二、三部分；程俊贤、刘振中——第五章；刘振中、王飞燕——第六章第四部分；刘泽纯——第八章；俞锦标、潘瑞鸿——第九章；任美镔、刘振中——第十章。最后由刘振中同志统稿。

任美镔

1981年9月于南京

第一章 绪论

岩溶学是地理学与地质学之间的一门边缘科学，在国外称为喀斯特学。喀斯特，南斯拉夫语为 Kars 或 Kas，意大利语为 Carso，德语为 Karst。起初，喀斯特这一术语，具有一个地名学的意义，它表明具有某种特殊的地貌和水文现象的地理区域。但是，后来这一术语被用作通用名词。喀斯特原来是南斯拉夫西北部伊斯的利亚(Istria)半岛上石灰岩高原的地区名称，因为喀斯特的第一个理论概念是在这一地区建立的，所以，一百年前已开始把这一地区名称用作通用名词，至今“喀斯特”已成为世界各国通用的专门术语。在我国，以前也称作“喀斯特”，在 1966 年我国岩溶学术会议上，决定将“喀斯特”一词改称“岩溶”。

岩溶的研究工作发轫很早。十九世纪末，南斯拉夫学者 J. 斯维奇(Cvijic)研究了喀斯特高原的奇特地貌，并把这种地貌叫做喀斯特。我国对岩溶现象，远在晋代就有文字记载。距今三百多年前，我国明代地理旅行家徐霞客(1586~1641 年)考察了广西、贵州、云南一带的岩溶地貌，探寻了一百多个地下溶洞，详细记述了岩溶地区的景观特征，比欧洲最早的岩溶著作早近二百年。但把岩溶的研究作为一门独立的科学，却还是近二、三十年的事情。

一、岩溶的定义

岩溶是一个术语。过去对其意义的认识，视对于岩溶发育的概念的不同而不同。它的涵义从几乎是溶蚀作用的同义词，一直

到表示岩溶发育的全部过程。由于岩溶发育的诸因素在每一个岩溶区域的形成中的重要性是不同的,因此,对术语本身就不能作出一致的解。近年来,对岩溶涵义的解释逐渐趋于一致:凡是地下水和地表水对可溶性岩石的破坏和改造作用都叫岩溶作用,其中包括化学过程(溶蚀和沉淀)和机械过程(流水侵蚀和沉积、重力崩塌和堆积等)。这种作用所形成的地下形态和地表形态就叫岩溶地貌。岩溶作用及其所产生的水文现象和地貌现象统称岩溶。岩溶包括岩溶过程和岩溶现象两方面,即既包括作用,也包括结果,是地壳中及地面上主要由于可溶性岩石化学溶解引起的地质作用及其所产生的一些现象的总体。岩溶现象包括地下水的循环和动态,地下空洞的形成,以及特殊的地貌和水文网的形成等,即地下和地面的特殊地貌和水文的综合体。过程和现象是密切联系的。因此,一方面固然不能认为岩溶只是一种特殊的地质过程或地质作用;另一方面,研究岩溶也决不能只限于描述岩溶的形态及其地理分布,而且还应该阐明岩溶的形成过程,即阐明岩溶的成因、发育规律与水文地质作用,特别是水化学作用的条件、时间及动力的关系。岩溶学的研究对象就是可溶性岩石地区特殊的地下和地表地貌、水文网和地下水循环。要了解这些,既要研究岩溶现象,更必须深入研究岩溶过程,即岩溶形成过程。

岩溶的形成既以岩石的化学溶解为特征(也有部分侵蚀和潜蚀作用),因此,它的分布只限于可溶性岩石的分布地区,如石灰岩、白云岩、石膏、硬石膏和岩盐分布地区。其中以石灰岩分布面积最广,所以,岩溶大都分布在石灰岩地区。发生在可溶性岩石中的岩溶是真岩溶。另外,在非可溶性岩石,如碎屑岩的砾岩、角砾岩、砂岩以及黄土、粘土和冻土地区,也存在着类似岩溶的现象。它们主要由物理潜蚀作用形成,实质上不同于岩溶,是假岩溶,故不应再称为岩溶,而应属于另一种地貌,即潜蚀地貌、坍塌地貌、融陷

地貌等。因此,研究岩溶时,不能只根据外表形态的相似来理解岩溶,而必须根据发育过程的本质加以区分。

二、岩溶学的研究内容

岩溶学是一门新兴的边缘科学,因此,它的研究内容,随其他有关科学的发展、生产建设的需要,以及新方法新技术的出现,在不断发展、充实和提高之中。

根据岩溶学研究的进展,有的国家把岩溶学分为普通岩溶学、区域岩溶学、工程岩溶学、岩溶水力学和岩溶矿床学。有的学者认为岩溶学的研究主要应包括岩溶水文地质学和工程地质学、岩溶地貌学、岩溶矿床学和洞穴学四部分。由于自然现象是相互联系、相互制约的,故研究岩溶应首先确定岩溶形态间的相互联系,以及岩溶形态与整个自然景观间的相互作用。实际上,岩溶受自然景观带的影响,具有一定的地带性,但在石灰岩地区,由于岩性、构造的影响,自然景观常具有特殊的非地带性特征,成为特殊的岩溶景观,其地面,特别是地下的水文特征也是特殊的。因此,石灰岩区域的综合开发利用有它自己独特的问题,必须综合地研究石灰岩区域的整个自然景观,才能得到解决。应该注意到区域的一切自然地理条件的综合体,包括它的历史演变,对岩溶过程的影响,并阐明岩溶过程和形态对区域景观特点的影响。这种研究对于有关提高农业生产力的区域综合研究特别重要。所以,岩溶学作为一门独立的学科,其内容还应包括岩溶区域的生物地球化学景观和岩溶区域的综合开发利用问题。

近一、二十年,随着地球物理、地球化学、数学、电子技术、遥感技术等方面新成就的应用,使岩溶研究更加广泛和深入。岩溶研究的主要内容有以下几方面:

(1) 岩溶区域发育规律的研究: 许多国家的岩溶研究, 已从原来以局部现象与特征探讨为主, 转入研究大面积区域岩溶发育规律, 并使之成为各项专门性岩溶研究的基础。区域岩溶研究是多方面的综合研究, 主要内容包括: 岩性与地质构造对岩溶发育的控制; 岩溶发育年代与相关沉积物年代的测定; 岩溶发育史及不同时期岩溶发育与成矿的关系; 岩溶地貌特征及演变; 大型岩溶洞穴发育条件、过程与特征; 区域地表水与地下水转化关系和特征; 区域水文地质条件、古气候变迁、气候因素对岩溶发育的影响; 岩溶地区土壤成因与特征; 岩溶发育对植被的影响; 区域岩溶工程地质特征及岩溶作用对区域稳定性的影响; 岩溶发育的地带性特征及岩溶类型划分等。

(2) 岩溶作用和溶蚀理论的研究: 现代岩溶发育强度的定量评价, 可以预测岩溶发育的特征, 因而在解决可溶性岩石分布区各种国民经济问题时具有重要意义。用容积法可以计算岩溶作用现代活动指数。要深入研究岩溶及其区域发育规律, 就必须深入探讨岩溶作用和溶蚀理论。其主要内容有: 碳酸盐矿物和石膏、岩盐等的结晶物质结构及其可溶性, 包括溶解度、溶解速度、溶蚀强度和溶解过程; 在溶蚀过程中, 水溶液的碳酸盐平衡与动力学规律, 包括温度、二氧化碳分压(P_{CO_2})变化、不同水质水溶液的混合等对溶蚀作用的影响, 以及不同浓度与溶蚀之间的关系; 溶液中二氧化碳逸出、进入的物理平衡条件和碳酸盐溶解沉淀的化学平衡条件。具体的还有热动力平衡、环境与系统的特性、离子稳定带的物理化学控制参数; 在不同环境下, 岩溶作用过程中各种矿物生成条件的机理, 以及洞穴堆积物的特征; 根据溶解强度研究不同岩性、不同气候地区岩溶发育的特征, 并根据计算以及模拟试验研究岩溶地貌与岩溶形态变化规律; 岩溶作用过程量与质的变化, 探索不同地区、不同岩溶现象的发育规律。

(3) 岩溶水文地质条件的研究: 主要研究内容有: 地下水地质年龄测定, 如用氦—氩法测定地下水的绝对年龄; 地下水的起源、形成、循环、平衡条件; 地下水与地表水的相互联系与转化; 地下水化学成份的形成、富集、迁移及水量与热动态平衡和交替变化的规律; 洞穴系统的分析及岩溶水的连通试验; 岩溶化岩体内蓄水、气、油的空间分布规律, 岩溶作用与石油生成的关系; 岩溶地下水动力条件与水力学研究, 包括各种岩溶水运动条件与特征、水力参数的确定、数值统计与选择、地下水流网及数学模型的建立。除加强观测与野外试验外, 还利用电子计算机研究有关岩溶地下水水力学问题。随着深部油、气和热水的开发, 已经提出多相渗透理论。水文地质学, 包括古水文地质学、古岩溶学以及碳酸盐岩石中次生渗透发育循环带的影响。

(4) 岩溶工程地质条件与环境地质的研究: 水库渗透问题一直是岩溶工程地质条件的重要研究对象, 近年又有新的发展。如在水库蓄水前采取河水、地下水水样, 分析 O^{18} 和 H^3 等同位素。蓄水后再分析这些同位素的数值变化, 以研究水库渗漏途径与性质。又如采用 Br^{82} 同位素测定地下水的渗流途径、流速与渗透系数。近年还着重研究了由于抽水、疏干对岩溶地块稳定性的影响及引起岩溶塌陷的问题。因为塌陷常常影响到工农业基地、矿区和城镇的安全。许多国家已开始密切注意并开始研究岩溶地区各种经济建设及人类活动对环境的影响及其防治措施。

根据近年国内外岩溶学研究情况及成果以及研究趋势来看, 近期岩溶学研究的主要课题有以下几方面:

岩溶学术语的统一与岩溶类型的划分。在区域综合性岩溶研究进一步发展的基础上, 研究适用于全球性的、统一的岩溶学术语和岩溶类型划分, 以取得对岩溶发育基本特征的统一认识;

岩溶作用过程微观机理的进一步探索研究及有关的定性与定

量分析。这方面的研究可促使进一步掌握岩溶发育的基本规律，并有助于对区域岩溶发育强度和深度予以更科学的评价：

研究地表水与地下水的联系与转化，探索河、湖、海水对岩溶的作用，并定量计算地表水与地下水相互转化的数量；

研究大气和水圈的循环，以及岩溶地下水的补给、循环、排泄和地下汇水带精确边界的划分与圈定；

岩溶水动力条件及岩溶水力学理论问题，研究有关岩溶水文地质方面一系列的计算途径与手段；

研究可溶性岩石经水流溶蚀和侵蚀作用而产生的岩溶地貌的特征及其发生、发展与分布的规律。应结合当地具体情况，进行综合性研究，如当地的气候、植被、土壤和水文条件；岩性、地质构造、水文地质和地貌条件。应注意非地带性和地带性因素。应在其发生、发展、消失、再生及回春作用中加以研究。应与侵蚀和溶蚀基准面在整个地区历史过程中的变化联系起来；

洞穴学的研究。其内容包括洞穴地貌、水文地质和沉积物；洞穴物理、化学和气象学；洞穴生物学；洞穴古生物学和考古学；洞穴勘测技术等；

预测岩溶地下水与泉水的动态，进行近期和长期水文预报。研究供水、蓄水、地下水库的修建、矿山疏干排水以及各种人为因素对岩溶区域水动力和水平衡的影响；

岩溶作用及各种工程对岩溶化块体稳定性的影响，包括岩溶塌陷、岩溶块体滑动稳定性及诱发地震等，并予以精确计算与评价；

岩溶地下水的污染监视及岩溶地下水的自净问题；

岩溶作用，特别是古岩溶作用和深部岩溶作用与石油、天然气及有关金属与非金属矿产形成条件的关系；

岩溶地区生物地球化学景观的研究；

岩溶区域的综合开发和利用问题。

三、 岩溶研究方法

岩溶的研究是一种专门性的研究,它是根据专门拟订的方法,并常采用专门的技术来进行的。同时,研究方法和技术是随着生产建设的要求不断提高和有关学科的不断发展和在日益发展和提高之中。

岩溶的研究大体上可分为综合性研究和解决某一问题的专题研究两大类。

综合性研究是从研究区域的各种自然条件和人类经济活动进行综合分析研究该区岩溶的发生、发展和分布规律及其特征。综合性研究首先要调查研究该地区的地质构造,包括地层的岩性、厚度、构造特点和产状等。在室内分析岩石的化学成分和结构特征,定出其 CaCO_3 和混合物的含量,试验岩石的溶解度及其对岩溶作用的影响。测量可溶性岩石的层理、裂隙(方向、大小、密度)和孔隙,结合岩溶形态分析岩石的透水性。对岩溶地区的水文特征要做详细的调查分析。注意岩溶地区地表水与地下水的密切联系。对地下水的出口,包括泉、河、井,进行观测,并查明其高度及地形部位。必须对泉水、岩溶水和岩溶区的河水进行采样分析。观测岩溶区域潜水位上升速度、新泉的出现以及非间歇泉涌水量的增加与降水或融雪的关系。要查明泉与泉之间或与邻近河水、湖水之间的联系情况。用染色法或示踪法测定它们之间的联系以及水在地下通道内的流速和流向。必须研究岩溶充填物的岩性、结构及其成因,并采取必要数量的标本进行机械、微体动物、孢子花粉等各种分析工作。为了研究充填物松散层的结构、成分及岩溶形态特征,必要时可采用浅探井或手摇钻法。岩溶过程中自然