

中国典型地学景观系列丛书



中国房山岩溶地貌研究

赵 逊 赵 汀 冀显江 刘清源 刘春阳 等编著



地质出版社

中国房山岩溶地貌研究

赵 逊 赵 汀 冀显江 刘清源 刘春阳 等编著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

作者在大量收集国际、国内岩溶研究成果的基础上,综合分析了国内地质公园的有关资料,提出了岩溶地貌的综合分类,对华北干旱-半干旱岩溶地貌的形成条件、演化过程和地貌组合进行了探索,并以房山岩溶地貌为典型案例,对其地质背景、形成过程和古岩溶发育、人类活动的环境影响等进行了研究,对房山世界地质公园地质遗迹的保护和开发利用提出了建议。

本书可供从事岩溶地貌研究的科研人员、地质公园管理人员参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

中国房山岩溶地貌研究/赵逊等编著. —北京:地质出版社,
2010.5

ISBN 978-7-116-06659-5

I. 房… II. ①赵… III. ①岩溶地貌-研究-房山区 IV. ①P931.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 075761 号

ZHONGGUO FANGSHAN YANRONG DIMAO YANJIU

责任编辑:李丛蔚 祁向雷

责任校对:李 玫

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 (编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京天成印务有限责任公司

开 本:787 mm × 1092 mm ¹/₁₆

印 张:25.75

字 数:650 千字

版 次:2010 年 5 月北京第 1 版·第 1 次印刷

定 价:128.00 元

书 号:ISBN 978-7-116-06659-5

(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)

《中国房山岩溶地貌研究》

编辑委员会

高级顾问：宋瑞祥 包叙定 刘志峰 寿嘉华

名誉主任：刘 伟 魏成林

主 任：祁 红

副 主 任：唐淑荣 李燕飞 吴会杰 邢承国 孟祥伟 于舒心 高文才

委 员：(以姓氏笔画为序)

王小明 王福龙 任振秋 白贵成 李力樵 刘汉英 刘建平

刘春阳 刘树斌 刘清源 陈 河 何景利 张书义 张建国

张彦杰 张德义 赵 静 冀显江 穆启文

著 者：赵 逊 赵 汀 冀显江 刘清源 刘春阳

科学顾问：卢耀如

技术负责：赵 逊

参加撰稿：赵 逊 赵 汀 赵希涛 吴中海 吴珍汉 高林志 马寅生

郝美英 董德茂 刘连刚 韦京莲 张远海 朱仕学 陈遼刚

孟祥君 王海生 杨建坡 龚进忠 杨海峰 云桂荣 郑明存

梁志辉 李志喜 张进好 刘增利 张德强 刘孝军 王继东

高 保 周 湛 李连柱 王凤煜 刘学农 张东秀 于云飞

王志鸿 景之星 王 芳 李金水 隗功霞 赵 森

审 稿：冀显江 赵 静 陈 河 王小明 刘清源 刘春阳 王秉军

王友良 高建波 王晓燕 杨进宇 高维群 鲁永来 朱仕学

陈遼刚 孟祥君 王海生 刘孝军 王继东

序 言

由赵汀博士、赵逊教授主持撰写的《中国房山岩溶地貌研究》一书正式出版了，这是在科技部、中国地质调查局、中国地质科学院、中国房山世界地质公园和联合国教科文组织世界地质公园署、国际地质科学联合会北京地质遗产办公室共同支持下完成的。在本书撰写过程中，作者系统地研读了国内外有关的岩溶论著，也得到了国内外岩溶学家、地质公园学家们的帮助。这一成果的问世，对岩溶地貌的研究，特别是华北岩溶地质的研究是有积极贡献的。

赵逊、赵希涛、吴珍汉、马寅生、吴中海、高林志和赵汀等所组成的研究集体，在近7年的时间里，结合太行山-燕山山脉和华北平原-辽东半岛区域的旅游地学资源的调查研究，开展了相关地质公园地质遗迹的综合分析，特别是对华北岩溶地貌形成的区域地质背景、演化过程、控制岩溶景观发育因素及地貌单元组合等方面的科学问题进行了广泛调查和深入探讨，这对于应用岩溶科学指导地学旅游和科学普及，都是一次很有意义的尝试。这份成果对于以科学发展观指导山区旅游产业的发展，对地质公园的建设和规划，以及有关结合新农村建设问题的思考都具有积极的意义。

在广泛收集前人提出的岩溶地貌分类的基础上，作者提出了综合分类新方案。结合区域特点，对华北地区，特别是太行山—燕山一带半干旱温带岩溶地质遗迹组合特征、分布规律、形成条件、演化历史作了深入探讨，对新生代以来华北古夷平面的形成进行了分析，并以房山岩溶地貌作为我国北方岩溶研究的重点，分析了华北新构造运动历史和古气候、古环境变迁的信息。这些方面都是本书有突出的成就之处。值得特别强调的是，本书在岩溶地貌研究的基础上，对北京房山地区旅游资源开发条件、环境和规划、地质公园的建设、地质遗产的保护，以及地学旅游对区域经济发展、经济结构的调整、当地居民就业等诸多方面，提出了较好的建议，这也是地质工作为经济发展服务的一个具体体现。

当然，本书在编纂过程中，对有关资料的归纳分析尚不够深入；在阐述

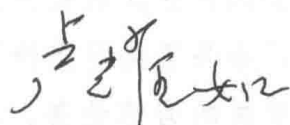
新论点方面，新的监测、实验数据尚感欠缺，有待作者以后进一步改进。

近些年来，有关岩溶方面的新论著是不多的。这与我国改革开放以来，在岩溶研究方面取得了许多建设成就是不相匹配的。赵汀、赵逊等作者的这一新成果，应是一朵难得的岩溶科技之花。特别是将岩溶地质研究与地质公园建设紧密联系，作出了较大贡献。

为此，拜读之后，欣然为之作序，愿今后能有更多更好的岩溶成果问世。

中国工程院院士

中国地质科学院研究员



2009年12月26日

前 言

岩溶地貌是全球分布广泛的地质旅游资源，每年吸引大批游人参观。中国岩溶地貌发展典型、类型齐全，形成了奇峰深谷、异洞怪石的旅游景观。因气候差异、地形分化、岩石结构构造不同，造就了不同的岩溶地貌特征。华北是重要的岩溶地貌区域之一。北京房山地区的岩溶地貌是具有特色的北方岩溶的典型代表。

近一个世纪以来，大量中外地质学家来房山地区开展了地质调查和科学研究，取得了丰硕的成果。特别是近 30 年来，刘东生、卢耀如、袁道先、宋天锐、乔秀夫、鲍亦冈、刘道华、吕金波、韩行瑞、朱学稳、钱方、张远海、鲍尔冈、贺可强、李吉均、杨世瑜、冯增昭、王英华、沙庆安、黄楚兴、蒋忠诚、谭明等的工作把全区岩溶研究推向了一个新的阶段。本书引用了上述人员的研究成果和部分图片，特别是各有关地质公园的申报材料，在此一并表示感谢。韩国 Kyung Sik Woo 教授出版的欧亚各国的岩溶资料，对岩溶地质作用的形成过程和国际对比都是十分有参考价值的。

2004 年以来，中国地质科学院赵逊、赵希涛、吴珍汉、马寅生、高林志、吴中海、赵汀等组成的研究集体在对太行山—燕山、华北—辽东地区的旅游地质资源研究过程中，对华北（包括房山）地区岩溶地貌的景观组合和形成过程做了大量研究工作，对本区岩溶的地质演化有了更加深入的了解。

自 2006 年房山成为世界地质公园以来，市区领导高度重视，以科学发展观指导公园建设，为了达到联合国教科文组织对世界地质公园发展的要求，把公园建成科学研究与科学普及基地，更好地服务于社会，服务于大众，特支持了本课题。参与本课题的专家齐心协力，在很短的时间内，收集了大量前人工作成果，经综合分析、对比研究编成此书，在此特向前辈和同仁们致谢，感谢他们的辛勤劳动和科学精神。同时，也感谢各位合作者的团结共事、按时完成了各人的任务。希望本书能为地质公园建设和科普工作贡献一份力量。

本书是一套系列著作之一，丛书共包括 4 本：《中国地质景观与地学旅游》、《云台地貌与美国大峡谷地貌对比》、《论丹霞地貌》、《中国房山岩溶地貌研究》。如有可能，还将出版其他有关地质遗迹专著，如花岗岩地貌、火山岩地貌、海蚀地貌、冰川地貌等。

本系列丛书是作者及研究团队近十年来在地质遗迹和地质公园调查、研究、规划、建设和保护的系统工作中，收集前人研究成果，整理补充、取样分析、升华提高所获得的心得体会。在科技部、国土资源部、中国地质调查局、中国地质科学院及云台山、丹霞山和房山等世界地质公园的大力支持下，本丛书编著成集，一并问世。但愿这一工作能对中国和世界地质公园的发展有所帮助、裨益。

因时间紧迫，加之作者研究积累有限，在引用原作者的论述和附图照片时，未能全部标注，甚至有不少疏漏，敬请读者指出和原谅。

目 录

序 言

前 言

第一章 岩溶地质作用和岩溶地貌	(1)
第一节 概述	(1)
第二节 中国岩溶地貌景观的类型划分	(9)
第三节 中国几种典型岩溶地貌景观实例及分析	(20)
第二章 岩溶地质作用发育的主要控制因素	(67)
第一节 岩石因素	(67)
第二节 岩石特征对岩溶发育的影响	(82)
第三节 气候条件对岩溶发育的影响	(93)
第四节 生物对岩溶发育的作用和影响	(95)
第五节 岩溶水动力特征及水动力条件	(97)
第三章 华北岩溶的发育	(108)
第一节 华北区域地质背景	(108)
第二节 构造演化阶段划分与构造演化	(112)
第三节 主要分界断裂	(129)
第四节 新生代构造运动规律	(130)
第五节 第四纪地质与地貌演化及成景作用	(132)
第六节 第四纪地层时代与环境演化	(146)
第七节 华北地区第四纪古气候进程	(154)
第八节 华北岩溶发育的影响因素	(157)
第九节 可溶岩的岩石类型	(159)
第十节 华北岩溶水动力条件	(162)
第十一节 华北第四纪古地理概述	(175)
第十二节 华北地区山地层状地貌变迁与河流演化	(178)
第四章 房山岩溶地貌特征及形成过程	(207)
第一节 房山岩溶地貌形成的地质地理背景	(207)
第二节 北京及邻区区域构造背景	(208)

第三节 地质构造背景与岩溶地质作用的关系 (211)

第四节 北京及邻区的主要可溶岩 (223)

第五节 北京地区的活动断裂和新构造运动特征 (238)

第六节 不同类型沉积物及相关地貌单元的形成时代 (252)

第七节 岩溶地质遗产 (255)

第八节 北京地区现代岩溶发育强度研究 (260)

第九节 房山地区地表岩溶地貌 (269)

第十节 房山岩溶形态组合及特殊岩溶地貌、洞穴的形成机理 (279)

第十一节 房山岩溶洞穴 (282)

第十二节 北京地区岩溶发育史及岩溶环境变迁 (311)

第五章 岩溶地貌的国内国际对比 (316)

第一节 中国岩溶概况 (316)

第二节 中国岩溶旅游地质资源 (320)

第三节 全球岩溶分布及研究概况 (327)

第四节 全球岩溶对比 (340)

第五节 美国国家公园中的岩溶地质景观 (351)

第六节 硫酸盐岩岩溶洞穴 (357)

第七节 硫酸盐岩与碳酸盐岩复合岩溶作用形成的岩溶地貌 (362)

第六章 房山岩溶地貌景观的保护和利用 (364)

结 论 (380)

参考文献 (383)

Abstract (395)

第一章 岩溶地质作用和岩溶地貌

第一节 概 述

一、岩溶有关基本概念

岩溶，国外称为 Karst（音译为喀斯特）。原为 Kras，即石头的意思，是斯洛文尼亚境内亚得里亚海北端伊斯特利亚半岛（Istria Peninsula）上一个有石灰岩分布的地方的地名。塞尔维亚地理学家茨约伊奇首先以岩石裸露、植被稀疏的这个地方的地名用于这一特色地貌，因其靠近意大利，意大利人称之为 Carso，而德国人称之为 Karst。早期研究灰岩景观多用德文，后来即以德语 Karst 命名这类地貌现象，英文也沿用此名称。我国在引进这一专有名词时，音译为“喀斯特”。

因为“喀斯特”在我国分布广泛且典型，与广大民众日常生活及工农业建设有密切的关系，而用音译“喀斯特”不易为群众所理解，后选用“岩溶”一词以代之。因为奇峰异洞这种地质现象，是以碳酸盐为主要成分的岩石被水溶解这一主导因素产生的，岩溶，也反映了这种地质作用的本质。当前“喀斯特”和“岩溶”的使用都十分普遍。在国外交流中，仍用 Karst。

岩溶，主要是指水对可溶性岩石——碳酸盐岩（石灰岩、白云岩等）、硫酸盐岩（石膏、硬石膏等）和卤化物岩（岩盐）等的溶蚀作用，及因其所形成的地表及地下的各种景观与现象。在岩溶作用过程中，经常伴随发生侵蚀、潜蚀、冲蚀、崩塌、塌陷与滑动，以及化学、物理与机械的风化、搬运、堆积与沉积等作用，还有不少的生物，例如微生物、菌类、藻类、植物与动物的生命活动及其死亡机体的分解作用等，都可对岩溶的发育产生影响。岩溶作用多数是发生在大气降水的条件下，也可在冰雪覆盖的环境中进行；地下的热液活动则可产生热液岩溶作用。所有这些作用，都是以可溶岩被水溶解的作用为基础的，所以最本质的现象就是“岩石的溶解”，即岩溶作用（卢耀如，2001，2003，2007；黄楚兴，杨世瑜，2008；中科院中国自然地理编委会，1980）。

岩溶作用的结果，通常是在地表形成各种奇峰、柱石、洼地、谷地，并出现大泉，塑造出许多引人入胜的景观；在地下则发育成各种溶隙、通道、溶洞、暗河，形成多种宝贵的矿产资源，构成了人们神往的地下迷宫。

二、岩溶景观分类

各种地表、地下岩溶形态的存在，是区分岩溶环境与非岩溶环境的基本依据。黄楚兴、杨世瑜在研究岩溶景观的分类时，从大的方面把岩溶景观分为地表岩溶景观、地下岩溶景观和过渡带岩溶景观3类（表1-1）。

表 1-1 岩溶地貌分类

类	亚类	景观	分类依据			实例	
			地质作用或地质环境	科学内涵	可操作性		
地表岩溶景观	岩溶丘陵	小型溶蚀地貌	石林、石芽、石脊	为小型溶蚀正地形，在地表水和地下水共同作用下，形成具有一定高度（>5 m）和规模的剑状、塔状、槽状等形态的石柱	作为岩溶旅游地质资源或作为特殊岩溶地貌类型的价值	科考、科普旅游、观光休闲游。可作假山、盆景等供人观赏	云南石林、四川兴文、湖南洛塔、文本宁明
		岩溶峡谷	溶槽、溶沟、溶缝、溶窝、溶纹	为小型溶蚀负地形，指刻入岩石表面或沿构造裂隙发育的石质沟槽，表面呈棋盘状、方格状，横剖面呈楔形、V 型或 U 形，长度不一，深数十厘米至数米不等	研究其早期地貌发育状态，为当地岩溶地貌的成因研究提供科学依据	科考休闲漂流	云南石林、四川兴文
			岩溶峡谷	两壁峭立、中部狭窄，常有河流通过	现代溶蚀、侵蚀和地壳运动作用研究	生态林或经济林果开发的后备基地	贵州兴义马岭河、云南香格里拉、碧峰峡谷等
			溶丘	山脉有一定连续性，相对高差一般不超过 500 m。小山包和小盆地一般相间出现。地表演化成泛滥平原	石灰岩山区的生态重建和岩漠化		长江两侧的亚热带湿润岩溶区
	岩溶石山	孤峰	残峰、彼此相距远大于峰高	岩溶发育最后阶段科研、科普、旅游		滇黔桂某些区域	
		崮	华北多见水平厚层冰劈崩塌	干旱低温形成科研、旅游		华北、山东	
		常态山	有连续山脊和地表排水网，洼地不发育，地面高度接近侵蚀基准面	石灰岩山区的生态重建；石山资源的开采和利用	观光休闲游、科普旅游	北京居庸关岩溶地貌、房山地区	
		峰丛	没有连续的山脊和完整的地表排水网，但地下排水网很发达。基座相连，即在两山之间形成鞍部	石灰岩山区的生态重建和岩溶地貌演化规律	观光休闲游、科普旅游	滇东南、桂西北、黔西南	
		峰林	没有连续的山脊和完整的地表排水网，地下排水网很发达，基座不相连。成群孤立的石山地形，地下河顶板大量陷落，地下河向地表河转化	石灰岩山区的生态重建和岩溶地貌演化规律	观光休闲游、科普旅游，石材资源的利用，岩溶地区的生态重建	贵州、广西大部分岩溶地貌，如桂林	
		断崖长墙	差异升降、崩塌、冻融、峰墙、天生桥	第四纪构造地貌演化阶段	旅游、科研	太行山（云地貌为代表）	

续表

类	亚类	景观类型	景观	分类依据			实例
				地质作用或地质环境	科学内涵	可操作性	
地表岩溶景观	岩溶盆地	坡立谷		大型的岩溶盆地，宽数百米至数公里，长数公里至数十公里。盆地的边坡陡峭，底部平坦，常有河流穿过。常被残留的棕黄色土、红色土及河流冲积物所覆盖	岩溶石山地区水文系统演化	观光休闲游、科普旅游	滇东南文山平远街、广南八宝
		洼地	溶蚀洼地	在碳酸盐岩表面的封闭状溶坑，底平、壁陡，直径几十米至上千米	水土保持和旱、涝灾害研究基地	一般在农业上作为土地资源开发	桂林、云南东南部
			塌陷(沉陷)洼地	在溶蚀、冲蚀等物理、化学作用下，由于重力失衡而发生岩溶崩塌或陷落	岩溶地区的公路、铁路等工程地质问题	常引起工程地质问题，为岩溶地区工程地质勘察最重要的目标	各种岩溶区，特别是地下水丰富的地区
			潜蚀洼地	地表以下在岩溶作用下发育的封闭状溶蚀洼地	岩溶地区水库渗漏研究	常引起工程地质问题，为岩溶地区工程地质勘探最重要的目标	各种岩溶区，特别是地下水丰富的地区
		岩溶湖		由溶蚀作用形成深而狭窄的山谷，两旁有峭壁	岩溶地区珍贵的旅游资源和水资源集于一身，为发育旅游业和农业提供便利	大众休闲旅游	贵州、广西、云南东南
				岩溶高原和石灰岩地区经过长期的溶蚀破坏，地形高度逐渐降低，起伏减小，最后发展成为面积广阔的平原	平原面的发育严格地受地下潜水面和石灰岩内不透水层面的控制	农业开发和利用	广西北海、桂林、南宁
地下岩溶景观	溶洞	洞穴形态	通道	由碳酸盐岩形成、人能进入的地下空间，常伴随有波痕、涡穴、悬吊岩等洞穴小形态	洞穴生物与史前考古研究、洞穴沉积物中的古环境信息	洞穴观光和洞穴探险、洞穴考古研究	浙江瑶琳洞、贵州织金洞、桂林芦笛岩、云南九乡
			洞室与洞厅				
			石窟				
		洞穴物	堆积物	地下水的下渗过程中所溶解的CaCO ₃ 在洞穴中沉淀形成的钟乳石、石笋、石柱、石帘、石华等	具有独特的观赏价值和丰富的古环境、古气候信息	观光、科考	绝大部分洞穴中不同程度存在
			碎屑堆积物	侵蚀崩塌、陷落、滑动、压裂、古溶洞角砾岩，流水侵蚀溶蚀重力石膏盐层的溶解和膨胀	特殊岩溶条件和过程研究	科研、科普、观光、地下空间稳定性	重庆武隆
			化学堆积物	渗滴水、管状水、陨状水、片流水、底面水、毛细水、飞溅水、凝结水、暗塘水、特殊水流、冷水流和混合水流等形成鹅管、石钟乳、石筍，石柱、石塘、石瀑、石幔、石旗、石坝、石龙、石母、水奶石、石针、石毛卷曲石、穴珠、葡萄钙板	不同水流形成不同化学沉积	研究水文条件气候变化	北京房山、河北临城

续表

类	亚类	景观型	景观	分类依据			实例
				地质作用或地质环境	科学内涵	可操作性	
地下岩溶景观	溶洞	生物作用堆积物	蝙蝠粪，近洞苔藻与钙华同沉积	生物演化	科研、观光	贵州兴义	
	暗河		地表河沿岩石裂隙渗入地下，岩石经过溶蚀、坍塌以及水的搬运，在地下形成了大小不同、长短不一、错综复杂的管道系统	地下水库拟建和水污染调查、生物多样性考察	探险，地下水资源利用	广西乐业、云南开远南洞	
过渡带岩溶景观	瀑布		由溶蚀作用引起的岩溶塌陷或溯源侵蚀而使河身突然降落	地表水资源利用科学调查和研究	科考、漂流、探险	贵州黄果树、云南石林大叠水	
	岩溶泉	泉华	由富含碳酸钙的热泉或冷泉于洞内或洞外河床中，或洞口附近形成的次生沉积物	古环境和古气候研究、人类活动对环境的影响	观光、科考	四川九寨沟、云南白水台	
		岩溶大泉	岩溶泉即是岩溶水的天然露头			广西平果县果化泉、柳城县沙浦乡杨屋泉、永福县三皇乡桥头村泉	
		岩溶温泉	即地下热水			广西象州花池、宁明驮龙狮子山上升泉、贺州新路白面山、玉林市福绵船埠	
		虹吸泉	水流大小有一定规律变化的潮汐泉			广西德保县马隘和兴安白石的“喊泉”、灌阳潮汐泉、阳朔杨堤多湖泉	
	落水洞		地表水沿两组可溶性岩石垂直裂隙交叉部位向下渗流处，即地表水向地下水转化的通道	常与溶斗、地下河相伴生，对岩溶地区水资源利用方面有重要意义	科考	滇中地区	
	天坑	大型落水洞	围壁垂直高深 > 200 m，内径 > 300 m 的塌陷洞	与地下河溶洞伴生，生物多样性	科考	高峰丛的桂西	

(据黄楚兴，杨世瑜，2008，有部分修改)

地表岩溶景观：溶蚀作用为主。按其地貌特征可分为岩溶丘陵、岩溶石山、岩溶平原和岩溶盆地等 4 个亚类，也包括其组合形态。岩溶丘陵包括小型溶蚀盆地、岩溶峡谷和溶丘 3 种景观；岩溶石山包括常态山、孤峰、峰丛、峰林等景观；岩溶盆地包括坡立谷、洼地和岩溶湖。

地下岩溶景观：存在于地表松散沉积物之下或岩石中的岩溶作用，以地下水的溶蚀作用和潜蚀作用为主。主要类型有岩溶洞穴和暗河，地下河是不规则的管流，有些地段是承压水。管道高低、宽窄变化复杂，可出现地下湖、主流和大小支流，形成地下水系。

过渡带岩溶景观：岩溶作用发生在地表和地下，具双层水系结构，共同作用形成部分在地表、部分在地下的岩溶景观，如瀑布、落水洞、主泉华、天生桥和漏斗、天坑。在构造运动的差异升降影响下，由局部构造或岩性、水文等条件的不同而形成的差异侵蚀引起。岩溶作用形成的岩溶景观，有很多都是引人入胜的岩溶旅游地学资源。

参照地貌学上对地形的分类，把岩溶的地表形态分为岩溶丘陵、岩溶石山、岩溶平原和岩溶盆地。这些地貌景观单元中有多种景观元素具有自然美学价值、科学研究价值，还承载了丰富的人文历史和文化内涵，人们不仅从科学的角度去索本求源，更从文化的角度去挖掘岩溶景观对人类社会经济发展的深刻影响。

1. 岩溶丘陵

(1) 溶沟和溶槽。在温暖湿润的气候条件下，地表水沿石灰岩表面流动，顺节理、裂隙溶蚀，形成宽浅不一的溶蚀沟槽，称为溶沟。溶槽指刻入岩石表面的石质沟槽，横剖面呈楔形、V形或U形。

(2) 石芽、石脊和石林。溶沟之间凸起的脊、柱称为芽。石芽的高度不等，可从数十厘米到数米。石芽除露出地面的，还有埋在地下的，是由地下水在下渗过程中溶蚀而成。发育在厚层石灰岩中的高大石芽，其间有平行的垂直溶沟、沟深坡陡，形似森林，故名石林。分布于山顶、山脊、山坡、洼地等各种地形中，其单体和组合形态多样，有剑状、塔状、蘑菇状、针状、剑状、柱状，表面分布各种溶痕、溶沟和溶窝。相对突出于沟槽之间的尖形石，竖立大沟槽包围中的齿形岩石称为石芽，若石芽呈岭脊状延伸称为石脊。石芽和石脊的形状有笋状、菌状、柱状、尖刀状等，排列形态有不规则、车轨状或方格状，大小不一，高度与可溶岩的厚度、纯度有关，一般数厘米至数米。

(3) 岩溶峡谷。岩溶峡谷是指两岸植被茂密，景色秀丽，水量充沛，河水清澈，可游览、观光和漂流的河段，漓江（桂林—阳朔漓江峡谷段）大圩至兴坪下游的渔村峡谷段景色最佳。云南岩溶峡谷多在溶蚀、侵蚀、水蚀等作用下形成深而狭窄的山谷，两侧伴有峭壁。

(4) 溶丘。岩溶发育的晚期阶段，多数峰林已被溶蚀成残丘平地，周边坡角较缓，高度不大，呈穹窿状，称溶丘。少数较高山峰零星孤立地耸立在平原之中，周边崖壁陡峭，称为孤峰，如桂林的独秀峰、伏波山等。地表长期处于相对稳定状态，由峰林石山进一步溶蚀、风化、破坏而成。

2. 岩溶石山

在岩溶作用下形成的独特山地、奇异的形态地貌。地表岩石裸露，山峰尖锐挺拔，山坡陡峭，地面坎坷不平，布满石芽、石脊、石沟、石槽、落水洞及消水坑等。石山内部常有纵横交错和大小不等的溶洞、裂隙、坑道、地下河（暗河），称为岩溶山。常见岩溶石山有常态山、峰丛石山和峰林石山3种类型。

(1) 常态山。有连续的山脊和完整的地表排水网，洼地不发育，同非岩溶区的地貌相似。发育于干旱、半干旱的气候条件。具有溶蚀地貌的特点。

(2) 峰丛石山。峰丛主要发育在碳酸盐岩山地或高原边缘地区，是岩溶地貌发育的

早期阶段。它是基座相连而峰顶分离的石山群，基座的厚度大于峰顶的厚度。峰顶之间为深陷的岩溶洼地所分隔。岩溶峰丛常与岩溶洼地相伴产出，称为峰丛洼地。峰丛洼地由众多高低错落的连座尖峭（锥状）山峰与其间形态各异的封闭洼地组成，在峰丛洼地中常蕴藏有很多巨大的洞穴和岩溶塌陷漏斗。

（3）峰林石山。岩溶地貌进一步发展，则形成基座分离的陡峭山峰，远望如林，称为峰林，我国广西的桂林、阳朔等地为典型代表。它是基座分离稍有相连的石山群，称为“塔状岩溶”。石山群的排列受地质构造影响，在褶皱紧密、岩层陡倾的地区，石山呈脊状排列不规则，有的呈星点状。峰丛和峰林往往相伴分布，一般是峰丛位于山地的中心，峰林在山地的边缘，孤峰在山地以外的溶蚀平原、岩溶盆地或坡立谷地之中。它们多发育在岩性较纯、厚度较大并多节理、断层的地区。石峰拔地而起，姿态万千，构成立体画面。

3. 岩溶平原

峰林平原由峰林、孤（残）峰与岩溶平原组合而成，岩溶高原和石灰岩山地经过长期的溶蚀破坏，降低，起伏减小，最后成为广阔的平原。平原面的发育严格地受地下潜水面和石灰岩内不透水层面的控制，而且多与岩溶区内或边缘地带的河流作用有关，因此多沿河流两岸分布。溶洞多而因高程差异成层出现冲蚀、溶蚀作用，在河岸岩石上形成延伸远的凹槽和脚洞。

4. 岩溶盆地

溶蚀洼地进一步扩展形成宽坦的盆地，称为岩溶盆地，盆地是岩溶作用较晚期的产物，岩溶地貌从正地貌开始向负地貌发展，常伴随有坡立谷、岩溶洼地和岩溶湖等3种岩溶形态。

（1）坡立谷。坡立谷（Polje），地貌上指大型岩溶盆地（横谷、坝子）宽数百米至数公里，长数公里至数十公里。盆地的边坡陡峭，底部平坦，常有河流穿过，河流由石山一端的出水洞或冒水孔流出，注入另一端的石山溶洞中，或潜入落水洞之下。坡立谷的发育有3种类型：发育于可溶岩与非溶岩的接触地带；发育在断陷盆地或向斜构造基础之上；完全发育在可溶岩区，由于潜水面埋藏浅，受强烈的溶蚀及地表河的侵蚀，并且有河流堆积，堆积层厚2~3 m。这种土层不易漏水，当地下水位高、沼泽地多时，易积水成为临时湖泊，常被残留的棕黄色黏土、红色黏土及河流冲积物所覆盖，坡立谷常与峰林石山相伴生。地形平坦，河流冲积、堆积土层较厚，水源充足，其中落水洞因泥沙淤塞，或为临时湖沼。

（2）岩溶洼地。封闭性的小型盆地，平面形状有圆形、椭圆形、星形、长条形。垂直形态有碟形、漏斗形和筒形，由四周向中心倾斜，深度较浅。洼地基底为岩石，也有砂、黏土层覆盖。这些土层多是岩石风化后的残留物。洼地是包气带岩溶作用下的产物，岩溶作用初期的地貌标志，岩溶高原上普遍发育。岩溶洼地种类主要有溶蚀洼地、塌陷洼地及沉陷洼地等。

（3）岩溶湖指大型封闭岩溶洼地中的较大常年积水盆地。天然溶蚀湖、溶蚀洼地底部被红土和其他风化物覆盖，其底部的漏斗、落水洞等流水通道被堵，积水成为岩溶湖。一般规模小，与奇特的岩溶地貌如岩溶丘陵、峰丛洼地相映衬，具有较大的旅游意义。

5. 洞穴

岩溶洞穴分类方案有很多，未形成统一意见。根据洞穴的定义，洞穴实际上由洞穴空

间（洞腔）及围绕其四周的岩体（围岩）两部分构成。

洞穴分类

（1）按其所形成的围岩性质分有：①碳酸盐岩洞，由碳酸盐岩岩溶作用形成，在我国分布最广，数量最多，规模最大；②石膏洞，洞体一般规模不大，不如碳酸盐岩岩洞普遍；③砾岩洞，形成于钙质胶结的砾岩中，在我国数量很少，一般长度不大。除可溶性岩石中形成洞壳外，在喷发岩、侵入岩和其他沉积岩中因外力侵蚀和崩塌亦可形成各种天然岩洞。

（2）按形成洞穴的主要地质作用分有：①岩溶洞穴；②非岩溶洞穴。

（3）按洞穴与围岩形成先后分有：①原生洞，洞穴与围岩同时形成，如岩堆洞、礁洞、灰华洞；②次生洞，洞穴形成于围岩之后，自然界大多数洞穴属于此类，如岩溶洞、构造洞、风化洞、海蚀洞等。

（4）按洞穴大小分有：①单一洞穴；②洞穴系统。

（5）按洞穴水文特征分有：①干洞，即渗流带（包气带）洞穴（vadose cave）；②水洞，包括地下水面洞（water table cave）和潜流带洞穴（phreatic cave）。

（6）按洞穴形态特征分有：①垂向洞穴；②横向洞穴。

（7）按岩溶洞穴成因类型分：目前较为普遍接受的方案是根据其所处的水动水带划分为渗流带洞穴、潜流带洞穴和地下水面洞穴。

洞穴形态

洞穴形态是洞穴形成过程中所产生的溶蚀、侵蚀与崩塌形态。基本形态有3种，即通道、洞室与洞厅、石窟，洞穴形态又分洞穴展布形式，包括平面形态、断面形态和三维空间组合形态；洞穴是指发育在通道表面的各种小型溶蚀侵蚀形态，如洞顶天沟、倒石牙、天锅、洞壁槽、波痕、角石、交织穴、洞底涡穴等。

（1）通道。通道是指人能通过的管状洞的总称。溶蚀通道的直径较小，如在多补给点和承压含水层中的通道经常纵横交错，或多层展布。通道的发育多与地下河的作用有关，而且在通道顶部往往遗留着昔日河水溶蚀的痕迹。如：①洞顶平坦面，显示昔日地下河床完全充水时水面溶蚀的结果。②石锅及贝穴，二者是切入洞顶的小地形。其中石锅如反置的锅形，口圆，直径多在数十厘米以内，散布于洞顶；有的凹入较深，如袋形或烟囱形，其成因有水流旋涡说、混合溶蚀说等。贝穴呈小浅窝状成群发育，单体如反置的贝壳，直径数厘米至数十厘米，深度较小，纵剖面不对称，水流上游陡下游缓。③边槽，横剖面为平卧的槽形，刻切入洞壁的下方，宽深约数十厘米，长度很大，沿地下河床两壁分布。它是在地下河、湖水面长期稳定时，由水面对岩石溶蚀所成。

（2）洞室和洞厅。这是长、宽、高相似的单个溶洞或洞段，规模小的称洞室，大的称洞厅，常发育在岩性易溶、裂隙较密集或断裂交叉、水流交汇的地段。

（3）石窟。石窟是沿水平方向切入陡坡、陡壁或洞壁的单个浅洞，洞口大，但深度小，状似神龛，又称“岩屋”。其成因常与河流冲蚀或差异溶蚀有关，也有大溶洞崩塌破坏的残余。

各种溶蚀通道、洞室、洞厅常交叉连通，构成洞穴系统，其组合方式与结构形状十分复杂，反映了形成机制、地质结构、环境条件及成洞历史的差异。根据组合形态的结构特点可分为横向树枝状、垂向树枝状、格子状迷宫、蜂窝状迷宫、楼层状等洞穴系统。

洞穴物质

(1) 洞穴沉积物。洞穴中由化学过饱和水体沉淀而成的后期化学沉积物统称为次生化学沉积,也称为钟乳石类沉积。洞穴碳酸盐沉积的主要矿物是方解石(Calcite)和文石(Aragonite),化学成分是碳酸钙(CaCO_3),为石灰岩溶洞内最为发育、最多姿多彩的一种次生化学沉积形态,是神奇的内部洞穴自然景观的主体。洞穴沉积形态有3种。①石钟乳、石笋、石柱。石钟乳是从洞顶垂直往下悬挂的堆积形态。开始以小的突起附着洞顶,以后逐渐向下增长,形成具有同心圆状结构的钟乳石,从岩洞底部向上生成的 CaCO_3 沉积物则形成石笋,上下相连接称石柱。②石幔、石旗、边石坝、钙华板。这是一类由薄膜(层)状流水所成的堆积地貌,总称为“流石”。当水沿额状洞壁往下漫流时,就会形成布幔状或瀑布状流石,即“石幔”。若水集中沿一条凸棱下流,会形成薄片状的堆积,称为“石旗”。如果薄层水在洞底斜面缓流而又遇到小凸起时,流速加快, CO_2 逸出,沉淀堆积形成花边状弯曲的小堤,即“边石坝”。其顶近水平,顶部厚几厘米,往下变厚,高不超过30 cm,边石坝有时也见于岩溶泉的出口。平面形态呈弧形、半圆形,或多个相连,或逐级下降,如莲叶和梯田,故又称“灰华田”或“石田”。饱和的碳酸钙水溶液在洞底流动时,常形成多孔状的堆积层,称“钙华板”或“灰华层”,与地表河流瀑布坎的钙华相似,跌水急流也可能是钙华板的成因。③石花、卷曲石、爆玉米。这是一类毛发状、草叶状、豆芽状或花球状的微小形态,常附生在其他大型碳酸钙堆积体上,生长方向散乱。成因复杂,主要与毛细水的运动有关,同时还受洪水量少、环境较封闭、气温较稳定和气流扰动少等条件影响。石花的“花瓣”呈针状向外辐射,形似蓟草的花球,常由文石组成。“卷曲石”似豆芽,其卷曲可能是晶格错位所致。“爆玉米”是群生的小瘤,是毛细水蒸发的产物。

(2) 洞穴堆积物。①机械堆积指被流水自洞外携入的外源碎屑沉积,如砂、砾石、黏土等。②崩塌沉积是洞顶垮塌和洞壁及早期钟乳石类崩塌所产生的岩块堆积。所以崩塌是溶洞扩大和消失的重要作用力。形成的地貌形态主要有:a.崩塌堆,溶洞崩塌主要发生于洞顶岩层薄、断裂切割强以及地表水集中渗入的洞段。洞内化学堆积的发展,也会引起溶洞的崩塌。b.天窗,洞顶崩塌并向上延及地表,或地面往下溶蚀与下部溶洞贯通,呈通气口,称为“天窗”。若天窗扩大,及至洞顶塌尽时,地下溶洞则成为竖井。c.天生桥、穿洞,地下通道或暗河大部分侵蚀塌顶,桥状岩石残余体称天生桥,峰墙两侧侵蚀崩塌或蚀穿成洞称穿洞。

6. 暗河

有长年流水的地下溶洞称为地下河或暗河,发育瀑布、冲蚀坑、壶穴、槽谷地貌和沙砾堆积物。

(1) 按空间形态及组合分3类:①单一管道状,地下河道在空间展布上为单一岩溶管道限制,常顺层或沿裂隙或不同岩性接触带发育;②羽状,地下河支流于主管道一侧或者两侧发育形成边羽状或双列羽状的地下河系或沿多次断裂组或裂隙发育;③树枝状和网格状,其展布在三度空间呈分支状或交叉呈网络状。

(2) 地下河按水力坡度及水流速度的变化,大致可以分成湍急、缓流和变流3种类型。①湍急型,地下河比降大于20‰,水流速度大于8 km/d;②缓流型,地下河比降小于20‰,水流速度小于2 km/d;③变流型,以地下河道坡变大,流速时急时缓(2~8 km/d)为特征。洞穴通道中沉积的固体机械碎屑物质,有的是由水流自地表带入的外