

# 中国 岩溶学

袁道先

1993

地质出版社



# 中国岩溶学

袁道先 朱德浩 翁金桃 朱学稳 韩行瑞  
汪训一 蔡桂鸿 朱远峰 崔光中 邓自强

地质出版社

(京)新登字085号

## 内 容 提 要

本书总结了我国岩溶的分布和特点,其形成的地质、气候、水文背景条件,主要类型,中国的洞穴,以及我国岩溶地区主要的资源和环境问题。

该书由中国地质科学院岩溶地质研究所的专家们为国际地质对比计划IGCP299项“地质、气候、水文与岩溶形成(1990—1994)”项目而作。因此,全书系在该项目基本学术思想——地球系统学的指导下写成。该书从全球看中国岩溶,并利用岩溶形态组合的方法进行研究。它强调人类与环境的关系,充分利用岩溶记录重建古环境。

本书可供岩溶、水文、环境等专业的地质科研人员、大专院校师生阅读参考。

## 中 国 岩 溶 学

袁道先 主编

\*

责任编辑:毕立君

地质出版社出版发行

(北京和平里)

北京地质印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店总店科技发行所经销

\*

开本: 787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张: 13.375 彩图: 4 页 字数: 315000

1994年4月北京第一版·1994年4月北京第一次印刷

印数: 1—1000 册 定价: 12.30 元

ISBN 7-116-01468-3/P·1198

# 前 言

中国岩溶与青藏高原，黄土高原一样，受到世界地学工作者，特别是第四纪地质工作者的关注。随着近年来全球岩溶研究的深入和岩溶研究国际交流的发展，特别是国际岩溶对比计划IGCP 299项“地质、气候、水文与岩溶形成（1990—1994）”的执行，人们希望更多地了解中国岩溶的研究成果。

该书（中英文两种版本）以地球系统科学理论及相应的研究方法为指导，引用近十年来的研究成果，全面地论述了中国岩溶的特色；中国岩溶发育的地质、气候、水文和地球化学背景；中国岩溶的主要类型；洞穴和主要的资源、环境问题。

本书根据袁道先提出的思路、编写的提纲和要求，由中国地质科学院岩溶地质研究所的同事们共同完成。提供有关章节初稿的作者有：袁道先：1.1、1.3、2.1、2.3、2.4、2.5.(6)；朱德浩：1.2、3.1、3.2；翁金桃：2.2、2.5(1—5)、3.3.2.(3)；朱学稳：3.1.2、3.1.6；韩行瑞：3.3、3.4；汪训一：第四章、第八章；蔡桂鸿：第五章；朱远峰、崔光中：第六章；邓自强：7.1。全书由袁道先统稿。

在本书的编写过程中，得到了中国地质科学院、岩溶地质研究所的大力支持；刘再华、林新红、李彬、刘功余、连炎清、蒋忠诚、谢运球、房锋保、宋爱玲、张运海、张书任、章程、周游游为本书书稿的编写作了大量工作；赵俊芬、李健、罗英萍、陈阵、\*梁茂珍、方晓平、杨凌为本书清绘插图；王可大为本书绘制素描图；作者对他们表示衷心的感谢。

谨以本书献给IGCP299项目。

# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	1
1.1 研究中国岩溶的重要性 .....	1
1.2 中国岩溶研究史 .....	4
1.2.1 中国古代对岩溶知识的探求 .....	4
1.2.2 岩溶地貌和洞穴研究的先驱——徐霞客（公元1587—1641年）.....	5
1.2.3 近代中国岩溶研究 .....	5
1.3 研究中国岩溶的基本思路 .....	7
<b>第二章 中国岩溶的基本特点和发育条件</b> .....	9
2.1 中国岩溶的分布和基本特点 .....	9
2.2 中国岩溶发育的地质背景 .....	13
2.2.1 中国大地构造的基本轮廓及其对岩溶发育的影响 .....	13
2.2.2 中国新构造运动和地形特征及其对岩溶发育的影响 .....	15
2.2.3 中国可溶岩的类型和主要特点及岩溶层组类型 .....	18
2.3 中国岩溶发育的气候水文条件 .....	23
2.3.1 中国气候的基本特点 .....	23
2.3.2 全国石灰岩溶蚀观测网的初步成果及启示 .....	26
2.3.3 气候条件与岩溶形态组合 .....	30
2.3.4 我国岩溶发育的水文条件 .....	32
2.4 中国岩溶发育的地球化学机理 .....	35
2.4.1 中国岩溶地球化学系统的基本特征 .....	35
2.4.2 中国岩溶发育的地球化学机理 .....	41
2.5 中国岩溶发育史——古岩溶 .....	44
2.5.1 中国大地构造的演化 .....	44
2.5.2 元古代岩溶 .....	44
2.5.3 早古生代岩溶 .....	45
2.5.4 晚古生代岩溶 .....	46
2.5.5 中生代岩溶 .....	49
2.5.6 新生代岩溶 .....	49
<b>第三章 中国主要的岩溶类型</b> .....	53
3.1 热带及亚热带岩溶 .....	53
3.1.1 热带亚热带岩溶的分布及基本特征 .....	53
3.1.2 塔状岩溶（峰林） .....	53
3.1.3 两广、台湾和南海礁岛岩溶 .....	57
3.1.4 四川东部和中秦岭的岩溶 .....	61
3.1.5 云南岩溶 .....	62
3.1.6 贵州、湘西和鄂西的岩溶 .....	67

3.2 中国的高山和高原岩溶 .....	70
3.2.1 概述 .....	70
3.2.2 高原岩溶 .....	71
3.2.3 高山岩溶的典型代表——四川岷山岩溶 .....	76
3.3 中国的半干旱区岩溶 .....	81
3.3.1 中国半干旱区岩溶的基本特征 .....	81
3.3.2 山西高原及邻近地区的岩溶 .....	92
3.4 其它类型岩溶 .....	100
3.4.1 温带湿润区岩溶 .....	100
3.4.2 滨海岩溶 .....	102
3.4.3 干旱区岩溶 .....	104
<b>第四章 中国的洞穴 .....</b>	<b>109</b>
4.1 中国的洞穴类型 .....	109
4.1.1 岩溶洞穴 .....	109
4.1.2 其它类型洞穴 .....	112
4.2 我国岩溶洞穴的分布和主要岩溶洞穴 .....	114
4.2.1 岩溶洞穴地理分布情况 .....	114
4.2.2 中国最长的洞穴 .....	114
4.2.3 地下河洞穴 .....	115
4.2.4 脱离地下水位的洞穴(化石洞) .....	117
4.3 关于中国岩溶洞穴发育特征的总结 .....	120
4.4 洞穴古人类、洞穴考古和洞穴古脊椎动物化石 .....	123
<b>第五章 中国岩溶地区的环境问题 .....</b>	<b>129</b>
5.1 岩溶环境系统 .....	129
5.1.1 岩溶环境系统的特点 .....	130
5.1.2 岩溶环境系统的脆弱性 .....	133
5.2 岩溶环境水文地质问题 .....	134
5.2.1 特殊的地球化学环境下产生的问题 .....	134
5.2.2 人类活动诱发的环境问题 .....	134
5.3 岩溶环境系统的工程地质问题 .....	137
5.3.1 水库渗漏 .....	137
5.3.2 水库诱发地震 .....	139
5.3.3 膨胀土的环境地质问题 .....	140
5.3.4 岩溶地面塌陷 .....	141
5.4 农业生态环境地质问题 .....	145
5.4.1 土地石漠化 .....	145
5.4.2 旱涝灾害 .....	147
<b>第六章 中国的岩溶水资源 .....</b>	<b>149</b>
6.1 概述 .....	149
6.2 中国岩溶水文系统的基本特点和地区差异 .....	150
6.3 中国北方半干旱温带岩溶区的水资源及岩溶泉域 .....	155

6.4	中国南方湿润热带亚热带岩溶区水资源及地下河系 .....	158
6.5	中国岩溶水资源评价方法的新进展 .....	161
6.5.1	新进展 .....	161
6.5.2	区域岩溶水天然资源 .....	162
6.5.3	区域岩溶水开采资源的评价方法 .....	163
6.5.4	其它数学模型 .....	163
6.5.5	今后的研究工作 .....	164
<b>第七章</b>	<b>中国岩溶地区的矿产及油气资源 .....</b>	<b>165</b>
7.1	中国岩溶地区的矿产 .....	165
7.1.1	岩溶矿床 .....	165
7.1.2	与岩溶有关的矿床 .....	173
7.2	中国岩溶区的油、气及热矿水 .....	176
7.2.1	与岩溶有关的油气储集层 .....	176
7.2.2	与岩溶有关的卤水储集层 .....	184
7.2.3	与岩溶有关的热矿水 .....	186
<b>第八章</b>	<b>岩溶风景资源 .....</b>	<b>189</b>
8.1	我国岩溶风景资源的特点 .....	189
8.2	中国岩溶风景资源的主要类型 .....	190
8.2.1	岩溶山景 .....	190
8.2.2	水景 .....	190
8.2.3	洞景 .....	192
8.3	岩溶美学环境存在问题与保护对策 .....	193
8.3.1	岩溶风景资源的美学环境评价 .....	193
8.3.2	美学环境存在的主要问题 .....	193
8.3.3	保护岩溶风景资源的对策 .....	195
<b>第九章</b>	<b>结论 .....</b>	<b>196</b>
9.1	从全球看中国岩溶 .....	196
9.1.1	地球科学国际对比的重要性 .....	196
9.1.2	中国岩溶的有利方面和不足之处 .....	196
9.2	中国岩溶研究的几个问题 .....	197
9.2.1	关于岩溶发育机理 .....	197
9.2.2	关于中国岩溶的类型及区域划分 .....	197
9.2.3	关于中国岩溶地区的资源环境问题 .....	198
9.3	中国岩溶研究的展望 .....	198
9.3.1	基础理论研究 .....	198
9.3.2	区域岩溶研究 .....	198
9.3.3	应用研究 .....	198
<b>参考文献</b>	<b>.....</b>	<b>200</b>
<b>图版说明及图版</b>	<b>.....</b>	<b>206</b>

# 第一章 绪 论

## 1.1 研究中国岩溶的重要性

岩溶在我国地学研究中，一直占有重要地位。史前时期，我国人民的祖先就常以洞穴为居住场所，留下了大量遗迹。我国人民对各种岩溶现象的观察研究可追溯到文学历史的初始时期。中国传统山水画，有许多是取材于岩溶地貌。近40年来，与岩溶有关问题的研究，始终是我国科技发展规划中的重要题目，曾举行过几十次与岩溶有关的学术会议，完成了上百项研究，发表过数千篇论文。中国地质学会下设有专门的岩溶地质专业委员会，目前世界上规模最大的岩溶研究所也在中国。

对岩溶的研究兴趣在中国能够保持经久不衰，有其深刻的自然和经济的背景。我国岩溶地区面积辽阔，与岩溶有关的资源和环境问题涉及面广而又较复杂；从全球角度看中国岩溶，由于其有利的地质、地理、气候条件，使其成为探讨岩溶的区域分布规律、岩溶发育与环境的关系、岩溶发育过程和历史等基本问题的最有利地区。此外，在岩溶地区，由于可溶岩对环境变迁，特别是气候条件变化的敏感性而保存着大量的环境信息，如何利用这些信息以重建古环境，预测未来环境的变化，也正在引起人们越来越多的注意。

据估计，全球岩溶地区的面积约占陆地面积的12%，即约2000万 $\text{km}^2$ 。它们大部分分布在资源丰富、人口稠密的地区，如地中海沿岸、东欧、中东、东南亚、美国东南部，加勒比海地区等（图1—1）。中国东部的岩溶地区为举世所瞩目。

中国岩溶地区，若按碳酸盐岩的分布面积计（含埋藏在非可溶岩之下者），可达346.3万 $\text{km}^2$ ，若按含碳酸盐岩地层出露的面积计，为206万 $\text{km}^2$ ；而按碳酸盐岩出露面积计，也有90.7万 $\text{km}^2$ （图1—2）。其中，尤以北方山西高原及邻近省区的岩溶（47万 $\text{km}^2$ ），以及西南部以云、贵、桂为主体，包括川、鄂、湘部分地区的岩溶高原（50万 $\text{km}^2$ ），在我国经济建设、人民生活 and 历史文化发展中具有重要地位。西藏高原也有较大面积的碳酸盐岩出露，虽然因气候寒冷，碳酸岩盐中夹层较多，其资源、环境问题远不如我国东部突出，但对高山岩溶的研究同样有着重要科学价值。

山西岩溶高原蕴藏着我国大部分煤炭资源，并与其两侧的华北油田古潜山型储集层和鄂尔多斯油田深部碳酸盐岩储集层，以及黄河水力资源相结合，成为我国最重要的能源基地；西南岩溶高原则以乌江、红水河等有利的水电建设条件成为我国另一个重要的能源基地，而且蕴藏着我国最主要的有色金属和磷矿。

我国地下水资源的四分之一，即约2000亿 $\text{m}^3/\text{a}$ ，分布在岩溶地区。岩溶地区的矿产、石油、天然气和水资源都是以各种地表、地下岩溶形态为其贮集、运动场所。由于岩溶形态空间分布的不均匀性，对其规律性掌握不好，往往给这些资源的勘探、评价和开发带来很大的困难。

我国南方有2836条地下河，总长度达13919 km，总流量达1482 $\text{m}^3/\text{s}$ （照片26），是十



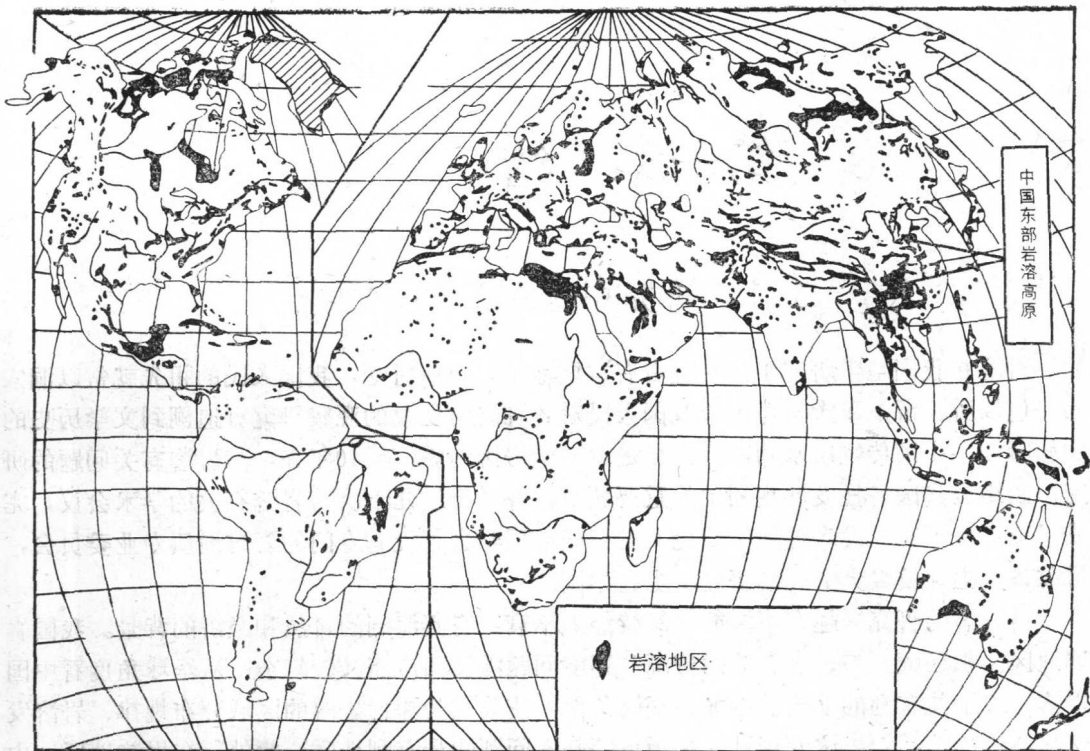


图 1—1 世界岩溶地区分布略图

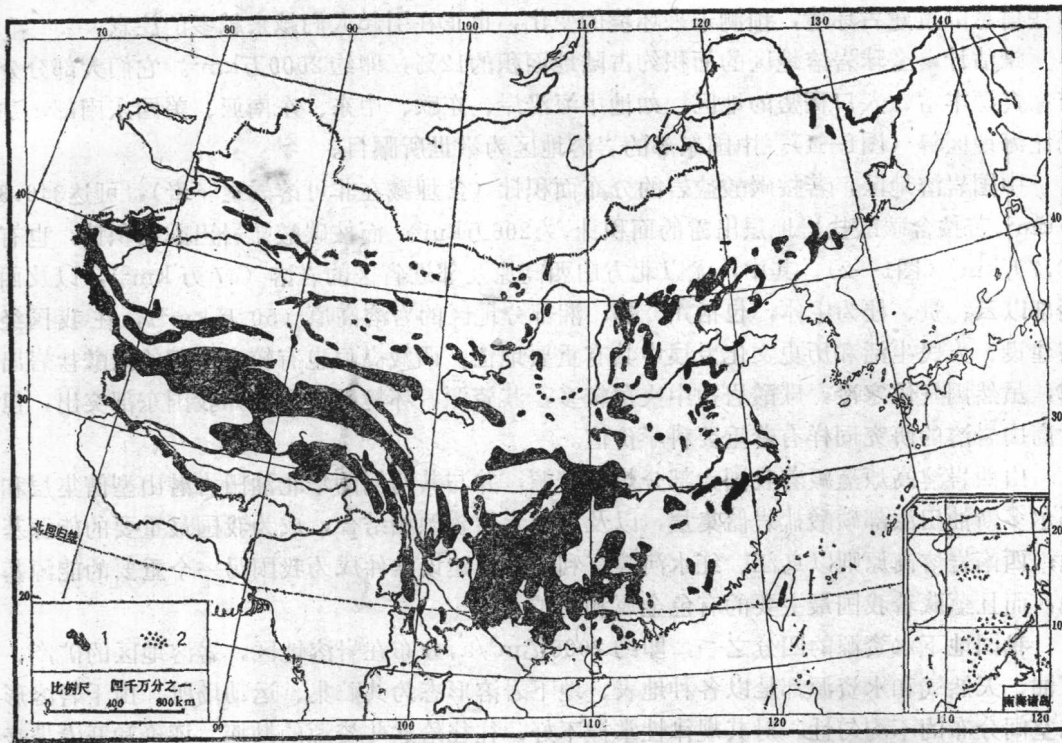


图 1—2 中国岩溶分布图

1. 碳酸盐岩; 2. 珊瑚礁

分宝贵的水资源。但它们排走了大部分雨水、地表水，给当地的农田灌溉、人民生活用水带来很大的困难。

与岩溶有关的各种矿产的开采，为人们认识埋藏在几千米以下的深部岩溶和古岩溶现象提供了极好机会。但是，这些岩溶形态也常常给矿产开采造成巨大的困难和威胁。如在我国北方煤田中常见的古陷落柱现象，可造成煤层的陷失，也可导致下部岩溶水的入侵，威胁矿山坑道的安全。为了保证与岩溶有关的各种矿产资源的顺利开发和防止岩溶地区水利电力建设中地下通道的渗漏，勘测、科研和生产建设单位常需投入大量的调查勘探试验工作，动用各种传统的及能够运用的各种现代化技术手段去查明各种地表及地下的岩溶形态。由这些工作获得大量的新信息，丰富和发展了我们对中国岩溶的认识；同时，也推动了人们由就事论事地查明、描述岩溶现象到自觉地从岩溶发育规律及其物理的、化学的、生物学的机理的探索，从而促进了在岩溶研究中地质学和地理学、物理学、化学、生物学、数学、水文学、大气科学和环境科学的有机结合，以及新思路、新方法的国内外的学术交流。

岩溶地区奇特的地表和地下形态、水文现象、珍贵的古脊椎动物、古人类遗址及稀有的地下动物，常常成为宝贵的旅游资源。我国许多传统的旅游胜地，如桂林山水（照片1）、贵州黄果树瀑布（照片25）、云南石林等（照片3），以及近年来新开辟或新发现的许多旅游点，如本溪水洞、北京石花洞、淄博朝阳洞（照片36）、四川黄龙和九寨沟（照片27—30），都与岩溶有关。我国人民在二千多年前，就对一些洞穴及水文现象进行了描述。宋代范成大试图对钟乳石的成因作出科学的解释（公元1175年），明代徐霞客对我国南方的岩溶峰林地形的分布和类型进行了研究。最近几十年来，由于岩溶学的发展，人们已经能够对许多奇形怪状的岩溶形态的成因作出比较令人满意的解释。

我国岩溶地区日益严重的环境地质问题，也是近年来促进中国岩溶研究的重要因素。岩溶地区富钙的岩石圈，以及大气圈、水圈、生物圈都具有地表、地下双层结构，并以碳、水、钙循环为物质能量运移、转换的主要形式，给岩溶地区带来一系列特殊的环境地质问题，使得环境科学家把岩溶地区视为一种同沙漠边缘一样的脆弱环境地区。我国东部岩溶地区，旱、涝、土壤贫瘠，生态平衡破坏及石漠化、地面塌陷、矿井突水等灾害频频出现。云贵高原岩溶区，土地在上（各级高原面）、水在下（地表河峡谷及地下河）的基本水土分布格局，是导致该地区一系列环境问题的原因。例如在贵州省岩溶地区，1974年至1979年五年间，石漠化面积增加3212km<sup>2</sup>，平均每年增加624km<sup>2</sup>。据最近调查，我国已发生岩溶塌陷738处，含3万多个塌陷点（照片39）。以铁路为例，我国东部岩溶区有铁路4010km，已发生岩溶塌陷376处，十年来中断行车1860h，颠覆列车3次，直接损失近亿元。我国岩溶地区的大泉流量衰竭及矿井突水，也常成为制约或威胁本地区国民经济发展的主要环境问题。近几十年来，中国北方半干旱岩溶地区几十个作为当地主要水源的岩溶大泉，大多呈衰竭趋势。著名的风景名胜济南趵突泉也曾断流过。我国山西高原煤在上（石炭、二叠系）水在下（寒武、奥陶系岩溶含水层）的地质格局，是制约该地区能源工业发展和带来一系列环境问题的基本条件。矿井的岩溶突水问题也不断发生。以煤矿为例，过去数十年共发生涌水量达1m<sup>3</sup>/min以上的突水1000余次，涌水量达10m<sup>3</sup>/min以上的突水120次；其中，17次达100m<sup>3</sup>/min以上，给生命和财产带来重大损失。岩溶地区各种环境地质问题的出现，都与岩溶环境系统的天然平衡遭到破坏有关，并且常常同各种岩

溶作用联系在一起。对各种岩溶环境问题的预防、治理，常有赖于对岩溶环境系统的结构功能和岩溶发育机理的深入认识，它们正在不断地将岩溶的研究引向深入。

地球科学在研究人类环境问题中的作用，除了为缓解各种地质灾害而进行环境地质学、大气科学、水科学等的研究外，还要为预测气候的干湿、冷热及大气物质成分、生物圈的变化提供过去环境变化趋势的“地质记录”。岩溶地区，由于可溶岩对环境变化的敏感性而保存着大量的不同时间尺度的古环境变化，特别是古气候、古水文和生态变化的记录。如：不同规模的溶痕，可作为百年级古气候的记录；不同规模的洼地、峰林则为十万年级至百万年级的古气候记录；洞穴是保存化石及沉积物的有利场所，其在重建古环境方面的意义是人所共知的；洞壁波痕及洞内大型次生碳酸钙沉积物，常是湿润气候的产物；应用同位素技术和扫描电镜技术对洞穴沉积物的研究，可获得气候干湿、冷热变迁的信息；岩溶地区的地表风化产物也常是古环境的良好记录；如红壤土、洞外钙华是湿热条件下的产物，而石灰岩质角砾则是干、冷环境的地质记录等等。

中国大陆的岩溶，不但其分布的地域有较大的环境跨度，而且可溶岩以古老的、坚硬的碳酸盐岩为主，具有保存各种岩溶形态的良好基础，加上新生代以来地壳大幅度的上升，第四纪的最后一次冰期又没有遭受大陆冰盖的刨蚀，使得各个地质时期，特别是新生代以来发育的岩溶形态得以较好的保存，因而具有较长的、较连续的岩溶发育的历史记录。所以，中国岩溶的研究，以其一系列地域上的优势，而为各国同行所瞩目。中国岩溶工作者，既要为解决中国岩溶地区许多复杂的资源和环境问题而努力，也要为全球的岩溶学理论的发展而作出自己应有的贡献。

## 1.2 中国岩溶研究史

中国是一个岩溶面积广大，岩溶类型众多的国家。早在遥远的古代，中华民族对岩溶的认识、利用与改造的历史就已开始。最近40年来，中国岩溶研究在广度和深度上都一直处于持续发展之中，与国际岩溶学界的科学合作和交流也日益加强。

### 1.2.1 中国古代对岩溶知识的探求

岩溶现象的描述，可见于许多中国的古代书籍中。例如成书于战国时代至西汉初年的《山经》中有不少有关洞穴、伏流、地下河等岩溶现象的记载，如《南次三经》中写到：“南禺之山……其下多水，有穴焉，水春辄入，夏乃出，冬则闭。”

我国广泛分布的热带岩溶峰林地形早就引起古代人的注意。1973年长沙马王堆三号汉墓出土的古地图，即形象地绘出了湖南宁远县南部九嶷山的峰丛地貌（图1—3）。该地图成图于公元前168年以前，是中国，也是世界现存的古典地图中最为古老的彩绘帛地图。图中，用若干个柱状符号表示主要的石峰，用鱼鳞状图形表示峰丛洼地，这幅图无疑是世界上最早的岩溶地貌图。

在大约成书于西汉时代（或公元1世纪）的我国第一部药物学著作《神农本草经》中，提出了“石钟乳”和其他一些洞穴次生碳酸钙沉积物的名称，对其药用作用也有所记述（图1—4）。

中国北方有许多岩溶大泉，是重要的农业灌溉水源和生活饮用水源。在出土的商代（大约公元前16—11世纪）甲骨文中，已发现许多用泉水命名的地名，对许多泉水的开发

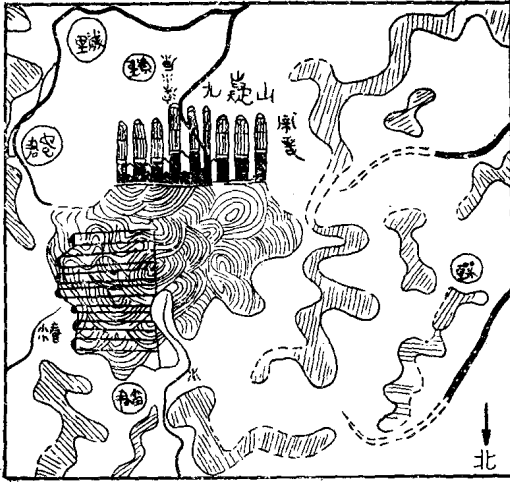


图 1—3 湖南九嵎山地区古地图 (局部)  
(据文物出版社, 1977年)



图 1—4 《神农本草经》

利用历史久远。如山西省晋祠泉水，早在《山经》中就有记载。据《水经注》(成书于公元4至6世纪)所记，晋祠泉水于公元前453年的战国时代即开始大规模地被用于灌溉。

### 1.2.2 岩溶地貌和洞穴研究的先驱——徐霞客(公元1587—1641年)

徐霞客(图1—5)从事自然地理考察30余年，现存的60余万言的《徐霞客游记》是其科学考察记录的重要部分之一，是世界岩溶学和洞穴科学史上极为珍贵的文献。公元1636年至1640年，徐霞客在中国南方岩溶区行程万里，准确、细致地记述了热带亚热带峰林地貌的分布、形态特征和各种岩溶现象；只身探测洞穴三百余个，对洞穴的结构、通道的形态和展布方向，各种类型的洞穴次生碳酸钙沉积物都有翔实的记载。

### 1.2.3 近代中国岩溶研究

近代中国岩溶调查研究可大致分为以下几个阶段。

本世纪20—30年代至50年代，以洞穴古生物和考古发掘、研究为主，其中又以北京周口店中国猿人洞的调查研究最为杰出。此外，对在洞穴中发现的广东马坝人、广西来宾麒麟山人、广西柳江人等作了大量的、举世瞩目的工作。另外，对中国南方的岩溶地形和洞穴研究，也有若干文章发表。50年代中期，这一阶段岩溶研究在初期是以自然地理，特别是以岩溶地貌调查为主，随之，



图 1—5 徐霞客画像

水文地质研究不断得到加强并成为重要的研究对象，两者之间的结合也愈来愈密切。从50年代开始，根据当时制定的12年科学远景规划，进行了区域岩溶考察，积累了大量资料，为大规模经济建设作准备。这一阶段的学术成果，集中表现在1961年中国科学院召开的全国喀斯特研究工作会议和1966年中国地质学会召开的第一届喀斯特学术会议以及有关专著之中。

60年代中期至70年代中期，为中国岩溶研究缓慢发展时期。岩溶理论研究处于低谷，但岩溶区的1:20万水文地质普查，西南岩溶区的水利水电建设和铁路建设仍在进行。

70年代中期以来，岩溶研究获得迅速发展。1975年，中国政府将《中国岩溶分布发育规律及其改造利用》列为全国科学发展规划项目之一，这一时期岩溶工作的特点有如下几点：一是重点开展了以广西桂林和都安、贵州独山和普定、湖南龙山洛塔和山西娘子关泉域的深入研究；二是对全国的岩溶作了较全面的普查，对以往鲜为人知的海拔四、五千米以上的青藏高原和昆仑山的岩溶现象以及珊瑚礁岩溶进行了一定的考查研究；三是建立了专门从事岩溶研究的中国地质科学院岩溶地质研究所，拥有科研人员200余人，配备有先进的实验、测试仪器和有关的技术设备。在中国地质学会和中国地理学会之下分别成立了岩溶地质专业委员会及喀斯特地貌和洞穴组，并着手建立中国洞穴协会。在这一阶段，举行了十次较为重要的全国性和国际性的岩溶、洞穴方面的学术会议。1988年10月在桂林成功地召开了国际水文地质学家协会第21届大会，重点讨论岩溶水文地质和岩溶环境保护。现在中国岩溶工作者正在努力工作，以迎接1993年在中国北京召开的第11届国际洞穴大会；四是岩溶研究领域不断拓宽，岩溶理论研究有了较大发展，溶蚀机理、岩溶地球化学、岩溶名词术语、岩溶形态组合和峰林地貌发育、深岩溶和古岩溶、洞穴形态学和年代科学方面都有较大的进展，出版了若干岩溶学专著以及数以千计的论文，这些论文主要发表在1982年向国内外正式发行的《中国岩溶》杂志和其他地质学和地理学杂志之中。

世界上最壮观最引人注目的热带亚热带峰林景观，主要发育在东南亚，尤以中国南方分布面积最广，类型最为多样，发育最为完美。20世纪初期，法国人就对东南亚的岩溶作过考察。现今某些使用十分广泛的热带岩溶术语即在那时提出，例如 kegelkarst（圆锥状岩溶）一词即由汉德麦赛迪斯（Hander Mazzettis）和莱曼（O. Lehmen）根据在中国的考察而提出。30年代法国人蒲意雅考察北京房山县水洞，作出该洞洞穴图。

50年代以来，外国岩溶学者陆续发表过一些关于中国岩溶的研究成果，如V. Wissman（1954）对中国南方和越南北部的锥形岩溶（cone karst）和塔状岩溶（tower karst）的发育作了阐述，并作出分布图。后来，D. Balazs（1962）、J. Gellert（1962）和 J. Silar（1965）等都对对中国南方岩溶地貌和洞穴有所论述。

最近十几年中，国际许多著名的学者，如H. Paloc、J. Avias、Z. Zötl、W. Back、W. Monroe、J. N. Jehnings、J. Roglic、D. C. Ford、W. B. White、T. Waltham等，都对对中国岩溶进行了实地考察，并发表了若干篇论文。特别是M. M. Sweeting和P. W. Williams多次来到中国，和中国的岩溶学者共同合作进行广西、贵州以至西藏岩溶的考察研究。中外岩溶学者还长期进行了多项科学合作研究，如中法合作开展的桂林岩溶水文地质试验场观测研究，取得了可喜的研究成果。中国洞穴工作者和美、英、法、日、新西兰、比利时、南斯拉夫、波兰等国洞穴工作者，在中国广西、贵州、云南、湖北、广东等省联合进行了多次探洞活动。现在，由中外岩溶学者广泛合作进行的国际地质对比计划

IGCP第299项“地质、气候、水文与岩溶形成”研究项目正在积极实施，并不断取得进展。

### 1.3 研究中国岩溶的基本思路

在过去十多年，受到系统理论和整个科学界多学科交叉渗透的总趋势以及国内外学术交流的影响，我国岩溶研究中也出现了一些新的思路趋向和方法。这就是，实现地质学和地理学的更加有机的结合，把岩溶形态组合成因的研究同地质、气候、水文条件更好地结合起来；在学术思想上，以地球系统科学为指导，把岩溶作用放到岩石圈、大气圈、水圈、生物圈相互作用中去研究，从而加深对岩溶发育机理的认识；通过对不同地区不同类型岩溶的国内外的广泛深入的对比，逐渐地克服了以往囿于局部地区的特殊条件所带来的认识上的片面性，而且从全球看中国岩溶，也更加深刻地认识了中国岩溶的特色和地位；在岩溶学的应用上，也由比较偏重于水资源发展到全面研究岩溶地区有关的各种资源和环境问题。

岩溶学作为地质学和地理学之间的边缘学科，本身就要求两者密切结合。由于岩溶的发育是以可溶岩为基础，并受到其中的构造裂隙和沿其运动的水的制约，而溶蚀和沉积作用又受到地球化学条件控制，因此，岩溶研究离不开地质学的基本知识和方法。但是岩溶学的基本研究对象是各种岩溶形态，它的研究也离不开地理学的基本方法，即形态的描述和计量成因分析的方法。在我国岩溶学术界，虽有地质学和地理学相互合作的良好传统，如彼此参加对方的学术活动，合作研究某项课题等等，但真正实现科学的有机渗透还是很不夠的。近年来，这种情况在有些单位或研究项目中有了较大的转变，一些地质工作者注意深入进行岩溶形态成因的研究，而有的地理工作者在研究岩溶形态时也能够比较深入地分析其地质、水文地质背景，此种趋向将为中国岩溶学在扎实的形态成因研究的基础上深入发展打开新的前景。

岩溶形态成因研究的另一个重要趋向，是由单项的岩溶形态研究发展到岩溶形态组合的研究，即对包括宏观的、微观的、地表的、地下的、溶蚀的、堆积的形态进行配套的成因研究。虽然我国古代学者和欧洲现代岩溶学的奠基人J. Cvijic (1893) 早已对多种岩溶形态作过细致的描述，近几十年来，又对单项岩溶形态如洼地、峰林、溶痕、溶洞、洞壁波痕、红壤土、石灰岩质角砾、钙华、各种洞穴次生碳酸钙沉积物等的成因作了深入的研究，但只有把它们进行归类、配套、并联系到它们形成时的地质、气候、水文环境进行研究，才能为岩溶学的进一步发展提供可靠的基础，也只有这样，才能避免异质同相、异期同相等自然界的错综复杂现象带来的混乱。

近20年来发展起来的地球系统科学理论，为岩溶学的发展开辟了新思路。过去，指导岩溶研究的学术思想，是把它作为一种发生在岩石圈和水圈界面上的地质作用来研究的。例如，长期来曾被我国岩溶学术界广泛接受的岩溶发育的四个基本条件，即可溶岩；可溶岩能透水；有侵蚀性的水；水是不斷运动的，就是此种学术思想的反映。这样，完成的许多有关岩溶发育规律的研究成果，常以岩性、地质构造、水文地质条件如何控制岩溶发育的论述而告终。但是与碳、水、钙循环共存的各种岩溶作用，只有把它们同发生在岩石圈、水圈、大气圈、生物圈界面上的物理作用、化学作用和生物作用联系起来（即以地球

系统科学为指导), 才能获得较为深刻的认识。近年来, 国内一些岩溶研究项目, 以这种新的学术思想为指导, 对许多岩溶形态的形成机理、环境和分布规律, 作出了比较深刻的科学解释, 显示了其在今后中国岩溶研究中的前景。

近20年来, 地球科学各领域, 包括岩溶学在内的另一个显著特点, 是通过广泛的跨地区、跨国的对比, 来提高各领域的研究深度。1972年以来执行的300余项国际地质对比计划(IGCP)被认为是国际地科联最成功的活动。过去十多年里, 随着国际学术交流的开展, 使我们能够站在全球的高度来看中国岩溶, 大大加深了对中国岩溶的特色、发育环境和机理的认识。通过中国北方半干旱区岩溶和南方湿热地区的岩溶形态组合对比, 就可以确信气候在岩溶发育中的作用; 看了英国中部最后一次冰期后发育的岩溶, 不但可获得大陆冰盖对岩溶形态破坏威力的概念, 而且也可获得温带湿润条件下岩溶发育速度的概念; 通过中国南方峰林地形与加勒比海地区峰林地形的对比, 可以确认碳酸盐岩岩性对岩溶形态的重大影响; 而看了墨西哥尤卡坦半岛的岩溶后, 对新生代尤其是第四纪以来地壳上升幅度对岩溶发育的重大影响, 也就认识得更加深刻了。此外, 广泛的国际对比, 也使我们得以更加深刻地认识中国岩溶的特色和在全球岩溶研究中的重要地位。因此, 该书突出在中国具有特色的几种类型, 如热带湿润区岩溶, 半干旱区岩溶、高山高原岩溶、以及一些特有的岩溶形态, 如峰林、石林、陷落柱、大泉域、地下河系、瀑布钙华等, 才能使人对“中国岩溶”获得明确的概念。

最近20年来, 资源和环境问题同人口、科学技术一样, 成为制约各国发展的基本因素。在我国岩溶地区, 除了水资源外, 各种矿产、石油、天然气的勘探、评价、开发都不断提出各种新问题, 需要岩溶学提供新的理论指导。在我国, 已召开两次岩溶矿产学术讨论会。岩溶地区各种环境效应、地质灾害不断出现。岩溶地区的环境科学家、环保工作者也急需岩溶工作者对岩溶环境系统的结构、功能及其各种环境问题的发生机制和相互关系作出科学解释, 为合理规划岩溶地区的环境管理和治理已出现的问题提供科学依据。因此, 中国岩溶学的应用也已由50—60年代单纯为岩溶水资源的开发利用服务, 发展到为各种有关矿产资源的勘探、评价、开发和岩溶地区全面的环境规划管理服务。

本书就是试图以近年来我国岩溶研究中出现的这些新的思路、趋向和方法为指导, 对中国岩溶的发育条件, 主要岩溶类型的特色和资源, 环境问题作一次总结。虽然这些新的思路、方法酝酿时间还不长, 总结还只能是初步的, 但我们希望通过这样一个尝试, 推动中国岩溶研究, 充分发挥其地域优势, 为全球岩溶研究作出应有的贡献。

## 第二章 中国岩溶的基本特点和发育条件

### 2.1 中国岩溶的分布和基本特点

第一章中依据碳酸盐岩分布面积提及了我国岩溶分布情况。显然它包括了一些目前处于干旱和沙漠条件下,虽有可溶岩但岩溶并不发育的地区。似乎应该把可溶岩分布区中岩溶发育较好的部分划分出来,作为中国的岩溶区比较合理。但随着近年来对全球岩溶研究的扩大和深入,人们看到,即便在沙漠、冰川或极地条件下,由于凝结水或融冰融雪水的作用,也可发育各种不同的岩溶形态。同时各个地区的气候条件也是在变化的,有些目前处于干旱条件下的可溶岩分布区,可能在地质历史上曾是潮湿气候,因而古岩溶比较发育。因此,以我国最主要的可溶岩即碳酸盐岩的分布区为基础来讨论我国岩溶的分布还是比较合适的。

由图1—2可以看出,中国的岩溶,除了前面提到的北方以山西为中心的岩溶高原和西南以贵州为中心的岩溶高原,这两个连片面积瞩目、对国民经济有重要影响的地区外,还有更加广阔的地理环境跨度。我国岩溶的分布,由北纬3°的南海礁岛直到北纬48°的小兴安岭地区;由东经74°的帕米尔高原直到东经122°的台湾岛;由海拔8848m的珠穆朗玛峰直到东部海滨。各岩溶区纬度、海拔及其与海洋的距离的不同,既带来了不同的气候,也带来了丰富多彩的岩溶类型。现在已研究过的我国最北面的岩溶,是黑龙江省伊春附近的十二林场地下河,还有干谷、地面塌陷、溶洞、贝窝等岩溶形态,它位于北纬48°附近;最南面的岩溶,是南沙群岛上百个珊瑚礁礁坪上的溶塘、石牙、溶沟、天生桥,位于北纬4°—12°之间;最东面的岩溶,是台湾岛南部垦丁自然保护区的峰林和洞穴,位于东经121°附近;而已经调查过的最西端的岩溶,为西藏狮泉河,班公错附近的溶洞、穿洞、冻蚀石林等岩溶形态,位于东经80°附近。它们构成了我国以华南的峰林、地下河,华北的干谷、大泉为主体的广阔岩溶的边陲。

由此可见,中国的岩溶虽然面积很大,但各地岩溶发育程度及其岩溶形态组合特征差异也很大。造成这种差异的根源,是各地岩溶发育条件有很大的不同。首先是地质条件和气候条件不同,同时也包括地形、水文、植被条件不同,以及综合这些条件而产生的直接影响岩溶作用方式(溶蚀或沉积)和强度的岩溶地球化学背景条件的差别。

在深入讨论之前,首先从全球角度看一下中国大陆可溶岩、地质构造、新构造运动、气候、水文、植被及古环境变化历史等背景条件与全球各主要岩溶区的差别。

中国大陆的碳酸盐岩,除西藏地区有较多的侏罗、白垩系碳酸盐岩外,大多数是三叠系以前的古老坚硬的碳酸盐岩,尤以古生界的碳酸盐岩分布最广。而在世界上其它的主要岩溶区,其分布最广的碳酸盐岩都比较年轻,如地中海沿岸、伦敦盆地及中欧、东欧是以



中生界碳酸盐岩为主；而东南亚、澳大利亚中部的纳拉伯平原、巴黎盆地、美国东南各州及加勒比海岩溶区，则以第三系碳酸盐岩为主。我国大陆古老的碳酸盐岩，其成岩程度较好，孔隙度较小，力学强度较高，如各时代的石灰岩类的孔隙度都在2%以下，白云岩的孔隙度一般都不到4%，而抗压强度都在1000kg/cm<sup>2</sup>以上。但国外几个主要岩溶区的第三系碳酸盐岩的成岩程度较差，孔隙度较高。如美国佛罗里达，据取自地下100余m深处的钻孔岩心的新鲜第三系碳酸盐岩测试，其石灰岩的孔隙度为16%，白云岩的孔隙度为31—44%，白云质灰岩的孔隙度为40%。东欧中生界碳酸盐岩的成岩程度也较差，如苏联克里木地区的上侏罗统及下白垩统灰岩，孔隙度为1.79—3.84%，抗压强度为720—930 kg/cm<sup>2</sup>。我国主要岩溶区碳酸盐岩物理力学性质的这个特点，对岩溶发育和岩溶形态以重要影响。在地表造成了南方平地拔起的峰林地形，在地下，则为上千条地下河和巨大的地下洞室提供了坚硬的支撑骨架。但是在气候条件类似的东南亚、加勒比海地区，虽然也有类似的峰林地形，但其形态终因岩性较松软而远不如中国南方岩溶那样的高耸挺拔秀丽，通常表现为低矮，圆缓的馒头状峰林。而中国南方峰林则被称为“中国式岩溶”而闻名于世界。同时，岩性坚硬也为我国岩溶地区发育和保存丰富多彩的微小岩溶形态（如溶痕、溶盘、边槽、贝窝）等提供了良好基础，它们常常是研究环境变迁，特别是古气候、古水文条件的直接证据，这在松软的碳酸盐岩表面是比较少见的。但是，国外在第三系松软灰岩表面，由于季候风地区暴雨的迅速渗透、饱和、蒸发、沉积而产生的钙壳，在我国坚硬碳酸盐岩地区则较少见。此种钙质硬壳有时被认为对某些地区岩溶地貌的发育和形态特征有一定影响。

中国大陆新构造运动的高度活动性，尤其是由于印度板块向北东方向推挤，导致西藏高原上新世以来近4000m抬升，以及太平洋板块和菲律宾海板块向西俯冲，在中国大陆东部产生拉张作用，造成北北东向的新华夏系构造——系列隆起带和沉降带相间的格局，给中国岩溶带来了另一个举世独有的特色。虽然从溶蚀作用机理研究的新成果已认识到岩溶作用可以发生在当地侵蚀基准面以下数百米深处，某些特定条件下甚至可能在地下数千米深处发生。但作为与碳、水、钙循环共生，活跃在岩石圈、水圈、大气圈、生物圈的界面附近的岩溶作用，主要还是发生在侵蚀基准面以上。同时，发生在侵蚀基准面以下的岩溶，只有被抬升上来以后，才容易为人们所认识。中国大陆，特别是其西部由于新生代以来的大幅度上升，使得其后各个时代发生的岩溶形态被陆续抬升到不同的高度上，加上岩石坚硬，因此保存了世界上历史跨度最长、连续性最好的岩溶系列。例如在昆仑山，阿其格库勒湖东南30km处，海拔4600m的羚羊洞中，保存着湿热环境下产生的钙板与红土相间的沉积层，此种古气候环境也由藏北高原布隆盆地发现的中上新世三趾马—长颈鹿化石群得到旁证。在云贵高原及其邻近的岩溶区，保存着由白垩纪红色角砾岩，第三纪溶盆、洞穴，第四纪岩溶峰林、峡谷，以及早中更新世巨猿动物群洞穴，晚更新世大熊猫剑齿象动物群洞穴构成的漫长岩溶系列。在北方山西岩溶高原及其邻近地区，也保存着第三纪洼地、高层洞穴及指向溶痕、外源砾石；中更新世猿人洞穴、泉华及现代地下河组成的岩溶系列。还有更早的环节，如山东沂蒙山、尼山顶上古洞穴中广泛分布的以石英、燧石为主要成分的含金刚石砾岩，其时代尚待研究，很可能在第三纪以前。我国大陆岩溶的这个重要特点，在世界上其它主要岩溶区是难以比拟的。以加勒比海地区为例，其东部波多黎各、多米尼加一带，在新生代有约1000—3000m的上升，因而出现一些馒头状峰林地形。