



岩溶发生学

——理论探索

ORIGIN OF KARST —
THEORITICAL WORKS
ON KARST

岩溶的发生是在地球内外两台发动机的驱动下，
可溶岩成岩物质发生对流和扩散迁移，
导致次生孔、缝、洞和沉积物的产生。
这一基本演化进程引起可溶岩体和系统不断分异。

◎ 张之淦 著



GUANGXI NORMAL UNIVERSITY PRESS

广西师范大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

岩溶发生学. 理论探索 / 张之淦著. —桂林: 广西师范大学出版社, 2006.12
ISBN 7-5633-6344-0

I. 岩… II. 张… III. 岩溶—成因
IV. P642.251

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 151559 号

广西师范大学出版社出版发行

(广西桂林市中华路 22 号 邮政编码: 541001)
网址: <http://www.hbtpress.com>

出版人: 肖启明

全国新华书店经销

广西师范大学印刷厂印刷

(广西桂林市临桂县金山路 168 号 邮政编码: 541100)

开本: 787 mm × 1 092 mm 1/16

印张: 19 插页: 2 字数: 486 千字

2006 年 12 月第 1 版 2006 年 12 月第 1 次印刷

印数: 0 001 ~ 1 100 册 定价: 60.00 元

如发现印装质量问题, 影响阅读, 请与印刷厂联系调换。

内容简介

本书内容为作者 1980 年前运用国外先进理论认识中国岩溶发生规律的开拓性成果,包括溶蚀理论、岩性岩溶学、流域水文与地貌、中国岩溶类型四个部分以及 1980 年起作者关于岩溶圈概念的形成过程和研究思路的简介。本书理论探索与实践紧密结合,问题讨论在历史和现状评述背景上展开,深入浅出,便于读者了解中国岩溶发生学主要学术观点的形成和演变历史。书中多数内容已用外文发表过,不少现在仍是我国岩溶学研究的薄弱环节,今以中文形式出版仍很有现实的理论价值和应用价值。本书适于地质、地理、环境、资源、国土、地球化学、沉积岩石和工程勘察学科领域研究和生产人员阅读参考,也可作为大学生和研究生的教学读物。

序

本书作者张之淦研究员,是我国 20 世纪 50 年代起从事岩溶学研究的地质学家。半个世纪以来,他在岩溶发育规律方面有着深入的研究和许多独到的见解。作者治学十分严谨,学术思想活跃,从不墨守成规。他在 20 世纪 50 年代末师从苏联著名的岩溶学家索科洛夫教授,获得博士学位,后又在加拿大、美国从事访问研究与实验工作,具有扎实的地质学基础和丰富的岩溶学实践经验。他在岩溶发育和形成机理方面的研究和学术思路有独到之处,从不拘泥于国内外同行专家的学术观点和研究方法,在吸收、继承前人经验的基础上,有创造性的发展,形成了新的科学思路。本书包括的一些内容,就充分地体现了他的这些特点和研究成果。例如,已故的国际上岩溶化学领域先驱拉普捷夫教授,曾致力于将化学溶液理论和盐类工业应用理论中的溶解动力学研究成果引进岩溶领域,提出了著名的拉普捷夫可溶岩溶蚀动力学定律:溶解速度与水的饱和度的二次方成正比。作者在学习前人溶蚀理论时并未拘泥于已成的定论,而是深入地检查了拉普捷夫的大量原始实验数据,发现大理岩的溶解速度与水的饱和度二次方成正比是正确的,但是石膏的数据显示,其溶解速度与水的饱和度一次方成正比。作者用当时的分子溶液学说的溶解动力学理论进行分析,指出碳酸盐矿物(方解石、白云石等)属“相”控溶解矿物,而石膏(以及石盐等)属扩散溶解矿物。据此,他将拉普捷夫经验公式整理成碳酸盐矿物溶解基本微分方程,并推导和求解定容积与定宽度裂隙两种边界条件下,有限系统的溶解动力这些公式已被应用于野外碳酸盐类岩石溶蚀过程的研究中。

20 世纪五六十年代,气候地貌学和构造地貌学思想在岩溶形成理论研究中得到应用,尤其是气候岩溶学更是盛行一时。作者研究岩溶发育过程,在吸取气候岩溶学研究成果的同时,倡导构造岩溶学研究方向。他把构造隆起速度和岩层的化学剥蚀速度进行对比,得出在喜马拉雅构造活动驱动下中国大陆发生岩溶分异,出现不同的岩溶发生过程并形成 10 种形态成因类型的创新见解。认为广西峰林地形发育的构造背景是构造隆起幅度略大或相当于地区化学剥蚀。作者在吸取杨怀仁教授对黔中流水地形研究成果的基础上,又提出了与当时国内同行较普遍接受的岩溶高原旋回演化理论完全不同的认识——溯源演化理论。

20 世纪五六十年代,国内外岩溶学家普遍认为“岩性”是影响岩溶发育的一个基本因素,但对其作用机理却众说不一。作者将前人在沉积岩石学、地质微生物学以及可溶岩溶蚀理论方面的成就引入广西、山西等地岩溶研究工作,在广西大埔白云岩和北方的马家沟硫酸盐—碳酸盐混合建造等岩类的岩溶发育机理方面取得了很好的成果。

作者重视理论与实践相结合,长期奋斗在岩溶地区的多种工程建设以及水资源调查、环境整治实践工作第一线,结合生产进行理论探索。

他的有关著作多以外文发表,有较大影响。此次将之翻译和整理出版,相信对我国从事岩溶科技工作的读者,特别是对青年一代了解我国岩溶学历史与现状一定会有所裨益。

中国科学院
中国工程院

院士

張宗祜

2006 年 1 月

前言

岩溶学本质上更接近应用科学。虽然岩溶学的独立学科地位始于地貌学理论研究,也有许多不可替代的理论研究课题,但是应该清醒地看到,解决面临重大国民经济课题的能力才是衡量一个国家岩溶科技水平的硬指标。同时也不能不看到,在人类历史进入 21 世纪的今天,任何重大应用课题的解决已离不开科学技术的进步,因而也离不开基础理论的指导。

作者近半个世纪的岩溶^①科研工作生涯多半是在生产实践第一线度过的。理论探索大致分为两个阶段:前期(1980 年前)主要是在自然历史学术思想的指导下,学习和实践 Д. С. 索科洛夫教授提出的《岩溶发育四项基本条件分析》和《地质历史分析》两种不同尺度上认识岩溶的方法;后期(1980 年后)更多地考虑运用地球系统科学思想指导认识岩溶(以后再做归纳)。本书内容主要反映前期的学习和研究心得。成果分为两部分:一是研究生读书报告和学位论文^②;二是从应用项目提取素材编写的理论探索文章,多数成果用外文发表过,尚无中文本。作者当时处于中青年时代。今天我国中青年岩溶工作者可从中了解几十年前中国科技人员学习、工作的一些情况。内容主要涉及岩溶发生学的四个方面,依次编排在十章中。结语系 2004 年撰写,包括对本书内容的概括、作者对岩溶圈的理解及其研究方法设想以及对中国岩溶发生学历史与未来的几点看法。

(一)溶蚀理论^③

岩溶作用是由多种不同时空尺度的物理、化学和生物作用链接而成的一种复合地质地理过程,其中岩石溶解居主导地位。分子溶液理论认为,自然界化学物质有两种存在形式:化合物和溶液(包括气体、液体和固体溶液)。化合物在溶液中的溶解和沉淀行为可用溶解度和溶解(沉淀)速度两类化学量进行完整描述,分别构成溶解热力学和溶解动力学的研究内容。

可溶岩成岩矿物属于碱金属和碱土金属的无机盐化合物。它们在水中的溶解度不是一成不变,而是受晶体性质、水溶液性质和系统热力学条件三方面因素共同决定的,变化幅度通常达 3~4 倍。碳酸盐成岩矿物还受水中氢离子含量(pH)的制约,不考虑强酸影响变幅也达 100 多倍。溶解动力学问题包括溶解定律、溶解动力学基本微分方程、有限系统公式的推导和求解、应用问题。碳酸盐矿物的一个特殊问题是方解石/白云石混合系统的溶解。上述问题的研究,除岩溶学外,还是理论化学溶液理论,地质学中矿物学、沉积岩石学、风化壳理论、水文地球化学,工程科学中盐卤化工工艺流程、建材侵蚀评价等学科领域共同关注的内容。从岩溶发生学需要出发,对这一领域研究成果比较简明的综合评述构成第一章的基本内容,还结合专业需要做了一些探索性思考。40 多年来该学科已有不少突破性进展,但

① 岩溶和喀斯特在中文文献中通用。本书按照各章节实际编写时间的不同使用了不同词汇。

② 1963 年底送中国科学院科技情报所俄文原文和中文译稿各一份存档。

③ 通常“溶解”一词多用于物理、化学学科,而“溶蚀”则更多地用于地学、工科学科。两词汇涵义基本相同,本书视具体情况使用。

反观我国岩溶实践历史与现状,第一章讨论的不少问题,如溶蚀定律、溶蚀动力学基本微分方程及其应用、方解石/白云石混合溶蚀等,至今仍未引起足够重视,这也许表明第一章内容现在翻译出版仍具有现实的参考价值。

(二)岩性岩溶学

20世纪五六十年代,国内外岩溶科技人员已普遍认识到岩性是岩溶发育的一个基本因素,但对其作用机理却众说纷纭,多数只从岩石溶解度大小上讨论问题。本书有关广西罗城和山西娘子关岩溶的章节(2~6章)重点讨论了这些地区灰岩、白云岩、泥质灰岩、含黄铁矿和有机杂质灰岩以及硫酸盐—碳酸盐混合建造的岩溶发育机制,提供了一把在岩组和含水层尺度上深入认识岩溶发生过程和介质分异作用的钥匙。中国岩溶水文地质工作者群体在半个多世纪的实践中,拓展苏联学者的成就,把不均质和各向异性的岩溶水流域看成岩溶水活动基本单元(同时也是岩溶发生学重要的单元),提出了一套建立流域水文地质结构模型的规范性方法。岩性岩溶学是其创建和继续完善的理论基础之一。

(三)流域水文与地貌

岩溶流域(Karst basin)水文和地貌是我国岩溶水文地质学的重点研究对象,并以此区别于西方岩溶学。中国岩溶水文地质工作者早在20世纪中期就注意到:①流域水文动态能够深刻反映岩溶流域(盆地)介质结构和流场特征;②岩溶盆地在地质时期的不均匀抬升或自身演化进程中都能够引起流域结构的改变,导致补排区位置反转和流域岩溶化过程发生根本的转变。第七章和第八章将讨论这些问题。

(四)岩溶发生类型

1951年П.С.索科洛夫提出《岩溶发育四项基本条件》,1962年把它发展成一种岩溶发生学分析方法,在这本专著中他又提出《地质历史》分析法。近半个世纪国内外岩溶发生学研究表明,在上述两种(微观和宏观)分析尺度之间,还存在着多级中间分析环节,统称岩溶发育因素。其中最重要的一组是各级景观要素,包括地形、地貌、水文、岩石、构造、土被、气候、植被等。20世纪四五十年代,气候地貌学在国际上兴起,衍生的气候岩溶学为岩溶发生学的发展做出了重大贡献。我国岩溶工作者在20世纪五六十年代就注意到新构造抬升对中国岩溶发育有至关重要的意义。作者也积极参与了这一工作,把喜山期构造活动视为驱动中国大陆岩溶发生和演化的内力发动机。构造活动和气候这一对内外营力不同的组合产生多种地质地理环境,从而引发不同类型的岩溶发生过程。岩溶景观就是这些过程在特定时刻的物质体现。这些内容可在第九章和第十章找到。

致谢 本书许多地质资料是作者在广西地质局水文地质大队罗城分队实习期间获得的,还与分队技术负责人周忠义、李生月、孙允忠、孔繁业以及全体地质人员进行了富有启发的学术讨论。本书文稿承蒙朱学稳先生、夏日元、蒋忠诚和刘再华教授百忙中评阅,提出了中肯的建议。唐丽和梁茂珍女士、李大通和陈阵先生业余倾力完成全部插图的审核、清绘与电脑制作,杨玉珍女士精心打印文稿,一并表示最诚挚的感谢。

作者还想真诚地感谢张宗祜院士,他一直关心作者在学术上的成长,不断给予宝贵的鼓励和支持。

张之淦

识于桂林

2004.2

序

前言

第一章 可溶岩成岩矿物溶解过程定量研究 /1

第一节 溶解度 /2

第二节 溶解速度 /18

第三节 溶解动力学因素 /31

第四节 方解石和白云石混合系统溶解 /34

参考文献 /43

第二章 罗城地理地质概况 /46

第一节 位置 /46

第二节 地形与水文 /47

第三节 气候 /49

第四节 地质构造 /51

参考文献 /54

第三章 罗城碳酸盐岩石学 /55

第一节 岩石与岩组分类 /55

第二节 岩石类型描述 /56

第三节 大埔白云岩形成和演化的若干问题 /63

第四节 小结 /79

参考文献 80/

第四章 罗城喀斯特地貌与水文地质 /83

- 第一节 喀斯特形态分类 /83
- 第二节 喀斯特地貌 /88
- 第三节 喀斯特水文地质 /106
- 第四节 喀斯特发育史 /136
- 参考文献 /137

第五章 不同岩性喀斯特的发育机理 /138

- 第一节 灰岩喀斯特 /138
- 第二节 白云岩喀斯特 /142
- 第三节 泥质灰岩喀斯特 /152
- 第四节 碳酸盐煤系地层喀斯特 /156
- 参考文献 /163

第六章 娘子关地区马家沟灰岩岩溶 /166

- 第一节 岩溶发育的主要特征 /167
- 第二节 “角砾状泥灰岩”的岩石学特征及其成因 /170
- 第三节 硫酸盐—碳酸盐复合建造的岩溶作用过程 /175
- 第四节 岩溶作用时代 /178
- 参考文献 /180

第七章 博依卡山原(克里米亚半岛)喀斯特发育弱化原因探讨 /182

- 参考文献 /187

第八章 四川雅砻江锦屏水电站老庄子泉动态研究 /188

- 第一节 老庄子泉简介 /188
- 第二节 观测成果 /189
- 第三节 岩溶水运动特征(水文地质模型) /192
- 第四节 老泉流量动态成因分析 /193
- 第五节 流态 /196
- 参考文献 /197

第九章 中国东部喀斯特类型 /198

- 第一节 贵州型 /200
- 第二节 广西型 /205
- 第三节 山西型 /209
- 参考文献 /213

第十章 中国岩溶类型 /217

第一节 岩溶发育环境 /219

第二节 类型划分与概述 /226

第三节 主要岩溶类型 /232

小结 /260

参考文献 /261

结语 /263

参考文献 /275

附录 1 /279

附录 2 /285

插页图 1 罗城地区喀斯特地貌简图

插页图 2 罗城地区地质简图

插页图 3 罗城地区峰丛洼地地形

插页图 4 罗城地区水文地质简图

ORIGIN OF KARST——
THEORETICAL WORKS ON KARST(1961 – 1980)
ZHANG ZHIGAN

CONTENT

Preface(Zhang Zonghu)

Foreword

Content

1 Quantitative study on dissolution of soluble rock-forming minerals /1

1.1 Solubility /2

1.1.1 Solubility as a property of crystal /2

Lattice binding energy /2

Grain size /3

Impurities /3

Temperature and pressure /3

Crystal cleavage and crystal defect /5

1.1.2 Solubility as influenced by chemical composition of water /5

Pure water /5

Carbonic acid water /6

Saline water /14

Natural water /17

1.2 Solution rate /18

1.2.1 Kinetic groups of mineral /18

Early history /18

Diffusion-controlled and reaction-controlled minerals /19

Calcite and dolomite- reaction-controlled minerals /20

1.2.2 Gypsum and calcite dissolution kinetics(basic law, differential equation and

formulae, application) /22

Gypsum /22

Calcite /25

1.3 Rate factors /31

1.3.1 Crystal's characteristic as a factor /31

Modification /31

Crystal face /31

Grain size /32

1.3.2 p_{CO_2} and salinity /32

1.3.3 Flow rate /33

1.3.4 Temperature /33

1.4 Dissolution of a calcite and dolomite mixture /34

1.4.1 Chemical measures and geochemical coefficients /34

1.4.2 Calcite and dolomite solubility and their relationship /36

1.4.3 Solubility relationship as influenced by solid composition /38

1.4.4 Dissolution rate relationship as influenced by solid composition /41

Experimental data /41

Theoretical considerations /42

References /43

2 Geographic and geologic outline of Luocheng area, Guangxi /46

2.1 Location /46

2.2 Topography and hydrography /47

2.3 Climate /49

2.4 Geology /51

References /54

3 Carbonate lithology of Luocheng area /55

3.1 Rock type and rock formation /55

3.1.1 Nomenclature of rock /55

3.1.2 Nomenclature of rock formation /56

3.2 Petrographical characteristics /56

3.2.1 Limestone formation /56

3.2.2 Dolomite formation /58

3.2.3 Marly limestone formation /62

3.2.4 Carbonate coal-bearing formation /63

3.3 Aspects on sedimentation, diagenesis and epigenetic changes /63

3.3.1 Sedimentation environment /64

3.3.2 Diagenetic changes /65

3.3.3 Epigenetic changes /69

Fractured rock zonation around faults /69

Secondary calcite deposits /72

Dedolomitization /77

3.3.4 Brief summary /79

References /80

4 Karst landform and hydrology of Luo Cheng area /83

4.1 Types of landform and hydrographical features /83

4.2 Landform features in different formations /88

4.2.1 Limestone /88

4.2.2 Dolomite /93

4.2.3 Marly limestone /99

4.2.4 Limestone beds in coal-bearing formation /102

4.3 Karst hydrology /106

4.3.1 Hydrographical features and hydrology /106

4.3.2 Hydrochemistry /116

Hydrochemical groups /116

Carbonate mineralization build up /124

4.3.3 Chemical erosion rate /132

4.4 Karst history /136

References /137

5 Karst processes in different lithologic formations /138

5.1 Limestone karst /138

5.1.1 Positive feedback loop and karst differentiation /138

Dinaric example /139

Crimea Peninsula /139

Western Aldan Plateau /139

Guangxi /140

5.1.2 Distinguishing features of karst process in limestone /140

As compared to easily soluble rocks /140

As compared to other carbonate rocks /141

Rigid structure of limestone as a factor (basin fluid discharge through limestone) /141

5.2 Dolomite karst /142

5.2.1 Definition /142

5.2.2 Origin of dolosands /143

Evidences for dissolution origin /144

Incongruent dolomite dissolution /146
 A possible bondloosing mechanism—dissolution along cleavages by diffusion /146

5.2.3 Conceptual models for formation of honey-comb dolomite /147

Autogenic origin /147

Allogenic origin /149

Formation of replacement limestone /149

5.2.4 Inhibition effects on karst differentiation in dolomite /151

Inhibition on feedback loop /151

Conditions for large cave formation in dolomite /151

5.3 Marly limestone karst and karst differentiation threshold /152

5.3.1 Introduction /152

5.3.2 Influence of mud impurities on rock solubility /152

5.3.3 Opening of joint by physical agents /153

Spacing effect and rock thickness /153

Effect of extension strength /153

Plugging effect /153

5.3.4 Drainage basin of an aquifer /155

Drainage basin area and aquifer differentiation /155

Interbed structure effect /155

5.3.5 Bed thickness threshold for karst feedback loop /156

5.4 Karstification in carbonate coal-bearing formation /156

5.5.1 Sulphur content in coal-bearing formation in Eubcheng /156

5.5.2 Sulphide oxidation as a double aggressivity source for carbonates /157

Chemical oxidation /157

Biogenic oxidation /158

5.5.3 Dissolution rate by H_2SO_4 /160

5.5.4 Depth of sulphide oxidation zone /160

5.5.5 Excavation of solution-suffosion cavities /162

References /163

6 Karst in the Majiagou limestone in Niangziguan area, Northern China – an example for karst in sulphate-carbonate formation /166

6.1 Main characteristics of karst features /167

6.1.1 Intensive karstification /167

6.1.2 Fragmentation /168

6.1.3 “Brecciated marl beds” /169

6.1.4 Great depth of karstification /169

6.1.5 Collapse pillar /170

6.2 Petrographic characteristics and origin of "brecciated marls" /170

6.2.1 Distribution /170

6.2.2 Petrography /170

6.2.3 Colour and fabric /173

6.2.4 Origin /174

6.3 Karst process /175

6.3.1 Plastic deformation /175

6.3.2 Dissolution of gypsum /176

6.3.3 Dedolomitization /176

6.3.4 Spacial and temporal sequence of the processes /177

6.4 Geological history and karstification /178

References /180

7 Karst on the Plateau Boiko, Crimea Peninsula, Ukraine /182

References /187

8 A regime study of the Lao karst spring in Sichuan /188

8.1 Characteristics of the spring /188

8.2 Observation data /189

8.3 The bimedium model of karst water movement /192

8.4 Water balance in the recharge-discharge process /193

8.5 Flow state /196

References /197

9 Main karst types in Eastern China /198

9.1 Guizhou type /200

9.1.1 Two sharply contrasting landscape regions /201

9.1.2 Knick points on the hydrosphere surface and their migration /203

9.2 Guangxi type /205

9.2.1 The peak-forest landforms /205

9.2.2 Origin of peak-forest landforms in Guangxi /207

9.3 Shanxi type /209

9.3.1 Characteristics of karst landforms /209

9.3.2 Karst history /211

References /213

10 Karst types in China /217

10.1 Geological-geographical environments for karst development in China /219

10.1.1 Natural landscape regions /219

10.1.2 The history of tectonic development and karst stages /221

10.1.3 Distribution of soluble rocks /223

Ancient sedimentary basins /223

The degree of conservation of soluble rock /224

10.1.4 Climatic conditions /224

10.1.5 Neotectonics /226

10.2 Classification of karst types in China /226

10.2.1 Principles of classification /226

10.2.2 Brief accounts of types /231

10.3 Main karst types /232

10.3.1 Peak-forest type (Guangxi type) /233

Surface karst landscape /233

Underground hydrographic network /235

The influence of neotectonic movements /238

10.3.2 Plateau-canyon type(Guizhou type) /240

General aspects /240

Landscape characteristics /240

Headward erosion and corrosion /243

10.3.3 Medium mountain-canyon type(Daba Mountain type) /245

10.3.4 High plateau relict peak-forest type(Qinghai-Tibet type) /245

10.3.5 Mountain-wide valley type (Shanxi type) /248

Surface karst landscape /248

Characteristics of exogenous agents /248

Characteristics of underground karst forms /251

Karst water basins and large karst springs /253

10.3.6 Buried block mountain type(Pohai Gulf type) /257

Structural background and paleogeographical environments /258

Karstification and permeability /259

Karst hydrogeological characteristics /259

10.4 Concluding remarks /260

References /261

Summary /263

1. The karstosphere and material carrier of karst phenomenon /263
2. A multigrade and multiscale approach to karstosphere study /264
3. The dissolution process of minerals /266
4. Karst process and lithology /268
5. Karst basin hydrology and landforms /270
6. Karst process and earth forcing /271
7. Historic review and perspective /272

References /274

Appendix I /278

Appendix II /284

Attached figure 1. Schematic geomorphological map of the Luo Cheng area

Attached figure 2. Geological map of the Luo Cheng area

Attached figure 3. The polygonal karst relief in Luo Cheng area

Attached figure 4. Schematic hydrogeological map of the Luo Cheng area