

原地质矿产部“八五”重要基础项目(8502218)资助

国家自然科学基金项目(49070155)资助



IGCP 299项目资助

299

中国岩溶动力系统

KARST DYNAMIC SYSTEMS OF CHINA

国土资源部岩溶动力学开放研究实验室

袁道先 等著

地质出版社

封面设计 东方上林

封面摄影 袁道先

封底摄影 莫仲达

KARST DYNAMIC SYSTEMS OF CHINA



中国岩溶动力系统

ISBN 7-116-03712-8



9 787116 037120 >

ISBN 7-116-03712-8

P-2319 定价: 60.00 元

101000011
原地质矿产部“八五”重要基础项目(8502218)资助
国家自然科学基金项目(49070155)资助
IGCP 299 项目资助

中国岩溶动力系统

ZHONGGUO YANRONG DONGLI XITONG

袁道先 刘再华 林玉石 沈继芳
何师意 徐胜友 杨立铮 李 彬
覃嘉铭 蔡五田 曹建华 张美良
蒋忠诚 赵景波 等著



299

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书详细地介绍了岩溶动力系统的结构、功能和特点,并概括和总结了岩溶动力学的基本理论和研究方法。对在岩溶动力系统驱动下岩溶形成的动力学机制、生物机制、背景条件和碳循环的一些规律作了较深入的论述,同时较详细地展示了用岩溶洞穴石笋恢复和重建古环境的研究成果。在模拟实验基础上,建立了岩溶动力学的扩散边界层模型。用实际观测数据和不同的碳循环模型,估算我国碳酸岩盐地区表层和深部岩溶作用对大气 CO₂ 源汇的贡献。以碳循环特点为基础,对岩溶动力系统进行了分类。书的最后论述了岩溶动力系统的资源形成机制和生态环境效应,并对岩溶动力学的发展作了展望。

本书内容丰富,图文并茂,适合于地质、地理、岩溶、全球变化、碳循环、资源和环境等方面科研人员及院校师生阅读、参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国岩溶动力系统/袁道先等著.-北京:地质出版社,2002.11

ISBN 7-116-03712-8

I. 中… II. 袁… III. ①岩溶-动力地质学-研究②岩溶-成因-研究 IV. P642.25

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 085205 号

责任编辑:蔡卫东 何尧启

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) 82324571(编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

电子邮箱: zbs@gph.com.cn

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京中科印刷有限公司

开 本:787mm×1092mm¹/₁₆

印 张:18 彩图:2 页

字 数:450 千字

印 数:1—800 册

版 次:2002 年 11 月北京第一版·第一次印刷

定 价:60.00 元

ISBN 7-116-03712-8/P·2319

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

序

20 世纪 80 年代以前,我国岩溶研究曾以气候分带、岩溶地貌类型分区和岩溶形态描述为工作方法,以水-岩相互作用理论为指导,获得较大的发展。进入 20 世纪 90 年代,以袁道先院士及其研究群体为代表的岩溶学者,越来越注意到岩溶作用对环境的敏感性问题,认为要以地球系统科学为指导,抓住以碳、水、钙为主的物质能量循环体系,从相互耦合的大气圈-水圈-岩石圈-生物圈的相互关系上研究岩溶。由此形成了岩溶动力学理论的基本思路,并创造性地总结了一套捕捉碳、水、钙行踪的工作方法,全面地阐述了系统的定义、结构和功能,为建立完整的岩溶动力系统基本理论奠定了基础。这对促进岩溶学的发展及指导岩溶研究具有重要意义。

回顾岩溶学在 20 世纪末 10 年以来的发展历程,袁先生及其助手们运用岩溶动力系统的新理论,在岩溶研究领域取得了瞩目成就,开拓了岩溶研究的视野,极大地推动了岩溶科学向前发展。除建立岩溶动力系统的基本理论框架外,他们还在如下方面取得了重要进展或突破。

首先,在全面研究我国大陆岩溶形成背景条件及基本特征的基础上,首次提出“岩溶形态组合”的科学方法,并与全球岩溶作了对比,划分出 6 个类型的表层岩溶动力系统和深部岩溶动力系统亚类。这是我国区域岩溶成果的一次全面、系统的总结。

第二,在野外定位观测基础上,通过室内试验和计算机模拟,研究了驱动岩溶动力系统运行和岩溶形成的水动力学、气体动力学及生物机理,阐明了 CO_2 浓度梯度的作用,以及岩溶动力系统运动对元素迁移的影响。这不仅是岩溶形成机理方面的突破性进展,而且对岩溶区的生态恢复具有重要的实践应用价值。

第三,估算了岩溶作用(包括深部断裂带 CO_2 释放)对大气 CO_2 的源汇量,为完善全球碳循环模型作出了贡献。其成果对全球温室效应的研究有重要意义,也是国际相关研究领域的突破。

第四,通过石笋内部微层理沉积学特征、微量元素、稳定同位素及加速器质谱 ^{14}C 测年的综合研究,建立了我国南方 3.6 万年以来第一个古环境变化的连续剖面,揭示了末次冰期以来气候变化的全过程和几个气候跃变事件,为我国在缺乏冰心等其他古环境变化记录的岩溶区进行高分辨率古环境重建开辟了新途径。

第五，将研究成果应用于实践，先后选择济南、天津、乌江渡电站和清江隔河岩水库为研究对象，对其岩溶动力系统驱动下的资源形成和环境效应，进行了预测研究或提出了防治措施。这方面的成果将会产生重大而深远的经济、社会效益。

本书系统总结了上述研究成果。它资料翔实，内容丰富，论证有据。可以预见，它的出版将会带动岩溶科学更深入地向前发展。在此，预祝袁道先先生和他领导的研究集体取得更辉煌的科研成就。

中国工程院院士

刘孝润

2002.10.23



照片 1 北京十渡监测点



照片 2 陕西镇安鱼洞地下河出口



照片 3 四川黄龙岩溶区



照片 5 广西桂林岩溶试验场



照片 4 贵州荔波茂兰岩溶森林区

图版II



照片 6 桂林平地拔起的峰林地形



照片 7 四川松藩黄龙, 以冻蚀石峰、石灰岩质岩锥为特征的高山岩溶



照片 8 洼地、溶斗



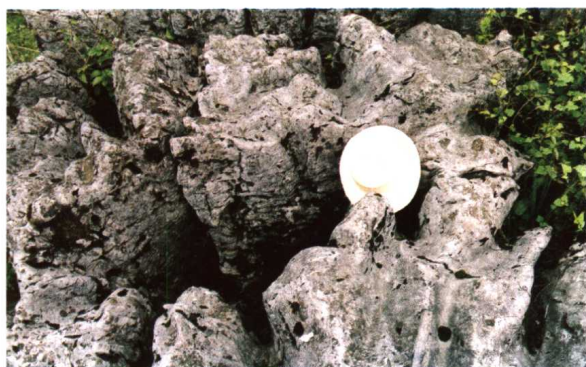
照片 9 水平边槽



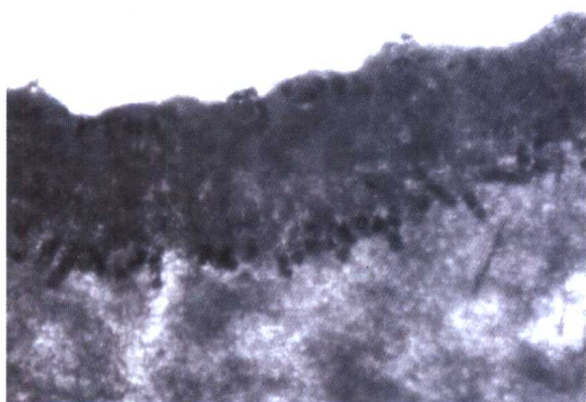
照片 10 冲磨蚀坑穴
(坑深: 98 ~ 350cm, 直径: 91 ~ 218cm)



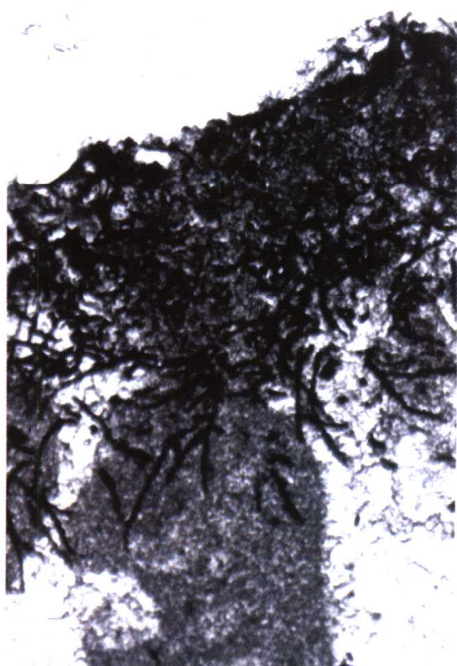
照片 11 波痕 (贝窝)



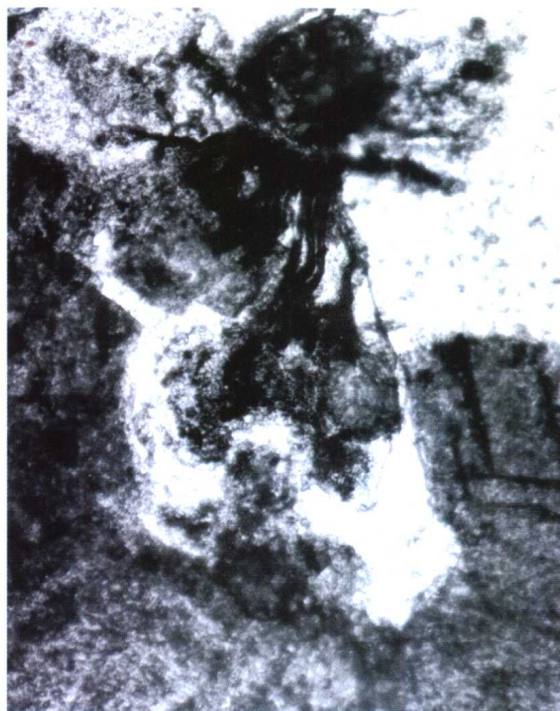
照片 12 麻涡坑穴



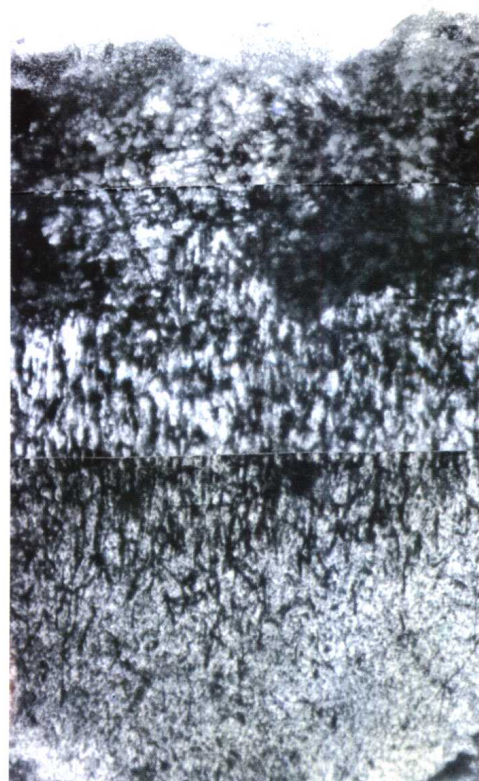
照片 13-1 球状藻类在岩石浅表层的殖居, $\times 80$



照片 13-3 丝状藻对岩石浅表的
钻孔, $\times 160$



照片 13-2 苔藓对岩表的生物物理作用, $\times 16$

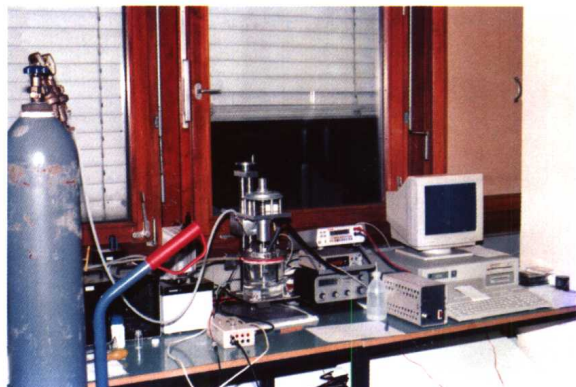


照片 13-4 壳状内生地衣的钻孔,
 $\times 100$

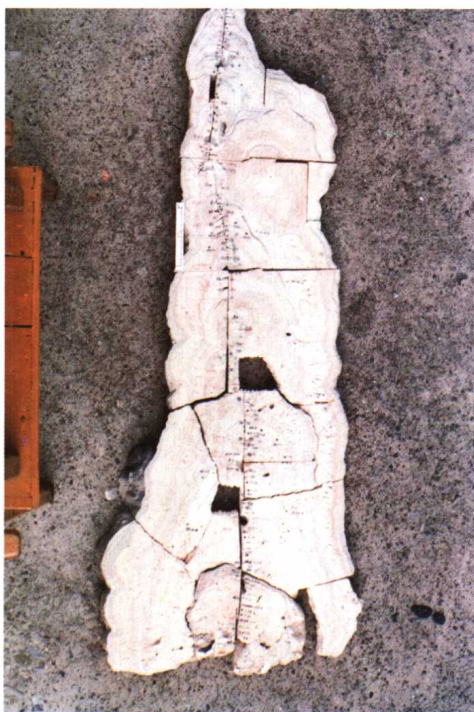
图版IV



照片 14 向光钟乳石



照片 15 旋转盘



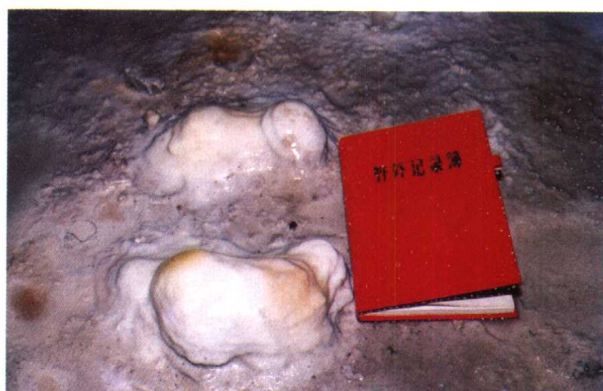
照片 16 盘龙洞1号石笋内部剖面



照片 17 陕西旬阳孙家凹钙华



照片 18 乌江渡大坝灌浆廊道中的鹅管



照片 19 乌江渡大坝灌浆廊道中的石笋

目 录

序	刘广润
1 概 述	袁道先 (1)
1.1 本专著依托的研究项目和研究方法	(1)
1.2 项目依托的国内外合作	(2)
1.3 新理论及主要发现和突破	(3)
1.4 岩溶动力系统研究的社会影响和应用前景	(4)
2 岩溶动力系统	(6)
2.1 岩溶动力系统的结构、功能和特点	袁道先 (6)
2.1.1 定义	(6)
2.1.2 结构和边界	(6)
2.1.3 功能	(7)
2.1.4 特点	(7)
2.2 研究方法	(7)
2.2.1 岩溶动力系统研究方法的特点	刘再华 (7)
2.2.2 指标选择	刘再华 (8)
2.2.3 捕捉碳循环的方法: 普测、定位观测	刘再华 (9)
2.2.4 同位素技术	覃嘉铭 (10)
2.2.5 岩溶动力系统变化过程的同位素记录研究	覃嘉铭 (17)
2.3 岩溶动力系统的类型	(27)
2.3.1 表层岩溶动力系统的分类	李 彬、徐胜友 (27)
2.3.2 深层岩溶动力系统的分类	何师意、蔡五田 (33)
2.4 岩溶动力系统的数据库及应用	李 彬 (34)
2.4.1 系统设计的基本思想	(34)
2.4.2 系统的基本结构	(35)
2.4.3 系统的基本功能	(36)
2.4.4 结束语	(38)
3 中国岩溶形成的背景条件和基本特征	(39)
3.1 中国岩溶的类型和基本特征	袁道先 (39)
3.2 中国南北岩溶分界线上的典型研究——以镇安、旬阳为例	赵景波 (42)
3.2.1 岩溶泉的概况与酸碱度变化	(42)
3.2.2 岩溶泉的 HCO_3^- 离子含量变化	(44)
3.2.3 土层中 CO_2 含量变化	(46)
3.2.4 该区岩溶地貌形成时代	(46)
3.2.5 初步认识与讨论	(47)

4 岩溶形成的动力学机制	(48)
4.1 水动力学机制	(48)
4.1.1 溶蚀作用的水动力学实验研究	刘再华 (48)
4.1.2 水的侵蚀作用与岩溶形成	林玉石 (50)
4.2 气体动力学机制	徐胜友 (55)
4.2.1 岩溶动力系统中气圈的组成及其特征	(55)
4.2.2 岩溶动力系统中 CO_2 的动态平衡理论	(59)
4.2.3 CO_2 对岩溶作用驱动的野外观测研究	(60)
4.3 岩溶动力学中的生物机制	曹建华 (71)
4.3.1 地质历史时期中生物演化与碳循环	(72)
4.3.2 现代生物碳循环与岩溶发育	(74)
4.3.3 几点新认识	(84)
4.4 岩溶动力学模型：野外观测和室内物理模拟实验	刘再华 (84)
4.4.1 扩散边界层理论模型	(85)
4.4.2 模拟结果及其野外和室内实验证实	(86)
4.5 碳酸盐岩岩溶化过程的数值模拟	沈继芳、于青春、万军伟 (100)
4.5.1 引言	(100)
4.5.2 单个裂隙溶蚀扩展	(101)
4.5.3 非连续裂隙网络溶蚀扩展	(105)
5 岩溶动力学的全球变化响应和记录	(109)
5.1 表层岩溶作用的大气温室气体源汇关系	(109)
5.1.1 表层岩溶作用与大气 CO_2 源汇的关系	徐胜友 (109)
5.1.2 我国南方 6 省岩溶系统碳循环及其环境效应	杨立铮 (121)
5.2 深层岩溶作用的大气温室气体源汇关系	(142)
5.2.1 深层碳循环在全球碳循环中的地位	何师意 (142)
5.2.2 云南中甸下给温泉形成条件与 CO_2 源汇关系研究	蔡五田 (143)
5.2.3 四川黄龙景区 CO_2 的源汇关系	何师意 (156)
5.2.4 腾冲地热区活动断裂带 CO_2 源汇关系	何师意 (159)
5.2.5 断裂带上有很厚覆盖层的气田中 CO_2 的来源	何师意 (161)
5.3 全球变化的岩溶记录	林玉石 (162)
5.3.1 岩溶形态的形成与环境的关系	(162)
5.3.2 岩溶建造的形成及古环境信息	(168)
5.3.3 桂林盘龙洞 1 号石笋的综合研究	(177)
5.4 岩溶生态系统的结构、功能及运行机制和全球变化反馈	(196)
5.4.1 岩溶生态系统的结构	蒋忠诚 (196)
5.4.2 岩溶生态系统的功能及运行机制	李 彬 (200)
5.4.3 岩溶生态系统对环境的敏感性及其全球变化信息	李 彬 (207)
5.4.4 岩溶生态的环境反馈	蒋忠诚 (208)
5.4.5 结束语	(212)
6 岩溶动力系统的资源形成机制和环境效应	(213)
6.1 岩溶矿床的成矿条件及形成机制	张美良 (213)

6.1.1	岩溶矿床的概念	(213)
6.1.2	成矿控制条件	(214)
6.1.3	岩溶成矿作用	(217)
6.1.4	岩溶矿床的类型	(225)
6.1.5	结束语	(226)
6.2	天然与人为条件下岩溶地下水水化学特征形成和变化	蔡五田 (226)
6.2.1	天津蓟县岩溶水水化学特征和演化规律	(226)
6.2.2	济南泉域岩溶水水化学特征和演化规律	(235)
6.2.3	岩溶水化学成分总体演化趋势的理论解释	(239)
6.2.4	天然与人为干扰条件下岩溶水水化学特征的差异	(242)
6.3	水工建筑物中钙华的形成机制和防治	刘再华 (244)
6.4	隔河岩水库蓄水引发的岩溶塌陷和地震	沈继芳、石伯勋、张同发 (247)
6.4.1	罗家坳河间地块水动力场变化及其影响效应	(247)
6.4.2	隔河岩水库蓄水引发的岩溶塌陷地震	(257)
7	岩溶动力学的展望	袁道先 (266)
	参考文献	(269)
	附录：本书作者群体在国内外发表的相关论文目录	(274)

CONTENT

Preface	Liu Guangrun
1 Outline	Yuan Daoxian (1)
1.1 Research Projects and Methods Relied on by This Monograph	(1)
1.2 International and Internal Cooperation Supporting the Research	(2)
1.3 New Theory, Main Discovery and Breakthrough	(3)
1.4 The Social Impact and Applying Foreground of the Research of Karst Dynamic System	(4)
2 Karst Dynamic System	(6)
2.1 The Structure, Function and Feature of Karst Dynamic System	Yuan Daoxian (6)
2.1.1 Definition	(6)
2.1.2 Structure and Its Boundary	(6)
2.1.3 Functions	(7)
2.1.4 Featurese	(7)
2.2 Study Methods	(7)
2.2.1 The Characteristics of Research Methods for KDS	Liu Zaihua (7)
2.2.2 Selection of Indexes	Liu Zaihua (8)
2.2.3 The Methods to Catch Carbon Cycle; Field Survey and Monitoring	Liu Zaihua (9)
2.2.4 Isotopic Techniques	Qin Jiaming (10)
2.2.5 Study on the Isotopic Record in the Changing Processes of KDS	Qin Jiaming (17)
2.3 Types of Karst Dynamic System	(27)
2.3.1 Types of Epikarst Dynamic System	Li Bin, Xu Shengyou (27)
2.3.2 Types of the Deep Karst Dynamic System	He Shiyi, Cai Wutian (33)
2.4 The Database and Its Applications of Karst Dynamic System	Li Bin (34)
2.4.1 Basic Idea for the Database Design	(34)
2.4.2 Basic Structure of the Database	(35)
2.4.3 Basic Function of the Database	(36)
2.4.4 Conclusions	(38)
3 Background Conditions and Basal Features of Karst Formation in China	(39)
3.1 Types and Basal Features of Karst in China	Yuan Daoxian (39)
3.2 Typical Study on Karst at the Boundary of South and North China; a Case Study in Zhenan and Xunyang County, Shaanxi	Zhao Jingbo (42)
3.2.1 General Situation of the Karst Spring and the Variation of pH Value of the	

Spring Water	(42)
3.2.2 Variation of the HCO_3^- Content of the Spring	(44)
3.2.3 Variation of CO_2 Concentration in Soil	(46)
3.2.4 Geological Period of Geomorphological Formation	(46)
3.2.5 Main Points and Discussion	(47)
4 Dynamic Mechanism of Karst Formation	(48)
4.1 Hydrodynamic Mechanism	(48)
4.1.1 Experimental Study on Hydrodynamic of the Dissolving Processes	Liu Zaihua (48)
4.1.2 Erosion Processes of Water and Karst Formation	Lin Yushi (50)
4.2 Aerodynamic Mechanism	Xu Shengyou (55)
4.2.1 The Composition and Its Features of Gaseous Sphere in KDS	(55)
4.2.2 Homeostasis Theory of CO_2 in KDS	(59)
4.2.3 Field Observation and Study on the Drive of CO_2 to Karst Processes	(60)
4.3 Biological Mechanism in Karst Dynamics	Cao Jianhua (71)
4.3.1 Evolvement of Biology and Garbon Cycle in Geological Period	(72)
4.3.2 Modern Biological Carbon Cycle and Development of Karst	(74)
4.3.3 New Understandings	(84)
4.4 Model of Karst Dynamics: Field Monitoring and Indoor Physical Simulation Experiment	Liu Zaihua (84)
4.4.1 Theoretical Model of DBL	(85)
4.4.2 Simulating Results and Their Verification in Outdoor and Indoor Experiments	(86)
4.5 Numerical Simulation of Karstification Processes of Carbonate Rocks	Shen Jifang, Yu Qingchun, Wan Junwei (100)
4.5.1 Introduction	(100)
4.5.2 Erosion Expand of Single Fissure	(101)
4.5.3 Erosion Expand of Non-Continuous Net Fissure	(105)
5 Response and Record of Karst Dynamics to Global Change	(109)
5.1 Source and Sink of Atmospheric Greenhouse Gas in the Epikart Processes	(109)
5.1.1 Relationship between Source and Sink of Atmospheric CO_2 and Karst Processes	Xu Shengyou (109)
5.1.2 Carbon Cycle and Environmental Effect of Karst System in Six Provinces, South China	Yang Lizheng (121)
5.2 Source and Sink of Atmospheric Greenhouse Gas in the Deep Source Karst Processes	(142)
5.2.1 The Role of Deep Source Carbon Cycle in Global Garbon Cycle	He Shiyi (142)
5.2.2 Study on the Formation Condition of Thermal Spring and the Source-Sink of CO_2 in Xiagei Area, Zhongdian County, Yunnan Province	Cai Wutian (143)
5.2.3 Source-Sink of CO_2 in Huanglong Region, Sichuan Province	He Shiyi (156)

5.2.4	Source-Sink of CO ₂ in Active Geothermal and Faulted Zone, Tengchong, Yunnan	He Shiyi (159)
5.2.5	CO ₂ Source of Gas Field Mantled by Thick Coverage in Faulted Contact Zone	He Shiyi (161)
5.3	Karst Record to the Global Change	Lin Yushi (162)
5.3.1	Relationship between the Formation of Karst Conformation and Environment	(162)
5.3.2	Karst Formation and Paleoenvironmental Information	(168)
5.3.3	Integrated Study on Panlong No.1 Stalagmite Sampled near Guilin	(177)
5.4	Structure, Functions and Operating Mechanism of Karst Ecosystem, and Its Feedback to Global Change	(196)
5.4.1	Structure of Karst Ecosystem	Jiang Zhongcheng (196)
5.4.2	Functions and Operating Mechanism of Karst Ecosystem	Li Bin (200)
5.4.3	The Sensitivity of Karst Ecosystem to Environment and the Information on Global Change	Li Bin (207)
5.4.4	Karst Ecological Feedback to Environment	Jiang Zhongcheng (208)
5.4.5	Conclusions	(212)
6	Formation Mechanism of Resources and Environmental Effect in the KDS	(213)
6.1	Metallogenic Condition and Mechanism of Karst Deposits	Zhang Meiliang (213)
6.1.1	Concept of Karst Deposits	(213)
6.1.2	Controlling Condition of the Karst Deposits Formation	(214)
6.1.3	Mineralizing Processes of Karst Deposits	(217)
6.1.4	Types of Karst Deposits	(225)
6.1.5	Epilogue	(226)
6.2	Formation of Hydrochemical Features of Karst Underground Water and Its Evolvement under Natural and Man-Intervened Conditions	Cai Wutian (226)
6.2.1	Karst Hydrochemical Features and Their Evolving Disciplines in Jixian County, Tianjin	(226)
6.2.2	Karst Hydrochemical Features and Their Evolving Disciplines in the Catchment Area of the Springs , Jinan, Shandong Province	(235)
6.2.3	Theoretical Explanation on Evolving Trend of Karst Hydrochemical Content	(239)
6.2.4	Difference of Karst Hydrochemical Features between Natural and Man-Intervened Conditions	(242)
6.3	Formation Mechanism of Tufa in Hydro-Engineering Construction, and the Measures of Prevention and Treatment	Liu Zaihua (244)
6.4	Karst Collapse and Earthquake Solicited by the Sluice of Geheyan Reservoir, Hubei Province	Shen Jifang, Shi Boxun, Zhang Tongfa (247)
6.4.1	Variation of Hydrodynamic Field and Its Influence to Environment in Interfluvial Block Area, Luojiangao, Hubei	(247)

6.4.2 Karst Collapse and Earthquake Solicited by the Sluice of Geheyuan Reservoir	(257)
7 Future of Karst Dynamics	Yuan Daoxian (266)
REFERENCE	(269)
APPENDIX Content of the Published Relevant Papers of the Authors	(274)