

熊康宁 梁玉华 郑建 / 主编

Editor-in-chief: Xiong Kangning Liang Yuhua Zheng Jian

现代地理科学与 贵州社会经济

Modern Geography and Guizhou Socioeconomics



贵州科技出版社

贵州师范大学自然地理学学科建设计划

国家“十一五”科技支撑计划重大课题

现代地理科学与贵州社会经济

熊康宁 梁玉华 郑建 主编

贵州省地理学会

贵州省地理教学研究会

贵州科技出版社

· 贵阳 ·

图书在版编目(CIP)数据

现代地理科学与贵州社会经济 / 熊康宁, 梁玉华, 郑建主编. — 贵阳: 贵州科技出版社, 2009. 3
ISBN 978 - 7 - 80662 - 753 - 2

I. 现… II. ①熊…②梁…③郑… III. ①自然地理学—文集②社会发展—贵州省—文集③经济发展—贵州省—文集 IV. P9 - 53 F127. 73 - 53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 008994 号

书 名 现代地理科学与贵州社会经济
作 者 熊康宁 梁玉华 郑 建 主编
责任编辑 袁 隽
特约编辑 张军梅
装帧设计 韩亚霏
版式设计 袁 隽

出 版 贵州科技出版社
印 刷 贵阳德堡快速印务有限公司

开 本 850 mm × 1194 mm 1/16
印 张 42
字 数 1 068.4 千字
版 次 2009 年 3 月第 1 版
印 次 2009 年 3 月第 1 次印刷
印 数 1 ~ 1 000 册

书 号 ISBN 978 - 7 - 80662 - 753 - 2/F · 029
定 价 112.00 元

Development Program for Physical Geography in Guizhou Normal University
National Key Project of Technology R&D Program in the Eleventh Five-Year Plan of China

Modern Geography and Guizhou Socioeconomics

Editor-in-chief

Xiong Kangning Liang Yuhua Zheng Jian

Guizhou Geography Society

Guizhou Geography Teaching and Learning Research Society

Guizhou Science and Technology Publishing House

• Guiyang •

序 || PREFACE

贵州省是我国西南少数民族聚居地之一,位于中国南方集中连片喀斯特分布区的核心地带,既有原生态的风光、丰富的资源,也面临着一系列的特殊环境问题,优势、劣势并举,深刻影响着人民的生存、社会经济的发展及生态环境的改善。从生态环境角度来看,贵州省是中国的“喀斯特省”,同时也是我国 20 世纪反贫困攻坚遗留下来的最难攻克的堡垒之一。“脱贫致富奔小康”、“富民兴黔”是贵州省 3 700 多万人民群众共同的心愿与奋斗目标。

地理学是一门研究地球表层自然要素与人文要素相互作用及其时空变化规律的科学,它广泛运用现代科学技术手段,具有跨越自然科学与社会科学的性质。面对当前全球变化和可持续发展的世界性问题,地理学家根据学科特点和领域优势,抓住机遇,迎接挑战,主要研究地球表层系统各界面间的物理、化学、生物及人文过程,探讨多种过程的相互作用、机理,探求人类活动与资源环境间相互协调、可持续发展的规律。西部大开发战略为贵州省可持续发展提供了前所未有的机遇,“富民兴黔”需要新的思维、新的观念。从现代地理学的新视野重新审视贵州省的省情——发育强烈而典型的喀斯特生态环境伴生着贫困与经济发 展的艰巨性,同时,喀斯特山区丰富的自然资源蕴藏着后发性可持续发展的巨大潜力。探索解决生态环境建设与经济的协调发展,走可持续发展之路,成为贵州省全省上下各级、各界共同面临的历史性课题。了解贵州省资源环境背景、资源开发保护、生态环境建设,并培养这方面的人才,把地理学的新进展运用到贵州省国民经济的生产实际中,这是一种远见卓识。本书就是为实践这一认识而辛勤劳动的部分成果。

本书包括 5 个部分,共收集 140 篇论文,涉及地理学理论与方法、世界遗产与申报研究、喀斯特石漠化与综合防治、区域经济与社会发展、中学地理教学研究,反映了贵州省地理学界所进行的科学研究梗概,也反映了地理学在贵州省结合国民经济建设所做的一些实际工作。其中一些论文在理论方面达到了较高的水平,一些论文提出了切合贵州省实际的石漠化治理、乡村旅游开发、区域经济发展和中学地理教学模式,尤其是在喀斯特石漠化与综合防治、喀斯特世界遗产与申报研究两方面,反映出本书的作者们已走在了国内前列。

第一部分为地理学理论与方法,涉及喀斯特地区生态环境和资源开发的各个方面,包括岩溶发育机理、石笋气候学、喀斯特洞穴动物群落、地貌水系演化与地下水开发、生态用水和生态环境信息服务系统开发等。有较多篇幅涉及用新的方法和技术手段来提高对喀斯特环境的研究水平,如对喀斯特地貌的研究,即运用了分形理论、GIS、CBERS、3S 和基于 DEM 的三维景观模型。相信这些研究会推动现代地理学理论在喀斯特地区的运用。

第二部分为世界遗产与申报研究。中国南方喀斯特世界自然遗产地申报的成功,标志着喀斯特地区的价值被重新认识,喀斯特地区的发展找到了新的模式。这部分内容重点在于对荔波喀斯特世界遗产地的景观美学特征、野生植物、水族民居文化、旅游可持续发展管理模式、旅游环境容量的研究,也有对赤水丹霞世界遗产提名地的生物多样性及其遗产价值、综合保护与管理的探讨,对非物质文化遗产的保护也有所涉及。

第三部分为喀斯特石漠化与综合防治。20 篇文章涉及喀斯特地区生态环境研究、喀斯特石漠化综合防治、旅游资源开发、经济发展模式研究等多个方面。很多文章结合贵州省实际,不但从整体上对石漠化地区的土壤、干热河谷、土地利用和水土流失机制进行研究,还选择一个示范区或一个小流域提出治理方案和设计模型,为贵州省石漠化分布区域石漠化的治理和社会经济的发展提出了有效的解决方法。

第四部分为区域经济与社会发展,共有 33 篇文章。这些文章针对贵州省当前的实际,阐述了旅游资源、生物资源和矿产资源的开发以及对水资源的保护等。其中,有 8 篇文章探讨了贵州省主体功能区划、喀斯特地区持续发展能力评价、小城镇发展与城市规划等;有 9 篇文章研究了贵州省的旅游资源开发与乡村旅游发展模式,对贵州省旅游的发展提出了很多切实的建议,很有现实意义。

第五部分为中学地理教学研究。众所周知,因为历史的原因,贵州省的教育水平在全国总体上仍相对落后,但贵州省的广大教育工作者正在努力赶上。该部分收集了贵州省教学第一线教师们的 60 篇文章,其中包括了地理思维的培养、创造能力的培养、“问题解决”策略、典型教案解析、高考分析、信息技术与网络环境下的地理教学、乡土地理与爱国主义教育等。这些文章反映了他们多年从事教学工作的心得,凝聚了他们的汗水和心血。

置身于贵州高原,长期在喀斯特地区工作,通过对贵州省的人口、资源、环境与可持续发展长期的基础研究,本书的作者们对贵州省的经济、社会问题有着更直接的感受、更具体的认识和更深刻的思考。我想,许多年后,曾经活跃在贵州高原的那个研究集体和他们提出的观点是不会被忽略的,譬如说在熊康宁教授带领下做出的对中国南方喀斯特研究的贡献。相信该书的出版不仅能提升贵州省地理科学研究的整体水平,也能为西部大开发,特别是贵州省社会经济的可持续发展做出重要贡献。

中国工程院院士、贵州师范大学名誉校长

卢耀如

2009 年元月 16 日于贵阳

目 录 || CONTENTS

序/PREFACE	卢耀如
-----------------	-----

地理学理论与方法

硫酸盐岩岩溶发育机理与有关地质环境效应	卢耀如、张凤娥、陶葆瑞、郭秀红(1)
喀斯特流域水系分形、熵及其地貌意义	梁虹、卢娟(10)
石笋微层气候学的几个重要问题	谭明(15)
喀斯特洞穴水系与碳酸钙的稳定同位素意义	
——以贵州省中西部地区为例	刘子琦、袁道先、李红春(21)
喀斯特洞穴内部分环境因子与动物群落结构的相关性研究	
——以贵州省波多洞和甲良洞为例	黎道洪(28)
碳酸盐岩成土作用及其上覆土层成因的讨论	李阳兵、王世杰、罗光杰(40)
喀斯特地区植被生态需水定额、定量研究	
——以贵州中部地区为例	杨胜天、王玉娟、吕涛、刘瑞禄(46)
贵州喀斯特山区浅层地下水开发、利用模式	苏维词(54)
基于 GIS 的贵州喀斯特坡立谷空间格局分析	兰安军、潘祖燕、文锡桢(58)
基于 CBERS 的喀斯特山区土地利用专题信息提取方法研究	
——以贵州省都匀市为例	胡娟、安裕伦、周旭(66)
3S 技术支持下喀斯特景观解译与格局研究	肖丹、安裕伦、熊康宁(75)
基于 DEM 的三维景观模型构建探讨	欧业宁、周忠发、龙晓闽(81)
基于 Visual C++ 6.0 与 OpenGL 的大比例尺三维可视化实现探讨	
.....	舒田、周忠发、张晓鹏、杨琴(87)
基于 WebGIS 的农业生态环境信息服务系统实现探讨	符辉、周忠发、吴开慧(91)
基于 ArcObjects 的山地农业资源 GIS 二次开发与实现	
——以贵州省赫章县为例	龙晓闽、周忠发、张会(95)

世界遗产与申报研究

中国南方喀斯特与贵州锥状喀斯特遗产价值的全球对比分析	熊康宁、肖时珍、陈品冬(101)
中国南方喀斯特发育特征与后期遗产提名地选点探讨	肖时珍、熊康宁、陈品冬(108)
荔波世界自然遗产地的景观美学特征分析	杜芳娟、陈品冬(116)
荔波喀斯特世界遗产地野生植物的红色名录	容丽、屠玉麟(121)
荔波喀斯特地区水族民居文化研究	徐大岭、覃远建(128)
荔波喀斯特世界自然遗产地旅游可持续发展管理模式研究	高强、杜芳娟(136)
贵州荔波樟江风景名胜区旅游环境容量研究	彭建(141)
喀斯特世界自然遗产地洞穴旅游与前景分析	
——以中国南方喀斯特荔波遗产地为例	朱莉娜、刘子琦、曾理、廖望(148)
世界遗产视角下的赤水丹霞地貌刍议	彭建、熊康宁(155)
赤水丹霞世界自然遗产提名地的生物多样性及其遗产价值	
.....	陈洪、熊康宁、任晓东、刘寅、汪小春(161)
赤水桫欏自然保护区多方利益相关者参与的综合保护与管理	任晓东、杨秀美(168)
浅谈贵州省惠水县非物质文化遗产的保护	向黎黎(174)

喀斯特石漠化与综合防治

退化土地的生态重建:社会工程途径	蔡运龙、蒙古军(177)
喀斯特地区土壤石漠化的本质特征研究——以贵州省为例	龙健、江新荣、邓启琮、刘方(185)
喀斯特石漠化遥感研究与地区发展——以贵州省长江流域喀斯特石漠化地区为例	安裕伦(194)
喀斯特石漠化光谱特征与遥感解译关系探讨	
——以贵州省毕节市鸭池示范区为例	周忠发、闫利会、喻琴、李波(203)
基于3S的贵州省喀斯特石漠化现状分析	陈起伟、熊康宁、兰安军(208)
基于栅格数据的喀斯特石漠化敏感性评价——以贵州省开阳县为例	文锡梅、兰安军(213)
基于RUSLE与GIS的喀斯特地区土壤侵蚀定量评价	
——以贵州省毕节市鸭池示范区为例	杨琴、周忠发、熊康宁(220)
面向对象的喀斯特地区土地利用信息提取研究	吴开慧、周忠发、符辉(228)
基于神经网络和遥感光谱特征的石漠化分类方法	
——以贵州省毕节市鸭池石桥小流域为例	闫利会、周忠发、喻琴(234)
喀斯特石漠化综合防治空间决策支持系统的设计	
——以贵州省毕节市鸭池示范区为例	张勇荣、周忠发、刘梦琦(240)

喀斯特石漠化综合防治中小流域治理工程布置设计	
——以贵州省清镇市王家寨、羊昌洞小流域为例	盈斌、熊祝、魏鹏(245)
喀斯特干热河谷石漠化综合治理模式与技术支撑体系	
——以贵州省花江示范区为例	陈永华、兰安军(255)
喀斯特峰林盆地庭园生态经济发展模式研究	
——以贵州省清镇市王家寨和羊昌洞示范区为例	覃张玲、熊康宁、任晓冬、魏鹏(261)
喀斯特石漠化综合治理区农村专业合作组织研究	魏鹏、熊康宁、肖时珍、覃张玲(267)
喀斯特地区小流域石漠化综合治理与土地利用结构调整	
——以贵州省关岭布依族苗族自治县为例	廖炳恒、隋洁(273)
不同流域环境结构下喀斯特石漠化治理的土壤效应研究	
——以乌江上、中、下游为例	常黎、王恒松、刘云(279)
石漠化治理过程中水土流失机制的模型研究	胡顺光、熊康宁(286)
喀斯特石漠化地区乡村特色生态旅游与石漠化综合治理设计研究	
——以贵州省毕节市清水铺镇橙满园村为例	韦清章、肖时珍(296)
石漠化治理与药材种植结合初探	黄芬(302)
贵州省毕节市鸭池示范区喀斯特石漠化成因探讨	喻琴、周忠发、闫利会(306)

区域经济与社会发展

荞麦属大粒组荞麦种的细胞学、同工酶及种间杂交研究	
..... 陈庆富、Sai. L. K. Hsam、Friedrich J. Zeller(311)	
吴茱萸药材的高效液相色谱指纹图谱研究	周欣、雷培海、刘海(321)
走可持续发展之路——从人口、资源、环境分析中国东、西部地区的可持续发展	郑建(326)
喀斯特生态治理区可持续发展指标体系构建与可持续发展能力评价	
——以贵州清镇红枫湖示范区为例	彭贤伟(330)
“道法自然”生态伦理思想初探	吴亚平(337)
浅谈欠发达地区小城镇发展的思路和策略——以遵义市小城镇发展为例	许丽君(340)
城市的合理规划、建设和管理——以贵阳市白云区为例	程文(346)
利益相关者理论视角下的乡村旅游发展模式研究	
——以贵州天龙屯堡“四位一体”的乡村旅游模式为例	陈志永、李乐京、梁涛(349)
喀斯特农业经济与乡村旅游共建模式设计	
——以贵州省清镇市王家寨和羊昌洞生态农业为例	鄢细霞、杜芳娟(361)
乡村旅游开发对推动农村劳动力转移的可行性和必要性研究	卢绍香(366)

民族村寨旅游可持续发展耗散结构分析	叶春(372)
中国生态工业园区建设的政策支撑体系构建	钟书华(377)
中国典型岩溶地区土地利用生态风险的空间分析	白晓永、熊康宁、苏孝良(383)
我国南方冰雪灾害浅析	吴锡镇(389)
战后日本农业发展对我国的启示	张磊、孟涵、李伟涛(392)
贵州旅游气候资源评价	梁玉华(395)
贵州旅游资源特征及开发、利用研究	肖进源(401)
贵州省欠发达地区的界定及其特征分析	徐燕、彭万章(408)
浅谈如何有效保护贵州的水资源	龙银河、游惠明(416)
贵州生态环境与生态移民策略	杨成名(419)
重视生态旅游,促进贵州旅游业可持续发展	李乐京(423)
贵州省主体功能区划若干问题探讨	隋喆、熊康宁、吴开慧(427)
关于贵州省主体功能区划中人口、经济、交通评价指标体系的几点建议	罗姝、骆建礼、王成姝、王春香(431)
贵州省息烽县阳朗排洪工程水量效应分析	程星、雷丽、覃飞妮(435)
贵阳市两城区城市环境美学质量评价	余曼莉、屠玉麟(441)
红花岗区——黔北经济增长极效应分析	童玉君(449)
贵州温泉镇生态旅游开发初探	吴清林(452)
雷公山旅游资源开发探讨	金志能(456)
贵州铜仁万山特区汞矿资源的开发、利用与可持续发展	席慧(461)
贵州松桃优势矿产资源及其可持续发展对策	杨凤兰(466)
贵州开阳禾丰布依族苗族自治县乡村经济可持续发展研究	杨华嵩(470)
基于 LUCC 的重庆城市生态系统服务价值变化研究	张凤太、苏维词、赵卫权(476)
基于地缘政治与地缘经济视角的云南省参与大湄公河次区域合作研究	宋飞(483)

中学地理教学研究

新课程改革中教师专业发展与教研制度建设研究	汪际(487)
论对中学生进行绿色消费方式的培养	徐蓉(491)
中学地理教学中地理思维的培养	兰珩(493)
2007 年贵州省高考文科综合卷(Ⅱ)地理试题评析	陈红生(496)
认真分析高考地理命题情况,把握地理复习策略	汪际(500)
成人高等院校经济地理学教学方法探讨	龙拥军(508)
浅谈中学地理教学资源网在贵州中学地理教育中的应用	何红(512)

“问题解决”策略在地理教学中的应用——《影响气候的主要因素》课前说课案例	万启桂(516)
地理教学难点的图示优化处理	印朝华(519)
教学中突出学生的主体地位是培养学生创新精神的前提	肖世渠(523)
地理教学中学生创新、创造能力的培养	赵亮(526)
谈谈地理教学中如何培养学生的发散性思维	王笃弘(529)
西部贫困地区地理教师的专业素质现状与专业化成长	林华(533)
新课程背景下校本教研与地理教师的专业成长	穆朝君(537)
实施校本教研策略,促成教师成长	周原(541)
浅谈新时期师生沟通的策略	倪恩红(543)
教师礼仪也重要	杨琴(546)
薄弱学校地理教学过程中的几个突出问题及对策	邱兵贵(548)
地理教学中如何体现新课程理念的尝试	田仲先(550)
浅谈地理教学新理念	林芝(552)
浅谈课程改革新理念在地理教学中的落实	张宏(554)
西部大开发理念在中学地理教学中的渗透	龙运柏(556)
深挖《地理课程标准》,提高课堂教学的有效性	王榕蓉(558)
浅评初中《地理课程标准》和新教材(人教版)	王利亚(560)
浅析湘版地理新教材	张家明(564)
初、高中地理教学衔接研究	陈健(566)
解读日出、日落方位与日影变化规律,培养学生空间思维能力	杨先远(568)
平面三角坐标图的一种最简单判读方法	郑光槐(571)
高中地理教学建议探究	王秋(573)
实验手段在高中地理有效课堂教学中的作用的探究	杨林(575)
构建有效教学课堂与开展分段式地理教学初探	余曼莉(578)
浅谈现代信息技术与初中地理教学的整合	曾沛(580)
浅谈基于网络环境下的地理教学	金玉洁(583)
信息技术在地理教学中的应用与分析	杨丽(586)
高三地理复习感悟	邱腾英(589)
高考选择题的命题质疑和答题技巧	张元忠(591)
浅谈高中地理复习的基本策略	先青平(595)
用绘图法指导学生学地理	夏咏梅(598)
新课程理念下的地理课堂教学策略	龙秋榕(600)
如何提高高中地理课堂教学效果	杨姝(603)
让学生在兴趣中学习	薛雷(605)

如何激发学生学习地理的兴趣	黄婉玉(607)
如何激发高中生学习地理的兴趣	王帮(609)
浅议初中地理教学中学生学习兴趣的培养	鄧志兰(611)
地理教学中探究式学习尝试	王利亚(613)
地理课堂教学方式的探究——研究性学习与地理课堂教学的整合	游慧明、龙银河(616)
合作竞争在地理教学中的应用	蒲秋霞(618)
优化课堂环境,提高课堂效率	杨春平(621)
地理课堂教学中的设疑置问	邓志(623)
浅谈相关学科知识在地理教学中的运用	马星(625)
在初中地理教学中关注学生心理成长	张冠荪(628)
在地理教学中融入爱国主义教育	杨琦(631)
做好教学反思,增强地理教学的有效性	林科丽(633)
地理新课程改革过程中的教学反思	田婕(637)
注重教学反思,促进有效的地理教学	李桂琼(640)
浅谈地理课外活动的开展	李妍(642)
运用“乡土地理”进行环境教育实践活动初探	蔡廷茂(646)
乡土地理教材《镇宁地理》的编写认识	黄鯤(648)
学习身边的地理——指导学生撰写地理小论文或调查报告的教学体会	陈荣(651)
在中学地理教学中渗透历史知识	吴国军(653)
后记/POSTSCRIPT 经济高增长时代的国家后花园	谭明(655)

硫酸盐岩岩溶发育机理与有关地质环境效应*

卢耀如^{1,2} 张凤娥¹ 阎蓀瑞¹ 郭秀红¹

(1. 中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 正定, 050803

2. 贵州师范大学中国南方喀斯特研究院, 贵阳, 550001)

【摘要】 硫酸盐岩在中国分布很广泛,特别是石膏及硬石膏,其分布遍及各省、直辖市、自治区。中国硫酸盐岩岩溶的基本特性,一是没有特殊的岩溶景观,二是大的洞穴系统难于在自然界中保存。但是,由于硫酸盐岩(石膏和硬石膏)和碳酸盐岩(石灰岩和白云岩)常共生沉积,文中进一步探索了二者的混合岩溶作用机理。研究中专门进行了一系列的溶蚀试验,以研究不同状态下石膏的溶解作用。试验结果表明:气候条件、热液作用对石膏岩溶发育有着重要的影响。石膏在盐水中的溶蚀量比在蒸馏水中要高2~3倍。硫酸盐岩中生物岩溶发育是非常重要的,包括石膏和硬石膏在有机物参与下,经厌氧的硫酸盐还原菌以及排硫杆菌的气化作用,都可加速对 CaSO_4 的溶蚀作用。在所研究的样品中,都检测到这些可发生生物岩溶作用的菌类。根据硫酸盐还原菌还原生成 H_2S 及排硫杆菌作用而降低水中pH值,表明细菌的岩溶作用也存在不同的强度。在研究硫酸盐岩岩溶发育机理的基础上,同时讨论了典型硫酸盐岩地区存在的岩溶塌陷、陷落柱、地面沉降及滑坡等地质灾害,以及人工加速诱发硫酸盐岩地区地质灾害的实例。

【关键词】 硫酸盐岩 岩溶发育机理 地质灾害

Mechanism of Karst Development in Sulphate Rocks and Its Main Geo-environmental Impacts*

Lu Yaoru^{1,2} Zhang Feng'e¹ Yan Baorui¹ Guo Xiuhong¹

(1. Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, CAGS, Zhengding, Hebei, 050803, China

2. Institute of South China Karst, Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou, 550001, China)

【Abstract】 Sulphate rocks are quite widely distributed in China; gypsum and anhydrite, in particular, have been found almost in all parts of China. Based on the description of the genetic types and distribution of sul-

【基金项目】 国家自然科学基金资助项目(49172144)。

【第一作者简介】 卢耀如(1931~),男,汉族,研究员,博士生导师,中国工程院院士,贵州省地理学会会员。研究方向为喀斯特水文地质、工程地质与环境地质。

* 该文原载于《地球学报》2002, 23(1):1~6。

phate rocks such as gypsum and anhydrite, this paper has probed into the mechanism of their karst development. The basic karst features of sulphate rocks in China are mainly as follows: (1) no special karst landscapes of carbonate rocks are developed; (2) large cave systems cannot be kept for a long period under natural conditions. The sulphate rocks (gypsum and anhydrite) and carbonate rocks (limestone and dolomite) are usually deposited together, and hence the mixed karst mechanism related to sulphate rocks and carbonate rocks is further discussed in this paper. A series of special dissolution tests have been conducted for studying the karstification of gypsum under different conditions, and the results clearly indicate that the climatic condition and the thermal process exert important influence upon the gypsum karst development. The dissolution quantity of gypsum is 2 ~ 3 times higher in salt water than in pure water. The biogenetic karstification in sulphate rocks is very important, and the process includes the *Desulfovibria* and *T. thioparus*, which speed up the dissolution rate of CaSO_4 . The bacteria related to the biogenetic karstification have been found in many samples of gypsum. On the basis of the H_2S quantity produced by *desulfovibria* and the pH values decreased by the *T. thioparus*, the degree of biogenetic karst processes can be classified. Geohazards related to such karst activities of sulphate rocks as karst collapse, water invasion, land subsidence, and collapse column in typical sulphaterock karst areas are also dealt with in this paper.

【Key words】 sulphate rock mechanism of karstification geohazard

1 引言

硫酸盐岩在中国有较大的分布面积,其岩溶特征与碳酸盐岩岩溶相比有很大不同。硫酸盐岩主要有石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)、硬石膏(CaSO_4)、芒硝等,石膏和硬石膏属矿产资源,是许多工业的重要原料。硫酸盐岩岩溶在发育过程中,也伴随有地质灾害的发生。在盐湖分布地区,除了有卤化物岩分布之外,亦有硫酸盐岩分布,并相应地发育有岩溶现象。

2 中国硫酸盐岩的基本特性

石膏和硬石膏几乎在中国各省、直辖市、自治区都有分布(图1),山东、内蒙古、青海、湖南、宁夏、西藏、新疆、安徽、山西等地区是石膏和硬石膏的主要产地。石膏的成因涉及海相沉积、湖相沉积、变质作用、热液作用以及岩溶作用,其地质年代从前寒武纪至第四纪。中国固体石膏和硬石膏的特性是:①多为碳酸盐岩和碎屑岩的夹层,通常厚度不大,在1 m以下;②厚层、块状石膏和硬石膏,厚度可达数米以上;③海相成因的石膏和硬石膏多含有碎屑成分;④由于变质和热液作用,石膏和硬石膏常出现大的原生结晶或长的纤维状晶体。盐湖中硫酸盐岩的沉积,经常由于岩溶作用而发生由固相至液相或由于蒸发而发生由液相至固相的变化。受地壳构造运动及气候条件影响,第四纪时期,在青藏高原及西北地区有过复杂的演化过程,因此,硫酸盐岩相应有多期岩溶作用过程。

硫酸盐岩中的芒硝也有2个相,液相分布于盐湖环境,固相埋存于地下。芒硝发育地区也强烈发育岩溶,在岩溶作用与蒸发作用下使青藏高原及西北地区的芒硝经常发生相变。在中国四川,地下固体芒硝由于强烈的岩溶作用而诱发灾害。

3 硫酸盐岩岩溶的基本特征

(1) 没有典型岩溶景观。在中国,与碳酸盐岩岩溶地区相比较,硫酸盐岩岩溶地区没有典型、特殊的岩溶景观。由于硫酸盐岩层薄而质软,发育的岩溶景观不易长期保存,尤其是发育于地表裸露硫酸盐岩中的岩溶景观,在降雨溶蚀作用下更易被侵蚀、破坏。

(2) 大的洞穴系统难于保存。硫酸盐岩中洞穴系统和碳酸盐岩中的一样,亦具有多种发育模式^[1]。在薄层呈夹层状的硫酸盐岩中,不易单独发育大的洞穴系统,但在厚层或块状石膏层中发育有较大的洞穴系统。例如:在山西太原及阳泉地区的厚层碳酸盐岩中可见有早期发育的洞穴系统,但已塌陷充填。在美国俄克拉何马州以及乌克兰、西班牙、俄罗斯、意大利等地^[2],目前仍有发育于石膏中的暗河系统。

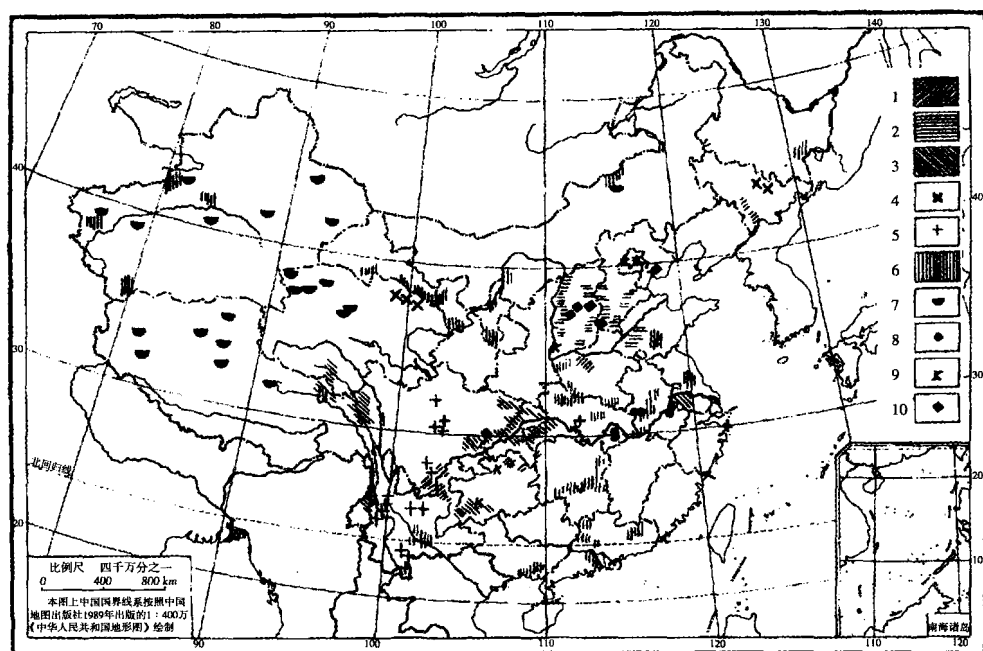


图1 中国硫酸盐岩成因类型分布略图*

Fig. 1 Map showing the age and distribution of the main genetic types of sulphate deposits in China*

1. 寒武系海相硫酸盐岩 2. 奥陶系海相硫酸盐岩 3. 三叠系海相硫酸盐岩 4. 石炭系海相硫酸盐岩 5. 白垩系湖相硫酸盐岩 6. 第三系湖相硫酸盐岩 7. 晚第三系—第四系湖相硫酸盐岩 8. 热液变质硫酸盐岩 9. 岩溶作用形成的次生硫酸盐岩(典型地带) 10. 由硫酸盐岩和碳酸盐岩混合岩溶作用于煤田地区产生的陷落柱

1. Cambrian marine sulphate deposits 2. Ordovician marine sulphate deposits 3. Triassic marine sulphate deposits 4. Carboniferous marine sulphate deposits 5. Cretaceous lacustrine sulphate deposits 6. Tertiary lacustrine sulphate deposits 7. Late tertiary - quaternary lacustrine sulphate deposits 8. Thermal and metamorphic sulphate deposits 9. Secondary sulphate deposits produced by karstification (typical localities) 10. Collapse columns in coal mines caused by mixed karstification of sulphate rock and carbonate rock

(3)复合岩溶作用。硫酸盐岩和碳酸盐岩常相伴沉积,因此也常发生二者间的复合岩溶作用。这种复合岩溶作用可发生于固相和盐湖液相状态。该复合岩溶作用与硫酸盐岩和碳酸盐岩单独进行的岩溶作用有着明显的不同。除了该复合岩溶作用之外,硫酸盐岩还存在着水的岩溶作用和与生物岩溶作用的复合岩溶作用。

4 硫酸盐岩在水溶液中的溶蚀作用机理

有关硫酸盐岩石膏的溶蚀特性,以往已有学者进行过研究^[3,4]。限于篇幅,本文简略介绍近期一些试验成果。

硫酸盐岩和碳酸盐岩的岩溶作用在水溶蚀作用机理上,最主要的区别在于水对碳酸盐岩的岩溶作用需要借助于溶剂 CO_2 的作用,而水可直接对硫酸盐岩产生溶蚀作用。将石膏进行蒸馏水及 NaCl 溶液的溶蚀试验,结果表明,石膏在盐水中的溶蚀率(溶解度)比在蒸馏水条件下要高 2~3 倍(图 2)。

将石膏样品经过加热处理或冷冻作用后进行溶蚀试验,其结果表明,冷冻后的样品其溶蚀率较低,而加热处理后的样品,其溶蚀率比冷冻处理样品稍高;没有经过加热或冷冻处理的原生样品,其溶蚀率最大。根据温度试验成果分析,当温度大于 50°C 时,其溶蚀率明显增大(图 3)。试验成果表明,气候条件、热液作用对石膏岩溶的发育有着重要影响。

不同组织结构、不同岩性的石膏进行溶蚀试验而获得的溶蚀率,可由 57 mg/L 至 322 mg/L ,相差约 6 倍。

* 该图来源于卢耀如,Cooper A. Gypsum goohazara in china,1997。

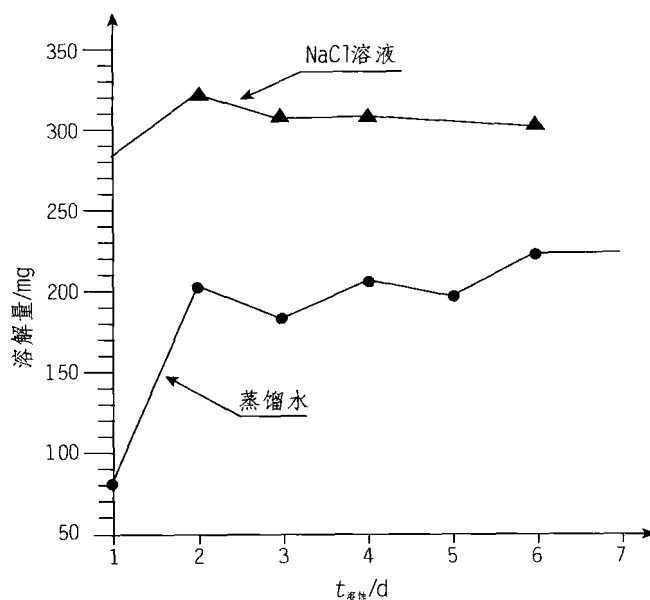


图2 在蒸馏水及 NaCl 溶液中石膏的溶蚀率

Fig. 2 Dissolution quantity of gypsum in distilled water and in NaCl solution

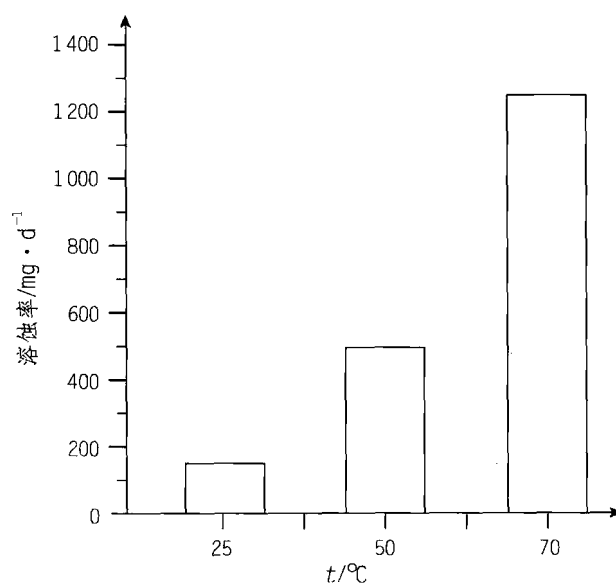
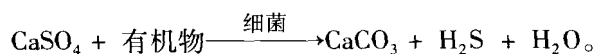


图3 不同温度条件下石膏的溶蚀率

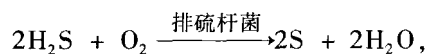
Fig. 3 Dissolution quantity of gypsum under different temperature conditions

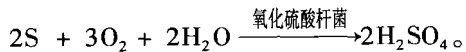
5 生物岩溶作用机理

微生物在成矿中的作用已有较多研究^[5,6]。生物岩溶作用目前正日益引起国际上学者们的关注。石膏和硬石膏在有机物参与下,经厌氧的硫酸盐还原菌还原形成 H₂S:

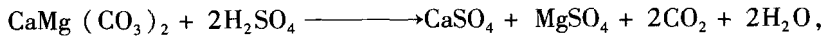
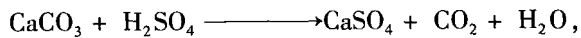


在石膏裂隙中发现有硫酸盐还原菌,当含有溶解氧的水渗入到地层中,便发生化学的及排硫杆菌的气化作用,使 pH 值降至 4.5 ~ 5,催化并加速了 CaSO₄ 的溶蚀作用:





所产生的 H_2SO_4 , 又可强烈溶蚀周围的碳酸盐岩, 并生成石膏, 这种次生石膏又极易溶于水:



所以, 生物岩溶作用在硫酸盐岩和碳酸盐岩分布的地区, 也是一种生物复合岩溶作用过程。

在研究的 10 个样品中, 其中 5 个样品培养出硫酸盐还原菌, 其作用强度以该菌代谢作用还原硫酸盐产生的 H_2S 浓度来表示(表 1)。

表 1 硫酸盐岩岩溶区硫酸盐还原菌作用强度
Table1 Effect of Desulfovibria in sulphate karst areas

样品编号	硫酸盐还原菌还原生成 H_2S (mg / L)	细菌作用强度
Sd1	< 10	-
Sd2	> 100	++
Sx1	< 10	-
Sx3	< 10	-
Sx4	> 100	++
En1	50 ~ 100	+
Gx2	> 100	++
Gx3	> 100	++
Gx4	< 10	-
Gx5	< 10	-
无菌对照	< 10	-

在采集的 10 个石膏样品中, 7 个样品有排硫杆菌, 其作用强度用基质中氧化了的 $Na_2S_2O_3$ (%) 及 pH 值表示(表 2)。7 个样品中, pH 值由 7.2 降为 5.2 ~ 5.8。无菌对照中, 氧化了的 $Na_2S_2O_3$ 小于 10%, pH 值为 7.2。

此外, 还发现有还原硝酸盐的脱氮硫杆菌还原硝酸盐生成 NO_2 (亚硝酸盐), 也可生成酸类, 加强了对碳酸盐岩的溶蚀作用。

表 2 硫酸盐岩岩溶区排硫杆菌的作用强度
Table2 Effect of Thiobacillu thioparus in sulphate karst areas

样品编号	排硫杆菌氧化 $Na_2S_2O_3$ (%)	pH 值	细菌作用强度
Sd1	37.00	5.8	+
Sd2	39.00	5.5	+
Sx1	54.38	5.2	++
Sx3	< 10.00	6.5	-
Sx4	100.00	5.5	+++
En1	41.39	5.5	+
Gx2	< 10.00	7.2	-
Gx3	< 10.00	6.8	-
Gx4	40.00	5.2	+
Gx5	40.00	5.2	+
无菌对照	< 10.00	7.2	-