



ACTA GEOLOGICAL SINICA OF HENAN

河南地球科学通报

2008年卷（上册）

河南省地质学会 主办
河南省地质调查院 协办
河南省国土资源科学研究院



中国大地出版社



河南地球科学通报

2008 年卷

(上 册)

河南省地质学会 主办
河南省地质调查院 协办
河南省国土资源科学研究院

中国大地出版社
· 北京 ·

内 容 提 要

本书内容丰富,实用性强,概括了河南省地质调查和研究的最新进展。全书共分上、中、下三册。上册包括基础地质和矿产地质两部分;中册包括水文地质、工程地质和环境地质三部分;下册包括方法技术及应用、旅游地质、分析测试和论坛等四部分。

本书可供河南省地质工作人员及外省市相关专业人员借鉴和参考。

图书在版编目(CIP)数据

河南地球科学通报. 2008年卷/段子清主编. —北京:中国大地出版社,2008.8

ISBN 978-7-80246-005-8

I. 河… II. 段… III. 地球科学—文集 IV. P-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第121914号

责任编辑:卢晓熙

出版发行:中国大地出版社

社址邮编:北京市海淀区学院路31号 100083

电 话:010-82329127(发行部) 010-82329008(编辑部)

传 真:010-82329024

网 址:www.chinalandpress.com 或 www.中国大地出版社.中国

印 刷:河南新起点印务有限公司

开 本:889mm×1194mm 1/16

印 张:55.25

字 数:1700千字

版 次:2008年8月第1版

印 次:2008年8月第1次印刷

印 数:1—1000套

书 号:ISBN 978-7-80246-005-8/P·77

定 价:130.00元(全三册)

版权所有·侵权必究

《河南地球科学通报》

2008 年卷

编委会名单

主 编：段子清

副 主 编：王建平 张天义

编 委：王志光 陈学军 常宏坤

焦守敬 燕长海 李兆慧

吉建华 宋国凤 铁平菊

张瑞怡 曾光明 徐卫东

赵永江

执行主编：陈瑞保 皮明建 杨伯轩

目 录

上 册

· 基础地质 ·

洞穴石笋 $\delta^{13}\text{C}$ 对气候的复杂响应	邱庆伦, 王君玉, 晁红丽, 等	1
浅析喜马拉雅造山作用与雅鲁藏布水汽通道效应	张天义, 邢永强, 张 璋, 等	6
河南省山西组 and 下石盒子组的岩石地层特征	张海清, 李进化, 张兴辽, 等	13
北秦岭华力西期褶皱造山带	金守文	20
南阳—襄阳夹道浅析	金守文	23
大别山白雀园一带变形变质花岗岩类地质、地球化学特征及成因初探	张保平, 丁见广, 刘富营, 等	26
平顶山砂岩地质遗迹特征及成因探讨	裴 放, 巴 燕, 王朝栋, 等	31
新疆乔尔玛地区下石炭统阿克沙克组下段沉积体系域的基本特征	谭和勇, 谢朝永, 叶 杰, 等	41
河南省石炭、二叠系界线问题讨论	李进化, 张海清, 张兴辽, 等	46
西藏都朗拉地区晚古生代地层及沉积环境	刘品德, 陈俊魁, 柴建玉	50
气化幔团假说	冯锦廷	54
中国豫西煤田滑动构造特征浅析	刘传喜	58

· 矿产地质 ·

豫西郁山铝土矿沉积环境	李中明, 赵建敏, 马瑞中, 等	66
豫西铝土矿成矿物质来源与找矿方向	瓮纪昌, 李文智, 汪慧军	76
内蒙古东乌珠穆沁旗巴彦毛敦地区成矿远景分析	邱庆伦, 卢书伟, 任建德, 等	81
小秦岭—熊耳山地区金矿硫同位素地球化学特征分析	付治国, 瓮纪昌, 卢欣祥	89
河南省南召县银洞山铅锌矿床地质特征	涂恩照, 水 彬, 王 昊, 等	99
河南省鲁山县王庄含硼钾岩石矿床地质特征及工业利用	廖诗进, 丁见广, 谭和勇	103
栾川上房沟特大型钼矿床蚀变分带规律研究	瓮纪昌, 付治国	110
河南水洞岭铜铅矿床特征、成因及找矿潜力分析	张智慧, 涂恩照, 崔华瑞, 等	119
河南镇平秋树湾矿区铜钼矿床地质特征及深部找矿潜力分析	张智慧, 秦 明, 张 旭, 等	128
豫北瓦庙坡铜矿床地质特征与成因探讨	陈文忠, 崔小军	135
西藏冲给错钼锌多金属矿成因及找矿标志	刘品德, 柴建玉, 李先哲	141
内乡县银洞沟银多金属矿区 Y1 号矿体特征及成矿规律浅析	郭树银	145
河南洛宁龙门店银矿区地质特征及找矿前景	范文庆, 范少军, 王 忠	152
河南省九丈沟金矿床地质特征及找矿方向	耿怡智, 杨显道, 马春阳	157
嵩县范疃金矿区地质特征及找矿方向分析	耿怡智, 郑继荣, 马春阳, 等	162

支建铝土矿矿床地质特征研究	瓮纪昌, 汪慧军, 李文智, 等	166
支建矿区铝土矿沉积特征研究	瓮纪昌, 李文智, 汪慧军, 等	174
栾川地区南泥湖一带多源控矿特征探讨	谢朝永, 谭和勇, 余冰, 等	182
栾川 Mo、W、Pb、Zn、Ag 矿集区深部找矿探讨	谢朝永, 谭和勇, 余冰, 等	187
辽东地区元古界硼矿的成因与找矿标志	周红春, 田磊, 刘传权, 等	193
竹园沟钨钼矿床地质特征及找矿远景分析	张云政, 瓮纪昌, 云辉	200
东秦岭 河南段钼异常特征、矿床分布规律及成矿区带划分	赵金洲, 王昊, 乔保龙, 等	208
小秦岭金钼共生矿床地质特征及成矿规律初步研究	马旭东, 张巍, 秦正, 等	212
浙江常山式萤石矿的地质特征及矿床成因探讨	李福昌	216
镇平北部秋树湾铜钼矿区及外围勘查开发现状及找矿远景评价	刘波, 张生旭	220
西峡县任家庄沟铅锌矿地质特征及找矿前景	杜思胜, 喻广军, 唐杰, 等	224
河南省栾川县新南钼矿床特征及成因浅析	刘占辰, 薛基强	229
窦沟井田二 ₁ 煤层煤质评价	沈建党, 师书冉, 刘建军	235
西藏龙马拉-亚贵拉铜多金属成矿带铜铅锌多金属成矿地质特征及成矿规律	陈俊魁, 刘品德, 柴建玉	240
北秦岭构造带 河南段银铅锌 钼深部找矿靶区优选	曾宪友, 刘国印, 孙国锋, 等	246
南阳市矿产资源远景储量概况及勘查、开发中存在问题的探讨	喻广军, 杜思胜, 唐杰, 等	252
河南省矿业循环经济发展浅谈	王伟, 张荔	257
河南省铝土矿资源特征及开发利用现状	董永志, 李志红, 赵目军	260
河南省铁矿成矿规律研究	王跃峰	263
我国铁矿资源供需分析及地质勘查建议	时永志, 徐丽杰	268
河南省铀成矿规律与找矿前景分析	李靖辉	272

中 册

· 水工环地质 ·

河南省饮用天然矿泉水开发利用现状及前景展望	王继华, 郭功哲, 豆敬峰	277
洛阳盆地水源地开采现状及后备水源地分析	杨利国, 宋会香, 王金山, 等	281
河南省平原区浅层地下水环境演化趋势分析	魏秀琴	284
城市水环境问题及对策	张青锁, 刘占时	291
2007 年商丘市地下水动态分析	豆敬峰	294
郑州市地下水环境现状分析	邓晓颖, 王现国, 张晋, 等	296
河南省平原区浅层地下水总硬度的分布及其演化趋势	魏秀琴, 豆敬峰, 郭功哲	300
山东某 60 万吨/年 PTA 项目地下水渗漏性能评价及防渗措施	吉建华	304
河南省平原区农村居民饮用水质量存在的主要问题及对策	魏秀琴, 郭功哲, 豆敬峰	311

焦作市矿山环境现状与趋势分析	吴 梅, 郭文秀	315
灵宝市矿山环境现状与趋势	吴 梅, 郭文秀, 杨皓宇	320
浅谈地质环境与环境地质、生态环境的关系及其保护	邢永强, 张 璋, 张洪波, 等	325
浅议生态环境承载能力与环境容量的区别与联系	邢永强, 康鸳鸯, 张洪波, 等	329
浅谈技术改造煤矿矿山环境保护与综合治理方案编制	郭新华, 孙凤余, 章 煜, 等	332
夹沟铝土矿矿坑突水量预测研究	黄景春, 王 玲, 豆敬峰	338
综合危险性指数法在地质灾害易发区划分中的应用	李学问, 余珍友, 庞 良, 等	343
重庆市涪陵区云台寺滑坡稳定性分析	涂良权, 胡继华, 倪 川, 等	348
灵宝市小秦岭金矿区泥石流沟危险性评价研究	郭文秀, 邢永强, 郭新华	351
四川某斜坡地质灾害的稳定性评价与治理	郭雨非, 郭新华	356
国道 G214 盐井—芒康段地质灾害特征调查中遥感技术的应用	张玉明, 汤喜梅	366
GIS 在地质灾害评估中的应用概述	徐建军	371
高速公路沿线滑坡地质灾害危险度分析与评价	温宏亮, 吴 梅, 张红亮	377
陇海铁路沿线 潼关—关帝庙段地质灾害及防治对策	朱洪生, 岳超俊, 王建华	381
滑坡地质灾害防治技术及应用	涂恩照, 徐 刚	385
信阳市地质灾害现状及防治研究	杨进朝, 白雪梅, 张青锁	388
河南省伊川县地质灾害特征及防治对策	方 林, 霍光杰, 李洪燕	393
鹤壁市地质灾害现状及防治研究	杨进朝, 马 喜, 白雪梅	397
河南省泌阳县泥石流地质灾害的发育特征及防治对策	马 喜	402
登封市地质灾害发育特征及防治对策	于松晖	405
河南省生态环境承载能力与可持续发展研究体系架构研究	邢永强	409
城市未来垃圾处置场适宜性评价方法	寇亚飞, 陈光宇, 刘兴华	422
城市地质质量研究方法初探	徐连利	427
河南省城市地质工作存在的主要问题与对策	吴继臣, 苗晋祥, 朱学立	433
河南矿业开发对土地资源的破坏与恢复措施	赵承勇, 齐登红, 朱中道	437
土地整理规划设计中的水资源平衡分析研究		
——以开封县为例	李天阁, 张 雷, 王争艳, 等	441
洛阳盆地地热资源形成条件分析研究	王现国, 杨现国, 杜春彦	446
河南省地裂缝的特征及分布规律	方士军	450
焦作丹河电厂终期加高工程左坝肩第四系松散层工程地质问题分析与研究	张跃军, 张瑞怡, 李林民	455
豫西黄河中游土壤侵蚀现状分析	王现国, 刘 涛, 杨建斌, 等	459
郑州市区地基土工程地质特征	张根山, 陈银松	463
湿陷性黄土的工程特性及其地基处理方法	雷 励	468
长螺旋钻机成孔压灌砼桩后插筋工艺的应用	苏冠英, 李朋辉, 谢山立	471

挡土墙设计浅析	车志强, 王 军	474
大口径深孔钻孔灌注桩施工工艺	谷天本, 王 虎	479
袖阀管注浆技术在路基工程中的应用	谷水兵, 白兆强	482
预应力锚索抗滑桩在边坡治理中的应用	雷 励	486
袖管空心土钉墙基坑支护技术	李红超, 司育强, 李长旭	489
综合加固方案在济南高速外环南线某高填方路基病害施工中的应用	李红超, 司育强, 李长旭	492
预应力锚杆在郑州某深基坑支护工程中的应用	王 刚, 赵维成	495
桩端后压浆技术及其应用	张春雷	498
锚杆微型梁竖向微型桩联合体系在治理高填方路基病害中的应用	张洪欣	502
河谷岩体带状结构分布特征探讨	张春雷	508
细砂、粉细砂地层中深水井施工工艺		
——以塔中四油田水源地供水井工程为例	路东臣, 郭东升	512
基坑降水引起的城市环境危害及防治	倪 昆, 卢 磊	517
公路建设引发的环境地质问题及对策	张青锁, 刘占时, 张军杰	522
浅谈河南省矿山地质环境问题及防治措施	许铜建, 姚都峰	526
大管棚超前支护技术在亳山欲隧道施工中的应用	白兆强, 谷水兵	530
灰土桩和水泥土搅拌桩在许昌市填土地基的运用	周 明, 陈继宏, 韩元杰	534
高压旋喷桩复合地基 高压喷射注浆法在郑州市高层建筑中的应用		
——以郑州大学护理学院高层住宅楼为例	方士军, 崔华瑞, 侯少华, 等	537

下 册

· 方法技术及应用 ·

土地管理中遥感技术的应用	饶 欢, 王 涛	541
多源遥感影像的去云层处理技术	孙晓辉, 杨培琴, 李贵浩	545
河南省地质信息连续采集运行系统的设计	王军见, 远顺立, 吴孔军	550
三维地质建模技术的发展历史与未来展望	苗晋祥, 吴继臣, 朱学立, 等	554
城市高分辨率影像建筑物阴影研究	赵鸿燕, 王君玉	560
数字高程模型及其应用简介	王 兵, 马 惠, 葛利玲, 等	564
土地信息系统的设计与开发	王争艳, 潘元庆, 皇甫光宇, 等	567
全面解决 MapGIS 多用户版只能在同一网段网络环境下运行的难题	朱学立, 陈瑞保, 吴继臣, 等	572
MapGIS 软件在市级农用地定级与估价中的应用	余 坤, 潘元庆, 李天阁, 等	578

· 数字化 ·

利用编程计算地球化学异常特征值的实践	解庆锋, 何 镇	581
--------------------------	----------	-----

区域化探样点布置图点文件转换 MapSource 航点的实现	解庆锋	588
浅谈滑坡地质灾害预警监测系统	李琦, 李吉春, 王仲	595
AutoCAD 在测绘中的开发设计方案	丁文利	598
浅谈批量数字制图中的分版套合及误差校正	刘献华, 赵珂, 贾俊歌, 等	601
西藏自治区国土资源遥感综合调查中地理底图的编制	刘献华, 孙学梅, 许国丽	604
矢量化及 MAPGIS 相关技术	秦爽	609
数字地形图的误差校正	张青锁, 刘占时	613
朗肯理论在矿山环境保护与综合治理中的应用	孙凤余, 郑伟, 赵秋芳, 等	617
概率积分法在矿山环境地表移动预测评估中的应用	孙凤余, 郑伟, 郭新华	621
一种基于 ENVI 的区域环境分析方法	饶欢, 张智勇	626
层次分析法在确定采空区稳定性评价指标权重中的应用		
——以安阳县磊口乡采矿厂为例	冯乃琦, 杨扬, 余珍友, 等	629
地震资料二次处理解释在煤矿中的应用	刘卫	634
一种快速三维地震资料解释方法	刘卫	638
多极距中梯电测深技术与研究	宋双全, 殷亚飞, 黄仕茂	641
双频激电在任家庄沟铅锌矿区普查找矿中的应用	唐杰, 杜思胜, 喻广军, 杨琳	647
河南省孟津县黄土丘岭地区物探找水经验浅谈	卢磊, 倪昆	654
物探在隐伏地质灾害评估及治理中的应用	李刚	659
地震资料处理技术在某复杂山地地区三维地震勘探中的应用	张宁茹, 朱宏, 陈冕	662
计算机开关电源的一般维修方法	高峰	666
· 旅游地质 ·		
地质遗迹资源脆弱性评价方法及应用探讨	秦正, 程双喜, 郭四辈, 等	668
SOWT 分析法在神灵寨国家地质公园建设发展中的应用	朱云峰, 祝贺	677
基于 AHP 的地质遗迹资源评价研究		
——以关山国家地质公园为例	秦正, 郭四辈, 程双喜, 等	681
河南跑马岭地质公园地质背景和地质遗迹景观	杨涛, 赵东力, 王让	687
河南恐龙化石的调查发掘	贾松海, 胡卫勇, 豆敬磊, 等	691
中国南阳伏牛山世界地质公园地质灾害评价	田东升, 张国建, 杨进朝, 等	697
关于我省地质遗迹保护与地质公园建设工作的思考	岳洁, 倪昆, 李明	703
河南汝阳恐龙化石群生态环境现状及其保护对策	梁会娟	706
河南省栾川县新南斑岩型钼矿选矿流程初探	刘占辰, 薛基强	710
河南省地热资源特征及开发利用存在问题简析	路东臣	716
地籍调查内业质量控制的若干方法	李香莉	721
平顶山市土地配置研究	刘晓丽, 潘元庆	723

影响导向孔轨迹设计和施工的因素分析	李朋辉, 陈晓哲, 任江涛	728
对土地整理发展的几点看法	李鸣慧, 潘元庆, 熊广成	731
河南矿产资源特色的展示理念	李进化	736
两起钻机伤人事故的原因分析及预防对策	侯德峰 康善修	741
加大找矿力度 为中原崛起提供资源保障	贺建委	743
河南省医疗热矿水资源基本特征	王继华, 白雪梅, 杨新梅	746
以科技创新推动河南地矿事业发展	陈瑞保	750
纳米比亚矿产资源及矿业政策简介	王世权, 张立柱, 徐 勉	753

· 杂谈 ·

矿产资源规划和编制技术方法	时永志, 皮明建, 王 涛	757
关于农用地使用权流转的若干思考	潘元庆, 张 璋, 李鸣慧, 等	762
测绘工程监理的现状 & 实行监理机制的必要性	齐磊刚, 赵春峰	768
河南省尾矿管理利用对策研究	王 涛, 时永志	771
浅议年度人事考核工作	王金定	775
人事管理之我见	王金定	778
人力资源投资与利用探讨	王金定	781
关于矿业权评估若干问题的思考	张 荔, 张洪波, 王 伟	784
矿业权价值评估中影响现金流量法参数选取的因素分析	张 荔	788
建设数字化河南省地质博物馆的总体设想和对策	李进化, 张兴辽	791
浅析河南省突发地质灾害应急体系建设	倪 昆 卢 磊	797
GIS 技术应用在找矿预测中的历史趋势及主要功能分析	张 雷, 李 刚, 孟庆江, 等	802
河南省 1:20 万土壤数据库的建立及其在农业地质中的应用前景分析	张 雷, 吴克宁, 吕巧灵, 等	806
农用地分等成果及其应用研究	熊广成, 孟庆香, 魏晓利	811
金水区农村居民点用地潜力分析	郭 艳	818
南阳市城市发展中的耕地保护研究	葛利玲, 潘元庆, 王 兵	822

· 分析测试 ·

浅谈低含量石墨矿石中固定碳的测定方法	尹学旺, 高晓燕	827
激光拉曼光谱仪在珠宝首饰检测中的应用	丁广慧	829
La OH ₃ 共沉淀氢化物—原子荧光光谱法测定钾肥中的有效硒	于淑霞	834
浅谈微量碘分析方法	蔡 伟	837
凹凸棒石晶体结构和酸改性后吸附性能的比较	许铜建, 程生平, 李自涛	841
水的细菌学分析	蔡 伟	845

洞穴石笋 $\delta^{13}\text{C}$ 对气候的复杂响应

邱庆伦¹, 王君玉¹, 晁红丽¹, 曾俊杰^{2,3}

(1. 河南省地质调查院, 郑州, 450001; 2. 中国地质大学(武汉), 武汉, 270000;

3. 甘肃省第三地质矿产勘查院, 兰州, 730050)

摘要: 基于石笋碳同位素来源和不同洞穴环境下演化机理的研究, 表明石笋 $\delta^{13}\text{C}$ 记录主要反映了洞穴上覆土壤中植被 CO_2 生产力及其碳同位素比值的变化。根据石笋氧同位素变化机理, 结合以往大量洞穴石笋碳、氧同位素记录在万年, 千年乃至百年时间尺度上的相似性研究, 进一步揭示了 $\delta^{13}\text{C}$ 可以反映洞穴地区有效湿度/大气降水变率, 支持 Wang et al.^[1] 研究认为太阳变化可能通过大气和海洋环流, 引起水循环的周期性变化, 最终放大古气候变化原始信息的结论。

关键词: 洞穴; 石笋; $\delta^{13}\text{C}$; 古气候

0 引言

各种无机碳酸盐的稳定碳同位素是提取气候变化信息的良好指标^[2-4]。其中石笋 $\delta^{13}\text{C}$ 值的变化常被视作不同光合作途径植被类型 C3 和 C4 比率的变化^[5, 6]。然而, 在地表植被类型不变条件下, 其变化可能主要响应于土壤植被 CO_2 气体产率变化^[7, 8]。而对距今 12000 年以来新西兰四支石笋碳氧同位素结果及当地孢粉资料的综合研究^[9]表明, 石笋 $\delta^{13}\text{C}$ 的周期性变化并非起因于洞穴上覆土壤 CO_2 生产力变化, 更可能是周期性大气降水变化的结果。土壤有效湿度/大气降水变化对土壤植被 $\delta^{13}\text{C}$ 值的影响^[10-15], 也是石笋碳同位素变化的重要影响因子。另外, 由于高降水导致渗滤水快速流过土壤带, 使得土壤粒间 CO_2 未被平衡溶解^[16], 该过湿效应已经被不同地区的洞穴石笋碳同位素研究所证实^[17-20], 来自基岩和地表土壤带老碳、死碳的加入^[21], 不同环境下碳同位素的分馏效应不同也是考察石笋 $\delta^{13}\text{C}$ 变化的重要因素^[22]。说明影响石笋 $\delta^{13}\text{C}$ 变化因素复杂, 有必要系统地研究洞穴石笋碳同位素的变化过程和机理, 结合其他代用指标(石笋年层厚度、 $\delta^{18}\text{O}$, pollen.) 的相互验证, 从而获取可靠的地表生态或环境变化信息。在此本文重点对石笋氧碳同位素进行相互验证。

1 $\delta^{13}\text{C}$ 记录的基本机理

洞穴石笋 $\delta^{13}\text{C}$ 值的变化越来越引起人们的关注。石笋 $\delta^{13}\text{C}$ 值的变化到底是反映了植被类型的变化^[5, 6], 或者反映了洞穴上覆土壤 CO_2 生产力的变化^[7, 8], 还是反映了大气水气循环的变化^[9]。总之, 众说纷纭。现在看来, 石笋 $\delta^{13}\text{C}$ 值的变化是诸多因素共同作用的结果: 大气 CO_2 的浓度及其同位素的构成; 植被呼吸作用、降解作用产生 CO_2 的贡献量及其同位素比值的变化; 来自洞穴基岩无机碳的贡献量; CO_2 溶解时平衡/动力分馏; CO_2 的逸气; 温度效应对石笋碳同位素分馏的影响; 基岩碳酸盐到底是在开放体系下还是在封闭体系下溶解也很重要^[22]。下面结合实际洞穴环境初步探讨石笋 $\delta^{13}\text{C}$ 指示意义。

在冰期—间冰期旋回尺度上, 大气 CO_2 的浓度和同位素构成发生较大的变化^[23, 24]。大气 CO_2 浓度从 17~18KaBP 的 200×10^{-6} 变化至 10~11KaBP 期间的 280×10^{-6} 左右; 全新世, 在 11KaBP 左右大气 CO_2 浓度相对稳定在 $270 \times 10^{-6} \sim 290 \times 10^{-6}$ 之间, 之后到 1990 年升高到 353×10^{-6} ^[25]。对

第一作者简介: 邱庆伦 (1972~) 男, 博士, 工程师, 从事地质矿产调查和第四纪环境研究工作。

CO₂浓度每升高 100×10^{-6} , 植被的 $\delta^{13}\text{C}$ 值就大约下降约 $-2 \pm 0.1\%$ 的变化^[26, 27]; 因此植被同位素比值的变化也受冰期—间冰期尺度上 CO₂ 浓度变化的影响。Stauffer et al^[23] 同样也发现大气 CO₂ 的 $\delta^{13}\text{C}$ 值与 CO₂ 浓度之间存在着弱的负相关关系。

土壤植被来源 CO₂ 生产力及其同位素比例的变化是石笋 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化的重要影响因子。一般来说, 暖湿的气候条件下, 有利于洞穴上覆植被的发育, 更加茂密, 并且该气候态下, 也有利于增强植被的呼吸活动, 从而使得土壤 CO₂ 的生产力增大^[7, 8]。而影响植被 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化的因素较为复杂, 尤其与温度因子响应关系复杂, 但是其对大气降水/上覆土壤有效湿度的变化的响应关系较为明确, 即当土壤有效湿度相对增大时, $\delta^{13}\text{C}$ 值相应的负偏, 反之亦然^[10, 12]。Stewart et al^[10] 对澳大利亚东部植被与降水等级的研究表明, 大气降水量每增加 100mm, 植被的 $\delta^{13}\text{C}$ 相应的降低 0.33%。中国北方黄土区 C3 植物的研究^[12] 表明, $\delta^{13}\text{C}$ 值随着年降雨量的减少而偏重, 年降雨量每增加 100%, C3 植被的 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值将偏负约 0.49% 左右。Edwards et al^[11] 的研究表明, C3 植被的 $\delta^{13}\text{C}$ 值的变化既取决于大气相对湿度, 亦取决于温度的变化, 相对湿度的降低或者大气温度的升高, 均可能导致 C3 植被 $\delta^{13}\text{C}$ 值偏重; 相反, 大气湿度的相对增加, 或者温度的升高, 均可导致 C3 植被 $\delta^{13}\text{C}$ 值的负偏。从机理上来看, 这主要是由于降雨量在某种程度上反映了植物生长时的水分状况, 当降雨量不足, 使土壤含水量和/空气湿度降低时, 植物为了减少水分的蒸发, 都会导致气孔的关闭, 气孔通导系数减小, 从而引起植物叶内 CO₂ 浓度下降, 这种情况会使光合作用产物的 $\delta^{13}\text{C}$ 值升高^[13], 另外, 由于气候条件发生变化, 可引起 C3、C4 植被类型比例的改变, 也可导致洞穴上覆土壤植被来源的 CO₂ 的碳同位素比值的变化, 一般来说, 土壤有效湿度/大气降水量增大时有利于 C3 植被的生长, 可导致洞穴上覆土壤中 CO₂ 的 $\delta^{13}\text{C}$ 值负偏, 最终使得石笋碳同位素比值偏轻。然而, 由于高降水导致渗滤水快速流过土壤带, 使得土壤粒间 CO₂ 未被平衡溶解^[17], 或由于突然的洪水事件导致洞穴上覆土壤的流失, 从而造成石笋 $\delta^{13}\text{C}$ 值的偏重, 该过湿效应已经被不同地区的洞穴石笋碳同位素研究所证实^[18-20]。另外, 在过湿效应时若没有石笋沉积, 则无从谈及石笋 $\delta^{13}\text{C}$ 的偏重。同样, 洞穴滴水过程中的逸气作用也可导致石笋 $\delta^{13}\text{C}$ 值偏重, 当然, 关于逸气作用造成的偏重还需通过洞穴监测进一步证实。

洞穴石笋碳同位素平衡交换反应, 其 $\delta^{13}\text{C}$ 值由溶液中 CO₂ 的 $\delta^{13}\text{C}$ 值以及反映温度所决定, 并随着温度的升高而负偏。据估计, 在封闭体系条件下, 温度对碳同位素分馏的影响因子为 $0.1\%/^{\circ}\text{C}$; 在开放体系中, 温度对岩溶水产生的影响作用较大, 达 $0.6\%/^{\circ}\text{C}$ ^[22]。对于全新世来说, 年均温度变幅一般小于 2°C , 而且洞穴上覆盖层较厚, 大于 100m, 因此当洞穴环境接近于封闭体系条件时, 这样由于温度的变化引起的 $\delta^{13}\text{C}$ 值变幅大约为 0.2% , 如果排除自然灾害如火灾等, 那么, 这样的温度变幅不足以引起植被类型的交替。而在百年时间尺度上, 年降水量的变化则可以达到数百毫米, 足以引起石笋 $\delta^{13}\text{C}$ 值较大变幅的波动。因此, 石笋碳同位素在百年时间尺度上较大的振荡幅度不可能是温度效应的结果, 可能主要受控于大气降水/土壤有效湿度的变化。

富含 CO₂ 的渗透水可以溶解含有“死碳”的洞穴基岩, 另外还有一些“老碳”来自上覆土壤中已经死亡植被的生物降解作用产生的 CO₂^[21]。由于生物降解作用具有时间滞后效应, 因此可以导致石笋 $\delta^{13}\text{C}$ 序列对上覆植被的响应存在一个滞后效应, 其滞后的时间与腐烂植被的埋藏时间长短有关, 而其振幅则受控于植被来源的“老碳”贡献量及其同位素比值变化的合成效应。Hendy^[22] 研究表明, 在封闭的洞穴体系下, 石笋中死碳比率可以达到总量的 35%~50%, 这说明来自植被碳稀释作用的存在。然而, 在完全开放体系下“死碳”的比例相对较小, 大致可以忽略不计。在开放洞穴体系下/封闭体系下“死碳”贡献量随着洞穴地点的变化而变化。以欧洲为例, Genty et al^[21] 的研究表明, 死碳的比例在 10%~38% 之间波动。

石灰岩基岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 值相对较重。这样, 来自基岩的死碳含量愈高, 到达方解石沉积处的滴水中的 $\delta^{13}\text{C}$ 值就越偏重。本文所研究洞穴一般具有较厚的上覆基岩和土壤盖层, 因此基岩的溶解通常处于封闭体系条件下, 故与开放体系下相比, 基岩对石笋 $\delta^{13}\text{C}$ 值的影响相对偏重。基岩参入量的大小随着水岩接触时间的变化而发生变化。在降雨相对较大时期, 洞穴滴水速率较大, 水岩接触时间减少; 因此 $\delta^{13}\text{C}$ 值较重的基岩参入量也随着下降^[28]。该降水效应对洞穴滴水 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化的影响和其

对植被 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化的影响趋势是一致的。因此,在较湿的气候条件下石笋的 $\delta^{13}\text{C}$ 值相对负偏,反之亦然。综上所述,石笋 $\delta^{13}\text{C}$ 可能主要反映了洞穴滴水速率/有效湿度的变化。

2 讨论

为了进一步验证石笋碳同位素气候指代意义,需利用可靠的氧同位素指标与之对比,进行系统的统计分析研究,详细揭示石笋 $\delta^{13}\text{C}$ 的气候指示意义。

2.1 千年至百年尺度上石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 记录的可靠性

从洞穴次生碳酸盐沉积机理来看,洞穴石笋方解石中的三个氧原子主要来源于溶解的基岩 CaCO_3 、土壤 CO_2 和渗水 (H_2O),由于土壤 CO_2 主要来源于植被呼吸和生物降解作用产生的 CO_2 气体,而植被 CO_2 中的氧同位素和当地洞穴滴水中的氧同位素为平衡分馏,其 $\delta^{18}\text{O}$ 值基本一致。另外,在特定的洞穴环境下,基岩 CaCO_3 中的氧同位素的贡献量基本为一定值,不影响石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 值对洞穴内外部环境因素的敏感响应,因此,石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 主要反映了水气剩余比值的变化^[29,30]。当然,温度对石笋氧同位素分馏也产生一定的影响。另外,由于腐烂植被降解产生的老氧的影响,可能导致石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 具有一定的滞后效应。

共同生长时段的石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 序列变化是否具有重现性是检验该指标可靠性的最可信的手段。首先,在万年尺度上,董哥洞与葫芦洞石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 记录较强的重现性^[29],另外,末次冰消期葫芦洞和青天洞共同生长时段的年层石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 记录在百年乃至数十年尺度上也具有良好的相似性^[31],这进一步说明不同洞穴石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 共同受亚洲季风环流系统的影响,反映夏季风降水变化。尽管由于海拔高度和海陆位置不同的影响^[32],不同洞穴石笋氧同位素记录存在不同程度的系统负偏,但毕竟与以往其他洞穴石笋研究结论一致^[29,33],即夏季风越强盛,则 $\delta^{18}\text{O}$ 越偏负,反之亦然。因此,洞穴石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 记录也可以敏感地响应于洞穴外部环境变化。

对于石笋氧同位素变化的机理目前尚不清晰。石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 与格棱兰冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 记录以及与岁差旋回太阳辐射曲线良好的相似性^[1,29],表明气候变化可能受太阳变化的驱动。目前对于太阳变化驱动气候的机制尚不清楚。对于不同地质记录对同一气候事件在数十年尺度上良好的响应关系,认为可能是由于季风降水同位素和格棱兰冰芯温度记录共同受来自海洋水源同位素影响而导致的结果。从机理上来看,石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 和格棱兰冰消 $\delta^{18}\text{O}$ 值的变化呈互为消涨的关系,当太阳辐射增强时,全球冰量消融,由于氧同位素分馏导致沉积的冰芯 $\delta^{18}\text{O}$ 值偏重,相反,海洋水同位素则偏负,这样受控于海洋水源氧同位素变化的石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 值就相应的负偏。当然,海洋水源同位素对不同记录的影响也存在不同程度的差异,这可能也是不同记录细节差异的重要因素之一。

2.2 石笋 $\delta^{13}\text{C}$ 与 $\delta^{18}\text{O}$ 记录相关性

大量研究表明,世界各地洞穴石笋氧碳同位素记录之间具有一定的相似性(葫芦洞^[20]、以色列洞穴^[17,18]、新西兰^[9]、青天洞(未发表资料))。当然,不同洞穴石笋共同生长时段的 $\delta^{18}\text{O}$ 序列之间也存在着局部差异和不对应性,说明对气候的响应还存在着一定的差异,如某些时段 $\delta^{13}\text{C}$ 序列的滞后可能与洞穴上覆土壤中“死碳”的生物降解有关。尽管碳氧曲线存在局部的不协同变化现象(可能由于季风降水对石笋氧碳同位素影响机理的不同,以及由于来自基岩和地表土壤带老碳、死碳的加入^[21]和过湿效应^[20]的综合影响),以及个别石笋碳同位素系统偏重,然而,不同代用指标间总体上存在较好的线性相关性,说明两者受到洞穴环境中同一物理过程的控制,比较可靠地反映了洞穴外部环境变化。因此,石笋氧同位素的研究进一步支持石笋 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化机理的研究结论,表明至少在百年尺度上,石笋 $\delta^{13}\text{C}$ 的周期性变化可能是大气降水循环/洞穴上覆土壤有效湿度周期性变化的结果。当然,为了进一步探讨石笋碳同位素气候指代意义,尚需对共同生长时段的石笋 $\delta^{13}\text{C}$ 序列是否具有重现性进行检验。

2.3 石笋 $\delta^{13}\text{C}$ 作为周期性水循环变化的基本判据

大量洞穴石笋碳、氧同位素记录表明,在不同的时间尺度上两者既存在正相关,也存在反相关,反映气温与湿度的组合也不相同,说明石笋 $\delta^{13}\text{C}$ 仅代表地区性或局地的气候变化,难以反映区域性或全球性的长时间尺度上的变化。鉴于 $\delta^{18}\text{O}$ 则具有较强的重现性,反映的是区域性或全球性的长时间尺

度的气候变化,而 $\delta^{13}\text{C}$ 记录则取决于局地气候和生态环境,反映的是短时间尺度快速气候变化。因此,用 $\delta^{13}\text{C}$ 作为周期性水循环变化的基本判据,要慎之。在此,我们认为,共同生长时段不同石笋 $\delta^{13}\text{C}$ 具有重现性与否是石笋 $\delta^{13}\text{C}$ 指标作为反映气候变化,至少可以作为揭示共同洞穴环境的最重要判据。另外,只有当石笋 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 具有良好的相似性时,其 $\delta^{13}\text{C}$ 才可以作为反映季风降水的可靠代用指标。

3 结论

首先,共同生长时段不同石笋 $\delta^{13}\text{C}$ 具有重现性与否是石笋 $\delta^{13}\text{C}$ 指标作为反映气候变化,至少可以作为揭示共同洞穴环境的最重要判据。其次,只有当石笋 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 具有良好的相似性时,其 $\delta^{13}\text{C}$ 才可以作为反映季风降水的可靠代用指标。

最后,感谢导师教育部长江学者汪永进教授曾经给予的精心指导。

参考文献

- [1] Wang Y J, Cheng H, Edwards R L, et al. A high-resolution absolute-dated Late Pleistocene monsoon record from Hulu Cave, China [J]. *Science*, 2001, 294: 2345 ~ 2348.
- [2] Christian Ihlenfeld, Marc D. Norman, Michael K. Gagan, et al. Climatic significance of seasonal trace element and stable isotope variations in a modern freshwater tufa [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2003, 67 (13): 2341 ~ 2357.
- [3] 李玉梅, 刘东生. 大荔黄土-古土壤序列 $\delta^{13}\text{C}_{\text{sc}}$ 值及其古环境意义 [J]. *科学通报*. 2003, 48 (5): 486 ~ 490.
- [4] Frank McDermott. Palaeo-climate reconstruction from stable isotope variations in speleothems: a review [J]. *Quaternary Science Reviews*, 2004, 23: 901 ~ 918.
- [5] Dorale J A, Gonzalez L A, Reagan M K, et al. A high-resolution record of Holocene climate change in speleothem calcite from Coldwater cave, Northeast Iowa [J]. *Science*, 1992, 258: 1626 ~ 1630.
- [6] Dorale J A, Edwards R L, Ito E, et al. Climate and vegetation history of the mid-continent from 75 to 25 ka: a speleothem record from Crevice Cave, Missouri, USA [J]. *Science*, 1998, 282: 1871 ~ 1874.
- [7] Genty D, Blamart D, Ouahdi R, et al. Precise dating of Dansgaard-Oeschger climate oscillation in western Europe from stalagmite data [J]. *Nature*, 2003, 421: 833 ~ 837.
- [8] Hellstrom J, McCulloch M, Stone J. A Detailed 31, 000-Year Record of Climate and Vegetation Change, from the Isotope Geochemistry of Two New Zealand Speleothems [J]. *Quaternary Research*, 1998, 50: 167 ~ 178.
- [9] Williams P W, King D N, Zhao J X, et al. Speleothem master chronologies: combined Holocene ^{18}O and ^{13}C records from the North Island of New Zealand and their palaeoenvironmental interpretation [J]. *Holocene*, 2004, 14 (2): 194 ~ 208.
- [10] Stewart G R, Turnbull M H, Schmidt S, et al. ^{13}C natural abundance in plant communities along a rainfall gradient: a biological indicator of water availability [J]. *Australian Journal of Plant Physiology*, 1995, 22: 51 ~ 55.
- [11] Edwards T, Graf W, Trumborn P, et al. $\delta^{13}\text{C}$ response surface resolves humidity and temperature signals in trees [J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 2000, 64: 161 ~ 167.
- [12] 王国安, 韩家懋, 刘东生. 中国北方黄土区 C-3 草本植物碳同位素组成研究 * [J]. *中国科学 (D 辑)*. 2003, 33 (6): 550 ~ 555.
- [13] Farquhar G D, Leary M H, Berry J A. On the relationship between carbon isotope discrimination and the intercellular carbon dioxide concentration in leaves [J]. *Aust J Plant physiology*, 1982, 9: 121 ~ 137.
- [14] Winter K, Holtum J, Edwards G, et al. Effect of low relative humidity on $\delta^{13}\text{C}$ value in two C3 grasses and in *Panicum milioides*, a C3-C4 intermediates species [J]. *Journal of Experimental Botany*, 1982, 32: 88 ~ 91.
- [15] Stuiver M, Braziunas T F. Tree cellulose $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ isotope ratios and climatic change [J]. *Nature*, 1987, 328: 58 ~ 60.
- [16] Baker A, Ito E, Smart P L, et al. Elevated ^{13}C in speleothem and implications for palaeovegetation studies [J]. *Chem. Geol*, 1997, 136: 263 ~ 270.
- [17] Bar-Matthews M, Ayalon A, Kaufman A. Late Quaternary Paleoclimate in the Eastern Mediterranean Region from Stable Isotope Analysis of Speleothems at Soreq Cave, Israel [J]. *Quaternary Research*, 1997, 47: 155 ~ 168.
- [18] Bar-Matthews M, Ayalon A, Kaufman A. Timing and hydrological conditions of Sapropel events in the Eastern Mediterranean, as evident from speleothems, Soreq Cave, Israel [J]. *Chem. Geol*, 2000, 169: 145 ~ 156.

- [19] Plagnes V, Causse C, Genty D, et al. A discontinuous climatic record from 187 to 74 ka from a speleothem of the Clamouse Cave (south of France) [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2002, 201: 87 ~ 103.
- [20] 孔兴功, 汪永进, 吴江滢等. 南京葫芦洞石笋 $\delta^{13}\text{C}$ 对冰期气候的复杂响应与诊断 * [J]. *中国科学 D 辑 地球科学*, 2005, 35 (11): 1047 ~ 1052.
- [21] Genty D, Baker A, Massault M, et al. Dead carbon in stalagmites: Carbonate bedrock paleodissolution vs. ageing of soil organic matter. Implications for ^{13}C variations in speleothems [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2001, 65 (20): 3443 ~ 3457
- [22] Hendy C H. The isotopic geochemistry of speleothems. I. The calculation of the effects of different modes of formation on the isotopic composition of speleothems and their applicability as paleoclimatic indicators, *Geochim [J]*. *Cosmochim. Acta*, 1971, 35: 801 ~ 824.
- [23] Stauffer B, Blunier T, Dallenbach A, et al. Atmospheric CO_2 concentration and millennial-scale climate change during the last glacial period [J]. *Nature*, 1998, 392: 59 ~ 62.
- [24] Petit J R, Jouzel J, Raynaud D, et al. Climate and atmospheric history of the past 420, 000 years from the Vostok ice core, Antarctica [J]. *Nature*, 1999, 399: 429 ~ 436.
- [25] Sundquist E T. The global carbon dioxide budget [J]. *Science*, 1993, 259: 934 ~ 941.
- [26] Hatte C, Antoine P, Fontugne M, et al. $\delta^{13}\text{C}$ of loess organic matter as a potential proxy for paleoprecipitation [J]. *Quaternary Research*, 2001, 55: 33 ~ 38.
- [27] Feng X, Epstein S. Carbon isotopes of trees from arid environments and implications for reconstructing atmospheric CO_2 concentration [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1995, 59: 2599 ~ 2608.
- [28] Shopov Y Y, Tsankov L T, Yonge C J, et al. Influence of the bedrock CO_2 on stable isotope records in cave calcites [J]. *Proceedings of the 12th International Congress of Speleology (Switzerland) 1*, Basle: Speleo Projects, 1997, 65 ~ 68.
- [29] Yuan D X, Cheng H, Edwards R L, et al. Timing, Duration, and Transitions of the Last Interglacial Asian Monsoon [J]. *Science*, 2004, 304: 575 ~ 578.
- [30] McDermott F. Paleo - climate reconstruction from stable isotope variations in speleothems: a review [J]. *Quaternary Science Review*, 2004, 23: 901 ~ 918.
- [31] 邱庆伦, 汪永进. 早阿勒罗德 - 新仙女木期间气候转型特征 [J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2007, 27 (2): 107 ~ 112.
- [32] Dansgaard W. Stable isotopes in precipitation [J]. *Tellus*, 1964, 16 (4): 436 ~ 468.
- [33] Yongjin Wang, Hai Cheng, Lawrence Edwards. The Holocene Asian Monsoon: links to solar changes and north Atlantic climate [J]. *Science*, 2005, 308: 854 ~ 857.

Complicated Responses of Stalagmite $\delta^{13}\text{C}$ to Climate Change

Qiu Qinglun¹, Wang Junyu¹, Chao Hongli¹, Zeng Junjie^{2, 3}

(1. Henan Institute of Geological Survey, Zhengzhou, 450001;

2. China University of Geosciences, Wuhan, 270000;

3. No. 3 Institute of Geological Mineral Exploration, Gansu Province, Lanzhou, 730050)

Abstract: Based on researches on the sources of stalagmite carbon isotope and its evolution mechanism under different cave conditions, showing that $\delta^{13}\text{C}$ index mainly indicates CO_2 productivity induced by respiration and decompose of vegetation in the soil above caves and variance of its carbon isotope ratio. According to the variational mechanism of stalagmite oxygen isotope, along with numerous part research as on the similarity of carbon and oxygen isotope records at myriad, millenary and even to centurial time scales, further reveals that $\delta^{13}\text{C}$ index may reflex available moisture or atmospheric precipitation ratio around caves. This support the conclusion made by Wang et al (2001), considering that solar changes can influence climatic changes through atmospheric and ocean circulation, which may induce periodic variation of water circulation, at the end, amplify original information of paleoclimate.

Key words: Cave; stalagmite; $\delta^{13}\text{C}$; paleoclimate.

浅析喜马拉雅造山作用与雅鲁藏布水汽通道效应

张天义, 邢永强, 张 璋, 赵鸿燕, 曹希强

(河南省国土资源科学研究院, 郑州, 450053)

摘 要: 印度洋板块与欧亚板块的俯冲碰撞造就了横亘欧亚大陆南部边缘的阿尔卑斯-喜马拉雅造山带, 喜马拉雅山脉的拔地而起成为印度洋暖湿气团北进青藏高原的屏障, 加强了印度、孟加拉地区高强度的降水过程, 导致经向河流的溯源和袭夺, 并切穿喜马拉雅山主峰山脊逼近雅鲁藏布峡谷, 举世瞩目的“大拐弯”就是布拉马普特拉河溯源、袭夺雅鲁藏布江所致。如今, 这些经向河流峡谷成为暖湿气流北移的通道。本文提出, 应用地质规律进行人工干预, 有利于青藏高原生态环境的改善。

关键词: 喜马拉雅; 水汽通道; 人工干预

1 造山运动与喜马拉雅气象现象的形成

1.1 南亚热带季风的形成与阿尔卑斯-喜马拉雅山造山带的形成有关

据地球物理学家和地质学家研究表明, 4,000 万年以前的珠峰地区还是汪洋一片, 由于印度板块向欧亚板块挤压、俯冲, 欧亚板块抬升, 沧海逐渐消失。尤其是自 340 万年前以来造山运动速率逐渐增加, 平均达到每年升高 1mm 左右, 近数万年来, 约达每年 2~3mm, 目前则以每年约 10mm 的速率上升^[1]。在此期间, 冈底斯山脉发生大规模向南仰冲、青藏高原隆升、喜马拉雅山脉开始形成并取代冈底斯山系 (20Ma) 成为青藏高原的南缘屏障。到中新世晚期 (9~6Ma) 喜马拉雅山脉的抬升高度足以影响大气环流 (见图 1), 成就了炎热多雨的南亚热带季风气候所特有的地形条件。

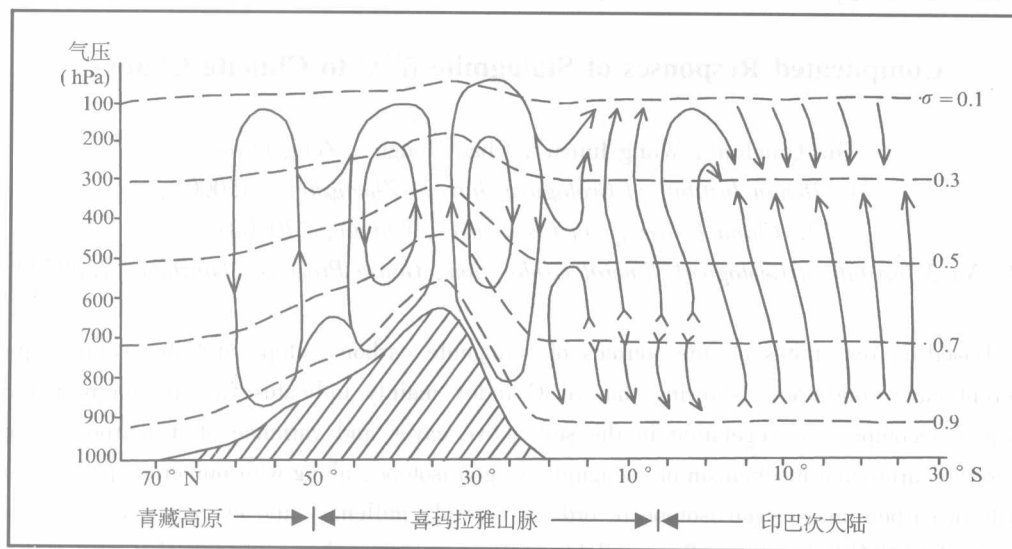


图 1 喜马拉雅山脉所产生的 80°E 经向环流示意图 (据何家骅等^[2], 1984)

Fig. 1 Schematic diagram of 80°E meridional circulation in Mt. Himalayas (He Jiaye et al^[2], 1984)

第一作者简介: 张天义 (1952~), 男, 教授级高级工程师, 长期主要从事地质与环境工作。

1.2 经向河流的溯源侵蚀与贯通喜马拉雅水汽通道的出现

造山运动所引发的地表形变彻底改变了南亚地区大气环流的面貌,处于印度洋热带季风气候区的充沛降水使地处喜马拉雅山脉南坡的尼泊尔、不丹地区河流侵蚀速率远远大于构造均衡抬升速率,导致众多的经向河流溯源和袭夺作用加剧(见图2)。表现为经向水系大都切穿喜马拉雅山主峰山脊逼近雅鲁藏布峡谷,造成“世界屋脊”并非分水岭的尴尬局面。

举世瞩目的“雅鲁藏布大拐弯”就是布拉马普特拉河溯源、袭夺雅鲁藏布江所致,如今布拉马普特拉河的另一支流——西巴霞曲已由南向北穿越珠穆朗玛峰逼近雅鲁藏布江的中游。而正是由于这些经向峡谷打破了喜马拉雅高山屏障,成为孟加拉湾暖湿气流北移的通道。使这一地区经向水流更为发育,形成直接流入印巴次大陆腹地的外流河。

布拉马普特拉河—雅鲁藏布江峡谷以接近 $2,000\text{ g/cm}\cdot\text{s}$ 的水汽输送量溯江而上,不但形成我国西部地区的重要水汽通道,也造就了世界降水之最。据中国科学院观测数据,在印度的乞拉朋齐—藏南墨脱一带形成年降水量达 $10,000\sim 4,300\text{ mm}$ 的特大降雨带。在这条水汽通道上,年降水量为 500 mm 的等值线可达北纬 32° 附近,而在这条水汽通道的西侧, 500 mm 降水量等值线的最北端仅为北纬 27° 左右,两者相差5个纬距。这意味着这条水汽通道的作用可以把等值的降水带向北推进5个纬距之多^[3]。

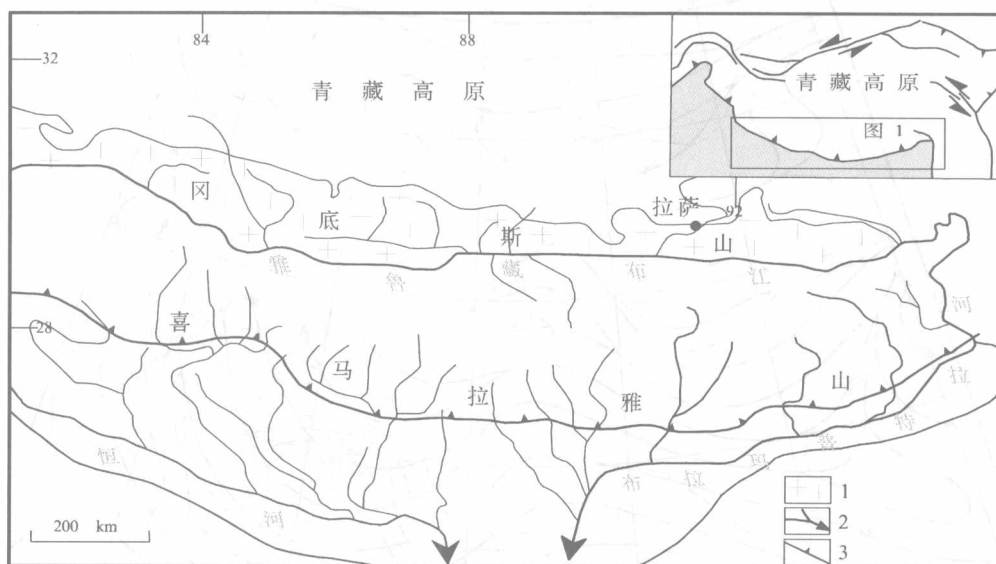


图2 喜马拉雅山脉经向河流溯源侵蚀走向示意图(据王二七等^[6], 2002)

Fig.2 Tendency schematic diagram of rivers' headward erosion in Himalayas area (Wang Erqi et al^[2], 1984)

1. 板块俯冲带; 2. 河流走向; 3. 喜马拉雅山脉主峰走向

1.3 青藏高原的热力作用促使孟加拉湾强热带云团溯源北侵

我国青藏高原地区属寒湿类高山气候,春末夏初时节的高原下垫面热力作用使更多的感热向上输送形成相对“低涡区”(见图3、图4),而低涡区的虹吸作用迫使周边低层气流向高原辐合,有利于空气涡动有效位能产生,并向涡动动能转换。这种高原低涡促使孟加拉湾强热带云团沿雅鲁藏布大峡谷溯源而上,势力强大时可翻越横断山脉、穿过念青唐古拉山脉,并与西风冷锋云系汇合,是我国南方梅雨带和青藏高原地区的大范围持续降水的发生机制。

2 雅鲁藏布江—布拉马普特拉河谷水汽通道潜力分析

2.1 南亚大气环流控制下的喜马拉雅现象

在藏东南地区的喜马拉雅与横断山脉结合部,是一个规模巨大的豁口。即米什米豁口,其西部为海拔 $7,782\text{ m}$ 、走向 $\text{NE}40^\circ$ 的南迦巴瓦峰,东部是 $\text{NW}320^\circ$ 走向、海拔 $5,500\text{ m}$ 以上的伯舒拉岭,豁口面积约 12万 km^2 ,平均海拔高度在 $4,000\text{ m}$ 左右,面向孟加拉湾而倾斜。