



科学版研究生教学丛书

气候变化的岩溶记录

王建力 袁道先 编著
李廷勇 何潇 李清



科学出版社
www.sciencep.com

科学版研究生教学丛书

气候变化的岩溶记录

王建力 袁道先 编著
李廷勇 何 潇 李 清

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书综述了目前全球气候变化记录的主要研究成果,概括和总结了岩溶动力作用与环境的相互关系。本书从地球系统科学的思想出发,全面介绍了洞穴化学沉积物的形成过程以及沉积物中地球化学元素的来源和时空演化规律,使读者从机理上更好地了解洞穴次生沉积物中各项指标的气候意义;同时从大气降水背景、岩溶洞穴观测和石笋气候记录三个方面,较为详细地展示了重庆地区岩溶洞穴石笋恢复和重建古气候的研究成果,初步建立了中国西南地区古气候-环境的变化模式,是作者近年来相关研究工作的全面总结。

本书注重理论与实践相结合,内容丰富,图文并茂,适用作高等院校全球变化、第四纪地质、地理、岩溶、环境同位素、水文地球化学等专业的研究生及本科生教材,同时也可供从事相关专业的科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

气候变化的岩溶记录/王健力等编著. —北京:科学出版社, 2008

(科学版研究生教学丛书)

ISBN 978-7-03-022070-7

I. 气… II. 王… III. 气候变化-岩溶-记录-重庆市-研究生-教材
IV. P468.271.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 115040 号

责任编辑:郭 森 刘希胜/责任校对:曾 茹

责任印制:张克忠/封面设计:陈 敬

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 1 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2009 年 1 月第一次印刷 印张: 11 3/4

印数: 1—2 000 字数: 218 000

定价: 30.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换<明辉>)

前 言

气候变化是全球变化的重要组成部分，与人类的生存环境密切相关。人类必须了解气候变化的历史，了解其变化的幅度、机制，才能预测未来的气候变化对人类生存环境的影响，提出适应与减缓全球气候变化的策略，最终实现人与自然协调可持续发展。自 20 世纪 60 年代以来，对环境变迁史的研究在世界各地广泛开展，例如，大规模的深海岩心的研究、中国北方黄土的系统研究、大型湖泊岩心的研究等，都为重建古环境提供了大量的资料，但仍存在分辨率不高、研究区域分布不均、系统研究不足等问题，尤其是有关千年尺度气候变化的研究，主要集中在高纬度地区，而低纬度地区气候是否也具有类似的变化则知之甚少。因此，应针对这些不足，并结合我国的特殊地域优势和气候形成机制，对一些重点地段和时间段加强研究，以便加深对青藏高原隆升对东亚气候的影响和东亚季风的演化规律等问题的认识。同时我国北方黄土沉积发育于冰期，南方岩溶沉积广泛发育于间冰期，利用它们的互补关系，研究我国陆域第四纪古气候变化，对过去的全球变化（PAGES）研究具有特别重要的意义。

洞穴石笋已成为继深海岩心、极地冰芯、湖泊岩心及黄土之后，当今地学界最为关注的古气候信息载体之一，其分辨率高、可提取的信息参数多、时间跨度较长，在重建年际及季节时间尺度的气候和环境变化上，具有其他地质记录无法替代的优势。近年来，从京津地区到秦岭山区、从南京到云贵高原，特别是在广西地区，一批高分辨率的石笋记录为我们展示了晚更新世以来区域和全球古环境变化的详细档案。然而要深入了解末次冰期以来亚轨道尺度变化的真正原因和机制，需要依赖于全球气候系统中各类型区域的高分辨率气候变化研究。重庆地区处于东亚季风与西南季风系统交汇处，是探讨和研究西南季风演化的良好场所，也是全球变化研究的敏感区，这对填补我国在这一地区的研究空白，发挥我国地域优势是十分必要的。

2003 年，在西南大学科研处和地理学院领导，尤其是袁道先院士的大力支持下，地理学院组织专家及科研人员共十余人，成立了“重庆地区更新世晚期及全新世气候变化的高分辨率石笋记录”院士基金项目课题组，由国土资源部岩溶动力学重点实验室、美国明尼苏达大学地质与物理系同位素实验室、西南大学同位素实验室、中国科学院南京古生物研究所组成，课题历时三年结题。期间，课题组对重庆地区适合进行石笋采集的所有洞穴进行考察，采集了大量石笋、新生鹅管、现代沉积物等样品；同时对一些重要洞穴进行长期监测，获取了大气降

水、洞穴滴水、地下河水季节性变化等宝贵数据，为进一步的科学研究奠定了坚实的基础。

本书是在上述院士基金专项课题的资助下，以重庆地区几个典型洞穴的研究工作为依据，建立了重庆及周边地区末次冰期晚期高分辨率气候变化时标序列，确定了各气候旋回间的长周期以及区域性短周期突变事件的时间记录，探讨了冬、夏季风演变格局，为西部开发及其持续发展，为全球岩溶生态系统的对比提供科学依据。由于目前对古气候重建的基础理论、技术方法以及替代指标等方面的研究尚属探索阶段，因此，本书中的研究成果难免会偏颇或者有不当之处，敬请读者提出宝贵意见，以便于我们今后做进一步修改。



2008年6月28日

目 录

前言

第一篇 概 述

第 1 章 绪论	3
1.1 国内外研究现状	3
1.2 目前存在的关键问题	7
1.3 研究目标	9
参考文献	10
第 2 章 研究区简介	12
2.1 地质地貌条件	14
2.2 地层岩性及岩溶分布特征	15
2.3 气候	18
2.4 土壤	18
2.5 植被	19
参考文献	19
第 3 章 重庆地区洞穴考察	20
3.1 2004 年	20
3.2 2005 年	24
3.3 2006 年	32
3.4 2007~2008 年	35
参考文献	36
第 4 章 石笋记录的古气候意义	37
4.1 古气候研究概述	37
4.2 石笋古气候研究的优势	38
4.3 洞穴石笋形成基本原理	39
参考文献	47

第二篇 洞穴沉积物的环境记录

第 5 章 洞穴滴水的水文水化学过程——以重庆芙蓉洞为例	53
5.1 国内相关研究现状	53

5.2 研究区概况·····	55
5.3 洞内观测点的选定及样品处理·····	55
5.4 芙蓉洞环境地球化学分析·····	58
参考文献·····	83
第6章 末次冰期4阶段(MIS4)石笋记录对气候事件的响应 ·····	85
6.1 样品采集和测量·····	85
6.2 石笋年龄与沉积速率·····	87
6.3 分析与讨论·····	88
6.4 小结·····	93
参考文献·····	93
第7章 末次盛冰期(MIS3-MIS2)的气候变化记录 ·····	96
7.1 研究区概况·····	96
7.2 样品的采集与研究方法·····	97
7.3 沉积学特征分析·····	98
7.4 现代洞穴碳酸钙沉积平衡检验·····	99
7.5 年代数据及沉积速率分析·····	99
7.6 碳氧同位素特征·····	102
7.7 LT14石笋记录与其他记录的对比·····	110
7.8 小结·····	115
参考文献·····	117
第8章 末次冰期短时间尺度的石笋高分辨率记录 ·····	119
8.1 研究区背景及样品采集·····	119
8.2 基于TIMS测年的SM1石笋生长速率研究·····	120
8.3 SM1石笋生长率研究·····	122
8.4 SM1石笋碳氧同位素研究·····	124
8.5 SM1石笋古气候记录·····	126
8.6 SM1石笋与LT14石笋对比研究·····	128
参考文献·····	129
第9章 全新世中期以来气候变化的证据 ·····	130
9.1 研究区自然地理背景·····	130
9.2 样品采集及测量·····	131
9.3 年代数据与沉积速率·····	131
9.4 碳氧稳定同位素分析·····	133
9.5 小结·····	135
参考文献·····	136

第三篇 石笋中其他替代指标的气候意义

第 10 章 石笋沉积速率及古气候意义	141
10.1 材料和方法	142
10.2 沉积环境同位素平衡分馏检验	142
10.3 TIMS 年龄与生长速率	143
10.4 稳定同位素、沉积特征和沉积速率对比及讨论	144
10.5 小结	147
参考文献	148
第 11 章 石笋微量元素研究	150
11.1 石笋记录中 Mg/Ca 值及古气候意义	150
11.2 水鸣洞石笋的微量元素研究	157
参考文献	162

第四篇 总结与展望

总结	167
展望	169
附录	171
附表 1 重庆芙蓉洞滴水水化学数据	171
附表 2 重庆芙蓉洞池水水化学数据	174
附表 3 重庆芙蓉洞洞顶泉水水化学数据	177

第一篇 概 述

第1章 绪 论

1.1 国内外研究现状

石笋分辨率高、可提取的信息参数多、时间跨度较长,在重建年际及季节时间尺度的气候和环境变化上,具有其他地质记录无法替代的优势,目前已经成为全球变化研究中的重要信息库。近年来,从京津地区到秦岭山区、从南京到云贵高原,特别是在广西地区,一批高分辨率的石笋记录为我们展示了晚更新世以来区域和全球古环境变化的详细档案。然而要深入了解末次冰期以来亚轨道尺度变化的真正原因和机制,需要依赖于全球气候系统中各类型区域的高分辨率气候变化研究。

在始于 2.48Ma B. P. 的第四纪,全球气候发生了大规模的剧烈的波动(Denton and Karlen, 1973)。黄土的堆积和古土壤的发育、北美大冰盖的出现与消融等是冰期-间冰期循环的表现(Poter and An, 1995)。地球上各个地区留下了丰富的气候变化的记录。通过对黄土-古土壤序列(Poter and An, 1995)、深海沉积(Bond et al., 1993; Bond and Lotti, 1995; McManus et al., 1994)、极地冰芯(Taylor et al., 1993)等的分析研究,人们已经恢复了第四纪以来的气候变化轮廓。开始于大约 125ka B. P. 的末次间冰期-冰期是第四纪一系列冰期-间冰期循环中的最近一次。过去的全球变化(PAGES)的一个重点阶段就是:重建末次间冰期-冰期旋回的气候和环境变化史,以改进我们对全球变化自然过程的认识。本书的研究时段是末次冰期的后期阶段。

自末次冰期中千年级的气候波动现象在格陵兰冰芯中得到辨认以来,在全球各地寻找各类的气候变化信息已成为近年来的研究热点(蓝先洪, 1995)。特别是最近十多年来,通过高分辨率的深海沉积、冰芯、树轮、珊瑚、黄土、洞穴沉积和历史文献及近代气候记录的研究,对于短时间尺度的快速的气候突变事件有了较为清晰的认识,建立起了高分辨率的短期气候事件记录,如新仙女木(Younger Dryas)事件(Petter, 1995)、Heinrich (H) 事件(Heinrich, 1998)及 Dansgaard-Oeschger (D-O) 事件(Dansgaard et al., 1982)。这些古气候变化突变事件的发现,说明冰期气候的不稳定性。目前用洞穴沉积物的 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 以及微(纹)层等代用指标所提供的信息重建古气候,已成为高分辨率记录体的研究热点。

我国地处西伯利亚高压、青藏高原和西太平洋暖池相互影响的季风地带,具有雨热同季、气温差异较大、气候类型多样的特点,在全球变化的研究中处于较重要的地位。我国在研究气候变化的过程中,已对北方的黄土、青藏高原的冰芯和湖泊沉积物等做了大量的工作,获得了重要进展。但西南岩溶区由于缺乏类似的地质记录,开展全球变化研究工作相对较困难,对该领域的研究仍比较薄弱。但西南地区分布着大面积的岩溶,通过岩溶发育与环境的关系研究发现,岩溶发育过程及其产物对环境的变化相当敏感,通过岩溶记录可以恢复和重建古气候。通过近几十年的研究和探索,已经形成了一套用洞穴化学沉积物重建古环境的方法。有不少学者用岩溶区洞穴化学沉积物成功重建西南地区的古环境,并发现和证实了西南地区过去气候变化中的一系列冷事件及其相关的环境变化过程,初步建立了南方古气候-环境的变化模式,初步探讨了东亚季风和印度季风的演化对环境的影响。

洞穴石笋是岩溶系统中 CO_2 -有机碳-碳酸盐体系的产物,灵敏地记录了大气、土壤传递到洞穴(岩溶)沉积物中的环境信息,如大气中 CO_2 浓度、水圈中的 pH、 HCO_3^- 浓度、地表 C_3/C_4 植被(C_3 型植被以森林为主, C_4 型植被通常是喜干的草本植物)、有机物的存在形式等。因此,它是气候变化的灵敏指示剂,对环境变化具有较强的敏感性。

自同位素技术发展以来,人们在应用放射性同位素测年、应用稳定同位素测温方面取得了很大的成就。据国内外研究现状可知,近十年来,高精度的测试技术及对气候与环境理论的深入认识,使得利用石笋的微层特征、洞穴次生碳酸盐的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 分析等,高分辨率地进行古气候及古植被重建成为可能。岩溶沉积物作为研究过去全球变化的重要信息载体,同时可用 $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ 热电离或等离子质谱测年,用样量少、准确度高。现代分析技术对石笋可提取高分辨率的年代及气候信息,特别是年代学研究,较其他沉积物的记录更理想。目前石笋已成为继深海岩心、极地冰芯、湖泊岩心及黄土之后,当今地学界最为关注的研究课题之一,它不但可以恢复长时间尺度的古气候、古环境信息,而且可以以很高的分辨率(达到年级)揭示短时间尺度上的气候变化,成为目前国内外全球变化研究的新热点。

末次冰期的气候是异常不稳定的,特别是近年来北大西洋深海沉积物中发现的 H 事件、格陵兰冰芯中记录的 D-O 气候快速振荡事件(D-O 旋回)以及后来的新仙女木事件。D-O 旋回中气候可以在几十年甚至更短的时间内发生像冰期-间冰期气候那样的波动, H 事件也不过发生在几千年至百年甚至更短的时间内,这些气候突变是很难用冰期气候的米兰科维奇理论来解释,因为迄今为止天文气候理论还未发现比 21 000 年(或 19 000 年)岁差周期更短的记录。究竟是什么机制触发了这些短期的气候快速振荡事件?目前的解释是大气-海洋-陆地反馈的

自调节作用,但这只是一种设想,至今仍没有一个清晰而准确的理论对此给出合理的解释。然而,气候不稳定性对于我们深刻认识短周期的气候变化,预测未来50~100年的气候环境是至关重要的。

由于测年和同位素测试技术上的问题,洞穴化学沉积物古环境重建的研究未能深入开展。直到近十几年,由于精确测年技术的发展以及一些新的气候替代指标的引用,这一研究又重新受到关注。尤其是1992年,Winograd等通过对美国内华达州南部戴维斯洞地下水中的方解石脉研究,发现了末次冰期在方解石脉的记录至少比海洋记录早1.70万年,比南极冰芯记录早0.7万年,由此认为:轨道控制的日照变化并非是引起冰消的主要因素(Winograd et al., 1992)。这一成果在第四纪地质界引起轰动。从此,利用洞穴化学沉积物进行古气候研究成为众多研究方法中颇受重视的一种,成为继树轮、冰芯、黄土和湖泊沉积物之后,陆地环境中的又一种重要的古环境信息源(张兰生等, 2000)。用洞穴化学沉积物进行古气候研究,已经在世界范围内开展,在理论和应用方面都取得了丰硕的研究成果。

国外从洞穴沉积物中提取古环境信息,开始于20世纪60~70年代,主要代表成果如下:20世纪60~70年代,加拿大Monaster大学首先建立了对洞穴沉积物同时进行铀系年代及稳定同位素分析的第一个实验室,并陆续发表了许多重要成果,其中Hendy(1971)建立的洞穴碳酸钙同位素沉积平衡的判别式,至今仍为各国研究者广泛使用。到了90年代,由于测年和其他测试技术的迅速发展,利用洞穴沉积物进行古环境的研究取得了广泛和深入的进展。Talma和Vogel(1992)对南非Cango洞27cm长石笋的研究、Holmgren和Karlen(1995)对博茨瓦纳35cm长石笋的研究、Bar-Matthews和Ayalon(1997)对以色列Soreq洞的两个小型石笋和钟乳石的研究等都取得了较为满意的成果。

另外,20世纪80年代以来,以Cerling为代表的土壤同位素学家,系统地论证了土壤中CO₂的 $\delta^{13}\text{C}$ 值主要反映不同的气候条件下C₃植物和C₄植物的分配。Winograd等(1992)研究了美国内华达州戴维斯洞的一段长约36cm的水下方解石脉(DH11),在年龄数据的基础上,结合碳氧同位素分析,利用TIMS-U系测年,获得了该区60~56.6ka B. P. 以来的古气候变化曲线及古植被的生态演变历史,因其对米兰科维奇理论提出挑战而备受关注。

1998年,明尼苏达大学的Dorale等(1998)通过对美国密苏里州Crevise洞石笋的研究,发现4根石笋的氧同位素变化曲线在热的时段内变化趋势几乎一致,说明了石笋氧同位素记录的可比性,揭示了75~2.5ka B. P. 该地区的生态历史。

国内用石笋恢复古环境研究开始于20世纪80年代,到了90年代达到了空前的高潮。研究区遍及全国,其中以北京、长江中下游(南京、湖北)、西南岩

溶区(广西、贵州和云南)最为突出。

20世纪80年代,汪训一(1985)结合桂林洞穴发育特征的研究,对桂林洞穴沉积物的碳氧同位素特征进行了初步的研究,指出有望通过洞穴沉积物的同位素记录来揭示过去气候的变化过程。此后,陈跃等(1986)通过对北京周口店、桂林地区石笋的研究和对石笋的同位素记录的进一步研究,提供了76~55ka B. P. 北京地区古温度的变化过程。

20世纪90年代,各地工作均开展起来。李平等(1994)通过对福建宁化天鹅洞一石笋的研究显示:250~135ka B. P., 该地区与海洋沉积物氧同位素7、6阶段相对应,温度变化的幅度不大;130~60ka B. P., 有5个高温期;60~32ka B. P. 为该地区250ka B. P. 以来最高温期,石笋生长速率最快;30ka B. P. 前后,气温下降,石笋逐渐停止生长,冰期来临。

刘东生等(1997)在北京石花洞通过加速器质谱 ^{14}C (AMS- ^{14}C)方法对北京石花洞石笋微层理发光性的研究,恢复了北京地区最近1130年以来的气候演变特征,尤其降水的变化过程,与历史记录(干旱期、湿润期、小冰期)十分吻合。

秦小光等(1999)对北京地区1000年来的石笋微层进行了谱分析,得出如下结论:夏季风加强时,降水增多,温度升高,促使微层厚度加大,夏季风相应碳酸钙沉淀产生了较大影响,留下了较强的波动变化印迹;反之,夏季风减弱时,降水减少,温度降低,微层厚度也相应变小。该研究重建了北京地区过去1000年中6次降温期和500年来有13次降水增加期。

此外,秦小光等(1999)、谭明等(1999)对北京石花洞石笋进行了微层灰度显微特征分析,初步归纳了亮度变化类型、暗色有机物分布规律和微层层内的亮度变化形式,为利用灰度信息研究古气候变化提供了依据。

李红春等(1998)用 ^{210}Pb 、 ^{14}C 法获取了分辨率为3年的北京石花洞氧同位素变化曲线,得到了京津地区500年来的气候变化信息,认为在较短时间尺度上,石笋的 $\delta^{18}\text{O}$ 值取决于大气降水同位素组成,在较长时间尺度上主要反映洞穴古温度变化,这一结论可推广至东亚季风区,并对这一时期以来的古气候、古环境和古植被的变化做了分析。

近年来,这种工作得到了较深入的进行,一些新技术和新方法,如AMS- ^{14}C 测年、TIMS-U系测年、发光技术等的应用使分辨率得到了很大提高。Brook等提出在厄尔尼诺-南方涛动(ENSO)核心区域或强烈影响区的石笋可能留有ENSO信息,并证明了年层厚度可以解释ENSO事件(Brook et al., 1999)。孙兴功等(2003)对南京汤山石笋研究表明:末次盛冰期晚期洞穴石笋3000年纹层厚度记录反映了2~7年的ENSO周期,并指出,属于赤道太平洋ENSO循环的海-汽耦合作用与中国东部地区降水遥相关,这一发现为热带、亚

热带古气候重建开辟了道路。胡超涌等(2001)用湖北清江洞穴石笋记录揭示了长江中游2万年来的气候变化规律,认为石笋碳酸盐岩 $\delta^{18}\text{O}$ 与地表均温呈正相关。袁道先等(1999)通过对桂林地区几个大型石笋的系统研究,重建了桂林20万年以来的古环境。张美良和林玉石(2002)利用贵州荔波董歌洞石笋确定了倒数第二次冰期终止点“Ⅱ”的最终分界年龄值为 $(129.28 \pm 1.1) \text{ ka B. P.}$ 。覃嘉铭等(2000)通过研究桂林地区降水资料和洞穴沉积物气候记录,认为在该区洞穴化学沉积物中的 $\delta^{18}\text{O}$ 值与温度呈负相关关系。汪永进和吴江滢(2002)、汪永进等(2000)和Wang等(2001)对南京汤山洞穴的石笋进行碳氧同位素分析,并在TIMS-U系测年的基础上建立了末次冰期中晚期中国东部高分辨率的古气候变化时间序列,不仅检出了东亚夏季风降水历史中的H事件,而且首次发现了末次冰期东亚夏季风活动区同样存在着D-O旋回、石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 记录与格陵兰冰芯有很好的对应关系,并且与北半球北纬 33° 太阳辐射变化相一致。

2004年1月,覃嘉铭等(2004)对贵州荔波董歌洞石笋进行高分辨率 $\delta^{18}\text{O}$ 的研究,揭示了新仙女木及全新世气候突变事件,并确定了新仙女木事件发生于 $12.80 \sim 11.58 \text{ ka B. P.}$,末次冰期的终止点“Ⅰ”为 11.3 ka B. P. ,与格陵兰冰芯记录有很好的对比关系。

2004年4月,Yuan等(2004)利用贵州荔波董歌洞两根大型石笋,建立了贵州荔波地区16万年以来高分辨率古气候变化时间序列,并揭示了末次间冰期亚洲季风的演化历史,同时确定了倒数第二次冰期中止点“Ⅱ”和末次冰期终止点“Ⅰ”的年龄。贵州荔波地区的氧同位素曲线与北纬 25° 太阳辐射变化曲线有很好的对应关系,并且可以和南京葫芦洞石笋记录以及第二个格陵兰冰盖计划(GISP2)进行对比。

1.2 目前存在的 key 问题

重庆是我国最新的直辖市,位于长江中游,是三峡库区的所在地,也是我国地势第二级阶梯和第三级阶梯的转折处,渝东南(如奉节、武隆、金佛山等)分布有大量的碳酸盐岩地层,岩溶极为发育。这一地区的东部和东南部广泛分布着岩溶洞穴及岩溶沉积物。尽管有丰富的物源基础,但由于研究对象和研究手段的限制,这个地区长期以来古气候环境方面的研究相对薄弱。目前,该地区已经发现了我国最早的古人类活动遗迹,并且长江三峡河谷地貌的演化一直受到许多地质学家和政府部门的关注。更为重要的是,随着三峡水库的建设和移民搬迁,考古工作成绩斐然,证明长江中游史前、历史时期一直是人类的居住地,但却从未有人专门就这一地区全新世以来的气候变化和环境变迁做详细的研究!这些不足对全面认识我国的气候变化过程,尤其东亚季风的变化规律,以及不同地区对全球

变化响应的差异性的认识产生较大的局限性。因此,开展重庆及周边地区洞穴系统形成的古环境研究,对中国南部地区的古地理特别是长江三峡的形成,具有重大意义。

青藏高原的强烈抬升导致了亚洲季风的形成。重庆地区构造复杂,受季风降水的影响,暴雨频率高、滑坡频繁、泥石流也较多,因此,探索西南地区冬、夏季风的演变历史对于灾害的预防也有重要意义。所以,利用 TIMS-U 系测年对重庆及其周边地区(湖北、广西、贵州、湖南等)的岩溶沉积物进行高精度定年,利用岩溶洞穴沉积物记录识别或提取该地区第一条高分辨率的气候变化标尺、识别古气候变化规律,是目前亟待解决的关键问题。

洞穴沉积物是新发现的古气候记录材料,所以对气候代用指标的提取还处于初级阶段,仅有碳氧同位素、微层、微量元素等(湖泊沉积物的气候代用指标有很多,如磁化率、粒度、碳氧同位素、总有机碳氮、碳氮比、碳酸盐含量与 Rb/Sr 等)。对洞穴沉积物稳定同位素信息的提取和解译,尽管在世界范围内已有不少的研究成果,但对客观事实的认识,如同位素沉积平衡问题、古降水稳定同位素的变化问题、稳定同位素在生物活动和岩溶水在土壤及岩石渗透过程中的变化问题,以及次生化学沉积物沉积过程中同位素的变化问题等一系列基础理论问题,仍缺乏充分的实验和观测数据,这些都给同位素信息的解译带来一定困难。

Lauritzen (1995) 发现挪威某石笋 $\delta^{18}\text{O}$ 值与气温呈正相关,即温度越高, $\delta^{18}\text{O}$ 值越大;而 Matthews 等 (1997) 对以色列石笋的研究表明, $\delta^{18}\text{O}$ 值与温度呈负相关关系。国内部分学者对京津(李红春等, 1998)、陕南(李红春等, 2000)和湖北清江(胡超涌等, 2001)等地洞穴沉积碳酸盐的研究表明,其 $\delta^{18}\text{O}$ 值的变化与地面温度呈正相关关系;而另一部分学者对南京地区(汪永进和吴江滢, 2002;汪永进等, 2000;Wang et al., 2001)、广西(张美良和林玉石, 2002;覃嘉铭等, 2000)和云贵高原(彭子成等, 2002;蔡演军等, 2001)的研究表明,洞穴沉积碳酸盐的 $\delta^{18}\text{O}$ 值的变化则与地表温度呈负相关关系。同时两部分学者对于洞穴沉积碳酸盐 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化的解释也相异。选择东亚季风和西南季风双重影响的重庆一带的洞穴沉积石笋、现代洞穴滴水 and 正在沉积的碳酸盐,进行高分辨率、多指标的综合研究,是解决上述分歧的最佳出路,弄清石笋碳酸盐氧同位素的替代意义,是古气候定量解译的基础。

应用洞穴石笋来重建古环境的研究已经取得了可喜的成果,但是古气候的重建工作还停留在定性讨论的层面上。因此,寻找更为有效的古气候替代指标定量重建古环境是目前研究工作的关键。古温度计算一直是古气候领域备受关注又主动回避的问题。能否用洞穴化学沉积物计算古温度、如何计算以及古温度的计算结果能在多大程度上反映当时的真实情况等一系列问题都有待于解决。

我国的气候变化尽管与全球变化基本一致,但由于青藏高原的抬升、东亚季

风的影响、海水温度的变化等一些特殊的局部因素,气候变化模式可能有一些特殊性。此外,这一方面的缺陷还表现在对全球变化中的一些突变事件在我国的反映还研究不足。尽管我们已通过对黄土、洞穴次生化学沉积物和湖泊沉积物中孢粉的研究,对新仙女木事件在我国的表现做了一些研究,但对其他一些气候跃变事件(如H事件、D-O旋回等)研究得还不够,而这些跃变事件及发生机制对预测气候系统的非线性行为则更有价值。

1.3 研究目标

利用TIMS-U系测年及碳氧同位素记录,建立重庆及周边地区末次冰期晚期以来高分辨率古气候变化的时标序列,揭示该区气候及环境变化的特征,捕捉一些环境变化的特殊事件,如H事件、D-O旋回,并对这些事件进行高分辨率的年代标定或定位,识别或提取石笋各沉积阶段内的长周期及区域性短周期突变事件的时段记录。同时利用现代洞穴滴水的稳定同位素分析,揭示其与大气降水及当地气温变化之间的响应以探讨东亚季风及西南季风的演变历史及其驱动因素,为全球变化对比研究提供区域依据。

对黄土高原马兰黄土研究表明,在末次冰期中东亚冬季风有多次加强,它与北大西洋沉积物中的H事件有很好的对应。汪永进对南京汤山石笋的研究表明末次冰期以来南京的石笋记录与D-O旋回和H事件也有很好的对应。东亚季风气候变化在大尺度范围受控于北半球冰量和太阳辐射量的变化,但哪个因子更直接地影响东亚季风气候变迁,现在还是一个没有解决的问题。

通过对重庆东南部进行洞穴调查,选取南川金佛山梁天湾洞、奉节新崖洞以及丰都水鸣洞的30余根石笋作为研究对象,用高精度的TIMS-U系测年、沉积学特征和碳氧稳定同位素高分辨率重建该区重庆及周边地区更新世晚期及全新世(末次冰期晚期,距今3万年)以来气候变化的时标序列,捕捉环境变化的特殊事件,揭示在这一时期该区气候-环境的变化规律。

利用洞穴石笋的碳氧同位素记录,揭示该区末次冰期晚期以来的气温、植被、降水量以及季风强度的变化信息,并与深海岩心、冰芯记录进行全球气候对比,确定各气候旋回间的长周期以及区域性短周期突变事件的时段记录。

通过与广西、贵州、云南等地的石笋记录所揭示的该时段气候变化进行区域对比,研究不同地区古气候记录对季风气候的响应关系,初步探讨西南季风气候在时空上的演化,努力探究重庆及周边地区末次冰期晚期以来的生态环境变化规律。