



云南鹤庆 湖泊深钻研究

沈吉 等著

Lake Deep Drilling Research
in Yunnan Heqing



科学出版社

云南鹤庆湖泊深钻研究

沈吉等著

科学出版社

北京

内 容 简 介

2002年8月,中国大陆环境钻探计划的首钻在云南省西北部的鹤庆实施。本次钻探首次采用内衬管取心技术,成功地获取了737米连续湖泊沉积岩心,全井取心率达97%。本书是鹤庆深钻岩心研究工作的总结,共分6章,分别从鹤庆盆地地质地理背景、深钻岩心的古地磁定年与岩石磁学特征、岩心孢粉分析与区域古植被演替、岩心硅藻研究与湖泊水环境变化、岩心地球化学指标与环境演化阶段等方面阐述了2.7Ma以来鹤庆古湖的演化历史及其区域环境响应,在此基础上采用轨道调谐和频谱分析的方法揭示西南季风演化的周期及其驱动机制。

本书可供从事第四纪地质学、古气候学、地理学和全球变化等有关专业的研究人员以及高等院校有关专业的研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

云南鹤庆湖泊深钻研究/沈吉等著. —北京:科学出版社,2015.7

ISBN 978-7-03-044816-3

I. ①云… II. ①沈… III. ①湖泊-岩心-钻探-研究-鹤庆县
IV. ①P583

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第124412号

责任编辑:刘燕春/责任校对:刘亚琦

责任印制:赵 博/封面设计:许 瑞

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>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年7月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2015年7月第一次印刷 印张:17 1/2

字数:400 000

定价:98.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

对地球气候环境变化规律与机制的认识是国际科学界和政府关心的科学问题之一。经济发展引发的环境恶化和人口激增的压力迫使中国的科学家必须进行环境变化过程和承载力的研究。过去 30 多年里,中外科学家对与人类生存关系最为密切的晚新生代环境变化研究取得了一系列重要进展。在这些成就之中,许多重大古环境、古气候问题的突破都是通过钻探计划或工程实施取得的。如深海/大洋钻探工程经过数十年努力和积累,不仅为建立地球板块构造理论奠定了基础,也提出了冰期(冷期)—间冰期(暖期)交替出现所反映的全球气候变化的多旋回性和同时性理论;南极和格陵兰冰心钻探计划的实施使人们深刻认识到最近几十万年气候变化的细节过程及其揭示的气候不稳定性,为未来气候变化趋势提供了某些机制理解。大陆湖泊钻探计划则以陆地丰富的湖相沉积物作为对象,力图通过对沉积物气候环境代用指标分析,认识区域环境变化的特点与过程,为区域环境规划与治理提供科学支撑。上述研究以揭示大尺度和特定地区气候环境变化为研究重点,而对与生存环境关系密切的大陆环境过程及其动力学的研究则稍显不足。地球大陆是大气圈、生物圈、岩石圈、水圈(包括冰冻圈)、人类圈多种圈层相互作用,物质、能量转换和传输最为复杂的地区,而中国大陆及邻区主要由亚洲季风区和内陆干旱区组成。由于新生代以来青藏高原生长和全球环境变化,中国季风区和干旱区的古环境发生了深刻变化,对其过程的研究有助于重建东南季风区和西北干旱区气候环境演化历史及其与全球变化的关系。这一过程常表现为内陆沙漠的进退和西部干旱化,风尘物质搬运与黄土堆积和侵蚀强度的变化,季风区暴雨、洪水、泥石流等环境灾害的频频发生,乃至青藏高原生长导致的大陆阶梯地貌和巨水系格局的形成等,这些变化涉及当今中国最重要的环境问题和全球变化的前沿科学问题,对它们的深刻认识将会极大地促进地球系统科学和社会可持续发展的研究,而这些研究都离不开大陆环境科学钻探岩心这一原始记录的获得。大陆环境钻探的持续开展还将有助于揭示大陆和海洋、大陆不同地区气候变化差异的原因。

云南鹤庆盆地处于我国西南印度季风区,其区域环境演化与青藏高原生长、印度季风的变迁密切相关。该地区湖泊沉积一方面记录了低纬热带大洋和南北半球气候相互作用的影响,同时记录了我国大江、大河源头的发育历史,也是探讨人类演化和生物多样性的理想场所。因此在鹤庆盆地实施湖泊沉积深钻,重建印度季风变迁序列和动力学,对国际全球变化和亚洲季风研究都具有重要意义。

本书是云南鹤庆湖泊深钻研究工作的阶段性总结。沈吉教授作为中国大陆环境钻

探首钻的首席科学家，他曾与我多次商讨该钻探的设计和实施事宜，以及后续的研究工作。沈吉教授和他的同事们对于钻探岩心的获得、分析、研究和理论成果都有杰出的贡献。今天看到该研究在十二年后将作为成果出版，十分欣喜，也表示衷心的祝贺。

安芷生

2014年4月20日

前 言

20 世纪 60 年代开展的国际深海钻探计划 (DSDP) 极大地推动了海洋地质学的发展, 尤其是验证了海底扩张和板块构造学说, 揭示了中生代以来的板块运动史。在 1982 年 DSDP 计划进行到最后阶段时, 国际地学界根据全球气候与环境变化的现实, 普遍认为有必要将深海和大洋的钻探继续下去, 因而制定了一项更长期的国际大洋钻探计划 (ODP)。中国受当时国力所限, 在上述国际计划中的贡献较小, 直至 1998 年春季中国才正式加入了国际大洋钻探计划。作为 ODP 的一部分, “JOIDES·决心”号钻探船于 1998 年 2 月 18 日来到中国南海, 开展了第 184 航次作业, 圆满地完成了由中国科学家担任首席科学家的中国海区第一次大洋钻探及其后续研究。

20 世纪 90 年代中期至 21 世纪初, 国际地学界又将目光逐渐转向了人居大陆环境的演化研究, 并启动了国际大陆钻探计划 (ICDP)。ICDP 钻探的主要对象是陆相地层, 尤其是湖泊沉积岩心。中国政府对人类生存环境的重视和日益强大的国力支持, 以及鉴于我国广阔的国土面积、地貌类型在大陆环境演变研究中的优势和我国黄土、冰心研究在国际第四纪研究中的领先地位, 以中国科学院安芷生院士为首的中国科学家倡导并开展了中国大陆环境钻探计划。之所以加上“环境”二字, 是为了与当时地质矿产部许志琴院士领导的中国大陆深钻相区别, 以示环境钻探的对象是地表松散堆积物, 而非岩石; 研究的目的是这些松散沉积物所记录的气候与环境变化信息。

2002 年中国大陆环境钻探计划设计了从东南—西北不同干旱梯度上的湖泊钻孔, 分别是位于西南季风区的云南鹤庆古湖、位于东南季风区的江汉平原、干旱—半干旱地区的青海湖以及位于干旱区的新疆罗布泊古湖。其中, 率先启动的是由作者本人负责的云南鹤庆古湖钻探。

在实施云南鹤庆古湖钻探之前, 国内还没有开展环境钻探的经验, 钻探设备也不能满足高分辨率沉积岩心的获取。为此, 课题组在有关单位的协助下开展了钻具设计、采样管研制和试钻等一系列工作。2002 年 3 月, 课题组依托中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊与环境国家重点实验室, 联合中国地质大学国家深钻实验室和核工业部青海地质勘探局, 对深钻钻具进行设计, 成功地研制了一套用于环境钻探的双管单动和内衬管取心钻具, 该项技术申请了国家专利。随后课题组对塑料取心管进行开模和加工, 拿出了与国内千米钻机配套的一整套用于环境钻探的全新钻具和内衬取心管。当年 5 月、6 月、7 月课题组成员及中国地质大学、核工业部青海地质勘探局的科研人员三次在新疆艾丁湖进行试钻, 对这套新研制的钻具反复改进, 使其取心率从最初的 70% 提高到 85%, 直至最后达到 95% 以上的国际环境钻探标准。

2002 年 8 月, 课题组在云南省西北部对鹤庆古湖实施钻探, 钻探从 8 月 10 日开始, 采用 24 小时连续施工, 历时两个月, 终于打穿鹤庆古湖基底。施工期间, 中央电

视台、云南电视台、《科学时报》等媒体进行了跟踪报道，详情请见《科学时报》2002年8月12日一版、三版。本次钻探首次在国内采用内衬管取心的技术，确保了岩心不受外力作用而发生扭曲、变形。由于本次钻探成功地获取了737 m连续沉积岩心，所获岩心除底部为湖盆沉积初期的底砾岩外，其余720 m岩心全部为连续的湖相沉积，岩性主要为灰色、灰绿色、灰褐色黏土和粉砂质黏土，层理清晰，内含丰富动/植物化石，是我国迄今为止最长，也是极为理想的研究环境演化的湖泊沉积岩心。全井97%的取心率在国内罕见，完全可以与俄罗斯贝加尔湖以及日本琵琶湖深钻岩心相媲美。

钻探结束后，课题组又针对深钻岩心设计了可用于切割不同硬度岩心的岩心切割机，并在中国科学院地球环境研究所完成了全部岩心的切割、编录和照相。

时间过得飞快，转眼间鹤庆湖泊钻探已过去快12年了。然而，鹤庆深钻的56个日日夜夜让我终生难忘……我怀念那千米钻机在云南高原蓝天白云之间矗立的壮观情景；怀念钻机轰鸣的56个不眠之夜；怀念一管管岩心从地下几百米深处被取出时激动人心的场景……美哉，云南！美哉，鹤庆古镇的不眠之夜！

本书是鹤庆深钻岩心研究工作的总结，分别从深钻岩心的古地磁定年与岩石磁学特征、岩心孢粉分析与区域古植被演替、岩心硅藻研究与湖泊水环境变化、岩心地球化学指标与环境演化阶段等方面阐述2.7 Ma以来鹤庆古湖的演化历史及其区域环境响应。在此基础上采用轨道调谐和频谱分析的方法揭示西南季风演化的周期及其驱动机制。本书第1章由沈吉、强小科、肖海丰完成；第2章由强小科和徐新文完成；第3章由肖霞云和沈吉完成；第4章由李艳玲和沈吉完成；第5章由沈吉和肖海丰完成；第6章由肖海丰和沈吉完成。全书最终由沈吉和王云飞统一审定。

本研究得到国家自然科学基金重点项目(40331003)和国家杰出青年基金项目(40625007)资助。

沈 吉

2014年2月17日于南京

目 录

序

前言

第 1 章 鹤庆盆地地质概况、自然地理环境及深钻岩心特征	1
1.1 研究区地质地貌概况	1
1.2 自然地理概况	4
1.2.1 现代气候特征	4
1.2.2 土壤	4
1.2.3 现代植被	5
1.3 鹤庆古湖泊深钻实施和岩心特征简述	8
1.3.1 古湖泊深钻实施	8
1.3.2 岩心特征简述	8
参考文献	13
第 2 章 深钻岩心岩石磁学及古地磁学研究	14
2.1 磁性地层学的概念与研究方法	14
2.1.1 古地磁学和磁性地层学	14
2.1.2 磁性地层学原理和研究方法	15
2.2 鹤庆钻孔湖相岩心的磁性地层学研究结果	18
2.3 岩石磁学的概念与研究方法	21
2.3.1 岩石磁学的概念	21
2.3.2 岩石磁学研究、应用的主要方法	24
2.3.3 岩石磁学在湖泊中的应用	29
2.4 鹤庆钻孔湖相岩心的岩石磁学特征	31
2.4.1 χ -T 曲线	33
2.4.2 J-T 曲线	38
2.4.3 等温剩磁热退磁	40
2.4.4 低温磁化率	43
2.4.5 等温剩磁 (IRM) 获得曲线	44
2.4.6 磁滞特征	47
2.4.7 一阶反转曲线 (FORC) 图解	50
2.4.8 扫描电镜 (SEM) 和能谱分析 (EDS)	53
2.4.9 磁化率和频率磁化率	56
2.4.10 其他磁学参数及其比值	58

2.4.11 岩石磁学特征	58
2.5 岩石磁学、环境磁学揭示的鹤庆盆地古环境演化特征及其与印度季风的联系	61
2.5.1 还原成岩过程对磁学性质的影响	61
2.5.2 岩石磁学性质的变化机制	64
2.5.3 磁化率的古环境指示意义	65
2.5.4 频率磁化率与湖泊沉积环境变化的关系	69
2.5.5 磁化率记录的中更新世气候转型事件	71
2.5.6 更新世以来鹤庆古湖的发展演化特征	72
参考文献	73
第3章 鹤庆深钻岩心孢粉研究与古气候演化	81
3.1 孢粉概述	81
3.2 孢粉研究方法	81
3.2.1 孢粉样品采集	82
3.2.2 孢粉分析的实验方法	82
3.2.3 孢粉鉴定与数据处理	83
3.2.4 降维对应分析(DCA分析)	86
3.2.5 定量重建方法	86
3.3 云南省第四纪植被与气候研究现状	88
3.4 云南表土孢粉与主要植物生态特征	89
3.4.1 云南表土孢粉及其环境意义	90
3.4.2 云南主要植物的生态特征	92
3.5 鹤庆湖泊深钻孢粉记录与环境变迁	100
3.5.1 鹤庆湖泊深钻的孢粉分析结果	100
3.5.2 云南鹤庆地区 2.78 Ma 以来的植被演替与环境变迁	112
3.5.3 云南鹤庆地区 2.78 Ma 以来的植物多样性演化及其与古环境关系	119
3.6 约 87 万年以来高分辨率鹤庆古湖泊孢粉记录及其古气候定量重建	126
3.6.1 约 87 万年以来高分辨率的孢粉记录	126
3.6.2 约 87 万年以来的古植被与古气候	136
3.6.3 鹤庆深钻上部约 174 m 岩心中孢粉记录的降维对应分析(DCA分析)	141
3.6.4 生物群区化定量重建云南鹤庆地区约 87 万年以来的古植被与古气候	144
3.7 基于孢粉指标的西南季风演化机制探讨	151
图版说明	154
参考文献	162
第4章 硅藻研究及其古湖泊水环境演化	169
4.1 硅藻研究概述	169
4.2 材料与方法	175
4.2.1 样品采集与分割	175

4.2.2	样品处理	175
4.2.3	样品测年	176
4.3	深钻岩心周边地区的现代湖泊沉积硅藻研究	177
4.3.1	样品采集、分割与处理	177
4.3.2	样品测年	177
4.3.3	底质分析	177
4.3.4	被研究湖泊环境的主要特征	178
4.3.5	研究结果	179
4.3.6	被研究湖泊沉积硅藻种群组合的变化	183
4.3.7	讨论	188
4.4	鹤庆硅藻优势种和敏感种类的生态指示意义	190
4.4.1	菱形椭圆小环藻 <i>Cyclotella rhomboideo-elliptica</i> 的生态特征	190
4.4.2	眼斑小环藻 <i>Cyclotella ocellata</i> 的生态特征	191
4.4.3	不定环冠藻 <i>Cyclostephanos dubius</i> 的生态特征	192
4.4.4	<i>Asterionella formosa</i> 的生态特征	192
4.4.5	<i>Stephanodiscus hantzschii</i> 的生态特征	192
4.4.6	小型 <i>Fragilaria</i> 的生态特征	193
4.4.7	<i>Aulacoseira granulata</i> 的生态特征	193
4.4.8	附生种类 <i>Achnanthes minutissima</i> 的生态特征	193
4.5	130ka 以来鹤庆钻孔沉积硅藻群落结构变化及其水环境	193
4.5.1	年代序列的建立	194
4.5.2	硅藻群落结构	194
4.5.3	讨论	197
4.6	鹤庆钻孔 11.3~617.47 m 的硅藻群落及其环境变化	198
4.6.1	硅藻组合带 I, 钻孔深 617.47~442.36 m, 年代 2.608~1.975 Ma (以下同)	199
4.6.2	硅藻组合带 II, 442.36~283.09 m, 年代 1.975~1.311 Ma	199
4.6.3	硅藻组合带 III, 283.09~184.43 m, 年代 1.311~0.899 Ma	199
4.6.4	硅藻组合带 IV, 184.43~11.3 m, 年代 0.899~0.130 Ma	201
4.6.5	鹤庆钻孔 11.3~617.47 m 的沉积硅藻记录与古湖泊环境关系	201
	参考文献	205
第 5 章	深钻岩心环境指标分析及其演化阶段	214
5.1	样品采集和分析测试方法	214
5.1.1	粒度指标的分析方法	215
5.1.2	烧失量指标的测试方法	215
5.1.3	碳酸盐含量分析方法	215
5.1.4	有机碳同位素的测试方法	215
5.2	粒度垂向分布和环境分析	216
5.2.1	鹤庆钻孔粒度指标的变化特征	217

5.2.2 粒度的分维特征及其意义分析	219
5.3 烧失量	226
5.4 碳酸盐	229
5.5 有机质碳同位素	230
5.6 鹤庆深钻揭示的 2.78 Ma 以来气候、环境演化过程	232
参考文献	237
第 6 章 深钻岩心环境指标揭示的区域气候轨道尺度演化	241
6.1 米兰科维奇理论	241
6.1.1 黄赤交角 (ϵ)	241
6.1.2 岁差 (p)	242
6.1.3 偏心率 (e)	242
6.2 气候轨道尺度演化的研究状况	243
6.2.1 关于中更新世转型	243
6.2.2 米兰科维奇理论面临的问题	248
6.2.3 轨道周期与地质计时	249
6.2.4 轨道周期的地理差异	251
6.2.5 高、低纬度在轨道周期中的作用	252
6.3 气候轨道周期的研究方法	252
6.4 鹤庆钻孔天文时间标尺的确定	253
6.5 鹤庆深钻揭示的区域气候轨道尺度演化	254
6.5.1 斜率和岁差是驱动区域气候演化的重要动力,斜率周期的强度高于岁差周期	257
6.5.2 区域气候轨道尺度演化中的两次转型	257
6.6 鹤庆钻孔有机质 $\delta^{13}\text{C}$ 指标演化的周期性分析	259
6.7 鹤庆钻孔碳酸盐沉积纪录与深海 $\delta^{18}\text{O}$ 记录、黄土粒度纪录的对比分析	260
6.7.1 11.8~990 ka 阶段的对比	260
6.7.2 990~1552 ka 阶段的对比	262
6.7.3 1552~2581 ka 阶段的对比	263
6.7.4 结论	263
参考文献	264
附录 鹤庆钻孔 (HQ) 原始进尺深度与校正深度对照说明	270

第 1 章 鹤庆盆地地质概况、自然地理环境及深钻岩心特征

湖泊沉积盆地所赋存的沉积地层或沉积物是相邻山地或高原剥蚀与充填过程和高原隆升过程的天然记录,其沉积物内包含丰富的构造运动、气候变化、流域生态等信息,且具有时间连续、分辨率高的特点。近年来的研究发现,中国西南地区分布的一系列构造断陷湖盆与青藏高原的隆升密切相关,这些湖盆演化历史长、沉积厚度大,是研究高原隆升的理想素材(李峰和薛传东,1999)。其次,西南地区是中国生物多样性最丰富的地区,湖盆内的沉积同时还保存有西南季风演化与生物多样性变迁的丰富信息(蒋雪中等,2001)。为此在国家科学技术部和中国科学院联合支持下,作为“中国大陆环境钻探计划”的首钻,课题组于2002年8月在云南省西北部鹤庆盆地实施了湖心钻探计划。

1.1 研究区地质地貌概况

鹤庆盆地($26^{\circ}27'\sim 26^{\circ}46'N$, $100^{\circ}08'\sim 100^{\circ}17'E$)位于云南省西北部鹤庆县境内,为一构造断陷盆地。地处红河深断裂带北延段与金沙江深断裂带相接的中间地段。在大地构造上位于青藏高原隆起带的东南边缘部位,属滇西北高原横断山余脉(图1.1)。紧邻鹤庆盆地的东西两侧是连续而较高峻的山地,由此鹤庆盆地形成了一个较完整的山间盆地,呈南北长条形展布,与主构造带走向线一致(图1.2)。

盆地形成于喜马拉雅运动后期,东西两侧各有一条南北向隐伏大断裂通过,把盆地夹持其中,形成地堑,后逐渐接受了巨厚的陆源碎屑沉积物。据物探资料推测,本区晚新生代存在三期断陷盆地过程:最早一期以剑川盆地堆积的煤系地层为代表(中新世);中期盆地堆积了三营组煤系地层(上新世);晚期为本书研究的目标层——鹤庆盆地的陆源碎屑堆积物。同时,在各成盆期之间均有明显的构造运动和火山活动。鹤庆盆地晚期的陆源碎屑沉积物由两侧向中间增厚,中部县城附近厚度达700余米(肖霞云等,2007)。北边近东西向的玉龙关断层形成于中、晚更新世,它把连续分布的蛇山组差异断开,形成了面向鹤庆盆地,高达200m的断层崖。鹤庆盆地内的沉积物主要为第四纪沉积,下部为更新世湖积层,厚度大,上部为全新世湖积层。盆地两侧见有全新世洪积层。

鹤庆湖相沉积物的深钻HQ孔位于盆地中部鹤庆县城西南角的一块空地(图1.3)。成功钻取鹤庆盆地巨厚、连续的湖相沉积物为研究本区地质构造和气候的演化过程提供了较好的物质基础(沈吉等,2007)。

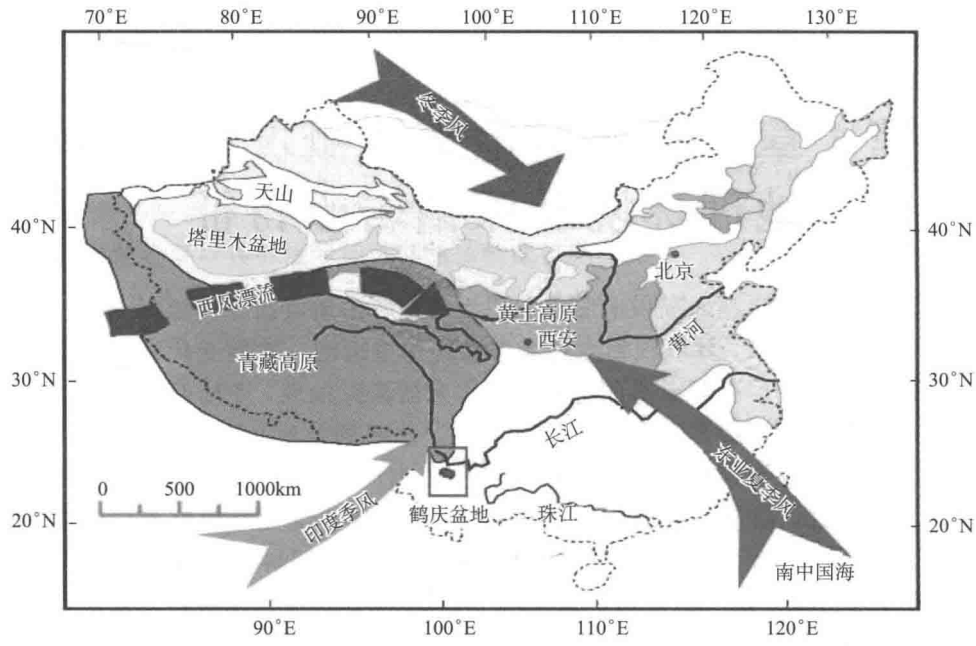


图 1.1 鹤庆盆地的大地构造背景

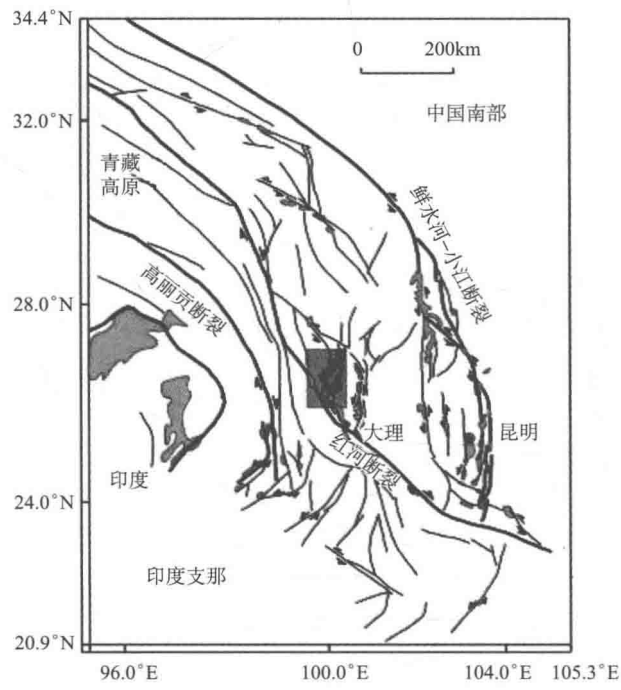


图 1.2 鹤庆盆地的地质构造略图

鹤庆盆地的地貌格局表现为四周被高山环绕,形成一个较完整的山间盆地地形(图1.3)。盆地面积约 144 km^2 ,呈南北向长条形展布,与南北向构造线方向一致。盆地南北长约 22 km ,东西宽 $5\sim 10\text{ km}$ 。盆地内部地势较平坦,北高南低坡度 $1^\circ\sim 3^\circ$,海拔 $2193\sim 2240\text{ m}$ 。盆地四周为中低山环抱,山峰的海拔均在 2500 m 以上,尤以东、西两侧山峰高峻,东侧自北向南分布照壁山(3225 m)、石宝山(3628.6 m)、大黑山(3383 m)等;西侧自北向南依次为九顶山(3484.5 m)、马场东山(3579.1 m)、长木阱北山(3548.1 m)等;南部山地较低,有象眠山(2585 m)及东南部莺顶山(2651 m)。盆地四周沿山地有众多小溪、小河汇入,在中部低洼地处积水形成鹤庆草海,草海湖水很浅,水生植物布满全湖,沼泽化趋势明显。盆地东部漾弓河较长,自北向南穿过盆地后折向东流后汇入金沙江,属金沙江水系。

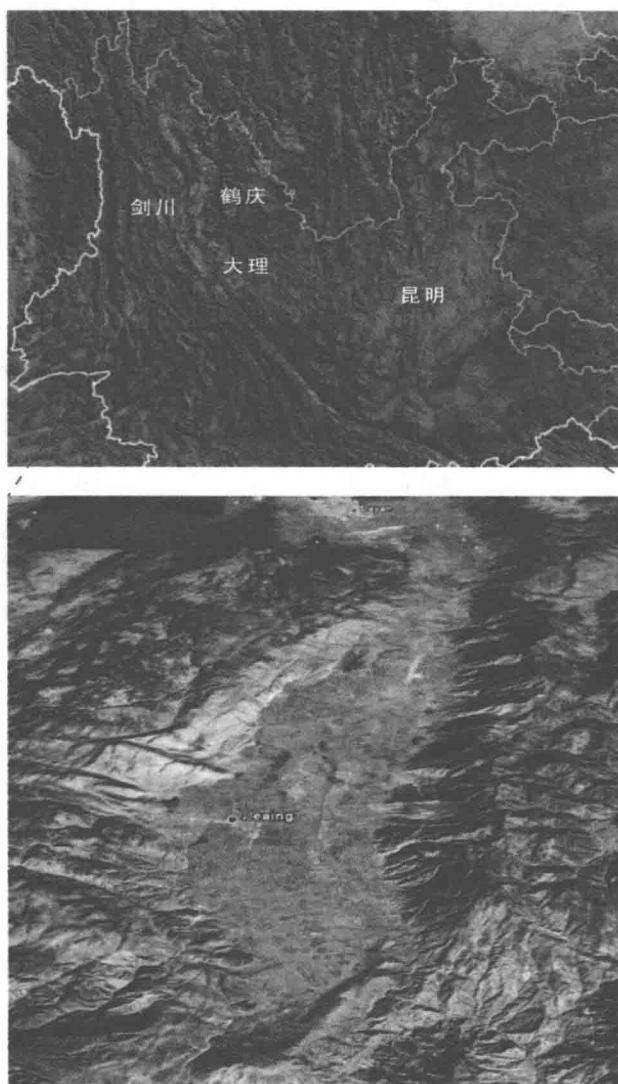


图1.3 鹤庆盆地地貌遥感影像及深钻HQ孔位置

1.2 自然地理概况

1.2.1 现代气候特征

鹤庆盆地位于西南季风区, 由于海拔较高且高差悬殊, 故气候垂直变化明显, 呈南亚热带至寒温带之间的过渡性气候区类型。总体上, 夏季主要受来自孟加拉湾的暖湿气流影响, 气候温暖湿润; 冬季受南支西风急流控制, 另兼受青藏高原局地气候的影响, 气候偏干凉 (图 1.4)。由于特殊的地理环境和悬殊的地形高差, 形成“一山分四季, 十里不同天”的“立体气候”特点。以鹤庆县城附近为例, 年平均温度 13.5°C ; 其中 1 月平均温度为 6.3°C , 极端最低气温可达 -11.4°C ; 7 月平均温度为 19.2°C , 极端最高气温达 33.4°C 。多年平均年温差 $12\sim 13^{\circ}\text{C}$ 。盆地年降水量在 $900\sim 1000\text{ mm}$, 多年平均降水量为 947.9 mm , 11 月至次年 4 月为西南季风区干季, 盆地降水量仅占全年总降水量的 $5\%\sim 10\%$; 全年降水主要集中在 5~10 月的雨季, 降雨量约占全年总降水量的 $90\%\sim 95\%$ 。全年太阳总辐射平均为 137.51 kcal/cm^2 ; 年平均日照 2293.6 h , 日照在时间分布上, 干季较多, 雨季较少。全年无霜期约 210 d , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的年积温为 $3500\sim 4000^{\circ}\text{C}$ ^① (图 1.5)。

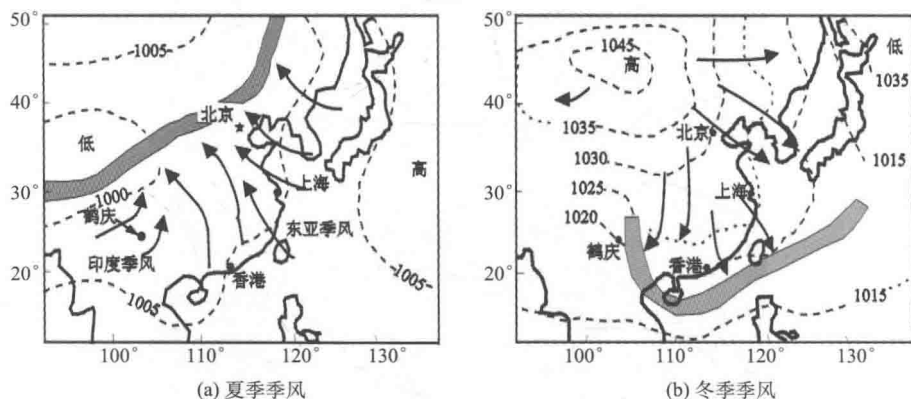


图 1.4 中国现代夏季和冬季季风分布简图

综上所述, 研究区的气候为冬干夏湿的高原季风气候, 具有雨热同季, 夏暖冬凉, 干湿季分明, 温度年差较小, 日温差较大, 既无严冬又无酷暑的气候特点。

1.2.2 土壤

鹤庆盆地的土壤分布也具有垂直分布特点。自然地带性土壤分布为高程 2800 m 以下

① 云南省鹤庆县编纂委员会, 1991. 云南省鹤庆县县志。

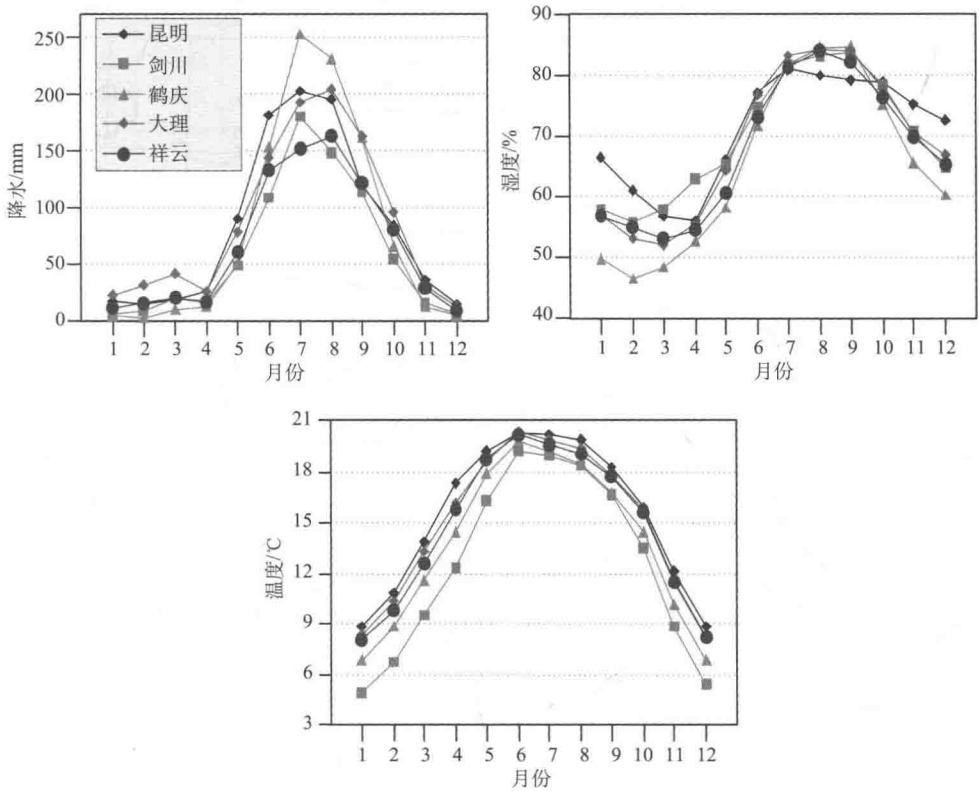


图 1.5 鹤庆盆地现代气候概况

分布有红壤和燥红土；2800~3600 m 为棕壤带；3600 m 以上主要为暗棕壤和棕色针叶林土。盆地中以耕作土、水稻土和冲积土为主。据 2006 年年末统计，鹤庆县总耕地面积 16 360 hm²，其中水田 10 020 hm²；旱地 6340 hm²，农作物播种面积约 29 473.33 hm²。

1.2.3 现代植被

鹤庆盆地在云南省植被区划中归属于如下植被区域（图 1.6）（云南植被编写组，1987）：

Ⅱ 亚热带常绿阔叶林区域

Ⅱ A 西部（半湿润）常绿阔叶林亚区域

Ⅱ A Ⅱ 高原亚热带北部常绿阔叶林地带

Ⅱ A Ⅱ -1 滇中、滇东高原半湿润常绿阔叶林、云南松林区

Ⅱ A Ⅱ -1c 滇中西北部高山高原云南松林、云、冷杉林亚区

高原亚热带北部常绿阔叶林地带以地带内的云岭、点苍山和哀牢山一线作为分界，划分本植被带为东部和西部两个植被区。西部区高山深谷相间，地势起伏较大，气候、土壤、植被垂直变化明显；东部区则以高原地貌为主，地势虽有明显起伏，但除一些高

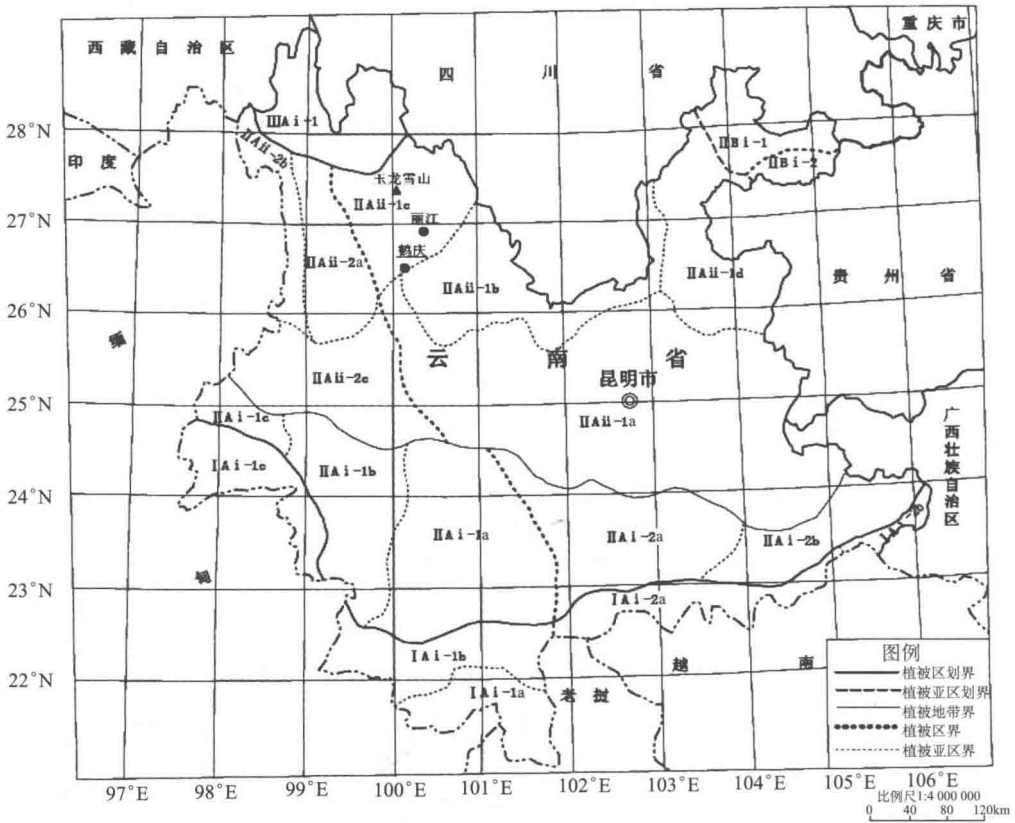


图 1.6 云南省植被区划图 (云南植被编写组, 1987)

耸山地和深切河谷外, 大部分为相对高差不大的丘陵状高原。但综观整个高原亚热带北部常绿阔叶林地带, 根据植被的垂直分布状态, 可以划分出 6 个垂直植被带, 各植被带的植被类型、主要组成成分和环境特点见表 1.1 和表 1.2。

盆地以北约 40 km 处的玉龙雪山, 可作为高山垂直植被发育的实例。海拔 5000 m 的高度为雪线; 树线约位于 3900 m (冷杉 *Abies* 林上限)。两者之间自下而上主要由高山杜鹃灌丛、蒿草高山草地、高山砾石 (岩屑) 和冻荒漠组成。海拔 3100 m 左右为夏季云雾线分布所在地, 故山地生态环境明显变为凉湿; 3100~3900 m 为亚高山寒温针叶林带 (云杉林和冷杉林) 的分布范围; 2800~3200 m 为山地针阔叶混交林, 主要树种有铁杉、冷杉、石栎以及槭、桦等, 林下多有箭竹和杜鹃层片; 2400~2800 m 为中山湿性常绿阔叶林, 优势成分为包斗栎、厚叶石栎、硬斗石栎和银木荷等; 1600~2400 m 为半湿润常绿阔叶林和云南松林, 主要成分是青冈属的滇青冈和黄毛青冈、栲属的元江栲和高山栲、石栎属的滇石栎以及云南松林。位于玉龙雪山以南的虎跳峡峡谷, 海拔 1600 m 以下, 由于气候炎热干燥, 分布着干热河谷型稀树灌丛草甸 (肖霞云等, 2007)。