



翟秋敏 郭志永 著

坝上高原安固里淖
*H*全新世湖泊沉积与环境
*olocene Sediment and Environment of
Angulinao Lake in Bashang Plateau*



科学出版社

内 容 简 介

本书通过野外地貌踏勘、钻取湖心区沉积钻芯并进行多指标环境信息的提取,系统研究了坝上高原内陆湖泊安固里淖全新世以来的湖面变化过程和环境变化过程。特别提出的是,本书首次发现并系统研究了安固里淖钻芯中由风成颗粒与湖相颗粒交互沉积组成的纹层,这种特殊的纹层层理应当是温带干旱区湖泊特有的现象,对环境变化研究具有重要意义。

本书可为自然地理学、地貌学、第四纪环境和全球变化研究领域的学者提供研究资料 and 参考。

图书在版编目(CIP)数据

坝上高原安固里淖全新世湖泊沉积与环境 / 翟秋敏,
郭志永著. —北京: 科学出版社, 2011.11
ISBN 978-7-03-032572-3

I. ①坝… II. ①翟…②郭… III. ①第四纪—古环
境—研究—河北省 IV. ①P535.222

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 214437 号

责任编辑: 许 健 韩 芳 / 责任校对: 刘珊珊
责任印制: 刘 学 / 封面设计: 殷 靓

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>

南京展望文化发展有限公司排版

江苏省句容市排印厂印刷

科学出版社出版 各地新华书店经销

*

2011 年 11 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2011 年 11 月第一次印刷 印张: 8 1/4

印数: 1—1 500 字数: 151 000

定价: 39.00 元

Preface

序

以全球增温、温室气体浓度升高为主的气候变化问题给世界各国政府和科学界提出一系列挑战,其中包括理解全球增温对不同气候子系统的影响、揭示生态系统对气候和 CO_2 浓度变化的响应、区分自然和人为因素对区域和全球环境变化的贡献等。

过去、现在和未来的气候变化往往具有不同的边界条件,因而不可完全类比。但是,末次冰期到全新世期间包含了地球轨道变化引起的气候“渐变”、气候系统内部过程引发的千-百年尺度的“突变”、大气温室气体浓度的显著变化及人类活动影响由弱到强的历史,可为揭示不同速率全球增温的影响、气候和 CO_2 浓度变化的生态效应、自然和人为因素的作用等提供了不可替代的优势。其中,干旱-半干旱区的水文-生态过程对气候变化响应格外敏感,是值得首选的研究对象。

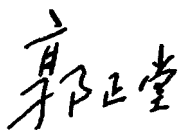
《坝上高原安固里淖全新世湖泊沉积与环境》一书所展示的工作正是针对这样的前沿基础理论问题和国家需求开展的。虽然书中的大部分结果是在 2000 年以前完成的,但从研究区位置的重要性、所获取数据的系统性等方面考虑均值得出版,对今后的研究具有很好的参考价值。

我国季风边缘区全新世气候和环境变化的历史与机制迄今仍是学术界关注的、尚未完全解决的重要问题,其中涉及高纬和低纬过程对我国气候的影响、干旱-半干旱区水文-生态系统对气候变化的响应机制等问题。解决问题的关键是年代学证据、多指标交叉验证及机理解释、气候环境变化的空间差异等。

该书以安固里淖记录的轨道尺度气候环境变化为主要研究对象,所采用的年代学、多种物理和化学替代指标,与后来其他学者获得的年代学和生物记录一起,能够为问题的最终解决提供更全面的证据。书中地貌学与沉积学研究紧密结合的

工作方法、观察到的湖泊纹层现象、关于研究区全新世大暖期时代特征的认识等均值得我们在今后的研究中学习、借鉴或重视。

如作者在自序中所提,该书的出版是我国老一辈地貌与第四纪地质学家李容全教授的期望之一。我曾经有幸通过这样那样的机会,得到先生的诸多指导、教诲和鼓励。在祝贺该书出版的同时,让我们预祝先生健康长寿,为国家科学事业的发展 and 人才培养做出更多的贡献。

A handwritten signature in black ink, reading '高正堂' (Gao Zhengtang) in a cursive style.

2011年10月22日

Foreword

前 言

随着温室效应等全球性环境问题的出现,未来环境状况成为人们日益关注的问题。了解过去、认识现在、预测未来便成为全球变化研究的核心计划。作为距今最近的一个地质时代,全新世的古环境重建在全球变化研究中占有突出地位。

关于我国的全新世环境,利用黄土、冰缘、珊瑚、石笋、湖泊地貌与沉积、海岸地貌等研究对象,从中获取沉积学、沉积地球化学、有机地球化学、环境磁学、生物化石、微生物化石等方面的环境信息,进行夏季风重建的研究,已取得了长足的进展。

高原内陆湖泊作为一个相对的独立体系,其水量直接受流域内降水与蒸发的控制,对气候、环境的波动十分敏感。内陆湖泊的波动主要记录在古湖岸地貌和湖泊沉积物中。湖泊沉积物对高分辨率研究不同时间尺度,特别是对全新世以来的环境变化发挥着重要作用。

1997~1999年,课题组在河北坝上对高原内陆湖泊安固里淖进行了周边的湖岸地貌调查和湖心区沉积物的冰上钻探取芯,并且沿湖岸—浅湖—湖心断面采集了冰上风成堆积物。在实验室内对湖岸地貌调查资料进行了整理并对采集的样品进行了年代测试和实验分析,特别对沉积钻芯进行了系统的沉积学和地球化学分析,包括剖面描述、粒度分析、磁化率测量、地球化学全量分析、碳酸盐含量测定、易溶盐分析、pH测定和碳酸盐矿物的X-衍射分析等。

特别值得提出的是,通过对钻芯制作切片并进行扫描电镜观察,发现了水下降尘与湖心沉积共同组成的、未见文献报道过的纹层类型,并依此建立了年表,与 ^{14}C 测年数据相互校核,误差最小为2年,最大为163年,均在 ^{14}C 测年误差范围之内。本项研究的成果主要包括以下五方面。

1. 利用自生碳酸盐氧同位素重建了安固里淖湖区古温度曲线。8507 a B. P. 以来,安固里淖湖区经历了8507~6849 a B. P. 的增温期,6849~6301 a B. P. 的高温期,6301~5599 a B. P. 的降温期,5599~4002 a B. P. 的波动期,4002~2870 a B. P. 的稳定期,2870~875 a B. P. 的冷期和875 a B. P. 以来的升温期,发展到今天的环境

状况。较现代温暖的时段有 8400~8100 a B. P.、6900~6300 a B. P. 和 5700~4700 a B. P., 各时段最高气温分别高于现代 3℃、6℃和 2.5℃。

2. 湖岸地貌与粒度分析相结合,重建了安固里淖古湖面变化过程。安固里淖湖面在 8507~7308 a B. P. 波动上升;7308~6301 a B. P. 最高并且较稳定,高出现代湖面 28 m;6301~5599 a B. P. 湖面略有下降;5599~4724 a B. P. 湖面波动剧烈,出现低湖面;4724~3057 a B. P. 湖面较高,高于现代湖面 11.4 m;3057~875 a B. P. 湖面较低,湖面高于现代 6 m;875 a B. P. 湖面再次下降,600~500 a B. P. 期间湖面高于现代 2~3 m。总体上讲,6301 a B. P. 以来安固里淖湖面阶段性下降。

3. 纹层沉积与粒度分析相结合,反映冬季风经历了弱—强—弱的变化过程。8507~5700 a B. P. 冬季风较弱,5700~3400 a B. P. 最强,3400~2550 a B. P. 最弱,2550~1500 a B. P. 较强,1500 a B. P. 以来较弱。

4. 在易溶盐组成分析的基础上,重建了安固里淖古湖水化学类型演化过程。安固里淖古湖水在 8507~7600 a B. P. 为 $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$ 型,盐度较高;7600~5137 a B. P. 为 $\text{Na}^+ - \text{Cl}^- - \text{SO}_4^{2-}$ 型,盐度最高;5137~574 a B. P. 为 $\text{Na}^+ - \text{CO}_3^{2-} - \text{HCO}_3^-$ 型,盐度较低;574 a B. P. 以来,湖水为 $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$ 型。

5. 安固里淖岩芯反映的古环境、古气候与周围地区有很好的可比性。值得提出的是,在全新世大暖期鼎盛期之前,安固里淖地区存在一个较暖的阶段(8400~8100 a B. P.)。另外,安固里淖钻芯反映,5599~4002 a B. P. 为气候波动期,并非持续的冷期。

本项研究整体于 2000 年完成,尽管时隔 10 年,但是作为一部系统研究安固里淖全新世环境的专著仍不失其出版意义。由于上游修建水库拦水蓄水的原因,安固里淖这颗“坝上明珠”已经于 2004 年干涸,但是它的研究价值依然得到学术界的重视。2004 年中国科学院南京地理与湖泊研究所姜加明等在安固里淖采集了近 400 年的沉积样柱,2007 年北京大学朱江玲等对坝上白诺尔全新世的湖泊沉积记录进行了研究。夏正楷先生早在 1992 年曾经提出“水下黄土”的说法,干旱半干旱地区湖泊中存在风力搬运物或者降尘是不争的事实,关于安固里淖沉积中的风成湖泊年纹层还有待于深入探索。

本书的出版是李容全教授的殷切期望,如今终于成稿,也是对恩师多年栽培的回报! 师兄邱维理副教授参与指导了野外调查工作和部分分析工作,赵烨教授、郑良美副教授参与了钻探工作,李永良高级实验师协助进行了纹层的扫描电镜分析,硕士研究生吴门新协助进行了纹层图片数据的处理,路晓芳协助进行了图件的处理,衷心感谢他们给予的支持和帮助!

Contents

目 录

序

前言

绪论 1

 0.1 全新世古湖泊研究概述 2

 0.2 我国全新世古环境研究现状 6

第一章 区域自然特征 16

 1.1 地理位置 16

 1.2 自然条件 16

 1.2.1 地质 16

 1.2.2 气候 17

 1.2.3 地貌 17

 1.2.4 水系 18

 1.3 安固里淖水文状况 18

第二章 湖岸地貌 20

 2.1 湖岸地貌在湖面变化研究中的意义 20

 2.2 安固里淖四周的湖岸地貌 20

 2.2.1 堆积地貌 21

 2.2.2 侵蚀地貌 25

 2.2.3 湖岸地貌演变规律 26

 2.3 湖岸地貌所反映的湖面变化 27

 2.3.1 湖面变化趋势 27

 2.3.2 湖面变化特征 27

第三章 湖心区的沉积学特征	29
3.1 沉积剖面与年代	29
3.1.1 沉积剖面	29
3.1.2 年代测定	30
3.2 湖心沉积物的结构特征	32
3.2.1 粒度组成	33
3.2.2 颗粒形态和颗粒排列	43
3.3 沉积物的磁性特征	45
3.3.1 沉积物磁性特征的环境意义	45
3.3.2 磁性参数的测定	46
3.3.3 磁化率变化特征及其反映的气候变化	47
第四章 纹层沉积	50
4.1 概述	50
4.1.1 纹层的成因及分类	50
4.1.2 湖相纹层的纪年作用及其对古气候研究的意义	51
4.1.3 纹层研究历史	51
4.1.4 纹层研究的特殊意义	53
4.2 安固里淖钻芯中风成纹层沉积的发现	53
4.2.1 纹层沉积的发现	53
4.2.2 纹层成因分析	56
4.3 纹层沉积的纪年作用	57
4.3.1 纹层数目的统计	57
4.3.2 统计结果	59
4.4 安固里淖风成纹层反映的气候变化	60
4.4.1 纹层信息的提取	60
4.4.2 纹层特征变化曲线	60
4.4.3 纹层特征反映的气候变化	65
第五章 沉积地球化学特征	71
5.1 易溶盐含量	71
5.1.1 概述	71
5.1.2 安固里淖钻芯的易溶盐组成	74
5.1.3 易溶盐组分变化曲线的环境意义	84
5.2 化学元素组成	86

5.2.1 湖泊沉积物化学元素组成的影响因素	86
5.2.2 实验方法和原理	86
5.2.3 钻芯化学元素组成反映的古气候变化	88
第六章 自生碳酸盐碳氧同位素组成	97
6.1 碳氧同位素作为环境指标的原理	97
6.1.1 碳氧同位素地球化学基础	97
6.1.2 湖泊自生碳酸盐的环境意义	98
6.2 剖面碳氧同位素组成	99
6.2.1 样品测试	99
6.2.2 碳氧同位素变化特征	101
6.2.3 碳氧同位素的协变程度	101
6.3 碳氧同位素曲线变化所反映的气候意义	102
6.3.1 影响碳氧同位素的因素	103
6.3.2 碳氧同位素曲线反映的环境变化	104
6.4 古温度的测定	105
6.4.1 理论基础和研究历史	105
6.4.2 古温度的计算	106
6.4.3 古温度变化曲线	108
第七章 环境演变特征	112
7.1 安固里淖湖区环境演变过程	112
7.2 与周围地区同期的古环境进行对比	114
7.2.1 内蒙古高原地区	114
7.2.2 青藏高原地区	115
7.3 同全球气候变化的关系	115
7.3.1 亚洲地区	116
7.3.2 北欧地区	116
7.3.3 北美地区	116
7.3.4 南极地区	116
7.3.5 非洲地区	117
7.3.6 南美洲地区	117
7.4 环境演变规律	117
7.5 未来环境预测	119

绪 论

现代环境是过去环境发展与演变的现代表现,而未来环境是过去与现代环境发展演变过程中的延续(周廷儒,1988)。第四纪以来的自然环境尤其是全新世的环境与现代环境最为接近,两者在形成发展与演化序列上关系最为密切。全新世的气候变化可作为未来气候变化的参考。因此,全新世的气候变化研究成为国际科学界的研究热点。过去的全球变化计划(PAGES)的重点研究任务之一就是重建 2 000 年来全球气候和环境变化的详细历史,分辨率至少为十年,理想状况是年或季(孙成权,1994)。

作为地球表层一种特殊的水体形态,内陆湖泊对气候、环境的波动十分敏感。一方面,湖泊是陆地水圈的组成部分,与大气圈、生物圈和岩石圈有着不可分割的联系;另一方面,内陆湖泊又是一个相对的独立体系,流域内降水、气温的变化直接影响湖泊的水量收支平衡,引起湖泊的扩张或收缩、水质的淡化或咸化,以及湖泊生物组合种群的变动(王苏民,1991)。

内陆湖泊波动的记录主要有古湖岸地貌和湖泊沉积物两方面。① 古湖岸地貌是过去湖面波动遗留下的最显著的标志。湖面波动首先引起湖岸线的变化,造成砂堤、浪蚀龛、浪蚀平台、浪蚀崖等湖岸地貌形态环湖并沿现代湖岸呈阶梯状分布。因此,由古湖岸地貌组合可以确定古湖岸线位置,推测出当时的湖面高度,并且在建立各级湖岸地貌时序的基础上,可以确定湖岸变化序次、湖面变化顺序。② 湖泊沉积物忠实地保存了湖泊对气候变化的响应。湖泊沉积物中包含了各种环境信息,其中有大气状况(温度、降水、风情、洪涝灾害、气溶胶和粉尘等)、地表状况(植被、土壤、火灾、火山活动等)以及水体状况(盐度、pH、碱度等)的混合信息(吉磊,1995)。

作为全球变化研究的环境代用指标,湖泊沉积物有独特的优势。首先,湖泊沉积速率大,连续性好,因此分辨率高,一般可以提取 10~100 年的环境波动信息,具有年纹理的沉积物分辨率可以达到年甚至半年;其次,湖泊沉积物的分布范围广,

各个自然带和气候带都有湖泊分布,所以,便于进行区域以及全球性的环境、气候变化对比,从而建立区域乃至全球的气候变化序列和气候事件韵律。

内陆封闭湖泊因无排水口而成为汇流区域水分和盐类的最终蓄积器,在无地下水向外流域输出的情况下,其水量平衡主要受降水和蒸发控制,因此对区域气候变化非常敏感,其沉积物对高分辨率研究不同时间尺度,特别是对全新世以来的环境变化有重要作用。

0.1 全新世古湖泊研究概述

对湖泊沉积物的研究始于 19 世纪末。在欧洲,瑞士的一些湖泊从 19 世纪中期起就受到科学家的注意,但是早期的工作只涉及湖泊水的循环和水化学,以后才涉及湖泊沉积物本身(Matter,1978)。

1858~1859 年, Henry Englemann 首先识别出北美拉洪坦湖滨的特征,认为它可作为古代深水湖泊的证据。Russell(1885)描述了整个拉洪坦湖盆,以及湖滩阶地、沙坝、沙嘴和石灰华,确立了该湖泊沉积物的沉积层序,并且证实了在两个深湖期之间夹有一个湖泊完全干涸的时期。这些都是较早的关于湖泊沉积与湖泊环境的研究。

Degeer 从 1878 年发现冰水湖中的纹泥,开始研究湖泊纹泥在年代学、地层学上的应用。Nipkow(1920,1928)在苏黎世湖沉积物的研究中,描述了由夏季钙质层和冬季富有机层所组成的韵律纹层状沉积物(“非冰川纹泥”),还注意到了浊积岩的存在。随后关于湖泊纹泥的研究取得了较大成就(详见第四章)。

进入 20 世纪 70 年代,湖泊沉积物的研究已经涉及世界各地的现代湖泊。1977 年 8 月,国际沉积学会与国际湖沼学学会联合在哥本哈根召开了一次湖泊沉积物专题讨论会。会上各国学者报告了自己的最新研究成果,其中包括 Stoffers 等对非洲低纬度地区湖泊的研究。他们通过分析坦噶尼喀湖和基伍湖岩芯中硅藻组合、碳酸盐矿物类型及其镁含量的变化指出,这些变化与湖泊的发育史有关,受 14 000 年来的气候变化控制,在此基础上重建了基伍-坦噶尼喀盆地晚更新世至全新世的演化过程。

同时, Muller 等研究了匈牙利巴拉顿湖全新世的碳酸盐沉积。在分析碳酸盐沉积物的矿物、地球化学和氧同位素成分的基础上,恢复了巴拉顿湖全新世碳酸盐沉积类型的演变,并且指出,碳酸盐演化反映的湖水成分的变动受气候和过去 8 000 年人类活动的强烈影响。

Tucker(1977)在《南威尔士三叠纪湖泊沉积物:湖滨带的碎屑岩、蒸发岩和碳酸盐岩》一文中,也讨论了气候对湖泊沉积物的影响:阶地和湖滨带粗粒碎屑形成于高水位时期,而钙质砾岩、蒸发岩和圆锥形构造层发育在湖滨线后退时期,气候

是控制沉积作用的重要因素。

这些研究表明,地学工作者已经意识到湖泊沉积与气候变化的紧密联系,并且开始利用湖泊沉积进行古环境、古气候重建,其中包括晚第四纪以来尤其是全新世的气候变化研究。

20 世纪 80 年代以来,随着国际地圈生物圈计划(IGBP)的实施,为了更好地掌握气候变迁的规律、机制和效应,为现代气候过程提供可靠的、最重要的信息,为建立气候模型、预测未来气候提出供可靠的基础,关于全新世以来湖泊沉积的研究工作在全球范围广泛地开展起来。

近几十年来,国际学界湖泊沉积研究呈现以下四方面的特征。

1. 重视湖泊断面多个钻孔的对比分析

沿湖泊断面进行多个岩芯沉积相对比,除可以有效地进行地层对比,还有助于提取湖泊演化过程中不同级别的气候变化信息。Mark B. Abbott 等(1997)通过对玻利维亚和秘鲁边界 Titicaca 湖多个沉积钻孔的岩相、地球化学特征(碳酸盐含量, Ca、Mg、Fe、K 等元素含量)的分析,结合高分辨率的年代测定,重建了 Titicaca 湖近 3 500 年来的湖面波动情况及相应的气候变化情况: 3500~3350 a B. P. 湖面上升, 2900~2800 a B. P.、2400~2000 a B. P.、2000~1700 a B. P. 和 900~500 a B. P. 湖面下降。这与湖泊流域内的气候变化相对应,部分时段与研究区内的人类文明的变迁一致。

Svante Björck 等(1996)在综合分析南极 James Ross 岛多个湖泊沉积物剖面的岩相学、地磁学、地球化学、矿物学以及硅藻组合等指标的基础上,结合¹⁴C 测年数据,重建了研究区最近 5 000 年的气候变化过程: 5000~4200 a B. P., 气候冷干, 冰川退缩, 个别湖泊出现石膏沉淀; 4200~3000 a B. P., 气候暖湿, 冰川前进, 湖泊中出现多种硅藻; 3000~1200 a B. P., 气候较干, 冰川完全消失, 湖面退缩; 1200 a B. P. 以来, 气候暖湿, 湖面扩张, 盐度降低, 降雪量增大, 冰川扩张。其研究结果与南极地区的其他研究结果具有可比性。

2. 多项指标综合运用

湖泊沉积中提取环境信息常用的指标可分为三大类: ① 沉积学指标, 包括沉积层序、岩性特征和粒度组成等; ② 地球化学指标, 包括碳酸盐含量及矿物类型、元素含量及比值、碳酸盐碳氧同位素等; ③ 生物指标, 包括孢粉、硅藻、介形虫以及植物化石等。由于单项指标与气候条件(环境条件)响应机制存在差异, 不同指标对气候变化的敏感程度不同, 多项指标相互验证有利于更加真实地反映气候变化。Heather Almquist-Jacobson 等(1995)对瑞典中南部 Ljustjärnen 湖多个沉积钻孔进行了沉积学(有机质、粒度组成、碳酸盐含量、磁性特征等)、植物化石种类、孢粉

组合的分析,并结合 ^{14}C 测年数据和地貌学证据,恢复了 Ljustjarnen 湖全新世的湖面波动情况: 9200~8000 a B. P. 为较稳定的高湖面期,随后湖面开始下降, 6500~6000 a B. P. 为稳定的较低湖面,以后又开始下降,到 500 a B. P. 湖面大幅度上升。结合研究区湿度变化的记录,作者重建了研究区全新世的古气候;同周围地区冰川记录的气候波动相联系,揭示了瑞典和挪威地区全新世的气候变化特征及控制因素。

3. 新技术、新方法不断引入

一些在海洋研究中成熟的技术,以及有利于定量恢复古环境的方法,在湖泊沉积中得以应用,并取得了良好的效果。例如,研究海洋沉积中微体化石的地球化学方法已成功地应用到湖泊沉积研究中。由于湖泊沉积中缺少有孔虫化石,常采用介形类、腹足类和双壳类的软体动物的钙质介壳进行碳氧同位素分析,以恢复古水温和古湖泊环境。Blas L. Valero Garcés 等(1995)在分析美国南达科他州 Medicine 湖湖盆断面多个钻孔剖面沉积特征、岩相层序的基础上,重点对自生碳酸盐(文石)中碳氧稳定同位素的变化及其两者之间的相关性进行了详细探讨。研究表明,Medicine 湖形成于 10.6 ka B. P.,为淡水湖泊;随后湖泊咸化,湖水分层,出现纹层沉积,湖水位高于现代 10 m,高湖面一直持续到中全新世;中全新世后期,湖面下降,湖泊分层现象消失;晚全新世,湖泊上升,气候冷湿。同时,重建了北美大平原区全新世以来的环境波动情况。其研究比以孢粉、硅藻等为代用指标的气候变化研究更详细,分辨率更高。

4. 研究区广,研究成果丰富

全新世湖泊沉积研究已经遍及全球多个国家和地区,如欧洲、北美洲、亚洲、大洋洲、非洲、南极地区等,均获得了丰富的研究成果。代表性的有俄罗斯 Baikal 湖的研究(Dauglas et al., 1997; Peck et al., 1994),瑞典 Bysjön 湖(Juri et al., 1998)、Ljustjarnen 湖(Heather et al., 1995)的研究,美国 Erie 湖(Fritz et al., 1975)、Medicine 湖(Blas et al., 1995)、Moon 湖(Blas et al., 1997)的研究,加拿大 Pine 湖(Celina, 1998)的研究,中美洲 Peten-Itza 湖的研究(Jason et al., 1998),南美洲 Titicaca 湖的研究(Mark et al., 1997)。我国以青海湖为代表的青藏高原地区的研究(Dauglas et al., 1997),日本琵琶湖(日本第四纪学会,1984)、Kushu 湖(Sato et al., 1998)的研究,印度沙漠地区的研究(Enzel et al., 1998),非洲赤道地区 Sinnda 湖(Annie et al., 1998),肯尼亚 Turkana 湖(Mohammed et al., 1995)、Hausberg Tarn 湖的研究(Rietti-Shati et al., 1998),澳大利亚 Keilambete 湖(Chivas et al., 1986a, 1986b),新西兰 Tauanui 湖的研究(Elliott et al., 1998),南极地区的研究(Svante et al., 1996)等。

因此,Williams(1993)曾谈到:“现在,我们已有足够的数,用来重建北美洲、非洲和大洋洲 1.8 万年以来湖泊变动的历史。”

在我国,早在 1936 年张印堂考察岱海时就曾经指出:“内陆湖泊之水位,常随气候之干湿时有升降,其岸线亦常因雨水之增减上下移动,故内陆湖海岸线之变迁实为研究内陆流区气候变化之良好根据,于研讨中亚及我国西北之内陆气候之变迁尤为适宜。”他的关于湖面变化与气候变化之间关系的思想,是后来湖泊沉积研究的重要理论基础。

进入 20 世纪 80 年代以后,随着 IGBP 计划的制订和实施,我国利用湖泊沉积尤其是内陆湖泊记录的环境信息进行的古气候重建的研究工作逐渐地兴起和繁荣。90 年代以来,我国古湖泊环境的研究主要集中在全新世、全新世大暖期和过去 2 000 年三个时段,并且取得了较大的成就。

我国全新世湖泊沉积的研究表现为以下两方面的特征。

1. 以高原和内陆区湖泊为主

在我国气候分区上,以新疆为主的西北内陆地区主要受西风带影响,属内陆气候区;云贵高原主要受西南季风的影响;青藏高原地区受东南季风和高原季风的共同影响;内蒙古高原受东南季风和冬季风的影响;我国广大平原地区,包括东北平原、华北平原和华南地区,则主要受东南季风的影响。因此,在不同地区开展湖泊沉积研究,可以重建不同环流场的演变过程,有助于客观地认识我国不同气候区气候演化的差异。

内陆封闭湖泊因其汇流区域相对较小,在地表和地下分水岭一致时无出口,无径流损失,湖面变化直接受区域温度和降水尤其是降水的控制。所以,内陆封闭湖泊沉积被称为气候变化的灵敏指示器。高原地区和内陆干旱地区是封闭湖泊的集中分布区,因此我国湖泊沉积研究基本上以内蒙古高原、青藏高原和新疆地区为主体向东、向南扩展。

内蒙古高原地区主要以岱海(李容全,1990,1992;王苏民,1991a,1991b)、达赉诺尔(宋春青,1988;李容全,1990)、黄旗海(李华章,1992;李栓科,1993)、调角海子(杨志荣等,1998;宋长青,1996)、红碱淖尔(贾铁飞,1992)、居延海(张振克,1998)、呼伦湖(王苏民,1995)、东海子湖(贾铁飞,2003)等湖泊环境变化的研究为代表,研究成果比较丰富。

青藏高原地区的全新世湖泊沉积研究在青海湖(陈克造,1990;李炳元,1991;孔昭宸,1990;张彭熹,1994;卫克勤,1995;吴敬禄,1996;王苏民,1997;李世杰,1998)开展的最多,已形成比较成熟的观点。在其他湖区也开展了一些工作,如色林错(顾兆炎,1993)、希门错(王苏民,1997)和松西错(Gasse,1991)等。

西北干旱地区的巴里坤湖(韩淑提,1992)、艾比湖(李国胜,1993;吴敬禄,

1995) 博斯腾湖(钟巍, 1998)、玛纳斯湖(林瑞芬, 1996; Thomas, 1996)、乌伦古湖(羊向东, 1994)、猪野泽(隆浩, 2007)的湖泊沉积研究反映了内陆干旱地区全新世的环境变化。

云贵高原的研究还刚刚开始, 主要研究湖区有草海(陶发祥, 1996)、洱海(张振克, 1998; 沈吉, 2004)、抚仙湖(中国科学院南京地理与湖泊研究所, 1990)等。

我国东部地区的湖泊沉积研究相对较薄弱, 代表性的研究湖区有太湖(王子玉, 1994)、固城湖(王苏民, 1996)、昆明湖(黄成彦, 1996)、大莲泡(李雪铭, 1997)、龙感湖(瞿文川, 1998)、大布苏湖(介冬梅, 2001)、湘湖(顾明光, 2006)、巢湖(王心源, 2008)、龙湖(汪卫国, 2009), 台湾地区的大鬼湖和七彩湖(罗建育, 1997, 1998)等。

2. 湖岸地貌与湖泊沉积指标并用

内陆湖泊对气候变化的响应首先表现为湖面的升降, 相应地, 湖岸线发生迁移, 湖岸地貌的分布位置发生变化; 随着岸线的推移, 河流入河口的位置发生变化; 湖水化学特征发生变化, 或淡化或浓缩; 湖泊生物群体发生演替。另外, 气候变化影响汇水区域风化物质的向湖输送。这一切变化都完好地保存在湖泊沉积中, 并且相互之间存在关联性, 可以相互印证。因此, 对湖泊沉积进行多指标的综合分析, 有利于真实反映古湖泊环境, 提高古气候重建工作的准确性、可靠性。

随着全球变化研究对古气候分辨率要求的不断提高, 我国学者已日益重视多种代用指标综合运用的重要性。例如, 韩淑媿(1992)研究巴里坤湖钻孔剖面时采用了沉积学、地球化学和生物学指标; 王苏民等(1991)在岱海和青海湖研究中采用了粒度组成、碳酸盐总量、自生碳酸盐含量等地球化学指标; 张振克(1998)对洱海沉积物进行研究时采用了硅藻和有机碳同位素指标; 黄成彦(1996)在北京昆明湖的研究中采用了磁化率、沉积学、黏土矿物、碳屑、化学元素、孢粉、硅藻和介形虫等多项指标。

值得提出的是, 古湖岸地貌在湖泊环境演变中具有非常重要的意义。湖岸地貌是古湖面位置的直观证据, 同可靠的测年手段相结合, 可以定量地恢复古湖面变化过程。在现代水文资料完备的情况下, 还可以进行古降水复原(李容全, 1990, 1992), 为古气候变化的波动幅度提供参数。

0.2 我国全新世古环境研究现状

关于我国历史时期气候变迁问题, 早在 20 世纪 70 年代就已经引起我国科学界的注意。竺可桢(1973)根据历史记录和考古发掘资料, 主要从动植物的生命活动以及一些其他自然现象, 绘制了我国近 5 000 年来的气候变化曲线。他认为, 最

初 2 000 年我国的年均温比现在高 2°C 左右, 1 000 BC、400 BC 和 1 200 AD、1 700 AD 为寒冷期, 汉唐是温暖期。

施雅风(1992)在综合各种环境代用资料(孢粉、湖泊、冰芯、古土壤、海洋等)信息的基础上提出: 我国全新世大暖期(Megathermal)出现在 8.5~3 ka B. P.。其中 8.5~7.3 ka B. P. 为冷暖波动阶段; 7.3~6.0 ka B. P. 为稳定的暖湿阶段, 属大暖期鼎盛阶段(Megathermal Maximum); 6.0~5.0 ka B. P. 气候波动剧烈, 环境较差; 5.0~4.0 ka B. P. 为亚稳定暖湿阶段; 4.0 ka B. P. 气候开始恶化, 随后仍比较暖湿, 一直持续到 3.0 ka B. P.。

我国不同气候区受不同环流场的控制, 全新世的气候变化也存在差异。东南季风区不同地点的湖泊沉积物高分辨率综合研究表明: 冰后期高湖面的出现时间具有走时性, 即北早南晚, 由北和西北向南和东南方向迁移; 高湖面的出现与东亚夏季风极锋雨带位置有关(安芷生, 1993; 吴锡浩, 1994)。西南季风区的湖泊沉积研究表明: 全新世初期西南季风加强, 我国西南地区降水增加, 气候湿润, 形成高湖面; 9000 a B. P. 以后, 索马里急流路径向西北偏移, 西南季风区降水减少, 气候偏干, 湖面降低; 4000 a B. P. 西南季风强度减弱, 但是云贵高原降水增加, 湖面升高(中国科学院南京地理与湖泊研究所, 1989; 张振克, 1998)。

我国西北干旱区的全新世环境主要受西风环流的控制, 气候类型为暖干和冷湿配置, 且波动频繁。文启忠(1991)的研究表明, 全新世早期(10~8 ka B. P.), 气候以温干为主; 8~7 ka B. P., 气候温湿; 7~6 ka B. P., 气候暖干; 6~4 ka B. P., 气候温湿, 为高湖面时期; 4~3 ka B. P., 气候温干; 3~2 ka B. P., 气候以凉湿为主; 2 ka B. P. 至今, 以温干气候为主。韩淑娣(1992)则认为, 在 10~7 ka B. P. 气候经历了由暖湿—暖干—冷湿的波动过程, 7~5.2 ka B. P. 为暖湿期(相当于全新世大暖期的鼎盛期), 5.2~4.2 ka B. P. 冷湿, 4.2~3.3 ka B. P. 暖干, 3.2~2.0 ka B. P. 冷湿, 2 ka B. P. 以来以暖干为主。王树基(1997)对准噶尔盆地的研究表明, 全新世早期以冷干为主, 中全新世气候温暖, 晚全新世温干。总体上讲, 我国西北地区在中全新世也曾经出现暖湿气候, 晚全新世温干。但是关于早全新世气候的变化, 大家的意见并不一致。

我国全新世的湖泊研究和环境演变研究已经取得了丰富的成果, 但还存在一些不足之处:

(1) 关于东南季风和西南季风的演化的研究, 我国学者已做了不少工作, 对其演变规律和演化机制已有一定的认识。但是关于我国冬季风的研究则较少, 目前主要有据黄土进行的千年尺度的研究, 以及历史上“雨土”现象的研究和据近百年来气象资料分析而进行的较短尺度的研究。冬季风是影响我国降水的重要因素之一, 是我国灾害性低温事件的“罪魁祸首”, 它在我国气候变化中扮演着重要的角色, 因此, 较详尽地研究全新世古冬季风的演变过程, 掌握其变化规律和演变机制,

对预测我国未来气候状况具有非常重要的意义。

(2) 湖泊沉积以其连续性好、信息丰富、分辨率高、记录真实等优势,在我国环境演变研究中发挥着重要作用。但是由于定年手段(主要采用 ^{14}C 测年技术)的精度较低,很难进行高分辨率的古气候重建。湖相纹泥研究在国外已经相当成熟,不仅可以提供丰富的环境信息,而且可以为古环境提供准确的时间标尺。但是我国在湖相纹泥方面的研究非常薄弱,这严重影响了湖泊沉积在10~1 ka尺度古环境重建中的作用。因此,进行湖相纹泥研究,可以充分发挥湖泊沉积在短尺度环境演变研究(如PAGES的重要研究计划——最近两千年的古环境重建)中的重要作用。吉磊(1995)曾经指出,寻找年层沉积是我国进行过去2 000年湖泊沉积的高分辨率研究中需要重视的问题之一。

(3) 从湖泊沉积中可以提取古温度、古生物等多种信息,可以推测古湖水温度,但是不能定量地恢复古湖面高度和古降水。湖岸地貌结合现代水文资料,则可以弥补这方面的不足。因此,在研究湖泊环境演变时,将湖泊沉积和湖岸地貌结合起来,可以定量地重建古温度和古降水,更加有效地恢复古环境,这有利于加深对气候变化规律的认识。李容全(1990,1991)在研究内蒙古高原环境演变时,利用湖岸地貌成功地确定了古湖面波动幅度,并定量地恢复了古降水。但是,我国开展的湖泊沉积研究大多定性地反映了古环境和古气候的演变过程,缺乏与湖岸地貌的结合,在定量恢复古环境和古气候方面尚有欠缺。

内蒙古高原位于我国夏季风的尾间地带,极易受到季风强弱变化的影响。河北坝上高原位于内蒙古高原的边缘带,对气候的干湿变化更加敏感。如前所述,关于内蒙古高原主体部分的湖泊沉积研究已进行较多,但是关于边缘带的研究较少。安固里淖是坝上高原最大的内陆湖泊,在湖岸带和湖底忠实地保存了古环境和古气候变化的信息。许寄吾(1957)曾指出,在安固里淖湖岸带保存有多级湖岸阶地;李容全(1990)在内蒙古高原环境变迁研究中探讨了安固里淖全新世早期的环境状况;孙建中(1992)利用遥感相片分析认为,安固里淖处于收缩状态。因此,通过研究安固里淖湖泊沉积,可以建立坝上地区全新世以来的环境变化过程,其研究对了解我国季风的波动情况具有一定的参考价值。

本研究主要进行两方面的探索:

(1) 以安固里淖为代表,重建河北坝上地区全新世环境和气候变化过程。作者拟在野外湖岸地貌调查的基础上,对湖心区沉积钻芯的沉积特征、磁性特征、化学元素组成、易溶盐含量、自生碳酸盐同位素组成进行详细研究。各项代用指标相互印证、相互补充,可以有效地反映盐度、水温等湖泊环境状况,温度、降水等气候状况。结合 ^{14}C 年代测定,定量或半定量地确定全新世以来安固里淖湖面变化过程、水温变化以及由此反映的气温变化。

(2) 湖相纹泥在环境演变研究中具有重要意义,它可以为环境演变提供更为