中国玛珥湖中两种沉积纹层的辨识及意义

储国强 刘嘉麒* 刘东生

(中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029. * 联系人, Email: liujq@igcas.igcas.ac.cn)

摘要 中国热带地区湖光岩玛珥湖发育有碳酸盐纹层, 但仅在少数层位见及, 该种纹层不是"年层", 其成因可能与该区周期性干旱有关. 东北地区 8 个玛珥湖中均见有硅藻年层, 其中以四海龙弯玛珥湖纹层发育最好, 该湖中纹层类型为硅藻年层. 硅藻年层具明确的年季含义, 是可靠的自然时钟.

关键词 玛珥湖 碳酸盐纹层 硅藻年层

古全球变化(PAGES)和全球气候研究计划(WCRP)中气候变率与可预测性(CLIVAR)研究均强调对于过去 2 000 年来古气候、古环境的研究, 时间分辨率至少要到 10 年[1]. 当前的测年技术很难满足要求, 人们不得不将研究对象集中于具有"年、季旋回界面, 因而能够自我计年, 同时能够记录气候和环境变化信息的各种自然材料"[2], 如树轮、冰芯、珊瑚、纹泥和石笋. 我国应用自然资料研究 2 000 年来古气候与环境变化还相当薄弱, 门类少, 资料点稀, 更缺乏几种代用资料的综合研究[3]. 具纹层的湖泊和海洋沉积物是高分辨率研究的重要对象[4], 广泛分布于高、中纬地区[5~7], 甚至热带地区[8]. 目前我国纹泥研究刚刚开始, 鉴于欧洲和美洲大多数玛珥湖中纹层发育较好, 我们也将研究对象集中于玛珥湖.

1 样品与方法

湖光岩玛珥湖位于雷州半岛北部(110°17′ E, 21°9′ N), 湖水面积约 2.3 km^2, 汇水盆地面积 3.5 km^2, 最大水深 22 m. 该湖为分层湖, 8~13 m 为温跃层. 1997 年我们用 Usinger 钻在水深 14 和 20 m 处获得岩芯.

吉林省龙岗山脉中部共有 9 个玛珥湖, 其中 1 个目前已经干枯. 对 1998 年用重力钻获得的岩芯观察, 发现这些玛珥湖中均见有纹层, 其中以四海龙弯玛珥湖纹层发育最好. 四海龙弯玛珥湖(126°32′ E, 42°25′ N)湖水面积约 0.5 km^2, 汇水盆地面积 0.7 km^2, 最大水深 50 m. 该湖亦为分层湖, 8~17 m 为温跃层, 1999 年我们用冷冻钻在水深 50 m 处获得样品.

岩芯钻取后, 储存于冷藏箱中, 用分样器从岩芯中分割 260 mm × 40 mm × 10 mm 的岩芯条, 再从中分割出 100 mm × 20 mm × 10 mm 的小岩芯条(各岩芯条之间有 20 mm 重叠). 冷冻干燥[9, 10]后渗胶, 凝固后磨制薄片, 在显微镜下进行研究.

2 碳酸盐纹层及其意义

雷琼地区湖光岩玛珥湖中见有碳酸盐纹层(图 1). 纹层的显微结构为: 呈凝胶及聚集体状碳酸盐颗粒组成厚 0.7~3.2 mm 不等的微层, 其间含有机质及黏土; 碳酸盐微层之间为厚约 1.8~3.5 mm 的有机质与黏土微层. 取纹层发育部位样品进行 X 射线衍射分析(图 2), 证实碳酸盐矿物为菱铁矿, 未发现方解石等其他碳酸盐矿物.

Anderson 等人[11]将纹层层偶归纳为 5 种: 有机质-碎屑、有机质-碳酸盐、有机质-蒸发盐、碎屑-蒸发盐和有机质-硅藻, 认为有机质-碳酸盐纹层具年季意义. 但多数碳酸盐纹层中碳酸

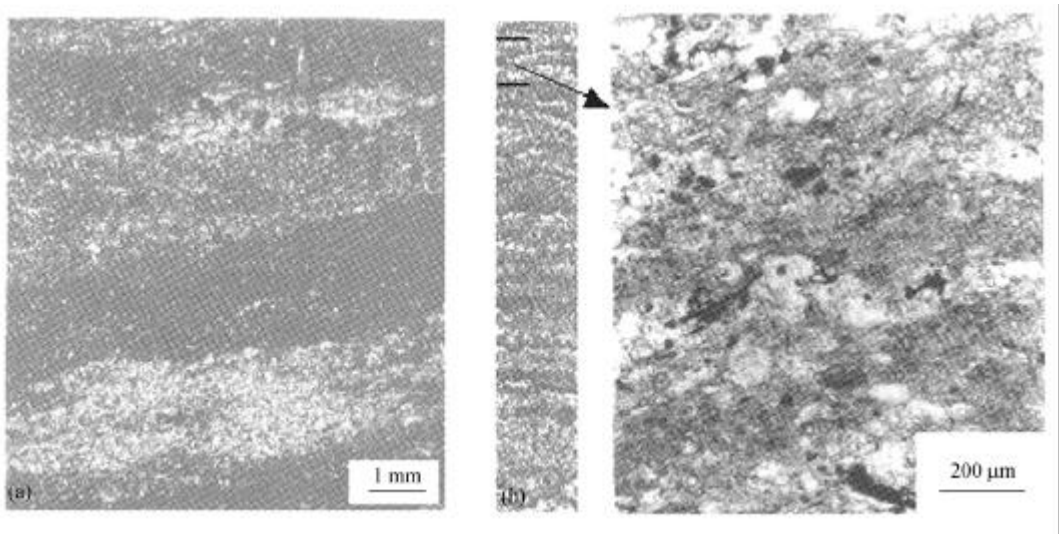


图 1 碳酸盐纹层与硅藻年层

(a) 湖光岩玛珥湖中碳酸盐纹层(透射光加石膏楔), 白色点为菱铁矿; (b) 四海龙湾玛珥湖中硅藻年层(透射光), 暗色层为硅藻微层

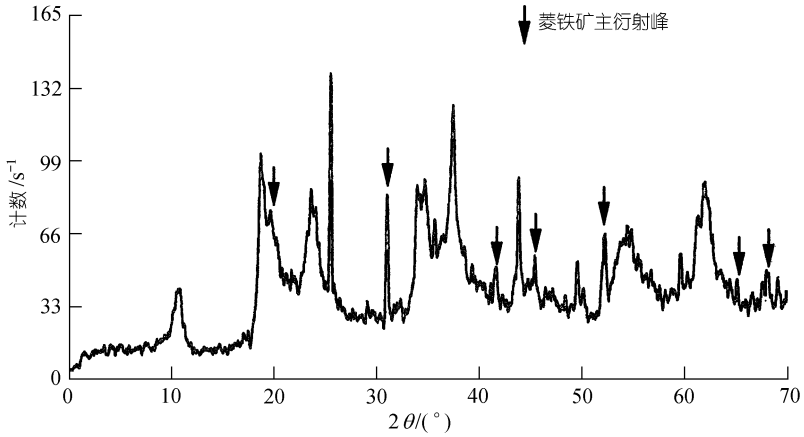


图 2 碳酸盐纹层沉积物 X 射线衍射图谱

盐矿物为碳酸钙. 湖光岩玛珥湖中碳酸盐矿物为菱铁矿, 菱铁矿的沉淀主要与离子浓度、Eh 和 pH 值相关, 在一定的 Eh 和 pH 条件下, 可形成 $FeCO_3$ 的沉积[12]. 一些作者[13, 14]还强调菱铁矿的沉积要求硫化物和钙离子浓度较低.

菱铁矿纹层是否为"年层"(annual lamination), 有赖于其他独立的测年结果证实. 例如德国 Weinfelder 玛珥湖的菱铁矿纹层, ^{14}C 和火山灰年代学的结果证实为年层[15]. 湖光岩玛珥湖中菱铁矿纹层偶厚约 3~7 mm, 根据 ^{137}Cs 及树叶 AMS ^{14}C 数据, 运用多项式回归方法, 得出菱铁矿纹层发育部位(岩芯深度 140~150 cm 处)的沉积速率约为 1~1.2 mm/a, 每对层偶沉积时间约为 2.5~7 a, 因此菱铁矿纹层不是年层. 湖光岩玛珥湖中菱铁矿纹层的形成机制可能与 Weinfelder 玛珥湖不同. Weinfelder 玛珥湖菱铁矿纹层的形成机制是, 该湖湖水铁离子浓度较高, Fe/Ca 值较大, 春、夏季节, 藻类繁盛消耗大量二氧化碳, 促使菱铁矿沉积, 从而形成菱铁

矿纹层. 湖光岩玛珥湖现代湖水分析结果表明, 湖水中 $CaCO_3$ 和 $FeCO_3$ 均不饱和, 这与表层沉积物中无碳酸盐沉积观察结果一致. 在地质历史时期, 有菱铁矿沉积, 可能说明玛珥湖湖水铁离子浓度存在高值期. 铁离子浓度较高可能主要是较长时期气候干旱的结果, 在干旱情况下, 湖泊为维持水位平衡, 火山岩区富含亚铁离子的地下水向湖泊补充; 另外湖水浓缩也使铁离子、碳酸根离子浓度增高, 从而导致菱铁矿沉积, 因此, 这种纹层可能不具备年、季意义.

3 硅藻年层

东北地区 8 个玛珥湖中均见有硅藻年层, 我们仅对纹层发育较好的四海龙弯玛珥湖进行了初步研究(图 1). 硅藻年层的显微结构为: 以硅藻为主要组分的微层, 层厚约 20~120 μm; 由有机质、碎屑等物质组成的混合微层, 厚约 100~500 μm. 硅藻年层中硅藻的主要种属有: 小环藻属(*Cyclotella*)占优势(90%以上), 主要有: *Cyclotella comta*, *Cyclotella comta var radiosa*, *Cyclotella pseudostelligera*, 等. 其他种属有: *Diploneis var*.? *finnica*, *Diploneis marginestriata*, *Diploneis elliptica*, *Gomphonema* sp., *Surirella splendida*, *Cymbella tumidula*, *Pinnularia superba*, *Pinnularia* spp., *Pinnularia major*, *Fragillaria capucina*, *Stauroneis phoenicenteron*, 等.

硅藻纹层是硅藻季节繁盛的结果, 具有明确的季节意义[5, 6]. 硅藻对温度响应通常比对其他环境要素更敏感[16], 东北地区(长春)年平均气温为 3.5℃, 适宜于硅藻繁盛的时期较短. 另外, 硅藻的繁盛不仅与气候因素有关, 还与各种营养物质相关. 硅是硅藻生长的必需元素[17], 实验研究表明, 在硅酸盐缺乏的环境中, 某些硅藻(如 *Cyclotella cryptica*)细胞分裂停止, 蛋白质, DNA, 叶绿素, 类胡萝卜素的合成受到抑制[18]. 例如当水中 $Si(OH)_4$ 浓度低于 0.2 μg/g (Si) 时, *Cylindrotheca fusiformis* 的 DNA 不能合成[19]. 四海龙弯玛珥湖为双循环湖, 秋季当湖水冷至 4℃时, 冷而重的表层水发生对流下沉; 春季在较暖的底水向上输送和太阳直接辐射的作用下, 冰层开始融化, 当水温升至 4℃时, 湖水再次对流. 由于春季底水含有丰富营养物质, 为藻类(特别是硅藻)的繁盛提供了大量的营养物. 水化学分析结果表明秋季四海龙弯玛珥湖湖水硅浓度为 0.17 μg/g, 可能不适宜于硅藻生长. 另外, 东北玛珥湖中硅藻以小环藻属(Cyclotella)占优势(90%以上), 小环藻属多为浮游种类, 春季繁盛. 综上所述, 东北地区玛珥湖中硅藻年层具有明确的年季信号, 为可靠的自然时钟.

纹层的研究不仅限于时间系列的建立, 目前正在加强对纹层本身所携带的环境信息的研究. 纹层的厚度变化与温度[20]和降水量[21]变化相关, 气温适宜有利于藻类(包括硅藻)的繁殖, 使硅藻微层厚度增大; 降水量的变化则控制了纹层中碎屑含量的多少, 从而影响由有机质、碎屑等物质组成的混合微层的厚度变化. 初步研究证实东北四海龙弯玛珥湖近代沉积物(大约 1 000 a) 均有纹层发育. 表层沉积物中的硅藻年层是进一步研究年层厚度变化与该区器测记录温度及降水量变化的关系的重要依据, 目前各项工作正在进行.

4 讨论

纹层作为一种特殊的沉积构造, 在自然界中并不鲜见, 但并不是所有的纹层都具有年、季意义. 如 Turkana 湖中发育的碳酸盐纹层, 每一对层偶沉积时间约为 4 a, 可能与该区周期性干旱及 ENSO 循环有关[22]. 湖光岩玛珥湖中碳酸盐(菱铁矿)纹层的形成可能亦与该区周期性干旱有关, 但该种纹层仅在少数部位见及, 很难验证.

湖泊沉积一方面具有丰富环境信息的优势, 另一方面各环境要素相互制约, 在解释上带

来复杂性[23]. 确定纹层, 特别是“非生物纹层”是否为“年层”, 应结合区域环境背景, 同时辅以其他独立的测年数据(如 AMS ^{14}C, ^{210}Pb, ^{137}Cs)验证, 否则可能得出错误的结论.

致谢 感谢合作者 J. F. W. Negendank 教授和 J. Mingram 博士, 湖泊钻探的成功是中-德双方共同努力的结果, 有关湖光岩玛珥湖的工作在德国地球科学中心完成. 本工作为国家自然科学基金资助项目(批准号: 49772173).

参 考 文 献

1 Duplessy J C, Overpeck J. The PAGES/CLIVAR Intersection: Coordinated Research Objectives of the International Geosphere-Biosphere (IGBP) and World Climate Research (WCRP) Programs. Venice: Report of a Joint IGBP-WCRP Workshop, 1994. 1~40

2 谭 明, 秦小光, 沈凛梅, 等. 中国洞穴碳酸盐双重光性显微旋回及其意义. 科学通报, 1999, 44(6): 646~648

3 施雅风. 2000 年记录与全球变化研究. 第四纪研究, 1997, (1): 37~40

4 Jones P D, Bradley R S, Jouzel J. Climatic Variations and Forcing Mechanisms of the Last 2000 Years. Berlin: Springer, 1996. 1~5

5 O'Sullivan P E. Annually laminated lake sediments and the study of Quaternary environmental changes——a review. Quaternary Science Review, 1983, 1: 245~313

6 Anderson R Y, Dean W E. Lacustrine varve formation through time. Paleogeography Paleoclimatology Paleoecology, 1988, 62: 215~235

7 Zolitschka B. High resolution lacustrine sediments and their potential for paleoclimatic reconstruction. In: Jones P D, Bradley R S, Jouzel J, eds. Climteic Variations and Forcing Mechanisms of the Last 2000 Years. Berlin: Springer, 1996. 453~478

8 Damnati B, Taieb M, Williamson D. Laminated deposits from Lake Magadi (Kenya), climatic contrast effect during the maximum wet period between 12 000-10 000 yrBP. Bull Soc Geol France, 1992, 163: 407~414

9 王文远, 刘嘉麒, 彭平安, 等. 热带湖光岩玛珥湖记录的东亚夏季风两步式变化. 科学通报, 2000, 45(8): 860~864

10 刘嘉麒, 吕厚远, Negendank J., 等. 湖光岩玛珥湖全新世气候波动的周期. 科学通报, 2000, 45(11): 1190~1195

11 Anderson R Y, Koopmans I H. Harmonic analysis of varve time series. J Geophys Res, 1963, 68: 877~893

12 Håkanson L, Jansson M 著. 湖泊沉积学原理. 郑光膺译. 北京: 科学出版社, 1992. 87~88

13 Lerman A 著. 湖泊的化学、地质学和物理学. 王苏民译. 北京: 地质出版社, 1987. 306~337

14 Bruno J, Wersin D, Stumn W. On the influence of carbonate in mineral dissolution: The solubility of $FeCO_3$ at 25℃ and 1 atm total pressure. Geochim et Cosmochim Acta, 1992, 56: 1149~1155

15 Brauer A, Negendank J. Paleoenvironmental reconstruction of the late and postglacial sedimentary record of lake Weinfelder maar. In: Negendank J F W, Zolitschka B, eds. Paleolimnology of European Maar Lakes. Berlin: Springer-Verlag, 1993. 224~235

16 李升峰, 王富葆, 张 捷, 等. 西藏昂仁湖全新世硅藻记录与环境演变. 科学通报, 1999, 44(2): 320~323

17 Eppley R W. The growth and culture of diatoms. In: Werner D, ed. The Biology of Diatoms. California: University of California Press, 1978. 24~64

18 Werner D. Regulation of metabolism by silicate in diatoms. In: Bendz G, Lindqvist I, eds. Biochemistry of Silicon and Related Problems. New York: Plenum Press, 1978. 76~149

19 Werner D. Silicate metabolism. In: Werner D, ed. The Biology of Diatoms. California: University of California Press, 1978. 110~149

20 Zolitschka B. High resolution lacustrine sediments and their potential for paleoclimatic reconstruction. In: Jones P D, Bradley R S, Jouzel J, eds. Climatic Variations and Forcing Mechanisms of the Last 2000 Years. Berlin: Springer, 1996. 453~478

21 Ocean W E, Bradbury J P, Anderson R Y, et al. The variability of Holocene climatic change: Evidence from varved lake sediments. Science, 1984, 116: 1191~1194

22 Halfman J D, Johnson T C. High-resolution record of cyclic climatic change during the past 4 ka from Lake Turkana, Kenya. Geology, 1988, 16: 496~500

23 王苏民, 张振克. 中国湖泊沉积与环境演变研究的新进展. 科学通报, 1999, 44(6): 579~587

(2000-03-01 收稿, 2000-04-28 收修改稿)