

文章编号: 1006-6616(1998)04-76-81

云南鹤庆盆地 HQ 孔沉积特征与古环境变迁

蒋雪中, 王苏民, 羊向东

中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊沉积与环境开放研究实验室, 南京 210008

摘要: 本文依据沉积物的颜色、粒度、层理、岩性组合等特征, 并参照磁性地层、磁化率、碳酸盐含量、总有机碳及碳氮比值等环境指标, 初步建立云南鹤庆盆地约 600 ka B P 以来的古环境演化历史。研究表明, 在大阶段上环境变化存在着两次明显的转型, 这可能是与构造运动驱动有关。在剖面 4.1 m 处, 约 14.2 ka B P, 湖盆被河流切开, 导致环境指标突变。

关键词: HQ 孔; 沉积特征; 古环境变迁

分类号: X144, P534.63

文献标识码: A

鹤庆盆地位于云南鹤庆县西北部 (100°08′—100°17′ E, 26°46′ N), 为一构造断陷盆地, 大地构造上位于青藏高原隆起带的东南边缘部位, 属滇西北横断山余脉。自晚新生代以来持续沉积, 物探资料表明沉积厚度达 700m^[1]。本区气候的垂直分带性明显, 介于南亚热带与寒温带之间, 属西南季风区北部, 受青藏高原影响, 气候响应比较敏感。盆地年均温为 13.5°C, 年均降水量为 962.5 mm, 干湿季明显^[2]。

鹤庆孔 (HQ 孔) 位于鹤庆盆地中心, 孔深 122 m (未及基底), 地面高程 2200 m (图 1)。剖面岩性以细颗粒的粉砂质淤泥为主, 内部色调变化很有规律, 81m 以下沉积物以褐色和灰绿色交互变化为主; 81.0—53.8 m 之间以青灰色和灰绿色及深灰色泥为主, 夹有数层褐色薄泥层; 53.8—9.5m 为青灰色与深灰色泥互层; 9.5—0.65m 以灰绿色泥和青灰色泥为主, 顶部 50cm 厚为棕黄色含砂质泥 (图 2)。

1 研究方法

钻孔样品在 0—30 m 内按 5 cm 间隔采集, 30 m 以下按 10 cm 间隔连续采样, 室内同步进行粒度、碳酸盐、总有机碳 (TOC)、总氮 (TN)、磁化率 (χ_r) 和频率磁化率 (χ_{fi}) 等指标分析。小于 4.5 μ m 粒级的, 加 0.5N (NaPO₂)₆ 经超声波处理后, 用 SKC-2000 (R) 型光透法粒度分布测定

收稿日期: 1998-07-10

基金项目: 自然科学基金资助项目 (49572123); 中国科学院重大项目 (KZ951-A1-402-04) 和国家科委攀登项目

作者简介: 蒋雪中 (1974), 男, 硕士研究生, 1996年毕业于南京师范大学地理系。

仪测定,最小粒径为 $1\mu\text{m}$ (10^0),本文采用 $<20\mu\text{m}$ 的颗粒含量作为细颗粒指标。碳酸盐测定采用本所研制的碳酸盐含量自动分析仪,TOC测定采用重铬酸钾 ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)容量法-外加热法 (Tyrim法),TN采用过硫酸钾 ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$)氧化法测定, χ_{1f} 和 χ_{fd} 分析使用的是英国 Bartington 公司生产 MS₂型磁化率测量仪和 MSB双频探头(高、低频分别为 4.7Hz和 0.47kHz)。

剖面得到 ^{14}C 年龄 3个,古地磁样品测试由德国 Tuebingen 大学古地磁实验室完成,初步确定特征性极性事件 2个 (表 1)。

表 1 HQ孔不同层位的年代测定

Table 1 Dating ages of various layers in core HQ

深度 (m)	年代	测年方法
1.45	5885±110 aBP	^{14}C
3.50	11858±370 aBP	^{14}C
8.11	30586±1120 aBP	^{14}C
30.5	110 ka B P (Blake Event)	古地磁
112	580ka B P (Mastey-Ok a Event)	古地磁

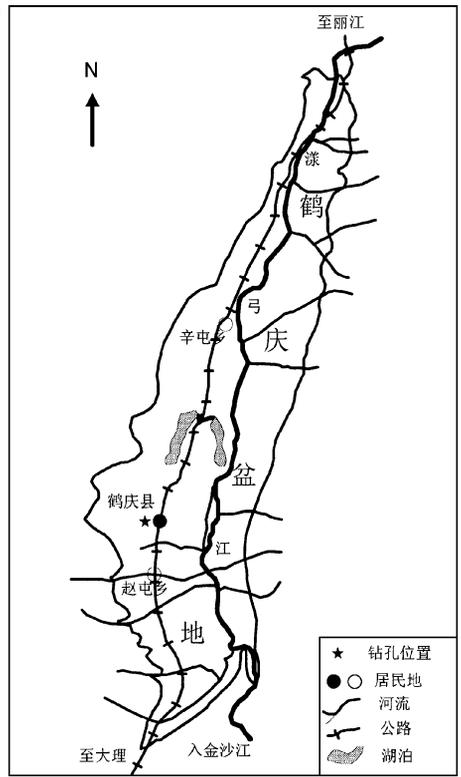


图 1 鹤庆 HQ 孔地理位置
Fig. 1 Geographical location of HQ core

2 研究结果

依据岩性及其粒度、磁化率、碳酸盐含量、TOC含量、和 C/N 值等分析结果,大体上将全剖面分为 14个阶段 (图 2)。阶段I, 110 m 以下岩性以褐灰色泥为主,内夹两层薄的深灰色泥,小于 $20\mu\text{m}$ 的颗粒含量在 113 m 以下为 75% 左右,113-110 m 间为峰值段升到 80% 以上。 χ_{1f} 均值较高,在 $75 \times 10^8 \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$ 左右,内有波动。 χ_{fd} 处于低值阶段,大多低于 2.5, TOC 含量在 1-1.5% 之间,碳酸盐含量偏低 (0-30%), C/N 比值平均在 8.5 左右。阶段II, 110-103.5 m 以灰绿色泥为主,下部见纹层 (108.6-109.5 m),顶部渐细,向褐色泥过渡,小于 $20\mu\text{m}$ 的颗粒含量较 I 段有所增高。 χ_{1f} 整段处于 $10 \times 10^8 \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$ 以下,而 χ_{fd} 为一明显峰值段,最高达 20.2 左右。碳酸盐含量很高,在 65% 左右, C/N 比值增加为 10-18,在剖面中为明显的峰值段, TOC 略有升高,均值为 1.5%。阶段III, 103.5-92 m 岩性以褐色泥为主,102-99 m 及 97-95.5 m 处夹两层灰绿色泥。本段总体特征是小于 $20\mu\text{m}$ 的颗粒含量占 77% 左右。 χ_{1f} 值增高, χ_{fd} 又一次降低到阶段I 的水平;碳酸盐含量及 C/N 值较前段有所减小,但内部变幅明显增大。 χ_{1f} 呈三峰夹两谷形态,谷值段位于 102-99 m 和 97-95 m 处,与灰绿色泥层位对应,并且对应碳酸盐含量高值, C/N 比值略高。阶段IV, 92-79 m 处沉积物以灰绿色泥为主,于 84.2-81.5 m 处夹一较稳定的褐色泥层,顶部向深灰色泥过渡,80.62 m 处见碳化木块化石。与前段相比, χ_{1f} 迅速下降,除小于 $20\mu\text{m}$ 的颗粒含量无明显变化外,其它指标均较前段增高,但内部有波动。

比较突出的是,与褐色泥对应的层位 χ_{11} 增高,而 χ_{16} 碳酸盐含量、C/N 比值均有不同程度的减少。阶段V, 79—71 m 处岩性以青灰色泥为主,底部夹一薄层褐色泥,75.2—73.2 m 间为深灰色泥。 χ_{11} 较前段迅速上升, χ_{16} 与之相反。碳酸盐含量为一稳定谷值段,而 TOC C/N 变化不太明显。阶段VI, 71—63 m 为灰绿色泥层, χ_{11} 又一次下降, χ_{16} 有所上升,但较阶段II 和阶段IV 增幅减小。碳酸盐含量为一峰值段,TOC 较V 段略有减少,但 C/N 却有上升趋势。阶段VII, 63—59 m 的下部 63—61.5 m 间为青灰色泥,61.5 m 以上为深灰色泥。本段 χ_{11} 又明显上升,为一明显阶段性峰值, χ_{16} 和碳酸盐含量变化与阶段I 一致,但 TOC 有所升高,C/N 平均值较前段略有上升,环境指标的配置关系与阶段I 存在一定差异。阶段VIII, 59—51 m 的下部(53.8 m 以下)以青灰色泥为主,内夹 50 cm 厚的深灰色与灰褐色相间的纹层(55.14—55.67 m),上部为深灰色泥,见数条灰褐色带黄色泥条带。本段小于 20 μ m 的颗粒含量上部较下部有所降低,碳酸盐含量较前段略有上升,增幅较阶段II 明显变小很多,而其它指标变化与阶段II 变化相似,均有明显的增加。阶段IX, 51—39 m 为深灰色泥,45.6—45.7 m 间见螺壳。本段特征是小于 20 μ m 的颗粒由下向上有明显增加, χ_{11} 大体呈上升趋势, χ_{16} 稳定地维持低值,碳酸盐含量、TOC 含量、C/N 比值均较前段有所降低。阶段X, 39—23 m,岩性为青灰色泥与深灰色泥交互,顶部见较多螺壳化石。与前段相比,本段粒度、 χ_{16} 、 χ_{11} 变化不明显,但碳酸盐含量、TOC 含量及 C/N 比值较前段有明显增高,且变化较大,尤其是 34—30 m 段,C/N、TOC 峰值明显,另一峰值出现在 27.5—26 m 处,碳酸盐含量在 34 m 以上波动更为明显。阶段XI, 23—17 m 处顶部与底部为青灰色泥,中间段为深灰色泥,内含少量螺壳,小于 20 μ m 的颗粒含量稳定。 χ_{11} 呈逐渐上升形态, χ_{16} 仍保持低值,碳酸盐含量为一小的谷值段,TOC、C/N 增高且表现为顶部高、中部低的波动特点。阶段X, 17—8.0 m 段底部为青灰色泥,中部(14.4—10.18 m)为深灰色泥,11.68—11.0 m 夹一锈黄色粉砂层,9.5 m 以上为灰绿色泥,10.05—10.07 m、13.7—13.89 m 和 14.34 m 上下含丰富的螺壳或螺壳碎片,小于 20 μ m 的颗粒含量自下而上缓慢降低。 χ_{11} 在 12.1 m 以下突降为低值, χ_{16} 较前段无明显变化,碳酸盐含量呈增高趋势,但内部有波动。TOC 含量在 12.1 m 以下为较稳定低值,以上开始升高,C/N 比值在下部为高值,10.5 m 处迅速降为最低值,但随后又重新回升。阶段X, 8.0—4.1 m 为绿灰色泥,6.16—6.25 m 左右夹一薄层深灰色泥,该层上部见植物化石碎屑、螺壳及螺壳碎片。本段最突出的特点是 χ_{16} 碳酸盐含量、TOC 含量及 C/N 比值在整个剖面中均达到最高值,而且表现为迅速增高或剧降。粒度指标中,小于 20 μ m 的颗粒含量总体为下高上低, χ_{11} 保持低值状态。阶段X, 4.1 m 以上,下部 4.1—2.3 m 之间为青灰色泥,向上过渡为灰黑色泥,0.65 m 以上为黄色含砂粘土,含灰色斑块,顶部 15 cm 为人工填土。本阶段粘粒含量有所增加,其它指标均大幅度降低,但各指标内部变化幅度大,如 χ_{16} 、 χ_{11} 、TOC 含量等在顶部 0.75 m 以上均异常增高,C/N 比值中部增加比较明显。

3 古环境变迁讨论

根据钻孔岩性、沉积构造和岩性组合以及多指标组合特征,将剖面分为 4 个大的时段:

第一时段,121.35—79.0 m,为褐色与灰绿色交互的湖相沉积。在沉积物中,褐色沉积物通常指示了沉积时期湖泊水体较浅的弱氧化环境,灰绿色沉积物与弱还原沉积环境有关。该层位中出现的两段纹层进一步说明了当时水体加深,深水层或底泥—水界面缺氧,水动能相对较弱,而且在缺氧的环境下,底栖生物的生长受到抑制,沉积物避免了生物的扰动,纹层得以保

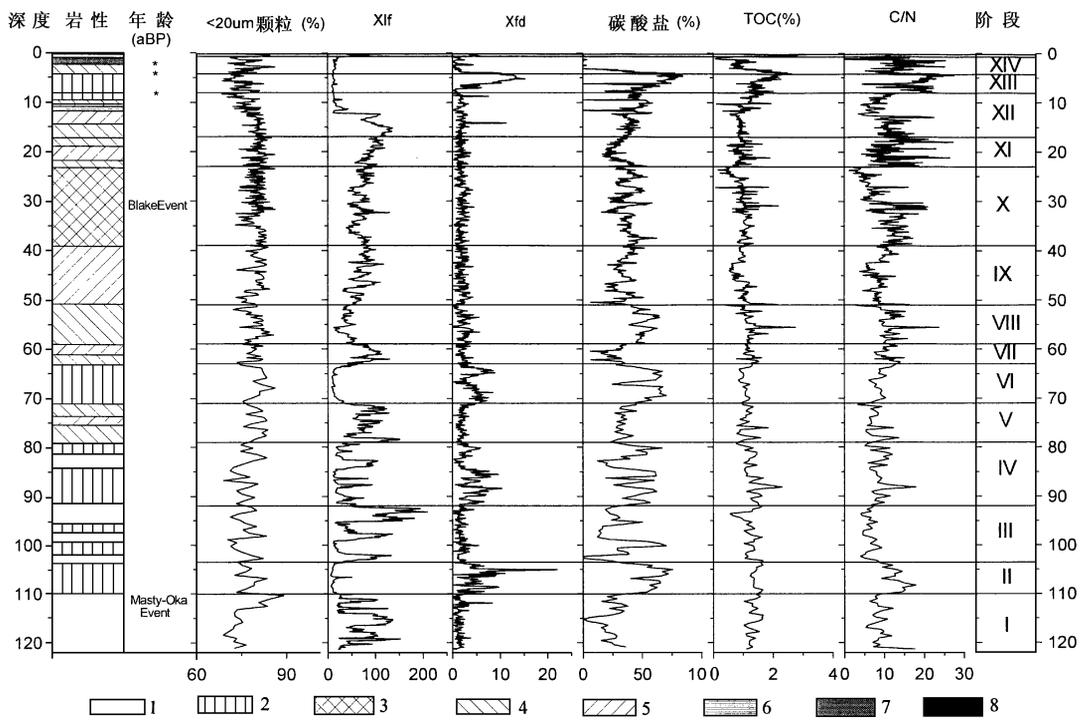


图 2 HQ 孔岩性特征与环境指标曲线

Fig. 2 Vertical distribution of environmental proxies and lithological profile of HQ core

1. 褐色泥; 2. 灰绿色泥; 3. 青灰色泥与深灰色泥互层; 4. 青灰色泥; 5. 深灰色泥; 6. 黄色含砂层; 7. 灰黑色泥; 8. 人工填土

存。随着褐色层向灰绿色层变化,各环境指标的变化也相当明显,且变幅较大。在相应的褐色泥层位,以 χ_{lf} 的高值,极低的 χ_{fd} ,低碳酸盐含量及较低的细颗粒含量为主要特征,反映湖水较浅,沉积较粗,这与较低的 TOC 和 C/N 比值 (< 10) 所表明的外源有机质较少是互为呼应的。在灰绿色层位,各指标变化表现出明显反向变化,细颗粒含量增高, χ_{lf} 由前面的 $80 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ 均值迅速降为 $10 \times 10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ 左右, χ_{fd} 增高达 20,碳酸盐含量的均值由 23% 跳跃到 60% 左右, C/N 比值由小于 10 变为大于 10,在一些层位甚至达到 16,这些均表明沉积物偏细,而且外来有机质丰富,围岩碳酸盐溶蚀作用加强。综上所述,可以看出本时段湖泊至少经历了 4 次由浅到深的旋回过程,各个旋回中湖泊环境变化也比较剧烈,推测当时气候为以强烈的干湿交替变化为特点。

第二时段, 79.0—51.0 m,褐色泥基本消失,以青灰色和深灰色泥互层为主,并与灰绿色泥及灰色—褐黄色纹层组成沉积旋回,总体上反应湖泊水体加深,经历由半深水—较深水—半深水—深水的发展过程。粒度组成中,细颗粒含量保持较高水平(平均在 80% 左右)但有波动,在相应的灰绿色泥和纹层段,细颗粒含量增高。与阶段相比,各指标仍与岩性保持同步变化,但变幅较前时段变小,频率加快。 χ_{lf} 、 χ_{fd} 峰谷波动明显, C/N 比值、TOC 含量变化比较模糊。如阶段 V 和阶段 VII 的青灰色和深灰色互层段, C/N 比值接近 10,但碳酸盐含量明显降低,各指标变化组合反映当时外源有机质不甚丰富,而在灰绿色层位, C/N 比值变化不大,尽管入湖物质搬运距离较远,碳酸盐含量较高,但有机质不丰富,直到上部纹层段各指标反映的深湖沉积特征才有所显示。本时段,沉积粒度偏细,湖泊水面上升,反映当时有效湿度增加,尽管内部存在两次明显的湖面波动,但幅度较小,在一定程度上本时段在环境变化过程中具有过渡性。

第三时段, 51.0—4.1 m, 为厚层的青灰色与深灰色泥互层向灰绿色泥层转变时段。自 26m 以上出现螺壳化石, 16m 以上明显增多, 反映湖面逐渐变浅的过程, 但内部有波动, 至 9.8 m 以上, 湖面又一次扩大, 但内部存在一次短暂的低湖面波动。本时段各指标的主要特征表现为细颗粒含量向上有明显的下降趋势, χ_{ir} 在 12 m 以下较高, 向上迅速降为最低值, 碳酸盐含量在 38—23 m 间较高, 而在灰绿色层段达到峰值。C/N 比值在 31 m 左右和 23—17 m 4.1—8.0 m 处有 3 个峰值, 以顶部峰值最为显著。本时段另一个特点是从大时段上看, χ_{ir} 碳酸盐含量整体较高, 内部也有波动, 但变化幅度远较第一、第二时段为小, C/N 比值的内部波动在频率和幅度上都有明显的加强, TOC 是下部偏低, 上部较高, χ_{ir} 除了顶部为一突出峰值外, 其它为平稳低值段。本时段基本保持冷湿与暖干环境交替的特点, 向上冷湿环境逐步发展, 至末次盛冰期达到极点, 并且上部环境的不稳定比较突出。

第四时段, 4.1 m 以上, 4.1—2.3 m 间为青灰色泥, 向上向灰黑色泥过渡, 0.65—0.15 m 为黄色含砂粘土。本段最明显的特征是环境指标在 4.1 m 处的突变, χ_{ir} 和碳酸盐含量急剧下降, TOC 含量、C/N 比值大幅度降低, 孢粉中水生植物减少, 均表明陆源有机质和碳酸盐在湖内缺乏积聚条件, 盆地完全被切开是这一现象最合理的解释, 对盆地出流口的考察也证实这一事件的发生, 至于盆地开始被切穿的时间, 根据粒度和 χ_{ir} 的变化, 或许要更早一些。该事件与构造运动的关系尚需深入研究。此后进入全新世, 环境以温暖偏干为特征, 期间存在两次冷事件。详细讨论见文献 [3]。0.75 m 以上的环境指标异常升高, 说明环境受到人类活动的影响。前一时段后期, 持续的冷湿环境导致长期的高湖面为盆地的切开提供了外力条件, 进入全新世以后本区环境以温湿偏干为特点, 与东南季风区有着较大的区别。但古气候变化中冷事件 (低温事件) 是进行东南季风与西南季风区气候变化对比的桥梁。

纵观全剖面各环境指标的变化和相互对应关系, 可以发现小于 20 μ m 颗粒的含量曲线在 121.35—79.0m 之间为缓慢上升段, 79.0—37.0m 为较稳定的高值阶段, 37.0—4.1m 呈逐步下降形态, 4.1 m 以上又较稳定。碳酸盐含量与 TOC 含量、C/N 比值之间的相互对应关系以 79 m 和 51 m 为界线, 可以明显地分为 3 段: 79m 以下, 79—51 m 之间和 51 m 以上。三者间的对应关系有着明显差异, 这两次明显的转型是否与构造运动驱动有关? 考虑本区位于青藏高原东侧边缘地带, 51 m 处的转型可能与 200 ka B P 青藏高原发生的强烈构造隆升运动 (共和运动) 有关, 79m 处的转型可能与 400 ka B P 的构造运动有关。两者在若尔盖地区也有类似的记录 [4]。

4 湖泊环境指标及其组合的解释

在粒度分析中, 一般认为细颗粒含量的高低与水动力强弱有关, 细颗粒含量的增高, 认为是水动能较弱, 水体相对稳定, 湖水的深度较大。 χ_{ir} 的大小通常取决于沉积物中磁性矿物的种类与浓度, 也有人将之作为指示地表侵蚀的强度, 可间接地反映沉积物的远近和被搬运距离的长短 [5]。 χ_{ir} 与沉积物中超细滞磁性矿物的贡献有关 [6]。在本剖面中, χ_{ir} 与 χ_{fd} 呈反相关系, 说明不同种类磁性矿物的粒级有差别, 可间接反映搬运沉积。TOC 含量、C/N 比值作为湖泊及其流域生物量的有效指标已被广泛应用于第四纪湖泊环境研究中, 王苏民等认为, C/N > 10 时, 沉积物有机质以外源为主; C/N < 10 时, 湖泊初始生产力较高, 以内源有机质为主, C/N \approx 10 时, 外源与内源有机质基本达到平衡状态 [7]。但在湖泊生产力的恢复中, 还应依据具体的 TOC 和 C/N 组合来进一步判断。在干旱半干旱区, 碳酸盐含量通常是指示湖水盐度的指标, 间接反

映温度与降水的复合效应,即有效水汽的状况^[8],但是对于西南部碳酸盐岩分布地区的湖泊沉积物,还应考虑碳酸盐的溶解作用,以及生物自生碳酸盐的介入。本剖面中,碳酸盐含量与 TOC含量、C/N 比值在许多段呈正相关,而且,在末次冰盛期,碳酸盐含量达到最高,显然与温度关系不大,而与该区碳酸盐岩的大范围分布有关,碳酸盐岩受溶蚀作用而进入湖盆。剖面中介形类化石丰度的高值与碳酸盐高值对应,因此也不能排除部分自生生物碳酸盐的介入,所以在碳酸盐的成因解释上,必须借助于其它指标进行综合判识。上述现象的解释还有待于今后工作的深入,获得更多的信息予以验证。

本文¹⁴C测年由吴艳宏工程师完成, TOC TN C/N 资料由何海军同志提供,吴瑞金研究员、张振克博士、夏威夷高级工程师等参加野外采样,在成文过程中得到薛滨博士的大力帮助,在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] 云南省鹤庆县志编纂委员会. 鹤庆县志 [M]. 昆明: 云南人民出版社, 1991. 82- 86.
- [2] 中国科学院青藏高原综合科学考察队. 横断山区自然地理 [M]. 北京: 科学出版社, 1997. 90- 97.
- [3] 蒋雪中, 王苏民, 羊向东. 云南鹤庆盆地 30ka 以来的古气候与古环境变迁 [J]. 湖泊科学, 1998, 10(2): 10- 16.
- [4] 薛滨, 王苏民, 夏威夷, 等. 若尔盖 RM 孔揭示的青藏高原 90ka B P 以来的隆升与环境变化 [J]. 中国科学 (D 辑), 1997, 27(6): 543- 547.
- [5] M J Gaillard, J A Dearing, F El-Daouhy, etc. A late Holocene record of land-use history, soil erosion, lake trophy and lake-level fluctuations at Bjaresjosjon (South Sweden) [J]. Journal of Paleolimnology, 1991, 6 51- 81.
- [6] 俞立中, 等. 太湖沉积物的磁性特征及其环境意义 [J]. 湖泊科学, 1995, 7(2): 141- 150.
- [7] 王苏民, 冯敏. 内蒙古岱海湖泊环境变化与东南季风强弱的关系 [J]. 中国科学 (B 辑), 1991, 7 759- 768.
- [8] 王苏民, 夏威夷, 等. 若尔盖盆地 RM 孔的沉积特征与构造-气候演化的过程 [C]. 见: 青藏项目专家委员会编, 青藏高原形成演化、环境变迁与生态系统研究学术论文年刊 (1995). 北京: 科学出版社, 1996. 112- 117.

SEDIMENTARY CHARACTERISTICS AND CLIMATIC EVOLUTION OF CORE HQ IN HEQING BASIN YUNNAN PROVINCE

JIANG Xuezhong, WANG Sumin, YANG Xiangdong

Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Science, Nanjing 210008

Abstract The environment evolution history of the Heqing Basin since 600 ka B P has been established based on the analysis of the colour, granularity, stratification and lithological assemblage of the sediments from the HQ core in combination with the study of the magnetic stratigraphy, susceptibility, content of carbonates, total organic carbon and the carbon/nitrogen ration of the sequence. There were two distinct transformations of the environment connected to the tectonic movement. At a depth of 4.1m of the column, the lake basin was entrenched by rivers at about 14.2 ka B P, leading to a sudden change of the environment.

Key words HQ core; sedimentary characteristics; palaeoenvironment evolution