

文章编号: 1000-0550(2011)05-0926-09

# 全新世低纬地区古环境演化与北大西洋之间的联系<sup>①</sup>

## ——以湖光岩玛珥湖元素和元素比值记录为例

吴旭东<sup>1,2</sup> 沈吉<sup>1</sup> 汪勇<sup>1</sup>

(1. 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 南京 210008;

2. 中国科学院研究生院 北京 100049)

**摘要** 通过湖光岩玛珥湖沉积物高分辨率的 Fe/Mn 比值、Rb/Sr 比值、Sr 元素强度和 550℃ 烧失量的研究,重建了湖光岩地区全新世以来的古环境演化历史,即:早全新世是气候适宜期,气候温暖湿润,中、晚全新世开始气候逐渐干旱化。这种气候演化模式体现了全新世季风演化的全球性。湖光岩玛珥湖沉积物反映的全新世以来的冷暖变化事件与北大西洋浮冰碎屑记录之间既存在联系又存在差异。这说明在全新世背景下,低纬地区的古气候演化与北大西洋存在一定程度的联系。低纬地区全新世古环境演化是低纬过程和高纬作用叠加的结果。

**关键词** 元素强度及其比值 全新世 北大西洋 低纬地区

**第一作者简介** 吴旭东 女 1982 年出生 博士研究生 E-mail: wuxudong2004916@yahoo.com.cn.

**通讯作者** 沈吉 E-mail: jishen@niglas.ac.cn

**中图分类号** P593 **文献标识码** A

一系列严重的全球性环境问题的出现让我们意识到了全球变化研究的重要性。未来的环境、气候演化方向是全球变化研究的重要组成。高分辨率的古气候研究能够帮助我们认识过去全球变化的规律,为准确预测未来环境、气候演化方向提供参考依据。近年来,高分辨率的古气候研究取得了很大进展<sup>[1-5]</sup>,但是却受到样品分布地域的限制。玛珥湖作为一种特殊类型的火山口湖,不但在形成和保存高分辨率地质记录方面具有独特的优势<sup>[6]</sup>,而且分布地域比较广,是全球性高分辨率古气候研究的重要补充,正在受到越来越多的关注。

沉积物不但具有原岩的组成特征,而且记录着形成时的气候环境,这就是我们利用元素地球化学的研究来探讨气候变化历史的理论基础<sup>[7]</sup>。沉积物中的元素组成除了受到沉积环境影响,还与元素的地球化学性质有关。通过沉积物中元素含量变化研究恢复过去气候、环境变化的信息的方法已经成功运用于黄土<sup>[7-9]</sup>、石笋<sup>[10,11]</sup>、湖泊<sup>[12,13]</sup>、冰芯<sup>[14]</sup>等地质载体的古环境研究中。但是由于沉积环境的复杂性和沉积后的各种变化,大部分元素的组分与环境变化之间缺乏直接的联系<sup>[15]</sup>。元素含量或元素比值的组合,可以放大元素指标对气候变化的响应,削弱各种扰动因

素的影响<sup>[16]</sup>。

本文通过湖光岩沉积物元素强度以及元素比值的记录,试图恢复湖光岩地区全新世以来的气候和湖泊水文状况的演化过程,为区域高分辨率的古气候研究提供基础数据。

## 1 研究区、材料、方法

湖光岩玛珥湖(21°9'N, 110°17'E)位于广东省湛江市西南方(图 1A)。多年平均气温为 23.1℃,多年平均降水量约为 1 600 mm。亚热带海洋性季风气候,热带风暴频繁,干季(10 月至次年 3 月)、湿季(4 至 9 月)变化明显。植被是半常绿季雨林,土壤主要是火山喷出物风化后形成的,成土母质为玄武岩。湖水面积 2.25 km<sup>2</sup>,汇水面积 3.2 km<sup>2</sup>,最大水深 22 m,平均水深 12 m。湖近似心形,分为东西两个部分,可能是经过两次火山喷发的结果。湖泊四周被火山岩墙所包围。

2009 年 11 月我们用 UWITEC 型水上平台和活塞取芯设备在湖光岩玛珥湖西湖水深 16.2 m 处(图 1B)采集了两根平行岩芯(N 21°08'38.28", E 110°16'45.66")。本研究所用岩芯长 855 cm。

在进行元素强度分析前,先把岩芯沿中轴线剖

①国家自然科学基金项目(批准号:40872117)资助。  
收稿日期:2010-07-29; 收修改稿日期:2010-11-24

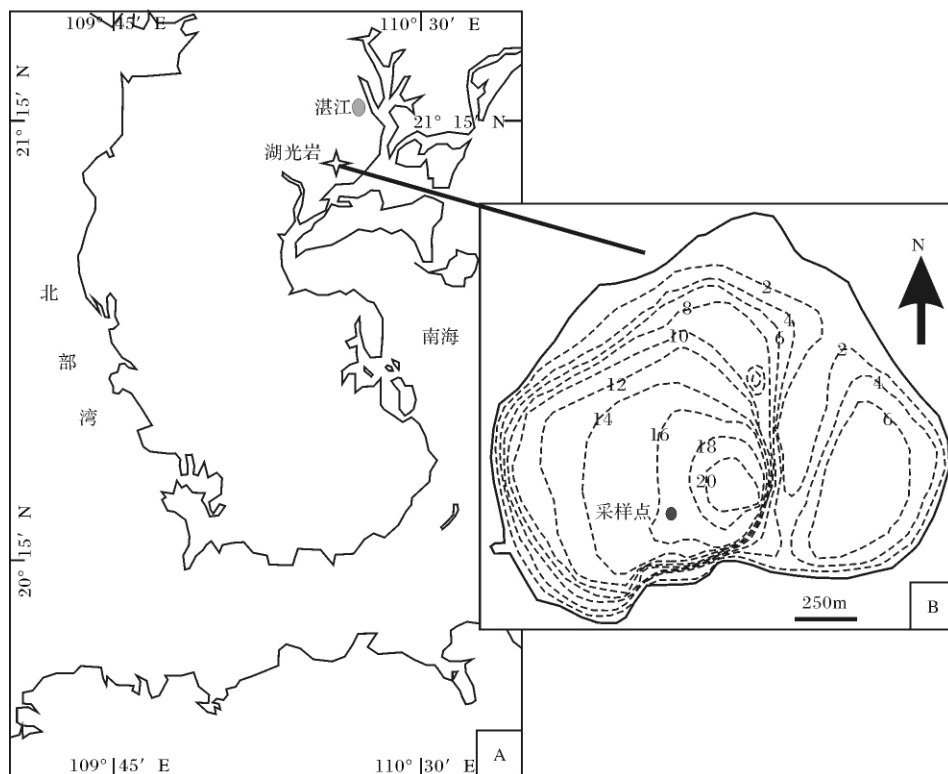


图 1 研究区及采样点位置图

Fig. 1 Study area and the sampling location

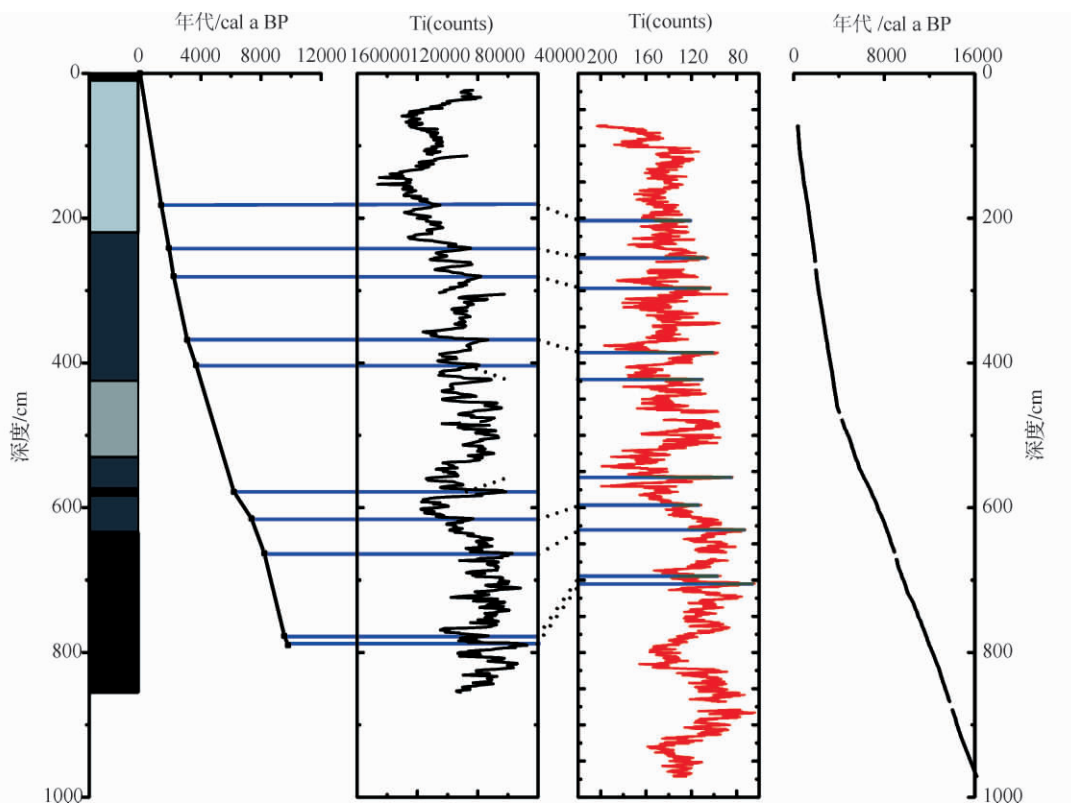


图 2 两根岩芯 Ti 元素强度变化趋势对比及年龄与深度关系(红色为引用数据<sup>[17]</sup> 黑色为测试数据)

Fig. 2 Comparison of Ti intensity variations in the two cores and the correlation between age and depth ( the red line is cited from reference 17 , the black line is from the measured data)

开。岩芯的元素强度分析是在同济大学海洋地质国家重点实验室完成的,所用仪器是X射线荧光光谱仪,分析间距为1 cm。顶部22 cm的含水量太高,元素扫描数据缺失。

## 2 钻孔岩性描述与年代序列的建立

### 2.1 钻孔岩性

岩芯基本上是质地比较均匀有机质含量较高的浅灰黑色—黑色泥,偶有几个厘米长颜色较浅的层插入,但总体上岩芯的颜色和岩性变化不大。整个剖面可以大致分为以下几个阶段:

- (1) 0~10 cm 黑色稀泥。
- (2) 10~220 cm 浅灰黑色泥。
- (3) 220~425 cm 灰黑色泥。
- (4) 425~530 cm 浅灰黑色泥。
- (5) 530~574 cm 灰黑色泥。
- (6) 574~584 cm 深灰黑色泥。
- (7) 584~635 cm 灰黑色泥。
- (8) 635~855 m 黑色泥。

### 2.2 年代标尺的建立

首先默认顶端的样品的年龄是采样时间,再将测试得到的Ti元素强度与Yancheva等人已经发表的Ti元素强度<sup>[17]</sup>进行对比(图2),获得若干年代控制点,经过内插和外推得到了整个岩芯的年代标尺。为了证明平移得到的年代标尺是可靠的,把两根岩芯的Ti元素强度变化根据年代标尺作图(图3)。从图3可以看出两根岩芯Ti元素强度随年代的变化是完全同步的。因此,通过对比平移方法获得的年代标尺是可靠的。参考文献中的年龄误差是160 a,通过平移得到的年龄误差也可以近似认为是160 a。

## 3 结果

Fe、Mn对氧化还原条件的敏感性不同,Fe<sup>2+</sup>比Mn<sup>2+</sup>更容易被氧化,Mn的氢氧化物要比Fe的氧化物更容易被还原<sup>[18]</sup>。在缺氧的深水条件下,湖泊沉积物—水界面处于还原状态,Mn易被消耗,Fe/Mn比值较高;在浅水的氧化条件下,Fe易被氧化,湖泊沉积物—水界面处于氧化状态,Fe/Mn比值较低。因此,Fe/Mn比值可以用来指示湖泊水深的变化<sup>[19]</sup>。Fe/Mn比值在43~450之间变化,平均值是211(图4)。11 000~7 800 cal a BP,Fe/Mn比值较高并在平均值周围微弱波动,指示当时湖泊处于较稳定的深水状态,湖泊沉积物—水界面处于还原状态;7 800~5 600 cal a BP,Fe/Mn比值基本低于平均值,说明湖泊沉积物—水界面氧化性明显增强,湖泊萎缩,水深变浅,但是在6 400~6 000 cal a BP之间Fe/Mn比值相对较高,反映了6 400~6 000 cal a BP之间是一段相对的高湖面期;5 600~2 000 cal a BP,Fe/Mn比值较高并在平均值周围剧烈波动,反映这一期间湖泊经历了剧烈的扩张、收缩变化;2 000 cal a BP以后,Fe/Mn比值持续降低,反映最近2 000年来水深不断下降、湖泊逐渐萎缩。

Rb和Sr的表生地球化学行为具有较大的差异。在风化过程中Sr的活动性比Rb强,从而造成了风化产物中Rb和Sr的分离。风化作用越强,风化产物中Rb/Sr比值越高,Rb/Sr比值大小与风化程度之间呈正比<sup>[20,21]</sup>。在湖相沉积物种,Rb/Sr比值与风化强度的关系和风化产物中的Rb/Sr比值与风化强度的关系是相反的<sup>[22,23]</sup>。Rb/Sr比值可以反映湖泊流域的风化作用强度<sup>[23]</sup>。Rb/Sr比值在0.14~0.6之间,平

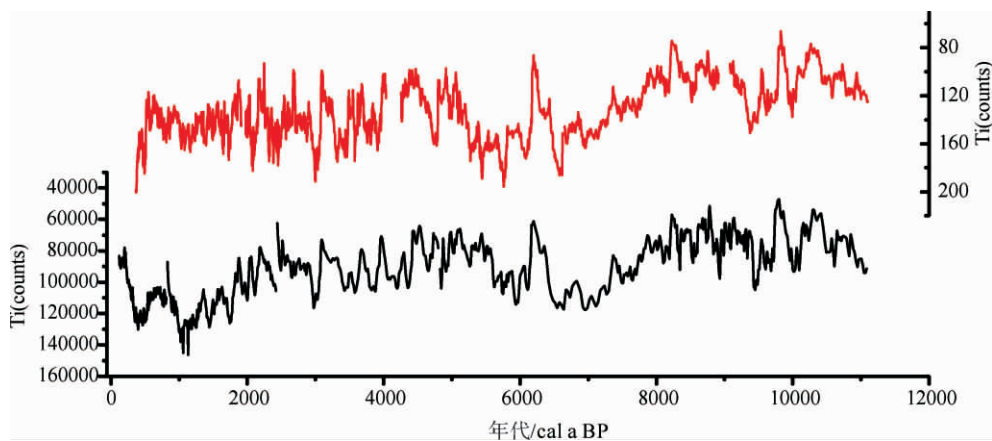


图3 两根岩芯Ti元素强度与年代(红色为引用数据<sup>[15]</sup>,黑色为测试数据)

Fig. 3 Ti intensity variation with age in the two cores

(the red line is cited from reference 15, the black line is from the measured data)

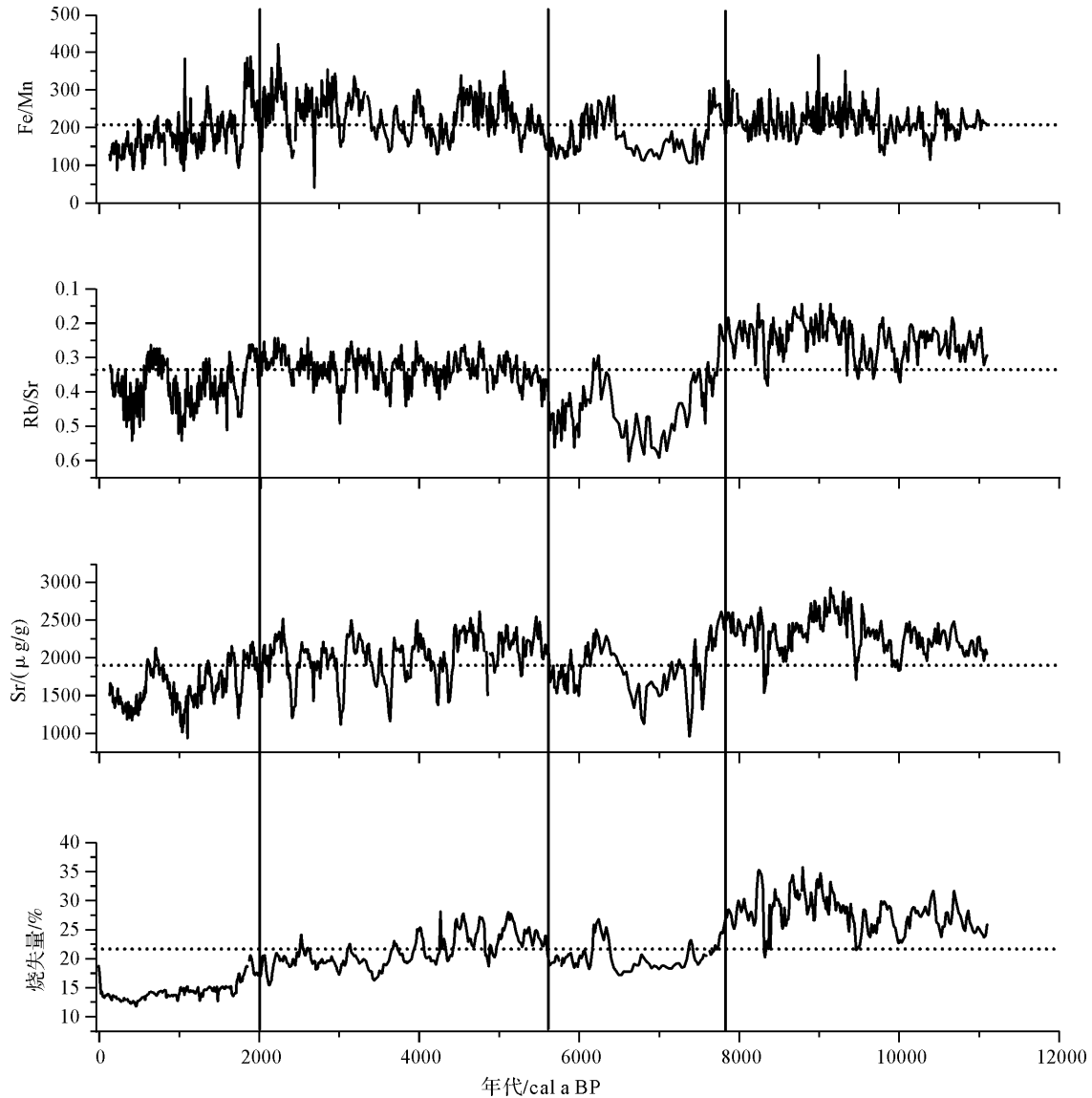


图4 湖光岩玛珉湖元素地球化学指标与烧失量(虚线代表平均值)

Fig. 4 Geochemical indicators and LOI of Huguangyan Maar lake sediment (the dashed lines represent the average values)

均值是 0.33(图 4)。11 000 ~ 7 800 cal a BP, Rb/Sr 比值最低, 基本都低于平均值, 反映流域的风化作用最强; 7 800 ~ 5 600 cal a BP, Rb/Sr 比值是整根岩芯中最高的, 基本上都高于平均值, 说明流域风化作用最弱; 6 400 ~ 6 000 cal a BP 之间的 Rb/Sr 比值相对偏低, 但仍高于平均值, 说明 6 400 ~ 6 000 cal a BP 之间的风化作用相对较强; 5 600 ~ 2 000 cal a BP, Rb/Sr 比值较低并在平均值周围上下波动, 反映风化强度有所增加; 2 000 cal a BP 之后, Rb/Sr 比值明显升高而且变化幅度较大, 反映了流域的风化作用强度变弱并经历了较大的波动。

Sr 元素主要来自于降雨淋滤作用形成的溶解性

$\text{Sr}^{2+}$ 。Sr 元素强度的高值反映了流域的降雨量大; Sr 元素强度的低值反映流域的降雨量小。Sr 元素强度在 900 ~ 3 000 之间, 平均值是 1 975(图 4)。Sr 元素强度的变化趋势与 Rb/Sr 比值非常一致, 说明湖光岩地区的风化作用强度主要受到降雨量的影响, 即以化学风化为主。

550°C 的烧失量主要反映了沉积物中有机质的含量<sup>[24 25]</sup>, 有机质含量则可以反映湖泊和流域的生产力水平, 因而烧失量可以通过反映生产力水平而间接反映气候条件的变化。较高的烧失量通常反映湖泊和流域的生产力水平高, 气候温暖、湿润; 较低的烧失量则反映湖泊和流域的生产力水平低, 气候寒冷、干

燥<sup>[26]</sup>。烧失量在 11% 至 36% 之间变化,平均值是 21% (图 4)。11 000~7 800 cal a BP,烧失量最高,反映湖泊的生产力水平高;7 800~5 600 cal a BP,烧失量明显降低,指示湖泊生产力水平降低、流域的风化作用减弱;6 400~6 000 cal a BP 之间,烧失量相对较高,反映了较冷气候条件下也有相对温暖的阶段;5 600~4 000 cal a BP,烧失量较 7 800~5 000 cal a BP 略有升高,反映了气候的回暖;4 000 cal a BP 之后,烧失量逐渐较小,一方面是气候条件影响下湖泊生产力水平降低的结果,一方面也受到沉积速率变高稀释作用的影响。

11 000~7 800 cal a BP 的 Rb/Sr 比值明显高于 5 600~2 000 cal a BP 的 Rb/Sr 比值,但是 Fe/Mn 比值并没有显示出这一特点。湖泊水深不仅受到降雨量/蒸发量的影响,同时还受到沉积作用影响。湖光岩玛珉湖在形成后,经过十几万年的自然沉积物积累,湖光岩湖底不断上升,水深不断变浅。11 000~7 800 cal a BP,湖光岩的水深较深,湖泊沉积物——水界面的氧化性很弱,Fe/Mn 比值可能更多的反映了入湖比例的变化;5 600~2 000 cal a BP,尽管降雨量仍然较高,但是沉积作用使得湖水变浅,湖泊沉积物——水界面的氧化性增强,这时的 Fe/Mn 比值可能更准确的反映了湖泊水深的变化。

#### 4 湖光岩玛珉湖全新世以来的古气候演化

根据 Fe/Mn 比值、Rb/Sr 比值、Sr 元素强度、烧失量的变化(图 4)可将湖光岩地区 11 000 cal a BP 至今的古环境演化大致分为以下几个阶段:

(阶段 I: 11 000~7 800 cal a BP, 855~640 cm): Fe/Mn 比值最高, Rb/Sr 比值最低, Sr 元素强度、烧失量都是最高,反映了湖水很深,流域的风化作用强,降雨量大,湖泊生产力水平高,气候温暖、湿润。

(阶段 II: 7 800~5 600 cal a BP, 640~537 cm): Fe/Mn 比值最低, Rb/Sr 比值最高, Sr 强度、烧失量都是最低,反映湖水变浅,流域的风化作用减弱,降雨量小,湖泊生产力水平低。指示了气候寒冷、干燥。但是 Fe/Mn 比值、Rb/Sr 比值、Sr 元素强度和烧失量都指示 6 400~6 000 cal a BP 之间是冷期中相对暖、湿的阶段。

(阶段 III: 5 600~2 000 cal a BP, 537~257 cm): Fe/Mn 比值高, Rb/Sr 比值较低, Sr 元素强度、烧失量都较高,反映湖水较深,风化作用较强,降雨量比较

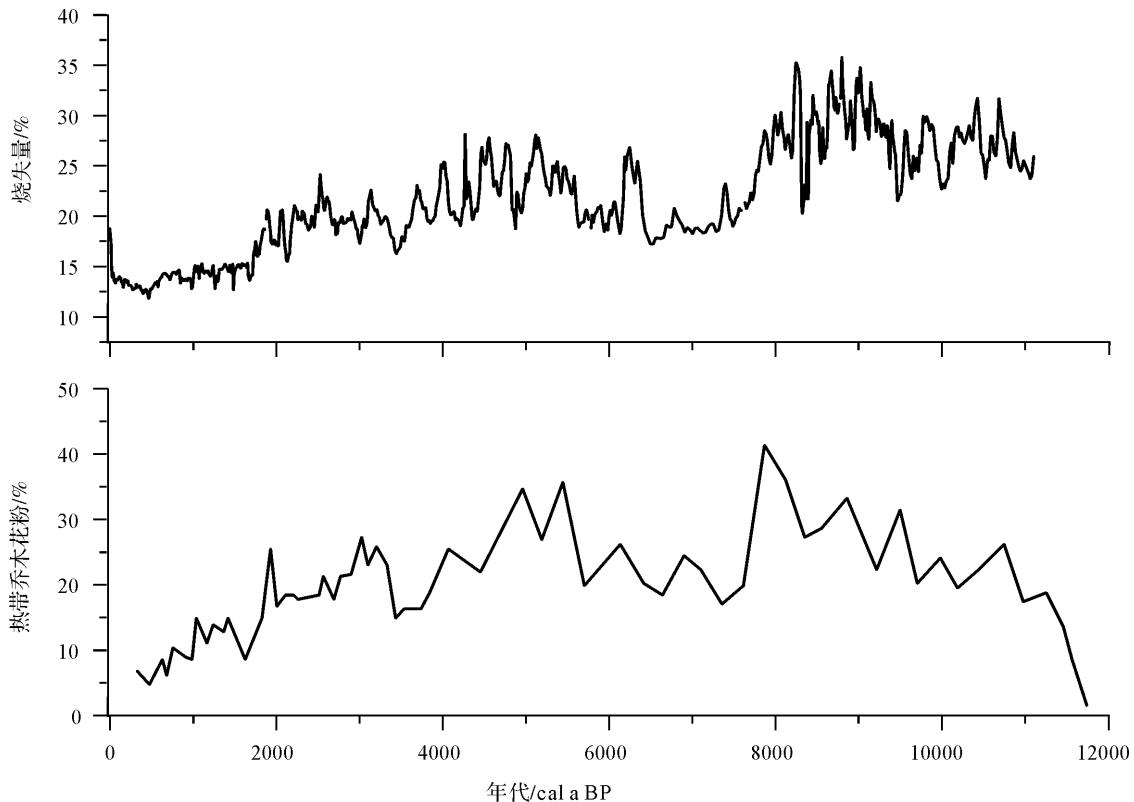
大,湖泊生产力水平较高,指示了这一阶段以相对温暖、湿润的气候条件为主,但是暖、湿的程度不及全新世早期的水平。

(阶段 IV: 2 000 cal a BP 至今, 257~0 cm): Fe/Mn 比值低, Rb/Sr 比值高, Sr 元素强度和烧失量都是低值,反映湖水变浅,风化作用减弱,降雨量减小,湖泊生产力水平降低,指示气候的干旱化。

#### 5 讨论

根据 Fe/Mn 比值、Rb/Sr 比值、Sr 元素强度和烧失量重建的湖光岩玛珉湖全新世以来古气候演化过程与王淑云等的植物花粉记录是基本一致的(图 5),即:早全新世是气候适宜期,气候温暖湿润,中、晚全新世开始气候逐渐干旱化<sup>[27]</sup>。这种全新世早期季风增强,全新世中晚期季风减弱的气候演化模式在北半球的很多地质记录中都有体现<sup>[1-5]</sup>,展现了轨道驱动下全新世季风变化的全球性<sup>[28]</sup>。这也进一步证明了通过对比平移得到的年代标尺是可靠的。

Fe/Mn 比值、Rb/Sr 比值、Sr 元素强度和烧失量记录显示了全新世以来湖光岩地区气候演化经历了一系列的冷暖变化。虽然全新世早期是湖光岩地区的气候适宜期,但是 Rb/Sr 比值、Sr 元素强度和烧失量记录中都有清晰的表现出了 8 300、9 400、10 000 cal a BP 左右气候变冷,但是上述的“冷事件”在 Fe/Mn 比值记录中却并不明显,这可能是由于全新世早期的湖泊水深较深,湖底一直处于一种还原状态,Fe/Mn 比值在表现湖泊水深变化时的敏感性较弱。全新世中期开始,湖光岩地区的气候开始转为冷、干: 7800~6400 cal a BP 和 6000~5600 cal a BP 之间的两个冷期是湖光岩地区全新世以来变冷程度最明显、持续时间最长的两次,在 Fe/Mn 比值、Rb/Sr 比值、Sr 元素强度和烧失量记录中都有非常明显的体现,这种迅速的、长时间的气候变冷可能是全新世中期季风强度迅速减弱的体现<sup>[27]</sup>。5 600~2 000 cal a BP 之间,湖光岩地区的气候表现为频繁的波动变化: 在大约 4 900、4 200、3 800、3 000、2 350 cal a BP 气候迅速向冷、干方向发展,而且在这种冷暖波动的过程中伴随着逐渐变冷、干的趋势,这种变化特征在 Fe/Mn 比值、Rb/Sr 比值、Sr 元素强度和烧失量记录中都有明显的体现。已有研究表明 5 000 cal a BP 以来,EN-SO 活动迅速增强<sup>[29]</sup>。现代观测资料显示 ENSO 增强往往导致季风强度减弱,降雨量较少<sup>[30]</sup>。所以,湖光岩 5600~2000 cal a BP 之间的气候演化可能是

图5 湖光岩玛珥湖沉积物烧失量记录与孢粉记录的对比<sup>[27]</sup>Fig. 5 Comparison between loss on ignition (LOI) and the pollen record of Huguangyan Maar lake sediment<sup>[27]</sup>

受到了 ENSO 活动增强的影响。2 000 ~ 400 cal a BP, 虽然气候整体上还有变冷、干的趋势, 但是波动频率变慢。Rb/Sr 比值、Sr 元素强度记录显示 1 700、1 000、400 cal a BP 左右是相对的冷、干阶段, 但是 Fe/Mn 比值和烧失量记录并没有明显的表现。这一阶段的沉积速率明显加大, 有机质含量降到最低, 可能是人类活动的影响造成湖泊碎屑输入量的大幅度增加, 稀释了有机质含量, 而 Fe/Mn 比值更多的指示了物源的影响, 指示湖泊水深变化的敏感度降低。400 cal a BP 之后, Rb/Sr 比值、Sr 元素强度和烧失量记录显示气候又有回暖的趋势。

“北大西洋温盐环流震荡”对气候突变的触发和放大作用是解释气候突变的驱动因素之一<sup>[31]</sup>。“海洋温盐环流”假说认为: 大量的淡水突然注入北大西洋, 导致大洋表面盐度的降低, 引起温盐环流的减弱或中断, 从而影响大西洋向北半球的热量输送, 触发全球变化, 而高纬度北大西洋区域是全球气候变化的关键区域<sup>[32]</sup>。虽然湖光岩玛珥湖位于低纬度地区, 深受季风和 ENSO 等低纬过程的影响, 但是并不能忽视高纬气候对低纬地区气候演化的影响。湖光岩玛

珥湖沉积物记录到的发生于 400、1 700、3 000、4 200、5 800、8 300、9 400、10 000 cal a BP 左右的八次“冷事件”在年代误差范围内与北大西洋冰筏碎屑反映的“冷事件”具有可比性<sup>[32]</sup>, 在中国南方石笋记录中也有体现<sup>[3]</sup>。这说明了在全新世时间背景下, 低纬地区百年至千年尺度气候变化与北大西洋温盐环流或浮冰碎屑“冷事件”存在着一定程度的联系<sup>[32, 33]</sup>。但是湖光岩玛珥湖沉积物反映的“冷事件”与北大西洋冰筏碎屑记录的“冷事件”之间也有差异性。8 300、4 200 cal a BP 左右的“冷事件”是北大西洋浮冰碎屑记录的“冷事件”中持续时间长、变化幅度大的两次。湖光岩玛珥湖 8 300 cal a BP 左右的“冷事件”变化幅度较大, 但是持续时间与其他“冷事件”的区别并不明显; 4 200 cal a BP 左右的“冷事件”虽然持续时间变长, 但是变冷幅度不大。除了以上的“冷事件”外, 湖光岩玛珥湖沉积物还记录到了北大西洋浮冰碎屑记录之外的几次“冷事件”。例如: 7 800 ~ 6 400 cal a BP 之间持续时间长达 1 400a 的“冷事件”明显与北大西洋温盐环流震荡影响下形成的持续时间为几百年的“冷事件”不同, 可能是低纬过程的体现; 5 600 ~

2 000 cal a BP 的气候频繁波动阶段表现出的冷暖变化有些在北大西洋浮冰碎屑记录中并没有体现, 这一方面可能与样品的分辨率有关, 另一方面也与气候变化的驱动因素有关。

湖光岩地区全新世以来的古环境演化体现了季风和 ENSO 等低纬过程的影响, 表现出了季风变化的全球性。但是高纬气候对湖光岩地区全新世的古气候演化也存在一定的影响作用, 这就使得气候的变化机制显得更为复杂。我们所恢复的湖光岩地区的环境演化过程是低纬过程和高纬作用叠加的结果, 这就解释为什么湖光岩沉积物反映的冷暖变化既与北大西洋浮冰碎屑记录之间既存在相似性又存在着差异性。

## 6 结论

(1) 湖光岩玛珥湖沉积物 Fe/Mn 比值、Rb/Sr 比值和 Sr 元素强度恢复的全新世以来古气候演化与植物花粉记录基本一致, 即: 早全新世是气候适宜期, 气候温暖湿润, 中、晚全新世开始气候逐渐干旱化。这种气候演化模式在北半球很多地质记录中都有体现, 展现了轨道驱动下全新世季风变化的全球性。

(2) 湖光岩玛珥湖沉积物记录了全新世内一系列的冷暖变化, 这种冷暖变化与北大西洋浮冰碎屑记录之间既有相似性又有差异性。这说明了湖光岩地区全新世的古气候演化过程既体现了低纬过程的作用, 也体现了高纬气候的影响。两种作用同时存在使得本区全新世的古气候演化更具复杂性。

致谢 作者感谢中国科学院南京地理与湖泊研究所的张恩楼老师和袁和忠博士以及南京大学地球科学与工程学院的张朝晖教授和潘银华、王星辰在野外采样给予中的帮助, 感谢同济大学海洋地质国家重点实验室的谢昕老师在试验分析中的指导。

### 参考文献 (References)

- Dykoski C A, Edwards R L, Cheng H, *et al.* A high-resolution, absolute-dated Holocene and deglacial Asian monsoon record from Dongge Cave, China [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2005, 233 (1-2): 71-86
- Hong Y T, Hong B, Lin Q H, *et al.* Inverse phase oscillations between the East Asian and Indian Ocean summer monsoons during the last 12000 years and paleo-ElNiño [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2005, 231 (3-4): 337-346
- Wang Y J, Cheng H, Edwards R L, *et al.* The Holocene Asian monsoon: Links to solar changes and North Atlantic climate [J]. *Science*, 2005, 308: 854-857
- Gupta A K, Anderson D M, Overpeck J T. Abrupt changes in the Asian southwest monsoon during the Holocene and their links to the North Atlantic Ocean [J]. *Nature*, 2003, 421: 354-357
- Fleitmann D, Burns S J, Mudelsee M, *et al.* Holocene forcing of the Indian Monsoon recorded in a stalagmite from Southern Oman [J]. *Science*, 2003, 300: 1737-1739
- 刘东生, 刘嘉麒, 吕厚远, 等. 玛珥湖高分辨率古环境研究的新进展 [J]. *第四纪研究*, 1998, (4): 289-296 [Liu Tongsheng, Liu Jiaqi, Lü Houyuan. Progress in high-resolution paleoenvironment research from maar lake [J]. *Quaternary Sciences*, 1998, (4): 289-296]
- 张虎才, 李吉均, 马玉贞, 等. 腾格里沙漠南缘武威黄土沉积元素地球化学特征 [J]. *沉积学报*, 1997, 15(4): 152-158 [Zhang Hucai, Li Jijun, Ma Yuzhen, *et al.* A study on elemental geochemical characters of the Wuwei loess section in the south vicinity of Tengger Desert [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1997, 15(4): 152-158]
- Gallet S, Jahn B M, Torii M. Geochemical characterization of the Luochuan loess-paleosol sequence, China, and paleoclimatic implications [J]. *Chemical Geology*, 1996, 133: 67-78
- Bloemendal J, Liu Xiuming, Sun Youbin, *et al.* An assessment of magnetic and geochemical indicators of weathering and pedogenesis at two contrasting sites on the Chinese Loess plateau [J]. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 2008, 257(1-2): 152-168
- 黄俊华, 胡超涌, 周群峰, 等. 长江中上游和尚洞石笋的高分辨率同位素、微量元素记录及古气候研究 [J]. *沉积学报*, 2002, 20(3): 442-446 [Huang Junhua, Hu Chaoyong, Zhou Qunfeng, *et al.* Study on high-resolution carbon, oxygen isotope and trace element records and paleoclimate from Heshang Cave, the Middle Reach of the Yangtze River [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2002, 20(3): 442-446]
- Johnson K R, Hu Chaoyong, Belshaw N S, *et al.* Seasonal trace-element and stable-isotope variations in a Chinese speleothem: The potential for high-resolution paleomonsoon reconstruction [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2006, 244(1-2): 394-407
- Manalt F, Beck C, Disnar J R, *et al.* Evolution of clay mineral assemblages and organic matter in the late glacial-Holocene sedimentary infill of Lake Annecy (northwestern Alps): Paleoenvironmental implications [J]. *Journal of Paleolimnology*, 2001, 25(2): 179-192
- 陈敬安, 万国江, 陈振楼, 等. 洱海沉积物化学元素与古气候演化 [J]. *地球化学*, 1999, 28(6): 562-570 [Chen Jingan, Wan Guojiang, Chen Zhenlou, *et al.* Recent climatic change and its chemical records in lake Erhai [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 1999, 28(6): 562-570]
- Legrand M R, Lorius C, Barkov N I, *et al.* Vostok (Antarctica) ice core: Atmospheric chemistry changes over the last climatic cycle (160 000 years) [J]. *Atmospheric Environment*, 1988, 22(2): 317-331
- 朱立平, 王君波, 林晓, 等. 西藏纳木错深水湖芯反映的 8.4ka 以来气候环境变化 [J]. *第四纪研究*, 2007, 27(4): 588-597 [Zhu Liping, Wang Junbo, Lin Xiao, *et al.* Environmental changes reflected by core sediments since 8.4ka in Namco, central Tibet of China



- [J]. *Quaternary Sciences*, 2007, 27(4): 588-597]
- 16 罗超, 彭子成, 杨东, 等. 多元地球化学指标指示的 32~9 ka B. P. 罗布泊地区环境及其对全球变化的响应[J]. *地球化学*, 2008, 37(2): 139-148 [Luo Chao, Peng Zicheng, Yang Dong, *et al.* Paleoclimate of Lop Nur and the response to global change by geochemical elements multi-analysis [J]. *Geochimica*, 2008, 37(2): 139-148]
  - 17 Yancheva G, Nowaczyk N R, Mingram J, *et al.* Influence of the intertropical convergence zone on the East Asian monsoon[J]. *Nature*, 2007, 445: 74-77
  - 18 Davison W. Iron and manganese in lakes[J]. *Earth-Science Review*, 1993, 34(2): 119-163
  - 19 Wersin P, Höhener P, Giovanoli R, *et al.* Early diagenetic influence on iron transformations in a freshwater lake sediment [J]. *Chemical Geology*, 1991, 90(3-4): 233-252
  - 20 陈骏, 安芷生, 汪永进, 等. 最近 800 ka 洛川黄土剖面中 Rb/Sr 分布和古季风变迁[J]. *中国科学: D 辑*, 1998, 28(6): 498-504 [Chen Jun, An Zhisheng, Wang Yongjin, *et al.* Distribution of Rb and Sr in the Luochuan loess-paleosol sequence of China during the last 800 ka-Implications for paleomonsoon variations [J]. *Science in China: Series D*, 1999, 42(3): 225-232]
  - 21 Dasch E J. Strontium isotopes in weathering profile, deep sea sediments and sedimentary rocks[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1969, 33(12): 1521-1552
  - 22 Jin Zhangdong, Wang Sumin, Shen Ji, *et al.* Chemical weathering since the little ice age recorded in lake sediments: a high-resolution proxy of past climate [J]. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2001, 26(7): 775-782
  - 23 Wu Yanhong, Andreas Lücke, Jin Zhangdong, *et al.* Holocene climate development on the central Tibetan Plateau: A sedimentary record from Cuoe Lake [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2006, 234(2-4): 328-340
  - 24 Dean W E Jr. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: Comparison with other methods [J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1974, 44: 242-248
  - 25 Heiri O, Lotter A F, Lemcke G. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: Reproducibility and compatibility of results [J]. *Journal of Paleolimnology*, 2001, 25: 101-110
  - 26 张佳华, 孔昭宸, 杜乃秋. 烧矢量数值波动对北京地区过去气候和环境的特征响应[J]. *生态学报*, 1998, 18(4): 343-347 [Zhang Jiahua, Kong Zhaochen, Du Naiqiu. The response of loss-on-ignition range to past climate and environment in Beijing [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1998, 18(4): 343-347]
  - 27 王淑云, 吕厚远, 刘嘉麒, 等. 湖光岩玛珥湖高分辨率孢粉记录揭示的早全新世适宜期环境特征[J]. *科学通报*, 2007, 52(11): 1285-1291 [Wang Shuyun, Lü Houyuan, Liu Jiaqi, *et al.* The early Holocene optimum inferred from a high-resolution pollen record of Huguangyan Maar Lake in southern China [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2007, 52(20): 2829-2836]
  - 28 Wang Pinxian. Global monsoon in a geological perspective [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2009, 54(7): 1113-1136
  - 29 Moy C M, Seltzer G O, Rodbell D T, *et al.* Variability of El Niño/Southern Oscillation activity at millennial timescales during the Holocene epoch [J]. *Nature*, 2002, 420: 162-165
  - 30 Torrence C, Webster P J. Interdecadal changes in the ENSO-monsoon system [J]. *Journal of Climate*, 1999, 12: 2679-2690
  - 31 Broecker W S. Does the trigger for abrupt climate change reside in the ocean or in the atmosphere? [J]. *Science*, 2003, 300(5625): 1519-1522
  - 32 Bond G, Showers W, Cheseby M, *et al.* A pervasive millennial-scale cycle in north Atlantic Holocene and glacial climates [J]. *Science*, 1997, 278(5341): 1257-1266
  - 33 Bond G, Kromer B, Beer J, *et al.* Persistent solar influence on north Atlantic Holocene and glacial climates [J]. *Science*, 2001, 294(5549): 2130-2136

## The Holocene Climate Linkage between Low Latitude Area and North Atlantic: Case study on element and element ratios of Huguangyan Maar lake

WU Xu-dong<sup>1 2</sup> SHEN Ji<sup>1</sup> WANG Yong<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008;

2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

**Abstract** Future environment evolution is a great composition of global change research. High resolution paleoenvironment study can help us to understand the rules of past global change and provides scientific basis for forecasting future environment evolution. As a special type of crater lake, maar lake has unique advantages in forming and conserving high resolution geological record. Elementary assemblages of the lake sediment are not only affected by depositional environment, but also linked to geochemical property of the element. There is not straightforward connection be-



tween most of the elements and the environment variation due to the complexity of depositional environment and various changes after deposition. The combination of element and element ratios can magnify the response to climate change, thus weaken the effect of disturbing factors. The Huguangyan maar lake ( $21^{\circ}9'N$ ,  $110^{\circ}17'E$ ) is located 18 km southwest of Zhanjiang City, Guangdong province. In November, 2009, we sampled two parallel long cores using UWITEC platform and a piston corer in the western part of the Huguangyan maar lake where the water depth is 16.2 m ( $N 21^{\circ}08'38.28''$ ,  $E 110^{\circ}16'45.66''$ ). The drill core for this study is 855 cm long. The core was split along the axle wire before elementary analysis, elementary analysis is carried by X-ray fluorescence spectrometer at State Key Laboratory of Marine Geology of Tongji University, the measuring space is 1 cm. Age model is obtained through comparison with previous study. Fe/Mn ratios, Rb/Sr ratios, Sr intensities and 550°C loss on ignition (LOI) are good indicators of environmental change: Fe/Mn ratios can reflect water depth variation due to different sensibilities toward oxidation-reduction condition, Rb/Sr ratios can reflect weathering intensity within the drainage basin, 550°C loss on ignition (LOI) is an indicator of lake productivity, thus reflect the climate indirectly. Through high resolution investigation of above indicators, we reconstructed Holocene paleoenvironment evolution history of the Huguangyan area, paleoenvironment evolution at Huguangyan area since 11 000 cal a BP can be divided into four stages: stage I, 11 000 ~ 7 800 cal a BP, the climate was warm and wet; stage II, 7 800 ~ 5 600 cal a BP, the climate became cold and dry rapidly; stage III, 5 600 ~ 2 000 cal a BP, it was relative warm and wet, but not as warm as early Holocene; stage IV, 2 000 cal a BP as yet, the climate became dry gradually. The results show that early Holocene is the Holocene optimum, the climate became relatively dry since the mid Holocene. This pattern is consistent with pollen record also from Huguangyan maar lake and other records from low latitude area of the northern hemisphere, which indicates the global nature of the orbital forcing of the Holocene monsoon. There are affiliations and differences between cold events reflected by Huguangyan Maar lake sediment and North Atlantic ice-rafted debris, which suggests that climate shift at low latitude area has certain linkage with North Atlantic area. Low latitude processes, such as monsoon and ENSO, are influencing factors that affected Holocene evolution at Huguangyan area. Holocene paleoenvironment evolution at low latitude is the result of superposition of low latitude processes and high latitude processes, which makes the mechanism of climate change at low latitude area more complicated.

**Key words** element intensity and element ratios; the Holocene; North Atlantic; low latitude area