

可可西里苟仁错湖泊沉积物元素地球化学特征及其环境意义

吴艳宏, 李世杰, 夏威岚

(中国科学院 南京地理与湖泊研究所, 江苏 南京 210008)

[摘要] 湖泊沉积物元素地球化学特征及其比值, 有效地揭示了湖泊沉积物物源区的化学风化程度, 已成为反映古气候波动的有效指标。根据可可西里苟仁错湖泊沉积物的元素地球化学特征, 通过 CIA、ICV 等元素比值的结果, 揭示该地区 1400 AD 以来化学风化作用十分微弱, 因此湖泊沉积物元素组成, 对气候变化非常敏感。研究表明 1400 AD 以来该地区气候经历多次冷暖波动, 且呈干旱化的趋势, 1420 AD 左右进入小冰期, 其中 1480~1520 AD 最为寒冷, 1900 AD 后干旱化加剧。

[关键词] 元素; CIA; 化学风化; 小冰期; 苟仁错; 可可西里; 青海

[中图分类号] P534.63 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2004)03-0064-05

[作者简介] 吴艳宏(1969—), 男, 江苏靖江人, 副研究员, 博士, 现从事湖泊沉积与全球变化研究工作。

湖泊沉积物元素地球化学特征记录了区域地球化学风化和环境变化的历史、元素组合分布特征及其比值特征, 揭示了不同元素在环境演变过程中的地球化学行为。通过对沉积物中化学元素的分布特征、迁移、富集规律的研究, 可以探明元素的来源、物源区化学风化的强度、湖泊沉积物中的结晶规律, 为进一步探讨气候环境变化提供依据。

笔者根据可可西里地区苟仁错湖泊沉积物的元素地球化学特征, 探讨该地区小冰期以来的风化及环境变化特征。

1 研究区概况及样品采集

苟仁错又名苟鲁错, 位于青海省可可西里地区东部(34°36'N, 92°28'E), 苟鲁日旧山、唐日加旁山和桑恰山之间的山间拗陷盆地内。水位 4 666.0 m, 长 12.1 km, 最大宽 3.5 km, 平均宽 1.94 km, 面积 23.5 km², 集水面积 510 km², 补给系数 21.7, 主要依赖地表径流补给。湖水密度 1.07 g/mL³, 矿化度 33.72 mg/L, pH 值 8.4。据 1989 年 7 月和 1998 年 7 月调查, 苟仁错属于硫酸镁亚型咸水湖^{1,2)}。流域气候类型属

于高寒干旱半干旱草原气候, 年均气温-4℃~-6℃, 年均降水量 200~300 mm, 主要集中在每年 5~9 月^{1,4)}。水汽来源主要有两条途径, 一条是东路, 源自孟加拉湾, 另一条源自阿拉伯海³⁾。

1998 年 7 月在湖心用重力采样器采集沉积物柱状样, 深度 1 m, 样品保存于塑料管中, 带回实验室, 上部 50 cm 按 0.5 cm 间隔采样, 下部采样间隔为 1 cm。

2 实验方法

沉积物元素组成在日本东京都立大学(Tokyo Metropolitan University)利用 Rigaku3270X 衍射仪测定。沉积物²¹⁰Pb 和¹³⁷Cs 利用 EG & G Ortec 公司生产的高纯锗探测器(Ortec HPGe GWL)与 Ortec 919 型谱控制器构成的多道 γ 谱分析系统测定。碳酸盐含量在中国科学院南京土壤研究所利用化学方法测定。

3 实验结果

3.1 沉积年代序列的建立

对苟仁错沉积物¹³⁷Cs 分析表明,¹³⁷Cs 首次检出于 11.5 cm 处, 在 6.5 m 处出现第一次峰值, 根据¹³⁷

[收稿日期] 2003-09-28

[基金项目] 国家自然科学基金项目(40071001)

Cs 时标, 11.5 cm, 6.5 cm 处理论上对应于 1952 年 (AD) 和 1963 年 (AD)。将该孔顶部沉积时间定为 1997 年, 0~6.5 cm, 0~11.5 cm 对应于 ^{137}Cs 时标的平均沉积速率分别为 0.191 cm/a, 0.261 cm/a。

^{210}Pb 的检测结果根据 CIC 模式计算 0~6.5 cm, 0~11.5 cm 的平均沉积速率分别为 0.181 cm/a, 0.199 cm/a。同时根据 CRS 模式计算这两个沉积段的平均沉积速率分别为 0.171 cm/a, 0.169 cm/a。

小冰期是全球性的降温事件, 一般认为小冰期由 3 个明显的冷期组成, 最后一次冷期一般认为是 1840~1890 AD^[4,5]。小冰期内湿度的变化具有区域性, 综合分析表明 19 世纪青藏高原地区降水偏少, 尤其是 1850~1890 AD 年降水量比现在少 5%~10%^[6], 降水减少在湖泊沉积中最直接的表现是碳酸盐含量的增加。根据苟仁错碳酸盐含量变化, 将 19.5 cm 处碳酸盐含量突然降低假定为小冰期的结束, 据此推测平均沉积速率为 0.182 cm/a。

显然, 在同一深度 ^{137}Cs 所获沉积速率明显偏大, 且随深度增加, ^{137}Cs 所获沉积速率与 ^{210}Pb 所获沉积速率差别越大, 表明 Cs 元素在垂向上的迁移能力较 Pb 元素强, 其机理有待进一步探讨, 但可以肯定用 ^{137}Cs 时标建立苟仁错沉积年代序列会产生误差。根据小冰期结束时间推算的苟仁错沉积速率与 ^{210}Pb 结果较为接近, 而根据 CRS 模式计算的 6.5 cm, 11.5 cm 的沉积速率相差仅 0.002 cm/a, 因

此, 笔者以 ^{210}Pb 的 CRS 计算结果, 确定苟仁错平均沉积速率为 0.17 cm/a, 据此建立苟仁错沉积年代序列 (表 1)。

表 1 不同方法计算的苟仁错特定深度平均沉积速率
Table 1 Average sedimentation rate of Gourencuo Lake calculated using different method

时标 / AD	深度 / cm	^{137}Cs	^{210}Pb		根据小冰期
		平均沉积速率 / (cm·a ⁻¹)	CIC 沉积速率 / (cm·a ⁻¹)	CRS 沉积速率 / (cm·a ⁻¹)	推测沉积速率 / (cm·a ⁻¹)
1963	6.5	0.191	0.181	0.171	0.182
1952	11.5	0.261	0.199	0.169	

3.2 元素地球化学特征

1400 AD 以来苟仁错湖泊沉积物元素地球化学变化特征如图 1。 $w(\text{SiO}_2)$ 和 $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 变化不大, 平均值分别为 8.73%, 58.14%, 波动范围分别是 66.85%~7.98%, 46.24%~68.13%。 $w(\text{Na}_2\text{O}, \text{MgO}, \text{CaO}, \text{K}_2\text{O}, \text{Fe}_2\text{O}_3)$ 的波动幅度较大, 波动呈一定的阶段性, $w(\text{Na}_2\text{O})$ 含量在 20 世纪以来有显著增加, $w(\text{Na}_2\text{O}, \text{MgO})$ 在剖面顶部出现最高值并迅速回落, $w(\text{K}_2\text{O}, \text{Fe}_2\text{O}_3)$ 的最高值出现于剖面的底部。 $w(\text{P}_2\text{O}_5, \text{TiO}_2)$ 含量均较低, 平均含量分别为 0.03%, 0.19% 且波动频繁。 $w(\text{SO}_3)$ 即硫酸根含量在 20 世纪前变化不大, 20 世纪以来有所增加, 尤其是 1950 AD 后增加最为明显, 这与苟仁错的湖泊演化有关, 苟仁错已进入硫酸镁亚型湖泊阶段^[1,2], 大量的硫酸盐开始结晶并保存于沉积物中。

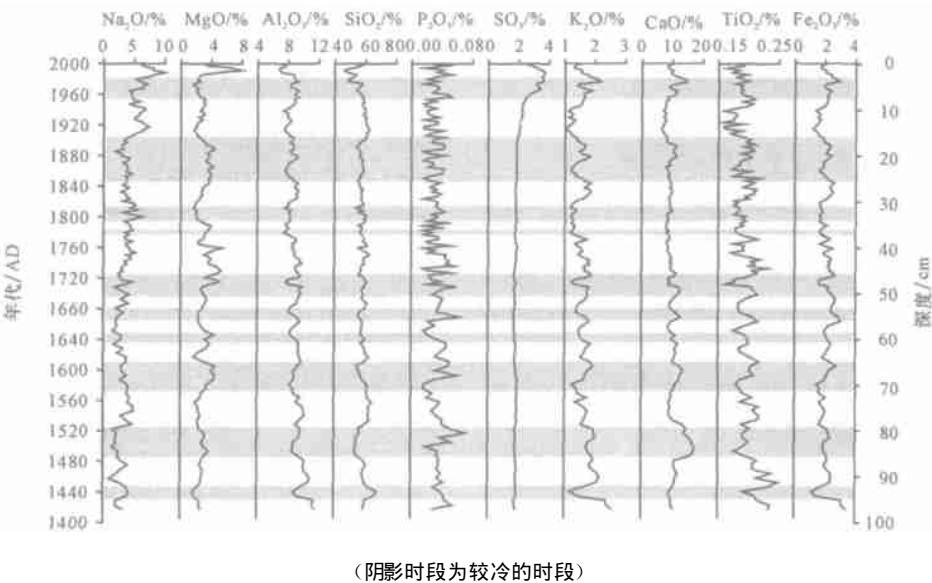


图 1 苟仁错沉积物元素地球化学分布特征

Fig. 1 Element composition of lake sediments from Gourencuo Lake

4 讨论

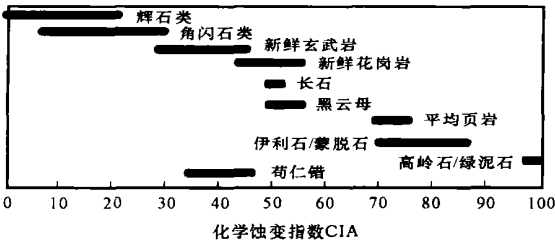
4.1 苟仁错地区的化学风化作用

苟仁错剖面沉积物元素地球化学特征, 记录了该地区化学风化作用的过程, 可以定性了解该地区相对化学风化的强度。H W. Nesbitt^[7] 等提出以化学蚀变指数 CIA 判别源区化学风化的强度, 其值表示为:

$$CIA = \frac{Al_2O_3}{Al_2O_3 + K_2O + Na_2O + CaO} \times 100,$$

式中: CaO^* 为沉积物中硅酸盐矿物的 CaO 含量。但在样品测试中包含了碳酸钙在内, 因此, Nesbitt 建议用一定的方法加以修正^[7], 在碳酸钙含量未知的情况下求取计算中所需的 CaO^* 。CIA 值排除了碳酸盐矿物的影响, 主要反映了硅酸盐矿物的风化, 能很好地反映物源区化学风化的情况。

根据上述公式计算, 苟仁错沉积物化学蚀变指数(CIA)值在 25.35~44.46 之间, 平均为 36.05, 相当于世界范围内新鲜玄武岩的 CIA 值^[7, 8], 仅略高于辉石类、角闪石类的 CIA 值, 表明苟仁错物源区的化学风化非常微弱(图 2), 处于初级风化阶段。



(新鲜岩石和矿物的 CIA 据文献[7, 8])

图 2 苟仁错湖泊沉积物与世界范围内其他岩石矿物 CIA 值比较

Fig. 2 Comparison of CIA of lake sediment from Gourenuo Lake with that of rock and minerals

CIA 值与长石风化成粘土矿物的程度成正比, 与风化强度成正比, CIA 值越大, 风化强度越大。沉积序列中矿物风化程度还可以用成分变异指数 ICV 来粗略估计^[9]:

$$ICV = \frac{Fe_2O_3 + K_2O + Na_2O + CaO + MgO + MnO + TiO_2}{Al_2O_3}$$

不同的矿物具有不同的 ICV 值区间, 非粘土矿物的 ICV 值高于粘土矿物, 辉石在 10~100 间, 角闪石约为 8, 钾长石为 0.8~1, 斜长石为 0.6, 白云母

和伊利石约为 0.3, 蒙脱石为 0.15~0.3, 高岭石仅为 0.03~0.05。苟仁错的 ICV 值在 1.7~4.4 之间, 平均值 2.395, 明显高于长石类和粘土矿物的 ICV 值, 进一步表明苟仁错地区的风化作用是非常微弱的。

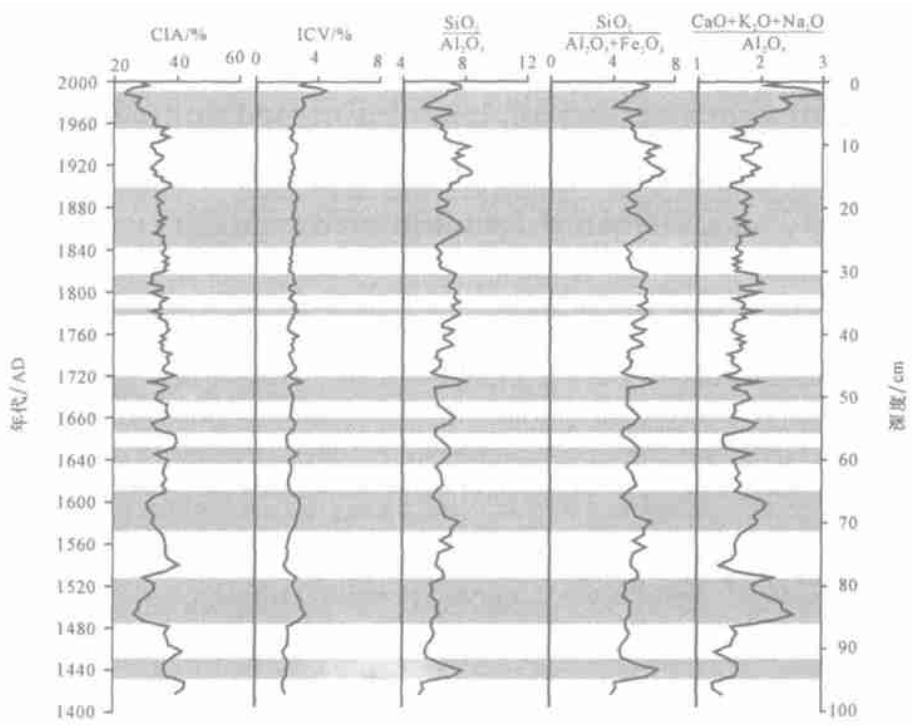
铝硅酸盐在风化作用下一般转变为粘土矿物, 如伊利石、蒙脱石和高岭石等, 只有在极端湿热的条件下, 如热带、亚热带湿润炎热的环境下, 粘土矿物才能进一步发生红土化作用, 使粘土矿物再分解, 硅、铝分离, 硅随水迁移, 而铝则在原地堆积形成风化最终产物为铝土矿。在可可西里地区这一条件显然达不到, 因此 Al_2O_3 分异度不明显。铁是受氧化还原作用影响比较大的元素, 还原条件下, 铁呈二价, 溶解并迁移, 在氧化环境中, 二价铁极易被氧化为三价铁发生淀积, 相应地湖泊沉积物中铁含量就会降低。因此湖泊沉积物硅铝率 $w(SiO_2)/w(Al_2O_3)$ 和硅铝铁率 $w(SiO_2)/w(Fe_2O_3 + Al_2O_3)$ 与风化强度呈正比。

$w(CaO + K_2O + Na_2O)/w(Al_2O_3)$ 反映了活动组分与惰性组分之间的关系, 与气候条件密切相关。湖泊沉积物中, 这一比值越高, 表明入湖的惰性组分越少, 源区的风化越弱, 水热条件差; 反之, 风化作用增强, 水热条件优越。

4.2 苟仁错地区 1400 AD 以来的气候变化

苟仁错湖泊沉积物元素地球化学特征, 很好地反映了该地区 1400 AD 以来风化作用的历史。由于该地区的化学风化作用十分微弱, 对气候条件的变化反映更为敏感。

苟仁错湖泊沉积物 CIA 变化曲线表明(图 3), 1420 AD 前风化作用是 1400 AD 以来最强的, 1420 AD 后风化作用减弱, 1480~1520 AD 间 CIA 值仅为 30 左右, 是风化作用最弱的时期之一, 1520 AD 后, 波动不大, 1950 AD 后风化作用再次减弱。整体上看, 1520 AD 后, 风化作用呈减弱的趋势。ICV 所反映的苟仁错地区 1400 AD 以来的风化序列与 CIA 值所反映的基本一至。 $w(SiO_2)/w(Al_2O_3)$, $w(SiO_2)/w(Fe_2O_3 + Al_2O_3)$ 和 $w(CaO + K_2O + Na_2O)/w(Al_2O_3)$ 都表明 1480~1520 AD 是风化作用最弱的时期, 此后, 三者波动变化, $w(CaO + K_2O + Na_2O)/w(Al_2O_3)$ 有明显波动下降的趋势, 1900 AD 后风化作用有所增强, 1950 AD 后迅速减弱, 至 20 世纪 80 年代后, 风化作用再次增强。



(阴影时段为较冷的时段)

图 3 苟仁错湖泊沉积物元素比值

Fig. 3 Element ratios of lake sediment from Gourenco Lake

这一风化序列表明: 1420 AD 前该地区偏温暖湿润, 1420 AD 后气候变冷, 风化作用减弱。国际上常把始于 1420 AD 左右的冷期称之为小冰期, 苟仁错的风化序列反映了这一时期该地区同样进入了小冰期。小冰期至 1900 AD 左右结束, 经历了 3 个冷波动较集中的时期, 分别为 1420~1520 AD, 1580~1720 AD, 1780~1900 AD, 其中最冷的时期应在 1480~1520 AD, 即第一个冷期(图 1, 图 3)。1900 AD 后气温回升, CIA 较高但 $w(\text{CaO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})/w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 也较高, 风化作用并未增强, 表明干旱化加剧。1950 AD 后再次变冷至 1980 AD 左右, 迅速升温, $w(\text{CaO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})/w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 迅速上升, 湖泊干旱化严重。

5 结论

苟仁错湖泊沉积物元素地球化学特征, 很好地反映了该地区 1400 AD 以来的风化作用强弱的演变过程。总体上讲, 该地区的化学风化作用非常微弱, 因此对气候变化的反应较为敏感。由湖泊沉积物元素地球化学所反映的该地区 1400 AD 以来的

化学风化序列, 有效地反映了气候变化的历程, 该地区 1420 AD 左右进入小冰期, 小冰期内有 3 个相对的冷期, 最冷的时期为 1480~1520 AD。

[参 考 文 献]

[1] 胡东生. 可可西里地区湖泊资源调查研究[J]. 干旱区地理, 1992, 15(3): 50~57.
[2] 王苏民, 窦鸿身. 湖泊志[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
[3] 林振耀, 吴祥定. 青藏高原水汽输送路径的探讨[J]. 地理研究, 1990, 9(3): 33~40
[4] 王绍武. 小冰期气候的研究[J]. 第四纪研究, 1995, (3): 202~212
[5] 王绍武, 叶瑾琳, 龚道溢. 中国小冰期的气候[J]. 第四纪研究, 1998, (1): 54~64.
[6] 王绍武, 蔡静宁, 慕巧珍, 等. 中国西部年降水量的气候变化[J]. 自然资源学报, 2002, 17(4): 415~422
[7] Nesbitt H W, Yong G M. Early proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites[J]. Nature, 1982, 299: 715~717
[8] Nesbitt H W, Wilson R E. Recent chemical weathering of basalts[J]. American Journal of Science, 1992, 292: 740~777.
[9] Cox R. The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the southwestern United States [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1995, 59: 2919~2940.

Element geochemistry of lake sediment from Gourenco Lake, Kekexili, Qinghai-Xizang plateau and its significance for climate variation

WU Yan-hong, LI Shi-jie, XIA Wei-lan

(*Nanjing Institute of Geography and Linnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China*)

Abstract: Element geochemistry of lake sediment has been widely used to detect climate change because that elements composition and their ratios reflect the weathering degree in the source area. According to the elements composition of lake sediment from Gourenco Lake, Kekexili, Qinghai-Xizang Plateau, CIA, ICV and other element ratios has been studied to understand the weathering sequence of this area since 1400AD. As the result, the weathering is very weak, so that the element composition change is more sensitive to climate change. The climate in this area fluctuated and tended to arid since 1400AD. The Little Ice Age began from 1420AD, and the coldest period was 1480~1520AD.

Key words: element; CIA; chemical weathering; Little Ice Age; Gourenco Lake; Qinghai

[英文审定: 杨家喜]

(上接第 63 页)

[参 考 文 献]

- [1] Microsoft Corporation . Win32 程序员参考大全 (二) [M] . 欣力, 等译. 北京: 清华大学出版社, 2001.
- [2] Charles A. Mirho, Andre Terrisse . Windows95 通信编程 [M] . 贺军, 等译. 北京: 清华大学出版社, 1997.
- [3] 周升峰. Visual C++ Windows 实用编程技术 [M] . 北京: 北京航空航天大学出版社, 1998.
- [4] Kate Gregory . Visual C++ 6 开发使用手册 [M] . 前导工作室译. 北京: 机械出版社, 1998.
- [5] 谭思亮, 邹超群, 等. Visual C++ 串口通信工程开发实例导航 [M] . 北京: 人民邮电出版社, 2003.

Implementing serial communications programs with the WIN 32 serial API

LI Ri-yun¹, WANG Lai-lu², LIU Hui-jiang³

(1. *School of Geological Engineering and Surveying Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China;*

2. *Land Reserve Center of Xi'an National Hitech Industrial Development Zone, Xi'an 710000, China;*

3. *Fifth Inc., Road Parent Company of Gansu Province, Lanzhou 730000, China*)

Abstract: In modern survey, it is a common problem to implement the serial communications programs. And the way to program a serial communication program under Windows platform is a basic problem in survey data processing. On the basis of experience, we studied the method using Win API communication function to implement the serial communication programs and analyzed the characters of multi-thread technologies. Finally, taking the ASHTECH GPS for example, we studied the related technologies.

Key words: Win32 serial API; serial communications; serial port; many-thread

[英文审定: 杨家喜]