

过去 2000 年藏南羊卓雍错岩芯主要元素 和磁化率变化数据集

郭超^{1*}, 马玉贞², 李金凤¹

1. 湖北文理学院资源环境与旅游学院, 襄阳 441053;
2. 北京师范大学地理科学学部, 北京 100875

摘要: 以俄式钻获得的青藏高原南部的羊卓雍错 50 cm 沉积岩芯为研究样本, 以 ^{210}Pb 和 AMS^{14}C 建立较可靠的年代序列, 通过 XRF 岩芯扫描分析获得高分辨率的元素地球化学和磁化率数据, 通过数理统计方法 (相关分析和主成分分析) 提取环境信息, 重建该地区过去 2000 年来的环境变化。该数据集包括岩芯上部 19 个的 ^{210}Pb 和中下部 2 个 AMS^{14}C 年代数据, 以及 0.5 cm 分辨率的元素和磁化率数据。结果表明, 过去 2000 年以来青藏高原南部基本存在冷湿—暖干的气候模式, 小冰期较为寒冷, 降水量较高, 气候湿润, 而中世纪暖期较为温暖, 降水量较低, 气候干旱。受温度和降水的共同影响, 过去两千年中后一个千年的湖泊水位整体比前一个千年高。数据集存储为.xlsx 格式, 数据量为 23 KB。

关键词: 青藏高原; 元素地球化学; 羊卓雍错; 气候变化

DOI: <https://doi.org/10.3974/geodp.2020.04.10>

数据可用性声明:

本文关联实体数据集已在《全球变化数据仓储电子杂志 (中英文)》出版, 可获取:
<https://doi.org/10.3974/geodb.2019.05.19.V1>.

1 前言

过去 2000 年气候变化作为认识全球变化区域响应的重要时段, 备受国内外学术界的高度重视, 其不仅有利于科学地认识当前气候变化的阶段性特征, 更重要的是为预测未来气候变化提供重要依据^[1]。《过去 2000 年藏南羊卓雍错岩芯主要元素和磁化率变化数据集》^[2]是一项反映高原南部地区过去 2000 年以来气候变化的量化成果。青藏高原处于北半球中低纬度地区, 受东亚季风、印度季风和西风共同影响^[3]。目前, 在青藏高原, 对过去 2000 年来气候变化的研究主要集中在青藏高原东北部^[4-6], 高原南部的气候记录相对较少。气候环境的变化具有很强的区域性特征, 不同区域因受到大气环流和局部地形等调整因素的影响也会产生显著的降水和湿度变化差异。因此, 由于青藏高原古气候变化记录空间分布的不均匀, 难以对季风和西风环流在某一特定时期的影响范围进行界定, 更不足以全面科学地认识和

收稿日期: 2020-02-22; 修订日期: 2020-10-28; 出版日期: 2020-12-24

基金项目: 中华人民共和国科学技术部 (2013CB956001); 国家自然科学基金 (41571186, 41330748)

*通讯作者: 郭超 AAF-6180-2019, 湖北文理学院资源环境与旅游学院, gc@mail.bnu.edu.cn

数据引用方式: [1] 郭超, 马玉贞, 李金凤. 过去 2000 年藏南羊卓雍错岩芯主要元素和磁化率变化数据集[J]. 全球变化数据学报, 2020, 4(4): 387-393. <https://doi.org/10.3974/geodp.2020.04.10>.

[2] 郭超, 马玉贞, 李金凤. 过去 2000 年藏南羊卓雍错岩芯主要元素和磁化率变化数据集[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2020. <https://doi.org/10.3974/geodb.2019.05.19.V1>.

理解青藏高原气候变化的空间规律和调控机制。元素和磁化率在地表过程中的物理和化学行为与气候和环境密切相关，可作为重建古气候、古环境的良好指标^[7]。旨在反映青藏高原南部地区过去 2000 年气候变化的数据集的建立，有利于重建该地区近 2000 年来的环境变化，分析其对全球气候变化的响应及可能存在的驱动机制，探讨高海拔地区的气候变化过程、时空差异及潜在原因。

2 数据集元数据简介

《过去 2000 年藏南羊卓雍错岩芯主要元素和磁化率变化数据集》的名称、作者、地理区域、数据年代、数据集组成、数据出版与共享服务平台、数据共享政策等信息见表 1。

表 1 《过去 2000 年藏南羊卓雍错岩芯主要元素和磁化率变化数据集》元数据简表

条 目	描 述
数据集名称	过去 2000 年藏南羊卓雍错岩芯主要元素和磁化率变化数据集
数据集短名	Elem&MS_YamzhogYumco_p2000
作者信息	郭超 AAF-6180-2019, 湖北文理学院资源环境与旅游学院, gc@mail.bnu.edu.cn 马玉贞 AAF-6498-2019, 北京师范大学地理科学学部, mayzh@bnu.edu.cn 李金凤, 湖北文理学院资源环境与旅游学院, 11650@hbuas.edu.cn
地理区域	青藏高原南部 数据年代 0–2000AD
数据格式	.xlsx 数据量 23 KB
数据集组成	过去 2000 年的年代、元素和磁化率序列数据
基金项目	中华人民共和国科学技术部 (2013CB956001); 国家自然科学基金 (41571186, 41330748)
出版与共享服务平台	全球变化科学研究数据出版系统 http://www.geodoi.ac.cn
地址	北京市朝阳区大屯路甲 11 号 100101, 中国科学院地理科学与资源研究所
数据共享政策	全球变化科学研究数据出版系统的“数据”包括元数据 (中英文)、通过《全球变化数据仓储电子杂志 (中英文)》发表的实体数据和通过《全球变化数据学报 (中英文)》发表的数据论文。其共享政策如下: (1)“数据”以最便利的方式通过互联网系统免费向全社会开放, 用户免费浏览、免费下载; (2)最终用户使用“数据”需要按照引用格式在参考文献或适当的位置标注数据来源; (3)增值服务用户或以任何形式散发和传播 (包括通过计算机服务器)“数据”的用户需要与《全球变化数据学报 (中英文)》编辑部签署书面协议, 获得许可; (4)摘取“数据”中的部分记录创作新数据的作者需要遵循 10% 引用原则, 即从本数据集中摘取的数据记录少于新数据集总记录量的 10%, 同时需要对摘取的数据记录标注数据来源 ^[8]
数据和论文检索系统	DOI, DCI, CSCD, WDS/ISC, GEOSS, China GEOSS, Crossref

3 数据研发方法

3.1 数据来源

数据集汇编所用资料来源于野外湖泊岩芯的钻取和室内实验数据分析。其中，湖泊岩芯采用俄式钻（内径 5 cm）钻取了 4 根 50 cm 长的平行岩芯，岩芯间距为 0.5–1.0 m，取芯率达 99% 以上，未出现扰动和污染。俄式钻采样示意图见图 1。元素和磁化率使用 X 射线荧光分析技术（X-Ray Fluorescence, XRF）进行测定，样品分辨率为 0.5 cm。根据野外观察和室内分析，岩芯可划分出 4 个沉积单元，从下而上依次为：单元 1（50–40 cm）：灰褐色粘土质粉砂层；单元 2（40–34 cm）：灰白色粉砂层；单元 3（34–13 cm）：灰褐色粘土质

粉砂层；单元 4（13–0 cm）：富含植物根系，由 3 个亚层组成，其中 13–7 cm 为灰色粉砂层，7–5 cm 为灰白色细砂层，5–0 cm 为灰白色中砂层（图 2）。

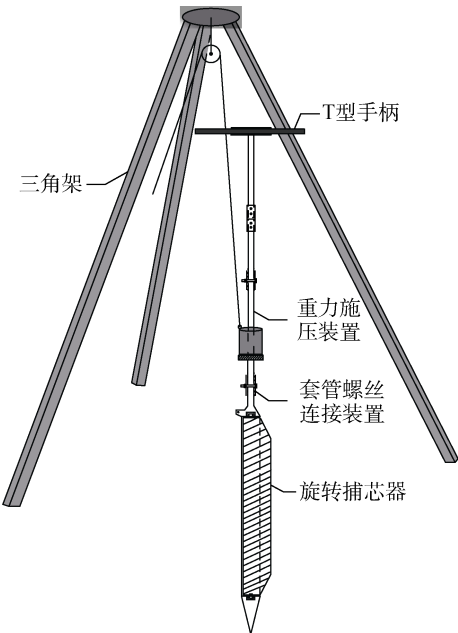


图 1 俄式钻采样示意图^[9]

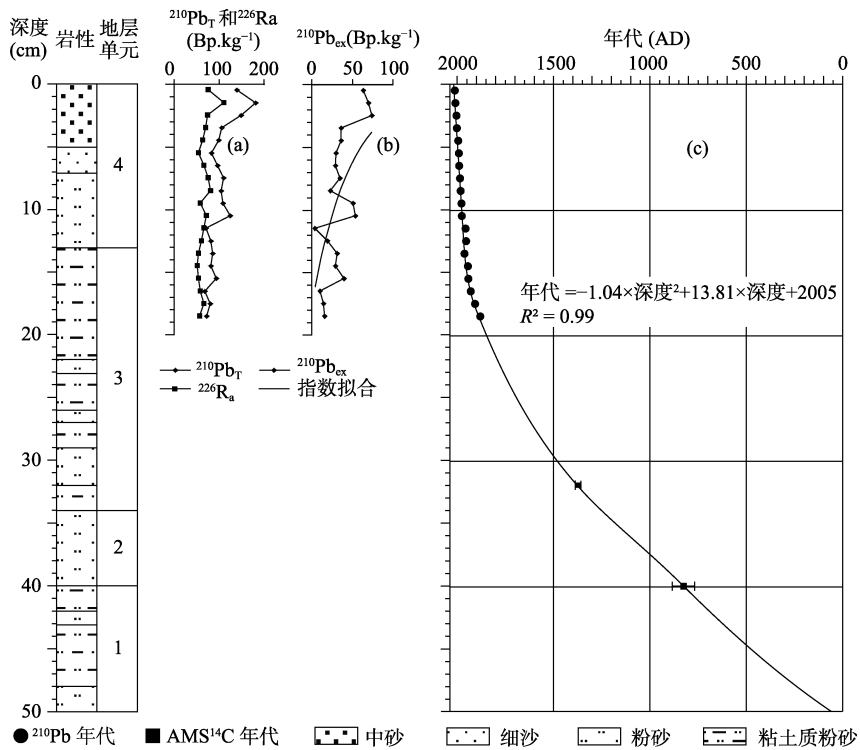


图 2 羊卓雍错岩芯的岩性和年代关系图^[10]

3.2 算法原理

数据集所用方法,是在参考前人关于不同代用指标环境解译的基础上,通过不同元素指标间的相关分析和主成分分析,对元素指标进行归纳分类,并确定其环境指代意义。具体方法如下:

3.2.1 相关分析

相关分析是一种应用广泛的统计方法,主要用于判别数据中任意两个变量的相关性。其目的是为了识别出各组指标的相似程度。元素的相关性受控于在表生环境中的地球化学行为,不同元素间的相关性分析有助于揭示元素间的伴生关系,进而判别各种元素的可能来源^[11]。沉积剖面中化学元素之间的相关性越高,相关系数越大。

3.2.2 主成分分析

主成分分析能够客观地描述控制沉积物元素组成的主要因子。它通过建立一个二维空间,依据每个变量在二维空间中的几何距离来判定该变量对不同组分的贡献率。最终,通过变量在空间载荷图上的分布,判别不同类群对环境因子的响应^[12]。数据集基于主成分分析提取出了羊卓雍错湖泊岩芯的主要元素指标。

4 数据结果与验证

4.1 数据集组成

数据集组成包括(1)羊卓雍错岩芯上部0–19 cm以1 cm间隔获得的 ^{210}Pb 数据;(2)岩芯32 cm和40 cm处获得的 AMS^{14}C 数据;(3)整个岩芯以0.5 cm分辨率获得化学元素和磁化率数据。

4.2 数据结果

4.2.1 高分辨率的年代序列

综合 ^{210}Pb 和 AMS^{14}C 定年,采用二元多项式回归模型建立了羊卓雍错岩芯的年龄-深度模式,据该模式外推至底部50 cm处的年龄约为100 AD,从而建立了羊卓雍错过去近2000年以来湖泊沉积的时间序列(图2)。通过测年可靠性检验和讨论,我们认为这个年代序列是可信的^[10]。

4.2.2 元素的相关分析

数据集中主要元素的相关性显示,主要元素之间存在3组明显的相关性:① Si、K和Ti;② Fe、Cu、Pb和Br;③ Ca和Sr。但是,元素Al、Y、Rb和Zn相关性特征不显著且具有明显的过渡性特征,因此不参与后文的讨论。

4.2.3 元素的主成分分析

数据集中主要元素的主成分分析显示,前3主成分的累积方差占总方差的82.9%,其中第一主成分的方差贡献率为47.3%,该成分中元素Si、K和Ti得分较高,表明对该成分的贡献较大;第二主成分的方差贡献率为23.8%,该成分中元素Br、Fe、Pb和Cu得分较高,表明对该成分的贡献较大;第三主成分的方差贡献率为11.9%,该主成分的贡献最大的是元素Ca和Sr(图3)。

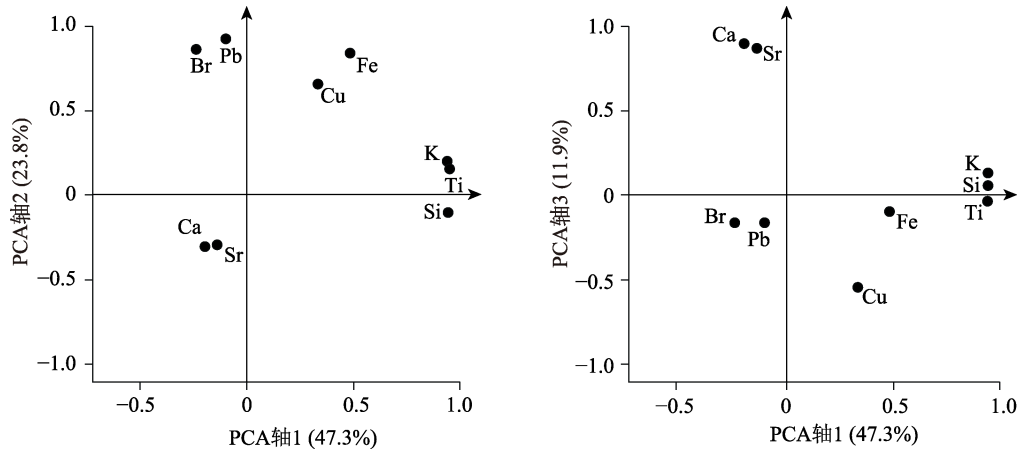


图 3 数据集元素的主成分分析结果图^[10]

数据集中主要化学元素的主成分分析结果和相关分析结果可以相互印证。通过对沉积环境的分析可以得出，主要的元素可以分为三个组分：

- (1) 外源碎屑组分 (Si, K 和 Ti 这些元素之间较强的相关性，表明它们可能来自共同的来源，即与陆源碎屑矿物的输入有关^[11]；
- (2) 金属元素组分 (Fe, Cu, Pb 和 Br)，这组元素一般用以指示流域氧化还原环境的变化^[13]，需要特别指出的，该组中 Br 的高值可能是因为其共同受温度的控制^[14]；
- (3) 内生碳酸盐组分，主要元素为 Ca 和 Sr。Ca 和 Sr 具有相似的化学性质，并且主要存在于碳酸盐中，湖泊沉积中 Ca 和 Sr 均与碳酸盐沉积有关，即 CaCO_3 沉积的同时伴有 SrCO_3 沉积^[15]。

4.2.4 过去 2000 年的环境重建

数据结果基于较可靠的年代序列，通过不同元素指标的相关性和主成分分析以及环境指代意义的解译分析^[10]。另外，磁化率作为指示流域降水变化的有效指标已被广泛讨论^[16]。最终，本文选择元素 Ti、Si、K 和磁化率指标重建羊卓雍错流域降水变化；元素 Br、Fe、Cu 和 Pb 强度指示温度变化；元素 Ca 和 Sr 强度和 Ca/Fe 值指示湖泊水位的变化。结果表明：过去 2000 年以来，青藏高原南部地区的温度和降水基本呈反相位的变化过程。例如，中世纪暖期（约 800–1200 AD），元素 Si, K, Ti 和磁化率处于较高水平，元素 Br, Fe, Cu 和 Pb 处于较低水平，表明降水稀少，但温度较高，气候干旱；而小冰期（约 1200–1900 AD），元素 Si, K, Ti 和磁化率明显上升，而 Br, Fe, Cu 和 Pb 急速下降，指示降水增加，但温度降低，气候相对湿润。另外，元素 Ca 和 Sr 的变化显示后一个千年的湖泊水位较前一个千年整体偏高，与温度降低和降水增加相呼应（图 4）。

4.3 数据结果验证

将羊卓雍错顶部岩芯元素强度与临近水文站现代仪器观测记录^[17]进行 Pearson 相关分析来验证数据结果的可靠性。如表 2 所示，Ti 和 K 的强度与年均降水的相关性较高，分别达到 0.69 和 0.79，且通过 0.01 水平置信区间双侧检验；元素 Br 和 Fe 强度与年均温度的相关性较高，分别达到 0.79 和 0.73，并通过 0.01 水平显著性检验；以及 Ca 元素强度与湖

泊水位也具有很好的相关性 ($R=0.75$ 和 0.01 水平置信区间)。因此,可认为,羊卓雍错岩芯元素的变化可以在一定程度上反映高原南部地区过去环境的变化特征。

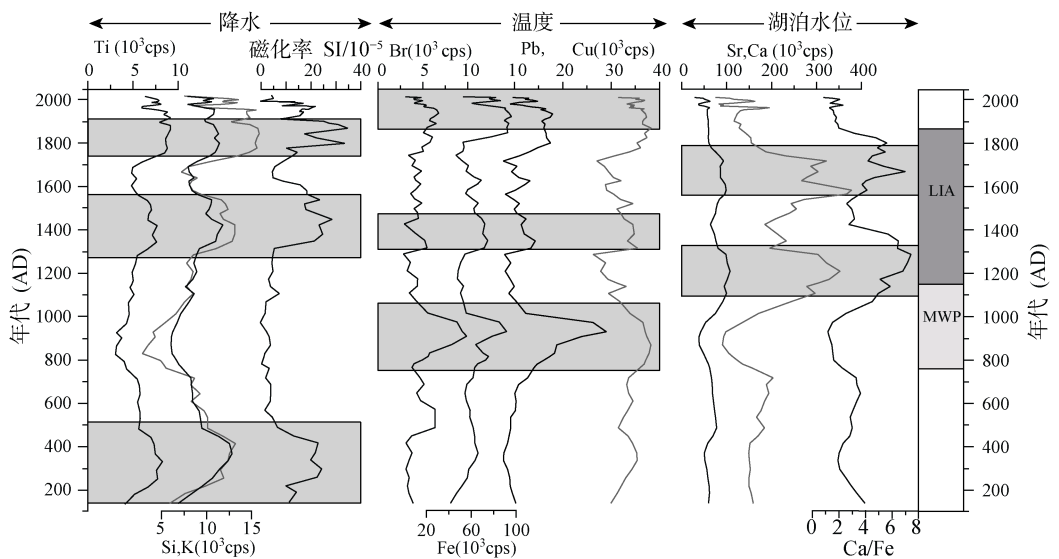


图 4 羊湖流域过去 2000 年以来环境(降水、温度、湖泊水位)重建关系图^[10]
(MWP: 中世纪暖期; LIA: 小冰期)

表 2 主要元素与现代气测资料的
Pearson 相关分析结果

元素	年均降水	年均温	湖泊水位
Ti	0.69**		
K	0.68**		
Br		0.79**	
Fe		0.73**	
Ca			0.75**

**在 0.01 水平(双侧)上显著相关

5 讨论和总结

青藏高原南部地处我国大陆的西南端,相较于高原北部地区,受到印度季风的影响更加强烈,气候变化的波动性和差异性也更加显著。论文利用高原南部的这一湖泊记录,以可靠的年代序列为框架,利用多种数理统计方法,基于主要元素和磁化率记录重建了过去 2000 年以来青藏高原南部高分辨率的环境变化特征。但数据结果难免存在一些不确定性,经可靠性分析认为,羊卓雍错岩芯元素和磁化率的变化可以在一定程度上反映过去环境的变化特征。本文结果可为探讨过去 2000 年青藏高原南部对全球气候变化的响应及可能存在的驱动机制,以及全面理解季风区高海拔地区的气候变化过程、时空差异及原因提供参考。

作者分工:马玉贞对数据集的开发做了总体设计;郭超采集和处理了数据、设计了模型和算法、做了数据验证;李金凤参与撰写了数据论文。

参考文献

[1] Anderson, D. M., Overpeck, J. T., Gupta, A. K. Increase in the Asian Southwest Monsoon during the past

- four centuries [J]. *Science*, 2002, 297(5581): 596–599.
- [2] 郭超, 马玉贞. 过去 2000 年藏南羊卓雍错岩芯主要元素和磁化率变化数据集[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2019. <https://doi.org/10.3974/geodb.2019.05.19.V1>.
- [3] Wang, Y., Liu, X., Herzschuh, U. Asynchronous evolution of the Indian and East Asian Summer Monsoon indicated by Holocene moisture patterns in monsoonal central Asia [J]. *Earth-Science Reviews*, 2010, 103(3): 135–153.
- [4] 强明瑞, 陈发虎, 张家武等. 2ka 来苏干湖沉积碳酸盐稳定同位素记录的气候变化[J]. 科学通报, 2005, 50(13): 1385–1393.
- [5] Liu, Z., Henderson, A. C. G., Huang, Y. Alkenone-based reconstruction of Late-Holocene surface temperature and salinity changes in Lake Qinghai, China [J]. *Geophysical Research Letters*, 2006, 33(13): 370–386.
- [6] Liu, X., Dong, H., Yang, X., *et al.* Late Holocene forcing of the Asian winter and summer monsoon as evidenced by proxy records from the northern Qinghai-Tibetan Plateau [J]. *Earth & Planetary Science Letters*, 2009, 280(1/4): 276–284.
- [7] Weltje, G. J., Tjallingii, R. Calibration of XRF core scanners for quantitative geochemical logging of sediment cores: Theory and application [J]. *Earth & Planetary Science Letters*, 2008, 274(3/4): 423–438.
- [8] 全球变化科学研究数据出版系统. 全球变化科学研究数据共享政策[OL]. <https://doi.org/10.3974/dp.policy>. 2014.05 (2017 年更新).
- [9] 马玉贞, 郭超, 蒙红卫等. 一种用于不同水深湖泊沉积物的湖芯采样装置[P]. 中国专利: ZL 201310194186.4.
- [10] 郭超, 蒙红卫, 马玉贞等. 藏南羊卓雍错沉积物元素地球化学记录的过去 2000 年环境变化[J]. 地理学报, 2019, 74(7): 1345–1362.
- [11] Kylander, M. E., Ampel, L., Wohlfarth, B., *et al.* High-resolution X-ray fluorescence core scanning analysis of Les Echets (France) sedimentary sequence: new insights from chemical proxies [J]. *Journal of Quaternary Science*, 2011, 26(1): 109–117.
- [12] Wold, S., Esbensen, K., Geladi, P. Principal component analysis [J]. *Chemometrics & Intelligent Laboratory Systems*, 1987, 2: 37–52.
- [13] Morellón, M., Valero-Garcés, B., Vegas-Vilarrúbia, T., *et al.* Lateglacial and Holocene palaeohydrology in the western Mediterranean region: The Lake Estanya record (NE Spain) [J]. *Quaternary Science Reviews*, 2009, 28(25): 2582–2599.
- [14] Ziegler, M., Jilbert, T., De Lange, G. J., *et al.* Bromine counts from XRF scanning as an estimate of the marine organic carbon content of sediment cores [J]. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 2008, 9(5): 303–307.
- [15] Jin, Z., Cao, J., Wu, J., *et al.* A Rb/Sr record of catchment weathering response to Holocene climate change in Inner Mongolia [J]. *Earth Surface Processes & Landforms*, 2006, 31(3): 285–291.
- [16] Dearing, J. A. Holocene Environmental Change from Magnetic Proxies in Lake Sediments [M]. //Quaternary Climates, Environments and Magnetism, Maher, B. A., Thompson, R. (eds.). Cambridge: Cambridge University Press, 1999: 231–278.
- [17] 除多, 普穷, 旺堆等. 1974–2009 年西藏羊卓雍错湖泊水位变化分析[J]. 山地学报, 2012, 30(2): 239–247.