古里雅冰芯中小冰期以来的气候变化记录

章新平**

(湖南师范大学资源与环境学系,长沙,410081)

姚檀栋 施维林 李忠勤

(中国科学院兰州冰川冻土研究所,兰州,73000)

摘 要 依据年代模型恢复了以 ³⁸0 和积累量作为替代指标的冰芯中自小冰期以来的温度 和降水量序列,以及冰雪中的化学成分序列.所有这些资料都不同程度揭示了青藏高原环境演化 过程的事实.尤其是对重要气候事件的解释上,上述指标都以其特有的形式和特点给出了可靠的 证据.

关键词 青藏高原;古里雅;冰芯;气候变化 中图分类号 P343.6 文献标识码 A

Record of Climate Change Since Little Ice Age in the Ice Core of the Guliya Ice Cap

Zhang Xinping

(Department of Resource and Environment, Hunan Normal University, Changsha, 410081)

Yao Tandong Shi Weilin Li Zhongqin

(Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, Academia Sinica of Science, Lanzhou, 730000)

Abstract This paper resumes the δ^{8} O, accumulation rate and chemical composition series in the ice core of the Guliya ice cap, according to the dating model. All of the data reveal the facts on environmental evolution of Qinghai-Tibet plateau to a certain degree.

Key words Qinghai-Tibet plateau; Guliya; ice core; climate change

古里雅冰帽位于青藏高原西北边缘西昆仑山东端,面积 376.1 km²,最高点海拔 6 667 m. 是亚洲中部已发现的最大冰帽.它的良好外部环境提供了冰芯研究的理想场地.1990~1992 年,由中美双方科学家联合对该冰帽进行综合考察,相继获得 309 m 和 83.73 m 两根深孔冰芯 和一批浅孔冰芯.本文根据已有的实验室分析测试结果,揭示贮存于冰芯中的环境气候信息.

^{*} 国家自然科学基金资助项目

^{**} 收稿日期,1998-09-21 第一作者: 章新平 男 42岁 博士 教授 (C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www

1 冰芯年代的恢复

古里雅冰芯断代是根据野外宏观污化层序列的描述来建立冰芯污化层层间厚度和深度的 关系.分析表明,所得到的层间厚度与深度的关系适用于 Bolzan 一级模型^[1].拟合的结果给出 时间尺度 T 与深度v 的关系:

 $T(y) = 541.05[(1 - y/323)^{-2.369} - 1]$ (1) 据上述模型得到的结果再用污化层的时间序列进行校验.在对每 100 年进行的校验中,小冰期 以来的最大绝对误差只有 4 a, 不到 1%. 模型结果还与 δ^{18} O 时间序列进行了比较.如从冰芯顶 部至 10 m 深处,按 δ^{8} O 峰值计数共 40 个年层,按模型计算在同深度处有 41 个年层,误差在 2.5%以内.相对而言,污化层方法更直观,易判断.本文时间模型最后以污化层方法建立.

2 冰芯中温度和降水序列的重建

2.1 温度序列的重建



图 1 古里雅冰芯中小冰期以来的 8¹⁸O 随时间的变化 上图为 8¹⁸O 的逐年变化;下图为 8¹⁸O 10 a 平均值的 11 点滑动平均

 $(C青藏高原大气降水中 \delta^{s}O.与温度具有很好的对应关系.因此,冰芯中 \delta^{s}O.作为温度的替.//w$

代指标是可信的^[2].运用前述的时间模型将 ^{3/8}O 随深度的变化转换成随时间的变化,然后对 ^{3/8}O 序列求 10 a 平均,在此基础上再作 11 点滑动平均(图 1).

由图 1 可以看出: 16 世纪末至 17 世纪初, 气候由暖变冷, 于 17 世纪中达到寒冷的鼎盛 期; 18 世纪初, 气温迅速回升. 然后虽有多次小冷期扰动, 但温暖气候一直是 18 世纪的主要气 候特征; 19 世纪初, 气温急剧下降, 于 1820 年左右达到古里雅冰芯中的最寒冷期. 这种趋势一 直持续到 20 世纪初. 来自浅孔冰芯中的 ³⁸0 记录显示(图 2), 50 年代末至 60 年代初为一暖 期. 此后相对降温期的最低点在 1969 年. 冰芯中一个重要特征是 80 年代的升温. 这次升温是 50 年来最强烈的一次, 比较发现, 这次升温标志我国西部气候变暖时间早于东部^[3].



图 2 古里雅冰芯中本世纪40年代以来的 №0 随时间的变化 上图为 №0 的逐年变化;下图为 №0 10 a的 11 点滑动平均

2.2 降水量序列的重建

降水指标——冰川物质积累量在冰芯中恢复的基础是年层厚度的变化.鉴于年层层间距 离随冰川厚度而变化,我们利用下列公式进行校正^[4]:

 $\lambda_0 = \lambda_i / (1 - y / H)^{3.369}$

(2)

式中 λ_i , λ_0 分别为第*i* 层年层厚度和校正后的年层厚度;*y* 为第*i* 层冰到底部的距离;*H* 为冰 川厚度.上述单位均为冰当量.如同对 δ^{8} O 序列的处理方法,对逐年积累量求 10 a 均值并进行 11 点滑动平均(图 3).由图 3 可以看出,17 世纪是一个降水偏少期,平均降水量不足 200 mm, 它对应 δ^{8} O 的低值期;18 世纪降水量增加,并有若干明显的多降水时段.该阶段与 δ^{8} O 指示 的暖期相对应;整个 19 世纪是降水偏少期.除 1830 年左右外,平均降水量徘徊在 180 mm.该 阶段与 δ^{8} O 的又一个冷期相伴;进入 20 世纪,降水量急增,平均降水已超过 18 世纪.与此同 时,该时期的, δ^{8}_{0} O,也急剧增大. δ^{8}_{0} O 与积累量之间良好的对应关系(相关系数达 0.87.),在唐 古拉山冰芯中亦有记载^[5].



图 3 古里雅冰芯中小冰期以来积累量随时间的变化 上图为积累量的逐年变化;下图为积累量 10a 平均值的 11 总滑动平均

青藏高原的降水主要集中在下半年.其水汽主要源自孟加拉湾、阿拉伯海和局地蒸发.气候变暖时,海面、陆面蒸发加强,夏季风向北扩展,高原降水量增加,气候变冷时,海面、陆面蒸发减弱,夏季风向北扩展受到抑制,水汽输送减弱,高原降水量减少.

3 冰芯中的化学成分

根据时间模型恢复的冰芯中 K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺离子序列, 其变化幅度是很大的. 每隔 一定时间, 都有极强事件出现. 总体上, 离子的浓度自小冰期(以 17 世纪为中心)向现在和向更 老时期逐渐减弱, 但每种离子所记录极强事件的时间并非完全一致(表 1). 有些极强事件是四 种离子同时表现出来. 如 1991, 1627, 1595 和 1582 年. 有些极强事件只在某些离子中表现出 来. 如 Na⁺与 Ca²⁺在 1973 年, Na⁺与 Mg²⁺在 1700 年和 1848 年同时出现.

在古里雅冰芯中,虽然从小冰期寒冷期到 20 世纪暖期,基本阳离子的浓度逐渐减小,并伴 有明显的阶段性,然而这并不意味着冷期时离子的浓度高,暖期时低.分析表明,离子浓度的峰 值往往出现在由暖变冷和由冷变暖的过渡期.Ca²⁺的变化略有不同.这一结果说明,在冷暖交 替过渡期都是环境的不稳定期.它以浮尘、尘暴、沙暴事件出现的频率和强度剧增为特征.

化学元素的空间变化特征是反映物质来源的一个重要指标.沿古里雅冰帽边缘向顶部的

9 m 剖面进行系统采样.其结果,冰雪中阳离子含量的顺序 $Ca^{2+} > Na^{2+} > Mg^{2+} > K^+$,与它们 在地壳中含量的大小顺序相似,而与其在海水中的顺序不同,离子变化的总趋势从冰帽顶部向 冰帽边缘浓度急剧增加.这一证据意味着古里雅冰帽主要阳离子受陆源物质的控制^[6].

表1 古里雅冰芯中4种阳离子自小冰期以来在不同气候期的平均浓度(×10⁻⁶mol/L)

(带 Δ 号)以及所反映的极强环境事件的离子浓度(\times 10⁻⁶ mol/L)和出现年份

气候期	阳离子												
	K ⁺			N a ⁺			Ca ²⁺			${ m Mg^{2+}}$			
暖期 (1911~1992)	141^{Δ}			469 ^Δ			1038^{Δ}			166^{Δ}			
	286 (1991)	440 (1956)	503 (1917)	714 (1991)	754 (1973)	1 202 (1949)	894 (1991)	1 386 (1973)	2 260 (1934)	246 (1991)	460 (1969)	319 (1940)	403 (1912)
冷期 (1801~1910)	142^{Δ}			496^{Δ}			$1 970^{\Delta}$			174^{Δ}			
	664 (1884	664971(1884)(1846)		15 601 14 456 (1900) (1848)		4 054 (1861)			418 (1900)		4 (18	436 (1848)	
暖期 (1691~1800)	146^{Δ}			520^{Δ}			$1 892^{\Delta}$			175^{Δ}			
				1 851 (1700)			4 191 (1795)			563 (1700)			
冷期 (1620~1690)	183^{Δ}			589 ^Δ			$1 500^{\Delta}$			188^{Δ}			
	1 130 (1672)			9 853 (1627)			102 367 (1627)			2 692 (1627)			
	3 345 (1595	5	456 1582)	1 844 (1595	i	2 913 1582)	3 523 (1595	3 (5) (5 719 1582)	5: (15	37 97)	7: (15	36 (82)

对古里雅浅孔冰芯化学成分的分析显示,K⁺,Na⁺,Ca²⁺,Mg²⁺,Cl⁻,SO²⁻,NO³⁻含量居 全球偏远地区之首.春季(2~5月)的化学物质浓度平均高于其它季节4~8倍.对于古里雅冰 川而言,阿拉伯一中亚沙漠是一个可能的物质源.除此之外,根据对冰芯中尘埃物质粒径的分 析以及高粉尘出现的季节,可以认为,青藏高原以及周围的黄土高原也是古里雅冰芯中的一个 重要物质源.人类活动所产生的污染对古里雅大气环境的影响十分微弱.

参考文献

- 1 J F Bolzan. Ice flow at the Dome C ice divide based on a deep temperature profile. J G R 1985, 90(D5): 8111 ~ 8134
- 2 章新平, 施雅风, 姚檀栋. 青藏高原东北部降水中 ⁸⁸0 的变化特征. 中国科学(B), 1995, 25(5): 540~547
- 3 姚檀栋, 谢自楚, 武筱令等. 敦德冰帽中的小冰期气候记录. 中国科学(B), 1990. 20(11): 1196~1201
- 4 C F Raymond. Deformation in the vicinity of ice divides. J G laciol, 1983, 29(103): 357 ~ 377
- 5 姚檀栋, 蒲健辰, 刘景寿. 唐古拉冰芯气候学研究. 青藏高原冰川气候与环境, 北京: 科学出版社, 1993
- 6 李月芳,姚檀栋,呈翠兰.古里雅冰帽中化学成分的空间变化.冰川冻土,1993,15(3):467~473