

## \* 成果与应用 \*

## 高亚洲浅冰芯与气候环境变化研究

姚檀栋\*

(兰州冰川冻土研究所 兰州 730000)

**关键词** 青藏高原, 冰芯, 气候环境

冰川是气候变化的产物,同时也是气候变化敏感的指示器和记录器。通过冰川所记录的气候环境参数的变化和现代冰川变化,检测过去、监测现代、预测未来气候与环境的变化,是目前国际上一个多学科交叉性前沿研究领域。冰芯,是研究冰川所记录的气候环境变化的最好载体。

以青藏高原为主体的高亚洲区域是气候环境变化的敏感区,这里广泛发育着现代冰川。从空间变化和时间变化两个方面开展冰雪特别是冰芯研究,提供分辨率高、可靠性好、信息量大的气候环境变化记录,可为全球变化研究作出贡献。

80 年代末以前,冰芯研究主要集中在南极冰盖和格陵兰冰盖。与南、北极冰芯研究热潮相辉映,以地球“第三极”——青藏高原为代表的山地冰川冰芯研究正在成为国际上冰芯研究的另一热点,并被列为今后一段时间内的攻坚目标,对青藏高原的冰芯研究将很快进入高潮。在高潮期到来之前,中国应利用独特的自然资源优势,捷足先登,不失时机地在青藏高原开展大规模的冰芯研究,以保持我国在山地冰芯研究领域的优势,对中华民族的科学事业做出贡献。

与南北极冰芯研究比较,青藏高原冰芯研究具有如下主要特点:

(1)以冰芯研究为中心,首次进行了与之相关的稳定同位素、冰雪化学、冰川变化、冰面气候等方面的综合研究。通过综合研究,从多个侧面逼近寒区气候环境变化这一主题。

(2)无论是在北极、南极还是其它山地冰川,已进行过的研究,一个项目都只限于在一个地点钻取冰芯。而青藏高原冰芯研究却同时在大范围内不同点钻取冰芯进行研究,使研究结果有很好的空间代表性,也使各冰芯的时间序列在互相校正后,更具可靠性。

青藏高原浅冰芯与气候环境变化研究主要集中在以下科学问题:

(1)通过对青藏高原北部不同地区降水中氧同位素比率值( $\delta^{18}\text{O}$ )的研究,揭示该地区降水中稳定同位素的分布特征及其与温度和降水的关系。

• 兰州冰川冻土研究所研究员  
收稿日期:1998 年 1 月 12 日

(2)通过冰芯中  $\delta^{18}\text{O}$  和冰川积累的分析研究,准确地推测过去温度和降水变化。

(3)通过对大气降水和冰面、雪坑样品的分析研究,从冰雪化学的角度揭示环境的空间变化特征。

(4)通过对不同地区冰川发育条件的研究,揭示冰川对气候变化的影响,提出用冰面融化耗热与蒸发耗热之比(ME)作为大陆性冰川与海洋性冰川划分的新指标。

(5)通过对冰川物质平衡和冰川变化的研究,建立冰川与气候变化的关系,揭示青藏高原气候变化趋势。特别是通过建立现代冰川物质平衡与冰川积累的定量关系,利用过去冰川积累量的变化,推测过去物质平衡变化。

(6)通过对冰芯中各种化学元素变化的研究,准确地推测过去大气成分和环境变化。

(7)通过对不同地区冰雪融水补给河流中水化学的研究,建立水文过程与冰川变化和环境变化的关系。

经过 10 多年的研究,青藏高原浅冰芯和气候环境变化研究取得了重要成果,主要表现在:

(1)根据对青藏高原冰圈、大气圈、水圈相互作用现代过程的研究,提出青藏高原上冰圈、大气圈、水圈组成一个相互影响、相互依存的特殊复合体。这一特殊复合体的存在既与高原本身的特点密切相关,也与水汽输送特征密切相关。在这三圈的相互作用中,大气圈处于主导地位,其它两圈随着大气圈变化而变化,并通过其变化过程反作用于大气圈。依据大气作用过程的不同方式,可将高亚洲冰川分为融化型、融化蒸发过渡型和蒸发型。

(2)根据对青藏高原不同区域大气降水、雪坑样品的  $\delta^{18}\text{O}$ 、化学元素等分析研究,提出青藏高原南北部的大气成分和水汽来源有重大差异。青藏高原北部大气降水中的  $\delta^{18}\text{O}$  值和大气化学成分含量都大于青藏高原南部地区,唐古拉地区是  $\delta^{18}\text{O}$  和大气化学成分含量由南到北突变的分界线。青藏高原北部和南部地区降水中的  $\delta^{18}\text{O}$  具有不同的气候意义:在北部地区,  $\delta^{18}\text{O}$  变化主要反映温度变化;在南部地区,  $\delta^{18}\text{O}$  变化主要反映降水变化。

(3)通过对敦德冰芯的研究,全面揭示了小冰期、过去 5 千年和过去 10 千年以来的气候特征。研究发现,小冰期中有过 3 次冷期和 3 次暖期,最冷期出现在 17 世纪。从敦德冰芯温度记录与上海冬温记录的比较发现,中国东、西部气候变化具有时间上的差异性,总的趋势是西部的变暖、变冷早于东部。关于过去 5 千年的气候变化,研究发现,距今 3 千年左右是过去 5 千年气候变化的一个重要界限。3 千年以前,温度以上升为主要趋势,并在 3 千年左右达到最暖。3 千年以后,温度明显下降,在 1 千年左右达到最冷。而后又逐渐变暖,目前已接近全新世最暖期。敦德冰芯中的全新世记录可分为早、中、晚三个阶段。阶段之间以一次显著的高温事件为界,两次高温事件分别出现在距今 8.4 千—8.5 千年和 2.9 千—3 千年;前者  $\delta^{18}\text{O}$  值高至 -9.96‰,超过全新世平均值(-10.9‰)约 1‰,相当温度差 1.6℃左右,而后者温度差为 1.4℃左右。

(4)通过对古里雅冰帽的研究,发现了海拔最高(6 700m)、厚度最大(309m)、冰温最低(10m 深处冰温为 -19℃)和记录最长(可达 70 万年)的冰芯记录。古里雅冰帽冰温同北极格陵兰冰盖南部和南极半岛冰帽的冰温接近。在冰帽的最厚处底部冰温仍为负温,冰和冰床冻结一起,属于极地型冰帽,是迄今所发现的极地以外最理想的冰芯研究地点。通过对古里雅冰芯分析,得到了极好的能反映年变化和长期变化的气候环境信息序列,详细地恢复了过去 2 千年以

来的气候环境变化,发现过去 2 千年中最寒冷的时期是公元初和公元 11—12 世纪,而不是公元 16—19 世纪的小冰期。从古里雅冰芯研究中获得了青藏高原过去 2 千年以来的逐渐升温过程和近几十年来明显的增温趋势气候变化记录。经与唐古拉和敦德冰芯记录结果比较,发现青藏高原升温幅度大于周围地区,而青藏高原本身升温幅度也有差异,以古里雅冰帽地区幅度变化最大。

(5)通过对化学成分的分析研究,揭示了青藏高原地区大气尘埃变化的空间特征:青藏高原以北,大气尘埃增加;青藏高原以南,大气尘埃减少;地理分界线是唐古拉山。研究还发现,青藏高原的大气尘埃与气候变化有密切关系:气候变冷,大气中尘埃增加;气候变暖,大气中尘埃减少,过去 2 千年以来,大气尘埃随气候的逐渐变暖而减少。

(6)根据对唐古拉冰芯雪层学和表面特征的研究,首次发现中国境内有“巴芬式”冰川存在。整个冰川纯粹由渗浸-冻结带组成,冰面无粒雪。修正了过去人们一直认为典型的“巴芬式冰川”只分布在加拿大北部的观点。

(7)阐明了几个关键时段的气候变化基本规律:

①全新世大暖期。青藏高原北部的全新世可分为早、中、晚三个阶段。早全新世为不稳定温暖期;中全新世为稳定温暖期;晚全新世在变冷之前又有一次明显暖期。

②过去 2 千年。根据冰芯记录,青藏高原过去 2 千年以来温度在波动中逐渐升高,降水在波动中逐渐增大。现在处于过去 2 千年以来的最暖期和多降水期。

③小冰期。青藏高原的小冰期可分为三个寒冷期和三个温暖期,但不同地区冷暖变化期的位相和冷暖变化幅度是不同的。

④根据不同地区、不同来源资料的分析,提出整个高亚洲地区近年来有明显的气候变暖趋势,并提出在中亚内陆地区,变暖趋势伴随着变干趋势。这一趋势对本地区未来水资源变化有重大影响。

这项研究从空间变化和时间变化两个方面开展了系统的冰雪气候环境变化研究,取得了国内外关注的研究成果,开拓了高亚洲冰川气候环境与全球变化研究的新领域,进一步提高了我国冰川学研究的水平,确立了青藏高原冰芯研究的国际地位。这次研究的主要创新点有:

(1)提出在青藏高原小冰期气候并不是过去 2 千年来最冷的,整个青藏高原的气候变化早于中国东部。

(2)首次提出青藏高原大气降水中的  $\delta^{18}\text{O}$  受不同水汽来源影响,具有南北不同的特征。在南部, $\delta^{18}\text{O}$  主要受降水量变化的影响;在北部,主要受温度变化的影响。建立了青藏高原北部大气降水中  $\delta^{18}\text{O}$  与温度的定量模型:温度变化  $1^\circ\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$  变化  $0.6\text{‰}$ 。

(3)首次提出以唐古拉山为界,青藏高原南、北部大气尘埃含量有重大差异:唐古拉山以南,大气含尘量低;唐古拉山以北,大气含尘量高。并发现大气尘埃与气候变化有着密切关系:气候变冷,大气尘埃增加;气候变暖,大气尘埃减少。

(4)准确地推测了全新世大暖期、过去 2 千年和小冰期几个特征时段青藏高原气候环境变化。

(5)明确提出高亚洲地区的气候在向变暖方向发展,本世纪初期以来,特别是 80 年代中期以来迅速变暖。

该研究成果获中国科学院 1997 年度自然科学奖一等奖。