

* 学科发展 *

冰芯研究与全球变化

姚檀栋

(兰州冰川冻土研究所 兰州 730000)

摘要 文章简要叙述了冰芯作为过去全球变化研究的一种重要手段,可以揭示过去气候环境变化的许多重要信息和已取得的研究成果,并对冰芯研究的未来趋势作了展望。

关键词 冰芯,研究,全球变化,成果,趋势

1 冰芯在全球变化研究中的地位与作用

人类在利用、改造自然界的同时,也给自己所生存的环境带来了严重危机,如温室气体增加与全球变暖、臭氧层破坏、森林锐减和物种灭绝、土壤肥力下降和土地荒漠化、淡水资源短缺等。全球变化研究就是国际科学界针对人类生存环境遭受的危害而提出的重大科学研究课题。

地球大气圈、水圈、岩石圈、生物圈和冰冻圈在太阳与地球内能这两个主要自然驱动力的作用下,通过物理、化学和生物学过程的相互作用,构成了一个具有有机联系的整体——“地球系统”。近代人类的工农业生产活动,对于气候、环境的影响已不再是局部的、区域性的,而是全球性的。因而人类活动已成为“地球系统”发展、演化的第三促动因素。

研究全球变化的根本目标是要预测人类未来的生存环境。只有了解过去,认识现在,才能预测未来。目前人类的生存环境是自然过程和人为过程综合影响的结果,因而人们要提高对于未来生存环境变化的预测能力,就必须充分认识不同时空尺度自然过程和人为过程对环境变化的影响程度,并从宏观表现出的环境变化中区分自然过程和人为过程影响的相对重要性。

冰芯不仅记录着过去气候环境自然变化的信息,而且记录着过去人类活动对于气候环境的影响,因而在过去全球变化研究中具有重要的地位。与历史记录、树木年轮、湖泊沉积、珊瑚沉积、沉积岩、黄土、孢粉、深海岩芯以及古土壤等可提取过去气候环境变化信息的介质相比,冰芯不仅保真性强(低温环境)、包含的信息量大(温度、降水、大气化学成份、火山喷发、植被状况、海平面变化、太阳活动、地磁场等),而且分辨率高(年)、时间尺度长(可达几十万年),因而在过去全球变化研究中,冰芯研究是一个极为重要的领域。

2 冰芯中可获取的过去气候环境信息

冰芯研究作为一门年轻的边缘学科,只是在本世纪 50 年代才兴起的,在短短的几十年内

已取得了长足的进展,其研究成果引起了地球科学界的极大关注。这里首先将目前人们已经认识到的并可以从冰芯中提取的一些过去主要气候环境信息作一介绍。

2.1 气温

冰芯中揭示过去气温变化的主要指标是氢、氧同位素比率。大气中的水汽从根本上说来自于海洋。而当水汽从海面上蒸发时,重分子水不易蒸发,因而造成海洋上空水汽中的重分子含量相对于海洋水为少,其减少量与温度有关。当大洋上空水汽随气流向内陆上空移动并产生降水时,重分子水先凝结,因而越向内陆地区,大气降水中的氢、氧同位素比率逐渐降低。在中低纬度沿海地区,降水中的氢、氧同位素比率主要与降水量有关。在极地及大陆内部地区某一具体地点,一般来说不同季节、不同时期降水中氢、氧同位素比率的大小变化,主要与降水时的气温密切相关。研究表明,在格陵兰地区温度每下降 1°C ,冰雪中氧同位素比率值平均降低 0.70‰ ;在南极地区,温度每下降 1°C ,氧同位素比率值降低 0.75‰ ;在青藏高原北部,温度每下降 1°C ,氧同位素比率值降低约 0.65‰ 。根据冰芯中氢、氧同位素比率的测定结果,并结合氢氧同位素比率与气温之间的关系,就可以反映出过去的气温变化历史。另外,由于冰面温度的变化会影响冰晶的生长,因此也可以通过冰晶随冰芯深度方向的变化来揭示古气温的变化。

2.2 降水

冰芯研究中,作为降水指标的是冰川净积累速率。该信息的提取范围主要限于冰芯上部可以进行年层划分的时段。极地地区净积累速率记录可达14 500多年。冰芯中年层的划分主要依据氧同位素比率、化学成份、微粒等的季节变化特征来确定。同时,还要依据冰体的流变性质,对所取得的不同深度的年层厚度加以恢复,以获得其在冰面时的净积累速率。

2.3 大气成分及其含量变化

最初降至冰川表面的雪花之间存在空隙,这些空隙中充满了空气。随着雪层密实化过程以及粒雪—冰转换过程的发生,粒雪中原来与外界大气连通的空隙转变成成为冰中孤立的气泡,并把当时大气中的各种气体成分保存下来。目前在人类所发现的所有可以提取古气候环境信息的介质中,唯有冰芯可以提供过去大气成分及其含量变化的完整信息。

2.4 大气气溶胶

大气气溶胶通过干、湿两种沉积机制沉积在冰川表面,随着时间的推移,便记录在冰层之内。冰川(冰盖)的低温环境,为环境信息贮存创造了良好条件,因此气溶胶在沉积之后的次生变化极为微弱。通过分析测试冰芯中的化学成份及微粒含量,不但可以揭示过去大气气溶胶的变化历史,还可以反映地球沙漠演化及大气环流强度的变化。

2.5 生物地球化学循环

冰川的低温环境限制了微生物的生存与发展,有利于有机物质的保存。C、N、S和P等生源元素(参与生物体运动和发生作用的主要元素称为生源元素),在生物地球化学循环过程的不同阶段以不同的物质出现。冰芯中记录的与生物地球化学循环有关的物质,大多是生物新陈代谢的产物、有机物分解的产物及其在大气中转化之后的物质。而生物的新陈代谢速率、有机物质的分解速率与温度、降水等环境因素有关。因此,对于冰芯中有机物质、有机酸(如甲基磺酸、甲酸和乙酸等)和与之有关的无机酸的分析,不仅可以揭示不同时期生物地球化学循环过程,而且可以获得过去气候和环境变化的信息。

2.6 火山活动

火山喷发出的火山灰及气体,随着大气环流传输到冰川(盖)上空,并通过干、湿沉积过程,降至冰面而记录下来。冰芯记录的火山活动信息主要通过对火山灰的鉴别及强酸(主要是硫酸根)信号的分析获得。

2.7 宇宙射线强度、太阳活动和地磁场强度

大气中 N、O、Ar 等在宇宙射线作用下,不断地产生放射性同位素,如 ^3H 、 ^{10}Be 、 ^{14}C 、 ^{26}Al 、 ^{36}Cl 和 ^{129}I 等。这些放射性同位素会与大气中其它成分之间发生反应或结合,并产生不同的指示效果。 ^3H 在空气中被氧化成 ^3HHO ,并与水蒸汽混合。 ^{14}C 转化成为 $^{14}\text{CO}_2$,并与不活跃的 CO_2 气体混合。这样, ^3H 和 ^{14}C 分别成为水和碳循环的示踪剂。 ^{10}Be 、 ^{14}C 、 ^{26}Al 、 ^{36}Cl 和 ^{129}I 附着在气溶胶上,与气溶胶一起沉积在冰面上,并记录下来。目前,主要开展了冰芯内 ^{10}Be 浓度变化的研究,据此揭示了宇宙射线强度、太阳活动和地磁场强度的变化。另外,一些研究表明,通过对冰芯中 NO_3^- 浓度变化的测定分析,也可揭示太阳活动的历史。

2.8 超新星爆炸

银河系超新星爆炸时可以产生 X 射线,它可以使地球平流层产生相当数量的 NO。而 NO 是冰芯中 NO_3^- 的主要物质来源之一,因此大气中 NO 的大量产生会使冰芯记录当中的 NO_3^- 浓度出现极峰值。因而通过分析冰芯中出现的强 NO_3^- 峰值信号,可以揭示冰芯记录时段内超新星爆炸的信息。目前,对这一问题还存在争议。

2.9 生物活动与植被演化

生活于陆地和海洋中的各种生物,他们与土壤、水体和大气之间不断地进行着物质交换,并向大气中排放有机物质。这些有机物质(包括其在大气中分解或氧化的产物)通过大气环流被带到冰川上空,或沉降于冰表面,或封闭在气泡中,最终形成冰芯记录。然而,由于不同种类的生物向大气中排放的有机物质种类不同,并且其排放速率也会随气候及环境条件的变化而变化,因此,通过分析冰芯中各种痕量有机气体、有机物质和花粉等就可以揭示不同时期生物活动的强弱程度和植被演化。

上面仅述及了一些目前人们可以从冰芯中提取的过去主要气候—环境信息。随着冰芯研究程度的深入,随着各种高新分析测试技术在冰芯研究中的应用,人类一定会从冰芯中挖掘出许多现在还想象不到的新信息。

3 冰芯研究所取得的一些重要成果

3.1 辨别出了米兰科维奇循环

米兰科维奇循环不仅已从南极 16 万年的冰芯记录中和格陵兰 20 多万年的冰芯记录中得到证实,而且也从青藏高原古里雅冰芯末次间冰期以来的记录中得到证实。“三极”地区(南极、北极和青藏高原)冰芯记录的对比发现,米兰科维奇循环在青藏高原冰芯记录中表现得尤为明显。“三极”地区长时间尺度的冰芯记录还发现,不论是在冰期还是在间冰期,气候环境并不是稳定不变的,而是存在高频振动。

3.2 揭示了不同时间尺度的气候环境突变

“三极”地区长时间尺度的冰芯记录表明,地球气候环境存在着不同时间尺度的突变。突变不仅发生于冰期—间冰期的转换时期,而且也发生于冰期和间冰期之内。

3.3 “揭示了大气尘埃荷载的变化

微粒含量的分析结果表明,不论是南、北极冰芯,还是青藏高原冰芯,末次冰期冰芯中微粒

含量均比全新世冰芯中的微粒含量高。整个末次冰期冰芯中微粒含量是现代冰芯微粒含量的 8 倍以上,最高可达 20—30 倍。冰芯中微粒含量及粒径分布的变化为我们提供了源区(沙漠地区)演化、大气环流强度变化等多方面过去的信息。

3.4 揭示了大气温室气体的变化

南极冰芯已成功地恢复了 16 万年以来地球大气中 CO_2 和 CH_4 含量的连续变化。一个振奋人心的发现是在过去冰期和间冰期的交替中, CO_2 含量的变化与气候变化是同步的。然而,人们目前还不能断定是气候变化引起大气中 CO_2 的变化,还是大气 CO_2 的变化导致气候的变化。冰芯记录还表明,16 万年以来大气中 CH_4 含量的变化与 CO_2 含量的变化是平行的,即 CO_2 含量增加时, CH_4 含量也增加;反之亦然。

3.5 揭示了宇宙成因的同位素含量的变化

从南、北两极冰芯中,已建立了末次冰期以来 ^{10}Be 浓度变化的记录。研究发现,格陵兰冰芯中 ^{10}Be 浓度的变化和树木年轮中 ^{14}C 的变化,在过去 4 000 年中呈现出惊人的相似性,而且冰芯中 ^{10}Be 浓度高的时期与太阳宁静期一致,如蒙德极小期(公元 1640—1710 年)格陵兰冰芯中较高的 ^{10}Be 浓度反映了太阳磁性屏蔽宇宙射线能力的降低。南极洲 ^{10}Be 和同位素记录表现出长期趋势的相关性。

3.6 揭示了人类活动的影响

南极地区冰芯研究表明,200 年前大气中 CO_2 、 CH_4 的含量分别为 280ppm 和 700ppb,现在已分别达到 350ppm 和 1 670ppb。全球温室气体的迅速增加与人类对于矿石燃料的消耗有着直接的关系。极地冰芯化学分析结果表明,近 100 多年来由于人类工业化的发展已使冰雪中的 SO_4^{2-} 和 NO_3^- 含量明显增加,同时本世纪 50 年代以来 Pb 含量在北极冰雪中也有明显增加,南极冰雪中 Pb 含量增加程度较弱。

4 冰芯研究的未来趋势

随着人们认识程度的提高,冰芯高新测试设备的发展和应用,未来冰芯研究的主要趋势:

(1)在极地和低中纬度地区钻取更长时间尺度的深孔冰芯,与之相伴的是发展和应用新的测年技术,估计冰芯记录时间尺度将会超过 50 万年。

(2)随着不同纬度和地区冰芯的钻取与分析,其结果不仅能对全球大气环流模式的计算结果进行检验,而且将建立起一个全球冰芯气候模式。

(3)由于所有在大气中循环的物质都会记录在冰芯中,因而冰芯分析的任何一个参数都至少载有一个地球系统过程的信息。而地球系统中的物理、化学和生物学过程不仅与地球系统自身有关,还与太阳系、银河系中发生的事件和过程有关。因此冰芯研究的内容将越来越丰富,涉及的学科将越来越多。冰芯记录的解释不仅涉及冰川学,而且涉及气象学、气候学、大气化学、大气物理、地球化学、地球物理、生物学、生物化学、天体物理、天体化学和核物理等。

(4)从冰芯记录中区分自然过程和人为过程对于气候环境影响的相对重要性。冰芯研究已将人们关于地球过去气候环境变化的认识大大地向前推进了一步。然而随着更长时间尺度的深孔冰芯的钻取和冰芯记录信息的进一步挖掘,无疑会使人类对于自己生存环境的变迁获得一个全新的概念。