

文章编号: 1001-8166(2005)02-0216-07

极地冰芯不溶性微粒研究进展*

韦丽佳^{1,2}, 李院生¹, 谭德军¹, 周丽娅^{1,2}, 闫明¹,
胡凯², 温家洪¹, 孙波¹, 刘雷保¹

(1. 中国极地研究中心, 上海 200129; 2. 南京大学地球科学系, 江苏 南京 210093)

摘要: 极地冰芯包含了大气循环的各种信息, 微粒作为其中一个重要的参数, 在揭示古环境和古气候信息中起着很重要的作用。冰芯中微粒的含量变化可用于年层的划分, 矿物和粒径特征可以用于源区以及大气本底值的研究。另外, 微粒记录中还包含了火山、沙尘暴以及人类活动等特殊事件的信息。在过去的 50 年间, 在几大冰芯研究的基础上, 极地冰芯微粒的分析工作已取得了很大的成果。近年来, 得益于测试水平的迅速提高, 微粒研究工作有了长足进展。展望未来, 人们将会开拓更新的研究领域。

关键词: 微粒; 冰芯; 气溶胶; 极地
中图分类号: P59 **文献标识码:** A

1 研究历史

由于极地地理的特殊性, 冰芯记录可作为一个独立的气候环境参数, 用于获取过去大气、海洋、陆地的气候和环境演化的信息。其研究对象除了雪冰物质外, 还包括尘埃、痕量金属、有机化合物、化学离子、放射性物质、气体等。1954 年, Bader^[1] 首先提出了在极地冰川冰中钻取连续冰芯进行科学研究。半个世纪以来, 人们对其中储存的物质如气溶胶微粒、火山尘埃、各种酸性物质、各种固体和可溶性微粒物质、放射性物质、稳定同位素、自然和人为的各种大气气体、农药、各种工业性化学物质和微量物质进行了大量的研究。微粒研究作为极地冰芯研究的一个部分, 主要集中于揭示古气候, 尤其是与全球变化相关的信息。1959 年, Marshall^[2] 从 Byrd 冰芯的微粒研究中首先发现, 微粒含量存在着有规律的循环变化, 他认为这些循环变化可能是由冰芯中的年层变化引起的。Thompson^[3] 在对伯德冰川 (Byrd)

冰芯和 Camp Century 冰芯进行对比研究时, 进一步阐明了微粒含量不但具有季节性循环变化, 而且与 ¹⁸O 具有很好的对应关系: 高微粒含量对应低 ¹⁸O 值, 低微粒含量对应高 ¹⁸O 值。目前, 对微粒的研究主要集中在微粒含量变化、粒径特征以及矿物特征分析上。这些参数, 可以反映出微粒在一系列过程中所受环境变化的影响。已经取得的成果包括利用不溶微粒断代法进行冰芯定年、分析微粒含量的变化来提取微粒周期性和季节性时间变化特征及微粒含量与源区距离有相反相关性的空间变化特征^[3-6]、分析微粒粒径与矿物特征确定微粒源区、与 ¹⁸O 比较获得了微粒与气温的相关性^[5]。另外, 利用不溶微粒还可以对火山活动、气溶胶^[7]、外星物质和人类活动^[8] 等方面进行研究。

2 微粒分析技术的发展

雪冰中微粒含量的稀少决定了其在采样和分析

* 收稿日期: 2003-08-26; 修回日期: 2004-05-17.

* 基金项目: 国家自然科学基金项目“东南极冰盖雪气冰界面化学迁移、物质通量与气候记录”(编号: 49973006); 科技部科技基础性工作专项“南极地区地球环境监测与关键过程研究——东南极雪冰现代过程研究、埃默里冰架变化及其底部过程监测”(编号: 2001DA50040)资助。

作者简介: 韦丽佳 (1979-), 女, 福建省厦门市人, 硕士研究生, 主要从事冰川化学、微粒的研究。E-mail: weilijia@tom.com

通讯作者: 李院生 (1956-), 男, 内蒙古包头市人, 研究员, 主要从事冰川化学、微粒的研究。E-mail: yshli@sh163e.sta.net.cn

上的困难。其中,主要存在两方面的问题。首先,能直接分析雪样中微粒的分析仪器及分析方法极其有限;其次,在样品采集、处理及分析过程中极易引入污染。现在,从采样到分析测定的每一个操作步骤可能引起的污染已被充分认识,并得到一定控制。微粒分析时,需要在 100 级的洁净工作台上进行,并要求测量所用的容器和试剂的空白本底值必须控制在一个低的范围内。

微粒的分析测量方法主要有以下 4 类:

(1) 对于单个微粒的测量,可以通过采用光学显微镜和电子探针显微镜与 XEDS(X 射线能量色散系统)的元素分析结合,这是一种常规的微粒分析方法,但这种方法所分析的微粒粒径应限制在 $>5 \mu\text{m}$ 的范围。

(2) 利用库尔特微粒分析仪进行微粒数量的统计,这种技术通过监测浸于电解质溶液中小孔管两侧的 2 个电极之间的电流,测量其中悬浮微粒的数目和粒度。其所测量的粒径范围为 $0.4 \sim 1200 \mu\text{m}$,是现在进行微粒分析所采取的主要技术。利用这类技术进行微粒分析时,需要在样品融化后立即加入一定浓度的电解质以增加其导电性,充分均匀混合,用超声波除去气泡后,立即进行试验分析。液体中的悬浮颗粒在外力作用下流经小孔,改变电极间的电阻并产生与微粒粒径、数量相关的短时电脉冲,累积若干通道中的这些数值便可取得微粒分布曲线。

(3) 采集大量雪样,并在现场融化,用高速离心机分离获得微粒样品,再利用 XRD 技术、热电离质谱以及显微镜等进行矿物学、同位素及微粒粒度上的分析^[9]。

(4) 收集冰芯中的火山玻璃及其它喷发碎屑物等大颗粒微粒进行分析。高能量火山喷发中,火山灰的较细粒子部分扩散到全球范围,在南极冰盖内陆雪冰中沉积下来。在极地内陆的冰芯中,可以明显看到在野外采集这种相对较大的微粒物质,如火山玻璃。然后在电子显微镜下进行组分、结构等的观察及源区的比对^[10]。此外,还可以采取将火山灰富集起来制成固体,之后采用扫描电镜和电子探针进行测量分析的方法。这种对冰芯中所记录的喷发性碎屑的研究可以推算当时火山喷发的强度及其它特点^[11,12]。

性微粒分析确定冰芯时间序列的研究,对于大部分冰芯的上部来说都可以用不溶性微粒进行断代,尤其是从极地冰芯、雪坑雪层剖面中鉴别出来的火山碎屑,在冰芯断代和相关分析方面获得了极大的成功。利用微粒进行冰芯的定年工作是基于微粒的季节周期特征。Hamilton 等在对格陵兰世纪营地的 700 年冰芯进行研究时发现,不溶性微粒含量变化与氧同位素变化存在极好的对应关系。在 Vostok 的冰芯中,不溶性微粒和氧同位素也呈现出很好的反相关(图 1)。极地冰盖中,大量的不溶性微粒半径在 $0.1 \sim 0.2 \mu\text{m}$ 的范围内。利用微粒计数器测得微粒含量和粒径分布,可以对冰芯进行年层的划

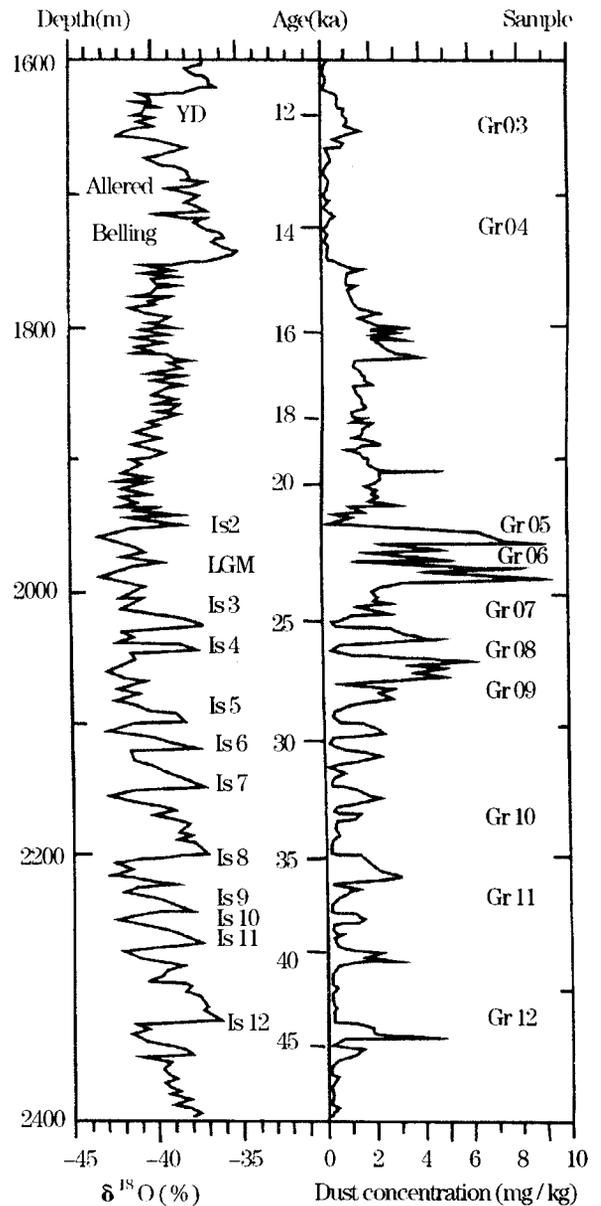


图 1 GRIP 中 ^{18}O 和不溶性微粒的比较

Fig 1 Comparison of ^{18}O and insoluble particle in GRIP

3 研究进展

3.1 冰芯中不溶性微粒断代研究

目前,在格陵兰、南极冰盖都进行了用冰芯不溶

分。根据不溶微粒高分辨定年的方法有 2 种:一种是从上至下直接数出整个冰芯不溶性微粒含量的峰数,这种方法目前并不十分有效;另一种是根据冰芯某段中不溶性微粒含量的峰数计算出该段的年积累量 a ,然后把 a 应用到该冰芯的其他未知段来计算年龄值。这种方法的优势在于可以用于现场测量,而且其分辨率可进一步提高到几毫米。作为一种地层学的测年方法,微粒测年的优势在于:冰层变薄时,微粒扩散过程较小;易于现场测量。对于浅冰芯,微粒含量的年层划分工作较为准确,可以精确到年;对于深层冰芯,精确测年则需要结合氧同位素等进行。

尽管极地各个站点由于不同的地理条件导致气候条件的差异,表现出的季节性的峰值不同,但总体来说,微粒含量具有较好的周期性和季节性。微粒含量在长期的记录里表现为暖湿期浓度低、冷干期浓度高,这在冰期与间冰期冰芯的微粒含量记录上尤为明显。众多的研究表明,末次冰期的微粒含量明显高于全新世。在短期记录里,微粒含量表现出季节性的波动。南极冰芯中春秋季节的微粒含量较高,而格陵兰岛的世纪营地的微粒峰值则出现在晚冬到早春的降雪中。

一些观点认为,冰的节理会在一定程度上限制测年工作^[13],利用交叉定年结合不溶微粒断代方法可提高测年精度。另外,冰芯中微粒含量突变的标志层也可作为冰芯定年的根据。火山爆发、尘暴、沙暴,都会使冰芯中的微粒含量突增,具体表现在各个粒径范围的微粒均有所增加,因此,可以结合气候记录,作为标志层指示年份。但是,冰芯中的火山参考层并没有被广泛运用,原因为:在火山层被用于测年目的之前,有必要建立一个不依赖于任何火山信号主导解释的时间尺度(用季节变化);过去火山喷发的资料有限,除非有详细历史纪录,火山喷发测年还不很精确。

3.2 微粒的源区指示

在微粒源区的确定上,主要利用矿物特征和微粒粒径分析两方面。以往极地雪冰中微粒矿物成分分析结果指出:微粒中的高岭石是低纬尘源区的指标;绿泥石粘土则相反,是高纬尘源区的指标。根据微粒粒径分布分析微粒的源区时,可将微粒分为粗、中、细 3 级,制成相关矩阵,求得不同粒径范围内微粒的线性相关系数。与总微粒组成比例等参数结合比较,即可分析微粒源区的远近。一般来讲,中、细微粒起源于以中远距离为主的微粒源区,粗微粒则

来自于当地或距离较近的源区。此外,冰芯中的火山玻璃尽管在微粒中比例很小,但它也是鉴定潜在源区的指标。测定火山碎屑中的同位素组成比例,结合源区特征进行比对,即可推测出其来源。

3.3 微粒的环境信息

微粒的含量与矿物特征分析对恢复研究区过去气候变化,重建过去气候是一个有用的工具。根据 Camp Century 及 Byrd 两深冰孔的比较发现,微粒含量的分布与 ^{18}O 的分布曲线在千年的尺度上对应较好,高微粒含量发生在氧同位素负值最大的地方,二者表现的气温变化较一致^[14]。由于冰芯中的微粒是沉积时期大气成分的反映,受到干湿状况和大气环流变化的影响,它记录了微粒随季节变化的特征及一些事件,因而可以提供微粒源区和不同时间周期盛行的气候条件分布信息,也是陆源物质成分变化的环境指标。其矿物特征与粒径特征信息,可以体现出其源区及大气环流变化、风力强度、干旱情况等环境信息。如末次冰期的微粒含量明显高于全新世,说明冰期时大气环流加强,陆地干燥,以及风速加强。另外,由于大气环流的随机性,沉积在冰芯中的微粒因此也具有时间序列上的不稳定性。对微粒含量进行之后年份的自相关函数和偏相关函数的估计分析,其含量变化的波动性则表现出微粒输送及沉积的稳定性,进而间接反映出沉积时期的大气状况。

3.4 冰芯中不溶性微粒的人类来源信息

人类文明的进步和工农业生产的发展势必对地表环境和大气环境产生影响。微粒的研究可以很好的反映出人类的活动。如 Thompson 等^[8]对秘鲁南部 Quelccaya 冰帽中 2 根冰芯的不溶微粒,鉴别出主要与前 Incan 文化和农业生产活动有关。格陵兰的 Eurocore 冰芯中鉴别出 3 种不同类型的燃烧源:前工业革命期的自然森林火灾与农业燃烧物,20 世纪初煤的利用和近几十年来石油的利用^[15]。

3.5 微粒与大气气溶胶本底值

Ram 等^[16]认为,研究大气气溶胶本底值可以根据不溶微粒粒径的分布获得。当然,不溶性微粒大小分布总体上与微粒的特性有关,因此应限制在某一类微粒中进行研究。利用微粒的变化可以研究一些特殊的事件以及对大气气溶胶的本底值进行测量。由于微粒含量中某些粒径范围的微粒数量不变,相比较之后,得出本底值。这种方法的本底值测量在南极较为适用,在格陵兰岛由于陆地和人为的影响,则较不准确。

3.6 冰芯中生物和有机质微粒的研究

有机生物微粒方面的研究相对于其它方面稍显薄弱。目前研究得较多的是大气中的碳黑。碳黑是释放到大气的一种细微的纯碳颗粒,主要来源于交通、工业污染、城市中煤与各种生物体化石燃料的燃烧。对于碳黑的研究最早始于 1896 年,作为工业革命的产物以及全球燃料燃烧的问题而被讨论。近几年来,北极雪冰和冰芯以及山地冰川雪中碳黑的研究引起了科学家的重视。碳黑与 SO_4^{2-} 在北极大气中因人类能源消费造成的污染物中占有独特的地位。它和含硫气体一样,都是极好的云的凝结核,它们在大气中的浓度可以影响云层中水滴的数量,进而使云的颜色深浅发生变化,改变太阳能的反射量,影响地球的辐射收支。较白的云可以反射较多的太阳辐射到宇宙空间中,因此,碳黑和硫化物气溶胶一样扮演了影响气候的角色。另外,在无云的时候,它们也起了同样的作用:它们反射了太阳光,使进入的太阳能减少^[17]。近年来,能源燃烧与碳黑的问题越来越得到重视。NASA 的研究者发现,碳黑在全球大气的含量中日益增加,作为一种浅色污染物,由于其能够反射太阳的辐射,对全球气候变化以及洪水与干旱等灾害性天气具有一定的影响^[18]。

在全球范围内,人类活动来源及自然生物起源的硫化物产生的气溶胶以及化石燃料燃烧产生的碳黑与温室气体产生的效应相反。其原理是由于大气中的这些物质减少了入射的太阳能而引起气候变冷。然而,这种效应在北极地区并不适用。Blanchet 等^[19]提出,这种温室效应与变冷趋势的中和是由于低层大气的脱水作用,而这种脱水作用则是由人类活动产生的北极薄雾气溶胶所致。由于水蒸气也是一种很重要的温室气体,它的减少则引起更大的红外反射,因而可能导致气候的变冷。

南极的碳黑物质不存在自然源,但由于大气传输途径的限制,不可能形成如北极薄雾的污染问题,再加上分析技术的困难,很难被大规模检测出来。但是,在各国考察站的附近,对单质碳的研究,仍可以作为考察站污染源的示踪剂。另外,南极近海岸的站点观测表明,MSA 和 $msSO_4^{2-}$ 具有明显的季节变化^[20,21]:夏季表现出高峰值,冬季达到低谷。

4 几支重要冰芯的研究成果

地球上最老的冰保存在南北极冰盖,而两极冰盖的最老的冰应该保存在冰盖分冰岭顶端边缘。如果能从冰盖边缘钻取记录连续的冰芯,并辅之以合

理的时间模型,那么,就可能获得时间序列最长的能反映地球气候环境变化的记录。但由于冰盖边缘的动力过程比较复杂,各种剪切、冲断和褶皱作用过程频繁,其能否保存有完整的气候记录,是科学家们所关注的。最早的冰芯取样是 1956 年在格陵兰西北部的 Site2 进行的,长 305 m。而第一支完全穿透冰层的是 1966 年在格陵兰 Camp Century 钻取的长为 1 387 m 的深孔冰芯^[22,23]。尽管深冰芯的钻取仍然十分复杂而且代价昂贵,但是浅冰芯及中等深冰芯的钻取已达到较完备和标准的水平,迄今已在南极冰盖边缘钻取了 Caroline 冰芯、G1 冰芯、G2 冰芯、A3 冰芯和 D10 冰芯等不少的浅冰芯。在现有的几支大冰芯中,取得的主要成果如下:

Vostok: Vostok 微粒序列是迄今最长的不溶性气溶胶的时间序列^[21,32]。3 623 m 的 Vostok 冰芯中记录了过去 420 ka 的气候信息。初步的测量数据表明,Vostok 冰芯中记录了 4 个大的气候循环(图 2)。在 Vostok 冰芯的微粒含量曲线上,自上次间冰期以来,出现了 2 个微粒含量高峰值期。一个为 18 ka BP 左右的末次冰盛期;另一个为 60 ka BP 左右的冷期。另外,Vostok 还记录了 3 次大的火山爆发,表现于 3 个明显的火山灰层。从 Vostok 冰芯中判断,过去 420 ka 的气候总是在不断变化,但均处于稳定的范围内。最近一段时期以来,温度不断升高, CO_2 、 CH_4 的含量不断增加,但是微粒的输入量却有所减少。从总体上看,极地的气候是在不断变暖,温室气体的含量与极地温度有着密切的关联^[32],对于冰期—间冰期的变化起着重要的作用。研究发现,Vostok 深海沉积、中国黄土沉积中的磁化率和深海沉积中的磁参数之间具有很好的相关性^[21]。但 Vostok 的微粒记录与温度之间的相关性并不好,而与赤道大西洋中的微粒记录序列却非常相似^[32]。这种相关被认为与冰期时南大西洋海冰扩张,或深海洋流减弱有关。

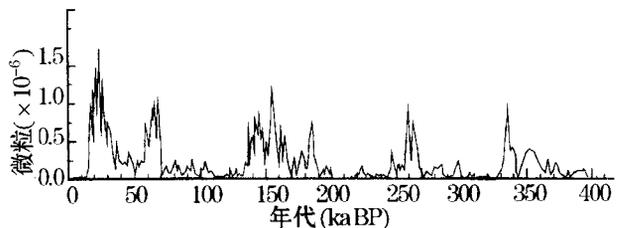


图 2 Vostok 冰芯的微粒变化图

Fig 2 Variation of particle in Vostok ice-core

Gaudichet 等^[25]利用带能谱的透射电镜对 Vos-

tok 南极冰芯的不溶微粒进行了矿物学研究,综合微粒的形态特征、电子衍射型式以及化学元素比值来确定每个微粒的矿物成分。从 3 个冰期样品和 2 个间冰期样品中分辨出一系列矿物,并由此分析表明澳大利亚作为 Vostok 微粒源的可能性很小。Vostok 粘土矿物以伊利石为主,有相对丰富的长石和石英以及可能石风化的火山物质,与阿根廷大草原的土壤矿物成分相似,从而推断 Vostok 微粒源为南美洲,证实该区与南极其它地点可能受不同气团的影响。

DeMas 等^[26]则详细地测定了 Vostok 冰芯中 Al 的含量变化以研究冰芯中不可溶气溶胶与气候变化的关系。他们的研究发现,不可溶化学成分与钠离子一样,与气候变化有密切联系。在末次冰盛期时,不但不可溶微粒含量剧烈增加,而且微粒的粒径也剧烈增加^[7,27]。

GRIP: GRIP 中的冰芯包含了包括从埃姆(Eem)间冰期到埃姆阶(Eemian)冰期在内的 32 个气候时期,将各个时期的微粒总量与 ^{18}O 相比较发现,二者呈现较好的一致性。2.0~2.6 μm 范围内的微粒体积分布在大多数时期基本相同。但在上次冰期最后部分的冷期中,微粒含量远高于其它时期。相较之下,埃姆阶冰期的微粒含量则要低些。2 只冰芯——Grip 和 GISP2 则揭示了末次冰期晚阶段,曾出现多次气候突变^[28,29]。这种突变可在短短几十年内完成。GRIP 冰芯还显示出末次间冰期也有气候突变,但 GRIP 和 GISP2 冰芯对比后,怀疑可能因末次间冰期对应冰层靠近冰盖底部,底部冰流导致冰层发生了褶皱,时间序列被扰乱,因而极可能是一种假相。但是,如果末次间冰期气候突变并非假象而是事实,则意味着当今温暖气候条件存在突然变冷的可能性,这就为人类重新审视气候变化提出了挑战。

Byrd: 在 Byrd 站冰芯,冰盛期时的微粒含量是全新世的 3 倍^[30]。与 Dome C 和 Vostok 冰芯相同,在 LGM 时期,冰芯中杂质含量远大于全新世间冰期。这些杂质的含量变化很大,远大于积累率变化解释的范围,因此,反映着周围大陆上更大范围的干旱区域。

Dome C EPICA: EPICA 冰芯中记录了 27 ka 的气候信息。与全新世(Holocene)间冰期的平均数值相比,在 ACR 时期其呈现出一个很高的微粒含量^[31]。在冰芯中,冰期与间冰期的微粒分类不同,冰期时表现出分类与分布较为统一的微粒,而间冰期则表现出较大的变化与分散。DeMonte 推测是由

于不同时期盛行的微粒输送方式不同。全新世时期表现出的是微粒含量的轻微减小,但是其大粒径微粒的增多说明其源区的改变。目前的研究^[7,24]表明,末次盛冰期极地冰中的不溶性微粒含量达到最大值。在 Dome C、Byrd 和 Camp Century,末次冰期与全新世冰中不溶微粒含量比值分别为 6.1、3.1、12.1。造成冰期冰中不溶性微粒含量高的主要原因是在这一时期存在 3 方面的影响因素:强烈的干旱(增大了沙漠的面积),更强的风(微粒总量增加)以及更强的大气循环(有利于微粒向极地远距离输送),也即冰期有更强的行星环流以及更高的输送效率。另外还有一个因素是降水量的减少所引起的大气气溶胶滞留时间的增加。此外,雪的积累率变化也有一定的影响,尤其像 Dome C 和 Vostok 积累率非常低的地方。

5 讨论

迄今为止,微粒分析技术已经发展到一个比较成熟的阶段。从总体上来说,微粒呈现的趋势为冬季含量偏高、夏季含量偏低。这个稳定的季节变化特征使微粒在断代记录上具有很大优势。此外,从大的气候旋回来看,微粒含量在冷期高、暖期低,与冰芯中稳定同位素组成有很好的对应关系。冰芯中微粒的含量变化、粒径特征及矿物学特征,在确定微粒源区以及微粒在环境中所受的影响均具有很高的参考价值。但是,尽管已经取得了许多令人鼓舞的成果,微粒研究仍面临许多亟待解决的问题。微粒的分析技术还有待提高。

首先,由于技术条件的限制,仍有许多方面没有深入研究。其中,不溶性微粒的成分分析的技术需要进一步开发。如冰芯中的有机生物颗粒方面的研究一直是薄弱环节。作为环境标志化合物的有机质,包含着丰富多样的古植被、古生态、古气候的信息,具有极大的研究意义。但是,由于在极地雪冰中含量很低,测量定量存在着很大的困难,需要研发更新的技术进行分析鉴定。

其次,取样与现场分析上的问题。微粒含量在极地冰芯中微乎其微,采样与分析过程也极易受到污染,因而,如果可以在野外现场完成分析工作,则可以解决样品不足以及分析污染等一系列问题。但是,现有的现场分析技术仍是一个较大的空白亟待改进。有限的现场分析技术及微粒数量的稀少决定了在采样上,最好能够采得大量的样品进行富集。Biscaye 在格陵兰岛上采取现场大量采样融化富集

微粒的方法。南极的雪冰样品由于地理的限制, 大量采样仍存在困难。

此外, 冰芯中的一些外部影响也是分析时候需要考虑的因素。这种因素包括冰节理、冰层剪切与褶皱、采样点积累率的判断等。另外, 微粒分析的一些方法存在着结果的不可重现性。实验表明, 电解液中的微粒的浓度随着时间的推移呈增大的趋势, 这在一定程度上制约了数据的准确性及不可重现性, 因而, 还需要在技术上进一步改善。

冰芯中的微粒分析是极地研究中一项极有意义的工作。人类在地球变化中的影响一直是人们关心的热点; 全球环境变化, 大面积的沙漠化和荒漠化, 都促使人们对过去环境进行研究, 努力重建过去, 为人与自然的协调提供条件。近年来, 得益于实验测试水平的提高, 极地冰芯研究取得了长足的进步。迄今为止, 冰芯中不溶性微粒的研究已经取得了很多令人振奋的成果。尽管仍有许多复杂的自然过程尚不明晰, 但通过今后的研究, 结合同位素研究、化学离子、太阳变化等各方面参数, 认识会更加深入。

参考文献 (References):

- [1] Bader H. United States Polar Ice and Snow Studies in the International Geophysical Year[C]. Washington DC: American Geophysical Union, 1958, 2: 177-181.
- [2] Marshall E W. Stratigraphic use of particulates in polar ice caps [J]. *Bulletin of the Geological Society*, 1959, 70: 1-643.
- [3] Thompson L G. Variations in microparticle concentration, size distribution and elemental composition found in Camp Century, Greenland, and Byrd station, Antarctica, Deep ice cores [J]. *International Association of Hydrological Sciences Publication*, 1977, 118: 351-364.
- [4] Petit J R, Briat M, Royer A. Ice Age aerosol content from East Antarctic ice core samples and past wind strength [J]. *Nature*, 1981, 293: 391-394.
- [5] Thompson L G, Dansgaard W. Oxygen isotope and micro particle studies of snow samples from Quelccaya ice cap, Peru [J]. *Antarctic Journal of the United States*, 1975, 10(1): 24-26.
- [6] Thompson L G, Bolzan J F, Brecher H H, et al. Geophysical investigations of the tropical Quelccaya ice cap, Peru [J]. *Journal of Glaciology*, 1982, 28(98): 57-69.
- [7] Yao Tandong, Petit J R, Jouzel J. Climatology study of Caroline ice core in the southeast Antarctic [J]. *Science in China (B)*, 1992, 22(5): 519-525. [姚檀栋, Petit J R, Jouzel J. 东南极洲 Caroline 冰芯气候研究 [J]. *中国科学 B 辑*, 1992, 22(5): 519-525.]
- [8] Thompson L G, Davis M E, Thompson E M, et al. Preincan agricultural activity recorded in dust layers in two tropical ice core [J]. *Nature*, 1988, 336: 763-765.
- [9] Biscaye P E, et al. Asian provenance of glacial dust (stage2) in the Greenland Ice Sheet Project 2 Ice Core, Summit, Greenland [J]. *JGR*, 1997, 12: 26 765-26 781.
- [10] Zielinski G A. Holocene Volcanic Records in the Siple Dome Ice Cores [R]. AGU Fall Meeting, 2001.
- [11] Clausen H B, Hammer C U. The Laki and Tambora eruptions as revealed in Greenland ice cores from 11 locations [J]. *Annals of Glaciology*, 1988, 10: 16-22.
- [12] Langway C C, Clausen H B, Hammer C U. An interhemispheric volcanic time marker in ice cores from Greenland and Antarctica [J]. *Annals of Glaciology*, 1988, 10: 102-108.
- [13] Staffelbach T, Stauffer B, Oeschger H. A detailed analysis of the rapid changes in ice-core parameters during the last ice age [J]. *Annals of Glaciology*, 1988, 10: 167-170.
- [14] Thompson L G. Analysis of the Concentration of Microparticle in an Ice Core from Byrd Station, Antarctica [R]. The Ohio State University Research Foundation, Institute of Polar Studies, 1973, 46: 34.
- [15] Chylek Petr, Peter Damiano, Shettle E, et al. Infrared emissivity of water clouds [J]. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 1992, 49(16): 1 459-1 472.
- [16] Ram M, Gayley G I. Insoluble particles in polar ice, Identification and measurement of insoluble background aerosol [J]. *Geophysical Research Letters*, 1994, 21(6): 437-440.
- [17] Delmonte B, Petit J R, Maggi V. Glacial to Holocene implications of the new 27000-year dust record from the EPICA Dome C (East Antarctica) ice core [J]. *Climate Dynamics*, 2002, 18: 647-660.
- [18] Katsufumi Sato, Tsuchiya Y, Kudoh S, et al. Meteorological factors affecting the number of Weddell seals hauling-out on the ice during the molting season at Syowa Station, East Antarctica [J]. *Polar Bioscience*, 2003, 16: 98-103.
- [19] Blanchet J P, Girard E. Water-vapor temperature feedback in the formation of the continental Arctic air: Implications for climate [J]. *Science of the Total Environment*, 1995, 160/161: 793-802.
- [20] Minikin A, Legrand M, Hall J, et al. Sulfur-containing species (sulphate and methanesulfonate) in coastal Antarctic aerosol and precipitation [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1998, 103 (D9): 10 975-10 990.
- [21] Petit J R. Palaeoclimatological and chronological implications of the Vostok core dust record [J]. *Nature*, 1990, 343(6 253): 56-58.
- [22] Ueda H T, Gargield D E. Deep core drilling at Byrd Station, Antarctica [J]. *ASH Publication*, 1970, 86: 53-62.
- [23] Hansen L B, Langway C C Jr. Deep core drilling in ice and core analysis at Camp Century, Greenland, 1961-1966 [R]. CRRRL Special Report 126, 1966, 5: 207-208.
- [24] De Angelis M. Ice age data for climate modelling from Antarctic (Dome C) ice core [A]. In: *New Perspective in Climate Modelling* [C]. 1984. 23-45.
- [25] Gaudichet A M, De Angelis, Lefevre E, et al. Mineralogy of in-

- soluble particles in the Vostok Antarctic ice core over the last climatic cycle (150 kyr) [J]. *Geophysical Research Letters*, 1988, 15(13): 1 471-1 474.
- [26] Dehas R J, Legrand M. Long-term changes in the concentrations of major chemical compounds soluble and insoluble, along deep ice cores[A]. In: Oeschger H, Langway C C Jr The Environmental Record in Glaciers and Ice Sheets[C]. New York: Wiley, 1989. 318-341.
- [27] Taylor L D, Gloyzi J. Distribution of particulate matter in a firm core from Eight Station, Antarctica[J]. *Antarctic Snow and Ice Studies, American Geophysical Union Antarctic Research Series*, 1964, 2: 267-277.
- [28] Dansgaard W, Johnson S T, Clausen H B, *et al* Evidence for general instability of past climate from a 250 ka ice core record [J]. *Nature*, 1993, 364: 218-220.
- [29] GRIP Members. Climate instability during the last interglacial period recorded in the GRIP ice core[J]. *Nature*, 1993, 364: 203-207.
- [30] Thompson L G, Mosley-Thompson E. Microparticle concentration variations linked with climatic change: Evidence from polar ice cores[J]. *Science*, 1981, 212: 812-815.
- [31] Kawamura K, Yanase A, Eguchi T, *et al* Enhanced atmospheric transport of soil derived organic matter in spring over the high Arctic[J]. *Geophysical Research Letters*, 1996, 23: 3 735-3 737.
- [32] Petit J R. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica[J]. *Nature*, 1999, 399: 429-436.

REVIEW OF RESEARCH ON INSOLUBLE MICROPARTICLES IN THE POLAR CORES

WEILi-jia^{1,2}, LI Yuan-sheng¹, TAN De-jun¹, ZHOU Li-ya^{1,2}, YAN Ming¹,
HU Kai², WEN Jia-hong¹, SUN Bo¹, LIU Lei-bao¹

(1. Polar Research Institute of China, Shanghai 200129, China;

2. Earthscience Department, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: There are various kinds of information recorded in the polar ice core. In the past research, microparticles have been playing a significant role in implicating paleo-environment and paleo-climate. To sum up, the concentration of microparticles is high in winter and low in summer, and moreover, it behaves high in cold term and low in warm term. Past work on microparticles in ice core is discussed in this paper as a summary. Emphasis is laid on the achievement acquired from the ice cores drilled in Polar region. Ice age can be determined based on the seasonal character of microparticles. For shallow ice cores, dating is accurate just according to microparticles. But for deep ice cores, it must be carried on together with oxygen isotopes. The mineral and radius characteristics can implicate the source and the background value. Furthermore, information of atmosphere circumfluence, intensity of the wind power, droughts, volcano, sandstorm, etc will also be recorded in them. Human factors in global change are always the hotspot of research. In recent years, burning source and carbon are talked much more than before. In the analysis of Euro-core in Greenland, three different types of burning source are found, which will be much helpful in tracing the human information. In spite of the immense achievement people have got, there are still lots of difficulties in analysis and sampling. In the past decades, much work has been done on the analysis technique of particles. There are four main methods now in use. Firstly, optics microscope and XEDS are used in the analysis of the single particle, but it is limited to 5 μ m. Secondly and regularly, Counter analyzer is used in measuring the quantity and radius of microparticles by the current between the two electrodes. This method is fit for the scale between 0.4 ~ 1200 μ m. Third, after getting enough samples by largely melting, XRD, microscopes, thermionization mass spectrum are utilized in finding out the characters of microparticles on mineralogy, isotopes and granularity. Finally, volcano particles analysis is used in recent years. Volcanic glass and eruptible chippings are transfer to the polar region by atmospheric circumfluence after huge volcano eruption. It is findable of volcanic layers in the ice core of Antarctic. Restrict by the geography and the low concentration of particles, it is hard but necessary to largely sample in Antarctica. It will be advantageous to analyze the ice core directly in the field. But now the technology remains exiguous. Biscaye has explored a new method in Greenland by melting a great amount of ice to get particles in the field. But it is hard to realize in Antarctica. Exterior factors also block the precision of analysis, such as the ice drape, the low accumulation rate, etc.

Key words: Particle; Ice core; Aerosol; Pole