

揭示气候变化的南极冰盖研究新进展^{*}

秦大河 任贾文 效存德

(中国科学院兰州冰川冻土研究所, 兰州 730000)

提 要 南极冰盖是气候的产物, 对气候也有反馈作用, 冰盖物质平衡变化与全球海平面升降息息相关, 并引发地球系统内的一系列变化。南极冰盖是记录全球变化信息的良好载体, 具有信息量大、时间序列长、保真性能强、分辨率高以及可进行现代过程定量研究等其他介质无法取代的独特优点。随着科学技术的发展和人类对全球问题的日益重视, 南极冰盖与全球变化研究这一领域将会以高起点、多学科互相交叉、渗透为特色, 成为未来南极研究的热点领域。

关键词 南极冰盖 全球变化 环境气候记录 海平面变化 大气环流

全球变化在地球上的不同区域有不同的表现, 不同的物质以不同的方式记载着全球变化的信息, 同时也对全球变化作出反馈。处于特殊地理区域和极端气候条件下的南极冰盖在全球变化中有重要的地位。根据国际上南极冰盖与全球变化研究进展和作者的研究结果, 本文仅就南极冰盖在全球变化中的地位和作用这一研究的发展趋势进行论述。

1 南极冰盖及其变化

南极大陆的总面积为 $1391.8 \times 10^4 \text{ km}^2$, 冰盖和冰架为 $1358.6 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占南极大陆面积的 97.6%^[1]。冰盖最高点位于东南极洲 Dome A 顶部(约 82°S , 75°E), 海拔 4030m, 冰体最厚处位于 $69^\circ 54' \text{S}$, $135^\circ 12' \text{E}$, 达 4776m。冰盖平均厚度为 2450m, 冰储量达 $2937.8 \times 10^4 \text{ km}^3$, 占世界淡水资源的四分之三以上。

南极冰盖的发育历史长达 10×10^7 年以上, 冰盖最大规模出现在距今 300×10^4 — 500×10^4 年。根据某些山峰上冰碛物和侵蚀地形推断, 当时冰面高度比现今普遍高出数百米。自第四纪以来, 虽经历了多次冰期-间冰期气候变化, 但和北半球一些大冰盖在更新世的发育和消失成鲜明对照的是, 南极冰盖的规模只有很小的变化, 其体积变化量仅约 10%, 尤以东南极冰盖更为稳定^[2]。南极冰盖现在的状态和近期变化趋势是冰川学家和气候、环境变化研究者普遍关心的问题。60 年代 Wilson^[3] 提出第四纪冰期时南极冰盖可能出现跃动的看法, 激起了理论研究和野外调查两方面的大量工作。Budd 等^[4] 对东南极冰盖的模拟研究是南极冰盖动力学研究的最主要结果之一。在他们的模拟中应用了冰盖处于稳定状态的假定, 并采用现代实测积累速率和表面温度资料, 得到的温度剖面和冰质等年龄线与实测温度剖面 and 无线回波剖面的层状特征大致吻合, 这意味着东南极冰盖具有较高的稳定性。Willans^[5] 对

^{*} 国家科学技术委员会、国家自然科学基金委员会和兰州冰川冻土研究所冰芯实验室资助项目。

来稿日期: 1994 05; 收到修改稿日期: 1994 07。

西南极冰盖模拟的结果表明,冰盖目前处于缓慢减薄状态,但不可能出现快速的变化或崩解。野外调查也没有获得南极冰盖曾发生大规模跃动的足够证据。然而许多资料表明,西南极冰盖的稳定性比东南极冰盖差,特别是 Byrd Land 的 C 冰流在大约 300 年前出现过跃动^[6]。因此,如果气候持续变暖,西南极冰盖有可能出现大的变化。不过精确的预测受到两个方面的限制,一是气候变化的预测和气候与冰盖之间关系的模拟还存在一些不确定因素,二是对南极冰盖本身直接的观测资料还不够充分。

2 南极冰盖物质平衡与海平面变化

地球上淡水的 87% 以上以冻结状态存在,这种冻结状态的水体主要是分布于极地和高山区的冰川,而南极冰盖和边缘冰架则占这些冰体总量的 90% 以上。每年降落在南极冰盖上的雪折合成水量相当于全球海平面变化 5mm。全球海平面目前上升速率是 (1-2)mm/a,若气候转暖,南极冰盖全部融化,全球海平面将上升 60m 以上。南极冰盖的冰量收支发生变化,将会引起全球海平面的变化^[7]。

南极冰盖的物质平衡分量主要为表面净积累、边缘崩解和冰下净消融。表面积累速率早期主要靠雪层剖面和花杆测量测定,后来稳定同位素和微粒等的季节变化被用于划分年层,使研究积累速率的精度大大提高。但有限的站点观测和路线考察资料对巨大的南极冰盖来说仍显得不足。许多研究者对南极冰盖积累速率做过估算。Robin 和 Swithinbank^[6]曾对南极冰盖积累速率资料的可靠性给予评价。总的来看,南极冰盖表面积累速率的分布呈海岸带高、内陆低,西南极高、东南极低的势态,极端最低值为东南极洲 Vostok 站 25kg/m²a。Robin^[8]提出冰期时南极冰盖中心区域的积累速率可能仅为现今值的一半的假设被 Vostok 冰芯分析所证实^[9],但关于积累速率的近期变化似乎还是一个未知数。虽然有研究者在南极冰盖一些区域得出近几十年来积累速率增加的结论,如 Wikes Land^[10]、Terre Adelie 地区及 Vostok、Dome C 和南极点^[11]和南极半岛^[12],但也有积累速率减小的结论,如 Mizuho 高原^[13]和西南极部分区域^[14]。

直接观测南极冰盖消融的资料极为欠缺,主要是因为边缘崩解和冰下消融难以观测。目前高分辨率卫星遥感技术的应用为监测南极冰盖边缘变化带来便利,卫星测高术的测量精度还需要进一步提高,精确测量冰下消融尚需时日。Zotikov^[15]认为南极冰盖近一半区域内冰下平均融化速率为 (2-3)mm/a,其余部分则与底床冻结在一起。由于冰架与海洋直接接触,冰架底部的消融被认为是冰下消融的主要组成部分。业已通过钻取冰芯分析同位素或通过分析海水盐度和温度对 Amery 冰架、Filchner-Ronne 冰架、Ross 冰架和 George VI 冰架底部的冻结和融化过程进行了研究。Jacobs 等^[16]对这些结果予以总结,结合冰盖其他资料并应用冰下海水流动模式计算出了每个冰架的消融量。

许多估算的南极冰盖物质平衡结果表明,冰盖目前处于正平衡状态。而近期研究结果则得到两种截然相反的推论,如 Bentley 和 Giovinetto^[17]得出了正平衡为 180×10^{12} kg/a,而 Jacobs 等^[16]得出的负平衡为 -469×10^{12} kg/a。这个问题尚需进一步详细调查。当务之急是采用新技术,大面积、大量地获取南极冰盖物质积累和消融资料,寻找新的精度较高的近似方法,算清收支平衡,尽快解决冰盖物质平衡与海平面升降、进而与全球变化的关系。

目前对海平面变化中南极冰盖具体占多大比例尚难以说清楚,这除了海平面变化研究本身仍有许多问题未澄清之外,南极冰盖物质平衡变化的定量性还很差。今后对南极冰盖物质平衡变化研究的重点为:确定南极冰盖表面高程的空间变化,通过大范围详细测量和研究,准确确定物质平衡各分量值,确定冰盖陆上部分和漂浮部分的净平衡量,确定 2×10^4 年以来冰盖变化的细节和今后变化的趋势,估算横贯南极冰盖的水汽通量,确定冰盖表面的物质积累方式,认识并估算冰流和溢出冰川的区域和流动机制,定量分析海洋与冰架的相互作用,确定这一作用对冰盖陆地部分的影响。目前正在实施的 ITASE 计划(国际横穿南极科学考察计划)的主要目标之一,是通过网状路线上的实际观测和浅冰芯及表面雪样的分析,准确地确定 200 年来南极冰盖表面的物质积累速率的空间分布和时间变化。

3 南极冰盖与相邻地球圈层的相互作用

南极冰盖在全球变化中的作用还表现在其与周围地球圈层,如水圈、生物圈、岩石圈、大气圈乃至外太空的相互关系中,冰盖与这些圈层的作用和反馈不仅对南半球,甚至对全球气候、环境都有巨大的影响。

极区对气候变化具有放大作用。南极冰盖既可以积极响应气候变化,也可对全球气候变化起驱动作用。冰盖表面反射率的变化和冰面高度、冰盖面积的变化不仅影响南极地区气候的冷暖程度,还导致这一地区大气环流的改变,进而影响全球水汽输送格局。南极冰盖消融速率的变化除影响海平面变化外,还改变海水的成份和温度,影响洋流和蒸发,这对全球气候系统的重要影响作用是显而易见的。南极冰盖变化对气候和海洋的影响势必引发地球系统内部的一系列变化。海洋和大气之间的物质(水分、其他气体和生物、化学物质)和能量交换是地球生物化学循环的重要环节,南极冰盖在其中起重要作用。南极的大气成份已经受到人类活动的干扰,南极上空臭氧空洞的扩大就是该地区对全球环境恶化作出反应的最明显例证之一。南极地区上空臭氧空洞继续扩大,其直接后果是造成太阳紫外辐射水平的上升,从而对地球生物圈产生影响。

Legrand 和 Delmas^[18,19]、Zeller 和 Parker^[20]等还对南极地区雪冰内的主要阴阳离子、离子平衡、对流层和平流层内过程对雪冰内某些化学成份的作用做了研究。近年秦大河等对沿横贯南极洲冰川学考察路线上表面雪样的分析表明,非海盐离子通量在内陆腹地分布均匀,但海盐离子通量却呈西高、东低态势,说明西南极洲近岸带局地海洋气团降水所占比例相对较大,东南极内陆降水主要来自南半球遥远海洋,与稳定同位素过量氘 δD 分析的降水来源一致。 NO_3^- 通量在南极光作用区出现峰值,意味着 NO_3^- 的来源与高层大气中的光电作用有较密切的关系^[21]。

南极冰盖与周围圈层的相互作用还表现在冰盖能定量地反映来自不同圈层,经大气传输而在冰盖表面呈规律分布的现代过程。南极冰盖表面层内的环境和气候记录除了雪冰本身的稳定同位素(温度和降水指标)和宇宙射线、电子沉降等造成的放射性物质记录(^{14}C 、 ^{10}Be 、 ^{36}Cl 、 ^{81}Kr)外,在雪冰、气泡及不可溶杂质三大媒体中保留了自由大气传输而来的 H^+ 、 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{++} 、 Mg^{++} 、 NH_4^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{--} 和 NO_3^- 等主要阴、阳离子,生物有机酸和温室气体、微粒、外星物质、火山灰以及超痕量重金属元素等。这些物质中有的与生物地球化学循

环中特殊元素的循环相联系,有的与人类活动关系密切,有的与高层大气的光电活动甚至宇宙事件有关。

南极冰盖表面层内的环境气候记录在降雪沉积后的变质过程和冰体运动中都会发生一定程度的变化或流失,通过冰盖表面层雪的沉积和变质过程研究和各种记录详细分析,不仅可了解各种信息的储存和演变机制,还对认识气候和环境的现代过程有极大帮助。冰盖运动规律的研究既有利于各种记录的解释,又能为冰盖变化历史、气候模式的建立提供基础资料。除了冰盖本身的研究外大气是冰盖与其他圈层相互作用中最为突出和引人注目的一环。无论是来自海洋、其他大陆和人类活动的影响物质,还是来自对流层上部、平流层乃至外太空物质,在大气圈的传输过程中必然会发生复杂的大气化学反应。在冰面检测到的既是经过传输过程中的变化、又经过沉降后的变质和变化的结果。在反演各类记录的来源时,将上述“噪音”或“扰动”区分出来,就必须紧密地与大气化学研究结合,得出较为客观的结论。

4 南极冰盖内的全球环境气候变化记录

南极冰盖是自然界低温条件下降雪积累并经密实化过程演化形成。每次降水过程,不但为南极冰盖增添了新的物质,同时也将各种环境气候信息和其他物质贮存到冰盖内。因此,从冰盖表面向内部,逐层分析雪冰及其所含各种物质,能够重建气候和环境的变化历史,这是全球变化研究中的重要内容之一。

由于南极冰盖存在历史长,厚度大,降雪积累率低,有希望钻取的冰芯时间序列达几十万年之久。另一方面,南极冰盖远离人类活动区,冰雪体非常洁净,在其他地区不易检测的大气环境变化尤其是人类污染的某些信息能够在南极冰雪内检测到。南极冰芯内的气候环境记录具有信息量大、内容丰富、时间序列长、分辨率高、保真度强以及可进行现代过程的定量研究等独特优势,它在全球变化研究中的重要作用将随着研究的深入、测试技术的提高和研究内容的扩大而进一步展现出来。

对过去气候变化记录的恢复主要是通过测定和分析冰芯内稳定同位素比率来进行的。Picciotto 等^[22]最早研究南极冰盖边缘 Roi Baudouin 站降雪中氧同位素比率 $\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$ 与相应云层温度(θ)之间的关系,得出 $\delta^{18}\text{O}(\text{‰})=0.9\theta-6.4$ 的关系式。Lorius 和 Merlivat^[23]根据东南极冰盖海岸带一些地点的资料,建立了 $\delta^{18}\text{O}$ 与年平均温度的经验关系: $\delta^{18}\text{O}(\text{‰})=0.755\theta-7.6$ 。秦大河等^[24,25]根据横贯南极冰盖主要地理单元表层雪样的分析,系统研究了氧同位素比率 $\delta^{18}\text{O}$ 、氢同位素比率 δD 及过量氘 exd 与年平均温度关系的区域性差异,这对解释不同地区冰芯同位素资料十分有益。根据 δD 与 $\delta^{18}\text{O}$ 之间存在有线性关系,独立测定 δD 和 $\delta^{18}\text{O}$ 值后,推算出的 exd 对南极地区降水来源分析极为有用。

Robin 等^[26]对南极冰盖同位素比率与温度之间的关系从理论上给予证实。通过对影响同位素 δ 值的各种可能因素进行分析,在确信 δ 值与温度关系最密切后,将由冰芯 δ 值导出的温度作为过去冰盖表面的温度输入冰盖温度场模式中,计算出冰盖的温度-深度剖面,其结果与钻孔实测温度剖面一致,说明将同位素剖面解释成温度变化是正确的。

南极冰盖的几支深冰芯提供了过去气候变化的宝贵资料,其中以 Vostok 冰芯的研究得出的时间序列最长。Jouzel 等^[27]通过对这支 2 083m 长度冰芯的稳定同位素比率的分析

得出了过去 16×10^4 年以来的气候变化曲线,该曲线与海洋沉积物分析得到的气候曲线趋势非常吻合。Vostok 冰芯的气候记录表明末次冰期-间冰期旋回跨越时间长度约 10^5 年,温度变幅约 11°C ;末次间冰期比全新世暖约 2°C 。Byrd 冰芯是取自南极冰盖最长的一支冰芯,时间也较早。但因钻孔所在地点受冰体流动的影响,冰芯年代尚有争议。Dome C 冰芯是南极内陆另一个年代较为可靠的冰芯。该冰芯长约 900m,由稳定同位素分析得到的 3×10^4 年气候变化曲线^[28]与 Vostok 冰芯结果相一致。

大气环境的变化在南极冰盖内有丰富的记录信息,可通过对冰/雪内气候成份及其他杂质浓度的测定和分析来进行研究。自 70 年代以来,这方面研究已取得了许多重要成果。Boutron 和 Lorius^[29]对 Dome C 雪层内 12 种痕量金属元素进行了测定,发现其中 9 种元素浓度高于大气中的浓度,其原因有待进一步调查。一些研究者还对 Byrd 站冰芯中某些痕量元素、微粒浓度及火山灰等做过许多研究工作。但如前所述,因冰芯年代的争论使这些研究所得到的大气环境变化特征尚有质疑。Vostok 冰芯研究结果是深孔冰样研究最突出的例子。其中 Barnola 等^[30]对 CO_2 和 Angelis 等^[31]对 Al 和 Na 浓度的分析结果与 Jouzel 等^[27]得到的 δD 曲线有良好对应关系。Legrand 等^[32]则对冰芯的主要阴、阳离子浓度做了细致的研究。这些结果表明,冷期时无论是海洋来源的杂质还是陆地来源的杂质其浓度均明显高于暖期,其原因为冰期时荒漠和大陆架面积扩大,纬向环流增强和降雪低累率减低;而 HNO_3 和 H_2SO_4 浓度与温度变化没有明显对应关系说明火山爆发与气候之间的关系不明显。80 年代以来,南极冰化学研究发展迅速,主要表现在对深冰芯进行这方面研究的同时,大范围表层雪样的研究受到特别重视;分析内容急剧扩大,尤其是与生物地球化学循环和人类活动有关的物质测定和分析内容增加更为显著,如可溶性杂质除主要阴、阳离子之外还有生物有机酸离子,不可溶杂质除微粒和痕量金属元素外增添了超痕量重金属元素,温室气体除 CO_2 外又增加了 CH_4 和 N_2O 等。

参 考 文 献

- 1 Drewry DJ., Jordanand SR., Jankowski E. Measured properties of the Antarctic ice sheet:surface configuration,ice shickness,Volume and bedrock characteristics. *Ann. Glaciol.*, 1982 (3):83-91
- 2 Drewry DJ., de G., Robin Q. Pattern and flow of the Antarctic ice sheet for a mullion years past. In:Robin G.de Q. ed. The climatic record in polar ice sheets. Cambridge;Cambridge University Press, 1983. 28-38.
- 3 Wilson AT. Origin of ice ages:an ice shelf theory for pleistocene glaciation. *Nature*, 1964, **201**(4915):147-149.
- 4 Budd WF., Jenssen D., Radok U. Derived physical characteristics of the Antarctic ice sheet. *ANARE Interim Reports. Ser. A(IV)*, *Glaciology, Publ.*, 1971(120).
- 5 Whillans IM. Ice movement. In:Robin G., de Q. ed. The climatic record in polar ice sheets. Cambridge;Cambridge University Press, 1983 70-77
- 6 Robin G., de Q., Swithinbank C. Fifty years of progress in understanding ice sheets. *J. Glaciol.*, 1987, (Special Issue):33-47.
- 7 Weller G E. ed. The Rold of the Antarctic in Global change: An International Plan for a Regional Research Programme. Cambridge, SCAR. 1993.
- 8 Robin G. de Q. Ice cores and climatic change. *Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. B*, 1977, 280(972):143-168.

- 9 Lorius C. ,Jouzel J. Ritz C. et al A150,000 year climatic record from Antarctic ice. *Nature*, 1985, **316**(6029): 591—596.
- 10 Goodwin ID. Snow-accumulation variability from seasonal surface observations and firn-core stratigraphy, eastern Wilkes Land, Antarctica. *J. Glaciol.* ,1991, **37**(127): 383—387.
- 11 Pourchet M. ,Pinglot F. ,Lorius C. Some meteorological applications of radioactive fallout measurements in Antarctic snow. *J. Geophys. Res.* ,1983, **88**(c10): 6013-6020.
- 12 Peel DA. , Mulvaney R. Air temperature and snow accumulation in the Antarctic Peninsula during the past 50years. *Ann. Glaciol.* ,1988, **11**: 207.
- 13 Kameda T. ,Nakawo M. ,Mae S. et al. Thinning of the ice sheet estimated from total gas content of ice cores in Mizuho Plateau, East Antarctica. *Ann. Glaciol.* ,1990, **14**: 131—135.
- 14 Shabtaie S. Bentley CR. West Antarctic ice streams draining into the Ross Ice Shelf: configuration and mass balance. *J. Geophys. Res.* ,1987, **92**(B2):
- 15 Zotikov IA. , Bottom melting in the central zone of the ice shield on the Antarctic continent and its influence upon the present balance of the ice mass. *IASH Bulletin*, 1963, **8**(1): 36-44.
- 16 Jacobs SS. ,Hellmer HH. ,Doake CSM. et al. Melting of ice shelves and the mass balance of Antarctica. *J. Glaciol.* ,1992, **38**(130): 375—387.
- 17 Bentley CR. ,Giovinetto MB. Mass balance of Antarctica and sea level change. In: Weller G. et al. eds, *Polar Regions nad Climate Chage*. Firban: University of Alaska, 1991. 481-488.
- 18 Legrand MR. ,Delmas RJ. The ionic balance of Antarctic snow: 10-year detailed record. *Atmos. Environ.* ,1984, **18**: 1867-1874.
- 19 Legrand MR. ,Delmas RJ. Relative contribution of tropospheric and stratospheric sources to nitrate in Antarctic snow. *Tellus*, 1986, **38**(B): 236—249.
- 20 Zeller EJ. ,Parker BC. Nitrate ion in Antarctic firn as a maker form solar activity. *Geophys. Res. Lett.* ,1981, **8**: 895-898.
- 21 秦大河, 南极冰盖表层雪内的现代气候和环境记录研究. 博士论文. 兰州: 中国科学院兰州冰川冻土研究所, 1992.
- 22 Picciotto E. ,de Maere X. Friedman I. Isotopic composition and temperature of formation of Antarctic snow. *Nature* ,1960, **187**: 857-9.
- 23 Lorius C. Merlivat L. Distribution of mean surface stable isotope values in East Antarctica: observed changes with depth in the coast area. *IASH Publ.*, 1977, **118**: 127—137.
- 24 秦大河、任贾文、王文悌等. 横贯南极洲表层 25cm 雪层内 δD 值的分布规律. *中国科学(B 辑)*, 1992(7): 368—776.
- 25 Qin Dahe J. ,Petit R. ,Jouzel J. et al . Distribution of stable isotopes in surface snow along the route of the 1990 International Trans-Antarctic Expedition. *J. Glaciol.* ,1994, **40**(134): 107—118.
- 26 Robin G. ,de Q. et al. The climatic record in polar ice sheet. Cambridge: Cambridge University Press, 1983.
- 27 Jouzel J. ,Lorius C. ,Petit J. R. et al. Vostok ice core: a continuous isotope temperature record over the last climatic cycle(160,000 years). *Nature*, 1987, **329**(6138): 403—648.
- 28 Boutron C. ,Lorius C. Trace metals in Antarctic Snows since 1910. *Nature*, 1971, **277**: 551-554.
- 29 Barnola JM. ,Raynaud D. ,Korotkevich, YS. Vostok ice core provides 160,000-year record of atmospheric CO_2 . *Nature*, 1987, **329**(6138): 408—414.
- 30 Angelis M. ,de N I. ,Barkov Petrov V N. Aerosol concentrations over the last climatic cycle(160 kyr) from an Antarctic ice core. *Nature*, 1987, **325**(6102): 318-321
- 31 Legrand M R. ,Lorius C. ,Barkov NI. ,Vostok(Antarctica) ice core: atmospheric chemistry changes over the last climatic cycle(160,000 years). *Atmos. Environ.* ,1988, **22**(2): 317—331.
- 32 Tomoyuki Ito. Antarctic submicron aerosols and long-range transport of pollutants. *AMBIO*, 1989, **18**(1): 34—41.

PROGRESS IN THE RESEARCH ON ANTARCTIC ICE SHEET IN RELATION TO GLABAL CHANGE

Qin Dahe Ren Jiawen Xiao Cunde

(Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, 730000)

Key words Antarctic ice sheet, global change, climatic and environmental record, sea-level change, atmospheric circulations

Abstract

The Antarctic ice sheet is the largest grounded ice in the world, which occupies more than three fourths of the Earth's fresh water and contains sufficient ice to raise world-wide sea level by more than 60m if melted completely. Since major interactions between the ice sheet, atmosphere and oceans affect the entire global system, the ice sheet plays a critical role in global change. The ice sheet not only respond to climatic change but also influence climate greatly through feedback. Any changes in mass balance of the ice sheet may be of importance to global sea-level change. The special geographic location, ice thickness, snow accumulation rate and surface temperature combine to make the Antarctic ice sheet the storehouse of the longest and potentially most diverse ice records on earth. The global change information preserved in the ice sheet is unique because of its wide range of direct and proxy measures, long time-scale, and high resolution and fidelity. During the past decades, research on the Antarctic ice sheet has made great progress both in investigation of the ice sheet and recovery of climatic and environmental record preserved in it, primarily due to modern technological advances. To date the form and extent of the surface features of the ice sheet have been defined much clear, and a lot of data on the ice thickness and the sub-ice bedrock topography (and hence estimation of the ice volume) has been acquired. Studies of ice cores taken from the ice sheet have already provided climatic and environmental records over the last ice age cycle. Some achievements in monitoring of the greenhouse gases and the anthropogenic pollutants have also been made. Since the global change is becoming increasingly important to the human race, to further understand the ice sheet and investigate the relationships between the ice, atmosphere and oceans and to monitor and detect the global change in the ice sheet will be the front of Antarctic research in future. More widespread international and multiple disciplines cooperation is certainly emphasized in the coming programs.

作者简介

秦大河,男,1947年生,研究员,1970年兰州大学地质地理系毕业,1992年获兰州大学博士学位。曾三次赴南极越冬考察。现主要从事“三极”(南极、北极和青藏高原)地区冰雪与全球变化研究,已发表“Distribution of stable isotopes in surface snow along the route of the 1990 International Trans-Antarctica Expedition”等约60篇论文,及《南极冰盖表层雪内的物理过程和环境气候记录》等5本著作。