

与当前全球增暖有关的古气候学问题*

任国玉

(国家气候中心, 北京 100081)

提 要

根据最新研究成果, 对从古气候学角度展望未来全球气候变化问题的可能性和方法进行了讨论和总结. 过去温室气体含量、温度、降水、海平面和突然气候变化等古资料记录及其分析加深了我们对于气候系统物理过程的理解, 古气候类比方法以及古资料在气候模式校准中的应用也显示了古气候学对于未来气候预测的潜在意义.

关键词: 古气候学; 气候变化; 气候预测.

前 言

大气 CO_2 含量增加及其由此引起的全球气候变化日益受到人们的关注. 科学界关心的问题主要有: 工业革命以后大气 CO_2 和 CH_4 等温室气体含量是否已经显著上升了? 地球气候系统对这类温室强迫的敏感性如何? 未来可能的增暖将会怎样改变全球气候分布格局? 温度上升是否或在多大程度上影响全球海平面变化? 气候系统在增温以后会不会进入一种新的不稳定模态或引发气候突变? 气候模式为我们认识这些科学问题提供了重要工具; 有记录以来的气象资料也为理解其中一些问题提供了线索. 此外, 丰富的古气候代用资料的分析也能为解决上述问题做出贡献. 古气候学研究不仅正在增进人们对地球气候系统复杂相互作用过程的认识, 而且也能为我们展望未来全球气候变化做出特殊的贡献. 根据近些年的分析结果, 可以认为, 古气候学在下述几个方面能够对全球气候变化及其预测问题提供独到见解.

1 过去温室气体记录

大气 CO_2 含量的精确测量始自 1958 年. 此后的观测记录表明, 大气 CO_2 含量处于明显的上升过程中(图 1)^[1~4]. 尽管在 1991~1993 年间, 这种增长趋势显著减缓, 但近 40 年大气 CO_2 含量处于增加状态是毫无疑问的.

* 本文得到国家攀登计划第 27 项和国家教委博士点基金资助.
1995-03-16 收到, 1995-06-02 收到修改稿.

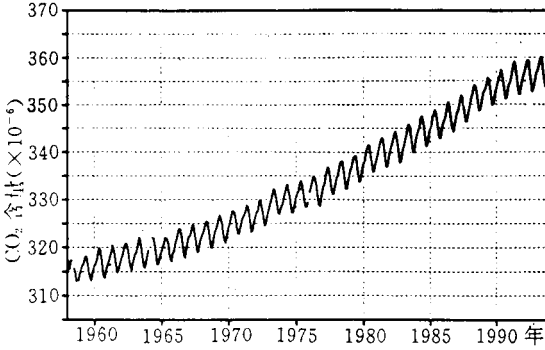


图1 夏威夷 Mauna Loa 站的月平均大气 CO₂ 含量记录 (1957~1993) (引自 WMO, 1994)^[1~4]

Fig. 1 Monthly mean carbon dioxide concentrations measured at Mauna Loa, Hawaii, 1957~1993 (from WMO, 1994)^[1~4]

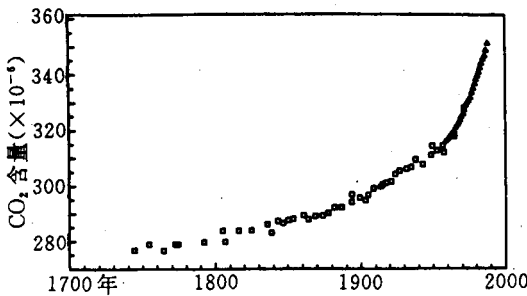


图2 南极 Siple 站冰芯记录的过去 250 年大气 CO₂ 含量变化与夏威夷 Mauna Loa 站仪器记录的大气 CO₂ 含量变化(引自 IPCC, 1990)^[1]

Fig. 2 Atmospheric CO₂ increase in the past 250 years, recorded in ice core from Siple Station, Antarctica (from IPCC, 1990)^[1]

1958 年之前大气 CO₂ 含量主要是根据各种代用资料来估计的。极地冰芯古气候学研究表明(图 2, 图 3), 大气 CO₂ 含量的增加始自 18 世纪中叶^[1, 5, 6, 7], 因而证实它是工业革命后人类增加化石燃料使用的结果。在更长的时间尺度上, 南极东方站的冰芯记录了在工业革命前的 22 万年间, 大气 CO₂ 最高含量只有 290×10^{-6} (图 4), 而 1993 年则已达到 357×10^{-6} ^[3, 5, 8]。南极和格陵兰冰芯资料均证实, 在过去的 22 万年内大气 CO₂ 含量与全球气候间存在着密切的联系^[6, 7, 8]。70~15 kaBP (千年前) 的冰期内大气 CO₂ 含量为 $210 \times 10^{-6} \sim 220 \times 10^{-6}$, 最低只有 180×10^{-6} ; 而 130~120 kaBP 的间冰期和近 1 万年来则平均为 $270 \times 10^{-6} \sim 280 \times 10^{-6}$ (图 4)。全新世(近 1 万年)冰芯和树轮分析结果反映 CO₂ 似有小幅度变化^[9, 10], 但至今未得到公认。

冰芯资料还表明, 大气 CH₄ 具有同 CO₂ 相似的长期变化, 冰期一般为 $350 \times 10^{-9} \sim 450 \times 10^{-9}$, 间冰期平均达到 $550 \times 10^{-9} \sim 700 \times 10^{-9}$ ^[6, 7, 8, 11]。最近的格陵兰 GRIP 高分辨率资料证实, 大气 CH₄ 含量在 12900~11600 aBP (年前) 的新

仙女木冷期也曾大幅度下降(图 5)^[11]。在近 1 万年中, CH₄ 含量是从 18 世纪中至 19 世纪初开始迅速增加的, 目前已高于 1700×10^{-9} ^[1, 5, 7, 12]。

大气温室气体含量长期自然变化的原因现在还不清楚, 但 CO₂ 变化可能主要取决于海洋浮游生物和海洋洋流, 而 CH₄ 含量的变化则可能同大陆上湿地面积的消长有关。在 15~10 kaBP 的冰消阶段正值全球陆生植物恢复和发展时期, 当时大气 CO₂ 含量迅速增加, 说明陆地生物圈在碳循环过程中的作用远无海洋来得重要。

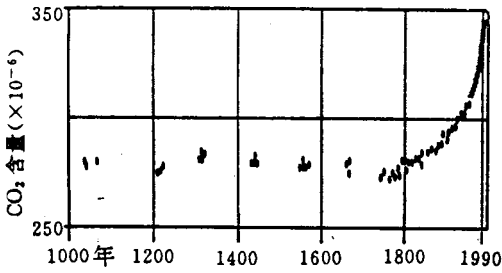


图 3 冰芯和直接测量得到的过去 1000 年大气 CO₂ 含量变化 (引自 Lorius and Oeschger, 1994)^[5]

Fig. 3 Atmospheric CO₂ record in the past 1000 years, obtained from the combined ice core and instrumental measurement (from Lorius and Oeschger, 1994)^[5]

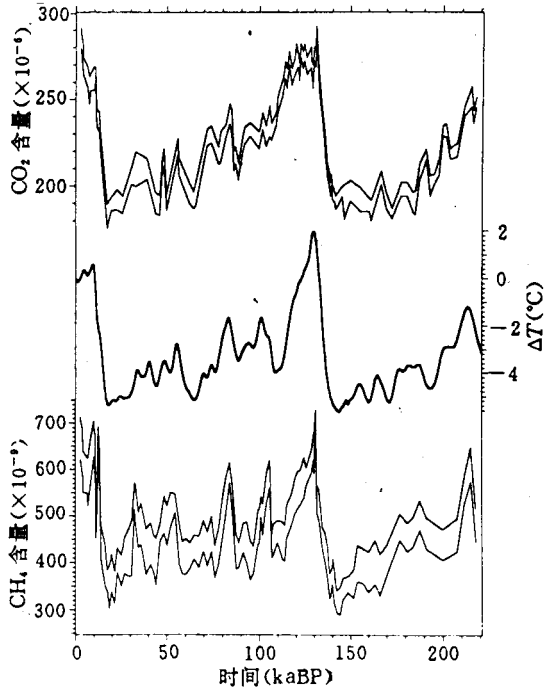


图 4 南极东方站冰芯记录的未来 22 万年大气 CO₂、CH₄ 和温度变化 (Jouzel, et al, 1993)^[6]

Fig. 4 CO₂ concentrations over the past 220000 years from the ice core record of Vostok, Antarctica (from Jouzel, et al, 1993)^[6]

2 过去的温室效应

根据冰芯氧同位素测量、海底岩芯有孔虫组合和陆地植物化石花粉分析均可重建过去的温度。通过对比古温度与温室气体之间关系，能够对 CO₂ 和 CH₄ 的过去温室效应问题获得一些有益的认识。

从白垩纪 (1.40 亿到 0.65 亿年前) 到第三纪末 (250 万年前)，地球平均温度明显高于第四纪时期 (近 250 万年)。有一种看法认为，这可能和当时大气 CO₂ 含量较高有关^[13]。进入第四纪，全球温度在地球轨道参数调谐下发生周期性波动，冰期、间冰期气候交替出现。在目前可以恢复的最后一次气候旋回内，地球温度与大气 CO₂ 和 CH₄ 含量之间呈显著的正相关关系 (图 4)，说明大气温室气体含量变化通过正反馈作用对全球温度变化做出了部分贡献^[5, 7, 13, 14, 15]。

过去温室气体和温度之间显著的相关促使人们进一步辨别它们之间的提前或滞后关系。南极 Vostok 站和 Bryd 站冰芯分析表明，在进入冰期过程中，CO₂ 含量的下降滞后于南半球温度几千年；而在由冰期向间冰期转换时，二者则几乎同时上升或 CO₂ 略有滞后 (图 4)。由于南半球温度变化显著早于北半球，冰消期大气 CO₂ 含量的上升比北半球大陆冰体减少提前约 4000~7000 年，冰进期 CO₂ 下降也比北半球冰体增加略早^[7, 16]。如果这些关系能最后证实，可进一步说明温室气体对全球冰期至间冰期气候变化的作用。这种影响在由冰期向间冰期过渡阶段尤其显著。CH₄ 含量变化与南极温度始

终同相^[5, 8], 因此它也在一定程度上对过去全球温度变化有影响. 有一种意见认为, 温室气体可以解释冰期至间冰期温度变化的 30%~50%^[5, 17].

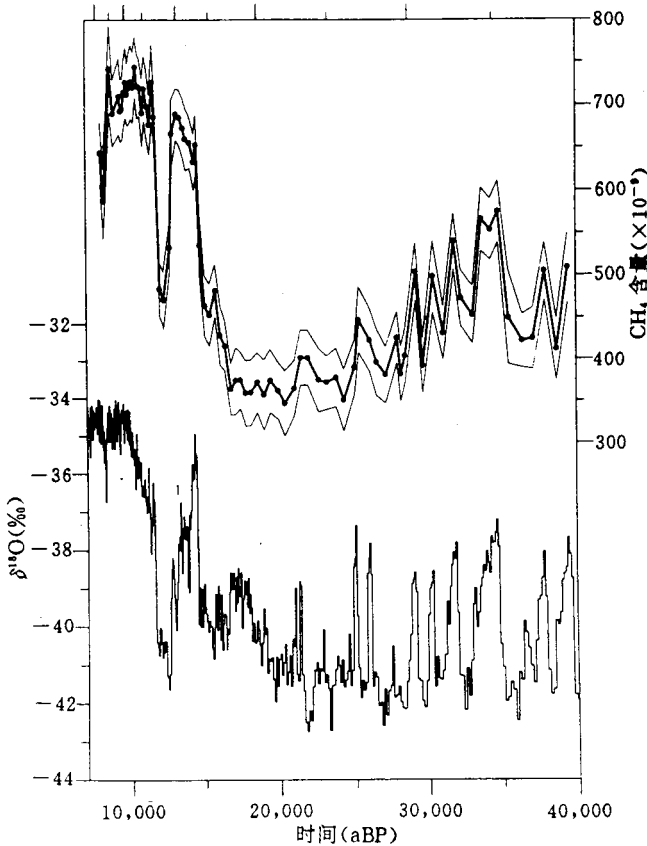


图 5 GRIP 冰芯记录的最后 4 万年氧同位素和大气 CH_4 含量 (引自 Chappellaz, et al, 1993)^[11]

Fig. 5 Atmospheric CH_4 record in the new GRIP ice core profiles (from Chappellaz, et al, 1993)^[11]

近一万年中, 大气 CO_2 和 CH_4 含量的自然变化很不明显. 尽管格陵兰 Camp Century 冰芯记录反映出 CO_2 含量有微小波动^[18], 但在其它极地冰芯分析中并未得到证实. 至今尚未发现早中全新世 (9~5 kaBP) 和中世纪温暖期 (公元 10~13 世纪) 有较高大气 CO_2 含量的可靠记录资料. 因此, 在世纪或更短时间尺度上还不能从古气候资料中找到令人信服的去温室效应的证据.

至于近 100 年, 尽管仪器观测资料显示出明显增暖趋势, 这种增暖也发生在大气 CO_2 和 CH_4 含量迅速增加的阶段, 而且升温幅度位于模式预测范围之内, 但现在仍不能肯定地认为它就是增强的温室效应引起的^[1, 12]. 对 CO_2 等微量气体温室作用信号的检测, 受到了许多因素的限制, 其中可靠的长时间温度序列的缺乏也许是最重要的.

3 古气候类比与预测

气候模式在预测未来气候变化的区域特征方面还存在很多困难. 于是, 古气候类比

方法应运而生。它是把过去温暖时期对目前的温度和降水距平作为预测未来全球增暖背景下气候可能变化的依据。显然,完全的类比是不存在的,因为未来温室气体增加造成的快速气候变化在地质时期可能未曾发生过,但当和模式结合起来应用时,它仍具有不容忽视的价值。

Budyko等根据对中全新世(6~5 kaBP)、上次间冰期(125 kaBP)和上新世(700万~250万年前)几个温暖时期古气候重建认为,未来全球增温后;中低纬海洋性气候区冬季温度变化很小,中高纬大陆内部冬季温度将明显上升;夏季增温在高纬度地带更显著,低纬地区则可能出现一些气候变凉区域。中全新世北半球大陆降水一般是增加的,但原苏联的欧洲地区和美国中部将趋于干燥。在可获得的资料中,上新世几乎所有地区降水都增加了,上次间冰期表明了同样的情形^[1, 19]。这里,有关中高纬大陆内部冬季温度上升更显著、北半球陆地降水量一般增加、以及东欧部分地区和美国中部将趋于干燥等结论与气候模式模拟结果大体一致。

根据对全新世中期和仪器观测时期温暖年份降水距平分析,除了北美大陆中部平原变干燥外,东北部非洲、印度大部分和中国东部将趋于湿润^[20, 21, 22]。这个变化图式和多数模式计算结果也是一致的。在近1万年内,北美大陆中部平原地区的降水量在各种时间尺度上均与夏季气温呈负相关关系,那里未来趋于干燥的可能性很高。

古气候类比方法本身存在着若干缺点,并受到欧美学者的激烈批评。在这种情况下,Crowley(1993)提出用“过程类比”(Process analog)取代传统的“时间片类比”(Time-slice analog)概念^[23]。过程类比是通过分析过去的气候系统运行过程来评估未来同类过程发生的可能性。根据这一思想,古气候学仍然可以在许多方面对未来预测提供有价值的意见。

一个例子是关于北大西洋深层水(NADW)生成问题^[23]。北大西洋地区高盐表层水的下沉是大西洋南北向垂直环流圈的关键组成部分,也是造成高温热带大西洋表层水不断向高纬输送的基本机制。在过去的13万年内,北大西洋地区发生过一系列急剧的气候变化。这种变化可能是由NADW生成速率变化引起的。研究表明,NADW形成过程的减弱或停止可能与冰期北美劳伦台冰盖垮塌产生大量冰体进入北大西洋有关,也可能同降水突然增加或蒸发减少有关。这些过程都有利于在北大西洋表层产生过量淡水,降低盐度,使NADW生成速率突然下降。现在,几乎所有模式都预测,当大气CO₂含量加倍以后,中高纬地区的降水量将显著上升。如果未来北大西洋地区的降水量也明显增多,并伴随海洋蒸发过程的减弱和部分冰融水的注入,则可能会降低或停止NADW的生成,“关闭”北大西洋漂流这条热量传送带,引起海洋及其周边陆地的显著降温。

在季风区,古气候模拟和陆地代用资料都表明,9~6 kaBP非洲和印度季风环流比目前强盛,并出现过比目前湿润的气候环境。当时季风环流的加强起源于欧亚非大陆相对海洋更明显的加热。这种差别升温的结果是增大了夏半年陆海之间的热力对比^[24]。在利用模式计算CO₂含量加倍后的全球温度时,大部分结果都显示北半球大陆内部夏季增暖比海洋更快更多^[1]。因此,未来增温造成的夏季陆海之间的差别升温可能会产生类似早中全新世的更强盛的季风环流,北非南部、印度次大陆和中国东部地区的降雨量可能增多。这与前述利用其它方法得到的结果大体一致。

4 关于海平面上升问题

第四纪时期,全球海平面发生过大幅度升降波动. 125 kaBP 的 Eemian 间冰期,全球海平面约比目前高 3~6 m; 而 20 kaBP 的末次冰期盛期,全球海平面则比现在约低 120 m. 近 1.5 万年以来,海平面不断上升,直到 6 kaBP 时才接近今天高度,以后的波动最多不超过 2~3 m. 古海平面的变化与全球温度直接相关,未来全球增暖将引起海平面上升也是很少有疑问的.

随着“小冰期”结束和 20 世纪增温,世界各地验潮站已经记录到全球平均海平面在升高,近 100 年内上升幅度约为 15 cm^[1]. 这个上升量与模式计算大体接近. 但对未来海平面上升速率的估计却存在着比气候预测更多的不确定性. 近十几年来,这种估计开始有日渐保守的趋势. 这主要是因为现在考虑到了极地冰盖区在全球增温后积雪率可能会增加. 冰芯资料说明,在寒冷的末次冰期盛期(20 kaBP),南极冰盖冰雪积累率只及现代的一半,以后才逐渐增大^[23, 25]. 因此,全球平均温度上升可能对应着极地积雪率的增大,而积雪率的增大又会大大地延缓全球海平面的上升速率. 南极冰芯古资料支持未来海平面上升速率和幅度不大的意见. 但是,1995 年 1 月西南极冰架冰川裂解再次引起人们对这个问题的关注,并且刺激了新的研究热潮.

古环境学研究还显示,上次间冰期 130~120 kaBP 全球海平面比现在高出 3~6 m,这可能是由于南极西部冰川裂解、消融造成的. 人们担心,全球增暖后这种情况还会发生. 但后来的工作表明,一方面当时全球海平面更接近上述升高值的下限;另一方面这种上升可能还有格陵兰等冰川体积减少的贡献. 南极西部冰川在 Eemian 间冰期由于裂解而完全消失的可能性不象原来考虑的那么大. 在未来全球增暖情况下,南极西部冰川全部裂解或消融的可能性尽管不能排除,但过去的记录有助于这种可能性较小的看法.

5 过去的气候突变

模式预测给出了 21 世纪温室升温率在 0.1℃到 0.3℃每 10 年的范围^[1]. 这种快速的升温在过去 1 万年古气候记录中尚未发现. 但从更长的古资料序列角度看,未来可能发生的这种升温速率过去确实出现过.

很早就已证实,在从末次冰期到全新世的过渡阶段,存在着一系列的快速气候波动. 这个波动系列的最后一幕是发生在 12900~11600 aBP(相当于¹⁴C 年龄 11000~10000 aBP)的新仙女木事件(Younger Dryas). 北大西洋附近陆地的冰芯和花粉分析表明,在新仙女木事件开始时气温曾迅速下降 4~5℃,而在结束时气温又陡然上升 7℃^[5, 6, 26]. 格陵兰冰芯资料指示,新仙女木事件结束时 7℃的升温过程在 40~50 年甚至更短的时间内就完成了(图 5).

80~20 kaBP 的末次冰期内,新的格陵兰冰芯(GRIP 和 GISP 2)和北大西洋海底岩芯资料揭示出一系列剧烈的温度波动,每一次相对冷暖事件持续 500~1000 年,格陵兰温度变化幅度可达 6~8℃(图 5). 从一次寒冷事件结束到下次相对温暖事件开始往往十

分迅速, 只有几十年时间^[5, 27, 29, 30, 31], 这些冰期内的变化可能和新仙女木事件一样, 反映了 NADW 生成速率变化的影响。

和末次冰期及其冰消期比较, 格陵兰的两个新冰芯资料表明, 全新世(近 1 万年)的气候惊人地稳定。但是, 在上次间冰期内, GRIP 冰芯记录显示了和末次冰期内相似的急速变化(图 6)。由于上次间冰期全球平均温度比全新世暖 2~3°C, 这个发现曾引起古气候学界的极大震惊和高度重视。人们担心未来 CO₂ 等温室气体引起的全球增暖会不会诱导气候系统的不稳定模态, 使人类在进入一个更暖未来的同时, 也面临着文明社会从未经历过的十年到世纪时间尺度的急剧气候变化。

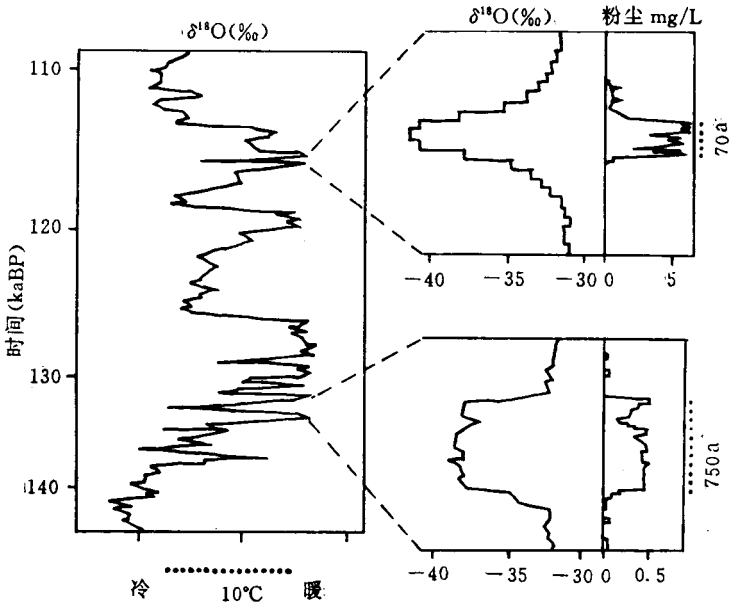


图 6 GRIP 冰芯氧同位素和尘埃含量的变化(引自 Oeschger, 1994)^[14]

Fig. 6 GRIP ice core evidences for the abrupt climate change within the last interglacial period (from Oeschger, 1994)^[14]

在 GRIP 冰芯有关 Eemian 间冰期分析结果发表以后, 对相距不远的 GISP 2 冰芯研究得到了在 Eemian 段与其不一致的结果^[30, 32, 34, 35]。当时推测这种不一致可能是由冰川流动导致两个或其中一个冰芯底部(包括 Eemian 间冰期段)变形引起的^[32], 因此对上次间冰期气候不稳定性结论提出了疑问。紧接着, 北大西洋海底岩芯高分辨率资料分析表明, Eemian 间冰期结束以来的水温变化与格陵兰两个冰芯资料一致, 而 Eemian 间冰期段未见有如 GRIP 冰芯那样的快速变化^[36, 37]。但是, 这个问题并没有最后澄清。最近, Field et al 发表了西北部德国和法国的两个化石花粉分析结果, 再次表明了与格陵兰 GRIP 冰芯相似的 Eemian 间冰期波动性质^[38]。显然, 还需要进一步研究。

关于过去气候突变的一个重要问题是它的空间分布特征。新仙女木事件和末次冰期内的一系列变化以及可能的 Eemian 间冰期的气候不稳定性是仅局限于北大西洋及其毗

邻地区,还是具有全球普遍意义.这个问题目前还不能肯定回答.尽管在南美南部、北美西部、西北太平洋和中国等地一些研究工作也发现了类似新仙女木事件的突变,但这些证据的可靠性仍有待检验.南极冰芯资料也没能反映出象格陵兰那样的多次突变.可能的情形是,上述全新世以前的气候突变现象仅发生在北大西洋及其两岸陆地^[15].其它地区可能在不同程度上受到了北大西洋地区变化的影响.东亚、南极等远离气候突变源发区的地区受其影响可能是不多的.

6 结 论

(1) 大气 CO_2 和 CH_4 含量自工业革命以来一直在升高,但 1991~1993 年这种上升趋势曾一度平缓.在近 1 万年内的世纪时间尺度上,尚未发现 CO_2 出现明显自然变化的充分证据.在过去的 25 万年里, CO_2 和 CH_4 经历了显著的长期变化,但最高值从未达到今天的水平,说明目前大气 CO_2 和 CH_4 含量高确与人类活动有关.

(2) 过去 100 年全球平均气温上升可能由大气 CO_2 和 CH_4 等温室气体增加引起,但目前还不能完全确信.近 1 万年以来,包括最近的几千年,没有得到公认的古资料表明 CO_2 和 CH_4 含量变化曾对气候产生影响.近 250 万年中, CO_2 和 CH_4 含量的长期变化则确与温度呈现高度正相关联系,表明它们可能曾作为有效的气候强迫因子参与了全球气候变化,在由寒冷的冰期到温暖的间冰期的过渡阶段尤其如此.在更早的地质时代(如中生代白垩纪),全球温度显著暖于近 250 万年,一般认为这可能和当时大气 CO_2 含量较高有直接关系.

(3) 古气候类比作为一种预测方法仍具有较高的价值,在预测未来降水或土壤水分方面尤其可贵.根据这种方法,未来美国中部平原和加拿大草原将趋于干燥,北非南部、印度和中国东部季风区降水量和土壤水分可能会增加.在全球增暖过程中,由于降水量增加、蒸发量减少以及冰融水注入的增多,北大西洋深层水生成速率可能会减慢,这会引起北大西洋及其附近陆地的增温减缓甚至转冷.

(4) 现代观测和古资料表明,随着全球增温,极地积雪率可能增加,这有利于延缓甚至反转海平面上升趋势.关于南极西部冰川裂解消失的担心已经愈来愈小了,上次间冰期南极西部冰川可能没有完全消失.在近几个世纪的未来,由于南极西部冰川消融引起海平面上升 6 m 的可能性尽管不能排除,但似乎很小.

(5) 最近对格陵兰冰芯和北大西洋海底岩芯的精细研究曾唤起人们对气候突变问题的极大关注.末次冰期和冰后期初期北大西洋地区确发生了十分剧烈的气候突然变化,这一系列突变的最后一幕是全新世开始之前的新仙女木事件.温度比今天还暖的上次间冰期(Eemian)是否有过快速气候变化格外引人注意,但到现在为止,古气候学界得到的仍是相互矛盾的证据.即使上次间冰期的气候突变确曾发生,似乎也没有过分忧虑的必要,因为有越来越多的证据表明,这些气候事件可能仅局限于北大西洋及其毗邻地区.它们可能同北大西洋深层水生成速率改变有关.如果这类事件发生,受影响最大的地区可能是西欧和北欧以及北美东北部沿岸地区.

致谢: 丁一汇教授、王绍武教授、张德二教授审阅本文并提出修改意见。石广玉教授提供了部分资料。在此作者表示衷心的感谢!

参 考 文 献

- 1 IPCC. Climate Change; The IPCC scientific assessment. Cambridge University Press. , 1990.
- 2 Boden T A. Trends'91, Carbon Dioxide Information Analysis Center, 1992.
- 3 WMO. Carbon-dioxide growth slows down. *World Climate News*, 1994, No. 5, 6.
- 4 Halpert M S et al. Fifth Annual Climate Assessment. NOAA. 1993, 29~31.
- 5 Lorius C and Oeschger H. 古气候预测—减少全球变化中的不确定性. *AMBIO*, 1994, 23(1): 30~36.
- 6 Lorius C J. Polar ice cores and climate, In: A. Berger et al(eds.), *Climate and Geo-Science*, Kluwer Academic Publishers, 1989, 77~103.
- 7 Raynaud D, Jouzel J M, Chappellaz R J, et al. The ice record of greenhouse gases. *Science*, 1993, (259): 926~934.
- 8 Jouzel J, Barkov N I, Bamola J M, et al. Extending the vostok ice-core record of palaeoclimate to the penultimate glacial period. *Nature*, 1993, (364): 407~412.
- 9 Frenzel B. Comparison of interglacial climate regarding space and character, In: Eddy J A and Oeschger H(eds.). *Global changes in the perspective of the past*, John Wiley & Sons Ltd. 1993, 5~15.
- 10 Gammon R H, et al. History of carbon dioxide in the atmosphere. In: Trabalka J R (ed). *Atmospheric carbon dioxide and the global carbon cycle*. USDOE, 1985, 25~62.
- 11 Chappellaz J, Blunier T, Raynaud D, et al. Synchronous changes in atmospheric CH₄ and greenland climate between 40 and 8 kyr. BP, *Nature*, 1993, (366): 443~445.
- 12 Hulme M, Wigley T, 江涛, et al. 温室效应引起的气候变化以及对中国的影响. 世界自然基金会, 瑞士. 1992.
- 13 Wigley T M L. Empirical climate studies. In: Bolin Warrick and Doos Jager(eds.). *The Greenhouse effect, climatic change and ecosystems*. John Wiley & Sons. 1986, 271~311.
- 14 Oeschger H. Global warming—real or imaginary? *PAGES NEWS*, 1994, 2(3): 1.
- 15 任国玉. 国外对 LGM 以来深海岩芯与冰岩芯研究若干进展. *地球科学进展*, 1994, 9(1): 33~37.
- 16 Raynaud D and Siegenthaler U. Role of trace gases: The problem of lead and lag, In: Eddy J A and Oeschger H. (eds). *Global changes in the perspective of the past*, John Wiley & Sons. 1993, 173~188.
- 17 Lorius C, Jouzel J, Raynaud D, et al. The ice core record: climates sensitivity and future greenhouse warming. *Nature*, 1990, (347): 139~145.
- 18 Neftel A, Oeschger H, Schwander J, et al. Ice core sample measurements give atmospheric CO₂ content during the past 40000 years. *Nature*. 1982, (295): 220~223.
- 19 Budyko M I. *The Earth's climate: past and future*, leningrad, gidrometeoizdaz. Academic Press. 1982.
- 20 Kellogg W W. Global influences of mankind on the climate, In: Gribbin J. (ed.), *Climatic change*. Cambridge University Press. 1978. 205~207.
- 21 任国玉. 全球气候变化的地域差异及其意义. *地理科学*, 1993, 13(1): 62~68.
- 22 Lockwood J G. *World climatic systems*. Edward Arnold. 1985.
- 23 Crowley T J. Use and misuse of the geologic "Analog" concept, In: Eddy J A and Oeschger H. (eds.). *Global changes in the perspective of the past*, John Wiley & Sons, 1993. 17~27.
- 24 COHMAP Members. Climatic changes of the last 18,000 years: observation and model simulations. *Science*, 1988, (241): 1043~1052.
- 25 Lorius C, Jouzel J, Ritz C, et al. A 150,000-years climatic record from Antarctic ice. *Nature*, 1985, (316): 591~596.
- 26 Dansgaard W, White J W C, Johnsen S J, et al. The abrupt termination of the younger dryas climate event. *Nature*,

- 1989, (339) : 532~534.
- 27 Lehman S. Ice sheets, wayward winds and sea change. *Nature*, 1993, (365) : 108~110.
- 28 Mayewski P A, Meeker L D, Whitlow S, et al. The atmosphere during the younger dryas. *Science*, 1993, (261) : 195~197.
- 29 Kerr R A. How ice age climate got the shakes. *Science*, 1993, (260) : 890~892.
- 30 Taylor K C, Hammer C U, Alley R B, et al. Electrical conductivity measurements from the GISP2 and GRIP greenland ice cores. *Nature*, 1993, (336) : 549~552.
- 31 Taylor K C, Lamorey G W, Doyle G A, et al. The "Flickering Switch" of late pleistocene climate change. *Nature*, 1993, (361) : 432~435.
- 32 Boulton G S. Two cores are better than one. *Nature*, 1993, (366) : 507~508.
- 33 Williamson P and Oeschger H. Climate instability in a warmer world. *Change*, 1993, 16 : 6~7.
- 34 Grootes P M, Stuiver M, White J W C, et al. Comparison of oxygen isotope records from the GISP2 and GRIP greenland ice cores. *Nature*, 1993, (366) : 552~554.
- 35 Oeschger H. Past Global Changes. *Global Change Newsletter*, 1993, 16, 8.
- 36 Keigwin L D, Curry W B, Lehman S J, et al. The role of the deep ocean in North Atlantic climate change between 70 and 130 kyr ago. *Nature*, 1994, (371) : 323~326.
- 37 McManus J F, Bond G C, Broecker W S, et al. High-resolution climate records from the North Atlantic during the last interglacial. *Nature*, 1994, (371) : 326~329.
- 38 Field M H, Huntley B and Muller H. Eemian climate fluctuations observed in a European pollen record. *Nature*, 1994, (371) : 779~783.

SOME PALAEOCLIMATOLOGICAL PROBLEMS ASSOCIATED WITH THE PRESENT GLOBAL WARMING

Ren Guoyu

(National Climate Center, Beijing 100081)

Abstract

Increasing data and analyses of palaeoclimatology have been seen in the past decade. An attempt is made in this paper to summarize the up-to-date palaeoclimatological research results relevant to the commonly concerned global climate change. It is obvious from the review that a big contribution has been made by palaeoclimatologists for the global climate change research and future climate prediction in such aspects as the past greenhouse gas records, the past greenhouse effect analyses, the study of palaeo-analog forecasting method, the investigation of the past snow accumulation rate in Antarctica and Greenland and its implication for global sea-level change, and the documentation of the rapid climate changes in the inter-glacial and late-glacial periods over North Atlantic regions. Palaeoclimatology has also played an important part in testing and calibrating GCMs models.

Key words: Palaeoclimatology; Climate Change; Climate Prediction.