

下次冰期预测之谜

汪品先

(同济大学海洋地质教育部重点实验室, 上海 200092)

摘要: 同样是根据米兰科维奇理论, 30年前科学界预言“下次冰期正在降临”, 如今又出现“本次间冰期还将延续5万年”的推测。这说明虽然找到了冰期旋回的原因, 但对于地球气候系统如何响应轨道周期的机制并未了解; 在目前条件下, 还不能破解预测下次冰期何时到来之谜。其中的关键在于认识地球系统正在经历的长周期变化: 一是40万年偏心率长周期造成的轨道驱动减弱, 二是碳同位素重值期($^{13}\text{C}_{\text{max}}$)所标志的大洋碳储库大变动。在认识碳循环的天然变化趋势之前, 在认清冰盖张缩和碳储库变化的关系之前, 科学地预测未来变化趋势是不可能的。

本文成稿后, 惊闻业治铮先生辞世, 在此仅以本文表达对他的深切怀念。

关键词: 下次冰期; 气候预测; 碳循环; 轨道周期

中图分类号: P532 **文献标识码:** A **文章编号:** 0256-1492(2003)01-0001-06

20世纪世界古气候理论研究最辉煌的成就, 应推米兰科维奇学说, 即发现地球运转轨道几何形态的缓慢变化, 使地球表面太阳辐射量的纬度与季节分布发生周期性变动, 从而导致第四纪冰期旋回的反复出现。然而, 这项科学成果在现实应用中却发生了问题, 尽管能够为百万年来的冰期旋回提供解释, 却在下次冰期何时到来的问题上出尔反尔, 冰期的预测至今仍是未解之谜。科学界有责任回答这个问题, 因为它涉及社会的可持续发展, 假如下一次冰期正在来临, 那么当前出现的全球变暖, 岂不是求之不得的大好事? 科学界也应当有能力回答这个问题, 既然已经有了几百万年冰期旋回的记录, 又有米兰科维奇理论, 将记录外推几万年, 在自然条件下预测下次冰期何时到来, 应当没有困难。可惜事实并非如此。

确实, 自从研究气候的轨道周期开始, 学术界从来就没有忘记过预测的任务; 只是不同时期、不同作者的推论大相径庭。30年前的“冷战”时期, 当人们大谈核武器可能造成“核冬天”威胁的时候, 学术界讨论的主题是如何对付“下次冰期”的降临^[1]; 今天在“温室效应”气氛下, 学术界却出现了本次间冰期特别长, 至少还有5万年的新提法^[2], 真是“三十年河东, 三十年河西”。怪不得有人问道: “30年前喊‘冰期将临’, 如今又说‘全球变暖’, 这让人如何建立

对科学家的信任?”^[3]为此, 本文拟从历史沿革入手, 看一看不同的主张都有哪些不同的根据, 最后再来看我们当前有没有可能破解这下次冰期预测之谜。

1 两种观点及依据

1.1 “下次冰期正在来临”

直到上世纪50年代, 对于冰期旋回的概念与今完全不同。按当时权威学者 R F Flint 1952年的说法, 第四纪冰期短, 一般10万年一次, 间冰期长, 可以长达20多万年, 认为现在的间冰期2.5万年前就已开始, 至于结束时间因为过于遥远, 根本提不上日程^[4]。60年代晚期国际地学界实现了两大突破: 一是海底扩张的证据导致板块理论的建立, 二是深海氧同位素分析证实了米兰科维奇周期的存在。冰期旋回的概念发生了根本变化, 不仅承认了轨道驱动造成冰期, 而且也认识了冰期的时间尺度: 10万年的冰期旋回里, 间冰期只有1万年左右^[5]。

于是, 一个现实问题立刻被提了出来: 既然间冰期不长, 而全新世已经过去1万年, 新的冰期是不是已经在降临? 紧接着60年代的低温, 1972年又出现异常的寒冬, 20多位在研究米兰科维奇理论中刚刚作出重大贡献的欧美学者们, 当年1月聚首美国布朗大学, 开会讨论“当前的间冰期何时结束和如何结束”的问题。会后, 美国“第四纪研究”学报出版了“当前间冰期之终结”的专辑。学者们举出实例证明, 最近两次间冰期都只有1万年, 6000年前全新世气候最佳期之后气温已经开始下降, 4千年前更趋恶化; 而且从上一次间冰期的结局看, 从暖到冷的

基金项目: 国家重点基础研究项目(2000078505); 国家自然科学基金资助项目(49999560)

作者简介: 汪品先(1936—), 男, 教授, 中国科学院院士, 从事海洋地质和微体古生物研究, 近年来重点探讨南海古海洋学演变。

E-mail: pxwang@online.sh.cn

收稿日期: 2003-01-06; **改回日期:** 2003-01-15 张光威编辑

变化很快,可以不足5百年。“由此看来,如果人类不加干涉,当前的暖期将会较快结束。可以预期不出几千年,也许只是几百年,全球变冷以及相应的环境变迁就会来临,而其规模将远远超过人类历史上的任何经历^[11]。出于对所面临威胁的忧虑,会议的两位发起者还向当时的美国总统尼克松写信发出警报^[6]。

上述“冰期将临”的观点,从70年代起一直持续到最近。1976年Hays等气候轨道周期经典著作的结尾就是:“根据轨道与气候关系、但不考虑人为影响的未来气候模型,预测今后几千年的长期气候趋势是走向北半球的大冰期^[7]”;同样观点也表现在Imbrie父子模拟的冰量变化预测的曲线里(图1A)^[8]:当前冰量增大,正在向下次冰期推进。研究轨道周期的权威,比利时的A Berger在1988年预测,“假定在天文尺度上不受人类干扰,根据轨道驱动可以预言,6千年前开始的全球变冷将会继续,大约5千年后出现寒冷小高峰,2.3万年后大冷,6万年后进入盛冰期”(图1B)^[9],而现在他认为全球变冷应在5万年之后^[2]。

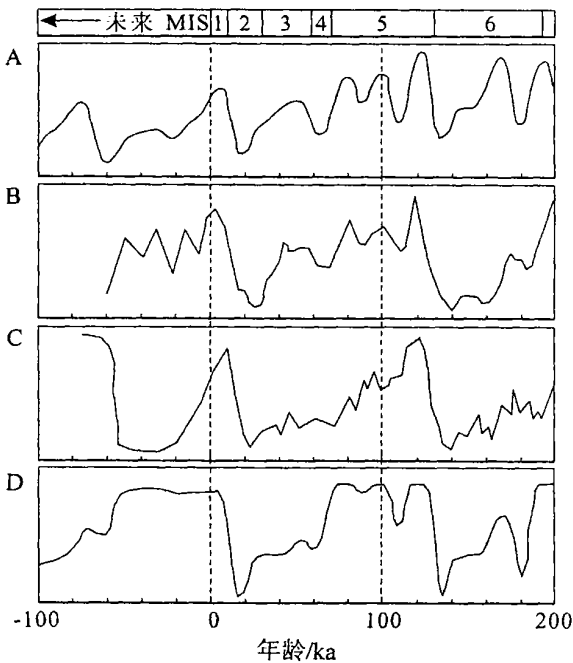


图1 对冰期演变自然趋势的不同推测
(均不考虑人类影响。A: Imbrie & Imbrie^[8]; B: Berger^[9];
C: Raymo^[19]; D: Berger & Loutre^[2])

横坐标正值指过去20万年,负值指未来十余万年;

纵坐标向上指冰盖缩小,向下指示增大。

Fig. 1 Different versions of prediction for the future glaciation
(human impact is excluded. A: Imbrie & Imbrie^[8];
B: Berger^[9]; C: Raymo^[19]; D: Berger & Loutre^[2])

1.2 “下次盛冰期还等10万年”

90年代以来,温室效应与全球变暖成为国际社会的热点问题,对于下次冰期的提法也急转直下。在新资料和新观点的基础上,出现了本次间冰期特别长的论点,其中尤以A Berger等^[2]最近关于“下次盛冰期还等10万年”的预计最为令人瞩目。

产生这种变化的根据有二:一是对间冰期长度的重新认识,二是CO₂与冰期旋回关系的新发现。间冰期长度最常用为参考的是末次间冰期,即约12万年前的海洋氧同位素分期MIS 5e^[10],它延续1.1万年,因此认为更新世中晚期间冰期的长度约占各冰期旋回的1/10。然而,南极东方站冰心中¹⁸O、D记录和美国内华达州魔鬼洞(Devils Hole)方解石¹⁸O记录,都发现四十多万年来4次间冰期长达2万年,而不是1万年^[11]。同时,又发现各次间冰期长度不一,比如有“超级间冰期(super-interglacial)”之称的MIS 11期,间冰期将近3万年,明显地与众不同^[12]。当前的MIS 1期由于轨道驱动的情况与11期有所相似(见后),因此也应当偏长。

另一个更为重要的因素是CO₂浓度。南极冰心气泡记录揭示,42万年来大气CO₂和氧同位素显示出同样的冰期旋回^[13],说明大气CO₂和冰盖体积一道变化;而深海沉积与冰心记录的比较表明,在10万年周期上大气CO₂浓度的变化发生在冰盖变化之前^[14]。因此,任何气候演变的预测不能只看北半球高纬区夏季温度影响冰盖的物理作用,还必须考虑轨道驱动在生物地球化学方面的后果,也就是碳循环的作用^[15]。

正是在上述基础上,Berger与Loutre师徒对下次冰期的时间进行重新计算。他们将过去13万年的CO₂记录用于今后13万年,根据轨道参数的变化,通过模拟得出与以往大不相同的预测结果:如果没有人为因素的干扰,本次间冰期还将延续5万年,其长度为百万年来所仅见;此后变冷,但是进入下一次盛冰期,那将是10万年以后的事(图1D)^[2,16]。此项估计,无疑为“全球变暖”火上加油。但是这种新的提法,究竟有多大程度上的可靠性呢?

2 意见的分歧

其实,学术界对于下次冰期的看法大相径庭。曾经有过许多作者先后对第四纪晚期各间冰期,尤其是各次冰期的终止期(terminations)做过比较研究^[6,11,12,17-19]。结果虽各有差异,但就间冰期的长

度而论,一般的看法仍是 1 万年左右,或者说“半个岁差周期”,即 1.1 万年^[6]。至于美国魔鬼洞记录的 2 万年暖期,有作者认为只能代表局部气候,不等于间冰期;MIS 11 期之长,可能是两次辐射高峰的叠加^[17]。如果说当前间冰期将再有 5 万年,实属“史无前例”,难免引起争议。

将轨道参数和 CO₂ 值结合起来进行数值模拟,无疑是理论古气候研究的一大进步,问题是 CO₂ 如何取值。由于采用的模型尚不能将碳循环纳入计算,大气 CO₂ 只能作为已知值输入,但不同的 CO₂ 值会产生不同的结果。上述 Berger 与 Loutre 的做法,是将冰心记录中过去 13 万年大气 CO₂ 值拷贝到今后 13 万年进行模拟(图 2A)^[16],其结果是当前间冰期还有 5 万年(图 1D)^[2];而美国 Raymo (1997)^[19]从新生代晚期大气逐渐降低出发,取 CO₂ 呈线性下降的方案(图 2B),结果得出下次冰期已在降临的结论(图 1C),与 Berger 的看法相反。可见,问题在于 CO₂ 的取值不同。客观说来,恐怕两者的 CO₂ 取值都缺乏根据,很难相信大气 CO₂ 浓度的天然变化会呈直线上升,也很难相信今后 13 万年的 CO₂ 浓度曲线居然会抄袭过去 13 万年的记录。科学家之所以如此取值,实在也是出于无奈,我们对于今后 CO₂ 天然变化趋势的了解实在太少,既不明白过去 40 万年 CO₂ 和冰盖体积一道变化的原因何在,也不懂得 CO₂ 如何响应轨道驱动的机理。学术界预测结果的分歧在于此,可以说是意料中事。

3 寻求谜底之路

真要破解下次冰期预测之谜,其出路只有从作为预测的依据上去找:探索当前轨道驱动的特征,寻找碳循环天然变化的趋势。说到气候变化的轨道周期,往往会产生一种误会,以为由此造成的冰期旋回都十分规则,第四纪早期每次 4 万年,晚期每次 10 万年。其实不然,所谓“10 万年周期”只是平均值,实际从 8 万年到 12 万年,几乎没有一次是真的 10 万年^[19]。原因在于太阳系里影响地球运行的因素众多,轨道驱动本身就是不同参数不同周期叠加的产物(图 3B),每个冰期旋回中辐射量变化的历史并不相同(图 3C)。除了通常所说的 2 万年岁差周期、4 万年斜率周期和 10 万年偏心率周期之外,还有 40 万年偏心率长周期等叠加其上。当前的地球,正处在偏心率 40 万年周期的低值期,这与 40 万年前的 MIS 11 期十分相似,都是轨道驱动低微的阶段^[2,16]。既然 MIS 11 期长达 3 万年(图 3A)^[12],自

然会想到当前间冰期也会偏长。

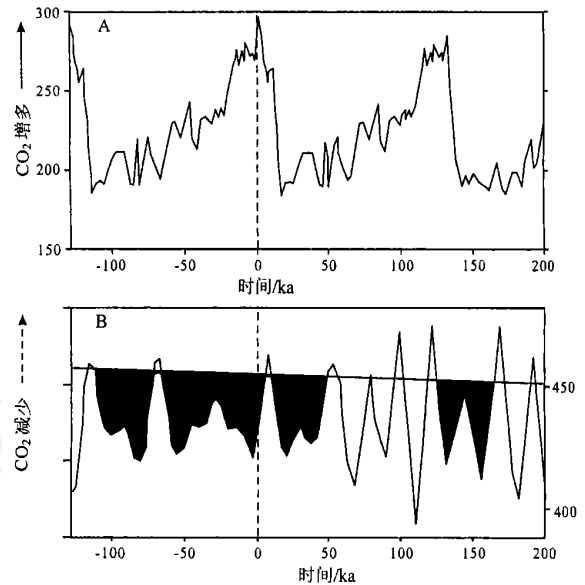


图 2 对大气 CO₂ 浓度的两种不同假设

A: Loutre & Berger^[16]取过去 13 万年记录用于今后 13 万年预测,得出当前间冰期还有 5 万年(图 1D); B: Raymo^[19]取新生代晚期 CO₂ 浓度线性下降的方案,向今后外延进行推测,得出下次冰期已在来临的估计(图 1C); 图中直线示 CO₂ 浓度(无单位),曲线示 65°N 夏季辐射量,黑区示北半球大冰盖形成期。注意两图中 CO₂ 浓度所示方向相反:A 图向上增高,B 图向上减少。

Fig. 2 Two different sets of CO₂ concentrations used in prediction for future climate

A: Loutre & Berger^[16] used the reconstructed CO₂ concentration over the past 130 ka for the next 130 ka; B: Raymo^[19] used the slanted horizontal line to show the linear decrease of CO₂ concentration that is used in prediction. In results, the first authors predicted the long interglacial to last another 50 ka and, the second author predicted the next glacial arriving

的确,40 万年前的 MIS 11 期是第四纪里最强的一次间冰期,从 MIS 12 期到 MIS 11 期之间的冰消期,也是地球上 5 Ma 来冰量变化最大的一次^[20]。作为 40 万年偏心率长周期的两端,将当前的间冰期与之相比,似乎很有道理。其实无论是 MIS 12/11 之间的过渡,或者当前间冰期从 MIS 2 期到 MIS 1 期过渡,都无法靠轨道驱动引起的 65°N 夏季辐射量来解释,因为其变化幅度太小,不足以引起冰盖如此巨大的消长,这就是 Imbrie 等所说的“11 期难题”^[21]。既然如此,单靠轨道驱动辐射量变化的物理因素,推断出当前间冰期与 MIS 11 期之间的类比,是缺乏依据的。相反,两者的相似性在于偏心率 40 万年长周期的最低值,轨道驱动的作用过小,不足以带动地球气候系统的大幅度变化;在此种特

殊条件下,气候系统对 CO₂ 浓度的作用特别敏感^[2],所以生物地球化学的过程就显得格外重要。可见预测碳循环的变化趋势,便成了破解下次冰期之谜的必由之路。

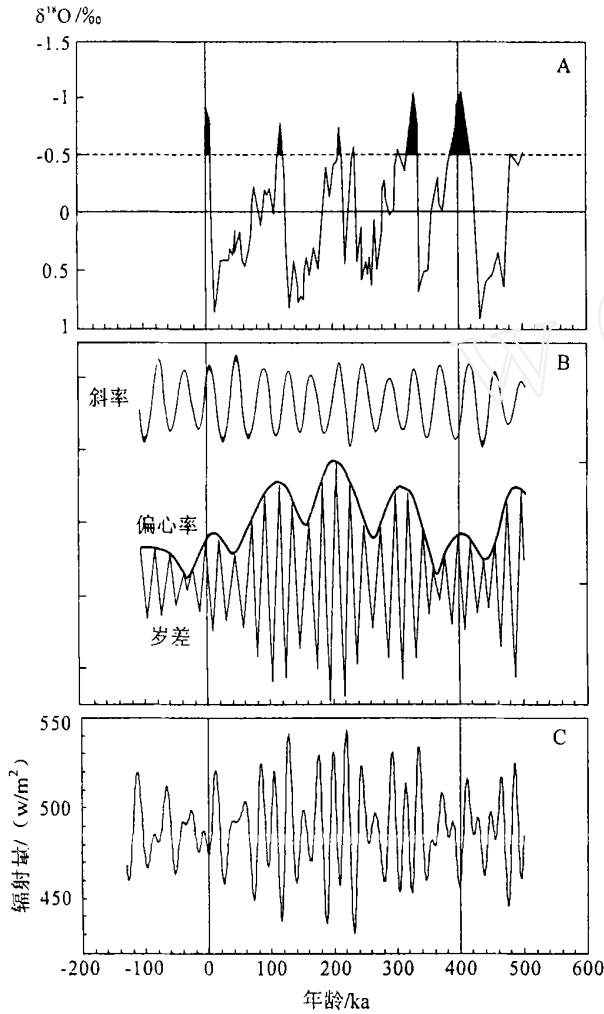


图3 晚第四纪轨道参数和冰盖体积变化的关系及今后趋势

A: 最近 50 万年 SPECMAP ¹⁸O 曲线,代表冰盖体积(向上表示缩小,黑区表示间冰期);B:3 种轨道参数(斜率,偏心率,岁差)的过去与未来的周期变化^[12];C:轨道驱动的 65°N 6 月份辐射量变化^[2]。

Fig. 3 Orbital forcing and ice-cap volume variations: past records and future trends

A: SPECMAP ¹⁸O record over the last 500 ka; B: Earth's obliquity, eccentricity and precession from 500 ka before present and to 100 ka after present^[12]; C: June insolation at 65°N^[2]

4 探索碳循环的周期性

在古海洋学研究中,用氧同位素(¹⁸O)变化作为冰盖消长的标志,用碳同位素(¹³C)变化作为碳储库变化的标志。长期以来,总以为第四纪是冰盖

带着整个地球表层系统,碳储库的变化也是通过植被大小、海面升降、生产力增减等过程响应冰盖的变化,故而是 ¹⁸O 带动大气 CO₂,海洋 ¹³C 跟着一起变;直到发现冰心中 CO₂ 超前于 ¹⁸O 的变化,才察觉在 10 万年冰期旋回中不是冰盖带动碳储库,更可能是碳循环的变化推动着冰盖的消长^[14]。深海沉积中,也同样发现 ¹³C 变化在 10 万年周期上超前于 ¹⁸O^[22],同样表明应当在冰盖之外探索碳循环响应轨道驱动的其他途径。

1999 年春的南海大洋钻探,取得了晚新生代以来古环境演变的深海记录^[23],其中南沙海区的 ODP1143 站(9°22'N, 113°17'E, 水深 2 772 m)建立了近 5 Ma 来的高分辨率连续沉积剖面^[24]。该站的重要发现之一是碳循环变化的长周期(图 4)。无论底栖或浮游有孔虫的 ¹³C 记录,每隔 40~50 万年都出现一次碳同位素重值期(¹³C_{max}),在一百多万年前 ¹³C_{max} 均与偏心率长周期的最低值相对应,因此呈 40 万年周期性,反映了碳循环对于轨道驱动响应;近百万年来,碳同位素重值期出现的周期变

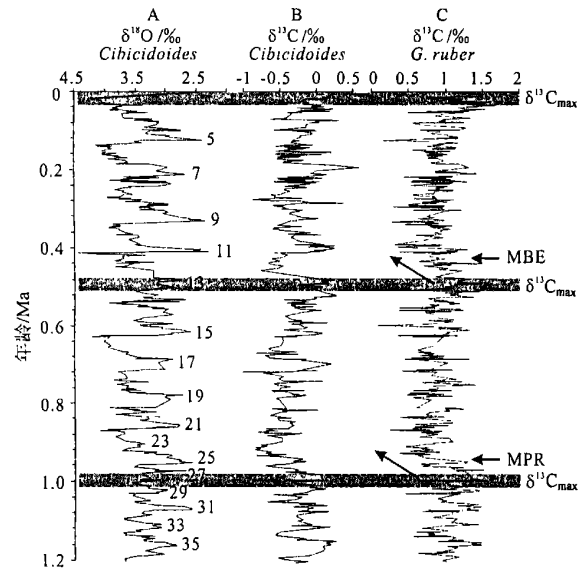


图4 南海南部 ODP1143 站 1.2 Ma 来的同位素记录 A:底栖有孔虫 ¹⁸O^[24];B:底栖有孔虫 ¹³C;C:浮游有孔虫 ¹³C。数码表示氧同位素分期(MIS),灰色横条示碳同位素重值期(¹³C_{max}),MBE 示“中布容事件”,MPR 示“中更新世革命”。斜向箭头指示碳同位素重值期发生在冰期旋回转型、冰盖范围增大之前^[27]。

Fig. 4 Isotope records since 1.2 Ma from ODP Site 1143, the South China Sea

A: ¹⁸O values of *Cibicides* spp. B: ¹³C values of *Cibicides* spp. C: ¹³C values of *Globigerinoides ruber*. Gray bands denote ¹³C_{max} events that preceded Mid-Brunhes event (MBE) and Mid-Pleistocene revolution (MPR)

为约 50 万年,但每次 $^{13}\text{C}_{\text{max}}$ 都引起冰期旋回的“转型”和冰盖体积的大幅度增加。如图 4 所示,50 万年前 MIS 13 期的 $^{13}\text{C}_{\text{max}}$ 之后的碳位移(carbon shift,指 ^{13}C 值变轻),导致了 MIS 12/11 期的冰盖巨变和所谓“中布容事件(Mid-Brunhes Event)^[25]; 100 万年前的 $^{13}\text{C}_{\text{max}}$ 和随后的碳位移,导致了 MIS 22 期的大冰期和从 4 万年转到 10 万年冰期旋回的所谓“中更新世革命(Mid-Pleistocene Revolution)^[26]。

南海记录的碳同位素长周期的发现表明,碳循环有自己的周期性,并不只是消极地响应北半球冰盖的变化。推测这种 40 或 50 万年的长周期反映了低纬区季风气候和向大洋输送陆源元素的周期性,通过大洋浮游生物组成和有机碳/无机碳堆积速率比值的变化,导致海洋碳储库的大变动,一方面表现为碳同位素的重值期,另一方面又引起冰期旋回的巨大变化^[27]。上述碳循环变化引起冰盖变化的看法,虽然目前只是解释实际记录的一种假设,但明确指出了偏心率长周期和碳同位素重值期($^{13}\text{C}_{\text{max}}$)在地球气候系统中的重要性。特别应当注意的是地球系统现在正处在 40 万年偏心率的最低期(图 3B)和一次新的碳同位素重值期(图 4)。如果说百万年来每次 $^{13}\text{C}_{\text{max}}$ 都是冰盖大扩展和冰期旋回大变化的前奏,那么本次 $^{13}\text{C}_{\text{max}}$ 的含义值得高度重视。至少从碳循环的周期变化来看,当前的间冰期与 MIS 11 期并不相同,用简单类比来推断当前间冰期长度的做法是缺乏根据的。

5 结语

以上我们回顾了上世纪以来关于下次冰期何时到来的各种提法与争论,最后又从南海钻孔资料提出了偏心率长周期和碳循环周期的重要性。回顾气候研究中几十年来的“忽冷忽热”,都属“事出有因”,不能都说成社会思潮在左右着学术观点;但是当前的认识不足以揭开下次冰期预测之谜,恐怕也是不争的事实。米兰科维奇学说虽然找到了冰期旋回的原因,但对于地球气候系统如何响应轨道周期的机制,至今并不了解。特别是以为北半球高纬区的辐射量和冰盖消长物理过程的变化主宰全球气候的认识,已经受到日益加强的挑战;热带驱动和生物地球化学作用的重要性,正在得到越来越多新发现的支持,南海见到的碳循环长周期只是其中之一。破解下次冰期预测之谜的关键,在于认识地球系统正在经历的长周期变化:一是 40 万年偏心率长周期造成

的轨道驱动减弱,二是碳同位素重值期($^{13}\text{C}_{\text{max}}$)所标志的大洋碳储库大变动。想跳过这些根本问题,通过简单类比的办法进行预测,是缺乏科学依据的。所以说“在我们认识大气 CO_2 天然变化趋势之前,在认清‘冰’和‘碳’的关系之前,科学地预测未来变化趋势是不可能的。^[28]

在预测本次间冰期“何时结束”的同时,还有一个“如何结束”的问题同样重要:是逐渐转入冰期,还是通过突变事件?现在看来,地球系统在冰期与间冰期两大状态的转换期,充满着种种突变,因而后一种可能性更大^[6]。然而面对着社会对科学预测的种种需求,我们只能承认所知太少;因此至少在目前探讨问题要比预测更加重要。新世纪之初,国际学术界已经在回到 30 年前的老命题,2001 年 8 月在加拿大 Halifax 举行了“全球变化与下次冰期”首届国际会议。对于这种既有理论深度、又有实际意义的命题,我们是不是也应当密切注意,也应当进行探讨?

致谢:本文插图由田军同志改绘制作,特致谢意。

参 考 文 献

- [1] Kukla G J, Matthews R K, Mitchell Jr J M. Guest Editorial: The end of the Present interglacial[J]. Quaternary Research, 1972, 2: 261—269.
- [2] Berger A, Loutre MF. An exceptionally long interglacial ahead? [J]. Science, 2002, 297: 1 287—1 288.
- [3] 汪品先. 穿越圈层, 横跨时空——记“地球系统过程”国际大会[J]. 地球科学进展, 2002, 7(3): 311—313.
- [4] Emiliani C. Quaternary hypsithermals[J]. Quaternary Research, 1972, 2: 270—273.
- [5] Broecker W. Absolute dating and the astronomical theory of glaciation[J]. Science, 1966, 151: 299—304.
- [6] Broecker W. The end of the present interglacial: How and when? [J]. Quaternary Science Reviews, 1998, 17: 689—194.
- [7] Hays J D, Imbrie J, Shackleton N J. Variations in the Earth's orbit: Pacemaker of the ice age [J]. Science, 1976, 194: 1 121—1 132.
- [8] Imbrie J, Imbrie J Z. Modeling the climatic response to orbital variations[J]. Science, 1980, 207: 943—953.
- [9] Berger A. Milankovitch theory and climate[J]. Reviews of Geophysics, 1988, 26: 624—657.
- [10] CLIMAP Project Members. The last interglacial ocean[J]. Quaternary Research, 1984, 21: 123—224.
- [11] Winograd I J, Landwehr J M, Ludwig K R, et al. Duration and structure of the past four interglaciations [J]. Quaternary Research, 1997, 48: 141—154.
- [12] Hodell D A, Charles C D, Ninnemann U S. Copmparison of inter-

- glacial stages in the South Atlantic sector of the southern ocean for the past 450 kyr :implications for marine isotope stage(MIS 11)[J]. *Global and Planetary Change*,1999 ,24:7 —26.
- [13] Petit J R ,Jouzel J ,Raynaud D ,et al. Climate and atmospheric history of the past 420 000 years from the Vostok ice core , Antarctica[J]. *Nature* ,1999 ,399:429 —436.
- [14] Shackleton N J. The 100 000-year ice-age cycle identified and found to lag temperature ,carbon dioxide ,and orbital eccentricity [J]. *Science* ,2000 ,289:1 897 —1 902.
- [15] Saltzman B ,Verbitsky M. CO₂ and glacial cycles [J]. *Nature* ,1994 ,367:419.
- [16] Loutre M F , Berger A. Future climatic changes :Are we entering an exceptionally long interglacial ? [J]. *Climatic Change* ,2000 ,46:61 —90.
- [17] Forsström L. Duration of interglacials: a controversial question [J]. *Quaternary Science Reviews* ,2001 ,20:1 577 —1 586.
- [18] Sarnthein M ,Tiedemann R. Younger Dryas-style cooling events at glacial terminations I-VI at ODP site 658 :Associated benthic ¹³C anomalies constrain meltwater hypothesis [J]. *Paleoceanography* ,1990 ,5:1 041 —1 055.
- [19] Raymo M E. The timing of major climate terminations[J]. *Paleoceanography* ,1997 ,12:577 —585.
- [20] Droxler A W ,Farrell J W. Editorial : Marine isotope stage 11 (MIS 11) :new insights for a warm future[J]. *Global and Planetary Change* ,2000 ,24:1 —5.
- [21] Imbrie J ,Berger A ,Boyle E A ,et al. On the structure and origin of major glaciation cycles. 2. The 100 000-year cycle [J]. *Paleoceanography* ,1993 ,8:699 —735.
- [22] Mix A C ,Pisias N G ,Rugh W ,et al. Benthic foraminifer stable isotope record from Site 849 (0 ~ 5 Ma) :Local and global climate changes[A]. ODP ,Sci. Results[C] ,1995 ,138:371 —412.
- [23] WANG Pin-xian ,Prell W ,Blum P ,et al. Proceedings , Ocean Drilling Program ,Initial Reports[R] . 2000 ,184:1 —77.
- [24] Tian J ,Wang P ,Cheng X ,et al. Astronomically tuned Plior-Pleistocene benthic ¹⁸O record from South China Sea and Atlantic-Pacific comparison [J]. *Earth and Planetary Science Letters* ,2002 ,203:1 015 —1 029.
- [25] Jansen J H F ,Kuijpers A ,Troelstra S R. A mid-Brunhes climatic event :Long-term changes in global atmosphere and ocean circulation[J]. *Science* ,1986 ,232:619 —622.
- [26] Berger W H ,Bickert T ,Jansen E ,et al. The central mystery of the Quaternary ice age[J]. *Oceanus* ,1993 ,36:53 —56.
- [27] Wang P ,Tian J ,Cheng X ,et al. Carbon-reservoir changes preceded major ice-sheets expansion at the mid-Brunhes event [J]. *Geology* ,2003 ,31(3) :239 —242.
- [28] 汪品先. 气候演变中的冰和碳[J]. *地质学前沿* ,2002 ,9(1) :85 —93.

PREDICTION OF THE NEXT GLACIAL :A CONTROVERSIAL ISSUE

WANG Pin-xian

(Laboratory of Marine Geology ,Tongji University ,Shanghai 200092 ,China)

Abstract :About third years ago ,paleoclimatologists warned that“ Global cooling ..can be expected within the next few millennia ;perhaps even centuries , ”and “ they present-day warm epoch will terminate relatively soon if man does not intervene ”^[1]. Now ,they predict“ a long interglacial that may last another 50 000 years ”,“ with the next glacial maximum in 100 000 years ”^[2]. In fact ,opinions remain highly controversial among scientists in prediction for the next glacial ,and the divergence roots in the limitation of our knowledge about the climate system. Although the Milankovitch theory elucidated the origin of the Quaternary glacial cyclicity ,it remains unclear how the Earth climate system responds to the orbital forcing. The present paper briefly reviews how the prediction of the next glacial has been evolving in the scientific community and why the viewpoints are so divergent.

The key to the scientific prediction lies in our understanding of the specific feature of the present and future orbital forcing ,and of the responding mechanisms of the carbon cycling. Our recent discovery of periodic occurrences of ¹³C_{max} in the deep-sea sequence over the last 5 Ma at ODP Site 1143 in the southern South China Sea ,indicates that the long-term changes in carbon reservoirs on the Earth have their own periodicity and their own history ,and do not simply follow ice cap variations. Because disturbance in carbon reservoirs leads to major growth of ice-sheet size ,and because the Earth is now passing through a ¹³C_{max} episode ,it is crucial to understand the causal relationship between the successive ¹³C changes and ice-sheet growth events^[27].

Key words :the next glacial ;climate prediction ;carbon cycling ;orbital cyclicity