

太阳辐射与气候变化

任国玉

(北京师范大学地理系 100875)

提 要: 本文评述了太阳辐射改变对地球气候变化的影响, 特别讨论了太阳活动, 地球轨道参数和同太阳辐射有关的天文灾变等对气候不同时间尺度变化的影响。

关键词: 日—地关系 气候变化

太阳是地球表层环境系统能量的最主要的来源。它也是气候系统最重要的外部能量来源。太阳本身的变化和地球相对太阳位置的变化必然会对地球气候产生影响, 并进而对地球生物圈产生影响。

一、太阳活动

太阳活动的强弱常用太阳黑子数量或面积去度量。黑子数的年平均值呈周期变化, 这个变化周期的多年平均值为 11.04 年, 因此, 太阳活动一般被认为有明显的 11 年左右周期。22—23 年的所谓“双黑子”周期是同太阳磁场的逆转相联系的^[1], 也是一个重要的太阳活动周期。另外太阳黑子活动还可能具有 80—90 年和 180 年的较长周期变化。

由于人类使用望远镜观测天体是从伽利略时代开始的, 可靠的太阳黑子数量记录年代只有 380 年左右。现在利用测定树木年轮中¹⁴C 方法可以使这个序列延长。¹⁴C 存在于大气中, 但它不是固定不变的。其浓度变化的部分原因是由于太阳辐射的变化, 而太阳辐射的波动主要取决于太阳活动。因此, 通过测定树木年轮内¹⁴C 含量的差别, 有可能恢复过去太阳活动或黑子数量的变化情况。在美国加利福尼亚州的怀特山脉 (White Mountains), bristlecone 松树的年轮记录在活树中可以往回追溯 5000 年, 而通过死树或圆木更能恢复到 9000 年前。在这个延长的序列中, 记录了一系列太阳活动平静期和活动期^[2], 为研究太阳活动的周期提供了重要的资料。

长期以来, 人们一直试图寻求太阳活动和地面气候变化之间的联系。King (1973, 1975) 发现苏格兰的农业生长季节长度和太阳黑子数之间存在一定关系^[1] Lamb 报道了 Baur 太阳指数与北半球中纬度西风带西风年频度之间具有一致的变化趋势。从 1890 年到本世纪 30 年代, 二者总的趋势都是增加的, 而从 30 年代到 60 年代; 二者总的趋势是减少的。不少学者认为北美大草原上的干旱现象具有大致 20—22 年的重现期, 并把这个准周期同太阳的“双黑子”周期联系起来。最近的几个干旱期的中值年份与太阳黑子最小值有很好的对应关系。

收稿日期: 1991—02—27

Williams 的工作^[5]使我们坚信,在地质时期,太阳活动同样对地球气候有重要的影响。在澳大利亚南部前寒武纪末期(680×10⁶年前)的冰川融水量随太阳黑子活动而出观增减。但在较近地质时期的纹泥层中却没能发现这种现象。这可能说明前寒武纪末地球磁场比后来要弱,因此有利于增强太阳活动期间粒子对上层大气的影响,并进而通过某种机制把这种影响传递到地面。

现在看来,不论是地质期的过去,还是目前阶段,太阳活动对气候的影响确实存在。但问题在于,太阳活动是通过什么机制作用于地球表面的大气的?这是一个没有解决的问题。

如果把大气比作一架机器,那么大气这个“热机”对输入的太阳辐射能的利用效率是很低的,只有大约2%。观测表明,太阳光谱各部分在黑子高峰期和低值期之间的变化以紫外辐射部分为最高,可相差20倍。但这部分辐射占太阳总辐射能量的比例却非常低,仅有7%,因此总辐射或太阳常数的变化就很不明显了。由此可以推论,任何太阳活动导致地面气候的变化可能不是由于作为能源的辐射总量的变化,而是紫外区辐射量的改变起到了某种激发作用的结果。

行星波和大气电可能起到把大气上层的变化传递到地面的作用。所谓行星波是指大气压力、速度和温度场在水平方向上的扰动,它提供了上下层大气之间的动力耦合,传递各层之间的能量和动量。中纬度行星波速度在夏季随高度迅速衰减,而冬季则增加,这种季节性的反转由温度在高空随纬度的分布所决定,而湿度本身又取决于紫外线在平流层被臭氧吸收的多少。很有可能,通过改变上层大气短波辐射的吸收和反射或通过干涉作用,太阳活动的信号被传递到低层,造成地面气候的变化。

大气电路可能也会受到太阳活动的干扰。一般认为,在大气层中,积雨云上的雷暴充当了大气电路中发电机的作用,它提供了一个向高空输送的净电流,直达电离层,然后在对流层的天气晴朗地区电流又向下传至地面,完成一个闭合电路^[6]。太阳活动期间常伴有更强的耀斑,以及由此产生的大量高能粒子,这可以使电离层大气的电离度增加,增强导电率,因而扰乱大气电流。从理论上讲,这种效应可以通过大气电路传递到对流层,并进而影响地面天气和气候。但到目前为止,还不清楚对流层积雨中雷暴在全球规模上是否随着太阳活动加强而增多。显然,这是特别需要注意观测的一个问题。

磁场强度决定太阳发射粒子到达地面的数量而影响大气。已经有人发现年平均气温和地球磁场强度具有反相关关系^[1]。太阳发射的高能粒子和等离子体流即太阳风进入地球附近,地球磁场迫使他们沿着地球磁力线运动,这样粒子便集中到地球的两个磁极,如果磁场强度变弱,则集中到两极上空的粒子相对减少,而通过大气到达地面附近的粒子辐射相对增强,因此,一个更弱的磁场在某种程度上相当于更强的太阳活动。

除了有规律的周期性活动以外,太阳辐射在地质时期内还有长期的趋势性变化。太阳自从作为一个恒星开始它的生命历程以来,直径已增大6%,表面温度升高了300K,光度增加了40%^[2]。在地球上生命刚出现时,太阳的辐射量明显的比今天低。然而,过去6亿年的化石记录表明,地球在有生命的历史中,大部分时间气温都是高于目前水平的。至少有两个因素可以解释这个问题。一是过去大部份时间大气层中的CO₂含量显著地高于今天;再一个就是在人们发现有很多证据的地层沉积年代,各大陆都集中在低纬地区,这又和大陆漂移和陆地表面的变化联系起来。

二、轨道参数

太阳自身辐射的变化固然可以影响地球气候。即使在太阳常数或太阳辐射的一定条件下,地球相对太阳位置的改变也可以导致太阳辐射在地球表面时空上的再分布,从而引起气候的变化。著名的米兰柯维奇(Milutin Milankovitch)理论,就是试图从这个角度解释更新世冰期的成因。

米兰柯维奇理论涉及到地球公转轨道偏心率,黄赤交角和地球自转轴的进动等轨道参数的长期变化。地球绕太阳公转轨道的形状变化于近似圆形到椭圆形之间,目前的偏心率 e ($e = \sqrt{a^2 - b^2}$, a 、 b 分别为轨道的长、短半轴)约为0.016,但它最大时可以达到0.06。偏心率从接近0的最小值缓慢增大到最大值(0.06)需用96000年时间,即偏心率具有96000年的变化周期。由于太阳位于轨道的一个焦点上,公转轨道的这种变化造成地球在一年的各个季节里距太阳的远近出现变更。在假定春分点不变的条件下,这将使某一个季节接收的太阳辐射量随时间发生变化,同时也使得地球作为一个整体接收的太阳辐射量在一年各季的分配具有长期变化。在偏心率最大时,地球在近日点和远日点所接收的辐射量可相差30%。

黄赤交角的变化起源于地球自转轴相对于轨道面倾斜程度的变动。目前黄赤交角是 23.44° ,但正在不断减少,每年减少约 0.00013° ,直到 21.8° 时为止,然后它将增加,最大时为 24.4° 。黄赤交角的这种变化呈现约40000年的周期。黄赤交角的改变将使地球各纬度地带接收的太阳辐射量产生变化。黄赤交角大时,高纬地区将接收到比这个角度小时更多的辐射,低纬则相反。同时,较大的黄赤交角也造成了中高纬地区更显著的季节变化,即夏季和冬季接收辐射量的差别会更大。

偏心率和地轴倾斜的改变是由太阳系其它行星、主要是土星和木星的摄动引起的,而地球自转轴的进动则是由太阳和月球对地球赤道附近隆起的附加吸引力造成的,它表现为天体上的南北两极、地球赤道平面和春分点的周期性向西移动,变化的周期为25800年。在假定公转轨道保持一定的条件下,春分点的移动意味着季节起迄时间的变化,也意味着近日点所在季节的变化。目前,地球在1月2—3日到达轨道上的近日点,在7月5—6日位于远日点。因此地球的南半球现在冬夏季接收的太阳辐射差别应更大,北半球则相反。但在10000年前的全新世初期,北半球的夏季是地球处于近日点的时间,当时北半球夏季比现在接收到更多的辐射,冬季则更少。南半球却相反。

实际上,这三个轨道参数都在不断的变化,地球某一地区或某个季节接收的太阳辐射量就是这三个变量及其时间的函数。从理论上讲,当轨道偏心率最大,近日点处于北半球的冬季,并且黄赤交角为最小时,北半球中高纬陆地夏季所接收的太阳辐射应最小,冬季则相对更多些。这样冬春季的降雪有可能在夏季不被融化,并积累起来发展成冰川。另一方面,在偏心率最大,近日点在北半球夏季,同时黄赤交角最大的情况下,北半球中高纬在夏季可以得到更强的辐射,冬季却更弱,必然引起较高的夏季气温和更大的年较差,因此不利于冰雪的积累和发展,而有利于冰川的消融和后退。当然,第四纪冰川消长的原因可能比这个模式要复杂得多。

Bernard (1962) 和 Berger (1978) 指出,在高纬地区,天文控制因素是地轴的倾斜度,即黄赤交角,而在低纬地区以轨道参数中的偏心率和春分点的进动为更重要⁽⁷⁾。在 Berger 的图

上, 80°N 的辐射量具有和黄赤交角变化相似的准周期, 但在 10°N 的辐射量变化和春分点进动周期很相近。在高纬地区, 黄赤交角小时有利于夏季气温降低, 于是某些年份雪盖面积的扩大和持续促发了正反馈机制, 即增加的反射率导致对流层的进一步变冷, 形成冰雪覆盖区上空的冷性涡旋, 造成了更多的降雪。这种正反馈机制在冰盖扩张中的作用已经很少有人怀疑了。

Berger (1978), Ruddiman 和 McIntyre (1979) 认为, 轨道参数的变化可以很好地说明高纬辐射减少与低纬辐射增加的同时性。这种同时性对于北半球高纬冰川的积累可能也是相当重要的, 因为低纬海洋的温度可以提供充分的水汽, 并通过活跃的经向环流输送到大陆上去。Ruddiman 等通过研究深海沉积物的同位素资料发现, 最后一次冰期里的两个迅速的冰川增长阶段的前期都由较暖的副极地大西洋海水温度相伴随⁽⁷⁾。

地球轨道参数不能引起地球作为一个整体所接收的太阳辐射的变化, 它们只是使太阳辐射能在地球上出现时间上和空间上的再分布。所以, 在同一个季节里, 北半球如果由于轨道参数变化得到更少的辐射, 则南半球因为同样原因会接受更多的辐射。但来自南半球大陆和洋底沉积物的证据表明, 第四纪冰期在南北半球是接近同时出现的, 这和轨道参数理论相互矛盾。北冰洋和北大西洋与南大洋的海冰也是同时扩张的。

解释这种现象可能涉及到南北半球冰川增长对季节温度条件的要求不同这一推断。北半球中高纬有大面积的陆地, 气候的大陆性造成了夏季较高的湿度。因此夏季气温始终是决定雪盖和海冰能否保存下来的关键, 夏季的低湿也就成了冰川增长的前提条件。但南半球中高纬陆地面积很小 (不包括南极洲) 气候具有强烈的海洋性特点, 决定那里冰雪存留或冰川增长的因素已不再是夏季气温, 而是冬季有没有足够低的温度以保证有较多的降雪和海水结冰。只要冬季气温更低, 就有可能产生更多的海冰和降雪, 并导致冰川的扩大。这样看来, 正是北半球夏季较少融化和南半球冬天更多的积累才是两个半球冰川增长的条件。米兰柯维奇理论表明, 由偏心率和春分点移动所造成的太阳辐射在南北两半球具有相反方向的变化。在偏心率较大, 并且地球在北半球冬季到达近日点时, 北半球在夏季处于远日点, 得到太阳辐射较少, 而南半球在冬季位于远日点, 冬季气温会更低。

如果米兰柯维奇理论是正确的, 那么地球轨道参数不仅在第四纪期间改变, 在更早地质时期也一直是变化的。为什么第三纪或中生代没有大规模的冰盖出现呢? 对此有两种解释: 一是认为大陆漂移使北半球中高纬陆地面积在晚近地质时期扩大了⁽¹⁾⁽⁶⁾, 中生代和第三纪中高纬地区多为海洋, 轨道参数的变化也不足以在较低纬度的陆地上诱发冰川的增长; 再一种意见就是认为大气 CO_2 在第四纪时减少, 天文因素在这个背景下得以进一步促成冰期的产生⁽⁸⁾, 也许, 以 Budyko 为代表的后一种意见能够更好地解释上述困难问题。

至于为什么北半球大陆冰盖发育在大西洋两岸, 而不是在亚洲, 这可能与不同地区气候对外部迫力敏感程度的差异以及冰雪与气温和大气环流之间的反馈作用等有重要联系。

三、天文灾变

中生代末恐龙的突然灭绝以及 80 年代人们对核冬天的担心激发了地球科学家对天文灾变问题的兴趣。现在的天文灾变假说主要是和星际尘云遮蔽太阳光相联系的。

地质时期的生物灭绝似乎具有大致 2700 万年重现期。对此现在有两种假说。其中一个假

说认为,太阳有一个伴星,二者相互环绕,它们扁长的轨道使太阳在每隔 2700 万年时接近一片慧星云。太阳系内的行星际空间由于存在这种尘云,到达地球和其它行星的太阳辐射相应减少。第二个假说认为这和太阳系在银河系中的运动有关。太阳围绕银核旋转,每 25000 万年完成一周。但太阳运行轨迹不是和银盘完全平行的,而是沿银盘平面上下波动。这种波动具有 2700 万年周期。在每一次经过银盘平面时,太阳系就进入一个更浓密的星际尘云区,使地球上得到的辐射量显著下降。

Friedman (1984) 介绍了另一种可能性^[2],太阳在绕银核运转时,它可以缓慢地通过银河系的旋转臂。由于尘云在旋转臂的内缘浓厚,当太阳跨越这些尘云浓密区时,等离子体流构成的太阳风将被遮挡,物质流倒向。来自星云的尘埃冲撞太阳表面,可以提高太阳光圈的温度。温度变化百分之一是可能的,这足以对地球造成深刻影响。

在太阳运行轨道上的尘云的数量、大小和密度都很难估计。有些尘云每 cm^3 粒子数量可达 10 万到 1000 万个,但碰到这种浓密尘云的机率极小。太阳更可能遇到的是每 cm^3 含有 0.01 万到 0.1 万个粒子的稀疏尘云。每碰上一次,太阳将在这种尘云内度过 5 万年时间。即使密度达到 1000 万个粒子/ cm^3 和实验室真空内的粒子比较起来还是少的。人们很难预测下一次尘云碰遇时间,也就不知道由这种事件引起的冰期何时到来。根据目前对星际尘云密度和分布的估计,太阳过去可能已经遇到一百次密度在 0.01 万个粒子/ cm^3 的尘云,并遇到过十几次密度为 0.1 万个粒子/ cm^3 的较浓星云。

这种理论得到来自月球尘土标本研究支持。通过对月球表面不同深度采样,可以了解 30 多亿年时间的沉积情况。分析表明,微陨尘物质堆积的周期性增加为几亿年的间隔所分开。这个证据似乎同太阳系通过银河系旋转臂内尘云区时间相一致。

短期的担心可能来自太阳耀斑的反常爆发。天体物理学家已经记录过大型耀斑爆发的例子,但和银河系其它耀斑恒星的爆发比起来要小得多。银河系一些恒星的耀斑爆发常比太阳最强的爆发还要强烈数千到数万倍。人们还不清楚,如果太阳也经历那样的超级耀斑,对地球大气会带来什么影响。

参 考 文 献

- [1] Gribbin J. 1978, *Astronomical influences*, in: 'Climatic Change' edited by John Gribbin, Cambridge University Press
- [2] Friedman H. 1984, *The Science of Global Change*, in: 'Global Change' edited by T. F. Malone and J. G. Roederer, Published on behalf of the ICSU Press by Cambridge University Press.
- [3] A. 高迪, 1977, 环境变迁, 海洋出版社
- [4] Walter O. R. *Great Plains Weather*. *Nature*, 1975 Vol. 254, No. 5499.
- [5] Bonnet R. M. 1984, *Solar Terrestrial Relations*, in: 'Global Change', (同 2)。
- [6] Friedman H. 1984, *Some Interdisciplinary Aspects of Sun—Earth Relationships in the Study of Global Change*, in: 'Global Change' (同 2)
- [7] Lockwood J. C. 1985, *World Climatic Systems*, Edward Arnold, London.
- [8] Budyko M. I. 1980, *Climate in Past and Future*, Hydromet Publ. House, Leningrad.