

太阳活动对地表气候和地球自转的影响*

顾震年

(中国科学院上海天文台)

提 要

本文评述了太阳活动与气候、天气和地球自转的相关分析的研究进展。介绍了统计相关的可能机制及其不同的观点,也提出一些看法。

一、引 言

近年来,伴随着太阳活动第22周峰年的到来,全球性的气候异常现象及各种重大自然灾害频频发生,全球地震活动呈不断起伏增强趋势,太阳活动对地球及近地空间的影响已日益明显。对此各国科学界都极其重视,相继投入了众多的人力、财力和物力,开展了广泛而深入的探索研究。美国政府还组织了规模空前的实测及研究队伍,并计划发射太阳探测器,俾便获取和提供宝贵的第一手资料。这一切都预示着以日地关系为中心的系列研究正在世界各国悄然兴起。

日地关系是一项综合性很强的研究课题,涉及到诸如太阳物理、大气物理、地球动力学、气象、气候等众多学科领域。随着现代科学的高度分化又高度综合,上述各相关学科之间相互交叉、相互渗透,人们逐步摆脱了以往单学科局部研究的传统方法,不断向着综合研究的方向迈进。致使日地系统各相关学科的研究更富有生命力。基于上述研究方法,本文旨在通过太阳活动对气候、天气及地球自转影响的分析,使人们从本质上了解太阳活动对地球环境所起的约制作用。

二、太阳—气候关系的研究

近几年全球的气候异常及太阳活动第22周峰年的来临,强调了这两者相关研究的紧迫性。统计表明:在所有自然灾害中,属于气象方面的灾害:暴雨、洪水、台风、干旱和龙卷风对人类和生物危害最为惨重。全世界每年大约发生20起严重自然灾害,平均死亡8.8万人,经济损失40亿美元。联合国已为300起严重自然灾害提供数以亿计的美元援助。据估计,人类生命和他们创造的物质财富至少有一半耗损在各类自然和社会灾害中,这是多么触

*国家自然科学基金资助项目。

1989年7月11日收到。

1990年2月21日收到第一次修改稿。

1990年8月20日收到第二次修改稿。

目惊心的数字!前几年对未来曾作了多方面的预测设想,但对灾害冲击没有给予应有的重视和论证。近年来已对灾害学予以重视,学者们强调全球变化研究的重要性。联合国将从1990年开始研究制定防治自然灾害的有关计划,并组织实施。今后10年是向自然灾害挑战、减缓自然灾害的10年。为此人们的首要任务是探索气候变化规律及寻求气候变迁的原因。

寻求气候变迁诸多可能原因,包括气候波动的内部原因,主要是由大气、海洋、冰川质量之间的能量交换。也有气候变化的外部原因。例如地球相对于太阳位置的微小变化,到达地球轨道的太阳辐射总流量(太阳常数)的变化,火山爆发,大气成份的变化或由于人类活动促使地球表面特征发生的变化。这些原因集中起来组成气候系统^[1]。由NASA戈达德飞行中心及空间研究所、剑桥技术测量所的研究人员,根据计算机对地球气候的模拟,预测今后几十年间全球大部分地区将经受显著的温室效应的影响。而天气温暖的程度依赖于大气中的各种气体成份如CO₂(二氧化碳),CH₄(甲烷),N₂O(氧化氮)等的变化。大气密度随太阳活动而变化,太阳活动越激烈,太阳在10.7cm附近波段的电波强度即辐射流量 $F_{10.7}$ 越大,大气密度就越大。离地面越高,受太阳活动的影响愈明显。因此,太阳辐射及太阳活动产生的高能粒子流是导致地球上层大气(中层、平流层和对流层)增温的主要因素,是气候和天气变化的重要因子。从目前情况分析,太阳变化对气候影响的研究内容大致可分为两个方面评述。

1. 太阳辐射对气候大尺度波动的影响

太阳辐射强度和气候大尺度波动的空间分布关系,主要指由于地球轨道变化而导致地球接受太阳总辐射的改变,从而造成气候冷暖变异。这就是本世纪早期Milankovitch^[2]建立的古气候的天文理论。

早在18世纪,人们就开始根据地球轨道三要素的长期变化来解释气候冷暖波动、冰期交替的原因。到了19世纪初,Köppenand, Wegener(1920),Spitaler(1984)和Milankovitch(1920, 1930, 1941)等分析了地球轨道参数长期变化和气候波动的因果关系^[3]。地球吸收太阳总能量随着日地平均距离 r_m 而变化。公式 $r_m = a(1 - e^2)^{1/4}$ 表明,地球绕日运动椭圆轨道偏心率 e 增大时,则日地距离在远日点增大,当地球在夏至通过近日点时,北半球冷热差异大,夏至在远日点时,冷热差异小。黄赤交角 ε 增大时,冬夏温差小,即高纬度太阳辐射量增加,赤道处辐射量减小,两半球呈反对称补偿。由天体力学理论得知,地球轨道偏心率 e 变化为0—0.0607(目前值是0.0167)。平均准周期为9.5万年。黄赤交角 ε 变化在22°—24°30'(目前值为23°27'),准周期为4.1万年。分点岁差 P 平均周期为2.17万年(主要周期为2.3万年和1.9万年)。由这些参数变化公式,可计算出北半球接收辐射量的曲线与第四纪冰期的循环相似。由于得到深海沉积物记录的证实,Milankovitch学说已成为目前解释十万年左右一遇的冰河期的比较成熟的理论。我们可从米氏(Milankovitch)理论分析出太阳辐射与气候模式的相互关系。若把全球净增热量 ΔQ 和全球温度变化 ΔT 之间关系用反馈系统因子 λ 表示:

$$\lambda = - \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

一般说 λ 取为 $1-2\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ，但为方便起见，取 $\lambda = 1.5\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ 。太阳常数大约为 $1370\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。由于地球近似球形，入射到地球上的太阳辐射流量大约为总辐射量的 $1/4$ ，而这流量的 30% 又反射到空间。最后估计有 $240\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ 由气候系统吸收。太阳常数变化 1% 可提供 $\Delta Q = 2.4\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ，对应于温度变化为 $\Delta T = 2.4/1.5 = 1.6\text{K}$ 。全球由于 CO_2 增加 10% 就使 ΔT 增加 0.4K 。

总之，太阳变化对大尺度的气候影响主要是考虑全球能量平衡，通过大气和海洋使气候系统内部能量再分配当然也是重要的。可想而知，若没有太阳辐射，地球将是一个冰酷的死的岩石。

2. 太阳活动和气候的统计相关研究

太阳活动对地表上几十年至几百年时间尺度上的气候波动主要受太阳黑子周的影响。我国《汉书·五行志》记载出现的黑子：“日出黄，有黑气大如钱，居日中央”。“黑色大如瓜在日中，日黑则水淫溢”。这些记载形象地叙述了太阳黑子多时，则我国出现洪水，表明了黑子和洪水之间的对应关系。1801年，Herschel 得出黑子少时降水量少的结论。这都是发现太阳活动周期规律以前关于太阳活动对地球气候影响的最早论述。自从 Schwabe 观测太阳黑子并发现它有 11 年周期的规律后，日气关系的研究就逐步开展起来，并取得了许多研究成果，日益引起国内外学者的更大重视。如竺可桢(1926)最早研究了我国降水与太阳黑子的关系，得出长江流域的雨量与黑子数呈正相关，即黑子多时雨量多，黑子少时雨量少。他还发现世纪尺度的气温变化与太阳活动有密切关系。他把史书上记载的各世纪太阳黑子次数与世纪严寒冬季次数比较，得出世纪太阳黑子记载次数多时，也是严冬最多的世纪，如在太阳活动峰年期，北京冬天多严寒。另有一些学者曾分析黄河中游地区近 1500 年的旱涝，太湖流域南宋以来旱涝及江淮流域近 578 年的三种历史资料序列，发现主要周期为准 11 年、22 年及 100 年。其中 11 年周期很显著，但比太阳黑子周期峰年滞后 1—3 年。徐群^[4]分析出西太平洋副热带高压面积指数最明显的周期为 11 年，它和太阳活动周期对应得较好。从已有的研究可看出，太阳活动不仅与我国大范围干旱和冷暖的变化有关，而且与各大流域的涝洪发生也有一定的关联。这说明水文、气象上许多变化都可作为太阳活动的一种响应。

国外许多学者也热衷于太阳活动与气候变化的相关研究。他们发现气温^[6]、气压、降雨量、海平面变化等都含有 11、22 和 180 年周期，这和太阳活动的周期规律完全一致。Roberts 和 Wilcox^[6]提出了一些气象参数响应于太阳活动变化的统计证据。这些证据是美国各州高原的干旱周期和 Hale 黑子周(22 年磁周)有显著的相关。在高纬处，太阳活动峰年比谷年有更高的平均气压。King^[7]等发现，伦敦的年平均温度的 5 年滑动平均与年平均黑子数对应得较好。如图 1 所示。

Labitzke 和 Van Loon^[8](1988)报道了北极带的大气压、温度和太阳活动之间存在联系。他们分析了围绕着每隔二年热带平流层风东西向交替出现的准两年振荡 QBO，并用 1956—1986 年间 1—2 月份平流层的 32 个平均温度(时间跨度为 $3\frac{1}{2}$ 太阳周)所作的分析表明，若 QBO 在西位相时，则北极区冬天的大气压、温度和太阳活动之间为正相关，相关系数为 0.76。当 QBO 为东位相时，则相关较弱，相关系数为 -0.45。太阳黑子数愈多，QBO 又为西位相时，则北极区的冬天越暖。Brian 和 Stephen^[9]分析了 1860 到 1988 年的纽芬兰东海

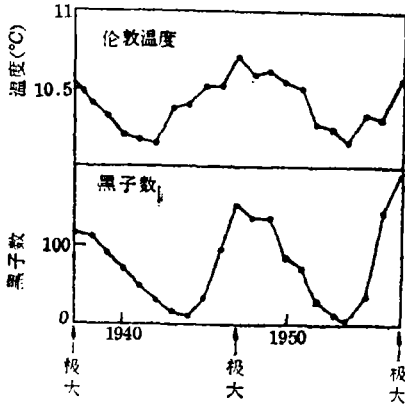


图 1 伦敦年平均温度的 5 年滑动平均值与太阳黑子数的比较

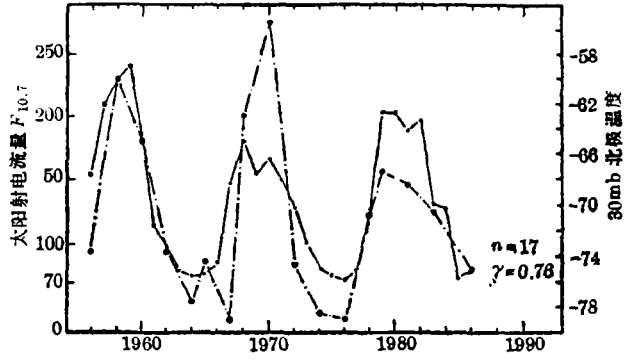


图 2 太阳射电流量 $F_{10.7}$ 与北极区平流层温度之间相关曲线

岸的海冰资料，发现 1920—1988 年的海冰融水量的变化与平均太阳射电流量 $F_{10.7}$ 相关显著；而 1920 年前的资料分析不存在这种相关。其原因可能是 1920 年前的资料不可靠，同时北半球的气候从 1920 年开始变化。这说明大气环流响应于海冰的变化。上述两个例子如图 2、3 所示。

另一典型例子就是 Newer 最近在分析 1856—1986 年温度变化时得出世界各地海洋气温有 21.8 年周期的结论，这个周期是随机累积的结果，它与太阳磁周几乎同步。太阳活动的峰谷年依次对应于温度的升高和降低年份。40 年代和 60 年代相对变冷，50 年代和 70 年代的相对变暖，都符合这个 22 年周期。

从国内外的统计相关分析可归结为：

(1) 太阳活动有影响某些气象参数的本领，它确对气候变化有着重要的影响。

(2) 太阳活动与某些气象参数之间的相关系数有区域性差异。这种差别随纬度而变化，高纬地区相关系数高于赤道和中纬带。某些区域显示正相关，另一区域则为负相关或不相关，有的区域影响气温，有的地方则对降水量敏感。

(3) 从不同作者研究结果比较看出，对同一地区而言，不同时期的太阳活动与气象参数之间的统计相关也不一样。有时候是正相关，但也有可能经过几个太阳周后发生相关中断。

(4) 相关系数随所选择资料的时间长度而变化。

(5) 相关系数随大气层高度而变化，越接近地面，气象参数和太阳活动之间的相关系数越小(只有 0.2—0.3)。

总之，各作者的分析结果千差万别，各有千秋，但遗憾的是许多结果还没有被广泛接受。因为从科学概念上说，相关不一定有内在联系。即使强相关也可能是由偶然因素引起

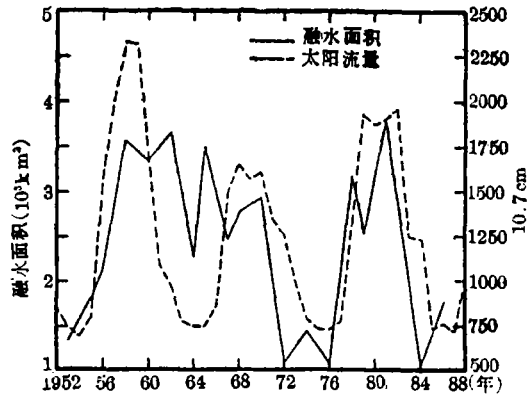


图 3 QBO 为西风时的融水范围变化与太阳射电流量关系曲线

的，还要求其他证据来补充。Eddy 认为太阳活动与气候天气关系的探讨是根据不充分的统计样本得出的，其次是没有一个可接受的物理机制来解释它们之间的因果关系。至今这种相关的物理机制仍然是科学家们必须要解决的问题之一。

三、太阳活动与天气的关系

把耀斑、地磁暴、太阳磁扇形边界通过(MSB)、射电爆发作为太阳短时间尺度的活动标志，将它们与气象参数(如大气压、环流、雷暴、涡旋面积指数等)短期变化进行相关分析。早期的统计研究发现，耀斑发生后，气压降低，尤其在 300mb 高度上有显著的响应。耀斑发生后 3—4 天，大气电参数如电位梯度和地空电流密度达到极大值。雷暴活动在太阳活动极大年份约增加 70%。言穆弘等人利用近几年的耀斑爆发和雷暴活动资料进行了相关分析，得出耀斑强度越强，引起雷暴活动的响应程度越大，且响应程度从高纬带逐向中低纬度带变小。有些作者注意到耀斑爆发还伴随有臭氧的显著减少，从而使大气环流温度也要发生相应的变化，促使天气趋向于暖和。Wilcox 等研究了行星际磁场扇形边界扫过地球前后几天中，北半球涡旋面积指数的变化，发现扇形边界扫过地球后一天，涡旋面积指数有着明显的下降。并发现这种效应对于 300mb 等压面最为显著。这些观测事实表明：太阳活动通过磁层、电离层的调制而影响整个大气层。因此，太阳活动对天气是有制约和调制作用的。

太阳活动与天气参数变化之间关系也存在区域性差异，不同地区有不同程度的响应，同时许多效应在冬天比夏天明显。多数天气参数对太阳活动的响应在中上层大气中尤为显著。但由于气候系统是一个高度复杂的非线性强迫耗散系统，它的变化表现出多尺度、多层次的动力—热力学行为，且气象参数受海洋等多种因素的制约及其相互作用，从而增加了太阳活动和气候变化相关研究的复杂性。太阳活动对低层大气状态和运动是否有足够大的影响，目前尚未得到直接的认可。

当一些研究者致力于找出这些相关事实时，另一些学者对太阳活动与气候、天气变化之间的关系持有怀疑态度。他们认为这些影响是很小的，可以不予考虑。如 Pittock 指出：天气、气候变化的 4%是由太阳活动引起的，96%应该是噪声。Molnar 认为，平均来说，太阳活动只给地球额外能量为 10^{15} 焦耳，而大气中气旋能量比它大 10^4 倍。Callis 等人和 Pollack 分别推出：当太阳活动从极小升到极大时，地表温度减少不到 0.11K。Kerr^[10]认为，在缺乏物理机制的情况下，两者相关的证据至少要用长时间(5—6 个太阳周)序列来分析，因此对太阳与气候关系问题的确认只有等到将来才能解决。现在观测到的太阳活动水平不能足以引起全球气候变化，特别是没有能力控制对流层。

四、可能的机制讨论

我们对上述太阳活动与气象参数的相关分析，只是知其然而不知其所以然。就是说这种统计相关若没有形成机制模式，则它就不可能有明确的物理意义。因此，探讨太阳活动如何影响气候及天气的物理过程是很重要的。机制的探讨是一个十分复杂而又很难解决的问题，它

涉及到太阳、星际空间、磁层、电离层、低层大气各层间的相互耦合过程及其物理特性。由于观测资料的限制及不确定性,因而对很多现象的因果关系不能得到证实,况且一些研究仍停留在经典的相关分析上,这些相关现象并不能揭示出太阳活动与气象参数变化之间的全部内在联系。有些理论研究仍处于定性探索阶段,目前对机制的讨论很热烈,现归纳如下。

1. 太阳常数变化的影响

为解释气候对长期太阳活动的响应, Eddy 认为太阳辐射总流量(太阳常数)随太阳活动发生同位相变化。太阳活动低时,太阳常数 S 减少,地球出现冰河期,低温期。1% 的流量缓慢减少就可以引起观测到的气候变化。最近据 Pap 等人(1987)从 SMM 和 Nimbus-7 等卫星上的太阳辐射计测量结果发现,太阳黑子对太阳常数产生 0.08% 左右的调制变化。另外,由于地球轨道变化而引起地球接收太阳总辐射流量的变化,这就是前面所述的 Milankovitch 现象。来自太阳结构变化引起的某些能谱变化,如总辐射中的可见光及紫外波段的变化,也能改变低层大气的热函数,从而引起对流层的变化。

2. EUV 的效应

太阳辐射远紫外(EUV)部分的变化,以及太阳活动产生的高能粒子流引起平流层和臭氧层的变化,似乎适于用来解释气候对中期尺度太阳活动的响应。太阳活动从极小到极大, EUV 输出可增加两倍,是维持地球热层和电离层的主要能量来源。它通过动力学耦合过程(大尺度行星波)影响到中层、平流层和对流层的热状态,而各层的温度和风又受到太阳活动的影响。因此, EUV 就可能通过垂直传播的大尺度行星波的反射和吸收来改变对流层中的环流模型。用这样的过程就不难理解上述太阳活动跟气候、天气现象的统计相关性了。

3. 通过化学过程耦合

已知平流层和中层合称谓“化学层”。太阳电磁辐射中紫外部分(1800—3000 Å)被大气中几种微量成份(如 CO_2 , 水蒸汽, NO)尤其被臭氧层吸收。对 4400—7500 Å 的可见光也有着强烈吸收,这是导致化学层增温的主要因素。反之化学层中存在各种化学过程,又要引起臭氧(O_3)浓度的增加或减少。因此这层的热力学和动力学结构要受到太阳辐射、臭氧化学以及臭氧太阳加热等过程之间相互作用的影响。如 CO_2 对太阳辐射的有效吸收,使大气中 CO_2 含量增加,增强温室效应,导致大气温度的升高。

4. 大气电效应

近年来在探讨太阳—天气的物理机制中越来越重视大气电学过程。Markson(1980)评述大气电是太阳—大气相互关系的相关者。已证实了太阳活动对中低层大气电性能的影响,特别是通过对宇宙线强度的调制而改变大气电离率,影响大气电性能(大气电导率,大气带电粒子浓度)。大气电导率又控制电流和场强,它影响雷暴和改变涡流面积指数。据报道,当耀斑或磁扇形边界扫过地球时,太阳发出电离辐射增强,接着发生雷暴活动增强及伴随有卷云的突然形成等一系列天气过程。Markson 和 Muir(1980)认为虽讨论了这种机制,但目前仍有许多似是而非的问题尚未解决。例如太阳活动过程中所具有的能量比天气过程能量小得多,它只有太阳总辐射的万分之一,不足以推动大气环流。其次太阳活动引起的扰动很难用能量传输的直接方式传到对流层。因此一些学者讨论了所谓“放大机制”及“触发机制”。

“放大机制”是指太阳活动的小能量,经过磁层及大气各层的能量传递及转换,最后增强到

足以引起某种天气过程。例如磁层对流能经过与行星波的相互作用而放大。所谓触发机制就是利用太阳粒子的再分配或释放贮藏的能量迭加在原有大气运动的基础上。通过这种能量调制, 就足以影响全球尺度范围内的大气环流。

Reid^[2]曾提出太阳活动与气候联系机制的研究可分三大类, 即电、辐射和动力学。虽这些机制的探讨所涉及的内容既广泛而又复杂, 但展望未来, 仍有丰富的研究领域等待着我们去探索。为此, 不少国家组织了专门的研究机构, 开展了各个专题的仔细研究, 进行多种模式试验, 这将为气候趋势性及天气预报作出贡献。

五、太阳活动与地球自转变化的关系

1. 耀斑爆发和日长关系

Dajon 提出 1959 年耀斑爆发和地球自转速度的突变有关。因日长(LOD)在 1959 年时有明显的转折, 他认为 LOD 是受太阳活动影响的。他的结论是当太阳宇宙线核子成份增多时, LOD 就增长。当然这种增加不属于日长的稳定加长。对 Dajon 论点进行直接验证的是 Gribbin 和 Plagemann^[11], 他们检验了 1972 年 8 月发生的耀斑爆发和 AT-UT2 变化之间的关系, 得出在耀斑爆发期间 AT-UT2 增加即日长变长的结果。但在 BIH 刊登的综合值中并未出现这种结果。因此耀斑爆发和日长变化之间的关系尚待进一步确定。

2. 太阳黑子相对数和地球自转

Stoyko 在 20 世纪早期就开始探讨了太阳活动与地球自转之间的关系, 他指出短寿命的太阳黑子总面积与 Chandler 摆动及地球自转速率之间有着很好的相关。国内早期致力于这方面研究的学者主要是叶叔华^[12]。她曾分析 1956—1958 年黑子数和地球自转速率的对应关系, 表明在这段期间两者有比较一致的趋向, 但从 1959 年以后这种一致性又不复存在。

又有一些学者从大气环流机制入手来研究太阳活动与地球自转之间相关的机制。Sugawa 等人^[13]认为太阳活动是通过低层大气而和固体地球相耦合的。低层大气流动性很强, 很容易受太阳磁场和太阳温度场的作用和约束。大气角动量变化引起地球自转短期变化, 即日长变化。一般说, 日长变化的高频部分如准 2 年周期及短于 1 年的周期变化都与大气环流有关。设相对于地固参考系的大气轴向角动量为 M_3 , 当纬向风强度发生变化时, 则 M_3 也发生变化。这变化又传给地球的固体部分, 使地球表面质量重新分布, 从而引起地球自转速率的变化。大气角动量轴向分量与日长的线性关系为:

$$\Delta LOD = 1.68 \times 10^{-29} \Delta M_3$$

Lambeck 等人^[14]用天文和风资料分析得到日长周年项最大振幅出现在 10 年间隔(1958—1960, 1968—1970, 1977—1979)。作者^[15]曾根据 BIH 重新归算的 LOD 资料, 采用 Vondrák 带通滤波器, 得到日长中的周年幅度变化最大和最小值分别对应于太阳活动峰年和谷年。对 VLBI 等新技术资料分析也得出同样的结果。因日长中的周年项振幅变化是两个半球环流之间角动量不平衡的一种测量。它的最大最小值有规律地对应于太阳活动峰谷年。这就说明两半球之间季节性角动量不平衡是通过太阳活动来控制的。

3. 地球自转速率短周期振荡的一种解释

Rosen, Eubanks 等人研究结果表明, 由 LOD 表示的地球自转速率在季节性及高频变化的主要原因是大气和固体地球轴向角动量(AAM)的交换, 但对大气角动量变化的真正原因仍不清楚。近来 Djurovic 和 Paquet 采用太阳活动资料[Wolf 数(W)、黑子数面积(S_A)、行星际磁场(IMF)、地磁指数(A_P)]及地球物理资料(UTI-UTC, AAM), 用最大熵最小平方(MELS)及 Whittake-Robinson-Vondrak(WRV)方法处理这些初始资料, 发现这几种序列中都呈现高频变化, 如 30—70 天及 120 天的周期波动。最近 Kosek 也用最大熵谱分析(MESA)发现 LOD, UT1-UTC(空间技术测定), A_P , AAM, $F_{10.7}$ 这几种序列中存在共同的 75、50—27、18 天这些周期振荡, 并且这些周期的位相也符合得相当好。Rosen 认为只有平流层和对流层大气运动才能引起大气角动量的变化。所以 Kosek 对地球自转短周期波动的解释是由太阳辐射加热、太阳风及其他高能粒子通过上层大气电离激励全球热层环流, 而它又转换到平流层及对流层, 然后引起全球大气角动量的变化。再由大气和固体地球角动量交换而引起地球自转短周期变化。Kosek 等人的分析将太阳变化与地球物理现象有机地联系在一起, 解决了地球自转短周期波动的非潮汐因素的真正激发源。

六、结 束 语

1. 太阳活动和气候相关学科的研究, 既是两个多世纪以来的老问题, 也是当今世界上最热门的前沿学科之一。据最近报道在上一世纪全球变暖至少有 0.5°C 是由太阳辐射改变引起的, 而不能归结为温室效应。黑子数和全球温度之间是负相关, 这预示着第 22 周太阳活动峰年来临, 气温要下降, 但由于温室气体的综合作用, 最终使地球变暖。在这个研究领域中, 我们必须要有合理的物理模式和足够长的资料样本才能得到较为满意的分析结果, 才能使这一相关学科日臻完善起来。

2. 虽地球自转不均匀变化主要是由于地球的内部结构及大气、海洋和固体地球的耦合作用引起的, 但太阳活动通过大气环流或地磁场间接地对地球自转不均匀性施加影响也是不能忽略的。它可能通过影响平流层及对流层的大气运动而改变大气角动量, 最后引起地球自转短期不规则波动。这样我们就能将太阳变化与地球物理现象有机地联系起来。

参 考 文 献

- [1] Feynman, J., *J. Geophys. Res.*, 87 (1982), 6153.
- [2] Berger, A and Tricot, Chr., in *Earth Rotaton: Solved and Unsolved Problems*, p. 111, (1986).
- [3] Dickson, E., in *Physics of the Sun*, Vol. III(1987), p. 193.
- [4] 徐群, 金尤, *大气科学*, 10 (1986), 204.
- [5] Currie, R. G., *J. Geophys. Res.*, 84 (1979), 753.
- [6] Roberts, J. Wilcox., *Nature*, 246 (1973), 384.
- [7] King, J. W, Hurst, E., Slater, A. J. Smith, P. A. and Tamkin, B., *Nature*, 252 (1974), 2.
- [8] Labitzke, K. and Van Loon, H., *Geophys. Res. Letts*, 14 (1987), 535.
- [9] Brian, T. Hill and Stephen J. Jones., *J. Geophys. Res.*, 95 (1990), No. c4, p. 5385.
- [10] Kerr, Richard, *Science*, 238 (1987), No. 4826, 479.
- [11] Gribbin, J. and Plagemann, S., *Nature*, 243 (1973), 26.

- [12] 叶叔华, 天文学报, 11 (1963), No. 2.
[13] Chikaza Sugawa et al., in IAU Symposium No. 48, p. 231, (1987).
[14] Lambeck, K. and Hoggood, P., *Geophys. J. R. astro. Soc.*, 71 (1982), 581.
[15] Gu Zhennian., *Earth, Moon, and Planets*, 48 (1990), 189.
[16] Djurovic, D., *Astron. Astrophys.*, 100 (1981), 156; 118 (1983), 26.
[17] Djurovic, D., *Astron. Astrophys.*, 204 (1988), 306.
[18] Djurovic, D., *Astron. Astrophys.*, in press.

(责任编辑 刘金铭)

The Effect of Solar Activity on the Terrestrial Climate and Earth Rotation

Gu Zhennian

(Shanghai Observatory, Academia Sinica)

Abstract

The research progress in correlation analysis of solar activities with climate, weather and Earth rotation is reviewed in this paper. Possible mechanisms and different points of view derived from the statistics relations are also mentioned. Some ideas in this field are stated as well.