

太阳活动与变化的 150 天周期研究进展

宋文彬 汪景琇

(中国科学院国家天文台 北京 100012)

摘 要

太阳活动,除了涵盖太阳表面磁场驱动的活动现象外,还包括光度、自转和对称性等物理因素的长期演化。研究它们变化的周期对深入理解其产生机制有着重要的指导意义。从 1984 年 Rieger 等人首次发现耀斑的产生率存在约 154 d 周期始,人们在很多现象中都找到了它的踪影,150 余 d 的周期成了继 11 yr 太阳活动周和 27 d 太阳自转周后最引人注目的新周期。重点综述了在耀斑、黑子等活动领域内对 150 d 周期现象研究的现状,介绍了有关它成因的研究进展,指出了尚待解决的问题及进一步努力的方向。

关键词 天体物理学—周期性—综述—太阳活动与变化—太阳磁场

分类号 P182.9

1 引 言

寻找周期性信号和寻找一个信号的周期在天文学领域内是一项十分普遍而经典的工作,随着观测数据的不断扩充和数学方法的不断发展,这一工作变得越来越复杂和重要。作为“等离子体实验室”的太阳,研究其活动与变化的周期性似乎有着更多的物理意义(本文强调的太阳活动是指太阳上发生的短时标爆发式的剧烈改变;太阳变化则是指那些长期而且相对缓慢、幅度较小的改变)。

一个完好的周期背后往往隐藏着极丰富的物理内涵。太阳活动周就是这样一个例子。早在 1843 年, Schwabe 就发现了黑子数 11 yr 的周期变化,随后依次经历了 Spörer 定律、Maunder 蝴蝶图(1922)和 Hale-Nicholson 极性定律(1938),直到今天各种各样的发电机理论模型,才使人们初步认识了这一周期变化的主要特征和产生根源^[2]。

除了太阳活动周和自转周外,目前已经证实太阳活动存在上百种的周期,包括黑子、CaII K 谱斑、光球总磁通量和耀斑等各种活动现象。例如在短于 1 yr 的高频部分就存在像 300、150、50、13.5 d 等几个周期^[3~8]。至于它们的起因和物理意义都值得研究。

尤其是 150 d 周期,自被发现起,它就一直吸引着许多人对它进行各种推敲研算。主要

原因如下：第一，它几乎存在于太阳的各种活动与变化现象中；第二，它分布的时间范围特别长，但又不是一直表现出来；第三，它是在一种全日面范围内存在的特征；第四，它在极大年的周期性要强于极小年。Carbonell 和 Ballester^[9] 曾这样评价 150 d 周期：“这是太阳活动的本质特征。” Bai 和 Sturrock^[10] 也认为：“154 d 周期一定代表了太阳的某个基本属性。”但是遗憾的是这一发现已有近 20 年了，对于它的产生原因至今仍没有一个明确的定论。

2 150 d 周期现象

150 d 周期已经被公认为普遍存在于太阳的新周期。由于它最早是在太阳耀斑中发现的，所以早期关于它的很多证实工作都是围绕各类耀斑展开的。后来人们发现在太阳黑子的发展变化中也存在着类似的周期。今天人们在包括光球总磁通量、中微子流量、太阳总光度内的很多现象中都发现了它的存在。

2.1 太阳耀斑的 150 d 周期

150 d 周期首先是由 SMM (Solar Maximum Mission) 人造卫星观测发现的。SMM 人造卫星于 1980 年发射升空并投入工作。1984 年 Rieger 等人^[1] 研究了 SMM 上由 γ 射线光谱仪 (GRS) 测到的 139 个 γ 射线耀斑 (1980 年 2 月 ~1983 年 6 月，能量大于 300 keV)，发现其产生率存在约 154 d 的周期。随后，Kiplinger 等人^[11] 利用 SMM 上的硬 X 射线爆发光谱仪 (HXRBS) 测到的 6775 个硬 X 射线耀斑 (1980 年 2 月 ~1984 年 9 月，能量大于 30 keV) 数据得到了 158 d 的周期。同时，Rieger 等人^[1] 也发现地球轨道测量卫星 (Geodetic Earth-Orbiting Satellite) 在同一期间探测到的软 X 射线耀斑 (大于 M2.5 级) 的发生率同样存在 152 d 的周期。

1985 年高能耀斑 (X 射线和 γ 射线耀斑) 的 150 d 周期很快在微波耀斑^[12] 和 $H\alpha$ 耀斑^[3] 等低能耀斑中得到了证实，并且很多研究都将时间范围扩大到第 20 太阳周。Bogart 和 Bai^[12] 具体研究了 1966 年 4 月到 1983 年 12 月发生的所有微波耀斑 (频段大于 1 GHz)，结果如图 1 所示。同时他们还表示这两个活动周的 150 d 周期所呈现出来的相位也是一致的。Ichimoto 等人^[3] 则发现 1964 年到 1983 年发生的所有 $H\alpha$ 耀斑的产生率存在约 155 d 的周期。同年，Dennis^[13] 也作了 HXRBS/SMM 的工作报告，他除了验证 Kiplinger 等人 (1984) 的结论外，还统计了 6102 个能量小于 150 keV 的硬 X 射线耀斑的情况，发现它们的发生率在功率谱图 0.00633 d^{-1} (相当于 158 d) 处存在一个很强的峰。从此，150 d 左右的周期在耀斑研究领域内开始被确立和重视。

1990 年，Bai 和 Cliver^[14] 研究了质子耀斑事件的发生率情况。其资料来源共分 3 个阶段，分别是 1955~1969 年太阳粒子事件目录 (CSPE, Svestka 和 Simon, 1975)、1970~1979 年太阳质子事件目录 (CSPE, Akinyan 等人, 1982) 和 1980~1986 年行星际操作平台 (IMP 8)。图 2 显示了相应的处理结果。同年，Dröge 等人^[15] 分析了国际日地探险者 (ISEE) 记录到的 55 个电子耀斑 (产生高能电子事件的耀斑, 1978-08-15~1982-12-31)，也发现它们的发生率存在较强的 153 d 周期。

除此之外，ÖzgÜç 和 Ataç^[16] 讨论了第 20、21 太阳周耀斑指数 (Flare Index) 日值序列的周期分布情况。耀斑指数的概念首先由 Kleczek^[17] 于 1952 年提出，Kleczek 将耀斑指数 $Q = i \times t$ (其中 i 指耀斑爆发的强度； t 指耀斑持续的总时间) 与一次耀斑释放的总能量联

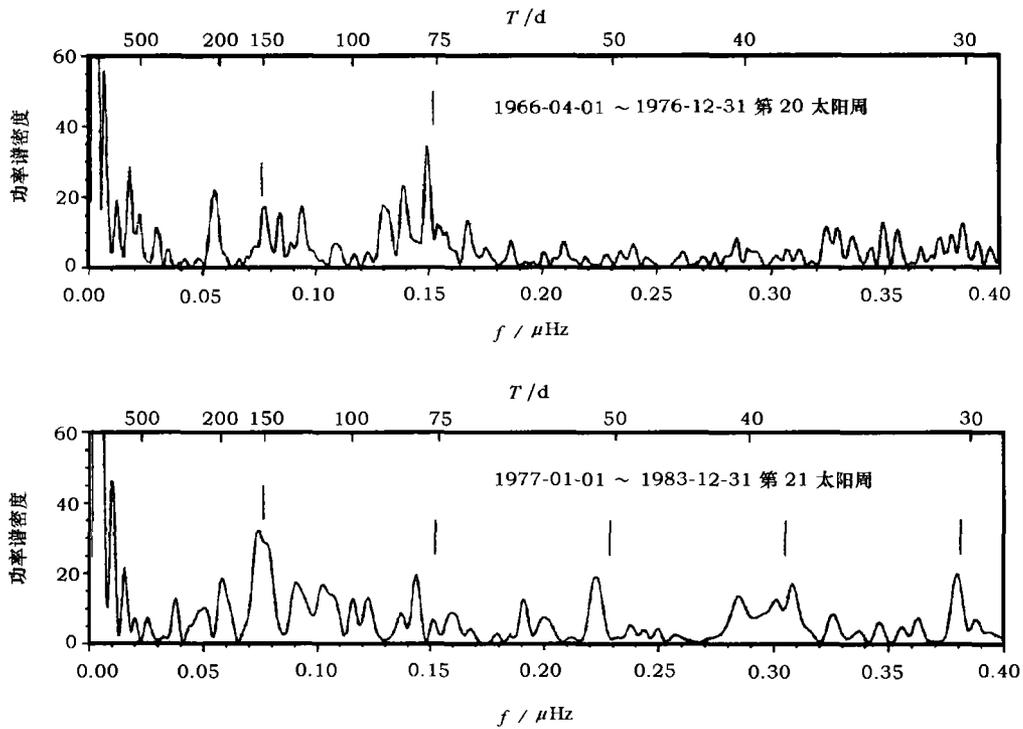


图 1 第 20、21 太阳周的耀斑产生率功率谱图^[12]

可以看出, 两个太阳周都存在着 152 d 周期, 第 20 太阳周的强度明显不如第 21 太阳周。

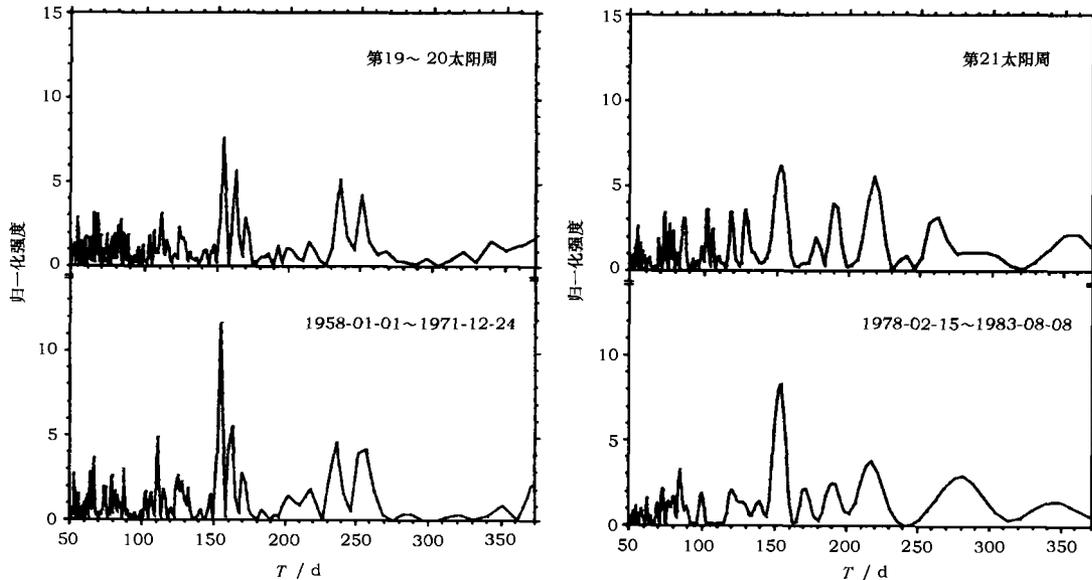


图 2 质子耀斑频谱图^[14]

可以看出, 时间段的选择较大程度地影响了峰的强度, 这说明 150 d 周期具有较强的时变特性。

系起来。这里的日值序列是指 1 d 内所有耀斑对应的 Q 值相加, 当一个耀斑发生的时间段跨越了凌晨时, 对它的时间也相应地进行日期分割。最后 ÖzgÜç 和 Ataç 的结果也肯定了 150 d 周期在两个太阳周内都存在, 其中第 20 太阳周强度要弱一些。

2.2 黑子的 150 d 周期

在太阳另外一些现象的研究中, 人们更多地选择黑子的原因主要有两点: 第一, 黑子是所有太阳活动的关键特征; 第二, 黑子拥有最长的历史记录。下面简单介绍几个关于黑子面积和黑子相对数的统计工作。

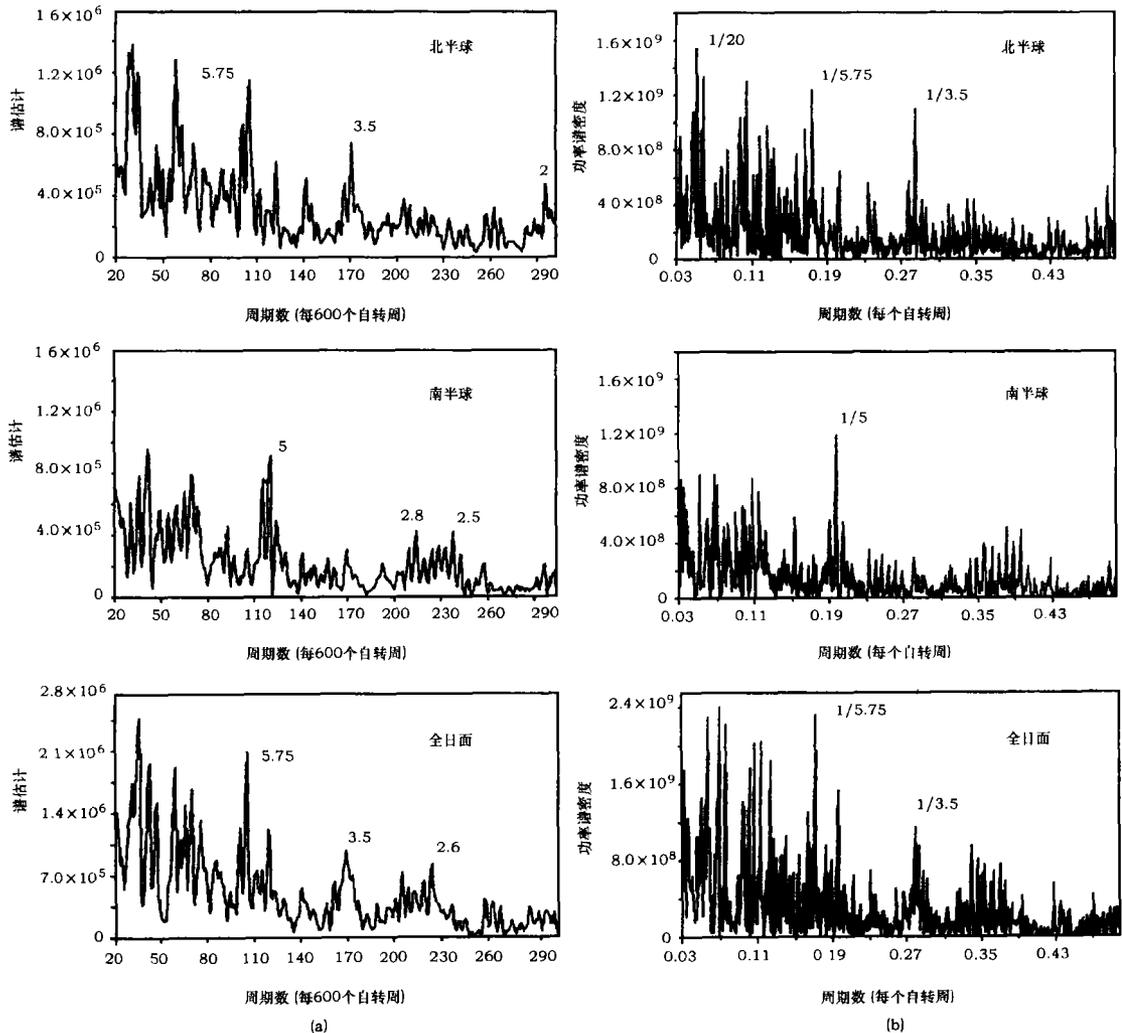


图 3 全球黑子面积频谱图 [18]

(a) Blackman-Tukey 功率谱图; (b) 快速傅里叶变换 (FFT) 频谱图。可以看出, 北半球和全球黑子总面积都具有典型的 155 d 周期 ($5.75 \times 27 \approx 155$), 而在 (a) 图南半球 $x = 600/2.8 \approx 214$ 处有一个较强的峰, Carbonell 和 Ballester 把它解释成 5.75 的二分谱频 ($2.8 \approx 5.75/2$)。

首先要提的是 Carbonell 和 Ballester 的工作^[9,18], 因为他们曾两次利用格林尼治太阳照相仪结果 (GPR) 的记录研究了黑子面积的短周期性问题。一次是 1990 年, 他们通过研究南、北半球和全球黑子总面积 (一个卡林顿自转周内的黑子累计面积, 太阳自转一周平均是 27 d) 的周期分布, 证实了黑子面积的 150 d 周期也具有全球性特征 (耀斑的 150 d 周期的全球性特征首先由文献 [19] 给出); 另一次是 1992 年, 他们给出了从第 12~21 太阳周每个周期内黑子总面积 (每天所有黑子的累计面积) 100~200 d 的周期分布, 发现 150 d 周期在第 16~21 太阳周内表现得比较明显, 而在第 12~15 太阳周内却基本没有表现出来或表现得相当微弱。图 3 显示了 1990 年的详细结果。

Ballester 和 Oliver^[20] 的工作在所有黑子数分析工作中是比较经典的。这主要是因为, 第一, 他们用的不是以前大家熟悉的 Wolf (或者 Zürich) 黑子相对数, 而是重新整理之后的 Hoyt 黑子数记录。1998 年, Hoyt 和 Schatten^[21] 给出了相对比较精确的 1610~1995 年一共 386 yr 每天的黑子相对数记录。而 Wolf (或者 Zürich) 黑子相对数的可靠数据只从 1848 年开始。第二, 他们在分析中采用了一种相对比较新的数学方法——小波变换。小波变换是 20 世纪 80 年代发展起来到 90 年代开始成熟的数据处理方法, 它的核心思想是采用一组被称为基小波的带有明显时域特征 (即在自身时域内能很快衰减到零) 的波动函数来充当类似傅里叶变换中正弦函数的基的作用, 因而可以同时获得数据的频域和时域特征, 即除了知道一个参量的周期

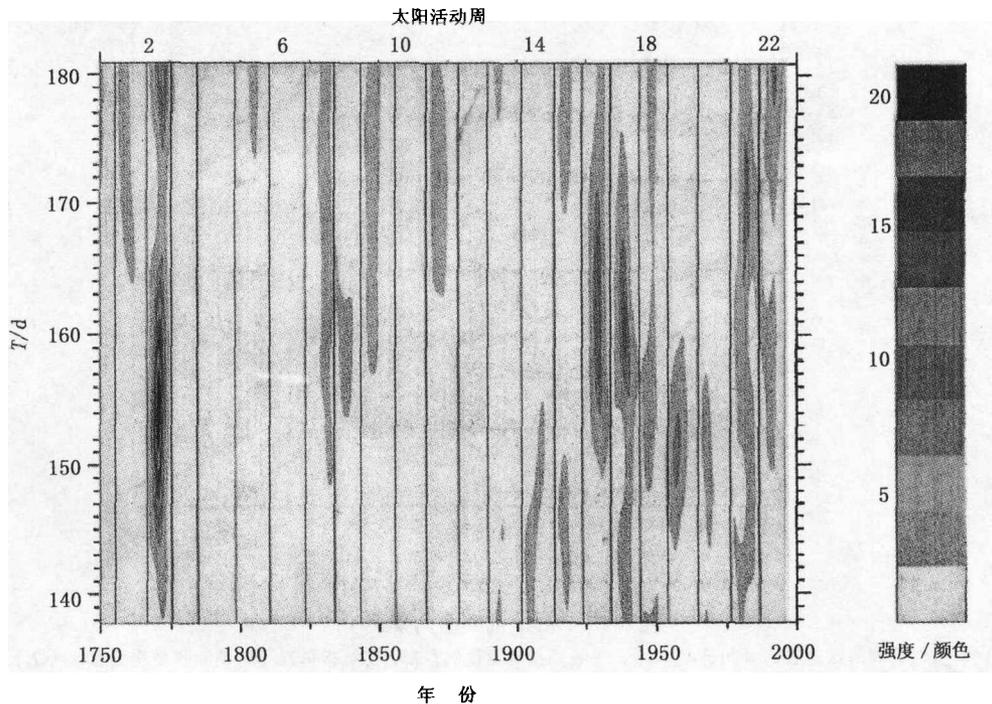


图 4 太阳黑子相对数的小波分析图^[20]

从小波谱的强度分布可以看到, 150 d 周期在第 2 个太阳周的极大年特别强 (即颜色特别深), 然后一度消失直到第 14 个太阳周才又表现出来。其中第 16、17、19、21 个太阳周周期性相对较为明显, 而包括第 22 太阳周在内的其他太阳周则相对要弱一些。另外, 也可以看出绝大多数谱峰都出现在太阳活动极大年。

分布强度外, 还能知道各个周期在时间域上的演化情况。目前, 这种方法在天文信号处理中有着越来越广泛的应用^[22]。图 4 显示了利用该方法对太阳黑子相对数分析的结果。

另外, 有关这方面的工作还有: Lean^[23] 利用格林尼治天文台的地面观测资料发现黑子面积变化的 155 d 周期和它的南北不对称性; Oliver 等人^[24] 用小波变换的方法发现了黑子面积的 150 余 d 周期; Krivova 和 Solanki^[25] 同时研究了黑子面积和黑子相对数的周期分布, 肯定了 150 d 周期; 韩延本和韩永刚^[26] 分析了黑子相对数 150 d 周期的时变特征; 等等。

2.3 其他活动和变化的 150 d 周期

除了前面详细谈到的耀斑和黑子活动, 存在 150 d 周期变化的其他现象还有很多, 比如太阳直径^[27]、II 型和 IV 型射电暴^[28]、中微子流量^[29]、质子事件^[30]、太阳总光度^[31]和光球总磁通量^[32]等。因为篇幅有限, 这里仅介绍后 4 种现象的具体研究情况。

Raychaudhuri^[33] 在给出 1970~1982 年期间 Davis 测得的中微子流量(这项工作获 2002 年诺贝尔物理学奖)同 11 yr 的太阳活动周存在反相关系后(这一反相关系若被证实, 在物理学上将具有相当重要的意义。它可能说明中微子流量与太阳磁场和太阳磁活动相关。这种相关来自中微子本身的性质, 比如中微子具有磁矩, 还是来自它在传播过程中与其他物质的相互作用, 在理论物理学研究中有重要意义), 又进一步研究了 this 序列的短周期分布^[29]。图 5

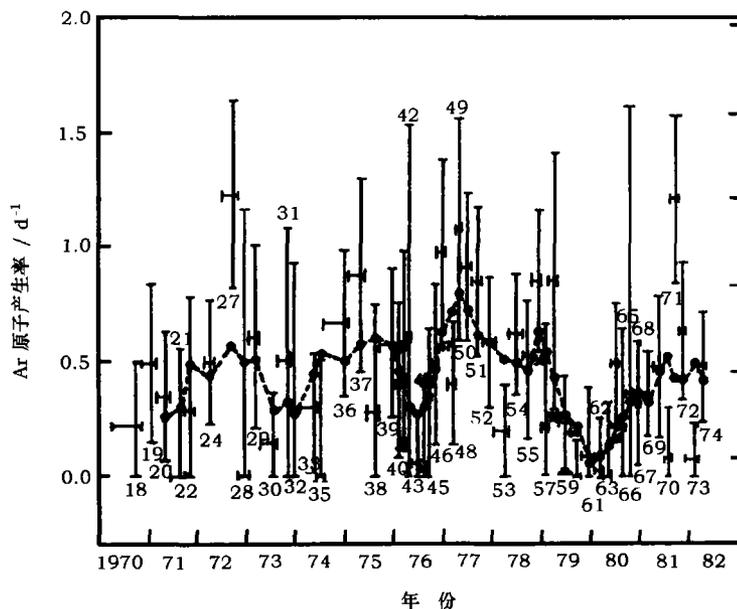


图 5 Davis 的实验结果^[29]

图中短横线代表每次运转的时间长度(t_i), 短竖线指测量值的范围, 交点指每次运转期间的平均测量值(Q_i), 虚线经过的黑圆点表示相邻 5 次运转期间测量值的重力平均值(Q)。

显示的是 Davis 测到的氩原子在每次运转期间的平均产生率。这一产生率根据方程式: $\nu + {}^{37}\text{Cl}^- = {}^{37}\text{Ar} + e^-$, 即中微子产生率得到。图中虚线上的黑点是连续 5 次测量值的重力平均值, 具体公式为

$$Q = \frac{\sum Q_i t_i}{\sum t_i} .$$

其中 Q_i 是第 i 次运转时的测量值, t_i 是每次运转的总时间。根据这条曲线的变化特征 Raychaudhuri 采用了位相叠加的方法来寻找里面隐含的周期信息。他每做一次重叠, 先挑出氩原子产生率最大和最小的区域, 然后对这两个区域的值的序列进行学生氏 t 检验。这里 t 定义为

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sigma} \left(\frac{N_1 N_2}{N_1 + N_2} \right)^{1/2}, \quad \sigma^2 = \frac{N_1 S_1^2 + N_2 S_2^2}{N_1 + N_2 - 2} .$$

式中 N 指每个序列的总运转次数, S 指每个序列的样本方差。结果发现, t 在 5、10、15、20、25 和 30 个月的地方呈现出极大值, 而且它们的值都大于 3, 调制深度依次为 0.06、0.13、0.14、0.05、0.03 和 0.036。这些数据说明了上面这些周期是真实存在的, Raychaudhuri 猜测它们很可能都是 5 个月周期的倍频。

Gabriel 等人^[30] 对文献 [34] 中 1956~1985 年共 200 次质子事件 (质子事件和耀斑之间没

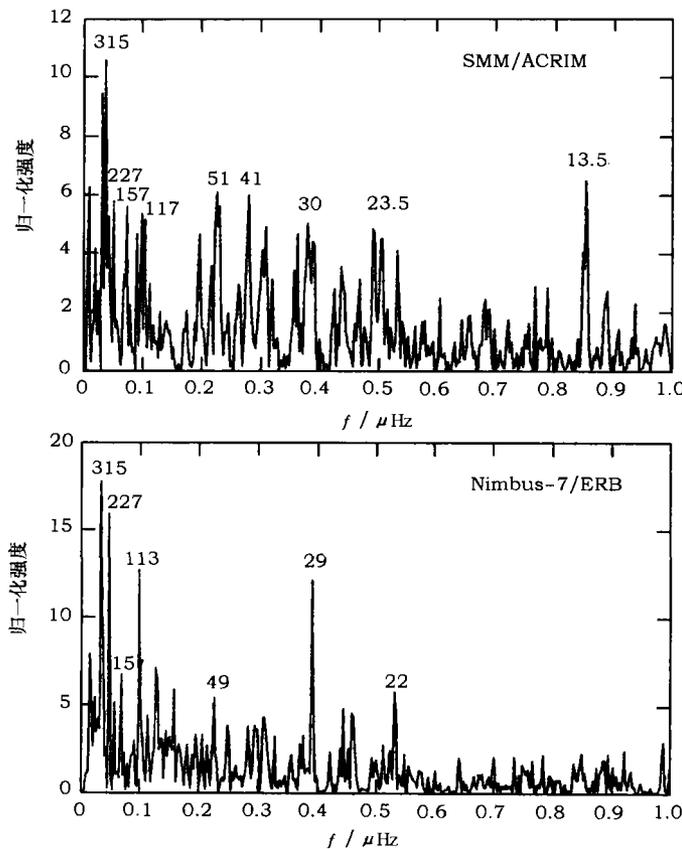


图 6 太阳总光度变化频谱图^[31]

可见两组记录都存在着 157 d 周期。

有任何必然联系, 所以它跟质子耀斑是两回事) 进行了快速傅里叶分析 (FFT) 和最大熵值分析 (MEM)。他们不仅研究了第 19~21 太阳周每个周期内 150 d 周期的强度, 而且还研究了整个时间序列内 150 d 周期的强度。这些周期值分别为 156.1、156.9、152.4、153.8 d, 强度关系依次是第 19 太阳周 > 第 21 太阳周 > 整个时间段 > 第 20 太阳周。其中第 20 太阳周 150 d 周期几乎湮没在其他许多类似的短周期分量中, 这与前面提到的许多工作的结果基本上一致。

Pap 等人^[31] 分别研究了 1978 年 11 月~1988 年 5 月 Nimbus-7/ERB 记录的太阳总光度曲线和 1980 年 2 月~1988 年 9 月 SMM/ACRIM 记录的总光度曲线。图 6 就是对这两个记录各自作快速傅里叶分析 (FFT) 的结果, 可以看出它们也存在 157 d 的周期。

最近, Ballester 等人^[32] 仔细研究了第 21 和第 22 太阳周内光球总磁通量的周期性变化。其数据分别来源于威尔逊山总磁通量 (MWTF, 1966~2000 年)、基特峰总磁通量 (KPMF, 南北纬 70° 内, 1975~2000 年)、日均磁场谱斑强度指数和威尔逊山黑子指数 (MPSI 和 MWSI, 1970~2000 年)。结果如图 7 所示。我们说, 直接研究磁通量变化的周期性在理解 150 d 周期与磁场关系时其意义比其他各种现象的研究更加基本。

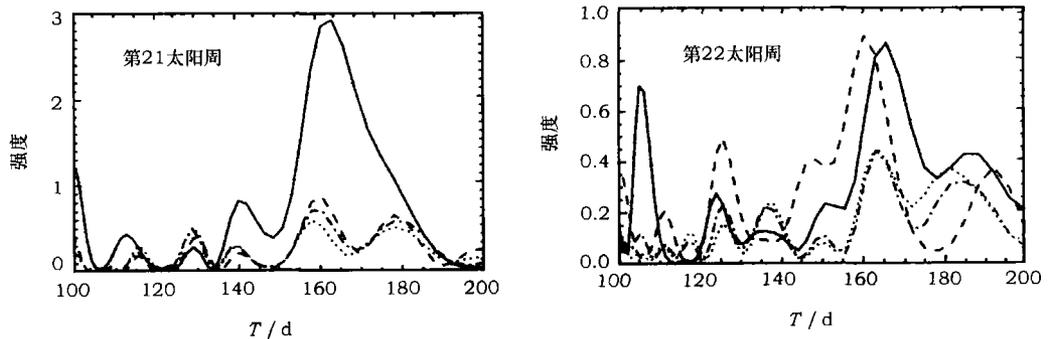


图 7 光球总磁通量变化频谱图^[32]

图中实线表示 MWSI, 虚线表示 KPMF, 虚线+点线表示 MWTF, 点线表示 MPSI。MWSI 第 21 太阳周的强度比第 22 太阳周强许多, 其他参数也有相应的峰值, 只是强度并不强。

3 150 d 周期的各种物理解释

最早对可能存在这个周期的探索开始于 Rieger 首次发现它之前。1983 年, Wolff^[35] 研究 1747~1979 年 Zürich 黑子数月均值的周期演化情况时发现, 在所有低于 200 d 的周期中 155.4 d 的周期尤其明显。于是为了解释这一现象, 他建立了一个由 g 模 (太阳上的一种内重力波) 激发的活动经度带的相互作用模型, 如果令 $l=2$ 或者 $l=3$, 这种作用的周期就大约在 150 余 d。

后来, 人们发现了耀斑的 150 d 周期。Bai 和 Sturrock^[19] 研究发现, 无论发生在南半球还是北半球, 活动区内还是活动区外的耀斑, 它们的发生率都有约 152 d 的周期, 而且这些周期的相位又都是一致的。因此, 他们认为, 既然 150 d 周期属于全球性质, 那么它的根源也应

是全球性质的。另外,他们还断定,这个周期不是由于转动速率不同而造成的热斑的相互作用的结果,也不是 g 模激发的任何旋转因素(包括活动经度带)的相互作用的结果,因而也就否定了 Wolff 1983 年的解释。针对这一论断, Wolff^[36] 又提出,在一个近球形缓慢旋转的恒星表面,当两个 r 模(一种惯性震动)和一个源于内部的 g 模发生作用时也能产生近 150 d 的周期。他的这个模型能较好地解释为什么 150 d 周期总习惯出现在太阳活动极大年。

还有其他很多尝试性的解释: Bai 和 Cliver^[14] 为了解释 150 d 周期的间歇性特征,设计了一个受阻尼、非线性和周期性运动的震荡器。Bai 和 Sturrock^[10] 则注意到其他一些周期,像 51、78、104、129 d 等也挺普遍,同时它们又恰好都是 25.8 d 的 2、3、4、5 和 6 倍。于是,他们建议说这些周期和 150 d 周期都是 25.8 d 这一基本周期的倍频。1993 年 Bai 和 Sturrock^[37] 又把 25.8 d 改成了 25.5 d。最近, Krivova 和 Solanki^[25] 认为,这个周期有可能是 2000 年日震上发现的 1.3 yr 这个周期(太阳对流层底部自转周期)在其 1/3 处的谐波。

另一方面,可能出于对这个周期的普遍性的考虑,人们更多地还是将它同太阳表面磁场联系起来。Carbonell 和 Ballester^[9,18] 很早建议,150 d 的周期和新生磁通量从光球层周期性浮现有关。Oliver 等人^[24] 则发现第 21 太阳周内黑子面积和高能耀斑产生率之间存在着强相关性,因为黑子代表了光球表面的强磁场区,所以他们认为耀斑的 150 d 周期也与光球磁通量的周期性浮现有关。Ballester 和 Oliver^[20] 同样为了解释 150 d 周期的间歇性特征,认为新生磁通量从光球层浮现时有两种不同的方式,一种是在已经形成的黑子群里出现,另一种是作为新黑子群出现。他们解释说,前一种情况不但增加黑子群的面积,而且容易引发耀斑(新旧磁通量发生磁重联),但不会增加黑子群的数目,它最终使得黑子面积和耀斑能呈现较好的周期性,而黑子数没有周期性。后一种情况则是既增加黑子群的面积,又增加黑子群的数目,但不会产生耀斑,所以前两者能呈现较好的周期性,而耀斑没有周期性。Ballester 等人^[32] 直接研究了光球总磁通量的演化情况,发现它也存在这个周期。因而可以肯定地说,这个周期和磁场之间存在着某种程度上的关联。

2000 年, Lou^[38] 将 150 d 周期与光球表面一定参数下的罗斯贝波联系起来,从而在理论上解释了磁通量为什么会以这样一个周期浮现出来。他通过计算得出,当 $n = 1$ (或 2) 和 $m = 13$ 时,罗斯贝波的周期是 164.1 d (或 164.8 d); 当 $n = 0$ 和 $m = 12$ 时,罗斯贝-普恩加来波的周期是 150.8 d。这些罗斯贝型的波能够通过磁浮力的不稳定性的调节作用导致磁通量的增加,故而也就使得磁通量周期性地增加。在解释 150 d 周期的各种现象时, Lou 说,如果中微子流量的 150 d 周期确实可靠的话,它有可能同发生在太阳内部的罗斯贝波有关; Lou 还认为前面提到的太阳直径的周期性变化现象^[27] 也可能是罗斯贝波造成的。另外,他也提供了一些可观测的特征用于检验这个理论,比如光球表面的隆起现象等。巧的是,此后不久, Kuhn 等人^[39] 报道说, SOHO/MDI 观测到了光球表面存在 90000 km 等距分布的约 100 m 高类似小山的隆起。他们认为这可能是罗斯贝波或者 r 模震动引发的表面现象。

4 进一步工作方向

从上面简单的介绍中,我们可以归纳出这样几个结论:第一,150 d 周期确实存在,而且它的存在范围十分广泛;第二,150 d 周期和表面磁场变化有关,但这种相关性是时变的;第

三, 150 d 周期可能指示了太阳内部的信息, 它是多方面因素的综合结果。以下针对这些特征提出进一步的工作方向。

首先, 在观测和统计研究方面, 我们除了在拥有更详细资料的基础上检验前人的工作成果外, 还可以开拓其他相关领域进行研究。(1) 研究 150 d 周期的倍频存在状况, 比如 300 d 周期、450 d 周期等; (2) 研究另外一些活动现象的 150 d 周期, 像日冕物质抛射 (CME) 是否存在 150 d 周期还没有人给出明确结论; (3) 研究活动区磁通量、极区磁通量乃至地磁变化的周期分布 (地磁变化已有人给出其具有 1.3 yr 周期的结果, 1.3 yr 约等于 150 d 的 3 倍), 揭示 150 d 周期和磁场变化之间的相关关系; (4) 利用小波变换方法分析各种现象中 150 d 周期的时变特征, 并检验它们的时变是否具有有一致性等。总之, 我们一方面从它存在的普遍性入手, 另一方面从它在时间上的演化特征入手, 为其理论解释提供详实的观测证据和扎实的观测基础。

其次, 在 150 d 周期的理论研究方面, 考虑到它具有相当程度的普遍性, 同时因为太阳表面大多数活动变化又都是等离子体和磁场相互作用的结果, 所以 150 d 周期的根源一定与磁场有关。针对这一点, 要回答两个问题: 一是磁场变化为什么表现出这样一个周期? 二是它为什么有时候周期性好, 有时候又不好?

关于第一个问题, 从介绍的几种解释可以看出, 它是由太阳内部的基本参数决定的, 其中包括各种全球性震动、全球性波动、较差自转和内部刚性自转等。这里我们倾向于认为只有较差自转能导致这种普遍存在的周期性现象发生, 就像 Babcock 1961 年利用它来解释太阳活动的 11 yr 周期一样。主要理由如下: 第一, 150 d 周期相当固定, 其幅度范围小于 10 d, 这与较差自转的固有速率分布相吻合; 第二, 150 d 周期规律性地出现在活动极大年, 说明它在某种程度上也遵循着 11 yr 的周期律; 第三, 各种磁活动现象都或强或弱地存在这样的周期性, 如果只是简单的一种波动或者震动, 是达不到这种规模的。因此, 从转动因素这一点来看, Wolf 两次物理解释均有很高的借鉴价值。而至于其他的物理解释, 都存在一定的片面性。比如为什么只有那些给定了参数的波动周期能够很好地表现出来, 而其他参数下的波动就被抑制了呢? 为什么各类活动现象一定要表现为 1.3 yr 这个周期的三分谐频, 而不是二分或四分谐频呢? Bai 和 Sturrock 的 25.5 d 基本周期到底是怎样影响各类现象的呢? 等等。

关于第二个问题虽然有人列出了一些可能存在的阻尼因素^[14], 但相对来说有关它的研究还是相当少的。目前, 只能说这种阻碍因素很强, 尺度很大, 而且还长期存在着, 它基本阻碍了磁通量的大量浮现。我们认为这种因素可能与蒙德极小期 (指 1645~1715 年期间太阳黑子数量不寻常的少) 有着直接联系, 它基本上来源于太阳内部的一种抵抗磁场的调节机制。

最后, 我们说一个详实的周期理论覆盖的研究领域很广, 因而问题也多, 像太阳活动周的发电机理论到现在还在不断推陈出新 (目前倾向于认为太阳上存在着两个发电机, 一个是位于对流层底的较强的发电机, 另一个是位于光球表面的较弱的发电机), 150 d 周期也是这样。相信, 随着观测的日益精确和研究的不断深入, 人们对 150 d 周期的理解也会越来越准确, 越来越完备, 越来越精彩。

参 考 文 献

- 1 Rieger E, Kanbach G, Reppin C *et al.* *Nature*, 1984, 312: 623
- 2 林元章. 太阳物理导论, 北京: 科学出版社, 2000: 394~418
- 3 Ichimoto K, Kubota F, Suzuki M *et al.* *Nature*, 1985, 315: 422
- 4 Bai T. *ApJ*, 1987, 318: L85
- 5 Bai T. *ApJ*, 1987, 314: 795
- 6 Lean J L, Bruechner G E. *ApJ*, 1989, 337: 568
- 7 Pap J, Tobiska W K, Bouwer S D. *Sol. Phys.*, 1990, 129: 65
- 8 Donnelly R F, Puga L C. *Sol. Phys.*, 1990, 130: 369
- 9 Carbonell M, Ballester J L. *A&A*, 1992, 255: 350
- 10 Bai T, Sturrock P. *Nature*, 1991, 350: 141
- 11 Kiplinger A L, Dennis B R, Orwig L E. *Bull. Am. Astron. Soc.*, 1984, 16: 891
- 12 Bogart R S, Bai T. *ApJ*, 1985, 299: L51
- 13 Dennis B R. *Sol. Phys.*, 1985, 100: 465
- 14 Bai T, Cliver E H. *ApJ*, 1990, 363: 299
- 15 Dröge W, Gibbs K, Grunsfeld J M *et al.* *ApJS*, 1990, 73: 279
- 16 ÖzgÜç A, Ataç T. *Sol. Phys.*, 1989, 123: 357
- 17 Kleczek J. *Publication of Central Astronomical Institute, Prague Czech Republic*, 1952, 22: 1
- 18 Carbonell M, Ballester J L. *A&A*, 1990, 238: 377
- 19 Bai T, Sturrock P. *Nature*, 1987, 327: 601
- 20 Ballester J L, Oliver R. *ApJ*, 1999, 522: L153
- 21 Hoyt D V, Schatten K H. *Sol. Phys.*, 1998, 181: 491
- 22 Otazu X, Ribó M, Peracaula M *et al.* *MNRAS*, 2002, 333: 365
- 23 Lean J. *ApJ*, 1990, 363: 718
- 24 Oliver R, Ballester J L, Baudin F. *Nature*, 1998, 394: 552
- 25 Krivova N A, Solanki S K. *A&A*, 2002, 394: 701
- 26 韩延本, 韩永刚. *科学通报*, 2002, 47: 1535
- 27 Delache P, Laclare F, Sadsoud H. *Nature*, 1985, 317: 416
- 28 Verma V K, Joshi G C, Uddin W *et al.* *A&AS*, 1991, 90: 83
- 29 Raychaudhuri P. *Sol. Phys.*, 1986, 106: 421
- 30 Gabriel S, Evans R, Feynman J. *Sol. Phys.*, 1990, 128: 415
- 31 Pap J, Tobiska W, Bouwer S. *Sol. Phys.*, 1990, 129: 165
- 32 Ballester J L, Oliver R, Carbonell M. *ApJ*, 2002, 566: 505
- 33 Raychaudhuri P. *Sol. Phys.*, 1986, 104: 415
- 34 Feynman J, Armstrong T P, Dao-Gibner L *et al.* *J. Spacecraft and Rockets*, 1990, 27: 403
- 35 Wolff C L. *ApJ*, 1983, 264: 667
- 36 Wolff C L. *Sol. Phys.*, 1992, 142: 187
- 37 Bai T, Sturrock P. *ApJ*, 1993, 409: 476
- 38 Lou Y Q. *ApJ*, 2000, 540: 1102
- 39 Kuhn J, Armstrong J D, Bush R I *et al.* *Nature*, 2000, 405: 544

Progress in the Studies on 150-day Period of the Solar Activity and Variability

Song Wenbin Wang Jingxiu

(*National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100012*)

Abstract

Solar activity phenomena includes not only the phenomena which are driven by solar surface magnetic fields, but also the phenomena such as evolutions of total luminosity, rotation, symmetry and so on. It is very important to study the periodicity of these phenomena as their periodicity may imply some physical mechanism that result in the phenomena. The first discovery was that the flare occurrence rate had a 154-day period in 1984, and after that this period was found in many kinds of solar active phenomena. Besides the 11-year cycle of solar activity and 27-day period of solar rotation, the 154-day period has become one of the most famous periods. This paper summarizes the progress in the study of the 154-day period in these phenomena. Some unresolved problems and highlights are also discussed.

Key words astrophysics—periodicity—review—solar activity—solar magnetism