

太阳黑子相对数约 5 个月周期的时变性

韩延本^① 韩永刚^{①②*}

(^①中国科学院国家天文台, 北京 100012; ^②北京工业大学应用数学系, 北京 100022. E-mail: hyb@bao.ac.cn)

摘要 采用小波变换方法分析第 14~22 太阳活动周的太阳黑子相对数日值序列, 讨论了黑子相对数约 5 个月周期的变化. 结果表明该周期在每个活动周中均存在, 在活动周的峰段时能量密度(振幅)较大, 但在不同的活动周中, 其长度和强度不同, 即这个周期是时变的. 约 25 d 的周期也被分析, 发现它同样是时变的, 甚至在峰段也不是很稳定. 这两个周期的变化表明, 不能简单地认为约 5 个月的周期可能是约 25 d 周期的倍频.

关键词 太阳活动 太阳黑子 时变 小波分析

太阳活动的变化特征是极其复杂的. 人们从一些表示太阳活动的资料中发现含有很多个周期分量. 约 11 a 的周期的变化已被深入地研究. 在尺度短于 1 a 的高频部分, 也发现存在许多周期分量. 1984 年, Rieger 等人通过分析由人造卫星在 1980 年 2 月~1983 年 9 月间观测得到的太阳高能事件资料, 发现耀斑的产生率存在约 158 d 的周期^[1]. 许多学者对这个现象很感兴趣, 有学者由对其他太阳观测资料的分析发现存在类似的太阳活动周期. 但是这些周期值是有差别的, 例如还有约 152, 154 和 156 d 等一些值. 由于这个周期的值并不确切, 这里称它为约 5 个月的周期. 为了更全面地认识这个周期的特点, 尤其是在讨论与它有关的日地关系方面的问题时, 更需要了解该周期的长度和强度随时间的变化, 因此这个周期的特征还应继续研究. 本文采用小波变换方法, 分析太阳黑子相对数日均值序列, 进一步讨论该周期分量的变化特征.

1 约 5 个月的太阳活动周期

Rieger 等人的发现引起广泛的讨论, 之后发表的研究该周期的论文, 给出了多个周期值. 我们把其中的一些结果简要地列在表 1 中.

表 1 表明, 许多作者得到的该周期的长度约分布在 151~158 d 之间. 1993 年, Bai 等人通过分析 1955~1991 年间的耀斑资料, 认为与太阳自转有关的 25.50 d 的周期是一个基本的周期, 153.0 和 127.5 d 等周期与它有关^[8]. 1998 年, Massi 等人认为约 25.5 d 的周期可能对约 158 d 的周期有调节作用^[12].

1999 年, Ballester 等人用 Morlet 小波分析了 1610~1995 年间的黑子群资料序列, 并讨论了约 158 d 周期的变化. 虽然他们的小波图的周期范围仅在约 140~180 d 之间, 且没有显示约 158 d 周期的变化细节, 但他们的结果可以粗略地显示不同的太阳周之

表 1 一些作者对约 5 个月周期的分析结果

作者	发表年代	资料	结果(周期值)/d	文献
Rieger 等	1984	太阳耀斑(1980.2~1983.9)	158	[1]
Bogart 等	1985	第 20 和 21 周太阳耀斑	152	[2]
Ichimoto 等	1985	太阳 H α 耀斑(1965.1~1984.2)	155	[3]
Bai 等	1987	第 19~21 周的大耀斑事件	152	[4]
Bai 等	1990	第 19~21 周的质子耀斑	154.6 $\pm$ 0.6	[5]
Gabriel 等	1990	第 19~21 周的质子事件	154	[6]
		耀斑、10.7 cm 射电流量、太阳黑子	152~155	[6]
Bouwer 等	1992	太阳 X 射线、10.7 cm 射电流量	154 $\pm$ 13	[7]
Bai 等	1993	大耀斑的经度分布(1955~1991)	153	[8]
Ballester 等	1999	黑子群数	158	[9]
Lou	2000	耀斑、黑子面积、黑子群	151~155	[10]
Carbonel	2001	第 21 周太阳光球磁通量	160	[11]

间该周期强度的总体变化. 例如他们发现, 这个周期在第 2 个太阳周时最强, 第 16 和 17 周的次之. 同时, 他们还第 16 ~ 22 活动周里太阳黑子面积和黑子群数序列进行了谱分析, 给出了该周期在这几个活动周中表现形态不同的谱密度曲线^[9]. 谱分析给出的是平均结果, 当然, 我们更希望知道这个周期在一些太阳活动周中变化的细节, 尤其是它可能具有的时变特征.

2 太阳黑子约 5 个月周期的时变性

小波变换方法具有可同时揭示一个时间序列的频域和时域特征的优点^[13]. 有作者采用这一方法分析地球自转变化得到好的结果^[14,15]. 我们曾采用这一方法分析过 1749 ~ 2000 年间的太阳黑子相对数月均值序列, 得到在周期位于几年至 200 多年间的多个分量存在明显的时变特征的结果. 在较大的范围内揭示了一些主要周期的长度及强度随时间的变化, 给出了变化的图像^[16].

在分析太阳黑子相对数的约 5 个月周期的变化中, 采用的是 NOAA 公布的太阳黑子相对数日均值资料. 考虑到后期资料的可靠性较高, 主要分析第

14 ~ 22 太阳周的数据. 为了更好地显示约 5 个月的及其他短周期分量的特征, 首先采用文献[17]所用的快速 Fourier 正变换(FFT)和逆变换(IFTT)方法对 1900 ~ 2000 年间的太阳黑子相对数的日值序列 R 进行处理, 得到一个只保留周期 >18 d 和 <200 d 的成分的新的数据序列, 并用 R_2 表示, 然后再对 R_2 作小波分析. 由于讨论的是第 14 ~ 22 周(1902 年 9 月 ~ 1996 年 9 月)间日黑子数的变化特征, 所以由滤波和小波变换产生的端部效应的影响可避免.

对 R_2 序列作小波变换中采用的基小波与文献[16]的相同, 小波变换得到的结果表示在图 1 中. 在这个小波图中, 不同形状的深色区域灰度的变化反映了各周期分量的能量密度的变化. 可以看到, 约 5 个月的周期在每个活动周中均存在, 当然它在活动周的峰段时能量密度较大. 特别使我们感兴趣的现象是, 在不同的活动周中, 该周期的长度、强度和形态明显不同. 例如, 在第 15 周里长度大多偏短, 在第 16 和 20 周中强度偏小, 在第 21 周相对偏大. 这些都清楚地展示出其具有时变性.

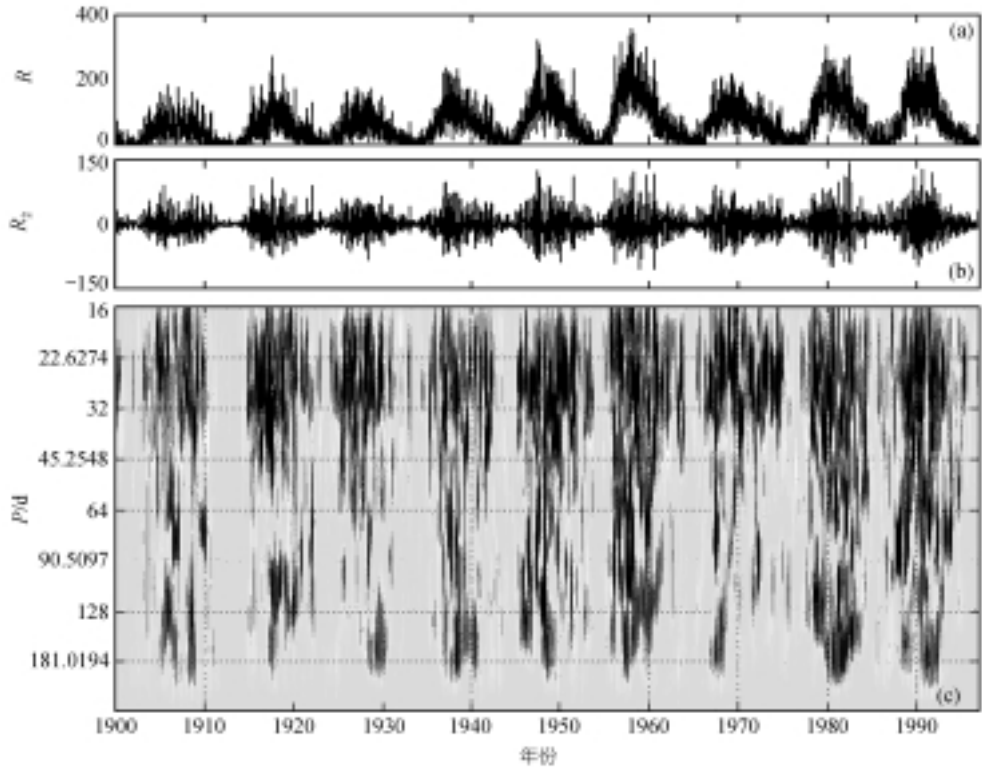


图 1 1900 ~ 2001 年太阳日黑子数小波变换图
(a) R 序列曲线, (b) R_2 序列曲线, (c) 小波变换图

为了比较进一步显示不同时期约 5 个月周期的长度和振幅的变化,用最大熵谱分析方法对每个活动周进行了分析,它们的变化分别表示在图 2 的(a)和(c)中.由谱分析得到的约 25 d 周期的结果,分别表示在该图的(b)和(d)中,供下面讨论用.该图进一步显示出,在不同的活动周,约 5 个月周期的长度和振幅是不同的.如前所述,一些学者得到的该周期值约分布在 152~158 d 间,实际上它的变化范围可能更大些.

为考察该周期在这些太阳活动周中的变化细节,对这 9 个活动周都作了小波分析,结果显示了其在各个活动周的变化细节.但因篇幅所限,仅以第 22 周(1986 年 10 月~1996 年 9 月)的小波变换图为例列在图 3 中.该图中符号的意义与图 1 的类似.为能清楚地显示该周期的变化,以及在下面讨论它与约 25 d 周期的关系,该图按年代分为 3 部分.图中实线和点线的等值线包围的分别是正负能量密度相间的区域,虚线为两区域的界线.相对接近于每个区域中心的等值线包围的部分,代表相对较大的能量密度区域所在的位置.一个周期分量的能量相对较小时,则能量密度的等值线出现得少,反之亦然.

在图 3 中,约 5 个月周期的时变特征被更清楚地显示出来.在该活动周的峰段和接近峰段的一些年中,该周期的长度和能量密度一般来说相对较稳定,但在 1989 年中期~1990 年初,却是不稳定的.在上升段,如 1986 年 10 月~1988 年中期,该周期是存在的,因黑子数少,能量密度也相对较小.在下降段,因黑子数更少,能量密度当然也变得更小,周期长度

变得很不稳定,逐渐变短,甚至演变到约长度不足 130 d.而在 1996 年下半年接近第 22 活动周的末尾时,约 5 个月的周期又显现出来,尽管此时的黑子数很少.在其他活动周,该周期也表现出明显的时变性.

Sturrock 等人认为约 158 d 的周期可能是约 25 ~ 26 d 周期的倍频^[18].但是从图 2 我们可以看出,在过去的 9 个活动周中,这两个周期的长度和振幅的变化并不是同步的.图 3 中的第 22 周的小波图也显示了约 25 d 周期的时变,当这个周期的长度和强度变化时,约 5 个月的周期有时出现类似的变化,但并没有完全跟着出现相应的变化.如 1993 年底、1994 年中期及 1995 年初,约 5 个月的周期明显较短,而约 25 d 的周期并非如此.我们对第 21 活动周所作的小波图,也显示了这样的情况.因此,虽然约 5 个月周期的变化可能受约 25 d 周期的某些影响,但似乎不能简单地认为它是约 25 d 周期的倍频.

3 结语与讨论

本文的结果表明,约 5 个月的太阳黑子相对数周期在每个活动周中均存在,在活动周的峰段时能量密度较大,但在这些活动周中,其长度和振幅明显具有时变的特征,尤其在上升段和下降段其时变性更强,有时它的变化甚至可超过文献[7]得到的(154 ± 13) d 的范围.这可能是一些学者由不同时期的资料得到的该周期值有差别的主要原因.

约 25 d 的周期分量存在于各活动周的每个阶段,它是周期短于 11 a 而振幅较大的几个周期中的一个.但明显的是该周期也是时变的,甚至在峰段也不稳定.虽然它可能对约 5 个月的周期有一定的影响,但

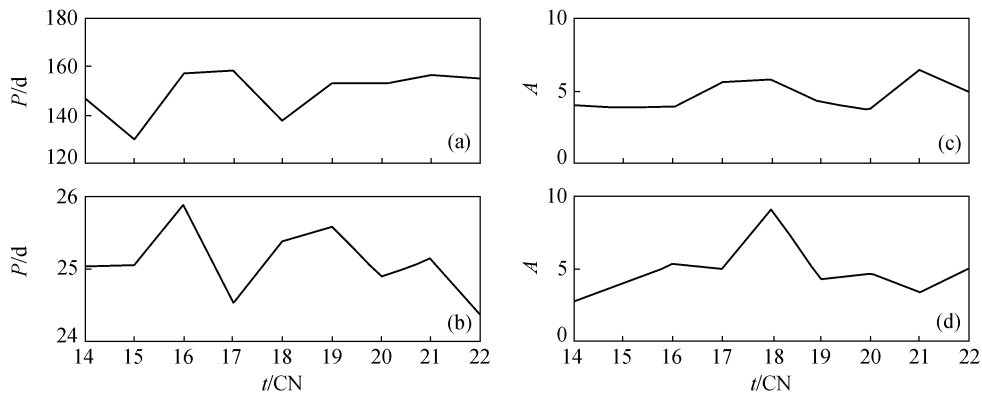


图 2 约 5 个月和约 25 d 周期的变化

P 表示周期长度, A 表示振幅, 时间 t 的单位为太阳活动周的序号, 用 CN 表示. (a)和(c) 约 5 个月周期, (b)和(d) 约 25 d 周期

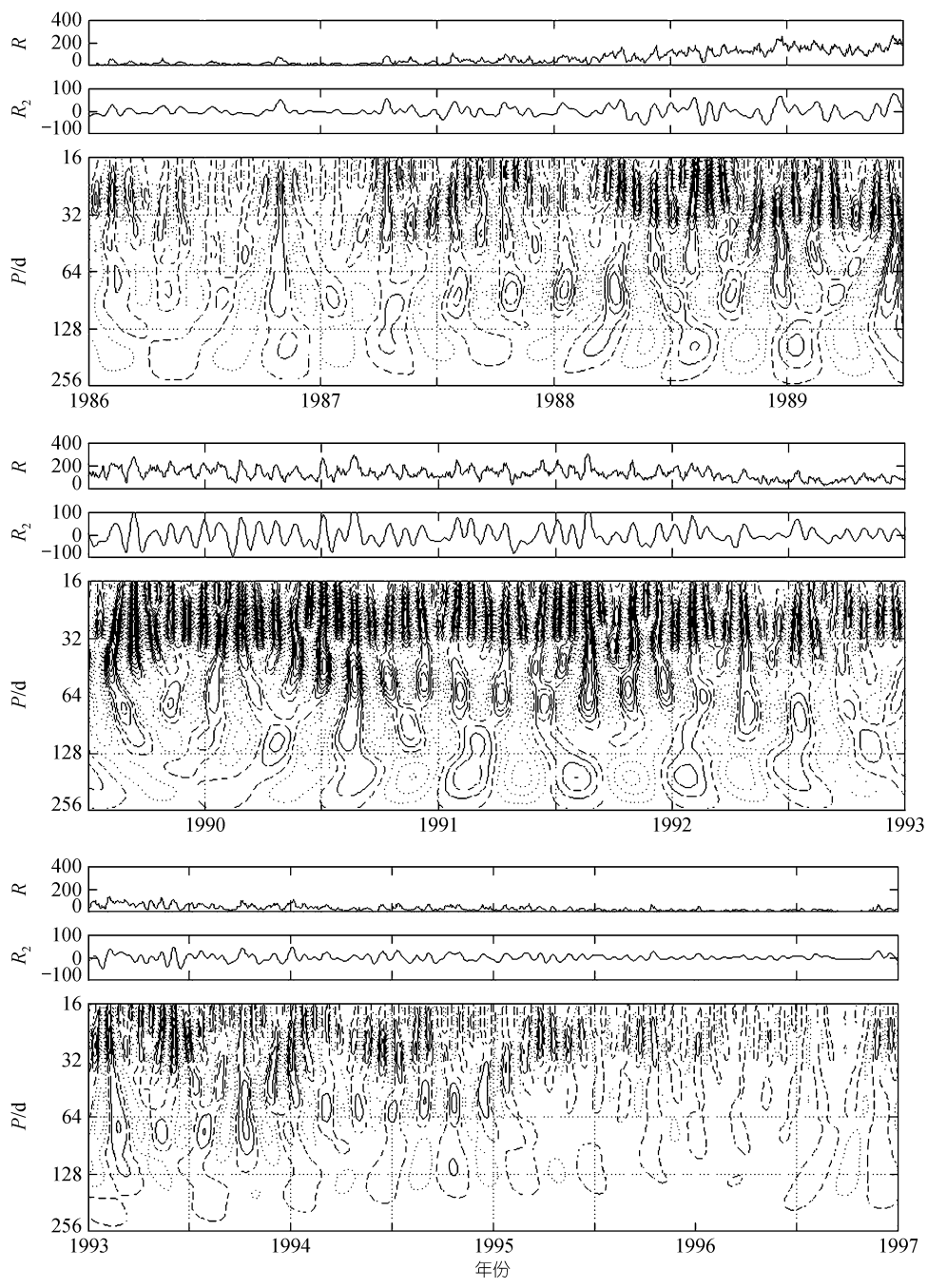


图 3 第 22 太阳活动周的日黑子数 R_2 序列的小波变换图

若认为约 5 个月的周期是它的倍频, 看起来证据还欠充分.

致谢 工作中作者曾与王家龙研究员进行过有益的讨论, 在此表示感谢. 本工作为国家自然科学基金资助项目(批准号: 19973011, 19833030).

参 考 文 献

- 1 Rieger E, Share G H, Forrest D J, et al. A 154-day periodicity in the occurrence of hard solar flares? *Nature*, 1984, 312: 623 ~ 625
- 2 Bogart R S, Bai T. Confirmation of a 152 day periodicity in the occurrence of solar flares inferred from microwave data. *Astrophysical Journal, Part 2- Letters to the Editor*, 1985, 299: L51 ~ L55

3

Ichimoto K, Kubota J, Suzuki M, et al. Periodic behaviour of solar flare activity. *Nature*, 1985, 316: 422 ~ 424

4

Bai T, Sturrock P A. The 152-day periodicity of the solar flare occurrence rate. *Nature*, 1987, 327: 601 ~ 604

5

Bai T, Cliver E W. A 154-day periodicity in the occurrence rate of proton flares. *Astrophysical Journal*, Part 1, 1990, 363(1): 299 ~ 309

6

Gabriel S, Evans R, Feynman J. Periodicities in the occurrence rate of solar proton events. *Solar Physics*, 1990, 128: 415 ~ 422

7

Bouwer S D. Periodicities of solar irradiance and solar activity indices II. *Solar Physics*, 1992, 142(2): 365 ~ 389

8

Bai T, Sturrock P A. Evidence for a fundamental period of the sun and its relation to the 154 day complex of periodicities. *Astrophysical Journal*, Part 1, 1993, 409(1): 476 ~ 486

9

Ballester J L, Oliver R, Baudin F. Discovery of the near 158 day periodicity in group sunspot numbers during the eighteenth century. *Astrophysical J*, 1999, 522: L153 ~ L156

10

Lou Y Q. Rossby-type wave-induced periodicities in flare activities and sunspot areas or groups during solar maxima. *The Astrophysical Journal*, 2000, 540(2): 1102 ~ 1108

11

Carbonel M. The near 160 day periodicity in the emergence of photospheric magnetic flux. In: SOLSPA 2001 Euroconference: Solar Cycle and Space Weather, 2001, Vico Equense. 2001

12

Massi M, Neidhofer J, Torricelli-Ciamponi G, et al. Activity cycles in UX ARIETIS. *Astronomy and Astrophysics*, 1998, 332: 149 ~ 154

13

Meyer Y. *Wavelets and Operators*. Cambridge: Cambridge University Press, 1992

14

Chao B F, Naito I. Wavelet analysis provides a new tool for studying earth's rotation. *EOS*, 1995, 76: 161 ~ 165

15

廖德春, 廖新浩. 太阳活动影响地球自转长期变化的新证据. *科学通报*, 2001, 46(1): 13 ~ 16

16

韩延本, 韩永刚. 太阳黑子相对数变化的小波分析. *科学通报*, 2001, 46(24): 2031 ~ 2034

17

韩延本, 赵娟, 李志安. 地球自转速度的年际变化与 El Niño 事件. *科学通报*, 2001, 46(22): 1858 ~ 1861

18

Sturrock P A, Bai T. Search for evidence of a clock related to the solar 154 day complex of periodicities. *Astrophysical Journal*, Part 1, 1992, 397(1): 337 ~ 346

(2002-02-25 收稿, 2002-06-06 收修改稿)