

太阳黑子群周期的小波分析*

郭汉伟

国防科技大学电子科学与工程学院, 长沙 71003

乐贵明**

中国科学院空间科学与应用研究中心, 北京 100080

摘要 采用小波分析, 分析了1610~1995年期间黑子群的周期随时间演化的特征. 分析结果表明, 太阳黑子群存在3种明显的周期, 分别为11, 115和190a左右的周期. 11a周期的幅度起伏很大, 115a有小的起伏而190a周期的幅度非常稳定. 在1960年左右11a周期的幅度最高, 而在Maunder极小和Dalton极小期它的幅度非常低. 115a周期的幅度在Maunder极小和Dalton极小期比11a周期的幅度高得多, 在1610~1995年期间190a周期的幅度都比115a周期的幅度高, 而在1960a左右115a周期的幅度和190a周期的幅度都比11a周期的幅度要低得多.

关键词 太阳活动 黑子群 周期 小波分析

太阳黑子数是太阳活动水平高低的重要标志, 在一个太阳活动周内太阳黑子数的极大年附近太阳活动非常剧烈, 太阳耀斑, 质子事件和日冕物质抛射事件频繁发生, 日地空间环境往往受到很强的扰动. 因此, 了解黑子数的周期变化规律有助于我们了解太阳活动的变化规律和日地空间环境的变化规律. 由于剧烈的太阳活动往往来自于磁结构复杂的黑子群, 因此, 与太阳黑子相对数相比, 太阳黑子群数能更好地反映太阳活动的剧烈程度, 也能更好地反映太阳活动的规律. 早期在分析一个数据序列的周期特征时, 往往采用Fourier分析方法, Romanov^[1]等在1994年采用Fourier分析了太阳黑子相对数的周期特征, 后来提高了谱分辨率的极大熵方法在分析数据序列的周期特征时得到了相当广泛的应用. 这两种方法的缺陷是不能给出信号的局部特征. 小波方法克服了这种缺点, 通过小波分析可以得到信号的局部特征, 正是小波分析的这种特点使得小波分析在数据处理中得到极大的应用.

Ochadlick^[2]等在1993年首次采用小波脊线方法得到太阳黑子相对数11a左右的脊线和100a左右的脊线, 指出在太阳黑子相对数除了11和100a左右的周期, 还存在50~70a之间的周期. 在1997年, Frick^[3]等利用小波方法分析了黑子群的周期, 重点分析了11a左右的脊线, 也讨论了100a左右的周期. Fligge^[4]等在1999年利用小波分析了太阳活动的多种参数, 主要分析了各种参数11a左右的小波脊线特征. Prabhakaran^[5]等采用小波方法同时分析了太阳风, 太阳黑子相对数和地磁指数之间的关系, 重点研究的是11a左右及其更短时间尺度的周期特征. 冯波等^[6]在1998年分析过太阳黑子相对数的Schwabe周期的长度范围, 韩延本等^[7,8]利用小波分析给出了太阳黑子相对数的一维小波分析. 所有这些研究都没有给出11a左右周期幅度随时间的变化情况, 也没有给出11a左右的周期幅度和100a左右周期幅度随时间变化的幅度比. 此外, 对太阳黑子相对数和黑子群的一维小波分析的等值线分析

2003-08-28 收稿, 2003-11-10 收修改稿

* 国家“八六三”(批准号: 228144)和国家自然科学基金(批准号: 49990451)资助项目

** 联系人, E-mail: lgm@earth.sepc.ac.cn

从来没有给出过 120 a 以上的周期成分随时间的变化情况. 过去在分析黑子数或黑子群数的周期特征时, 之所以把 11 a 周期作为分析的重中之重, 是因为 11 a 左右的周期是太阳活动的一个标志性周期并被普遍接受和认可. 本文利用小波分析方法分析了太阳黑子群数的周期随时间演化的特征, 分析发现黑子群除了以往注意到的 Schwabe 周期, Gleissberg 周期(几十年到 120 a 左右)外, 还存在幅度很大的 190 a 左右的周期. 本文的研究发现, 跟 Gleissberg 周期和 190 a 周期的幅度比, 在相当长的时间范围内黑子群 11 a 左右的周期的幅度是相当弱的, 只在 1950 年开始到 1994 年左右的时间范围内黑子群 11 a 周期的幅度才明显超过另外两种周期的幅度. 因此, 黑子群的周期特性是非常复杂的, 11 a 左右的周期并不始终是一个强活动周期.

1 数据分析

首先我们给出黑子群的年均值序列¹⁾, 如图 1 所示. 从图 1 可以看到, 在 1640~1725 年左右太阳黑子群数非常少, 被称之为 Maunder 极小期, 在 1800 左右的一段时间内, 黑子群的数量又较少, 被称之为 Dalton 极小期, 在 1950 年左右的一段时间黑子群数在已有时间段达到极大.

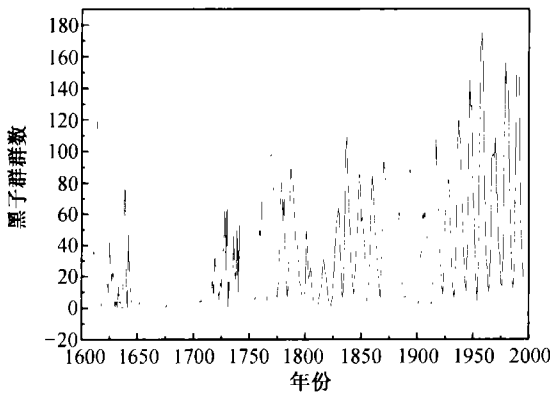


图 1 太阳黑子群的年均值序列

Morlet^[9]在 1982 年以及 Daubechies^[10]在 1992 年都指出过小波分析特别适宜于分析太阳黑子的序

列. 在本文中我们选用如下的 Morlet 小波作为我们的小波分析工具,

$$\psi(t) = \exp(-t^2/2)\cos(5t),$$

信号 $f(t)$ 的小波变换的定义为

$$W(a, t') = a^{-1/2} \int_{-\infty}^{+\infty} \psi^* \left(\frac{t-t'}{a} \right) f(t) dt, \quad (1)$$

其中 ψ^* 为 ψ 的共轭函数, a 为一缩放因子. 信号 $f(t)$ 的全局小波功率谱(以下简称全局谱)为

$$W_p(a) = \int_{-\infty}^{+\infty} |W^2(a, t)| dt. \quad (2)$$

依据(2)式我们得到黑子群序列的全局谱, 如图 2 所示. 从图 2 给出的黑子群的全局谱可以看到, 黑子群的全局谱有 3 个峰值, 分别为 11, 115 和 190 a. 其中 190 a 周期的小波功率谱的峰值最大, 115 a 周期的小波功率谱的峰值次之, 11 a 周期的小波功率谱的峰值最低. 从全局谱我们无法知道各种周期的信号随时间的变化. 利用公式(1), 我们给出了黑子群的一维小波变换图, 如图 3 所示. 从图 3 可以看到, 黑子群主要有 3 种比较明显的周期, 一个为 11 a 左右的周期, 一个为 115 a 左右的周期, 还有一个为 190 a 左右的周期. 从图 3 可以看到所有周期的强度随时间是变化的, 即它反映的是周期变

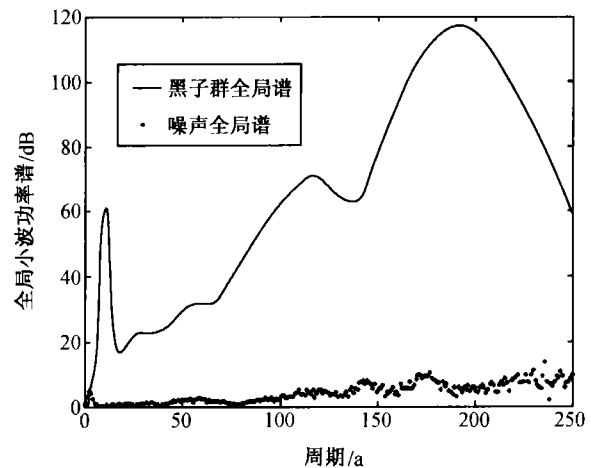


图 2 黑子群序列的全局小波功率谱

1) ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR.DATA/SUNSPOT.NUMBERS/GROUP.SUNSPOT.NUMBERS/

化的时变性,这是小波分析跟 Fourier 分析相比具有的巨大优势.但是从图 3 我们还无法很定量地看到某个周期的信号随时间变化的具体情况,为此,我们给出 3 个典型周期 11, 115 和 190 a 的幅度随时间变化的情况,如图 4 所示.从图 4 我们可以看到,黑子群 11 a 的周期只在 1930 年以后的时间幅度较大,在 Maunder 极小期黑子群 11 a 的幅度几乎为零,在 1810 年左右 11 a 周期的幅度也非常低. 11 a 周期的另一个特征是在 1625 和 1775 年左右的时间幅度下降非常快,即太阳活动非常低的前期 11 a 左右周期的幅度是迅速下降的,这是太阳活动非常重要的一个特征. 115 a 周期的幅度在 Maunder 极小期和 Dalton 极小期的幅度比黑子 11 a 左右周期的幅度大得多,在 1940 年以后的时期则比 11 a 周期的幅度要低很多. 190 a 周期信号的幅度很大,在 1610~1995 年的整个时间范围内都比 115 a 周期的幅度要高.在 1940 年以前的时间,它的幅度始终比 11 a

周期的幅度要高得多. 11 a 周期的幅度在 1610~1995 年期间起伏很大,在 Maunder 极小和 Dalton 极小期它的幅度最低,在 1960 年左右其幅度最大,说明太阳活动的总体趋势是上升的. 115 a 左右的周期在整个时间过程中幅度有一定的起伏,但起伏的幅度比 11 a 周期的幅度要低得多. 190 a 左右的周期在整个时间范围内幅度尽管不是常数,但变化很小,说明 190 a 周期的幅度相当稳定.

2 结果与讨论

黑子群序列有 3 个比较明显的周期,它们分别为 11, 115 和 190 a. 11 a 周期的幅度起伏很大,115 a 周期的幅度起伏较小,190 a 周期的幅度几乎不变.在 Maunder 极小期 11 a 周期的幅度几乎为零,在 Dalton 极小期 11 a 周期的幅度也很低,在 1960 年左右 11 a 周期的幅度非常大. 115 a 周期的幅度在 Maunder 极小和 Dalton 极小期的幅度比 11 a 周期的幅度要高得多,在 1960 年左右它的幅度比 11 a 周期的幅度要低得多. 190 a 周期的幅度在整个时间范围内都比 115 a 周期的幅度要高,但在 1960 年左右也比 11 a 周期的幅度要低得多.

太阳活动很低的期间,黑子群的数目很少.从前面的分析可以看到,在太阳活动很低以前,黑子群和黑子数 11 a 左右的周期都下降很快,在一定条件下这可以用来进行太阳活动预测.我们分析过黑子相对数的 11 a 周期的幅度在 2000 年附近下降很快^[11],因此,跟第 23 周太阳活动相比,第 24 周太阳活动的水平有可能大幅度下降,这个结果与王家龙等的预测^[12]是一致的.黑子群和黑子数 11 a 周期的幅度整体都非常低,而在 1960 年前后的一段时间幅度非常高的现象是一个非常奇特现象,我们有必要研究太阳活动的总体趋势.此外,小波分析的结果在数据的末端存在边缘效应,这是我们下一步的研究工作.随着观测数据的增加,我们将得到黑子群周期特征的更多信息.

参 考 文 献

- 1 Romanov Y S, et al. The period of solar activity cycles. *Solar Phys*, 1994, 152: 31
- 2 Ochadlick A R, et al. Variation in the period of the sunspot cycle. *Geophys Res Lett*, 1993, 20(14): 1471

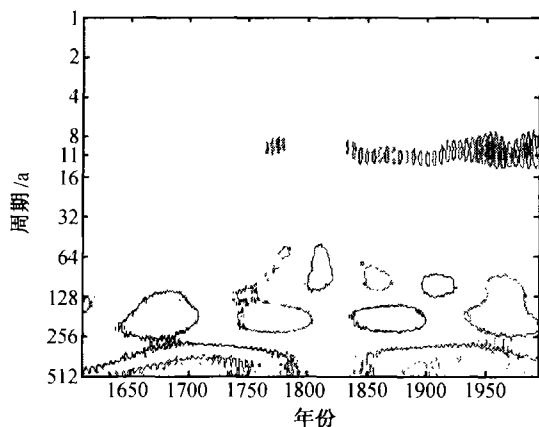


图 3 1610~1995 年黑子群序列周期的小波分析

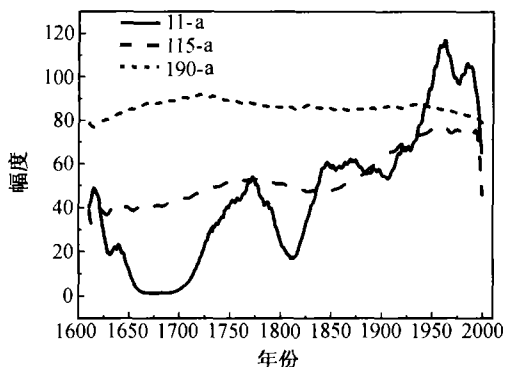


图 4 3 种典型周期的幅度随时间的变化

- 3 Frick P, et al. Wavelet analysis of solar activity recorded by sunspot groups. *A&A*, 1997, 328: 670
- 4 Fligge M, et al. Determination of solar cycle length variations using the continuous wavelet transform. *A&A*, 1999, 346: 313
- 5 Prabhakaran Nayar S R, et al. Wavelet analysis of solar wind and geomagnetic parameters. *Solar Phys*, 2001, 208: 359
- 6 Feng B, et al. Wavelet analysis of sunspot numbers. *Chinese Astron Astrophys*, 1998, 22(1): 83
- 7 Han Y B, et al. Wavelet analysis of sunspot relative numbers. *Chinese Science Bulletin*, 2002, 47(7): 609
- 8 Han Y B, et al. Time-variation of the near 5-month period of sunspot numbers. *Chinese Science Bulletin*, 2002, 47(23): 1969
- 9 Morlet J G, et al. Wave propagation and sampling theory. *Geophysics*, 1986, 38: 203
- 10 Daubechies, I. Society for Industrial and Applied Mathematics. In: *Ten Lectures on Wavelets*, Philadelphia, 1992
- 11 Le G M, et al. Wavelet analysis of several important periodic properties in the relative sunspot numbers. *Chinese J Astron Astrophys*, 2003, 3(5): 391
- 12 Wang J L, et al. The Prediction of maximum amplitudes of solar cycles and the maximum amplitude of solar cycle 24. *Chinese J Astron Astrophys*, 2002, 2(6): 557

美国国家科学基金会 2005 财年预算达 57.45 亿美元

美国国家科学基金会(NSF)于2004年2月3日向国会提交了57.45亿美元的2005财年预算, NSF主任 Rita Colwell 博士称, NSF的经费将用于支持科学家在知识前沿领域进行探索, 并加强国家创新能力, 以实现经济增长和国家繁荣。

与2004财年预算相比, 2005财年NSF的预算增长了3%。其中, 用于研究及相关活动的经费增长了4.7%, 纳米尺度科学与工程、环境中的生物复杂性、数学科学、人类与社会动力学以及21世纪的劳动力等5个优先领域的经费预算总计超过了5.37亿美元, 纳米科学与工程的预算比上年增长20%, 环境中的生物复杂性、数学科学以及人类与社会动力学领域的预算将维持在2004年的水平, 而21世纪的劳动力是NSF2005年新增的优先领域, 预算为2千万美元。

2005财年NSF资助6大重点研究设施的经费分配如下: 1200万美元用于国家生态观测网(NEON), 以支持地方、区域和大陆各种尺度的环境观测站研究设备与仪器的整合系统; 4085万美元用于建造一艘装备齐全的高水平研究船舶, 以支持国际合作的大洋钻探计划; 3000万美元用于布鲁克林国家实验室奇异对称破坏过程(RSVP)项目, 以阐明物理学的标准模型, 并寻找有助于研究物质世界起源和暗物质性质的粒子或过程; 4967万美元用于继续支持位于智利的阿塔卡马大型百万米阵列(ALMA); 3345万美元用于位于南极的IceCube中微子观测站; 4735万美元用于覆盖全国的地质观测网络——“地球镜”(EarthScope)。

2005年预算还提出增加10.7%的经费, 用于NSF的研究与教育合作中心计划。其中涉及到6个新成立的科学与工程中心(STC), 使支持STC的总经费将由目前的约3000万增至2005年的7240万美元; 增加的其他经费将用于支持各化学中心、生态研究的长期项目、数学科学研究所、纳米科学与工程中心以及社会、行为与经济科学中心。

此外, NSF将卓越的组织管理作为其2005财年的主要战略目标之一, 提出了3.63亿美元的预算, 用于提高自身的组织和管理能力。Colwell主任特别强调这方面投入对NSF的重要意义。她指出, 在提高管理水平方面, NSF一直在创新, 荣获过总统管理卓越质量奖, 并两次被管理与预算办公室(OMB)列为财务管理和电子政务方面的合格部门。然而, 在过去20年里, 尽管NSF的工作负荷大幅增长, 持续上升的申请量、大为增长的经费强度以及复杂的学科交叉项目都需要细致的管理与评估, 但其基本人员队伍水平却一直保持不变。因此, 增加NSF自身组织管理方面的投入将提升其资助活动的运行系统, 使之持续安全、可靠以及用户友好, 确保NSF的资助工作和资助结果一样出色。

龚旭 编译