

太阳 10.7 cm 射电辐射流量预报方法初探^{*}

苗娟 刘四清 薛炳森 龚建村

(中国科学院空间科学与应用研究中心 北京 100080)

王家龙

(中国科学院国家天文台)

摘要

引进“相似周”方法,通过两种方式对第23周太阳 10.7 cm 辐射流量 ($F_{10.7}$) 月均值进行预报和预报试验.由“相似周”方法得到的第23周太阳黑子数月均平滑预测值来预测 $F_{10.7}$ 月均值和直接采用“相似周”方法对 $F_{10.7}$ 月均平滑值进行预测.通过对两种预报试验结果分析,得到以下结论.(1)两种预测结果与实际都比较吻合,都得到双峰结构.(2)直接通过相似周预测的 $F_{10.7}$ 的月均值结果较间接通过太阳黑子数的预测结果所推断的 $F_{10.7}$ 预测结果更接近实际观测结果.(3)使用“相似周”预报方法,可以给出 $F_{10.7}$ 比较精细的剖面结构,这是其他普通预报方法很难做到的.

关键词 相似周; 太阳黑子数; 10.7 cm 射电流量

1 引言

自从 1957 年 10 月 4 日人类第一颗人造地球卫星进入空间开始,空间环境对航天系统影响的问题就受到空间界的关注,其中高层大气是重要的影响因素之一.无论是航天设计、发射和回收,还是飞行计划编制、轨道飞行姿态控制,都不能忽视高层大气的影响.高层大气密度、成分、温度和压力等直接影响着飞行器轨道定位、轨道衰变和在轨寿命.太阳极紫外辐射 (EUV) 是高层大气主要的能量来源,高层大气通过对太阳 EUV 辐射吸收得到的能量加热大气,并引起高层大气密度对太阳 EUV 辐射强度的扰动有较迅速的非常强的响应. EUV 辐射与太阳活动的 11 年周期密切相关,对太阳周有强的依赖,在不同活动阶段能量变化很大,因而高层大气密度的长期变化效应就是对太阳活动周期的响应,它也表现明显的 11 年变化周期.太阳 EUV 是研究高层大气变化必须关注的因素之一,而 $F_{10.7}$ 作为太阳 EUV 辐射的特征指示,是与大气变化相关的太阳活动指数.因此,为了做好高层大气参数的长期预报, $F_{10.7}$ 的太阳活动周的预报是其中十分重要的一环.

日地环境的扰动源主要是太阳活动,因而太阳活动水平的长期预报是太阳活动预报的重要内容之一^{[2],[3]},而太阳黑子数是当前用来反映太阳活动的总水平的指标. $F_{10.7}$ 是受太阳活动影响的,与太阳黑子数密切相关, $F_{10.7}$ 也具有明显 11 年周期变化特征,因

^{*} 国家重点基础研究发展规划项目 (G2000078408),中国科学院空间科学与应用研究中心空间环境预报中心共同资助项目.

2001-05-18 收到原稿, 2001-11-15 收到修定稿

而, 预测 $F_{10.7}$ 最简单的方法是利用与太阳黑子数之间关系来推算 $F_{10.7}$, 例如文献 [5] 中的公式 (1).

2 第 23 周太阳黑子数及 $F_{10.7}$ 的预测

“相似周”是指在第 1—22 周太阳活动中, 当一些活动周主要参数 (如黑子数的极大值、极小值及上升相与下降相的时间长度) 比较相似时, 其逐月黑子数的变化特征也比较相似的太阳活动周.

具体做法是, 对已知的活动周 (第 1—22 活动周) 绘出每个周逐月的黑子数变化曲线, 分析比较, 挑选出在主要参数上与预测周类似的活动周, 取每个周的最大值月份为中心历元, 求出黑子数平滑月均值的历元叠加平均值作为被预测周相应的黑子数的平滑月均值, 取历元叠加中几个相似周相应月份黑子数对平均值的均方差作为预测值可能的误差.

综合第 23 周主要参量的预测结果 [4], 采用文献 [1]“相似周”方法选取的与第 23 太阳黑子活动周相似的活动周有: 第 8, 9, 11, 17, 18, 20 和 21 周, 并通过各周相应月份的黑子数 (月均平滑值) 对第 23 活动周的逐月黑子数变化进行预测 (见图 1).

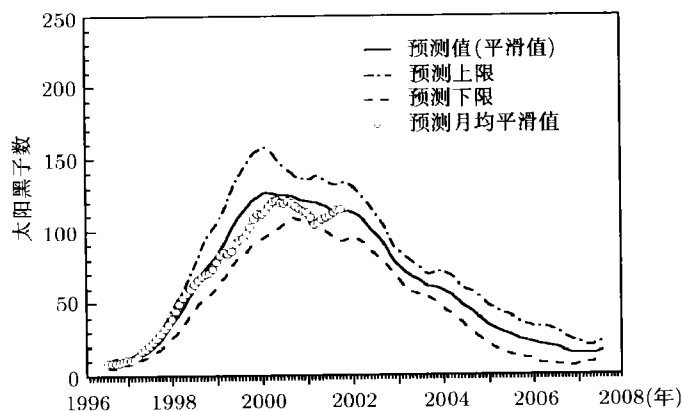


图 1 第 23 周太阳黑子数平滑月均值的预测值和观测值的比较

Fig.1 Comparison of the predicted (solid line) with the observed (circle) smoothed monthly sunspot numbers of Cycle 23

由图 1 看出, 用相似周方法得到的平滑月均值预测值与已经得到的各个月的实测值吻合较好.

在给出第 23 周太阳黑子数预测值的基础上, 我们采用 $F_{10.7}$ 与太阳黑子数之间的非线性经验关系式 (R 为黑子数)^[6]

$$F_{10.7} = 4.96 + 0.97R + 1.76e^{-0.35R}$$

推算出 10.7 cm 太阳射电辐射流量的第 23 周预测值的变化曲线 (见图 2). 可以看出, 在主要上升阶段预测值与实际符合的较好, 极大值出现在 2000 年 3 月, 约为 172 ± 28 , 在随后的下降过程中, 2001 年 11 月出现一个次峰, 约为 160 ± 28 . 与实际变化相比较, $F_{10.7}$ 的

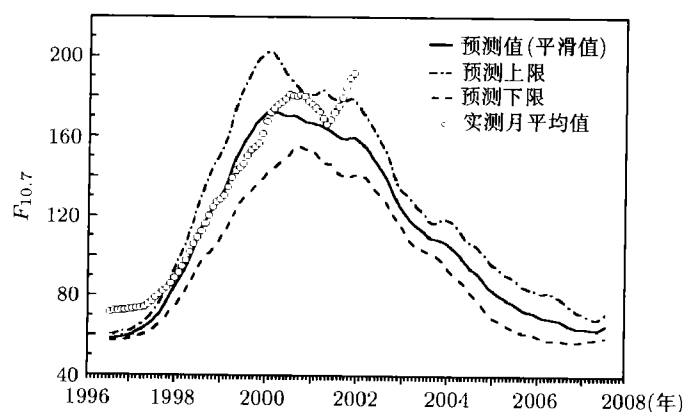


图 2 第 23 周 $F_{10.7}$ 平滑月均值的预测值和观测值的比较

Fig.2 Comparison of the predicted (solid line) with the observed (circle) smoothed monthly $F_{10.7}$ of Cycle 23

第二个峰值预测值不理想, 这是由于 $F_{10.7}$ 的预测值是通过太阳黑子数的变化所得, 受太阳黑子数变化的制约, 因而第二个峰值期的预测值与实际值偏差比较大. 由此也可以看出, 在两个量变化较平缓的时段一般都能给出较好的结果, 但在变化的拐点处预报值往往与实测值不太一致. 这也说明虽然 $F_{10.7}$ 与太阳黑子数有相似的变化趋势, 但仍有不同的局部变化特征. 因此我们下面直接用“相似周”方法来预测第 23 周 $F_{10.7}$.

3 用“相似周”方法预测第 23 周的 $F_{10.7}$

由于 $F_{10.7}$ 仅有 40 年的观测记录, 限制着“相似周”选取, 而由于 $F_{10.7}$ 与太阳黑子数具有相似的变化趋势, 因此, 我们在此直接采用第 23 周太阳黑子的相似周作为第 23 周

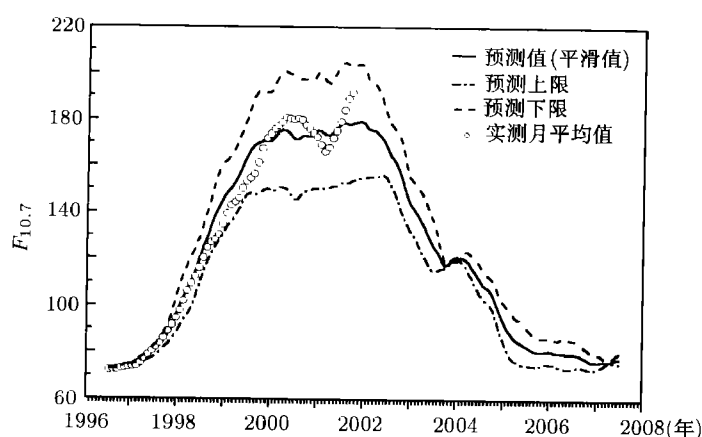


图 3 用“相似周”方法得到的第 23 周 $F_{10.7}$ 平滑月均值的预测值和观测值的比较

Fig.3 Comparison of the predicted (solid line) with the observed (circle) smoothed monthly $F_{10.7}$ of cycle 23 by means of “Similar Cycle”

$F_{10.7}$ 的相似周, 即取第 23 周 $F_{10.7}$ 的相似周为第 19、20 周 (由于只有第 19、20、21、22 周的 $F_{10.7}$ 的观测数据), 并计算出第 23 周逐月 $F_{10.7}$ 的月均平滑值的预测值变化曲线 (见图 3).

由图可以看出, 直接由“相似周”方法预测的第 23 周 $F_{10.7}$ 出现了两个峰值, 第一个峰值出现在 2000 年的 4 月份, 其值约为 175 ± 25 , 在 2001 年的 11 月份出现第二个峰值, 且第二个峰值要略高于第一个峰值, 其值约为 179 ± 25 , 这与实际变化吻合很好.

比较图 2, 图 3 可以看出, 直接用相似周方法预测的第 23 周 $F_{10.7}$ 要比通过公式由太阳黑子数推算出的 $F_{10.7}$ 的预测值结果更接近实际变化. 可见, $F_{10.7}$ 与太阳黑子数在总体上有相似的变化趋势的同时, 它也具有自己局部变化特征, 这点从图 2 第二个峰观测结果也可以得出相同的结论. 但由于现有观测数据的不足, 对 $F_{10.7}$ 的相似周的选取暂时只能建立于太阳黑子数相似周选取的基础上, 具有一定局限性.

4 结论与讨论

(1) 在“相似周”理论上, 通过两种途径得到的预测结果与实际观测值都比较吻合, 两种方法都得到双峰结构. 第一种方法所预测的第 23 周 $F_{10.7}$ 的极大值出现在 2000 年 3 月, 预测峰值约 172 ± 28 ; 预测结果将在 2001 年 11 月出现一个次峰, 其峰值约为 160 ± 28 . 第二种方法预测第一个峰值将出现在 2001 年 4 月, 其值为 175 ± 25 ; 2001 年 11 月达到第二峰值, 峰值比第一个峰值略高, 其值为 179 ± 28 .

(2) 第二种方法的预测结果较第一种方法与实际观测值更为接近. 这说明虽然 $F_{10.7}$ 流量与太阳黑子数有相似的变化趋势, 但仍有不同的局部变化特征. 这点从 23 周第二个峰观测结果也可以得出相同的结论.

(3) 使用“相似周”预报方法, 可以给出 $F_{10.7}$ 比较精细的剖面结构, 这是其他普通预报方法很难做到的.

(4) 由于“相似周”方法是以预测周主要参数 (如黑子数的极大值、极小值及上升相与下降相的时间长度) 的预测为基础, 因而对这些参数预测的准确程度对预报结果有较大的影响.

(5) 比较两种计算可以看出, 用“相似周”方法直接得到的结果更接近于实际平滑月均值. 但由于目前观测数据的不足, 相似周的选取有一定局限性.

(6) 在太阳 10.7 cm 流量预报中, “相似周”方法是一种非常值得探讨的方法, 但其实用性还有待于在今后预报工作中进一步验证.

参 考 文 献

- [1] Wang Jialong, Han Yanben. “Similar Cycle” method and a discussion of predicted monthly sunspot numbers for solar cycle 23. *Chin. J. Space Sci.*, 2000, **20**(3):278—281, in Chinese (王家龙, 韩延本. “相似周”方法及对第 23 周太阳黑子数逐月值预测的讨论, 空间科学学报, 2000, **20**(3), 278—281)
- [2] Herman J R, Coldberg R A. *Sun, Weather and Climate*. Washington DC: NASA, 1978
- [3] Allen J H, Wilkinson D C. Solar-terrestrial activity affecting systems in space and on earth. In: *Solar-Terrestrial Predictions-IV*. NOAA, 1993, 75—107

- [4] Wang Jialong, Han Yanben. Forecasts of smoothed and non-smoothed monthly mean sunspot numbers for solar cycle 23. *Astrophys. Rep.*, 1997, 261—272
- [5] Zhang Guiqing, Wang Jialong. Extrapolation of solar 10.7 cm fluxs. *Astrophys. Rep.*, 1995, 27:61—68
- [6] Sue Greer M. New procedures for SESC sunspot number and 10.7 cm flux prediction. In: *Solar-Terrestrial Predictions-IV*, NOAA, 1992, 173

PRIMARY RESEARCH ON PREDICTION METHOD OF 10.7 cm SOLAR RADIO FLUX

MIAO Juan LIU Siqing XUE Bingsen GONG Jiancun

(Center for Space Science and Applied Research, Space Environment Prediction Center, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

WANG Jialong

(Notional Astronomical Observatories, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100012)

Abstract

In this paper, “Similar Cycle” method is introduced and smoothed monthly mean $F_{10.7}$ flux of cycle 23 is predicted in two approaches and then the prediction is tested. In the first one smoothed monthly mean sunspot numbers of cycle 23 is obtained by “Similar Cycle” method and then smoothed monthly mean $F_{10.7}$ flux is predicted according to statistical relationship between sunspot numbers and $F_{10.7}$ flux. In the second approach the “Similar Cycle” method is directly applied to predict smoothed monthly mean $F_{10.7}$ flux of cycle 23 by using historical data of past solar cycles. From the prediction, three results are obtained: 1) Both of these two prediction results are close to observations, both having double. 2) The second prediction is closer to the observation than the first one, which shows that $F_{10.7}$ flux has similar varying trend with sunspot numbers, but still has its own local varying characters. This can be proved by the second peak of observed $F_{10.7}$ flux in cycle 23. 3) Using “Similar Cycle” method, the “Shape” of $F_{10.7}$ flux in a solar cycle can be described well, which is difficult to get by other methods.

Key words Similar cycle, Sunspot numbers, $F_{10.7}$ flux