



论文

异常的第 24 太阳活动周——新千年的第一个完整的太阳活动周

李可军^{①②*}, 冯雯^③, 梁红飞^④

① 中国科学院国家天文台云南天文台, 昆明 650011;

② 中国科学院国家天文台太阳活动重点实验室, 北京 100012;

③ 昆明理工大学分析测试中心, 昆明 650093;

④ 云南师范大学物理系, 昆明 650093

* E-mail: lkj@ynao.ac.cn

收稿日期: 2009-11-02; 接受日期: 2010-02-26

国家自然科学基金(批准号: 40636031, 10921303, 10873032)和国家重点基础研究发展计划(编号: 2006CB806300)资助项目

摘要 介绍自 2007 年下半年到现在的非常低的太阳活动状况: 无黑子活动天数为 16 太阳活动周以来最多, 不排除 24 周的无黑子天数是现代黑子周内最多的可能; 高纬度($>35^\circ$)黑子的纬度为 12 周最低; 从 2003 年 11 月~2008 年 9 月, 较高纬度($>20^\circ$)每月没有黑子或只有 1 个黑子, 共计持续了 58 个月, 也为 12 周以来第一次观测到; 太阳风速度、太阳风压、10 cm 电磁波辐射、太阳极区磁场、太阳总光度辐射等参量都为有观测资料以来的最低. 对于这种极低太阳活动的现象, 介绍了从当前的日震观测给予的解释、也从 Gleissberg 周期的长尺度、超长太阳活动周期尺度给予了解释. 依据目前的观测, 我们确定 24 黑子活动周于 2008 年 11 月开始. 综合多种经典太阳活动预报方法给出的对 24 周太阳活动水平的预报, 以及美国国家航空航天局和美国国家海洋大气局对 24 周的未来发展趋势的预报, 认为 24 周太阳活动水平估计比 23 周将要弱 30% 左右. 异常的 24 太阳活动周为太阳物理和日地关系物理研究带来机遇.

关键词 太阳物理, 黑子活动, 太阳周, 太阳活动

PACS: 96.60.-j, 96.60.Q-, 96.60.qd

太阳活动具有约 11 a 左右的 Schwabe 周期, 每 11 a 就出现太阳活动平静期. 由于目前处于 23 向 24 太阳周过渡的太阳活动低年, 人们对于太阳黑子数偏少不觉得奇怪. 然而当我们追溯太阳黑子的观测历史就会发现, 目前的太阳黑子偏少程度是非常罕见的, 实是百年一遇. 例如, 在 2008 年, 无黑子日达 266 d, 占到了全年总时间的 73%, 而近百年来唯一比 2008 年无黑子日更少的年份是 1913 年, 这一年有

311 d 没有黑子, 占全年总时间的 85%. 在 2009 年前 4 个月的 120 d 里, 有 103 d 没有太阳黑子, 比例竟然高达 86%. 而 2009 年全年无黑子日达 262 d, 只比 2008 年少 4 d, 为近百年来第 3 个无黑子日最多的年份. 太阳正处在本世纪活动第一个极小期的低谷中, 两年多来, 太阳黑子是莫名其妙的稀少 (<http://users.telenet.be/j.janssens/Spotless/Spotless.html>). 当前的太阳极小期长而深入, 这使得一些科学家推测, 太

阳可能要进入一个长期根本无黑子活动的阶段, 类似于 17 世纪的蒙德(Maunder)极小期(<http://solar-science.msfc.nasa.gov/>). 我们知道, 超长期太阳活动与古气候变化正向关联^[1]. 最近 1000 年来, 太阳活动经历了 3 个极端过程: 中世纪极大期、Sporer 极小期、Maunder 极小期, 正好对应于气候变化的中世纪温暖期、小冰川时期的两个寒冷时期^[2]. 基于太阳物理、日地关系物理的考虑, 了解目前太阳活动的现状与未来走向, 是很有必要的^[3~6]. 本文将较全面地报告描述太阳活动的诸多参量的当前现状和太阳活动的未来走向, 给出一些对较低太阳活动现状的解释和由此带来的机遇的说明.

1 目前的太阳活动

一般认为, 比较可靠的黑子数时间序列, 即所谓的现代太阳活动周, 从第 10 太阳活动周开始^[7,8], 由 <http://users.telenet.be/j.janssens/spot/ess/spotless.html> 给出的数据资料, 图 1 给出了现代黑子周的每周的无黑子总天数, 统计至 2009 年 8 月底, 24 周的无黑子天数达 704 d, 是 16 周以来无黑子天数最多的一个周; 在现代黑子周内, 只比 12~15 周低(<http://users.telenet.be/j.janssens/Spotless/Spotless.html>). Li 发现 10~15 周的黑子观测没有其后的可靠, 在此期间, 可能有一些太阳黑子没被观测到, 不排除 24 周的无黑子天数是现代黑子周内最多的可能^[9]. 目前的黑子活动水平很低, 百年一遇(<http://users.telenet.be/j.janssens/Spotless/Spotless.html>). 第 24 太阳活动周是新

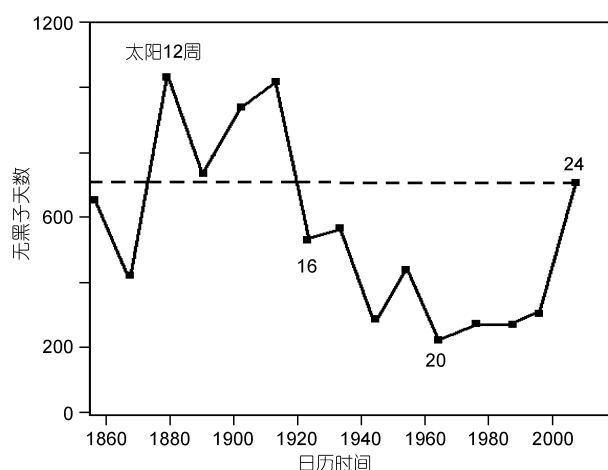


图 1 10~24 太阳活动周的每周无黑子天数

千年的第一个完整的活动周, 它将异常地进入新千年、新世纪.

图 2 给出了平滑每月无黑子天数和平滑每月平均黑子数. 由图知道, 平滑每月无黑子天数, 和平滑每月平均黑子数一样, 也形成一个具有上升期和下降期的“活动周”, 只是两者反相位, 负相关. 目前看来, 24 周平滑每月无黑子天数正处于极大时期, 未来几年, 无黑子天数估计还会继续增加, 以完成它的下降期.

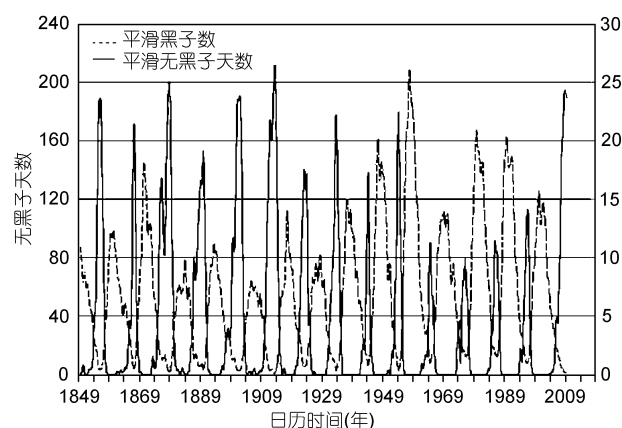


图 2 平滑每月无黑子天数(实线, 右刻度)和平滑每月平均黑子数(虚线, 左刻度)

数据来源于文献[1]

连续的黑子空间位置和黑子面积测量与整理开始于 1874 年, 由 Greenwich 天文台进行. Greenwich 的观测资料提供了从 12 周开始的完整太阳活动周的黑子空间分布信息. Li 的统计分析表明^[9], 24 周高纬度($>35^\circ$)黑子的纬度为 12 周最低(最新统计到 2009 年 9 月底, 仅在 2009 年 9 月 23 日出现过一次高纬度黑子); 从 2003 年 11 月到 2008 年 9 月, 较高纬度($>20^\circ$)每月没有黑子或只有 1 个黑子, 共计持续了 58 个月, 也为 12 周以来第一次观测到. 高纬度($>35^\circ$)黑子的平均纬度与黑子极大正相关^[10], 因此预计 24 周太阳活动水平较低.

连续的太阳极区磁场观测自 1976 年开始. 图 3 给出了 Wilcox 太阳天文台(Wilcox Solar Observatory)观测的 1976 年 6 月~2009 年 9 月的太阳极区(纬度 $>55^\circ$)南北半球每月平均磁场, 它们和低纬度黑子活动周反相位. 24 周极小时期的极区磁场, 比其他周极小时期的要明显小, 为有观测以来最小. 一个黑子活

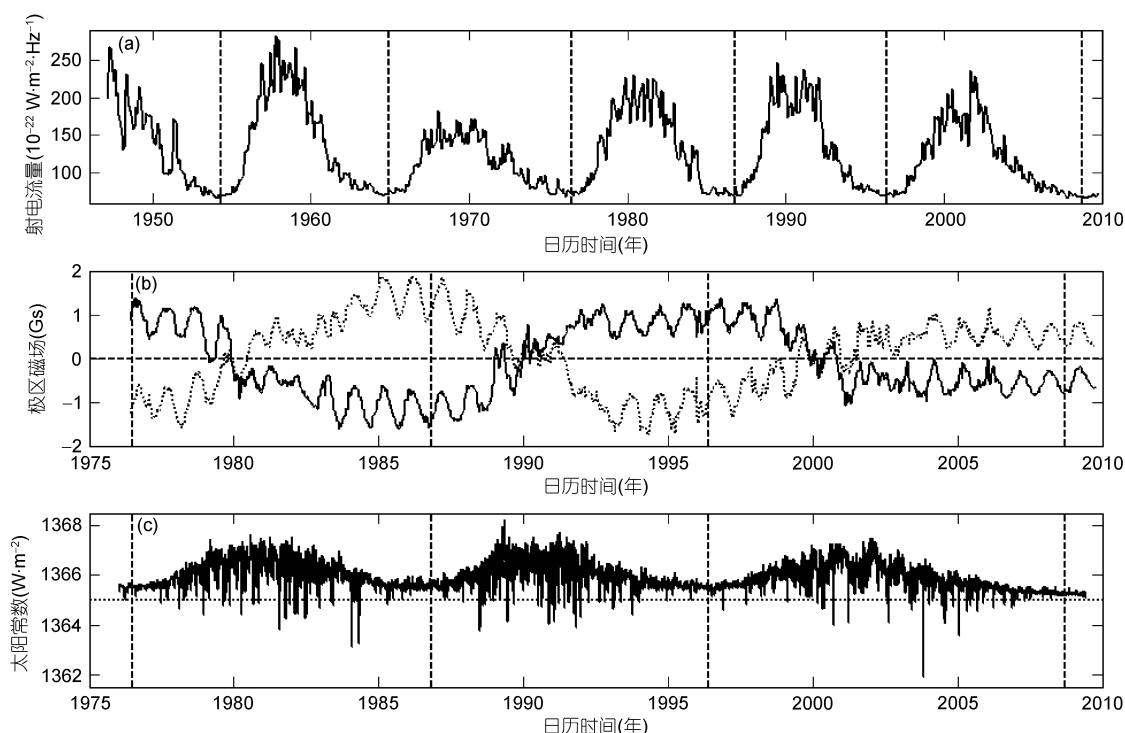


图 3 Wilcox 太阳天文台南北半球每月平均磁场

(a) Ottawa/Penticton 观测的 1947 年 2 月~2009 年 9 月的 10 cm 射电流量每月平均值; (b) Wilcox 太阳天文台观测的 1976 年 6 月~2009 年 9 月的太阳极区(纬度 $>55^\circ$)南(虚线)北半球(实线)每月平均磁场; (c) 1976 年 1 月 12 日~2009 年 6 月 9 日每日太阳总辐射 PMOD 综合系列. 图中垂直虚线为黑子活动周极小

动周极小时期的高纬度极区磁场与同周低纬度磁活动强正相关^[11], 因此可以预见 24 周太阳活动较弱.

连续的太阳射电 10cm (2800 MHz) 流量观测始于 1947 年. 图 3 给出了 Ottawa/Penticton 观测的 1947 年 2 月~2009 年 9 月的 10 cm 射电流量每月平均值. 24 周极小时期的流量, 比其他周极小时期的要小, 为有观测以来最小.

连续的太阳总光度辐射(太阳常数)观测始于 1976 年. 图 3 给出了 1976 年 1 月 12 日~2009 年 6 月 9 日每日太阳总辐射 PMOD 综合系列^[12](http://ihy2007.org/IAUWG/WEBPAGES/WG_overview.shtml). 24 周极小时期的太阳总辐射, 比其他周极小时期的要明显小, 为有观测以来最小.

其他太阳活动参数, 如太阳风速度, 太阳风压, 光球磁场开放场等等, 都为有观测以来的最小^[13].

2 24 周开始时间的确定

相邻两个太阳活动周的前导/后随黑子的磁场极

性对应地改变符号, 形成一个 Hale 磁周. 与上一个活动周反极性的黑子在高纬度(30°N)于 2008 年 1 月 4 号出现在活动区 AR 10981, 6 号消失. 这意味着新周于 2008 年 1 月从高纬度开始^[2]. 日震观测表明 24 周于 2007 年下半年在太阳内部开始^[14], 两者的结果是一致的. 这预示着黑子活动延伸周开始于 2008 年初.

由 Greenwich 的黑子观测资料, 我们统计了 2008 年 1 月至 2009 年 9 月的每月黑子群数, 如图 4 所示. 同期的 Ottawa/Penticton 观测的 10 cm 射电流量每月平均值、每月平均黑子数和每月平均面积数也在图 4 中给出. 我们对这 4 种数据进行 13 点平滑, 平滑值也在图 4 中给出. 10 cm 射电流量每月平均值于 2008 年 10 月达到极小; 平滑每月平均黑子数于 2008 年 12 月达到极小, 极小值为 1.7, 为 10 周以来第 2 最小(最小值为 1.5, 发生在 15 周); 平滑黑子群数和面积二者都在 2008 年 11 月达到极小.

确定一个活动周开始时间的另一个参数是新周高纬度黑子群数超过低纬度旧周黑子群数的时刻. 图 5 给出了 2006 年以来 23 和 24 太阳活动周每月黑

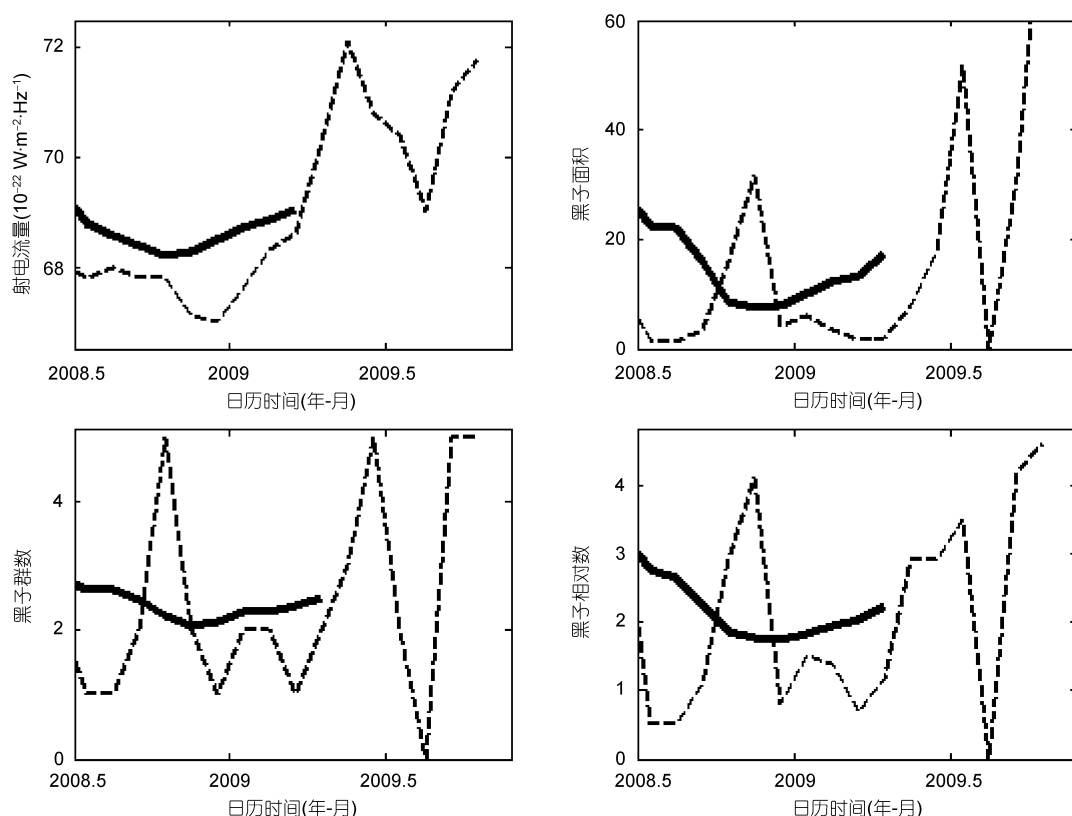


图 4 2008 年 1 月~2009 年 9 月期间 Ottawa/Penticton 观测的 10 cm 射电流量每月平均值(左上图)、每月黑子群数(左下图)、每月平均面积数(右上图)、每月平均黑子数(右下图) 它们的 13 点平滑值(虚线)也在对应的图中给出

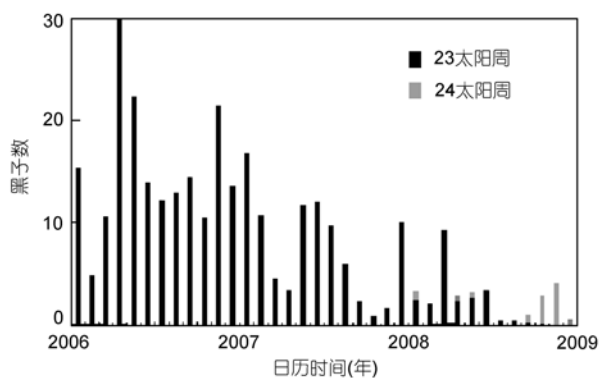


图 5 2006 年以来 23(深黑色)和 24(浅黑色)太阳活动周 每月黑子群数

子群数. 由图知, 24 太阳活动周每月黑子群数于 2008 年 9 月开始超过 23 太阳活动周每月黑子群数.

太阳活动极小期的确立, 往往要考虑上面几种参量^[15,16]. 综合考虑上述几种参数, 我们确定 24 黑

子. 活动周于 2008 年 11 月开始. 因此, 23 周的下降期为 8.6 a, 周长为 12.5 a, 均为现代黑子活动周的最长.

3 24 周活动水平的估计

经典的太阳活动预报方法有如下几种:

(i) 黑子活动周特征参数间的统计关系 上一个黑子活动周的周长($L(n)$)与下一个活动周的极大平滑每月平均黑子数存在一个具有统计意义的线性关系^[9,17,18]: $R_M(n+1) = -22.91 \times L(n) + 366.58 \pm 23.7$. 由此, 24 周的极大平滑每月平均黑子数预报为 $R_M = 75.6 \pm 23.7$. 一个黑子活动周的平滑每月平均黑子数极小值与极大值存在一个具有统计意义的线性关系^[9,18]. 由 1~23 太阳活动周的数据知, $R_M = 78.0 + 6.0 \times R_m \pm 32.0$, 24 周极小约为 1.7, 由此, 24 周的极大平滑每月平均黑子数预报为 $R_M = 88.2 \pm 32.0$, 其他一些统计分析结果也基本上得到类似的结果^[19~22].

(ii) 地磁活动前兆方法 由地磁活动 aa 指数的 Feynman 方法预报的 24 周太阳活动极大为^[23] $R_M = 154 \pm 25$. 由地磁扰动天数的 Thompson 方法预报的 24 周太阳活动极大^[23]为 $R_M = 115 \pm 27$.

(iii) 太阳极区磁场方法 由太阳极区磁场预报的 24 周太阳活动极大为^[11] $R_M = 75 \pm 30$.

(iv) 太阳发电机理论方法 以中经流为主的太阳发电机理论^[24]给出的 24 周太阳活动极大 $R_M = 165 \pm 15$; 以扩散为主的太阳发电机理论^[25,26]给出的 24 周太阳活动极大约为 75.

图 6 是美国国家航空航天局(NASA) (<http://solarscience.msfc.nasa.gov/SunspotCycle.shtml>)和美国国家海洋大气局(NOAA) (<http://www.swpc.noaa.gov/SolarCycle/>)对 24 周的未来发展趋势的预报. 两者都预报 24 周每月黑子数将在 1013 年达到极大, 约为 90. 我们发现, NASA 在最近几年不断地调低他们的预报. 这也说明他们越来越相信 24 周是一个低活动周.

综上所述, 24 太阳活动周可能是一个弱周, 估计比 23 周要弱 30% 左右.

4 24 周低活动水平的解释

Gleissberg^[27]对每个黑子活动周极大年的平均黑子数作平滑, 得到了约为世纪长度的所谓的 Gleissberg 周期, 也叫世纪周期. 图 7 显示的是 1700 年~2008 年

的共计 309 a 的年平均太阳黑子数及其高度平滑曲线. 由图可知, 第 24 太阳周恰好在世纪周期的谷年附近. 这就是说, 24 太阳周的较弱太阳活动水平可能是世纪周期调制的结果.

日震观测表明, 每过 11 a, 太阳内部就在极区附近产生新的喷流. 喷流会缓慢地从极区迁移到赤道, 当喷流达到 22° 的临界纬度时, 新太阳周的黑子就在日面出现了. 与 24 太阳活动周相关的喷流在缓慢地移动, 花费了 3 a 的时间才走过 10° 的纬度范围; 作为比较, 23 活动周的喷流只花费了 2 a 的时间就完成了 10° 的漂移. 目前的低太阳活动就是太阳内部喷流缓慢迁移的结果. 现在, 喷流终于到达了临界纬度, 预示着在接下来的几个月以至几年中, 太阳活动即将回归. 新的日震观测结果基本否定了 24 周是 Maunder 太阳活动周的可能性, 太阳内部的磁场发电机仍在工作, 太阳黑子周期没有“中断”^[28] (<http://solarscience.msfc.nasa.gov/>).

图 8 是用宇宙射线放射性核素资料确定的近 11000 年来太阳活动重构序列^[1]. 太阳活动水平不是平稳和均匀变化的, 而是经历过一系列的巨极大期和巨极小期, 有约 3/4 的时间处于中等太阳磁活动水平, 约 1/6 的时间处于巨极小水平, 约 1/5~1/10 的时间处于巨极大水平. 目前的太阳活动正处在大约从 1920 年代开始的“现代极大期”. 在已知的 19 个巨极大期, 大约有 75% 不长于 50 a, 因此“现代极大期”再

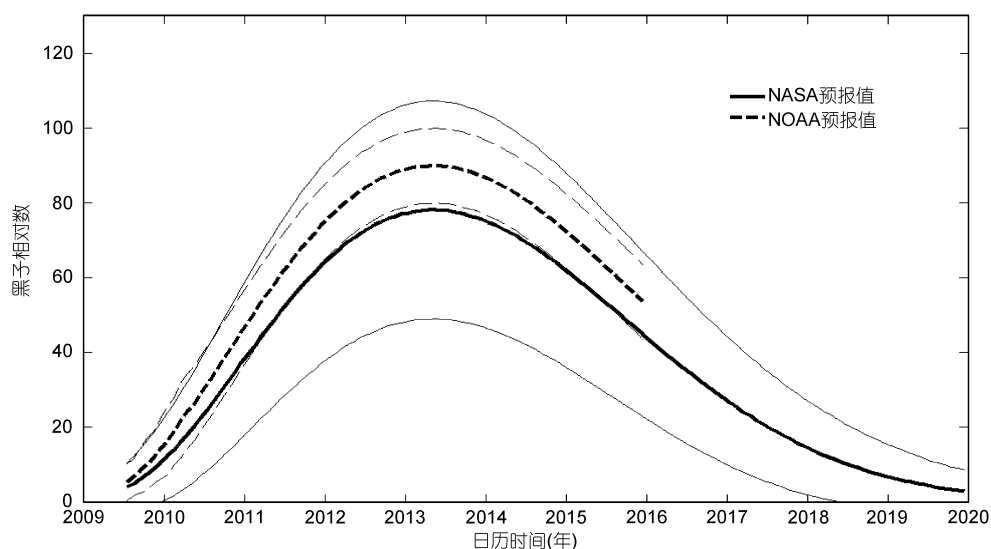


图 6 美国国家航空航天局(粗实线)和美国国家海洋大气局(粗虚线)对 24 周的未来发展趋势的预报
细线为对应的误差范围

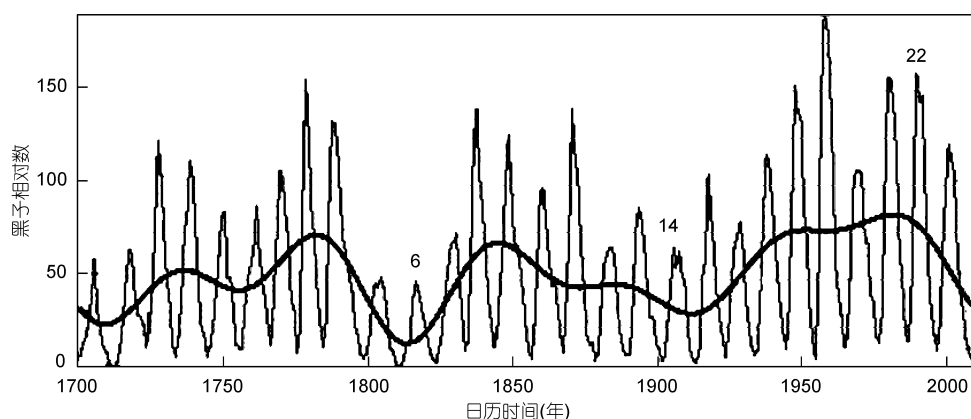


图 7 1700~2008 年的年平均太阳黑子数(细实线)及其高度平滑曲线(粗实线)

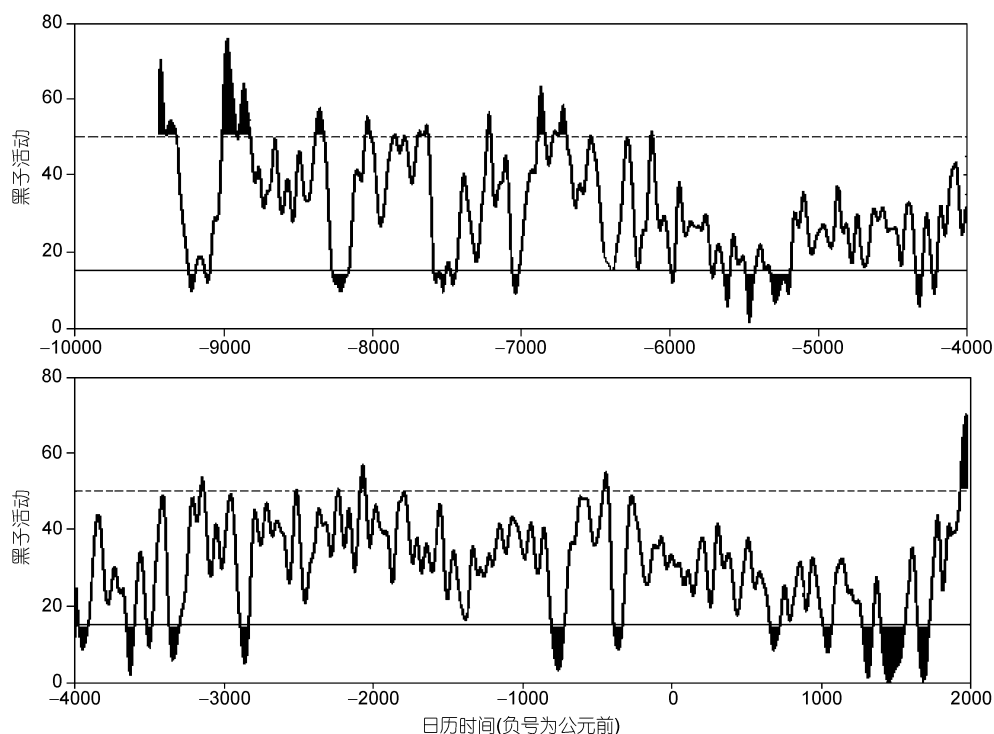


图 8 近 11000 年来太阳活动重构序列

数据来源于文献[1]. 黑子数高于水平虚线上为巨极大, 低于水平实线下为巨极小

持续下去的概率不高, 太阳活动将很可能向中、甚至低活动水平演化. 这种由高活动水平向低活动水平的突然变化的发展趋势在以往也存在, 如 Maunder 极小期就是如此.

5 结论与讨论

太阳 23 和 24 活动周之间的极小期是罕见的低活

动期, 百年一遇的: 无黑子天数是 16 周以来无黑子天数最多的一个周, 不排除 24 周的无黑子天数是现代黑子周内最多的可能; 高纬度($>35^\circ$)黑子的纬度为 12 周最低; 从 2003 年 11 月~2008 年 9 月, 较高纬度($>20^\circ$)每月没有黑子或只有 1 个黑子, 共计持续了 58 个月, 也为 12 周以来第一次观测到. 2007 年下半年来, 日面上要么没有黑子, 要么是低纬度的小黑子(或气孔); 太阳风速度、太阳风压、10 cm 电磁波辐

射、太阳极区磁场、太阳总光度辐射等参量都为有观测资料以来的最低. 其他一些太阳活动参数以及地磁活动参数的相关比对以及 24 周太阳活动参数的实时变化的报道见网站和文献^[13,28,29]. 对于这种极低太阳活动的现象, 当前的日震观测给予了解释: 低活动水平是由太阳内部喷流缓慢迁移造成; 从 Gleissberg 周期的长尺度来看, 第 24 太阳周恰好在世纪周期的谷年附近; 从超长太阳活动周期尺度来看, 目前的“现代极大期”再持续下去的概率不高, 太阳活动将很可能向中、甚至低活动水平演化, 并且这种“突变”有先例可循.

依据 2008 年 1 月至 2009 年 9 月期间的 10 cm 射电流量每月平均值、每月黑子群数、每月平均面积数、每月平均黑子数, 以及新周高纬度黑子群数超过低纬度旧周黑子群数的时刻, 我们确定 24 黑子活动周于 2008 年 11 月开始. 因此, 23 周的下降期为 8.6 a, 周长为 12.5 a, 均为现代黑子活动周的最长.

依据文献中利用黑子活动周特征参数间的统计关系、地磁活动前兆方法、太阳极区磁场方法、太阳发电机理论方法等经典预测太阳活动报方法给出的对 24 周太阳活动水平的预报, 结合美国国家航空航天局和美国国家海洋大气局对 24 周的未来发展趋势的预报, 综合考虑, 认为 24 周太阳活动水平估计比 23 周将要弱 30% 左右. 前兆因子方法因考虑了太阳活动变化的因果关系, 理论上讲, 应该比统计方法给出的结果要准确^[30]. 综观两类方法对 21~24 太阳活动周的预报, 前兆因子方法对较强活动周 21, 22 周, 能给出较好的预报, 对中到低活动的 23, 24 活动周的预报, 则偏差较大. 太阳活动表现出一种低维的混沌行为^[31], 如何作长期太阳活动预报, 目前看来, 仍是一

个开放的研究课题.

24 太阳活动周为太阳物理研究和日地关系物理研究带来重大机遇. 太阳总光度变化和地球对流层温度变化、海平面温度变化等呈正相关关系. 24 活动周提供了低太阳变化的观测, 有利于研究全球气候变暖与太阳变化的关系, 看看太阳总光度变化会对全球气候变暖有多大贡献. 2009 年冬季地球北半球的寒冷低温, 和当前的低太阳活动总光度观测恰好符合这种关系. 期待着未来太阳活动和地球温度变化的观测来探明两者的关系.

以中经流为主的太阳发电机理论和以扩散为主的太阳发电机理论给出的 24 周太阳活动极大的预报, 针锋相对, 和 23 周相比较, 到底是高还是低于 30%? 实际观测将给出答案. 日震学虽然对 23 太阳活动周的低活动水平给出了解释, 但基本的问题还没有给出回答. 面对流场和磁场有相同的周期性全日面演化特征^[32,33], 流场如何触发黑子的产生? 日震虽然观测给出了太阳内部的流场演化, 但流场自身是如何产生的哩? 这些都有待将来回答.

当然, 目前看来, 可以排除太阳活动将要进入 Maunder 极小期的可能, 24 周太阳活动发电机仍在运转, 太阳爆发事件可望继续进行, 只是爆发事件的发生频率估计要小些. 最新的太阳观测表明, 最近一段时间, 24 周最大黑子面积的活动区 NOAA 11029 自 2009 年 10 月 23 日出现后, 产生了一系列耀斑; 特别的, 2010 年 1 月 19 日在活动区 NOAA AR1041 观测到连续两次 X 射线爆发大耀斑(M2.3 耀斑 UT 1303 开始, 1341 达到极大, 1350 结束; M1.7 耀斑 UT 2023 开始, 2035 达到极大, 2046 结束).

致谢 感谢两位审稿人提出的富有建设性的意见与建议.

参考文献

- 1 Usoskin I G. A history of solar activity over millennia. *Living Rev Solar Phys*, 2008, 5: 3—86
- 2 Eddy J A. The maunder minimum. *Science*, 1976, 192(4245): 1189—1202
- 3 Du Z L, Wang H N, He X T. A new method to determine epochs of solar cycle extrema. *Chin J Astron Astrophys*, 2006, 6: 338—344
- 4 Du Z L, Wang H N, He X T. The relation between the amplitude and the period of solar cycles. *Chin J Astron Astrophys*, 2006, 6: 489—494
- 5 Wang J L, Miao J, Liu S Q, et al. Prediction of the smoothed monthly mean sunspot numbers for solar cycle 24. *Sci China Ser G-Phys Mech Astron*, 2008, 51(12): 1938—1946
- 6 Gao P X, Li K J, Li Q X. Latitude migration of solar activity at high latitudes. *Chin Sci Bull*, 2008, 53(1): 8—11
- 7 Wilson R M, Hathaway D H, Reichmann E J. On the behavior of the sunspot cycle near minimum. *J Geophys Res A*, 1996, 101(9): 1299

19967—19972

- 8 Li K J, Su T W, Liang H F. Periodicity of sunspot activity in the modern solar cycles. *Chin Sci Bull*, 2004, 49(21): 2247—2252
- 9 Li K J. What does the Sun tell and hint now? *Res Astron Astrophys*, 2009, 9(9): 959—965
- 10 Li K J, Wang J X, Zhan L S, et al. On the latitudinal distribution of sunspot groups over a solar cycle. *Solar Phys*, 2003, 215: 99—109
- 11 Svalgaard L, Cliver E W, Kamide Y. Sunspot cycle 24: Smallest cycle in 100 years? *Geophys Res Lett*, 2005, 32(1): L01104
- 12 Frohlich C. Solar irradiance variability since 1978. Revision of the PMOD composite during solar cycle 21. *Space Sci Rev*, 2006, 125: 53—65
- 13 Frohlich C. Evidence of a long-term trend in total solar irradiance. *Astron Astrophys*, 2009, 501: L27—L30
- 14 Salabert D, Garcia R A, Palte P L, et al. The onset of solar cycle 24: What global acoustic modes are telling us. *Astron Astrophys*, 2009, 504(1): L1—L4
- 15 Wilson R M, Hathaway D H, Reichmann E J. On the behavior of the sunspot cycle near minimum. *J Geophys Res A*, 1996, 101(9): 19967—19972
- 16 Harvey K L, White O R. What is solar cycle minimum? *J Geophys Res A*, 104(9): 19759—19764
- 17 Hathaway D H, Wilson R M, Reichmann E J. Group sunspot numbers: Sunspot cycle characteristics. *Solar Phys*, 2002, 211: 357—370
- 18 Watari S. Forecasting solar cycle 24 using the relationship between cycle length and maximum sunspot number. *Space Weather*, 2008, 6(12): S12003
- 19 Du Z L, Du S Y. The relationship between the amplitude and descending time of a solar activity cycle. *Sol Phys*, 2006, 238(2): 431—437
- 20 Du Z L. Relationship between solar maximum amplitude and Max-Max cycle length. *Astron J*, 2006, 132(4): 1485—1489
- 21 Wang J L, Zong W G, Le G M, et al. Predicting the start and maximum amplitude of solar cycle 24 using similar phases and a cycle grouping. *Res Astron Astrophys*, 2009, 9(2): 133—136
- 22 Wang J L. Will the solar cycle 24 be a low one? *Chin Sci Bull*, 2009, 54(23): 3664—3668
- 23 Hathaway D H. Solar cycle forecasting. *Space Sci Rev*, 2009, 144(1-4): 401—412
- 24 Dikpati M, Gilman P A. Simulating and predicting solar cycles using a flux-transport dynamo. *Astrophys J*, 2006, 649(1): 498—514
- 25 Choudhuri A R, Chatterjee P, Jian J. Predicting solar cycle 24 with a solar dynamo model. *Phys Rev Lett*, 2007, 98(13): 131103
- 26 Jiang J, Chatterjee P, Choudhuri A R. Solar activity forecast with a dynamo model. *Mon Not R Astron Soc*, 2007, 381(4): 1527—1542
- 27 Gleissberg W. The probable behaviour of sunspot cycle 21. *Solar Phys*, 1971, 21: 240—245
- 28 Howe R, Christensen-Dalsgaard J, Hill F, et al. A note on the torsional oscillation at solar minimum. *Astrophys J Lett*, 2009, 701(2): L87—L90
- 29 Gibson S E, Kozyra J U, de Toma G, et al. If the Sun is so quiet, why is the Earth ringing? A comparison of two solar minimum intervals. *J Geophys Res A*, 2009, 114(9): A09105
- 30 Li Q X, Li K J. Low dimensional chaos from the group sunspot numbers. *Chin J Astron Astrophys*, 2007, 7(3): 435—440
- 31 Li K J, Yun H S, Gu X M. On long-term predictions of the maximum sunspot numbers of solar cycles 21 to 23. *Astron Astrophys*, 2001, 368: 285—291
- 32 Snodgrass H B. Torsional oscillations and the solar cycle. *Solar Phys*, 1987, 110: 35—49
- 33 Li K J, Li Q X, Gao P X, et al. Cyclic behavior of solar full-disk activity. *J Geophys Res*, 2008, 113: A11108

The abnormal 24th solar cycle—The first complete solar cycle of the new millennium

LI KeJun^{1,2*}, FENG Wen³ & LIANG HongFei⁴

¹ National Astronomical Observatories/Yunnan Observatory, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650011, China;

² Key Laboratory of Solar Activity, National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100012, China;

³ Research Center of Analysis and Measurement, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China;

⁴ Department of Physics, Yunnan Normal University, Kunming 650093, China

The status of the extreme low solar activity since the second half of the year 2007 has been investigated. Cycle 24 has

the most spotless days since cycle 16, and probably even since the modern cycles; latitudes of high-latitude ($>35^\circ$) sunspots belonging to a new cycle around the minimum time of the cycle are statistically the lowest at present, compared with those of other cycles; there are only one or no sunspots in a month appearing at high latitudes ($>20^\circ$) for 58 months (from November 2003 to September 2008), which is the first time observed since cycle 12 onwards. The solar wind velocity and press, F10.7, the polar solar magnetic field, solar total irradiance and so on reach their minima during the 23–24 cycle minimum time. In order to explain the present extreme low activity, introduced here is one possible mechanism related to helio-seismology, and two are proposed through the long-term running of the time scales of the Gleissberg period and those of millenniums. According to the present observations of the Sun, we determine that cycle 24 should start in November 2008. Solar activity is predicted to be 30% lower in cycles 24 than 23, based on the typical predictions of solar activity, including those given by NASA and NOAA. The abnormal 24th solar cycle should be an opportune moment for studying solar physics and solar-terrestrial physics.

solar physics, sunspot activity, solar cycle, solar activity

PACS: 96.60.-j, 96.60.Q-, 96.60.qd