0254-6124/2014/34(6)-765–08 *Chin. J. Space Sci.* 空间科学学报

Shen Lin, Dun Jinping, Zhang Xiaoxin, Jiang Yong. Analysis of the major parameters in solar active regions based on PCA method (in Chinese). *Chin. J. Space Sci.*, 2014, **34**(6): 765-772, doi:10.11728/cjss2014.06.765

基于 PCA 方法对太阳活动区主要参量的分析*

沈 琳[1,2] 敦金平[2] 张效信[2] 蒋 勇[1]

1(南京信息工程大学数学与统计学院 南京 210044)

2(中国气象局国家卫星气象中心 北京 100081)

摘 要 太阳耀斑与太阳质子事件的发生通常与太阳活动区存在非常密切的关系, 对这种关系的深入分析有助于太阳耀斑和太阳质子事件预报模型的建立. 本文利用主成分分析 (Principal Component Analysis, PCA) 方法对 1997—2010 年太阳质子事件所在活动区的主要参量进行分析, 选取的参量包括黑子磁分类、McIntosh 分类、太阳黑子群面积、10.7 cm 射电流量、耀斑指数、质子耀斑位置和软 X 射线耀斑强度. 结果得到 81 个太阳活动主成分得分值排序 (得分值代表每个事件的强弱), 与太阳质子事件峰值流量、太阳黑子年均值以及 10.7 cm 射电流量年均值的对比显示相似度非常高, 表明主成分得分值一定程度上可以反映太阳活动的强弱规律.

关键词 PCA 方法, 太阳活动区, 太阳质子事件产率

中图分类号 P 353

Analysis of the Major Parameters in Solar Active Regions Based on PCA Method

SHEN Lin[1,2] DUN Jinping[2] ZHANG Xiaoxin[2] JIANG Yong[1]

1(*College of Math and Statistics, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing* 210044)

2(*National Satellite Meteorology Center, China Meteorological Administration, Beijing* 100081)

Abstract Solar active region has close relationship with solar flares and solar proton events. In order to better understand the complicated relations between them as well as to build a concrete foundation for the forecasting of solar flares and solar proton events, the Principal Component Analysis (PCA) method is adopted to analyze the main parameters of solar active regions during 2007—2010. The parameters selected include sunspot magnetic classification, McIntosh classification, sunspot group area, 10.7 cm radio flux, flare index, the position of proton flares and soft X-ray flare intensity. A total of 81 principal component scores are obtained and compared with the solar proton event peak flow and annual average sunspot, 10.7 cm radio flux annual average, and it is found that the similarity is very high. The statistic results show that the principal component scores can represent the strength of solar activity to some extent.

* 国家自然科学基金项目 (41174165)、公益性行业 (气象) 科研专项项目 (GYHY201306073) 和中国气象局行业专项项目 (GYHY201306007) 共同资助

2013-11-19 收到原稿, 2014-02-26 收到修定稿

E-mail: 779261422@qq.com

Key words Principal Component Analysis (PCA) method, Solar active region, Frequency of occurrence of solar proton events

0 引言

太阳是空间天气变化的源, 太阳活动是指在太阳大气局部区域出现的因能量辐射增强而形成的许多瞬变现象, 主要表现为太阳黑子、光斑、谱斑、耀斑、日珥、日冕物质抛射等. 太阳耀斑是最剧烈的活动现象, 耀斑爆发绝大多数发生在黑子上空的大气中. 以黑子群为中心, 由黑子群及其周围光斑、谱斑、暗条等所组成的局部区域形成太阳活动区, 太阳活动区的研究是太阳活动规律探讨中的一个重要问题.

Li 等 [1] 研究了太阳活动特征参量, 包括太阳黑子群面积、McIntosh 分类、10.7 cm 射电流量与耀斑发生的产率关系, 并对太阳活动区位置、软 X 射线通量及质子事件的产率关系进行了统计分析, 结果表明所选取的活动区参量与太阳耀斑和质子事件有较强的相关性. Li[2] 对 AR8210 大活动区太阳黑子与磁场的演化进行了分析, 发现太阳黑子旋转可用于质子耀斑预报, 但要提高预报质量, 目前需要提高太阳黑子及其磁场观测的时间分辨率. Zhou 等 [3] 运用模糊数学及综合评估的理论方法研究了日面活动性与活动区光学和射电辐射特征之间的联系, 通过数据处理与分析, 构建隶属函数, 对活动区特性进行了综合评估和预测. Schrijver 等 [4] 通过对耀斑和太阳活动区磁图的研究发现, 由于电磁不稳定性, 在太阳大气中相对强的磁场区域导致了耀斑的产生. Tang[5] 利用自相关方法对第 20 周太阳黑子活动区进行了空间分布特征的统计分析, 求出自相关函数并得到一些有意义的结果.

太阳质子事件 [6] 作为一种强烈的太阳爆发活动, 是引起日地系统扰动的极重要的源, 本文选取了 1997−2010 年太阳质子事件所在活动区的主要参量进行分析, 以深入研究与太阳质子事件相关的太阳活动性.

1 PCA 方法

在对太阳活动的分析预报中, 通常的做法是将多个太阳活动现象与单个或几个太阳活动参量作为源数据. 预报太阳质子事件时, 主要依靠对过去质子事件的观测, 在经验统计的基础上, 根据一定时间内太阳质子通量水平以及对峰值流量、延迟时间等相关参量的分析来预报质子事件. 但是单个参量的代表性不强, 研究多个参量时, 各参量间相关性较强且复杂, 用 PCA 方法对太阳活动区参量进行分析, 既避免了各参量信息的相互重叠、相互干扰, 又能尽可能多地反映太阳活动特性, 为分析太阳活动提供更科学的依据.

主成分分析 (Principal Component Analysis, PCA) 是设法将原来众多具有一定相关性的参量, 例如 p 个指标, 重新组合成一组新的互相无关的综合指标来代替原来的指标. 通常数学上的处理是将原来 p 个指标进行线性组合, 生成新的综合指标. 最经典的做法是用 F_1 (选取的第一个线性组合, 即第一个综合指标) 的方差来表达, 即方差 $\mathrm{Var}(F_1)$ 越大, 表示 F_1 包含的信息越多. 因此在所有的线性组合中选取的 F_1 应该是方差最大的, 故称 F_1 为第一主成分. 如果第一主成分不足以代表原来 p 个指标的信息, 再考虑选取 F_2, 即选第二个线性组合, 为了有效反映原来的信息, F_1 已有的信息就不需要再出现在 F_2 中, 用数学语言表达为要求协方差 $\mathrm{Cov}\ (F_1, F_2)=0$, 这里 F_2 为第二主成分, 依次类推可以构造出第三、第四直至第 p 个主成分, 各主成分之间相关系数为 0. 主成分模型如下:

$$\begin{aligned}
\boldsymbol{F}_1 =& \boldsymbol{a}_{11}\boldsymbol{X}_{11} + \boldsymbol{a}_{21}\boldsymbol{X}_{21} + \cdots + \boldsymbol{a}_{p1}\boldsymbol{X}_p,\\
\boldsymbol{F}_2 =& \boldsymbol{a}_{12}\boldsymbol{X}_{12} + \boldsymbol{a}_{22}\boldsymbol{X}_{22} + \cdots + \boldsymbol{a}_{p2}\boldsymbol{X}_p,\\
& \cdots\cdots\\
\boldsymbol{F}_m =& \boldsymbol{a}_{1m}\boldsymbol{X}_{12} + \boldsymbol{a}_{2m}\boldsymbol{X}_{22} + \cdots + \boldsymbol{a}_{pm}\boldsymbol{X}_p. \qquad (1)
\end{aligned}$$

其中, $\boldsymbol{a}_{1i}, \boldsymbol{a}_{2i}, \cdots, \boldsymbol{a}_{pi}$ $(i = 1, \cdots, m)$ 为 $\boldsymbol{X}$ 协差阵特征值对应的特征矢量; $\boldsymbol{X}_1, \boldsymbol{X}_2, \cdots, \boldsymbol{X}_p$ 为原始变量经过标准化处理后的值, 得到正交矩阵 $\boldsymbol{A}$ 与相关系数矩阵 $\boldsymbol{R}$, 即

$$\begin{aligned}
\boldsymbol{A} = (\boldsymbol{a}_{ij})_{p\times m} = (\boldsymbol{\alpha}_1, \boldsymbol{\alpha}_2, \cdots, \boldsymbol{\alpha}_m),\\
\boldsymbol{R}\boldsymbol{\alpha}_i = \lambda_i \boldsymbol{\alpha}_i. \qquad (2)
\end{aligned}$$

其中, $\boldsymbol{R}$ 为相关系数矩阵, λ_i 和 $\boldsymbol{\alpha}_i$ 为相应的特征值

和单位特征矢量, $\lambda_1 \geqslant \lambda_2 \geqslant \cdots \geqslant \lambda_p \geqslant 0$. 上述方程组要求:

$$\begin{aligned} &a_{1i}^2 + a_{2i}^2 + \cdots + a_{pi}^2 = 1, \quad (i = 1, \cdots, m); \\ &\boldsymbol{A}'\boldsymbol{A} = \boldsymbol{I}_m; \\ &\mathrm{Cov}(F_i, F_j) = \lambda_i \delta_{ij}, \quad \delta_{ij} = \begin{cases} 0 & i \neq j, \\ 1 & i = j. \end{cases} \end{aligned} \tag{3}$$

主成分分析法曾用来分析软 X 射线耀斑流量 [7]. 由于太阳活动区主要参量之间具有较强的相关关系, 直接分析不仅复杂, 而且参量间取舍困难, 因此不能用规范的统计规律加以简单描述. PCA 方法能够有效解决这个问题, 通过线性变换将原本多个指标组合成相对独立的能充分反映太阳活动区的少数几个指标, 是分析研究太阳活动区参量的较好途径.

2　太阳活动区参量

为便于分析预报工作的实施, 这里对太阳活动区参量的选取遵循三个原则. 第一, 选择理论上与太阳质子事件的产生或传播有关系的量; 第二, 选择有一定规律性且与太阳质子事件的产生或传播有一定统计关系的量; 第三, 选择容易获取的观测量 [8]. 根据这三个原则, 选取了 1997−2011 年 81 个太阳质子事件所涉及的太阳活动区参量, 包括太阳黑子磁分类、McIntosh 类型、黑子群面积、10.7 cm 射电流量、耀斑指数、质子耀斑位置和软 X 射线耀斑强度. 由于对太阳质子事件发生的行星际空间传播过程和相互作用机制不太了解, 现阶段只能进行经验性的统计预报研究, 本文只统计了伴随耀斑发生的太阳质子事件.

所使用的数据中, 太阳活动区的磁分类、McIntosh 分类、黑子群的面积来源于相关网站发布的每日数据 *, 10.7 cm 射电日流量数据来自加拿大空间管理局 (CSA)**, 其他数据均来自美国国家海洋和大气管理局 (NOAA)***.

对太阳活动区参量进行分析前, 由于各参量单位、量级不同, 例如黑子的磁分类与 McIntosh 分类属于取值离散的参量, X 射线耀斑由强度分级, 首先分别计算落在每个等级内的质子事件发生的个数与总样本数的比值, 即太阳质子事件产率, 然后根据产率值进行取值, 以便于分析各参量间的关系.

*http://solarmonitor.org/index.php
**http://www.asc-csa.gc.ca
***http://www.swpc.noaa.gov

2.1　太阳黑子磁分类

1919 年美国 Wilson 天文台提出了黑子群按磁场极性分类的方法, 即 Wilson 磁分类, 其分类结果列于表 1, 经过简单统计, 得到黑子磁分类各级的产率值, 并进行相应取值 (见表 2).

2.2　McIntosh 分类

McIntosh 分类是 McIntosh 提出的用三个字母表示黑子群的新分类方法, 其分类结果列于表 3.

由于 McIntosh 分类比较复杂, 在取值的时候参考每一类型与耀斑产率, 结合质子事件产率, 将 McIntosh 分类分为 5 类, 并对每一类型进行取值, 结果如图 1 和表 4 所示.

2.3　太阳黑子群面积

太阳黑子群的面积越大其磁场越强, 整个活动区的背景磁场能量越大, 相对较小的变化就足以产生较大的爆发. 黑子群面积单位为太阳半球面积的 10^{-6}, 其取值见表 5.

表 1　太阳黑子磁分类分级

Table 1　Sunspot magnetic and grading classification

α_{p}	单极群, 极性为该活动周前导黑子应有极性
α_{f}	单极群, 极性与该活动周前导黑子应有极性相反
$\beta_{\mathrm{p}}(\beta\alpha)$	双极群, 前导黑子极性占优
$\beta_{\mathrm{f}}(\beta\gamma\delta)$	双极群, 后随黑子极性占优
β	双极群, 前导极性和后随极性相当
$\beta_\gamma(\beta\gamma)$	基本为 β 型双极群, 但有少数几个黑子极性颠倒
γ	极性混杂的多级群
δ	同一半影内出现两块以上不同极性的本影, 其间距小于 2°

表 2　黑子磁分类取值

Table 2　Sunspot magnetic classification values

磁分类	α	β	$\beta\gamma\delta$	$\beta\delta$	$\beta\gamma$
取值	0.05	0.25	0.85	0.65	0.35
产率	0.031	0.268	0.433	0.031	0.237

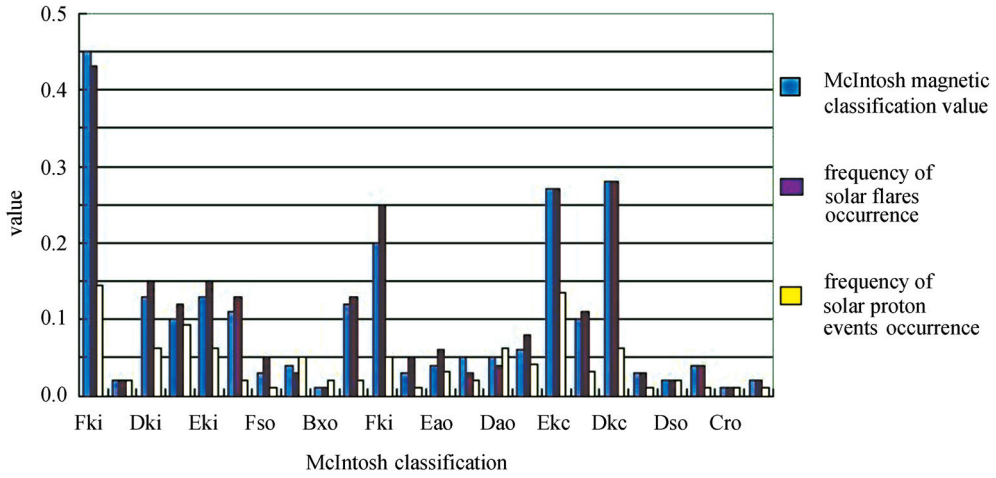


图 1 McIntosh 分类取值对照

Fig. 1 McIntosh magnetic classification value control chart

表 3 McIntosh 分类

Table 3 McIntosh magnetic classification

第一个字母	表示黑子群的形态以及前导和后随黑子之间的较小黑子分布 (修订的 Zurich 类型)	A, B, C, D, E, F, H
第二个字母	表示群中最大黑子的形态和复杂性 (黑子类型)	x, r, s, a, h, k
第三个字母	表示黑子群分布情况, 例如小黑子数量、分布的紧密和疏散性等 (黑子组分别间隔的紧凑度)	x, o, i, c

表 4 McIntosh 分类分级取值

Table 4 McIntosh magnetic classification values

McIntosh 分类	1	2	3	4	5
分类	Fkc, Ekc	Dko, Dki, Eki, Dao, Dkc	Cao, Fki, Dai, Eao, Eai	Hsx, Fai, Bxo, Eko, Eso, Dso	Fso, Esi, Cho, Dho, Cro, Hax
取值	0.65	0.45	0.25	0.15	0.05

表 5 黑子群面积分级取值

Table 5 sunspot group area classification values

黑子群面积	$S \leqslant 200$	$200 < S \leqslant 500$	$500 < S \leqslant 1000$	$1000 < S \leqslant 2000$	$2000 < S \leqslant 3000$
取值	0.15	0.38	0.30	0.14	0.03
产率	0.160	0.383	0.296	0.136	0.025

注 S 为黑子群面积, 单位为 10^{-6} 的太阳半球面积.

2.4 10.7 cm 射电流量

太阳射电爆发是指当太阳出现强烈扰动时, 在日面局部区域发生的一种剧烈变化的长波电磁辐射过程, 这些局部区域即为太阳活动区. 10.7 cm 射电流量因为与太阳活动的变化密切相关, 其流量随时间缓慢变化, 通常被作为传统的太阳指数, 取值列于表 6.

2.5　耀斑指数

耀斑指数 [9] 通常能够更好反映一次耀斑活动的程度, 这是因为耀斑指数不仅考虑了耀斑的级别, 而且考虑了耀斑的持续时间, 因此耀斑指数比耀斑能更好地描述一次耀斑过程所释放的能量. NOAA 在太阳地球物理资料 (SGD) 上发布的每日耀斑指数可以定义为

$$I_{\mathrm{f}} = \frac{0.76}{T^*} \sum A_{\mathrm{d}}^2.$$

这里, T^* 为有效观测时间, A_{d} 为耀斑投影面积, 其是基于世界范围的标准耀斑资料. 对耀斑指数的分级和取值列于表 7.

2.6　软 X 射线耀斑强度

根据活动区的软 X 射线通量 ($1 \sim 8$ Å), 将软 X 射线耀斑强度划分为 6 个等级, 具体列于表 8.

2.7　质子耀斑位置

质子耀斑通常被认为是在行星际空间产生质子事件的一类耀斑, 从物理上理解, 质子耀斑应是具有较强重粒子 (质子、α 粒子和重离子等) 加速过程的耀斑, 以区别于仅有电子加速过程的非质子耀斑, 也有认为其是指那些在地球轨道附近观测到的能量 $\geqslant$10 MeV 且流量 $\geqslant$ 10 pfu 的质子事件的太阳耀斑.

统计活动区位置的太阳质子事件产率, 将活动区经度自东向西划为 5 个等级, 其分类和取值列于表 9. 由表 9 可以看出, 质子耀斑的分布位置集中在日面西侧, 且质子事件多发生在日面中心位置以西约 50° 度范围.

表 6　10.7 cm 射电流量分级取值

Table 6　Classification values of 10.7 cm radio flux

10.7 cm 射电流量 $(\times 10^{-22})/(\mathrm{W\cdot m^{-2}\cdot s})$	<100	100∼149	150∼199	200∼249	250∼299	>300
取值	0.16	0.4	0.3	0.12	0.04	0.01
产率	0.131	0.394	0.303	0.121	0.040	0.010

表 7　耀斑指数分级取值

Table 7　Classification values of flare index

耀斑指数	0∼10	10∼20	20∼30	30∼40	40∼50	50∼80	〉80
取值	0.27	0.2	0.26	0.1	0.08	0.06	0.04
产率	0.270	0.199	0.257	0.102	0.075	0.062	0.035

表 8　软 X 射线耀斑强度分级取值

Table 8　Classification values of soft X-ray fare intensity

软 X 射线耀斑	C3∼C9	M1∼M5	M5∼M9	X1∼X10	X10∼X20	>X20
取值	0.12	0.33	0.17	0.31	0.05	0.01
产率	0.123	0.333	0.173	0.309	0.049	0.012

表 9　质子耀斑位置分级取值

Table 9　Classification values of the position of proton flares

质子耀斑位置	90°－56°E	55°－26°E	25°－15°W	16°－50°W	51°－90°W
取值	0.13	0.1	0.23	0.25	0.30
产率	0.117	0.102	0.234	0.249	0.299

2.8 质子事件峰值流量

峰值流量是表征质子事件特征的一个重要参数, 如果能够预知单个质子事件的峰值流量, 就可以估计这次事件的效应, 航天器的设计也需要质子峰值流量数据. 对质子事件峰值流量的研究表明, 质子事件的分布是由两个不同群体组成的, 一个是经常发生的低流量群体, 另一个是峰值流量大于 1000 pfu 的高流量群体. 而且太阳质子事件的频率分布具有幂律形式, 这种幂律分布可以反映质子事件产生机制的信息 [10−11].

3 结果分析

参加统计的数据为 1997−2010 年的 81 个太阳质子事件所涉及的活动区参量, 经过上述分类取值, 采用 PCA 方法分析处理后所得结果列于表 10~12.

表 10 各参量间的相关系数

Table 10 Correlation coefficient between the parameters

相关系数	磁分类	McIntosh 分类	黑子群面积	10.7 cm 流量	耀斑指数	质子耀斑位置
McIntosh 分类	0.5406	–	–	–	–	–
黑子群面积	−0.0664	−0.2546	–	–	–	–
10.7cm 流量	−0.0154	−0.0766	0.2683	–	–	–
耀斑指数	−0.2902	−0.2366	0.1422	0.2625	–	–
质子耀斑位置	−0.0455	0.1296	−0.2194	−0.0802	0.0273	–
软 X 射线流量	−0.0787	−0.0419	0.2315	−0.0324	−0.0857	0.0076

表 11 方差分解主成分提取分析

Table 11 Principal component analysis of variance decomposition to extract

主成分	特征值	方差贡献率	累计方差贡献率/(%)
1	1.931 452 3	0.2759	0.2759
2	1.285 453 62	0.1836	0.4596
3	1.160 046 79	0.1657	0.6253
4	0.9839 744 4	0.1406	0.7658
5	0.640 916 25	0.0916	0.8574
6	0.599 400 81	0.0856	0.943
7	0.398 755 79	0.2759	1

表 12 特征值对应的特征载荷

Table 12 Corresponding eigenvectors

参量	主成分			
	1	2	3	4
黑子磁分类 (x_1)	−0.484 952	0.458 655	0.223 37	0.055 738
McIntosh 分类 (x_2)	−0.549 265	0.209 669	0.206 942	0.269 597
黑子面积 (x_3)	0.400 252	0.526 125	−0.101 989	0.130 908
10.7 cm 射电流量 (x_4)	0.296 552	0.337 778	0.537 435	0.308 721
耀斑指数 (x_5)	0.420 004	−0.197 368	0.4306 26	0.210 89
质子耀斑位置 (x_6)	−0.159 309	−0.488 76	0.017 34	0.720 1
软 X 射电耀斑强度 (x_7)	0.114 901	0.277 366	−0.649 849	0.498 745

从表 11 方差分解主成分提取分析中可以看出, 前 4 个特征值所占比例之和为 0.7658, 因此取 4 个主成分即可.

第一主成分

$$F_1 = -0.484\,952x_1 - 0.549\,265x_2 + 0.400\,252x_3 + 0.296\,552x_4 + 0.420\,004x_5 - 0.159\,309x_6 + 0.114\,901x_7.$$

第二主成分

$$F_2 = 0.458\,655x_1 + 0.209\,669x_2 + 0.526\,125x_3 + 0.337\,778x_4 - 0.197\,368x_5 - 0.488\,76x_6 + 0.277\,366x_7.$$

第三主成分

$$F_3 = 0.223\,37x_1 + 0.206\,942x_2 - 0.101\,989x_3 + 0.537\,435x_4 + 0.430\,626x_5 + 0.017\,34x_6 - 0.649\,849x_7.$$

第四主成分

$$F_4 = 0.055\,738x_1 + 0.269\,597x_2 + 0.130\,908x_3 + 0.308\,721x_4 + 0.210\,89x_5 + 0.7201x_6 + 0.498\,745x_7.$$

从主成分系数可以看出, 耀斑指数在第一、第三主成分上有较高载荷, 黑子群面积在第一、第二主成分上载荷均较高, 10.7 cm 射电流量在第三主成分上载荷较高, X 射电耀斑强度在第四主成分上有较高载荷.

得到 4 个主成分后, 为能更加明确了解太阳活动的强度特征, 可以通过以下公式计算每个太阳质子事件的主成分得分. 其中 λ_i 为 x_i 的方差贡献率.

$$F = \frac{\lambda_1}{\lambda_1+\lambda_2+\lambda_3+\lambda_4}F_1 + \frac{\lambda_2}{\lambda_1+\lambda_2+\lambda_3+\lambda_4}F_2 + \frac{\lambda_3}{\lambda_1+\lambda_2+\lambda_3+\lambda_4}F_3 + \frac{\lambda_4}{\lambda_1+\lambda_2+\lambda_3+\lambda_4}F_4,$$

即 $F = 0.360\,277F_1 + 0.239\,749F_2 + 0.216\,375F_3 + 0.183\,599F_4$.

对应 81 个太阳质子事件, 可以分别得出其主成分得分.

4　总结与讨论

在 1997−2010 年的 81 个太阳质子事件中, 主成

表 13　主成分得分排序

Table 13　Sort principal component scores

主成分得分	年份	质子事件发生次数	质子事件峰值流量年均值	太阳黑子年均值	10.7 cm 流量年均值
−0.653	2008	0	0	2.9	69.27
−0.583	2009	0	0	3.1	70.75
−0.579	2007	0	0	7.5	73.39
−0.466	2010	1	14	10.3	80.06
−0.211	1999	5	30.67	93.3	153.43
−0.307	2006	2	1339	15.2	80.16
−0.209	1997	2	281	21.5	81.05
−0.176	2005	7	515.57	29.8	92.04
−0.019	2004	6	589.20	40.4	107.17
0.03	1998	8	569.29	64.3	117.79
0.057	2003	9	2473	63.7	128.82
0.155	2002	19	282.71	104	179.75
0.179	2001	22	3871.67	111	179.96
0.392	2000	13	3664.09	119.6	180

分得分有大有小, 质子事件的强度有强有弱, 表明了太阳活动的变化, 其中最强的发生在 2000 年 9 月 13 日, 最弱的是在 2010 年 8 月 14 日. 太阳黑子数及太阳 10.7 cm 射电流量是太阳活动指数预报中的两个重要指数 [12], 能够用来衡量太阳活动的总体水平. 通常认为, 年平均 10.7 cm 射电流量值超过 180 时为太阳活动高年, 年平均 10.7 cm 射电流量值小于 90 时则为太阳活动低年. 本文所统计的最强太阳质子事件正是发生在太阳活动高年, 最弱太阳质子事件发生在太阳活动低年.

利用 PCA 方法对太阳活动区主要参量进行分析, 得出主成分得分值, 取其年平均值并由小到大进行排序, 其变化趋势与太阳黑子数年均值和 10.7 cm 射电流量年均值基本一致, 在一定程度上可以反映该年的太阳活动情况 (见表 13). 现阶段表征太阳活动强度的主要参量是太阳黑子相对数和 10.7 cm 射电流量, 将主成分得分值与太阳黑子年均值及 10.7 cm 射电流量年均值进行对比可以看出, 在太阳活动低年, 不会或很少发生太阳质子事件, 例如 2007—2009 年, 在太阳活动高年, 太阳黑子年均值和 10.7 cm 射电流量年均值非常高, 同时质子事件峰值流量的年均分布相应增大, 发生大的质子事件的概率比较高, 例如 2003 年 10 月 29 日和 2001 年 11 月 6 日分别发生了较大的质子事件, 耀斑级别高达 X17 和 X13. 但是质子事件峰值流量的年均值也可能处于中等水平, 不一定会特别高, 例如 1998 年和 1999 年, 这可能是由于太阳活动的间断性、突发性爆发引起的. 可见用 PCA 方法对太阳活动区主要参量进行的分析综合了多方面影响因素, 得出的主成分得分值在一定程度上是能够代表太阳活动强度的.

由于太阳活动长期变化的物理过程非常复杂, 对其产生机制及传播过程的研究有待深入, 目前多是通过空间及地面观测得到的太阳图像和观测数据进行半模式半经验相结合的分析预报, 现阶段在太阳活动预报方面尚未得到令人满意的可以普遍使用的数值方法, 对太阳活动预报仍然存在很多困难. 本文利用 PCA 方法对 1997—2010 年太阳质子事件所在活动区的主要参量进行了分析, 未来将在更广范围数据分析的基础上, 尝试将 PCA 方法及其分析结果引入到太阳活动预报中.

参考文献

[1] Li Rong, Cui Yanmei, He Han. Statistic analysis on solar activity parameters with solar flare and solar proton event [J]. *Sci. Tech. Eng.*, 2009, **9**(15):4287-4291. In Chinese (李蓉, 崔延美, 贺晗. 太阳活动区参量与太阳耀斑和太阳质子事件的相关性统计分析 [J]. 科学技术与工程, 2009, **9**(15):4287-4291)

[2] Li Weibao. Sunspots of the large active region 8210 and evolution of the magnetic field [J]. *Public. Yunnan Observ.*, 2000, **1**(1):15-19. In Chinese (李维宝. AR8210 大活动黑子与磁场的演化 [J]. 云南天文台台刊, 2000, **1**(1):15-19)

[3] Zhou Shurong, Huang Guangli, Wu Qindi, Fang Cheng. The fuzzy forecast of activity of solar active region [J]. *Prog. Astron.*, 2002, **20**(2):122-129. In Chinese (周树荣, 黄光力, 吴琴娣, 方成. 太阳活动区活动性的模糊预测 [J]. 天文学进展, 2002, **20**(2):122-129)

[4] Schrijver C J. A characteristic magnetic field pattern associated with all major solar flares and its use in flare forecasting [J]. *Astrophys. J.*, 2007, **655**(2):117-120

[5] Tang Baisheng. Some characteristics of the space distribution on sunspots active region for cycle 20th [J]. *Chin. J. Astron. Astrophys.*, 1982, **2**(1):74-76. In Chinese (汤柏盛. 第 20 周太阳黑子群的一些分布特征 [J]. 天体物理学报, 1982, **2**(1):74-76)

[6] He Yulin, Wang Huaning. Research progress of solar proton events [J]. *Sci. Tech. Eng.*, 2006, **6**(24):3900-3908. In Chinese (何玉林, 王华宁. 太阳质子事件研究进展 [J]. 科学技术与工程, 2006, **6**(24):3900-3908)

[7] Teuber D L, Reichmann E J, Wilson R M. Principal component analysis of solar flares in the soft X-ray flux [J]. *Astron. Astrophys.*, 1979, **80**(2):218-226

[8] Gong Jiancun, Xue Bingsen, Liu Siqing, Wang Jialong. Short term forecast of solar proton event [J]. *Chin. J. Space Sci.*, 2003, **23**(5):443-451. In Chinese (龚建村, 薛炳森, 刘四清, 王家龙. 神经网络方法在太阳质子事件短期预报中的应用 [J]. 空间科学学报, 2003, **23**(6):443-451)

[9] Le Guiming, Chen Yanhong. The statistical analysis of solar flares during the interval 1996—2002 [J]. *Chin. J. Space Sci.*, 2003, **23**(5):321-328. In Chinese (乐贵明, 陈艳红. 1996—2002 年太阳耀斑的统计分析 [J]. 空间科学学报, 2003, **23**(5):321-328)

[10] Lu E T, Hamilton R J. Avalanches and the distribution of solar flares [J] *Astrophys. J.*, 1991, **380**:189-193

[11] Crosby N B, Aschwanden M J. Dennis B R. Frequency distributions and correlations of X-ray flare parameters [J]. *Solar Phys.*, 1993, **143**:275-279

[12] Zheng Leping, Dong Shilun. Solar radio flux at 10 cm and Sun's motion [J]. *Public. Purple Mount. Observ.*, 1999, **18**(2):176-178. In Chinese (郑乐平, 董士仑. 太阳十厘米射电流量与太阳运动 [J]. 紫金山天文台台刊, 1999, **18**(2):176-178)