

第22与23周磁静日北京台银河宇宙线 周日变化与半日变化特征^{*}

乐贵明¹ 叶宗海¹ 龚菊红¹ 黄文耿¹ 卢红²

¹(中国科学院空间科学与应用研究中心 北京 100080)

²(中国科学院高能物理研究所)

摘 要

利用快速傅里叶变换及其计算功率谱的方法研究了第22和23周磁静日北京宇宙线台站记录的银河宇宙线强度的周日变化与半日变化。计算结果表明,在两个太阳活动周交替时,银河宇宙线的周日变化与半日变化特征消失。在太阳活动低年逐渐向高年过度时,首先出现的是周日变化,半日变化特征出现要滞后于周日变化,22周太阳活动高年看不出周日变化,而23周太阳活动的高年周日变化非常明显。22周太阳活动的下降期,只有周日变化而无半日变化。这是分析北京宇宙线台近2个太阳活动周数据得到的新结果。

关键词 银河宇宙线强度变化—周日变化—半日变化

1 引言

来自太阳系外的银河宇宙线粒子携带的能量很高,当它们穿过物质而把能量沉淀在物质内时,会产生辐射损伤效应。对于生物、材料和微电子器件,这些效应会造成严重后果。目前普遍的看法是,地球辐射带是由银河宇宙线反照中子衰变产生的。银河宇宙线对电离层的影响也比较大,电离层D区很重要的一部分电离成分是由于银河宇宙线对中性成分的电离产生的。因此,银河宇宙线在日地空间物理学中占有很重要的地位。国际上有人利用银河宇宙线进行地磁暴预报,它的时间提前量可以超过 $10\text{h}^{[1]}$ 甚至2天左右或更长的时间^[2]。国内在银河宇宙线强度的变化方面做过一些研究,薛顺生与章公亮进行过宇宙线各向异性与行星际磁场分量相关性研究^[3]、郭维吉与章公亮进行过强磁扰动对宇宙线调制的统计研究。叶宗海等人进行过宇宙线高频闪烁研究等^[4]。目前国际上研究银河宇宙线强度变化及其与空间环境之间的关系时,还经常使用小时数据^[5]。叶宗海与孙小青研究过宇宙线暴时增加及其特征^[6]。采用的数据就是小时数据,数据处理时考虑了Forbush下降与银河宇宙线的周日变化,当时没有考虑银河宇宙线的半日变化。静日银河宇宙线的周日变化与半日变化很早就有人进行过研究^[7,8]。不过当时主要研究周日变化的幅度,各向异性,与纬度的关系,一天当中何时达到峰值,以及产生周日变化与半日变化的原因等。国内目前还没有人系统研究过静日宇宙线的周日变化与半日变化。本文研究了北京宇宙线台第22周以来磁静日银河宇宙线强度的周日变化与半日变化,采用的数据为超中子堆1h的数据。由于功率谱密度能够有效地在频域内提取在噪声淹没下的有用信息,因

2001-07-02 收到原稿, 2001-11-15 收到修定稿

此, 本文采用快速傅里叶变换与功率谱密度的计算方法对银河宇宙线的强度进行分析, 以得到周日变化与半日变化的特征. 为了使傅里叶变换能够显示出周日变化, 我们在数据的选取时, 选择连续 6 天以上地磁活动水平低的一段时间, 而且在这之前的 5 天甚至更长的时间, A_p 值最好低于 15, 这样银河宇宙线强度所受的影响也很小, 由此得到的结果也是可靠的. 本文分析了 22—23 周磁静日银河宇宙线周日与半日变化特征.

2 计算方法

地面银河宇宙线的强度记录是一段时间的积分通量, 即每隔一定时间间隔, 给出该时间间隔内的积分通量, 因此, 地面记录到银河宇宙线的数据形式为 x_t ($t = 0, N-1$), 对于这样的离散型数据, 我们首先对它进行快速傅里叶变换^[9]:

$$C_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{2\pi i k n / N}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, N-1. \quad (1)$$

功率谱的周期图估计于 $N/2 + 1$ 个频率上定义为^[9]

$$\begin{cases} P(0) = P(f_0) = \frac{1}{N^2} |C_0|^2; \\ P(f_k) = \frac{1}{N^2} [|C_k|^2 + |C_{N-k}|^2], \quad k = 1, 2, \dots, (N/2 - 1); \\ P(f_c) = P(f_{N/2}) = \frac{1}{N^2} |C_{N/2}|^2. \end{cases} \quad (2)$$

其中 f_k 只对零频率和正频率定义:

$$f_k \equiv \frac{k}{N\Delta} = 2f_c \frac{k}{N}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, \frac{N}{2}. \quad (3)$$

3 计算结果

3.1 第 22 周磁静日银河宇宙线强度的功率谱

1986 年 9 月是 21 周太阳活动的最低时期, 也是 21 周向 22 周过渡时期. 进入第 22 周后, 太阳活动非常剧烈, 1989 年为该周的最大年, 1991 年为第 2 个峰年, 这年的黑子数比 1989 年低, 但比 1990 年高. 22 周大的太阳活动非常频繁, 地磁暴也非常频繁, 在 1992 年没有连续 6 天以上的磁静日, 因此, 没有给出这年的磁静日银河宇宙线的功率谱图. 下面为按时间顺序计算的宇宙线的功率谱图.

由以上结果可以看到, 在 21 周向 22 周过渡时, 银河宇宙线的周日变化与半日变化消失了, 如图 1(a). 从图 1(b) 与 1(c) 我们可以看到, 银河宇宙线的周日变化是逐渐显现出来的. 在 1987 年与 1988 年银河宇宙线的周日变化都非常明显, 而半日变化开始出现且 1988 年周日变化特征最强, 如图 1(d), 1(e). 在 1989 年看不出周日变化与半日变化, 如图 1(f) 所示. 从图 1(g) 到图 1(h) 我们可以看到, 22 周太阳活动的下降段, 银河宇宙线的半日变化消失了, 只有周日变化.

3.2 第 23 周太阳活动上升期磁静日银河宇宙线强度的功率谱计算

第 23 周太阳活动的水平低于第 22 周, 磁静日的时间也更多. 下面为按时间顺序计

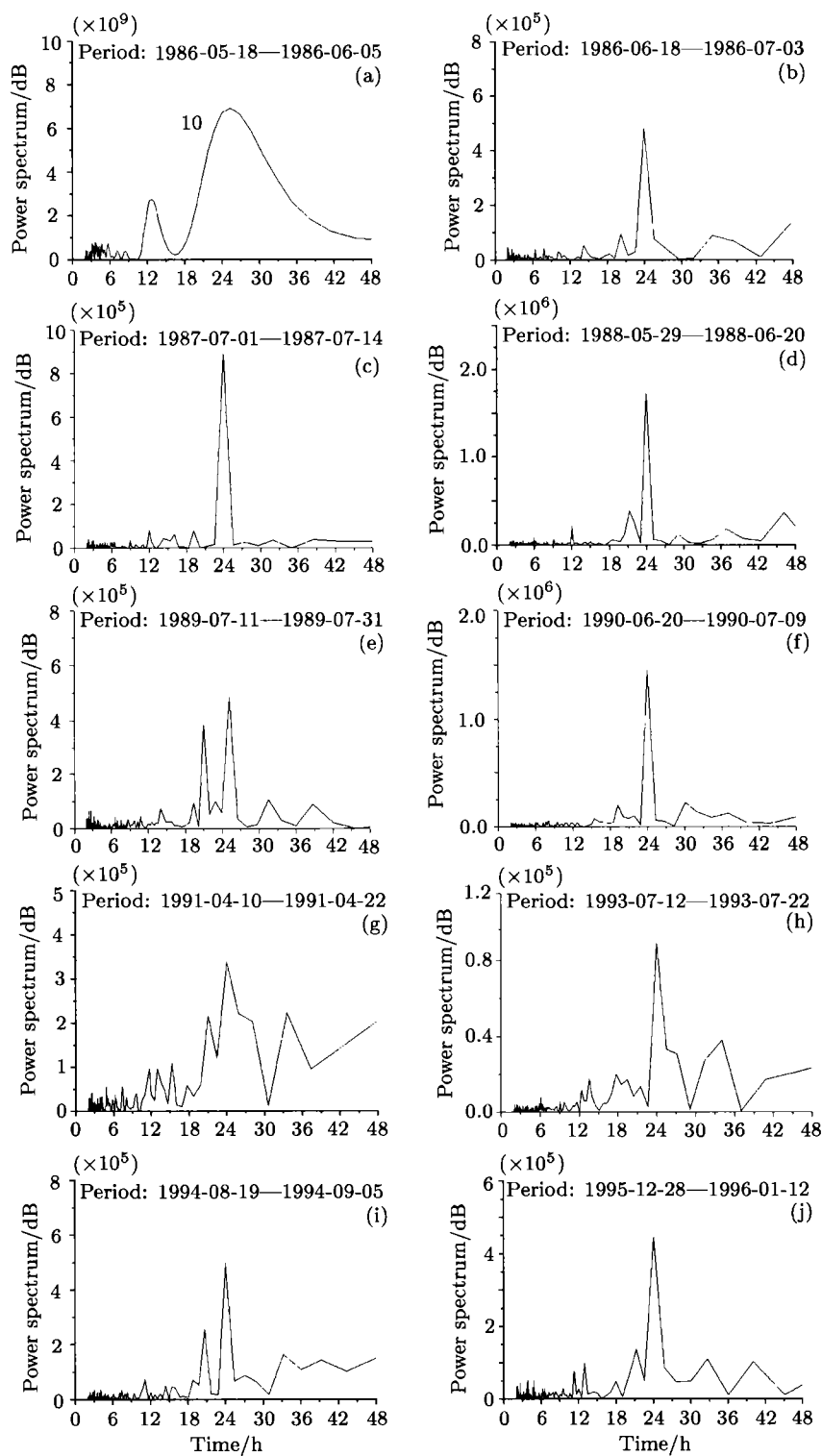


图 1 第 22 太阳活动周磁静日银河宇宙线功率谱

Fig.1 Cosmic rays power spectrum in magnetic quiet days during solar cycle 22

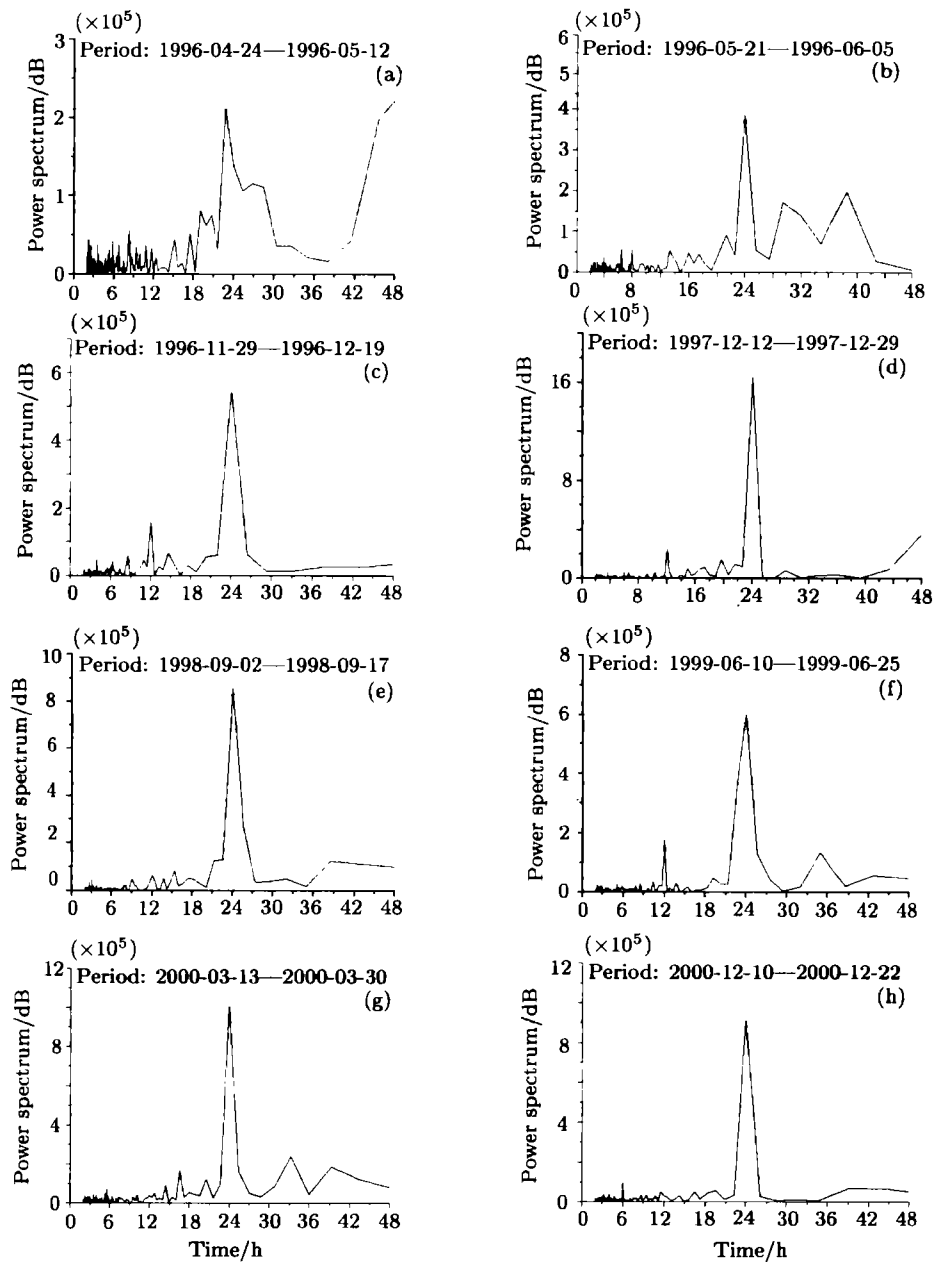


图 2 第 23 太阳活动周磁静日银河宇宙线功率谱

Fig.2 Cosmic rays power spectrum in magnetic quiet days during solar cycle 23

算的银河宇宙线的功率谱图。

由以上结果可以看出, 在第 22 周过渡到 23 周时, 银河宇宙线的周日变化与半日变化同样消失了, 如图 2(a) 所示。不过这两个图之间还是有明显的区别。从图 2(b) 可以看到周日变化, 但没有出现半日变化。由图 2(c), (d), (e), (f) 可以看到银河宇宙线的强度有周日变化也有半日变化。其中 1997 年周日变化最明显。在 2000 年周日变化非常明显, 而

没有半日变化.

两个周的磁静日银河宇宙线强度的周日变化与半日变化有相似之处, 也有不同之处. 相似之处为在两个太阳活动周交替期, 银河宇宙线的周日变化与半日变化都消失了; 从低年向高年过渡时, 先出现周日变化, 后出现半日变化. 不同之处为周日变化与半日变化消失时, 宇宙线功率谱的曲线的差异还是很明显的, 如图 1(a) 与 2(a) 所示. 第 22 周太阳活动的高年即 1989 年, 磁静日宇宙线的强度看不出周日变化, 而第 23 周的峰年周日变化的特征非常明显. 第 22 周 1988 年宇宙线强度的周日变化最明显, 比 1989 年仅提前 1 年, 而第 23 周 1997 年宇宙线强度的周日变化最明显, 比该周的太阳活动高年 2000 年提前 3 年, 这也是两周之间的一个区别.

4 结论与讨论

(1) 在两个太阳活动周交替期的一段时间内, 银河宇宙线强度没有半日变化也没有周日变化.

(2) 当太阳活动由低年逐渐向高年过渡时, 半日变化出现时间要滞后于周日变化, 且半日变化的幅度要低于周日变化.

(3) 不同太阳活动周周日变化最明显的时间比太阳活动高年的时间提前量不一样.

(4) 不同太阳活动周太阳活动的高年, 周日变化特征并不相同.

(5) 22 周太阳活动下降期, 没有出现半日变化.

新的太阳活动周不一定是太阳黑子数月平滑值最低时期结束以后, 这已经被证实. 我们计算的银河宇宙线的周日变化与半日变化在太阳活动周交替期消失的时间也具有这一特征, 如第 21 与 22 周交替期, 银河宇宙线的周日变化与半日变化消失的时间是 1986 年 5 月到 6 月之间, 如图 1(a), 比 1986 年太阳黑子数月平滑值最低时期 1986 年 9 月要早, 而 1996 年银河宇宙线周日变化与半日变化消失时间与 1996 年 5 月太阳黑子数月均值最低时间完全吻合, 而 23 周开始的时间正好也是 1996 年 5 月 22 日^[10]. 22 周太阳活动的高年 1989 年出现了高纬黑子, 这是一个反常现象^[10]. 而 1989 年的银河宇宙线强度的周日变化与半日变化都消失了与这一现象吻合. 因此, 银河宇宙线强度的周日变化与半日变化特征能够在很大程度上反映太阳活动的情况. 以上计算也说明, 有时银河宇宙线强度的变化既有周日变化也有半日变化, 有时只有周日变化, 而在太阳活动周之间的过渡期, 既无周日变化也无半日变化. 所以, 在研究扰动时期银河宇宙线的特征时, 除了要扣除 27 天周期的成份和趋势性成份外, 还应该考虑扣除相关时期磁静日的宇宙线强度的周日变化与半日变化成份.

参 考 文 献

- [1] Dorman L I *et al.* The use of cosmic rays for continuous monitoring and prediction of some dangerous phenomena for the earth's civilization. *Astrophys. Space Sci.*, 1993, **208**:55—68
- [2] Bieber J W, Evenson P. CME geometry in relation to cosmic ray anisotropy. *Geophys. Res. Lett.*, 1998, **15**(25): 2955—2958
- [3] 薛顺生, 章公亮, 肖少瑜. 宇宙线南北各向异性的共转变化. *空间科学学报*, 1989, **9**(2):155—160
- [4] 郭维吉, 章公亮. 强磁场扰动对宇宙线调制的统计研究. *空间科学学报*, 1995, **15**(4):295—300

- [5] 叶宗海, 冯珠玛, 朱邦耀, 龚菊红, 赵碧霞. 1987年5月宇宙线高频闪烁的初步研究. 中国日环食观测研究文集, 北京: 科学出版社, 349—357
- [6] 叶宗海, 孙小青. 宇宙线暴时增加及其特征. 空间科学学报, 1992, 4(12):270—278
- [7] 多尔曼著. 宇宙线强度变化. 朱岗昆等译. 北京: 科学出版社, 1965
- [8] Otto Claus Allkofer. Introduction to Cosmic Radiation. Verlag Karl Thieme, 1975
- [9] 普雷斯等著, 王璞等译. 数值方法大全——科学计算的艺术. 兰州大学出版社, 1991
- [10] 李可军, 洪琴芳. 日面高纬黑子与太阳活动. 天文学报, 1999, 4(40):435—438
- [11] 孙小青, 叶宗海. 由环电流的宇宙线效应验证二维对称环电流模型. 空间科学学报, 1993, 13(1):140—145

SOLAR DIURNAL AND SEMIDIURNAL VARIATION CHARACTERISTICS OF COSMIC RAYS OBSERVED AT BEIJING NEUTRON MONITOR DURING MAGNETIC QUIET DAYS FROM SOLAR CYCLE 22 TO SOLAR CYCLE 23

LE Guiming YE Zonghai GONG Juhong HUANG Wengen

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

LU Hong

(Institute of High Energy Physics, The Chinese Academy of Sciences)

Abstract

Data of cosmic rays observed at Beijing Neutron Monitor Station during magnetic quiet days from solar cycle 22 to solar cycle 23 are analysed to show the diurnal and semidiurnal variation characteristics by using Fast Fourier Transformation and power spectrum estimation. The days for data analysis are so selected that not only these days be at least in a successive 6 days' period of very low magnetic activities, but also the previous five days with geomagnetic index A_p lower than 15. The computational results show that the periodical features of diurnal and semidiurnal of the cosmic rays disappeared during the period from one solar cycle to the next solar cycle. When solar activity gradually increased from Solar Minimum to Solar Maximum, the diurnal variation appeared earlier than semidiurnal variation. The solar diurnal variation's magnitude is bigger than that of semidiurnal's. Diurnal variation of cosmic rays during Solar Maximum of solar cycle 22 is not clearly seen, while on the contrary, it is very distinct during solar maximum for solar cycle 23.

Key words Cosmic rays intensity variation, Solar diurnal variation, Solar semidiurnal variation