第24卷 第6期 空 间 科 学 学 报 Vol.24, No.6
2004 年 11月 CHINESE JOURNAL OF SPACE SCIENCE Nov., 2004

神舟 4 号大气成分探测的新结果*

秦国泰 邱时彦 叶海华 贺爱卿
孙丽琳 李 宏 祝义强 林宪文 徐学培
(中国科学院空间科学与应用研究中心 北京 100080)

摘 要

神舟 4 号 (SZ-4)大气成分探测器搭载在 SZ-4留轨舱上于 2002年 12月 30日发射入轨，在在轨运行的前 3 个多月中，正值地球南半球处于夏半球季节，并发生了多次中低强度的地磁扰动事件，SZ-4 大气成分探测器测得了轨道舱运行高度上 (330—362 km 附近) 大气成分的响应变化和异常现象新结果. 探测数据表明，中低强度的地磁扰动事件也能引起热层大气中主要成分 O 和 N_2 的数密度值增高的响应变化. 同样在进入地磁扰动峰期后较高纬度处出现了 N_2 的异常增变和 O 的异常降变以及大气密度异常扰动的现象，但此期间所出现异常现象的地域与 SZ-3 和 SZ-2 大气成分探测器探测结果相反，它仅位于南半球较高纬度地区.

关键词 大气成分；地磁活动；太阳活动

1 引言

地磁扰动期间由于大量的能量粒子注入极区和较高纬度地区，并在注入过程中不断耗散能量，为高层大气大尺度范围加热，大气受热膨胀形成大尺度的上升流，改变了在非扰动时高层大气所保持的扩散平衡状态[1]，引起高层大气成分的响应变化和区域性异常变化[2]. SZ-2 和 SZ-3 大气成分探测器已多次实测到了地磁扰动期间热层大气成分的响应和异常变化的结果，并已有相应的报导[3],[4]. 本文则主要介绍由 SZ-4 大气成分探测器和 SZ-4 大气密度探测器于 2003 年 1—3 月间在中、低地磁扰动期间所探测到的新结果，其中，首次实测到了地磁扰动期间出现在南半球较高纬度地区的大气成分和大气密度异常变化现象，它更进一步展示了这种异常变化的地域差异和南北半球不对称性.

2 数据

2.1 大气成分探测数据

SZ-4 大气成分探测器搭载在 SZ-4 轨道舱上，于 2002 年 12 月 30 日入轨. 轨道舱以倾角 42°，周期约 90 min 和高度 330—362 km 左右的准圆轨道上长期运行. SZ-4 大气成分探测器与 SZ-2 和 SZ-3 大气成分探测器的性能基本相同，它由取样室、离子源、四极滤质器、离子检测器以及相应的电子学线路组成. 表 1 中列举了 SZ-4 大气成分探测器的主要技术性能.

* 载人航天工程应用项目资助
2003-12-10 收到原稿， 2004-08-30 收到修定稿

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

探测器在地面由活性气体校准系统分别用 O_2、N_2 和 He 等标准气样进行了校准. 在轨运行时每秒扫描 1 帧大气成分质谱图，由船上高速数传系统将探测数据信息送回地面，并由飞船工程系统同时给出相应轨道和姿态等数据，在地面合成处理后获得运行轨道高度上空间环境大气成分及其变化状况.

表 1　SZ-4 大气成分探测器主要技术参数性能

Table 1　Characteristic of the SZ-4 atmospheric composition detector

参数名称	性能
质量数范围 /amu	1—34
质量数分辨率 /amu	$\leqslant 1.5$
最小可检测离子流 /A	$< 10^{-12}$
取样室温度 /°C	−10—+60
温度分辨率 /°C	0.2°C
谱图帧周期 /s	1
帧谱图采样率 /Hz	100
探测器质量 /kg	4.7
探测器外形尺寸 /mm	150 × 150 × 328
探测器功耗 /W	3.68

2.2　地磁活动强度数据

选用了美国 NOAA 空间环境中心发布的 2003 年 1 月至 3 月间的地磁 Ap 指数和太阳活动指数 $F_{10.7}$ 日变化数据. 在此期间发生过多次中、低强度的地磁扰动事件，其中 1 月 4 日、2 月 2 日和 2 月 27 日等 3 次事件的 Ap 指数日平均值分别为 23, 58, 43. 而同期相应的 $F_{10.7}$ 日平均值无明显的涨落变化.

3　结果

(1) 在中、低地磁扰动事件期间，330—362 km 高度范围内热层大气中主要成分 O 和 N_2 也同样存在明显的增变响应，其中阴影区内 O 数密度增变明显.

表 2 中分别列举了发生在 2003 年 1 月 4 日、2003 年 2 月 2 日和 2003 年 2 月 27 日三次中、低强度地磁扰动事件峰期由大气成分探测器所测得的日照峰区和阴影谷区内 O 数密度值相对于地磁扰动前的变化幅度.

表 2　地磁扰动峰期热层大气中 O 数密度的变化

Table 2　O density change during the peak of Geomagnetic disturbances

磁扰事件峰期 (UT)	日照峰区 (1200—1400 LT)	阴影谷区 (0400—0600 LT)
2003-01-04	+23%	+43%
2003-02-02	+23%	+42%
2003-02-27	+22%	+63%

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

由表 2 可知，中、低强度地磁扰动期间，高度 330—362 km 范围内热层大气成分同样存在着较为显著的增变响应，其中 O 数密度增幅较大，尤其是在阴影谷区 O 数密度值已测得增幅高达 63% 左右. 而日照峰区内增幅通常在 20% 左右.

(2) 中、低强度地磁扰动峰期不仅存在上述增变响应，在较高纬度地区也同时出现了热层大气成分异常变化现象，O 数密度的异常降变和 N_2 数密度的异常增变，而 O/N_2 数密度比显著下降.

表 3 中分别列举了在 2003 年 1 月 4 日、2003 年 2 月 2 日和 2003 年 2 月 27 日三次中、低强度地磁扰动事件峰期内，由大气成分探测器探测到发生在较高纬度地区热层大气成分主要成分 O 异常降变和 N_2 的异常增变现象.

表 3 地磁扰动峰期较高纬度地区热层大气的 O 和 N_2 的异常变化与日照区峰值、阴影区谷值比较

Table 3 The comparison between O, N_2 density of the abnormal change at the high latitude and peak density in the sunshine area and valley density in the shaded area during the peak of geomagnetic disturbances

磁扰事件峰期 (UT)	O 数密度 /(10^{14}/m^3)			N_2 数密度 /(10^{14}/m^3)		
	异常降变谷值	日照区峰值	阴影区谷值	异常增变峰值	日照区峰值	阴影区谷值
2003-01-04	1.82	3.42	2.22	1.92	1.20	0.534
2003-02-02	1.99	3.19	2.36	0.884	0.464	0.119
2003-02-27	1.22	2.72	1.75	0.501	0.405	0.112

由表 3 可知，中、低强度地磁扰动事件峰期在较高纬度地区热层大气主要成分 O 出现了异常降变，与日照区峰值相比降幅 >60%，最大降幅可达 1 倍以上，与阴影区谷值相比降幅也 >20%；与此相反，N_2 数密度却出现了异常增变，与日照区峰值相比增幅也均 >25%，与阴影区谷值相比增幅均大于 2 倍，最高可达 6 倍以上. 这种异常现象也使得大气中主要成分 O/N_2 数密度比发生显著降变. 表 4 列举了大气成分探测器所测到的这种变化和比较.

表 4 地磁扰动峰期异常变化区和日照峰区、阴影谷区的 O/N_2 数密度比率的比较

Table 4 The comparison of the O/N_2 ratio between the abnormal change at the high latitude and the sunshine area and the shaded area

磁扰事件峰期 (UT)	异常变化区	日照峰区	阴影谷区
2003-01-04	0.95	2.85	4.16
2003-02-02	2.25	6.88	19.8
2003-02-27	2.44	6.72	15.6

由表 4 可知，磁扰事件期间在热层大气中主要成分出现异常变化的区域内，大气中主要成分 O/N_2 数密度比率与日照峰区 O/N_2 数密度比率的降变比可达 3.0 左右. 它表征着由 O 占显著优势的大气变成 O 和 N_2 数密度相接近，甚至出现 N_2 超过 O 数密度的状态.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

(3) 首次探测到磁扰峰期在地球南半球较高纬度地区出现热层大气成分异常变化现象和大气密度异常扰动现象.

SZ-3 大气成分探测器曾首次探测到磁扰峰期在地球北半球较高纬度地区热层大气成分异常变化现象. 图 1(a) 和 (b) 分别表示了 O 数密度异常降变和 N_2 数密度异常增变. 它们对称地出现在北半球日照和阴影区域的北纬 20°—40° 之间, 而南半球日照和阴影区域的较高纬度地区均无异常情况发生. 图 1(c) 则表示了由 SZ-3 大气密度探测器同步探测到在该异常区域内同时对称地出现了大气总量数密度的显著涨落变化, 而南半球较高纬度地区均无这种相对应的变化. 这种短周期扰动的变化区域与大气成分异常变化完全一致. 同年 4 月 17 日和 5 月 27 日的磁扰峰期也有相类似的现象.

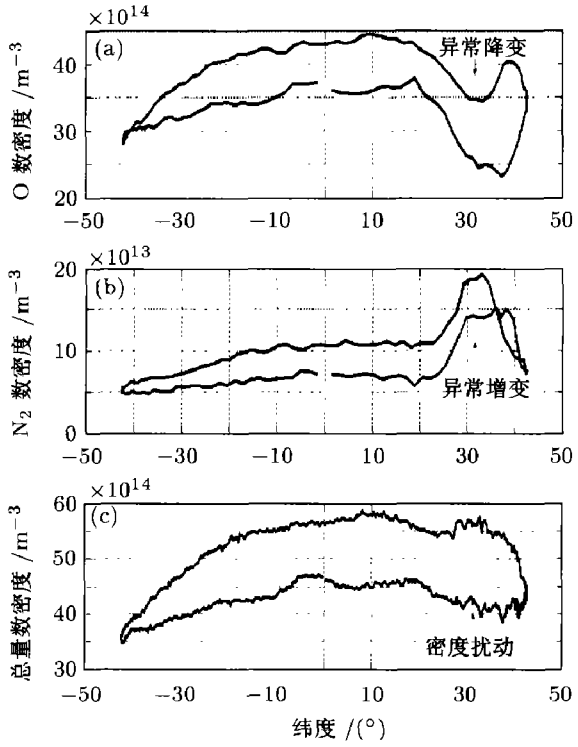

图 1　地磁扰动期间 (UT: 2002 年 4 月 19 日) 大气成分 O (a)、 N_2 (b) 和大气密度 (c) 的异常变化

Fig.1　The abnormal change of the atmospheric composition O (a), N_2 (b) and density (c) during geomagnetic disturbance (UT: 2002-04-19)

而 SZ-4 大气成分探测器探测到了新的结果, 它与 SZ-3探测结果不同, 磁扰峰期热层大气成分异常变化仅出现在南半球日照和阴影地域的较高纬度地区. 图 2(a)和 (b)与图 3(a) 和 (b) 分别表示了发生在 2003 年 2 月 27 日磁扰峰期 O 的异常降变和 N_2 的异常增变现象. 由图 3 可知, O 和 N_2 数密度异常变化均位于南纬 30°—40° 之间, 而北半球较高纬度地区均无异常情况发生. 图 4(a) 和 (b) 则表示了发生在 2003 年 2 月 2 日磁扰峰期大气成分中 O 和 N_2 异常变化现象. 同样展示了这种异常变化发生在南纬 30°—40° 之间, 而北半球无异常现象出现. 图 3(c) 中显示了由 SZ-4 大气密度探测器同步测得的在异常区域内同时出现的大气总量密度的显著涨落变化.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

(4) 磁扰峰期在阴影区 20°S—20°N 之间出现大气总量密度和原子氧数密度的双峰现象. 由图 1(a) 和 (c) 中可知, 2002 年 4 月 19 日磁扰峰期获得了阴影区 20°S 至 20°N 之间出现原子氧数密度和大气总量数密度的双峰现象, 它们分别位于赤道两侧, 在 5°S 至 18°N 附近. 同样在图 3 中也出现了完全相类似的情况, 图 3(a) 和 (c) 分别表示 2003 年 2 月 27 日磁扰峰期在阴影区赤道西侧出现原子氧数密度和总量数密度的双峰现象.

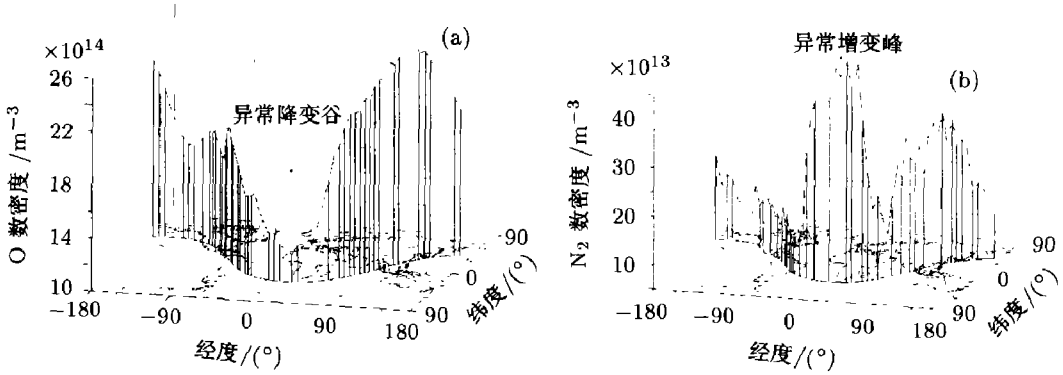

图 2 地磁扰动期间 (2003-02-27 UT) 空间环境大气成分 O (a)、N_2 (b) 的异常变化

Fig.2 The abnormal change of the atmospheric composition O (a) and N_2 (b) during geomagnetic disturbance (2003-02-27 UT)

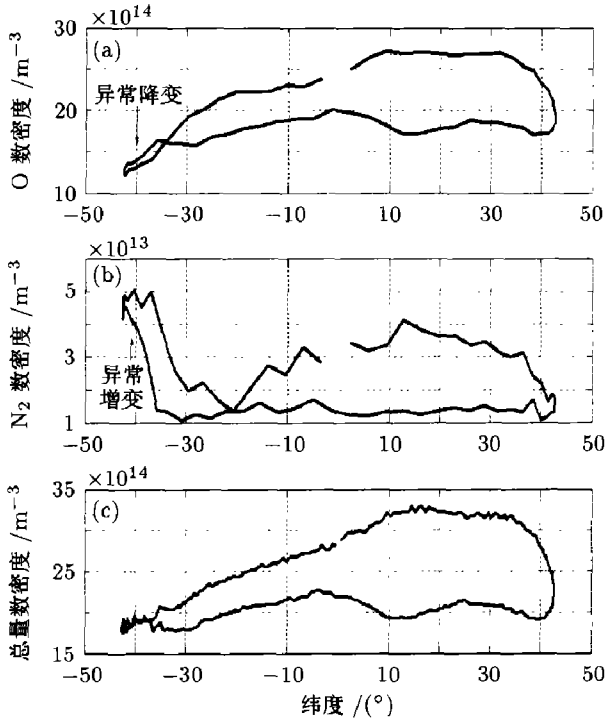

图 3 地磁扰动期间 (2003-02-27 UT) 空间环境大气成分 O (a)、N_2 (b) 和大气密度 (c) 的异常变化

Fig.3 The abnormal change of the atmospheric composition O (a), N_2 (b) and density (c) during geomagnetic disturbance (2003-02-27)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

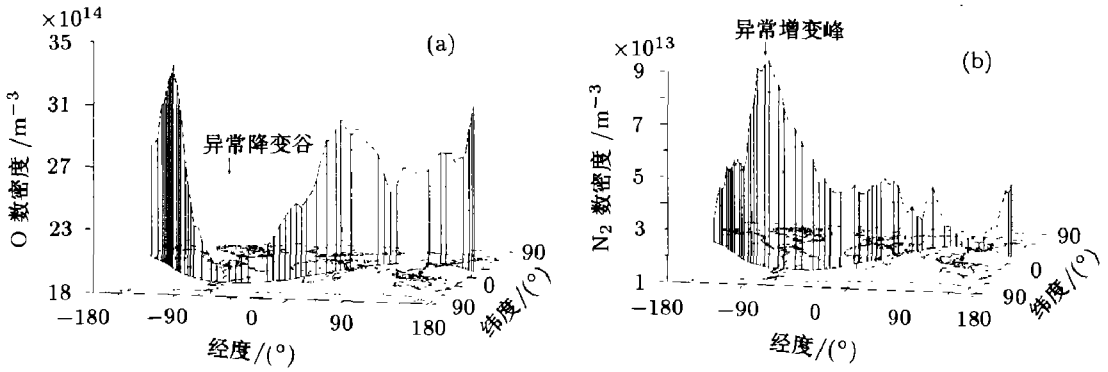

图 4　地磁扰动期间 (2003-02-02 UT) 空间环境大气成分 O(a)　N_2(b) 的异常变化

Fig.4　The abnormal change of the atmospheric composition O (a) and N_2 (b) during geomagnetic disturbance (2003-02-02 UT)

4　结语

SZ-4 大气成分探测器在轨运行期间获得了有关地磁扰动对热层大气成分影响的如下新结果.

(1) 中、低强度地磁扰动事件同样存在着对 330—362 km 高度范围内全球热层大气主要成分 O 和 N_2 数密度的增变影响，其中 O 的增幅较大，最大可达 63%.

(2) 中、低强度地磁扰动事件峰期同时会在较高纬度地区出现热层大气中主要成分的异常变化现象，其中 O 数密度出现异常降变，降幅最大可达 1 倍以上. 而 N_2 数密度为异常增变，出现远超出日照区中 N_2 数密度峰值. 该区域中 N_2 和 O 的数密度值相接近，O/N_2 数密度比最小减至 0.95. 这种异常变化现象的原因可能与地磁扰动期间大量能量粒子在极地和较高纬度地区注入有关. 注入过程中不断耗散能量使该区域大尺度范围内热层大气被加热，加热后的膨胀，促成大尺度的上升流，这种 “升腾” 现象，把较低高度的大气推向较高高度，形成了上述因地磁扰动引起的热层大气成分的异常变化和大气密度显著涨落变化.

(3) 磁扰峰期热层大气成分的异常变化现象在发生地域上具有不对称性的特点. SZ-3 大气成分探测器探测到异常变化区仅在北纬 20°—40° 之间. 但 SZ-4 大气成分探测器探测结果表明，异常变化区则只在南纬 30—40° 之间. 这种南北半球不对称性可能与地球冬、夏半球变化有关. SZ-3 大气成分探测器探测结果是 2002 年 4—5 月间. 而 SZ-4 大气成分探测器探测结果是 2003 年 1—2 月间. 因此，这种因地磁扰动而引起的热层大气异常变化现象可能仅出现在夏半球地域.

(4) 磁扰峰期热层大气原子氧数密度和总量数密度赤道两侧出现了双峰现象，它是否与赤道区电离层异常有关，还有待于进一步探讨.

参　考　文　献

[1] Fuller-Rowell T J, Roes D. Numerical simulations of the distribution of atomic oxygen and nitric oxide in the thermosphere and upper mesosphere. *Adv. Space Res.*, 1996, **18**(9/10):255—304

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

[2] Qin Guotai, Sun Lilin, Li Hong. Change of thermosphere composition and density during severe geomagnetic activities. *Chin. J. Space Sci.*, 1999, **19**(2):141—147. in Chinese (秦国泰, 孙丽琳, 李宏. 在强地磁活动期间热层大气成分和密度的变化. 空间科学学报, 1999, **19**(2):141—147)

[3] Qin G T, Qiu S Y, He A Q *et al.* SZ-2 Atmosphere composition detector measurement result: Change of upper atmosphere composition during Solar and geomagnetic activity disturbance. *Chin. J. Space Sci.*, 2002, **22**(Supp):42—48

[4] Qin Guotai. *et al.* SZ-3: Atmosphere compositions detector measurement result: Abnormal change of the upper atmosphere composition during geomagnetic activity disturbance of April 2002. *Chin. J. Space Sci.*, 2004, **24**(1):35—42. in Chinese (秦国泰等. "神舟三号"大气成分探测器探测结果 ——2002年4月磁暴期间大气成分的异常变化. 空间科学学报, 2004, **24**(1):35—42)

NEW RESULTS BY SZ-4 ATMOSPHERIC COMPOSITION MEASUREMENT

QIN Guotai QIU Shiyan YE Haihua HE Aiqing SUN Lilin
LI Hong ZHU Yiqiang LIN Xianwen XU Xuepei

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

Abstract

An atmospheric composition detector with a quadruple mass spectrometer on board spacecraft SZ-4 was launched on 30 December 2002. Based on the analysis of the three month's (2003-01—2003-03) data, during these months the summer just located at the southern hemisphere of the earth, and occurred some geomagnetic disturbances, the new results of the abnormal change of the thermospheric composition (near 330—362 km) are measured first. The results show that the density of N_2 clearly increased, in contrast, the density of O showed a decrease, and occurred only at the higher latitudes of the southern hemisphere, during the peak of geomagnetic disturbances. It was quite different in comparison with the results of SZ-2 and SZ-3, where these abnormal change occurred at higher latitude of the northern hemisphere.

The reason causing above mentioned phenomena might be related to the energetic particle input into the pole and high latitude region which heats the upper atmosphere in a large scale and produce a large scale air upstream which brings the air from lower altitude up to higher altitude and results in the above mentioned abnormal change. These abnormal change occurred at the different hemisphere, it seems that the abnormal change may occur only at hemisphere of Summer season.

Key words Atmospheric composition, Geomagnetic activity, Solar activity

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com