

“神舟二号”大气密度探测器的探测结果

II. 在太阳和地磁扰动期间高层 大气密度的变化

秦国泰 邱时彦 贺爱卿 祝义强
孙丽琳 林宪文 李宏 徐学培

(中国科学院空间科学与应用研究中心 北京 100080)

摘 要

选用了 SZ-2 大气密度探测器在 2001 年 2—4 月间的探测数据, 进行日照和阴影区域热层大气密度对太阳和地磁活动程度的响应变化的探讨. 结果表明, 日照区大气密度峰值主要随 $F_{10.7}$ 值而变, 在地磁扰动期间, 阴影区大气密度对扰动的响应更明显, 通常响应变化开始于高纬度地区, 然后向低纬度地区推移.

关键词 日照; 阴影; 太阳活动; 地磁活动; 大气密度

1 引言

太阳辐射是地球高层大气的主要加热源, 其中太阳电磁辐射中的远紫外辐射和 X 射线辐射则直接被热层大气所吸收, 影响热层大气的状态和变化. 同时也形成了处于日照和阴影区域中热层大气结构的差异, 引起了日照和阴影区大气密度的涨落^[1], 成为热层大气的主要变化之一^[2]. 考虑到太阳能量输送给地球热层大气的另一途径, 太阳风动能的部分被磁层耦合、转换, 并在极区和高纬地区高层大气中耗散, 再输送给全球^[3]. 而在地磁扰动期间, 表征着由这一途径输送的全球能量注入率剧增及对热层大气的扰动^{[4],[5]}, 则对于暂时消失了远紫外辐射和 X 射线辐射影响的阴影区大气密度, 就有可能显示出比日照区更清晰的地磁扰动响应变化. 本文选用我国“神州二号”(SZ-2) 大气密度探测器于 2001 年 2 月和 4 月间的直接探测数据, 利用准圆轨道运行的特点, 来同时探讨日照面大气密度与表征太阳活动程度的 $F_{10.7}$ 值的相关关系, 以及阴影面大气密度与表征地磁活动程度的 A_p 值的响应特性.

2 数据

2.1 大气密度探测数据

SZ-2 大气密度探测器于 2001 年 1 月 10 日搭载入轨, 以倾角 41° , 高度 410 km 左右

的准圆轨道运行. 探测器每隔 8 s 向地面传送回一组实测数据, 经过处理后, 获得星下点高度 410 km 左右, 纬度约 $\pm 41^\circ$ 范围内的准全球性大气密度资料.

2.2 表征太阳活动、地磁活动强度和时间变化的数据

选用美国 NOAA 空间环境中心发布的 2001 年 1 月至 4 月间的地磁日 A_p 指数和 $F_{10.7}$ 值日变化数据. 在此期间包含有 1—3 月间的 23 周太阳活动峰年中较为宁静时区, 3 月下旬至 4 月的较为强烈的活动期, 以及多次中等强度的地磁扰动和 3 月底至 4 月初的一次强地磁扰动.

3 结果

(1) 日照区大气密度峰值主要随 $F_{10.7}$ 值而变, 两者之间呈正相关关系.

图 1 和图 2 分别为 2001 年 2 月中旬和 4 月上旬期间, 高度 410 km 附近日照区大气密度峰值、 $F_{10.7}$ 日平均值和日平均 A_p 值的变化比较. 虽然在此期间均出现过一次中等强度的地磁扰动事件, 它们分别发生在 2 月 13—14 日和 4 月 8—9 日, 但从图 1(a) 和图 2(a) 中日照区大气密度峰值对这两次事件无明显的响应变化, 而主要呈现出它随 $F_{10.7}$ 值变化的特性. 在变化时间上, 它比 $F_{10.7}$ 值滞后约 1 d 左右. 表 1 则列举了地磁活动较为宁静期间, $F_{10.7}$ 值与高度 410 km 附近日照区大气数密度峰值 (ρ_{su}) 的比较.

由图和表可知, 高度 410 km 附近热层大气日照区大气密度峰值主要随 $F_{10.7}$ 值而变, 两者之间明显地呈正相关关系.

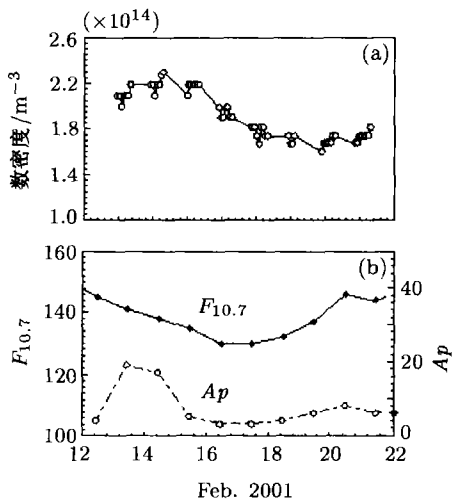


图 1 (a) 2001 年 2 月日照区大气密度变化,
(b) 2001 年 2 月 $F_{10.7}$ 和 A_p 值变化

Fig.1 (a) Atmospheric density change of the sunshine area during Feb. 2001, (b) $F_{10.7}$ and A_p change during Feb. 2001

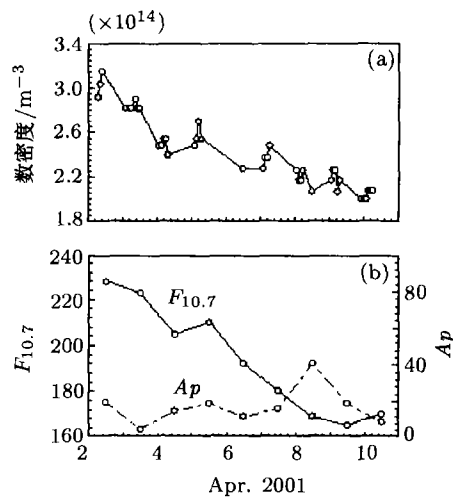


图 2 (a) 2001 年 4 月日照区大气密度变化,
(b) 2001 年 4 月 $F_{10.7}$ 和 A_p 值变化

Fig.2 (a) Atmospheric density change of the sunshine area during Apr. 2001, (b) $F_{10.7}$ and A_p change during Apr. 2001

表 1 ρ_{su} 与 $F_{10.7}$ 日平均值变化比较

Table 1 ρ_{su} in comparison with the daily average value of $F_{10.7}$

日 期	2001 年					
	2 月 17 日	3 月 12 日	3 月 7 日	4 月 6 日	4 月 4 日	4 月 2 日
$F_{10.7}$	132	158	177	192	205	228
$\rho_{su}(\times 10^{14} \text{m}^{-3})$	1.67	2.08	2.19	2.27	2.48	3.15

(2) 阴影区大气密度峰值更明显地随 A_p 值而变.

图 3 和图 4 则分别表示了与图 1 和图 2 相同时间范围内高度 410 km 附近阴影区大气密度峰值、 $F_{10.7}$ 日平均值和日平均 A_p 值的变化比较. 与图 1 和图 2 相比, 阴影区大气密度峰值对 A_p 值的响应变化有了显著增强. 其中 4 月 8 日至 9 日的地磁扰动事件中相对应阴影区大气密度峰值由 $1.68 \times 10^{14} \text{m}^{-3}$ 增至 $2.09 \times 10^{14} \text{m}^{-3}$, 扰动结束后, 很快落到 $1.47 \times 10^{14} \text{m}^{-3}$, 最大变幅约为 42%. 而 2 月 13 日至 14 日的地磁扰动事件, 变幅约为 48%. 分析其原因, 可能与阴影区没有日照的直接影响有关, 从直接探测结果可知, 通常阴影区大气密度值会远低于日照区, 因此它更易显出地磁扰动所能引起的涨落变化.

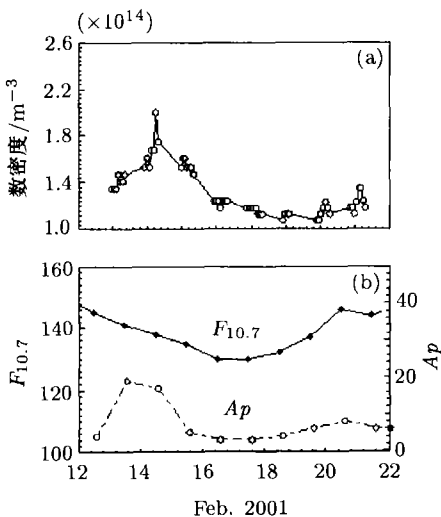


图 3 (a) 2001 年 2 月阴影区大气密度变化, (b) 2001 年 2 月 $F_{10.7}$ 和 A_p 值变化
Fig.3 (a) Atmospheric density change of the shaded area during Feb. 2001, (b) $F_{10.7}$ and A_p change during Feb. 2001

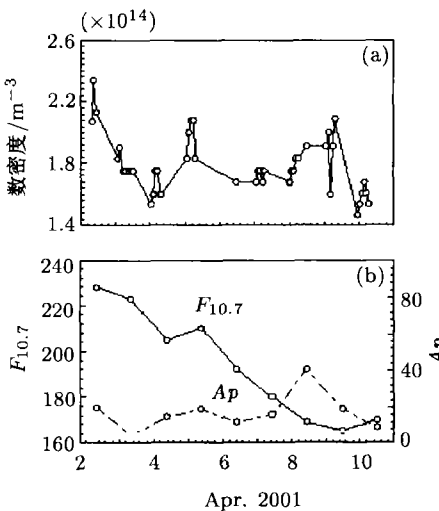


图 4 (a) 2001 年 4 月阴影区大气密度变化, (b) 2001 年 4 月 $F_{10.7}$ 和 A_p 值变化
Fig.4 (a) Atmospheric density change of the shaded area during Apr. 2001, (b) $F_{10.7}$ and A_p change during Apr. 2001

表 2 列举了这二次地磁扰动期间阴影区大气数密度峰值日平均值 (ρ_{sh})、 $F_{10.7}$ 日平均值、 A_p 日平均值的变化比较.

由表 2 可知, 这两次地磁扰动事件中 $F_{10.7}$ 均呈单向下降变化. 因此阴影区大气数密度峰值日平均值与 A_p 值之间有明显的响应变化关系, 两者之间呈正相关关系.

(3) 阴影区大气密度对地磁扰动的响应过程起始于高纬度处, 响应时间滞后 5—6 h, 响应变化的峰值可接近同纬度日照区大气密度值.

表 2 ρ_{sh} 、 $F_{10.7}$ 和 A_p 日平均值变化比较

Table 2 ρ_{sh} in comparison with the daily average value of $F_{10.7}$ and A_p

日期	2001 年 2 月					2001 年 4 月				
	12 日	13 日	14 日	15 日	16 日	6 日	7 日	8 日	9 日	10 日
$F_{10.7}$	145	141	138	135	130	192	180	169	165	170
A_p	4	19	17	5	3	12	16	41	19	9
$\rho_{sh}(10^{-14}m^{-3})$	—	0.937	1.10	0.971	0.773	1.68	1.73	1.79	1.91	1.58

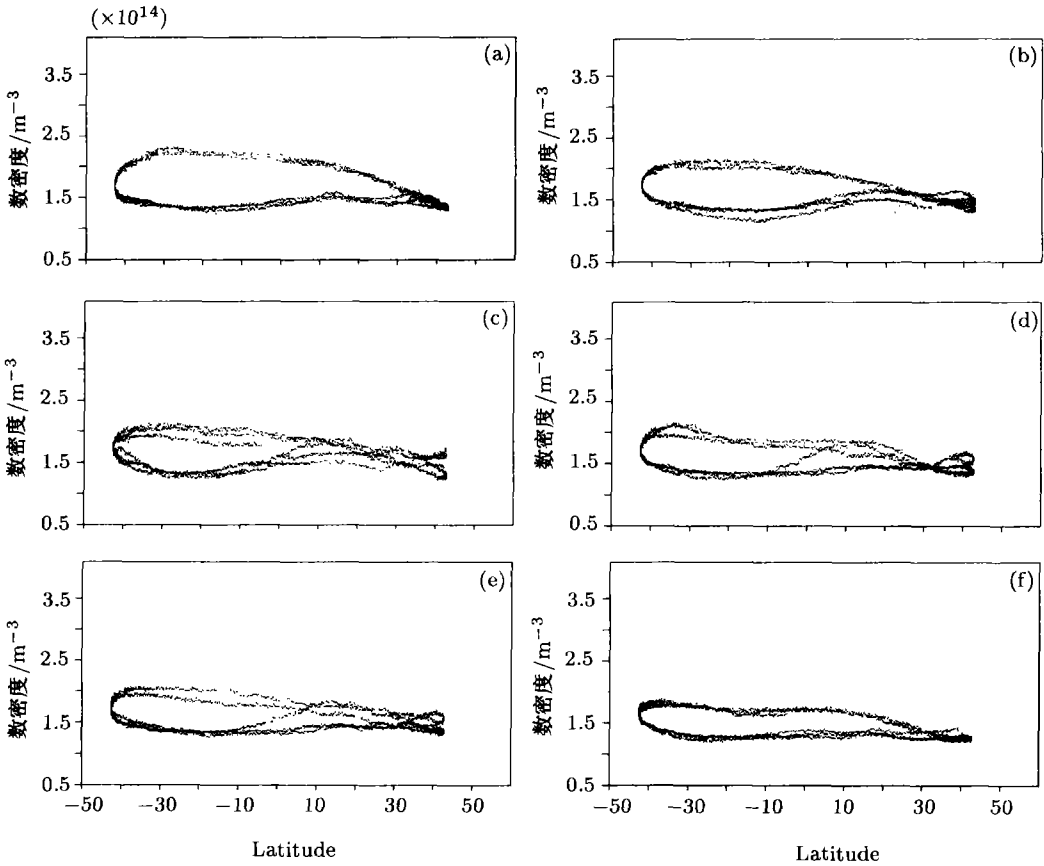


图 5 2001 年 4 月地磁活动事件期间大气密度变化

(a) 地磁活动事件前. (b),(c),(d),(e) 地磁活动事件中. (f) 地磁活动事件结束

Fig.5 Atmospheric density change during geomagnetic activity event of Apr. 2001. (a) Before geomagnetic activity event. (b), (c), (d), (e) In geomagnetic activity event. (f) The end of geomagnetic activity event

图 5 和图 6 则列举了与图 1 和图 2 相同时间范围内发生两次地磁扰动事件时所实测的轨道圈大气密度随纬度的分布变化, 其中每个分图由连续 3 个整轨道圈数据所组成. 图 5(a) 和 (f) 分别为地磁扰动前 (4 月 7 日 0000 UT 后) 和结束后 (4 月 9 日 1700 UT 前) 的数据. 如图 5(a) 和图 6(a) 所示, 3 个整轨道圈数据十分重合一致, 无明显涨落变化. 而图

5(b)、(c)、(d) 和 (e) 分别为 4 月 7 日 2300 UT 前、4 月 8 日 1800 UT 前、4 月 8 日 2200 UT 前和 4 月 8 日 2330 UT 前的轨道圈大气密度随纬度变化数据. 由图 5(b) 可知, 阴影区大气密度响应变化起始于世界时 4 月 7 日 2000 UT 左右, 而此次地磁扰动起始于世界时 4 月 7 日 1500 UT 左右, 因此时间滞后约 5—6 h. 起始响应变化的纬度在 41°N 附近, 大气数密度值由扰动前的 $1.32 \times 10^{14}\text{m}^{-3}$ 增高至 $1.52 \times 10^{14}\text{m}^{-3}$, 此时已超过了同纬度日照区大气数密度值 ($1.39 \times 10^{14}\text{m}^{-3}$). 当地磁扰动接近峰值时 (世界时 4 月 8 日 1200 UT 左右), 由图 5(c)—(e) 可知, 阴影区大气密度响应变化峰值已移至纬度较低处 (15°N 附近), 此时世界时为 4 月 8 日 1800 UT 左右, 响应时间滞后约 6 h, 响应变化由扰动前 $1.45 \times 10^{14}\text{m}^{-3}$ 增高至 $1.82 \times 10^{14}\text{m}^{-3}$, 与日照区的大气数密度值 $1.84 \times 10^{14}\text{m}^{-3}$ 相接近. 因此使日照、阴影区大气密度变化幅度减小, 呈现出变幅大小与表征地磁活动程度的 A_p 值负相关关系. 图 6 则表示了 2001 年 2 月间地磁扰动事件时所实测的轨道圈大气密度随纬度的分布变化, 图 6(a) 为扰动前, (b) 为扰动中, (c) 为扰动结束后, 情况与图 5 相类似, 不再复述. 阴影区大气密度对地磁扰动事件的这种响应特性, 可能与表征着来自太阳风动能的部分

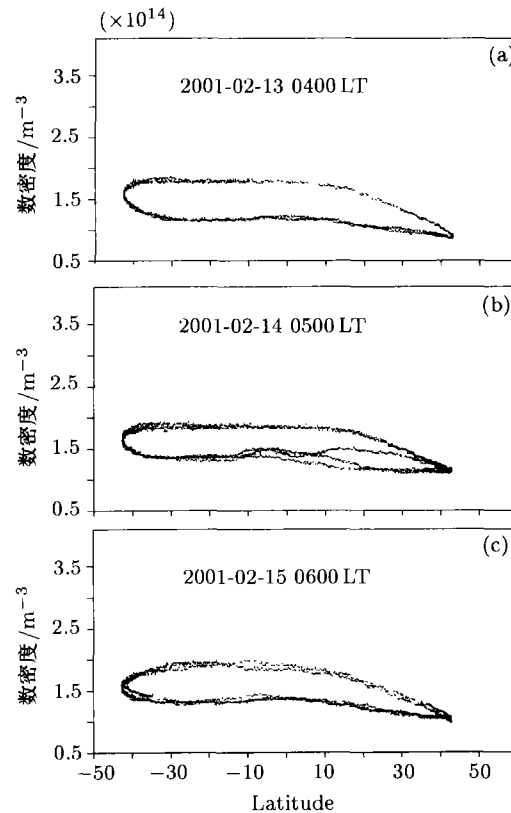


图 6 2001 年 2 月地磁活动事件期间大气密度变化

(a) 地磁活动事件前. (b) 地磁活动事件中. (c) 地磁活动事件结束

Fig.6 Atmospheric density change during geomagnetic activity event of Feb. 2001. (a) Before geomagnetic activity event. (b) In geomagnetic activity event. (c) The end of geomagnetic activity event

被磁层耦合、转换,并在极区和高纬地区高层大气中耗散,再输送至全球的能量输运过程有关。

4 结语

热层大气日照区和阴影区的大气密度不仅存在因日照差异而引起的涨落变化,而且对太阳和地磁扰动事件的响应特性也会因扰动能量输送给热层大气的途径不同而变化。通过以上分析比较,可归纳如下。

日照区大气密度峰值明显地随表征太阳活动程度的 $F_{10.7}$ 值而变化,两者之间呈正相关关系,时间滞后约 1 d。

阴影区大气密度峰值则具有更能响应表征地磁扰动程度的 A_p 值的变化特性,两者之间呈正相关关系,时间滞后约 5—6 h。

阴影区大气密度随纬度的分布变化展现了它对地磁扰动的响应变化,它开始于高纬度附近,而后向低纬移动。

地磁扰动引起阴影区大气密度峰值增高,可与同纬度日照区大气密度值相接近。因而形成日照、阴影面大气密度变化幅度与表征地磁活动程度的 A_p 值呈负相关的特性。

参 考 文 献

- [1] Hargreaves J K. The Solar-Terrestrial Environment. London: Cambridge University Press. 1992
- [2] Priester W, Roemer M, Volland H. The Physical Behavior of The Upper Atmosphere Deduced From Satellite Drag Data. *Space Sci. Rev.*, 1967, 4(6):707—780
- [3] Prolss G W, Roemer M, Slowey J W. Dissipation of Solar Wind Energy in the Earth's Upper Atmosphere: the Geomagnetic Activity Effect. *Adv. Space Res.*, 1988, 8(516):215—261
- [4] Wei S, Ahn B H, Akasofu S I. The Global Joule Heat Production Rate and the AE Index. *Planet. Space Sci.*, 1985, 33:279—281
- [5] Qin Guotai, Sun Lilin, Li Hong. Change of the 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)

“SZ-2” ATMOSPHERIC DENSITY DETECTOR MEASUREMENT RESULT II. CHANGE OF THE THERMOSPHERE DENSITY DURING SOLAR AND GEOMAGNETIC ACTIVITY

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

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

Abstract

Solar radiation is the main source for heating the thermosphere. The change of its intensity can result in the change of Earth's upper atmospheric density. With the same reason, the difference between the sunlit and shaded area is one of the main reasons for the difference of upper atmospheric density at the same altitude. The consequent change of atmospheric density directly influences orbiter's running and the precision of prediction of orbit. On the other hand, change of atmospheric density resulted from sunlit and shaded area has something to do with different factors of solar-terrestrial physics, some discussion can be taken into about these related phenomena. Although data of American earlier balloon detection were already used to the discuss the day-change of upper atmospheric density, due to limit of ways and means, there are rare specifications of the change. And the later AE, DE satellite etc. all run at elliptical orbits, it is difficult to provide data for the discussion of the phenomena mentioned above. In this article, we applied the data from “SZ-2” Atmospheric Density Detector, which are the direct measurement results at a quasi-circle orbit and very helpful for the discussion of atmospheric density change in sunlit and shaded area.

In this paper, the data on thermosphere density collected by “SZ-2” Atmospheric Density Detector from February to April, 2001 are used to search the change of the thermosphere density in the sunlit and shaded area during solar and geomagnetic active period. The results show that in the sunlit area, the peak value of atmospheric density changes as $F_{10.7}$ varies; during geomagnetic active periods, the peak value of atmospheric density at shaded area increases as A_p increases, and starts first at higher latitudes, then gradually move to lower latitudes.

Key words Solar activity, Geomagnetic activity, Atmospheric density, Sunshine, Shade