

电离层的朔望月周期变化

赵树贤, 吴平静, 马莉

中国地震局地壳应力研究所, 北京 100085

摘要 电离层应该存在月球引力引起的朔望月周期变化, 但一直没有观察到。2004年6月29日, 法国发射了地震电磁监测卫星 DEMETER, 它是近极地太阳同步圆轨道卫星。本文将 DEMETER 卫星搭载的朗缪尔探针观测数据分为日侧半轨数据和夜侧半轨数据两组, 对两组数据进行重采样和缺失数据填补, 组织成日侧轨间信号和夜侧轨间信号, 然后分别对这两种信号进行太阳日周期变化的滤除和不同长度周期信号信噪比的计算, 进而绘制这两种信号的信噪比-周期变化曲线。在日侧半轨的电子密度、离子密度和电子温度中观察到了清晰的朔望月周期变化, 而在夜侧半轨的电子密度、离子密度和电子温度中却没有观察到朔望月周期变化。解释是: 月球引力会引起大气的朔望月周期涨落, 在日侧半轨, 光电离造成电子密度、离子密度、电子温度在高度方向上产生较大的变化梯度, 在同一高度太阳同步轨道上运行的 DEMETER 卫星自然会观测到这种涨落变化, 而在夜侧, 光电离停止, 电子密度、离子密度、电子温度在高度方向上的变化梯度很小, DEMETER 卫星自然不会观测到这种涨落变化。

关键词 DEMETER 卫星; 朗缪尔探针; 电离层; 朔望月

中图分类号 P421.34

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2012.11.002

Synodic Month Periodic Variations of Ionosphere

ZHAO Shuxian, WU Pingjing, MA Li

Institute of Crustal Dynamics, China Earthquake Administration, Beijing 100085, China

Abstract Gravitational attraction of the moon might cause synodic month periodic variation in the ionosphere, but it has not been observed so far. On June 29, 2004, France launched an ionospheric satellite DEMETER (Detection of Electro-Magnetic Emissions Transmitted from Earthquake Regions), that was placed on a quasi Sun synchronous circular orbit. In this paper, the data observed by the Langmuir probe of the DEMETER satellite are split into two groups: the data on the dayside and the data on the nightside. The two groups of data are re-sampled, with the missing data being padded, and the signals on the dayside and the signals on the nightside are generated. For the two groups of signals, the solar day periodic variations are filtered out, SNRs of a series of periods are calculated, and SNR-period curves are obtained. The synodic month periodic variations of electron density, ion density and electron temperature on the dayside are shown clearly, but those on the nightside are not observed. Why? The gravitational attraction of the moon can cause the lunar atmospheric tide. During day time, the photoionization causes vertical variations of electron density, ion density and electron temperature, and lunar atmospheric tide can be observed by DEMETER satellite that was placed at the same altitude. At night, the photoionization stops and does not cause vertical variations of electron density, ion density and electron temperature, and the lunar atmospheric tide can not be observed by DEMETER satellite.

Keywords DEMETER satellite; Langmuir probe; ionosphere; synodic month

0 引言

地球高层大气在太阳辐射作用下部分电离, 产生的带电粒子(自由电子和离子)的运动受地磁场的控制以及日月引力的调制, 运动过程中通过碰撞产生复合, 使电离层在空间

上呈现随经度和纬度的变化, 在时间上呈现太阳日、回归年、太阴日、朔望月等周期性变化。目前, 人们通过处理地面或空间观测数据, 观察到了电离层的太阳日、回归年和太阴日周期变化^[1-9], 但电离层的朔望月周期变化一直未观察到。

收稿日期: 2012-03-07; 修回日期: 2012-04-02

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2008BAC35B0)

作者简介: 赵树贤, 副研究员, 研究方向为时空序列数据分析和地震预测, 电子邮箱: shuxianzhao@yahoo.com.cn

2004年6月29日,法国发射了电磁监测卫星 DEMETER (Detection of Electro-Magnetic Emissions Transmitted from Earthquake Regions)。DEMETER 卫星是近极地太阳同步圆轨道卫星,其轨间观测数据中存在着太阳日、回归年和朔望月周期变化。地磁场对电离层中带电粒子的控制作用,在轨间观测数据中产生很强的太阳日周期变化,淹没了其他周期成分。为此,本文通过滤除太阳日周期变化,即地球自转引起的周期性变化,得到了回归年和朔望月周期变化。

1 采用数据

DEMETER 卫星搭载了 5 种载荷:磁力仪、电场仪、等离子分析仪、高能电子谱分析仪和朗缪尔探针。其中,朗缪尔探针的采样周期为 1s,观测参数包括:电子密度 ($0-2 \times 10^5 \text{cm}^{-3}$),电子温度 ($0-4 \times 10^4 \text{K}$),离子密度 ($0-10^6 \text{cm}^{-3}$),等离子空间电位,悬浮电位和卫星电位^[10-12]。

DEMETER 卫星只在地磁纬度 $65^\circ\text{S}-65^\circ\text{N}$ 之间观测。迄今为止,DEMETER 卫星进行了两次调轨,一次发生在 2005 年 12 月,一次发生在 2008 年 6 月,两次调轨间的轨道参数见表 1。本文选用这两次调轨之间、地理纬度 $50^\circ\text{S}-50^\circ\text{N}$ 之间的朗缪尔探针观测的电子密度、离子密度、电子温度数据,具体时间范围为 2006 年 1 月 14 日至 2008 年 6 月 3 日,轨道号范围 8166—20958。

表 1 DEMETER 卫星轨道参数

Table 1 Orbital parameters of the DEMETER satellite

轨道高度 /km	日轨道数	降交点地方时	升交点地方时	重访轨道数
660	14.6875	10:16	22:16	235

2 数据处理方法

将轨道数据分为日侧半轨和夜侧半轨分别进行处理,具体流程见图 1。

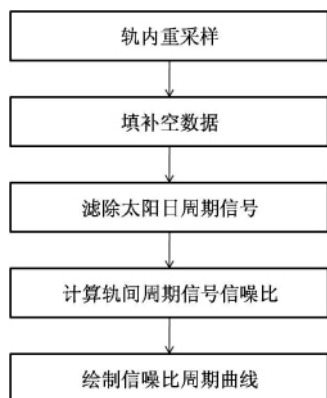


图 1 数据处理流程

Fig. 1 Flow chart of data processing

2.1 轨内重采样

根据轨道号 8166—20958 的朗缪尔探针观测数据计算其平均采样周期为 1.01115719756s , 卫星运行一周的平均采样数为 $5817.6446 \approx 5818$ 。计算平均轨道倾角,将轨内信号投影到平均轨道面上,得到平均轨道信号在卫星轨道平面内。在平均轨道内的 $50^\circ\text{S}-50^\circ\text{N}$ 间设置 5818 个等间隔采样点进行重采样。如果某采样点的前后两个采样间隔内都有数据,则将该采样点按线性插值方法进行采样;否则,将该采样点设置为空信号。

2.2 填补缺失数据

由于 DEMETER 卫星朗缪尔探针数据有 10% 的缺失,故需要用太阳日周期信号对缺失数据进行递归填补。具体流程见图 2。

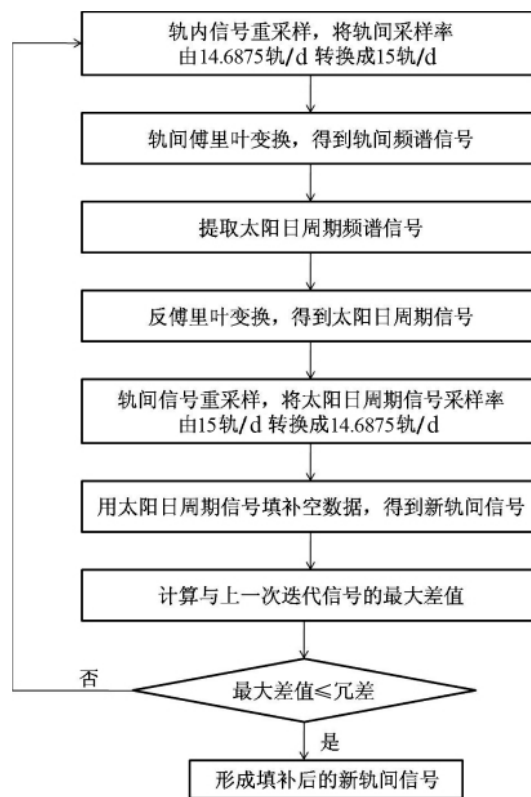


图 2 填补空数据流程

Fig. 2 Flow chart of padding missing data

2.3 滤除太阳日周期信号

轨间信号重采样, 将轨间采样率由 14.6875 轨/d 转换成 15 轨/d;对每轨信号进行前 7 轨、后 7 轨和本轨信号的算术平均; 轨间信号重采样, 将轨间采样率由 15 轨/d 转换成 14.6875 轨/d。

2.4 计算轨间周期信号信噪比

计算周期为 T 的轨间周期信号信噪比过程如图 3 所示。

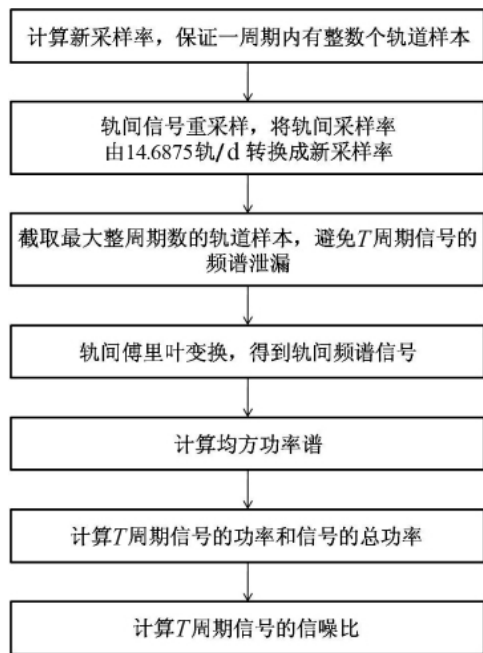


图3 计算周期信号信噪比流程
Fig. 3 Flow chart of calculating SNRs of periodic signal

2.5 绘制信噪比周期曲线

计算每个周期的轨间信号信噪比时, 为避免频谱泄漏, 采用了截取最大整周期数样本的方法, 因此在最大整周期数发现变化点(即跌落点)处信噪比会发生突变, 为了更直观地观察到回归年、朔望月周期变化, 进行了跌落点拼接, 然后绘制拼接后的信噪比周期曲线。

3 分析

图4—图6分别展示了朗缪尔探针日侧和夜侧电子密度、离子密度、电子温度的轨间信号信噪比-周期变化曲线。

图4—图6的信噪比变化曲线的宏观趋势上均存在着两个峰, 一个对应半回归年周期((365.2422/2)d), 一个对应回归年周期(365.2422d)。说明在日侧和夜侧电子密度、离子密度以及日侧电子温度的轨间信号中观测到了回归年周期变化。

图4(a)、图5(a)和图6(a)的信噪比变化曲线上存在着明显的等间隔分布的峰, 与半朔望月周期(29.5306d/2)的整数倍(图中蓝色实线)相对应, 而图4(b)、图5(b)和图6(b)的信噪比变化曲线上不存在这种等间隔分布的峰。说明只在日侧的电子密度、离子密度和电子温度的轨间信号中观测到了朔望月周期变化。

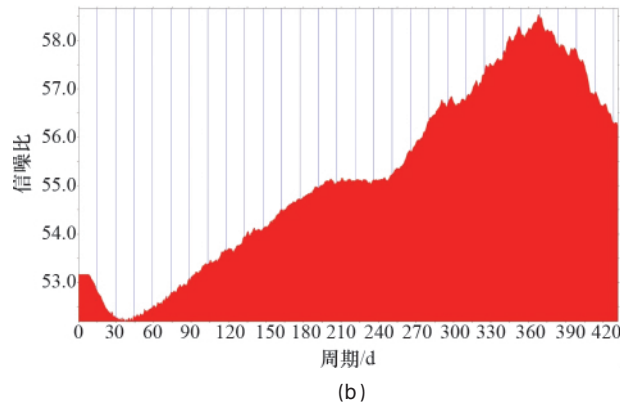
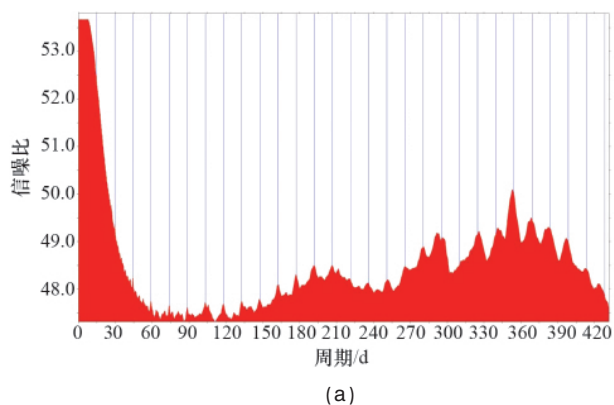


图4 电子密度日侧半轨信号(a)和夜侧半轨信号(b)信噪比-周期变化
Fig. 4 SNR-period curves of electron density on dayside (a) and nightside (b)

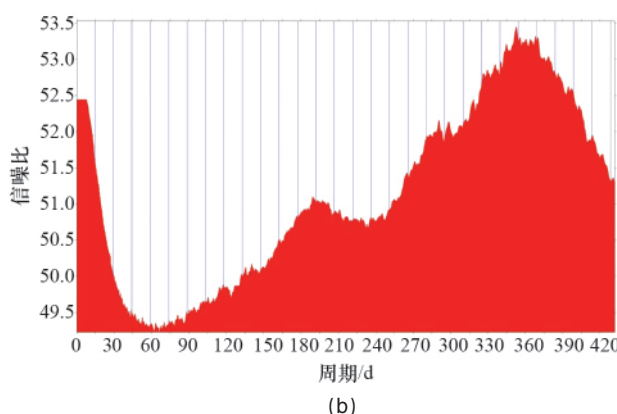
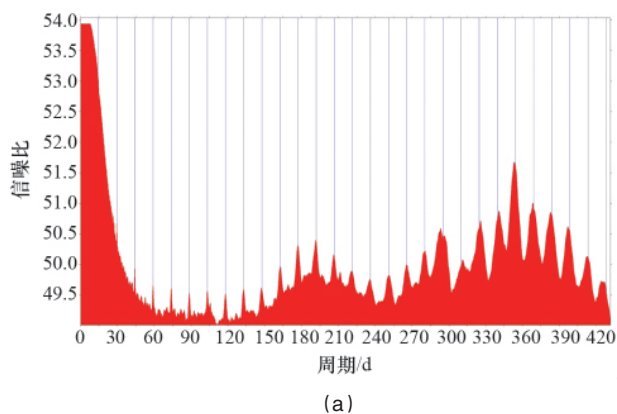


图5 离子密度日侧半轨信号(a)和夜侧半轨信号(b)信噪比-周期变化
Fig. 5 SNR-period curves of ion density on dayside (a) and nightside (b)

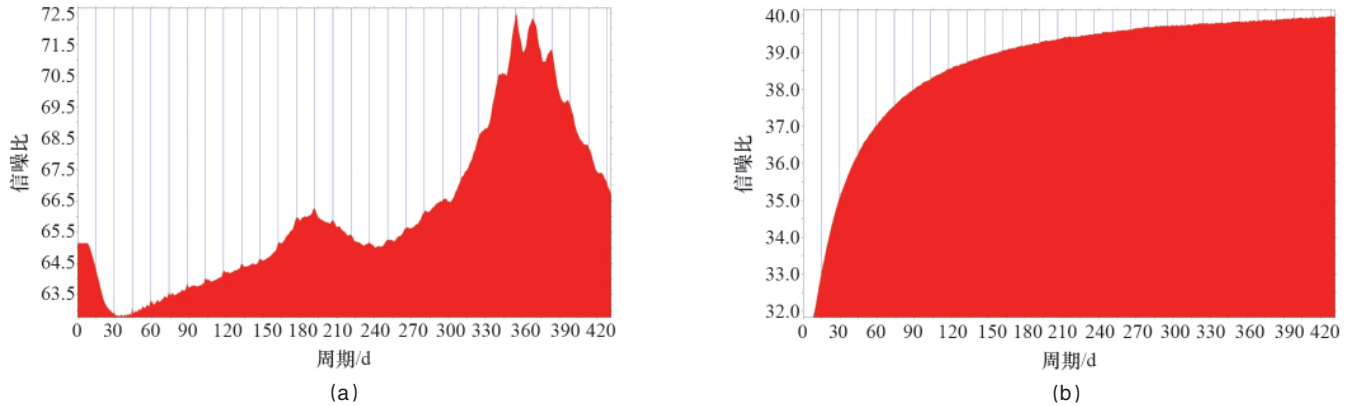


图6 电子温度日侧半轨信号(a)夜侧半轨信号(b)信噪比-周期变化

Fig. 6 SNR-period curves of electron temperature on dayside (a) and nightside (b)

4 结论

DEMETER 是太阳同步圆轨道卫星,因此,月球与卫星轨道的会合周期即是日月会合周期(朔望月周期),月球的运动在日侧的电子密度、离子密度、电子温度的轨间信号中引起的应该是朔望月周期变化。由此可断定这些等间隔尖峰是由月球引力引起的大气潮汐所致。那么,为什么在日侧有,而在夜侧却没有?在日侧,光电离造成电子密度、离子密度、电子温度在高度方向上产生较大的变化梯度,月球引力引起大气周期性涨落,在同一高度太阳同步圆轨道上运行的 DEMETER 卫星上必然会观测到电子密度、离子密度、电子温度的朔望月周期变化;在夜侧,光电离停止,电子密度、离子密度、电子温度在高度方向上的变化梯度很小,自然不会观测到朔望月周期变化。

参考文献 (References)

[1] Appleton E V, Beynon W J G. Lunar tidal oscillations in the ionosphere [J]. *Nature*, 1948, 162: 486-486.
 [2] Haurwitz B, Chapman S. Lunar air tide[J]. *Nature*, 1967, 213(5071): 9-13.
 [3] Zharov V E, Gambis D. Atmospheric tides and rotation of the earthquake

[J]. *Journal of Geodesy*, 1996, 70(6): 321-326.
 [4] Sidorenkov N. Influence of the atmospheric tides on the earth rotation[J]. *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy*, 2003, 87(1-2): 27-38.
 [5] Martyn D F. Lunar variations in the principal ionospheric regions[J]. *Nature*, 1949, 163(4131): 34-36.
 [6] Chapman S, Lindzen R S. Atmospheric tides: Thermal and gravitational [M]. Dordrecht: D Reidel Publishing Company, 1970.
 [7] Palumbo A. Atmospheric tides [J]. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 1998, 60(3): 279-287.
 [8] Hong S S, Lindzen R S. Solar semidiurnal tide in the thermosphere[J]. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 1976, 33(1): 135-153.
 [9] 余涛, 万卫星, 刘立波, 等. 中低纬电离层 F2 区峰值参量周年和半年变化及电场影响模拟研究[J]. *科技导报*, 2008, 26(19): 35-42.
 Yu Tao, Wan Weixing, Liu Libo, et al. *Science and Technology Review*, 2008, 26(19): 35-42.
 [10] Lagoutte D, Brochot J Y, de Carvalho D, et al. The DEMETER science mission centre[J]. *Planetary and Space Science*, 2005, 54(5): 428-440.
 [11] Parrot M. The micro-satellite DEMETER [J]. *Journal of Geodynamics*, 2002, 33(4): 535-541.
 [12] Lebreton J P, Stverak S, Travnicek P, et al. The ISL Langmuir probe experiment processing onboard DEMETER: Scientific objectives, description and first results [J]. *Planetary and Space Science*, 2006, 54 (5): 472-486.

(责任编辑 朱宇)

· 科学共同体介绍 ·

中国心理学会

中国心理学会 (Chinese Psychological Society) 创建于 1921 年, 是我国现有的全国性学会中最早成立的学术组织之一。

中国心理学会是由中国心理学工作者组成的公益性、学术性社会团体, 是中国科学技术协会的组成部分。其宗旨是团结全国广大心理学工作者, 开展学术活动, 加强学术研究, 以促进心理科学的繁荣和发展, 为实现中国

社会主义现代化作出贡献。

目前, 中国心理学会中包含各主要心理学的分支学科领域, 现有全国性会员近 8000 人。其中研究生会员约 2800 人。学会下设 15 个专业委员会, 6 个工作委员会及 2 个编辑委员会。全国 31 个省、自治区、直辖市均有地方心理学会。

中国心理学会于 1980 年 7 月正式加入国际心理科学联合会, 1984 年

加入国际应用心理学会, 1990 年加入亚非心理学会, 1990 年加入国际测验委员会。学会主办《心理学报》、《心理科学》等学术刊物。

中国心理学会于 2009 年 11 月在山东举行第十届全国会员代表大会, 选举林崇德为第十届理事会理事长, 傅小兰任秘书长。学会现任理事长为杨玉芳。

(责任编辑 秦政)