

安张辉, 范莹莹, 刘君, 谭大诚, 陈军营, 郑国磊, 解滔. 2010. 汶川 $M_s 8.0$ 地震前 DEMETER 卫星探测的离子温度变化分析. 地震学报, 32(6): 754-759.

An Zhanghui, Fan Yingying, Liu Jun, Tan Dacheng, Chen Junying, Zheng Guolei, Xie Tao. 2010. Analysis on ion temperature variation detected by DEMETER before 2008 Wenchuan $M_s 8.0$ earthquake. *Acta Seismologica Sinica*, 32(6): 754-759.

汶川 $M_s 8.0$ 地震前 DEMETER 卫星探测的离子温度变化分析^{*}

安张辉^{1,2),*} 范莹莹^{1,2)} 刘君^{1,2)} 谭大诚^{1,2)}
陈军营^{1,2)} 郑国磊^{1,2)} 解滔^{1,2)}

1) 中国兰州 730000 中国地震局兰州地震研究所

2) 中国兰州 730000 中国地震局地震预测研究所兰州科技创新基地

关键词 DEMETER 地震电磁卫星 电离层异常扰动 汶川地震 轨道比较

doi:10.3969/j.issn.0253-3782.2010.06.013 中图分类号: P318.6+3 文献标识码: A

Analysis on ion temperature variation detected by DEMETER before 2008 Wenchuan $M_s 8.0$ earthquake

An Zhanghui^{1,2),*} Fan Yingying^{1,2)} Liu Jun^{1,2)} Tan Dacheng^{1,2)}
Chen Junying^{1,2)} Zheng Guolei^{1,2)} Xie Tao^{1,2)}

1) Lanzhou Institute of Seismology, China Earthquake Administration, Lanzhou 730000, China

2) Lanzhou Base of Institute of Earthquake Science, China Earthquake Administration,
Lanzhou 730000, China

Key words: DEMETER seismo-electromagnetic satellite; anomalous disturbances of ionosphere; Wenchuan earthquake; orbit comparison

2008年5月12日汶川 $M_s 8.0$ 地震的发生给我国带来巨大的人民生命财产和经济损失, 这次沉痛的事件再次表明, 地震的预测预报是非常困难的。同时, 地震的预测预报又具有非常重大的意义。地震后, 研究人员在研究总结反思现有观测手段(钱复业等, 2009; 余涛等, 2009)的同时, 也开展了近些年国外发展起来的空间观测研究(曾中超等, 2009; 何宇飞等, 2009)。对空间观测手段, 在已公开发表的研究成果中, 大多利用的是2004年法国发射的DEMETER(Detection of Electro-Magnetic Emissions Transmitted from Earthquake Regions)地震电磁卫星所探测的电磁场信号进行分析研究, 而对卫星所探测到的电离层离子温度则没有较为详细的讨论。例如, 曾中超等(2009)对DEMETER地震电磁卫星探测到的电离层电子的温度、密度以及电场和磁场进行了分析研究, 得到了可能与汶川地震有关的疑似异常; 何宇飞等(2009)利用DEMETER卫星对中国周边多个导航VLF发射站信号的研究, 得到了震中上空区域不同频率对应的信噪比在地震前后发生明显变化的结果。在地震之前也有相关报道(朱荣等, 2008; 欧阳新艳等, 2008), 朱荣等(2008)主要利用DEMETER网站提供的二级图示方法, 研究了2007年云南普洱地震前电离层扰动情况; 欧阳新艳等(2008)主要研究了普洱地震前电离层电子扰动情况。本文则主要讨论汶川地震前DEMETER卫星探测到的离子温度变化情况, 在研究过程中主要采用了轨道比较的方法, 包括重复轨道比较和全球同一天所有轨道的比较两种方法。重复轨道对比可以在较长时间尺度上对同一地区上空

* 基金项目 甘肃省地震局、中国地震局兰州地震研究所青年地震科学基金(200902)、国家科技支撑计划(2008BAC35B01-8)和中国地震局地震预测研究所基本科研业务专项(2007691)联合资助。

收稿日期 2009-03-19 收到初稿, 2010-07-06 决定采用修改稿。

† 通讯作者 e-mail: anzhanghui5@hotmail.com

电离层离子温度的扰动情况进行界定; 全球同一天轨道数据的对比则可以界定异常信号的分布范围, 对于地震引起的局部异常是一种很好的分析方法。这种方法可以剔除某些大范围的扰动信息, 从而进一步确定所研究的异常是否与地震有关。这些方法的应用能够清楚地看到离子温度在震中附近上空所出现的变化情况。

1 数据来源及选取

1.1 DEMETER 卫星简介

本研究主要利用法国 2004 年 6 月 29 日发射上空, 目前仍然在轨运行的地震电磁卫星, 探测到的电离层离子温度的数据进行分析。该卫星为准太阳同步极轨卫星, 其轨道倾角为 98.23° , 重量 130 kg, 飞行高度为 710 km(2005 年 12 月中旬改为 660 km)。其主要的科学任务之一就是研究电离层扰动与地震活动之间的关系。为了能够实现其科学任务, 该卫星上搭载了 5 种载荷: 感应式磁力仪(IMSC)、电场探测仪(ICE)、等离子体分析仪(IAP)、高能粒子探测仪(IDP)和朗缪尔探针(ISL)。卫星有两种工作模式: 测量观测模式(survey)和加密观测模式(burst)。当卫星经过全球主要的地震活跃区上空时, 采用加密观测模式, 其它情况下则采用测量观测模式(Berthelier *et al.*, 2006a, b; Lebreton *et al.*, 2006; Parrot *et al.*, 2006; Sauvaud *et al.*, 2006; 朱荣等, 2008; 欧阳新艳等, 2008)。

1.2 数据选取

据中国地震台网测定, 此次地震震中在四川省汶川县(31.0°N , 103.4°E), 震源深度 14 km。以往震例研究表明, 震前电离层扰动在时间上通常出现在大震前较短的时间内, 位置上也比较接近地震震中的上空区域。因此, 在本研究中所用的数据资料主要是震前 10 天内, 选择在此期间穿过震中周围 1888 km 圆域上空轨道的卫星观测数据为基本研究素材。由于卫星到达此圆域边界上空时, 卫星与震中的距离为 2000 km, 因此, 飞过圆域内任意点上空的卫星到震中的距离均小于 2000 km(朱荣等, 2008)。由于白天地面的干扰因素较多, 以及朱荣等(2008)的研究结果显示, 其研究发现的疑似异常全部位于上升轨道, 故本文选择了该时间段 DEMETER 所有的上升轨道数据。部分轨道投影和震中位置如图 1 所示。另外, 为了进行重复轨道及同一天所有轨道(均指上升轨道, 下同)的对比研究, 本文还利用了其它时间段的数据, 所使用的数据见表 1。表中, 轨道代码表示该轨道在 DEMETER 卫星数据记录中具体轨道的标记, 其本

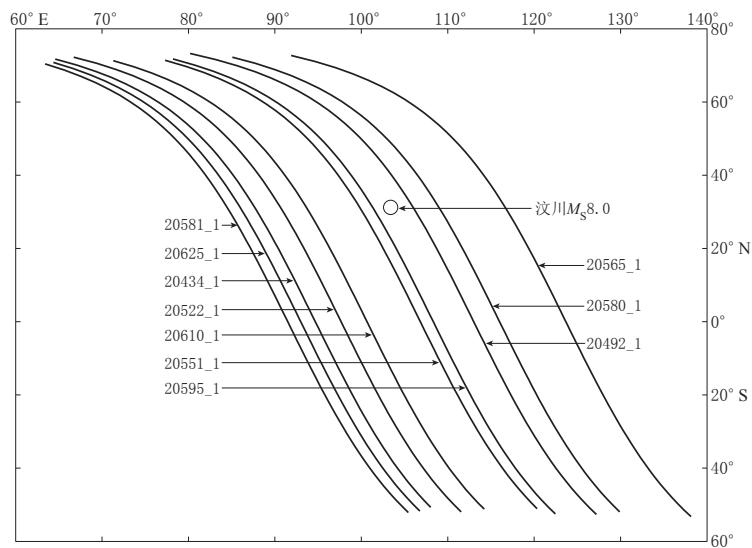


图 1 上升轨道示意图。图中曲线表示卫星轨道轨迹

Fig. 1 Ascending orbit display. Curves indicate tracks of DEMETER satellite

表 1 卫星轨道参数

Table 1 Parameters of all the orbits used in this paper

轨道代码	日期	时间(UT)	纬度/°N	经度/°E
	年-月-日	时:分:秒		
19890_1	2008-03-22	14:59:00	31.05	102.06
19920_1	2008-03-24	16:00:30	31.72	86.53
20125_1	2008-04-07	14:59:30	31.70	101.66
20155_1	2008-04-09	16:00:30	30.48	86.63
20360_1	2008-04-23	15:00:00	31.82	101.37
20390_1	2008-04-25	16:01:00	30.64	86.33
20595_1	2008-05-09	15:00:00	30.89	101.40
20625_1	2008-05-11	16:01:30	31.66	85.86

身没有太多的意义，只是表示轨道的先后顺序；日期和时间表示该轨道穿过研究区域的日期和距离震中位置最近的时刻；经度和纬度表示该轨道距离震中最近空间位置在地球表面的投影位置。本文所用的数据均可以从 DEMETER 卫星中心网站上下载(<http://demeter.cnrs-orleans.fr>)。

2 分析方法

在进行分析研究时，首先依据研究时段的磁情指数，排除离子温度变化是由于磁情指数的变化而引起的可能性。对离子温度研究时采用了轨道比较方法：重复轨道比较和全球同一天所有轨道的比较方法。重复轨道的对比研究能够在较长时间尺度上对同一地区上空电离层离子温度的变化情况进行界定，如果距离地震较近时间的轨道上在距离震中较近位置时刻出现扰动变化情况，而较远时间轨道上在相应位置时刻没有类似的变化，又由于在选取轨道时已经考虑了轨道距离震中的距离以及磁情指数等问题，于是认为较近时间轨道上离子温度的变化与地震有关。再利用全球同一天所有轨道离子温度数据进行对比，地震引起的异常应该是局部范围，那些大范围的异常应该与地震没有关系。利用这个特点可以剔除某些大范围的扰动信息，从而进一步确定其扰动变化是否与地震有关(张学民等，2008)。

3 数据分析

本文在进行数据分析过程中，考虑了震前 10 天内磁情指数(K_p)，除了 2008 年 5 月 2 日前 3 个小时 K_p 指数(<http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/kp/index.html>)为 5 以外，其余时段的 K_p 指数均 ≤ 4 ，从而排除了本文所研究的扰动是由于磁情影响而产生的可能性。

在进行数据分析时，采用 DEMETER 卫星网站上提供的二级可视化成图功能绘制相关轨道的二级图示，根据二级图示上出现疑似异常的情况，进而选取所要研究轨道的离子温度数据。

为了验证由二级图示所发现的疑似异常是否为汶川地震的异常，我们采用轨道对比方法对离子的温度(T_i)进行研究。重复轨道的对比研究情况，以 20625_1 和 20595_1 两组重复半轨道为例进行说明。图 2 是两组重复半轨道的离子温度(T_i)曲线图，图象按照时间和重复轨道纵向排列，在 20625_1 和 20595_1 这两个半轨道上距离震中最近距离的时刻附近出现了疑似异常信息，除了 19890_1 半轨道外，在别的半轨道上未发现类似异常信息。为了把 19890_1 半轨道异常信息对本次事件的干扰排除，作者对其进行了单独研究，从时间的尺度上来说，该疑似异常为 2008 年 3 月 21 日在我国新疆于田发生的 7.3 级地震的后效反应的可能性更大，所以排除了 19890_1 半轨道异常为汶川地震临震异常的可能性。

全天所有上升轨道的对比研究以 2008 年 5 月 9 日为例进行说明，图 3 是这一天所有上升轨道所记录到的 T_i 曲线图。其中 20595_1 轨道经过汶川地震上空时距离震中位置最近。很容易发现，除了 20595_1 轨道有扰动信息外，在 20588_1、20589_1、20594_1 和 20596_1 轨道的图中也出现类似的扰动信息，显现了异常的复杂性。其中有些异常可能与别的原因有关，如 20588_1 和 20589_1 这两个轨道位置与本次地

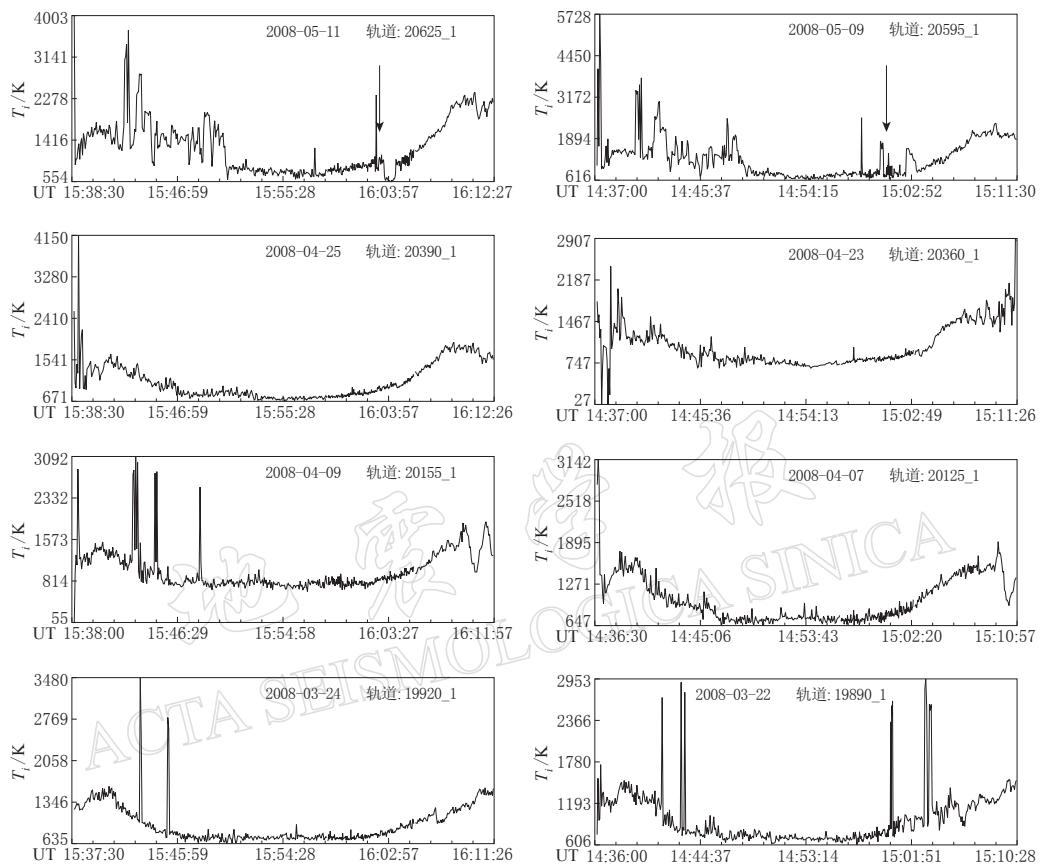


图 2 重复轨道数据中离子温度(T_i)曲线图. 图中箭头表示出现了电离层异常扰动信息

Fig. 2 T_i curves observed by DEMETER through the repeating orbits
Arrow indicates the abnormal disturbance of ionosphere

震的震中位置距离太远, 其扰动现象与汶川地震的联系非常小. 如果说与汶川地震有关的话, 那么在其它距离汶川地震较近的轨道上也应该出现类似的扰动, 但实际上并未出现, 所以排除了这两个轨道的可能性. 20595_1 轨道的疑似扰动表现为箭头位置之前的短时突跳和箭头位置的凹陷, 对于临震之前的电磁辐射对电离层的影响应该是在一个较大的区域, 而不应该是局部的. 也就是说, 不可能出现短时的突跳现象. 对于凹陷现象还需要进一步仔细研究, 因为在这一天几乎所有的上升轨道上都有这种现象出现. 由于本次地震的震级大, 影响的范围广, 所以认为 20595_1 轨道的邻近轨道 20594_1 上出现的异常可能也与本次地震有关.

4 讨论与结论

在本文的研究中, 我们利用 DEMETER 卫星中心提供的 22 个上升轨道数据, 采用二级图象可视化方法、轨道比较法(包括重复轨道比较和同一天所有轨道的比较)分析研究了汶川地震前在电离层当中离子温度是否出现了临震异常信息. 结果表明, 穿越震中附近上空的所有上升轨道上在震前第 6 天(2008 年 5 月 7 日)开始出现了临震异常信息. 就出现异常的时间段看, 该结果与陆基地震电磁前兆现象的研究结果相类似(李宁, 2007), 即在地震前 7 天左右出现异常. 数据分析的结果及其它有关汶川地震的空间观测手段研究结果证明, 本文研究所得的异常确实为汶川地震的临震异常.

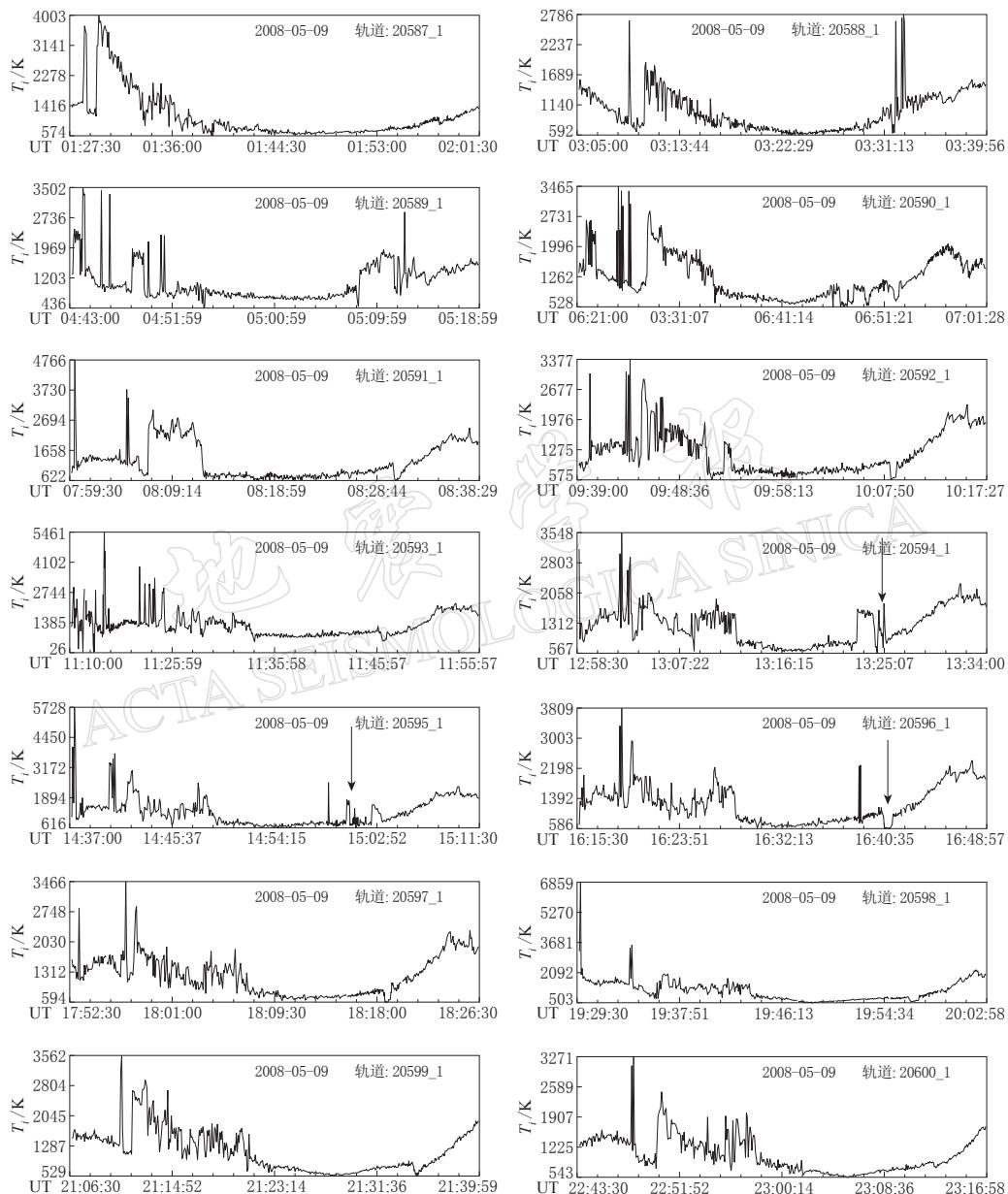


图 3 同一天全球所有上升轨道中离子温度(T_i)曲线图。图中箭头表示出现了电离层异常扰动信息

Fig. 3 T_i curves observed through ascending orbits all over the world on the same day
Arrow indicates the abnormal disturbance of ionosphere

研究过程中还发现, DEMETER 卫星提供的数据中有不连续和缺失现象, 并且该卫星所设定的全球主要的地震活跃区不能对我国进行全面覆盖, 这给利用其资料研究我国境内地震带来一定的影响, 这就要求我国开始实施的地震电磁卫星项目要充分考虑这一点。电离层中的各种物理参量受到地面和外太空的双重干扰, 在甄别电离层扰动是否由于地震的孕育发生而引起时具有一定的困难。在今后的研究中要逐步建立和完善电离层各参量背景场的研究工作, 而且在数据的研究分析方法上更应该进一步深入。这种全新的地震监测技术手段充满着挑战和希望, 相信随着科学技术的日益发展和进步, 科学家们能够利用卫星观测揭示出更多的有用信息。

参考文献

- 何宇飞, 杨冬梅, 陈化然, 钱家栋, 朱荣, Parrot M. 2009. DEMETER 卫星探测到可能与汶川地震有关的地面 VLF 发射站信号的信噪比变化[J]. 中国科学:D辑, 39(4): 403-412.
- 李宁. 2007. 天祝地震空区地震电磁前兆现象研究[D]. 兰州: 中国地震局兰州地震研究所: 46-47.
- 欧阳新艳, 张学民, 申旭辉, 刘静, 钱家栋, 蔡晋安, 赵庶凡. 2008. 普洱地震前电离层电子密度扰动变化研究[J]. 地震学报, 30(4): 424-436.
- 钱复业, 赵壁如, 钱卫, 赵健, 何世根, 张洪魁, 李世愚, 李绍坤, 严谷良, 汪成民, 孙振凯, 张东宁, 卢军, 张平, 杨国军, 孙加林, 郭纯生, 唐宇雄, 徐建明, 夏坤涛, 鞠航, 殷邦红, 黎明, 杨东生, 起卫罗, 和泰名, 关华平, 赵玉林. 2009. 汶川 8.0 级地震 HRT 波地震短临波动前兆及 HRT 波地震短临预测方法: 关于实现强震短临预测可能性的讨论[J]. 中国科学:D辑, 39(1): 11-23.
- 余涛, 毛田, 王云冈, 王劲松. 2009. 汶川特大地震前电离层主要参量变化[J]. 科学通报, 54(4): 493-499.
- 曾中超, 张蓓, 方广有, 王东峰, 阴和俊. 2009. 利用 DEMETER 卫星数据分析汶川地震前的电离层异常[J]. 地球物理学报, 52(1): 11-19.
- 张学民, 刘静, 钱家栋, 申旭辉, 蔡晋安, 欧阳新艳, 赵庶凡. 2008. 西藏改则 6.9 级地震前的电离层电磁扰动[J]. 地震, 28(3): 14-22.
- 朱荣, 杨冬梅, 荆凤, 杨俊英, 欧阳新艳. 2008. DEMETER 卫星观测到的云南普洱地震前的电离层扰动[J]. 地震学报, 30(1): 76-81.
- Berthelier J J, Godefroy M, Leblanc F, Malinger M, Menville M, Lagoutte D, Brochot J Y, Colin F, Elie F, Legendre C, Zamora P, Benoist D, Chapuis Y, Artru J, Pfaff R. 2006a. The electric field experiment on DEMETER[J]. *Planet Space Sci.*, 54(5): 456-471.
- Berthelier J J, Godefroy M, Leblanc F, Seran E, Peschard D, Gilbert P, Artru J. 2006b. The thermal plasma analyzer on DEMETER[J]. *Planet Space Sci.*, 54(5): 487-501.
- Lebreton J P, Stverak S, Travnick P, Maksimovic M, Klinge D, Merikallio S, Lagoutte D, Poirier B, Blelly P L, Kozácek Z, Salaquarda M. 2006. The ISL langmuir Probe experiment and its data procession onboard DEMETER: Scientific objectives, description and first results[J]. *Planet Space Sci.*, 54(5): 472-486.
- Parrot M, Benoist D, Berthelier J J, Blecki J, Chapuis Y, Colin F, Elie F, Fergeau P, Lagoutte D, Lefevre F, Legendre C, Lèvèque M, Pincon J L, Poirier B, Seran H C, Zamora P. 2006. The magnetic field experiment IMSC and its data processing onboard DEMETER: Scientific objectives, description and first results[J]. *Planet Space Sci.*, 54(5): 441-455.
- Sauvaud J A, Moreau T, Maggioli R, Treilhou J P, Jacquey C, Cros A, Coutelier J, Rouzaud J, Penou E, Gangloff M. 2006. High energy electron detection onboard DEMETER: The IDP spectrometer, description and first results on the inner belt[J]. *Planet Space Sci.*, 54(5): 502-511.