

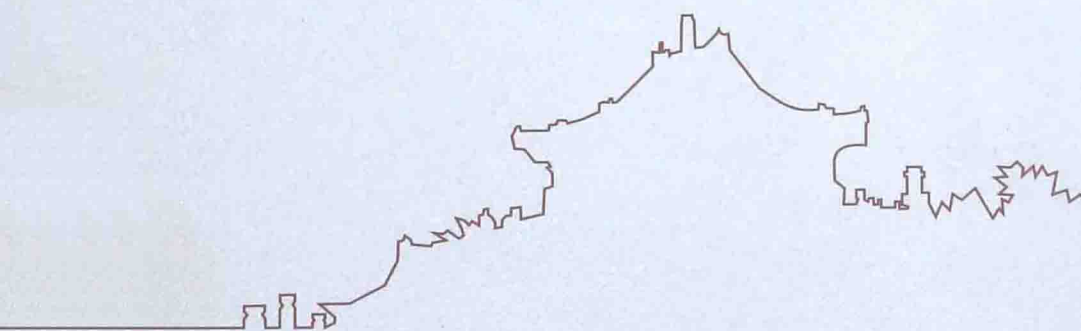
武汉大学优秀博士学位论文文库



地球磁尾动力学过程的卫星观测和数值模拟研究

Study of Kinetic Processes in the Earth's
Magnetotail Using Satellite Observation and Numerical Simulation

周猛 著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

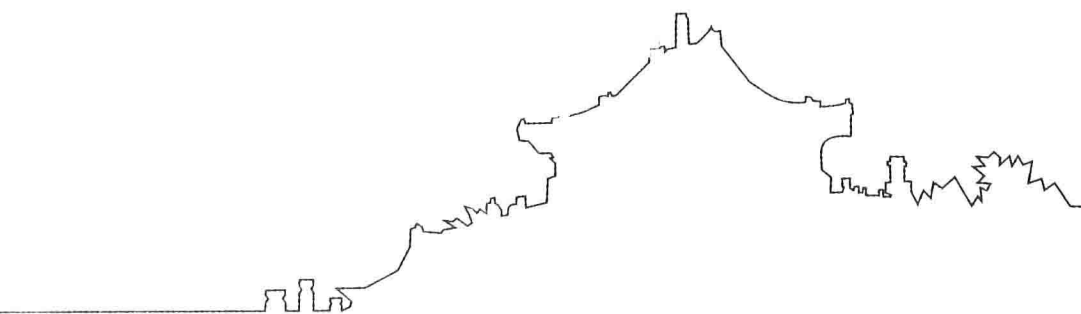
武汉大学优秀博士学位论文文库



地球磁尾动力学过程的卫星观测和数值模拟研究

Study of Kinetic Processes in the Earth's
Magnetotail Using Satellite Observation and Numerical Simulation

周猛 著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

地球磁尾动力学过程的卫星观测和数值模拟研究/周猛著. —武汉: 武汉大学出版社, 2015. 3

武汉大学优秀博士学位论文文库

ISBN 978-7-307-14847-5

I. 地… II. 周… III. 地球动力学—磁尾—数值模拟—研究 IV. P541

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 263739 号



责任编辑:任翔 黄琼

责任校对:汪欣怡

版式设计:马佳

出版发行: 武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件: cbs22@whu.edu.cn 网址: www.wdp.com.cn)

印刷: 武汉市洪林印务有限公司

开本: 720 × 1000 1/16 印张: 10.25 字数: 142 千字 插页: 8

版次: 2015 年 3 月第 1 版 2015 年 3 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-14847-5 定价: 25.00 元

版权所有, 不得翻印; 凡购我社的图书, 如有质量问题, 请与当地图书销售部门联系调换。

武汉大学
优秀博士学位论文文库
编委会

主 任 李晓红

副主任 韩 进 舒红兵 李 斐

委 员 (按姓氏笔画为序)

马费成	邓大松	边 专	刘正猷	刘耀林
杜青钢	李义天	李建成	何光存	陈 化
陈传夫	陈柏超	冻国栋	易 帆	罗以澄
周 翔	周叶中	周创兵	顾海良	徐礼华
郭齐勇	郭德银	黄从新	龚健雅	谢丹阳

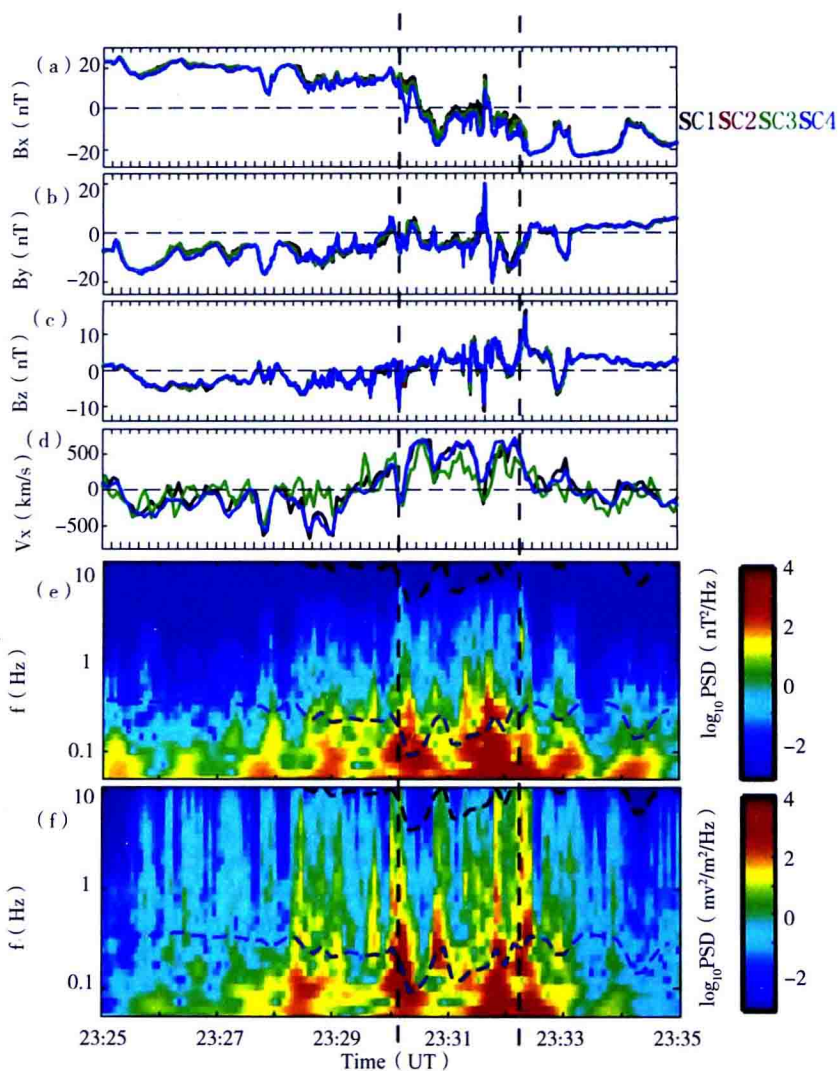


图 3-1 Cluster 卫星在返流期间 23:25 至 23:35 UT 的观测图

从上至下依次为:(a)(c)磁场的 x,y,z 分量,(d)质子流的 x 分量,(e)(f)小波分析得到的磁场和电场功率谱图;两根竖的短划线表示观测到低混杂波的时间;图 1e 和 1f 中的黑色和蓝色短划线分别表示低混杂频率和离子回旋频率;卫星 SC1, SC2, SC3 和 SC4 分别用黑色、红色、绿色和蓝色表示。

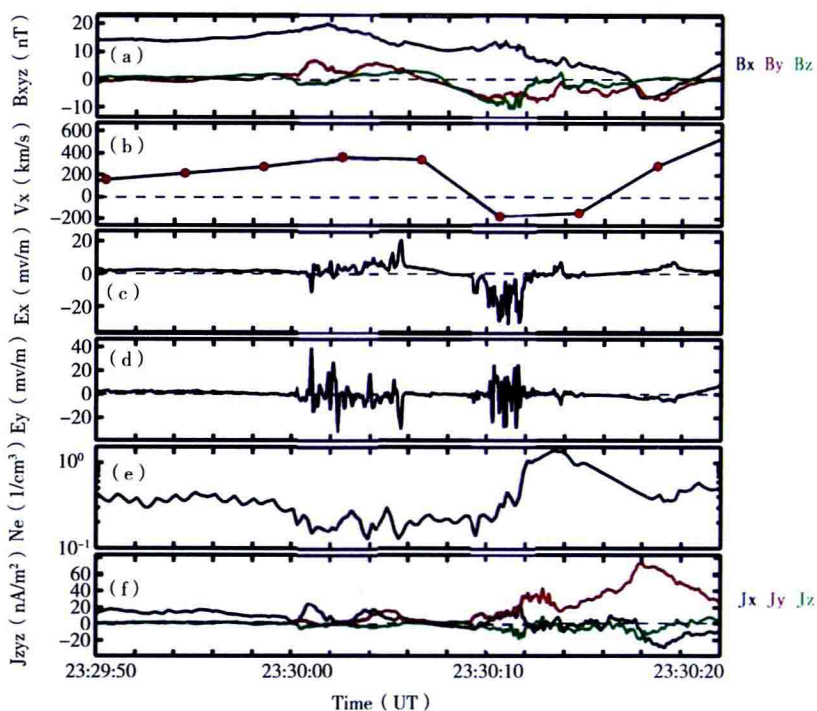


图 3-2 地向运动的 X 线穿越卫星 SC4 时的观测图

(a)磁场的三个分量,(b)质子流的 x 分量,(c)和(d)电场的 x 和 y 分量, (e)电子密度,(f)电流密度; x,y,z 分量分别用黑色、红色和绿色线条表示;两个阴影部分标明有密度梯度存在的两条磁分界线。

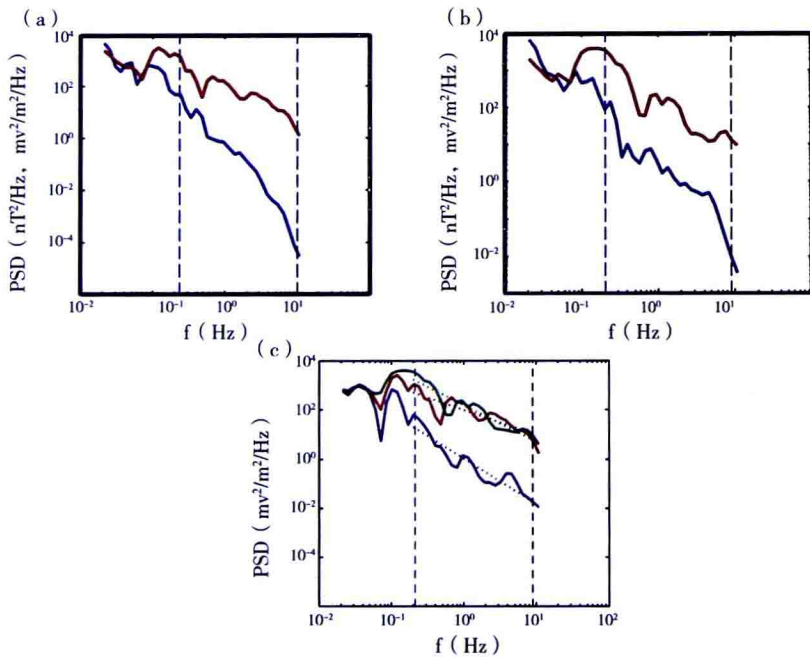


图 3-3 SC4 卫星在磁分界线和以外的区域测到的磁场和电场功率谱

(a) 23:30:00 ~ 23:30:06 UT 间测到的电场(红)和磁场(蓝)功率谱, (b) 同图 3-3a 一样, 不过时间段是 23:30:09 ~ 23:30:13 UT, (c) 三个不同时间段测得的电场功率谱, 分别是 23:00:00 ~ 23:00:06 UT (红), 23:00:09 ~ 23:00:13 UT (绿), 23:29:52 ~ 23:29:58 UT (粉红)。粉红线表示的是分界线以外的区域, 黑色短划线表示的是低混杂频率, 蓝色短划线则是质子回旋频率; (f_{ci} , f_{lh}) 间的电场功率谱通过线性拟合得到的幂指数分别为 (23:30:00 ~ 23:30:06 UT) 和 (23:30:09 ~ 23:30:13 UT)。在 23:29:52 ~ 23:29:58 UT 时间段, 幂指数为 $\alpha = -2$; 图中的点画线是通过线性拟合得到的表示幂律的直线。

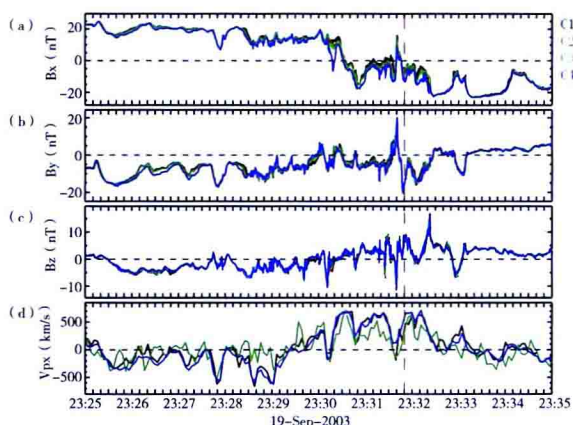


图 3-9 23:25 ~ 23:35UT 之间磁场和等离子体流的观测图

从上至下依次为:(a)-(c)磁场的 x, y, z 分量,(d)质子流的 X 分量。卫星 SC1, SC2, SC3 和 SC4 分别用黑色、红色、绿色和蓝色表示。

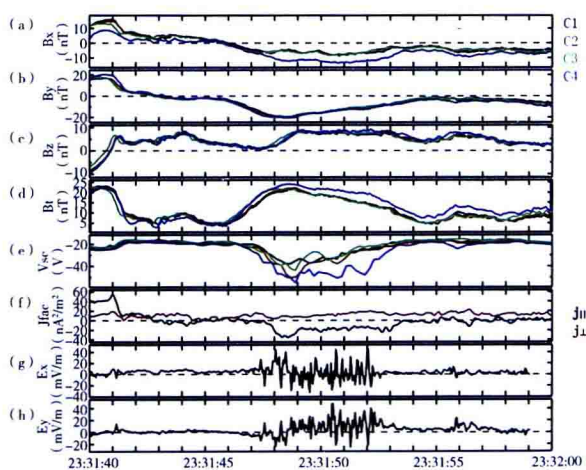


图 3-10 密度耗空区附近,即 23:31:40 - 23:31:00 UT 间观测到的

磁场、卫星电势、电流密度以及电场

从上至下依次为:(a)-(c)四颗卫星的磁场三分量,(d)四颗卫星总磁场大小,(e)SC4 卫星的电势,(f)平行(黑)和垂直(红)电流密度,(g)和(h)SC4 卫星测得的电场 x, y 分量。

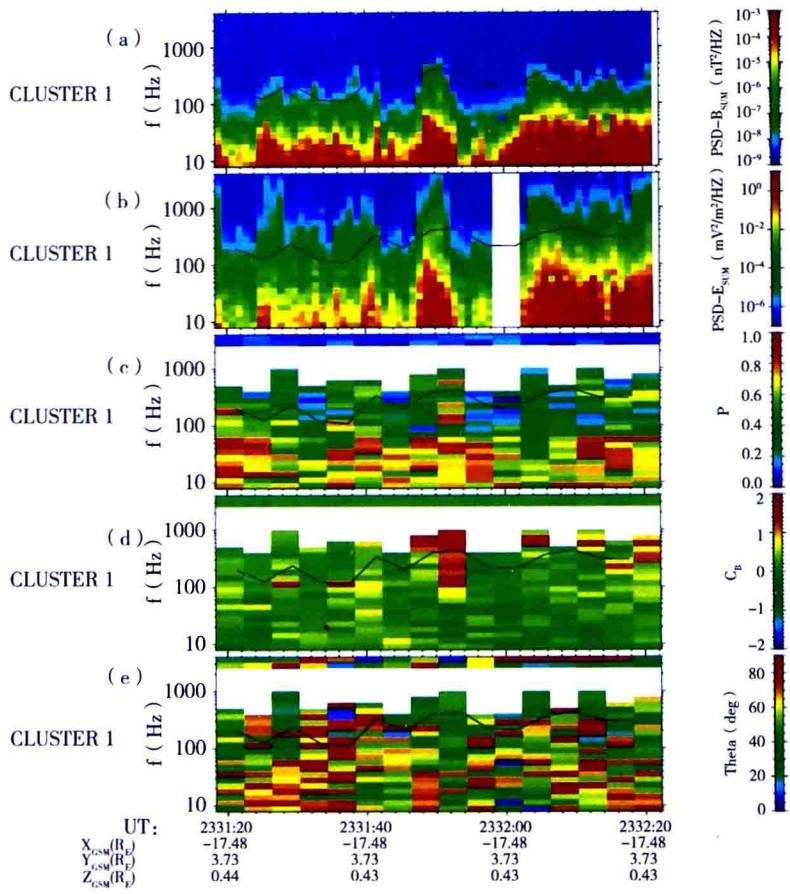


图 3-12 8-4000Hz 频段内波动的功率谱和极化分析

从上至下依次为:(a)和(b)分别是磁场和电场功率谱,(c)磁场极化度,(d)极化方向,(e)传播方向;每个面板中的黑色线表示电子回旋频率;图中的数据都来自 SCI

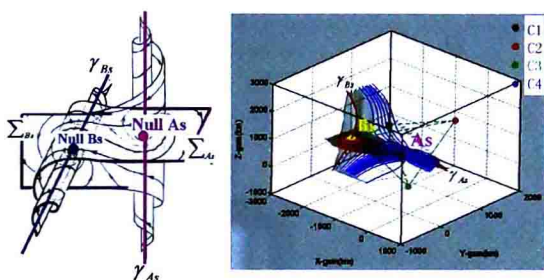


图 4-3 三维磁重联结构示意图

左图表述正的螺旋零点 A_s 和负的螺旋零点 B_s 形成的螺旋零点对结构。螺旋零点 A_s 的 fan 平面包裹着螺旋零点 B_s 的 spine 线,同时 B_s 的 fan 平面包裹着 A_s 的 spine 线;右图是在 09:48:01 UT 由拟合方法得到的 A_s 和 B_s 附近磁力线结构的示意图,在 A_s 和 B_s 附近有一个卷曲结构;在 B_s 附近, B_s 的 spine 线近乎为 A_s 的 fan 平面内的磁力线;在 A_s 附近, A_s 的 spine 线近乎为 B_s 的 fan 平面内的磁力线,spine 线和 fan 平面之间的夹角分别为 2.4° 和 1.3° 。

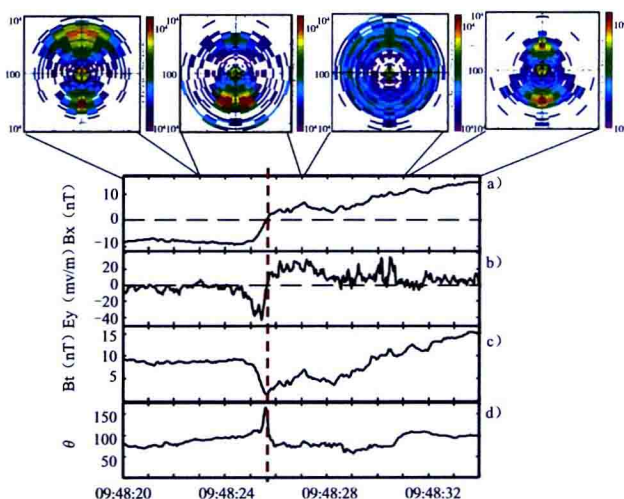


图 4-6 SC2 卫星在穿越电流片以及分离线时观测到的电场,

磁场以及粒子特征

(a) 磁场 B_x 分量, (b) 电场 E_y 分量, (c) 总磁场大小, (d) Cluster 星簇计算得到的电流密度与 SC2 卫星测得磁场的夹角;图上方的四个小图为在不同时间的电子分布

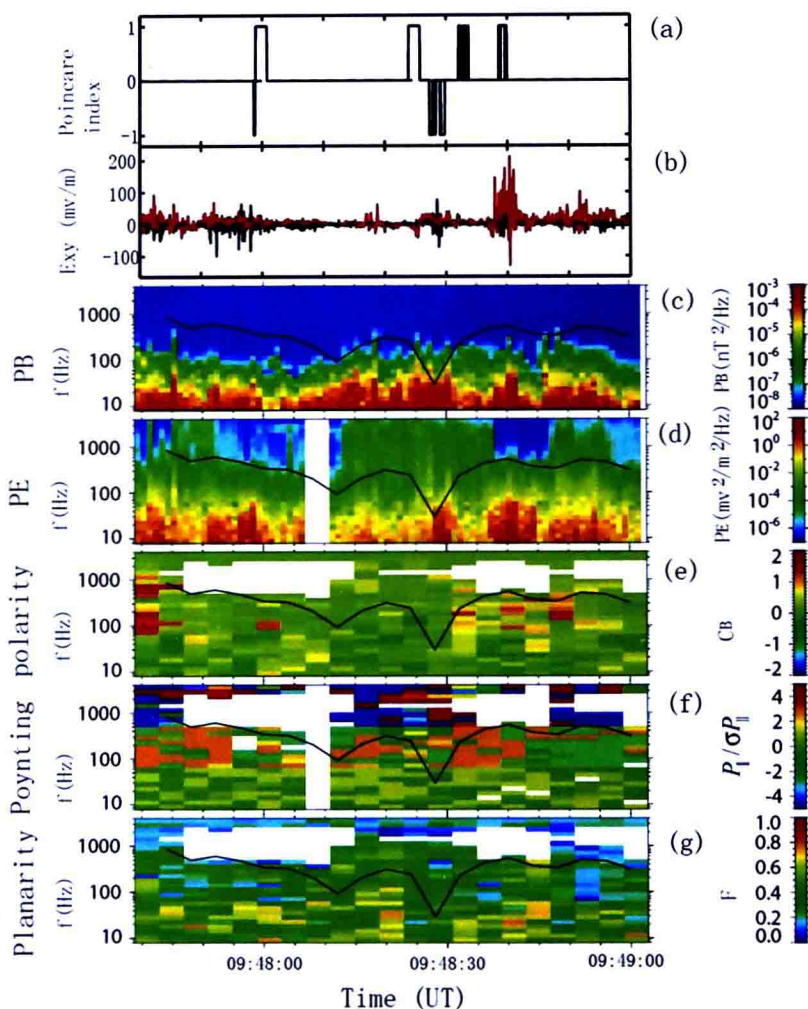


图 4-8 在 09:47:40 - 09:49:00UT 时间段内由 SC2 观测到的波的特征

从上至下分别为: (a) Poincare 指数, (b) 电场的 x, y 分量, (c - d) 磁场和电场的功率谱密度, (e) 极化特征。极化率为 1 意味着高度右旋圆极化, 极化率为 -1 代表高度左旋圆极化, 线性极化波极化率为 0, (f) 归一化的平行磁场方向的 Poynting 矢量, (g) 磁场波动的平面度。谱图上的黑色实线表示电子回旋频率。

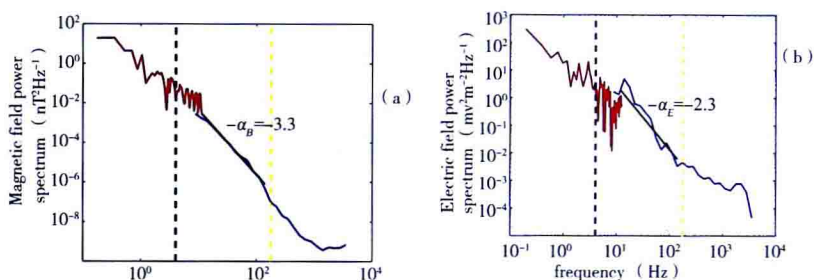


图 4-9 在 2001 年 10 月 1 日 09:48:23 - 09:48:28 UT 时间段内, 由 FGM(红)和 STAFF(蓝)得到的磁场功率谱,以及由 EFW(红)和 STAFF(蓝)得到的电场功率谱

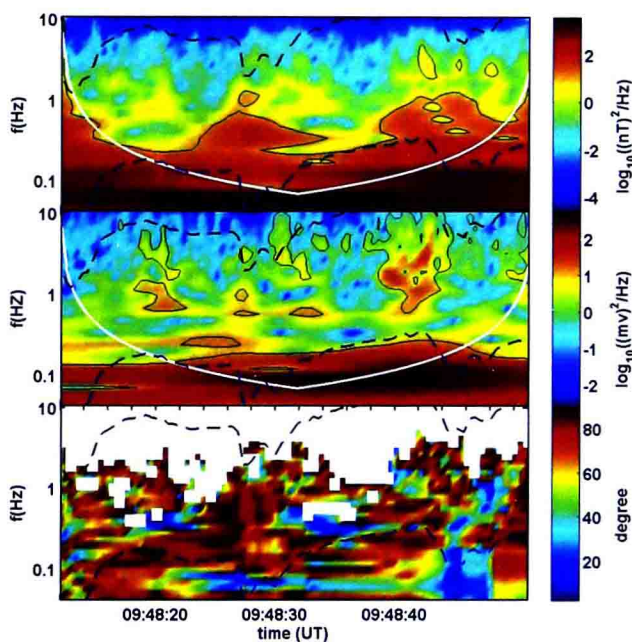


图 4-10 对 SC2 的高分辨率数据使用小波变换所得到的电磁场功率谱

分析(a)磁场的功率谱,(b)电场的功率谱,(c)使用 SVD 方法分析磁场得到的波动传播角度,这里仅仅展示了功率谱密度超过 $0.1 \text{ nT}^2 \cdot \text{Hz}^{-1}$ 的部分;图中黑色虚线对应低混杂频率,蓝色虚线对应质子回旋频率。在磁场和电场功率谱图中,白色实线描绘的是影响锥,在该影响锥以下的功率谱可能受到边界效应的影响而不准确。图中黑色实线对应的是置信区域,该置信区域内的功率谱与背景噪声的差异水平在 95% 以上,表明这里的功率谱有显著增强。

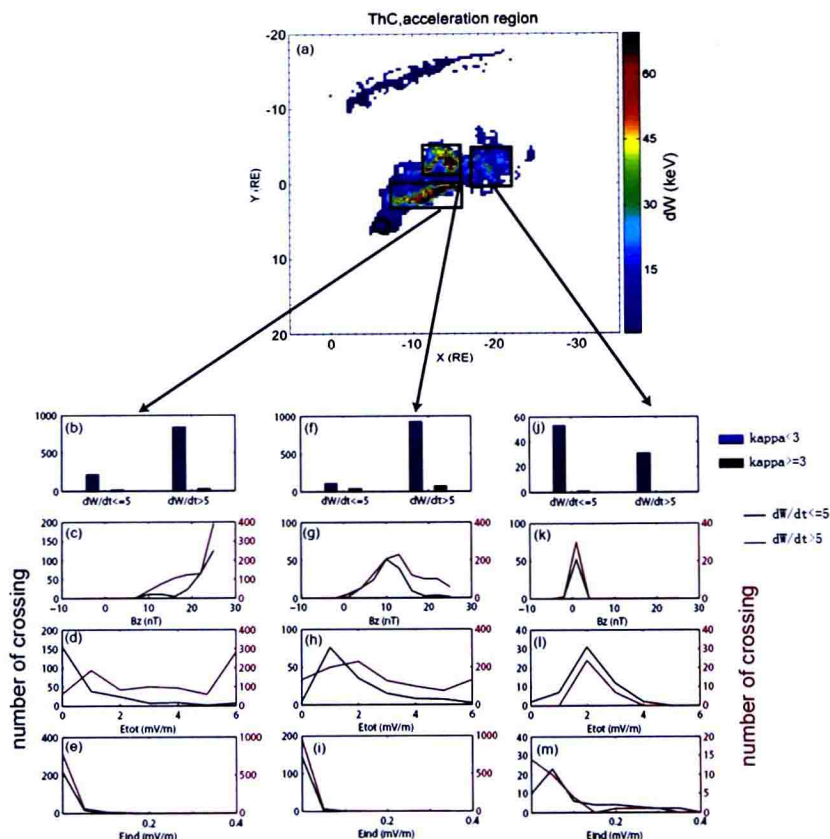


图 6-9 到达 THEMIS C 的高能粒子的加速区域和加速机制

(a) 粒子连续两次穿越电流片的能量增长, (b) 区域 1 中电流片的穿越次数同 κ 的关系, 左边的柱状条表示的是 $dW/dt \leq 5$ keV/s 的穿越, 右边的柱状条是 $dW/dt > 5$ keV/s 的穿越, (c) 区域 1 中电流片的穿越次数与 B_z 的关系, (d) 区域 1 中电流片穿越次数与总电场的关系, (e) 区域 1 中电流片穿越次数与感应电场的关系。 (c) (e) 中黑线表示的是 $dW/dt \leq 5$ keV/s 的穿越, 红线表示的是 $dW/dt > 5$ keV/s 的穿越。 (f) - (i) 表示的参数与 (b) (e) 一样, 不过是在区域 2 中, (j) (m) 表示的参数与 (b) (e) 一样, 不过是在区域 3 中。

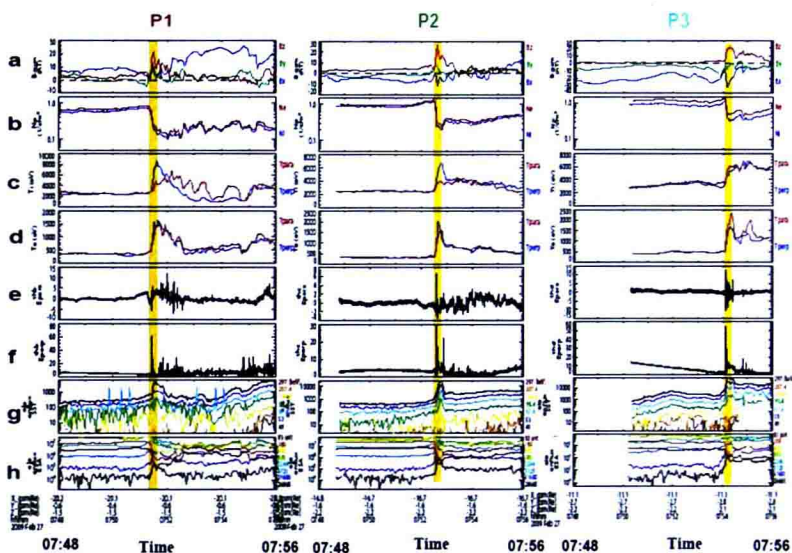


图 7-9 从左至右分别是 THEMIS P1,P2 和 P3 的总体观测图

从上往下依次为:(a) 磁场三分量,(b) 离子和电子密度,(c) 离子垂直(蓝)和平行(红)温度,(d) 电子垂直(蓝)和平行(红)温度,(e) 垂直方向电场,(f) 平行方向电场,(g) 高能电子通量(SST 仪器提供),(h) 热电子通量(ESA 仪器提供)

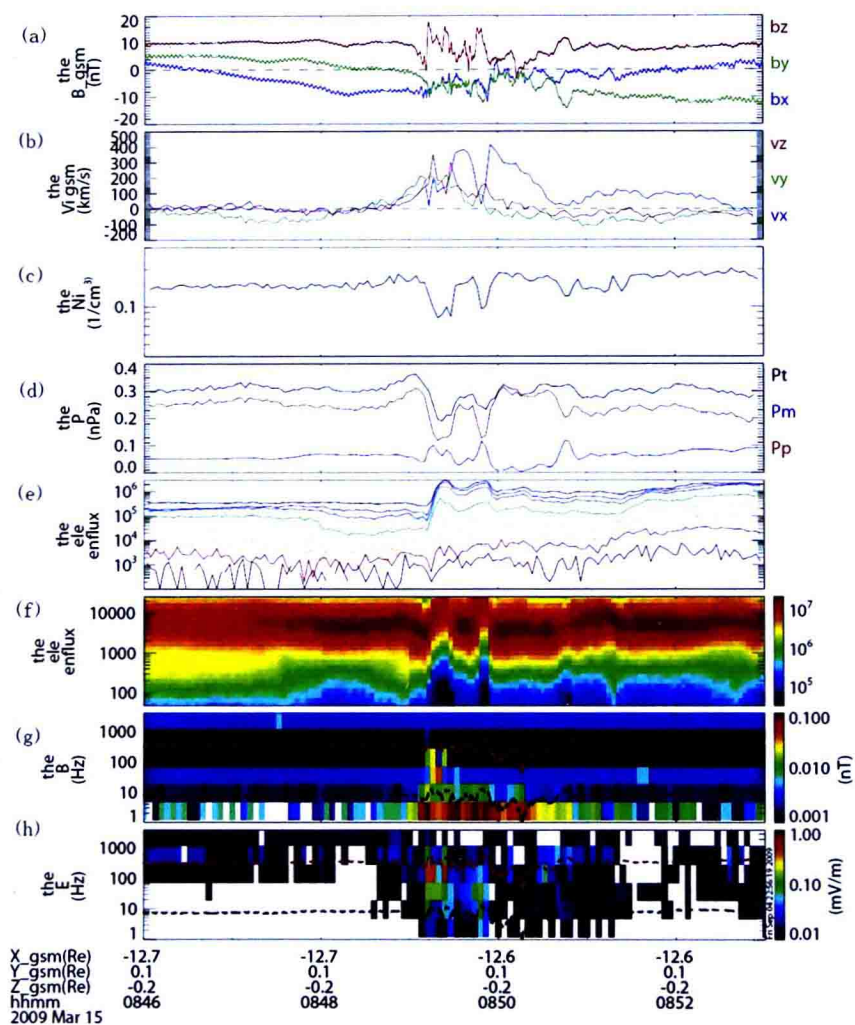


图 7-13 PI 卫星的总体观测图

从上至下依次为:(a) 磁场三分量,(b) 等离子体整体流,(c) 离子密度,(d) 磁压(蓝),等离子体热压(红)和总压力(黑),(e) 和(f) 分别是高能 and 热电子通量,(g) 平均磁场扰动,(h) 平均电场扰动

总 序

创新是一个民族进步的灵魂,也是中国未来发展的核心驱动力。研究生教育作为教育的最高层次,在培养创新人才中具有决定意义,是国家核心竞争力的重要支撑,是提升国家软实力的重要依托,也是国家综合国力和科学文化水平的重要标志。

武汉大学是一所崇尚学术、自由探索、追求卓越的大学。美丽的珞珈山水不仅可以诗意栖居,更可以陶冶性情、激发灵感。更为重要的是,这里名师荟萃、英才云集,一批又一批优秀学人在这里砥砺学术、传播真理、探索新知。一流的教育资源,先进的教育制度,为优秀博士学位论文的产生提供了肥沃的土壤和适宜的气候条件。

致力于建设高水平的研究型大学,武汉大学素来重视研究生培养,是我国首批成立有研究生院的大学之一,不仅为国家培育了一大批高层次拔尖创新人才,而且产出了一大批高水平科研成果。近年来,学校明确将“质量是生命线”和“创新是主旋律”作为指导研究生教育工作的基本方针,在稳定研究生教育规模的同时,不断推进和深化研究生教育教学改革,使学校的研究生教育质量和知名度不断提升。

博士研究生教育位于研究生教育的最顶端,博士研究生也是学校科学研究的重要力量。一大批优秀博士研究生,在他们学术创作最激情的时期,来到珞珈山下、东湖之滨。珞珈山的浑厚,奠定了他们学术研究的坚实基础;东湖水的灵动,激发了他们学术创新的无限灵感。在每一篇优秀博士学位论文的背后,都有博士研究生们刻苦钻研的身影,更有他们导师的辛勤汗水。年轻的学者们,犹如在海边拾贝,面对知识与真理的浩瀚海洋,他们在导师的循循善诱下,细心找寻着、收集着一片片靓丽的贝壳,最终把它们连成一串串闪闪夺目的项

链。阳光下的汗水,是他们砥砺创新的注脚;面向太阳的远方,是他们奔跑的方向;导师们的悉心指点,则是他们最值得依赖的臂膀!

博士学位论文是博士生学习活动和研究工作的主要成果,也是学校研究生教育质量的凝结,具有很强的学术性、创造性、规范性和专业性。博士学位论文是一个学者特别是年轻学者踏进学术之门的标志,很多博士学位论文开辟了学术领域的新思想、新观念、新视阈和新境界。

据统计,近几年我校博士研究生所发表的高质量论文占全校高水平论文的一半以上。至今,武汉大学已经培育出 18 篇“全国百篇优秀博士学位论文”,还有数十篇论文获“全国百篇优秀博士学位论文提名奖”,数百篇论文被评为“湖北省优秀博士学位论文”。优秀博士结出的累累硕果,无疑应该为我们好好珍藏,装入思想的宝库,供后学者慢慢汲取其养分,吸收其精华。编辑出版优秀博士学位论文文库,即是这一工作的具体表现。这项工作既是一种文化积累,又能助推这批青年学者更快地成长,更可以为后来者提供一种可资借鉴的范式抑或努力的方向,以鼓励他们勤于学习,善于思考,勇于创新,争取产生数量更多、创新性更强的博士学位论文。

武汉大学即将迎来双甲华诞,学校编辑出版该文库,不仅仅是为武大增光添彩,更重要的是,当岁月无声地滑过 120 个春秋,当我们正大踏步地迈向远方时,我们有必要回首来时的路,我们有必要清晰地审视我们走过的每一个脚印。因为,铭记过去,才能开拓未来。武汉大学深厚的历史底蕴,不仅在于珞珈山的一草一木,也不仅仅在于屋檐上那一片片琉璃瓦,更在于珞珈山下的每一位学者和学生。而本文库收录的每一篇优秀博士学位论文,无疑又给珞珈山注入了新鲜的活力。不知不觉地,你看那珞珈山上的树木,仿佛又茂盛了许多!

李晓红

2013 年 10 月于武昌珞珈山