

中国优秀科技期刊

ISSN 0001-5733

地球物理学报

ACTA GEOPHYSICA SINICA

第40卷 增刊

Vol.40 Supplement

纪念中国地球物理学会 50 周年专刊

1997

中国地球物理学会主办

责任编辑: 孙 群

编辑: 汪海英

微机排版: 夏 莉 王 洋

地球物理学报

(双月刊)

1997 年 第 40 卷 增刊

主 办 中 国 地 球 物 理 学 会
编 辑 《地球物理学报》编辑委员会
编辑部设在中国科学院地球物理研究所
北京 9701 信箱 邮政编码 100101
主 编 刘 光 鼎
出 版 《地球物理学报》编辑部
北京 9701 信箱 邮政编码 100101

印刷装订 北 京 科 文 印 刷 厂
总发行处 北 京 报 刊 发 行 局
订 购 处 全 国 各 邮 电 局
《地球物理学报》编辑部
国外总发行 中国国际图书贸易总公司
(中 国 国 际 书 店
北京 399 信箱 邮政编码 100044
国内统一刊号: CN11-2074/P

国家科委国科发信字 [1997] 281 号文批准
增刊批准号: (97) 京新出报刊增准字第 217 号

国外刊号: BM 76 定价: 30.00 元

公 开 发 行

国家自然科学基金资助

地球物理学报

第 40 卷

增刊

纪念中国地球物理学会 50 周年专刊

目 次

空间、大气与海洋地球物理

我国近年来太阳大气和行星际动力学研究的进展	胡友秋 (1)
我国磁层物理研究的进展和展望	刘振兴 濮祖荫 (9)
近年来中国电离层物理研究进展	肖 佐 (21)
我国中高层大气观测研究的新进展	王英鉴 (29)
西太平洋海—气相互作用研究进展	周明煜 钱粉兰 (37)
中国海洋地球物理进展	刘光鼎 (46)

固体地球物理

我国地球动力学的研究进展与展望	王 仁 (50)
我国地幔流体研究现状与展望	 中国地球物理学会流体地球科学委员会筹委会 (60)
我国高温高压实验研究进展和展望	金振民 (70)
中国岩石层结构研究的回顾与展望	王椿镛 (82)
中国地学断面地球物理研究的进展和展望	吴功建 (110)
青藏高原深部结构与构造地球物理研究的回顾和展望 ...	滕吉文 熊绍柏 张中杰 (121)
喜马拉雅和青藏高原深剖面研究的进展	赵文津 黄立言 熊嘉育 (140)
华南岩石层与大陆动力学	谢谔克 毛建仁 彭维震 赵 宇 姜月华 (153)
世纪之交我国震源物理研究的进展与展望	陈运泰 吴忠良 李世愚 (164)
工程地震学在中国的发展	廖振鹏 郑天愉 (177)
我国大地重力学和固体潮研究进展	许厚泽 张赤军 (192)

我国大地电磁测深研究新进展	王家映 (206)
我国地磁观测研究的发展	徐文耀 (217)
中国古地磁学研究现状与展望	刘 椿 马醒华 杨振宇 (231)
我国弱磁测量研究的进展	丁鸿佳 刘士杰 (238)
近年来我国地热学的研究与展望	汪集旸 (249)

勘探地球物理

我国地震勘探研究进展	王妙月 (257)
我国超声地震模型试验的理论研究与实践	孙进忠 郭铁栓 唐文榜 赵鸿儒 (266)
几种现代信息处理技术和计算机网络在勘探地球物理中的应用	张学工 李衍达 盛 硕 (275)
中国重力勘探的发展与展望	王懋基 蔡 鑫 涂承林 (292)
我国磁法勘探的研究与进展	管志宁 (299)
电法勘探的发展和展望	何继善 (308)
我国核地球物理勘查的若干新进展	吴慧山 谈成龙 (317)
我国油储地球物理学研究的现状及思考	李幼铭 吴永刚 (326)
中国测井学研究现状与发展趋向	李舟波 楚泽涵 (333)
中国石油测井学科的发展及展望	谭廷栋 (344)
我国金属与非金属矿物探的回顾与展望	孙文珂 王继伦 齐文秀 赵廷业 王玉和 吴海成 (351)
我国煤田物探技术的回顾与展望	孙文涛 方 正 (362)
中国水文、工程、环境物探的回顾与展望	中国地球物理学会勘探地球物理专业委员会水资源、工程物探学组 (369)
我国考古地球物理学的发展	蒋宏耀 张立敏 (379)

灾害预测与环境地球物理

地震预测研究与展望	陈棋福 陈 顺 李 娟 陈龙生 (386)
我国地震预报研究近十年的发展与展望	张国民 李 丽 焦明若 (396)
我国天灾预测的综合地球物理研究	郭增建 (411)
日地水文学与灾害预测	王涌泉 (420)
中国的空间环境研究	叶宗海 都 亨 (429)
我国环境问题与环境地球物理学	中国地球物理学会环境地球物理专业委员会 (442)

地球物理学报

试论《地球物理学报》的发展——根据文献计量学分析	孙 群 洪明华 汪海英 (450)
--------------------------------	-------------------

ACTA GEOPHYSICA SINICA

Vol. 40 Supplement

COMMEMORATION OF THE 50TH ANNIVERSARY OF THE CHINESE GEOPHYSICAL SOCIETY

CONTENTS

Space, Atmosphere and Marine Geophysics

- Recent Progress of Research on Dynamics of Solar Atmosphere and Interplanetary
Medium in China *Hu You - qiu* (8)
- Advances and Prospects of Magnetospheric Physics Research in China
..... *Liu Zhen - xing Pu Zu - yin* (20)
- Researches on Ionospheric Physics in Recent Years in China *Xiao Zuo* (28)
- New Advances of Middle and Upper Atmosphere Research in China
..... *Wang Ying - jian* (36)
- Advances in the Research of Air - sea Interaction Over the Western Pacific Ocean
..... *Zhou Ming - yu Qian fen - lan* (45)
- Progress of Marine Geophysics in China *Liu Guang - ding* (49)

Solid Earth Geophysics

- Progress and Outlook of Geodynamic Research in China *Wang Ren* (59)
- The Current Status of Mantle Fluids Researches and Their Prospectives in China
Preparatory Committee of Fluid Earth Science of the Chinese Geophysical Society (69)
- The Progresses and Perspectives of High - T and High - P Experimental Study
in China *Ji Zhen - min* (81)

Review and Prospect on Lithospheric Structure Study in China	
.....	Wang Chun - yong (109)
Advances and Prospects of Geophysical Research for China Geoscience Transects	
.....	Wu Gong - jian (120)
Review and Prospects for Geophysical Study of the Deep Lithosphere Structure and Tectonics in Qinghai—Xizang (Tibet) Plateau	
.....	Teng Ji - wen Xiong Shao - bai Zhang Zhong - jie (139)
The Progress of Deep Profiling Study in Himalaya and Qinghai—Xizang (Tibet) Plateau	
.....	Zhao Wen - jin Huang Li - yan Xiong Jia - yu (152)
The Rock Strata of South China and Continental Dynamics	
.....	Xie Dou - ke Mao Jian - ren Peng Wei - zhen Zhao Yu Jiang Yue - hua (163)
Research in Physics of Earthquake Source in China in the Turn of the Centuries	
.....	Chen Yun - tai Wu Zhong - liang Li Shi - yu (176)
Development of Engineering Seismology in China	
.....	Liao Zhen - peng Zheng Tian - yu (191)
Development of the Studies on Geodetic Gravity and Earth Tides in China	
.....	Xu Ho - ze Zhang Ci - jun (205)
New Development of Magnetotelluric Sounding in China	
.....	Wang Jia - ying (216)
Advances on Geomagnetic Observations and Studies in China	
.....	Xu Wen - yao (230)
The Review and Prospect of Paleomagnetic Studies in China	
.....	Liu Chun Ma Xing - hua Yang Zhen - yu (237)
Progress in the Study of Weak Magnetic Measurement in China	
.....	Ding Hong - jia Liu Shi - jie (248)
Review and Prospect on Geothermal Studies in China in Recent Years	
.....	Wang Ji - yang (256)

Exploration Geophysics

Progress in Research on Seismic Prospecting	Wang Miao - yue (265)
---	-----------------------

Theory, Practice and Application of Ultrasonic Seismic Modeling Experiment in China

... *Sun Jin - zhong Guo Tie - shuan Tang Wen - bang Zhao Hong - ru* (274)

Application of some Modern Information Processing and Computer Network Techniques

in Exploration Geophysics

..... *Zhang Xue - gong Li Yan - da Sheng Shuo* (291)

Development and Prospect of Gravity Prospecting in China

..... *Wang Mao - ji Cai Xin Tu Cheng - lin* (298)

Researches and Progresses of Magnetic Prospecting in China *Guan Zhi - ning* (307)

Development and Prospect of Electrical Prospecting Method *He Ji - shan* (316)

Several New Advances in Nuclear Geophysical Exploration in China

..... *Wu Hui - shan Tan Cheng - long* (325)

Present Conditions About Reservoir Geophysics in China and the Thinking in

This Area *Li You - ming Wu Yong - gang* (332)

Present Situation and Tendency of Research on Well Logging in China

..... *Li Zhou - bo Chu Ze - han* (343)

Prospect and Development for Petroleum Well Logging Science in China

..... *Tan Ting - dong* (350)

A Review and Prospects for the Geophysical Exploration on Metallic and Nonmetallic

Deposits in China *Sun Wen - ke Wang Ji - lun*

Qi Wen - xiu Zhao Ting - ye Wang Yu - he Wu Hai - cheng (361)

Review and Prospect of Coal Geophysical Technology in China

..... *Sun Wen - tao Fang Zheng* (368)

Review and Prospect of the fields of Hydrology, Engineering and Environmental Geophysics

in China *Committee of Underground Water and Engineering Geophysical*

Exploration, Commission on Exploration Geophysics, Chinese Geophysical Society (378)

Development of Archaeogeophysics in China

..... *Jiang Hong - yao Zhang Li - min* (385)

Disaster Prediction and Environmental Geophysics

Earthquake Prediction Research and Its Prospect	
..... <i>Chen Qi - fu Chen Yong Li Juan Chan Luang - shan</i>	(395)
Development in Earthquake Prediction Research During the Last Decade in China and Its Prospects	<i>Zhang Guo - min Li Li Jiao Ming - ruo</i> (410)
Comprehensive Geophysical Study on Natural Disaster Predictions in China	
..... <i>Guo Zeng - jian</i>	(419)
Solar - Terrestrial Hydrology and Disaster Prediction	<i>Wang Yong - quan</i> (428)
Space Environment Research in China	<i>Ye Zong - hai Du Heng</i> (441)
Environmental Problems and Environmental Geophysics in China	
..... <i>Committee of Environmental Geophysics of Chinese Geophysical Society</i>	(449)

Acta Geophysica Sinica

Discussion on the Development of Acta Geophysica Sinica on the Basis Bibliometrics Analysis	<i>Sun Qun Hong Ming - hua Wang Hai - ying</i> (460)
--	--

我国近年来太阳大气和行星际 动力学研究的进展*

胡友秋

(中国科学技术大学地球和空间科学系, 合肥 230026)

摘 要

分七个方面扼要评述我国太阳大气和行星际动力学领域的近期成果: (1) 耀斑的储能和释能; (2) 日冕物质抛射; (3) 行星际准定态结构; (4) 行星际扰动和激波传播; (5) 太阳风中的阿尔文起伏; (6) 太阳宇宙线的传播; (7) 磁流体 (MHD) 计算方法设计。

关键词 太阳大气, 行星际物理。

1 引 言

我国太阳大气和行星际动力学研究取得了长足进展。在理论研究方面, 就耀斑的储能和释能、日冕物质抛射、行星际准定态结构、行星际扰动和激波传播、太阳风中的阿尔文起伏、太阳宇宙线的传播、磁流体 (MHD) 计算方法设计等方面, 进行了深入系统的研究, 取得大量成果。在观测研究方面, 长期积累的地磁和地面宇宙线记录, 为行星际扰动和地球物理效应的相关研究积累了珍贵资料。我国已成为国际日地能量计划中“行星际瞬变过程和太阳的联系”即 SOLTIP 委员会的成员, 并将太阳大气和行星际动力学列入“太阳 22 周峰年整体行为研究”和“日地能传输过程研究”等我国相继组织的重大科研项目之中, 与国际同类研究计划相呼应。

对于我国在太阳大气和行星际动力学研究领域的进展, 一些综述文章^[1-5]和学术专著^[6]进行了详细总结。因篇幅所限, 本文只就上述领域的近期进展作扼要说明。

2 耀斑的储能和释能

耀斑是发生在太阳大气中的一种激烈的爆发现象, 一次耀斑在不到一小时内释放高达 10^{25} J 的能量, 对日地环境产生重要影响。耀斑研究的核心是磁能的储存和释放机制。我国学者对储能过程进行了数值模拟^[7,8], 证明光球层运动可以有效地向日冕输送磁自由能。胡友秋在综述以往耀斑理论模型的基础上指出, 单纯的电流片模型和单纯的无力场模型分别在储能和释能方面碰到困难, 提出“无力场-电流片模型”^[9]和“触发式释能

* 国家自然科学基金资助。

本文 1997 年 3 月 18 日收到。

模型”^[10]. 这些模型均用数值模拟做过验证^[11,12].

3 日冕物质抛射

日冕物质抛射 (CME) 是 70 年代初发现的一种重要的太阳活动现象. 一次 CME 事件释放 10^{12} — 10^{13} kg 物质和与一次耀斑相当的能量. 截至目前为止, 研究工作集中在环形 CME 事件, 焦点在于解释这类事件的驱动机制和动力学特征. 胡友秋提出由磁场驱动 CME 的观点, 并对此进行了解析研究^[13]和数值模拟^[14], 有关模拟结果重现了 CME 特有的“前兆—亮环—暗区—日珥”四区结构. 在以上模拟中, 初始大气被设为磁静平衡态, 未计入太阳风的影响. 郭伟平等^[15]进一步考虑了背景日冕和驱动机制对形成 CME 的影响, 指出取具太阳风的冕流作为背景, 较之静态日冕来说模拟结果更接近观测事实; 磁驱动机制比热驱动机制对 CME 的形成更为有效. 章公亮和王赤^[16]在冕流一侧引入反极性磁场喷发, 模拟出非对称新月状 CME 事件, 同时指出采用热驱动或同向磁场喷发无法得到类似结果. 大多数 CME 的物质抛射速度界于背景大气声速和阿尔文波速之间, 这有利于慢激波的形成. 胡友秋等对伴随 CME 形成的慢激波—快磁声波系统^[14]及其混合激波的演化^[17]做了数值研究.

4 行星际准定态结构

空间飞船的直接观测和行星际闪烁 (IPS) 观测为研究行星际动力学结构提供了丰富的资料. 根据对这些资料的初步分析, 人们意识到: 在太阳活动极小和下降年份, 太阳风和行星际磁场存在相对较为简单和稳定的、随太阳共转的准定常结构. 赵学溥等^[18,19]首先注意到日球电流片与太阳风定常共转结构的密切关系, 指出若相对电流片组织资料, 则风速、密度和温度可表为离电流片的纬距的简单函数. 魏奉思等^[20,21]对太阳风的质量、动量和动能流量在某一参考层 ($r=2R_s-2.5R_s$, r 为日心距离, R_s 为太阳半径) 上的二维平面分布进行了统计分析, 推断太阳表面存在极冕区、强磁场区和电流片三种性质不同的太阳风源区. 为澄清太阳活动上升和极大年份是否存在类似的共转结构, 章公亮等^[22]对第 20 周有关日球物理参数的共转变化进行了统计分析, 发现太阳活动极大年份同样存在共转结构. 在地球观测者看来, 行星际共转结构表现为一种时变扰动, 从而诱发相关的地磁扰动. 据此, 章公亮等^[23-27]提出一种利用地磁资料反推行星际共转变化的方法, 并给出了分析结果. 他们的主要结论是: 共转变化具有相当稳定的双峰卡林顿经度分布; 两峰位置逆太阳自转方向漂移, 最终导致奇数周与偶数周的双峰结构反相; 上述漂移与极区冕洞的赤道伸展的经度的移动同步, 且共转变化与冕洞寿命有关.

对定态太阳风的理论研究方面, 多数作者采用磁流体力学近似. 通过采用一维流体力学模型, 就局部地区动量和能量附加对太阳风的加速^[28]和带驻激波的太阳风解^[29]进行了研究. 关于太阳风的二维定态结构的解析研究^[30]和数值模拟^[31-33]也取得一定进展.

5 行星际扰动和激波传播

在太阳风准定结构上,还叠加有各类瞬变结构.它们起源于太阳,并在行星际空间的传播过程中不断演化,形成激波一类强间断.对扰动和激波传播规律的研究,一直是行星际动力学的重要组成部分.

耀斑激波被认为在太阳附近就业已形成并充分发展,研究重点放在它在行星际空间的传播规律方面.我国学者对飞船观测、IPS数据和地磁、宇宙线资料进行了统计分析,揭示出耀斑激波的各向异性传播规律.章公亮^[34]指出耀斑引起的行星际扰动和地磁效应不仅依赖于耀斑日面位置,具东西不对称性,而且与光学耀斑的持续时间和亮度密切相关.魏奉思^[35,36]进一步探讨了耀斑扰动和耀斑位置的关系,提出耀斑激波非对称传播的物理模型:最快传播方向于经度上趋向于行星际螺旋磁场一边,纬度上朝日球电流片偏转;地球与耀斑位于日球电流片同侧时,将观测到较强的地球物理效应.刘绍亮等^[37]针对1991年3月22日事件的多飞船记录,分析了耀斑激波在黄道面内的非对称传播特性,得到类似的结论.

对耀斑激波的数值模拟限于赤道面或子午面内的二维问题.孙炜等^[38]采用粒子运动学方法,分析了高速流共转相互作用区和耀斑激波的相互作用.基于二维MHD模型,对磁盘-电流片位形中耀斑激波的传播^[39]和行星际螺旋磁场中耀斑激波的相互作用^[40-42]分别进行了数值研究.

被认为源于日冕物质抛射的磁云,属于一种典型的瞬变结构.章公亮从飞船实测资料出发,对磁云结构和地磁效应、磁云与太阳风的作用进行了细致分析.磁云由高温高密度前导区、高阿尔文波速和低气压磁压比的磁云本体以及后随密度增强区构成,与环形CME事件的特征结构对应^[43].按磁云本体内磁场旋转的方式,将磁云分为正、负两类,二者有着截然不同的地磁效应^[44,45].章公亮等^[46]还给出了磁云与高速流作用的观测实例.何双华等^[48]对磁云在行星空间的演化以及胡友秋等^[47]对磁云-高速流相互作用分别进行了数值研究.

空间观测提供了内日球中存在慢激波的证据,这激发了人们对行星际慢激波的研究兴趣.一纯速度增幅扰动在行星际空间会发展成为由快、慢激波对组成的双重激波对^[49],不过实际的高速流形成的慢激波很弱^[50].对慢激波在行星际空间的演化研究表明,慢激波通过向上游发出快压缩波而不断衰减,并逐渐蜕变为准切向间断^[51].对内日球存在中间激波和混合激波的可能性^[52]以及激波对外日球的加热^[53,33]也进行了有益探讨.我国学者还就磁流体激波的基本特性及其在非均匀介质中的传播和相互作用规律做过深入研究^[5].

6 太阳风中的阿尔文起伏

在准定常太阳风中,等离子体的速度和磁场存在较大的起伏.这两个量的起伏常常高度相关,表现出阿尔文波特性,故被称为阿尔文起伏.通过分析起伏场和背景场的相互作用,可以了解起伏自身的规律及其对大尺度太阳风的加热和加速作用.

阿尔文起伏既不是通常的湍流,也不是通常的波动,而是兼备湍流和波动的双重特性. 对这种起伏不能简单地用等离子体弱湍动理论或逐级近似(WKB)方法来描述,需要探索新的理论方法. 涂传诒^[54,55]从 MHD 方程出发,导出了阿尔文起伏的控制方程,并建立了包括能量串级传输的谱方程. 在此基础上,涂传诒等^[56,57]提出了阿尔文起伏的波能串级理论. 该理论假设阿尔文起伏由向外传播和向内传播的 MHD 阿尔文波组成,前者远强于后者,二者的非线性相互作用导致波能向高频串级. 从这一理论出发,既可以根据观测的太阳风性质计算起伏谱的径向变化,又可以反过来根据观测的起伏谱的径向变化计算质子温度的径向变化,有关结果与观测吻合^[56,58,59]. 通过联立求解谱方程和太阳风方程,同时确定了太阳风和起伏谱的径向演化,与观测基本一致^[60,61]. 在这些研究中,向内传播和向外传播的阿尔文波的能量密度比 α (或交叉螺度 $\sigma = (1 - \alpha)/(1 + \alpha)$) 取为常数,而观测表明 α 或 σ 值与日心距离和频率有关. 为此,涂传诒等将谱方程推广,以同时反映向内和向外传播的阿尔文波的演化^[62,63];并在此基础上证明磁场结构和阿尔文波的混合发展可以解释交叉螺度的径向变化^[64]. 基于飞船观测资料,涂传诒等还就交叉螺度的起伏谱的演化,以及温度、密度、气压、磁场幅度和电场的起伏形态进行了系统分析,详细结果及文献可参见长篇综述 [65]. 宋礼庭等^[66,67]认为阿尔文起伏是由动力论阿尔文波的集合形成的湍流,且动力论阿尔文波还会经非线性变陡产生激波,从而作为行星际中间激波的一种形成机制^[68].

7 太阳宇宙线的传播

太阳宇宙线在行星际空间的传播包括在随机磁场中的扩散及随太阳风对流这两种主要过程. 章公亮^[69,70]运用量纲分析法,获得脉冲点源在球对称无限均匀运动介质中二维时变对流扩散方程的解析解. 从该解出发,分析了太阳宇宙线的传播效应及其对地球轨道附近太阳宇宙线事件的峰值强度、达到峰值的时间、能谱形式和氢氦丰度比的影响^[71-73],有关结果较好地解释了太阳宇宙线事件关于耀斑日面位置的东西不对称性,并为事件的传播效应改正提供了理论依据.

8 MHD 计算方法设计

针对物理问题的特点设计有效的计算方法,是我国开展太阳大气和行星际动力学数值模拟研究的一个重要特色. 我国学者曾先后设计出处理多维时变 MHD 流动的全隐欧拉格式^[74-76]、多步隐格式^[77]和组合格式^[78],处理一维多成分太阳风的组合格式^[29]和全隐格式^[79],以及一维时变激波和二维定态激波的装配格式^[49,33]. 这些格式行之有效,在数值模拟研究中发挥了重要作用.

9 今后发展

在上述扼要提及的研究成果当中,相当部分属于资料分析工作. 这些工作在物理思想

和分析方法两个方面均有所突破。在理论研究方面,国内学者围绕国际前沿若干关键科学问题,坚持不懈地进行深入研究,提出创新见解,逐步得到国际同行的认可和重视。我国从80年代初着手太阳大气和行星际动力学的数值模拟研究,坚持走资料分析、解析研究和数值模拟相结合以及建模和算法设计相结合的道路,所取得的成果令国际同行刮目相看。

下面就近期我国太阳大气和行星际动力学研究的重点领域提出几点看法:

(1) 日冕大气的物理结构和动力学过程,重点放在太阳风和高能粒子的加速与主要太阳活动现象的动力学行为两个方面。

(2) 行星际定态太阳风结构,包括太阳风的物理过程和三维空间结构。

(3) 太阳风不同时、空尺度现象的内在规律和相互作用,着重解决太阳风的延伸加热与加速机制。

(4) 行星际扰动和激波传播规律,探讨耀斑激波各向异性传播机制,研究日冕物质抛射和爆发日珥的行星际效应;在此基础上,建立和优化近地空间环境预报的数学模型。

(5) 计算方法研究,不断提高MHD模拟处理陡变流场和激波间断的能力,同时着手粒子模拟和粒子-流体混合模拟及相应计算方法的研究。

参 考 文 献

- [1] 章公亮,太阳风和行星际磁场,见: IUGG 中国委员会,国际大地测量和地球物理学联合会中国委员会国家报告,北京:气象出版社,150—153,1991.
- [2] 王 宁、邓兴嘉、刘传薪等,地磁与高空物理研究进展,地球物理学报,31(专辑):17—42,1988.
- [3] 赵学博,中国日球物理研究进展,地球物理学报,31(专辑):43—55,1988.
- [4] 王 水、胡友秋,太阳大气动力学的数值研究,地球物理学报,37(增刊1):27—34,1994.
- [5] 胡友秋,行星际物理,见:胡文瑞等编,中国空间科学进展,北京:科学出版社,100—137,1995.
- [6] 涂传诒,日地空间物理学(行星际与磁层),北京:科学出版社,1988.
- [7] Wu, S. T., Hu Youqiu, Krall, K. R. et al., Modeling of energy build up for a flare-productive region, *Solar Phys.*, 90: 117—131, 1984.
- [8] Hu Youqiu, Wang Jingxiu, Ai Guoxiang et al., Magnetic energy build up in a quadrupolar field by photospheric shear motion, *Solar Phys.*, 159: 251—263, 1995.
- [9] Hu Youqiu, Magnetic energy storage and release - theory, *J. Geomag. Geoelectr.*, 43(增刊): 11—21, 1991.
- [10] Hu Youqiu, Quadrupolar force free magnetic fields with singular current density surfaces, *Astrophys. J.*, 454: 480—485, 1995.
- [11] 李 醒、胡友秋,无力场的触发重联与太阳耀斑,空间科学学报,12: 185—191, 1992.
- [12] Hu Youqiu, Li Xing, Ai Guoxiang, Triggered magnetic energy release in solar flares, *Astrophys. J.*, 451: 843—850, 1995.
- [13] 胡友秋,太阳表面新磁通量的喷发和环形日冕瞬变,中国科学(A辑),28: 928—936, 1985.
- [14] 胡友秋、祝中伟、Hundhausen, A. J. et al., 日冕开放磁场中的慢激波,中国科学(A辑),31: 1178—1186, 1989.
- [15] 郭伟平、王敬芳、王力隆,日冕物质抛射的数值研究——初态日冕和驱动机制的影响,地球物理学报,36: 269—276, 1993.
- [16] Zhang Gongliang, Wang Chi, An asymmetrical coronal mass ejection driven by magnetic flux emergence, *Adv. Space Res.*, 13(9): 59—62, 1993.

- [17] 胡友秋、王 赤、郑惠南, 磁通量爆发的大气响应: 3. 太阳附近的激波演化, 天体物理学报, 12: 54—61, 1992.
- [18] Zhao Xuepu, Huandhausen, A. J., Organization of solar wind plasma properties in a titled heliomagnetic coordinate system, *J. Geophys. Res.*, 86: 5423—5430, 1981.
- [19] Zhao Xuepu, Huandhausen, A. J., Spatial structure of solar wind in 1976, *J. Geophys. Res.*, 88: 451—460, 1983.
- [20] 魏奉思、蔡红吕, 太阳风等离子体输出流量的全日面二维结构, 中国科学 (A 辑), 36: 1105—1111, 1993.
- [21] 卢 红、魏奉思、周清军等, 太阳风等离子体速度的源表面二维结构, 空间科学学报, 17: 20—24, 1997.
- [22] 章公亮、高玉芬、陆 晨等, 日球参数的卡林顿共转变化 (II) ——在第 20 太阳活动周中的演变, 空间科学学报, 6: 123—129, 1986.
- [23] 章公亮、徐元芳、高玉芬等, 日球磁参数与太阳活动, 中国科学 (A 辑), 28: 759—765, 1985.
- [24] 章公亮、高玉芬、陆 晨等, 太阳活动极小时期地磁共转扰动的似稳结构——第 13 至第 20 太阳活动周, 中国科学 (A 辑), 29: 882—888, 1986.
- [25] Zhang Gongliang, Gao Yufen, Lu Chen, et al., Quasi-steady corotating structure of interplanetary geomagnetic disturbances: A survey of solar cycles 13—20, *J. Geophys. Res.*, 94: 1235—1244, 1989.
- [26] 章公亮、高玉芬、周荣茂, 日地共转扰动似稳结构及其反相和漂移规律的最新证据, 空间科学学报, 15: 85—89, 1995.
- [27] Zhang Gongliang, Gao Yufen, Longitudinal structure of quasi-steady equatorial coronal holes near solar minima and their phase reversal, *Adv. Space Res.*, 14 (4): 77—80, 1994.
- [28] Hu Wenrui, The influence of momentum addition on the acceleration of the solar and stellar winds, *Astrophys. Space Sci.*, 98: 171—189, 1984.
- [29] Habbal, S. R., Hu Youqiu, Esser, R., Standing shocks in a two fluid solar wind, *J. Geophys. Res.*, 99: 8465—8478, 1994.
- [30] Hu Youqiu, Low, B. C., Steady hydrodynamic flows in open magnetic fields: 3. Allowing for variations of density with latitude and non-alignment of velocity with magnetic field, *Astrophys. J.*, 342: 1049—1060, 1989.
- [31] 郭伟平、王敬芳、姚永耀等, 子午面太阳风结构及其对日冕抛射物运动的影响, 空间科学学报, 11: 168—175, 1991.
- [32] 张剑虹、魏奉思, 日球子午面内背景太阳风流场和磁场的相互作用, 中国科学 (A 辑), 36: 427—436, 1993.
- [33] Hu Youqiu, Evolution of corotating stream structures in the heliospheric equatorial plane, *J. Geophys. Res.*, 98: 13201—13214, 1993.
- [34] 章公亮, 太阳耀斑引起的日球和地磁扰动, 中国科学 (A 辑), 27: 254—262, 1984.
- [35] 魏奉思, 关于耀斑—激波非对称传播的统计研究, 中国科学 (A 辑), 30: 186—193, 1987.
- [36] Wei Fengsi, Dryer, M., Propagation of solar flare-associated interplanetary shock waves in the heliospheric meridional plane, *Solar Phys.*, 132: 373—394, 1991.
- [37] 刘绍亮、胡小龙、刘四清, 1991 年 3 月 22 日耀斑激波的传播特性, 地球物理学报, 39: 289—295, 1996.
- [38] Sun Wei, Akasofu, S. I., Smith, Z. et al., Calibration of the kinetic method of studying solar wind disturbances on the basis of a one-dimensional MHD solution and a simulation study of the heliosphere disturbances between 22 November and 6 December 1977, *Planet. Space Sci.*, 33: 933—943, 1985.
- [39] 刘航宇、魏奉思、张剑虹, 激波在磁盘—电流片位场中的传播: (I) 激波与磁盘间的相互作用, 地球物理学报, 38: 413—419, 1995.
- [40] 顾惠成、魏奉思、吕建永, 太阳耀斑行星际激波传播中的追赶效应, 空间科学学报, 12: 249—257, 1992.
- [41] 吕建永、魏奉思、顾惠成, 黄道面内行星际激波相互碰撞作用过程研究——能量效应, 空间科学学报, 12: 258—269, 1992.
- [42] 吕建永、魏奉思、顾惠成, 黄道面内行星际激波相互碰撞作用过程研究——间距效应, 空间科学学报, 13: 90—97, 1993.
- [43] 章公亮, 简单强磁云的结构特征, 空间科学学报, 8: 261—274, 1988.

- [44] Zhang Gongliang, Burlaga, L. F., Magnetic clouds, geomagnetic disturbances, and cosmic ray decreases, *J. Geophys. Res.*, **93**: 2511—2518, 1988.
- [45] Zhang Gongliang, Geomagnetic storms categorized by varieties of interplanetary structures, *J. Atmo. Terres. Phys.*, **53**: 1055—1067, 1991.
- [46] 章公亮, 强磁云与共转高速流的相互作用两例, *空间科学学报*, **9**: 1—12, 1989.
- [47] 何双华、章公亮, 强磁场结构在行星际空间膨胀的数值模拟, *空间科学学报*, **13**: 165—173, 1993.
- [48] 胡友秋、陈健、章公亮, 磁云—高速流相互作用的数值模拟, *空间科学学报*, **17**: 7—12, 1997.
- [49] Hu Youqiu, Habbal, S. R., Double shock pairs in the solar wind, *J. Geophys. Res.*, **98**: 3551—3561, 1993.
- [50] 胡友秋、陈挺, 行星际高速流的演化, *地球物理学报*, **38**: 279—285, 1995.
- [51] 胡友秋, 行星际空间慢激波的演化, *地球物理学报*, **37**: 275—282, 1994.
- [52] 胡友秋, 行星际中间激波, *地球物理学报*, **34**: 397—403, 1991.
- [53] Whang, Y. C., Liu Shaoliang, Burlaga, L. F., Shock heating of the solar wind plasma, *J. Geophys. Res.*, **95**: 18769—18780, 1990.
- [54] 涂传诒, 行星际磁场脉动能谱随日心距离变化的模式, *地球物理学报*, **26**: 405—416, 1983.
- [55] 涂传诒, Alfvén 脉动的控制方程, *空间科学学报*, **3**: 269—279, 1983.
- [56] Tu Chuanyi, Pu Zuyin, Wei Fengsi, The power spectrum of interplanetary Alfvénic fluctuations: derivation of the governing equation and its solution, *J. Geophys. Res.*, **89**: 9695—9702, 1984.
- [57] Tu Chuanyi, Marsch, E., Thieme, K. M., Basic properties of solar wind MHD turbulence near 0.3 AU analyzed by means of Elsasser variables, *J. Geophys. Res.*, **94**: 11739—11760, 1989.
- [58] Tu Chuanyi, Freeman, J. W., Lopez, R. E., The proton temperature and the total hourly variance of the magnetic field components in different solar wind regions, *Solar Phys.*, **119**: 197—206, 1989.
- [59] Tu Chuanyi, The damping of interplanetary Alfvénic fluctuations and the heating of the solar wind, *J. Geophys. Res.*, **93**: 7—20, 1988.
- [60] Tu Chuanyi, A solar wind model with the power spectrum of Alfvénic fluctuations, *Solar Phys.*, **109**: 149—186, 1987.
- [61] 卢先和、涂传诒, Alfvén 脉动串联加热加速太阳风的二元流体模型, *地球物理学报*, **40**: 1—9, 1997.
- [62] Marsch, E., Tu Chuanyi, Dynamics of correlation functions with Elsasser variables for inhomogeneous MHD turbulence, *J. Plasma Phys.*, **41**: 479—491, 1989.
- [63] Tu Chuanyi, Marsch, E., Transfer equation for spectral densities of inhomogeneous MHD turbulence, *J. Plasma Phys.*, **44**: 103—121, 1990.
- [64] Tu Chuanyi, Marsch, E., A model of solar wind fluctuations with two components: Alfvén waves and convective structures, *J. Geophys. Res.*, **98**: 1257—1276, 1993.
- [65] Tu Chuanyi, Marsch, E., MHD structures, waves and turbulence in the solar wind: observations and theories, *Space Sci. Rev.*, **73**: 1—210, 1995.
- [66] 宋礼庭, 太阳风中动力论 Alfvén 波的衰减和湍流谱: (a) 朗道衰减, *空间科学学报*, **16**: 7—14, 1996.
- [67] 宋礼庭、魏奉思, 太阳风中动力论 Alfvén 波的衰减和湍流谱: (b) 二次激发, *空间科学学报*, **16**: 266—273, 1996.
- [68] 卢先和、宋礼庭、魏奉思, 太阳风中的动力论 Alfvén 激波, *空间科学学报*, **17**: 14—19, 1997.
- [69] 章公亮, 太阳宇宙线传播方程的量纲分析解, *中国科学 (A 辑)*, **22**: 818—826, 1979.
- [70] 章公亮, 宇宙线扩散对流函数, *中国科学 (A 辑)*, **25**: 541—552, 1982.
- [71] 章公亮, 太阳宇宙线的传播效应, *高能物理与核物理*, **2**: 386—393, 1978.
- [72] 章公亮, 太阳宇宙线的传播效应 (II) ——峰值谱的传播改正, *空间科学学报*, **1**: 31—40, 1981.
- [73] 章公亮, 太阳宇宙线的传播效应 (III) ——对氦氢比的影响, *天体物理学报*, **2**: 202—207, 1982.
- [74] Hu Youqiu, Wu, S. T., A Full-Implicit-Continuous-Eulerian (FICE) scheme for multi-dimensional transient magnetohydrodynamic (MHD) flows, *J. Comput. Phys.*, **55**: 33—64, 1984.

- [75] 王 水、胡友秋、吴式灿, 欧拉全隐格式在球坐标下的推广和应用, 中国科学 (A 辑), 25: 929—940, 1982.
- [76] Wu, S. T., Wang Jing-fang, Numerical tests of a modified full implicit continuous Eulerian (FICE) scheme with projected normal characteristic boundary conditions, *Comp. Meth. App. Mech. Engr.*, 64: 267—282, 1987.
- [77] Hu Youqiu, A multistep implicit scheme for time-dependent 2-dimensional magnetohydrodynamic flows, *J. Comput. Phys.*, 84: 441—460, 1989.
- [78] 王敬芳、姜新英、熊东辉, 五矩二流太阳风等离子体特性的数值研究, 地球物理学报, 33: 259—266, 1990.
- [79] Hu Youqiu, Esser, R., Habbal, S. R., A fast solar wind with anisotropic proton temperature, *J. Geophys. Res.*, 1997 (in press).

RECENT PROGRESS OF RESEARCH ON DYNAMICS OF SOLAR ATMOSPHERE AND INTERPLANETARY MEDIUM IN CHINA

HU YOU-QIU

(Department of Earth and Space Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

Abstract

Latest achievements in the field of dynamics of solar atmosphere and interplanetary medium are briefly surveyed in terms of the following seven topics: (1) Energy storage and release in solar flares, (2) Coronal mass ejections, (3) Interplanetary quasi-steady structures, (4) Propagation of interplanetary disturbances and shocks, (5) Alfvénic fluctuations in the solar wind, (6) Propagation of solar cosmic rays, and (7) Design of MHD numerical methods.

Key words Solar atmosphere, Interplanetary dynamics.

作者简介 胡友秋, 男, 生于 1942 年 9 月, 教授, 博士生导师。从事太阳和行星际物理研究。

我国磁层物理研究的进展和展望*

刘振兴

濮祖荫

(中国科学院空间科学与应用研究中心, 北京 100080)

(北京大学地球物理系, 北京 100871)

摘 要

在我国空间科学的开拓者赵九章教授的倡导下, 1959年我国开始开展磁层物理研究工作. 70年代中期以后, 经过20多年的努力, 我国磁层物理研究有了很大进展, 现已具备重点发展和重点突破的条件. 本文在文献[1—3]综述的基础上, 对近年来我国在磁层物理若干领域内的主要成果进行了补充评述, 并对21世纪初我国磁层物理学的发展提出若干建议.

关键词 磁层, 磁层顶, 磁尾, 磁重联, 磁层亚暴, 磁层动力学, 磁暴, 辐射带, 磁层波动.

1 引 言

地球磁层是地球空间的最外层, 太阳风通过与磁层的相互作用将能量输入地球空间. 磁层扰动是引起卫星故障的重要原因; 磁层又是天然的宇宙等离子体实验室. 其他行星也有磁层. 磁层物理学研究有重大的科学和实用意义.

1958年地球辐射带发现不久, 我国空间科学的开拓者赵九章教授高瞻远瞩, 立即倡导在我国开展空间物理和空间科学的研究工作. 他先组建了理论研究组和模拟实验室, 主持磁暴理论、辐射带结构和太阳风—磁层作用的研究; 接着又组建了高空磁场探测组和空间粒子辐射探测组, 筹备我国第一颗人造卫星的研制工作, 我国磁层物理研究迈出了第一步. 70年代中期以后, 20多年来通过原中国科学院空间物理研究所实施的“太阳风—磁层—电离层—高层大气耦合”院重点项目(1982—1986年)和中国科学院组织的“八五”重大项目“太阳22周峰年日地系统整体行为研究”(1986—1990年), 特别是在国家自然科学基金委员会一般项目“八五”重大项目“日地系统能量传输过程研究”(1993—1997年)的支持下, 我国磁层物理学研究有了很大进展. 1979年和1994年朱岗崑教授^[1]和刘振兴、濮祖荫^[2]曾就我国磁层物理研究进展分别撰写过评述; 徐文耀^[3]也曾对我国地磁学研究成果作过概括. 在纪念中国地球物理学会成立50周年之际, 本文在以上评述的基础上再进行补充评述并展望. 关于空间探测和地磁学研究将有专文论述.

2 磁层顶物理学和太阳风—磁层相互作用

2.1 磁层顶瞬时磁重联过程研究

磁重联是导致等离子体能量传输、转化和磁场形态改变的重要过程. ISEE 1/2 卫星

* 国家自然科学基金资助的课题.
本文1997年7月18日收到.