

国家安全地球物理丛书（六）

空间地球物理环境 与国家安全

刘代志 主编



中国地球物理学会国家安全地球物理专业委员会
陕西省地球物理学会军事地球物理专业委员会

编

西安地图出版社

国家安全地球物理丛书（六）

空间地球物理环境与国家安全

刘代志 主编

中国地球物理学会国家安全地球物理专业委员会
陕西省地球物理学会军事地球物理专业委员会

编

西安地图出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

空间地球物理环境与国家安全/刘代志主编. —西安: 西安地图出版社, 2010. 10

ISBN 978-7-80748-635-0

I. ①空… II. ①刘… III. ①空间物理学: 地球物理学—物理环境 IV. ①P3②X14

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 196801 号

著作人及著作方式: 刘代志 主编

责任编辑: 左 霞

书 名: 空间地球物理环境与国家安全

出版发行: 西安地图出版社

地址邮编: 西安市友谊东路 334 号 710054

印 刷: 西安地质矿产研究所印刷厂

规格开本: 787×1092 毫米·1/16

印 张: 17

字 数: 451 千字

印 数: 001—500

版 次: 2010 年 10 月第 1 版 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-80748-635-0

定 价: 60.00 元

《国家安全地球物理丛书（六）》编委会

主 编：刘代志

副 主 编：李夕海 王仕成

编 委：（以姓氏笔画为序）

王仕成 龙 凡 刘代志 刘怀山

刘志刚 杜爱民 李夕海 张金城

《国家安全地球物理丛书》编审委员会

顾 问：刘光鼎（院士） 何继善（院士） 刘振兴（院士）

许绍燮（院士） 魏奉思（院士） 游光荣（总工）

徐文耀（研究员）

主 任 委 员：刘代志

副主任委员：龙 凡 靳 平 王仕成 刘怀山

秘 书 长：李夕海

委 员：（以姓氏笔画为序）

王仕成 王晓航 龙 凡 边少锋 刘 刚 刘代志

刘光斌 刘怀山 刘志刚 刘 波 刘新学 孙中任

孙凤华 孙更文 孙新利 朱培民 杜爱民 李夕海

李艾华 李学正 吴时国 何 彬 余志勇 张全虎

张金生 张金城 陈 洁 查石祥 高增勇 郭有光

顾左文 徐白山 陶 勇 童思友 曾新吾 韩天成

韩吉民 靳 平 慕晓冬 滕云田

前 言

2005 年,在第二炮兵工程学院召开成立中国地球物理学会国家安全地球物理专业委员会和陕西省地球物理学会军事地球物理专业委员会暨首届国家安全与军事地球物理学术研讨会,至今已走过五年的战斗历程。2010 年金秋 10 月又将在第二炮兵工程学院召开第六届国家安全与军事地球物理学术研讨会,会议主题是“空间地球物理环境与国家安全”。

2009 年 10 月,我们在海军工程大学以“地球物理与海洋安全”为主题召开了第五届国家安全与军事地球物理学术研讨会(武汉)。会上,中国科学院空间科学与应用研究中心魏奉思院士作了《空间天气大灾害及应对》的大会报告。报告在阐述了超强空间风暴会给人类可能带来的灾害的前提下,就我国的空间天气与相应的国家安全体系建设提出了明确的规划。从 2009 年的哥本哈根会议到 2010 年世界各地的自然灾害,从普通百姓到科学家,人们议论最多的就是全球气候变化、“2012”预言,而这一切都是地球环境问题。所以,在 2009 年的武汉会议上,我们把 2010 年的会议主题定为“空间地球物理环境与国家安全”。

所谓地球物理环境(Geophysical Environment),是指地球各圈层结构及周边空间(主要指近地空间)的物理特性,以及所呈现出来的地球物理场(重力、磁力、电磁辐射、弹性波、地热等)。具体说来,地球物理环境包括:(1)空间环境(包括气象、空间天气等);(2)水环境(包括海洋环境、地表水与地下水等);(3)固体地球环境(包括地形地貌、地质构造);(4)各种环境形成的地球物理场,如重力、地

磁、电磁（包括电磁脉冲、大地电磁、辐射与反射特性）、放射性、弹性波、声波（包括次声、水声）。所以，空间地球物理环境主要包括地球周边的空间物理环境（大气层、电离层等）以及通过对空间物理环境作用而产生影响的固体地球物理场（地震、地磁、热辐射等）。

空间地球物理环境与国家安全密切相关，主要反映在变化的空间地球物理环境对通信、导航、大地测量等人类活动的影响和灾害性空间天气对各种空间飞行器及地面技术设施的影响等。2010年出版的论文集——《空间地球物理环境与国家安全》为国家安全地球物理丛书第六辑。本论文集收录论文42篇，内容主要包括：电离层模式、高层大气密度与GPS精密定位测量，极光粒子沉降、空间环境变化对气象与导弹作战的影响，临近空间环境探测、太阳风与地磁和导弹制导系统设计，地磁导航与变化磁场建模，地震、地磁与TEC异常探测，以及海洋环境监控、地震探测、阵地光谱研究，等等。

中国地球物理学会名誉理事长、中国科学院院士刘光鼎先生，多年来对本专业委员会的工作一直给予指导，中国地球物理学会领导给予了大力支持。本辑丛书的出版继续得到第二炮兵工程学院的资助，学院王耀鹏院长和科研部首长给予了有益的指导。

值此本辑丛书出版之际，谨向所有给予我们关心和支持的首长、专家和同志们表示衷心的感谢。同时，我们希望在领导、专家的指导和支持下，在各位同行专家的共同努力下，推进国家安全与军事地球物理学科全面、健康发展，让《国家安全地球物理丛书》内容丰富、水平更上一层楼。

刘代志

2010年8月30日

目 录

电离层模式化: IGGCAS 的近期研究	
..... 万卫星 任志鹏 乐新安 乐会军 刘立波 宁百齐 (1)	
南京航空航天大学空间环境领域的学科发展	魏志勇 (8)
天罗地网——构筑中国海地球物理场监控体系	陈 洁 刘光鼎 (11)
极光粒子沉降研究简介	郑 玲 傅绥燕 (22)
基于多基准站改正信息和电离层区域模型改正的实时单频精密单点定位算法	
..... 涂 锐 黄观文 张 勤 王 利 蒋光伟 (27)	
电离层预报模式及探测方法的比较	张金城 王京城 (37)
临近空间环境探测系统初步设计	石汉青 陶 勇 甘楚雄 (41)
汶川地震震前 TEC 异常的探讨	贺黎明 穆林森 徐白山 郝智坚 (47)
基于变化磁场和 TEC 扰动的磁暴识别与预测	刘代志 李义红 钱昌松 (53)
基于 CHAMP 卫星加速度计观测的高层大气密度研究	
..... 陈光明 符 养 徐寄遥 陈凤贵 (59)	
空间环境变化对低层大气气象环境影响研究进展	高 超 胡艳冰 陶 勇 (65)
位场解析延拓方法综述	曾小牛 李夕海 魏迎光 (74)
磁场测量技术的发展及其应用	范启雄 张金城 刘 菲 (81)
基于 ICP/ICCP 算法的地磁场匹配定位	陈励华 张金生 王仕成 乔玉坤 (86)
基于太阳风与地磁场关系的导弹制导系统设计	韩冬晓 蔡 平 龚新强 (92)
辅助导航地球变化磁场建模研究	易世华 刘代志 李夕海 齐 玮 何元磊 (96)
东北地区 IGRF 与实测数据趋势分析场差别原因的分析	孙中任 赵雪娟 (101)
空间环境对导弹部队作战的影响及对策研究	赵 芳 郭 军 (106)
地球空间环境要素可视化技术研究	范启雄 张金城 周家丹 (112)
空间天气灾害对卫星通信的影响	田海南 贾维敏 杨慧杰 (117)
浅谈磁暴对导弹作战的影响	冯 军 李夕海 魏迎光 齐 玮 (124)
空间信息战战场环境探析	范启雄 张金城 (131)

支持向量机和 BP 神经网络模型在太阳黑子数预报中的对比分析	刘丹军 陶 勇 付伟基 王 俊 (135)
垂线偏差莫洛金斯基解的计算与拟合	刘新学 苗育红 郑晓龙 (141)
遥感信息技术在辽西地区水源侦察中的应用	龙 凡 韩天成 于德浩 (147)
海水气泡声波特征初步分析	王凤帆 刘怀山 (154)
第四系油气藏遥感探测技术研究	于德浩 关洪军 韩天成 (160)
小波变换在压制地震随机噪音中的应用	石太昆 童思友 张 进 刘怀山 (167)
基于 PCA—WT 的数据融合技术	于德浩 龙 凡 韩天成 宋长青 肖 辉 (173)
基于两点射线追踪的 VSP 模拟	张如一 刘怀山 王利杰 张为彪 王智进 (184)
楔形体储层地震波场模拟分析	万秀娟 刘怀山 (189)
地震子波分解与重构方法研究	邱 娜 陈海清 刘怀山 (195)
炸药震源近震源叠加属性研究	刘向坤 刘怀山 王利杰 李高林 张为彪 (200)
紫外技术在导弹预警中的应用	刘志刚 李夕海 张 伟 (206)
高精度陀螺仪的六位置自标定方案	王俊山 张金生 夏朝辉 (211)
基于三轴转台的导弹控制系统半实物仿真研究	曲 剑 张金生 刘志国 廖守亿 王仕成 (217)
无标定立体像对校正技术综述	李雪峰 刘志刚 王长海 (225)
一种新的高光谱图像有监督特征提取方法	刘 超 何元磊 黄世奇 刘志刚 王长海 (232)
太赫兹时域光谱在阵地安全管理中的应用	李喜来 李艾华 徐 军 白向峰 (240)
一种基于噪声调节主成分分析的高光谱图像波段选择方法	何元磊 黄世奇 易世华 刘志刚 齐 玮 (245)
一种任意初始状态下的惯组野外标定方案	杨 杰 杜 涛 王明昊 何 兵 吴 维 (251)
远区核爆电磁脉冲探测综述	祁树锋 李夕海 魏迎光 (256)

电离层模式化: IGGCAS 的近期研究

万卫星 任志鹏 乐新安 乐会军 刘立波 宁百齐

(中国科学院地质与地球物理研究所 北京 100029)

摘要 回顾了中国科学院地质与地球物理研究所(IGGCAS)电离层物理学科组近年来在电离层模式化方面的研究,主要包括电离层经验模式、电离层理论模式、电离层数据同化模式的工作,对下一步的相关研究进行了展望。

关键词 电离层模式化 经验模式 理论模式 数据同化

Modeling the Ionosphere: Research in IGGCAS

WAN Weixing, REN Zhipeng, YUE Xin'an, LE Huijun,

LIU Libo and NING Baiqi

(Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract: We overview the recent investigation on the ionospheric modelling by Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences (IGGCAS). The paper concerns the empirical and theoretical models, as well as the data assimilation of the ionosphere. The prospect view on this aspect is finally proposed.

Key words: ionospheric modeling; empirical model; theoretical model; data assimilation

1 引言

电离层模式化(Ionospheric Modeling)研究,是对电离层物理的基础研究成果和电离层环境的实验观测成果的总结。在实验观测与理论研究取得一定积累的基础上,通过对观测和研究成果的定量化总结,采用数值模拟、数理统计等方法,建立电离层中各种参量的模式或模型,以一定的时空分辨率描述一定时空范围内的电离层特性。基于电离层观测数据,采用数理统计方法建立的模式,称为电离层经验模式(Empirical Model)或统计模式(Statistical Model);基于电离层各种物理过程的数学描述,采用数值模拟方法建立的模式,称为电离层理论模式(Theoretical Model),也称物理模式(Physical Model, Physics-based Model)或第一原理模式(First Principle Model)。另外,结合上述两种模式化方法,还可以获得不同类型的电离层模式。例如,将理论模式的输出结果作为“观测数据”,采用经验模式的建模方法,可以建立所谓的参量化模式。此外,通过发展数据同化方法,将观测数据作为理论模式的“约束条件”建立的电离层数据同化模式(Data Assimilation)已初步在电离层研究与预报应用中显示出强大的生命力。

国际上的电离层模式化研究已有数十年历史^[1~3],并已建立了大量的几类电离层模式。国际上比较著名的电离层模式有:CTIM、FLIP、GTIM、SAMI2/3、SUPIM、TDIM、TIME—GCM等理论模式;IRI, NeQuick等经验模式;USC/JPL GAIM及USU GAIM等数据同化模式。国内也有多家单位(北大、武大、空间中心、电波所、22所、极地中心、武汉物理与数学所、地质与地球物理所)开展过电离层模式化研究。本文限于篇幅只介绍近年来中科

院地质与地球物理所 (IGGCAS) 的电离层模式化研究, 内容包括电离层经验模式、电离层理论模式、电离层数据同化模式, 以及对下一步工作的展望。

2 电离层经验模型

2.1 单站电离层经验模式

基于武汉电离层观象台的长期电离层观测数据, 先后建立了多种参量的武汉电离层经验模型, 包括电离层 TEC 模型^[4~5]foF2 模型^[6]、foE 模型^[7]。

2.2 中国地区电离层经验模型

利用中国及周边地区的电离层观测数据, 建立了基于统计本征模方法的中国电离层不同参量 (如 TEC、foF2、hmF2 等) 经验模型^[8]。

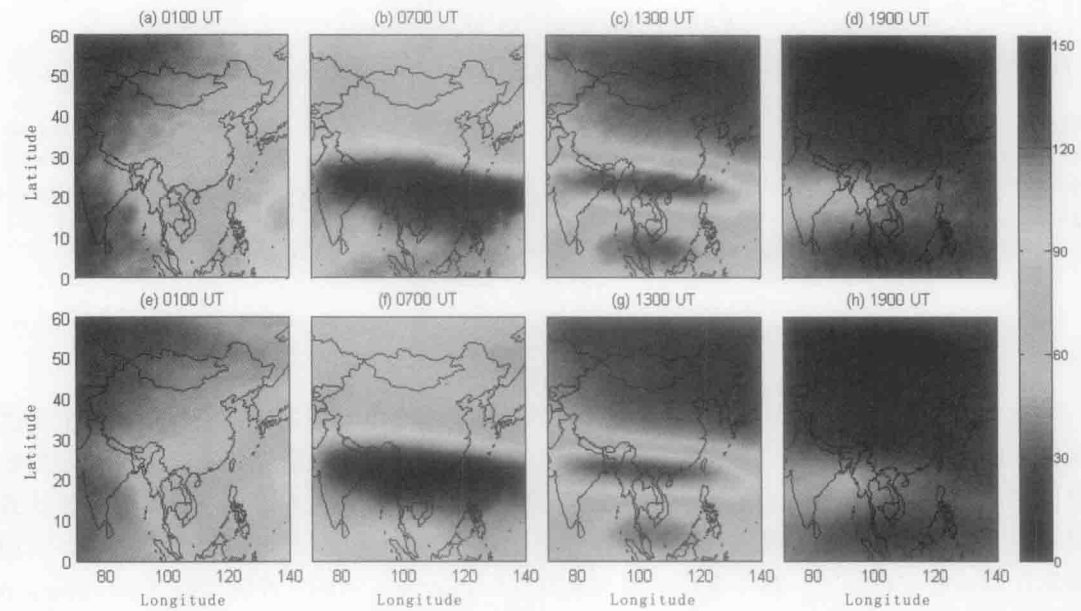


图 1 观测的中国地区 TEC (上) 和模式预测的 TEC (下) 之间的比较^[8]

2.3 全球电离层经验模型

利用全球 TEC、foF2 等观测资料, 分别建立了 TEC、M (3000) F2、hmF2 和 GEC 等参量的全球经验模型^[9~12]。

3 电离层/热层理论模式

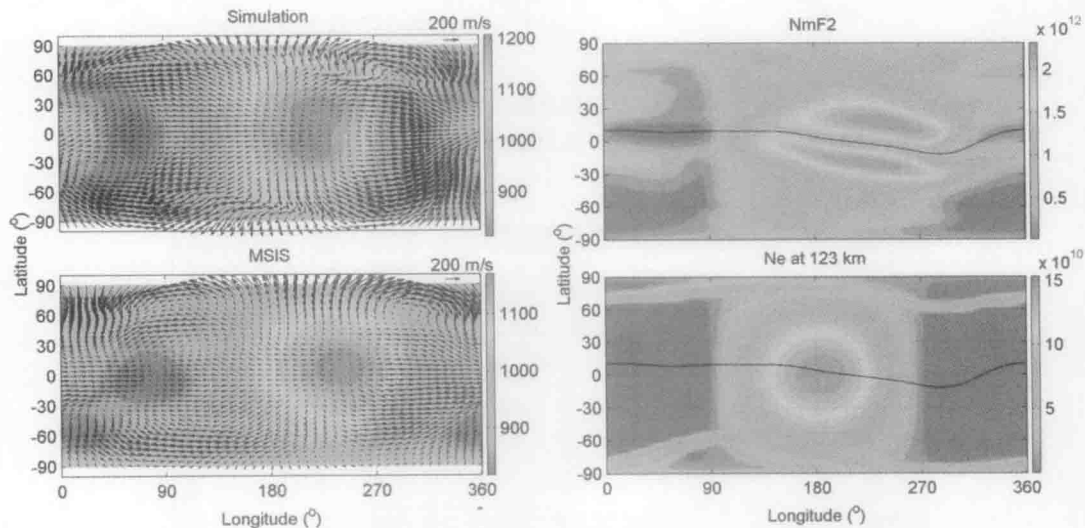
在张顺荣 (1995, 博士论文) 一维中纬电离层理论模式的基础上, Lei et al.^[13~15]进一步完善了该模式, 并模拟了电离层低过渡高度和电离层暴等问题。Le et al.^[16]利用该模式模拟了电离层的耀斑效应。谭辉等^[17]通过细化 E 区的化学、物理过程建立了一个电离层 E 区的精确模式。

刘立波等^[18]利用算子分裂算法发展了一个适用于赤道与低纬地区的二维电离层理论模式,并模拟了电离层的夜间增强现象^[19]、电离层日食效应^[20~22]及电离层赤道异常特性^[23,24]等物理问题。通过进一步发展磁通管跟踪与插值算法^[25],将该模式发展成一个新版本(TIME-IGGCAS 模式)。利用 TIME 模式, Yue et al.^[26,27]模拟了电离层峰高与电离层电场之间的关系及地磁场的变化引起的电离层长期变化。Le et al.^[28,29]利用该模式模拟了电离层的日食效应。

利用 MSIS00 和 IRI2000 作为输入参数,雷久侯等^[30]、Lei et al.^[31]建立了一个三维时变的热层风场理论模式,用于模拟电离层高度的中性风分布。

余涛等^[32]在偶极场下,建立了一个中低纬度电离层电场理论模式,并用来研究电离层的半年变化^[33,34]。Ren et al.^[35,36](2008)将该模式推广到真实地磁场模型下,发展了一个新版本的电场模式 TIDM-IGGCAS-II,并模拟了电离层的经度结构。

在我们已有电离层理论模式、电离层电场模式和热层风场模式的基础上,任志鹏等(2009)建立了一个三维的电离层/热层耦合模式,实现了几乎所有电离层和热层参数的同步自洽求解,并应用于一系列电离层/热层物理问题的模拟研究(图 2)。



(a) 理论模式 GCITEM-IGGCAS 预测的热层温度和风场全球分布(上)与经验模式(MSIS、HM)输出结果(下)的比较。

(b) 理论模式 GCITEM-IGGCAS 预测的电离层峰值电子浓度(上)和 E 区电子浓度(下)的全球分布(任志鹏等, 2009)

图 2

4 电离层数据同化

Lei et al.^[14~15]把张顺荣的一维电离层模式应用到电离层暴模拟中,利用暴时电离层观测估算了暴时的中性风场、中性成分、太阳辐射等电离层驱动源,并研究了这些控制参量对电离层的影响。Yue et al.^[37]采用一维电离层模式和集合卡尔曼滤波方法,研究了非相干散射雷达观测的数据同化问题。乐新安^[38]利用二维电离层模式和非线性最小二乘法进行了一个数据

同化试验，还对磁暴期间的电离层相应进行了数据同化研究。近期，乐新安等^[39]采用卡尔曼滤波方法，进行了电离层经验模型数据同化研究，发展出一个具有电离层预报功能的数据同化系统（图3）。

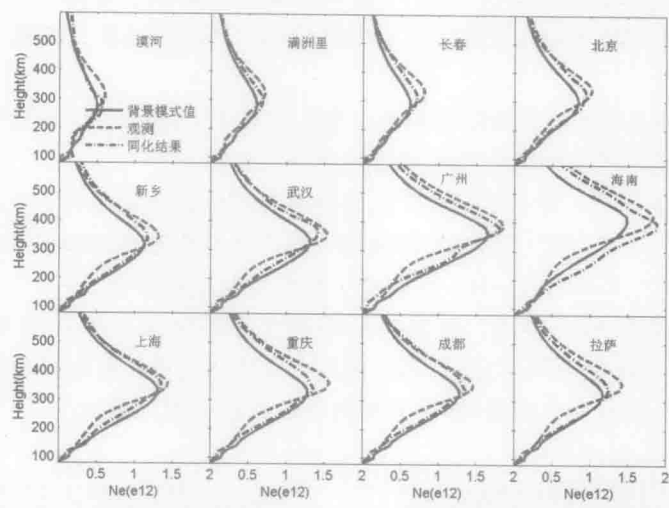


图3 基于未来子午工程观测数据配置的电离层高度剖面的高斯—马尔科夫卡尔曼滤波（GMKF）同化结果（乐新安等，2010）

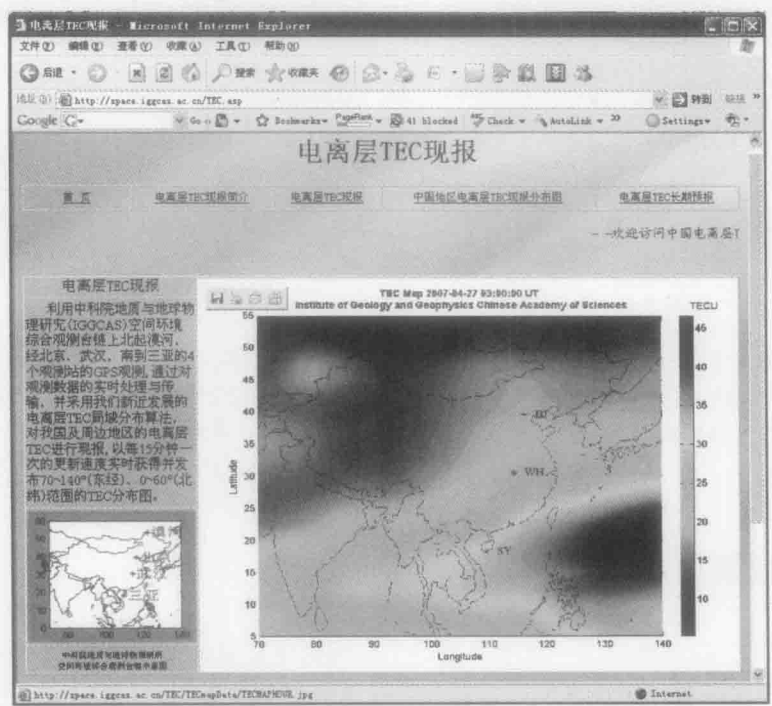


图4 首个中国电离层 TEC 现报系统的网页界面^[40]

在基于历史观测资料建立的中国通基本征模 TEC 模式的基础上, 万卫星等^[40]利用实验室的 4 个电离层观测站的实时观测数据驱动该模式, 建立了一个中国电离层 TEC 现报系统。该系统以 15 分钟的更新速率在互联网上实时给出覆盖我国及周边地区的电离层 TEC 地图 (<http://space.iggcas.ac.cn/TEC.aspwww.cserf.ac.cn/modules/forecast/forecastTEC.php>), 参见图 4。这一工作已经成功移植到国家空间天气监测预警中心等单位的业务平台上。

5 展望

依据国内外相关研究现状与进展, 我们认为, 电离层建模研究有如下两个重要趋势:

(1) 从单一电离层模式向耦合电离层模式的发展。其内涵包括两个方面: 一是将单一参量的电离层模式发展成含有多个参量的耦合电离层模式, 二是将单一电离层高度的模式发展成包括电离层、大气层、等离子体层等在内的耦合电离层模式。

(2) 数值电离层预报。采用数据同化方法融入尽可能多的实际观测数据, 发展出可用的电离层同化模式, 实行电离层参量的数值预报, 是电离层模式化研究与应用的重要方向。

参考文献

- [1] Schunk R. W. and J. J. Sojka (1996), "Ionospheric Models," in H. Kohl, R. Ruester, and K. Schlegel (eds.), *Modern Ionospheric Science*, Katlenburg-Lindau, FRG, European Geophysical Society, pp. 181-215-
- [2] Cander L. R. and R. Leitingner (1999), "Ionospheric Models Including the Auroral Environment," in *Workshop on Space Weather, Report WPP-155*, Noordwijk, The Netherlands, European Space Agency (ISSN 1022-6656), pp. 135-142
- [3] Bilitza, D. *Ionospheric Models for Radio Propagation Studies*, in: *Review of Radio Science 1999—2002*. Oxford University Press, Oxford: 2002; 625-679
- [4] 陈艳红, 万卫星, 刘立波, 李利斌 (2002). 武汉地区电离层电子浓度总含量的统计经验模式研究. *空间科学学报*, 22 (1): 27-35
- [5] Mao T. Wan W., Liu L. (2005), An EOF based empirical model of TEC over Wuhan, *Chinese J. Geophys.*, 48 (5), 827-834
- [6] Liu L. W. Wan, and B. Ning (2004), Statistical modeling of ionospheric foF2 over Wuhan, *Radio Sci.*, 39, RS2013, doi: 10.1029/2003RS003005
- [7] Yue X., W. Wan, L. Liu, and B. Ning (2006b), An empirical model of ionospheric foE over Wuhan, *Earth Planets Space*, 58, 323-330
- [8] Mao T. W. Wan, X. Yue, L. Sun, B. Zhao, and J. Guo (2008), An empirical orthogonal function model of total electron content over China, *Radio Sci.*, 43, RS2009, doi: 10.1029/2007RS003629
- [9] Liu C., M-L. Zhang, W. Wan, L. Liu, and B. Ning (2008), Modeling M(3000)F2 based on empirical orthogonal function analysis method, *Radio Sci.*, 43, RS1003, doi: 10.1029/2007RS003694
- [10] She C., W. Wan, and G. Xu (2008), Climatological analysis and modeling of the ionospheric global electron content, *Chinese Science Bulletin*, 53 (2), 282-288
- [11] Zhang M. -L., C. Liu, W. Wan, L. Liu, and B. Ning (2009), A global model of the ionospheric F2 peak height based on EOF analysis, *Ann. Geophysicae*, 2009, 27, 3203-3212
- [12] Zhang, M. -L., Liu, C., Wan, W., Liu L., and Ning, B. (2010): Global Modeling of M

- (3000) F2 and hmF2 Based on Empirical Orthogonal Function Expansion, *Adv. Space Res.*, in press
- [13] Lei J., L. Liu, W. Wan, S. —R. Zhang (2004a), Model results for the ionospheric lower transition height over mid-latitude, *Ann. Geophys.*, 22 (6), 2037-2045
- [14] Lei, J., L. Liu, W. Wan, and S. —R. Zhang (2004b), Modeling investigation of ionospheric storm effects over Millstone Hill during August 4-5, 1992, *Earth Planets Space*, 56, 903-908
- [15] Lei, J., L. Liu, W. Wan and S. —R. Zhang (2004c), Modeling the behavior of ionosphere above Millstone Hill during the September 21-27, 1998 storm, *J. Atmos. Solar Terr. Phys.*, 66 (12), 1093-1103.
- [16] Le H., L. Liu, B. Chen, J. Lei, X. Yue, and W. Wan (2007), Modeling the responses of the middle latitude ionosphere to solar flares, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 69 (13), 1587-1598
- [17] Tan H., W. Wan, J. Lei, L. Liu, and B. Ning (2005), A theoretic model of the mid-latitude ionospheric E layer, *Chinese J. Geophys.*, 48 (2), 243-251
- [18] 刘立波, 万卫星, 保宗悌. 地磁坐标下的中低纬电离层模式化研究. *电波科学学报*, 增刊, 1999: 91-94.
- [19] 刘立波, 万卫星, 涂剑南, 保宗悌, 叶公节. 一次日食电离层效应模拟研究, *地球物理学报*, 42 (3), 296-303
- [20] 刘立波, 万卫星, 涂剑南, 保宗悌. 1995 年 10 月 24 日日食电离层效应的模式化研究, *空间科学学报*, 19 (3), 200-205
- [21] 刘立波, 万卫星, 涂剑南. 低纬电离层 foF2 夜间增强的模拟研究, *空间科学学报*, 19 (2), 108-113
- [22] Liu, L. W. Wan, J. Tu, Z. Bao (2000), Modeling of the Ionospheric Response to the Solar Eclipse of 24 October 1995, *Terr. Atmos. Oceanic Sci.*, 11 (2), 543-554
- [23] 刘立波, 万卫星. 模式化分析 F 区电离层赤道异常槽, *空间科学学报*, 2001, 21 (4), 311-317
- [24] Liu, L. W. Wan (2001b), The Evolution of Equatorial Trough of Ionospheric F-region ionization, *Terr. Atmos. Oceanic Sci.*, 12 (3), 559-565
- [25] Yue X., W. Wan, L. Liu, B. Ning, B. Zhao and M. L. Zhang (2008a), TIME-IGGCAS model validation: Comparisons with empirical models and observations, *Sci. China Ser E-Tech Sci.*, 51(3), 308-322
- [26] Yue X., W. Wan, J. Lei, and L. Liu (2008b), Modeling the relationship between ExB vertical drift and the time rate of change of hmF2 over the magnetic equator, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L05104, doi: 10.1029/2007GL033051
- [27] Yue X., L. Liu, W. Wan, Y. Wei, and Z. Ren (2008c), Modeling the effects of secular variation of geomagnetic field orientation on the ionospheric long term trend over the past century, *J. Geophys. Res.*, doi: 10.1029/2007JA012995
- [28] Le H., L. Liu, X. Yue, W. Wan (2008a), The mid-latitude F2 region during solar eclipses: observations and modeling, *J. Geophys. Res.*, 113, A08309, doi: 10.1029/2007JA013012
- [29] Le H., L. Liu, X. Yue, W. Wan (2008b), The ionospheric responses to the 11 August 1999 solar eclipse: Observations and modeling, *Ann. Geophys.*, 26 (1), 107-116
- [30] 雷久侯, 刘立波, 万卫星, 栾晓莉. 热层风场的理论模拟与分析, *地球物理学报*, 2003, 46 (6): 736-742
- [31] Lei J., L. Liu, X. Luan, W. Wan (2003b), Model study on neutral winds in ionospheric F-region and comparison with the equivalent winds derived from the Wuhan ionosonde data, *Terr. Atmos. Oceanic Sci.*, 14 (1), 1-12

- [32] 余涛, 万卫星, 刘立波. 中低纬电离层电场理论模式. 中国科学, 2002, 32 (8): 687-695
- [33] 余涛, 万卫星, 刘立波, 雷久侯, 李小银. 电离层电场半年变化的模拟研究, 空间科学学报, 2004, 24 (3), 182-193
- [34] Yu T., W. Wan, L. Liu, X. Li, X. Luan, and W. Tang (2006), A simulation study on the semiannual variation of the ionospheric F2 layer zonal electric fields at the magnetic equator, *J. Geophys. Res.*, 111, A09310, doi: 10.1029/2005JA011390.
- [35] Ren Z., W. Wan, Y. Wei, L. Liu, and T. Yu (2008), A theoretical model for mid-and low-latitude ionospheric electric fields in realistic geomagnetic fields, *Chin. Sci. Bull.*, 53 (12), 3883-3890.
- [36] Ren Z., W. Wan, and L. Liu, GCITEM-IGGCAS: A new global coupled ionosphere-thermosphere-electrodynamics model, *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, doi: 10.1016/j.jastp.2009.09.015-
- [37] Yue X. W. Wan, L. Liu, and F. Zheng (2007a), Data assimilation of Incoherent Scatter Radar observation into a 1-dimensional mid-latitude ionospheric model by applying Ensemble Kalman Filter, *Radio Sci.*, 42, doi: 10.1029/2007RS003631
- [38] 乐新安, 万卫星, 刘立波, 乐会军, 陈一定, 余涛 (2007b). 中低纬电离层理论模式的构建和一个观测系统数据同化试验. 科学通报 52 (18), 2180-2186
- [39] 乐新安, 万卫星, 刘立波, 宁百齐, 赵必强, 李国主, 熊波. 基于 Gauss-Markov 卡尔曼滤波的电离层数值同化现报预报系统的构建——以中国及周边地区为例的观测系统模拟试验. 地球物理学报, 2010, 53 (4): 787-795, DOI: 10.3969/j. issn. 0001-5733. 2010. 04. 003.
- [40] 万卫星, 宁百齐, 刘立波, 丁锋, 毛田, 李国主, 熊波. 中国电离层 TEC 现报系统. 地球物理学进展, 2007, 22 (4), 1040-1045

南京航空航天大学空间环境领域的学科发展

魏志勇

(南京航空航天大学空间物理与空间环境中心 南京 210016)

摘 要 空间环境是科学研究的前沿领域,空间环境能为航天工程提供必须的技术支持,空间环境领域的学科建设对国防建设、国民经济和社会发展有重要影响。

关键词 空间环境 空间磁场 空间辐射 人才培养

The Academic Development in Space Environment of Nanjing University of Aeronautics and Astronautics

WEI Zhiyong

(Space Physics and Space Environment Center, Dept. of Space Science & Applications, College of Astronautics, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016)

Abstract: Space environment, at the cutting edge of science research, renders technical assistance for the aerospace engineering. Education and research in the field of space environment strongly support national defense, national economy and social development.

Key words: space environment; space magnetic field; space radiation; training of professionals

南京航空航天大学通过几年的学科建设和专业建设,逐步建立了空间环境领域的人才培养体系,并且形成了面向国防建设、国民经济和社会发展的一些学科方向。空间环境的学科发展为国防建设、国民经济和社会发展提供了人力资源保障和技术支撑。

1 国防建设需要空间环境方面的技术和人才

人类的活动延伸到太空后,太空的军事活动越来越频繁,军事活动的领域也在不断拓宽,太空军事活动的重要性也越来越突出,为维护世界和平和国家安全,我国对空间环境、空间科学与空间应用方面的科学研究和人才培养有迫切的需求。

控制了“天”,就能控制“空”,进而控制“地”,因此,获得航天的控制权意味着获得地球的控制权。在这种态势下,空间科学、空间技术和空间应用在保障社会经济平稳运行和国家安全方面的社会功能将日益凸显出来,围绕空间活动保障能力建设的竞争也将十分激烈。

人类通过卫星、载人航天、太空站、月球基地,由地球走向外部空间、深部空间,甚至于常驻于空间。空间环境探测、空间应用领域的科学研究和人才培养为航天事业的长远发展提供战略储备。

2 国家开发空间战略需要空间环境方面的技术和人才

伴随人类宇航能力的提升,航天工程的内涵在不断深入,航天工程涵盖的领域拓宽,不仅包括过去通常认为的发射航天器的活动,而且包括空间技术、空间科学和空间应用等“大航天”概念的内容,空间活动包含的内容大大扩充,空间应用的领域不断拓宽,各国在空间领域的利益之争也愈演愈烈。

以美国 NASA 和欧空局 ESA 为典型代表的空间机构,多年来一直不间断地开展空间环境科学研究和空间技术积累,不断刷新空间应用的各种纪录,目的是为将来的国际竞争进行战略储备,为下一阶段在国际范围内航天领域获得或保持领先地位、空间资源开发等积累力量。

随着卫星及航天技术的发展,卫星及其他航天器不仅在军事领域发挥重要作用,而且在社会发展、经济提升方面也发挥主要作用,与航天相关的产业发展十分迅速,如 GPS 等航天技术已获得广泛的普及。此外,遥感、对地观测等航天技术手段在减灾和救援中发挥巨大作用,空间材料和空间生物技术对社会经济发展和人类社会进步起巨大推动作用。空间开发需要空间环境的支撑和保障。

3 综合国力提升需要空间环境方面的技术和人才

空间科学是人类进入太空时代以来迅速发展起来的新兴交叉学科。它主要研究大气层之上延伸到太阳系,甚至进入宇宙深部空间,特别是日地空间中的科学问题与规律,研究空间环境及其对人类空间活动和生态环境的影响,空间科学是前沿科学发展方向之一。

空间环境及其应用不仅通过前沿科学研究活动促进社会发展,而且能提供新的技术和方法促进经济发展,通过利用空间资源开展教育和培训来繁荣文化,提升总体智力资源水平。

4 空间产业需要空间环境方面的技术和人才

在世界经济发展缓慢、经济不景气的情况下,空间产业表现出独特的强劲势力。空间技术和空间应用不仅仅为国防服务而且在许多领域中获得技术进步及产业化方向的发展。

空间环境为航天工程的可靠性提供支撑,减少了风险和经济损失,空间科学和空间技术降低了卫星运行的成本,空间技术促进了社会生产力的发展,如利用空间技术实现物资运输可靠、节能并高效。空间生物资源开发、空间材料、空间信息等领域的产业的发展越来越迅速,取得的经济效益也越来越显著。空间应用拓宽了产业领域,增加了社会财富,培育出新的经济增长点。

5 南航的学科方向

5.1 空间磁场环境

研究空间静态磁场模型和空间动态模式,空间磁场包括地球主磁场和空间环境磁场两大