

“风”与“磁”的博弈

——太阳风与磁层相互作用研究成果综述

本报记者 张双虎

近年来,由于航天、通信、导航等高科技领域和国家安全的紧迫需求,空间天气研究日益受到关注。磁层位于地球空间的最外层,太阳风与磁层的相互作用是空间天气变化因果链中承上启下的关键环节,因此成为揭示地球空间天气基本规律的关键科学课题。

近年来,我国科学家在太阳风与磁层相互作用研究方面,特别是三维全球数值模拟中取得了重大进展。研发出高精度、低耗散的全球三维磁流体力学数值模型(PMMLR-MHD),使我国成为国际上少数拥有能自洽描述太阳风—磁层—电离层耦合系统数值能力的国家之一,在此基础上取得的系列创新成果也得到国际同行的好评。

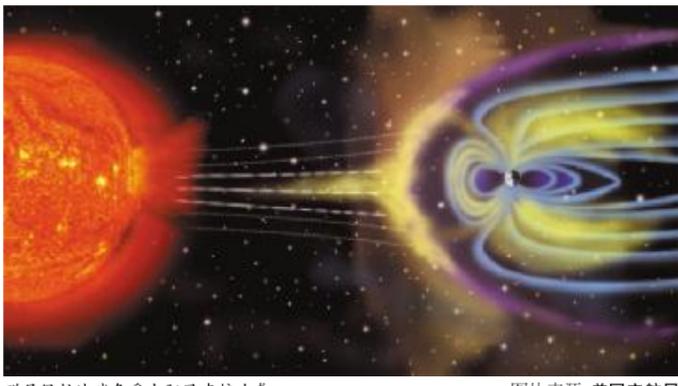
“风”与“磁”的未解之谜

“太阳风的温度非常高,其中的粒子都不会呈中性。这些带电的等离子体像风一样吹向地球,但它们在磁场中运动时只能沿着磁力线方向运动,不会横跨磁力线。因此,磁层对地球能起到保护作用。”中科院空间科学与应用研究中心副主任王赤说,“要不然很多高能粒子、宇宙射线会直接进入地球空间。大气成分可能就不是现在的样子了,生命将无法存在。”

磁层恰如一件地球抵御太阳风的“外衣”。太阳风吹来时,会把地球磁场前面压缩,后面拉伸,形成长长的磁尾。但一般来讲,除南、北极区外,太阳风难以进入地球的大气层形成极光。

虽然大多数情况下,太阳风不能横跨地球磁力线进入地球空间,但太阳风却频频向地球磁层发起冲击。这些冲击并不是每一次都以太阳风败北告终。

“地球磁场的磁力线从地理南极指向地理北极,我们称其为北向。如果太阳风的磁力线正好和地球磁力线方向相反,即它是南向的,则双方会在地球磁层顶部发生磁重联(太阳风的磁力线和地球磁力线‘连’在一起)。这样就形成太阳风抵达地球的通道,其能量和质量就能传入地球空间。”王赤说,“但太阳风传播过程中行星际磁力线怎么才能形成南向的,现在还是未解之谜。”



磁层保护地球免受太阳风直接吹袭

图片来源:美国宇航局

数据分析和数值模拟成为关键

太阳风与磁层相互作用研究涉及太阳活动区的巨大能量和物质的突然释放,太阳风扰动在行星际空间的传播和演变,地球空间对行星际扰动的全球响应,以及地球空间环境的剧烈变化。

该研究的主要内容包括太阳风的质量、动量、能量和磁通量如何传输到地球空间,以及在地球空间的传输、转化和耗散的过程。地球空间环境对行星际扰动的响应过程和变化规律,以及地球空间天气预警和预报等关键科学与应用问题。理论分析、卫星和地面观测数据的分析和数值模拟是进行太阳风与磁层相互作用研究的主要手段。

“磁层顶部离地面5万~7万公里。太阳风—磁层—电离层相互作用还形成了地球空间的大尺度电流体系。主要包括弓激发电流、磁层顶电流、环电流、等离子体片电流、场向电流和电离层电流等电流系

统。”王赤说,“地球空间时变、多成分、自由度的关联相互作用使得传统的理论分析变得非常困难,数值模拟作为一个新的研究手段对地球空间的理论和应用研究产生了深刻影响。”

随着观测手段的不断丰富,观测范围的不断扩大和高性能计算能力的不断提高,数据分析和数值模拟工作逐渐成为太阳风与磁层相互作用研究的主体。我国科学家在三维全球数值模拟研究工作方面取得了重要进展。

为整体数值预报奠定基础

近年来,我国科学家在太阳风与磁层相互作用研究方面进展迅速,为建立空间天气端到端的整体数值预报模式奠定了基础,在地球同步轨道磁场对行星际激发的响应、弓激发电流和磁层顶电流供电的新现象等研究方面都取得了不俗的成果,并首次利用全球数值模拟再现磁层顶KH(Kelvin-Helmholtz,开尔文-赫姆霍兹)不稳定性。

“在‘双星计划’和国家自然科学基金的支持下,我国科学家完成了太阳风—磁

层—电离层系统的全球三维磁流体力学数值模式,使我国成为国际上少数拥有能自洽描述太阳风—磁层—电离层耦合系统数值能力的国家之一。”王赤说。

该模式采用二级时间精度和三级空间精度的拉格朗日坐标下的逐段抛物线方法,实现太阳风—磁层的磁流体力学方程组的数值求解,通过沿地球偶极场力线的映射实现电离层和内磁层之间的电磁耦合。相关研究成果大大丰富了对太阳风与磁层相互作用领域的认识,得到国际同行的充分肯定。在2009年美国地球物理年会的“帕克讲座”中,美国宇航局戈达德飞行中心著名空间物理学家Len Burlaga多次引用我国发展的模型结果。

利用数值模拟,我国学者详细研究了地球磁层负反应区域的发生和发展过程,解释了这一反常现象。行星际激发电流与磁层相互作用的相关工作被多位同行引用。利用三维磁层数值模拟结果,研究者发现了弓激发电流对电离层持续供电的证据,对经典结构进行了补充和完善。在地球空间大尺度电流体系工作的相关文章发表过程中,美国《地球物理研究快报》(GRL)评审员评价说:“这是一个至今尚未被广泛报导的重要成果。”其中一位评审员还推荐将文章作为亮点文章。

利用数值模拟,我国学者首次得到了北向行星际磁场条件下的KHI(开尔文-赫姆霍兹不稳定性),得到了磁层顶KHI非线性演化的全球图像。全球模拟中得到的磁层顶KHI时间变化和空间变化的结果是此前二维和局域三维模型都无法给出的。

“磁层的三维全球磁流体力学数值模型是研究太阳风和地球磁层相互作用的有效途径。”王赤说,“发展趋势是实现高时空分辨率的数值模拟,研究中尺度的空间结构和短时间尺度的物理现象,引入符合实际的物理过程,开始考虑热层对磁层的影响。进一步与观测数据相结合,并开始向业务化的空间天气预报模式转化,服务于日益增长的空间天气应用和保障业务。”

科学基金在高校

科学基金助力成都理工大学特色发展

本报记者 彭丽 通讯员 顾华宁

“穷究于理,成就于工”,是成都理工大学的校训。

经过55年的建设,成都理工大学已发展成以理工为主,地质、能源、资源环境、基础工程、电子信息等学科为优势特色的多科性大学。近年来在自然科学领域显示出强劲的发展势头,国家自然科学基金在其学术带头人培养、学科和平建设起到了关键的助推作用。

成长起来的学科带头人

“如果没有科学基金的支持,我早就离开研究领域了。”成都理工大学地球物理学院教授曹俊兴坦言,做科研非常清苦,特别对于新入道者和一线普通科研人员,“科学基金的支持对他们是非常重要的。”

曹俊兴从1994年开始申报科学基金,连续申请4年后获得第一次资助。在科学基金先后6次支持下,曹俊兴的科研工作得到迅速发展,在双频电磁波层析成像、大型稀疏矩阵方程求解、散射成像、层析成像以及电磁波与地震波层析成像软件系统研究开发等方面获得多项创新成果,成为地球探测与信息技术学科四川省学术和技术带头人。

成都理工大学沉积地质研究院教授李勇从1998年开始申报青年基金项目,当年便申报成功。十多年来,在科学基金的支持下,李勇完成了国内第一篇对前陆盆地进行专门剖析的论著《龙门山前

陆盆地沉积及构造演化》,该科技成果曾获中国矿物岩石地球化学学会颁发的“侯德封奖”。另外,他还首次提出和论证了青藏高原北部中生代羌塘前陆盆地,是西藏油气勘探的重要贡献者之一。

成都理工大学核技术与自动化工程学院教授黄先国是该校历史上第三位国家杰出青年科学基金获得者,同时也是国家自然科学基金委员会地球科学学部在核地球物理勘探领域资助的第一人。在科学基金的资助下,黄先国在核地球物理勘探、灾害监测预警、核分析与检测技术、辐射环境评价与放射性核素迁移机理研究方面取得长足进步,先后获省部级科技成果一、二等奖9项,并获得国家专利8项,新申请发明专利7项。

科学基金成为成都理工大学培养造就学科带头人的摇篮,该校教师申报科学基金的积极性和主动性日益增强。据成都理工大学科技处处长李忠权介绍,“十五”期间,学校获得了73项科学基金资助,总经费2234万元。“十一五”期间,受科学基金资助项目达到98项,总经费突破4760万元。而在今年年初揭晓的2011年度科学基金评选上,该校更是获得了41项科学基金,总经费达2038万元。

成都理工大学校长倪师军认为,科学基金的申报对学校科技发展和学科建设具有重要意义。该校历年都将科学基金的申报作为科技工作的重点,每年年初都会召开科技工作总结大会暨新年学

的国家基金申报动员委员会。学校还出台不少措施从学校到学院层层动员,如组织专家初审,设置申报奖励,进行申请指标向各学院的分配,依托学校两个国家重点实验室申报重点项目和重大项目等。

给力学科和平台建设

2007年,在国家重点学科考核评估与申报工作中,成都理工大学传统优势学科“地质资源与地质工程”被顺利认定为一级学科国家重点学科,而“地球探测与信息技术”和“矿物学、岩石学、矿床学”分别顺利成为新的国家重点学科和国家重点(培育)学科。“这些成绩的背后,科学基金功不可没。”成都理工大学学位与学科办公室主任邓晓宇表示。

在多项科学基金的资助下,“矿物学、岩石学、矿床学”国家重点(培育)学科下的“成因与应用矿物岩石学”紧密结合西部资源及开发需要,建立矿产资源特别是贵金属及国际紧缺矿产的勘查评价、矿物深加工理论与技术体系。“矿床地质学”以现代成岩成矿理论与实践为



基础,广泛吸收现代科学的新理论,形成了“成岩—成矿—成藏地质过程机理分析”的创新学术思想体系和区域成矿模式。而“沉积岩石学”更是特色显著,在该校名誉校长刘宝瑞院士为首的教研科研群体带领下,在沉积学领域形成了自己特有的学术理论体系和技术体系。

成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室依托科学基金的资助,近5年来,实验室产出了一系列重大理论创新性成果,获国家科技进步二等奖1项,省部级奖励26项;发表SCI、EI、ISTP收录论文200余篇,出版专著14部;获国家发明专利20项,尤其在汶川地震地质灾害研究中取得了系列成果,揭示了地质环境脆弱山区强震诱发地质灾害独特的发生规律与形成机理,探索和发现了强震条件下斜坡地质灾害独特的动力过程,丰富和提升了公众对强震诱发地质灾害的认知水平和科学防灾能力。

地质灾害防治与地质环境保护实验室办公室主任冯文凯副教授今年申请到了一项科学基金。他表示,科学基金不仅加强了实验室在应用基础领域的研究,还促进了实验室仪器设备和软件的开发、研制与应用。更重要的是通过主持参与科学基金项目,促进了实验室中青年人才的培养和发展,并加强了国内外学术交流与合作,不断提高研究人员和实验室的整体水平。

师风范,展示了他对中国科学技术事业和中国科学院发展的卓越贡献,展示了他无私奉献的爱国精神,勇于创新的科学风范,淡泊名利的高尚品质。

中国科学院、中宣部、科技部、中国科协、教育部等有关领导以及中国科学院有关部门和研究所及部分高校的代表近100人出席了揭幕仪式。

纪念钱学森诞辰100周年展揭幕

(上接A1版)

白春礼说,钱老与中国科学院的很多科学家有着密切的联系。“1996年,钱老曾给我写过两封信,至今记忆犹新。他对纳米科技的最新进展、人才培养和中国科学技术大学的发展等方面提出了不少很好的想法,有非常重要的指导意义。”

白春礼强调,钱老严谨求实、勇于创新、

献身祖国、淡泊名利的科学精神和高尚情操集中体现了中国科学院的优良传统,是一笔宝贵的精神财富,必须继承发扬光大。

中国科学院院士郑哲敏先生和中国科学院研究生院教授李佩先生作为科学家代表,在揭幕仪式上作了讲话。

此次展览重点展示了钱学森先生作为一位杰出科学家的重大成就、科学思想和大

玉米是我国第二大粮食作物,并且具有较大的增产潜力,所以一直受到研究者的重视。

在国家自然科学基金的持续资助下,中国农业科学院农业信息研究所研究员郭新宇团队对基于三维可视化模型的玉米冠层结构和生产力、数字化玉米种植管理系统进行了研究,开发出一套玉米三维形态计算机辅助设计工具。该工具将玉米的三维形态重建出来,并基于这种形态进行计算,为评价玉米生理或农艺性状提供了科学依据。

难在量化模拟计算

研究表明,玉米进行光合作用的主要器官是叶片。玉米干物质积累绝大部分来自叶片,光合作用及其生产力的形成受玉米冠层结构的影响。

“影响玉米生长的主要因素有地下部的根系结构和地上部的冠层结构。”郭新宇说,“冠层结构包含茎干和由附着在茎秆上不同高度、方位角的叶片组成的网格化结构。这种结构直接关系到光能截获的问题,同时也会对群体小环境造成影响。”

在一定环境条件下,玉米光合作用产量取决于叶片吸收的光有效辐射和叶片的光合特性,而冠层内的辐射状况又表现出空间上的异质性和时间上的动态特性。太阳辐射在玉米冠层中的分布除受太阳辐射变化影响外,还受冠层结构等因素的影响,如株型、叶面积指数、叶片形状和大小、方位角分布、散射、吸收和反射、空间分布的异质性等特性,以及这些随玉米品种、生长发育阶段和种植密度的变化的特性,所以研究玉米冠层结构、冠层内光分布和光合作用之间的定量关系模拟计算是玉米生理生态学的一个热点和难点。

该小组成员郭江认为,在生产中首先要考虑群体结构,有了合理的群体结构,也就决定了合理的光分布,从而使玉米光能利用率达到最高。光合作用水平达到最佳状况,为玉米获得高产提供了优越的光环境。因此研究人员对玉米冠层结构的研究大多集中在群体结构的描述和光分布上。

随着数据采集手段的不断提高和计算机软硬件的飞速发展,该团队决定利用计算机可视化技术,实现玉米植株个体与群体结构的三维重建,从而可以在任意角度观察玉米群体,分析其空间结构特征,为农业生态系统研究提供新的手段。

重建玉米三维形态

评估农作物的潜在产量,首先要看能量转化、物质转化和获取,即考虑光合作用转化为同化产物的情况。考虑光合作用就要基于形态、结构进行计算。

“过去计算时把群体结构简化成一维结构,比如只用叶面指数或干物质生产量代表群体。”郭新宇说,“但群体在空间分布是有差异的,一部分的分布不能代表群体的情况。”

在国家自然科学基金的资助下,郭新宇团队开展了作物—环境—技术关系的数字化研究,提出了玉米数字化种植管理系统的设计思想和框架。该团队开发了数字化玉米种植管理系统,实现了玉米逐日生长模拟、产量与品质的动态预测、氮肥平衡控制、玉米生长模拟模型和玉米管理知识模型的耦合、玉米生长模拟模型的集成应用和跨平台的玉米模拟模型远程共享。

在此基础上,他们提出玉米模拟三维动态可视化的思想,开发了玉米可视化设计工具,实现了玉米模拟三维可视化及其网络应用。

“我们做玉米三维可视化的目的,是将其三维形态重建出来,并基于这种形态进行计算,为某些生理或某一农艺性状评价提供依据。”郭新宇说,“从产量形成来看,有光、水、肥、营养等多种相关因素。我们先考虑一种因素,比如光合作用,以后再整合其他因素,逐步把生理、生态信息叠加到几何信息上,这样就会越来越逼近真实的自然生态条件。”

玉米三维可视化具有综合农学、计算机科学、地理信息系统和模拟模型等技术进行多学科交叉研究的鲜明特色,为玉米生产系统动态预测、管理决策、调空、设计和分析评价提供了数字化工具。

“我们首先实现地上部分的三维可视化,下一步是做根系、根冠,进而从作物生长和产量形成全过程进行模拟。最终为农学家和育种学家进行玉米个体、群体的分析评价提供可视化计算平台,提高玉米的产量和品质。”郭新宇说。

中国科学基金

第25卷第6期 2011年11月 目次

学科进展与展望	加强学科建设 完善管理机制——“NSFC 机械工程学科科学基金管理研讨会”综述……王国彪 赖一楠 黄海鸿 黎明 郭建泉
科学论坛	科学基金队伍系统化建设的共同体模式及路径研究……曹俊兴 曹俊兴 杜全生 赵世奎 任之光 张志旻 熊小庆 智慧科研:让管理更科学——精细化自然科学基金项目管理新思维……马建 刘卫 许伟 姜红丙
成果简介	我国科学家在表观遗传研究领域取得重要进展……陈祥龙 王家平 江 舸
基金纵横	国家自然科学基金资助工作精细化管理的探索……刘 卫 论科学基金资助对河北师范大学内涵建设的四个作用……韩广村 胡进勇 提升研究水平,支撑学科发展,培养创新人才——宁夏大学“十一五”期间国家自然科学基金资助情况分析……田 真 胡海英 大力推进科学基金工作 促进西部地区地方高校的人才成长——以广西师范大学为例……黄晓昀 程 蕾 黄世朗 国家自然科学基金管理过程中“收”与“放”的和谐统一……高 翔 施 嵘 科学基金项目依托单位的精细化管理——从美国北卡罗莱那州立大学科研项目管理谈起……夏文莉 加强科学基金管理,提升基础研究水平……胡学东 抓管理 促创新——清华大学科学基金精细化管理的初步实践……宿 芬 加强工科高校基础研究工作探索——以华南理工大学为例……付 晔 肖向晨 精细化管理对非重点地方高校的科学基金申报工作的作用——以上海理工大学为例……司徒唯尔 席与亭 国家杰出青年科学基金评审工作中学科布局与择优支持的关系……姚玉鹏 新形势下依托单位在科学基金管理中的实践与思考……岩松 揭志忠 科学基金文化浅议……李 蕴 武晓耕 《项目指南》和《中国科学基金》推动科学基金精细化管理……王立龙