

·成果简介·

地球科学部资助项目研究进展

林海 马福臣

(国家自然科学基金委员会地球科学部,北京 100083)

引言

多年来,国家自然科学基金委员会地球科学部力图使科学基金对地球科学各学科的资助有一个合理的布局,即:既考虑到我国地球科学各学科发展的现实基础和条件,又能体现对新兴学科、优势学科的扶植,使各方面得到均衡的发展。同时根据国际上地球科学在 20 世纪后半叶发展的特点,逐步把资助重点调整到地球各层圈的相互作用研究上,形成以全球变化、大陆动力学、资源环境、减灾与可持续发展等领域为主的资助格局,以推动地球系统科学的发展。

科学基金制的实施,对我国地球科学的整体发展所起的作用十分明显,其主要表现在以下几个方面。

(1) 已形成若干在国际上有影响的学科分支

(i) 黄土古气候研究

以“我国干旱半干旱区 15 万年来环境演变的动态过程与发展趋势”重大项目为代表,对黄土及其他沉积物的深入研究,建立了识别古气候参数的指标体系,对 2000 年以来玛珥湖与淡水碳酸盐的分辨率达到年,对 25 万年以来的黄土记录分辨率可达百年。在东亚古季风变化的动力学机制、古气候特征分析方面的突破性进展,使我国黄土古气候学研究领域位于国际领先地位,并使我国的黄土与深海沉积和极地冰芯一起构成过去全球变化研究的 3 大支柱。

(ii) 地球早期生命起源和演化

我国科学家在发现和研究最古老的多细胞藻类、多细胞动物、埃迪卡拉型化石及寒武纪初期多门类后生动物方面,取得一系列突破性进展,在《Nature》和《Science》两种学术刊物上发表论文 8 篇,其

中晚元古代陡山沱组磷块岩中极为罕见的有细胞组织的宏观藻类和早期动物胚胎的发现,被认为是近代自然科学的重大发现,澄江动物群被联合国教科文组织列为世界级文化遗产。

(iii) 日地物理学

我国一批空间物理学家在太阳-行星际磁层-电离层-中高层大气耦合研究方面取得在国际上有一定影响的研究成果,其中日地共转扰动似稳结构及耀斑引起的日地扰动和激波的非对称性特征为定量了解日地系统能量传输过程提供了新依据,为地磁扰动进行预报研究提出了新思路;通过行星际激波的理论研究,从理论上预言强激波可以传输到 10—20 个天文单位以远空间而衰减不大的重要现象为飞船观测所证实;建立了目前唯一能解释太阳风中脉动功率谱经向发展和质子加热率的理论模型等为我国在国际日地物理学界争得了一席之地。

(iv) 东亚季风研究

我国气象学家在长期对东亚季风研究中,发现东亚夏季风爆发最早及其爆发的内外机理;发现东亚季风和中国降水及早涝有密切关系;发现了冬季风活动和低频振荡的新特征。在中美、中日季风合作研究中,一直处于主导地位。

(2) 国际大型科学试验在中国实施

“九五”期间所资助的重大、重点项目中,有关地学野外科学试验具有由中国科学家发起并主导的大型国际计划在中国及邻区实施的特点。以往我国科学家以参与为主发展为以我为主,表明我国某些学科在国际上的地位。例如由北京大学赵柏林院士主持的“淮河流域能量与水分循环试验和研究”,中国科学院地质研究所刘东生院士主持的 PEP II 计划以及丛柏林研究员从事的“碰撞造山带的超高压变质作用和地球动力学”被国际岩石圈委员会列入 ILP

本文根据地球科学部学科评审组第 13 次会议上的科学部报告和各学科报告的有关内容整理而成。

本文于 1999 年 2 月 23 日收到。

的Ⅲ-6任务组,同济大学汪品先院士提出的“东亚季风史在南海的记录及其全球气候意义”已被ODP列入484航次,于1999年2—4月在南海实施,等等。

下面分别介绍地球科学部各学科资助的重大项目和重点项目的研究进展。

1 地理学、土壤学及遥感

“八五”重大重点项目主要研究进展:

(1)通过对在华北平原建立的14个节水农业研究基地和节水农业示范区的深入研究,首次系统地阐述了单叶、群体水平连续瞬时蒸腾与光合速率、水分利用率的变化及其相互联系与可调控途径。建立了以土壤水为中心的农田水循环模型及节水决策系统,提出了节水调控的理论体系和实践模式,发展了SPAC系统界面上水分运行理论及节水农业宏观管理和决策的理论与实践。

(2)以当前我国城镇化发展最快的珠江三角洲、长江三角洲、京津唐及辽中南沿海经济核心区为研究区,深入研究城镇密集地区经济、人口集聚与扩散的空间结构演化和动力机制。首次划分出都市区及正在形成发育中的都市连绵区。提出都市连绵区沿综合交通走廊展开的空间形态,反映了经济组织和生产力布局沿着阻力最小方向发展的基本原理,体现了组成都市连绵区的每个城市空间扩展的主轴线与其主要对外联系方向相一致的基本规律。对城、郊、乡三元地域结构进行了深入研究,探讨了农村城市化的动力机制,为乡村和郊区城市化的健康发展提出了调控对策,部分成果已被国家建设部采用。

(3)针对中国特色的土壤类型,研究分类原则、体系、指标以及命名等基本问题,首次系统地提出了人为土的诊断层和诊断层特性并相应建立了人为土的分类系统;把干旱表层作为划分干旱土依据,弥补了过去以干旱土壤水分状况划分干旱土的不足;对寒性干旱土分类的研究填补了国际干旱土分类的空白。

(4)地面目标二向性反射分布特征研究,完成了二向性反射几何光学与辐射传输理论混合模型的建模工作,在多角度遥感图像的研究工作中开展了高倾角成像条件下大气交叉辐射影响的纠正和大倾角图像配准研究。多途径实现了室内外二向性反射分布函数(BRDF)数据获取。在太阳模拟实验室,建立了从BRDF数据的自动采集到可视化显示系统。研制了单叶反射、透射、偏振装置、树冠底视广角摄像

装置、航空宽视声摄像机成像系统及地面测量的辅助设备,先后在昌平、禹城和栾城进行了多平台的野外测量,并成功地实现了模型验证。

2 地质学

地质学科资助的项目中,大多数为交叉学科、多学科和边缘学科项目。其成果突出地表现在以下3方面:

(1)在地球科学的根本问题(如大陆动力学、全球变化、地球上生命的起源和早期发展等)上的创新和突破。

(2)重大地质和生物事件的认识(如星体撞击、岩浆溢流、生物爆发与集群绝灭等)。

(3)数据、资料的规范性积累(如地层观测记录、地壳运动、测年记录等)与规律性的发现。

下面针对研究成果对地质学科取得的突出进展予以简要介绍。

(1)地球生命史及地质时间框架研究

在国家自然科学基金对“地球早期生命的起源和演化”这一领域的稳定支持下,我国科学家在发现和研究最古老的多细胞藻类、多细胞动物、埃迪卡拉型化石及寒武纪初期多门类后生动物方面,取得了一系列突破性进展。

近年,辽西热河生物群中恐龙和早期鸟类等珍贵化石的发现及研究,使人们认识到中生代晚期的这一重大生物事件,涉及生物进化的“鸟类起源”和“恐龙绝灭”等重要理论问题。《Nature》和《Science》上发表了多篇关于热河生物群的文章,其中我国学者3篇。使得几乎全世界的古生物学家都意识到中国古生物学家正在革命性地改变人们对于早期鸟类演化的认识。

在地质时间框架研究领域,通过对全球层型研究的资助,我国已建立一批高水准的地层剖面。如:二叠系乐平统全球层型,浙江煤山二叠-三叠系候选层型、广西梅树村泥盆系-石炭系全球副层型等,推动了我国与国际地层系统的全面接轨,为地球科学时间框架的全面创新奠定了基础。

(2)地球物质科学

在地下壳和上地幔流变学及部分熔融实验研究方面取得了国际前沿水平的成果。发现橄榄岩的初始熔融物在固相岩石中不仅赋存在矿物三连点位置,同时大量的熔体在差异应力作用下沿着橄榄石矿物颗粒边界呈熔融薄膜分布;这一认识对大陆造山带中下地壳的部分熔融地壳增厚和上地幔低速高

导层的形成有重要的制约意义。“韧性变形中上地幔橄榄岩部分熔融结构”一文在《Nature》上以封面文章发表后,得到同行的高度评价和肯定,一些国际学术组织相继邀请我国科学家在其中担任职务。

发现了一批新矿物,其中被国际矿物学命名委员会认定的新矿物有9种。

依据中国东部火山岩的研究,论证了中国东部岩石圈热减薄作用,提出第三纪以来,岩石圈减薄了80 km;这一认识早于国外学者5—8年。近年又通过古生代/中生代巨厚岩石圈(根)的比较,进一步提出这一热减薄通过岩石圈去根作用实现,减薄事件始于侏罗纪。

对华南地区中-新生代和元古代幔源岩石 Pb、Sr 和 Nd 同位素与微量元素示踪和填图。表明该地区的地幔可以划分为3种地球化学类型,扬子和东南地区之间有一条地幔分界线沿龙游-三门一线分布;并根据 Nd 同位素模式年龄,推断出华南不同区域的地壳的主要增长时间。

(3) 矿产资源与能源

通过煤成油形成环境和成烃机理研究,提出油气生成是干酪根、腐殖酸和抽提物3种有机物质不断在新条件下重新组合,建立新的动态平衡的结果。这一新的烃源岩成烃演化模式丰富了成烃理论,具重要科学价值和应用意义,这一成果获1997年度国家自然科学奖二等奖。

生物成矿作用和成矿背景研究方面,建立了一套有效可信的生物有机质成矿标志,及不同生物有机成矿作用模式;提出成矿在空间上受沉积相、域控制的边界效应规律和时间上受沉积间断控制的间断效应规律。

中国东部金矿重要类型、成矿条件、富集规律及找矿方法研究,揭示出克拉通金矿的分布与地体构造和“O”型花岗岩绿岩地体密切相关,从而为该地区的金矿开采带来了方便;金矿化集中区内大规模区域性金亏损和大量金矿床围岩局部贫化现象的发现,减少或避免了开采中不必要的损失。

对莺歌海盆地超压、高温环境下有机成烃的化学动力学和油气生成的创新见解及边缘海盆地演化模式,有力地指导了油气勘探;划分和预测了19个含油气系统,指出了勘探方向和值得探索的领域,钻井成功率由40%提高到80%;莺歌海1997年新增天然气贮量86亿立方;在珠江口珠三凹陷发现4个新的贮油构造,其中油5000万吨,气500亿立方。

(4) 大陆动力学研究

通过对中央造山带、兴蒙-北疆造山带、滇川西部特提斯造山带和“华南及邻近海域的岩石圈结构与演化”研究,提出“岩浆型被动边缘”、“多岛洋”的概念以及“微陆块软碰撞弱造山的非威尔逊旋回造山模式”。建立了对我国大陆岩石圈演化和动力学的整体认识。

被誉为地球“第三极”的青藏高原的隆升过程及机制研究,一直是国际地学界相互角逐、竞争的前沿课题。以“八五”重点项目为代表,在这一巨厚地壳的年轻造山带内发现了中新世高压麻粒岩,确定了藏东南4阶段(45—38 Ma, 26—18 Ma, 13—8 和 3 Ma 以来)抬升和300万年以来加速抬升(3 Ma 以来的平均抬升速率为3—4 mm/年, 0.15 Ma 以来的平均抬升速率为30 mm/年)的隆升过程。

秦岭造山带地质、地球化学、地球物理的综合研究表明,秦岭造山带由南、北2个缝合带、3个陆块组成,现今岩石圈具立交桥式三维结构。通过开拓性的造山带区域地球化学和地球化学断面研究,建立了秦岭造山带地壳构造岩石学和热构模型,论证了秦岭主造山期3板块俯冲碰撞造山细节过程与古海洋演化和壳幔分异再循环、古板底垫托与古板块俯冲叠置。

大别山-苏鲁地区柯石英及微粒金刚石包体的发现,揭示了大陆地表和浅部物质可被迅速带至地下90 km 或更深处,经受了超高压变质作用,随后又迅速折返出露地表。这一从未意识到的地质过程,对传统的地球动力学观念提出了挑战。而大别山-苏鲁地区被认为是出露规模最大,研究超高压变质作用最理想的野外实验室。国际岩石圈委员会把由中国科学家倡导的“碰撞造山带的超高压变质作用和地球动力学”列为岩石圈研究计划的第Ⅲ-6任务组。

华北北部麻粒岩相带地质演化及其深成地质作用研究,在麻粒岩相带南亚带内,首次发现高压麻粒岩和退变榴辉岩岩片,提高了我国前寒武纪岩石圈的研究水平,为深入理解克拉通形成的地球动力学过程和深部地壳出露机制提供了重要依据。

通过对南海和东海陆-海接合带地壳结构的联合探测,查明了从陆架-斜坡-深海盆地的岩石圈分层结构:南海陆架区的地壳厚度30 km,为大陆型地壳;陆坡区地壳厚度28—22 km,其中下地壳(8 km)向洋盆方向迅速减薄并尖灭,为过渡型地壳;中央海盆地壳厚度8 km,为大洋型地壳。提出了冲绳海槽热流体力学模型和南海盆地演化3个扩张期的认

识。

(5) 地球表层系统演化及环境效应研究

除前述黄土气候研究外,岩溶作用与碳循环研究方面,提出岩溶可回收 CO_2 ,回收量为排放量的10%,即全球岩溶每年可回收碳6.08亿吨。这一结论揭示出岩溶作用对大气温室气体源汇的重要影响。利用桂林盘龙洞1.22 m长石笋,重建了中国南方3.6万年以来古气候变化的连续岩溶剖面,揭示了末次冰期以来气候的演变过程;其分辨率在暖湿期可达100年。这一重大突破得到了国际地学界的高度重视,我国科学家组织的“岩溶作用与碳循环”国际地质对比计划(IGCP379)在Internet网上建立主页的3个月内就有1090人次阅读。

通过对华北平原第四系地下水系统在自然条件和人为因素影响下,地下水循环系统演化的综合研究,提出强烈的地下水开采和人类活动影响下,统一的区域流场被局部的、封闭的流场所分割,并形成3个地下水降落漏斗,如石家庄漏斗、冀枣漏斗、沧州漏斗等,进而指出华北地区地下水环境在今后的几十年内将持续退化的认识,引起有关部门的高度重视。

工程建设的环境制约、工程地质环境效应机制、工程地质环境系统演化及综合工程地质环境效应评价等领域的研究进展,为开拓环境工程地质学提供了理论基础。在地表变形、斜坡失稳、水库滑坡、诱发地震及城市环境等方面的创新成果,对重大工程环境决策具指导意义,并取得了一定社会效益。

珠江三角洲地表系统中优控有机物迁移转化机制与调控的研究,建立了环境优控有机污染物的分析方法,对粤、港、澳地区城市及不同功能区大气中挥发性有机物和气溶胶中可溶有机质的空间分布、污染源以及沉积物中有机污染物的种类、运移转化及与人体健康的关系,取得了阶段性的成果。

3 地球化学

(1)“低温地球化学”重点项目率先在国内开展了低温($<200^\circ\text{C}$)地球化学领域的观察、测试与实验工作。完成了低温条件下某些成矿元素的活化、迁移及沉淀实验;开展了低温开放体系中水-岩相互作用研究;在低温矿床和含矿层位研究方面,研究并报道了我国2个独立铊矿床、提出了独立银矿床的概念、确定了油气演化与Au, Ag, Hg矿床的源、储、盖具相似性、肯定了贵金属元素在低温条件下的活泼性;对盆地沉积物埋藏成岩过程中活性元素的地球

化学行为进行了较系统的研究。通过该项目的研究工作在我国初步建立了低温地球化学这一分支学科。

(2)“地幔流体与软流层地球化学”重点项目不仅揭示了软流层的6大具体地质特征及地幔流体活动的地质记录,并在此基础上提出了地球5个气圈及地幔流体成矿等假说,更重要的是论证了地幔流体是引发地幔和地壳中岩浆作用、成矿作用(包括金属、非金属及油气藏)、大地构造运动(包括火山、地震和其他自然灾害)的主导因素,为地球科学由昔日的固体地球观向今后的流体地球观作深刻的、根本性的概念转变打下了一个坚实的基础。

(3)基于部分天然气的非生物成因观点,“非生物成因天然气的来源、特征”研究指出地球从原始太阳星云中获得大量的原始烃类气体,它们可能是非生物成因天然气的主要来源;地球深部的高压条件可使部分烃类物质保持稳定并向复杂烃类系列演化、在适合的成藏条件下形成具商业价值的天然气藏。该项目的突出进展是揭示出原始未分异地幔流体成分以 CH_4 和 H_2 占优势的特性、地幔气体组成的不均一性和烃类气体可存在于还原性强的地幔流体中;通过费-托反应模拟太阳星云物理化学条件获得了合成产物甲烷同系物 $\delta^{13}\text{C}$ 反序排列的结果;特别是在松辽盆地昌德、肇西气藏区发现了非生物成因天然气藏的地质、地球化学和地球物理证据。

(4)重点项目“云贵高原湖泊现代沉积地球化学过程及环境信息的辩识与提取”在国际上首次应用 ^7Be 示踪岩溶地区表土侵蚀的季节性迁移,通过湖泊水-沉积物界面Fe, Mn循环的“双界面”控制机理研究用于解释古湖面波动历史,探讨湖泊沉积的环境代用指标并用于恢复200年以来的环境历史,同时对 ^{137}Cs 蓄积峰时标的可靠性及 ^{210}Pb 分段模拟计年方法进行了研究,通过岩溶地区陆地侵蚀及湖泊表层碳酸盐沉积与溶解的过程分析,宏观分析了碳循环的源汇关系。

(5)大陆俯冲化学地球动力学在“八五”、“九五”已形成本学科的一个研究热点。有关项目以大别-秦岭地区为研究基地,在陆壳俯冲事件年代学、超高压岩石冷却史及折返机制(包括方法学)、区域地球化学理论体系的探索 and 同位素地球化学填图、俯冲陆壳与上地幔相互作用、俯冲陆壳物质再循环等方面均取得了引人注目的成果;在中国东部岩石圈的化学结构和热状态、造山带构造地球化学及其动力学机制、青藏高原构造抬升史的热年代学等方面取

得许多创新性认识。

4 地球物理与空间物理学

“八五”重大、重点项目的研究成果可归纳为以下几个方面：

(1) 地震灾害预测

把复杂系统的非线性动力学的理论引入中国地震活动性和10年尺度地震危险性的预测研究中,编制了国际上第1张10年尺度地震灾害损失预测图,研制了与之相应的“地震灾害信息处理系统”。陈颙院士承担的该项基金所取得的成果,获得了1997年国家科技进步奖三等奖。

(2) 中国大陆主要地块的历史重建

根据实验测试结果,对重建与演变作了分析。确定了华北块体在早古生代独立的位于南半球中低纬度地区;扬子块体与冈瓦纳大陆关系密切,可能在晚奥陶世远离冈瓦纳大陆。晚古生代,塔里木块体以平移运动为主,但伴随有明显的顺时针旋转运动,直到晚三叠世才与华北块体在纬向上的位置相近。西伯利亚与塔里木地块的拼合发生在二叠纪,而华北与西伯利亚块体的拼合则是在晚侏罗世完成。

(3) 结合实际开拓油储地球物理学

通过大量科学测试基本查清天然条件下大庆油气储层参数与地球物理参数之间的定量关系,为利用地球物理方法探测储层位置、空间变化和含油性打下基础;利用综合地球物理测井新技术,能划分厚度仅为30cm的油气储层,并为确定储层渗透率提供了新的方法,利用三维偏移和叠前深度偏移等新方法,正确地提示了复杂地质构造的面貌,特别是非线性地震反演理论的建立使地面反射地震追踪大庆油气储层的分辨率提高到5cm,在储层地震参数空间变化研究上,建立了多波勘探的反演、偏移理论和方法及相应地震处理解释系统。

(4) 青藏高原及其邻区岩石层构造及地球动力学

(i) 喜马拉雅地区深反射地震试验获得突破性成果

(a) 发现了地壳中部28—4km深处一组强反射带,命名为主喜马拉雅逆冲断裂带(MHT);提出了印度陆壳或下地壳沿此拆离带向西藏地壳之下俯冲的新认识;(b) 喜马拉雅山脊处的荡拉及以南帕里,莫霍深度达73—75km,向北倾斜延伸,在更深部位还发现了第二莫霍面;(c) 在上地幔内的土32—36.4s、34—41.6s和38—46.2s等处发现有延续较长的同

相轴,推测是岩石圈和上地幔内反射层,岩石圈地幔厚约几十公里;(d) 上地壳厚度大,达30—40km,反射图案十分复杂,表现为叠瓦状结构和陡坡结构,藏南滑脱系和叠覆增厚显示明显;(e) 下地壳反射图案与上地壳不同,表现为几个反射带短而平行,并有起伏和断错的特点,总体上显示了更多的塑性和流变性。

(ii) 通过对青藏高原北部邻区(昆仑造山带、柴达木盆地、祁连山带、河西走廊盆地、北山)的综合调查和地球动力学研究,获得以下新认识:

(a) 发现壳内20km附近普遍存在低速层,南祁连地壳巨厚(74km),具有青藏高原厚地壳特征,而北山地壳薄平均45km;(b) 通过近垂直反射地震剖面发现,金塔以南的宽滩山存在一条隐伏大断裂,下切到中、下地壳,推测为青藏岩石圈北缘的边界断裂;(c) 将该区域划分为5个构造带和6个不同性质的地体。提出了印度板块向北为主,西伯利亚块向南为辅的双向挤压以及通过壳内滑脱和西侧逆冲推覆是本区大陆岩石圈变形的主要力源的地球动力学模型;(d) 根据国际岩石圈委员会统一要求编制了地学断面图。

(iii) 青藏高原现代地壳运动与形变研究的新进展

首次在青藏高原采用三维线弹性构造应力数值模拟方法,结合GPS复测数据求得了青藏高原现今构造应力场,结果表明,压应力方向在喜马拉雅块体近正北方向,而北部块体为北北东,压应力轴倾角近于水平,主张应力在高原中部近于东西;3期监测结果定量地给出了青藏高原各地体运动速率和方向的清晰图像。

(5) 日地系统能量传输过程研究取得重要进展

(i) 利用微波爆谱参数诊断日冕磁场强度的新方法可提高估计精度近10倍,特别是将边界元法引入太阳大气磁场计算,国际权威把它列为目前国际上有竞争力的5种算法之一,并为日本国立天文台安装使用。

(ii) 发现太阳等离子体质量、动量流量的输出存在全球结构,太阳磁场起控制作用,指出太阳附近的磁盘—电流片磁结构对激波传播有偏转、会聚和阻碍作用,导致日地系统响应变化存在重要的“同一异侧效应”。

(iii) 建立了不同行星际条件下高纬边界层整体重联结构模型。

(iv) 首次给出了亚暴电流体系定量分离方法,

定量论证了“驱动过程”和“卸载过程”在亚暴不同相位的贡献和特征。发现我国中部地区的中尺度电离层行扰,存在2个明显的优势传播方向,其激发源分别出现在青藏高原的东南缘和东北缘地区。

(V)首次发现了大气重力波的临界层现象和中层顶存在能量下行的重力波,提示出临界层在中层VHF雷达回波产生中的重要作用,提出了中高层大气重力波动力学是由非线性与损耗共同决定的思想。

5 大气科学

5.1 中国地区大气臭氧研究

在我国首次对大气臭氧进行较为综合而系统的科学试验,并利用TOMS和SAGE卫星资料较全面地揭露了中国地区大气臭氧柱总量以及对流层臭氧总量自1979年以来的变化特征和规律,在国际上首次发现青藏高原夏季上空存在大气臭氧低值中心。完成了青海瓦里关山等4个典型地区地面臭氧及前体物的野外观测工作,取得了较系统和完整的一年观测资料,揭示了其变化规律,并建立了相应的资料库。实验研究测定了我国近40种主要树种碳氢化合物排放量,以及OCS和N₂O生物质燃烧源和土壤排放量,并给出了全国1°×1°排放分布图。利用长光路傅里叶红外仪完成了CFC代用品的光化反应实验研究,提出了我国采用HFC-152a做为CFC-12部分用途代用品的建议。提出了我国二维大气臭氧物理-动力-化学耦合模式,并对全球大气臭氧变化和青藏高原大气臭氧低值中心的形成机制取得了成功的模拟结果。通过观测资料与数值模拟结果的综合分析,对全球大气臭氧总量未来变化趋势和中国地区地面臭氧趋势提出了初步的评估性预测意见。指出我国发达地区的地面臭氧已经超过农作物生长安全值,对农作物可能产生严重影响。

5.2 大气边界层湍流动力学

选择典型天气系统和天气过程,进行中尺度非均匀大气边界层的综合观测实验开展理论分析、数值模拟研究,获得了较系统、完整的资料。总结了北京、南京地区寒潮的气候特征,分析了冷锋过境时城市及郊区边界层结构和湍流演变特征,发现冷空气入侵期间存在着强的感热输送和热对流等现象,首次提出EKman动量近似,建立了含稳定性、粗糙度及水平梯度、斜压性等多因子的EKman抽吸速度公式,揭示了边界层内部运动及与自由大气相互作用的新规律;建立了适合我国有限计算资源条件的大

涡模式,在湍流内外间歇性等若干基本问题的研究上取得了重要进展。

5.3 低纬大气热源与环流变异规律

从5°N与45°N纬向的准40d振荡纬向移动分析,提出热带低层以向西传播为主,而高层以向东传播为主,中纬度高低层均以向西传播为主的与过去完全不同的新的理论结果。提出在中纬度区上、下层之间没有位相的传播,而在热带区850—500hPa间具有向上传播的位相,在100—300hPa间却向下传播并在300hPa左右产生汇合的新的看法。分析了低纬地区尤其是亚洲季风区大气热源和水汽汇合的水平分布和垂直结构,及其年际变化和季节内变化特征,指出冬半球洋面上水汽源区对夏半球热源区维持很重要。改进和发展了5个数值模式,完成了13个数值试验,加深了对大气低频波列形成与低频传播,以及全球低频的能源汇形成与维持的机制的认识。

5.4 雷电物理学研究

在完善传统的地面人工引雷技术的基础上,发展了更能反映自然雷电特征的空中引发雷电技术,建立了雷暴下空间电荷演化数值模式,在国际上率先建立了人工引发雷电的空中电场判据,有利于提高人工引发雷电的成功率;在中国南北方地区成功引发不同类型的雷电14次,揭示了南北雷暴及人工引发雷电的特征及差异;改进了国际上沿用的地闪传输线模式,对闪电电流和辐射电磁场的关系提出了更合理的解析;首次通过光学观测证实了闪电通道发展中双向传输现象,下行先导接地瞬间会产生类似于回击的快速高电流脉冲;在国际上首先发现了人工引发雷电有抑制冰雹、增加降水的作用,并对这种电催化原理进行风暴人工影响的可能性给予解析,在雷电防护和农业防雹上有巨大的潜在应用前景。

5.5 中层大气物理学

对皮纳图博火山云的垂直结构演变,粒谱分布进行系统监测,为本世纪最强火山爆发对北京上空分布影响提供了系统资料;建立了臭氧垂直结构的探空系统、地基曙暮光和气晕探测系统,得到了北京地区臭氧垂直结构的季节变化和双峰特性等有价值的结果;建立了适合研究中层大气行星波传播及波流相互作用的全球模式和数值模拟试验,提出了平流层SSW强烈非地转不稳定性激发大振幅重力波的新观点;建立了中层大气光化模式,模拟研究了太阳质子事件对中层大气臭氧影响过程,以及上中层

大气对太阳紫外 27 d 周期变化的响应,取得了与实测比较一致的结果;建立了具有国际先进水平的紫外绝对谱测量系统,开展了长期监测。

5.6 中小尺度天气学

从气候上说明中国多暴雨的特点,从耦合和相互作用的观点研究高低空急流的作用,地形、急流与锋面的相互作用对中尺度雨带的影响,凝结加热和地表热通量对暴雨的作用以及梅雨锋维持的机理等,揭示和发现了不少新的事实:提出广义 E-P 通量和中尺度波包的新概念,提出非线性对称不稳定的新结果,得到广义的不稳定理论的解析表达式以及孤立波和孤立波群与地形相互作用的解析解等;建立了一个包括雷达监测处理、资料同化、中尺度数值模式、显示和诊断分析等 5 个部分的中尺度数值模式系统,不但可以较成功地模拟多种中- α 小尺度系统和暴雨过程,还可以模拟中- β 尺度系统的演化。可用于预报,有重要的应用价值。

6 海洋科学

(1)“中国海陆架环流及其动力机制研究”重点项目成果显著。

(i)建立了 lagrange 时均环流理论的新框架,并研制了相应的数值方法,在中国陆架海进行了较成功的应用;揭示了陆架浅海环流的某些动力机制;发展了浅海 lagrange 余流和长期输运过程理论,建立了一种陆架/河口环流广义滞流封闭方程组,使探讨诸如感潮河口丰水期大径流及潮流同时占优时的环流,及东中国海陆架上黑潮和潮流同时占优的环流成为可能;

(ii)进一步为台湾-对马暖流系统的存在及驱动机制提供了依据,丰富了关于大洋强流对陆架海环流影响的认识。首次提出了“东海北部集散区”可以作为对马暖流的源区,它向东北流出部分即为对马暖流。

(iii)提出并论证了东海沿岸上升流中潮生成成分存大的新观点。在闽浙沿岸上升流中,属首次发现含有潮汐非线性效应引起的潮致上升流成分;

(iv)揭示了黄海冷水团、长江冲淡水及陆架中尺度涡等重要中尺度过程的演变规律。

(2)“热带西太平洋海洋环流实验研究”取得较好进展

(i)通过资料分析研究,指出,黑潮源流的向北输送有明显的年际变化,且与 ENSO 事件有一定关系;

(ii)在收集历史资料和 TOGA-COARE 中方以及外国调查的有关资料基础上,建立了热带西太平洋及黑潮流系数据库;

(iii)发展了一个有较高分辨率的热带太平洋海洋模式,该模式可作为进一步研究与业务预报的重要工具;

(iv)通过分析海上大气边界层观测资料揭示若干重要事实,如暖池区大气边界层主要是对流边界层状态,潜热通量是该海域大气加热的主要因子;TCO₂ 和 PCO₂ 分布与变化 ENSO 事件有密切的关系;铁的沉降量在热带西太平洋明显高于热带太平洋其他海域。应用模式和相应的资料讨论了层状云覆盖边界层顶部与上层相互作用的物理过程,分析了西太平洋海域感热和潜热通量的地理分布和季节变化及其与厄尔尼诺之间的关系。

(3)海峡两岸多船、准同步、大范围在南海东北部海区进行环流合作调查

由国家海洋局派出的“向阳红 14 号”、福建海洋研究所的“延平二号”以及台湾大学海洋研究所的“海研一号”和“海研二号”等 4 艘调查船于 1994 年 8—9 月间,对北纬 18°—24°N,东经 113°—123°E 所包围的整个南海东北部区域以及台湾海峡南部、巴士海峡以东局部区域实施了涉及 3 个专业(海洋水文、海洋气象和海洋化学)的 20 余个项目的观测(如:水温、盐度、海流、气温、湿度、风速、风向、Ra、¹⁸O 等);并使用了 CTD、ADCP、质谱仪、AA11 自动分析仪、高效液相色谱仪、液体闪烁计数仪等一批先进的海洋调查仪器、设备。根据调查所获之水文、水化学和同位素等资料,就南海东北部的有关海洋现象作了全面分析研究,不仅对夏季该海域的水文状况,流场结构以及水化学和同位素地球化学要素的分布,变化有了更深入的了解和认识,还首次披露了在东沙群岛东北方存在一个反气旋涡,其直径约为 150 km,垂向深度超过 1 000 m,呈高温和次高盐特性;此外,在南海东部海域,发现一支由南向北沿菲律宾西海岸北上的海流,在卫星映像上也有明显反映,似有终年存在的迹象,其水体呈高温和低盐的性质,它们的发现对进一步研究南海域的有关海洋学问题无疑会起到积极作用。

(4)我国全球海洋通量联合研究(JGOFS)形成自己特色

中国是最早介入 JGOFS 计划活动的国家之一,并于 1989 年 2 月成立了 JGOFS 中国委员会,制定了以陆架海洋通量为主体的中国 JGOFS 科学计划,重

点项目“东海陆架边缘海洋通量研究”(1991—1995年)在某种程度上推动了国际陆架边缘海洋通量的研究,并取得了一系列重要的结果:确定东海是CO₂的“汇”,软泥区为“物质汇”,东海每年大约可从大气吸收720万吨碳;得到了东海初级生产力和新生产力的变化范围;浮游植物在碳的垂直转化通量中占绝大部分;东海陆架碳的储存量以无机碳为主,颗粒碳的垂直通量中以颗粒有机碳POC为主;对东海典型海域沉积物交换吸附特性研究提出了多型等温式;提出了东海河流入海物质和陆架生成物质向外海运输主要是在冬季季风驱动的垂直环流的作用下进入冲绳海槽的观点,并计算得出每年东海陆架上向冲绳海槽运输的颗粒物约为0.1—0.15亿吨;研究发现了东海陆架上悬浮物的层化;指出东海的再悬浮计算方法;用几十年历史资料计算东海各海峡的海水通量的结果说明其水量基本平衡;计算了通过PN断面和吐噶喇海峡黑潮的水量、热量和总碳的水平通量。

(5)“黄海海底辐射沙洲形成演变研究”取得一些重要进展,并带来了明显的经济效益,已在地方经济建设中发挥作用

(i)以多次实测资料合成编制中比例尺海底地形等值线图,用计算机演算获得辐射沙脊海区海底地形基本形态与数据。为该区科学研究与国家建设提供了完整精确的地形资料。

(ii)建立了该海区潮流场、波浪场、风暴流场等数学模型和潮流输沙模型,在国内首次提出逆波向浅水波谱折射数值模式,解决了复杂地形下波浪折射计算的难题,提出辐射沙脊“潮流塑造,风暴破坏,潮流恢复”的演变机制。

(iii)建立了长时序多目标数值模型,在沙脊区建立了平面二维模型,获得了潮流动力场及泥沙场,并在潮流通道中建立了准三维模型,得出潮流泥沙分层流场,为辐射沙脊形成演变、动态预报模型的研制奠定基础。

(iv)通过600 km浅层剖面测量及上千个样品分析,取得的成果有:(a)辐射沙洲是更新世末期以来海面上升过程中,古长江堆积体受南黄海潮波辐聚与辐射流作用所形成;(b)沙脊群中、南部普遍发现古河道;(c)辐射沙脊由3部分组成,中部、南部是改造的古河谷及堆积体,东北部为辐射流塑造的沙脊群,北部为冲刷性深槽与沙脊;(d)辐射沙脊主体沉积细砂与古长江河床质相关,粉砂粘土物质受古黄河与长江双重补给;(e)沙脊与深槽的发育具阶段性。辐射沙脊是河-海体系在海陆交互作用中的产物。

该项目研究成果亦为省市地方政府开发滩涂与浅海渔场提供了详细的面积、水深地形及环境动态等基础材料;潮流通道成因、动态、稳定性研究为该区域建设深水港提供了有力的佐证。

PROGRESS OF THE FUNDED PROJECTS OF THE DEPARTMENT OF EARTH SCIENCES

Lin Hai Ma Fuchen

(Department of Earth Sciences, NSFC, Beijing 100083)