

大气科学的发展趋势及研究热点

大气科学是研究地球及其他星体大气的特性、组成、结构、分布、时空演变、物理现象、化学反应、运动规律及揭示天气气候运转规律、气象自然灾害成因、人类活动影响效应等问题的学科。21世纪以来,大气科学发展的一个主流特征是突出多圈层及其相互影响,注重从大气圈拓展到水圈、生物圈、冰雪圈、岩石圈的相互作用来理解全球气候变化及气候系统的运动和过程,探讨不同时空尺度的气候变率,分析人类活动对气候变化的影响,解决季节、年际特别是未来50~100年气候变化趋势预估等问题。气候和环境变化及其影响、预测、控制是目前大气科学研究的重要前沿。促进全球气候系统中各种物理、化学、生物过程的深化认识和定量分析,建立精细大气预报模式成为关键科学问题。天气、气候、气候变化、大气探测、大气化学、大气物理、大气动力学等研究是大气科学发展的着眼点及突破口。

1) 卫星气象研究。卫星气象学重在研究利用卫星探测各种气象要素的原理和方法,研究卫星资料应用于大气科学各个领域的方式和结果,卫星资料在数值天气预报中的应用、气候与气候变化、环境与灾害遥感、农业气象等是目前的重点领域,卫星垂直探测仪资料同化、红外高光谱探测资料同化等为优先主题。目前中国气象卫星寿命较短、规划布局不尽合理、遥感仪器技术性能较低、应用系统能力和水平较差。未来发展中,应集中有限资金和技术力量,加强有效载荷研发,突破长寿命、高可靠性等关键技术,通过“一星多用”、组网观测实现持续、稳定、综合观测;促进遥感仪器时、空分辨率和探测性能向“高空间分辨率、高时间分辨率、高光谱分辨率、高辐射精度、全球、全天候、多波段观测”发展;融合处理微波、红外、可见光多频段多通道资料,利用被动遥感仪器及测雨雷达、激光雷达、散射计等主动遥感设备及数据,获取全球降水、土壤湿度、风场、大气气溶胶垂直廓线等定量信息;提高卫星资料定标定位、遥感应应用定量化水平,促进遥感资料在数值预报预测中得到充分应用。

2) 大气探测研究。气象观测系统按传感器位置可分地基、空基、地基观测系统。大气探测技术总的趋势是向综合探测、信息获取—处理—传输一体化、遥测遥感自动化、高精度、探测仪器多功能及小型化方向发展。中国大气观测研究中,应重视地球观测系统、气候观测系统、综合观测系统的理论研究,开展有关观测项目的系统试验;研制国产高精度的气象要素观测传感器,提升气象要素遥测水平;发展地基遥感技术,提高气象灾害监测能力;开展新技术、新方法研究,提高观测系统自动化水平;研究气候观测网、天气观测网、专业气象观测网的业务布局技术,建设综合气象观测系统;开展综合气象观测数据质量控制研究,开发气象观测资料处理系统、气象观测产品;开展装备监控、保障和检验检测技术研发,提高观测系统技术保障水平。

3) 雷达气象研究。雷达在大气探测中具有优异性能,其探测原理、气象雷达技术和回波分析解释等研究已获重大进展。天气雷达探测技术的发展趋势为:从地基雷达到空基及天基雷达探测,从单基到多基探测,从单一参数到多参数探测,从低时空分辨率到高时空分辨率探测,从单站到全网综合探测。雷达系统的关键技术为:雷达信号处理和计算能力,有效减轻距离和速度模糊

技术,过采样技术,快速扫描技术,脉冲压缩技术,宽带通信网、数据压缩技术、数字中频改造技术、相位编码技术优化等。中国应加快雷达系统控制、后台数据处理等软件技术的开发应用,加强双线偏振多普勒天气雷达、相控阵多普勒天气雷达等新技术雷达的研制发展,实现大小雷达和移动化雷达组网、全天候不间断观测及加强资料共享,提高现有雷达应用水平,建立快速反应的气象雷达技术保障体系。

4) 动力气象研究。动力气象重在研究与天气过程发展相联系的大气涡旋运动、波动、边界层、湍流及各类能量相互交换等问题。其发展趋势为:①通过收集和分析观测数据以及对耦合模式的发展应用,提高季节、年际、年代际、千年尺度上的气候变率、可预报性、气候变化及其物理过程的理解水平;②了解影响全球和地区水循环、辐射平衡、能量传输的大气热力学过程及其在全球变化过程中的作用,分析大气动力过程在全球变暖背景下的变化及异常特征;③理解造成气候变化的各个物理过程的气候强迫作用,了解气溶胶过程的直接和间接气候强迫效应;④了解冰雪圈与气候系统相互的物理过程及其反馈作用,提高对冰雪过程的模拟水平,减少模拟和预报气候变率和变化过程中的不确定性;⑤认识气候—化学过程相互作用、平流层—对流层动力相互作用、平流层物质成分变化对大气过程和环流的影响;⑥结合干旱、暴雨洪涝、高温酷暑、低温冰冻、沙尘暴等天气气候过程,加强极端天气和气候过程的动力学研究。

5) 气候研究。气候研究的发展趋势是:重视不同时间尺度气候变异的监测、预测和影响评价;耦合海—陆—气过程、生物地球化学过程、生态过程、化学过程、电离层过程,研制更加完整的气候系统模式;加强气候资源的评估、利用、管理及气候区划工作;重视太阳能、风能资源精细化评估技术和大型工程、城市规划的气候评价技术研究。中国气候研究需关注的问题是:①亚洲和中国地区气候系统监测诊断,其关键问题是东亚地区气候季节和年际异常特征的监测及诊断判识方法、极端天气气候事件监测技术;②月—季—年尺度气候变异的可预测性,其关键问题是大气内部低频动力过程及演化规律、陆气及海气相互作用过程对月—季节内尺度气候影响,东亚季风活动季节—年际尺度演变特征的诊断和识别,热带与热带外强迫、中高层大气和年代际变化对季节—年际气候异常的影响和作用,多种预测方法集成;③气候区划与灾害影响评估,其关键问题是全球变化背景下气候区划的变化特征,重大气象灾害评估技术,气象灾害保险指数体系制定;④气候资源开发及气候可行性论证,其关键问题是数值模式的精细化评估技术,太阳能、风能预测模型,气候资源开发利用评价技术;⑤气候系统模式研发,其关键问题是包括海—陆—气—冰—生耦合、气溶胶、大气化学、碳循环过程的地球气候系统模式,模式系统的并行化技术、耦合技术,高分辨率区域气候模式,业务气候预测模式对亚洲季风区降水的预测能力;⑥应用气候学研究,其关键问题是年际气候变异和极端气候事件对中国农业生产的影响,特大城市和大城市气候时空变异规律,极端天气气候事件和气候区域分异对人类健康和疾病的影响,区域旅游气候评价,年代尺度水文气候预测。

6) 气候变化研究。气候变化科学问题包括气候变化的自然科学、气候变化的影响/适应/脆弱性、减缓气候变化 3 方面。其发展趋势为:气候变化模式研究正沿海气耦合模式-物理气候系统模式-地球系统模式方向发展,目前须攻克的首要问题是改进和完善物理气候系统模式性能,而加强生态系统生物地球化学模式研发是地球系统模式研究的关键任务;提出新耦合理论方法和高性能计算方法,实现生态系统模式与气候系统模式耦合;加强近地空间环境模式和固体地球模式的研发,完善地球系统模式。中国气候变化研究需关注的问题是:① 气候变化的规律和机理研究,其研究方向包括全球气候变化的事实、成因及多尺度相互作用动力学,全球气候变化的驱动机制、关键反馈过程及其不确定性,地球系统多圈层非线性相互作用和非线性响应过程,全球气候变化的敏感性、脆弱性、突变规律及可预报性,全球重点地区气候变化规律及其预测理论;② 人类活动对气候变化的影响研究,其研究方向包括全球温室气体排放历史、排放期权、减排成本与潜力、趋势,大尺度土地利用变化对气候变化的影响,人为气溶胶对气候变化的影响,人类活动对 20 世纪全球变暖的影响;③ 气候变化的影响及适应研究,其研究方向包括气候变化对水循环机水资源的影响机制与适应途径,生物圈和冰雪圈受气候变化影响的脆弱性及适应性,气候变化对粮食安全和人类健康的影响与适应,极端天气气候事件演变规律及其影响和适应,气候变化的社会经济影响与人类有序适应的科学途径,地球系统自然过程对气候变化影响的适应弹性与阈值,适应气候变化和减排温室气体策略的科学基础;④ 综合观测和数据集成研究,其研究方向包括气候变化关键参数和过程的多变量联合观测及监测,高精度遥感传感器的研发和遥感-地基观测资料的对比与校准,海量数据的同化、融合、集成技术与共享机制;⑤ 地球系统模式研究,其研究方向包括气候系统模式的改进与完善,生态系统模式的建立与完善,地球系统模式的耦合理论方法和高性能计算方法,地球系统模式的模拟/评估及高性能集成环境建设、近地空间环境模式和固体地球模式。

7) 大气物理研究。大气物理主要研究大气中声象、气象、气象、辐射过程、云和降水物理、近地面大气物理、平流层和中间层大气物理。其发展趋势为:① 大气辐射研究,了解大气介质及其下垫面物质的辐射特性、研究在复杂下垫面和三维不均匀大气介质中辐射场的分布及其相关能量交换、推算辐射场对大气动力过程及大气介质和下垫面特性变化的作用,重视辐射传输方程研究、开发辐射传输计算方法及软件、建立反映中国地区特点的大气模型,发展处理球面分层到三维不均匀大气和下垫面的模式、计算辐射场偏振状态的模式等针对各种具体情况的辐射传输模式;② 云和降水物理研究,认识云和降水物理学基础理论在当前全球变化条件下的新规律及其在实际大气应用中的新问题,探讨大气污染环境下云雾形成条件、环境、机理的变化及对地气系统辐射平衡和全球水循环的影响,观测不同类型气溶胶在不同相对湿度下吸湿增长特性、分析吸湿性参数描述气溶胶吸湿特性和活化成为云凝结核能力的适应性,研究云降水过程对中国地区大气水循环和淡水资源的影响,了解大气中水汽的分布和变化规律,重视针对水汽探测的大型外场实验;③ 大气电学,重在研究与全球大气电路有关的科学问题及相关探测技术,利用新型雷电探测手段及雷暴云内动力和微物理过程的探测和反演来研究不同降水特征雷暴的起电和雷电机理,通过获取、积累、同化高质量雷电资料来研究电与强对流灾害性天气,揭示近距离雷电电磁场特征及其与放电通道电流的关系、关注雷电对电子设备破坏机理及防护措施,重视雷电引发的中高层大气放电、与雷暴相联系的地球

γ 射线闪、双极性窄脉冲放电事件等现象及其机理研究;④ 大气边界层和大气湍流研究,大力发展温湿探测仪、GPS 探空仪、湿度和痕量气体快速响应探测仪等大气边界层探测技术设备、基础工艺、基础器件研究,改进观察方法、提高观测资料质量,结合卫星遥感、地面观测资料估算区域能量收支和输运特征,改进和发展气候模式中关键物理过程参数化方案、提高耦合模式对气候变化模拟的技巧和能力,增加生物圈 CO_2 同化方案、发展和完善考虑全球碳循环的陆面过程模型。

8) 大气化学研究。大气化学主要研究大气的化学组成及其浓度/分布/演变规律、化学过程、观测技术、数值模拟等问题。其发展趋势是:深入研究温室气体及相关微量成分、反应性气体观测、大气气溶胶、酸雨及降水化学、大气臭氧总量等基本问题;促进新探测技术研发及应用,建立地基、海洋、船舶、探空、飞机和卫星遥感等多样化、立体化观测平台,促进观测技术向高精度、高灵敏、高分辨发展;在天气模式中考虑大气成分的作用,在天气气候模式中在线耦合气态化学和气溶胶模式,研究大气成分对云和辐射的影响,提高天气预报和气候预估能力;加强大气化学基础理论研究和模式自主研发,认识大气成分及其变化对天气、气候、生态、环境、人类健康等的影响。

9) 数值预报研究。数值预报研究的对象是天气演变过程。其发展趋势为:由短期、中期预报向长期预报努力,数值预报模式走向精细化、模式大气接近真实大气、技术方法出现多元化,数值模式发展进入全球中尺度理论和应用试验,由天气模式一体化迈向天气气候一体化模式,海-陆-气-冰耦合的气候系统模式日趋完善,业务模式与研究模式走向融合。中国数值预报研究需关注的问题是:① 观测系统设计理论与观测系统试验研究,重点关注数值预报对观测系统的敏感性理论、面向数值预报的观察系统最优设计理论与方法、观测系统的数值试验及模拟试验;② 资料四维同化与多种观测资料融合理论,重点关注天基/空基/地基遥感观测资料同化、面向云可分辨模式的资料同化、大气以外圈层观测资料的同化、资料同化的新理论与新方法;③ 精细化动力模式构造理论,重点关注精细化动力模式所包含的大气运动过程或大气运动谱研究、精细化动力模式的高精度数值离散化方法及相关数值解法;④ 精细化数值模式中的物理过程参数化,重点关注适合东亚季风区云与降水特点的显式云方案研究、精细边界层过程研究、非均匀下垫面的精细陆面过程研究、边界层内大气物理/化学过程研究;⑤ 大气模式与其他圈层模式耦合,重点关注大气模式与精细陆表过程模式的耦合及其对对流性降水预报准确率的影响、冰雪圈模式和大气模式的耦合及其对局地及相邻地区天气演变的影响、大气模式与海洋环流模式或海洋混合层模式的耦合及其对沿海地区精细天气预报和对台风强度/路径预报的影响、陆面水文过程资料/植被/积雪/冰盖/土壤水分/地层温度/海温/海浪等大气以外资料对数值精细预报的影响。

10) 农业气象研究。当前世界上农业气象工作的重点是环境、气候变化、生物多样性、干旱和荒漠化、粮食安全、可持续发展 6 大问题。中国农业气象研究需关注的重点是:农业气象监测预测体系、农业应对气候变化研究、农业气象防灾减灾技术、农业气候资源高效利用、设施农业气象服务技术、作物模型和遥感的耦合技术等。

注:本文据《大气科学学科发展报告(2009—2010)》编写,详细内容请参见“中国气象学会 编著. 大气科学学科发展报告(2009—2010)[M]. 北京:中国科学技术出版社,2010”。
(责任编辑 陈广仁)