

大气科学的工程化建设

温克刚, 李 黄, 李泽椿, 陈新强

(中国气象局, 北京 100081)

[摘要] 文章概述了大气科学的涵义及其对人类生存和发展的重要性, 包括防灾减灾、气候资源的开发利用、生态环境的保护、水资源的可持续利用等。大气科学造福人类的途径是通过大气信息的开发利用, 而必须按信息工程的特点进行工程化。简要回顾气象主要工程建设的基本情况及其应用效益, 提出未来30年内的发展和大气科学工程建设的基本思路、需要建设的若干骨干工程: 大气监测自动化系统工程、短期气候预测业务系统工程、卫星综合应用业务系统延伸工程、中尺度(局地)数值天气预报业务系统工程、人工影响天气系统工程、气象服务体系工程等, 以及进行建设的若干主要措施。

[关键词] 大气科学; 工程化建设; 回顾; 构想

1 引言

大气科学是研究大气的各种现象的演变规律, 以及如何利用这些规律为人类服务的一门科学。大气科学在很长的历史发展过程中, 先是以气候学、天气学、大气的热力学和动力学问题以及大气中的物理现象(如电象、光象、声象)和一般的化学现象等方面为主要研究内容, 传统称之为“气象学”。随着现代科学技术在气象学中的应用, 其研究范畴日益扩展, 20世纪60年代以来, “大气科学”术语的应用日益广泛, 它大大扩充了传统气象学的研究内容, 除主要研究大气圈的各种现象之外, 还涉及与大气圈相互影响和相互作用的水圈、冰雪圈、岩石圈和生物圈等的有关现象^[1]。地球的这几个圈构成人类赖以生存和发展的基本环境。

人类要利用大气演变规律为自身服务, 必须将大气科学的理论结合相关科学技术工程化, 才能将其转化为现实的生产力。本文从大气对人类生存发展的重要性入手, 结合气象工作的实践, 就大气科学的工程化建设的某些问题进行讨论。

2 大气科学对人类生存与发展重要性

大气的各种现象及其变化过程, 既可带来雨泽和温暖, 造福人类; 也可造成酷暑严寒, 以至旱涝风雹等灾害, 直接影响人类的安全和生产。随着科学技术和生产的迅速发展, 大气科学在国民经济和社会生活中的重要作用日益显著。当前, 其作用主要体现在下面四个方面。

2.1 防灾减灾

我国是世界上自然灾害最严重的国家之一, 自然灾害种类多、频度高、强度大、范围广, 所造成的损失非常严重。在各类自然灾害中, 气象灾害占70%以上。每年因各种气象灾害使农田受灾面积达3000多万公顷, 受干旱、暴雨、洪涝和热带气旋等重大气象灾害影响达6亿人次, 气象灾害造成的经济损失平均约占年国民生产总值的3%~5%^[2]。90年代, 气象灾害造成的经济损失绝对值虽然不会减少, 但导致死亡的人数年平均约几千人, 比以前明显减少。中国气象局在各级人民政府及有关部门的支持下, 组织全国气象科技工作者, 应用大气科学及相关学科成果, 建设防灾减灾工程, 提高对大气

演变及气象灾害的监测、预报、预测能力,开展防御和减轻气象灾害的人工影响局部天气活动(如人工降水、防雹、防霜等),增强了社会防御气象灾害的能力,使其损失减少到最低限度。

2.2 气候资源的开发利用

气候资源是指大气圈中的光能、热量、气体、降水、风能等可以为人们直接利用形成财富或使用价值的气候条件。我国幅员辽阔,地形复杂,地跨9个温度带,约有40个气候类型区,气候资源类型多样,蕴藏量丰富。农业气候资源,是其中重要的组成部分,据估算,当前我国大面积农业平均产量只有气候生产潜力的30%~60%,可以开发利用的潜力仍然很大。我国气象能源(风能、太阳能等)丰富,有2/3的面积年日照在2000h以上;2/3地区为多风带,风能密度在100W/m²以上^[2]。气候资源是一种无污染能源,且具有共享性,对它的合理开发利用将是取之不尽,用之不竭,对改善我国的能源结构和建立农业高产、稳产、优质、低耗的技术体系将发挥重要的作用。

2.3 生态环境的保护

人类活动导致生态环境的变化主要包括四个方面:**a.**大气中温室气体含量增加导致全球气候变暖;**b.**大气臭氧层的破坏,导致太阳对地球紫外线辐射的增强等;**c.**硫化等污染物的排放引起酸雨及水、气污染;**d.**对水、土、生物资源的过度开发造成水分循环失衡、水土流失、土地荒漠化等。我国位于世界气候脆弱带,全球气候变化及城市化的发展将对我国生态环境,尤其是西部的干旱和半干旱地区产生重大的影响。加强气候变化和生态环境的动态监测、评价、预测工作,适时提出对策和建议,增强社会应付气候变化的能力,保护生态环境,为国民经济和社会可持续发展提供基础条件。

2.4 水资源的可持续利用

我国淡水资源短缺,人均占有量仅为世界人均量的1/4,且分布不均。90年代,干旱造成的粮食减产每年达数百亿公斤。人口增长、经济发展与水资源短缺的矛盾日益加剧,生态环境趋于恶化,水资源短缺已成为制约我国国民经济和社会发展,特别是农业可持续发展的重要因素之一,将成为21世纪比能源紧缺更为突出的问题^[2]。大气降水(降水资源)是“地水”(陆地水资源)的主要源泉。地表水、土壤水和地下水均是由大气降水转化来的。因此,在加强水利设施建设,增强蓄、调、节“地水”

能力的同时,大力发展人工降水,深入开发利用“天水”(天空水资源),开源节流,才能保证水资源的可持续利用。

3 大气科学的工程化建设

3.1 大气科学的工程化

大气科学的工程化主要有两方面原因。

1) 人类利用大气科学的需要 大气科学造福人类是多方面的,更有效地为我国的社会主义建设服务,需要将大气科学理论及其研究开发的成果实现工程化,使其服务于国民经济和形成社会生产力:**a.**利用大气演变规律的有关信息,制作短、中期预报和短期气候预测产品,为人们趋利避害所用;**b.**充分了解气候(气象)资源的分布、潜量等,合理设计有关行业单位的发展生产规划;**c.**按照规律,施以人工影响局部天气,改变云、雾演变条件,进行人工降水、消雹、消雾等;提高防灾减灾能力和经济建设生产力。

2) 气象工作实践性和系统性所决定 人们对气象服务产品多样性、及时性和准确性的需求不断提高,需要气象基本业务结构的系统性、工作流程的规范性以及组织管理的严密性等,这是长期工作实践的总结,必须推进大气科学工程化的现代化建设才能适应其有效工作的需要。

大气科学所研究的对象是实际大气,由于它受四维时空的影响,形成许多复杂的外界条件,需要进行多种方式的模拟,设计成逐步逼近真实大气的模式。要将其运算的结果制成各种较直观、可用的服务产品,还涉及许多相关的科学技术,如通信、计算机、网络、多媒体等,服务产品的精度与时效性明显受这些科学技术发展的影响。这就使得大气科学工程化比其他学科的工程化难度大,需要进行统一的工程设计,工程化势在必行。

3.2 工程建设的特点与内容

应用大气科学及相关学科的理论和技术,对大气演变以及影响其演变的相关信息采集、加工,制作未来大气演变趋势,形成能为人们利用的预报预测等信息产品。大气科学工程化是大气信息的开发利用,其功能结构由四部分组成:分散的原始信息采集、整理;快速的信息传输、交换;高度集中的信息加工、分析;及时的信息产品分发、服务。

大气科学工程建设的主要内容可按上述功能块及其拓展分为若干系统工程:**a.**气象综合探测系统

工程(地面、高空、雷达、卫星、飞机等观测、探测系统); b. 气象信息网络系统工程(通信网络、网络与信息、信息分发与交换等系统); c. 气象科学计算环境系统工程(信息处理、信息分析和预报模式高速运算所需要的不同系列计算机系统); d. 基本气象信息加工分析预测系统工程(信息综合诊断、大气数值模式发展及有效化、短中期天气预报、数值天气预报、气候诊断、评价、预测、气候资源与应用分析、农业、海洋、航空等预报系统); e. 气象信息技术服务系统工程(决策、公众及专项气象服务和综合服务系统); f. 人工影响天气系统工程(人工增雨、消雹、消雾、消云等系统)^[3]; g. 多圈层相互作用系统工程(边界层观测、场地试验等系统)。随着科学技术以及服务需求的发展,要给气象技术体系有关功能块赋予新的内涵,其工程建设必须不断充实完善。

3.3 主要工程建设的简要回顾

经过几十年的努力,尤其是改革开放以来的开拓发展,已初步建立起气象综合探测、信息网络、预报预测和综合服务系统工程^[3]。

我国已建分布在全国的2 600多个气象台站、1 300多个各类专业气象台站,采用常规仪器、遥测遥感技术等多种手段,进行地基、空基(卫星)等多层次的、独具特色的气象综合探测网络工程,尤其是建成了气象卫星地面接收处理系统。我国自行研制的“FY-1”和“FY-2”气象卫星的成功发射和运行,大大提高了气象综合探测能力。随着对探测时、空分辨率的要求提高,以及探测设备的陈旧,这些工程还未能适应实际需求。

我国气象通信已进入计算机和卫星通信阶段。70年代末建成自动转报系统(BQS),使气象通信进入了计算机通信的新阶段,为我国建立中期数值预报业务创造了条件。80年代对上述系统升速,并部分地改为卫星线路。90年代初建成了DECnet-VAX群机通信自动化系统,取代原来的BQS。90年代末,初步建成新一代气象信息网络的卫星通信系统工程(“9210”工程)。极大地提高了气象信息网络的传输和交换能力,基本解决了以数值天气预报为主的业务运行的瓶颈问题。

基本气象信息加工分析预测系统工程是综合运用大气科学及相关学科的理论方法等多种处理手段和诊断分析技术,对各种大气及相关信息进行处理、加工、分析等,并制作各种气象预报、预测和诊断

分析产品。80年代初,抓了对全国气象台站具有技术指导作用的中期数值预报业务系统等骨干工程,同时进行6个区域气象中心和加速省级气象台天气预报实时业务系统(STYS)的工程建设。90年代初建成我国第一个中期数值预报业务系统(T₄₂);同时开发试验全球谱模式(T₆₃),并作为扩建工程被批准列入“七五”大中型工程项目(“873”工程),该工程已于1994年投入业务使用;90年代末T₁₀₆L₁₉新的中期数值天气预报系统工程投入业务运行;目前,正在建设短期气候预测工程(重点项目)等。这些系统工程的建成,明显地提高了对重大灾害性天气、气候的预报、预测能力。

气象科学计算环境系统工程。改革开放20年来,利用高速发展的计算机技术,及时引进适用的各种类型的计算机,包括用于建设STYS系统的多种微、小、中型计算机以及用于建设数值预报业务系统的国产“银河-II”巨型计算机和引进的CYBER-962、CYBER-992大型计算机、克雷巨型机以及IBM/SP高性能计算机。这些不同系列的计算机虽然在气象通信、信息分析加工等方面发挥了重要作用,但还难以适应较小空间尺度和较长时间尺度数值预报的需要,目前除致力发展并行计算技术之外,还需逐步完善这一系统工程。

同时,初步建成了天气预报警报、气候分析应用、短期气候预测、科技辐射、农业气象和人工影响局部天气等组成的气象服务系统工程。采用多种形式为国民经济和社会可持续发展开展了全方位、多层次的气象服务: a. 决策服务,主要为各级领导制定指导国民经济发展和防灾抗灾的决策提供科技咨询服务,如直通中南海和省、地、县各级政府的气象信息工程等; b. 公众服务,主要为人民群众进行生产、生活活动提供服务,如遍布全国的电视天气预报网络工程等; c. 专项服务,主要为各种经济部门和尖端技术部门对气象的专门要求提供服务,如三峡建设的气象服务保障工程等; d. 综合科技服务,主要是利用气象部门的科技优势,进行技术辐射,为有关部门、区域经济发展提供服务,如开发空中水资源的人工降水工程等。

人工影响天气系统工程。自1958年我国开展人工降水试验以来,特别是经过近十几年的努力,我国大部分地区建设这种工程,作业规模居世界前列,服务领域不断扩大,现代化技术装备得到改善,经济和社会效益日益显著;高炮、火箭防雹作业也具

有相当规模，在防御和减轻冰雹灾害中取得了明显的效益；人工消雾、消云和削弱雷电等，有的已投入业务化试验。人工影响天气工程已成为我国气象防灾减灾、开发空中水资源的有效科技手段之一，受到了社会各界广泛的关注和支持^[2]。

随着气象基本业务能力的提高和气象服务系统工程的逐步完善以及国民经济的快速发展，气象服务的总体效益日趋显著。90年代中据有关专家对全国、区域、行业等进行系统地调查研究，得出全国气象服务投入与产出效益之比接近1:40。这种调研统计，主要是依据气象服务获得的经济效益，至于气象服务产生的社会效益和生态效益，有的还难以用定量方式加以描述。

4 21世纪初大气科学工程化建设的初步构想

4.1 工程建设的基本思路

展望21世纪，大气科学工程建设的基本思路：以国民经济和社会发展的服务需求为牵引，以科学技术的进步为基础，以高素质的人才为根本，以提高气象服务综合效益为目标。

随着经济建设和社会发展以及人民生活质量的提高，对气象预报服务的要求将越来越高。在时间尺度上，覆盖1分钟到几十年甚至数百年；在空间尺度上，从一地几百米扩展到全国甚至全球；在预报内容上，从防灾减灾到保护健康，将包括超越常规的天气预报；在预报精度上，公众的期望不仅局限于传统气象要素的定性预报，还将不断提出非传统气象问题和定量（定时与定点）的预报需求。20世纪后叶，与气象相关的卫星技术、计算机技术、通信技术和网络技术，以及大气数值模拟和预测技术、气象服务技术等科学技术得到重大发展，为21世纪大气科学的工程化建设奠定了重要基础^[4]；随着知识经济时代的到来，新的科技进步将为工程建设提供更多的机遇，尤其是遥感、计算机、通信网络、多媒体及智能等技术的发展。无论是工程建设的策划、规划和设计，还是高新技术的开发应用、大气变化的模拟、预报预测模式的设计、人工智能的综合集成等，都需要操作人员的知识更新和高素质的复合人才。作为气象服务主要依托的气象业务基础设施的工程建设，必须以提高气象服务的综合效益为目标，在注意其经济效益的同时，需要注重其生态环境效益和社会效益。

4.2 工程建设的初步构想

至2030年预报业务发展设想是将气象变化的多维信息实现四维空间可视化和虚拟现实业务化。a. 利用综合探测系统工程提供的高时、空分辨率的初始气象信息和数值预报系统工程提供的高时、空分辨率的加工气象信息；b. 对大气不同尺度运动变化及规律的进一步认识，并形成物理数学模型；c. 计算机信息数字化技术，特别是三维动画技术和虚拟现实技术。建立模拟不同尺度大气运动变化状态过程的业务平台，对已发生的过程四维再现，对未来过程预测显现，以及运用人工智能等方法对平台显现的结果进行综合集成，提出预报预测结论。

未来30年建设的主要工程包括上述业务系统有机组成的多个分系统，以及气候影响、气候资源评价系统和气象服务体系等骨干工程^[2]。

1) 大气监测自动化系统工程。这是气象综合探测系统工程的基本组成部分，近期将付诸实施。

2) 综合短期气候预测业务系统工程。建成统计方法、物理环境方法和动力方法相结合的综合短期气候业务系统；在吸收有关数值模式的基础上，建立我国的数值气候预测模式和业务系统。

3) 新一代天气雷达网工程。这个工程以多普勒雷达为主体，在全国布点和联网拼图。

4) 气象卫星监测网工程。建立由风云系列极轨和静止气象卫星组成的我国气象卫星监测网。

5) 卫星综合应用业务系统延伸工程。建成卫星通信网与地面通信网相结合的现代化气象信息网络系统；对“9210”工程进一步完善和配套，使其逐步向县站延伸。

6) 中尺度（局地）数值天气预报业务系统工程。应用集成预报等技术，在大规模并行计算机上完善中期、有限区域、热带气旋数值天气预报业务系统。

7) 气候影响评价与大气环境监测评价及预测系统工程。建立以定量评估为主的气候影响评价业务系统，综合评估气候变化对我国社会和经济、生态和环境的影响；建立和完善我国大气质量环境评价和预测业务系统，逐步开展本地、城市的大气环境预测工作。

8) 气候资源监测与评价系统工程。完善我国气候资源动态监测系统，建立气候资源评价系统，提高气候资源监测自动化水平和评价科学水平。

9) 人工影响天气系统工程。建立和健全人工影

响天气业务技术体系和管理体系, 不断提高作业的科技水平和总体效益; 建设兼顾人工影响天气、灾害天气等探测及有关科学试验的飞机实验室。

10) 气象服务体系工程。以提高气象服务的专业化和现代化水平为核心, 使预报时间尺度和要素及服务领域和内容不断延伸、拓宽和深化, 进一步提高决策、公众和专项服务等能力、水平和效益。

11) 多圈层相互作用系统工程。建立边界层观测网, 实施场地试验, 包括青藏高原、季风、华南暴雨、干旱半干旱区域等试验, 开展大气、水、冰雪、岩石和生物多圈层相互作用的研究。

4.3 工程建设的主要措施

1) 总体规划, 分步实施。加强长远总体规划的制定, 对已制定的规划要及时加以修订; 根据实际需求和投资强度, 突出重点, 分步实施。

2) 依靠科技, 加强研究。充分利用日新月异的高新技术, 如卫星、计算机、通信、网络、多媒体以及大气数值模拟和预测等技术; 加强基础研究和应用研究, 不断开拓创新, 使建设的气象工程更具科学性和先进性。

3) 加强领导, 精心组织。统一认识, 坚持推进气象现代化; 加强工程建设的组织领导, 认真组织方案论证, 严格执行工程实施和验收等制度, 提高

工程建设的效率和投入产出效益比。

4) 注重人才, 开拓创新。工程建设, 从策划、设计、实施、使用、管理等环节都离不开人及其知识更新; 工程结构、系统建设的不断创新、改造完善, 产品的综合集成、质量的提高, 更需发挥人的智能潜力和主观能动性及创造性。因此, 高素质的人才是最关键的。

5) 坚持开放, 加强合作。工程建设要坚持开放, 加强国内外技术合作, 集思广益, 增进系统工程的先进性; 建设的工程要坚持开发, 使系统留有“扩展口”, 有利于高新技术的引入, 不断完善, 进一步提高工程的兼容性和科学性。

参考文献

- [1] 大气科学、海洋科学、水文科学卷编辑委员会. 中国大百科全书·大气科学、海洋科学、水文科学[M]. 北京、上海: 中国大百科全书出版社, 1987. 1~5
- [2] 中国气象局. 中国 21 世纪议程气象行动计划[M]. 北京: 气象出版社, 1997. 9~31
- [3] 邹竞蒙、温克刚. 中国发展全书·气象卷[M]. 北京: 红旗出版社, 1997. 10~24, 97~116
- [4] 颜宏. 21 世纪气象预报系统展望[N]. 北京: 中国气象报, 2000-03-20(3)

Engineering Construction of Atmospheric Science

Wen Kegang, Li Huang, Li Zechun, Chen Xinqiang

(China Meteorological Administration, Beijing 100081, China)

[Abstract] A brief account of the meaning of atmospheric science and its importance to human's existence and development are given, including taking precautions against natural calamities and reducing natural disasters, development and use of climate resource, protection of ecological environment, sustainable utilization of water resource, etc. Atmospheric science brings benefit to mankind through the development and use of atmospheric information, which is necessary to be engineered in accordance with the characteristic of information engineering. The basic conditions and effects of main meteorological engineering constructions are briefly reviewed. Basic thinking for the next three decades about atmospheric science engineering construction and some key projects to be constructed and some main measures are initially envisaged. Key projects include automatic atmospheric monitoring system engineering, short-range climate forecast system engineering, satellite synthetic application system extending engineering, mesoscale (local) numerical weather forecast system engineering, weather modification system engineering and meteorological service system engineering.

[Key words] atmospheric science; engineering construction; review; idea