

1991

ATMOSPHERIC SCIENCE RESEARCH AND APPLICATION

大气科学研究与应用

上海市气象科学研究所编辑

气象出版社出版

序 言

《大气科学研究与应用》是国内新创办的大气科学系列书刊。创办的第一个宗旨在于强调理论研究与应用的紧密结合。近二十年来大气科学的迅速发展也正是由于这种结合。计算机技术应用于大气科学后,使气象预报从经验的、定性的预报走上客观的、定量的预报,也使得人们能以数值模拟方法研究天气和气候变化的机理。卫星技术应用于大气科学以后,使大气科学出现了一门新学科——卫星气象学。目前气象卫星的观测资料为天气学和气候学研究提供了很多有用的信息,成为天气分析和预报、气候诊断、森林火灾以及河流泛滥监视中的重要依据。气象理论与大气环境污染问题相结合,开创了一门环境气象学的新领域。

《大气科学研究与应用》的另一个宗旨在于向国内外广大气象人员介绍大气科学出现的新理论、新技术和新方法,介绍当前国内外大气科学发展中的一些问题和一些重要学术活动,以及有关新出版的气象书刊的评论。

从这两个宗旨看出《大气科学研究与应用》是综合性的大气科学系列书刊,并不单纯发表研究论文。近二十年来大气科学发展非常快,新理论、新技术和新方法不断涌现,气象工作者如果赶不上发展的步伐,将会落后掉队。他们需要有一本综合性的刊物,为他们的再教育提供学习材料。从这个意义上看,本系列书将会受到我国各级气象台站,大专院校以及气象研究部门人员的欢迎。我预祝《大气科学研究与应用》办得很成功。

陶诗言

1991年8月27日

大气科学研究与应用

(一)

目 录

评 述

当代气候变化的若干问题·····	章基嘉 (1)
气象卫星应用的现状与发展 ·····	许健民 (10)

论 文

热带气旋过程雨量分布预报的一个途径 ·····	李慧武 钮学新 贡九鼎 (16)
福建近五十年洪涝的自然波动与人为影响 ·····	鹿世瑾 (23)
大气污染物扩散模式参数的敏感性研究 ·····	朱永禔 顾建忠 (33)
热带气旋在东海北部突然加强的预报问题 ·····	林有任 (42)
春季长江中下游连阴雨和连晴天气过程的势函数和辐散(合)风场的特征 ·····	朱盛明 姜翠宏 (53)
上海地区短历时暴雨强度公式的研究 ·····	严济远等 (67)
以 NOAA—AVHRR 通道资料建立水稻种植面积测算模式的研究 ·····	张明席 胡成群 (75)

技术报告

华东区 3—4 月中期晴雨 MOS 预报 ·····	朱正心 周曾奎 陆善峻 (88)
1990 年西北太平洋地区热带气旋试验及其涉及的科学问题 ···	焦佩金 陈善敏 (94)
长江三角洲地区灾害性天气业务试验研究·····	虞兆国 黄 炎 (103)

短 论

麦收期连阴雨危害指标及预报方法·····	包正擎等 (114)
锋前辐合线与山谷风辐合线交会的鄂西山区东坡暴雨·····	胡伯威 潘鄂芬 (121)

《大气科学研究与应用》首届编审委员会名单

主 编: 秦曾灏

副 主 编: 朱永禔 徐一鸣

委 员 (以姓氏笔划为序)

王达文	王全发	王善型	王馥棠	叶榕生	朱永禔
朱盛明	严济远	林元弼	周曾奎	贺 亮	胡伯威
徐一鸣	徐国昌	徐裕华	栾宝储	唐新章	奚熙贤
秦曾灏	黄 炎	黄福钧	鹿世瑾	曹钢锋	游景炎
潘云仙	潘根发	滕中林			

当代气候变化的若干问题^{*}

章 基 嘉

(国家气象局 北京 100081)

提 要

近些年来,很少有别的科学问题能象当代全球气候变化那样引起社会各界和政府部门的关注。所谓当代气候变化主要是指19世纪末以来近百年的全球气候变暖。

观测研究表明,近百年来全球平均增温的范围估计为 $0.3—0.6^{\circ}\text{C}$,而80年代是本世纪最暖的10年。目前公认,引起气候变化的外强迫力中最重要的是温室气体效应。理论研究表明,全球气候是一个经受众多时间尺度的自然变化和人为变化的极其复杂的动力时变系统,该系统由快变部分和慢变部分组成。前者由大气和上层海洋组成的热机控制,它驱动着整个地球的气候,并决定气候变化的最终幅度和地理分布;后者则由全球海洋控制,它调节着气候变化的速率,并可使地球气候对温室效应的强迫作用的非稳态响应推迟50年以上。对于气候变化的趋势,目前的基本观点是,未来100年将由自然变化和人为增温趋势两部分造成。前者主要受大气内部动力学制约,后者则由大气中温室气体总量的稳定增加所决定,但要考虑被世界海洋的热惯性所推迟。我国近百年来气温变化趋势与全球气温变化趋势大体一致,但我国的气温变化具有明显的地域分布特征,北方地区变暖最为明显;黄河以南,南岭以北则是变冷趋势。本文从利弊两方面讨论了气候变化对我国经济和社会发展的影响及相应的对策。

关键词 气候变化 气候响应 气候预测 全球气候变暖

一、观测事实

图1给出1861年以来大陆和海洋上全球平均地表温度滑动平均值的最新估计。从上世纪末开始全球地表平均气温确实存在一个增加趋势。从1900年以来,大幅度的增温主要集中在两个时期:第一个出现在1920—1940年,增温约 0.4°C ;另一个从1975年开始至今,增温约 0.2°C 。故本世纪以来,全球实际增温约 0.6°C 。考虑到其他因素,目前对近百年全球增温的范围估计为 $0.3—0.6^{\circ}\text{C}$,50—70年代全球气温在正常值附近摆动,没有明显的增温趋势,特别应当指出的是,80年代是本世纪最暖的10年,

^{*}本文1991年2月25日收到。

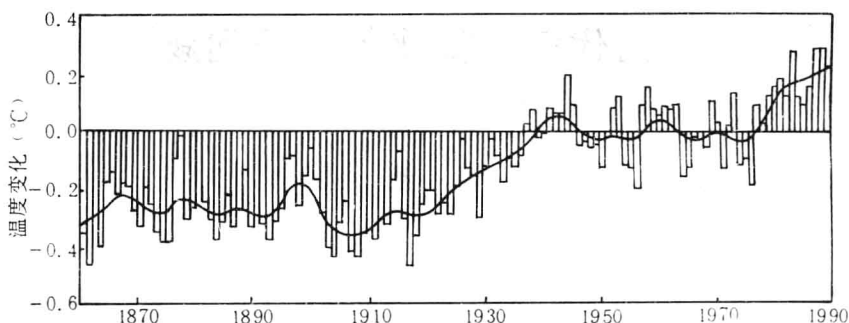


图 1 1861—1989 年平滑过的全球平均地表温度相对
1951—1980 年平均值的变化 (取自文献 [1], 1990)

其中 1988、1987、1986、1983、1981 和 1980 年分别是本世纪气温依次最高的年份。

从 19 世纪末开始, 观测到绝大多数山地冰川退缩和海平面上升 (10—20cm), 为全球气候变暖提供了有力的佐证。

二、气候变化的原因

大气运动的驱动力最终来自太阳辐射能。地球接收太阳辐射, 其中大约 1/3 被反射回太空, 其余被地—气系统吸收。地—气系统吸收的太阳辐射能与它放射的长波辐射能相平衡。地球射出的长波红外辐射是由地球温度决定的。如果这种平衡发生了改变, 必将引起地球温度的变化, 气候就会变暖或变冷。有一些自然因子能够改变这种平衡, 它们是造成对气候的辐射强迫力的原因。例如, 太阳活动的 11 年周期和其它更长周期都会引起太阳辐射本身的变化, 而地球公转轨道参数 (偏心率、倾角和岁差) 的缓慢变化 (周期平均约 10^4 年、 410^4 年、 210^4 年) 能影响太阳辐射总量及其季节与纬度的分布, 是造成距今 200—300 10^4 年前冰期和间冰期的可能原因。由于沙漠化和森林的破坏等人为原因造成陆地反照率的变化也会影响地球对太阳辐射的吸收, 影响大气气溶胶对太阳辐射和地球长波辐射的吸收, 从而改变地球的辐射平衡。

引起气候变化的外强迫力中最重要的是温室气体效应。短波太阳辐射通过干洁大气而很少被削弱, 但地球长波辐射却部分地被大气中几种微量气体吸收, 其中一部分被重新辐射回地表使其增温。这就是温室气体效应的基本原理。现在已经知道的具有温室效应的气体是水汽、 CO_2 、 CH_4 、 N_2O 、 NO_x 、 O_3 和 CFCs (近代才有)。温室效应有自然的和人为的两种。冰岩芯研究表明, 冰期中大气温室气体的含量比间冰期中要低得多。怎样知道自然温室效应是真实的? 现在已经能提供三方面的证据。首先, 地球表面的平均气温比没有自然温室气体条件下已经上升了大约 32°C 。也就是说, 如果没有温室气体, 根据辐射平衡理论计算全球平均地面气温应是 -17°C , 而不是现在实际上的 $+15^\circ\text{C}$, 可见, 自然温室气体效应是使地球气候在过去 40 亿年的演变过程中保持在适宜于生命发展范围内的重要调节机制。对地表和大气长波辐射的卫星观测也证实了温室

气体效应。其次, 已经知道, 金星、地球和火星的大气成份是十分不同的, 它们的表面温度与温室理论计算结果基本一致 (表 1)^[1]。第三, 从南极冰岩芯中取得

表 1 金星、地球和火星的温室效应增温

	不存在温室效应 时的表面温度	实际观测到的 表面温度	温 室 效 应 增 温
金 星	-46℃	477℃	523℃
地 球	-17℃	15℃	32℃
火 星	-57℃	-47℃	10℃

的 C^{14} 同位素和气泡中所含的 CO_2 成份资料研究表明 (图 2), 在最后一个冰期 (距今 15—2.510⁴ 年前) 中地球温度与大气中的 CO_2 和 CH_4 的含量基本上是同步变化的。在距今 15—1410⁴ 年之间三者有一个明显的峰值, 那时的温度比现在高出 2℃ 以上。之后, CO_2 和 CH_4 浓度剧降, 温室效应减弱, 温度随之下降, 结果形成最后一个冰期。在最后一个冰期结束时, 南极温度和 CO_2 含量分别比现在低 10℃ 和 100ppb。这从古气候的角度为自然温室气体气候效应提供了一个可能佐证。

在工业革命以前的一千年里这些温室气体在大气中的含量尚未发现有什么变化。然而, 工业化 (1850 年) 以来, 随着世界人口的增长和工业的发展, 及由于矿物燃料用量的不断增长, 森林不断砍伐, 使大气 CO_2 含量上升了 25%; 由于水稻种植面积扩大、畜牧业的发展、生物物质的燃烧, 煤和天然气的开采, 使大气甲烷上升了 1.15 倍; 被用作航空发动机推进剂、工业溶剂、制冷剂和泡沫添加剂的氟里昂 (CFCs) 在工业化以前大气中根本没有, 现在也出现了。表 2 给出受人类活动影响的主要温室气体含量及其变化。值得注意的是, CO_2 、CFCs 和 N_2O 在大气中具有很长的滞留期。这意味着它们的温室效应将是长期的, 即使排放量得到控制, 它们的浓度减小也很缓慢, 要到若干世纪后才能达到新的平衡, 而甲烷和氟里昂的某些成份滞留期相对较短, 因此排放量的减少会使其浓度较快降低, 能在 10—20 年内达到新的平衡。

O_3 的气候效应在对流层上部和平流层下部最强。由于人为造成的氮氧化物、碳氢化物和一氧化碳排放量的增加已经引起北半球对流层下部 O_3 含量的增加 (将近 1

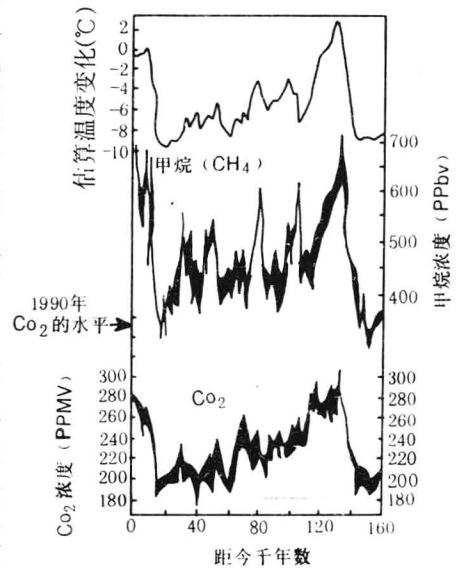


图 2 距今 16.10⁴ 年以来南极冰芯中的 CO_2 和 CH_4 含量及估算的温度演变 (取自文献 [1], 1990)

倍), 但由于观测资料不足, 目前还难以确定对流层上部的 O_3 含量是否已经增加, 从而阻碍了对 O_3 的气候效应的定量估计。

引起气候变化的原因是多种多样的。上面着重讨论的是引起地—气系统辐射平衡改变的自然和人为的辐射强迫力, 其中温室气体效应被认为是最重要的 (尤其是对当代全球气候变暖)。此外, 大气内部的各种正、负反馈过程 (如云和辐射的相互作用等), 大气和海洋的相互作用 (如海气交界面上各种能量和物质通量的交换), 世界海洋对全球气候的调控作用 (如洋流对热量的水平输送和垂直交换, 海洋对大气 CO_2 的吸收、海洋的巨大热惯性等) 以及火山爆发 (滞留在大气中的火山灰对进入大气的太阳辐射的减弱作用) 等对气候变化的影响也是不容忽视的。

表 2 受人类活动影响的主要温室气体的含量及其变化^[1]

	CO ₂	CH ₄	CFC—11	CFC—12	N ₂ O	注
大 气 浓 度	ppmv	ppmv	pptv	pptv	ppbv	ppmv 为百万分之 一 (10^{-6}) 体积比
工业化前 (1750—1800)	280	0.8	0	0	288	ppbv 为 10 亿分之 一 (10^{-9}) 体积比
现 在 (1990)	353	1.72	280	484	310	pptv 为万亿分之 一 (10^{-12}) 体积比
目前的年 累 积 率	1.8 (0.5%)	0.015 (0.9%)	9.5 (4%)	17 (4%)	0.8 (0.25%)	
在大气中的 生存期 (年)	(50—200)	10	65	130	150	

三、气候响应的研究

全球气候是一个经受众多时间尺度的自然变化和人为变化的极其复杂的动力时变系统。在这个系统中某些因子变化后, 气候就要作出响应。目前研究气候响应的方法就是根据现代关于气候变化规律和因子的知识设计气候数值模式, 进行气候对某些因子变化的敏感性试验。理论研究表明^[2], 全球气候系统由快变和慢变两部分组成。快变部分由大气和上层海洋 (约 65m 海深) 组成的热机控制, 它驱动整个地球气候, 并决定气候变化的基本幅度和地理分布。慢变部分则由全球海洋控制, 它调节着气候变化的速度, 并可能使地球气候对温室效应强迫作用的非稳态响应推迟 50 年或以上。

目前按照气候系统的这两个分量, 设计出两类气候模式, 一类是研究快变部分响应的简单气候模式, 另一类是把两个分量一并考虑的全球大气和海洋耦合的气候模式。但由于缺乏全球海洋的观测资料, 后一种模式现在还很不完善。

快变系统的响应。近些年来所进行的若干数值试验表明, 快变气候分量约在模式的积分时间达 5 年之后, 便达到一种气候平衡态, 具有稳定的平均性质, 没有系统性的气候漂移。所以这种试验适用于模式大气中 CO_2 浓度人为地倍增所导致的气候响应的敏感性试验。四种简单模式试验的结果是当 CO_2 浓度倍增时全球平均增温为 $3.5\text{—}5.2^\circ\text{C}$ 不等, 但它们一致的结果是, 这种增温是随纬度递增的, 冬季高纬度的增温值最大, 达全球平均增温值的 2 倍。同纬度大陆上的增温比海洋上快。

必须指出, 快变气候系统的调整是很复杂的, 它包含大气中许多可使温室效应放大或缩小的正负反馈过程, 其中最重要的反馈过程是云量及其分布的变化。低云能减少对太阳辐射的吸收, 使地球气候变冷, 而高云对太阳光基本上是透明的, 但能吸收来自地面的红外辐射, 有利于温室效应增大, 使地球气候变暖。不仅高低云量重要, 而且云的光学性质也很重要。最近英国气象局的气候模式中考虑了冰晶云和液态云的光学性质, 得到大气 CO_2 浓度倍增时全球平均增温为 1.9°C 。这种改进的困难主要是缺乏全球实测云的可靠统计资料。世界气候研究计划 (WCRP) 中的国际卫星云气候学计划 (ISCCP) 就是为了作这种改进而实施的。

慢变系统的响应。简单气候模式的试验表明, 如气候变化仅涉及快变系统, 那么地球气候对温室气体浓度增加的响应将是迅速的, 自工业化以来人类活动造成的温室气体浓度的增加 (见表 2) 可使地表气温上升 1.5°C 以上, 但近百年全球地表温度实际上只升高了 $0.3\text{—}0.6^\circ\text{C}$ 。这表明真实的气候变化十分不同于简单模式中气候的快变响应。这就证明了气候变化还要受到慢变系统——全球海洋的调控。

慢变气候系统的响应主要受两个基本参数的控制。一是当温室气体浓度增加时大气和海洋之间净能量通量的变化; 二是未来数十年间将变暖的那部分海洋的热容量。

利用洋面净热量通量和大洋环流的资料目前已经估算出大气 CO_2 浓度倍增时为达到洋面平衡增暖所需的特征响应时间, 它可近似视为整个气候系统响应的滞后时间。但几种模式的结果相差颇大, 如俄勒冈州立大学 (OSU) 模式为 75—100 年 (Schlesinger 等, 1985), 而 GFDL 模式为 50 年 (Bryan 等, 1988)。如图 3 所示, 假定到 2050 年大气 CO_2 浓度增加到工业化前的 2 倍时用仅考虑浅层海洋的简单模式得到的全球增温高达 4°C , 而海气耦合模式的增温仅 2°C (均与 1850 年相比)。这说明慢变系统的滞后效应是明显的。图中曲线是实际的温度变化, 它更接近海气耦合模式的结果 (Morel, 1989)。即便是海气耦合模式, 其结果也是很粗略的, 主要是目前缺乏全球海洋环流实测资料。WCRP 中



图 3 全球气候的可能增暖

曲线为实际温度变化, 实线为仅有浅层海洋气候模式, 粗实线为有真实海洋的耦合气候模式, (取自文献 [2])。

的世界海洋环流实验计划 (WOCE) 就是为了获得全球海洋环流资料设计真实的海洋模式而制定的。

四、对气候变化预测的研究

目前的基本观点是, 未来 100 年地球气候变化将由自然变化和人为增暖趋势两部分造成。气候的自然变化在百年以内相对短的时段中主要受大气内部动力学制约, 而人为增温趋势则由大气中温室气体总量的稳定增加所决定, 但要考虑这种增暖趋势正在被世界海洋的热惯性所推迟。大气中温室气体总量的增加在很大程度上取决于工业生产对 CO_2 的排放量, 而后者取决于众多的社会因素。为此, 联合国世界气象组织和环境署 (WMO/UNEP) 联合组成的政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 采用温室气体四种排放的可能前景。在温室气体保持目前的排放量 (前景 A) 下, 下一个世纪全球平均温度的上升率大约为 $0.3^\circ\text{C}/10$ 年 (其不确定范围是 $0.2^\circ - 0.5^\circ\text{C}/10$ 年)。按此升温率, 到 2025 年全球平均温度大约比现在升高 1°C , 到下世纪末大约升高 3°C 。假如温室气体排放量的控制水平不断提高, 则全球平均温度的上升率将是 $0.2^\circ\text{C}/10$ 年左右 (一般控制, 即前景 B), 稍大于 $0.1^\circ\text{C}/10$ 年 (中等控制, 即前景 C) 和 $0.1^\circ\text{C}/10$ 年左右 (有效控制, 即前景 D) ^[1]。

在通常的温室气体排放量 (前景 A) 下, 全球平均海平面在下一世纪平均每 10 年上升 6cm (其不确定范围为 3—10cm/10 年), 主要是海水热膨胀和某些大陆冰川溶解引起的 (不是由于海冰融化, 因为海冰漂浮在海水中, 它本身已排开等量的海水)。预计到 2030 年左右全球平均海平面大约上升 20cm, 而到下一世纪末大约上升 65cm ^[1]。

上述预测意见的把握性看来还是有限的, 因为受到诸多不确定因素的影响, 其理论

基础也不很成熟。显然, 深入研究非稳态气候自然变化的动力学和热力学, 不断获得和积累与全球气候系统有关的大气和海洋的实测资料, 不断完善大气和海洋耦合的气候模式, 更精确地定量计算对温室加热稳定增长的气候响应, 是实现世界气候研究计划所追求的尽早监测气候变暖和预测全球和区域性气候变化这一主要目标的重要途径。迄今为止, 尽管这方面所作的努力已经取得很多成绩, 但距离上述目标仍相去甚远。预测气候变化的科学问题实在是任重而道远。

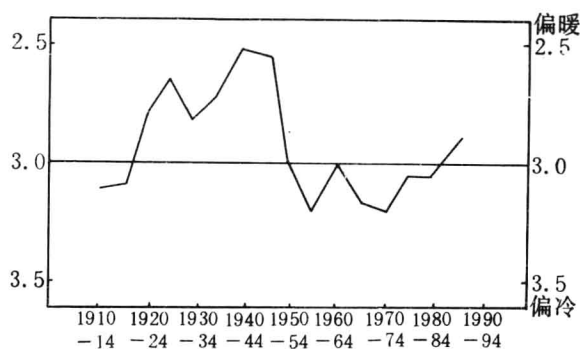


图4 1910年以来中国气温等级变化曲线
(1.0~暖, 2.0~偏暖, 3.0~正常, 4.0偏冷, 5.0~冷。取自文献 [3], 1990)

五、中国的气候变化及其影响

图4给出根据1910年以来我国137站月温等级资料作出的全国每5年平均的温度变化曲线。由图可见,自1910年以来到40年代中期我国气温变化的总趋势是上升的,造成本世纪20—40年代的气候偏暖期。50年代初气温下降到正常等级以下,以后在60—70年代气温虽有起伏,但保持在正常等级以下,形成本世纪最近的一个偏冷期。80年代气温回升到正常等级以上,我国开始出现一个新的偏暖期,但80年代的回暖至今仍未达到40年代的幅度。我国近百年来气温变化趋势与全球气温变化(图1),趋势大体上是相一致的。

根据对全国160个台站近40年气温资料的统计分析^[4],最近10年(1980—1989年)年平均气温确实存在大范围的上升趋势,并高于多年平均值。这与全球气候变暖趋势是同步的。但我国的气温变化具有明显的地域分布特征,北方地区(东北、华北、西北),青藏高原和南岭以南的沿海地带属变暖区,并以北方地区变暖最为明显,纬度越高变暖程度越大。黄河以南、南岭以北和四川东部地区则呈相反的变冷趋势。我国气温变化还具有明显的季节差异,东北、华北和新疆北部全年呈变暖趋势,尤以冬季变暖十分显著。长江流域大部分地区年平均气温偏低,其中夏季偏低比较明显。黄河流域和西北大部地区则具有冬暖夏凉的趋势。

北方地区80年代的冬季平均气温比前30年偏高0.3—1.0℃,其中东北大部、内蒙、新疆北部等地偏高1.0—2.5℃。1986—1989年连续4年出现异常暖冬,尤以1986年的暖冬范围最大,除北方外,南方不少地区也出现了暖冬。1988年暖冬的强度最大,持续时间最长。北京出现了近140年来,哈尔滨、沈阳、大连出现近80年来,长春出现近50年来最暖(或次暖)的冬季。扣除大城市的“热岛效应”后,这些地区变暖的趋势仍然是明显的。

气候变暖使积温增加,初霜推迟,终霜提前,寒冷期缩短。北方地区0℃以上的积温增加100—300℃。以1988年为例,河北及京津地区日平均气温低于0℃的寒冷期只有50—70天,比常年少25—40天;黑龙江日最低气温低于-20℃的日数只有55—65天,比常年少10—20天。冻土深度也在减小,如1989年2月辽宁的冻土深度只有40—100cm,比常年浅5—25cm,北京冻土深度仅25cm,为最近30多年来的最小值。

冬暖对社会经济和工农业生产的影响是多方面的,包括利弊两个方面。从工业生产方面看,冬季晴暖可减少能源消耗,提高交通运输能力,方便露天作业,加快施工进度,提高施工质量。从农业生产方面看,冬季气温偏高,农作物获取热量多,对作物生长、越冬有利。在暖冬条件下,北方的冬小麦停止生长时间比常年推迟15天左右,返青时间提前10天左右,麦苗越冬生长良好,减少冻害,降低死苗率,有利于增产。冬暖对畜牧越冬也有利。冬季晴暖有利于开展农田水利建设,有利于北方大棚蔬菜生长,增加产量,提前上市。

但是,冬暖也带来不利影响。初冬出现持续高温,容易引起冬小麦旺长现象,减小小麦的抗寒能力,对其越冬有不利的影响。冬暖会增加土壤蒸发,降低墒情,并给病虫

害提供了适宜的越冬环境。冬季天气晴暖, 空气干燥, 使城市火险和森林火险等级加大。此外, 冬暖还有利于微生物生长, 易造成疾病流行, 影响人民的健康。总之, 气候变化的影响, 是关系到社会发展, 工农业生产和人民生活的全局性问题, 它不象一场灾害性天气直接造成巨大经济损失那样显著, 但是气候变化的累积效应是不可忽视的, 它对社会发展和经济建设的规划和布局可能产生重要影响。应当本着趋利避害的原则, 积极完善我国的气候监测系统, 深入研究在全球气候变化的背景下, 中国的气候将如何变化, 建立具有中国特点的气候模式, 探讨中国气候变化的预测理论和方法, 开辟气象科学为国民经济建设服务的新领域。

参 考 文 献

- (1) IPCC (WMO/UNEP), Climate Change. The IPCC Scientific Assessment, Edited by J.T. Houghton, G.J. JenRins and J.J. Ephraums, *Cambridge University Press*, 1990.
- (2) WMO/UNEP, Global climate change, 1990.
- (3) 国家气象局、国家环保局, 我国气候变化及其影响的预测, 1990。
- (4) 国家气象局, 近十年来我国北方冬季明显变暖, 1991。

SOME ASPECTS OF CLIMATE CHANGE

Zhang Jijia

(State Meteorological Administration, Beijing 100081)

Abstract

It is shown from observation research that the range of global mean climate warming during the past century is estimated about $0.3-0.6^{\circ}\text{C}$, and the past decade is the warmest 10 years of the century. Now it is recognized that the most important forcing, causing the climate change, is the greenhouse effect. The earth's climate is a complicated dynamic regime subject to natural variation on various time scales, as well as possible alteration by human activities. The climate regime is determined by a fast system and a slow system. The fast system is controlled by the atmospheric "heat engine" which drives the whole earth environment and determines the ultimate amplitude and geographical patterns of climate change. The slow system is regulated by the global ocean which sets the pace of climatic change and may introduce a delay of 50 years or more in the transient response of the earth's climate to greenhouse forcing. The evolution of the climate change in the next 100 years will result from ongoing

natural variations combined with a warming trend forced by man-made modifications of the atmospheric concentration of greenhouse gases. Natural variations on time scale of a century will be caused by the internal dynamics of the earth's climate system. The warming trend will be induced by the steady increase of greenhouse effect in the atmosphere. Actual warming is being delayed by the thermal inertia of the world ocean. The tendency of the climate change in the past century in China roughly coincides with that of global climate change. However, the climate change of China has some distinct features in the horizontal distribution, i.e., the warming is most obvious in the north of the country, and a tendency of cooling has been observed in the region from the south of the Yellow River to the north of Nanlin mountain. Finally, the influence of climate change on development of economy and society of China and the strategy are discussed.

气象卫星应用的现状与发展^{*}

许健民^{**}

(国家卫星气象中心 北京 100081)

提 要

本文简述气象卫星应用的现状,并提出为使气象卫星充分发挥作用要注意的十个基本问题。

气象卫星上的成像仪除了观测云图直接用于天气分析和预报以外,还可监测地表环境,如:河口泥沙分布、洪水面积估计、植被、冰雪覆盖以及火灾监测等。目前气象卫星可为数值天气预报提供风、温度垂直廓线和水汽的资料。

关键词 气象卫星 应用 规划

一、 引 言

气象卫星是利用遥感仪器对地球表面及大气层进行观测的。星载遥感仪器主要是成像仪和垂直探测仪。这两种仪器所用的遥感光谱波段称为通道。

成像仪是气象卫星最基本的观测仪器。它选用的通道都位于大气窗区,用于透过大气层观测其下面的云和地球表面状况。静止气象卫星轨道高,它荷载的成像仪一般通道数目较少,只用于观测云的状况和地物表面的温度。极轨气象卫星轨道高度低,它荷载的成像仪通道多,观测分辨率高,可以对多种地表环境动态特征进行有效的观测。

垂直探测仪选用的通道则位于大气吸收带及其边缘,它利用大气在这些波段对光谱的吸收和放射与大气中某些组成成份的含量和大气温度有关系这种性质,通过对这些光谱波段的观测反推大气微量组成成份的含量及大气温度垂直分布。

本文简要概述气象卫星成像仪观测资料在地表环境监测中的应用以及垂直探测仪观测资料在数值天气预报中的应用。我国气象卫星资料应用开发的工作尚处于初始阶段。为了使气象卫星获取的资料在我国气象现代化中充分发挥作用,本文提出了发展我国气象卫星应用要注意的十个基本问题。

^{*}本文1991年2月26日收到,6月24日收到修改稿。

^{**} 本文第四节引用了卫星气象中心科技委在讨论卫星气象发展规划时所提出的某些观点,参加讨论的人员有:范天锡、黎光清、方宗义、王宗皓等。

二、气象卫星在云和地表环境监测中的应用

在成像仪的观测通道中,有一部分主要感应地球物体所反射的太阳光,这些通道称为太阳反射光通道。太阳反射光通道中一部分落在可见光波段内,称为可见光通道;一部分落在近红外波段内,称为近红外通道。成像仪中还有一些通道,主要感应地球物体自身放射的红外热辐射,这些波段都落在远红外波段范围内,称为远红外通道。

我国的风云一号气象卫星是目前在轨的气象卫星中太阳反射光通道最齐全的气象卫星。它有四个太阳反射光通道,即:可见光通道 $0.58\text{--}0.68\mu\text{m}$ 、近红外通道 $0.725\text{--}1.1\mu\text{m}$ 以及两个海洋水色通道 $0.48\text{--}0.53\mu\text{m}$ 和 $0.53\text{--}0.58\mu\text{m}$ 。

$0.58\text{--}0.68\mu\text{m}$ 为橙色可见光,它位于太阳辐射能量谱的峰值附近,能量密度大,大气吸收和散射小,因此所有的气象卫星都选择这个波段作为基本的云图观测通道。除了云的观测以外,这个通道还对大气中的灰尘等悬浮物质以及水体中的泥沙含量十分敏感。大气中的尘埃在这个波段中对太阳光有强的散射作用。在出现浮尘天气的时候,可以目视到尘埃所散射的黄色太阳光。可见光通道的卫星云图增强以后,可以清楚地显示出吹沙、浮尘天气的宏观图象及其发生发展过程。随着民航事业的发展,对吹沙、浮尘天气进行研究的需求更加迫切,卫星云图可以提供这方面有用的信息。在可见光通道波段,水体中的泥沙等悬浮物质的含量与太阳光反照率成线性关系,因此这个通道还可以用来监视河口泥沙向海洋扩散的情况,为港口建设提供依据。

$0.725\text{--}1.1\mu\text{m}$ 的近红外太阳反射光通道也是观测云的重要通道。密实深厚的云层在可见光和近红外通道上反照率都相当高。薄的云在可见光通道上反照率仍旧较高,而在近红外通道上反照率要低得多。因此前者对薄云更灵敏,后者更能反映云的层次。除了观测云以外,近红外通道还有两个重要的作用,即观测水体和植被。在近红外通道上,水体的反照率很低,而土壤的反照率较高,因此水体的边界轮廓十分清楚,可以用来估计洪水的范围,估算灾情损失。绿色植物的叶子在近红外通道的波段对太阳光有强的反射作用。利用这一特征,可以对植物长势进行监视。进而估计冬小麦、牧草的产量。

海洋水色通道分别位于蓝色和绿色可见光波段范围内,主要用于估计海洋中叶绿素的浓度。当海洋中叶绿素浓度增加时,蓝色光反照率降低,绿色光反照率上升。因此这两个通道的数据可以用来估计叶绿素浓度。

我国风云一号气象卫星目前只有一个远红外通道,位于 $10.5\text{--}12.5\mu\text{m}$ 。这个通道除了用于获得白天和夜晚的云图外,主要用于观测云顶温度和海表水温。但是只用这一个通道要准确地观测地物表面温度是有困难的。因为虽然我们可以近似地把地物当作黑体,假定地物向上的热辐射与地物温度有关系,但是卫星上所观测到的热辐射是地物发射经过大气被削弱以后的量。为了对大气削弱进行订正,美国 NOAA 卫星利用了两个十分接近的远红外窗区通道, $10.5\text{--}11.5\mu\text{m}$ 和 $11.5\text{--}12.5\mu\text{m}$ 。这两个通道统称红外分裂窗区通道。如果两个分裂窗区所观测到的海表面亮度温度有差异,那就说明大气对海面向上的热辐射有削弱。差异越大,说明削弱越多,要给予一定的订正补偿。采用分裂窗

区通道大大改善了海表水温的推导精度。海表水温不仅是天气分析和预报的一个十分重要的物理量,同时还可以用于海洋渔业捕捞方面。

远红外通道与可见光、近红外通道相配合可以观测地球表面冰雪覆盖。冰雪覆盖区的特征是持久的地面低温区,具有大的太阳光反照率。因为云是移动的,冰雪在几天之内变化不大,利用多日期合成红外云图可以把云和雪区分开来。在未来的 NOAA 卫星上,将在 $1.6\mu\text{m}$ 附近增加一个近红外太阳反射光通道。这个通道上冰雪的反射率几乎为零,而云的反射率则接近 1,从而不用多日期合成图就可以有效地区分雪和云。雪盖不仅对天气预报是重要的下垫面特征,它还是干旱地区重要的水资源。

在 NOAA 卫星的成像仪上,还有一个红外热辐射通道,位于 $3.55\text{--}3.93\mu\text{m}$,这个通道对地表温度特别敏感,可以感应到地面上的火区,对森林火灾的监测十分有用。 $3.55\text{--}3.93\mu\text{m}$ 是太阳反射光和地物红外热辐射的交叉区。白天,这两种辐射在数量上相差不大,用单通道分析不易辨别。为了准确地区分火区和太阳反射光,可以利用可见光、近红外、远红外三通道合成分析的方法。将这三个通道的辐射数据分别以兰、绿、红三种颜色显示。太阳反射光在三个通道都有数据,显示白色。红外热辐射只在热辐射通道有数据,显示红色。这就有效地把这两种辐射区分开,提高了林火监测的准确性。这种方法是卫星气象中心人员首次提出的,已在我国林火监测中发挥重要作用。

气象卫星上的成像仪除了观测云图直接用于天气分析和预报以外,还在上述地表环境监测中河口泥沙分布、洪水面积估计、植被、冰雪覆盖以及火灾监测等五个方面有重要的作用。

三、气象卫星在数值天气预报中的应用

数值天气预报需要全球均匀的气象资料。目前气象卫星能为数值预报提供风、温度垂直廓线和水汽的资料。

用静止气象卫星观测云的移动轨迹推导的风称为云迹风。云迹风主要分布在热带对流层的上部和下部,目前是这些地区主要的流场资料来源。云迹风的观测精度目前尚达不到数值预报的要求,其误差主要来源是示踪云追踪的误差以及云的高度估算不准。改进工作正在试验中,对于前一种误差通过图象处理将高云与低云分开,对于不同层次的云分别进行追踪作业;对于后一种误差在确定云高时用垂直探测资料,考虑云放射辐射的作用。

自从 1978 年以来,美国 NOAA 卫星一直用 20 通道的高分辨率红外探测仪 (HIRS)、4 通道的微波探测仪 (MSU) 以及 3 通道的平流层探测仪 (SSU) 观测并反演全球范围的大气温度垂直廓线。这些仪器总称 TOVS。TOVS 资料在洋面、沙漠等没有气象站的地区填补了资料空白,是中低纬度、特别是南半球重要的资料来源。在有热带气旋的时候,利用了 TOVS 资料还可以改善热带气旋路径预报的精度。目前 TOVS 资料的精度尚不能满足数值天气预报的要求。改进要从两方面进行:一方面改进探测仪器,从 1994 年开始,NOAA 卫星将用 20 通道的先进的微波探测仪 (AMSU) 代替目前的 MSU 和 SSU,使卫星探测的垂直分辨率和精度都有显著的提

高; 另一方面要用物理反演取代目前的统计反演, 甚至不进行反演, 直接将原始的探测资料输入, 进行同化分析。

TOVS 资料所提供的水汽信息目前尚不能满足数值预报业务的要求。现在有的国家用云图资料间接推导水汽垂直分布, 输入模式, 对降水预报取得了好的效果。他们的做法是: 利用历史资料对不同类型的云统计出常规探空资料上水汽的垂直分布状况, 然后利用典型云系的平均水汽垂直分布作为水汽假资料输入模式。

目前的数值预报中, 云不是作为模式的参数直接输入的, 云是在数值模式计算的过程中产生的。云在模式中的作用是通过它在反射、放射、吸收、散射等辐射传输过程的作用, 更切合实际地模拟出大气中不同层次的加热率。在数值模式中加进云和云中含水量的参数, 将可以使大气中的水文参数更直接地参与到水份循环和辐射传输过程中去。

土壤温度、下垫面积雪、海表和陆地表面温度是卫星可以观测的重要下垫面状况参数。数值预报模式中若能利用这些下垫面状况参数, 将可以考虑下垫面的影响, 从而提高预报精度, 延长预报时效。

四、发挥气象卫星在气象现代化中作用需注意的十个基本问题

我国一方面努力发展自己的气象卫星系列, 另一方面尽量利用外国气象卫星的信息。风云一号气象卫星发射了两颗, 取得了高质量的云图, 说明我国的气象卫星已达到八十年代的世界先进水平。我国不仅在天气分析和预报中广泛使用了卫星云图, 而且利用卫星云图为国民经济各领域服务, 取得了良好的社会效益。但是目前所做的工作还远没有将气象卫星的潜在效益发挥出来, 为了使气象卫星在气象事业现代化中充分发挥作用, 还需要注意并解决好以下十个基本问题:

1 中国的气象卫星在全球气象卫星观测系统中地位和作用的研究

任何一个国家的气象卫星只有达到、保持先进的技术水准并且业务化才有可能在全球观测系统中成为受重视的以及被广泛应用的组成部分。风云一号气象卫星正是由于在图象方面达到了非常高的水准, 在世界上受到广泛的重视。今后我国的气象卫星在技术水准上要瞄准世界先进水平, 有自己的特色, 并且应该尽可能业务化。

另一方面, 任何一个国家要独立形成完整的全球观测系统体系, 无论从技术上还是从经济上讲都是不可能的。因此需要进行国际合作, 使我国的气象卫星成为国际业务气象卫星观测网中一个不可缺少的成员, 既使用我国自己的气象卫星, 又使用外国的气象卫星, 达到最大的社会效益。

2 研究辐射在地气系统中传递过程, 为我国气象卫星的通道选择奠定坚实的基础

本文第二节已经解释, 气象卫星的应用效益与卫星遥感通道的选择有极其密切的关系。气象卫星发射后可能发挥什么作用, 实际上在设计遥感观测通道的时候已经决定了, 因此对通道的选择必须进行深入的研究。

正确选择通道的基础是对地气系统中辐射传递过程有透彻了解。一方面要进行理论

分析, 必要的实验条件也应该具备。

目前已有一些气象卫星的观测通道被实践证明是有用的, 有效地对云和地表特征进行了观测, 但是还有一些十分重要的大气和地表特征找不到合适的通道进行观测, 大气低层的水汽含量就是一个例子。大气低层的水汽输送对降水强度有十分重要的作用。如能对低层水汽进行监测, 降水强度的预报精度必定会有大的提高。我国是水旱灾害频发的国家。我国的气象卫星如能解决好这个问题, 将是一个重大的贡献。

3 气象卫星资料处理方法的研究, 提高已有产品的精度, 并设计和推导新的产品

从已有的气象卫星资料中提取更多、更准确的产品是资料处理的任务。目前特别要对大气探测资料的物理反演方法进行研究, 以提供数值天气预报适用的初始场。资料处理的产品还要适合用户的要求, GMS 的 Lambert 投影云图受到广大预报人员的欢迎, 就是一个例子。

4 气象卫星资料定标和真实性检验的研究

气象卫星的观测是遥感观测。气象卫星所观测的物理量是否准确, 所推导处理出的参数是否代表实际情况, 必须进行定标和真实性检验。

目前气象卫星红外通道的定标是用外层空间和星上常温绝对黑体做标准进行的。可见光通道的定标尚无有效的星上定标方法。

对于气象卫星所推导的各种物理量, 要在地面建立适当的观测站网进行同步观测, 以验证这些物理量的正确性。地面同步观测同时也可以用作气象卫星观测的星外定标手段。

5 气象卫星资料分析同化方法的研究

气象卫星业务系统与数值天气预报业务系统要密切结合, 融合成一个体系。气象卫星要为数值天气预报提供初始场, 数值天气预报要反过来为卫星资料反演提供初值。

6 发挥静止气象卫星数据收集和广播功能在气象业务中的作用

我国未来的风云二号静止气象卫星有数据收集通道, 可以迅速及时地将边缘地区台站的气象资料向气象中心收集转发, 还有资料广播通道可以向台站广播发送卫星云图和数值预报产品。

7 气象卫星定量资料数据库的建立

气象卫星资料每天的数据量大约是所有其他各种气象数据总量的 100 倍。如何合适地储存这些资料, 并方便用户存取, 是迫切需要解决的问题。为此要设计适合存取的基本资料格式, 建立气象卫星资料数据库、图形库和图象库。

8 气象卫星资料在灾害性天气系统监测、分析和预报中作用的研究

GMS 展宽云图广播以后, 已经积累了许多新的观测事实。每小时一次的云图动画