

天气预报和 气候研究的进展

殷 显 曦



气象出版社

天气预报和气候研究的进展

殷显曦

气象出版社

内 容 简 介

此书在分析现代气象科技的发展特点与趋势的基础上,论述了天气预报和气候研究的进展概况,并从中进一步阐述了气象科技的主要发展趋势。根据世界新的技术革命的兴起及世界气象科研活动的进展,对天气预报和气候研究的发展前景作了定性预测。此书是一本关于气象未来学的著作,它较简练地阐述了气象学、天气预报及气候研究的发展规律,可供我国气象管理、业务、科研及教学工作者参考。

天气预报和气候研究的进展

殷 显 曦

责任编辑 康文骥

* * *

气象出版社 出版

(北京西郊白石桥路46号)

北京怀柔王史山胶印厂印刷 | 新华书店北京发行所发行

* * *

开本: 787×1092 1/32 印张: 4 字数: 86 千字

1985年10月第一版 1985年10月第一次印刷

印数: 1-1500 统一书号: 13194·0276

定价: 0.95 元

序 言

目前国内外许多学者认为,从八十年代起到公元2000年,全世界将面临着巨大变革的历史时期,世界新的技术革命将对人类社会的许多方面产生深远的影响。为加速实现我国气象事业的现代化,努力缩短我国气象科技水平与国际先进水平之间的差距,必须分析形势、抓住时机、研究对策,从而以积极的姿态迎接世界新的技术革命的挑战,而这将涉及气象未来学的研究。

未来学是本世纪四十年代以来的一门新兴学科,它的研究领域涉及科学、技术、社会、经济以及军事等许多方面。而研究学科的发展特点与趋势、发展途径和策略,以及分析有关学科的新成就和新技术的应用对学科发展的影响,是科学与技术的未来学研究的中心内容。因此,在分析气象科技的发展特点与趋势的基础上,研究世界新的技术革命对气象科技发展的影响,并从而预测气象科技的发展前景,属于气象未来学的范畴。近年来国内外,尤其是我国气象科技工作者,围绕大型气象科学试验计划或气象事业发展规划的制定,开展了大量关于气象科技发展的调研工作,并在此基础上发表了许多关于气象科技发展的分析评述文章,为气象未来学的发展开拓了道路。最近,中国气象学会又组织我国气象科学各领域的专家从事公元2000年气象事业发展的预测研究,这将进一步促进我国气象未来学研究的发展,从而使我国气象工作者面临建立气象未来学的任务。这种未来学研究,对于正确地决策、促进气象科学技术的新突破,以及最

佳化地开发和利用智力资源从而获得最大的社会和经济效益，是非常重要的。在我国气象事业现代化的过程中，必须了解、掌握和适应气象科学的发展规律，才能从必然王国走向自由王国；只有高瞻远瞩，才能在工作中掌握主动。

天气预报和气候学是气象科学的两个重要分支，介绍和论述天气预报和气候研究的进展概况，以及分析和预测其发展动向和前景是此书的主要目的。同时，此书的写作尚希望通过这些进展的论述进一步阐述气象科学与技术的主要发展趋势。第一章（气象科技的发展特点与趋势）是从自然科学的发展及近代世界新技术革命的影响出发，论述气象科技的一般发展规律，它也是此书论述天气预报和气候研究的进展的根据；第二章（国外数值天气预报的发展和应用）则进一步说明气象科学的数学化和气象技术的自动化这一重要发展趋势，它也是现代天气预报的基础；第三章（现时和甚短期天气预报的发展概况）、第四章（国外长期天气预报的发展概况）和第六章（气候研究的发展和前景）则旨在进一步说明气象科学的研究对象正在时间和空间尺度上向“两极”发展这另一重要发展趋势；第五章（公元2000年天气预报发展展望）则旨在以天气预报为例，分析和说明世界新的技术革命对未来气象科技发展的影响。

此书的部分篇章系根据作者最近几年在一些气象专业和学术会议中的讲稿整理、补充而成，初稿曾由南京气象学院进修部印作讲义，出版前作了进一步删改和补充。书中所涉问题可能是我国气象工作者比较关心的，但限于作者水平，论述可能不够全面，有些提法也可能欠妥，希读者不吝指正。

目 录

序言

第一章 气象科技的发展特点与趋势	1
一、气象科技的发展基础	1
二、气象科技的发展特点	3
三、气象科技的发展趋势	8
四、存在的问题和发展的途径	15
第二章 国外数值天气预报的发展和应用	21
一、数值预报的发展背景、现状和趋势	21
二、数值预报发展的经验及存在的问题	27
三、大尺度数值预报的应用	29
四、结语	33
第三章 现时和甚短期天气预报的发展概况	35
一、现时和甚短期预报的概念	35
二、国外现时和甚短期预报的发展	37
三、我国的甚短期预报	43
四、结语	45
第四章 国外长期天气预报的发展概况	48
一、历史的回顾	49
二、长期天气预报的现状	54
三、主要物理过程的研究	61
四、大气可预报性的研究	71
五、结语	75
第五章 公元2000年天气预报发展展望	78
一、天气预报的发展特点	78

二、天气预报的发展现状及国内外水平对比·····	81
三、天气预报的发展前景——公元2000年展望·····	85
四、结语·····	92
第六章 气候研究的发展和前景·····	93
一、气候的概念及气候系统·····	93
二、气候的物理过程·····	96
三、气候变化的理论及模拟技术·····	99
四、气候预报·····	104
五、气候学的发展动向和前景·····	106
结论·····	112
主要参考文献·····	115
英汉缩写词汇·····	118

第一章 气象科技的发展特点与趋势

作为论述天气预报和气候研究的进展的基础，本章将从分析自然科学的重大突破及新技术革命对气象科技发展的影响出发，论述气象科技发展的基础、发展特点、发展趋势以及在发展过程中所存在的问题和发展的途径。

一、气象科技的发展基础

气象科学是研究大气状态及其变化规律的科学，也是一门和人类生产、生活密切相关的涉及许多学科的应用科学。它基本上属于地球物理学的范畴，它的发展是建立在整个自然科学与技术的发展基础上的。近代自然科学的发展萌芽于十五世纪末的欧洲文艺复兴时期，而科学地、系统地、全面地向前发展则是在进入十六世纪之后，如果划个界限，那就是N. Copernicus的《日心说》这部不朽著作的出版，标志着自然科学开始冲破神学的束缚而独立地向前发展。

在人类认识和改造客观世界的历史长河中，认识客观世界的飞跃称科学革命或科学突破，改造客观世界的技术的飞跃称技术革命。从十六世纪至今的近500年中，自然科学取得了许多重要成就，这些理论上的进展应用于指导生产实践，也引起了一系列技术革新甚至技术革命，从而促进了生产力的发展。在这些重要成就中最重要的有三大突破：一是十七世纪中叶至十八世纪经典力学的建立，从而发明了蒸汽

机，出现了用机器代替手工的第一次技术革命（十八世纪中期—十九世纪中期）；二是十九世纪七十年代电磁理论的建立，它使人类进入了电气化时代，引起了第二次技术革命（十九世纪七十年代—第一次世界大战前）；第三是十九世纪末和二十世纪初原子核物理、量子力学和相对论力学的建立，以及本世纪四十年代末到五十年代初电子计算机的出现，使人类进入了原子能时代，实现了第三次技术革命（二次世界大战—七十年代前期）。其次，十九世纪中叶能量守恒和相互转化定律的出现，也有力地推动了物理学的飞跃发展。正是由于有了这些自然科学中的一系列重大突破及工业技术的革命，使自然科学与技术的发展更加蓬勃向前。而进入二十世纪之后，有人称为现代科技发展的黄金时代。在此时期内，自然科学的各个领域，特别是物理学，取得了一系列重大成就。例如1900年M. Planck提出的量子理论，1905年A. Einstein发表狭义相对论，1911年E. Rutherford提出原子结构，1913年N. Bohr提出量子轨道和氢光谱的解释，1916年Einstein发表广义相对论，1924—1926年间DeBroglie等建立了量子力学，1927年发现电子自旋，1928年M. Dirac发表相对论量子力学等等。上述这一系列成就，构成了现代科学技术的坚实理论基础，使人类对客观物质世界的认识，无论是从宏观或微观方面，都大大地向前发展了。尤其是，第三次技术革命的广度、深度、速度以及它对经济和社会生活的影响，都超过了前两次。第三次技术革命是以原子能、空间技术，特别是电子计算机为标志的技术革命，它还包括自动控制、遥感、激光及合成材料工业的重大发展，同时还产生了综合性的信息科学：信息论、控制论和系统论。而这一切，整个自然科学与技术的进步，无疑地为气象科技的发

展提供了条件，奠定了基础。例如，气象科学的基础理论——动力气象学，就是建立在经典力学及能量守恒和转化定律的基础上的；电子技术的进步使大气探测从点到面，从二维发展到三维，走向自动化、遥感化和系统化；天气雷达的出现使气象科技工作者能够监测、追踪强风暴的移动和发展；电子计算机的应用则使数值天气预报从梦想变为现实，从而使天气预报从主观走向客观，从定性走向定量，从手工操作走向自动化。而空间技术的发展，则使气象工作者能站得更高，看得更远，从外层空间俯瞰地球大气，从而为大气科学的研究和气象业务工作提供了更加全面的资料，为人类认识大气状态的变化规律开辟了广阔的前景。这就是现代气象科技的发展基础，而第三次技术革命，是五十年代以来气象科技发展更为迅速的主要原因。当前，世界正面临着以微电子技术、生物技术、新材料、新能源及海洋技术为主要标志的新的技术革命，它必将进一步促进今后气象科技的发展。对此，本书将在关于天气预报及气候学的前景预测的章节中作进一步阐述。

二、气象科技的发展特点

气象科学和技术的发展是伴随着整个自然科学的步伐前进的。从它的发展历史看，尽管数千年前人类在和自然作斗争的过程中已在探索大气的奥秘，也积累了一些经验，有的见诸于经传、史册或反映在传说甚至神话之中，但限于缺乏科学的探测手段及资料的系统积累；因而它的发展是缓慢的。只是近百年来随着探测手段、通讯设备及计算工具的发展以及数学和物理知识的应用，人类对大气现象的探索才逐

步发展为科学的气象学或大气科学。

如前所述，二十世纪是整个自然科学发展的黄金时代，对气象科学也同样如此。五十年代之前气象科技的发展出现过三次重大成就。一是二十年代锋面学说的建立为短期预报的天气图方法提供了理论依据；二是三十年代长波理论的出现为后来的数值天气预报奠定了理论基础；三是四十年代关于云中过冷水和冰晶并存的论证促进了人工影响局部天气的发展。而五十年代至今，随着整个自然科学与技术的发展，尤其是在第三次技术革命的影响下，气象科技在许多方面，无论是广度与深度，均加快了前进的步伐。诸如大气探测技术在日新月异；动力气象学的基本原理在天气预报中得到较广泛的应用，并派生出数值天气预报；大气物理学正在向近地层、高层以及向微观发展；出现了动力气候学，各种应用气象和应用气候学，以及大气化学等等。但是，气象科学毕竟是一门年轻的科学，在它的领域内还有不少处女地有待开垦，有大量的问题需要探索。为了促进气象科技事业的发展，深入探索现代气象科技的发展特点，掌握气象科技发展的规律性，对我们说来应该是十分必要的。那么，它的发展特点是什么？概括起来有以下几个方面：

1. 气象科技是在广泛应用中发展，在和有关学科的相互渗透中前进

任何一门学科是否能够得到发展，关键在于它是否能够用来指导生产实践。气象科学和人类的生产活动是密切相关的，这就决定了它是一门有生命力的学科。二十世纪以来，随着生产的发展，气象科学的应用日益广泛，它和有关学科之间的相互渗透也日益明显。在这种广泛应用和学科相互渗透的形势下，气象科学的分工愈来愈细，专业化的程度也愈

来愈高。在气象科学的领域中，出现了天气学、气候学、大气物理学、云雾物理学、动力气象学、动力气候学、微气象学、中尺度气象学、气候统计学、农业气象学、森林气象学、畜牧气象学、航空气象学、海洋气象学、生物气象学、医疗气象学，大气化学以及卫星气象学和雷达气象学等等。这种愈来愈细的学科分工，说明气象科学是在应用中得到发展，在学科相互渗透的情况下前进。同时，不同学科的相互渗透也促使气象科技的发展日益趋向综合，气象科研工作专业化程度的提高也扩大了学科的发展趋于综合的基础。而且，随着气象科研内容的日益深入，一些重大的气象科研课题往往具有高度的综合性，需要通过有关学科研究人员的通力协作，才能较顺利地得到解决。因此，在我国气象科技现代化的过程中，要密切结合我国国民经济建设的需要，结合我国的生产和业务实际，充分重视发展各种应用气象学和应用气候学，这既是气象科学为生产服务的桥梁，又可使气象科学开拓新领域，进一步向专业化发展。同时，又要重视在业务和科研工作中走综合化的道路，例如天气预报的综合化，气候研究的系统化。在天气预报中，要综合各级气象台站的作用，综合利用各种可能得到的观测资料；以及综合利用各种预报方法的优点，从而由不同的角度，利用不同的方法，尽可能多地挖掘大气的预报信息，才能较有效地提高天气预报水平。所谓气候研究的系统化，就是要综合大气圈、水圈、冰圈、土址岩石圈及生物圈等气候系统的各组成部份的共同作用探索整个气候系统的统计状态，才能比较正确地了解气候变化的规律。此外，气象科研人员既要在本专业方面深入钻研，精益求精，又应具有较广泛的科学知识，才能较有效地完成科研任务。同时，开展跨学科的科研协作，加强不同

学科之间的学术交流，将会有效地促进气象科技的发展。

2. 气象科技的发展依靠不断地引进其他科技领域的新技术

任何一种理论或是一种技术方法，它解决问题的能力是有限度的。任何一门学科的发展，都需要从其他学科汲取营养，引进其他学科的新成就、新技术。气象科学的研究对象是茫茫大气，和天文学的研究对象是作为刚体的星球运动及海洋学的研究对象是不可压缩的海水相比，气象学的研究对象要复杂得多，因而它的任务更加艰巨，它的发展要更多地依靠不断地引进其他科技领域中的新进展。近百年来气象科技的发展历史已充分地说明了这一点。例如，随着无线电、气球、飞机、雷达、卫星、电子计算机以及激光、微波等新技术的应用，大气探测技术从初始阶段（十七世纪末至本世纪初）、发展阶段（1915—1944年）、成形阶段（1945—1949年），发展到成熟阶段（1960年至今），使大气探测能力有了显著提高。而整个气象科学，一般是按照气象仪器的发明和广泛使用分作萌芽时期（—1643年）、地面仪器时期（1643—1930年）及高空仪器时期（1930年—今）。此外，随着电子计算机的应用，气象业务技术的许多领域正在实现自动化；气象科研的许多方面，如气候学、云雾物理学等，正在较广泛地应用数值模拟。目前，分辨率较高的卫星探测用于气象，最先进的多普勒雷达用于气象，内存最大和运算速度最快的电子计算机也用于气象，几乎最先进的技术多半会用于气象。实践说明，只有不断引进其他学科领域的新技术和新成就，才能促进气象科学的不断发展。当然，新技术的引进应经过适当的论证，而且要使引进、使用、改造和创新相结合，在这方面，日本的经验是值得借鉴的。战后日本科学技术发展迅速的原因之一是它非

常重视新技术的引进，而且在消化之后加以改造和创新。

3. 气象科技在科学与技术紧密结合和相互促进的情况下发展

如前所述，气象科学的发展有赖于采用新技术。同时，由于现代技术方法日益复杂，如不解决理论问题，要使技术方法取得进展是困难的。在现阶段，技术的发展日益要求科学理论研究走在前面。这就是当代科技发展中的所谓“科学技术化”和“技术科学化”。正如周总理曾指出的“没有一定的理论科学的研究作基础，技术就不可能有根本性质的革新”。气象科技工作的发展也同样如此。技术的发展要靠科学理论的指导，而理论上的突破需要借助于先进技术。例如要探索和研究有效的天气预报方法，必须从理论上深入研究各类尺度天气系统之间的相互作用机制；而要深入探索这种机制，就需要利用先进的探测技术进行观测试验、天气动力学的分析以及数值模拟的研究。由此可见，在气象科技的发展过程中既要重视发展科学的应用技术，又要重视研究技术方法的科学理论，二者密切结合、相互促进，才能有效地提高气象科技水平，而这这就要求气象科研和业务人员的密切协作，扭转当前我们在一定程度上存在着的科研和业务工作脱节的局面。而且，在引进新技术的过程中，必须大力提高我国现有气象技术人员的理论水平，否则就会影响所引进技术的效益，更难作到消化、改造和创新。

4. 气象科学的发展进入了实验科学阶段

过去有人认为，气象科学的研究对象多是既看不见又摸不着，它不象一般物理学和化学那样是一门实验科学，而这也正是过去它发展缓慢的一个重要原因。事实上，近年来气象科学的发展已摆脱了这种落后局面，它已跨入了实验科学

的阶段。例如,在试验室进行的气象模拟试验已可利用转盘、风洞等根据流体力学的相似原理模拟像台风、低涡及地形对大气环流的影响以及大气扩散问题和热岛效应等一些大气现象;利用云室模拟云雾的形成、试验人工摧化的效果;利用人工气候箱探索作物生长和气象条件的关系等等。又如利用数值模式和电子计算机,可以进行许多大气运动现象的数值模拟,小至像山谷风、海陆风这样的中尺度现象,大至全球大气环流,甚至可模拟一万八千年前地球上的古气候状态。从而探索各种时空尺度大气状态变化的规律。此外,近年来国内外开展了一系列各种规模的大气观测试验,小至局部地区,如我国南、北方的暴雨观测试验,美国的强局地风暴和中尺度试验,日本的梅雨锋暴雨试验;大至某一地区甚至全球,例如我国的青藏高原科学试验, GARP (全球大气研究计划) 的大西洋热带试验、极地试验、气团变性试验、阿尔卑斯山试验、季风试验、台风业务试验以及第一次全球大气试验等等。上述这些气象科学试验活动均积累了宝贵资料,提供了新线索,取得了有益的研究成果,使气象科学的研究从被动转为主动,为气象科学的发展开辟了广阔的前景。我国在这些方面已作了不少工作,今后还应继续加强。

三、气象科技的发展趋势

1. 气象科学的数学化

“一种科学只有在成功地运用数学时,才算达到真正完善的地步”这是马克思关于科学发展的一句名言。数学是一切科学的得力助手和工具,任何一门科学的发展,如果没有达到成功地运用数学这项工具的水平,它就不能精确地描绘

出客观事物的状态和变化规律，更不可能从已知的数据推算出未来的数据。当前，自然科学的各门学科都在朝着愈来愈精确的方向发展，特别是电子计算机的发展和应用，更大大地加快了这一进程。

气象科学属于物理学的范畴，其发展趋势的数学化是明显的。在气象科技领域中，近代的科研课题正处在气象学、流体力学和数学这三者的汇合点上。利用近代数学和力学的理论和方法，针对气象问题创立新的理论和方法，并逐步用于气象业务实践，这是当前气象科技发展的一个重要趋势。从天气预报这个气象科技的主要领域看，在本世纪五十年代之前的经验和半经验时期，预报水平有所提高，但进展是缓慢的。而五十年代以来，由于数学物理方法、动力气象学原理在天气预报中的应用，天气预报水平才有了明显的进步。尤其是五十年代后期以来，由于电子计算机的发展，使数值天气预报从梦想变为现实，从而使天气预报在客观化、定量化方面向前迈进了一大步，使气压形势预报有了明显的提高。六十年代以来，随着电子计算机、统计数学的进展以及人们对大气物理过程认识的逐步深入，现代统计预报有了进一步发展，如回归、相似、判别分析、事件概率及随机过程等方法，在天气预报中发挥了重要作用。六十年代后期起，有些国家综合动力学和统计学方法的优点，在业务预报中开展了动力-统计预报，如PP（完全预报），MOS（模式输出统计）预报等，使客观预报从气压形势预报过渡到气象要素预报。天气预报这种从主观到客观及从定性到定量的发展，是数学物理方法在天气预报中广泛应用的必然结果，也是气象科学数学化的一个重要方面。此外，气象科学的其他领域，如气象观测、气候学、云雾物理学以及农业气象学等学科的

研究，也正在较广泛地应用数学工具，向客观化和定量化发展。例如近年来在把定性资料作定量处理方面已取得不少进展，利用图像处理技术在卫星观测中以云顶温度表示云的分布状况，在雷达探测中用反射率因子表示回波图形，均收到了很好的效果。随着探测技术的发展，将把历来只能定性观测的项目实现客观定量观测。又如，近年来在气候的数值模拟、积云发展的数值模拟以及谷物产量的数值模拟等方面均正在取得进展。这一切均表明，气象科学的数学化，已使它进入了一个更高的发展水平，在我国气象教育、科研、业务以及出版工作中，应该进一步重视数学工具的作用。

2. 气象技术的自动化

随着自然科学中控制论、信息论和系统论的发展，气象资料的大量增加以及气象业务本身要求速度，近年来气象业务技术的发展日益趋向自动化。这种自动化表现在气象观测、资料处理以及分析和预报等一系列气象业务工作之中。

气象观测自动化，是当前世界各国气象观测的主要发展趋势。早在五十年代后期，世界气象组织就成立了专门工作组，研究和推进各国的自动化观测。自那时以来，许多国家制订了发展自动观测的计划，各种类型的自动化观测设备相继研制成功并陆续投入使用。例如1977年日本建立了气象资料自动获取系统（AMeDAS）。1980年前美国已建立了多种海洋和陆地自动观测站。例如AMOS（自动气象观测站），RAMOS（遥测自动气象站），AHMOS（自动水文气象观测站），LNB（大型导航浮标站）等。美国计划到2000年地面和高空观测全部实现自动化，但目前自动化观测尚未能代替人工观测，而是在一定程度上弥补了常规观测的不足。

在气象技术自动化的过程中，除观测技术外，其他如资