

殷显曦 著
彭光宜

气象科技发展战略概论

中国科学技术出版社

序

气象科学是研究大气状态及其变化规律的科学，也是一门与人类社会的生产和生活密切相关的应用科学；它的主要任务是通过研究大气状态的变化规律，提供多种时、空尺度的天气情报和预报，气候评价和展望，为社会发展和经济建设服务。根据联合国世界气象组织的调查，目前各国经济部门使用气象信息及其加工产品所获得的经济效益，同气象部门业务费用之比在 $5:1$ 到 $100:1$ 之间，即气象服务对国民经济的贡献相当于它本身业务费用的 5 倍到 100 倍。由此可见，发展气象科学技术对我国社会主义现代化建设事业具有重要意义。

本世纪 50 年代以来，在第三次技术革命浪潮的影响下，随着世界天气监视网 (WWW) 的建立，国际地球物理年 (IGY)、全球大气研究计划 (GARP) 及世界气候计划 (WCP) 等一系列国际大气科研活动的开展，气象科学与技术取得了显著的发展，从而也较显著地提高了为社会服务的能力。但是，气象科学的发展仍存在着一系列有待解决的探测问题、资料问题、理论问题和方法问题，它的服务也远未能满足社会的需求。尤其是，本世纪 70 年代以来世界上许多地区出现大范围的气候异常现象，世界面临着日益严重的粮食、能源和水资源危机，大气污染和因生态平衡的破坏所造成的环境恶化问题。因此人类社会对气象科学提出了更为

迫切的要求，包括能够比较准确地预测气候的长期变化。此外，在过去 30 年中虽然大尺度气象学研究已取得实质性的进展，在大范围天气预报，尤其是气压形势的预报方面已取得较显著的成绩。但对于空间尺度为 2~200 千米的中尺度天气系统及其所造成的象暴雨、大风、冰雹等强烈天气的预报仍然是气象科学中的难题。因此，气象科学与技术的发展正面临着巨大的挑战，这是值得气象科技工作者认真对待的，而如何促使气象科学进一步取得较显著的发展，也是值得认真研究的问题。

从 80 年代起到公元 2000 年，是世界面临着巨大变革的历史时期，一场虽已揭开序幕，但仍在酝酿发展的世界新技术革命正在冲击着整个科技领域，震撼着全世界，它也必将对今后气象科学与技术的发展产生深远的影响。为促进我国气象科学技术的发展，必须分析形势，展望未来，研究对策，抓住时机，以积极的姿态来迎接世界新技术革命的挑战。这将涉及气象科学技术的发展和预测研究或气象科技未来学研究。在我国气象事业现代化建设的进程中，必须在学科发展和预测研究的基础上，了解、掌握和适应世界气象科学和其他相邻科学的发展规律，进一步研究和制订我国气象科学技术的发展战略，才能在工作中不断掌握主动权。

本书较系统地总结了气象科学与技术的发展特点，较全面地介绍了近些年来国内外气象科学与技术的主要进展，较深入地分析了科学革命和技术革命对气象科技发展的深远影响，从而对公元 2000 年气象科学与技术的发展远景作出了有依据的预测和推断，并在此基础上论述了我国气象科学与

技术的发展战略。全书资料翔实，论证有据，预期它的出版将会受到我国广大气象科技工作者的欢迎。

章基嘉

1988年9月1日于北京

目 录

序	
绪 论	(1)
第一章 气象科学技术的主要发展特点	(8)
第二章 国际气象科学的若干进展	(15)
第三章 我国气象科学研究的主要成就	(50)
第四章 我国地方气象科技发展近况	(100)
第五章 国内外发展水平的对比分析	(116)
第六章 科技革命与气象科技的发展	(131)
第七章 公元 2000 年气象科技发展远景	(149)
第八章 国际气象科技发展战略	(174)
第九章 我国气象科技发展战略概论	(224)
结 语	(243)

绪 论

自然科学与社会科学的相互结合、相互渗透，已成为当代科学发展的重要趋势；当今的科学技术正在形成一个包括社会科学和自然科学在内的完整体系。而今后的科学技术将沿着这一方向发展。作为自然科学与社会科学的“结合点”或结合方式，科学发展的实践已经表明，这主要是依靠发展“边缘学科”、“综合学科”和“横向学科”来实现的。而科技未来学，它既属于“边缘学科”、“综合学科”，又属于“横向学科”，也属于“交叉学科”，它是自然科学与社会科学的一种有效的结合方式，其主要目的是研究科学技术的发展战略。因此，科技未来学也是软科学的重要组成部分。

未来学（Futurology）又称未来预测学（Prognostics），是本世纪40年代以来的一门正在形成的研究未来、创造未来的新兴学科，它的研究内容涉及科学、技术、社会、经济以及军事等许多方面。而专门研究科学与技术的发展的未来学应称科技未来学，它的主要研究内容是学科的发展特点和趋势、发展的经验和问题、发展的途径和策略，以及分析有关学科的新成就及新技术的应用对学科发展的影响，从而对学科的发展前景作出科学的预测。它的研究方式是“现在——未来——现在”，它不单纯是为了预测学科的未来发展，更重要的是探索学科的有效发展途径，目的在

于选择、控制、甚至创造未来。远见才有卓识，这就是科技未来学研究的实践意义。科学预测是促使当代科学技术朝着人们所希望的方向发展的手段，它是建立在对学科发展的基本规律的认识和深刻理解的基础上的。运用科学的方法分析和研究科学技术各个领域的内在联系以及决定未来发展动态的最重要因素，特别是基础理论和应用科学的关系，从而预测学科的发展，这是一种创造性的科学活动。这种未来学研究对于正确的决策，促进科学技术的新突破，以及最佳地开发和利用物质资源和智力资源，从而获得最大的社会和经济效益，是非常重要的。每门学科都应该发展本学科的科技未来学，气象科技工作者应该重视气象科技未来学的研究，这将有助于我国气象事业的现代化和气象科学与技术的发展。

未来学或科技未来学认为，未来是可塑的。有人认为，今后5年的未来将由现在已经起着作用的力量所决定，而现在正在作出的决定和采取的行动将有力地塑造今后5~50年间的未来。因此未来学的目光集中于今后5~50年，而最终目的仍着眼于当前为塑造美好的未来所应采取的最优决策，这种决策则是建立在预测基础上的。这就是未来学的基本观点。作为一门学科，科技未来学的理论基础是学科发展的基本规律——发展的特点或趋势，这是预测未来的主要依据；关于发展现状的分析则是预测未来的初始场；而预测因素则涉及社会变革、经济发展、人才的成长，以及基础学科发展的新成就和新技术的应用等许多方面。至于预测方法，虽然目前国外未来学的预测方法已有多种，例如趋势外推法、相似法、关联树、系统分析以及数值模拟等等，但一般行之有效的仍是综合性的定性分析。显然，科技未来学目前仍处于它发展中的初级阶段，它必然要经历一个由初级到高级的发

展过程。尽管较准确地预测未来是很困难的，但即使是定性的趋势预测，也将对决策具有较大的参考价值。

目前一些发达国家对未来学或科技未来学的研究非常重视。据国外统计，通过未来学研究所取得的经济效益高于研究投资约 50 倍。因此近年来西方许多国家建立了关于未来学的研究机构。例如西欧一些国家在荷兰建立了“人类 2000 年国际协会”这一未来学研究的国际组织，美国在华盛顿成立了世界上规模最大的“世界未来学会”，许多国家（如瑞典）成立了政府级的未来研究部或“2000 年委员会”。在科学预测方面，许多国家建立了专门化的科学研究机构，例如美国的兰德公司和奥地利的维也纳未来问题研究所等。近年来，关于未来学或科技未来学的研究已引起我国政府及科技工作者的关注。为适应我国社会主义现代化建设的需要，1979 年在北京成立了中国未来研究会，它正在推动我国未来学研究的发展。但是在各科技领域中，科技未来学的发展是不平衡的。目前，在生物学和医学领域内，科技未来学正在开拓前进，而许多学科尚未意识到或尚未关注本学科科技未来学的发展。在气象科技领域内，虽是最近几年才提出气象科技未来学的概念，但这方面的研究早已在进行中。

早在 70 年代初期，英国气象局长 B.T.Mason (1970) 曾论述《气象学未来的发展》，J.S.Soyer (1972) 论述了《数值天气预报的过去、现在和未来》，美国大气科学委员会 (1973) 发表了《大气科学和人类的需要——将来工作的优先排队顺序》；70 年代中期，R.A.Reed (1977)、S.Ramage (1977)、S.Leonard (1977)、P.A.Pielke (1977) 以及 F.G.Shuman (1978) 等曾评论了现代天气预报的发展；70 年代后期及 80 年代初期，美国大气科学委员会就大气科学

的许多领域，尤其是中尺度气象学的发展进行了较全面的调研和分析，发表了许多调研报告，例如《大气科学：80年代的国家目标》（1981）、《美国现代中尺度气象学的研究》（1981）及《大气降水——预报和研究问题》等。这些工作分析了气象科学的发展水平，提出了问题，指出了方向，对国际气象科技的发展起了积极的促进作用。但不足的是，这些工作均未能对现代气象科技的发展特点进行分析，因而展望或预测的依据是不充分的。

我国气象科技工作者对学科的发展是关注的。早在 50 年代后期，徐尔灏等老一辈气象专家（1959）就曾论述了我国气象科技某些重要领域的发展概况，但“左”的失误和十年动乱使学科发展研究趋于中断。70 年代中期后，我国气象界关于学科发展的论述有了进一步发展。尤其是 70 年代后期以来，为进行我国气象事业的现代化建设，围绕我国气象事业长远规划的制订，我国气象科技工作者对国内外气象科技的发展进行了大量的调研工作，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，出版了《现代气象业务的调研与分析》（一）和（二）（1980，1983，中央气象局技术发展办公室及气象科技情报研究所）、《现代日本气象工作调研专集》（1981，气象科技情报研究所）、《现代美国气象工作调研专集》（1982，气象科技情报研究所）、《现代苏联气象工作调研专集》（1984，气象科技情报研究所）。同时，中国气象学会也组织有关专家在全国会员代表大会暨 1982 年学术年会上报告和发表了许多关于学科发展的综合评述文章。以上这些工作，为我国气象事业发展规划的制订提供了有益的分析资料，从而对我国气象事业的现代化起到了积极的促进作用，也为我国气象科技未来学的发展开拓了道路。

值得指出的是，在此时期内，我国叶笃正、谢义炳、陶诗言、朱炳海、么忱生、黄士松、杨鉴初、冯秀藻、王鹏飞等老一辈专家以及张家诚、王绍武等许多学者均曾对论述气象科学的发展作出了贡献。尤其是，叶笃正《气象科学的过去、现状和未来的展望》（1977）一文，及谢义炳《回顾过去，瞻望未来，促进我国气象科学技术新的发展高潮》（1982）的报告，为我国气象科技未来学的建立做了开拓性工作。

面临世界新的技术革命，1984年中国气象学会根据中国科协关于组织公元2000年的中国科技发展展望研究的要求，成立了“2000年的中国气象科学”预测研究工作组，组织我国气象界各个领域的专家学者开展了关于公元2000年气象科学发展远景的预测研究。在这项具有重大意义的研究中，中国科协要求密切结合当前国际上正在进行的新技术革命的研究，注意新的技术革命与本学科当前和未来发展的关系，注意研究世界新的技术革命的挑战和提供的机会，要提出对策和建议，把“2000年的中国研究”和对世界新的技术革命的研究统一起来，而这也正是科技未来学要研究的内容。我国气象科技工作者积极参加了这项研究，完成论文数十篇，其中关于“我国气象事业”、“气象业务技术体制”、“大气科学研究”和“气象系统教育”等4篇带有全局性的综合性论述以及关于大气科学各分支学科的12篇专论作为2000年的中国研究资料第14集《2000年的中国气象学和大气科学》已由中国科协出版；另外68篇涉及气象科学许多方面的发展论述作为《2000年的我国大气科学》由“2000年的中国气象科学”预测研究工作组和气象科技情报研究所出版。这些文章较全面地论述了国内外气象事业、气象科学与技术

的发展，进行了水平和差距的分析，有的还对未来的发展作了初步的预测。这是集中我国气象科技工作者智慧的气象科技未来学著作，它将进一步促进我国气象科技未来学的发展。

当前，气象科技发展预测研究，正在借助于有利的社会环境向纵深发展。中国科协要求各学会在总结 1984 年预测研究的基础上，进一步开展跨学科或跨学会的综合性研究。1987 年中国 IUGG^① 全国委员会要求出席第 19 届 IUGG 大会的各代表团，以这次大会为窗口，对国际地学的发展进行较全面的调研分析，在此基础上对我国今后地学的发展提出建议，召开全国性的学术讨论会，专门研究地学各分支学科的发展和预测问题。最近我国国家自然科学基金委员会要求各学部组织高水平的专家，在学科发展和预测研究的基础上进行学科发展战略的研究，从而为我国制定学科政策和基金项目指南提供依据。上述这些情况充分说明，关于学科的发展和预测研究已日益受到人们的重视，而且它正在发挥着日益显著的作用。

关于学科发展和预测的研究，实际上是科技未来学研究。目前科技未来学仍处于它发展中的初期阶段，还很不成熟，因此更需重视这方面的研究。任何新生事物的发展都是从初级到高级，从不成熟走向逐步完善的。发展科技未来学需要集中本学科领域各分支学科及有关学科专家学者的智慧，只有如此才能集思广益，把科技未来学的研究建立在一个比较扎实的科学基础上；同时，专业科技情报研究工作必然涉及科技未来学研究，而且科技情报的某些研究工作，也

① IUGG 是国际大地测量和地球物理学联合会的英文字头缩写。

应该和需要提到科技未来学的高度，只有如此，才能进一步提高专业科技情报研究工作的水平和服务效果——为领导的决策提供较有参考价值和较有远见的分析，以及为本学科的科技工作者提供较符合学科发展需要的科技信息。实际上，科技未来学是科技情报研究工作的理论基础之一。一项比较成熟的科技情报研究成果，将有可能也是一篇较好的科技未来学著作。

目前，在气象科技领域中已经积累了许多关于学科发展的分析研究成果，可以认为，创立气象未来学的时机已经成熟，这对我国气象事业的发展是有益的。实践证明，已发表和出版的一些气象未来学论著，已在我国气象部门制订发展规划、拟定改革方案的过程中发挥了重要作用。本书将从气象未来学的角度，论述气象科学技术的发展特点，简介国际和我国气象科学各分支领域的发展现状，对国内外气象工作的发展水平进行对比分析，论述科学革命和技术革命对气象科技发展的影响，在此基础上预测公元 2000 年气象科学与技术的发展远景，而最终目的是介绍和论述国际和我国气象科技的发展战略，这也正是本书命名为《气象科技发展战略概论》的主要原因。

第一章 气象科学技术的主要发展特点

研究气象科学与技术的发展以及预测其发展远景，最重要的是要了解和掌握它的发展规律，亦即发展特点。作为一门学科，气象科技未来学研究的基础或主要依据也正是气象科学技术的发展特点。那么，气象科学技术的发展规律或主要特点是什么呢？概括起来有以下八个方面。

一、在广泛应用中发展， 在和有关学科的相互渗透中前进

任何一门学科能否得到发展，关键在于它是否能用来指导生产实践。气象科学和人类的生产活动密切相关，这就决定了它是一门有生命力的学科。二十世纪以来，气象科学的应用日益广泛，它和有关学科之间的相互渗透日益明显。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。同时，不同学科的相互渗透也促使气象科学的发展日益趋向综合，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，才能较顺利地解决。因此，分析和预测气象科技的发展，必须密切注视国民经济对气象服务的需要的发展，要注意有关学科发展的影响和渗透；同时，既要注意专

业化，又要注意综合化。

二、不断地引进其他科技领域的新成就和新技术

任何一种理论或一种技术，它解决问题的能力是有限度的。任何一门学科的发展，都需要从其他学科领域汲取营养，引进其他学科的新成就和新技术。气象科学的研究对象是茫茫大气，它的状态变化涉及多类尺度大气系统的相互作用，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，因而它的任务也更加艰巨，它的发展要更多地依靠不断地引进其他科技领域的新进展。近百年来气象科技的发展历史已充分说明了这一点。例如无线电的发明和利用使气象科学的研究从点到面，气球、飞机及无线电探空仪的应用则使气象科学的研究从二维发展到三维空间，而电子计算机和卫星探测的利用使气象科学呈现了崭新的面貌。因此，分析和预测气象科技的发展，必须重视有关科技领域的新成就以及新技术的利用，尤其要关注世界新的技术革命的发展。

三、在科学与技术紧密结合和相互促进的情况下发展

如上所述，气象科学的发展有赖于采用新技术，同时，由于现代科学技术方法日益复杂，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，技术方法的发展日

益要求理论研究走在前面。技术发展要靠理论的指导，而理论上的突破要借助于先进技术。这就是当代科技发展中的所谓“科学技术化”和“技术科学化”。例如要探索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研究。因此，分析和预测气象科技的发展，既要重视在气象科学理论研究中可能出现的突破，又要注意在观测、通信、资料处理以及预报技术方面的革新；尤其要关注气象科学与气象技术之间的相互作用。

四、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那种落后局面，它已经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象台风、低涡及地形对大气环流的影响等一些大气现象；利用云室模拟云雾的形成、试验人工催化的效果；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，小至象山谷风、海陆风这样的中尺度现象，大至全球大气环流，甚至可模拟数万年前地球上的古气候状态，以及核爆炸对地球气候的影响。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；大至某一区域甚至全球，例如我国的青藏高原科学试验，全球大气研究计划中的大西洋热带试验、极地试验、气团变性试验，以及第一次全球大气试验等。这些试验均积累了宝贵的资料，提供了新线索，取得了有益的研究成果，为气象科学的发展开辟了广阔的前景。因此，分析和预测气象科学的发展，应该注意国内外气象科学试验活动的已有成果和未来的计划设想。

五、气象科学的数理化

任何一门自然科学，只有在成功地运用数学和物理学时，才算走上了日趋完善的路途。当前自然科学的各门学科都在朝着日益精确，向着客观化和定量化的方向发展，特别是电子计算机的发展和应用，更大大加速了这一进程。本世纪四十年代之前，气象科学基本上属于描述性和经验性的学科，而 40 年代以来它已趋于数理化，更加牢固地建立在实验物理学和流体力学等学科基础上，并且强调要了解它的物理和动力过程及其相互作用。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。尤其是 50 年代以来，随着应用数学和电子计算机的发展，数值预报和数值模拟的成功已使大尺度气象学出现了一场革命。目前，在气象科技领域中，无论是天气预报、气候学研究以及其他分支学科，均在向着客观

化和定量化发展，从而使气象科学进入了一个更高的发展水平。因此，分析或预测气象科技的发展，必须注意数学和物理学的新成就在气象科学中的可能利用，以及电子计算机的发展和应⤵用。

六、气象技术的自动化

随着信息科学——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快速，近年来气象业务技术的发展日益趋向自动化。把自动化的观测技术、数据处理技术、通信技术以及客观分析、预报制作和发布结合成一个整体，构成一个完整的自动化系统，这是近年来气象业务技术发展的一个重要趋势。例如美国的气象业务和服务自动化系统（AFOS）就是执行这类任务的一种气象业务技术自动化系统。利用这种系统，可使气象科技工作者从繁重的日常工作中解脱出来，从而进一步提高气象业务工作的效率。而且，随着计算机的微型化，象 AFOS 这样的自动化系统今后还将取得令人注目的进步。目前自动化正在渗透到气象业务的所有主要方面，这种趋势还将进一步发展。因此，分析和预测气象科技的发展，必须充分重视信息科学和信息技术的进步。

七、气象科研规模日益扩大

近百年来自然科学研究的组织规模经历了从个体到集体再到国家组织这样三个阶段。气象科学也同样如此，它的科