

现代气象业务的调研与分析

(一)

中央气象局 技术 发 展 办 公 室
气象科学研究院气象科技情报研究所

1980年12月

前 言

为了顺利完成制订气象事业发展长期规划这一重要任务，根据党中央和国务院提出的制定国民经济长远发展规划的指导思想订出发展我国气象事业的二十年规划和十年计划，对各有关问题事先进行充分细致的调研和发动各方面人员关心和参与这项工作是十分重要的。为此，在中央气象局长期规划领导小组的领导下，我们在七、八月份先后组织了两次关于国内外各有关气象专业情况介绍的报告会，请局内对各专业比较熟悉的同志介绍了气象工作各专业的历史、现状、动向和发展趋势，有的还提出了分析意见、看法和对规划中有关问题的建议。我们希望这些报告对于开展有关我国气象现代化业务技术体制问题的讨论和制定各专业的长期发展规划有一定的帮助。由于时间仓促和限于资料等条件，这两次报告会没有包括气象部门各个专业的全部内容，报告中的一些分析和建议也只是侧重于个人比较熟悉或关心的某些方面的意见。

现先将这两次报告会上介绍的材料编印发给有关单位和个人供作制订长远规划的参考，今后我们将陆续予以补充。欢迎各方面关心气象业务现代化的同志向我们提供材料和意见，特别对于像这次没有涉及的气候、大气污染、计量检定等专业方面的更为欢迎。

目 录

前言

大气探测技术的变革、现状和发展趋势.....	(1)
近代天气预报业务发展趋势的分析.....	(7)
气象资料业务现代化的几个方面.....	(32)
农业气象学的发展和展望.....	(44)
人工影响天气现状分析.....	(53)
卫星气象和气象卫星的发展：分析与建议.....	(58)
规划综合气象电信网的几个问题.....	(77)
国外气象研究机构的现状及其特点.....	(81)
关于气象科技人员教育培训国外现状分析和几点建议.....	(87)
现代日本气象业务自动化体系综述及分析.....	(92)

大气探测技术的变革、现状和发展趋势

张 菊 生

气象学是以大气为研究对象的一门应用科学，其任务是认识大气运动的规律，预报大气的行为，进而对天气进行人工控制。各国的大气科学研究和气象业务实践，历来都是围绕这些任务展开的。

认识大气是完成上述各项任务的前提。要认识大气，就必须开展气象观测，进行大气探测。能否通过观测、探测获得准确而又足够的气象资料，关系到能否不断改进对大气运动规律的认识；关系到天气预报、人工影响天气以及许多应用气象领域的研究工作能否更快地向前发展；关系到各种气象服务工作能否做得更准确、更及时；甚至关系到能否对某些天气过程做出预报。例如，在多普勒雷达出现以前，要靠常规探测手段探测并进而预报龙卷，几乎是不可能的；要是不发展极轨气象卫星，就很难把气象观测的范围扩展到全球每一角落；要是没有静止气象卫星资料，在台风、飓风监测方面要做到近几年那样一个不丢，那也是不可想像的！

正因为这样，国际气象界对大气探测技术的发展十分重视，把它看作是开展气象业务、科研工作的一个重要条件。为了能够获取数量更多、质量更高、时间和空间分辨率更能满足要求、更加适用的气象资料，各科学技术发达的国家无不在发展探测技术、掌握必要的探测手段方面投进了大量的人力、物力和财力。

四个阶段，三次突破

近代气象观测，如从1643年发明气压表，组成了世界上第一个观测网算起，至今

已有三百多年的历史。大气探测技术三百多年的发展、变革，大致可以分成四个阶段：

1. 初始阶段(17世纪中叶至本世纪初)

受当时科学技术水平的限制，这个阶段长达270多年，气象观测技术发展非常缓慢，但观测内容已逐步扩及目前地面观测中的大多数项目。当时所用的观测仪器，则大都是机械式的，全靠手工操作。例如：

气温：水银表(1643年前)，酒精表(1670年)，最高最低表(1782年)；

湿度：露点表(1660年)，毛发表(1783年)，干湿表(1825年)；

气压：水银气压表(1643年)，空盒表(1844年)；

风：风压板(1643年前)，风杯风速表(1837年)，测风经纬仪(1910年)；

降水：雨量筒(1643年前)，翻斗雨量计(1662年)；

蒸发、日射：蒸发皿(1820年)，日射表(1837年)。

从各种地面观测仪器的出现时间可以看出，玻璃棒测温表，毛发、干湿球测湿表，水银柱空盒测压表等等，历史长一些的已有三百多年，短一些的也已有一、二百年。这些机械式的观测仪器，原理简单，操作方便，大都至今仍在沿用。当然，仪器的制作工艺、材料以及观测精度，目前已有不少改进、提高。

2. 发展阶段(1915—1944年)

主要进展是在大气探测中开始应用无线电技术，使得无线电探空得以实现。这个阶

段的几个比较突出的事件是：

1917年 出现了电缆风筝，试做高空探测；

1925年 开始用飞机对高空温度、湿度进行系统观测；利用无线电波探测电离层；

1927年 气球携带的、能在平流层工作的无线电发报机试制成功，这是探空仪的先驱；

1928年 设计出了第一个无线电探空仪；美陆军通信兵首次应用无线电测风仪跟踪测风气球；

1943年 英国气象局最先使用雷达跟踪探空仪。

探空仪的出现，是大气探测技术的第一次突破，它突破了三百年以来只能在大气底层观测大气变化的框框，把气象观测从地面发展到了高空。

3. 成形阶段（1945—1959年）

主要进展是发展了火箭探测技术。国外把大气探测火箭分成两类：一类称气象火箭，专用于高空观测业务，其探测高度在气球探空高度（20—30公里）至100公里之间；另一类称探空火箭，专用于对高层大气进行研究性观测，其探测范围从20公里到500多公里。

早在第二次世界大战刚结束，美国就用缴获的德国V-2火箭进行了火箭探空试验。到了四十年代末，美、苏、英、法等国都有了专用探空火箭。五十年代中期，美国最先在国内建立了火箭探测协作网，此后不久，这个网又进而发展成为一个国际间的火箭探测协作网，许多国家参加了火箭探空协作，定期发射探测火箭，交换探测资料，对比探测仪器。

火箭探空是大气探测技术发展史上的第二次重大突破，它突破了只有二、三十公里的探空仪高度，使气象观测发展到了大气更高层的中间层和电离层。

4. 成熟阶段（1960— ）

这个阶段以气象卫星的使用为标志。

1960年4月美国发射了世界上第一颗气象卫星泰罗斯一号，由此，大气探测进入了一个新阶段。气象卫星突破了探空仪或探测火箭只能观测某一局部空间、某个孤立时刻大气状况的限制，而能观测大范围天气的连续变化。这是大气探测技术的一个巨大变革，是第三次重大突破。

现 状

由于现代科学技术的飞跃发展，特别是由于空间技术、遥感技术、电子技术以及数据处理、通信传输等新技术在大气探测中得到了广泛的应用，最近20年来，探测手段的发展固然显著，观测网的组织、观测方法和探测理论的研究，也有不少进展。目前，气象观测的整个面貌与六十年代以前相比，已经有了极其深刻的变化，其主要特点有三：

1. 探测能力显著增强，观测自动化水平在迅速提高

现在不仅有了一批新的、重要的探测设备、观测系统可供业务观测使用，而且这些设备、系统在不到20年里，大都已经经历了几代的发展，有了较强的探测能力。较高的自动化水平。例如：

自动气象站 五十年代前后发展的第一代自动气象站，只能观测少数几个要素，沿用常规仪器的感应元件和机械结构，采用莫尔斯电码发报。到了六十年代出现了第二代，其观测项目、观测精度和运转可靠性都有显著提高，资料报告则采用脉码调制的数字通信，结构上广泛采用晶体管电路。目前，自动气象站已发展到了第三代，结构上广泛采用集成电路，具有模块化、积木化的特点，有比较高的灵活性，观测项目已从七、八项扩展到十几项甚至三十几项，观测

资料的传输采用各种不同的信道,如电话线、超短波、卫星中继等,一般都纳入了全国气象通信网络。新一代自动气象站的一个重要特点是配备了微处理机,其功能主要是控制观测和发报,进行信息检验与纠错,对观测资料进行线性化、放大、模-数转换、累积计数、编码等处理,并进行资料存贮。

我国的自动气象站现处于1—2代水平,刚进入业务布点试验阶段。

气象雷达 目前也已发展到了第三代。这一代气象雷达是非常规雷达,其主要特点是采用了多普勒技术,具有对风场结构的定量探测能力。在结构上,广泛采用集成电路,配备有小型或微型计算机,能对探测资料进行实时数字处理、彩色显示、自动跟踪记录、存贮和远距离传输。不具备多普勒能力的第一、二代气象雷达一般称为常规雷达。第一代的元器件以电子管为主,一般靠手工操作,回波资料只能供定性利用;第二代的元器件以晶体管为主,性能上实现了自动跟踪记录、数字显示。

在天气雷达的波长选择方面,沿海各国如美国、法国、澳大利亚、菲律宾、马来西亚、新西兰等基本上采用了整套因大气降水而引起严重微波衰减的S波段(10cm)为主,以微波衰减不太严重的C波段(5cm)为辅的体制,只有苏联一直在大量使用X波段(3cm)雷达。

我国现有气象雷达在技术体制上,建国以来一直是发展X波段雷达,前些年才着手搞了一部份C波段雷达。在设备发展水平方面,现有气象雷达都属常规雷达。其中711天气雷达和701测风雷达属于第一代,715、713天气雷达和705测风雷达介于1—2代之间。

业务气象卫星 国外目前用于观测业务的极轨气象卫星已发展到了第三代,静止气象卫星不久也将进入第三代。在过去20年里,平均每六年左右发展一代。气象卫星的

每次更新换代,探测能力和资料传输能力都有重大发展。以极轨气象卫星为例,从第一代发展到第二代、第三代,卫星的探测能力由只能以电视摄影方式获取白天低分辨率云图,发展到了用扫描辐射仪获取昼夜高、低分辨率云图和少量温度垂直分布资料,日前进进而可以获取质量更高、数量更多的高分辨率和分辨率云图以及大气的大量垂直结构资料;卫星的资料传输则由模拟制发展到了传输速率更高、抗干扰能力更强的数字制。而整个气象卫星的功能,也由最初仅是单纯的观测工具发展到了目前也可用来进行气象通信、兼有观测和通信的双重功能。

探测设备配用的计算机 计算机本身不属于探测设备,但计算机的使用与提高自动化水平的关系极大。在一些技术发达的国家里,计算机在气象业务中的应用,已经历了单机运算—大量信息处理—组成联机系统和计算机网络—计算机化四个阶段;目前计算机在大气探测中的应用,已不仅是卫星资料、雷达资料处理等方面必不可少的主体设备,而且正在向各种高空观测和地面观测系统迅速推广。

最近几年来,由于微处理机的使用,大大加快了各种自动资料获取系统的发展。微处理机自1971年问世以来,犹如一支异军突起,发展异常迅猛。由于它的功能强(目前与小型机相当)、体积小、功耗低、结构简单、使用方便、价格日益降低,今后在各种自动观测系统中必将得到更为广泛的应用。

2. 重视观测方法、观测网的研究设计,讲究观测工具的最佳配合

探测工具的不断发展和改进,为改进、加强气象观测工作提供了条件。但是,任何一种探测工具都不是万能的,各有所长,也各有所短。为了有效地弄清某些复杂的大气物理过程,当前的大气探测很注意观测方法和观测网的研究、设计,很讲究各种探测工具的综合

合应用，力求最佳配合。

这一特点在为解决某种气象学问题而专门组织的研究工作中反映尤为突出。例如，最近十多年来，国际气象学界一直在致力于着重解决两个方面的问题，即全球范围和区域性的大形势问题和暴雨、冰暴、龙卷、城市气象等中小尺度系统问题。与这两方面有关的研究工作，不论是世界气象组织还是某个国家组织的，无不对观测方法、观测网、观测手段作了精心的研究、设计、选择。大范围探测，采用了以气象卫星为主体、各种特殊观测手段和常规观测手段互相配合的全球观测体制，在全球范围组织起世界天气监视网(WWW)，以此为基础，进行了全球大气研究计划(GARP)的大西洋热带试验(GATE)、第一次全球大气试验(FGGE)，以及季风试验(MONEX)、极地试验(POLEX)之类大范围的大气探测研究；中小系统探测研究，则有日本的暴雨研究、美国的冰雹研究实验、大城市气象试验以及强风暴和中小尺度试验等。在这些中小系统研究计划中，除了利用雷达、卫星资料外，还注意利用各种常规手段和自动观测系统增加站网密度，特别注意充分利用地面遥感设备开展声、光、电大气遥感，获取对中小尺度大气物理过程的研究有特殊意义的遥感资料。

3. 形成了三种探测技术——直接观测、遥测、遥感在气象观测中并存发展，各取所长，各有所用的局面。

发展趋势

目前，大气探测的主要发展趋势，可以归结为量化、自动化、系统化和遥感化。

定量化 在气象观测中，象云状、雪的结晶形状以及某些大气现象，历来都是进行定性观测；在卫星观测和雷达观测中，象云的分布、热带低压生成初期的云状变化、雨区回波等观测资料，也都是定性资料。这些项

目的观测无疑都很有必要，在预报分析中都很有意义，但弊病是所得资料难于作进一步计算处理，而且往往缺乏客观性。

近几年来，在把定性观测资料进行定量化处理方面已取得不少进展。如利用图象处理技术，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，都收到了很好的效果。随着探测技术的发展，在把历来只能定性观测的项目实现客观定量观测。把定性观测结果定量化方面，今后无疑将有更大发展。

自动化 观测自动化，是各国气象观测当前的一个主要发展方向。世界气象组织仪器和观测方法委员会早在五十年代后期就成立了专门工作组，研究和推进各国的自动观测。自那时以来，许多国家都制订了发展自动观测的计划，各种类型的自动观测设备相继研制成功并陆续投入了使用。但是，正如仪器和观测方法委员会现任主席H·特罗沙特所说：“自动化是一项长期而艰巨的工作”，迄今为止，在高空观测的自动化方面，投入使用的自动化系统还很少；在地面观测自动化方面，自动化的程度和自动观测网的组建，最近几年只是在科学技术比较发达、经济实力比较雄厚的日、美等国才有较大进展。

日本常规观测的遥测自动化，走的是从单项遥测发展到多项综合自动观测的路子。在1953年至1974年，先对全国台站的风向风速、雨量、气温、湿度的观测分期分批逐项进行了遥测化改造；接着从1972年起进而抓综合自动观测，直到1977年，才在全国建立起风向风速、雨量、气温、日照四要素的全国自动测报网(AMeDAS，日本称“气象资料自动获取系统”)。这个测报网由1310多个自动观测站组成，其中四要素站840个左右，只测雨量一个要素的站470个左右。布站间距是：雨量，每17公里一个站点；其它要素，每21公里一个站点。

美国到1979年止,在地面自动观测方面已发展了四种自动测报站,实际建站总数为123个。其中有,主要布设在边远地区的常年无人自动观测站(RAMOS)16个,部分时间增加人工观测的自动气象观测站(AMOS)60个,只测部分参数(通常只测风向风速)的自动观测站45个,加参数自动观测站(除完成AMOS或RAMOS的风向风速、气温、露点、气压、雨量、雨的有无共7个项目的观测外,增加云量和能见度观测)2个。

美国现有地面站约1400个,另外还有13000个合作站。为适应其气象业务全盘自动化的需要,特别是为节省人力,美国计划到2000年时地面、高空观测全部实现自动化。显然,目前离此目标还相距很远,现有的各类自动站的作用,主要还不是替代人工观测,而是作为人工观测的补充。

系统化 利用现代自动观测技术、数据处理技术和通信传输技术的成果,把观测、资料处理、传输结合成一个整体,构成一个完整的系统,这是近年来探测技术发展一个十分突出的趋向。由于现代探测手段所能获取的信息量远比传统的简单观测仪器庞大,以多普勒雷达为例,即使以100:1的比率实时压缩存贮,每小时也得用9磁道、732米的磁带两盘,如不作自动化处理,不仅在时效上无法满足传输要求,在资料的可利用性方面,如果不说是失去意义,至少也使主机无法充分发挥效益。所以,现代化的观测设备,一般都不是只有主机,而是一个完整的资料获取和处理系统。前述日本的AMeDAS系统,美国的RAMOS、AMOS系统,以及许多国家的卫星资料接收系统、天气雷达系统等,都是已经构成了观测—资料处理—传输的完整系统的实例。

遥感化 前已提到,大气探测技术的现状是直接观测、遥测、遥感三种探测技术都

在使用。直接观测和遥测有很多优越性,如原理简单、直观,测量精度较高,所测资料稍加处理就可应用,所需费用较少等等,这是目前这些探测技术仍有很强的生命力、仍在发展的根本原因。但是,也有其明显的局限性。在预报分析研究工作的发展对观测资料提出更多要求的今天,遥感技术的长处正好弥补了直接观测技术和遥测技术的不足:遥感探测不必接近被测对象,不会扰动被测介质;所得资料不仅时间、空间分辨率高,而且具有时间、空间连续性;遥感测量参数范围很宽,其中包括各种通量、湍度、大气辐合以及平均值;遥感设备大都可自动操作等等。正是由于这些长处,目前遥感技术在大气探测中处于十分突出的地位。空间遥感设备的发展,使气象卫星已成为强有力的先进探测手段;地面遥感技术的发展,使得在短短的十余年中,声雷达、红外辐射计、微波辐射计、多普勒雷达、激光雷达以及其他可见光系统等相继出现,许多主动的和被动的地面遥感设备有了很大的发展。目前,国外的声雷达、光波遥感设备等均已有了商品出售,红外、微波遥感设备也早已进入实用阶段,多普勒雷达则将作为新一代天气雷达用于观测业务。

遥感技术作为一种大气探测技术,虽然早在三十多年前随着气象雷达的出现就已开始在气象观测中得到了应用,但是其强大的探测能力引起人们的普遍注意,那还是从气象卫星的使用以来的事情。最近10年里的主要进展是在地面遥感方面,发展非常迅速,但现在还只能说是方兴未艾。关于进一步的发展,可以从美国海洋大气局波动实验室近年的工作中得到一些启示。这个实验室多年来一直从事大气遥感的研究,近年提出了一项雄心勃勃的称为“规范区观测和预报服务”(PROFS)计划。这个计划的主要目标,是要在几百个大城市周围,建立起稠密的中尺度地面和高空站网,而在高空观测方

面,打算用高效低成本的各种地面遥感设备取代已有50年以上历史的探空仪,由此取得高空资料,实现无球探空和高空观测的全部自动化。这个实验室的主任里特尔博士1979年在我国讲学时对大气探测技术今后的发展所作的一点评论,也很值得我们注意,他说:“未来的10年,将是各种遥感手段大发展的10年”。

几点看法

建国30年来我国大气探测技术的发展和探测仪器装备的研制,已打下了一定基础,特别是粉碎“四人帮”以来,取得的进展更为显著。但是,目前的水平同国外先进水平相比,大体说来,有15—20年的差距,主要表现在:

1. 台站常规观测仪器面貌变化不大,目测项目还占相当大的比重,遥感仪器现只有电接风一项,而且急待更新换代。

2. 七十年代初以来陆续搞了一些新装备,如卫星云图接收机、713天气雷达、无线遥感自动站、有线综合遥测站等,有的已用于业务,有的还处于试用考验阶段。这些设备能在不很长的时间里,在我国整个科学技术水平不很高、工业生产能力不很强的条件下逐一研制成功,而且某些设备主机,已接近国际先进水平,这是很大的成绩。但一般说来,我国现有的这类先进设备,只研制了主机,缺少附属或终端配套设备,基本上还没有形成系统,自动化水平还不高,影响了信息的进一步提取和资料的充分利用。

3. 在探测手段方面,空白缺项很多。在国民经济各部门要求气象部门提供更多的服务,科研工作的发展要求有更多的资料的形势下,感到手段缺乏,方法不够。如:至今没有自己的气象卫星,掌握不了上游天气情报,不能及时得到全球资料及重要海域的气象情报;至今没有S波段天气雷达、多普勒雷达之类对强降水、强风暴等中小尺度系

统能进行有效定量探测工具;至今没有专用的气象探测飞机,也没有建立起近地层探测业务。而国外已在成功地应用各种地面遥感设备,系留气球、低空探空仪、气象塔等的应用也较普遍。我国这些手段只有一部份项目在研究,还未达到业务实时应用阶段,而更多的项目还未规划。此外,以地表为基地对中近海进行气象观测的必要手段,如浮标、船舶观测等,目前也还不具备;中层探测问题,似乎还未考虑,而国际上中层大气观测计划的预备观测期,早在去年就已开始,1982年就要进入加强观测期;在气候监测方面,无论是地面监测,空间、高空观测,也急须改善观测手段。

4. 有关信息提取、处理、传输技术,在一定程度上,目前已成了影响现有探测设备潜力的发挥和使新的探测设备尽早定型投产的拦路虎,急待突破。

5. 观测方法的研究以及观测网的科学设计,长期受到了忽视。今年春天全国大气探测学术会议上发表了近百篇论文,但几乎没有一篇属于观测方法、探测理论方面的文章,这反映了它的确是一个很薄弱的方面。

当前搞中长期规划,很需要正视这些差距,研究这些差距。但是照搬外国的模式,看来未必合适,也不现实。重要的是,首先要制订能体现发扬我国优势、扬长避短、使我国气象观测逐步实现现代化的技术体制和技术政策。在这方面,有以下几点建议:

1. 关于业务观测体制

根据当前中小系统问题更为突出,解决这类问题的要求更为迫切以及我国的财力、物力、人力状况,在今后10—20年内,我国的业务观测似宜采取以地面为基地的观测为主,地表观测与空间(气象卫星)观测相结合的体制较为恰当。

2. 在观测设备和观测方法的研究中,气象部门的研究机构应侧重观测方法、观测系统的研究,要抓系统设计和探测手段的最

近代天气预报业务发展趋势的分析

殷显曦 纪乃晋

一、国外天气预报的发展概况

世界上由国家气象局最早发布天气预报的国家是荷兰(1860年),其次是英国(1861年)和法国(1863年)。美国由于受国内战争的影响,直到1870年才在陆军信号局内成立气象机构,此后不久也开始发布天气预报。

国外天气预报的发展大致可分作三个阶段。从1860年至1920年称经验时期。当时的天气预报手段是地面天气图,主要依靠预报员在使用地面天气图中所取得的预报经验。

此时期内尽管已有一些天气预报理论,但直至第一次世界大战前,物理原则和理论概念在天气预报业务中所发挥的作用是不大的。另一个重要问题是缺乏高空资料,尽管已有了一些气球和风筝探测。此时期内预报水平的提高是缓慢的。

从1920年至1950年称过渡时期。此时期内天气预报的主要进展是在天气图方法中引用了极锋理论,以及由于无线电探空仪的发明和高空站网的建立,使天气分析从二维变为三维,从而促进了天气学预报方法的发展。此时期另一个值得注意的发展是提出了

佳利用,要研究探测理论。

3. 制订我国实现观测自动化的具体政策

观测自动化,固然是整个气象业务全盘自动化的重要一环。但一些技术发达的国家搞自动化,出于国情不同,也都还有不同的具体政策。如英国,受财力限制,明确自动化观测不是替代人工观测,而是补充人工观测;美国,人力紧张,而且认为搞设备比雇人省钱,今后20年内计划力求省人力,尽量搞自动化、“无人化”,但眼下也只能做到靠自动化来补充人工观测;日本,力求省人力,不断裁员解雇,但目前也只是少数几个要素搞自动观测。

我国人力资源丰富,台站量大面广,自当采取以自动观测补充人工观测、单项遥测与综合自动观测平行发展的政策。据此,凡

下列场合,似应优先考虑,逐步实现单要素或多要素观测自动化:

- ① 难以坚持人工观测的边远地区、海岛以及某些艰苦台站;
- ② 有利于提高工作效率、提高预报时效、增强天气监视能力;
- ③ 有利于提高情报传输速度,以适应全国气象通信系统的传输接口要求;
- ④ 有利于改善恶劣劳动条件和保证安全操作;
- ⑤ 某些天气、气候、人工影响天气等实验基地。

4. 协调全国大气探测技术方面的研究工作,充分发挥科学院、大专院校、业务部门研究机构、工业部门研究力量的各自长处。

5. 加强“技术后方”的建设:加强计量检定工作,建立综合测试基地。

长波理论，在高空预报中应用了绝对涡度守恒原理。这是在大尺度流型预报中首次定量地使用动力学原理，为后来的数值天气预报奠定了基础。同时，在此阶段的初期（包括前一阶段末期）经典的统计学方法已开始用于天气预报，出现了瓦克（1904）、莫尔坦诺夫斯基（1922）及鲍尔（1929）长期天气预报的三大启蒙学派。四十年代末，在气象实践中引进天气雷达，为预报员在强天气现象的定位和追踪，以及观测巨大风暴中降水型的小尺度特征提供了有价值的新工具。此外，由于通讯技术的进步，尤其是电传打字机和传真的利用，也推进了天气预报工作。总之，此时期内在许多方面有所突破，预报水平有所提高，但提高的幅度仍然不大。

值得指出的是，在上述两个时期内，在天气预报业务服务组织上是不健全的，气象观测、发报、填图、分析、预报等大部分工序还都是手工操作，每个气象台当时都是一个小而全的、独立进行业务活动的单位，各气象台间尚未形成一个既有集中又有分工的有机结合的体系，这也可能是预报水平提高不显著、服务效果不高的一个重要原因。

第三个时期是从1950年到现在，国外称此为天气预报的科学时期。五十年代初期，由于数学-物理方法、动力气象学原理在天气预报中的应用，使天气预报水平有了较显著的进步。尤其是五十年代后期，由于电子计算机的发展，使二次世界大战期间恰尼所梦想的数值天气预报成为现实，从而使天气预报在客观化、定量化和自动化方面向前迈进了一大步，使气压形势预报有了明显提高。例如美国气象中心的气压形势预报评分在过去20年中平均约每年提高一分，以较大的幅度超过天气图方法的外推预报。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，有些国家综合动力和统计方法的长处，在业务工作中开展了动力-统计预报，使客观预报从形势预报过渡到气象要素预报。七十年代以来，随着卫星、遥感、雷达等探测技术的进步及通讯和计算机能力的迅速提高，观测资料日益增多，资料处理也日益自动化，预报时效和预报准确率均有进一步提高。最近几年来有些国家尚通过卫星、雷达等监测技术开展短时实况监测预报，为某些灾害性天气的警报提供了有效的方法。总之，在此时期内由于理论和新技术的较广泛应用，国外天气预报水平取得了显著进步。

在天气预报的业务服务组织上，自五十年代以来一些国家已逐步把分散在各气象台分别进行的气象资料的加工传递、填图分析和使用相同资料制作大尺度形势预报等大量重复性的工作，集中由国家气象中心承担，并用先进的通讯手段把各级气象台与之联系起来统一接收其制作的各种通用的大尺度分析和预报图表资料。各级气象台集中力量从事自己分工负责的当地天气预报服务。这样，国家中心的指导作用和各级地方气象台的预报经验都能得到发挥，对提高整个预报业务体系的技术水平和服务效果起到了重要作用。从六十年代后期和七十年代以来，随着世界科学技术的突飞猛进，许多新的科技成果在气象业务中得到应用，一些技术较先进的国家正在逐步把全部气象业务工作包括从探测资料的获取、集中、传输、加工处理显示、分析预报直到分发服务，实现全盘由计算机控制的自动化系统，这也是当前世界天气预报业务体系的发展趋向。

二、国外天气预报水平

天气预报准确率的高低是随季节、地理条件，甚至是预报对象而变化的。因此，要衡量天气预报水平，除应考虑预报准确率外，还应看预报方法是否客观可靠，及制作和发

表 1 各国数值预报业务模式概况

国 家	客观分析方法	业务数值预报模式	电子计算机
日本	订正法	4 层原始方程半球模式、6 层有限区细网格原始方程模式、半球辐散正压原始方程模式。最长预报时效 8 天。	HITAC 8800/8700 每秒500万次
美国	最优插值法	正压过滤模式、7 层半球原始方程模式、6 层有限区细网格模式、9 层全球原始方程模式、10层移动性细网格模式。最长预报时效10天半。	3 部 IBM 360/195 每秒1500万次
苏联	最优插值法	7 层半球原始方程模式、7 层有限区准地转模式、三层准地转谱模式、正压原始方程模式。最长预报时效10天。	BESM-6 每秒百万次
澳大利亚	变分调和法	6 层半球原始方程谱模式、7 层有限区原始方程谱模式，波数 5。最长预报时效36小时。	两部 IBM 360/65 每秒百万次
加拿大	最优插值法	5 层半球原始方程谱模式，波数20；10层有限区原始方程谱模式，波数29。最长预报时效60小时。	CDC 76 Cyber 71
瑞典	最优插值法	6 层平衡方程模式。最长预报时效36小时。	SAABD-22
英国	三维正交多项式分析方案	10层原始方程谱模式（半球及有限区），波和涨潮模式，风暴涌浪模式。最长预报时效 6 天。	IBM360/195
西德	订正法	正压模式、准地转 3 层模式、6 层原始方程模式、9 层原始方程模式。最长预报时效 4 天。	Cyber 173/76
东德	二维最优插值法	5 层准地转模式、正压过滤模式。最长预报时效51小时。	BESM-6
法国	最优插值法	5 层半球过滤模式、5 层有限区原始方程模式。最长预报时效 3 天。	CDC 6600 Cyber 74
新西兰	逐步订正法	5 层准地转模式，最长预报时效36小时。	Elliott 503
芬兰	最优插值法	6 层过滤模式，最长预报时效36小时。	Datasaab D 22

续表

国 家	客观分析方法	业务数值预报模式	电子计算机
意大利	最优插值法	5 层原始方程模式, 最长预报时效48小时。	两部 IBM 370/148
荷兰	CRESSMAN 谱方法	4 层准地转模式, 最长预报时效24小时。	BuRoughSB 6700
南斯拉夫	多项式最小 二乘方拟合	4 层原始方程模式, 最长预报时效96小时。	IBM 360/44 IBM 370/135 每秒50万次
埃及	最优插值法	平衡正压模式、4 层准地转模式、5 层原始方程模式。最长时效48小时。	IBM 370/145 CDC 1700
捷克	订正法	多层准地转模式	EC1300 CDC 1700
丹麦	订正法	3 层平衡方程模式, 最长时效24小时	BC 4000
波兰	最优插值法	6 层斜压模式, 最长时效36小时	ODRA 1305 每秒40万次
挪威	迭代法	5 层准地转模式	Eacit EDB 每秒 2 万次
印度	二次面拟合法	4 层原始方程模式, 最长时效48小时	IBM 360/44 每秒50万次
越南	最优插值法	4 层原始方程模式, 最长预报时效48小时。	
欧洲中期 预报中心	三维多变量 最优插值法	15层原始方程模式, 最长预报时效10天。	CRAY-1 Cyber 175 每秒 8 千万次

布预报的速度。

(一) 预报方法

国外目前所用的预报方法不外是动力学方法、统计学方法、天气图方法, 以及由这三类方法相结合的各种综合预报方法和短时实况监测预报。为说明各国预报方法的概况, 现就已有资料列表如上。

由表 1 可见, 目前各国所采用的业务数

值模式不外三种: 准地转模式、平衡方程模式和原始方程模式, 发展趋势是采用原始方程模式。在这些业务模式中, 所取水平网格距虽最小为60公里(美国), 垂直层次最多为15层(欧洲中心), 所用速度最快的计算机是 8 千万次。预报项目也从单纯的形势预报过渡到要素预报, 如预报位势高度、风、温度、湿度、垂直速度、海平面气压和降水

表2 国外定量降水预报模式概况

国 家	模 式 名 称	模式类型	主 要 特 性	预 报 时 效
日本	1. POP	动力统计法	与美国的模式输出统计法(MOS)类似。	6 小时
	2. POHP			
	3. PA			
	4. 空间平均法			特殊情况
美国	1. 套网格模式	动力	8 层或 9 层原始方程模式	12、24、36、48小时
	2. LFM-II	动力	6层原始方程模式, 格距127公里, 计算大尺度和次网格尺度降水。	12、24、36、48小时
	3. MFM	动力	10层原始方程模式, 格距60—100公里, 参数化包括涡动、粘性、潜热	12、24、36、48小时
苏联	动力-统计法	动力统计	5 层模式, 格距300公里	12、24、36小时
西德	AFKUAL MIWIA, MIFRI	动力 统计	利用环流参数选相似	12小时
瑞典	1. 三层模式 统计解释	动力统计		12、18、24、36、 42、48小时
	2. 准地转 3 层模式	动力		同上
瑞士	1. ETH-Z	动力统计	格距35公里	12小时
	2. 研究所模式			
澳大利亚	SLYH 模式	动力	天气尺度, 格距254公里	30小时
加拿大	QPF 方案	动力加经验	格距为380公里, 190.5公里	6、12、24、36小时
法国	PDHI (冬)	统计	5层原始方程模式, 格距190公里	6、12、18、24、30、 36、42、48、54、60、 66、72小时
	PRET (夏)			
	PPREVIH, B	动力		

等。预报时效最长达10天。

表2系根据1979年底世界气象组织的调查结果, 它说明目前世界上作定量降水预报

的国家主要是采用动力或动力-统计学方法。利用这些方法已取得一定的预报效果。

由表3可知, 目前世界各国在台风路径

表3 一些国家和地区台风路径的客观预报方法

国家或地区 \ 预报方法	统计学方法	动力-统计方法	动力学方法
美国			
1. 国家飓风中心	1. HURRAN (相似法, 用于大西洋) 2. EPANLG (相似法, 东北太平洋) 3. CLIPER (回归法, 用于大西洋) 4. EPCLPR (回归法, 东北太平洋) 5. NHC-67 (天气统计法, 用于大西洋) 6. NHC-72 (天气统计法, 用于大西洋) 7. EPHC-77 (天气统计法, 东北太平洋)	1. NHC-73, 用于大西洋	1. SAMBAR 正压模式 (用于大西洋和东北太平洋)
2. 国家气象中心			2. MFM (10层斜压模式, 用于大西洋和东北太平洋)
3. 美国海军			
(1) 关岛	8. TYFN-75 (相似法, 用于西北太平洋) 9. INJAN-74 (相似法, 用于北印度洋) 10. SWINJAN-74 (相似法, 西南印度洋) 11. SWPAC-75 (相似法, 用于东南印度洋和西南太平洋)	2. MOHATT (用于西太平洋)	
(2) 珍珠港	12. EPANALOG (相似法, 用于东北太平洋)		

续表

国家或地区 预报方法	统计学方法	动力-统计方法	动力学方法
日本气象厅	1. PC 模式 (回归法) 2. 荒川模式 (回归法, 西北太平洋)	1. SNT (用于西南太平洋) 2. JMAF-76	1. 平衡正压模式 (用于西北太平洋) 2. 空间平均法 3. MNG, 三层多重套网格模式 4. 6 层细网格模式 5. 4 层半球模式
澳大利亚气象局	1. CYCLOGUE (相似法) 2. NHC-67 (回归法) (均用于澳大利亚地区)		
印度气象局	1. Gupta 和 Datta 模式 (相似法, 用于北印度洋) 2. Neumann 和 Mandal 模式 (回归法, 用于北印度洋) 3. Knmar 和 Prasad 模式 (回归法, 用于北印度洋)		
马尔加什气象局	1. Hope 和 Neumann 模式 (相似法, 用于北印度洋) 2. Neumann 和 Randrianarison 模式 (回归法, 用于西南印度洋)		
香港地区	1. $\frac{1}{2}(P+C)$ (回归法) 2. Veigas 和 Miller 法 (回归法) 3. Tse 方法 (回归法)		

表 4 国外长期天气预报方法概况

国 家	业务预报方法	预 报 项 目	改 进 计 划
日本	主要是天气-统计方法。着重分析北半球高空平均图的大气环流特征,用计算机分析全球相关场,并注意平流层的季节变化	月、季(3—6个月)500毫巴平均位势场及气温、降水的分级预报	今后5年以发展全球数值预报模式为主要手段、研究平流层大气环流的季节变化、更好地应用边界层状况(包括海温、雪和冰的分布及云量分布),以及进一步发展天气-统计方法。总的方向是提高长期预报的客观化和定量化,加强长期预报的物理基础。
美国	天气-统计学方法	月温度距平符号预报	今后可能采用动力学方法或动力-统计学方法
苏联	天气学方法、天气-统计学方法及天气-动力-统计学方法	月、季平均温度距平和降水量距平	今后将建立更加完善的动力学方法及动力-统计学方法。
印度	多元回归法、天气-统计法	月降水量七级预报,西南季风的开始和结束(4个月预报)	将用天气学的、统计学的、动力学的和适用于温带的一些方法来改进印度的长期预报
南朝鲜	500毫巴高度的后滞相关,日本气象厅的传真	1个月内的10天平均天气形势、气温和降水量的5级预报	5年后作出500毫巴高度的10天平均预报图,采用天气-统计学方法及多元回归法。
匈牙利	按8个地区用北半球平均资料作概率预报	月平均天气形势,气温、降水量的5级预报	注意太阳黑子活动的影响,考虑海温对大西洋及欧洲大陆的影响。
英国	用本征矢量、回归等方法预报气温和降水,通过一般场的主观判断预报日照、雾和强风,而用从一般场的判断所得环流型预报气温和降水量。	月平均天气形势、5级气温及3级降水量预报,3个月平均气温和降水量的试验预报	按球函数展开环流型求平均地面形势,研制5层、11层数值模式。
捷克斯洛伐克	韵律及趋势预报	10天、1个月的平均天气形势;气温、降水量的3级预报;3个月平均气温的试验预报	研制韵律、趋势等天气学和统计学方法,利用月平均图、海温及外部因素对天气的影响。