

# 气象学的未来发展

## ——到公元2000年的展望

本文是英国气象局局长 B. J. 梅森于 1970 年 4 月 15 日在英国皇家气象学会会议上的主席致词。

### 前 言

我愿意乐观地表示，气象学无论作为一门科学或者作为一个服务部门，在未来 30 年内，都将会有很大的进步和发展。其根据是因为现在有了新的工具（如人造卫星、计算机等）。但是，我们也不能低估过去 30 年来气象科学的进步，这个进步，为将来的发展提供了坚实的基础。譬如，将 1940 年以后的英国气象学会季刊以及美国每月天气评论的目录和 1940 年以前的 30 年相比较，就可以看出在最近的 30 年内，气象研究的水平和包含的内容，已经有了很大的提高。过去这个学科主要是描述性和经验性的，目前正在不断趋向更定量化和更加牢固地建立在实验物理学和流体力学等学科基础上，并且强调要了解其各种物理的和动力的过程及其相互作用。近年来，这个学科的所有新的分支，如大气辐射、高层大气物理、云物理、雷达气象学、大气化学等都已从小到大，成长起来。同时，动力气象、数值模拟和天气预报的进展，不仅大大地加强了这门学科，而且已开始把其余的各个分支紧密地结合了起来，以致使过去对天气学、动力气象、物理气象、高空气象学及天气预报等旧有的划分，现在已变得十分过时和不适合了。

尽管气象科学有这样大的进步，但也有人批评说，气象界的活动和预报质量还没有提高到社会所要求的程度。对于这些批评，我们是不能作辩解的。

气象学是一门非常困难的科学，它所处理的现象不但范围很广，而且是在各种不同的尺度上发生作用，并且以复杂的、非线性的方式相互作用着。因此，我们只能期望在有限的几个领域内取得某些进展。为了使局部的进展能过渡到全面的进展，这就需要时间和新的有效工具。

我相信，取得这样的进展已经为期不远了。

### 短 期 预 报

自 1939 年采用无线电探空以来，为大气三维构造提供了情报，从而对远程的航线预报有了改进，并且对天气学尺度的天气系统的结构和发展也有了更好的理解。

近来由于采用了客观数值预报方法，因此对地面层以上的高度场、温度场和风场的预报得到了重大改进。尽管这些改进表现在地面天气图上还不那么明显，但比起预报员的经验预报来说，采用计算机所得到的预报结果，它的连续性、一致性和可靠性都要高些。由于缺少观测纪录所造成的初始分析的错误，和缺乏空间资料使数值模式受到局限，所以目前预报失败的百分率还比较高。如果下述第七节中所述的技术方面的问题得到了改进，那么，无论是短期预报的详细程度和精确度或是数天的简略的中期预报的使用方面都可以得到很大的改进。可是这就要求更好地表示物理过程和边界条件，进一步改进空间资料的密度，特别是需要大大增大计算量。事实表明，用简单的正压模式解决中层对流层发展的预报问题是困难的，对于预报地面层的发展，则目前所用的6层原始方程模式仅比3层涡度模式略好一些。

尽管英国某些地区，在一般天气形势下，24小时预报发生较大误差的例子平均每月也就是3—4次，但是在详细和精确程度，特别是对温度值的预报和降水的时间、分布和强度等方面的预报，还有很大的改进余地。例如，煤气和电力工业需要最少在三天以前预报出每小时的气温，精确度要求在 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 之内。河流流量、水闸、水库的调节管理等要求对小范围的降水作出定量预报。因此正确地预报出中小系统的发展和移动，例如小的次生低压、飓风、飑线、雷暴、冰雹等是十分重要的，因为它们有更大的破坏力。对此，卫星和雷达观测有很大的价值，因为这些较小的系统本来就不可能在几小时以前预报得出来，所以对它们进行连续有效的定位和追踪，比起用数值模式的办法预报它们的特性更为有用。这里还要指出：人们在日常生活中，主要还是要6—12小时准确的短期预报。

短期预报，特别是定量的降水预报很重要，英国气象局花了很大的力量致力于发展一种网格密的10层数值模式以模拟天气尺度的包括水气的斜压大气的特性。他们从基本的原始形式的流体动力方程以及从无线电探空观测到的、经过平滑的气压场、温度场和湿度场出发，将这个模式用于研究锋面的动力学，并且用它来制作以英国为中心的5,000公里 $\times$ 3,000公里的区域内，预报36小时内的锋面降水量，所使用的网格点距离是40公里。

如果进一步改进这个模式，并采用1971年IBM360/195计算机，就能够作出小区域降雨量的预报。

## 2—3 星期的预报

对于许多与天气的关系很密切的工业来说，48小时短期预报用处不大。对于这类工业、农业、建筑和施工、燃料和动力、航行、制造业等就需要一星期或更长一些时效的预报，这对它们就有很大的价值。

如果能够有足够多的观测资料来表达北半球的大尺度和天气尺度的各要素场，那就能很快地作出中纬度5—7天可靠的天气预报。近3年来，英国已经在每月的月初和月中制作7天的预报。它的方法一部分是根据3天的数值预报，一部分是根据与过去5天相似天气的历史个例。美国最近开始作5天的预报，它的方法是：前3天是根据6层模式的数值预报，第4天和第5天是根据简单的正压预报。英国气象局目前正把前述的10层模式改为以北极为中心包括整个北半球，把网格间隔放大3倍，并使用新的计算机作出5—7天的预报。如果用人造卫星来填补海洋上资料的空白，并与更复杂的数值模式的发展相结合，就一定能改进这种

预报, 估计 10 年内就能证实这种预报的价值。

在估计制作更长期预报的可能性时, 必须认识到: 由于大气性质所固有的不确定性以及初始观测方面和模式的缺陷等所带来的局限, 尤其在制作超过 2—3 天的预报时, 就要以更大的注意力来预报新生的天气系统, 而它们在初始资料中是显现不出来的。斯马戈林斯基 (Smagorinsky)、都田 (Miyakoda)、斯特里克勒 (Strickler) 和亨布瑞 (Hembree) (1969年) 等已经能使用 10 层模式连续作出 14 天的预报, 报出了第二代、第三代甚至第四代气旋的形成。科尔比 (Corby) 在英国把一个 5 层模式积分 50 天, 发现每隔几天就有新的气旋产生。这是一个很有希望的迹象。

由于预报范围的扩大, 较小尺度的系统就不太详细, 预报所达到的精确程度则将大大依赖于对新生天气系统的出现和发展可能预报出的正确程度。例如, 我们能否在 2—3 个星期以前正确地预报出某个低压的位置和发展? 或者说我们在预报中能明显辨认一个强斜压带, 其上存在着长波流型, 从中有新气旋的产生, 但其详细的演变则仅在几天之前能够预报出来? 从使用者的角度来看, 这两种可能性的差别, 对中期预报的精确性有很大影响, 即使我们最多只能在 2—3 星期前预报主要的气旋生成区和低压的移动路径, 它也能为此这个时间尺度内的某个地区天气的普遍特性提供最有用处的指导。

## 天气和气候的长期预报

在没有弄清大气-海洋系统所存在的可预报性以前, 将数值预报延伸超过数星期, 这样的企图是不可能实现的。而经验预报方法倒可能使之延长用来预报季度变化的趋势。长期预报未来进一步的改进最有希望的是走数值试验的道路。需要进行确定出对这样时间尺度控制大气特性的各主要因子, 这方面必须把大气和海洋看作是组合成为一体的流体力学系统来处理。海洋是通过热量的储存和输送而对全球的大气环流起着重要影响的问题, 在马纳布 (Manabe) 和布赖恩 (Bryan) (1969 年) 的数值计算中已经指明了。同时, 由默里 (Murray) 和拉特克利夫 (Ratcliffe) (1969 年) 所证实的关于北大西洋的表面水温偏差与欧洲的气压情况密切相关, 从最近英国每月天气预报所得到的重大进步中, 已部分得到反映。见表 1。

表 1 长期 (30 天) 预报的评定

评 定 (分级)	至 1970 年 3 月 31 日 共 12 个月次的 预 报				1968—1969 年的 对 比
	温 度	降 水	附加预报项目	全 面 评 分	全 面 评 分
A	10	2	10	2	1
B	6	6	9	15	5
C	5	11	5	6	13
D	2	5	0	1	4
E	1	0	0	0	1
失 败 的 次 数 (D 级和 E 级)					
1966 年			6		
1967 年			6		
1968 年			5		
1969 年			1		

一个可靠的季度预报，在工业发达的国家，它对于许多与天气关系密切的工业将有很大经济价值。在热带和亚热带，许多地区雨水与季风的进退、强度和特点都密切相关。而一个成功的季度雨量的预报，对将近世界上半的人口都会带来很大的经济上的利益。

依靠大型计算机来研究气候变化机制的一系列数值实验正在进行，在未来的20—30年内，将使用比现在的性能高100—1,000倍的计算机，就有可能计算影响气候变动的一些重要因素，如太阳辐射的变化、地球的反射率、极冰、大气的组成、海陆分布、海洋环流、火山活动等，还可以模拟象冰期那样长的气候变迁。当我们对造成气候变迁的原因有了进一步认识以后，则可以作出比目前根据过去不充分的资料所作的概率预报方法要好得多的气候长期变迁预报。

## 大气的可预报性

上述的讨论提出了一个关键性的问题，就是说，是否不同尺度的运动都具有一定时限的可预报性，如果超过了这个时限，则在确定其特征时，就只能用概率方法来进行预报，这是一个具有原则性的重要问题。因为这个问题决定天气预报的最终时间界限并指出努力的目标。

关于可预报性问题最近的研究工作，在罗宾森 (Robinson) (1967年) 和洛伦茨 (Lorenz) (1969年) 的工作中，是把大气当作一个正在减弱中的各向同性的扰动这样的闭合系统，并提出可预报性的时限范围。雷暴为1小时；尺度为5,000英里的主气旋是3—6天；行星长波甚至可以长达3星期。这些估计值可能是相当保守的，因为在实际大气中，准二维空间的涡动能够向较大尺度的运动输送能量，并且通过小尺度的涡动来消耗能量，所以，比起把它当作一个各向同性的扰动的情况来处理，实际大气就能够以更长的时间维持波长更长的波动形势。此外，气候学和地理学的因素，如海洋所具有的大的热惯性、陆地与海洋之间存在的温差以及准永远热源和冷源等，都能很好地建立其内在的稳定度，并增加大尺度运动的可预报性。尽管对于大气可预报性的性质和制约它的机制等有待研究的问题，还要花很大力量去了解，但是从目前我们对这个问题的认识，从原则上，可以在一星期前预报出天气尺度各种特点的发展，甚至在2—3星期前作出总的趋势预报是可能的。这些期望的得到满足，在很大程度上取决于科学技术上重要问题的解答。

## 科学方面的问题

### 一、大气过程的数值模拟

这方面的根本问题是要总结出一个大气的真实的物理-数学模式，使之能充分表达出完整的物理和动力的过程，这些过程在相应的时间和空间尺度内可以控制过程的发展。这个模式必须能很好地表现所研究的主要尺度的运动和它们的非线性相互作用，一方面使各种会产生干扰的小尺度运动用统计平均的方法加以平滑化（或淘汰），因为当允许这些小尺度运动全部参与输送过程或能量转换过程，则会引起这个系统的“噪音”。表2是各种尺度运动的定义和举例：

表2 运动的尺度

10 <sup>4</sup> 公里		10 <sup>3</sup> 公里			10 <sup>2</sup> 公里			10 <sup>1</sup> 公里			1公里水平尺度		
1		5		2		1		5		2		1公里	
行星尺度		天气尺度			中尺度			对流或小尺度			微尺度→分子		
中纬度	长波		副热带低压反气旋			锋面波			积雨云			边界层湍流	
	副热带反气旋					背风线			阵雨龙卷				
热带	←内热带辐合区→		云团			中尺度对流群			对流单体			边界层湍流	
	←东风波→		热带气旋										
		10 <sup>2</sup> 小时			10小时			1小时			10 <sup>-1</sup> 小时		时间尺度

要确定大尺度环流对各种物理过程的反应时间，就需要作进一步的工作。但是有证据表明，对于天气尺度的运动来说，一天之内凝结潜热的释放，3—4之内从海洋中潜热和可感热的扰动输送，7天之内辐射的变化都有重大的作用。此外，对一天以上的消散过程也不能忽略不计。

实际上，用模式来表达的最小系统的尺度范围要受初始观测的空间密度大小和可利用的计算机能力的限制。模式只能包含根据流体力学和热力学的基本方程所表达出来的现象，即受地球自转影响并遵守流体静力学方程的很大尺度的现象。就是说，在天气的和大大尺度运动的数值模拟中，许多较小尺度的现象不得不尽可能依据大尺度的独立变数来进行参数化。这些较小尺度的现象包括：分子尺度的过程，如辐射输送，它是二氧化碳、臭氧、水汽、云和气溶胶粒等大尺度分布的一个函数；小尺度的过程，如在行星边界层内的热量、动量和水汽的湍流交换、内扰动扩散和消散、对流输送；中尺度的现象，如锋面环流、地形性扰动和深厚的对流系统，在热带，后者特别重要。要了解这些过程和现象同大尺度环境中可能测定的物理量之间有何关系，必须进行详细的研究，其中存在很多困难，包括概念上和实际上这两个方面，这些在大尺度中都没有碰到过。

## 二、副天气尺度现象的研究

全球大气研究计划 (GARP) 着重研究三个大气运动尺度。在这三方面，以中尺度和较小尺度 (500 公里以下) 为主要作用的机制对全球大气环流的能量理论具有十分重要的意义。这些方面包括热带对流云系统的发展；海面及其上空大气之间的热量、动量、水汽的湍流交换；与此相仿的在陆地上边界层的交换过程的研究。

上述这三个方面，在热带起着主要的作用。在那里，大尺度的环流如盛行东风——内热带辐合区环流，主要是靠尺度范围在 1,000 公里以内深厚的、潮湿的对流系统的凝结潜热的释放来维持。从静止卫星拍摄的云图来看，在热带，直径 1—10 公里的积云和积雨云形成一组直径大到 100 公里的中尺度对流群，并进一步形成直径 100—1,000 公里的云团。这些云团经常与波长 2,000 到 10,000 公里的低层对流层波状扰动联系在一起，或是与内热带辐合区联系在一起。在大尺度环流中，盛行风是依靠其中的积云对流出放的潜热来维持，并且由盛行

风的边界层中摩擦引起的辐合又孕育着内热带辐合区中的积云对流。这个哈德来 (Hadley) 环流决不是稳定的。它对于天气的和较小尺度的扰动是一个适合发展的场所, 它在时间范围由数天到几个星期之内, 其位置和强度都变化得相当大。这些变化强烈地影响着整个热带大陆气团的降雨型, 它们也与高层对流层大陆尺度的扰动以及与亚热带急流的活动相联系着, 亚热带急流可以部分地由中纬度的扰动而诱导出来。虽然赤道带的天气学尺度的扰动由一个地区到另一个地区变化很大, 但在几个海洋地区典型的型式是表现为盛行东风的波动, 即所谓的“东风波”。作为低层对流层内的一个主要天气学尺度的扰动, 它们的生存期大约是 3 天, 波长为 1,000 到 2,000 公里。再者, 在这些波动的槽区, 对流雨区通常只有几百公里的直径。这些波动的发生和维持, 影响对流系统组成的它们的垂直运动的原因, 以及它们与高层对流层内槽与大型涡旋的相互作用等, 都是很有意义的。

热带气旋的形成也具有很大的科学上和实践上的重要性, 它们往往从东风波中形成一个中尺度的系统, 不过, 有时候因温带扰动的作用, 它们也发源于较高的纬度。此外, 由积云对流释放的潜热对于这些暖心扰动的形成也是极其重要的。

热带与温带之间的相互作用, 特别是从赤道海洋向极地输送热量和水汽, 主要是靠平均经向环流和其中的涡旋来实现的, 但是东风波中强气旋的发展和内热带辐合区也起着部分作用。

现在的任务就是要研究深厚对流云系的生成、发展、结构、大小, 组织和生命史; 研究它们与雨区内的中尺度环流的相互作用; 确定他们能量转换过程的数量和热量、湿度、动量的通量; 研究所有上述这些与周围的辐合、辐散、垂直运动、递减率、湿度分布、海面温度、天气尺度和大尺度气流的特性等因素的关系。在各种不同尺度上进行必要的观测是困难而且费用是高昂的。但是在方便的地域进行有限数量的研究, 则又不能代表整个热带的情况。因而, 在太平洋和加勒比海的情况与在热带非洲和东南亚所经常有的情况就明显不同, 全球大气研究计划在今后 30 年内不得不在热带进行一些试验。

为了要估计湍流交换过程在行星边界层内所起的作用, 就必须确定可感热和潜热、动量和湿度等的通量的大小和数量, 并确定与之有关的温度、风及湿度场的测量参数以及下垫面的特征。另一方面, 这是一件困难的事, 因为它不仅存在着供应、仪器装备和在复杂的地形上测量的代表性等方面的问题, 而且我们还必须找到在通量、湍流动能平衡和大尺度气流的测量的性质之间的唯一的、这个关系对边界层的整个一层而且从稳定的层结到强烈的对流各种情况均适合。

观测和了解中尺度和小尺度过程, 使它们很好地参数化并加入到数值模式中去所遇到的困难, 是未来 20—30 年内对于了解和预报主要天气系统的发展是最大障碍。大尺度现象的特性无论是观测或是用数值模式表示都是比较简单的, 因此, 全球大气研究计划应优先详细地研究中尺度现象。更加强调中尺度现象, 也反映了对强烈风暴研究的重要性。此外, 考虑大气污染的情况, 而对边界层过程进行模拟也是有意义的。如果在了解这些现象方面取得重大进展, 那么对天气尺度和行星尺度环流的了解和预报也必然会取得进展。

## 技术方面的问题

关于这个课题，主要是讨论装备问题。

### 一、观 测

要优先提供适当的观测资料，至少要有水平间距约为 250 公里的每日全球探空观测。依靠雨云Ⅲ号卫星的红外线分光计通过对大气中二氧化碳所放射的红外辐射的测量而得到的温度探测结果，在北半球中、高纬度的地方能计算出正确的温度分布。根据气象卫星探测得到的温度探空资料，与金斯敦(牙买加)西北 400 公里前 4 小时的探空观测资料非常一致。主要的误差是在对流层中部，卫星观测高 2—3°C。产生误差的主要原因是由于我们对二氧化碳和水汽的透射率机能知道的很不够，它们常常限制了从直接测量面辐射强度所得到的温度廓线的精确度，而在探空仪中未参考这个方面。英国气象观测的成就是：把红外选择调制辐射仪安装在雨云Ⅳ号卫星中进行工作，霍顿(Houghton)史密斯(Smith)两博士通过直接对辐射输送方程的换算，在仪器开始观测几小时内便推出温度分布。通过雨云Ⅲ号和Ⅳ号所获得的资料表明，使用卫星进行大气探测是可行的，并可能对全球作出同现在的观测精确度大致相同的资料数据。在平流层，卫星资料比探空观测资料更为可靠，后者在平流层易受大的辐射误差。例如给出了间距为 250 公里的温度分布，并正确测定了地面气压，那么就能在中、高纬度推算出大尺度的气压场和风场。在水平气温和气压梯度小的热带用卫星追踪云或气球的方法，这主要依靠在不同高度测定风的技术的发展。依靠雨云Ⅲ号还能确定大尺度运动的湿度场。

卫星感应元件的进一步改进，在最近几年内，对中尺度也可能做到令人满意的观测。在未来 10 年左右时间内，全球观测系统会开展起来，它包括卫星、常规无线电探空仪、下投式探空仪、从地面站和船上施放的气球，并用航行工具等进行追踪，以及携带着准确的雷达高度表的定高气球等等。借助卫星探测的方法越来越为重要，虽然为了校核卫星资料用的若干地面观测站还要保留，但预计在本世纪末以前，就可能要精减许多北半球的高空站和天气观测站。

### 二、通 讯

由于需要在几乎世界所有国家之间每天迅速地交换资料，对于卫星通讯渠道，就必须在主要气象中心之间迅速建成一个广泛、有效、组织得理想的通讯网。为了把边远地区的观测纪录送至主要的全球通讯系统，仍将可能会延误时间，但如果能大量提供由卫星所得到的基本观测资料，问题估计就会减少。

### 三、资料加工

从全球观测系统，包括从卫星所能提供的大量的资料进行加工，对于将来的计算机来说不会成为主要的问题。但由于大气的数值模式对天气预报和对研究两方面的完整性和复杂性不断增加，因此将要在未来的许多年内继续扩充最强大的计算机的能力。

当前的要求是把计算网格作得更细。如果用时间步长 150 秒进行水平网格间隔为 1 纬距、垂直方向为 20 层、独立变数为 8 个的全球性计算，对 1 天的计算就需要  $4 \times 10^9$  个变数。而 1 个变数则需要大约 500 次计算，因此每 1 天就需要  $2 \times 10^{12}$  次计算。这样，为了要在 30 分钟里计算完毕，就需要能够每秒运算  $10^9$  次的计算机。在下一代计算机中，更强大的是 IBM

360/195型和CDC7600型，每秒运算 $2 \times 10^7$ 次，运算能力的速度以每6年增加一个量级的比率增长，因此可以期望在今后10年内会制造出每秒运算 $10^9$ 次的计算机。计算机有一个独立集中的串联操纵系统，这样的机器是受电子速度1毫微秒( $10^{-9}$ 秒)在线路上移动30厘米的最大限度的限制，因此运算速度超过每秒 $10^8$ 次，就只能靠许多个或是矩阵式的计算机同时进行平行运算，就如在ILLIAC IV型计算机中所拟设计的样子。

在今后30年内，我们能够进入这样的一个时代，到那时候，预报的精确度会提高，而如果最大限度地得到较好的结果就需要增加很大的费用，这就得考虑到经济上是否值得；若要再进一步的改进则要严重的受到大气特点本身内在的不确定性的限制了。

#### 四、气象资料的分析 and 传送

用现行操作系统，把原始数据输入到计算机和把最终的成品提供给使用者是一件困难的事。

许多先进的气象机构拥有用计算机控制自动分类、校对、纠误并把数据进行再分配的系统。为了开始进行数值积分以及为了对比初始条件来核对与评定数值预报，应该以适合的形式发展这些资料分析的客观方法。考虑到气象卫星所提供的许多观测资料的情况，我们必须废弃传统的天气学(即定时的)方法，并且发展新的技术来处理四维时间空间连续性问题。把在连续的或不规则的时间间隔内进来的资料输入，并使整个系统经常保持最新状态而进行计算。在英国气象局，狄克逊(Dixon)(1969年)通过使用计算机把资料以高次正交多项式展开，可以一次就能分析包括大量网点的—个地区的资料。这个方法作出的产品在二维和三维空间场上的表现是平滑和正确的。从原则上说，没有什么理由不能扩大使用这方法到四维空间去(包括时间)。这个想法是对困难且费时的客观分析的问题的唯一解决途径。

将气象资料用图的形式传送给外地台站和使用者是件重要课题。—个现代的预报中心，每天要作出成百张的各种图来，用常规传真方法那样慢的传出去已经成了—个大问题。现已制成新的系统，就是将计算机信息在高速回路中以数字的形式发送，而在接收端再现。整个只需要45秒，甚至可能达到15秒，而常规的传真系统则要15分钟左右。如果数值预报能更进一步详细和正确，那么就能节省大量天气图，而由计算机的存储装置读出任意的水平和垂直剖面上的资料，并根据需要以文字或图的形式表示或记录。

为了给使用者提供有用的方便，必须把分析、预报和对外发布很好地组合为—体。象航运、石油和动力工业等使用者来说，特别需要实时资料，可以通过指定的程序，对他们的特殊需要以最方便的形式，摘录出记录，从气象计算机中就可以直接得出来了。

### 使用者方面的要求的变化

在最近的10—30年内，对气象服务的要求，可能要有很大的变化。半个世纪来，气象学的发展很大程度上是为满足航空方面的需要，就是在目前，气象局的活动仍然继续有很大的比重在为航空服务。但是商业航空公司的航行越来越不依赖于天气，而且这种趋势看来还要继续下去。因此我们应该着眼于其他大工业，如农业、航运、建筑和施工、燃料和动力以及飞速发展的旅游事业。如果我们能够作出—天或两天以上可靠的预报，它们的收益是非常大的。

除了航空以外与天气最有关系的工业，从可靠的较长期预报中能得—到很大益处。在许多



重要经济领域，各种工业在它们长远规划中通过气候学的服务也能得到收益。目前通过估计概率，即根据同类现象在过去出现的频率，估计该天气现象未来可能发生的情况，也能给使用者得到十分有用的指导。在未来的30年内，有可能由物理模式来预报长期的气候变化，但这还需要化很多时间进行验证。

我们气象工作人员负有责任向使用者宣传对于气象资料的说明、所包含的意义以及技术限度等。每日、每周、每月、每季的预报都包括了最近同一时刻的预报，如果在发表方法上不十分注意，并加上详细说明的话，就可能给一般的人们以很大的混乱。因此，如果气象机构不掌握同社会之间传送消息的直接渠道，并对此能加以控制，如何解决这方面问题还是很困难的。我们必须认识到，有的部门随着天气预报的逐渐正确和可靠性日益增长，对预报的相信也就继续增加，偶尔不可避免地发生的预报错误会带来重大影响。

## 国内和国际天气服务的组织

天气预报中使用数值方法的增多和计算机所处的重要地位，必然要加速目前天气服务走向更加集中的趋势。基层气象单位对于制作行星尺度、天气尺度和中尺度系统发展的预报时，将依赖国家和区域中心，它们将集中力量于预报小尺度的现象，如雾、霜、局部地区的风、阵雨、污染等。这些地方性的问题较之大尺度的问题仍然是重要的或是很需要解决的。因此，熟悉局部地区气象和地区社会要求的地方预报人员，依靠当地长期不断的现场观测，在未来的长时间内仍起着重要作用。

由于技术装备的复杂性和全面性的不断增加，如拥有卫星、计算机、自动观测站、雷达等设施的先进国家的天气服务机构，如果不培养和训练能运用这些现代化设施的技术人员，如计算机技术、电子和系统机械工程、仪器设计等方面相当数量的非气象专业的专门人员，就不可能继续有效的进行工作。

对于气象的中心课题，目前需要庞大的队伍和精密的设备，再靠少数的完全独立工作的小组已不能有效地解决问题了。按照其它重大科学发展的趋势，研究工作变得越来越集中围绕于以政府所属的国家、地区或国际研究所中的大型设施来进行。但有一点也很重要，即在大学里和较小的气象机构中的小规模但很起作用的研究小组，使他们适当地与大的研究所合作，共同使用他们的设施，参与他们的研究计划但又不损害其自身的科学独立性。把气象研究的主要努力与实际相脱离是极大的错误。研究工作与业务工作之间的相互支持和促进是气象局的最重要的根本原则中的一条。

作为预报大尺度扰动对观测、通讯和资料加工等方面的必要设施，要有一个备有6—8个卫星组成的全球系统，并在少数几个中心要装备最强大的计算机。最后，象通信卫星在国际组织中经营那样，气象也有必要通过世界气象组织做到全球系统的设计、资金调整和经营。这样，各国的气象机构就可以根据自己使用的需要来应用国际中心发布的资料，并且为掌握未来24小时的局地天气而进行对较小尺度天气系统的观测和预报。

从长远看，可以期望在本世纪末以前，海洋动力学和海洋物理学将同气象学相结合，而且还可能在国内和国际范围与水文学也联合在一起。

# 人工影响天气和气候

在今后的 30 年内，这个学科不可能有十分惊人的发展，这不仅因为它有本身内在的困难，而且还因为对于大规模地干扰自然界过程的平衡的这种想法。当对它的认识、预报和可能产生的后果还没搞清楚之前就去进行，是不负责任的。

很久以来所谓人工影响天气，主要是对云的催化为主，近 20 年来世界各国进行的努力，却很少得到令人信服的证据来说明在大面积上，能使降水大量地增加（或减少）。虽然最大限度的效果可以达到 10% 的程度，但是把它与自然降水相区别是非常困难的。因此继续用以往的方法重复来做，是不会有收益的。我们必须重新考察它的更根本的过程和原理。

最初进行这种催化工作的人所提出的非常夸张的论点，现在都是很不可信的。近来一些提法比较谨慎，而且对进行这项工作和评价这项工作时会遇到的困难也已更广泛、更清楚地被认识到。对这些作业进行的统计评定也不断地反映出，对雨量分布的特点，即使是定性的，也很难用气象学上令人信服的办法给以解释和说明。应设计出一个云的生长和发展的可靠的数值模式，它能预报经过撒播和未经撒播（人工控制）的云的重要的而且能够方便观测得到的特征，这才是为评定人工影响云的实验的潜力和结果所提供的最好的长期远景，而且也是提供了一个比起纯粹统计方法更为深刻的研究问题的物理方法。这一类实验今后是否会取得很好的效果，这仍然取决于是否能够把统计学上的判据和物理学上的判据彼此结合起来，但是在目前条件下，最大的努力应放在物理学的判据上。在我们尚未深入了解对于控制大型云系的降水时间和强度的物理学过程（特别是动力学）以前，不会取得更大进步。

大气污染已经严重地影响了局部天气，特别在工业地区更是如此。自从 1956 年在英国施行“空气净化法”以来，已经使浓雾和厚雾的频率分别减少了 85% 和 70%；冬季日照增加了 40%。

对大气污染的大范围影响进行检测和定量更为困难。但大气的数值模式最终有可能变得更加符合实际，从而使得有可能对大气中的二氧化碳和尘埃增加百分之几时所发生的全球影响进行可靠的定量估价。这样讲并不意味着已经得到这个最终答案，我们要把精力集中于监督和测定计划的拟订上，以便在可能的时候为计算提供有关资料。

## 结 论

可以预言，在未来的 30 年内，我们对各个尺度的大气现象的认识和理解将大大提高；在大气性质的内在不确定性所允许达到的范围内，尽可能地改进天气预报的精确性、可靠性和时效，从而大大增加为工业和一般群众进行服务的范围和价值；但是进展可能受到一定的局限，其原因主要还不是由于缺乏所需要的技术，而是由于我们观测和了解中、小尺度大气运动和海洋环流的能力有限。对于人工影响和控制天气的计划来说，其进展是有限度的。

研究和业务工作的进展，新技术和新方法的采用，用户要求的扩大和改变，这一切将使气象服务的组织和构造发生很大变化，它必然要扩展到国际范围。

总而言之，我们可以展望一个空前没有的充满各种要求和机会的时期，但是经验告诉我们，大气是不会轻易透露其秘密的，因此气象科学的发展是艰巨而曲折的。

（纪乃晋译 史国宁校）