

美国中尺度天气预报的现状和展望

Thomas W. Schlatter

提要 本文综合评述了美国主观中尺度天气预报的前景,并指出改进中尺度天气预报的主要可能性:(1)资料来源迅速扩大;(2)贮存、分析和显示资料的新型计算硬件;(3)下个5年内,计划把主要力量放在改进中尺度预报上,如风暴尺度业务和研究气象学(STORM)计划、九十年代先进的天气交互处理系统(AWIPS-90)等规划。目前人所共知的尚未解决的问题是:(1)如何集中不同来源的资料以及如何解决过剩的信息;(2)如何提高我们对中尺度和其它尺度大气运动相互作用的认识;(3)如何培养出新一代预报员。对最后一个问题,UNIDATA计划正在帮助一些大学加强中尺度气象学的教学。

1. 引言

最近30年来,数值天气预报模式的准确率和分辨率有了稳步的提高。然而,这些模式是描述大尺度大气运动的,预报员们还是苦于仅用0000 GMT和1200 GMT时的资料往往掌握不住中尺度天气特征,而在模式运行之间,这种中尺度天气特征可能发展,可能消失,从而会给其它方面良好的数值预报结果增加意想不到的误差。

孤立的深厚对流、超常降水中隐含的对流、丘陵或山脉地形对气流的影响以及低云和雾等,依然是数值模式设计者烦恼的问题。但是,已经运用了详细的雷达和卫星资料的气象学家们正在成功地作出时间和空间尺度超出业务模式范围的临近预报和外推预报。预报员为什么能在中尺度特征诊断和甚短期预报中胜过数值模式呢?恐怕至少有三个原因:一是大多数甚高分辨率的信息是以图的形式显示,即以计算机很难接收的彩色动画片形式显示,可是预报员很容易掌握这种表示法。二是即使把这种目视图象信息转换成适合于数值模式的数字形式,同样也没有一种设备能够用来集中收集如此大量的资料,并能很快地把它们输入到模式之中,使预报在有效时间之前算出。第三,即便资料充足

而又及时,也保证不了能做出好的数值预报。

预报员能够也应该为他们的用户辨认中尺度天气特征提供指导,尤其是在中尺度天气特征发展的头几个小时提供指导更为重要。因为,此时数值模式还帮不了多大忙。这就是本文要论述的观点,但这种讨论仅限于美国,仅限于交互(人-机对话)工作站可用的信息,即有助于作出主观判断的信息。中尺度模式的潜力是巨大的。鉴于综合的中尺度资料在说明如弧线后部流入气流、中尺度对流系统的结构以及地形诱发的边界层环流等方面能发挥更大的作用,所以人们对中尺度天气的认识也在提高。当时机成熟时,我们就能够在中尺度模式中用物理量参数化的方式表达它,从而能改进预报。关于中尺度模式问题这里不作讨论,另文中有专门介绍。

2. 可能性

改进主观中尺度预报的可能性有以下几个方面:新的资料、更好的硬件、客观分析用于诊断以及强化性的中尺度研究计划。

2.1 资料来源迅速增加

当今,全美国的气象资料量已经很大,在下个5年中还将显著地增加。

(1) 地面观测站(每小时观测的有1000

个站)将保持不变,但是将以自动地面观测(ASOS)代替一些目前仍为人工操作的地面航空观测站。

(2)无线电探空测风观测数量(约75个站)及探测次数(每12小时一次)也仍将不变。

(3)美国中部地区的31个风廓线仪观测将工作到1989年年底,它们至少1小时提供1次对流层详细的风观测资料。这个观测网还将可能扩大至覆盖邻近48个州。

(4)飞机报告将会迅速增多。如果美国的商业飞机装上惯性或奥米伽远程导航系统,再装备上自动测量和记录飞行(28,000—42,000英尺)条件的系统,那么每天就能获取全美国的30,000份高空报告,从午夜前后3小时中的1,150份增加到午前和黄昏前最忙3小时的7,000份。此外,每天在飞机升降时还可以提供约1,200条风廓线和2,400条温度廓线,这样就差不多连续地向各主要中心提供白天的最新探测资料。

(5)九十年代下一代雷达将在国家气象局的114个警报和预报台中的大多数台上使用。这种扫描多普勒雷达能够每隔几分钟对整个大气柱扫描一次(一种倾斜角不断增大的扫描序列)。径向速度和反射率因子资料的分辨率为,方位角1度,测距达到250米。从大气柱扫描资料可以得出许多有用产品,其中包括边界层风廓线、冰雹征兆、风暴路径、降水估算以及对中尺度气旋的探测,甚至从单个多普勒雷达观测结果还能得到近似水平风场。

(6)泰罗斯(TIROS)极轨卫星提供高分辨率的可见光和红外云图。当卫星处于地面跟踪天线观测范围内的15分钟左右时段中,可以从改进的甚高分辨率辐射仪中接收到约4百万字节的数据,从TIROS业务垂直探测器(TOVS)中接收到约10万字节的垂直探测资料。其中一个探测器是4通道微波分光计,利用它的资料能反演出非降水云下方的温度资料。

(7)GOES-NEXT是美国地球同步卫星现行系列的后继者,它可望以每秒32,000比特的速率传送辐射资料。如果它在25分钟内能对邻近48个州扫描一次,而测得的每一辐射值以2个字节存放,那么对美国的每次静态探测扫描将要求1千万字节的存贮。另外GOES-NEXT同现有的GOES一样,也可以每5分钟间隔提供一次可见光和红外云图。九十年代计划集中力量根据东、西部卫星获得的图片编制东、西部小于48个州的5分钟间隔的全分辨率可见光和红外云图集。其中可见光云图就需要多达约2千万字节的存贮装置,地方气象台将提取他们所用的云图。

(8)两种不同设计的雷电监测系统目前正在提供美国大部分地区云对地的放电资料。全国雷电监视网正在讨论之中。

这些性质不同的资料要占用大量计算机和存贮设备,幸亏先进的硬件能够及时地满足这些要求。

2.2 较好的硬件

计算机的计算速度逐年变快,体积越来越小。如今有可能买到一种设计在一块单板上的台式计算机,每秒钟它可以执行1百万条指令。物理学家正在揭示高温条件下的超导材料。一旦这些材料运用到新计算机的设计中,那么对冷却装置的要求就会很低了。这将使计算机进一步微型化,而计算速度也随之增快。根据目前的标准,最近提出的解决分析和模式初值化问题的办法,在计算上是办不到的。但是我们持乐观态度,到九十年代这些问题将容易处理。

单就图像资料的处理和显示就要求有相当大的存贮器,尤其是下一代雷达和GOES卫星的图像资料更是如此。未来的资料同化方法,不仅要求存贮实时资料,而且还要求存贮过去的时序资料。此外,同化问题的因次可能很容易达到 10^5 ,因此要求有一个海量存贮器来解决。联机存贮媒体可以使存贮器的几千兆字节的信息极其迅速地存取。

不难想象如此巨大的存贮器在将来是必需的。

当前，显示技术已走在气象需要的前头。电影制造业已运用最尖端的显示装置，此外还制作出栩栩如生的动画片及太空惊险片。最好的硬件虽然昂贵，但已能在分辨率很高的屏幕上以一种几乎连续的多彩色频带显示图像，在图像上迭加等值线以及把一个长序列的帧图像，制成环形胶卷。

2.3 专门用于诊断的客观分析

从过去来看，客观分析方法用于两个目的：一是为诊断研究实际大气和模拟大气提供网格资料，二是为数值天气预报模式提供初始条件。美国气象中心现有三个数值预报模式：有限区域细网格(LFM)模式、套网格模式(NGM)以及原始方程(PE)谱模式，国家气象中心发布每一个模式的初始化场并广泛地用于全球和区域预报中。这样做的好处是预报员可以比较初始化场和填图资料，使二者协调，从而可以判断后续预报的准确率；不足之处是初始化方法常常影响分析场，尤其是影响风场分析，与观测值相差甚大，令人难以接受。

客观分析按其性质，对诊断实时大气条件、安排飞机飞行或评价对流潜力来说也是很有价值的。这些方法即将发展成一个每小时一循环的资料同化系统，并且天气图资料将很快充分供给它。把每小时对流层的分析迭加在卫星云图上，就能很容易地估价出最近预报实体的缓慢漂移。从计算上来说，希望用于频繁分析的同化系统的计算要比用于复杂模式预报系统的计算要少得多。前一个系统用一个简单的动力模式即可工作很好，它只是把一个分析时次的大气状态推算到下一个分析时次即可。

2.4 强化中尺度分析的计划

美国国家气象局目前正处于一个重要的现代化规划实施过程中，其目的是提供具有改进了的花费-效益关系的更加及时和准确的中尺度预报，尤其是十分重视改进危险天

气警报中的问题。

该现代化规划包括两部分：一是改革区域气象台的结构，以使地方气象台在发布灾害性天气警报方面更有自主权，提高每个员工的业务水平，增加大学毕业和训练有素的气象工作人员的比例。二是重点提高通信和显示能力，即所谓的“AWIPS-90”(Advanced Weather Interactive Processing System for the 90's)的实施。目前，美国气象台是靠业务和服务自动系统(AFOS)显示大多数集中编制好的产品。按原先设计，AFOS是用来显示矢量图、填绘资料、报文以及电报的合成和传输。由于AFOS没有彩色显示装置，因此多数预报台是把各自的彩色雷达显示和卫星云图的硬拷贝片增补在AFOS上，致使栩栩如生的云图不可能看到。

期望AWIPS-90做以下事情：

(1) 集中雷达和卫星资料以及由AFOS处理的现行常规资料；

(2) 提供地方气象台广泛应用的处理系统；

(3) 分发所有指导性的气象和水文产品和资料；

(4) 起用一个能适应发展的系统结构。

上述提案的申请报告已提交给美国工业部门，以便进行初始设计。

全国风暴尺度气象学业务和研究计划(STORM)，是国家未来解决中尺度天气问题计划中的一个重要组成部分。它是上述国家气象局的现代化的补充部分。STORM的两个主要目的是：

(1) 使公立和私立机构的气象工作者，都能够观测和预报小尺度天气现象的发生，大大地提高预报的及时性和准确率；

(2) 把改进了的预报可能性和条件，用于保护公众、服务于国民经济以及满足防务需要的业务上。

为了达到这些目的，需要研制出中尺度天气的观测、分析、预报和信息传递所必需的技术方法，同时还需要制定一个如同STORM

规划中所包含的小题目的研究、发展和教育的强有力计划:

- (1) 提高对风暴尺度天气的认识;
- (2) 改善风暴尺度天气预报;
- (3) 改善业务(和区域研究)、观测和资料分析系统的结构和设计;
- (4) 提高风暴尺度信息的有效利用率;
- (5) 培养出新一代专业气象工作者,使他们通晓风暴尺度天气现象及这种信息潜在应用方面的知识。

以下三个基本部分是国家 STORM 规划的要害:

1) 应对美国国内的四维资料同化工作进行协调,对那些有能力使用来自现代化观测网资料流的地方,应当给予改进资料同化实践的优先权。应该建立一个全国性的实验室,对那些有发展前途的同化方法和数值预报方法在投入业务应用之前进行细致的改进。

2) 应当建立几个预报实验中心,以便促进预报业务人员和研究人员之间的通力合作,而这些中心最好建立在靠近现有的这两类气象人员集中的地方。通过先进的交互显示系统和机构内部的计算设备,这些中心的职员们就能够对中尺度现象有一个较好的了解,以及如何预报它们。

3) 全国现代化气象观测网之所以能增强研究,在于它能够对大气的测量较之过去更加频繁,更加详细。因此,便于研究人员存取资料的综合档案,乃是 STORM 规划中的一个关键部分。

3. 问题和困难

3.1 如何集中不同种类的资料

由于没有一种单独的资料源能够提供预报员所需要的全部信息,因此把不同种类的资料显示在同一投影图上的能力非常重要。

夏季雷达平面位置显示器(PPIS)上的弱回波带常常指示着低层的辐合。当弱回波带移过雷达时,如果径向速度突然从“后退”

变为“逼近”,这就证明低层存在着辐合。一个稠密地面观测网的测风资料,可以提供垂直于径向的风分量,而单个的多普勒雷达,则测不出这种分量,因此地面测风资料有助于解释雷达资料。

用可见光和红外云图可以确定云的位置,同时还可以给出云顶高度的相对测值。如果再加进由无线电探空所得到的温度与高度的对应关系,那么云顶高度是完全可以测定的。

雷达资料和卫星资料是相互补充的。比如一条正在增长着的积云线,可见光云图先于雷达反射率因子显示出来;但其后当大雷暴砧遮住活跃对流视域时,雷达回波就能指示出强降水出现在何处。

把不同种类信息合并在一个单独显示器上的这两个例子已获得成功。问题出在第三个例子中,由于标准的重新投影(remapping)算法不能准确地给出发展旺盛的云所在的地面位置,从而造成云的位置与该云在雷达上的回波位置不一致。其它一些例子还在研究之中。在山区由于雷达覆盖差,因此掌握云对地的闪电资料显然是很有价值的。闪电的活跃程度可能与中尺度对流复合体和孤立的强风暴的生命史有关。无疑,它与云的微物理学有关,但是研究人员只是现在才开始认识这个问题。灵敏的雷达和电击资料可提供充分的线索。

当自动飞行报告和风廓线仪资料得到更广泛的利用时,那么这两种显示对流层上部的资料将是有意义的。取决于湍流正确测量的风廓线仪,在急流中心是很难观测风的,因为这里气流是平稳的。但是商业喷气机常常在急流中心附近飞行,因此能够提供补充测量数据。

如何把卫星的平滑温度廓线与测风雷达的高分辨率风廓线融合在一起,是当前一个活跃研究课题。这个问题的一种解决办法,在 Bleck R., Brummer R. 和 Shapiro M. A. (1984) 的文章中已有介绍。但是现在已十

分清楚,由风廓线仪得出的风资料 and 从卫星得到的温度资料,未必遵循热成风近似。

把不同观测系统的资料融合在一起的其它有关问题,正期待着满意的解决方法。例如,无线电探空测风仪、风廓线仪、飞机和云的移动,对估计风来说都十分有用,但是这些观测结果常常不一致,相互间甚至相差2—3 m/s。卫星、地面辐射仪以及无线电探空测风仪都直接或间接地测量温度,但是地面辐射仪测量的结果易出偏差。人们或者试图消除偏差或者只用温度梯度信息。把根本不同种类的资料成功地融合在一起,将是对未来几年提出的挑战。

3.2 如何解决过剩的信息

在 AWIPS-90 时期,预报员将必须应付从工作站菜单上可以得到的令人迷惑的各类产品。预报员一旦确定了“白天的问题”后就可以对整个级别的产品不作进一步的考虑。毫无疑问,产品的挑选是成功的关键。例如当出现强天气日时,与其相应的混合产品可能每小时都在发生着变化。一日中早些时候看到的区域尺度产品可使预报员确定出最可能遭强雷暴袭击的地方,以及检验能触发对流活动的高空短波槽。当预报员寻找早期的对流征兆时,中午的卫星云图和地面观测应优先考虑;一旦大雷暴形成,预报员就会去研究多普勒雷达资料和地面风观测资料,以便找出雷暴中的气流旋转和强外流或某种回波形状的证据。

3.3 关于提高认识问题

学术上许多主要争论集中在尺度的相互作用问题上;在较大和较小的大气扰动之间,能量是如何向后和向前传输的。有关中尺度的一些较重要的争论有下面一些:

(1) 单个雷暴如何合并形成一个中尺度对流系统(MCS);

(2) 大尺度环境怎样才有利于 MCS 的发展;

(3) 中尺度地面热通量和水汽通量在较大尺度现象中所起的作用如何,如对气旋、大

气中的阻塞形势和气候变化的作用;

(4) 地形对锋面、干线、冬季气旋、冷空气堆以及 MCSs 生成的影响;

(5) 地表特征,如反射率、粗糙度和土壤湿度以及它们的空间梯度对中尺度环流的影响;

(6) 行星边界层与如低空急流、锋面、雷暴外流以及海洋气旋爆发性生成等中尺度现象的相互作用;

(7) 云系与可见光和红外辐射的相互作用,包括由无云区与多云区的交界处诱发的中尺度环流。

美国九十年代的观测系统无疑将要搞清楚这些问题,但是区域试验仍将在研究中起着重要作用,因为这种试验暂时还继续提供更高分辨率的观测资料。而对于一些尺度更小的过程,由于观测资料极少,将由数值模式来模拟。

3.4 教育和培训

这里所说的“培训”是指获取一种技能,而“教育”则是指获取知识。一个预报员经过1小时的使用工作站菜单的训练,就能够掌握应用工作站信息的操作过程。培训一个预报员能解释诸如多普勒雷达显示等不熟悉的信息,需要较长时间,不过一个月左右的时间也够了。雷达回波的一定形状及其移动必然与某些特殊的天气过程有关。在职培训时,播放那些有意义的个例是简便易行的办法。

教育工作更加困难,它是教育人们学会把资料中的信息怎样与物理学和动力学联系起来,在许多例子中这些关系尚不知道。这种教育工作在气象台可以运用录像带完成一部分,但是最好的办法还是办专门的训练班或是在大学里设一门课。

UNIDATA 是一个全国性的计划,开始于1983年并由 UCAR(大学大气研究协会)组织管理,由国家科学基金支持,它的目的是帮助这些大学能够存取、分析和显示大范围的大气资料。UNIDATA 提供软件及其它支持,使微机和功率更大的工作站能够在实

验室和教室里使用。

江吉喜、杜扬译自 Proc. Symp. Mesos-
cale Analysis & Forecasting, Van-
couver, Canada, 17-19 August

1987, ESA SP-282(August 1987),

P 25-29.

刘树泽校