

目前和将来用卫星资料作中尺度 天气预报的难点及可能性

James F. W. Purdom

提要 卫星资料与其它气象信息相结合的有效使用,对当前及未来的短时预报都是一个关键问题。这种与其它气象信息相结合的有效使用,可能涉及到把资料输入到中尺度数值模式或知识库,以及按时间的函数把卫星资料与其它气象资料相结合去解释它们的产品。利用日常可以得到的地球静止气象卫星资料,气象学家能够观察到中尺度机制所导致的中尺度天气的发展。从卫星资料得到的这些见解,正在帮助实现中尺度预报和短时预报。由于日常可以从一系列栩栩如生的卫星云图以及卫星探测资料中得到大量的信息,那么如何更好地从这些资料中提取有用的信息为中尺度预报所用,是气象学家们所面临的最大的难点之一。

1. 引言

1.1 某些难题

从本质上讲,短时预报是中尺度气象学的一部分内容。关于短时预报问题,Browning指出“短时预报代表着一种及时使用当前资料、使观测充分逼近局地天气预报。在这些资料中,遥感资料又起着决定性作用”。他还进一步指出“短时预报领域正处在不断地变化之中”。Browning今天的这种评价同5年前的一样,是正确的。目前在短时预报问题的许多方面,似乎还有着过多的含糊不清的答案。

短时预报定式化包含有许多步骤,其中最重要的是把短时预报建立在中尺度分析的基础上。但存在的问题是对中尺度的了解还很不够,这一点Simpson和Dennis十多年前就已指出了。那时他们估计对有利于对流云发展的天气尺度条件和云微物理学方面的

了解要比中尺度方面的多。容易证实今天这种情况仍存在,对中尺度对流现象的较好认识,是制定全国风暴尺度气象学业务及研究(STORM)规划的基石之一。事实上,天气的最主要特征体现在风暴尺度的天气系统上(对气象学家来说或者为“中尺度”),所以必须认识中尺度现象。

在过去10年中,我们对某些重要中尺度现象的认识取得了一定进展,然而如何更好地把这些认识运用到中尺度分析中,并用于帮助短时预报的定式化仍然是一个悬而未决的问题。

1.2 卫星资料和中尺度气象学

在高分辨率地球静止卫星诞生之前,缺乏有关深对流云的中尺度演变及它们所处的局地环境的日常气象信息。中尺度是一个“资料空白”区域。例如,在美国大陆上约8百万平方公里范围内,只有近1,000个每小时观测的地面观测点和126个高空探测点,这就

迫使气象学家从这种大尺度观测来推断中尺度天气现象。Fujita 在讨论中尺度分析时承认这样一个问题：“在中尺度天气的短时预报或外推预报中，象我文中所使用的如此完整的资料，在当今的资料基础上是无法得到的”。因此，在高分辨率地球静止卫星诞生之前，我们的气象观测能力存在着缺陷。气象卫星资料恰好弥补了这个缺陷，并且我们能够把这些信息用到最能发挥它的潜力的地方。那么它的潜力又是什么呢？下面就介绍这个问题。

地球静止卫星是唯一能够对从天气尺度到积云尺度的各种云演变作同步观测的工具。用 GOES 图象（在某种程度上用极轨卫星图象），可以日常地观测到固定观测点上很少侦察到的天气现象。可见光资料中每 1 公里有一个测值，红外资料每 8 公里有一个测值（极轨卫星的红外资料仍然是每 1 公里有一个测值）。卫星云图所观测到的云和云型（还有水汽图上的水汽型），代表着大气中正在发生的动力和热力过程效应，这为气象学家提供了形象的中尺度天气过程。为了有效地运用卫星图象作中尺度分析和短时预报，重要的是我们要懂得图象所表达的过程（主观地及定量地判断）。

与卫星图象资料类似，卫星探空资料提供了大气的中尺度空间结构信息（静止卫星还提供时间结构信息），这是以前绝对不可能的事。卫星探空资料还能够揭示出大气温度和湿度结构的微小而又重要的变化。目前我们从卫星探空中得到：

- 1) 大气中整个气柱的近瞬时观测；
- 2) 高的空间分辨率（无云时）；
- 3) 适宜的垂直分辨率；
- 4) 由统一标准仪器进行的所有测量。

用 GOES 卫星的可见光和红外自旋扫描辐射仪大气探测器(VAS)，可以同过去一样得到整个美国上空的每小时探空资料，但是如何更好地把它们用到中尺度分析和短时预报中却是当前需要认真调查研究的问题。

2. 若干中尺度现象

近些年来，由卫星图象发现了一系列对短时预报很重要的中尺度现象，如：

- 1) 早晨的云覆盖对午后雷暴发展的作用；
- 2) 弧状云线与对流尺度过程的相互作用；
- 3) 雾和层云的蚀损(erosion)特征；
- 4) 局地不同加热机制的强效应，如水库、湖泊、江河等可以引起雷暴发展；
- 5) 中尺度对流复合体；
- 6) 逗点状云特征；
- 7) 极地低压的特殊作用 (preponderance)；
- 8) 风暴产生的山洪暴发。

上面所列举的中尺度现象并非全部，但是可以使读者充分看到卫星资料对中尺度气象学领域所做出的各种不同贡献。

这些中尺度现象究竟是什么？有些正是我们要研究的课题。这里仅以上述的 1)、2) 两个问题作一些示范性讨论，其它的中尺度现象读者可以参看 Browning、Purdum、Maddox 和 Scofield 等人的有关文章。

2.1 早晨的云量对雷暴发展的作用

Purdum 的文章中已经指出了在弱的天气尺度强迫下，早晨云覆盖的作用类似于海陆风：第一场阵雨形成在靠近早晨云盖区边界的晴空区中。表现为一条云-微风锋 (a cloud-breeze front)。对短时预报和中尺度预报来说，确定这个边界的位置至关重要。然而要使它成为一个最有用的工具还有许多问题需要解决。这些问题是：a) 这种不同的加热机制使垂直运动场发展得多强？b) 当云量向某一地区平流或该地区云量减少时，这种不同的加热机制使区域内辐合带的发展如何演变、以及有多大的速率？c) 多云区毗邻的晴空区中的稳定度特征又如何？d) 早晨云覆盖的不同作用，是否依赖于大尺度动力学条件（强与弱的天气尺度强迫）？最后，在

这里还要提到的一个问题是,如果我们知道了上述问题的全部答案以及我们用它们做什么,那就相当于我们知道了“如何把小麦从麦壳中分离出来”。

有少数研究人员已经着手中尺度数值模拟研究,以帮助弄清早晨云覆盖对环流和风暴发展的影响。Segal 等发现,在云区和晴空区交界处发展出的环流可以和海陆风发展起来的环流一样强。同时云量平流无论流向区域内还是从区域中向外流出,对已建立起来的垂直运动场的强度均有显著影响。McNeider 等和 Carpenter 的研究,对云覆盖动力特征的重要性有深入的了解。他们的研究发现,沿着正在发展的斜压带,云覆盖在局地强迫的低层辐合中起着重要作用。

与陆地上晴空相反,早晨云覆盖的作用容易认为是一个简单的不同加热机制,但是我们的论证应当超出这一点。一地区早上云覆盖面积减小(或增大)的变率,影响着由日照(或云的遮蔽)可能造成的局地气团不稳定(或者稳定)建立的快慢。搞清一地区上空的这种不稳定性 and 它的预期演变,对中尺度分析和短时预报具有重要的意义,而卫星探空资料也许就是解决这个问题的关键。如果是这样,就一定需要中尺度数值模式的帮助,那么人们也许会用新的眼光来看待现今的卫星探空资料。这是令人激动的,但也是一个难点。

2.2 弧状云线与对流尺度系统的相互作用

由高分辨率卫星图象资料(Bohan, 1981)制成的电影表明,对流尺度的相互作用(Purdom)在确定深对流的发展和演变中最为重要。当弧状云线与其它对流区云线和边界合并及相交时,这种相互作用就显示出来了。在适当的大气环境下,人们已经注意到了这种相互作用发生在龙卷风暴发展之前的事实。对流尺度的相互作用过程是深对流发展和维持的基础,同时由于对流环境的性质不断地演变,使得这种过程变得复杂。Purdom 和

Marus 曾指出,对流尺度的相互作用是夏季美国东南部地区风暴触发的主要机制,这里夏季的主要降雨由这些风暴产生。

如同早晨的云覆盖观测一样,已经证明弧状云线的观测对一般的对流和强风暴的定性短时预报非常有用。然而关于对流尺度的相互作用,还有一系列问题没有解决。这些问题包括:a)弧状云线的物理特性是什么?b)为什么新的深对流通常较容易沿其生命史早期的弧状云线发展?c)为什么弧状云线只在一个局地环境的某一部分而不在其它处发出新的深对流?

现在有些研究人员正在调查研究弧状云线和对流的相互作用现象。Wilson 和 Carbone 已经用多普勒雷达进一步证实了 Purdom 较早的观察结果,即风暴的流出边界和它们与其它边界的相互作用与产生新雷暴活动的重要性。Sinclair 和 Purdom 用调研飞机的资料描述了弧状云线的物理特征及它们与邻近环境场的相互作用。他们发现,在与弧状云线有关的冷空气外流前边界的暖空气中有一条窄而集中的垂直运动带。在弧状云线生命史的早期,他们发现在流出边界的前沿附近的冷空气中有有一个强的力管环流,并且该冷空气与暖环境场中的空气沿外流边界的交界面强烈混合,但整个对流尺度的相互作用现象还有待进一步调查。Purdom 已指出,伴有局地不稳定的弧状云线前部的辐合(可由暖区中的积状云分布来描述),可用于帮助解释新雷暴发展的最可能区域。由此环境场的局地稳定度问题又一次起作用,从而卫星探空资料的使用就会重新被注意到。

3. 将来的卫星

前景令人鼓舞,下一代极轨卫星(TITOS)将携带先进的微波探测器,它比现在的 MSU(4 通道仪器)有着更多的通道,水平分辨率也将提高近 5 倍,达到 35×35 平方公里。下一代静止卫星(GOES)将装有一个探测和成像功能分离的改进的探测器。图象将由多通

道较高分辨率的红外资料合成。在多通道合成方式中,可以得到大约每半分钟一次的重复扫描图象,其范围可达 Oklahoma 和 Kansas 两州的大小,并且还可以得到该范围内任何地方的探测资料。

4. 小 结

前途光明,令人鼓舞。在今后的 5 年内将会有一系列丰富的新资料供人们使用。在美国,新一代卫星资料将期待着一系列从地面到高空的风廓线资料和业务多普勒雷达资料相结合。无疑,计算机技术对资料处理、标准化以及图象的合成将会提供新的极好途径。尽管前景美好,但目前我们还面临着许多困难。如怎样才能最好地把卫星资料中的云场信息和探测资料集用到中尺度数值模式中。

另外,我们对卫星日常观测到的一系列中尺度现象的认识仍然十分肤浅。通过模拟和外场调查,我们必须对这些现象的动力学和热力学特征有一个确切的认识,从而产生更好的“中尺度分析”和改进的短时预报产品。最后还有一个极为重要的问题,是要详尽地了解对流尺度相互作用现象,它将帮助我们简单的从外推预报前进到去思考对流现象的演变。

杜扬译自 Proc. Symp. Mesoscale Analysis & Forecasting, Vancouver, Canada, 17—19 August 1987, ESA SP-282 (August 1987)p.693-696.

江吉喜校