

人机交互式的中尺度模式初始化方法

B. J. Wright 和 B. W. Golding

(英国气象局)

摘要 为了向英国气象局使用的中尺度模式提供初始场,研制了人机交互式的中尺度模式初始化方法(IMI)。除了使用地面观测外,还使用了卫星和雷达图像。分析人员监视着初始化过程的进行,并能将他们自己掌握的有关天气形势的经验纳入初始化过程。对几个天气个例的主观评价表明,IMI的应用能改进预报质量。

一、前 言

英国气象局日常业务中使用的中尺度模式能以15公里网格的分辨率预报英伦诸岛的天气。天气尺度的发展基本由随时间变化的边界条件控制。但是,中尺度演变对于模式范围内的初始条件特别是湿度分布很敏感。在设置初始条件当中遇到的一个主要问题是资料缺乏。地面观测网最好的分辨率不过是50公里,而高空观测站之间的距离大于300公里。在海上,这一问题更加严重,只有为数不多的几艘船和钻井平台能提供定时观测。

为了解决资料缺乏的问题,研制了人机交互式的中尺度初始化方法(IMI)。这样,使得所有可用的资料尽可能地得到应用。考虑了包括云的报告、能见度和雪深的各种地面观测,同时还将卫星和雷达图像作为附加资料使用,为海上地区提供所需的资料。使用这些资料以及最新的预报场来产生一组地面变量和云分布的关键分析。整个系统是在分析人员的控制之下,他们除了控制资料的使用以外,还能结合他们的天气经验随时修正分析。使用了一些概念模式把其它的模式参量与所分析的要素关联起来。

已经进行了一个评价工作,对由目前使

用的客观初始化方法(OI)得出的预报和由IMI得出的预报做了主观对比。特别注意了当(用OI初始化的)业务预报在某一 方面较差时的对比。

文中比较详细地介绍了两种初始方法(第三小节)之后,第四小节中对这一评价的结果进行了综述,其中,对两个特别引人注意的天气个例进行了较细致的分析。

二、模式的说明

英国气象局中尺度模式(Golding, 1987和1990)使用了原始方程的非流体静力、可压缩的表达形式,有限差分方案为半隐式,这样,预报的时间步可达一分钟。 89×91 点的Arakawa C 网格覆盖了英伦诸岛,分辨率为15公里,很好地表达了这一地区的地形。除了一个天气个例外,所有的天气个例都使用 63×79 点的模式范围,只有一个例子使用了 120×133 点的扩大模式范围。垂直坐标为高度,从地面以上共有16层,最低的一层为10米,最高的一层为12010米,层的间距随高度线性增加,从110米加大到1510米。

该模式的边界层混合的细节是用湍流动能作为参量来表达的。云水和湿度分开预报以很好地表达云,同时,对网格尺度的和对流的降水过程都进行了模拟。辐射方案中与云有关的部分特别详细。

全天都维持3小时的同化周期,综合使用3小时的中尺度模式的预报以及根据由细网格模式(英国气象局区域模式)做出的最新预报内插得出的要素场作为第一猜值对观测值进行分析。这种“混合的”第一猜值从细网格模式中提取高空要素场的天气尺度分量,而短波分量是根据中尺度模式的预报推导得到的。云和地面要素场也取自中尺度模式的预报。使用分析结果对其它的模式参量进行修正以获取一组彼此协调的模式场。可以使用IMI代替这种客观初始化方案。

每天进行两次18小时的预报,预报的起始时间为午夜和中午。获得了气压、风、网

格尺度的和对流的降水、云量和云底、能见度、温度以及湿度的逐时预报。

每3小时的边界条件取自细网格模式,这是一个15层的 σ 坐标模式,主要预报地区的分辨率约75公里。在细网格模式中没有把云水混合比作为一个参量处理,所以,只能根据相对湿度诊断得出。这种作法以及必要的内插处理可能在边界附近引起各种不希望出现的效应。由于模式范围的各边与预报地区非常接近,所以,尽管预报能很好地发展得出地形影响产生的各种中尺度特性,一般来说,中尺度模式的预报在后期受边界条件所驱动,但在最初的6—9小时内(在静止形势下会更长一些),初始条件是非常重要的。

三、两种初始化方法的介绍

1. 人机交互式的中尺度模式初始化方法

IMI是一个菜单驱动的系统,由鼠标器的输入(必要时用键盘)控制,分析人员在一个人机交互式图形工作站上对其进行操作。在该系统运行情况下,分析人员可以从显示器屏幕上监视各种地面观测资料以及卫星和雷达图像的使用情况,并得出一组地面参量和云分布的关键分析。分析人员能对分析中使用的资料以及分析结果本身进行修正,这样就能把他们自己对天气形势的认识加入到最后的分析结果中。其余的模式场是利用概念模式来与分析结果保持协调。

分析人员可以选择使用混合场(见第二小节)或使用由细网格模式最新预报内插得出的一组要素场作为第一猜值。只有当中尺度模式的预报存在严重的时序误差时才选用后者作为第一猜值。然后,使用第一猜值作为所有分析的背景场,它们与观测值同时显示在屏幕上,供分析人员判断和取舍。如果分析人员对某个分析不满意,他们要么对观测值进行修正,要么进行重新分析或修正分析。

分析人员还可以删除、修正或增加一些

观测值, 这些观测值将被重新分析, 重新分析时使用第一猜值或原来的分析作为背景场。使用原来的分析作为背景场可以使那些观测值反复地被分析, 直至达到较好的拟合。可以用一系列的方法对分析本身进行修正。要修改的点、线和面可以在荧屏上选定, 或从可用的任何要素场中一定范围的值中选定。在选定的面上, 可以为要素置值, 进行修正, 或乘以某一系数或从其它要素场抄录要素值, 还可以按使用者选定的平滑半径对当前要素值进行平滑处理。最后, 如果分析人员对分析结果仍不满意的话, 他们还可以再重新开始分析。

首先对平均海平面(MSL)气压进行分析, 接着是对10米高度的风的分量进行分析。在风的分析之前, 为了反映出气压分析中地转风的变化要对第一猜值进行订正。根据气压和风的分析结果计算高空气压、位温和风场的订正值。假定气压是按与平均MSL气压梯度成1%坡度的斜面变化呈线性减少至8公里处为零, 在此情况下根据MSL气压的变化计算气压订正值。在流体静力假定下, 根据每一层的气压订正值来计算位温的增量。在1公里高度以上, 按地转平衡关系, 根据气压订正值求取风场的订正。在1公里高度以下, 综合使用地转订正和地面订正, 它们随高度呈线性变化。

如果在地面降水率分析时刻有FRONTIERS(Brown, 1987)雷达图象可用, 就使用它作为雷达覆盖区的第一猜值对地面降水率进行分析。使用当时的天气报告和逐个小时累积值估算各测点的降水率。然后, 假定在雷达覆盖区内只有小范围的影响, 而覆盖区外则有大范围影响, 这样来对估算出的降水率进行分析。一般情况下, 分析人员还可使用Meteosat卫星的云顶温度图像和天电报告来验证分析。在分析中把液态降水与冰晶降水截然分开, 但目前IMI还没有做到这一点。

假定只要卫星测定的温度比地面温度第

一猜值低 10°C 或更多则认为有云存在, 这样, 使用Meteosat卫星的云顶温度图像可以推导出比较好的总云量第一猜值。由于卫星图像是以7公里的分辨率反演得到的, 所以, 通过计算“有云”的象素就能得到较好的总云量估算值。然后, 再使用这一得到改善的第一猜值对地面报告进行分析。

使用云量的分析结果对卫星图像进行订正, 以消除部分有云地区的地面辐射的影响。然后, 使用温度廓线第一猜值确定卫星云顶温度的高度来导出云顶高度场。如果没有卫星图像可用, 就使用云分布的第一猜值确定云顶高度。

在把云底第一猜值用作为分析地面观测的背景场之前, 要对其进行修正以保证云底至少要比云顶低200米。如果在云底分析之后云顶与云底有矛盾, 则要对其中之一进行修正。在8000英尺以下, 认为云底比较准确, 所以应对云顶进行修正。但在8000英尺以上, 则认为卫星资料导出的云顶较可信一些, 应对云底进行修正。

在把云顶、云底以及总云量的分析结果作为约束条件的情况下, 使用云分布的第一猜值对8组云报告进行分析。具体做法是把云量的第一猜值内插到观测点, 然后使用它们对8组云报告进行判读, 最后得出模式各层云量的廓线。再逐层地对这些值进行分析。

通过在模式中有云量和位温廓线显示的范围内最多选定20个位置对云和温度的结构进行更为详细的分析。温度订正值和修正过的云量显示在荧屏的某个区域, 如果需要, 可对云量和位温廓线进行修正。为了帮助分析人员, 只要某一选定位置有探空曲线资料可用, 它也会被显示出来。

最后是能见度、积水状况(雪深), 百叶箱温度和露点进行分析。在积水状况分析时, 对地面状况报告中的干、湿、水淹及霜定量地进行判读, 雪深的报告则是直接地使用。根据温度廓线的第一猜值的情况假定土壤温度、地表温度和第一层温度的变化为对数型

廓线或线性型廓线,在这种情况下使用百叶箱温度的分析值对上述三种温度进行修正。

使用温度、露点和能见度的分析结果对低空相对湿度、云水及边界层云凝结核(CCN)浓度进行初始化处理。在假定湿度混合比在20米高度以下保持不变的情况下,计算出百叶箱高度的湿度混合比,再据此计算出最低层的相对湿度。当相对湿度大于99%或者能见度小于1.5公里时就认为大气中有云水存在,并且使用将云水与能见度和CCN浓度关联起来的经验公式(由Kunkel 1984导出)对云水进行初始化处理:

$$M = \frac{0.03058}{[\text{能见度} \times \{\log_{10}(C_0) + 0.25\}]^{3/2}}$$

式中 M 为云水混合比; C_0 为CCN浓度的第一猜值。同时,使相对湿度增加到100%,设定云量为8个okta,在其它情况下,假定能见度仅仅取决于湿度和气溶胶含量。使用分析过的能见度和相对湿度对边界层CCN浓度进行诊断,诊断的依据是由Hänel(1987)和Kunkel(1984)文章中推导出的经验公式:

$$C = \frac{-109732 \times \log_e(0.01 \times RH)}{[\text{能见度} \times \{\log_{10}(C_0) + 0.25\}]^{3/2}}$$

式中 C 为诊断的CCN浓度; C_0 为CCN浓度第一猜值; RH 为相对湿度。云-水混合比和云量都设定为零。诊断后的 C 场肯定是很粗略的,所以要使它的值限定在 $20/\text{cm}^3$ 和 $500/\text{cm}^3$ 之间,并对其进行平滑处理。

使用在预报模式中曾用过的方程的简化形式对高空湿度分布进行修正,使之与云量的分析结果保持协调一致。使用各种经验公式对云水/冰晶廓线进行初始化处理,使之与云和降水的分析结果一致。使用一种单气柱式的模式降水方案对云水/冰晶廓线进行反复修正,这样就得出了地面各格点降水率的分析值。

在地面温度初始化之后,分析人员可以通过手工处理或直接复制一个海面温度场对地面温度场进行修正,所用的海面温度场是根据一周时段中接连的Meteosat红外图像

求出的。

对温度廓线进行订正是从最低的一层开始逐层向上,这样就把地面观测的影响散布开来,并使无云地方的稳定性增强。在假定饱和的绝热递减率与干绝热递减率的结合是随云份数变化且呈线性情况下,使用下面一层经过修正的温度对该层温度进行修正使其稳定。云顶之上附近的温度要修正到使云中任何地方沿饱和绝热线上升的气块稳定下来。这样做使云内可以出现对流不稳定,这在某种程度上是与预报模式的湍流方案一致的,但不允许在晴空出现不稳定。如果必要的话,只要出现了稳定度过大的情况,可以使其减小,以保证与平均温度第一猜值的偏差减至最小。为了限制在预报早期阶段常常出现的对流过大,也要考虑对温度稳定度进行修正。

要把辐散廓线修正到使上边界的垂直速度为零,还使用单气柱式的模式降水方案根据初始化的云水廓线计算出随高度变化的降水率。当有降水产生时,要重新设定垂直速度以保证有足够的饱和空气抬升到该层取代那里下落的降水。而云顶处保持一个较小的负垂直速度。在最低的一公里高度内,垂直速度的设定是综合使用根据水平风重新计算的垂直速度和初始化的垂直速度实现的,其值随高度变化而进行指数加权。要进行很大程度的平滑处理并限定值的变化范围以消除突然变化和不合理的高值。还对辐散结构再一次进行修正使其与这一最后求得的垂直速度相平衡。最后,分析人员要回答“Yes”或“No”以决定是使用由IMI建立的初始场或使用由OI建立的初始场。

2. 客观初始化方法(OI)

OI方法与IMI方法的主要不同在于雷达和卫星图像的使用以及由分析人员人机交互式地控制初始化过程。使用OI方法时,所进行的一组关键分析与IMI是类似的,使用更为有限的概念模式使其它的模式参量保持协调。总的来说,可把预报员对天气形势

的不很透彻的认识纳入初始场中。

对 MSL 气压、风、降水率、云量、能见度、雪深、百叶箱温度和露点进行分析时、综合使用中尺度模式和细网格模式的预报(即混合预报)作为第一猜值,并且作为分析的背景场。把土壤、地面及第一层的温度修正到与百叶箱温度的分析结果一致,以保持具有初始的模式递减率。把边界层(其厚度是根据温度廓线第一猜值诊断得出的)内温度、相对湿度和风修正到与分析结果一致。不论哪个层次出现了超绝热递减率都要剔除。对风没有进行任何地转订正,但从分析的 MSL 气压出发对高空气压逐层进行流体静力的重新计算。

第一层的相对湿度和云水混合比是根据能见度分析结果进行诊断。使用云的地面观测结果和云量分析结果去产生一个三维云分析,然后再用它对相对湿度进行初始化处理,并得到云水混合比分布的第一猜值。使用单气柱式的模式降水方案对云水混合比进行反复修正直至得出降水率的分析结果。为了使上边界的垂直速度为零,要重新计算辐散廓线,但在垂直速度的初始化过程中不考虑降水。

四、天气个例的研究

1. 预报结果的综述

使用由 OI 和 IMI 产生的初始条件对 8 个天气个例进行了预报。选择这几个天气个例是因为(使用 OI 初始化的)业务预报在某些方面较差。在每个天气个例中,对两种初始化方法的预报进行了主观比较,主要对该日预报员感兴趣的某些天气细节的预报情况进行比较。

通过对这 8 例天气的两种预报的比较表明,有 2 例是 IMI 方法比 OI 方法有明显的改进;有 4 例是有相当的改进;有 2 例则是无明显差别。值得注意的是各例中使用 IMI 后,未发现对预报有不利的影响。下面将从中选出 2 个个例进行比较详细的说明。

2. 反气旋形势下的层积云(1988 年 11 月 5 日)

在 IMI 方法中,用了卫星图像并进行了人工干预得出了较好的云分析,因此对云的预报比较好。对于以持续性层状云如反气旋层积云这样的静止形势更是如此,这时的边界条件已变得无足轻重。这里举出的个例就是这样的一次云预报。

1988 年 11 月 5 日晚,在反气旋形势(见图 1)的影响下,英格兰南部的大部分地区有雾形成,在某些部分持续了几天。很多地方出现了比较浓厚的雾,可能是因为篝火燃烧时产生大量的烟雾注入到空气所致,但

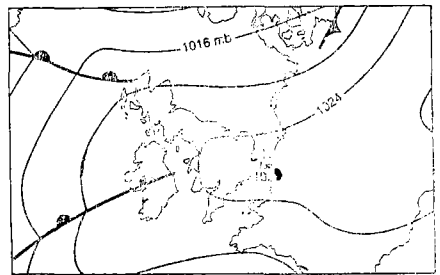


图 1 1988 年 11 月 6 日 06 UTC 平均海平面气压分析和锋

雾的实际分布情况与低云的分布密切相关,图 2 说明了这种情况。对高压环流中层积云的移动和发展情况的良好预报,无疑对当晚雾的发生和分布的预测起了关键作用。中午中尺度模式的 18 小时预报对于云的预报并不太好,未能报出已经观测到的雾,相反,却预报能见度超过 20 公里。而使用 IMI 预报的云分布情况比较好,它预报的能见度较低反映了这种情况。

采用 IMI 方法,对云量和云顶的分析中都使用了 Meteosat 的卫星图像,在考虑了观测结果后,东安吉利以北的云量似乎有点不够,就在卫星图像中云温度低于 0°C 的地方将云量设定为 7 个 okta。由于在海洋地区用于作云底分析的资料很少,北海地区以及英格兰以西的云底似乎太高。所以,把这些地区的云底高度修正到与少量可用的观测一致。用 IMI 分析的云的结果是,在海洋地区

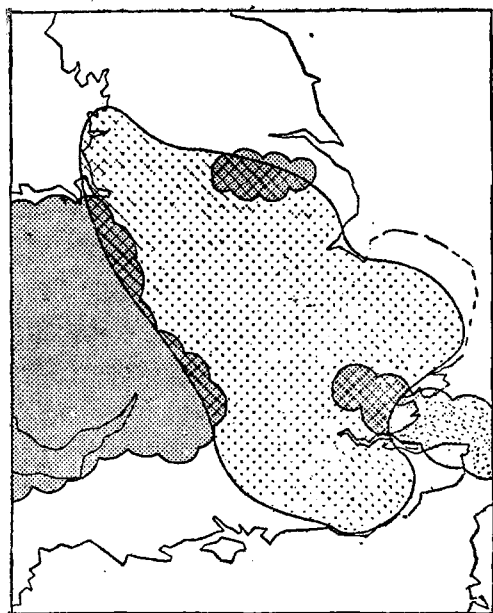


图 2 1988 年 11 月 6 日 06 UTC 实测的低云范围和雾的分布情况。黑点代表低云量大于 5 okta 的地区，方格代表能见度小于 1000 米的地区

的低云量远远多于 OI 的分析结果，这说明了在资料稀少的地区卫星图像的重要性。另外，除了威尔士和爱尔兰海（这些地区 IMI 分析的多云状况要多一些裂空）外，在英伦诸岛的大部分地区两种方法的分析结果基本相似。还有，IMI 分析的高云要少一些，爱尔兰的云顶要高一些。

IMI 的 18 小时预报表明威尔士有一片云区并正开始向英格兰扩展，但英格兰南部大部分地区无云，这与 06 UTC 实测的低云分布情况(图 2)相当一致。相反，OI 的预报则表明英格兰南部的大部分地区为低云，只是在英格兰南海岸和 Humberside 有明显的无云带，这与实际情况相去甚远。所以，使用卫星图像对 18 小时的低云预报具有非常大的作用。

对于能见度的预报就不象云预报那样出色了，IMI 没能预报出实测到的雾。但是，它预报英格兰南部大部分地区的能见度的量级为 4 公里，这比 OI 的预报有很大改进，OI 预报的能见度为 20 公里以上。能见度的

预报之所以得到改进，是因为 IMI 改进了对云的预报，并在能见度分析中气溶胶浓度的初始值较高。IMI 未能预报出雾可能是由于无法表达当晚该地区郊区大量篝火燃烧造成的气溶胶浓度的增加，并且忽略了 CCN 浓度(在预报中仅作为示踪物处理)与其它的模式参量之间的相互影响。

从预报的总体改进来看，也反映了在 IMI 方法中使用卫星图像的作用。尽管未能预报出实测的雾令人扫兴，但是，它作出的有关云的预报很好地指导了预报员对 6 日早晨雾分布情况的预报。

3. 锋面降水(1989 年 2 月 15 日)

雷达图像是目前唯一可用来表述锋面雨带内中尺度特性的资料。因此，由于在 IMI 方法中使用了雷达图像，对降水的分析要好于 OI 方法，然后再与云水和垂直速度初始化处理中的由卫星资料导出的三维云分析结果一起使用，就能得出并维持一个逼真的锋面结构。本个例研究对 IMI 在冷锋预报中的作用进行了考察分析。

1989 年 2 月 15 日，一个很活跃的冷锋由西北向东南移过英伦诸岛(图 3)。伴随着这条冷锋的是一个大雨区和一个非常明显的线对流带。该日午夜和中午中尺度模式预报

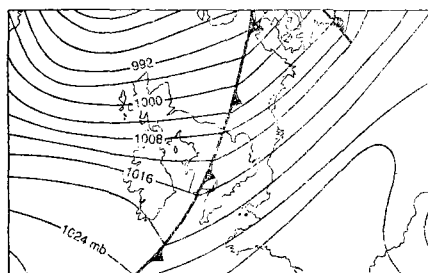


图 3 1989 年 2 月 15 日 12 UTC 的平均海平面气压的分析和锋

的锋面移动过快，锋面之后没有雨，而在英吉利海峡预报出一个并不存在的雨区，这远远地位于锋面之前。这样我们就决定，使用 06 UTC 时 IMI 和 OI 产生的两个初始场运行中尺度模式，06 UTC 正是锋面刚刚进入

雷达监测范围。

使用 IMI 方法时,降水分析中考虑了雷达资料,很好地表达了位于爱尔兰和英格兰北部的锋面情况。在北海地区没有雷达观测,其它观测也很稀少,对该锋面的表述很差。所以,在这一地区内,在 Meteosat 卫星图像中云顶温度低于 -20°C 的地方将降水率订正为 0.4 毫米/小时。在进行云量和云顶分析时也使用了卫星图像,在该气压型下对锋面的表达是很差的,所以在对观测值进行分析之前插入了一个槽,并且在整个分析过程中持续存在。把法国北部地区预报的假雾剔除掉。降水分析的结果表明,使用 IMI 预报的雨带要比 OI 预报的更为连续,预报的爱尔兰地区的主雨区比用 OI 预报的更为偏北,而爱尔兰南部和威尔士在 06 UTC 为无雨区。

12 UTC 的雷达图像表明,威尔士为大范围的中雨区,一条狭长的线对流带从 The Wash 延伸至布里斯托尔海峡。康沃尔地区有一些较小的雨区,在英格兰西南和中南为一小雨区,但这一小雨区在雷达图像中没有显示出来,但确实观测到了,图 4 为 12 UTC 时该雨区的情况。

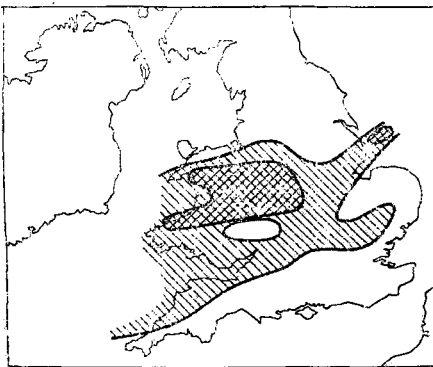


图 4 1989 年 2 月 15 日 12 UTC 根据地面观测得出的雨区,斜线代表小雨区,方格代表中雨或大雨区

用 OI 作的 6 小时预报表明,与线对流区几乎同时出现的还有一雨带,但过于宽,在东安吉利的降水也太多。它预报的主雨区

太偏南,位于英格兰西南部,实际上那儿只有小雨,威尔士大部分地区更是完全无雨。它预报在英吉利海峡有大范围的降水,英格兰南部和法国北部沿海也有一些雨。这一雨区没有得到实际观测和雷达资料的证实,看来是虚报的雨区。

IMI 预报的大雨区要比 OI 的窄,与线对流的实际位置很好一致。和 OI 预报一样,预报的主要中雨区太偏南了,但威尔士确实下了较多的雨。IMI 预报英格兰东南部无雨,这也和实际情况一致,再有,尽管 IMI 也虚报了英吉利海峡的雨区,但没有发展到象 OI 所预报的那样大的范围。随着预报时间伸延,OI 和 IMI 都持续预报有雨,但仍旧太偏南,并虚报了英吉利海峡的雨区。但 IMI 虚报的雨区比 OI 虚报的要发展得慢且范围小。另外,IMI 预报的对流带到预报结束时进一步稍稍北移,较好地表达了实际雨区的分布情况。

虽然 IMI 方法中使用了卫星和雷达资料并没有把预报误差全部消除,但确实改进了 OI 的预报,特别是在预报的初期阶段,对预报人员预报雨区起了很好的指导作用。对英吉利海峡雨区的虚报可能是边界条件的误差所造成。

五、结论和进一步的改进

本文中分析的 8 个天气个例表明,使用了 IMI 方法后,由于能考虑卫星和雷达图像,对中尺度模式预报具有积极的影响。

最明显的改进是在低云分布情况的预报方面,如个例 1 和 4 那样的静止形势下。这两个例子表明,云分析的改进对整个预报时段都具有影响。在象个例 3 那种比较多变的形势下,这种影响就不会持续很长时间了,明显的改进仅能维持在最初的 6~9 小时。在个例 8 中由于使用了较大的模式范围而出现了持续的影响,这支持了下述说法,即预报改进的时效有限是由于边界条件的影响。在个例 2 和 6 中,使用 IMI 方法对预报无任

何改进，在这两个例子中都没有预报出对天气有重要影响的小尺度特征。一种可能的解释是实测的小尺度特征没有得以恰当地进行初始化处理，这或者是由于缺少资料，或者是由于用来对高空场进行初始化处理的方法的缺陷所致。

为减少上述这些问题，未来的改进可能包括：增大模式范围、使用更多的概念模式以及使用其它可用的资料源。还要从更多的方面对 OI 和 IMI 的预报进行更深入的比较。

在本文所分析的所有天气个例中（使用 OI 初始化的）业务预报都是较差的，因此尚有较大的改进余地。为了更全面地评价使用 IMI 对预报的影响，还应该对那些 OI 预报很好的天气个例进行比较，以弄清 IMI 是否

能进一步改进预报，还是没有效果，甚至起了负作用。

在本文的评价中另一个事实是，所有进行的天气个例预报的比较都是研究性质的，不存在象一个中心预报台(CFO)的预报员所面临的各种压力和时间限制。在下一评价阶段，将采用这种方式来评价 IMI：把由 CFO 预报员使用 IMI 做的预报和使用 OI 做的预报进行比较。这将更好地了解业务上使用 IMI 方法的改进情况。

由于中尺度模式具有连续的同化周期，比较 IMI 和 OI 时采用一个以上的同化周期进行也将是有用的。

诚意译自 The Met. Mag. 1990, Vol. 119, No. 1420

曹 村 校