

上海区域要素客观预报方法效果检验

漆梁波¹ 曹晓岗¹ 夏立¹ 陈春红¹ 梁旭东²

(1. 上海中心气象台, 200030; 2. 上海台风研究所)

提 要: 数值模式的客观释用是数值模式在业务工作中发挥效能的重要环节。在对上海区域数值模式近 5 年的模式直接输出(DMO)进行检验的基础上,分别采用卡尔曼滤波释用(KLM)和最优化集成释用(OCF)的方法进行要素客观释用,总结出区域数值模式的预报性能,客观释用也取得令人鼓舞的结果:(1)近几年,上海区域数值模式的直接输出结果(DMO)对温度、湿度以及风向的预报改善不明显,甚至还有变差现象,风速的预报自 2005 年起有改善,但主要体现在预报的稳定性方面。(2)KLM 方法较 DMO 在温度、相对湿度和风速的预报上均有明显提高,但是风向的预报无明显提高,预报准确率甚至略有下降。(3)OCF 方法的预报性能较 KLM 方法略有提高。温度、相对湿度以及风向的预报准确率提高约 2%,风速预报与 KLM 方法相当。在春季和冬季,OCF 的预报水平已经与主观综合预报相当,如果主观综合预报能充分参考 OCF 的预报结果,主观综合预报“春季和冬季预报误差相对偏大”这一弱点能得到改善。检验结果能为数值模式的开发和调试者提供有益的参考,而最优化集成方法的成功业务尝试也佐证了集成预报在数值模式客观释用中的美好前景。

关键词: 区域数值模式 预报性能 客观释用 最优化集成

Verification of Weather Elements Objective Forecast in Shanghai Regional Meteorological Center

Qi Liangbo¹ Cao Xiaogang¹ Xia Li¹ Chen Chunhong¹ Liang Xudong¹

(1. Shanghai Meteorological Center, 200030; 2. Shanghai Typhoon Institute)

Abstract: Numerical model output's verification and interpretation are very important to model's development and maximum operational application. Shanghai Regional Meteorological Center (SRMC)'s regional numerical model has been in operation for nearly 10 years. Evaluation on its forecasting capabilities must be conducted for its scientific developing. On the other side, model output interpretation has been entering a new time of consensus theory. Applications of numerical

model output interpretation based on Kalman filter and optimal consensus forecast are introduced and verified in SRMC.

After detailed verification and comparison on Direct Model Output (DMO), Kalman filter interpretation (KLM), Optimal Consensus Forecast (OCF) for SRMC's regional numerical model, it is found that (1) For temperature, relative humidity and wind, the performance of SRMC's DMO does not show a trend of improvement, but a little declination, though it has had a more stable wind speed forecast since 2005. (2) The comparison of KLM and DMO shows that the forecast stability of KLM behaves much higher than that of DMO in temperature, relative humidity and wind speed. But its forecast on wind direction shows no advance with a slightly lower accuracy than DMO. (3) OCF performs better than KLM. For temperature, relative humidity and wind direction's accuracies, it shows an improvement of 2%. As to wind speed, though its accuracy is nearly equal to KLMs, it has a lower average error than the latter. In the spring and winter, the OCF stands at the same accuracy level with official forecast. With the guidance of OCF, the weakness of official forecast, "Which is error in the spring and winter than other seasons", can be mended. The verification results could be good references for numerical models development and transplantation. The success of OCF in SRMC's routine operation projects a bright prosperity for the application of consensus theory on numerical model objective interpretation.

Key Words: regional numerical model forecasting capabilities objective interpretation optimal consensus forecast

引 言

上海区域中尺度数值模式的发展已经经历将近 10 年时间,目前已经发展到第 5 代^[1-3]。在此期间,该模式在很多方面都在不断调整,例如模式的内核从 MM4 到 MM5V2,再到 MM5V3,资料同化方案从无同化方案到加入三维变分同化方案,模式网格的大小从 75km 到 45km,再到 15km 等等。2001 年开始,上海区域中尺度数值模式的内核开始采用 MM5V3,到目前,已经持续使用了约 6 年时间。在这段时间中,国内各个省级甚至市级气象部门也纷纷引进 MM5V3,并在经过调试之后投入业务使用^[4-7]。对这些模式的业务结果进行短期检验的工作有一些^[3,4,7],但持续时间较长的跟踪检验就比较少见之于文献。对上海区域中

尺度数值模式在 2002—2006 年的预报检验(主要是温度、湿度和风)作一总结,以评估过去 5 年 MM5V3 在业务使用中的预报能力优劣,进而可以为模式的引进和调试提供一些参考。另外,数值模式的客观释用是数值模式在业务工作中发挥效能的重要环节。实践表明,要素释用预报的质量比模式直接输出要明显提高^[4,8-9]。传统的释用方法为 MOS 方法和 PP 法,近年来,卡尔曼滤波方法和神经网络等方法也应用到数值模式的客观释用中^[4,10-11]。但是,随着模式发展和更替速度的加快,以多样本统计为基础的释用方法很难维系和保持稳定预报。多种模式或多种预报方法的综合集成是国际上的发展潮流^[12-13]。多模式或多种预报方法的综合集成既能综合各预报结果的优势,又不会因为其中一个或两个结果的性能变化而导致最终的综合结果发生大的变动。国内相关的工作也

已经起步,并都取得了较理想的结果^[14-15]。对模式直接输出(Direct Model Output,以下简称DMO)、模式输出统计(Model Output Statistics,以下简称MOS)、卡尔曼滤波方法(Kalman filter,以下简称KLM)和最优化集成方法(Optimal Consensus Forecast,以下简称OCF)等各方法的预报结果进行比较发现:尽管该OCF方法的集成成员只限于上海区域数值模式的各类衍生结果(DMO、MOS和KLM),但12个月的对比检验表明:OCF方法具有更高的预报准确率和预报稳定性,这一方法的理念也是今后进行模式解释应用的必由之路。

以下将分为4个小节:首先介绍模式直接输出(DMO)在2002—2006年的预报绝对误差评价;然后介绍卡尔曼滤波(KLM)释用结果与DMO在2005年的预报比较;第3小节将介绍最优化集成方法(OCF)的基本原理以及其在2006年的应用情况;最后是结论和讨论。

1 2002—2006年上海区域数值模式的DMO检验

1.1 资料说明

1.1.1 数值模式的站点资料

对DMO(2002—2006年)、KLM(2005年)和OCF(2006年)进行的检验,如无特别说明,检验的预报站点包括上海区域的96个站点,其中山东省14个站、安徽省15个站、江西省14个站、福建省16个站、江苏省12个站、浙江省14个站、上海市11个站,之所以选择上述站点,是因为上述站点对外发报日最低气温和日最高气温(上海地区的11个站则由上海市自动气象站网的数据库得到),便于检验。检验的预报时效:区域数值模式每天20时(北京时间,下同)开始预报,由于2004年以前,区域数值模式的预报时效只有

48小时,所以对DMO(2002—2006年)检验时,都只考虑12~24小时、24~36小时以及36~48小时等3个预报时效的平均绝对误差检验;对KLM和OCF的检验则考虑了12~24小时、24~36小时、36~48小时、48~60小时以及60~72小时共5个预报时效的预报检验(与同时期的DMO做比较时,DMO的预报时效也与KLM及OCF相同)。DMO的各预报量分别为逐日最高/最低温度(从模式输出结果的2m温度中读出)、最高/最低相对湿度(从模式输出结果的2m相对湿度中读出)、白天最大平均风向风速/夜间最大平均风向风速(从模式输出结果的10m风向风速中读出)。

1.1.2 实况资料的获取

逐日最高/最低温度可以从报文中直接读取。逐日的最高/最低相对湿度则利用各站每天4次观测(02时、08时、14时、20时)的温度和露点计算得出:计算相对湿度时,其中夜间最高湿度采用当日20时和次日02时计算出来的相对湿度中的较大值加上5%,白天最低湿度采用当日08时和当日14时计算出来的相对湿度中的较小值减去5%。同样,当日08时和当日14时中取风速较大者表示白天最大平均风速,并读取相对应的风向,当日20时和次日02时中取风速较大者表示夜间最大平均风速,并读取相对应的风向。

1.1.3 预报准确率的定义

温度预报以绝对误差小于或等于2℃算准确,湿度预报以绝对误差小于10%算准确,风速误差以绝对误差小于 $2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 算准确,风向误差以绝对误差小于 22.5° 算准确。上海区域总共检验96个站,每次预报准确的总站数除以96,得到各要素的预报准确率。

1.2 检验结果分析

1.2.1 温度的检验

图1是2002—2006年上海区域DMO在

各季节的温度预报平均绝对误差(12~48 小时预报时效内的 3 次预报绝对误差平均),季节的划分以 3—5 月为春季,6—8 月为夏季,9—11 月为秋季,12 月至次年 2 月为冬季,以下同。从 5 年的总体看,春季和冬季的预报绝对误差较大,平均值为 2.3℃左右,其他季节的预报绝对误差要小一些,大体在 2.1℃左右。预报准确率的检验上也有同样的特征(见图 2),春季和冬季的准确率要低一些,平均在 51%~52%,夏季和秋季的准确率要高一些,平均在 56%~57%。刘还珠等^[8]在对 2002 年 7 月至 2003 年 1 月全国台站温度释用的检验也得到过类似结果,即:春季和冬季的平均绝对误差要大于夏季和秋季(注:由于检验的时间较短,刘还珠的检验结果仅限于“冬季误差大于夏季误差”)。从图 1 和图 2 不难看出,5 年间,尽管区域数值模式做过不少变动,但在逐年的预报结果中,这一特征都有体现。这说明春季和冬季的温度预报绝对误差大,主要是由于预报对象本身的分布特征所致,即由于春季和冬季的温度变化幅度比较大,预报的难度相对要大一些而造成的。

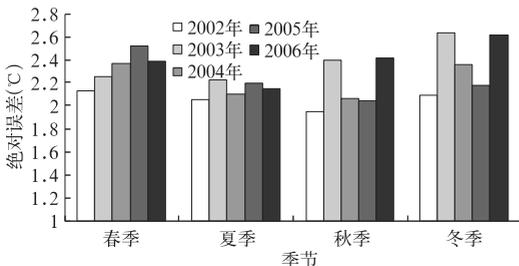


图 1 上海区域近 5 年的 DMO 温度预报平均绝对误差的演变

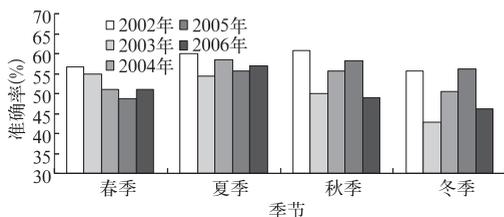


图 2 上海区域近 5 年的 DMO 温度预报平均准确率的演变

从逐年的比较看,2002 年的平均预报绝对误差最小,约为 2.06℃,预报准确率最高,达到 58.4%,2003 年和 2006 年的平均预报绝对误差最大,约为 2.38℃,预报准确率约为 51%。其他年份的预报绝对误差处在上述两年间。2004 年和 2005 年的平均预报绝对误差相当,均为 2.23℃,预报准确率也都在 55%左右。上述各年的平均绝对误差值是涵盖了一年四季和上海区域 96 个站的平均值,因而,可以认为各年平均绝对误差值的大小能反映各年区域数值模式的要素预报性能好坏。从这点意义上讲,上海区域数值模式近 5 年的温度预报性能没有明显提高,始终维持在同一水平上,甚至还略有下降。

1.2.2 其他气象要素的检验

其他气象要素的预报检验见表 1。从表 1 可知,相对湿度的预报绝对误差与温度有相同的特征:2002 年最好,平均绝对误差为 9.2%,预报准确率达到 62.7%,2003 年和 2006 年最差,预报准确率为 52%~53%,其他年份的准确率介于两者之间。风速预报的平均绝对误差除 2003 年为 $2.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 稍差一些外(预报准确率为 34.7%),其余各年都在 $2.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,误差大体相当。值得注意的是 2005 年和 2006 年的风速预报检验,其平均绝对预报误差和前几年差别不大,但准确率有明显的提高,分别达到 51.1% 和 62.3%,较 2003 年分别提高约 17% 和 28%,这表明 2005 年起,风速预报的稳定性有明显提高。究其原因,可能有两点,第一,2005 年起,区域数值模式的初始场比较多地采用了 NCEP/AVN 分析或预报场,而在此之前,区域模式的初始场比较多地采用国家气象中心下发的 T213 分析场。NCEP/AVN 的分析或预报场的稳定性和合理性在很多情况下都是优于 T213 分析场的。第二,2005 年起,区域数值模式采用了 3DVAR 变分同化技术,开始同化常规及加密的观测资料。初始场的

稳定和变分同化技术的应用使得模式的气压场和高度场预报性能得到提高,进而在风速预报的稳定性上得到体现。不过,上述提高

没有在风向的预报中得到体现,风向的预报绝对误差在 $46^{\circ}\sim 51^{\circ}$ 之间,准确率在 40% 左右(2003 年最差,准确率为 36.3%)。

表 1 DMO 的温度、相对湿度以及风的预报绝对误差和准确率比较(2002—2006 年)

| 要素 | 评价参数 | 2002 年 | 2003 年 | 2004 年 | 2005 年 | 2006 年 |
|------|------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 温度 | 绝对误差/ $^{\circ}\text{C}$ | 2.06 | 2.38 | 2.23 | 2.23 | 2.39 |
| | 准确率/% | 58.4 | 50.6 | 54.0 | 54.8 | 50.9 |
| 相对湿度 | 绝对误差/% | 9.2 | 11.5 | 10.8 | 10.9 | 11.6 |
| | 准确率/% | 62.7 | 52.0 | 54.4 | 55.0 | 52.9 |
| 风速 | 绝对误差/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ | 2.2 | 2.4 | 2.2 | 2.2 | 2.1 |
| | 准确率/% | 41.8 | 34.7 | 39.0 | 51.1 | 62.3 |
| 风向 | 绝对误差/ $^{\circ}\text{C}$ | 48 | 51 | 46 | 49 | 49 |
| | 准确率/% | 41.7 | 36.3 | 41.7 | 39.2 | 37.2 |

总体看,近几年,上海区域数值模式对温度、湿度以及风向的预报改善不明显,甚至还有变差(2002 年的预报效果最好),对风速的预报有改善,但主要体现在预报的稳定性方面(平均绝对误差没有改善,预报准确率有明显提高)。区域数值模式的业务化程度低,模式的调试和升级工作比较随意是导致出现上述结果的可能原因,这一点值得从事区域数值模式业务化工作的气象人员高度重视。

2 KLM 与 DMO 的比较

2004 年 9 月开始,基于上海区域数值模式的卡尔曼滤波要素释用方法(KLM)投入业务使用。以下将分别介绍 KLM 的设计以及 2005 年中 KLM 与 DMO 的预报检验和比较。

2.1 KLM 方法的设计

卡尔曼滤波方法的相关文献有很多^[4,10,16-17],在此不赘述。以下只简要介绍上海区域数值模式的卡尔曼滤波要素释用方法的基本技术路线:(1)先利用约半年(2004 年 2—7 月)的区域数值模式预报产品样本和

对应时段的实况资料,针对不同的预报对象,分别用多元逐步回归的方法建立 MOS 预报方程。样本长度约 180 个,预报因子选 3~8 个不等,分 5 个预报时段(12~24 小时、24~36 小时、...、60~72 小时),每个预报时段有 4 个预报对象(温度、相对湿度、风向、风速)。(2)依据预报样本和 MOS 方程计算卡尔曼滤波参数。(3)从 2004 年 9 月开始,进行卡尔曼滤波释用预报。

需要说明的是,由于风向和风速是不连续的变量,并不适合用卡尔曼滤波来进行预报,因此未对风向和风速采用卡尔曼滤波,最后的输出结果采用了 MOS 预报方程的结果。

2.2 2005 年的预报检验

表 2 是 2005 年 KLM 与 DMO 的预报绝对误差比较。从表中可知,KLM 方法较 DMO 在温度、相对湿度和风速的预报上均有提高。从年平均看,5 个预报时段的温度预报绝对误差为 2.0°C ,小于 DMO 的 2.3°C ,准确率提高到 60.8%,相对湿度的准确率提高约 8%,风速的准确率有大幅提高,达到 70.4%,平均绝对误差仅为 $1.3\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

但是风向的预报无明显提高,预报准确率甚至略有下降,这与风向变化的不连续性及随机性有关,而且设计的 KLM 方法中(实际上对风向和风速而言,只是 MOS 方法),由于

样本数量有限(约 180 个),对风向的 MOS 方程未作更细致的分类(类似范淦清和陈豫英等的工作^[18-19]),将其和温度、相对湿度等一并处理,结果未改善也不出意料。

表 2 2005 年 KLM 与 DMO 的预报绝对误差和准确率比较

| 要素 | 评价参数 | 方法 | 12~24h | 24~36h | 36~48h | 48~60h | 60~72h | 平均值 |
|------|---------------------------------|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 温度 | 绝对误差(°C)/准确率(%) | DMO | 2.2/55.3 | 1.9/60.7 | 2.6/48.4 | 2.0/58.2 | 2.8/43.4 | 2.3/53.2 |
| | | KLM | 1.7/66.0 | 1.6/71.4 | 2.2/54.8 | 1.7/65.8 | 2.6/46.0 | 2.0/60.8 |
| 相对湿度 | 绝对误差(%) /准确率(%) | DMO | 12/48.8 | 8/71.3 | 13/44.9 | 8/69.3 | 14/42.8 | 11/55.4 |
| | | KLM | 9/63.6 | 7/76.0 | 11/54.8 | 7/71.0 | 12/50.2 | 9/63.1 |
| 风速 | 绝对误差(m·s ⁻¹)/准确率(%) | DMO | 2.1/54.9 | 2.4/45.1 | 2.2/53.3 | 2.4/45.7 | 2.2/53.1 | 2.2/50.4 |
| | | KLM | 1.3/70.7 | 1.2/74.5 | 1.4/67.9 | 1.2/72.9 | 1.4/65.9 | 1.3/70.4 |
| 风向 | 绝对误差(°)/准确率(%) | DMO | 47/41.1 | 50/37.6 | 49/38.8 | 52/36.1 | 52/36.3 | 50/38.0 |
| | | KLM | 46/39.8 | 49/37.3 | 49/36.9 | 51/35.8 | 52/34.5 | 49/36.8 |

从各预报时段的比较看,DMO 的预报绝对误差有明显的日变化,其温度和湿度的预报绝对误差均是夜间(24~36 小时和 48~60 小时)比白天小(12~24 小时,36~48 小时和 60~72 小时)。例如,温度在 48~60 小时时段的平均绝对误差是 2.0°C,远小于预报时效更短的 36~48 小时时段的 2.6°C。这一点,在赵声蓉的工作中也有提及^[14],主要是由于温度和相对湿度在夜间的变化幅度要小于白天。但风速的预报绝对误差分布特征则是相反的特征(夜间误差大于白天),仔细比较 DMO 的风速与实测的风速,发现 DMO 对风速的预报在大多数情况下是偏大的,这种预报偏大的趋势在夜间尤为明显(夜间实测风速一般都很小,DMO 风速的日变化比较小,所以导致夜间的预报偏大尤其明显),夜间风速减小的主要原因是因为低层的湍流交换较白天明显要弱,上述结果似乎说明区域数值模式的湍流参数化方案对湍流交换的日变化模拟较差,模式的调试者今后在这方面还需要引起重视。

KLM 对 DMO 的改善程度随着预报时效的延长而逐渐变差,比如,温度的预报准确率,在 12~24 小时时段,KLM 较 DMO 提高

约 11%,到了 60~72 小时,KLM 仅比 DMO 高约 2%,湿度的预报也有类似的特点。风速预报方面,预报准确率随预报时效的延长而变差的趋势要弱一些,此外,KLM 改善了 DMO 夜间预报绝对误差偏大的弱点,夜间(24~36 小时和 48~60 小时)的预报准确率有大幅提高,在 72%~75%之间,这说明风速的这种日变化规律是比较容易被统计模型所识辨和模拟的。风向预报方面,KLM 在各预报时段对 DMO 均无明显改善,而且预报的稳定性较 DMO 还要差一些(KLM 的预报准确率普遍要略低于 DMO),这说明简单的统计模型是较难识辨和模拟风向变化的。

3 OCF 的应用和检验

随着模式发展和更替速度的加快,以多样本统计为基础的释用方法很难维系和保持稳定预报,特别是在数值模式业务化不规范的我国广大省级气象部门。第 1 节的 DMO 检验结果也从一个侧面反映我国区域数值模式发展的不稳定性。多种模式或多种预报方法的综合集成是国际上的发展潮流^[12-13]。多

模式或多种预报方法的综合集成既能综合各预报结果的优势,又不会因为其中一个或两个结果的性能变化而导致最终的综合结果发生大的变动。完全基于区域数值模式产品的最优化集成方法(Optimal Consensus Forecast, OCF)也于2006年在上海区域气象中心投入使用,经过12个月的对比检验,表明OCF方法具有更高的预报准确率和预报稳定性,以下将介绍OCF方法的基本原理和2006年的检验结果。

3.1 OCF方法介绍

首先确定集成成员。选定DMO、设计KLM方法时建立的MOS(见2.1的介绍)、KLM等3个预报方法的预报结果作为集成成员。集成方法参考Woodcock的工作^[12],分为2步。首先对各集成成员的预报结果进行预报偏差校正:(1)计算出各集成成员在过去30天中的平均预报相对误差。(2)根据平均预报相对误差,对将各集成成员的预报结果进行系统偏差校正。

然后对各集成成员的预报结果进行绝对误差权重平均:(1)计算出各集成成员在过去30天中的平均预报绝对误差。(2)根据平均预报绝对误差的大小,取相应的权重系数对各集成成员进行加权平均,平均预报绝对误差越大的成员,权重系数越小。权重系数的计算见公式(1),其中*i*表示某一成员,*n*表示成员总数,*E*表示某一成员的平均预报绝对误差,*W*表示权重。

$$W_i = E_{i-1} / (E_{1-1} + E_{2-1} + \dots + E_{n-1}) \quad (1)$$

值得特别指出的是风向的集成过程。由于风向变化的不连续性和随机性,上述“偏差校正+权重平均”的集成方法不适合风向,实际操作中也无法取得满意的结果。因此采用了“择优集成方法”,具体计算时,集成结果是选择过去30天平均预报绝对误差最小的集

成成员。

3.2 2006年的预报检验

3.2.1 区域检验

表3是2006年DMO、KLM以及OCF方法在上海区域96个站的平均绝对误差(12~72小时)对比显示表。从表中可以看出,OCF方法的预报性能较KLM方法略有提高。温度预报方面,平均绝对误差减小约0.1℃,准确率提高约2%,夏季的预报准确率能达到71.2%。相对湿度的准确率提高也在2%左右。风速预报方面,平均绝对误差略有减小,但是预报准确率在春季和秋季有所下降(约1%),夏季和冬季的准确率则略有提高,平均看,OCF与KLM的预报准确率相当。仔细比较OCF、KLM、DMO的风速预报以及实况的风速,发现OCF的风速预报较KLM要略偏大一些,对风速较大(大于等于12m·s⁻¹)的风速预报要准确一些,但实况风速较小时,有时容易预报偏大,特别是在春季和秋季,这就是导致OCF的平均绝对误差变小了一点,但预报准确率在春季和秋季略有下降的原因。从前文2.2的分析中可知,DMO对风速的预报在大多数情况下是偏大的,经过集成,这种特点也或多或少地在集成结果中得到体现。在集成成员比较少的情况下,如果某个成员的预报性能明显差于其他成员,在进行集成之后,可能导致集成效果不理想(差于其他某个单独集成成员的预报结果),赵声蓉的工作也发现类似的结果^[14],这是值得今后继续改进的地方。风向预报方面,采用前文提到的择优集成之后,OCF的平均预报绝对误差和预报准确率均较KLM有小幅改善,春季和秋季的预报准确率在37%左右,夏季的准确率较KLM提高约3%,总体看,与DMO比较,预报改善不令人满意,还需要做更细致的工作。

表 3 2006 年 DMO、KLM 以及 OCF 方法在上海区域的要素预报性能对比

| 要素 | 评价参数 | 预报方法 | 春季 | 夏季 | 秋季 | 冬季 |
|------|---|------|----------|----------|----------|----------|
| 温度 | 绝对误差(°C)/准确率(%) | DMO | 2.5/49.6 | 2.2/56.6 | 2.5/47.8 | 2.8/44.3 |
| | | KLM | 2.1/58.9 | 1.6/69.2 | 1.8/65.9 | 1.9/62.8 |
| | | OCF | 2.0/60.2 | 1.5/71.2 | 1.7/67.9 | 1.8/65.0 |
| 相对湿度 | 绝对误差(%) /准确率(%) | DMO | 13/49.4 | 9/64.5 | 12/52.4 | 13/51.0 |
| | | KLM | 10/62.2 | 7/72.8 | 9/67.3 | 10/61.7 |
| | | OCF | 9/63.2 | 7/74.7 | 8/70.0 | 10/63.2 |
| 风速 | 绝对误差($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)/准确率(%) | DMO | 2.3/51.1 | 1.9/59.9 | 2.0/55.2 | 2.1/63.7 |
| | | KLM | 1.5/70.8 | 1.4/73.3 | 1.2/79.1 | 1.1/89.6 |
| | | OCF | 1.3/70.0 | 1.1/74.8 | 1.1/77.2 | 1.1/90.5 |
| 风向 | 绝对误差(°)/准确率(%) | DMO | 53/36.0 | 51/35.5 | 52/35.3 | 51/36.3 |
| | | KLM | 52/35.5 | 53/33.2 | 51/35.5 | 50/34.9 |
| | | OCF | 51/36.6 | 51/35.9 | 50/36.9 | 51/35.4 |

图 3 显示的是不同预报时效内,DMO、KLM、OCF 方法在上海区域 96 个站的温度预报平均绝对误差(2006 年)。从图中可知,在各个预报时效内,OCF 均较 KLM 有不同程度的改善,其他要素预报也有类似的特征(图略)。此外,从图 3 中也容易看出,温度预报在夜间的改善要幅度大一些(24~36 小时和 48~60 小时)。OCF 在 24~36 小时时段平均预报绝对误差(第 2 天的最低温度预报绝对误差)仅为 1.3°C,60~72 小时时段的平均预报绝对误差(第 3 天的最高温度预报绝对误差)也只有 2.3°C。

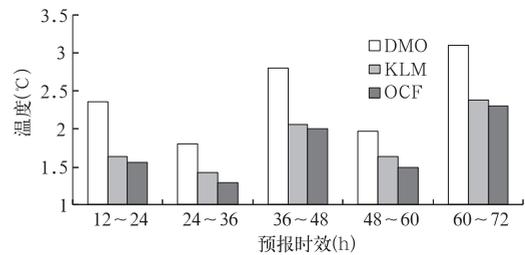


图 3 不同预报时效内,DMO、KLM、OCF 方法在上海区域的温度预报平均绝对误差(2006 年)

3.2.2 与主观综合预报的对比检验

表 4 是 2006 年,OCF 与同时次的主观综合预报(即官方预报,以下简称 OFFICIAL)在

表 4 OCF 与 OFFICIAL 在上海徐家汇站的温度预报对比(2006 年)

| | 方法 | 12~24h | 24~36h | 36~48h | 48~60h | 60~72h | 平均值 |
|----|----------|--------|--------|--------|--------|--------|------|
| 春季 | OCF | 1.62 | 1.29 | 2.06 | 1.62 | 2.67 | 1.85 |
| | OFFICIAL | 1.66 | 1.29 | 2.02 | 1.71 | 2.58 | 1.85 |
| 夏季 | OCF | 1.46 | 1.22 | 1.90 | 1.37 | 2.10 | 1.61 |
| | OFFICIAL | 1.21 | 0.97 | 1.52 | 1.04 | 1.61 | 1.27 |
| 秋季 | OCF | 1.24 | 1.30 | 2.10 | 1.62 | 2.39 | 1.73 |
| | OFFICIAL | 1.17 | 1.03 | 1.27 | 1.25 | 1.59 | 1.26 |
| 冬季 | OCF | 1.27 | 1.37 | 2.1 | 1.21 | 2.14 | 1.62 |
| | OFFICIAL | 1.24 | 1.30 | 1.62 | 1.50 | 2.12 | 1.56 |

上海城区(徐家汇气象站)的温度预报对比检验表。由于 OFFICIAL 只对外发布整数的温度预报值,在进行比较之前,已经将 OCF 的预报结果转换成了整数。从表中可以看

出,OFFICIAL 也是夏秋季的预报绝对误差小于春季和冬季,夏季和秋季的平均绝对误差为 1.26~1.27°C,远小于春季的 1.85°C 和冬季的 1.62°C。

OCF的平均预报绝对误差在夏季和秋季仍明显大于OFFICIAL,平均值为1.6~1.7℃,第2天最低温度(24~36小时时段)的平均预报绝对误差为1.2~1.3℃,第3天最高温度(60~72小时时段)的预报绝对误差分别在2.1和2.4℃。但是在春季和冬季,尽管OCF的预报绝对误差也变大,其变大的幅度相对OFFICIAL而言要小一些,使得OCF与OFFICIAL的预报绝对误差相当,两者的平均值非常接近(春季都是1.85℃,冬季在1.6℃左右)。从各个预报时效看,OCF与OFFICIAL的平均预报绝对误差也都是相当的,可以认为,OCF的预报水平在春季和冬季已经与OFFICIAL相当。如果主观综合预报能充分参考OCF的预报结果,相信OFFICIAL的“春季和冬季预报误差相对偏大”这一弱点能得到改善。而在夏季和秋季,OCF的参考作用会弱化一些,但是,“平均预报绝对误差为1.6~1.7℃”(5个预报时效的平均值)的预报性能也已经具备相当强的参考价值了。

4 结论和讨论

(1) 总体看,近几年,上海区域数值模式的直接输出结果(DMO)对温度、湿度以及风向的预报改善不明显,甚至还有变差,区域数值模式的业务化程度低,模式的调试和升级工作比较随意是导致出现上述结果的可能原因,这一点值得从事区域数值模式业务化工作的气象人员高度重视。

(2) KLM方法较DMO在温度、相对湿度和风速的预报上均有提高。温度准确率提高到60.8%,相对湿度的准确率提高约8%,风速的准确率有大幅提高,达到70.4%。风向预报方面,KLM在各预报时段对DMO均无明显改善,而且预报的稳定性较DMO还要差一些,这说明简单的统计模型较难识辨

和模拟风向的变化。

(3) OCF方法的预报性能较KLM方法略有提高。温度和相对湿度的预报准确率提高约2%,风速预报方面改善不明显,这主要是由于集成成员DMO的风速预报性能较其他集成成员(MOS和KLM)明显差,导致集成效果改善不理想,这是值得今后继续改进的地方。风向预报方面,OCF的平均预报绝对误差和预报准确率均有约2%~3%的提高,与DMO的结果相当。与主观综合预报做比较发现:在春季和冬季,OCF的温度预报水平已经与主观综合预报相当,如果主观综合预报能充分参考OCF的预报结果,主观综合预报“春季和冬季预报误差相对偏大”这一弱点能得到改善。而在夏季和秋季,OCF的参考作用会弱化一些。

多种模式或多种预报方法的综合集成是国际上的发展潮流,也是未来进行数值模式产品释用的必由之路。基于上海区域数值模式的最优化集成方法,取得了令人鼓舞的结果。但是,还存在以下两点不足:(1) 集成成员偏少,而且都源自一个数值模式,各成员的独立性较差,这也就决定了最后的集成效果无法有明显的改善,今后的工作中要多增加集成成员,选取多个数值模式或多种客观预报方法的预报结果。(2) 集成的方法还需要深入研究和改进。例如,本工作在对各集成成员的系统预报偏差进行校正时,对每个预报站点和预报时段选定的时间平滑窗都是过去30天,而Frank Woodcock的研究表明^[12],对不同站点和不同预报时间段,最合适的时间平滑窗可能是变化的,30天并非对每个站点和预报时段都是最佳的,今后在这方面还需要再做更多的工作。

参考文献

- [1] 殷鹤宝,顾建峰,雷小途. 上海区域气象中心业务数值预报新系统及其运行结果初步分析[J]. 应用气

- 象学报,1997,8(3):358-367.
- [2] 顾建峰,殷鹤宝,徐一鸣,等. MM5 在上海区域气象中心数值预报中的改进和应用[J]. 应用气象学报,2000,11(2):189-198.
- [3] 马雷鸣,梁旭东,端义宏,等. 华东地区降水及气温的数值预报研究[J]. 气象学报,2002,60(增刊):142-149.
- [4] 王迎春,刘凤辉,张小玲,等. 北京地区中尺度非静力数值预报产品释用技术研究[J]. 应用气象学报,2002,13(3):312-321.
- [5] 张铁军,王遂缠,王锡稳,等. 兰州有限区域中尺度数值模式业务系统及应用[J]. 干旱气象,2005,23(3):79-84.
- [6] 冀春晓,叶子祥,吴孟春. 温州中尺度数值模式区域实时预报系统及其应用[J]. 浙江气象,2003,24(4):7-11.
- [7] 周小珊,杨森,陈力强. 沈阳区域气象中心中尺度数值预报业务系统的改进与拓展[J]. 气象科技,2003,31(5):262-267.
- [8] 刘还珠,赵声蓉,陆志善,等. 国家气象中心气象要素的客观预报—MOS 系统[J]. 应用气象学报,2004,15(2):181-191.
- [9] 陈力强,韩秀君,张立祥. 基于 MM5 模式的站点降水预报释用方法研究[J]. 气象科技,2003,31(5):268-272.
- [10] 黄嘉佑,谢庄. 卡尔曼滤波在天气预报中的应用[J]. 气象,1993,19(4):3-7.
- [11] 金龙,林熙,金健,等. 模块化模糊神经网络的数值预报产品释用预报研究[J]. 气象学报,2003,61(1):78-84.
- [12] Frank Woodcock, Chermelle Engel. Operational Consensus Forecast[J]. Weather and Forecasting, 2005, 20: 101-111.
- [13] Jeffery A. Baars, Clifford F. Mass. Performance of National Weather Service Forecasts Compared to Operational, Consensus, and Weighted Model Output Statistics[J]. Weather and Forecasting, 2005, 20: 1034-1047.
- [14] 赵声蓉. 多模式温度集成预报[J]. 应用气象学报,2006,17(1):52-58.
- [15] 周兵,赵翠光,赵声蓉. 多模式集合预报技术及其分析与检验[J]. 应用气象学报,2006,17(增刊):104-109.
- [16] 陆如华,徐传玉,张玲,等. 卡尔曼滤波的初值计算方法及其应用[J]. 应用气象学报,1997,8(1):34-43.
- [17] 穆海振,徐家良. 卡尔曼滤波方法在动力延伸预报产品释用中的应用[J]. 气象,2000,26(7):20-23.
- [18] 范淦清. 风预报的数值产品释用研究[J]. 气象,1995,21(10):47-50.
- [19] 陈豫英,陈晓光,马金仁,等. 风的精细化 MOS 预报方法研究[J]. 气象科学,2006,26(2):210-216.