

有限区域短期数值 预报业务系统简介

茅卫平 马华平 郭卫东 李振军

(空军气象中心, 北京 100843)

提 要

简要介绍了空军气象中心投入业务使用的《空军有限区域短期数值预报业务系统》的概况、采用的主要技术, 检验评分结果, 最后给出了天气学个例检验结果。

关键词: 有限区域 数值预报 业务系统 检验结果 个例分析

1 系统概况

该系统在“华北区域短期数值预报业务系统”的基础上, 从1993年6月开始研制, 到1994年2月完成了整个系统的建设。“空军有限区域短期数值预报业务系统”由原始资料的网络传输和格式转换、资料的质量控制、多元最优插值客观分析、有限区域隐式非线性正规模式初值化、模式计算、预报结果后处理、诊断分析、预报效果检验评分、图形显示输出等9项功能模块组成(见图1)。系统采用MM4模式, 经过改进和完善, 在SGI工作站上建立了一套比较完整的业务系统, 目前预报水平范围为 $7200 \times 6000 \text{ km}^2$, 覆盖中国及周边国家和地区, 网格距为120km, 垂直分层为15层, 采用高分辨边界层和海绵侧边

界条件, 运行时间为130分钟左右。系统自1994年3月投入业务试运行, 7月投入业务运行以来, 运行稳定可靠, 自动化程度高, 每天作两次(08、20北京时)24小时预报, 出图率为100%, 对特殊保障任务, 可制作36、48小时预报, 预报效果较好, 形成了自动化业务保障流程。

2 系统采用的主要技术

2.1 资料的质量控制

对资料的质量控制, 我们采用了极值检查、垂直内插一致性检查和水平一致性检查等方法。这里主要介绍水平一致性检查。

水平一致性检查是检错过程中最有效、最关键的部分。为了求得精确的插值, 我们采用曲面拟合与最优插值相结合的方法, 以500km为基本扫描半径, 进行一次曲面拟合和两次最优插值求得测站的估值。收集距被检查测站最近的8个测站的观测余差, 并与被检查的观测余差相减, 除以预报误差标准差, 即归一化处理, 再与检查判据比较。

由于采用曲面拟合与最优插值相结合的方法, 保证了测站的观测余差相对于一般内插得的观测余差的精确性, 同时采用归一化的观测余差相关判据判别与观测余差极值判

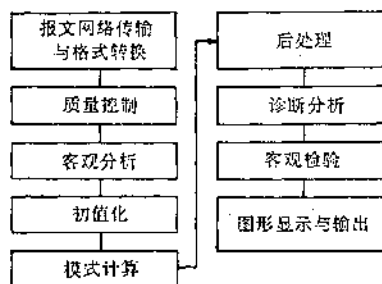


图1 系统流程图

别相结合,使得水平一致性检查的效果更好,有效地剔除了一些影响数值预报质量的错报。

2.2 最优插值方案

本方案在质量控制的基础上,对地面和空中 925—100hPa 各标准层等压面的基本物理量进行分析。地面物理量场和空中相对湿度采用二维单变量最优插值方案;对高度场、温度场、 u 、 v 场采用多元最优插值方案。插值范围以 39°N 、 100°E 为中心,格距 120km,格点空间为 63×53 ,地面共选 826 个测站,高空选 472 个测站。采用随机扫描来确定每一格点所带的测站。以 700km 为扫描半径,求出该范围内的测站数、测站坐标,按距离远近排序,作为格点插值所带测站的信息。插值时以距离、方位为依据。单变量最优插值选取距格点最近的最多 8 个测站参加曲面拟合;多元最优插值选取距格点最近的本层 5 个测站和距本层最近的两层上各两个测站参加插值。若 700km 范围内缺报严重,少于 5 个站时,则增大扫描半径,直至扫描范围内的站数在 5 个以上。这种灵活的搜索方式使得计算量减少,且参加插值的测站数始终保持在 5—9 个,同时考虑距离和方向性,保证了插值的精度,也保证了在缺报严重的情况下以及台站稀少地区的计算稳定性。

2.3 隐式非线性正规模方案

非线性正规模初值化方法基本思想是对初值中的高频重力波进行调整,使得调整后初始时刻的重力波分量的时间倾向为零,从而有效地抑制了由于初值不平衡,造成在积分初期出现的大振幅高频振荡。本方案根据 Leich、Bourker 和薛纪善等人的思想,对有限区域初值化处理开展了一些工作,在迭代过程中,采用了逐渐收敛的思想,取得了明显的效果。

2.4 后处理插值技术

后处理插值技术主要参考了欧洲中期数值预报中心(ECMWF)后处理插值技术,采

用线性内插与二次内插相结合,以及考虑地形的外插方案,经插值和计算得到各标准层的位势高度、温度、比湿、 u 、 v 分量和海平面气压场;对降水进行边界处理;对各基本物理量进行扩延插值处理。本系统对逐 6 小时输出结果进行插值处理,并将结果自动存入实时预报场库中。

2.5 检验评分

客观检验评分在数值预报业务中有着相当重要的地位,它既可以客观定量地反映分析预报水平,又可以通过检验结果发现现行分析和预报模式运行中存在的问题,为改进业务系统的性能提供可靠的依据。本系统采用常规的客观评分方法进行统计检验,同时还设计了一种较客观的降水评分检验方法。

2.5.1 检验内容

①检验资料:以每天 08、20 时的客观分析资料作为实况场,检验相应的预报结果。

②检验时效:12、24 小时预报。

③检验要素:位势高度、风、温度、海平面气压。

④检验区域:预报区域内缩三圈。

⑤检验层次:海平面、925hPa—200hPa 各标准层等压面。

⑥检验评分包括平均误差、均方根误差、相关系数、误差标准差。

2.5.2 降水预报的客观检验

在参考了众多降水预报统计检验方案后,结合本系统,我们设计了一套新的有限区域降水预报客观检验方案。

考虑到实际统计计算中,由于降水的连续性,要准确地计算出预报和降水的面积是十分困难的。为了便于计算和更加客观合理地反映预报的准确性,我们采用格点检验方法,即在预报区域内,以格点为中心,搜索一个格距正方形区域内的测站降水情况,来统计某一级预报和观测降水的正确与否。若某个格点上预报有某一级的降水,即以这个格点为中心,在一个格距正方形区域内只要

有测站,且观测到这一级降水,则认为预报正确,否则认为预报错误;若缺报或无测站,则不统计。这种以格点检验的方法,避免了人为地选定测站进行检验的缺陷;同时,统计不会重叠,充分利用了预报区内所有的降水观测资料,使得评分更加严格、合理、客观。

该方案增加了降水等级检验。将预报分成4个等级,使得强降水中心的预报检验更加准确。该方案从降水观测值的提取,检验量的计算,各种计算结果的分类统计,全部实现了自动化,无需人工干预,减小了工作量,避免了手工操作产生的人为误差。

2.6 图形显示输出

为了提高本系统的可使用性,我们采用C语言、OPEN GL在SGI上专门开发了一套人机界面友好的数值预报专用图形显示、输出软件包。该图形软件包所有提示和状态信息全部由汉字显示,操作者一目了然;所有操作均可通过鼠标进行选择,最大限度地减少了由于人工操作而产生的失误;所有数值预报计算结果均可通过控制板选择,在屏幕上显示、叠加和打印输出。

3 数值预报模式

模式以MM4为基本框架,采用一个 σ 坐标系中的三维、静力平衡、原始方程组, $\sigma = (p - p_t) / p^*$, p 为气压, p_t 为模式层顶气压(取为100hPa), $p^* = p_s - p_t$, p_s 为地表面气压。模式的水平区域及格点总数是可变的,目前本系统采用网格总数为 61×51 ,网格距为

120km。垂直分层为15层,采用不等距分层,大气低层分得细一点。各变量在垂直方向上也是交替分布的,其中垂直速度放在整 σ 层上,而其它变量变在半 σ 层上。侧边界采用海绵边界条件。

模式中考虑的物理过程有:水分循环,对流调整,水平扩散,行星边界层采用高分辨边界层,垂直扩散,地表热平衡,地表温度由热平衡方程计算得到。

4 ALNFS系统的主要诊断产品

针对业务工作需要,我们计算了大量基本物理量场,主要包括各种动力场、能量场、温湿场,并按实况和预报场分为两大类,包括客观分析天气图、诊断分析场、数值预报图、数值诊断分析场、各种预报指标、不稳定判据等。结合空军气象保障特点,还制作了模式直接输出预报(DMO),包括云层、云量、云顶云底高、雷暴落区预报、积冰区域分布预报、零度层高度以及10m高度上的风、2m处的温度、相对湿度等要素预报,共计达39种预报及诊断产品。

5 ALNFS系统的预报性能分析

5.1 ALNFS检验结果分析

表1给出了1994年3月9日—5月20日“空军有限区域短期数值预报业务系统”的海平面气压场及各标准等压面位势高度、温度和风场的12、24小时预报统计检验结果(本文只给出850、500、400、250hPa 4个层次的结果);表2为降水客观评分统计结果。

表1 本系统1994年3—5月12、24小时预报统计检验结果

统计评分结果	12小时预报				24小时预报			
	ME	RMSE	TEN	STDE	ME	RMSE	TEN	STDE
海平面气压	-1.5	3.6	0.740	3.1	-1.6	3.8	0.734	3.3
H ₈₅₀	-4.7	23.8	0.805	22.4	-3.9	27.3	0.773	25.2
H ₅₀₀	-0.0	31.1	0.973	29.4	6.1	35.2	0.968	33.1
H ₄₀₀	-0.6	36.2	0.979	34.1	7.8	40.8	0.975	38.4
H ₂₅₀	2.2	46.0	0.983	43.1	15.3	52.9	0.978	49.1
T ₈₅₀	-0.6	1.9	0.968	1.8	-0.4	1.8	0.969	1.7
T ₅₀₀	-0.2	1.3	0.881	1.2	0.2	1.5	0.974	1.4
T ₄₀₀	-0.2	1.3	0.980	1.2	0.2	1.5	0.972	1.4
T ₂₅₀	0.4	1.7	0.938	1.6	0.7	1.9	0.911	1.8
V ₈₅₀	0.7	4.2	0.528	4.2	0.9	5.0	0.465	4.9
V ₅₀₀	1.1	5.3	0.761	5.2	1.3	6.8	0.646	6.7
V ₄₀₀	1.4	6.5	0.786	6.3	1.5	8.6	0.662	8.4
V ₂₅₀	2.2	8.9	0.798	8.5	2.4	12.0	0.651	11.8

表2 本系统1994年3—5月降水客观评分统计结果

等级	TS	B	PO	NH	EH
0.1	0.373	0.519	0.494	0.022	0.505
10	0.159	0.788	0.503	0.402	0.827
25	0.041	0.623	0.541	0.268	0.904
50	0.005	0.620	0.390	0.046	0.935

5.1.1 海平面气压场检验结果分析

由表1可见,本系统海平面气压场12小时预报的平均误差(ME)为-1.5hPa,24小时预报的平均误差为-1.6hPa,表明对海平面气压场预报,系统性误差很小,但低压系统强度比实际情况略偏强;均方根误差(RMSE)12小时、24小时变化不大,24小时仅为3.8hPa,其误差标准差(STDE)为3.3hPa,12小时预报的相关系数(TEN)为0.740,24小时预报的相关系数为0.734,可见海平面气压场的预报准确率比较高。

5.1.2 位势高度检验结果分析

本系统位势高度场的12、24小时预报,倾向相关系数在500hPa以上均大于0.9,850hPa为0.805。位势高度场12和24小时预报的平均误差,在高层和低层偏大,对中层的预报较好,850hPa分别为-4.7、-3.9gpm,500hPa分别为-0.0、6.1gpm,250hPa分别为2.2、15.3gpm,总的看,系统位势高度场的预报在高层和低层偏强,中层接近实际情况;850hPa 12、24小时预报的均方根误差平均为23.8、27.3gpm,500hPa 12、24小时预报的均方根误差平均为31.1、35.2gpm,高层的均方根误差尽管较大,但最大的误差也在60gpm以内,反映该系统对位势高度场具有较好的预报能力。

5.1.3 温度场的检验结果分析

温度场预报的倾向相关系数均大于0.95,其平均误差12小时预报400hPa以下为负值,24小时预报基本上为正值,表明温度场24小时预报结果比实际场偏高;均方根

误差最大值出现在高、低层,中层最小,一般在1.5℃左右,误差标准差与其基本相似。表明本系统对温度场的预报相当好。

5.1.4 风场的检验结果分析

风场的平均误差随高度逐渐增加,中下层一般在 $1.0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下,高层平均误差较大,表明风的预报在中下层较好,高层系统性误差较大;均方根误差与平均误差相同,也是随高度增加的;相关系数在中、高层较好,低层差一些,不如位势高度和温度的预报效果好。

5.1.5 降水量客观评分结果分析

表2给出了本系统1994年3月9日—5月20日24小时降水量预报客观检验统计结果。本系统0.1mm等级的降水预报,TS评分达到0.373,偏差值(B)为0.519,漏报率(PO)为0.494,空报率(NH)为0.022,预报效率(EH)为0.505;从总体上看,0.1mm等级的降水量预报准确率相当高,降水预报区域比实况场稍偏小。10mm等级的降水量,TS评分为0.159,偏差为0.788,空报率0.503,漏报率0.402,预报效率为0.827,相对0.1mm而言,10mm等级的降水量预报区域更接近实际降水区域,预报效率较高,表明10mm的降水预报很好。25mm等级的降水量预报与10mm的降水量预报类似,TS评分为0.041,预报范围更加接近实际降水范围,空报情况增多,漏报情况不多,预报效率达0.904。50mm等级的降水量预报在3—5月份期间出现的概率较小,但从统计结果来看,仍能反映出预报效果;50mm降水量预报的TS评分为0.005,但预报效率为0.935,接近于1.0,可以看出其预报还是相当成功的。

5.2 天气学个例检验结果分析

1994年2月7日—8日是一次中等强度冷空气快速移动发展过程,7日08时500hPa

为两脊一槽型,南北向的弱低槽处于河套附近,与此低槽相配合有一弱冷温度槽,这一弱低槽未来快速东移和明显加强,整个形势发展为两槽一脊型;850hPa有一横槽从东北北部到贝加尔湖南部,与此横槽相配合有一弱冷温度槽,这一横槽未来南压转竖加强,地面形势场,低压系统在河套北部附近,低压中心值为1017hPa,冷空气主力在贝加尔湖附近,这一低压系统未来迅速东移加强。使得华北中部、南部,以及黄河下游产生大范围的大风天气。实况如下:西郊机场8日4时05分平均风速 $20\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,阵风 $24\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,12时11分阵风 $26\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$;故城、沧县9—13时,阵风 $\geq 17\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$;济宁、新泰的阵风也 $\geq 20\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。象这样中等强度冷空气,快速东移加强,产生大范围的大风天气,且维持时间长,本系统作了很好的预报。

图2a是500hPa 8日08时的实况图,24小时槽线向东移动了17个经度,且槽明显加强,图2b是24小时500hPa预报图,它与实况图相比,槽的移动和强度基本一致。图3a是850hPa 8日08时的实况图,图3b是850hPa 24小时预报图,对横槽转竖作了较好预报,在河套西北部预报了一个切断高压,实况是高压脊没有切断。图4a是地面8日08时的实况图,低压中心为998hPa,24小时

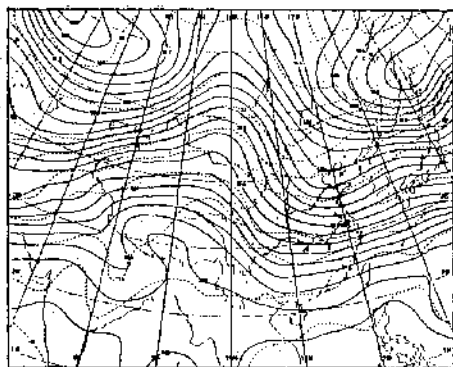


图2b 7日08时500hPa 24小时预报

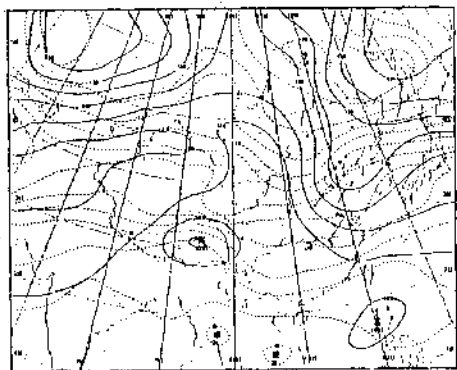


图3a 8日08时850hPa实况

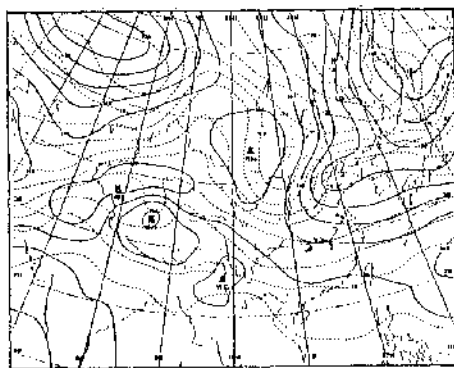


图3b

图3b 7日08时24小时850hPa预报

下降19hPa,图4b是24小时地面预报图,低压中心为995hPa,比实况低3hPa,从东北至河套一线的强气压梯度带,系统作了很好预报,正是由于低压加强明显和强的气压梯度造成了较大范围和长时间的大风天气。本个

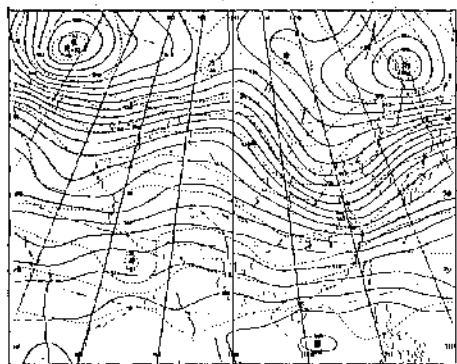


图2a 8日08时500hPa实况

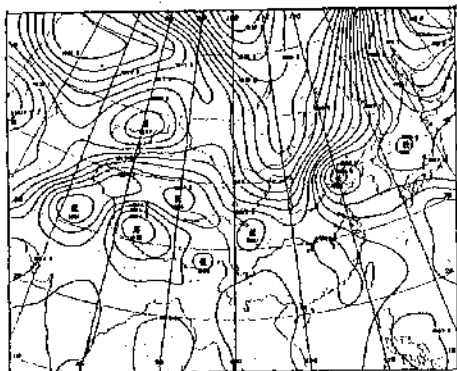


图4a 8日08时地面实况

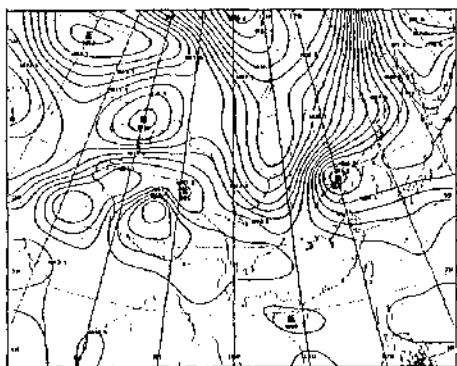


图4b 7日08时地面24小时预报

例分析表明:本系统对天气系统的移动和强度演变具有较强的预报能力。

6 系统试用情况

1994年3月1日投入准业务运行以来,该系统已稳定运行半年多,性能可靠,出图率达到100%,预报效果较好。该系统一直不间断地为空军气象中心保障室每日提供两次地面形势预报、降水量预报、850hPa、700hPa、500hPa形势预报,同时可以提供大量的客观分析和预报产品。根据保障工作要求,可输出逐6小时的各种预报产品;对特殊保障任务,系统可制作有较好参考价值的36小时以上预报产品。由于该系统及时、准确、客观定量的预报以及高度的自动化、友好的人机界面,从而使预报保障人员能够得到更多、更详细的预报信息,对日常飞行气象保障工作起到了较好的指导作用。实际应用表明:本系统制作的预报与日本制作的预报有互补作用,特别是降水预报有很好的参考价值。

The Synopsis of An Operational System of The Air Force Limited-Area Short-Term Numerical Forecast

Mao Weiping Ma Huaping Guo Weidong Li Zhenjun

(Air Force Meteorological Center, Beijing 100843)

Abstract

The general situation and used technical principle in operational system of the air force limited-area short-term numerical forecast are introduced. The result of verification is compared with that of the internal system of the some kind. The result of a case study is also given.

Key Words: limited-area numerical forecast operational system verification results case study