

高空形势场数值预报的误差订正

朱永褪 程戴晖

(上海市气象科学研究所)

各种数值预报模式虽然在相当程度上模拟了大气运动的各种过程，但毕竟不可能正确地反映大气过程的全貌，也就是说，数值预报模式描述的毕竟是模式大气，而并非真实大气。另一方面，有些物理过程在模式中即使有所考虑，但要定量地真实反映出这些过程还存在着具体困难。这就使计算结果不能不反映出一定程度的失真。此外，在对预报方程组进行数值求解时，无论采用的是差分方法、波谱方法或其它方法，都很难避免计算误差的出现。由于上述原因，用数值预报模式作出的环流形势预报总免不了与实况有一定的偏离。这种预报偏差实际上也是大气给予我们的一类信息，它反映了模式所固有的缺陷。因此，探寻这种偏差分布的变化规律，并充分应用这类信息，以期在一定程度上弥补模式的缺陷，提高其对天气预报的指导价值，看来是有必要的。为此目的，本文试图提供一种简便的定量订正数值形势预报的方法，作为人机结合修正模式输出结果的一种尝试。

上海市气象科学研究所应用三层初始方程模式^[1]制作高空环流形势的业务数值预报已有五年多。对于该模式的预报性能虽然做了一些总结分析工作^{[2][3][4]}，但结论都是定性的，在实际应用时还难免有主观性。为了探寻较客观的定量订正方法，我们对该模式所做的 500 毫巴 24 小时预报场的误差资料进行了分析，在此基础上试验了几种订正方案。现列举如下。

一、定常误差订正方案

对误差场的分析表明，500 毫巴 24 小时预报位势高度的误差在空间分布上与气压系统有一定联系，其正负值区的水平尺度一般有数百公里，甚至也有千公里以上者。在时间上有日际变化，但也存在相对稳定的区域。这种在短期间和有限范围内误差分布的准定常性，使我们有可能利用前期预报的误差分布来修正现时预报值，亦即可按下式求位势高度预报订正值：

$$(\phi_i^*)_{i,j}^{t+\Delta t} = (\phi_i)_{i,j}^{t+\Delta t} + E_{i,j}^t \quad (1)$$

式中 ϕ_i 为等压面位势高度的预报值，下标 i, j 为格点序号，上标 $t + \Delta t$ 表示以 t 为初始时刻所得 $t + \Delta t$ 时刻的预报值，* 号表示预报订正值， $E_{i,j}^t$ 为预报偏差，即

$$E_{i,j}^t = (\phi_i)_{i,j}^t - (\phi_i)_{i,j}^t$$

其中 $(\phi_i)_{i,j}^t$ 表示格点 i, j 的 t 时刻客观分析位势高度值，右端第二项为以 $t - \Delta t$ 作初始时刻所得的 t 时刻的预报值。

按 (1) 式订正所得之高度值与实况（客观分析

值）之间依然会有偏差：

$$E_{i,j}^{*,t+\Delta t} = (\phi_i)_{i,j}^{t+\Delta t} - (\phi_i^*)_{i,j}^{t+\Delta t}$$

这样，订正的效果可由下式判定：

$$\begin{aligned} \Delta E &= (E_{i,j}^{*,t+\Delta t})^2 - (E_{i,j}^{t+\Delta t})^2 = \\ &= [(E_{i,j}^{t+\Delta t} - E_{i,j}^t)^2 - (E_{i,j}^{t+\Delta t})^2] \\ &= E_{i,j}^t (E_{i,j}^{t+\Delta t} - 2E_{i,j}^{t+\Delta t}) \end{aligned} \quad (2)$$

由此可见，为使 (1) 式获得改善预报的效果，要求 $\Delta E < 0$ ，即必须满足条件： $(E_{i,j}^t)^2 < 2E_{i,j}^t \cdot E_{i,j}^{t+\Delta t}$ 如果前期预报误差为正值，即 $E_{i,j}^t > 0$ ，则要求

$$E_{i,j}^t < 2E_{i,j}^{t+\Delta t}$$

如果前期预报误差 $E_{i,j}^t < 0$ ，则必须有

$$E_{i,j}^t > 2E_{i,j}^{t+\Delta t}$$

换言之，除了在 $E_{i,j}^t \approx E_{i,j}^{t+\Delta t}$ 的情况下，应用 (1) 式可改善预报外，只要两个相邻时次的预报误差同号，且后期预报误差绝对值大于前期预报误差绝对值之半数者，均可改善预报。试验结果表明，在 $\Delta t = 24$ 小时的情况下，对某些稳定少动的系统（例如副热带高压），这种修正有一定成效的。例如，1979 年 8 月 25 日的业务预报有三处与实况偏差较大，即巴尔喀什湖低槽槽线的转向、里海阻高和东北低涡均未报出。而经 (1) 式订正后，上述缺陷均获不同程度的弥补。26 日的预报情况可从图 1 看出。显然，订正后的预报形势有较多改善，尤其是东北低涡的强度、里海地区的一对高低压系统以及长江中游和华东南部受副高控制等均与实况较接近。27 日的东北低涡强度亦以订正预报图与实况更为接近，唯其位置与实况偏差并无改进。上述个例之所以能获得较好的改善效果，其原因主要在于相应地区偏差分布的相对稳定。多个例试验的分析表明，在不少情况下，误差的一种反映乃是

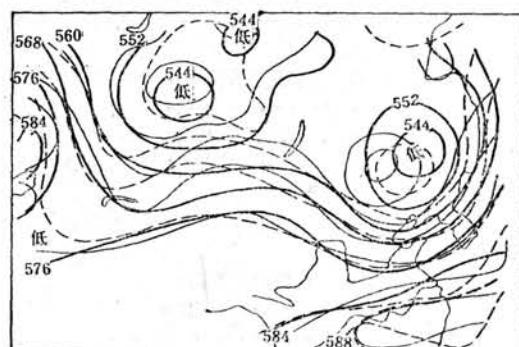


图 1 1979 年 8 月 27 日 08 时 500 毫巴图 粗实线为实况，细实线为订正预报，虚线为未订正的 24 小时预报，下同

预报槽脊移动与实际槽脊的相位差。对于移速较快的系统，就导致订正的失效，甚至失败。因此，必须对大量实例进行统计分析，区别不同类型，在局部地区采用（1）式，才可能收到一定效果。

二、时、空平滑误差订正方案

如前所述，预报误差是数值模式固有缺陷的一种反映，某些物理过程，诸如海陆分布、地形的动力和热力作用等因素，即使在模式中有所考虑，由于计算误差的积累，也无法如实模拟大气过程，而未真实考虑地形等所造成的误差，在地理分布上是相对稳定的。为了从总的偏差场中分离出这部分误差，我们把逐日偏差场进行时间平滑，以滤去移动性误差，并假设此平滑误差场具有准定常性。这样，预报订正式（简称方案 I）写为：

$$(\phi_i^{*})_{i,j}^{1+\Delta t} = (\phi_i)_{i,j}^{1+\Delta t} + (1 - \alpha V^2)_{i,j} \left\{ \sum_{n=0}^N W_n E_{i,j}^{1-n\Delta t} / \sum_{n=0}^N W_n \right\} \quad (3)$$

其中 W_n 为权重系数，为了使用简便，我们取 $W_n = 1$ ($n = 0, 1, \dots, N$)， α 为空间平滑系数，我们取 $\alpha = 0.12$ ， $V^2 E = E_{i+1,j} + E_{i-1,j} + E_{i,j+1} + E_{i,j-1} - 4E_{i,j}$ ，以（3）式对一系列个例进行了试验，其结果尚令人满意。例如 1970 年 12 月 21 日的 24 小时业务预报图上，里海区为高压，而实况却为低压。此日的订正预报与实况较接近，既有阻高又有里海切断低压，此外，贝加尔湖低压的强度亦以订正预报较为符合实况（图略）。由于对逐日误差场进行了时间和空间的平滑，因此，即使在某些地区有恶化的情况，亦不会是严重的。我们计算了 1980 年 1 月 21 日至 2 月 6 日的 15 个例子，预报区域中部 423 个格点上业务预报和订正预报值的平均绝对误差，所得结果为：业务预报为 3.9 位势什米，订正预报为 3.74 位势什米。虽然从数字上看，改进似乎不明显，但从形势场对比看，可以认为此订正方案是可行的。

三、平滑误差选择订正方案

一般而言，以（3）式对某格点进行订正，对于降低该点的均方根误差的作用在时间上有一定的持续性，由正贡献到负贡献的转换，一般总要经历若干天。据此，作为一种可能的改进途径，我们提出一种选择订正方案（简称方案 II），即仅对前一时次订正有正贡献（均方根误差减小）的那些格点进行订正。为此，在订正式（3）中引入一选择订正系数：

$$C_{i,j}^* = (1 - \beta V^2) C_{i,j}$$

其中 β 为平滑系数，经试验以取 $\beta = 0.25$ 为佳。而式中

$$C_{i,j} = \begin{cases} 1 & E_{i,j}^{*t} \geq |E_{i,j}^{t-1} - (1 - \alpha V^2)_{i,j}| \left[\sum_{n=1}^3 W_n E_{i,j}^{1-n\Delta t} / \sum_{n=1}^3 W_n \right] \\ & 0 & E_{i,j}^{*t} < |E_{i,j}^{t-1} - (1 - \alpha V^2)_{i,j}| \left[\sum_{n=1}^3 W_n E_{i,j}^{1-n\Delta t} / \sum_{n=1}^3 W_n \right] \end{cases}$$

这时，选择订正式为

$$(\phi_i^*)_{i,j}^{1+\Delta t} = (\phi_i)_{i,j}^{1+\Delta t} + C_{i,j}^* (1 - \alpha V^2)_{i,j} \left\{ \sum_{n=0}^N W_n E_{i,j}^{1-n\Delta t} / \sum_{n=0}^N W_n \right\} \quad (4)$$

四、业务对比试验结果

自 1980 年 7 月 1 日起，我们用订正方案 I，对三层初始方程模式的 500 毫巴 24 小时预报图逐日进行了误差订正的业务试验。半年多来的试用结果表明，总的来说，经误差订正后，取得了一定程度的改进，有的改进颇为明显。从订正的形势看，未发现有严重恶化的情况。现举例如下。

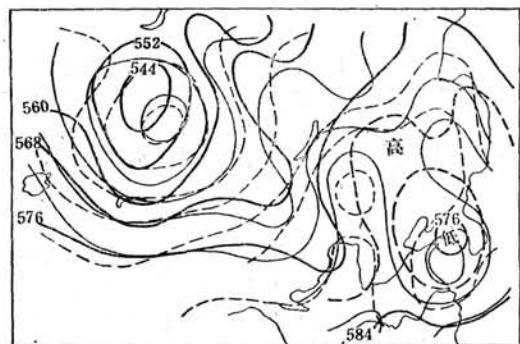


图 2

图 2 中粗实线绘出了 1980 年 8 月 7 日 08 时 500 毫巴高度客观分析图，虚线绘出了 6 日 08 时为起始场的 24 小时 500 毫巴高度业务预报图，细实线绘出了订正预报图。对比可见，在远东和我国东部及沿海地带的形势场，经订正后有较大改善。订正后黄海的切断低涡强度与实况十分接近，而其位置与实况的偏离亦减小；甘肃和蒙古西部的横槽，在订正后才显示出来；蒙古东部的高压业务预报过强，订正后与实况接近，只是位置偏差无甚改进；业务预报图上副高虚假南撤的情况，订正预报图上不再出现，588 线北部依然保持在 30°N 附近。在次日的预报图（图略）上，我们亦可看到上述地区的形势有较大差别，黄海低涡的强度及其下游的阻塞形势，均以订正预报更接近实况。

另一有较大改进的例子，是以 1980 年 8 月 25 日为起报时刻的预报。从图 3 可以看到，在贝加尔湖以东的一对高、低压系统，业务预报（虚线）未报出，而订正预报（细实线）却与实况（粗实线）较一致。此外，咸海、巴尔喀什湖低槽的强度在订正预报图上亦有改进。订正预报能使上述形势的预报获得一定的改进，使数值预报的指导价值亦有相应的提高。

为了对订正方案 I 和 II 的改进效果有一个量的估价，我们在预报区域内划分四个小区（见图 4），统计了各区平均均方根误差和误差相对值（RE），后者定义为：

$$RE = \sum_{k=1}^N |E_k^t| / \sum_{k=1}^N |\phi_k^t - \phi_k^{t-\Delta t}|$$

N 为区内格点数。

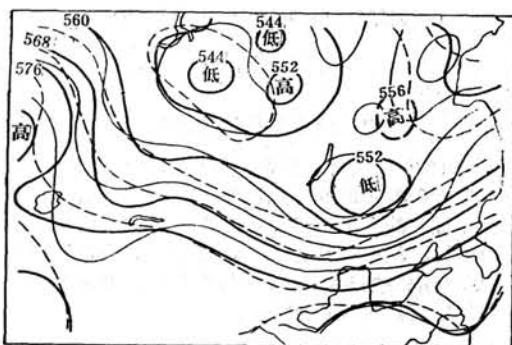


图 3

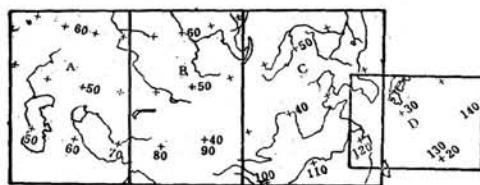


图 4 分区示意图

各区各月平均均方根误差和误差相对值列于表1、2。可以看出，500毫巴24小时业务预报模式的均方根误差由夏至冬逐步增长。而从地区分布上看，由A区至D区逐步减小，而误差相对值反之。对比表中各列数字和各月平均相对误差减小频数分布图（略），可以得出如下几点结果。

表 1 1980年7月—1981年1月500毫巴24小时预报各月各区均方根误差（什米）平均值

区	A				B				C				D			
	月	份	业	务	方案I	方案II	业	务	方案I	方案II	业	务	方案I	方案II	业	务
7		3.49	3.67	3.50	3.22	3.42	3.25	3.04	3.14	3.00	2.29	2.41	2.33			
8		3.63	3.59	3.47	3.50	3.31	3.25	2.68	2.58	2.51	2.16	2.29	2.16			
9		4.02	4.20	3.97	3.60	3.54	3.44	3.65	3.66	3.52	2.16	2.26	2.14			
10		4.57	4.80	4.64	4.98	4.91	4.74	4.17	3.99	3.90	3.15	3.21	3.06			
11		5.20	6.10	5.46	4.40	4.60	4.49	4.71	4.67	4.48	4.10	4.68	4.29			
12		5.70	5.39	5.24	4.83	4.59	4.57	6.38	5.61	5.60	7.82	7.07	6.70			
1		5.68	5.77	5.42	4.82	4.22	4.21	5.13	3.97	3.92	5.34	5.28	4.69			
平 均		4.61	4.79	4.53	4.19	4.08	3.99	4.25	3.95	3.85	3.86	3.88	3.62			

表 2 1980年7月—1981年1月500毫巴24小时预报误差相对值

区	A				B				C				D			
	月	份	业	务	方案I	方案II	业	务	方案I	方案II	业	务	方案I	方案II	业	务
7		0.83	0.88	0.83	0.88	0.90	0.86	0.99	1.02	0.97	1.04	1.12	1.07			
8		0.74	0.75	0.71	0.88	0.79	0.78	1.01	0.94	0.93	1.01	1.07	1.00			
9		0.80	0.87	0.79	0.78	0.73	0.71	0.77	0.78	0.75	0.98	0.99	0.95			
10		0.72	0.74	0.71	0.88	0.85	0.81	0.83	0.78	0.75	0.96	1.02	0.94			
11		0.67	0.78	0.69	0.66	0.71	0.69	0.82	0.79	0.75	1.01	1.30	1.15			
12		0.80	0.72	0.70	0.74	0.68	0.68	1.25	1.03	1.03	1.73	1.65	1.55			
1		1.00	1.01	0.92	0.87	0.74	0.74	1.10	0.85	0.82	1.37	1.25	1.11			
平 均		0.79	0.82	0.76	0.81	0.77	0.75	0.97	0.88	0.86	1.16	1.20	1.11			

1. 由各区各月平均值对比可见，方案Ⅱ比方案Ⅰ为优，无一例外。

2. 对比月均方根误差和误差相对值七个月平均值，以方案Ⅱ为最小，其中以B、C两区改进较多，均方根误差分别减小0.2和0.4位势什米（为其5%和9.4%）。

3. B和C区的改进较稳定，尤其是C区，无一个月例外（见图5）。

4. 由均方根误差逐日变化曲线



（图略）可以看出，订正效果呈准周期性变化。

由于形势场数值预报目前仅用以作天气预报的指

表 3 1980年7月—1981年1月方案I对环流形势有改进的频率

月	份	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	平均
改进频率 (%)		73.0	67.9	78.5	70.0	57.0	46.2	62.1	65.0

导，因此预报场的环流形势比各格点的预报高度值更重要些。为了分析在这方面订正效果，我们对逐日

的实况与订正预报、业务预报的环流形势场作定性的相互对照，获得订正预报形势具有不同程度改进的天数，现将各月改进的频数列于表 3。由表可见，除 12 月外，订正预报的形势有改进效果的均在 57% 以上。7 个月的总平均值为 65%。这也说明上述订正方案是有一定实用价值的。据国际气象组织 1979 年数值预报进展报告，德意志联邦共和国的六层干模式 (BKL) 采取了系统性误差订正，亦取得了一定效果，其 24 小时 500 毫巴的均方根误差，年平均值由 3.53 位势什米降低为 3.25 位势什米，即降低了 7.9%。由此看来，充分利用数值预报的误差信息对提高数值模式预报的正确率，可算是一种有实用价值的途径，而对误差场进

行统计分析，亦可为进一步开展人机结合订正数值预报提供一定的客观依据。

参 考 资 料

〔1〕陈雄山等，初始方程三层模式，数值预报和数理统计预报会议论文集，1974年。

〔2〕上海市气象局预报组数值预报小组，初始方程三层模式业务数值预报的初步总结，大气科学，1976年第1期。

3. 徐一鸣、郭永润，气象，1979年4期14页。

4. 武汉中心气象台等，关于如何提高初始方程三层模式预报效果的初步意见，第二次全国数值天气预报会议论文集，1980年。