

近年长期数值天气预报滤波模式的进展

郭 裕 福

(中国科学院大气物理研究所)

近年由于短期数值天气预报、大气环流研究以及数值模拟等方面的成功,激发了人们用动力学方法做长期天气预报的兴趣。美国 Spar 等^[1,2]和 Caverly 等^[3]用大气环流模式分别进行了一个月的积分试验,其中一些例子获得了成功。苏联 Marchuk 等^[4,5]也提出了一个长期数值天气预报的方法,并认为在简化条件下可用来做月到季的平均温度距平预报,但现在还未看到预报结果发表。因此,总的来看长期数值天气预报还处于试验阶段。

我国巢纪平等^[6,7]提出了一个做长期天气预报的距平滤波模式,并给出了一批预报试验的结果。这个方法与现在国外通用的大气环流模式是完全不相同的。首先,在这个方法中变数被分解成气候平均值和距平值,在预报模式中仅仅应用距平分量的方程。这就是说预报量就是距平状况,亦即是长期天气和气候的异常状况。这样做可以集中注意力于那些引起长期天气和气候异常的因子和过程,而不管那些气候平均状况和它的变化。我们知道,仅仅描述气候平均状态本身就是一件很复杂的事,这正是当前气候数值模拟所力图解决的问题。因此着眼于距平或异常可以使问题大为简化,而且这样做也符合实际的需要和预报员的日常经验。第二,在模式中瞬变的 Rossby 行波被作为一种干扰长期天气过程的“噪音”而滤掉了。实际上当平均的时段超过 Rossby 波的特征时间时,这样做是可以理解的。下面还要提到这样做可以大大节省计算时间,这在我国目前的计算机条件下也是很需要的。总之可以说,距平滤波模式为长期数值天气预报开辟了一条新路,受到了国内外同行的广泛注意。自 1979 年以来用这个模式在国内外都做了一系列工作,现将情况简述于下。

一、模式的进一步预报试验

模式的好坏仅仅凭做出的一两个成功的例子是难以说明的。为了进一步考查距平滤波模式预报月平均地表温度距平和高空环流形势距平的能力也需要一定数量的试验例子。

郭裕福、吕越华等做了 12 个例子的预报试验,它们是 1976、1977 和 1978 年的 2 月、5 月、8 月和 11 月,即每一个季度选一个月,每一个月做三个不同年的例子。我们认为这

样设计试验有利于检查模式的能力。12 个例子的技术评分在文[8]中给出(同时见本文表 2 的 B 栏)。技术评分的方法是求预报距平场和观测距平场之间的相关系数。注意到计算区域是北半球, 共有网格点 1089 个。试验中一些较好的计算例子在文[9,10]中给出, 有意思的是在用此模式试做东北地区夏季温度预报时, 1978 年 8 月的高温和 1976 年 8 月的低温趋势预报都是正确的。

从 1979 年 12 月起至 1980 年 10 月止, 吕越华和赵汉光运用此模式在国家气象中心进行了预报试验。由于资料原因, 月预报一般是在该月上旬末才能作出。就国内范围进行检查, 一九八〇年我国温度异常的三个特点, 即冬暖、春寒和秋暖都能在一定程度上正确地报出。但当年 7—8 月国内的冷夏没有预报出来, 却比较好地预报了美洲南部 7—8 月的热浪。从季节看春季预报效果最好, 秋冬其次, 夏季差。从每一个季节看, 起始月差, 末月好。

此外, 吕越华等还将距平滤波模式和 Adem 模式进行了比较^[11]。Adem 曾提出一个热力学模式用以预报北半球月平均地表温度, 并做过大量的预报试验^[12,13,14]。表 1 中给出三个例子用这两种方法进行预报的结果。检验方法是欧亚地区 100 个网格点上预报与观测的温度距平场间同号率的统计。从表 1 及文[11]中所给的图例可以看到, 滤波模式的预报结果高于 Adem 模式和惯性预报的预报结果。

表 1 欧亚地区预报与观测的温度距平场间的同号率 (%)

例 子	1979 年 7—8 月	1979 年 10—11 月	1979 年 12 月—1980 年 1 月
Adem 方法	62	64	60
滤波方法	70	74	60
惯性预报	62	62	54

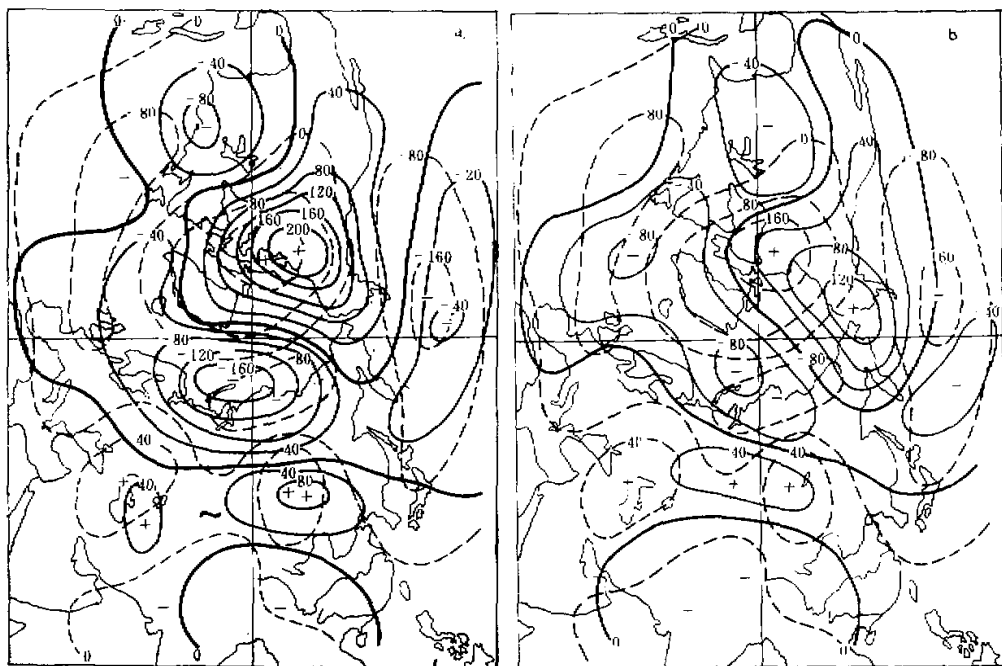
至此, 用距平滤波模式已进行了大约 40 个例子的预报试验, 总的来说有一些例子是成功的, 也有一些例子是差的。这说明; 一方面距平滤波模式的确具有月预报的能力, 另一方面也说明模式本身还必须不断改进完善。

二、模式的改进

模式改进可以从以下几方面来进行:

- (1) 增加模式的层次;
- (2) 缩短计算时间步长;
- (3) 物理过程参数化的改进以及物理参数的调整和精确化;
- (4) 计算方法的改进等。

原来的模式对大气只有一层, 即 500 毫巴层。这样在计算地表温度距平时, 凡动力学家, 如风引起的感热输送以及利用边界层顶涡度来计算云量等就不得不用 500 毫巴的值。这样做显然是有很大误差的。改进的一种方法就是增加模式的层次。邢如楠等运用距平滤波方法设计了一个三层长期数值预报模式^[15]。模式中大气分为三层, 即 850、500 和



(a) 两步长方法

(b) 一步长方法

图1 1978年2月500mb高度距平场

实线: 预报值 虚线: 观测值

表2 预报的500mb月距平高度 H'_{500} 和地表月距平温度 T'_s 与观测值之间的相关系数

例 子	T'_s			H'_{500}		
	月预报 (A)	(B)	惯性预报	月预报 (A)	(B)	惯性预报
1976年1—2月	0.39	0.07	-0.01	0.15	-0.16	-0.13
1977年1—2月	0.36	0.18	0.25	0.36	0.05	0.34
1978年1—2月	0.56	0.29	0.58	0.47	0.22	0.30
1976年4—5月	0.27	0.20	0.26	0.44	0.30	0.25
1977年4—5月	0.40	0.33	0.38	0.33	0.21	0.07
1978年4—5月	0.40	0.25	0.32	0.05	0.05	0.19
1976年7—8月	0.17	0.15	0.27	0.16	0.29	0.47
1977年7—8月	0.48	0.26	0.46	0.37	0.17	0.42
1978年7—8月	0.44	0.28	0.40	0.10	0.16	0.28
1976年10—11月	0.50	0.32	0.50	0.27	0.16	0.21
1977年10—11月	-0.09	-0.01	-0.05	-0.47	-0.29	-0.07
1978年10—11月	0.34	-0.01	0.30	0.44	-0.06	0.32
平 均	0.35	0.19	0.31	0.22	0.09	0.22

注: A: 时间步长为15天, B: 时间步长为1个月。

200 毫巴层。这样在计算风引起的感热输送和边界层顶的涡度时就可用 850 毫巴层上的值, 同时在计算地表温度的公式中还增加了反映温度垂直梯度对感热输送影响的量, 从而增加了温度计算的精度。此外在模式中更详细地考虑了地面反射率对辐射的影响以及下垫面的热力性质等物理因子, 结果使预报有了相当的改进。文[15]中指出, 在用三层模式计算的五个例子中, 其中有 4 个例子的地面温度预报与一层模式的预报结果进行了比较, 对一层模式预报结果有明显改进的有三个例子。因此, 初步试验的结果表明, 三层模式优于一层模式。

注意到以上的预报试验中计算时间步长取的是一个半月, 这样做意味着大气运动向地表温度场适应的时间是一个月左右。另外我们也注意到 Rossby 波的特征时间大约是一个星期, 而 Rossby 行波频散后, 将导致高度距平场与地表温度距平场之间适应关系的建立。因此在长期预报中计算步长的选取还是需要进一步研究和试验的问题。郭裕福曾做过缩短计算步长的试验, 将计算步长从原来的一月改为半月, 这样做有利于考虑大气运动场与地表温度场之间不断地相互作用, 使适应过程更加接近于实际情况^[16]。用这种方法重新计算了 1976、1977 和 1978 年的 2、5、8 和 11 月这 12 个例子, 它们的技术评分分别列在表 2A 栏中, 同时表 2 中也给出了惯性预报的结果。由表可见现在两步时间步长的结果比原来一个步长的计算有相当显著的改进。 T'_i 和 H'_{500} 的相关系数平均比原计算高 0.16 和 0.13, 并分别高于和等于惯性预报的水平。在图 1 中给出了用两种步长计算的 1978 年 2 月高度场的结果, 由图可见其中北美正距平中心的预报比原结果有明显的改进。

三、与 GCM 比较

尽管用数值模式做长期预报有一个可预报性问题, 但也有不少人认为大气环流模式(GCM)不仅是进行气候模拟的有效工具, 甚至也可能是做月、季预报的一种有希望的方法, 并且实际上进行了试验。

Miyakoda 等用 GCM 做了一个十分成功的一个月的积分试验, 这个例子是 1977 年 1 月的一次典型的阻塞形势, 在北美西部沿海长期维持着一个稳定的高压脊, 从而造成北美东部地区的严寒^[17]。

巢纪平 1981 年在美国 GFDL 用距平滤波模式(一层模式)也计算了 1977 年 1 月这个例子。计算结果连同 GCM 的结果以及观测实况都给在图 2 中。由图可见尽管这两种模式在本质上有很大差别, 然而其计算结果却非常相似。在这个例子中距平滤波模式预报结果与观测实况之间的相关系数高达 0.72。特别有意思的是关于计算时间, 利用 GFDL 的高级电子计算机(ASC), 距平滤波模式仅需要 15 秒就可完成计算, 为得到同一结果 GCM 却需要 60 小时^[18,19]。

四、提前三个月的月预报试验

现在国外还没有看到用动力学方法提前三个月做出月预报的报告。邢如楠和巢纪平

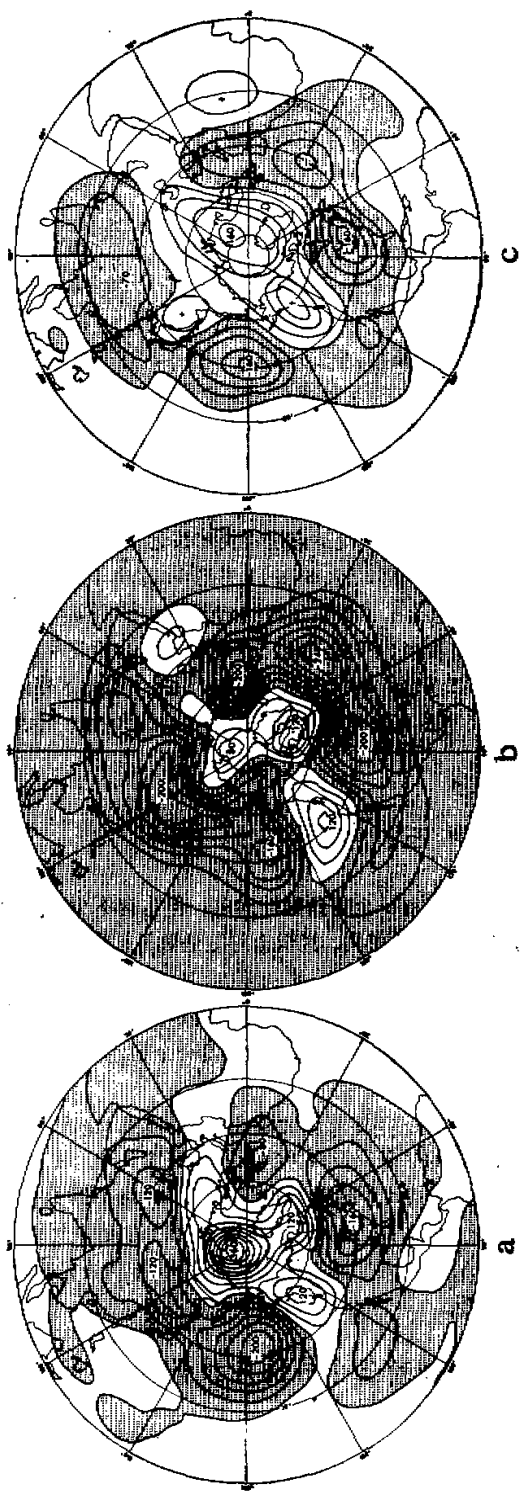


图2 1977年1月500mb高度距平场
a: 观测; b: GCM 预报; c: 距平滤波模式预报.

用三层距平滤波模式做了三个提前两个月的月预报个例和一个提前三个月的月预报个例^[49]。表 3 中给出预报和观测的温度距平场之间同号率的数值,统计区域是北半球。图 3 给出 1978 年 4 月这个提前三个月的月预报例子的结果。预报的初始场是 1978 年 1 月的地面温度距平以及 200、500 和 850mb 的高度距平。时间步长是 1 个月。这即是用预报所得的地面温度和三层大气上的高度距平作为初值就可以做出第二个月的预报来,依次类推,便可做出第三个月的预报。当然做不同月份预报时,所用的气候平均值是不一样的。由图可见预报图总的趋势还是很接近实况的,只是新地岛以南的负距平中心预报偏弱,而美洲大陆的正距平中心又预报偏强。

表 3 预报的地面温度距平场与观测值之间的同号率

例 子	1978 年 3 月	1978 年 8 月	1976 年 3 月	1978 年 4 月
r_2	0.73	0.60	0.55	
r_3				0.74

注: r_2 为对提前两个月预报的, r_3 为对提前三个月预报的。

五、结 语

总的来看,用距平滤波模式进行预报试验取得了较快的进展。大量试验表明,距平滤波模式不但在月预报上有相当的技术水平,而且还有做季度预报的能力。此外改进模式的工作尚待继续,模式本身还有相当的潜力。因此可以预料,随着模式的不断完善在业务上使用动力学方法做长期预报并不是很遥远的事了。

另一方面,理论上也有进一步研究之处。模式作者并不坚持滤掉 Rossby 行波是一定必须的,只是说在长期天气预报中可以用统计方法来考虑它的影响。这样做还可以大大节省计算时间,因此具有实际意义。然而在长期预报中使用距平模式看来却具有相当重要的意义。现在已有人开始设计距平的大气环流模式。

总之,现在看来用距平模式做长期天气预报也是一种很有希望的方法,这正如在文 [8] 中概括的那样“在长期预报的研究中,同时运用这两种方法(即 GCM 和距平模式)是

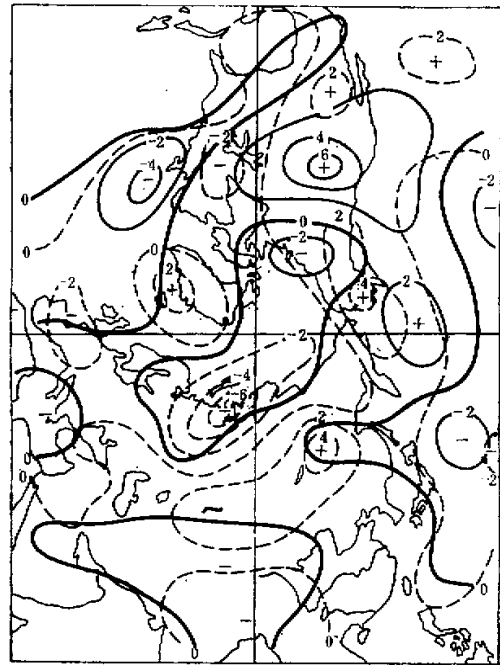


图 3 1978 年 4 月地表温度距平场

实线: 预报值 虚线: 观测值

聪明的”。

当然长期天气预报的解决还需要经历艰苦的历程。从研究长期天气变化的物理原因到长期预报所需资料的获取都有大量艰巨的工作待做。从预报方法上看,天气-气候学方法、动力学方法和统计动力学方法也还要彼此取长补短,互相配合,共同提高。看来这样做才是解决长期预报比较正确的途径。

参 考 文 献

- [1] Spar, J., R. Atlas and E. Kuo, Monthly mean forecast experiments with the GISS model, *Mon. Wea. Rev.*, **104**, 1215—1241, 1976.
- [2] Spar, J. and R. Lutz, Simulations of the monthly mean atmosphere for February 1976 with the GISS model. *Mon. Wea. Rev.*, **107**, 181—192, 1979.
- [3] Caverly, R., K. Miyakoda and L. Umscheid, Three cases of one-month GCM forecasts. Proceedings of the sixth Annual climate diagnostics workshop, Held at the Lamont-Doherty Geological Observatory, Columbia University, Palisades, New York, October 14—16, 1981, 292—299, 1982.
- [4] Марчук Г. И., Методы долго-срочного прогноза погоды на основе решения основных и сопряжённых задач, *Метеор. и гидр.*, **3**, 17—34, 1974.
- [5] Marchuk G. I., Modelling of Climatic changes and the problem of long-range weather forecasting, Proceedings of the world climate conference, Geneva, Feb. 1979, 132—153, 1979.
- [6] 长期数值天气预报研究小组, 一种长期数值天气预报方法的物理基础, *中国科学*, **2**, 162—172, 1977.
- [7] 长期数值天气预报研究小组, 长期数值天气预报的滤波方法, *中国科学*, **1**, 75—84, 1979.
- [8] Miyakoda, K. and Chao Jih-ping, Essay on dynamical Long-range forecasts of atmospheric circulation, *Journal of the Meteor. Soc. Japan*, **60**, 292—308, 1982.
- [9] Chao Jih-ping, Guo Yu-fu and Xin Ru-nan, A theory and method of Long-range numerical weather forecasts, *Journal of the Meteor. Soc. Japan*, **60**, 282—291, 1982.
- [10] 郭裕福、邢如楠和巢纪平, 用滤波模式试做东北夏季湿度预报 (即将发表).
- [11] 吕越华、郭裕福和赵汉光, 长期湿度预报“阿戴 (Adem)”方法的应用, *气象*, **1**, 10—12, 1981.
- [12] Adem, J., On the physical basis for the numerical prediction of monthly and seasonal temperatures in the troposphere-ocean-continent system, *Mon. Wea. Rev.*, **92**, 91—104, 1964.
- [13] Adem, J., Experiments aiming at monthly and seasonal numerical weather prediction, *Mon. Wea. Rev.*, **93**, 495—503, 1965.
- [14] Adem, J. and W. J. Jacob, One year experiment in numerical prediction of monthly mean temperature in the atmosphere-ocean-continent system, *Mon. Wea. Rev.*, **96**, 714—719, 1968.
- [15] 邢如楠、郭裕福和巢纪平, 长期数值预报的三层滤波模式, *中国科学 (B 辑)*, **2**, 186—192, 1982.
- [16] 郭裕福, 对长期数值天气预报滤波方法的一种改进方案 (尚未发表).
- [17] Miyakoda, K., T. Gordon, R. Caverly, W. Stern, J. Sirutis and W. Bourke, Simulation of a blocking event in January 1977, (To be submitted to JAS), 1982.
- [18] Chao Jih-ping and R. Caverly, An anomaly model and its application to long-range forecasts, proceedings of the sixth Annual Climate Diagnostics workshop, Held at the Lamont-Doherty Geological Observatory, Columbia University, Palisades, New York, October 14—16, 1981, 316—319, 1982.
- [19] 邢如楠和巢纪平, 用三层滤波模式做季节预报的试验, *科学通报*, **12**, 736—740, 1982.