

预报技巧的诊断研究*

谭季青

纪立人

(北京大学地球物理系,北京,100871)(中国科学院大气物理研究所,北京,100029)

摘 要

利用国家气象中心(北京)T42L9模式的初始资料和预报资料,对500hPa高度场的预报技巧进行了统计分析,并用一个简单的正压准地转谱模式对两个典型个例的正压不稳定性进行了研究。结果发现:北半球500hPa高度场第五天的预报与初始场的某些经验正交函数的典型场有关。预报技巧与初始场的稳定性及其误差和背景场的配置有关。

关键词: 预报技巧,功率谱分析,正压不稳定性。

1 引 言

经典可预报性理论指出^[1]:实际大气中,由于正压不稳定和斜压不稳定现象的存在,小尺度扰动通过非线性相互作用,就可以影响天气尺度甚至行星尺度的运动。这种过程的存在会使得数值天气预报的初始误差扰动增长,并在水平方向上传播,超过一个时间界限后,则预报结果与实况相距甚远而变得毫无意义。经典可预报性理论只强调这个界限存在的必然性,而对局地可预报性差异及何种误差扰动最易使误差不稳定增长等一系列实际问题没做进一步的工作,而这些正是实际业务预报中主要关心的问题。

目前国际上各大气象中心针对可预报性问题采取了一个有力的措施——预报技巧之预报。最早开始这方面研究工作的有Kalnay(1983)、Akesson(1983)、Kalnay和Dalcher(1987)以及Palmer和Tibaldi(1988)。这些研究取得令人鼓舞的成果,但仍有待进一步提高,因为预报技巧预测值与实况值的相关为0.3—0.5之间。究其原因可能是对影响预报技巧变化的机制了解不够所致。因此,为了提出一个较好的关于预报技巧之预报的方案,对影响预报技巧变化的机制,应有更深入的认识。本文运用国家气象中心(北京)T42L9模式从1990年至1992年的逐日预报资料,在这方面做了较细致的研究。

2 T42L9模式500hPa高度场预报技巧分析

中期延伸数值天气预报存在可预报性(Lorenz,1965,1969a,b,1982),使得用数值天气预报模式来预报未来天气变化的能力,受到很大的限制。近年来,随着非线性动力学的发展和业务经验的积累,人们发现:实际大气的可预报性与具体的环流形势有关(Roads,1985),(Grønaas,1983,1985)。因此,从大量实际预报历史个例的诊断入手,揭示预报技巧异常高(或低)个例的共同环流特征;寻找能够反映环流特征、环流的稳定性以及误差增

* 初稿时间:1994年3月22日;修改稿时间:1994年6月20日。

长的因子;对误差增长规律进行动力学研究,是建立预报技巧之预报方案必不可少的前提工作。

2.1 T42L9 模式 500hPa 高度场预报技巧的档次分类

为了解 T42L9 模式的预报效果,便于研究讨论不同环流形势下的可预报性问题,需要区分历史预报个例预报技巧的高低。本文的做法是把预报技巧(ACC)的值分为六个档次:①优($ACC \geq 0.9$);②良($0.9 > ACC \geq 0.8$);③中上($0.8 > ACC \geq 0.7$);④中下($0.7 > ACC \geq 0.6$);⑤较差($0.6 > ACC \geq 0.5$);⑥很差($ACC < 0.5$)。统计从 1990 年 1 月 1 日至 1992 年 2 月 29 日所有个例的预报技巧的值所处档次的频数,即可初步了解 T42L9 模式 500hPa 高度场的预报效果(表 1)

表 1 四种区域范围 500hPa 高度场预报技巧(ACC)档次分类频数表

范围 时次	北半球					亚洲					北美					欧洲				
	024	048	072	096	120	024	048	072	096	120	024	048	072	096	120	024	048	072	096	120
1 档	738	412	49	3	0	668	300	104	36	9	729	316	65	31	11	765	575	223	72	32
2 档	13	315	402	136	28	103	291	249	136	99	43	326	261	138	81	15	166	327	252	129
3 档	22	37	244	273	134	8	128	179	179	123	6	86	201	174	130	6	33	137	179	181
4 档	14	20	68	240	214	4	35	119	147	137	3	27	114	111	112	0	7	53	117	141
5 档	1	1	20	82	221	2	21	58	95	108	0	13	59	113	112	1	1	23	71	78
6 档	1	3	4	52	188	4	13	78	193	309	8	20	87	219	339	2	6	24	95	224

注:亚洲($0-60^{\circ}N, 100-160^{\circ}E$);欧洲($35-70^{\circ}N, 15^{\circ}W-50^{\circ}E$);北美($20-60^{\circ}N, 130-60^{\circ}W$)

从表 1 中可以看出:

1) 预报效果在三天以内较好,绝大部分在 0.6 以上。三天以上的预报效果不理想,相当大的一部分个例的 ACC 在 0.6 以下。

2) 有相当数量个例在 120 时的预报技巧仍能达到良档以上。北半球范围 120 时的预报技巧高于 0.8 的个例占总数的 3.6%;亚洲范围 120 时的预报技巧高于 0.8 的个例占总数的 13.6%;北美和欧洲分别占 12.6% 和 20.5%。

以上事实表明:1) 预报时效高于 3 天的预报,必须作预报技巧的预报;2) 预报技巧异常高(或低)的个例并非偶然,它们占有一定的比例表明,必定存在某些天气形势极易预报,因而预报技巧异常高;相反,另一些天气形势较难预报,其预报技巧则异常低。

2.2 T42L9 模式 500hPa 高度场较好与较难预报的环流型

把用作预报的初始场作 EOF(经验正交函数)展开,把各 EOF 典型场的时间系数与北半球 120 时 500hPa 高度场的预报技巧时间序列求相关,结果发现:北半球 120 时预报技巧与第一和第三特征向量的时间系数成负相关,而与第 4 特征向量的时间系数成正相关。

第一特征向量(图 1)反映了北太平洋、北大西洋和亚洲西风急流的强度和相应急流开口区辐散流的强度,它在一定程度上决定了环流不稳定程度(Simmons, 1983)。图上还可看到北美和欧洲西岸有形似阻塞高压的流型。预报实践表明(Tibaldi, 1986),即使是欧洲中期天气预报中心相当完善的预报模式,对于阻塞形势的预报,成功率也不大。因此,国家气象中心 T42L9 模式,在这种流型为主要特征时,预报效果较差,这正好与欧洲中心的结果一致。

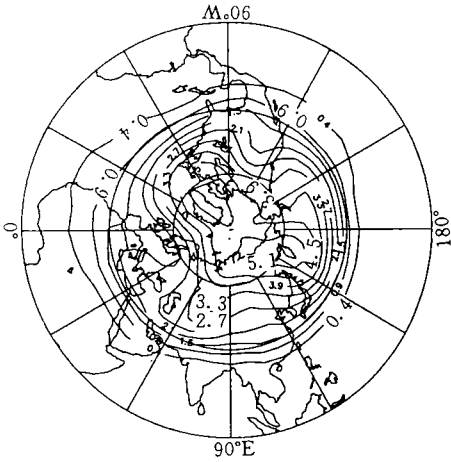


图1 500hPa 高度场的初始分析场的 EOF 第一特征向量结构图

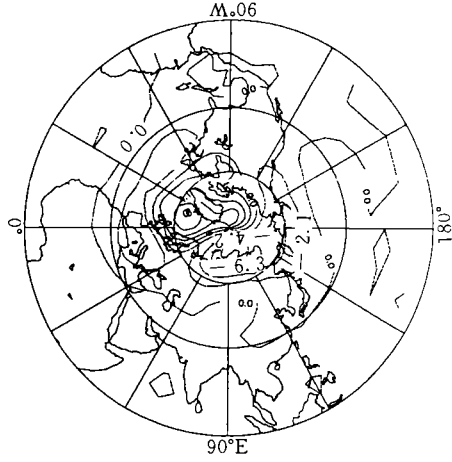


图2 500hPa 高度场的初始分析场的 EOF 第三特征向量结构图

第三特征向量(图2),表现为极涡偏心的环流型。它可能反映的是极涡偏向亚洲,欧洲及其上游地区中纬(30°N)的西风加强,高纬(60°N左右)西风减弱,并呈现阻塞的偶极形态。当大气以这种环流为主要特征时,预报效果较差。

第四特征向量(图3)的结构形势与第三特征向量相似,只是极涡偏心的位置有所不同,顺时针旋转了约70个经度。为什么这种结构特征占主要部分时的预报技巧高?还有待进一步的细致研究。

总之,以上研究表明预报技巧的变化与环流形势的特征有关。

2.3 在相空间内讨论环流状况变化与预报

上节中指出预报技巧与不同的环流型有关,这就意味着当初始场环流状况发生改变时,预报技巧也因之发生变化。为了证实该想法,这里定义了一个描述环流状况变化的量——T指数。该指数定义的思路如下:

初始场的结构及其数值可以用前 n 个 EOF 典型场及其时间系数描写出来,因此,经 EOF 展开后,初始场结构特征的变化,就变成了 n 维 EOF 特征向量构成的正交系内点的变化。EOF 典型场随时间是不变的,变的只是对应于这 n 维典型场的时间系数。于是,我们定义了一个 EOF 环流状况变化指数:

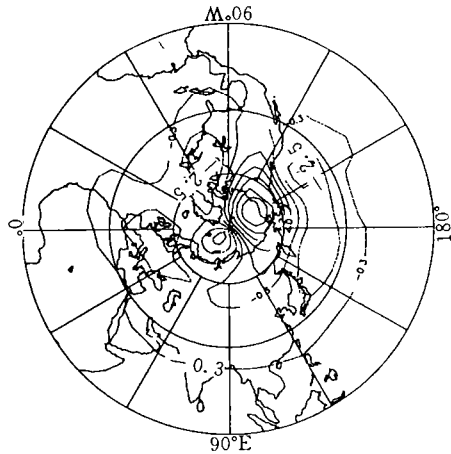


图3 500hPa 高度场的初始分析场的 EOF 第四特征向量结构图

$$T(j) = \sqrt{\sum_{i=1}^N (t_{i,j} - t_{i,j-1})^2}$$

下标 i 表示 EOF 典型场的序号, j 表示时间序列的序号, $t_{i,j}$ 表示第 i 个典型场在第 j 天的时间系数。 T 指数的数学意义是: 用由 n 个 EOF 特征向量构成的 n 维空间内当前时刻 j 点的位置与 $j - 1$ 时刻点的位置的欧氏距离表示大气状态的变化。

图 4 是 T 指数与北半球 120 时预报技巧在 1990 年 1 月 1 日至 1990 年 2 月 28 日期间的对应情况图。该图是把 T 指数作正规化处理后, 再与同一时刻北半球 120 时预报技巧迭加在一张图上而制成的。实线为相邻两天的环流变化的 T 指数变化情况, 虚线为相应的北半球五天的预报技巧曲线。从图中可以看出: T 指数出现峰值且远远超过平均值时, 当天或第二天的 120 时预报技巧多明显下降, 这表明当环流突变时, 预报往往是不成功的。当然, 当 T 指数仅有小振幅时, 120 时预报技巧仍可出现大的变化, 这说明预报技巧的变化还与其它因素有关。

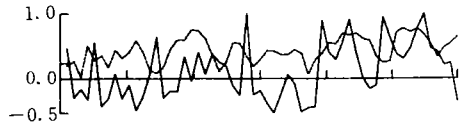


图 4 T 环流指数(虚线)与北半球 120 时预报技巧(实线)对应情况图 (横坐标满度为 1990 年 1 月 1 日到 2 月 28 日时段)

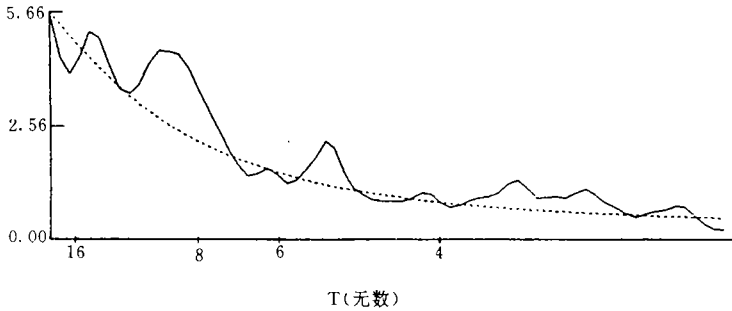


图 5 北半球 120 时预报技巧功率谱图 (实线为功率谱线, 虚线为噪声谱线)

2.4 预报技巧的准周期性变化

上两节的分析结果表明: 预报技巧与环流形势的特征及其变化有关。由此可推知, 预报技巧的变化必定存在某种周期性的变化。这可能是因为资料不精确、模式不完善, 势必在模式业务预报中, 对不同的天气过程的描写的真实程度存在差异, 而大气中这些天气过程的出现是准周期性的, 因此, 模式对其预报描写误差也呈周期性变化。误差的积累会导致预报技巧的降低(见表 2)。因此, 预报技巧应存在准周期性变化的特征。

从北半球 120 时预报技巧功率谱图中(图 5)发现: 北半球 120 时预报技巧存在准周期性的变化。最显著的周期为 9d, 其次还有 5d 和 14d 的周期。这个事实表明: T42L9 模式对大气中振荡周期为 5d、9d 和 14d 的天气过程在某个阶段描写严重失真, 这样有可能造

成预报技巧周期性变化。在实际业务中,的确表明有这种情况出现。例如阻塞形势的形成和崩溃阶段,其数值预报效果在大多数情况下都不好。

表 2 四种区域范围、五个时次下 730 个个例距平相关(ACC)
与均方根误差(RMS)之平均值

时次	北半球		亚洲		北美		欧洲	
	ACC	RMS	ACC	RMS	ACC	RMS	ACC	RMS
024	0.948	30.159	0.935	23.15	0.944	28.56	0.967	27.168
048	0.885	45.795	0.848	34.44	0.846	47.59	0.908	48.581
072	0.798	61.091	0.742	44.78	0.716	64.38	0.820	70.385
096	0.692	75.359	0.631	54.56	0.590	77.22	0.714	91.44
120	0.585	87.270	0.529	63.21	0.483	87.80	0.601	107.47

3 典型个例的正压不稳定性分析

Frederikson J. S(1979)用线性理论讨论了大尺度行星波的稳定性对区域气旋生成的影响。其作法是求出在气候态作为基本场下的正压不稳定的最不稳定的模态结构,来讨论气旋生成的“关键”区域。本文借用该方法来研究以下两个问题:

1) 预报技巧异常低的个例的最不稳定模态的 e 倍指数(e fold index)是否较预报技巧异常高个例的 e 倍指数为小? 它们各自最不稳定模态的振荡周期有什么差异?

2) 这两种不同个例的实际预报误差结构与各自最不稳定模态结构有什么联系?

具体的作法是:以各自初始场作为基本场,讨论各自的最不稳定模态结构的特征与实际预报误差场结构的对应情况。

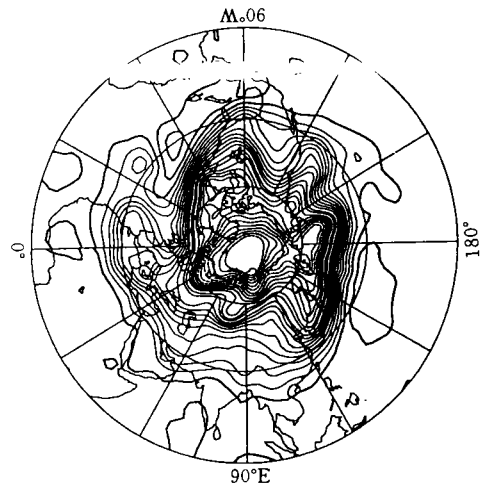
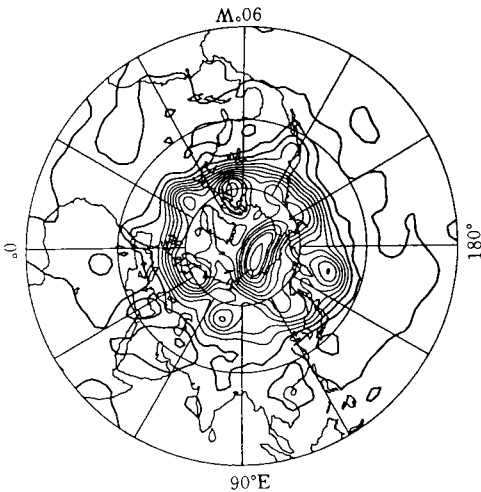


图 6 1991 年 7 月 20 日的 500hPa 高度分析场

图 7 1991 年 3 月 31 日的 500hPa 高度分析场

3.1 正压不稳定性的研究方法

为了简单起见,本文用准地转正压涡度方程讨论当基本场为非纬向气流时的正压不

点是：北半球极涡的位置偏于 60°N 以北的从 90°E 至 90°W 的高纬区域，中纬度有 7 个槽脊活动，呈 7 波型。与此同时，我们也注意到：1991 年 3 月 31 日至 4 月 3 日连续 4d 北半球预报技巧均在 0.8 以上，远远高于平均值 0.585。1991 年 3 月 31 日 500hPa 高度场的分析场见图 7。从图 7 可看出这几天环流形势也十分相似，其共同特征是：极涡位置位于北极中心，中纬度有 6 个槽脊活动。为了简单且真实起见，取 1991 年 7 月 20 日和 1991 年 3 月 31 日分别为预报技巧异常低与异常高个例的典型代表。

3.2.2 最不稳定模态及其与误差扰动的实况对应情况之比较

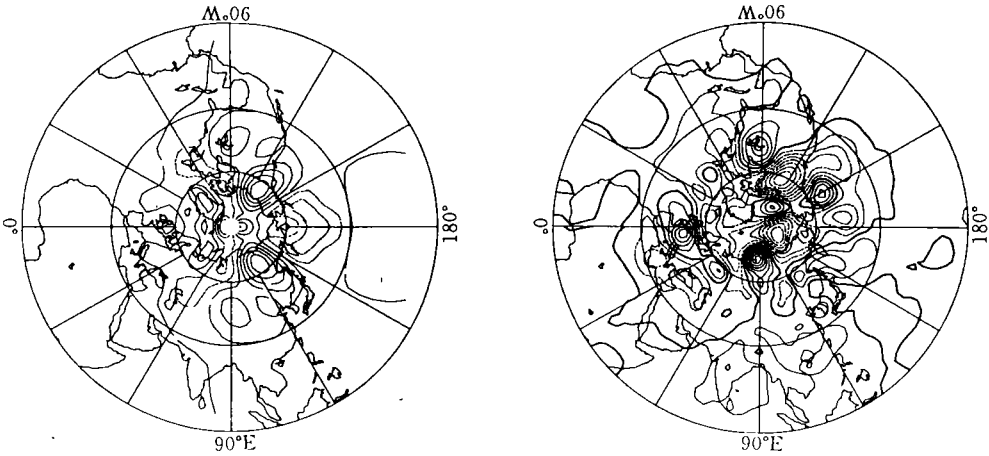


图 8 1991 年 7 月 20 日 500hPa 高度场预报技巧异常低个例最不稳定模态结构图 (a) 及 120 时预报误差分布图 (b)
(实线为正值, 虚线为负值)

分别计算预报技巧异常低和异常高的个例的最不稳定模态，进行比较后发现：1) 预报技巧异常低个例的最不稳定模态增长率较快，其振幅的 e 倍指数 (e fold index) 为 8.4d；而预报技巧异常高个例的最不稳定模态的 e 倍指数为 9.19d。2) 预报技巧异常低个例的最不稳定模态，相对而言，是快波，其振荡周期为 10.85d，而预报技巧异常高个例的最不稳定模态的振荡周期为 30.2d。

值得注意的一个现象是：对于预报技巧异常低的个例而言，120 时实况的预报误差的正负中心，大多数居然与该个例的正压不稳定最不稳定模态的正负中心有较好的对应！即正(负)误差中心对应正(负)扰动中心(图 8)。相对而言，预报技巧异常高的个例的 120 时实况的预报误差的正负中心，与最不稳定模态的正负中心则不那么吻合，有的甚至反号对应(图 9)。

4 结论

1) 预报时间长于 3d 以上的预报，必须作预报技巧的预报。

2) 统计诊断分析的结果表明预报技巧的变化与初始环流型的特征及其环流状态的转换有关。

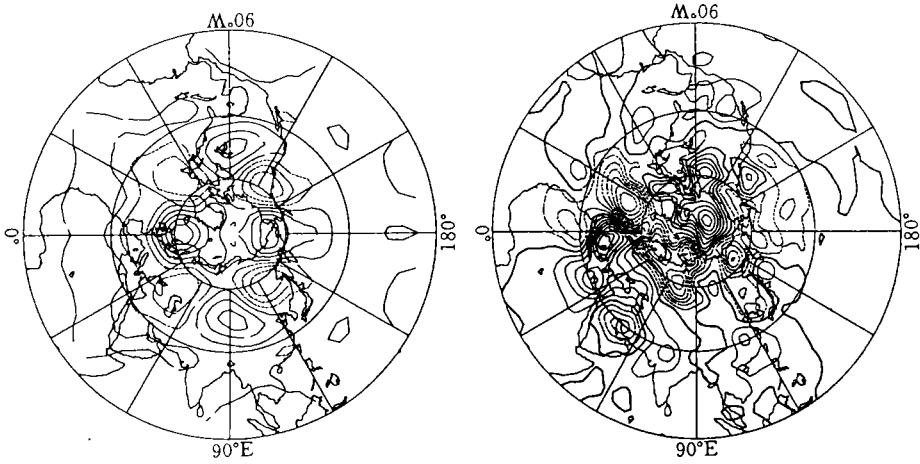


图9 1991年3月31日500hPa高度场预报技巧异常高个例最不稳定模态结构图(a)及120时预报误差分布图(b)
(实线为正值,虚线为负值)

3) 正压不稳定性研究表明预报技巧的变化与初始场环流的稳定性有关。

参考文献

- [1] Leith C E.《大气中大尺度动力过程》.北京:气象出版社,387-407.
- [2] Hoffman R N and Kalnay E. Lagged Average Forecasting: An alternative to monte Carlo Forecasting. Tellus, 1983, 35A 100-118.
- [3] E Kalnay and Dalcher A. Forecasting forecast skill. Mon Wea Rev 1987. vol. 115 349-356.
- [4] Palmer T and Tibaldi. On the prediction of forecast skill. Proceedings of a workshop held at ECMWF 1988. 263-310.
- [5] Palmer Tand Tibaldi S. Forecast skill and predictability. Technical Memorandum 1986 No: 127.
- [6] Molteni F and Palmer T. A experimental scheme for the prediction of forecast skill at ECMWF. Proceedings of a workshop at ECMWF. 1988 367-402.

DIAGNOSTIC STUDY ON FORECAST SKILL

Tan Jiqing

(Department of Geophysics, Peking University, Beijing 100871)

Ji Liren

(Institute of Atmospheric Physics, Academia Sinica, Beijing 100029)

Abstract

On the basis of the diagnostic analysis of 500hPa height's initial analysis field and forecast field data of T42L9 model of National Meteorological Center (Beijing), forecast skill of cases has been carefully surveyed using statistic method. Two basic results have been obtained

a) The forecasting of forecast skill should be done together with the forecast products above three-day time level;

b) There are some significant periods of day-to-day forecast skill of cases of T42L9 model according to the power spectrum analysis.

The correlation analysis show that there are some EOF fields correlating with forecast skill of Northern Hemisphere at five-day time level.

A simple barotropic quasi-geostrophic spectrum model is used to examine two typical case's barotropic instability. The results show that forecast skill is associated with the instability of initial field of the model and the allocation of error with background field of the cases.

Key Words: Forecast skill, Power spectrum analysis, Barotropic instability.