

欧洲中期天气预报中心数值 预报图的检验*

牟惟丰 杨元琴 宋文英

(北京气象中心)

提 要

为了对欧洲中期天气预报中心(ECMWF)数值预报图的优缺点有比较系统的了解,本文用1984年5月到1985年4月的一年北半球预报图资料,对各月平均误差分布情况及其季节变化特点作了统计分析。

ECMWF数值预报图在35—70°N之间的预报效果最好;在75°N以北的高纬度地区,都是春、夏、秋三季500百帕高度的预报平均明显偏高,500—1000百帕厚度预报平均明显偏暖,其中又以夏季偏暖最显著,春、秋季次之(冬季则变为偏冷),年变化规律性明显;在30°N以南地区夏秋两季都是500百帕预报明显偏低,厚度明显偏冷,最强偏冷中心位于青藏高原东南坡,冬春季则预报偏低和偏冷的程度减轻,年变化情况似与低纬度云雨量和热带低压活动的年变化大致相对应。

青藏高原上空500百帕预报全年基本上都是负偏差,以夏季负偏差最大,春秋季节减小,冬季趋于0,各月之间有近于正弦波型式的年变化规律性。把平均误差值与标准差相比较,可以看出低纬度地带(尤其是高原附近)是最需要也最有利于进行系统性误差订正的地区。

一、前 言

对数值预报产品进行统计检验,了解其性能和优缺点,在使用时作必要的订正,已成为有效地解释使用数值预报产品,提高天气预报水平的重要一环,也是在建立“决策树”(decision tree)预报程序框图或专家系统时所必须考虑的。

对数值预报形势比较全面的检验应包含三部分内容,即对月(或季)平均误差分布情况的了解;对各类天气系统移速、强度等平均误差情况的了解和一些特殊天气形势或过程情况下的特殊误差型式。

以上第一种,即月或季的平均误差,一般称之为系统性误差;第二种误差也是一种系统性误差。在模式输出统计(MOS)预报中对这两种系统性误差是可以通过建立统计对应关系而消掉的。第三种误差在MOS预报方程的平均统计对应关系中不能消掉,而

* 本文于1986年5月2日收到,1986年6月11日收到修改稿。

通过预报员的分析总结可以在不同情况下进行不同的订正使用而得到改进的效果。在这三种订正基础上的完全预报 (PPM) 不但可以与 MOS 预报同样地消掉系统性误差, 而且还可以消除掉一部分上述第三种误差, 从而得到更好的效果。

欧洲中期天气预报中心 (以下简称为 EC) 的数值预报当前在世界上水平最高, 虽然时效和产品种类还有些不够, 但仍然具有较好的业务使用价值, 在我国也受到广泛的重视。但是以往的检验总结绝大部分只使用了一两个月的资料, 少数用到四个月的资料, 而且内容、方法、所取资料时期各不相同, 较难得出一个比较系统完整的了解, 这对于业务工作中的应用是很不够的。

本文使用了 1984 年 5 月到 1985 年 4 月的一年 EC 北半球预报资料对月平均误差情况进行了统计检验。这是业务工作中系列检验工作的第一部分。

二、500 百帕高度预报的平均误差

图 1a、b、分别示出 7 月与 1 月预报平均误差从第 1 天到第 5 天的变化。可以看到, 各个误差区的分布位置随预报时效的变化一般甚少, 而误差值的大小随预报时效是近于线性增长的。这种情况与 A. Sumi 等^[1]文章中图 1 所示出的情况十分相似。Wallace 等^[2]也曾指出, EC 数值预报在中期预报的前期误差值是近于线性增长的。由于有这样的关系, 所以我们在下面的分析讨论中一般只示出第 5 天预报的结果做代表。

三、500 百帕高度预报平均误差与环流系统的关系

过去的检验总结文章曾指出, 许多数值模式的误差型式常很相似, 表现有共同性^[1-4]。主要的系统性误差是大尺度的^[5], 是与静止波而不是与移动性波相联系的^[3,6,7], 小的波数具有最大的误差^[4]。超长波预报误差的分布型式是使准静止分量的振幅变小, 即在超长波槽处多为正误差, 使预报的超长波槽偏浅, 脊处多为负偏差, 使预报的脊偏弱, 因而预报的环流形势经向度偏小。

平均误差的分布型式在逐年之间有相当大的持续稳定性。Wallace 等 (1981)^[6]曾依据 6 个冬季的 550 次 72 小时预报例子统计结果指出, 在这 6 年期间虽然数值模式经历了许多变化, 但早期与晚期的大尺度预报误差分布型式之间并未发现有明显的偏移。以后 Wallace 等 (1983)^[2]又对前后两个冬季 (1980—1981, 1981—1982) 的平均误差型式进行了比较, 发现两个冬季之间系统性误差是相似的, 但也有一些取样变化。

我们把 1984 年 5 月—1985 年 4 月这一年中各月的 500 百帕 120 小时预报平均误差场与初始场的月平均形势描在一起 (图 2), 通过对比可看到, 以前许多文章中所提出的一般反位相关系是存在的。但还可看出, 虽然大致呈反位相关系, 但有些正偏差区容易略偏于初始平均场的槽后一些, 负偏差区容易略偏于脊后一些。这种关系在冬半年较清楚, 夏季由于环流系统较弱而较不清楚。月平均槽脊系统与预报偏差区大致呈反位相分布的这种情况表明, 模式存在着强迫作用不足而易使预报的环流形势偏平的倾向。另一方面, 正偏差区容易略偏于槽后而负偏差区容易略偏于脊后, 则反映数值模式有把初始场上稳

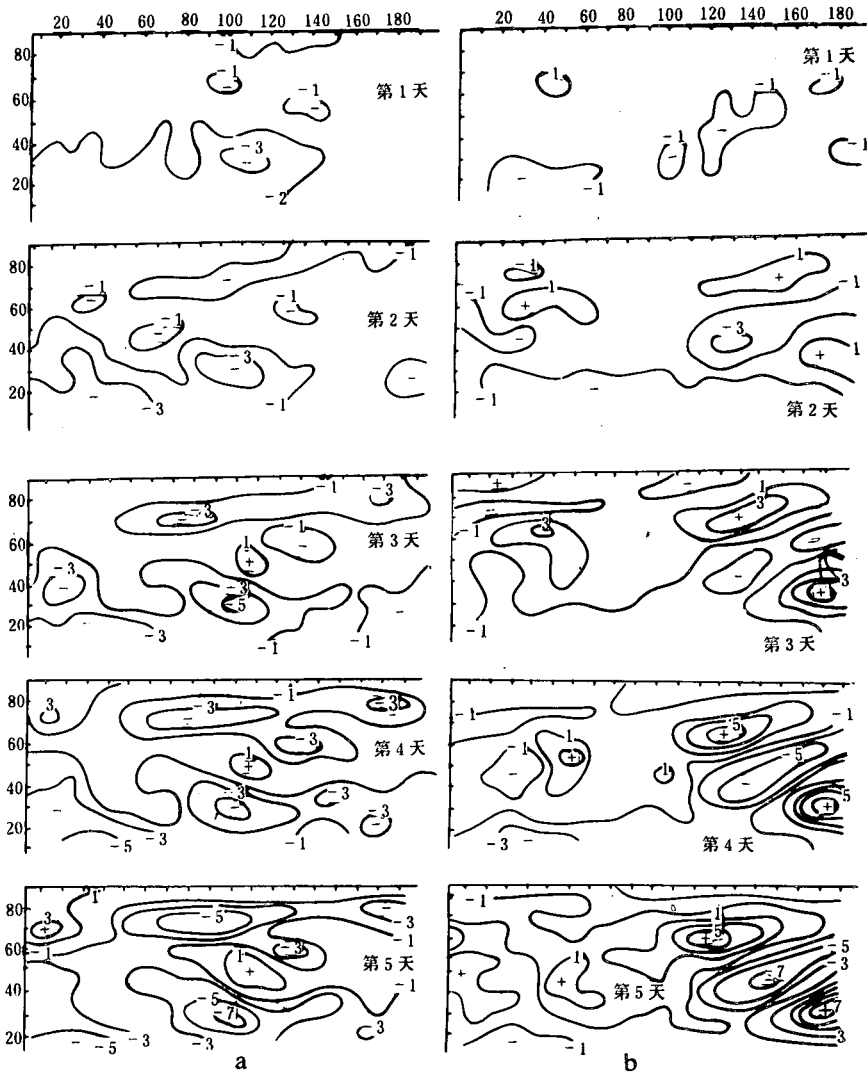


图 1 系统性误差的第 1 到第 5 天演变
 a 为 7 月份情况, b 为 1 月份情况

定的超长波系统预报得向偏东移一些 的倾向。

四、500百帕高度预报平均误差与500—1000百帕厚度 预报平均误差以及地面气压预报平均误差的关系

用图 2 与相同时期的厚度预报平均误差分布图(图略)相比较可以看出,二者在分布形势上有很大的相似。500百帕高度预报的偏高区大致为厚度预报偏暖区,500百帕高度预报偏低区大致为厚度预报偏冷区。

如果这种偏高与偏暖,偏低与偏冷的对应关系在位置和强度上都是完全对应的,则

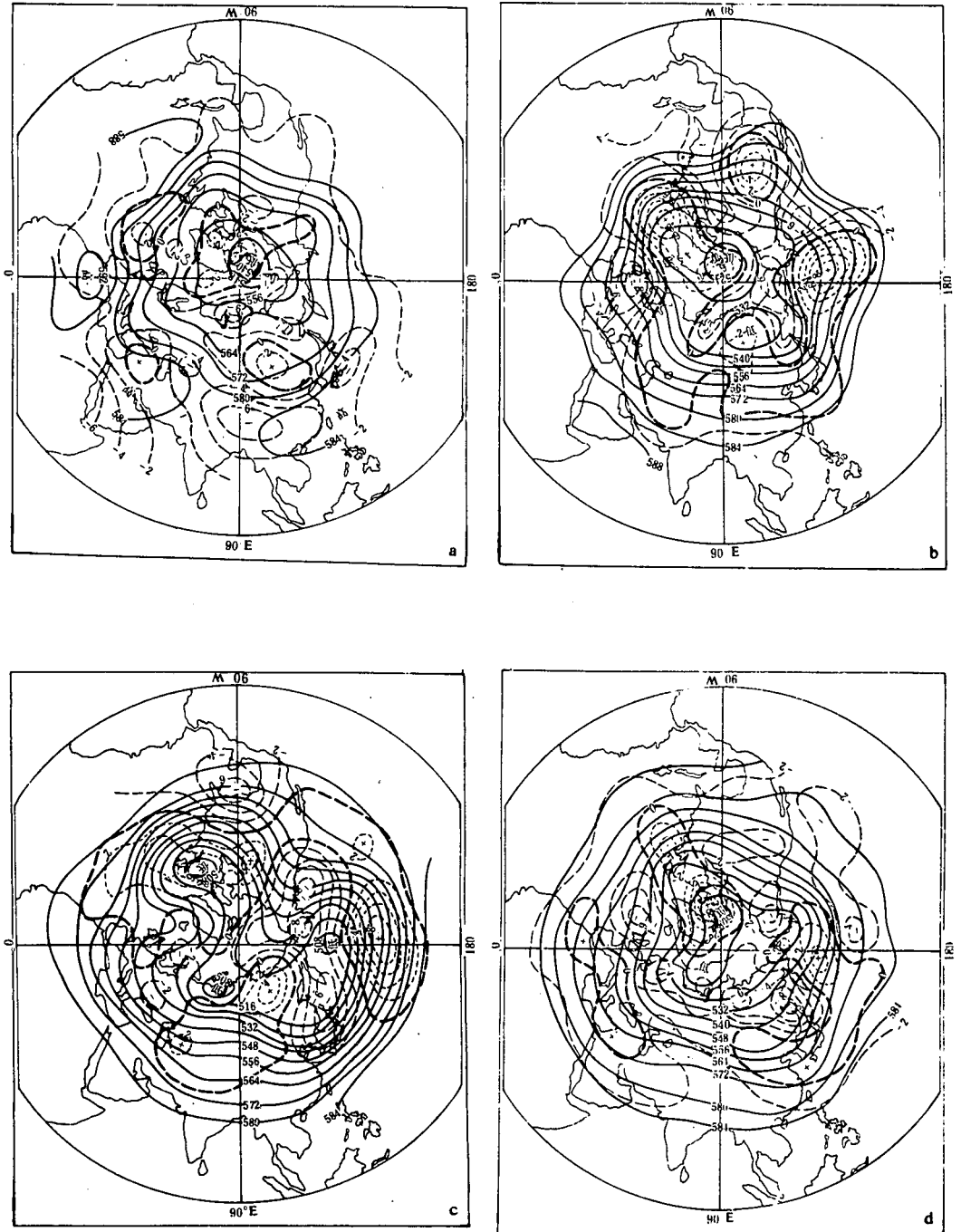


图 2 500 百帕初始场月平均图与平均误差分布图

a、b、c、d 分别为 7、10、1、4 月的情况，细实

线为等高线，断线为预报误差

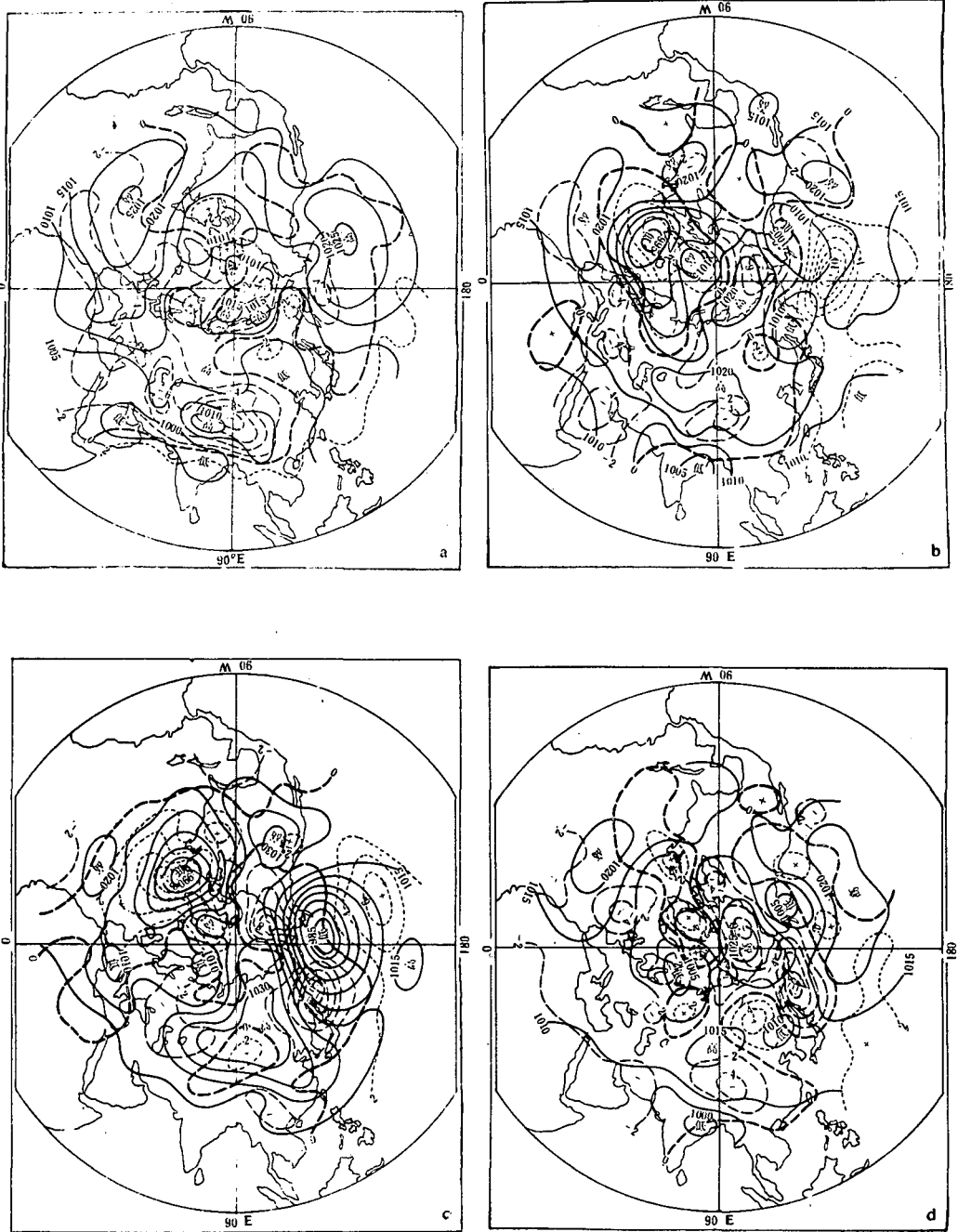


图 3 地面初始场月平均图与平均误差分布图

a、b、c、d分别为7、10、1、4月的情况，实线为等压线，断线为预报误差

地面或1000百帕的预报误差会由于以上二者相抵而变得很小。然而地面预报的平均误差(见图3)一般仍与500百帕预报误差的大小相当。可以看出,地面气压预报平均误差的各个正负区虽然从大范围上看与500百帕高度预报的各个正负误差区在位置上大致对应,但地面预报的误差区一般略偏向于500百帕相应正负区的下游一侧,而且还常有一些地区细节上和强度上的不均一。

Wallace等^[2]曾通过对300百帕与1000百帕预报误差分布的比较指出,误差场具有定性的相似分布,而误差值的幅度则随高度增大,他们称这种情况为“相当正压”(equivalent barotropic)的垂直结构。事实上“相当正压”只有一定程度的近似性。

五、平均预报误差随纬度的变化

我们把500百帕与1000百帕各月平均预报误差的各纬圈平均值点成随纬度变化的廓线,从500百帕与1000百帕两条廓线的比较中又可看出厚度预报平均误差随纬度的分布情况。为简略起见,现只示出各季3个月的平均廓线(图4)。

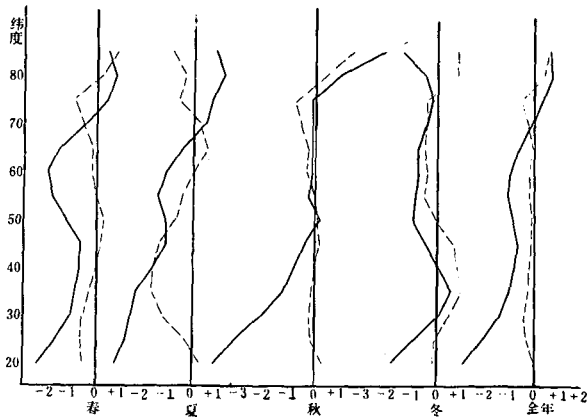


图4 各季平均预报误差的纬度变化

图中实线为500百帕, 断线为1000百帕

由图4可以看到,在 75°N 以北地区,夏季表现500百帕预报偏高,1000百帕正常或略偏低,厚度预报明显偏暖;春、秋季偏暖程度变小;冬季变为预报偏冷。由逐月的廓线(图略)看,同样具有很好的年变化规律性。在 30°N 以南地区,则夏秋两季500百帕高度场预报都偏低很严重,而1000百帕的平均误差一般不大,因而夏秋季在低纬出现明显的预报偏冷;冬、春两季也是偏冷,但偏冷程度明显减小,以冬季的偏冷程度最小。低纬地区预报偏冷的年变化特征似与台风、热带低压及云雨的年变化情况有一定对应关系,即在夏秋季台风、热带低压最活跃和低纬云雨量最多的季节,预报的厚度偏冷也最严重。夏半年在 75°N 以北地区预报平均偏暖,而在 30°N 以南偏冷,这会使平均的南北温度梯度减小;在冬季则是极地与低纬同是预报略微偏冷,对平均南北温度梯度的大小无明显影响。总起来说,E C数值模式的预报效果在 $35-70^{\circ}\text{N}$ 之间最好,在 70°N 以北

稍差, 在 35°N 以南急剧变坏。

由于中纬度附近的系统性误差最小, 因此误差的分布对我们常用的 $45-65^{\circ}\text{N}$ 之间西风指数的影响也甚小。每个月在 45°N 与 65°N 两纬圈之间平均误差梯度对西风指数的影响都不超过 $0.5\text{米}\cdot\text{秒}^{-1}$, 一般并不重要。

六、青藏高原地区的误差

1. 高原地区500百帕预报误差随预报时效的变化

前面曾指出, 平均误差随预报时效的增长是近于线性的。但青藏高原附近地区则不同, 24小时预报的平均误差已很快出现了较大的数值, 尔后再继续较慢地增长。现取高原上三个格点(30°N 、 90°E , 30°N 、 95°E , 30°N 、 100°E)的平均值为代表, 将7月份三点平均的月平均误差值随预报时效的变化点在图5a上(上面一条线); 另外任意取了西伯利亚西北部一个较强预报误差负中心处三个格点(70°N 、 90°E , 75°N 、 90°E , 70°N 、 85°E)的平均值代表一般情况, 将其随预报时效的变化也点在图5a中(下面的一条线)以便比较。又点出高原上均方根误差和北半球平均的均方根误差在图5b上。

可以看出, 图5中高原上的平均误差和均方根误差都在预报的第一天就已出现较大值; 而一般地区(除图5中的下面一条线外还可参看图1)则是在开始时很小, 随预报时效呈近于线性关系地增大。

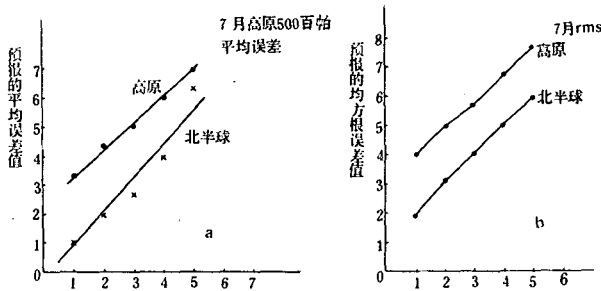


图5 500百帕预报平均误差(E)值(a)和均方根(rms)误差值(b)随预报时效的变化

2. 高原附近地区平均预报误差的年变化

现取青藏高原上空三个网格点(30°N 、 90°E , 30°N 、 95°E , 30°N 、 100°E), 高原北侧三点(35°N 、 85°E , 35°N 、 90°E , 35°N 、 95°E), 和高原东南侧三点(25°N 、 90°E , 25°N 、 95°E , 25°N 、 100°E)共九点的平均值, 点出均方根(rms)误差、标准差(σ)和平均误差(E)的逐月变化曲线(图6a)。可以看到, 平均误差具有大致呈正弦波型式的年周期循环, 7月份的负误差最强, 1月份前后负误差最小。这种情况反映高

原附近的平均误差可能与温度或加热的年变化有关。

均方根误差在夏季最大, 冬季最小, 这与整个北半球的平均情况(图6b), 尤其是 40°N 以北的中高纬情况(图6c), 是正好相反的。夏季高原地区均方根误差和平均误差最大, 而标准差却最小, 平均误差超过标准差数倍, 是最需要订正也最有利于订正的地区。其次低纬地带夏半年(图6d)也是比较适合于订正的地区。

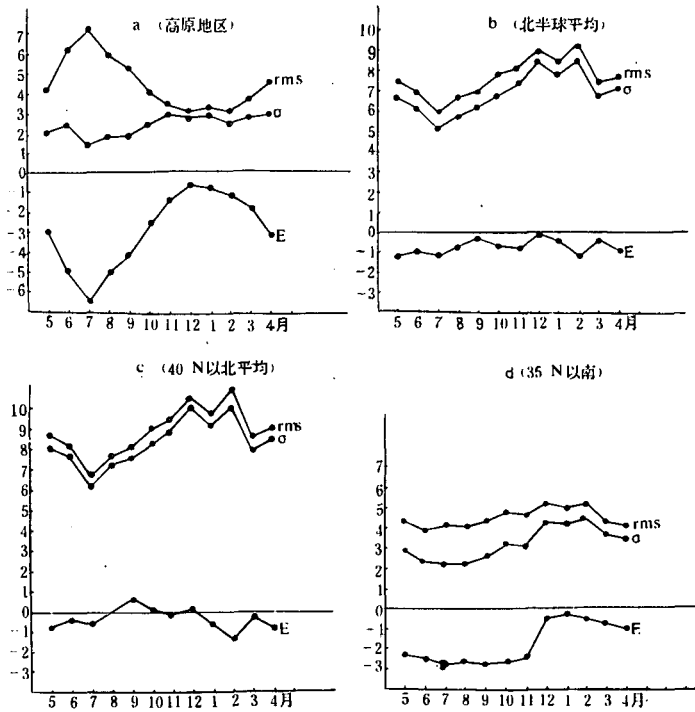


图 6 均方根误差、平均误差、和标准差的年变化曲线

3. 高原附近厚度预报平均误差的分布

高原附近 500 百帕高度场的预报平均误差在夏季最大, 这如果是与温度或加热有重要联系, 那么在厚度预报误差分布图上应该有所反映。事实上, 7 月在 30°N 以南的低纬度地带基本上都是厚度预报偏冷区, 其中青藏高原的东南侧为预报偏冷的最强中心区。而在高原北侧, 从伊朗一带经我国新疆、甘肃西北部到内蒙与蒙古一带为一略成长带状的预报偏暖区。7 月在低纬度尤其是高原东南坡为多云雨的地带, 凝结潜热加热项一般为主要加热项, 可远远超过净辐射项而使气柱明显增暖; 高原北侧的长条地带则在大面积上为干旱少云雨地带, 凝结潜热加热已不重要, 通常是向外的长波辐射大于吸收的短波入射。如果对两个地带这种不同的加热考虑不足, 则会引起这样的偏冷偏暖预报误差分布。

再由高原南侧低纬预报偏冷带的季节变化来看, 夏季推至最北, 达到高原上空, 强度达最大; 10 月已南退减弱; 1 月位置退到最南, 强度达最弱; 4 月又向北推加强。这

种季节变化情况与多云雨带位置的季节变化也是一致的。这说明模式对高原地区潜热释放考虑得不够。

4. 高原附近500百帕与地面预报误差区的上下层位置对应关系

前面已指出,地面预报的正负误差区常与500百帕的正负预报误差区大致相对应,并且一般略偏向于500百帕相应误差区的下游一侧。但夏季高原附近与此有很大差异。500百帕上的最大负误差中心是在高原正上空约 30°N 附近,而地面上的强大负误差区主要中心却位于 $35-40^{\circ}\text{N}$ 之间,显然并不近于垂直对应,也即并不是“相当正压”,而是有很大的倾斜,坡度在 $1/100-1/200$ 之间。这也是与一般地区不同的一种特殊性。

七、对订正使用的考虑

当数值预报的误差值越大时,在使用时越需要加以订正;当各次预报的误差值越稳定而越少振动,即标准差很小时,则越适宜于进行订正。我们以系统性误差(E)与标准差(σ)的比值(E/σ)大小来表现适合于进行订正的程度。如果月平均误差值足以完全代表系统性误差,同一模式在各年之间的误差是完全相同的(实际上是大致相似但也有些取样变化^[23]),则在总体样本呈正态分布的情况下会有约68.3%的概率误差值出现在正负一个标准差的范围内,有95.4%的概率误差值出现在正负两个标准差的范围内,有99.7%的概率出现在正负三个标准差的范围之内。由 E/σ 的比值大小就可以判断在订正消去平均误差以后的误差出现在某一范围内的概率,从而估计订正使用的意义大小。

较大范围 $E/\sigma > 1$ 的地区似乎可以考虑为适合于进行平均误差订正的地区,因在这样的地区订正消去平均误差后可以有68%以上的机会其误差值小于现有误差值。对 $E/\sigma < 1$ 地区进行平均误差订正已无多大意义。

各月 E/σ 的分布基本上都是低纬度最大,中高纬度较小。中高纬度仅有一些零散的 $E/\sigma > 1$ 中心,而低纬度的比值常可达2或3以上。

注意在低纬度的 E/σ 大值带中,青藏高原附近有特殊的表现。在夏季出现特强中心,并表现有规律的年变化。7月大值中心向北凸起,中心值达6—7之多;10月大值区明显减弱南退;1月退至最南最小,与同纬带或周邻地区相比较已趋于均匀一致;4月重又向北扩展加强。

对高原附近地区夏季进行平均误差的订正会有95%以上、甚至99%以上的机会使误差值不到4gpm,明显小于现有误差值,是最需要也最适合进行平均误差订正的地区。

八、讨 论

除高原附近地区有一定特殊性外,预报的系统性误差及均方根误差随预报时效的增长是近于线性的。

正、负平均误差区一般与平均槽脊呈大致反位相的分布,即平均槽底附近大致为正偏差区,平均脊处大致为负偏差区。这使得预报的环流形势有偏于纬向的倾向,但对于

45—65°N 之间环流指数的强度影响并不重要。

由于正、负平均误差区与平均槽脊的分布有一定对应关系, 因而大的正负误差区在逐月之间的变化也具有一定的气候规律性。但在不同纬带, 平均误差的年变化又有一些差别, 高原附近地区更有相当突出的特殊性。

在75°N 以北的高纬地区, 春夏秋三季都是500百帕高度预报平均偏高, 厚度预报平均偏暖。夏季的偏暖最显著, 春秋两季的偏暖程度减小, 冬季则偏冷, 具有明显的年变化规律性。在30°N 以南地区则夏、秋两季500百帕高度预报偏低显著, 同时厚度预报偏冷; 冬、春两季也是偏冷, 但偏冷的程度较小。这似乎与低纬度的云雨量和热带低压活动的年变化大致相对应, 也即是与平均潜热加热考虑不足可能有大致对应关系。中纬度地带的平均预报误差最小。

青藏高原上空 500 百帕高度预报全年基本上都是负偏差, 夏季的负偏差大, 尤以 7 月为最大; 春、秋季负偏差减小; 冬季的负偏差最小, 或在零值附近; 具有近于正弦波型式的年变化规律性。误差值大小的这样的年变化与其他地区或整个北半球的平均情况相比较, 位相是正好相反的。

青藏高原附近夏季的500百帕预报平均负误差中心是在高原上空30°N 附近处, 当 7 月 500 百帕预报的负误差区最强时地面预报的负误差区也最强, 但地面负误差中心位置却偏在35°N 以北到40°N 之间的我国西北地区, 倾斜率在1/100到1/200之间, 这样的上下层配置关系与一般地区不同, 已远远不能说是“相当正压”^[2]的, 也难用地形动力作用来解释。

厚度预报夏季在低纬度为一明显偏冷带, 偏冷的最强中心在青藏高原东南侧; 而高原北侧经伊朗、我国新疆、内蒙到蒙古一带为一近东西向的偏暖区。预报偏冷与偏暖的地带正好分别与多云雨区和干旱少云雨区相对应, 似乎反映了主要是模式对热力原因考虑不足而引起的。

目前EC 数值模式的预报对于中、高纬度已达到了一般无需进行系统性误差订正的地步, 但低纬度系统性误差仍较大, 仍有进行订正的必要。尤其是青藏高原附近夏季的系统性误差最为突出, 进行订正使用会有很大效果; 分析了解其产生的物理原因, 对于进行改进数值模式的实验, 更是具有根本重要性的问题。

在前文中已交待, 为对EC 数值预报的全年情况有比较系统的了解, 使用了1984年5月到1985年4月一年的资料。在此期间EC 使用的是谱模式沿纬圈取63波, 已使用了包络地形。在1985年5月以后EC 所用模式的水平分辨率才有了变化, 由取63波改为取106波, 预报质量又有提高。北半球平均(指20—85°N 各网格点值的平均)的均方根误差1984年7月500百帕预报为59米, 1985年7月为54米, 减小了5米; 1985年1月为83米, 1986年1月则为80米, 减小了3米。另外也还会有许多其他细节上的变化。因此, 对数值预报的检验工作还需在日常业务工作中随数值模式的调整而不断进行。

参 考 文 献

- [1] Akimasa Sumi and Masao Kanamitsu, A Study of Systematic Errors in a Numerical Weather Prediction Model, Part I: General Aspects of the Systematic Errors and Their Relation

- with the Transient Eddies, *J. Met.Soc.Jap.*, Vol.62, No.2, P.234—251, 1984.
- [2] John M.Wallace, Stefano Tibaldi and Adrian J.Simmons, Reduction of systematic forecast errors in the ECMWF model through the introduction of an envelope orography, *Quart.J.R.Met.Soc.*, Vol. 109, No.462, P.683—717, 1983.
- [3] A.Hollingsworth, K. Appe, M.Tiedtke, M.Copaldo and H.Savijarvi, The Performance of a Medium-Range Forecast Model in Winter—Impact of Physical Parameterizations, *Monthly Weather Review*, Vol.108, No.11, P.1736—1773, 1980.
- [4] David Baumhefner and Patrick Downey, Forecast Intercomparisons from Three Numerical Weather Prediction Models, *Mon.Wea. Rev.*, Vol.106, No.9, P.1245—1279, 1978.
- [5] E.B.Fawcett, Systematic Errors in Operational Baroclinic Prognoses at the National Meteorological Center, *Mon. Wea. Rev.*, Vol.97, No.9, P.670—682, 1969.
- [6] John M.Wallace and James K. Woessner, An Analysis of Forecast Error in the NMC Hemispheric Primitive Equation Model, *Mon. Wea. Rev.*, Vol. 109, No.12, P.2444—2449, 1981.
- [7] S.J.Lambert and P.E. Merilees, A Study of Planetary Wave Errors in a Spectral Numerical Weather Prediction Model, *Atmosphere—Ocean*, Vol. 16, No.2, P.179—211, 1978.

A STUDY OF FORECAST ERRORS IN ECMWF OPERATIONAL MODEL

Mu Weifeng Yang Yuanqin Song Wenying

(Beijing Meteorological Center)

Abstract

In order to have a better understanding on ECMWF model and make proper use in operation, the distribution of monthly mean errors and its seasonal variation is studied with one year data of the predicted charts from May 1984 to April 1985.

ECMWF numerical forecast is best in middle latitude. In the area north of 75° N, 500 hPa height is forecasted too high and 500—1000 hPa thickness is too warm in spring, summer and autumn, especially in summer, but the latter becomes colder than that observed in winter. In the area south of 30° N, 500 hPa height forecast is too low and 500—1000 hPa thickness is too cold in summer and autumn, with the coldest error center situated on the southeast slope of Xizang Plateau; but in winter and spring, the value of error is not so large as in summer and autumn. This seasonal variation seems to correspond with the cloud and precipitation amount or the activities of tropical low over there.

Over the Xizang Plateau, the 500 hPa height forecast error is almost negative in every month of the year, with the largest negative value appeared in summer, but it approaches to zero in winter.

Comparing the values of systematic error with standard deviation, we may find that in low latitude area, especially in the vicinity of Xizang Plateau, EC forecast charts need modification with systematic errors.