

欧洲中期天气预报中心产品的自动处理和六一十天的延伸预报

丁金才 朱永禔* 姚志展 郭永润

(上海气象局)

欧洲中期天气预报中心(简称ECMWF)的全球原始方程 15 层模式是目前公认的最佳模式^{[1]、[2]}。我台每天经由中央台接收 3—5 天的北半球 500mb 高度预告的格点资料。在 ECMWF 产品的应用方面,我们做了两项工作:ECMWF 产品在电子计算机上的自动处理和北半球 500 mb 高度六一十天的延伸预报。

一、ECMWF产品在电算机上的自动处理

目前,中央台逐日向各地气象台、站转发 ECMWF 的北半球 500 mb 2—5 天的形势预告图。由于传真图上无高度值,给预报产品的应用带来了许多困难。因此不少气象台站在接收传真图的同

* 叶小妹同志任担了本文的部分资料工作

时,还接收北半球 500 mb 高度预报的格点资料,再进行填图和分析。这样虽然解决了部分资料问题,但太费人工。我台目前每天可接收到的 ECMWF 资料有 3—5 天 500 mb 高度预告的格点资料,当日 20 时北半球 500 mb 高度实况的格点资料(20°N—90°N, 0°—360°E, 5°×5°, 共 1009 个格点)和当日 20 时东半球 200 mb、850 mb 测风的格点资料(35°N—35°S, 90°E—90°W, 5°×5°, 共 540 个格点)。若这些资料全由手工填图和分析,需 4 小时的工作量。这不仅费工、费时,很难及时赶上预报需要的时效,而且难免出错。为此,我台根据现有的 DJS-6 电子计算机的有利条件,设计了 ECMWF 产品自动处理的程序。从通讯报条资料的输入,经分解、查错、填绘、分析直至储存,整个过程在电子计算机上只需 15 分钟就可完成,比手工处理提高工效 15 倍。不但赶上了预报需要的时效,而且为这些资料的应用提供了极大的方便。该自动化处理程序的流程如图 1 所示。

该自动化处理程序的主要技术性能为:

1. 能自动识别以下四类错情的报文,并打印出错报的性质和地址,便于修改。① 非 ECMWF 报类的混入; ② 缺报; ③ 报文中多码或少码; ④ 某一高度值中百位数出错或测风风向值大于 360°。

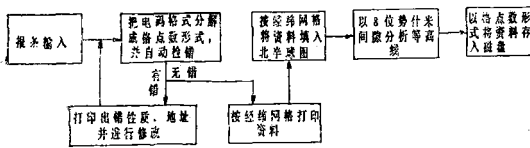


图 1 ECMWF 产品在 DJS-6 机上自动处理流程图

2. 电码格式分解成格点值形式,并以表格形式打印输出,便于应用。

3. 按 5 个纬度、10 个经度格距的经纬网格把格点资料填绘在北半球天气图上。

4. 分析等高线质量与手工分析接近。我们统计 1983 年 4 月份 26 张 ECMWF 的 96 小时预告图的自动分析质量和中央台手工分析质量的对比。为了避免系统的定位误差,我们尽可能选择那些有较小闭合等高线的高、低压系统和曲率明显的槽脊进行统计。结果详见表 1。其偏差都在正常的分析偏差范围内。

5. 将分解处理后的资料存储于磁盘,为日后调用提供了方便。

表 1 自动分析与手工分析偏差统计

系统类别	个数	平均经度偏差	平均纬度偏差
高、低压中心 (30°N—65°N)	115	1.7°	1.2°
高空槽(30°N—60°N)	102	1.4°	/

这一工作自 1983 年 3 月 1 日起已投入日常业务预报应用。

二、应用 ECMWF 的第 5 天的预报资料作嗣后 6—10 天的 500 mb 形势的延伸预报

目前,国内能收到的中期数值预报产品,除中央台隔天向各台、站传真发布的 72 小时 500 mb 形势预告和天气预报图外,从国外能收到的只有 ECMWF 提供的 5 天之内的形势预报和日本一周二次发布的第 4 天—第 8 天的 500 mb 形势预报和地面气压场预报。但是实际生产部门经常要求提供 5 天以上乃至半个月之久的中期天气预报。在当前缺少中期预报方法的情况下,应用 ECMWF 的产品制作嗣后 6—10 天的北半球 500 mb 形势预报和 500 mb 候平均图预报是值得尝试的课题。

根据我们目前的计算机条件,应用较复杂的中期数值预报模式来制作 5 天以上的形势预报几乎是不可能的。因此,我们设想在欧洲中期天气预报中心提供的第 5 天北半球 500 mb 高度预报的基础上,利用简单的一层线性谱模式制作嗣后的 6—10 天北半球 500 mb 形势的延伸预报。这样不仅可逐日得到第 3—10 天的 500 mb 形势预报,而且每逢 5 的倍数日,还可把延伸 5 天的预报图求平均,得到一张北半球 500 mb 的候平均预报图,以适应中期预报的需要。

1. 一层线性谱模式简介

从球坐标下的水平运动方程出发

$$\frac{\partial u}{\partial t} + v(\xi + f) = -\frac{1}{a \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \lambda} (\phi + K) \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} - u(\xi + f) = -\frac{1}{a} \frac{\partial}{\partial \theta} (\phi + K) \quad (2)$$

式中 $K = \frac{1}{2} (u^2 + v^2)$ 为动能, $\xi = \frac{1}{a \sin \theta} \left[\frac{\partial}{\partial \theta} (u \sin \theta) - \frac{\partial v}{\partial \lambda} \right]$ 为相对涡度, θ 为余纬, λ 为经度, ϕ

为位势高度, a 为地球半径。根据叶、勃里诺娃提出的方法^[3],假定大气不可压,引入流函数 $\psi(\lambda, \theta, t)$, 并

有 $u = \frac{1}{a} \frac{\partial \psi}{\partial \theta}$, $v = -\frac{1}{a \sin \theta} \frac{\partial \psi}{\partial \lambda}$, 则可导出球坐标下的涡度方程

$$\frac{\partial}{\partial t} \nabla^2 \psi + \frac{1}{a^2 \sin \theta} \left(\frac{\partial \psi}{\partial \theta} \cdot \frac{\partial}{\partial \lambda} \nabla^2 \psi - \frac{\partial \psi}{\partial \lambda} \cdot \frac{\partial}{\partial \theta} \nabla^2 \psi \right) + 2\omega \cdot \frac{\partial \psi}{\partial \lambda} = 0 \quad (3)$$

(ω 为地转角速度)。以小扰动法对涡度方程作线性化处理。令

$$\psi(\lambda, \theta, t) = \bar{\psi}(\theta) + \psi'(\lambda, \theta, t) \quad (4)$$

$\bar{\psi}$ 为纬向基本气流, ψ' 为扰动项。代入(3)式, 略去扰动项的二次小量, 可得线性涡度方程

$$\frac{\partial}{\partial t} \nabla^2 \psi' + \frac{1}{a^2 \sin \theta} \cdot \frac{\partial \bar{\psi}}{\partial \theta} \cdot \frac{\partial}{\partial \lambda} \nabla^2 \psi' + \left\{ 2\omega - \frac{1}{a^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left[\frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial \bar{\psi}}{\partial \theta} \right) \right] \right\} \cdot \frac{\partial \psi'}{\partial \lambda} = 0 \quad (5)$$

令 $\bar{u} = \frac{1}{a} \frac{\partial \bar{\psi}}{\partial \theta} = a \cdot \Omega \cdot \sin \theta$, $\bar{v} = 0$, 其中 Ω 为环流指数, 可从起始场中求得。则 $\bar{\psi} = -\Omega \cdot a^2 \cdot \cos \theta$ 。(5) 式便可改写成

$$\frac{\partial}{\partial t} \nabla^2 \psi' + \Omega \cdot \frac{\partial}{\partial \lambda} \nabla^2 \psi' + 2(\omega + \Omega) \cdot \frac{\partial \psi'}{\partial \lambda} = 0 \quad (6)$$

不难证明该方程有单波解

$$\psi' = E_n^m \cdot P_n^m(\cos \theta) \cdot e^{i(m\lambda + \sigma_n^m t)} \quad (7)$$

式中 E_n^m 为球展系数, $P_n^m(\cos \theta)$ 为勒让德系数, m 、 n 分别为纬向、经向的波数, σ_n^m 为波速。从(6)式和综合勒让德方程可推导出

$$\sigma_n^m = -m\Omega + \frac{2(\Omega + \omega) \cdot m}{n(n+1)} \quad (8)$$

令高度场为

$$\phi(\lambda, \theta, t) = \bar{\phi}(\theta) + \phi'(\lambda, \theta, t) \quad (9)$$

代入(2)式, 并根据诊断方程

$$\sin \theta \frac{\partial^2 \psi'}{\partial \theta^2} - 2(\Omega + \omega) \cdot \cos \theta \frac{\partial \psi'}{\partial \lambda} + \frac{\partial \phi'}{\partial \lambda} + \Omega \cdot \sin \theta \frac{\partial^2 \psi'}{\partial \theta^2} = 0 \quad (10)$$

可得 $\phi'(\lambda, \theta, t)$ 的单波解形式为

$$\phi'(\lambda, \theta, t) = 2(\Omega + \omega) \cdot E_n^m \left\{ -\frac{\sin \theta}{n(n+1)} \cdot \frac{dP_n^m}{d\theta} + \cos \theta \cdot P_n^m \right\} \cdot e^{i(m\lambda + \sigma_n^m t)} \quad (11)$$

再利用递推公式

$$\cos \theta \cdot P_n^m = \frac{n-m+1}{2n+1} \cdot P_{n+1}^m + \frac{n+m}{2n+1} \cdot P_{n-1}^m \quad (12)$$

$$\sin \theta \cdot \frac{dP_n^m}{d\theta} = \frac{n(n-m+1)}{2n+1} \cdot P_{n+1}^m - \frac{(n+1)(n+m)}{2n+1} \cdot P_{n-1}^m \quad (13)$$

(12)式可整理、化简为

$$\phi' = [A_n^m \cdot \cos(m\lambda + \sigma_n^m t) + B_n^m \cdot \sin(m\lambda + \sigma_n^m t)] \cdot P_n^m(\cos \theta) \quad (14)$$

其中 A_n^m 、 B_n^m 为起始高度场的球展系数^[4]。

由于方程(5)是线性的, 因此扰动场的解最终可写成

$$\phi'(\lambda, \theta, t) = \sum_{n=m}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} [A_n^m \cdot \cos(m\lambda + \sigma_n^m t) + B_n^m \cdot \sin(m\lambda + \sigma_n^m t)] \cdot P_n^m(\cos \theta) \quad (15)$$

式中 $t = N \cdot 86400$ 秒, 令 $N = 1, 2, 3, 4, 5$, 即可得相应的延伸预报的高度场。

我们在实施上述预报方案时, 起始场是选用 ECMWF 提供的北半球 500 mb 第 5 天的高度预报场, 波数取 $m=7, n=19$, Ω 取 $20^\circ\text{N} - 60^\circ\text{N}$ 的平均值, $\bar{\phi}(\theta)$ 也由起始场各纬圈的高度值求得。

2. 效果检验

我台从 1983 年春季把这方案投入了日常业务预报。为了减少检验的工作量, 我们通过对 1983 年春季 8 个候的北半球 500 mb 候平均图的检验来检查延伸 5 天预报的综合效果。这 8 个候平均图的制作是 3 月 26 日计算出 4 月 1—5 日的延伸预报, 然后加以平均作出 4 月第一候的北半球 500 mb 候平均预报图; 3 月 31 日计算出 4 月第二候的候平均预报图, 依次类推, 直至算出 5 月第二候的平均图。下面从三个要素上进行检验。

1) 西风槽、脊位置的预报误差

按 30°N 、 40°N 、 50°N 、 60°N 等纬圈以 10 个经度间隔点出各候的实况和预报的高度廓线, 如图 2 所示。以廓线的谷点和脊点作为该纬圈的槽线和脊线所在, 来统计西风槽、脊位置的预报误差, 这样可消除因槽、脊定位引起的偏差。从表 2 可见, 高纬度的预报效果比低纬度好, 西风槽、脊位置的预报误差随纬度降低而减少; 西风槽、脊的漏报和空报的机率也是 30°N 处最高。但总的来说, 西风槽、脊位置的平均预报误差为 7.5° , 空报或漏报的机率为 11%, 从中期预报的要求看, 这是可以容许的。

若以各候的西风槽、脊预报误差来看, 以 4 月第

表 2 西风槽、脊位置的预报误差

纬 圈	60°N	50°N	40°N	30°N
槽、脊统计数	53	60	58	40
经度误差	6.6°	7.6°	7.7°	8.2°
漏、空报数	6	6	6	9

二候的预报最为理想。图 2 显示了 30°N 和 50°N 两纬圈的高度廓线，可见预报高度随经度的分布与实况甚相吻合。而且各点高度的预报误差也不大，标准差

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2}{n-1}} = 6.8 \text{ 位势什米} \text{ 也在中期预报的允许误差之内。}$$

图 3 显示了 4 月第二候 500 mb 平均图的预报和实况对比，除个别槽、脊的强度略有出入外，各长波槽、脊的位置基本吻合。对应天气演

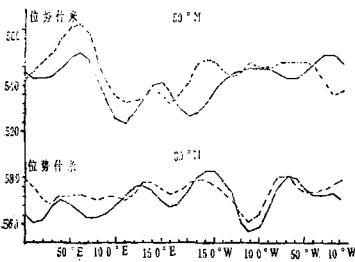
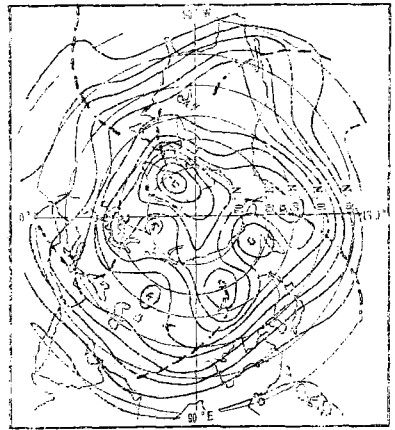


图 2 1983 年 4 月第二候 500 mb 50°N、30°N 高度廓线
——预报 ——实况

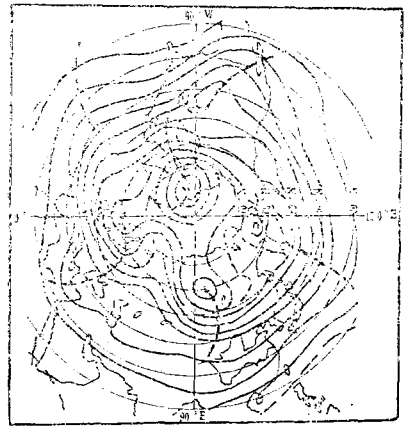
变，3 月 31 日在我国沿海有一长波槽加深发展，4 月第一候的长波槽位于 130°E 附近，因此上海地区 1—5 日连晴。但从 4 月第二候开始，长波槽就西退到 100°E 附近(见图 3)，并在以后三个候中该长波槽稳定少动，造成了上海地区 4 月 6 日至 21 日的一段连阴雨。对于这一长波槽位置的调整以及天气的转折，在逐候的 500 mb 候平均图的预报中也有反应的。

2) 东亚西风环流指数的预报误差

图 4 表示了逐候平均图上高纬度和中纬度两条不同纬度带的东亚西风指数的预报和实况的演变曲线。高纬度的西风指数是用 90°E—150°E 范围内每 10 个经度间隔格点上 50°N 与 60°N 的平均高度差求得；中纬度的西风指数用 95°E—145°E 范围内 10 个经度间隔格点上 35°N 与 45°N 的平均高度



(甲) 预报



(乙) 实况

图 3 1983 年 4 月第二候 500 mb 平均图

差求得。从图 4 可见，东亚西风指数的预报效果，中纬度比高纬度好。中纬度的西风指数的预报误差各候均在 5 位势什米之内，8 个候的平均误差为 1.6 位势什米。高纬度的西风指数的预报误差除 4 月第五候和 5 月第一候超过 5 位势什米外，其余各候均在 4 位势什米以下，8 个候平均误差为 3.1 位势什米。若以误差在 5 位势什米之内为正确的话，则中纬度的西风指数预报正确率为 100%，高纬度为 75%。若按变化趋势来统计，则中纬度除 4 月第二候和第四候外，其余 5 个候的西风指数的演变，预报和实况均保持同步，趋势演变的预报准确率为 70%；而高纬度的西风指数演变的预报准确率也为 70%。

3) 东亚西风急流轴位置的预报误差

我们计算了 115—140°E，30—60°N 范围内每 5 个纬度、5 个经度间隔格点上的地转西风值，

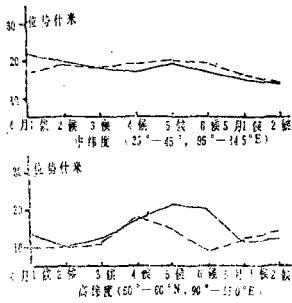


图 4 东亚西风指数的预报误差
——预报 ---实况

依此点绘出西风急流轴的平均位置(图略)。除 4 月第一候和第六候外, 各候的预报误差均在 4 个纬距之内, 8 个候的平均预报误差为 3.5 个纬度。若以误差在 5 个纬度之内为正确的话, 则东亚西风急流轴位置的预报准确率为 75%。就 西 风 急 流 轴 的 南 北

摆动趋势而言, 除 4 月第二候外, 预报和实况均保持同步, 趋势预报准确率为 85%。

以上检验结果说明, 利用一层线性谱模式对 ECMWF 产品作 6—10 天的延伸预报和候平均图预报还是可行的, 其预报结果在现阶段具有一定的参考价值。当然这一工作还存在不少问题, 以后若再加上预报误差的订正, 预报效果可望有所改进。

参 考 文 献

- [1] D. 泽德尔曼, 欧州中期天气预报中心的业务预报, 李清月、沙昌煦摘译, 气象科技资料, 1983。
- [2] 纪立人, 欧州中期天气预报中心情况简介, 气象科技资料, 1983。
- [3] Блинова. Е. Н. Гидродинамическая теория волн давления. температурных волн и центров действия атмосферы докл. АН СССР. 39, No. 7, 1943.
- [4] 朱永褪、丁金才, 应用球谐系数作中期天气趋势预报的尝试, 气象, 1982. 1。