

中国科学院地球物理研究所

# 动力气象学论文集

(二)

(阻塞形势发展过程的数值研究)

叶笃正主编

科学出版社

中国科学院地球物理研究所

# 动力气象学论文集

(二)

(阻塞形势发展过程的数值研究)

叶笃正主编

科学出版社

1963

## 內 容 簡 介

本論文集共包括七篇論文,主要內容是用数值方法,研究了北半球冬季主要天气系統之一——阻塞形势的发展过程。

首先,对阻塞形势的建立和崩潰过程,利用已有的模式进行了数值試驗,对模式性能和阻塞形势发展过程的物理机制得到了初步的了解。其次,研究了阻塞形势中无輻散流場的空間分布特性,分析了斜压层結的不均匀性与阻塞高压的关系,提出了一个考虑了斜压层結不均匀性和准无輻散的理論模式,并具体模拟了一个試驗方案。經試驗結果表明,此方案有助于改进阻塞形势建立的預报。最后,提出了一个完整的流体力学热力学方程組的二层模式,并进行了实际的試驗,其效果是良好的,在实际天气預报工作中应用完整方程組是可能的和有前途的。

本論文集可供气象研究工作者、高等院校教育工作者、气象业务工作者以及其它有关工作者参考。

统一书号 13031.1780

### 动力气象学論文集

(二)

(阻塞形势发展过程的数值研究)

叶篤正主編

\*

科学出版社出版 (北京朝阳門大街 117 号)

北京市书刊出版业营业許可証出字第 061 号

中国科学院印刷厂印刷 新华书店总經售

\*

1963 年 7 月第 一 版

书号: 2766 字数: 202,000

1963 年 7 月第一次印刷

开本: 787×1092 1/16

(京) 0901—1,700

印张: 9 3/4

定价: 1.40 元

82811

## 目 录

|                                                     |     |
|-----------------------------------------------------|-----|
| 前言.....                                             | 1   |
| 冬季阻塞形势建立和崩溃的数值试验.....张锡福、刘瑞芝                        | 2   |
| 平衡方程的一个数值求解方案及其有关的数值结果.....王宗皓、张耀科                  | 56  |
| 阻塞形势的准无辐散流场三维演变特点.....王宗皓                           | 75  |
| 斜压层结不均匀性与涡旋运动.....朱永禔                               | 87  |
| 考虑斜压层结不均匀性的一个准无辐散模式.....朱永禔                         | 95  |
| 斜压准无辐散模式的一个试验方案及其在阻塞形势研究中的初步应用.....<br>.....朱永禔 张耀科 | 111 |
| 二层模式的完整流体力学热力学方程组在短期天气预报中的应用.....曾庆存                | 133 |

## 前 言

大型天气形势的剧烈转变是天气预报中的一个重要问题，也是大气环流的一个基本问题。而且大型天气形势的剧烈转变往往起源于阻塞高压的建立和崩溃。关于阻塞形势的建立和崩溃的天气学过程，已在“北半球冬季阻塞形势的研究”一书<sup>1)</sup>中有比较详细的讨论。在该书的第三章中，也已涉及到一些阻塞形势的数值预报问题，但分析研究得还远远不够。本论文集主要是对阻塞形势发展过程的数值预报作了进一步的分析和研究。

首先，我们利用已有的正压模式和斜压三参数模式，对各种类型的阻塞形势的建立和崩溃过程进行了多次的数值试验，由此了解了一些有关这种重要天气形势的建立和崩溃过程的物理机制，并指出了所用模式的缺点。同时，我们还分析了阻塞形势建立和崩溃阶段的无辐散流场的空间分布特性。结果表明，对于建立阶段无辐散流场与高度场有较明显和规则的偏差。此外，通过另外一些个例分析，还得出了斜压层结的不均匀性与阻塞高压的建立有着联系。

为了弥补一般斜压参数模式的缺陷，并考虑平流层层结的特殊性及其贡献，我们提出了一个考虑斜压层结不均匀性和准无辐散的理論模式。根据这些结果以及“北半球冬季阻塞形势的研究”一书中所指出的问题，我们还具体设计了一种包括平流层的三层数值预报模式，编制了程序，并对阻塞形势建立的一个典型个例进行了各种情况的试验。结果指出，考虑平流层层结特性和应用准无辐散流场，将有助于改进阻塞形势建立的预报。

在“北半球冬季阻塞形势的研究”一书中，还指出了非地转过程在这种天气形势形成过程中的重要性，因此，我们还提出了一个比较有效的由高度场求无辐散流场的方法，并利用平衡方程代替地转关系作了数值预报，同时也分析了阻塞形势建立过程中流场和气压场偏差的演变。为了进一步研究非地转过程的重要性，在最后一文中还提出了一个两层非地转模式（完整的流体力学热力学方程组），解决了其中的计算稳定性问题，并在电子计算机上对实际天气进行了若干 24 小时的预报计算，结果是令人鼓舞的，在实际天气预报中应用完整方程组是可能的和有前途的。

---

1) 叶笃正等著，科学出版社，1962 年出版。



# 冬季阻塞形势建立和崩溃的数值试验

張錫福 刘瑞芝

(中国科学院地球物理研究所)

## 提 要

本文根据阻塞形势建立和崩溃过程的天气学分类<sup>[1]</sup>,选出各种类型的个例,应用中央气象局气象科学研究所数值预报组和中国科学院计算技术研究所共同设计的正压模式和斜压三参数模式,进行了数值计算。计算结果表明,当高压脊已发展到很强小时,正压模式可以报出高压脊切离为孤立高压。但是,高压位置比实况偏东,高压强度也弱,发展过程也和实况不太一致。而对平浅的高压脊,上述模式都不能算出高压脊北部很强的正变高,因而预报图上没有阻塞形势建立。三参数模式中,平均层上下的风速垂直分布,分别满足  $\mathbf{V} = \bar{\mathbf{V}} + A(p)\mathbf{V}_T$ , 其中  $A(p)$  是  $p$  的线性函数。而用实测风计算出的  $A(p)$ , 在高压脊附近有特殊分布,用这种  $A(p)$  作试验,就能报出平浅高压脊发展成阻塞高压的建立过程。但是,其他地区的预报却变坏了,因此,考虑斜压参数的水平差异是很重要的。当阻塞形势崩溃过程中,环流演变不强烈时,正压模式可以报出长波系统的形势。但在环流变化很大的情况下,三参数模式可以给出比较满意的结果。

## 一、前 言

阻塞形势的建立和崩溃过程是大气环流非周期演变过程的一个重要环节。这种典型的经向环流的建立和崩溃过程,总是伴随着一定趋势的中期天气过程。因此,探索阻塞形势的建立和崩溃过程的物理机制,对理论研究工作以及实际预报工作都有很重要的意义。对阻塞形势的建立和崩溃过程的物理机制的研究,可以从各种角度用不同的方法来进行。而数值试验方法是一个很有效的工具。目前对阻塞形势的数值研究并不多,而且也仅限于个例的计算,所得结果的出入也很大。如 Bolin<sup>[1]</sup> 认为在正压模式中考虑整层辐散后,就可能使高压脊切断成闭合高压。而顾震潮等<sup>[2,3]</sup> 认为高压脊切断成闭合高压的关键,在于报出 500 毫巴等压面上高压脊南部的负变高,而这负变高是辐散项的作用造成的,因此,只有用三参数模式才有可能报出。朱抱真等<sup>[4]</sup> 却认为即使用五层准地转模式对阻塞形势的建立作数值计算也不一定有效,而在考虑非地转风的作用后,就有可能报出高压脊北部很强的正变高(其强度由南向北迅速减弱),这样,高压脊才可能发展成闭合高压。后来,在 K. Pedersen 的工作<sup>[5]</sup> 中发现,用一层无辐散模式亦可获得高压脊发展为闭合高压的过程。所以会出现上述看法的不一致,一方面是因为采用的个例不同,各个个例的发展

具有各自的特点。另一方面,即使所选的个例属于同一类型,但是因为在发展过程的不同阶段中,物理机制不一定相同,不同模式对各个发展阶段的描述能力也有差别。因此,如果初始场取自不同的发展阶段,计算结果也可能不同。

朱抱真等<sup>[4]</sup>对阻塞形势崩溃过程进行了个例数值计算,他们认为阻塞形势崩溃是正压过程。但是,天气学研究<sup>[4]</sup>却表明,阻塞形势崩溃有很多种类型,所以我们推测,某些类型不一定是正压过程。

我们根据阻塞形势建立和崩溃的天气学分类<sup>[4]</sup>,选出有代表性的个例,应用中央气象局气象科学研究所数值预报组与中国科学院计算技术研究所共同设计的一层模式和三参数模式进行数值试验。一方面进一步探索阻塞形势建立和崩溃的物理机制,另一方面也可以了解模式的性能。由此,可为设计新模式提供依据,以便更有效地进行研究。

## 二、模式的简单介绍

### § 2.1 一层北半球地转流函数

模式的基本方程为

$$\Delta\phi^{(t_0)} = \frac{g}{f} \Delta z^{(t_0)} - \frac{g}{f^2} \nabla z^{(t_0)} \cdot \nabla f, \quad (1)$$

$$\Delta \left( \frac{\partial \psi}{\partial t} \right)^{(r)} = (m^2 \Delta \psi + f, \psi)^{(r)}, \quad (2)$$

$$\psi^{(t+\delta t)} = \psi^{(r)} + \left( \frac{\partial \psi}{\partial t} \right)^{(r)} \delta t, \quad (3)$$

$$\Delta z^{(t+n\delta t)} - \frac{1}{f} \nabla z^{(t+n\delta t)} \cdot \nabla f = \frac{f}{g} \Delta \psi^{(t+n\delta t)}, \quad (4)$$

其中因变量 $\psi$ 为500毫巴等压面上地转流函数<sup>1)</sup>, $\Delta$ 为二维拉普拉斯算符, $f$ 为地转参数, $(A \cdot B) = \frac{\partial A}{\partial x} \frac{\partial B}{\partial y} - \frac{\partial A}{\partial y} \frac{\partial B}{\partial x}$ , $m$ 为地图投影放大系数, $\delta t$ 为时间步长, $z$ 为500毫巴等压面高度。

根据给定的500毫巴高度初值 $z^{(t_0)}$ ,由方程(1)可解出地转流函数 $\psi^{(t_0)}$ ,然后反复运用方程(2)和(3),可以获得预报时刻的 $\psi$ ,最后,由方程(4)返求500毫巴预报高度场。

方程(1),(2)和(4)用正三角形格网上的差分形式表达,而后在一定边界条件下,对上述差分方程在正六边形区域内(817个格网点)用Liebmann外推迭代法进行求解。若取网格距 $d = 660$ 公里时,求解区域接近北半球范围。而取 $d = 330$ 公里;则预报区域相当于亚欧范围。为了方便,我们将前者称为模式I,而后者为模式II。

### § 2.2 准地转三参数斜压模式

模式中假定风速的垂直分布为

$$\mathbf{V}(x, y, p, t) = \bar{\mathbf{V}}(x, y, t) + \mathbf{V}_T(x, y, p, t), \quad (5)$$

1) 由于简化的平衡方程(1)中引用了地转假定,所以把由此得出的 $\psi$ 称为地转流函数。

其中  $\bar{\mathbf{V}}$  为平均层 ( $p = \bar{p}$ ) 上水平风速矢量,  $\mathbf{V}_T$  为热成风速矢量, 其表达式为

$$\mathbf{V}_T(x, y, p, t) = \begin{cases} A_1(p) \mathbf{V}_1(x, y, t), & p_2 \leq p \leq \bar{p} \text{ (对流层上部)}, \\ A_2(p) \mathbf{V}_2(x, y, t), & \bar{p} \leq p \leq p_0 \text{ (对流层下部)}, \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} A_1(p) = \frac{\bar{p} - p}{\bar{p} - p_3}, \\ A_2(p) = \frac{\bar{p} - p}{\bar{p} - p_f}. \end{cases} \quad (7)$$

取  $\bar{p} = 500$  毫巴,  $p_3 = 300$  毫巴,  $p_f = 850$  毫巴,  $p_2 = 200$  毫巴,  $p_0 = 1000$  毫巴.

在上述假定下, 应用地轉关系式以及边界条件  $\omega_{p_2} = \omega_{p_0} = 0$ , 可由簡化的渦度方程和絕热方程得到下面的預报方程:

$$\left. \begin{aligned} \Delta \frac{\partial \bar{z}}{\partial t} &= \left( \frac{gm^2}{f} \Delta \bar{z} + f, \bar{z} \right) + (\overline{A_1^2}) \left( \frac{gm^2}{f} \Delta h_1, h_1 \right) + (\overline{A_2^2}) \left( \frac{gm^2}{f} \Delta h_2, h_2 \right), \\ (\Delta - \lambda_1^2) \frac{\partial h_1}{\partial t} &= \left( \frac{gm^2}{f} \Delta h_1, \bar{z} \right) + \left( \frac{gm^2}{f} \Delta \bar{z} + f, h_1 \right) + a_1(h_1, \bar{z}) + \\ &\quad + b_1 \left( \frac{gm^2}{f} \Delta h_1, h_1 \right) + c_1 \left( \frac{gm^2}{f} \Delta h_2, h_2 \right), \\ (\Delta - \lambda_2^2) \frac{\partial h_2}{\partial t} &= \left( \frac{gm^2}{f} \Delta h_2, \bar{z} \right) + \left( \frac{gm^2}{f} \Delta \bar{z} + f, h_2 \right) + a_2(h_2, \bar{z}) + \\ &\quad + b_2 \left( \frac{gm^2}{f} \Delta h_1, h_1 \right) + c_2 \left( \frac{gm^2}{f} \Delta h_2, h_2 \right). \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

其中  $(\overline{A_1^2})$ ;  $(\overline{A_2^2})$ ,  $b_1, b_2, c_1, c_2$  为与  $A(p)$  有关的参数; 参数  $\lambda_1^2, \lambda_2^2, a_1, a_2$  依赖于  $A(p)$  及靜力稳定度;  $\bar{z}$  为平均等压面  $\bar{p}$  的高度,  $h_1$  和  $h_2$  分别为  $p_3 - \bar{p}$  及  $\bar{p} - p_f$  的相对高度 (厚度).

模式中对方程(8)以局地格林函数法进行求解, 矩形求解区域内取 462 个正三角形格网点, 格距  $d = 450$  公里时, 可获得亚欧范围的預报. 为了便于討論, 将此模式称为模式 III.

由于模式 I, II 中, 未知函数为地轉流函数, 而模式 III 为等压面位势高度, 而且它們的求解方法, 采用的格距, 求解区域等都不相同, 因此要从計算結果的比較中討論斜压作用对阻塞形势发展过程的影响就有一定困难. 为了便于比較起見, 我們令方程(8)中参数  $(\overline{A_1^2})$  和  $(\overline{A_2^2})$  为零, 則有相当于准地轉正压模式 (以后簡称之为模式 IV).

### 三、阻塞形势建立过程的数值試驗

为了便于对正压模式与斜压模式的計算結果进行比較, 又考虑到阻塞形势主要表现在对流层中层, 因而我們將着重分析 500 毫巴的計算結果. 另外, 由于篇幅的限制, 不可能对每个个例都进行詳尽的分析和討論, 我們只通过有代表性的个例分析来概括其余个例的計算結果. 但是, 既然是以环流形势的演变来判断計算結果的成敗, 那就有必要尽量給出各个个例的預报图 (表 1). 其中某些个例将只給出概要图, 图上繪有标志初始場、实



表 1. 阻塞形势建立和崩溃的实例计算

| 个例<br>编号 | 初始时刻                             | 模式<br>代号 | 预报时间       | 图                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 例 |
|----------|----------------------------------|----------|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| 1        | 1960年2月<br>7日00时*                |          |            | 500 毫巴初始场(图 1)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |   |
|          |                                  | IV       | 24小时, 48小时 | 24 小时预报及实况简图(图 2), 24 小时预报变高及实况变高图(图 3),<br>48 小时预报图(图 5)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |   |
|          |                                  | III      | 24小时, 48小时 | 24 小时预报图(图 11), 模式 III 及 IV 24 小时预报变高图(图 12),<br>48 小时预报图(图 13)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |   |
| 2        | 1956年12月<br>6日00时                | I        | 24小时       | 500 毫巴初始场, 24 小时预报及 24 小时后实况简图(图 6)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |
| 3        | 1960年3月<br>5日00时                 |          |            | 500 毫巴初始场图(图 7)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |   |
|          |                                  | IV       | 24小时       | 500 毫巴初始场, 24 小时预报及 24 小时后实况简图(图 8)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |   |
| 4        | 1958年3月<br>16日00时                |          |            | 500 毫巴初始场图(图 9)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |   |
|          |                                  | II       |            | 500 毫巴初始场, 24 小时预报及 24 小时后实况简图(图 10)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |   |
| 5        | 1959年1月<br>5日00时                 |          |            | 图略                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |   |
| 6        | 1958年1月<br>27日00时<br>(欧洲地区)      |          |            | 1958 年 1 月 27 日 00 时 500 毫巴图(图 14), 1958 年 1 月 28 日 00 时 500 毫巴<br>图(图 15), 1958 年 1 月 29 日 00 时 500 毫巴图(图 16)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |   |
|          |                                  | III      | 24小时, 48小时 | 500 毫巴 24 小时预报图(图 17), 300 毫巴 24 小时预报图(图 18),<br>500 毫巴 48 小时预报图(图 19), 24 小时预报及实况变高图(图 20),<br>初始场各测站实测风斜压参数 $\bar{A}_1, \bar{A}_2$ 分布图(图 21),<br>个别测站 $A(p)$ 随高度分布图(图 22),<br>参数 I, 500 毫巴 24 小时预报图(图 23),<br>参数 I, 500 毫巴 24 小时预报变高图(图 24),<br>参数 I, 300 毫巴 24 小时预报图(图 25),<br>1958 年 1 月 28 日 00 时 300 毫巴图(图 26),<br>参数 I, 850 毫巴 24 小时预报图(图 27), 500 毫巴 48 小时预报图(图 28),<br>参数 II, 500 毫巴 24 小时预报图(图 29),<br>1958 年 1 月 27 日 00 时 850 毫巴图(图 30),<br>1958 年 1 月 28 日 00 时 850 毫巴图(图 31),<br>参数 II, 850 毫巴 24 小时预报图(图 32),<br>参数 II, 300 毫巴 24 小时预报图(图 33) |   |
| 7        | 1958年1月<br>11日00时                | II       | 24小时, 48小时 | 500 毫巴初始场(图 34), 24 小时预报图及实况简图(图 35),<br>48 小时预报图及实况简图(图 36)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |   |
|          |                                  | III      | 24小时       | 500 毫巴 24 小时预报图及实况简图(图 49)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |   |
| 8        | 1958年1月<br>27日00时<br>(乌拉尔地<br>区) |          |            | 500 毫巴初始场图(图 37)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |   |
|          |                                  | IV       | 24小时, 48小时 | 24 小时预报图及实况简图(图 38), 48 小时预报图及实况简图(图 39)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |   |
|          |                                  | III      | 24小时       | 24 小时预报图(图 50)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |   |
| 9        | 1957年11月<br>8日00时                | II       | 24小时       | 500 毫巴初始场(图 40a),<br>1957 年 11 月 9 日 00 时 500 毫巴图(图 40b),<br>24 小时预报图(图 41)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |   |
|          |                                  | I        | 24小时       | 24 小时预报图(图 42)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |   |
|          |                                  | III      | 24小时       | 500 毫巴初始场涡度分布图(图 48a, 大网格),                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |   |

(續表 1)

| 个例<br>编号 | 初始时刻                     | 模式<br>代号 | 预报时间         | 图                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 例              |
|----------|--------------------------|----------|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
|          |                          |          |              | 500 毫巴初始場渦度分布图(图 48b, 小网格),<br>24 小时预报图(图 51),<br>初始場实测风計算之斜压参数 $\overline{A_1}, \overline{A_2}$ 分布图(图 59),<br>1957 年 11 月 9 日 00 时 300—500 毫巴厚度图(图 60a),<br>1957 年 11 月 9 日 00 时 500—850 毫巴厚度图(图 60b),<br>300—500 毫巴厚度場 24 小时预报图(图 61a),<br>500—850 毫巴厚度場 24 小时预告图(图 61b),<br>参数 II, 300—500 毫巴厚度場 17 小时预报图(图 62a),<br>参数 II, 500—850 毫巴厚度場 17 小时预报图(图 62b),<br>参数 I, 500 毫巴 24 小时预报图(图 63) |                |
| 10       | 1959 年 1 月<br>12 日 00 时  |          |              | 500 毫巴初始場及渦度分布图(图 52a),<br>1959 年 1 月 13 日 00 时 500 毫巴图(图 52b),<br>1959 年 1 月 14 日 00 时 500 毫巴图(图 52c)                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                |
|          |                          | IV       | 24 小时, 48 小时 | 24 小时预报图(图 43),                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 48 小时预报图(图 44) |
|          |                          | III      | 24 小时, 48 小时 | 24 小时预报图(图 53),                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 48 小时预报图(图 54) |
| 11       | 1957 年 10 月<br>11 日 00 时 | II       | 24 小时        | 500 毫巴初始場、24 小时预报及 24 小时后实况簡图(图 45)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                |
|          |                          | IV       | 24 小时        | 24 小时预报图(图 46)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                |
|          |                          | III      | 24 小时, 48 小时 | 500 毫巴 24 小时预报图(图 56), 500 毫巴 48 小时预报图(图 57),<br>500 毫巴初始場图(图 55a), 1957 年 10 月 12 日 00 时 500 毫巴图(图 55b),<br>1957 年 10 月 13 日 00 时 500 毫巴图(图 55c),<br>初始場实测风計算斜压参数 $\overline{A_1}, \overline{A_2}$ 分布图(图 58)                                                                                                                                                                                |                |
| 12       | 1958 年 1 月<br>30 日 00 时  |          |              | 图略                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                |
| 13       | 1960 年 2 月<br>9 日 00 时   | II       | 24 小时        | 500 毫巴初始場图(图 5),<br>24 小时预报及实况簡图(47)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                |

\* 表中時間均为世界时。

况及計算結果的若干等高綫,由这些具有代表性的綫足以分辨出环流形势的特征。

在分析計算結果之前,首先闡明一下我們判定预报成敗的标准。很多作者常用相关系数等統計数字来衡量数值計算結果的成敗,我們认为这种判断方法是有一定局限性的。在实际效果上,往往不能說明模式的真正能力,特别是当我们用数值方法研究一些特殊系統时,采用这种檢驗方法就更不恰当。也有人只从预报的环流形势与实况比較来評定模式的能力。我們认为还应当对計算所得的过程进行分析,换言之,应根据环流的演变来檢驗計算結果。因为,预报的环流形势可以与实况相似,但发展过程却可以完全不同。而环流演变过程才真正体现了发展的机制。由于人們对阻塞形势的观念不同,对它的建立和崩潰的标志也就有不同的看法。例如,有人把阻塞形势定义为西风帶中出現閉合高压,自然就会把閉合高压的出現(消失)作为阻塞形势建立(崩潰)的标志。然而,移动性的小高压或持續日期仅一两天的孤立小高压的生成并不一定促成大型环流的剧变。因而,机械地以閉合高压的形成(消失)作为阻塞形势建立(崩潰)的标志是不恰当的。根据天气学研

究<sup>[4]</sup>;将阻塞形势定义为对中緯度天气系統起阻塞作用的稳定經向环流形势,其成員包括中緯度強大且稳定的高压,在其上下游有較深的低压系統(低压槽或切断低压),有时还有构成  $\Omega$  形势的橫槽。因此,我們把閉合高压及其上下游的低压槽作为整体来討論計算結果是否給出了阻塞形势的建立。另外,阻塞形势崩潰时,伴随着大型环流的突变,而阻塞高压本身却不一定消失,它可以向东南或向南方退却,甚至还有向西移动的情况<sup>[4]</sup>。因而,我們將根据流型是否突变以及演变的过程来判定計算結果的成败。

### § 3.1 应用正压模式計算的結果

我們对五个阻塞形势建立的实例(表 1 中个例 1—5)用正压模式进行了数值計算。其中例 1—3 都算出了高压脊切断成閉合高压。它們的初始場和涡度分布有很多相似之处。以下我們以例 1 为代表加以說明。

取 1960 年 2 月 7 日 00 世界时为初始时刻,在 500 毫巴初始場上大西洋东岸的高压脊已經具有很大的經向度了(图 1),其上下游的低压槽也延伸到它的南端,已具有阻塞形势的雛形,只不过还没有高压中心。但是高压中部的等高綫已很稀疏,相应的地轉风很弱,这一地区的負涡度向下传送微弱(图 1)。同时,在高压脊上游,大部地区的等高綫和等涡度綫近于平行,沒有正涡度平流,使高压脊減弱,只有在它的南部,等高綫和等涡度綫才有交角,因有正涡度平流到高压脊南部。显然,通过涡度平流的作用就有可能将高压脊切离成孤立高压。但是,計算所得的高压中心位置比实况偏东 6—7 个經度(图 2),高压中心强度也比实况低 120 米。在实际的发展过程中,伴随着上游槽加深的东移过程,高压脊西侧得到加强,同时也加强了切断的阻塞高压。而模式 IV 沒有报出这一过程。由变高分布来看(图 3),在预报的高压中心地区的变高竟是負值,而实况应是正值。48 小时后,阻塞形势演变成典型的  $\Omega$  形势(图 4),而 48 小时预报图上的高压已減弱得和实况无法比拟了(图 5)。

对例 2, 3, 正压模式所給出的高压脊切断过程和例 1 相同。其中的例 2, K. Pedersen 曾用正压模式作过预报。预报的过程和我們的预报相同。但是此例的阻塞形势建立过程是高压脊东北部的低压槽沿着高压脊东侧向西南发展,一方面将高压脊切断,一方面与高压脊上游的切断低压合并(见图 6 上的細虛綫)。正压模式并没有算出这个低压槽的发展过程,由此看来,正压模式预报的高压脊切断过程可以和实况过程不一致。

另外两个例子(例 4 和 5)的計算結果与实况偏离就更大。它們的初始場形势和预报結果也都相似,我們以例 4 作代表來說明。以 1958 年 3 月 16 日 00 世界时作为初始时刻,初始場上的高压脊还比較平浅(图 9),上下游低压槽都未发展到高压脊的南部,也就是都沒有略具橫槽的形式。这时,在高压脊的上游有較強的正涡度平流将高压脊削弱(图 9)。模式 II 計算的結果,正是在高压脊上游的低压槽向东南方加深,而使得高压脊減弱(图 10)。虽然实况也是在这一地区有低压槽发展(图 10 上細虛綫),但高压脊北部却大为加强,因而就出現了阻塞高压。由此看来,在高压脊的經向度还不够大时,仅仅依靠涡

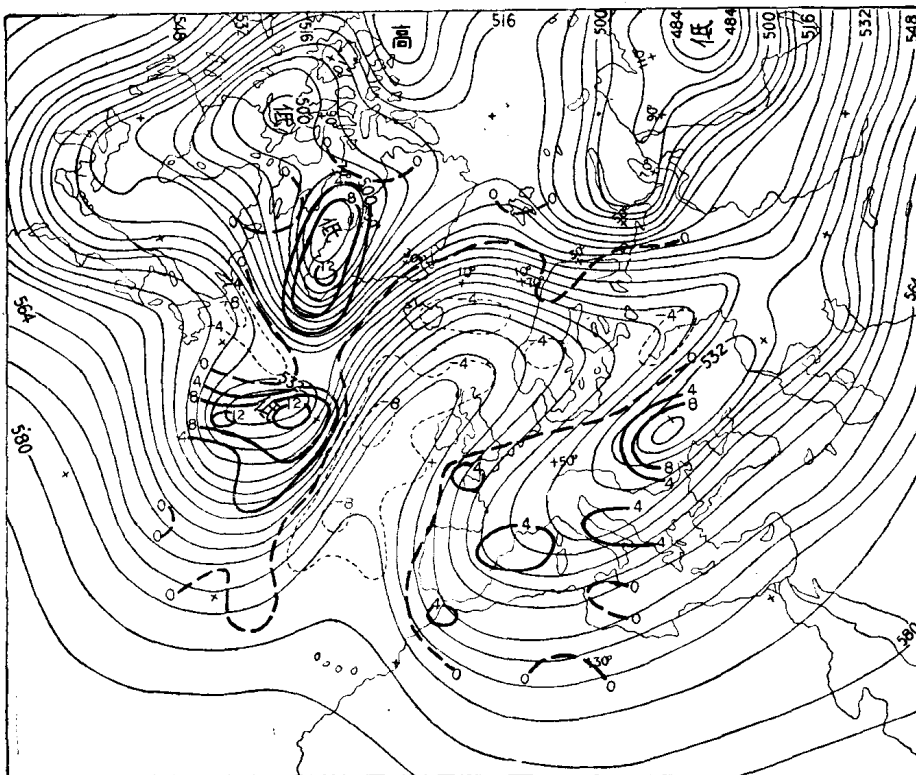


图1 1960年2月7日00时(世界时)500毫巴等压面形势及涡度分布图  
(单位:等高线为什位势米,等涡度线为 $10^{-5}$ 秒 $^{-1}$ ,以下各例中单位均与此图相同)

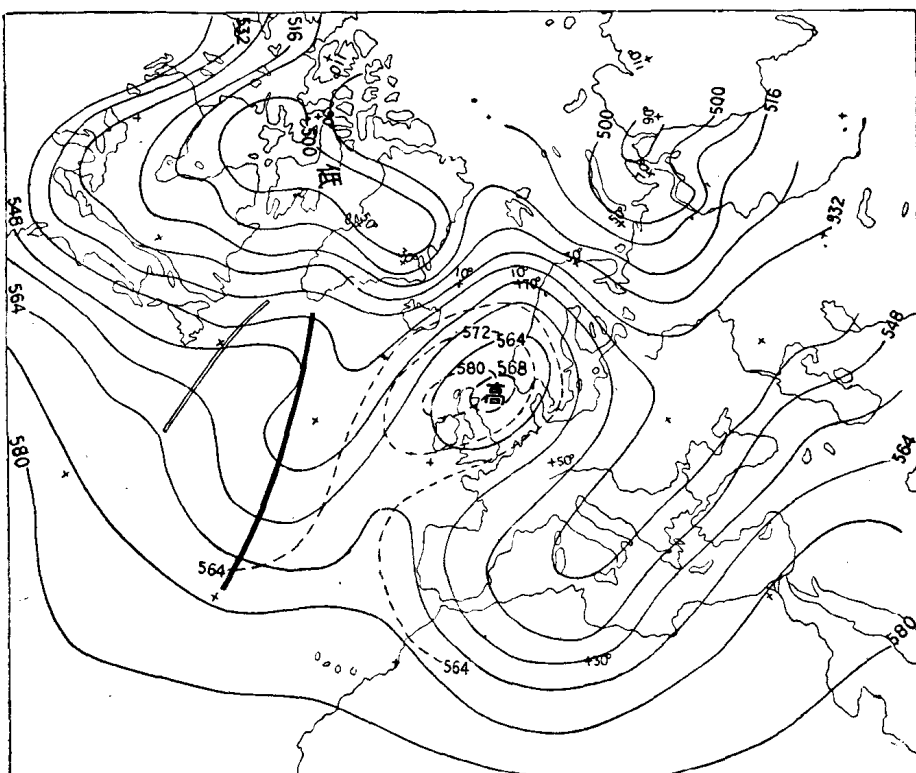


图2 1960年2月7日00时(世界时)报8日00时(世界时)500毫巴等压面预报图  
及8日00时(世界时)实况简图(模式IV)  
(虚线:实况简图)

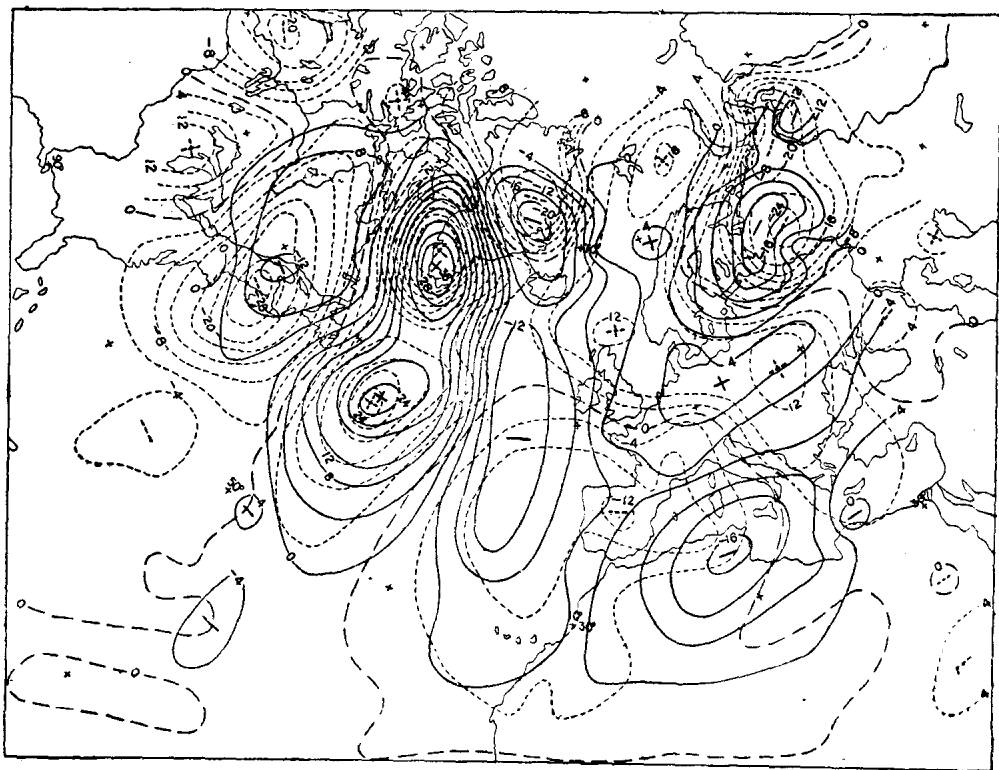


图3 1960年2月7日00时—8日00时(世界时)500毫巴预报变高及实况变高图  
(实线: 预报变高, 虚线: 实况变高)

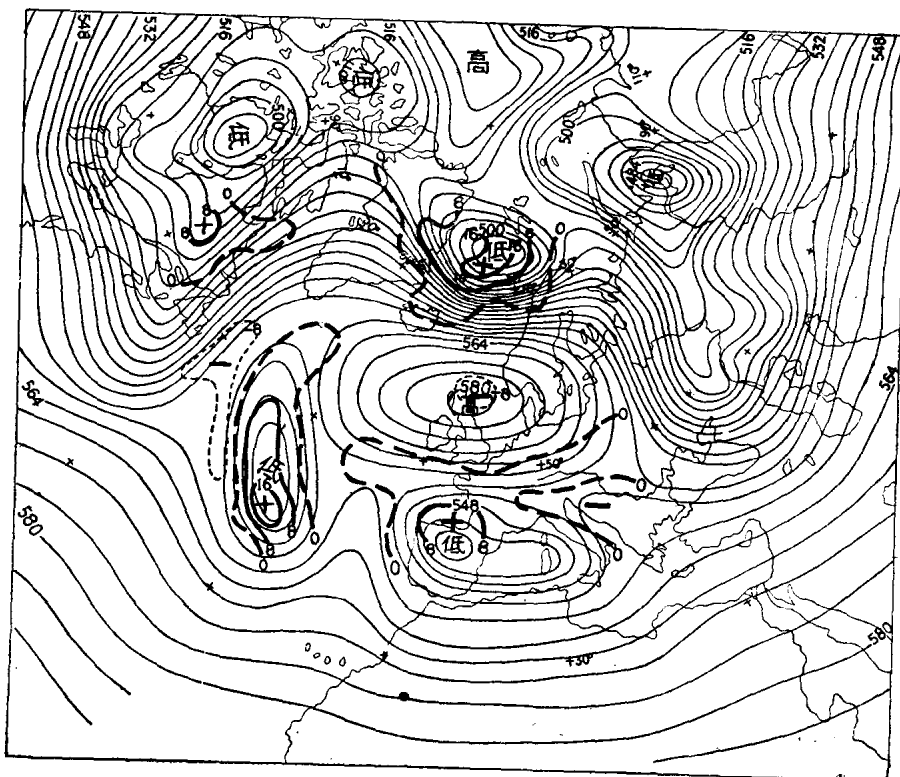


图4 1960年2月9日00时(世界时)500毫巴等压面形势图及涡度分布图

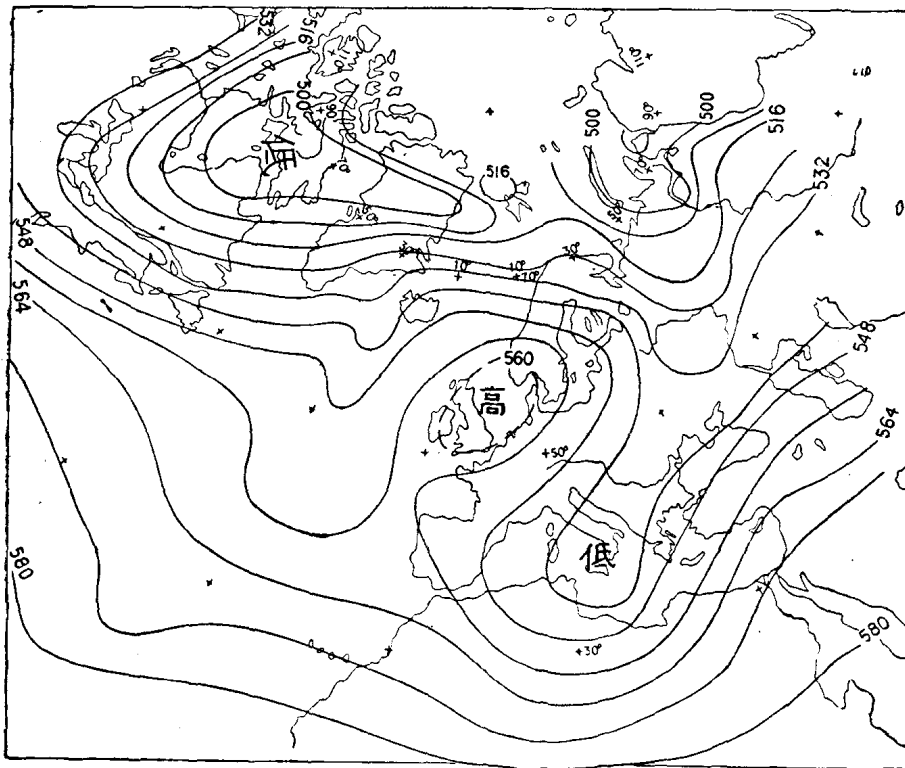


图5 1960年2月7日00时—9日00时(世界时)500毫巴等压面预报图(模式IV)

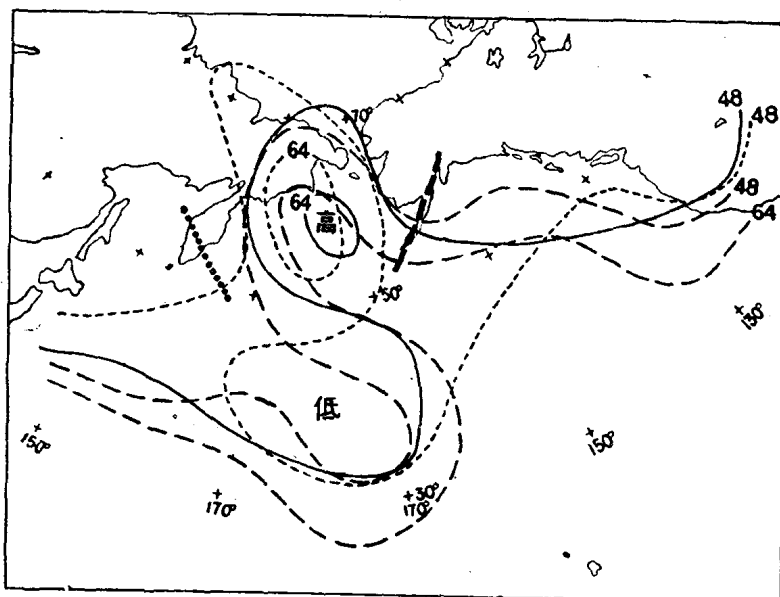


图6 1956年12月6日00时(世界时)500毫巴等压面形势简图,报7日00时(世界时)预报简略及7日00时(世界时)实况简图(模式I)  
(实线:预报图等高线,长虚线:初始场中等高线,短虚线:实况图中等高线)



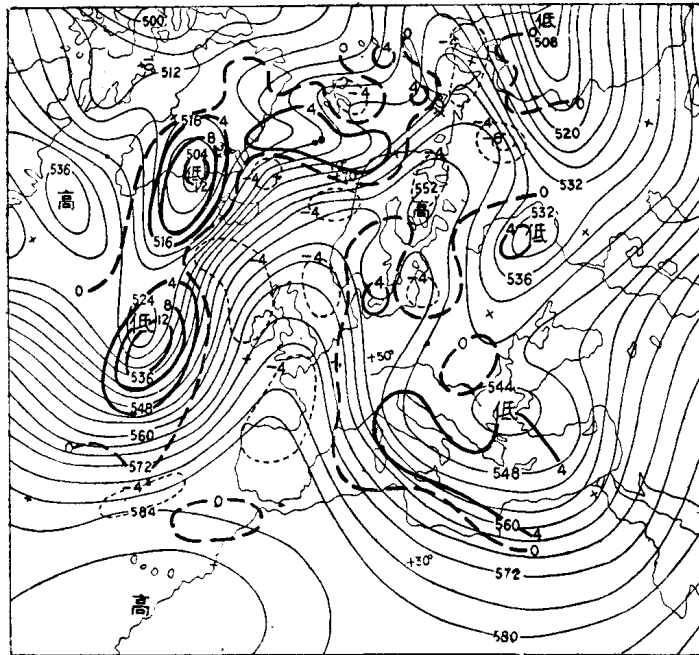


图7 1960年3月5日00时(世界时)500毫巴等压面形势图及涡度分布图  
(粗虚线为等涡度线)

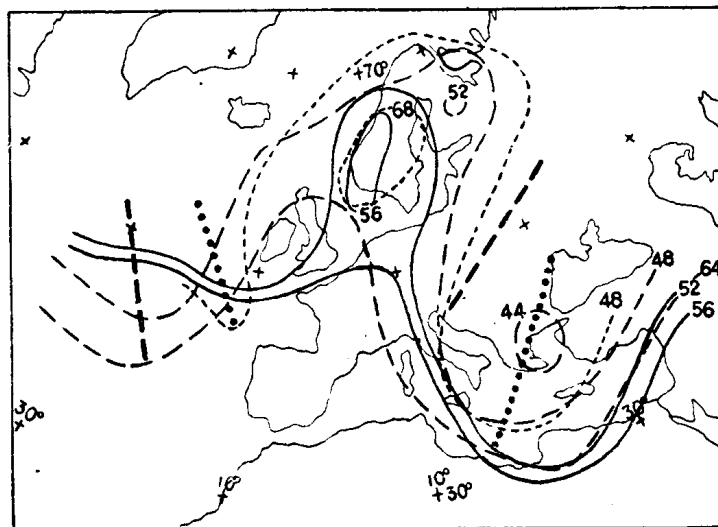


图8 1960年3月5日00时(世界时)报6日00时(世界时)500毫巴预报图(模式IV)  
(实线:预报图等高线,长虚线:初始场等高线,短虚线:实况图等高线)

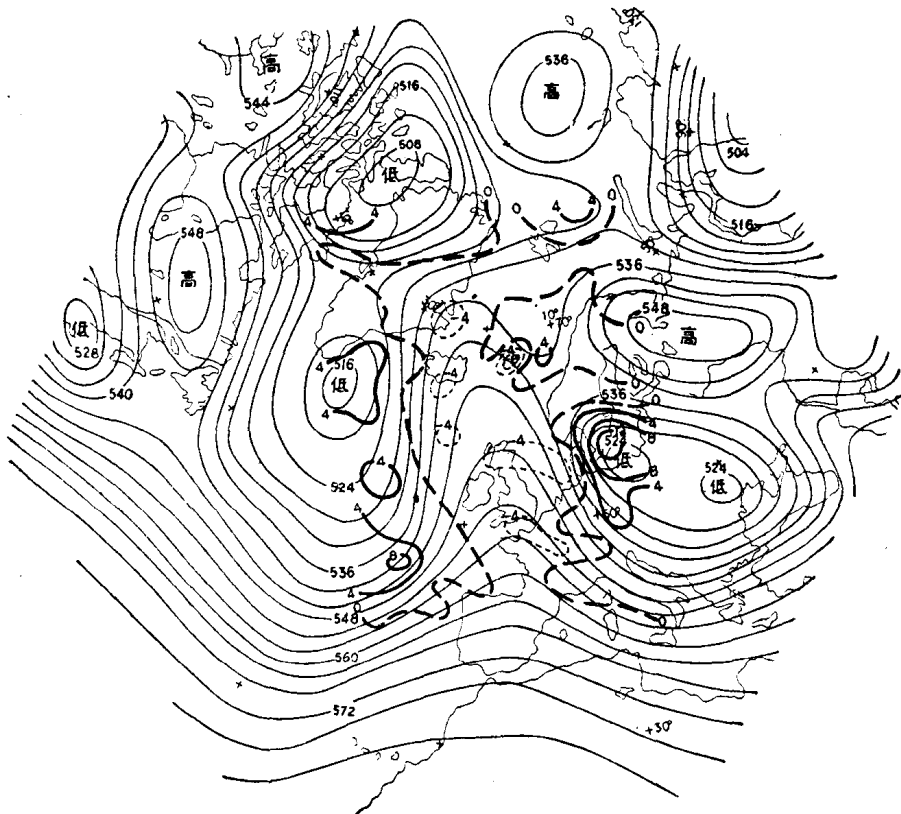


图9 1958年3月16日00时(世界时)500毫巴等压面  
形势及涡度分布图  
(粗虚线为等涡度线)

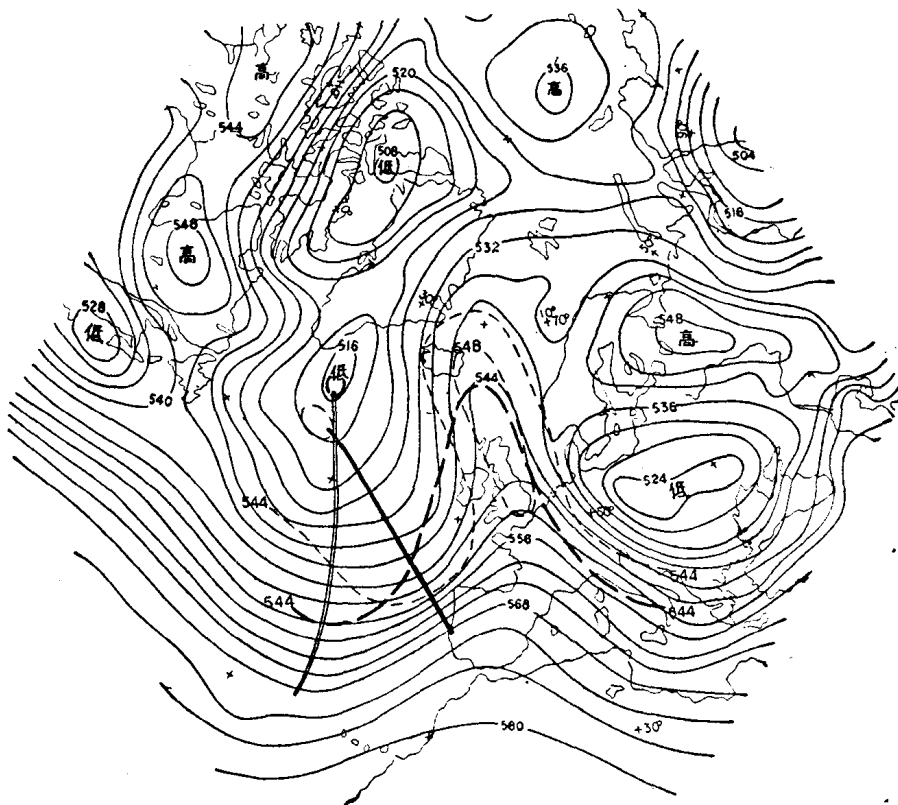


图10 1958年3月16日00时(世界时)报17日00时(世界时)500毫巴预报图,  
初始场及17日00时(世界时)500毫巴形势简图(模式II)  
(实线:预报图等高线,粗虚线:初始场等高线,细虚线:17日实况图等高线)

度平流的作用,很难获得阻塞形式的建立。

从上面 5 个例子的分析中,可归纳出以下几点:

1. 在高压脊发展的前期,即经向度较小,上(下)游的低压槽还未能伸展到高压脊的西南(东南部),此时,在相应的涡度场分布下,高压脊上游的正涡度平流只能使高压脊减弱而不具备把它切断成孤立高压的条件。

2. 当高压脊经向度已发展得较大,且高压脊中部的等高线已很稀疏,上(下)游低压已楔入高压脊的西南(东南)部,此时,通过涡度平流的作用可以使高压脊脱离为闭合高压。然而,高压脊西北部的发展以及强烈的低压槽发展都未算出来。因此,预报的高压脊切断过程可以和实际发展过程不一致。算出的高压中心位置比实况偏东,强度也比实况弱得多。而高压环流进一步加强,上下游低压的继续发展,使环流演变为典型的  $Q$  形势,这就不是正压模式的能力所及了。

### § 3.2 阻塞形势建立的三参数模式试验

三参数模式(模式 III)相当于在正压模式(模式 IV)中加上平均层以上和以下的斜压作用。为了便于与正压模式比较,我们对用模式 IV 计算过的例 1, 3, 5, 再用模式 III 来计算。此外,还对文献[4]中作过结构分析和数值计算的个例(1958 年 1 月 27 日, 例 6)进行了试验。

从对例 1 和例 3 的计算结果看出,考虑了斜压作用后,切断出的高压以及高压脊的强度有所增强,比实况还是弱些。高压中心位置比实况偏东,没有改进。从例 1 的 24 小时计算结果(图 11)很清楚地看出上述情况。另外,从它的变高分布看(图 12), 斯堪的那维亚半岛地区的正变高数值比模式 IV 报得强,但高压脊西部仍然是负变高。看来模式 III 所给出的斜压作用也不能报出高压脊西部的正变高。48 小时的预报图上(图 13), 高压脊西北部的发展比模式 IV 预报的要强,高压中心减弱得也不多,环流已具有  $Q$  形势,但是远不如实况明显(见图 4)。

模式 III 所反映的斜压作用,虽然使高压脊北部的正变高有所增加,但不如实况强,所以也没有算出例 5 中高压的形成。对例 6 也是这样。下面我们以例 6 作代表来进行讨论。在文献[4]中曾用正压模式和两层模式对本例作过数值计算,24 小时的计算结果中都没有获得阻塞高压的建立。从 1 月 27 日 00 时(世界时)500 毫巴图看来(图 14), 大西洋东岸的高压脊还很平浅,而根据 § 3.1 的讨论可以预见到正压模式对该例将是无能为力的。至于两层模式只能反映大气的部分斜压性,不能描述复杂的大气结构和系统的强烈发展<sup>[2]</sup>。而此例的阻塞形势建立过程相当迅速,1 月 27 日英国上空的高压脊是 24 小时内发展起来的,这在对流层上层最为明显,1 月 28 日高压脊已切断为孤立的高压(图 15)。1 月 29 日高压下游有横槽形成(在地中海上空),此时,阻塞形势已发展到最完善的阶段(图 16)。在整个发展过程中,大气的水平面斜压性很强,温压场变化也大<sup>[4]</sup>,因此,两层模式没能报出高压中心。我们用三参数模式所作的计算也失败了。24 小时的 500 毫巴