

# 從平流動力分析論春季 東北低壓的發展\*

朱 抱 真

(中國科學院地球物理研究所)

## 目 次

- 一. 前言——東北低壓是一個重要的天氣系統
- 二. 東北低壓的發展分析舉例
- 三. 東北低壓在春季發展的條件和原因
  1. 低壓即將發展以前和發展末期高空溫壓場的構造
  2. 沒有發展的東北低壓
  3. 同一個高空低壓槽裏南北兩個地面低壓系統的發展問題
  4. 地形對低壓在春季發展最頻繁的作用
- 四. 結語

## 一. 前言——東北低壓是一個重要的天氣系統

曾做過我國天氣分析預報工作的同志都知道：在我國的大陸上很少發現比較強大的低壓系統，但是東北地區則是一個例外。我們時常在東北發現有比較強大的閉合的低壓系統。這種東北低壓在四季裏都能出現，但是以春季最為頻繁，低壓的強度也以春季最為強大，造成天氣的影響也比較厲害。（秋季的東北低壓也相當多，有時也相當強大）。

顧震潮同志<sup>[1]</sup>曾指出：春季氣壓變率最大是全國性的普遍現象。這一點反映了春季環流的特點，即是變化多，來往的系統多。他在當時因為缺乏東北的記錄，沒有統計東北的氣壓變率。我們現在統計了通遼某年的氣壓變率，如圖 1 所表示的：最大的氣壓變率也是在春季（它的數值比我國其他地區都大，可能與西北差不多）它還有一個顯明的第二個高點便是秋季。從通遼的氣壓變率的年變化看，

\*中國科學院地球物理研究所論著第 240 號。

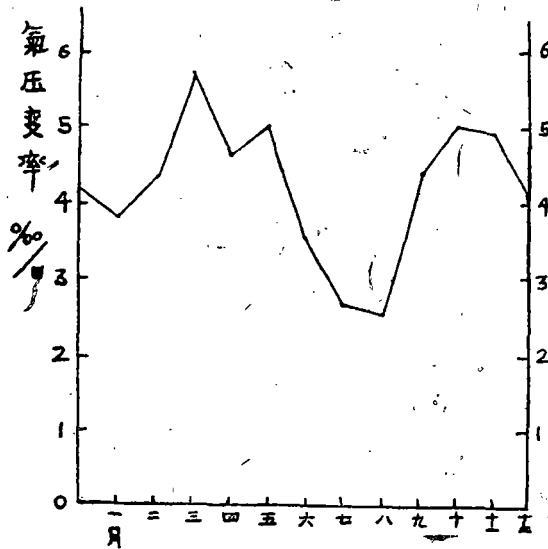


圖1. 通遼氣壓變率的年變化

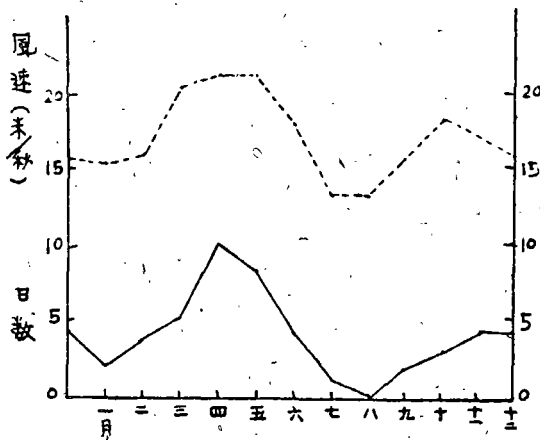


圖2. 瀋陽最大風速 (虛線) 和鞍山大風日數 (實線) 的年變化

也正說明了顧同志所說的春季環流變化多、系統多的特點，而東北低壓無疑的是影響東北春季環流多變化的一個主要系統。

東北低壓在春季時常發展得相當深，它的勢力範圍也很龐大，時常控制了整個的東北境域，在低壓內部時常發生大風和沙暴。我們從瀋陽最大風速的年變化和鞍山大風日數的年變化(圖2)都可以看出在春季裏風速最大。這種發展的東北低壓往往更造成很廣的降水區，東北春季的降水量和降水日數都比華北要大(表1)，而東北春季的降水大多是在低壓內部發生的。

	降水量(毫米)		降水日數			降水量(毫米)		降水日數	
	3月	4月	3月	4月		3月	4月	3月	4月
瀋陽	17.8	29.0	5	6	北京	8.7	15.7	3	4
長春	15.6	21.9	6	7	太原	13.1	15.3	2	3

表 1. 東北和華北春季降水量和降水日數的比較

實際上東北低壓不僅僅影響我國東北區域的天氣，由於這種低壓大多是從蒙古方面逐漸發展向東移動過來的，所以在它的發展過程中，首先影響內蒙的天氣。春季裏內蒙大風對牧畜業是一個很重要的問題，而內蒙春季最強的大風大多是發生在這種發展的低壓裏面。另外東北低壓的發展和我國春季寒潮的爆發也有着很密切的關係，東北低壓加深很容易引起春季寒潮，所以低壓的發展對寒潮南下的預告有着相當大的參考價值。

從上面所舉的幾點事實，我們可以知道東北低壓是一個很重要的天氣系統（特別是在春季和秋季），同時它的發展又是非常迅速的，往往在 24 小時內就加深 12—15 毫巴（但是有的東北低壓並不發展）。

東北低壓的發生和發展常常不是先有鋒面波動，而常常是先有閉合的等壓線和一條單獨的冷鋒，等到低壓發展起來再產生暖鋒。這種現象無法用波動學說解釋，也就更無法用它來做預報了。

蘇聯先進的平流動力理論則把低壓的發生和發展看做高空溫壓場演變的過程，是氣溫的平流變化和氣壓的動力變化經常互相作用的結果。И. Л. 戴波羅夫斯基指出，當低壓的發生和發展時，高空溫壓場可能有各種不同的構造，但必須適合下列兩個條件：第一要有局地鋒生發生，第二鋒區的溫度梯度沿着氣流方向的變化是減小的，（即等溫線沿氣流方向的分布是輻散的）。這種理論不但解決了低壓發生和發展的機械結構，也實踐地解決了預告問題。

本文目的就是應用蘇聯先進的平流動力理論，從預告的觀點來討論春季東北低壓的發展問題。

## 二. 東北低壓的發展分析舉例

東北低壓的主要來源有三類：第一類是從西伯利亞西部向東移動的氣旋，它在東移的過程中已經發展得很深，有時已經錮囚了。但是當它行抵貝加爾湖以後，它的中心部分和南邊的暖區脫離向東北方面移去，它的暖區部分却在貝加爾湖的

東邊形成一個新的低壓中心，有的同志把它稱爲“貝湖低壓”<sup>[8]</sup>。這種新生的低壓再向東移動到東北後就發展成爲東北低壓。這種低壓，次數最多，發展得也常常很強大，它的中心比較偏北。

第二類是從西北低壓槽裏誘生出來的低壓。當西北低壓槽比較發展的時候，這個入形槽的北部可以到達蒙古，在低槽的北部裏有時便誘生一個獨立的低壓中心，這個新生的低壓從蒙古中部東移，到東北後時常發展成爲比較深的低壓。

第三類是由黃河氣旋所發展的東北低壓。春季裏，在黃河上游和河套一帶，有時發生鋒面氣旋。這種黃河氣旋發生後，它時常採取一條向東偏北的路徑移動，當它到東北後也時常發展成比較深的低壓，但這一類的低壓次數最少。

以上這三類低壓發展時，高空形勢大多是有一個小的高空低壓槽，經過  $110^{\circ}\text{E}$  經線（貝加爾湖以東）以後加深時所引起的。但是第三類的高空小槽所在的緯度常常偏南，或者就是所謂西風帶南邊的河西槽（西北低壓槽）<sup>[9]</sup>。

作者從三個年間春季的天氣圖注意東北低壓發展的各種事實，並用平流動力理論<sup>[2,3]</sup> 分析其中顯著的低壓的發展過程。現在舉出一個比較典型的東北低壓發展的例子。

這是在某年春季某月前後五天裏，一個新生的貝加爾湖低壓移到東北後相當加深的過程：（在以下的高空溫壓場圖上的等高線是 700 毫巴上的高度，用實線表示；等溫線是 1000—500 毫巴的厚度，用虛線表示；粗實線代表平流零線，箭頭代表冷、暖平流。地面天氣圖上的虛線表示三小時等變壓線。）

在這個月初，歐洲方面是比較平直的西風環流，西風帶的位置是在比較高緯度的地區，在我們所討論的過程中第 2 日，高空溫壓場上在烏拉爾山的西北邊境出現一個低壓槽，第 3 日當它越過烏拉爾山以後便在山東邊加深，並繼續地東移。在第 4 日的高空溫壓場的圖上（圖 3）這個低壓槽已經移過鄂畢河，這時在地面圖上（圖 4）有一個強大的 1050 毫巴的冷高壓位於蘇聯歐洲部分，高壓前緣的冷鋒正位於鄂畢河流域，在鄂畢河下游有一個 1014 毫巴的低壓。現在的問題就是冷鋒未來的移動以及高空低壓槽未來的演變是怎樣的？

從第 4 日 0300 Z 高空溫壓場的圖上，我們可以看到：在這個低壓槽的後部有很強烈的冷平流，等溫線和等高線幾乎垂直，但是冷平流的交角愈向南愈小，到巴爾喀什湖區甚至轉爲微弱的暖平流，這是比較顯著的局地鋒生現象。但在低槽的前部，就在鄂畢河與葉尼塞河中間，我們就看不到如是顯著的局地鋒生，而

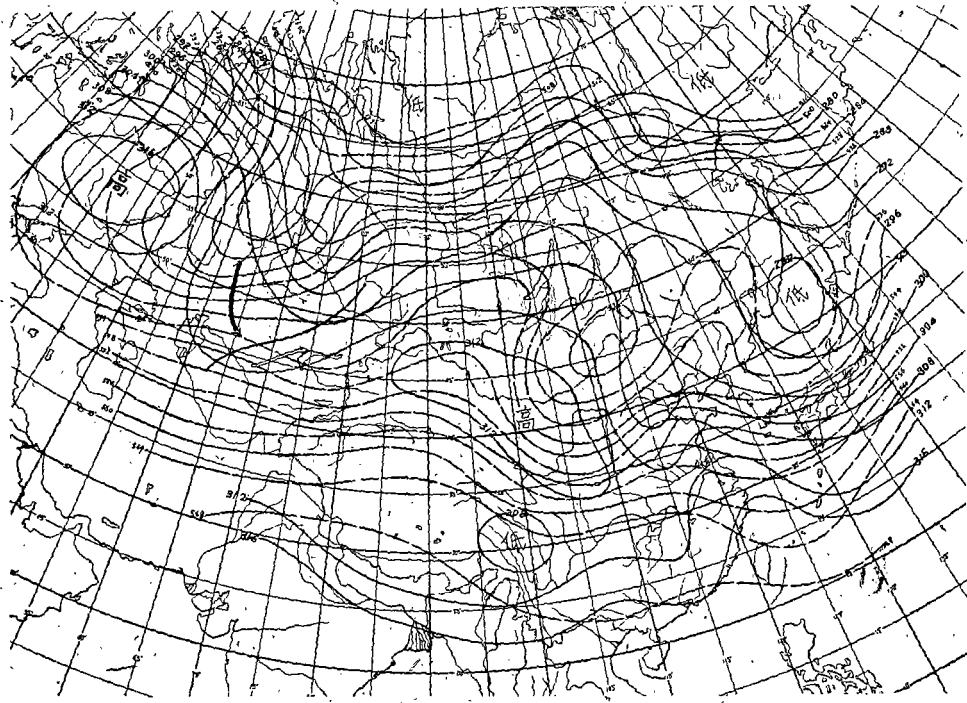


圖3. 高空溫壓場 (某年春季某月第4日 0300 Z)

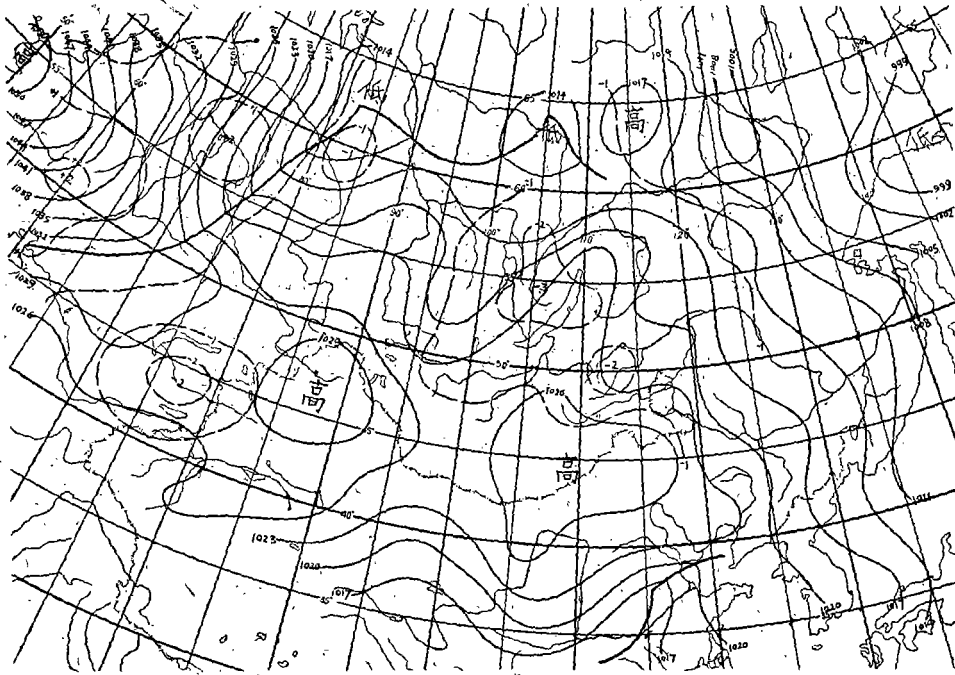


圖4. 地面天氣圖 (某年春季某月第4日 0600 Z)

在貝加爾湖的西方，溫壓場的分布是等高線的輻散大於等溫線的輻散，這是局地鋒消區。這就是說沿着鋒區氣流方向上局地鋒生的強度分布是逐漸減弱的，在局地鋒生區和局地鋒消區之間應有動力減壓區存在，所以我們可以預知在鄂畢河上游以至阿爾泰山一帶的等溫線將要密集起來，而從鄂畢河到貝加爾湖之間的地區等溫線的輻散是要趨於增大的，那麼高空低壓槽將要繼續地東移。

第 5 日 0300 Z 的高空溫壓場（圖 5）正說明這個預告是正確的；沿着阿爾泰山、薩彥嶺一帶的等溫線密集得很厲害，鋒區強度從每 500 千米 4 十米增加到每 500 米 20 十米，高空低壓槽正向東移。

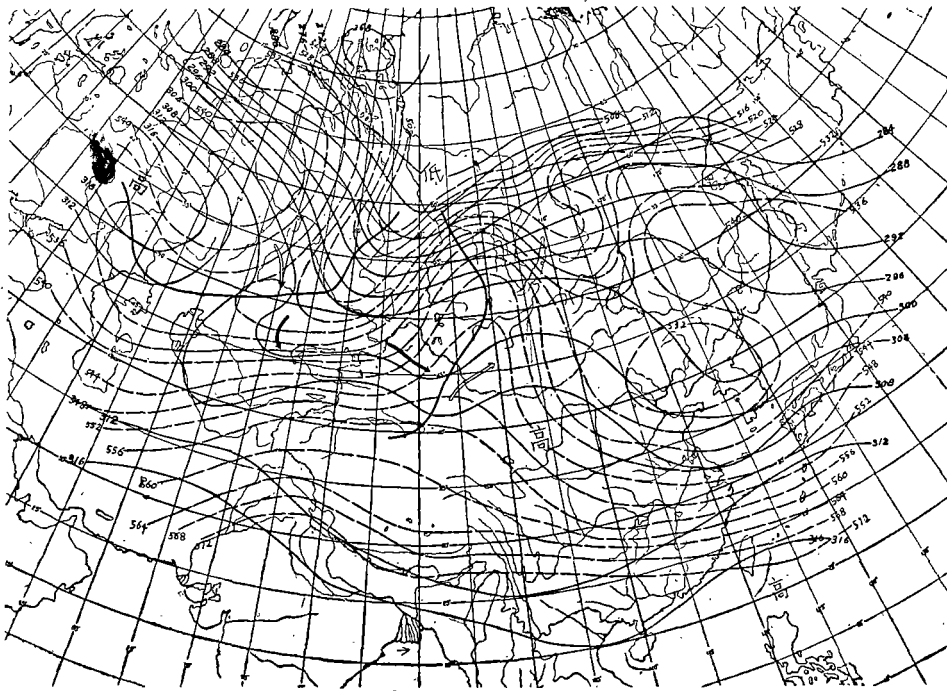


圖 5. 高空溫壓場（某年春季某月第 5 日 0300 Z）

在當日 0600 Z 的地面圖（圖 6）上，冷鋒向前推進了 10 個緯度的距離，冷鋒鋒後已經發現大風的區域，這時原在鄂畢河上游的低壓也東移了很多，這個低壓的南部，在貝加爾湖西方誘生了一個比較深的低壓槽。在將來冷鋒是否會進入這個低壓槽裏，從槽的裏邊是否會新生一個貝湖低壓，它以後是否會發展起來造成內蒙的大風，這是當時預告員同志集中注意的問題，對於這些問題，我們必須詳細地分析當時高空溫壓場的構造，才能得到正確的回答。

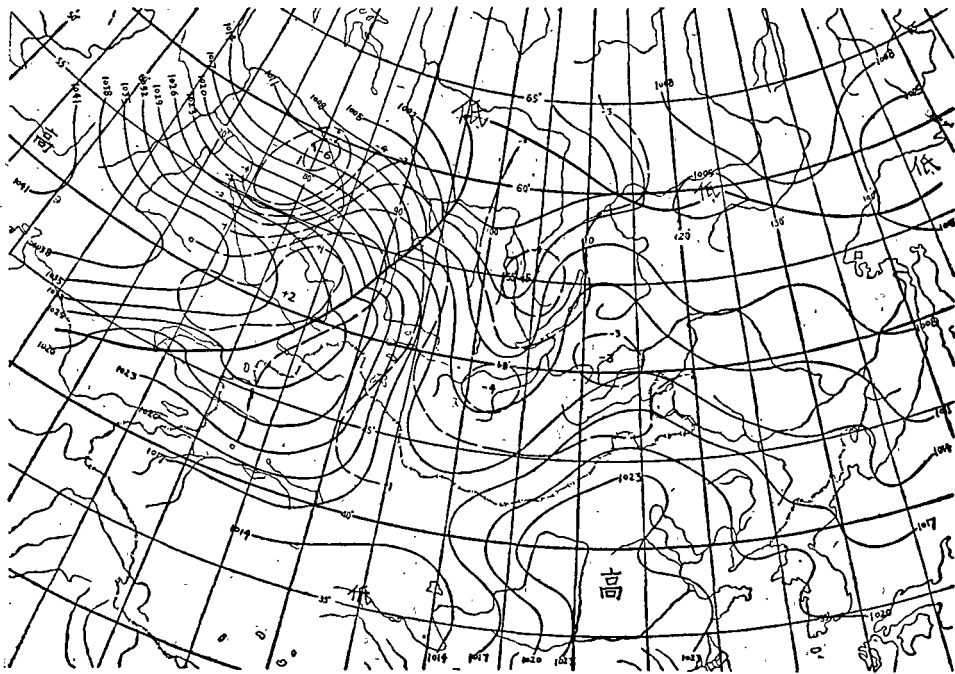


圖6. 地面天氣圖 (某年春季某月第5日 0600 Z)

在第5日 0300 Z 的高空溫壓場的圖上，從塔木什克到鹹海的北面，我們可以畫一條平流零線，這線的西部正是一個局地鋒消區，因為在線的北邊是暖平流，而線的南邊是冷平流，等溫線的梯度將愈來愈小。但是從我國新疆經過貝加爾湖西南到葉尼塞河也有一個平流零線。在這零線的南段，左邊的顯著的冷平流和右邊的暖平流造成這裏的局地鋒生，但在零線的前部暖平流的交角愈北愈大，等溫線梯度是沿氣流方向加大的，所以這裏的等溫線將要散開，也就是說這裏是一個局地鋒消區。這樣我們知道在巴爾喀什湖一帶，沿着氣流方向局地鋒消區是位於局地鋒生區的後面，這個地帶應該是動力加壓區。但在蒙古一帶却是動力減壓區，因為局地鋒消區是位於局地鋒生區的前面。

這個平流零線的北段幾乎和等高線垂直，所以不會發生局地鋒生。在它和貝加爾湖中間，等溫線很密集而等高線是輻散的，沿着氣流方向的暖平流交角也是逐漸增大的，這裏的等溫線梯度將要變小，是一個局地鋒消區。在平流零線的西部，在薩彥嶺一帶是一個很顯著的冷平流區域，但地面圖上這個區域的三小時變壓却是負變壓區，所以這裏是一個動力減壓區。另外值得注意的是貝加爾湖西邊三小時變壓中心達到 -5 毫巴，都說明在整個高空低壓槽的前部是一個顯著的動力

減壓區。同時在這個減壓區的后部，在阿爾泰山一帶所發生的很顯著的局地鋒生將使那裏的等溫線更爲密集，這就加強了等溫線在下游的輻散，使這個動力減壓區加強起來。

我們根據以上的分析可以判斷這個高空低壓槽在繼續東移時將要加深，同時因爲地面誘生的低槽正位於高空等溫線散開的區域，所以我們可以預告將要有一個比較深的低壓在地面上新生出來。

由第 6 日 0300 Z 的高空溫壓場(圖 7)和第 5 日—第 6 日的 700 毫巴變高圖(圖 9)，可以證明這種分析的預告是完全正確的。

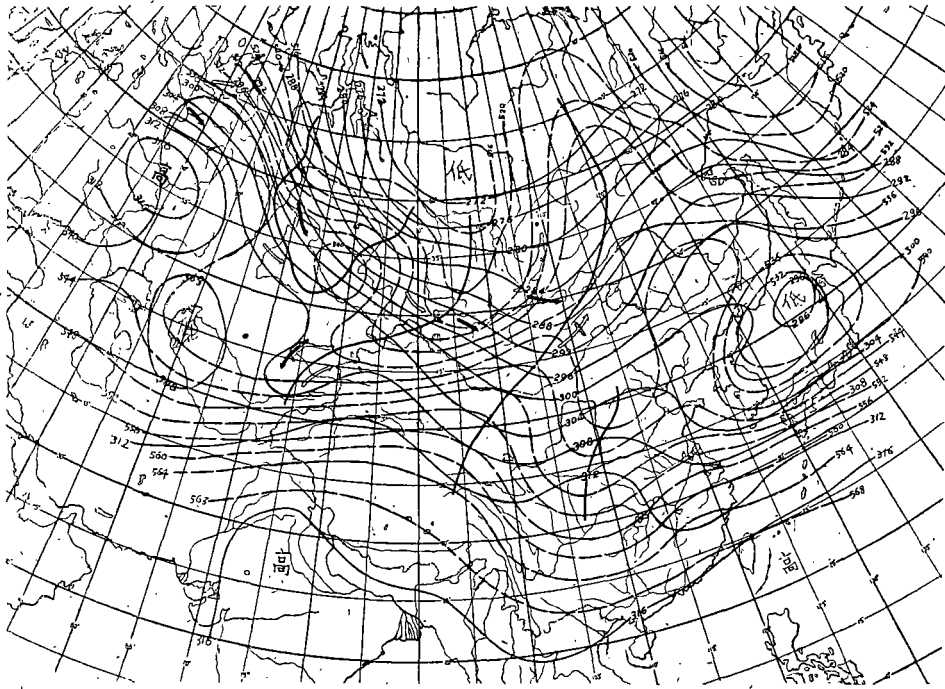


圖 7. 高空溫壓場 (某年春季某月第 6 日 0300 Z)

在第 6 日的高空溫壓場，我們可以看見高空低壓槽移過貝加爾湖已經加深，等溫線在蒙古的西部非常密集，說明這裏是一個很顯著的鋒區。但等溫線在下游的輻散比第 5 日更利害了。在第 5 日—第 6 日 700 毫巴變高圖上，我們看見以貝加爾湖爲中心出現了一個範圍很大的動力減壓區，減壓區的中心強度在東移過程中比第 4 日—第 5 日(圖略)加深了 80 米，相反地在巴爾喀什湖地區正有一個加壓區出現。



地面圖上，在我們上邊所分析的地面圖（圖 6）12 小時以後便有一個 1002 毫巴的低壓在貝加爾湖的南端發生。到第 6 日 0600 Z（圖 8.）這個新生的低壓已經移到黑龍江上游，低壓強度在 12 小時內又加深了三條等壓線（9 毫巴）變為 990 毫巴，造成很廣的大風區，下面便是這個低壓是否還能繼續地發展的問題。

當我們分析第 6 日 0300 Z 的高空溫壓場時，我們可以先注意一下烏拉爾山地區的情況。在烏拉爾山以西的蘇聯歐洲部分有一個高空反氣旋已經停留了好幾天，在地面圖上也正有一個冷高壓停留不動。

在這個高空反氣旋所形成的暖高壓脊的前部（也就是我們所討論的大低壓槽的後部），等高綫的形勢一直沒有什麼大的改變，但是等溫綫的分布由第 5 日到第 6 日却有明顯的變化，這是冷暖平流所造成的結果。第 6 日烏拉爾區的溫壓場構造是適合動力加壓發生的，因為當我們沿着  $45^{\circ}\text{E}$  經綫從北向南走時，我們是從暖平流區走向冷平流區，這是一個局地鋒消區。但在鄂畢河上游，從北面來的冷平流和從西面來的暖平流相會合，這裏是一個局地鋒生區。所以從高空反氣旋北部  $45^{\circ}\text{E}$  經綫向東沿着氣流方向上，局地鋒消強度的分布是逐漸減弱轉為局地鋒生的，應該是一塊動力加壓區。（注意這裏等高綫輻合而平流交角  $< 45^{\circ}$ ）。

讓我們再注意東邊的兩條平流零綫，在從葉尼塞河上游經過新疆邊境的一條平流零綫，它的北段幾乎和等高綫垂直，應該是局地鋒生零綫。但在它的南段，在巴爾喀什湖南方右邊的暖平流和左邊的冷平流相會是一個局地鋒生區；在新疆阿爾泰山一帶平流零綫的右邊是冷平流而左邊是暖平流，這裏應該是一個局地鋒消區，所以從鄂畢河上游到阿爾泰山中間是有一塊比較小的動力減壓區存在。

在貝加爾湖以東的一條平流零綫的左邊是很顯著的冷平流，它和右邊的暖平流在黑龍江上游相會，可以判定這是一個局地鋒生區，而等溫綫將要趨於密集。在這零綫的右邊等溫綫很顯著地輻合，而等高綫是輻散的，同時暖平流的交角愈向北愈大，所以這裏等溫綫的梯度將趨向變小，是一個局地鋒消區。

沿着氣流方向從阿爾泰山到貝加爾湖再向東，是由局地鋒消區轉為局地鋒生區，再轉為局地鋒消區，所以在貝加爾湖西邊應該是動力加壓區；而貝加爾湖東邊應該是動力減壓區，所以這個低壓槽還要繼續地東移。

這裏值得注意的是，在這個低壓槽的後部等溫綫梯度最大的區域並沒有甚麼局地鋒生，而局地鋒生是發生在等溫綫開始輻散的區域。但在更東邊的區域等溫

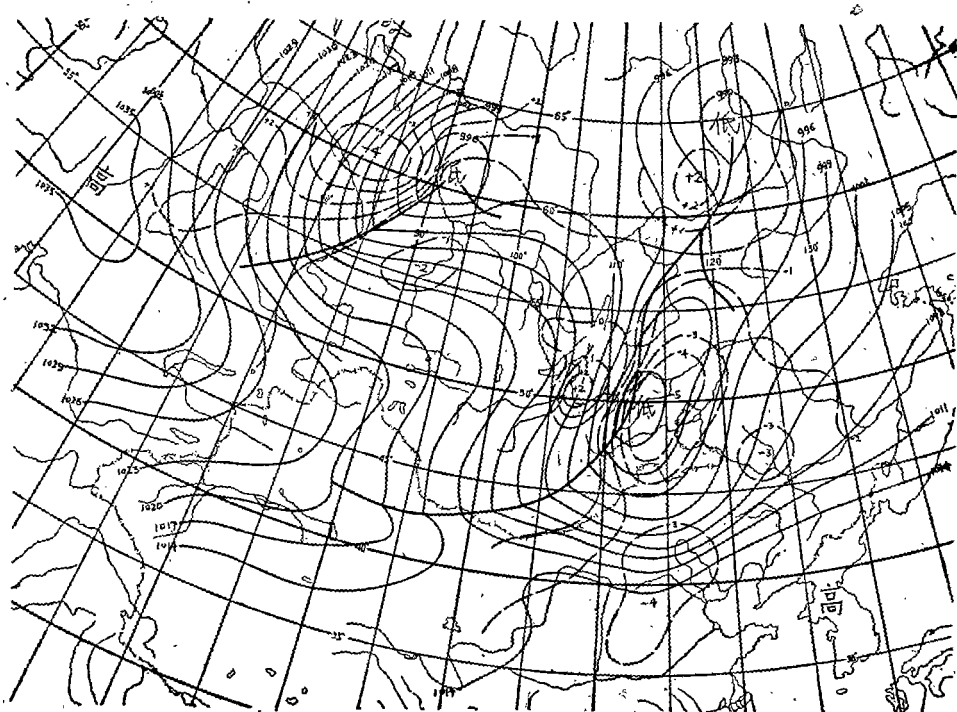


圖 8. 地面天氣圖 (某年春季某月第 6 日 0600 Z)

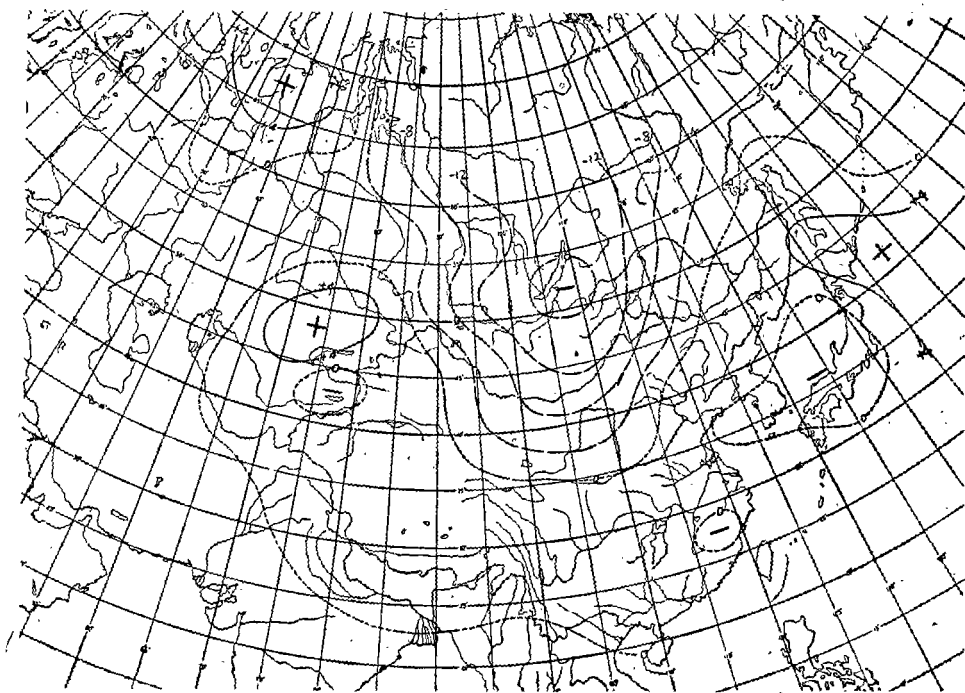


圖 9. 700 毫巴變高圖 (某年春季某月第 5 日—第 6 日 0300 Z)

綫的輻合是很厲害的。所以我們可以想像在未來這個低壓槽前部的等溫綫的輻散是不會很大增強。這就說明在這個低壓槽前方雖然仍是動力減壓區，但這個動力減壓區不可能再繼續地加強，地面低壓也不可能再有很大的發展。

從第 7 日 0300 Z 的高空溫壓場（圖 10）和第 6 日—第 7 日的 700 毫巴變高圖（圖 12）；可以看到上面所分析的預告結論是對的。

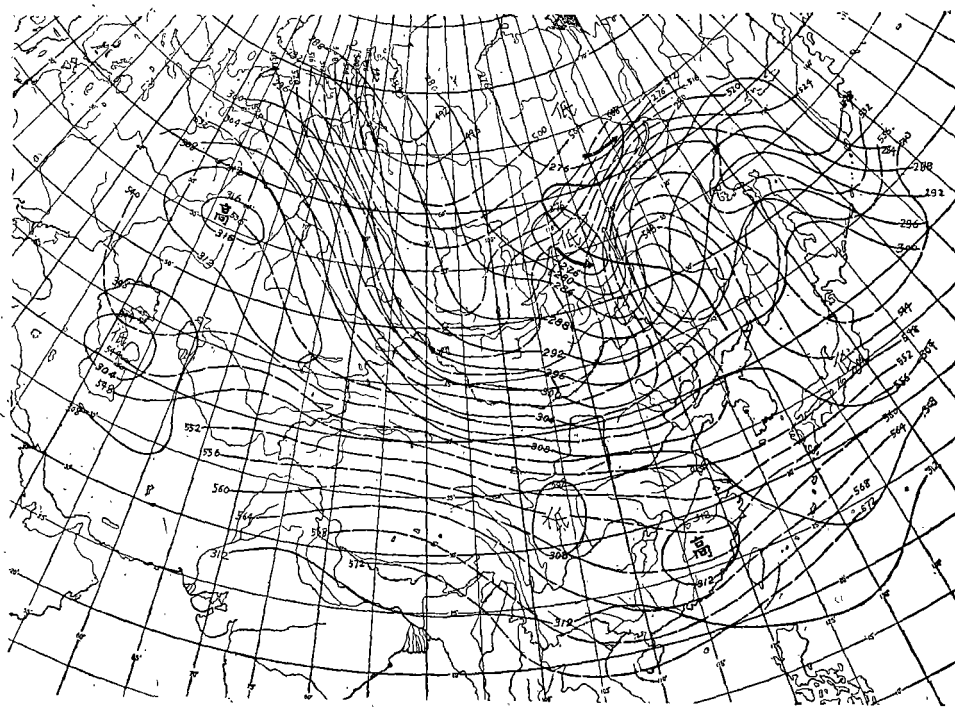


圖 10. 高 空 溫 壓 場 (某年春季某月第 7 日 0300 Z)

在第 6 日—第 7 日的變高圖上，我們看見一個強大的動力加壓區在烏拉爾區暖高脊的前部出現。這個動力加壓區的出現使地面上在蘇聯歐洲部分停留 4 天之久的冷高壓突然向東移動，在 24 小時移動了 30 個經度，它到後來便成為侵入我國的一個強烈的春季寒潮。

在第 7 日 0300 Z 的高空溫壓場，我們可以看到高空低壓槽繼續地有些加深，它已經發展成一個高空低氣壓。同時在這個低壓槽的後部有一個淺槽發生（這是貝加爾湖西邊一塊動力減壓區的作用），更值得注意的是等溫綫的分布發生了很大的改變，原來等溫綫輻合的地區變為輻散，而輻散的地區變為輻合。

第 7 日 0600 Z 的地面圖（圖 11）東北低壓的強度變化不多，只加深了 3 毫

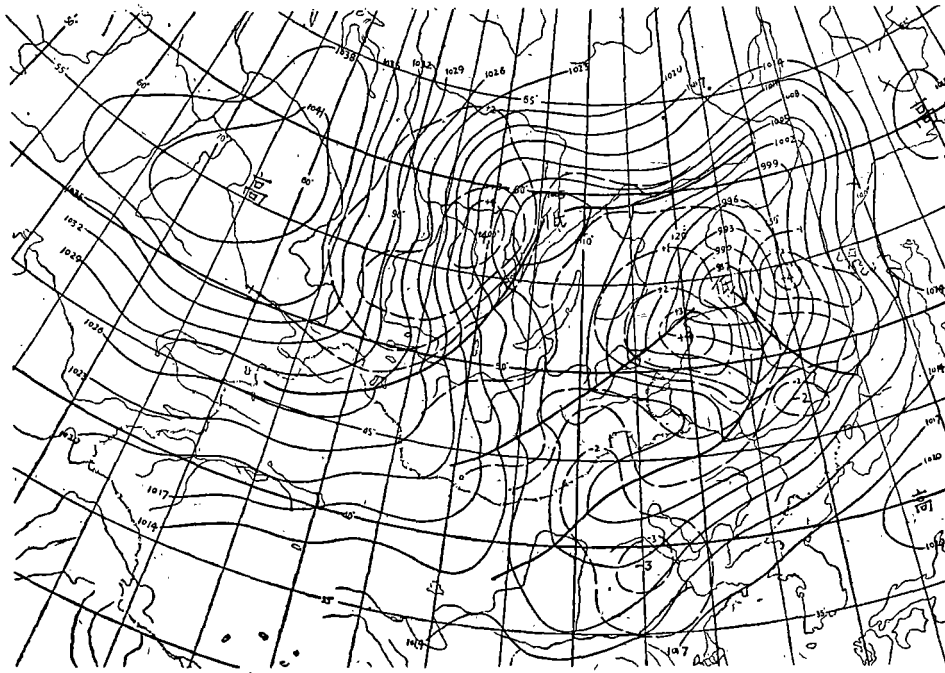


圖 11. 地面天氣圖。(某年春季某月第 7 日 0600 Z)

巴，在高空強烈的冷平流下，造成廣範圍的大風。

現在的低壓已經發展到相當的深度，它未來的變化是將趨於減弱了，這可以從第 7 日 0300 Z 的高空溫壓場的構造來分析。

在第 7 日 0300 Z 的高空溫壓場上，在我們所討論的這個高空低壓槽的後部是一色的冷平流。假如我們從北邊走向南邊，我們可以發現冷平流的交角是逐漸減小，在比較北邊的地區等溫綫和等高綫幾乎垂直，但是到南邊的地區交角很小，冷平流變弱，所以相對地這一個地區是局地鋒生；同時在黑龍江上游以及列那河上游的平流零綫處都是局地鋒生區。在列那河上游和黑龍江上游的地區暖平流的交角是愈向北愈小，南邊的強烈的暖平流將使等溫綫的梯度在北邊加大，所以在整個低壓槽的區域我們找不到局地鋒消區。所以第 7 日下午高空溫壓場的構造是有利於動力加壓，等溫綫沿氣流方向的分布由槽後到槽前是從輻散轉為輻合。我們可以預告這個高空低氣壓不會再加深，相反地它可能減弱；同時地面上的低壓中心正位於動力加壓區的下邊，它將要填塞，強度要大為減弱了。（在地面低壓的前部雖然有 -4 毫巴的三小時負變壓中心，但它主要的是高空強烈暖平流的作用）。

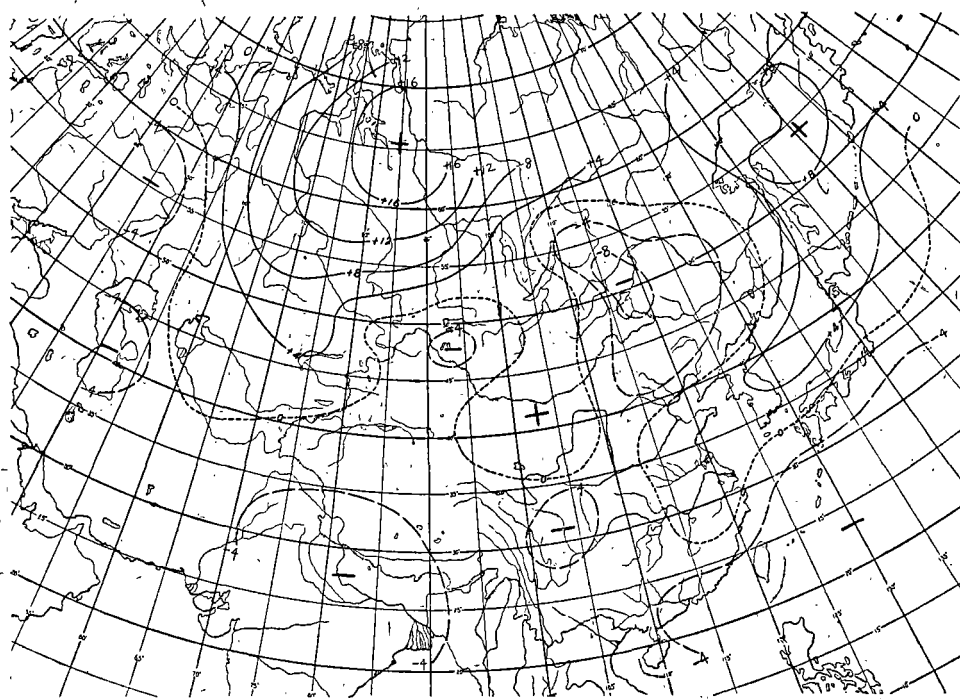


圖 12. 700 毫巴 變 高 圖 (某年春季某月第 6 日—第 7 日 0300 Z)

到第 8 日 (圖略) 高空低壓槽沒有任何發展, 已在開始減弱; 地面上的低壓已經大為填塞 (第 13 圖), 強度在 24 小時內從 987 毫巴減弱到 1002 毫巴; 低壓已經從高空鋒區向等高綫低值的方向移動和高空低氣壓一致了。低壓區域的三小時變壓差不多都是正變壓區, 它在 12 小時以後就喪失了獨立性只剩下一個淺的低壓槽了。

還值得注意的是在第 7 日 0300 Z 高空溫壓場上, 從我國西北向內蒙沿着氣流方向等溫綫輻散的區域裏, 在第 7 日晚上又有一個新的低壓發生, 從內蒙到列那河等溫綫從輻散轉為輻合的區域裏, 正是我們所討論的東北低壓在填塞, 這一點在第 8 日的地面天氣圖上可以看得很清楚。從以上的分析, 在我們所討論的這幾天裏, 東亞高空溫壓場有很顯著的改變, 從西部西伯利亞東移的高空低壓槽在移過貝加爾湖以後加深, 在這個高空低壓槽加深的過程中, 槽的西隣有一個高空高壓脊在發展。比較一下第 5 日—第 6 日 (圖 10) 和第 7 日—第 8 日的動力變高圖 (圖 12), 在貝加爾湖一帶一個中心 -16 十米的強大的減壓區變為一個中心 +12 十米的強大的加壓區。在地面上正有一個相當發展的東北低壓和一個強大的冷

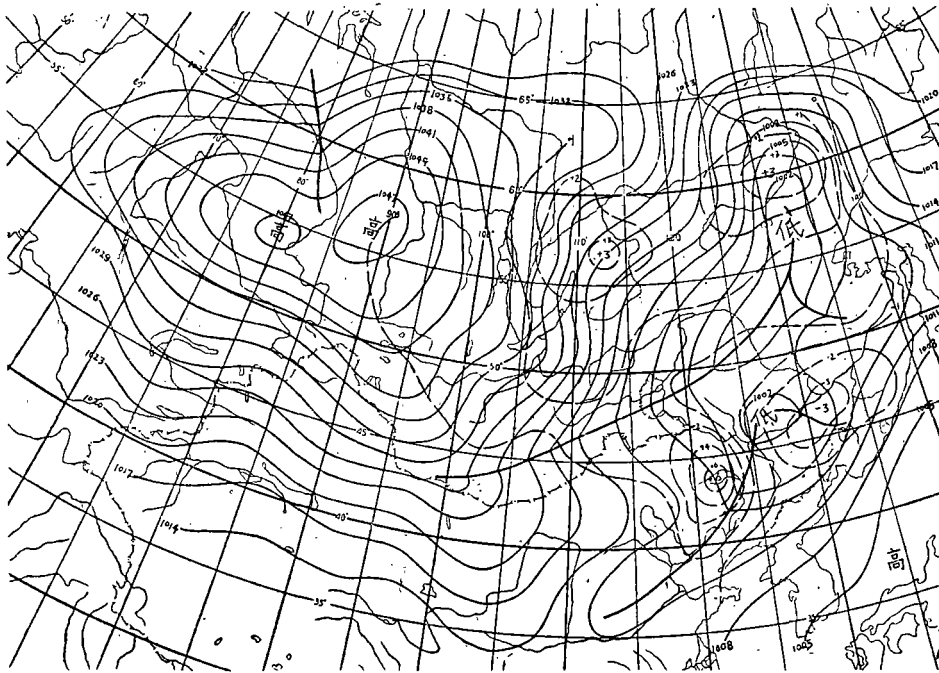


圖 13. 地面天氣圖 (某年春季某月第 8 日 0600 Z)

高壓出現,而這種過程演變發展的質的預告是可以用平流動力分析來完滿解決的。

### 三. 東北低壓在春季發展的條件和原因

#### 1. 低壓即將發展以前和發展末期高空溫壓場的構造

上節裏我們所分析的一個例子,是東北低壓發展過程的一個很典型的例子,它所代表的不是個別的情況,而是相當普遍現象中比較典型的一個。

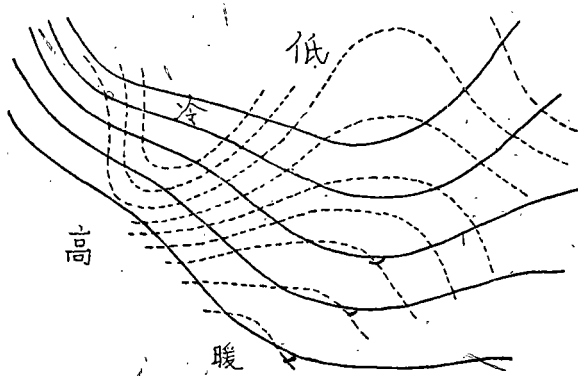


圖 14. 東北低壓即將發展以前高空溫壓場的構造

一個相當發展的東北低壓在它未發展以前,當它在貝加爾湖一帶發生或是即將發展時,高空溫壓場的構造是有一些很顯著的特徵的。這些特徵根據平流動力理論的分析可以得到解釋,也具有一定程度的預告價值。像圖 14 鋒區溫壓場的略圖可以代表我們所討論

的大部分東北低壓即將加深時的典型。這個溫壓場構造的顯著特點是：

(1) 鋒區的入口區並不明顯，常常入口區在更上游的地方，等高綫的分布是在上游密集而向下游散開的（這就是高空環流在西部西伯利亞和烏拉爾區正是一個高壓脊，強烈的暖平流使等高綫和等溫綫都向高緯地帶密集，而在貝湖爾湖西方是一個淺的低壓槽）。

(2) 在高空低壓槽的前部（或正是槽綫的區域）有一個相當發展的高溫脊。這個高溫脊的存在對地面低壓的發展是有決定性作用的，它促使強烈的冷暖平流的發生，它也正是等高綫和等溫綫都是輻散的區域，地面上的將要發生或發展的低壓就正位於這個區域的下邊。

(3) 在高空低壓槽的後部，冷平流的交角愈向西愈大，有時常常是交角差不多等於  $90^\circ$ 。這種等溫綫和等高綫的分布情況是一個明顯的局地鋒生區。但在低壓槽的前部局地鋒消區並不像後部局地鋒生區那樣明顯，暖平流的強度很大，而平流交角是向東北變大的。

(4) 在高溫脊綫附近的一塊小區域（所謂“鋒區的內部”）值得我們注意的是這裏等高綫是輻散的，而等高綫和等溫綫的交角小於  $45^\circ$ ；同時是氣旋性彎曲和暖平流，這便形成一個動力減壓區。這個鋒區的構造，等高綫的密度項是並不明顯的，曲率項也不如輻合輻散項顯著。如果根據 И. Л. 戴波羅夫斯基的輻合輻散項和動力加速度的關係即

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = 2AT_r^2 \left( H_{nn} - H_n \frac{T_{rr}}{T_r} \cos 2\epsilon \right) H_{nn}$$

（式中  $T_r$  代表溫度梯度， $H_{nn}$  代表等高綫梯度沿氣流方向的變化， $H_n$  代表等高綫梯度， $T_{rr}$  代表等溫綫梯度沿氣流方向的變化， $T_r$  代表等溫綫梯度， $\epsilon$  代表等高綫和等溫綫交角， $A$  代表常數）。在上式中括號內第 1 項  $< 0$ ，第 2 項  $> 0$ ，但等溫綫的輻散大於等高綫的輻散，所以總的說起來氣壓動力變化加速度是負值，這就是說這個動力減壓區要繼續加強，它對於高空低壓槽和地面低壓的加深有很大的作用。

（作者在這一研究工作的進行中看見 H. H. 貝里斯卡婭<sup>[4]</sup>的“南方氣旋及其移往蘇聯歐洲部分的條件”一文中，所揭露出的地中海氣旋相當發展時的溫壓場構造，和本文所發現的很相似）。

當東北低壓的發展已經進入末期（就是說它不會再加深的前期），高空溫壓

場的構造則轉變為圖 15 的樣子。這時冷空氣已大部分入槽，等高綫常常已經封閉成一個高空低氣壓；但也有時還只是一個沒有封閉等高綫的低壓槽。在高空槽後，冷平流已使等溫綫移向南邊並在那裏密集起來，（也就是說在地面上寒潮已經南下，冷高壓前緣的冷鋒就位於高空鋒區的部分，並和等溫綫大致平行）。這時在高空低壓槽前還有微弱的暖平流。

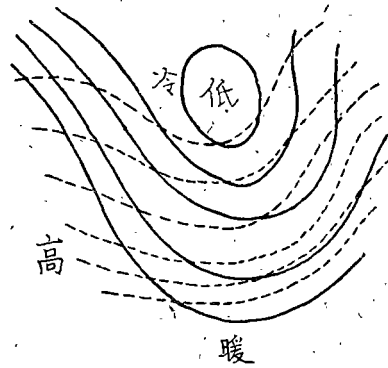


圖 15. 東北低壓發展末期高空溫壓場的型式

一個低壓在蒙古或貝加爾湖一帶新生或是重新開始發展，到東北境內再加深，然後移出東北減弱，這個過程一般地需要 3—4 天，預告上最困難的還是開始加深的時候，因為這時的變化常常是出乎預告員意料之外的迅速。但是我們利用平流動力分析的理論，注意上邊所說的高空溫壓場的特徵，這種迅速發展得很深的低壓在質的預告上是可以成功的。

在這裏簡單地提一下的是：有時當鄂霍次克海和濱海省一帶出現一個強大的動力加壓區時，高空系統的冷中心常常孤立起來，同時高空氣旋移動轉慢，竟或停止不動，形成準靜止的中心氣旋。這時地面低壓也很少移動由於它的後部存在着強烈的冷平流，在地面圖上便有一道一道的副冷鋒南下，造成內蒙、華北和東北一帶的大風。

由低壓發展時高空溫壓場構造的模式也可以說明：為什麼我們在東北低壓的鋒面分析中常常是先有冷鋒而後再發生暖鋒。因為冷鋒是原先從西邊過來的，但是等到對流層下半部發生高溫脊以後，暖平流才迅速地加強起來，於是暖鋒才開始明顯。

## 2. 沒有發展的東北低壓

我們要注意的是：並不是所有的從貝加爾湖或蒙古一帶新生的低壓到達東北時都要發展。不管那一類的低壓向東移過來的時候都有三種可能性：有時它可能發展得相當強大，有時它只可能中度發展成為較深的低壓，但也有少數的低壓沒有發展，當它移到東北後反到逐漸減弱消失了。（一般講，是常常移到東北逐漸發展加深的，但在實際的預告工作中就必須判別那種個別的沒有發展的東北低壓）。

中度發展的東北低壓在即將發展前，它的高空溫壓場的構造和圖 14 所表示



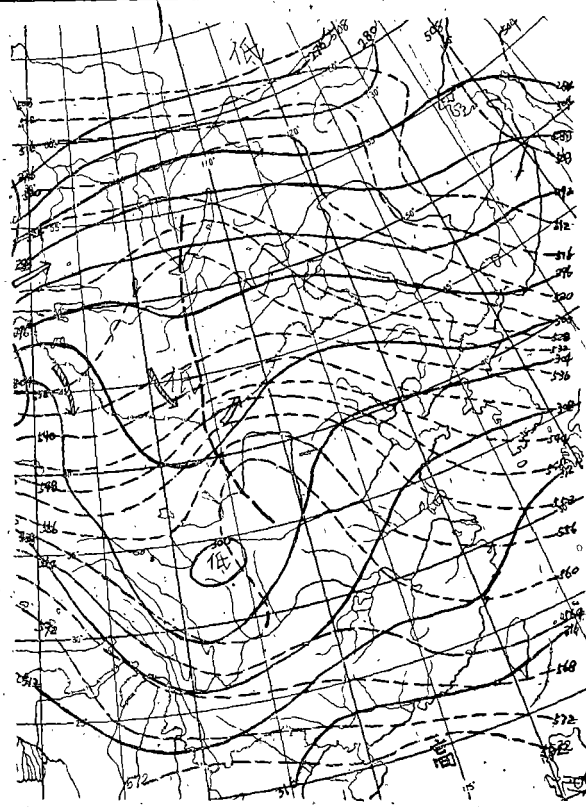


圖 16. 高空溫壓場 (某年春季某月第 1 日 1500 Z)

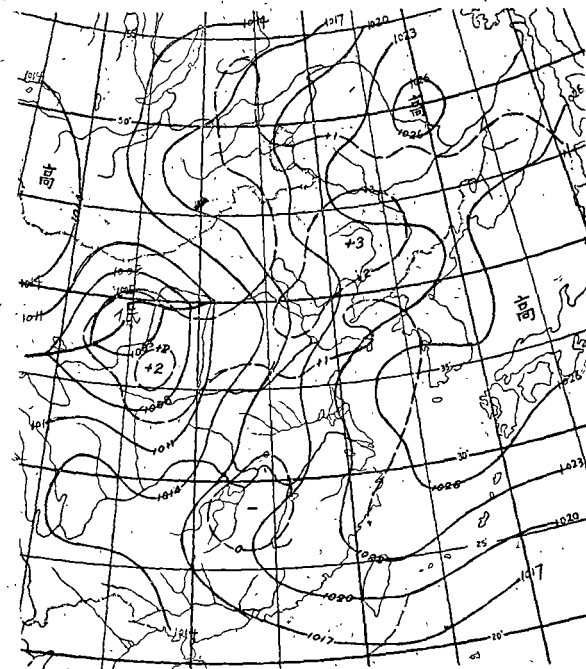


圖 17. 地面天氣圖 (某年春季某月第 1 日 1200 Z)

的相似，也有高溫脊存在，但鋒區的強度不那樣強，高溫脊也沒那樣發展，所以造成的氣壓動力變化也比較弱。至於沒有發展的東北低壓的高空溫壓場的構造就完全不同了。

現在舉一個沒有發展的東北低壓的例子：在某年春季某月第 1 日（我們所討論的第 1 天）下午在黃河上游發現一個氣旋，它的強度是 1005 毫巴（圖 17），在高空溫壓場的圖（圖 16）上有一個比較深的高空低壓槽，我們現在要問這個黃河氣旋沿着高空氣流向東北進行，它未來的發展是怎樣的？假如我們只注意等高綫是一個比較深的槽，而經驗上氣旋移到東北後又往往發展，就很容易預告這個氣旋在未來將要加深；但事實恰恰相反，它在 24 小時後就減弱了 6 毫巴，（圖略）到 48 小時後竟完全失掉了它的獨立中心，只變成一個 1017 毫巴的低壓槽了（圖 19）。

假如在預告時我們分析一下高空溫壓場的構造，我們便發現這時的構造和前節所說的低壓發展時的構造就完全不同了。在第 1 日高空溫壓場的圖上黃河氣旋正位於動力加壓區域內，因為等高綫是輻散的，而平流交角幾乎等於  $90^\circ$ 。在低壓槽前部河套一帶的等溫綫的梯度沿着氣流方向的分布不是輻散，而是輻合的，這種輻合在未來還要加強，因為槽前暖平流的交角是從南向北減小的，而地面氣

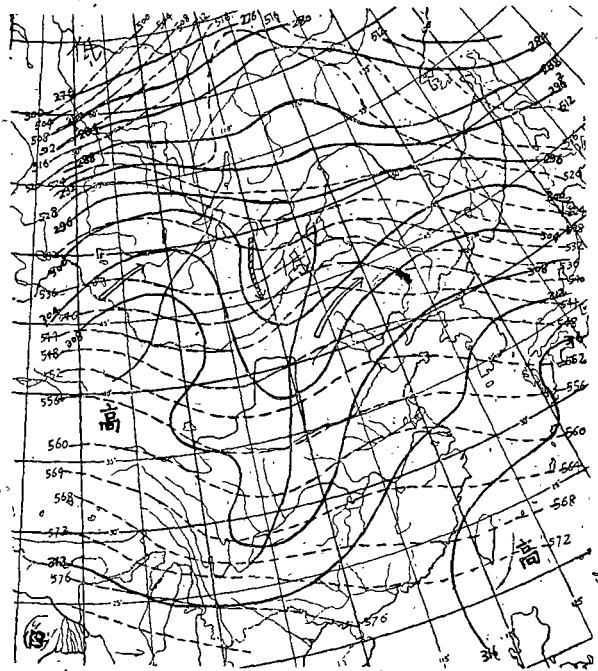


圖 18. 高空溫壓場（某年春季某月第 2 日 1500 Z）

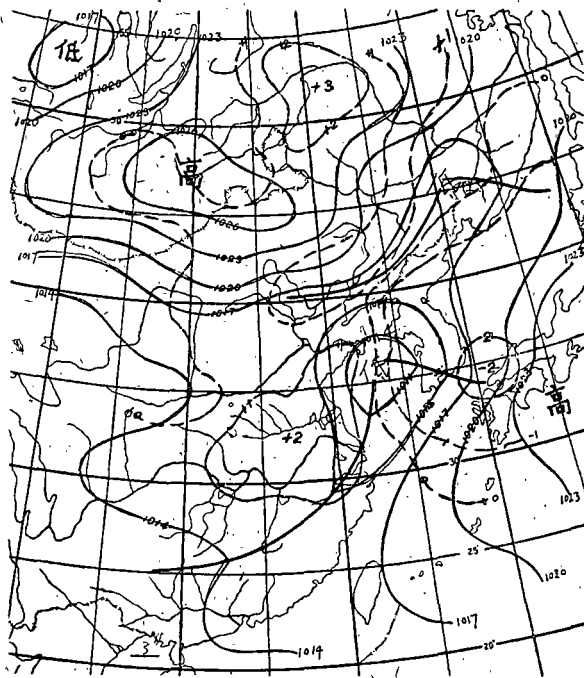


圖 19. 地面天氣圖 (某年春季某月第 3 日 1200 Z)

旋將來的移動正是走向等溫綫越來越輻合的區域。第 2 日高空溫壓場的構造 (圖 18) 也類似, 低壓槽前部的北邊 (我國東北的南部) 的等溫綫分布在未來仍是趨於輻合的, 所以地面上的低壓在第 3 天 (圖 19) 就更為減弱而消逝了。

很值得注意的一個現象是: 雖然在高空低壓槽北邊 (我國東北的南部) 等溫綫沿氣流方向的分布是愈來愈趨於輻合的, 但在低壓槽前部的南邊 (黃海區域) 等溫綫沿氣流方向的分布是愈來愈輻散的, 因為等溫綫和等高綫在黃河區域裏構成的暖平流交角最大, 再向南向北則交角變小。所以在 24 小時後 (我們所討論的第 3 日, 即圖 19), 在黃海區域另外發展出一個 1011 毫巴的低壓來, 它在東移以後更漸加深起來。

### 3. 同一個高空低壓槽裏南北兩個地面低壓系統的發展問題

作者在過去日常的天氣分析預告工作中注意到這樣一個現象, 就是在春季當我國海岸出現一個比較深的高空低壓槽時, 在它的南部和北部時常分別有兩個低壓系統在地面圖上出現。北邊的系統就是我們所討論的東北低壓, 南邊的系統則是長江口一帶的氣旋波。但是很使人感到有意味的是兩個系統大多是不可能同時發展的; 在未來如果北邊的系統發展時, 南邊的系統則慢慢減弱; 如果南邊的系

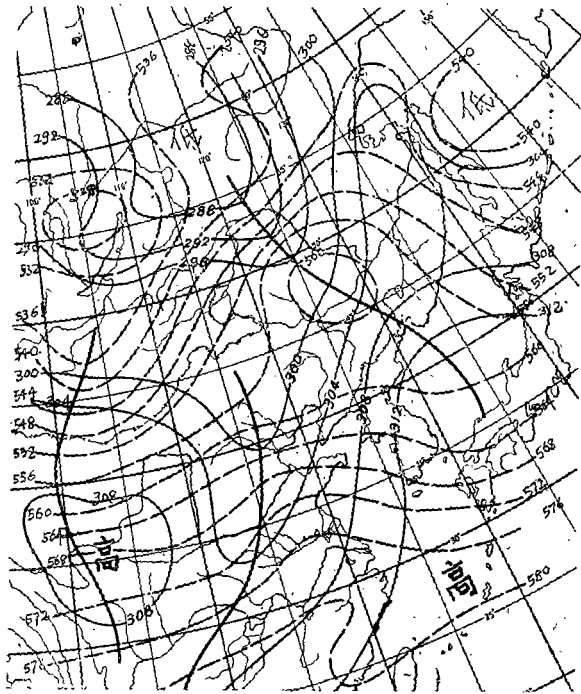


圖 20. 高空溫壓場 (某年春季某月第 1 日 0300 Z)

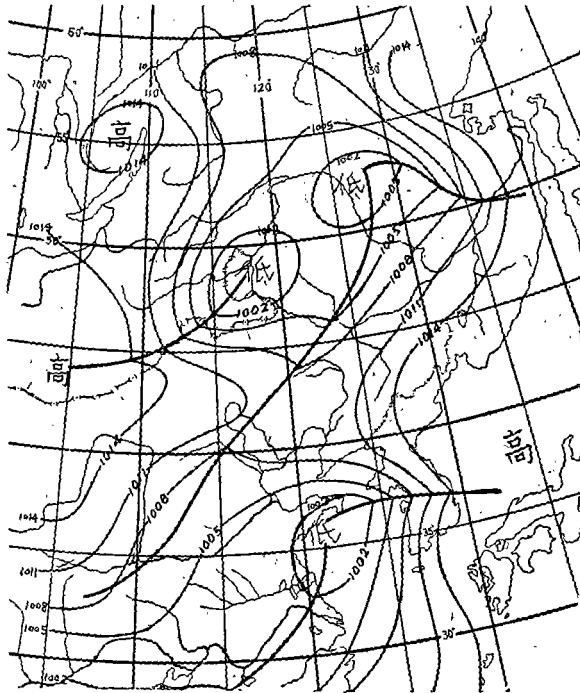


圖 21. 地面天氣圖 (某年春季某月第 1 日 1200 Z)

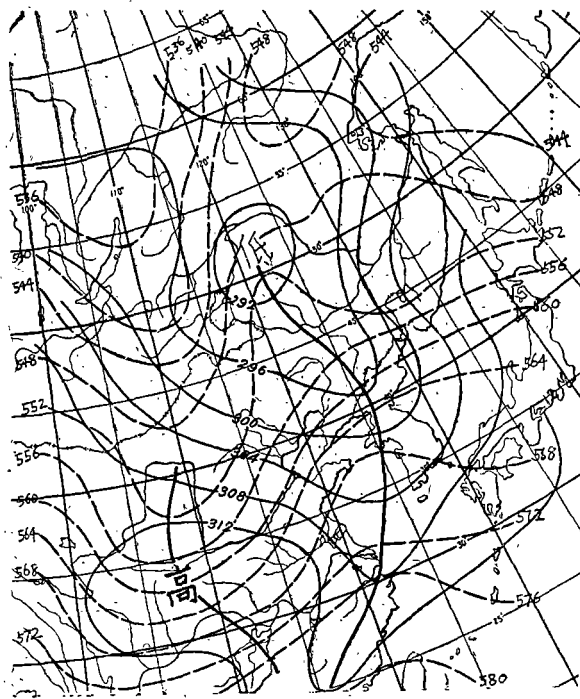


圖 22. 高空溫壓場 (某年春季某月第 2 日 0300 Z)

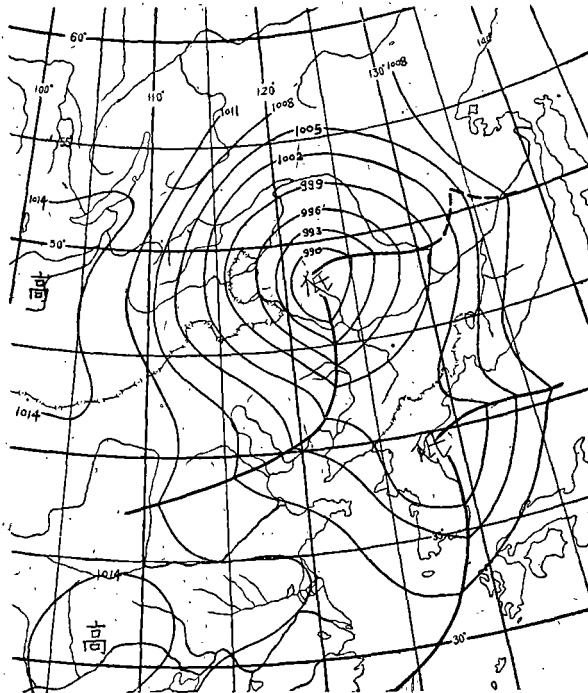


圖 23. 地面天氣圖 (某年春季某月第 2 日 1200 Z)

統得到發展，則北邊的系統常常減弱消失。

在上一小節的例子裏，我們已經提到當東北低壓沒有發展時，南邊的黃海氣旋得到發展。我們現在舉另外一個相反的例子：也是某年春季裏某月某日，在我國海岸有一個高空低壓槽（圖 20），在內蒙有一個新生的低壓，在黃海也有一個氣旋波（圖 21）。如果我們比較一下圖 22 和圖 20，我們可以發現高空溫壓場上的等高綫的分布都是很相似的，但是等溫綫的分布則完全不同；在圖 16 的例子等溫綫的分布在槽前北部輻合，而在南部輻散，所以東北低壓沒有發展，但黃海氣旋得到發展。現在的例子（圖 20）在高空槽前的北部等溫綫是輻散的，（槽後又是一個局地鋒生區，所以未來的等溫綫輻散要繼續維持）。但在槽前的南部等溫綫是輻合的，從暖平流交角的分布情況可知未來朝鮮北部一帶的等溫綫將更趨輻合，所以在 24 小時後地面圖（圖 23）上的黃海氣旋移到朝鮮後沒有什麼發展。但內蒙的低壓在東北却相當地發展起來，在 24 小時內加深了 12 毫巴；在 48 小時後朝鮮北部的低壓已經消失，但東北低壓却仍維持它的強度。

在同一個高空低壓槽裏地面上出現南北兩個低壓系統時，它們很難有同時發展的可能。這個現象在過去難以說明和預告，但是應用平流動力分析，這個問題可以這樣來說明：因為如果在槽後有局地鋒生發生，等溫綫的分布如果在槽前的北部輻散時，相對地就必然在南部輻合，而地面低壓的發展是位於等溫綫輻散的區域裏，所以北邊的地面低壓得到發展。相反地等溫綫的分布如果在槽前的南部輻散時，相對地就必然在北部輻合，那麼南邊的地面低壓就會發展。

#### 4. 地形對低壓在春季發展最頻繁的作用

爲什麼東北低壓在春季的發展特別強大，發生次數也特別頻繁呢，這一點我們要從大氣環流的情況和地形的影響來討論。

顧震潮同志<sup>[1]</sup>在過去已經指出“我國春季環流的特點是變化多和系統多”，作者認爲從西部西伯利亞向東移動的高空低壓槽是形成這種環流特點的一個主要系統。我們比較一下 X. П. 帕高西揚<sup>[5]</sup>所繪製的北半球冬季（1 月份）和春季（4 月份）的平均 500 毫巴等壓面圖，它們的形勢雖然很類似，但值得注意的是在貝加爾湖東部的反氣旋環流已經幾乎不存在了，而改變爲氣旋式環流，這是因爲從西方移過來的高空低壓槽在經過貝加爾湖以後常常加深，這種現象在春季特別多也特別顯著。

爲了討論這個問題，我們選擇某年春季某月中旬和下旬的一段時期，沿着

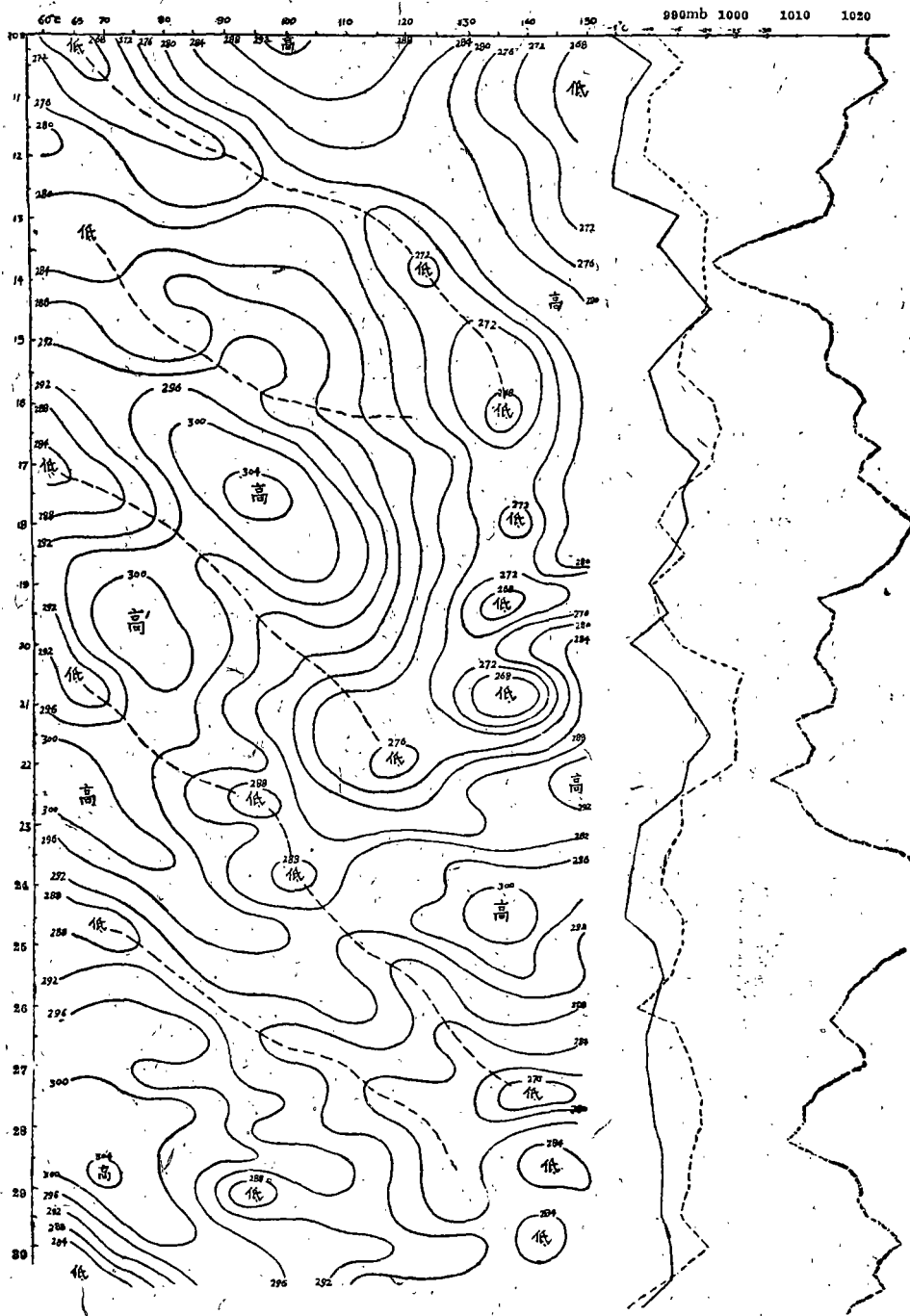


圖 24. 某年春季某月 10 日—30 日 55°N 在各經度的 700 毫巴高度圖，橫軸代表經度，由 60°E 至 150°E，直軸代表日期，高度單位是十米，右邊實線代表同一時期我國內蒙北面某探空測站 700 毫巴高度的氣溫變化，虛線代表同一時期蘇聯伊爾庫茨克 700 毫巴高度的氣溫變化，斷線代表同一時期我國東北某地地面氣壓的變化。

55°N 的緯圈做出 700 毫巴高度的時間變化圖(圖 24)。從這個圖上我們可以看到在這 20 天裏一共有五個高空低壓槽從西向東移動, 當它們進入 80°E 經綫(蒙新高原地區)後低壓槽開始變淺(第 4 個低壓槽沒有變淺是因為它是從高緯度地方下來東移, 在下來的過程中加深的)。但是它們移過 110°E 經綫(貝加爾湖一帶)後, 又開始重新加深(第 2 個低壓槽加深的情況不明顯, 是因為它的位置比較偏南, 而我們圖中所取的緯度是偏北的緣故)。

當一個比較深的高空低壓槽向東移動時, 它進入蒙新高原時變淺, 但它過了貝加爾湖以後又再加深(這對東北低壓的發展起了決定性的作用)。為什麼會經常有這種現象呢?

顧震潮同志<sup>[6]</sup>和葉篤正同志<sup>[7]</sup>研究西藏高原對大氣環流的影響時, 他們都提出西藏高原對西邊過來的高空低壓槽發生了屏障作用, 使低壓槽在到達西藏高原地區時強度減弱。但作者所注意到的現象是南北方向大而深的低壓槽多半是發生於歐洲, 當它們沒走到高原地區前, 南端就常常被切斷分裂下來。這時西藏高原本身的作用只能阻攔南邊分裂下來的低壓槽(因為西藏高原最北不過北緯 40 度, 對於北段低壓槽繼續前進減弱的過程並不能很好地說明, 特別是在春季低壓槽已不像冬季那樣深了。)

作者認為關於低壓槽變淺的原因, 與其說是西藏高原本身的作用, 不如說是與西藏高原相毗連的新疆、蒙古的山脈和高原地形所發生的作用更恰當些。

根據 И. А. 基倍爾的研究, 山脈能使等高綫發生變形, 即迫使等高綫向低氣壓方向彎曲。所以山脈一方面發生冷平流阻擋作用, 一方面使鋒區等溫綫的梯度變大, 形成地形性的局地鋒生。我們知道和西藏高原相毗連的蒙新高原是 500—1000 米的高原, 在高原西部有很多山脈, 特別是沿着新疆和蒙古的邊境一帶的山脈是 2000—3000 米, 它們是會產生地形性的鋒生作用。

像圖 25 所表示的: 當一個比較深的高空低壓槽向東移動時, 槽前的等高綫遇到山脈必定發生向北的彎曲(如圖上斷綫所表示的), 因而加強了平流零綫右邊的暖平流, 使局地鋒生轉強。在這時槽的後部和中部(等高綫輻合, 交角 $<45^\circ$ )都是局地鋒生的區域, 有利於動力加壓, 因此高空低壓槽不會加深而要變得淺一些。

這個變淺的高空低壓槽越過山脈後本應再度加深, 但是由於蒙新高原西部仍是連綿的山地, 所以它仍維持平綫的槽, 然而當它過了貝加爾湖一帶就又加深起



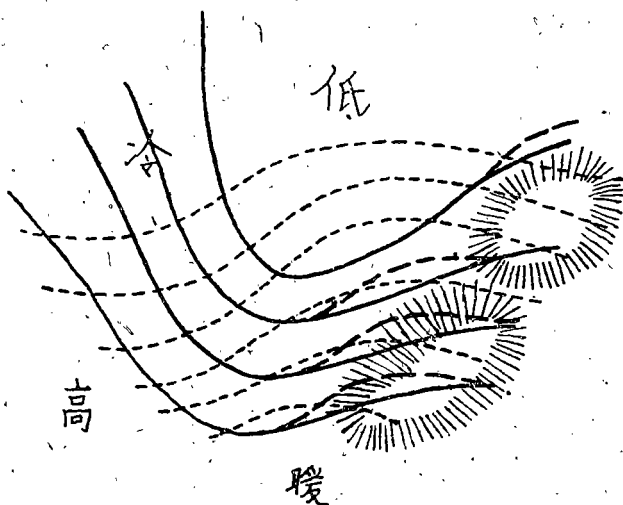


圖 25. 新疆蒙古高原西境山脈所造成的等高線的變化

來。低壓槽過了貝加爾湖後重新加深的原因，在過去有些同志<sup>[7][8]</sup>雖曾提出過可能的成因。但他們的解釋是低壓經過貝加爾湖越過湖西山地後，氣旋式的環流增加。然而事實上貝加爾湖東邊仍然是一片山地，低槽經過湖西山地後，仍要碰到山地是不能說明原委的。

作者認為貝加爾湖高空低壓槽加深的原因應該由加深前高空溫壓場的構造來說明。這是在低槽加深以前溫壓場上在蒙古高原西部和中部一帶出現的高溫脊所造成的等溫綫分布沿氣流方向的輻散，和在蒙新高原西境山脈所加強的局地鋒生構成低槽前部動力減壓區加強的結果。

在蒙古高原西部中部一帶所出現的高溫脊的加強可能是地形性局地鋒生加強了槽前的暖平流，同時又和蒙古高原地形的熱力作用有着密切的關係。一般地在高空低壓槽的前方常是有一個暖平流的高溫脊的區域。但是當高空低壓槽將要發展以前，這個溫度脊在蒙古西部、中部一帶顯著地加強起來。我們選擇了三個相當發展的東北低壓加深的例子，做出沿  $55^{\circ}\text{N}$  緯圈 700 毫巴高度的時間變化和 1000—500 毫巴等厚度（或 700 毫巴高度的氣溫）的時間變化圖，（圖 26，只舉出其中一個。）

在圖 26 所表示的當一個高空低壓槽在過了貝加爾湖的經綫後加深前，有一個暖中心在  $90-95^{\circ}\text{E}$  一帶出現。我們可以看到這個暖中心是槽前暖平流在西移過程中，在蒙古高原西部加強的。

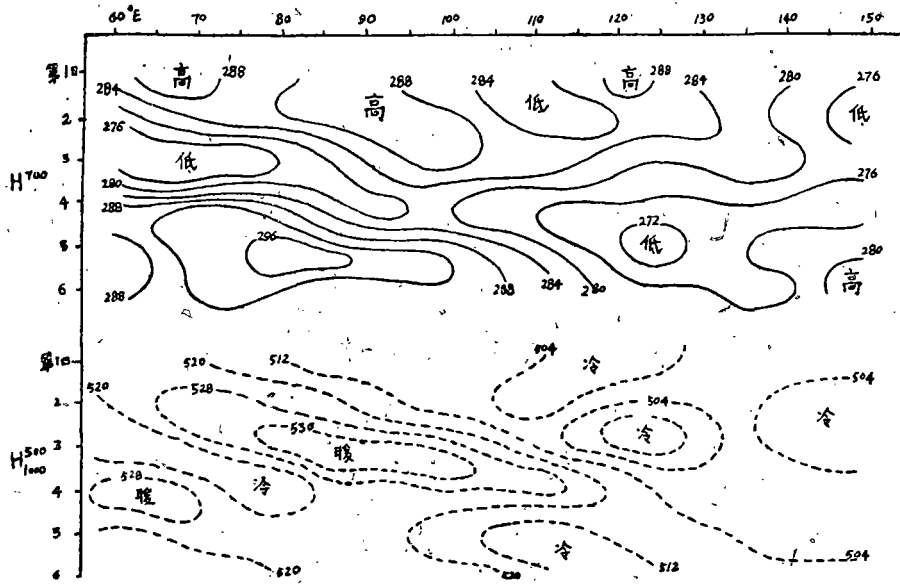


圖 26. 一個相當發展的東北低壓在發展過程中， $55^{\circ}\text{N}$  在各經度的 700 毫巴高度圖和 1000—500 毫巴等厚度圖，橫軸代表經度，由  $60^{\circ}\text{E}$  至  $150^{\circ}\text{E}$ ， $H^{700}$  和  $H^{500}_{1000}$  的單位是十米。

不僅是這三個例子，在前面的圖 24 上，我們同時點出了伊爾庫茨克和我國內蒙北面某高空測站 700 毫巴高度的溫度變化，和我國東北某地的地面氣壓變化，把它們的變化和  $55^{\circ}\text{N}$  緯圈 700 毫巴高度的變化配合起來看可以知道：當高空低壓槽在過了貝加爾湖加深（第 13 日、16 日、21 日、26 日、28 日）的前一天，我國內蒙北面某高空測站的 700 毫巴高度的溫度都有顯著地上昇（在高空溫壓場上就構成了高溫脊），相反地伊爾庫茨克的溫度則顯著的下降，也就是說兩地的溫度梯度加大（表示鋒區等溫綫密集，將有強烈的動力變化）。在第二天，當低壓槽加深後，我國內蒙北面某高空測站的 700 毫巴溫度急降和伊爾庫茨克的溫度差不多相同，這是低槽加深後低槽後部強烈的冷平流所造成的結果。

在這種低壓槽加深前後，高空溫度的變化是很大的，這一點顧震潮同志<sup>[9]</sup>在“論西北低壓槽的構造”中提到過：“西北低槽經過北京時高空氣溫是有顯著變化的”。這一點也很可能像貝加爾湖低壓槽加深一樣是西北低槽發展的條件，但目前我們還沒能有足夠的高空記錄來證實。

從圖 24 上我國東北某地地面氣壓的變化正說明在這一時期正有 5 個東北低壓發展，（第 2 個低壓的中心偏南，所以該地的氣壓下降並不顯著）。

我們還要說明在高空溫壓場上的鮮明的高溫脊除了上游山脈所造成的局地鋒

生以外，可能是蒙新高原熱力作用加強原來等溫綫輻散的結果。圖 27 是與圖 24 同時期我國內蒙北面某高空測站從地面到 500 毫巴各高度上氣溫的變化。我們可以知道當高溫脊形成的時候，整個對流層下半部的氣溫都是昇高的和地面溫度的變化也是一致的。高溫脊的開始生成是在低壓槽還沒有發展以前，它是當高空槽進入高原地帶後，低槽變淺時發生的。所以它不只是暖平流作用，而是在已有的平流作用上加上了局部的地形的熱力作用加強了原來等溫綫的輻散。

這種熱力作用的影響特別顯著與高原的高度也有關係，因為蒙新高原本身高度就有 1000—2000 米，因此它的熱力作用很容易影響對流層的下半部，這可能是在這塊自然地理區域裏的特殊現象。我國西北和內蒙北面的氣溫變化從冬季到

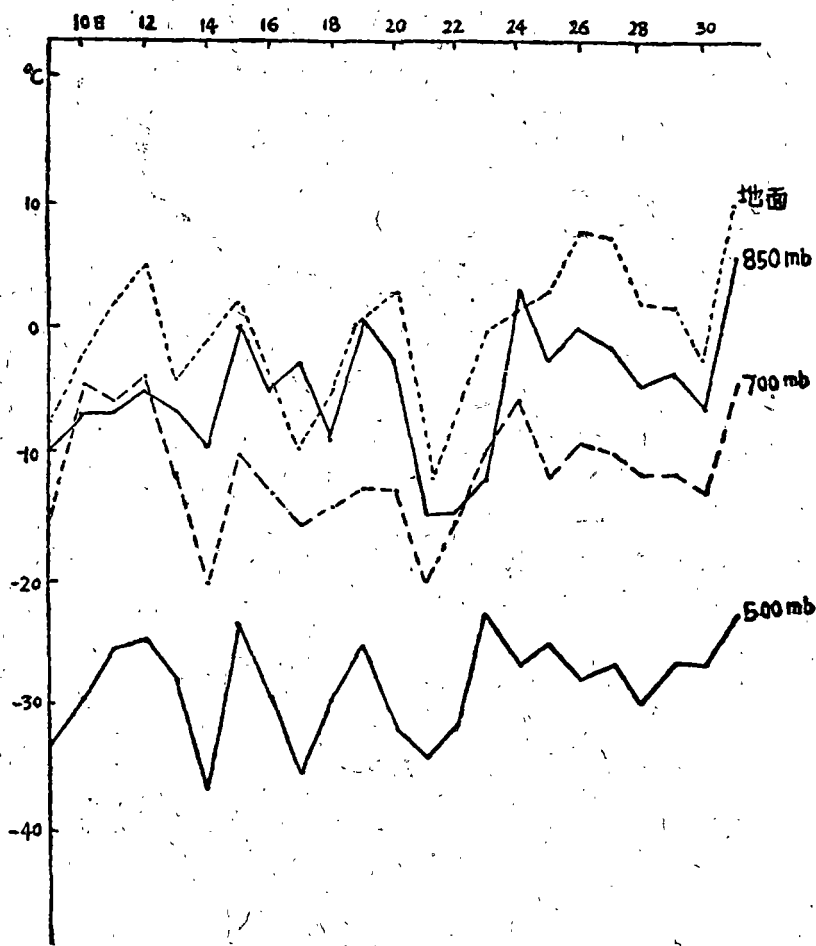


圖 27. 某年春季某月 10 日—31 日我國內蒙北面某地對流層下半部溫度的變化

春季是不連續地上升的，但在西南高原由冬季到春季的氣溫變化就沒有這種不連續地上升現象。這一點還有待於進一步研究。

從以上的事實說明了東北低壓的發展和貝加爾湖高空低壓槽的加深是一回事，形成貝加爾湖高空低壓槽加深時高空溫壓場特徵是由於蒙新高原的地形作用引起了等溫綫不均勻的分布。這就造成了高空鋒區同時具備了低壓發展的兩個條件。在春季貝加爾湖低槽加深這個問題上，可能是由於先有等溫綫受平流和熱力作用發生的改變引起溫壓場的改變，因而造成了強烈的冷暖平流，引起強烈的氣壓動力變化。也就是說：由於這裏特殊的地形在春季發生顯著的作用，在一定的高空環流形勢下（有低槽東移）熱力作用使平流作用增強，引起了動力作用，這就是熱力和動力互相經常作用的結果使春季低槽加深的現象特別頻繁。

從上面的討論，我們知道春季東北低壓的發展正是東亞大陸北邊這個自然地理區域裏，這個季節（春季）中所形成的特殊而又經常出現的天氣。

#### 四. 結 語

以上我們所討論的只是春季東北低壓發展的問題（關於東北低壓的移動以及它所造成的天氣則要再進一步的研究）。作者在研究這個問題的過程中深刻地體會到平流動力分析的先進性，它辯證地解決了低壓的發生和發展的問題，而更重要的是它實踐地解決了預告的問題。

作者在這一研究工作過程中，也認識到我們過去在有關低壓發展問題上一些片面的看法。第一，我們過去時常認為具有高溫脊的暖槽是不會發展的，因而也不會引起天氣系統的發展。但是暖槽常能引起強烈的平流，加強了氣壓的動力變化，因而影響地面系統的發展和天氣。第二，我們過去時常認為地面的熱低壓當有冷空氣進入後就會減弱，但是如果當地面有熱低壓形成，高空溫壓場上正有動力減壓發生時，則冷鋒進入這個熱低壓後，地面的低壓一樣會發展的。這兩種錯覺都是我們只注意熱力作用而看不見動力作用所致。相反的，第三，如果單只注意動力作用，只憑等高綫的分布討論問題，而不注意溫壓場的構造也是不能解決問題的。

★

★

★

本文是作者在今年春季學習蘇聯先進的氣象理論後的一篇習作。在本文完成

時，作者向顧震潮同志和陶詩言同志致以謝意，他們教給我先進的平流動力分析的理論，並在本文工作過程中給以鼓勵和指導性的意見。作者也感謝葉篤正同志對本文提出了寶貴的意見，另外作者並向劉夏瑄同志和楊蘊華同志致謝，她們幫助作者繪製了本文裏的一部分圖例。

### 參 考 文 獻

- [1] 顧震潮：由氣壓變率論中國春季環流的特殊性。氣象學報，23卷1,2期。
- [2] Г. А. 叔碧恩：氣旋與反氣旋的發生和發展。天氣工作者叢刊，顧鈞禧譯。
- [3] И. П. 梵特洛夫：鋒生與高空變形場的改變。中央預告所叢刊，第20(47)號，陶詩言譯。
- [4] Н. Н. 貝里斯卡亞：南方氣旋及其移往蘇聯歐洲部分的條件。中央預告所叢刊，第17期。
- [5] X. П. 帕高西揚：大氣環流的季節變化。中央預告所集刊，第1期第23號。
- [6] 顧震潮：西藏高原對東亞環流的動力影響和它的重要性。中國科學，2卷，3期。
- [7] 葉篤正：西藏高原對於大氣環流影響的季節變化。氣象學報，23卷，1,2期。
- [8] 施友功、湯永斌：貝湖低壓在我國北方的活動及其對天氣的影響。天氣月刊，第15期。
- [9] 顧震潮：西北低壓槽的構造。天氣月刊，第13期。

### 在中國氣象學會北京分會學術討論會上對本文的意見

(1953年7月17日)

- 嚴開偉：** 討論貝湖低壓槽加深的原因時，應用700毫巴高度和1000—500毫巴等厚度圖來討論，是否沒有考慮到比較厚的氣層的動力作用？因為蒙新高原邊境的山地已有2000—3000公尺。
- 江愛良：** 西南高原和西北高原春季氣溫變化不同，是否和環流有關？
- 章震越：** 由這個工作可以說明蘇聯的先進經驗至少可以應用到中國西風帶問題中，並能解決很多的問題。能夠解決東北低壓的暖鋒鋒生問題，是否可同樣地用低壓發展末期等高線和等溫線近於重合說明先有暖鋒鋒消問題。在東北低壓發展的高空溫壓場模式上，槽前等高線輻散而平流交角大於45°部分，應有動力加壓區存在，應如何解釋？蒙古低壓的生成恐非完全是熱力作用？
- 紀乃晉：** 當低壓減弱時高空是否是動力加壓區？是否和地面摩擦輻散有關？
- 楊鑑初：** 關於槽內高溫脊的生成問題，在圖3裏有兩次溫度昇高點是500毫巴上，早於700毫巴和850毫巴，這一點說明平流作用仍然很大。
- 朱和周：** 今天第一次看到應用蘇聯先進經驗解決我國天氣問題的成功例子。這不僅是一個例證解決了一個預報問題，也告訴我們蘇聯先進經驗是可以應用的。低壓的模式提出後要進一步解釋它為什麼會形成的原因，作者提出了地形的作用，但當槽由西部東移時高溫脊就已存在，單純用高原的熱力作用來解釋恐怕並不合適，是否與整個環流有關，可以進一步研究。
- 顧震潮：** 這是把蘇聯先進經驗結合中國實際的一個比較成功的例子。今年春季我們開始學習平流動力理論後，外地台站也在注意應用它來解決東北低壓的發展問題，低壓槽裏高溫脊的生成是否完全由於熱力作用，低壓在秋季的發展如何，是值得進一步研究的。從實際工作中我們可以體會到蘇聯先進經驗很解決問題，因為它不是只注意正壓大氣現象而是研究斜壓大氣的發展。進一步研究地形對平流動力變化的作用在我國更特別重要，因為我國地形特別複雜，西藏高原的面積和高度都比其他地方大。

**汪慶甲：** 在討論同一個高空低壓槽裏南北兩個地面低壓發展的問題是在長江口一帶比較南的地區是否還可以利用 700 毫巴做主要引導層？

**朱抱真：** 低壓槽裏高溫脊的生成，並非完全由於地形的熱力作用，是有平流作用在內，但地形的熱力作用加強了高溫脊的現象，因為一個高空低壓槽在沒有到發展末期時，槽前一定有暖平流區，但低槽在貝湖西方變淺時，高溫脊不只在槽的前部，反在槽的中部（鋒區內部）加強了，這可能是地形的熱力作用加強了等溫線的輻散。另外貝湖低壓槽的加深，當然不是單純的熱力作用，和環流當然有關。從發展時高空溫壓場的模式上等高線的分布可知環流形勢在西部西伯利亞一帶是高压脊，而有低槽位於貝湖一帶，低槽的加深可能是熱力作用在當時的環流上加強了平流作用引起動力作用的結果。