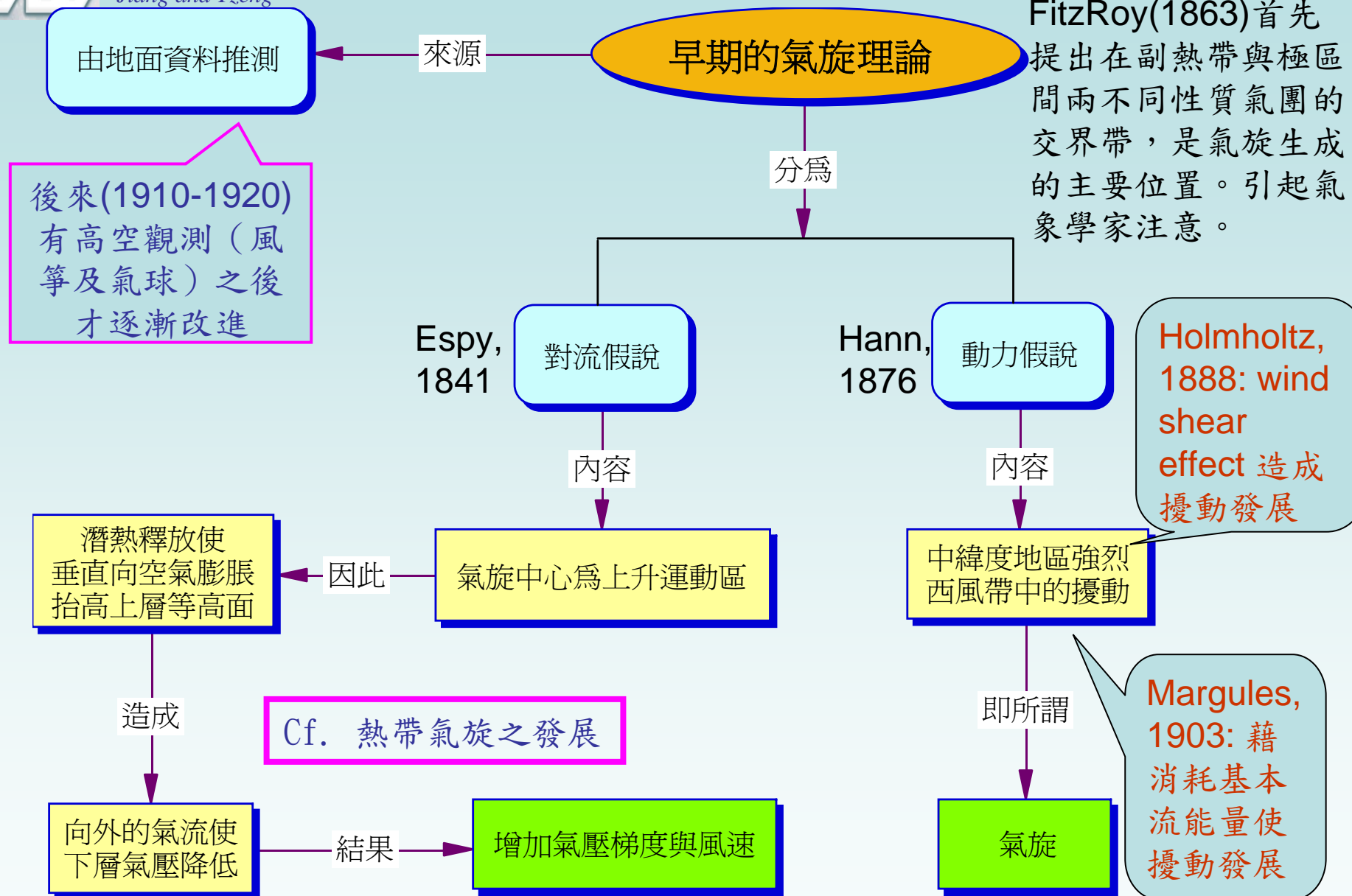
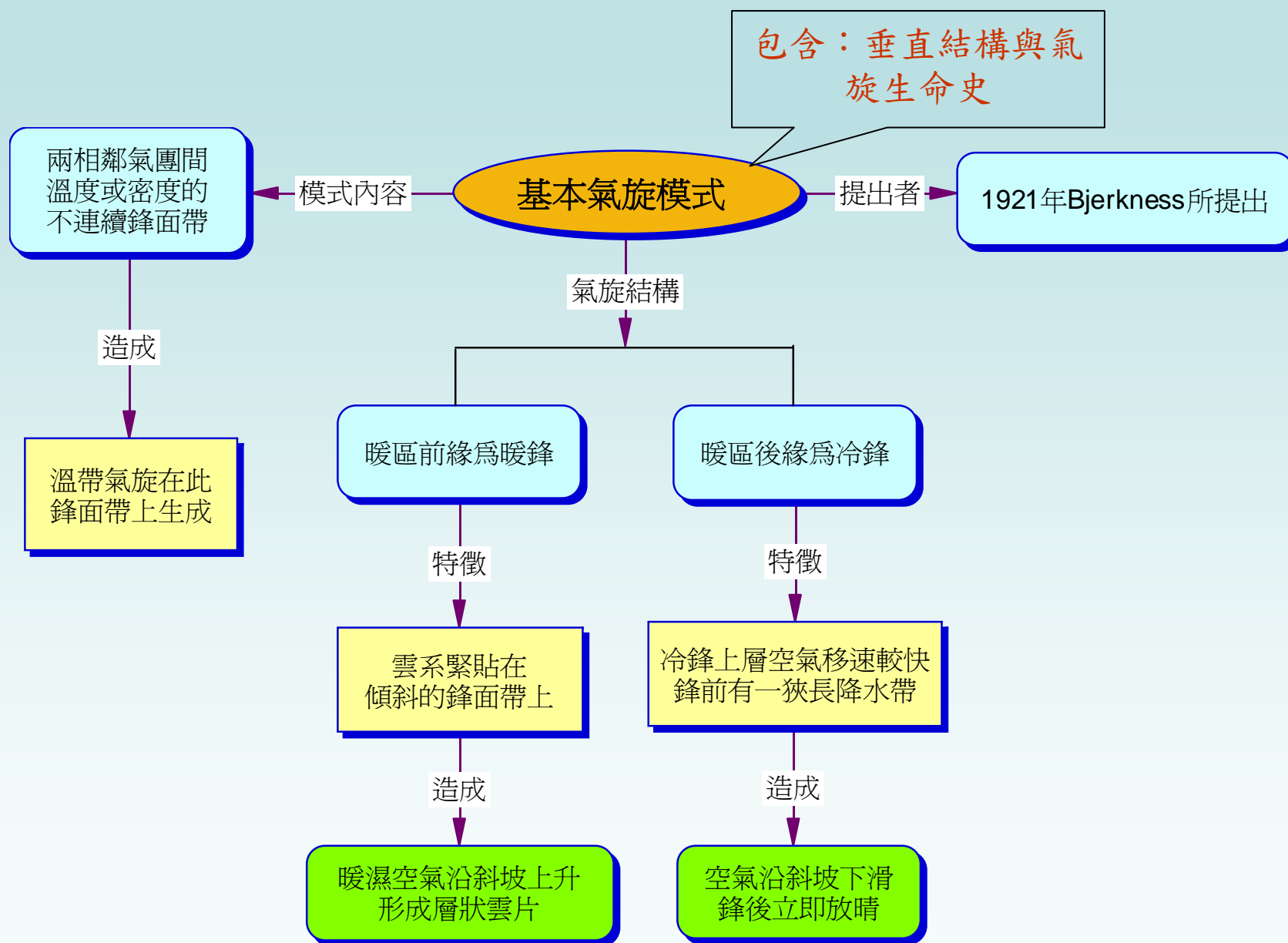




## Ch 9. 極鋒理論- 6 hr (2+3)

FitzRoy(1863)首先提出在副熱帶與極區間兩不同性質氣團的交界帶，是氣旋生成的主要位置。引起氣象學家注意。





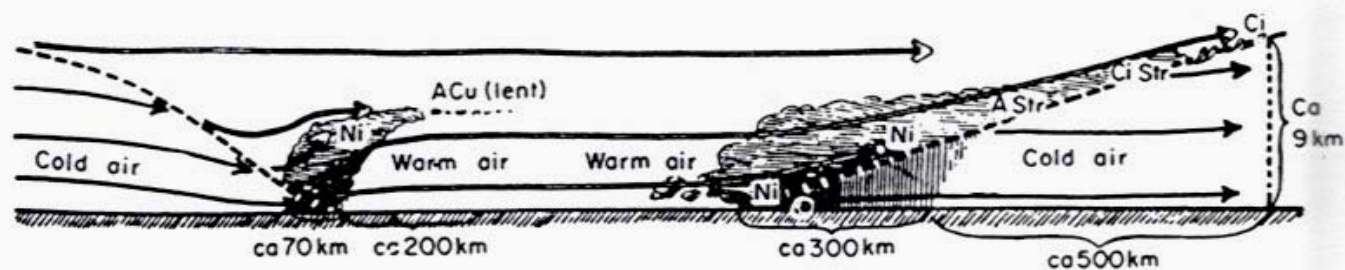
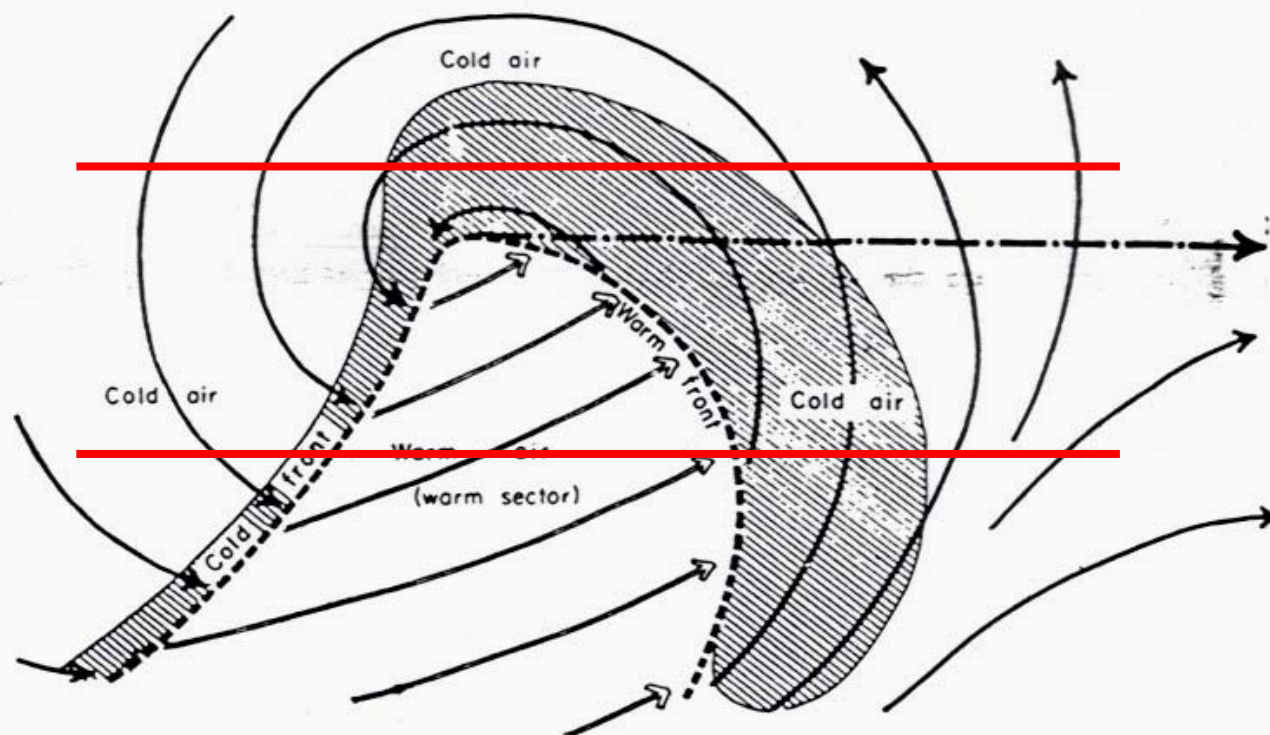
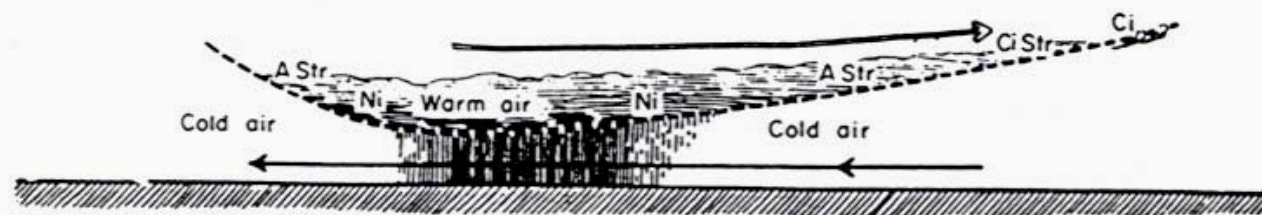


天氣學與天氣分析  
Jiang and Tzeng

## --- 基本氣旋模式附圖

1921年  
Bjerkness提出之  
基本氣旋模式

有天氣現象的範圍：  
冷鋒較窄，暖鋒較寬



在準靜的鋒面帶  
上有一小擾動

使得

暖空氣侵入  
冷空氣中

造成

波頂氣壓降低

有利於

b, c

氣旋式環流的發展

波頂後方

波頂前方

冷空氣吹向暖側

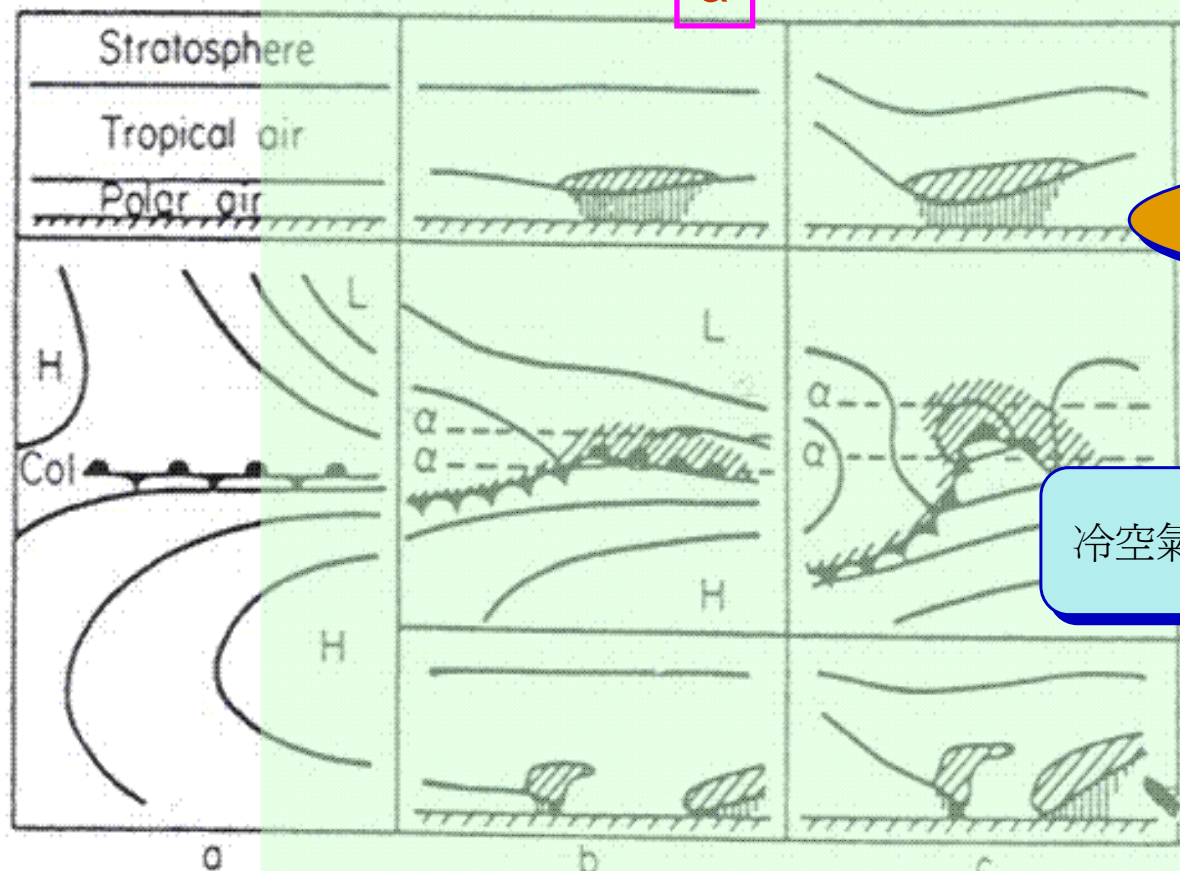
暖空氣吹向冷側

使得

鋒面帶成波狀向暖區推進

造成

冷鋒向前跑  
暖鋒向後退





冷鋒趕上暖鋒  
把暖區空氣抬舉起來

稱為

囚錮

d, e

之後

囚錮的氣旋繼續發展

形成

下層是冷渦  
上層仍是暖空氣

因此

失去鋒面的特性

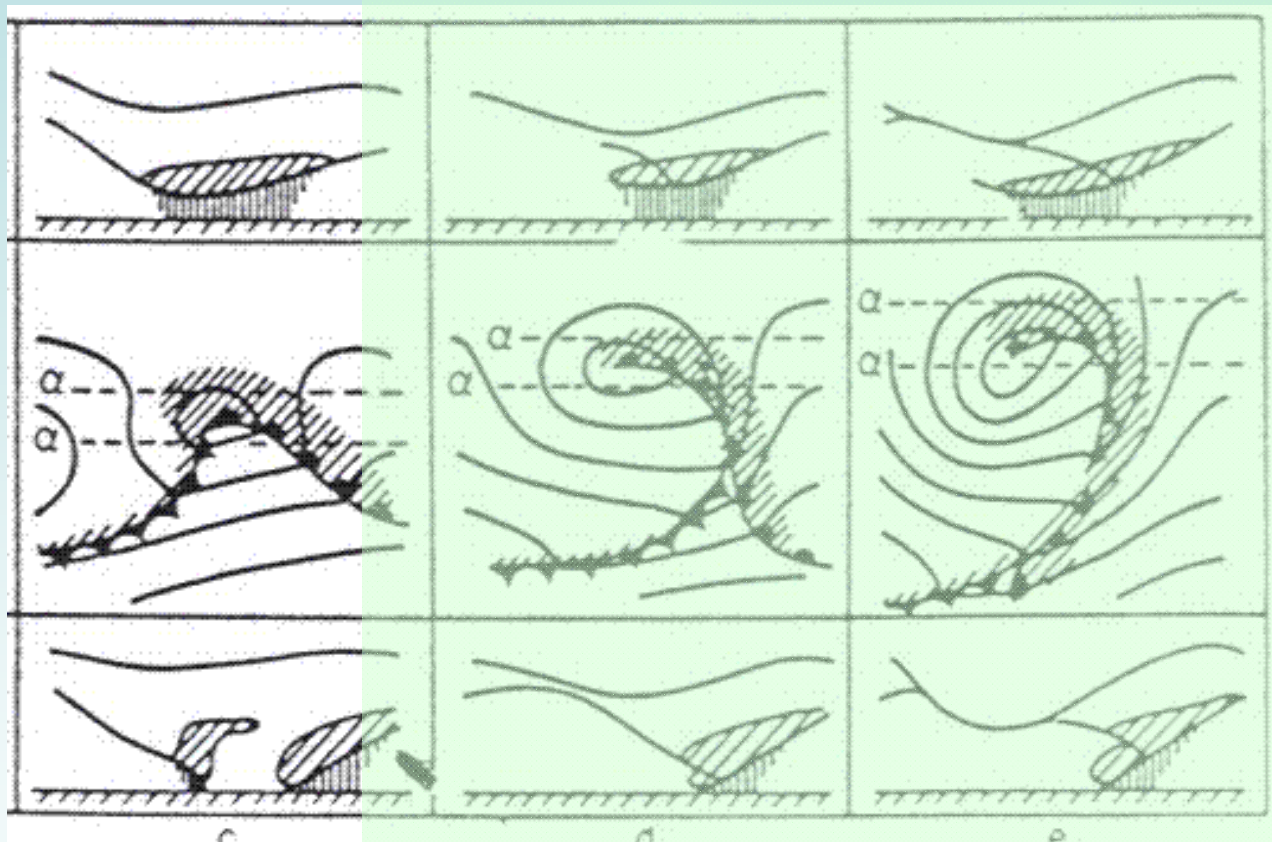
加上

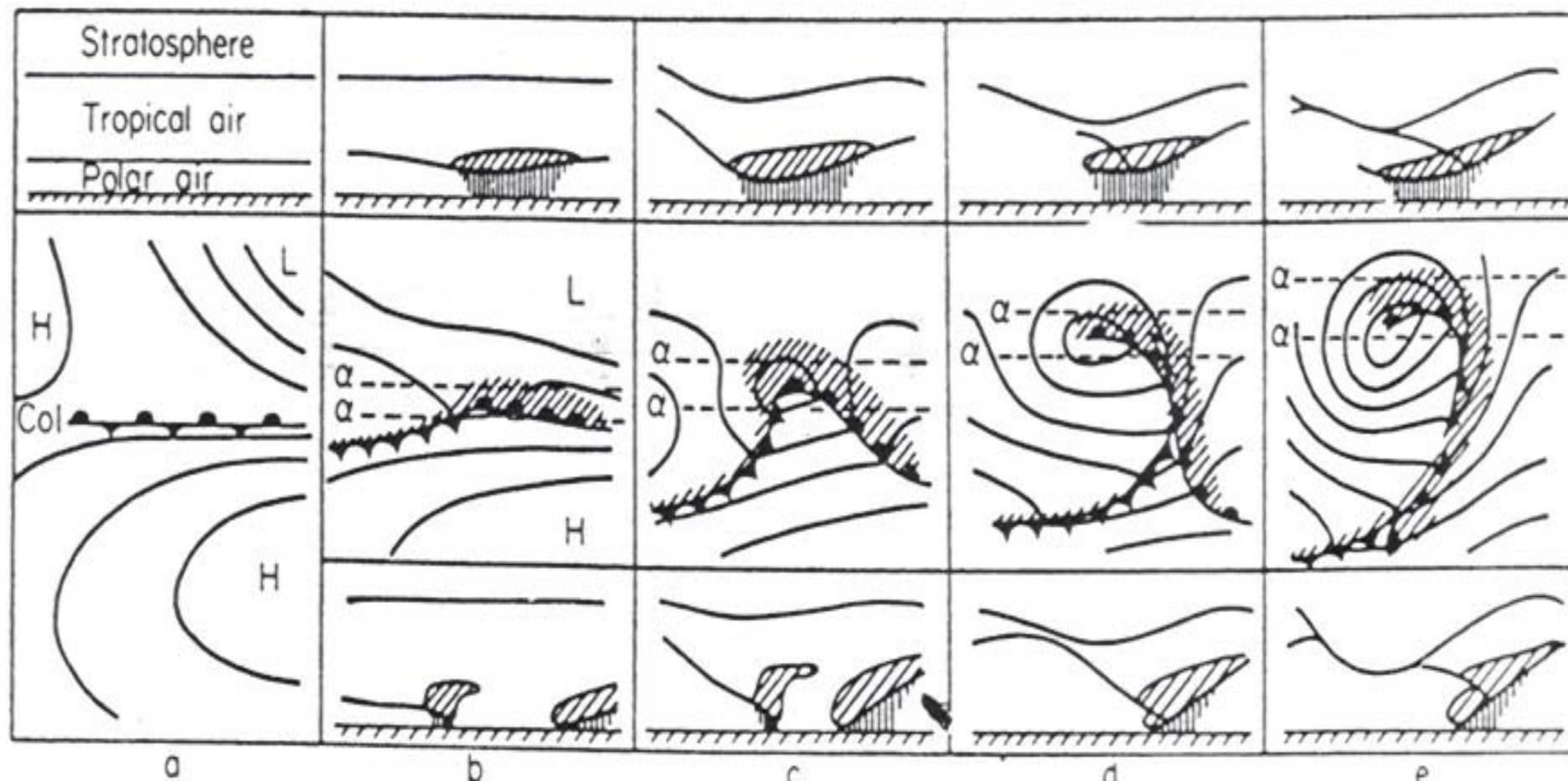
經由摩擦與混合作用

故

氣旋消散

阿留申低壓  
與阿拉斯加  
再生氣旋



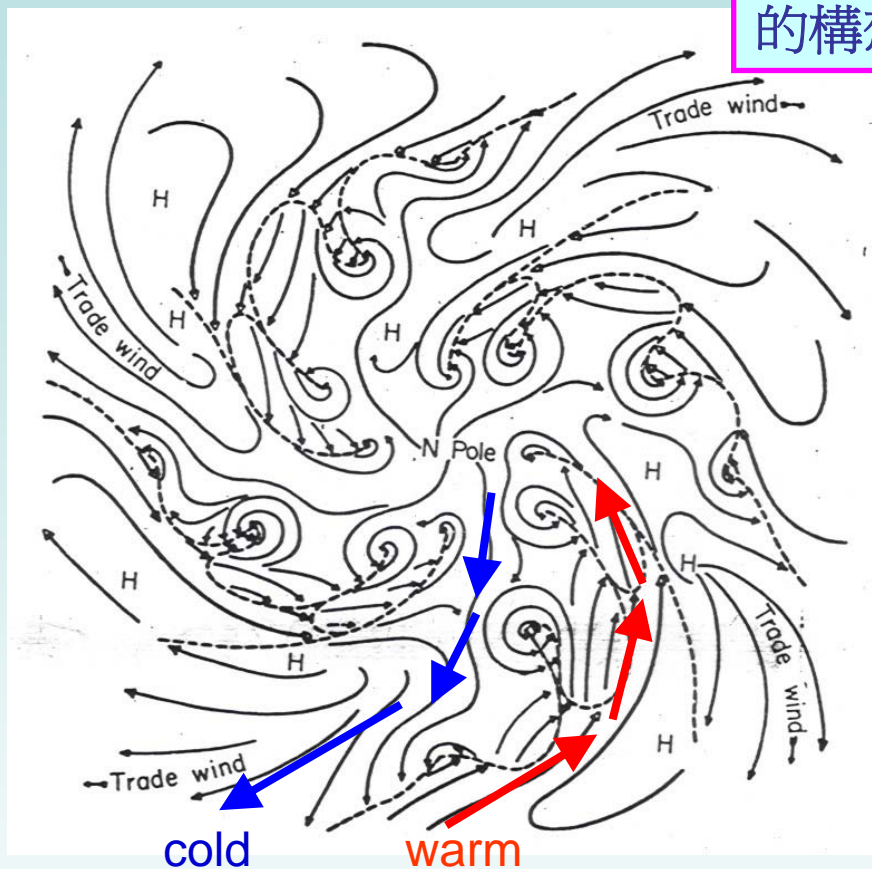


溫帶氣旋發展過程

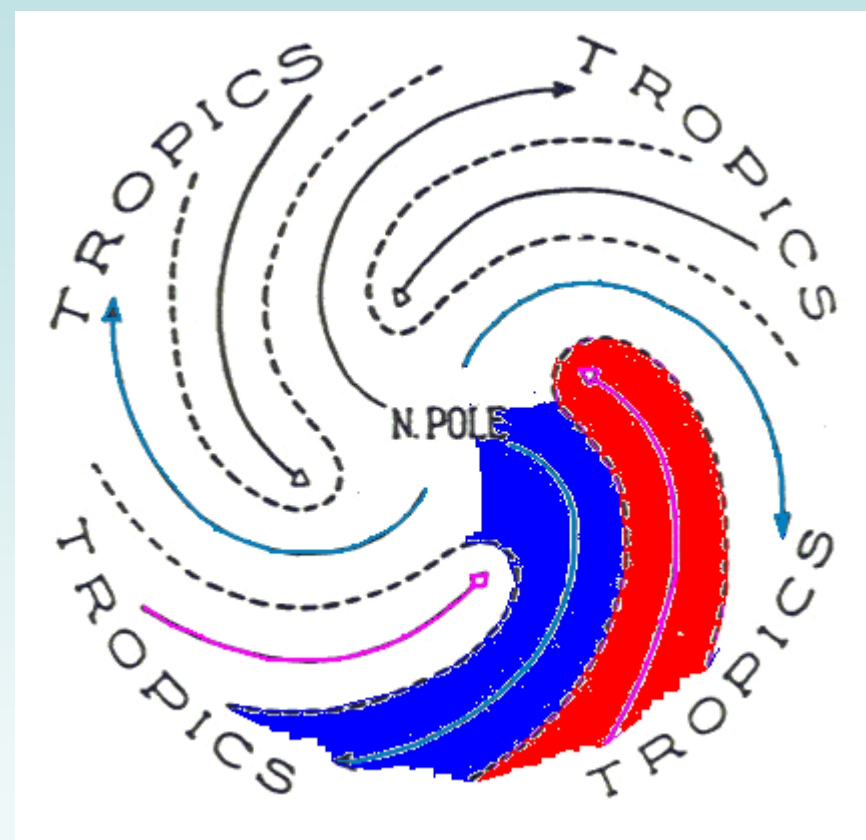
時間間隔為12hr



1922年Bjerkness的極鋒理論提出氣旋族的構想，平均每個氣旋族有四個氣旋。



溫帶氣旋生成於極鋒上，在發展過程中，向東北移動，緊接著另一氣旋又在冷鋒的尾端生成，故在東北的氣旋較成熟，西南方者為新生氣旋，如此一串排列叫氣旋族。



造成此形態的原因：

1. 地球之南北加熱不均
2. 地球自轉（科氏力）





天氣學與天氣分析  
Jiang and Tzeng

-- 探空圖

早期之探空圖  
測站z-t圖  
(時間序列)

132

## 5 Polar-Front Theory and Beginnings of Aerology

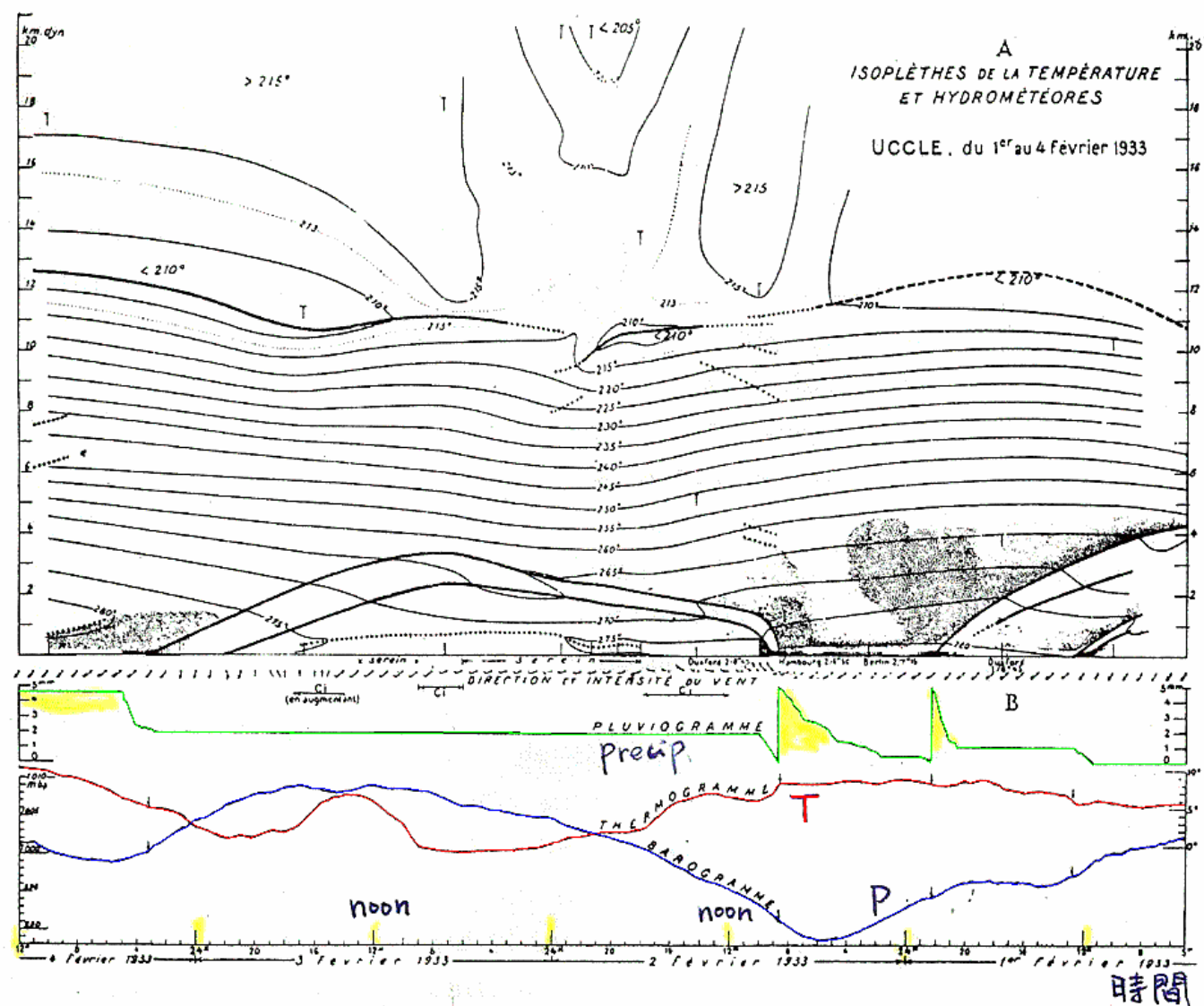


FIG. 5.5 Time cross section based on serial soundings at Uccle, Belgium, during the period Feb. 1-4, 1933. Thin lines are isotherms ( $^{\circ}\text{K}$ ); heavy lines are tropopause or boundaries of frontal layers. At bottom are surface winds and rainfall, and temperature and pressure traces. (After Van Mieghem, 1939.)





天氣學與天氣分析  
Jiang and Tzeng

## -- 鋒面之氣流

鋒面之高度分佈  
及地轉風流線圖

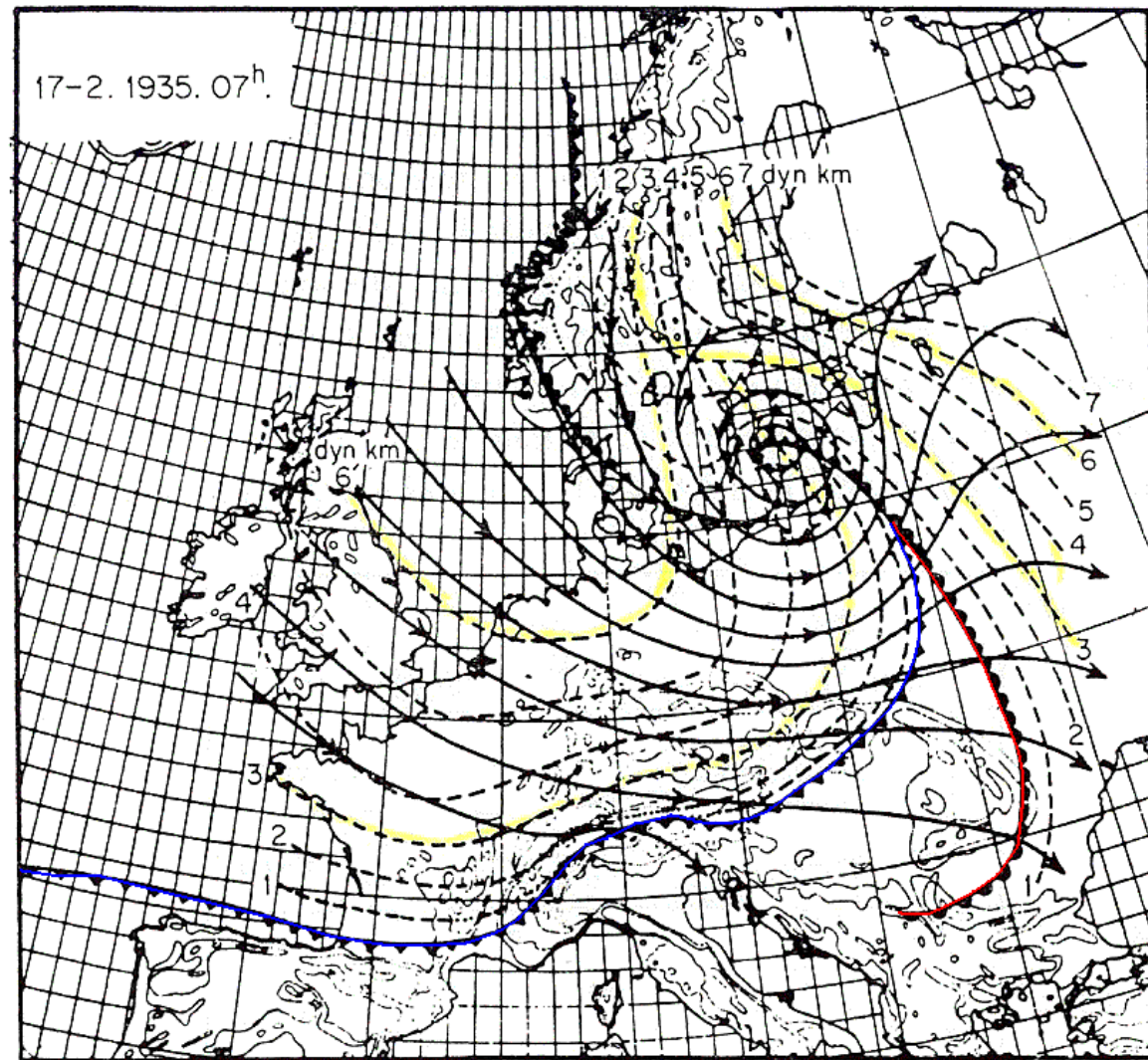


FIG. 5.6 Dashed lines show the frontal contours (kilometers above sea level) of a cyclone over western Europe at 02 GCT Feb. 17, 1935. Solid lines are streamlines inferred from the geostrophic wind field at various levels, corresponding to the flow in the warm air at the frontal surfaces or, in the warm sector, at the top of the surface friction layer. (After J. Bjerknes and Palmén, 1937.)



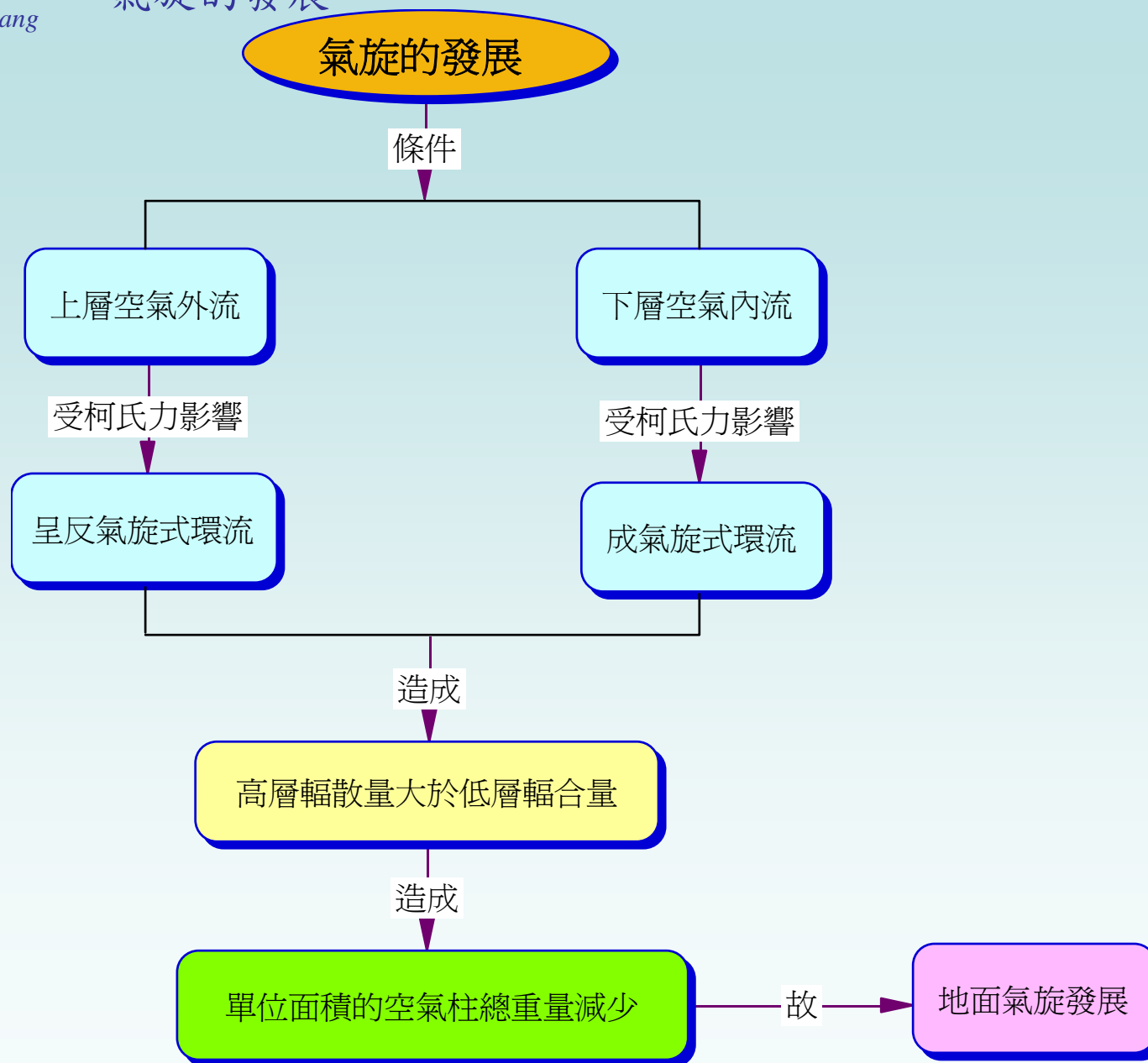
## Problems with the Bergen School wave cyclone model

- 極鋒理論自1922年發表以來，一直都被廣泛的接受。
- 但陸續的觀測資料與數值模擬結果，卻發現越來越多的問題！
- Mass (1991, BAMS)將歷年來所發現的種種問題整理出來
- 例如：模式的模擬 (Charney)發現，只要有斜壓區氣旋就可以發生，而不必先存在著鋒面；並且氣旋也可以跟鋒生過程一起發展。
- 另外，實際的（衛星等）觀測資料中，也很少看不到囚錮的現象。...
- 講義(Mass, 1991)之第三節「The need for amendment of the Norwegian conceptual model」中，每一段至少會提出一個問題，請整理出來，當做一份習題。



## 氣旋的發展 (3 hr)

- 由質量守衡及氣壓的定義，地面上要有氣旋的發展（即氣壓降低），則空氣柱上要有空氣流出。也就是上層的輻散要比下層的輻合大。
- Ryd (1923, 1927) and Scherhag (1934)指出，要用上層氣流之型式來預報低層氣旋之發展。







由流體靜力平衡方程式  
(空氣柱的重量) 知：

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\rho g$$

由連續方程式  
(質量守恆)  
知：

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = - \left[ \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} \right]$$

故

$$\frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\partial P}{\partial t} \right) = -g \left( \frac{\partial \rho}{\partial t} \right)$$

$$\Rightarrow \int_s^\infty d \left( \frac{\partial p}{\partial t} \right) = -g \int_s^\infty \left( \frac{\partial \rho}{\partial t} \right) dz$$

$$\Rightarrow \left( \frac{\partial p}{\partial t} \right)_\infty - \left( \frac{\partial p}{\partial t} \right)_s = -g \int_s^\infty \left( \frac{\partial \rho}{\partial t} \right) dz$$

*(Note: A red arrow points from the infinity symbol to a red '0' above the equation, indicating the value at infinity is zero.)*



$$\left(\frac{\partial p}{\partial t}\right)_s$$

$$= +g \int_s^\infty \left(\frac{\partial \rho}{\partial t}\right) dz$$

$$= -g \int_s^\infty \left[ \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} \right] dz + g(\rho w)_s$$

0 (地面w爲0)

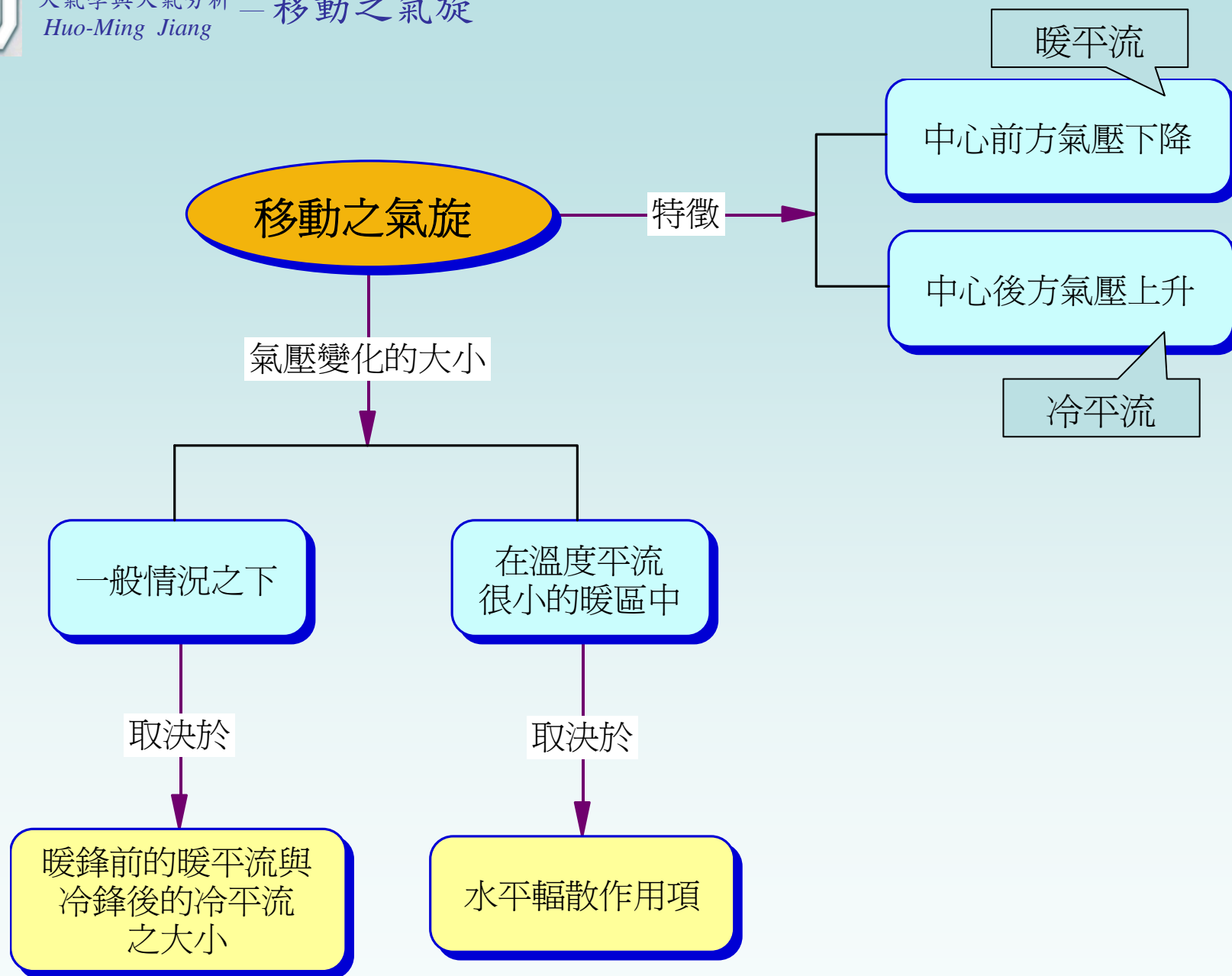
$$= -g \int_s^\infty \rho \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) dz - g \int_s^\infty \left( u \frac{\partial \rho}{\partial x} + v \frac{\partial \rho}{\partial y} \right) dz$$

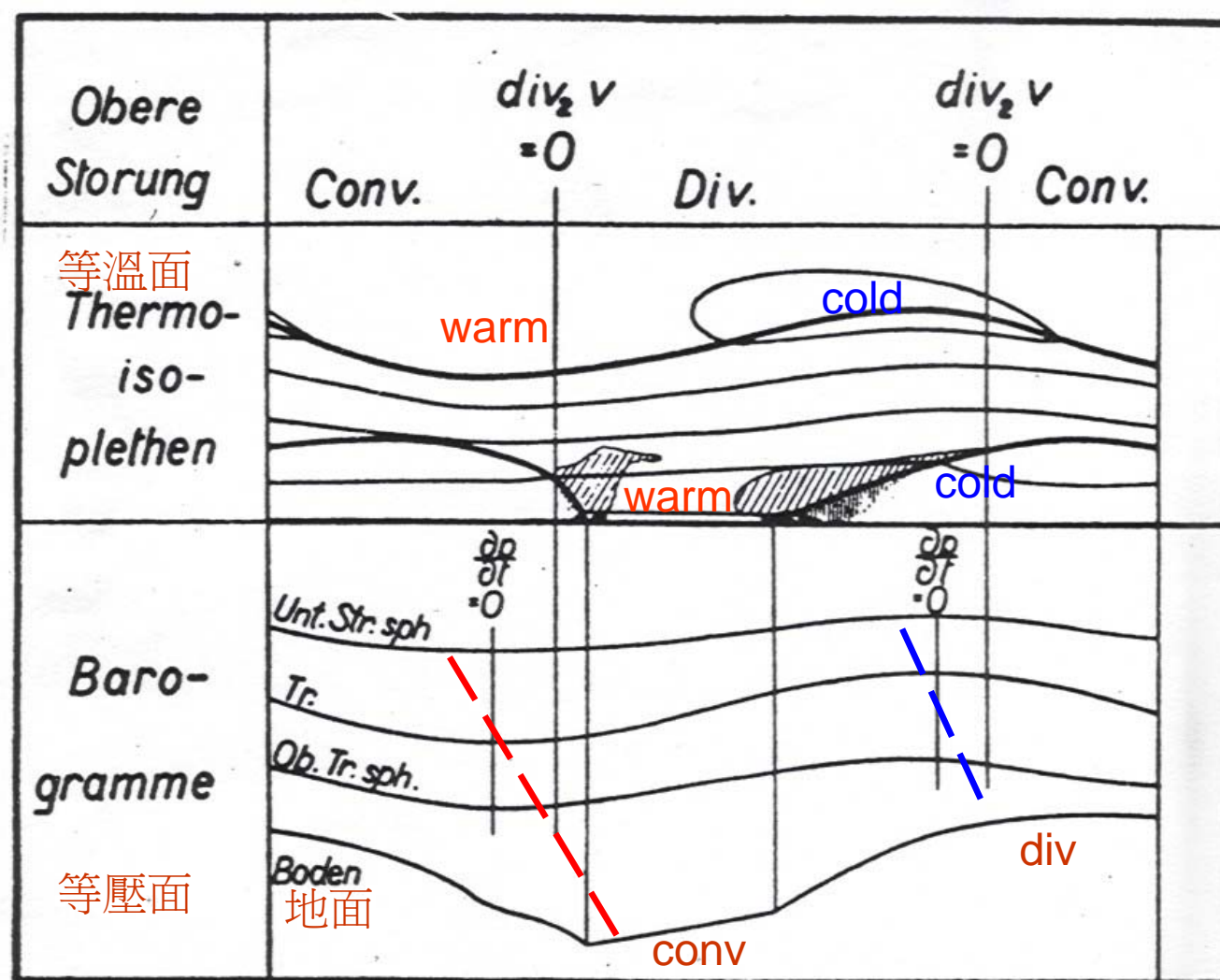
(A)

(B)

(A)項：水平輻散作用項

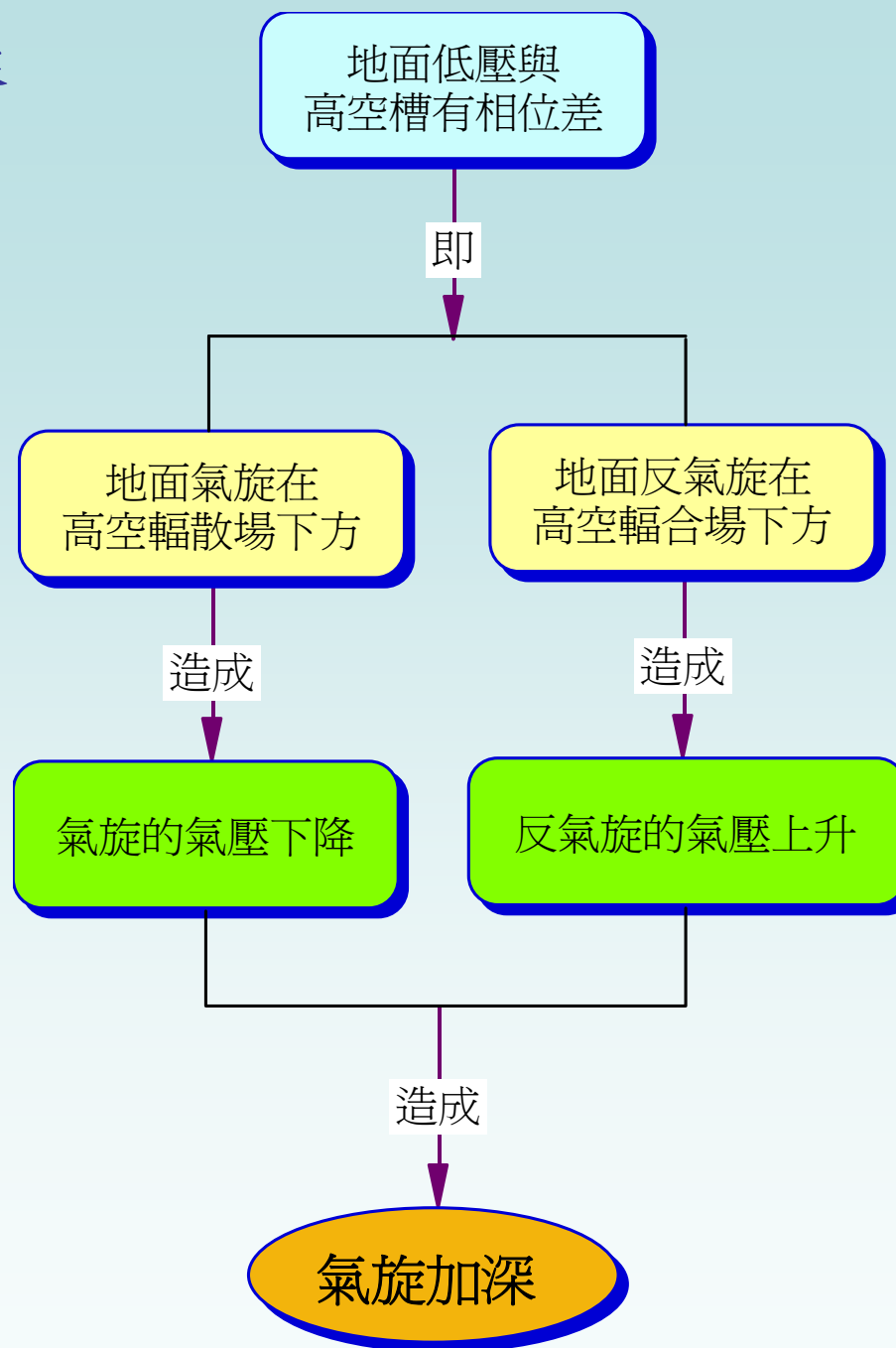
(B)項：密度水平平流作用項





1937年Bjerkness所做之冷暖鋒橫切剖面示意圖。  
上為上層輻合(散)量，中為氣溫變化，下為氣壓變化。

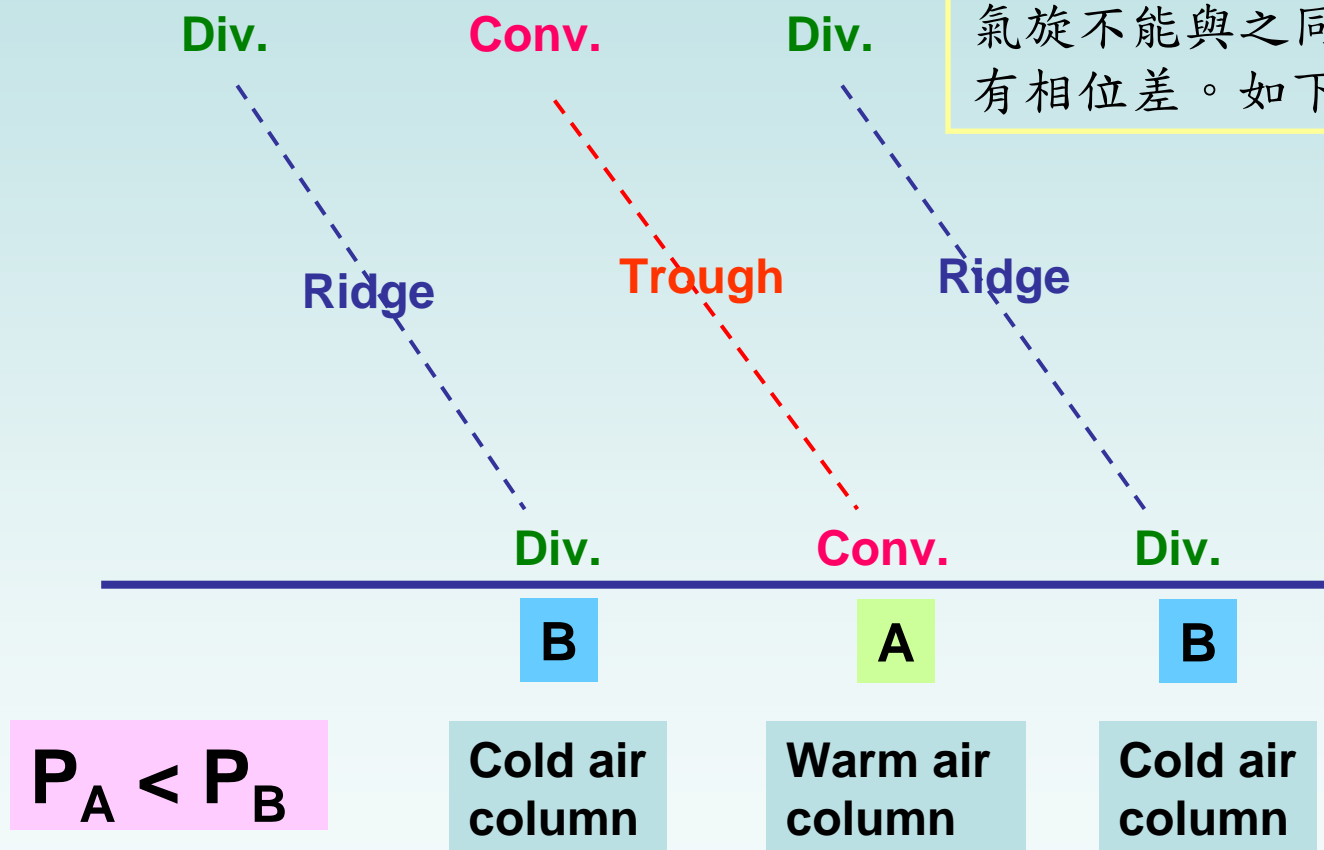






天氣學與天氣分析 — 氣壓垂直剖面示意圖  
Jiang and Tzeng

氣旋要發展，槽須向西  
（冷區）傾斜。並且，因  
高空之槽脊處，輻散量為  
零，所以地面之氣旋、反  
氣旋不能與之同相位，要  
有相位差。如下圖。





因為  $\frac{\partial p}{\partial z} = -\rho g = -\frac{Pg}{RT} \quad \longrightarrow \quad \int_{P_s}^0 \frac{dP}{P} = -\frac{g}{R} \int_0^\infty \frac{1}{T} dz$

$\longrightarrow \quad \ln P_s = \frac{g}{R} \int_0^\infty \frac{1}{T} dz$

如前頁示意圖所示，**A**處的氣壓小於**B**處的氣壓，因為：

$$(\ln P_s)_A = \frac{g}{R} \int_0^\infty \left(\frac{1}{T}\right)_A dz \quad \& \quad (\ln P_s)_B = \frac{g}{R} \int_0^\infty \left(\frac{1}{T}\right)_B dz$$

$$\longrightarrow (\ln P_s)_A < (\ln P_s)_B \quad \longrightarrow \quad \left(\frac{1}{T}\right)_A < \left(\frac{1}{T}\right)_B \quad \longrightarrow \quad (T)_A > (T)_B$$

故發展的氣旋，其氣壓槽與溫度槽也要有相位差



由大尺度運動之渦度方程式知：

$$\frac{\partial \zeta_a}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla \zeta = -\zeta_a \nabla \cdot \vec{V}$$

$$\nabla \cdot \vec{V} = -\frac{1}{\zeta_a} \left( \frac{\partial \zeta_a}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla \zeta_a \right)$$

假設在某處渦度線的移速為  $\vec{C}_\zeta$ ，則：

$$\frac{\partial \zeta_a}{\partial t} = -\vec{C}_\zeta \cdot \nabla \zeta_a$$

$$\nabla \cdot \vec{V} = -\frac{1}{\zeta_a} (\vec{V} - \vec{C}_\zeta) \cdot \nabla \zeta_a$$





爲方便計算，假設氣流流速爲  $V_s$ ， $\vec{C}_\zeta$  沿氣流方向的分量爲  $C_s$ ，則：

$$\nabla \cdot \vec{V} = -\frac{1}{\zeta_a} (V_s - C_s) \frac{\partial \zeta_a}{\partial s}$$

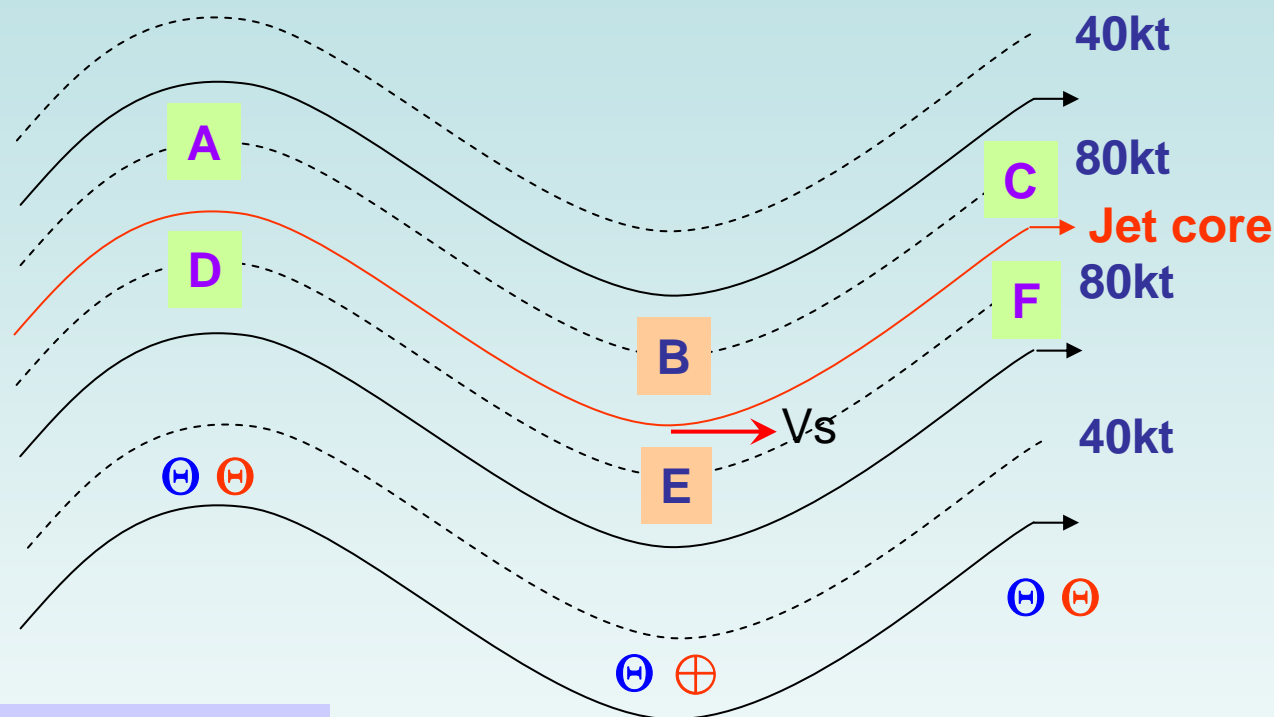
在噴流處， $V_s \gg C_s$ ，故：

$$\nabla \cdot \vec{V} = -\frac{1}{\zeta_a} V_s \frac{\partial \zeta_a}{\partial s} \quad \text{A式}$$

➡ 由於在噴流處  $V_s$  與  $\frac{\partial \zeta_a}{\partial s}$  都很大，因此輻散量也就很大



(一) 若噴流具均勻的南北風切，氣流線成波狀：

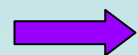


實線：氣流線  
虛線：等風速線  
A、C、D、F在脊處  
B、E在槽處

$$\nabla \cdot \vec{V} = -\frac{1}{\zeta_a} V_s \frac{\partial \zeta_a}{\partial s}$$

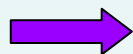


設曲率半徑為**R**，因相對渦度是曲率渦度與風切渦度的和



$$\zeta_r = \frac{V_s}{R} + \left(-\frac{\partial V_s}{\partial n}\right)$$

- 曲率渦度  $\left(\frac{V_s}{R}\right)$ ，在脊處(**R<0**)為負，但在槽處(**R>0**)則為正
- 風切渦度  $\left(-\frac{\partial V_s}{\partial n}\right)$ ，在噴流軸以北處為正，在噴流軸以南處為負



在**A**、**C**、**E**的相對渦度較小  
在**B**的相對渦度為較大的正值  
在**D**、**F**的相對渦度為較大的負值

由前述之**A**式知

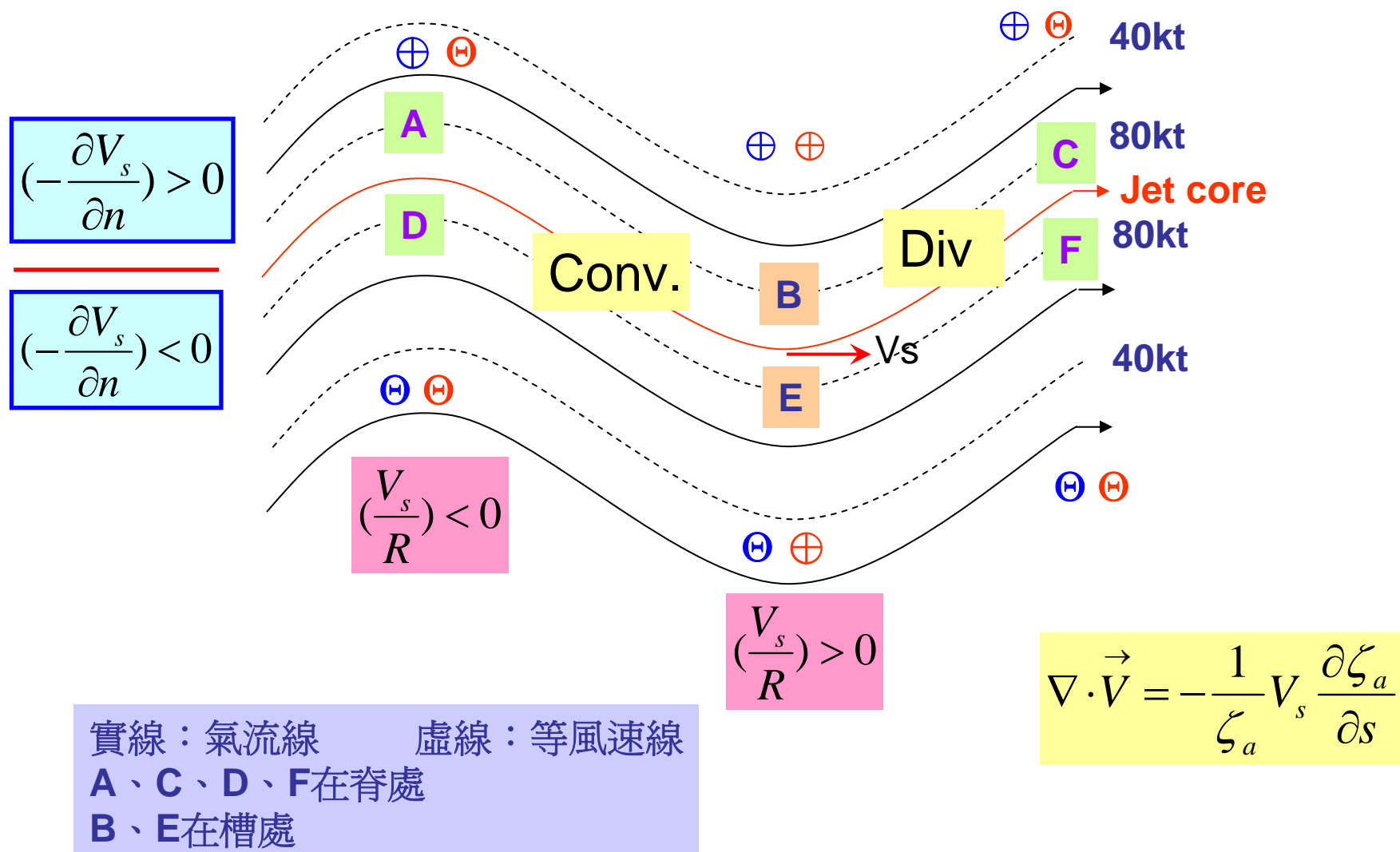


在**A-B**與**D-E**(即槽後)氣流是輻合的

在**B-C**與**E-F**(即槽前)氣流是輻散的。適合地面氣旋發展



(一) 若噴流具均勻的南北風切，氣流線成波狀：

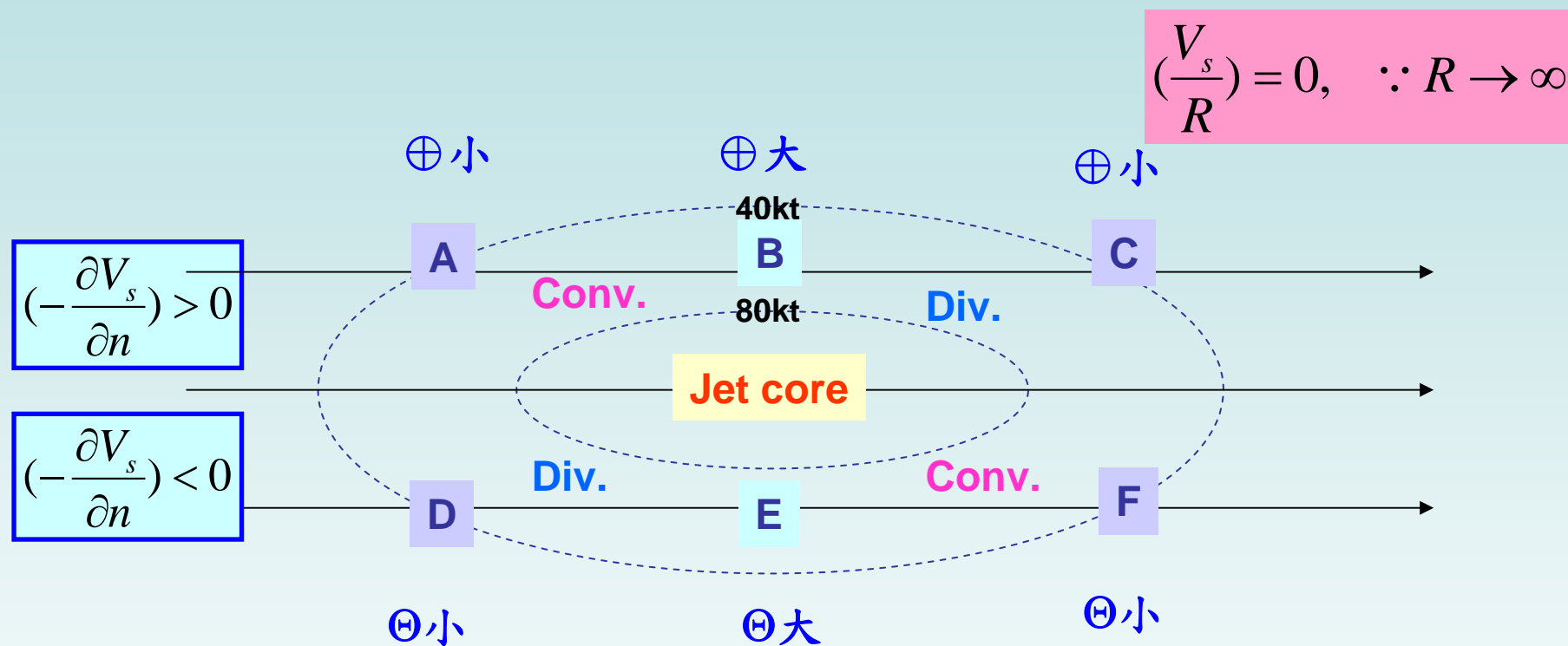






## — 直線狀氣流線噴流示意圖

(一) 若噴流具不均勻的南北風切，氣流線為直線狀：

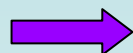


實線：氣流線  
虛線：等風速線

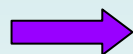
A在噴流入口的左側，D在噴流入口的右側  
C在噴流出口的左側，F在噴流出口的右側  
B、E分別在噴流極大的左側與右側



因直線氣流線的曲率渦度為零，故相對渦度等於風切渦度



$$\zeta_r = \left(-\frac{\partial V_s}{\partial n}\right)$$



在噴流左側的**A**、**C**相對渦度為較小的正值  
在噴流右側的**D**、**F**相對渦度為較小的負值  
在**B**的相對渦度為較大的正值  
在**E**的相對渦度為較大的負值

由前述之**A**式知



在**A-B**(即噴流入口的左側)與**E-F**(即噴流出口的右側)  
氣流是輻合的。

在**B-C**(即噴流出口的左側)與**D-E**(即噴流入口的右側)  
氣流是輻散的。

# 本章重點整理

- 極鋒理論的兩個假說
- 極鋒理論及其修正
- 氣旋發展 ➔ 質量守恆：上層輻散 > 下層輻合
- 地面氣壓改變：空氣柱的輻散及密度平流
- 上層的輻散：**source term of vorticity eq.**
- 噴流附近：風速、渦度、及散度都最大
- 波型及直線型流場的差異...