



臺灣北部對流風暴之氣候研究

中央氣象局預報中心

-林定宜-

2012/9/20

摘要

- ◎ 對流風暴是導致台灣地區氣象災害的主要類型，其特點是時、空尺度小，生命期短、但破壞力強大，尤其對防災層面和大眾經濟而言，影響至鉅。重要的物理參數諸如：相對風暴螺旋度(SRH)、對流可用位能(CAPE)及能量-螺旋度指數(EHI)等，為作業上所常見，在將其在地化後，是豪大雨預報的良好工具。

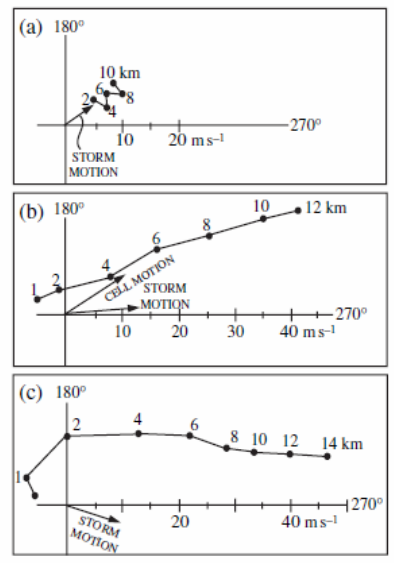
大 綱

- ◎ 對流風暴發展之物理機制
- ◎ 診斷參數簡介
- ◎ 研究方法
- ◎ 結果與應用
- ◎ 結論

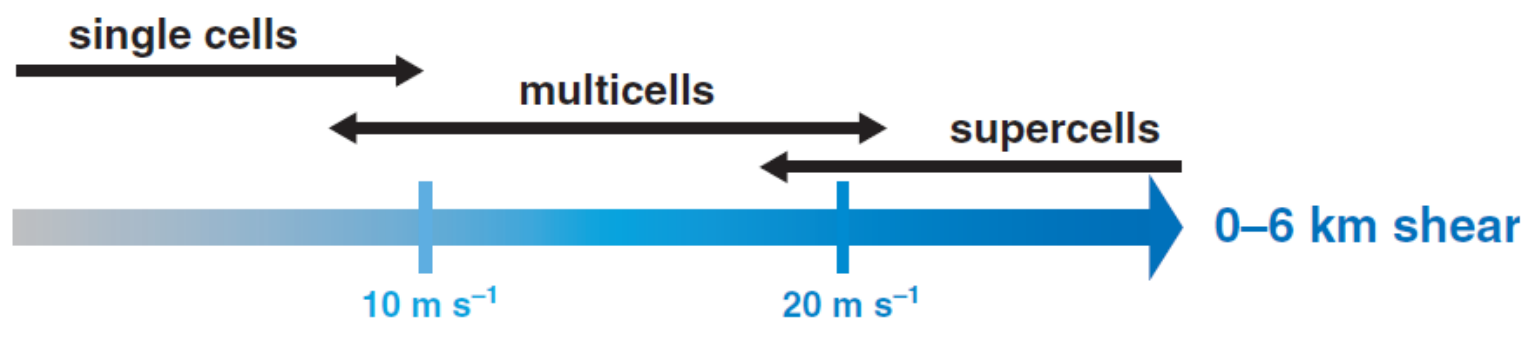
物理機制

Isolated convective systems

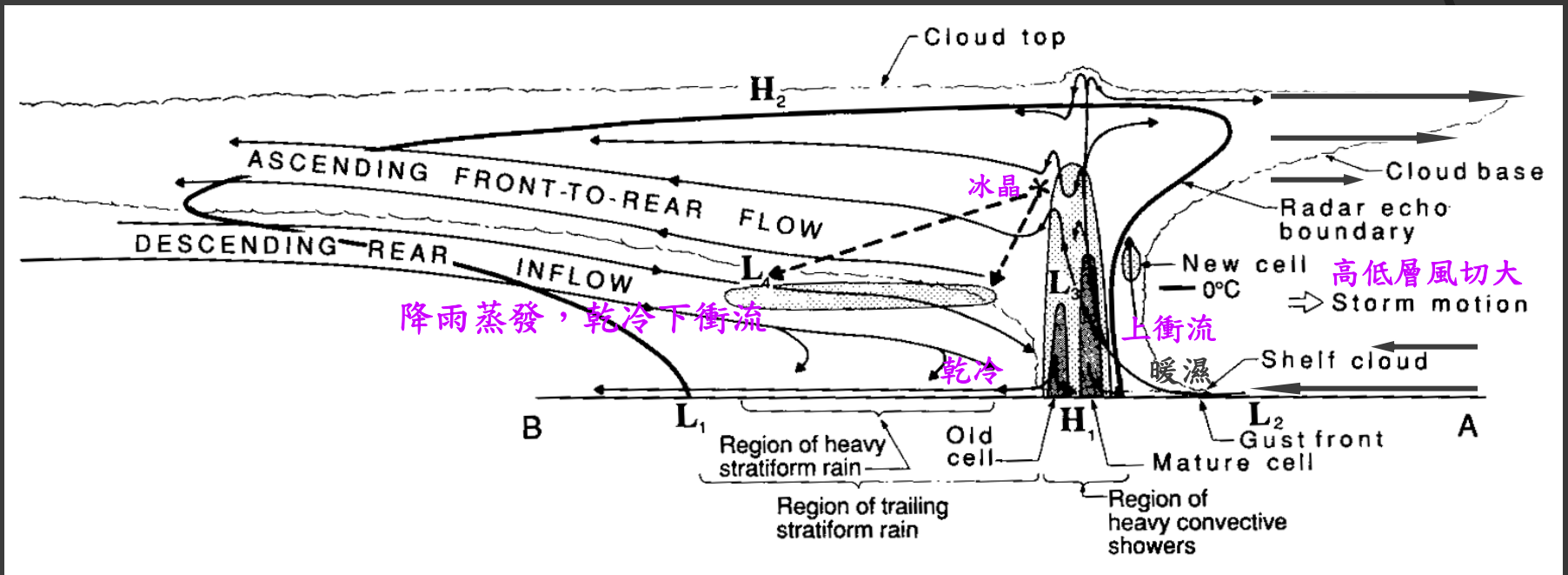
單胞
多胞
超大胞



Typical wind hodographs observed during the Alberta Hail Studies project for (a) single cell, (b) multicell, and (c) supercell storms. (From Chisholm and Renick 1972.)

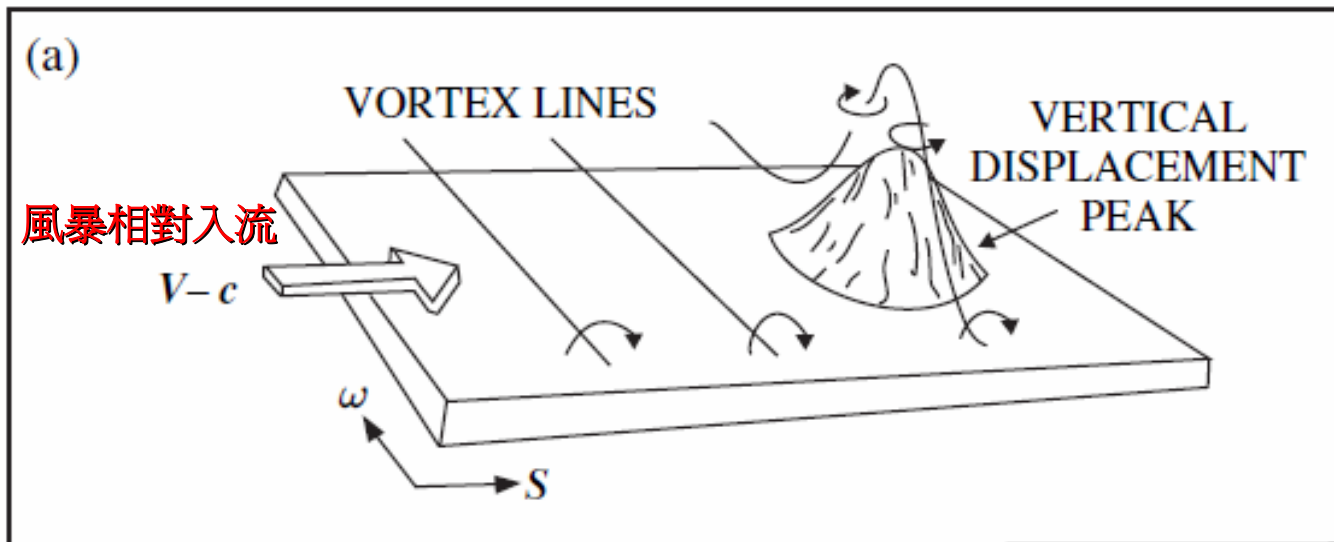


Midlatitude Convection

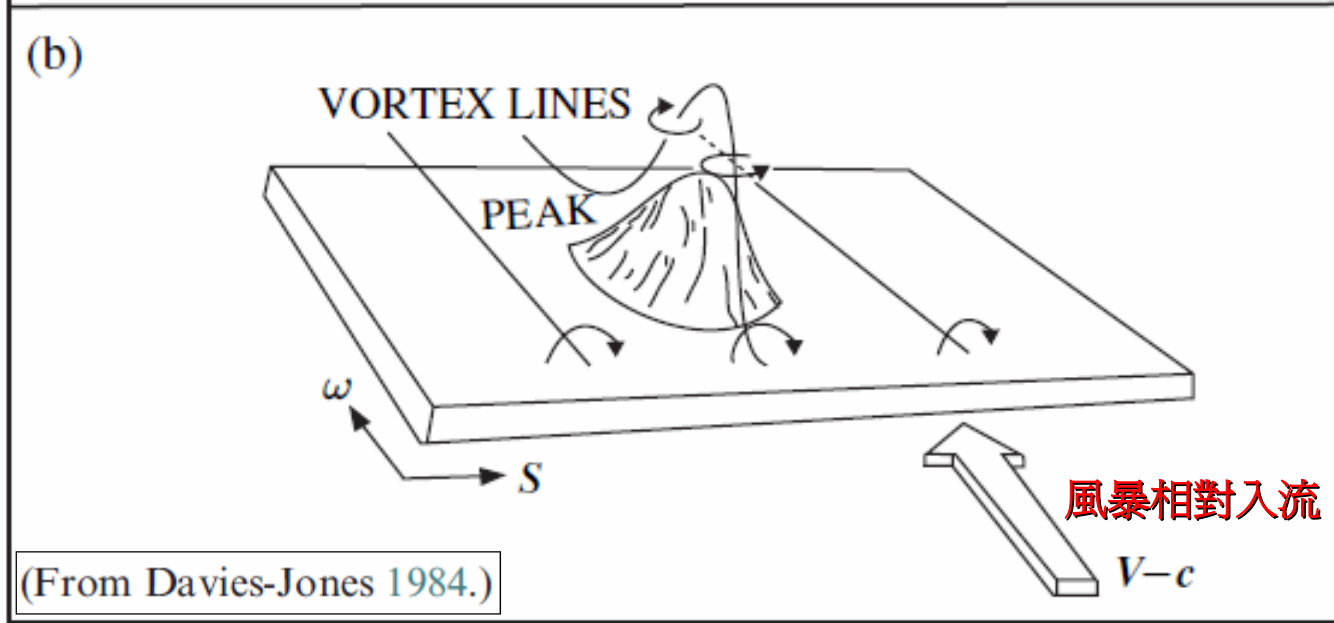


Conceptual model of a Squall line system with a trailing stratiform area (from Houze et al. 1989)

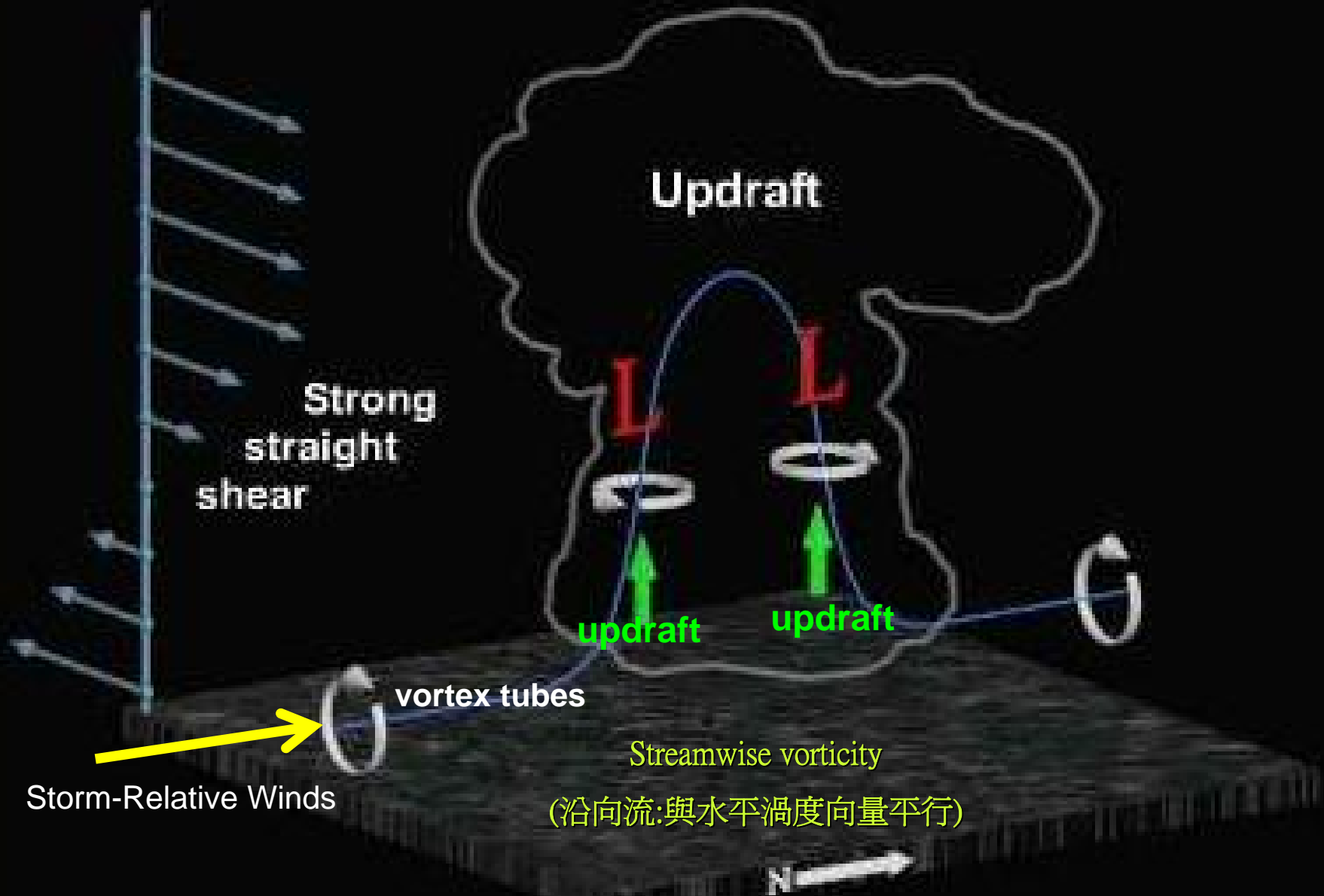
垂直沿向流
crosswise



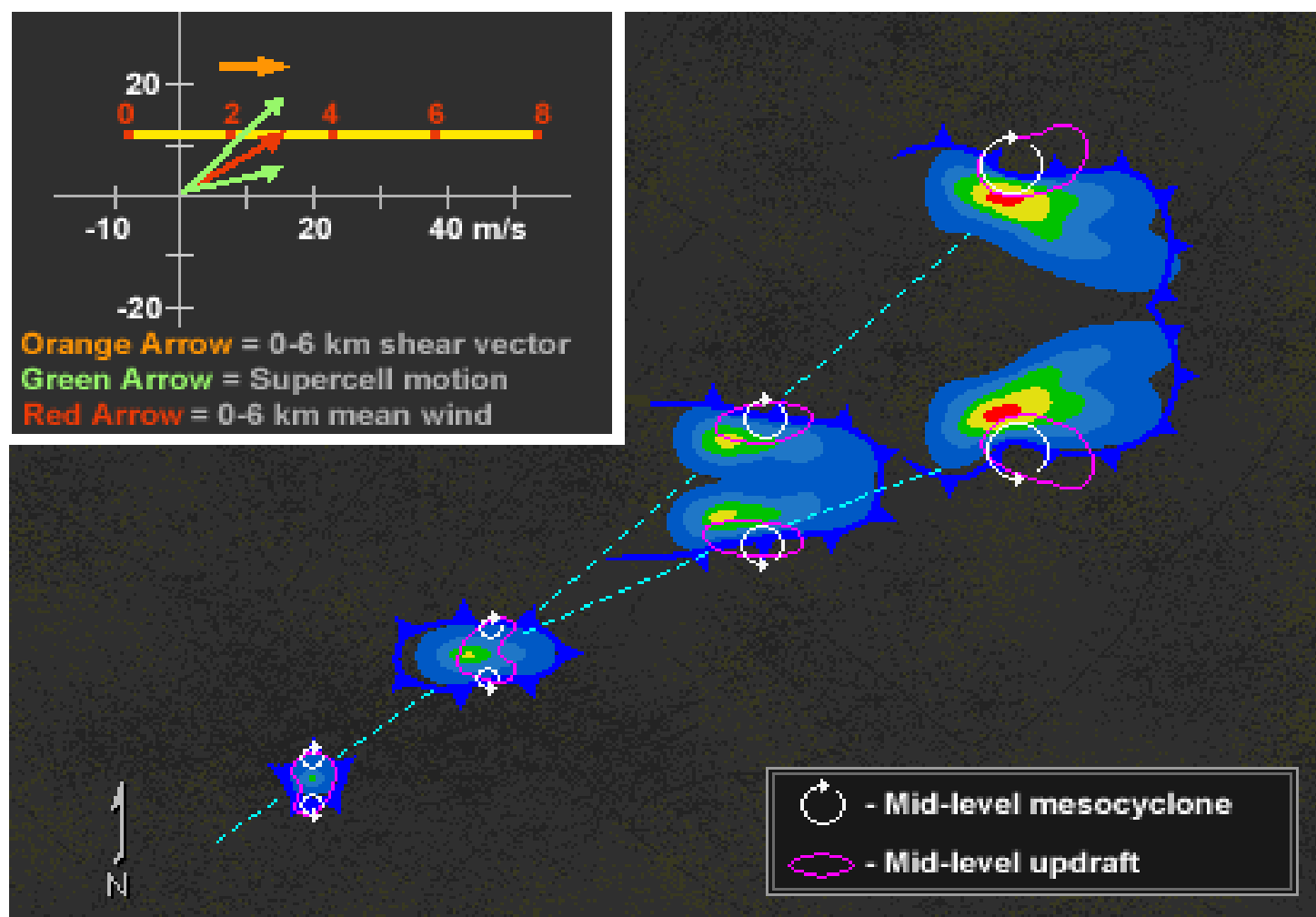
沿向流
streamwise



(From Davies-Jones 1984.)



STRAIGHT HODOGRAPH



Weisman and Klemp, Ray, Ed., 1986 / The COMET Program

$$\frac{\partial p'_d}{\partial z} \propto$$

$$\underbrace{\frac{1}{2} \frac{\partial \zeta'^2}{\partial z}}$$

nonlinear dynamic forcing

$$\underbrace{-2 \frac{\partial}{\partial z} \mathbf{S} \cdot \nabla_h w'}$$

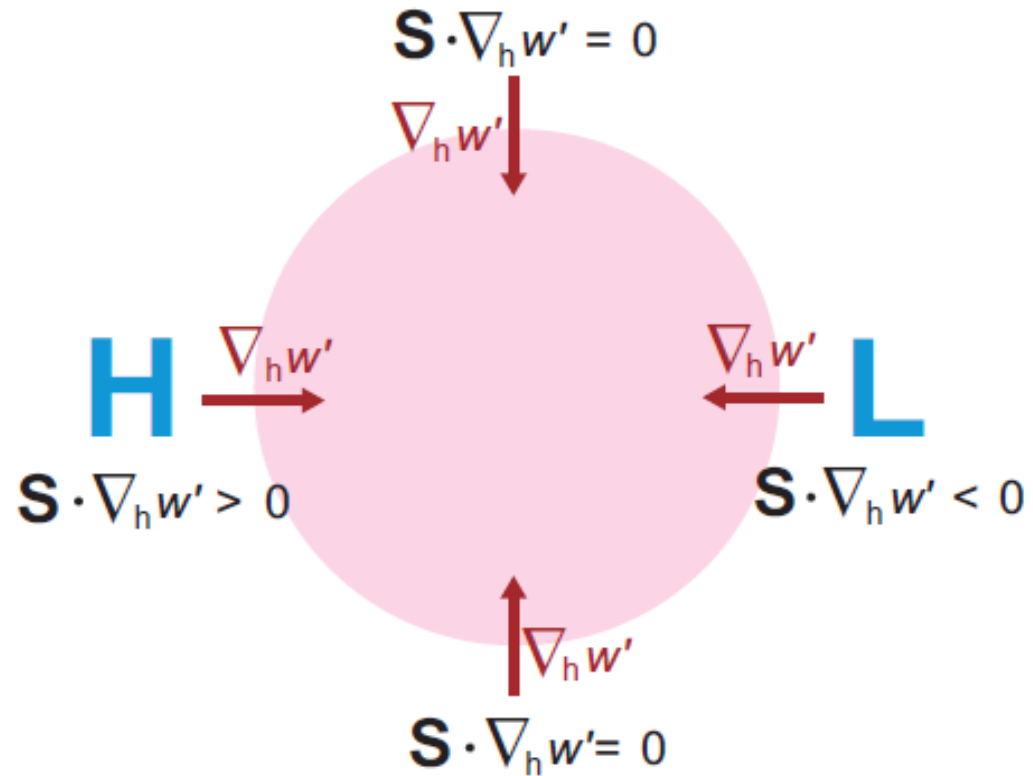
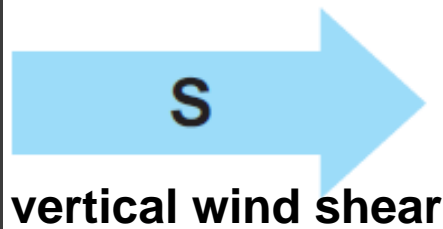
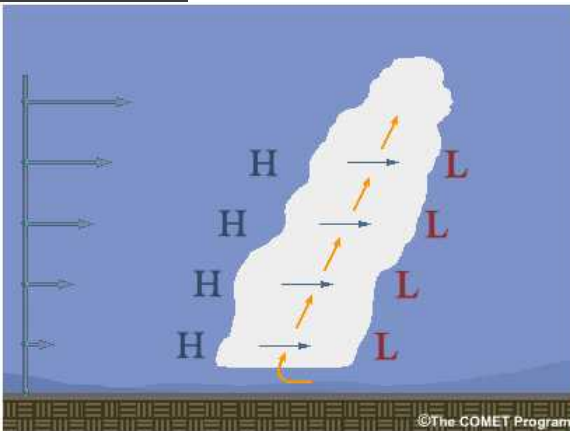
linear dynamic forcing

$$\mathbf{S} = \frac{\partial \bar{V}}{\partial z}$$

「動力垂直擾動氣壓梯度力」
，低壓有利對流風暴發展。

取材自Markowski等(2010)

Linear Contribution to Dynamic Pressure Perturbations



由線性動力項引起的氣壓擾動示意圖

Fig. Linear contribution to dynamic pressure perturbations. (Markowski and Richardson, 2010)

Nonlinear Contribution to Dynamic Pressure Perturbations



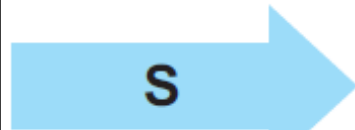
crosswise vorticity

(w' and ζ' uncorrelated)

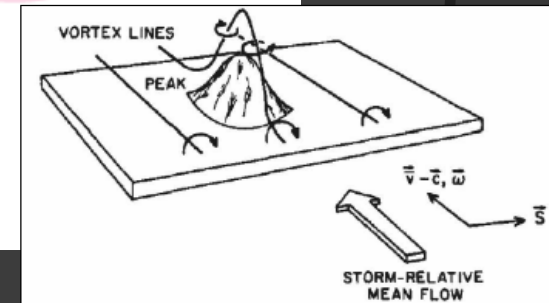
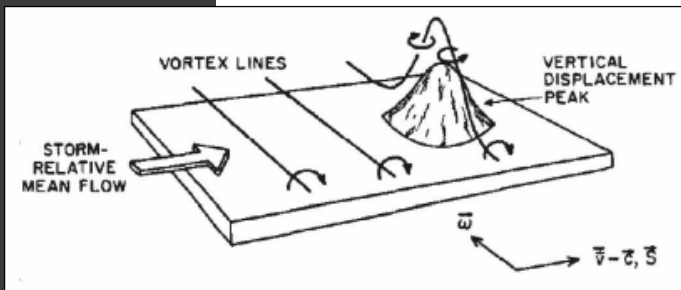
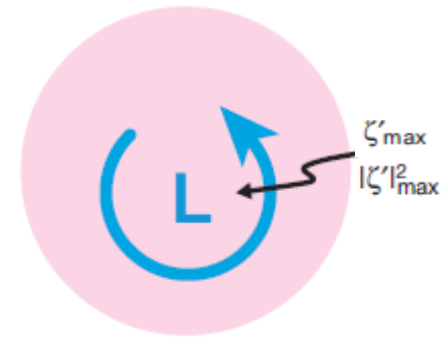
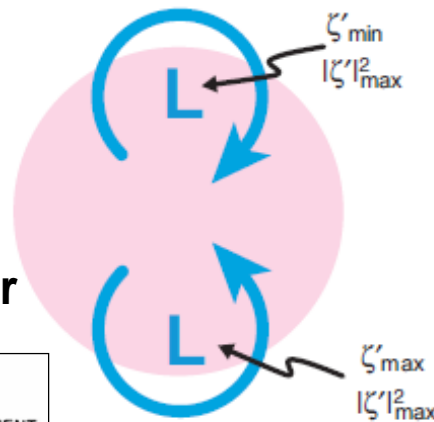


streamwise vorticity

(w' and ζ' highly correlated)

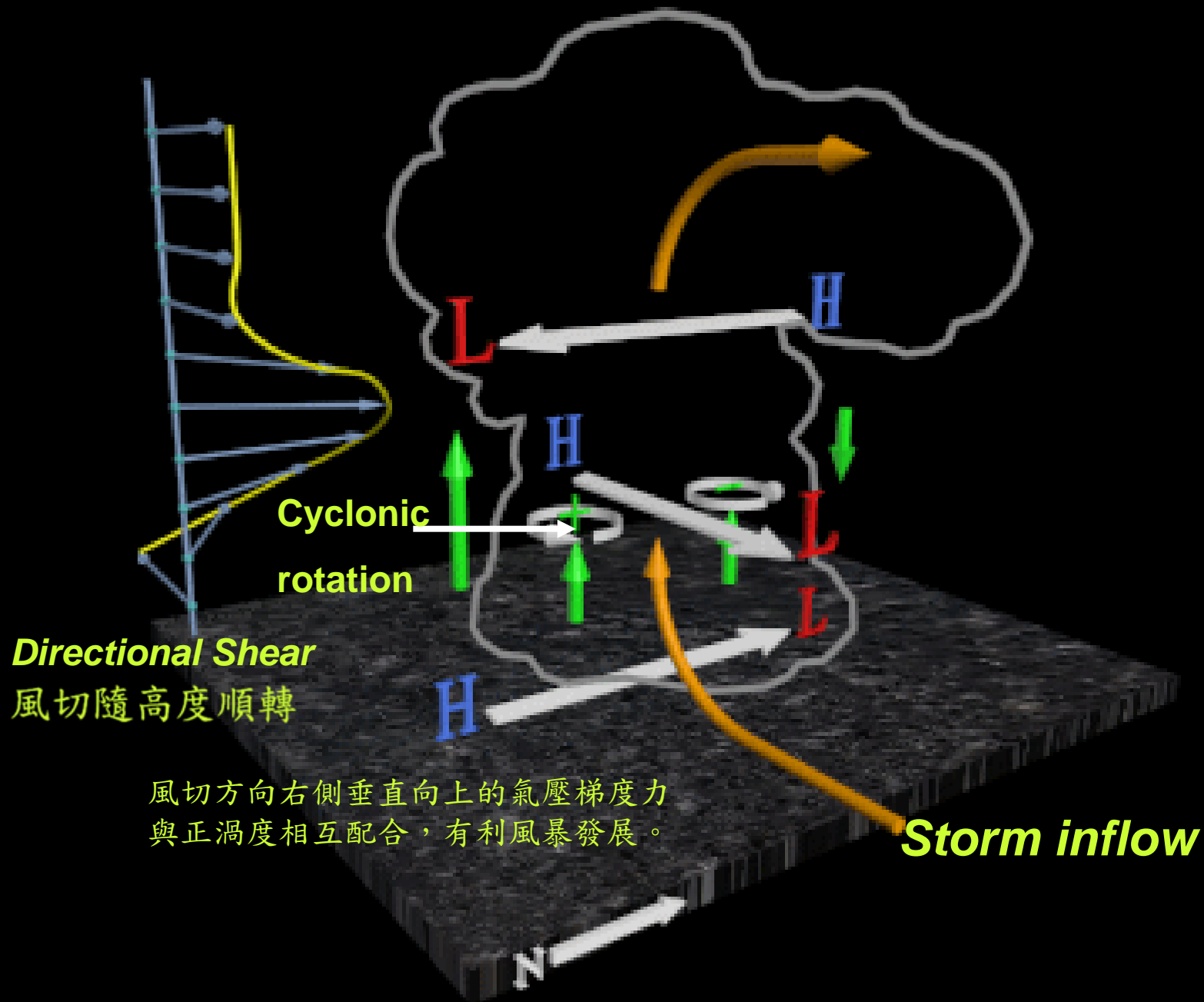


vertical wind shear



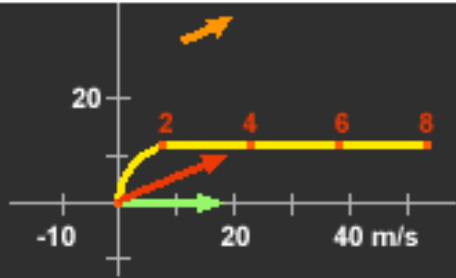
由非線性動力項貢獻之於動壓擾動示意圖。

Fig. Nonlinear contribution to dynamic pressure perturbations. (Markowski and Richardson, 2010)

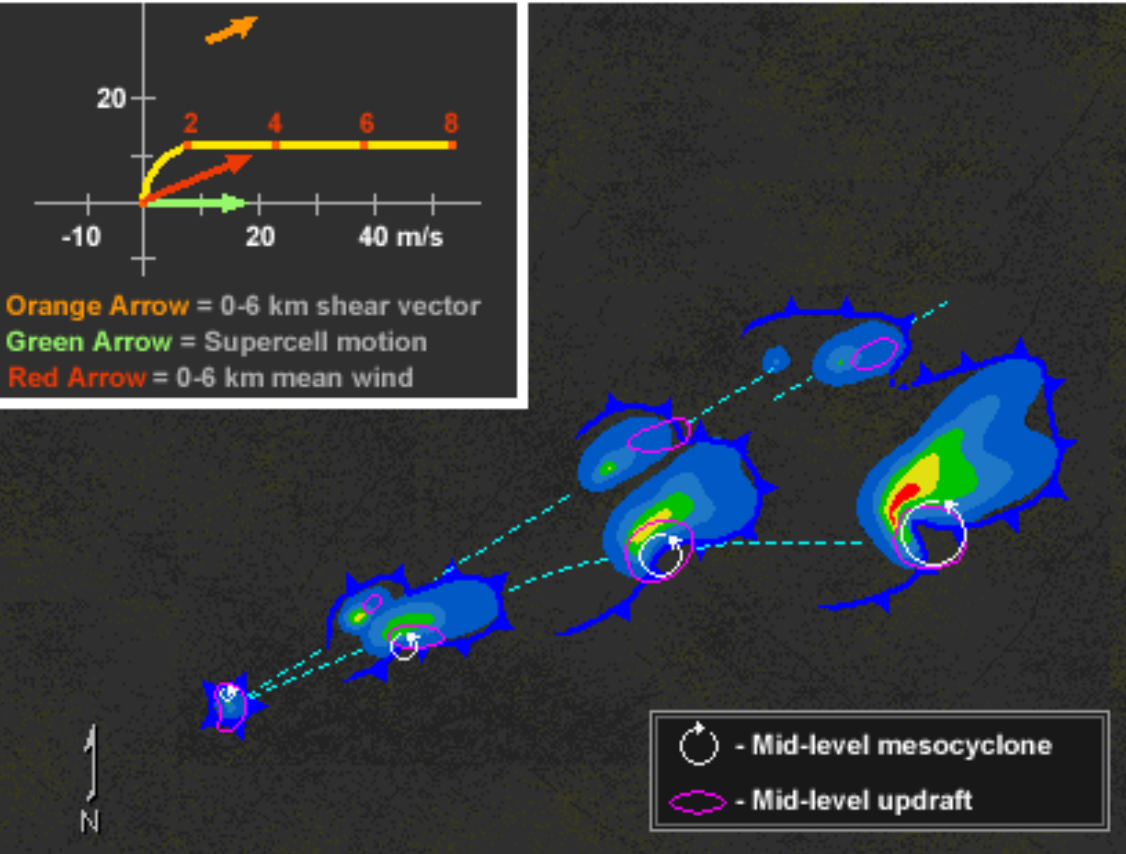


CURVED HODOGRAPH

順時針風徑圖

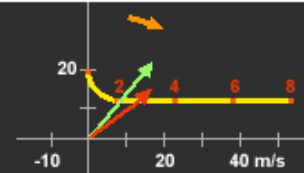


Orange Arrow = 0-6 km shear vector
Green Arrow = Supercell motion
Red Arrow = 0-6 km mean wind

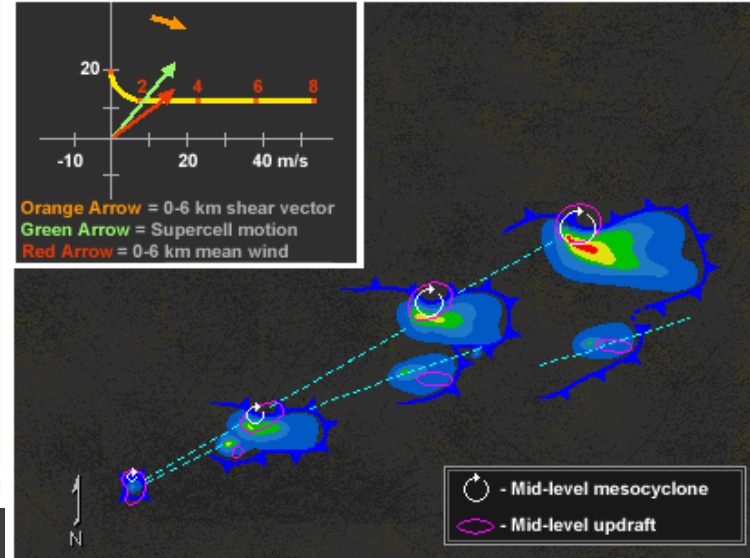


Weisman and Klemp, Ray, Ed., 1986 / The COMET Program

逆時針風徑圖



Orange Arrow = 0-6 km shear vector
Green Arrow = Supercell motion
Red Arrow = 0-6 km mean wind



Weisman and Klemp, Ray, Ed., 1986 / The COMET Program

診斷參數簡介

- ◎ 本研究之中主要參數有三個：
 1. 「風暴相對螺旋度」(SRH)
 2. 「對流可用位能」(CAPE)
 3. 「能量-螺旋度指數」(EHI)

Storm-Relative Helicity:

The Storm Relative Helicity is a function of vertical wind structure and the motion of a storm. It is a summation of the streamwise vorticity through a layer.

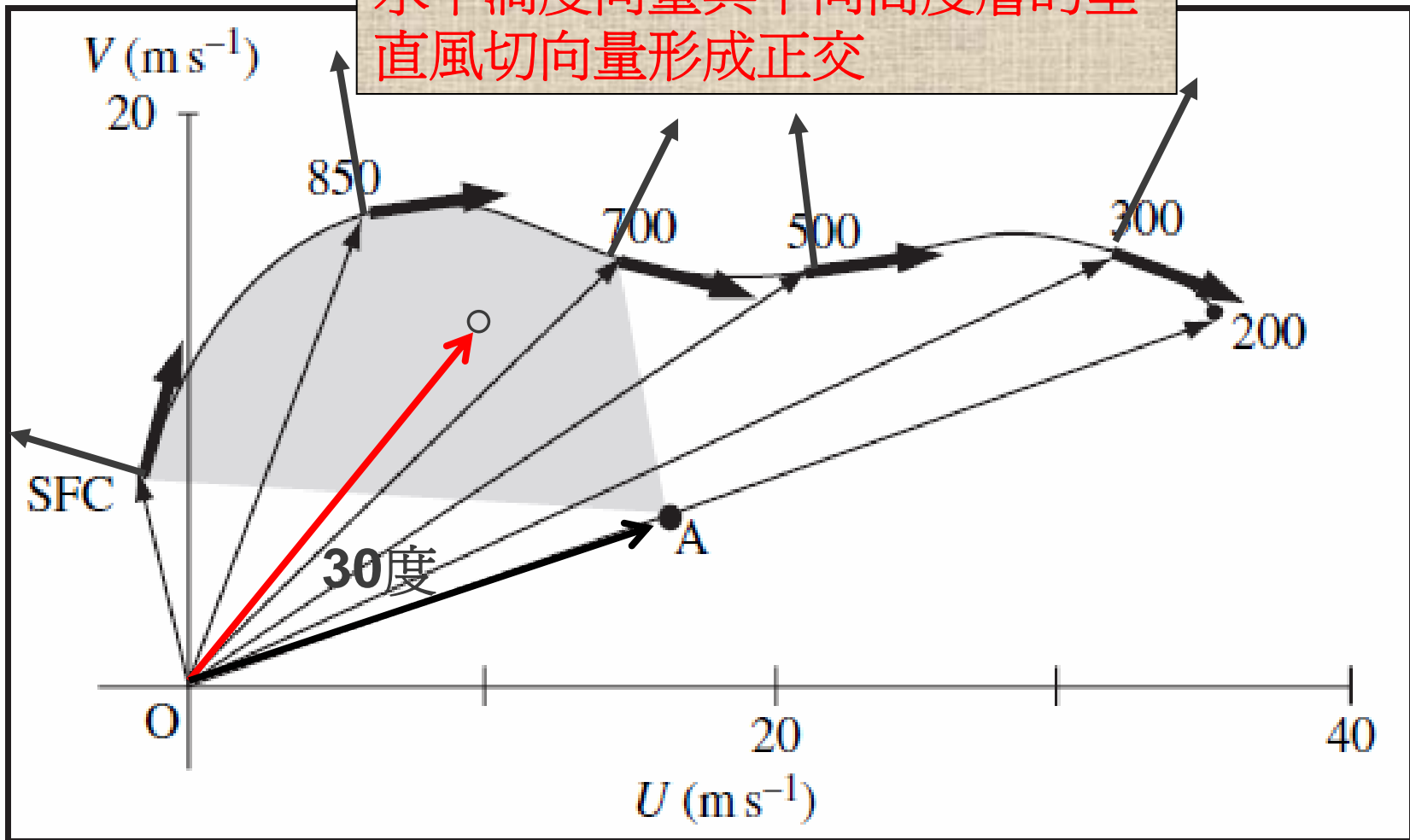
$$H(z) = - \int_{z_0}^z \left[\left(\mathbf{V}_h - \mathbf{C} \right) \cdot \mathbf{k} \times \frac{\partial \mathbf{V}_h}{\partial z} \right] dz$$

環境水平風速 風暴水平速度

相對風暴水平風速

水平方向渦度

水平渦度向量與不同高度層的垂直風切向量形成正交



(Davies-Jones 1984, adapted after Maddox 1976.)

SRH的物理機制

中低層の入流相對風暴風場

是否平行於水平渦度方向

N

Y

在垂直風切環境中經由傾斜(tilting)及拉撐(stretching)作用

轉換為垂直旋轉上衝流

SRH

超大胞不發展

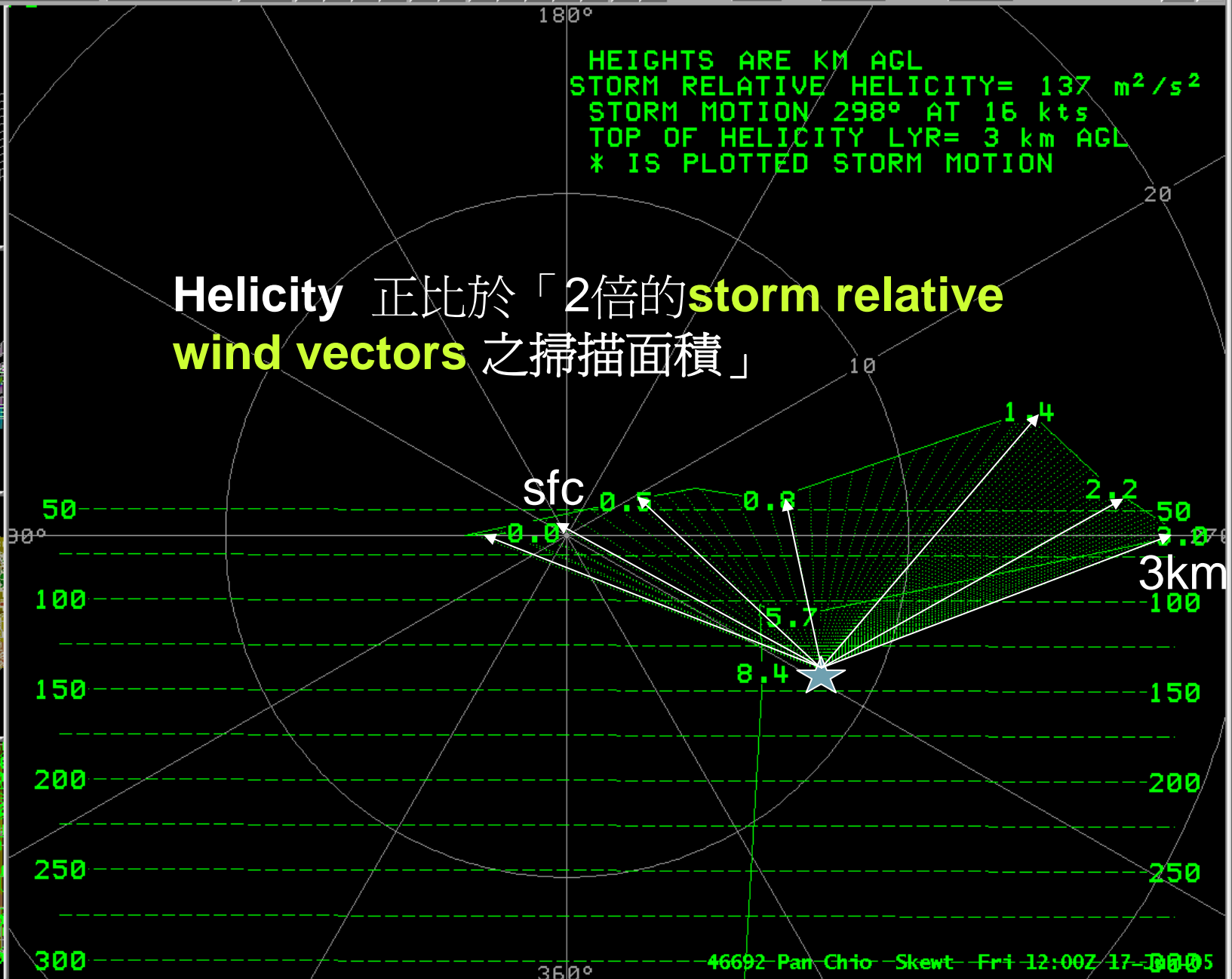
Vertical Vorticity Equation

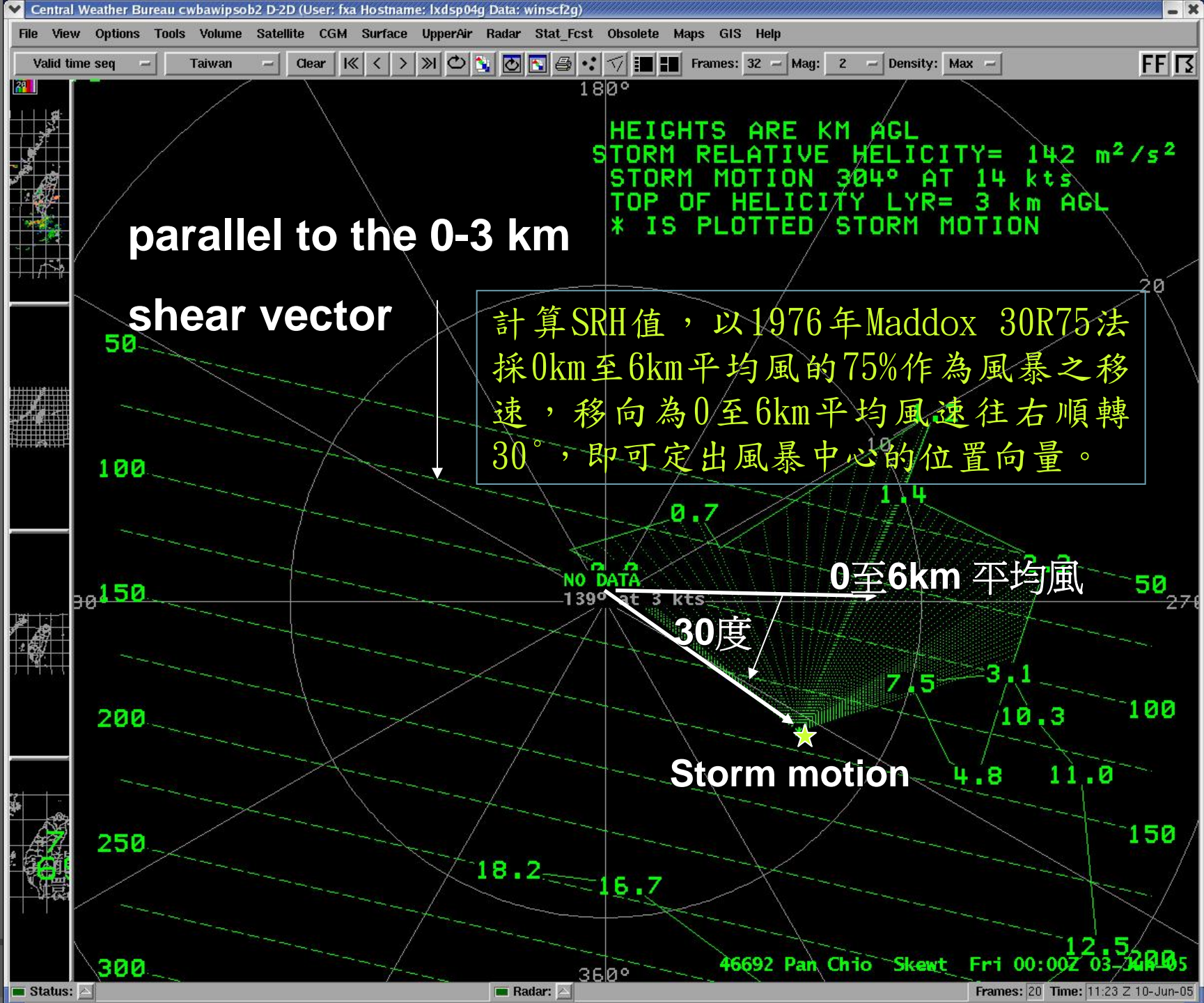
$$\frac{d\zeta}{dt} = \omega_H \cdot \nabla_H w + \zeta \frac{\partial w}{\partial z}$$

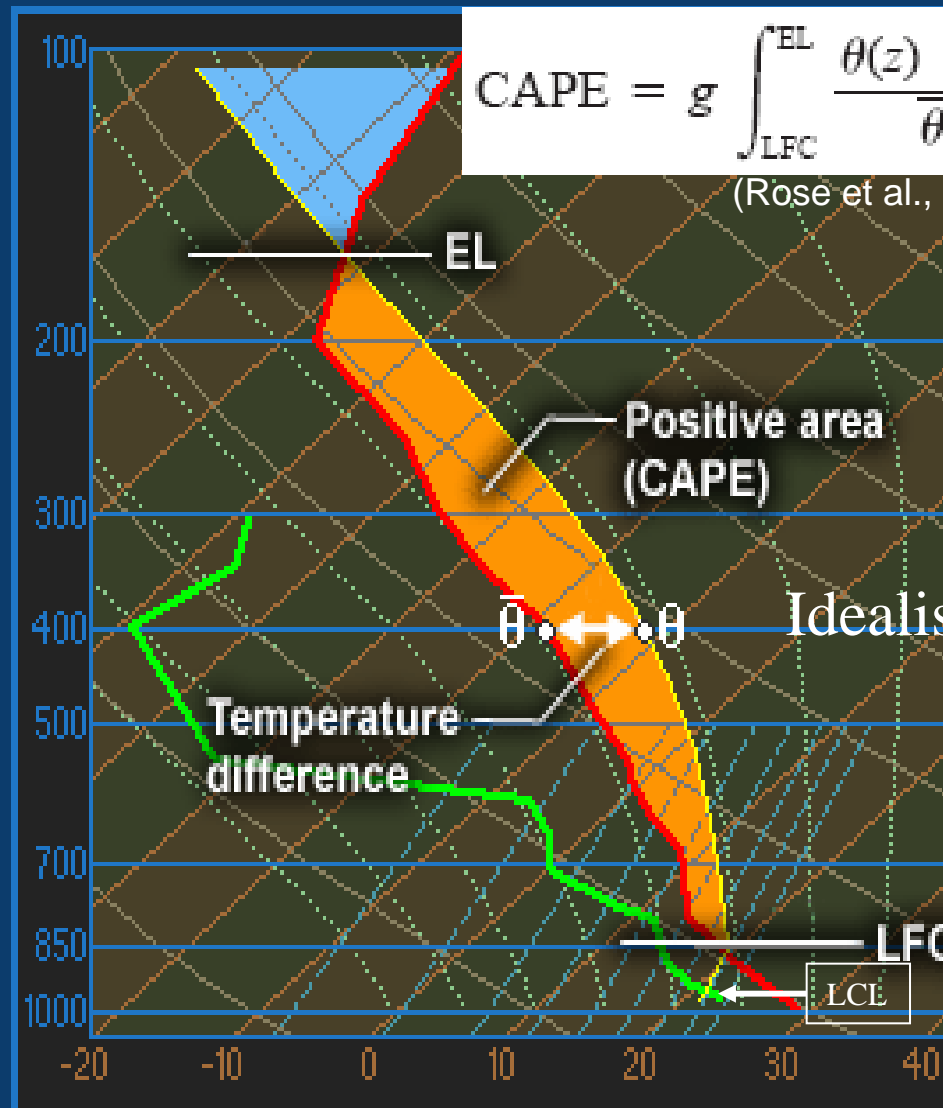
Change of vertical Vorticity = Tilting + Stretching

HEIGHTS ARE KM AGL
STORM RELATIVE HELICITY= 137 m²/s²
STORM MOTION 298° AT 16 kts
TOP OF HELICITY LYR= 3 km AGL
* IS PLOTTED STORM MOTION

Helicity 正比於「2倍的storm relative wind vectors 之掃描面積」





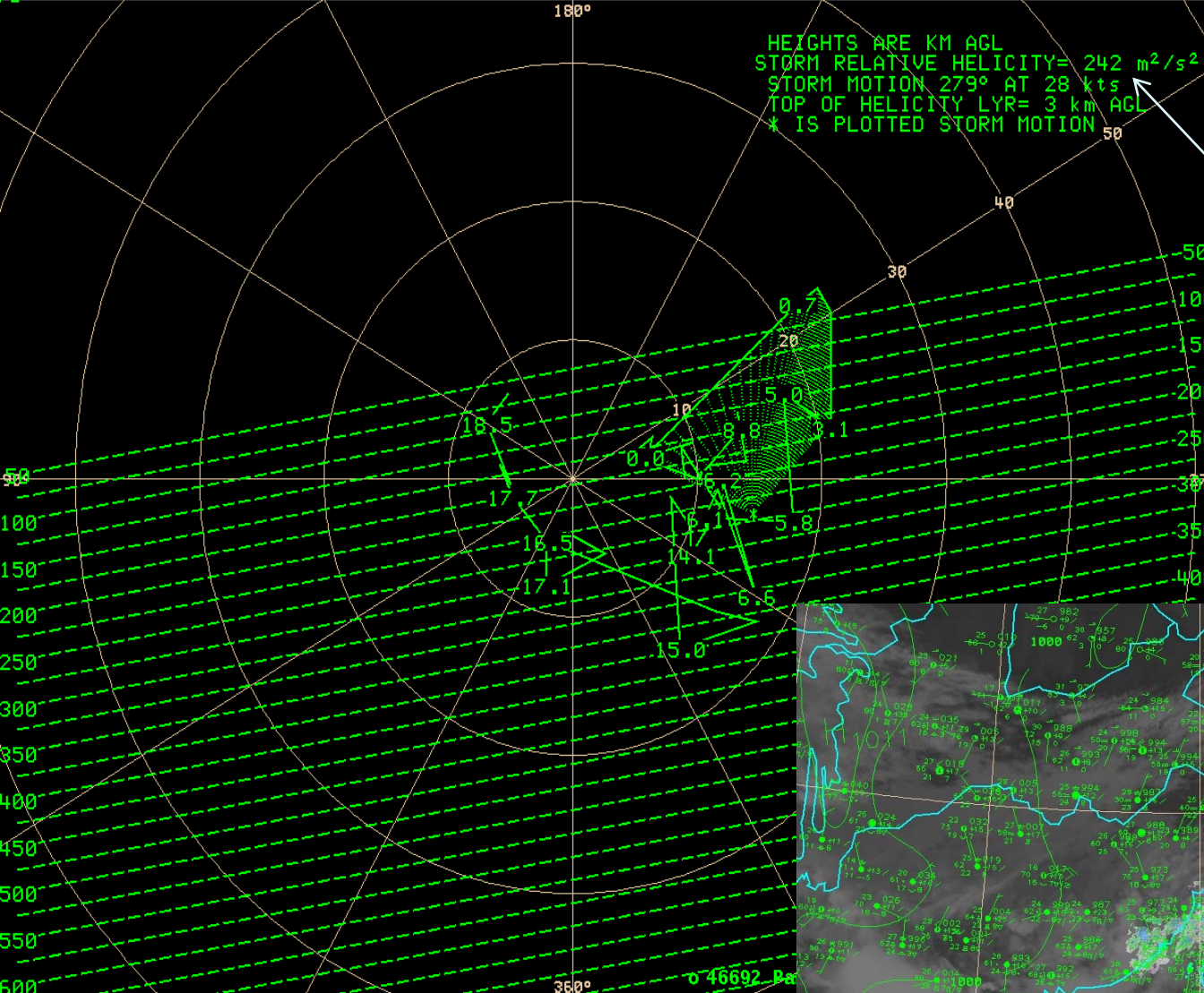


$$\text{CAPE} = g \int_{\text{LFC}}^{\text{EL}} \frac{\theta(z) - \bar{\theta}(z)}{\bar{\theta}(z)} dz,$$

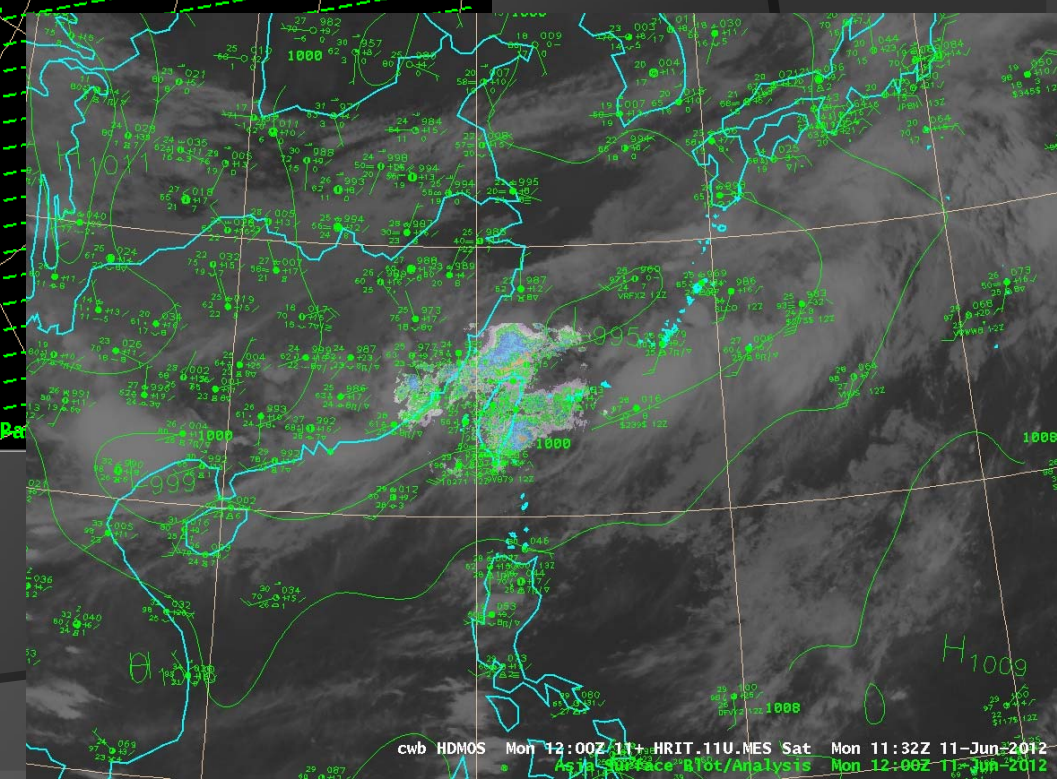
(Rose et al., 2002)

Idealised Profile

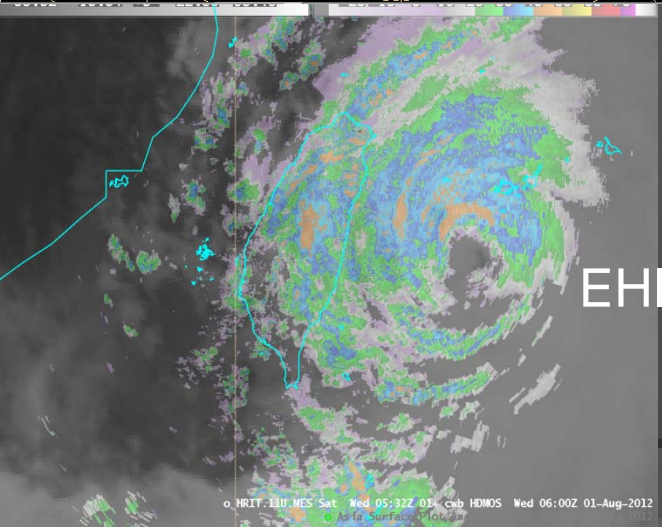
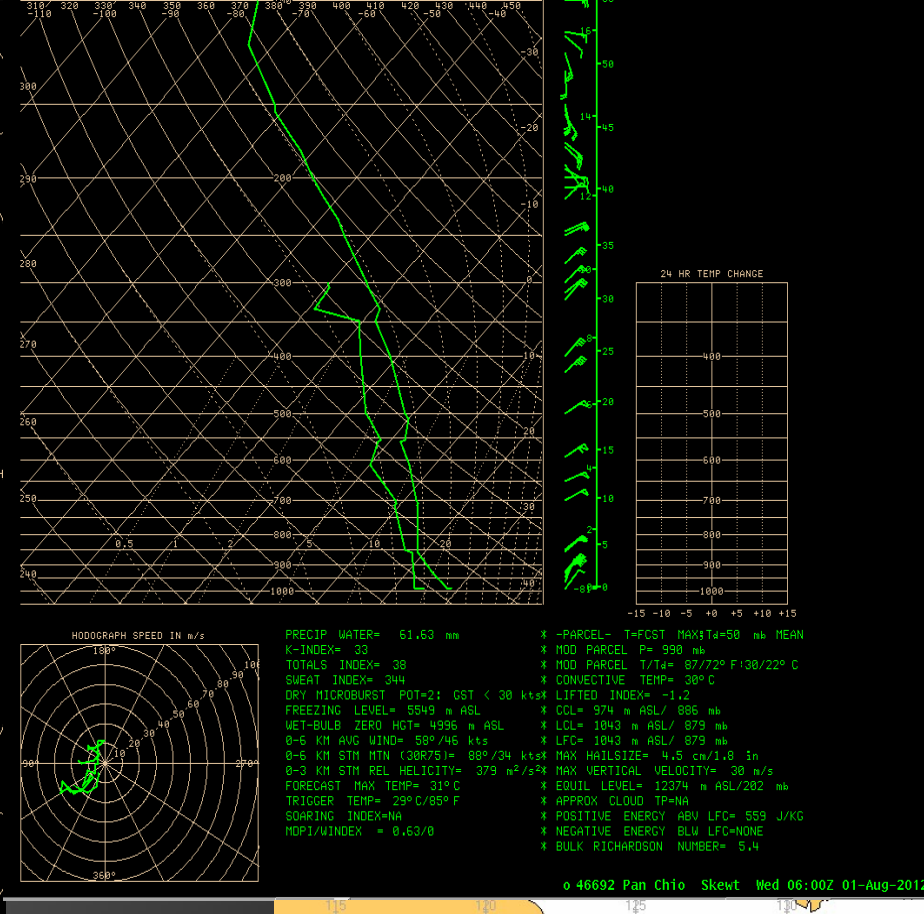
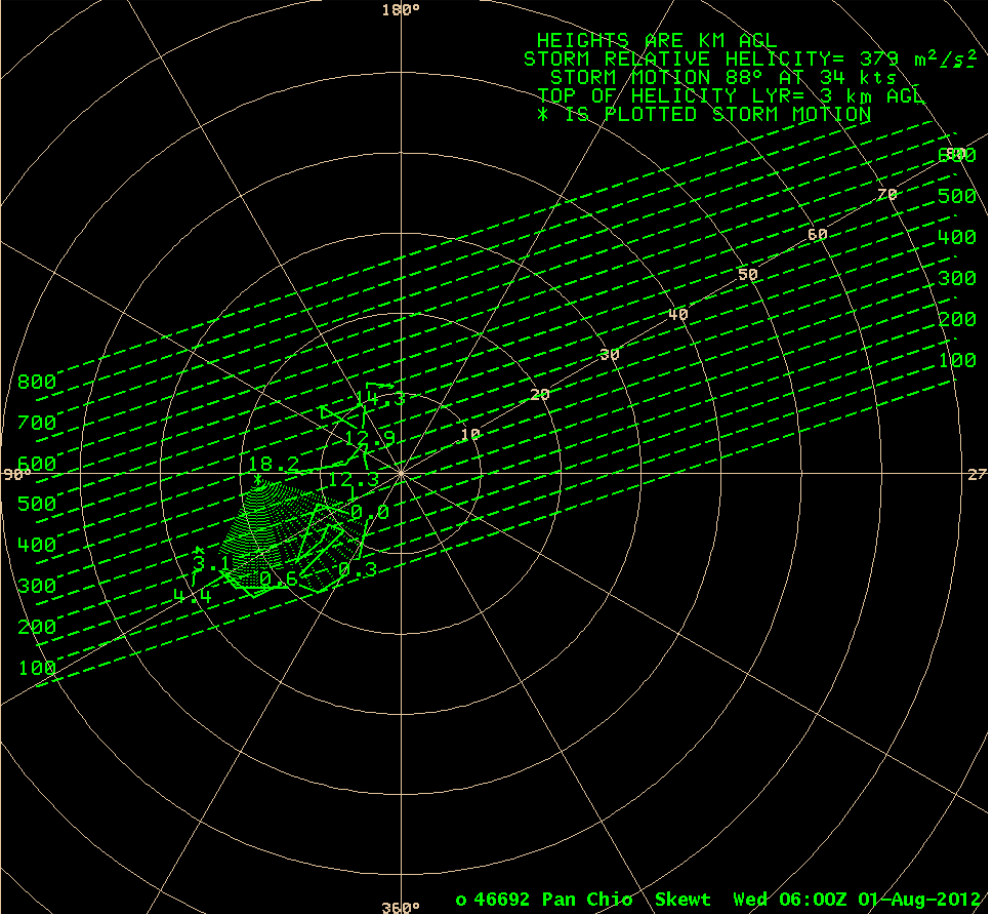
- $\bar{\theta}$ Potential temperature of environment
- θ Potential temperature of lifted air parcel



SRH=242m²/s²

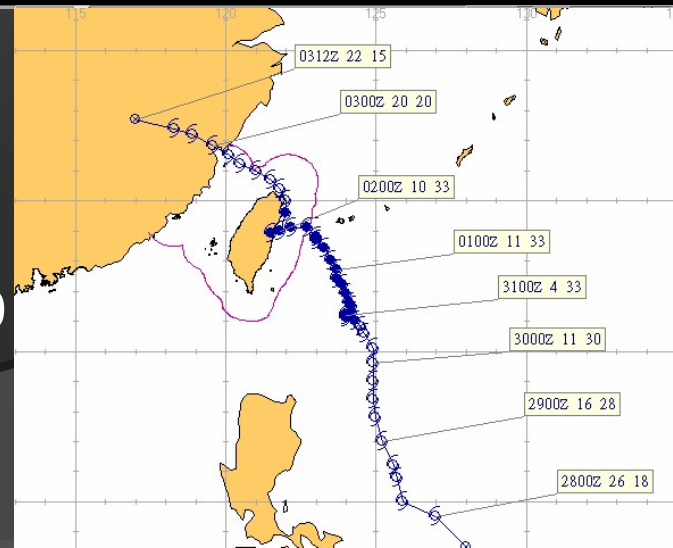


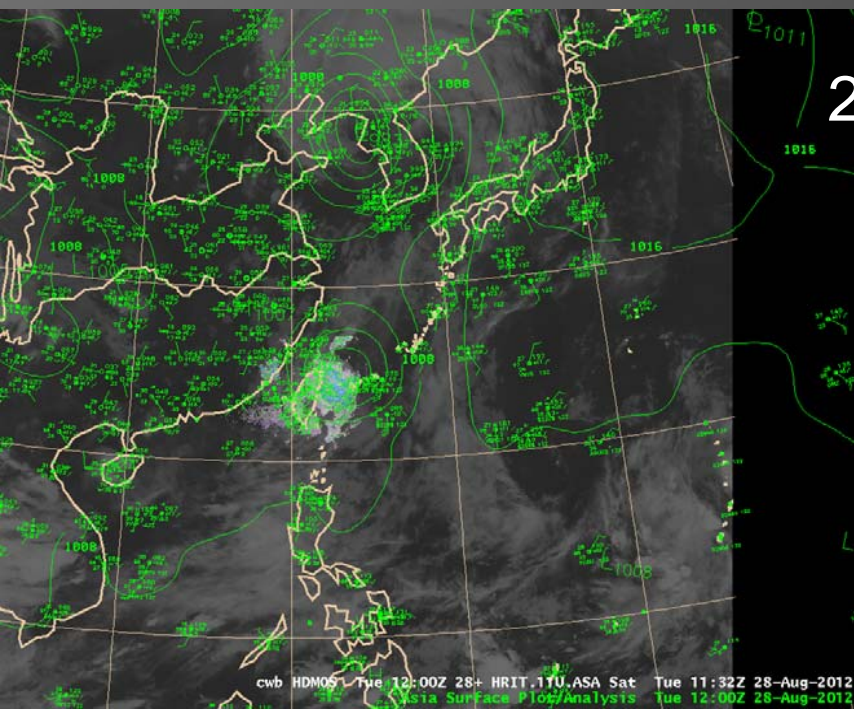
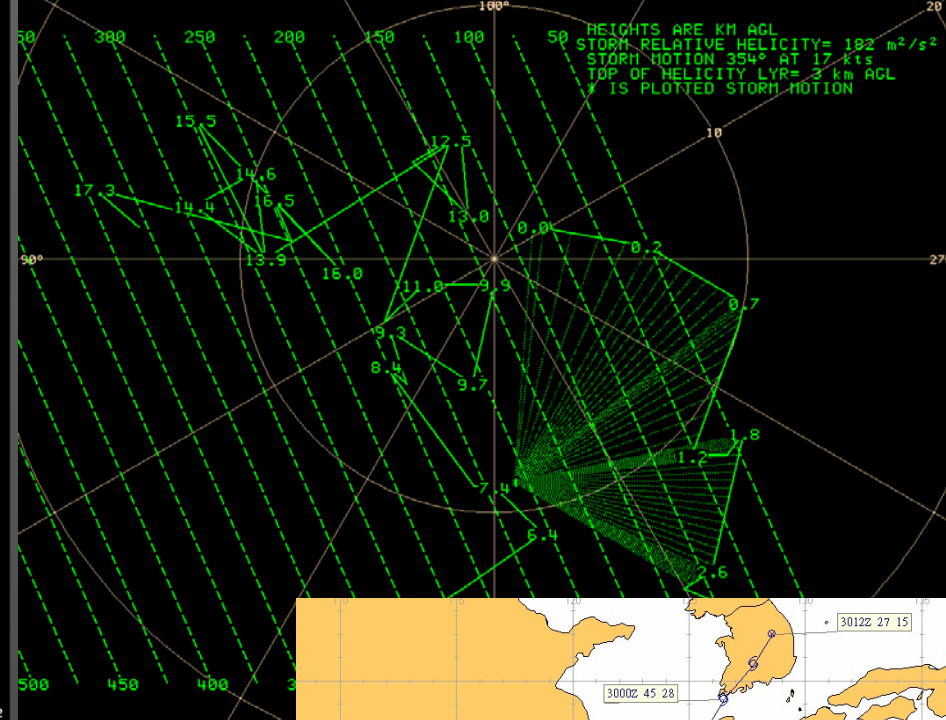
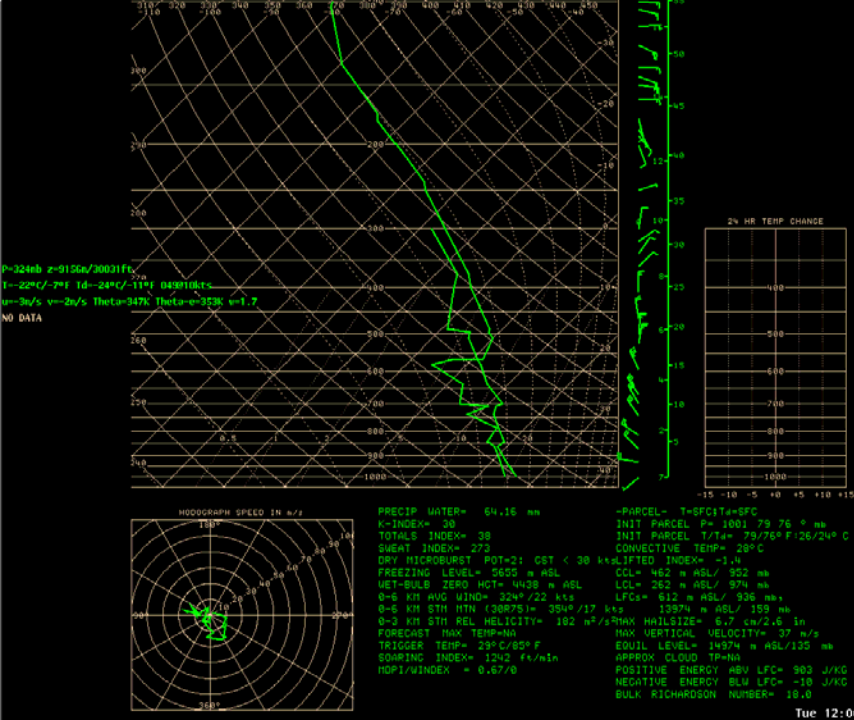
2012年6月11日至12日
梅雨鋒面過境
(台北市12日放假)



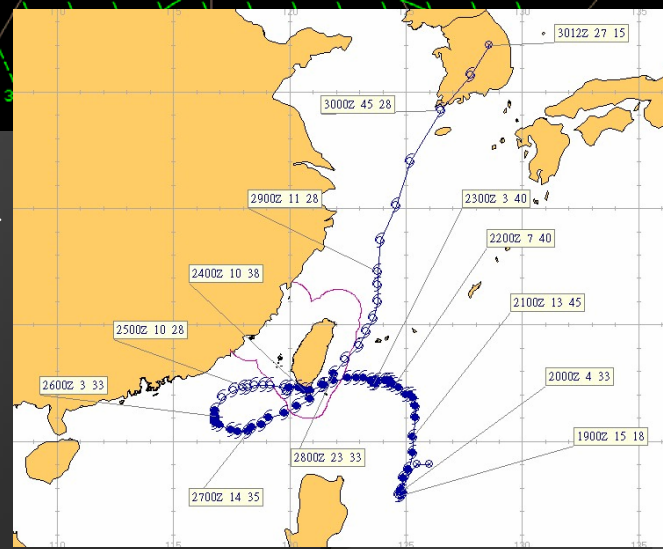
2012年8月1日 蘇拉(SAOLA) 颱風

$$\begin{aligned}
 EHI &= CAPE * SRH / 160000 \\
 &= 379 * 559 / 160000 \\
 &= 1.32
 \end{aligned}$$





2012年8月28日
 天秤颱風
 (Tembin)



$$\begin{aligned}
 \text{EHI} &= \text{CAPE} * \text{SRH} / 160000 \\
 &= 903 * 182 / 160000 \\
 &= 1.03
 \end{aligned}$$

•SRH等之物理量概念在美國主要用來研究龍捲風、颶風及超大胞的發展。

根據Davies-Jones(1990)研究診斷了28個龍捲風個案作成SRH的分類如下：

150 < SRH < 299 弱龍捲風(weak tornadoes)

300 < SRH < 499 強龍捲風(strong tornadoes)

SRH > 450 強烈龍捲風(violent tornadoes)

Davies-Jones(1990)認為

EHI大於1時($EHI = CAPE * SRH / 160000$)，
此種環境指標有利於對流發展為超大胞。

•近年來中國大陸之文獻相關研究，主要將SRH用於強對流系統(如：地面中尺度低渦、地面旋生、熱帶氣旋、冷鋒式切線、副高邊緣暖式切變線；以及大範圍暴雨、雷暴、龍捲、冰雹、大風、沙塵暴等)的診斷模擬研究上，結果顯示對大暴雨的發生發展有較好的指示作用。

研究方法

- 回波強度大於等於30dBz時才納入統計研究對象。
- 若探空圖中 | 00UTC板橋探空 T_{MAX} 估計值 | -
| 當日實際 T_{MAX} | > 2.0度，則剔除該筆資料，
以免探空圖上估算出的CAPE誤差過大。
- 總計蒐集197個個案。
- 採用盒鬚圖 (box-and-whiskers plots) 分析法。

將天氣類型分為：

- 1、「西南風至偏南風型」(SW-S風型)
- 2、「熱帶氣旋型」。
- 3、「非SW-S風型」。
- 4、「回波強度大於等於40dBz」。

2008至2010年不同天氣類型SRH-CAPE關係圖

0-3km
SRH(J/Kg)

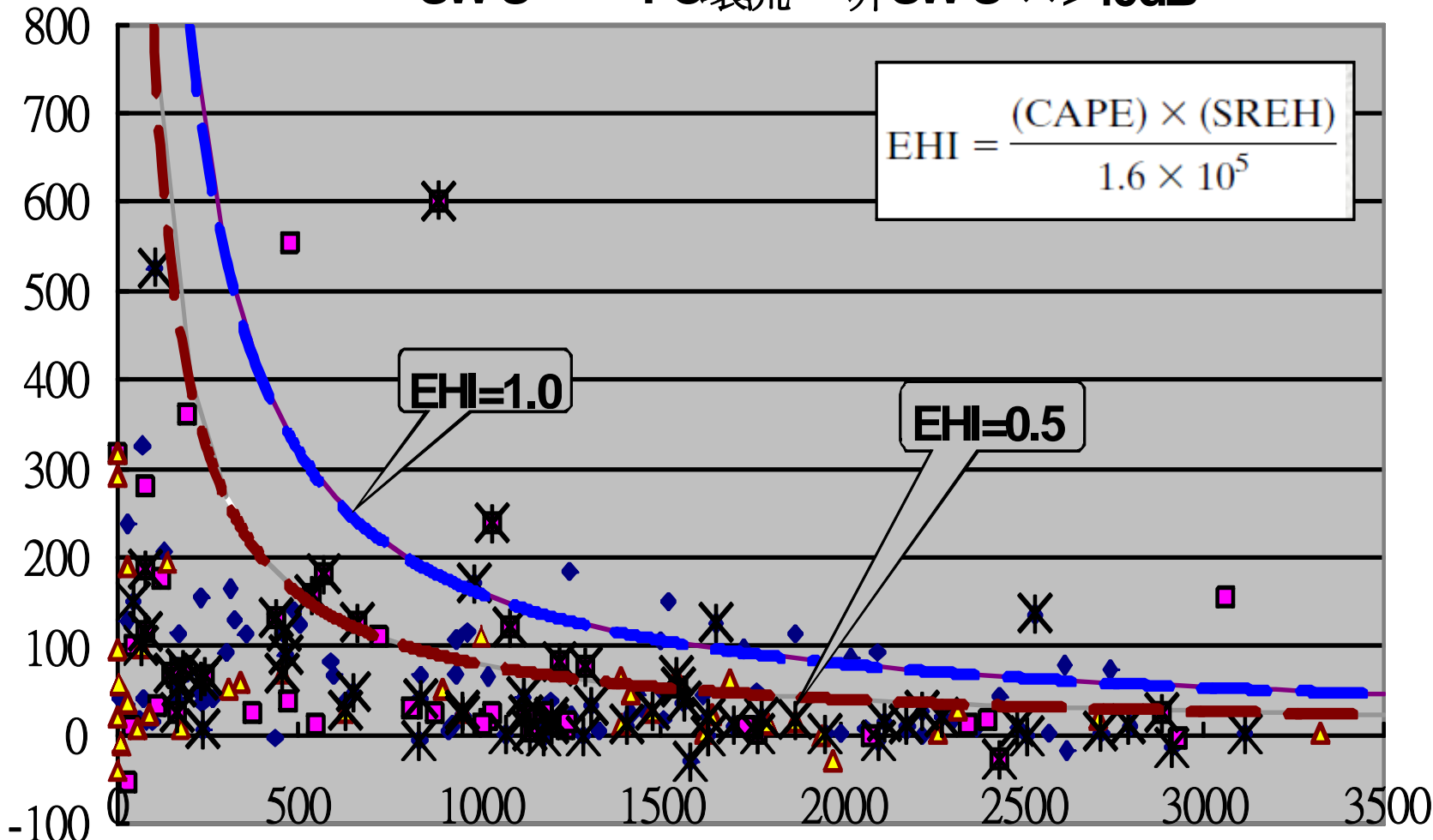
◆ SW-S ■ TC環流 ▲ 非SW-S * >40dB

$$EHI = \frac{(CAPE) \times (SREH)}{1.6 \times 10^5}$$

EHI=1.0

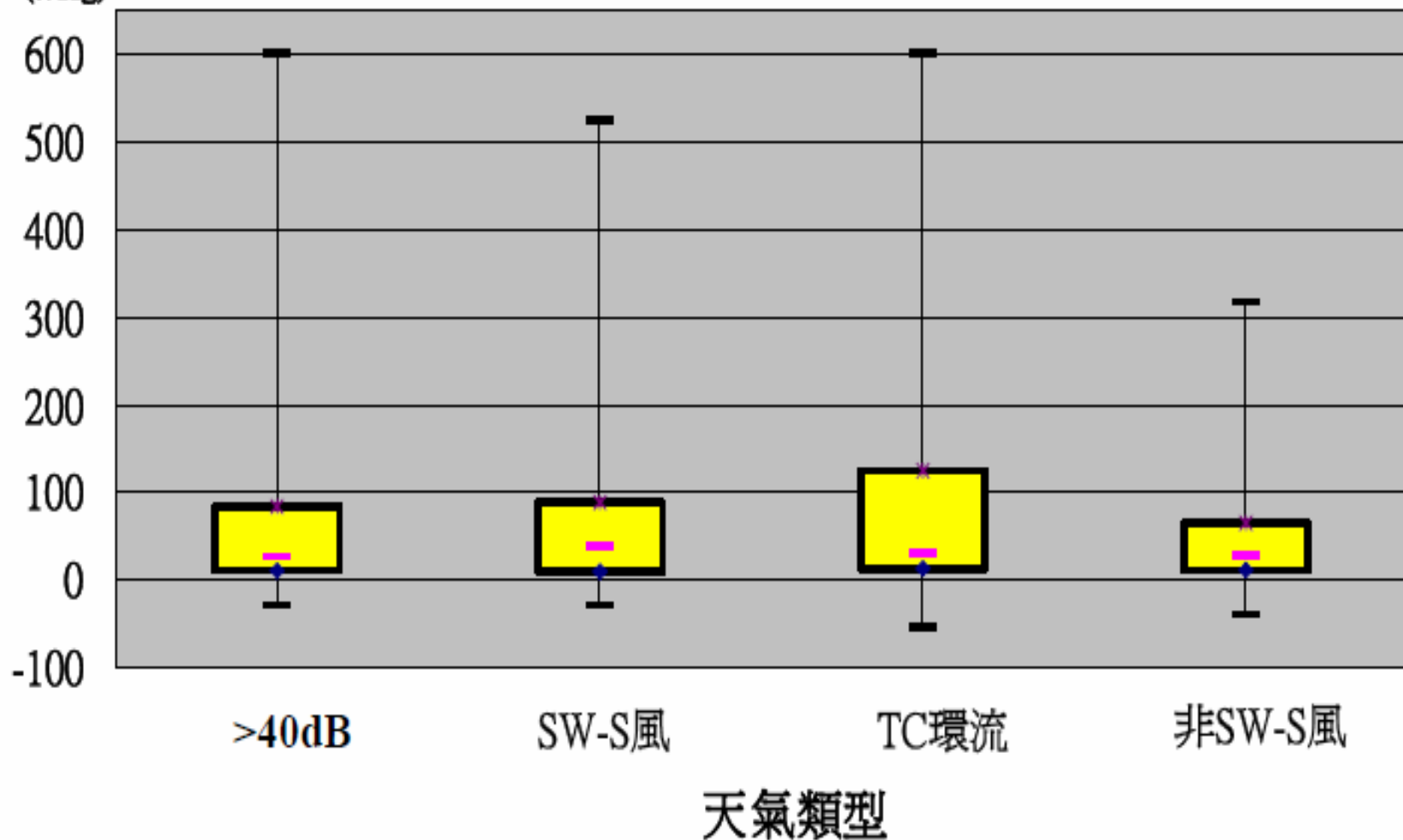
EHI=0.5

CAPE(J/Kg)



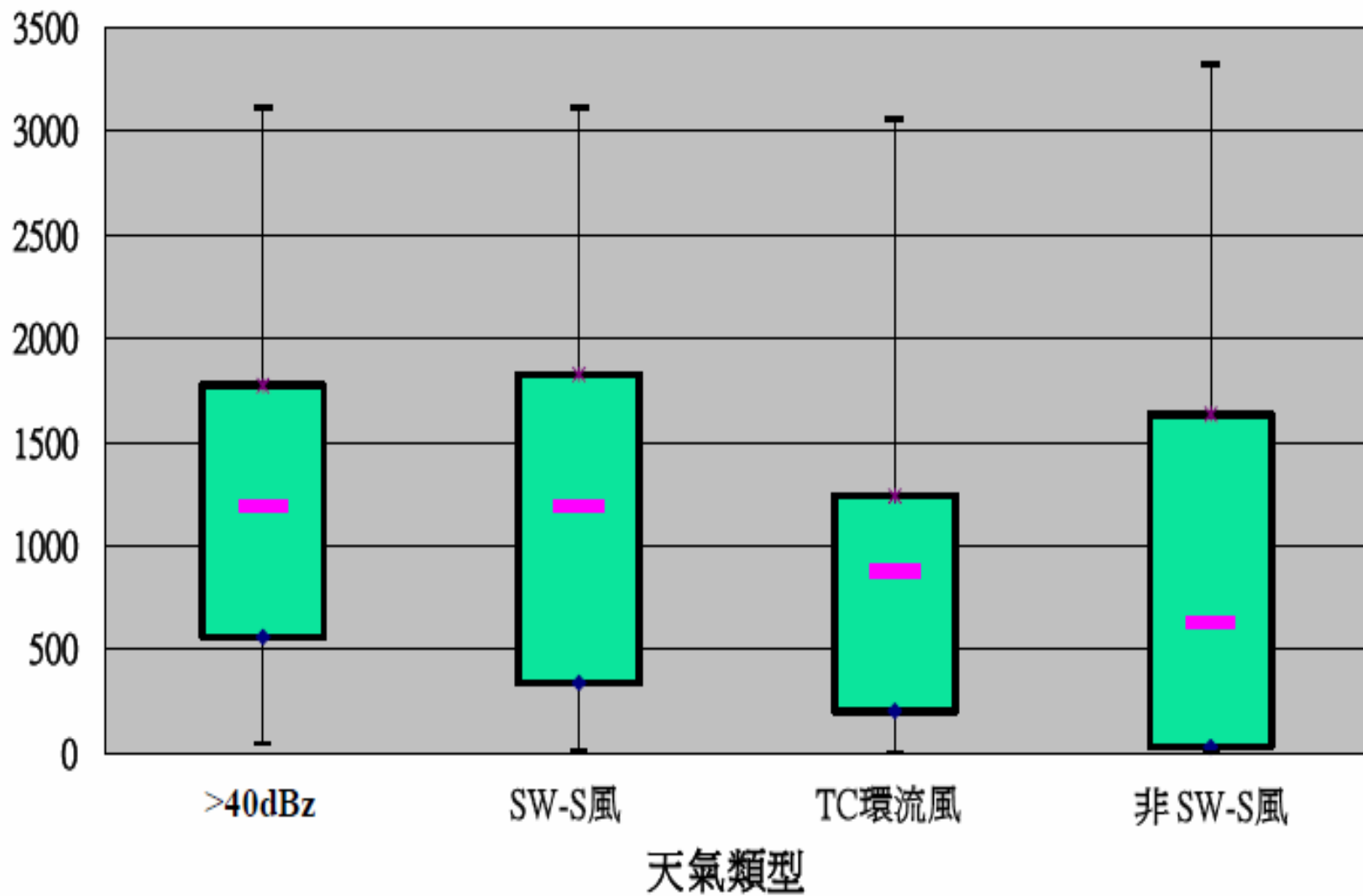
2008年至2010年不同天氣類型下 SRH之盒鬚圖

0-3km SRH
(J/Kg)

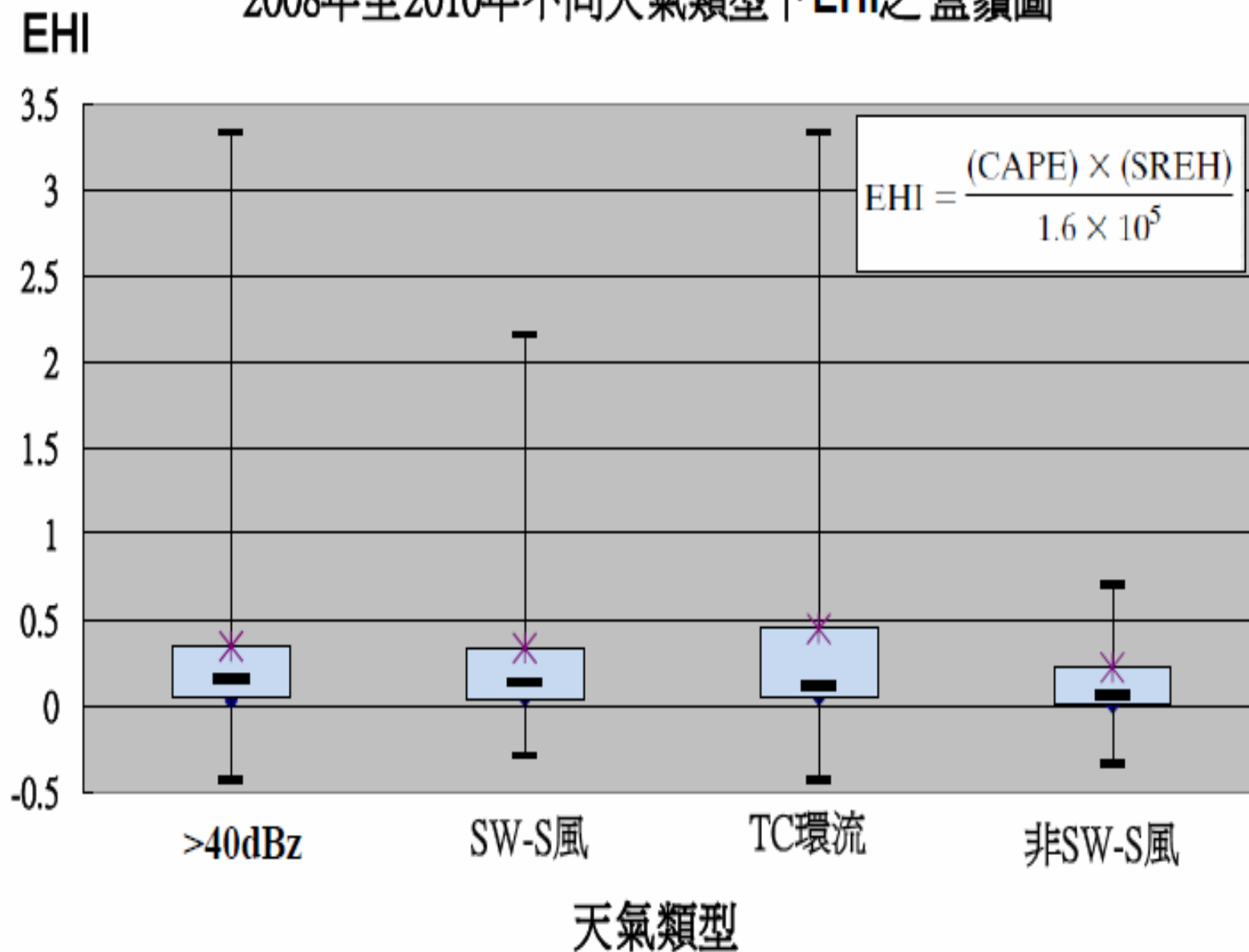


2008年至2010年 不同天氣類型下CAPE之盒鬚圖

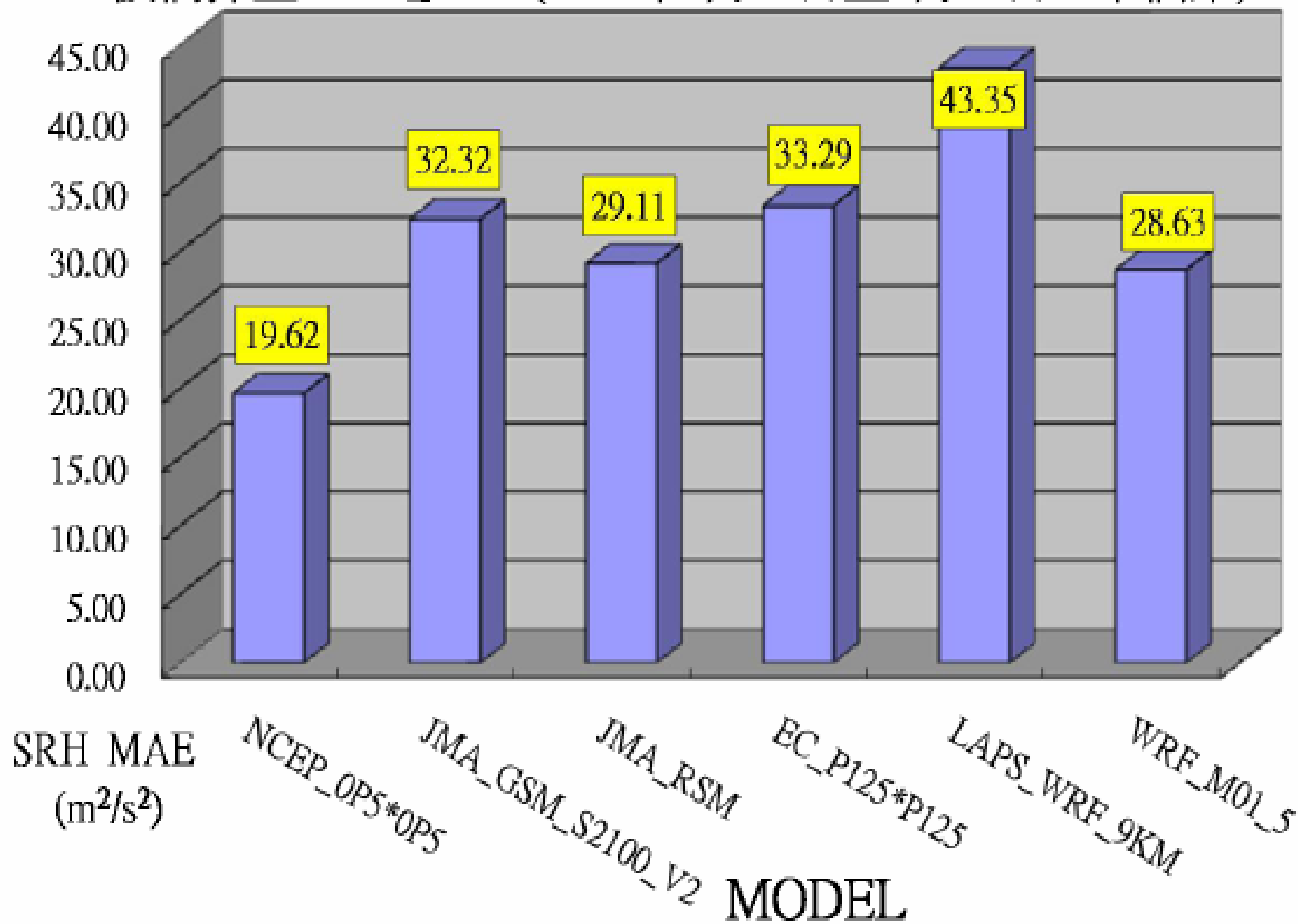
CAPE(J/Kg)



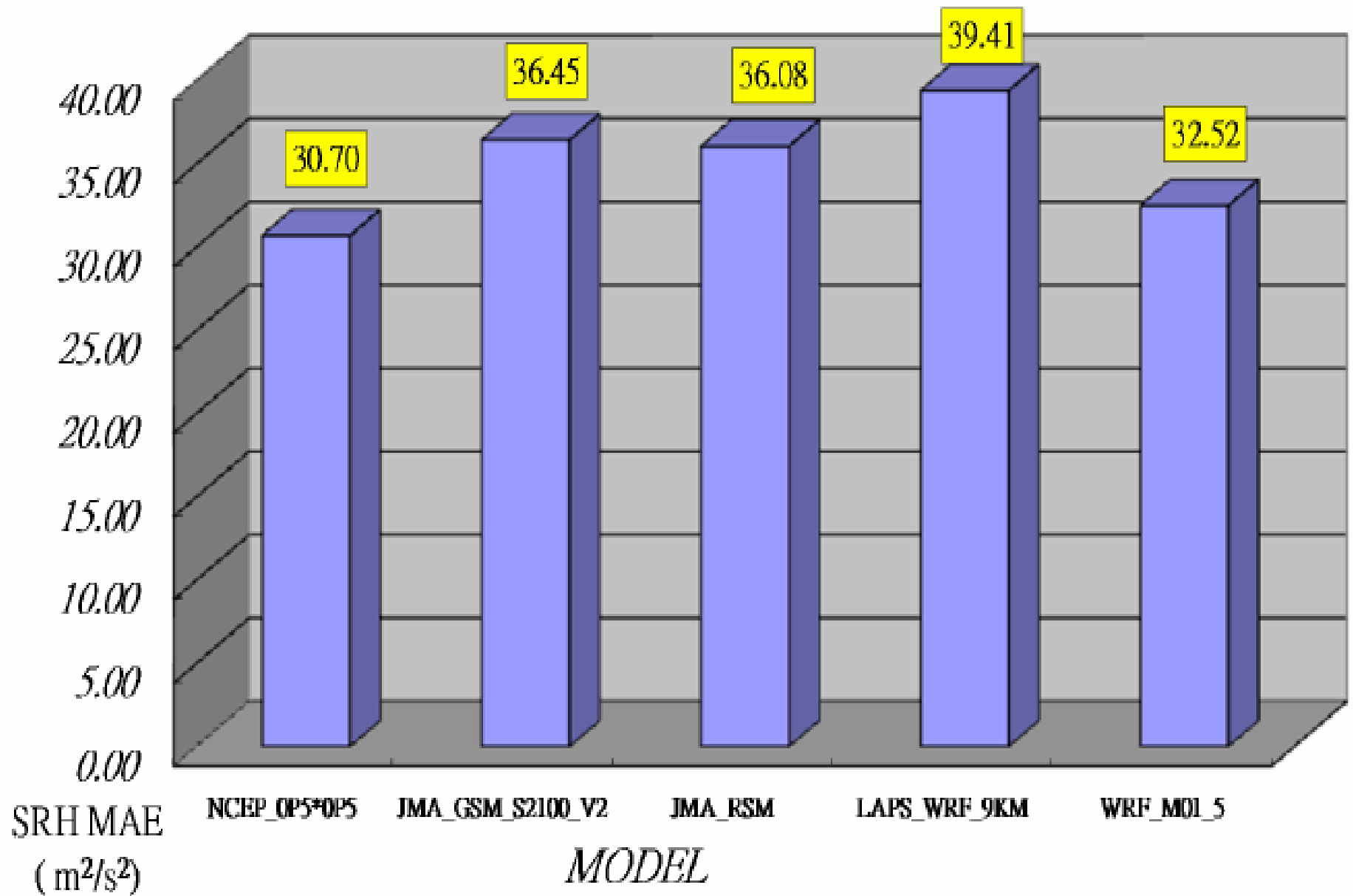
2008年至2010年不同天氣類型下EHI之盒鬚圖



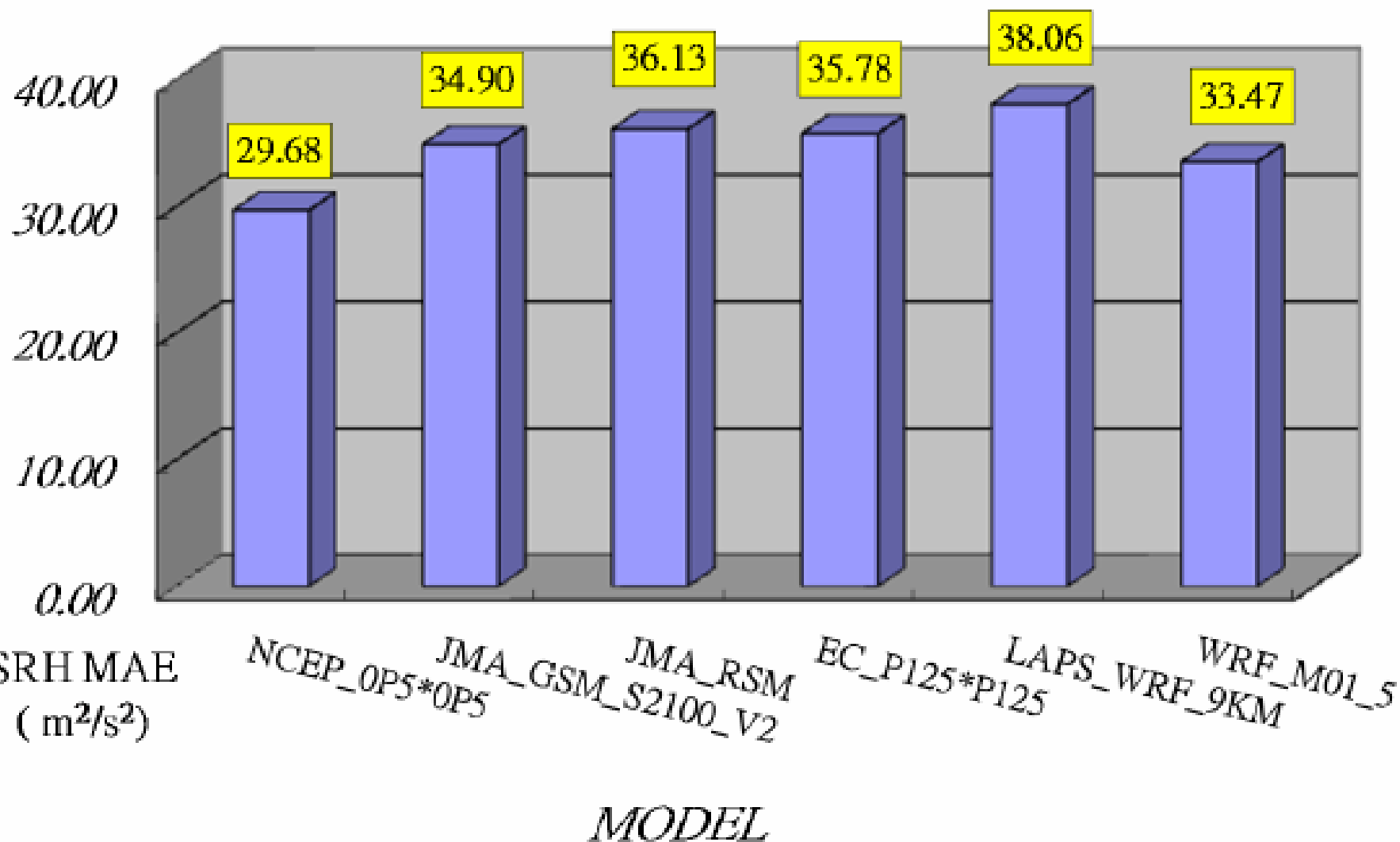
不同MODEL SOUNDING SRH OBJ(初始場)與板橋探空SRH之MAE(2011年3月28日至4月26日60筆個案)



MODEL SOUNDING 中 6HR SRH預測校驗MAE圖
(2011年3月28日至4月27日60筆個案)



MODEL SOUNDING 中 12HR SRH 預測校驗 MAE 圖 (2011年3月28日至4月28日60筆個案)



結果

- 研究結果發現SRH、CAPE及EHI等參數分析及預報在實際業務短期預報方面有不錯的應用價值，EHI要較單一參數(SRH、CAPE)更具指標意義。
- 對流有效位能(CAPE)與風暴相對螺旋度(SRH)之間有相互平衡之特徵。台灣北部EHI大於1時，有利於對流風暴發展。
- 由盒鬚圖研究結果顯示：「S-SW」類型的SRH、CAPE及EHI值定性及定量上均較高。
- 模式的SRH 初始場(OBJ)，以NCEP_0P5*0P5模式之MAE為最小。而模式SRH預報場亦以NCEP_0P5*0P5模式預報在6HR及12HR之MAE為最小，模式表現較佳，其次為WRF_M01_5 模式。

- 鋒面通過前低為層S-SW風較強，SRH能量逐漸增加達到最大，在SRH最大值發生數小時內，便會出現強降雨。在鋒面通過後，SRH值通常會快速下降。
- 在水氣條件豐沛及低的CIN值及沉降作用之情況下，午後雷陣雨型與高CAPE值關聯性大，而此時SRH量值卻可以很小，甚至可以為負值。
- 台灣北部地區之對流風暴包括「TC環流風型」及「SW-S風型」風徑圖定性上以順轉型居多；而「非SW-S風型」及「午後雷陣雨型」則不一定是順轉型。


建議

- **NCEP_0P5*0P5**模式6hr及12hr之MAE為最小，垂直解析度較高，表現較佳，因此建議在日常作業中，可參考該模式來做預報。
- 利用**SRH**及**EHI**對於多數天氣系統可作出簡易而準確的定性判斷，在實際業務中建議可善加應用。例如：梅雨期間台灣地區發生豪大雨的預測指標(**Checklist**)可考慮加入**SRH**及**EHI**指數。

結 論

參數 特性或趨勢 型態	SRH	CAPE	EHI
鋒面過境前	上升	上升	上升
鋒面過境後	下降	下降	下降
SW-S風型	大	大	大
TC環流風型	最大	中	大
非SW-S風型	不定	不定	不定
午後雷陣雨型	小	大	中或大

表：天氣型態與SRH、CAPE及EHI之定性關係



敬請指教！