

颱風的內部結構與動量收支之研究

魏意欣

張霽澤

中國文化大學大氣科學系

摘 要

本研究主要使用美國NOAA下屬的颶風研究實驗室所彙編的大西洋實測颶風內部軸心區飛行觀測資料配合NCEP/NCAR (Nation Center of Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research) 十七層每日四筆的再分析資料以及六小時一筆的颶風路徑資料計算分析颶風與環境場間動量收支情形，期能藉由計算此動量收支的結果驗證其是否能作為我們預測颶風的移向與移速的方法並且藉此資料對颶風內部的結構能有更深入的瞭解。

一、前言

颶風行進方向與速度的預測為颶風帶來風雨災害的重要預報。由於颶風源於溫暖的洋面上，但洋面上的測站分布稀少，不利於觀測，其變化較不易掌握，因此多利用氣象衛星來觀測颶風，但其雖可以在高空觀測，顯示出整個颶風中上層的形狀，但卻無法看到內部詳細的情況。由於太平洋的颶風飛機實測資料沒有我們所要計算動量收支的資料，因此本研究乃藉由美國國家颶風實驗室派遣飛機進入颶風內部至颶風各層面所彙集的實測颶風資料來瞭解颶風內部的結構並分析其由環境場所吸收並殖換的動量收支情形，俾便瞭解動量的殖換與颶風移動方向與移速有無關聯與影響。

若視颶風的移動方向和移動速度為一大範圍流場影響的結果。我們認為透過計算颶風各層由環境場吸入並殖換的動量收支應可預測颶風移動的方向和速度，一般對颶風路徑的預報方法是使用所謂駛流層的觀念，此觀念雖已陳舊，但各家均加以修正並得出其認為較有效的駛流層，如地面地轉駛流 (Hebert, 1979)，中對流層駛流層 (George & Gray, 1976)，高對流駛流層 (Sadler, 1982)，850mb+500mb合成駛流場 (李, 1983)，整層合成駛流層 (林和劉, 1989)，潘和楊 (1983) 則認為駛流場和主駛流層絕非固定於某層，而需視颶風的發展強度而定。我們則依飛機實測資料計算颶風各層至環境場所吸入或流失的動量，然後依颶風各層與環境場間的動量收支情形計算颶風各層面受環境流場影響下的移動方向和移動速度，然後再和颶風當時實際的移向和移速作比對，來驗證我們的想法。如果證實，則我們即可將計算結果和實際情況相似的層面作為影響颶風移動和移速的最佳駛流層。

二、飛機實測資料與環境場資料及處理方法

(一)飛機實測資料及處理方法

以大西洋的飛機實測資料為主。此資料為美國海洋與大氣總署(NOAA)下屬的颶風實驗室(NHRL)於西元 1956-1966 年間派遣飛機從颶風內軸心區邊緣(約 100 哩半徑)進入颶風內部，直抵颶風眼，而後穿越颶風眼至另一邊緣，然後做同樣數次同樣的飛行來得到實測資料。總共實測了 21 個颶風個案每個颶風實測的層數各不相同。我們詳細計算並分析了 11 個颶風飛機實測資料的個案做為本研究的依據。由於此實測資料是書面的數值資料，因此處理上格外費時，也需特別注意。

資料為飛機在一高度上以颶風眼為中心，飛機來回進入和穿出颶風中心所測量的颶風內軸心區資料。其觀測值是以颶風眼為中心，沿飛機每一飛行徑線上(飛行徑線如圖 2-1 所示)從半徑 5 哩處，每間隔 2.5 哩(約 0.0466666°)測量一組風速，溫度等等的數值直至 50 哩為止。在每一層面飛行時間約 1 至 2 小時，其中風速的測量是採用 Doppler navigation instrument，經過電腦的處理，可得實際的切向和徑向風速。氣壓的測量是同時測量氣壓高度與絕對高度，兩者之差即所謂 D-VALUE 值，溫度的測量是使用 vortex 溫度計測量，不需作動力的修正，而是利用颶風內部標準的溫度直減率將溫度的觀測值調整至定壓面上的溫度值。因此每條飛機飛行徑線，共有 19 組觀測測量值。每一飛行層面依飛機飛行徑線數決定其共有幾組觀測資料，飛行徑線數少至 4 條多至 16 條，即於每一層面至少 76 組實測資料，至多 304 組實測資料。而我們即是依據這些測量值經過處理後來作客觀分析。

非網格的飛機實測數值資料處理程序如下：

(1) 非網格實測飛機資料的經緯度轉換

由於飛機實測書面資料只有給定各徑線上每個點的時間為 2.5 哩。因此吾須依據颶風中心的經緯度，再依據資料上的 ARL 值，算出以颶風中心為圓心，半徑為 50 哩（約 0.8333°；約 92.662 公里）的各條徑線上 19 個點的經緯度。此即為非網格點飛機實測各組資料的經緯度。

(2) 水平風場的轉換

由於實測飛機資料的水平風場資料為圓柱座標 (V_r, V_θ) ，因此必須以下式將其轉換為直角座標 (V_x, V_y) ：

$$\begin{aligned} V_x &= V_r \cos \phi - V_\theta \sin \phi \\ V_y &= V_r \sin \phi + V_\theta \cos \phi \end{aligned}$$

其中： ϕ 代表飛行徑線與正 X 軸的夾角（逆時針方向）。

V_r 代表相對半徑速度。

V_θ 代表相對切向速度。

以上式處理後所得的資料即為飛行徑線上非網格直角座標系的風速場資料。

(3) 資料內插

由前兩個步驟所得到的各實測點的經緯度以及經由轉換得到的風速場數值，和實測的溫度值（距平值）的資料。將其分別作內插的工作，內插的方法我們選擇 Cressman 之客觀分析方法（Cressman, 1959），所使用的內插法公式如下：

$$W = \frac{R^2 - r^2}{R^2 + r^2}, \text{ 式內 } W \text{ 為權重函數, } R \text{ 為影響半徑,}$$

r 為網格點到飛機實測資料的距離。網格點間距為 5.19 公里，水平影響半徑是 21 公里。將實測每一層面飛行徑線上的切向及徑向相對速度（相對於颶風中心）、溫度值（距平值）資料內插至各該層面直角座標系統的網格點上，然後用電腦繪製颶風各層面的風場（圖 3-5 與 3-8）和溫度場（圖 3-9）。

(4) 垂直速度的計算

我們採用運動法計算颶風各層面上各網格點的垂直速度。此種方法是將空氣視為一不可壓縮的流體，然後採用壓力（P）座標將連續方程式積分而有：

$$\omega(p_u) = \omega(p_l) - \int_{p_l}^{p_u} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right)_p dp$$

式中 $\left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right)_p$ 是在等壓面上各網格點的輻合值，

p_u 與 p_l 分別為上、下層面的氣壓值，而再利用

$\omega = -\rho g w$ 的關係即可算出在等高面上各網格點的垂直速度值（ w ），即

$$w(z_u) = \frac{\rho(z_l)w(z_l)}{\rho(z_u)} - \left[\frac{\rho(z_l)}{\rho(z_0)}(z_l - z_u) \right] \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \right)$$

式中 ρ 為空氣密度， z_u 與 z_l 分別為上、下層面的高度，而兩層面間空氣層的平均輻合量，可先用第一個層面的輻合量代替，而且 $w(0) = 0$ ，因此

$$w(z_l) = z_l \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \right)_{p_l}$$

再依飛機實測資料逐層計算上去，則可得颶風各層面的垂直速度場。以計算所得用電腦繪製即可得颶風各層面的雲帶分佈（圖 3-13 與 3-16）。

(5) V_r 分布與動量收支的計算

以飛機飛行各層面的每一徑線 50 哩處實測之相對徑向速度值的大小和方向作為我們分析颶風與環境場間交換的動量計算依據。各颶風各層面每一飛行徑線 50 哩處實測的相對徑向速度值（ V_r ）與密度值的乘積再乘以每一層面單徑線所表扇形區塊的側面積，可得進出該扇形側面之空氣動量，如下式：

$$V_r \cdot \rho \cdot ds \cdot h$$

其中： V_r 為相對半徑速度； ρ 為密度； s 為扇形之弧長； h 為層面的厚度。

現將計算步驟詳列如下：

- 把颶風視為一個成熟且其內部性質一致的旋轉圓柱體，其示意圖見圖 2-2，然後依飛機飛行的層數及各層的飛行徑線數來決定將圓柱體分切成幾個圓柱體及幾個扇形區塊。亦即，若飛機實測資料有五層，則將圓柱體切為五個圓柱體，有十層，則分為十個圓柱體，有多少條徑線則分成多少個扇形區塊。
- 每個飛機飛行的層面作為各個圓柱體的中間層。第一個圓柱體，以地面層（1013.3mb）為底，中間層為飛機飛行層面。厚度 h 為地面層至第一層飛機飛行層面與第二層飛機飛行層面的一半高度。同樣的，第二個圓柱體，則是以飛機飛行的第一個層面為底，飛機飛行的第二個層面為中間層，厚度為飛機飛行的第一層面至第二層高度的一半至飛機飛行第二層面與飛機飛行第三層面的一半高度，以此類推。然後以最後一層為整個圓柱體的頂部。
- 俯視各圓柱體，則每一層皆為一圓形平面。將各層依飛機飛行的徑線數切割成為數不等的扇形區塊。亦即，若飛機飛行的徑線數為六條，則將此

圖形平面切割為六個扇形區塊。每個扇形區塊的角度則是以飛行徑線為基準，相鄰兩邊飛行徑線夾角的一半相加後作為各扇形區塊的夾角角度。

- (d) 由該颶風所在層面各徑線上最外面的點（即距離颶風中心 50 哩處所測得的相對徑向速度值（VRR 值，即 V_r ；負值表由環境場流入，正值表由颶風外圍流出）及 D-VALUES 值即氣壓高度與絕對高度的差值和溫度值（TADJ 值），並且配合標準大氣的氣壓高度表然後計算各條徑線最外圈處的氣壓值（P 值）、密度值。
- (e) 由以上步驟計算所得各颶風每一層面單徑線所表之扇形區塊之動量分解為 X、Y 方向動量，然後計算其向量和的大小和方向，即可得各層颶風體與環境間交換之淨 X、Y 方向之動量值。
- (f) 以上述方式計算所得各颶風各層之 X 及 Y 方向之動量收支表已列於 4-1 表。

(二) 環境場資料及處理

配合 NCEP/NCAR(Nation Center of Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research)每日四筆共 17 層的再分析資料，包括風場(U、V)與重力位高度場與流線(對流層低層(850mb)、中層(520mb)、高層(200mb)以及低層 900-700mb、高層 200-300mb 合成)，網格解析度為 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 經緯網格，時間為 1961、1963、1964、1965、1966 年。分析區域西從西經 120 度或 100 度，東至西經 20 度或 0 度，南北範圍由赤道至北緯 60 度。以這些資料分析颶風之環境流線場、風場及重力位高度場以查看各颶風所處之環境流場對其移動的影響(圖 3-18 與 3-20)。

三、颶風的內軸心區結構分析

以 1966 年 9 月 21 日至 10 月 11 日期間的 Inez 颶風為例。派遣飛機實測資料的時間為 1966 年 9 月 27 日和 28 日兩天，我們以 27 日的實測資料來分析颶風的內軸心區結構。當時 Inez 颶風的中心位置在北緯 17 度，西經 66 度的大西洋洋面上。飛機飛行於各層面以及飛入與飛出颶風中心的時間詳見表 3-1。

(a) 內軸心區氣流流向與風場分析

如圖 3-1，為 Inez 颶風內軸心區 955mb 面的實測徑向氣流（飛行所涵蓋面積為 100 哩 $\times$ 100 哩，網格間距 2.5 哩。由圖中可以看到颶風低層的徑向氣流流向以流向颶風眼中心的輻合氣流為主，並伴隨有部份的向外（向颶風眼外）流的氣流。中層（圖未列出）同樣有向颶風眼外和向內流的氣流但徑向氣流明顯較低層為小而高層（圖未列出）則以向颶風眼外流的

輻散氣流為主。圖 3-5 與 3-8 分別為颶風低層至高層的相對風速場，由圖中發現颶風低層的切向氣流有偏向颶風中心的趨勢而愈往高層切向氣流愈偏向颶風外緣，此一現象明顯表示，颶風由下層吸入環境空氣的動量，然後在颶風內部將動量賦與颶風，因而改變或操縱了颶風移動的速度與方向。當颶風改變了其移速和方向後，這些進入的空氣再由輻散拋出。

(b) 內軸心區溫度場分析

如圖 3-9，為 Inez 颶風內軸心區低層的實測溫度場，溫度愈高顏色愈偏紅色，溫度愈低則愈偏藍紫色。由圖中發現愈往高層（圖未列出）溫度愈低，低層和中層都有暖心的結構，高層則暖心結構已經不明顯且溫度更低。

(c) 內軸心區雲帶分析

如圖 3-13 與 3-16，分別為 Inez 颶風內軸心區低層至高層的垂直風速場，打點者為上升氣流區域，即雲帶分佈區。空白的區域為下降氣流區。所以由圖中可發現低層的上升氣流區所占區域較多，愈往高層則愈少，空白區域逐漸增大，上升氣流逐漸緩和雲量減少。至颶風最上層，雲量大減，空氣輻散且氣旋性流動已不明顯。

四、綜觀環境場與動量收支分析

詳細校閱 21 個飛機實測颶風個案，並依資料的觀測層數與飛行徑線數來選取，去除不完整的個案資料，我們詳細計算了共 11 個颶風個案的動量收支數值資料。發現依此資料，颶風的低層和中層為影響颶風移向與移速的主要層面，因此再捨棄低層和中層沒有完整資料的個案，我們找到 5 個較好且較完整的颶風實測資料，並且依前述的步驟做這 5 個颶風的動量收支計算，然後配合 NCEP 的再分析資料作綜觀環境場分析以及使用路徑資料作其移動方向的比對。

我們的想法是當熱帶擾動發展為颶風後，或可將之視為是大環境場中的一個渦旋或低壓，此渦旋的移動大體上是跟隨著環境場的駛流層的移速與方向而移動（Elsberry, 1995），若影響颶風移動的駛流場環流如圖 3-17，或其環流較為紊亂。此時颶風未來的移向和移速是較難判定的。如圖 3-17 與 3-20，為使用 NCEP 的資料所繪製 1964 年 10 月 1 日 18 時的大西洋地區的綜觀環境場 850mb、925-700mb 合成的氣流流線以及風場與重力位高度場來做合成分析，由圖 3-17 中可看到 Hilda 颶風中心位置在西經 91 度，北緯 24 度的大西洋洋面上，其北緣明顯受到其右方高壓順時旋轉氣流的下緣氣流影響，而颶風的南緣則受到其下方和左方的西南氣流所影響。在這種情況下要知道颶風的移向和

移速，我們認為透過計算颶風此時由環境場吸入或流失的動量收支應可預測颶風移動的未來走向和速度。透過上述的步驟，計算颶風其至環境場吸入或流出的動量，我們得到了詳細的動量收支結果見表4-1。由表中我們可以得到經由計算颶風外緣至環境場吸入或流失的動量，並且將其分為X向和Y向的動量然後計算其角度和速度可以得到與實際颶風的移向與移速滿接近的數值。

五、結論

本文所使用的資料得來匪易，為國內所僅有。資料的來源是NOAA下屬的颶風實驗室。此資料所以珍貴是因其為真人在飛機上冒著生命的危險飛入颶風內部實際觀測所得到的資料。透過此飛機實測資料的計算與分析我們發現颶風低層切向氣流以氣旋型旋轉並有向颶風中心偏轉的趨勢，徑向氣流以向內（即颶風中心）的輻合氣流為主有暖心結構。颶風中層的徑向氣流很小，而是以切向及上升氣流為主也有暖心結構，但溫度已較低層為低。颶風高層切向氣流還是以氣旋型流動，較偏向颶風外緣流動，上升氣流緩和，雲量較少，空氣輻散，暖心結構已不明顯，溫度更低。在動量收支計算結果方面，我們得到對預報颶風的移動方向與移動速度有不錯的準確度，且以計算颶風低層和中層其與環境場間的動量收支較能預測颶風的移向和移速。

六、建議

在台灣地區，我們若可在颱風於太平洋洋面上生成尚未來襲前派遣無人飛機進入颱風的內部實測資料分析颱風各層面的動量收支，則將有助於我們對颱風移動路徑與移速的預報，也更能對颱風所帶來的災害做更有效的防治。

參考文獻

張霖澤，1998：西北太平洋區拋物線形路徑之颱風於轉向時“速度減緩”與轉向後“速度趨增”等現象之統計研究。華岡理科學報，第十五期，P.159-186

李富城等，1982：颱風主要駛流層之選定與分析。氣象預報與分析第九十三期。

潘大綱，楊明錚，1983：韋恩颱風轉向時風場及溫度場分析與探討。氣象預報與分析第九十三期。

Chan, Gray Kidder 1980: Forecasting Tropical Cyclone Turning motion from Surrounding wind and Temperature Fields.

Elsberry, R.L.1995: Global perspectives on tropical cyclone ,WMO/TD-NO.693,Ch.4,106-197.

Sadler,1982: On The Speed of Recurring Typhoon over The Western North Pacific Ocean Contract No.NO0228-80-C-RW54 JTWC Library.

表3-1

1966年9月27日 Inez 颶風 內軸心區各等高層面飛機實測進入與離開時間表			
飛機飛行層面	高度 (公尺)	飛機飛入時間	飛機飛離時間
一(955mb)	540	1708	1925
二(763mb)	2466	1557	2113
三(667mb)	3591	1620	1837
四(520mb)	5572	2030	2225
五(221mb)	11878	1851	2020

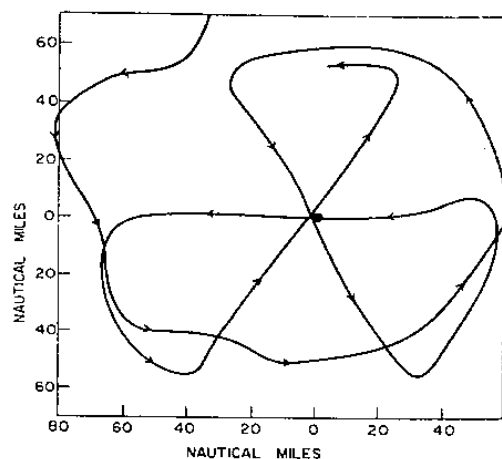


圖2-1 飛機飛行於颶風某一層面的內軸心區的飛行徑線圖。

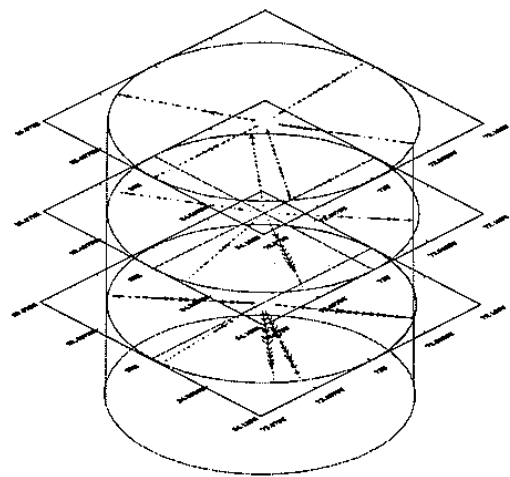


圖2-2 颶風各層面動量收支計算示意圖。

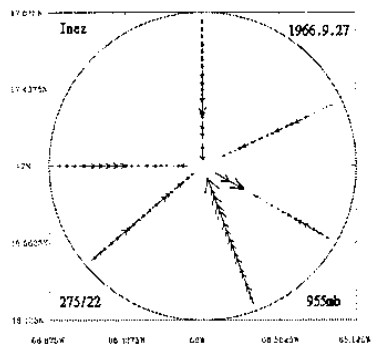


圖 3-1 Inez 颶風內軸心區 955mb 實測徑向氣流

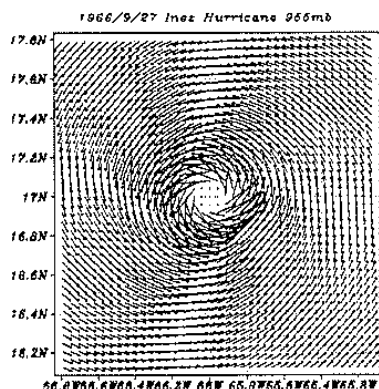


圖 3-2 Inez 颶風內軸心區 955mb 實測水平相對風速場

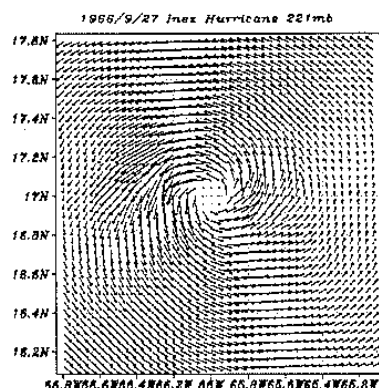


圖 3-3 Inez 颶風內軸心區 221mb 實測水平相對風速場



圖 3-4 Inez 颶風內軸心區 955mb 實測水平溫度場

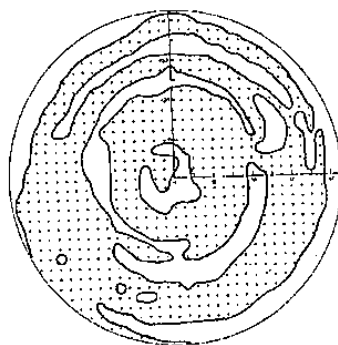


圖 3-5 Inez 颶風內軸心區 955mb 垂直速度場

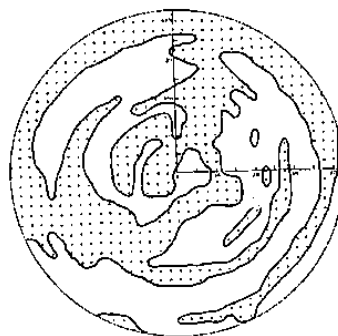


圖 3-6 Inez 颶風內軸心區 221mb 垂直速度場

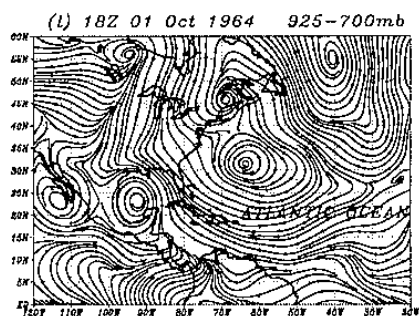


圖 3-7 1964 年 10 月 1 日 18 時 大西洋地區 925mb-700mb

綜觀環境場streamline合成分析。

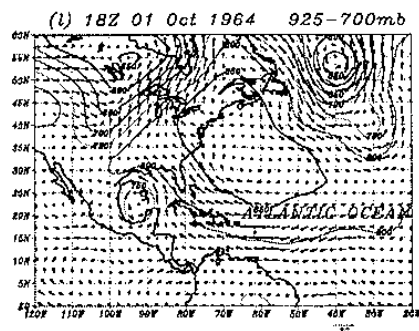


圖 3-8 1964 年 10 月 1 日 18 時 大西洋地區 925-700mb

綜觀環境風場(U、V)合成分析。

表4-11961、63、64、65、66年各颱風動量收支表

1961年9月16日 Esther 颶風 811mb 層各徑線之動量收支表

飛行徑線 (所占夾角)	X 方向動量 (kg·m/s) 註: 負號表向西	Y 方向動量 (kg·m/s) 註: 負號表向南
徑線1 表之扇形區域 (32.5°)	8451614.7165158	484192682.8271510
徑線2 表之扇形區域 (92°)	682653426.6743420	572814238.5443470
徑線3 表之扇形區域 (72.5°)	-47074183.8318999	-538060383.3084170
徑線4 表之扇形區域 (52.5°)	-98709760.6417550	-368389841.9179920
徑線5 表之扇形區域 (57.5°)	-394028705.9289040	143414720.4045520
徑線6 表之扇形區域 (17.5°)	-266609322.1407260	223711783.8767080
徑線7 表之扇形區域 (17.5°)	-294519254.9707090	420617086.9335910
徑線8 表之扇形區域 (18°)	5612154.9004258	-20944847.2283358
Total	-404224031.2227100	917355440.1316020
動量收支計算角度 / 計算速度	66.21976343(294°)/0.281904089kts	
颶風實際走向 / 移速	295°/13kts	

1961年9月16日 Esther 颶風 477mb 層各徑線之動量收支表

飛行徑線 (所占夾角)	X 方向動量 (kg·m/s) 註: 負號表向西	Y 方向動量 (kg·m/s) 註: 負號表向南
徑線1 表之扇形區域 (14°)	-225118691.4208150	-618508521.3758610
徑線2 表之扇形區域 (2.5°)	-21819567.4934614	-51403679.7007222
徑線3 表之扇形區域 (88.5°)	1000650097.6745300	2145901059.4715900
徑線4 表之扇形區域 (90°)	-138069785.5064430	-379343617.9878950
徑線5 表之扇形區域 (41.5°)	939170276.3699880	2014057157.2123100
徑線6 表之扇形區域 (75°)	-1789101178.3809300	413046552.7934190
徑線7 表之扇形區域 (48.5°)	-103802842.4442850	1186471918.3134700
Total	-338091691.2014200	4710220868.7263200
動量收支計算角度 / 計算速度	-85.89444692(274°)/1.649850701kts	
颶風實際走向 / 移速	295°/13kts	

1963年8月24日 Beulah 颶風 811mb 層各徑線之動量收支表

飛行徑線 (所占夾角)	X 方向動量 (kg·m/s) 註: 負號表向西	Y 方向動量 (kg·m/s) 註: 負號表向南
徑線1 表之扇形區域 (60°)	223929197.4953920	1053504044.9281700
徑線2 表之扇形區域 (36.5°)	-164351976.4743060	-284665973.5778640
徑線3 表之扇形區域 (32°)	-1145816518.3397400	-100245955.8354720
徑線4 表之扇形區域 (45°)	-1611727519.9367100	112702967.1907950
徑線5 表之扇形區域 (53°)	-41830724.5027917	478127368.9293080
徑線6 表之扇形區域 (47.5°)	435187311.3539180	1195667311.1780600
徑線7 表之扇形區域 (86°)	-3269061888.3848100	-0.00000004
Total	-5573672118.7890500	2455089762.8129900
動量收支計算角度 / 計算速度	-23.77252015(337°)/12.16102984kts	
颶風實際走向 / 移速	350°/7kts	

1963年8月24日 Beulah 颶風 520mb 層各徑線之動量收支表

飛行徑線 (所占夾角)	X 方向動量 (kg·m/s) 註: 負號表向西	Y 方向動量 (kg·m/s) 註: 負號表向南
徑線1 表之扇形區域 (85.5°)	395456162.5735080	1475862490.8905500
徑線2 表之扇形區域 (26°)	354450329.5851200	157811454.2483600
徑線3 表之扇形區域 (2°)	27588696.5068763	11710706.8792189
徑線4 表之扇形區域 (11.5°)	195836993.8968660	71278836.5466312
徑線5 表之扇形區域 (20°)	357393685.3087030	0.00000000
徑線6 表之扇形區域 (50°)	-209872361.2306020	76387292.4830668
徑線7 表之扇形區域 (50°)	284264491.3205810	1612144041.5892900
徑線8 表之扇形區域 (20°)	237232482.9231300	410898713.6285780
徑線9 表之扇形區域 (22.5°)	76213959.9585302	63951105.6917627
徑線10 表之扇形區域 (72.5°)	-418018964.1151210	-112007843.8555410
Total	1300545476.7276900	3768036798.1019200
動量收支計算角度 / 計算速度	70.95778284(71°)/7.81380275kts	
颶風實際走向 / 移速	350°/7kts	

1964年10月1日 Hilda 颶風 907mb 層各徑線之動量收支表

飛行徑線 (所占夾角)	X 方向動量 (kg·m/s) 註: 負號表向西	Y 方向動量 (kg·m/s) 註: 負號表向南
徑線1 表之扇形區域 (90°)	-2112636165.8347200	-372514756.4571440

徑線2 表之扇形區域 (87.5°)	-4916707624.4271900	-866948210.4415360
徑線3 表之扇形區域 (90°)	0.00000000	2564264549.2534500
徑線4 表之扇形區域 (92.5°)	215189613.7548480	37943734.8732132
Total	-6814154176.5070600	1362745317.2279900
動量收支計算角度 / 計算速度	-11.30924106(349°)/7.00473226kts	

1964年10月1日 Hilda 颶風 520mb 層各徑線之動量收支表

飛行徑線 (所占夾角)	X 方向動量 (kg·m/s) 註: 負號表向西	Y 方向動量 (kg·m/s) 註: 負號表向南
徑線1 表之扇形區域 (115°)	294562194.1333610	-170065562.0759830
徑線2 表之扇形區域 (62.5°)	56077055.2988198	-640963675.0503490
徑線3 表之扇形區域 (61°)	163972347.8251480	76461561.5165215
徑線4 表之扇形區域 (30°)	268942265.5113970	-137032928.7227440
徑線5 表之扇形區域 (91.5°)	336247360.5398020	-235442936.5530870
Total	1119801223.3085300	-1107043540.8856400
動量收支計算角度 / 計算速度	-44.67175379(315°)/7.00473226kts	
颶風實際走向 / 移速	310°/5kts	

1965年9月3日 Betsy 颶風 763mb 層各徑線之動量收支表

飛行徑線 (所占夾角)	X 方向動量 (kg·m/s) 註: 負號表向西	Y 方向動量 (kg·m/s) 註: 負號表向南
徑線1 表之扇形區域 (125°)	1380065150.4502500	-1970937293.7897800
徑線2 表之扇形區域 (37.5°)	-51264525.5949102	-88792762.9562996
徑線3 表之扇形區域 (27.5°)	24408534.0355053	29088958.1267715
徑線4 表之扇形區域 (50°)	205305117.6915020	17961870.3618620
徑線5 表之扇形區域 (120°)	1806201796.9529800	-2152547480.4688300
Total	3364716073.5353300	-4165226708.7262800
動量收支計算角度 / 計算速度	-51.06833999(309°)/9.817267184kts	
颶風實際走向 / 移速	315°/10kts	

1965年9月3日 Betsy 颶風 667mb 層各徑線之動量收支表

飛行徑線 (所占夾角)	X 方向動量 (kg·m/s) 註: 負號表向西	Y 方向動量 (kg·m/s) 註: 負號表向南
徑線1 表之扇形區域 (42.5°)	0.00000000	503692452.4400200
徑線2 表之扇形區域 (65°)	0.00000000	0.00000000
徑線3 表之扇形區域 (70°)	-579578447.9852200	486324061.9426980
徑線4 表之扇形區域 (95°)	53288930.1539123	609095258.8174130
徑線5 表之扇形區域 (87.5°)	120819112.0461970	-143986610.8350970
Total	-405470405.7851110	1455125162.3650300
動量收支計算角度 / 計算速度	-74.4295127(286°)/1.435517413kts	
颶風實際走向 / 移速	315°/10kts	

1966年9月27日 Inez 颶風 763mb 層各徑線之動量收支表

飛行徑線 (所占夾角)	X 方向動量 (kg·m/s) 註: 負號表向西	Y 方向動量 (kg·m/s) 註: 負號表向南
徑線1 表之扇形區域 (50°)	0.00000000	699474849.7462760
徑線2 表之扇形區域 (37.5°)	451871661.1827820	379165344.2379370
徑線3 表之扇形區域 (92.5°)	-3413882043.2254400	2390425941.2252200
徑線4 表之扇形區域 (117.5°)	-3345709605.7789100	896480186.9775070
徑線5 表之扇形區域 (62.5°)	66890223.9073020	-56127562.2099828
Total	-6240829763.9142600	4309418759.9769500
動量收支計算角度 / 計算速度	-34.62586095(330°)/15.22351042kts	
颶風實際走向 / 移速	275°/10kts	

1966年9月27日 Inez 颶風 520mb 層各徑線之動量收支表

飛行徑線	X 方向動量 (kg·m/s) 註: 負號表向西	Y 方向動量 (kg·m/s) 註: 負號表向南
徑線1 表之扇形區域 (55°)	0.00000000	-675554571.8923190
徑線2 表之扇形區域 (60°)	0.00000000	0.00000000
徑線3 表之扇形區域 (70°)	466711492.1467940	-269456005.6248440
徑線4 表之扇形區域 (60°)	0.00000000	-311617153.1900470
徑線5 表之扇形區域 (55°)	-412313190.1540030	-238049131.3258470
徑線6 表之扇形區域 (60°)	0.00000000	0.00000000
Total	54398201.9927917	-1494676862.0330600
動量收支計算角度 / 計算速度	-87.91565779(272°)/2.2972336kts	
颶風實際走向 / 移速	275°/10kts	