

熱帶氣旋之平均溫度結構

C. L. Jordan 原著
季 瑜 節 譯

導

言

熱帶氣旋兩區之三度空間溫度結構，因有高空探測之助，而能獲得頗為詳細之描述。暴風眼亦若是，惟不似前者之詳盡。瑞爾 (Riehl) 氏所求得之溫度模型，係採用熱帶氣旋中施放探空氣球，所得紀錄之有代表型態者，而非由高空紀錄以統計方法，求出平其均數值。本篇即擬求出颶風之高空紀錄統計，而與下述各項，加以比較：

(a) 熱帶氣旋之平均風場 (Mean Wind Field)——Jordan, 1952

(b) 瑞爾氏一九五一年求得之溫度結構。

(c) 各個熱帶氣旋實例。

平均 高 空 紀 錄

大西洋開雷濱墨西哥區域，自1946至1952年間，在成熟颶風，中心距離六度緯度內，所測得之探空紀錄，約三百次，為本篇研究之基本資料。北緯三十五度以北之報告，不包括在內。牽入已完全轉向風暴之環流內者，亦未列入。

各測站與氣旋中心之距離，測站至氣旋中心連線與中心移動方向成所之角度，與各規定等壓面之高度，露點，溫度，均製列成表。

鑑於探空紀錄，強烈風暴者較緩弱者稀少之事實，以及紀錄時間與空間分配並不均勻，故對於所得結果之解釋，特加注意，尤以對微小之現象為然，因此等現象可能由於紀錄之不均勻而發生者。

平均溫度——自風暴中心，每隔一緯度距離，作一同心圓，求出此等地帶各規定層之平均溫度。各層各地帶之觀測次數見表一。其中有少數距風暴中心一緯度內之紀錄未採用。

表一 表二平均值之觀測次數

高 度	中 心 距 離 (緯 度)				
	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6
地面	27	40	58	81	87
850 mb	27	41	58	82	89
700	27	41	58	81	89
500	23	40	56	78	83
400	21	39	54	77	81
300	21	35	49	77	81
200	18	31	45	73	73
150	15	27	34	59	59
100	10	12	20	44	41
50	3	7	9	20	23

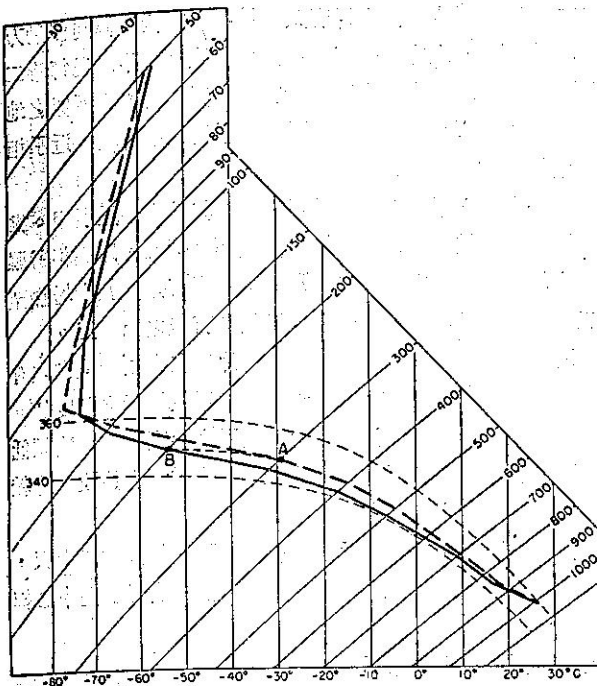
表二 平均溫度

高 度	中 心 距 離 (緯 度)				
	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6
地面	25.7	25.7	25.8	26.3	26.3
850 mb	17.3	17.1	17.2	17.4	17.3
700	9.4	9.2	8.9	8.8	8.9
500	-4.6	-5.1	-5.9	-6.0	-6.2
400	-14.8	-15.0	-16.0	-16.5	-16.9
300	-29.4	-30.3	-31.0	-31.0	-31.9
200	-51.6	-52.4	-52.9	-52.9	-53.7
150	-65.6	-66.3	-66.5	-66.1	-66.4
100	-75.1	-75.3	-73.2	-72.8	-72.1
50	-59.7	-62.6	-59.0	-58.2	-57.0

平均探空曲線，由表二之溫度紀錄而求得，內心（一至二度緯度地帶）與外週（五至六度緯度地帶）之探空曲線見圖一，近地面之溫度分佈，頗為均勻，至700毫巴面以上颶風中心為暖性之特徵，始趨顯著。內心與外週之溫度差，近地面處為零，向上漸增，至300毫巴附近，達二度餘之最高值。再上漸減，至100毫巴以下，則其差逆轉。此溫度之數值，較諸強烈之熱帶風暴，顯屬微小，後者內心較外週溫度，高出可達攝氏十度。在下平流層一對流層頂至70毫巴——外週較內心溫度高攝氏二至四度。

作此項研究之初，曾就各地帶分象限而計算其平均溫度。所得數值過小，不值申述。但在整個對流層中，風暴移動方向右側，外週之平均溫度，均高於其左側相當地帶——約 0.5°C ——此種不對稱，究係風暴環流之結果，或係普通氣流所引起，而風暴在其中移動，仍未獲悉。若假定為後者，則可謂颶風在略有斜壓之氣流中運行。

平均對流層頂之構造——將探空紀錄高空部分，繪入熱力圖表，而確定對流層頂。大多數紀錄之上部，有峻

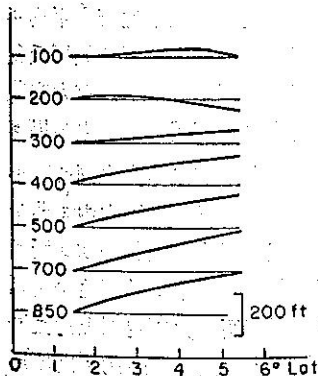


圖一 1-2緯度(虛線)與5-6緯度(實線)平均
颶風曲線(T- ϕ 圖表)

與垂直切變，與平均風之分佈相較結果亦頗良好。

表三 平均對流層頂之平均氣壓(mb)高度
(ft)溫度(°C)與位溫(°K)

高 度	中 心 距 離 緯 度				
	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6
氣 壓	115	118	123	127	127
高 度	51,880	51,330	50,570	49,920	49,870
溫 度	-77.2	-76.6	-74.7	73.6	-73.5
位 溫	364	363	363	362	362



圖二 標準等壓面之高度
剖面

四至六度緯度，圈形地帶內，氣旋移動方向之右方及左方四十五度至一百三十五度地區(圖三)，高度報告，加以平均，可求出垂直於運動方向之高度梯度(ΔH_n)。並假定其平均緯度為二十五度而變算為地轉風速度(U_{gn})，見表五。將對流層中各值，衡量其所代表之氣壓間隔，而加以平均，得到之地轉風速度為每時十至十一海哩。此與根據平均風速(考慮自地面至300毫巴通過風暴平均風之強度)，而求得之平均值(每時 9.7 海哩)，甚為接近(Jordan 1952)。

四至六度緯度，沿運動方向象限內之平均高度梯度(ΔH_s)，亦用同樣方

急之溫度遞減率與明顯之對流層頂。遇有不顯著情形，以溫度遞減率變化最大之氣層(200毫巴面以上)為對流層頂。有大多數之對流層頂，適位於150與100毫巴面上，此種紀錄並未列入表三，以計算對流層頂。表三表示之要點為：對流層頂之高度，向中心增加；對流層增高，溫度漸低；位溫頗為一致。

平均氣壓高度紀錄——各同心圓地帶之地面平均氣壓與標準等壓面之高度如表四。是項數值，乃平均各個氣壓及高度數值而求得者。另外由平均後之探空曲線，求出自1000毫巴面起，各標準等壓面之高度。一般而論，此兩種高度數值，頗為一致，可互相換用。大多數之差異，在二十呎以下；最大者達四十呎，發生於100毫巴面，該處之觀測次數頗少(參看表一)。

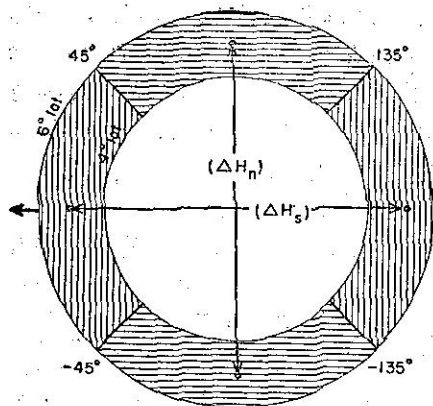
自中心向外之高度梯度(圖二)，隨高度逐漸減小，至400毫巴面以上，則銳減。在200毫巴處，最大高度在二度至三度之地帶，向中心向外遞均減少。此種高度分佈，與平均風之分佈(Jordan 1952)一致，因四萬呎與四萬五千呎之氣流形勢，內心氣旋環流以外，圍以反氣旋環流。由圖二所示之地轉風大小

表四 平均地面氣壓(mb)與規定等壓面之
高度(10呎數)

高 度	中 心 距 離 緯 度				
	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6
地 面	1005.0	1006.6	1008.6	1009.7	1011.6
850mb	482	490	495	497	503
700	1020	1024	1032	1034	1039
500	1913	1916	1923	1924	1928
400	2479	2486	2488	2489	2492
300	3173	3173	3176	3176	3178
200	4079	4080	4079	4077	4075
100	5448	5448	5450	5454	5450

表五 穿過風暴之平均地轉風分力(每時海哩)：沿
移動方向(U_{gs})；移動方向之右方(U_{gn})

	高 度 (mb)						
	850	700	500	400	300	200	100
U_{gs} :	3	5	8	12	13	19	7
U_{gn} :	9	7	4	-6	-2	-2	1



圖三 計算地轉風垂直於風暴行徑分力之區域分佈，粗箭頭示行進方向

溫度為困難。溫度有攝氏五度之誤差，極為明顯，但露點誤差，雖達十度，亦不易察覺。

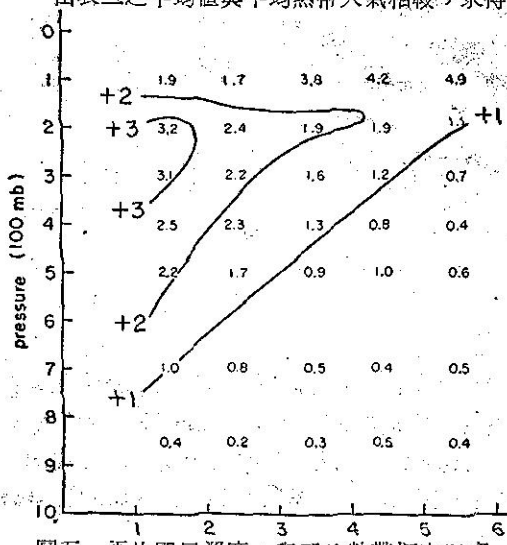
因上述之濕度誤差，靠近風暴中心處之氣壓高度值，實際上應較所得者為低。此項可能誤差最大約四十呎，在 400 毫巴以下，所佔之百分比極微，但在梯度微弱之上部對流層，則頗關重要。其影響為使高度梯度向中心轉向之高度，較圖二為低。但圖二之代表性，並不因此而改變。

因濕度難以確定，以下各節，吾人假定，在風暴之內心，雲底以上之深厚氣層屬飽和狀態。此種假設，殊少疑問，因由飛機探測報告獲知，發展良好之風暴，即使二雷達影像 (Band) 之間，仍有連續雲層。在外部地區，雷達影像速隔之地，相對濕度，有較大之水平差異，自無疑問。

溫度場之維持

上節中對於颶風溫度結構之一般情況，曾利用平均探空紀錄，加以討論。現再將風暴內，溫度結構與熱力程序以及垂直環流，加以詳細討論。為便於討論起見，假定颶風中之垂直環流如瑞爾氏 (1951) 所求得者 (圖四)。以後再利用現有紀錄，加以細微修改，惟甚主要部份，仍屬不變。

由表二之平均值與平均熱帶大氣相較，求得其偏差，則對溫度結構之要點，更易看出。此項偏差沿放射軸之剖面如圖五。

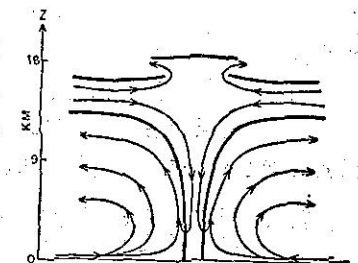


圖五 平均颶風溫度，與平均熱帶探空溫度偏差之垂直剖面圖

法求出 (圖三) 由高度梯度求出之梯度風 (U_{gn})，在低空偏向移動方向之右方，在高空則偏向左方 (表五)。整個對流層之平均為每時二至三海浬，而偏向移動方向之右方。概括言之，與風暴移動近似之地轉風，似在 450 毫巴附近。此高度之 U_{gs} 與平均風暴速度，近乎相等。 U_{gs} 在此附近為零。

平均濕度——求得之平均露點，結果不佳，其數字不足引用。靠近風暴中心之濕氣含量較外圍為大，惟數值頗小。例如，地面相對濕度由百分之八十增加至百分之八十五，700 毫巴由百分之五十增加至百分之七十五，300 毫巴由百分之三十五增加至百分之四十五。

此項計算所得之結果，與探空儀中之濕度片，在大雨中失常頗有關係。由於「洗刷」(Washing Out) 效應，可形成極低之濕度值。平均時若包括少數乾 (dry) 紀錄，則所得之平均濕度值，可達頗低之數值。由於濕度變化之範圍極大，欲察知而消除露點之錯誤，遠較



圖四 成熟熱帶風暴之垂直剖面假想模型，表示垂直環流，粗線表示眼之界限及對流層頂 (瑞爾1951)。

此圖中最顯著之一點為颶風較平均環流略暖。惟在上空，則更顯著，風暴所及之區域亦大形擴展。但 100 毫巴附近情形複雜，故偏差分析未應用於該處。五環形地帶中平均颶風探測紀錄與平均熱帶探測紀錄，均經過 125 毫巴與攝氏負七十四度附近。故此處之等密度面與偏差形態，無重大意義。且可因決定對流層頂所用平均方法，而獲得不實之結果。

假設自雲底以上空氣即飽和，在一至二緯度之同心環形地帶內，空氣團上升，可以絕熱曲線表示之。圖六中 a 曲線，即係表示，自地面起，以一千呎為雲底之溫度分佈，所用地面平均值如表二與表四所列。此曲線與平均熱帶曲線 (圖六中虛線) 之偏差與圖五中者不盡相同，尤以內圈上對流層偏差最大處為然。假定上升空氣團，有向外之運動，則可形成圖五中之垂直偏差分佈。200 至 300 毫巴之偏差最大值，可由一度緯度半徑內，較低之氣壓面空氣團上升而形成。例如

圖六b曲線，即係自較低之氣壓面(970mb)以雲底爲一千呎而得者。若使雲底高度減低，則較高之地面氣壓，亦可得同一曲線例如氣壓990毫巴，雲高五百呎。是以若有向外流動之情形如圖四所示，則觀測所得之偏差分佈，與空氣團上升者頗一致。由平均風之分佈(Jordan, 1952)亦測得有此種向外流動。此種流動在三萬呎，始形顯著，於四萬呎附近，達每時十五海浬之最大值。至四萬五千呎，減至每時約十海浬。此種外流型式，與地面氣壓分佈應有之眼之界限(eye-boundary)坡度符合(Haurwitz 1935)。

利用空氣團分析，可粗略決定上空外流地區，水平與垂直運動之比例。例如：假設一至二緯度環形地帶，300毫巴處(圖一A點)空氣，濕絕熱上升，至200毫巴處，其溫度與五至六緯度環形地帶之實際溫度(圖一B點)相等，故知上升空氣，向外移四緯度之距離，上升約一萬呎。是以環流上升部分之平均坡度，亦即眼之界限，在300毫巴以下，近於垂直，在300至200毫巴層間爲一與一百二十五之比。

關於眼之界限，未發現有結論性之證明，表示該界限爲內流與外流之分界。對於各個紀錄，嘗試分別確定其眼之界限，亦乏成效。多數靠中心紀錄，在400至200毫巴處，確屬穩定層，但頗不規則，不能作數字上之運用。且與對流層頂之情形相同，大部分遞減率變化，發生於標準面上。眼之界限，當富變動性，且空氣必經過該界限而混合。吾人未能發見該界限，可能僅因其爲非固定狀態，尤以外週爲然。

由平均颶風紀錄，可對圖四所示之情形，作下列註釋：(a) 對流層頂坡度，向中心增高，如圖四所示者，已予證實。但未發見雙層結構。惟所用紀錄，並非全部通過中心。(b) 對流層頂高度較圖四所示者約低一公里。但所用之平均紀錄，以較弱之風暴爲多；(c) 建議圖四應採用之水平比例尺如次：眼之界限應位於距中心1.5緯度距離處，整個自中心至外週之範圍約長六緯度；(d) 在上對流層，眼之界限頗弱，可能環流非固定狀態。

吾人主要重視者爲上升之內心部份與上空外流氣層。並以此爲保持風暴環流之主動力。外週之環流屬被動，其溫度偏差至爲微小。故僅以風暴中心附近，爲其生存之適切解釋。在下對流層中，甚至六緯度距離處，均無較大溫度偏差，可爲下沈補償氣流必發生於風暴中心遠處之觀念(瑞爾1951)之有力支持。上對流層偏差增大，區域寬廣，爲外流氣層，未散失熱量於外週前，輸送熱量至遠距離之明證。環流之下降部分，分散於廣大地區，可說明不論任何完善之颶風學說，必須作廣泛系統之研究。

實 例 研 究

以百慕達(Bermuda) 1953年9月4日至7日之颶風實例，與琉球1951年8月16日至19日之颶風實例，與此平均溫度結構相較，大致均甚符合，原例過長從略。

轉接第2頁(中國天氣類型之應用報告)

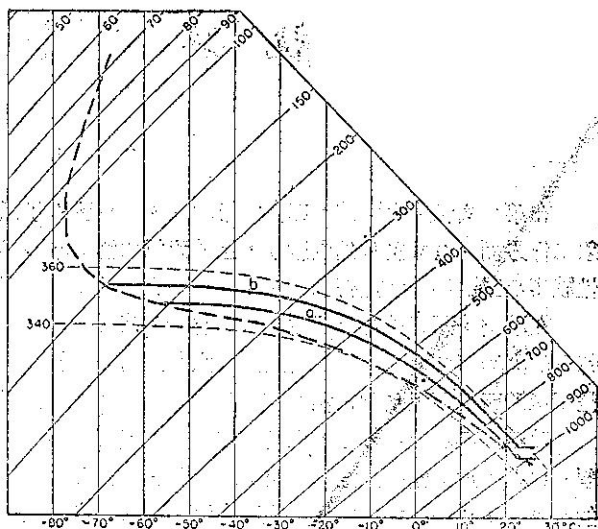
確性，筆者意見此後繼續研究天氣類型，必須應用其他方法，如平均天氣圖方法，洛司貝氏長波運動方程式等；同時抄襲埃里奧特氏(R. D. Elliott)方法(附註四)，區分中國地域爲若干小區，輔以高層氣流型式而決定地面天氣類型，方克有成。

附註：①請參閱鍾萬殷三氏原著。

②參閱中國天氣分析月報二卷八期及二卷十一期

③參閱 Journal of Meteorology Oct. 1951

④參閱 Compendium of Meteorology: Extended-Range Forecasting by Weather Types by Robert D. Elliott



圖六 平均溫帶大氣(虛線)與由地面一定之氣壓，溫度，濕度上升之絕熱曲線(實線)之T- ϕ 圖表