

副熱帶低壓近中心冷面之結構

樊滌兮譯

Structure of A Cold Front Near the Center of An Extratropical Depression

撮要

1960年10月美國麻州 Bedford 所施放之逐時高空氣象探空儀與傳統氣象觀測，已全部用於東北向移動低壓中心以南冷面之詳盡分析。據分析證明在此事件中，每次於弱冷面過境後數小時在整個對流層，從一氣團到他氣團之運動中，均有動力性重大改變存在。由經過 Bedford 之奇寒證明，其本身係存在於一高約 500m 的垂直柱中。此柱之方圓約 8km，且於過境後二小時地面氣溫猛降。此種暗示證明並不例外，抑且反應一標準結構的強烈冷空氣之入侵。其間水平風速一般隨高度增加直達冷面。以此情況，欲根據古典派挪威氣象學理論，所謂楔形冷氣團者實殊為費解。

一、引言

一般對副熱帶界面之形容，多強調謂有前進冷氣團之楔形特性。此種觀念與挪威派極面學說（白堅尼(2)(3)白奇龍(1)二氏）之被介紹而構成繪圖氣象思想，並業經成為教範標準已歷三十五年。甚至美國國家氣象分析中心之最新手冊亦稱“……主要繪圖工具即為挪威氣旋與界面模式……”。下面吾人將據一例以分析無楔形指示的冷氣團存在，並指出在該種情況下，這種存在可能被認為是對流氣旋氣流場一標準特性之冷面。

以可用情報透過戰時氣象偵察飛行及嗣後北半球中高緯度之雷達網，使甚多界面研究業已完成。此處僅選最切近本題之宏文一篇以明之。Taljaard, Schmitt 及 Van Loon(4)強調應以所獲較新較佳資料考慮上述理想界面模式，修正氣象圖表分析之標準與概念。Schwerdtfeger(5)(7)表示考慮垂直於界面之風分速是重要舉措。該處此分速隨高度增加，則前進冷氣團楔即不能持久。此說證諸副熱帶低壓之西南暖區及中心附近常甚正確。在此諸例中常有 100—300km 之過渡帶出現。此過渡帶氣流隨強烈之不安定而範圍增大且與破一對流層內上層較下層前進為速的冷空氣氣流所推動而產生的不規則垂直運動相一致。相反，如垂直於界面的分風速常不隨高度增加，（即面區遠離此副熱帶低壓中心，而該處冷氣團蔓延面積甚大，水平厚度梯度較不顯著）則楔形冷氣團牽延數日之久。對於這些觀念

有數個支援性證據可發現於 Sansom(5)，及 Miles (9)的五十次冷面研究中。在對英格蘭的冷面廣泛研究中更獲致二基本冷面典型例據。彼等特重視多數界面研究中的「楔形」問題。但事實證明不是根本屬於子虛，就是即使存在，而其解釋亦難自圓其說。但亦有少部份此類楔形特性，如多數教範所言呈現其典型特性。

此外，華盛頓大學 Kreitzberg 及 Reed (6) (7) (8) Reed (13)(14)亦曾利用連續雷達回波及短時間距探空精研結果，完成一連串界面研究工作。此類研究其中有數例指示，冷暖空氣間有發展性的過渡帶存在，且大部對流層中同時發生的溫度下降情形較楔形冷氣團之前進為顯，且經過一地之溫度下降常較較高層為晚之事實。

因精研之需，短波間距資料在處理冷面結構之研究上，需透過對流層資料之運用，所幸吾人有此資料，在本研究中，一連串 Bedford 1960年4月逐時探空資料已由 Court 及 Salmela (5)予以發表。

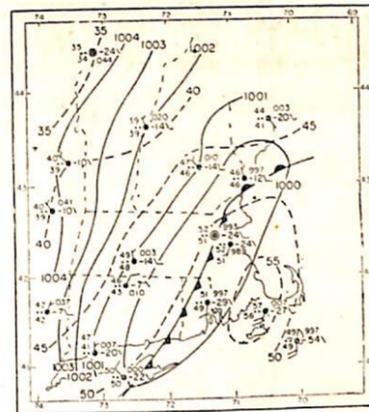
二、資料來源與分析方法

除 Bedford 之雷文送外，為美國大陸東半部的定時探空亦取得於美氣象局(19)出版物之表列資料，地面氣象觀測之轉錄，氣壓計曲線圖及部份溫度計曲線圖，測風汽球紀錄及從美國國家氣象紀錄中心所取得之新英格蘭區同年四月份 4,5,6日的十九個雷文送站資料等。

由上述觀測資料可供吾人備製逐時地面圖及十二小時高空氣象圖。（為標準氣壓高度及對流層頂用絕對地誌，標準空氣層用相對地誌）此外，為瞭解 Bedford 上空之每時氣壓溫度變化垂直剖面圖（參見圖一），經利用逐時探空資料完成。為此圖根據探空汽球所達各氣壓高度層之真正時間，會將其值從地面至 200mb 每 50mb 填製一次，從 200—100 mb，則每 25mb 填製一次。

所適於敘述者，即所有曾被 Court 及 Salmela 接受出版的溫度值除下述為例外可予接受；凡一高度層如其溫度之改變係被一反符號之改變所迫隨且以等值出現於次一小時內，則此二改變均予捨棄，姑勿論其為印製，計算錯誤或儀器誤差甚至為實有現象，悉因其變化與吾人所討論問題無所關聯而捨棄之。

在 Court 與 Salmela 的原出版物中，U 與 V 二分速給出以 1—4 分鐘為間隔之公尺變位數；以 u 代表 W-E，以 v 代表 S-N 習慣用之分風速符號。從這些資料中按一分鐘間隔將分風速計算及縮減為每秒公尺。因吾人欲求提請注意垂直於界面的空氣運動及其隨高度改變之重要性，故此分速經決定以 $V_N = \sqrt{u^2 + v^2} (\sin \alpha)$ 表示之，其中 V_N = 垂直於界面之風速； α = 向量風與經過 Bedford 時地面面向二者所成之交角。（參見圖二）此面之方向實際與 850—500mb 之等溫線同。（參見圖 3—6）關於原風資料亦經點於風速剖面圖。（參見圖 7—8）最大之錯誤



圖二 四月五日 0900 GMT 地面圖（地面等溫線單位 °F，點線代表六時前界面位置）

可能因風向或風速之波動而造成。

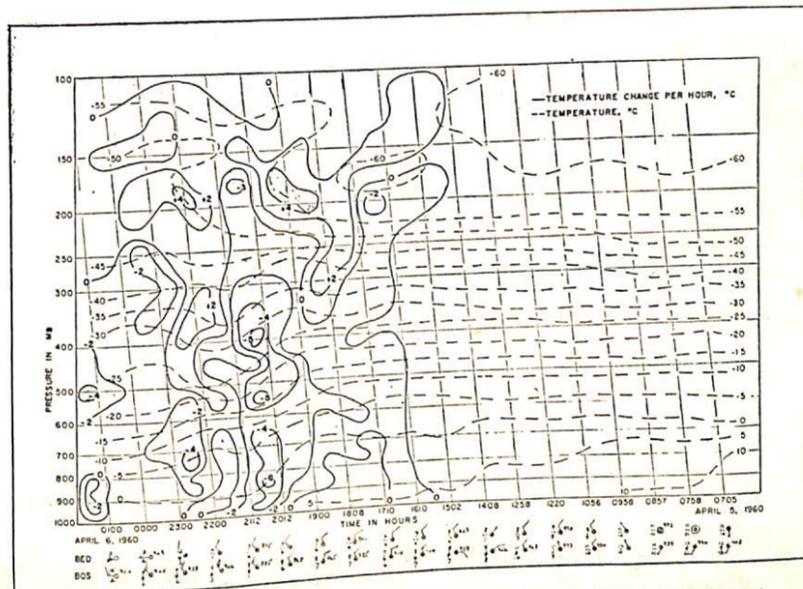
圖七與圖八中之 V_N 值亦經予以垂直平滑，以 $\bar{V}_{N2} = (V_{N1} + V_{N2} + V_{N3}) / 3$ 而成。在這些圖表中過境時之界面速被假設為以地面圖所決定的六小時平均速。如 4 月 5 日 0300—0900 GMT 圖中被實線（垂直）所指出者。斷線代表研究過程所察覺之地面界面最快運動速。表示於地面界面速一些加速情形可由當其通過 Bedford 後向大西洋移動時的三小時中看出。

根據 Rapp(12)之研究可獲 Bedford 風資料之精確性估計，他利用 Bedford 測風所用之接收器，程式 AN/GMD-1，曾作過一連串特殊試驗分析工作，結果對 u, v 風分速指出其可能儀器誤差小於

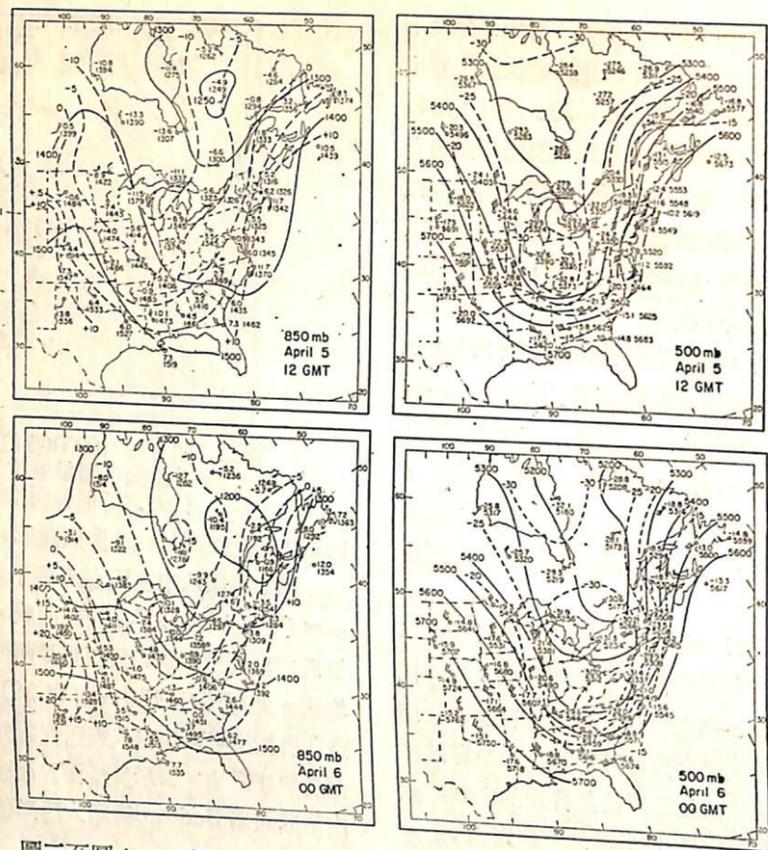
1m./sec，低空 8km 處更不規則的可增至 3.5m./sec。Rapp 說最大的誤差亦可能在地面正常作業情況造成。

三、天氣圖特徵

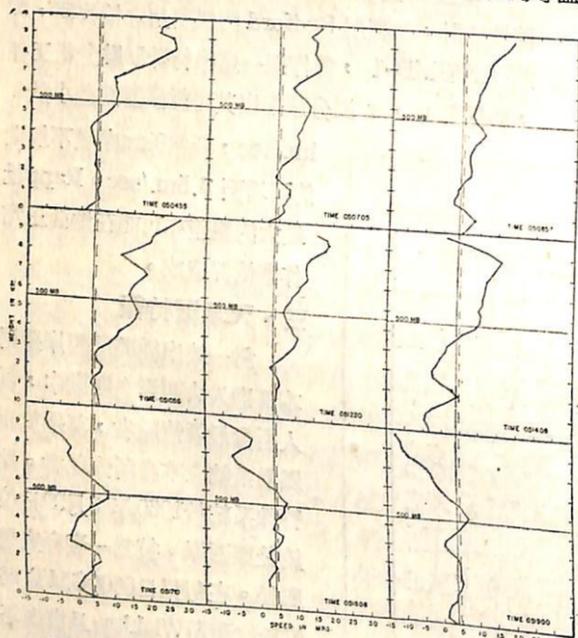
對一連串從美國西岸通過本部進入大西洋之運動中，吾人所覺最饒情趣者，莫過於該風暴系統之本身所表現者。此特殊系統於 1960 年 3 月 29 日位於美國西岸。彼為一發育完整風暴。在 4 月 1 日 0600 GMT 時位於坎薩斯 Wichita，且為泰洛斯 1 號衛星所攝得之第一風暴（Bristor 及 Ruznecki (4)）至 4 月 4 日 1800 GMT 吾人已發現



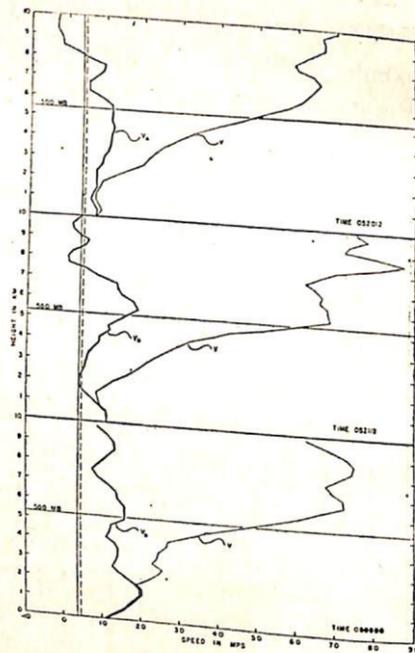
（圖一） Bedford 之逐時溫度（斷線）與溫度變度剖面圖（下註 Bedford 與 Boston 二地逐時地面觀測資料）



圖三至圖六 四月五日至六日850mb及500mb等壓面圖(實線為等高線單位公尺, 虛線為等溫線單位°C)



圖七 垂直於地面面及平均等風速線 V_N 之風分速剖面圖(平直之實線及虛線——「每秒5m」垂直線, 代表地面面最大速之平均值)

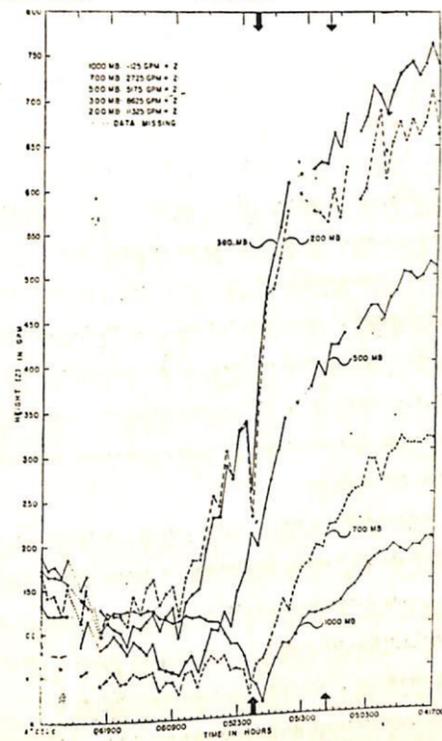


圖八 同圖七。最接近主面過境時之探空報告所顯示情形 (V = 總風速)

此一風暴之主要氣團界限已沿東岸以弱而開口的波型及低壓, 中心位於賓州東及阿拉巴馬東北的一槽中。一顯明的地面暖面於4月4日1830GMT在Bedford過境。直至5日0900GMT當一弱的地面冷面顯示過境時, Bedford始終處於暖區中。然後風向順轉西北, 但氣溫下降緩慢且只發生於對流層最低之2000m內。(見圖1) 僅注意海平面氣壓場(見圖3)吾人即可獲得地面界面係代表主要界面帶之印象。總之, 問題之數結為發生十小時後貫穿全對流層從一氣團至他氣團之動力改變。此種現象已清楚顯現於圖1, (如圖中 Bedford上空粗實線所指示之溫度逐時改變率)。其平均值出現於對流層較低的8km處, 在從1900—2100GMT的二小時間隔中, 其溫度變化值約為7°C。在下述討論中, 此面將被應用為主面及地面界面之前身而出現之。

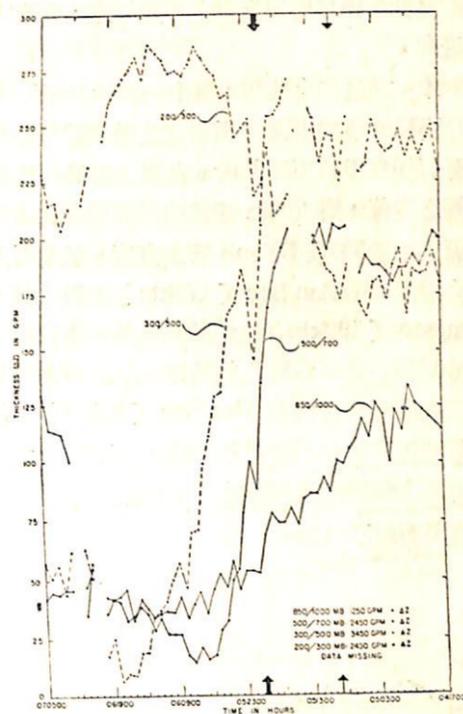
四、成果及其解釋

就1960年4月5日位於新英格蘭之低壓後部冷氣團隣界區之對流層溫度場分析, 證明無傾斜的不連續面存在。相反, 吾人發現當此全系統作東西向移動而界面掠過Bedford時, 主要之冷卻係發生於8km範圍內地面以上約500m高度的近似垂直空氣柱層中, 而主要之地面溫度下降時, 約在過境的二小



圖九 掠過 Bedford 時之標準氣壓面高度之時間變度, 過境之地面面與主面分別以小及大箭頭表示。

時之後。(參見圖1,9及10)全部此種發生過程共約十小時, (相當於250km距離)於海平面氣壓場構成, 溫度接近地面者, 及風速達最低高度之1500m之後, 指出為一弱冷面過境。



圖十 掠過 Bedford 時之標準氣層厚度之時間變度。

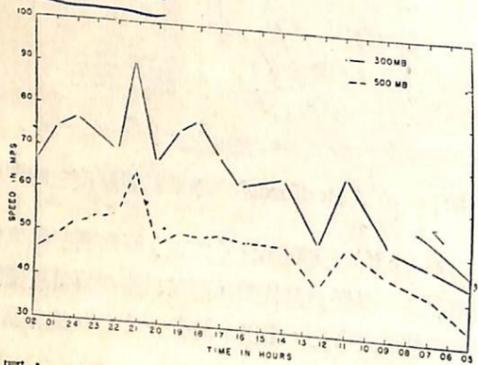
如 Bedford 僅有逐日(二次)而無高空氣象探測儀所獲之具體資料佐證, 至將易流於盲目接受冷空氣楔前進之俗見, 尤以本例有一 1:40 的相當陡峻傾斜度為然。

垂直於地面面方向及下半部對流層內面際一側主要的冷卻區近似垂直於等溫線之風分速, 指出高冷空氣以超過地面界面之運行速而移動(見圖七、八)此種情形尤當主冷氣團本身前進掠過 Bedford 時更見逼真。2012, 2112及 2400GMT 各次探空(2200及2300GMT 探空在對流層下部未作資料探測)中其垂直於地面界面及低對流層等溫線之風分速, 其超過地面面速所有各層高度共約達 8km。2112GMT一次決定性探空更高度顯示出其重大意義, 其隨高度增加之分速, 此高度範圍為2—6km。(見圖8)

主面前後冷暖空氣之強烈對比, 達於整個對流層, 近似垂直向發展的過渡帶, 顯示該處必有一隨高度增加的傾斜等壓面存在。似此, 一顯著的水平氣壓梯度必存在於高層。然後又在上對流層發現一

發展完好的噴射氣流。此即暗示，此一事例如依照習慣在高空圖上繪出間隔甚為均勻之等高線，並不能適當表示或刻畫出其真正氣流型之內在含義，且相距遠達數百公里之側風站，其所測之風與飛行員於穿插此等區域時所發現之事實相比，其意不同殆無疑義。

本文所述即此情形，圖十一表示 Bedford 所測 500 及 300mb 層之風速。其層次之階段為從 4 月 5 日 05 00 至 4 月 6 日 02 00 GMT 者。此風之計算係取相隔二分鐘之變位，與 700m 相當的厚度層作比求得一致，而集中於 500 及 300mb 層之高度。於是吾人在 300mb 層發現—91m/Sec (177kts) 之最大值，超過 72m/sec (139kts) 之地轉風甚多。為符合高空圖根據 4 月 6 日 00 00 GMT 相隣探空站就等高線計算，亦超過所報告最大值 41m/Sec (80kts)。故吾人可謂界面垂直結構之真正鑑定，實不需多餘精研一般所謂冷氣團楔概念而能決，自非立即尋求其實際含義與應用不為功。

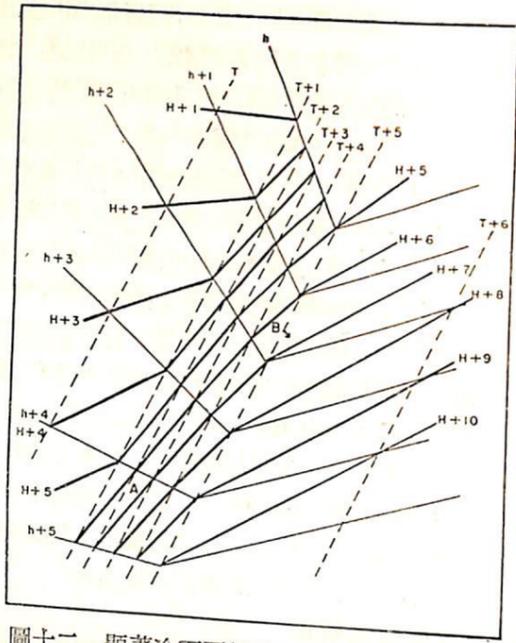


(圖十一) 四月五日 05 00——六日 02 00 GMT 掠過 Bedford 之 500 及 300mb 層風速之時間變度。

五、總結

如引言所述此一問題，不論為吾人所遭遇之特例，或至少為一例外現象，或一有關冷氣團顯著垂直發展例證中冷面之一般特性。然此特性迄目前止，尚未為美國氣象學界所注視。此種漠視態度推其因，實部份由於資料之不易獲得而無從證實，如正常探空的時空間距過大；部份或則由於挪威學派模型結構之深入人心牢不可破也。

凡可能被認為複雜大氣程序之過度簡化，及不能在前述各節對分析特例中之細微末節給予妥貼解釋者，圖十二法可為最好說明。在此圖中吾人以 T 線及 1000mb 高度代表其逼真假設情況中之厚度層 (1000—500mb 厚度層)，以 h 線代表地面層



圖十二 顯著冷面區氣流場略圖。

此圖表示在圖中央之東北有一低壓系統及一顯著的冷面或過渡帶，介於西北與東南之冷暖空氣間。因 H 線代表高空氣壓面 (如本圖之 500mb 層) 之高度，一強烈的高空風場出現於圖中之過渡帶，當吾人檢查圖十一中之逐時探空可得證明。在此種環境下，高空等壓面之坡度 (相當於水平氣壓梯度) B 點處較 A 點為小。茲假設空氣穿過過渡帶之運動路徑至為長遠，而風接近地衡 (Ageostrophic Equilibrium) 狀態，一空氣泡從 A 點向東北運動且以大於地衡之速的風速抵達 B 區。最後，當科氏力大於氣壓梯度力時，將有一與地轉風偏差之力偏向右方；此「似地轉」風分速 (B 點小箭頭所示方向) 必趨垂直於厚度線增強其速。此種事實中之似地轉風分速甚為重要，且業經 Meiburger 及 Angell (1) 兩氏分析多次探空飛行予以證實。在此泛例如吾人所列舉之第十二略圖中，其隨高度增強之作用亦如過渡風隨高度增強之程度同。實際此種情形尤當通過對流層時之發生為習見。

一同型之似地轉風分速，但符號相反，可期於進口區發生，該處空氣緩慢進入過渡帶並轉變從屬為更強烈之水平氣壓梯度。(如圖十二中 H+4 及 H+5 沿 T+1 間之氣流)。總之，該處之合成風將趨於平行厚度線，並由此減小冷空氣平流。

氣壓變化相關此種似地轉風分速，在過渡帶之東緣呈負值 (居面前區) 其後為正值。此一問題之重要性究若何，尚需配合實測風及溫度場而定，尚有

待以後研究。就此保留以便吾人製訂有關冷面區流體場之下列總則：

“如某處之高度及厚度場出現冷空氣平流，風隨高度增加，及一等壓面之降坡運動，則必有一垂直於平均等溫線隨高度增加之風分速產生。”

此種情況在甚多發展完好之副熱帶低壓冷面區可期實現。

Kreitzberg 及 Reed (6); Miles (9); Reed (13), (14); Sansom (15)。

(取材於 1964 年 11 月份 Monthly Weather Review)

REFERENCES

1. T. Bergeron, "The Physics of Fronts," Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 18, 1937, pp. 265-275.
2. J. Bjerknes, "On the Structure of Moving Cyclones," Geofysiske Publikasjoner, Vol. 1, No. 2, 1919.
3. V. Bjerknes, "The Structure of the Atmosphere When Rain is Falling," Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, vol. 46, 1920, pp. 119-140.
4. C. L. Bristol and M. A. Ruzicki, "TIROS I Photographs of the Midwest Storm of April 1, 1960," Monthly Weather Review, vol. 88, Nos. 9-12, Sept.-Dec., 1960, pp. 315-326.
5. A. Court and H. A. Salmela, "Hourly Rawinsondes for a Week," GRD Research Notes No. 60, U. S. Air Force, July 1961, 350 pp. (AFCRL 638)
6. C. W. Kreitzberg and R. J. Reed, Detailed Analyses of Selected Pacific Storms Based on Continuous Radar Records and Short-Interval Serial Ascents, vol. 2, "Case of February 1-2, 1961," University of Washington, Dept. of Meteorology and Climatology, Feb. 1962 (AFCRL-62-243).
7. C. W. Kreitzberg and R. J. Reed, Detailed Analyses of Selected Pacific Storms Based on Continuous Radar Records and Short-Interval Serial Ascents, vol. 3, "Case of February 7-10, 1961," University of Washington, Dept. of Meteorology and Climatology, Mar. 1962 (AFCRL-62-447).
8. C. W. Kreitzberg and R. J. Reed, Detailed Analyses of Selected Pacific Storms Based on Continuous Radar Records and Short-Interval Serial Ascents vol. 4, "Case of March 8-10, 1961," University of Washington, Dept. of Meteorology and Climatology, Apr. 1962 (AFCRL-62-448).
9. M. K. Miles, "Wind, Temperature, and Humidity Distributions at Some Cold Fronts over Southeast England," Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, vol. 88, No. 377, July 1962, pp. 286-300.
10. National Weather Analysis Center, Synoptic Meteorology as Practiced by the National Meteorological Center, U. S. Weather Bureau, Washington, D. C., Oct. 1960, Revised Mar. 1963.
11. M. Neiburger and J. K. Angell, "Meteorological Applications of Constant-Pressure Balloon Trajectories," Journal of Meteorology, vol. 13, No. 2, Apr. 1956, pp. 166-194.
12. R. R. Rapp, "The Effect of Variability and Instrumental Error on Measurements in the Free Atmosphere," Meteorological Papers, vol. 2, No. 1, College of Engineering, New York University, June 1952, 41 pp.
13. R. J. Reed, Detailed Analyses of Selected Pacific Storms Based on Continuous Radar Records and Short-Interval Serial Ascents, vol. 1, "Case of January 6-8, 1961," University of Washington, Dept. of Meteorology and Climatology Dec. (下接第 5 頁)