



空氣之動力

R. C. Bundgaard 著
徐寶箴譯

大氣因受太陽輻射之影響直接或間接不停增加能力，太陽向太空各方向輻射熱量，可使輕氣轉化為氦氣，其被地球凸體表面及其大氣所截留者僅佔其射出總能量二十億分之一，雖然此僅為此小部份之能量，地球上之大氣仍能以之變換為無限大之空氣動力。

此種空氣動力曾經有人計劃予以利用，在 Vermont 地方 Grandpa' Knob 之大型空氣渦輪 (Air turbine) 即為一例，此一 1,250 呎之風車，高 185 呎，由空氣動力發電，可以給二千戶之應用。在高空，有一帶高速度之東向氣流，其強度遠較轉動陸地空氣渦輪者為大，此即通稱之噴射氣流，飛行人員如能明瞭噴射氣流之性質，是為能利用之良好工具，否則，如不予注意，可造成致命之害，空氣動力之威力，由此可見。

乾燥而水平方向均勻之空氣，在等壓情況下，經太陽輻射受熱而無再向外輻射時，該空氣將向垂直方向膨脹，類似一個無限高而有嚴密封閉之空氣柱中之情況。因為空氣柱之總質量不變（因地面之氣壓不變），故該向上膨脹之空氣柱重心必隨之向上移，因之其位能亦必隨之增加。該空氣柱中任一立方公尺空之位能（單位為仟焦耳）為質量（單位為噸）與其重力位高度 (Geopotential height)，（單位為動力呎）之乘積。

按以上方法，可以半統計性計算出大氣對地球之位能，由高空等壓圖中之等高線可知重力位高度，其等溫線亦即是等密度線，將等高線與等溫線圖相乘，則可得單位體積空氣之等位能線。

此種圖業已經算出，係繪於北半球 USWB 標準圖上，其包含之時間約九年。所用月平均高空圖，自地面至十九公里，共有八層，各層再每隔 20 經度分為若干條，如此即全北半球有十八條剖面圖，表示位能在南北方之垂直分佈。將此等各月各經線之剖面圖予以平均，即得全北半球位能經線剖面之月平均圖。

反之，如該空氣柱之溫度減少，即其不能目視之不規則分子運動之能亦必隨之減少，其位能及內能必同歸消失，屆時大氣將變為密度極大之薄片，溫度為

絕對零度。令此層空氣受太陽熱，按 W. H. Dines 指出 (1913)：此種太陽輻射熱只有七分之二用以增加（乾）空氣之位能，其他七分之五係用以增加其內能。位能增加，即儲備其內部之不穩能力於頭重腳輕之空氣柱中，最後造成不安定情況。空氣柱中既儲備有不穩定之能，即可轉變為製造工作之能。

各空氣柱既有經度向之溫度差異，如將各空氣柱間之理想牆壁去掉，即大氣將受產生環流力管 (Circulation-producing solenoids) 之影響而運動。此種力管之作用類似繞以線圈之鐵條，線圈通電後，即產生環形磁力線，該項磁力線自鐵條之一端進入他端射出並環繞鐵條成圓圈。因為大氣溫度場與氣壓場成傾斜，故大氣中之溫度與氣壓面將相互交差成若干格子，由此種格子所成之半水平管子是為力管，環繞此等力管有經向之環流，可使頭重腳輕之空氣柱趨於正常。

大氣中如此造成之新環流，稱為赫得立細胞 (Hadley Cell)，其向極之高空空氣，因趨近於地轉之軸，故將偏轉向東。此一向極行而偏向東空氣之動能增加，必由於力管所加之工作，地球偏向力並不能產生動能。由於此等力管產生之非地轉環流，故造成高空半地轉性之西風帶。微弱力管之環流可部份或全部被地球偏向力所抵消。故僅有部份之位能及內能係用以製造運動，R. Fjortoft (1951) 曾強調位能對維持地面圖上所見諸種擾動之重要性。鐘擺自位能變為動能，及由動能變為位能是為良好之例，在此種變化時，能力總值並無增加或減少。

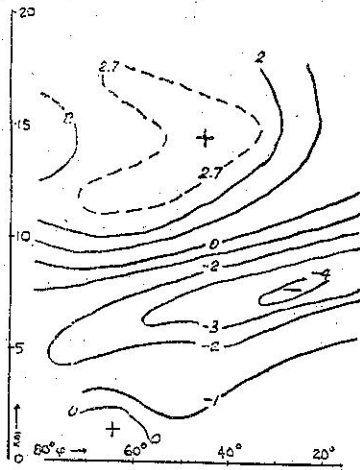
在大氣系統中，位能、內能及物質運動之總能量亦必同樣係一常數。按照 Dines 位能與內能之關係及空氣總能量不變之原理，空氣動能之增加將較位能減少快三倍半，反之亦然。

空氣位能對地球之地位並不足重視，吾人所欲知者：係在有利情況下，有多少位能可以被變改，而實際在自然界中究有多少此種變改兩問題，正如同一有鐘擺之時鐘，其安放地點之在樓上過道或樓下客廳，對於決定該時鐘之有多少動力及能走多少時間並無關係。該鐘之能量有多少及能擺動之時間，須視鐘擺振幅之變換，其重量之移位，有多少位能可變為動能而定。

以上考慮能量問題，尚不能確知：此種能量變換是否確在空中進行，及在最有利情況下究有多少位能（及內能）變為動能，位能變為動能之量，不但須視所有位能總量而定，亦須視該將變換之位能在垂直方向之分佈而定，實際大氣中有多少位能可變換為動能而從事各種氣象之變化，須由觀測方能知之。此種觀測，即本文所將討論者。

茲先討論全北半球大氣位能之變化，即自夏季至冬季之變化。此種季節變化，可用圖減方法，自全北半球一月平均經向位能剖面減去七月份者而得，求得之結果，如第一圖所示。圖中表示一月份北半球與七月份北半球之位能平均差值。圖中標示之等值線為空氣每立方公尺仟焦耳。

第一圖中之零線向極地下斜，是表示大氣之位能，在對流層頂（圖中對流層並未繪出）附近自夏至冬並無變化。最大差值在夏季下層大氣中，副熱帶沙漠地區上空尤為顯著



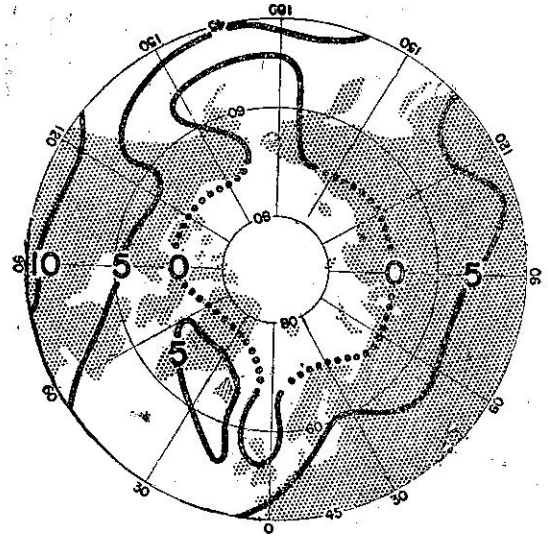
圖一：北半球一月份減七月份平均經向位能剖面所得之差

，此種來自太陽輻射之能或熱，最後係使大氣增加內能及位能，如圖一所示，位能之垂直向分佈，夏季時對流層內較多，冬季時平流層內較多，在夏季半年期間，有大量之位能進入對流層內存儲。

由第一圖可知，在北緯56度以北高緯度地區之近地面一帶，夏季之位能短少，由第二圖可知，該區地球出射比較有效之太陽輻射為多，此圖係 Simpson (1927)所製，表示七月北半球淨得輻射能圖，該項極地短少熱能之地區，且向南方多雲之冰島及阿留欣群島永久低壓一帶延伸。

前已言及：動能之增加比較位能之減少快三倍半，位能自夏至冬減少，即第一圖中之等值線甚易可改標寫為動能之值。

為容易了解第一圖中之動能數量，亦可以現時用以計算核子分裂氫彈之能之單位表示之，第一圖所標示之數值(即圖中之原數)即相當於百萬噸之 T.N.T.



圖二：七月份北半球淨得輻射強度太陽輻射減地球向外輻射單位為每分鐘每 cm^2 克卡

，此一能量係三緯度見方及七哩高體積之大氣所有者。由第一圖中，知在八公里高及北緯25度處，是於七月超過一月位能最大之區域，大氣體積 3^2 緯度 \times 7哩之冬季過多動能將相當於四個百萬噸炸彈所放出之能，此一地點適為平均最大北半球角動量北流之所在。

由圖亦可看出，自此地點，有一冬季動能高楔向北極下伸，其脊線之位置與北半球噴射氣流（圖中未繪出）之年平均位置相符合，噴射氣流向北極降低高度，自冬至夏季減小強度尤為顯著之事實。

由第一圖所示，地球上每年能量之變換實屬驚人，僅在對流層內在北緯15至80度之一層大氣中（約佔全球三分之一地面及四分之一大氣），平均一月超過七月之動能約有八十五億馬力，此些馬力均在一至七月之半年內絡繹消耗掉，此一能量相當於1953年全美國所發電量之56倍，亦即相當於十分之一噸物質核分裂所發出之能量，一克物質分裂之能已足以毀滅島，造成七萬以上人員之死亡。

在秋季半年中，由此四分之一大氣所生之加速運動，將製造出若干如同威力強大之百萬噸氫彈之能量，此種氫彈每隔十二分鐘放出一個，連續六個月。故此種冬季動能可製造 2,118 個百萬噸之氫彈，每一氫彈之威力比較廣島爆炸之原子彈約大50倍。

由第一圖可極易計算出大氣繞極旋流中緯流速度之半年變化，此一旋流繞地軸而行近似對稱，惟計算所得速度之變化值比較觀測所得者為大。此種差額當

有其物理原因，動能由大規模之高空西風，繼續不斷消散，最後變為小規模之系統。E. Eady (1949) 曾指出不安定氣旋波之存在，是將位能變為動能，故可測量之大規模運動僅是動能之一部份，其他部份係存在於擾亂之運動中，後者之範圍小，不能被高空觀測網測出，在風之構造中，吾人不能直接觀測全部動能。

空氣之擾亂運動由其分子之黏性再消耗而成為磨擦熱（尤其是在擾亂運動形成以上之空中），L. F. Richardson (1922) 亦證實以下兩種過程：

- 一、大旋渦有小旋渦攫食其速度。
- 二、小旋渦有更小之旋渦及黏性等消耗其動能。

故以上所言計算與實測值之差額，其原因第一乃由於動能之合與分其範圍大小不可計量，第二動能消耗而為磨擦熱不能測量——即各動能退化而重回復為位能及內能時無法計算。自然，原始與最後之內能與位能之總和係相等者；惟最後該項能之垂直分佈，已不再足以製造運動，在低緯度原始由力管所造成之環流，即前述之赫得立細胞，其流入大規模西風帶之動

能，現已消化於中緯度相對之經向環流中，此環流可說是一退化副產環流，通稱為福來爾細胞 Ferrel Cell。此一動能平衡計算之差額問題已變為非地轉環流強度之計量問題。J. Van Mieghem (1952) 曾導出平衡方程式，表示緯向平均動能，與分解為大規模渦動後平均動能之關係，及平均運動之動能與經向剖面運動動能之關係，由此等方程式可推出能之流動率，能之產生與轉換率。

大氣不停企求達安靜之狀態，太陽則相反的每日供給熱能使大氣具有永無休止之新動力。赫得立環流使造成環流之力管消散，然太陽每日又重新予以增強，故新鮮之動能不斷生長而進入西風帶中。

對人類言，大氣是一簡單而永不休止之製造空氣動力之機器，其馬力之巨大，人類氫彈與之比擬，微不足道。

原文題目：Air Power

原文刊載：Geophysical Magazine Vol.29 No.1,

Nov. 1958

星
下

北

星
之
氣
之
流

新