

目 錄

序言

第一章 概論

1.1 風的理論演進.....	2
1.2 風的發生與持續.....	13
1.3 大氣運動的特徵.....	15

第二章 大氣運動的觀測

2.1 測風儀器.....	21
2.2 氣流的觀測.....	30

第三章 靜態大氣

3.1 平衡狀態下的氣體特性.....	37
3.2 靜態大氣的垂直運動.....	43

第四章 力與運動

4.1 運動學——運動圖解.....	53
4.2 本體力與分層的流體.....	63

2 風的起源與運動

4.3	氣壓穩定性流體的壓力梯度·····	66
4.4	摩擦力·····	74
4.5	科氏力·····	76
4.6	牛頓第二定律與風的模式·····	79

第五章 大規模的大氣流動

5.1	主環流·····	89
5.2	大規模運動中的擾動現象·····	106

第六章 垂直對流的類型

6.1	對流環·····	117
6.2	強迫對流與界限層·····	122
6.3	本體力引起的大氣波·····	127

第七章 氣旋

7.1	溫帶氣旋·····	135
7.2	熱帶氣旋·····	138
7.3	小範圍氣旋·····	144

第八章 渦流與擾流

8.1	擾流·····	153
8.2	平均切應變與樂氏應力·····	157
8.3	擾流運動引起的物質擴散·····	167

第一章

概論

星辰與氣象，密切地影響着人類生存的世界。我們常見的風，便是氣象變化的明顯例證。（通常在氣象學中，僅指空氣的水平流動爲風；而本書則將空氣的水平和垂直流動，概括爲風。）雖然有的風是柔和而寒冷地吹過高山草原，有的風是兇猛呼嘯掃過北大西洋，但是這些風的本質皆是相同。無所不在的風，正是大氣氣團成雜亂運動現象的結果。所以，從物理學的觀點來說，所謂風的理論，實卽爲流體動力學所討論問題的一種。當然，像這樣的陳述，自必討論空氣運動特性與大氣物理學中的太陽輻射及雲層形成等等間的複雜關係。

欲澈底了解風的形成，必須廣濶論述天體物理的變化與地球物理現象。雖然有關大氣的運動問題，尚有無數未獲圓滿解答，但是從我們所熟知的地球表面空氣現象，仍可說明許許多多風的特徵。

討論大氣現象的氣象學，實為介紹風的本質的重要資料來源。實際上，氣象學家所討論的主要的對象是天氣。當然風也是屬於天氣的一環。本書將以論述有關空氣運動的動力學為主而不涉及空氣的熱度、溫度、以及風暴等現象。

1.1 風的理論演進

根據神話的傳說，自從北風神“ Boreas ”首次離開她的洞穴以後，人似就與大氣層的流動發生了關連。古時人類深信一切有關大氣現象的變化，皆歸屬於神力、神靈或是部落祭司，主宰着氣候的變化。約在西元前一千年前，荷馬（Homer）即曾以詩句形容神與氣候的關係。例如在 Iliad 中即記載着說：「正當希臘人行將攻擊 Trojans 的時候，Zeus 神召來猛烈的雷電，因而嚇退了希臘船艦。」在聖經中亦可找到許多神力影響天氣的例子。例如，聖經詩篇 107 節中，即有如此的記載：「他們看見神的偉業，祂那無比的力量。由於祂的旨意，造成暴風，把海水掀起大浪。」風與風暴間的相互關連起源於人類對氣候的探究。從事天氣預報的始祖們，用各種不同的小器具去測量風量。例如在人類文明萌芽初期，風車便已盛行於古埃及。古雅典著名氣象臺上的一座風標風塔便是建築於西元前二世紀。事實上，很可能希臘人使用風標尚較此早得多，不過他們這項文化的起源已湮滅而不可考。西元前五世紀，希臘哲學家已認識到氣候的發展有其自然的因素。但是他們缺乏觀測的儀

器和物理學的基本知識，因此他們僅靠推測來解釋大氣現象。其中第一個知名的氣象理論家就是亞里斯多德（Aristotle）。他在西元前 340 年所寫的“氣象學”便已將大氣中的風、雪、雨量及雷電等特性。作了一番歸納的敘述。亞里斯多德所創地球為宇宙中心的哲學理論，深長地影響了整個十六世紀的氣象學。事實上他的理論確為文藝復興時期的科學家，提供了對大氣現象所作解釋的基礎。亞氏理論大部份着重於空氣、水、火和地球等四種“元素”相互間的作用與變化。有趣得很，這些物質卻都成了今日地球物理學的重心。然而他與他的同儕一樣，却未能把握如今日我們所知的許多物理學基本定理。由於他們對自然現象的複雜性了解不足，所以就導致了對大氣變化過程不正確的解釋。舉例來說，亞里斯多德對風與大氣雷電效應間的關係曾解釋如下：

「當空氣變冷，雲層凝縮時，任何受到阻碍的乾燥氣流（指風）便加速衝出并衝擊其四周雲層，并因撞出而於火燄中產生響聲，此種響聲有人稱為雷神狂笑威嚇。當氣流以其實體力量猛撞火燄所產生響聲就如乾燥的木頭裂開發聲一樣。原則上射出的氣流以溫文之火在燃燒，當這氣流下降時，對我們看來似着了一層顏色，這就是所謂的閃電。閃電生於衝擊之後，并後於雷聲，但在我們看來“似先於雷，因為我們先看見閃光，後聽到響聲”」當然，我們現在相信，雷雨中的空氣運動，祇是與閃電間接地有關。在整個十六世紀中，希臘與羅馬，有許多論理氣象學家僅致力於證實與推廣亞里斯多德的觀念；而把預報天

4 風的起源與運動

氣的工作劃歸迷信星相學的範疇，但是有一個顯著的例外就是從事氣候工作的英國牛津大學學者威廉默耳（William Merle）他從1337年至1344年均有系統的收集英倫每日天氣觀測報告。雖然他的早期努力很重要，但吃虧在於當時缺乏溫度測量器，事實上，再過三百年後才有了溫度計。

新科學工具的誕生：

大約在公元1600年，近代氣象學需要的重要基本工具開始出現。就在剛進入十七世紀時，伽里略發明了溫度計。再經過約50年後，他的弟子托里西利（Evangelista Torricelli）用玻璃管和水銀槽製成了氣壓計。在同一時期內，粗陋但有效的測量溫度器具也已發明。十七世紀時，英國哲學家兼發明家胡克（Robert Hooke）和鄔倫（Christopher Wren）開始把幾件器材組為一套氣象測量儀。胡克最費心血的一項設計是一具氣候鐘，這一組儀器不但可以同時計量時間、溫度、壓力、濕度及雨量，還可測量風速及風向。氣壓計發明後不久，文藝復興時代的科學家們就醉心於尋找氣壓與天氣變化的關係。這種方法仍然是近代氣象預報的一部份。早期的氣象學家並不知悉氣壓變化會影響氣壓計的讀數，因而深信這種儀器所預測的天氣，可以完全無誤。事實上，胡氏設計了一個輪式氣壓計，其中裝有指針及刻度盤，可以指示水銀柱的昇降。刻度盤的標準是以七十六厘米水銀柱附近的“變化”為準，低壓標註為“暴風——雨”，高壓標註為“晴朗——乾燥”。這種預報方式迄今仍沿用於我們一般家庭氣壓計上。在此同時，用來測量大氣層運動的定量工具亦已獲進展，科學家已開始能獲得

更廣泛的風和天氣的記錄。到了十七世紀末期，有規則的區域性及國際性的風型及大氣情況記錄，在中歐、英倫，甚至於南加羅林納州等不同的地區都有保存。氣象學的知識，漸漸地開始由一個人傳到另一個人，由一國家傳至另一國家，使大氣科學取得了全世界性的地位。因氣象學有了詳細的記錄，科學家們便自然地開始從許多觀測記錄中，試行尋求其變化的規則，早在1625年，培根（Francis Bacon）曾設法探索較為特殊的季節性氣候的週期。培根的努力，掀起了人們對大氣層長期變化研究的序幕。這些研究工作現仍繼續進行，但甚少希望獲得確實的結果。

牛頓對動力學的構想：

在十七世紀末葉與一連串實驗科學方面的成就相平行的是古典物理學理論的顯著成就。牛頓爵士受了天文學家伽里略、布拉希及凱勒等對於宇宙自然律研究的影響，於1687年出版了他的不朽著作——自然哲理數學原理（*Philosophiae Naturalis Principia mathematica*）。在這本廣受稱讚的著作中。牛頓推論不論任何物體，大的或小的，均受到明確的重力與運動定律的影響。

所有在該原理中的概念，均已成為我們今日所熟知的物理學的主要部份。而且，自其中誘導出來的兩則重要原理亦成為近代氣象學的基石。這就是質量不滅定理與運動第二定理。第一條定理說明質量本身不能創造也不能消滅；僅能從一種狀態轉換成另一種狀態。第二條定理說明一個物體的運動狀況，常隨所受外力而變，且在其運動方向上，產生與所施外力成比例的速度。理論上，這二條簡單敘述的定理包含了大氣動力學的

6 風的起源與運動

重要部份，因為牠說明了質量與力二者間的速度變化關係。就牛頓的自然哲理數學原理的重要性而論，它並沒有具體論述所有的必要解答。雖然第二條定理說明質量、力和加速度間的相互關係，但是它對於外力加于空氣本體時的性質，卻談論得很少。有關空氣的性質，以及其與力學重要原理的關連，仍有待發現。雖然在此後的 150 年內，熱與功間的確實關係仍未問世，但是若干關於氣體本質的其他知識則與牛頓的著作同時出現。舉例來說，1662 年愛爾蘭物理學家波義耳 (Robert Boyle) 即已發現如果溫度不變，則氣體的體積與壓力成反比。大約再過了一百年，法國物理學家查理 (Jacques Charles) 對波義耳定理更尋到了相輔的關係。查理的定理說：「氣體體積與其溫度的變化成正比。」再由這些定理又推導出理想氣體的特性概念，據此，空氣在冷卻或加熱後所產生壓縮或膨脹，是可以用計算推求出來的。牛頓、波義耳、查理等定理是物理學中的基本定律。若干大氣定律是從這些基本定律所推導出來的。在這種意識下，當然大氣物理學、地球物理學與天體物理學等也都是誘導出來的科學。哈萊 (Edmund Halley) 企圖用基本定律來探討風的特性，便是其中最早的一個例子。僅在波義耳發表他的定理後 24 年，大英帝國皇家天文學家哈萊便出版了關於熱帶貿易風與季節的成因的劃時代研究報告。在這篇研究報告中，它的第一張氣象地圖，便是討論在低緯度地區中所盛行的風。這些直接觀察報告，綜合了各項大氣現象的理論。就哈萊的理論來說，他認為盛行的熱帶風是由於太陽照耀赤道地區

的空氣所引起。空氣因受熱而上昇，故自地球南北兩方吸進空氣。這一運動概念與今日我們的理論極為接近。然而哈萊的假說，對於貿易風從北半球的東北及從南半球的東南吹來的理由，解說甚為含糊，他只能暗示熱帶風係隨太陽西走而生，大約50年後倫敦的一位赫德萊（George Hadley）律師，才提出解釋熱帶風特性的學說。赫德萊同意哈萊的說法，就是太陽的蒸晒是貿易風的起源。但是他假設空氣西流是地球由西向東旋轉的結果。赫德萊明瞭地球赤道地區的空氣移動要比兩極地區快得多。因此，向赤道移動的風，應該落後於旋轉的地球，換言之，當它到達赤道時，就必落在它開始的經度線後面。所以，從站在地球上的觀察者來說，風是向西吹的。赫德萊的結論非常接近柯里奧利（Coriolis）力的近代理論。

物理學新觀念的浪潮：

在第十八與十九世紀中發展出來的基本和應用科學中，哈萊與赫德萊的著作，多多少少代表了一種新的研究趨勢。這期間最大的一件事，就是超越了波義耳與查理的研究領域而邁向於氣體特質的了解。英國物理化學家道爾頓（John Dalton）開始探討風、雨以及空氣受熱等相互間的關係。例如在1790年，他發現了分壓定理。這條定理表明了混合氣體與各個組成氣體間的壓力關係。現代氣象學家便是應用這定理來計算空氣中的水蒸氣含量，並用數學方程式來表明大氣層中雲的形成。隨著氣體新知識的獲得，長久以來難解的風的物理性質，最後終於獲得解決。雖然熱與運動間的關係很早就已知道，但是熱能與動能的確切關係卻延至十九世紀中葉才找到了

正確的公式；約在這時，物理學家開始明瞭質量不變定理，也可以正確地運用在能量方面。能量是既不可能創造，也不可能毀滅的，其所能變換的，祇不過是它的狀態而已。英國物理學家焦爾（James Joule）在他的實驗中，建立了動能與熱能二者間的相互關係。焦爾的著名實驗之一，就是他設計了一個四週完全絕熱的盛水槽，並藉轉動浸于水中的木槳，來使水的溫度增加。實驗結果證明，施於木槳上的動能與水溫升高幾乎完全成比例。這個實驗結果的本身並不重要，重要的是，不論能量轉變的方式如何皆可獲得同一比例的事實。焦爾實驗結果顯示動能並沒有從木槳上消失，而僅不過是轉變成另一種熱能的形態。焦耳完成他的實驗不久，他的原理就被寫成了定律——第一條熱力學定理，或能量不滅定理。實際上，這個原理說出了熱與氣體內能、及氣體因膨脹而作工等相互間的關係。有了這定理，使得了解氣候與風的最後一個基本概念成為可能。一俟這新的能量不滅定理出現後，新的流體動力學知識也已開始發展。十九世紀中葉，瑞士數學家歐勒（Leonhard Euler），以及法國數學家拉強治（Joseph Lagrange），拉普拉士（Pierre Laplace）和柏諾衣（Daniel Bernoulli）等先後着手考證牛頓理想（無摩擦）流體運動定理的成就，其中歐勒的工作尤為重要，以致後世皆推崇他是流體動力學之父。十九世紀，理想流體論與電磁場論相互間的比較研究，係由德國科學家海爾賀茲（Hermann von Helmholtz）、蘇格蘭物理學家馬克威爾（James Maxwell）、英國物理學家雷萊（Lords

Rayleigh) 與凱雲 (Kelvin) 諸爵士加以發展。十九世紀中葉，由於理想流體論與實驗觀察間的相互矛盾，引出了雷諾斯 (Sir Osborn Reynolds)、納維爾 (C. L. Navier) 與史托克 (G. Stokes) 等學者對流體的摩擦特性的新理論。迅速發展的流體物理學知識，對從事大氣研究學者們亦很快地產生了影響。舉例來說，1835 年間的柯里奧利 (Coriolis) 即已寫下有關旋轉參考坐標軸產生視在力的原理。但直到一八五六年，因法國人傅勒 (Willian Ferrell) 解釋了赫德萊 (Hadley) 關於地球旋轉與大氣風向關係的假說，才使柯里奧利 (Coriolis) 的成果，有了新的生命。在十八與十九世紀時，由於職業與業餘科學家的特別努力，氣象學方面的觀念研究進行得更為熱烈。人們不久就明瞭，如要了解空氣運動，就應該探究上層空氣。因此，氣球就成為十八世紀氣象家的重要探測工具。1783 年法國蒙哥飛爾 (Montgolfier) 兄弟發明了空氣氣球。不久之後，查爾斯 (Jocques Charles) 將氣壓計帶至高空作為高度計用，不到兩年後，哲佛里 (John Jeffries) 製成第一批氣溫計及高度達 9000 呎的氣壓計。十九世紀中葉曾施放了無數的科學實驗氣球。其中最重要的一次，是由英國科學家格雷雪 (James Glaisher) 所主辦的，在 1862 年至 1866 年格雷雪做了二十八次的飛行測試，其中有一次，當他帶着大氣測量儀表，坐氣球升至 29,000 呎時，俟他那冷得半死的飛行員拆開放氣閥降下氣球前，便幾乎因缺氧而窒息到死。對於海洋氣候，海洋學家的航海日記提供了大部份的有系統

資料。幾個大洲的氣候則主要由北美洲東部與西歐等地氣象觀察者加以記錄。觀測陸地氣候，也變成包括著名美國政治家的熱衷消遣。富蘭克林（Benjamin Franklin）對於大氣層帶電的研究貢獻，固然是衆所週知，但是要注意，其他如華盛頓（George Washington）、傑佛遜（Thomas Jefferson）及麥迪遜（James Madison）等政治人物也都存有氣象記錄資料。有些重要的發現，是在十分意外的情況下造成的。例如在 1743 年，當富蘭克林觀察月蝕時，雖因受暴風雨的遮蔽而無結果，但這次觀察所得，卻成爲他首次推論大西洋海岸一帶，經常發生由東南吹向東北的暴風雨資料來源。大約 80 年後，一個愛好研究的英格蘭商人雷德菲爾（William Redfield）發現他的颶風觀察結果，和其他有關這些暴風雨的觀察資料，皆具有一定的型態。1831 年，雷德菲爾發表了一篇歷史性的報告，非但進一步說明了重要理論，而且至此以後證明全然無誤，那就是颶風具有它的一定規則；以及時鐘方向旋轉，中心平靜，風力極強，但整個暴風的移動卻很慢。早期的氣候記錄資料，僅能在氣象工作者之間緩慢地傳遞。所以用來作爲天氣預報的實際價值，就有了限度。至 1850 年代由於電報的發明，爲氣候資料網路的建立提供了有力的新因素。最初推動建立此種網路的有力因素，是當 1854 年 11 月 14 日英法艦隊因遭遇強烈暴風在巴拉克瓦（Balaklava）港外沉沒以後，此次災難本是可以避免的，如風暴即將來臨的消息能拍發至該黑海港口的話。巴拉克拉瓦沉船數月後，美國與法國都紛紛建立氣候

網，來報導每日的大氣狀況。

使二十世紀呈現新境界與無限前途：

由於十七世紀到十九世紀科學知識的快速擴張，使二十世紀已成為研究大氣科學的神奇新時代。無線電和其他電子儀器的發明，使氣象學家對大氣的深入觀察有了新的量度工具。地面觀察站自動向氣象中心站報告觀測結果，而中心站則以高速計算機，來分析所收集的氣候資料，繪製氣象圖，並每天對外發送二次或二次以上。國際性的世界氣象組織業已責成全球各處的海洋和地區建立氣候觀察網。經常用氣球和飛機作低空測量，以彌補地面觀測站體系的不足。高空飛機、火箭與人造衛星的發展，已使科學家們推廣他們的測量範圍到達最高的大氣層。二十世紀以來，隨着大氣觀察範圍的擴大，而附帶的促進了流體動力學理論巨大發展。臨近境界面處的流體新知識已被德國的卜朗多（Ludwig Prandtl），英國的泰勒（G. I. Taylor）以及美國的契卡門（Theodore Von Karman）等空氣動力學家所發現。在我們這分工精細的一代，將流體運動原理，應用於大氣層或海洋的研究，已給物理學立下了一個範疇——地球物理流體力學。本世紀以還，數不勝數的科學家對此知識領域均有所貢獻。但一般認為，由於部份氣象工作者的努力，使氣象物理學的知識產生了特殊的發展，例如，由於挪威的柏哲肯（V. & J. Bjerknes），柏哲朗（T. Bergeron）；芬蘭的巴爾曼（E. Palmen），以及瑞典裔美國人羅斯比（C. G. Rossby）等科學家的研究，而使人們對地球上風的有系統的性質更有所了解。至於對大氣外層特質的深入了解，則應歸功於德國

的艾克曼 (V.W. Ekman) 和卜朗多 (L. Prandtl) ，及英國的泰勒 (G. I. Taylor) 和薩頓 (O. G. Sutton) 的努力。對二十世紀大氣物理學家而言，最重要的一種工具就是高速計算機。1900 年以後，在挪威比岡 (Bergen) 地球物理學院的研究人員，以及英國數學家里查遜 (Lewis Richardson) 等皆認為，如欲瞭解大氣運動的複雜數學關係和以後的天氣預測，最好莫如由一步步的數字計算來加以解決。根據查里遜的估計這種應用數學計算推求結果的演算，若全部運用人力，將需六萬四千位數學家每天工作廿四小時，經過計算一年才能完成。第二次世界大戰後不久，從事計算的電子計算機已發展出來。第一部這種機器是在 1947 年左右，由范紐曼 (John Von Neumann) 在普林斯敦 (Princeton) 大學所製造的。再經過約十五年後，由新技術所製造的特大號計算機，其體積之大遠比范紐曼認為不可能的，狂人式 (MANIAC) 還要大。最近幾年來，科學家對於大氣運動的數學分析技術等已建立了良好的基礎。

探討風的神秘：

因為基本測量工具容易獲得，所以我們有理由相信，將來有關討論風的物理學必會進入一種新的境界。就我們所知大氣運動的理論便是以混合氣體的熱力學與牛頓的力學定理為基礎的。為了對風的認識能有所進展，新的觀察結果，必須不斷地由新的理論概念來解釋。目前大體上說，我們對大氣一般運動的性質已有所了解。許多研究人員正集中精神，着手研究每日所生風的平均運動型態變化差。以後我們將論述風裏面各

種氣流相混合的可能性。在本章將介紹首先討論大氣在被激動情形下的變化。

1.2 風的發生與持續

大氣層可以視為是一個以太陽為燃料的龐大引擎，這引擎的產品就是風與氣候。這引擎的運轉情形非但與引擎產品的反饋作用有關，而且亦受地球旋轉與幾何形狀的限制。這個動力廠中含量成份變化最大的，莫過于水。

太陽燃料是以輻射短波的形態，不斷地按 23×10^{12} 馬力的強度發射到地球上來。其中半數以上的輻射能，因受氣體分子與雲層的反射作用而耗損。所餘不到百分之二十的能量，則為空氣與雲所吸收，這到達地球表面的輻射能使萬物分子溫度升高後，更進而以波長較長的紅外線，將能量再度放射出來。地球是以參差不齊的方式，將能量輻射回于大氣。由於，河流、海洋、山岳及沙漠等本質的互異，所以發生各地熱傳播上的顯著差別。熱分佈上的不平均，因而產生壓力差，壓力差更進而促使大氣移動。大氣移動的終極效果，是要使全球各地熱能分佈均勻，赤道暖空氣向兩極移動，以及冷空氣向赤道移動等，乃是四處冷暖空氣大規模相混合的明顯例證。這種基本循環作用，最後乃產生了地球上所盛行的風帶。如果不是雲和水蒸氣，輻射到達地面的太陽能將會很快地返回太空。空氣中的水蒸氣，對紅外線的輻射而言，恰似一面反射鏡，可將輻射能量，再度地反射返回地球。這種吸收較長波長能量，而讓較短波長能

量輻射通過的作用，稱爲“溫室效應”，因爲這種作用和溫室玻璃屋頂的作用十分相似。有人認爲風起源於地球赤道附近。熱帶地區每一單位所吸收的太陽量要遠比兩極地區爲多。因此，熱帶地區有如引擎鍋爐室，而大氣引擎所需的燃料就在這裏加添，使它得以繼續運轉，兩極地區輻射離開地球的熱量的速度要比所接收的太陽熱量爲快，因此，所有這兩地區來自太陽的能量最後均被反射返回太空。太陽輻射到達地球的能量，僅有一小部份，轉變爲風能，而這種轉變或轉移作用是永無休止的。大氣引擎的效率極低，所有輸入的熱能，僅有百分之一或百分之二是用來維持空氣的運動。其餘的能量，便都重返太空。

空氣中的水份，不但能將紅外線的輻射能反射回至地球，而且能夠儲存能量。隨風移動的水蒸氣，是傳送熱能的極重要媒介物。當太陽輻射能照射海洋時，海水因受熱而表面產生蒸發作用。這蒸發的結果，使千萬噸的海水變成蒸汽進入大氣層。當空氣受到冷卻時，水蒸氣即凝結成雲，而含蓄在水蒸氣中的潛熱就轉移到大氣中，龐大數量的能量就是以這種方法進入大氣，事實上，用於驅動大氣的燃料，大約有80%在開始時是潛伏在水蒸氣中的。因爲地球面積的百分之七十五是被水所掩蓋，所以對於氣象學而言，海洋的重要性是非常明顯的。由於大部份赤道地區均被水掩蓋，因此大部份的潛熱皆由這地帶釋放進入大氣。科學家甚至用燃料泵的比喻來描述，呈現於熱帶海洋的積雲，在大氣循環作用中所擔任的任務。

對流循環的大模型：

大氣引擎的作用是将熱帶地區的熱能推往兩極低陷地帶，這種藉空氣本身移動而完成的熱能傳遞作用，通稱「對流」。爲便于了解起見，我們可以空氣的流動，火爐在密閉房間內所引起的對流作用來說明赤道地區炎熱而充滿水份的空氣從這個熱帶火爐上昇至天花板，而較冷的空氣則自房間的北南兩側邊緣流入。當熱空氣流向兩極或沿天花板“潮向牆壁”流動時，這熱空氣便因受冷而下沈到地面，如是，就完成了循環。因受地球循環作用的額外影響，原本成南北向流動的空氣平均運動模型，乃被改變爲東西向的流動。雖然對流循環的原理很簡單，但由於受原有風及地形等的干擾影響，故事實上甚爲複雜。舉例來說，大氣因受山脈的阻擋影響，密度較小的空氣有時亦可在密度較大的空氣下面流動。從赤道到兩極的壓力並非比例遞減，而實際上這種壓力變化是因地形的不同而截然相異。因氣溫與壓力的不規則變化，使成正常狀態流動的氣流內，產生了變化無窮的旋流及渦流變化現象。地球上所呈現的暫時空氣交叉流動現象，實爲重疊在平均熱對流現象上的一組不規則運動。此種不規則的變化，乃構成變化不定且不可靠的每日風型，這些風型，對人類生活的影響雖然十分重要，但在科學的理論基礎上，卻是一項難以解答的難題。

1.3 大氣運動的特徵

雖然在外表上，各型大氣運動的性質並不完全相同，但就大氣物理學的觀點上而論，仍有其共同相似點。這些共同相似