

第六章 大氣的運動

6-1 垂直運動

大氣壓力由下往上遞減，因此下層空氣對上層空氣有一種推力，叫做氣壓梯度力(圖6-1, 圖6-2)。在大氣中此一推力大致與重力(或空氣的質量)互相平衡，因此一般而言，大氣不太容易作劇烈的垂直運動(圖6-3)。

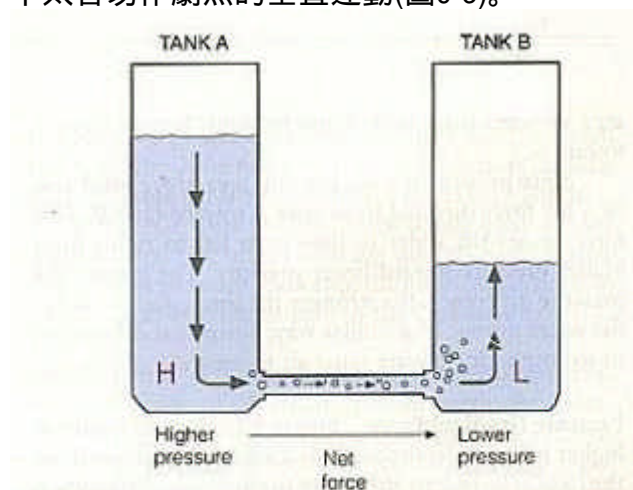


FIGURE 9.16

The higher water level creates higher fluid pressure at the bottom of tank A and a net force directed toward the lower fluid pressure at the bottom of tank B. This net force causes water to move from higher pressure toward lower pressure.

圖6-1 氣壓梯度力類似水的壓力梯度 (圖片來源：Ahrens , p.221 , Fig.9.16)

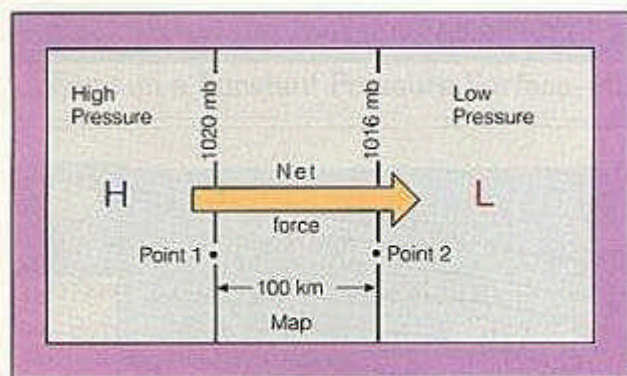


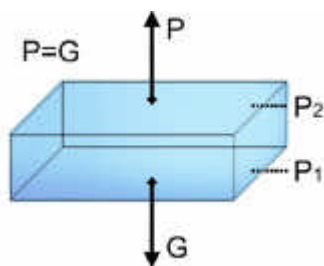
FIGURE 9.17

The pressure gradient between point 1 and point 2 is 4 mb per 100 km. The net force directed from higher toward lower pressure is the pressure gradient force.

圖6-2 壓力梯度力示意圖 (圖片來源：Ahrens , p.222 , Fig.9.17)

氣壓梯度力 $P = (P_1 - P_2) A$ A : 面積

第六章 大氣的運動



重力 $G = Mg = \rho vg$ ρ : 密度, v : 體積

$$(P_1 - P_2) A = \rho vg$$

圖6-3氣壓梯度力和重力大致平衡

一旦空氣受熱或冷卻(即密度減小或增加), 兩種力不再平衡, 空氣受力開始產生垂直運動。空氣受熱時, 密度變小(體積膨脹), 則 $P > G$, 空氣上升; 空氣冷卻時, 密度變大 $P < G$, 空氣下降。

空氣上升可以熱汽球來了解。熱汽球上升以後, 熱汽球內部的壓力比外面大, 因此膨脹, 然而內部溫度也下降。相反的, 當一空氣塊(air parcel)下降時, 空氣塊氣壓比週遭環境氣壓小, 體積因而變小, 內部溫度上昇。有些例子:

(1)由輪胎噴出的空氣, 比較冷;

(2)為什麼機艙內必須不時開冷氣? 假設在9km高, 機外空氣溫度-35°C, 若將空氣抽入機艙加壓至海面氣壓(如1013 mb), 空氣溫度將升高至55 °C!!

熱汽球內的溫度如果比週遭環境溫度高, 則熱汽球將繼續上升; 反之, 則下降。大氣對流產生的原理一樣。空氣上升, 溫度不斷下降, 空氣中所含部分水汽凝結成小水滴而形成雲(下一章再詳細說明)。

6-2水平運動

影響空氣水平運動的主要的力有:(一)水平氣壓梯度力,(二)柯氏力,(三)摩擦力。

1.平氣壓梯度力:

氣壓分佈不均勻是產生風(空氣的運動!)的主要原因。空氣通常從氣壓高處被推向氣壓低處(圖6-2)。大氣中的加熱(如:日照)、冷卻(如:夜晚損失「長波輻射」)不均勻是造成氣壓分佈不均勻的主要原因之一。在許多情形下, 受熱區的氣壓比周圍氣壓低, 但在受熱區上層氣壓則比周圍氣壓高。因此在低層, 空氣被推向受熱區; 在高層, 空氣則被推離受熱區; 在受熱區, 空氣上升。在冷卻區, 則運動方向相反(圖6-4)。

第六章 大氣的運動

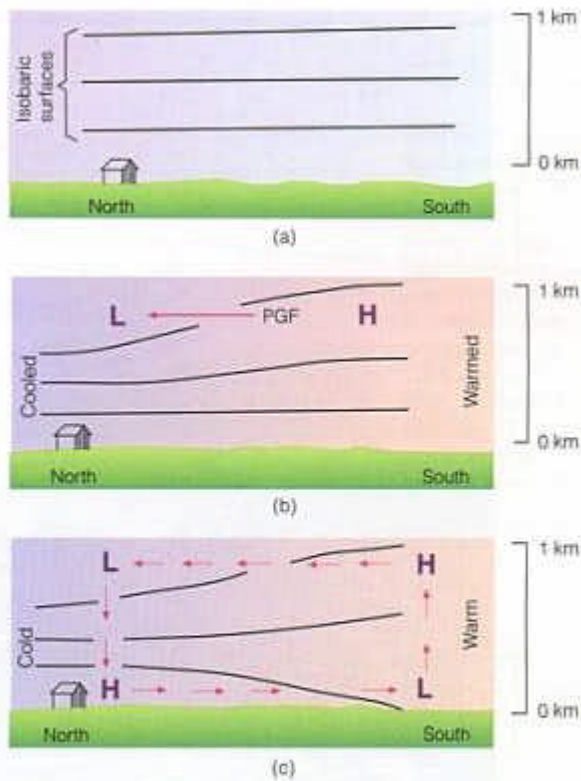


FIGURE 10.19

A thermal circulation produced by the heating and cooling of the atmosphere near the ground. The H's and L's refer to atmospheric pressure. The lines represent surfaces of constant pressure (isobaric surfaces). (For more information on isobaric surfaces, see Chapter 9, p. 216.)

圖6-4 水平加熱不均造成熱力環流 (圖片來源：Ahrens，p.255，Fig.10.19)

此種因加熱不均產生的大氣運動處處可見：(a)午後雷陣雨，(b)海風、陸風(圖6-5)，(c)山風、谷風(圖6-6)，(d)季風(夏季)(圖6-7)。

第六章 大氣的運動

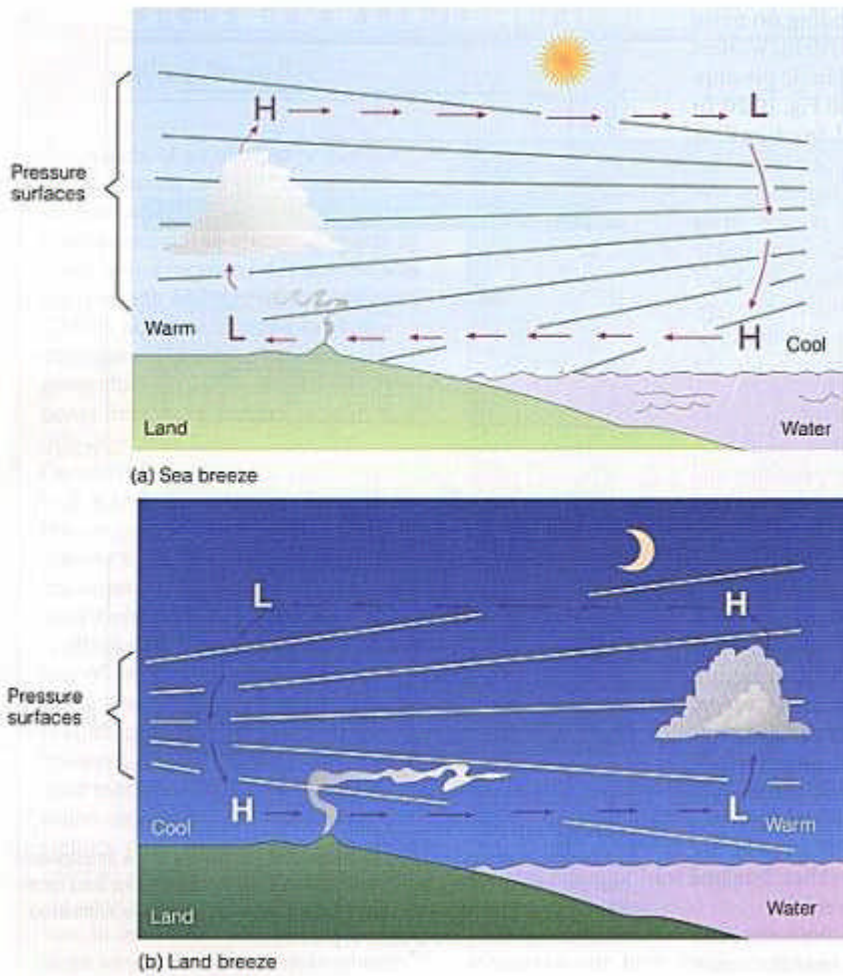


圖6-5海、陸風成因示意圖 (圖片來源：Ahrens , p.256 , Fig.10.21)

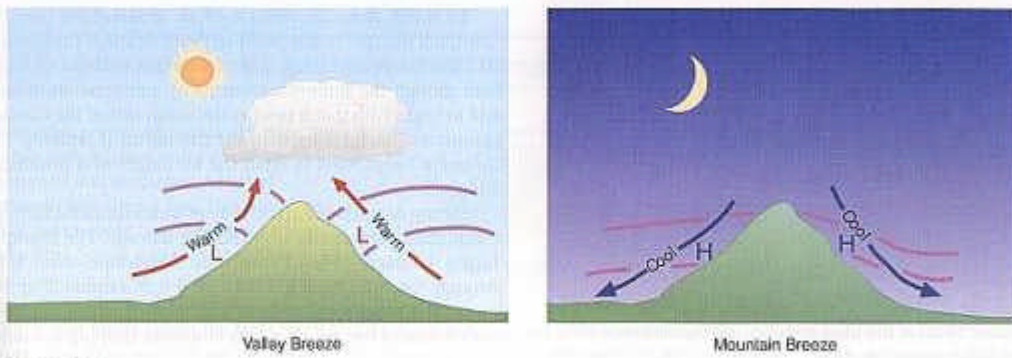


FIGURE 10.26 Valley breezes blow uphill during the day; mountain breezes blow downhill at night. (The L's and H's represent pressure, whereas the purple lines represent surfaces of constant pressure.)

圖6-6山、谷風成因示意圖 (圖片來源：Ahrens , p.261 , Fig.10.26)

第六章 大氣的運動

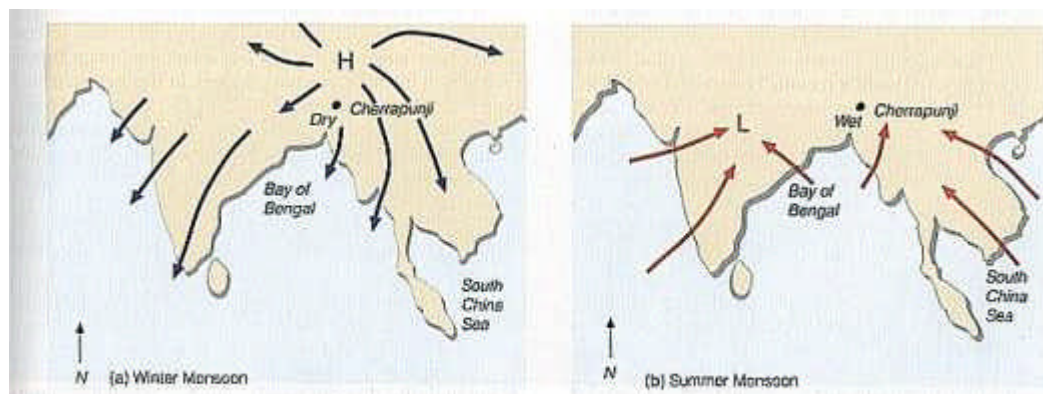


FIGURE 10.25
Changing annual wind flow patterns associated with the winter and summer Asian monsoon.

圖6-7季風成因示意圖 (圖片來源：Ahrens, p.259, Fig.10.25)

2. 柯氏力(Coriolis force)

柯氏力是一種「虛假」力，完全是因為地球旋轉而產生的「錯覺」。假設在一圓盤上，由邊緣向盤心射出一個球，如果圓盤靜止不動，對一坐在盤中的觀察者，此球走直線且經過盤心。如果圓盤旋轉(逆時鐘)，對在盤外的觀察者而言，此球仍走直線。但對坐在盤上的觀察者，由於自己也繞著盤心轉了若干度，此球「看起來」循一曲線前進而偏向(圖6-8)。在北半球，柯氏力指向運動方向的右方。在南半球，則偏向左方。

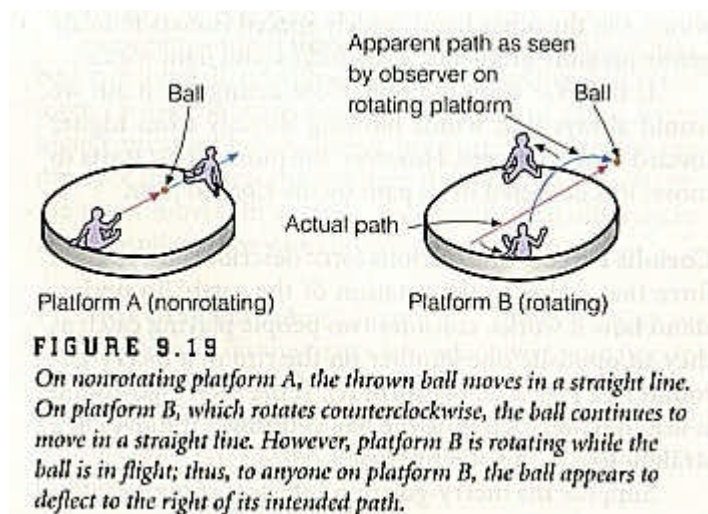


圖6-8 柯氏力成因示意圖 (圖片來源：Ahrens, p.223, Fig.89.20)

第六章 大氣的運動

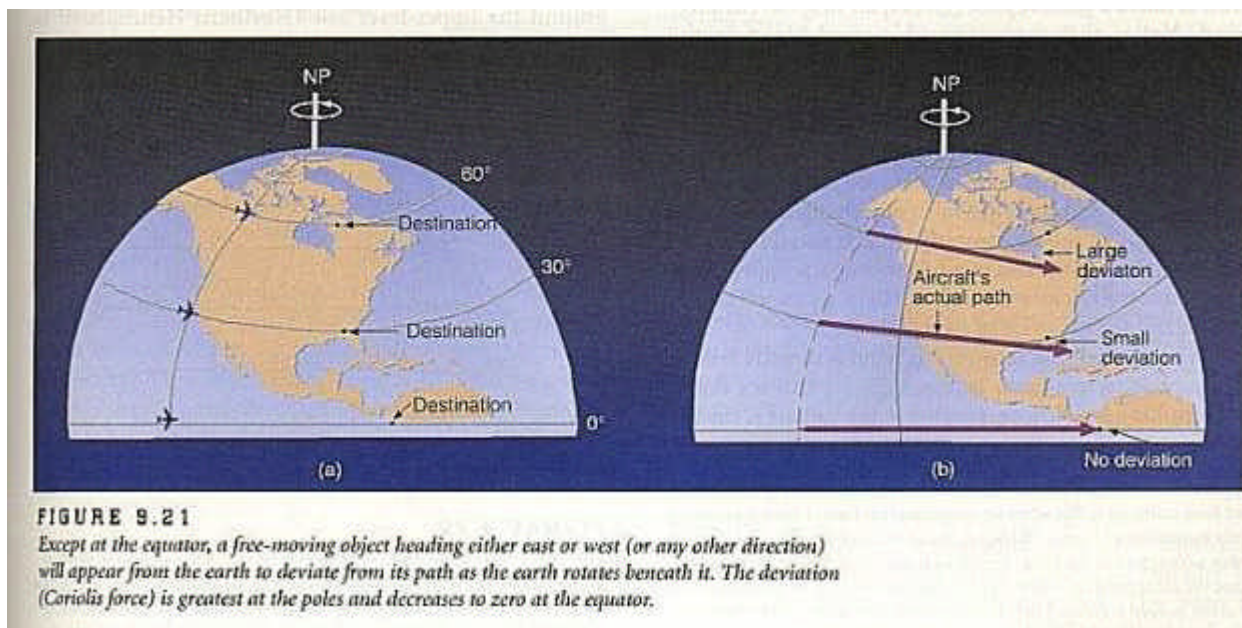


圖6-9在北半球柯氏力使運動方向偏向右方 (圖片來源：Ahrens, p.224, Fig.9.22)

在大氣中，大部分時候，柯氏力與氣壓梯度力方向相反，大小一樣(圖6-10)。由於氣壓梯度力由高壓指向低壓，而柯氏力指向運動方向右方(北半球)。風向與高、低壓位置的關係，在北半球，高壓在風向的右側，南半球則在左側。

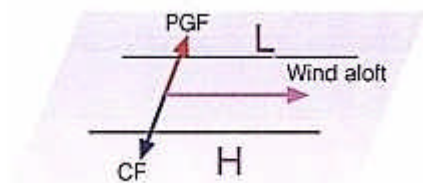


圖6-10在北半球柯氏力(CF)與氣壓梯度力(PGF)平衡時的關係 (圖片來源：Ahrens, p.232, Fig.9.30)

柯氏力的大小與風速成正比，它只改變風的方向，不改變風速的大小 ((圖6-11, 圖6-12)

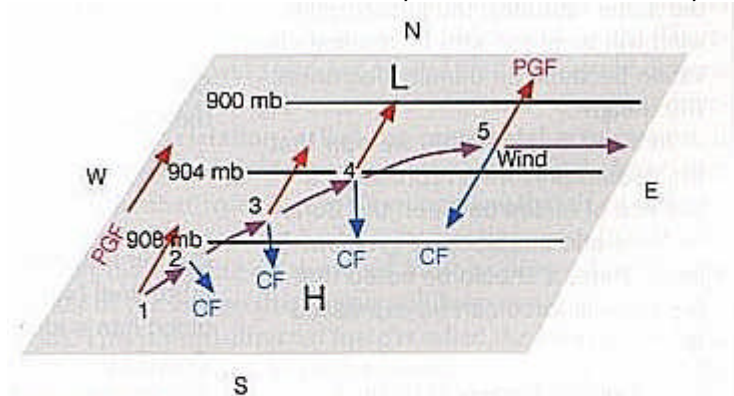


FIGURE 9.23

Above the level of friction, air initially at rest will accelerate until it flows parallel to the isobars at a steady speed with the pressure gradient force (PGF) balanced by the Coriolis force (CF). Wind blowing under these conditions is called geostrophic.

圖6-11在北半球空氣塊受氣壓梯度力作用，由靜止開始運動，柯氏力(CF)與氣壓梯度力(PGF)的關係 (圖片來源：Ahrens, p.225, Fig.9.23)

第六章 大氣的運動

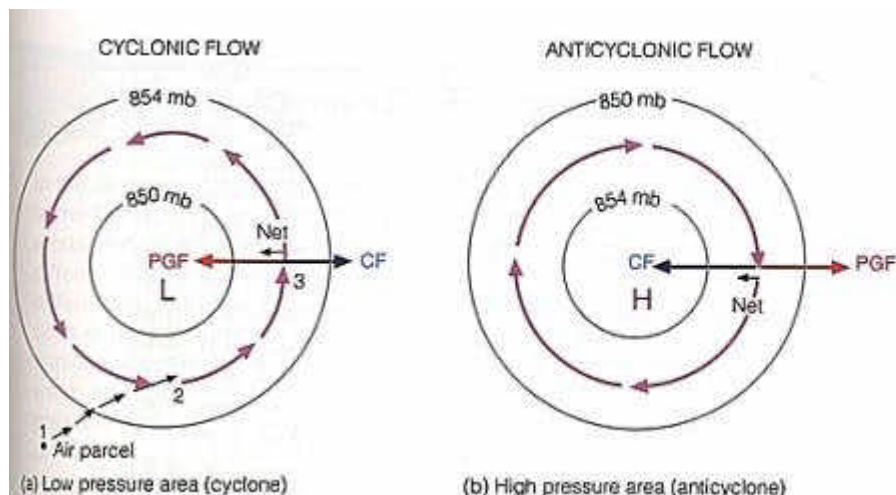


FIGURE 9.26
Winds and related forces around areas and high pressure above the friction level Northern Hemisphere. Notice that the pressure gradient force (PGF) is in red, while the Coriolis force (CF) is in blue.

圖6-12在北半球氣旋(左)和反氣旋(右)中，柯氏力(CF)與氣壓梯度力(PGF)的關係 (圖片來源：Ahrens, p.229, Fig.9.26)

3 摩擦力

接近地面，由於地面摩擦風速變小，風速小則柯氏力也小，因為氣壓梯度大於柯氏力，將空氣推向低壓。氣壓梯度力(P)，柯氏力(C)，摩擦力(F)三者呈現的平衡關係(圖6-13)，風由高壓吹向低壓。

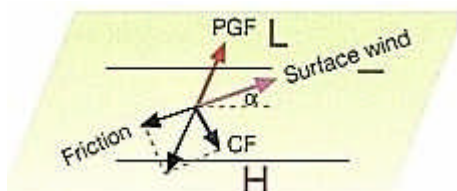


圖6-13 氣壓梯度力(PGf)，柯氏力(CF)，摩擦力(Friction)三者平衡 (圖片來源：Ahrens, p.232, Fig.9.30)

因為空氣在高層運動時，無摩擦作用，其氣旋、反氣旋運動，大致如圖6-12，但是近地面時有摩擦作用，其氣旋、反氣旋運動，如圖6-14。

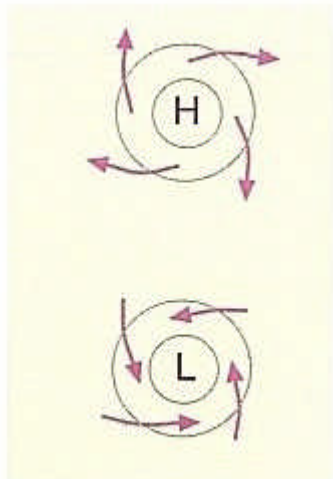


圖6-14在北半球近地面高壓(上)和低壓(下)中心附近氣流走向 (圖片來源：Ahrens, p.232, Fig.9.29)

6-3 地形的影響

第六章 大氣的運動

1. 山風、谷風

陸地因為比熱比空氣小，只要有一點加熱或冷卻作用，溫度變化就比空氣的溫度變化大。因此，白天，山上的土壤溫度高於空氣溫度，改變氣壓分佈，空氣由谷底推向山頂，形成谷風。夜晚，土壤降溫很快，因此溫度比空氣溫度低，改變氣壓分佈，空氣由山頂往谷底吹，形成山風(圖6-5)。

2. 焚風

風吹向山脈受地形影響往上爬升而降溫，越過山頂下降增溫。如果空氣是乾燥的，則上升時降溫數等於下降時增溫度數(每公里約 10°C)，因此空氣經過山脈之後，溫度不變。如果空氣是潮濕的，在上升過程中，水汽凝結成水，放出熱量，抵銷部分降溫效果，結果每公里約只降 6.5°C 。在上升過程中如果產生降水則空氣不斷損失水汽，到達山頂時，空氣已經非常乾燥。越過山頂下降時，溫度增加(但是不再凝結或蒸發，因此每公里增加約 10°C)。到達平地時，溫度已比過山前高了許多。在某些地區，空氣過山前後溫度差相當大，下山時氣溫很高，叫做焚風(圖6-13)。

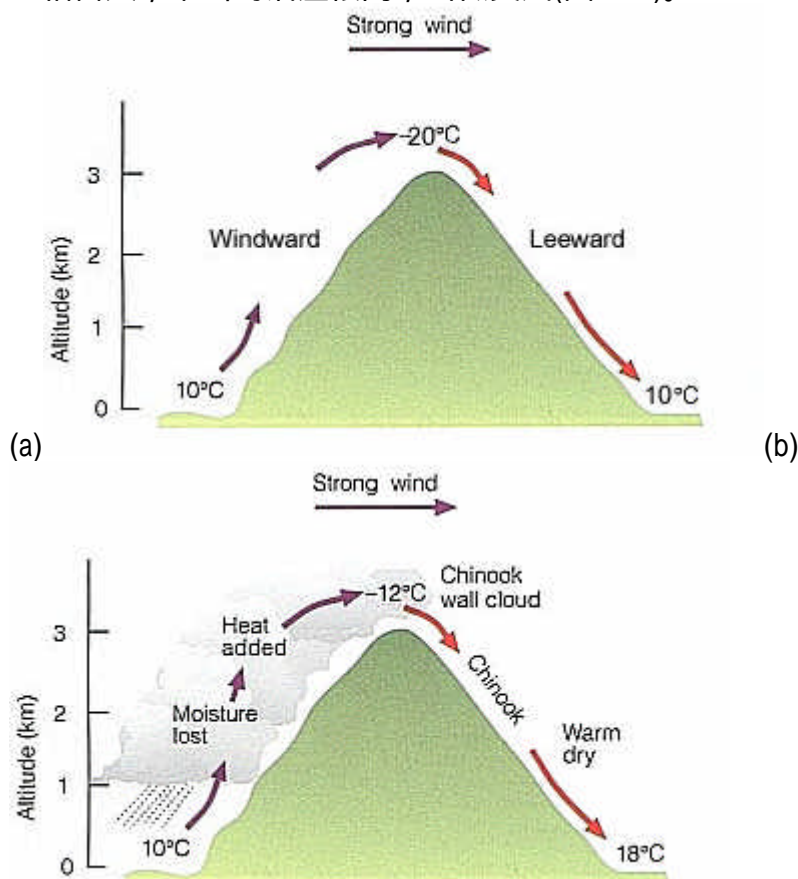


圖6-15 焚風成因示意圖：(a)無焚風，(b)有焚風 (圖片來源：Ahrens, p.262, Fig.10.29)

風吹向山脈受地形影響往上爬升而降溫，越過山頂下降增溫。如果空氣是乾燥的，則上升時降溫數等於下降時增溫度數(每公里約 10°C)，因此空氣經過山脈之後，溫度不變。如果空氣是潮濕的，在上升過程中，水汽凝結成水，放出熱量，抵銷部分降溫效果，結果每公里約只降 6.5°C 。在上升過程中如果產生降水則空氣不斷損失水汽，到達山頂時，空氣已經非常乾燥。越過山頂下降時，溫度增加(但是不再凝結或蒸發，因此每公里增加約 10°C)。到達平地時，溫度已比過山前高了許多。

降溫率·乾空氣· $10^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 飽和空氣· $-6.5^{\circ}\text{C}/\text{km}$

第六章 大氣的運動

附圖中，北半球：10 C/km，南半球：-6 C/km

美國South Dakota(Spearfish)曾經因焚風經過(圖6-16, 圖6-17), 氣溫在兩分鐘內增加27°C!! 焚風因為又乾又熱, 對農作物、人體影響很大。在台灣, 如果颱風經過台灣東北部, 台東由於地處"後山", 經常出現「火燒風」。

恆春的「落山風」則經常發生於冬季, 那是因為強勁的東北風受到山脈影響形成激烈的擾動, 在背風面(如, 恆春)產生強勁的落山風(風速可達13級風)(圖6-18)。

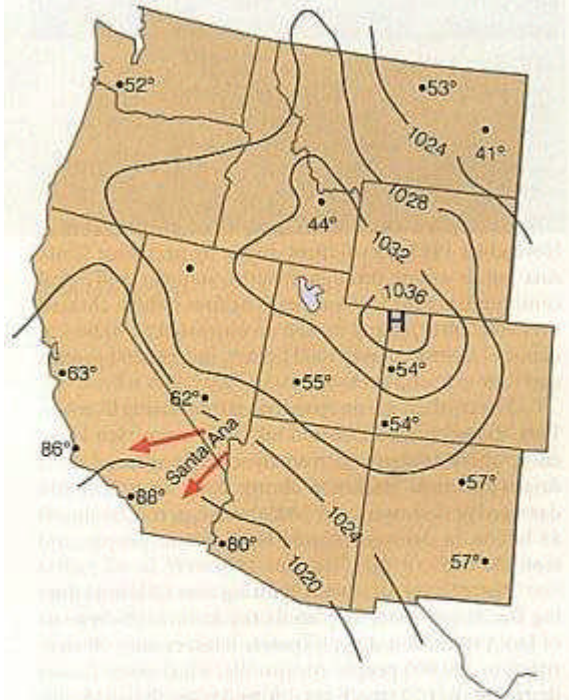


FIGURE 10.33

Surface weather map showing Santa Ana conditions for January 17, 1976. Maximum temperatures for this day are given in °F. Observe that the downslope winds blowing into Southern California raised temperatures into the upper 80s, while elsewhere temperature readings were much lower.

圖6-16 美國西岸聖塔安娜風(Santa Ana wind)的地面天氣圖 (圖片來源：Ahrensp.264, Fig.10.31)



FIGURE 10.34
This satellite picture shows the effects of a Santa Ana wind. As a forest fire rages in the hills east of Los Angeles, a strong Santa Ana wind blows smoke from the fire first over the city, then out to sea.

圖6-17 美國聖塔安娜風的衛星圖片 (圖片來源：Ahrens , 5th , p.274 , Fig.10.34)

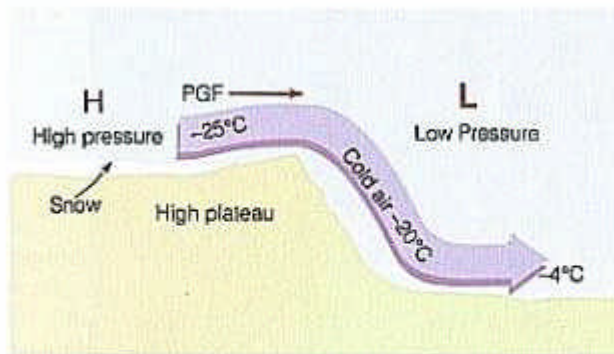


FIGURE 10.28
Strong katabatic winds can form where cold winds rush downhill from an elevated plateau covered with snow.

圖6-18 強勁下坡風(katabatic wind)的成因 (圖片來源：Ahrens , p.262 , Fig.10.28)