

# 大氣與環境

沈威宇

2025 年 1 月 16 日

# 目錄

|  |   |
|--|---|
| 第一章 大氣 (Atmosphere) 與環境 (Environment)  | 1 |
| 第一節 對流層大氣的成分                           | 1 |
| 第二節 氣壓垂直變化                             | 1 |
| 一、 氣壓單位                                | 1 |
| 二、 氣壓公式 (Barometric formula)           | 1 |
| 三、 氣壓高度                                | 2 |
| 第三節 氣溫垂直變化與大氣分層                        | 2 |
| 一、 對流層 (Troposphere)                   | 3 |
| 二、 平流層 (Stratosphere)                  | 4 |
| 三、 中性層                                 | 4 |
| 四、 中氣層 (Mesosphere)                    | 4 |
| 五、 均勻層                                 | 5 |
| 六、 增溫層 (Thermosphere)                  | 5 |
| 七、 卡門線 (Kármán line)                   | 5 |
| 八、 電離層 (Ionosphere)                    | 5 |
| 九、 外氣層 (Exosphere) / 散逸層               | 5 |
| 十、 不均勻層                                | 6 |
| 第四節 大氣與地表能量收支                          | 6 |
| 第五節 大氣的水氣變化                            | 7 |
| 一、 絕對溼度                                | 7 |
| 二、 飽和蒸氣壓                               | 7 |
| 三、 相對溼度                                | 7 |
| 四、 露點 (溫度) (Dew point)                 | 7 |
| 五、 氣溫垂直遞減率 (Lapse rate of temperature) | 8 |

|   |    |
|---|----|
| 六、 大氣穩定度 . . . . .  | 8  |
| 七、 成雲致雨 . . . . .   | 8  |
| (一) 凝結核 . . . . .   | 8  |
| (二) 冰核 . . . . .  | 8  |
| (三) 空氣抬升與降雨方式 . . . . .   | 9  |
| (四) 人工降雨 (Cloud seeding) . . . . .                                  | 9  |
| (五) 霧 . . . . .   | 9  |
| 第六節 大氣的水平運動 . . . . .   | 9  |
| 一、 旋轉參考系 (Rotating reference frame) 與科氏力 (Coriolis force) . . . . . | 10 |
| 二、 氣壓梯度力 (Pressure Gradient Force, PGF) . . . . .                   | 10 |
| 三、 空氣的運動 . . . . .  | 10 |
| 四、 蒲福風級 (Beaufort scale) . . . . .                                  | 10 |
| 五、 風切 (Wind shear) . . . . .  | 11 |
| 六、 地轉風 (Geostrophic wind) . . . . .                                 | 11 |
| 七、 地轉風近地面風 . . . . .  | 12 |
| 八、 高氣壓與低氣壓 . . . . .  | 13 |
| 第七節 大氣系統 (Atmospheric system) . . . . .                             | 13 |
| 一、 大氣系統的尺度 . . . . .  | 13 |
| 二、 大氣環流 (Atmospheric circulation) 的原因 . . . . .                     | 13 |
| 三、 海氣交互作用 (Air-sea interaction) . . . . .                           | 13 |
| 四、 鋒 (Front) / 鋒區 / 鋒面 . . . . .                                    | 13 |
| (一) 伯傑龍氣團分類 (Bergeron classification of air masses) . . . . .       | 14 |
| (二) 冷鋒 (Cold front) . . . . .                                       | 14 |
| (三) 暖鋒 (Warm front) . . . . .                                       | 15 |
| (四) 滯留鋒 / 靜止鋒 / 準靜止鋒 (Stationary front) . . . . .                   | 15 |
| (五) 囚錮鋒 (Occluded front) . . . . .                                  | 16 |
| 五、 熱帶氣旋 (Tropical cyclone, TC) . . . . .                            | 16 |
| (一) 生成條件 . . . . .  | 16 |
| (二) 分級 . . . . .  | 17 |
| (三) 成熟颱風結構 . . . . .  | 18 |
| (四) 高壓影響颱風路徑 . . . . .  | 19 |
| (五) 減弱消散 . . . . .  | 19 |

|   |    |
|---|----|
| (六) 天氣型態 . . . . .  | 20 |
| (七) 共伴效應 (Accompanied effect) . . . . .   | 20 |
| (八) 藤原效應 (Fujiwhara effect) /雙颱風效應 . . . . .  | 20 |
| (九) 颱風與海洋的交互作用 . . . . .  | 20 |
| (十) 侵臺颱風 . . . . .  | 21 |
| 六、 中尺度比熱差異造成的大氣系統 . . . . .   | 22 |
| (一) 山風與谷風 . . . . .   | 22 |
| (二) 海風與陸風 . . . . .   | 22 |
| 七、 季風 (Monsoon) . . . . .   | 22 |
| (一) 亞洲季風區 . . . . .   | 22 |
| (二) 西非季風區 . . . . .   | 23 |
| 八、 臺灣夏半季常見之受亞洲綜觀大氣系統致生的天氣型態 . . . . .   | 23 |
| (一) 太平洋高壓 . . . . .   | 23 |
| (二) 西南氣流 . . . . .  | 23 |
| (三) 低壓帶 . . . . .   | 23 |
| (四) 南方雲系北移 . . . . .  | 23 |
| 九、 臺灣冬半季常見之受亞洲綜觀大氣系統致生的天氣型態 . . . . .   | 23 |
| (一) 大陸冷高壓與東北氣流 . . . . .  | 23 |
| (二) 華南雲雨區東移 . . . . .   | 24 |
| 十、 地球緯向 (Latitudinal) 行星風系 (Planetary wind system) 與大氣環流 . . . . .                    | 24 |
| (一) 哈德里環流 (Hadley Cell) . . . . .   | 25 |
| (二) 費雷爾環流 (Ferrel Cell) . . . . .   | 25 |
| (三) 極地環流 (Polar Cell) . . . . .   | 25 |
| (四) 赤道低壓帶 (Intertropical convergence zone, ITCZ) . . . . .                            | 25 |
| (五) 信風帶 (Trade winds) . . . . .   | 25 |
| (六) 副熱帶高壓帶 (Subtropical highs) . . . . .  | 25 |
| (七) 西風帶 (Westerlies) . . . . .  | 25 |
| (八) 副極地低壓帶 (Subpolar lows) . . . . .  | 26 |
| (九) 極地東風帶 (Polar easterlies) . . . . .  | 26 |
| 十一、 沃克環流 (Walker Circulation) 與聖嬰-南方振盪 (El Niño-Southern Oscillation, ENSO) . . . . . | 26 |
| (一) 中性狀態/正常年 . . . . .  | 27 |

|  |    |
|--|----|
| (二) 聖嬰事件 (El Niño) /聖嬰年 . . . . .                | 28 |
| (三) 反聖嬰事件 (La Niña) /反聖嬰年. . . . .               | 30 |
| 第八節 氣象觀測與圖表 . . . . .                            | 32 |
| 一、 地面觀測 . . . . .                                | 32 |
| (一) 陸/地面觀測 . . . . .                             | 32 |
| (二) 海面觀測 . . . . .                               | 32 |
| 二、 地面氣壓觀測儀器 . . . . .                            | 32 |
| (一) 福丁式水銀氣壓計 (Fortin Barometer) . . . . .        | 32 |
| (二) 空盒氣壓計 (Aneroid Barometer) . . . . .          | 32 |
| 三、 地面風的觀測儀器 . . . . .                            | 32 |
| (一) 杯式風速計 (Cup anemometer) . . . . .             | 33 |
| (二) 風車式/螺旋槳式風向風速計 (Vane anemometer) . . . . .    | 33 |
| (三) 皮托管風向風速計 (Pitot tube anemometer) . . . . .   | 33 |
| (四) 風向袋 (Windsock) . . . . .                     | 33 |
| 四、 地面溫溼度觀測儀器 . . . . .                           | 33 |
| (一) 百葉箱 (Stevenson Screen) . . . . .             | 33 |
| (二) 乾溼球溫度計 (Psychrometer) . . . . .              | 34 |
| (三) 水銀最高溫度計 . . . . .                            | 34 |
| (四) 酒精最低溫度計 . . . . .                            | 34 |
| 五、 地面雲的觀測 . . . . .                              | 34 |
| (一) 雲高與雲狀的分類 . . . . .                           | 34 |
| (二) 雲量 . . . . .                                 | 35 |
| 六、 地面降水觀測儀器 . . . . .                            | 35 |
| (一) 虹吸式雨量儀 (Siphon Rain Gauge) . . . . .         | 35 |
| (二) 傾斗式雨量儀 (Tipping Bucket Rain Gauge) . . . . . | 35 |
| 七、 地面蒸發觀測儀器 . . . . .                            | 36 |
| (一) A 型蒸發皿 (Class A Evaporation Pan) . . . . .   | 36 |
| 八、 高空觀測 . . . . .                                | 36 |
| (一) 探空氣球 . . . . .                               | 36 |
| (二) 全球衛星定位式投落送 . . . . .                         | 36 |
| 九、 遙測 . . . . .                                  | 36 |

|   |    |
|---|----|
| 十、 雷達遙測 . . . . .   | 36 |
| (一) 臺灣實驗性大氣移動雷達 (Taiwan Experimental Atmospheric Mobile-Radar TEAM-R) . . . . . | 36 |
| (二) 雷達合成回波圖 (Composite reflectivity) . . . . .                                  | 37 |
| 十一、 人造衛星遙測 . . . . .  | 37 |
| (一) 紅外線衛星雲圖 . . . . .   | 37 |
| (二) 可見光衛星雲圖 . . . . .   | 38 |
| 十二、 天氣圖 (Weather (analysis) chart) . . . . .                                    | 38 |
| (一) 測站符號 (Station symbol) . . . . .   | 38 |
| (二) 氣壓 . . . . .  | 42 |
| (三) 鋒 . . . . .   | 43 |
| (四) 熱帶氣旋 . . . . .  | 44 |
| 第九節 天氣預報 (Weather forecast) . . . . .   | 44 |
| 一、 天氣預報的限制 . . . . .  | 44 |
| 第十節 水循環 (Water cycle) /水文循環 (Hydrologic/Hydrological cycle) . . . . .           | 44 |
| 一、 水交換 . . . . .  | 44 |
| 二、 水分於儲藏處平均停留時間 . . . . .   | 45 |
| (一) 全球水分布 . . . . .   | 45 |
| 第十一節 碳循環 . . . . .  | 46 |
| 一、 碳匯/碳庫 . . . . .  | 46 |
| 二、 碳交換 . . . . .  | 47 |
| 第十二節 自然資源 (Natural resources) . . . . .   | 47 |
| 一、 資源分類 . . . . .   | 47 |
| 二、 資源回收 . . . . .   | 48 |
| 三、 能源 . . . . .   | 48 |
| 第十三節 環境汙染 . . . . .   | 49 |
| 一、 汙染源 . . . . .  | 49 |
| (一) 自然汙染 . . . . .  | 49 |
| (二) 人為汙染 . . . . .  | 49 |
| (三) 各汙染物主要來源 . . . . .  | 49 |

|      |   |    |
|------|---|----|
| 二、   | 空氣汙染  | 50 |
| (一)  | 酸雨  | 50 |
| (二)  | 溫室效應與氣候變遷   | 50 |
| (三)  | 臭氧層破洞 (Ozone hole)  | 51 |
| (四)  | 光化學煙霧 (Photochemical smog) 與懸浮微粒  | 51 |
| (五)  | 使血紅素失去運送氧氣的能力   | 51 |
| (六)  | 空氣汙染因應與防治   | 52 |
| (七)  | 美國 Clear Air Act  | 52 |
| (八)  | 中華民國氣候變遷因應法   | 52 |
| (九)  | 空氣品質指標 (Air Quality index, AQI)   | 52 |
| 三、   | 水汙染   | 53 |
| (一)  | 優養化   | 53 |
| (二)  | 缺氧/需氧廢料汙染   | 53 |
| (三)  | 重金屬汙染   | 53 |
| (四)  | 泡沫汙染 (硬性界面活性劑汙染)  | 54 |
| (五)  | 熱汙染   | 54 |
| (六)  | 海洋酸化  | 54 |
| (七)  | 塑膠垃圾  | 54 |
| (八)  | 其他廢水汙染  | 55 |
| (九)  | 生物需氧量 (biochemical oxygen demand, BOD) 與化學需氧量 (chemical oxygen demand, COD) | 55 |
| 四、   | 水淨化處理流程   | 55 |
| 第十四節 | 綠色化學 (Green chemistry)  | 56 |
| 第十五節 | 環境相關措施  | 57 |
| 一、   | 氣候變遷相關國際條約  | 57 |
| 二、   | 臺灣環境相關標誌  | 58 |
| 三、   | 永續發展 (Sustainable development)  | 60 |
| (一)  | 聯合國   | 60 |
| (二)  | 中華民國  | 60 |

# 第一章 大氣 (Atmosphere) 與環境 (Environment)

## 第一節 對流層大氣的成分

- 對流層大氣中，水氣約占 0 至 5%，其餘中，氮氣約占 78.08%，氧氣約占 20.95%，氬氣約占 0.93%，二氧化碳約占 0.04%。其中，水氣、二氧化碳、甲烷、臭氧、氮氧化物、硫氧化物等比例變動率較大者稱變動氣體。
- 對流層大氣中，水氣、二氧化碳、甲烷等溫室氣體，吸收長波輻射，維持地表溫度。
- 對流層大氣中有氣懸膠體，指其中懸浮的固體和液體微粒，可作為凝結核。

## 第二節 氣壓垂直變化

大氣壓力，簡稱氣壓，指單位面積上，由某一高度到大氣層頂空氣柱的總重量。

### 一、 氣壓單位

$$1 \text{ atm} = 1.01325 \text{ bar} = 1013.25 \text{ hPa} = 101325 \text{ Pa} = 101325 \text{ N/m}^2 = 760 \text{ mmHg} \\ = 76 \text{ cmHg} = 760 \text{ torr} = 10.13 \text{ mH}_2\text{O} = 14.7 \text{ psi} = 14.7 \text{ lbf/in}^2$$

### 二、 氣壓公式 (Barometric formula)

$$P = \begin{cases} P_b \left( 1 - \frac{L}{T_b}(h - h_b) \right)^{\frac{gM}{RL}}, & L \neq 0, \\ P_b e^{-\frac{gM(h-h_b)}{RT_b}}, & L = 0, \end{cases}$$

where

- $P$ : pressure at which pressure is calculated
- $P_b$ : reference pressure
- $T_b$ : reference temperature
- $L$  temperature lapse rate, assumed constant
- $h$ : geopotential height at which pressure is calculated
- $h_b$ : geopotential height of reference level
- $R$ : gas constant, assumed air is ideal gas



- $g$ : gravitational acceleration, assumed constant
- $M$ : molar mass of air, assumed constant

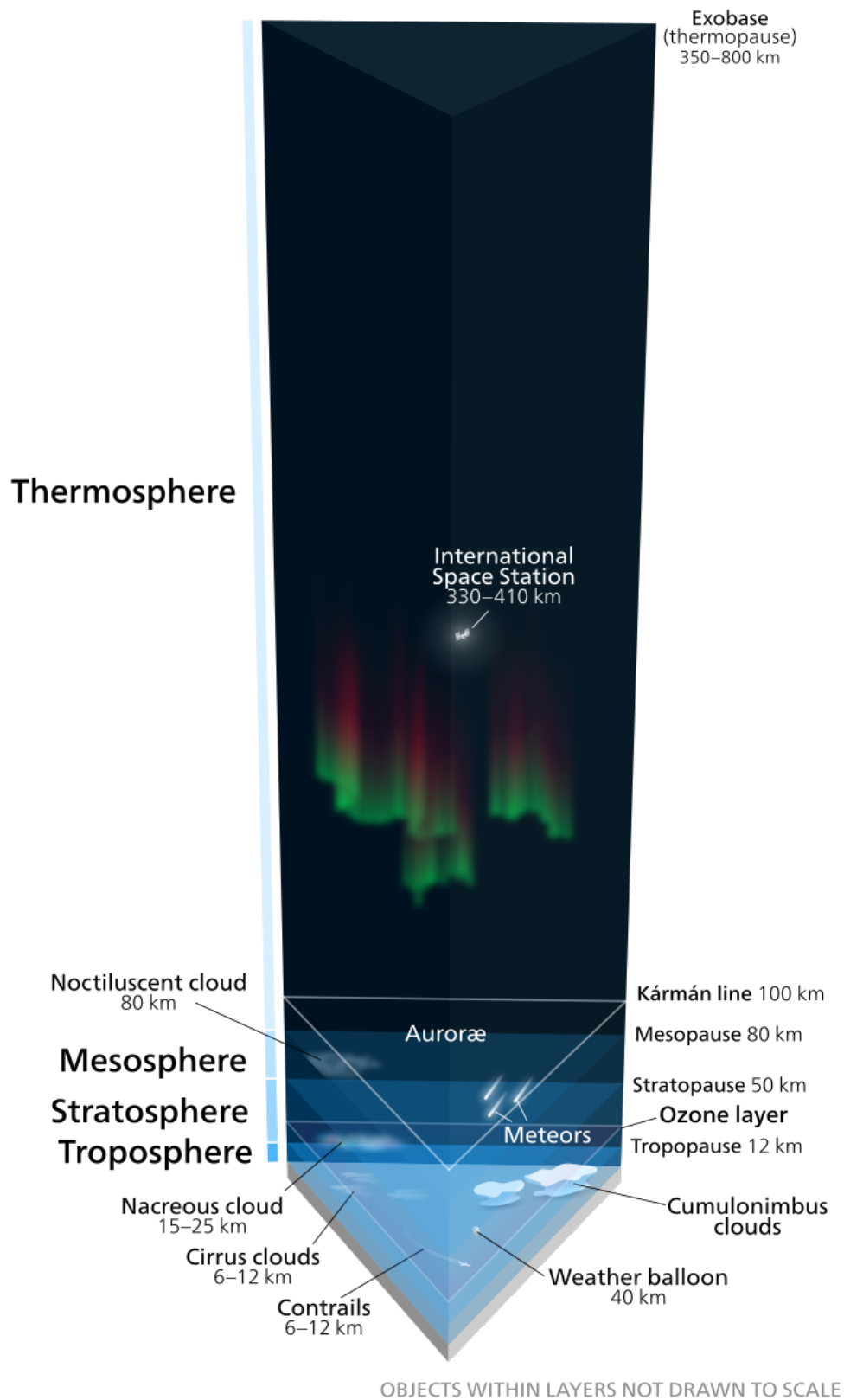
高度 5.5 km 處氣壓約 500 hPa，高度 9 km 處氣壓約 300 hPa，高度 50 km 處氣壓約 1 hPa，即千分之九百九十九的大氣都在平流層及以下。

### 三、 氣壓高度

在接近海平面處，高度每增加 10 公尺，氣壓約降低 1 百帕。飛機使用氣壓高度確保飛機間高度間距。登山使用的高度計使用氣壓高度原理。

## 第三節 氣溫垂直變化與大氣分層

地球的大氣層是因地球引力束縛而聚攏在地表（陸地及海洋）周圍的一層氣體混合物，其中還懸浮有不定量的氣膠和顆粒物。地球大氣層根據氣溫垂直遞減率從裡向外可以分為對流層、平流層（同溫層）、中氣層、增溫層和外氣層五個區域，沒有確切的上界。



Kelvinsong, 2013

## 一、 對流層 (Troposphere)

- 對流層是地球大氣圈中最底部的一層，下與地面相接，上至平流層。
- 對流層上界隨緯度、季節而變化，通常約 8 16 千米，平均 10 12 千米，低緯度地區平均約

15 17 千米，中緯地區平均約 10 12 千米，高緯地區平均約 8 9 千米，夏季厚冬季薄，在中緯地區尤甚。

- 對流層集中了整個大氣層約 75% 的質量，及 90% 以上的水及雜質，是密度最高的一層。對流層空氣垂直對流旺盛，天氣現象均發生在此。
- 除局部局時的逆溫層外，對流層氣溫直減率為正，平均約 6.5 攝氏度每公里。對流層頂的溫度約在攝氏-50 至-65 度。
- 太陽輻射中能量最強的可見光基本不能被大氣吸收，而是直接透過大氣射向地面；地面一邊吸收熱量一邊也向外輻射紅外線，這部分紅外線能量的 75% 95% 都被對流層的溫室氣體等物質吸收截留，是對流層的主要熱源。
- 對流：通常發生在流體內或流體和其他物質之間有溫度差時，因為溫度的差異會使得流體之間的密度不同，當流體增溫、體積膨脹、密度變小，便會逐漸上升，其位置由周圍溫度較低、密度較大的物質補充，補充之物質再增溫上升，周圍物質又來補充，如此循環不已，遂將熱量經流體之流動傳播到各處。

## 二、 平流層 (Stratosphere)

- 平流層位於對流層上方和中間層下方，其下界即對流層上界，依緯度、季節而變；其上界距地面 50 55km。
- 因為以臭氧吸收的熱量為主要熱源，平流層的氣溫直減率大體為負，至平流層頂達約-3°C。
- 因為呈現逆溫分布，空氣大多維持水平方向運動。
- 等溫層/同溫層 (Isothermal layer)：平流層在對流層頂至臭氧層底處存在一個溫度垂直變化較小的等溫層。平流層又稱同溫層源於此。
- 臭氧層 (Ozone layer)：平流層的主要熱源為臭氧直接吸收太陽 0.2 至 0.3 微米的紫外線輻射而增溫（更短波長者幾乎已在其上吸收盡）。平流層聚集了大氣層中約 90% 的臭氧，臭氧濃度高值區稱臭氧層，約在距地表 20 25 千米處。臭氧層可以屏蔽來自地球外的大部分紫外線（幾乎全部的 UV-C 和大部分 UV-B）。
- 長程客機注意飛行於平流層底部。

## 三、 中性層

地球大氣層未被電離的部分，包含對流層和平流層。

## 四、 中氣層 (Mesosphere)

中氣層下方是平流層，上方是增溫層，頂部高度約 85km。

中氣層臭氧分子稀少，難以吸收太陽輻射，因此氣溫直減率為正，故其中空氣存在相當的垂直方向運動。中氣層底的溫度約-3°C，中氣層頂的溫度約-90 至-100°C。

## 五、 均勻層

地球大氣中各種氣體分子分布均勻的層，包含對流層、平流層與中氣層。

## 六、 增溫層 (Thermosphere)

增溫層位於中氣層之上及外氣層之下，其頂部離地面約 600km。

- 空氣非常稀少，吸收少許太陽輻射就會大幅升溫，因此溫度隨高度增加而遞增，但密度極低，無法用一般溫度計測量。
- 溫度約已高於攝氏零度且空氣密度低，故通常在增溫層的航空器不能使用一般飛機的渦輪引擎。
- 吸收主要來自太陽的  $<0.2$  微米短波輻射，主要包含短波紫外線與 X 射線，是其主要熱源。
- 大量帶電粒子碰撞可能形成極光。

## 七、 卡門線 (Kármán line)

海拔 100 公里線，被提出為大氣層和太空的分界線，但並未受到全體接受，國際法未定義大氣層和太空的分界。

## 八、 電離層 (Ionosphere)

電離層是地球大氣層被太陽風、宇宙射線等電離的部分，電離指氣體的電子被遊離形成正離子與自由電子。電離層是地球磁層的內界。白天時包含中氣層和增溫層，晚上時僅包含增溫層。

- D 層：D 層是電離層最低的一層，離地球表面 50 至 100 公里。這裡主要是波長為 121.5 奈米的來曼- $\alpha$  氫光譜線的光電離一氧化氮。在太陽活動非常強烈時（超過 50 個黑子），硬 X 射線還可以電離空氣中的氮氣和氧氣的分子。白天時方存在，太陽活動愈強愈明顯。
- E 層：E 層是中層，在地面上 100 至 150 公里。這裡的電離主要是軟 X 射線和遠紫外線對氧氣分子的電離。這個層只能反射頻率低於 10MHz 的電波，對頻率高於 10MHz 的電波它有吸收的作用。夜間 E 層較不顯著且高度較高。
- E<sub>s</sub> 層：又稱偶現 E 層。它是小的、強烈電離的雲，可以反射頻率在 25 至 225MHz 之間的電波，可以持續數分鐘到數小時不等。夏季偶現 E 層出現得比較多，持續時間一般也比冬季長。電波的反射距離一般為 1000 公里左右。
- F 層：F 層在地面以上 150 至超過 500 公里。在這裡太陽輻射中的強紫外線（波長 10 至 100 奈米）電離單原子氧。F 層對於電波傳播來說是最重要的層。夜間 F 層合併為一個層，白天分為 F<sub>1</sub> 和 F<sub>2</sub> 兩個層。大多數無線電波天波傳送是 F 層形成的。在白天 F 層是電離層反射率最高的層。

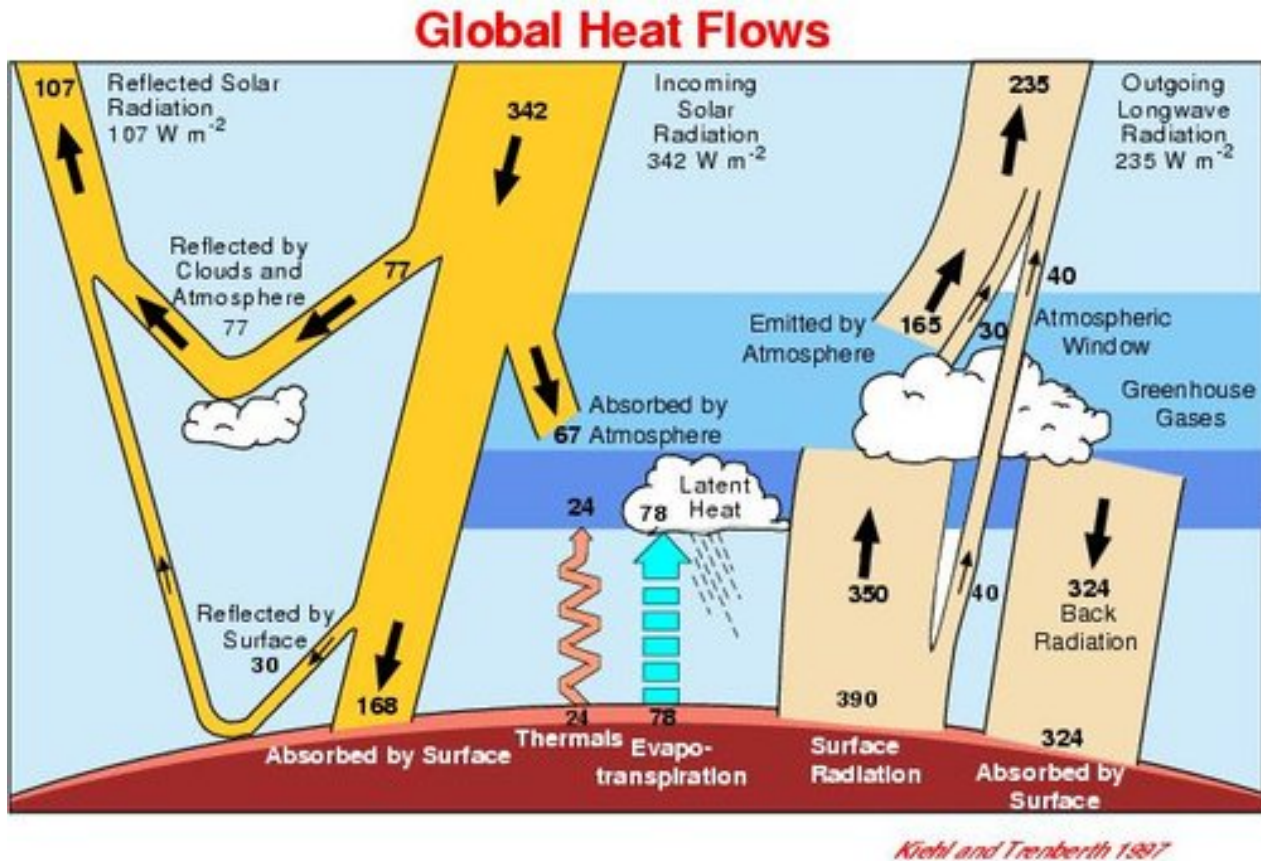
## 九、 外氣層 (Exosphere) / 散逸層

位於增溫層的上方，沒有明確上界。溫度極高，空氣粒子運動很快，經常散逸至外太空。

## 十、 不均勻層

地球大氣中各種氣體分子分布不均勻的層，包含增溫層及以上。

### 第四節 大氣與地表能量收支



Trenberth (2020) Journal of the Royal Society of New Zealand, 50:2, 331-347. c The Royal Society of New Zealand

- 太陽輻射是地球最主要的外部能量來源，也是推動大氣運動及 天氣變化的主要能量。太陽輻射進入地球大氣後，部分會被大氣（氣體 分子、懸浮微粒、雲等）吸收，部分會被大氣反射，約一半達到表，達 到地表者少部分被地表反射，大部分被地表吸收。
- 地球的能量支出部分，主要是透過地表紅外線輻射持續向外發 散能量，絕大部分的地表紅外線輻射會被大氣中的溫室氣體吸收，小部 分會直接逸散到太空。
- 大氣的能量也會以紅外線輻射的形式，發射至地表與太空。
- 空氣對流與水蒸發的潛熱也會將能量向上帶。
- 溫室效應（Greenhouse effect）：大氣氣體吸收來自太陽或行星的輻射能量，再輻射給行星的效應。溫室效應在白天由大氣吸收地表 輻射較多，晚上由地表吸收大氣輻射較多，使行星表面晝夜溫差較小。
- 地球總反照率約 31%。

## 第五節 大氣的水氣變化

### 一、 絕對溼度

單位體積空氣中所含的水氣（不包含液態與固態）質量，通常單位  $\text{g/m}^3$ 。

### 二、 飽和蒸氣壓

$p$ : 飽和蒸氣壓

$T$ : 絕對溫度

$v$ : 比容（密度的倒數）

$L$ : 單位質量液態變成氣態吸收的能量（潛熱）

$M$ : 分子量

$R$ : 理想氣體常數

$C$ : 積分常數

克勞修斯-克拉佩龍方程：

$$\frac{dp}{dT} = \frac{L}{T\Delta v}$$

推導：

$$\begin{aligned} v_g &\gg v_l \\ \Rightarrow \Delta(v) &\approx v_g = \frac{RT}{pM} \\ \Rightarrow \frac{dp}{dT} &= \frac{pLM}{T^2 R} \\ \Rightarrow \frac{dp}{p} &= \frac{LM}{R} \frac{dT}{T^2} \\ \Rightarrow \int \frac{dp}{p} &= \frac{LM}{R} \int \frac{dT}{T^2} \\ \Rightarrow \ln(p) &= -\frac{LM}{RT} + C \\ \Rightarrow \ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right) &= \frac{LM}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right) \end{aligned}$$

只要得到一個特定溫度下的飽和蒸氣壓，就可以依此求得飽和蒸氣壓對溫度曲線，但極端狀況不適用。

### 三、 相對溼度

定溫下， $\frac{\text{實際水氣壓}}{\text{飽和水氣壓}} \times 100\%$ 。一般來說 70% 的相對溼度對人體而言較舒適，低於 50% 會感覺乾燥。

### 四、 露點（溫度）（Dew point）

露點或露點溫度指在固定氣壓和水氣壓下，空氣中所含的氣態水達到飽和而凝結成液態水所需要降至的溫度。

## 五、 氣溫垂直遞減率 (Lapse rate of temperature)

- 氣溫垂直遞減率簡稱氣溫直減率。是氣溫隨著高度上升而遞減的幅度。
- 空氣是熱的不良導體，因此空氣團垂直移動的過程可以視為絕熱膨脹（絕熱降溫、絕熱冷卻）與絕熱壓縮（絕熱升溫、絕熱增溫）。一般稱絕熱乾空氣團溫度隨高度上升而遞減的幅度為乾絕熱直減率，稱絕熱溼空氣團溫度隨高度上升而遞減的幅度為溼絕熱直減率。空氣團上升過程中，體積增加，故絕對溼度減少，但溫度下降，故相對溼度增加除非飽和。
- 在對流層中，除局地局時的逆溫層外，氣溫直減率大於零；乾空氣平均每上升 100 公尺，氣溫就下降約 0.98 度；溼空氣因為水氣凝結時會釋放潛熱，平均每上升 100 公尺，氣溫下降約 0.60 度；平均空氣平均每上升 100 公尺，氣溫下降約 0.65 度。

## 六、 大氣穩定度

大氣穩定度決定當空氣塊抬升條件消失後空氣塊會繼續上升、停留不動還是下沉返回地表。

- 絕對穩定：環境直減率  $\leq 6^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ，空氣團上升後會降溫到比外界低溫而下降，大氣不易有垂直對流，若外力足以抬升其到凝結高度以上則生成積雲，但因失去外力抬升即下沉故不利雲系向上發展。
- 絕對不穩定：環境直減率  $> 10^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ，空氣團上升後仍比外界高溫而繼續上升，冷空氣下降填補其位置，大氣易有垂直對流，抬升條件消失後相對外界輕的空氣塊繼續上升形成易向上發展的積雨雲。
- 條件不穩定/相對穩定：環境直減率  $> 6^{\circ}\text{C}/\text{km}$  且  $\leq 10^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ，溼空氣團上升後會降溫到比外界低溫而下降，不易有垂直對流；乾空氣團上升後仍比外界高溫而繼續上升，冷空氣下降填補其位置，易有垂直對流；即要有迫使空氣塊抬升至特定高度的條件發生，大氣穩定度才會發生改變。

## 七、 成雲致雨

空氣絕熱上升冷卻，造成相對溼度上升，達到露點，水氣遂凝結為水，若降溫至熔點以下，水就可能凝固成冰晶，係成雲致雨的重要機制。

### (一) 凝結核

是懸浮於空氣中的微粒，能幫助水氣於其上凝結成小水滴，可以說固態、液態或兩者之混合物。凝結核的成分多樣，高空卷雲的凝結核通常是冰核，其他凝結核則可分為不可溶但能為水溼潤的粒子，如沙、塵埃，以及可溶性的鹽粒，如硫酸鹽、硝酸鹽。若空氣十分純淨而無凝結核，則不易成雲致雨。

### (二) 冰核

與凝結核相似，水凝固為冰晶也需要冰核，缺乏冰核時可能低於熔點仍未結冰，稱過冷水。大氣中的冰核數量遠少於凝結核，故高空雲層中常有過冷水。當過冷水遇到冰核會迅速凝固，如通過雲層的飛機，可能會因機身結冰造成危險。

### (三) 空氣抬升與降雨方式

- 局部熱對流抬升與對流雨：地面空氣受較暖地表或海面加熱，密度變小而產生強烈的上升氣流，造成對流雲系發展而降雨，並伴隨閃電。如夏季午後的雷陣雨。
- 地形抬升與地形雨：氣流在迎風坡順地勢抬升，在迎風面成雲致雨，通常不伴隨閃電；在背風面可能因水氣不飽和氣流下沉升溫出現乾熱的焚風（Foehn）/火燒風。焚風係因氣團中水氣已在迎風坡降水用盡，氣團絕熱下降溫度升高，故特徵為相對於原本該地氣團而言氣溫顯著上升、露點通常下降。如臺灣北部與東北部在冬季為東北季風迎風坡而降雨、颱風或低壓系統通過臺灣東北部時南臺灣吹西風常在臺東一帶形成焚風。
- 鋒面抬升與鋒面雨：冷暖氣團交會時，密度較小的暖氣團沿鋒面抬升成雲致雨。如冬、春兩季冷鋒通過臺灣帶來降雨。
- 輻合抬升與輻合雨：低氣壓中心低層空氣向內輻合，迫使空氣向上運動，易形成陰雨天氣。如熱帶低氣壓或颱風帶來的雨。

### (四) 人工降雨（Cloud seeding）

- 地面造雨法：利用地面造雨器燃燒碘化銀溶液，使碘化銀煙粒隨熱氣飄升達高空過冷水滴層以充當凝結核，使過冷水滴凝固為冰晶，經由冰晶成長過程，終至掉落成雨。
- 空中造雨法：利用飛機在雲中撒播碘化銀或乾冰雲種，由於撒播之雲種可精確被送達足夠低溫之雲中，故一般造雨效果較佳。

### (五) 霧

雲霧成因相同，都是空氣因冷卻而達飽和而凝結或凝固的現象，高空者稱雲，近地面或海面的稱霧。霧附著於表面呈液態者稱露，呈固態者稱霜。

- 輻射霧：地表向外輻射熱能於白天小於吸收之熱能，晚上則大於之，使溫度下降，待水氣達到飽和所形成的霧，多出現於清晨，而消散於太陽出來後。
- 平流霧：暖溼空氣在寒冷的陸地或海面上平流，使流動的空氣冷卻凝結，渦流混合可使此飽和空氣的霧滴伸展至相當高度，出現時間不固定。
- 升/上坡霧/膨脹霧：指因為地形使冷空氣抬升，因絕熱膨脹而冷凝而產生的霧。
- 蒸氣霧：冷空氣通過溫暖的水面，獲得來自水面的足夠水氣而飽和，常見於高緯度、秋冬交際的河面或湖面。
- 鋒面霧：暖空氣沿鋒面抬升降雨，雨滴落下後又蒸發，使下層冷空氣飽和生霧。

臺灣常見輻射霧與平流霧。冬末春初之晴天晚上，臺灣西部因暖溼空氣流入與輻射冷卻雙重影響，在清晨出現能見度不到百米的大霧。

## 第六節 大氣的水平運動

在地球參考系觀察，空氣所受的力主要有：氣壓梯度力、旋轉參考系的假想力、重力、摩擦力等。



## 一、 旋轉參考系 (Rotating reference frame) 與科氏力 (Coriolis force)

旋轉參考系指相對於慣性參考系旋轉的非慣性參考系。在相對於慣性參考系有角速度  $\Omega$  且相對於慣性參考系無加速度的旋轉參考系 B，觀察一相對於 B 有位置  $\mathbf{x}_B$  和速度  $\mathbf{v}_B$  的質點 A，其所受假想力（假定牛頓第二運動定律在慣性參考系與 B 中成立時必須在 B 相對於慣性參考系多施予 A 的力）， $\mathbf{F}_{\text{fict}}$  服從：

$$\mathbf{F}_{\text{fict}} = -2m\boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{v}_B - m\boldsymbol{\Omega} \times (\boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{x}_B) - m \frac{d\boldsymbol{\Omega}}{dt} \times \mathbf{x}_B$$

其中： $-2m\boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{v}_B$  是科里奧利力或稱科氏力； $-m\boldsymbol{\Omega} \times (\boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{x}_B)$  是離心力 (Centrifugal force)； $-m \frac{d\boldsymbol{\Omega}}{dt} \times \mathbf{x}_B$  是尤拉力 (Euler force)。

地球上的科氏力：

$$\mathbf{F}_c = -2m\Omega \mathbf{v} \sin \phi$$

其中  $\mathbf{F}_c$  是科氏力， $\Omega$  是地球的自轉角速度， $\mathbf{v}$  是風速向量， $\phi$  是緯度。

$f = 2\Omega \sin \phi$  是科氏參數 (Coriolis parameter)，或稱科氏頻率 (Coriolis frequency)。

科氏力會使北半球的物體在飛行途中向右轉，南半球的物體在飛行途中向左轉。

## 二、 氣壓梯度力 (Pressure Gradient Force, PGF)

氣壓作為一個純量場，其梯度稱氣壓梯度，因為氣壓差造成的力稱氣壓梯度力。等壓線指氣壓相等處的連線。等壓線疏密程度與氣壓梯度呈正比。

$$\mathbf{F}_p = -\frac{1}{\rho} \nabla p$$

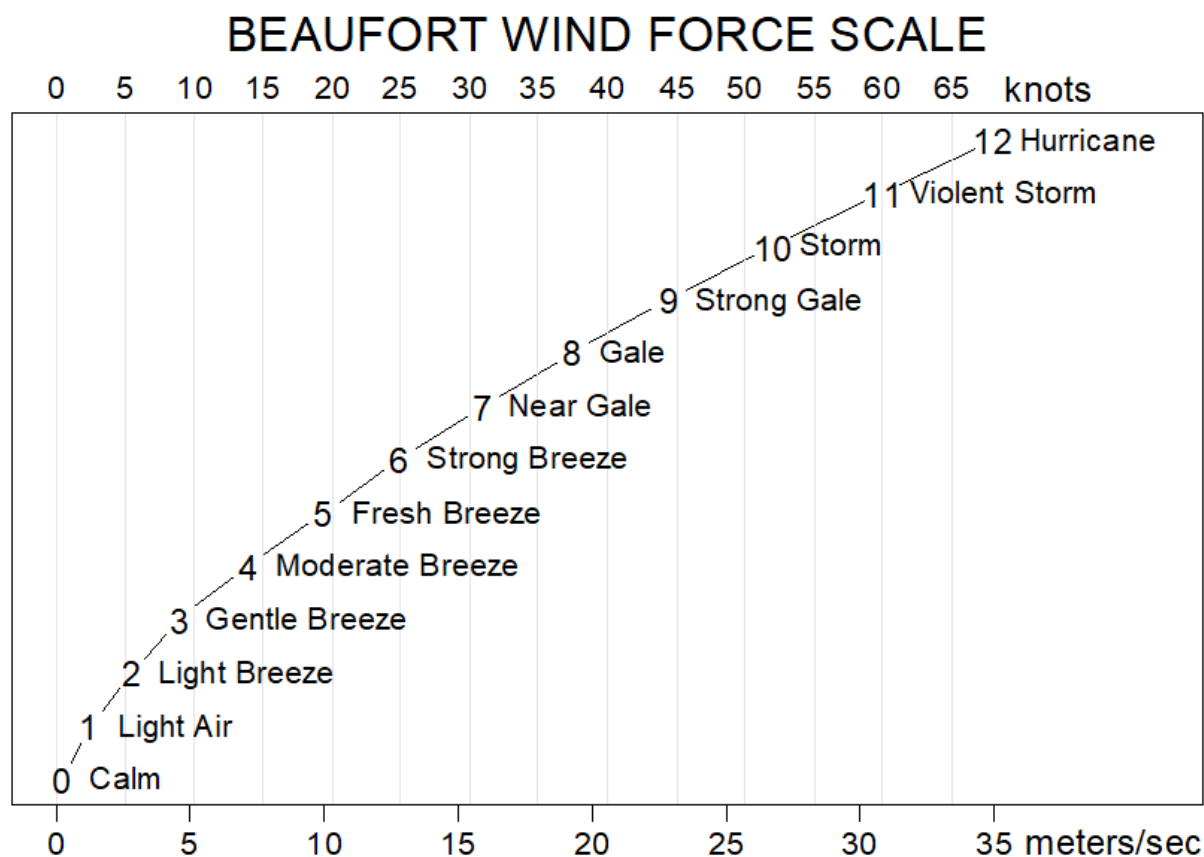
其中  $\mathbf{F}_p$  是氣壓梯度力， $\rho$  是空氣密度， $p$  是氣壓。

## 三、 空氣的運動

- 空氣的垂直運動：因為向上的氣壓梯度力分量與向下的重力大致相等達到平衡，因此空氣的垂直運動速度很小，每秒僅約速公分。但 當積雨雲發展或劇烈天氣現象發生時空氣垂直運動速度可以很大，例如下雷雨時雲內的垂直速度可達每秒數十公尺。
- 風：風是指空氣的水平運動，速度一般每秒約數公尺。
- 風向：風的來向。

## 四、 蒲福風級 (Beaufort scale)

1805 年英國海軍上將蒲福建立，原用於海上，後屢經修訂，乃成今日通用之風級。



Ldecola, 2018

## 五、 風切 (Wind shear)

註：此處將空氣向任何方向的運動視為風。

令向東、向北和向上分別為  $x$ 、 $y$  和  $z$  方向。風向量場可以表示為： $\mathbf{V} = (u, v, w)$ ，其中  $u$ 、 $v$  和  $w$  分別表示在  $x$ 、 $y$  和  $z$  方向的風速分量。

風切的數學描述：可以用風向量場的空間變化率來描述，即風向量場的梯度張量  $\nabla \mathbf{V}$ ：

$$\nabla \mathbf{V} = \begin{pmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} & \frac{\partial u}{\partial y} & \frac{\partial u}{\partial z} & \frac{\partial v}{\partial x} & \frac{\partial v}{\partial y} & \frac{\partial v}{\partial z} & \frac{\partial w}{\partial x} & \frac{\partial w}{\partial y} & \frac{\partial w}{\partial z} \end{pmatrix}$$

## 六、 地轉風 (Geostrophic wind)

地轉風是一種科氏力和氣壓梯度力平衡（稱地轉平衡）下產生的理論上的風，方向和等壓線平行。

- 假設大氣處於平衡狀態，即不考慮加速度；假設風是水平的，即忽略垂直運動；假設空氣運動不受摩擦力影響；假設風向量場是連續的。
- 推導：

$$\mathbf{F}_c = -2\Omega \mathbf{v} \sin \phi$$

其中  $\mathbf{F}_c$  是科氏力， $\Omega$  是地球的自轉角速度， $\mathbf{v}$  是風速向量， $\phi$  是緯度。

$$\mathbf{F}_p = -\frac{1}{\rho} \nabla p$$

其中  $\mathbf{F}_p$  是氣壓梯度力， $\rho$  是空氣密度， $p$  是氣壓。

- 地轉平衡 在地轉平衡條件下，氣壓梯度力與科氏力平衡，即：

$$\mathbf{F}_p + \mathbf{F}_c = 0$$

代入上述表達式：

$$-\frac{1}{\rho} \nabla p - 2\Omega \mathbf{v} \sin \phi = 0$$

將  $\mathbf{v}$  表示為風速的分量  $(u, v)$ ，在北半球：

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} - 2\Omega v \sin \phi = 0$$

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + 2\Omega u \sin \phi = 0$$

重新整理上述方程：

$$u = -\frac{1}{2\Omega \sin \phi \rho} \frac{\partial p}{\partial y}$$

$$v = \frac{1}{2\Omega \sin \phi \rho} \frac{\partial p}{\partial x}$$

將空氣密度  $\rho$  替換為標準大氣密度，並簡化得：

$$u = -\frac{1}{f} \frac{\partial p}{\partial y}$$

$$v = \frac{1}{f} \frac{\partial p}{\partial x}$$

其中， $f = 2\Omega \sin \phi$  是科氏參數。

- 最終表達式

$$\mathbf{v}_g = \left( -\frac{1}{f} \frac{\partial p}{\partial y}, \frac{1}{f} \frac{\partial p}{\partial x} \right)$$

這說明地轉風速度的大小和方向取決於氣壓梯度和緯度（通過科氏參數  $f$ ）。在北半球，地轉風平行於等壓線，氣壓梯度力指向低壓區，風向與氣壓梯度力成 90 度角，右側為高壓，左側為低壓；在南半球，方向相反。

## 七、地轉風近地面風

- 大氣和地表的摩擦力破壞了地轉平衡。摩擦力使氣流速度降低，減弱了科氏力的效果。結果就是氣壓梯度力效果變大，造成更大的偏轉讓空氣持續從高氣壓流往低氣壓。這解釋了為什麼高氣壓系統的風持續從中心向外，而低氣壓系統的風則是螺旋向系統中心。
- 高空風（地轉風）：通常，離地約 1 公里以上的高空風接近地轉風。
- 近（陸地）地面風：陸地地表摩擦力較大，風向較地轉風接近氣壓梯度力，斜向穿過等壓線，與等壓線夾約 15-30°，風速較高空地轉風小。
- 近海面/冰面風：海面與冰面摩擦力遠小於陸地，風向較近陸地地面風更接近地轉風。

## 八、 高氣壓與低氣壓

高氣壓又稱反氣旋，低氣壓又稱氣旋。在北半球，高壓中心近地面的空氣，會以順鐘向向外輻散，中心區域空氣下沉，水氣不易上升凝結，故多為晴朗天氣；低壓中心近地面的空氣，會以逆鐘向向內輻合，中心區域空氣上升，水氣易上升凝結，故多為陰雨天氣；南半球旋向反之。龍捲風因尺度較小不受科氏力影響。

## 第七節 大氣系統 (Atmospheric system)

### 一、 大氣系統的尺度

尺度指一事件所涵蓋的空間與時間大小，兩者正相關。

- 行星尺度 (Planetary scale)：如行星風系、沃克環流。
- 縱觀尺度 (Synoptic scale)：水平範圍 2000 公里以上。如氣團、部分鋒面（滯留鋒常見）、部分寒、溫、熱帶氣旋、少數海陸風。
- 中尺度：水平範圍 20 至 2000 公里。如部分海陸風、山谷風、焚風、部分雷雨、部分龍捲風、部分沙塵暴。
- 小尺度：水平範圍不足 20 公里。如部分雷雨、部分龍捲風、部分沙塵暴、小型渦流。

### 二、 大氣環流 (Atmospheric circulation) 的原因

當地球受熱不均，冷處較暖處密度較大，故垂直地表方向等壓線較密集，故在地面冷處形成高氣壓，暖處形成低氣壓，前者氣流地面輻散、高空輻合，後者反之，共形成一環流。

### 三、 海氣交互作用 (Air-sea interaction)

大氣與海洋同為流體，兩者間有物質與能量交換，稱海氣交互作用。

海氣間熱量傳遞：

- 潛熱：海水比熱較高，能保存較多熱能，可能透過蒸發散作用傳播給大氣，乾燥高溫海域尤甚，在多數海域長期平均潛熱通量為正（指海洋放熱給大氣），且約緯度愈低愈大，太平洋赤道一帶約 120 至 160 瓦每平方米，極區接近零，亦受海流影響。臺灣至日本本州一帶因西太平洋暖水區/暖池 (Western Pacific Warm Pool) 與黑潮暖流，且北半球陸地面積較大使太平洋間熱帶輻合區在赤道之北，故極大，可達 150 至 200 瓦每平方米；秘魯湧升流一帶因湧升流較冷，故極小，可達接近零。
- 顯熱：熱量直接由高溫介質傳導至低溫介質，較潛熱通量小，亦受緯度與海流影響，多數非沿海海域在-10 至 20 瓦每平方米之間。臺灣至日本本州一帶極大，可達 40 至 60 瓦每平方米。

### 四、 鋒 (Front) / 鋒區/鋒面

氣象學上的鋒或鋒區是指具有強水平溫度梯度、較大靜力穩定性及較大氣旋性渦度的狹長地帶，出現在兩個密度不同的氣團之間。其寬約數十或數百千米，長約上千千米，屬於中尺度天氣系統。鋒

在天氣圖上表現隨高度向冷區傾斜的等溫線密集帶。鋒面通過時，造成空氣抬升，地面在鋒面所在處形成暫時低壓區，而氣團多為高氣壓，故鋒面通過時較鋒面通過前後氣壓低。天氣圖上鋒面的位置繪製於地面兩氣團分界之處。鋒面造成兩氣團中較暖者抬升至較冷之上深入之，故可能於該區域發生成雲致雨，對冷鋒而言為鋒後，對暖鋒而言為鋒前。

### (一) 伯傑龍氣團分類 (Bergeron classification of air masses)

The Bergeron classification of air masses is a system used in meteorology to classify air masses based on their source region and moisture content. It was developed by Swedish meteorologist Tor Bergeron in the early 20th century. The classification uses three main letters to describe an air mass.

- Moisture Content: first, lowercase letter
  - c: Continental (dry air)
  - m: Maritime (moist air)
- Thermal Characteristics: second, uppercase letter
  - P: Polar (cold air from higher latitudes)
  - T: Tropical (warm air from lower latitudes)
  - A: Arctic (very cold air from the Arctic region)
  - E: Equatorial (hot, humid air from near the equator)
  - S: Superior air (dry air formed by significant downward motion in the atmosphere)
- Surface Modifiers: optional third, lowercase letter
  - k: Indicates the air mass is colder than the surface it moves over (e.g., causes instability and convection).
  - w: Indicates the air mass is warmer than the surface it moves over (e.g., causes stability).

### (二) 冷鋒 (Cold front)

冷氣團主导向暖气團推進，並取代暖气團原有位置所形成的鋒。因為冷氣團密度大於暖气團，故移動速度較暖鋒快。由於冷氣團的密度較暖气團大，相遇時冷氣團會下沉到暖气團的下方，暖气團被迫抬升。在上升過程中，空氣逐漸冷卻，形成雲層，若暖气團中含有大量的水分，就會形成降水，發生在鋒後。因冷鋒鋒面較陡，易形成向上堆疊的積雲，鋒區所在的低壓槽較暖鋒窄，故降雨範圍較暖鋒窄，通常為降雨強度較大的間歇性降雨。

臺灣冷鋒通常發生在冬、春兩季。

| 氣象要素 | 過境前                 | 過境時                    | 過境後                   |
|------|---------------------|------------------------|-----------------------|
| 風向   | 偏南或偏西南              | 快速變化                   | 偏西或偏西北                |
| 溫度   | 相對較高                | 急劇下降                   | 穩定下降                  |
| 氣壓   | 穩定下降                | 達到最低值後急劇上升             | 穩定升高                  |
| 雲系   | 捲雲和卷層雲增多，臨近過境時出現積雨雲 | 積雨雲                    | 積雲為主，地面溫度較高時可能有層積雲出現  |
| 降雨   | 短周期的強降雨             | 以雨或雪等形式出現強降雨，有時伴有冰雹和雷電 | 冷鋒前緣暖空氣堆積，降雨強度減弱，隨後放晴 |
| 露點   | 較高                  | 急劇下降                   | 較低                    |
| 能見度  | 一般或較差，有霧            | 很差，但過境結束後提高            | 降雨結束後相對較好             |

北半球冷鋒過境後的典型天氣特徵

### (三) 暖鋒 (Warm front)

暖氣團主導向冷氣團推進，並取代冷氣團原有位置所形成的鋒。因為暖氣團密度小於冷氣團，故移動速度較冷鋒快。由於冷氣團的密度較暖氣團大，相遇時冷氣團會下沉到暖氣團的下方，暖氣團被迫抬升。在上升過程中，空氣逐漸冷卻，形成雲層，若暖氣團中含有大量的水分，就會形成降水，發生在鋒前。因暖鋒鋒面較緩，易形成層雲，鋒區所在的低壓槽較冷鋒寬，故降雨範圍較冷鋒寬，通常為降雨強度較小的持續性降雨，形成細雨綿綿的天氣。

臺灣通常無暖鋒；日本在春、夏之交常有暖鋒。

| 氣象要素 | 過境前                     | 過境時      | 過境後             |
|------|-------------------------|----------|-----------------|
| 風向   | 偏南或偏東南                  | 多變       | 偏南或偏西南          |
| 溫度   | 相對較低，緩慢上升               | 穩定上升     | 趨於平穩            |
| 氣壓   | 常為下降                    | 急劇下降     | 略微升高後繼續下降       |
| 雲系   | 捲雲和卷層雲增多，隨後出現高層雲、雨層雲和層雲 | 層雲為主     | 放晴，伴有少量層積雲      |
| 降雨   | 輕微到中等程度的降雨              | 零星小雨或無降雨 | 通常無降雨，有時會有小雨或陣雨 |
| 露點   | 穩定升高                    | 保持穩定     | 升高後趨於平穩         |
| 能見度  | 很差                      | 很差，但逐漸轉好 | 較好，有薄霧          |

北半球冬季暖鋒過境前後的典型天氣特徵

### (四) 滯留鋒/靜止鋒/準靜止鋒 (Stationary front)

指移動緩慢的鋒。滯留鋒兩側的冷暖氣團勢力相當，使鋒在一定區域內來回擺動，造成長時間的晴雨相隔或降雨天氣。冷空氣和暖空氣兩側的風通常幾乎平行於靜止鋒流動，通常沿著靜止鋒兩側以

相反的方向流動。通常在地面鋒線過後開始出現降水，風速增大且天氣轉差，待高空槽過境後，降水逐漸停止，天氣開始轉晴。但由於滯留鋒的坡度較冷鋒更小，其雲雨區亦較寬廣，甚至可能使其雲雨區距離地面鋒線較遠。

滯留鋒可能由冷鋒或暖鋒演變而來。

臺灣滯留鋒通常發生在 5、6 月的梅雨季，長江中下游通常發生於 6、7 月的梅雨季。當西南氣流與滯留鋒相遇時，導致空氣中的水汽大量凝結，形成持續性的降雨，是梅雨的主要成因。

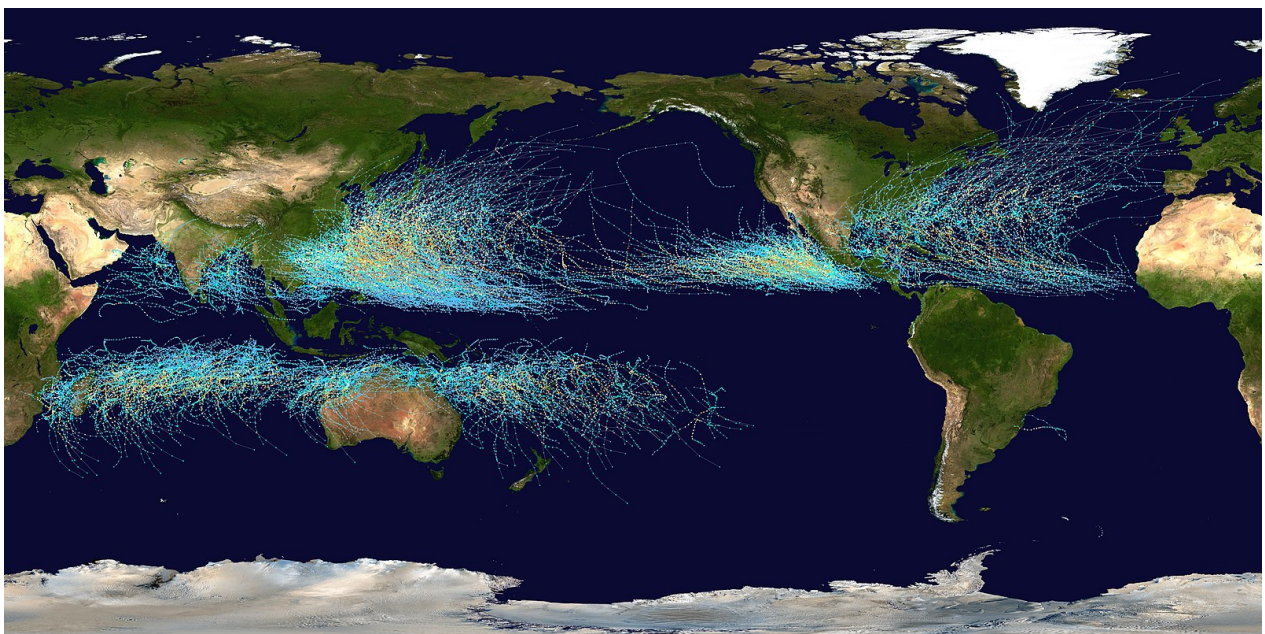
### (五) 囚錮鋒 (Occluded front)

通常是由於冷鋒追上暖鋒而成。在剖面圖上，原來兩個鋒面之間的交接點稱為囚錮點。囚錮鋒的形成經常發生在溫帶氣旋的成熟階段，通常出現在中高緯度地區。當下方被冷空氣占據，暖空氣穩定在上方時，鋒面系統也將消散。

- 冷式囚錮鋒：冷鋒後的冷氣團比暖鋒前的冷氣團更冷，其間的囚錮鋒稱為冷式囚錮鋒。冷式囚錮鋒是由於一個更冷的氣團追上暖鋒，楔入暖鋒底部而形成。
- 暖式囚錮鋒：暖鋒前的冷氣團比冷鋒後的冷氣團更冷，其間的囚錮鋒稱為暖式囚錮鋒。暖式囚錮鋒是由於冷鋒追上更冷的氣團，冷鋒被迫抬升所造成的。
- 中性囚錮鋒：囚錮鋒前後的冷氣團無太大的差異。

## 五、 熱帶氣旋 (Tropical cyclone, TC)

### (一) 生成條件



- 海面溫度高於  $26^{\circ}\text{C}$  (或有稱  $26.5^{\circ}\text{C}$ )，以提供足夠水氣與能量維持大規模對流結構。
- 大氣的初始渦旋：大氣要先有一個低層向中心輻合、高層向外輻散的渦旋，才能維持上升氣流。

- 中低對流層的溼度：中低對流層的大氣水氣要充足，才能有更多的潛熱釋放。
- 緯度：太接近赤道的地區，地球自轉的科氏力太小，不易形成氣流旋轉與輻合作用，因此在緯度 5 度以內極少有颱風形成。
- 垂直風切小：上下層大氣的風向與風速不能有太大差異，才能讓水氣凝結釋放的潛熱集中在熱帶擾動的中心區域。

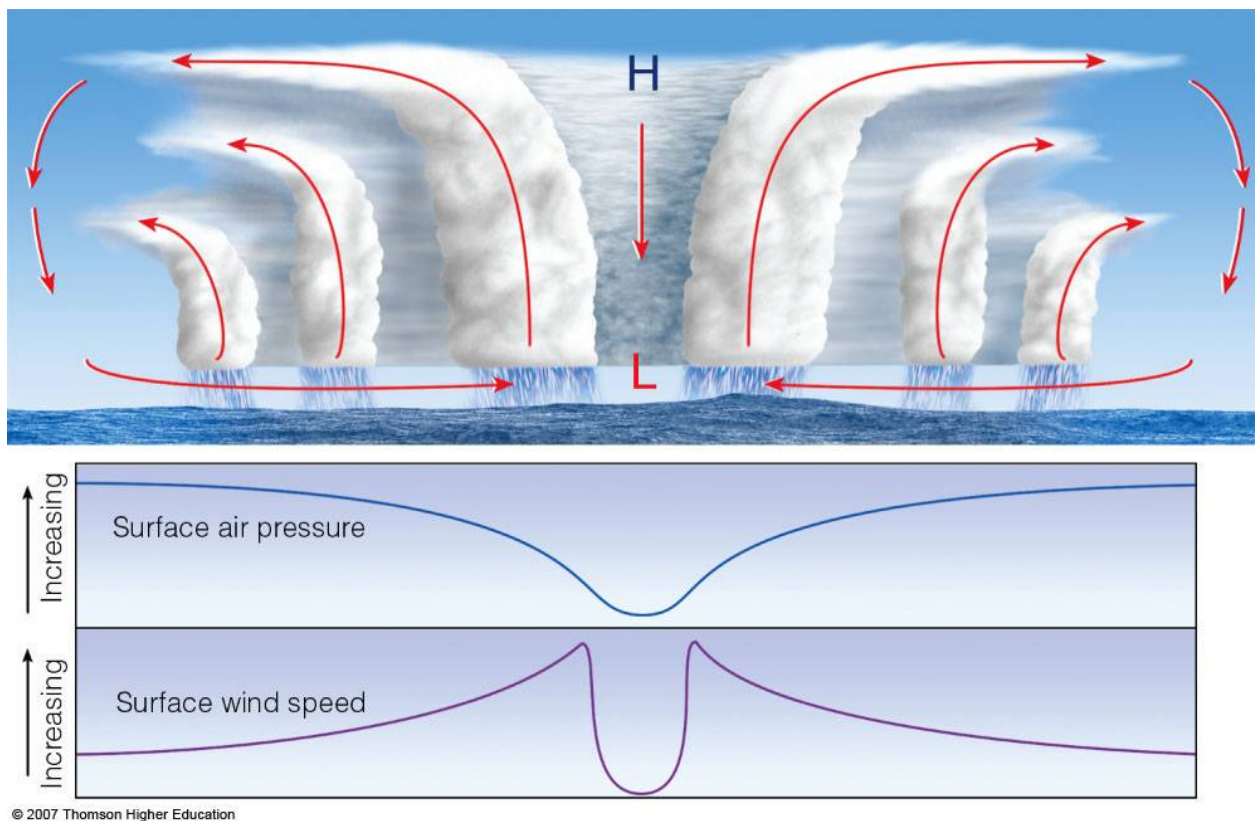
故通常發生在夏季到初秋時分熱帶、副熱帶地區海面，而南大西洋因為溫度較低與風切較大，無熱帶氣旋。

## (二) 分級

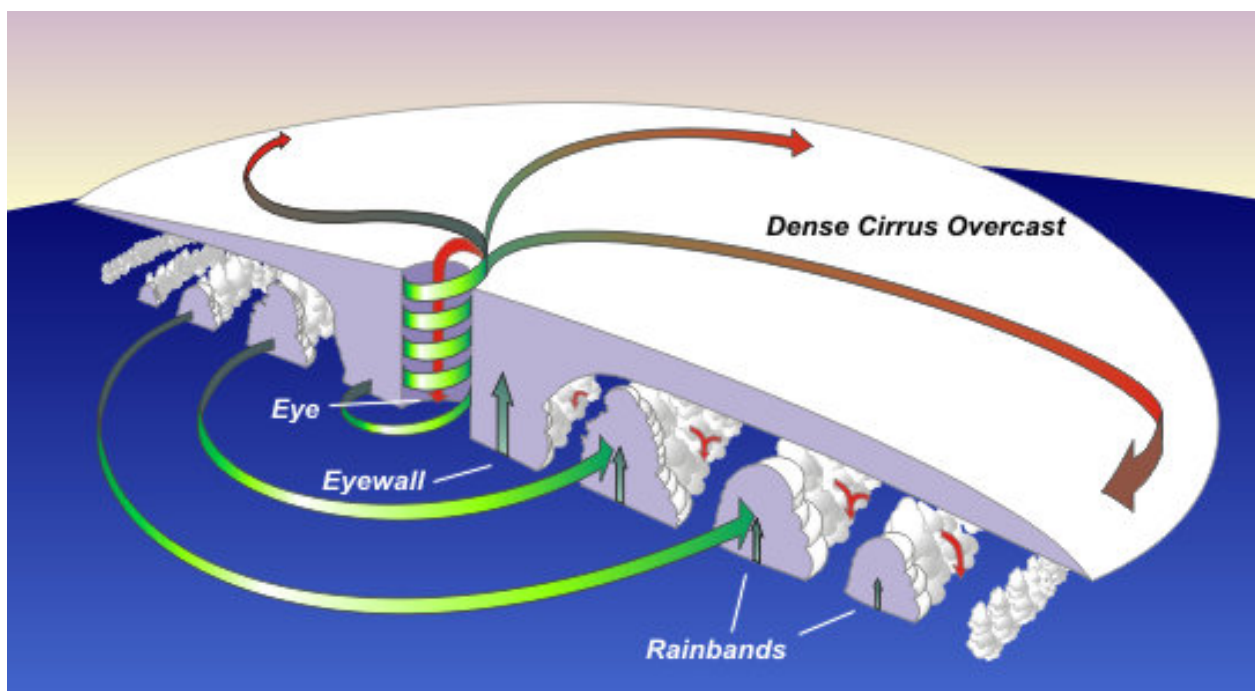
- 熱帶擾動 (Tropical disturbance)：中心持續風力未達每小時 41 公里。熱帶海洋接受較多的太陽輻射，海水溫度較高、蒸發較旺盛，潮溼的熱帶大氣獲得充足水氣，得以支持活躍的對流作用。較強對流產生群聚的積雨雲，環境初始擾動，範圍達數百公里，稱熱帶擾動。
- 熱帶低壓/熱帶性低氣壓 (Tropical Depression, TD)：中心持續風力達每小時 41-62 公里，即蒲福風級 7 級。大氣對流開始有組織，四周低層潮溼空氣由周圍向中心輻合、上升，形成高聳的積雨雲，帶來更多水氣與潛熱釋放，被加熱上升後，在高空會形成高壓，使空氣由中心在高層向外輻散，形成之。
- 熱帶風暴 (Tropical storm, TS) /輕度颱風：中心持續風力達每小時 62-117 公里，即蒲福風級 8-11 級，美國稱熱帶風暴（風速 1 分鐘平均），中華民國稱輕度颱風（風速 10 分鐘平均）。低壓中心附近上層潛熱釋放，加強對流，更多水氣向低壓中心集中，海面氣壓更低，促使環流加強，吸引更多水氣向低壓中心集中輸送，循環不已，形成之。
- 中度與強烈颱風/颱風 (Typhoon, TY)：西北太平洋稱颱風、大西洋和東太平洋稱颶風 (Hurricane)、印度洋及西南太平洋稱旋風 (Cyclone)。美國（風速 1 分鐘平均）每小時 118-153 公里稱 1 級颶風、每小時 154-177 公里稱 2 級颶風、每小時 178-209 公里稱 3 級颶風、每小時 210-249 公里稱 4 級颶風、每小時大於 250 公里稱 5 級颶風。中華民國（風速 10 分鐘平均）每小時 118-183 公里稱中度颱風，即蒲福風級 12-15 級、每小時大於 184 公里稱強烈颱風，即蒲福風級 16 級以上。此時颱風進一步加強，結構完整。



### (三) 成熟颱風結構



Lyndon State College, 2016



- (颱) 風眼：成熟的颱風中心多有的颱風眼，氣壓最低，風力很小，因有微弱下沉氣流，呈現少雲或無雲的狀態，下降氣流縮小增溫使溫度較周圍略高，水氣不易飽和，故無雲雨，其大小可達數十公里，強度較弱的熱帶氣旋之颱風眼常較不清楚或不存在。

- 眼牆：颱風中心周圍堆積高聳如牆的積雨雲，受颱風眼下沉氣流向外與往內旋入的氣流在此形成強烈輻合，是颱風內上升運動、風速及降雨最強的區域。
- 螺旋狀雲雨帶：渦旋狀旋轉的對流雲系（積狀雲），水平範圍約數百公里，颱風一般有 500 公里以上，內有垂直對流故間歇性降雨。
- 垂直對流：成熟颱風的垂直對流高度相近，達到對流層頂附近，即約十幾公里高。颱風愈強，垂直對流愈強，垂直高度發展愈高，甚至略高過對流層頂。由中心往外，間或有垂直上升與下降的區域，即颱風來襲時風雨陣強陣弱的現象，較靠近中心者通常較強。
- 外圍沉降氣流：雲雨區外圍存在外圍沉降氣流。
- 颱風外圍環流：指颱風七級風暴風半徑之外的風場。這些環流由於颱風的強大能量和旋轉運動而形成，水平範圍可達數百公里，攜帶大量的水氣，並導致外圍地區出現強降雨、風暴潮等天氣現象。

#### (四) 高壓影響颱風路徑

颱風路徑常受高壓帶影響，沿反氣旋方向行進。

#### (五) 減弱消散

颱風減弱時風速變小、中心氣壓上升。

- 移入陸地：因為失去維持能量的溫暖海水，且環流受到陸地地形與摩擦力增大的破壞，而迅速減弱消散。絕大部分的強烈熱帶氣旋登陸後一至兩天即變成組織鬆散的後熱帶氣旋。但是如果能夠重新移到溫暖的洋面上，它們可能會重新發展。移經山區的熱帶氣旋可能在短期內迅速減弱。
- 在同一海面上滯留過久：翻起海平面 30 公尺以下較涼海水，熱量吸乾，使表面水溫下降，無法維持強度，熱帶氣旋因而減弱。
- 移入水溫低於 26°C 的海洋：使熱帶氣旋失去其特性（中心附近的雷暴和暖心結構），減弱為低壓區或溫帶氣旋。這是東北太平洋熱帶氣旋消散的主因。
- 遇上強烈垂直風切：對流組織受風切破壞。
- 與西風帶的作用：例如與鄰近的鋒面融合，使熱帶氣旋轉化為溫帶氣旋（稱後熱帶氣旋），這個過程會持續一至三日，在這段期間的熱帶氣旋會逐漸成為後熱帶氣旋。但就算熱帶氣旋完成轉化，很多時候仍能維持熱帶風暴的風力和一定程度的降雨。在太平洋和大西洋，由熱帶氣旋轉化而成的溫帶氣旋有時風力會達到颶風的水平，影響美國西岸或歐洲。
- 弱的熱帶氣旋被另一低壓區影響：受破壞而成為非氣旋性雷暴，或被另一較強的熱帶氣旋吸收。

## (六) 天氣型態

- 螺旋狀雲雨區：潮溼且不穩定度高，易有較強降雨，地形迎風面地區易有強風豪雨，風力強勁使擴散條件較佳，與降雨洗除作用，均會使空氣品質佳；位於背風面或尚未被熱帶性低氣壓所籠罩之區域則可能發生水平風較弱、氣流過山沉降等現象，擴散條件較差，空氣品質轉差，可能有焚風。
- 外圍沉降氣流區：在雲雨區外之區域為平均氣流沉降區，大氣普遍晴朗無雲，下沉氣流易使空氣中的汙染物易聚集在近地面聚集，垂直擴散條件不佳。此時若有汙染源排放，則汙染物易累積，使空氣品質轉差。

## (七) 共伴效應 (Accompanied effect)

指熱帶氣旋所挾帶之氣流遇上季風或鋒面等時產生低空輻合形成降雨的現象。

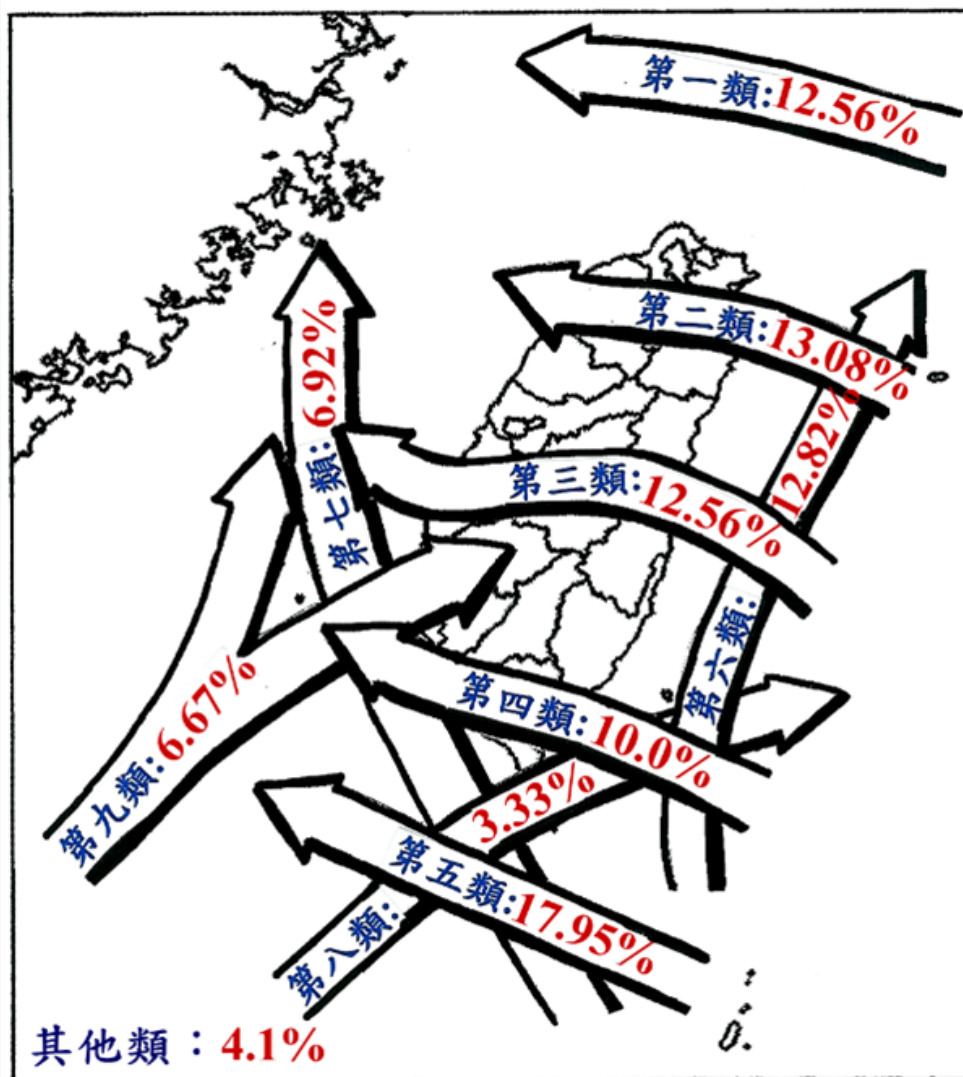
## (八) 藤原效應 (Fujiwhara effect) /雙颱風效應

指兩個距離不遠的水旋渦或大氣旋渦（如熱帶氣旋），因為渦度、質量、相對位置的不同，而互相影響的狀態。通常以兩者連線的中心為圓心，繞著圓心互相旋轉。通常在兩或多個颱風靠近至 1000 公里以內時發生，除互繞外亦可能合而為一。

## (九) 颱風與海洋的交互作用

- 颱風產生的強風有時可以將較深層的冷海水帶至海洋表面，使表面海水溫度降低。
- 低溫海水因為無法提供足夠潛熱而不利颱風發展，因此長期停留在同一海面的颱風強度可能會減弱。
- 颱風可說是一種將原來低緯度熱帶海洋的熱量傳輸到大氣及中高緯度地區的天氣系統，可調節地球氣候與能量平衡。
- 颱風中心氣壓低，將海水面吸高，當颱風登陸時常形成暴潮。

## (十) 侵臺颱風



侵臺颱風路徑分類圖

- 侵臺颱風：中央氣象署定義，颱風中心登陸臺灣，或中心未登陸，但在臺灣附近海面經過且造成路上災害的颱風，為侵襲臺灣的颱風。
- 海上颱風警報：颱風暴風圈在 24 小時內有可能侵襲距臺澎金馬海岸線 100 公里範圍內之近海。
- 陸上颱風警報：颱風暴風圈在 18 小時內有可能侵襲距臺澎金馬陸地。
- 侵臺颱風多發源於西北太平洋（第 1 至 8 類路徑），少數來自南海（第 9 類路徑）。
- 發源於西北太平洋者形成後多受副熱帶太平洋高壓的氣流導引，沿著高壓南側朝西或西北前進。副熱帶高壓的控制減弱可能使颱風路徑受到周圍環流影響而打轉或搖擺。
- 侵臺颱風，由東往西者（第 1 至 5 類路徑）約占六、七成，由南往北者（第 6 至 9 類路徑）約占二成。

- 臺灣有高聳的山脈，颱風穿越時強度常會明顯減弱，但臺灣面積較小，無法有效切斷颱風的水氣供應使消散。
- 迎風面通常風雨較強；背風面通常風雨較弱，可能出現焚風。
- 臺灣東部沒有地形屏障，從東來的颱風對該處損害大。
- 颱風尾：指颱風離去途中引入西南氣流，好發於夏季，太平洋高壓勢力東退時尤甚。
- 西北颱：即第 1 類颱風路徑，從臺灣東方海面向西北進行，中心通過基隆與彭佳嶼之間海面。颱風中心未經山脈破壞，且可能引進西南氣流。其通過北部近海時使臺灣北部與西北部多吹西北風，風向垂直海岸線向內陸吹，使積水不易由河川宣洩，甚至引起淡水河海水倒灌，使大臺北地區受創嚴重。
- 與東北季風產生共伴效應：好發於秋冬兩季，北方的東北風南下，若臺灣附近有熱帶氣旋逼近且挾帶東南風，即易產生共伴效應，為臺灣北部及東北部地區帶來豐沛的降雨量。

## 六、 中尺度比熱差異造成的大氣系統

### (一) 山風與谷風

陸地比熱小於空氣，故白天山坡受日照溫度上升，上方空氣受熱膨脹，氣壓降低，使空氣由山谷沿山坡爬升，吹谷風；晚上山坡迅速冷卻，空氣接觸較冷的山坡而冷卻收縮，使空氣沿山坡下降，吹山風。

### (二) 海風與陸風

陸地比熱小於海水，故白天受日照陸地升溫大於海水，上方空氣受熱膨脹，氣壓降低，吹海風；晚上陸地輻射冷卻快於海水，空氣冷卻收縮，吹陸風。

## 七、 季風 (Monsoon)

季風一種風向隨季節改變的現象，如亞洲（東亞）季風區、西非季風區。

### (一) 亞洲季風區

東亞季風區主要成因是海陸比熱差異，但仍可能受行星風系影響，如對同向季風具有加成性、對反向季風具有抵銷性。

北半球夏季太陽輻射較強，亞洲大陸因比熱較小而快速增溫，在青藏高原、印度北部一帶形成低壓中心，風由太平洋高壓與南印度洋高壓吹向陸地，並受科氏力影響，前者在日本、朝鮮半島、中國東北一帶形成東南季風，在長江中下游一帶形成南季風，在越南、菲律賓、臺灣、閩粵一帶形成西南季風，後者在印度形成西南季風。來自海洋的季風富含水氣，受到地面加熱與地形抬升易形成積雨雲並降雨。

北半球冬季太陽輻射減弱，陸地降溫速率大於海洋，最低溫出現在西伯利亞一帶，形成蒙古—西伯利亞高壓，氣團性質屬於大陸冷氣團，季風吹向太平洋，並受科氏力影響，在中國東北、朝鮮半島、日本一帶形成西北季風，在長江中下游一帶形成北季風，在閩粵、臺灣、菲律賓、越南一帶形成東北季風，而往印度方向受青藏高原阻隔無法進入印度次大陸。該等季風原本為乾冷性質，形成乾冷

天氣，如中國大陸東部地區，但若經過足夠海洋區域可能轉變為溼冷性質，易造成地形雨，如日本、臺灣、菲律賓。

## **(二) 西非季風區**

西非季風區分布於西非幾內亞灣沿岸，主要受間熱帶輻合區季移產生，產生夏雨冬乾的氣候。

夏季時間熱帶輻合區北移至北非一帶，東南信風到達北半球後右轉，在幾內亞灣沿岸形成西南季風，因通過海洋面積大，易降雨。

冬季時間熱帶輻合區南移至幾內亞灣沿岸一帶，幾內亞灣沿岸吹東北季風，因未通過海洋而通過撒哈拉沙漠，性乾。

# **八、 臺灣夏半季常見之受亞洲綜觀大氣系統致生的天氣型態**

## **(一) 太平洋高壓**

- 太平洋高壓（籠罩）：夏季副熱帶高壓籠罩時，多晴朗炎熱的好天氣。雲量少，太陽加熱使地表增溫，產生上升氣流，有助於空氣與汙染物垂直流動、混合，汙染物不易累積於近地面。不過在太陽持續照射下，也會觸發光化反應，使白天臭氧濃度易上升並累積。
- 太平洋高壓邊緣：當太平洋高壓中心移動到臺灣東方或東南方上時，臺灣環境風場主要為南風或西南風，高屏空品區空氣品質較雲嘉南空品區以北良好，北部空品區位於下風處，汙染物較易累積，西南風者可能帶來水氣與乾淨空氣。

## **(二) 西南氣流**

- 西南季風：夏季盛行穩定之西南風，通常挾帶較多水氣，臺灣南部位於迎風面且易有降水現象；而北部位於下風處，汙染物易累積。
- 西南氣流：底層大氣有強勁的西南風，且西南風將充沛的水氣輸送至臺灣，此種暖溼氣流受中央山脈阻擋，抬升至適當高度後，其挾帶之水氣易凝結而降雨，常使中、南部地區發生豪雨。

## **(三) 低壓帶**

低壓區內有利氣流舉升，天氣不穩定，水氣足夠時易成雲致雨。

## **(四) 南方雲系北移**

位於南方之潮溼空氣北移，常對臺灣造成雲雨現象，常發生於梅雨季節。

# **九、 臺灣冬半季常見之受亞洲綜觀大氣系統致生的天氣型態**

## **(一) 大陸冷高壓與東北氣流**

- 高壓南下/冷高壓影響/東北季風：冬季盛行穩定之東北風，稱東北季風。在相對影響範圍較廣的西伯利亞冷高壓南下過程中，臺灣受高壓邊緣影響，附近風向常為偏北風至東北風，較北部擴散條件較佳，高屏空品區位於尾流弱風區，因此空氣品種較差，惟若風伴隨境外汙染物移入，則原擴散良好區也可能發生空氣汙染。

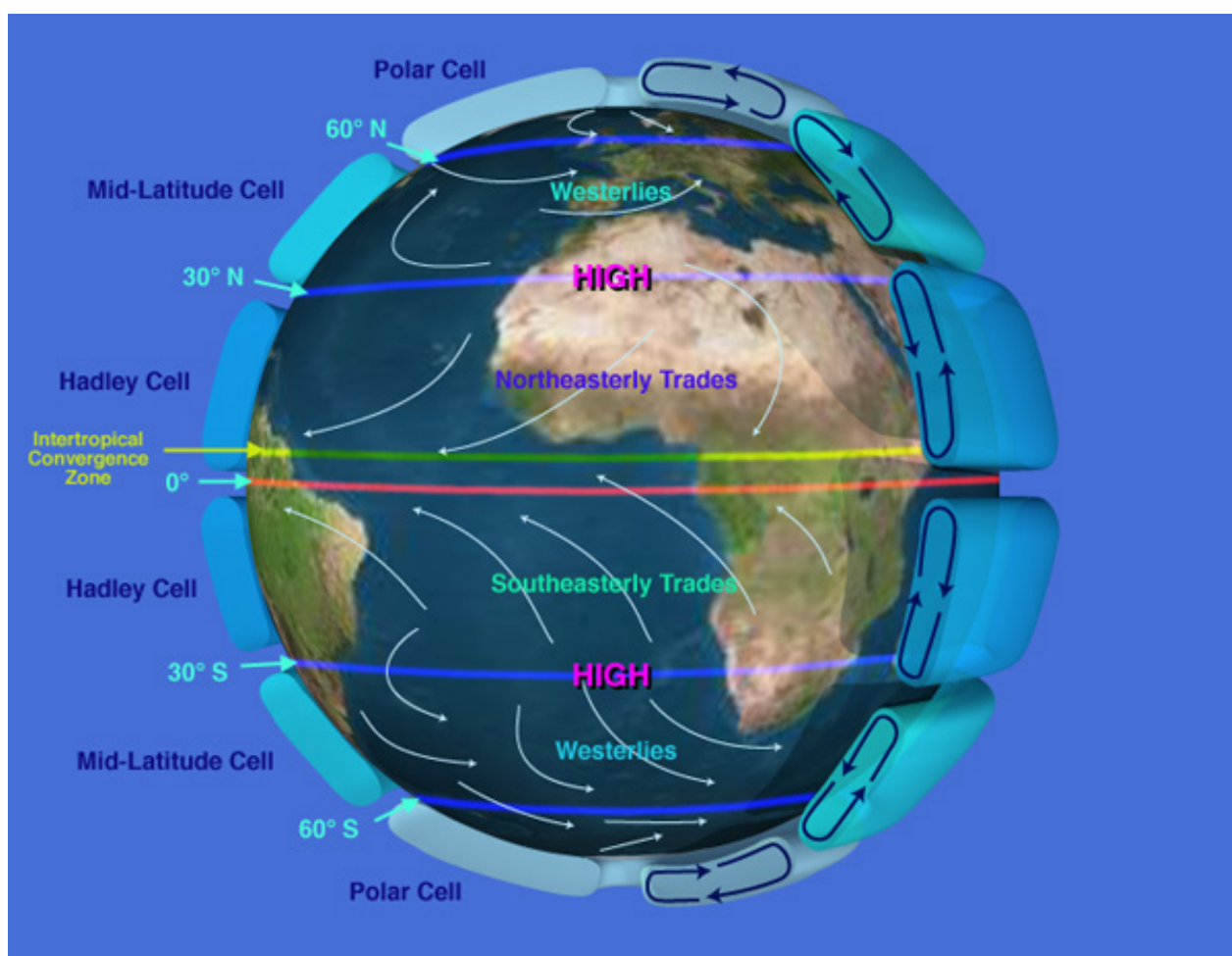


- 高壓出海：受西風帶影響，西伯利亞高壓與太平洋上的低氣壓常向東移動。當大陸高壓中心靠近華北、華中沿岸地區，且由陸地進入東海洋面時，臺灣地區以東北風為主。
- 高壓東移與高壓迴流：大陸冷高壓出海後，高壓中心持續向東移動，臺灣地區之環流風場由東北風轉為偏東風，而後可能轉為東南風，由於中央山脈的阻隔，臺灣西半部位於背風面，天氣較為穩定且風速較弱，擴散條件較差。高壓迴流天氣型態主要發生於秋季至隔年春季，此期間因東北季風將境外汙染物一波波移入，使得臺灣附近空氣汙染物濃度之背景值提升，而高壓迴流天氣型態又使大氣擴散條件不佳，因此每年 11 月至隔年 4 月有較多高汙染事件發生。

## (二) 華南雲雨區東移

冬春之際，華南中低層大氣鋒面尚未完全通過，因暖溼空氣受冷空氣舉升產生雲雨現象，並隨著西風帶向東移動，常對臺灣造成雲雨現象。

## 十、 地球緯向 (Latitudinal) 行星風系 (Planetary wind system) 與大氣環流



過去以為地球的緯向大氣環流為簡單的赤道上升極地下降的單胞環流，後經驗證地球的緯向大氣環流應大致為三胞環流，但局部受到海陸性質差異、地形阻隔等原因，不同於理想情況，且地球自轉軸傾斜造成風帶季移，即環流（圈）/胞（Cells）與風帶（Wind belts）隨著季節而南北移動，北半球夏至時最北，北半球冬至時最南。

理想的三胞環流行星風系包含：

### **(一) 哈德里環流 (Hadley Cell)**

- 位置：位於赤道至 30 度緯度（北半球和南半球各一個）。
- 在赤道，太陽輻射使空氣加熱並上升，形成低壓區（赤道低壓帶或赤道無風帶）。上升的空氣在高空向兩極方向流動，冷卻後在副熱帶地區（約 30 度緯度）下沉，形成高壓區（副熱帶高壓帶）。下沉的空氣在地表流回赤道，受到科氏力形成信風帶。

### **(二) 費雷爾環流 (Ferrel Cell)**

- 位置：30 度緯度至 60 度緯度（北半球和南半球各一個）。
- 特徵：費雷爾環流是由哈德里環流和極地環流的交互作用形成。地表空氣從副熱帶高壓區向極地低壓區（60 度緯度）流動，在途中受到科氏力影響形成西風帶。在 60 度緯度，空氣上升並在高空流回副熱帶。

### **(三) 極地環流 (Polar Cell)**

- 位置：60 度緯度至極地（北半球和南半球各一個）。
- 特徵：極地地區的冷空氣在地表流向副極地低壓區（約 60 度緯度），形成極地東風帶。在 60 度緯度，空氣上升並在高空流回極地，形成極地高壓區。

### **(四) 赤道低壓帶 (Intertropical convergence zone, ITCZ)**

- 位置：赤道附近。
- 特徵：氣流在此匯聚並上升，形成低壓區域。該區域通常多雲多雨。

### **(五) 信風帶 (Trade winds)**

- 位置：赤道至 30 度緯度。
- 特徵：由副熱帶高壓帶向赤道流動的風。北半球的信風從東北方向吹向西南，南半球的信風從東南方向吹向西北。

### **(六) 副熱帶高壓帶 (Subtropical highs)**

- 位置：約 30 度緯度。
- 特徵：穩定的高壓區域，空氣從高空下沉。

### **(七) 西風帶 (Westerlies)**

- 位置：30 度緯度至 60 度緯度。
- 特徵：由副熱帶高壓帶向副極地低壓帶流動的風，從西向東吹拂。



### (八) 副極地低壓帶 (Subpolar lows)

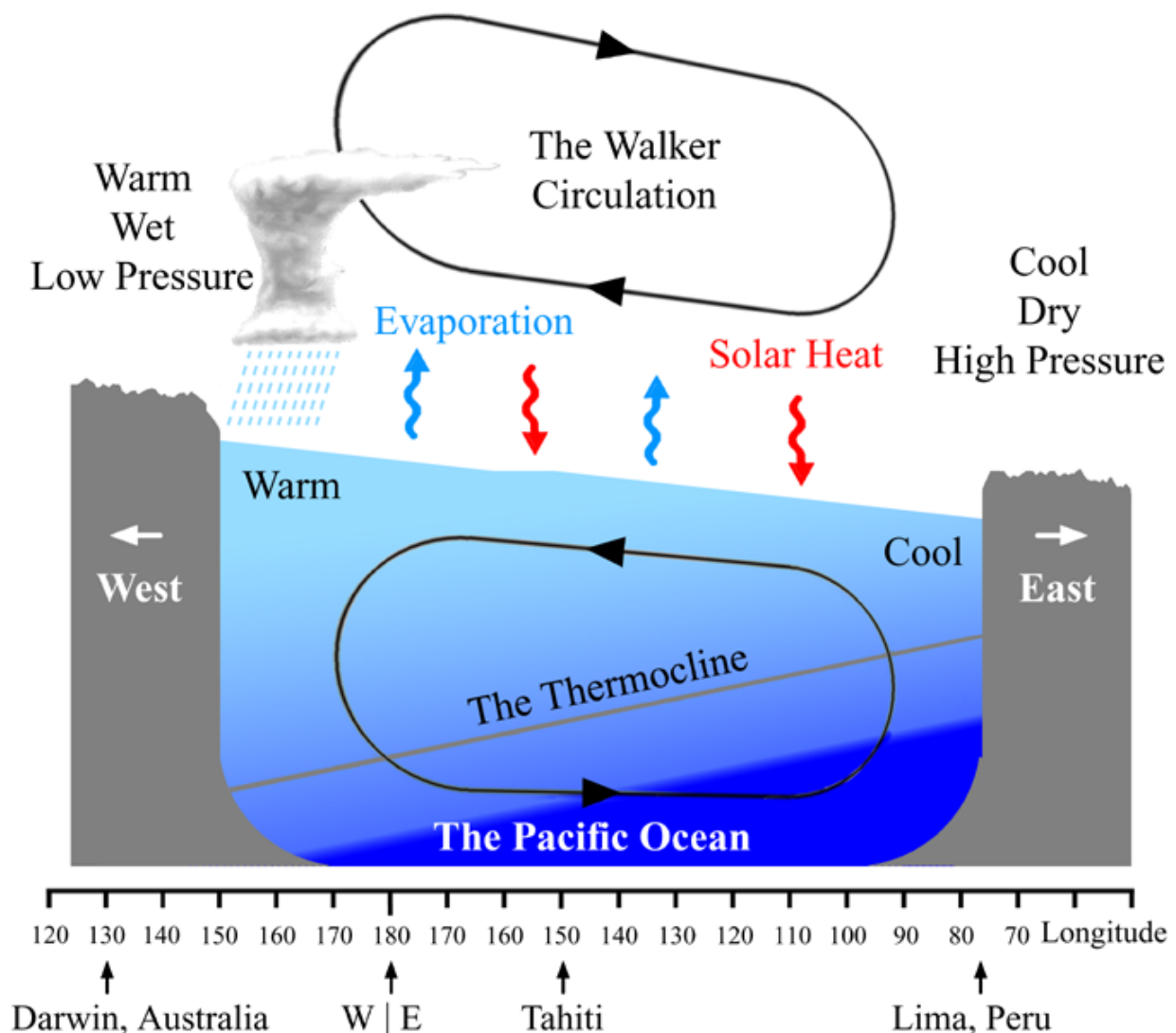
- 位置：約 60 度緯度。
- 特徵：由暖空氣和冷空氣相遇形成的低壓區，常見暴風系統。

### (九) 極地東風帶 (Polar easterlies)

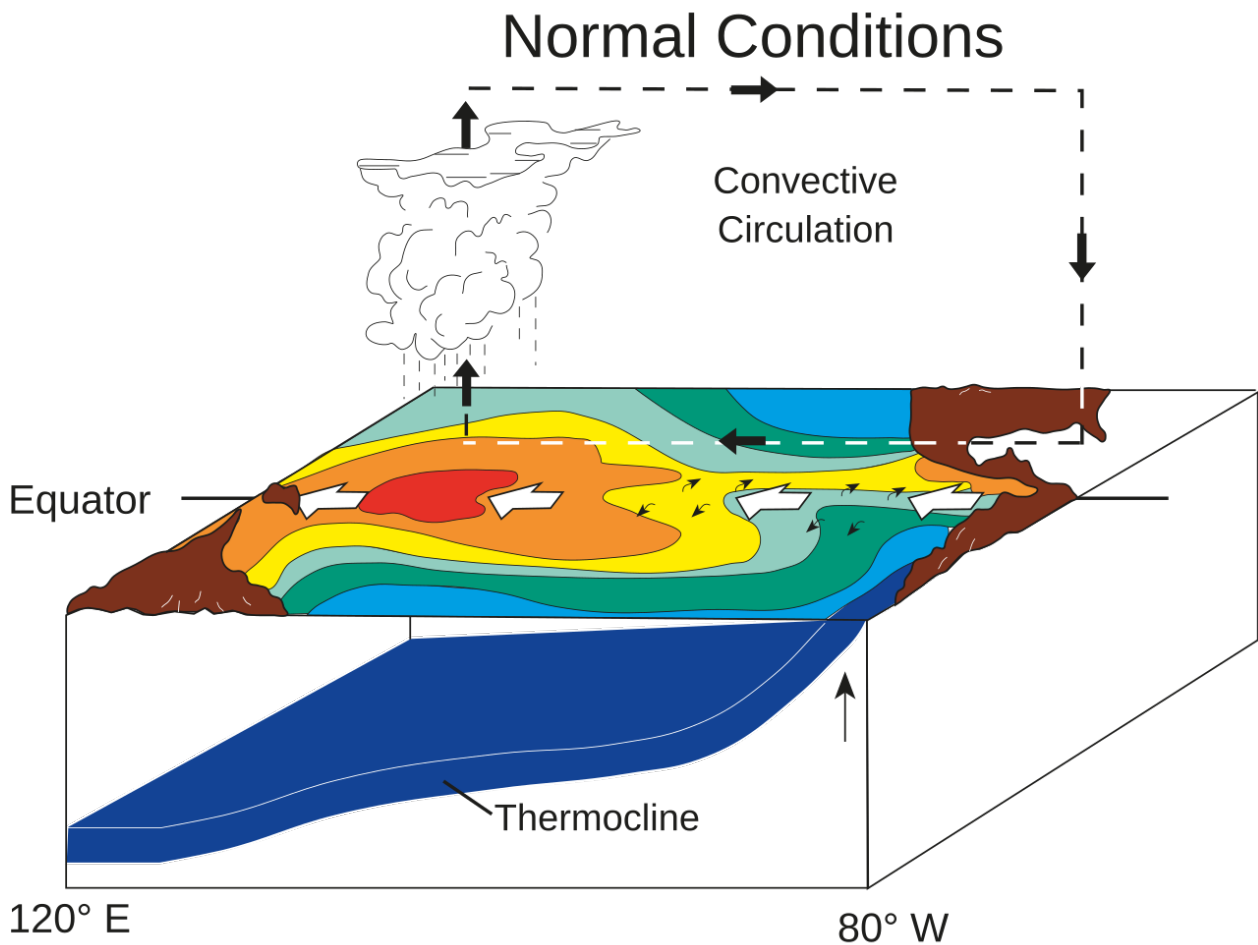
- 位置：60 度緯度至極地。
- 特徵：由極地高壓區向副極地低壓區流動的風，從東向西吹拂。

## 十一、 沃克環流 (Walker Circulation) 與聖嬰-南方振盪 (El Niño-Southern Oscillation, ENSO)

沃克環流是指赤道附近沿東西方向的大氣環流模式，主要由太平洋上的海洋表面溫度 (Sea surface temperature, SST) 差異驅動，並與聖嬰-南方振盪密切相關。ENSO 是指赤道太平洋海洋和大氣系統之間的週期性變化，其中聖嬰與反聖嬰本指東西太平洋海溫的週期性變化，南方振盪本指東西太平洋大氣氣壓週期性變化，而後發現兩者的相關性。ENSO 包括兩個相反的階段：聖嬰/厄爾尼諾 (El Niño) 事件和反聖嬰/拉尼娜 (La Niña) 事件，以及中性狀態，是全球氣候變異的主要驅動因素之一。

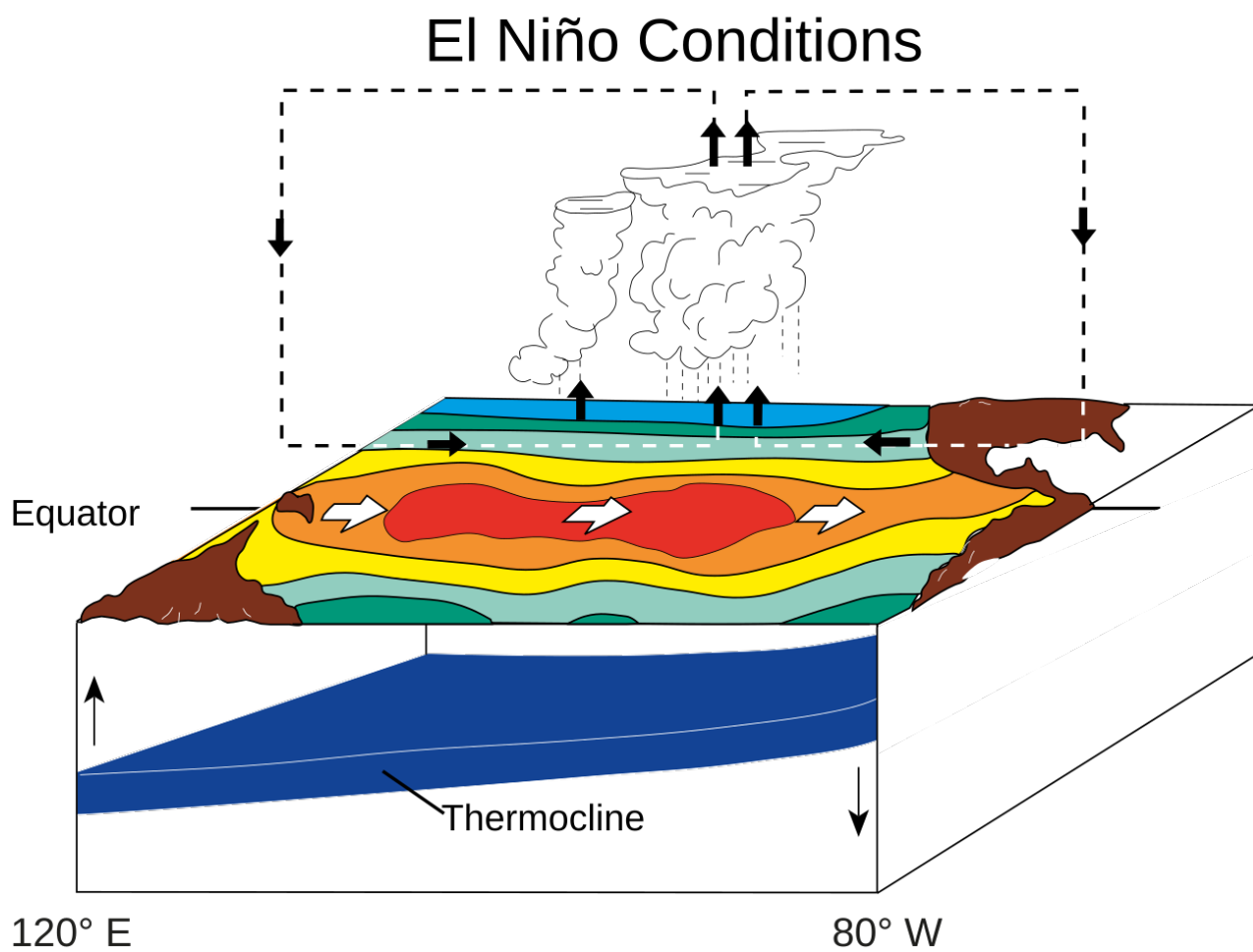


## (一) 中性狀態/正常年



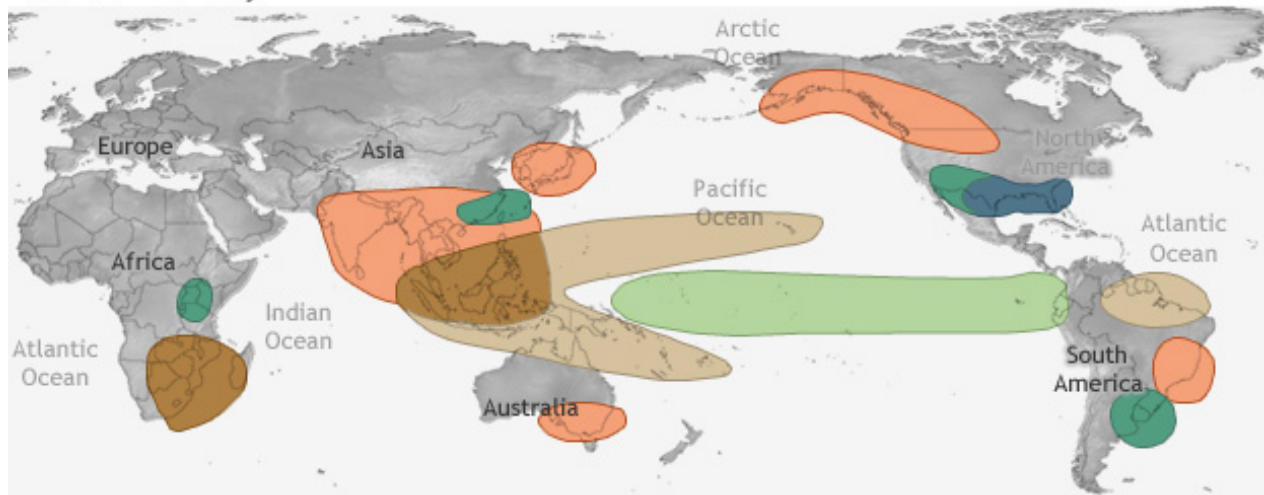
- 地表東風：在赤道太平洋上，地表東風（東北信風與東南信風）吹拂。
- 赤道洋流與冷暖水區：信風因為艾克曼螺旋將溫暖的表面海水從南美洲沿岸推向西太平洋，即南赤道暖流與北赤道暖流，使西太平洋較東太平洋混合層厚、海水溫度高，在東亞海域形成西太平洋暖水區，東太平洋形成冷水區。由於西太平洋海水堆積海面高度較東太平洋高而形成赤道逆流，屬於傾斜流。
- 西太平洋上升氣流：溫暖的海水加熱大氣，使得西太平洋上空的空氣上升，形成低壓區。
- 高空西風：上升的空氣在高空中向東流動，逐漸冷卻並在東太平洋下降。
- 東太平洋下降氣流：在東太平洋的冷海水上空，空氣下降，形成高壓區。冷空氣在地表隨信風流回西太平洋，形成閉合環流。
- 秘魯湧升流：作為南太平洋暖流與北太平洋暖流的補償流，秘魯沿海發生湧升流，將深海冷水與營養物質帶到淺海，使秘魯漁場可以捕獲大量鯷魚。

(二) 聖嬰事件 (El Niño) /聖嬰年

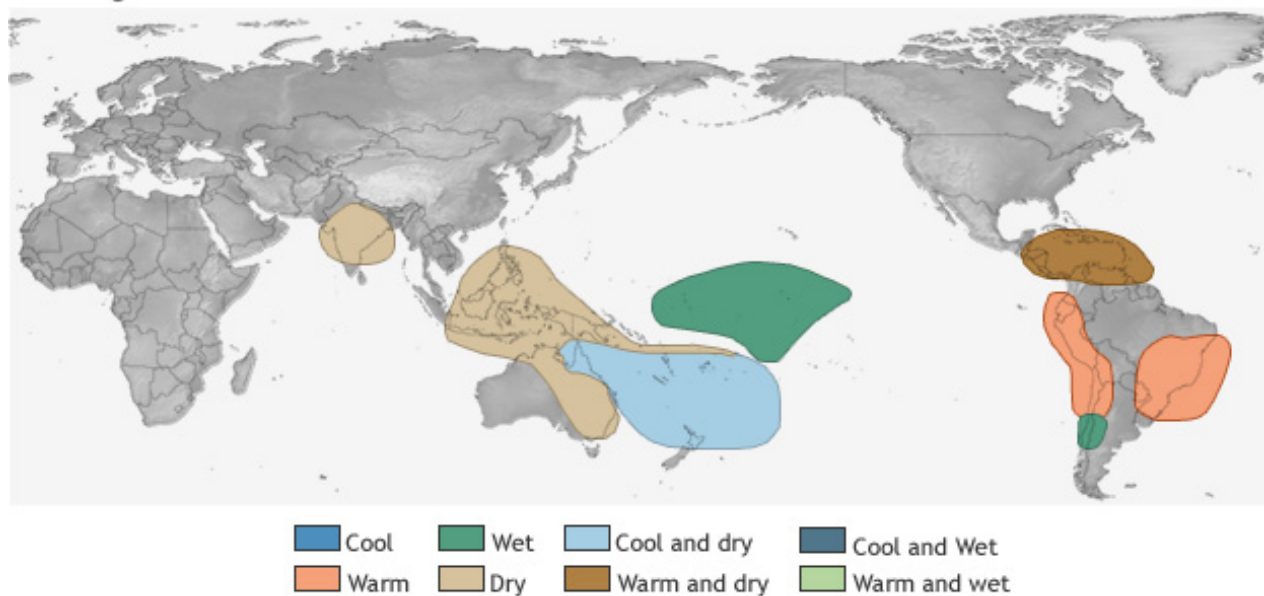


## EL NIÑO CLIMATE IMPACTS

December-February

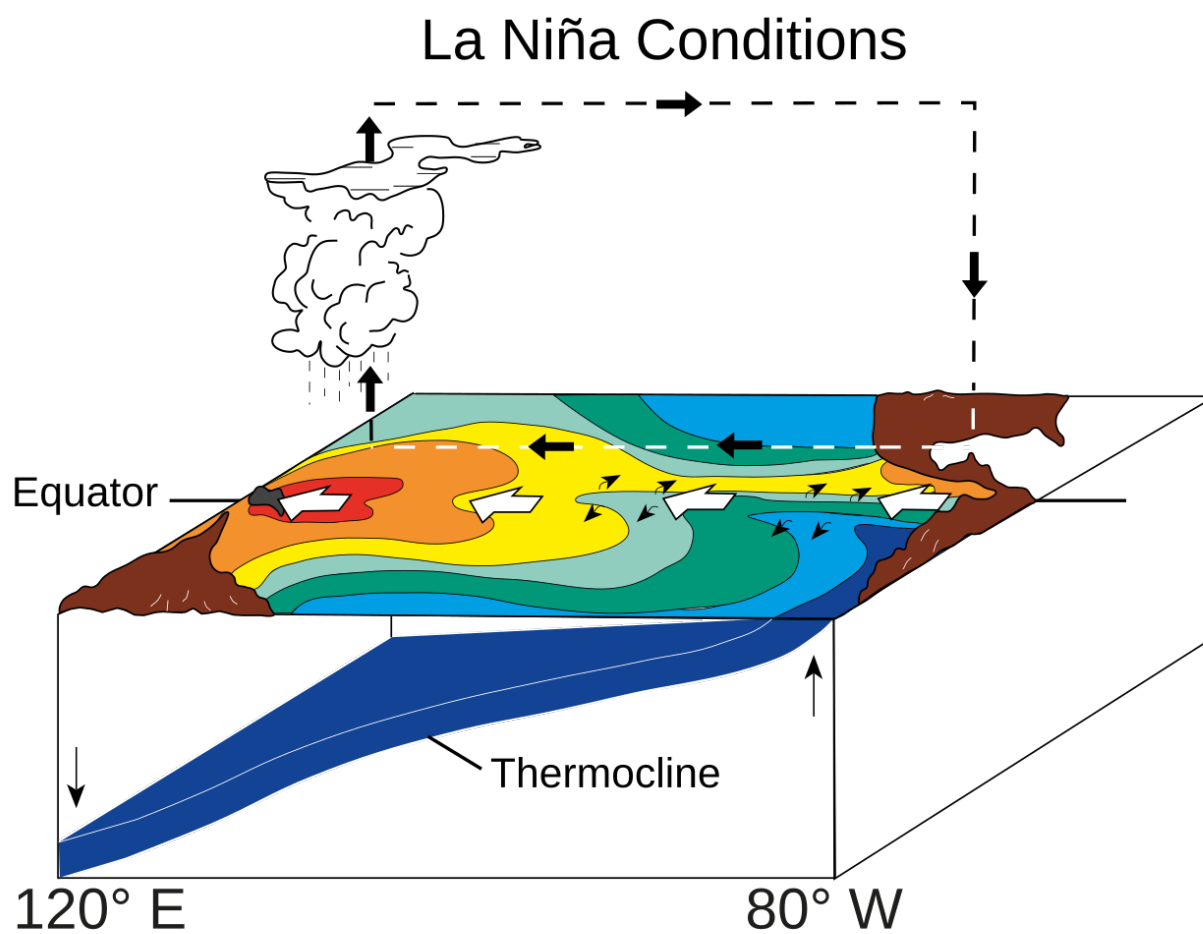


June-August



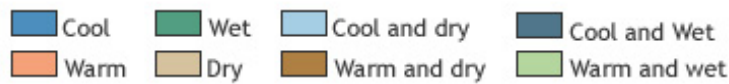
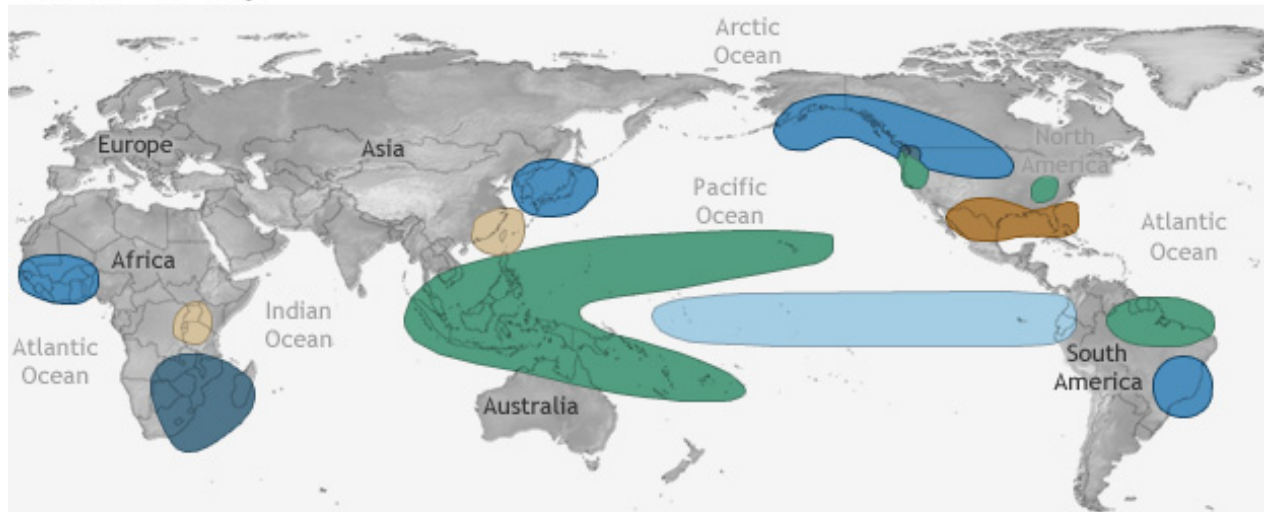
- 東風：東風（信風）減弱甚至逆轉。
- 海洋：溫暖的表面海水無法有效地被東風向西推移，導致東太平洋海水異常升溫，有時整個赤道太平洋地區海水水溫都會高於平均。東太平洋混合層增厚，西太平洋混合層變薄，秘魯湧升流減弱甚至消失，秘魯沿海湧升流減弱，帶來的營養鹽減少，表層浮游生物與葉綠素濃度減少，魚類資源與海鳥減少。
- 氣壓：東太平洋氣壓下降、上升氣流增加，西太平洋氣壓上升、上升氣流減少，導致沃克環流的破壞或逆轉。導致南美洲西海岸可能出現大量降雨，而澳大利亞和東南亞可能出現乾旱。
- 對全球氣候的可能影響：全球氣溫與海溫增高，引發低緯度海洋珊瑚白化、東南亞與西太平洋乾燥，南洋群島與澳洲森林大火、南美洲洪水、東非洪水；夏半季發生時使西太平洋颱風形成處距離歐亞大陸東岸較遠，故侵襲陸地時強度較強、印度、南洋群島與東澳氣候變乾、秘魯與巴西高原氣候變暖；冬季發生使臺灣與閩粵氣候變溼暖與春雨提早、東南亞、南亞與東亞南部氣候變暖、南洋群島氣候變乾、美國南部氣候變溼冷、北美洲西北部氣候變暖。

### (三) 反聖嬰事件 (La Niña) /反聖嬰年

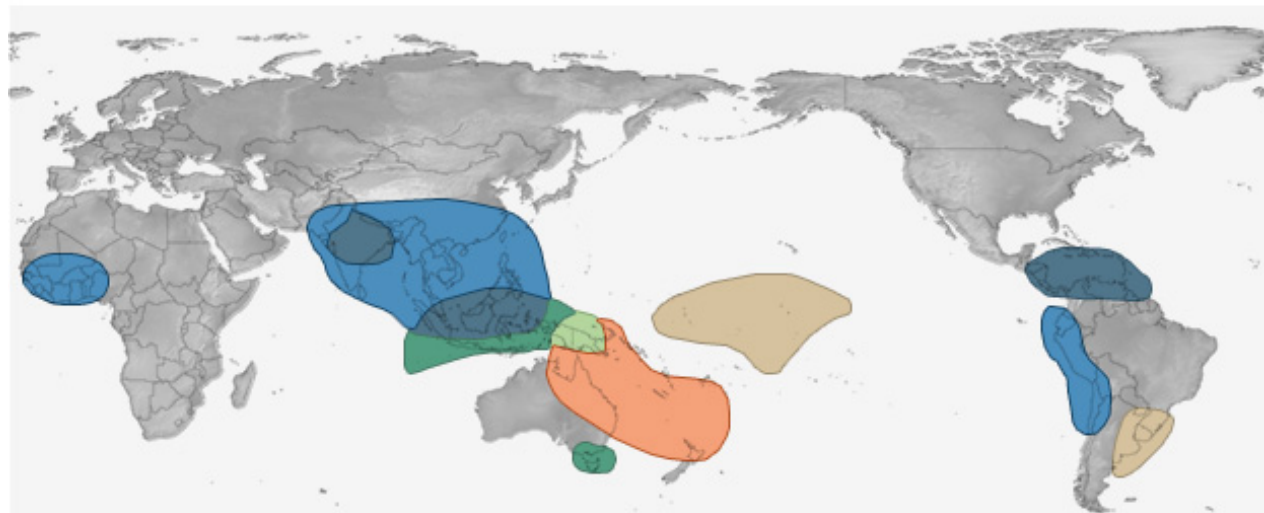


# LA NIÑA CLIMATE IMPACTS

December-February



June-August



- 東風：東風（信風）增強。
- 海洋：更多的溫暖海水被東風推向西太平洋，秘魯湧升流增強，東太平洋的海水異常變冷。有利於冷水魚類的生長，可能增加秘魯沿海漁業產量。
- 氣壓：西太平洋氣壓下降、上升氣流增強，東太平洋氣壓上升、下降氣流增強，沃克環流加強。南美洲西海岸可能出現乾旱，而澳大利亞和東南亞可能出現大量降雨。
- 對全球氣候可能的影響：東南亞淹水、西非變冷；夏季發生使東南亞、南亞與東亞南部氣候變冷、南洋群島氣候變溼、秘魯與加勒比海氣候變冷；冬季發生時使臺灣與閩粵氣候變乾、南洋群島氣候變溼、美國南部氣候變乾暖、北美洲西北部氣候變冷。



## 第八節 氣象觀測與圖表

氣象觀測可大致分為在地表或海表設立的地面觀測、利用探空氣球、投落送等方法進行的高空觀測，與利用雷達、衛星等進行的遙測。

### 一、 地面觀測

#### (一) 陸/地面觀測

為避免阻擋，一般地面氣象觀測站設在空曠處，主要收集風向、風速、氣溫、降水量、氣壓、日照、雲量、雲狀、雲底高度等資料，常見觀測儀器如氣壓計、百葉箱、溫溼度儀、雨量儀、蒸發皿、風向風速計等。

中央氣象署現有三十個地面綜觀氣象站，除了一些目視的觀測項目如雲種與雲量外，多數已自動化；另有四百多個無人自動氣象站，觀測項目包含風向、風速、氣溫、雨量及氣壓或日照；另有一百多個只觀測雨量的無人自動雨量站。

#### (二) 海面觀測

目前海面觀測通常仰賴船舶、浮標與海上固定平臺觀測，主要觀測項目除與地面相同之項目外，另有浪高與週期等，現資料密度遠小於陸地。

### 二、 地面氣壓觀測儀器

#### (一) 福丁式水銀氣壓計（Fortin Barometer）

- 水銀柱：水銀位於一端封閉、另一端浸沒在水銀槽中的玻璃管內。
- 水銀槽與調節螺旋：水銀槽底部配有調節螺旋，用於將水銀槽的液面調整至精確的參考點，通常是槽內的象牙釘尖端。
- 刻度尺與游標：管壁外部有刻度以測量水銀柱高度。
- 溫度補償：福丁式氣壓計通常附有溫度計，因為水銀柱高度受溫度影響，需校正。

#### (二) 空盒氣壓計（Aneroid Barometer）

不含液體，無洩漏風險，與水銀氣壓計相比更輕、便利與耐用，但精度較低。

- 金屬空盒：由金屬（通常是銅或鋼）製成的薄片密封盒，內部為真空或低壓。當外界大氣壓力變化時，空盒會隨之膨脹或壓縮。
- 彈簧或槓桿：空盒的變形通過彈簧或槓桿機構放大。
- 指針：放大的機械位移驅動指針移動，顯示或紀錄氣壓讀數。

### 三、 地面風的觀測儀器

一般安裝於高於周圍障礙物 10 公尺以上，主要觀測水平風。陣風指觀測間隔三小時內出現瞬間風速較平均風速大過每秒五公尺以上，其陣風風速即瞬間風速。

### (一) 杯式風速計 (Cup anemometer)

是一種旋轉風向風速計、速度風向風速計。由安裝在鉛直軸上的水平臂上的三或四個半球形杯組成。沿著任何水平方向流過杯子的氣流會使軸以大致與風速成正比的速率轉動。改進使可測量風向的三杯式風速計有一個標籤，當標籤順風和逆風交替移動時，杯輪的速度會增加和減少，根據這些速度的週期性變化可計算風向。

### (二) 風車式/螺旋槳式風向風速計 (Vane anemometer)

是一種旋轉風向風速計、速度風向風速計。由分別安裝在鉛直軸上的水平桿兩端的螺旋槳和板狀的尾部組成。風速與螺旋槳轉速略呈正比，尾部朝向風的來向。

### (三) 皮托管風向風速計 (Pitot tube anemometer)

是一種氣壓風向風速計。

皮托管是一根細管，一端面向氣流方向，有一個開口，測量總壓；側面有若干個小孔，稱靜壓孔，用來測量靜壓。

- 總壓 (Total pressure)：氣流正面衝擊皮托管開口，動能轉化為壓力能，測得的壓力稱為總壓。
- 靜壓 (Static pressure)：氣流經過皮托管側面的小孔時，測量的壓力不受流動速度的影響，測得的壓力稱為靜壓。

根據伯努利方程，總壓等於靜壓加上動壓，動壓與流速平方成正比，即：

$$v = \sqrt{\frac{2(P_t - P_s)}{\rho}}$$

其中：

- $v$  是流體速度
- $P_t$  是總壓
- $P_s$  是靜壓
- $\rho$  是流體密度

缺點：對於低速流體和高湍流流體測量效果不佳。

### (四) 風向袋 (Windsock)

又稱風錐。是一個圓錐形紡織管，指向風向的反向，愈飽滿風速愈大。

## 四、 地面溫溼度觀測儀器

### (一) 百葉箱 (Stevenson Screen)

一種用於保護氣象儀器（通常為溫度相關，如乾溼球溫度計、水銀最高溫度計、酒精最低溫度計）免受陽光直射、降水和其他外界干擾的設備。

- 外觀：通常以木製或塑料，箱體塗成白色，以反射陽光並減少吸熱。



- 雙層結構：內外層之間有空氣層，進一步隔絕熱量。
- 百葉：四面安裝有百葉板，以通風。
- 安裝高度：箱底距地面 1.25 到 2 米，以避免地面輻射的影響，且地面常種植淺草。
- 開口：開口應朝向背陽光側，如北迴歸線以北終年朝北開。

## (二) 乾溼球溫度計 (Psychrometer)

是一種用於測量空氣中溫溼度的儀器，由兩支溫度計組成。

- 乾球溫度計為一般的溫度計，用於測量空氣的實際溫度。
- 溼球溫度計包裹著溼布，溼布浸在水中，蒸發降溫，環境愈乾燥蒸發愈快，測量較低的溼球溫度。
- 飽和時乾球溫度 = 氣溫 = 溼球溫度 = 露點。
- 未飽和時乾球溫度 = 氣溫 > 溼球溫度 > 露點。

## (三) 水銀最高溫度計

- 水銀：作為測溫液體，因其沸點 357 攝氏度、熔點-39 攝氏度，適合測量高溫。
- 窄頸：平放的毛細管內靠近水銀球的位置設有一段窄頸（節流點），當溫度升高時，水銀因膨脹被推過窄頸。當溫度下降時，窄頸阻止水銀回縮，使水銀柱保留在最高位置，紀錄期間的最高溫度。水銀柱末端的位置即為紀錄的最高溫度。

## (四) 酒精最低溫度計

- 酒精：作為測溫液體，因其沸點 78 攝氏度、熔點-114 攝氏度，適合測量低溫。
- 浮標：平放的毛細管內有一根小玻璃浮標（指示棒）位於酒精液體中。當溫度下降時，酒精液面下降並帶動浮標下移。當溫度回升時，酒精液體上升，但浮標因內壁摩擦力保持原位，紀錄最低溫度。浮標底部的位置即為紀錄的最低溫度。

# 五、 地面雲的觀測

觀測員目視觀測雲高、雲狀與雲量。

## (一) 雲高與雲狀的分類

- 高雲族：形成於 6000m 至 18000m 高空。
  - 捲雲 (Ci, Cirrus)：常呈現絲條狀、羽毛狀、馬尾狀、鉤狀、片狀或砧狀等。
  - 卷積雲 (Cc, Cirrocumulus)：似鱗片或球狀細小雲塊。
  - 卷層雲 (Cs, Cirrostratus)：呈現薄幕狀。
- 中雲族：形成於 2500 m至 6000m 的高空。

- 高積雲 (Ac, Altocumulus)：呈扁圓形、瓦片狀等，且以波浪形排列。
- 高層雲 (As, Altostratus)：像一種帶有條紋的幕，顏色多為灰白色或灰色。
- 低雲族：形成於低於 2500 m 的高空。
  - 層雲 (St, Stratus)：層雲完全沒有結構，它由細小的水珠組成。層雲接地就被稱為霧。
  - 層積雲 (Sc, Stratocumulus)：層積雲由積雲平展而成，常呈波狀，較薄處為白色或淺灰色。
  - 雨層雲 (Ns, Nimbostratus)：雨層雲呈暗灰色，雲層較厚且均勻，覆蓋全天，常伴隨持續性降雨。
- 直展雲族：有強上升氣流，故可一直從底部長到更高處，雲頂高度甚至可能略高過對流層頂。
  - 積雲 (Cu, Cumulus)：積雲如同棉花團，雲體垂直向上發展，常見於上午，午間發展最旺盛，並於午後開始逐漸消散。
  - 積雨雲 (Cb, Cumulonimbus)：由積雲發展而來，伴隨雷暴與陣雨，雲體高聳，頂部常呈花菜狀或砧狀，雲底陰暗。

## (二) 雲量

通常以八分量表示，指將天空分為八等分，觀測雲層遮蔽之比例，如全遮蔽計作 8/8。

## 六、 地面降水觀測儀器

降水量指無蒸發、流失或滲透等情況下，一定時間內降水儲積在一平面上，降水儲積量之深度，單位通常為毫米。測量時離地 30 公分以上以防濺射入內。

### (一) 虹吸式雨量儀 (Siphon Rain Gauge)

- 漏斗：上方的漏斗用於收集降雨，漏斗口面積固定。
- 浮子：收集的雨水流入帶有浮子的量筒內，浮子的位移反映降水量。浮子的位移通過杠桿機構驅動紀錄筆，在時間-降水量圖上繪製連續曲線。
- 虹吸裝置：當水位達到一定高度，虹吸裝置自動啟動，將水排出，使重置浮子位置。

### (二) 傾斗式雨量儀 (Tipping Bucket Rain Gauge)

- 漏斗：上方的漏斗用於收集降雨，漏斗口面積固定。
- 傾斗：安裝在筒中軸上的小容器，兩側對稱，每側可容納一定的雨水（如 0.2 毫米）。一次僅一側處於承水口，當水量達到預定容量，傾斗會翻轉將水排出，並使另一側承水，並觸發電流開關使自記筆跳動一次。

## 七、 地面蒸發觀測儀器

### (一) A 型蒸發皿 (Class A Evaporation Pan)

由直徑約 1207 毫米、高 254 毫米的不銹鋼或鋁制圓形容器組成，內部注入水，模擬自然環境中的水體蒸發，配合浮子、尺規或電子傳感器測量水面高度的變化，計算蒸發量。考慮降雨影響時，需結合雨量數據修正蒸發量讀數。

## 八、 高空觀測

### (一) 探空氣球

全球各測站於每國際標準時 0 時與 12 時釋放探空氣球，測量從地面到約 30 公里高的大氣資料，包含氣壓、氣溫、溼度、風向、風速等。觀測主要利用無線電探空儀，或稱雷文送，繫在填充氦氣的探空氣球下，以每分鐘約 300 至 350 公尺之速度上升，並以無線電回傳所記錄的資料至地面接收系統。另，以探空氣球上的 GPS 定位資料計算風向與風速大小。氣球上升至約 30 公里高時因高空氣壓過小而自行爆破，無線電探空儀隨佩掛之降落傘落下，觀測作業即結束。

中央氣象署有臺北板橋與花蓮兩測站，另有臺南永康站視需要施放，南沙島與東沙島探空站由海軍觀測，馬公、屏東、綠島由空軍氣象聯隊觀測。

### (二) 全球衛星定位式投落送

侵臺颱風之飛機偵查及投落送觀測實驗（追風計畫）在颱風接近臺灣時以飛機直接飛到颱風周圍，從約十三公里高度投擲全球衛星定位式投落送，其中感測器、GPS 接收器與微處理器掛於拖曳傘下，每半秒回傳 GPS、氣壓、溼度與溫度資料。

## 九、 遙測

- 主動遙測：主動發出電磁波或聲波等再接受被探測物反射回來的訊號。
- 被動遙測：直接接受由被探測物發出或反射的訊號。

## 十、 雷達遙測

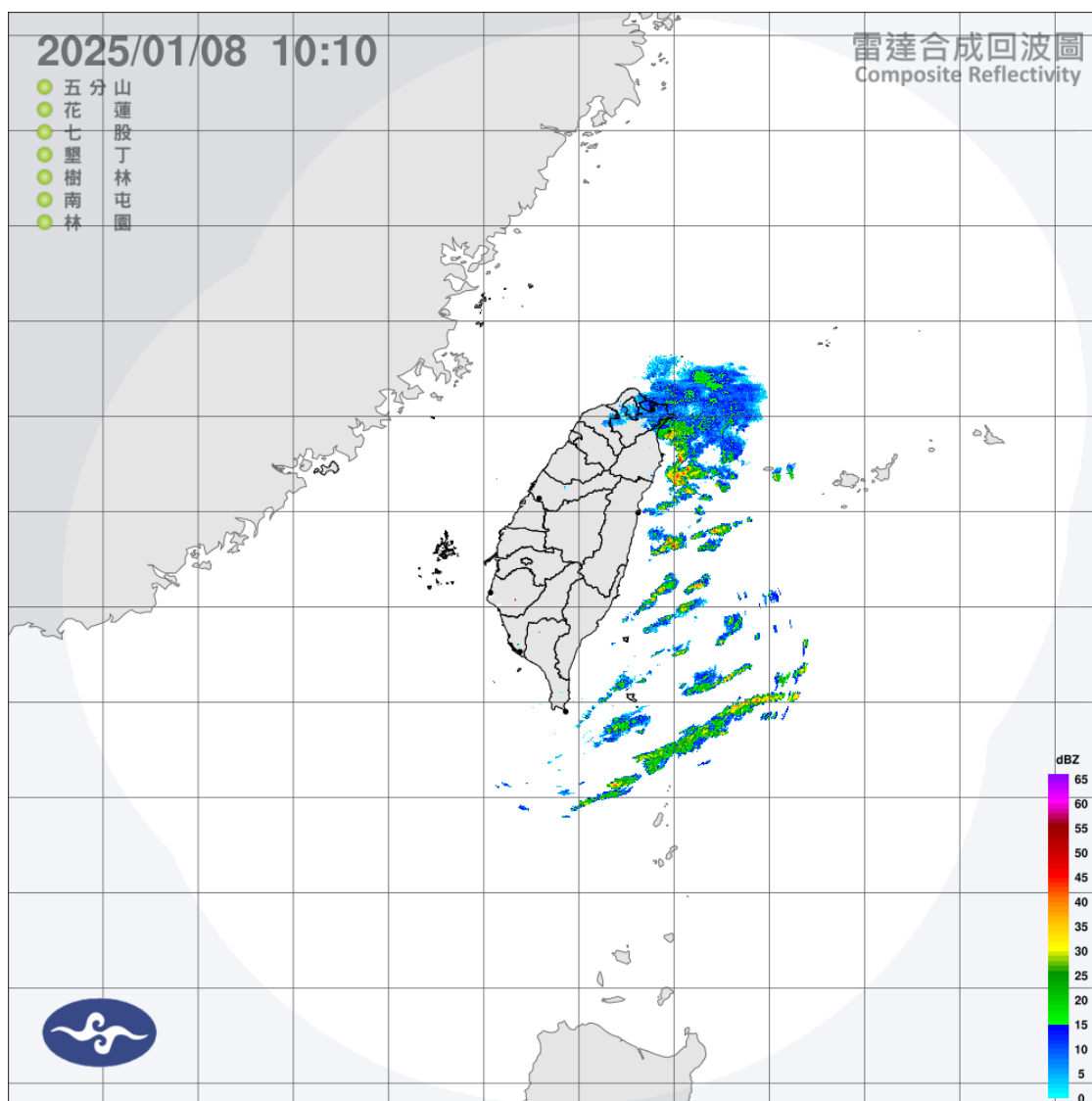
雷達主要用於觀測降雨情形，觀測方法為發射微波，微波碰到降水粒子（水滴或冰晶）反射，並發生都卜勒效應，分析其回波可推測降水系統的位置與降水強度。

中央氣象署在新北市五分山、花蓮、屏東縣墾丁、臺南市七股四地各設立一座都卜勒雷達（Doppler radar）站。

### (一) 臺灣實驗性大氣移動雷達 (Taiwan Experimental Atmospheric Mobile-Radar TEAM-R)

可移動至各種地形，具有都卜勒與雙偏極化兩功能，後者指發射分別平行與垂直地面偏極化（偏振）方向的電磁波觀測，因為愈大的水滴降落時遇到越大的阻力，形狀愈扁，平行地面方向投影面積大於垂直地面方向，反之，小水滴形狀較圓，平行地面方向投影面積約等於垂直地面方向。

## (二) 雷達合成回波圖 (Composite reflectivity)



## 十一、 人造衛星遙測

主要由氣象衛星在高空接受雲反射的可見光與雲所輻射的紅外線，可偵測雲層、鋒面、颱風、雷雨等。

氣象衛星多為同步衛星或繞極衛星：

- 同步衛星：離地約三萬六千公里高，始終在一地上空，解析度較差，拍攝範圍較大。
- 繞極衛星：離地約八百多公里高，經南北極經向繞行，每日繞地 14.25 圈，可經過全球，解析度較佳，拍攝範圍較小。

### (一) 紅外線衛星雲圖

利用衛星上之紅外線儀器，來測量雲層的溫度。溫度低的雲層會以亮白色顯示，表示此處的雲頂較高；溫度高的雲層會以暗灰色顯示，表示此處的雲頂較低。

## (二) 可見光衛星雲圖

利用雲頂反射太陽光的原理拍攝，故僅能於白晝進行攝影。較厚的雲層反射能力較強，會顯示出亮白色；較薄的雲層反射能力較強，會顯示出暗灰色。

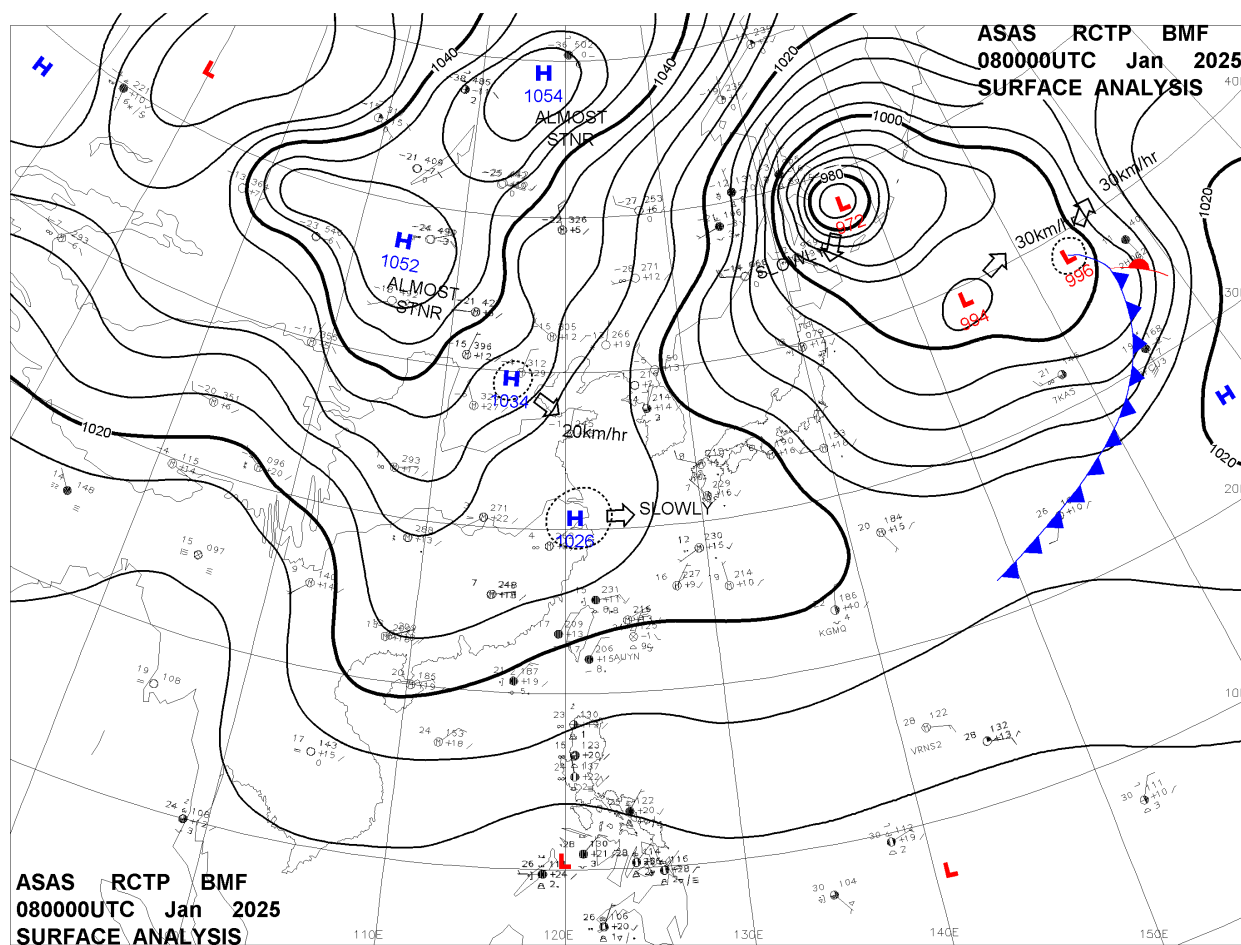
## 十二、 天氣圖 (Weather (analysis) chart)

天氣圖分為地面天氣圖與不同高度的高空天氣圖。

地面天氣圖以海平面為基準，將觀測站觀測資料填在地圖上而得，若地表非位於海平面，則換算至海平面。

天氣符號可分為測站觀測資料與天氣系統，前者如風向、風速、溼度、溫度、氣壓、雨量等，後者如等壓線、鋒面、颱風等。

另有結合衛星雲圖與地面天氣圖的複合式地面天氣圖以利閱讀，但少了測站觀測資料。

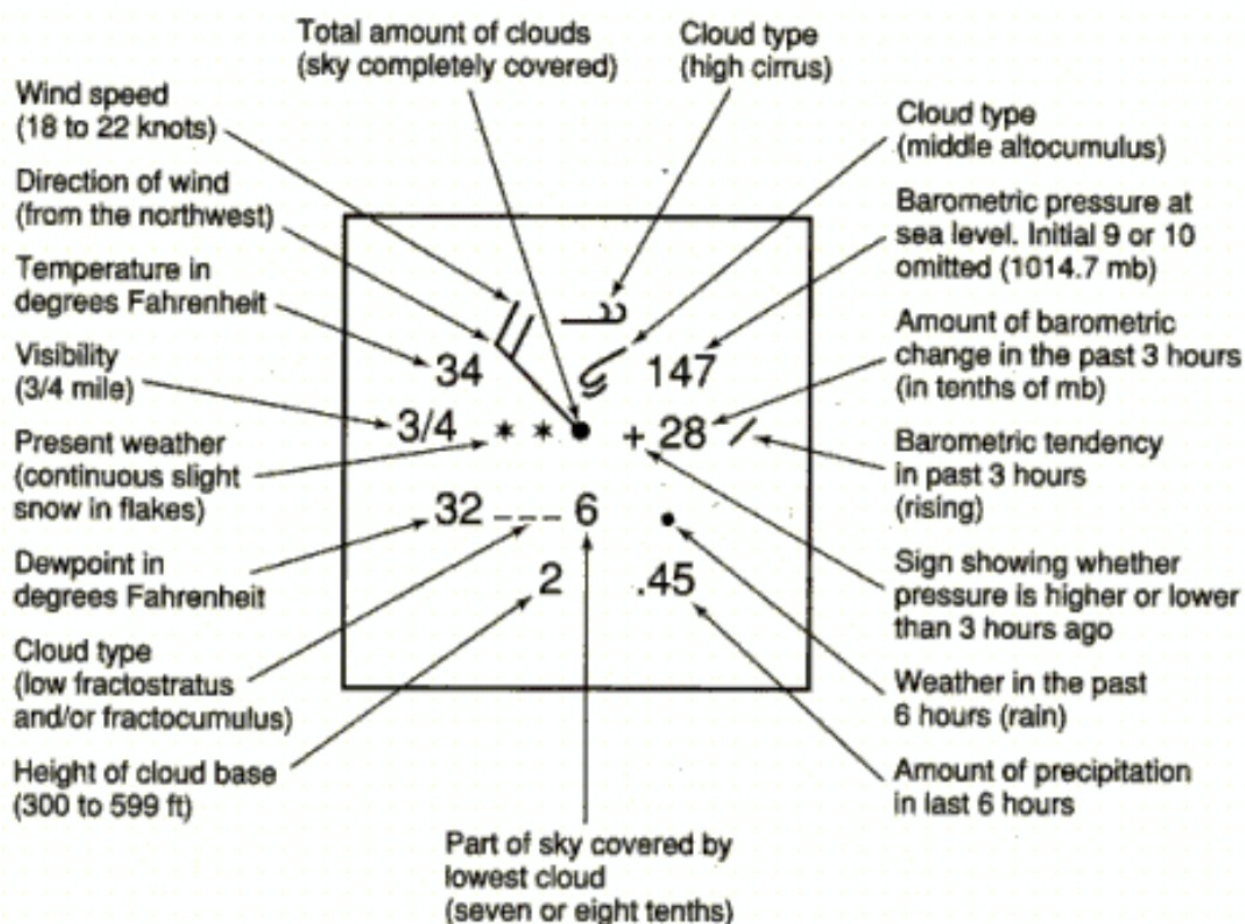


地面天氣圖

### (一) 測站符號 (Station symbol)











風旗的中心為一圓，其中表雲量 (Sky/cloud cover)，一長直線自圓周上延伸指向風的來向，其上若干三角旗或線條表風速 (節)，左上數字表氣溫 (攝氏度)，左下數字表露點 (攝氏度)，左中或測得位置符號 (如有) 表現在天氣 (Present weather)，天氣符號 (如有) 之左數字 (如有) 表能見度 (Visibility) (英里)，下方符號表雲高雲種 (Cloud)，右上數字為氣壓 (百帕)，右下數字 (如有) 表降

水量（毫米），右中數字表三小時內氣壓變化（百帕），氣壓變化數字右之符號表氣壓趨勢（Pressure trend）。



- 風速符號：節（Knot）表海哩每小時，一海哩約 1.872 公里。三角旗（Pennant/flag）表 50 節，長線（Long barb）表 10 節，短線（Short barb）表 5 節。把所有三角旗與線條所代表的速度加總為風速。
- 雲量符號：

### Total Sky/Cloud Cover

|   |   |
|---|---|
|    | <i>No clouds (clear sky)</i>                              |
|    | <i>1/8th sky cover (Few)</i>                              |
|    | <i>2/8th sky cover (Scattered)</i>                        |
|    | <i>3/8th sky cover</i>                                    |
|    | <i>4/8th sky cover</i>                                    |
|    | <i>5/8th sky cover</i>                                    |
|    | <i>6/8th sky cover (Broken)</i>                           |
|    | <i>7/8th sky cover</i>                                    |
|   | <i>8/8th sky cover (Overcast)</i>                         |
|  | <i>Sky obscured from view<br/>(e.g., by smoke or fog)</i> |

Tiffany Means, 2024. <https://www.thoughtco.com/symbols-on-weather-maps-3444369>.

- 氣壓符號：10ab.c 百帕與 9ab.c 百帕均記作 abc。
- 雲高雲種符號：



| CLOUD<br>ABBREVIATION              | C <sub>L</sub> | DESCRIPTION<br>(Abridged from W.M.O. Code)  | C <sub>M</sub> | DESCRIPTION<br>(Abridged from W.M.O. Code)  | C <sub>H</sub> | DESCRIPTION<br>(Abridged from W.M.O. Code)  |
|------------------------------------|----------------|---|----------------|---|----------------|---|
| t or Fs – Stratus<br>Fractostratus | 1              | Cu, fair weather, little vertical development & flattened   | 1              | Thin As (most of cloud layer semitransparent)   | 1              | Filaments of Ci, or "mares tails", scattered and not increasing   |
| i – Cirrus                         | 2              | Cu, considerable development, towering with or without other Cu or SC bases at same level                         | 2              | Thick As, greater part sufficiently dense to hide sun (or moon), or Ns                          | 2              | Dense Ci in patches or twisted sheaves, usually not increasing, sometimes like remains of Cb, or towers tufts                               |
| s – Cirrostratus                   | 3              | Cb with tops lacking clear-cut outlines, but distinctly not cirriform or anvil shaped; with or without Cu, Sc, St | 3              | Thin Ac, mostly semi-transparent, cloud elements not changing much at a single level            | 3              | Dense Ci, often anvil-shaped derived from associated Cb   |
| c – Altocumulus                    | 4              | Sc formed by spreading out of Cu; Cu often present also   | 4              | Thin Ac in patches; cloud elements continually changing and/or occurring at more than one level | 4              | Ci, often hook-shaped gradually spreading over the sky and usually thickening as a whole  |
| s – Altostratus                    | 5              | Sc not formed by spreading out of Cu  | 5              | Thin Ac in bands or in a layer gradually spreading over sky and usually thickening as a whole   | 5              | Ci and Cs, often in converging bands or Cs alone; generally overspreading and growing denser; the continuous layer not reaching 45 altitude |
| c-Stratocumulus                    | 6              | St or Fs or both, but no Fs of bad weather  | 6              | Ac formed by the spreading out of Cu  | 6              | Ci and Cs, often in converging bands or Cs alone; generally overspreading and growing denser; the continuous layer exceeding 45 altitude    |
| s-Nimbostratus                     | 7              | Fs and/or Fc of bad weather (scud)  | 7              | Double-layered Ac, or a thick layer of Ac, not increasing, or Ac with As and/or Ns              | 7              | Veil of Cs covering the entire sky  |
| u or Fc-Cumulus<br>Fractocumulus   | 8              | Cu and Sc (not formed by spreading out of Cu) with bases at different levels                                      | 8              | Ac in the form of Cu-shaped tufts or Ac with turrets  | 8              | Cs not increasing and not covering entire sky   |
| b-Cumulonimbus                     | 9              | Cb having a clearly fibrous (cirriform) top, often anvil-shaped, with or without Cu, Sc, ST or scud               | 9              | Ac of a chaotic sky, usually at different levels; patches of dense Ci are usually present       | 9              | Cc alone or Cc with some Ci or Cs but the Cc being the main cirriform cloud   |

Tiffany Means, 2024. <https://www.thoughtco.com/symbols-on-weather-maps-3444369>.

- 現在天氣符號：

## Present Weather Symbols

|   |   |  |   |   |  |   |   |  |  |
|---|---|--|---|---|--|---|---|--|--|
| 00  | 01  | 02   | 03  | 04  | 05   | 06  | 07  | 08   | 09   |
| Cloud development NOT observed during past hour (not plotted)             | Clouds generally becoming less developed (not plotted)                  | State of sky on the whole unchanged during past hour (not plotted)     | Clouds generally forming or deepening during past hour (not plotted)  | Visibility reduced by smoke   | Haze   | Widespread dust in the air, not raised by wind at or near station   | Dust or sand due to wind at or near the station but no dust storm/sandstorm       | Well developed dust whirl and/or sand whirl but no dust storm/sandstorm        | Dust storm or sandstorm within sight or at the station during past hour  |
| 10  | 11  | 12   | 13  | 14  | 15   | 16  | 17  | 18   | 19   |
| Mist  | Patches of shallow fog at station, NOT deeper than 6 feet on land       | More or less continuous shallow fog at station, NOT deeper than 6 feet | Lighting visible, no thunder heard                                    | Precipitation within sight, reaching the surface, but NOT reaching the ground | Precipitation within sight, reaching the surface, but more than 3 miles away | Precipitation with in sight, reaching the surface within 3 miles    | Thunder heard, but no precipitation at the station                                | Squalls within sight during past hour  | Funnel cloud(s) and/or tornado(es) during the preceding hour             |
| 20  | 21  | 22   | 23  | 24  | 25   | 26  | 27  | 28   | 29   |
| Drizzle (not freezing) or snow grains, not as shower(s), has ended        | Rain (not freezing) not falling as shower(s), ended in the past hour    | Snow not falling as shower(s) ended in the past hour                   | Rain and snow or ice pellets, not as shower(s) ended in the past hour | Freezing drizzle or freezing rain, not as shower(s) ended in the past hour    | Shower(s) of rain ended in the past hour                                     | Shower(s) of snow, or of rain and snow ended in the past hour       | Shower(s) of hail, or of rain and hail ended in the past hour                     | Fog or ice fog ended in the past hour  | Thunderstorm (with or without precipitation) ended in the past hour      |
| 30  | 31  | 32   | 33  | 34  | 35   | 36  | 37  | 38   | 39   |
| Slight or moderate dust storm or sandstorm (has decreased in past hour)   | Slight or moderate dust storm or sandstorm (no change during past hour) | Slight or moderate dust storm or sandstorm (has begun or increased)    | Severe dust storm or sandstorm, decreased during the past hour        | Severe dust storm or sandstorm, has no change during past hour                | Severe dust storm or sandstorm has begun or increased                        | Slight or moderate drifting snow (generally below eye level)        | Heavy drifting snow (generally above eye level)                                   | Slight or moderate blowing snow (generally above eye level)                    | Heavy blowing snow (generally above eye level)                           |
| 40  | 41  | 42   | 43  | 44  | 45   | 46  | 47  | 48   | 49   |
| Fog at a distance, but not at the station during the preceding hour       | Fog in patches  | Fog, sky visible (has become thinner during preceding hour)            | Fog, sky obscured (has become thinner during preceding hour)          | Fog, sky visible (no appreciable change during the past hour)                 | Fog, sky obscured (no appreciable change during the past hour)               | Fog, sky visible (has begun or has become thicker during past hour) | Fog, sky obscured (has begun or has become thicker during past hour)              | Fog, depositing time ice, sky visible  | Fog, depositing time ice, or ice fog, sky obscured                       |
| 50  | 51  | 52   | 53  | 54  | 55   | 56  | 57  | 58   | 59   |
| Drizzle, not freezing, intermittent (slight at time of observation)       | Drizzle, not freezing, continuous (slight at time of observation)       | Drizzle, not freezing, intermittent (moderate at time of observation)  | Drizzle, not freezing, continuous (moderate at time of observation)   | Drizzle, not freezing, intermittent (heavy at time of observation)            | Drizzle, not freezing, continuous (heavy at time of observation)             | Drizzle, freezing, slight   | Drizzle, freezing, moderate or heavy  | Drizzle and rain, slight   | Drizzle and rain, moderate or heavy                                      |
| 60  | 61  | 62   | 63  | 64  | 65   | 66  | 67  | 68   | 69   |
| Rain, not freezing, intermittent (slight at time of observation)          | Rain, not freezing, continuous (slight at time of observation)          | Rain, not freezing, intermittent (moderate at time of observation)     | Rain, not freezing, continuous (moderate at time of observation)      | Rain, not freezing, intermittent (heavy at time of observation)               | Rain, not freezing, continuous (heavy at time of observation)                | Rain, freezing, slight  | Rain, freezing, moderate or heavy   | Rain or drizzle and snow, slight   | Rain or drizzle and snow, moderate or heavy                              |
| 70  | 71  | 72   | 73  | 74  | 75   | 76  | 77  | 78   | 79   |
| Intermittent fall of snowflakes (slight at time of observation)           | Continuous fall of snowflakes (slight at time of observation)           | Intermittent fall of snowflakes (moderate at time of observation)      | Continuous fall of snowflakes (moderate at time of observation)       | Intermittent fall of snowflakes (heavy at time of observation)                | Continuous fall of snowflakes (heavy at time of observation)                 | Ice needles (with or without fog)                                   | Snow grains (with or without fog)   | Isolated star-like snow crystals (with or without fog)                         | Ice pellets (sleet)  |
| 80  | 81  | 82   | 83  | 84  | 85   | 86  | 87  | 88   | 89   |
| Rain shower(s), slight  | Rain shower(s), moderate or heavy                                       | Rain shower(s), violent  | Shower(s) of rain and snow mixed, slight                              | Shower(s) of rain and snow mixed, moderate or heavy                           | Snow shower(s), slight   | Snow shower(s), moderate or heavy                                   | Shower(s) of snow pellets or small hail, slight with or without rain or rain/snow | Shower(s) of snow pellets or small hail, moderate or heavy w/ or w/o rain/snow | Shower(s) of hail, slight, w/ or w/o rain or rain/snow mixed, no thunder |
| 90  | 91  | 92   | 93  | 94  | 95   | 96  | 97  | 98   | 99   |
| Shower(s) of hail, w/ or w/o rain or rain/snow, no thunder, mod. or heavy | Thunderstorm during past hour w/ slight rain at time of observation     | Thunderstorm during past hour w/ current moderate/heavy rain           | Thunderstorm ended w/ current slight snow, rain/snow mixed, or hail   | Thunderstorm ended w/ current moderate/heavy snow, rain/snow, or hail         | Thunderstorm, slight or moderate, w/ hail but w/ rain and/or snow            | Thunderstorm, slight or moderate, with hail at time of observation  | Thunderstorm, heavy, w/ hail but with rain and/or snow                            | Thunderstorm combined with dust storm or sandstorm                             | Thunderstorm, heavy, with hail at time of observation                    |

Tiffany Means, 2024. <https://www.thoughtco.com/symbols-on-weather-maps-3444369>.



- 氣壓趨勢符號：

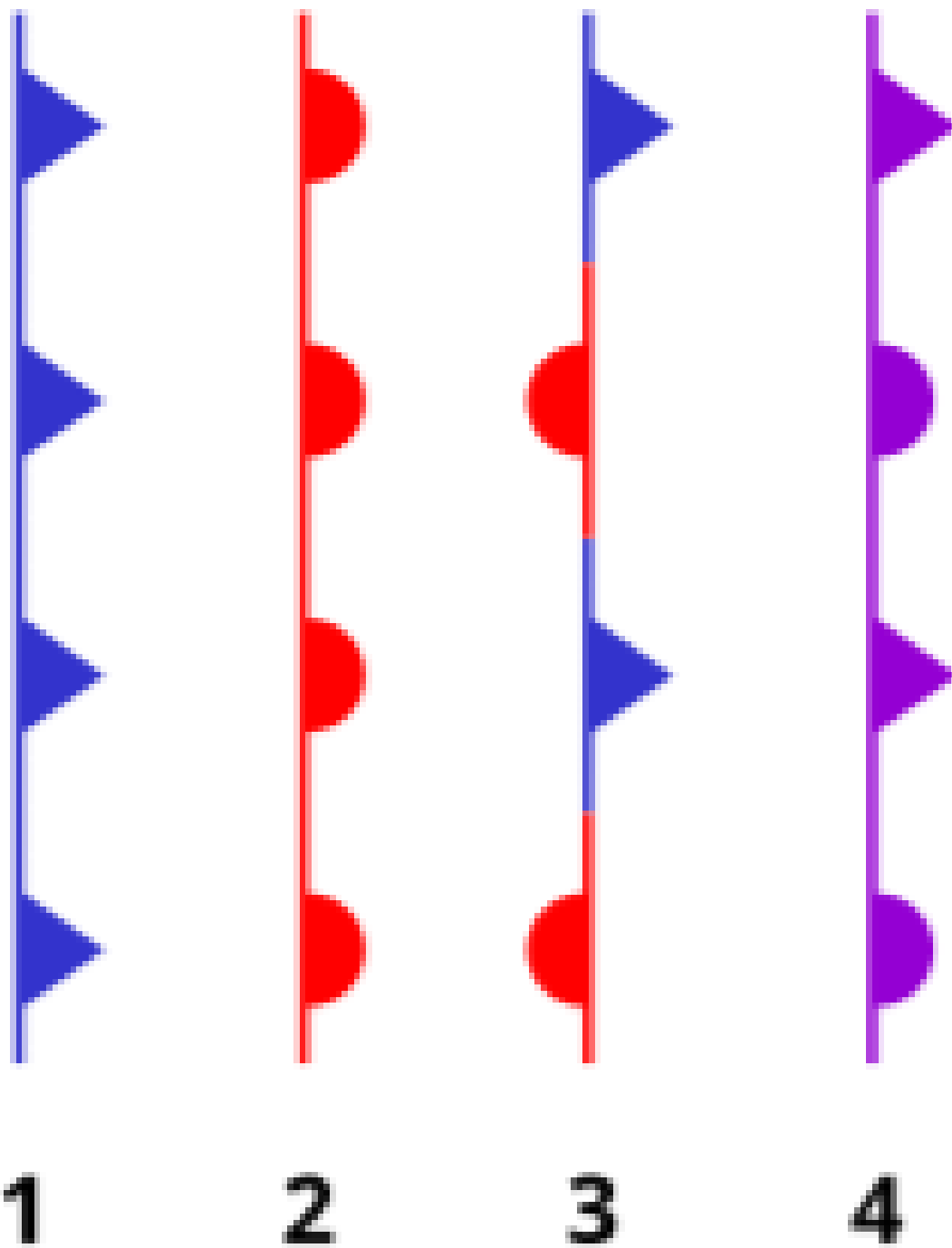
|  |                              |   |                               |
|--|------------------------------|---|-------------------------------|
|         | Continuously falling         |  | Continuously rising           |
|         | Falling, then steady         |  | Rising, then steady           |
|         | Falling before a lesser rise |  | Falling before a greater rise |
|         | Rising before a greater fall |  | Rising before a lesser fall   |
|  Steady |                              |   |                               |

## (二) 氣壓

等壓線為測得相同氣壓之各點之圓滑連線，兩條等壓線之間隔通常固定為 4hPa，數值以能被 4 整除為原則。

高氣壓標為藍色 H，下或標最高氣壓；低氣壓標為紅色 L，下或標最低氣壓。

### (三) 鋒



1. 冷鋒
2. 暖鋒
3. 滯留鋒
4. 囚錮鋒

#### (四) 熱帶氣旋

- 熱帶低壓：紅色（或不計顏色）圓形內一 X 形，下或一 T.D.，下或標最低氣壓。
- 輕度颱風：藍色（或不計顏色）空心颱風形，下或標最低氣壓。颱風形指上 6 下 9 共用圓形之圖形。
- 中度颱風：綠色（或不計顏色）實心颱風形，下或標最低氣壓。
- 重度颱風：紅色（或不計顏色）實心颱風形，下或標最低氣壓。

### 第九節 天氣預報 (Weather forecast)

天氣預報是依據過去與現在已知的天氣狀況來預測未來的天氣，目前的天氣預報通常為數值天氣預報，指通過將數據化的氣象觀測資料輸入高速電腦進行數值分析所得之預測。

#### 一、 天氣預報的限制

- 氣象觀測資料不足：目前各國探空站約相隔四百至五百公里，中小型大氣系統如龍捲風、熱對流形成的雷雨胞等無法觀測到。
- 數值分析準確度不足：目前一般天氣預報在十日之外準確度不高。
- 電腦運算能力：今電腦運算能力高，可高速運算。

氣象預報的理論極限稱可預報度。較大尺度的系統通常可在較長時間前做出預報，雷雨、龍捲風等較小尺度者可做出預報的期限通常較短。

### 第十節 水循環 (Water cycle) /水文循環 (Hydrologic/Hydrological cycle)

#### 一、 水交換

- 平流：水在大氣中移動。
- 凝結：水蒸氣變成水滴。
- 凝華：水蒸氣變成冰。
- 蒸發散：水蒸發為氣態（含植物蒸散作用），而移動到大氣中。造成蒸發的能量主要是太陽輻射，地球每年蒸發散的水總量估計約為 505000 立方公里，其中 86% 源自海洋。
- 滲透：水從地表滲透進入地下，變成土壤水分或是地下水。
- 攔截：受到植物攔截而未落到地面的降水。
- 滲流：水因重力作用，垂直往下穿過土壤和岩石的作用。

- 降水：液態水沉降到地表，大多數以雨的形式出現，也包括雪、冰雹、霧滴、霰等。全球每年大約有 505000 立方公里的降水，其中 78% 發生在海洋上。
- 地表徑流：水在陸地上流動。
- 融化：積雪與冰融化。
- 昇華：冰變成水蒸氣。
- 地下徑流：水在地下滲流帶和含水層中流動。可能會返回地表（如湧泉或受抽取）或滲入海洋。地下水流通通常移動緩慢也補充緩慢。

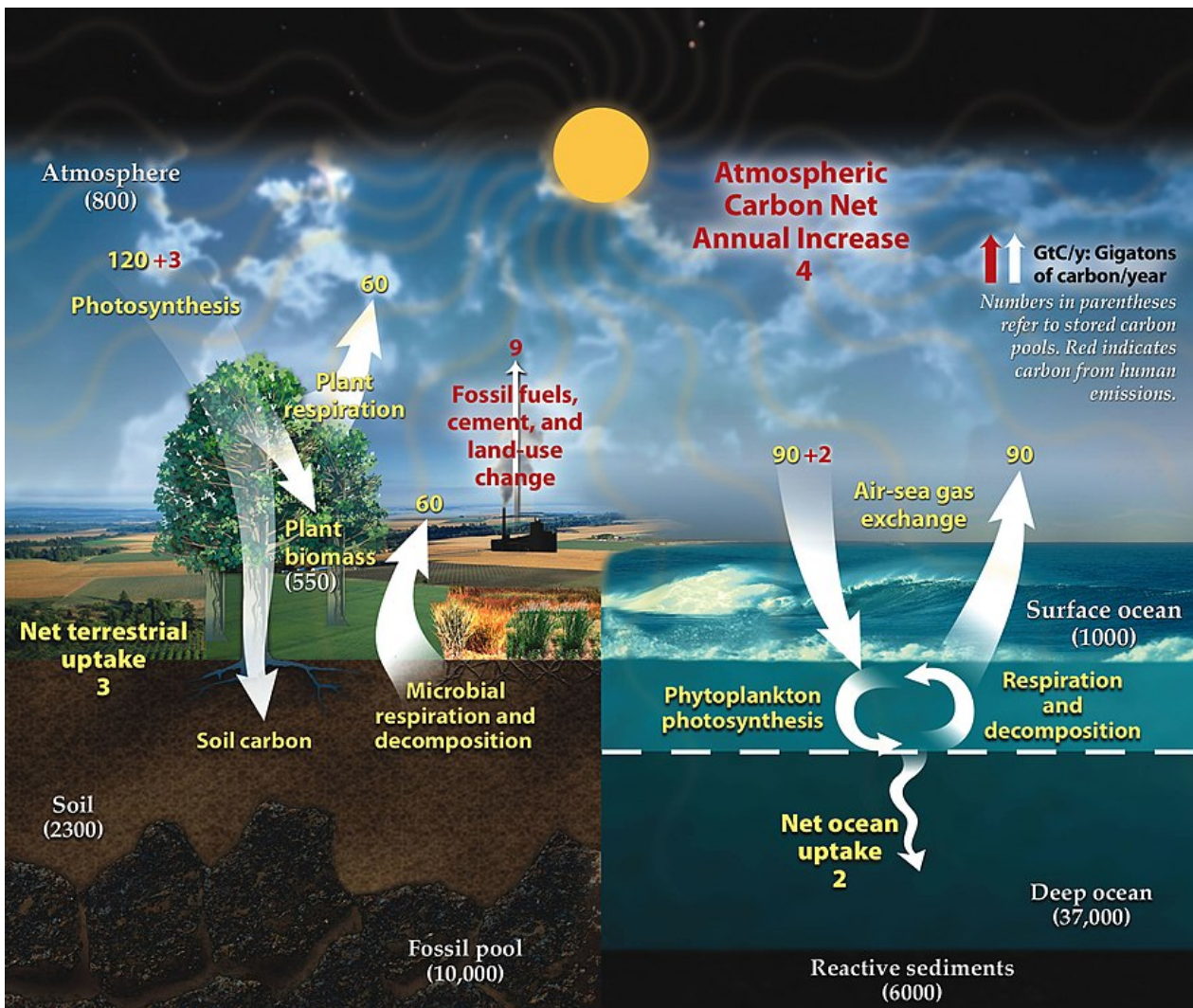
## 二、 水分於儲藏處平均停留時間

| 儲藏所在  | 平均停留時間      |
|-------|-------------|
| 南極洲   | 20000 年     |
| 海洋    | 3200 年      |
| 冰河    | 20 到 100 年  |
| 季節性降雪 | 2 到 6 月     |
| 土壤水分  | 1 到 2 月     |
| 淺層地下水 | 100 到 200 年 |
| 深層地下水 | 10000 年     |
| 湖泊    | 50 到 100 年  |
| 河流    | 2 到 6 月     |
| 大氣    | 9 天         |

### (一) 全球水分布

- 鹹水：97.47%
- 淡水：2.53%
  - 冰帽和冰川：68.7%
  - 地下水（Groundwater）：30.1%
  - 地面冰和永凍土（Permafrost）：0.8%
  - 地表水：0.3%
    - \* 淡水湖泊：67.4%
    - \* 土壤水分（Soil moisture）：12.2%
    - \* 大氣水：9.5%
    - \* 溼地（Wetlands）：8.5%
    - \* 河流：1.6%
    - \* 生物：0.8%
  - 其他：0.1%

## 第十一節 碳循環



### 一、 碳匯/碳庫

地球主要碳匯：

- 大氣圈：主要儲存形式為二氧化碳，次之為甲烷。過去兩個世紀中的人類活動已導致大氣中的碳含量增加近 50%。儲存量約  $720 \times 10^{12}$  公斤。
- 陸地生物圈：囊括所有陸地上的生物與死的生物質中的有機碳，包含儲存於土壤中的碳。儲存量約  $2000 \times 10^{12}$  公斤，其中約  $800 \times 10^{12}$  公斤在活的生物質， $1200 \times 10^{12}$  公斤在死的生物質。
- 水生生物圈：約  $1-2 \times 10^{12}$  公斤。
- 岩石圈：碳循環運作緩慢，碳主要以惰性方式儲存在岩石中。其中部分是以有機碳的形式從生物圈沉積而來，經過高溫與高壓的沉積和埋藏形成油母質。沉積碳酸鹽約  $60 \times 10^{18}$  公斤，油母質約  $15 \times 10^{18}$  公斤。

- 海洋圈：表面層中的溶解無機碳（Dissolved inorganic carbon，DIC）與大氣快速交換，維持平衡。深層 DIC 濃度較表面層高出約 15%，且體積較大，含有更多的碳，是世界上最大的主動循環碳庫，與大氣達到平衡的時間尺度需要數百年。

## 二、 碳交換

- 溫鹽環流：海洋表面層 ↔ 深層。
- 光合作用：大氣圈 → 生物圈。
- 呼吸作用、分解作用：生物圈 → 大氣圈。
- 大氣中的氧溶於海中與反之：大氣圈 ↔ 海洋表面層。
- 風化作用：岩石圈 → 大氣圈、海洋圈。
- 燃燒：岩石圈 → 大氣圈。
- 成岩作用：生物圈 ↔ 岩石圈。

## 第十二節 自然資源（Natural resources）

### 一、 資源分類

- 再生資源：短期間內可再生或循環使用。如土地、生物、水、空氣與太陽能資源。
- 非再生資源：短期間內不可再生或循環使用。如礦產資源。
- 能源：提供能量的資源。
- 再生能源：再生資源與能源的交集，又稱替代能源。如太陽能、生質能、地熱能、海洋能、風力能和水力能。
- 非再生能源：非再生資源與能源的交集。如石油、天然氣、煤等化石能源及鈾礦。國際能源署（IEA）預估 2035 年化石能源使用比例仍占總能源七成以上。
- 初級能源：在自然界天然形成的能源。如石油、天然氣、煤、太陽能。
- 次級能源：初級能源經過人類加工處理而得的能源。如電能、汽油。
- 合理開發：技術上可行，不會浪費資源，不會造成無法復原的環境破壞，兼容世代正義。
- 稀土元素：鈳、釔與鑰系元素。在地殼中含量不少。蘊藏量較多者主要在中國大陸和南美洲。中國大陸生產和出口量達世界總供應量 9 成以上。在鋼鐵或有色金屬中加入極少量稀土元素就能明顯改善金屬材料性能，如強度、耐磨性與抗腐蝕能力。

## 二、 資源回收

- 電子廢棄物：每年全球約五百億公斤，回收率僅約百分之十六，德國 2010 電子垃圾回收率約百分之四十五。
- 加熱或冷卻用水通常不含太多污染物，可直接用於灌溉、清洗等。
- 富含有機物之廢水可經發酵使大有機分子分解為二氧化碳、氫氣、醋酸等小分子，小分子經微生物作用可產生甲烷。
- 富含有機物之廢水引入一系列深淺不同的水池，利用滯留時間不同，分別讓嗜氧菌和厭氧菌對水中污染物進行分解，後可用於灌溉、工業、清洗等。

## 三、 能源

- 核能發電：使用核分裂的熱加熱水產生蒸氣推動渦輪機發電。成熟有效、能量密度極高且不排放二氧化碳，但有輻射外洩疑慮。
- 燃煤、燃氣、燃油發電：燃燒化石燃料推動渦輪機發電。
- 太陽能發電：抵達地球的太陽能僅約一萬五千分之一即可滿足人類需求。透過太陽能板蒐集光能轉化成電能的過程。太陽能板主要由高純度的矽製成，傳統太陽能電池是使用矽晶元半導體的發電裝置，其原理是陽光照射在太陽能板上，電池吸收 300-1100nm 波長的陽光，發生光伏效應，產生直流電的發電方式。目前太陽能光電板轉換效率最高約為 25%，但成本較高，其轉換效率未達經濟效益。太陽能板退役後不可回收，且生產過程中會造成汙染，且會犧牲耕作面積。太陽能熱水器以太陽能加熱水亦可利用太陽能。
- 風力發電：利用風力帶動風車葉片旋轉，使渦輪發電機發電。新式風力發電機的大型風車葉片使用玻璃纖維製成，密度低、強度高，現在技術每秒 3 公尺的二級風即可發電。效能低，風力過強如颱風會使發電機毀損不能使用，且可能遭鳥擊、雷擊、鹽害，若風速不穩定或風向經常改變，也會降低發電效率，且有噪音汙染。
- 生質能發電：指含有機物的生物質經直接或間接轉換成能源使用，可視為零碳排放增加。主要原料包括：農林作物與廢棄物：如甘蔗、玉米、菜籽油、稻桿、麥桿、木屑、木材、醣類（如纖維素、澱粉、蔗糖）作物、油脂作物、都市廢棄物、海洋資源，如藻類，如萊茵衣藻在特定情況下會釋放氫氣，稱生物氫、動物排泄物、有機廢水、垃圾與畜牧場沼氣、動物脂肪；經過物理轉換：壓縮、乾燥、破碎等、化學轉換：碳化、液化、氣化等、生物轉換：發酵（製造乙醇、丁醇等）、消化等；得到固態：碎片、顆粒、碳磚等、液態：生質酒精、生質柴油（酯類而，而非如石化柴油為烷類）、合成柴油等、氣態：沼氣、合成氣；用於燃燒、發電、交通運輸等。有與糧食競爭之質疑，垃圾沼氣則無。植物纖維作為生質能發電的燃料又稱青草汽油。
- 海洋能發電：
  - 潮汐發電：利用漲退潮的位能差推動渦輪運轉而產生電能，潮差達 6m 以上才具經濟效益，臺灣本島無，金門、馬祖或許可。
  - 溫差發電：海洋表層的海水溫度高，可使低沸點的流體蒸發成氣體來推動渦輪運轉，使用後的蒸氣再以深層的海水冷卻成液體，反覆運作，可發電。臺灣南部夏季海水溫度高，海底溫差大，東部地區雖溫差大但有地層滑動之疑慮。目前無商業運轉者。

- 洋流發電：利用洋流的動能推動渦輪機運轉產生電能，缺點是設備成本高且維護困難。台灣東部有黑潮通過。
- 波浪發電：利用波浪上下往返運動產生的壓力推動渦輪產生電能，是目前最成熟的海洋能技術。臺灣東北部波浪大，有多處適合場址，但設備技術高且易受颱風破壞。
- 地熱發電：使用地熱能發電。將水灌入地底，受熱蒸發推動渦輪發電機。缺點如二氧化硫等硫化物可能外露腐蝕管線。
- 太陽能熱水器：由集熱器、熱水儲熱筒、管路與自動控制系統組成。集熱器吸收太陽輻射熱，熱水儲熱筒儲存該等熱能，一般多用不銹鋼材質，再加上一層或數層絕熱材料，可保持水溫一天下降 3°C 以內。一般若有瓦斯、天然氣或電能熱水器，可將管線與太陽能熱水系統的管線做串聯或並聯，可在水溫不夠高又急需使用熱水時滿足需求，亦能節省部分燃料費用。大部分家用太陽能熱水器都裝有輔助電熱器，可在日照不足的情況下自動啟動。大型強制式太陽能熱水系統之儲熱筒與集熱器間裝有溫差控制器，當兩者溫差達一定程度時，自動啟動泵浦將儲熱筒內較冷之水打至集熱器吸收太陽輻射能後再流回儲熱筒。

## 第十三節 環境汙染

### 一、 汙染源

#### (一) 自然汙染

如火山爆發、森林大火等會產生大量二氧化硫、二氧化碳等，諸如此類自然汙染源多局部且短暫，且大氣有自我淨化能力，不會有嚴重影響。

#### (二) 人為汙染

發電廠、工廠、汽機車等所排放的有害氣體，因具有區域性及持續性，導致汙染物排放量過多，諸如此類人為汙染造成自然不及自我淨化。

#### (三) 各汙染物主要來源

- **碳氧化物**：化石燃料燃燒、內燃機廢氣。
- **硫氧化物**：化石燃料等中的硫化物燃燒後氧化或遇水、硫酸等工廠廢棄、內燃機廢氣。
- **氮氧化物**：內燃機高溫時空氣中的氮氣與氧氣反應、工廠廢氣。
- **烴類化合物與懸浮微粒**：工廠排放的微小顆粒，上附著有硫氧化物、氮氧化物、烴類等。
- **氟氯碳化物、氫氟氯碳化物、氫氟碳化物、全氟碳化物**：噴霧劑和冷媒（製冷劑）。氟氯碳化物/氟氯烷指烷上的氫全被氟、氯取代的化合物，以此類推。



## 二、 空氣汙染

### (一) 酸雨

- **定義：**雨水  $\text{pH} < 5.0$ 。
- **成因：**雨水原本因溶解  $\text{CO}_2$  成碳酸呈  $\text{pH} 5.5-6.0$ ，化石燃料燃燒排放的  $\text{SO}_x$  溶於雨水成硫酸或亞硫酸、 $\text{NO}_x$  溶於雨水成硝酸或亞硝酸，使其更酸。
- **影響：**
  - 建築毀損。
  - 因難容於水而易溶於酸的地表重金屬礦物溶出，影響水質與土壤並進入食物鏈與使生物無法生存。
  - 將土壤中的離子化合物帶往深層沉積，使淺根系植物無法吸收養分。
  - 未溶於水的  $\text{SO}_2$  與  $\text{NO}_2$  會引起呼吸道過敏。

### (二) 溫室效應與氣候變遷

- **溫室效應定義：**大氣中的溫室氣體吸收來自地表的紅外線輻射並再放射紅外線輻射，稱溫室效應，可讓地球均溫維持在  $15^\circ\text{C}$ 。但溫室氣體過多，導致地球表面溫度上升，至 2015 年約上升  $0.75$  攝氏度。溫室氣體中，水約占整體溫室效應 6 到 7 成，二氧化碳 ( $\text{CO}_2$ ) 百分之二十六，其餘有氧化亞氮 ( $\text{N}_2\text{O}$ )、甲烷 ( $\text{CH}_4$ )、六氟化硫 ( $\text{SF}_6$ )、三氟化氮 ( $\text{NF}_3$ )、氫氟碳化物 (HFCs)、全氟碳化物 (PFCs)、氟氯碳化物 (CFCs)、氫氟氯碳化物 (HCFCs) 等。
- **成因：**太陽輻射主要是短波輻射，地面輻射和大氣輻射則是長波輻射。大氣對長波輻射的吸收力較強，對短波輻射的吸收力較弱。當太陽光照射到地球上，部分能量被大氣吸收，部分被反射回宇宙，大約 47% 的能量被地球表面吸收，同時地球表面無論晝夜都以紅外線的方式向宇宙散發吸收的能量，其中也有部分被大氣吸收。大氣層保存了一定的熱量，並與地球互相輻射與吸收紅外線。一些理論認為，由於溫室氣體的增加，使地球整體所保留的熱能增加，導致全球暖化。
- **影響：**
  - 全球氣溫上升，氣候變遷。
  - 兩極冰原與冰川融化，海平面上升。
  - 極端天氣事件增多。極端天氣 (Extreme weather)：指非正常、嚴重、季節性，或超出歷史平均數值的天氣。通常極端天氣以當地過往天氣數字為基礎，並被訂為是基數中最不常見的百分之十。例如：2012 起加州乾旱，大旱直到 2016 年 5 月方止，而後面臨暴雨與暴雪災害，2020 年乾旱又起，直到 2022 年結束；2023 年初，澳洲北部的降雨量高於平均水平，澳洲南部和東部的天氣逐漸乾燥，經多年反聖嬰現象後，3 月恢復到中性，9 月宣佈出現聖嬰現象，維多利亞州東部發生複合火災和洪水事件，南澳大利亞艾爾半島周圍出現破紀錄的熱浪，而後雪梨和新南威爾斯州經歷了有史以來最溫暖的冬天，昆士蘭州遭受了多次極端降雨事件，颱風賈斯珀和複合型嚴重風暴造成破壞和傷亡。

### (三) 臭氧層破洞 (Ozone hole)

- **定義：**約距地表 20-30km 的臭氧層內的臭氧濃度顯著降低，根據臭氧總量衛星觀測儀器 (TOMS) 的測量，發現地球平流層的臭氧自 1970 年起以每 10 年約 4% 速率遞減，尤其兩極部分季節遞減速度更快，稱臭氧層破洞。
- **成因：**過去用於空調、冰箱的舊式冷媒與過去噴霧劑推進劑中的氟氯碳化物 (CFCs) 如  $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ 、 $\text{CFCl}_3$  等在對流層中相當穩定，但進入平流層後在紫外線作用下分解出氯原子，成為臭氧分解的催化劑。另外，車輛、飛機行駛等排放的  $\text{NO}_x$  亦會造成之。
- **影響：**增加到達地表的紫外線輻射，對人體皮膚和眼睛有害，增加皮膚癌和白內障的風險，並對生態系統和農作物造成損害。

### (四) 光化學煙霧 (Photochemical smog) 與懸浮微粒

- **光化學煙霧定義：**對環境、健康有害的物質，主要是氮氧化物和揮發性有機化合物 (VOCs)，在陽光下經光解反應形成的二次污染物，如懸浮微粒、煙類與對流層臭氧。
- **懸浮微粒定義：**懸浮在空氣中的固體顆粒或液滴稱懸浮微粒，直徑小於等於 10 微米者稱可吸入懸浮微粒或 PM10，直徑小於等於 2.5 微米者稱細懸浮微粒或 PM2.5。直徑大於 10 微米多會重力沉降，形成落塵而不是懸浮微粒。進行光化學反應的懸浮微粒群體稱為光煙霧。懸浮微粒的成分主要有硫酸鹽、硝酸鹽、銨鹽、氯化鈉、鉛、☐碳、礦物粉塵、重金屬、氨、水等。
- **成因：**
  - 一次污染物係由污染源直接產生，經紫外線照射發生光化學反應，形成二次污染物。
  - 臭氧由碳氫化合物與氮氧化合物發生光化學反應形成。
  - $\text{NO}_2$  由 NO 和  $\text{O}_2$  形成，紅棕色，易於盆地城市或對流層低空逆溫處形成粉紅色光化學煙霧。
  - 燃燒化石燃料、金紙、香、菸、電子菸、森林、垃圾的煙霧、沙塵暴等都是懸浮微粒來源。
  - 森林大火、沙塵暴、漂浮海鹽、細菌。
- **影響：**
  - 懸浮微粒約為細菌大小，上易吸附多環芳香烴、有機污染物、重金屬等，能進入支氣管壁，干擾肺部氣體交換，被吸入肺泡亦對呼吸系統傷害大，造成肺功能下降、氣喘惡化、胎兒高血壓與出生缺陷、呼吸系統和心血管系統疾病等，PM2.5 較小者可能誘發癌症。
  - 霾害減少能見度，影響交通安全。
  - 損害植物，影響農作物生長。

### (五) 使血紅素失去運送氧氣的能力

- **定義：**CO、NO 會與血紅素結合，使失去運送氧氣的能力。

## (六) 空氣汙染因應與防治

- 機動交通工具廢氣：用 Pt、Pd、Rh 或  $V_2O_5$  等觸媒轉換器將  $NO_x$  變成  $N_2$  與  $O_2$ ，將碳氫化合物與一氧化碳變成  $CO_2$  與  $H_2O$ 。
- 烴類化合物與懸浮微粒：戴口罩、減少燃燒、工業排氣先經靜電集塵裝置處理、不抽菸等。
- 硫化物：使用含硫量低的燃料、大型煉油廠與火力發電廠等排氣前先做脫硫處理（ $SO_2$  用石灰吸收）。
- 氟氯碳化物、氫氟氯碳化物、氫氟碳化物、全氟碳化物：使用替代品，如環保冷媒。

## (七) 美國 Clear Air Act

- 六大重要汙染源：二氧化氮、臭氧、二氧化硫、微塵、一氧化碳和鉛。
- 六大溫室氣體：二氧化碳、甲烷、一氧化二氮、氫氟碳化合物、全氟碳化合物和六氟化硫。

## (八) 中華民國氣候變遷因應法

舊稱溫室氣體減量及管理法。

一、溫室氣體：指二氧化碳（ $CO_2$ ）、甲烷（ $CH_4$ ）、氧化亞氮（ $N_2O$ ）、氫氟碳化物（HFCs）、全氟碳化物（PFCs）、六氟化硫（ $SF_6$ ）、三氟化氮（ $NF_3$ ）及其他經中央主管機關公告者。

二、氣候變遷調適：指人類與自然系統為回應實際、預期氣候變遷風險或其影響之調整適應過程，透過建構氣候變遷調適能力並提升韌性，緩和因氣候變遷所造成之衝擊或損害，或利用其可能有利之情勢。

三、氣候變遷風險：指氣候變遷衝擊對自然生態及人類社會系統造成的可能損害程度。氣候變遷風險的組成因子為氣候變遷危害、暴露度及脆弱度。

四、溫室氣體減量：指減少人類活動衍生之溫室氣體排放或增加溫室氣體吸收儲存。

五、排放源：指直接或間接排放溫室氣體至大氣中之單元或程序。

六、溫暖化潛勢：指單一質量單位之溫室氣體，在特定時間範圍內所累積之輻射驅動力，並將其與二氧化碳為基準進行比較之衡量指標。

七、排放量：指自排放源排出之各種溫室氣體量乘以各該物質溫暖化潛勢所得之合計量，以二氧化碳當量表示。

八、負排放技術：指將二氧化碳或其他溫室氣體自排放源或大氣中以自然碳循環或人為方式移除、吸收或儲存之機制。

九、碳匯：指將二氧化碳或其他溫室氣體自排放源或大氣中持續移除後，吸收或儲存之樹木、森林、土壤、海洋、地層、設施或場所。

十、淨零排放：指溫室氣體排放量與碳匯量達成平衡。

## (九) 空氣品質指標 (Air Quality index, AQI)

依據監測資料將當日空氣中臭氧（ $O_3$ ）、細懸浮微粒（ $PM_{2.5}$ ）、懸浮微粒（ $PM_{10}$ ）、一氧化碳（ $CO$ ）、二氧化硫（ $SO_2$ ）及二氧化氮（ $NO_2$ ）濃度等數值，以其對人體健康的影響程度，分別換算出不同汙染物之副指標值（測值與副指標值為線性關係），再以當日各副指標之最大值為該測站當日之空氣品質指標值（AQI）。6 等級分別是良好、綠，0-50；普通、黃，51-100；對敏感族群不良、橘，101-150；對所有族群不良、紅，151-200；非常不良、紫，201-300；有害、褐紅色，301-500。

### 三、 水汙染

#### (一) 優養化

- **定義：**水體中的營養物質（如氮、磷）過剩，導致藻類和其他水生植物過度生長，造成水體溶氧量下降，水質惡化，動植物衰亡。
- **成因：**農業和城市排放的含有氮、磷的廢水流入水體，如含有磷酸鹽的肥料、殺蟲劑、清潔劑。
- **影響：**
  - 藻華現象，水體變綠，影響水質。
  - 水體中的氧氣含量降低，造成魚類和其他水生生物死亡。

#### (二) 缺氧/需氧廢料汙染

- **定義：**水體中的需氧廢料（如有機物）被細菌分解消耗水中溶氧。
- **成因：**家庭、農業、工廠廢水、動植物廢料。
- **影響：**
  - 生物缺氧死亡。
  - 骯髒與臭味。

#### (三) 重金屬汙染

- **定義：**水體中含有重金屬，如鉛、汞、鎘、砷等。
- **成因：**工業排放含有重金屬的廢棄物、廢水進入水體，或含重金屬的地下水，如研磨廢水、工廠酸性廢水、電鍍廢水與半導體洗滌廢水。
  - 汞離子：鹼氯工廠。
  - 鎘離子：電鍍工廠，鎘可防金屬腐蝕。
  - 鉛離子：含鉛汽油、顏料、器皿。
  - 氰離子：金屬表面處理工廠。
  - 砷鹽：含砷礦的地下水。
  - 銅離子：五金工廠。
- **影響：**重金屬在水生生物體內累積，通過食物鏈進入人體。一般重金屬離子產生毒性的濃度範圍大致在 1-10mg/L，但鎘、汞在 0.001-0.01mg/L。某些金屬離子如汞離子、二價鉛離子等，與生物體內酵素之活性中心結合，使失去活性，對生物健康造成嚴重危害，如神經系統損害、腎功能衰竭等。
  - 汞離子：水俣病、腦損傷。
  - 鎘離子：痛痛病（軟骨症）。

- 鉛離子：神經、平滑肌等功能障礙。
- 氰離子：劇毒。
- 砷鹽：烏腳病。
- 銅離子：肝硬化、知覺神經受損、運動障礙與消化系統傷害。

• **事例：**

- 1956 日本九州水俣（yū）市鹼氯工廠將含汞廢水排放至海灣，造成甲基汞中毒事件，使上萬人罹患水俣病。
- 1986 臺灣臺南、高雄二仁溪兩岸五金業者將廢液傾倒溪中，使海口處的養殖牡蠣大量吸收銅離子，顏色變綠，稱綠牡蠣事件。
- 1997 臺灣香山區疑因園區廢水汙染出現綠牡蠣。

#### (四) 泡沫汙染（硬性界面活性劑汙染）

- **定義：**水體中出現大量穩定的泡沫，主要由於硬性界面活性劑的存在。
- **成因：**家庭和工業排放的洗滌劑、清潔劑等含有硬性界面活性劑。
- **影響：**泡沫覆蓋水面，影響水生生物的呼吸和光合作用。

#### (五) 熱汙染

- **定義：**水體溫度異常升高，通常由於人類活動引起。
- **成因：**化工廠冷卻水排放、發電廠排放熱水等。
- **影響：**降低水中的溶解氧含量，影響水生生物的生存，造成熱病變，促進有害藻類和微生物的繁殖，造成珊瑚白化。
- **防治：**採用冷卻塔或冷卻池降低工業冷卻水的溫度。

#### (六) 海洋酸化

- **定義：**海水氫離子濃度上升。
- **成因：**二氧化硫等廢棄與廢水之排放。
- **影響：**鈣化作用降低，具碳酸鈣質殼物的生物，如珊瑚、貝類，殼體變薄。

#### (七) 塑膠垃圾

- **定義：**水體中存在塑膠垃圾，包含塑膠微粒。
- **成因：**塑膠垃圾丟棄。
- **影響：**生物誤食進入食物鏈中累積，影響生物生理機能與生殖能力。

## (八) 其他廢水汙染

- 除草劑和農藥為水中含氯有毒物質的主要來源。農藥與一些有機溶劑有毒。
- 晶圓廠製成產生的廢水包含含氟廢水、含銅廢水、一般酸性廢水及研磨廢水。
- 廚餘等需氧廢料會消耗水中的溶氧量。

## (九) 生物需氧量 (biochemical oxygen demand, BOD) 與化學需氧量 (chemical oxygen demand, COD)

- BOD 是指五日內水中微生物分解有機物時所需的氧氣量，或稱  $BOD_5$ 。以每公升溶氧量減少毫克數為單位。
- COD 是指在水中加入化  $K_2Cr_2O_7$  或  $KMnO_4$  等作為氧化劑，氧化有機物所需的氧氣量。以每公升溶氧量減少毫克數為單位。

## 四、 水淨化處理流程

### 0. 前處理：初步去除較大的固態物、懸浮物。

- 攔汙柵。
- 油水分離裝置。

### 1. 一級處理：去除固態物、懸浮物。

- (a) 分水井：將原水（指未淨化處理之水，如水庫、地表水、地下水、汙水）經由進水管進入分水井，然後被均勻地分配到後續的處理單元中。確保水流的穩定和均勻，避免因流量變化對後續處理過程造成影響。
- (b) 快混池（快速混合池）：水與混凝劑，如明礬（ $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ ）、聚合氯化鋁（Polyaluminium Chloride, PAC）或其他鋁鹽、鐵鹽等，迅速混合，形成膠體溶液，吸收、凝聚原水中的懸浮固體。加入  $NaOCl$  等消毒藥劑進行初步消毒。
- (c) 膠凝池（慢混池）：混凝劑吸附懸浮固體形成膠體溶液，其溶質稱絮凝體（膠羽），經過緩慢攪拌，結合形成大型絮凝體，變得更易於沉澱。
- (d) 沉澱池：絮凝體在沉澱池中重力沉降到池底，形成汙泥，清水則從上部流出。去除水中的懸浮固體和絮凝體。
- (e) 快濾池（快速過濾池）：水經過過濾材料（如砂礫、煤炭、細砂）的層層過濾，去除剩餘的微生物、微小顆粒和懸浮物。

### 2. 二級處理：去除有機物質。

- 曝氣：主要用於工業廢水處理。通過鼓風機或將水噴灑在空中等方式增加水中的氧氣含量，加速有機物分解，去除異味、揮發性有機物及一些溶解性氣體（如二氧化碳），並促進某些金屬（如鐵和錳）的氧化沉澱。
- 加活性汙泥：其富含微生物，能分解有機物質。

### 3. 三級處理：提高排放水的水質。

- 重金屬沉澱池：用於工業廢水，加入適當試劑（通常為強鹼）使重金屬沉澱。
- 離子交換：主要用於工業廢水或海水淡化處理。水依序通過氫離子交換樹脂（RH）和氫氧離子交換樹脂（R'OH），去除水中陰陽離子，獲得去離子水。氫離子交換管中，水中的陽離子 $M^+$ 與樹脂的 $H^+$ 交換： $RH(s) + M^+(aq) \longrightarrow RM(s) + H^+(aq)$ ；氫氧離子交換管中，水中的陰離子 $X^-$ 與樹脂的 $OH^-$ 交換： $R'OH(s) + X^-(aq) \rightarrow R'X(s) + OH^-(aq)$ ；最後 $H^+(aq) + OH^-(aq) \longrightarrow H_2O(l)$ 。兩管順序不可交換，否則中間管路可能生成金屬氫氧化物沉澱而阻塞。樹脂無法去除非電解質。氫離子交換樹脂泡鹽酸再生，氫氧離子交換樹脂泡氫氧化鈉再生。
- 清水池：進行最終的消毒處理，延長消毒時間，通常使用氯氣、臭氧或紫外線。加入氯氣約 0.2 至 1.0ppm 即可殺菌，會殘留氯味，並與有機物質（如甲烷）反應產生致癌物。加入臭氧約 1.0ppm 即可殺菌，使用後產生氧氣，無殘留，無法避免運送過程汙染。都市用水多用氯氣消毒；歐美國家飲用水常以臭氧消毒。
- 活性碳：主要用於工業廢水處理、海水淡化或飲水機等純化以取得飲用水。活性碳具多孔性，表面積體積比大，可吸附水中的有機物質、氯氣、除臭、脫色。
- 逆滲透（Reverse osmosis, RO）：主要用於工業廢水處理、海水淡化或飲水機等純化以取得純水。使用僅可讓水通過的半透膜隔開兩管，含雜質水端施以高壓，水通過半透膜，在另一端得到高純度的水。使用 RO 的水需前處理至足夠乾淨否則半透膜壽命短。
- 蒸餾：主要用於製備純水，但耗熱，且很難去除低沸點的有機物質。
- 凝固：主要用於海水淡化，因海水凝固可得純冰並析出雜質。比蒸餾節省能源。

## 第十四節 綠色化學（Green chemistry）

綠色化學以原子經濟為原則，目標趨近於零汙染、零排放。

- 防止廢物：設計化學合成方法防止廢物的產生，從而無需進行廢物的處理。
- 設計更安全的化合物和產物：設計更有效，而且低毒或無毒的化合物。
- 降低化學合成方法的危險性：降低或消除生成產物的合成方法對人類及環境的毒性。
- 使用可再生的原料：使用可再生的原料而非消耗型原料；可再生的原料一般來源於農產品或是其他過程產生的廢物；消耗型原料一般來源於，石油天然氣煤礦物等。
- 使用催化劑而非當量試劑：通過催化反應將廢物的量降到最低。催化劑是指少量而可以多次催化反應進行的試劑，而當量試劑一般過量且只能反應一次。
- 避免化合物的衍生物：避免使用保護基或其他暫時的修飾，衍生物的產生將使用額外的試劑，並產生廢物。
- 使原子經濟最大化：最大比例的利用起始反應物的原子。
- 使用更安全的溶劑和反應條件：避免使用溶劑，混合物分離試劑，和其他的輔助化合物。如果必須使用這些化合物，選擇無害的物質。如果需要使用溶劑，儘量選擇水。
- 提高能源效率：可能的話，在常溫常壓下進行反應。

- 設計可降解的產物：產物在使用後，應可降解，而不會在環境累積。
- 全程分析並防止汙染：在生產過程中進行全程監控，以減少或消除副產物的生成。
- 使事故的可能性降到最低：設計化合物及其狀態（固態，液態，氣態），以降低爆炸，火災，洩漏的可能性。

## 第十五節 環境相關措施

### 一、 氣候變遷相關國際條約

- 1987 蒙特婁議定書：禁用和逐步淘汰氯氟碳化物 (CFCs)，使用替代品如氫氟碳化物 (HFCs)、全氟碳化物 (PFCs) 等環保冷媒，2007 第六次修正規定已開發國家和開發中國家分別應當在 2030 和 2040 年之前實現氫氯氟烴的完全淘汰。已具成效。根據美國太空總署，2009 年臭氧破洞已不擴大，甚至開始修補。
- 1992 聯合國氣候變化綱要公約 FCCC：綱要性公約，如何具體進行溫室氣體減量，則由公約議定書做詳細的規定。
- 1997 京都議定書：目標將溫室氣體排放量減少到比 1990 年排放量低 5.2%，至於各國應減量多少，則依 FCCC 的共同但有差別的責任原則而有不同規定，2005 年生效。其規範對象僅限於 FCCC 的附件一國家，非附件一國家者（例如中國，印度，巴西），並不受拘束。而 FCCC 的附件一國家中亦有遲遲未批准〈議定書〉者，例如美國。
- 2009 哥本哈根協議：不具法律約束力。
- 2015 巴黎協定：把全球平均氣溫升幅控制在工業革命前水準以上低於 2°C 之內，並努力將氣溫升幅限制在工業化前水準以上 1.5°C 之內，同時認識到這將大大減少氣候變遷的風險和影響。提高適應氣候變化不利影響的能力並以不威脅糧食生產的方式增強氣候抗禦力和溫室氣體低排放發展。使資金流動符合溫室氣體低排放和氣候適應型發展的路徑。無設定強制約束力，依照目前的框架下由各國自主推動，每 5 年檢視減排成績。



## 二、 臺灣環境相關標誌

# 臺灣環境標誌介紹

現在就帶大家來認識  
臺灣重要的4標章 | 標籤



### 認識環保標章

「一片綠色樹葉包裹著純淨、不受污染的地球」，象徵「可回收、低污染、省資源」的環保理念。

頒發給同類型產品環境表現最優良前20~30%的產品。

愛大自然的心



綠葉  
代表健康、環保

### 認識碳標籤

產品從原料取得、製造、配送銷售、消費者使用到廢棄處理等階段產生的溫室氣體總量，換算為二氧化碳排放量的碳足跡標示方式。

碳標籤中的數字就是產品的碳足跡，代表產品生命週期直接或間接溫室氣體排放量換算為二氧化碳排放當量。

心型手意指用心  
節約、實踐省油  
省氣省電。

紅色火苗代表  
可燃油氣。



插頭代表生活  
用電，倡導國  
人響應節能從  
生活中做起。

箭頭向上，代表  
將中心的水滴接  
起，強調回歸再  
利用，提高用水  
效率。

水資源如不虞匱  
乏，大家皆歡喜  
，故水滴笑臉迎  
人。



藍色代表水質純淨清澈，  
得之不易務當珍惜。

三條水帶代表「愛水、  
親水、節水」，鼓勵民  
眾愛護水資源，親近河  
川、湖泊、水庫，並共  
同推動節約用水。

### 認識節能標章

以電源、愛心雙手、生生不息的火苗組成。  
代表能源效率比國家認證標準高10-50%，  
不但品質有保障，更省能省錢。

### 認識省水標章

強調回歸再利用，提高用水效率，鼓勵  
民眾愛護水資源，共同推動節約用水。

「以人為本」的精神。



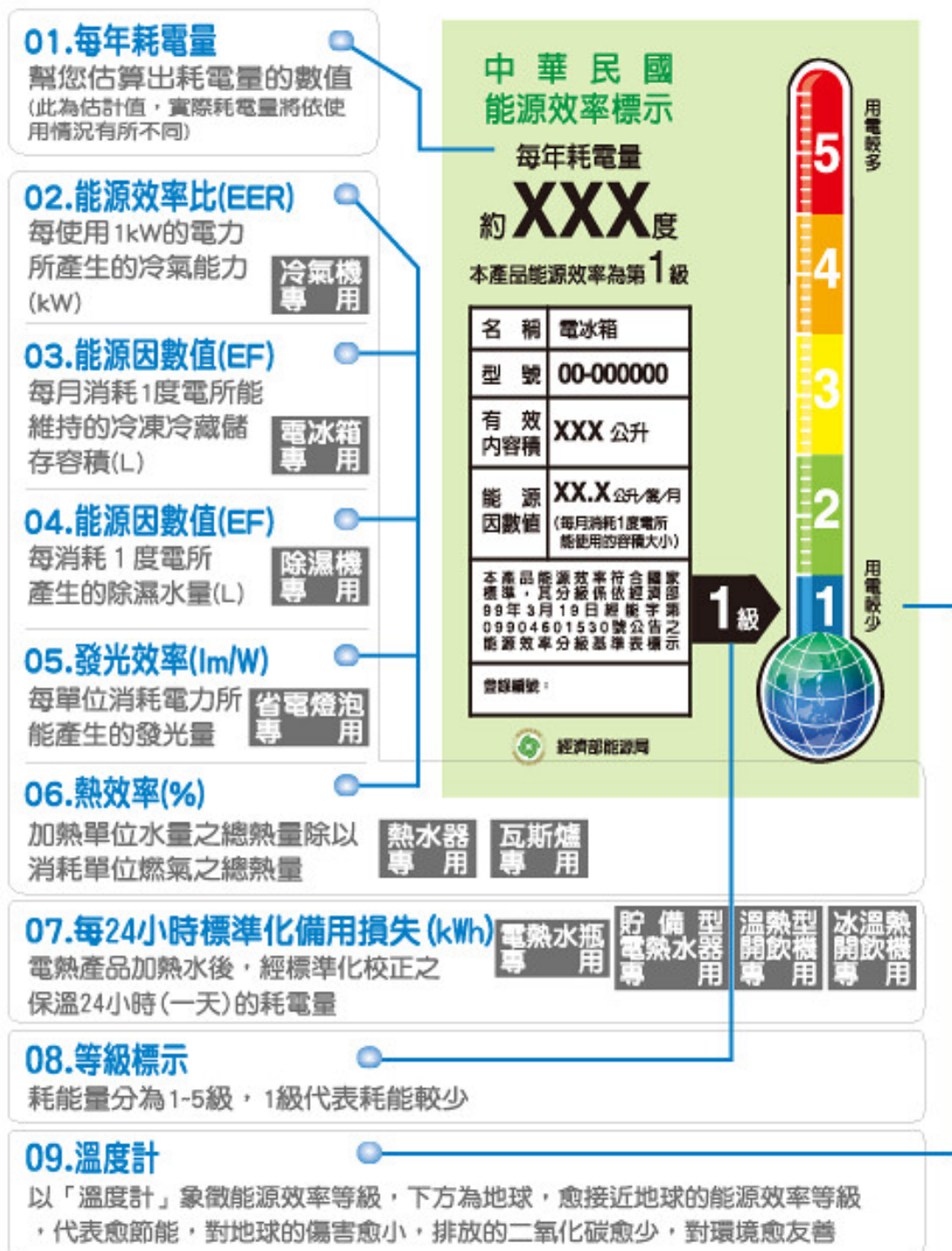
### 認識綠建材標章

原料採取、製造、使用的過程中對環境負荷最小、對人類身體健康無害的材料。分別有生態綠建材、健康綠建材、高性能綠建材與再生綠建材。

勾勒出以綠建材建構家園的意象  
以及「人本健康、地球永續」的  
想法。



行政院環境保護署 廣告



- 節能標章：能源效率比國家認證標準高 10% 至 50%。由電源插座、火苗與愛心雙手共同組成。我國特有。
- 能源效率標示：年耗電量、能源等級標示、能源因數值等。我國特有。
- 碳足跡標籤：代表該項活動或產品的整個生命週期（包含原料取得、製造、配送銷售、使用、廢棄回收階段）過程中直接或間接產生的溫室氣體排放總量，相當於排放多少二氧化碳的量所造成之溫室效應影響程度。我國者由碳足跡數字及計量單位、愛大自然的心、綠葉、CO<sub>2</sub> Carbon Footprint Taiwan EPA 文字共同組成。
- 省水標章

- 綠建材標章
- 環保標章
- 碳手印：減碳行為

### 三、 永續發展 (Sustainable development)

#### (一) 聯合國

- 1972 瑞典聯合國人類環境會議首次提出永續發展。
- 1987 聯合國世界環境與發展委員會 WCED 明確定義永續發展為：不損及後代子孫滿足其本身需求的發展，同時能滿足當代需求。
- 1993 聯合國設置聯合國永續發展委員會。
- 2000 聯合國永續發展委員會推動千禧年發展目標，期待在 2015 年前實現該八大目標。
- 2015 聯合國永續發展委員會推動永續發展目標 (Sustainable Development Goals, SDGS)，明定未來 15 年的 17 項經濟、社會與環境目標。

#### (二) 中華民國

- 國家氣候變遷調適政策綱領：2012 行政院提出國家氣候變遷調適行動方案及工作目標，包含 8 個調適領域：災害、維生基礎設施、水資源、土地使用、海岸、能源供給及產業、農業生產及生物多樣性與健康。
- 永續發展政策綱領：1997 成立行政院國家永續發展委員會，訂立 12 大面向的永續發展指標系統架構。