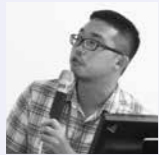


藍天中似棉絮般的雲彩——雨旛



吳曜竹／國立中央大學大氣科學系學士、碩士，國立臺灣大學大氣科學系博士班研究生，專長為劇烈天氣與颱風研究。



楊明仁／國立臺灣大學大氣科學系學士，美國華盛頓大學大氣科學博士，現為臺大大氣科學系教授與理學院大氣資災中心主任，專長為天氣動力、對流與降水、大氣模式研究。

晴朗的天空中，一朵朵的白雲呈現各種奇形怪狀，但大家是否仔細觀察過雲的底部？有些雲的底部長得像拉長的棉絮或是像水母的觸手一般，它就是我們今天要談論的主角「雨旛」。到底雨旛是什麼？它是透過何種物理機制形成的呢？

根據東漢許慎編著的說文解字：「旛，旛胡也。謂旗之下垂者。」所以說旛是指一種由上而下自然下垂且形狀狹長的旗幟，而雨旛的外觀就像是一面細長的旗幟垂掛在雲的下方（圖一）。那雨旛的組成又是什麼呢？

大家應該觀察過熱水壺冒出的白煙，這是由高溫的水蒸氣遇冷凝結成的許多小水滴所組成，氣態的水蒸氣其實



圖一：雨旛。（吳曜竹攝影）

肉眼是看不見的。雲的形成過程也是類似的原理：當一塊含有水蒸氣的空氣塊受到外力抬升或因熱力因素上升，上升過程中空氣塊體積會膨脹且逐漸降溫，而當相對濕度達到或超過 100%（也就是飽和或過飽和狀態），過飽和的水蒸氣會開始凝結成水滴並且釋放潛熱，這些潛熱同時還會加熱空氣塊，使得空氣塊有機會上升到更高的地方，雲也就會發展到更高的高度。

那什麼是「潛熱」呢？潛熱與我們比較熟悉、可用溫度計直接量測的「可感熱」有何不同呢？潛熱顧名思義為潛在於物質內部的熱量，平常不會釋放出來，所以也量測不到；只有當物質進行相態變化時，即氣態變成液態、或是液態變成固態時，潛熱才會被釋放出來。所以當雲中過飽和的水蒸氣開始凝結成液態水滴時，水蒸氣中的潛熱就會被釋放出來；1 公斤的水蒸氣凝結約可以釋放 2.5×10^6 焦耳的熱量，所以水氣的潛熱是很大的，這也可以用來部分解釋颱風的巨大風速，主要是因為颱風環流中眾多水氣凝結，其釋放的潛熱提供颱風強烈旋轉的動能。

相反地，當液態水滴蒸發成爲水蒸氣時，水滴則會吸收環境大氣的潛熱，所以環境空氣的溫度會下降。這種現象於日常生活中也常見到，例如我們游完泳從游泳池上岸，風吹我們的身體皮膚而感受到寒意，就是因爲皮膚上的水珠被風吹蒸發而將潛熱從身體帶走，所以我們的皮膚會感覺有點冷。

我們把雲內和雲外的空氣分開來看，當雲內的相對濕度達到 100% 或超過 100% 而達到過飽和的狀態，會有液態水或是固態冰存在；而雲外的空氣因爲沒有液態水或固態冰存在，相對濕度不足 100% 是屬於未飽和的狀態。因此當雲中的小水滴透過水氣凝結與碰撞合併過程，逐漸成長成較大顆粒的雨滴時，空氣的浮力無法支撐雨滴繼續停留在空氣中，於是雨滴便開始往地面落下形成降雨。

雨滴落下的過程中會有一段路程是在雲中，因此雨滴還有機會在雲中收集小水滴而繼續成長。一旦雨滴離開了雲，進入雲外較乾燥的空氣中，便會開始蒸發。蒸發的過程中水滴吸收了環境空氣的潛熱，使得環境空氣溫度下降，空氣塊的浮力變小，所以在下雨前常常會先感受到一股涼風，就是因爲雨滴蒸發冷卻的緣故。如果雲的下方是非常乾燥的空氣，雨滴離開雲之後便快速蒸發，最後雨滴沒有落到地面形成降雨就完全蒸發，這時候我們在雲底就會看到雨旛。所以說雨旛就是指一朵正在下雨的雲，它的雨滴還來不及落到地面上就蒸發殆盡的現象。雨旛與日常生活中最接近的例子，

就是熱水壺冒出的白煙經過一段時間又蒸發的現象。

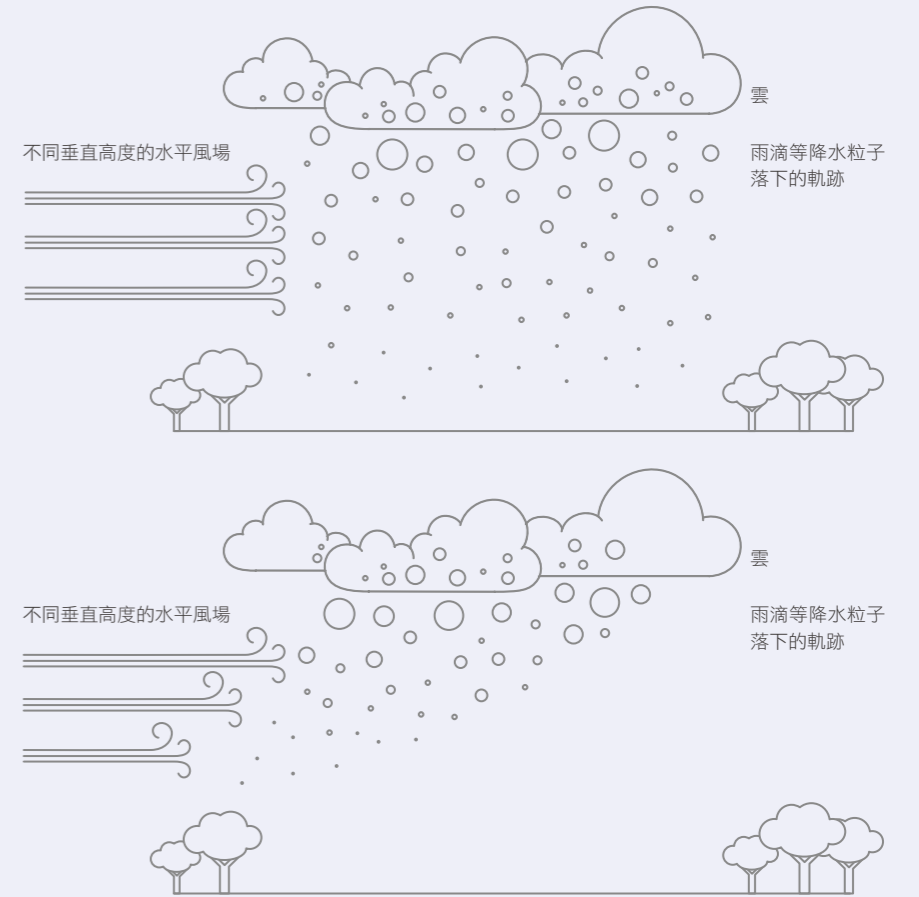
大氣高層的風速通常比低層的風速來得快，這種水平風場在垂直方向上的差異稱作垂直風切，雨滴落下時如果遇到垂直風切，雨滴就不只是垂直往下掉落而已，還會因爲垂直風切而有水平方向上的移動，雨滴軌跡就像是被風吹起的長形旗幟一般。

我們仔細看天上的雲，往往可以看到不同高度雲層的移動方向與速度都不盡相同，表示不同高度的大氣風場之風速與風向有所不同，這就是垂直風切的現象。如果沒有垂直風切，雨滴

落下的軌跡將會是一條垂直線（圖二上）；如果有垂直風切存在，那麼雨滴落下的軌跡會有水平的位移，看起來就是一條斜線（圖二下），而雨旛的路徑就是如此。

雨旛也不一定只含有液態水，例如高空中的卷雲，主要的成分是固態的冰晶粒子，因此當固態冰落下時又因爲垂直風切被水平的拉長成細絲狀，爾後蒸發消失，這種以冰相粒子爲主的雨旛也有人稱爲「雪旛」。

下次在天空中看到雨旛，其實它就是來不及落到地上的雨滴或是冰晶哨。



圖二：(上)沒有垂直風切(下)有垂直風切存在時雨滴的軌跡。