
極光飛舞

傅學海
國立臺灣師範大學 地球科學系

在傳統舞蹈中或雲門舞集中，常常可以看到彩帶翻飛的情景。長段的彩帶或大片的布幔靈動飛舞，令人激賞讚嘆。然而在大自然的舞臺上，有規模更大，氣勢雄偉、色彩豔麗、變幻多姿的光之舞，那便是極光。

極光，在極區上空飛舞的光幕，一大片青白色或紅色的光彩，像一排青綠的竹籬、像森森排列齊整的利劍…，舞動飄移，令人悸動。有時，火紅的色調染滿了整片天空，還真讓人驚悸。

目前國內旅遊風氣興盛，許多人尋求知性之旅，遠赴阿拉斯加、加拿大或澳洲觀賞大自然的奇景—極光。極光豔麗的色彩、變化萬千的舞姿、詭譎的氣氛，常令觀賞過的人印象深刻，許多人還多次造訪觀賞。

古籍中的「極光」片羽

有關極光的現象，可以追溯到數千年以前，北歐、中國…都有極光飛舞的記載。我國古籍便有許多有關極光的記載，只是古人不知道地理上有個極區，所以沒有用「極光」這個名詞，而是採用蚩由旗、天沖、天劍…等詞來描述，而且大多記載在星象、符瑞、妖星、祥氣、異星…等條目中。

《漢書·天文志》記載：「漢惠帝二年（西元前一九三年），天開東北，廣十餘丈，長二

十餘丈。」認為極光是天被打開後的情形。

《古今圖書集成》記載：「漢成帝建始三年七月（西元前三十年八月二十一日至九月十九日）夜，有青黃白氣長十餘丈，光明照地，或曰天裂，或曰天劍。」顯示極光旺盛，亮度可以照亮大地；而且形狀一束一束像是劍狀。

許多記載清楚描述極光的大小與形狀。例如《漢書·天文志》記載：「漢永始二年二月癸未（西元前十五年三月二十七日）夜，東方有赤色，大三四圍，長二三丈，索索如樹。南方有大四五圍，下行十餘丈，皆不至地滅。」同時也描述了南方極光下降的情形，顯示極光也有上下的動態。

在《晉書·帝紀》中更記載了極光會發出聲音：「晉太安二年十一月（西元前三零三年十二月）……壬寅（二十七日）夜，赤氣竟天，隱隱有聲。」

人類對極光的認識，一直停留在觀察極光的外形、顏色與變化上，夾雜著情緒上的驚嘆、恐懼…。直到二十世紀，瞭解了地球磁場與太陽風的關連，才認識了極光的原因與本質。

太陽風與日冕洞、閃焰

風，在日常生活中隨時隨地感受的到。

微風吹拂使人清爽，狂風使人驚懼，寒風刺骨，春風風人……。那，什麼是風呢？或風是什麼？從電風扇或手搖扇可以知道，扇葉轉動或扇子搖動使空氣流動形成風，也就是說空氣中的分子流動時就形成風。空氣分子流動越快，風越大。同樣的，許多粒子由太陽表面發出來，在太陽系的空間中流動就形成「太陽風」。

一個人往上跳，會掉下來。把石頭丟上天，也會掉下來；但是丟得越用力，石頭飛的越高。如果丟得夠用力，使得石頭的速度超過每秒十一公里，則石頭就會脫離地球一去不復返（如果考慮空氣的摩擦力，則需要更快的速度）。一個物體秒速十一公里，相當於時速四萬公里。國際航線客機的速度快的也不過時速一千多公里。一般飛彈的速度大約是音速兩倍多，時速約為三千公里。由此可以知道，要將一個物體以高速拋出而脫離地球是非常不容易的一件事。

太陽表面重力比地球大的多，物體逃離太陽的速度高達每秒五百公里左右，相當於時速一百八十萬公里，這速度遠比人類所能達到的大。但是太陽表面有一些機制使得太陽的物質可以逃脫太陽。一般說來有兩種機制，一個是帶電粒子沿者太陽表面的磁力線移動，順勢逃離太陽形成太陽風。另一個情形是太陽表面發生劇烈的爆發事件，將物質高速爆發出去形成太陽風。

太陽表面溫度高達攝氏六千度，許多原子都被游離成爲帶電粒子，其中最多的是質子與電子，而帶電粒子會受到磁場的影響。與地球一樣，太陽也是一個大磁鐵，表面佈

滿許多磁力線。多數磁力線突出太陽表面又彎回到太陽表面，形成一個個拱橋似的磁力線。帶電粒子沿著磁力線運動，又回到太陽表面。

使用 X 光波段觀測太陽，可以發現太陽發出很強的 X 光，緊裹在色球之外，屬於內層日冕；日全食觀察到的珍珠白色調的日冕，則可以擴張到太陽直徑好幾倍遠的地方，屬於外層日冕。由 X 光波段所拍攝到的太陽影像中，很容易看到許多亮點與拱弧形，這些都是磁力線變化劇烈或磁力線密集的区域。但是也可以看到一長條暗黑、不發出 X 光的條痕區，稱爲「日冕洞」。

經由許多太空衛星或太空船的偵測，一路追蹤太陽風粒子，可以追溯到日冕洞，顯示太陽風是由日冕洞所發出。經過太陽物理學家的研究顯示，日冕洞是太陽表面磁力線開放區；也就是說，磁力線由日冕洞延伸出去後並不會彎回到太陽表面，所以帶電粒子沿著日冕洞的磁力線運行，就一路出發不復返成爲太陽風。

另外，太陽表面有一些磁場密集的所在，磁力線被繃緊後，經由目前還不完全瞭解的機制，磁力線陡然崩解，磁能瞬間釋放形成「閃焰」（flares）事件，將大量帶電粒子爆發出去，形成一蓬太陽風。閃焰事件有大有小，規模大的閃焰可以將好幾十個地球質量的太陽物質一股腦兒拋射出去。閃焰爆發的速度可以高達每秒九百公里，通常速度大約是每秒三百至五百公里，這些太陽風粒子約一至三天的時間就到達地球附近，影響到地球的磁場與大氣。

范·艾倫輻射帶

高速運動的帶電粒子具有強烈的輻射性，如果太陽風粒子直接轟擊到地球表面的話，將對生命造成嚴重的威脅。所幸地球有一個磁場，當太陽風粒子吹至地球附近時，便會沿著地球磁場的磁力線運行。地球兩極區的磁場最強，磁力線也最密集。所以帶電粒子沿磁力線運行，隨著磁場增強、磁力線趨密而集中至極區。依據帶電粒子沿著磁場運動的性質，顯示帶電粒子會由磁極處反轉回去。就這樣，帶電粒子沿著磁力線在兩極之間跑來跑去，形成一個具有輻射性的區域，稱為「范·艾倫輻射帶」(van Allen radiation belts)，因為范艾倫在一九五八年發射升空的探測者一號 (Explorer I) 火箭上，裝置偵測高能粒子的蓋格輻射計數器，偵測到地球大氣之外具有密集的高能粒子而發現輻射帶。

在第二次世界大戰期間，德國發展 V2 火箭作為轟炸英國的武器，V2 火箭能達到兩百公里的高度。戰爭結束後，有一部份發展 V2 火箭被送到美國。由於戰爭結束，火箭不再被用來當作武器，軍方詢問科學家參與有關計畫，一些便被用來發射升空研究大氣的性質。

前蘇聯在一九五七年成功發射第一顆人造衛星「史潑尼克一號」(Sputnik I, Sputnik 在俄文中是夥伴之意)，進入環繞地球的軌道中，最小高度為 225 公里，最大高度為 950 公里。這件事震驚了全世界，人類也因此進入了太空時代，展開了美蘇太空競爭。美國因此加緊火箭載具的發展，在一九五八年成

功發射探測者一號，隨後在同一年又發射了探空三號。顯示地球大氣之外，有高能帶電粒子聚集圍在地球四周，稱為「輻射帶」。

「輻射帶」這個名詞很容易使人誤解，因為它並不是帶狀的，而更像是甜甜圈一樣的形狀。因此，古德 (Thomas Gold) 建議使用「磁球」(magnetosphere) 一詞。

實際上，有一高一低兩個輻射帶。其中距離較低的輻射帶，範圍在游離層與兩個地球半徑之間，在赤道區之上的輻射帶底部距離地球表面約兩千五百公里；這層的帶電粒子能量比較低。另一層比較高的輻射帶，範圍則在三至四個地球半徑的距離之間，其中帶電粒子的能量比較大。

太陽風、閃焰與極光

太陽風中的帶電粒子被地球磁場捕獲，束縛在范艾倫輻射帶中流竄。當這些粒子進入極區上空時，與極區上空气中的大氣分子產生交互作用，被激發出螢光，形成美麗的極光。隨著空氣的流動飄移，形成舞動的光幕，如絲如緞，動人心弦。極光的顏色主要來自氧原子與氮分子的激發，一般有紅色、綠色，也有黃色與紫色。極光高度約在一百公里至兩百公里之間，再高，通常沒有足夠的中性原子可供激發形成極光。

極光的學名稱為 aurora，發生在北極地區的稱為「北極光」(aurora borealis)；發生在南極上空的稱為「南極光」(aurora australis)。當極光強盛時，範圍廣大，位於極區之外也可以觀賞到極光。大陸的黑龍江也常是觀賞極光的地點，位於美國南方的佛

羅里達州就曾經看到過北方天空泛紅的極光。

太陽風粒子數量多，則形成極光的次數也比較多。而太陽活動與黑子數量有密切的關係，當黑子數量達到極大期時，閃焰次數增多，規模也比較大，轟擊到地球的太陽風粒子也多而密集，也比較容易產生極光，是觀賞極光的好時機。2001年正是太陽活動極大期，產生許多大規模的極光。阿拉斯加位於北極區內，也有合適的旅館設施，是觀賞極光的最佳地點之一。通常，每年的十月與三月，氣候比較穩定，適合觀賞極光。加拿大的黃刀鎮（Yellowknife）與白馬市（Whitehorse），也常是觀賞極光的熱門地點。

當太陽發生大型閃焰時，雖然有機會觀賞到壯觀的極光，但湧到的大量帶電粒子會對地球大氣造成影響。主要有兩項，一是大量帶電粒子轟擊地球大氣，會破壞大氣最外層的游離層，使得游離層喪失反射短波無線

電的能力，使短波通訊受到干擾或斷訊。二是大量帶電粒子轟擊加熱了地球高層大氣。使的大氣膨脹，環繞地球運行的人造衛星增加了空氣阻力，摩擦力的增加，使得人造衛星軌道速度減緩並隨之降低高度，縮短了人造衛星的使用年限。在上一次太陽活動極大期時，所發生的一次閃焰就使得加拿大海防部隊通訊中斷一天，也使得觀察太陽的太陽極大期任務衛星（Solar Maximum Mission，簡稱 SMM）縮短壽命，最後在 1989 年 12 月 2 日於墜落於地球大氣過程中焚毀。

就像所有美麗的奇景一樣，雖然能夠預期極光發生的可能性，極光仍然是可遇而不可求的。如果遇上滿天雲或是暴風雨的天氣，即使發生極光現象，也是一樣無法觀賞。也像日全食、彗星一樣，人們對極光的認識，花了數千年才從外貌、顏色的觀賞而進入本質的了解，由驚懼轉為觀賞。人類對大自然的認識，由無知轉向了解的過程何其漫長，極光只不過是其中一例罷了。