

夜裡絢爛的高空煙火

文／林偉竣

紅色精靈為我們最常聽到的中高層大氣放電現象之一，早在1730年，就有文件描述到中高層大氣放電現象。到了1989年7月6日明尼蘇達大學的科學家偶然拍攝到第一張相片，但一直要到1994年7月4日在一架研究飛機上，才拍攝到第一張太氣高空放電現象的彩色相片¹。時至今日已有無數的中高層大氣放電影像在國外被記錄到。而國內除了成大、中大等研究機構外，中高空大氣放電現象的拍攝在攝影界仍處於萌芽階段。



此照片為2024年6月8日凌晨於大屯山記錄到的低空雲海與紅色精靈，左方突出在雲海上的山峰是七星山。

什麼是瞬態發光事件

中高層大氣放電現象又稱為瞬態發光事件 (Transient Luminous Events, 簡稱為TLEs), 可因現象發生時的形狀、顏色、大小及持續時間區分為: Pixies、藍色啟動器、藍色噴流、紅色精靈、淘氣精靈、鬼火精靈、精靈暈盤、次生噴流和巨大噴流等不同類別, 如圖1, 詳述如下。

藍色系成員

Pixies 呈現為藍色或紫色, 發生於發展中的雷雨胞上, 如圖2。**藍色啟動器** 可能是藍色噴流的前身, 亮度更亮、長度卻較短, 不足20公里, 形似短樹枝, 如圖3。**藍色噴流** 為自雷雨胞高速向上噴發的帶電粒子, 激發氮分子而放出藍光。長度最可達40~50公里, 如圖4。

紅色系成員

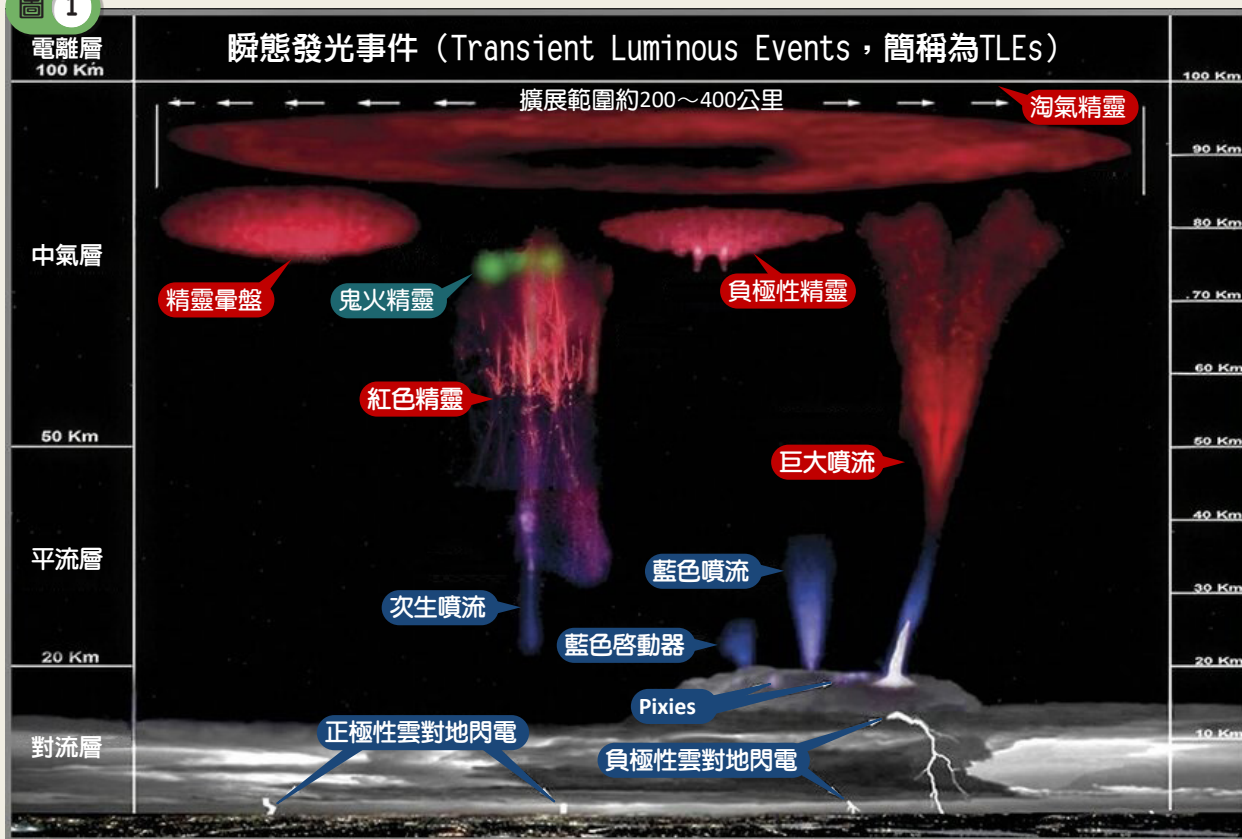
紅色精靈 發生高度介於30~90公里。形狀多變, 大多數為柱狀或胡蘿蔔狀, 水母或天使形狀則較少見, 如圖6、圖8。依雷雨胞雲對地閃電的放電極性,

紅色精靈又區分為占大多數的**正極性紅色精靈**以及較少見的**負極性紅色精靈**, 如圖8。**精靈暈盤**, 外型呈圓盤狀, 其直徑小於100公里, 發生高度介於離地70~85公里的空中, 常伴隨紅色精靈一起出現, 此為負極性紅色精靈的特有結構, 單獨出現的情況較少, 大約僅占了2.6%², 如圖7、圖8。**淘氣精靈** 發生高度大約是75~100公里、水平直徑可達200~400公里, 厚度約為10公里。顏色為紅色, 亮度較暗, 持續時間短, 為圓盤狀或甜甜圈形狀, 如圖6。

其他放電現象

巨大噴流 發生高度介於15~90公里, 長度約為75公里。頂部為紅色, 底部為紫色。目前有三種類形狀, 依頭部結構分為: 樹枝狀、蕈狀、及兩者混合。**次生噴流** 在紅色精靈發生後, 有時候會引發藍色的次生噴流連接雷雨雲的頂部至紅色精靈的底部。**鬼火精靈** 直到近年來才被發現, 於紅色精靈發生後的極短時間內出現。位置在原先紅色精靈或巨大噴流的頂部, 會出現小範圍的綠色區域, 此即鬼火精靈。而目前次生噴流和鬼火精靈在台灣尚未有攝影師拍到影像。

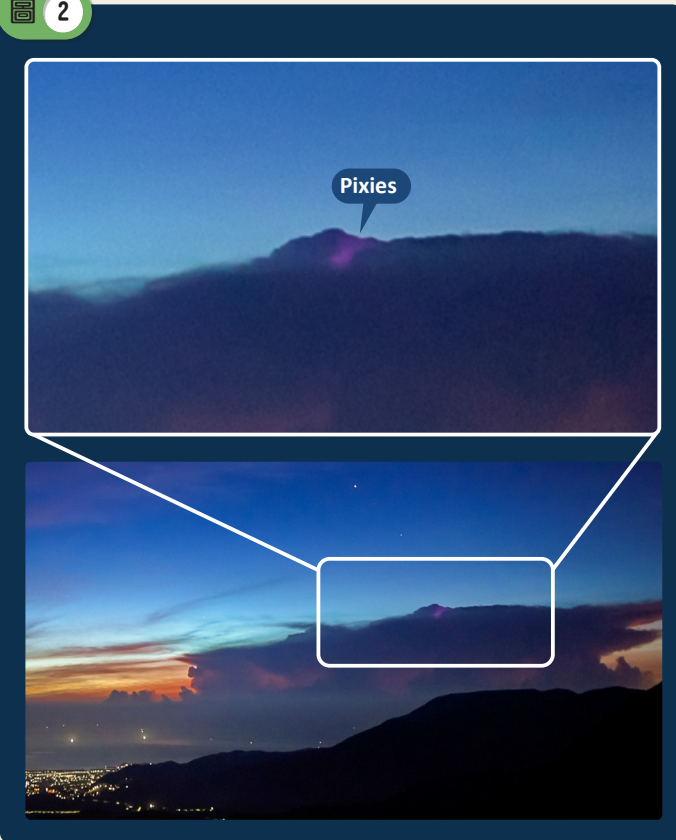
圖 1



各種不同型態瞬態發光事件的顏色、形狀、及發生時高度。圖片來源: Walter Lyons/Inside the World of Sprite Chasing

各種瞬態發光事件實例

圖 2



Pixies發生於快速發展的雷雨胞頂部，呈現出藍色或紫色。

圖 3



藍色啟動器可能是藍色噴流的前身，形狀像短樹枝，長度雖不足20公里，但卻比藍色噴流更亮。

圖 4



藍色噴流是雲層中高速向上噴發的帶電粒子，與空氣中氮分子碰撞後所發出的藍光，噴流長度可達40~50公里。照片來源：蕭翔耀

圖 5

照片資訊

時間：2024.08.31 01:29AM

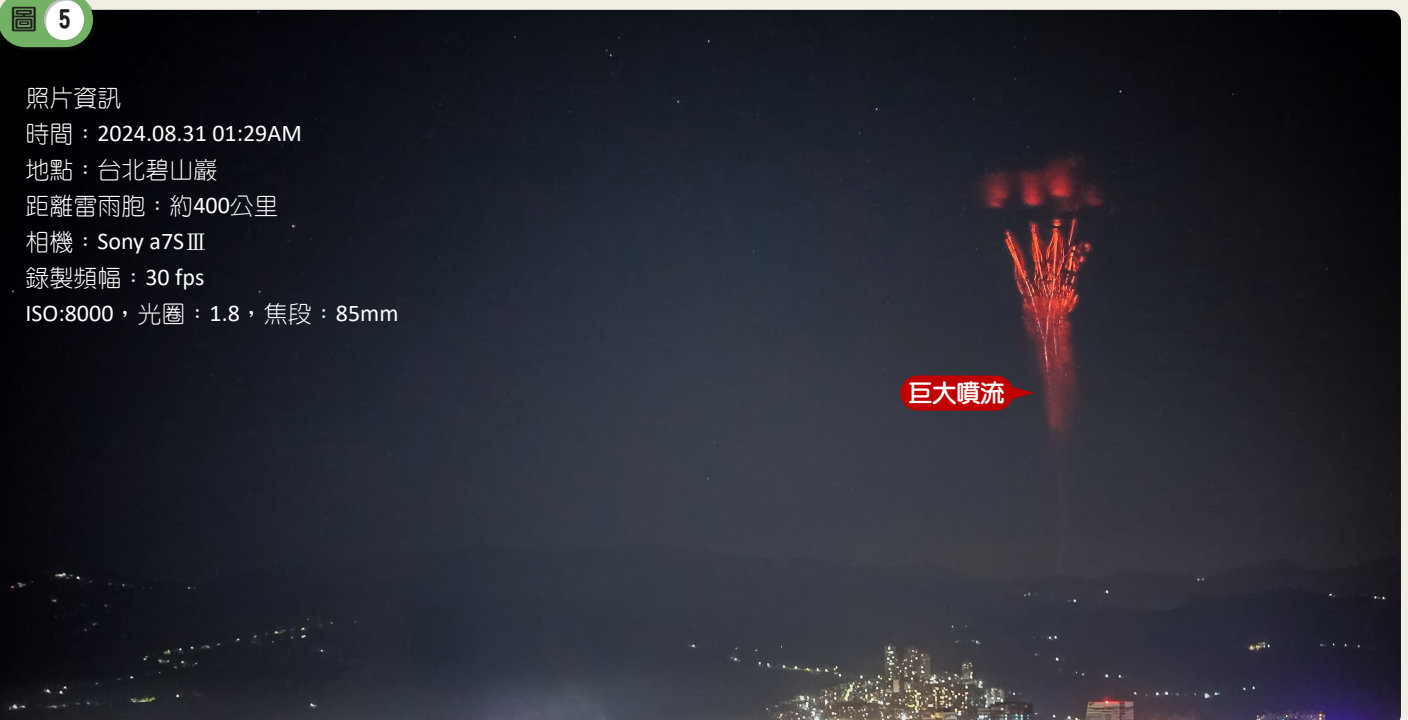
地點：台北碧山巖

距離雷雨胞：約400公里

相機：Sony a7S III

錄製幀幅：30 fps

ISO:8000，光圈：1.8，焦距：85mm



巨大噴流長度約為75公里，通常出現在高度15~90公里的空中，上半部為紅色，下半部為紫色。

圖 6



照片資訊

時間：2024.08.31 01:31AM

地點：台北碧山巖

距離雷雨胞：約400公里

相機：Sony a7S III

錄製頻幅：30 fps

ISO:8000，光圈：1.8，焦段：85mm

淘氣精靈出現在高度75~100公里的高空，形狀像圓盤或是壓扁的甜甜圈，直徑可達200~400公里，呈現紅色，亮度較暗。而紅色精靈則出現在30~90公里空中，大多像胡蘿蔔形狀或是柱狀，少數會呈現出類似水母或者天使的形狀。

圖 7



照片資訊

時間：2024.09.15 08:56PM

地點：台北市陽明山

距離雷雨胞：約200公里

相機：Sony a7S III

錄製頻幅：30 fps

ISO:10000，光圈：1.2，焦段：50mm

精靈暈盤出現在高度70~85公里空中。

圖 8

照片資訊

時間：2024.05.18 03:19AM

地點：台北市陽明山

距離雷雨胞：約300公里

相機：Sony a7S III

錄製頻幅：30 fps

ISO:6400，光圈：1.8，焦段：85mm



照片為負極性紅色精靈，由精靈暈盤和紅色精靈組成。

拍攝中高層大氣放電的雷雨胞選擇

選擇距離適當的雷雨胞

國外的攝影師在水平距離閃電密集處100~700公里都有記錄到中高層大氣放電現象，而150至300公里的距離為筆者經驗上的最佳的拍攝距離。當距離小於100公里時，中高層放電的視野範圍會急遽變大、仰角會急遽升高，且拍攝地點的天氣或天空雲量都容易受到雷雨胞干擾。

鎖定閃電密集區

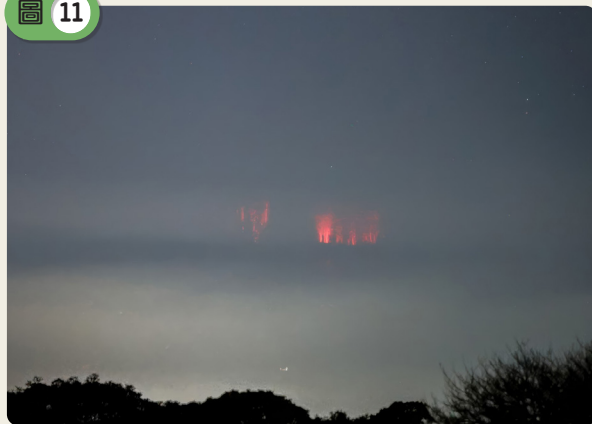
可利用中央氣象署的閃電監測系統以及Blitzortung的即時閃電網站判斷對流雲是否有閃電，如圖9、圖10，有閃電的對流系統才有出現中高空大氣放電的機會，如圖11。但中央氣象署的閃電監測系統只能應用在臺灣附近約300公里的雷雨系統，實際閃電發生至偵測到的時間差較為明顯。因此建議以Blitzortung的即時閃電系統為主要的參考對象。最好能設定偵測的閃電

時間及頻率，筆者的經驗為選擇20分鐘內在目標雷雨胞範圍內能偵測到5~10次或更高頻率閃電的系統為佳。

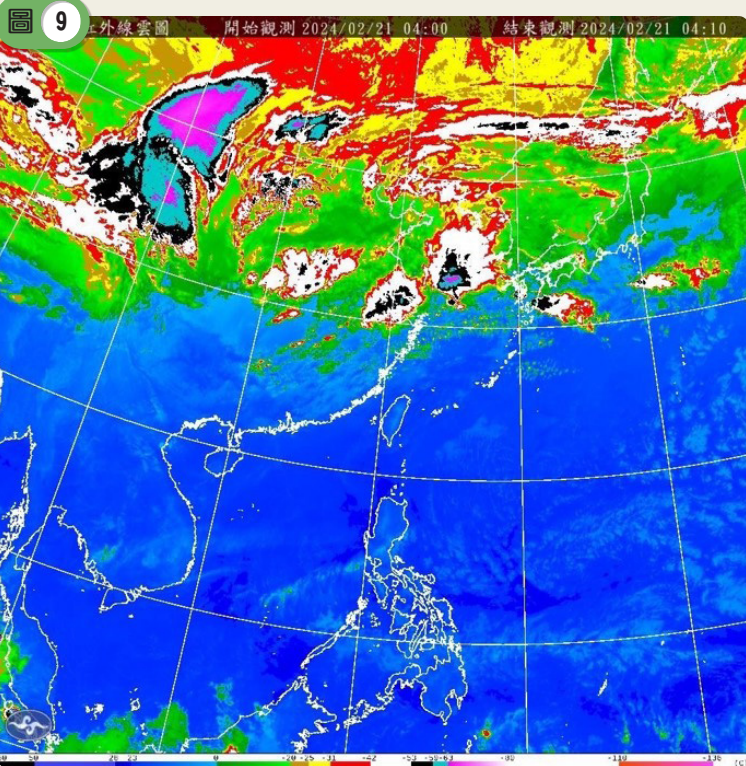
從衛星雲圖尋找

搜尋色調強化的衛星雲圖，筆者建議選擇藍色無雲區中能和其他色塊壁壘分明的雷雨胞，原因是在拍攝方向中高雲層的干擾較少。另外可使用夜間真實色雲圖幫忙判別，當拍攝方向上雲圖有紅色區塊存在時，表示有低雲干擾的可能。

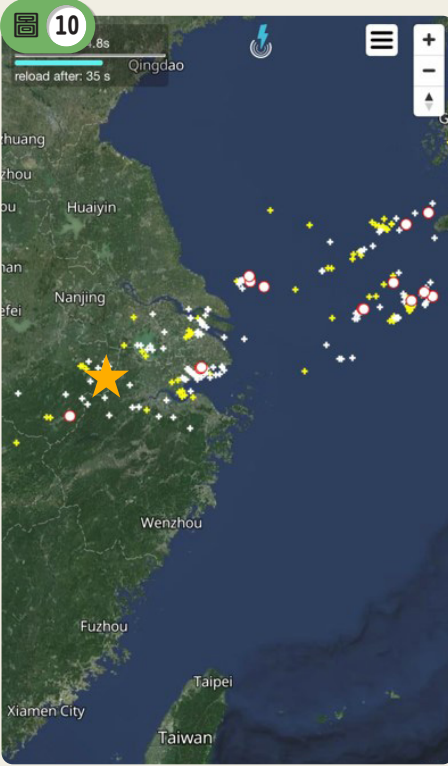
圖 11



從大屯山二子坪附近的半山腰往北方攝影，拍攝到「幾乎同時發生」的數個紅色精靈。



中央氣象局2024年2月21日的紅外線雲圖，顯示長江流域出現一道冷鋒。



從Blitzortung的即時閃電網站來看，有一條明顯的「閃電密集帶」，星號為筆者所選擇的拍攝方向。

注意干擾因素

空氣汙染與光害均會影響拍攝，因此最好尋找空氣品質佳、能見度好、無光害及水氣較少的地點進行攝影，可利用在晴朗夜晚是否能清楚看見銀河作為指標。

預測雷雨胞的發生時間和地區

使用Windyty app在歐洲模式下點選雷暴、雲量模式，可幫助預測雷雨胞出現的區域以及時間。但因為預報變動大，需要時常查看，避免因預報改變而影響拍攝。

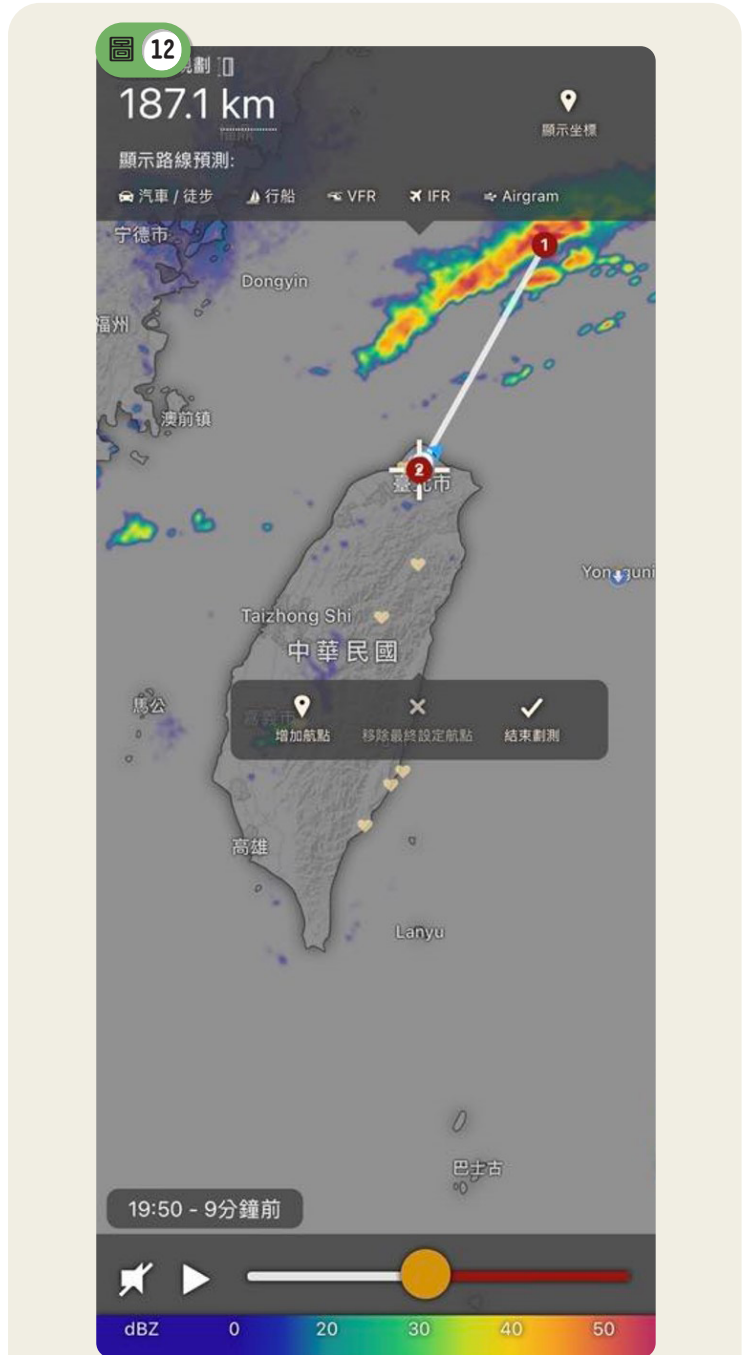
中高層大氣放電的距離、仰角、及方位角的估算

距離估算

選擇Windyty App的雷達或衛星，利用距離與規劃功能計算拍攝者與雷雨系統所在的水平距離，如圖12。

仰角估計

目前已知紅色精靈發生高度介於30~90公里，根據「Red sprites over thunderstorms in the coast of Shandong Province, China」，假設觀察者距離雷雨胞的水平距離為D公里³，這篇文章給予的公式四捨五入後計算出的紅色精靈最大高度H1及最低高度H2所對應的仰角，如表1³。



將Windyty App的雷達和距離疊圖之後，估計雷雨胞距離拍攝位置約190公里。

表 1 紅色精靈最大高度、最低高度與仰角對應表

與雷雨胞 水平距離D (公里)	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700
精靈最高、 最低高度 H1/H2仰角(度)													
H1	41.3	30.1	23.2	18.6	15.2	12.8	10.8	9.2	7.9	6.8	5.8	4.9	4.1
H2	16.2	10.6	7.6	5.7	4.4	3.3	2.5	1.8	1.2	0.6	0.2	—	—

方位角估計

將方向簡單分成16方位即可，因為中高層大氣放電現象可能和母體閃電存在水平距離0~100公里的誤差⁴（意即中高層大氣放電現象並不一定發生在母體閃電的正上方）。另外可以用Star walk以及Stellarium app去找尋可供參考的星星或星座，例如：大角星、獵戶座等，能更精確的判斷仰角及方位角。

攝影器材的選擇與拍攝

選擇器材

一般中高階以上擁有高感光、低噪點功能的相機都可以嘗試。但根據國外拍攝友人及筆者經驗，Sony系列的相機在錄影模式下，相同的感光度具有較少的噪點及雜訊干擾，故較建議使用Sony系列的相機，其中目前又以Sony a7s III為佳。鏡頭光圈建議大於f/2，鏡頭焦距建議在16至100mm之間。

設定參數

在光害較嚴重的地方，拍攝的曝光秒數愈短愈好，至少要低於2秒，ISO在8000以上。若在光害較輕微的地方，曝光秒數可以較長，但建議短於10秒，ISO則視當時所處環境調整。

因中高層大氣放電為瞬間發光，所以長時間曝光

無法讓中高空放電更明顯或更清晰，反而會因背景曝光量增加讓訊號雜訊比升高。因此短時間曝光，特別是高感光的錄影拍攝較適合用來捕捉中高層大氣放電現象。而單張拍攝就需要大量的記憶卡空間，否則難以捕捉到理想畫面。

若要採用錄影方式記錄，錄製格數建議每秒10~30張相片，ISO大約介於8000至100000，仍需視當時所處地點及背景光害再行調整。

在網路上亦有相關視頻介紹如何拍攝中高層大氣放電現象，筆者推薦YouTube上面的「How to SEE and PHOTOGRAPH Sprites!」這部影片。國外有部分拍攝者會使用天文相機，加強紅色波段的光並減少其他波段的光量，亦可以參考使用。

影像後製

錄製的影片需要用肉眼慢慢檢視，目前筆者建議以兩倍速檢視原始影片，如果超過此速度將難以用肉眼檢出瞬間即逝的放電現象。待疑似高空放電現象出現後，再用軟體慢速播放影片並截圖處理，目前筆者是使用Mac內建的iMovie來執行此項工作，接下來的後製工作除了利用Lightroom及Photoshop加強影像的明暗、對比、飽和度外，還可以利用需付費下載的topaz photo AI軟體，對噪點進行降噪處理並適度還原影像，如圖13。



圖 a 為使用topaz photo AI軟體前的截圖圖片，圖 b 則為後製後的圖片，可見噪點降噪且亦稍微增強細節。

後記

前期準備

拍攝前的準備可藉由Windyty app的雷暴預報，提早預測雷雨胞可能發生的時間及地點，而雲量預報及拍攝地附近的即時影像可以幫助我們判斷是否合適出門。器材部分以Sony a7s III為優先選項，若沒有則選擇高感光度、大光圈（光圈需大於f/2）的相機，建議將鏡頭的焦距設定在16~100mm之間。除非雷雨胞距離太近或拍攝目標為淘氣精靈，筆者不建議使用超廣角鏡頭拍攝。

台灣因四周環海且山地多，因此環境的濕度較高，筆者建議以「能近就不跑遠，能暗就不要亮」作為選擇拍攝地點的依據。由於雷雨胞的閃電密集週期通常只有數十分鐘至數小時，因此若選擇離自身所在位置超過30分鐘車程的地點，非常有可能就此和心目中想捕捉的畫面擦身而過。也可能在看完雲圖及當地監視器判斷無雲後出門，抵達拍攝地點時已烏雲密布，只好敗興而歸。因此如果可以的話先想好要拍攝的畫面，白天的時候最好能到拍攝點現場觀察能拍到的仰角、方位角、晚間能先觀察周邊的光害程度，畢竟有些景如果錯過，未來就不知何時能再相遇。

最後，請記得出門前一定要檢查相機電量是否充足、備用電池是否已充飽電、以及是否攜帶備用的記憶卡等。

拍攝過程

拍攝時請保持耐心，忙了一整晚毫無收穫的情況其實蠻常見的，會出現哪種類型的高空閃電目前仍無法預測（目前研究僅知道整體為藍、紫色光的中高層放電現象很少和整體為紅光的放電現象在同一顆雷雨胞出現），而筆者的經驗是高空放電只有在整晚的某段或某幾段時間比較容易出現，其他時間可能毫無收穫。至於選擇大量中高空放電現象出現的雷雨胞以鋒面系統為首選、再者是熱帶氣旋在附近引發的雷雨胞、最後才是浙江、福建、廣東附近因天氣不穩定產生的較大對流系統，可持續至深夜或隔天凌晨。至於一般午後熱對流引發的小雷雨胞，通常入夜後就會逐漸消散，出現中高層大氣放電現象的機會相對較低。

隨時注意安全

拍攝中高層放電都是在夜間，需注意自身安全。若雷雨系統有接近的情況，亦需留意天氣上的變化。正確的對焦可以呈現出最好畫面，請記得一定要將鏡頭對好焦之後，再進行攝影。

用肉眼來感受

筆者目前僅有透過相機螢幕看到中高層大氣放電的經驗，但根據國外拍攝中高層大氣放電的攝影師表示，在黑暗環境下肉眼可以看到紅色發光的瞬間。但筆者尚無相關經驗，估計是和所在拍攝地的光害、空气中的水氣與大氣污染相對嚴重所致。

參考國外攝影師作品

筆者建議可參考國外攝影師的作品，例如：Paul M Smith（有拍攝到鬼火精靈以及同時發生多個藍色噴流）、Pecos Hank、Nicolas Escurat（拍攝出的細節最清楚）、安久、董書暢等攝影師。

最後特別感謝劉清煌教授、蕭翔耀先生、李美英老師、鄭佩佩小姐、許淑玲小姐、傅譯鋒先生建議與指導，希望這篇文章能幫助到所有想拍攝高空放電現象的讀者們。

林偉竣：業餘天文愛好者

附註：

1. 維基百科：紅色精靈
2. 臺灣附近地區紅色精靈特性與分布之研究。
3. Jing Yang, et al. January 2008 Red sprites over thunderstorms in the coast of Shandong Province, China
4. Lu G, Cummer S A, Chen A B, et al. 2017 Analysis of lightning strokes associated with sprites observed by ISUAL in the vicinity of North America[J]. Terr., Atmos. Ocean. Sci., 28 (4) : 583-595. doi: 10.3319/TAO.2017.03.31.01