

拍攝土星恩克縫

文•圖/ 劉佳能

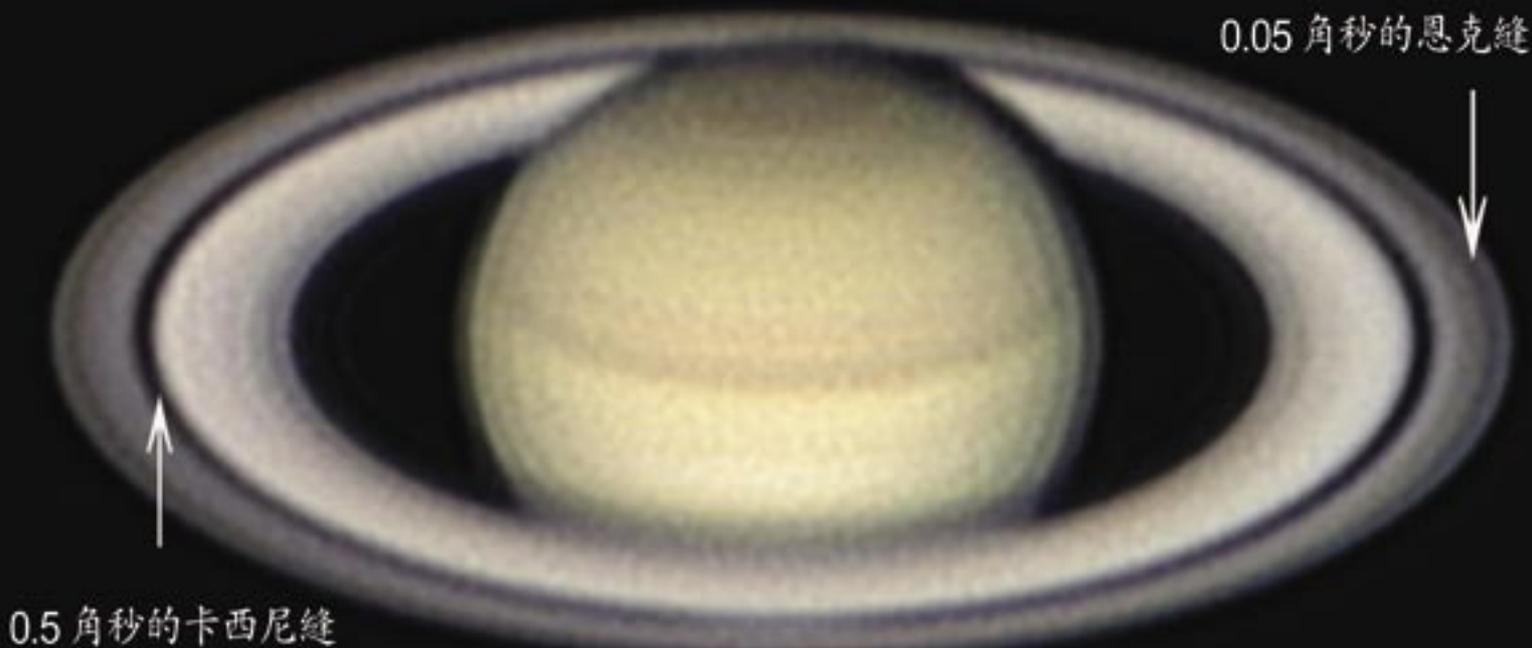
多次在網上跟別人談論到拍攝土星恩克縫的問題，有些人認為，某某人能夠拍攝得土星恩克縫，是因為他的鏡子口徑夠大，或者他居住地方的大氣穩定度特別好。其實，口徑是重要的，大氣穩定度是重要的，但是拍攝技術和圖像處理技術也非常重要。本文會分析拍攝土星恩克縫的難度，並回顧一下筆者走過的路，看看我花了多少時間才拍下了土星恩克縫。

筆者在 1982 年開始自學天文攝影，1983 年 5 月開始拍攝第一張土星照片。當時的赤道儀沒有 GOTO、沒有雙軸馬達、沒有極軸鏡、沒有方位微動、沒有仰角微動。而怎樣對極軸？應該怎樣拍攝？用甚麼望遠鏡拍攝？用甚麼照相機拍攝？用甚麼軟片拍攝？用甚麼焦比拍攝？曝光多少？怎樣避免快門震動.....

在今天，除了軟片變了 CCD 以外，這些仍然是在網絡上很多人提出的問題，但在沒有網際網路的年代，拍攝者都需要從實踐去尋找答案。在當時，能清晰地拍得卡西尼縫已經非常難得，能看到整條卡西尼縫的土星照片絕對是佳作。1986 年，我用借回來的 Celestron C8 拍下了這照片（圖一）：合成焦比約 F300，軟片是富士 1600 度負片，採用「鏡前快門」曝光 10 秒。



圖一



「照片中的恩克縫比理論值 0.05 角秒粗很多，其實這「恩克縫」包括了恩克縫本身，它在土星環的投影黑邊，加上大氣穩定度使恩克縫變粗等等因素，所以本文只可以視為一個粗略的示範。」



行星、月球、太陽視直徑的比較

拍攝行星的難度，在於行星的視直徑都很細小，太陽月球約 1800 角秒，但木星最大時只有 49 角秒，土星本體約 20 角秒，火星最大亦只有 25 角秒。要拍得行星表面細節便需要高倍放大。可是經過高倍放大，行星表面變暗，曝光時間變長，受到大氣的影響更大。

2001 年 9 月，我用數位相機在白天拍攝太陽，在晚上拍攝月球、火星、土星、木星，然後放在一起比較（圖二）。從照片可以看到，土星、木星的視直徑便如一個普通月球環形山，在衝期以外的火星更只有那些不知名的環形山大小。要拍攝行星表面細節，存在不少難度。



圖二

可靠的赤道儀、精準的極軸

在軟片的年代，拍攝高倍行星是最具挑戰性的項目，因為操作一支合成焦距達數萬毫米的望遠鏡拍攝，曝光達數秒鐘，絕不容易，需要一台可靠的赤道儀。而且因為曝光過程不容許修正，極軸的任何偏差、赤道儀的任何誤差，都會記錄在照片上，要拍攝寬度只有 0.5 角秒的卡西尼縫，極軸必須精準。由於筆者的赤道儀並非固定裝置，每次拍攝都需要重新架設，調校極軸這例行公事每次都花去約一小時，加上曝光時間長，只有在大氣穩定度最好的時候才有機會出現佳作，因此一年可供拍攝的日子實在很少很少。

在 1999 年 10 月 10 日我進行了一個測試，看赤道儀的追蹤精度。做法是先把極軸調到精準，以 Meade 10 吋折反射鏡，採用合成焦比 F 213 拍攝土星，曝光 50 秒（圖三）。土星的短邊是南北，長邊是東西。從照片可以看到，在 54000 毫米合成焦距下，曝光 50 秒的土星南北沒有漂移，東西則有漂移，不能分辨出卡西尼縫。南北沒有漂移反映極軸高度準確，東西漂移反映赤道儀的追蹤誤差。能把極軸調到精準，是在軟片年代拍攝行星需要具備的技術。可是數位相機出現後，多數曝光都在半秒以內，而



圖三



圖四

Toucam 和 Registax 出現後，每幀 1/25 秒的曝光更不需要漂移法對極軸了，有人甚至能採用杜素式望遠鏡拍攝出高水準的行星照片。

50 秒曝光是一個特別的例子，筆者拍攝的行星曝光一般在 1 秒到 8 秒。2000 年 11 月，筆者已開始了數位攝影，某個晚上在其中一張曝光



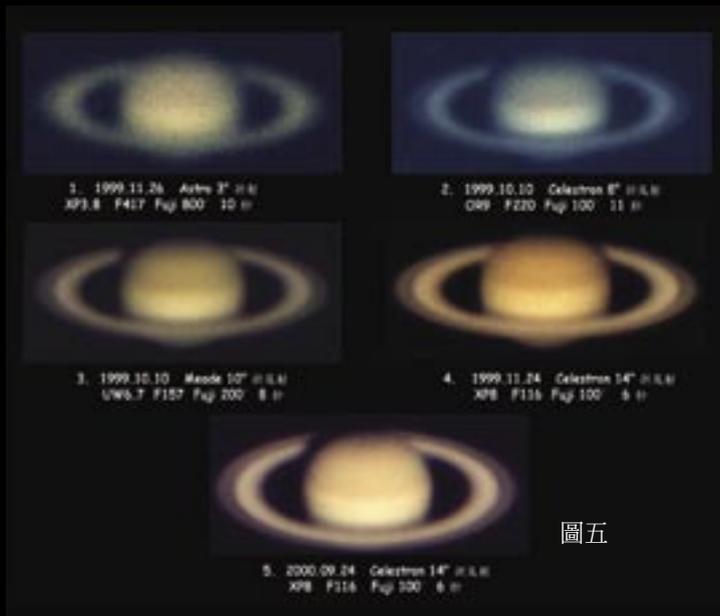
只有 1/8 秒的土星上，有著不尋常的抖動（估計是來自赤道儀的誤差），出現了兩個卡西尼縫（圖四）。如果採用軟片拍攝，這已經是失敗的作品，可是有 Registax 的幫助，這些欠佳的照片可在疊合時捨棄，不會影響整體結果。

為了尋找抖動原因，筆者曾夥同朋友拆開 G40 赤道儀清潔、細細調校一番。確保赤道儀和望遠鏡時刻保持在最佳狀態，是拍攝技術的一部分。

口徑愈大，解像力愈高

口徑愈大，解像力愈高的道理大家都明白，但具體分別多大卻難用言語表示。1999 到 2000 年我做了一個測試，在一些大氣穩定度最好的晚上，採用 3 吋到 14 吋口徑的望遠鏡以軟片分別拍攝土星，每個晚上都採用不同焦比拍攝，取最好的一張比對效果（圖五），從右圖可以知道，口徑在拍攝上的優勢十分明顯。

對一個技術成熟的拍攝者來說，只要遇上穩定的大氣，提升望遠鏡的口徑便能提高拍攝成績。

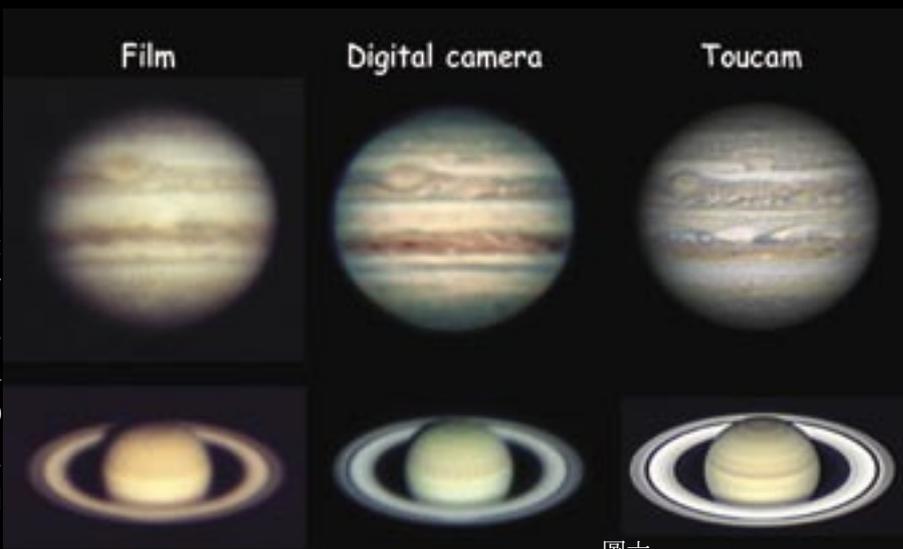


圖五

數位新世代的來臨

右圖（圖六）的木星和土星都使用 Celestron C14，分別使用軟片、數位相機和 Toucam 拍攝，都是我手上最好的作品。以土星為例，軟片土星曝光 6 秒、數位相機土星曝光 1/2 秒（單張）、Toucam 土星曝光 1/25 秒（疊合 600 張）。明顯地，Toucam 土星比數位相機土星強，而數位相機土星又比軟片土星強。而且那種超越，不是可以用技術補

足的。筆者跟朋友戲言，即使某人能累積 300 年功力，以軟片挑戰數位相機仍是難有勝望，用軟片拍攝恩克縫更是完全沒有可能（自適應光學技術除外）。可是，用數位相機和 Toucam 再拍一



圖六

次，要突破從前的成績不難，但採用軟片拍攝，要拍得比從前好卻極難！所以，現在仍然有人採用軟片拍攝深空天體，但數年前已經沒人用軟片拍攝行星了。軟片的絕路早已出現。



大氣的影響

根據經驗，即使某個晚上大氣很穩定也有突然抖動的時候，相反在一些大氣極差的時候也有機會遇到數秒到十數秒穩定的大氣。下面是受大氣影響四個典型的例子：

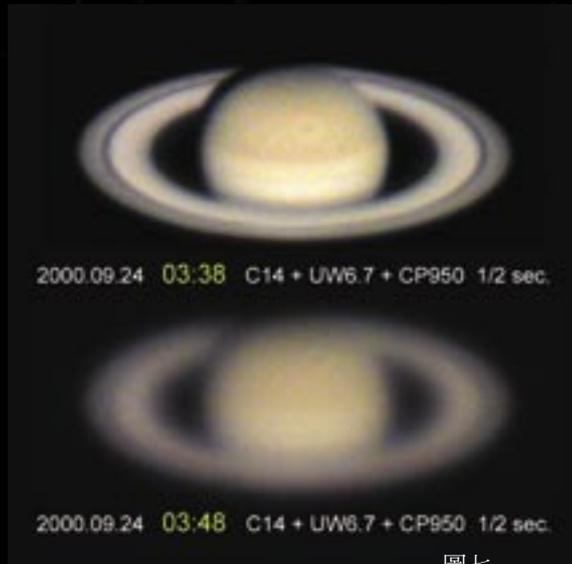
1. 這是用數位相機加 C14 拍攝的兩個土星，曝光同樣是 1/2 秒，只是下面的相距 10 分鐘後拍攝，當中沒有再對焦。在大氣強力擾動下，後一張土星的細節完全被抹去。（圖七）

2. 抖動的氣流可以是大片大片的，使一個大範圍模糊起來，也可以是小片小片的，我們甚至可以看到氣流流動的方向。（圖八）

3. 再看看這三張月球照片：照片以 C9.25 加 Nikon Coolpix 990，以連續拍攝模式拍攝，每張相距大概一秒。請留意虹灣的位置，這張展示的氣流波浪比前面的土星大（整個土星視直徑比左面的柏拉圖稍為小一點）。

不少人抱怨，很難找到兩張完全相同的大範圍的月球照片，我看這裡便提供了一個答案。（圖九）

4. 2000 年 11 月 6 日，筆者用 C14 加上不同焦距目鏡拍攝土星，曝光分別是 1/8 秒、1/2 秒、1 秒（全是單張）。在非常穩定的大氣下，土星細節分別不大，這種大氣穩定度是高倍拍攝月球行星夢寐以求的時刻。（圖十）



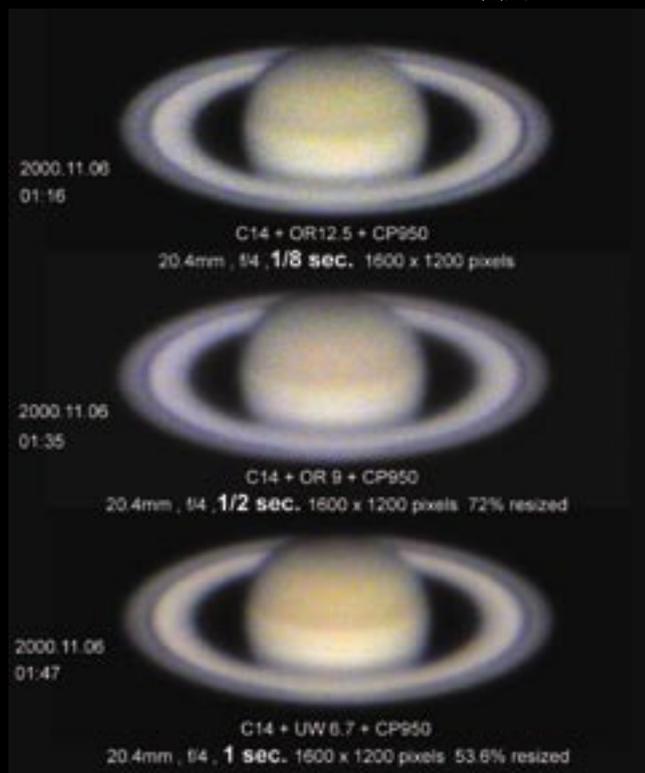
圖七



圖八



圖九



圖十



一個艱難的開始

筆者用了十多年時間探索，當使用軟片拍攝已經到了得心應手時，軟片的年代亦漸漸過去。學習用數位相機和 Toucam 拍攝，實在是一個艱難的過程，感覺便好像廢掉全身武功再上路一樣。2002 年 10 月 15 日，在誤打誤撞下我拍下了第一段 AVI 檔案，可是該段視頻：曝光過度至飽和、白平衡錯誤、gamma 設定錯誤，雜訊奇大……結果沒有完成圖像處理，以失敗告終。（圖十一）

或許有些人看見我在網路發放的天文照片，會認為我手上一定有甚麼秘技，其實，我只是做得比別人多，失敗得比別人多，吸收了較多經驗，把錯誤慢慢改正過來。開始的時候，我跟很多天文同好一樣，搞得一塌糊塗呢！

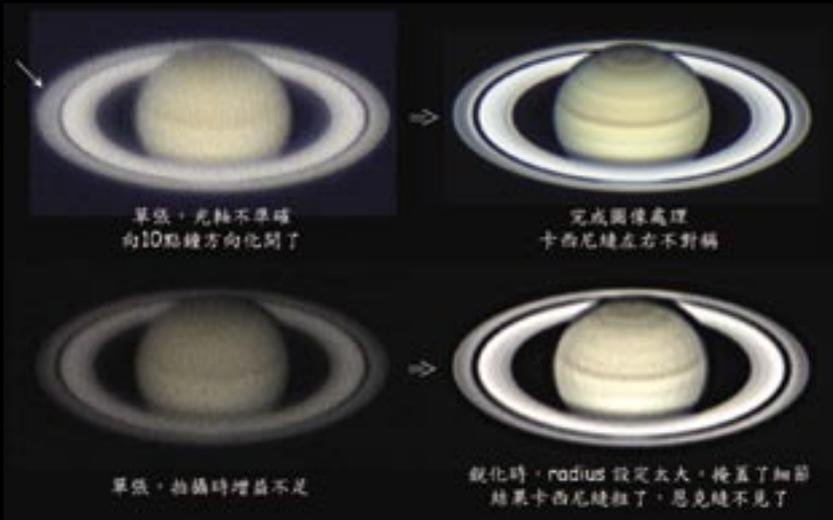


圖十一

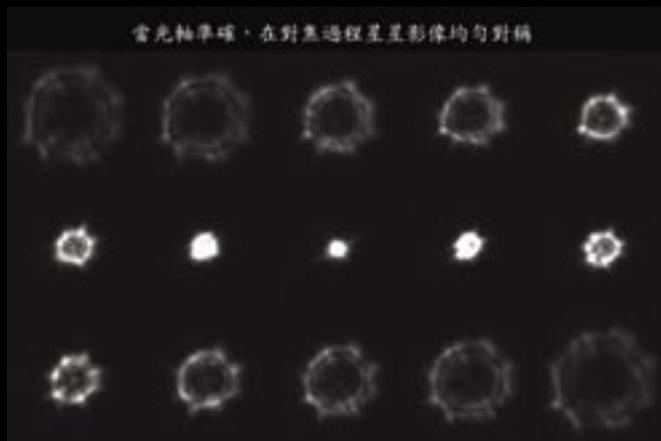
光軸與對焦

有很多人忽略了光軸與對焦的重要。拍攝要有好效果，光軸與對焦都必須精準，強調：是「精準」。尤其當拍攝用的望遠鏡是史密特卡式（SCT），而要拍攝的對象是土星恩克縫時，你能調到多準便調到多準吧。我有一個重要的建議：除非你的望遠鏡在沒有稜鏡下不能對焦，否則拍攝和調光軸時「一定要除下天頂稜鏡」。盡量減少望遠鏡和照相機中間可能出現的任何偏差。

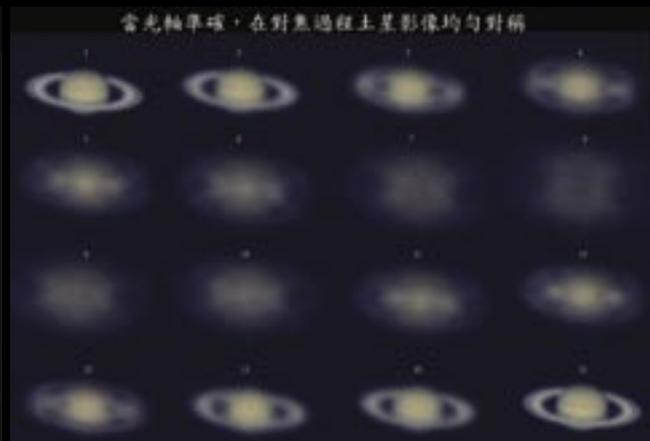
調光軸要選擇在良好的大氣條件下進行，而精準的光軸唯有在穩定的大氣下



圖十二



圖十三



圖十四

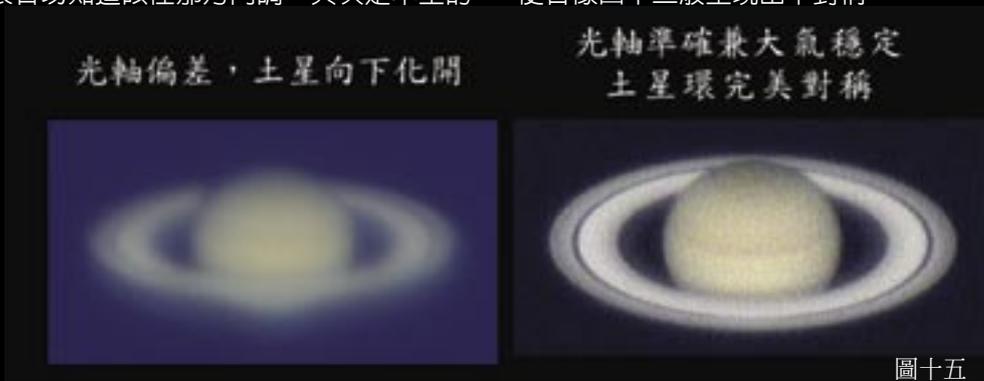


才可達到。調光軸時應採用盡量高的倍率來檢視星點，星點要調至圓盆狀，而我們追求的是「完美對稱」的影像。留意，如果你的赤道儀剛性足夠，最理想是接上 Toucam，在電腦顯示屏裡調光軸。圖十三、十四來自兩段 AVI 短片，在拍攝之前光軸都是精準的（看著目鏡調），當然，筆者在調光軸和拍攝時都沒有加上稜鏡。

從星點和土星的示範照片可以看到，不論在焦點前後，影像都是高度對稱的。在調光軸時，最理想是以土星為對象，因為土星最有「方向感」，很容易知道該往那方向調；其次是木星的

四大衛星，那細小的圓面像一個訊號，會告訴你該往那一個方向調節。

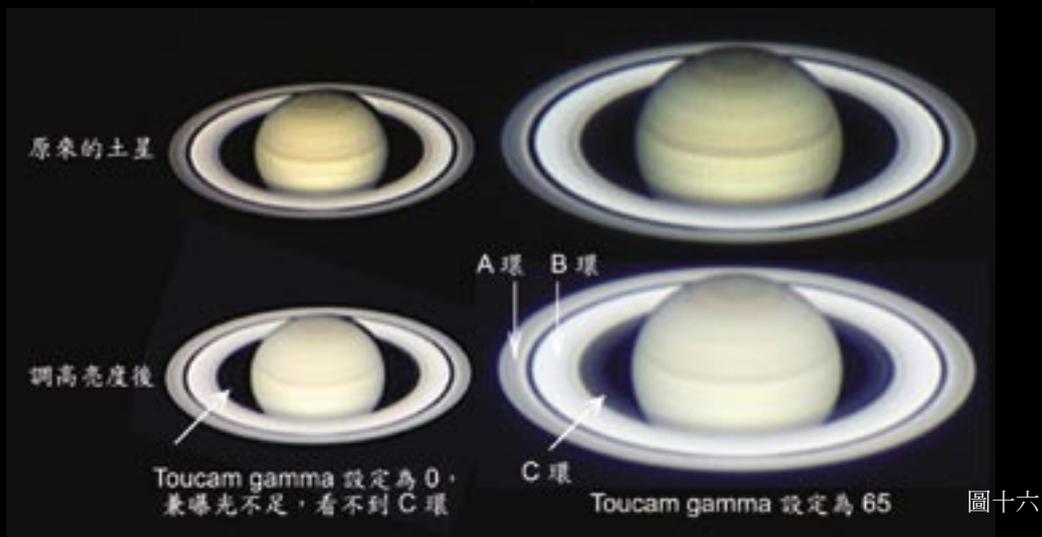
筆者不斷強調光軸的重要，究竟準確的光軸有多重要？圖十五左面的土星是某人用一枝 Meade 12 吋折反射鏡加 Toucam 拍攝，光軸嚴重偏離至向下化開，論成績不及一枝 5 吋折反射鏡甚至 3 吋折反射鏡在正常情況下的拍攝效果；右邊的土星則是 C14 加 Toucam 拍攝的單張照片。大氣穩定加上光軸精準，土星環完美對稱，兩邊更可見恩克縫。只要光軸有些微的偏差，土星光環便會像圖十二般呈現出不對稱。



怎樣拍攝 C 環？

即使一張土星照片拍攝得恩克縫了，但卻看不到 C 環，仍然不能稱為佳作。要拍攝 C 環須留意：在 Toucam 的操作介面裡有一個 gamma 的設定，此設定不要少於 30。看下面的例子（圖十六）：圖片上面的兩個土星曾經在網路發表，

把它們的亮度調高後得出下面的土星。我們可以看到，左面的土星因為 gamma 設定為 0 兼曝光不足，刻意把亮度調高後仍看不到 C 環；右面土星拍攝時 gamma 設定為 65 而且曝光足夠，ABC 環齊全，像回一個土星了。



恩克縫有多細微？

在高解像度的天文照片中，拍攝土星恩克縫是難度至高的其中一個項目。就讓我們看看恩克縫多細微，為甚麼在 2002 年前在亞洲區內未有人能夠拍下它。2001 年 9 月筆者做了一個測試，以下是測試的內容。

右圖（圖十七）背景是一座二十多層大廈天台的一幅鐵絲網（每格鐵絲網的闊度是 5 cm），筆者使用一支口徑 12.8 cm 折射鏡（高橋 FS128）加上 Nikon CoolPix 990 數位相機把這塊鐵絲網拍下，當中的土星從網際網路下載，由一枝一米口徑的望遠鏡拍攝。為了量度視場的闊度，方便比較拍攝效果，照片中加上了一把 20 cm 長的膠尺。

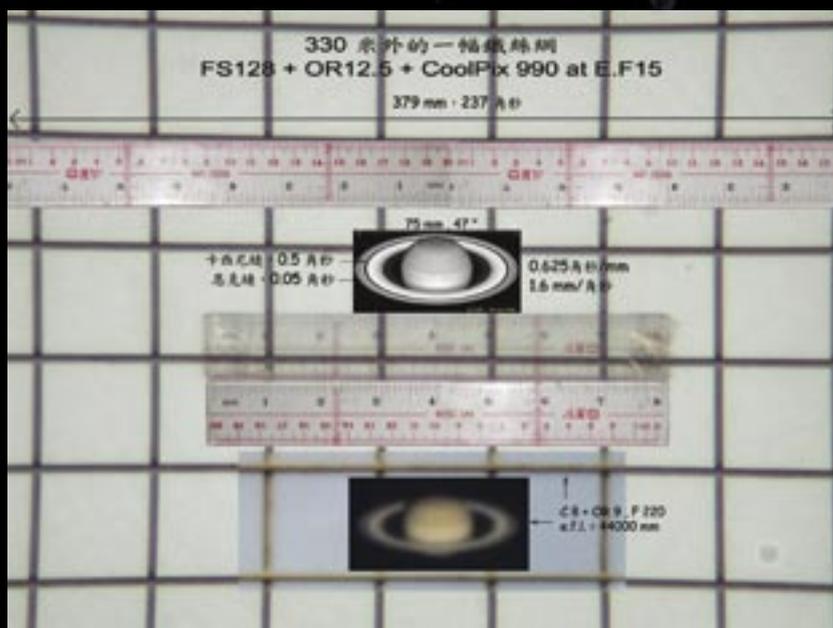
拍攝的過程是這樣的：先在拍攝場地使用數位相機拍攝膠尺，然後把膠尺帶到這個天台，用膠紙把它固定在鐵絲網上，再返回拍攝的地點使用以上提及的儀器把膠尺和鐵絲網拍攝下來。翻查天文年曆，拍攝當日土星視直徑 47 角秒，我借助軟片年代採用同一方法拍攝的照片，使用電腦軟件拼合比較，得到鐵絲網和土星視直徑的比例，然後使用比例方法計算鐵絲網和望遠鏡的距離。

根據量度，視場的闊度是 379 mm，237 角秒（即 0.625 角秒/mm 或 1.6 mm/角秒）

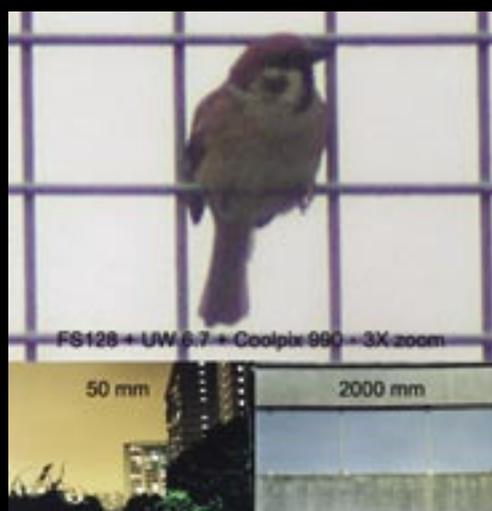
列出算式： $237 \text{ 角秒} / 360 \times 60 \times 60 = \text{視場的闊度} / 2 \times \text{圓周率} \times r$ ，算式中的 r 便是鐵絲網和望遠鏡的距離，根據計算，這距離是 327 米。

筆者使用了 3 款目鏡和 1 至 3 x 的光學變焦拍攝這幅鐵絲網，從 60 多幅照片中選出這幅照片（經過了圖像處理）。大家可以看到，視直徑 0.05 角秒的恩克縫的闊度約等於這膠尺上毫米的刻度，而這刻度約為 1/4 毫米。

雖然這只是一個很粗略的比較，但簡單一點說，無論使用甚麼儀器、甚麼方法、甚麼口徑的



圖十七



圖十八

望遠鏡拍攝，如果要拍攝土星恩克縫，則所拍攝照片的解像度必須能夠分辨 327 米以外的一根頭髮，有頗大的難度。

在拍攝的時候，偶然拍下了鐵絲網上一隻小麻雀（圖十八），為了方便比較，我把目視效果和採用 2000 毫米拍攝的照片放在一起（三張照片都以同一個位置為中心點）。如果要拍攝土星恩克縫，差不多等如要分解到這小鳥羽毛上一絲一絲的結構。可是這小鳥卻在 327 米外！

拍攝恩克縫，絕對是對自己 and 儀器的一個挑戰。

劉佳能：香港人，一個對天文攝影熱愛而執著的天文人