

第 3 章—進行觀測

觀測步驟說明

1. 找到天區——使用一本星圖集或者活動星圖，找到要觀測的變星所在的天區。如果您對星座非常熟悉，在這一步時它會對您很有幫助。然後拿出您的“A”或“B”規格的星圖，並把它對向您剛才找到的天區，使它與您看到的天空吻合好。

2a. 找到變星（使用尋星鏡/紅點尋星鏡）——仔細觀察“A”或“B”規格的認證星圖，找出一顆在變星附近的亮星作為“導引星”，然後您需要在天空中找到它。如果用肉眼無法找到（比如有月光或其它不利條件），您可以使用尋星鏡或者一隻倍率非常低、視野較大的目鏡，並把望遠鏡指向盡可能接近這顆亮星應該出現在天空的位置。需要記得的是，由於您使用了光學儀器，在望遠鏡裡看到的星空的方向可能會和肉眼直接觀測不一樣。您要慢慢習慣在您自己的望遠鏡裡看到的北、東、南、西各方位的指向。（更多細節見 13、14 頁。）您可以通過視場中一些較暗的星的排列來確認望遠鏡是否指向了正確的導引星。

現在您就可以通過“星橋法”（先找到一些星星排列的特定形狀，然後循著這些形狀和特徵找到目標的找星法）一步一步慢慢地向目標變星進發了。先觀察星圖，然後看天空，再用尋星鏡尋找；然後再對照星圖，繼續重複這個步驟——在最終看到目標變星附近的天區之前，您可能需要這樣重複很多次。一定要花些時間確認您找對了星。有時，在認證星圖上連上線將會很有幫助。

2b. 找到變星（使用定位環）——如果您的望遠鏡配有比較精確的定位環（普通的或電子的都可以），它將為您提供另一個找到變星所在天區的方法。在開始之前，請您確認您的望遠鏡已對好極軸並調好定位環的初始位置。然後您就可以用認證星圖頂部的曆元 2000 的座標“定位”目標變星了。

要記得，變星一般並不會立刻就能明顯地看到。因

此，儘管它可能已經在您的視場裡了，您仍需要認證一下它旁邊的星的排列，以進一步確認它。通常您會發現，巡視附近天區並找到一顆認證星圖中標出了的亮星或特徵星形會很有幫助，您可以用星橋法從它們開始向變星進發。

3. 找到比較星——當您確認已經正確地找到（認證出）了變星的位置，您就要準備對它的亮度進行估計了——具體的做法就是把它的亮度與其它亮度已知而且固定的星進行比較。這些認證星圖中的“比較星”（comp stars）通常就位於變星附近。用您的望遠鏡找到它們。並且再次仔細地確認您找的位置是正確的。

4. 估計亮度——估計變星的亮度，先要確定哪顆（哪些）比較星的亮度和您要觀測的變星最接近。只要變星的亮度不是跟某顆比較星一模一樣，您就要在分別比變星亮和暗的兩顆比較星之間進行內插。圖 3.1（12 頁）的內插練習將為您詳細說明這個步驟。

5. 記錄您的觀測——在每觀測一顆變星之後，您都要馬上在觀測記錄本上記下如下的資訊：

——變星的名字或代碼（有關的介紹詳見 19-21 頁）

——您觀測時的日期和時間

——您對這顆變星星等的估計

——用於進行估計的比較星的星等（省略小數點）

——所使用的認證星圖的編號

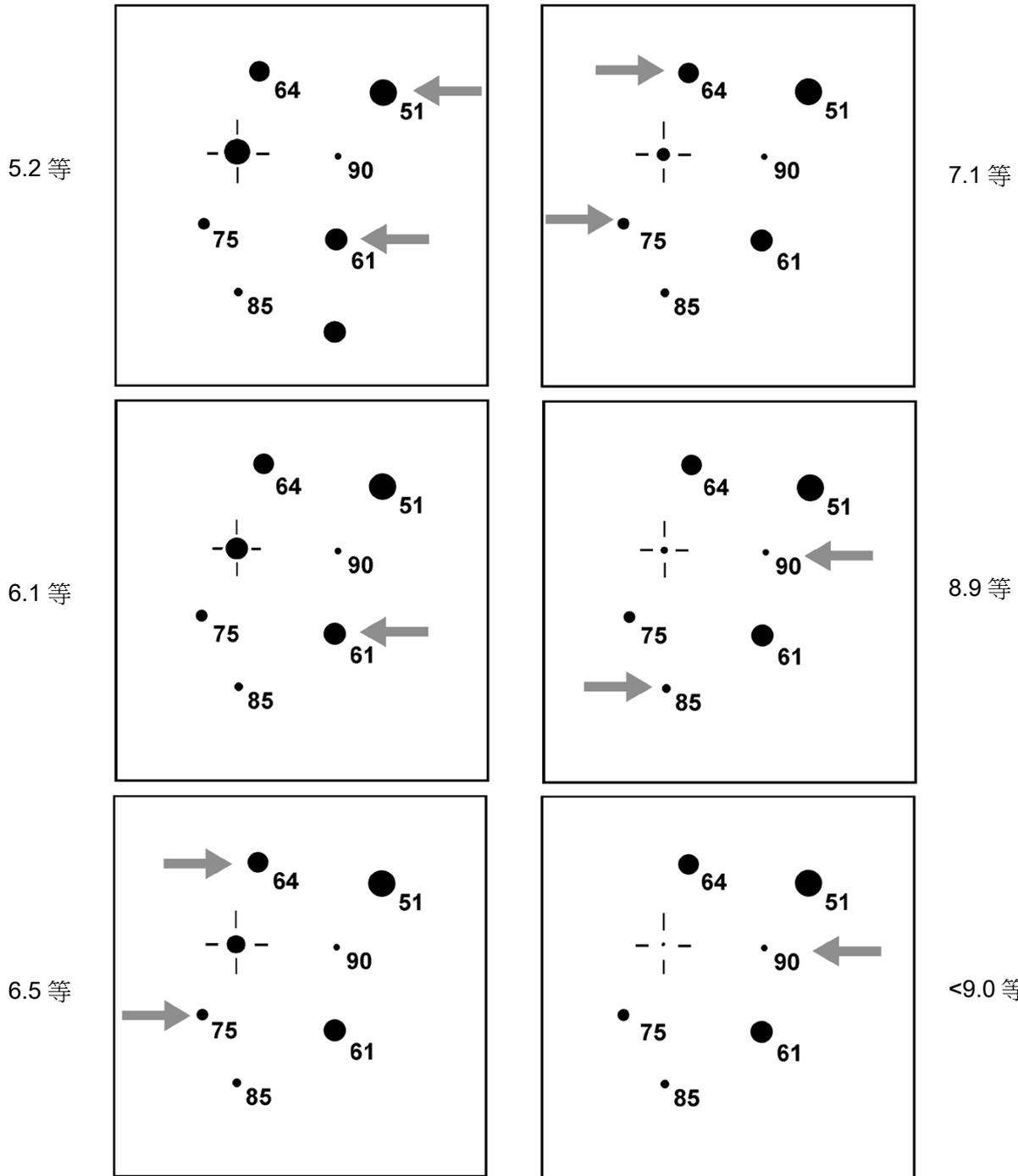
——對任何可能影響視寧度（seeing）的因素（比如雲、霧霾、月光、高空風等）的註釋

6. 準備您的報告——您在報告觀測時需要一個特定的格式。我們為您提供了一些專門的工具來向 AAVSO 提交您的觀測。關於報告您的觀測的細節的指導，參見本手冊第 7 章。

圖 3.1-內插練習

下面展示了一些利用比較星之間的內插來確定變星的星等的幾個例子。不過要記住的是，在實際觀測時所有的恆星都會呈現為光點而不是大小不同的圓盤。下面每幅圖中用於內插的比較星都用箭頭標出。

瞭解更多關於使用內插法的介紹，參見“Telescope Simulator”（望遠鏡模擬器）<http://www.aavso.org/online-resources>，這是一個關於進行變星亮度估計的演示文稿。



另外的觀測提示

視野

新觀測者應該弄清楚自己的望遠鏡在不同目鏡下的大致視野（亦見第 4 頁）。具體的方法是：把望遠鏡指向一片離天赤道不遠的天區，固定住望遠鏡不動，讓一顆亮星穿過視場。這顆星會以每四分鐘一度的速率移動。舉個例子說，如果這顆星從邊緣穿過中心到另一邊緣需要兩分鐘，那麼這個視場的直徑就是半度。

一旦確定了設備的視野，您就可以在認證星圖上畫出一個以變星為圓心、以這個視野為直徑的圓圈，以幫助您認證新的天區。或者，您也可以在一個紙板上挖出合適大小的圓洞或者製作一個金屬圓環放在星圖上面。

認證星圖中的方向

爲了能順利地使用認證星圖，您一定要知道如何在生成認證星圖的時候正確地設定北-南（N-S）和東-西（E-W）的方向，並且知道它們與實際的天空是怎樣對應的。

比如說，當您使用雙筒鏡或用肉眼直接觀測的時候，

圖 3.2- 認證星圖類型

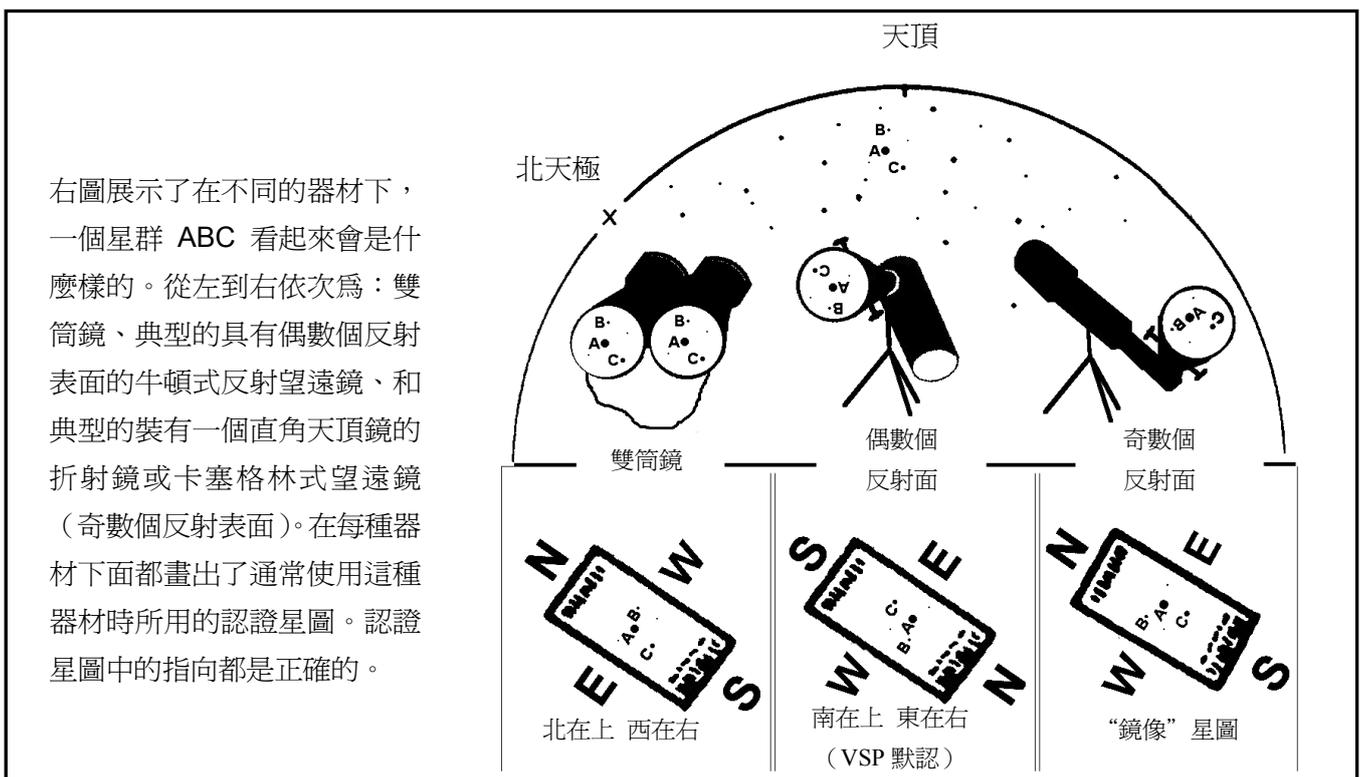
您會希望拿到一張北在上、東在左的認證星圖。而如果您使用的是有偶數個反射面的反射鏡（這時您看到一幅完全的倒像），您就會想要一張北在下、東在右的星圖了。

折射鏡和施密特-卡塞格林式望遠鏡經常使用一只 90°天頂鏡（直角稜鏡或平面鏡），此時整個系統的反射面的個數爲奇數，這就產生了上下不變，但左右顛倒的圖像（也就是**鏡像**）。這種情況下，您會發現 AAVSO 提供的北在上而東在右的鏡像星圖用起來會很方便。圖 3.2（下圖）展示了設置認證星圖的幾種不同類型，下頁的圖則具體講解了不同情況下把星圖與星空對應起來的方法。

星等標度

“星等”這個標度總會讓初學者感到迷惑，因爲星等值越大，星的亮度越暗。平均來說，良好條件下人肉眼的極限星等在 6 等左右。像心宿二、角宿一、北河三這樣的星就是 1 等星，大角和織女星則是 0 等星。非常明亮的老人星是 -1 等，而最亮的天狼星是 -1.5 等。

在 AAVSO 認證星圖上，比較星旁邊都標有表示精確



認證星圖中的方向

無論您使用的是哪種模式的認證星圖，隨著地球的自轉，變星和地平線的相對位置都會隨之改變。因此，在拿認證星圖比照視場的時候，您要按照以下的方法進行：

1. 面向使變星到地平線上一點距離最短的方向（也就是變星所在地方位角的方向）。
2. 把認證星圖拿過頭頂，使它看上去和天空中的變星差不多在同一位置上。

3. 對於 VSP 默認設置（北在下、東在右）的認證星圖，旋轉星圖以使星圖中的“南”（標有“S”的方向）指向北極星。（對於南半球的觀測者，就讓“北”指南天極。）對於為雙筒鏡準備的完全正像星圖，或是一幅“鏡像”星圖，則是把“北”指向北極星。

4. 不要改變星圖的方向，把它放到一個舒服的位置上，然後您就可以以此比照望遠鏡中的視野進行認證和觀測了。

北半球

面向東 天頂

面向南 天頂

面向西 天頂

面向北——如果變星在北天極上方，那麼認證星圖就得要倒過來拿了。以 VSP 默認為例

變星在地平線到北天極之間 | 變星在北天極到天頂之間

南半球

面向西 天頂

面向南 天頂

面向東 天頂

面向南——如果變星在南天極上方，那麼認證星圖就得要倒過來拿了。以 VSP 默認為例

變星在地平線到南天極之間 | 變星在南天極到天頂之間

到 0.1 星等亮度的數字的標籤。小數點省略了沒有寫出來，以避免與同樣用小圓點表示的暗弱恆星混淆。比如，我們用 84 和 90 分別表示亮度為 8.4 和 9.0 等的比較星。

AAVSO 認證星圖中使用的比較星的亮度都是用光電測光管 (PEP) 或電荷耦合器 (CCD) 仔細地測量得出的，它們就作為您估計變星亮度的標杆。在您估計一顆變星的亮度時，記下您所使用的比較星 (一般用它的標籤表示就可以了)，這是非常重要的。

由於星等標度實際上是對數的標度，當一顆星的亮度是另一顆的一半，它們星等的關係並不是簡單的二倍的关系。(詳見右邊《度量星星的亮度》。) 因此，在估計亮度的時候，觀測者一定要注意不要使用亮度相差太多的比較星——最好不要超過 0.5 到 0.6 等。

極限星等

對於要觀測的變星，您最好使用剛好能舒服地看到它的器材。一般來說，對於亮於 5 等的變星，最好直接用肉眼觀測；對於 5-7 等的變星，我們建議使用尋星鏡或一副好的雙筒鏡；如果目標暗於 7 等，那麼您可以根據具體情況使用稍大的雙筒鏡或者 3 英寸 (約 76mm) 或以上口徑的望遠鏡。

在目標亮度比所用器材的極限星等亮 2 到 4 個星等的時候，對它亮度的估計會更容易和更準確。

度量星星的亮度

——摘自《AAVSO 變星天文學手冊》

現在我們使用的比較星星視亮度的方法源于古希臘時代。一般認為，西元前 2 世紀的希臘天文學家伊巴谷建立了對星星亮度進行分級的系統。他把每個星座中最亮的那些星稱為“1 等星”。西元 140 年左右，托勒密完善了伊巴谷的亮度系統，並用 1 到 6 等表示星星的亮度，1 等表示最亮的，6 等表示最暗的。

19 世紀中葉的天文學家們量化了這些星等數字並改進了這個古老的傳統。測量表明，1 等星的亮度是 6 等星的 100 倍。我們還可以算出，星等每相差 1 等，意味著眼睛所接收到的光相差約 2.5 倍，因為這樣差 5 等大概就會相差 2.5^5 (約為 100) 倍。因此，人們規定，5 個星等的差別，就等於視亮度相差整整 100 倍。

於是，每一個星等就等於 100 倍的五次方根 (2.512...)，也就是大約 2.5 倍；這樣一來，要比較兩顆星的視亮度，就可以用暗星的星等減去亮星的星等，然後以它為指數，以 2.5 為底數計算乘冪，就算出了亮星的亮度是暗星的多少倍。比如，金星和天狼星的星等差約為 3，這就是說，用肉眼看上去金星是天狼星的 2.5^3 (約為 15) 倍亮。或者說，要在天空中一點上放 15 個天狼星亮度的星星，它的亮度才和金星一樣。

在這種標度下，很多明亮的天體就會具有負數星等，而威力最大的望遠鏡 (比如哈柏望遠鏡) 則能夠“看到”暗至 30 等的天體。

一些天體的視亮度：

太陽	-26.7	天狼星	-1.5
滿月	-12.5	織女星	0.0
金星	-4.6 (最亮時)	北極星	2.0

下表（表 3.1）給出了不同口徑望遠鏡下極限星等的大致參考值。實際觀測中，由於視寧度和望遠鏡品質的不同，您用自己的望遠鏡看到的極限星等有可能與表中相差很多。您可以把那些標出了容易找到而且亮度不變的星的亮度的星圖集或認證星圖作為參考，用自己望遠鏡進行實際觀測，得到一張自己的極限星等表。

表 3.1-極限星等參考表

		肉眼	雙筒	6 吋 15cm	10 吋 25cm	16 吋 40cm
城市中	平均	3.2	6.0	10.5	12.0	13.0
	最好	4.0	7.2	11.3	13.2	14.3
半黑暗	平均	4.8	8.0	12.0	13.5	14.5
	最好	5.5	9.9	12.9	14.3	15.4
完全黑暗	平均	6.2	10.6	12.5	14.7	15.6
	最好	6.7	11.2	13.4	15.6	16.5

當您發現在變星的旁邊有一顆比較星，您一定要注意別把兩顆星搞混了。另外，如果變星的亮度在極限星等附近，而您對它的認證可能不很確定時，請您在報告中說明。

有經驗的觀測者不會把時間花在那些亮度在自己望遠鏡的極限星等之下的變星上。

變星的認證

要時刻記得，您正在尋找的變星並不是在所有的時候都能被您的望遠鏡看到的，這取決於它是處在亮度極大還是極小，亦或是在兩者之間。

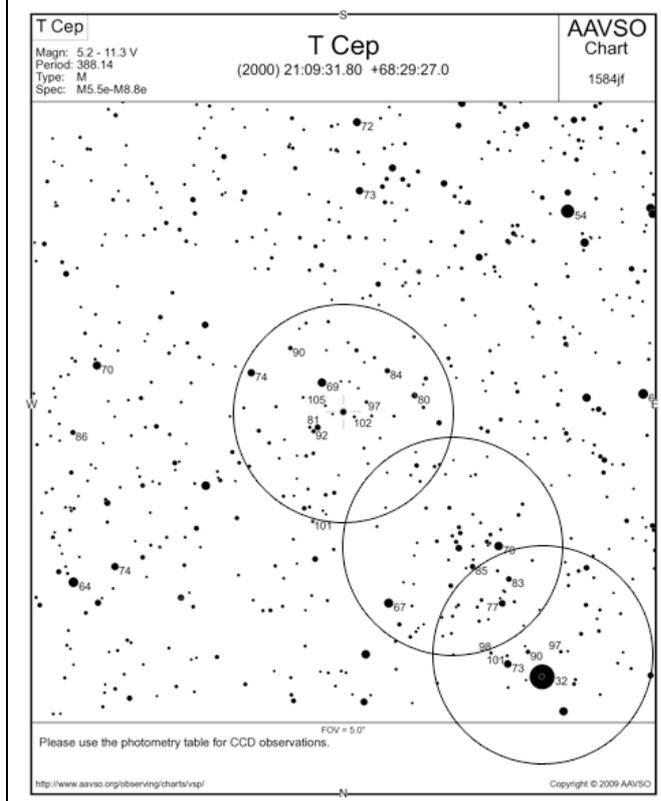
當您認為自己找到了要觀測的變星，請務必仔細地把周圍的星空與星圖比較認證。如果有任何一顆星的亮度或位置與星圖上的不一致，那都有可能是您找錯了天區（尤其是位置，不能有絲毫偏差）。如果出現這

樣的情況，一定要從頭再來一次。

如果變星比較暗，或者處在密集星場裡，那麼就有必要使用一只高倍目鏡了。同時，您可能也需要使用 D 或 E 規格的認證星圖，以更好地認證這顆變星。在您觀測時，記得要放鬆。不要把時間浪費在您找不到的變星上面；如果您在做了適當的努力之後仍然不能找到，請把它記錄下來，然後轉向另一顆變星。觀測結束之後，重新檢查您的星圖集和認證星圖，看看不能確定是什麼使您找不到那顆變星。等下次觀測的時候，再去嘗試一下！

圖 3.3-星橋法

下圖展示了典型的星橋法的使用：從明亮的仙王座 β （beta Cep）出發，最終到達變星仙王座 T（T Cep）。圖中畫出了觀測者望遠鏡的視野，注意觀測者借助一個明亮的星群找到從 beta 到 T 的方向和路徑。



估計變星的亮度

任何光學設備的成像品質在視場中心都是最好的。因此，當比較星和目標變星離得比較遠的時候，不要把它們同時放在視場的兩端，而應該使它們相繼進入視場中心觀測。

如果變星和比較星相距不是很遠，則應該把它們放在距中心相同的距離上觀測，而且它們的連線要儘量與您雙眼的連線平行，以避免所謂的“方位角誤差”（人眼對於視場中不同方位角的目標的回應不一樣）。如果視場不能滿足以上要求，您可以轉動您的頭部，或者轉動天頂鏡（如果有的話）以滿足需要。方位角效應有可能導致多達 0.5 等的系統誤差。

需要再次強調的是，所有的觀測都需要在設備視場中心附近進行。多數望遠鏡並不能保證在所有目鏡的全視野都有 100% 的照明。越接近邊緣，光線的損失會越多。

在觀測時，請您使用至少 2 顆比較星，而且如果可能的話，可以使用更多。如果比較星的亮度相差非常大，比如說有 0.5 等或者更多，那麼就要特別仔細地比較變星與亮、暗兩顆比較星亮度差的關係。

您的觀測可能會與您想像的有些出入。不要去管它們，每次觀測都要保持清醒的頭腦，忠實地記錄下您所看到的。不要受之前的觀測或您“覺得這顆變星應該是怎麼樣”的干擾！

如果因為某些原因，如比較星太暗、天空有霧霾、或者有月光影響而不能看到目標變星，請您記下所在天區裡能看到的的最暗的比較星。比如這顆比較星是 11.5 等，那麼您就可以把這顆變星的觀測結果記作 <11.5，這表示目標變星不可見，它一定比 11.5 等要暗。這裡小於號表示“暗於”。

當您觀測一顆明顯是紅色的變星時，我們建議您用“掃視法”而不是持續的凝視觀測來估計它的亮度。這是因為，由於普肯頁效應（*Purkinje effect*），凝視時與瞥視時相比，紅色的星更能刺激視網膜（因為凝視可以積累足夠的光線以對視錐細胞產生刺激，視錐細胞對紅光敏感而對藍光不敏感），這樣一來紅色星在凝視時就會顯得比藍色星更明亮，因而造成對亮度錯誤的估計。

另一個我們強烈推薦的估計紅色星亮度的方法是“散焦法”。使用這個方法時，把目鏡調離焦點，直到原來紅色的星點看上去成為分辨不出顏色的圓盤為止。用這種方法，就可以避免由普肯頁效應引起的

系統誤差。如果發現即使在散焦後那顆變星仍然能看出顏色來，那麼您可能就需要換一架口徑小一些的望遠鏡，或者在主鏡前加裝一個光闌了。

對於暗弱的變星，您可能會想到要用側視法來觀測它們。側視法觀測的做法是，保持變星和比較星在目鏡視場中心附近不動，然後將您的目光移向一邊，用餘光進行觀測。下一頁將為您解釋這樣做的原因。

保留記錄

您應當準備一個用於永久保存您的觀測記錄的本子（最好是一個硬皮本，這樣不容易損壞）。要妥善保存這個原始資料的記錄本，另外，任何您後來對記錄做的修改或刪減，都要用不同顏色的筆標註，並同時寫下修改的日期。您還可以在手邊準備一個活頁本用來把每個月提交的觀測報告謄寫在上面，或者記錄緊急通知以及其它有用的訊息。而在電腦中把這些資料存檔，則會方便您日後查詢參考。

您的觀測筆記中還應包括這樣一些內容：比如觀測時在旁邊的人、周圍的光源和噪音的情況，等等。總之，任何可能影響到您觀測或分散您的注意力的情況都應該記錄下來。

如果出於某些原因，您對自己估計的星等不是很有把握，請您在記錄中加以說明，並寫下您為什麼會覺得這樣。

在記錄的格式上，最重要的一點，就是不要讓您以前的觀測資料有可能在下一次觀測時被看到，因為這樣您就很容易會受到它們的影響。要時刻記住，觀測的獨立性是最重要的：每次觀測都不要對以前的觀測有任何參考！

您可以在觀測記錄每一頁的頁眉處記下當天的儒略日（我們將在第 5 章中介紹）、星期幾和日期。如果是跨夜的觀測，為了避免混淆，您可以記下兩天的日期。舉個例子：JD2455388，星期六-日，2010 年 7 月 10-11 日。這樣萬一有哪一項寫錯了，其它幾項可以幫您找回正確的日期。

如果您在觀測時使用了不止一種器材，那麼請您記下每個觀測分別用的是哪個器材。

在您眼睛裡的星光——來自 AAVSO 變星天文學手冊

人的眼睛就好像一架照相機，它配有自己的清潔和潤滑系統、測光表、自動尋找和跟蹤目標的系統，還有連續供應的底片。來自物體的光線首先進入覆蓋在眼睛前表面的透明的角膜，然後穿過由睫狀肌控制的透明的晶狀體。晶狀體前表面上的虹膜會通過不自覺的收縮和擴張調節其上瞳孔的大小，以適應不同亮度的環境，就像照相機的光圈一樣。隨著年齡的增長，虹膜會逐漸收縮：兒童和年輕人瞳孔的直徑可以擴張到 7 至 8 毫米甚至更大；但到了 50 歲，瞳孔的最大直徑一般就只有 5 毫米了。這將極大地減弱眼睛的集光能力。角膜和晶狀體一起可以看作一隻焦距可變的鏡頭，能夠把物體發出的光匯聚到眼球後部的視網膜上，形成物體的實像。由於瞳孔隨著年齡增長而縮小，一個 60 歲的人的視網膜所收到的光只相當於一個 30 歲的人的三分之一。

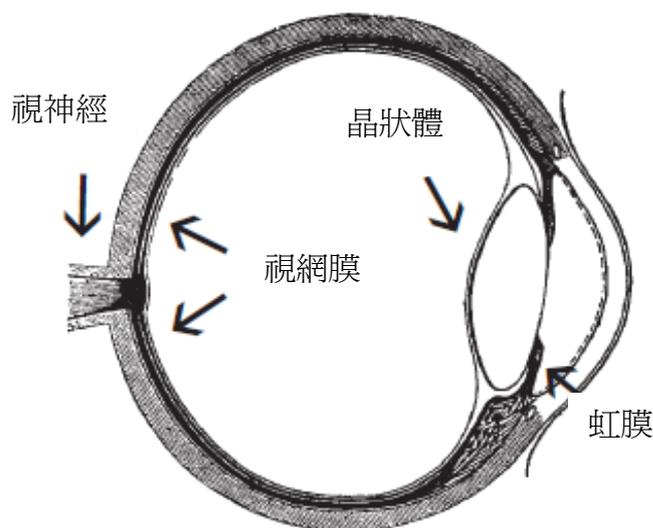
視網膜就如同照相機的底片。視網膜上有約 1.3 億個感光細胞，分為視錐細胞和視桿細胞。光線通過細胞上的光化學反應被吸收，同時反應產生電脈衝信號傳給相鄰的神經細胞。每個單獨的錐狀或桿狀細胞產生的信號會在複雜的神經網中結合並最終經由視神經傳輸到大腦。因此，我們所看到的圖像取決於哪些錐狀或桿狀細胞吸收光並產生了電脈衝，不同的感光細胞的信號如何在神經網路中結合，以及大腦如何解讀這些信號。實際上，在向大腦發出信號之前，我們的眼睛就已經對哪些信號要發出、那些信號要放棄進行過一番“思考”了。

視錐細胞在視網膜中一個稱為“中央凹”的地方分佈特別集中。中央凹直徑大約 0.3mm，在那裡分佈著 10,000 個視錐細胞，而沒有視桿細胞。在這個區域裡的每個錐狀細胞都有一條獨立的神經纖維與大腦相連。正因為從如此小的面積穿出了如此多的神經，中央凹成為了視網膜上分辨明亮物體細節的最佳區域。除了提供了一個高解析度的區域，分佈在中央凹和其它區域的錐狀細胞還是專門用來分辨不同顏色的。而由於星光的光輻射密度還不足以激發錐狀細胞的反應，我們“看出”星星的顏色的能力便大大地減弱了。這還有一個原因，那就是晶狀體由於年齡增長會愈發渾濁，因而透明度隨之下降。嬰兒的晶狀體就十分透澈，它們甚至連波長在 3500 埃的深紫色光都能通過。

在中央凹之外的地方，視錐細胞的密度會有所下降。在這些週邊區域裡，視桿細胞將占主導。視桿細胞在視網

膜上的密度跟視錐細胞在中央凹上的密度是一樣的，只不過大約 100 個相鄰的桿狀細胞才共用一個神經細胞。它們發出的信號都會進入這個視神經細胞並傳向大腦。這樣把桿狀細胞結合起來，降低了它們分辨物體細節的能力，但提高了暗環境下感知物體的能力，因為很多小信號被結合起來形成一個大得多的信號。這就是為什麼朝一顆暗弱的變星的一側看，而不是直視它時，我們更容易估計它的星等。

正常的人眼可以對從 8cm 到無窮遠任一位置的物體聚焦。這種能夠聚焦不同距離上目標的能力稱為合焦。不像照相機那樣用一隻焦距固定的鏡頭而通過調整像距來進行合焦，我們的眼睛的像距是固定的，約為 2.1cm（即從角膜和晶狀體到視網膜的距離），但它的屈光系統的焦距是可變的。當眼睛向遠處看時，附著在晶狀體上的睫狀肌放鬆，於是晶狀體的形狀就變得平坦一些。當晶狀體變得比較平，它的焦距就會增加，並把像成在



視網膜上。如果物體向眼睛靠近而晶狀體仍保持扁平的狀態，物體的像就會向視網膜後面移動，使得視網膜上的圖案變得模糊（此時落在視網膜上的稱為光斑而不再是像）。為了避免這種情況發生，這時候睫狀肌就會收縮以使晶狀體變得彎曲一些，焦距變得短一些。當焦距變短，像就會向前移動並重新清晰地成在視網膜上。當您看書的時間過長，眼睛會感到疲勞，這就是因為您的睫狀肌為了保持晶狀體的

彎曲而長期緊張的緣故。

眼睛的遠點指的是眼睛在放鬆狀態下能夠聚焦的最遠的物體的距離。近點則是指緊張的眼睛所能聚焦的最近距離。對於正常的眼睛，遠點應相當於在無窮遠處（我們可以對月亮和遙遠的恆星聚焦），而近點大約在 8cm。但眼睛這個“變焦鏡頭”會隨著年齡的增長而變化，它所能聚焦的最小距離會增加，直到甚至連 40cm 遠處的物體都難以看清（也就是“老花眼”）——這樣便難以看清觀測用的認證星圖和儀器了。衰老的眼睛會逐漸改變我們觀察世界的方式。