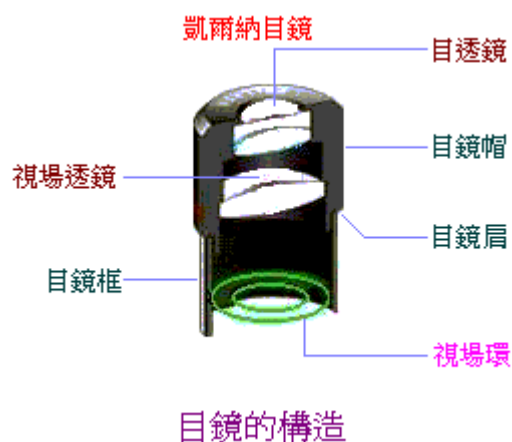


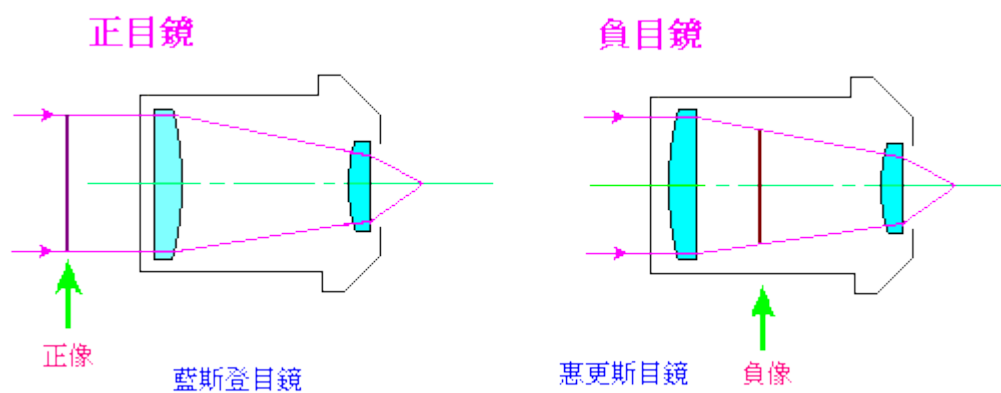
目鏡的作用是把望遠鏡主鏡的影像放大，雖然一塊透鏡也可以造成目鏡，但為了達至最佳效果，大多數的目鏡都是由二塊或者多至七塊透鏡組成。



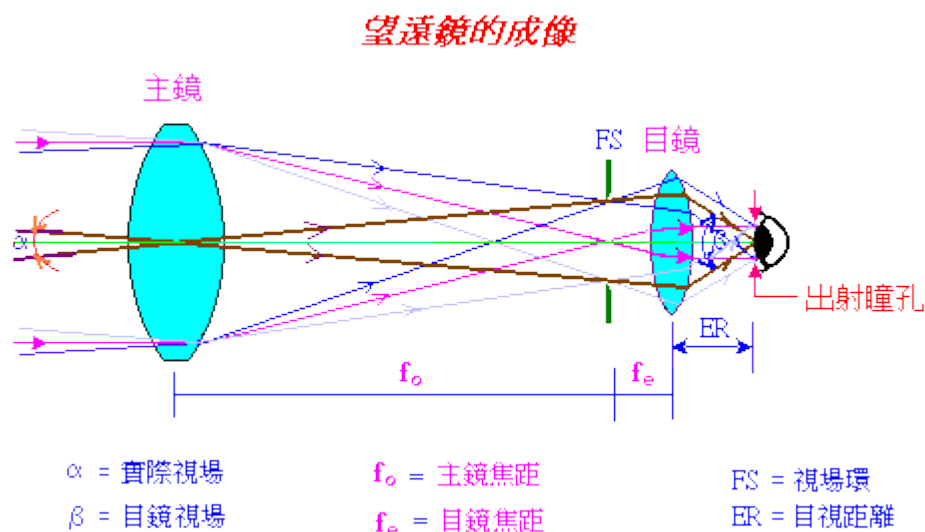
目鏡主要由兩組透鏡合成，對著主鏡，接收著主鏡光束的透鏡稱為視場透鏡(**field lens**)，接近眼睛的透鏡是目透鏡(**eye lens**)。

正目鏡和負目鏡

目鏡可分為正目鏡和負目鏡，正目鏡表示望遠鏡成形的實像（**real image**）在目鏡之外；負目鏡則表示望遠鏡的的虛像（**virtual image**）出現於目鏡內。所以正目鏡可當普通放大鏡用，把擺放在目鏡前的物體放大，負目鏡則不可以。



a. 出射瞳孔（**Exit pupil**）



由主鏡射進來目鏡的光束，再離開目鏡的目透鏡成為細小光束的橫切直徑，就是出射瞳孔，或稱作藍斯登環（ Ramsden disk ）。出射瞳孔愈大，影像愈光亮。

出射瞳孔最好能夠配合人的瞳孔在晚間的寬度，約 5mm 至 9mm，這樣在黑夜觀看暗星體最恰當。應該要說清楚一點，出射瞳孔是要比我們的瞳孔細一些，否則進入不到眼睛的多餘光，便給浪費了。



出射瞳孔

出射瞳孔的直徑由入射瞳孔光束的大小所限制，入射瞳孔即望遠鏡的口徑，它們的關係在第一章中已列出。至於量度出射瞳孔的直徑，我們可以用一張白紙或磨砂玻璃放在目鏡後，量度最清晰的光環。得到它的直徑後，我們還可以用下列公式求出不知目鏡焦距的值。

$$\text{放大倍數} = \frac{\text{主鏡直徑}}{\text{出射瞳孔}}$$

例：望遠鏡直徑 8 吋， 焦距 56 吋，由望遠鏡系統量度到的出射瞳孔直徑是 1/14 吋， 求自製目鏡的焦距。

代入上述公式，

$$\text{放大倍數} = \frac{8}{1/14} = 112$$

主鏡直徑 = 8 吋
出射瞳孔 = 1/14 吋

但由第一章公式的

$$\text{放大倍數} = \frac{\text{主鏡焦距}}{\text{目鏡焦距}}$$

所以，

$$\text{目鏡焦距} = \frac{\text{主鏡焦距}}{\text{放大倍數}}$$

現在，

主鏡焦距 = 56 吋

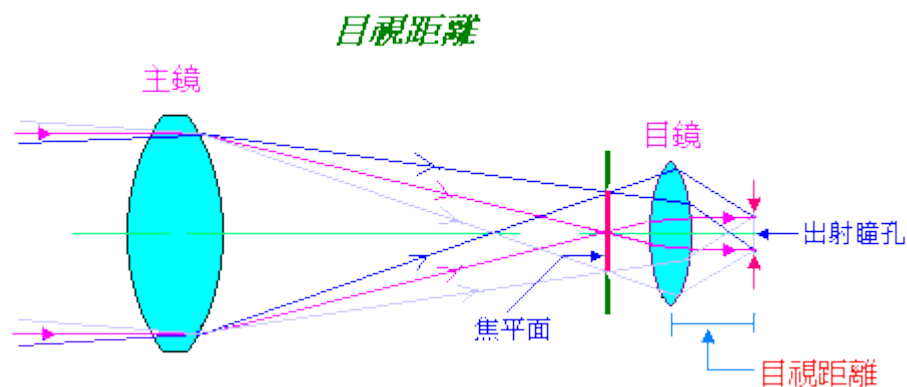
$$\text{目鏡焦距} = \frac{56 \text{ 吋}}{112} = \underline{\underline{0.5 \text{ 吋}}}$$

出射瞳孔直徑和觀察用途

倍率	出射瞳孔直徑	每吋放大倍數	觀察對象
十分低倍	4~7 mm	3~6 x	寬視野深空星體。
低倍	2~4 mm	6~12 x	常用倍率，找尋星星和觀看深空星體。
中倍	1~2 mm	12~25 x	月亮，行星，細小深空星體，寬視角雙星。

高倍	0.7~1.0 mm	25~35 x	月亮，在大氣穩定下觀看行星，雙星，星團。
十分高倍	0.5~0.7 mm	35~50 x	大氣穩定下觀看行星和窄視角雙星。

b. 目視距離 (Eye relief)



目視距離就是眼睛離開目鏡，而又可完全觀看整個視野的寬度。由量度出射瞳孔與目鏡間的距離便可得到它的數值。配戴眼鏡的朋友，需要最少**15mm** 至 **20mm** 的目視距離。

若然寬度太短，視野外圍就會被避擋，形成鎖匙孔現象。傳統設計目鏡的目視距離和焦距成正比。即焦距短，目視距離小；焦距長，目視距離大。不過，新近設計的目鏡無論焦距長短，目視距離也很長，對戴眼鏡的同好來說是一個喜訊。

而且 Vixen 的 Lanthanum LX 系列，Tele Vue

的 Radian 型和 Pentax SMC XL 型目鏡更特別，不同焦距目鏡的目視距離也是 **20mm** 長，這是因為它們應用了巴羅鏡設計去增加目視距離。



c. 視場 (Field of view)

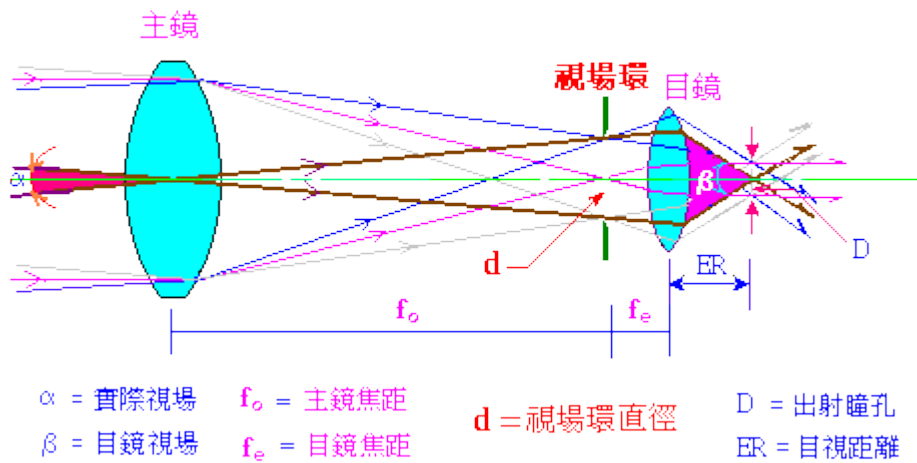
天文望遠鏡的視野就是可看見景物的視角 (angular field of view)，以孤角表示。

觀看地面風景的望遠鏡視野 (linear field of view)

則以平面距離表示，例如我們可以用一個雙筒鏡觀看到離開自己 1000 碼，而寬度可達至 373 呎的風景，視角便是 7.1 度了。你只要把視角來乘 52.5 便可以用視場計回平面視距離寬度。例如視角 8 度的雙筒鏡，它的平面視野便是 420 呎了。

視角愈大，可看見的面積愈大。視場和放大率成反比，放大倍數大，則視場狹窄。

望遠鏡的視場



視場分為實際視場（real field）和目鏡視場（apparent field）。透過望遠鏡可見的那片天空稱為實際視場 α ，在目鏡內可看見的天空稱作目鏡視場 β 。

目鏡的視場規限於視場環（field stop）的直徑大小（ d ）。

例：一個 25mm 焦距，20mm 直徑視場環的目鏡，求它的目鏡視場。

$$\begin{aligned} \text{目鏡視場} &= \frac{360^\circ}{2\pi} \times \frac{d}{f_e} \\ &\approx 57.3 \times \frac{20}{25} \\ &\approx \underline{\underline{46^\circ}} \end{aligned}$$

例：一枝 8 吋口徑 $f/10$ 的望遠鏡，應用上述的目鏡，其視場環是 20mm，求望遠鏡的實際視場。

$$\begin{aligned}\text{實際視場} &= \frac{360^\circ}{2\pi} \times \frac{d}{f_o} \\ &\approx 57.3 \times \frac{20}{2032} \quad f_o = 80 \text{ 吋} = 2032 \text{ mm} \\ &\approx \underline{\underline{0.56^\circ}}\end{aligned}$$

由上圖可見到，望遠鏡的放大倍數可用入射主鏡光線的夾角(α)和目鏡的夾角(β)之比來求出。

$$\text{放大倍數} = \frac{\beta}{\alpha}$$

若果角度是非常小， $\alpha \approx \tan \alpha$

$$\text{那麼，放大倍數} = \frac{\tan \beta}{\tan \alpha}$$

$$= - \frac{f_o}{f_e} \quad \begin{array}{l} \rightarrow \text{主鏡焦距} \\ \rightarrow \text{目鏡焦距} \end{array}$$

- 負符號表示影像是倒轉的。

放大數倍也可以用視場方式表達。

$$\text{放大倍數} = \frac{\text{目鏡視場}}{\text{實際視場}}$$

所以,

$$\text{實際視場} = \frac{\text{目鏡視場}}{\text{放大倍數}}$$

由上面公式，可知要廣寬視野就要低倍率，亦即是說放大倍率低的目鏡便擁有廣大視場。

例：一枝 8 吋口徑 Schmidt-Cassegrain 望遠鏡，焦距 2000mm，目鏡焦距 20mm，目鏡視場 50°，求望遠鏡的實際視場。

$$\text{放大倍數} = \frac{\text{主鏡焦距}}{\text{目鏡焦距}}$$

$$= \frac{2000}{20}$$

$$= 100 \times$$

代入視場公式,

所以,

$$\text{實際視場} = \frac{\text{目鏡視場}}{\text{放大倍數}}$$

$$= \frac{50}{100} = \underline{\underline{0.5^\circ}}$$

目鏡的種類

公元 1703 年，Christian Huygens 發明的第一隻

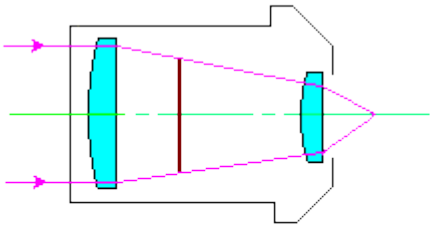
利用兩塊透鏡片組合式的目鏡，經過三百年，很多新款由電腦輔助設計的目鏡也相繼出現，同時也應用了現代高質素的玻璃，成像質量已遠超越原形設計的目鏡。其不單擁有大視場，也大大改進了近透鏡片邊緣像的清晰度。

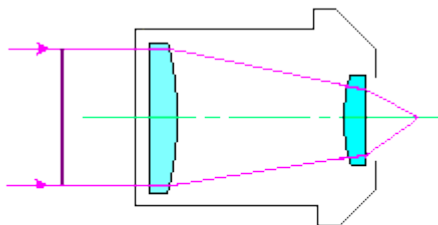
以往大多數的目鏡都會以發明者命名，而且會把一或兩個大草英文字和數目字刻在旁邊，表示它們所屬類形和焦距。例如 **R12** 即藍斯登型 **12mm** 焦距目鏡。

普通目鏡框外直徑(**O.D. outside diameter**)有三種規格：

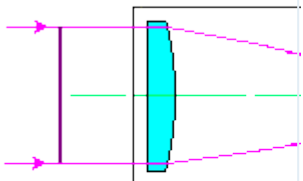
.	日本	0.95”	24.5mm	常用平價品
.	美國	1.25”	31.75mm	天文常用款式
.	美國	2”	50.8mm	特大口徑的高價產品廣角目鏡

a. 各種類形目鏡構造和用途

目鏡構造	目視 距離	視 場	特點
 <p>H 惠更斯目鏡 Huygenian</p>	短 5~10 mm	32°	<p>H 型乃經典目鏡。</p> <p>是第一隻利用二片透鏡組合成的目鏡，它矯正了單透鏡目鏡旁邊緣出現的彩色現象。但焦平面在鏡內，所以 能加十字線。</p> <p>因為有場曲缺點，只應用在長焦比如 $f/8$ 以上望遠鏡。H型現在有多種款式，AH (消色差 H achromatic Huygens)，和 HM (改良形 H)。</p> <p>用途：</p> <p>H 型目鏡多數用於焦比為 $f/15$ 的折射望遠鏡上。</p> <p>因為目視距離短，較適合用於低倍放大觀察。</p>
1703年			
焦距：8mm ~ 25mm			

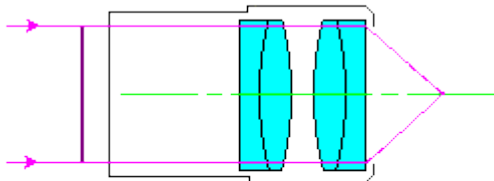
目鏡構造	目視 距離	視 場	特點
 <p>R 藍斯登目鏡 Ramsden</p>	短~5 mm	28°~40°	<p>R 型也是兩片設計，但凸面相對，而且焦平面在外，可以方便加十字線。</p> <p>場曲誤差比 H 型少，但亦存有色差和目視距離短問題。</p> <p>R 型的改良形稱為 SR (對稱式 R)。</p> <p>用途：</p> <p>R 與 H 型一樣只有短目視距離，只宜用</p>
1783年			
焦距：4mm ~ 30mm			

			<p>於中長焦距上。</p> <p>因為價錢便宜，現多應用在平價的望遠鏡，而 R 型也用於非常高焦比的顯微鏡中。</p>
--	--	--	--------------------------------------------------------------

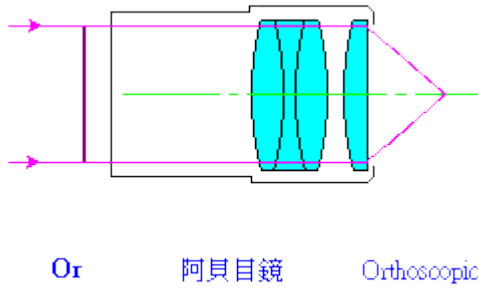
目鏡構造	目 視 距離	視 場	特點
 <p>K 凱爾納目鏡</p>	短 4~14 mm	40°~ 52°	<p>K 型乃 R 型的改良形，為了要減低色差和場曲，目透鏡給一塊兩片組合式消色差鏡片所取代。K 型有 MA (modified achromat), SMA 和 RKE 款式。</p>
1849 年			<p>用途：</p> <p>K 型目鏡仍然只適合用於焦比大過 $f/6$ 的望遠鏡。</p>
焦距：6mm ~ 25mm			




Edmund Scientific 牌 RKE 型目鏡 ---- 12 mm 焦距，目視距離 10.7 mm，視場 45°。

目鏡構造	目視 距離	視場	特點
 <p>PL 普洛雪爾目鏡 Plossl</p>	長 5~46 mm	42° ~ 52°	<p>Plossl 又名 Symmetrical 由兩塊兩片消色差透鏡片所組合，最新設計的還在中間加上了第五塊透鏡去減少誤差和增加目視距離長度。</p> <p>Plossl 式在任何倍數上也表現很好，在短焦比的望遠鏡上表現也比 Or 出色，光學變形也完全改正了。</p> <p>視野寬、目視距離又長、價錢不算貴、質素又高，Plossl 是天文界最流行最受歡迎的目鏡。</p>
1860 年			用途：
焦距：3mm ~ 55mm			適宜觀看任何目標。

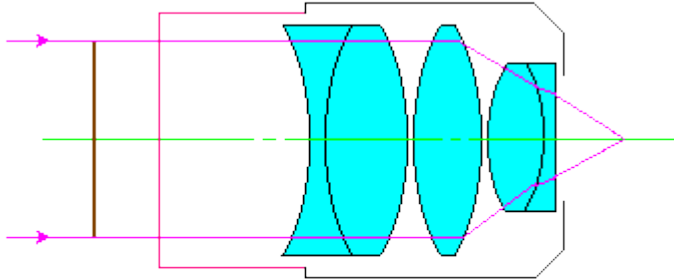


目鏡構造	目視 距離	視 場	特點
 <p>Or 阿貝目鏡 Orthoscopic</p>	中 ~ 長 5~27 mm	40 °~ 45°	<p>Or 又名 Abbe</p> <p>由十九世紀至今也很流行。Or 是四片式設計，它的三片組合式消色差鏡片，完全改正了光學的變形。實際上 orthoscopic 字義即 "改正變形" 的意思。它不單有寬視場，而且也擁有長目視距離。</p>
1880年			用途： 最適合觀看行星。
焦距：4mm ~ 34mm			



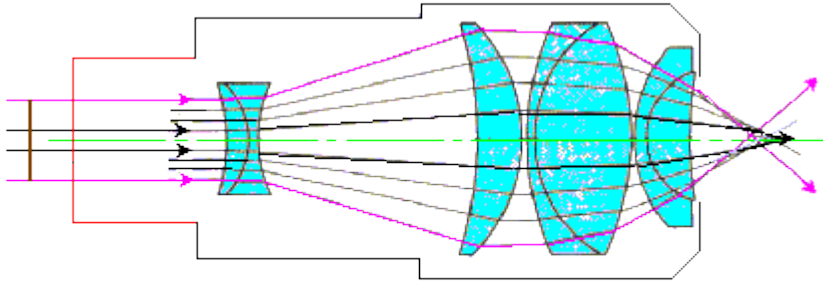
Edmund Scientific 牌日本製造的 Or 型目鏡 ---- 12.5 mm 焦距，目視距離 10.41 mm，視場 44°。

廣角目鏡構造	視 距 離	視 場	特點

 <p>Er 愛洛夫目鏡 Erle</p>	長 ~1 5 m m	60°~ 70°	<p>Er型是擁有寬視場的廣角目鏡。視場有 70 度之多，當用於深空低倍觀察，會令你印象難忘，很多時配合高質素的天文雙筒鏡，而 K 款式則配普通雙筒鏡用。在高倍放大時目鏡的視場邊緣會出現散光影像，購買時要打聽清楚每隻牌子目鏡的實際表現。改良了的超廣角目鏡的視場可去到 85 °(Meade 牌子的 UWA)，使用者更要前後左右移動眼睛才可看到全景，它和 Televue Nagler 超廣角目鏡很相似。</p>
1917 年			
焦距: 16mm ~ 40mm			用途: 廣角型目鏡最適宜用於觀看星雲星團等深空天體。
目鏡框外直徑: 1.25" 或 2"			


<p>Vixen 牌 Super-wide LVW 型廣角目鏡 ---- 3.5, 5, 8, 13, 17, 22mm，目鏡框外直徑是 1.25"，目視距離全部 是 20mm 長，這種設計令到它和普通目鏡外型有明顯的分別 ----- 焦距愈長目鏡尺寸愈短，焦距愈短目鏡身愈長。</p>

廣角目鏡構造	目 視距離	場 特點
--------	----------	---------

 <p>拿格勒目鏡</p> <p>Nagler</p>	中 ~ 長 10~1 8 mm	82° 。代 ---Nagler V，目視距離也增長了很多。使用者亦要前後移動眼睛才可看到全景。	
20 世紀			用途：廣角型目鏡最適宜用於觀看深空天體。
焦距：4.8mm ~ 31mm			
目鏡框外直徑：1.25" 或 2"			

	
<p>第4代 Nagler</p>	

b. 免重調焦目鏡（Parfocal eyepiece）

當目鏡廠商宣稱它們的目鏡是 **Parfocal** 的，這即是說當我們轉換不同焦距目鏡時也不用重新對焦。這是因為它們的目鏡焦平面與目鏡肩托是相隔同一位置的。通常用同一目鏡牌子的同一系列目鏡也有這種特式，但購買時要先查看清楚說明介紹，但不同廠商的產品則多數要重新再調校焦點了。



Meade 牌 plossl 型目鏡 ---- 5, 6.7, 9.5, 16, 25mm 是 parfocal，最右面 40mm 目鏡除外。很明顯左方五個目鏡的框至肩托之長度是相同的。

目鏡的選擇

普通的目鏡焦距有 6mm 至 40mm，我們應採用目鏡外口徑 1.25" 和目視距離長的款式，經濟的可採用 0.95" 的目鏡。

磨鏡者自製的望遠鏡質素若果不是很高的話，作者提議首先應選購一隻低倍的 25mm 焦距目鏡，其後再買隻中倍目鏡，這時可考慮 12.5mm 的 K 或 Or 式，再高倍的目鏡便要 6mm plossl 式或 Or 式了。

理論上目鏡最短可用到焦比除以 2 的焦距，即 **f/8** 最高可用到 **4mm** 焦距。但短焦高倍目鏡要求高的鏡面質素才能全面發揮功能，否則磨鏡者只能看見白濛濛一片的影像。磨鏡者選購高倍目鏡時認真要檢定一下自己的主鏡質素，看看是否可以承受這樣高倍的放大。