

# 望远镜成像性质的讨论

曹柏林

(延安师范学校 陕西延安 716000)

**摘 要** 望远镜是应用广泛的光学仪器之一,但各种文献对它所成像的性质讨论的很少,本文从视角放大的方法说明望远镜的光学原理及所成像的性质。

**关键词** 望远镜 视角 视角放大率

望远镜是一种在科研、军事以及日常生活中应用广泛的光学仪器,它的原理在很多教科书的有关章节中有所讨论。但对它所成像的性质,如像的大小、位置则讨论的很少,光路也多用于无限远处物体的像<sup>[1]</sup>。无限远的物体所成之像还在无限远处,很难说明望远镜把远处物体“拉近”的作用。甚至还有文献否定这种拉近作用<sup>[2]</sup>。再者实际观察的物体一般不在无限远处,且望远镜最显著的效果就把物体“拉近”,这种“无限远”成像光路对初学者很难接受。既是个别中等教材画出了像的大小和位置,其光路也是错误的<sup>[3]</sup>,其中开普勒望远镜的光路实际上是显微镜的光路,伽利略望远镜光路中目镜之像没有根据。这里从视角放大的方法说明望远镜的光学原理及与显微镜的差别和望远镜所成像的性质。

## 1. 视角的放大

不论显微镜还是望远镜都是为看清物体而对视角放大的光学系统,对于如图 1 所示的物体上的两点 A、B,其视角为:

$$\alpha = \arctg(h/p)$$

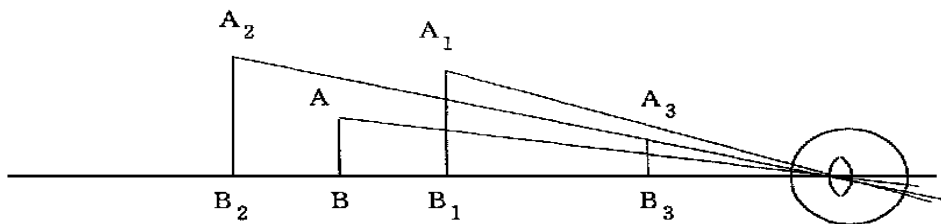


图 1

其中  $h$  是 A、B 两点的长度,  $p$  是物体与眼睛的距离,当  $\alpha$  很小 ( $\alpha < 1$ ) 时,眼睛不能辨别。为了辨别 A、B,在物体和眼睛之间加以光学系统使 A、B 像 A<sub>1</sub> B<sub>1</sub> 之视角变为  $\alpha + d\alpha$ , 则

$$d\alpha = \frac{p^2}{p^2 + h^2} \left( \frac{dh}{p} - \frac{h dp}{p^2} \right)$$

$dp$  是像的位置对物 A、B 位置的增量,  $dh$  是像 A<sub>1</sub> B<sub>1</sub> 的长对物 A B 长的增量,显然  $d\alpha > 0$  时,该光学系统具有视角放大的作用,因为  $p > 0, h > 0$ , 所以当  $d\alpha > 0$  时有

$$dh/h - dp/p > 0$$

为了满足上式,对  $dh$  和  $dp$  可分如下三种情况来讨论。

(1) 当  $dh > 0, dp < 0$ , 即 A、B 所成的像被放大, A B 与眼睛的距离大于其像与眼睛的距离时,则  $d\alpha$  恒大

于零,如图 1 所示  $A_1B_1$  所对应的视角。

(2) 当  $dh > 0, dp > 0$ , 即  $AB$  所成的像被放大,  $AB$  与眼睛的距离小于其像与眼睛的距离时, 为满足式, 必有

$$dh > hdp/p$$

如图 1 所示  $A_2B_2$  对应的视角。

(3) 当  $dh < 0, dp < 0$ , 即  $AB$  所成的像被缩小,  $AB$  与眼睛的距离大于其像与眼睛的距离时, 为使式成立必有

$$|dp| > p dh/h$$

如图 1 所示  $A_3B_3$  对应的视角。

在实际应用中对视角的放大无非是对近处小物体和远处大物体的视角放大。对于近处小物体的视角放大, 由受眼睛明视距离的限制不能采取方式(1)和(3), 只能采取方式(2)对其视角放大, 物体之像是被“推远”的放大的虚像, 这就是显微镜的放大方式。其光路在各种教材光学章节中都有, 这里不再讨论。对于远处的物体由于受到光学系统目镜焦距的限制, 即若要得到放大的像, 物体须处于  $2f$  之内, 因远处的物体与眼睛的距离  $p \gg f$ , 所以要放大远处物体的视角不能采取方式(1)和(2), 所以望远镜所成的像是把物体“拉近”而缩小的像, 文献<sup>[3]</sup>的结论是没有根据的。下面讨论望远镜的光路图, 物体像的大小及视角放大率。

### 2. 望远镜的光路示意图

由于远处的物体与望远镜的距离很大, 光路很难按比例画出, 其像的位置也不是实际位置, 因此这里只能画出光路示意图。

#### (1) 开普勒望远镜

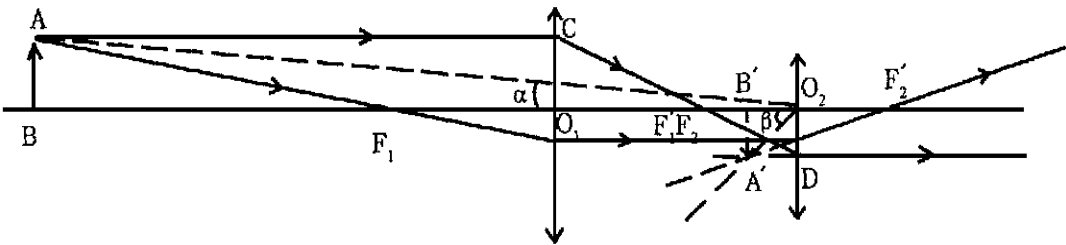


图 2

#### (2) 伽利略望远镜

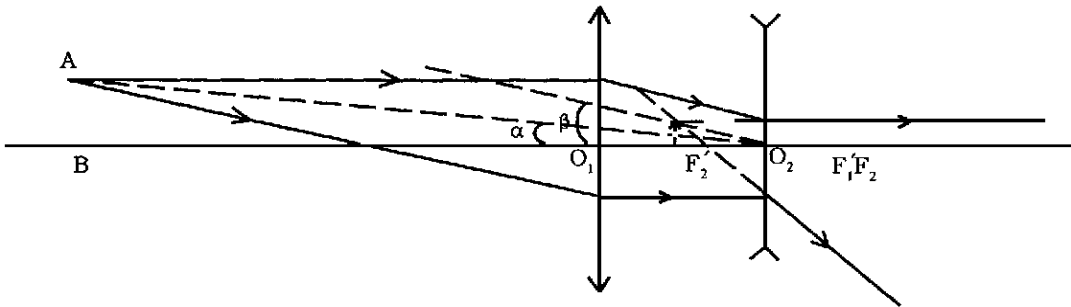


图 3

### 3. 像的大小

在望远镜光路示意图中使用了两条特殊光线, 过物镜焦点的光线通过望远镜后过目镜的焦点, 平行于主光轴的光线通过望远镜后仍平行于主光轴。从光路示意图可以看出无论物体的位置和像的位置如何, 一端位于主光轴的物体的像介于主光轴与平行于主光轴的出射线之间, 即无论物体处于什么位置, 它的像总是等于上述二平行线的宽。在图 2 中由于  $\triangle CO_1F_1 \sim \triangle DO_2F_2$ , 故

$$CO_1/DO_2 = O_1F_1/O_2F_2$$

$$\text{即 } h/h' = f_1/f_2 \text{ 所以 } h' = f_2 h/f_1$$

对于望远镜来说  $f_1 > f_2$ , 所以  $h' < h$ , 不难证明对于不在主光轴的物体所成像的大小, 式仍然成立。即对望远镜普遍成立, 所以望远间总是成缩小的像。因此若要得到放大的视角必须把物体“拉近”。

### 4. 视角放大率

在望远镜的光路示意图中, 物体的视角为  $\alpha$ , 像的视角为  $\beta$ , 它们的大小分别为:

$$\alpha = h/(p_1 + f_1 + f_2) = h/p_1 \quad (p_1 \gg f_1, f_2)$$

$$\beta = h'/p_2$$

式中  $p_1$  是物体与物镜的距离,  $p_2$  是物体目镜的像与目镜的距离, 由于像是虚像, 它在透镜公式中取负值。设物体经物镜所成之像(光路示意图中未画出)与物镜的距离为  $p$ , 此像作为目镜的距离为  $p_2$ , 下面以开普勒望远镜为例讨论视角放大率, 根据透镜公式有

$$1/p_1 + 1/p = 1/f_1$$

$$1/p - 1/p_2 = 1/f_2$$

由于目镜与物镜的距离为  $(f_1 + f_2)$ , 所以

$$p_2 = f_1 + f_2 - p_1$$

由 和 式可解得

$$\begin{aligned} p_2 &= (p_2 f_2 / f_2) - p_2 \\ &= (f_1 + f_2 - p_1 f_2 / p_1 - f_2) f_2 / [f_2 - (f_1 + f_2 - p_1 f_1 / p_1 - f_2)] \\ &= f_2^2 / f_1^2 - f_2^2 / f_1^2 - f_2 \end{aligned}$$

由于  $f_1 > f_2$ , 所以  $p_2 < p_1$  且  $p_1 \gg f_1, f_2$  故

$$p_2 = f_2^2 / f_1^2 p_1$$

由 、 及视角放大率的定义可得

$$\begin{aligned} m &= \beta/\alpha = (h'/p_2)/(h/p_1) \\ &= h/h' \cdot p_1/p_2 \\ &= f_1/f_2 \end{aligned}$$

### 参考文献

- [1] 张卓权, 孙荣山, 唐伟国. 光学. 北京师范大学出版社, 1985 (275)
- [2] 韩绍先, 马根源, 区镜添. 普通物理思考题解析. 河北人民出版社, 1985 (384)
- [3] 人民教育出版社物理室. 中师物理第一册. 人民教育出版社, 1998 (41)