



第五章

典型光学系统

5.1 简眼

1. 简眼结构

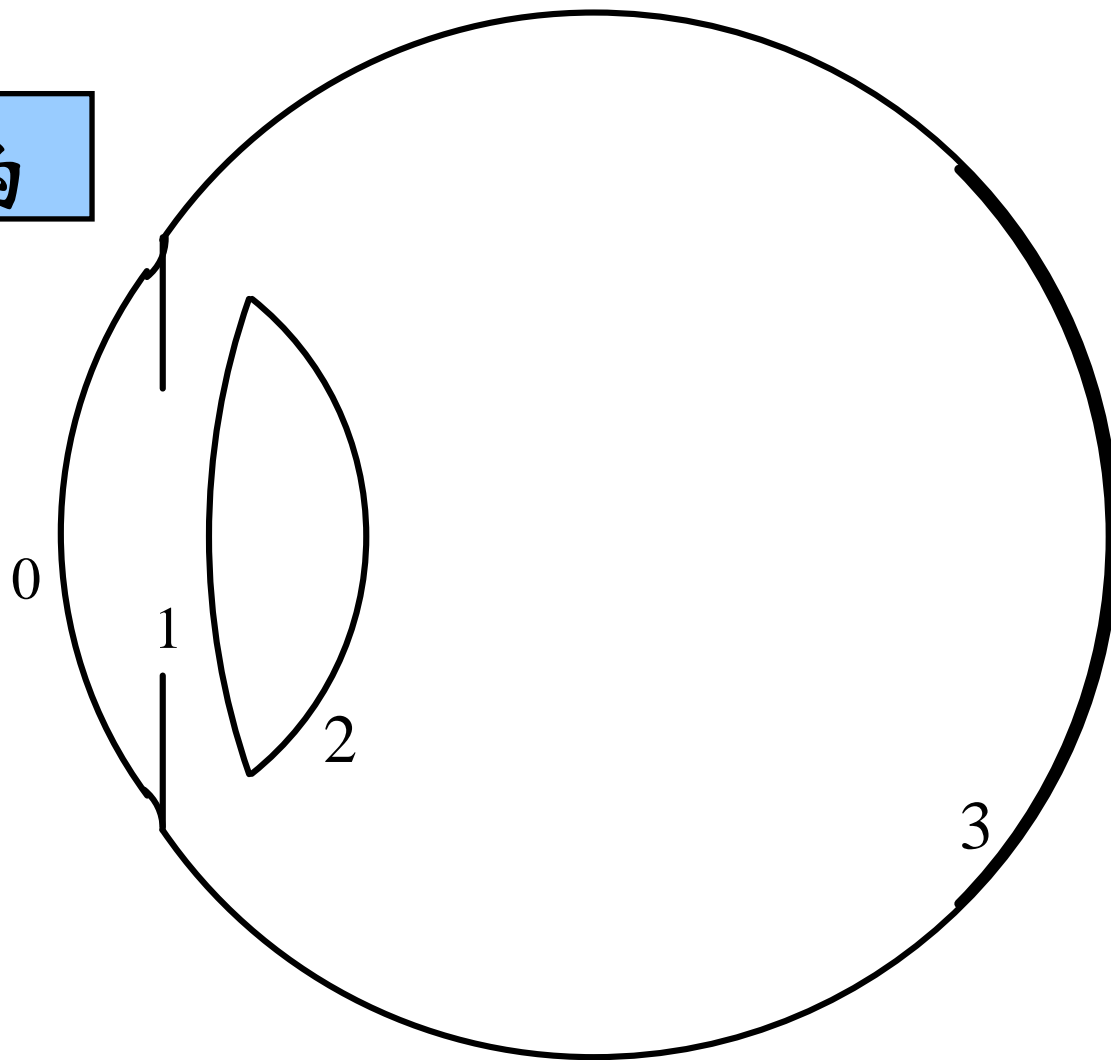


图5-1 简眼：0角膜、1 瞳孔、2 晶状体、3 视网膜

简眼结构

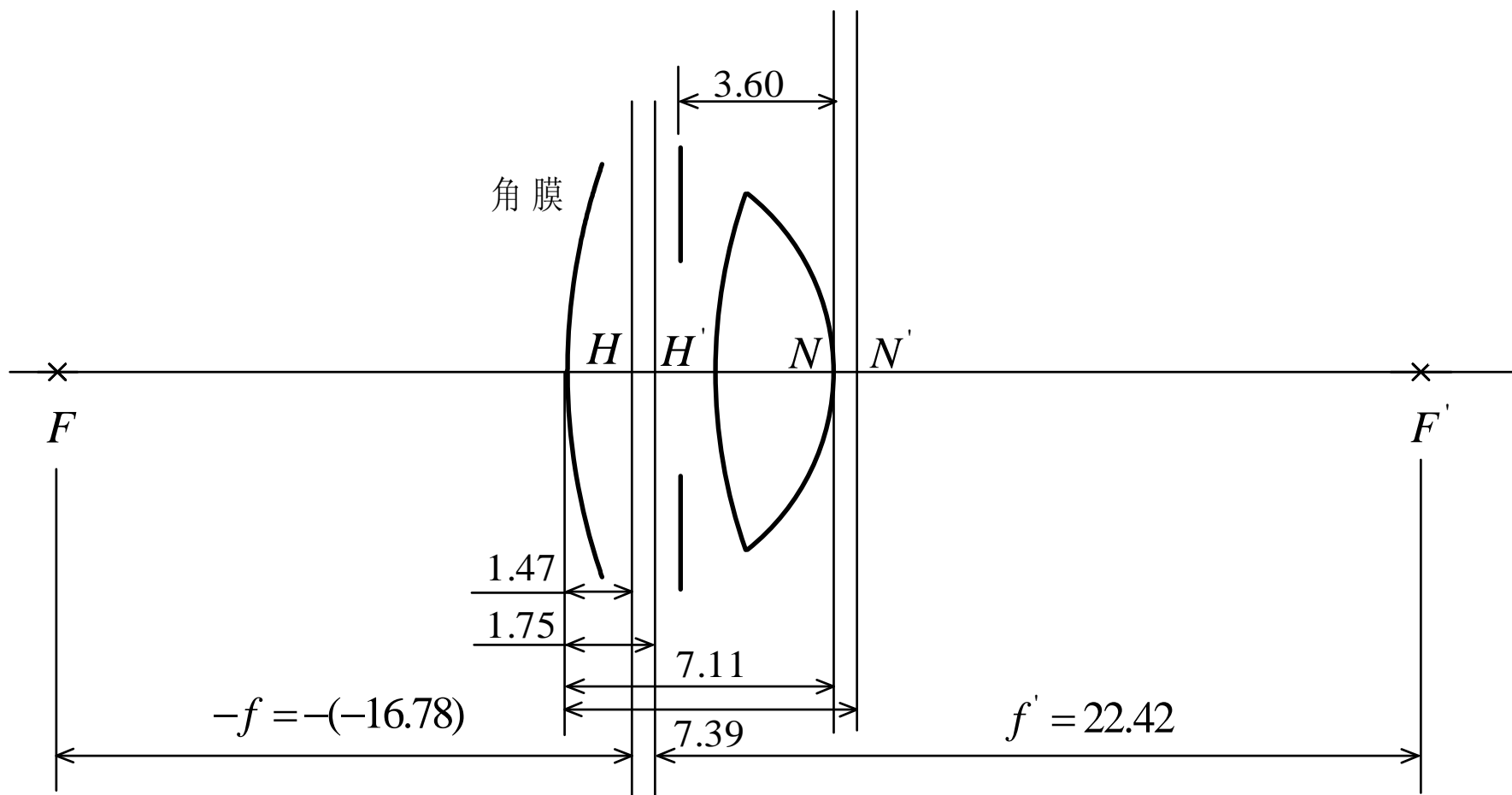


图5-2 简眼光学系统参数

2. 眼睛的调节

从几何光学讲，眼睛这个光学系统的像距是一定的，人眼通过调整晶状体的焦距将不同物距位置上的物体成像在视网膜上。人眼的这个功能称为调节。

正常人的眼睛，处于完全放松的无调节状态时，位于无穷远的物体成像在视网膜上。这时，人眼的像方焦点位于视网膜上。由于此时人眼处于放松状态，所以看远处的物体时人眼不易疲劳。

眼睛的调节

人眼通过自身的变焦作用，能对人眼前方多近的物体清晰地成像在视网膜上，这个距离称为人眼的近点距离： l (m)

$$\text{屈光度: } \frac{1}{l}$$

年龄	最大调节能力 (屈光度)	近点距离(m)
10	-14	-0.07
15	-12	-0.083
20	-10	-0.10
30	-7	-0.14
40	-4.5	-0.22
50	-2.5	-0.40

表5-1 不同年龄段的人眼调节范围

3. 眼睛的适应

- 根据周围环境的照明情况不同，人眼瞳孔开启的大小也不一样。
- 在室外，阳光普照，照明条件好，则人眼瞳孔自动收缩，不让过多的光能进入眼睛，以免视网膜受到过渡刺激；
- 在黑暗的房间里，照明条件不好，则人眼瞳孔自动放大，让较多的光能进入眼睛而尽可能收集到较多的信息；
- 人眼瞳孔大小能随外界照明条件而自动变化的功能称为眼睛的适应。
- 一般人眼的瞳孔直径在2mm到8mm的范围内变动。

4. 眼睛的缺陷

1. 近视

若远点距为 $-0.5m$ ，则近视程度为

$$\frac{1}{-0.5m} = -2 \text{ 屈光度} \\ = -200^\circ$$

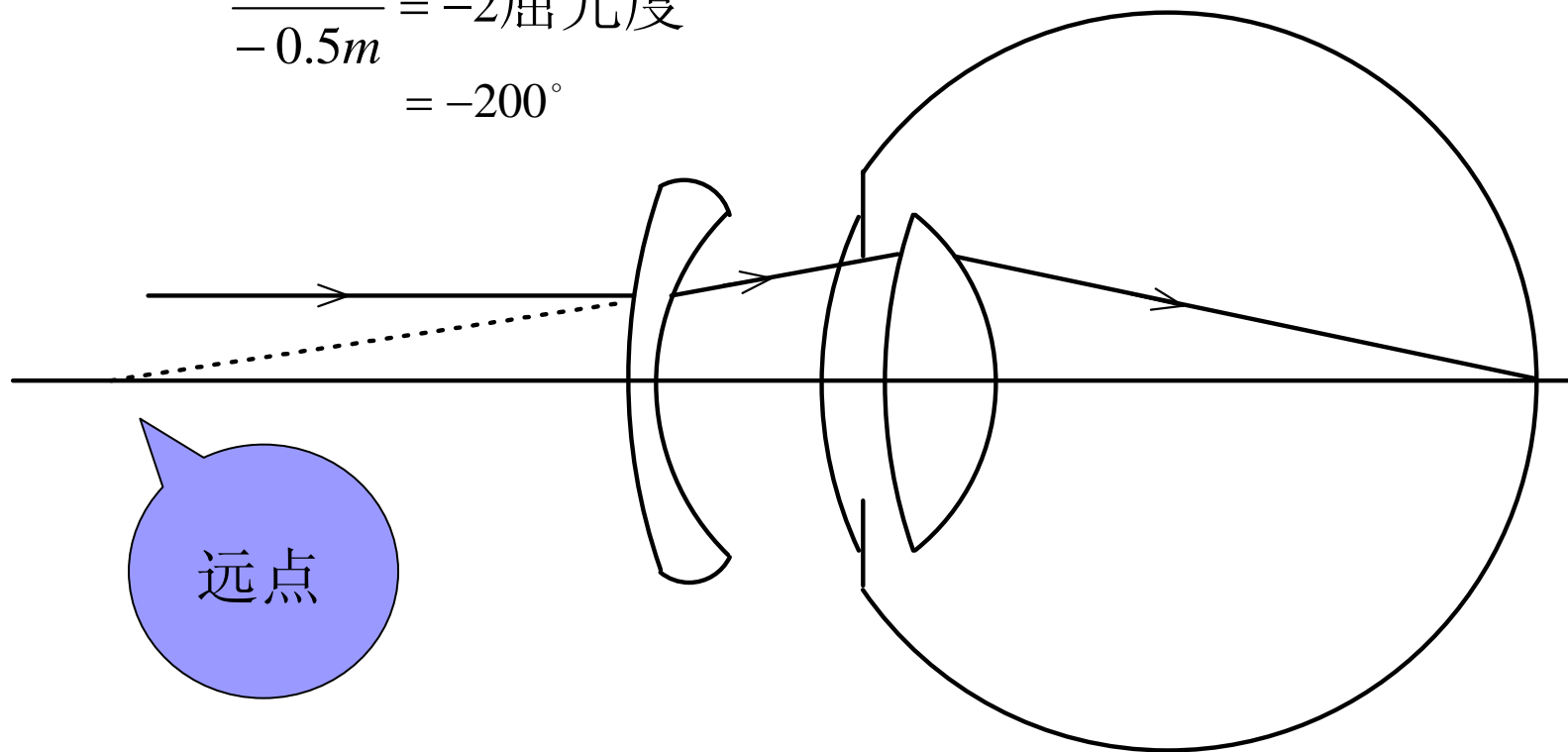


图5-3 近视眼及近视眼的校正

眼睛的缺陷

2.远视

近点距离

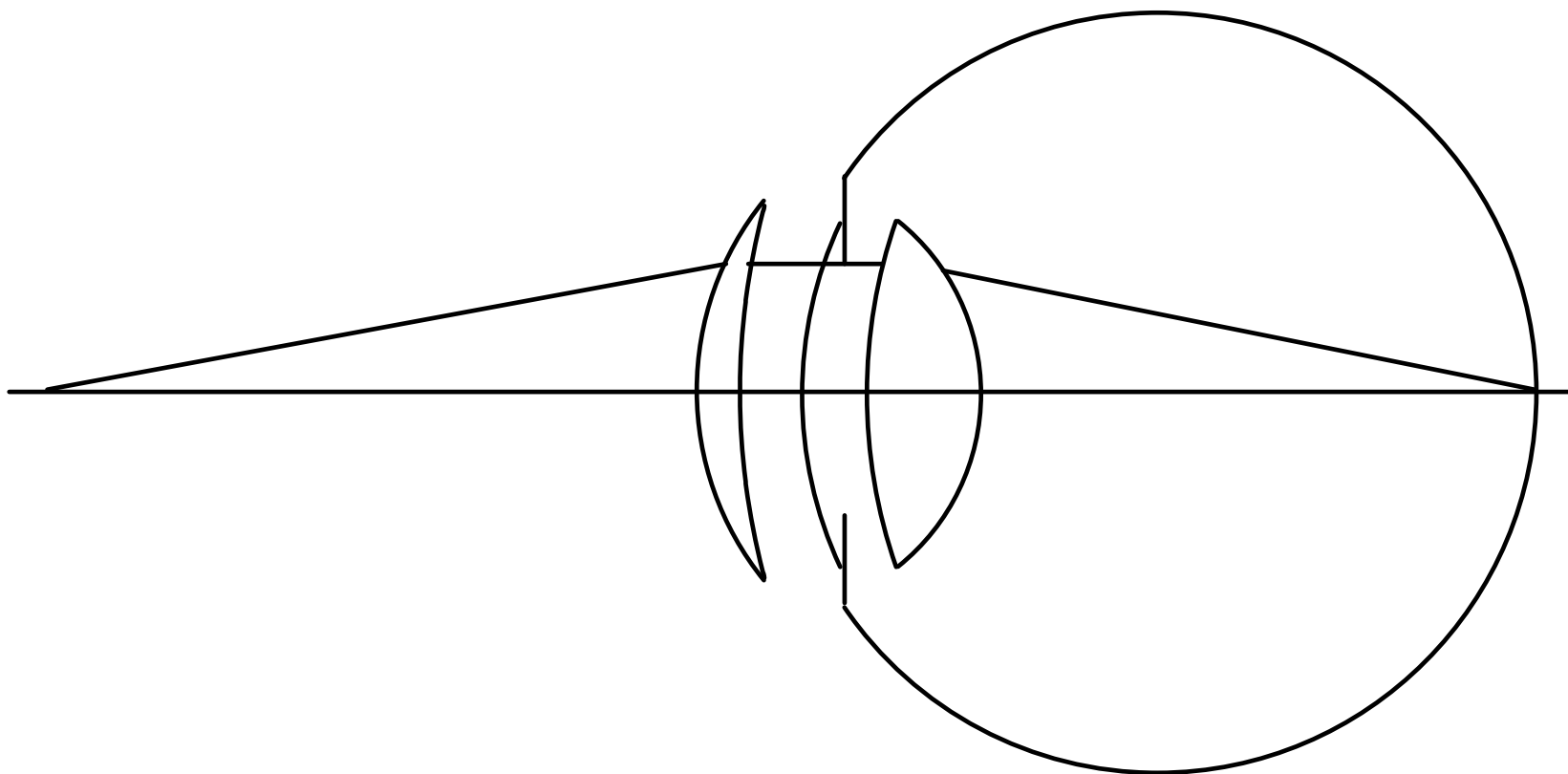


图5-4 远视眼及远视眼的校正

- 眼睛不再是一个以光轴为对称轴的旋转对称系统，在包含光轴在内的两个相互正交的平面内眼睛的光焦度是不相等的
- 校正的方法是戴一副柱面或轮胎面的眼镜

5. 眼睛的分辨本领

- 视网膜在人眼中起接收器的作用
- 由于视网膜上的视觉神经细胞有一定的大小，所以人眼能分辨开外界两个很靠近点的能力一定是有限的，将人眼的这个能力称为**眼睛的分辨率**。
- 将刚能分辨的物方两点对眼睛物方节点的张角称为**极限分辨角**，通常以这个极限分辨角来描述人眼的分辨率。
- 统计数据显示人眼的极限分辨角约为 $1'$ 。

5.2

放大镜



汨罗市玉晶光学仪器制造有限公司产品

1. 放大镜的工作原理和视角放大率

- 一定大小的近距物体，它对人眼的张角称为视角。
- 人们观看近距物体时，也不是将物体放的离人眼愈近感觉就愈好，通常将物体放在人眼前约250mm，此时看到的物体不算很小且眼睛也感到舒适。
- 在几何光学中，-250mm这个距离称为明视距离或较佳视距。

放大镜的工作原理和视角放大率

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{y}{-(-250)} \quad (5-1)$$

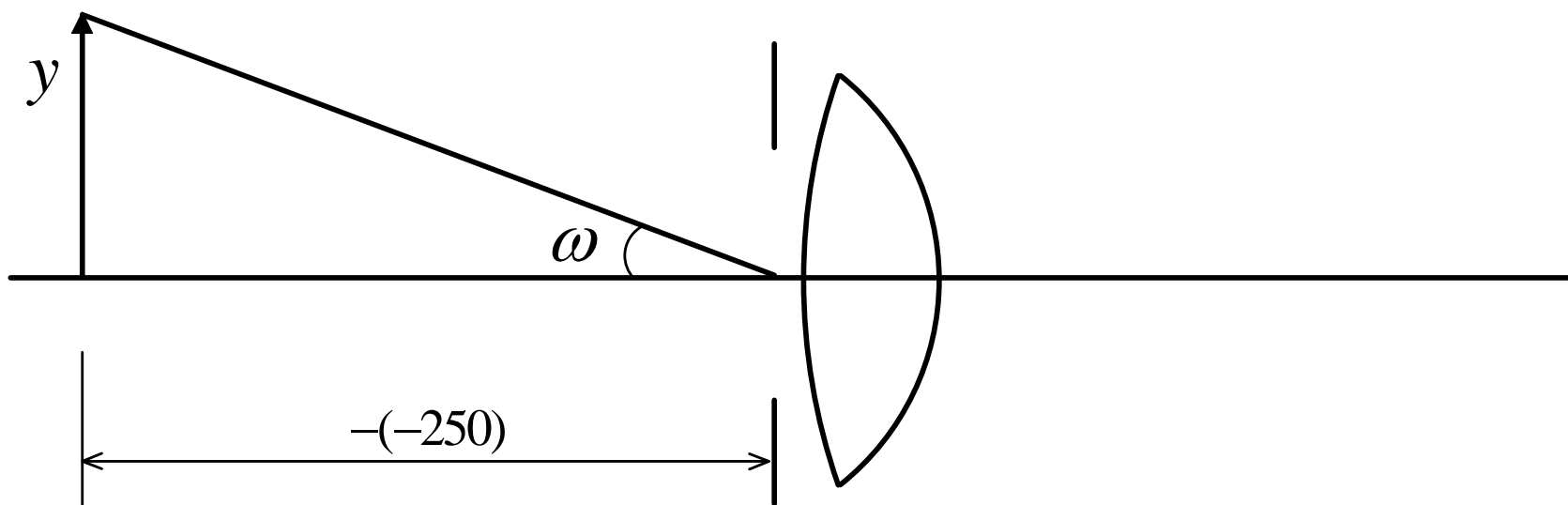


图5-5 物体位于明视距离处对人眼的张角

放大镜的工作原理和视角放大率

$$\operatorname{tg} \omega' = \frac{y}{f'} \quad (5-2)$$

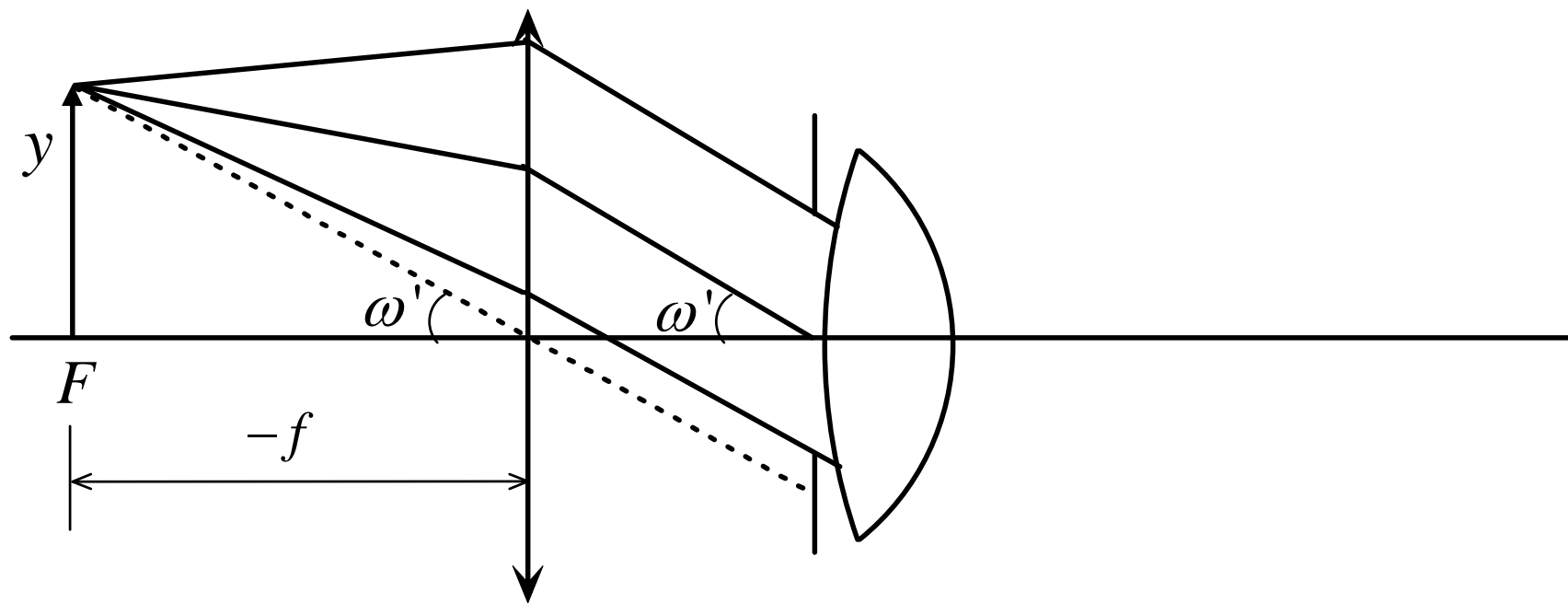


图5-6 放大镜的工作原理

放大镜的工作原理和视角放大率

定义 $\text{tg}\omega'$ 与 $\text{tg}\omega$ 之比为视角放大率，用 Γ 表示

$$\Gamma = \frac{\text{tg}\omega'}{\text{tg}\omega} \quad (5-3)$$

则放大镜的视角放大率公式

$$\Gamma_e = \frac{250}{f'} \quad (5-4)$$

2. 简单放大镜的设计

试设计一个 $5\times$ 放大镜

(1) 由式(5-4)知, 放大镜的焦距 f' 为50mm。

(2) 设这个放大镜由一块薄透镜构成, 薄透镜的焦距公式

$$\frac{1}{f'} = (n-1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

(3) 常用光学玻璃, 近似 $n=1.5$

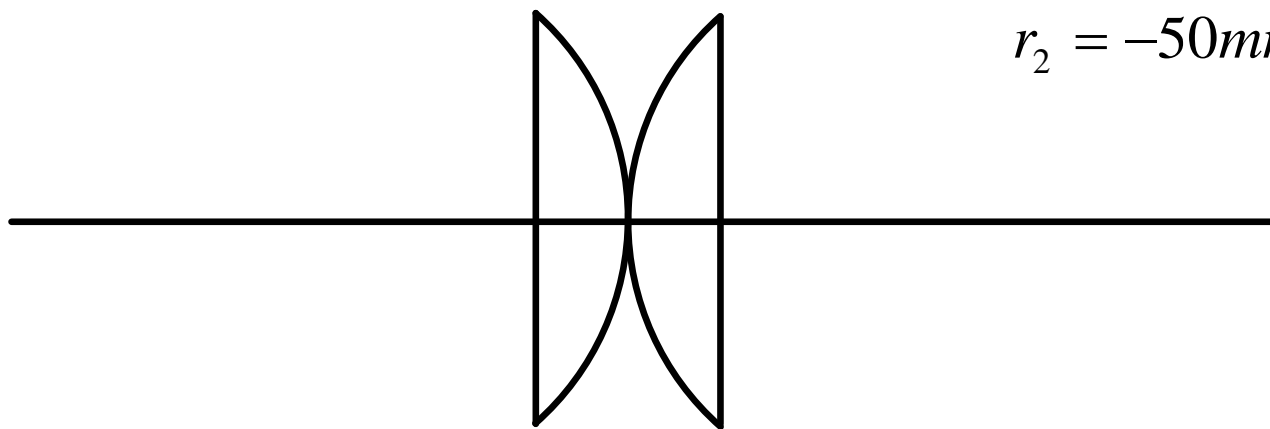
(4) 设第一面为平面, 即 $r_1 = \infty$; 则 $r_2 = -25mm$

简单放大镜的设计



(1) 设计自由度冗余 $\frac{1}{f'} = (n-1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$

(2) 密接的两块单透镜设计



$$r_2 = -50\text{mm}, r_3 = 50\text{mm}$$

图5-7 两块密接透镜构成的放大镜

简单放大镜的设计



(3) 分离的两块单透镜设计

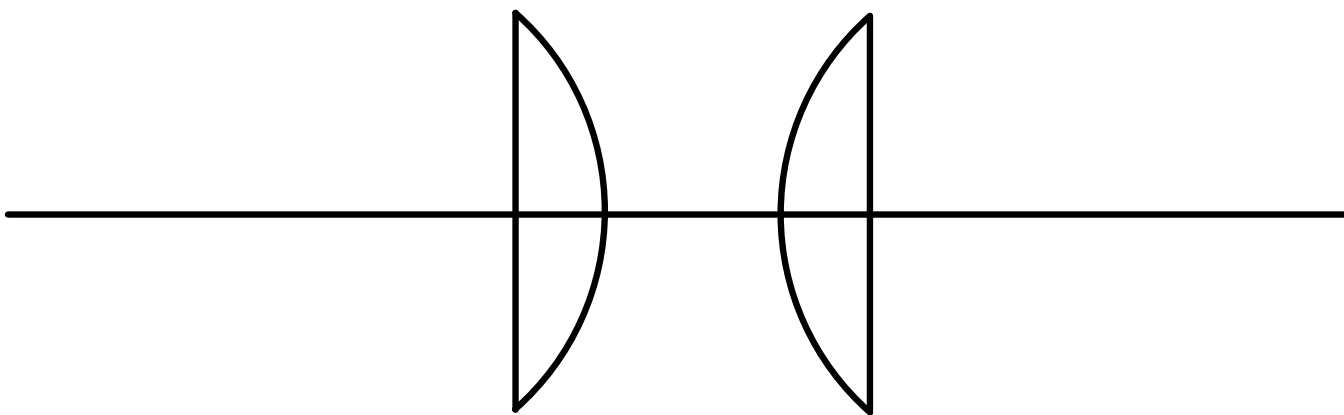


图5-8 两块分离透镜构成的放大镜

简单放大镜的设计



(4) $100\times$ 放大镜?

$f' : 2.5\text{mm}$

球面半径?

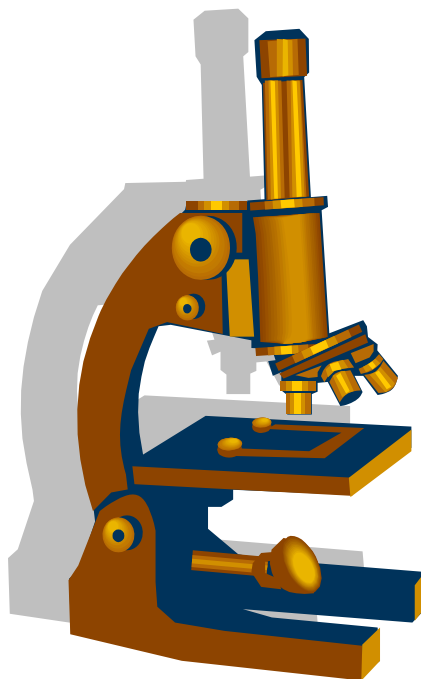
横向口径?

(5) 物体一定位于放大镜的前焦面处?

人们使用放大镜时物体往往位于放大镜的前焦面附近，而非一定严格地位于前焦面处。这时式(5-4)仍然适用。

5.3

显微镜的工作原理



1. 显微镜的工作原理

放大镜

一组镜头

一次放大

$15\times$

显微镜

两组镜头

两次放大

1000多倍

显微镜的工作原理

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{y}{-(-250)}$$

$$\operatorname{tg} \omega' = \frac{\beta y}{-(-f_e')}$$

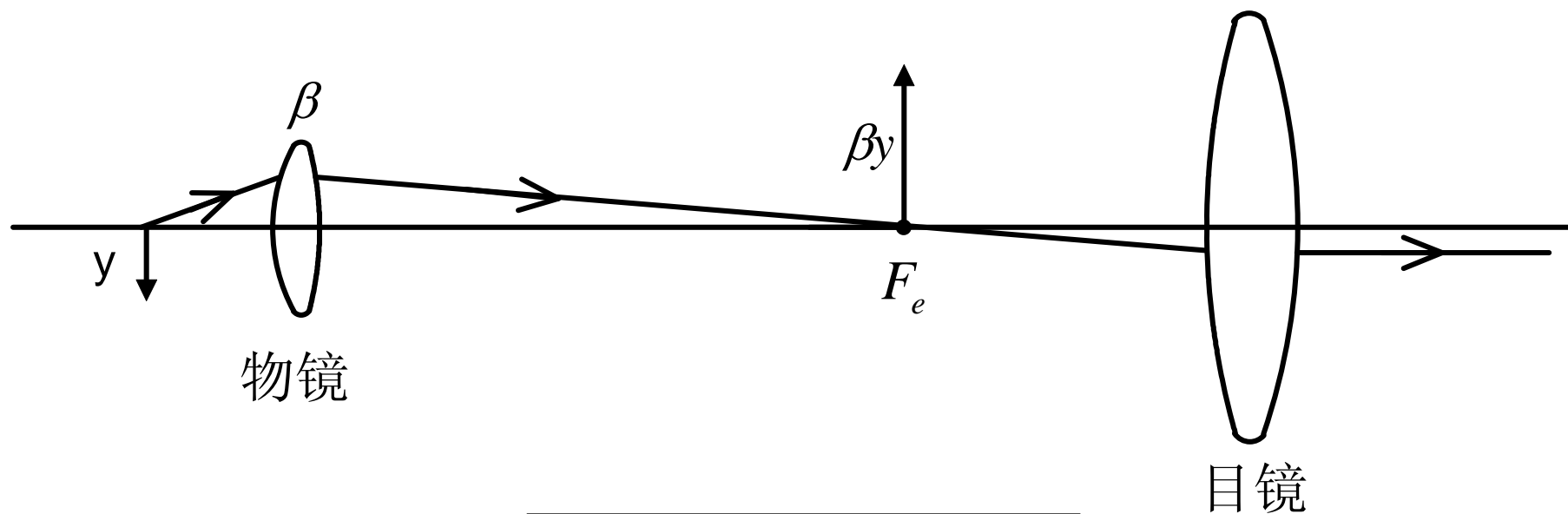


图5-9 显微镜的结构

显微镜的工作原理

显微镜的视角放大率：

$$\Gamma_m = \frac{\text{tg } \omega'}{\text{tg } \omega} = \frac{\beta y / f'_e}{y / 250} = \beta \frac{250}{f'_e} \quad (5-5)$$

根据横向放大率公式的牛顿形式：

$$\Gamma_m = -\frac{\Delta}{f'_o} \frac{250}{f'_e} \quad (5-6)$$

而 $-\frac{f'_o f'_e}{\Delta} = f'_m$



$$\Gamma_m = \frac{250}{f'_m}$$

显微镜系统在原理上是一块复杂化了的放大镜

2. 简单显微镜系统的设计例

(1) 视角放大率 $-50\times$; 物像共轭距180mm

目镜: $10\times$ $15\times$

物镜: $3\times$ $5\times$ $10\times$ $40\times$ $60\times$ $100\times$

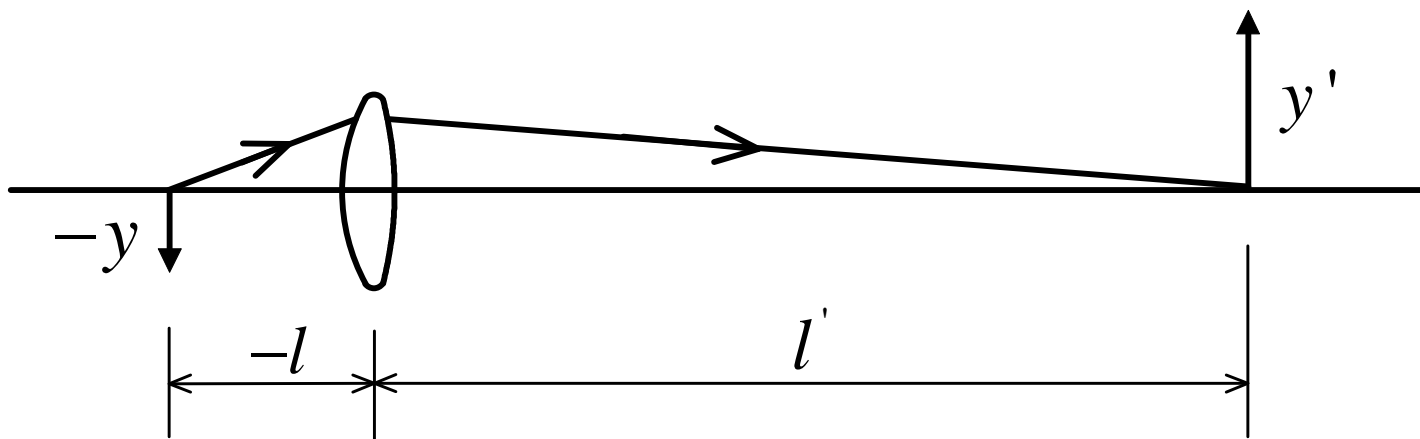


图5-10 显微物镜的物像关系

简单显微镜系统的设计例

$$\beta = \frac{l'}{l} = -5$$

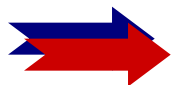
$$-l + l' = 180$$



$$l = -30$$

$$l' = 150$$

利用高斯形式的物像关系式 $\frac{1}{l'} - \frac{1}{l} = \frac{1}{f'_o}$



$$f'_o = 25mm$$

利用式(5-4), $\Gamma_e = 10^\times$



$$f'_e = 25mm$$

简单显微镜系统的设计例

(2) 间距为**0.001mm**的两点经这台显微镜所成的像对人眼的张角为 $2'$

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{0.001}{-(-250)} = 4 \times 10^{-6}$$

$$\Gamma_m = \frac{\operatorname{tg} \omega'}{\operatorname{tg} \omega} = \frac{\operatorname{tg} 2'}{4 \times 10^{-6}} = 145.45 \approx 150^\times$$

1) 物镜 $\beta = -10^\times$, 目镜 $\Gamma_e = 15^\times$

2) 物镜 $\beta = -15^\times$, 目镜 $\Gamma_e = 10^\times$

3. 显微镜的视度调节

通过将目镜沿光轴方向移动适当的距离，使显微镜所成的像不再位于无限远，而位于眼睛前方或后方的一定距离上，以适应近视或远视眼的需要，弥补眼睛有近视或远视的缺陷者，就是显微镜的视度调节。

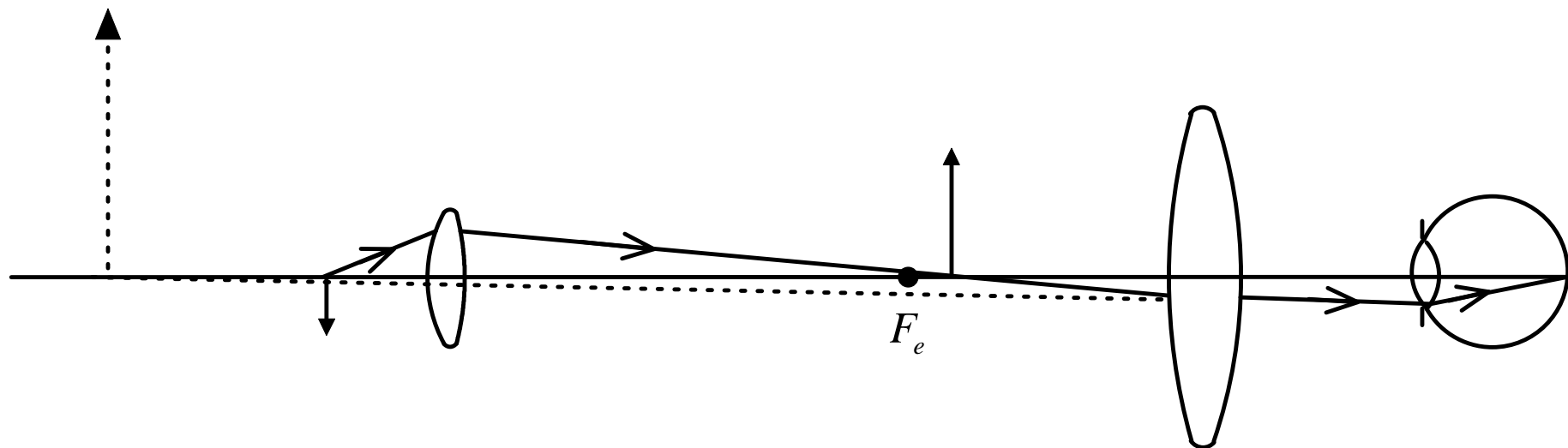


图5-11 适用于近视眼的视度调节

显微镜的视度调节

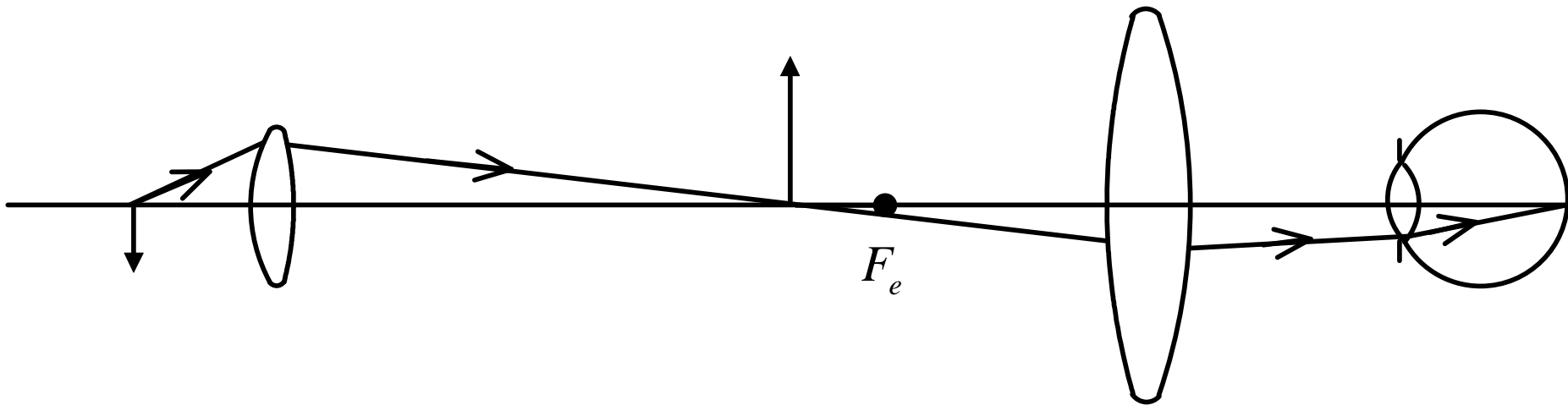


图5-12 适用于远视眼的视度调节

例： 人眼位于目镜像方焦面附近，并假定要求显微镜的视度值为SD，则要求远点距为：

$$x' = \frac{1000}{SD}$$

根据牛顿公式有

$$x = \frac{-f_e'^2}{x'} = \frac{-SDf_e'^2}{1000}$$

5.4

望远镜的工作原理



1. 望远镜的工作原理

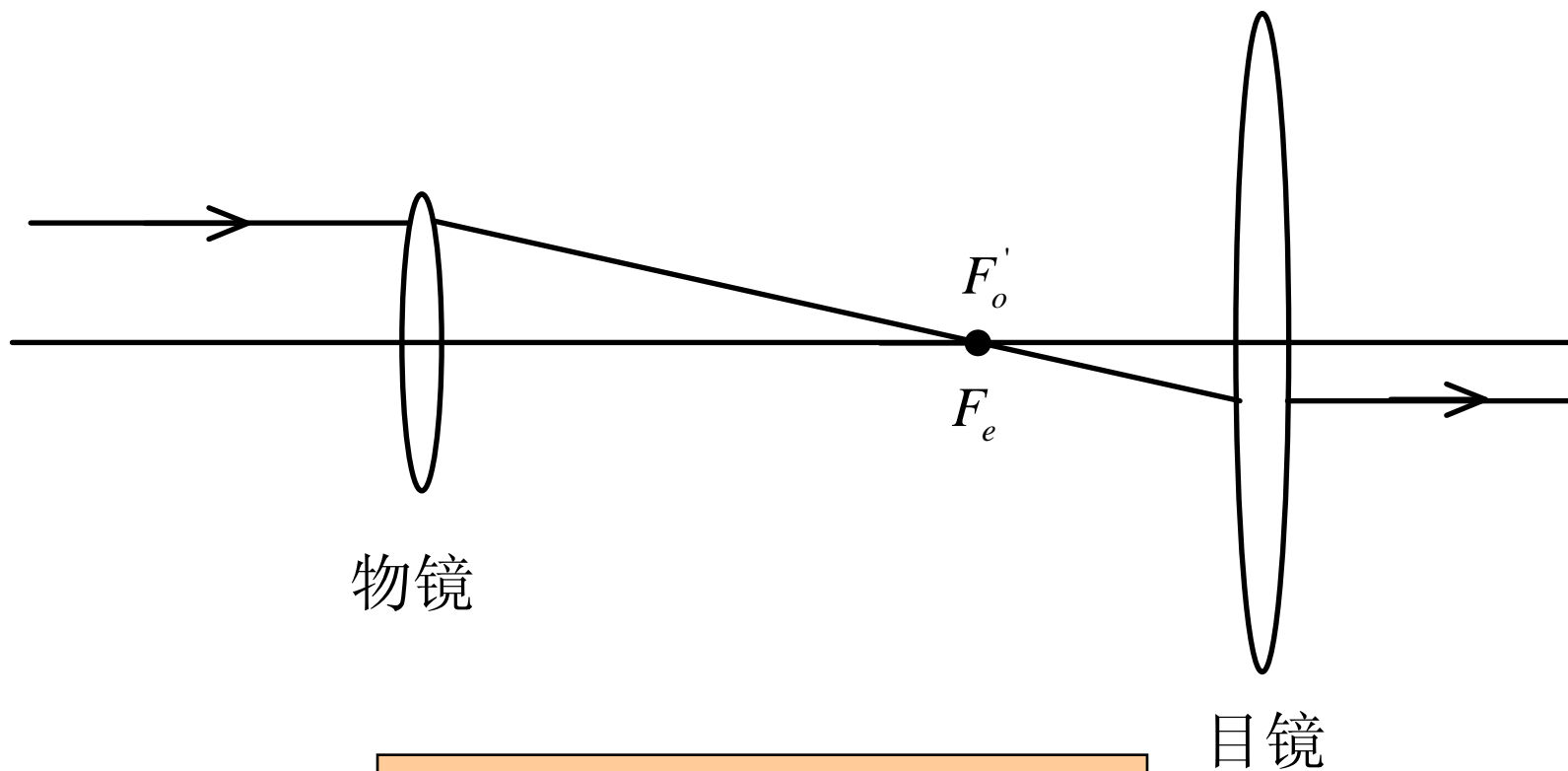


图5-13 望远镜系统的结构

望远镜的工作原理

$$\operatorname{tg} \omega = -\frac{y'}{f_o'}$$

$$\operatorname{tg} \omega' = \frac{y'}{f_e'}$$

$$\text{视角放大率 } \Gamma_t = \frac{\operatorname{tg} \omega'}{\operatorname{tg} \omega} = -\frac{f_o'}{f_e'}$$

(5-7)

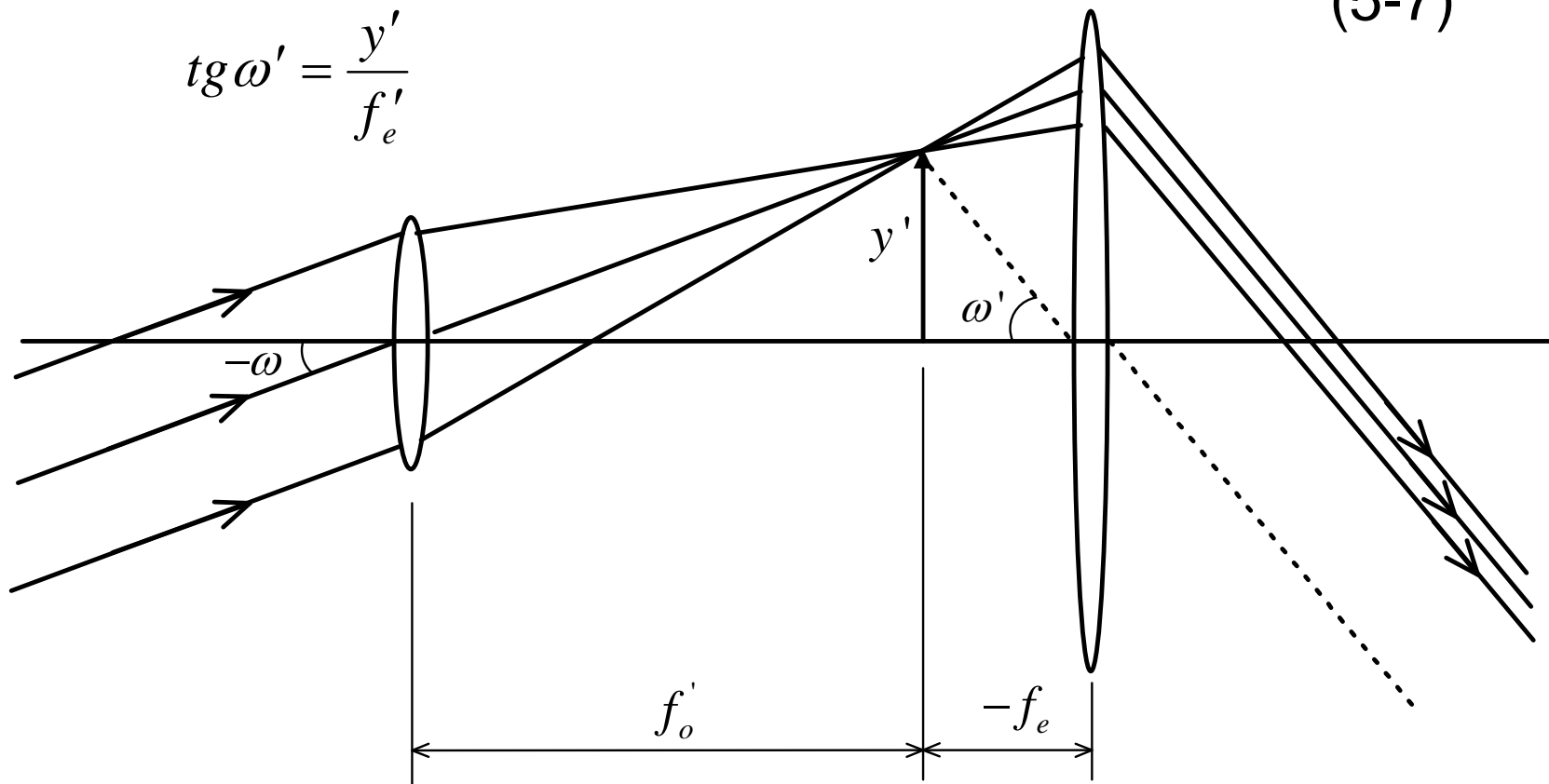


图5-14 望远镜中的轴外光束走向

2. 望远镜系统的特点

光学间隔等于零

(1). 望远镜系统是一个无焦系统。

(2). 整个系统的横向放大倍率是一个定数。

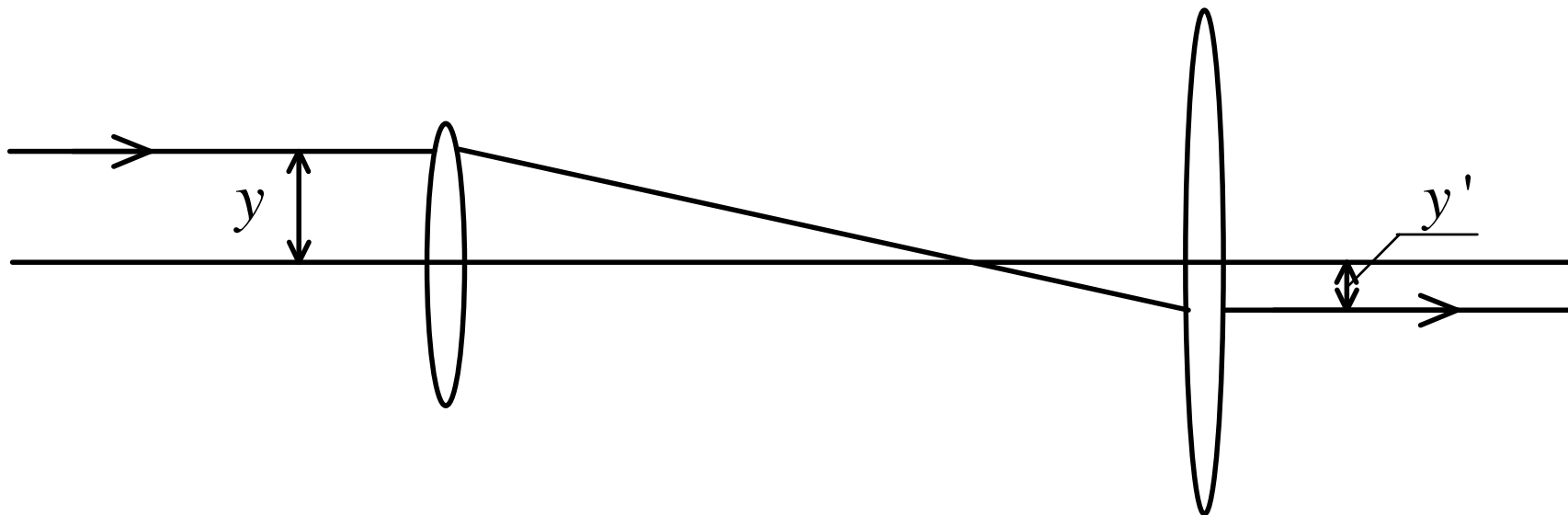


图5-15 望远镜系统中平行于光轴的光线

望远镜系统的特点

设物体距离物镜物方焦点为 x_1 ，其像距离物镜像方焦点为 x_1' 。又设经物镜所成的这个像距离目镜物方焦点为 x_2 ，根据牛顿形式的横向放大率关系式有

$$\beta_o = -\frac{x_1'}{f_o'} \qquad \beta_e = -\frac{f_e}{x_2}$$

光学间隔为零，即 $x_2 = x_1'$

$$\begin{aligned} \beta &= \beta_o \beta_e \\ &= \frac{x_1'}{f_o'} \frac{f_e}{x_2} \\ &= -\frac{f_e'}{f_o'} \end{aligned} \qquad (5-8)$$

望远镜系统的特点

(3).视角放大率与角放大率相等。

$$\gamma = \frac{1}{\beta} = -\frac{f'_o}{f'_e} = \Gamma_t$$

(4).轴向放大率也只与物镜和目镜焦距之比有关。

$$\begin{aligned}\alpha &= \beta^2 \\ &= \left(\frac{f'_o}{f'_e} \right)^2\end{aligned}$$

3. 望远镜系统的两种结构

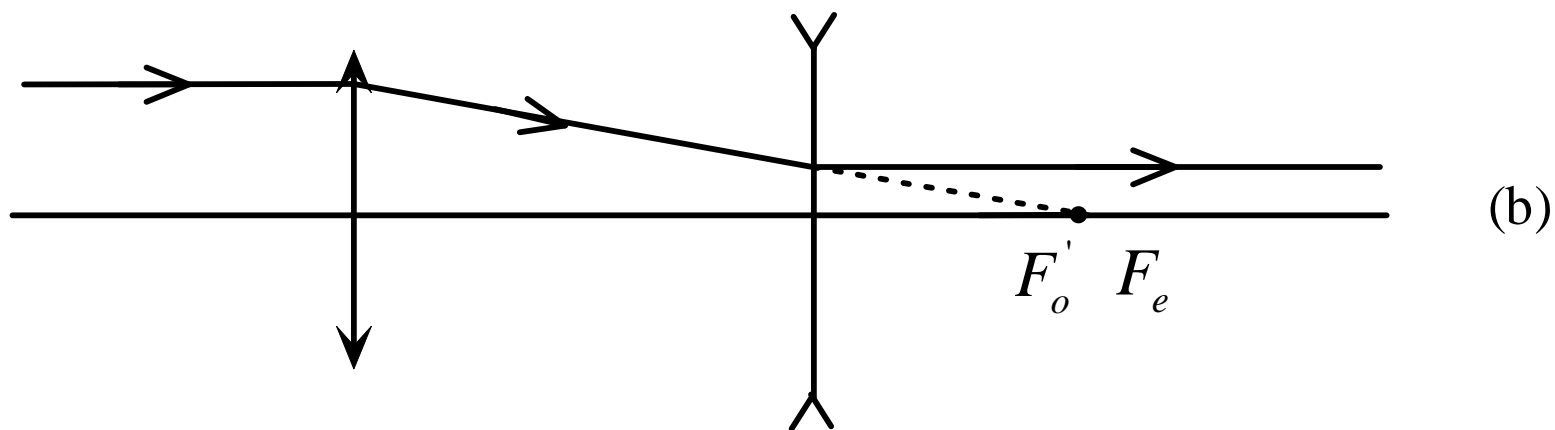
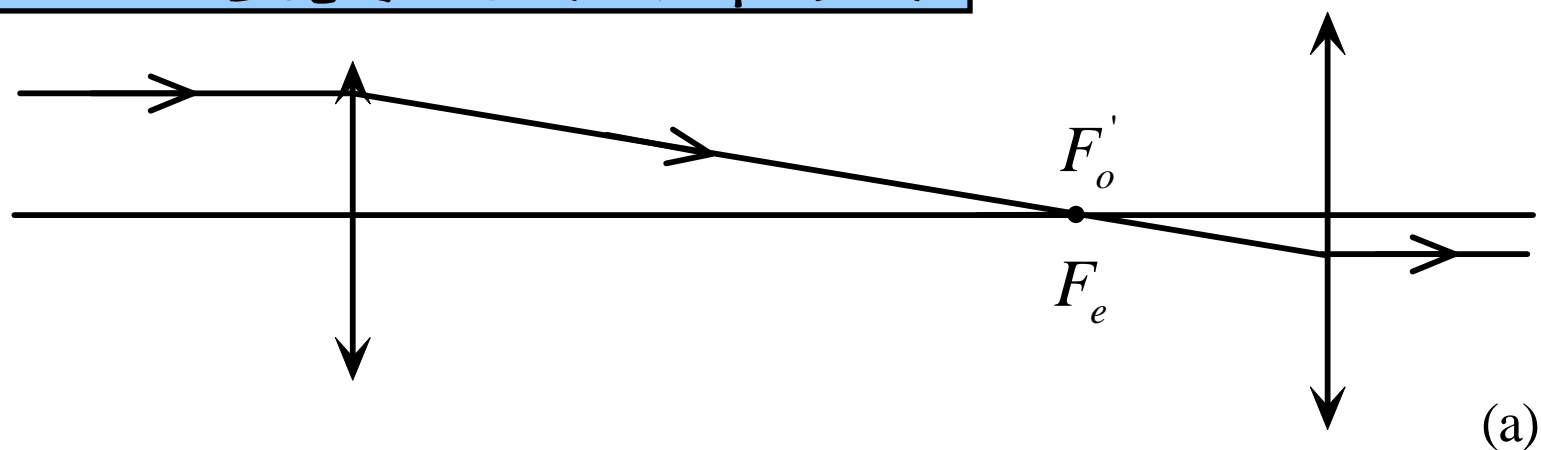


图5-16 (a)开普勒望远镜系统和(b)伽利略望远镜系统

望远镜系统的两种结构

比较

(1).轴外光束走向

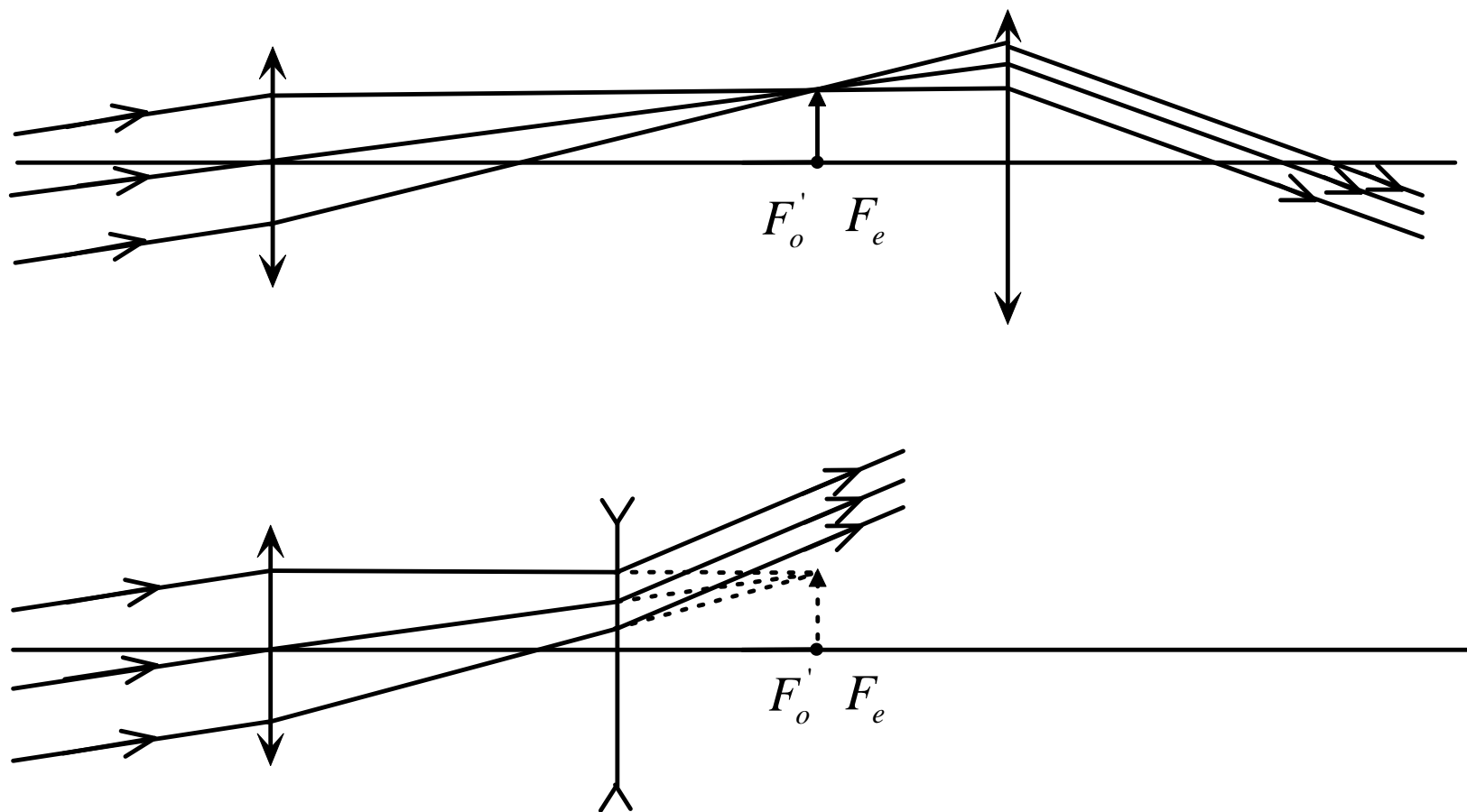


图5-17 两类望远镜系统中的轴外光束走向

望远镜系统的两种结构

比较

(2).实像面

开普勒望远镜系统有一次实像面，所以可以在这个实像面处安放一把尺子（通常称为分划板）与实像比较，从而得到测量数据；显然伽利略望远镜系统没有这个一次实像面，所以它就不能用于测量；

(3).筒长

伽利略望远镜的筒长一定小于开普勒望远镜的筒长

4. 望远镜系统视角放大率的测量原理

方法1

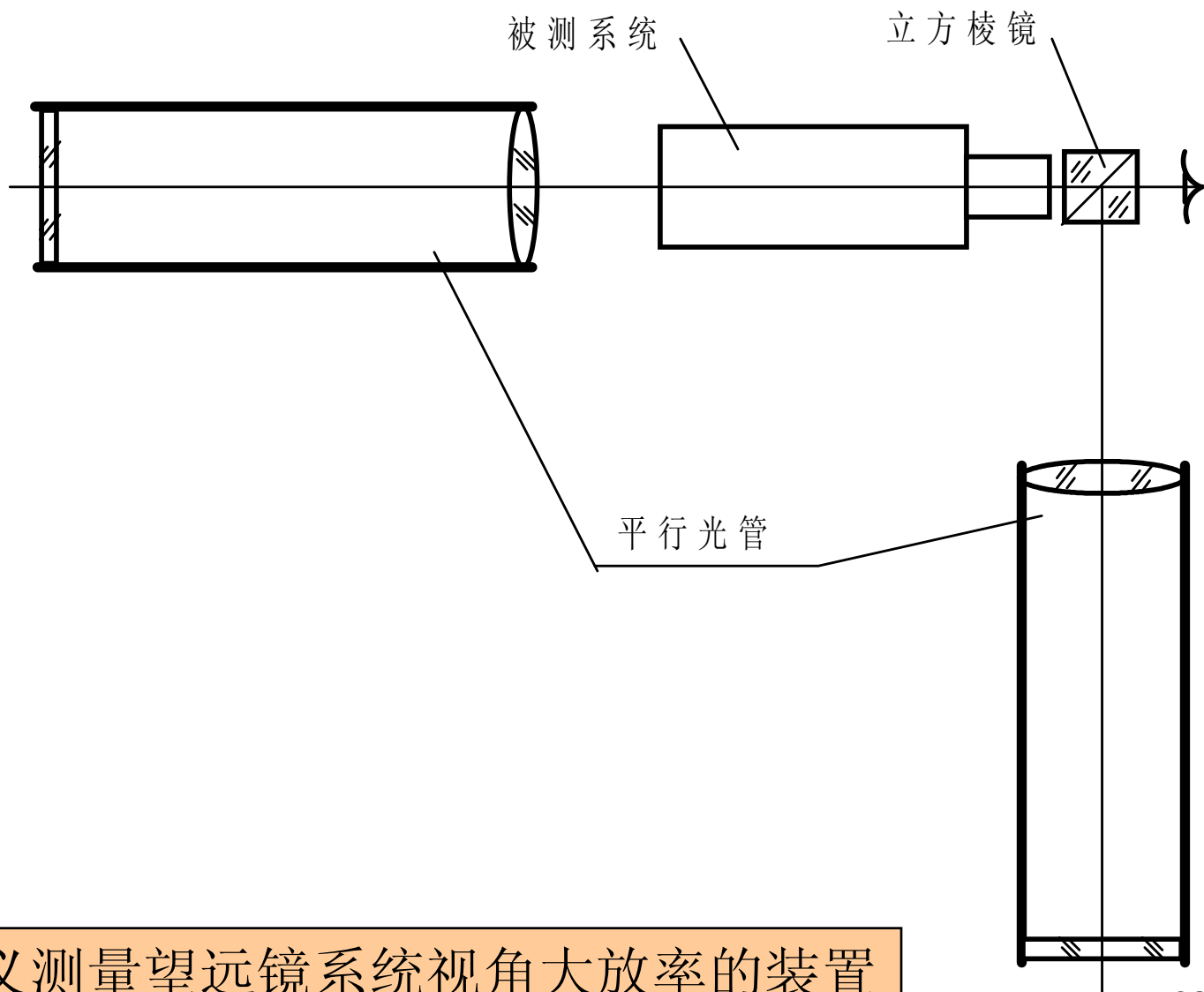


图5-18按定义测量望远镜系统视角大放率的装置

望远镜系统视角放大率的测量原理

方法2

从原理上讲，利用理想光学系统中讲述过的测量透镜焦距的方法，可分别测量出望远镜系统物镜的焦距和目镜的焦距，从而得到望远镜系统的视角放大率。

方法3

将一个与望远镜系统物镜口径大小差不多的已知物体（物体高度已知）放在望远物镜附近，然后测出这个物体经望远镜系统所成的像的像高，从而得到望远镜系统的视角放大率。

5. 望远镜系统的现代应用

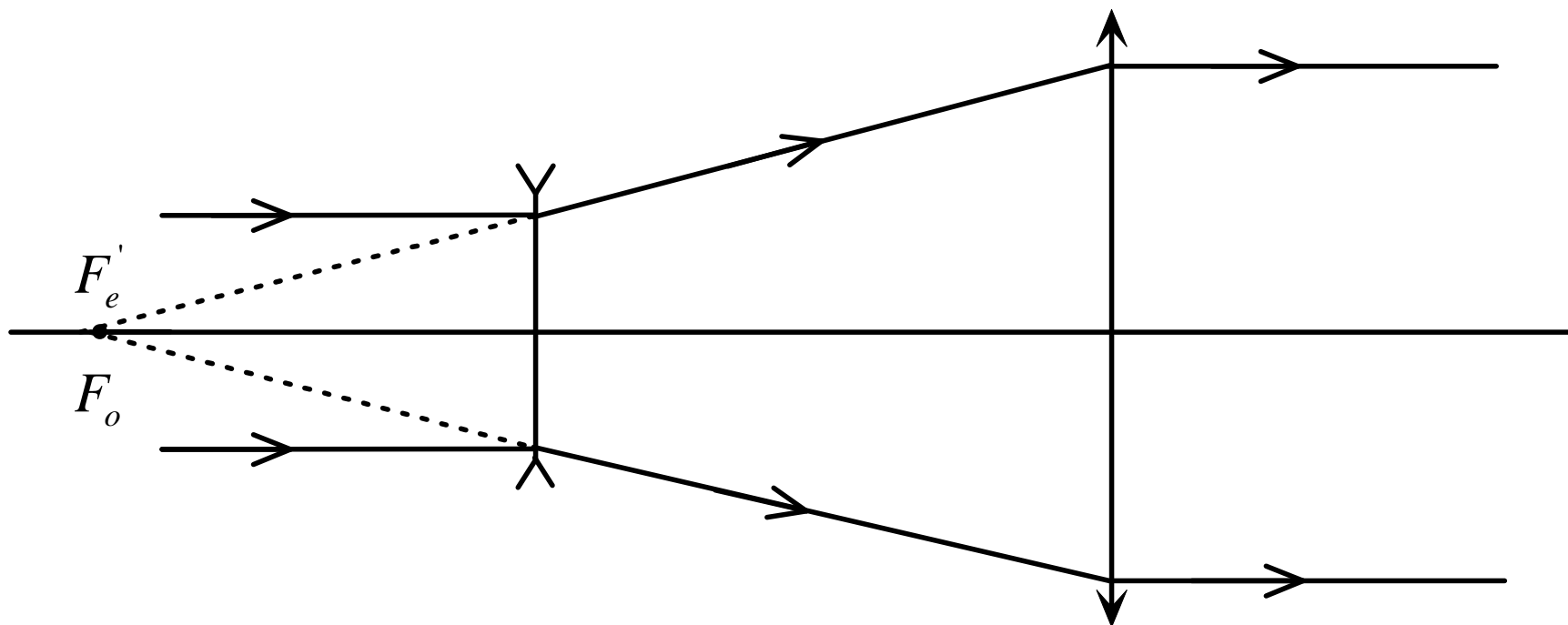


图5-19 望远镜系统可用于扩大激光光束