

71.273

# 工 程 光 学

## 讲 义 和 练 习

(綱 要)

---

B. H. 楚黎洛夫斯基 著  
H. A. 屠 磊 金

國防工業出版社

71.213

# 工 程 光 学

(讲义和练习)

( 綱 要 )

В. Н. 楚黎洛夫斯基 著  
И. А. 屠 磊 金

李德熊译 馬士修校



國防工業出版社

## 內 容 簡 介

本書共分兩個部分：第一部分講述了共軛关系理論、零光綫光学、光学仪器、光学系統中的誤差；此外，关于当量焦距的一些見解，角放大率和縱向放大率，节点和节角面的概念以及光綫折射定律和阿貝公式，折射面点距的确定，光学仪器的一般性質，望遠鏡，光学仪器零件，航空瞄准具和火炮瞄准具……等也作了敘述。第二部分着重地講解有关的習題和計算。

本書可作为光学器械設計者和制造者的参考書，同时亦可作为大、專技术学校有关科系課本或主要参考書。

В. Н. Чуриловский  
И. А. Турыгин  
ОПТОТЕХНИКА  
КУРС ЛЕКЦИЙ И УПРАЖНЕНИЙ  
Москва 1931

## 工 程 光 学

### 講义和練習

〔苏〕楚黎洛夫斯基、屠磊金 著

李德熊 譯

馬士修 校

\*

国防工業出版社出版

北京市書刊出版業營業許可証出字第074号

北京印刷一厂印刷 新华書店發行

\*

787×1092 1/32 6印張124,875字

一九五六年十月第一版

一九五六年十月北京第一次印刷

印数：1—5,070册 定价：(10)0.95元

# 目 录

## 第 一 部 分 理 論

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 共綫关系理論 .....               | 1  |
| 1. 緒言 .....                | 1  |
| 2. 綫性放大率 .....             | 2  |
| 3. 焦点, 焦距和主面 .....         | 4  |
| 4. 符号規則 .....              | 6  |
| 5. 光学系統的綫性放大率公式 .....      | 7  |
| a) 基本光学公式 .....            | 7  |
| 6) 計算通过光学系統的光綫的公式 .....    | 9  |
| 6. 關於当量焦距的一些見解 .....       | 12 |
| 7. 角放大率和縱向放大率 .....        | 12 |
| 8. 节点和节面的概念 .....          | 16 |
| 零光綫光学 .....                | 16 |
| 1. 光綫折射定律和阿貝公式 .....       | 16 |
| 2. 一个折射面的焦距的确定 .....       | 18 |
| 3. 拉格倫日—戈里木高里茲不变式 .....    | 20 |
| a) 不变式的第一种形式 .....         | 20 |
| 6) 不变式的第二种形式 .....         | 21 |
| 4. 任意角和任意高度的导入 .....       | 22 |
| 5. 計算光綫的公式的結論 .....        | 24 |
| 6. 眼睛 .....                | 25 |
| 7. 關於光学系統的矯正和光路作圖的見解 ..... | 28 |
| 8. 物空間內任意光綫的像的作圖 .....     | 28 |
| 光学仪器 .....                 | 29 |

|               |    |
|---------------|----|
| 1. 光学仪器的一般性質  | 23 |
| a) 瞳孔和窗       | 29 |
| б) 照相物鏡內光束的限制 | 31 |
| в) 望远鏡內光束的限制  | 32 |
| г) 光学系統的集光度   | 33 |
| д) 可見放大率      | 37 |
| е) 光学系統的深度    | 39 |
| 2. 望远鏡        | 43 |
| a) 最簡單的望远鏡    | 45 |
| б) 伽里略望远鏡     | 48 |
| в) 天文望远鏡      | 50 |
| г) 陆上望远鏡      | 52 |
| д) 潛望鏡        | 52 |
| 3. 光学仪器元件     | 54 |
| a) 稜鏡         | 54 |
| 由稜鏡組成的轉像系統    | 54 |
| 五边稜鏡          | 56 |
| 屋脊稜鏡          | 56 |
| 波羅轉像系統        | 57 |
| 瞄視光綫的改變       | 57 |
| 立方稜鏡          | 59 |
| б) 物鏡         | 59 |
| 望远鏡物鏡的分辨率     | 59 |
| в) 目鏡         | 60 |
| 克尼涅尔目鏡        | 60 |
| 週視目鏡          | 61 |
| 埃尔夫立目鏡        | 61 |
| 蔡斯目鏡          | 61 |
| 第二种埃尔夫立目鏡     | 62 |
| 阿貝無畸變目鏡       | 63 |

## II

|                     |    |
|---------------------|----|
| 4. 航空瞄准具和火炮瞄准具。輔助仪器 | 63 |
| a) 吉尔兹瞄准具的光学系統      | 63 |
| б) 巴拿拉馬             | 63 |
| 使像在它的平面內繞着光軸旋轉的稜鏡   | 63 |
| 巴拿拉馬光学系統的敘述         | 65 |
| 稜鏡和平行平板             | 66 |
| в) 炮队鏡              | 69 |
| г) 阿里第斯系統的机槍瞄准具     | 71 |
| д) 法国机槍瞄准具          | 74 |
| e) 轟炸用瞄准具的定焦水准器     | 74 |
| ж) 蔡斯摆式水准器          | 76 |
| з) 帶摆式水准器的船上瞄准具     | 77 |
| и) 在望遠鏡內改变放大率的結構    | 78 |
| к) 步槍瞄准具            | 79 |
| 光学系統中的誤差            | 80 |
| 1. 色差               | 80 |
| 兩密接薄透鏡組成的光学系統的消色差   | 82 |
| 2. 球面像差             | 85 |
| 3. 違反正弦定律的誤差        | 86 |
| 4. 場曲和像散            | 87 |
| 5. 畸变               | 89 |

## 第 二 部 分

### 習 題 和 例 題

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 共綫关系的例題                  | 91  |
| 通过由兩個分开光学系統組成的光学系統的光綫的計算 | 97  |
| 高斯光学的習題                  | 106 |
| 物体位置的各种情形                | 124 |

|                 |     |
|-----------------|-----|
| 确定光学系統集光度的習題    | 127 |
| 望远鏡外形尺寸的拟定      | 129 |
| 1. 簡單望远鏡外形尺寸的拟定 | 129 |
| 2. 搜索鏡外形尺寸的拟定   | 132 |
| 3. 光学望远鏡外形尺寸的拟定 | 133 |
| 4. 光学瞄准具外形尺寸的拟定 | 145 |
| a) 航向綫上分划的計算    | 154 |
| 6) 稜鏡部分的計算      | 154 |
| B) 稜鏡尺寸的确定      | 155 |
| 可变放大率的望远鏡的計算    | 161 |
| 变倍望远鏡           | 169 |

## 附    录

|             |     |
|-------------|-----|
| 零光綫光学的作圖和習題 | 174 |
|-------------|-----|

# 第一部分 理 論

## 共綫关系理論

### 1. 緒 言

光所沿着傳播的直綫叫做光綫。發光點向着所有的方向發出光綫，因此它構成一無限限制的光束。如在距發光點某一距離處放一帶孔的屏，則在屏的後面得到一有限限制的光束。並且應當指出，當孔非常小的時候光綫就失掉直綫性，這可由光顯出的幾何影子來証明。這種現象叫做衍射（見圖1）。

以後我們僅研究有限限制的光束。

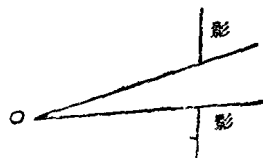


圖 1

由任何一點發出的光束叫做同心光束。光綫由中心向外發散的光束叫做發散光束，而光綫趨向於中心的光束則叫做會聚光束。

由任何一點發出的同心光束經過光學儀器以後轉變成另一同心光束，它的中心即為發光點的像。這樣光學儀器就起着變換同心光束的作用。

物體所在的一部分空間叫做物空間，而像所在的一部分空間則叫做像空間。

在物空間里的每一個作為同心光束中心的點和每一條光綫，均對應於像空間內完全確定的點和光綫。

這種互相對應的點（光綫）叫做共軛點（光綫）。



这样，物空間內的每一同心光束均与像空間內的同心光束共軛。如將一点（光綫）放在它的像的位置，則在該点（光綫）的位置得到它的像。物空間和像空間之間的这种关系叫做共綫关系。

以后我們將撇开光的物理本性，而仅从几何观点来研究光綫，就是說將光綫看成直綫，並且仅研究共軸系統的光路。叫做共軸系統的系統是由一系列的折射表面或反射表面所組成，这些表面乃是具有公共旋轉軸的旋轉体的一部分（特别是球面的一部分）。这个公共旋轉軸叫做系統的光軸。

通过系統的光学軸的平面叫做子午平面。

在物空間內取一子午面，則在像空間得到它的共軛面，此共軛面也是一个子午面。位在物空間的子午面內的光綫，在像空間內显现为共軛子午面內的光綫。在物空間內的子午面轉过某一角度时，像空間內的共軛面也轉同一角度。实际上，子午面的轉动可由光学系統向相反方向轉同一角度来代替。

因为我們所研究的是共軸光学系統，就是說對於光学軸对称的光学系統，通过系統的光路並不由於系統的轉动而改变，因此，子午面的像仍在原来的位置，就是說子午面和它的像的相对位置不变。因此子午面轉过某一角度时，它的像也轉同一角度。

以后为了簡便起見，將物空間叫做空間 I，而像空間則叫做空間 II。

## 2. 綫性放大率

設(圖 2)  $OX$  和  $O'X'$  为在空間 I 和 II 內的对应軸。

取平面  $M$  垂直於  $OX$  軸，这时在空間  $\Pi$  內得到 它的共軛平面  $M'$ 。

現在我們來証明平面  $M'$  也垂直於  $O'X'$  軸。

逆言之，假設平面  $M$  上有  $A$  和  $C$  兩點，位於同一子午面上且与  $OX$  軸为等距离。設此兩点与位於平面  $M'$  上的

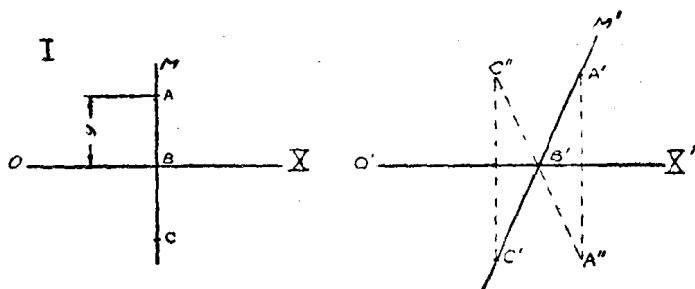


圖 2

$A'$  和  $C'$  共軛。將平面  $M$  繞  $OX$  軸轉過  $180^\circ$ ，这时平面  $M'$  也繞  $O'X'$  軸轉  $180^\circ$ 。 $A$  点和  $C$  点互換了位置，而  $A'$  点和  $C'$  則落到  $A''$  和  $C''$  点上。这样我們要得到  $A$  点与  $A'$  和  $C''$  兩個点共軛，这將是不可能的。

因此平面  $M'$  与軸垂直。

設

$$AB = y.$$

$$A'B' = y'$$

比例

$$\frac{y'}{y} = V \dots\dots\dots (1)$$

叫做綫性放大率。

現在我們來証明在兩垂直於軸的共軛面內綫性放大率

为一常量。由圖 3 (圖上子午面和它的像的跡綫为  $M$  和  $M'$ , 軸的跡点为  $B$  和  $B'$ ) 將平面  $M$  繞  $B$  点轉过一个角度  $\varphi$ ,

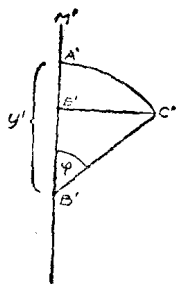
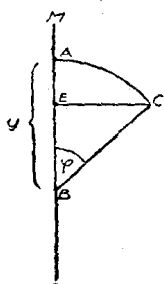


圖 3

这时  $A$  点移到  $C$  的位置。

共軛面  $M'$  轉同一角度。

$A$  点和  $A'$  点原来是共軛的, 那么  $C$  点和  $C'$  点也將仍是共軛。自  $C$  点和  $C'$  点对直綫  $AB$  和  $A'B'$  作垂綫  $CE$  和  $C'E'$ 。

这时得到兩相似直角三角形  $BEC$  和  $B'E'C'$ 。由它們的相似性得出:

$$\frac{B'C'}{BC} = \frac{E'C'}{EC} = \frac{E'B'}{EB} = \frac{A'B'}{AB} = \frac{y'}{y} = V$$

我們取的是任意綫段  $AB$ , 轉过的是任意角度  $\varphi$ , 而得到的是  $V = \text{常量}$ 。

因此, 對於任何的  $\varphi$  角  $V = \text{常量}$ , 这就是所要証明的。

### 3. 焦点, 焦距和主面

我們設在空間 I 內的  $OX$  軸上有一發光点  $A$ , 它的共軛点  $A'$  將位於空間 II 內的  $O'X'$  軸上(圖 4)。

設  $A$  点为同心光束的中心,  $AC$  为該光束的一条光綫。將  $A$  点沿  $OX$  軸向左移动而  $C$  点則保持在原处, 我們看到,  $\angle CAB$  將減小, 而当  $A$  点移至無窮远时, 光綫  $AC$  与  $OX$  軸平行。用  $A_1C$  来表示这条光綫。在这种情

形，如設  $A'$  点移至某一点  $F'$ 。这一点就叫做后焦点。如將  $A'$  点移至無窮远，則  $A$  点移至叫做前焦点的某点  $F$ 。應該記住，前焦点和后焦点彼此並不共軛。

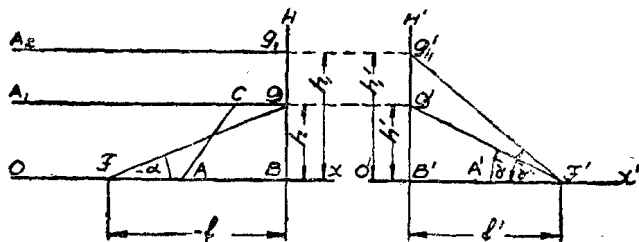


圖 4

$H$ —前主面； $H'$ —后主面； $A'$ —光綫  $A_2$  在前主面上的高度； $h$ —光綫  $A_1$  在前主面上的高度； $-f$ —前焦距； $f'$ —后焦距。

由此得出結論，与系統軸上無窮远点共軛的点叫做焦点。从这个定义得知：所有与光軸平行的光綫，它們的像均通过焦点，就是說焦点的位置与光綫入射的高度無關。設光綫  $F'D'$  与光綫  $A_1C$  共軛。通过此兩光綫的交点  $D'$ ，作平面  $H'$  垂直於  $O'X'$  軸。这时在空間 I 內，它的共軛面  $H$  亦与軸垂直。此平面与光綫  $A_1C$  相交於  $D$  点， $D$  点与  $D'$  点共軛。因为光綫  $A_1C$  与  $OX$  軸平行， $BD = B'D'$ ，因此，

$$V = \frac{B'D'}{BD} = 1 \dots \dots \dots (2)$$

就是說在此兩平面內的綫性放大率等於 1。

垂直於軸綫，而且綫性放大率等於 1 的兩平面  $H$  和  $H'$  叫做主面。

$H$  —— 前主面

$H'$ ——后主面

每一个光学系统有二个焦点：位於空間 I 的前焦点和位於空間 II 的后焦点。主面和軸綫的交点  $B$  和  $B'$  叫做光学系统的主点。

距离  $BF = -f$  叫做前焦距，而距离  $B'F' = f'$  則叫做后焦距。前面我們已經証明，焦点位置与光綫的入射高度  $h$  無关，因此焦距也与光綫的入射高度  $h$  無关。

由圖 4 得知

$$f' = \frac{h'}{\operatorname{tg} \alpha'} = \frac{h_1}{\operatorname{tg} \alpha'_1} = \text{常量} \dots\dots\dots (3)$$

为了簡化起見，以  $\alpha$  代替  $\operatorname{tg} \alpha$ ，則得

$$\alpha' = \frac{h}{f'} \dots\dots\dots (4)$$

#### 4. 符 号 規 則

1) 焦距系由对应的主点計算起，並且以光綫的方向为正向。

2) 光綫与軸綫間的角度，是由軸綫上方进入軸綫下方的光綫所構成的角度为正角。

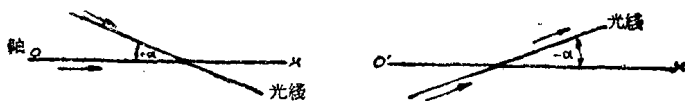


圖 5

- 3) 所有垂直於軸綫的綫段，以在軸的上方的为正。
- 4) 所有与光綫方向重合的綫段为正。
- 5) 光綫的方向規定为自左向右射入。

## 5. 光学系統的綫性放大率公式

### a) 基本光学公式

設  $y$  为空間 I 內的某一物体。要求找出它在空間 II 內的像 (圖 6)。

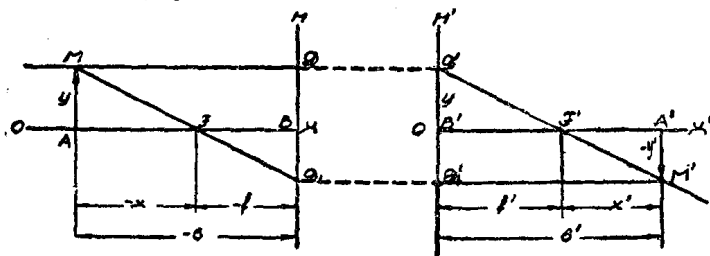


圖 6

$H$ —前主面;  $H'$ —后主面;  $y$ —物;  $-y'$ —物像;

$-x$ —前焦点至物的距离;  $x'$ —后焦点至物像的距离;

$-b$ —前主面至物的距离;  $b'$ —后主面至物像的距离;

$-f$ —前焦距;  $f'$ —后焦距。

我們研究一下通过  $M$  点並与  $OX$  軸平行的光綫  $MD$ 。这条光綫在像空間应 通过后焦点  $F'$ 。这时, 根据以上所述,  $D'$  点与  $D$  点共軛, 而光綫  $D'F'$  与光綫  $MD$  共軛。引另一条經過前焦点的光綫  $MF$ 。这条光綫的像与軸綫平行並与光綫  $D'F'$  相交於  $M'$  点,  $M'$  点將与  $M$  点共軛。

自  $M'$  点作  $O'X'$  軸的垂綫, 就得到与  $A$  点共軛的  $A'$  点。这时綫段  $AM=y$  將与綫段  $A'M'=-y'$  共軛。

現在我們来导演基本光学公式。由相似三角形  $AMF$  和  $FBD_1$  得

$$\frac{BD_1}{AM} = \frac{BF}{FA}$$

$BD_1 = -y'$ , 因为光綫  $M'D_1'$  平行於軸綫,

$AM=y$ ;  $BF=-f$ ;  $FA=-x$ ; 这时上述比例式变为:

$$\frac{y'}{y} = -\frac{f}{x},$$

但是  $\frac{y'}{y} = V(1)$ , 因此:  $V = -\frac{f}{x} \dots \dots \dots (5)$

由相似三角形  $F'B'D'$  和  $F'A'M'$  得

$$\frac{A'M'}{B'D'} = \frac{F'A'}{B'F'}.$$

这里  $A'M'=-y'$ ;  $B'D'=y$ , 因为光线  $MD$  与轴綫平行;  $F'A'=x'$ ;  $B'F'=f'$ , 这时上述比例式变为:  $\frac{y'}{y} = -\frac{x'}{f'}$ , 及因为  $\frac{y'}{y} = V$ , 所以

$$V = -\frac{x'}{f'} \dots \dots \dots (6)$$

比較(5)式和(6)式, 得  $\frac{f}{x} = \frac{x'}{f'}$ , 由此

$$xx' = ff' \dots \dots \dots (7)$$

这就是基本光学公式。

在物理中这个公式可导出另外的形式。

为了得到該种形式的公式, 代入下列符号:

$$b = f + x \quad \text{和} \quad b' = f' + x';$$

$$x = b - f \quad \text{和} \quad x' = b' - f'.$$

將  $x$  及  $x'$  的值代入公式(7), 得

$$(b-f)(b'-f') = ff'$$

$$bb' - fb' - f'b + ff' = ff'.$$

等式兩边各除以  $bb'$  得:

$$\frac{f}{b} + \frac{f'}{b'} = 1 \dots \dots \dots (8)$$

这就是基本公式的另一种形式。由(7)式可导出以后我們需要的輔助公式。

$$x = f \frac{f'}{x'}$$

等式兩边均加以  $f$ , 得

$$x + f = f \left( \frac{f'}{x'} + 1 \right) = \frac{f}{x'} (f' + x'),$$

但是  $x + f = b$

$x' + f' = b'$ , 这时

$b = \frac{f}{x'} b'$ , 由此  $\frac{b'}{b} = \frac{x'}{f}$ , 但  $\frac{x'}{f} = \frac{f'}{x}$ , 因此, 我們得到最后的公式:

$$\frac{b'}{b} = \frac{x'}{f} = \frac{f'}{x} \dots\dots\dots (9)$$

### 6) 計算通过光学系統的光綫的公式

由  $A$  点 (圖 7) 引光綫  $AD$ , 它在空間 II 內应通过  $A'$  点。光綫  $A'D'$  交后主面於  $D'$  点, 但是因为在主面內的光綫性放大率等於 1, 所以

$$h' = h.$$

由圖得,  $-\alpha = -\frac{h}{b}$

$$\left. \begin{array}{l} \text{或} \quad \alpha = \frac{h}{b} \\ \alpha' = \frac{h}{b'} \end{array} \right\} \dots\dots\dots (10)$$

乘(8)式以  $h$  並注意到  $\alpha = \frac{h}{b}$ , 得:



$$\alpha f + \alpha' f' = h.$$

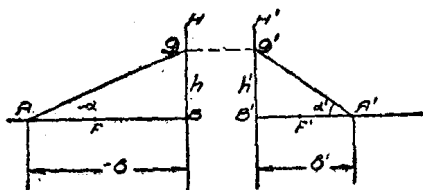


圖 7

由此方程式解  $\alpha'$ ，这时，設  $\varphi = \frac{1}{f'}$ ，

得 
$$\alpha' = -\frac{f}{f'}\alpha + h\varphi \dots\dots\dots(11)$$

数值

$$\varphi = \frac{1}{f'} \dots\dots\dots(12)$$

叫做光学系統的焦度。

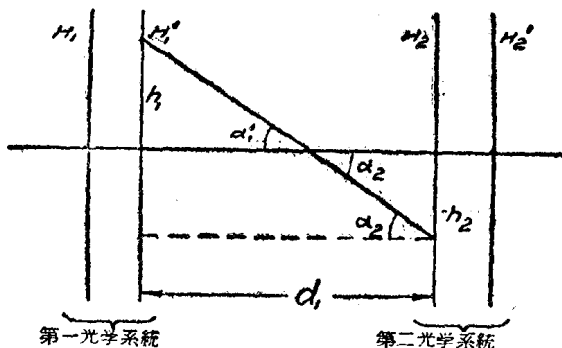


圖 8

- $H_1$ ——第一光学系統的前主面；
- $H_1'$ ——第一光学系統的后主面；
- $H_2$ ——第二光学系統的前主面；
- $H_2'$ ——第二光学系統的后主面；
- $d_1$ ——第一和第二光学系統的前后主面之間的距离。