

光 学 设 计

上 册

陈 晃 明 许 社 全 编

光 学 設 計

(上 册)

陈晃明 許社全 編

北京工业学院

1964.4

前 言

这是一本适用于光学设计与检验专业的过渡教材，共計十二章，分上下两册，其中大部分内容要在课堂上讲授，其余的则留给学生在本课程的课程设计和毕业设计时参考。

在教材中不加推导地引用了几何光学和物理光学的一些需要在光学设计中应用或作进一步讨论的公式。

在编写过程中，馬士修教授对教材中的某些章节作了审訂。

目 录

第一章	光路計算.....	1
§ 1	光路計算的目的和方法.....	1
§ 2	近軸光綫的光路計算.....	3
§ 3	邊緣光綫的光路計算.....	5
§ 4	主光綫的光路計算.....	11
§ 5	子午光綫的光路計算.....	14
§ 6	弧矢光綫的光路計算.....	22
§ 7	子午面內寬光束的光路計算.....	26
§ 8	确定子午截距和焦距的光路計算.....	27
§ 9	确定弧矢截距和焦距的光路計算.....	31
§ 10	空間光綫的光路計算.....	33
§ 11	利用对数表进行光路計算的精度分析.....	40
§ 12	象差的曲綫图.....	41
第二章	单个元件的象差.....	62
§ 1	球差普遍式的推导.....	62
§ 2	单个透鏡的球差.....	66
§ 3	单个透鏡的象散.....	71
§ 4	胶合面的球差和象散.....	76
§ 5	平板玻璃和稜鏡的象差.....	80
§ 6	馬克苏托夫弯月鏡.....	88
第三章	初級象差理論.....	90
§ 1	概述.....	90
§ 2	共軸系統的初級象差普遍式.....	92

§ 3.	軸上物点的初級球差系数.....	1 0 1
§ 4.	共軸系統的初級象差計算.....	1 0 5
§ 5.	共軸系統的初級色差計算.....	1 1 1
§ 6.	以朗格变量表示的初級象差系数.....	1 1 6
§ 7.	初級象差系数計算举例.....	1 2 0
§ 8.	在规格化条件下的初級象差系数.....	1 2 9
§ 9.	光阑位置移动对初級象差的影响.....	1 3 1
§10.	薄透鏡系統的初級象差表达式.....	1 3 7
§11.	函数P 及W 与物平面位置的关系.....	1 4 1
第四章	象差的綜合和平衡.....	1 5 2
§ 1.	定义和符号.....	1 5 2
§ 2.	正向光路象差的綜合和平衡.....	1 5 2
§ 3.	反向光路象差的綜合和平衡.....	1 5 5
§ 4.	象差的綜合和平衡在光学設計中的应用举例.....	1 5 8
第五章	望远系統.....	1 6 2
§ 1.	望远系統的基本类型及其光学特性.....	1 6 2
§ 2.	物鏡和目鏡.....	1 6 4
§ 3.	轉象系統.....	1 6 5
§ 4.	聚光鏡.....	1 6 7
§ 5.	稜鏡及其展开.....	1 6 8
§ 6.	望远系統外形尺寸計算.....	1 7 0
§ 7.	初級象差理論在双胶物鏡設計中的应用.....	1 7 5
§ 8.	双胶物鏡設計表格.....	1 8 4
§ 9.	双胶物鏡設計步驟.....	2 3 4
§10.	双胶物鏡設計举例.....	2 4 0
§11.	双不胶物鏡.....	2 4 7

§12	反射式物鏡.....	251
§13	折反射式物鏡.....	253
§14	凱涅爾目鏡和对称目鏡.....	259

第一章 光路計算

§ 1 光路計算的目的和方法

光路計算的目的為確定光學系統的下列諸量(圖1—1)。

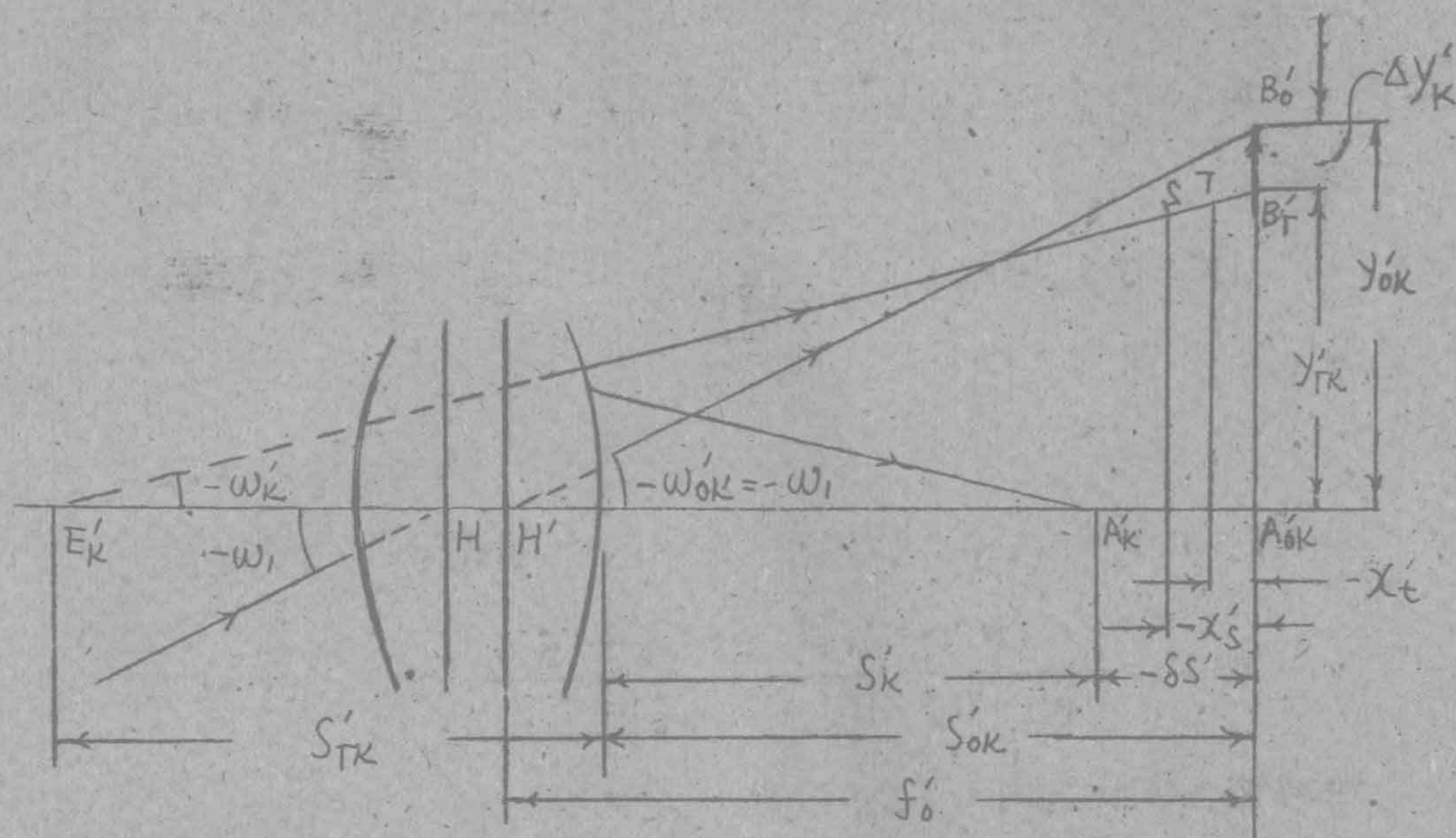


图 1-1

- 1) 焦距 f ，它代表光学系统最重要的光学特性。
- 2) 象的位置和大小：

$s_o k$ ——近軸光綫象点到最后折射面的距离，即所謂的截距，它指出理想象平面的位置；

 S'_k —— 邊緣光綫象点到最后折射面的距离; S'_{rk} ——出射主光綫与光軸的交点到最后折射面的距离;

x''_t —— 子午象点到理想象平面的距离, 即所謂的子午象面弯曲,

 x_g —— 弧矢象点到理想象平面的距离，即所谓的弧矢象面弯曲； y_{ok}^* ——理想象的大小，它等於

$$y_{0k}' = r_0' \operatorname{tg}(-\omega_{0k}') = -r_0' \operatorname{tg}\omega_1 \quad (1-1)$$

y'_{rk} ——主光綫所成的实际象的大小，它等於

$$\begin{aligned} y'_{rk} &= (-S'_{rk} + S'_{ok}) \operatorname{tg}(-\omega'_k) \\ &= (S'_{rk} - S'_{ok}) \operatorname{tg}\omega'_k \end{aligned} \quad (1-2)$$

3) 各种象差:

球差:

$$\delta_s' = S'_k - S'_{ok} \quad (1-3)$$

畸变:

$$\Delta y' = y'_{rk} - y'_{ok} \quad (1-4)$$

象散:

$$X'_t - X'_s \quad (1-5)$$

彗差: 当物体位在有限远时, 表示它的公式为

$$OSC' = \frac{\sin \Omega'_1 \cdot \Omega'_{ok}}{\sin \Omega'_k \cdot \Omega_{01}} \frac{S'_{ok} - S'_{rk}}{S'_k - S'_{rk}} - 1 \quad (1-6)$$

当物位在无限远时, 表示它的公式为

$$OSC' = \frac{h \Omega'_{ok}}{h_0 \sin \Omega'_k} \frac{S'_{ok} - S'_{rk}}{S'_k - S'_{rk}} - 1 \quad (1-7)$$

在光路計算时, 如果使 $h = h_0$, 則上式还可化簡

$$OSC' = \frac{\Omega'_{ok}}{\sin \Omega'_k} \frac{S'_{ok} - S'_{rk}}{S'_k - S'_{rk}} - 1 \quad (1-8)$$

縱向色差:

$$\delta_{s' F-c} = (S'_k)_F - (S'_k)_c \quad (1-9)$$

橫向色差:

$$\delta_{y' F-c} = (y'_{rk})_F - (y'_{rk})_c \quad (1-10)$$

除了确定上述象差以外, 通过寬光束光綫和空間光綫的光路計算, 还可确定它們的象差。

光路計算的方法, 在光学設計發展的几百年的期間內, 都是在几

何光学“发光点”和“光线”的假设的前提下，根据几何光学的基本定律借助对数表对每一个折射面连续进行的。这种方法完全依靠手工作业来完成。最近十几年来，出现了一种新的革新方法，就是电子计算机在光路计算中的应用。利用电子计算机计算一个折射面的时间只需要几秒钟。一台电子计算机可以代替一百个人的工作。除了提高计算速度以外，应用电子计算机的最大优点是在不需要验算的条件下能保证7—8位的精度。

目前我国已能自己生产各种类型的电子计算机。在本章中推导出来了适用于电子计算机计算的空間光线的光路计算公式。

§2 近轴光线的光路计算

通过近轴光线的光路计算可以找到 S'_{0k} 、 f'_0 和 U'_{0k} 的值。现在来推导计算公式(图1—2)。

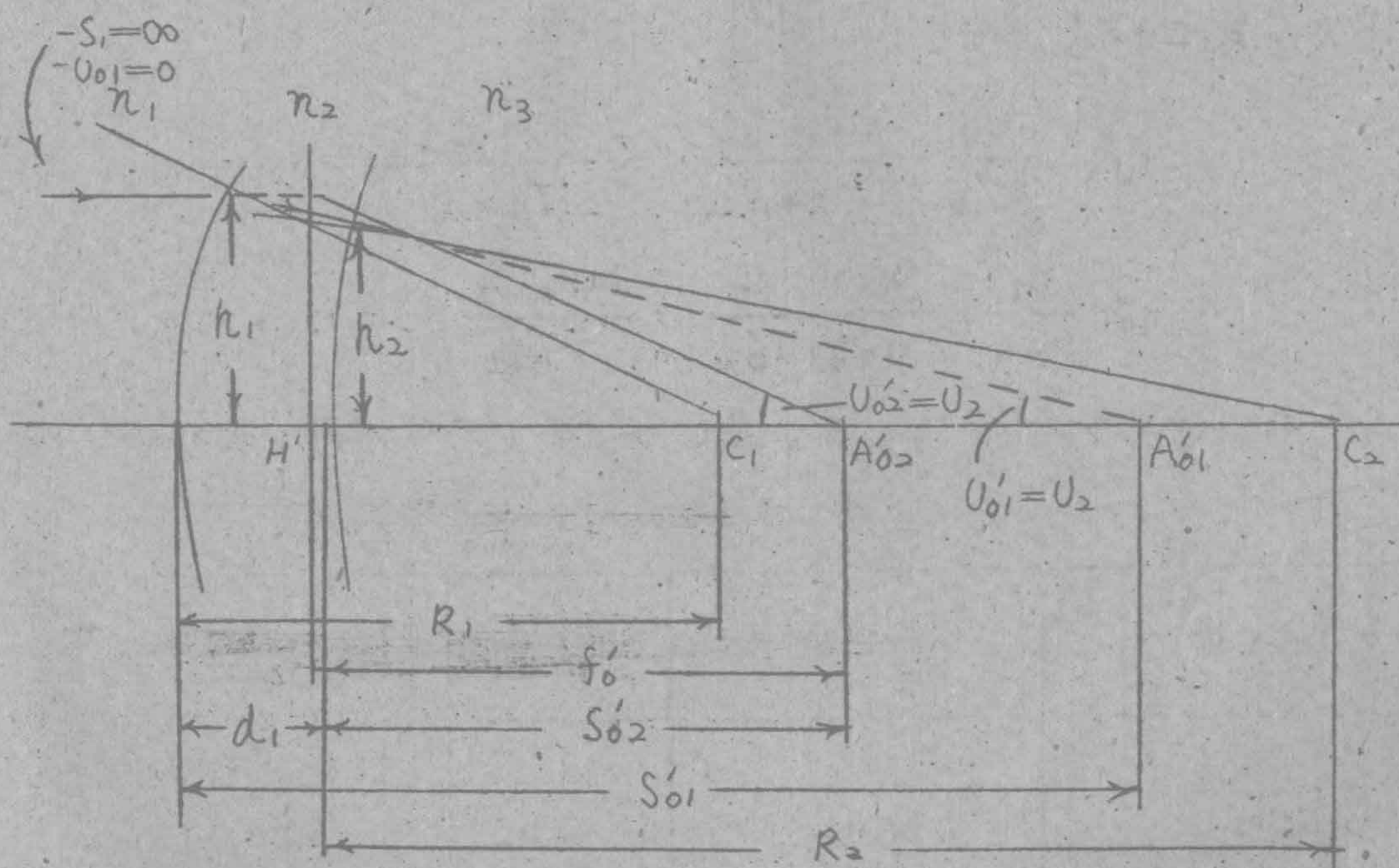


图1—2

根据近轴光线的基本公式，可以找到

$$n_2 U_2 - n_1 U_1 = \frac{n_2 - n_1}{R} h_1 \quad (1-11)$$

另有

$$h_2 = h_1 - U_2 d_1 \quad (1-12)$$

如果令

$$\gamma_1 = n_1 U_1, \gamma_2 = n_2 U_2;$$

$$N_1 = \frac{n_2 - n_1}{R_1} h_1, M_1 = U_2 d_1$$

則有

$$\gamma_2 = \gamma_1 + N_1 \quad (1-13)$$

$$h_2 = h_1 - M_1 \quad (1-14)$$

如果光学系統的第 k 个折射面的 U'_{ok} 計算出来了，就可以按照以下关系式計算 S'_{ok} 和 f'_o

$$S'_{ok} = \frac{h_k}{U'_{ok}} = \frac{h_k n_{k+1}}{n_{k+1} U'_{ok}} = \frac{h_k n_{k+1}}{\gamma_{k+1}} \quad (1-15)$$

$$f'_o = \frac{h_1}{U'_{ok}} = \frac{h_1 n_{k+1}}{n_{k+1} U'_{ok}} = \frac{h_1 n_{k+1}}{\gamma_{k+1}} \quad (1-16)$$

利用对数表計算(1-11)至(1-16)的表格列在表1—1中。

表1—1

第1面	第2面	第 k 面	总 結
Lgh_1	Lgh_2	Lgh_k	Lgh_k
$Lg(n_2 - n_1)$	$Lg(n_3 - n_2)$		Lgn_{k+1}
$CoLgR_1$	$CoLgR_2$		$CoLg\gamma_{k+1}$

續上表

第 1 面	第 2 面	第 k 面	总 计
LgN_1	LgN_2		$LgS_0'k$ $S_0'k$
N_1 $+ \gamma_1$	N_2 γ_2		
γ_2	γ_3		Lgh_1 Lgn_{k+1} $Co Lg \gamma_{k+1}$
$Lg \gamma_2$	$Lg \gamma_3$		Lgf_0' f_0'
$Co Lgn_2$ Lgd_1	$Co Lgn_2$ Lgd_2		
LgM_1	LgM_2		$Lg \gamma_k$ $Co Lgn_k$
h $-M_1$	h_2 $-M_2$		$U_0'k$ U_0k
h_2	h_3		

§ 3 边缘光线的光路计算

边缘光线的光路计算目的是为了找到 S_k' 和 U_k' ，以便确定球差。

计算公式可以按照图 1—2 列出。

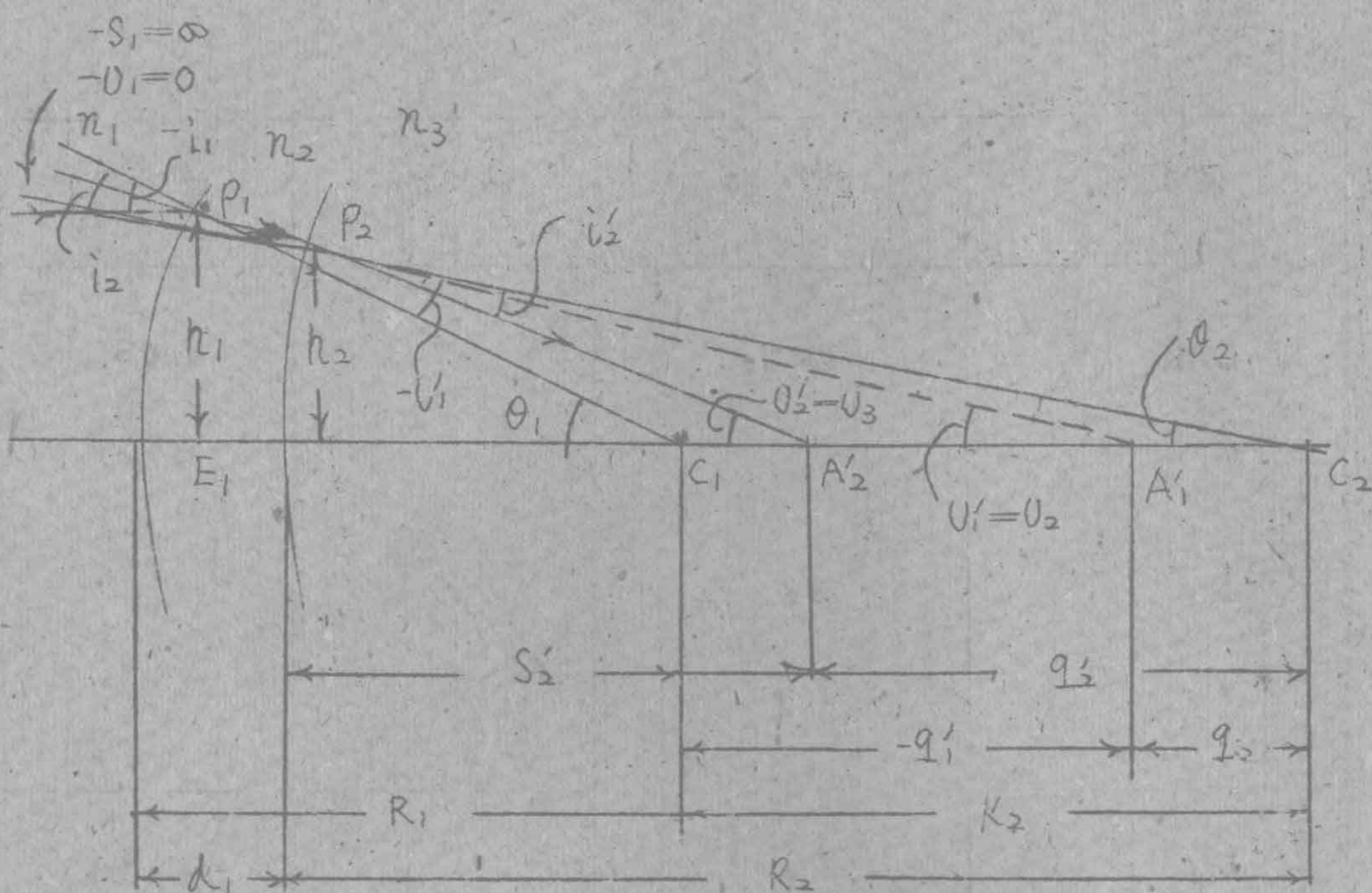


图 1-2

从 $\triangle P_1 C_1 E_1$ 得到

$$\sin \theta_1 = \frac{h_1}{R_1}$$

因为

$$\theta_1 = -i_1$$

所以

$$\sin i_1 = \frac{-h_1}{R_1} \quad (1-17)$$

根据折射定律

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2 \quad (1-18)$$

从 $\triangle P_1 A_1 C_1$ 得到

$$q_1' = \frac{\sin i_1 R_1}{\sin \theta_2} \quad (1-19)$$

另有

$$O_2 = -i_1 + i_1' + O_1 \quad (1-20)$$

$$K_2 = d_1 + R_2 - R_1 \quad (1-21)$$

$$q_2 = K_2 + q_1' \quad (1-22)$$

从 $\triangle P_2 C_2 A_1'$ 得到

$$\sin i_2 = \frac{q_2 \sin O_2}{R_2} \quad (1-23)$$

根据折射定律

$$n_2 \sin i_2 = n_3 \sin i_2' \quad (1-24)$$

从 $\triangle P_2 C_2 A_2'$ 得到

$$q_2' = \frac{\sin i_2 R_2}{\sin O_3} \quad (1-25)$$

从图中还可以得到

$$O_3 = -i_2 + i_2' + O_2 \quad (1-26)$$

$$S_2' = R_2 - q_2' \quad (1-27)$$

如果光学系统具有 K 个折射面，类似地可以写出

$$S_k' = R_k - q_k' \quad (1-28)$$

利用对数表计算 (1-17) 至 (1-28) 的表格列在表 1-2 中。

如果在光学系统中遇到平面折射的情形，例如假定图 1-2 中的第 2 面为平面，由于 R_2' 和 q_2' 都变为无限大，(1-27) 中的 S_2' 变为不定。为了找到 S_2' ，可以把坐标原点由球心移至平面与光轴的交点。图 1-3 所示的为第 1 面为平面的情形。

从图中得到

$$K_1 = d_1 - R_{1-1} \quad (1-29)$$

$$q_1 = K_1 + q_{1-1} \quad (1-30)$$

根据折射定律

$$n_1 \sin i_1 = n_{1+1} \sin i_1'$$

因为

$$i_i = 0_i; \quad i_i' = 0_{i+1}$$

表1—2

第1面	第2面	第k面	总 结
	K_2 q_1'	$\bar{z}_k$	R_k $-q_k'$
	q_2 $Lg q_2$		S_k' $-S_{0k}'$
$Lg(-h_1)$ $CoLgR_1$	$LgsinU_2$ $CoLgR_2$		$\delta S'$
$Lgsini_1$ $Lg \frac{n_1}{n_2}$	$Lgsini_2$ $Lg \frac{n_2}{n_3}$		
$Lgsini_1'$ LgR_1 $CoLgsinU_2$	$Lgsini_2'$ LgR_2 $CoLgsinU_3$		
Lgq_1' $-i_1$ i_1'	Lgq_2' $-i_2$ i_2'		
$i_1' - i_1$ U_1	$i_2' - i_2$ U_2		
U_2	U_3	U_{k+1}	U_k'
$K_2 = d_1 + R_2 - R_1$	$K_3 = d_2 + R_3 - R_2$		

所以

$$n_i \sin \theta_i = n_{i+1} \sin \theta_{i+1} \quad (1-31)$$

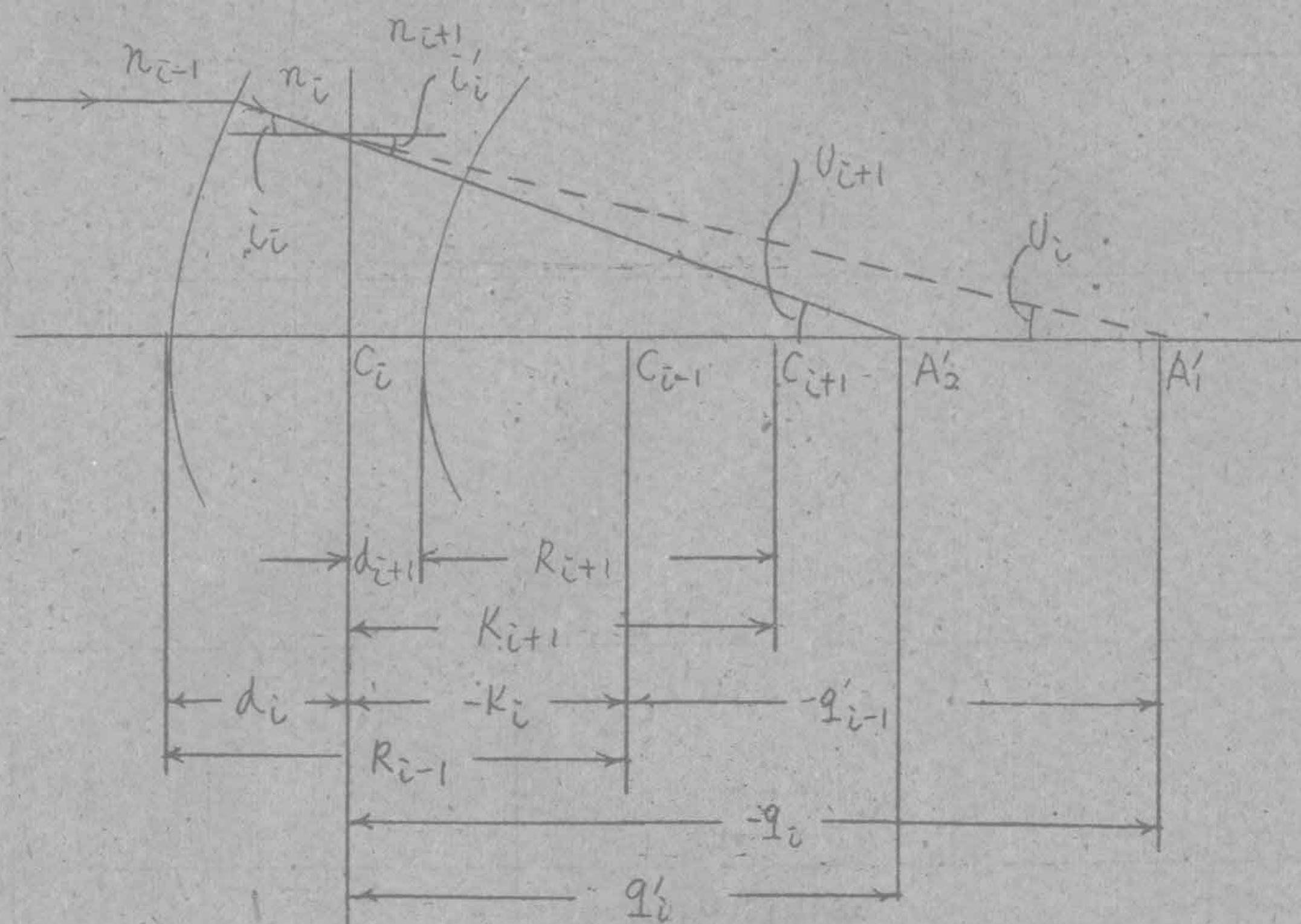


图1-3

从图中还可以得到

$$q'_i = \frac{q_i \tan \theta_i}{\tan \theta_{i+1}} \quad (1-32)$$

$$K_{i+1} = d_{i+1} + R_{i+1} \quad (1-33)$$

利用对数表计算(1-29)至(1-33)的表格列在表1-3中。

表 1-3

第 $i-1$ 面	第 i 面 (平面)	第 $i+1$ 面	
	K_i	K_{i+1}	
	q_{i-1}		
	q_i		
	$Lg \sin U_i$ $Lg \frac{n_i}{n_{i+1}}$		
	$Lg \sin U_{i+1}$		
	$Lg q_i$ $Lg \operatorname{tg} U_i$ $\operatorname{co} Lg \operatorname{tg} U_{i+1}$		
	$Lg q_i'$		
U_i	U_{i+1}		
$K_i = d_i - R_i$	$K_{i+1} = d_{i+1} + R_{i+1}$		

§ 4 主光线的光路计算

计算了主光线的光路, 就可以确定 S'_{FK} 和 Y'_{FK} 。光路图如图 1—4 所示。

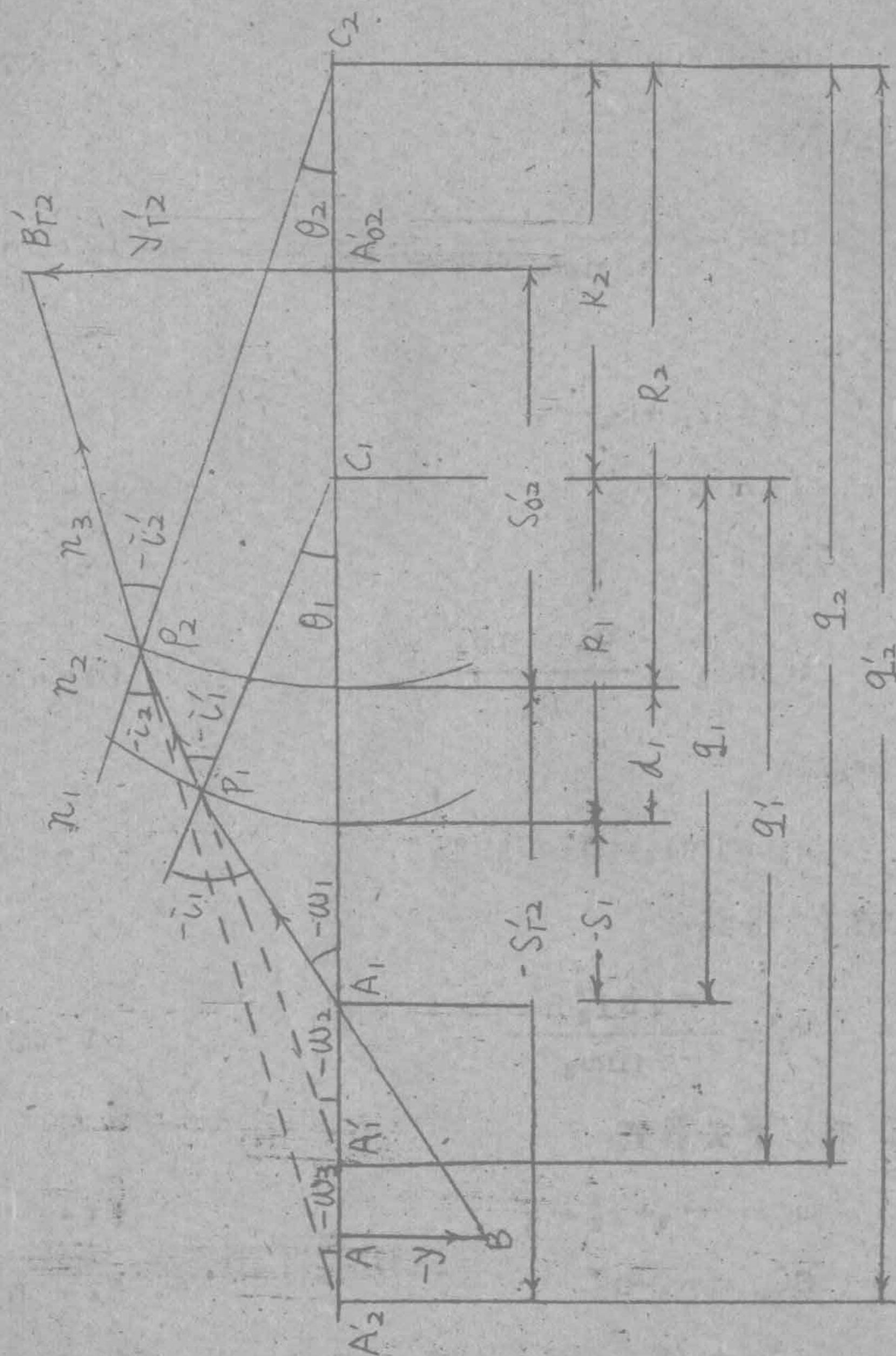


图 1—4

从图中显然有

$$q_1 = R_1 - S_1 \quad (1-34)$$

从 $\triangle P_1 C_1 A_1$ 得到

$$\sin i_1 = \frac{q_1 \sin \omega_1}{R_1} \quad (1-35)$$