

光学设计导论

林友苞 編 著



國防工業出版社

光 学 設 計 導 論

林 友 苞 編 著



國防工業出版社

1960

內 容 簡 介

本書介紹光學設計的一般方法，並闡明其所依據的理論。本書主要內容綜合了 Conrady 的 “Applied optics and optical design” 和 Слюсарев “Методы расчета оптических систем” 等書的設計方法，並加以系統化。本書的編寫方法是便於讀者在最短時間內獲得廣泛的知識。書中的條理簡明，適合初學的人作為基礎理論課本。

全書共分十一章，自三角追迹以迄理論分析逐步討論像差產生的原因及其解決方法，並以例題說明具體步驟。

國防工業出版社 出版

北京市書刊出版業營業許可証出字第 074 号
機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

*

787×1092 $\frac{1}{25}$ 印張 13 $\frac{11}{25}$ 266 千字

1960年2月第一版

1960年2月第一次印刷

印數：0,001—3,250 冊 定價：(11) 2.25 元

NO. 3024

目 录

序.....	5
第一章 基本公式及光路的追迹.....	9
1-1 几何光学的基本定理.....	9
1-2 折射定律.....	10
1-3 三角法追迹.....	12
1-4 符号的规定.....	14
1-5 傍轴光线的计算.....	15
1-6 校验公式.....	16
1-7 基本公式的特别情形.....	18
1-8 实际演算.....	20
(a)第一折射面的计算 (21) —— (b)透镜的厚度 (23) —— (c)第二折 射面的计算 (25)	
1-9 利用计算机的三角追迹公式.....	28
第二章 轴上物点的第一种像差——球差.....	30
2-1 物点和像点.....	30
2-2 像差的种类.....	31
2-3 球差.....	32
2-4 没有球差的球形折射面.....	36
2-5 傍轴范围内的球差公式.....	38
2-6 球差与光轴的对称性.....	41
2-7 基本球差和环带球差.....	42
2-8 球差的图示法.....	44
2-9 最小散射圆.....	45
2-10 薄透镜的傍轴公式.....	49
第三章 轴上物点的第二种像差——轴向色差.....	52
3-1 色散.....	52
3-2 光学玻璃.....	53
3-3 薄透镜的轴向色差.....	56

3-1 两片胶合消色透镜	58
3-5 消色条件的选择	62
3-6 次级光谱	63
3-7 三片消色薄透镜组	66
3-8 消色差曲线	70
3-9 色球差	71
3-10 消色差的三角计算	72
第四章 理想光具组	77
4-1 理想像点的坐标	77
4-2 具有对称轴的光具组	78
4-3 共轭关系的图示法	82
4-4 角度放大率和节点	84
4-5 角放大率、轴向放大率和线放大率的关系	86
4-6 理想光具组的实现条件	88
4-7 拉格朗日 (Lagrange) 不变量和阿贝 (Abbe) 不变量	90
4-8 理想光具组的焦距和两域内折射率的关系	92
4-9 光学仪器的分类	93
4-10 光具组诸常数的计算	95
4-11 同心光具组的合并	97
4-12 望远镜光具组	101
4-13 单一折射面的主点、焦点和焦距	102
4-14 透镜的主点、焦点和焦距	103
第五章 实际光具组的造像和它的误差	109
5-1 理想光具组 and 实际光具组	109
5-2 光程和光程的极限定理	109
5-3 阿贝正弦定理	112
5-4 齐明造像的一些性质	115
5-5 入射光瞳和出射光瞳	117
5-6 视场	119
5-7 物域和像域共轭光线的确定	121
5-8 斜侧光线的像差	122
5-9 子午光束和径向光束	125
5-10 球差	125

5-11 慧形像差	128
5-12 場曲和像散	131
5-13 畸變	135
5-14 像差的一般討論	137
第六章 像差系数的計算	139
6-1 輔助光綫	139
6-2 像差函数的基本公式	141
6-3 以角度作为参数的像差公式	143
6-4 不同計算条件的像差公式	147
6-5 兰格像差系数	152
6-6 軸向色差	153
6-7 橫向色差	156
6-8 像差系数的計算	162
第七章 透鏡組的像差和設計	167
7-1 薄透鏡組的像差公式	167
7-2 透鏡組的基本参数	171
7-3 簡單薄透鏡的基本参数	178
7-4 两片胶合薄透鏡組的基本参数	181
7-5 两片胶合透鏡的 P_{min}^* 和 Q_0 的应用数表	186
7-6 三片胶合透鏡的基本参数	219
7-7 光具組的分析設計	229
7-8 消除場曲和像散的条件	231
7-9 解方程式求透鏡組的第一次近似内部結構	234
7-10 无限薄透鏡組到有限厚度透鏡組的变换	236
第八章 軸外物点的三角追迹	241
8-1 三角追迹的概念	241
8-2 子午光束的三角追迹	241
8-3 基元光束像散的計算	246
8-4 一般斜側光綫的三角追迹公式	251
8-5 斜側光綫三角追迹的起始和結束	255
8-6 三角計算的結果和在光学設計上的意义	259
8-7 子午光束的圖示法	261

第九章 光波的概念以及它在光学設計上的应用	263
9-1 概論	263
9-2 雅理环斑	263
9-3 分析能力	265
9-4 瑞利極限	267
9-5 光程差的一般表达式	268
9-6 光程差的三角計算	270
9-7 光程差和三角追迹的关系	273
9-8 像点位置的移动对于光程差的影响	275
9-9 基本球差的光学公差	276
9-10 环带球差的光学公差	279
9-11 高級球差和光程差的关系	281
9-12 焦点深度	283
9-13 波动理論对于色差的改正	285
第十章 反射棱鏡及平行光板	289
10-1 平面反射鏡	289
10-2 两只平面反射鏡的連續反射	291
10-3 完全內反射	292
10-4 直角棱鏡的第一种反射	293
10-5 直角棱鏡的第二种反射	296
10-6 五角棱鏡	297
10-7 屋脊棱鏡	298
10-8 平行光板的折射	299
10-9 平行光板的像散	301
第十一章 光学設計的一般方法	305
11-1 設計前的一些考慮	305
11-2 正弦定則在光学設計上的应用	306
11-3 消色差望远鏡物鏡的設計	309
(a) 分析法 (310) (b) 三角追迹設計 (312) (c) 球差曲綫的描繪 (316) (d) 斜側光綫的計算 (318)	
11-4 显微鏡物鏡头的設計	320
(a) 一般性質 (320) (b) 后組透鏡的計算 (323) (c) 前組透鏡的計算 (325) (d) 平衡原理和設計的修正 (327)	
11-5 照相物鏡的設計	329

光 学 設 計 導 論

林 友 苞 編 著



國防工業出版社

1960

內 容 簡 介

本書介紹光學設計的一般方法，並闡明其所依據的理論。本書主要內容綜合了 Conrady 的 “Applied optics and optical design” 和 Слюсарев “Методы расчета оптических систем” 等書的設計方法，並加以系統化。本書的編寫方法是便於讀者在最短時間內獲得廣泛的知識。書中的條理簡明，適合初學的人作為基礎理論課本。

全書共分十一章，自三角追迹以迄理論分析逐步討論像差產生的原因及其解決方法，並以例題說明具體步驟。

國防工業出版社出版

北京市書刊出版業營業許可証出字第 074 号
機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

*

787×1092 $\frac{1}{25}$ 印張 13 $\frac{11}{25}$ 266 千字

1960年2月第一版

1960年2月第一次印刷

印數：0,001—3,250 冊 定價：(11) 2.25 元

NO. 3024

序

开始写这一本书已是两年多前的事了，当时因为帮助一些同志们学习，即将过去彙集起来的资料加以整理，按照自己的意思进行编写。这样做我觉得有两种好处：首先是可以有重点地阐明一些基本理论，缩短了同志们学习的时间；其次是把不同的方法组成统一的体系，使大家能够阅读多方面的资料。同时我觉得处理光学设计的问题应该考虑到实际可行的方法，只要弄明白基本概念之后就可掌握计算，自己去累积经验，去发现每一设计的具体问题，不要过份地把它看成是繁重而不易着手的工作。

本书所用的代表符号，和有些书上习惯使用者不同。有关光路的三角追迹，基本上采用 Conrady 的计算方法，但代表符号则有所不同，例如 L 和 l 并不作为轴上的截距，却是代表物体的高度，其他如符号 C 也不是表面的曲率。这是为了统一全书符号的缘故。关于这一点请仔细比较，避免混淆。

在讨论问题时，读者如觉得有必要进一步了解，可参阅下列主要书籍：

1. Conrady: Applied optics and optical design.
2. Слюсарев:
 - (a) Методы расчета оптических систем.
 - (b) Геометрическая оптика.
3. Martin: Technical optics.
4. Тудоровский: Теория оптических приборов.

林友苞

1959年4月北京

目 录

序.....	5
第一章 基本公式及光路的追迹.....	9
1-1 几何光学的基本定理.....	9
1-2 折射定律.....	10
1-3 三角法追迹.....	12
1-4 符号的规定.....	14
1-5 傍轴光线的计算.....	15
1-6 校验公式.....	16
1-7 基本公式的特别情形.....	18
1-8 实际演算.....	20
(a)第一折射面的计算 (21) —— (b)透镜的厚度 (23) —— (c)第二折 射面的计算 (25)	
1-9 利用计算机的三角追迹公式.....	28
第二章 轴上物点的第一种像差——球差.....	30
2-1 物点和像点.....	30
2-2 像差的种类.....	31
2-3 球差.....	32
2-4 没有球差的球形折射面.....	36
2-5 傍轴范围内的球差公式.....	38
2-6 球差与光轴的对称性.....	41
2-7 基本球差和环带球差.....	42
2-8 球差的图示法.....	44
2-9 最小散射圆.....	45
2-10 薄透镜的傍轴公式.....	49
第三章 轴上物点的第二种像差——轴向色差.....	52
3-1 色散.....	52
3-2 光学玻璃.....	53
3-3 薄透镜的轴向色差.....	56

3-1 两片胶合消色透镜	58
3-5 消色条件的选择	62
3-6 次级光谱	63
3-7 三片消色薄透镜组	66
3-8 消色差曲线	70
3-9 色球差	71
3-10 消色差的三角计算	72
第四章 理想光具组	77
4-1 理想像点的坐标	77
4-2 具有对称轴的光具组	78
4-3 共轭关系的图示法	82
4-4 角度放大率和节点	84
4-5 角放大率、轴向放大率和线放大率的关系	86
4-6 理想光具组的实现条件	88
4-7 拉格朗日 (Lagrange) 不变量和阿贝 (Abbe) 不变量	90
4-8 理想光具组的焦距和两域内折射率的关系	92
4-9 光学仪器的分类	93
4-10 光具组诸常数的计算	95
4-11 同心光具组的合并	97
4-12 望远镜光具组	101
4-13 单一折射面的主点、焦点和焦距	102
4-14 透镜的主点、焦点和焦距	103
第五章 实际光具组的造像和它的误差	109
5-1 理想光具组 and 实际光具组	109
5-2 光程和光程的极限定理	109
5-3 阿贝正弦定理	112
5-4 齐明造像的一些性质	115
5-5 入射光瞳和出射光瞳	117
5-6 视场	119
5-7 物域和像域共轭光线的确定	121
5-8 斜侧光线的像差	122
5-9 子午光束和径向光束	125
5-10 球差	125

5-11 慧形像差	128
5-12 場曲和像散	131
5-13 畸變	135
5-14 像差的一般討論	137
第六章 像差系数的計算	139
6-1 輔助光綫	139
6-2 像差函数的基本公式	141
6-3 以角度作为参数的像差公式	143
6-4 不同計算条件的像差公式	147
6-5 兰格像差系数	152
6-6 軸向色差	153
6-7 橫向色差	156
6-8 像差系数的計算	162
第七章 透鏡組的像差和設計	167
7-1 薄透鏡組的像差公式	167
7-2 透鏡組的基本参数	171
7-3 簡單薄透鏡的基本参数	178
7-4 两片胶合薄透鏡組的基本参数	181
7-5 两片胶合透鏡的 P_{min}^* 和 Q_0 的应用数表	186
7-6 三片胶合透鏡的基本参数	219
7-7 光具組的分析設計	229
7-8 消除場曲和像散的条件	231
7-9 解方程式求透鏡組的第一次近似内部結構	234
7-10 无限薄透鏡組到有限厚度透鏡組的变换	236
第八章 軸外物点的三角追迹	241
8-1 三角追迹的概念	241
8-2 子午光束的三角追迹	241
8-3 基元光束像散的計算	246
8-4 一般斜側光綫的三角追迹公式	251
8-5 斜側光綫三角追迹的起始和結束	255
8-6 三角計算的結果和在光学設計上的意义	259
8-7 子午光束的圖示法	261

第九章 光波的概念以及它在光学設計上的应用	263
9-1 概論	263
9-2 雅理环斑	263
9-3 分析能力	265
9-4 瑞利極限	267
9-5 光程差的一般表达式	268
9-6 光程差的三角計算	270
9-7 光程差和三角追迹的关系	273
9-8 像点位置的移动对于光程差的影响	275
9-9 基本球差的光学公差	276
9-10 环带球差的光学公差	279
9-11 高級球差和光程差的关系	281
9-12 焦点深度	283
9-13 波动理論对于色差的改正	285
第十章 反射棱鏡及平行光板	289
10-1 平面反射鏡	289
10-2 两只平面反射鏡的連續反射	291
10-3 完全內反射	292
10-4 直角棱鏡的第一种反射	293
10-5 直角棱鏡的第二种反射	296
10-6 五角棱鏡	297
10-7 屋脊棱鏡	298
10-8 平行光板的折射	299
10-9 平行光板的像散	301
第十一章 光学設計的一般方法	305
11-1 設計前的一些考慮	305
11-2 正弦定則在光学設計上的应用	306
11-3 消色差望远鏡物鏡的設計	309
(a) 分析法 (310) (b) 三角追迹設計 (312) (c) 球差曲綫的描繪 (316) (d) 斜側光綫的計算 (318)	
11-4 显微鏡物鏡头的設計	320
(a) 一般性質 (320) (b) 后組透鏡的計算 (323) (c) 前組透鏡的計算 (325) (d) 平衡原理和設計的修正 (327)	
11-5 照相物鏡的設計	329

第一章 基本公式及光路的追迹

1-1 几何光学的基本定理

光学是一门范围广泛内容丰富的科学。人类对于光的现象很早就有了认识，起初想解释光和视觉的关系，由此逐渐讨论到本质的问题，现在却必须把光的现象和物质的结构同时加以研究了。

在应用光学的范围内，我们还是把光作为一种波动，它是具有波动的一切特性的，比如波长、频率，以及传播速度等。但在今后的讨论中，我们也常用“光线”这两个字，它是一个几何概念，只是指出光波向空间传播的方向而已。一点光源的扰动向四周的任何方向传播出去，也就等于向四周发射出无限条光线（图1-1）。我们认为光的作用是随着光线而进行的，从这样的观点看

来，虽然实际上我们不可能在空间区分出一条光线来，但“光线”一词是具有实际意义的。

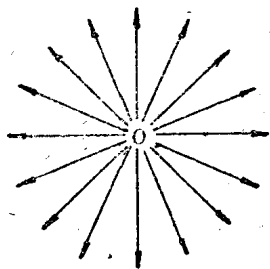


圖 1-1

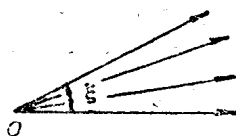


圖 1-2

一些“光线”的集合即称为光束，例如从点光源 O 射出且限于角度 ϵ 内的光线构成了锥形光束（图1-2）。如果光源在无穷远，或者利用其他方法使光线彼此平行，那么，这些光线就构成了平行光束。

关于光线的几个基本性质，亦即几何光学的基本定理，可以

叙述如下:

(1) 光线是各自独立的, 彼此并没有什么相互作用, 譬如斥拒或吸引等;

(2) 在各向同性的介质里头, 光依直线传播, 所以光线是一条直线;

(3) 当光线从一种介质射入另一种介质时, 有一部分光线即按折射定律改变方向进入第二介质;

(4) 在不同介质的界面上, 一部分光线依照反射定律返回第一介质内。

1-2 折射定律

有关本书今后的讨论, 折射定律是最为重要的, 它包含着两部分的内容:

(1) 入射光线, 折射光线以及法线均在一个平面内;

(2) 入射角 I 与折射角 I' 在数量上的关系为:

$$N \sin I = N' \sin I', \quad (1-1)$$

N 和 N' 是介质的折射率, 光线如系表面反射, 可令 $N' = -N$, 由此得出 $I' = -I$ 的关系, 此时 I' 称为反射角。上式把折射定律写成三角函数, 大家都很熟悉, 无须再加解说, 不过在这里尚应指出, 当讨论到光线折射或反射的具体问题时, 第一部分的内容不应忽略, 否则不能确定光线在空间进行的方向。

折射定律除了三角函数的式子之外, 还可写成代数的与矢量的式子:

设 AB 系隔离着两种介质的折射面 (图1-3), 一般当作中心在 C 的球面, CP 就是半径 r , LP 是入射光线, PR 是折射光线, 从 C 点作入射光线的垂直线 $CQ = M$ 并作折射光线的垂直线 $CR' = M'$, 从图中我们看到:

$$r \sin I = M;$$

$$r \sin I' = M',$$

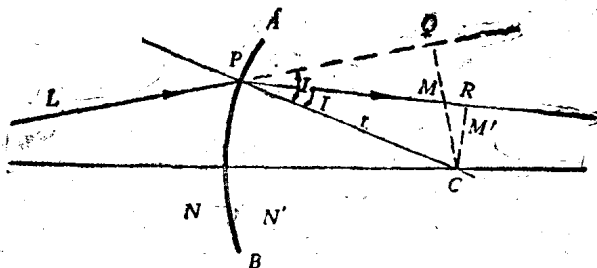


圖 1-3

故
或

$$\frac{M}{M'} = \frac{\sin I}{\sin I'} = \frac{N'}{N}$$

$$M \cdot N = M' \cdot N'.$$

(1-2)

上式表出折射定律第二部分的数量关系，它只是一个代数式子，并不包含三角函数了。

此外，若欲以矢量表达折射定律，可設光綫在M点入射（圖1-4）。OP为法綫

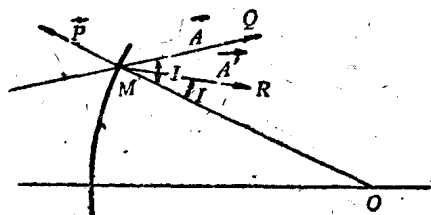


圖 1-4

MQ和MR表示入射光綫和折射光綫，在这些綫段上各取單位矢量 $\vec{P}$ 、 $\vec{A}$ 和 $\vec{A}'$ ，按矢量的矢性积：

$$\vec{P} \times \vec{A} = \sin \angle PMQ = \sin(180^\circ - I) = \sin I;$$

$$\vec{P} \times \vec{A}' = \sin \angle PMR = \sin(180^\circ - I') = \sin I'.$$

再从折射定律：

$$N(\vec{P} \times \vec{A}) = N'(\vec{P} \times \vec{A}'). \quad (1-3)$$

采用这个式子，我們也可以定出折射光綫 $\vec{A}'$ 在空間的方向。

表达折射定律的三种式子中，为了实际計算的方便，一般仍着重三角函数的式子。借三角法的运算来确定光綫在不同介質中进行的途徑，我們称为三角追迹。