

光学设计理论基础

王之江

科学出版社

光学设计理论基础

王之江

科学出版社



內 容 簡 介

本书总结了我国光学设计在成象质量评价、象差理论、设计方法等方面的成就。全书共分十二章：第一、二章对球面系统光路计算和理想光学系统作了仔细分析；第三、四、五章讨论了各种象差的准确理论；第六至十章介绍了象差理论及其运用的方法；第十一章对光学系统质量评价的各种方法作了详细讨论并列出了结果；第十二章的内容可看作是广义的光学设计，介绍了光学整体设计问题。

本书可供光学设计工作者、光学科研人员和高等院校光学专业的师生阅读参考。

光 学 设 计 理 论 基 础

王之江 著

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街117号

北京市书刊出版业营业许可证出字第061号

商务印书馆上海印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1965年10月第一版

开本：787×1092 1/16

1965年10月第一次印刷

印张：25 2/3

精装：0001—1,900

插页：3

平装：0001—2,000

字数：504,000

统一书号：15081·195

本社书号：3249·15-4

定价：[科六] 精装本 3.90 元
平装本 3.20 元

序 言

本书目的是总结和介绍我们对光学设计工作理论方面的观点和成果。

光学设计工作在光学工业中起着很重要的作用。在解放之前我国光学界的前辈已在这方面进行了工作并留下了一些成果。但由于当时社会条件的限制，光学工业根本不可能有发展的前途，光学设计工作当然也不可能得到发展。全国解放后，1952年中国科学院建立了仪器馆，即现在的光学精密机械研究所的前身。建所之初就在王大珩先生领导下成立了光学设计工作部门，并在他的指导下开始了这方面的工作。

随着国家光学事业的发展，在完成大量设计工作以及参考国外的理论和经验的基础上，我们的设计理论和方法逐渐形成了自己的系统。从我们所内的工作经验来看，它是比较准确而且方便合用的。本书的目的在于系统地介绍光学设计理论部分，具体设计方法将另写专书来论述。

本书中象差理论部分的基础是作者在1956年写的专著“光学设计方法和高级象差分析”(未发表)以及1958年的“光学设计训练班讲义”和其他一些报告。由于它们都是在仓促中写成的，同时因为缺少全局的考虑，所以显得零乱而难懂。本书不单希望将它们加以系统化，使之易于理解和使用；而且希望使理论本身得以完整化，以期作为光学设计的原则考虑和具体方法提供方向和途径。本书的绝大部分结果都已为实际设计计算工作所肯定，也有部分新结果尚待实践校验从而使之达到较完善的地步。书中有很大一部分是尚未发表过的工作成果。由于上述这些原因，我们在此希望得到读者广泛的批评与指正。

本书的主要篇幅是关于象差理论方面的问题。我们首先导出了各种象差的单个准确表示式，其次导出它们之间的一般相互关系，然后是象差理论的一些特殊问题。大体上由第一章到第十章的内容属于这一范围。

第十一、十二章的内容在一般的光学设计和应用光学著作中很少涉及，考虑到它们的重要意义，书中作了较详细的讨论。第十一章中包括了近十年来尤其是1955—1958年期间发展起来并趋于成熟的光学传递函数方法。作者分析了一些已有的质量评价方法间的联系，并提出用低对比分辨能力作为标准，以解决大象差系统的象差公

差問題。质量评价的标准决定了具体設計的目的性,显然对設計工作是极端重要的。

第十二章可看作是广义的光学設計。光学整体設計这个部門看来尚未被光学工作者从感性認識概括成理性認識。但是,不从光学仪器的整体使用要求出发,会失去各个局部的发展目的和方向,光学設計是其局部之一。光学仪器各部分的联系物,在理論上是光学信息的傳遞問題,它是光学信息論討論的对象,而光学信息論則属于信息論的一个分支。信息論的主体是統計理論,它本身成一完整体系,而光学仪器的现状离統計方法还有不小的距离,因之本书对此几乎完全未作介紹而仅利用了它的一些結果,这也是由于信息論的一般理論对光学問題的一般考虑也完全合用之故。但在作具体考虑时当然要計及光学方面的可能性和特点,本书基本上仅涉及光学方面。从信息傳送的一般观点出发,对現代光学工程的情况作了分析后,可以看出发展是很不平衡的。对于这方面的发展作者提出了一些看法。

作者假定讀者已具有初步的光学設計知識,例如粗略讀过 A. E. Conrady 的“应用光学和光学設計”。在閱讀第十一、十二章时应具备物理光学、富利叶变换和信息論等方面的基础知識。

本书是在集体工作的基础上产生的,对于本所光学設計部門的同事們謹致以衷心的謝意,尤其是薛鳴球同志为原稿整理工作花了不少精力,蔣筑英、王民强、李元康在定稿工作上給予了很大的帮助,林大鍵、喻巖、黃營生提出了不少寶貴的意見,在此一并致謝。

王之江

1962.8.

DS74/33
03

目 录

序 言	iii
第一章 軸对称球面光学系統中的光綫光路計算方法	1
§ 1 概述	1
§ 1.1 符号規則	2
§ 2 空間光綫計算	3
§ 2.1 V. Seidel (1866) 計算方法	3
§ 2.2 A. Kerber (1896) 計算方法	4
§ 2.3 二面投影法	7
§ 3 含軸面內光綫光路計算	8
§ 3.1 計算誤差問題;計算的可能錯誤及校對	9
§ 3.2 計算步驟簡化的可能性和改良函数表	10
§ 3.3 平面計算和計算公式的通用性	11
§ 3.4 近軸光綫計算;倍率;象差	13
§ 4 波面;光程;波象差;波象差与几何象差的关系	18
§ 4.1 几何光学的基本定律	19
§ 4.2 波象差与几何象差的关系(I)	21
§ 4.3 波象差与几何象差的关系(II)	24
§ 4.4 因参考点移动而产生的波象差	26
§ 5 光程計算	27
§ 6 細光束焦点位置計算	29
§ 7 矢量形式的折射定律	32
§ 8 代数方法	33
§ 8.1 平面;校對	36
§ 8.2 弧矢元光束	37
§ 8.3 含軸面內光綫	37
§ 9 用逐次接近法計算光綫光路	38
§ 10 几个計算表格和例子	39
§ 10.1 公式組(26),(27)(T. Smith 方法)	39
§ 10.2 公式組(16),(18)和(21)(Conrady 方法)	53
§ 10.3 公式組(107*), (108)(代数法)	53

§ 10.4 公式組 (116) — (121) (逐次接近法)	62
§ 10.5 空間光綫計算的初始值	62
§ 10.6 公式組 (107), (108) (代数法)	63
§ 10.7 公式組 (116) — (121) 空間光綫計算 (逐次接近法)	67
§ 10.8 公式 (74) (色差)	67
§ 10.9 公式組 (87), (90) 和 (90*) (細光束焦点位置)	67
参考文献	73
第二章 理想光学系統	74
§ 1 高斯光学系統的物象关系	74
§ 2 光栏和軸外光束暈暗, 投影和景相	78
§ 3 高斯光学和結構尺寸中的长度問題	81
§ 3.1 倍数 100 $\times$, 总长 200 的望遠鏡	81
§ 3.2 倍数 2000 $\times$, 总长 200 的放大鏡或显微鏡	82
§ 3.3 共軛距 1000, 工作距 100 的 100 $\times$ 投影物鏡	83
§ 3.4 瞳孔距及工作距	84
§ 4 高斯光学和結構尺寸中的直徑問題	85
§ 4.1 望遠鏡的倍数和孔徑	85
§ 4.2 显微物鏡的倍数和数值孔徑	86
§ 4.3 通光孔徑; 視場	87
§ 4.4 轉象系統和場鏡	89
§ 5 反射系統的杂光、孔徑及視場	91
§ 5.1 光路偏折的反射系統	94
§ 6 正象和光路轉折	96
§ 7 全反射棱鏡的物象关系	98
参考文献	106
第三章 球差、正弦条件	107
§ 1 象差的轉面倍率; 球差的各种表示	107
§ 1.1 球差的正負	110
§ 2 初級球差	111
§ 3 高級球差、本征高級球差	114
§ 3.1 折射率和相对孔徑	115
§ 3.2 物距和相对孔徑	118
§ 4 衍生高級球差	121
§ 5 为校正球差时光学系統应有的結構	122
§ 6 相邻点波象差間的关系, 正弦条件及其他	124
§ 7 同軸球面光学系統中的正弦条件	128
§ 8 正弦差分布值	130
§ 8.1 同軸球面系統中正弦差和光栏位置的关系	132

§ 9 薄透鏡理論	134
§ 10 計算結果的图示和判斷	135
参考文献	138
第四章 軸外象差	139
§ 1 同軸球面系統的畸变表示式	139
§ 2 初級畸变; 高級畸变; 畸变和物体位置、光栏位置的关系	140
§ 2.1 同軸球面系統中畸变和物体位置的关系	141
§ 2.2 单个球面的畸变和光栏位置的关系	142
§ 3 細光束的聚焦特性	144
§ 3.1 邻主光綫高斯光学; 物体移动时象面弯曲的变化	146
§ 4 同軸球面系統的象散	147
§ 5 空間光綫的象差分布	151
§ 5.1 象差分布的分量表示	152
§ 5.2 象面弯曲表示为各面貢獻之和	154
§ 6 初級象散、象面弯曲和畸变	155
§ 7 高級象散和象面弯曲	158
§ 7.1 薄透鏡的高級象散和象面弯曲	162
§ 8 为使軸外細光束成象理想时, 光学系統应有的結構	162
§ 9 象散、象面弯曲和畸变的表示及評價	164
§ 10 邻主光綫波象差級数展开, 軸外初級球差和軸外初級彗差	166
§ 11 軸外初級球差和軸外初級彗差的近似展开	171
参考文献	173
第五章 色差	174
§ 1 光学材料	174
§ 2 将色象差看作光程差	176
§ 3 初級色差	178
§ 3.1 分离薄透鏡	181
§ 4 二級光譜	183
§ 5 討論色差的光綫光路方法, 色差图示——軸上点	187
§ 6 用光綫光路方法討論軸外色差	190
参考文献	191
第六章 象差的一般性质	192
§ 1 对称性和象差, 变数分离法, 規化条件	192
§ 1.1 規化坐标	196
§ 2 象差的几何意义和描写光束特性的方法	197
§ 2.1 球差	198
§ 2.2 軸外球差	199

§ 2.3 畸变	200
§ 2.4 彗差	200
§ 2.5 軸外彗差	202
§ 2.6 象散和象面弯曲	203
§ 2.7 色差	203
§ 3 光栏移动时的象差变化, 計算結果的图示和判断	205
§ 3.1 計算結果的图解法	207
§ 4 光栏象差与物面象差的关系	211
§ 5 物面移动时的象差变化	215
§ 6 初級色差	218
§ 7 球面的初級象差	219
§ 7.1 由球差表示式导出其他象差表示式——將軸外象差看作球差	219
§ 7.2 由畸变表示式导出其他象差表示式——將子午象差看作畸变差异	223
§ 7.3 薄透鏡的初級象差	223
§ 7.4 將球面的二級本征象差看作球差	228
§ 8 衍生二級象差	231
§ 9 用 Fermat 原理討論高級象差的可能性	233
参考文献	234
第七章 由象差确定光学系統結構	235
§ 1 引言; 初級象差公式組	235
§ 1.1 象差系数和象差的关系	235
§ 1.2 軸对称光学系統中象差系数間的相互关系	236
§ 1.3 同軸球面光学系統中的象差系数表示式	237
§ 1.4 一組貼合薄透鏡的象差系数表示式和相互关系	238
§ 2 由象差要求决定薄透鏡焦距分配	240
§ 3 象差和薄透鏡弯曲 (P, W)	242
§ 4 用薄透鏡产生定值象差的可能性	244
§ 4.1 单薄透鏡	244
§ 4.2 正負胶合双透鏡	247
§ 4.3 无光焦度胶合双透鏡	253
§ 4.4 无光焦度等折射率双薄透鏡	255
§ 4.5 兩組定焦距薄透鏡	256
§ 5 薄透鏡产生象差的可能性——对高級象差的考虑	256
§ 5.1 胶合双透鏡的 P_0 和 W^∞ 的限度	256
§ 5.2 薄透鏡象差的极值	258
§ 5.3 双透鏡象差的极值	261
§ 5.4 胶合面或无光焦度双透鏡的作用和限度	262
§ 6 以厚透鏡代替分离薄透鏡	263

§ 6.1 用厚透镜校正 S_{IV}	264
§ 6.2 校正色差的厚透镜,球差校正板	271
§ 7 用厚透镜与薄透镜组合以校正象差	273
§ 8 对称型	277
§ 9 光学设计概论	281
§ 9.1 校正象差的可能性	282
§ 9.2 象差校正方案的确定	285
§ 9.3 校正象差的结构的选择和有效参数	288
§ 9.4 现代光学设计所达到的水平	292
参考文献	294
第八章 轴对称非球面	295
§ 1 使用非球面的可能性	295
§ 2 光线光路计算	296
§ 2.1 曲面的参数表示	296
§ 2.2 三角法计算子午光线光路	298
§ 2.3 用代数方法计算空间光线	299
§ 2.4 逐次接近法	300
§ 3 初级象差理论	301
§ 4 非球面的高级象差和由象差要求确定非球面面形	305
§ 5 用单个非球面准确校正球差	306
§ 6 用单个非球面准确校正象散	310
§ 7 用单个非球面校正子午光束象差	315
参考文献	317
第九章 非轴对称非球面	318
§ 1 对称性和象差的级数展开	318
§ 1.1 双曲率系统的高斯光学	321
§ 1.2 双曲率系统中象差之间的关系	322
§ 1.3 象差的几何意义	325
§ 2 同轴柱面系统的初级象差	326
§ 2.1 物体在无限远处时的象差	328
§ 3 柱面望远镜的象差	328
§ 3.1 圆柱面折射光线光路计算	328
§ 3.2 象差分布及校正方法	331
§ 3.3 一般的同轴柱面系统	332
§ 3.4 柱面望远镜的象差估值	332
§ 3.5 柱面望远镜的畸变	334
参考文献	335

第十章 光学零件的制造和装配公差	336
§1 引言	336
§2 单个因素变更时的直接影响	337
§3 衍生变化	339
§4 偏心系统的象差, 固定透镜的原则	341
§5 透镜系统公差的确 定	345
§6 棱镜	350
§7 局部误差和光洁度	352
参考文献	352
第十一章 光学系统的质量评价	353
§1 几何光学和光能传播的基本定律	353
§1.1 由 Maxwell 方程导出程函方程	354
§1.2 程函方程、Fermat 原理及折射定律	356
§1.3 由 Maxwell 方程导出 Huygens-Fresnel 原理	357
§2 光学系统形成的能量分布和质量判断	361
§2.1 理想波面的衍射图形	361
§2.2 有象差时的衍射图形	366
§2.3 Strehl 判断和小象差近似	376
§2.4 Rayleigh 判断, 图解法	384
§2.5 象差最佳校正方案的几何特征和公差的几何值	394
§2.6 衍射图形的特征及质量判断; 分辨能力	397
§3 光学传递函数方法	400
§3.1 反应函数和分辨能力	403
§3.2 反应函数和中心点亮度	406
§3.3 反应函数和能量集中度	406
§4 光学系统的反应函数	408
§4.1 理想光学系统的反应函数; 通光孔形状的影响	411
§4.2 轴向离焦和象散的影响	414
§4.3 初级彗差	415
§4.4 球差	416
§5 质量评价的标准和光学系统象差的公差	417
§5.1 质量指标问题	417
§5.2 象差公差问题	419
§5.3 几何光学的反应函数和能量集中度	420
§5.4 低对比分辨能力判断	422
参考文献	431
第十二章 光学仪器的光学整体设计	432
§1 概述	432

§ 2 光度性质	434
§ 2.1 亮度	436
§ 2.2 大光管的传递,象面上各点的照度	437
§ 2.3 象差对照度的影响	439
§ 2.4 光学元件的光度特性	441
§ 3 成象性质	443
§ 3.1 接收器和光学系统联用时的問題	445
§ 3.2 光学系统对仪器成象特性的影响	447
§ 4 噪音和背景	448
§ 5 综合评价	448
§ 6 一个例子	449
参考文献	451

第一章

軸對稱球面光學系統中的光綫光路計算方法

§1 概 述

光綫光路計算問題是光學設計的基本問題之一，其目的在於確定光綫經光學系統後的準確位置。光學設計的目的是使經過光學系統的光束具有預定的特性，因此在設計過程中常須作大量的光路計算，這就要花費大量的勞動。為提高設計的效率，用最少量的勞動得出最大量的成果，可以從下列幾個方面着手。其一是象差理論，按現在的理論水平可以預見由一點發出的光束內部各光綫的相互關係和由各點發出的各光束的相互關係，從而可以從少量的光綫計算確定整個光束的結構特性。根據象差理論還可以通過簡單的計算來預言光束結構的大致性質（初級象差係數計算）。但是理論至今還不能幫助我們由簡單的計算確定光束的準確結構特性，因之還不能避免光綫光路計算。其二是設計方案或設計路綫，在作具體設計工作時，這是更重要的東西。當所選擇的設計路綫不良時就會走過多的彎路而使所有具體設計方法上的改進變得毫無價值，使計算工作量大大增加。我們認為設計工作是否能夠高速度進行基本上由它決定。其三是計算方法的改進。非常明顯，當光路計算還不能避免的時候，不好的計算方法是浪費勞動的因素之一。

由於計算是須要大量地、經常地進行的，為使效率提高和減少錯誤，計算最好按一定的格式進行。因此是否要求在不同的條件下使用不同的格式就成為評斷方法優劣的一個標準，即(A)通用性，亦即所用計算格式能否在比較廣泛的條件下使用。除此之外，計算方法的優劣還有下列標準。(B)準確性，即某量含有的小誤差是否會引起另一量的顯著誤差，例如由小角度的余弦決定正弦之值時。(C)取得有效的中間數值是否方便，這是由於常須以一種計算的量作為另一種計算的基礎，並由於某些量能夠方便地反映象差特性之故；由於這一點，計算方法必須形成一個系統而不能孤立地看待一種計算方法。(D)計算本身的繁簡度，即須要幾次計算才能得出所須結果，

是否須要查表(如三角函数表),是否須用計算机;假若須查表的話,函数表的改进也是計算方法改进的途徑之一。

如上所述,計算方法的优劣須从各方面加以考察,新的計算方法常須較長時間的考驗才能加以肯定。加以計算員熟练于某种方法时,效率自然比新的不熟练的方法为高,习惯也使計算方法不易改变。目前新的方法不断出現和发展^[1,2],其中有一些方法并不符合我們的上述标准,有历史的計算部門一般还是使用老的方法,例如苏联^[3]。

随着电子計算机的出現和在光学設計中的应用,計算方法又作了相应的发展以适应电子計算机的特性^[4]。

光綫計算的問題可归結为:

1. 選擇几个量以确定空間的点綫位置(坐标選擇);
2. 用折射定律計算出折射后的坐标(折射);
3. 求出相对下一折射面的坐标(轉面)。

可見,为使計算迅速而正确,坐标的選擇是很重要的,坐标的選擇——尽可能使用折射或轉面不变量为坐标,可使折射和轉面的过程簡化。另外,折射定律的形式也影响到計算的速度,随折射定律形式的不同,光綫計算可分为三角法和代数法两大类。下面只是評述几种有代表性的計算方法。

关于作具体計算时應該小心和注意之处,Conrady 的敘述是值得推荐的^[5]。

§ 1.1 符号規則

我們下面在导出公式时总是遵循一定的正負号規則,这样就能保証在一定状况下得到的公式在任何条件下均保持同一形式。符号規則所規定的是: 1. 量的起算位置; 2. 以怎样的量为正量。对长度來說,总是由坐标原点(球心或球面頂点)起算,其正向則依軸的指向。在我們后面的全部公式中都取光綫行进的方向为 X 軸的正向,这是一个重要的規定。公式中的間距 t 和 d 的起算点不同, t 是后一面球心到前一面的球心的距离, d 是前一面頂点到后一面頂点的距离。非軸向綫段的长度正負另作規定。角的正負要麻煩些,本来最合理的方案是按解析几何的規定,但为顾及历史上已有的习惯,还是因襲了旧有的規定。即光綫或其投影与坐标軸的夹角由坐标軸起算,由坐标軸的正向观察时順时針方向为正。空間角(二綫段之一不在坐标面內时)之正負另作規定。折射角 I 由光綫起算而不是由法綫起算。

对于含有反射面的光学系統,上述規則須作下列补充:

1. 反射面的物空間折射率与象空間折射率之比为“ -1 ”, 即 $n' = -n$;

2. 注意空間折射率的連續性(見圖 1.1);

3. 由于反射后光路方向变更, 象距以及同一个半徑的符号都須变号, 而厚度則不变号。这种算法是不大方便的, 比較方便的方式是将厚度变号而半徑及象距(反射后下一面的物距)均不变号, 亦即坐标軸的方向永按初始入射的方向, 除每經反射一次就将間距符号变更一次外, 就仍可按普通符号規則进行計算。

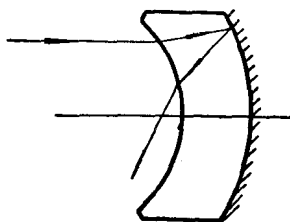


圖 1.1

§ 2 空間光綫計算

§ 2.1 V. Seidel (1866) 計算方法

V. Seidel 計算方法是早期广泛使用的方法, 此法中多数关系式表示为乘除, 宜用对数計算^[2]。

以折射球面球心为右手直角坐标系的原点, 以光軸为 X 軸, 此时任一光綫的位置即可由四个相互独立的量所完全决定, 在以下各节中坐标系都是这样规定的。

圖 1.2a 中, P 点是入射光綫 PE 和球面的交点, E 点是光綫和坐标面 YZ 的交点, Q 点是 P 点在 YZ 面上的投影, 故 QE 是光綫 PE 在坐标面 YZ 面上的投影。

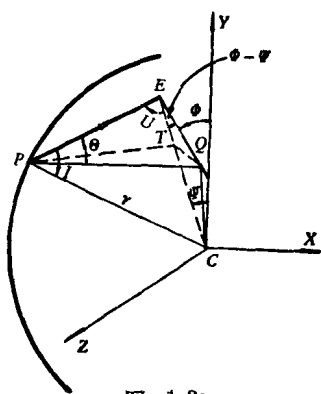


圖 1.2a

C 点是折射面的球心, 故 CP 就是法綫, CPE 面就是光綫的入射面, 在計算中取 CE 为輔助軸。

在这个計算方法中决定光綫位置的坐标是:

CE 之长 A ,

CE 綫与 Y 軸夹角 ψ ,

光綫 PE 和 X 軸夹角 θ ,

光綫投影 QE 和 Y 軸夹角 ϕ 。

运用的折射定律是:

$$n' \sin I' = n \sin I, \quad (1)$$

其中 I 是入射角, I' 是折射角。为算出 I 要用到光綫与輔助軸的夹角 U :

$$\frac{\sin I}{A} = \frac{\sin U}{r}, \quad (2)$$

其中 $r = CP$ 是折射球面的半徑。

为由光綫坐标 Ψ, Θ, Φ 等算出光綫和輔助軸的夹角 U , 由 P 点到輔助軸作垂綫 PT , 与輔助軸 CE 交于 T 点. 由直角三角形 PET, QET, PEQ 即可得到:

$$ET = EP \cos U = -EP \sin \Theta \cos (\Phi - \Psi). \quad (3)$$

这样就可以从折射前光綫坐标算出 I' . 折射后光綫坐标則可由上列公式反向計算而得. 为此首先須求 U' , 这可由折射点幅角不变而得:

$$I + U = I' + U'. \quad (4)$$

从(3)式不能同时求出 Θ 和 Φ , 为求出 Θ 和 Φ 仍須利用上述三个直角三角形, 因 QT 和 PT 在折射过程中不变而有:

$$QT = \frac{PT}{\sin U} \sin \Theta \sin (\Phi - \Psi) = \frac{PT}{\sin U'} \sin \Theta' \sin (\Phi' - \Psi),$$

其中幅角 Ψ 是折射不变量.

轉面时 Θ, Φ 不变, 由于坐标面移到距离 t 的下一面球心, 故光綫和坐标面的交点坐标变为:

$$\begin{cases} [A \sin (\Phi - \Psi)]_{i+1} = [A' \sin (\Phi' - \Psi)]_i, \\ [A \cos (\Phi - \Psi)]_{i+1} = [A' \cos (\Phi' - \Psi) + t \tan \Theta']_i. \end{cases} \quad (5)$$

将上面导出的公式組按計算順序列于下:

$$\left. \begin{aligned} -\cos U &= \sin \Theta \cos (\Phi - \Psi), & \text{求 } U \\ \sin I &= \frac{A}{r} \sin U, & \text{求 } I \\ \sin I' &= \frac{n}{n'} \sin I, & \text{求 } I' \\ U' &= I + U - I', & \text{求 } U' \\ \sin I' &= \frac{A'}{r} \sin U', & \text{求 } A' \\ -\cos U' &= \sin \Theta' \cos (\Phi' - \Psi), & \text{求 } \Theta' \\ \sin \Theta' \sin (\Phi' - \Psi) &= \sin \Theta \sin (\Phi - \Psi) \sin U' / \sin U, & \text{求 } \Phi' \\ A_1 \sin (\Phi' - \Psi_1) &= A' \sin (\Phi' - \Psi), & \text{求 } A_1 \\ A_1 \cos (\Phi' - \Psi_1) &= A' \cos (\Phi' - \Psi) + t \tan \Theta'. & \text{求 } \Psi_1 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

§ 2.2 A. Kerber (1896) 計算方法

这个計算方法是苏联的光学設計計算部門所采用的方法, 对它的詳細叙述可参看 А. И. Тудоровский 的书^[3]. А. Е. Conrady 所用的方法基本上和它一样^[5]. 为使本书符号一致起見, 这里采用的符号与上述书籍不同,

Kerber 方法除采用两个二面角作为光綫坐标外, 所用点的坐标与 Seidel 不同, 見图 1.2b. 所用的坐标是:

$$\begin{aligned} \text{光綫 } AB \text{ 与含軸面 } XY \text{ 的交点 } A \text{ 的坐标} & (X, H, 0); \\ AB \text{ 与它在含軸面上的投影 } AE \text{ 所夹角} & \theta_z; \\ AE \text{ 与光軸夹角} & \bar{\theta}_y. \end{aligned}$$

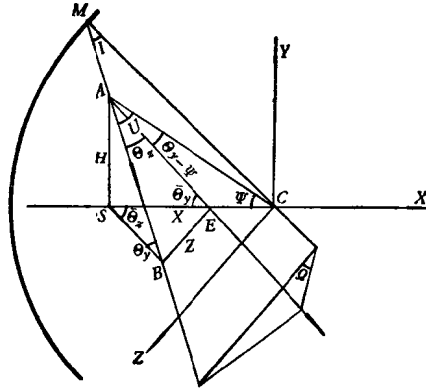


图 1.2b

此时以 CA 为輔助軸, 并仍以輔助軸幅角 Ψ 为計算时的参数:

$$\tan \Psi = -\frac{H}{X}. \quad (7)$$

运用的折射定律和求角 I 的公式仍为 (1), (2) 两式, 但 (2) 式中 A 須代以 $\frac{X}{\cos \Psi}$, 角 U 本来也可按与 (3) 式类似的关系式来求, 即:

$$\cos U = \cos \theta_z \cos (\bar{\theta}_y - \Psi), \quad (8)$$

但 Kerber 方法的优点恰在不用 (8) 式而再用了一个参数 Ω ——折射面 ABC 与坐标面 CXY 所夹的二面角, 如图 1.2b, 它是个折射不变量. 于是:

$$\tan \Omega = \frac{\tan \theta_z}{\sin (\bar{\theta}_y - \Psi)}, \quad (9)$$

$$\sin \Omega = \frac{\sin \theta_z}{\sin U}. \quad (10)$$

用这两个式子求 U 而不用 (8) 式. 空間角 Ω 的符号可規定恒为正值, 即規定 Ω 角在 $0-180^\circ$ 的範圍內. 用这两个关系式就可以从 U' 算出折射后的光綫坐标 $\bar{\theta}_y$ 和 θ_z 了. 現将一个循环須用的計算公式列于下: