

工程

光

学

设计

萧泽新
安连生
编著
主审



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

工程光学设计

萧泽新 编著
安连生 主审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

21 世纪的光学不仅成为信息科学中的信息载体和主角之一,而且融合了微电子、自动化、计算机和信息管理等技术,形成了光机电一体化的综合性高新技术。本书是在光通信、光机电一体化硕士研究生校内教材的基础上增订而成的,共分 4 部分 10 章,内容包括:光学设计概述,初级像差理论、像差校正与像质评价,代数法求解光学部件初始结构,典型光学部件设计,典型光学系统设计,变焦距(变倍)光学系统设计,激光光学系统设计,光纤光学系统设计,光学设计 CAD 软件应用基础,以及光学零件与光学制图。

本书将理论与实践相结合,融科学性、实用性和可操作性于一体,并列举了大量的设计实例。既可作为高年级本科生、研究生的教材或自学用书,也可供有关的技术人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

工程光学设计/萧泽新编著. —北京:电子工业出版社, 2003.6
ISBN 7-5053-8692-1

I. 工… II. 萧… III. 光学系统—设计 IV. TH740.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 033802 号

责任编辑:张来盛 杨逢仪

印 刷:北京市增富印刷有限责任公司

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:17.25 字数:440 千字

版 次:2003 年 6 月第 1 版 2003 年 6 月第 1 次印刷

印 数:5 000 册 定价:26.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010) 68279077

序

随着人类进入 21 世纪,光电信息产业和机械制造产业得到了迅猛的发展。在这两种产业和相关行业中,工程光学占据了十分重要的地位。工程光学设计的理论与方法已成为相关科技工作者知识结构中的重要组成部分。

在本书中,作者根据自己多年从事工程光学设计的经验与体会,阐述了工程光学设计者必备的像差理论、各种类型光学系统的设计方法、评价标准,给出了大量的设计实例,其中大部分实例出自作者的科研成果与实践,体现了作者的探索与创新。本书融科学性、实用性和可操作性为一体,特别推介了国外著名通用工程光学设计软件 OSLO LT54 (教学版),介绍了该软件的使用方法,这些都给读者的学习创造了有利的条件。可以相信,本书的出版,一定会使光学专业和非光学专业从事相关工作的科技工作者、工程技术人员得到益处,并以他们的创造性劳动推动我国光学事业和产业的发展。

近 20 年来,作者多次来清华大学和北京理工大学进行进修或合作,他勤奋好学、尊师敬业,给清华大学精仪系、继续教育学院和北京理工大学留下了深刻的印象。

特祝贺本书的出版,是以为序。

中国工程院院士
世界光学委员会 (ICO) 副主席
清华大学机械工程学院教授

金国藩

2002 年 12 月

前 言

现代科技的发展,使古老的光学在 20 世纪末焕发出青春。沐浴着 21 世纪的曙光,光学不仅成为信息科学中的信息载体和主角之一,而且融合了微电子、自动化、计算机和信息管理等技术,形成了光机电一体化综合性高新技术。光机电一体化已开始成为现代制造业的基础和核心,是当今信息业与制造业的最佳结合点和发展方向。发展以光机电一体化为基础的现代制造业将对经济的发展产生巨大的支持、拉动和提升作用。

光学科技和光机电一体化高新技术产业的发展呼唤着大量高素质的复合型人才。培养人才,高校是主要渠道;但不能忽视有志于此道的机电工程师、研究人员甚至理工类大学生、研究生通过自学成为行家里手。本书试图兼顾这两大类的读者群。

本书是在光通信、光机电一体化硕士研究生校内用教材的基础上增订而成的,共分 4 部分(10 章):第 1 部分光学设计基础;第 2 部分光学部件和系统设计;第 3 部分现代光学系统设计;第 4 部分光学设计实务。本书力求理论联系实际,融科学性、实用性和可操作性于一体,且便于自学。通过本书学习,使具有一定的应用光学知识的读者,在较短的时间内学到光学设计理论,掌握一定的设计方法,借助光学设计 CAD 软件能完成大多数典型光学部件和系统的设计工作。

光学设计的理论并非高不可攀,关键在于入门并在设计中将理论与实践相结合,不断地积累经验,提高是指日可待的。学物理的作者有在光学仪器企业从事技术工作的经历,由此打下了光学设计初步基础;更重要的是作者于 20 世纪 80 年代起在清华大学进修、当访问学者期间直到今天,一直有幸得到我国著名工程光学专家王民强教授的谆谆教诲,本书不少资料源于王教授的馈赠。在光学设计方面安连生教授、方仲彦教授曾给予帮助,在此一并致谢!

本书由北京理工大学安连生教授主审。

特别感谢中国工程院院士、世界光学委员会(ICO)副主席、清华大学机械工程学院原院长金国藩教授为本书作序。

唐焱、张应红老师以及卞飞、李凡、邓仕超、王昆、聂琨、吴文兵、杨帆和萧华鹏等同学为资料翻译、插图制作和书稿录入做了大量的工作,特此致谢。

由于作者水平有限,光学设计实践面尚不广,书中缺点、错误难免,恳请批评指正。

电子邮件: XZXin@sohu.com

作 者

2002 年 11 月于桂林电子工业学院

目 录

第 1 部分 光学设计基础

第 1 章 光学设计概述	(2)
§1.1 现代光学仪器对光学系统设计的要求	(2)
§1.1.1 仪器对光学系统性能与质量的要求	(2)
§1.1.2 光学系统对使用要求的满足程度	(2)
§1.1.3 光学系统设计的经济性	(3)
§1.2 光学系统设计概述	(4)
§1.2.1 光学系统设计的一般过程和步骤	(4)
§1.2.2 光学系统总体设计	(4)
§1.2.3 光学系统的具体设计	(4)
第 2 章 初级像差理论、像差校正与像质评价	(7)
§2.1 概述	(7)
§2.2 几何像差	(7)
§2.2.1 球差 (spherical aberration)	(7)
§2.2.2 彗差 (coma;comatic aberration)	(9)
§2.2.3 像散与像场弯曲	(10)
§2.2.4 畸变 (distortion)	(12)
§2.2.5 色差 (chromatic aberration)	(13)
§2.3 薄透镜的初级像差理论	(15)
§2.3.1 薄透镜的初级像差普遍公式	(15)
§2.3.2 由薄透镜初级像差普遍公式引出的重要结论	(16)
§2.3.3 规化条件下的双胶合透镜组的色差	(18)
§2.4 反射光学系统和平面光学系统的像差理论	(18)
§2.4.1 平面反射镜像差	(18)
§2.4.2 球面反射镜的像差	(19)
§2.4.3 棱镜或平面平行板的像差	(21)
§2.4.4 场镜的像差	(22)
§2.5 厚透镜初级像差	(23)
§2.5.1 厚透镜焦距的求法	(23)
§2.5.2 利用弯月形厚透镜消场曲 S_{IV}	(23)
§2.5.3 分析消场曲的弯月形厚透镜的其余像差 S_I 、 S_{II} 、 S_{III} 、 S_{IC}	(25)
§2.5.4 远双分离正负薄透镜组消场曲	(25)
§2.5.5 用同心不晕弯月厚透镜消除球差、彗差及场曲	(26)
§2.5.6 用弯月型厚透镜消除轴上点色差	(26)
§2.5.7 鼓形透镜 (双凸厚透镜)	(26)

§2.6	全对称光学部件的像差	(28)
§2.7	像差校正和平衡方法	(30)
§2.7.1	引言	(30)
§2.7.2	像差校正方法	(30)
§2.7.3	像差校正的一些设计技巧	(31)
§2.8	像差容限与像质评价	(32)
§2.8.1	概述	(32)
§2.8.2	经典光学系统的像差容限	(33)
§2.9	应用光学传递函数校正像差和评价像质	(34)
§2.9.1	光学传递函数概述	(34)
§2.9.2	光学传函理论实质、基本出发点和物理意义	(34)
§2.9.3	用光学传函评价光学系统像质	(36)

第2部分 光学部件与系统设计

第3章	代数法求解光学部件初始结构	(40)
§3.1	概述	(40)
§3.2	单片薄透镜初始结构设计计算	(40)
§3.3	双胶薄透镜初始结构的设计计算	(43)
§3.3.1	双胶薄透镜物在无限远时的 P^∞ 、 W^∞ 与结构参数的关系	(43)
§3.3.2	对 P^∞ 、 W^∞ 基本关系的分析	(44)
§3.4	两组双胶物镜初始结构设计	(46)
§3.4.1	选型	(46)
§3.4.2	方案选择	(47)
§3.5	小气隙双分透镜	(48)
§3.5.1	双胶合组变小气隙双分透镜的目的	(48)
§3.5.2	小气隙双分透镜能减小高级球差	(48)
§3.6	齐明弯月透镜结构参数求解	(49)
§3.6.1	显微物镜齐明弯月前组	(49)
§3.6.2	聚透镜第一片齐明透镜	(50)
§3.6.3	设计实例	(51)
第4章	典型光学部件设计	(53)
§4.1	望远物镜设计	(53)
§4.1.1	望远物镜光学特性与结构类型	(53)
§4.1.2	双胶合、双分离物镜设计	(55)
§4.1.3	摄远物镜设计	(57)
§4.2	显微物镜设计	(59)
§4.2.1	显微物镜概述	(59)
§4.2.2	显微物镜的光学特性	(59)
§4.2.3	显微物镜结构基本类型	(62)
§4.2.4	显微物镜设计时应校正的像差	(65)

§4.2.5	消色差显微物镜设计	(66)
§4.2.6	长工作距离平场物镜设计	(67)
§4.3	目镜设计	(71)
§4.3.1	目镜光学特性与结构类型	(71)
§4.3.2	目镜设计要点	(72)
§4.3.3	普通目镜设计	(74)
§4.3.4	借助价格工程 (VE) 优化广角目镜设计	(77)
§4.3.5	显微摄影光学系统及摄影目镜设计	(79)
§4.3.6	显微电视 CCD 摄录接口的设计	(82)
§4.4	照相物镜设计	(84)
§4.4.1	照相物镜的光学特性和结构形式	(84)
§4.4.2	照相物镜设计的一般方法	(91)
§4.4.3	照相机标准镜头设计	(92)
§4.4.4	新型三片式照相物镜设计	(94)
§4.5	投影物镜设计	(98)
§4.5.1	投影物镜光学特性	(98)
§4.5.2	结构形式与对象质的要求	(99)
§4.5.3	电影投影物镜设计	(100)
第 5 章	典型光学系统设计	(101)
§5.1	概述	(101)
§5.2	普通生物显微镜成像光学系统设计	(101)
§5.2.1	显微镜成像简述	(101)
§5.2.2	显微光学系统的设计方法和要求	(102)
§5.2.3	显微光学系统设计的标准化	(102)
§5.2.4	显微光学系统设计要点	(103)
§5.2.5	设计实例	(104)
§5.3	无限远像距光学系统设计	(111)
§5.3.1	概述	(111)
§5.3.2	无限远像距光学系统设计要点	(112)
§5.3.3	设计实例	(114)
§5.4	照明光学系统设计	(116)
§5.4.1	概述	(116)
§5.4.2	照明系统及其分类	(119)
§5.4.3	照明系统外形尺寸计算	(121)
§5.4.4	聚光镜光学设计	(123)
§5.4.5	照明系统设计中的几个问题	(129)
§5.5	特殊照明系统设计	(133)
§5.5.1	光导纤维落射内照明系统设计	(133)
§5.5.2	不散瞳广角眼底观测仪照明系统设计	(136)
第 6 章	变焦距 (变倍) 光学系统设计	(138)

§6.1	变焦距(变倍)光学系统原理	(138)
§6.2	变焦距物镜	(139)
§6.3	连续变倍显微光学系统设计	(140)
§6.3.1	连续变倍显微光学系统的类型	(140)
§6.3.2	典型的连续变倍显微镜	(141)
§6.3.3	变倍目镜设计	(144)
§6.3.4	设计实例	(149)

第3部分 现代光学系统设计

第7章	激光光学系统设计	(152)
§7.1	激光光学系统设计基础	(152)
§7.1.1	概述	(152)
§7.1.2	设计基础知识	(152)
§7.1.3	激光光学系统的外形尺寸计算	(155)
§7.1.4	通光孔径的选择	(156)
§7.1.5	聚焦高斯光束的焦点位移	(158)
§7.1.6	设计注意事项	(159)
§7.2	高斯光束会聚系统设计	(159)
§7.2.1	激光聚光光学系统设计思想与实例	(159)
§7.2.2	李斯特显微物镜激光会聚系统	(160)
§7.3	高斯光束准直扩束系统设计	(162)
§7.3.1	激光准直扩束系统设计	(162)
§7.3.2	半导体激光器准直系统设计	(164)
第8章	光纤光学系统设计	(166)
§8.1	半导体激光器与光纤直接耦合设计	(166)
§8.1.1	概述	(166)
§8.1.2	直接耦合光纤端面结构形式及其效率	(167)
§8.1.3	尖锥端光纤耦合理论模型	(168)
§8.2	微光学元件扩束耦合系统设计	(170)
§8.3	光纤-透镜耦合激光会聚系统设计	(175)
§8.4	光天线-光纤耦合系统设计	(177)
§8.4.1	自由空间光通信接收系统前端概述	(177)
§8.4.2	对光天线设计的要求与设计理念	(177)
§8.4.3	光天线设计	(178)
§8.4.4	设计实例	(181)

第4部分 光学设计实务

第9章	光学设计CAD软件应用基础	(184)
§9.1	国内外光学设计CAD软件概述	(184)
§9.1.1	光学设计CAD软件的发展历史	(184)

§9.1.2	有代表性的中外光学设计 CAD 软件简介	(184)
§9.2	OSLO 软件简介	(185)
§9.2.1	OSLO 的特点	(185)
§9.2.2	OSLO 的 3 种版本	(186)
§9.3	OSLO LT 54 基本概念	(187)
§9.4	OSLO 用户界面	(190)
§9.4.1	主视窗 (Main Window)	(190)
§9.4.2	文件管理 (file management)	(195)
§9.4.3	编辑表 (spreadsheets)	(196)
§9.4.4	各厂商的透镜产品目录资料库 (catalog lens database)	(200)
§9.4.5	对话框 (Dialog boxes)	(202)
§9.4.6	图形视窗 (Graphic window)	(202)
§9.4.7	命令输入 (command input)	(204)
§9.4.8	文字编辑器 (Text editor)	(204)
§9.4.9	帮助视窗 (Help Window)	(205)
§9.4.10	打印输出 (Hard copy output)	(205)
§9.4.11	剪切板支持	(205)
§9.5	OSLO LT 54 基本操作要点	(205)
§9.5.1	概述	(205)
§9.5.2	新建镜头	(206)
§9.5.3	调用镜头	(214)
§9.5.4	优化	(214)
§9.6	OSLO LT54 应用实例	(218)
§9.6.1	双高斯型照像物镜设计	(219)
§9.6.2	25 $\times$ 消色差显微物镜设计	(220)
§9.6.3	15 $\times$ 广角目镜设计	(221)
第 10 章	光学零件与光学制图	(223)
§10.1	光学材料	(223)
§10.1.1	光学材料简介	(223)
§10.1.2	光学玻璃	(223)
§10.1.3	激光技术用的光学材料	(224)
§10.1.4	红外、紫外光学材料	(226)
§10.1.5	光学薄膜	(228)
§10.1.6	光学塑料	(228)
§10.2	光学制图 (GB13323—91) 标准的主要内容	(230)
§10.2.1	一般规定	(230)
§10.2.2	图样要求	(232)
§10.3	对光学零件材料的要求	(238)
§10.4	对光学零件的加工要求	(239)
§10.4.1	光学零件的表面误差	(239)

§10.4.2	光学零件外径及配合公差的给定	(241)
§10.4.3	光学零件的中心厚度及边缘最小厚度	(242)
§10.4.4	光学零件的厚度公差	(242)
§10.4.5	光学零件的倒角 (GB1204—75)	(243)
§10.4.6	透镜中心误差 (GB7242—87)	(244)
§10.4.7	光楔	(244)
§10.4.8	光学零件镀膜分类、符号及标注 (JB/T 6179—92)	(245)
附录 A	无色光学玻璃 (GB 903-87)	(247)
附录 B	中、德玻璃牌号对照表	(250)
附录 C	单薄透镜参数表	(252)
附录 D	冕牌透镜在前的玻璃组合	(254)
附录 E	火石透镜在前的玻璃组合	(255)
附录 F	双胶合透镜 P_0 , Q_0 表	(256)
参考文献		(261)

第 1 部分 光学系统设计基础

第1章 光学设计概述

§ 1.1 现代光学仪器对光学系统设计的要求

仪器（或设备）研发的前提是社会的需求。在对社会需求进行分析研究后，设计者把使用者提出的要求转化成仪器的质量指标和设计参数，通过相关技术资料、专利文献的查询和必要的实验验证，然后进入整机的总体设计。任何光学系统不可能是单独存在的，它必然是仪器或设备整机中的一个系统或子系统。尽管现代光学仪器是光学、精密机械、电子学、计算机和计算技术的综合体，但作为子系统之一的光学系统仍然是光学仪器总体设计的关键。

要设计好光学系统，首先要明确它在仪器中的地位与作用，即仪器对光学系统的要求；其次是了解光学系统对这些要求能满足的程度；最后是考虑设计的经济性，即能以最低的成本生产出好产品来。

§ 1.1.1 仪器对光学系统性能与质量的要求

光学仪器的用途和使用条件必然会对它的光学系统提出一定的性能与质量要求。因此，在进行光学设计之前一定要了解对光学系统的要求。

1. 光学系统的基本特性

光学系统的基本特性有：数值孔径（NA）或相对孔径（ $A=D/f'$ ），线视场或视场角（ 2ω ），系统的垂轴放大率（ β ）和焦距（ f' ）；还有与这些基本特性有关的一些特性参数，如入瞳直径（ D ）、出瞳直径（ D' ）、工作距离（ s ）、共轭点距离、座装距离等。

2. 系统的外形尺寸

系统的外形尺寸，即系统的横向尺寸和纵向尺寸。在整体设计时必须把这些外形尺寸要求作为约束条件，进行外形尺寸计算，还必须充分考虑各光组、光瞳之间的衔接。

3. 成像质量

成像质量的要求与光学系统的用途有关。不同的光学系统按其用途可提出不同的成像质量要求。对这些要求，可按用户意见、相应的有关标准以及与同类系统类比进行界定。

4. 仪器的使用条件与环境

根据用户意见和相应的标准，对仪器的使用条件提出一定的要求，如要求光学系统具有一定的稳定性、抗振性、耐热性和耐寒性等；有时还要求仪器在特定的环境下能正常工作。

§ 1.1.2 光学系统对使用要求的满足程度

在对光学系统提出使用要求时，一定要考虑在技术上和物理上实现的可能性，即光学仪器对使用要求的满足程度。下面以显微物镜、望远物镜、照相物镜和投影物镜等四大类物

镜的光学特性为例来阐述这一问题。

(1) 显微物镜的光学特性。显微物镜的特点是短焦距、大孔径、小视场，其光学性能有：放大率 β 和数值孔径NA。 β 与 f' 有如下关系：当共轭距 f' 一定时， $f' = [-\beta / (1 - \beta)^2] \cdot L$ ；对无限远像距系统来说， $f' = -250 / \beta$ 。由此可见， β 绝对值越大， f' 越短。 $NA = n \sin U$ (n 为物镜物方折射率， U 为物方孔径角之半)。对于非浸液物镜来说，NA与 D/f' 近似符合以下关系： $D/f' = 2NA$ 。显微物镜的视场由目镜视场决定，对无限远像距显微镜来说（辅助物镜 $f' = 250$ mm，物方视场角=物镜像方视场角） $\tan \omega = y'/f' = 0.04$ ， $\omega = 2.3^\circ$ 。所以物镜视场角 $2\omega'$ 不大于 5° ，有限像距显微镜也大致相当。此外，生物显微镜的视放大率 Γ 一定要按有效放大率的条件来选取，即满足 $500NA \leq \Gamma \leq 1000NA$ 条件。过大的放大率是没有意义的。只有提高数值孔径NA才能提高有效放大率。

(2) 望远物镜的光学特性： $\beta < 1/5$ ， $2\omega < 10^\circ$ 。它是一个小孔径、小视场系统。望远镜的有效放大率应该是 $\Gamma = D/2.3$ （式中 D 是入瞳直径），其放大率应该按下式选取： $0.2D \leq \Gamma < 0.75D$ 。

(3) 放映物镜和投影物镜在成像关系方面极其相似，放映物镜类似于倒置的照相物镜，两者光学特性用 2ω ， D/f' ， β 和 f' 表示。 β 与 f' 的关系为： $f' = [-\beta / (1 - \beta)^2] \cdot L$ (L 是物或图片到屏幕间的共轭距)。

(4) 照相物镜的光学特性：照相物镜是同时具有大相对孔径和大视场的光学系统，其功能是把外界景物成像在感光底片上。它的主要光学特性有：焦距 f' ，相对孔径 D/f' 和视场角 2ω 。

在设计照相物镜时：为了使相对孔径，视场角和焦距三者之间的选择更合理，应该参照下列关系式来选择这三个参数

$$C_m = (D/f') \cdot \tan \omega \cdot \sqrt{f'/100} \quad (1-1)$$

式中， $C_m = 0.22 \sim 0.26$ ，称为物镜的质量因数。实际计算时，取 $C_m = 0.24$ 。当 $C_m < 0.24$ 时，光学系统的像差校正就不会发生困难。当 $C_m > 0.24$ 时，系统的像差很难校正，成像质量很差。随着高折射率玻璃的出现、光学设计方法的完善、光学零件制造水平的提高以及装调工艺的完善， C_m 的值在逐渐提高。

式(1-1)是前苏联光学专家Д.С.В оловсов提出的经验公式，反映了三个基本参数之间相互关联、相互制约的关系。

§ 1.1.3 光学系统设计的经济性

评价一个光学系统设计优劣的主要依据是：①性能和成像质量；②系统的复杂程度。即一个好的设计应是在功能（光学性能、成像质量）能满足用户需求的情况下，结构最简单（成本低）。为此，在光学系统设计中应用价值工程的原理，对提高光学仪器产品质量和降低产品成本有重要的意义。要实现这一目标，依据公式 V （价值）= F （功能）/ C （成本），遵循如下5个途径即可奏效：①增加功能，降低成本；②功能略有下降，成本大幅度降低；③功能不变，成本下降；④成本不变，功能增加；⑤成本略增，功能大幅度增加。

笔者的多年实践表明，在新产品研发和老产品改进中应用价值对提高产品质量、降低成本、增加效益的影响十分显著，本书将在§ 4.3.4、§ 4.3.5和§ 4.4.3三小节中具体地介绍应用实例。

总之，在光学设计过程中对光学系统提出的要求要合理，保证在技术上和物理上能够

实现,并且具有良好的工艺性和经济性。

§1.2 光学系统设计概述

光学设计是 20 世纪发展起来的一门学科,在大半个世纪发展的进程中,经历了人工设计和光学自动设计两个阶段,实现了由手工计算像差、人工修改结构参数进行设计,到使用电子计算机和光学自动设计程序进行设计的巨大飞跃。国内外已出现了不少功能相当强大的光学设计 CAD 软件。当今,计算机辅助设计(CAD)已在工程光学领域中普遍使用,从而使设计者能快速、高效地设计出优质、经济的光学系统。然而,不管设计手段如何变革,光学设计过程的一般规律仍然是必须遵循的。下面就这个问题展开阐述。

§ 1.2.1 光学系统设计的一般过程和步骤

(1) 根据使用要求制定合理的技术参数。从光学系统对使用要求满足程度出发,制定光学系统合理的技术参数,这是设计成功与否的前提条件。

(2) 光学系统总体设计和布局。

(3) 光学部件(光组、镜头)的设计。一般分为选型、确定初始结构参数、像差校正三个阶段。

(4) 长光路的拼接与统算。以总体设计为依据,以像差评价为准绳,来进行长光路的拼接与统算。如结果不合理,则应反复试算并调整各光组的位置与结构,直到达到预期的目标为止。

§ 1.2.2 光学系统总体设计

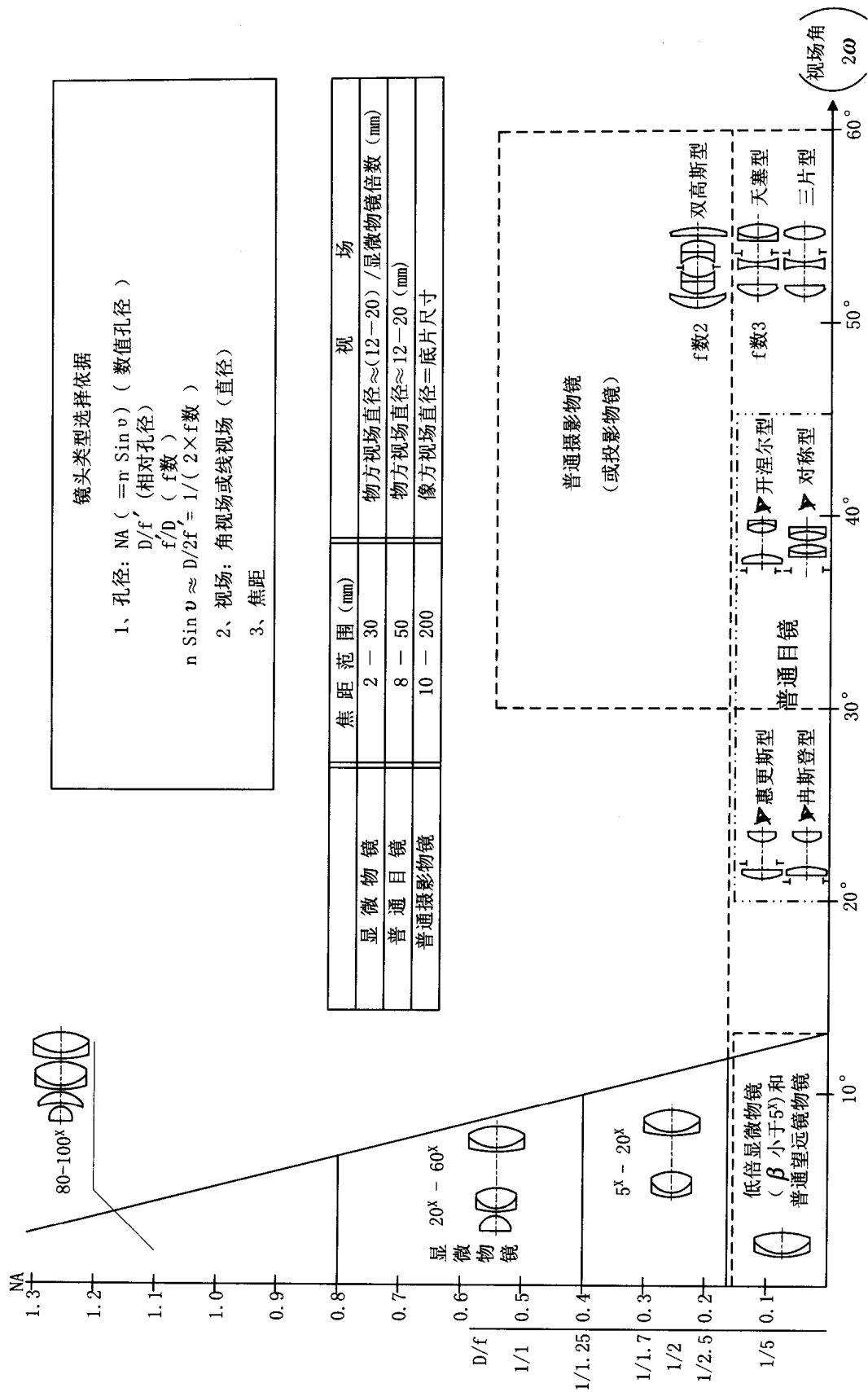
总体设计的重点是确定光学原理方案和外形尺寸计算。为了设计出光学系统的原理图,确定基本光学特性,使其满足给定的技术要求,首先要确定放大率(或焦距)、线视场(或角视场)、数值孔径(或相对孔径)、共轭距、后工作距、光阑位置和外形尺寸等。因此,常把这个阶段称为外形尺寸计算阶段。一般都按理想光学系统的理论和计算公式进行外形尺寸计算。在计算时还要结合机械结构和电气系统,以防在机械结构上无法实现。每项性能的确定一定要合理,过高的要求会使设计结果复杂,造成浪费;过低的要求会使设计不符合要求。因此,这一步骤必须慎重行事。

§ 1.2.3 光学系统的具体设计

光学系统的具体设计一般包括光学部件设计和整个系统的统算。

1. 选型

现有的常用镜头可分为物镜和目镜两大类。目镜主要用于望远系统和显微系统。物镜可分为望远物镜、显微物镜和照相摄影物镜三大类。其主要结构形式详见第 4 章典型光学部件设计。镜头选型时首先应按图 1-1 镜头选择依据的三要素(孔径、视场、焦距)。“对号入座”选择镜头类型,特别要注意各类镜头各自能承担的最大相对孔径、视场角。在大类型选定后,可参阅第 4 章选择能达到预定要求而又结构简单者。图 1-1 表示各种常用类型镜头基本光学特性之间的关系,供选型时参考。从图 1-1 还可看到这样一些大致规律:①同样结构形式者 D/f' , ω 越小,像质越好;② f' 相同时, D/f' 越大, ω 越小;③ f' 相同时, ω 越大, D/f' 越小。选型是光学系统设计出发点,是否合理、适宜是设计成败的关键。若用逐步修



改法选择初始结构,在选型时应对比国内外相类似技术条件(焦距、视场、相对孔径和工作距离等)的光组结构进行分析,吸取其优点,克服其缺点,提出合理的结构形式。

2. 初始结构的计算和选择

初始结构的确定常用以下两种方法:

(1) 代数法,即根据初级像差理论求解初始结构。这种方法是根据外形尺寸计算得到的基本特性,利用初级像差理论来求解满足成像质量要求的初始结构,即确定系统各光学零件的曲率半径,透镜的厚度和间隔,玻璃的折射率和色散等。

利用初级像差理论求解的初始结构,不仅对小孔径小视场的光学系统非常有效,就是对于比较复杂的光学系统也比任意选择的结构更容易接近所求的解,使设计容易获得成功。这是因为,在求解过程中只要对各种像差进行全面分析,对各种像差之间的关系有了全面了解,在像差校正时就能够做到总体平衡,不必进行像差的局部性校正。

(2) 逐步修改法(试验法)。光学设计从数学角度看,就是建立和求解像差方程组,它的解就是我们要求的结构参数。光学设计最常用的方法之一是逐步修改法,即从已有技术资料和专利文献中选出其光学特性与所要求相接近的光学结构作为初始结构,通过像差计算逐步修改,达到满足光学特性要求的成像质量。用电子计算机进行像差自动校正与平衡,实际上是从初始结构出发,建立近似代替像差方程组的像差线性方程组: $A\Delta X=\Delta F$ (A 、 ΔX 、 ΔF 分别为系统的结构参数差商矩阵、每个结构参数相应的改变量矩阵、像差值矩阵)。求出初始解 ΔX 后,按 ΔX_p 对系统进行修改($\Delta X_p=\Delta X \cdot p$, p 为小于1的常数,且足够小),总可获得一个比原系统有所改善的新系统,并不断反复迭代,直到各种像差符合要求为止。这样做只能在初始结构附近找出一个较好的解,无法求得光学系统的总极值,得到的只是局部极值。

对于大视场和大孔径及结构复杂的光学系统(如广角物镜、大孔径照相物镜等),试验法是一种比较实用又容易获得成功的方法。因此,它被广大光学设计者所采用,但要求设计者对光学设计理论有深刻了解,并有丰富的设计经验,只有这样才能从类型繁多的结构中挑选出简单而又合乎要求的初始结构。

综上所述,初始结构的选择是十分重要的。

3. 像差校正、平衡与像质评价

初始结构选好后,要在电子计算机上进行光路计算,或用像差自动校正程序进行像差自动校正。然后根据计算结果画出像差曲线,分析像差,找出原因,再反复进行像差校正和平衡,直到满足成像质量要求为止。