

象差自动校正技术的应用

王永仲

(应用物理系)

摘要 本文主要讨论应用象差自动校正技术时如何确定合理的初始结构;怎样正确使用结构参数自变量和选择恰当的自变量增量。

关键词 自动校正, 物镜, 目镜, 折反射系统, 初始结构

1. 问题的意义

象差自动校正技术使光学设计领域发生了重大变革。它对光学仪器的发展具有难以估量的影响,是光学设计这一学科现代面貌的标志。近十年来,这一新技术在我国逐渐推广应用,尤其是微型计算机的应用发展,对这一新技术又是极大的促进。但是,限于时间和条件,不是一般从事此类工作的人都十分明了这一新技术。因此,讨论正确运用象差自动校正技术的具体问题确有现实意义。

2. 为何必须确定合理的初始结构

首先指出,象差自动校正技术的重要意义不是使不懂光学设计的人也能搞设计,而是使内行把系统设计得最完美。因而,以为随便拼凑一个结构就能通过自动校正过程奏效的观念是错误的。须知,象差自动校正的数学过程大致是:假定象差是结构参数的线性函数,建立象差变化量方程组并求解,把解进行非线性处理后对结构参数实施微量修改,如此多次反复。由于边界条件的约束和线性检查的控制,在数学机理上就决定了这种基于多次线性逼近的迭代优化过程难以根本摆脱其初始结构状态。

例如,手工设计低倍显微镜物镜和一般双胶望远物镜时,必须按初级象差理论选择恰当的玻璃组合。在采用象差自动校正技术时,这一点也不能例外——如果投入自动校正过程的结构不具有合适的玻璃组合,则不可能优化出同时满足焦距要求和校正球差、彗差、轴向色差的结果。因为在玻璃组合确定后,双胶物镜实际只有三个曲率是有效自变量,至多只能有效地控制三种指标,显然不可能同时保证焦距、球差、彗差、轴向色差四项指标满足要求。从象差理论来说,双胶透镜的象差特性参数 \bar{P}_∞ 和 \bar{W}_∞ 符合抛物线关系,即:

$$\text{冕在前时 } \bar{P}_\infty = P_0 + 0.85(\bar{W}_\infty - 0.1)^2$$

$$\text{火石在前时 } \bar{P}_\infty = P_0 + 0.85(\bar{W}_\infty - 0.2)^2$$

可见,玻璃组合不同或色差要求不同时,只是由 P_0 所决定的抛物线上下位置不同,而

形状都一样。选择玻璃组合的意义就在于：寻找一个恰当的 P_0 值，使 $\bar{P}_\infty - W_\infty$ 曲线穿过按象差要求所决定的预想点 $(\bar{P}_{\infty 1}, \bar{W}_{\infty 1})$ 。

如果初始结构的玻璃组合所对应的 P_0 值使 $\bar{P}_\infty - W_\infty$ 曲线不穿过点 $(\bar{P}_{\infty 1}, \bar{W}_{\infty 1})$ ，则因为自动优化三个曲率时不可能改变曲线位置和形状，自然无法保证在满足焦距和色差要求的前提下，使球差、彗差都符合理想。在自动设计中，这种情况表现为，在球差、彗差中任控其一时，另一项就超差。这已能说明初始结构的重要性。

3. 怎样确定初始结构

确定初始结构实际有两层意思，第一是选取结构类型，第二是对选定的结构形式拟定具体的结构参数，例如选用什么玻璃，各表面取多大的曲率半径，厚度间隔多大，实际光阑放在何处等等。

对于第一步选型的工作，一般没有多少困难。因为各种类型的光学结构能达到什么样的性能指标，是已经有许多现成的经验可以借鉴的，依据一定的光学设计知识，问题便不难解决。第二步工作才是问题的关键，因而也是我们讨论的重点。为了避免泛泛而论，必须结合具体的系统来谈。

3.1 一般双胶合物镜

象低倍显微镜物镜（6×以下）、常见的望远镜物镜这类系统，应该按初级象差理论选择恰当的玻璃组合，而且一般都取冕玻璃在前的结构。只要玻璃选择合适，透镜的曲率半径可以任意确定、透镜厚度因为不当作有效的自变量，故可参照国家标准中有关透镜最小厚度的规定大致选取。

3.2 双分离型望远镜物镜

双分离型望远镜物镜比前述双胶合物镜多一个曲率变量，因而弥补了双胶合物镜的自变量不足。由前面的分析不难看出，双分离型物镜的初始结构不必象双胶合物镜那样严格挑选玻璃组合。原则上，随便取一种常用的冕玻璃和一种火石玻璃组合都是可行的。但为了增大曲率半径，以减小孔径高级球差，一般宜选用折射率差和色散差都比较大的玻璃来配对。各表面的曲率半径可以任意取定。

3.3 双胶透镜与单个正透镜密接组成的望远镜物镜

对于双胶透镜与单个正透镜密接组成的物镜，拟定初始结构时首先要合理分配光焦度。为了充分体现单个正透镜的作用，有效地减小孔径高级球差和色球差，宜使单透镜承担主要的光焦度。例如使单透镜承担总光焦度的3/4，双胶透镜承担1/4。关于单透镜的玻璃材料，宜选用折射率高而色散较小者，例如Zk7($n_D=1.6130, v=60.57$)、Zk9($n_D=1.6203, v=60.28$)等。单透镜的形状，宜使之处于球差极小值状态，即使得：

$$W_\infty = -2.35\bar{u}_1 + 0.1$$

由于玻璃已定，故单透镜的 P_0 、 Q_0 均为已知（查单透镜参数表），从而其三个象差特性参数 P 、 W 、 C 皆可求出。

双胶合透镜的 P 、 W 、 C 应是上述单透镜相应值的相反数，于是又可针对双胶合透镜选择玻璃组合。玻璃一旦选出，曲率半径可以任意取定。

综上所述, 对这类物镜拟定初始结构有两个关键, 一是在双胶透镜与单透镜之间恰当地分配光焦度; 二是恰当地挑选玻璃材料。至于曲率半径, 一般可以大致取定。

3.4 中倍消色差显微物镜

中倍消色差显微物镜的设计通常按“反向光路”进行, 其结构系由两个不密接的双胶透镜组成。确定初始结构的第一步是总偏向角在两个双胶透镜之间的分配。常见的分配比例有两种。第一种为平均分配; 第二种是使前组透镜占45%, 后组占55%。

两组透镜的主面间隔大致与总焦距相当, 并假定光阑与前组透镜重合。

剩下的问题仍然是分别对两组透镜选配玻璃, 思路与前面讲的双胶透镜一样。玻璃选定后, 曲率半径可参照同类系统大致确定。

3.5 对称目镜

对称目镜由两个完全相同的双胶合透镜组成。因此, 其初始结构的确定主要也是选择玻璃组合, 只要玻璃选配合理, 其各表面的曲率半径可大体上任意选定。用于对称目镜的玻璃组合一般是: K9—F2; K9—F3; K9—F4; K9—F5; K9—ZF1; K9—ZF2; K9—ZF3; K9—ZF5。其中尤以K9—F3和K9—ZF1用得最多。

3.6 I型广角目镜

I型广角目镜的校正结构主要是确定玻璃材料, 其中的负透镜应选用高色散玻璃。例如ZF4、ZF5、ZF6; 而正透镜玻璃的色散应该低, 常用K9玻璃; 也有用QK3、BaK3、ZK1等玻璃的。校正结构各面的曲率半径可任意取定。

基本结构包括两个密接的薄正透镜, 其中接目镜为平凸状, 平面朝出瞳一侧; 凸面曲率半径可取为 $r_2 = -2f'_{\text{目}}(n-1)$ ($f'_{\text{目}}$ 是目镜的总焦距)。基本结构的另一正透镜取等双凸形, 其曲率半径可为 $r_3 = -r_4 = 4f'_{\text{目}}(n-1)$ 。

基本结构的玻璃材料应取用低色散玻璃, 对折射率要求一般不严。经验证明, 在 $2w' = 60^\circ, l_z/f'_{\text{目}} \approx 2/3$ 时, 可选用K9玻璃; 光学特性指标高于上述数值时, 可用ZK1、ZK3、ZK7等; 也有采用BaK3、BaK4玻璃的。

3.7 II型广角目镜

II型广角目镜的校正结构是一个双胶合透镜, 其玻璃组合的选择常见有: K9—ZF3、K9—ZF5、K9—ZF1、K9—F3、K9—F5、ZK3—ZF1、ZK11—ZF6、BaK3—ZF5等。其各表面的曲率半径可以大致取定。

基本结构包括一个单正透镜和一个双胶合透镜。其中单正透镜常取等双凸形, 材料可用K9 (也有用BaK3、ZK11的), 其曲率半径可取作 $r_4 = -r_5 = 4f'_{\text{目}}(n-1)$ 。

基本结构的双胶合透镜应先选取玻璃组合, 选玻璃的依据是:

$$\bar{C} = 0 \quad P_0 = 0.64(f'_{\text{目}}/l_z)^2$$

玻璃选出后, 再按下式计算 \bar{W}_∞ :

$$\bar{W}_\infty = 2.6\sqrt{P_0}$$

式中 P_0 是所选玻璃组合实际对应的值。至此, 便可按一般双胶合透镜求解曲率半径的办法计算各曲率半径。

值得指出, 在I型广角目镜的基本结构中, 其双胶透镜应采用火石玻璃在前的结构

——即以负透镜朝向出瞳一侧，以减小胶合面的曲率，从而对减小高级象差有利，也便于透镜的制造。

3.8 摄影物镜

摄影物镜的初始结构可以按初级象差理论求解；也可以采用先设计半部系统而后合成的办法。但由于这些方法计算量较大，加上现在各类摄影物镜都有不少成型的结构可供借鉴，因而目前用得最多的方法是根据同类物镜的现有结构，进行一些必要的再加工，即作为初始结构进入自动优化。这里所谓“再加工”，诸如：更换部分透镜的玻璃材料、焦距缩放、调整光阑位置等等，均属此列。在进行这种再加工时，有以下几点值得注意：

- 1) 更换玻璃材料时，应尽量优先选用国家标准中建议大量使用的牌号。
- 2) 更换玻璃时应注意使胶合面两侧玻璃材料的折射率差基本与原设计方案相同或相近。
- 3) 更换玻璃时若降低了某些正透镜材料的色散，则应相应地降低负透镜的色散，以使色差少发生变化。
- 4) 更换玻璃后要将有关表面的曲率半径作相应调整，以维持各折射表面的屈光能力不变。并且，这种调整应符合下列关系：

$$r^{**} = (n^* - 1)r / (n - 1)$$

式中 * 用以标识调整后的量。

- 5) 进行焦距缩放后，要注意防止透镜厚度出现太大或太小的情况，以免透镜太笨重或违背国家标准中有关透镜最小厚度的规定。

3.9 大孔径小视场折反射系统

大孔径小视场的折反射系统，其中主反射镜的曲率半径很容易按系统的焦距来确定；而其校正结构应自消色差，曲率半径可任意选取。

值得强调，各类初始结构都应力戒边界违背，否则程序不得不反复查处边界违背，既浪费机时，又迫使优化过程过多地迁就边界条件，影响象差的校正。况且，边界违背太多，处理违背后的结构与初始结构差异便很大，这对前面拟定初始结构的工作也是一种否定。

4. 其它问题

应用象差自动校正技术时，须正确使用结构参数自变量，它包括：

- 1) 均衡地调动各有效变量的校正作用，避免和及时纠正偏废使用自变量的情况；办法就是合理调整自变量增量的比例。
- 2) 保证同时参与优化的结构参数自变量互相独立，切忌使用相关变量。
- 3) 注意所用自变量与受控指标的相容性。
- 4) 一般不宜多用结组变量。
- 5) 自变量增量的经验数据是：

曲率增量 $(0.007\sim 0.01)\varphi$;
偏心率增量 $0.0005\sim 0.001$;
厚度增量 $(0.0003\sim 0.001)f'$;
折射率和色散增量各取 $0.0005\sim 0.001$ 和 $0.00005\sim 0.0001$ 。

参考文献

- [1] 王永仲. 光学设计与微型计算机 第1版. 国防科技大学出版社, 长沙, 1986.5, 227
[2] 王永仲. 国防科技大学学报, 1983.4, 27

一九八七年我校科研取得丰硕成果——校召开一九八七年度 部委级科技进步奖授奖大会

5月31日下午, 校召开1987年度部委级科技进步奖授奖大会, 校领导陈启智、夏铭智和训练部领导郭景秀向获奖成果的主要完成者颁发了奖状和证书。

1987年, 是历年来我校科研成果获奖最多的一年, 共有163项成果获奖。其中, 国家级科技进步奖1项, 国家发明奖3项, 湖南省教委科技进步奖12项, 总政社会科学成果奖1项, 部委级科技进步奖146项(有12项一等奖的项目待国防科工委审批)。这些成果中, 有校重点科研项目, 如“织女—1号”气象火箭; 有属于高技术领域的项目, 如GKD—1机器人视觉系统。

这次授奖会上, 夏副校长宣读了134项成果分获部委级科技进步二、三、四、五等奖的通令。科研处张德芳处长就这批成果的评审、复审情况, 以及今年将执行的新的评审条例的有关问题作了说明。姚德森副教授代表获奖同志发了言。陈副校长代表校党委和校领导对获奖成果的主要完成者, 表示热烈祝贺, 向为取得科研成果而作出贡献的教师、科研人员、管理和后勤保障工作的同志们表示感谢, 希望大家继续努力, 为学校的科研工作做出新的更大的贡献。

(科研处 桑叶)

Elastic Cross Sections of e^- -He and e^- -Ar Collisions Calculated Using Roothaan- Hartree-Fock Atomic Wavefunctions

Yuan Jianmin

Abstract

The elastic cross sections of e^- -He and e^- -Ar collisions are calculated using Roothaan-Hartree-Fock wavefunctions in a model potential scheme, including static, Slater's type exchange and polarization potentials. The calculations agree with the experimental data. By comparing our calculations and the empirical exchange parameter used in the calculations with those of other authors' by using different atomic wavefunctions, the effect of the difference of different approximate atomic wavefunctions on the calculations is investigated.

Key words: Atomic and Molecular physics, Low energy electron, Calculation of cross sections

The Critical line for the Spin Model

Sen Huengge

Abstract

In this paper, using Δ - Y transformation, we obtained an expression of the critical line for the model with n dimensional classical spin vector s and Ising spin σ arrayed alternately on the honeycomb lattice.

Key words: Δ - Y transformation, critical line, n dimensional classical spin vector, Ising spin, Model

The Application of the Automatic Correction Technique of Aberrations

Wang Yongzhong

Abstract

The paper discusses mainly how to define a rational original construction

of an optical system, and illustrates simply how to use the variables of the structure data and how to determine their increments.

Key words Automatic correction, Objective; Ocular, Refract—reflecting system; Original structure

The Transfer Characteristic of Faraday Cup

He Yiping Liu Cunhua Li Xiangsheng

Abstract

The surface-action is considered here and the transfer characteristic of Faraday cup is derived theoretically. The analysis shows that there is an eigen frequency ω_c , which is related to the structure of the cup. When ω (measured signal's frequency) $\ll \omega_c$, the transfer characteristic function is a constant; but when $\omega \geq \omega_c$, the function is the sum of a constant and a decreasing oscillation term. On the latter condition, the cup would cause the distortion of the measured signal.

Key words: Faraday Cup, transfer characteristic, surface-action, eigen frequency, distortion

The Numerical Analysis for Wave-head of Pulse Voltage on a Water Switch

Lin chepo Li Xiangsheng

Abstract

In this paper we present some numerical analysis for wave-head of pulse voltage on a water switch which is used in the High Power Pulse Water Dielectric Switch Research Device, i.e. No. 2 device in Lab. 206. We have theoretically discussed a variety of parameters which can affect characteristics of the water switch. We have drawn an important conclusion that c_M/c can evidently affect some characteristics of the water switch. Thereby, a theoretic evidence is suggested for the design of a high power submicrosecond water switch. A lot of experiments' data in our device have confirmed our numerical analysis.

Key words: Water switch, Submicrosecond regime, Capacitive ratio