

# 掠入射光谱仪光学设计

杜浩燕

**摘要:** 根据像差系数理论提出了计算XUV系统像差的方法,导出了光谱仪器的评价函数,该函数是各像差系数在各波段加权的平方和,并考虑了各元件参数和光栏位置对像差系数的影响。最后利用上面理论设计了一个新的XUV系统。

## 一、概 述

近年来,掠入射光谱仪越来越引起人们的重视,它广泛应用于等离子体诊断和天体物理研究等方面。

由于没有合适的材料<sup>[1]</sup>,光学系统只能用反射系统,为了提高表面反射率,入射角往往很大,因而系统像散非常严重。为减少系统像散一般采用附加光学元件的方法<sup>[2]</sup>。通常,各种像差理论只能描述单个光栅系统的像差。本文采用一种新的计算像差方法——波像差系数法,它可以描述多元件系统的像差,既可计称轴上点像差,也可计算轴外点像差,还考虑了光栏位置对系统像差的影响,而且系统各表面对像差的贡献是独立的。本文还着重研究了光谱仪器自动设计,提出一个评价函数,研究了它的某些应用。

## 二、波像差系数理论

人们已经提出了许多有关光谱仪器的像差,但只能用来描述一个光栅系统的像差情况,其原因有两个:第一,在一般理论中孔径光栏总是设在光栅顶点,但在一般多元件系统中光栏可能在任何位置;第二,由于系统的非对称性,通过系统的实际光程与在共点光束近似下得到的光程偏差很大。为此,我们引入了像散参考面的概念。

设一个完全像散波前  $\Sigma^*$  进入系统形成有像差的波前  $\Sigma$ , 这个波前就是像散参考面。由于像差的作用成像光束将偏离焦线。成像光束的波前称为实际波前。

在系统中过  $P$  点的波像差  $W$  是沿光线方向实际波面与参考面间的距离。

由费马原理得波像差系数:

$$W_{ijk} = [a_{ijk}U^k - b_{ijk}U'^k - \frac{m\lambda}{\lambda_0} (d_{ijk}U_a^k - c_{ijk}U_b^k)] X^i Y^j \quad (1)$$

波像差

$$W = \sum_{i,j,k} K_{i,j,k} W_{i,j,k} X_n^i Y_n^j u_n^k$$

其中:

$i + j + k \leq 4$ ;  $a_{i,j,k}, b_{i,j,k}, c_{i,j,k}, d_{i,j,k}$  是光束系数;  $K_{i,j,k}$  是常系数;  $X, Y, U$  是孔径光线的坐标值和视场角;  $x_n, y_n, u_n$  是规化后的坐标值和视场角。

利用下面公式将波像差换称为轴向像差, 用点列图的方法将该像差理论与普通像差理论相比较。

$$\delta_x = - \frac{(r' - x_n X \sin \beta)}{r' \cos \beta} \left[ \left( \frac{r'}{x} - x_n \sin \beta \right) \frac{dw}{dx_n} - y_n \sin \beta \frac{dw}{dy_n} \right]$$

$$\delta_y = - \frac{(r' - x_n X \sin \beta)}{Y} \times \frac{dw}{dy_n}$$

### 三、评价函数<sup>[4]</sup>

为了在一定程度上反映光学系统像差情况的优劣, 我们引入了评价函数的概念。评价函数是在各波段上像差系数加权的平方和。

即:

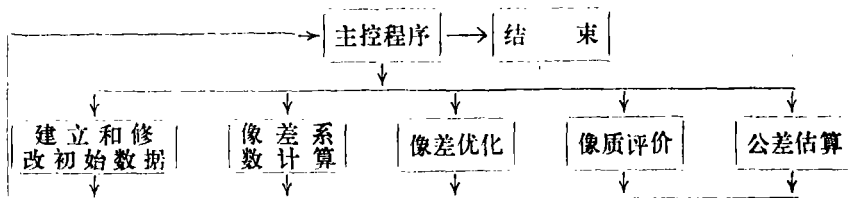
$$\Omega = \sum_{i,j,k} V_{i,j,k} (A_1 [W_{i,j,k}]_{\lambda_1} + A_2 [W_{i,j,k}]_{\lambda_2} + \dots + A_n [W_{i,j,k}]_{\lambda_n})$$

$A_n$  是在波长  $\lambda_n$  的像差权重因子,  $V_{i,j,k}$  是表征各像差系数在评价函数中重要性的权重因子, 它们的取值准确与否直接关系到系统优化的结果。对于不同系统, 各像差系数在其中的作用是变化的, 这给光谱仪器设计带来了困难。本文通过统计计算解决了光谱仪器自动设计的某些问题。

### 四、程序的总体结构和功能

从易于发展、扩充和维护出发, 本程序采用大模块结构, 各模块间是一个有机联系的整体, 同时各模块间又有相对独立性, 各自承担专门的功能。如图所示。

为加快运动速度, 整个软件的计算部分采用 FORTRAN 高级语言编写, 绘图部分采用 BASIC 高级语言编写。



程序的主要功能:

1. 建立和修改数据文件。
2. 对数据文件进行编辑: 插入一面或几面, 删除一面或几面。
3. 计算像差系数。
4. 轴向像差点列图的输出。

5. 像差优化设计。

## 五、结 果

本方法可计算多元件光谱仪器的像差及其光学自动设计,系统可含有环面、球面、柱面、平面面形的反射镜和全息光栅或刻划光栅。利用本方法计算了 *Seya-Nainioka* 系统和 *Tondello* 系统,主要结果与国外资料相吻合,并且还设计了一个新的 *XUV* 系统,该系统具有较好的空间分辨率和光谱分辨率。

### 参 考 文 献

- [1] Yoshimi Sakyanogi, *Optic. AcTA*, 23, No3. 217 (1976)
- [2] 北光通讯 NO.2, 3, P76 (1981)
- [3] Michael P. Chrisp, *Applied Optics*, .22, No.10, 1506~1529 15 may (1983)
- [4] John B. Develist, *Journal of the Optical Society of America* 55, No.2, 165 (1965)

## Optical Design of an Grazing Incidence Spectrometer

Du Haoyan

### Abstract

A method for computing aberrations of XUV system is proposed on the basis of aberration coefficient theory and a merit function of spectrometer is deduced. This function is the square sum of each aberration coefficient multiplying by its weight factor in each wave length region. The effect of each element and stop position on aberration is considered. A new system is designed and optimized.