

透镜像差的分析及像差消除方法

徐 航 张 真

(遵义师范学院, 贵州 遵义 563000)

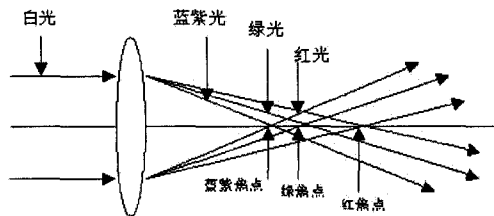
摘 要:普通物理光学教学中透镜成像的像差是一个难点, 本文通过对各种像差的讨论, 对像差的形成原因及如何消除各种像差进行了概述。

关键词:透镜像差 图示分析 消除方法

各种透镜的成像都或多或少地存在像差。这是由于制造镜头的材料缺陷, 制造工艺, 以及光线本身某些特性, 使透镜上存在不同程度的像差现象。因此, 在一些高级的相机镜头对像差问题做了最大限度的消除, 但仍然不能做到完全消除各种像差。透镜的像差主要有色像差、球面像差、横向色差、慧形像差、畸变、像散和像场弯曲等七种。

1. 色像差

产生色像差的原因是透镜对不同的波长的色光具有不同的折射率, 当白光透过透镜后就会发生色散, 不同的颜色焦点距离透镜的远近不同, 便在成像面上形成色像差。紫蓝色焦点在前面, 黄色焦点在中间, 红色焦点在后, 如下图。色像差的特点是白光点经透镜成像后不能会聚成一个白光点, 而形成一个个彩色的光环。



消除方法:使用具有不同折射率和色散率凸凹透镜相互配合, 可不同程度地消除或减少色像差。

2. 球面像差

产生这种像差的原因是透镜的球面折射使具有一定高度的平行光落雁束不能在一点上聚焦所致。而球面像差的种类也很多, 分类方法不一, 在度量上可分为横向球面差和纵向球面差两种; 在形式上可分为正球面像差和负球面像差两种。

球面像差的消除方法主要有两种: 一是采用多片透镜组合, 使各透镜正、负球面像差相互抵消, 相机中的多数摄影镜头采用这种方法, 但其校正球面像差的缺陷并不十分彻底; 二是采用非球面透镜和曲镜, 这种透镜可改变透镜两球面的曲率半径(又称配曲调正)以减小单透镜的球差, 也可用渐变折射率的材料制作透镜, 以消除球差。

3. 横向色差

横向色像是色像差的一种。由于光学玻璃对各种不同波长色光具有不同的折射率, 色差的大小也以镜头对各种色光焦距不同而异, 当白光点斜射穿过透镜, 形成的影像一面有红色环边, 而另一面有比红色要宽的深蓝色环边。其特点是离主光轴越远越明显。

横向色差将具有不同折射率和色散率的透镜相配合才能得到很好的校正, 例如采用萤石镜片的镜头就能很好地消除横向色像差。

4. 慧形像差

产生慧形像差的原因是球面透镜各光区成像的放大率不一致, 各光区的焦点不同。在边区一带光线形成亮度较低, 虚散的大环形, 主光轴一带光线形成高亮度清晰的小环形。重叠后呈现梨状圆形。慧形像差的种类有多种, 根据慧形亮端朝向来分, 可分为外向慧形像差和内向慧形像差两种; 根据产生方式来分, 可分为初级慧形像差和高级慧形像差两种。

如果镜片是用作相机的镜头, 存在慧形像差的摄影镜头, 将严重影响像的清晰度。校正慧形像差的办法主要有以下两种: 一是在设计制造镜头时, 可用不同曲率透镜的组合加以校正; 二是对校正不良, 尚存慧形像差的镜头, 可采用缩小光圈的办法减少慧形像差的影响。

5. 畸变

是指因为影像各部分相对比例关系与被摄体实际比例关系不一致而出现的一种变形现象。例如使用这种透镜作相机镜头拍摄有横直线条的方形物体, 其结果是影像的直线部分变成向内定或向外弯曲的线。向内弯曲的为桶形畸变, 向外弯曲的为枕形畸变。

产生畸变的主要原因是由于光学系统对共轭面不同高度的物体有不同的垂轴放大率所引起的。新月形、平凸形单透镜更容易出现影像畸变, 当凹面或平面向外, 光圈在前时, 所会聚影像呈凸出状, 愈接近边缘, 弯曲现象就愈明显, 这种现象为桶形畸变; 当凸面向外, 光圈在后, 所结成的影像呈凹状, 纵横线都向内弯曲, 这种现象为枕形畸变。有些应用领域的镜头是不允许有畸变的, 如测绘和航空测量用的摄影镜头。摄影镜头的畸变只有改善镜头的结构才能得以消除。

6. 像散

像散是单色性像差的一种。它产生的原因是: 与主光轴垂直的平面, 其影像位于两个不同的表面上, 一个表面上仅有水平线条, 而另一具表面上则只有垂直子午线条, 当这两个表面不能重合时, 便产生了像散。有像散的透镜或透镜组, 对同一垂直面内垂直线条和水平线条不能同时准确成像。在透镜主光轴以外的点状物体, 其影像在任何处均不是一个点, 而是随着聚焦屏位置的变化而改变, 人弧矢直线变为切向直线。

对于透镜像散的校正通常采用折射率较高、色散率较低的光学玻璃制造透镜, 并配制各种曲率的表面互相抵消。

7. 像场弯曲

透镜对平面物体能够结成的双重影像, 主像面为横切线焦面, 副像面为辐射线焦面。如果两个像面不相重合就会发生像散现象; 当两个像面重合而形成一曲面, 即为像场弯曲。像场弯曲与像散同时产生, 校正像散之后, 像场弯曲仍可单独存在。因此在设计和制造透镜时, 采用两组适当折射率的透镜组配合, 如果是应用在相机上, 即在距离较长的中间安放光圈, 就可以校正透镜的像场弯曲。

参考文献:

- [1] 姚启钧. 华东师大《光学》教材编写组改编. 高教出版社, 1981: 246-249.
- [2] 杨述武等. 普通物理实验三·光学部分. 高教出版社, 2007: 20.