

光学系统设计技巧

郑保康

(云南北方光学电子集团有限公司 650114)

(续 2002. NO.6)

§2.9.5 对设计计算结果的判断

光学设计结果中,象差总是校正得不太完美的,不可能使所有的初级象差和高级象差都等于零。通常我们采取初级象差和高级象差相平衡的方法,以求达到较好的结果。这样便使得在整个孔径或整个视场中,只有一带或几带的象差为零,而其余部分的象差不为零。此时,我们用前面所述的方法,将象差结果表示成图形是很直观的,可使我们一看就知道整个的象差情况;可判断这种象差结果处在何种校正状况;象差校正是完善的还是缺陷的;缺陷是什么性质,是由何种象差造成;这些缺陷是光学系统结构稍加改动就能校正过来呢,还是需做根本的改动才行。这些问题对于光学设计工作是非常重要的。下面对各种象差分别作简单的考虑。

(1) 球差

初级球差是与视场无关而与孔径平方成正比的象差,所以我们把球差对孔径的平方(y^2 、 $\sin^2 U$ 、 $\tan U'$ 、 U'^2 等等)作图,即易于判断高级球差的情况。在只有初级球差时,图形便为一一直线,如图 2.16.1 所示;当有二级球差时,图形便为一抛物线,如图

2.16.2 中的 OAB 所示。

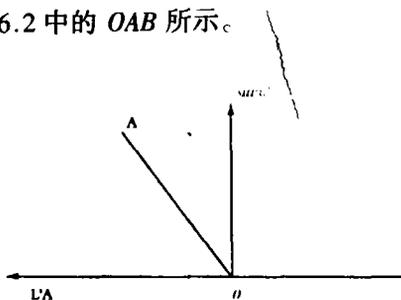


图 2.16.1 初级球差曲线

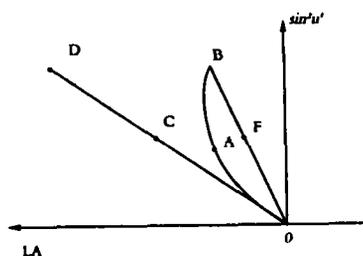


图 2.16.2 二级球差曲线

球差曲线中偏离直线的程度,即为高级球差量;光学系统孔径不大时,球差可认为几乎只有初级球差,在图 2.16.2 中,自 O 点作抛物线 OAB 的切线 OCD ,则 OCD 表示光学系统的初级球差, OCD 与 OAB 的差别即为二级球差。假设设计结果中仅有初

级球差和二级球差,而且球差曲线如图 2.16.2 中 OAB 所示时,我们往往还需把边缘球差再校正为零。如果我们在校正球差时二级球差没有改变的话,其所需初级球差校正量如 OFB 所示。 OFB 与 OAB 差别即为边缘球差校正到零后,残留的球差量,简称为带球差。

由于球差的波象差与几何象差有关系如式(2.61),所以我们用 $LA' \sim \sin^2 U'$ 曲线表示球差时,亦可以用它求出球差的波象差,其数值即为球差曲线与纵轴所围区域面积的一半。至于如何选择纵轴位置(最佳象面位置)以使波象差为最小,这里不作详述。

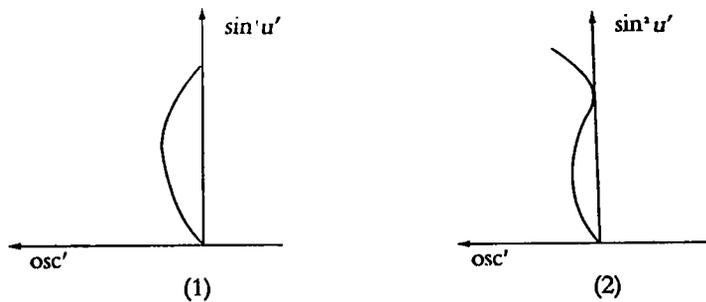


图 2.17 正弦差曲线

(3) 象散和象面弯曲

初级象散和象面弯曲均是和孔径无关,而与视场平方成正比的象差,宜用象散、象面弯曲对视场的平方(象高 H^2 或视场角 U_p^2) 作图。只有初级象散和象面弯曲时,图形为直线。象散、象面弯曲曲线偏离直线的程度,即为高级象差的数值。象散和象面弯曲这两种象差均在视场较大时才显著,而在整个视场中并不是每一点都重要,

(2) 正弦差

初级正弦差亦是和孔径平方成正比,所以亦宜用 $QSC' \sim \sin^2 U'$ 曲线来表示。正弦曲线偏离直线的程度即表示高级正弦差的值。由象差理论知道 OSC' 的数值是直接和波象差成比例的,所以我们可以这样粗略地认为:正弦差曲线的整体尽可能压缩在一小范围内,则是最好的校正状况,如图 2.17.1、2.17.2。实际则不然,由 OSC' 描述的是小视场的弧矢彗差,而子午彗差比弧矢彗变化剧烈得多。真正的正弦差最佳校正方案与此不同,应该是边缘带正弦差稍小于中间带正弦差而不变号。

例如在摄影时,人们的注意力往往集中于人像或主要的景物上,这样就要求把人像和主要的景物对焦于视场中心,所以我们在校正象散和象面弯曲时应注意到这一点。如图 2.18.2 表示为考虑整个象面同等重要时的校正状况,它在横轴上的投影范围是差不多的(图中 OO 线表示象面位置)。对于图 2.18.1 来说,还可以校正以适当的初级象散和象面弯曲,以使曲线移向

纵轴,这样可使曲线在横轴上的投影范围大大减小,如图 2.18.2 所示。考虑到视场中心和视场边缘不是同等重要时,视场边

缘的象差比图 2.18.2 所示者差,而视场中心的象差则比图 2.18.2 所示者要好些,应该重新校正到如图 2.18.3 所示的状况。

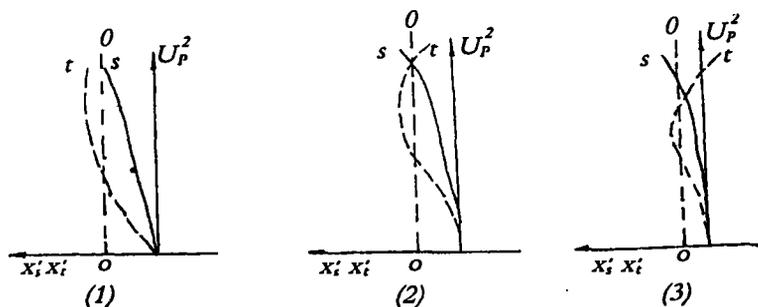


图 2.18 细光束象面弯曲

(4) 畸变

初级畸变是与孔径无关而与视场三次方成正比的象差,故宜以畸变对视场三次方作图,即作 $Dis't \sim U_p^3$ 的曲线图。这样即可以看出高级畸变的产生情况。但是,当我们的光学系统不是作准确测量之用时,畸变只影响象的弯度;而且可以证明象的弯度是与畸变的相对值有关的,故此时宜以 $Dis't/H' \sim U_{p1}$ 来表示各个视场的畸变情况。

要判断轴外球差和轴外彗差宜以 $H' \sim \tan U'$ 曲线图来表示。如图 2.19.1,我们一看便知道主要的象差是子午彗差。光栏移动的影响亦易于由这种象差曲线上看出,如图 2.19.3,我们把光栏从 P 点移到 a_z 点附近时,细光束子午场曲及子午彗差均变小;反之,当光栏从 P 点移到 b_z 点附近时,细光束的子午场曲及子午彗差则均变大。对于各种不同孔径的轴外球差和轴外彗差,亦易于由此类曲线图中看出。

(5) 轴外球差和轴外彗差

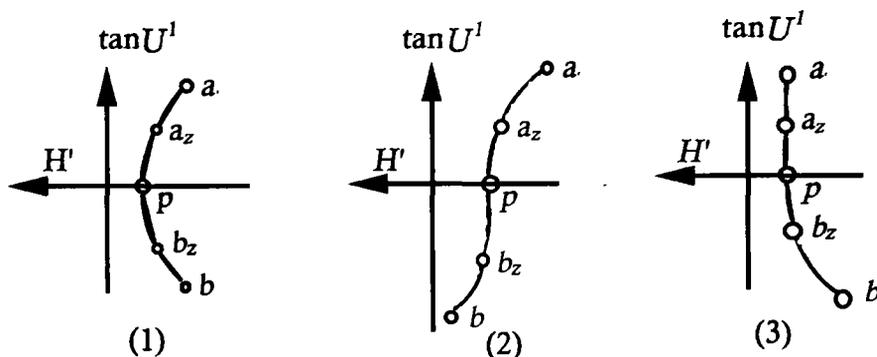


图 2.19 轴外点含轴面内光线典型象差曲线

此外,我们有了上述象差曲线图后,还可以用来判断应该采取何种校正手段。如图 2.19.3,可以看出 a 、 az 、 p 、 bz 四点的象差是比较好的,而 b 点则差些,此时我们应该在光学系统中寻找一个参数,使得这个参数对 a 、 az 、 p 、 bz 诸点发生的影响不大,而对 b 点则发生较大的影响,我们利用这一参数来校正 b 点则是有效的。这种参数在光学系统中有时是找得到的,比如有一折射面,这个折射面上 a 、 az 、 p 、 bz 诸点光线的折射点高度均不大,而点光线的折

射点高度较大,则改变这一折射面的有关参数是可以校正好如图 2.19.3 中所示的 b 点象差状况的。

总之,对各种象差校正结果的判断有如下的原则:就高级象差而言,与同类光学系统相比,是否已处在相同或较小的数量上;有高级象差时,是否已经用初级象差与之相平衡,从而达到最好的校正状况;校正状况是否已与使用要求相符合。这些原则是判断一个设计结果优劣的主要标准。

第三章 光学系统的质量评价

3.1 概述

在实际使用过程中,对一个光学系统的评价是非常广泛的,不但要求它有理想的成象质量,而且对它的体积、重量、外型形式、适应性、牢固度、工艺性能、材料选用、造价等等都有一定要求。最好的成象质量,如果在工艺上,材料的物理、化学性能上无法保证,也无实际用处;至于体积、重量等要求,有时甚至就直接地影响着这个系统的实际使用价值。在进行设计时,所有这些都与象质一起加以考虑,过份追求某一指标而忽略其它指标都是片面的。

在进行光学系统的设计时,象差的校正结果一般不会达到绝对理想,绝无象差的地步,因此要求对它们的质量作相互比较,确定哪种校正状况好些,校正到怎样

的程度才能满足使用要求,怎样的状况已充分满足使用要求等等。这些问题的结果对设计将起指导作用。容易想起评价质量的根据是物空间一点所发出的光能量在象空间的分布状况。按几何光学来看,设计到理想情况时,能量将在象空间中焦集于一点,而象差则使能量分散。因此由几何光学来看,设计得理想的光学系统将能分辨无限细致的物体结构,但是实践的结果与此不符。这就是说,一般不能用几何光学方法来考察能量分布问题,这也就是说,质量评价问题不能单纯依靠几何光学来解决。

光学设计中的成象质量评价这一专用名词,是指光学系统在设计过程中评价各种象差的容限,如“瑞利判断”、“中心点亮度”、“光学传递函数”、“点列图”、“能