

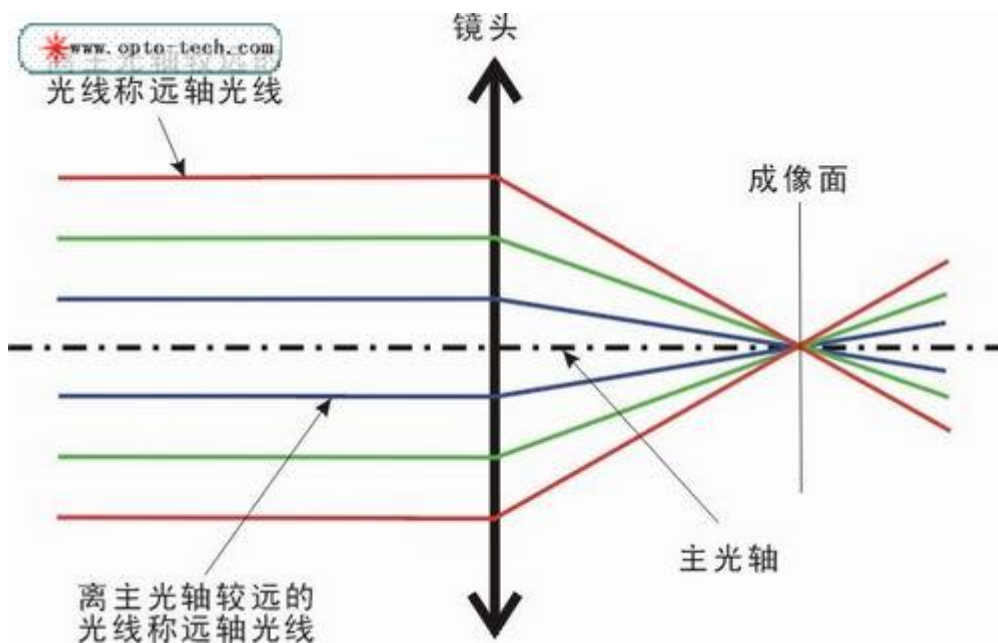
## [像差专题]初级像差深入

### 1, 近轴光线和远轴光线的概念。

近轴光线和远轴光线都是指与光轴平行的光线，它们都成像在光轴上（下图中画的是主光轴情况）。缩小的光圈可以拦去远轴光线，而由近轴光线来成像。

总的来说，镜头的像差可以分成两大类，即单色像差及色差。

镜头的单色像差五种，它们分别是影响成像清晰度的**球差**、**彗差**、**象散**、**场曲**，以及影响物象相似度的**畸变**。



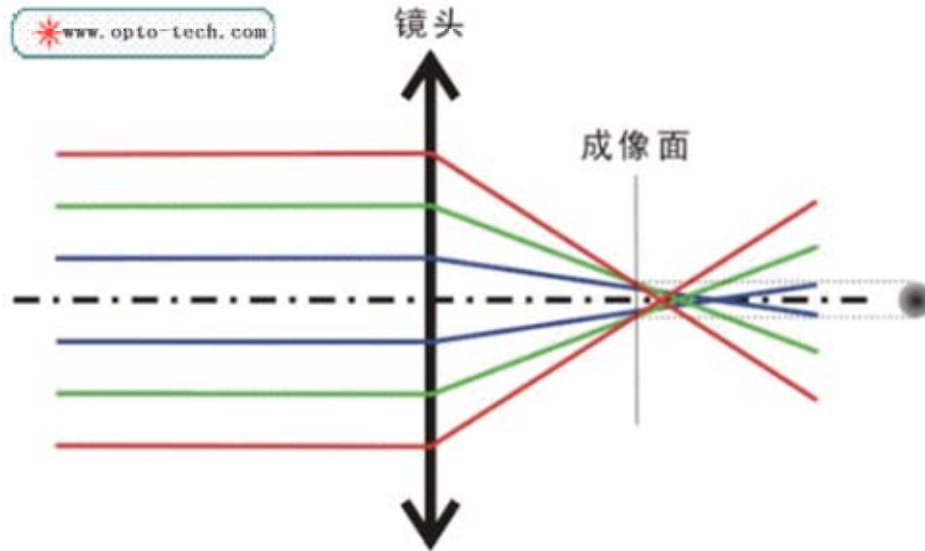
下面就分别介绍五种不同性质的单色像差。

球差是由于镜头的透镜球面上各点的聚光能力不同而引起的。从无穷远处来的平行光线在理论上应该会聚在焦点上。但是由于近轴光线与远轴光线的会聚点并不一致，会聚光线并不是形成一个点，而是一个以光轴为中心对称的弥散圆，这种像差就称为球差。球差的存在引起了成像的模糊，而从下图可以看出，这种模糊是与光圈的大小有关的。

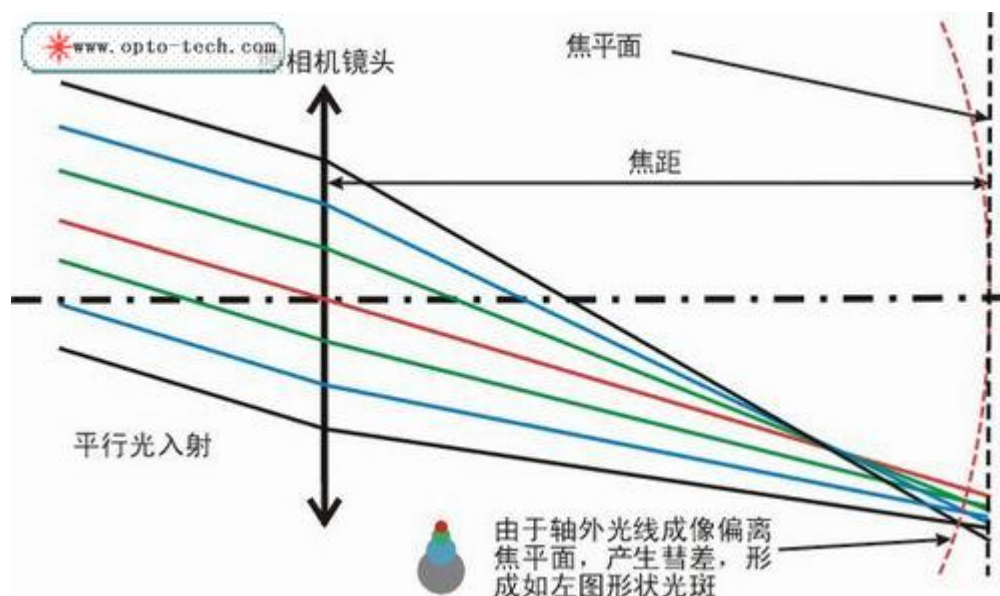
小光圈时，由于光阑挡去了远轴光线，弥散圆的直径就小，图像就会清晰。大光圈时弥散圆直径就大，图像就会比较模糊。

必须注意，这种由球差引起的图像模糊与景深中的模糊完全是两回事，不可以混为一谈的。球差可以通过复合透镜或者非球面镜等办法在最大限度下消除的。在照相镜头中，光圈数增加一档

(光孔缩小一档), 球差就缩小一半。我们在拍摄时, 只要光线条件允许, 可以考虑使用较小的光圈来减小球差的影响。



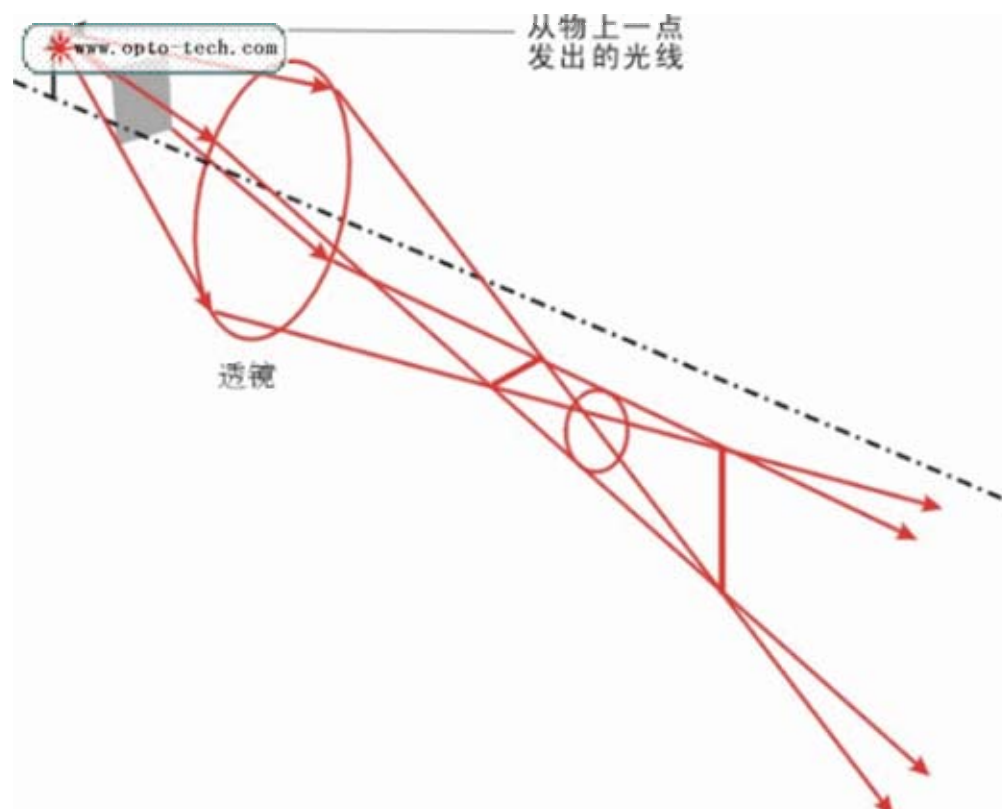
彗差是在轴外成像时产生的一种像差。从光轴外的某一点向镜头发出一束平行光线, 经光学系统后, 在像平面上并不是成一个点的像, 而是形成不对称的弥散光斑, 这种弥散光斑的形状象彗星, 从中心到边缘拖着一个由细到粗的尾巴, 首端明亮、清晰, 尾端宽大、暗淡、模糊。这种轴外光束引起的像差就称为彗差。彗差的大小既与光圈有关, 也与视场有关。我们在拍摄时也可以采取适当采用较小的光圈来减少彗差对成象的影响。



像散也是一种轴外像差。与彗差不同, 像散仅仅与视场有关。由于轴外光束的不对称性, 使得轴

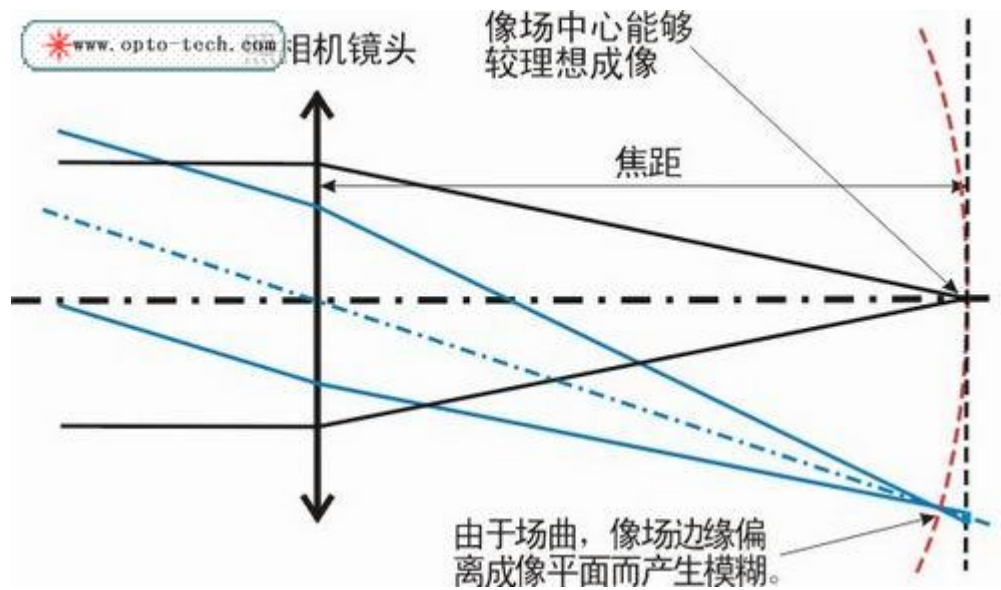
外点的子午细光束（即镜头的直径方向）的会聚点与弧矢细光束（镜头的圆弧方向）的会聚点位置不同，这种现象称为象散。象散可以对照眼睛的散光来理解。带有散光的眼睛，实际上是在两个方向上的晶状体曲率不一致，造成看到的点弥散成了一条短线。

象散也使得轴外成像的像质大大地下降。像散的大小只与视场角有关，与孔径是没有关系的。即使光圈开得很小，在子午和弧矢方向仍然无法同时获得非常清晰的像。在广角镜头中，由于视场角比较大，象散现象就比较明显。我们在拍摄的时候应该尽量使被摄体处于画面的中心。这好象与构图要求不把主要表现对象放在图面正中央有些冲突，如何掌握就要看实际情况了。



当拍摄垂直于光轴的平面上的物时，经过镜头所成的像并不在一个像平面内，而是在以光轴为对称的一个弯曲表面上，这种成像的缺陷就是场曲。场曲是一种与孔径无关的像差。靠减小光圈并不能改善因场曲带来的模糊。

用存在场曲的镜头拍照时，当调焦至画面中央处影象清晰，画面四周影象就模糊；而当调焦至画面四周影象清晰时，画面中央处的影象又开始模糊，无法在平直的象平面上获得中心与四周都清晰的象。



因此在某些专用照相机中，故意将底片处于弧形位置，以减少场曲的影响。由于广角镜头的场曲比一般镜头大，在拍团体照（经常使用广角镜头）时采用略带圆弧形的站位排列，就是为了提高边缘视场的象质。

畸变是指物所成的像在形状上的变形。畸变并不会影响像的清晰度，而只影响像与物的相似性。由于畸变的存在，物方的一条直线在像方就变成了一条曲线，造成像的失真。畸变可分为枕型畸变和桶型畸变两种。造成畸变的根本原因是镜头像场中央区的横向放大率与边缘区的横向放大率不一致。如下图所示，如果边缘放大率大于中央放大率就产生枕型畸变，反之，则产生桶型畸变。

畸变与镜头的光圈F数大小无关，只与镜头的视场有关。因此，广角镜头的畸变一般都大于标准镜头或长焦镜头。无论是哪一种镜头，哪一种畸变，缩小光圈并不能改善畸变。

枕型畸变  
www.opto-tech.com

如果镜头的边缘的放大率大于中间放大率，就会发生枕型畸变。同心圆之间的像间距不均匀，即边缘间距大于中间间距，矩形的像不再是矩形。

无畸变

如果没有畸变，像与物是完全相似的。即同心圆之间的间距是均匀的，矩形的像仍然是矩形。

桶型畸变

如果镜头的边缘的放大率小于中间放大率，就会发生桶型畸变。同心圆之间的像间距不均匀，即边缘间距小于中间间距，矩形的像不再是矩形。

特别要注意镜头的畸变像差与透视畸变的并不是一回事。镜头的畸变是镜头成像造成的，在设计镜头时可以采取各种手段（如非球面镜）来减小畸变。透视畸变是由视点、视角、镜头指向（俯仰）等因素决定的，这是透视的规律。无论是何种镜头，如果视点相同，视角相同，镜头指向相同的话，产生的透视畸变是相同的。

下图中左边是枕型畸变（属镜头畸变），右边是广角畸变（属透视畸变），大家可以看出两者之间的区别。镜头畸变一般是很小的，图中的畸变是我PS出来的。如果拍照片有这样大的畸变，相机就应该丢到垃圾桶里去了。



最后再说一说色差。由于我们拍摄的景物基本上都是彩色的（除了翻拍黑白文件稿等少数情况），可镜头的成像是白光成像。我们知道白光是由各种不同波长的单色光组成的。而介质的折射率是与波长有关的，因此成像时不同波长的光线会有差异，使得物上的点成像后产生色彩的分离，这种现象就称为色差。色差可以分为位置色差和倍率色差两种。前者是由于不同波长的光线会聚点不同而产生彩色弥散现象，后者是由于镜头对不同波长的光的放大率不同而引起的。一般的镜头设计都进行了消色差计算。但是，要完全消除色差是不可能的。根据镜头的档次，价格不同，消色差可以对二种波长、三种波长或四种波长的光线进行计算。比如，对四种波长进行的超复消色差镜头的价格就是非常高的了。CANON公司还把菲涅尔透镜技术应用到镜头的消色差中去，这里就不展开了。