

一、目的

本部分的目的是让大家对镜头的一些基本概念有一个认识。

二、光学镜头的基本概念

让我们先看一个镜头的规格书，如下表所示。镜头的主要基本概念有：**F#**、视场角、工作波长、焦距、最大像面、畸变、光学后焦、法兰后焦、光学总长、主光线入射角、结构、工作温度、分辨率等。

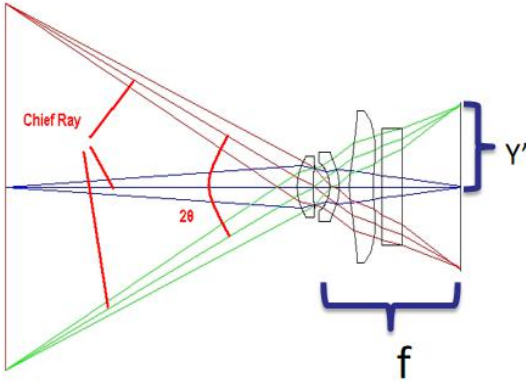
其他还有一些表中没提到的重要指标有：相对照度、MTF 要求、透过率等。镜头的三个基本光学参数为：焦距，相对孔径（F 数的倒数）以及视场角。

Specs/Model		
Application	12X Zoom Lens	
Focal length	5.2-58.8	有效焦距，影响镜头视场角和光圈大小，常用EFL表示
F/#	Fw1.6~Ft3.0	光圈，反映镜头通光量大小，常用F/#、FNO.、Aperture表示
Max Image Circle	φ8.3(1/3"sensor)	最大像面，镜头最大像面大于CCD对角线长度，才能匹配，否则产生暗角
FOV(Diagonal)	64.1°-5.8°	视场角，镜头观测的范围，与焦距及像面大小有关，常用FOV或AOV表示
TV Distortion	3%-0.3%	TV畸变，指镜头拍摄物体后垂直和水平弯曲变化量
Back Focus	9-8.9	光学后焦，指镜头最后一片镜片的顶点到像面的距离，常用BF或BFL表示
Flange Back	-1.41	法兰后焦，指镜头法兰面到像面的距离，常用FB或FPL表示
TTL	68.06	光学总长，镜头前断面到像面的距离，用TTL表示
Max CRA	2.3°	主光线入射角，指从镜头射出的光线，射入Sensor的角度(相对于主光轴)
Front Lens Effective Diameter	φ30	入射光阑，限制入射光线的光阑，从镜头前端望去，看到的孔径。
Rear Lens Effective Diameter	φ7.5	出射光阑，限制出射光线的光阑，从镜头后端望去，看到的孔径。
Wavelength	420nm-680nm&850nm±30nm	光线频率，由表参数表示此镜头支持可见光和红外光拍摄。
Structure	10G	光学构成，此镜头有10片glass镜片组成
Operating Temperature	-20℃~70℃	
Resolution	2M	解析度，此镜头具有200万画素的解析能力

A. 基本光学指标

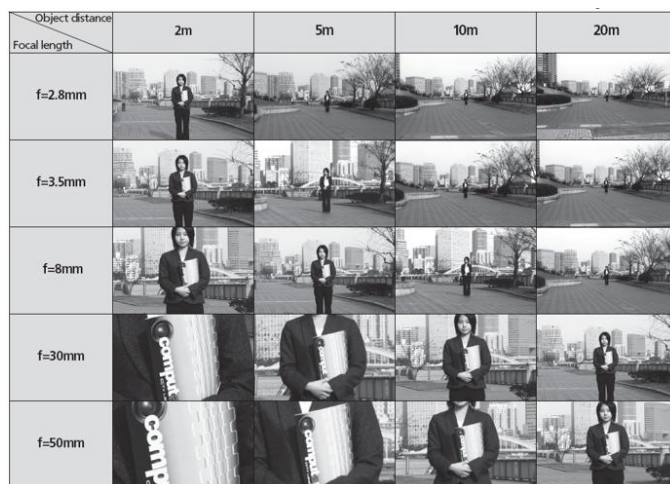
1) 视场角

视场角：视场角决定了能拍摄的空间范围，如下图。若 Y' 为 sensor 的半对角线长度，则视场角 $2\theta=2*\arctan(Y'/f)$ ， f 为系统的焦距。由于慧差、像散、场曲、畸变以及倍率色差等都与视场有关，视场角越大，像差越大。因此，大视场系统比小视场系统更难设计。



2) 焦距

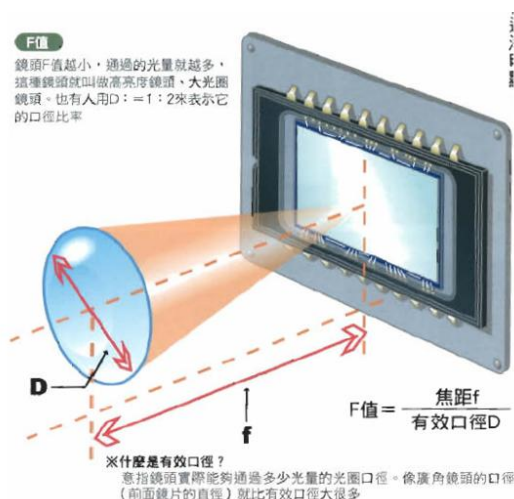
镜头的焦距决定拍摄像的大小，可以从 $Y'=-f*\tan\theta$ 看出，当视场角 θ 一定时，像的大小与焦距成正比。如下图所示，焦距越大，放大倍率越大，监控画面中人越大。



3) 相对孔径（F 数的倒数）

$F\# = EFL(\text{焦距}) / D(\text{光圈直径})$ ，对于定焦镜头，相对孔径越大，F 数越小，则通光量越大，像面上的照度就越大。由于球差、慧差与孔径有关，相对孔径越大，像差越大，因此大相对孔径系统（小 F#）比小相对孔径系统（大 F#）难设计。

考虑到相对孔径和视场，因此有四种光学系统：小相对孔径小视场系统（设计最简单）、小相对孔径大视场系统、大相对孔径小视场系统、大相对孔径大视场系统（设计难度最大）。

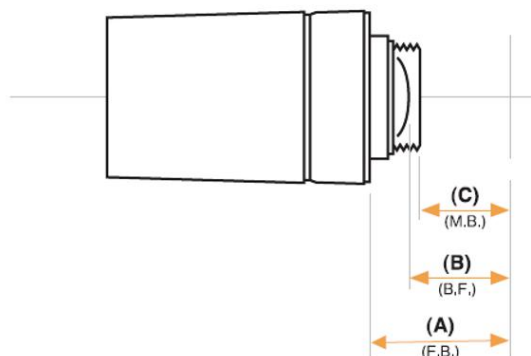


4) 机械后焦、光学后焦、法兰后焦

MB---机械后焦，指镜头最后的机械面到像面的距离。

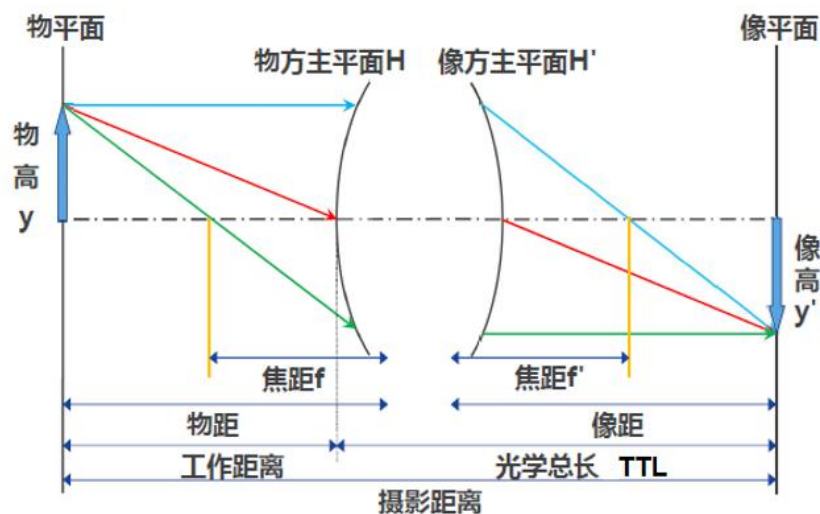
BF---光学后焦，指镜头最后一一片镜片最后一面中心点到像面的距离。

FB---法兰后焦，镜头法兰面到像面的距离。如下图所示。



5) 光学总长

光学总长（TTL）为镜头前端面到像面的距离，如下图所示。



6) 主光线入射角（CRA）

主光线入射角指镜头出射的光线入射到 sensor 上的角度，相对于主光轴。值得一提的是，sensor 也有 CRA 参数，通常认为镜头的 CRA 小于 sensor 的 CRA，在 2 度以内为佳。

7) 其他参数

结构：镜头的材料及数量，如 1G2P

工作波长，工作温度等比较好理解。

入射光阑：限制入射光线的光阑，从镜头前端望去所看到的孔径。也叫入射光瞳，是孔阑被其前面的镜组在物空间中所成的像。

出射光阑：限制出射光线的光阑，从镜头后端望去所看到的孔径。也叫出射光瞳，是孔阑被其后方的镜组在像空间中所成的像。

B. 像质评价指标

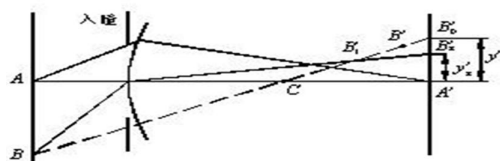
1) 畸变

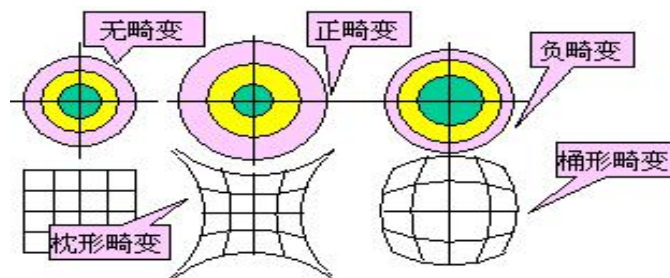
实际光学系统中，视场中心处与视场边缘处有不同的放大率，这种像对物的变形像差称为畸变。畸变不影响成像的清晰度，但使像改变大小及变形。畸变的大小随视场的三次方成正比，视场小的光学系统畸变不显著。

畸变的表示

-绝对畸变¹ $\delta y' = Y' - y'$

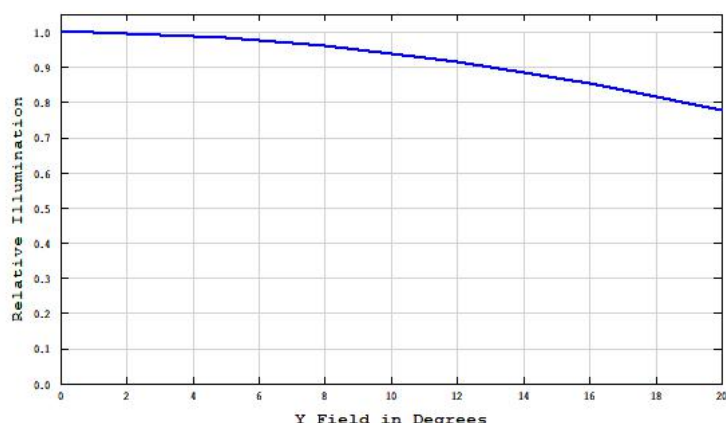
-相对畸变² $q = \frac{Y' - y'}{y'} \times 100\% = \frac{\bar{\beta} - \beta}{\beta} \times 100\%$



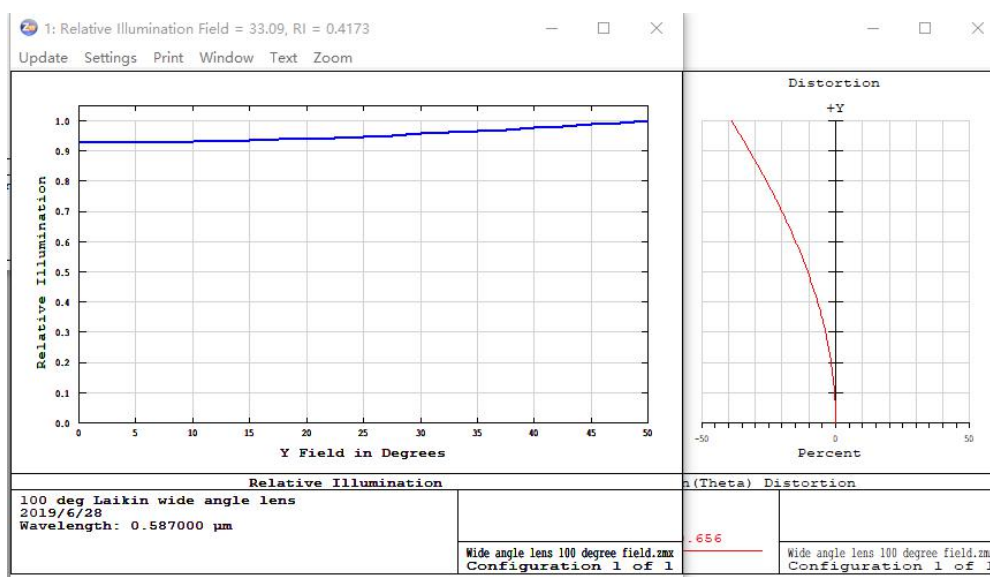


2) 相对照度

相对照度用以表示不同视场的照度均匀性差异。理想光学系统条件下，轴外像点的光照度随视场角余弦的四次方而降低： $E_w = E_{cos^4 W'}$ ，下图为 zemax 自带例子中“Cooke 40 degree field”的照度均匀性曲线，半视场角处照度减小为轴上的 78%。

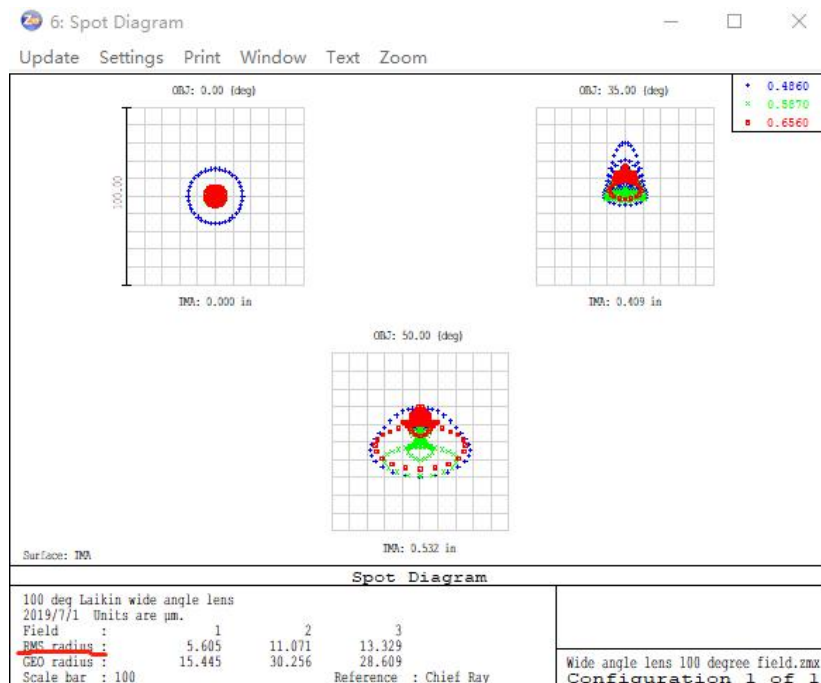


视场较小的光学系统，视场边缘光照度的减弱是微不足道的，但对于广角镜头（如 120° ），根据上式计算，视场边缘点的光照度仅为中心的 6.25%。然而，实际上可能并不是如此。上面已经提到， $E_w = E_{cos^4 W'}$ 仅是在理想情况下的近似估计，实际光学系统的像面照度和许多因素有关，包括物体的形状、光阑像差和畸变等。广角镜头往往不可避免地引入大的负畸变，使边缘视场的放大倍率小很多，这时可能边缘照度不但不下降，反而比轴上的点的照度更大。下图为 ZEMAX 自带“wide angle lens 100 degree field”的照度均匀性曲线，由于大的负畸变，边缘视场的照度更高。



3) 点列图

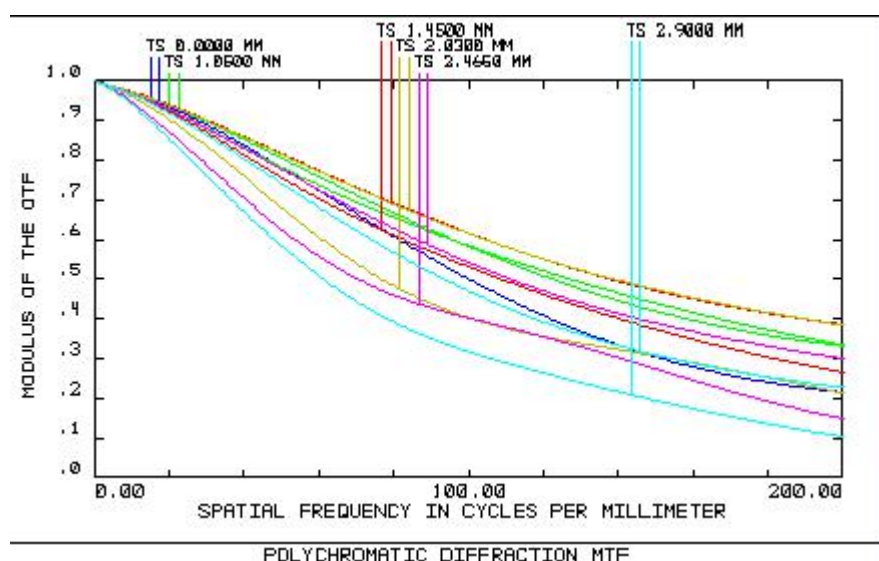
点列图：由一点发出的许多光线经光学系统后，因像差使其与像面的交点不再集中于一点，而形成了一个散布在一定范围的弥散图形。在大像差系统的点列图中，点的分布能近似地代表像的能量分布，因此用点列图的密集程度可以衡量成像质量的优劣。使用点列图一方面要看点列图的大小，也要看点的分布，观察是什么像差影响成像质量。



4) 调制传递函数 (MTF)

MTF 是一种比较全面、客观评价像质的方法，定义为一定空间频率下像的对比度与物的对比度之比。下图为一种光学系统的 MTF 曲线，包含 MTF、空间频率、像高（或视场）。

- MTF 可以近似理解为黑白线条的对比度，最大值为 1；
- 空间频率的单位是 lp/mm，200lp/mm 表示 1 毫米距离内的黑白线对数；
- 不同颜色的曲线表示不同的像高，T 和 S 分别表示子午和弧矢方向的 MTF。



参考资料：

李晓彤等.几何光学 像差 光学设计[M].浙江大学出版社
光学镜头基础知识，dahua

备注：如有错误，还请批评指正