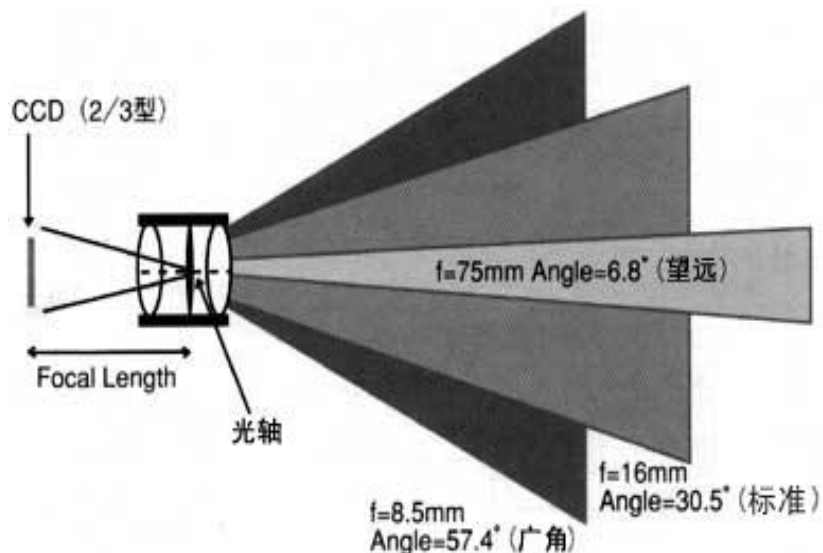


# 镜头基础知识

## 焦距和视角的关系

镜头的焦距是指在光轴上从主点到焦点面聚光的焦点为止的距离。焦距与视角间也有联系，如果焦距短，则可得到较大的视角，如果焦距较长，则变为望远，视角也变得较为狭小。标准镜头视角在 30 度 ~40 度左右。



视角根据镜头焦距长短的变化同时发生变化.焦距变长时视角变窄(远摄侧),焦距变短时视角变得更宽(广角侧).

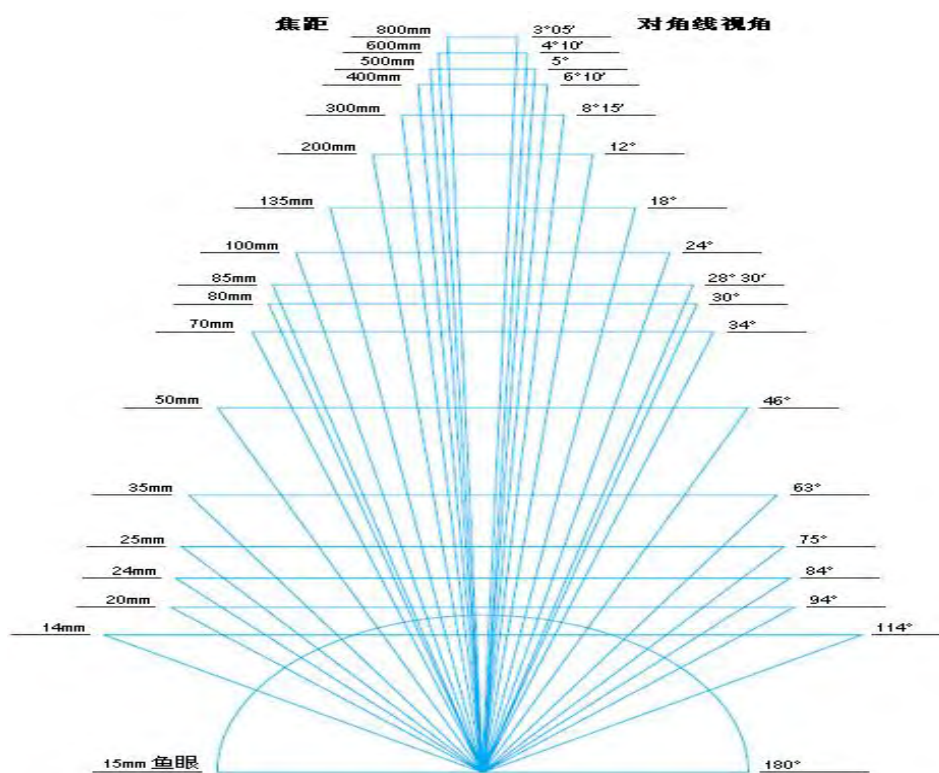


图 1 焦距和视角的关系

## 镜头的基本概念

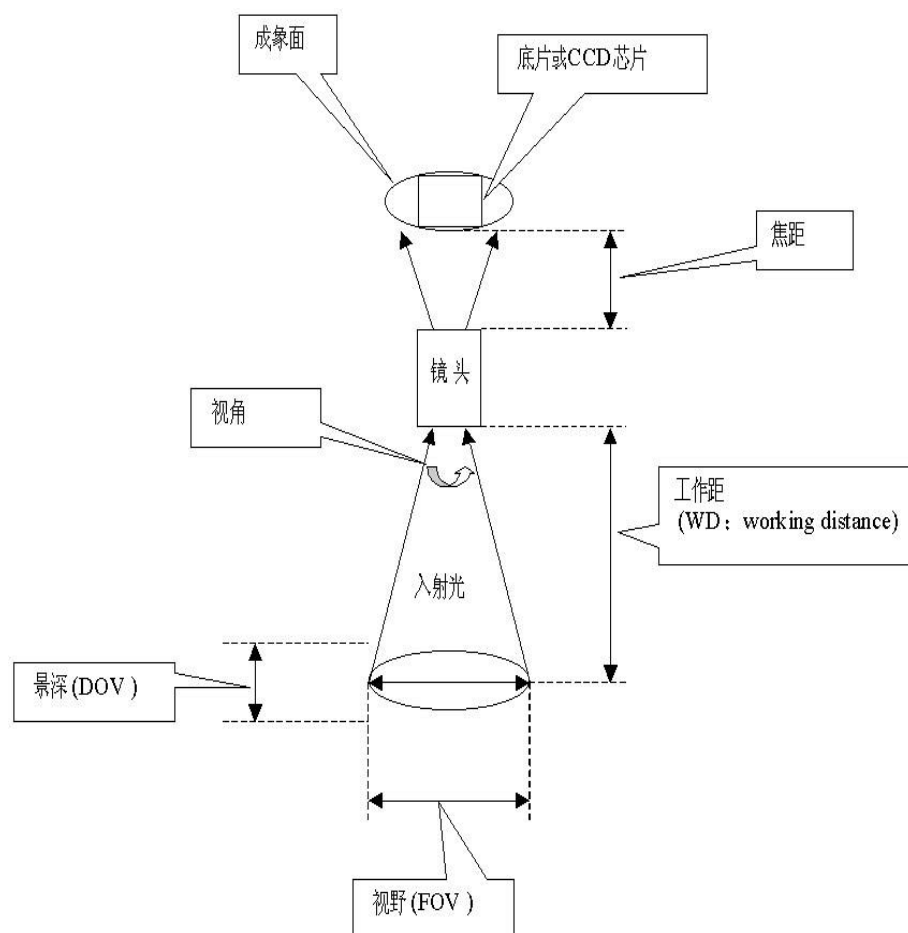
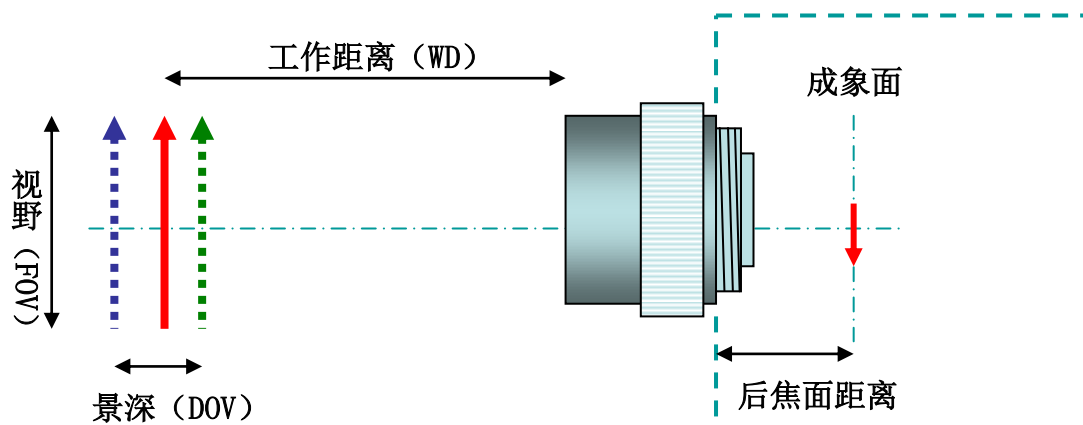


图 2 CCD 和镜头的关系



### 焦距

焦距是像方主面到像方焦点的距离。如 16mm， 25mm。

### 视野 (FOV)

图像采集设备所能够覆盖的范围，它可以是在监视器上可以见到的范围，也可以使设备所输出的数字图像所能覆盖的最大范围。

## 最大/最小工作距离 (Work Distance)

从物镜到被检测物体的距离的范围，小于最小工作距离大于最大工作距离系统均不能正常成像。

## 景深 (Depth Of Field)

在某个调焦位置上，景深内的物体都可以清晰成像。

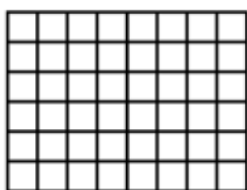
## 畸变 (Distortion)

镜头有各种像差，例如球差、慧差、色差等等都会降低镜头的成像质量。为了校正这些像差，镜头的设计采用了各种办法，例如用两种不同的折射率光学材料校正色差等，因此，一个好的镜头可能使用 11 片透镜或者更多。一般的镜头也有 5 到 7 片透镜，绝不是简单的 1 个凸透镜能实现的。即使如此，镜头本身的设计目标不同决定了各种像差消除的结果不同。

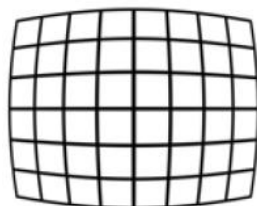
畸变则是由于放大率射到光轴中心的距离变化造成的。随着像点的远离，物体上对应的点离镜头中心的距离实际在增加，从集合成像公式得知像距在缩小，也就是说成像会聚的点在像面之前，像面上探测到的图像实际已经离焦，看起来就比原来的图像大。离轴线越远，这个现象就越严重。这就造成了图像的畸变，非常重要的一点是，图像的信息并没有丢失，只是位置不对，每个镜头都有一定程度的畸变，所以根据每个镜头的特性，我们很容易校正畸变。

几何畸变指的是由于镜头方面的原因导致的图像范围内不同位置上的放大率存在的差异。几何畸变主要包括径向畸变和切向畸变。如枕形或桶形失真。实际上，如果你用机器视觉来做精密的测量，你首先要做的就是畸变的校正。焦距越短，越难以校正畸变。

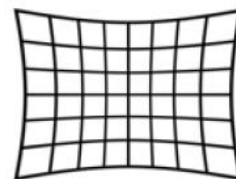
畸变的校正一般用黑白分明的方格子图像来进行，过程并不复杂。一般如果畸变小于 2%，人眼是观察不到的。当然，如果畸变小于 CCD 的一个像素，摄像机也是看不见的。



无畸变图像



Barrel 畸变



Pincushion 畸变

## 镜头接口

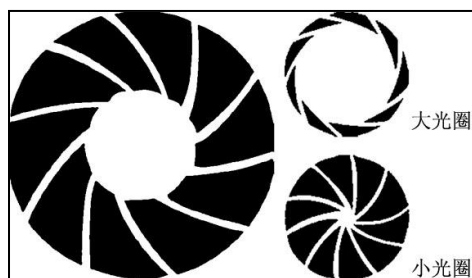
物镜的接口尺寸是有国际标准的，常用有三种接口型式，即 F 型、C 型、CS 型。

## 成像面

可以在镜头的像面上清晰成像的物方平面

## 光圈与 F 值（光阑系数 Diaphragm quotiety）

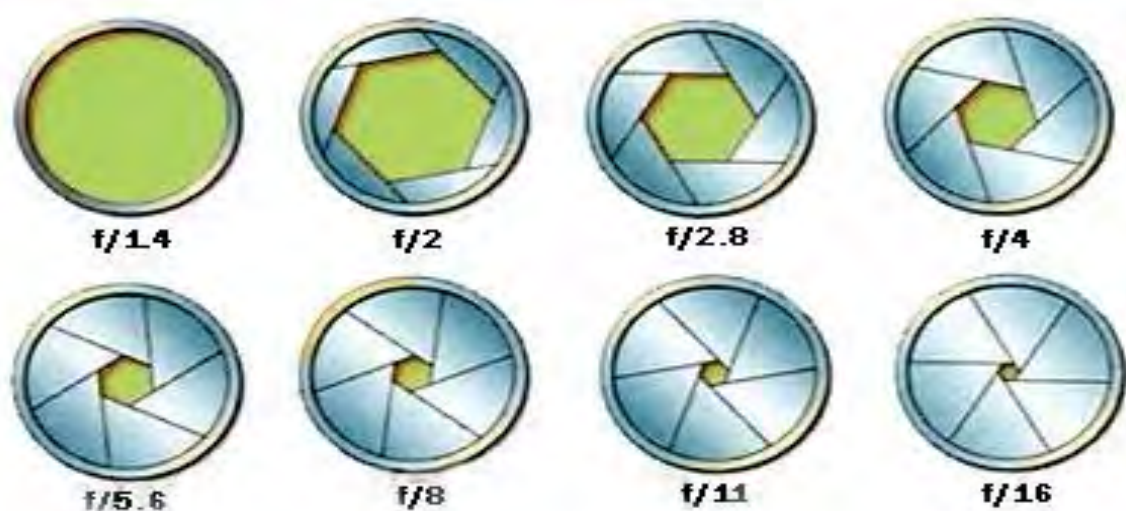
光阑系数即光通量，用 F 表示，以镜头焦距  $f$  和通光孔径  $D$  的比值来衡量。每个镜头上都标有最大 F 值，例如 6mm/P1.4 代表最大孔径为 4.29mm. 光通量与 F 值的平方成反比关系，F 值越小，光通量越大。光圈是一个用来控制镜头通光量装置，它通常是在镜头内。表达光圈大小我们是用 F 值，完整的光圈值系列如下：f1.4, f2, f2.8, f4, f5.6, f8, f11, f16, f22, f32, f44, f64 等。



对于照相机镜头，物体很远，f 数就是焦距和光圈直径的比例。光圈越大，锥形角越大，f 数越小。

F 数越小，速度越快（适合高速相机用）。因为它能收集更多的光源，相片曝光时间越短。好的高速相机通常能形成高分辨率的图像。但景深很小。

F 数越大，速度越慢（不适合高速应用场合）。因为光圈小，需要更多的时间收集光源。但有较大的景深。



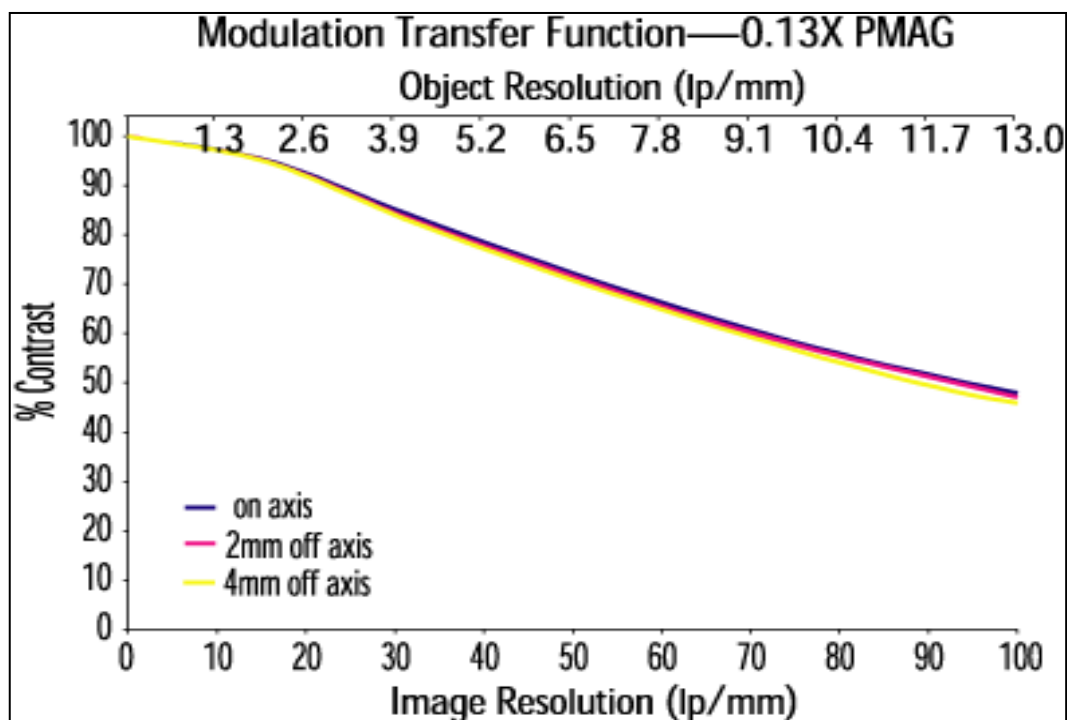
光圈 F 值愈小，在同一单位时间内的进光量便愈多，而且上一级的进光量刚是下一级的一倍，例如光圈从 F8 调整到 F5.6，进光量便多一倍，我们也说光圈开大了一级。

### 分辨率

测量系统能够重现的最小的细节的尺寸常常用每毫米线对来表示，也就是根据这个镜头能够分辨一毫米内多少对直线。选择镜头的时候必须注意厂商给出的分辨率的定义方式。

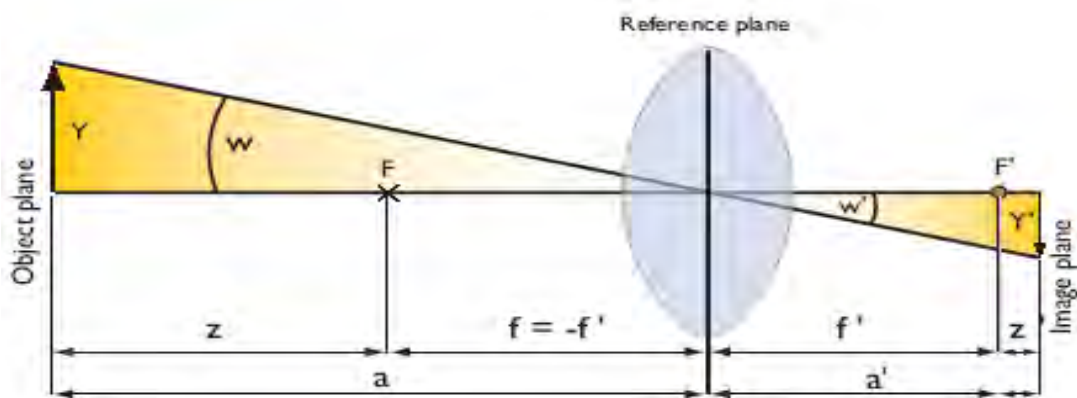
### 镜头的调制传递函数 MTF

MTF 能够同时表征系统重现物方空间的几何和灰度细节能力，是衡量成像系统性能的最佳方式。对于一个实际的成像系统，细节密集地方的对比度要小于细节稀疏位置的对比度成像系统中的每个环节都对系统最终的 MTF 产生影像，包括滤色片，镜头，图像传感器，后期处理电路等等。



镜头 MTF 图

### 镜头的基本原理以及选择镜头的基本公式



$f$	=	Focal Length
$a$	=	Object distance
$a'$	=	Image distance
$y$	=	Object size
$y'$	=	Image size
$2w$	=	Image angle of view



### 镜头几何成像原理图

上图中， $f$  为焦距， $a$  为物距， $a'$  为像距， $y$  为物体尺寸大小， $y'$  为物体成像的尺寸大小。

从物体平面到镜头的距离叫物距。由镜头到传感器平面的距离叫像距。这些变量之间有这样一个几何公式。

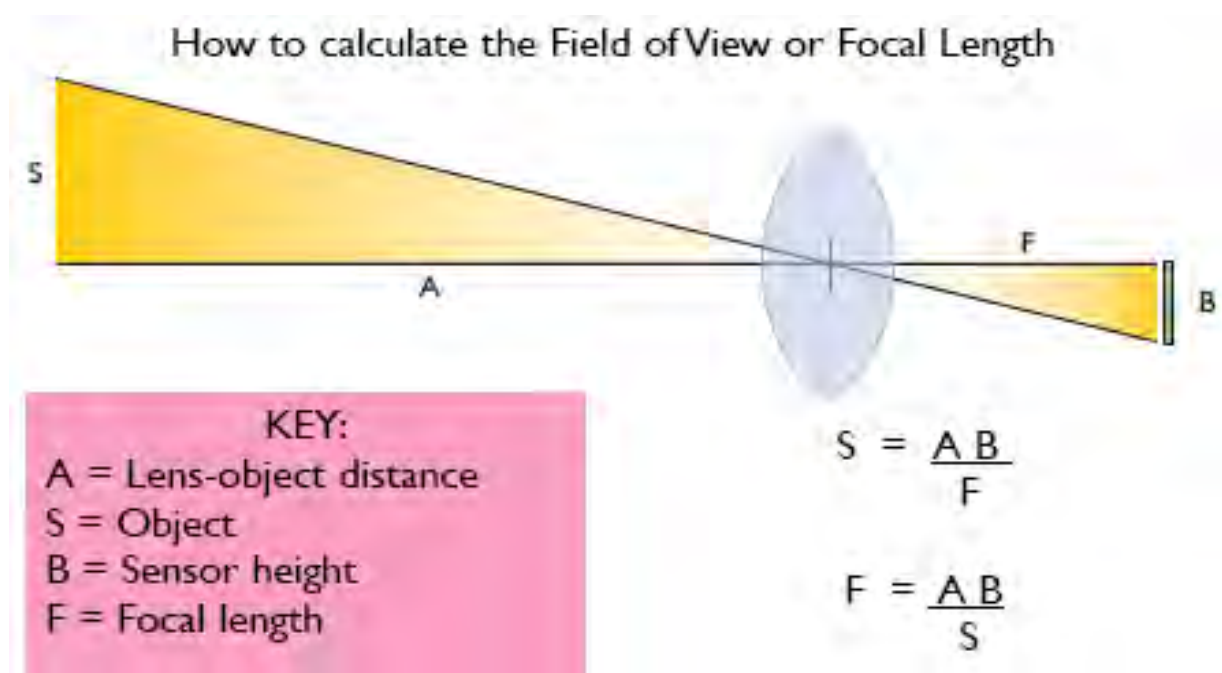
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s_1} + \frac{1}{s_2}$$

(式中， $s_1$  为物距， $s_2$  为像距)

基于上面的公式，如果物体变量无限大的时候，有这样一个结果：

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s_2} \Rightarrow f \approx s_2$$

换句话说，当物体很远时，焦距就是镜头到传感器之间的距离。



### 焦距和视野的关系

上图中， $A$  为物距，即我们常说的工作距离 (WorkDistance)， $S$  为物体的高度， $B$  为 CCD 成像面的高度， $F$  为焦距。

从上图可知： $F$  (焦距) =  $\frac{CCD(\text{尺寸}) \times WD(\text{工作距离或物距})}{FOV(\text{视野})}$

## 如何选择镜头

镜头相当于人眼的晶状体，如果没有晶状体，人眼看不到任何物体；如果没有镜头，那么摄像头所输出的图像就是白茫茫的一片，没有清晰的图像输出，这与我们家用摄像机和照相机的原理是一致的。当人眼的肌肉无法将晶状体拉伸至正常位置时，也就是人们常说的近视眼，眼前的景物就变得模糊不清；摄像头与镜头的配合也有类似现象，当图像变得不清楚时，可以调整摄像头的后焦点，改变 CCD 芯片与镜头基准面的距离（相当于调整人眼晶状体的位置），可以将模糊的图像变得清晰。

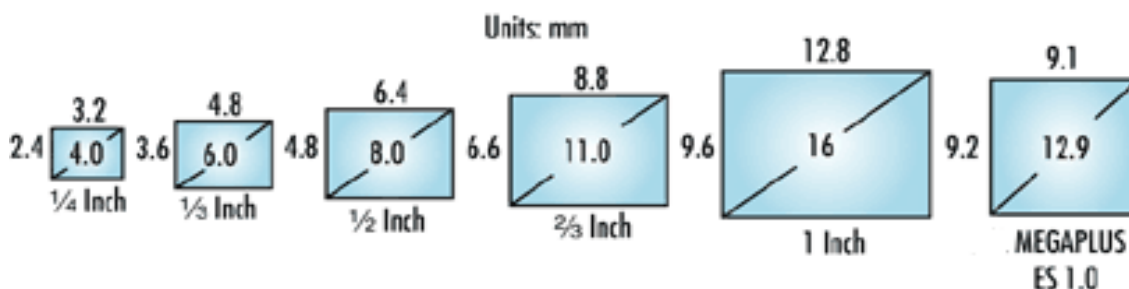
### □ 根据照相机的感应尺寸选择合适的镜头

#### ◆ 镜头与相机的接口匹配

相机与镜头配装原则：CS 接口摄像机配 CS 接口镜头；CS 接口摄像机配 C 接口镜头，摄像机和镜头之间需使用转接圈；C 接口摄像机配 C 接口镜头；C 接口摄像机不用配 CS 接口镜头。

#### ◆ 镜头成像面与相机 CCD 尺寸

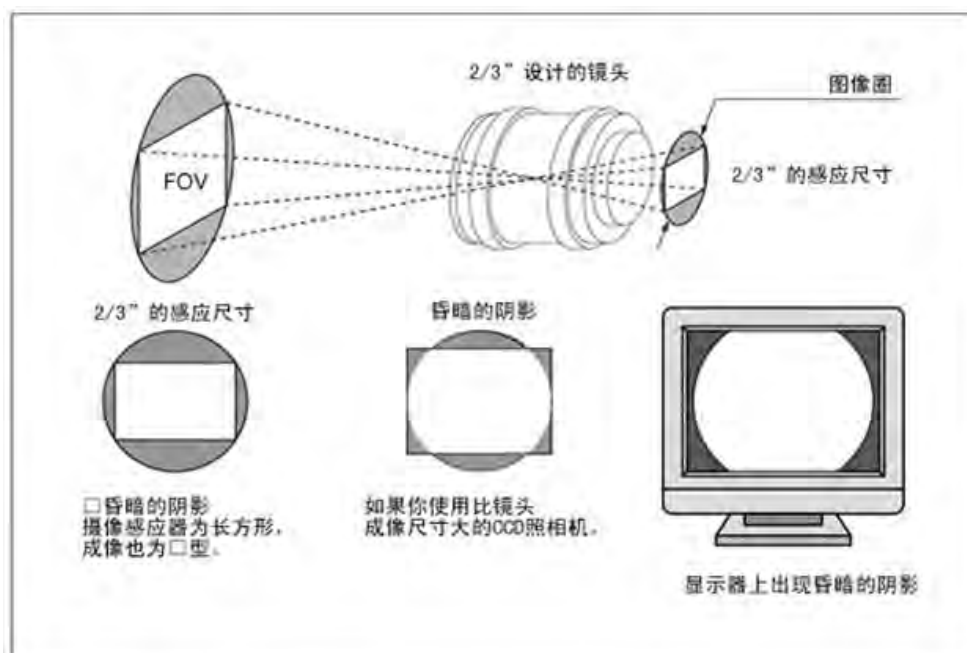
在选择镜头时还要注意这样一个原则：即小尺寸靶面的 CCD 可使用大尺寸靶面 CCD 摄像机的镜头，反之则不行。原因是：如  $1/2''$  CCD 摄像机采用  $1/3''$  镜头，则进光量会变小，色彩会变差，甚至图像也会缺损；反之，则进光量会变大，色彩会变好，图像效果肯定会变好。当然，综合各种因素，相机最好还是选择与其相匹配的镜头。



相机 CCD 尺寸

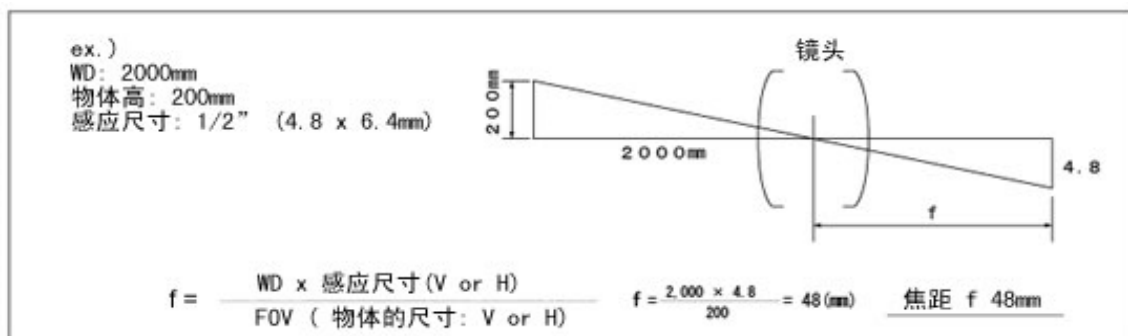
### ◆ 根据照相机的感应尺寸选择合适的镜头

根据照相机的感应尺寸选择合适的镜头，这很重要。如果选择了比照相机的感应尺寸小的镜头，得到的图像则是只有中央部分，周围部分没有摄到的昏暗的阴影。

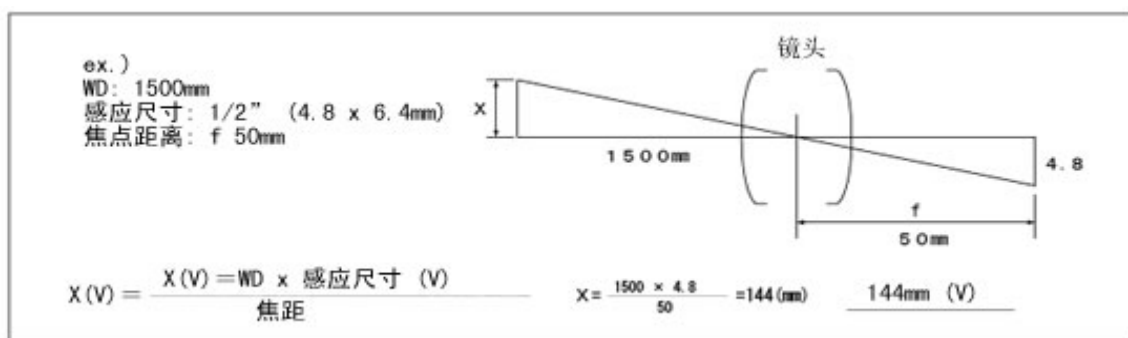


◆ 镜头的焦距及视野范围(FOV)、工作距离(WD)

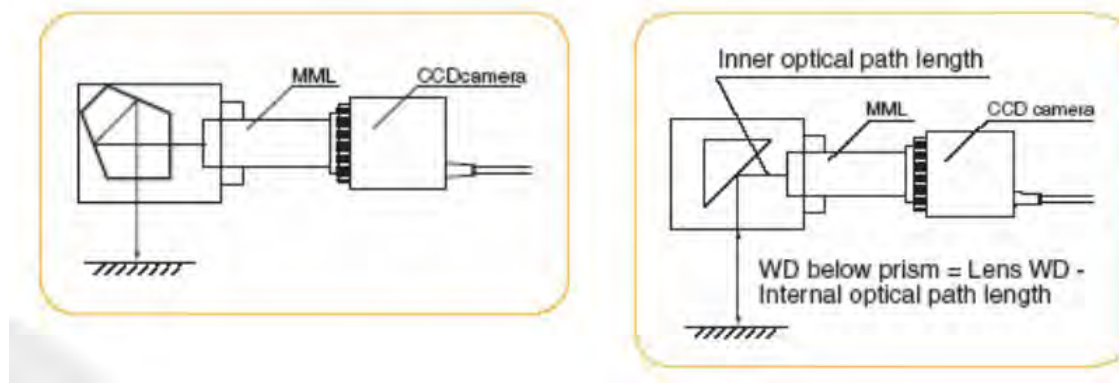
由于安装相机镜头，受安装空间所限制，所以我们必须要了解系统工作空间的大小是多少，相机与所要观察物体的景物的距离是多少，相机 CCD 的尺寸，以此来确定选用镜头的焦距。焦距计算公式如下：



视野范围 FOV 的计算方法如下：

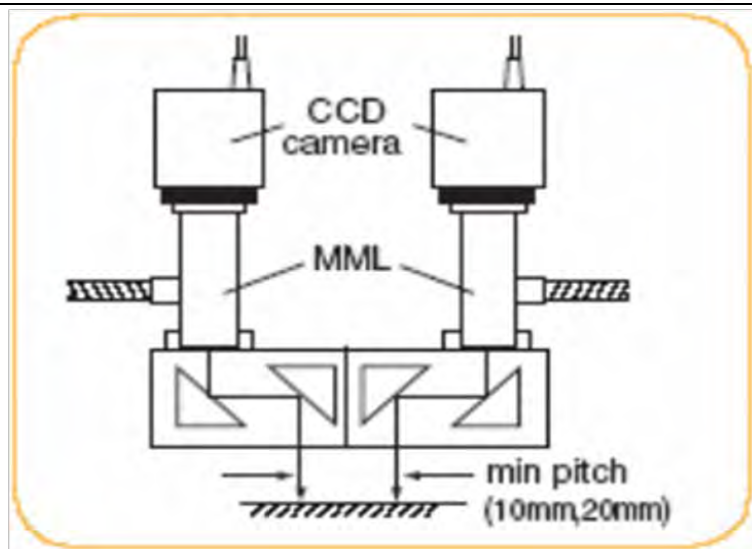


◆ 系统空间不满足要求,即工作距离不满足要求的解决方案



上下空间不足时候,解决方案





左右空间不足时候,解决方案

◆ 镜头的光学倍率和视野范围:

光学放大倍数和 系统放大倍率

PMAG(Primary Magnification) 光学放大倍数是镜头的一个属性,用于描述在给定的图像感应器(i.e.CCD)情况下, 可以看到的物体的大小。

这个光学系统的放大率是 M:

$$PMAG = \frac{h}{H} = \frac{FOV}{L} \frac{v}{u}$$

这里 h 是像高, H 是物高。做机器视觉系统时, 需要考虑物体怎样完整成像到 CCD 芯片上并保证对物体的分辨率, 所以选择摄像机和镜头时需要综合考虑放大率的影响。

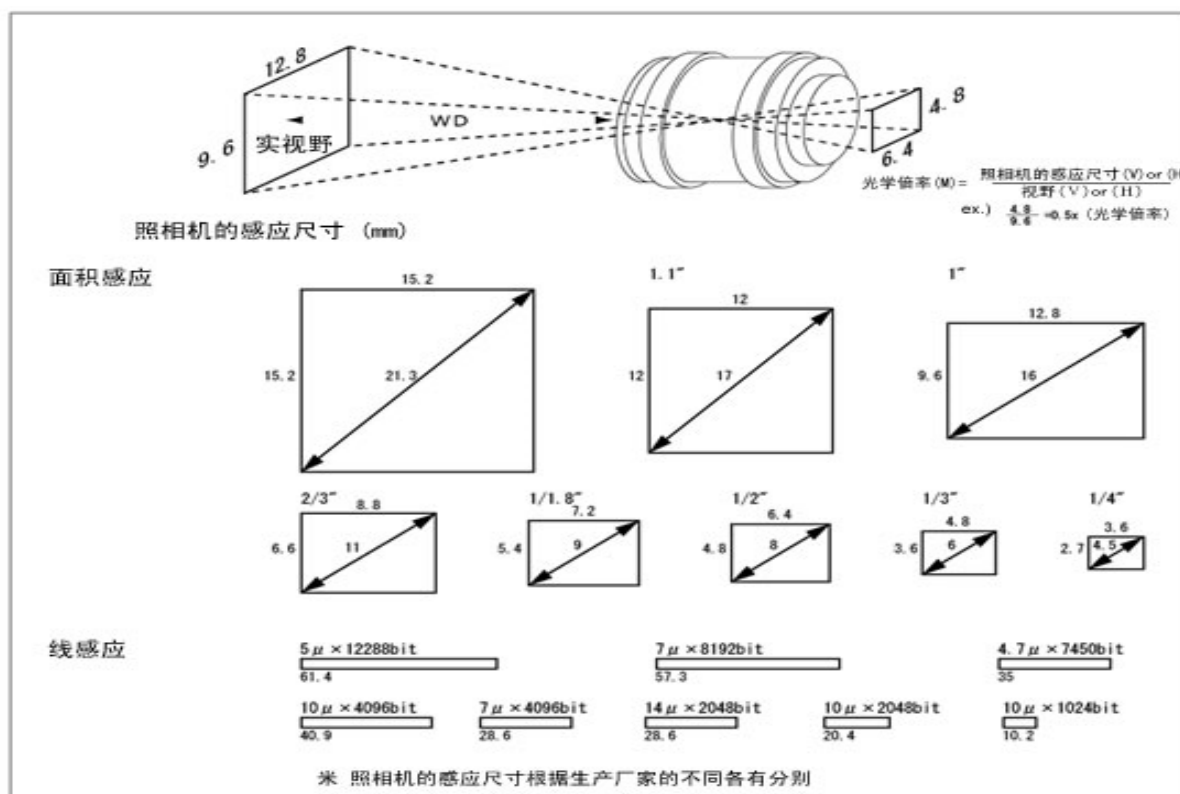
有的显微镜生产厂家使用了“监视器倍率(或系统放大倍率 SMAG )”这个名词。它表示根据显示器的尺寸及照相机的感应尺寸察看物体的情况。

$$SMAG = PMAG \times \frac{\text{监视器尺寸}}{\text{传感器尺寸}}$$

如果你使用 1/2” 感应尺寸及 14” 监视器, 则监视器倍率为 x50

例) 光学倍率 2 倍, 感应尺寸 1/2” (dia. 8mm)”, 监视器尺寸 14” (dia. 355.6mm)”

监视器倍率 = 监视器尺寸/感应尺寸 x 光学倍率= 355.6 / 8 x 2.0 = x89



### 镜头的光学倍率和视野范围

上图中，光学放大倍率(M)=相机的感应尺寸 (V) or(H)/视野(V)or(H)

如我们选用 1/2"英寸的 CCD，其 CCD 垂直方向的尺寸为 4.8mm,而我们要看到的视野 (FOV) 范围为 9.6mm,则选用的镜头的放大倍率(M)应为: $M=4.8/9.6 = 0.5x$ ，即我们要选放大倍率为 0.5 的镜头大杯该 CCD，才能满足视野范围是 9.6mm。

### ◆ 系统精度

镜头畸变对系统精度的影响

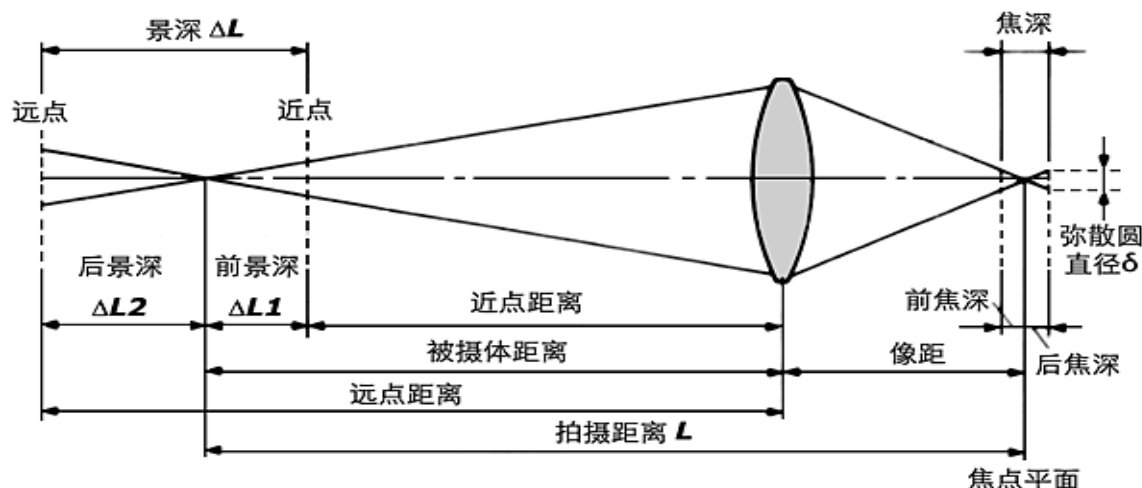
镜头的畸变与镜头的焦距成反比。以常见的三种镜头（焦距为：50mm、25mm、16mm）为例：50mm 镜头畸变最小；16mm 的镜头畸变最大。如果你的系统用来测量（如长度），自然是畸变越小越好。

镜头的调制传递参数 (MTF)

MTF: 同时表征系统重现物方空间的几何和灰度细节能力，是衡量成像系统性能的最佳方式。对于一个实际的成像系统，细节密集地方的对比度要小于细节稀疏位置的对比度。

### ◆ 考虑景深是否为特殊要求.

景深是指成像后物体的距离。同样，照相机侧的范围称为焦点深度。具体的景深的值多少略有不同。景深随镜头的焦距、光圈值、拍摄距离而变化。对于固定焦距和拍摄距离，使用光圈越小，景深越大。



◆ 考虑成本.

考虑成本,打光及应用领域决定使用 CCTV 镜头还是远心镜头或是倍率镜头。

补充:

通过上述的描述,应知道如何根据 CCD 尺寸、WD 和 FOV 选取出相应的镜头。有时候在相机和镜头之间接上延伸环[下文中, 均将延伸环称为接圈],接上接圈后, 视野 (FOV) 和工作距离也会改变, 一般接上接圈后, 视野范围变小。

我们通过一个例子来分析相机、镜头焦距和视野、工作距离的关系:

例如: 我们使用相机 STC-A33A, 相机为 1/3" 英寸的 CCD, 其 Sensor Size 为 4.8mm X 3.6mm 选用 SV-2514 的镜头, 其焦距为 25mm 镜头厂商标定的能正常聚焦成像的距离为 0.5m~∞, 也就是说不加接圈的时候, 工作距离为 500mm 时候能够清晰成像。

F = 25mm; CCD(水平尺寸) = 4.8mm; WD = 500;

根据公式:

$$F (\text{焦距}) = \frac{CCD(\text{尺寸}) \times WD(\text{工作距离或物距})}{FOV (\text{视野})}$$

可以知道在工作距离为 500mm 时候的视野范围为:

$$FOV = (CCD \text{ 尺寸} \times WD) / F = 4.8 \times 500 / 25 = 96\text{mm}$$

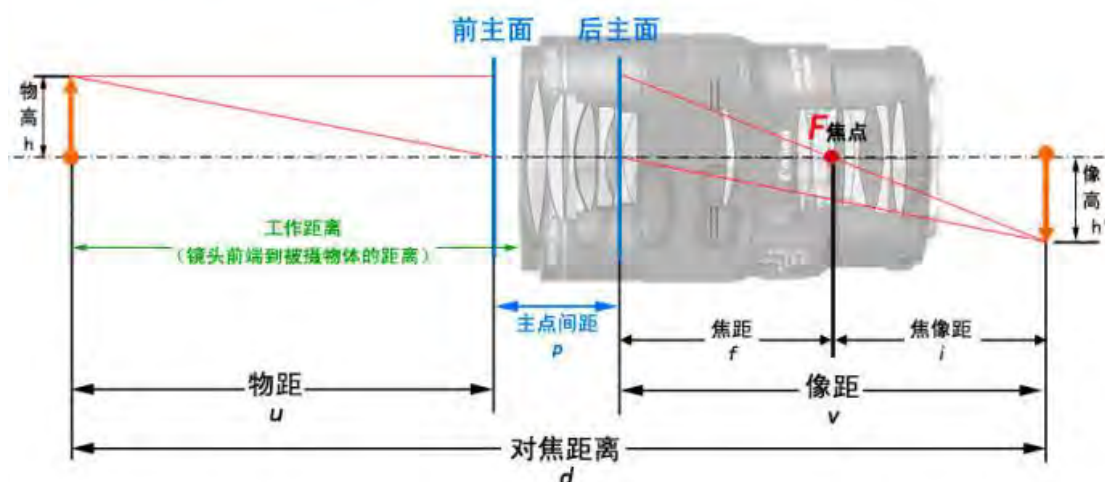
理论上分析可得, 看到的视野范围为 96mm

假如我们加上 10mm 的接圈, 物距变小, 即 WD 变小了(由于加了 10mm 的接圈, 镜头到物体的距离从 500mm 变成 490mm), 但是镜头是 25mm 的定焦镜头, 根据公式可知 WD 变小, 导致 FOV 也同时变小。

而定焦镜头在一个范围内 (WD 变化范围) 都能够正常成像, 在这个范围内, 由于 WD 变化了, 视野大小也跟着改变, 镜头的放大倍率 (放大倍率 M = CCD size / Fov) 也变化了。所以理论上我们通过公式推断出来 WD 和 FOV 均有变化, 只有通过实验测试, 才能测出清晰成像时的 WD 和 FOV 值。

**注意: 前边我们介绍过镜头最小和最大的工作距离, 意思为从物镜到被检测物体的距离的范围, 小于最小工作距离大于最大工作距离系统均不能正常成像。当满足正常成像, 且在最小工作距离时, 此时的 FOV 值最小、放大倍率最大。**

## 镜头焦距、物距、像距和对焦距离示意图



通过上图我们可以知道：

1. 镜头工作距离并不是真正的物距。只有知道前主面的位置才能知道物距是多少。
2. 对焦距离=物距+主点间距+焦距+焦像距 ( $d=u+p+f+i$ )。对焦距离和镜头工作距离、镜头长度没有直接关系。
3. 根据相似三角形原理（图中浅红色两个三角形），放大倍率  $M=h':h=i:f$ 。只要知道了镜头在某一放大倍率  $M$  时的实际焦距  $f$ ，代入透镜成像公式  $1/f=1/u+1/v$ ，我们就能算出像距和物距，如果我们再知道此时镜头的主点间距  $p$ ，就能算出镜头的对焦距离。

注明：

镜头的厂家从不公布镜头某一放大倍率或某一对焦距离的主点间距是多少，因此我们是不可能算出通过计算把对焦距离和放大倍率联系起来的。我们只有通过知道某一对焦距离的主点间距是多少后，才能知道物距和像距，才能准确得知在相应工作距离底下，视野范围的准确值。

所以加上接圈后，一般很难通过公式计算得到准确的  $WD$  和  $FOV$ ，只能通过一些近似公式算出与原来不加接圈时候相比， $WD$  和  $FOV$  的变化。虽然镜头厂商不公布在某一对焦距离下的主点，但一般为了方便做实验测试，有部分镜头厂商会提供加上不同接圈后的  $WD$  和  $FOV$  的范围值，方便我们实验的时候，快速正确成像。