

# 机器视觉镜头介绍

镜头的基本功能就是实现光束变换（调制），在机器视觉系统中，镜头的主要作用是将目标成像在图像传感器的光敏面上。镜头的质量直接影响到机器视觉系统的整体性能，合理地选择和安装镜头，是机器视觉系统设计的重要环节。

## 一、镜头的基本构成

常见的以成像为目的的镜头，可以分为透镜组合光阑两部分。

### 1. 透镜

单个透镜是进行光束变换的基本单元。

常见的有凸透镜和凹透镜两种，凸透镜对光线具有会聚作用，也称为会聚透镜或正透镜；凹透镜对光线具有发散作用，也称为发散透镜或负透镜。镜头设计中常常将这两类镜头结合使用，校正各种像差和失真，以达到满意的成像效果。

### 2. 光阑

光阑的作用就是约束进入镜头的光束部分。使有益的光束进入镜头成像，而有害的光束不能进入镜头。根据光阑设置的目的不同，光阑又进一步细分为以下几种：

**孔径光阑：**它决定了进入镜头的成像光束的多寡（口径）。从而决定了镜头成像面的亮度，是镜头的关键部件之一。通常讲的“调节光圈”，就是调节孔径光阑的口径，从而改变成像面的亮度。

**视场光阑：**它限制、约束着镜头的成像范围。镜头的成像范围可能受一系列物理的边框、边界约束，因此实际镜头大多存在多个视场光阑。例如，每个单透镜的边框都能限制斜入射的光束，因此它们都可以算作视场光阑；CCD、CMOS 或者其它感光器件的物理边界也限制了有效成像的范围，因此这些边界也是视场光阑。

**消杂光光阑：**为限制杂散光到达像面而设置的光阑。镜头成像的过程中，除了正常的成像光束能到达像面外，仍有一部分非成像光束也到达像面，它们被统称为杂散光。杂散光对成像来说是非常有害的，相对于成像光束它们就是干扰、噪声，它们的存在降低了成像面的对比度，降低了系统的传函。为了减少杂散光的影响，可以在设计过程中设置光阑来吸收阻挡杂散光到达像面，为此目的而引入的光阑都称为消杂光光阑。

一般地可以这样理解，透镜和光阑都是镜头的重要光学功能单元，透镜侧重于光束的变换（例如实现一定的组合焦距、减少像差等），光阑侧重于光束的取舍约束。

## 二、镜头主要参数

### 1. 焦距

**焦距（ $f$ ）：**概念上讲，无限远目标的轴上共轭点是镜头的（像方）焦点，而此焦点到（像方）主面的距离称为焦距。焦距描述了镜头的基本成像规律：在不同物距上，目标的成像位置和成像大小由焦距决定。

### 2. 光圈和相对孔径

光圈和相对孔径是两个相关概念，相对孔径（通常用  $D/f'$  表示）是镜头入瞳直径与焦距的比值；而光圈（通常用  $F$  表示）是相对孔径的倒数。

### 3. 视场和视场角

视场和视场角是相似概念，它们都是用来衡量镜头成像范围的。在远距离成像中，例如望远镜、航拍镜头等场合，镜头的成像范围常用视场角来衡量，用成像最大范围构成的张角表示（ $2\omega$ ）。在近距离成像中，常用实际物面的幅面表示（ $V+H$ ）成像范围，也称为镜头的视场。这两个概念的使用没有绝对的接线，视使用方便而定。

### 4. 工作距离

目标之间的距离称为镜头的工作距离。需要注意的是，一个实际镜头并不是对任何物距下的目标都能做到清晰成像（即使调焦也做不到）所以它允许的工作距离是一个有限范围。

### 5. 像面尺寸

一个镜头能清晰成像的范围是有限的，像面尺寸指它能支持的最大清晰成像范围（通常用其直径表示）。超过这个范围成像模糊，对比度降低。所以在给镜头选配 CCD 时，可以遵循“大的兼容小的”原则进行。就是镜头的像面尺寸大于（或等于）CCD 尺寸。

### 6. 像质（MTF、畸变）

像质和畸变就是指镜头成像质量，用于评价一个镜头的成像优劣。传函（调制传递函数的简称，用 MTF 表示）用于评价像质的两个重要参数。MTF:在成像过程中的对比度衰减因子。实际镜头成像，得到的像与实物相对，成像出现“模糊化”，对比度下降，通常用 MTF 来衡量成像优劣。畸变：理想成像中，无相应该是完全相似的，就是成像没有带来局部变形，如下图 1。但是实际成像中，往往有所变形，如图 2、图 3。畸变的产生源于镜头的光学结构、成像特性使然。畸变可以看做是像面上不同局部的放大率不一致引起的，是一种放大率像差。

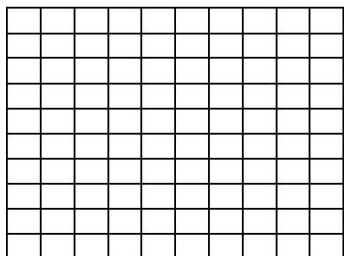


图 1：原图无畸变

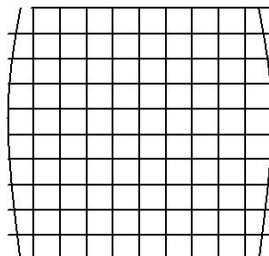


图 2：桶形畸变

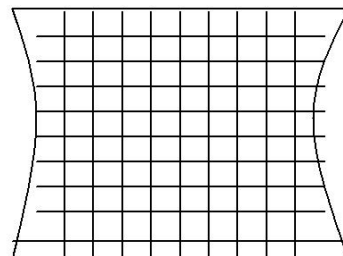


图 3：枕形畸变

## 7. 工作波长与透光率

镜头是成像的器件，它的工作对象就是电磁波。一个世纪的镜头在设计制造出来以后，都只能对一定波长范围内的电磁波进行成像工作，这个波长范围通常称为工作波长。例如常见镜头工作在科技那光波段（360nm-780nm），除此之外还有紫外或红外镜头等。镜头的透过率是与工作波长相关的一项指标，用于衡量镜头对光线的透过能力。为了使更多光线到达像面，镜头中使用的透镜一般都是镀膜的，因此镀膜工艺、材料总的厚度和材料对光的吸收特性共同决定了镜头总的透过率。

## 8. 景深

在不做任何调节的情况下，在物方空间内，可接受的能清晰成像的空间范围。超出景深范围的目标，成像模糊，已不能接受。

## 9. 接口

镜头需要与相机进行配合才能使用，它们两者之间的连接方式通常称为接口。

为提高各生产厂家镜头之间的通用性好规范性，业内形成了数种常用的固定接口，例如 C 口、CS 口、F 口等。

## 三、相关技术

### 1. 调焦

对于镜头来讲，不同物距上的目标成像的像距是不同的。对于需要观察的目标，它的成像面不一定与相机感光面重合，为了得到清晰像，就需要调整成像面的位置使之与感光面重合，这个过程就是调焦。

#### 整组移动

这种调焦方式，就是调节过程中整个镜头一起前后移动，带动像面随之移动，在像面与相机感光面重合时，成像最清晰。这种整体调焦方式，不改变镜头的光学结构，镜头焦距没有变化。

#### 单组移动

还有一种调焦方式，就是调节镜头中的某一组透镜，使它想杜宇其他透镜前后移动，也能带动像面平移，最终使像面与感光面重合，达到成像清晰。这种调焦方式，改变了镜头的光学结构，镜头焦距有所变化（一般不大）。

### 2. 变焦

所谓变焦，指的是镜头本身可以通过调节，使焦距有较大的变化范围（通常用焦距变化的倍数来衡量，例如 4 倍变焦指最大焦距是最小焦距的 4 倍）。这种镜头使用中，可以通过变焦，改变成像放大倍率（在“大场景”和“局部特写”之间随意转换），适应性强，使用范围很广。

变焦的实现方式：变焦过程中，通过光学系统中的两组（或更多）透镜相对移动，改变整个系统（镜头）的组合焦距，且同时保证像面位置不动，使图像放大倍率改变而且成像始终清晰。

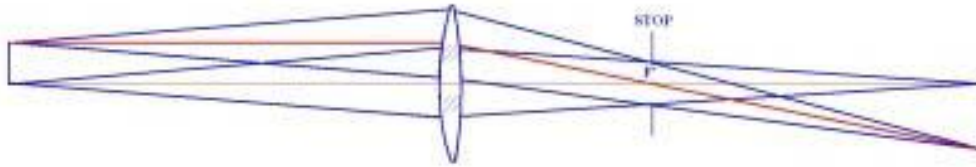
它与单组移动式调焦不同的，单组移动式调焦意在改变成像面的位置（虽然也会引起镜头焦距的微小改变）；而变焦意在改变镜头的焦距（一般都是数倍的变化），它要求稳定像面不动。

### 3. 自动光圈

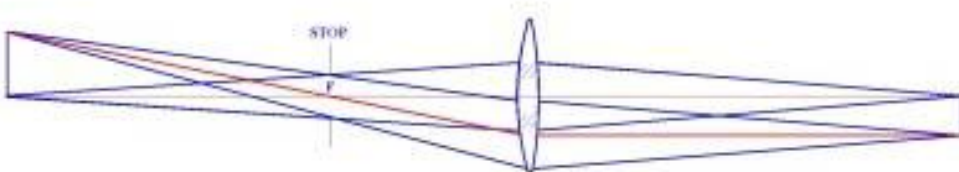
调节镜头的光圈，实质上是改变了孔径光阑的孔径大小，从而改变了进光量，达到成像面亮度调节的目的。这个过程，可以手动完成，也可以通过电机驱动来完成，后一种实现方式就是自动光圈调节。

### 4. 远心（焦阑）镜头远心光路

一般地，可以分为物方远心光路和像方远心光路两种



孔径光阑位于镜头像方焦面上（“焦阑”因此得名），入瞳位于物方无限远处，这样的光路称为物方远心光路。这种光路的特点：物方入射主光线（红色表示）与光轴平行。



孔径光阑位于物方焦面上，出瞳位于像方无限远处，这样的光路称为像方远心光路。这种光路的特点是：像方出射主光线（红色表示）与光轴平行。

这两种光路本质上是相通的，是同一种光路（焦阑）的正向和反向应用。它们较多的出现在测量仪器中，结合实际的应用会表现出格子的特点，需要加以注意。物方远心光路的成像特点是：像的大小对物距不敏感，但是对像距很敏感；而像方远心光路的成像特点是，像的大小对物距很敏感，但是对像距不敏感。

采用这两种远心光路设计制作的镜头，分别称作物方或者像方远心镜头。

### 四、镜头的分类

镜头的种类繁多，已经发展成了一个庞大的体系，以适应各种场合条件下的应用。对镜头的划分也可以从不同的角度来进行：

按照工作波长分为：X-ray、紫外、可见光、近红外、红外

按照变焦与否分为：定焦镜头、变焦镜头

按照工作距离分为：望远物镜（物距很大）、普通摄影镜头（物距适中）、显微镜头（物距很小）

其他类别：

线阵镜头：配合线阵相机使用的镜头。采用扫描式的工作方式，需要镜头与目标相对运动，每次曝光成像一条线，多次曝光组成一幅图像。线阵扫描成像的特点：CCD 线阵方向的图像分辨率固定，而在目标的运动方向上，空间采样频率与运动的相对速度有关。

从成像的角度讲，线阵镜头和其他类型的镜头并没有本质是差异。只是对镜头的使用方式不同而已。

显微镜头：为了看清目标的细节特征，显微镜头一般使用在高分辨率的场合。它们基本的特点是工作距离短，放大倍率高，视场小。

### 五、如何选择镜头

镜头是工业视觉系统的一个重要组成部分正确地选择镜头是视觉系统设计的很重要的一环。这里给大家提供镜头选择的一个基本思路。

1. 工作波长、变焦与定焦 视觉系统通常使用环境是在可见光范围内，这样的镜头是我们最常用的，也有一些系统比较特殊，使用环境是在紫外或者红外波段，需要选用专门的紫外或者红外镜头。大多数视觉系统的工作距离和放大倍数是不变的，因此镜头焦距也是固定的，但部分系统需要再工作距离变化后保持放大倍数稳定，或者在工作距离不变的情况下获得不同的放大倍数，这样我们需要选用变焦镜头。

#### 2. 远心镜头与标准工业镜头

对于精密测量的系统，需要选用远心镜头，它的特点是：物体在景深范围内移动，光学放大倍数不变，这就避免了测试过程中工作距离的轻微改变导致系统放大倍数的变化，保证了系统规定测量精度。对于一般的工业测量、缺陷检测或者定位等，对物体成像的放大倍率没有严格要求，只要选用畸变小的镜头，就可以满足要求。

#### 3. 靶面大小与分辨率

镜头成像面大小必须大于与之配套的 CCD 相机的靶面，这样 CCD 相机的芯片才能得到充分的利用。镜头的选择要考虑其分辨率要与相机的像元大小等匹配，这样设计的系统能充分利用 CCD 相机的分辨精度，还能使系统的经济性达到最佳。

#### 4. 视场角与焦距

通过系统要求的视场角可以找到对应焦距的镜头，而通过系统提供的分辨率和相机的像元等参数，可以利用基本的几何光学原理计算出合适的系统焦距。