

# 工业镜头主要参数与选型

## 一、镜头主要参数

### 1. 焦距 (Focal Length)

焦距是从镜头的中心点到胶平面上所形成的清晰影像之间的距离。焦距的大小决定着视角的大小，焦距数值小，视角大，所观察的范围也大；焦距数值大，视角小，观察范围小。根据焦距能否调节，可分为定焦镜头和变焦镜头两大类。

### 2. 光圈 (Iris)

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  $8\text{mm} / F1.4$  代表最大孔径为  $5.7$  毫米。  $F$  值越小，光圈越大，  $F$  值越大，光圈越小。

### 3. 对应最大 CCD 尺寸 (Sensor Size)

镜头成像直径可覆盖的最大 CCD 芯片尺寸。主要有： $1/2''$ 、 $2/3''$ 、 $1''$  和  $1''$  以上。

### 4. 接口 (Mount)

镜头与相机的连接方式。常用的包括 C、CS、F、V、T2、Leica、M42x1、M75x0.75 等。

### 5. 景深 (Depth of Field, DOF)

景深是指在被摄物体聚焦清楚后，在物体前后一定距离内，其影像仍然清晰的范围。景深随镜头的光圈值、焦距、拍摄距离而变化。光圈越大，景深越小；光圈越小、景深越大。焦距越长，景深越小；

焦距越短，景深越大。距离拍摄体越近时，景深越小；距离拍摄体越远时，景深越大。

### 6. 分辨率 (Resolution)

分辨率代表镜头记录物体细节的能力，以每毫米里面能够分辨黑白对线的数量为计量单位：“线对/毫米” ( $lp/mm$ )。分辨率越高的镜头成像越清晰。

### 7. 工作距离 (Working distance, WD)

镜头第一个工作面到被测物体的距离。

### 8. 视野范围 (Field of View, FOV)

相机实际拍到区域的尺寸。

### 9. 光学放大倍数 (Magnification, $\beta$ )

$CCD/FOV$ ，即芯片尺寸除以视野范围。

### 10. 数值孔径 (Numerical Aperture, NA)

数值孔径等于由物体与物镜间媒质的折射率  $n$  与物镜孔径角的一半 ( $a/2$ ) 的正弦值的乘积，计算公式为  $NA = n \cdot \sin a/2$ 。数值孔径与其它光学参数有着密切的关系，它与分辨率成正比，与放大率成正比。也就是说数值孔径，直接决定了镜头分辨率，数值孔径越大，分辨率越高，否则反之。

### 11. 后背焦 (Flange distance)

准确来说，后倍焦是相机的一个参数，指相机接口平面到芯片的距离。但在线扫描镜头或者大面阵相机的镜头选型时，后倍焦是一个非常重要的参数，因为它直接影响镜头的配置。不同厂家的相机，哪怕接口一样也可能有不同的后倍焦。

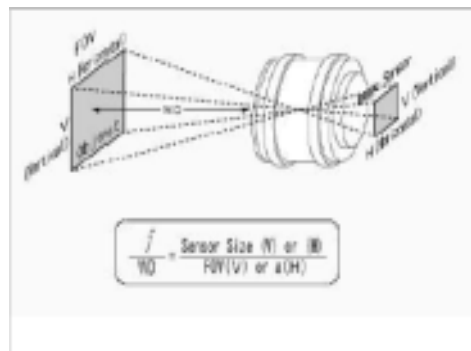
## 二、镜头选型

### 1. 选择镜头接口和最大 CCD 尺寸

镜头接口只要可跟相机接口匹配安装或可通过外加转换口匹配安装就可以了；镜头可支持的最大 CCD 尺寸应大于等于选配相机 CCD 芯片尺寸。

## 2. 选择镜头焦距

如图所示，在已知相机 CCD 尺寸、工作距离（WD）和视野（FOV）的情况下，可以计算



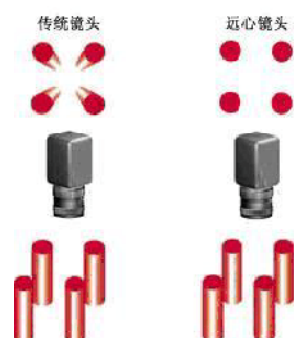
出所需镜头的焦距（ $f$ ）。

## 3. 选择镜头光圈

镜头的光圈大小决定图像的亮度，在拍摄高速运动物体、曝光时间很短的应用中，应该选用大光圈镜头，以提高图像亮度。

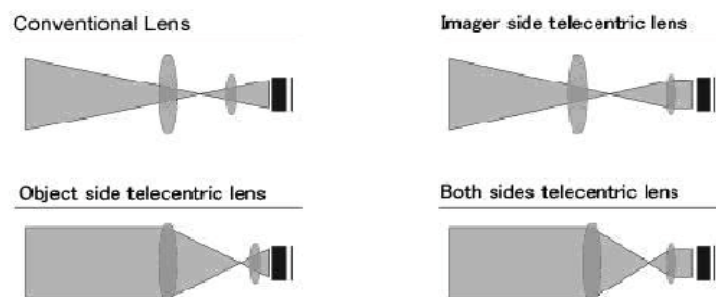
## 4. 选择远心镜头

远心镜头是为纠正传统镜头的视差而特殊设计的镜头，它可以在一定的物距范围内，使得到的图像放大倍率不会随物距的变化而变化。远心镜头与传统镜头对比，如图：



远心镜头又分为物方远心和双侧远心两种，如图：

### 机器视觉的镜头选择创造不同



机器视觉为工业控制系统增加了新的维度，它可以提供装配线上零件的尺寸、位置和方向。而合适的镜头选择对于机器视觉能否发挥应有的作用是非常重要的。

机器视觉在控制工业流程当中的作用越来越重要了，尤其是在机器人引导、目标识别和质量保证等领域。当前优秀的视觉系统已经超出了那些基本功能(例如辨别零件和确定方向)的范畴，还可以提供后续功能的信息，比如将物体从一个位置移至另一个。

对于装配线和大量检测操作中使用的机器人系统，比如汽车生产和检测线，传送带通常是参考。这里，机器人执行两项任务：识别和传送。

在绝大多数机器视觉应用里，光学控制都是非常重要的。机器人视觉系统同样要求极高的可重复性，因此减少抖动提供清晰图像是必要的。

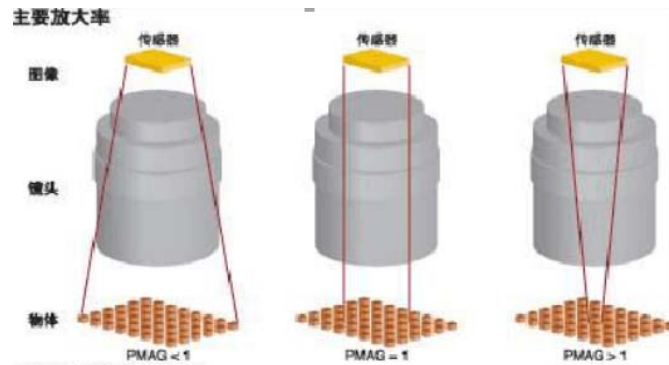
在类似药品工厂这样的大规模单位检测线上，视觉系统必须能够辨识缺陷包、不可读标签和产品缺失。视觉系统必须能够以极高的准确度快速识别和测量方形、圆形和椭圆形物体。提高机器视觉系统的精确度，可以帮助保持统一的包装表面和颜色。对于食品检测系统，产品的尺寸、颜色、密度和形状都需要依靠多元检测才确定。多元机器视觉系统既可以是彩色相机也可以是黑白相机，通常使用结构照明方法建立产品外表和内在结构。

尽管照相机、分析软件和照明对于机器视觉系统都是十分重要的，可能最关键的元件还是成像镜头。系统若想完全发挥其功能，镜头必须要能够满足要求才行。当为控制系统选择镜头的时候，机器视觉集成商应该考虑四个主要因素：

- ◆ 可以检测物体类别和特性；
- ◆ 景深或者焦距；
- ◆ 加载和检测距离；
- ◆ 运行环境。

分析这四个因素，可以针对具体应用确定合适的镜头选择。

主要放大率是指传感器上图像尺寸对于实际物体大小的比例。



### 物体特性

在为机器视觉系统选择镜头之前，系统集成商必须确定物体和分析环境。这个可视区域叫做无遮挡视场（FOV），它可以使用竖直和水平两个角度进行测量。通常，竖直方向和水平方向尺寸的比例是 4: 3，这个比例取决于照相机传感器工作区域的尺寸。传感器的大小对于确定无遮挡视场所需要的主要放大率（PMAG）是非常重要的。PMAG 是由传感器尺寸与 FOV 相比得到，是镜头的工作成效。当确定镜头是否合适的时候，这一点需要考虑。

$$PMAG = \frac{\text{传感器尺寸}}{FOV}$$

镜头放大率对于不同尺寸芯片照相机匹配镜头相当重要，然而，不要把镜头放大率和显微镜头放大率搞混了，后者是由光管长度和实际物镜焦距决定的。而镜头放大率主要考虑的是照相机传感器的尺寸。

系统放大率（SMAG）是监视器尺寸与传感器尺寸的比例与 PMAG 的乘积结果。它是从物体到监视器图像的总放大率，也就是整个系统的“工作”结果。考虑物体的屏幕尺寸时，系统放大率是有用的。

物体的特性也很重要。镜头对于物体特征的解析能力依赖于特征的对比是否强烈。确定系统解析度、或者物体最小可解析特征的方法，可以使用诸如伦奇刻线法这样的解像力方法。

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

这些刻线法以线耦（等宽度的一条黑线和一条白线）来决定特征。其他的解像力方法还可以用圆圈和点状网格。

镜头在指定光线条件下辨识特定宽度的线耦或者点距的能力，决定了它的解析度。解析度通常被模块转换功能（MTF）以图像的方式显示出来。图形显示了指定线耦频率下可行的相对对比度。扭曲、色差和其他波前畸变都会影响曲线的斜率，使曲线偏离理想状态或者衍射极限的光学表现。镜头方案有时候会以每毫米线耦数量（lp/mm）为单位列出物体解析度，再将这个值除以 1000 就可以预测出镜头每微米的物体解析度。

在进行表面剖析的时候，通常不只使用一台照相机和镜头，而了解镜头的内在偏差（aberration）量也是有价值的。偏差是指镜头里的光学误差，可以引起同一张图片里不同点的图像质量差异。剖析通常包括激光线和其他图像里的光线，这样可以确保测量的准确性。一些软件程序可以消除诸如镜头引起的扭曲之类的误差，所以在最终图像里只有剖析数据是明显的。

大型格式和区域扫描照相机镜头是控制应用优秀的解决方案，因为它具有高解析度、低扭曲和有限色差。大范围 FOV 和兼容性，以及大型格式传感器，使这些镜头在 Web、LCD、食品和饮料行业的应用具有很高的价值。

### 距离约束

自动化机器视觉系统和装配线所需的空间差异很大，可以只有几米，也可能需要一整座厂房。所谓的工作距离，是指当图像在焦距范围内的时候，物体和照相机镜头前端的距离。它限制了视觉系统以及和视觉系统一起工作的设备所需要的空间。有一些应用，比如通过真空炉端口观察，工作距离非常灵活，近焦镜头和长工作距离视频显微镜头都可以使用。其他的应用，比如强电微观检测，工作距离就只有几个英寸。

在极限范围内，通过镜头重新对焦，可以改变工作距离。无限共轭镜头的对焦距离可以从最小工作距离一直到无限远，有限共轭镜头则有一个特定工作距离范围。

存放和加载限制，包括用于艰苦环境的保护外壳，必须具有足够的柔性，可以根据工作距离进行调整。比如在很多安装场合，感兴趣的产品区域和产品线可能在检测过程中发生变化，这就要求视觉系统和视觉元件可以根据若干种传感条件进行调整。很多照相机镜头需要平稳加载，但是当物体空间（物体和镜头之间的距离）受到限制，改变像空间（image space，镜头与图像之间的距离），就可以改变工作距离。

像空间可以使用两种方式进行改变：通过缩放功能或者隔离。缩放镜头可以调整照相机系统的视场，而不需要改变工作距离。一些缩放系统的元件可以定制组成特殊型号的系统。度量衡和显微应用需要以微米为单位进行放大，这些镜头系统可以同显微镜下的物体对应。缩放镜头保持着高解析度，但是成本高昂。另外一种方案，镜头隔离器十分经济，并且可以缩短工作距离、减小镜头的可视范围。然而不幸的是，这会带来扭曲同时降低解析度。因此，除非空间调整是在 5mm 之内或者镜头的设计就带有隔离器，否则隔离器不是一个推荐的方案。

存放和加载限制，包括用于艰苦环境的保护外壳，必须具有足够的柔性，可以根据工作距离进行调整。比如在很多安装场合，感兴趣的产品区域和产品线可能在检测过程中发生变化，这就要求视觉系统和视觉元件可以根据若干种传感条件进行调整。很多照相机镜头需要平稳加载，但是当物体空间（物体和镜头之间的距离）受到限制，改变像空间（image space，镜头与图像之间的距离），就可以改变工作距离。

像空间可以使用两种方式进行改变：通过缩放功能或者隔离。缩放镜头可以调整照相机系统的视场，而不需要改变工作距离。一些缩放系统的元件可以定制组成特殊型号的系统。度量衡和显微应用需要以微米为单位进行放大，这些镜头系统可以同显微镜下的物体对应。缩放镜头保持着高解析度，但是成本高昂。另外一种方案，镜头隔离器十分经济，并且可以缩短工作距离、减小镜头的可视范围。然而不幸的是，这会带来扭曲同时降低解析度。因此，除非空间调整是在 5mm 之内或者镜头的设计就带有隔离器，否则隔离器不是一个推荐的方案。

这样解析度和对比度都会受到不好的影响。出于这个原因，DOF 同指定的解析度和对比度相配合。当景深一定的情况下，DOF 可以通过缩小镜头孔径（也就是增加 F/#值）来变大，同时也需要光线增强。

镜头的 DOF 范围取决于有效焦距、可接受的模糊直径。有一些镜头被设计成超焦或者可超焦的，这就意味着焦内的远点可以拓展到无限远。这种技术通常应用在定焦镜头上，景深效果很深，但是却可以通过虹膜的帮助进行调整。

不要把远心镜头和大景深镜头弄混了。远心镜头可以使机器视觉系统控制放大率、消除潜在误差，所以同尺寸的物体在照片上高度都是一致的，无论它距离照相机有多远。这种镜头一个实际应用的例子是分析计算机电路板。远心镜头通常有一个工作距离范围，在每一个工作距离点形成有限的景深。集成商在为一个项目选择远心镜头的时候，既需要考虑工作距离范围，还需要考虑景深效果。

在很多情况下，比如说管道检测，可以使用变焦镜头获得较大的景深。变焦镜头和缩放镜头很类似，应用在需要经常变换焦距的场合。这些镜头经常是马达驱动的，可以保证在对焦平面上平滑移动。使用这样的镜头，整个管道、每一个环节都可以扫描到，通过调整焦距来发现每个缺陷。然而，同缩放镜头不通，变焦镜头的工作距离也可以变化，可以根据需要进行重新定位。

## 环境的重要性

机器视觉系统的环境因素包括物体反射系数、光线、温度、振动和污染物。物体的反射会导致高光，还可能使特征模糊。镜头外壳和遮光罩中的障板可以降低光散引起的高光现象。

障板为不透明的圆片，为镜头的中心孔径特别设计，可以限制到达传感器的光线。极化或者散射光源同样也可以避免物体反射出现的热点。

光，尤其是单色光，可以使物体的对比度提高，使镜头图像的质量最大化。在使用黑白照相机的時候，对比度是非常重要的，可以通过加减过程产生。在加法过程中，单色光源和照相机镜头滤镜同分析物体所在的媒介颜色相匹配，物体周围的区域可以反射并且传输光线，所以显得比物体更加明亮。这项技术在凝胶和彩色液体用作背光式触摸屏或者微粒检测的应用很有价值。

相反，在减法系统中，滤镜屏蔽了物体周边的反射光，这使得物体看起来比周边明亮。像药丸检测这样的应用，物体的颜色可能是它仅有的特征，这时候就要使用滤镜。

高温环境下，可能因为镜头里光学元件的热膨胀出现问题。并不是所有的镜头都可以适应温度变化，在检测热物体时，最好使用工作距离比较长的镜头。

另外一个要考虑的因素是振动。通常需要将镜头装载到和照相机隔离的平台和桌面上，来减少振动。重型的照相机镜头总是带有卡具，如果镜头不能直接装在案板或者类似的隔离桌面上，那么就把装载镜头的物体放在独立平台上吧。固定在独立平台上的机械手就经常用来装载照相机和镜头。

工业换件下的污染物会腐蚀镜头表面。极端环境光学（HEO）产品进行了专门设计，即便是长期暴露在严酷环境下，也可以提供高质量的图像。因为它的光学元件是严格密封的，HEO 产品可以在水下使用，能够抗腐蚀、防尘，并且不受机械影响。

照相机镜头对于机器视觉系统有着深远的影响。为了实际应用选择合适的镜头，机器视觉集成商必须对物体的尺寸、特征和反射率都要进行分析。他/她还必须要估计工作距离范围以及物体厚度所需要的景深。当改变物体和图像间隔的时候，集成商可以使用更加灵活的系统，也可以降低性能。所有的环境都是在不断变化的，还要符合一定的要求，所以选择一款合适的镜头非常重要。