

## 可供选择的镜头都有哪些？怎样为您的相机选择合适的镜头？

如果您已经有了相机，那么现在就需要配置合适的镜头了。但是，可供选择的型号有很多，哪款最适合您的相机？为了获得理想成像质量，您需要了解一些重要指标。例如，靶面和光圈起什么作用？为何有时看起来很相似的镜头价格却相差悬殊？我们的“图像处理介绍”系列中的这份全新白皮书解答了这些问题，并解释了相机与镜头最佳匹配的方法。

### 目录

1. 镜头接口 .....	1
2. 靶面/芯片尺寸 .....	2
3. 焦距 .....	3
4. 镜头类型 .....	4
5. 分辨率/像素大小/百万像素营销 .....	4
6. 光圈: F值和光圈类型 .....	5
7. 光谱范围 .....	6
8. 工作距离/放大倍数 .....	6
9. 结论 .....	7

### 1. 镜头接口

要寻找适合的镜头，可以先看一看相机。它的镜头接口是哪种？镜头接口是指将镜头固定到机身的连接点。

接口有两种机械操作方式：卡口方式用于F口；螺口方式用于C口、CS口和S口。镜头法兰与芯片之间的距离被称为法兰距。

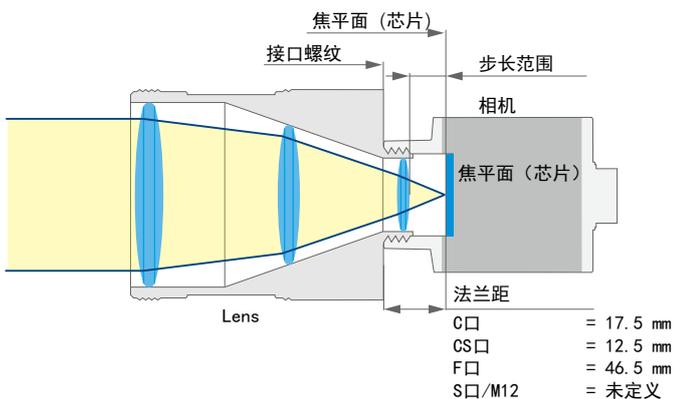


图1: 不同镜头标准的法兰距

可用接口有数十种；对于机器视觉相机，以下四种最为常见：

- F口
- C口
- CS口
- S口 (也称为M12)

	法兰距	最大芯片尺寸
F口	46.5 mm	~42 mm
C口	17.526 mm	~4/3"
CS口	12.5 mm	通常为1/1.8", 较少见的最高可达约4/3".
S口/M12	未定义	约1/1.8", 最高可达2/3" (极其少见)

图2: 四种最常见接口的法兰距及对应的最大芯片尺寸。

**F口 (也称为“F卡口”)**是相机镜头的卡口连接方式，最初由Nikon推出，用于单反相机。F卡口的法兰距为46.5 mm。此连接方式适合匹配4/3"芯片，这种芯片对于C口来说则尺寸过大。

**C口**是相机镜头的标准螺口连接方式。该螺纹的标称直径为1英寸 (25.4 mm)，其螺距为1/32英寸。此接口的法兰距为17.526 mm (0.69英寸)。

**CS口**与C口相比只是其法兰距不同：12.526 mm (0.493英寸)。CS口相机可通过使用一个5 mm适配器来与C口镜头组合使用。

**S口 (也称M12)**的螺纹为M12 x 0.5 mm，即，其直径仅12 mm，主要用于将非常小的镜头装接到相机上。它们适用于小型芯片 (小于1/2")。网络相机中通常使用基本版；高成像质量版则用于工业图像处理。

为什么会有这么多不同的接口尺寸？这是因为芯片尺寸不同，而镜头应尽可能与芯片尺寸相匹配。这就意味着，镜头靶面尺寸应与芯片尺寸相同或只是略大，这样才能充分利用镜头的潜能。如果靶面比芯片表面大很多，芯片周围的表面就会浪费，同时浪费了本可以用来提高分辨率的机会。所以，比如像Basler Lenses就很适合搭配小于1/2"的芯片，因为它们的靶面与这些芯片尺寸完全相符。

好消息是，相机制造商事先会确定哪种镜头接口适合您的相机芯片。例如，Basler ace相机设计时并未考虑安装较大芯片（这类芯片需要F口），因此这些相机总是配备C口或CS口。您在确定了最合适的接口之后，就需要确定正确的靶面了。

## 2. 靶面/芯片尺寸

为了充分利用芯片，通过镜头投射的图像面积必须大于等于相机芯片面积。镜头数据表中标题“最大靶面”下方通常会提供此信息。

对于C口，2/3"镜头提供的选择余地最大。1"或者甚至4/3"镜头要昂贵许多，只应在芯片大于2/3"时才选用。对于比2/3"小很多（即小于1/2"）的芯片，选择针对较小芯片优化的镜头比较合理，因为它们一般都可以提供较高的性能，而价格又比较低廉。

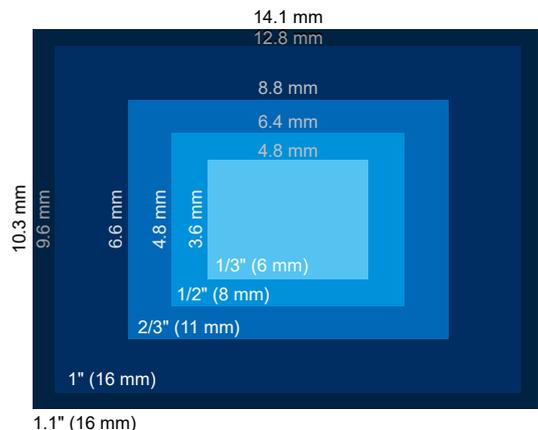


图3: 某些芯片格式的尺寸

	APS-C	1.1英寸	1"	2/3"或以下	1/1.8英寸或以下	1/2英寸或以下	1/2.5英寸或以下	1/3英寸或以下
<b>Sensor size</b>	28.2 mm	17.6 mm	13.4 - 16.1 mm	10.9 - 12.8 mm	8.7 - 9.5 mm	7.9 mm	6.3 - 7.1 mm	3.8 - 6mm
<= 20 MP	CMV 12000, 5.5 μm (12 MP, 1.75")	IMX253/304, 3.45 μm (12 MP, 1.1")	IMX183, 2.4 μm (20 MP, 1")		IMX226, 1.85 μm (12 MP, 1/1.7")	MT9F002, 1.4 μm (14 MP, 1/2.3")		
<= 10 MP			IMX255/267, 3.45 μm (9 MP, 1")		IMX334, 2 μm (8.3 MP, 1/1.8")	MT9J003, 1.67 μm (10 MP, 1/2.3")		
<= 5 MP			PYTHON 5000, 4.8 μm (5 MP, 1")	IMX250/264, 3.45 μm (5 MP, 2/3")	IMX252/265, 3.45 μm (3 MP, 1/1.8")		IMX334ROI, 2 μm (5 MP, 1/2.8")	
			CMV4000, 5.5 μm (4 MP, 1")				MT9P031, 2.2 μm (5 MP, 1/2.5")	
<= 2.3 MP			IMX174/249, 5.86 μm (2.3 MP, 1/1.2")	PYTHON 2000, 4.8 μm (2.3 MP, 2/3")	EV76C570, 4.5 μm (2 MP, 1/1.8")	IMX392, 3.45 μm (2.3 MP, 1/2.3")	IMX273, 3.45 μm (1.6 MP, 1/2.9")	AR0134, 3.75 μm (1.2 MP, 1/3")
			CMV2000, 5.5 μm (2 MP, 2/3")		EV76C560/661, 5.3 μm (1.3 MP, 1/1.8")	PYTHON 1300, 4.8 μm (1.3 MP, 1/2")		
VGA							IMX287, 6.9 μm (0.3 MP, 1/2.9")	PYTHON 500, 4.8 μm (0.5 MP, 1/3.6")
								PYTHON 300, 4.8 μm (0.3 MP, 1/4")

图4: 不同厂商按不同分辨率、芯片尺寸和格式划分的芯片型号。

尽管市场中存在各种实际尺寸的传感器，但是无需担心，制造商会指定需要使用的等效镜头格式（例如：1/4"、1/2"等）。

我们以Basler ace相机和Basler Lenses为例，了解一下适合的接口和靶面选择：

- ace相机使用的芯片格式不大于1"，因此采用C/CS口。
- Basler Lenses为C口，提供的靶面相当于1/2"格式。
- 因而，如果使用配备1/2"或更小格式芯片的Basler ace相机，Basler Lenses是理想选择！

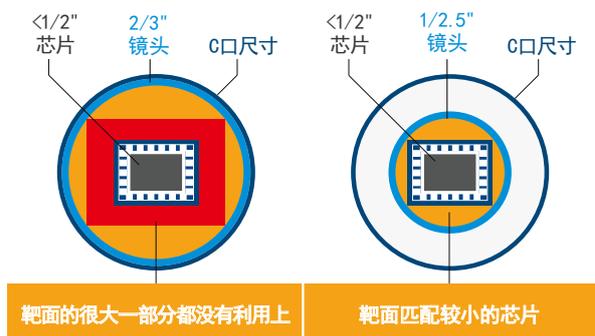


图5: 尽可能提高靶面与芯片尺寸的匹配度可以充分发挥镜头的优势。

在确定了接口和靶面之后，就需要选择正确的焦距了。

### 3. 焦距

#### 焦距和FOV (视场)

2/3"的视场	超小	小	标准	大	超大
示例	2 mm	6 mm	12 mm	35 mm	100 mm
镜头名称	鱼眼	广角镜头	标准	长焦	超长焦

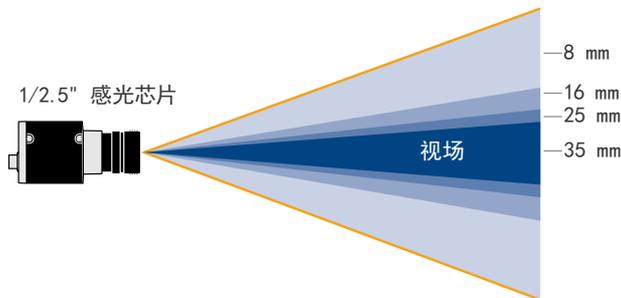


图6: 不同厂商按不同分辨率、芯片尺寸和格式划分的芯片型号。

焦距越大, 被摄目标可以拉得越近, 视场就会变得越小:



广角



标准



长焦

图7: 同一场景 - 三种不同焦距 - 三种视场:

左图使用的是6 mm f值, 中图使用的是25 mm f值, 右图使用的是75 mm f值。

焦距f是镜头和焦点之间的距离。

理论上, 焦距可以使用公式来计算:

$$\text{焦距} f = \frac{\text{图像大小} B}{\text{目标大小} G (+\text{图像大小} B)} \times \text{目标距离} g$$

$$\text{简而言之: } f = \frac{B}{G (+B)} \times g$$

(+B)或(+图像大小B)在括号中, 因为图像大小通常很小, 在进行计算时可以被忽略。由于其数值很低, 对于决定最终焦距f影响不大。

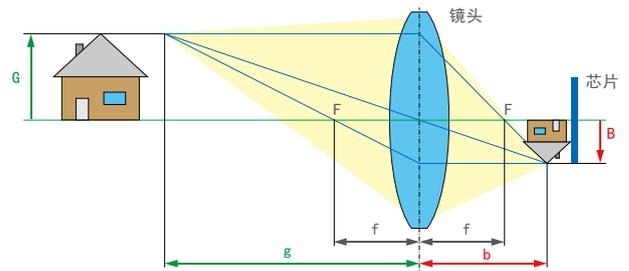


图8:

G=目标大小  
g=目标距离  
B=图像大小

b=图像距离  
F=焦点  
f=焦距

在实际使用中, 该计算很简单, 不涉及复杂的公式计算。有些镜头厂商在其网站上提供镜头选型助手, 您可以在其中输入所需要的数据, 即可自动获得正确的焦距, 例如Kowa (<http://kowa.eu/lenses/calculator/>)或Basler (<http://www.baslerweb.com/cn/support/tools/lens-selector>)。

例如, 使用镜头选型助手的焦距计算可能会是这样:

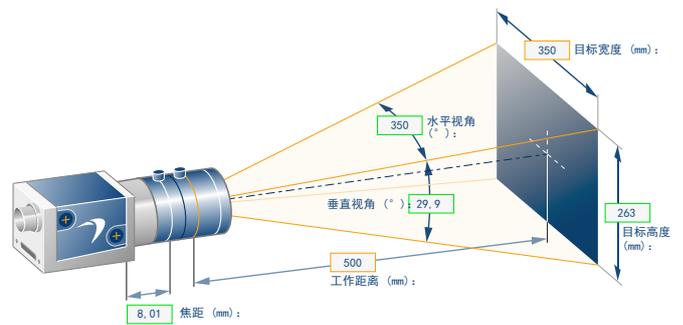


图9: 焦距计算得以简化: 在线镜头选型助手示例。您输入工作距离的值 (以mm为单位) 和目标宽度 (以mm为单位), 镜头选型助手就会自动计算焦距

事实上, 不是每一种焦距都有对应的镜头。大多数镜头具有以下焦距中的一种: 4、6、8、12、16、25、35、50、75和100 mm, 最常用的是在8 mm到25 mm之间。当计算所得的焦距具有一个“奇怪”值的时候, 例如f=14.2, 您有两种选择: 选择12mm焦距镜头, 可以获得一个视野较大的图像, 选择16mm焦距镜头, 可能会出现裁边现象, 但像素将会分布在一个较小区域上从而得到较高的分辨率。根据过往经验, 在这种情况下一般使用者会选择f=12。

尽可能避免使用变焦镜头。对于各种焦距定焦镜头上的不同光学让步在变倍镜头上都会存在, 这就意味着图像质量总会变差。

## 4. 镜头类型

根据镜头对焦环调整方式的不同, 可将镜头分为三种类型:

### 1. 定焦镜头:

这种镜头用于工业相机, 配备固定的、不可调的设置(单一焦距)。

### 2. 变焦镜头:

这种是典型的民用相机镜头, 焦距的变化不影响聚焦。

### 3. 变焦镜头:

这是网络相机的常用镜头, 每次焦距发生变化后都需要重新调整聚焦。与变焦镜头类似, 它们要求在光学上做出许多让步。

镜头类型	说明	用途
固定焦点镜头	对焦不可调整	不常见的旧款手机
固定焦距镜头(FFL)/定焦镜头	焦距不可调整	标准MV镜头
变焦	焦距可调整	用于IP相机的镜头
变焦	类似于变焦, 但在调整焦距时保持对焦	单反相机

图10: 不同镜头类型及其功能

### 品质和价格: 靶面、分辨率和光圈起决定作用

找到与相机匹配的镜头所要实现的主要目标是拍摄图像, 在确定了接口、靶面和焦距之后, 此目标的基本要求就都满足了。但是, 成像质量仍可能会令人感到不满意。

现在, 就到了需要搜索货架找到“这款”镜头的阶段了。您会发现很多厂商所提供的镜头相对来说都很类似, 但价格相差悬殊。这是为什么呢?

影响价格最大的因素是靶面、分辨率和最大光圈。在特定范围内(例如对于1.4或1.8的光圈来说), 价格是相对近似的。但光圈如果到了1.2, 则价格会大幅提升。对于分辨率来说, 也是同样的情形。对于VGA、1万像素或2万像素来说, 价格没有明显差异, 但5万像素则明显会昂贵很多。某些标准范围内的任何镜头在价格和成像质量方面都是类似的。

## 5. 分辨率/像素大小/百万像素营销

分辨率所测量的是图像内可捕捉的最小细节的细小程度。如, 使用黑白线对卡, 测量仍能够分辨边界的线对最近距离。

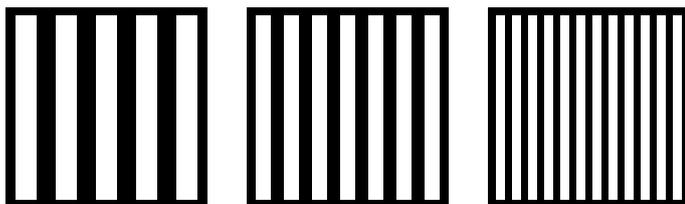


图11: 黑白线条间的差异越清晰, 则分辨率越高。

实际上, 分辨率是指图像内仍然能够被视为相互独立的两行或两点之间的最小距离。分辨率的表示方式是“每mm线对数”(lp/mm, 即一条黑线和一条白线组成一个线对) 或以 $\mu\text{m}$ 为单位的像素大小。

以 $\mu\text{m}$ 为单位的像素大小可以由每mm线对数确定:

$$\text{像素大小}(\mu\text{m}) = 1000 / (2 \times (\text{lp/mm}))$$

像素大小决定芯片可以处理为一个信号的光线的量。因此, 采用大像素的芯片相比采用小像素的芯片捕获的光线更多。这也适用于芯片表面本身。表面越大(无论其中包含较少的大像素还是较多的小像素), 用于信号处理的空间就越多。数据表中列出的像素数高的相机意味着具备高分辨率; 但是如果结合考虑镜头, 则不完全正确。无论相机和芯片可以提供多少像素, 都需要镜头完美匹配像素数。

镜头可能标为“百万像素、500万像素等”, 用于彰显其分辨率, 但实际上lp/mm或m数字的意义大的多, 因为这些数据与芯片尺寸无关, 而“百万像素”标签并不是这样。百万像素信息总是需要结合芯片尺寸进行考虑。

镜头数据表中的百万像素数可用于表示分辨率, 但 $\mu\text{m}$ 和/或lp/mm数字更有用, 因为这与芯片尺寸无关, 这是与百万像素不同的地方。百万像素总是需要结合芯片尺寸进行考虑。例如: 芯片提供的1200万像素(即1200万个图像点)在理想情况下应由镜头完全解析。这样才“真正”具备1200万像素分辨率。举例来说, 如果镜头的分辨率为500万像素, 相机芯片分辨率为200万像素, 镜头探测到的非常细小的细节和结构将因相机的200万像素芯片丢失。

芯片尺寸	2/3"(11 mm)	1/3"(6 mm)
像素尺寸	3.45 $\mu\text{m}$	3.75 $\mu\text{m}$
像素数	500万像素	130万像素

图12: 芯片大小、像素大小和分辨率之间的相互影响是确定镜头分辨率的决定性因素。

镜头通常和相机结合后, 只能在一定程度上达到相机芯片数据表中声明的“高分辨率”。结果导致成像质量只能部分符合工业图像处理应用的要求和期望。百万像素这个营销术语主要用在这种情况下。因此, 一般来说, 高芯片分辨率原则上有优势, 但是如果镜头不匹配则无法完全发挥作用。

镜头的500万像素分辨率意味着什么?

理想的分辨率意味着黑线和白线之间的界限很容易分辨。因为实际上难以实现, 因此只是理论上的表述。在现实中在从白到黑的过渡中这些边界模糊成灰色色调。

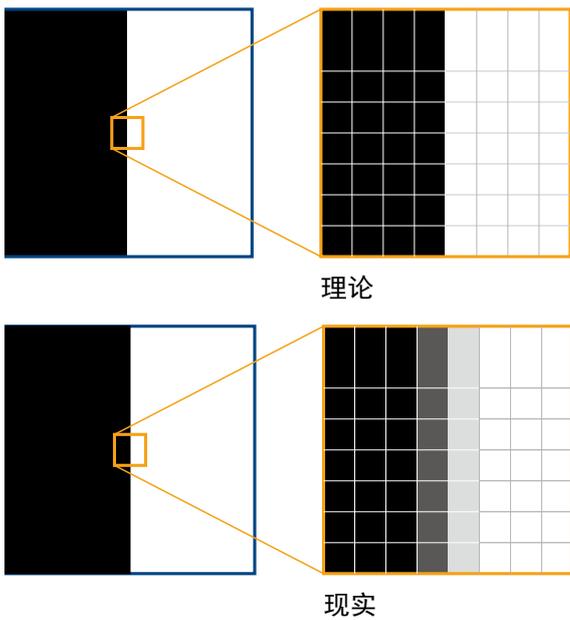


图13: 理论上讲, 从白色到黑色线条的过渡是清晰的。实际上, 这一过渡部分渐渐模糊成一个灰色的中间区域。

镜头分辨率越低, 过渡的清晰度越差。MTF (调制传递函数) 确定镜头在特定分辨率 (lp/mm或像素大小) 提供的对比度水平 (如25%)。

MTF是需要了解的关键信息。例如一个芯片, 通过物理测量, 像素大小为400 pixels/mm。这相当于200 lp/mm (线对)。我们从下面的图表中可以看到, 镜头能够达到40%的对比度。尽管40%听起来不高, 但是实际是一个优秀的值。

$$\text{分辨率 (lp/mm)} = \frac{1000}{2 \times \text{像素大小} (\mu\text{m})}$$

$$\text{像素大小} (\mu\text{m}) = \frac{1000}{2 \times (\text{lp/mm})}$$

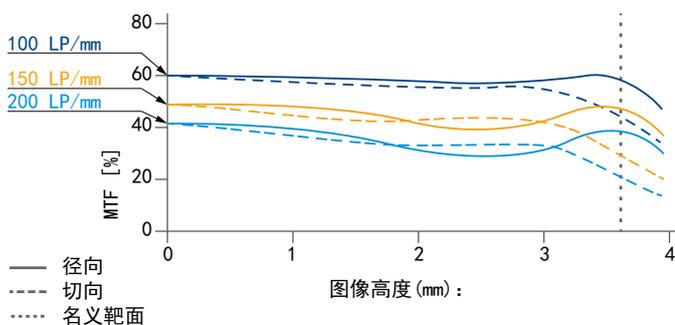


图14: X轴表示相对图像/芯片中央的距离。因此, 0对应图像中心, 4对应芯片对角线  $2 \times 4 \text{ mm} = 8 \text{ mm}$  中的图像角点。图形曲线描绘黑线和白线之间的对比度在不同分辨率(100/150/200 lp/mm)的变化。

因此分辨率信息 (无论采用百万像素、Lp/mm或  $\mu\text{m}$ ) 只有结合对比度信息才有意义。制造商提供的信息一般是指对比度为25% (25%的MTF值在图像锐化方面是很好的折中)。

使用200万像素相机时, 如果想要比结合同等分辨率性能镜头达到的对比度更高, 则可以使用5万像素镜头。即使相机芯片在一定程度上会丢失镜头探测到的精细结构, 对比度仍然会明显提高, 而5万像素镜头比低分辨率镜头更贵。最终, 相机和镜头的使用目的决定了是否值得付出额外成本, 或较低级别的细节是否满足要求。

## 6. 光圈

在“最大光圈”下, 镜头数据表提供1:1.8或1:2.2等信息。这些数字决定光圈数值F值或光圈级数k。它们表示了焦距(f)和光圈直径(d)之间的关系:

$$K = f/d$$

F值越大, 光圈开口越小, 进入镜头的光就越少。

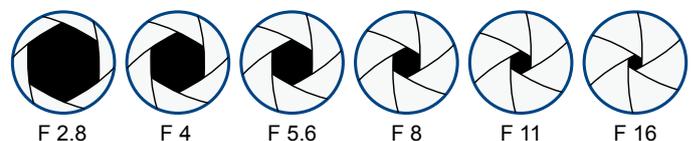


图15: 通过增加F值改变收集的光线。

F值表示光圈级数k和收集的光线的衰减量之间的关系:

光圈级数k	1	1.4	2	2.8	4	5.6	8	11	16
昏暗因子	1	2	4	8	16	32	64	128	256

图16: F值越大, 昏暗因子就越大, 到达芯片表面的光就越少。

这意味着, 如果采用16这样的小光圈 (即较大F值), 那么相比大小为1的光圈 (即较小F值), 前者进入镜头的光线只有后者的1/256。

有不同的光圈数标注方式:

标注	示例
1:k	1:1.4
1/k	1/1.4
f/k	f/1.4
F/k	F/1.4
F/k	F 1.4

图17: 同一个值, 不同标注法。

镜头可配备不同类型的光圈。在这方面, 引用了同义词“虹膜”或“光圈”:

固定光圈	固定式光圈	S口/M12, 手机
手动光圈	手动调节光圈	标准MV镜头
直流驱动光圈	电动调节光圈	用于IP相机的镜头
P光圈	可以通过多相电机调节的光圈	用于IP相机的镜头

图18: 不同类型的光圈和它们的特性。

**固定光圈**指固定的、不可改变的光圈。通常安装在S口镜头中。

**手动光圈**可以进行手动调整和改变。用于工业镜头以及IP镜头。

**直流驱动光圈、P光圈**可以自动适应不断变化的光线条件。这一功能对在户外运行的网络相机非常重要，尤其是用于监视和智能交通的网络相机。

因为通过改变快门速度可以很方便地以电子方式控制曝光时间，因此通常不推荐采用自动光圈功能。更改光圈大小（即F值）来调整图像的亮度的方式也会改变景深(DOF)。

光圈越小（即F值越大），图像变形造成的影响越小，景深也越大。然而图像不会因为减小光圈而锐度持续增加，因为光圈开度会造成衍射，导致模糊。因而，存在理想光圈设置，图像处于理想对焦状态。MV相机的理想光圈是1:2.0（用于像素<3μm、分辨率极高的镜头）和1:11（像素>10μm、分辨率较低的镜头）之间。

许多采用C口的MV镜头光圈从1:1.4开始。极高分辨率镜头或焦距为35 mm的镜头通常以光圈1:2.0到1:2.8开始。因为大部分镜头的光圈手动可调，所以可以设置为更小光圈。然而，如果靶面太大，镜头出众的性价比则可能无法被充分利用。所以如果光线充足，则可以选择光圈较小的镜头。

## 7. 光谱范围

标准镜头专为可见光（波长400到700 nm之间）设计。这意味着红外光会变得模糊。当仅使用红外光时，模糊才可以接受。但如果镜头需要同时记录红外光和可见光，则需要覆盖400到1000 nm的范围。这使镜头更昂贵，或意味着镜头需要放弃其他方面的性能，以覆盖这一范围。

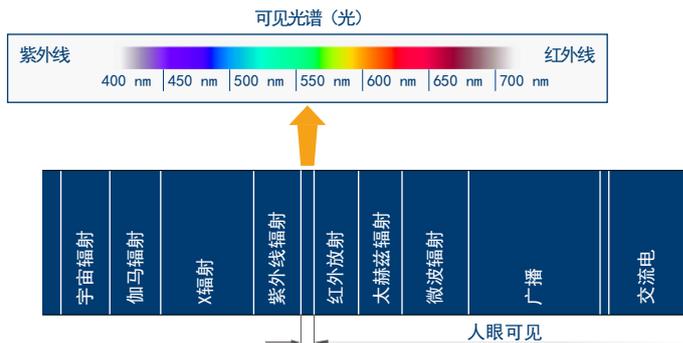


图19: 光的波长 (来源: 维基百科)

## 8. 工作距离/放大倍数

绝大多数MV镜头针对大约50 cm的工作距离进行了优化，这一距离对应工业应用中相机和对象之间的平均距离。

标准镜头在放大倍数  $\beta = 1:\infty$  和 1:10 (芯片尺寸:目标尺寸) 之间可以获得理想图像。这通常以最小光学距离(MOD)为限。在相机与镜头之间插入垫片，增加这个距离，从而可以增加放大倍数。但是设计镜头时不支持这种放大倍数，因此成像质量通常将受到严重损坏。为了获得理想成像质量，应尽量避免使用垫片。

如果需要放大倍数 > 1:10 (工业图像处理领域经常有此类需求)，可以采用微距镜头，这种镜头的放大范围大约为1:10-1:1之间。

放大倍数  $\geq 5$  (超过5倍) 属于显微镜镜头领域。

## 9. 结论

在寻找合适的镜头时，应该逐步满足主要标准。简言之，这包括：

1. 相机的镜头连接点决定将镜头连接到相机所需的镜头接口类型。
2. 确保镜头靶面可以尽可能与相机芯片尺寸匹配。镜头数据表中的“最大靶面”提供了所需信息。
3. 使用制造商网站的在线镜头选型助手计算适合的焦距。
4. 正确镜头类型取决于是否需要调整焦距。
5. 仔细检查镜头是否可以实际解析芯片分辨率。单单高达百万的像素值并不能说明问题。
6. 熟悉不同类型的光圈和F值。F值通常列在数据表的“最大光圈”下。
7. 镜头可以处理的光谱范围——只有可见光？还是也可以处理红外线？
8. 请注意相机和对象之间的最小光学距离(MOD)。这个距离决定工作距离，对成像质量影响很大。

原则上镜头总是按特定性能规格进行优化。这也意味着经常需要在F值、靶面/芯片尺寸、光谱范围、分辨率和价格方面取折中方案。

## 作者



Christoph Czeranowsky博士

高级技术架构师

Christoph Czeranowsky是技术部的一名高级技术架构师。他负责数条相机产品线的技术质量，是技术问题联络人，管理多个国际高级客户。2013年以来，他一直是Basler相机成像质量方面的架构师，负责评估和选择镜头。

## 联系人

Christoph Czeranowsky博士 - 高级技术架构师,  
电话: +49 4102 463 535  
传真: +49 4102 463 46535  
电子邮件: Christoph.Czeranowsky@baslerweb.com  
Basler AG  
An der Strusbek 60-62  
D-22926 Ahrensburg  
Germany

## 关于Basler

Basler是全球领先的成像产品制造商，专门为计算机视觉应用提供高品质的成像组件。除了经典的面阵相机和线阵相机、镜头、图像采集卡、光源模块和软件外，公司产品线也包括嵌入式视觉模块和解决方案以及3D相机，并提供定制产品和咨询服务。Basler的产品和解决方案能广泛应用于各类领域，竭力为工厂自动化、医疗、物流、零售、机器人等市场提供一流的服务。Basler产品可靠耐用，致力于实现卓越的性价比和长期保证供货。Basler集团成立于1988年，目前全球有近800名员工，总部位于德国阿伦斯堡，在欧洲、亚洲、和北美还设有分支机构。借助遍布全球的销售和服务办事处，以及通过与知名合作伙伴携手合作，我们能为来自各行各业客户提供合适的解决方案。