

线扫描应用 (相机及镜头选型、参数计算)

Line Scan Cameras and Lens Selection Guide in Field Applications

在线扫描表面检测应用中，相机的选型由相机的有效像素和最高行频这两个关键参数所确定，前者决定了检测系统的横向分辨率，后者则决定了检测系统的纵向分辨率（见右图）；多数应用场合中，横向和纵向分辨率要求一致以获得比例相同的扫描图像。

以单相机线扫描应用为例，系统的横向分辨率可由检测宽度/相机有效像素得出，检测分辨率通常设置为检测精度（或最小缺陷尺寸）的3~5倍以获得最佳的检测准确度。

某检测系统单台相机检测宽度350mm，最小缺陷尺寸0.2mm，运行表面速度为18米/分钟：

- 最小精度分辨率 = $350 \div 0.2 = 1750$ （像素）；
- 表面线速度 = 300 (mm/s)；
- 相机最佳分辨率 $\geq 3 \times 1750 = 5250$ （像素），因此可选择7450像素相机；
- 实际分辨率 = $350 \div 7450 \approx 0.047$ mm；
- 相机行频（图像的横向和纵向分辨率相同） $\geq 300(\text{mm/s}) \div 0.0047(\text{mm}) \approx 6383$ (Hz)；
- 因此可选择 S1-07K60M-CL这款线扫描工业相机（7450像素，最高行频7.8KHz）。

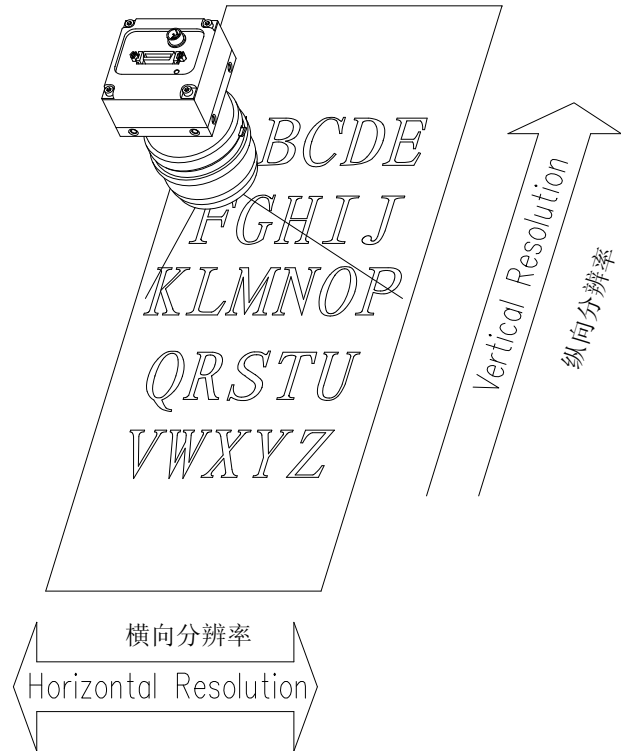
镜头选型 (Lens Selection)

镜头的选型较之相机的选型更为复杂，要求综合考虑相机规格和性能、需检测的缺陷类型、光源的种类和性能、光学放大倍率、系统工作距离限制、现场的环境和条件以及系统综合成本等因素。

视觉系统中常见的CCTV/FA镜头多数都无法应用于线扫描视觉系统中，CCTV镜头中的1"型镜头仅有约16mm的成像圈直径，仅可用于如S1-01K40M这种1024像素的线扫描工业相机，其它型号的相机要求镜头具有更大的成像圈直径，因此需采用通用的摄影镜头（成像圈直径29mm或41mm两种）或更大幅面的镜头（成像圈直径可达70mm以上），这些镜头常见的有F卡口、K卡口、M42螺丝口和M72螺纹口等。

同时，随着视觉工业的发展，线扫描传感器的像素密度也越来越高，高密度的线扫描相机，当像素尺寸小于5 μm 时，采用常规镜头很难达到既定的像方分辨率要求，因此对于这类相机，可根据系统成本限制采用专为线扫描应用设计的工业镜头，如YF3528、YF5028等。

相机选型 (Camera Selection)



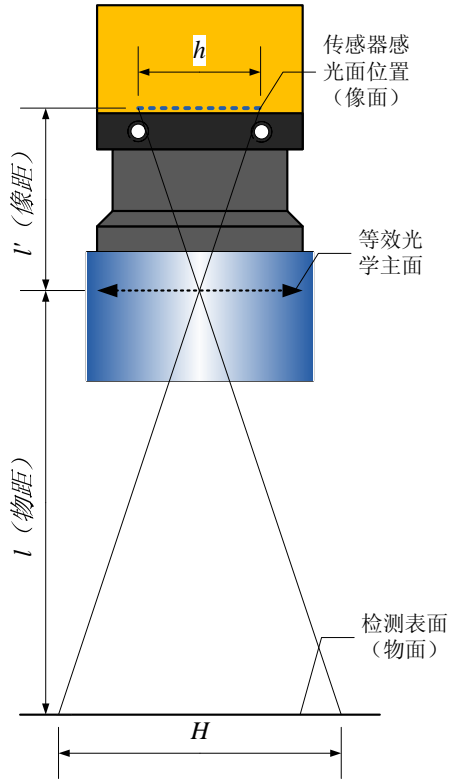
镜头选型步骤（参见下页的计算及示例）

- 根据相机选型结果和系统工作距离的最大值计算基本光学参数，确定镜头焦距范围；
- 根据相机的CCD有效感光长度，选择能够覆盖该相机像场的镜头类型；
- 根据光学放大倍率，若 $m > 0.25x$ ，则结合相机像素密度选择专用的高倍率放大镜头或线扫描工业镜头；
- 若 $m < 0.1$ ，则可根据焦距范围选择常规镜头；
- 若 $0.1 < m < 0.25$ ，则可选择常规镜头并视需要计算是否安置延长圈及其尺寸；
- 根据镜头最终选择的结果，重新计算各工作参数，复核是否达到系统设计的要求；

工作距离通常指镜头前端面至检测面的距离，但由于线扫描应用中，镜头的外形尺寸差异较大，因此使用物像距离计算更为简便

线扫描应用 (相机及镜头选型就、参数计算)

Line Scan Cameras and Lens Selection Guide in Field Applications



基本参数计算

- 光学放大倍率 m ，指像的尺寸和物的尺寸的比值，对于线扫描应用，像的尺寸与相机有效感光长度相同；

$$m = \frac{h}{H} = \frac{l'}{l}$$

- 等效焦距 f ，等效焦距与标称焦距 F 和光学放大倍率 m 的关系：

$$f = F \times (1 + m)$$

- 基本光学成像公式：

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{l} + \frac{1}{l'}$$

- 物像距离 WD' ，即从传感器感光面至检测表面的距离，当 m 和 F 已知或 m 和 WD' 已知时，使用以上公式可推导出：

$$WD' = (l + l') = \frac{F \times (1 + m)^2}{m} = \frac{f \times (1 + m)}{m}$$

$$F = \frac{m \times WD'}{(1 + m)^2}$$

仍采用上述示例，单台相机检测宽度 $H=350\text{mm}$ ，选用 S1-07K60M-CL 相机，要求相机至检测面的距离不超过 500mm ：

- 像的尺寸 $h = 7450 \times 0.0047(\text{mm}) = 35.015\text{mm}$ ；
- 光学放大倍数 $m = 35.015(\text{mm}) \div 350(\text{mm}) \approx 0.1$ ；
- 根据相机至检测面距离选择镜头焦距 $F \leq (0.1 \times 500) \div (1 + 0.1)^2 \approx 41.3\text{mm}$ ；
- 常规镜头焦距中，标称焦距小于 41mm 的最近值为 35mm ，根据相机的分辨率等要求，最终选择 YF3528 这款镜头 ($F=35\text{mm}$)；
- 实际物像距离 $WD' = (35(\text{mm}) \times (1 + 0.1)^2) \div 0.1 = 423.5\text{mm}$ ；
- 相机前表面距离检测面的距离 = $WD' - 11(\text{mm}) = 412.5\text{mm}$ ，满足系统要求。

当光学放大倍率在 $0.1 \sim 0.25$ 之间时，可通过延长镜头后端面至传感器的距离提高镜头无法达到的倍率，延长的距离可使用 $F \times m$ 计算，考虑以下示例，某系统选用相机 S1-05K50M，N50-18 镜头，检测宽度 200mm ：

- 像的尺寸 $h = 5000 \times 0.007(\text{mm}) = 35\text{mm}$ ；光学放大倍数 $m = 35(\text{mm}) \div 200(\text{mm}) = 0.175$ ；
- 延长圈尺寸 = $50\text{mm} \times 0.175 = 8.75\text{mm}$ ，由于镜头本身具有一定范围的调整量，因此可采用 5mm 延长圈；

^① 以上公式仅适用于线性成像镜头，非线性镜头（如鱼眼成像镜头）的光学参数计算十分复杂，一般根据实测情况选择；

^② 远心成像镜头通常根据光学放大倍率和工作距离参数选择；