

白皮书

网络视频照明

照明设计指南

十一月 2023

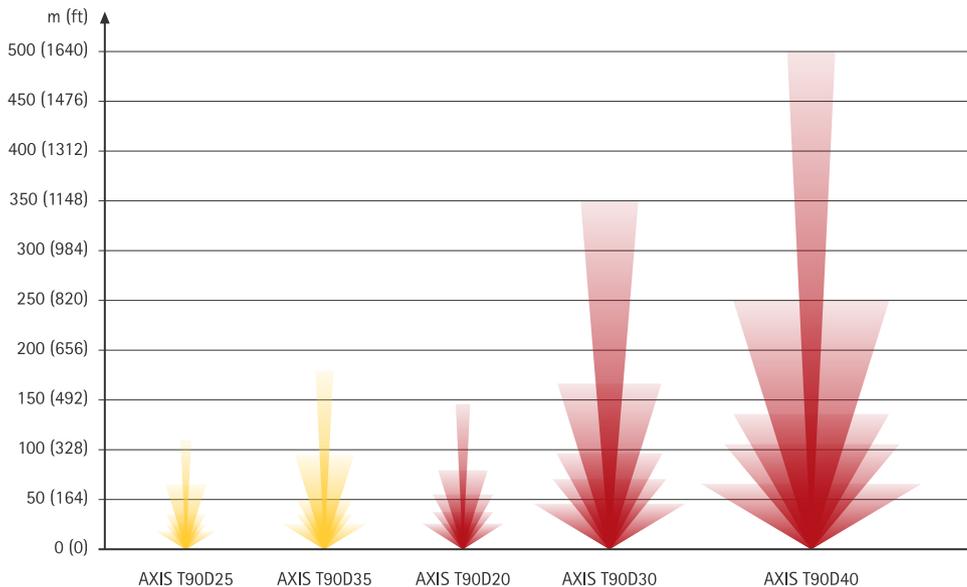
概述

当选择监控用网络摄像机时，需要考虑若干因素，光照便是其中之一。视点区域中的光源和具体状况决定摄像机的性能表现和图像质量。

当今，发光二极管 (LED) 是良好适配大多数网络视频系统的照明解决方案。其广泛应用得益于自身出色的成本效益、较长的工作寿命以及较低的功耗。日间监控的考虑因素与夜间监控略有不同，后者需要多种不同类型的照明。比如，色彩校正照明器有助于在夜间获得真实的目标色彩。

此外，还需要考虑其他光因数，这在很大程度上取决于摄像机要执行的功能。它们包括：

- 光行为：这涉及光入射到的不同表面以及对图像质量的最终影响。它可能是漫反射或反射材料（镜面反射、漫反射或逆反射）。
- 照明距离和照明方式：为网络视频监控设计的照明系统必须能够提供均匀的照明以保证良好的性能表现。照明角度相对于摄像机视野不应过小或过大，此外，还需要考虑照明器与目标之间的距离。安讯士照明器可为您提供较高的灵活性，它们提供若干照明角度，您可以根据自己的视野选择理想的照明角度。



在本白皮书中，尤其对这些因数进行全面讲述。

目录

1	引言	4
2	什么是光?	4
3	颜色是什么?	4
4	什么是红外光?	5
5	彩色或黑白图像?	5
6	亮度和眩光	5
7	光源	7
8	网络视频照明——哪种波长?	8
9	光与安全	9
10	光束模式	9
11	平方反比定律	10
12	安讯士产品的照明距离	10
13	使用多个照明器	11
14	光的计量	12
15	对均匀照明的需求	12
16	选定合适的摄像机	13
17	选定合适的镜头	13

1 引言

在选择用于日间或夜间监控的网络摄像机时，需要对一些影响图像质量的因素加以了解。本指南旨在介绍其中一个因素，即“照明如何影响图像”，这是在为黑暗环境打造有利照明时需要考虑的重要因素之一。

2 什么是光？

光是网络视频的必备要素。正是场景反射的光让图像为人眼和摄像机可见。因此网络视频系统的性能不仅取决于摄像机和镜头，而且还取决于可用光的量、质量和分布。

光是电磁辐射形式的能量。光的波长（或频率）决定光的颜色和类型。人眼只能看到非常窄的波长范围，从大约400 nm（紫色）到700 nm（红色）。然而，网络视频摄像机却能够侦测到人眼可见范围之外的光，这就使得它们不仅能够结合白光使用，而且还能够结合近红外光（715–950 nm）用于夜间监控。

光的行为因其入射到的材料或表面而异，在那里，它被反射、漫反射、吸收或（更常见的是）遭受这些效应的混合效应。大多数表面会反射光中的某个元素。通常，表面颜色越浅，反射的光线越多。黑色表面吸收可见光，而白色表面反射几乎所有的可见光。红外光的反射方式与可见光相同。红外光的反射方式取决于材料的性质。

3 颜色是什么？

人眼和大脑看到颜色的过程非常复杂，因此这里对颜色的定义有必要大大简化。

大脑将人眼可见波长的光视为彩色光；400 nm（紫色）至700 nm（红色）。对颜色的感知在专门的视网膜细胞（称为“锥细胞”）中完成。锥细胞包含不同形式的色素，从而产生不同的光谱敏感性。人眼包含三类色素，因此能够产生三色视觉（红色、蓝色和绿色）。介于这些原色波长之间的所有其他可见色（如靛蓝色、青色、黄色和橙色）作为这些原色的混合色被侦测到。

当同时看到等量的红色、蓝色和绿色时，这些波长便表现为白光。摄像机以与此相似的方式收集光并侦测颜色。大多数数字摄像机采用拜耳 (Bayer) 阵列，这是一种彩色滤光片，能够利用图像传感器实现彩色摄影。在使用三原色（红色、蓝色和绿色）完成硅片过滤后，再在传感器上设置这种滤光片阵列。此阵列经过优化，可更容易实现去马赛克效果——一种插补缺失颜色的过程。这个阵列能够利用双倍于蓝色和红色的绿色像素，来模仿人眼对不同颜色的敏感度。

绿叶之所以看起来是绿色的，是因为它反射了白光中所存在的绿色波长。如果在红光下观看，它将呈现黑色，因为这些光中不含绿色。在购买彩色衣服时，也是一样的道理，您可以将衣服拿到门边或窗边，查看它在白天看起来是什么样的。这是因为，室内照明所包含的波长组合与室外光略有不同，因此会造成衣服外观颜色变化。

这种情况同样适用于网络视频。照明器的颜色输出会影响摄像机看到的颜色，比如，在钠路灯下，光是泛黄的。为了提供具有真实色彩的网络视频图像，白光照明器需要提供与可见光谱匹配的色彩校正照明。

彩色物体对光进行选择性的反射。它们仅反射您看到的波长（即，颜色），其余波长则被吸收。比如，红花中所含的色素分子能够吸收白光中除红色之外的所有波长，这样红色就成为被它反射的唯一颜色。

在低于可见光谱的波长中，辐射即为紫外 (UV) 辐射，它能够灼伤皮肤（晒黑），因此对于网络视频而言具有不安全性。在高于可见光谱的波长中，辐射即为红外 (IR) 辐射。

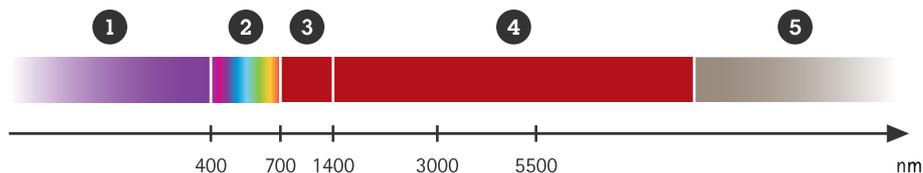


Figure 1. 以波长 (纳米) 标示能量范围的部分电磁波谱。从左向右所示的能量范围为：(1) 紫外光、(2) 可见光、(3) 近红外光、(4) 红外光、(5) 微波。

4 什么是红外光？

红外光 (IR) 是可见光谱之外的波长较长的光，因此对人眼不可见。网络视频照明中使用的红外光的波长略长于可见光谱波长，即，介于700至1100 nm之间。这个波段的红外光又被称为近红外光 (NIR)。近红外光不受原色滤光片影响，在三原色像素中均能够被侦测到，因此近红外光也被视为彩色光。除非摄像机配有能够拦截所有近红外光的红外滤光片，否则便无法执行彩色成像。在日间，这个滤光片安装在传感器前方，但在几乎没有光照的夜间，便由执行器移除该滤光片，这样所有像素便能够收集红外光（收集在所有像素中），而可见光则收集在不同类型的彩色像素中。为了使得这种混合光图像具有可用性，滤光片会丢弃（已经破坏的）颜色信息，并显示黑白图像。

由于摄像机能够看到人眼不可见的部分红外光，因此在电脑屏幕上的呈现方式上，存在多种不同的替代方案。图像通常显示为黑白图像，场景的呈现就好像人眼能够看到红外光似的。也可以使用其他虚假色彩来显示相较于可见光的红外光内容。这通常用在科学成像中。

对于需要隐蔽监控的应用，亦或是原本必须规避低照度可见光的应用，红外光不失为理想之选。

5 彩色或黑白图像？

在布置夜间监控照明时，首先要确定是需要获得彩色图像还是黑白图像。在许多情况下，彩色图像是首选，但必须注意要提供真实的色彩，这可以通过色彩校正照明器来实现。假设我们需要通过低压钠路灯提供黄色光。若使用的白光不正确，可能影响性能，并导致色彩呈现不准确，摄像机表现的优劣即取决于可用的光。

在白光可能造成过大妨碍或者需要开展隐蔽监控的情况下，红外光不失为理想的照明方式。而相比同等功率级别的白光，红外光的照明距离也更远。

6 亮度和眩光

亮度是对特定区域的明亮度的主观感受。眩光是视野范围内明亮区域与黑暗区域对比度过大造成的结果。这个问题在黑暗环境中表现得更为突出，在这种情况下，亮区与暗区之间的对比度使得人眼（以及采用红外光源的网络视频摄像机）难以根据亮度变化而进行相应调整。

漫反射：

漫反射材料能够散射穿过自身的光线。光线的方向和类型在穿过此材料时发生变化。

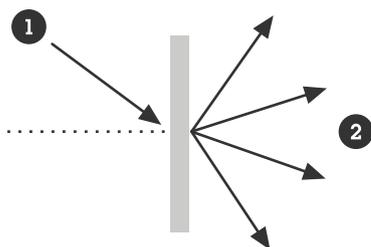


Figure 2. 光的漫反射。入射光 (1) 和漫反射光 (2)

反射:

当光入射到某个表面时，能够作为反射光被反射回来。表面的质量会影响反射类型。纹理较多的表面因材料的微观不规则性而散射光，平坦的表面（如镜子）则提供更为集中的反射。

• 镜面反射:

如果某个表面像镜子一样反射光，那么该表面便被认为具有镜面反射能力。镜面反射时，入射角等于反射角。

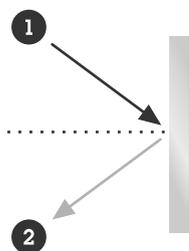


Figure 3. 镜面反射。入射光 (1) 和反射光 (2)

• 漫反射:

漫反射表面由于反射表面中的微观不规则性而在各个方向上反射光线。例如，颗粒状表面将在不同方向上反射光线。漫反射表面能够以同等比例在各个方向上散射光线。

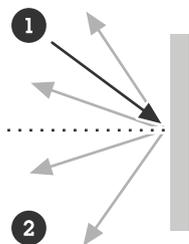


Figure 4. 漫反射。入射光 (1) 和漫反射光 (2)

• 逆反射:

在这种类型的反射中，表面以与光入射相反的方向反射光。交通标志和车牌都具有逆反射表面。

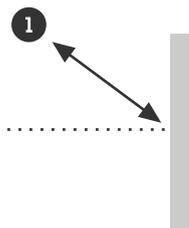


Figure 5. 逆反射。入射光 (1)

反射程度：

反射率是反射功率相对于入射功率的比率。物体以不同的强度反射光线，未反射的能量则被吸收并转换成热量。反射率较低的物体吸收的能量较多，这就是为什么（比如）砖墙在阳光下会发热。

需注意的是，摄像机并不使用场景中由测光计侦测到的环境光，而是使用场景中的物体反射光。

吸收：

某些表面有吸光能力。彩色表面会吸收部分光，并反射其余的光，这就是它们表现出特定颜色的原因所在。黑色表面能够吸收大部分入射光。光能通常转换成热量，从而使得黑色材料容易发热。

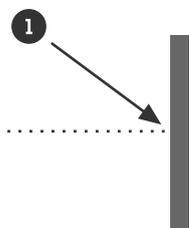


Figure 6. 吸光。入射光 (1)

7 光源

白炽灯（包括卤素灯）：

白炽灯是较早研发的灯，效率非常低，90%的输入能量以热量形式被浪费掉，使得自身发烫，无法触碰。卤素灯在效率上的提升甚微，却仍有高达85%的输入能量以热量形式被浪费掉。就网络视频用途而言，白炽灯的寿命有限，效率也非常低。

荧光灯：

这些灯在网络视频领域的用途有限，因为在使用网络视频摄像机拍摄场景时，会感受到“脉冲”效应。这些灯的功率通常较低，主要安装在内部。由于它们是漫反射较大的光源，因此输出的光难以聚焦和控制。

HID（高强度气体放电）灯：

这些灯的效率较高，色彩呈现较好，且寿命较长（可达12,000小时）。HID灯本能够在网络视频领域有着良好的应用，但它们启动时间较长（2-3分钟），在关闭后，无法立即开启。

LED：

在网络视频应用中，发光二极管是快速增长的照明解决方案。它们的效率通常为80-90%，其中，红光LED的效率最高。LED优势众多，其中包括电耗非常低、工作温度较低、在装置工作寿命期间能够保持颜色的持续性，因此是网络视频应用的常见选择。

不同于传统灯泡，LED的耐久性好，不易受振动影响，且其外壳坚硬，能够保护LED免遭破坏。它们还能够无需滤光片的情况下发出指定波长的光，而且它们的启动速度也较快。

LED的运行成本非常低（即便是功率非常高的LED装置，也小于100瓦特），其工作寿命非常长，可达100,000小时（10年）。相比之下，荧光灯的寿命通常为10,000小时，而白炽灯则为1,000小时。某些LED的驱动电路频率可能与所使用的当地电力频率不同，这就使得它们难以获得无闪烁图像。在美国，LED采用30、60、120、240 Hz或更高的频率，而在欧洲，LED则采用50、100、150、200 Hz或更高的频率。如要获得无闪烁视频，需要配置摄像机和观看屏幕，以便使用相同的帧速。

8 网络视频照明——哪种波长？

白光：400-700 nm光形成的混合光即是真白光。

实际用途：

- 为网络视频系统提供局域照明
- 改善人员的总体照明水平
- 为经授权的人员提供舒适环境
- 在遭受入侵时，照明安全区域，遏止犯罪
- 可与黑白、彩色和日/夜型摄像机一起使用

红外光：

- 715-730 nm：Overt（外显）红外光，能够产生像红色交通灯那样的红色光晕
- 815-850 nm：Semi-covert（半隐蔽）红外光，能够产生淡红色光晕
- 940-950 nm：Covert（隐蔽）红外光，人眼不可见

红外光的实际用途：

- 为网络视频提供不引人注意或隐蔽的照明
- 尽可能减少光污染
- 提供非常远距离的照明
- 可与黑白、日/夜型摄像机一起使用

9 光与安全

白光对人眼可见，我们拥有天然的保护机制，以免过度的白光暴露。虹膜和眼睑在闭合时，能够降低可见光影响。如果这还不够，我们只需转身，背离光源即可。在面对红外光时，人眼无法自动调整以防过度暴露，因为我们看不到红外光。但红外光却能够产生热量，这些热量可以作为一种安全手段来使用。如果能够感觉到红外装置的热量，那么切勿直视光源。

10 光束模式

照明角度需要经过调整才能够充分照亮整个场景，并为网络视频提供所需的照明。先进的自适应照明装置让您能够现场调整照明角度，适配具体场景要求。如果照明角度过小，场景中间会产生白区或眩光区，而别的某些区域却得不到良好照明。

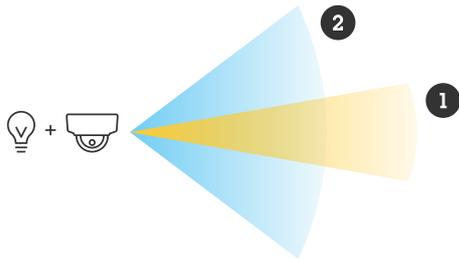


Figure 7. 照明角度 (1) 相对于摄像机视野 (2) 过小

照明角度过大则意味着光“浪费”以及可视距离减小。

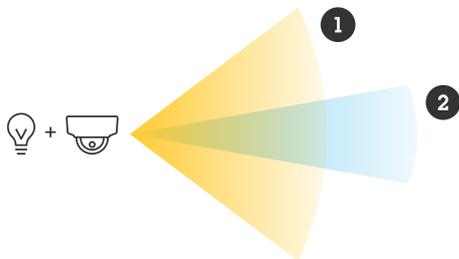


Figure 8. 照明角度 (1) 相对于摄像机视野 (2) 过大

许多系统采用的是变焦镜头，因此在照明方面，最好也应具备同等的灵活度，这样才能尽可能发挥系统性能。视频监控领域中的灵活照明器（比如安讯士产品中的那些照明器）拥有一

系列不同的光输出角度，让您能够选择覆盖确切视野的角度，获得良好的图像呈现。相关调整快速而方便，您能够轻松选择可用的角度。

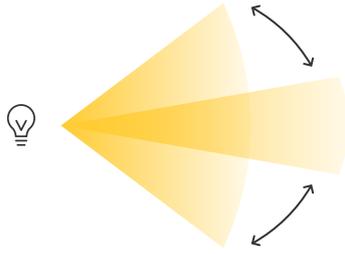


Figure 9. 覆盖不同视角的自适应照明

11 平方反比定律

特定距离处可用的光量与跟光源相距的距离的平方成反比。由于光遵循平方反比定律，因此我们现在将分析这个定律的应用方式。

光在传送离开点光源后，会在水平和垂直方向上扩散，距离越远，抵达的光越少。实际上，这意味着如果目标从给定位置移动到与光源相距两倍距离的另一个位置，那么它将仅接收到 $\frac{1}{4}$ 的光 ($(2 \times \text{距离})^2 = 4$)。

再远一点，如果与光源相距10 m的目标接收到100 lux的光，那么在将目标移动到与光源相距40 m的距离处时，就意味着将仅接收到 $\frac{1}{16}$ 的光 ($(4 \times \text{距离})^2 = 16$)，即，目标接收到的光量仅为6.25 lux。平方反比定律以相同的方式同时适用于白光和红外光。

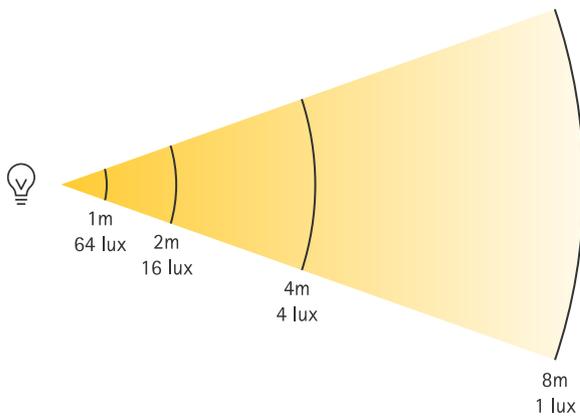


Figure 10. 平方反比定律

12 安讯士产品的照明距离

您可以参考下图，根据照明器与目标之间的距离，选择合适的安讯士红外照明器。请注意，深色阴影区域表示理想的使用，浅色阴影区域表示次佳使用。另外，所选择的镜头决

定将获得的角度和照明光锥。例如，AXIS T90D20 IR-LED有标配镜头 (10°) 和发散镜头 (35° 、 60° 、 80° 、 120°) 可供选择。

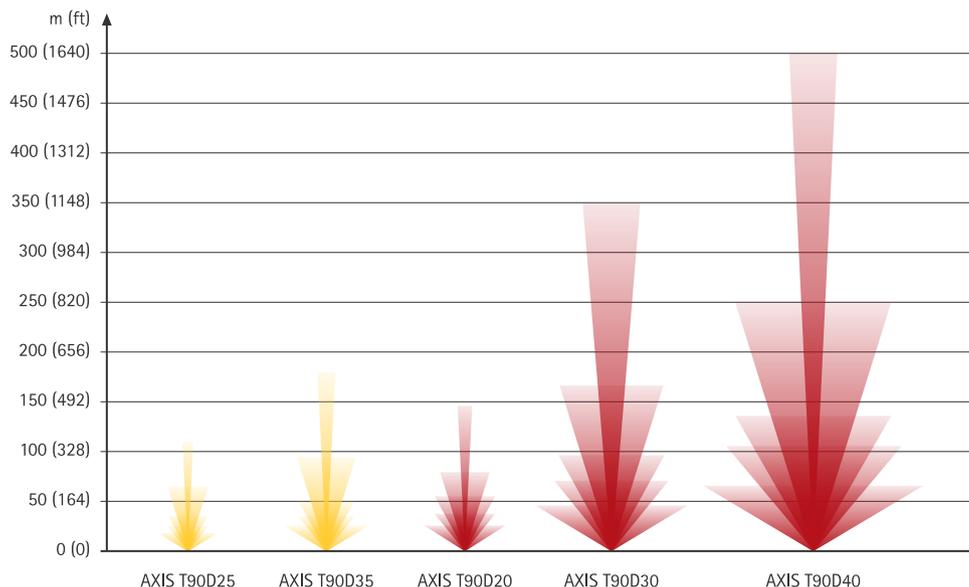


Figure 11. 红外照明器选择图

13 使用多个照明器

平方反比定律说明光量随距离增大的减少程度，但它也可以用来计算为实现特定的距离增加而需要的额外照明器数量。

如果与某单一照明器的距离加倍，那么光量便会减少至25%。如要在两倍于单一照明器照明距离的距离处照明（场景中的功率保持不变），将需要四个照明器($2^2 = 4$)。同样，如要实现三倍于单一照明器照明距离的照明，将需要九个照明器($3^2 = 9$)。

平方反比定律也可以用来通过对光源处可用光的变化取平方根，从而计算使用多个照明器时的效果。例如，使用四个照明器将实现两倍的距离增加($\sqrt{4} = 2$)，使用25个照明器将得到五倍的距离增加($\sqrt{25} = 5$)。

并不是一定要使用多个照明器才能实现距离增加。照明角度较小的照明器或者功能更强大的照明器也可以提供所需的额外距离增加。

如果需要使用（比如）变焦距镜头对特定距离处的特定目标照明，可以在目标附近放置一个小照明器。其中一个例子便是场所周界处的正门或侧门，这种门距离场所中的建筑物和其他基础设施相对较远。

表 13.1 距离增加与照明器数量的关系

照明器数量	距离乘数
1	1
2	1.4
3	1.7
4	2

表 13.1. 距离增加与照明器数量的关系 (续)

5	2.2
6	2.4
7	2.6
8	2.8
9	3

两倍的照明距离需要使用四倍的功率。两倍的照明器数量可提供1.4倍的距离增加。

14 光的计量

白光:

白光以勒克斯 (lux) 来计量, 这是照度的国际单位制 (SI), 其中还考虑了光的覆盖面积 (1勒克斯 = 1流明/平方米)。英尺烛光仍是广泛使用的计量单位: 10勒克斯 \approx 1英尺烛光。场景中的白光可通过简单使用测光计来测量。典型的照度等级 (勒克斯值) 如下:

表 14.1 不同场景的光强度

明亮的晴天	10,000 – 100,000 lux
阴天	1,000 – 10,000 lux
黄昏	1 – 100 lux
街道照明	5 lux
满月	0.1 lux
明亮清晰的星光	0.01 – 0.0001 lux

红外光:

由于勒克斯 (lux) 是可见光的计量单位, 按照定义, 红外光是不可见光, 因此无法使用勒克斯来计量红外光。红外光的较常用计量形式是每平方米毫瓦数, 它是给定面积内光源输出能量的简单表示。

15 对均匀照明的需求

照明系统设计的一个非常重要的方面是实现均匀照明。人眼和网络摄像机或镜头都需要应对视野内的光量差异。

在夜晚空无一人的公路上驱车行驶时, 可以使用汽车前大灯获得清晰视野。但当有车从对向驶来时, 尽管场景上的光量实际上增多了, 但您的夜间视觉仍会受到影响, 因为场景中心周围的光现在变得非常强, 进而导致您眼睛的虹膜闭合了。网络视频摄像机也会遇到相同情况, 图像中的亮点将导致镜头闭合, 继而降低夜间性能。为了在夜间获得更好的图像, 必须使用专门的照明产品, 使照明均匀分布。

OptimizedIR:

Axis OptimizedIR能够为摄像机视野提供均匀照明。它针对具体摄像机专门定制。例如，搭载OptimizedIR技术的安讯士水平转动/垂直转动/变焦(PTZ)摄像机在缩放视野时，摄像机的红外光束会自动变宽或变窄，以便实现均匀照明。

除均匀的场景照明之外，搭载OptimizedIR技术的摄像机还采用优质LED，能够提供良好的热量管理。

16 选定合适的摄像机

灵敏度：

它描述摄像机对光的敏感度，主要衡量的是为得到可接受的图像而需要的最低照度等级，但这个值的主观性较大。某个图像对于这个人可能是可接受的，但对于另一个人则可能完全无法接受。

在低光条件下，Axis Lightfinder技术能够消减噪声，生成细节丰富的图像。因此，即使在黑暗区域，搭载Lightfinder技术的摄像机也能够拍出全彩图像和视频。

灵敏度通常以勒克斯 (lux) 来计量，摄像机制造商会标示为得到可接受图像而需要的最低勒克斯值。但这个标称值通常不会指明这个最低勒克斯值是代表场景、镜头、还是摄像机芯片处的最低光量。对于安讯士摄像机，这个值适用于场景处的光量。

尽管标称的勒克斯值往往较为夸大，尽管最低勒克斯值仅描述摄像机相对于可见光的性能表现，但只要以相同方式主观地比较最低照明，那么这个勒克斯值就仍是衡量摄像机灵敏度的一种方式。

勒克斯值为零的摄像机是不存在的，摄像机全都需要光，才能生成高质量图像。即便是感光度非常高的摄像机，在光线条件更好时，也会生成信噪比更高的图像。热成像摄像机是个例外，它们基于车辆或人所辐射的热量来形成图像，因此，即便是在漆黑环境中，摄像机也能够成像。某些摄像机增设了近红外光 (NIR) 发射器，并以此标称零勒克斯值，但这样的摄像机丢失了彩色波长，呈现的目标图像全都是黑白图像。

有关感光性的更多信息，可以参阅 *白皮书/安讯士公司* 中的安讯士白皮书 **Lightfinder**

17 选定合适的镜头

f值：

镜头的f值（光圈）决定通过光圈抵达摄像机芯片的光量。简言之，f值越小，通过光圈的光越多，但镜头的制造工艺和质量也影响着通过光圈的光量。下表显示在网络视频系统中使用不同光圈镜头的影响（· = 全f值）：

表 17.1 传感器获得1 lux所需的f值和照度等级

F值	通过的光量 (%)	传感器获得1 lux所需的光量
f/1 ·	20%	5 lux
f/1.2	15%	7.5 lux
f/1.4 ·	10%	10 lux
f/1.6	7.5%	13.3 lux
f/1.8	6.25%	16 lux

表 17.1. 传感器获得 1 lux 所需的 f 值和照度等级 (续)

f/2	5%	20 lux
f/2.4	3.75%	30 lux
f/2.8	2.5%	40 lux
f/4	1.25%	80 lux

对于大多数摄像机传感器，镜头 f 值越小，抵达传感器的光越多。对于变焦距镜头，理想的 f 值可通过大量调试来实现。镜头变焦时，光圈闭合。这继而影响到场景上需要有多少光才能在低照度等级下获得良好图像。

透光率：

镜头效率通过其透光率来衡量。在通过镜头时，部分光将因镜头材料、厚度和涂层特性而丢失。对于效率较高的镜头，光的通过百分比将较高。镜头的 f 值描述的是通过镜头的光量，它并不衡量镜头的总体效率。

镜头的透光率因波长而异。比如，一个镜头可以让 95% 的可见光和 80% 的 850 nm 红外光通过，而另一个镜头则可以让 95% 的可见光和 50% 的 850 nm 红外光通过。在选定镜头时，应考虑它将适配的光的波长。还应注意的，玻璃镜头的效率往往高于塑料镜头。

校正镜头：

- 红外校正镜头：

红外校正镜头旨在解决日光与夜光之间的焦点偏移问题，它采用专门的玻璃和涂层技术，能够大大减少光弥散。焦点偏移因光的不同波长所致。在通过镜头后，不同的波长有着不同的焦点位置。

- 色彩校正镜头：

光源（包括太阳）会产生较广的照明光谱。白光即是人类可见的光谱段。因此，镜头必须控制哪种光可以抵达摄像机，以便形成与人眼感知图像相同的图像。许多廉价的镜头无法将其通过的颜色与可见光谱高效匹配，因此它们提供的彩色图像也不准确。色彩校正镜头仅允许可见光通过，并将不同的颜色聚焦在相同位置，从而提供具有真实色彩呈现的清晰图像。

大多数色彩校正镜头不适合搭配红外照明，但也存在一些例外。

关于 Axis Communications

Axis 通过打造解决方案，不断提供改善以提高安全性和业务绩效。作为网络技术公司和行业领导者，Axis 提供视频监控解决方案，访问控制、对讲以及音频系统的相关产品和服务。并通过智能分析应用实现增强，通过高品质培训提供支持。

Axis 在 50 多个国家/地区拥有约 4,000 名敬业的员工 并与全球的技术和系统集成合作伙伴合作 为客户带来解决方案。Axis 成立于 1984 年，总部在瑞典隆德