白皮书

# 热成像摄像机

10月 2021

# 目录


1 概述 3
2 引言 3
3 为什么使用热成像摄像机? 3
4 集成视频分析工具时的优势 4
5 热传感器性能与NETD 4
5.1 比较NETD值 5
5.2 安讯士的NETD测定 5
6 根据约翰逊准则的侦测距离 5
6.1 列线图 6
7 环境影响 6
7.1 吸收 7
7.2 散射 7
7.2.1 雾霾 7
7.2.2 雨雪 8
8 安装注意事项 9

# 1 概述

- **热成像摄像机能够做什么？**
  热成像摄像机能够侦测不同目标（包括零温度目标）所产生的热辐射（热量）。这些摄像机能够区分小温差，并将这些温差转换成可视化图像，从而在非常远的距离之外区分人和车辆。即使在漆黑环境下，它们也能够发挥作用，而且它们还可以无视光照条件、伪装、植被、恶劣天气或者使得感光摄像机难以工作的其他条件。

- **它们有哪些用途？**
  热成像摄像机被广泛应用于周界保护系统中。来自热成像摄像机的实时视频能够远早于感光摄像机侦测到异常之前，揭示关键场所周围的个体存在。热图像直接在摄像机中进行自动分析，安防系统可以被设置为以不同方式做出响应。它能够触发扬声器的自动语音警报以主动遏止入侵者，能够向安保人员发送电子邮件警报，并使系统的感光摄像机执行水平转动和变焦，从而捕捉并记录原始视频影像以便识别入侵者。

  热成像摄像机还可以用来监测工业过程温度。它们能够查找建筑物中的热量泄漏，或者判断车辆在近期是否被使用过。

  仅通过热图像本身，通常无法识别具体的个体。因此，对于尤其注重隐私的场所（如学校），热成像摄像机是良好的监控选项。

- **NETD是热传感器精度的衡量指标**
  热传感器侦测热成像辐射中的微小差异的能力可通过其NETD（*噪声等效温度差异*）值来表征。一般来说，NETD越小，传感器越好。然而，由于没有统一的衡量协议可遵守，摄像机的等级划分不应仅取决于其NETD规格。

- **安装指南的经验规则**
  *约翰逊标准法则*根据目的是要*侦测*、还是*识别*亦或是*辨识*车辆或个人，描述了最低所需分辨率与预期侦测距离之间的关系。另一个工具是*列线图*，它以图形形式显示了在特定分辨率要求下侦测距离与摄像机镜头焦距之间的关系。但实际结果可能因天气条件而异。此外，如果使用了分析应用，正确运行所需的像素数可能大于相关拇指规则所建议的像素数。

- **环境对侦测的影响**
  雨、雾和烟雾都会降低侦测范围。热辐射衰减率取决于空气中颗粒物或水滴的大小和浓度。但在大多数情况下，这类现象对热成像摄像机的侦测距离的影响要小于对感光摄像机的影响。尤其是在中等雾霾或烟雾条件下，热成像摄像机能够侦测到对感光摄像机完全不可见的目标。

# 2 引言

热成像摄像机基于不同目标因自身温度而产生的红外辐射来生成图像。这些摄像机能够侦测小温差，非常适合区分隐蔽在复杂背景或深色阴影中的人。此外，它们还可以轻松侦测车辆和其他目标，这种侦测无昼夜之分，不受光线条件影响。

本白皮书讨论了热成像摄像机的优点，以及它们与视频分析工具相结合在周界保护场合中的应用。其中介绍了热成像摄像机的性能衡量方式，以及侦测距离与镜头焦距和所需准确度之间的关系。我们还在一定程度上分析了天气条件对性能的影响，以及安装热成像摄像机时的注意事项。

# 3 为什么使用热成像摄像机?

热成像摄像机有着广泛的安全应用领域，例如，工业场所、机场和发电厂附近的周界保护。来自热成像摄像机的实时视频可以远早于感光摄像机向安保人员告知有人在停车场的车辆间穿梭。这种的出色侦测能力也使得热成像摄像机非常适合搜救场合。

仅靠热图像，通常无法达到识别个体的目的。因此，在许多注重隐私的场合中，热成像摄像机是不错的选择。在许多国家和地区，要在公共场所录像，必须获得相关监管机构的许可。热成像摄像机通常比感光摄像机更容易获得许可，因为场景中的个体无法被识别。

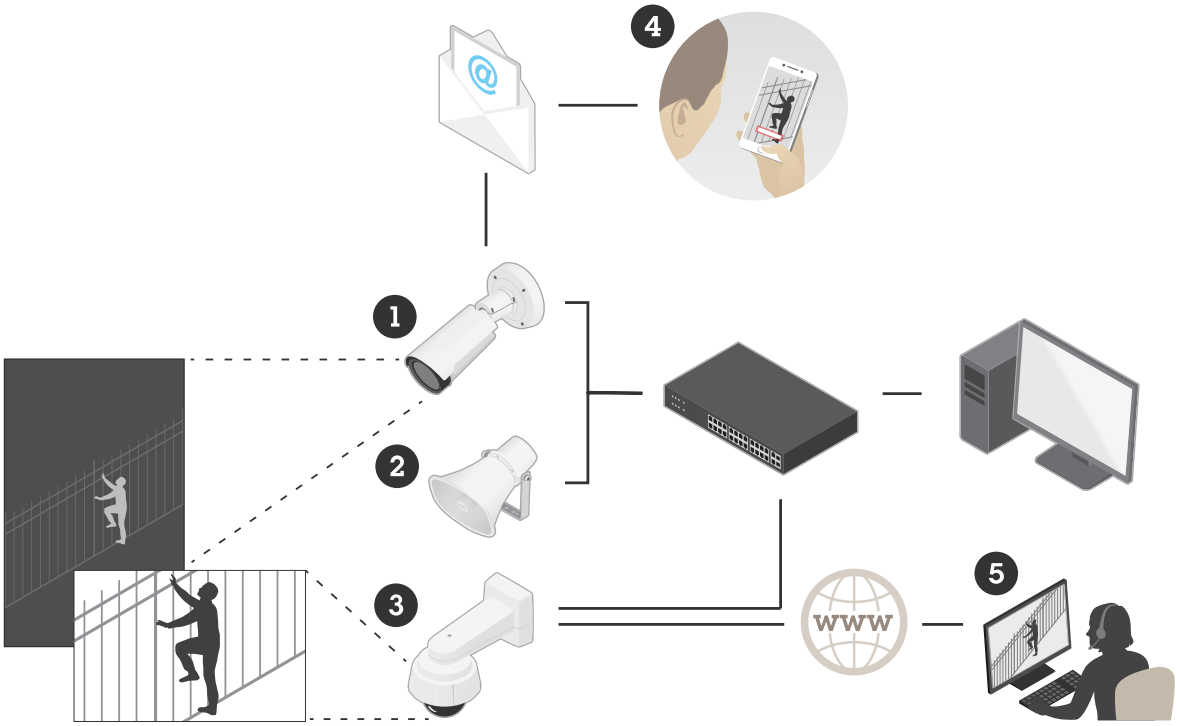
相较于感光摄像机，热成像摄像机能够提供更可靠的侦测和形状识别。这通过将高图像对比度与移动侦测相结合来实现。这样就能够降低误报率，减少人员所采取的不必要的响应和操作。

热成像摄像机提供的热信息还有助于监控流程，侦测温度变化情况下的异常行为。例如，热成像摄像机可用于找出建筑物中的热量泄漏，或者确定汽车在近期是否被驾驶过。

# 4 集成视频分析工具时的优势

安讯士热成像摄像机能够以隐蔽方式提供高性价比侦测，显著增强建筑物的安全性和应急管理。摄像机的内置智能功能与附加的视频分析一起打造了一款解决方案，视频监控系统可通过该解决方案自动执行捕捉视频的分析。例如在周界保护中，热成像摄像机有助于将这种分析能力分布到IP系统中的感光摄像机。

面向周界保护的安讯士分析应用有助于打造高效的系统，以用于自动侦测入侵者并做出响应。您可以由此判断应采取什么样的应对措施。当有人进入摄像机视野内的预定义区域时，热成像摄像机能够（比如）自动向安保人员发送电子邮件警报，并同时触发PTZ（水平转动/垂直转动/变焦）摄像机提供可视化视频。这就能够在入侵发生前发现可疑活动，并在采取相应措施前以可视化方式验证即将发生的事情。摄像机还可以利用边缘到边缘技术来激活扬声器，吓退入侵者。




*热成像摄像机在周界保护系统中的作用：*

1. 热成像摄像机侦测闯入者。
2. 热成像摄像机利用边缘到边缘技术来启用号角扬声器，从而威吓闯入者。
3. 热成像摄像机通知*PTZ*摄像机，使其重新定向，拍下闯入者的视频。
4. 热成像摄像机发送即时电子邮件通知，以便验证入侵行为。
5. *PTZ*摄像机向能够识别闯入者的操作人员提供可视化视频。

面向周界保护的安讯士分析应用是基于前端的应用。这就意味着，它们被嵌入到摄像机中并直接在其中开展分析。由于不将视频发送到中央服务器进行分析，因此系统具有较好的灵活性和可扩展性，成本也能够保持在较低水平。

# 5 热传感器性能与NETD

NETD是一种常用的衡量指标，用于划分热传感器（甚至整个热成像摄像机系统）的性能。NETD的全称为*噪声等效温差*。它定义传感器的噪声阈值，即，NETD代表在产生与噪声阈值等效的信号时所需要的温差。

NETD基本上决定了传感器区分图像中非常小的热辐射差异的能力。NETD越小，传感器越好。如果NETD为比如50 mK（毫开），则传感器只能够侦测大于50 mK的温差，而较小的温差将消失在噪声中。

## 5.1 比较NETD值

要比较不同摄像机的NETD标称值，可能比较麻烦。这些值在计算时可能采用了不同的方法和条件，例如，使用不同的环境温度、不同的积分时间或者不同的光学F数。NETD标称值通常也不包含空间噪声。这就意味着，即便由于存在固定和准固定空间噪声，导致图像噪声相当大，NETD值也可能较低。

除了摄像机传感器的NETD值之外，实际的摄像机性能还受到其他许多因素的影响，出色的摄像机不一定有着非常低的NETD。例如，在评估摄像机的对焦性能时，不会考虑NETD；失焦的摄像机可能仍具有良好的NETD值。因此，热成像摄像机的选择不应仅基于NETD标称值比较。

## 5.2 安讯士的NETD测定

安讯士内部会根据本小节所述的常用方法测定热成像摄像机的NETD。

我们在测定中使用了配备F/1.0镜头的热成像摄像机系统。测定靶标为质量良好的黑体。测定中省略了大部分图像处理步骤（如线性和非线性信号传输、锐化、局部图像增强等），但执行了非均匀校正、平场校正和噪声过滤。

数据收集在20°C、25°C和30°C的黑体温度下进行。

在20°C和30°C的黑体温度下，都连续收集了100帧。然后，针对每个像素计算了这两个数据集的平均值，从而得到了两个平均帧——一个是20°C时的平均帧，另一个是30°C时的平均帧。然后将这两个帧相减，再除以温差（即，除以10°C），便得到了热成像摄像机系统的平均响应帧。

在25°C的黑体温度下，收集的数据集涉及200个连续帧。然后计算这200帧的每个个体像素的标准偏差，并将结果存储在某个帧中。然后再将这个代表像素标准偏差值的帧除以平均响应帧。所得到的结果便是平均值，将这个平均值乘以1000，便得到了单位为mK（开文）的NETD值。

# 6 根据约翰逊准则的侦测距离

侦测所需的分辨率以像素表示，根据*约翰逊准则*来确定。这种方法产生于20世纪50年代，旨在预测传感器系统的性能。美国科学家John Johnson检测了观测器在不同情况下识别比例模型目标的能力，并提出了最小所需分辨率的标准。这些标准认为观测器在特定级别下区分目标的概率为50%。

所述目标可以是人，通常根据0.75 m (2.46 ft) 的临界宽度来确定，或者也可以是车，通常根据2.3 m (7.55 ft) 的临界长度来确定。对于热传感器，根据约翰逊准则，目标与其背景之间的温度差异需至少为2°C (3.6°F)。

用于安讯士热成像摄像机的约翰逊准则级别如下：

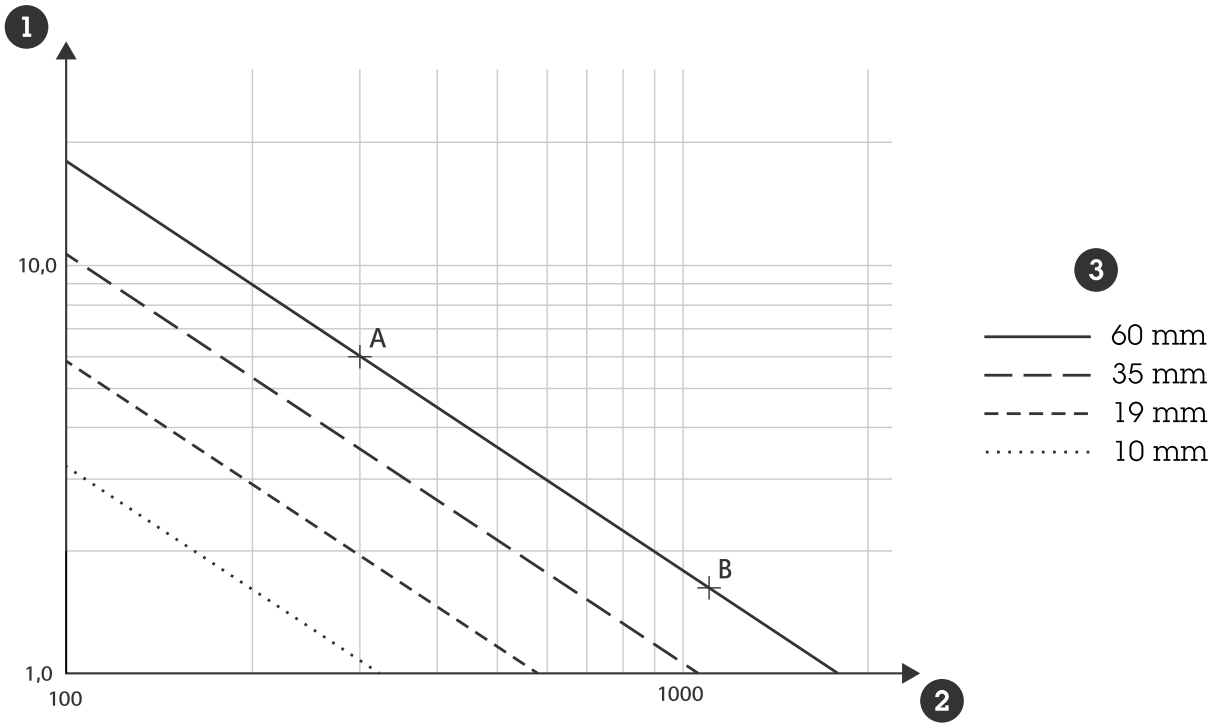
- 要达到*侦测*（即，观测器能够看到目标存在）目的，至少需要1.5个像素。
- 要达到*识别*（即，观测器能够区分目标，比如围栏前方的人）目的，至少需要6个像素。
- 要达到*辨识*（即，观测器能够区分目标和目标特征，比如手持撬棍的人）目的，至少需要12个像素。

约翰逊准则假设可视信息由人类观察员处理。如果这些信息由应用算法进行处理，那么对于目标所需的像素数就要有相应的具体要求，以便保障可靠运行。应注意，即使人类观察员能够侦测到目标，在指定侦测范围内，应用算法通常需要更多像素以保障正常运行。

## 6.1 列线图

在确定特定距离处所需的像素数方面，列线图是一个较实用的工具。该图为二维图，显示镜头的焦距、目标的像素数量和范围之间的关系。

例如，如果我们同时知道所需的像素数以及目标能够被识别的距离，就可以计算出要使用的镜头或摄像机规格。同样，如果已知摄像机和所需像素数量，则列线图就可指示摄像机的目标侦测距离。




*远距离列线图示例*

*1* 目标的像素数
*2* 与目标相距的距离（米）
*3* 焦距

这个列线图示例显示，如果摄像机的焦距为60 mm，那么就*能够识别*300 m (328 yd)（A点）处的目标（目标为6个像素）。如果只需要*侦测*（目标为1.5个像素），能够侦测的距离将为1200 m (1,312 yd)（B点）。

# 7 环境影响

必须注意的是，约翰逊准则仅适用于良好条件。现场的天气条件会影响人眼、感光摄像机和热成像摄像机的侦测距离。相比感光摄像机，热成像摄像机的侦测距离受天气（比如在雾天）影响的程度通常较小。

*在雾天条件下，热成像摄像机拍摄的图像（左）和感光摄像机拍摄的图像（右）。使用热成像摄像机能够区分人（已圈出），但感光摄像机却做不到这一点。*

要实现上节列线图中所示的侦测距离，所需的良好条件是，拍摄目标与背景之间的温差为2° C (3.6° F)。天气条件可能抹平这种温差，从而对热图像造成负面影响，但借助先进的图像处理技术，比如局部对比度增强，可帮助摄像机即使在温差较小的情况下，也能够将目标与背景区分开来。

影响摄像机目标图像的两大环境因素是吸收和散射。它们能够减少到达摄像机的热辐射，从而造成摄像机侦测距离缩短。相比吸收，散射对热能损失的影响更大。

## 7.1 吸收

空气中的水蒸汽 ($H_2O$) 和二氧化碳 ($Co_2$) 是主要的吸收源。在吸收期间，从目标辐射的热量被水蒸汽和二氧化碳吸收，因此在到达摄像机之前，会损失部分能量。即使在晴朗天气下，空气中的水蒸汽含量也可能较高，从而影响图像质量。

在水蒸汽含量较低的天气下，水分子吸收的热辐射较少，因此就有更多热辐射到达热成像摄像机。相较于水蒸汽含量较高的天气，在这种天气下得到的图像质量更好。

## 7.2 散射

在散射期间，当来自目标的热辐射碰到空气中的颗粒物时，这些热辐射会被分散传播。辐射损失与颗粒物、液滴或者造成污染、冷凝或沉降条件（如雾、烟雾、霾、雨或雪）的晶体的大小和浓度有着直接的关系。

### 7.2.1 雾霾

当空气中的水蒸汽冷凝成水滴时，便会形成雾。水滴大小因不同类型的雾而异。大雾中的水滴较大，因此相比薄雾，其散射的热辐射量更大。此外，相比烟雾和霾，雾散热的热辐射量也更大，因为雾中水滴的尺寸和浓度都较大。

安讯士热成像摄像机的工作波长范围主要是红外长波 (LWIR)。一般来讲，在空气中含有颗粒物的条件（如雾和烟雾）下，LWI波的传输明显优于可见光波。在大多数情况下，相较于LWIR波，“短”可见光波会被颗粒物更大幅度地吸收和散射。这就使得感光摄像机的侦测距离相比热成像摄像机有更大幅度的缩短。在雾天，使用热成像摄像机能够清晰捕捉到的人物目标对于感光摄像机可能是不可见的。

*在雾天条件下，热成像摄像机拍摄的图像（左）和感光摄像机拍摄的图像（右）。使用热成像摄像机能够区分人物个体（已圈出供参考），但感光摄像机却做不到这一点。*

雾的类别划分依据的是国际民用航空组织 (ICAO) 所使用的体系。这些类别按照在每种雾中的能见距离来定义。下表列出了这些类别，以及在每种类别下LWIR波的大致侦测距离。

表格 7.1 *能见度级别与感光摄像机和热成像摄像机的侦测距离*

| 级别 | 可见光 | LWIR |
|---|---|---|
| I | 1220 m / 4000 ft | 5.9–10.1 km / 19,000–33,000 ft |
| II | 610 m / 2000 ft | 2.4 km / 7800 ft |
| IIIa | 305 m / 1000 ft | 293 m / 960 ft |
| IIIb | 92 m / 300 ft | 87 m / 280 ft |

从表中可见，在雾较小（I级和II级）的条件下，LWIR侦测距离远大于可见光侦测距离。但在大雾（III级）条件下，即便是LWIR波，也会被大幅吸收和散射。在这种条件下，感光摄像机和热成像摄像机在侦测距离上几乎没有差别。

这个表格仅供估算之用。摄像机的实际侦测距离还取决于其他因素，如场景中的实际目标、目标与背景之间的温差以及物理安装等。

#### 7.2.2 雨雪

虽然雨滴的尺寸比雾气中的液滴尺寸大，但雨滴的密度要小得多。这就意味着，雨的热辐射散射比雾的热辐射散射小。雪天的散热程度介于雾和雨的散热程度之间。雨夹雪或湿雪的散热程度与雨相似，但干雪的散热程度与雾相似。不同天气条件下的大致衰减率的示例如下表所示。

表格 7.2 *天气条件与衰减率*

| 大雨 | 小雨 | 城市污染 | 大雾 | 雾 |
|---|---|---|---|---|
| 11 dB/km | 4 dB/km | 0.5 dB/km | 80 dB/km | 10 dB/km |
| 17.6 dB/mi | 6.4 dB/mi | 0.8 dB/mi | 128 dB/mi | 16 dB/mi |

例如，配备60 mm镜头的热成像网络摄像机（如本文档先前的列线图中所示）在晴朗天气条件下的侦测距离为300 m (328 yd)，侦测目标的像素为6个像素。在雾天，衰减率将为10 dB/km或1 dB/100 m，总衰减为3 dB。这个3 dB的衰减意味着，目标辐射的能量只有50%能够到达热传感器，因此得到的输入信号将较弱。较弱的输入信号所产生的图像将具有较大的噪声，因为信噪比降低了。借助图像处理，能够在一定程度上补偿这一缺陷，但图像包含的信息仍然较少，因此看起来

较不清晰。图像的对比度也会较低，这就使得较难区分图像背景中的（比如）植物与平坦表面。信号衰减将降低摄像机的性能以及集成视频分析应用的可靠性。

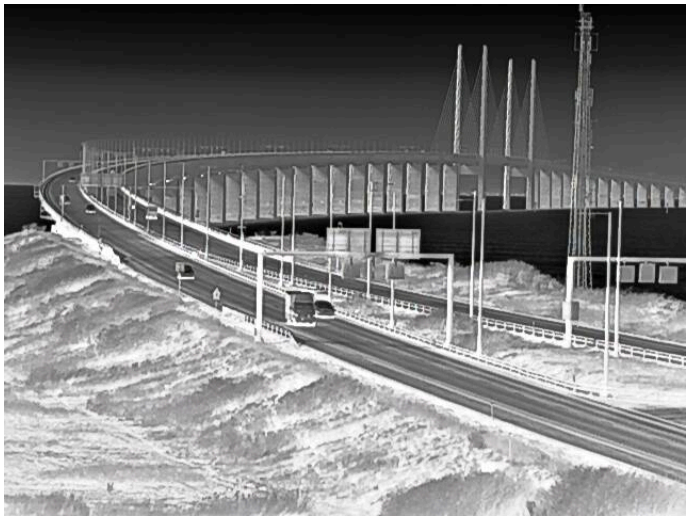
因此，安装时应尽量避免由一台摄像机在接近其性能极限的工况下工作。建议使用多台摄像机来覆盖所规定的监控距离。这样就能够满足目标的像素量要求，从而保障可靠的摄像机运行，同时还能够确保捕捉来自目标的足够多的能量。

雨和湿雪不仅会散射辐射能量，而且还会抹平图像背景中的温差。均匀的背景温度会降低热成像摄像机的背景对比度。

虽然散射意味着到达摄像机传感器的能量减少，但被抹平的背景温度不会影响传感器。但由于它会降低图像对比度，因此背景中的细节将较难区分，而且图像看起来也将较不清晰。在这种情况下，热成像摄像机仍然比较容易侦测到人，因为有体温的人与低温背景之间的对比度将依然较大。

*在雨天条件下，热成像摄像机拍摄的图像（左）和感光摄像机拍摄的图像（右）。使用热成像摄像机，能够轻松区分人物个体（已圈出供参考）。*

在阴天，背景对比度同样将较低，但在晴天，这个对比度将增加。由于表面材料不同的物体具有不同的升温速率，因此温差将增大。



*在晴天，鲜明的背景对比度。*

# 8 安装注意事项

安装热成像网络摄像机时，需要注意以下事项。为了更好地侦测人类个体，受监测目标的背景温度应尽可能均匀，这个温度应低于或高于场景内可能出现的典型人物的温度。这样就能够使人物从背景中突显出来。

摄像机视线应直达监控区域，不得有东西干扰或阻挡视野。场景中应包含一个或多个能够轻松识别的目标，例如，以天空为背景的烟囱、或者建筑物。烟囱在工作时将升温，建筑物几乎始终在泄漏一定室内热量。

保障场景中不包含树枝、旗帜或者时不时被风刮入场景的类似物体。摄像机的安装应尽可能牢固，在距离预期场景一定距离时，摄像机应能够对监控区域的边缘清晰成像。如果摄像机在风中摆动，使画面越过监控区域的边缘，那么该边缘外的清晰成像可能触发误动作警报。由于摄像机处于运动状态，其拍摄的图像将发生变化，而这种变化将被理解为场景运动，尽管事实上发生运动的是摄像机而不是场景。

支持电子图像稳定功能的热成像摄像机受振动影响较小。但在安装热成像摄像机时，为了优化摄像机性能，仍应考虑这些因素。

*旗帜干扰视野。*

# 关于安讯士 (Axis Communications)

安讯士通过打造各种解决方案，提高安全水平和企业效益，旨在创造一个高度智能、更加安全的世界。作为一家网络技术公司和行业领导者，安讯士致力于推出视频监控、访问控制、内部通信和音频系统解决方案。安讯士通过智能分析应用程序增强解决方案，并提供高质量培训支持。

安讯士在全球50多个国家和地区设有办事机构，拥有超过5,000名尽职的员工，并与遍布世界各地的技术和系统集成合作伙伴携手并进，为客户带来高价值的解决方案。安讯士创立于1984年，总部位于瑞典。

© 2021 — Axis Communications AB. AXIS COMMUNICATIONS、AXIS、ARTPEC和VAPIX是Axis AB在不同司法辖区内的注册商标。所有其它商标均为其各自所有者的财产。我们保留在未预先通知的情况下提出修改的权利。