白皮书

全局快门对比卷帘快门

监控场景图像传感器选择指南

8月 2026

AXIS COMMUNICATIONS

目录

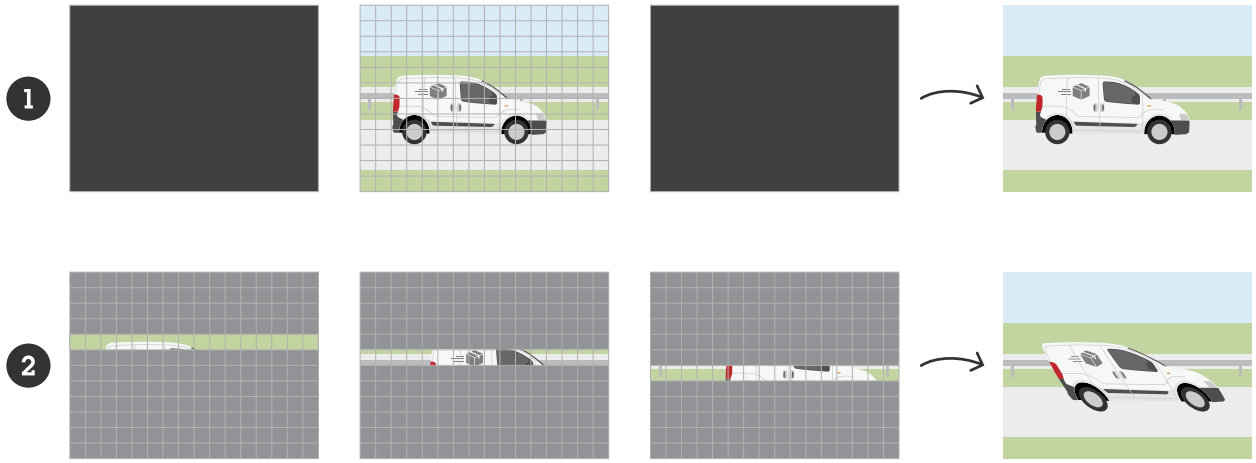
1	简介：	3
2	卷帘快门、全局快门图像传感器曝光机制	4
3	卷帘快门畸变：何时会严重影响成像效果?	4
4	曝光时间	6
5	全局快门搭配频闪补光方案	9
6	卷帘快门搭配频闪补光方案	10
7	全局快门与卷帘快门混合部署场景下的频闪光源	11
8	全局快门传感器的局限性	11
9	附录：实际应用场景与实拍图例	12

1 简介：

安防摄像机普遍采用卷帘快门图像传感器。全局快门传感器与卷帘快门传感器的核心差异在于曝光机制。

全局快门传感器会让所有像素同步完成曝光；而卷帘快门传感器采用逐行曝光模式，不同像素行之间存在曝光时间差。这种逐行曝光带来的时间差会让高速运动物体成像出现畸变，称为卷帘快门效应（详见下方附图）。请注意：本白皮书严格区分两种图像瑕疵——由曝光时长引发的运动模糊，以及是由像素行间曝光时差导致的物体成像畸变。

仅配合短曝光时长使用时，全局快门传感器才能体现出成像优势。若曝光时长较长，画面会产生运动模糊，可大幅掩盖卷帘快门带来的畸变；此时即便采用脉冲补光，成像画质提升空间也微乎其微。因此，选择时的首要判断条件为：您的应用场景是否需要短曝光时长。若场景有该需求，全局快门摄像机通常是优先选择。



1 **全局快门**
2 **卷帘快门**

全局快门传感器的一类典型应用场景为高速作业场景，例如传送带包裹扫描、高速工业流程监控；这类依托机器视觉实现工业自动化的场景，要求输出无畸变、高画质图像。

全局快门传感器的第二类典型应用场景是交通抓拍设备：设备可配合短时高强度闪光补光，拍摄出高速行驶车辆的高清细节画面，即便在低光照环境下，也能清晰捕捉车内画面。

全局快门传感器采用同步曝光机制，可实现超短闪光与传感器曝光时序精准同步，大幅降低高强度补光设备的整体功耗。反观卷帘快门传感器，交通设备常用标准曝光时长（1 毫秒）下使用短时闪光补光，画面会出现明暗相间的亮带瑕疵。若一套设备同时部署全局快门摄像机与卷帘快门摄像机，可通过安讯士同步抓拍技术，缓解卷帘快门画面出现亮带的问题。

2　卷帘快门、全局快门图像传感器曝光机制

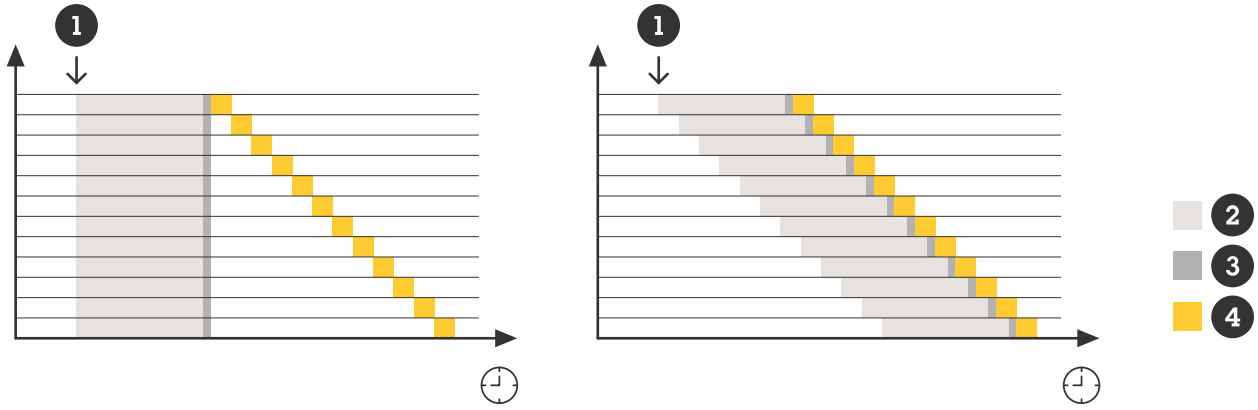


图 2.1 *1:触发，2:曝光，3:电荷转移。4:读出。全局快门（左图）与卷帘快门（右图）曝光机制示意图。卷帘快门传感器采用逐行读出（步骤 4）机制，各行像素的曝光时段（步骤 2）因此存在时序偏移。全局快门传感器所有像素行同步完成曝光；曝光结束后，像素信号会先存入存储单元，再执行逐行读出操作。*

图像传感器的核心作用是将光（光子）转换为数字信号，该光电转换流程分为三步，前两步在像素单元内部完成。第一步：曝光时段内像素吸收光子，并将光子转化为电子；曝光流程通过电子转移操作终止。第二步：电子被转换为模拟电压信号。第三步为像素读出阶段：模数转换器 (ADC) 将模拟电压信号转换成数字信号。

图像传感器由数百万像素按阵列排布构成。主流传感器架构设计为每一列像素搭配一枚模数转换器，这也就决定了像素读出必须逐行执行。

卷帘快门传感器因采用逐行像素读出方式，每一行像素的曝光时间都会产生微小时序偏移。这种曝光时差会让画面内高速运动物体出现畸变，这种现象称为卷帘快门效应。

与之相对，全局快门传感器全部像素同步曝光。通过将像素信号传输到像素内存储单元，结束曝光过程。该存储单元可以位于电子转换为模拟信号之前（电荷域），也可以位于电子转换为模拟信号之后（电压域）。存储单元内的信号后续会像卷帘快门传感器一样，按行依次传输至模数转换器完成处理。由于全部像素同步曝光，全局快门传感器不会产生高速运动物体成像畸变问题。

3　卷帘快门畸变：何时会严重影响成像效果?

画面中可见的卷帘快门畸变程度，由两项因素共同决定：传感器各行像素间的曝光时差，以及物体在画面内的运动速度与运动轨迹。

传感器像素行间的曝光时差，由传感器行读取耗时与待读取总行数决定。高分辨率传感器所产生的卷帘快门畸变通常比低分辨率传感器更为明显。

若画面内无高速运动物体，则不会出现肉眼可见的卷帘快门畸变。当下卷帘快门传感器读取速度已大幅提升，绝大多数监控场景均可输出无明显畸变的图像。多数情况下，镜头引发的畸变（例如筒形畸变）对画面的负面影响，远大于卷帘快门畸变。

但部分场景下，卷帘快门会造成画面严重失真，典型代表为高速旋转物体，如风扇、螺旋桨、电机转轴。

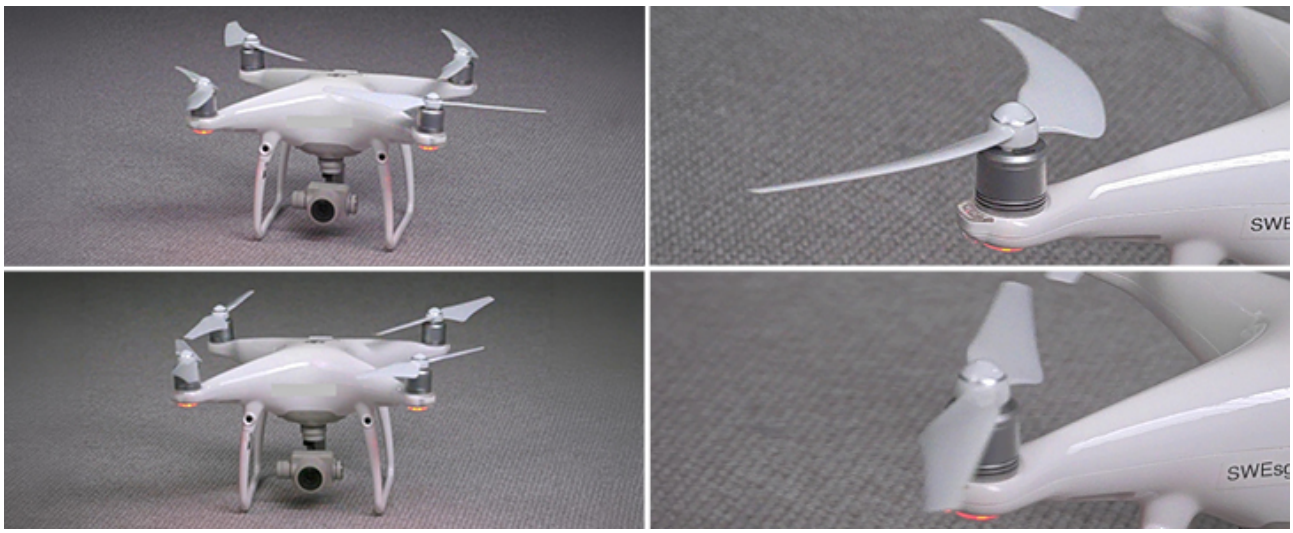


图 3.1 *前两张附图为卷帘快门摄像机拍摄的无人机画面：螺旋桨叶片严重畸变，难以辨识真实轮廓。后两张附图为同一台无人机、采用全局快门摄像机拍摄的画面：可清晰还原叶片真实外形。两台摄像机均采用 1/10000 秒极短曝光时长，最大限度消除运动模糊。*



图 3.2 *左侧为全局快门摄像机、右侧为卷帘快门摄像机，二者在同一瞬间拍摄到的高尔夫挥杆画面。卷帘快门摄像机拍摄的球杆因卷帘快门畸变，看起来呈现弯曲状态。两台相机均设置为 1/10000 秒的极短曝光时间，以最大限度地减少运动模糊。*

沿直线高速穿过画面的物体（传送带上的货箱、快速驶过的车辆等），在卷帘快门传感器成像中会出现倾斜失真。

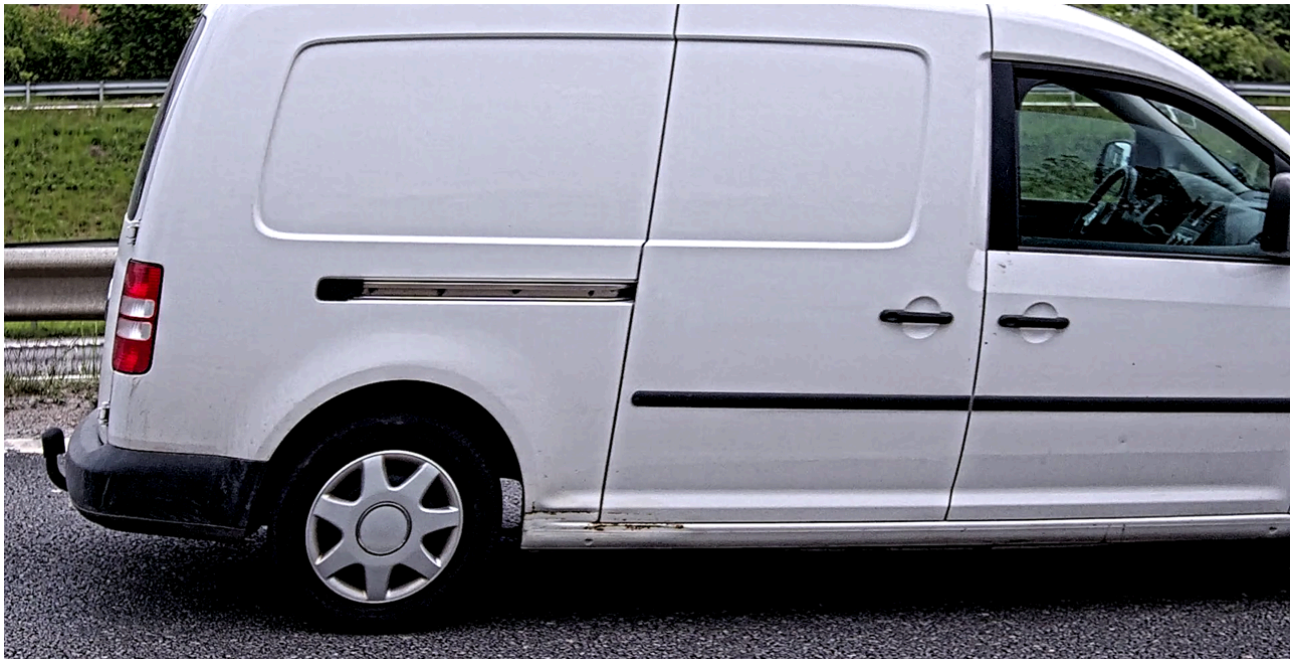


图 3.3 *高速驶过画面的车辆，会因卷帘快门畸变呈现倾斜状态。*

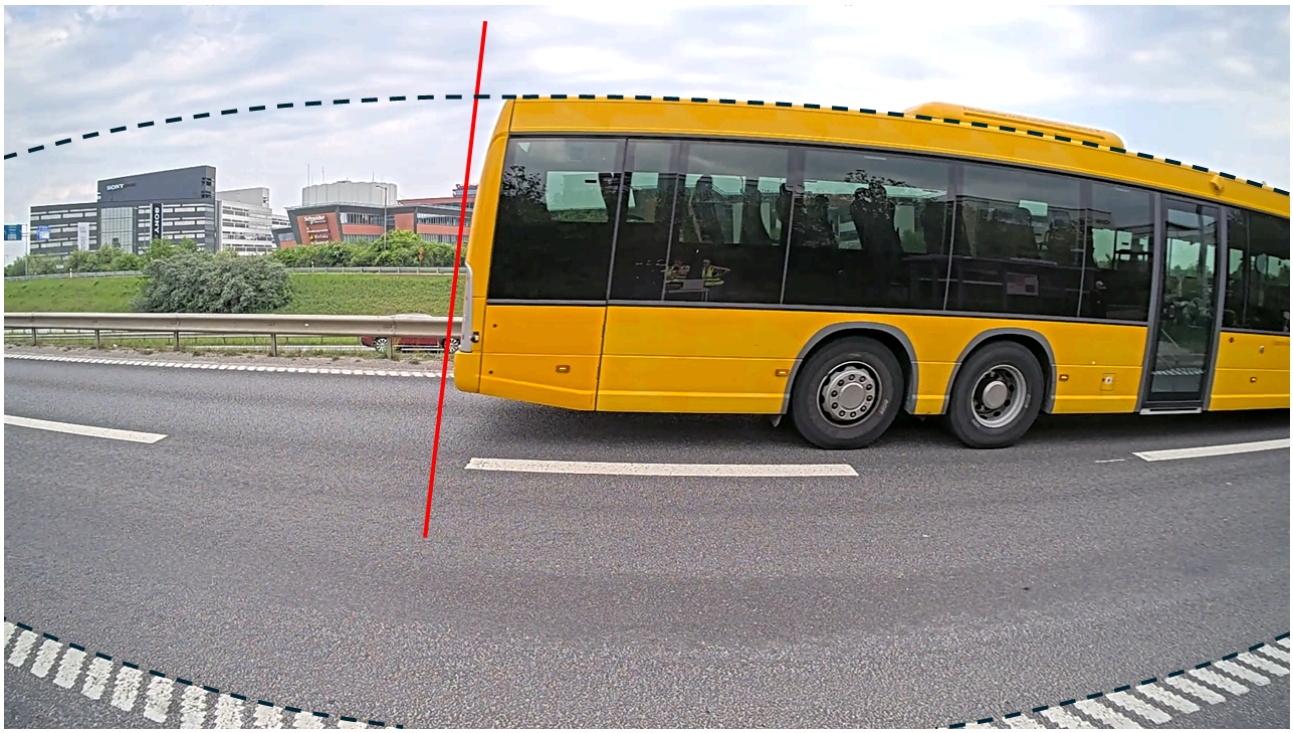


图 3.4 *存在两种畸变的摄像机画面：镜头造成明显筒形畸变（黑色虚线标注），传感器造成卷帘快门畸变（红色实线标注）。*

4 曝光时间

曝光时长不会造成画面畸变。但曝光时间越长，画面运动模糊越严重。运动模糊会弱化卷帘快门带来的成像畸变，让畸变效果不易被肉眼察觉。


Together
we can imagine
tomorrow.

图 4.1 *上排画面：左侧为长曝光（1/25 秒）卷帘快门摄像机成像，右侧为短曝光（1/10000 秒）卷帘快门摄像机成像。下排画面：左侧为长曝光（1/25 秒）全局快门摄像机成像，右侧为短曝光（1/10000 秒）全局快门摄像机成像。*



图 4.2 *采用卷帘快门摄像机、设置稍长曝光时长（1/500 秒）拍摄高尔夫挥杆动作，球杆会因运动模糊出现拖影。画面中卷帘快门畸变依旧存在，只是视觉上不明显。*

全局快门传感器一般仅适用于满足以下两类条件的场景：画面内物体运动速度快，并且需要短曝光时长以规避运动模糊。交通抓拍场景常用最大曝光时长约 1/1000 秒（1 毫秒）；拍摄高速旋转风扇、螺旋桨等物体时，甚至需要更短的 1/10000 秒（0.1 毫秒）曝光时长。

5 全局快门搭配频闪补光方案

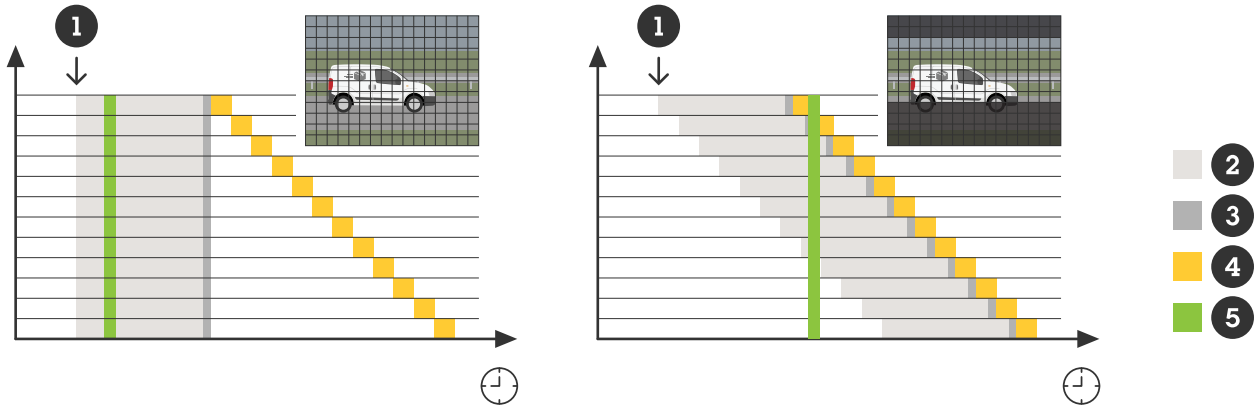


图 5.1 *短时闪光（5）可完整覆盖全局快门传感器所有像素行的曝光时段（左侧示意图），整幅画面均可接收补光光线。反观卷帘快门传感器（右图），闪光大概率仅与少数像素行的曝光区间重合，画面由此产生横向亮带。*

低光照环境下，红外补光、白光补光等场景光源可有效提升成像画质。拍摄高速运动物体时，必须采用短曝光时长避免运动模糊。但短曝光会减少传感器接收光量，因此对场景补光的需求会大幅提升。

选用全局快门传感器的核心优势之一，是可使用短时脉冲闪光替代持续常亮光源完成场景补光。相较于常亮光源，采用同步于传感器曝光、每帧单次闪光的频闪光源方案，既能在不损失图像画质的前提下降低设备功耗，也可大幅提升光源峰值亮度。

示例：通过频闪补光降低光源功耗

以交通抓拍摄像机为例：曝光时长 1/1000 秒（1 毫秒），帧率 25 帧每秒。因此，曝光的占空比为（1/1000 秒）/（1/25 秒）= 2.5%。这意味着传感器只有 2.5% 的时间在采集光线，其余时间只是在等待下一帧。

若该摄像机采用持续红外常亮补光，绝大部分红外光线无法被传感器捕捉。

更好的解决方案是让传感器在未采集光线时关闭红外光源。通过对红外光源进行脉冲调制，并将红外脉冲与传感器曝光时序同步，红外灯仅在传感器采集光线的时段发光，该时段占总时长的 2.5%。对比红外常亮照明方案，红外发光二极管 (LED) 的功耗可降至原先的 2.5%。

曝光时段传感器接收光总量不变，图像信噪比 (SNR) 无衰减，因此画质不受任何影响。

示例：通过频闪补光提升峰值发光强度

沿用上述同款交通摄像机，其曝光时间为 1 毫秒，帧率 25 帧每秒；我们也可以选择耗尽全部可用功率，最大限度提升红外光强度。

假设一台红外常亮灯功耗为 20 瓦。若不持续点亮红外 LED，而是先积蓄电能，再每一帧同步传感器曝光瞬间一次性释放全部电能，就能在极短时间内获得极高的光照强度。

在这个例子中，占空比为 2.5%，理论上红外光强度可提升至原先的 1 / 0.025 = 40 倍。在 1 毫秒曝光时段内，红外 LED 的峰值驱动功率将达到 800 瓦，而非原本的 20 瓦；设备平均功耗维持 20 瓦不变，没有增加。

采用频闪补光灯能够拓展交通监控全新应用场景。功率适中且功耗合理的常亮红外光源仅能清晰识别车牌；而使用功耗相近的频闪式红外灯，可提供充足光照强度，清晰捕捉车辆细节，甚至穿透挡风玻璃看清车内状况。举例而言，该方案可用于夜间识别车辆品牌型号，同时判断驾驶员是否系安全带、有无使用手机等。



图 5.2 *第一张图片为卷帘快门传感器搭配 25 瓦常亮红外补光灯拍摄的车辆实拍图；第二张图片采用全局快门传感器，搭配平均功耗 20 瓦、峰值功率 500 瓦的频闪红外补光灯拍摄。全局快门传感器搭配频闪红外光源，可大幅提升画面可视效果。*

6 卷帘快门搭配频闪补光方案

理论上，只要曝光时长足够长，使得传感器首行像素与末行像素的曝光区间存在重叠，卷帘快门传感器便可搭配闪光灯/频闪光源使用。但如果时序匹配出现偏差，频闪光源会造成画面出现各类异常伪影（参见附录实拍示例图）。



图 6.1 *卷帘快门摄像机设置长曝光时长（1/30 秒），搭配短时红外频闪闪光（1/1000 秒）。此场景下红外光线可完整铺满整幅画面，原因是闪光触发时段恰好覆盖传感器所有像素行的同步曝光区间。*

但针对交通车流等存在高速运动物体、且环境光复杂的场景，必须使用极短曝光时长以消除运动模糊。在这些情况下，传感器首行与末行像素的曝光区间无重叠，闪光仅能照亮少数像素行，导致成像画面会出现一条横向亮带。

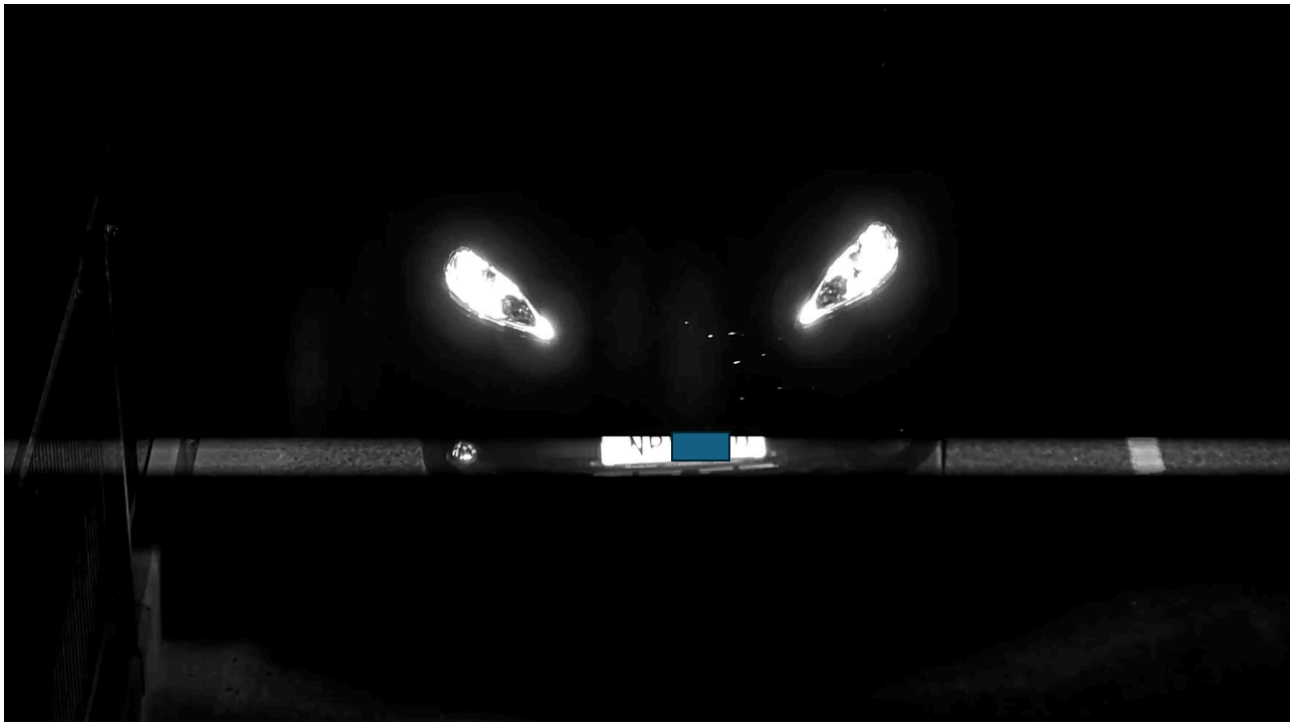


图 6.2 *卷帘快门传感器以 1/1000 秒（1 毫秒）曝光时长拍摄行驶中的车辆。另一台摄像机配套大功率红外频闪补光灯，脉冲时长 0.5 毫秒，同场景拍摄的画面中出现明显横向亮带。*

7 全局快门与卷帘快门混合部署场景下的频闪光源

若同一场所同时部署全局快门摄像机与卷帘快门摄像机，全局快门配套的频闪光源会在卷帘快门传感器上生成成像伪影，例如横向亮带。根据光源亮度、频闪脉冲时长、卷帘快门摄像机曝光时长的不同，这种亮带瑕疵可能几乎难以察觉，也可能导致卷帘快门摄像机画面完全失效（更多图像示例详见附录）。

针对该问题有两种解决方案：一是关闭频闪功能，改用持续常亮光源；二是对所有安讯士摄像机启用同步抓拍功能。

同步抓拍功能

安讯士同步抓拍是一项特色功能，可使同一局域网内多台摄像机同步各自传感器的曝光时序，实现完全同步成像。该功能也可人为制造时序错位，消除频闪光源在卷帘快门摄像机画面中产生的伪影。

当在指定网络内所有安讯士摄像机上开启同步抓拍后，设备会自动完成时序同步：所有卷帘快门摄像机在时间窗口 1 同步成像，所有全局快门摄像机在互不重叠的时间窗口 2 同步成像。这样做的结果是，全局快门摄像机触发的频闪闪光会恰好落在卷帘快门的“消隐时段”——该时段卷帘快门传感器不采集光线，仅等待下一帧，因此卷帘快门摄像机完全无法捕捉到频闪光线，消除亮带问题。

8 全局快门传感器的局限性

相较于卷帘快门传感器，全局快门传感器像素设计更为复杂，传感器成本更高。此外，全局快门传感器噪声水平通常高于卷帘快门传感器。将信号先存储在电压域再读出的全局快门传感器，噪声偏

高问题尤为突出。由于该类噪声产生于模拟增益调节环节之前，因此提升模拟增益对抑制噪声的效果有限。

但在评判图像画质时，噪声水平并不能反映全部情况。影响画质的一项核心参数是信噪比 (SNR)。场景进光量越高，传感器生成的信号幅值就越大。更大的传感器和更多的像素，以及F值较小的镜头，能够增加从场景中采集的光线量，从而有助于提高信噪比。如果在设计摄像机时考虑到这一点，就可以完全补偿全局快门传感器产生的额外噪音，但这会增加摄像机零部件的成本。

夜间自然光不足时，可增设人工补光设备，提升画面信噪比与可视清晰度。搭配全局快门传感器使用频闪补光，能够在不提升设备功耗的前提下提高补光亮度。相较于搭配持续常亮补光的卷帘快门摄像机，该方案往往能获得更优的图像信噪比。

9 附录：实际应用场景与实拍图例

物体运动达到何种速度会出现卷帘快门畸变？请参阅以下计算实例：

这是一个复杂的问题，因为畸变程度取决于物体在画面内的移动速度（单位：像素/秒），而非车辆实际时速（千米/小时或米/秒）。因此畸变程度取决于多个因素，包括图像分辨率、变焦倍率、拍摄距离、摄像机与移动物体的夹角等。

- 一台摄像机架设于道路旁，拍摄从左向右快速驶过的车辆。该传感器分辨率为 1080 × 1920 像素，像素行间曝光时差为 10 微秒（1/100000 秒）。为简化计算，假设车辆高度恰好占满画面从上至下全部像素高度。当车辆行驶速度为 30 千米/小时，整车成像在画面内会产生约 64 像素的横向偏移，对应画面倾斜角度 3 度；车速 100 千米/小时时，整车成像偏移量达 213 像素，车辆成像倾斜 11 度。
- 某摄像机安装高度距路面 6 米，拍摄沿道路行驶、距离摄像机 30 米处的车辆。传感器分辨率 1080 × 1920 像素，行间曝光时差 10 微秒（1/100000 秒）。车辆高度仅占画面总高度的 50%。由于车辆在画面内的运动轨迹为自上而下，卷帘快门畸变会使车辆成像出现拉伸或压缩效果（畸变方向取决于卷帘快门的扫描顺序是从画面底部至顶部，还是顶部至底部）。当车速为 30 千米/小时时，车辆成像拉伸/压缩量不足 1 像素，肉眼完全看不到畸变；如果汽车的速度为 100 公里/小时，汽车会被压缩或拉伸 3 像素（约 0.5%）。如果车速为 200 公里/小时，汽车会被压缩或拉伸 6 像素（约 1%）。在这种情况下，卷帘快门畸变肉眼无法察觉，可忽略不计。原因是摄像机与车辆之间的拍摄夹角，即便车辆沿道路高速行驶，其在成像画面内的像素位移量极小。
- 摄像机镜头拉近对准传送带，拍摄画面中自左向右移动、带有条形码的包裹。包裹宽度 30 厘米，高度填满画面纵向像素。传感器分辨率 1080 × 1920 像素，行间曝光时差 10 微秒（1/100000 秒）。当传送带运行速度为 1 米/秒时，包裹（及条形码）成像倾斜 2 度；传送带速度提升至 4 米/秒，成像倾斜角度达到 8 度。在这种情况下，物体实际移动速度远低于高速公路车辆，但因镜头近距离放大拍摄，畸变依旧十分明显。



- 摄像机拍摄直径 40 厘米、叶片宽 30 厘米的旋转风扇，镜头拉近使风扇纵向填满整个画面。传感器分辨率 1080 × 1920 像素，行间曝光时差 10 微秒（1/100000 秒）。在这种情况下，卷帘快门

畸变会让风扇叶片在画面不同区域呈现弯折、拉伸、压缩失真。若要使畸变肉眼不可察觉（例如拉伸形变控制在 1% 以内），风扇转速需低于 0.3 转/秒。上图中风扇其中一片叶片出现从上至下拉长变形的现象，该形变在转速约 44 转/秒时就会出现。

实拍图像示例：

- ***卷帘快门摄像机的频闪光源成像伪影：***



图 9.1 *一台卷帘快门摄像机采用长曝光时长（1/30 秒），旁边搭配一台开启宽动态模式、使用红外频闪补光的全局快门摄像机。宽动态模式下，每帧画面会输出两次间隔极短的红外闪光脉冲。两组闪光脉冲会让卷帘快门摄像机拍出异常画面伪影，运动物体出现重影、画面截断等问题。*

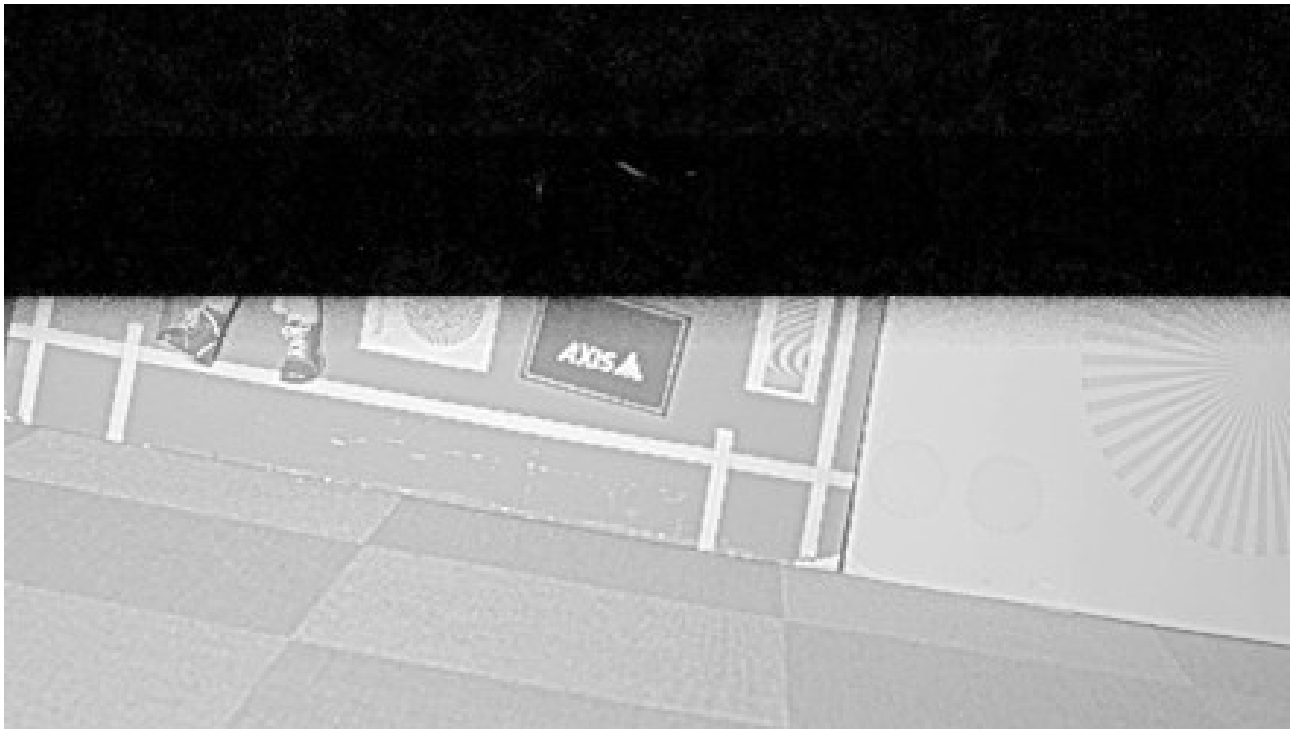


图 9.2 *该图像由卷帘快门摄像机拍摄，曝光时长 28 毫秒，配套红外闪光时长为 1 毫秒。红外闪光仅照亮画面局部区域。*

- ***卷帘快门与全局快门无区别的场景：***对于许多场景和应用而言，卷帘快门摄像机与全局快门摄像机之间并无肉眼可见的区别。这包括：
  - 日间场景，画面物体运动幅度平缓（行人行走、慢跑；低速行驶车辆；车辆正对镜头行驶，在画面内像素位移速度慢）；
  - 夜间低光照场景，采用持续常亮补光或无人工补光，且物体运动幅度平缓；

– 夜间低光照场景，使用长曝光时长（>1/100 秒）拍摄。



图 9.3 *使用短曝光时长（1/1000 秒），分别用卷帘快门、全局快门摄像机拍摄的行驶车辆。车辆在画面内像素位移速度极低，不存在卷帘快门畸变；该拍摄角度下卷帘快门畸变完全不可见。*



图 9.4 *夜间，车辆以 70 千米/小时速度行驶，搭配 20 瓦持续红外常亮补光；分别采用卷帘快门、全局快门摄像机以 1/1000 秒短曝光时长进行拍摄。两台摄像机感光灵敏度、图像信噪比基本一致。*



图 9.5 *夜间长曝光（1/25 秒）模式下，分别使用卷帘快门摄像机与全局快门摄像机拍摄奔跑的行人；两种相机都会因长曝光产生运动模糊。*

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。

© 2026 — 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。