



# BSI 全力以赴

Phantom TMX 7510 是一台利用强大 BSI 传感器技术的高速摄像机，一家制作公司正在用它来捕捉燃烧过程的独特镜头。

---

从爆炸炸药到聚能炸药，新的爆炸镜头正在高速燃烧成像领域掀起一股热潮。

这段录像背后的策划者是 CineSpeed，这是一个专门使用 Phantom 高速摄像机进行高速摄像的内容创作者团队。CineSpeed 公司为各种科学和电影应用提供服务，该公司的掌舵人是 Ryan McIntyre，他是公司所有者和一名获得资格认证的 Phantom 摄像机技术员。他说：“使用 TMX 7510，我们已经得到了许多清晰的、细节丰富的爆炸镜头，这在以前是不可能的。”

为了有效地记录爆炸炸药、聚能炸药爆炸和其他燃烧过程，必须以每秒几十万帧的帧速率进行拍摄，通常，高速摄像机的操作员必须降低他们高速摄像机的分辨率。虽然这在某些情况下有用，但降低分辨率会带来一些挑战：

- 为了达到 100,000 或更高的帧数，必须降低像素分辨率，这就降低了最终的视频质量，增加了遗漏相关信息的可能性。在所需的帧速率下，分辨率越高越好。
- 短曝光时间以及高帧速率和高爆炸速度，可能不足以在自发光事件后实现良好的帧曝光，从而导致图像无法使用。
- 燃烧事件需要能够处理极端对比度的高速摄像机。重要的是，在明亮的闪光灯亮起之前和之后，要对场景进行照明，而不要过度曝光对象。

Phantom TMX 摄像机系列克服了这些挑战，因为它使用了背面照明 (BSI) 传感器技术，这使得 McIntyre 和他的团队在拍摄爆炸时达到了前所未有的分辨率和速度。McIntyre 说：“由于摄像机可以处理光线较弱的情况，我们可以以更高的帧速率捕捉爆炸。”“TMX 还以我们想要的分辨率和帧速率为我们提供了更清晰、画质更好的图像。因此，我们现在可以看到和分析以前我们由于摄像机的分辨率有限而无法看到的东西。”



由于采用了 BSI 技术，TMX 实现了前所未有的分辨率和速度。  
引爆线和泡沫罐的照片。86,065 fps，分辨率为 1280 x 704。

## 驾驭极端情况

在高速成像领域，一个常见的问题是，很难找出照亮一个场景所需的光量，而在燃烧应用中，这变得更加复杂。这是因为爆炸时突然出现的亮光会使像素过度曝光，导致关键数据丢失。为了避免这些问题，专家们通常会在爆炸事件发生之前使用小型炸药或专门的闪光灯来照亮现场，这可能需要额外的材料、大量的设置工作，也需要准确地计算好时间。他们还可能使用多台摄像机来拍摄同一事件中的不同对象：一台摄像机用来记录闪光期间和之后的事件，另一台曝光时间较短的摄像机用来捕捉闪光灯本身。

尽管在许多高速应用中，一种常见的做法是，使用发光二极管(LED)来照亮场景，但据 McIntyre 说，该技术虽然已经很好，但对于燃烧事件来说还不够。“我预计在未来一年左右，市场上会有新的 LED 原型，可以使我们拍出来的东西更接近爆炸曝光的实际情况。”

为了帮助 McIntyre 在灯光闪烁之前、期间和之后保留重要的成像细节，TMX 7510 集成了极端动态范围(EDR)功能。McIntyre 解释说：“EDR 对于拍摄任何具有非常高对比度的事件都是一个有用的工具。”“在我们的案例中，我们不仅要拍摄爆炸，还要拍摄爆炸前后的事件。这意味着在黑暗和刺眼的亮光之间迅速过渡。”

### 极端动态范围的解释

通常，镜头光圈和曝光时间被用来调整图像的曝光，以便看到图像最暗部分的细节。然而，这些调整也会导致图像中较亮的部分被过度曝光和饱和。EDR 是 Phantom TMX 高速摄像机的一个标准功能，通过为用户提供两个单帧曝光时间来克服这一挑战。

在帧曝光期间的某个时刻，摄像机会将所有高于预设阈值的像素重置为黑色和完全饱和之间的水平。然后摄像机将允许所有像素继续曝光。换句话说，EDR 在曝光时间结束前对那些即将饱和的像素“踩了刹车”。其结果是：这些像素不会饱和，图像的明亮区域中有清晰可见的细节。需要注意的是，EDR 在单色摄像机中最为有效。

第二种避免在闪光期间丢失重要数据的方法是调整高速摄像机的曝光指数(EI)，这是一种快速提升图像质量和确保细节得到曝光的方法。最后，再与后期处理技术相结合，更细微的细节就会变得可见。McIntyre 解释说：“我经常把摄像机的 EI 值调到最高，这样我们几乎无法辨认图像，因为它的颗粒度太大了。”“像这样在黑暗中拍摄事件让我们可以捕捉到大量的细节。拍完后，我会在后期制作中把 EI 再往下移，使所有的细节都变得可见。”



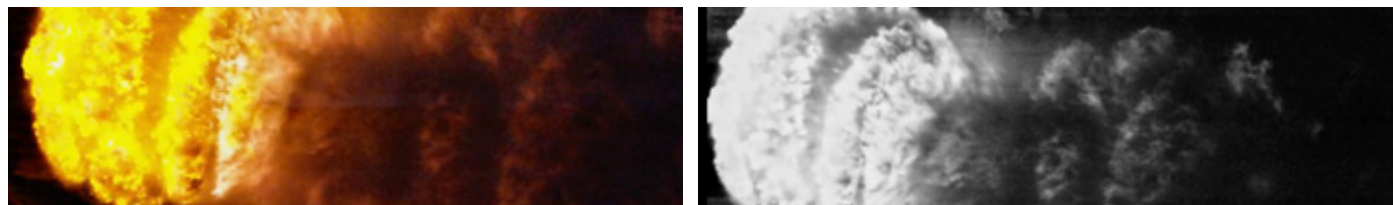
## 从彩色闪光灯到聚能炸药反射镜

McIntyre 在拍摄高速爆炸事件时,使用的最慢帧速率是 6000 fps,使用的最高帧速率是 617,647 fps,这里的最高帧速率是采用像素合并模式实现的,像素合并模式使 Phantom 摄像机用户可以在不牺牲速度的情况下达到各种分辨率。尽管 TMX 7510 可以在像素合并模式下实现极高的帧速率,例如,在 640 x 64 的分辨率下实现 175 万 fps,但这个功能产生的是单色图像。

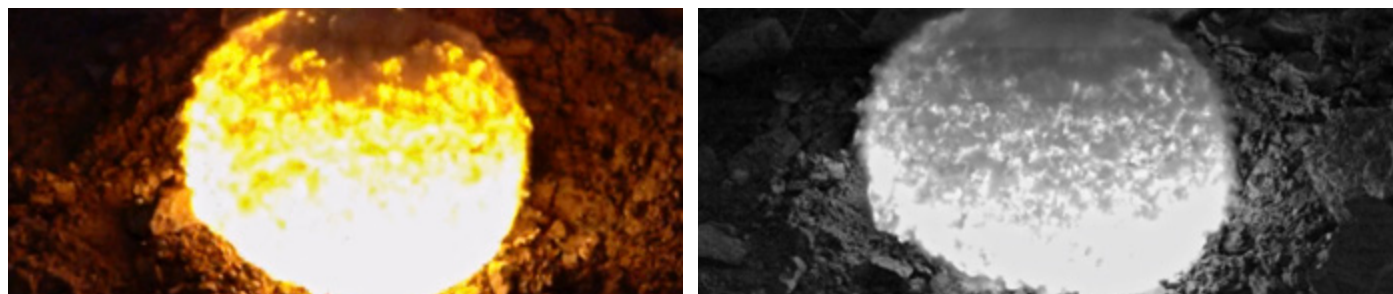
捕捉彩色图像有诸多好处。“例如,如果您正确设置了白平衡,您可以看到化学反应的颜色,这些数据可能非常有价值,”McIntyre 说。“颜色也能带来视觉上的震撼。例如,如果我们拍摄彩色闪光灯,拍出来的照片看起来就像是星系正在形成。如果使用单色摄像机,我们就看不到所有这些细节。”



以 100,000 fps 的速度拍摄的彩色复古闪光灯。



与单色 (308,823 fps, 分辨率为 640 x 384) 拍摄相比,尽管彩色 (233,333 fps, 分辨率为 1280 x 256) 拍摄的帧速率较低,但以彩色拍摄像引爆线和 TNT 这样的高速燃烧事件可以提供关于事件的更多细节。

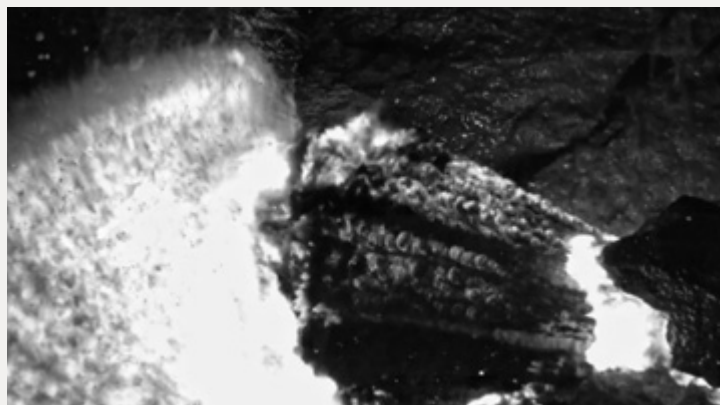


彩色 (233,333 fps, 分辨率为 512 x 256) 与单色 (617,647 fps, 分辨率为 512 x 192) 爆炸炸药。

## TMX 7510 曝光时间

TMX 7510 是强闪光场景下的完美选择，带有受出口管制的 FAST 选项，支持快至 95 纳秒 (ns) 的最短曝光时间。由于这种能力，该摄像机可以捕捉爆炸事件而不会产生运动模糊，这是获取用于燃烧分析的高质量图像的关键。

TMX 7510 使 McIntyre 捕捉到了聚能炸药爆炸以及爆炸前后事件的高清图像。617,647 fps，分辨率为 512 x 192。



McIntyre 拍摄的另一个燃烧事件是聚能炸药，它通常用于爆破目的，其形状决定了能量的聚集方式。在最近的一次应用中，一家公司聘请 McIntyre 记录当爆炸炸药与聚能炸药一起使用时，它们是如何产生更大、更有效的爆炸效果的。

McIntyre 解释说：“聚能炸药产生的能量像刀子一样切东西，而炸药产生的能量更像是在推东西。”“我们受聘来测试这样一个理论：如果将炸药排列成金字塔的形状，能量就会被推向金字塔的塔底方向。多亏了我们的高速录像，我们证实了这个理论是正确的。”

在另一组拍摄中，McIntyre 为了看清聚能炸药爆炸的方向，用镜子拍摄了它的爆炸。“我们把聚能炸药排列成 V 字形，”McIntyre 解释说，“一旦爆炸，这个 V 字形就会翻转过来。我们希望那个 V，以及所有熔化的铜，看起来像是朝向摄像机的，所以我们把摄像机对准镜子，拍摄了它里面的景象。看到冲击波击碎玻璃也是非常震撼的。”



用镜子拍摄聚能炸药的爆炸。456,521 fps，分辨率为 640 x 256。

## 酷的环境需要坚固的摄像机

对于像 TMX 7510 这样灵敏的摄像机,人们可能会认为它非常脆弱,但事实上,它却非常坚固。这款摄像机的坚固结构使其非常适用于像爆炸这样的苛刻环境。McIntyre 说:“我们的很多镜头都是在采石场录制的。”“那里的灰尘很大。有一次,我们遇上了倾盆大雨。”

TMX 7510 是一个坚固的、20 磅重的设备,集成了主动冷却功能,可以在 -10 至 +50°C 的温度下工作。除了这些外,它还通过了 MIL-STD-202H 和 MIL-STD-202H 的冲击和振动测试。

对 McIntyre 来说,它的另一大亮点是摄像机自带一系列控件。其中包括用于灵活控制信号的可编程 I/O,用于无

### 触发 PHANTOM 摄像机拍摄爆炸

TMX 7510 提供了多个触发选项,包括基于图像的自动触发 (IBAT)、软件触发和通过专用 BNC 的硬件触发。

IBAT 是 Phantom 摄像机的一个标准功能,可以根据在实时图像中检测到的运动触发一台摄像机或若干台连接的摄像机。这个功能有助于拍摄快速移动或不可预测的事件,而无需手动触发摄像机。要设置这一功能,用户必须首先在图像中选择一个矩形区域。摄像机在捕捉到每一帧图像后,会将自动触发区域中的图像与存储在内存中的该区域的图像进行比较。在进行比较后,摄像机将内存中的图像更新为当前的图像,并确定是否有必要发出触发命令。任何被比较的像素,如果其变亮或变暗的程度超过了预设的阈值,就会被认为是“有效”的。一个帧中的有效像素数会被计算出来,如果它超过了设定的数字,摄像机就会发出触发命令。

为了拍摄像炸药这样的大型爆炸,McIntyre 为他的 TMX 7510 配备了一个镜头,这使他能够在远处安全地触发摄像机。“我们无法靠近爆炸物,所以我们把摄像机设在大约 100 码外,”他说。“尽管距离很远,但由于变焦镜头的存在,我们仍然获得了很多高度清晰的图像。”在拍摄过程中,McIntyre 使用了两台 TMX 摄像机一台单色和一台彩色摄像机,这使他能够使用不同的帧速率和分辨率来比较炸药爆炸的情况。

“我们使用以太网电缆和一个路由器,将每台摄像机和我们的面包车连接到网络中,然后我用我的笔记本电脑触发了摄像机。”对于距离超过 100 米的以太网,需要光纤中继器来限制信号延迟。当同步摄像机时,重要的是要用线将触发器连接到摄像机上,所以还需要长长的 BNC 电缆。这确保了每台摄像机上的触发帧是完全一致的。



## BSI 传感器技术简介

BSI 传感器能够比 CMOS 成像传感器更有效地捕捉光线。到目前为止,高速摄像机中的 CMOS 传感器都基于前照式 (FSI) 结构,其中传感器的金属电路位于面向光源的像素光电二极管的上方。这种金属电路会阻碍某些入射光到达像素,从而影响填充系数并降低传感器的感光度。

BSI 传感器在金属叠层的顶部有一块厚厚的载体晶片,这种设计允许块状硅变薄和进行翻转,露出面向光源的二极管和它们后面的金属表面。这种设计为高速燃烧应用中的 BSI 传感器带来了两个显著的优势:改善填充系数和提高处理速度。



McIntyre 和他的团队在宾夕法尼亚州的一个采石场进行拍摄。

需计算机操作的机身控制按钮和视频监控,以及满足不同应用需求的各种信号端口。这些功能是实现远程和准确地触发摄像机的关键。它们还能提高在户外、快节奏环境中的工作效率。McIntyre 说:“使用摄像机上的控件,我们可以更快、更高效地设置和管理图像。”“这让我能够快速进入下一步,并即时做出调整。如果用电脑来设置一切,这将是非常耗时的。”



## TMX 7510 超高速摄像机

利用新的 BSI 传感器的力量, Vision Research 超高速摄像机 TMX 系列中最快的型号——TMX 7510 可以以当今最高的分辨率提供最快的帧速率。凭借 75 Gpx/sec 的吞吐量,它在全分辨率下的速度可达 76,000 fps,在 1280 x 192 下的速度超过 300,000 fps。TMX 7510 的设计考虑到了数据管理问题,它配有高达 512 GB 的内存和 8 TB 的 CineMag 安全存储硬盘。为了实现快速传输数据,10Gb 以太网是标配。要想获得每秒 1 百万帧或更高的速度,以及低于 1  $\mu$ s 的曝光时间,则需要使用受出口管制的 FAST 选项。从历史的角度来看,与高于每秒一百万的帧速率相关的分辨率对几乎所有科学应用来说都太低了,但是 1280 x 32 却是可广泛应用的真正可用分辨率。

由于 TMX 7510 摄像机采用了突破性的 BSI 传感器技术,像 Ryan McIntyre 这样的高速专家和他的制作团队获得了快速的拍摄速度、高分辨率和充足的照明,而这些东西在高速燃烧成像应用中是必不可少的。

要了解更多关于 Phantom TMX 7510 的信息,请访问 [www.phantomhighspeed.com/tmx](http://www.phantomhighspeed.com/tmx)。



ViSiON / AMETEK®  
RESEARCH

某些 Phantom 摄像机需要出口许可证。有关更多信息,请访问 [www.phantomhighspeed.com/export](http://www.phantomhighspeed.com/export)。