



# 技术说明



## 热成像仪帮您拨开雨雾

### 雨雾气象条件下红外热像仪的性能

热成像仪可以在全黑环境下生成清晰的图像。它们根本不需要有光就能生成清晰的图像，呈现最微小的细节，因此是适用于许多夜视场合的得力工具。

人们常问“使用热成像仪能看多远？”这个问题的答案对于绝大多数夜视应用都非常重要。热成像仪的可视距离（也称为范围），很大程度上与热像仪的许多因素有关：使用的是什么镜头？热像仪配备的是制冷探测器还是非制冷探测器？灵敏度是多少？想要探测多大尺寸的对象？目标和背景的温度是多少？

对于“看多远”这个问题，一般都是按理想天气条件回答的，因此，接下来又要回答：“雾、雨或其它气候条件下的可视范围是多少？”

虽然热成像仪可以在全黑、薄雾、小雨雪天气下探测，但它们的探测距离会受这些天气条件的影响。

PTZ-35x140 MS 热成像系统内置了两个热成像仪和一个日光/微光摄像机。两个热成像仪都配备了长波非制冷微辐射计探测器，在尘雾气象条件下提供卓越的探测范围性能。

#### 红外辐射的透射率

即使是晴空万里，固有的大气吸收率也会制约特定红外热像仪可以探测的距离。热成像仪根据目标散发的热辐射差异生成图像。实际上，从目标传输到热像仪的红外信号传输距离越远，沿途丢失的信号就越多。

因此，必须要考虑衰减系数。它是入射辐射与透过遮挡材料射出的辐射之比。湿润的空气就是红外辐射的“屏障”。夏季的大气湿度大，所以衰减一般高于冬季。因此，在晴好天气条件下，冬季的热成像仪将比夏季探测的距离更远。





HRC 多传感器



ThermoVision 3000 多传感器

HRC 和 ThermoVision 3000 多传感器都配备了制冷型探测器。HRC 配备的是碲化铋 (InSb) 探测器，工作频率是  $3 - 5 \mu\text{m}$  的中波红外频段。ThermoVision 3000 安装了量子阱红外光电探测器，工作频率是  $8 - 9 \mu\text{m}$  长波频段。这两种多传感器都可以探测极远距离的人形目标。

不过，湿润的空气只是红外辐射的衰减原因之一，其它一些气候条件会对热成像仪的探测范围产生更为不利的影响。

由于水滴对光的散射，雾和雨可能严重制约热成像系统的范围。水滴密度越高，红外信号损失越多。客户询问的一个重要问题是，雨或雾对热红外仪的范围性能影响有多大，与光谱可见部分的范围性能相比结果如何。

### 雾的分类

雾是悬浮在地球表面或接近地球表面的大气中的微小水滴积聚而成的。当空气中的水蒸汽几近饱和，也就是相对湿度已接近 100% 时，如果有足够数量的凝结核，就能形成雾，凝结核可以是烟和灰尘颗粒。

雾的类型有几种。平流雾是通过混合两种有着不同温度和/或湿度的气流形成的。另一种是辐射雾。这是气流辐射冷却到接近露点温度时形成的。

有些雾比其它雾浓，因为水滴通过结合变大了。起雾时，水滴可能会吸收更多水分，变得很大。红外波段中的散射与可见光范围相比是否会小一些，这个问题的答案取决于水滴的大小分布。

雾的分类方法有几种。常用的分类方法是国际民用航空组织 (ICAO) 使用的一种方法。根据这种体系，雾可以分成 4 类：

- I 类：可视距离 1220 米
- II 类：可视距离 610 米
- IIIa 类：可视距离 305 米
- IIIc 类：可视距离 92 米

雾中能能见度下降的原因是雾气颗粒吸收和散射了自然或人造光。吸收和散射量取决于雾气颗粒（也称为悬浮微粒）的微物理结构。

### 中分辨率传播模型 (MODTRAN)

MODTRAN 是美国空军编制并支持的一种大气辐射传输代码。它能够对各种气象条件下的大气情况建模，还可以针对各种波长和光谱解决方案，预测光路辐射、光路传输、天空亮度和到达地表的太阳和月亮辐照度等大气特性。

MODTRAN 可以计算宽光谱范围内的透射率和辐射。它针对不同的地理纬度和季节，提供了六种气候模型。该模型还定义了可能出现在每种气候下的六种不同的悬浮微粒。每种气候模型都可以组合不同的悬浮微粒。

在雾雨天气下，您可以使用热成像仪看多远，还将取决于使用热像仪的气候条件以及此气候中存在的悬浮微粒的类型。

气候	悬浮微粒
热带	乡村
中纬度 夏季	海上
中纬度 冬季	城市
亚北极 夏季	平流雾
亚北极 冬季	辐射雾
美国标准	沙漠

MODTRAN 模型的输入数据



MODTRAN 模型的输入数据就是上述具体的气候和悬浮微粒，还有符合 ICAO 类别的能见度、大气光路的几何形状和长度以及目标和背景的温度与辐射率。

不同悬浮微粒的对照情况通常显示，透射海上悬浮微粒的探测范围总是最小（不考虑气候因素），因为海上悬浮微粒的平均半径大于乡村和城市的悬浮微粒。红外频段透过乡村和城市的悬浮微粒的探测距离明显大于海上微粒。

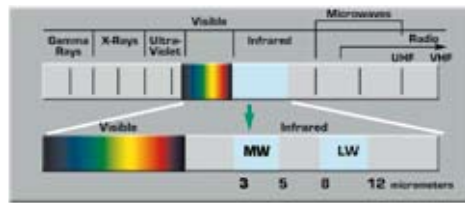
也就是说，起雾时，不考虑气候类型，海上的可视距离小于陆地。

### 热成像仪和目标

正如大气的类型和厚度会影响人们在起雾时的可视距离一样，使用的红外仪的类型以及热像仪的具体工作波段也非常重要。

热成像仪有两个重要波段：3.0-5 $\mu\text{m}$  (MWIR) 和 8-12 $\mu\text{m}$  (LWIR)。5-8 $\mu\text{m}$  波段被剔除在外，因为大气光谱吸收和水蒸汽对这个波段的损耗很大，所以此波段很少用于成像。

配备了非制冷传感器的热成像仪用于在长波红外 (LWIR) 波段下工作（波长介于 7 到 14 微米之间），在这一波段，陆地目标发射的红外能量最大，因此容易进行非制冷探测。



电磁光谱

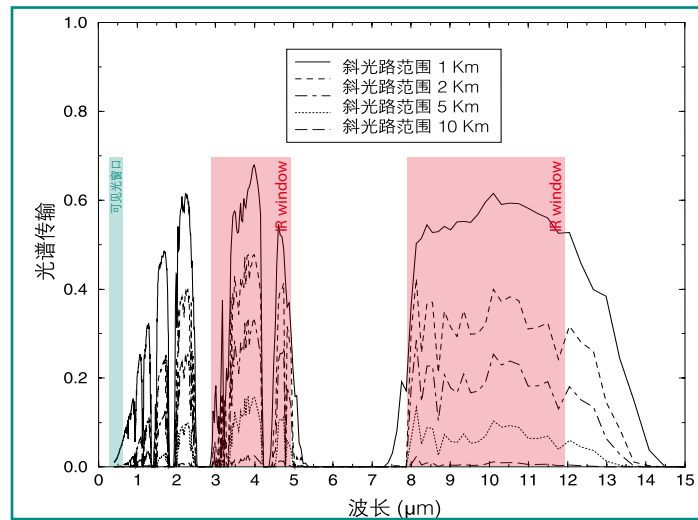
配备了制冷型探测器的热成像仪（传感器会被制冷至低温）对于场景温度中细微的温度差异反应最为灵敏，一般用于中波红外频段（MWIR）或长波（LWIR）频段成像。

MWIR 和 LWIR 频段中的光谱传输方式不同。因此在有雾时，配备了非制冷LWIR 探测器的热成像仪和配备了制冷型 MWIR 探测器的热成像仪的探测距离不同。

### 大气传输模型结果 雾

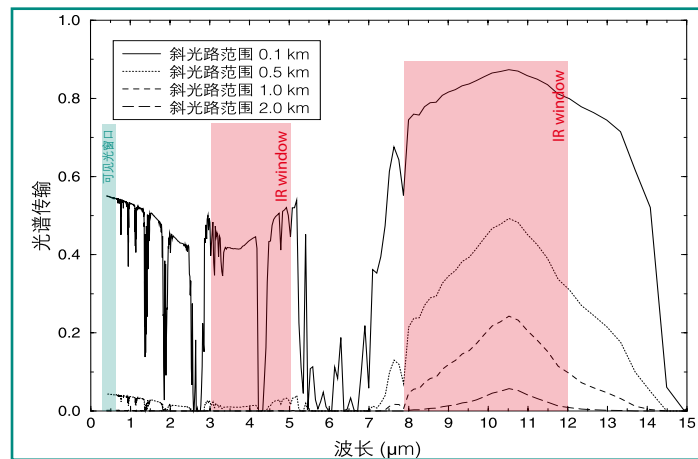
不同范围的大气光谱传输，可以对不同大气窗口中的能见度进行简单的定性对比。

图 1 显示中纬度夏季，乡村悬浮微粒条件下，CAT I 类雾中的光谱传输情况。在可见的光谱波段（0.4 - 0.75 微米），传输大大低于两个热红外窗口（介于 3-5 和 8-12 微米之间）。在这些条件下，不管有没有使用长波或中波探测器，热成像仪的探测距离将远远大于肉眼可视距离。



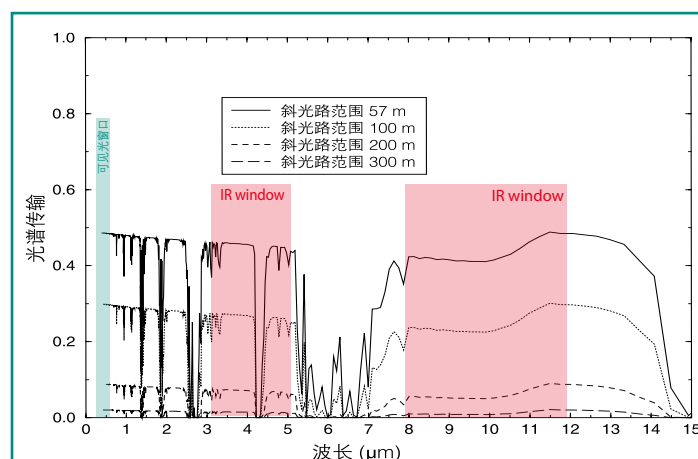
©Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

当我们能见度降至CAT II 类雾的条件时（辐射雾模型），预计只有长波（8-12 微米）频段优于可见频段，而中波红外热像仪的探测距离不会比肉眼可视距离远多少。（图 2）



©Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

最后，在 Cat III 类雾条件下（图 3），能见度小于 300 米时，使用热成像仪探测的距离和用肉眼看到的距离没有太大分别。



©Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)





仅靠传输不能完全决定您可以看多远，但视觉传输和红外传输之间的比较会揭示，天气是更有利于还是不利于某个波段。

### 探测范围

仅凭天气条件不足以预测人在雾天或雨天能看多远，还必须考虑目标的大小和背景中的温度差异。此外，光学器件和探测器的有限空间分辨率、探测器的噪音以及信号处理，也会降低目标与背景的对比度辐射。红外传感器传递函数对于对比度辐射的影响，可以通过 TACOM 热像模型 (TTIM) 进行模拟。此模型可以模拟不同类型的具有焦平面阵列的红外传感器。

下表列出了在有雾的天气条件下，肉眼、中波热像仪和长波热像仪的可视范围，假定目标和背景的温差为 10°C，探测阈值为 0.15 K

Fog Category	Visual	MWIR	LWIR
Cat I	1.22	3.0 - 9.8	5.9 - 10.1
Cat II	0.61	0.54	2.4
Cat IIIa	0.305	0.294	0.293
Cat III c	0.092	0.089	0.087

对于 I 类，红外探测范围在给定范围区间，代表 MODTRAN 中指定的不同气候和悬浮微粒内的变化。在长波中，最好的条件是冬天、绝对湿度低并且空气中分布的是乡村悬浮微粒。在中波频段，高温条件下（例如夏季或热带天气）的探测范围最佳。

I 类雾条件下，所有红外探测范围都大大优于目测。对于 II 类雾，配备长波探测器的热成像仪的可视范围比目测远四倍。

在 IIIa 类和 IIIc 类雾中，因为制约因素是大气，所以热成像仪的探测距离和肉眼的可视距离其实无甚差别。所有频段（可见光、中波和长波）的辐射都穿不透这类浓雾。

### 结论和结果

根据这些模型，对于 I 类和 II 类雾，热红外频段的可视范围比可视频段远。因此，热红外热像仪适合看穿这些类型的雾。这些模型显示，热成像热像仪可能适合作飞机着陆辅助装置，或充当运输和汽车行业的驾驶员视觉增强系统的部件

这些模型还显示：在所有研究案例中，长波频段的透雾效果强于中波频段。对于 II 类雾，长波光谱频段提供的范围性能比中波频段高出四倍。不过，在最终选择满足应用的最佳系统时，必须要考虑传感器热灵敏度和目标信号。同时也要考虑成本因素。例如，对于安全和监测应用，一般使用非制冷长波系统探测较长的范围就不太经济，因为需要的镜头大，价格昂贵。

中波辐射受到大气污染和污染气体的不利影响（可能提高大气吸收率和/或提高光程辐射 - 二者都会降低目标图像对比度）。长波受到的影响小很多。

雨可能大幅降低目标对比度（因为提高了大气散射和昏暗度），长波和中波在下雨天的性能类似。红外系统因雨导致的性能降低与范围有关，在 100x-500 米范围内显著降低。

就像无法对“我能使用热成像仪看多远？”这个问题给出一个简单的答案一样，也同样无法回答起雾或下雨时，可视范围会短多少。这个问题不仅取决于气象条件和雾的类型，还取决于使用的红外热像仪以及目标的属性（大小、目标和背景的温度差异等）



雾

热像

雾

热像

雾

热像

雾

热像

能够在雾中看清目标，在许多情况下都非常实用。海事、安全、汽车和航空应用都利用热成像功能，而且它在多数类型的雾中，都比肉眼或 CCTV 摄像机看得更远

感谢 Austin Richards 博士和 T. Hoelter 先生提供宝贵意见。

### 参考资料:

K. Beier, H. Gemperlein, Simulation of infrared detection range at fog conditions for Enhanced Vision Systems in civil aviation in Aerospace Science and Technology 8 (2004) 63 - 71

有关热成像仪和本应用的详细信息，请联系：

FLIR 商业视觉系统中国办公室  
地址：北京市朝阳区建外 SOHO A 座 2308  
邮编：100022  
电话：+86 10 5869 8762 / 9786  
传真：+86 10 5869 8763  
电子邮件：flir@flir.com

