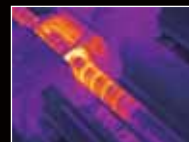
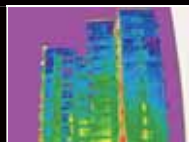
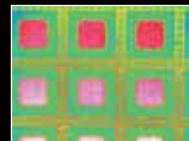
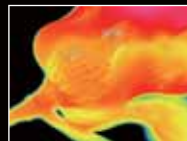


FLUKE®



福 禄 克 热 像 仪
科学与研究
红 外 应 用 指 南



夜色下的北京天安门

拍摄者：余广友



目 录

FLUKE®

一分钟了解福禄克 Fluke	4
为何使用红外热像仪进行科学与研究	6
材料研究 牙胶根管材料的导热性研究	8
新型丝状材料低温熔融研究和加工	10
弹性材料受力后的温度变化分析	12
电子研发 小至 32 微米的电子器件检测	14
液晶屏面板坏点检测	16
1 毫米芯片热分析	18
机械工艺 精密丝杠加工及老化研究	20
蓝宝石线切割工艺研究	22
超镜面切削工艺研究	24
3D 打印工艺控制温度检测	26
生物科学 种子胚芽发育研究	28
植物花蕊温度检测	30
实验鼠基因改造	32
化学研究 橡胶硫化工艺改良研究	34
物理研究 低温状态下的热传导性能检测	36
土木工程 高层建筑物缺陷研究	38

一分钟了解福禄克 Fluke

美国 500 强企业福迪威 (FORTIVE) 集团下属全资子公司。旗下拥有福禄克主品牌及计量校准、医疗测试、自动化测试、网络测试等多个子品牌,从工业控制系统的安装调试到过程仪表的校验维护,从实验室精密测量到计算机网络的故障诊断,福禄克的产品正在帮助各行各业高效运转和不断发展,并以精准、耐用、安全、易用等特点取胜于市场,备受用户赞誉。



福禄克计量校准



福禄克网络



A Fluke Company

DataPaq



福禄克医疗测试



雷泰



A Fluke Company

Iacon



John Fluke 在位于美国康涅狄格州的家中的地下室创立了福禄克公司。

Fluke 800 型差分电压表。

1948 年

John Fluke 先生亲自设计的第一款产品 VAW Meter (伏特、安培、瓦数表)。



1955 年

世界上第一款真有效值 (True-RMS) 数字电压表 - Fluke 9500A。



1963 年

世界上第一台实用手持式数字万用表 - Fluke 8020A。

1977 年

福禄克推出广受欢迎的 70 系列模拟 / 数字万用表。



1983 年

福禄克推出 ScopeMeter[®] 测试工具 - 示波器、万用表和记录仪三合一的测试工具。

1991 年

福
一
型



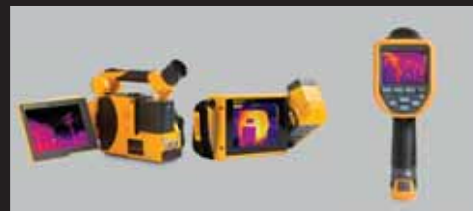
福禄克推出其第一款热像仪 - Ti30



福禄克发布 Ti32 红外热像仪



福禄克发布锐智系列红外热像仪 -Ti400/Ti300/Ti200



福禄克发布大师之选 - 专家级热像仪 TiX1000/660/640 及臻享系列 TiX560/520

福禄克发布全优系列红外热像仪 TiS10 / 20 / 40 / 45 / 50 / 55 / 60 / 65 / 75

年

1994年

2005年

2007年

2009年

2012年

2013年

2014年

2015年

2016年

福禄克进军过程测试领域，推出第一款过程测试产品 - Fluke 701/702 型文档化全能过程校准器。

福禄克推出革命性的 Ti25、Ti10 和 TiR 系列热像仪，推动了热成像技术的普及。

福禄克发布最简单易用的热像仪 - 易见系列 Ti125/Ti110/Ti100

福禄克推出全新测试工具 VT02 可视红外测温仪，一款带红外热图像的全新温度测试工具。

福禄克推出世界领先的连接式测试工具系统 Fluke Connect™，正式跨入智慧测量新时代！

福禄克发布 TiXS80 及 Ti480，红外热像仪全面进入 640 像素时代



为何使用红外热像仪进行科学研究

什么是红外热像仪？

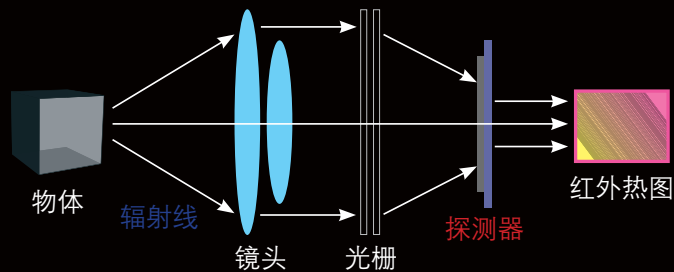
红外热像仪被动接收被测目标发出的红外辐射（热量），并将这种热量转化为带有温度数据的可视化图像（所有高于绝对零度（ -273°C ）的物体都会发出红外辐射）。



可见光图



红外热图



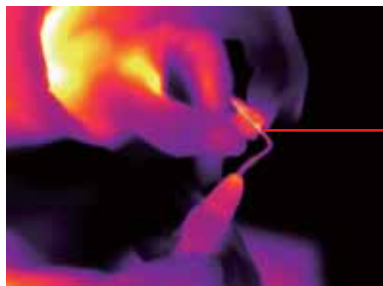
越来越多的科学研究工作都需要借用到热像仪的温度分析功能，就算看似与测温没有任何关系的工作也可以借助红外热像仪取得事半功倍的效果。

许多应用表面看起来与温度检测毫无关系，但通过温度的分析，可以使研究项目中遇到的问题迎刃而解，关键是如何将这些問題与表面的温度分析关联起来。

Fluke 红外热像产品可以给研究人员分析表面温度提供有力工具，红外热像图中颜色差异表示温度的高低，而且通过标准配置的专用软件，可以对热像图进行逐点解读温度数据，并生成数据报告或温度曲线，为研究项目带来便利。



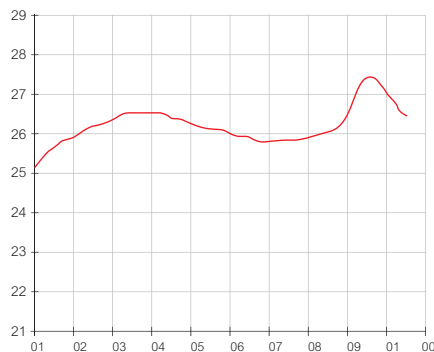
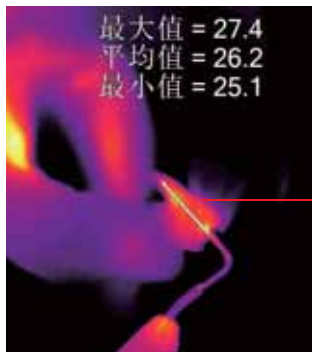
牙胶根管材料的导热性研究



将加热探针插入牙齿进行测试



牙齿实物



牙齿表面中心线的温度分布分析

在材料研究领域，如果目标很小同时温度差异也很小，就需要热像仪同时具备高空间分辨率和高热灵敏度的性能，牙胶根管新型材料研究案例提供了此类低温差小目标材料检测的最新技术方案，帮助研究人员进行有效科学分析。

检测案例：

某化工大学无机有机和复合材料国家重点实验室联合某大学附属口腔医院，进行牙胶根管材料导热性研究；主要研究对牙根神经空洞进行填补的新型材料，需要低温熔融，不得高于 47°C ，否则病人会感到灼痛，造成身体伤害，需要检测专用加热探针的表面温度，及探针在牙齿内进行材料熔化时牙齿表面的温度。

检测难点：

- 1、目标很小，探针的直径 2mm ，牙根管的直径在 1mm 以内，热像仪的空间分辨率需要在 1mRad 以下。
- 2、温差很小，内部最大温差必须控制在 10°C 内，所以在外表面的温差会缩小至 $2-3^{\circ}\text{C}$ 内，热像仪的热灵敏度需要在 50mK 以内。

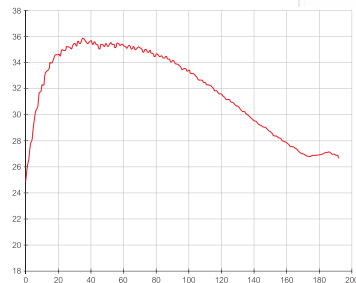
除对牙齿表面进行温度分析外，加热新型牙科材料的加热探针也是研究的重点，但加热探针的直径仅为 2mm，且需要从各像素点上分析温度的分布，否则会造成口腔内部温度过高，烫伤病人，故对于加热探针的温度分析也是非常有必要的。



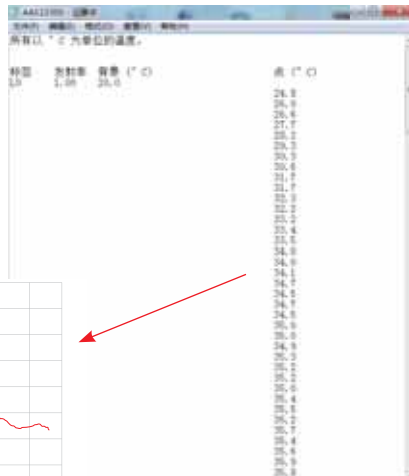
加热探针的直径仅为 2mm



对加热探针的部位进行线分析



加热探针上线的温度分布图



拍摄机型：

Fluke TiX660 红外热像仪



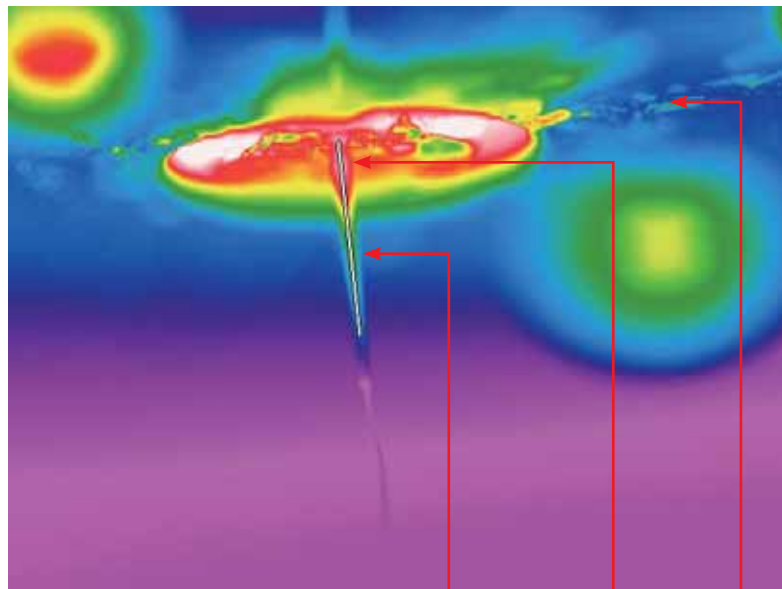
检测低温熔融微小材料的注意事项

- 1、因温差较小，故热像图的调色板以灰度或铁红为佳。
- 2、需要注意空间分辨率（IFOV）以符合检测距离和目标直径的关系，部分现场可能需要考虑使用微距镜头配置。
- 3、需要根据加热探针的材料状况修正发射率。
- 4、可以考虑使用带温度数据的录像功能，以显示加热后的表面随时间变化的温度变化情况。

行业应用：

新材料的研究（低温差和小目标），和与此类材料生产有关的设备的研发。

新型丝状材料低温熔融研究和加工



丝状材料熔融后对离出料口不同的距离处的温度分析

离出料口 1cm 处

丝状材料出料口

容器底部

丝状材料在熔融时，需要检测从融化出口至一定长度内的温度分布状态，为材料的特性和质量的分析提供温度依据。但丝状材料通常较细，加上受到容器尺寸的限制，要想清晰地拍摄有难度。

检测案例：

某大学机械与工程学院，新型丝状材料在容器内 260℃ 环境下熔融，通过容器底部的出料口向下产出，需要对该材料在出料口处直至 1cm 距离的温度分布进行检测和分析，以确保该材料的强度和韧度等技术指标。

检测难点：

- 1、丝状材料的直径仅为 0.2 mm 左右，目标小。
- 2、受到容器底部形状的限制，不能在近距离拍摄，检测距离相对较远；而常用的微距镜头在拍摄小目标时，距离一般需要在 3-4cm 内。

解决方案：

热像仪安放在容器的下方，斜向 45° 角往上，热像仪配置微距镜头 3 + 长焦镜头，辅以二维可调精密位移云台。

为使保存热图的时候不发生抖动，热像仪开启连续自动拍摄功能，并同时开启录像功能。

为什么选择微距镜头 3

福禄克大师之选系列一共有 3 种微距镜头，每种微距镜头的作用距离和小目标的分辨能力是不一样的：

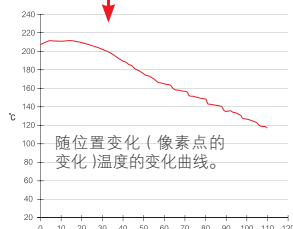
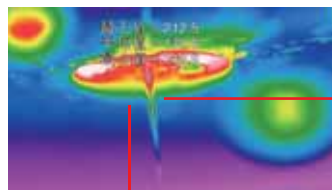
- 微距镜头 1 (FLK-Xlens/Macro1)：
可分辨的目标最大、作用距离最远
- 微距镜头 2 (FLK-Xlens/Macro2)：
可分辨的检测目标小、作用距离最近
- 微距镜头 3 (FLK-Xlens/Macro3)：
可分辨的检测目标小、作用距离较远



微距镜头 3

				1024 x 768	
福禄克型号	镜头说明	配合镜头	最小聚焦距离 (mm)	FOV (°)	检测最小目标尺寸(μm)
FLK-Xlens/Macro1	微距 0.2x	配合在 30mm 标准镜头上	137.4	85.5 x 63.2	81
FLK-Xlens/Macro2	微距 0.5x	配合在 30mm 标准镜头上	47.4	34.3 x 25.2	32
FLK-Xlens/Macro3	微距 0.5x	配合在 60mm 标准镜头上	100	35.1 x 26.5	35

从上表可以看出，微距镜头 3 可在达到小目标检测的基础上，在较远的距离（10 cm）处进行拍摄。



导出为 TXT 或 Excel 表格形式的该线上的全部温度数据。

拍摄机型：

Fluke TiX640 红外热像仪
配微距镜头 3 + 长焦镜头



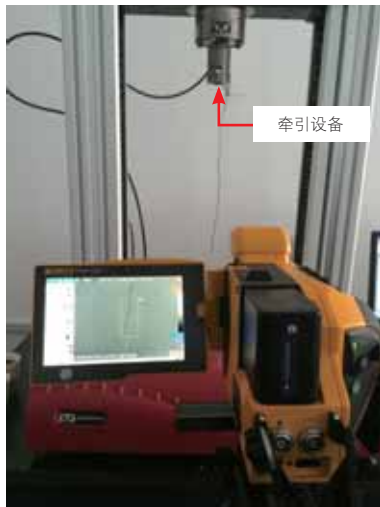
行业应用：

材料科学的研究，新型材料的研发和生产，同类型材料的生产设备制造商等。

弹性材料受力后的温度变化分析



绳结在受到最大牵引力时从 23.3℃ 快速升温至 28.6℃。



Fluke TIX640 配套微距镜头 3 在离目标绳结 10 厘米的距离进行检测。

材料在收到拉伸后，因其材料间的内应力或外部摩擦增大会导致发热，增加的热量有可能会造成材料性能的下降，但此类拉伸试验速度快、发热量小、目标较小，需真实检测在拉伸过程中的温度变化情况。

检测案例：

某大学农机学院，在农机设备的研究中，需要对弹性材料（如绳子或其他材料）在拉伸过程中的发热情况进行检测和分析，发热量过大会直接影响到材料本身的性能，如提早发生老化、弹性变差、容易断裂等问题，并同时影响到农机设备的质量。

检测难点：

- 1、目标小：绳子的直径为 3mm，绳结处最大的尺寸为 5mm，需要看到绳结处的发热点的具体位置和温度分布状态。
- 2、速度快：整个拉伸试验的过程通常在 7-8 秒内，部分极限测试的拉伸过程为 2-3 秒内，并需要看到整个过程中的最高温度变化情况和最高温度的位置变化。
- 3、温差小：非极限测试时，绳结的最高温度变化仅在 1℃ 左右。

解决方案：

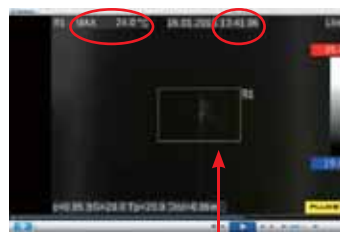
- 1、因现场需要留有一定的安全距离空间，使用可以在较远距离（80-100mm）检测的微距镜头 3。
- 2、安装三脚架和二维可调精密位移云台。
- 3、将调色板设置为灰度模式，方便小温差情况下的观测。
- 4、在热像仪上对将要发热的绳结处做矩形绘制，并设置矩形的最高温度显示。
- 5、开启录像功能，对矩形的最高温度进行追踪。



测试初期，绳结处未受力，此时绳结的最高温度为 22.2℃。



测试中期，绳结处受力较轻（1000 牛顿以内），加力比较缓慢，此时绳结的最高温度为 23.2℃，在 16 秒内升高 1.0℃。



测试末期，绳结处受力较大（约 3000 牛顿），此时绳结在 5 秒内温升 0.8℃，最高温度为 24.0℃。

此应用除了绳结的测试外，还可以广泛应用到如橡胶、塑料、有机材料、复合材料等与机械结构进行配合时的性能检测。

拍摄机型：

Fluke TiX660 红外热像仪
配微距镜头 3 + 长焦镜头

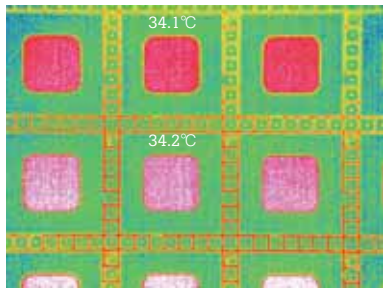


行业应用：

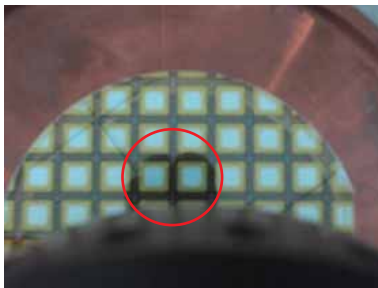
弹性材料的性能研究领域（材料专业），和弹性材料在机械设备中的性能测试领域（机械专业）。

小至 32 微米的电子器件检测

微米级小目标通常是温度检测的难点，接触式温度计由于其传感器尺寸限制，对于 1 mm 以下的目标是无法检测的，高端红外热像仪配套专用的微距镜头，可对最小 32 μm 的目标进行有效检测。



Fluke TiX660 加装微距镜头 3 拍摄的芯片晶格热像图



芯片的晶格

检测案例：

某研究所需要检测芯片晶格的温度分布情况，常见的热像仪可有效检测的最小目标通常为 0.2 mm 以上，对于微米级别的芯片晶格和元器件来说，需要在像素和光学系统上均达到一定性能要求才可以准确检测，此现场的配置为：

- 1、热像仪主机：福禄克大师之选系列 TiX660
- 2、配套微距镜头：微距镜头 3 + 长焦镜头，由于现场有红外窗口遮挡，故无法近距离检测，需要在 10 cm 处才可以安放热像仪，微距镜头 3+ 长焦镜头的配置正好可以满足检测小目标和较远的对焦距离的双重需求。
- 3、为使现场检测对焦方便，使用三脚架 + 二维可调精密位移云台。

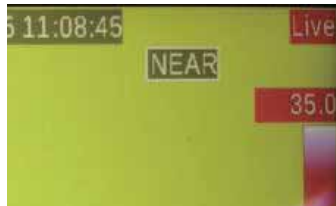
从现场的检测情况来看，两排晶格器件，上排器件的温度为 34.1°C，而下排器件的温度为 34.2°C，说明在散热方面，各方位排列的器件的散热情况是不相同的，研究人员可以据此测试不同的排列对器件的影响，并对某些问题器件进行单独检测。大师之选系列热像仪的最小检测目标为 32 μm ，可以充分满足研究人员对微米级小目标的检测需求。

福禄克大师之选系列共配置了三种微距镜头，因检测距离近，故微距镜头不适合用激光自动对焦和自动对焦；若使用手动对焦，需要非常精准的光学系统的调整，而手动对焦在微距检测时容易造成对焦过近或过远，影响检测效果。

比较行之有效的的方法是：先把镜头做最小目标（即最近距离）对焦的调整，再移动目标或热像仪，使之成像清晰，因可以比较精密地进行位移，故对近距离小目标的调焦精度也会提高。



1、对焦按钮往下推到底



2、液晶显示屏会出现“NEAR”，表示正在对近距离对焦。

移动目标要受到诸多的限制，所以比较可靠的方法是移动热像仪；因热像仪通常会安装在三脚架上，故需要一个可精密移动的连接平台；二维可调精密位移云台。



专业三脚架（带液压阻尼功能）

拍摄机型：

Fluke TiX660 红外热像仪
配微距镜头 3 + 长焦镜头

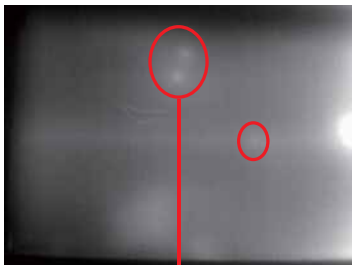


行业应用：

需要检测的目标小于 0.2 mm 的微电子或电子器件的研究部门，特别是在 0.1 mm 以内的微米级电子器件，如芯片、集成电路、电子元器件等。

液晶屏面板坏点检测

液晶屏面板上清晰可见 3 个坏点



正常的液晶屏温度为 28.0℃

液晶屏中心处有一条发热线，需要后期进一步检测和分析。



液晶屏可能会由于质量问题造成坏点，但坏点通常很小，要检查出和分析其损坏原因非常困难，红外检测是目前行之有效的检测方式，但微米级级别的坏点和非常小的温差是红外检测的难点。

检测案例：

某知名液晶屏制造商，需要对液晶面板上的像素点进行检测，如果有坏点，或其它的缺陷，因其内阻较高，在热像图中呈现的是热点。

检测难点：

- 1、目标小：液晶屏每个像素点尺寸为微米级别，最小的像素点尺寸仅为 40 μm ，各型号略有差异。
- 2、温差小：受到液晶屏整体发热的能量传递因素影响，坏点的温度与正常部位的温差一般在 1℃之内。

解决方案：

- 1、配套微距镜头，根据现场实际情况配置微距镜头 2 或微距镜头 3。
- 2、安装三脚架和二维可调精密位移云台。
- 3、建议将调色板设置为灰度模式，方便小温差情况下的观测。
- 4、因液晶屏表面是玻璃材质，检测时注意人员或其他设备不要在液晶屏表面造成反射干扰，建议用不透红外能量的材料（如布、纸张等进行遮挡，不要用塑料纸）。



专业三脚架（带液压阻尼功能）



此处为液晶屏反射检测人员的辐射能量所致，需要尽量避开或遮挡。

此处为液晶屏右侧电源部分发热的热量传导所致，为正常情况。

拍摄机型：

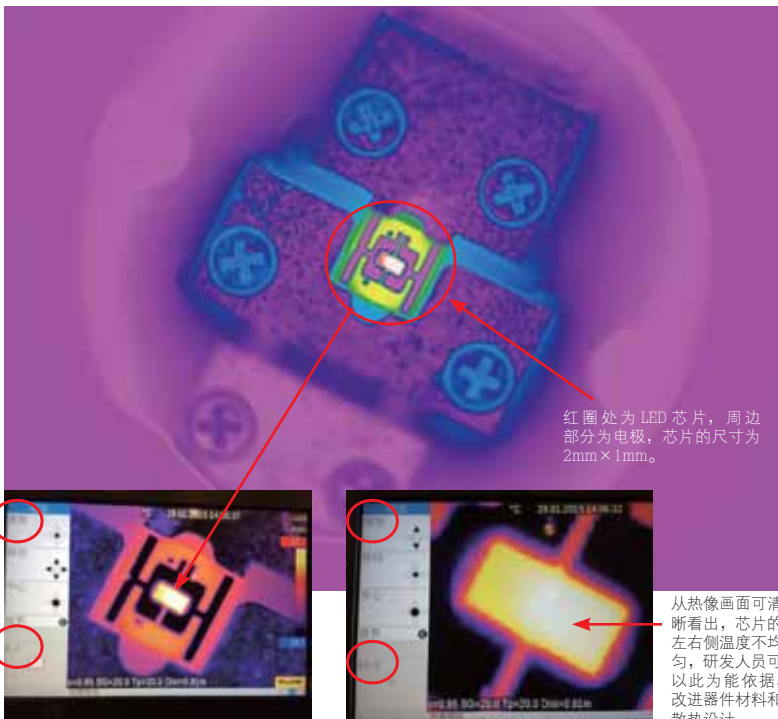
Fluke TiX660 红外热像仪
配微距镜头 2



行业应用：

特殊液晶显示的研究单位及液晶屏的制造商和相关器件的配套制造商等。

1 毫米芯片热分析



使用缩放功能在热像仪显示屏上对芯片进行 4 倍放大

对芯片进行 16 倍放大

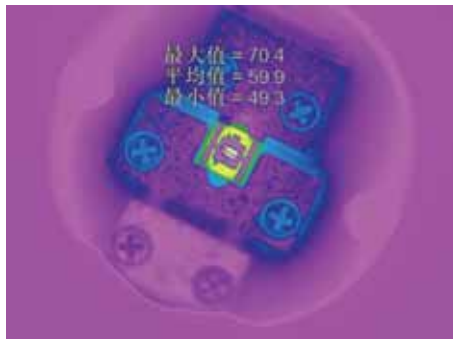
温度是 LED 芯片的核心技术指标，其代表着 LED 器件的设计水平，发热和散热情况直接影响 LED 产品的寿命和颜色质量，但由于 LED 芯片非常之小，传统检测方式无法进行测温。

检测案例：

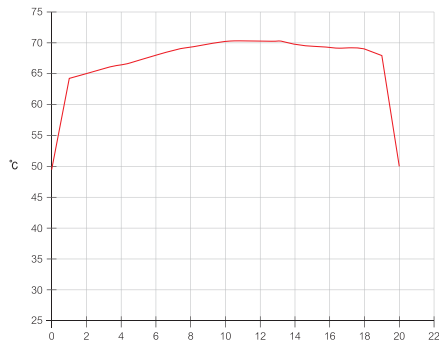
某知名光电器件制造商，在研发新产品中，需要对 LED 芯片的温度分布进行观测和分析，改善器件的发热和散热设计。

解决方案：

- 1、热像仪本机：TiX660 热像仪配套微距镜头 2。
- 2、安装三脚架和二维可调精密位移云台，部分现场需要热像仪垂直向下检测。
- 3、将热像仪手动调焦至“Near”框成红色，表示已完成最小目标的对焦。
- 4、细微调节精密位移云台，直至图像最为清晰。
- 5、在热像仪上对热图画面进行缩放，观测芯片的温度分布。
- 6、在 SmartView[®] 软件上对芯片的温度分布进行分析，并导出温度数据。



在软件上对芯片的进行温度分析



随像素点位置变化的温度分布趋势图



专业三脚架（带液压阻尼功能）

AR0127008 - 迈康士
文件(F) 编辑(E) 格式(O) 查看(V) 帮助(H)
所有以 °C 为单位的温度。

标签	发射率	背景	平均值	最小值	最大值	点
1.0	0.95	20.0	68.8	51.7	72.4	49.3
						64.3
						65.2
						66.2
						66.5
						67.4
						68.1
						69.0
						69.4
						70.0
						70.3
						70.4
						70.3
						70.4
						69.8
						69.6
						69.2
						69.4
						69.1
						68.0
						60.2

在 TXT 文档上导出的温度数据

拍摄机型:

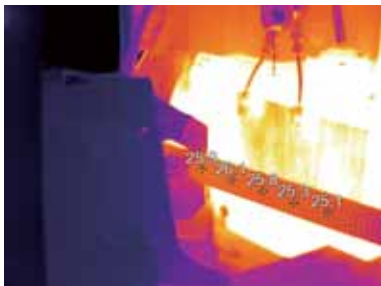
Fluke TiX660 红外热像仪
配微距镜头 2



行业应用:

光电芯片器件、电子芯片器件制造商等。

精密丝杠加工及老化研究



精密丝杠的恒温加工，在切削过程中需要严密监控丝杠表面的温度。



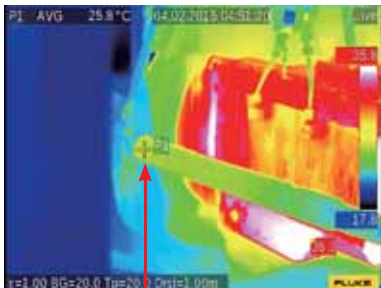
在精密机械加工时，温度是一个决定产品精度的重要因素，受到热胀冷缩的影响，部分情况下加工时温度偏差超过 1°C 即可造成产品精度超差。在进行精密机械加工时，对加工过程中的温度变化情况进行追踪、及监督产品老化测试过程，为此类精密机械加工提供有效的质量保证。

检测案例：

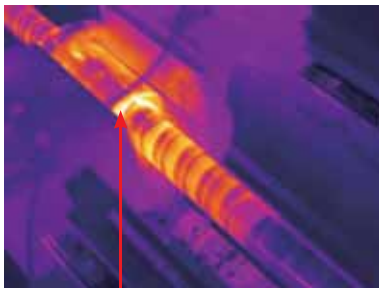
某装备制造有限公司，主要产品为精密丝杠，为达到 $10\text{ }\mu\text{m}$ 以内的精度，在加工中温度必须控制在温升 1°C 内，如果温升超过 1°C ，会造成丝杠精度超标。另需要对丝杠在老化测试设备中的温度情况进行检测，确保丝杠在长时间工作时的精度。

检测难点：

- 1、速度快：需要直接看到切削过程中螺纹线的产生，以及在切削完成后停止冷却油的瞬间的温升情况；在测试设备中，每秒的运行速度最快可超过 5 m 。
- 2、距离远，目标小：受到加工设备空间的制约，热像仪的放置位置离目标至少 $2\text{--}3\text{ m}$ 外，但需要能看到毫米级的螺纹线的温度。
- 3、温差小：在正常工艺操作时，丝杠和测试设备的温升仅在 1°C 以内。

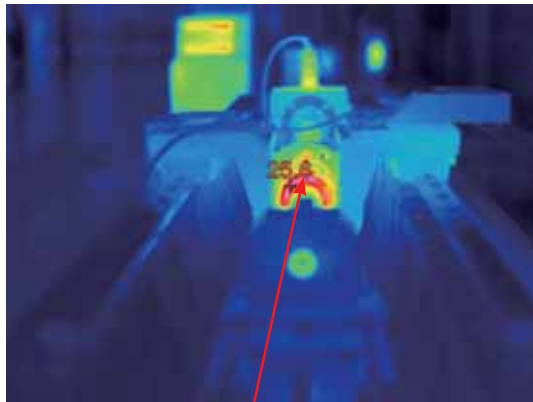


加工现场的录像截屏，箭头部分为冷却油，P1 点为刚进行切削加工后的丝杠表面温度，该现场的实测表面温度与工艺要求一致。



丝杠老化测试设备在快速运行中需要对丝杠表面和螺母（箭头处）的温度变化进行监测，防止因过热（超过温升 1°C ）导致精度误差。

丝杠老化测试设备



螺母的正面温度



为避免冷却油溅出，数控机床用有机玻璃板封盖，但热像仪无法透过有机玻璃板检测，测试现场留有缝隙只是权益之计，并不符合现场操作规范。



可以在有机玻璃板上开孔，安装 Fluke CV 系列红外窗口，在现场实际检测中需要注意透过率的设置。

拍摄机型：

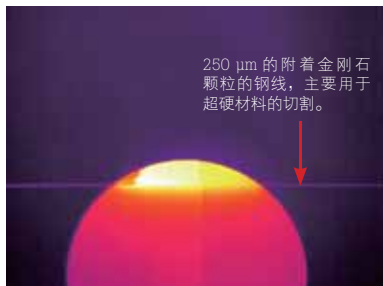
Fluke TiX660 红外热像仪



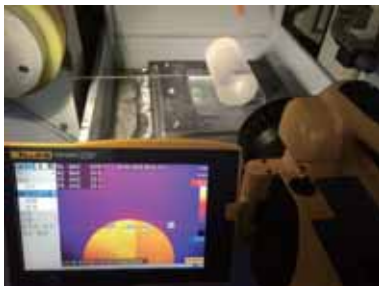
行业应用：

精密机械的加工设备研究机构、设备制造商，以及精密机械加工单位。

蓝宝石线切割工艺研究



金刚石线对蓝宝石材料（人工合成蓝宝石）进行切割的温度分析
该现场使用 Tlx1000 加装微距镜头 1 拍摄



在高端机械加工研究领域，既需要对微小的加工工具进行温度检测，又需要看到整体的加工目标的温度分布，这样的相对大面积小目标的现场要求热像仪不仅能看微小目标，还需要有一定的视场范围。

检测案例：

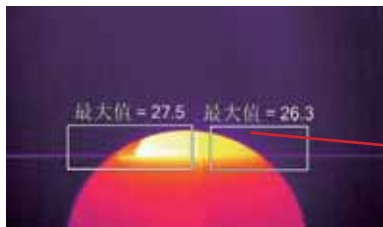
某大学机电工程学院，研究超硬材料的切割工艺，该现场需要切割的目标是硬度为 9 的蓝宝石玻璃，切割工具为附着金刚石颗粒的钢线，线径为 $250\ \mu\text{m}$ ，高速往复切割。在切割过程中，需要随时检测切割处和金刚石线上的温度分布，以调节金刚石线往复的速度，以免造成金刚石颗粒的脱落。

检测难点：

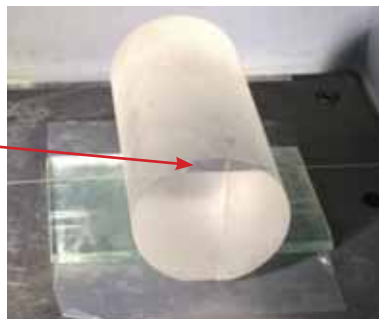
金刚石线的直径仅为 $250\ \mu\text{m}$ 左右，客户需要在看清楚金刚石线温度的情况下，在一幅热像图中同时显示直径为 $40\ \text{mm}$ 的蓝宝石玻璃表面的温度分布。

解决方案：

大师之选系列加装微距镜头 1，即可以解决 $250\ \mu\text{m}$ 的金刚石线的准确检测问题，又可以将整个切割现场纳入同一幅热像图范围。



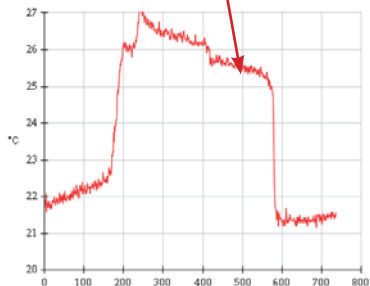
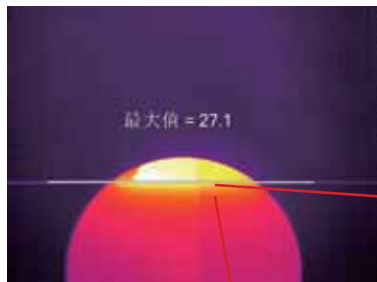
因蓝宝石表面的厚度不均，造成切割处左右表面的温度因热传导不同产生差异



为什么选择微距镜头 1？

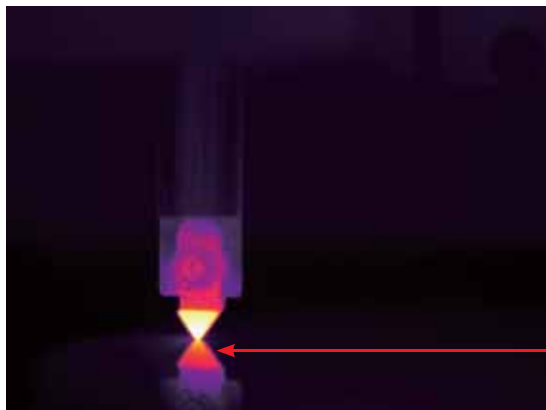
大师之选系列一共有 3 种微距镜头，每种微距镜头的作用距离和视场角不同，微距镜头 1 的最小聚焦距离最远，且视场角（FOV）最大，客户需要在一幅热像图中看到全部的金刚石线切割蓝宝石的画面，在能够清晰检测 250um 金刚石线小目标的要求下，大师之选系列加装微距镜头 1 是唯一符合现场要求的配置。

使用 SmartView[®] 软件沿金刚石线切口处画线。



标签	频率	位置	平均值	最小值	最大值	点
L0	1.00	20.0	24.1	21.2	27.1	26.0
						26.1
						26.1
						26.0
						25.8
						25.0
						26.1
						26.1
						26.2
						26.1
						26.1
						26.0
						26.1
						26.2
						26.3
						26.2
						26.2
						26.3
						26.4
						26.5
						26.7
						26.8
						26.7
						26.9
						27.1
						27.1
						27.1
						27.1
						27.1
						27.0
						27.1
						27.0
						27.0
						26.9
						27.0
						26.9
						26.9

超镜面切削工艺研究



此处为刀头在超镜面材料上的反射

超镜面材料的切削加工，需要对刀头和材料本身的温度进行检测和分析，以改善刀头的进刀控制，但刀头的小尺寸和需要进行较大范围温度追踪是红外热像检测的难点。

检测案例：

某大学机电工程学院，研究超硬材料的切割工艺，该现场为紫铜材料上的超镜面切削，使材料表面达到纳米级的平整度，现场的切削过程分为两步：

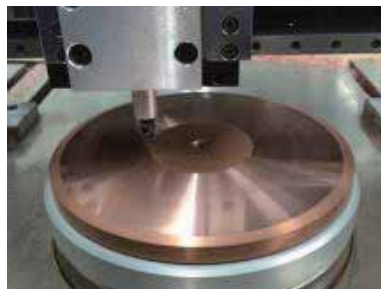
第一步是粗切削，切削量大，超硬合金刀在切削过程中的温度较高；第二步是精切削，切削量小，在切削过程中刀头的温度较低。随着材料的旋转，刀头在外圈处的运行速度要高于内圈处的速度，也会改变进刀量，故需要追踪刀头在整个切削过程中的温度变化。

检测难点：

- 1、需看到小目标（2 mm * 1.5 mm 的刀头）的温度。
- 2、检测距离不能再 10 cm 以内。
- 3、要同时观测刀头及镜面材料的温度。
- 4、需要有一定的视场范围。

解决方案：

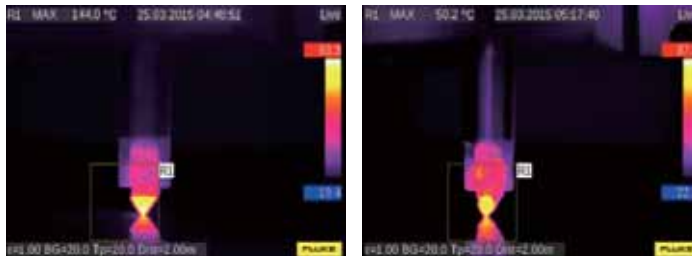
大师之选系列加装微距镜头 1，即可以解决 1.5 mm 的刀头的较远距离准确检测问题，又可以将切削时的镜面材料纳入同一幅热像图范围。



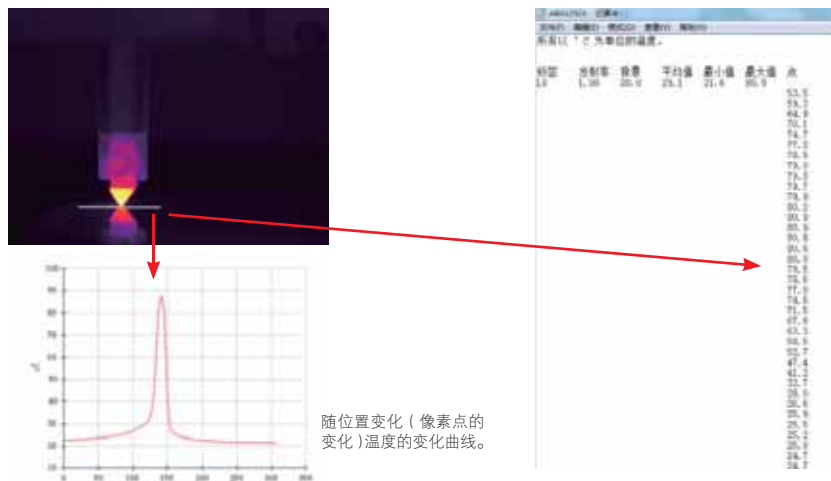
超硬合金刀的底部接触面，其尺寸为 2mm × 1.5mm

使用录像功能连续检测在粗切和精切过程中刀头的温度变化
因刀头在切削过程中的移动，故需要时刻监控热像仪的调焦。

左图为粗切过程，由于进刀量大，刀头温度最高可至 144℃；右图为精切过程，由于进刀量小，刀头温度始终在 49-51℃（此为视频截图）。



使用 SmartView® 软件沿刀头与超镜面材料接触点处画线。



导出为 TXT 或 Excel 表格形式的该线上的全部温度数据。（因温度数据量大，故仅选取其中部分予以展示）

拍摄机型：

Fluke TiX660 红外热像仪
配微距镜头 1



行业应用：

切削、打磨等高端机械加工工艺领域的研究，机械加工的生产设备制造商等。

3D 打印工艺控制温度检测



选用了 Tix1000 120Hz 帧频模式。

红圈处为打印过程中的金属结构件，尺寸为 3mm×2mm 左右。120Hz 温度变化过程非常清晰。



3D 打印过程中，虽然打印机的喷口使用热电偶或热电阻控制温度，但由于速度、距离、材料等特性的不同，在粉末逐层堆叠累积的过程中，温度会出现异常，如跳变、过高、过低、不均匀等，造成打印后的结构件性能下降，韧度差、弹性不够、变脆、隐纹等。打印过程试验速度快、结构件小、温度高等特点。

检测案例：

某大学机械制造系统工程国家重点实验室，负责利用 3D 打印技术快速而精确地制造出任意复杂形状的零件，从而实现“自由制造”项目研究。

3D 金属打印过程中，以金属粉末为原料，打印任意形状的零件，而结构件的温度高低、温度变化趋势对金属结构件的特性造成关键的影响，温度控制是打印过程中重要的因素。

3D 打印技术：

又称积层制造属于快速成形技术的一种，它是一种数字模型文件为基础直接制造几乎任意形状三维实体的技术。3D 打印运用粉末状金属或塑料等可粘合材料，通过逐层堆叠累积的方式来构造物体，即“层造形法”。3D 打印与传统的机械加工技术不同，后者通常采用切削或钻孔技术（即减材工艺）实现。

温度检测的技术难点：

- 1、部分材料目标小：开始打印时，目标尺寸可能较小，如案例中，只有 2-3 mm，而且需要看清楚材料表面的温度分布，及温度变化过程。需要微距镜头才可以清晰看到材料表面的温度分布。同时由于加工设备的需要及加工安全需要，拍摄距离可能较远，则需要微距 3 的镜头。
- 2、材料打印速度快：1-2 s 的时间段内，需要走完 3 mm 的长度行程，选择 30Hz 时，理论上每帧只能看到 50 μ m 左右的变化，这个对于现场是难以满足要求，所以选择 60Hz 以上帧频最佳。
- 3、温度高：材料的温度可能在 1800℃，需要选择高温选项（图中温度显示不是最终的准确值）
- 4、需要在打印过程中实时温度监测：部分现场需要实时监测打印表面的温度变化状态及温度数据，绘制温度曲线，确认新材料的工艺温度。

金属结构件打印过程



TIK1000+ 微距镜头 3 在离目标 90 cm 进行检测。



实时记录和在线分析带温度数据的视频记录功能。



红圈处为金属结构件，在选用 30Hz 拍摄的打印过程，结果就无法看清楚温度变化过程。

拍摄机型：

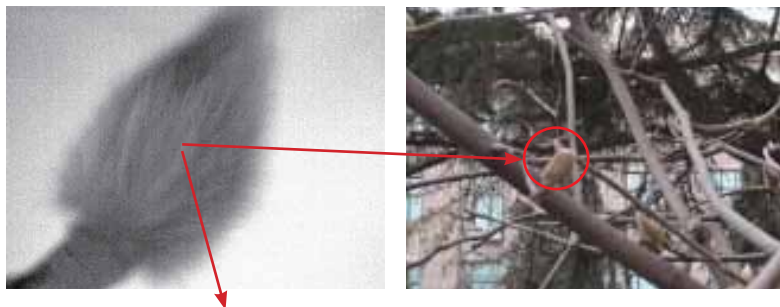
Fluke TiX1000 红外热像仪
配微距镜头 3 + 长焦镜头



行业应用：

珠宝、工业设计、建筑、汽车、航空航天、牙科和医疗产业等领域的高校科研院所，以及研发生产单位。

种子胚芽发育研究



在植物的新品种培育研究中，温度是非常关键的一环，特别是在胚芽培育中，温度的高低对于植物的生长和品质有决定性影响，但是植物种子的小尺寸和小温差使温度的准确检测成为一个难题。

检测案例：

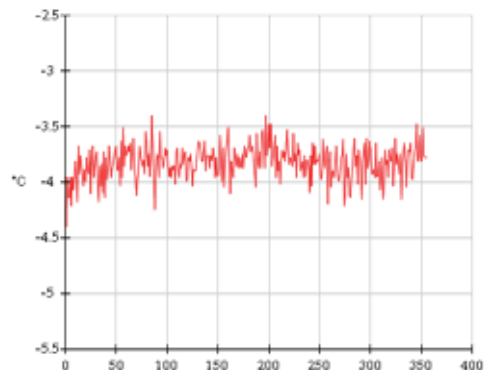
某林业大学生物科学与技术学院，对植物的种子生长过程中的温度进行阶段检测，特别在胚芽培育阶段，外界的温度对种子的生长有关键作用，会影响到植物幼株的品质，通过热像仪对植物种子胚芽的表面温度检测，确定育种时的温度控制，并对植物的发芽生长过程中不同温度起到的作用进行研究。

检测难点：

- 1、温差小：在种子胚芽表面的温差一般在 1°C 以内，部分极端的情况下可以达到 0.1°C ，而且需要清晰看到温度的变化状态分布，对热像仪的热灵敏度要求极高。
- 2、目标小：部分种子的长度只有 5-8 mm，宽为 2-3 mm，还要看到种子中心的温度状态和只有 2 mm 的胚芽。

解决方案：

使用微距镜头，架设于专业三脚架及二维可调精密位移云台上拍摄。

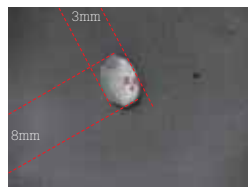


冬芽表面从前端至后端的线温度分布状态，用热像仪标配的 SmartView® 软件导出。

种子和胚芽在不同阶段下，表面的发热情况。

特别说明：

因受条件限制，此页的四幅热像图并非同一个种子，而是选取了在不同阶段的同类型种子进行拍摄后比对。



阶段 1，种子在发育初期，表面温度比较低。



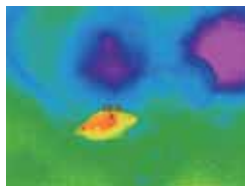
阶段 2，已可以看到在中心部分的高温，该部位会发育成胚轴。



阶段 3，种子中心的温度继续升高，已可以看到胚芽。



阶段 4，在热像图左侧可以看到胚芽部分生长较长。



高对比度调色板模式下的种子胚芽阶段 4 图，与上图的灰度模式相比，胚芽部分的热像图要模糊得多

现场需要注意：

调色板设置为灰度模式：调色板并不会改变检测的温度，但会影响到对热像图的观察效果。灰度模式适合于微小温差的目标，因为人眼对灰度的辨识能力最强；高对比度适合于快速辨识高低温、寻找最高、最低温度点，需要目标有较大的温差。

拍摄机型：

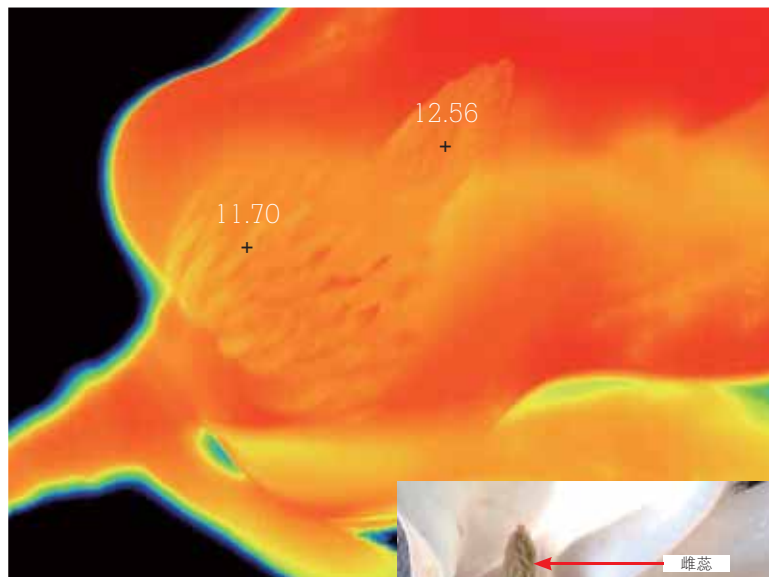
Fluke TiX1000 红外热像仪
配微距镜头 3 + 长焦镜头



行业应用：

负责植物、农业、林业等科研单位，以及中药、药材的研发和生产单位。

植物花蕊温度检测



玉兰花粉散粉结束时期，需要检测雌蕊和雄蕊的温度差别，使用 TIX1000+ 微距镜头 1 拍摄。



适宜的温度对于植物的繁殖，包括花粉发育和传播、柱头授粉、花粉管生长、种子发育等过程有着至关重要的作用。为了最大限度的提高繁殖的成功率研究花朵内部温度分布情况，有助于更好了解植物生长发育特性，但花蕊的微小尺寸制约了有效的温度检测。

检测案例：

某林业大学生物学院，检测玉兰花开花时不同时期花芽的温度分布，研究开花过程中花朵自身产热过程。

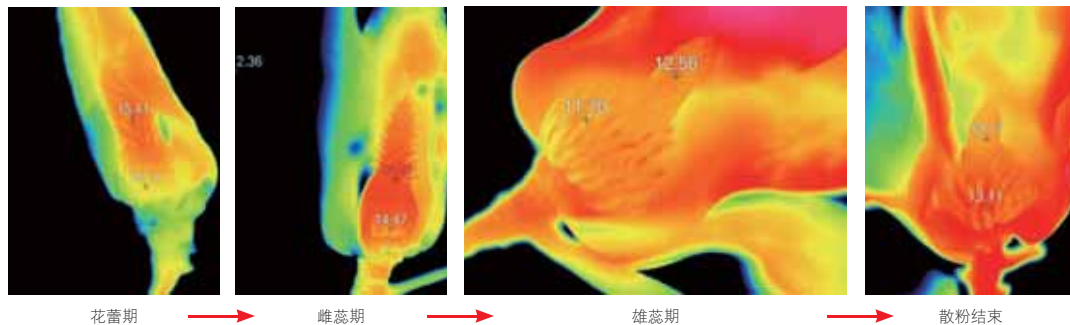
检测难点：

- 1、小目标：可以清晰显示雌蕊和雄蕊的形态，每根雌蕊和雄蕊的粗细均在 1 mm 左右。
- 2、需要连续快速拍摄：尽量减少刚摘下的花朵自身热量快速流失，需要在 30 s 内完成调焦和拍摄。
- 3、目标内的温差小至 1℃ 以内。

解决方案：

- 1、使用灰度调色板进行调焦。
- 2、使用 EverSharp 多焦点对焦成像系统功能：因雌蕊和雄蕊并不在同一测试平面上，景深差异会导致无法同时清晰显示雌蕊和雄蕊，此类情况建议开启 EverSharp 功能。
- 3、使用连拍功能，避免按键拍摄时产生微小晃动导致聚焦不准确而模糊同时可在短时间内完成拍摄。

玉兰花的花期过程



每朵玉兰花均会经历以上四个花期过程，并且为了避免自身授粉，同一朵玉兰花的雌蕊和雄蕊不同时开放。从图上可以看出，从雌蕊期到雄蕊期温度会下降约 3℃，而到散粉结束，温度又会上升，这个温度变化的过程反映出花蕊在不同时期的生长特点，为新品种的培育和生长环境的控制提供了理论基础。

此案例中大使之选系列的特点：

- 1、小目标：1 mm 左右粗细的目标，大使之选系列可以检测最小至 32 μm 的目标；
- 2、热量流失导致温度快速变化：大使之选系列可进行自动连续拍摄、录像，必要时可选择高帧频；
- 3、小温差，有些温度差异在 1℃ 以内，大使之选系列对细微温差的辨识能力可至 0.03 $^{\circ}\text{C}$ 。

拍摄机型：

Fluke TiX660 红外热像仪
配微距镜头 1



行业应用：

植物的生长发育和新品种研究领域等。

实验鼠基因改造



两个实验鼠的热像对比图，从热图中可以明显看出，左侧正常的实验鼠的体温比右侧去除抑制肥胖基因的实验鼠高，背部高温的面积比例大。



正常的实验鼠，
体型较小

进行了去除抑制肥胖基因的
实验鼠，体
型较大



通过 SmartView[®] 软件，左侧正常的实验鼠的最高体表温度为 35.4℃，右侧去除抑制肥胖基因的实验鼠的最高体表温度为 34.9℃，符合试验预期效果。

实验鼠在进行基因改造后，会出现一系列的体征变化，如进行抑制肥胖基因除去后，会出现体型增大、体温下降的特征，但对于种群进行集中的体温测试却是难点：需要在实验鼠不察觉的情况下进行测试，强行检测体温会出现反抗造成体温升高，麻醉又会造成体温人为降低。

检测案例：

某生物研究所需要对实验鼠在进行基因改造后的体表温度进行检测，如去除抑制肥胖基因后，会出现体型增大、体温下降的特征，但对于种群进行集中的体温测试却是难点：需要在实验鼠不察觉的情况下进行测试，强行检测体温会出现反抗造成体温升高，麻醉又会造成体温认为降低，所以红外热像检测既可以在实验鼠正常活动中检测，又可以避免采取措施造成的误差。

检测难点：

- 1、测温精度要求高、温差小：实验鼠在基因检测的对比测试时，两组体温差别通常只有 1℃ 以内，并要求精细显示体表温度分布的温差。
- 2、部分实验现场反应速度快：部分现场要求实验鼠在动态时进行检测，而实验鼠运动速度很快，需要同时实时跟踪多群实验鼠的体表最高温度。

使用大师之选系列热像仪的录像功能结合多个可移动框的最高温度自动显示，可有效对运动中的实验鼠群进行体表温度检测和跟踪，大师之选系列热像仪可最多对 7 个任意选择的范围进行自动跟踪。



左侧为高正常的实验鼠，
体型较小，体表温度较。

右侧为进行了除去抑制肥
胖基因的实验鼠，体型较
大，体表温度较低。



为防止背景反射对检测精度的影响，在
实验鼠背后增加了橡胶垫予以屏蔽干
扰。

现场需要注意：

- 1、避免周边环境的反射干扰。
- 2、镜头以标准镜头为主，部分现场可能需要加装广角镜头以适应多种群拍摄。
- 3、注意调节调色板的温度范围。

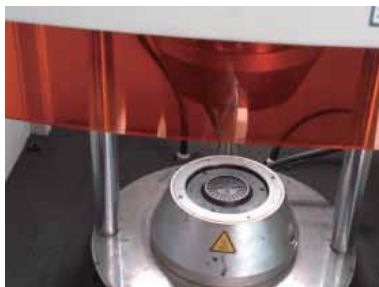
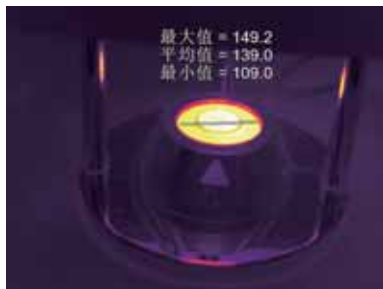
拍摄机型：

Fluke TiX640 红外热像仪



行业应用：

负责基因研究、动物研究和医药
研究的科研单位，以及医药的研
发和生产单位。

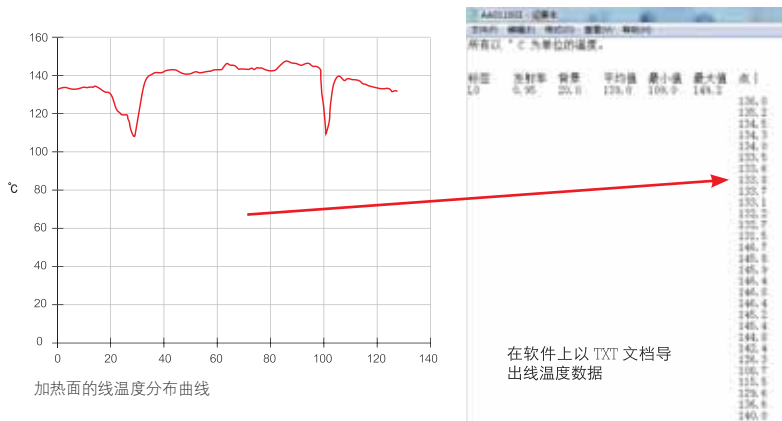


检测案例:

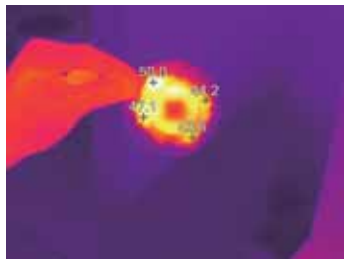
某化工大学无机有机和复合材料国家重点实验室，负责以对橡胶为主的弹性材料的改良工艺研究，橡胶材料以硫化为最重要加工工艺，而硫化时的温度控制是硫化过程中重要一环。

检测难点:

- 1、部分材料目标小：部分橡胶材料用于精密电子或机械产品上，随产品的要求尺寸差异性很大，小材料的尺寸只有 1-2 mm 左右，需要微距镜头才可以清晰看到材料表面的温度分布。
- 2、材料表面温度差异较小：虽然在硫化过程中的温度都会超过 100℃，但在材料表面的温度相对还比较均匀的，部分现场的表面温差只有 1-2℃，但在高性能的橡胶材料中，1-2℃的温差也会造成材料性能的下降。
- 3、需要在硫化过程中实时温度监测：部分现场需要在硫化中实时监测表面的温度变化状态，绘制硫化温度曲线，为新材料的硫化确认工艺温度。



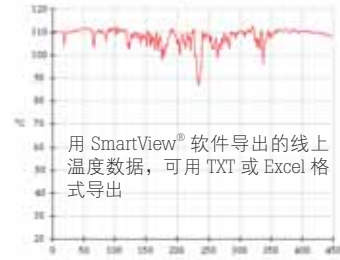
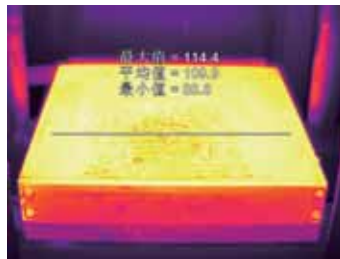
在橡胶硫化工艺中，使用到高端热像仪的现场很多：



试制的新型硅胶材料在脱模后的温度分布，可以看到左侧部位比右侧部位温度高 4-6℃，可能预示材料的导热性方面需要进一步的分析。



在烧杯中的新试制材料（黑色物体），放在加热的恒温水槽中，在相同时间内观测温度的上升状态。



硫化床设备，进行较大型的材料的硫化工艺，从表面的温度分布来看，中间部位的温度明显偏低，可能需要进行设备改进。

拍摄机型：

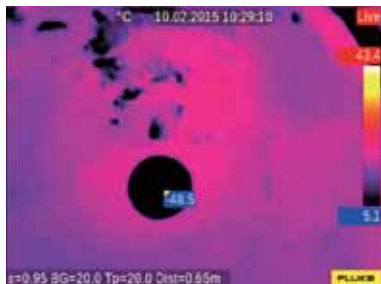
Fluke TiX640 红外热像仪



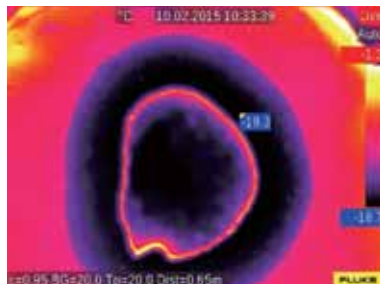
行业应用：

化学和化工方面，特别是新材料的研究和性能测试的研究单位，大型精细化工的研究所和研发单位。

低温状态下的热传导性能检测



黑色部分为特殊材料，在倾倒液氮后，该部分因热传导系数的原因温度急剧降低至 -40°C 以下。



升温过程中的温度分布，因热量的扩散传递，低温部分比左图扩大数倍，内部的红色不规则类圆形部分为热量传递时的等温线分布，为材料各部位的热传递性能提供数据支持。

在严苛的环境中、特别是极低温度下对散热和材料的热传导性能进行测试是在科研领域中常用的检测手段，但超过零下 20°C 的低温和相对快速的温度变化对热像仪的精确的低温检测能力提出了特别要求。

检测案例：

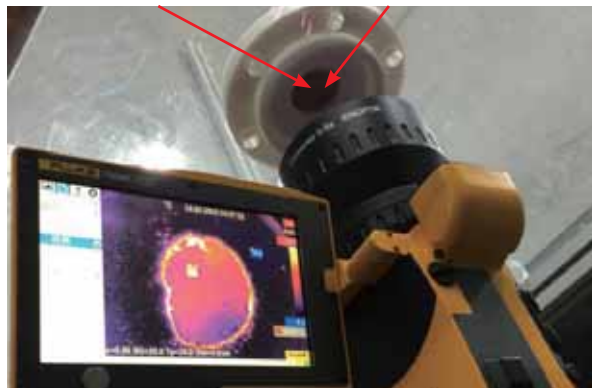
某高校国家重点实验室，对低温状态下特殊材料的热传导性能进行检测，并需要清晰地看到温度的变化过程。

检测难点：

- 1、温度低：液氮直接倾倒在特殊的材料上，通过热像仪观察圆形材料上受到低温影响后的温度快速降低，以及后期逐步升温的变化，最低温度会达到接近零下 50°C 。
- 2、速度快：温度降低的过程只有 3 s，而从环境温度直降到零下 40 多度，需要看到温度降低时的变化。
- 3、目标小：材料的直径在 5 mm 以内。

解决方案：

使用录像和低温自动捕捉功能。



TIx640 配套微距镜头 3，架设于专业三脚架及二维可调精密位移云台上拍摄。

降温阶段的录像截屏
(请注意录像截屏的时间)

升温阶段的录像截屏

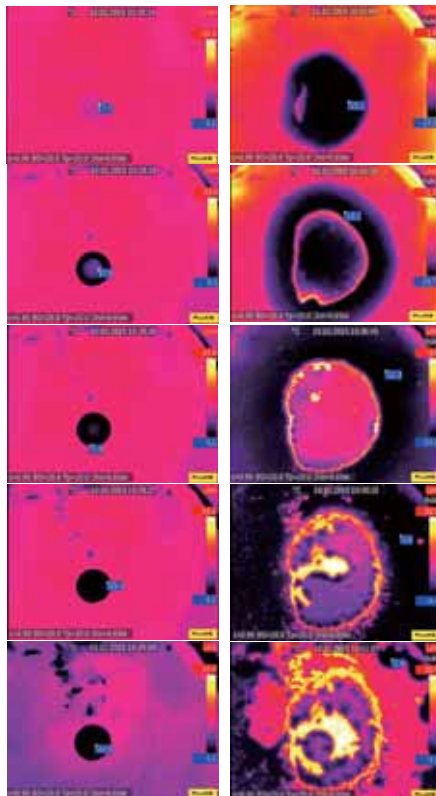
初始温度为 17℃

液氮倾倒后开始
降温

1 秒钟后降低了
19℃

再过 1 秒后又降
低了 21℃

最终的 低温为
-48.5℃



低温区域有部分开
始升温

升温后逐渐形成
等温线

内部继续升温，
但有一块区域升
温特别快

在特殊材料周边
逐渐形成相对高
温包围

特殊材料的低温
部分轮廓十分明
显

拍摄机型：

Fluke TiX660 红外热像仪
配微距镜头 3 + 长焦镜头



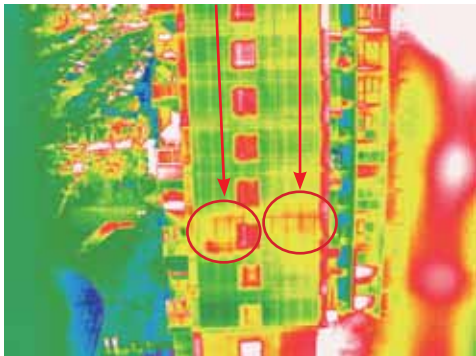
行业应用：

有低温检测需求(如高温实验、
物理、材料等) 科研单位。

高层建筑物缺陷研究



外表面问题点：空鼓



红外热像仪是出色的建筑检测工具，能有效地检测出空鼓、渗漏等建筑质量问题，而且不会对建筑本身造成任何风险。建筑检测要求红外热像仪极为灵敏。因为要寻找的温差非常小，所以需要一款能够发现最细微的温度变化和温差的红外热像仪。

检测原理：

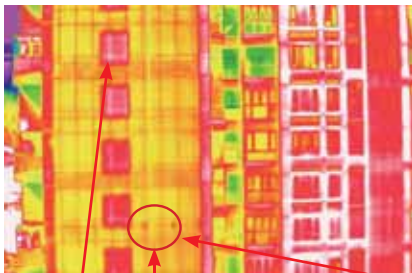
墙体结构有很大的热容量，如果抹面材料有剥落，外墙和主体之间的热传导变小。因通常，当暴露在太阳光或升温的空气中时，外墙表面的温度升高，剥落部位的温度比正常部位的温度高；相反，当阳光减弱或气温降低，外墙表面温度下降时，剥落部位的温度比正常部位的温度低。

检测案例：

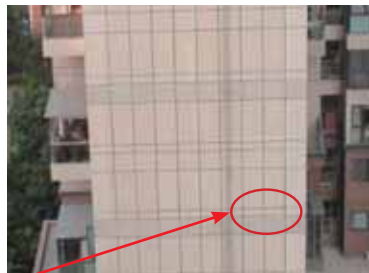
华南某市政工程公司需要对一个小区的外墙面脱落问题进行修缮处理，小区很大，很难快速且准确的找到问题点，并针对问题点进行修缮，之前使用的办法是用竹竿敲击，检测效率和准确性均存在问题。热像图显示的现场是该小区第二次修缮工作。

检测难点：

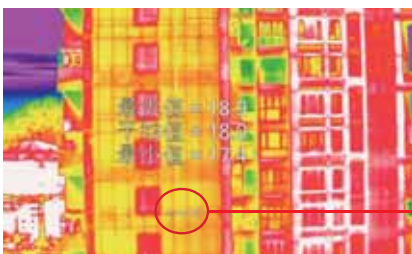
- 1、建筑表面温差通常就很小，在 3 度左右。尤其拍照当天为阴天，墙面缺少明显升温降温过程，所以需要足够优秀的热灵敏度来区分微小温差，福禄克大师之选的热灵敏度高达 0.03°C ，可以清晰地显示细微温度变化。
- 2、小区为高层建筑，客户需要一张热图找到整幢建筑的所有问题，那么就需要距离足够远。而墙面每块砖的尺寸大约为 $0.2\text{ m} * 0.4\text{ m}$ ，空鼓的面积将更小。所以对热像仪远距离检测小目标的能力要求高 IFOV 这个参数将起到至关重要的作用。福禄克大师之选标准镜头下 IFOV 达到 0.6mRad ，加超长焦镜头可达 0.1mRad ，即在 100 m 外可分辨 10 cm 的问题点。
- 3、超远的检测距离：200 m 之外。



热图上的 5 个正方形发热区域为正常建筑结构，成为“热桥”。



腰线位置端口空鼓明显



现场检测注意事项:

- 1、避免对阳光直射面实时检测，阳光为高温热源，会影响检测结果；
- 2、晴天最佳检测时间为傍晚，建筑外表面会产生散热降温过程；
- 3、雨天最佳检测时间为第二天早上，建筑表面升温过程，墙面比空鼓中的水分升温快；
- 4、因为墙面属于温差微小目标，为了更好的发现问题，可将调色板跨度上下限缩短为临近实际温度示数值。

拍摄机型:

Fluke TiX1000 红外热像仪
配超长焦镜头



行业应用:

建筑科学研究院、高校土木学院、
建筑节能监测公司、市政公司、
物业公司等。



TiX1000



TiX660



TiX640



TiX580



TiX560



TiX520



Ti480

红外技术的未来 尽在令人惊奇的福禄克热像仪！

获取您的定制红外解决方案

400-810-3435

www.fluke.com.cn/ti

详细技术参数参见福禄克官网或产品样本



福祿克红外解决方案中心

www.fluke.com.cn/TiCenter

样本编号: G0023
2017年6月印制