

FLUKE®

由 Fluke Corporation 和
Snell Group 公司联合编著

热成像原理介绍



福禄克中国客户服务中心：400-810-3435

产品及应用详情请登陆：<http://assets.fluke.com.cn/fluke/tindex.html>

或电邮：TICN@fluke.com





睿鉴 鉴所未见



易见 显而易见



T
SOLUTION

睿鉴

精准，专业，彰显权威

——帮助您更有效判断问题之所在



Ti32



Ti29/Ti27



Ti50FT/Ti55FT

福禄克红外热像仪现拥有“睿鉴”和“易见”双系列产品，从精密到简便，从主管到基层，都能找到适合的产品。

易见

易用，耐用，优化功能

——专为现场工作配备而无后顾之忧



Ti125



Ti110



TiR125



TiR110



Ti100

联系方式

福禄克中国客户服务中心热线: 400-810-3435

网址: www.fluke.com.cn/Ti

福禄克测试仪器(上海)有限公司红外热像事业部:

北京分公司

地址: 北京建国门外大街22号, 赛特大厦19层

邮编: 100004

电话: (010)57351300 传真: (010)65123437

上海分公司

地址: 上海市长宁区临虹路280弄6号楼3楼

邮编: 200335

电话: (021)61286200 传真: (021)61286222 61286221

广州分公司

地址: 广州体育西路109号, 高盛大厦15楼B1座

邮编: 510620

电话: (020)38795800, 38795811 传真: (020)38791137

西安分公司

地址: 西安市二环南路西段88号老三届世纪星大厦20层K座

邮编: 710065

电话: (029)88376090 传真: (029)88376199

深圳分公司

地址: 深圳市福田区南园路68号上步大厦21楼A,K,L室

邮编: 518031

电话: (0755)83680030, 83663530

传真: (0755)83680040, 83663532

欢迎申请 Fluke 各地研讨会及“免费现场检测活动”及“免费网上培训”, 详情登陆 www.fluke.com.cn
红外成像及测温版面或电邮 TICN@fluke.com 或致电福禄克中国客户服务中心: 4008103435

《热成像原理介绍》论述了工业和商业中通常采用的操作程序。

具体的操作程序因每项任务而异, 并且必须由合格人员执行。

为了最大限度地确保安全, 请始终参考特定的制造商建议、保险规程、特定工作地点和工厂程序以及适用的联邦、州或当地法规, 并咨询相关的监管机构。

随附的材料旨在用作用户的学习资源。

对于因信赖此类信息而造成的任何索赔、损失或损坏, 包括资产损坏或人身伤害, American Technical Publishers, Inc., Fluke Corporation 和 Snell Group 概不负责。

© 2009 American Technical Publishers, Inc., Fluke Corporation 和 Snell Group 版权所有。
保留所有权利





目录

1	红外热成像和热图像介绍	1
	红外热成像 • 红外线技术的发展历史 • 热像仪操作	
2	热成像和投资回报	9
	故障处理	
3	培训和安全	13
	热像仪使用人员的资格和认证 • 工作场所中的安全 • 标准和书面检查程序	
4	实际应用理论	19
	基础热力学 • 热传递的方法 • 温度测量准确度	
5	各种应用的彩色热图像	29
6	热成像应用	45
	电气应用 • 电机和机械应用 • 流程应用 • 建筑物诊断	
7	检查方法	57
	对比热成像 • 基准热成像 • 热趋势	
8	分析、报告和文档	61
	检查分析 • 报告和文档	
9	热成像资源	63
	资源	
10	其它相关技术	65
	视觉和听觉检查 • 电气分析 • 空气传播的超声波检测 振动分析 • 润滑油分析 • 磨粒分析	
	索引	67



热成像原理介绍

介绍

《热成像原理介绍》由 Fluke Corporation 和 Snell Group 公司共同协作完成，旨在向读者介绍热像仪操作原理和程序。

在工业、流程和商业应用中，热像仪已成为电工和技术人员必不可少的故障处理和预防性维护发现与诊断工具。

此外，在建筑物诊断和检查行业中，它们还是服务提供商开展业务的重要工具。

《热成像原理介绍》包含使用热像仪的基本理论、操作和应用。

如需了解测试仪器、故障处理、维护和建筑物应用原理的更多信息，请访问 Fluke Corporation 网站 www.fluke.com/thermography、Snell Group 网站 www.thesnellgroup.com 以及 American Technical Publishers, Inc. 网站 www.go2atp.com。



红外热成像和热像仪介绍

热像仪的操作以红外热成像原理为基础。热像仪通常作为一种开源节流的测试工具，可用于诊断、维护和检查电气系统、机械系统和建筑围护结构。

红外热成像

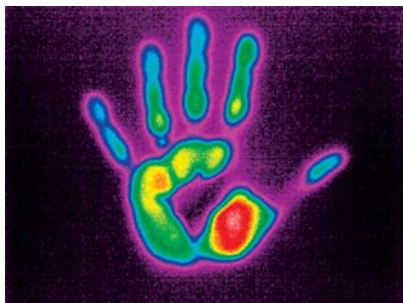
红外热成像是一门使用光电设备来检测和测量辐射并在辐射与表面温度之间建立相互联系的科学。辐射是指辐射能（电磁波）在没有直接传导媒体的情况下移动时发生的热量移动。现代红外热成像的操作原理是使用光电设备来检测和测量辐射，并在辐射与表面温度之间建立相互联系。

人类一直都能够检测到红外辐射。人体皮肤内的神经末梢能够对低达 $\pm 0.009^{\circ}\text{C}$ (0.005°F) 的温差作出反应。虽然人体神经末梢极其敏感，但其构造不适用于无损热分析。

例如，尽管人类可以凭借动物的热感知能力在黑暗中发现温血猎物，但仍可能需要使用更佳的热检测工具。由于人类在检测热能方面存在物理结构的限制，因此开发了对热能非常敏感的机械和电子设备。这些设备是在众多应用中检查热能的标准工具。

红外线技术的发展历史

“红外线”一词源于“past red”，是超出红色之外的意思，表示该波长在电磁辐射频谱中所处的位置。“thermography”一词是采用同根词生成的，意思是“温度图像”。热成像的起源归功于德国天文学家 Sir William Herschel，他在 1800 年使用太阳光做了一些实验。Herschel 让太阳光穿过一个棱镜并在各种颜色处放置温度计，利用灵敏的水银温度计测量每种颜色的温度，结果发现了红外辐射。



借助热像仪，可以轻松检测到由人手传递给画墙表面的余热的热图像。

Herschel 发现,当越过红色光线进入他称为“暗红热”区域时,温度便会升高。“暗红热”即是现在人们所说的红外热能,处于被称为电磁辐射的电磁波频谱区域。

二十年后,德国物理学家 Thomas Seebeck 发现了温差电效应。在该发现的基础上,意大利物理学家 Leopoldo Nobili 于 1829 年发明了热量倍增器(即早期版本的热电偶)。这种简单的接触式设备的工作原理是两个异种金属之间的电压差会随着温度的变化而变化。过了不久, Nobili 的合作伙伴 Macedonio Melloni 把热量倍增器改进为热电堆(以串联方式安装热量倍增器)并将热辐射集于热电堆上,这样,他可以检测到 9.1 米(33 英尺)远处的人类体热。

1880 年,美国天文学家 Samuel Langley 使用辐射热检测仪探测到 304 米(1000 英尺)以外的牛的体热。辐射热检测仪测量的不是电压差异,而是与温度变化有关的电阻变化。Sir William Herschel 的儿子 Sir John Herschel 于 1840 年使用名为“蒸发成像仪”的设备制作出第一幅红外图像。热图像是薄油膜的蒸发量差异形成的,可以借助油膜上反射出的光线进行查看。

热像仪是一种无需与设备直接接触便可检测出红外波长频谱中的热图案的设备。参见图 1-1。早期型号的热像仪称为“光导探测器”。从 1916 年至 1918 年,美国发明家 Theodore Case 利用光导探测器做实验,通过与光子(而不是热能)直接交互作用产生信号。最终发明了速度更快、更灵敏的光导探测器。20 世纪四十年代和五十年代期间,为了满足日益增长的军事应用领域的需求,热成像技术不断演变,取得了长足的发展。德国科学家发现,通过冷却光导探测器可以提高整体性能。

直到 20 世纪六十年代,热成像技术才被用于非军事应用领域。虽然早期的热成像系统很笨重、数据采集速度缓慢而且分辨率不佳,但它们还是被用于工业应用领域,例如检查大型输配电系统。20 世纪七十年代,军事应用领域的持续发展造就了第一个便携式系统。该系统可用于建筑诊断和材料无损测试等应用领域。

技术提示

最初型号的热像仪通过黑白阴极射线管(CRT)来显示热图。它们可以通过照片或磁带永久保存记录。

热像仪

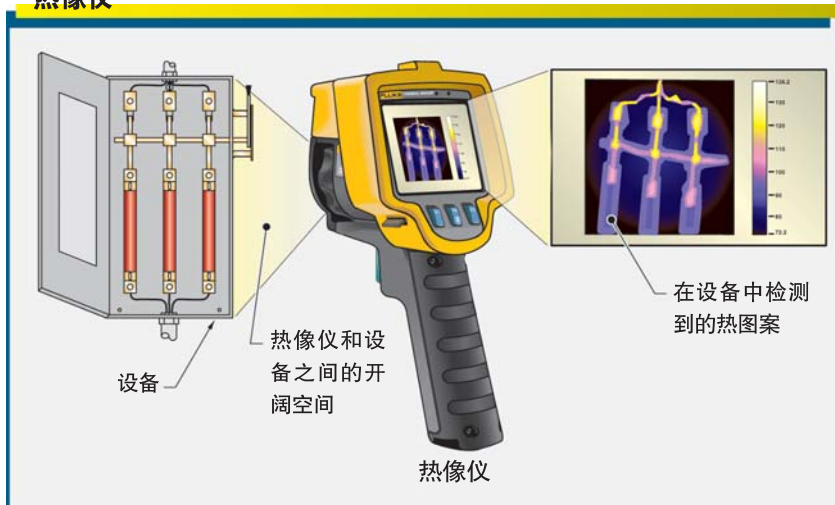


图 1-1. 热像仪是一种无需与设备直接接触便可检测红外波长频谱中的热图案的设备。

20 世纪七十年代的热成像系统结实耐用而且非常可靠，但与现代热像仪相比，它们的图像质量不佳。到 20 世纪八十年代初期，热成像技术已广泛应用于医疗、主流行业以及建筑检查领域。经过校准后，热成像系统可以制作完全的辐射图像，这样便可测量该图像中任意位置的辐射温度。辐射图像是指包含图像内各点处的温度测量计算值的热图像。

安全可靠的热像仪冷却器经过改进，取代了沿用已久的用于冷却热像仪的压缩气或液化气。此外，人们还开发并大量生产了成本较低、基于管道的热电光导摄像管 (PEV) 热成像系统。

虽然不能进行辐射测量，但 PEV 热成像系统轻巧灵便、携带方便，而且无需冷却便可操作。

20 世纪八十年代后期，一种称为焦平面阵列 (FPA) 的新设备从军事应用领域转移至商业市场。焦平面阵列 (FPA) 是一种图像传感设备，由位于镜头焦平面处的红外传感探测器的阵列 (通常为矩形) 组成。参见图 1-2。

这大大改进了原始的扫描式探测器，从而提高了图像质量和空间分辨率。现代热像仪上的典型阵列的像素范围为： 16×16 至 640×480 。从这个角度来说，像素是可以检测红外能量的 FPA 的最小独立元素。对于特殊应用场合，阵列的

像素可以达到 1000×1000 以上。第一个数字代表每个垂直列中的像素数，第二个数字代表屏幕上显示的行数。例如， 160×120 阵列的总像素为 19,200 ($160 \text{ 像素} \times 120 \text{ 像素} = 19,200 \text{ 总像素}$)。



图 1-2. 焦平面阵列 (FPA) 是一种图像传感设备, 由位于镜头焦平面处的光传感像素阵列 (通常为矩形) 组成。

自 2000 年以来, 使用多个探测器的 FPA 技术的发展不断加快。长波热像仪用于检测 $8\mu\text{m}$ 至 $15\mu\text{m}$ 波长范围内的红外能量。微米 (μm) 是一个长度测量单位, 等于 1 毫米 (0.001 米) 的千分之一。中波热像仪用于检测 $2.5\mu\text{m}$ 至 $6\mu\text{m}$ 波长范围内的红外能量。长波和中波热成像系统均提供全面的辐射型号, 图像融合度和热灵敏度通常为 0.03SDgrC (0.054SDgrF) 或更低。

这些系统的成本在过去十年间降低了十倍以上, 但质量得到了大幅度提升。此外, 用于图像处理的计算机软件的应用也有了显著的发展。现在, 几乎所有商业类型的红外系统均使用软件来协助分析和撰写报告。报告可快速生成并在互联网上以电子形式发送, 或以一种常见格式 (例如 PDF) 保存, 而且还可以刻录在多种数字存储设备上。

热像仪操作

了解热成像系统的基本操作知识非常有用, 因为热像仪必须在设备的限制范围内工作, 这一点至关重要。这可以更准确地检测和分析潜在的问题。热像仪旨在检测目标所放出的红外辐射。参见图 1-3。目标是指使用热像仪进行检查的物体。

红外辐射通过热像仪的光学镜片聚焦于探测器, 从而引起反应, 通常是电压或电阻的变化, 该变化由热成像系统中的电子元件读取。热像仪产生的信号将转换成电子图像 (温度记录图) 并显示在屏幕上。温度记录图是经过电子处理后显示在屏幕上的目标图像, 在该图像中, 不同的色调与目标表面上的红外辐射分布相对应。在这个简单的过程中, 热像仪可以查看与目标表面上发出的辐射能量相对应的温度记录图。

目标

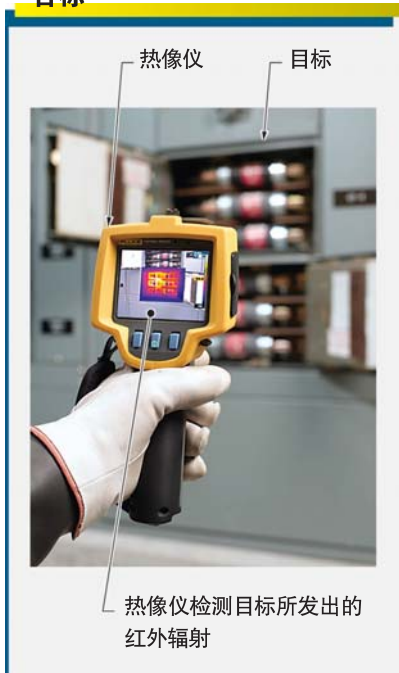
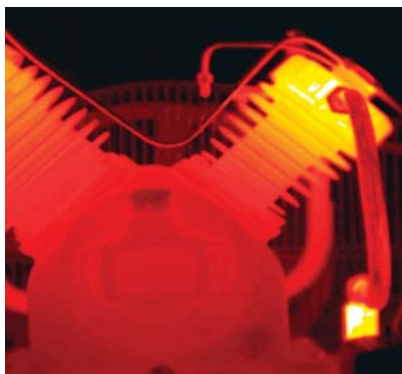


图 1-3. 目标是指使用热像仪进行检查的物体。热像仪旨在检测目标所发出的红外辐射。

热像仪组件

典型的热像仪由多个常用组件组成，包括镜头、镜头盖、显示屏、探测器和处理电子元件、控件、数据存储设备、配有手带的把柄以及数据处理和报告制作软件。这些组件因热成像系统的类型和型号而异。参见图 1-4。



温度记录图是经过电子处理后显示在屏幕上的目标图像，在该图像中，不同的色调与目标表面上的红外辐射分布相对应。

镜头。热像仪至少配有一个镜头。热像仪镜头可以捕获红外辐射并使之聚焦于红外探测器上。探测器将作出反应并生成电子（热）图像或温度记录图。热像仪镜头用于采集传入的红外辐射并使之聚焦于探测器上。大多数长波热像仪的镜头包含锗（Ge）薄层增透膜，可以改善镜头的透光能力。

技术提示

由于节能需求不断增长，市政当局和政府机构使用由军事航空温度分布图改编而成的红外航空扫描图。这些扫描图旨在为社区、居民和企业提供其所在建筑物的热量损耗信息。

热像仪



图 1-4. 典型的热像仪由多个常用组件组成, 包括镜头、镜头盖、显示屏、控件和配有手带的把柄。



热像仪通常都带有一个便携包, 用于放置摄像机、软件以及现场使用的其它相关设备。

显示屏.热图像显示在热像仪的液晶显示屏 (LCD) 上。LCD 显示屏必须足够大, 而且足够清晰, 以便在各种场合的不同光线条件下轻松查看图像。此外, 显示屏通常还会提供其它信息, 例如电池电量、日期、时间、目标温度 (以 $^{\circ}\text{F}$ 、 $^{\circ}\text{C}$ 或 $^{\circ}\text{K}$ 为单位)、可见光图像以及与温度有关的色谱键。参见图 1-5。

探测器和处理电子元件.探测器和处理电子元件用于将目标处理成为有用

的信息。目标发出的热辐射将聚焦于探测器（通常是电子半导体材料）上。热辐射可使探测器作出可测量的反应。该反应在热像仪中经过电子处理，形成热图像，并显示在热像仪的显示屏上。

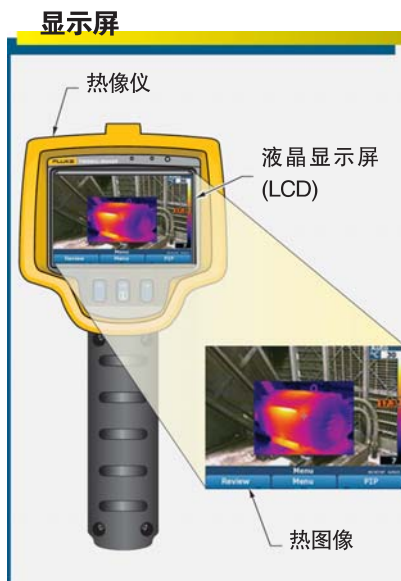


图 1-5. 热图像显示在热像仪上的液晶显示屏 (LCD) 上。

控件。控件用于执行各种电子调整，以优化显示屏上的热图像。可以对温度范围、热跨度和级别、调色板和图像融合度等变量执行电子调整。此外，还可以对辐射率和反射背景温度执行调整。参见图 1-6。



图 1-6. 借助控件，可以对变量（例如温度范围、热跨度和级别和其它设置）执行电子调整。

数据存储设备。包含热图像和相关数据的电子数字文件存储在各类电子记忆卡或存储器以及传输设备中。许多红外成像系统还允许存储补充语音或文字

数据以及通过集成的可见光摄像机采集的相应可见光图像。

数据处理和报告制作软件。与大多数现代热成像系统配合使用的软件不仅功能强大,而且容易使用。数字热图像和可见光图像可以导入个人计算机

中,然后在此处通过各种调色板显示,而且还可以进一步调整所有辐射参数和分析功能。之后,经过处理的图像将被插入报告模板中,或者发送至打印机、以电子形式存储或者通过互联网发送给客户。



热成像和投资回报

通过使用热像仪,热成像技术可用于执行商业和工业环境中的很多重要工作,包括诊断和维护设备以及检查建筑围护结构。热像仪通常被视为昂贵的设备。但是,使用热像仪执行预防性和预测性维护任务后,大大减少了维护费用和设备运转的意外停机时间。

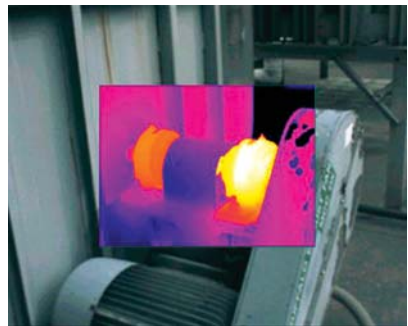
故障处理

在排除商业和工业运营中的问题时,红外热成像技术发挥着重要的作用。设备运行状况问题通常是由一些异常情况或迹象引起的。从表面上看,问题可能是明显的震动、声音或温度读数。从深层次来看,可能很难或无法发现问题的根源。

热图案是由物体所发出的红外能量或热量构成的伪彩色图像。将正常设备的热图案与运行状况异常的设备的热图案进行比较,可以提供绝佳的故障处理方法。参见图 2-1。红外热成像的主要好处是可以快速执行测试,而且不会对设备造成损坏。此外,由于热像仪不需要接触,因此可在设备或组件操作期间使用。

即使热像仪使用人员无法完全解释异常的热图像,但仍可使用它来确定是否需要进一步测试。例如,可以轻松、快

速地执行电机检查,了解轴承和任意联轴器是否出现异常。如果电机轴承的温度大大高于电机壳体的温度,这意味着可能出现了润滑油或对准问题。此外,如果联轴器一侧的温度高于另一侧,则表示存在对准故障。参见图 2-2。



轴承盖发热是出现潜在问题的征兆,可能是对准、润滑问题,或者是轴承所连接的电机或设备出现问题。

使用热像仪成功排除问题的关键在于透彻地理解各种检测的基本要求,以便在任何特定设备出现潜在问题或异常

热图案

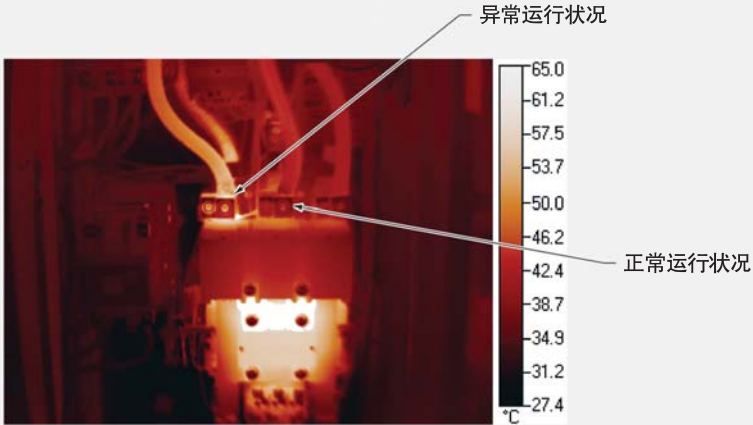


图 2-1. 操作设备的热图案可以快速指示正常和异常运行状况。

排除电机轴承故障

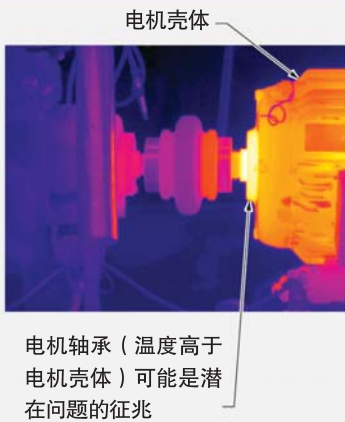


图 2-2. 如果电机轴承的温度大大高于电机壳体的温度,这意味着可能出现了润滑油或对准问题。

状况时进行检测。例如,在电气断路器未通电时使用热像仪进行检查没有任何价值,因为潜在问题(热点)在电气断路器未通电时不会出现。同样地,要成功排除蒸汽疏水阀的故障,必须对其整个操作周期进行观察。

准确地掌握与排除特定设备故障有关的条件并不是一件简单的事情。要成功排除故障,除了要有热像仪使用经验外,还需要充分了解各个变量,例如热传递、辐射测量、相机使用以及设备功能和故障。辐射测量是指对辐射电磁能量(尤其是光谱红外部分中的辐射电磁能量)的检测和测量。

预防性维护

预防性维护 (PM) 是一些旨在保持设备处于最佳运行状态的例行工作。PM 可在保持设备最佳生产效率和安全状况的同时减少设备故障。这样可以延长设备的使用寿命, 缩短停机时间, 从而提高工厂的整体效率。每台设备上的 PM 任务及其频率取决于制造商的规格说明书、设备手册、行业规定和工人经验。

通过评估和监控设备的状态来全面了解设备运行状况的策略对于 PM 计划来说非常重要。通过使用热成像设备, 可以更轻松地执行那些包括设备状态评估和监控工作的 PM 计划。通过查看设备的热图像, 可以更高效地做出维修 / 更换决策, 因此整体成本会降低, 而且设备可靠性也会提高。

当生产要求某台设备保持最佳运行状态时, 如果该设备可随时投入使用, 执行预期工作, 则可确保生产管理的顺利进行。维护是依据特定方法执行的一组高级活动。近年来, 人们发现许多旧的预防性维护方法引起的问题比其解决的问题还要多。而且, 这些方法并不能总是提供特别有吸引力的投资回报。

预测性维护

预测性维护 (PdM) 是指根据预定义的容限值来监控设备的磨损状况和设

备特征, 从而预测设备出现故障的可能性。需要收集和分析设备操作数据来显示性能和组件特征的趋势。然后根据需要执行维修。

PdM 通常需要在监控设备和人员培训方面进行大量投资。它一般适用于昂贵的或重要的操作设备。定期分析通过监控设备收集的数据, 确定相关的数据值是否在可接受的容限范围之内。参见图 2-3。如果值超出了可接受的容限范围, 则执行维护过程。在执行维护过程之后, 密切监控设备。如果问题再次出现, 则分析设备的应用和设计, 然后根据需要作出更改。

借助成功的 PdM 计划, 一般可减少预防性维护。某些维护任务 (例如润滑或清洁) 并不是定期执行, 而是在确实需要时执行。热成像可用于确定设备的运行状况, 并在出现可疑状况时, 还可用于监控设备, 直到可对设备执行适当的维护。验收检查是在设备初始安装或更换组件时对设备执行的检查, 旨在确定设备的基准运行状况。基准运行状况用于验证是否符合制造商的性能规格说明书, 或者在将来执行性能比较。新设备或改造设备的验收检查对实现经济实惠的 PdM 计划来说至关重要。某些维护任务 (例如润滑或清洁) 并不是定期执行, 而是在确实需要时执行。热成像可用

于确定设备的运行状况，并在出现可疑状况时，还可用于监控设备，直到可对设备执行适当的维护。验收检查是在设备初始安装或更换组件时对设备执行的检查，旨在确定设备的基准运行状况。基准运行状况用于验证是否符合制造商的性能规格说明书，或者在将来执行性能比较。新设备或改造设备的验收检查对实现经济实惠的 PdM 计划来说至关重要。

无论是安装新的电机控制中心、屋顶、蒸汽管道还是安装建筑物保温结构，均可在验收时使用热成像技术来记

录实际的设备运行状况。热图像可用于确定是否正常完成了安装。如果发现安装存在缺陷，则可立即纠正，或在条件允许的情况下，可以对缺陷进行监控，直到执行适当的维修。

不管公司内部使用的维护计划如何，使用热成像技术和热像仪都能带来好处。当用于检修和维护时，好处是可以减少设备停机时间和增加工作时间。其它主要好处包括可靠性维护所带来的高投资回报，通过缩短停机时间来节省成本，以及减少维护技术人员整体失败机率。

预测性维护

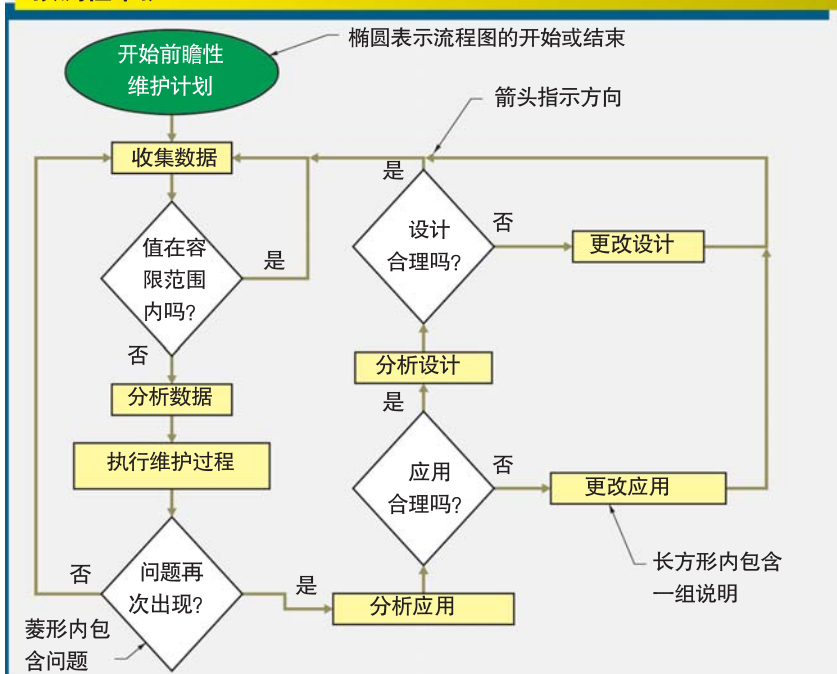


图 2-3. 预测性维护一般适用于昂贵的或重要的操作设备。



培训和安全

热像仪可用于执行商业和工业环境中的各种任务。其中多数任务通常都发生在危险的区域，例如带电的电气设备和高空作业。为了安全高效地执行所需任务，必须对相关人员进行培训，使他们掌握热像仪的使用和安全规则知识。各种书面标准和程序均可用于对相关人员的适当培训。

热像仪使用人员的资格和认证

相对而言，学习使用现代热像仪较为简单。通常，通过基本培训和实习即可掌握。但是，正确解读热图像一般比较困难。这不仅需要有热成像应用的背景知识，还需要进行其它更广泛的培训并拥有热像仪的实习经验。

为了充分利用热成像技术以获得最高的投资回报，关键是对热像仪使用人员进行资格鉴定和认证。不管热成像技术的具体用途如何，热像仪使用人员的资格鉴定都以培训、经验和其中一种认证类别（共三种）测试为基础。参见图 3-1。

如果热像仪使用人员认证代表一种投资，则这通常是一项具有较大回报的投资。经过认证的人员不仅可以执行更高质量的检查，而且他们的检查也会更加稳定一致。未经认证的热像仪使用人员可能会引起代价高昂且危险的错误。

这些错误通常会导致严重的后果，例如针对所发现问题的严重程度提出不正确的建议或完全忽略了问题。适当的资格鉴定非常重要，同时，书面检查程序对于获取高质量的结果也同样很重要。

在美国，雇佣者根据美国无损检测学会的标准颁发认证。American Society for Nondestructive Testing（美国无

热像仪使用人员认证等级	
等级 1	有资格收集高质量的数据并依据“成功/失败”标准对数据进行分类。
等级 2	有资格设置和校准设备、解读数据、制定报告并管理 1 级认证人员。
等级 3	有资格制定检查程序、解读相关代码并管理计划（包括监督或提供培训和测试）。

图 3-1. 热像仪使用人员的认证有三个等级。

损检测学会, ASNT) 是一个致力于创建更安全环境的组织, 它通过出版、认证、研究和召开会议来推广无损检测专业技能和提高无损检测技术。在世界上的其它地方, 认证由各个国家中符合国际标准化组织标准的主要认证机构来提供。International Organization for Standardization (国际标准化组织, ISO) 是一个非政府的国际组织, 由 90 多个国家中的国家标准机构组成。

在这两种模式下, 资格鉴定均以适当的培训为基础, 这一点已在相关标准的文档中列出。此外, 还要求有符合要求的工作经验并进行书面考试和实际操作考试。

技术提示

在执行热像检查之前, 热像仪使用人员应沿着预定的检查路线走一遍, 以确保效率并找出可能存在的安全隐患。

工作场所中的安全

认证程序的一部分是让使用人员意识到热成像技术的内在危险, 以及确保工作场所安全所需的技术和技能。常识是安全操作的主要组成部分, 但特定的应用通常需要采取特殊的预防措施。例如, 检查电气系统的热像仪使用人员遭遇潜在电弧爆炸的可能性更大。

在多数情况下, 他们都是在打开设备机箱后立即检查带电设备, 这样可能会触发相间电弧或相地电弧。电弧闪光是电气故障在空气中产生的温度极高的放电。电弧闪光温度可以高达 $35,000^{\circ}\text{F}$ ($19,427^{\circ}\text{C}$)。

电弧爆炸是指当电气设备周围的空气发生电离并可导电时发生的爆炸。对于 480 V 及更高电压的电气系统来说, 电弧爆炸的威胁最大。

电弧闪光防护范围是指需要穿戴个人防护用具(PPE) 的距离, 以防工作人员在发生电弧闪光时被灼伤。参见图 3-2。当正在维修的电路必须始终处于断电状态时, 处于电弧闪光防护范围内的附近电路仍有可能带电。因此, 必须使用屏障 (比如绝缘垫) 以及合适的个人防护用具以防受到电弧闪光的危害。但是, 电弧爆炸的后果通常是致命的, 而且影响范围广泛。因此, 必须始终确保安全。

不打开机箱的盖板或门固然可以降低电弧爆炸的危险, 但同时也消除了热成像的大部分优势, 因为我们无法穿过机箱的盖板进行观察。参见图 3-3。但是, 现在很多机箱上都安装了特殊的红外透视窗或视口。这些功能可以减少电弧危险并带来满意的结果。

电弧闪光防护范围				
标称系统 (相间电压范围*)	限制接近范围		受限接近范围 (允许偶然移动)	禁止接近范围
	裸露可移动导线	裸露固定电路部件		
0 至 50	不适用	不适用	不适用	不适用
51 至 300	10' -0"	3' -6"	避免接触	避免接触
301 至 750	10' -0"	3' -6"	1' -0"	0' -1"
751 至 15,000	10' -0"	5' -0"	2' -2"	0' -7"

*单位为 V

图 3-2. 电弧闪光防护范围是指需要穿戴个人防护用具 (PPE) 的建议距离, 以防止工作人员在发生电弧闪光时被灼伤。

电气机箱



图 3-3. 如果电气机箱必须打开, 则应认真制定、实施和遵循相关操作程序, 从而尽可能降低电弧闪光的危险。

如果机箱必须打开, 则应认真制定、实施和遵循相关操作程序, 从而尽可能降低电弧闪光的危险。美国消防署 (NFPA) 70E 是在制定此类操作程序时可以使用的多个标准之一。

由团队执行的例行电气检查会更加安全, 更加高效。团队可以由两个人组成, 例如一位是热像仪使用人员, 另一位是负责打开机箱、测量负载并在完成工作后安全合上机箱的合格人员。合格人员是指具备与电气设备构造和操作相关的知识和技能并接受过相应安全培训的人员。

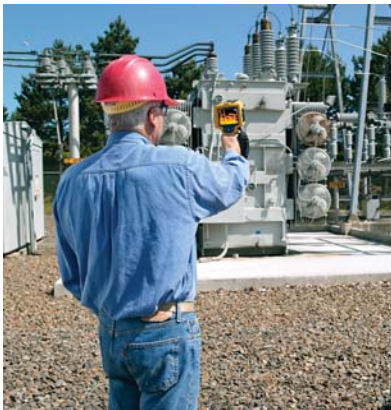
建筑检查工作的危险性通常较小。但是, 危险确实存在, 例如在进入供电线或水管布置通道和阁楼时。此外, 在正在施工的建筑中工作时必须多加留心。

在任何工业环境中工作的热像仪使用人员必须了解其它可能存在的危险, 包括绊倒和摔倒的可能性以及进入密闭空间的危险。此外, 在许多环境中, 可能还需要穿上会发光的衣服。在屋顶上工作时, 不但在屋顶边缘, 而且在高度有简单变化或有结构缺陷的屋顶平台上

时,都必须采取预防措施以坠落。切勿独自在屋顶上作业。

此外,在晚上工作时必须采取特殊的预防措施。热像仪使用人员在成像系统的明亮显示屏上查看热图像之后会出现暂时夜盲现象。夜盲是指热像仪使用人员的眼睛在查看明亮的显示屏幕后无法及时调整以查看黑色物体时所产生的的一种状态。

当工作没有计划或工作的性质发生变化而工作计划没有随之改变时,通常会发生意外。必须始终制定和遵循相关的安全工作计划。当条件发生改变时,必须重新审核计划以作出任何必要的更改。



对高功率电气设备执行热像检查时,必须与设备保持安全的距离。

Occupational Safety and Health Administration (美国职业安全与卫生管理局, OSHA) 是根据 1970 年颁布的“职业安全和卫生法”而设立的一个美国政府机构。该法案要求雇佣者为其员工提供安全的工作环境。例如, OSHA 要求工作区域必须消除可能引起严重伤害的危险。OSHA 法案由美国政府实施,而且安全工作计划可以按照 OSHA 准则加以制定。

标准和书面检查程序

书面检查程序对于获取高质量的结果来说至关重要。例如,相比有食谱的情况,在没有食谱的情况下尝试烘焙蛋糕会更加困难。书面检查程序可以称为“成功秘诀”。

投资时,制定这些“成功秘诀”不必太难。通常,有益的做法是召集一组拥有检查流程相关经验的人员,代表不同观点、技术领域和职责范围。在制定书面检查程序之后,必须由经过认证的人员进行彻底测试和定期审核,确保该程序继续提供最佳实践。

许多现有的检查标准可以提供简单书面检查程序的基础。例如,专家委员会与 ISO 和美国材料实验协会 (ASTM) 国际组织展开合作,制定了一系列相关

标准。American Society of Testing Materials (美国材料实验协会, ASTM) 国际组织是一个技术协会, 主要开发一些有助于改善公共卫生与安全的自愿性标准、相关技术信息以及服务。此外, ASTM 国际组织还致力于提高产品、材料和服务的可靠性。

这些标准有助于确定红外系统的性能。此外, 它们还论述了检查建筑物保温结构、漏气、电气和机械系统、屋顶以及公路桥面的最佳实践。个别国家的

其他标准组织还可能制定了其它一些可用的标准。例如, 许多国家颁布了电气安全管理标准。这些标准将直接适用于使用热像仪检查电气系统的工作情况。

由于当前市场上拥有大量的热像仪型号, 而且价格范围十分广泛, 红外技术变得越来越容易使用。然而, 那些投资开发可靠的热成像计划且拥有检查程序和合格人员的组织具有明显的优势。通常, 他们会获得其他组织无法获得的长期利益。参见图 3-4。

热像仪



适于一般维护、故障处理和基本检查



适于要求高级检测和分析功能的专业、复杂或高深应用场合

图 3-4. 针对不同类型的应用和检查提供了不同型号的热像仪。



实际应用理论

热力学理论和科学以研究两种不同材料之间的热传递变化为基础。热像仪依据基础热力学原理来获取读数。在获取各种结构、设备和材料读数时，技术人员必须能够了解热成像和热像仪的限制条件。

基础热力学

热力学是研究热能(热)如何移动、转换和影响所有物质的科学。要使用现代红外设备,必须了解热传递和辐射物理学的基础知识。作为一种功能强大的现代设备,还要考虑其它事宜。现代设备的价值由热像仪使用人员解读数据的能力体现出来,因此这要求使用人员对热传递和辐射物理学基础知识有着深入的了解。

能量是产生作用的能力。能量具有多种形式。例如,燃煤发电站会通过燃烧矿物燃料将化学能转变为热能。随后热能又在涡轮发电机中产生机械能或运动,最终转换为电能。在这些转换过程中,虽然能量变得越来越难利用,但不会丢失。

热力学的第一条定律是一则科学定律,依据该定律,当机械功转变为热,或当热转变为功时,功量和热量会始终

均等。对热像仪使用人员有利的方面是,几乎所有能量转换的副产品都是热或热能。能量不会凭空创造或湮灭,而仅仅是改变。

温度用于测量一个物体相对于其它物体的冷热程度。我们会无意识地将我们的体温或环境气温与水的沸点和冰点相对比。

热力学的第二条定律论述当两个物体之间存在温差时,热能会从温度较高的区域(较高能量)传递到温度较低的区域(较低能量),直到达到热平衡。热传递的结果是发生电子迁移或者原子或分子振动增强。这一点很重要,因为在测量温度时会对这些效应进行度量。

热传递的方法

热能可通过三种方法进行传递:传导、对流或辐射。每种方法可描述为稳态或瞬态。在稳态传递过程中,传递速

率不变,且始终朝同一方向。例如,处于稳定负载条件下的已完全预热的机器会以稳态速率向其周围传递热。事实上,完全稳态的此类热传递是不存在的。始终会存在很小的瞬态波动,但为了实用目的,这些波动通常可被忽略。

传导是指通过直接接触从一个物体到另一个物体的热能传递过程。对流是在空气、气体或液体的冷热区域之间产生分子移动和/或流动循环时,发生的一种热传递。辐射是指辐射能(电磁波)在无直接传递介质的情况下移动时发生的热量移动。机器升温或降温时,热传递以瞬态方式进行。了解这些关系对使用热像仪使用人员很重要,因为热运动通常与物体的温度息息相关。

热容概念

热容是材料吸收和存储热的能力。当热以不同速率和/或朝不同方向进行传递时,也就是说处于瞬态。

另外,当各种材料处于瞬态时,不同能量会在其温度改变的过程中进行交换。例如,与改变游泳池中等量水的温度所需的能量而言相比,改变室内气温所需的能量是非常少的。热容描述材料在改变温度时增加或减少多少能量。温度变化速度的快慢也取决于热移动的方式。

当热容(即我们所说的热与温度之间的关系)混乱不清时,也有益于热像仪使用人员。例如,因为空气和液体热容不同,所以可以找到储罐中液体的液位。当储罐处于瞬态时,两种材料的温度通常是不同的。

传导

传导是指通过直接接触从一个物体到另一个物体的热能传递过程。通过传导进行的热传递主要发生在固体与固体之间,以及某种程度的流体与流体之间,当较热的分子将其能量直接传递给邻近的较冷分子时,发生传导。例如,当接触一杯热咖啡或一罐冷冻饮料时,就会感受到热传导过程。

热传递的速率取决于材料传导性和两个物体之间的温差(ΔT 或增量温度)。傅立叶定律以更为正式的方式描述了这些简单的关系。例如,与徒手拿起热咖啡杯相比,戴着手套拿起它会交换很少的热。一杯温咖啡不会传递与一杯热咖啡一样多的能量,这是因为温差不大。同样,当能量以相同速率进行较大面积传递时,会传递更多的能量。

导体是指容易传递热的材料。金属是典型的易导热材料。但是,即使是金属的传导性也会因金属的类型而有所不

同。例如，铁的传导性不如铝。绝缘体是指不容易传递热的材料。不容易传递热的导体材料称为绝缘体。通常这些是泡沫绝缘材料或夹层衣物等简单材料，它们具有很小的阻断气穴，可以降低能量传递速度。参见图 4-1。

对流

对流是在流体的冷热区域之间出现流动循环时发生的一种热传递。对流可在液体和气体中产生，涉及不同温度下的分子进行的大量运动。例如，雷雨云即是因为大量热空气上升且冷空气下降而产生的大规模对流。当倒入一杯热咖啡中的冰激凌沉入杯底时，

会产生小规模的对流。对流传热在某种程度上也受面积和温差影响。例如，大引擎的发动机散热器会因其所占面积较大而比小引擎的发动机散热器传递更多热。

其它因素也会影响对流传热，其中包括流体速度、流体流动方向和物体表面条件。被灰尘堵塞的发动机散热器不会像干净的散热器一样有效传递热。与传导一样，我们大多数人都对这些关系有着切身的体会。牛顿冷却定律对这些关系进行了更正式的描述。热流体上升且冷流体下降时会发生自然对流，例如在充油式变压器的冷却管中。参见图 4-2。

绝缘材料

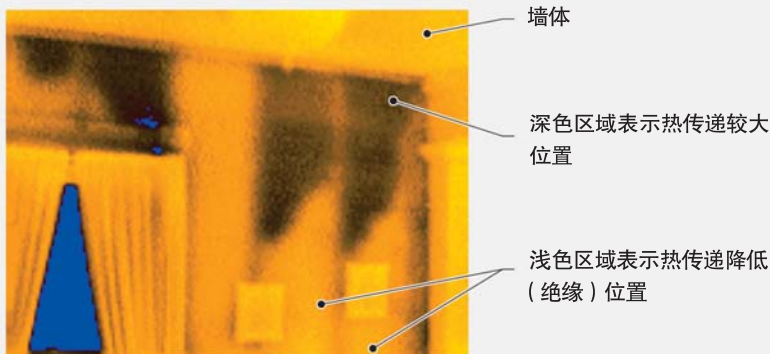
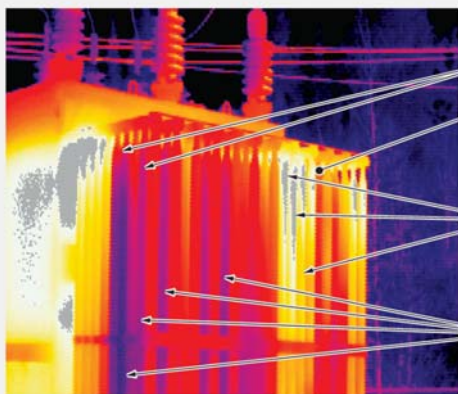


图 4-1. 墙体里安装绝缘材料可以控制热传递。绝缘材料安装欠佳不能充分控制热传递。

自然对流



冷却管

充油式变压器(当热油流入冷却管时,通过自然对流进行冷却)

正常循环模式显示热油(颜色较淡)在冷却管顶部,而冷油(颜色较深)在冷却管底部

深色冷却管表示油循环较少或没有油循环的位置

图 4-2.热油上升且冷油下降时会发生自然对流,例如在充油式变压器的冷却管中。

强制对流时,例如通过泵或风扇,因对强制对流作用过大,自然关系通常不再成立。当风吹动时,我们感觉较冷,这就证明与风不吹动时相比,我们在以更快的速率损失热。通过热成像系统观察发现,风也会显著影响物体的温度。

辐射

辐射是在物体之间通过电磁能量以光速进行的能量(包括热)传递。因为不需传递介质,辐射甚至可以在真空条件下进行。电磁能量的一个示例是在寒冷天气里感受到太阳的温暖。

电磁能量是以兼具电和磁两种属

性的波形式传递的辐射。电磁能量可以多种形式存在,包括光、无线电波和红外辐射。这些形式之间的主要差别在于其波长。

正常视力可检测到的波长即为可见光,热像仪可检测到的波长称为辐射热(或红外辐射)。每种波长是电磁波频谱的不同部分。

斯特番-波耳兹曼方程式描述了热以辐射方式移动的关系。所有物体均会辐射热。与传导和对流一样,辐射能量的净总量取决于面积和温差。物体越热,辐射的能量就越多。例如,烧炉越来越热时,它辐射的能量比其冷却时要多。

热辐射是通过电磁波进行的热传输。

各种波之间的主要差别在于其波长。尽管人眼可以看到电磁辐射(光),但辐射的热只能通过热成像系统看到。电磁波频谱是根据波长绘制出的、包括所有电磁波辐射类型的频谱。参见图 4-3。

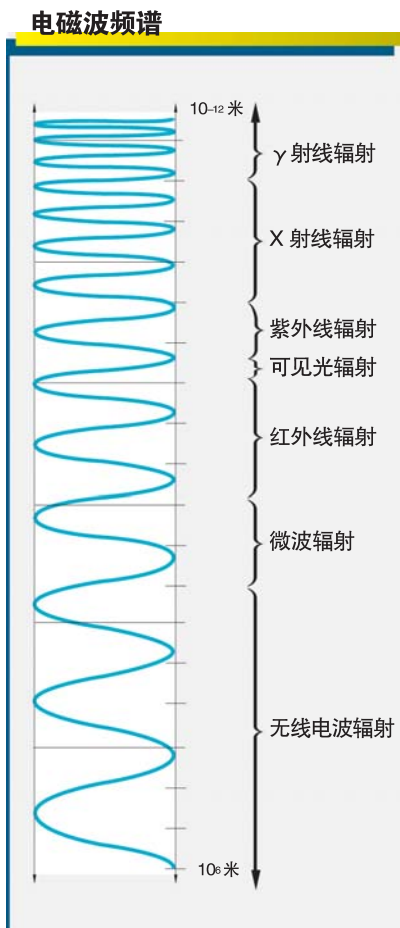


图 4-3. 电磁波频谱是根据波长绘制出的、包括所有电磁波辐射类型的频谱。

能量守恒概念

当光和红外辐射与各种材料相互作用时,它们的行为表现非常相似。红外辐射会被某些类型的表面反射回来,例如烧炉的金属衬壳。在一些表面(例如富有光泽的金属,也即我们所称的“热镜”)上,可以通过红外成像仪看到冷、热物体的反射情况。少数情况下,红外辐射通过表面进行传输,例如通过红外成像系统的镜头。红外辐射也会被表面吸收,例如手靠近热烧炉。在此情况下,温度会改变结果,使表面发射出更多能量。

传输是通过材料或结构的辐射能传递。红外辐射也会被表面吸收,使温度发生变化,并导致物体表面发射出更多能量。吸收是对辐射能的拦截。发射是辐射能的释放。虽然红外热成像系统可以读取反射的、传输的、吸收的和发射的辐射能,但仅吸收或发射的能量才会对表面温度造成影响。参见图 4-4。

技术提示

表面粗糙度决定辐射反射的类型和方向。平滑表面被认为是镜面反射体,而粗糙或带有图案的表面被认为是漫反射体。

反射、传输、吸收和发射

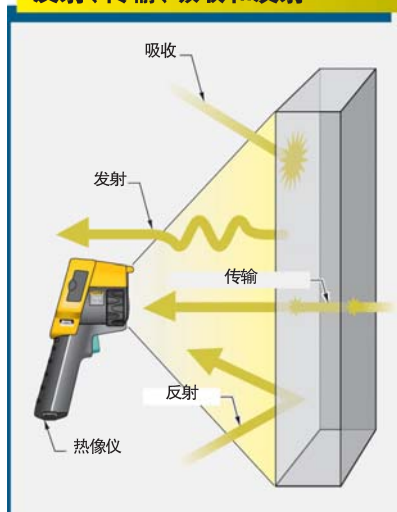


图 4-4. 辐射可以被反射、传输、吸收或发射。

此外，表面辐射的热量多少由表面发射能量的效率决定。绝大部分非金属材料，例如涂漆的表面或人体皮肤，可以高效发射能量。这就是说，当他们温度升高时，他们会辐射大量更多能量，例如烧炉。

其它材料，主要为未涂漆或未严重氧化的金属，能量辐射效率较低。当加热裸露金属表面时，辐射热传递的增加量相对较少，不管通过人眼或热成像系统都很难发现冷、热金属表面的差别。裸露金属通常具有较低的发射率（低发射效率）。发射率可以用 0.0 至 1.0 之间的值表示出来。与发射率为 0.98 的人

体皮肤相比，值为 0.10 的表面（例如有光泽的铜表面）会发射较少的能量。

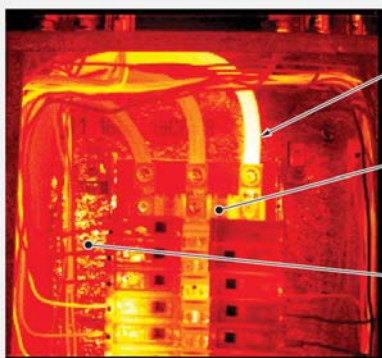
使用热像仪的其中一个难题就是这些仪器要显示出通常人眼无法看到的能量。有时，这可能会造成困惑。低发射率表面（例如金属）不仅发射能量的效果很差，而且它们还反射了周围环境的热。当使用热成像系统读取此类表面时，图像显示的是红外辐射的发射和反射混合情况。为了弄清所显示的内容，热像仪使用人员必须可以区分发射的能量和反射的能量。

其它几项因素也会影响材料的发射率。除材料类型之外，发射率还会因表面条件、温度和波长而有所不同。物体的有效发射率也会因视角而不同。参见图 4-5。

对于绝大多数非光泽的金属而言，弄清其发射率并不困难。许多材料的发射率特征已被发现，其发射率值可在发射率表中找到。发射率值仅应用作指导。由于材料的确切发射率可能与这些值不同，专业热像仪使用人员还需了解如何测量实际值。参见图 4-6。

凹穴、缝隙和孔的热能发射速率比周围表面更快。对于可见光也是如此。因为人眼瞳孔是凹穴，所以是黑色的，进入的光线可被其吸收。当所有光线被

发射率



绝缘导体拥有较高的发射率
(发射热)

面板背面拥有较低的发射率
(反射热)

发射率会受到材料类型、
表面条件、温度和波长的
影响

图 4-5.发射率会受到材料类型、表面条件、温度和波长的影响。

普通材料的发射率值

材料	发射率*
铝, 抛光	0.05
砖, 普通	0.85
砖, 耐火材料, 粗糙	0.94
铸铁, 毛坯	0.81
水泥	0.54
铜, 抛光	0.01
铜, 氧化成黑色	0.88
电气绝缘胶带, 黑色塑料	0.95
玻璃	0.92
酚醛塑胶漆	0.93
油漆, 基于平均油量	0.94
纸, 黑色, 消光	0.94
瓷器, 釉面	0.92
橡胶	0.93
钢, 镀锌	0.28
钢, 严重氧化	0.88
沥青纸	0.92
水	0.98

* 几乎大多数材料的发射率均在 0°C (32°F) 测得, 但与室温下测得的结果相差不大。

图 4-6.可以在发射率表中找到许多常用材料的发射率值。

我们称之为“黑色”的表面所吸收时, 如果凹穴的深度为其宽度的七倍, 则其发射率可将近 0.98。

表面温度

通常, 由于只能看到大多数物体的表面温度图案 (因为它们不透明), 因此热像仪使用人员必须能够解读和分析这些图案, 并将其与物体的内部温度和结构联系起来。例如, 房屋外墙将显示各种温度图案, 但是热像仪使用人员的任务是将图案与房屋的结构和热性能联系起来。要准确做到这一点, 使用人员必须对热流经墙体不同部分和材料的方式有着基本的认识。

在寒冷天气中,热从室内流经墙体结构到达外表面,然后表面再与其周围环境达到热平衡。正是在此情况下,热像仪使用人员通过热像仪查看墙体外表面,他们必须明白图像所示内容这些关系通常十分复杂,但是只需通过使用常识并留意基础科学就能很好的理解。

发射率

对于未涂漆或未严重氧化的金属,很难读取其热图像,因为它们发射少而反射多。无论我们是仅查看热图案,还是对辐射温度进行实际测量,我们都需要将这些因素考虑在内。在许多热像仪中,可对发射率和反射热背景进行校正。目前已经开发出许多材料的发射率校正表。

尽管发射率校正表可用于了解材料的行为表现方式,但实际对绝大多数低发射率的表面进行校正时,会发生许多始料不及的错误。低发射率表面应通过一些方式进行改变,例如在上面覆盖绝缘带或涂漆,以便增大发射率。这可使读数 and 测量工作更为精确和可行。

温度测量准确度

现代红外测试仪器的准确度非常高。在系统的测量分辨率范围内查看高

发射率的普通温度表面时,测试准确度一般可达 $\pm 2\text{SDgrC}$ (3.6SDgrF) 或测量值的 2% (但根据热像仪型号会有不同)。另外,由于红外线测试仪器不需要与被测试的物体相接触,所以随着测量精度日益提高,红外线技术具有极大的价值。

因为温度测量以检测到的红外辐射为依据,所以下列因素可能会降低温度测量的准确度:

- 发射率值低于 0.6
- 温度变化 $\pm 30^\circ\text{C}$ (54°F)
- 在超出系统分辨率的情况下进行测量 (目标太小或太远)
- 视场

视场 (FOV)

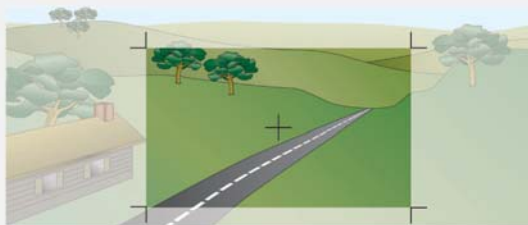
视场 (FOV) 这一技术指标定义了可在热图像中看到的尺寸。无论阵列的尺寸如何,镜头都对视场有着最大的影响。但是,与窄小型阵列相比,不论使用的镜头如何,大型阵列都可以提供更为详细的信息。

对于某些应用,例如在室外变电站或建筑物中工作,较大的视场会很有用。虽然小型阵列可以在建筑物中提供充足的信息,但在变电站工作中需要更详细的信息是很重要的。参见图 4-7。

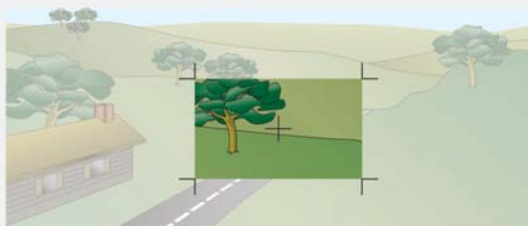
视场 (FOV)



宽视场 — 广角镜头



标准视场 — 标准镜头



窄视场 — 长焦镜头

图 4-7. 视场 (FOV) 这一技术指标定义在使用特定镜头时可在热图像上看到的区域。

瞬时视场 (IFOV)

瞬时视场 (IFOV) 是描述热像仪处理空间细节 (空间分辨率) 的能力的技术指标。IFOV 通常指定为以毫弧度 (mRad) 为单位的角度。当通过镜头从探测器投影时, IFOV 提供可在特定距离处看到的物体的尺寸。

IFOV 测量是热像仪的测量分辨率, 描述了在指定距离处可测量的最小物体

技术提示

所有热像仪目标均辐射可在红外光谱上测量到的能量。随着目标温度上升, 它会辐射更多的能量。温度极高的目标所辐射的能量足以让人眼看到。

尺寸。参见图 4-8。该尺寸被指定为角度（以 mRad 为单位），但与 IFOV 相比，通常要大三倍。这是因为成像仪需要更多有关目标辐射的信息以便对它进行测量，而不是仅仅检测到它。了解并采用各系统的特定空间和测量分辨率进行工作是极为重要的。如果不这么做，则可能导致数据不准确或重要信息被忽略。

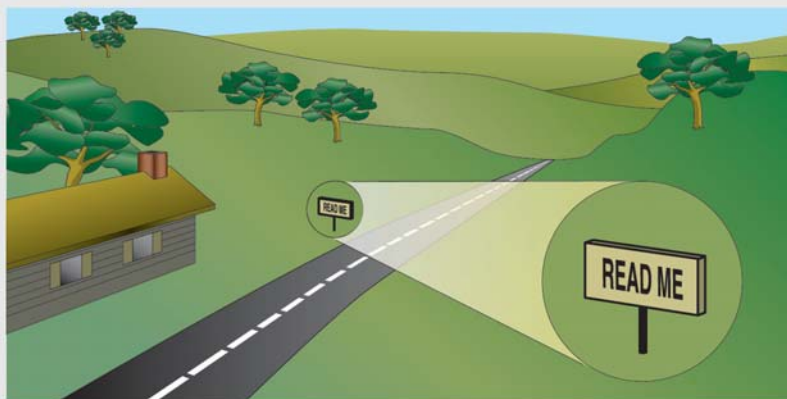
环境影响

当所查看表面和内部热源之间的热梯度很大时，即使进行准确测量，表面测量值也可能会有极大降低，例如充油

式电气设备出现内部连接故障。当内部连接发生变化时，热像仪使用人员将不能轻松地获知更多表面变化。令人感到惊讶的是，即使电气螺栓接头等物体在短距离内也通常具有很大的梯度。因此，当解读热图像以了解可能的内部条件时，应始终小心谨慎。

当表面温度的外部影响巨大或未知时，也会出现类似的测量值降低情况。例如，在强风天气查看建筑物低坡屋顶的受潮程度时，可能会发生这种情况。此情况下将看不到明显的受潮迹象。特征性热图案通常会消失。当潮湿表面出现蒸发或冰冻时，也会令人困惑。

空间和测量分辨率



IFOV 测量（测量分辨率）

瞬时视场（空间分辨率）

图 4-8. IFOV 测量是热像仪的测量分辨率，描述了在指定距离处可测量的最小物体尺寸。IFOV 类似于看到远处的标记，而 IFOV 测量则类似于读取该标记（因为它较近或较大）。



各种应用的彩色热图像

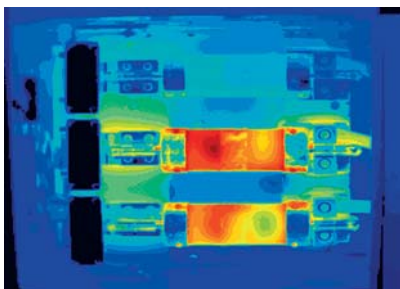


图 5-1. 热图像上的“热点”并不能始终指出主要问题。顶部的保险丝可能已熔断，而且中间的保险丝也可能有问题。

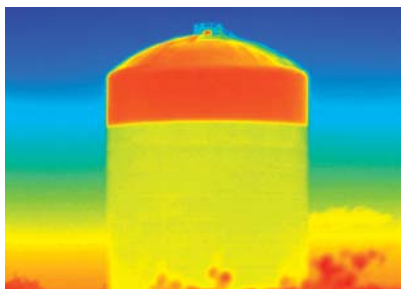


图 5-2. 在正常条件下，可以轻松检测储油罐中的液位。

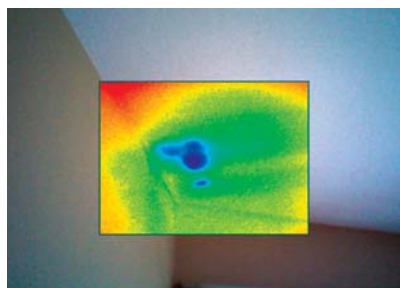


图 5-3. 热图像上的蓝色（或深色）点显示天花板上异常潮湿的区域。



图 5-4. 在该 HVAC 通风装置的画中画 (PIP) 热图像中，浅色束状热图案指示管道系统连接的漏气量超标。

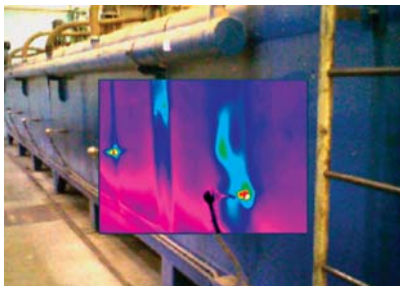


图 5-5. 退火炉上的异常热图案指示耐火材料绝缘可能损坏。

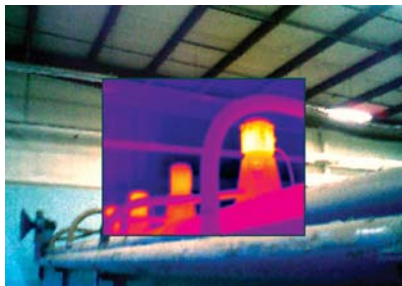


图 5-6. 该退火炉右侧的循环风扇电机可能存在潜在问题,因为其操作温度高于其它电机。

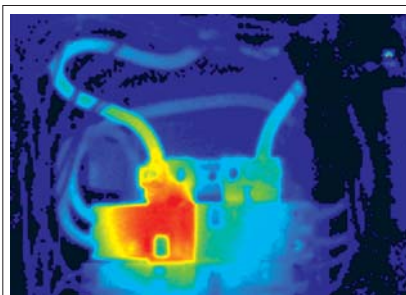


图 5-7. 在热图像中,工作人员可以轻松看到住宅断路器中的高电阻连接或组件故障,但在可见光图像中则无法做到这一点。

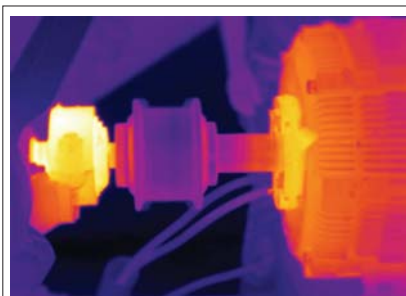


图 5-8. 电机和联轴器的热图像两侧指示联轴器对准问题,而可见光图像则无法指示问题的存在。

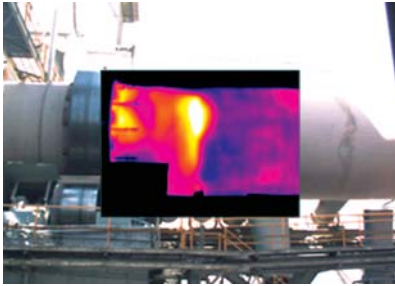


图 5-9. 热成像技术可用于监控耐火材料在一段时间内的性能以及检测水泥窑炉和其它化工设备中的问题区域。

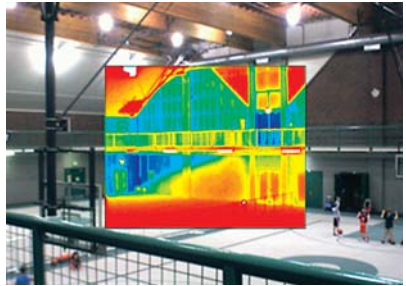


图 5-10. 热成像技术可用于查看隐藏的建筑构造和其它组件,例如该体育馆外部的缝隙。

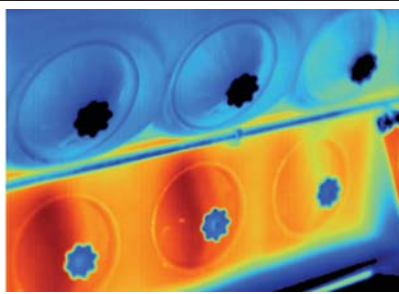


图 5-11. 柴油电站的油缸无法发动, 所显示的热图案与正常操作油缸的热图案不同, 色调较冷。

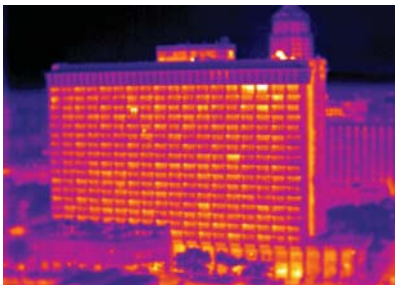


图 5-12. 热像仪可用于扫描大型建筑和设施, 确定指示潜在问题的热变化。

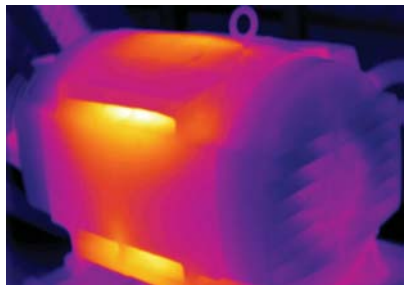


图 5-13. 空气处理系统上正常操作电机的热图像显示从通风口散发的热量。

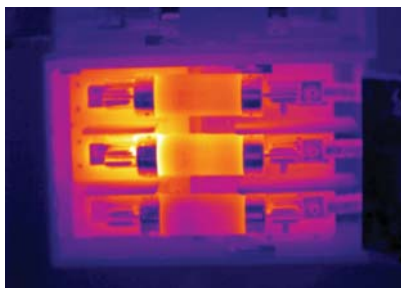


图 5-14. 熔断器座排的浅色区域指示可能存在高电阻问题或中间相位内部有问题。

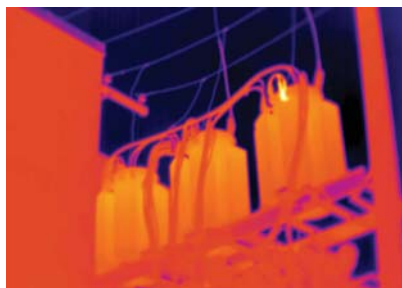


图 5-15. 高架变压器上的套管和接头发热是出现问题的明显征兆。



图 5-16. 如果负载进一步增加,则跳线上的高电阻连接(可能由于腐蚀)会造成严重的后果。

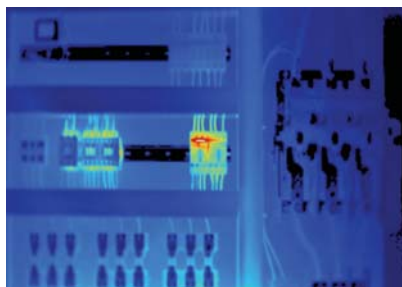


图 5-17. 通过使用热像仪,可以轻松检测到电机控制中心 (MCC) 内部组件的问题。

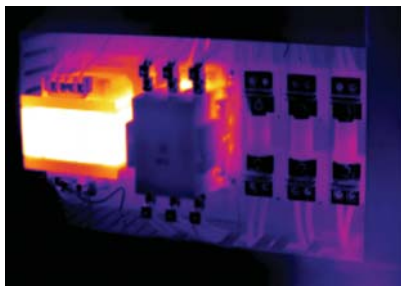


图 5-18. 除非调整了图像的级别和范围,否则最右侧保险丝上可能存在的负载失衡问题很容易被忽略。

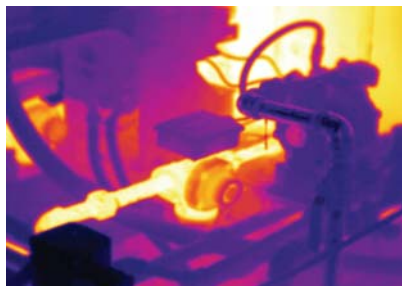


图 5-19. 凭借对机械设备的正确认识,技术人员可以经常执行许多检修和维护活动。

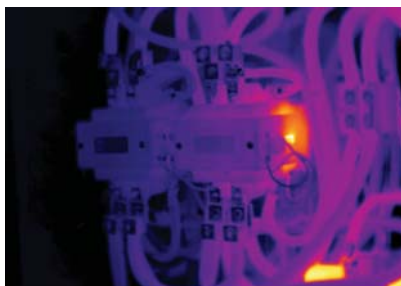


图 5-20. 当与相似负载条件下的同类组件对比时，可以发现潜在的内部问题。

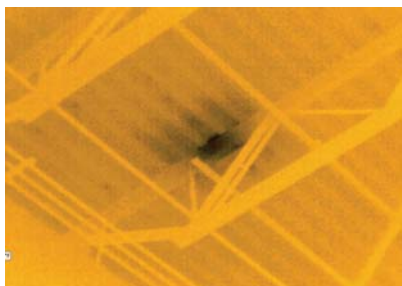


图 5-21. 热像仪可用于检测与低坡度屋顶上的漏水相关的防潮材料。如果条件合适而且金属屋顶平台已粉刷，则可以从内部检测到此类图案。

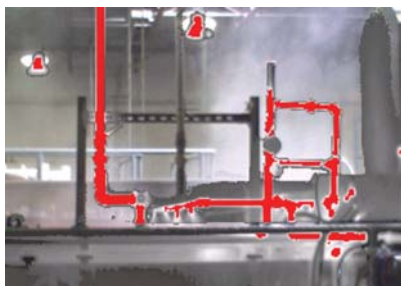


图 5-22. 在灰度色盘中使用饱和色和色彩警告有助于确定正常打开且操作的热水阀和蒸汽阀。

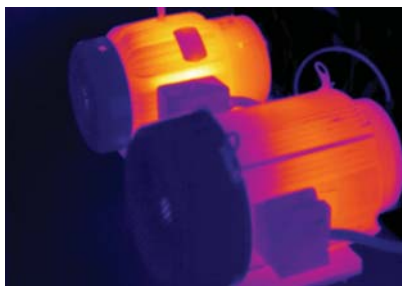


图 5-23. 虽然两种不同的电机和水泵机组显示不同的热图案，但两种图案均指示可接受的操作。

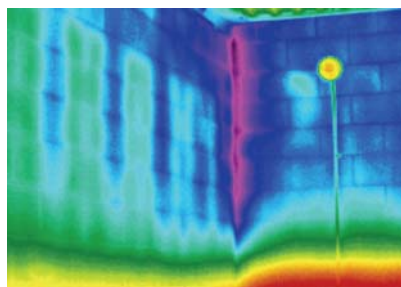


图 5-24. 砖块墙体构造中的热图案显示两面墙连接处存在水分入侵情况以及异常的构造缺陷。

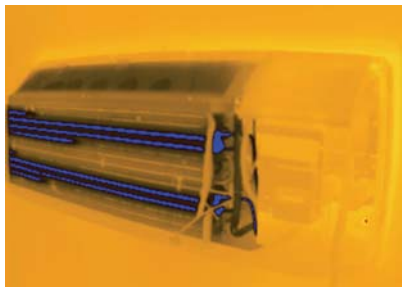


图 5-25. 深色区域显示冷冻剂流经商用窗式空调的盘管。

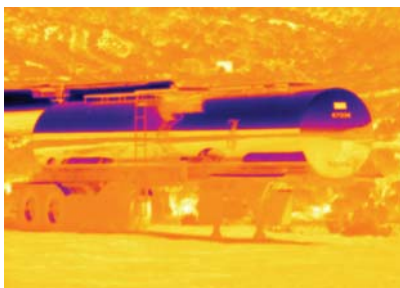


图 5-26. 在金属包覆的油罐车的图像中,低辐射材料对热成像的影响非常明显。金属反映晴空的凉爽以及晴天时地面散发的热量。

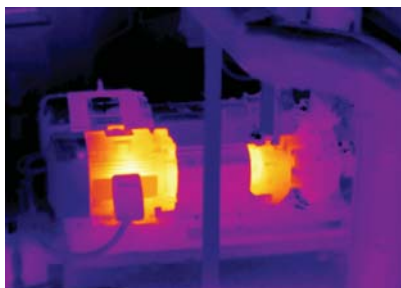


图 5-27. 热成像技术可用于确定设备异常操作情况。后部电机和水泵机组的热图像指示它意外停止运转。

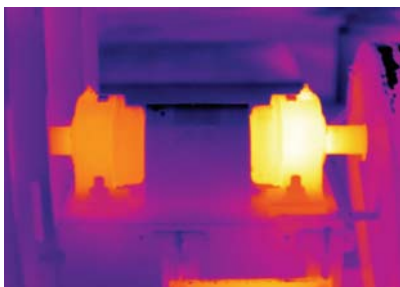


图 5-28. 该空气处理装置右侧轴承盖的温度大大高于另一个轴承盖的温度,这意味着可能存在润滑、对准或皮带问题。

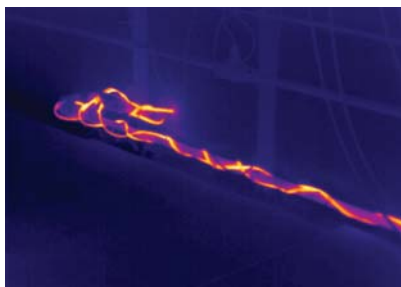


图 5-29. 热成像技术甚至可用于其它应用,例如检修室外水管上的电热丝。此类水管在寒冷天气里不得结冰。



图 5-30. 世界上的所有东西(包括山顶上的冰川)都会发出红外能量。

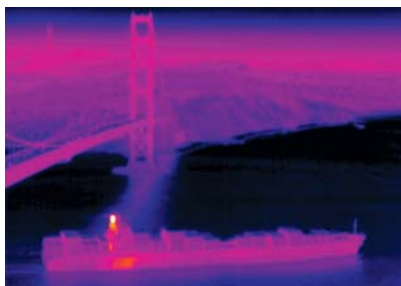


图 5-31. 集装箱货轮的夜间热图像显示,即使是在较长的距离处也可检测到烟囱和机舱。

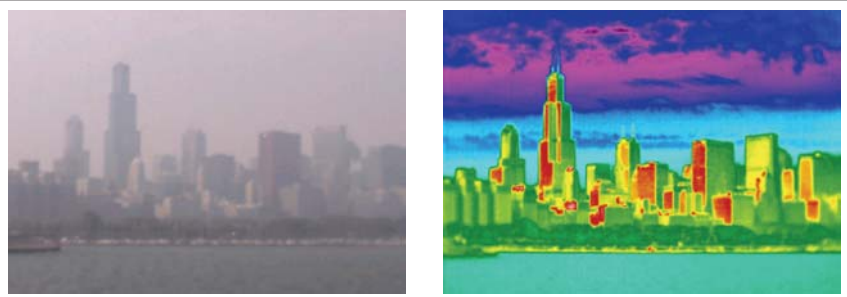


图 5-32. 在可见光照片中,很难在多雾的夏末清晰地看到城市天际线或天空的详细情况。但是,借助热成像,可以轻松看到天空中的情况以及各类云朵。

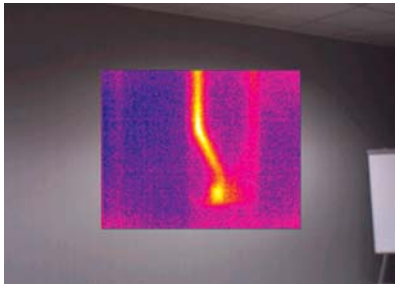


图 5-33. 即使是检测到的微小的表面温度,也可以指示严重的问题,例如照明系统上的共用零线问题或异常的零线接地问题。这导致墙体金属导线不断升温,达到可能引发火灾的温度。

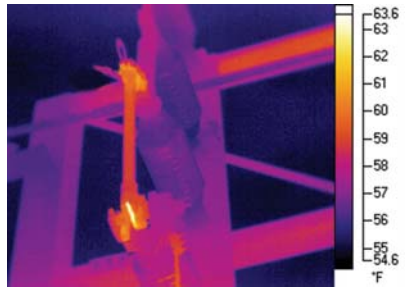


图 5-34. 在某些条件下(比如适当负载以及少风或无风)可以轻松查找问题,例如高压断路器开关的刀闸和接线端发热。

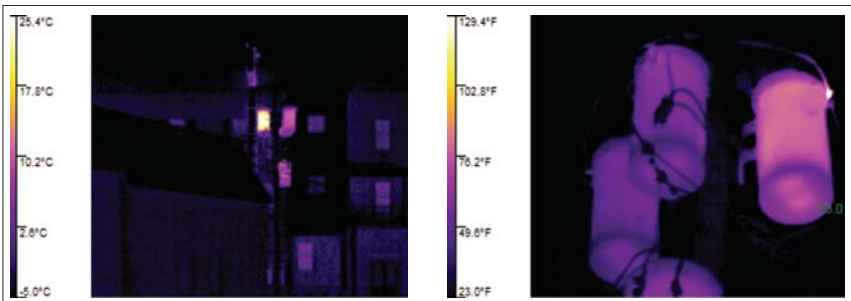


图 5-35. 通过使用热像仪,即使在较远的距离(左边)也可以检测到某些问题。要进行更详尽的分析,通常需要配合使用长焦镜头或只是靠近设备(右边)。

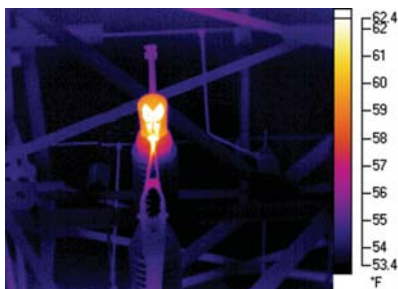


图 5-36. 断路器上的高电阻异常升温通常意味着存在严重且代价高昂的问题, 因为即使是较低的温度也会引起损坏。

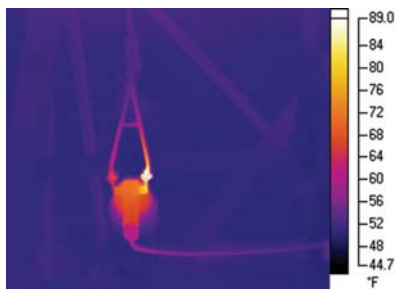


图 5-37. 由于许多断路器中存在并联电流通路, 因此, “热点”可能是正常连接的信号, 而温度较低的一侧才指示真正的问题区域。

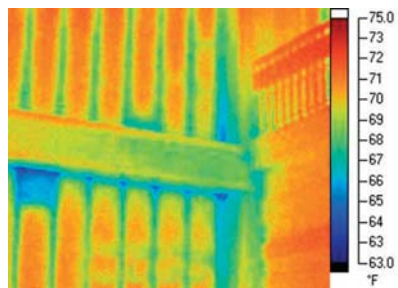


图 5-38. 建筑物中缺失的一小块玻璃纤维保温材料会导致其它区域的边缘出现异常的漏气问题。

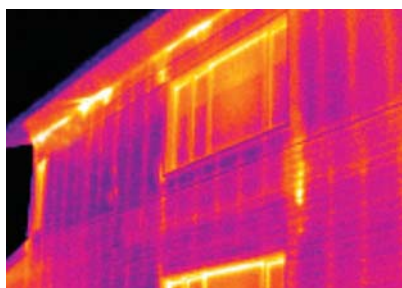


图 5-39. 由于气密封性不佳, 温热空气可以绕过该商业大楼许多区域中的玻璃纤维保温材料。



图 5-40. 一台变压器的操作温度高于高架台上其它变压器的温度可能是潜在问题的征兆。

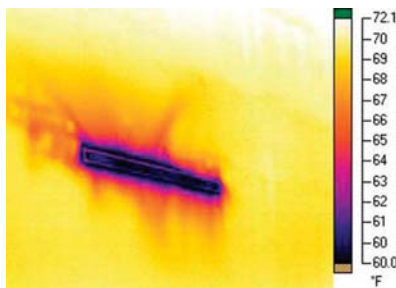


图 5-41. 经空调处理的空气可以通过 HVAC 管道系统的接头进入扩散装置后面的墙体。

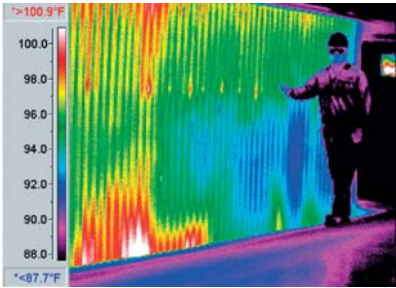


图 5-42. 耐火材料损坏、漏气或两种问题一起导致锅炉表面区域发热。

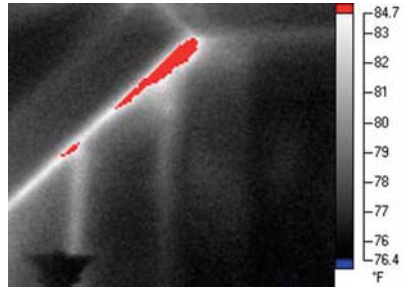


图 5-43. 红色的“饱和色板”清晰地显示玻璃纤维保温材料未正确安装在倾斜的天花板板中。

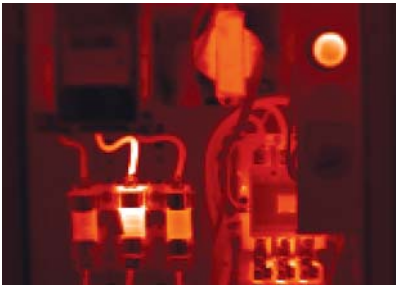


图 5-44. 电机控制中心 (MCC) 保险丝夹的接头异常发热。

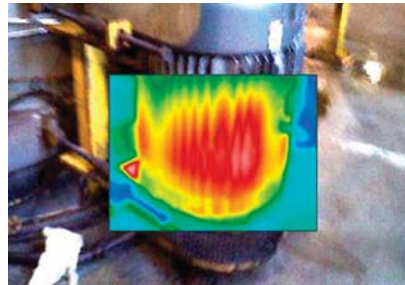
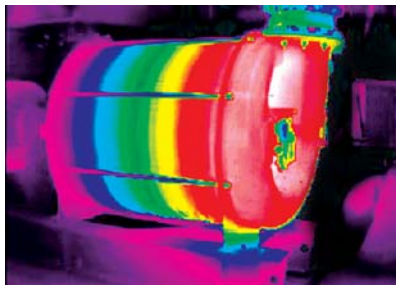


图 5-45. 可以快速检查电机壳体的温度以确定其是否正常运转。



G. McIntosh

图 5-46. 该多级空气压缩机操作正常, 因为可以看到每个阶段的温度逐渐升高。

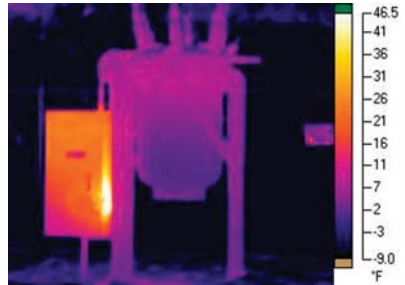


图 5-47. 热成像技术可用于记录控制柜内的加热器是否运行正常, 以尽可能减少冷凝问题。



图 5-48. 建筑物外部视图的热图像可以清晰显示问题区域,例如缺失了保温材料的浅色区域。



图 5-49. 在寒冷天气中,与建筑物外部相比,缺少保温材料的区域会显示成温点。

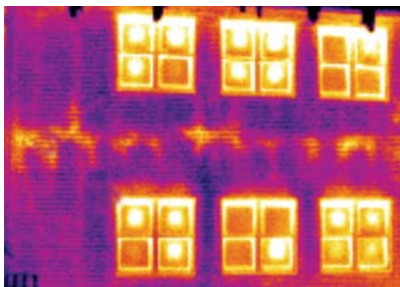


图 5-50. 双层玻璃窗中心的温点指示窗玻璃之间缺少绝缘氩气,而正常情况下应充满。



图 5-51. 热成像技术可用于记录各种问题,例如保温材料缺失或受损。



图 5-52. 高空电车的轴承温度过高会导致消耗过多电能,久而久之会导致锁链拉伸。



图 5-53. 在最适合拍摄热图像的傍晚,湿屋顶保温材料区域在屋顶上显示为温点。

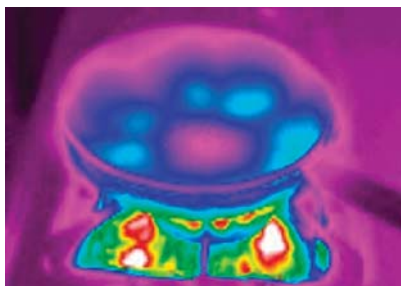


图 5-54. 铸铁炒锅在加热时会显示独特的热图案。

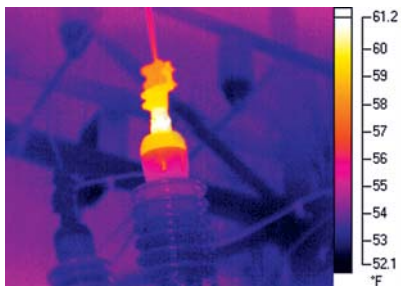


图 5-55. 充油式断路器中的浅色区域显示从衬套盖至衬套杆的内部连接线路的温度非常高。

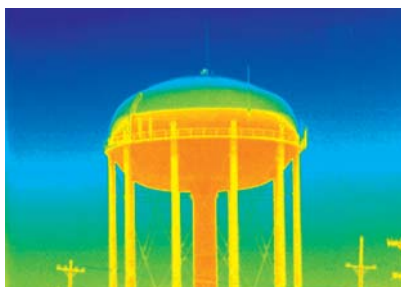


图 5-56. 浅色区域指示城市蓄水槽的水位。

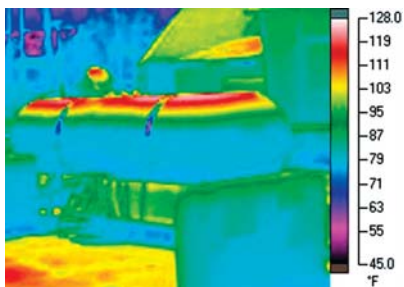


图 5-57. 使用热像仪时,可以轻松看到存储槽中液化丙烷的液位。

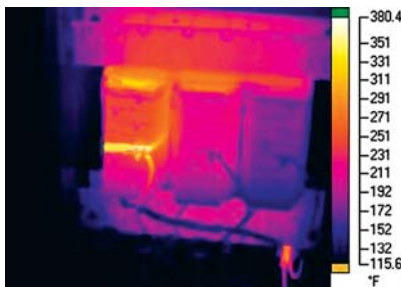


图 5-58. 三相干式变压器的热图案指示左侧相位主要导线的温度非常高。

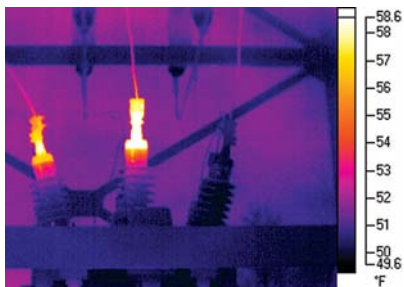


图 5-59. 在充油式断路器的六个衬套盖中,有两个衬套盖的温度非常高,而且如果没有检测出来并进行维修的话,则意味着会付出高昂的代价。

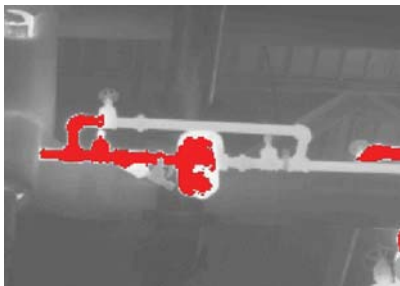


图 5-60. 正常工作的蒸汽疏水阀, 其蒸汽一侧的温度应该高于冷凝一侧的温度, 该图像中的情况正是如此。



图 5-61. 在最佳条件下, 借助热像仪可以轻松看到存储罐的液位。

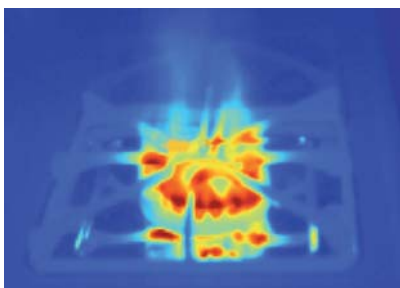


图 5-62. 虽然烧炉变热, 但在长波热图像中几乎看不到火焰。

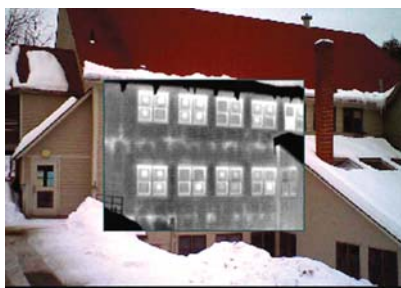


图 5-63. 商业大楼外部正面墙体上的许多温热区域与安装不当的玻璃纤维保温材料有关。

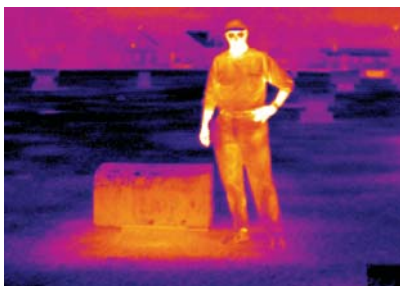


图 5-64. 除了防湿材料外, 屋顶上的许多物体 (例如 HVAC 系统上的通风罩) 都有温伪彩图。

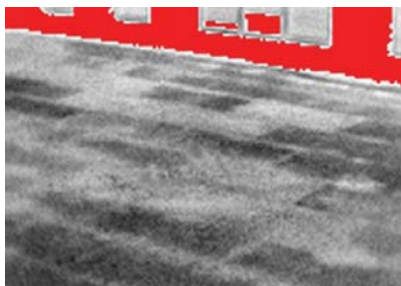


图 5-65. 带泡沫绝缘材料的单层屋顶上的热图案比组合屋顶上的热图案更细致。

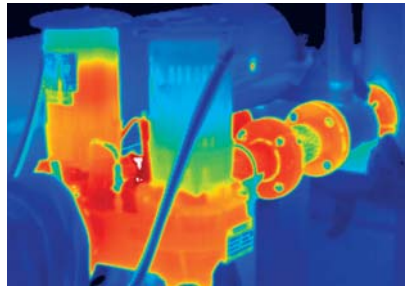
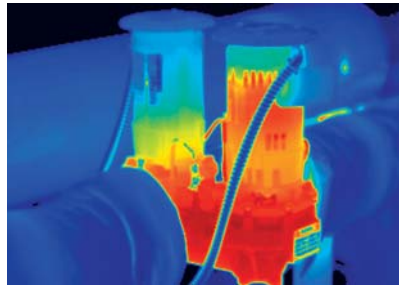


图 5-66. 热图案可用于确定双级泵各级的操作情况。



图 5-67. 皮带与高架输送机系统托盘摩擦会在热图案中产生热点。由于附近的滚筒轴承受到磨损，皮带发生了偏离。结果，不断增加的摩擦会导致驱动电机过热。

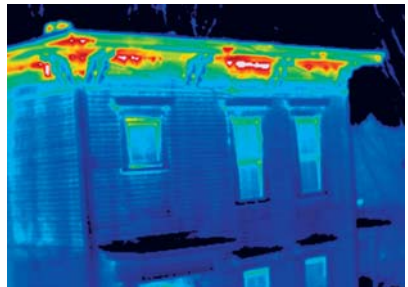


图 5-68. 温热空气绕过保温材料会导致损失过多热量，即使在许多采用保温材料的建筑物中也会造成严重且代价高昂的问题。



图 5-69. 现有壁腔中安装不当的松散保温材料可以解决问题，但未达到预期效果。



图 5-70. 由于血液流动较少且对流较多，人脸上鼻子的温度较身体其它部位的温度低。

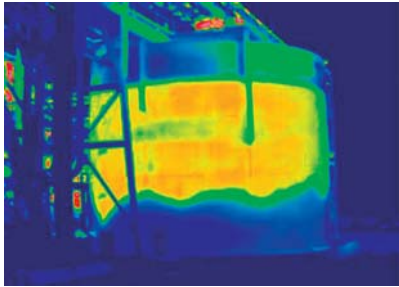


图 5-71. 当油罐处于热转变状态时,通常可以检测到油罐中的液体和残液水平。

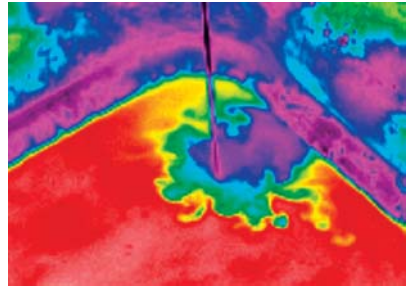


图 5-72. 冷水流入装满温水的水槽会引起对流热传递。



图 5-73. 政府大楼的镀金圆屋顶反映相对较冷的天空。

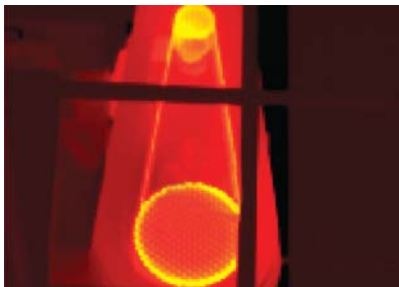
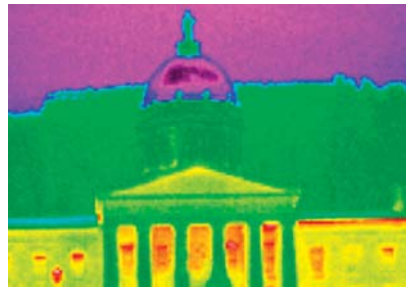


图 5-74. 皮带和滑轮热图像上的浅色区域指示可能存在错位状态。

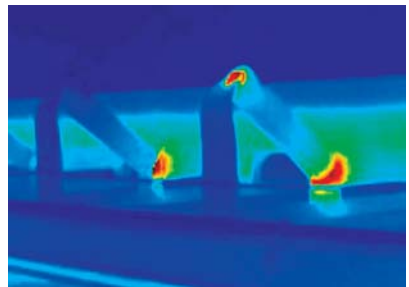


图 5-75. 图像中的红色区域指示多个输送机辊轮轴承的温度异常升高。

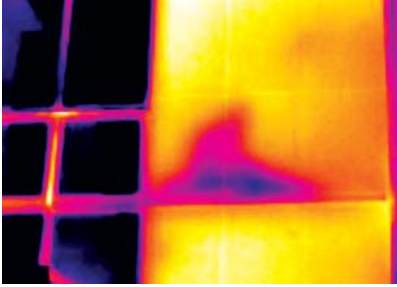


图 5-76. 湿气能渗入商业建筑的石造正面，使其容易受到损坏。

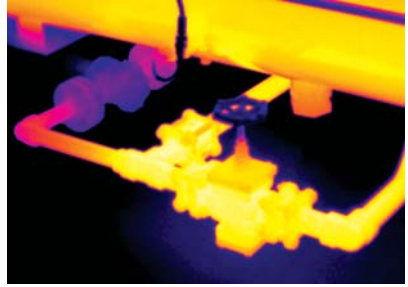


图 5-77. 该热图像显示正常操作并打开的液
压阀。

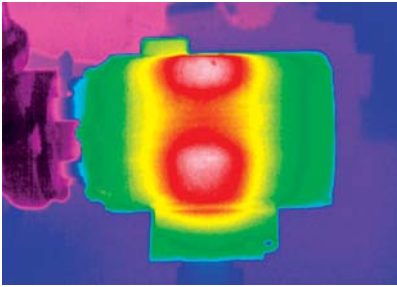


图 5-78. 正常操作泵电机的热图像上有一致
的热图案。

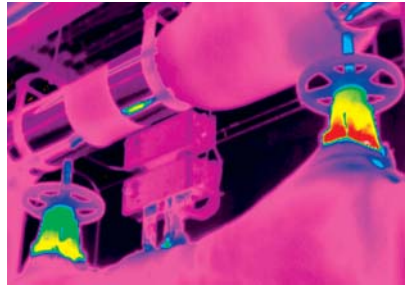


图 5-79. 浅色区域指示热量从蒸汽系统阀门
附近的非保温绝区漏出。

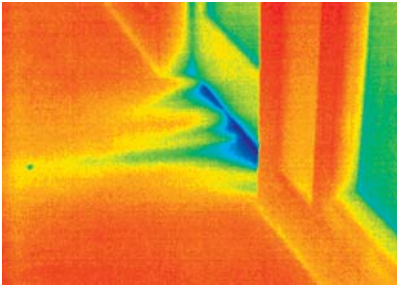


图 5-80. 从房门下面漏出的冷空气在过道地
面上留下了一个手指模样的束状图案。



图 5-81. 计算机服务器机柜上的右侧电线插
头显示的热图案指示存在高电阻连接或内部
接线问题。

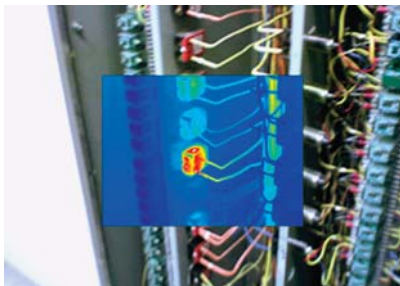


图 5-82. 亮色区域指示照明控制板中可能存在的高电阻连接或组件故障。

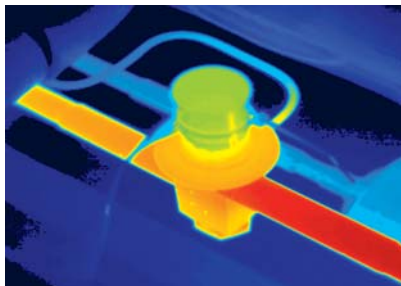


图 5-83. 该直列式冷凝机组两侧的不同颜色和旁路值指示正常操作。



图 5-84. 该热图像指示右侧的变压器可能存在内部故障。

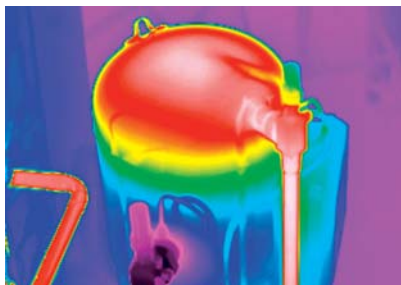


图 5-85. 正常运转的 HVAC 压缩机的热图像可以显示不同部分和组件之间的较大温差。

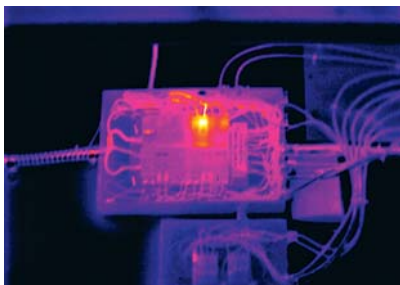


图 5-86. 热成像技术可用于对低压控制系统中的高电阻连接进行热跟踪。

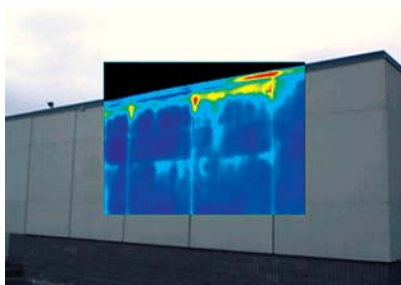


图 5-87. 排水不充分的屋顶上的湿气会渗入建筑物的混凝土砌块和正面。



热成像应用

热成像可用于多种应用领域,例如电气设备和流程设备检查以及建筑物诊断。电气设备包括电机、配电设备和变电站。流程设备包括自动化制造和组装设备。建筑物诊断包括屋顶潮湿检查和对漏气和潮湿情况进行检测的建筑物保温材料检查。保温材料包括建筑物热学围护结构中墙体、天花板和地板中放置的材料。

电气应用

由于测试程序无需接触且可快速执行,因此热像仪最常用于检查电气系统的完整性。大多数电气热成像工作都属于定性工作,即简单地比较类似组件的热图案。热图案是指物体释放或发射的热在单个时间点上的快照。三相电气系统的热图案简单易懂,因为在正常条件下,相位总是具有可轻松识别的热图案。

由于设备故障通常具有清晰可辨的热图案,因此热成像的效率特别高。此外,即使视觉检查发现的情况非常少(如果有),热异常也可显示出来。热异常是指设备中存在的异常或可疑状况。虽然并不总是能检测到热异常或很好地了解故障根源,但毫无疑问的是,高电阻产生的热量通常先于电气故障发生。

当一个或多个相位或组件具有不同的温度时,由于问题与正常的负载平衡无关,因此可能存在热异常。例如,异

常高的电阻会导致连接点处的温度升高。但是,在发生故障并因此造成断电的情况下,组件的温度可能较低。

打开的电气机箱会使热像仪使用人员身处各种危险之中。通常不会出现触电死亡情况,因为热成像不需要进行接触。但是,电弧爆炸的可能性很高,特别是电压达到 480 V 及更高时。

例如,如果门锁出现故障或扰动了机箱内的物体(例如害虫或灰尘和碎屑),则打开门时会触发电弧闪光。这会导致形成相地电弧。一旦触发,电弧可在半秒内达到 $16,650^{\circ}\text{C}$ ($30,000^{\circ}\text{F}$) 以上的高温。因此,只有经过授权和培训的人员才可打开包含带电电气设备的机箱。

热像仪使用人员应尽一切努力了解并尽可能降低电弧爆炸的危险。国际监管机构提供了有关尽可能降低电弧闪光危险的详细要求。这些要求包括风险教

育、检查执行程序以及有关必要的个人防护用具 (PPE) 的讨论。PPE 旨在减轻电弧闪光的高温所造成的潜在伤害,通常包括对眼睛、头部、皮肤和双手的保护。参见图 6-1。

检查电气系统的技能取决于常识、技术和良好的维护实践。只要有可能,组件和设备都应该通电并通过热像仪直接查看。

有时,还必须在无法直接查看的环境中执行检查,例如密闭的电机接线盒

或密闭的高架配线通道。在某些情况下(例如高架配线通道),尽管这可能是必然的选择,但不建议用于常规程序。如果无法打开机箱,则热检查数据无法提供其本身的必要详情。

此外,接近某些设备可能太难和/或太危险,以致需要采取其它检查措施。其它检查方法可能包括使用视口或红外透视窗来查看机箱的内部。此外,还可以使用其它技术,例如空气传播的超声波技术。

个人防护用具 (PPE)



图 6-1. PPE 通常包括对眼睛、头部、皮肤和手部的保护,旨在消除电弧闪光的高温和其它危险造成潜在伤害。

为了确保可以看到所有组件和设备,必须小心放置红外透视窗。红外透视窗是一种安装在电气机箱中的设备,热像仪可以通过它来查看红外能量的传输。红外透视窗通常允许使用热成像技术,而且无需打开机箱门或面板。参见图 6-2。

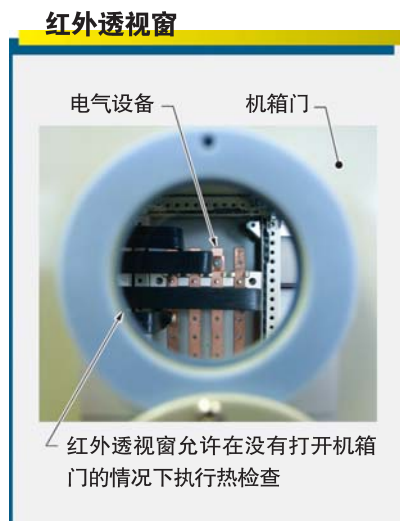


图 6-2. 红外透视窗可用于向热像仪传输红外能量,而且无需打开机箱门或面板。

此外,还可以使用能检测通过空气传播的超声波的设备。通过空气传播的超声波是由出现故障的电气连接线路产生的声音。该声音超出了人类的自然听力范围,但可以通过特殊的监听设备检测出来。通常,即使是连接线路中的微弧也会通过机箱中的裂纹或小孔产生可

检测的超声波信号。

检查期间,对任何电气连接线路或电气触点均要多加留意。电气连接线路和触点容易受到由超高电阻产生的热量的影响,而且是系统故障的主要根源。

此外,还可以检测到相位之间的电流不平衡状况。通常(例如在照明电路中),这些情况会被认为是正常现象。但是,它们会在电气系统(例如丢失相位的电机)的其它部件或任何超负载的电路中引起代价高昂的故障。

虽然热像仪广泛用于电气应用领域,但通常它们的使用效率低下或使用方法不当。热像仪使用人员可能会忽略潜在问题,或者在找到问题时产生误解。除了问题的严重性外,许多因素都会影响通过热成像系统看到的表面温度。此外,热量与故障之间的关系,尤其是某一段时间内的关系,并非总是得到正确的认识。

众所周知,电气连接线路的温度会随着负载变化而变化。人们可以预测由高电阻连接线路产生的热输出(I^2R),但很难预测其可以达到的温度。出于这一原因,某些标准建议使用 40% 的最低负载或最高的正常负载(如果可以)来执行检查。应特别留意在将来有可能增加负载的轻负载设备上发现的任何异常。

如果无法轻松打开机箱而且无法直接查看发热组件(例如在密闭的高架配线通道中),则问题与所查看表面之间的热梯度一般会很大。热梯度是指问题源头处的实际温度与在热像仪检测或测量的表面上测得的温度之间的差异。密闭配线通道上低至 2.8°C (5°F) 的表面热图案可能指示内部故障。充油式设备(例如变压器)会显示类似的或甚至更大的热梯度。



为了避免在显示屏上产生不必要的眩光,可将易于拆卸的遮阳板与热像仪配合使用。

当风速大于 8 kph (5 mph) 时,进行室外检查必须多加留心。例如,应将设备上的热点与在无风情况下可能出现的热点进行比较。除非风速下降,否则可能无法检测出某些异常情况。在执行检查之前,如果将机箱打开一段时间,则会在设备内部产生类似的效果。良好的检查程序要求在打开机箱后尽快且安全地执行检查。

另外,在室外查看显示屏上的图像通常比较困难。光照条件可能会产生不必要的强光,降低了高效查看所捕获的每个细节和细微差别的能力。室外设备检查不一定需要在夜间执行,但由于太阳发出的热量,晴朗的天气可能导致图像变得模糊。这对于深色组件(例如陶瓷电线绝缘体)来说更是如此。

可靠地采集电气系统的热数据的任务并非总是像人们看到的那样简单。即使获得完善的热数据,在划分测试结果的严重性时,许多热像仪使用人员也可能错误地使用此类数据。例如,温度通常并不是问题严重性的可靠指示,因为很多因素会引起温度变化。这个事实并不能阻止许多热像仪使用人员认为问题组件的温度越高,其问题就会比其它温度较低组件的问题更严重的错误想法。

同样地,也存在这样一种错误想法,即当组件或设备的温度不是特别高时,就不会存在问题。在收集和解读热数据时必须小心谨慎,以便充分利用热成像技术的全部优点。更有效的方式不是严格按照温度确定问题的严重性,而是考虑所有参数的相互影响方式及其对问题组件的影响方式。这可借助测试仪器轻松完成,或通过正式的方法完成,即通过工程分析工具来分析根源故障。

正确执行热电气检查的优势很多,成功做到这一点,公司可以切实消除由于电气故障引起的意外停机。

电机和机械应用

电机和机械检查适用于各种各样的设备。经证明,热成像技术对设备检查(例如电机、旋转设备和蒸汽疏水阀)来说拥有不可估量的价值。这些应用中的大部分都与定性有关。通常是将当前的热图像与先前的热图像进行比较。这样便可发现设备状态变化引起的任何差异。热像仪使用人员必须拥有扎实的热传递知识,以便了解设备的工作方式和故障。

之所以对电机进行热检查,是因为它们容易出现与热量相关的故障。例如,电机失准或失衡通常会导致过高的温度。虽然关注电机壳体的表面温度有很大帮助,但不能总是立即发现电机内部温度的变化。拍摄电机在某一段时间内的热图像或者与具有类似操作条件的电机进行比较会非常有用。例如,这有助于发现被灰尘堵塞的电机或温度过高的单相电机。

此外,电机轴承的热图案也可用于检查。例如,如果电机轴承的温度大大高于电机温度,则意味着应该进行更详

尽的调查,以发现可能存在的问题。同样地,正常操作的电机联轴器和轴承应该具有与大气环境温度非常接近的热图案。参见图 6-3。将其它类型的测试方法(例如振动分析或电机电路分析)与热成像技术结合使用会十分有用。

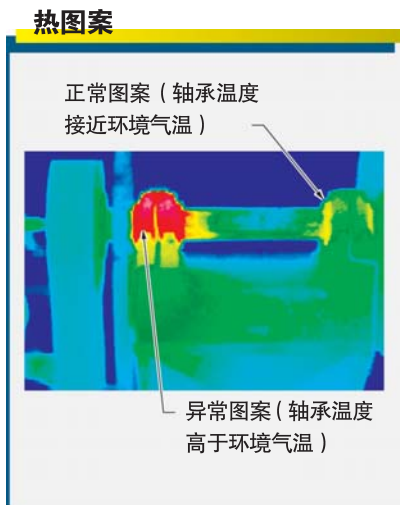


图 6-3.电机联轴器和轴承正常操作时显示的热图案应非常接近环境温度。

经证实,热成像技术对于检查低速旋转设备(例如输送机)来说特别有用,而其它检查方法效果不佳或不可靠。此外,也可使用热像仪检查复杂的设备,例如涡轮机、变速箱和换热器。但是,这通常需要大力投资以创建测试数据基准,才会在后续检查中得到回报。

流程应用

热检查通常用于监控可以承受高温的设备，即耐火设备。例如，维护技术人员可以使用热数据来验证隔热材料的情况或计算出可能会引起故障的表面温度。

基准检查的目的是建立设备在正常工作条件下正常运行的参考点。趋势检查是一种在基线检查后执行的检查，目的是提供用于比较的图像。监控某一段时间的趋势通常可以提供诊断性和预测性信息。这让热像仪使用人员可以比较设备性能指标的任何差异或相似之处。

首先应该执行基准检查，然后才能执行趋势检查。这些检查的频率应根据故障所造成的后果和设备状况加以确定。监控趋势的结果是，大大提高了主动维护的能力，并减少了意外停机和代价高昂的故障。

通过观察表面热图案的变化可以检查所有类型的隔热材料。这些隔热材料包括用于蒸汽管道、生产线、管道系统和流程线（蒸汽和电气）上热跟踪的材料。令人遗憾的是，许多类型的隔热系统通常都覆盖有未涂漆的金属壳，以致大大降低了热成像的价值。由于未涂漆金属壳的辐射能力低而反射能力高，因

此热图案不能真实反映未涂漆金属壳表面上的实际情况。

热成像技术最常见的应用之一是指出或确定容器（例如储罐和存储塔）中固体、液体或气体的水平。参见图 6-4。虽然大多数容器一般都装有测量仪器，可以指出其内部材料的水平，但数据通常因测量仪器运作不当而不正确，或者有时数据正确但必须单独确认。

技术提示

在设备正常工作时，蒸汽疏水阀和大多数阀门将显示出不同的温度。当然，蒸汽疏水阀和阀门类型很多，而且每个阀的热图案都有细微的差异。因此，有必要对它们进行一段时间的仔细研究，了解它们如何正常运作。

这些材料在短暂的热流循环期间的温度变化率取决于热传递模式以及储罐中固体、液体和气体不同的热容。气体变化最快。例如，太阳可在几分钟内使大型室外储罐的装油部分产生可检测到的热变化。固体、液体和漂浮材料在完成温度循环过程时温度变化率完全不同。即使是室内储罐也会有某些可指示不同填充水平的热波动。

熟练的热像仪使用人员通常可以发现未隔热储罐中的填充水平。当存在隔热材料时，需要更长时间才能显示热图

储罐中的液位



图 6-4.热成像技术最常见的应用之一是指出或确定容器(例如储罐和存储塔)中材料的填充水平。

案,或者可能需要采取某些强化措施。可以使用简单有效的技术(例如加热或通过蒸发作用进行冷却)来强化容器中的材料水平。例如,只需简单地在储罐上喷洒一些水,然后等待几分钟以使储罐外表面的温度发生变化,这样足以显示多种材料水平。采用可轻松读取其水平的垂直条纹涂漆或带子可以调节发光的金属隔热覆盖物的低辐射能力。

建筑物诊断

很久以前,热成像技术就已用于与住宅和商业建筑物诊断相关的各种应用领域。建筑物诊断应用包括屋顶潮湿检查、建筑物保温材料检查(检查能量和空气泄漏)以及潮湿检测。与其它热成像应用一样,要获得成功就必须了解热传递理论以及建筑物的构造。相比民用建筑物,商用建筑物的检查复杂得多。

屋顶潮湿检查

由于与设计、安装和维护相关的多个原因，大多数低坡度屋顶在安装后一两年内会出现严重的问题。低坡度屋顶是指平坦的商业建筑物屋顶，略有倾斜以排空雨水。层顶中包含坚固的隔热材料和防水薄膜。

尽管实际泄漏引起的损坏可能十分严重，但渗入的湿气所引起的难以发现的长期损坏通常会造造成更高的代价。一旦进入屋顶系统，湿气便会长久保留并引起屋顶系统的性能退化和老化。通过查找并更换防潮材料，可以消除表面下的湿气，从而大大延长屋顶的寿命。

通过热像仪执行的屋顶潮湿检查是无损检查。参见图 6-5。相比防干燥材料，防潮材料的热容更高一些。例如，尽管白天温度较高且阳光充足，但在进入无风的明朗夜晚后，屋顶会快速冷却。屋顶快速冷却使防潮材料的温度高于防干燥材料。

在看到这些图案后，可以快速检查屋顶的大片区域，并记下指示防潮材料的图案。如有需要，可以使用比较传统的检查方法确定潮湿区域中实际存在的湿气，尽管这些方法通常较慢或具有破坏性。如果条件有利，“检查视窗”可以在夜晚长时间打开。

可在热像仪上看到的具体热图案以及可查看的时间取决于屋顶隔热材料的状态和类型。低坡度屋顶中通常使用的吸收性隔热材料（例如玻璃纤维、木纤维以及膨胀珍珠岩）可以生成清晰的热图案。单层屋顶系统中通用的非吸收性泡沫板隔热材料比较难以检查。这是因为吸收的水分很少。此外，许多单层屋顶还铺有一层沉重的石板，以致生成价值有限的热图案。

除了表面下的湿气外，热图案还受到很多条件的影响。屋顶表面必须干燥，否则湿气的蒸发作用会减少太阳能热量。夜晚厚厚的云层会降低冷却速度，但风力过大会消除所有的热图案。

屋顶结构和物理条件也会形成热图案。例如，朝西的护墙可以将热量重新辐射到屋顶，直到深夜。额外的屋顶砂砾层将保持较高的温度，之前维修过的屋顶区域可能出现与其它区域不同的情况。了解这些影响因素及其对热图案造成的后果是成功检查的基础。

理想情况下，可在安装后不久检查屋顶以建立基准热图案。在发生任何存在潜在性破坏的事件（比如强冰雹、龙卷风或飓风）之后，可以依据标准热图案进行再次检查。在发生不可避免的泄漏时，快速的跟进红外检查可能有助于确定具体的泄漏位置并指示隔热材料的损坏程度。

屋顶潮湿检查

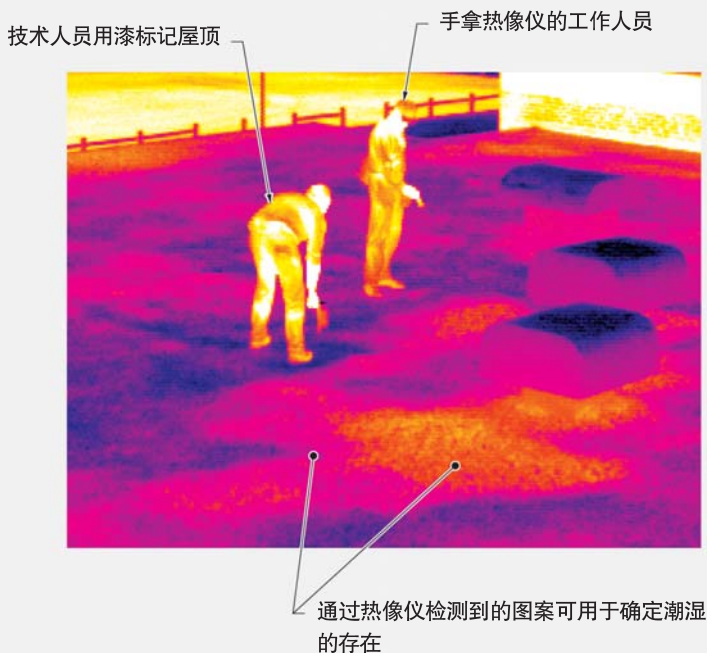


图 6-5.屋顶潮湿检查是无损检查，可以通过热像仪轻松执行。

为了安全地执行屋顶检查，必须格外小心。切勿独自在屋顶上作业。由于显示屏的亮度使他们的眼睛难以适应大多数屋顶上的弱光水平，热像仪使用人员特别容易陷入危险之中。这种情况即是所谓的夜盲。应在白天预先对屋顶进行目视检查，这对于发现潜在危险并留意屋顶状况来说非常重要。

建筑物保温检查

热成像技术非常适用于确定保温材料的存在和性能状况。目前，它已被节能顾问、总承包商和验房师所使用。保温材料主要用于建筑物内部以控制热传递（热量增加或散失）。当保温材料缺失、受损或性能下降时，不仅能耗和空调成本会增加，而且建筑物内部的舒适度通常也会降低。

减少过度的能耗固然重要,但计划周密的热检查也能增加居民舒适度并减少能耗。通常,使用热检查发现的其它问题包括不必要的漏水或结露、屋顶结冰以及管道冻结。热成像技术还有助于检查空调室内的空气流通并验证隔声材料的安装情况。如果建筑物内部和外部的温差达到 10°C (18°F) 或以上,则通常可以检测到保温问题。例如,在炎热的季节,缺失保温材料的热图案会显示为内部温度较低而外部温度较高。在寒冷的季节,热图案显示的情况相反。了解存在哪种类型的保温材料会有很大帮助,因为每种保温材料都有独特的热图案和时间常数。

大多数热检查都需要在建筑物的内部和外部作业。但是,强风和阳光直射可能使外部作业难以或根本无法进行。这些条件也会对内部造成影响,但这些影响通常难以确定,因为它们间接的影响。热检查在寒冷的季节可能仅在建筑物内部进行,或者在晚上执行外部作业。在最佳条件下,经过培训的专业热像仪使用人员通常可通过正确使用热像仪轻松找到缺失、受损或失效的保温材料,以及建筑物框架的位置。

漏气检测

建筑物的过度漏气问题几乎占建筑物取暖、通风和冷却费用的一半。漏气通常是由建筑物中的压差引起的。压差可能是由风引起的,但也可能是由任何建筑物内固有的对流作用力以及与 HVAC 系统相关的压力失衡造成的。



热成像技术可用于检查建筑物内某些区域(例如窗户、屋檐或保温较差的墙壁)周围的热损失。

压差迫使空气穿透建筑物内的多处位置。对热围护结构的穿透(例如电线或水管安装槽)通常都比较微弱且不易被发现。热围护结构是指建筑物内部进行取暖、通风或冷却的空间界限。

通常,要检测漏气问题,只需在建筑物内部与外部保持 3°C (5°F) 或更低的温差。空气本身并不可见,但它在建

筑物表面上的温度图像通常拥有特征性的“束状”热图案。参见图 6-6。在炎热的季节,热图案通常沿建筑物的内表面显示为冷纹,或者在漏出热气的外部区域显示为暖“花”。此外,建筑物内侧面凹穴的空气运动也非常明显,甚至隔热墙壁内部或外侧也是一样。

建筑物表面温度图案

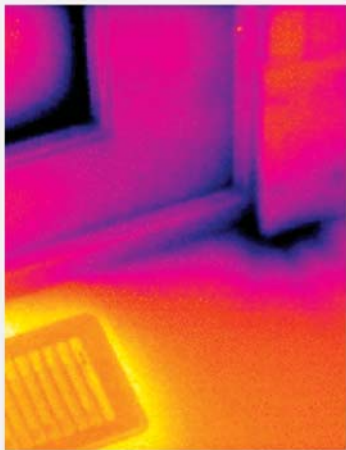


图 6-6.与漏气有关的温度图像通常具有“束状”热图案。

通过在建筑物上人工生成压差,可以改善、引导和量化漏气方式。通过使用 HVAC 系统或鼓风机式风扇可以做到这一点。

湿气检测

湿气频繁渗入建筑物,引起建筑材料性能退化。穿透点通常是建筑物的结构节点或缝隙,例如遮雨板或密封材料失效。湿气也可以由冷凝引起。冷凝通常是由从建筑物泄漏至温度较低的建筑物凹穴中的温热湿气造成的。其它湿气源包括洪水、地下水以及从水管和喷淋系统泄漏的水分。

在所有这些示例中,存在湿气的热图案通常都清晰可见,尤其是在条件有利于湿表面蒸发的时候。在这种情况下,表面会看起来较冷。但是,相比于干燥建筑材料,湿建筑材料的热传导性更佳,而且在热转变期间,拥有较大的热容。在这种情况下,热图案可能并非总是清晰可辨。在验证允许看到湿气(如果存在)的条件时,应多加留心。例如,在检测可疑区域时,建议使用湿气分析仪进行补充测试,以确定热图像上显示的内容。

商业建筑物检查

民用建筑物的检查非常直观简单,而大型商用建筑物的检查通常较为繁杂。但是,了解大型建筑物获得的投资回报通常是非常可观的,而且能证明对建筑物进行彻底检查和分析的价值。为

了全面了解不同建筑物组件之间复杂的交互作用,必须了解建筑物构造详情并完全告知热像仪使用人员。

漏气、渗水和冷凝是商用建筑物中最常见的问题。热像仪是一种功能强大的检修工具,可以解决大型建筑

物中遇到的许多问题。如果可能,应在建造期间检查大型建筑物,因为每层地板都是密闭且隔热的,而且会安装相关装饰品。这样可以在完成并入住整栋建筑物之前找出并纠正设计或构造问题。



检查方法

热像仪使用人员主要通过三种方法使用热像仪执行检查工作。它们分别是对比法、基准法和趋势法。方法的选择取决于被检查设备的类型和所需数据的类型。只要用于正确的应用，每种方法都是可行的。

对比热成像

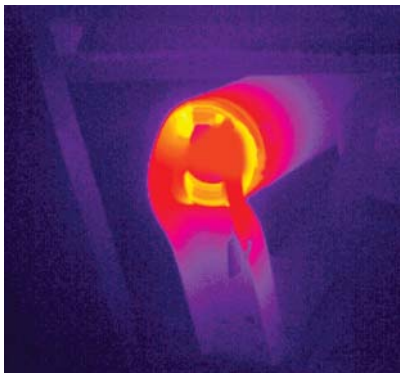
热像仪使用人员已开发出了许多方法来扩展热成像技术的使用范围。在许多热应用中，使用的基本方法是对比热成像。对比热成像是热像仪使用人员在类似条件下比较类似组件以评估被测设备状况时所用的流程。

恰当、正确地使用对比热成像时，被评估设备与类似设备之间的差异通常指示问题的存在。与定性热成像相比，定量热成像要求对影响辐射测量的变量与限制有更全面的认识。定量热成像是指包括辐射温度的热成像。定性热成像是指不包括辐射温度的热成像。

在开始检查前确定可接受的误差幅度至关重要，而且还应小心操作以保持在该范围之内。实用的热传递基础知识培训以及掌握热像仪的高级使用技能对理解定量热成像非常重要。热成像的大部分工作是在进行对比。通过将目标物体

与同类物体进行比较，通常可轻松检测出问题。由于必须考虑其它许多变量，培训和经验对这一流程来说必不可少。

为了使对比热成像有效，除了一个对比变量外，热像仪使用人员必须清除其它所有变量。这个简单但重要的要求经常因检查的复杂环境或热像仪使用人员的不良工作习惯而无法达到。结果，数据可能不准确或容易引起误解。必须



定性热成像通常不包括辐射温度。它用于对比类似组件的热图案。

多加留心,确保理解是什么影响因素造成了所看到的热图案。

例如,三相断路器的热图像可以显示一个温度高于其它相位的相位。参见图 7-1。如果三个相位上的负载均衡,则温度异常可能与高电阻连接线路有关。但是,如果通过数字多用表读取负载读数,而且负载显示为 30/70/30A,则热图案可能与电气相位负载不均衡有关。

热像仪本身无法“读取”图像。对于热像仪使用人员来说,要正确使用系统(通常还有其它数据)来获取正确的解读,需要兼具技能、经验与恒心。当

然,故障误诊可能导致贵重设备损坏或丢失。

当使用对比热成像时,掌握尽可能多的关于所查看物体的知识非常有用。这类知识包括物体的构造、基本操作、已知故障机制、热流方向或操作记录。由于这类知识通常不易获得,因此,热像仪使用人员必须能够向设备所有者或维护技术人员提出清晰、简单的问题。

比提问更重要的是,热像仪使用人员必须用心倾听解答。不少热像仪使用人员在这两项任务或其中一项任务上做得不够,结果影响到工作。热像仪使用人员的沟通能力与技术能力同等重要,尤其是处理不熟悉的设备或材料时。

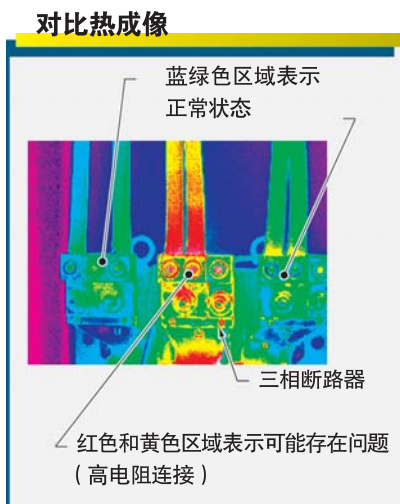


图 7-1.对比热成像可用于三相断路器,显示温度最高的其中一个相位。

基准热成像

基准检查的目的是建立设备在正常工作条件下正常运行的参考点。基准检查的关键是确定什么是正常或所需的设备条件,然后将其作为基准图案,供将来进行比较图像。通常,基准图案与被查看物体的内在结构是一致的或者在一定程度上相关。例如,电机在安装且开始正常运转后,热图案中的任何差异均可能在以后的热图像中显示出来。参见图 7-2。

基准热成像



图 7-2.电机热图案中的许多差异将在后续热检查中显示出来。

热趋势

热检查的另一种方法称为“热趋势”。热趋势是热像仪使用人员用于比较同一组件在一段时间内温度分布的流程。热趋势广泛用于检查其正常热图像比较复杂的机械设备。此外，当用于检测故障的热图案的变化比较缓慢时，也可使用这种方法。例如，热趋势法可用于长期监控鱼雷车中耐火（高温）绝缘材料的性能，从而确定最佳的停机维护计划。参见图 7-3。

对于热像仪使用人员来说，了解与被检查设备有关的所有变量至关重要。热像仪使用人员必须了解各种系统的操作原理并培养自身的故障处理技能。如果认真收集数据并理解变化，这些方法可以揭示出十分准确且有用的性能趋势。但是，请务必牢记趋势仅用于提示未来情况，而不是预测未来情况。

热趋势

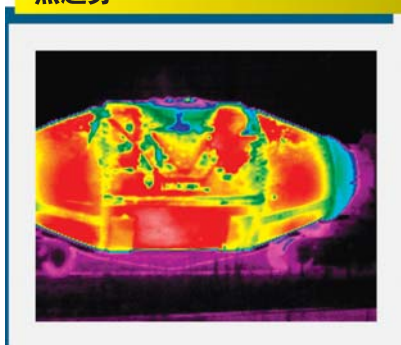
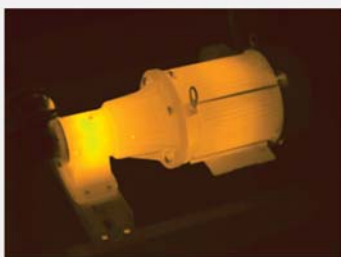


图 7-3.热趋势用于检查其正常热信号十分复杂的高温设备，例如鱼雷车（充满融态金属），而且只可指示某段时间的绝缘故障。

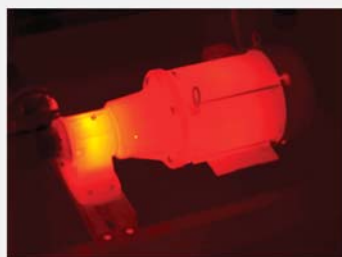
调色板

调色板

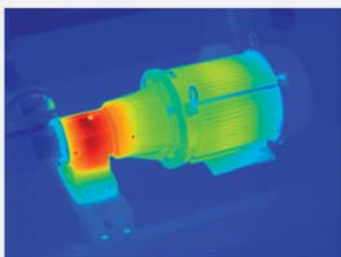
调色板是用于显示热图像中热变化及热图案的配色方案。无论是检查或分析，目标都是选择最能识别并展现问题的调色板。如果可能，应当选择那些允许用户在照相机和软件中选择或更改所需调色板的热像仪。例如，某些应用更适合在灰色或琥珀色等单色调色板中查看和分析。而其它情况更适合在铁红、蓝红或高对比度等调色板中分析和说明。种类繁多的可用调色板允许热像仪使用人员更灵活地执行热检查、分析和报告。



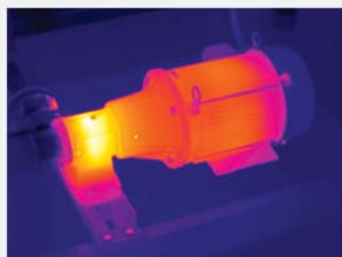
琥珀色



热金属



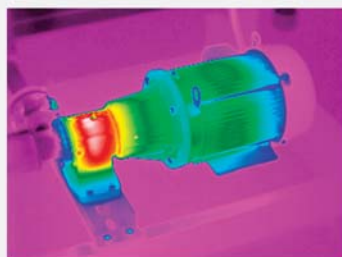
蓝红



铁红



灰色



高对比度



分析、报告和文档

除能够正确处理和使用热像仪之外，热像仪使用人员的工作就是分析、报告和记录所检查设备的结果。为正确完成这些任务，可以使用特殊的分析工具。

检查分析

热成像主要取决于热像仪使用人员正确执行检查、了解工作限制、记录所有相关数据并正确解读结果的能力。热像仪使用人员可能遇到种类繁多的变量。因此，热像仪使用人员必须接受适当的培训，并达到执行热检查的资格要求。

热像仪使用人员的认证等级有 I 级、II 级和 III 级，其中 I 级是认证的最低等级，III 级是最高等级。在执行正式的热成像计划时，经过认证的 I 级热像仪使用人员有资格收集数据，但必须在经过认证的 II 级热像仪使用人员的监督下工作。II 级热像仪使用人员有资格解读数据并撰写报告。正式的热成像计划必须有书面检查程序。此类程序通常是以工业标准为基础，并在 III 级热像仪使用人员的指导帮助下加以制定。

报告和文档

正确评估热数据之后，可能需要以

书面报告的形式清楚地呈报评估结果。报告流程的其中一部分可能需要对客户进行培训，让他们了解针热成像技术的内在限制和热检查值。最后，报告通常生成一系列指定措施，以纠正热检查期间发现的所有问题。

通常，热像仪使用人员还提供其它信息，包括问题的位置、诊断结果和建议的纠正措施。热像仪使用人员提供的热检查关键信息必须与来自其它检查或测试、维护或维修计划和成本分析的额外信息合并在一起，才能得出正确的结论。因此，良好的沟通技能与良好的测试技能同等重要。

报告可以采用多种形式，而且可以包含众多数据。但是，报告必须包括以下信息：

- 热像仪使用人员的姓名
- 热成像的制造商、型号和序列号
- 相关的周围环境条件，例如风速、风向、降雨量、湿度和环境气温

- 系统条件 (例如负载和工作循环)
- 所检查或测试的设备和组件的标识和位置
- 未检查或测试的关键设备的列表以及漏检理由
- 仪器参数设置 (例如发射率和背景设置)
- 所检查或测试的所有设备和组件的热图像及相应的可视图像
- 要求后续红外图像以记录设备维修的区域

此外,文档的显示方式不应干扰报告,而应清晰、高效地显示必要信息。最佳的热检查报告提供顺其自然的数据流来支持热图像和可视图像。参见图 8-1。

能够使用多种不同的报告模板有很多好处。例如,简单的报告模板可用于记录进行热检查或测试的设备的成功维修情况。专业报告模板可用于特殊类别的热检查。

每次处理热成像报告后,都应按照要求将每份报告的附加副本发给重要人员。副本可以是复印件格式或电子格式。在发送电子报告之前应将其保存和锁定 (例如 PDF 格式),以防检查和测试分析结果被篡改。

以更加具体的分类方式跟踪个别问题,通常可从热测试和检查中获得其它

值。例如,可以确定并存储与特定品牌设备或某个流程有关的问题信息。将来可以检索这些信息,并将问题确定为某种设备的常见问题,以便为未来的用户提供帮助。

除了可以正确处理和使用热像仪外,一位成功的热像仪使用人员还必须能够通过适当的报告来分析和记录结果。要获得并保持工作质量高且扎实这一良好声誉,必须具备这种能力。报告可提供最佳的后续检查建议。

热报告和文档



图 8-1.热检查报告通常包括热图像和相应的可视图像,以供参考。



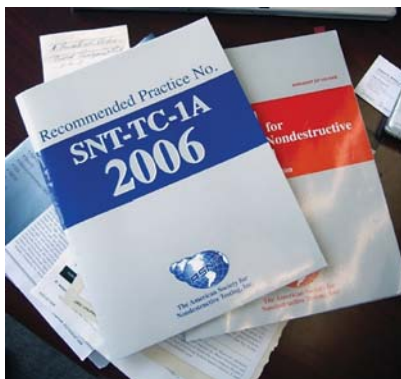
热成像资源

可以利用多种资源来获取有关热成像和热像仪的更多信息，例如设备更新、安全隐患、培训研讨会、教育工具以及标准和专业组织。这些资源以电子或打印格式提供。

资源

潜在用户可以通过多种资源来获取大量有关热成像和热像仪的信息。在商业和建筑物诊断应用中，热成像技术的使用已有 40 多年的历史。但是，很多专业人士（例如维护技术人员和电工）都还处于学习热成像和热像仪技术及优势的初级阶段。

由于新信息的不断发展，热成像应用在过去数年间取得了迅猛的增长。不要请注意，有些与热成像相关的信息



资源包括由许多标准组织提供的书面材料。

（尤其是刊登在万维网上的信息）可能不准确或与事实不符。强烈建议从可靠的资源（例如本书和下面列出的信息）了解热成像的基础知识。此外，还建议以批判性的眼光学习不明来源，了解更多信息。资源包括标准、在线资源、书籍和印刷材料以及专业组织。

标准

标准是指由业界专业人士制定的、受到普遍认可的参考或实践。标准提供了一套执行工作的良好准则。虽然遵守业界标准是自愿的，但遵守经过批准并获得认可的标准是一种良好的做法。标准采纳了众多业界专家的意见并通过多个组织提供。参见图 9-1。它们都是有价值的资源，提供了热成像各方面的详细信息。

在线资源

在线资源是指用户仅可通过互联网

获得的资源。这些资源为学生、热像仪使用人员和技术人员提供了大量指导。通常,设备制造商、标准组织、学习材料和专业组织可以提供一些补充信息。例如,在线资源可以包括实况讨论节目,其中经验丰富的设备制造商代表人员可以与设备用户进行“交谈”,以便解决设备故障或提供设备使用建议。

书籍和印刷材料

书籍和印刷材料是指可以用作技术参考材料的印刷资源。对于使用热成像和红外技术进行测试和检查工作的人员而言,可以使用书籍和印刷材料来增加个人知识。目前我们提供一些书籍和印刷材料。

专业组织

专业组织是指通过刊物、培训活动和参加地方分会来提供热成像技术信息和培训的组织。我们鼓励热成像使用人员和技术人员加入各种专业组织。此类会员资格可以帮助个人了解业界最新的技术、趋势和变化。加入专业组织可带来新的机遇,而且有助于获得有关热成像流程、最新设备以及测试/检查技巧的知识。

标准组织	
美国无损检测学会 (ASNT)	
1711 Arlington Lane PO Box 28518 Columbus, OH 43228 614-274-6003	www.asnt.org
ASTM 国际组织 (ASTM)	
100 Barr Harbor Drive PO Box C700 West Conshohocken, PA 19428 610-832-9598	www.astm.org
加拿大标准协会 (CSA)	
5060 Spectrum Way Suite 100 Mississauga, ON L4W 5N6	www.csa.ca
电气及电子工程师协会 (IEEE)	
1828 L Street NW Suite 1202 Washington, DC 20036 202-785-0017	www.ieee.org
国际电工委员会 (IEC)	
3, rue de Varembe' PO Box 131 CH-121 Geneva 20 Switzerland	www.iec.ch
国际标准化组织 (ISO)	
1, ch. de la Voie-Creuse Case postale 56 CH-1211 Geneva 20, Switzerland +41 22 749 01 11	www.iso.org
美国国家消防协会 (NFPA)	
1 Batterymarch Park Quincy, MA 02169 617-770-3000	www.nfpa.org

图 9-1. 标准是指由业界专业人士制定并通过多个组织提供的、受到普遍认可的参考或实践。



其它相关技术

除了热成像技术外,还可使用其它相关技术和分析方法来检查和诊断商业及工业的设备与组件。这些方法包括视觉和听觉检查、电气分析、超声波分析、振动分析、润滑油分析以及磨损颗粒分析。可以单独使用它们来解决设备故障,或之后使用热像仪来检验所获得的测试结果。

视觉和听觉检查

视觉和听觉检查是指对操作设备的问题表象和声音进行分析,以确定可能需要执行维护过程或修理工作的组件。参见图 10-1。视觉和听觉检查是在设备上执行的最简单 PdM 程序,无需使用工具或设备。它是有经验的维护技术人员获悉潜在问题的最有效方法。记录异常的操作特征并安排设备进行必需的维护。

视觉检查还可辅以着色渗透测试等流程,以找出细微的金属表面裂纹。首先彻底清洁金属,然后喷涂染料,使染料汇集在金属表面的小裂纹或凹坑中。擦除多余的染料以显示出表面下方的小裂纹或凹坑。

电气分析

电气分析方法使用电气监控设备来评估提供给设备的电能质量以及电气设

视觉和听觉检查



图 10-1.维护技术人员通过执行视觉和听觉检查,对操作设备的外观和声音进行例行检测。

备的性能。参见图 10-2。可以安装电气监控设备来测量最小和最大电压、相间电压差异、电压损失和电流水平。它还能评估提供给敏感电子设备的电能质量。

电气分析一般主要用于电机和电路。电机电路分析(MCA)是一种适用于电机和电路的电气分析,可在联机(通电)或脱机(断电)进行。两种测

试方法都提供了对电机、电机电路和电机传动系统中的缺陷或故障的早期检测。

电气分析

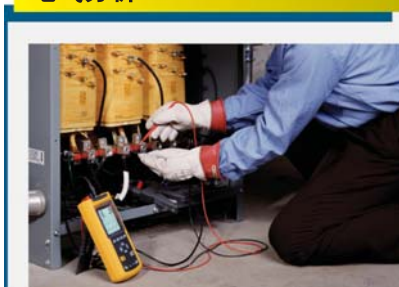


图 10-2.电气分析使用电气监控设备来评估提供给设备的电能质量。

空气传播的超声波检测

空气传播的超声波检测是一种将高频声音放大以识别潜在设备问题的分析方法。灵敏的监听设备把人类通常听不到的声音转换成可被人类感知的信号。这些信号可以与其它事物相结合,指出电气连接线路的异常高温、空气和蒸汽系统的泄漏、轴承摩擦以及其它众多设备问题。

振动分析

振动分析是指对单个组件的振动特征进行监控,以确定设备的运行状态。

磨损部件通常会导致设备故障。它们还会产生更多的振动或可隔离的噪声。振动分析是旋转设备上最常用的一种监控技术。

润滑油分析

润滑油分析是一种主动性维护技术,它检测润滑油中酸、灰尘、燃料或磨粒的存在情况,并检验这些物质以预测设备故障。润滑油分析按预先安排的时间进行。从机器中提取油样品来测定润滑剂和移动部件的状况。通常要将油样品发送到专门从事润滑油分析的公司。

磨粒分析

磨粒分析是对润滑油中存在的磨粒进行检验。润滑油分析侧重于检验润滑油的状况,而磨粒分析则较关注磨损部件产生微粒的尺寸、频率、形状及成分。设备状况通过监控磨粒来评估。当设备部件按照设计定期相互接触时,就会发生正常磨损。润滑油中磨粒的频率及尺寸的增加表明部件有磨损或预示可能发生故障。



热成像原理介绍

索引

A

(ASNT), 14, 64
安全, 14-16, 15
个人防护用具 (PPE), 46, 46

B

保温检查, 54
报告和文档, 61-62, 62
报告制作软件, 8
标准, 16-17, 63
 NFPA 70E, 15
表面温度, 25-26

C

Case, Theodore, 2
长波热像仪, 4
处理软件, 8
传导, 20-21
传输, 23, 24

D

导体, 21
低坡度屋顶, 52
电磁波频谱, 23, 23
电磁能量, 22
电弧爆炸, 14
电弧闪光, 14
电弧闪光防护范围, 14, 15
电机和机械检查, 48-49
电机检查, 49, 50
电气机箱, 15
电气及电子工程师协会 (IEEE), 64
电气应用, 45-48
定量热成像, 57
定性热成像, 57
对比热成像, 57-58, 58
对流, 21-22, 22

F

发射, 23, 24
发射率, 24, 25, 26
反射, 24
方法, 参见热成像方法
放射性, 11
辐射, 1, 20, 22-23, 24
辐射图像, 3

G

个人防护用具 (PPE), 46, 16
个人防护用具 (PPE), 46, 46
故障处理, 9-12
国际标准化组织 (ISO), 14, 64
国际电工委员会 (IEC), 64

H

Herschel, John, 2
Herschel, William, 1-2
合格人员, 15
红外热成像, 1-4
红外透视窗, 47, 47
环境影响, 28

I

IFOV 测量, 27, 28
ISO, 14, 64

J

机械检查, 48-49
基准检查, 58-59, 59
基准热成像, 58-59, 59
加拿大标准协会 (CSA),
检查报告, 61-62, 62
检查程序, 16-17
检查分析, 61
建筑物诊断, 52-56
焦平面阵列 (FPA), 3-4, 4
镜头, 5, 6
绝缘体, 21, 21

K

空气传播的超声波, 47
空气传播的超声波检测, 66
控件, 7, 7

L

流程应用, 49-51
漏气检测, 54-55, 55

M

Melloni, Macedonio, 2
美国材料实验协会 (ASTM) 国际组织, 16, 64
美国国家消防协会 (NFPA), 15, 64

美国无损检测协会
美国职业安全与卫生管理局 (OSHA), 16
磨粒分析, 66
目标, 4, 5

N

NFPA 70E, 15
Nobili, Leopoldo, 2
能量, 19
暖“花”, 55

O

OSHA, 16

P

PPE, 46, 46
排除电机轴承故障, 10

Q

趋势检查, 49

R

热成像资源, 63-64, 64
热传递, 19-20
热电光导摄像管 (PEV), 3
热辐射, 22-23
热力学, 19
热力学的第二定律, 19
热力学的第一定律, 19
热趋势, 59, 59
热容, 20
热梯度, 48
热图案, 9, 10, 50, 55
热像仪
 认证, 13, 13-14, 61
 报告和文档, 61-62, 62
热像仪, 2, 3, 6, 17, 24
 历史, 2-4
 操作, 4-8, 5
 组件, 5-8, 6, 7
热异常, 45
软件, 8

S

Seebeck, Thomas, 2
商业建筑物检查, 56
湿气检测, 55
视场 (FOV), 26, 27

视觉和听觉检查, 65, 65
数据处理软件, 8
数据存储设备, 7-8
瞬时视场 (IFOV), 26-27
斯特番-波尔兹曼方程式, 22

T

探测器和处理电子元件, 6-7

W

微米 (μm), 4
维护
 预测性维护, 11-12, 12
 预防性维护, 11
温度, 19
温度测量准确度, 26-28
 环境影响, 28
 视场 (FOV), 26, 27
 瞬时视场 (IFOV), 26-27
温度记录图, 4-5
屋顶潮湿检查, 52-53, 53

X

吸收, 23, 24
显示屏, 6, 6, 7
像素, 3, 4
夜盲, 16

Y

应用, 参见热成像应用
预防性维护, (PM), 11
预测性维护 (PdM), 11-12, 12

Z

在线资源, 64
振动分析, 66
中波热像仪, 4
专业组织, 64
资源, 63-64, 64
组织
 专业组织, 64
 标准组织, 64
组织, 64

专业组织

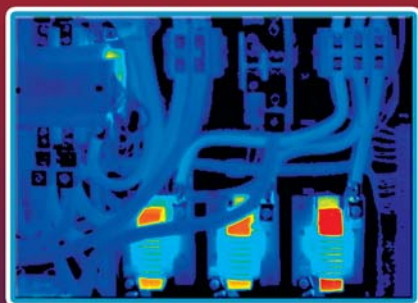
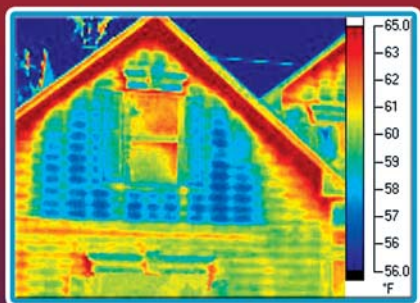
Affordable Comfort 公司 (ACI)	国际电气测试协会 (NETA)
33 Church Street www.aftofdabtecocriton.org Suite 204 Waynesburg, PA 15370 724-627-5200	3050 Old Centre Avenue www.netawoddd.org Suite 102 Portage, MI 49024 269-488-6382
美国建筑师协会 (AIA)	国际运营工程师联盟 (JUOE)
16 New Votk Avenue, NW www.aia.org Washington, DC 20006 202-626-7300	1125 17th Street NW www.iuoe.org Washington, DC 20036 202-429-9100
美国暖通、制冷、空调工程师协会 (ASHRAE)	设备维护专业人士协会 (SMRP)
1791 Tulhe Circle.NE www.ashrae.org Atlanta, GA 30329 404-636-8400	8400 Westpark Drive, 2nd Floor wwwsmrp.org McLean, VA 22102 703-245-8011
大型设施工程协会 (AFE)	美国国家消防协会 (NFPA)
12100 Sunset Hills Road www.ate.org Suite 130 Reston, VA 20190 703-234-4066	1 Batterymarch Park www.nfpa.org Quincy, MA 02169 617-770-3000

热成像技术出版物

名称:《非破坏性测试手册》, 第三版第三卷: 红外和热测试
作者: Xavier Maldague 和 Patrick Moore 出版商: ASNT, 2001 年 平装, 732 页
名称:《温度测量解决方案大会内容汇编》, 卷号: 1906*3006
作者: 业界专家合著 出版商: Snell 集团, 2008 年 平装或 CD-ROM

在线资源

www.IRTalk.com
由 Snell 集团创办, 目的在于满足热成像测量从业人员对于红外技术的需要, 由四个论坛组成, 分别是: 应用、红外技术课堂、设备论坛和行业论坛。用户需登录才能发布信息。
www.flukecommunity.com
由福禄克公司赞助, 旨在为世界各地的用户和专业技术人员提供一个交流知识的场所。交流的内容包括热成像技术、维护与检修、预防性维护、电力质量和谐波测量、电机与驱动设备、安全、配电系统以及其它特定应用领域和测试工具相关知识。用户需登录才能发布信息。
www.ATPeResources.com
本网站由“美国技术出版社”开办, 提供锅炉、建筑物和电气行业、通风和数学等领域的专业知识, 用户需登录才能发布信息。
www.thesneltgroup.com
Snell 集团提供红外热成像技术领域的培训与咨询服务, 该集团的培训课程均登载在网站上, 为用户提供远程学习机会以及包括新闻、白皮书和年会信息在内的其它众多资源。



ISBN 978-0-8269-1535-1



9 780826 915351

