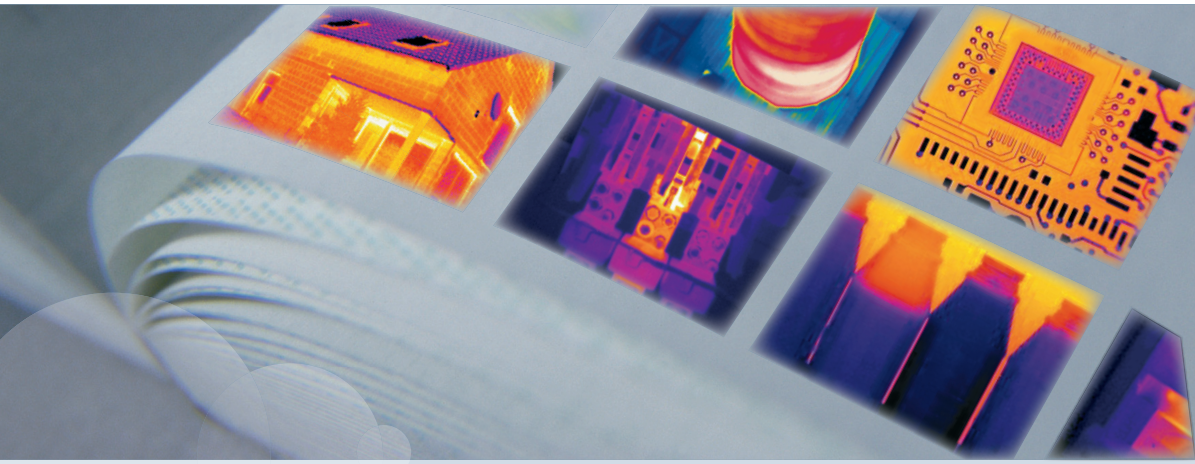
# 用户手册



# FLIR i5
# FLIR i7


| | |
|---|---|
| Publ. No. | T559403 |
| Revision | a382 |
| Language | Simplified Chinese (ZH-CN) |
| Issue date | August 14, 2009 |

# 用户手册

Publ. No. T559403 Rev. a382 – SIMPLIFIED CHINESE (ZH-CN) – August 14, 2009

法律免责声明

由 FLIR Systems 制造的所有产品从最初购买的交付之日起，如果存在原材料和生产工艺方面的缺陷，都有一 (1) 年的保修期限，但前提是此类产品必须按照 FLIR Systems 的说明在正常条件下进行存储、使用和维修。

由 FLIR Systems 出售给原购人的系统中所包括的非 FLIR Systems 制造的所有产品，仅包括特定供应商所提供的保修（如果有），FLIR Systems 不对此类产品承担任何责任。

本保修仅提供给原购人而不可转让。本保修不适用于任何因误用、疏忽、事故或异常操作条件而受损的产品。消耗件不在本保修范围之列。

本保修范围内的产品如出现任何缺陷，将不得继续使用，以防进一步损坏。购买人须立即向 FLIR Systems 报告任何缺陷，否则本保修将不适用。

FLIR Systems 如在检查后证明该产品确属材料或制造缺陷，可自行决定免费维修或替换任何此类缺陷产品，条件是该产品须在上述一年期限内退回给 FLIR Systems。

FLIR Systems 无义务或责任承担任何上述之外的缺陷。

本产品免于任何其他明示或暗示的保证。FLIR Systems 特此声明不做任何有关特定用途适销性和适用性的暗示保证。

FLIR Systems 不对基于合同、民事或任何其他法律理论的任何直接、间接、特殊、意外或后果性损失或损害负责。

版权所有

©FLIR Systems, 2009。在全球范围内保留所有权利。未经 FLIR Systems 的事先书面许可，本软件的任何部分包括源代码，不得以任何形式或电子、电磁、光学、人工或其他任何方式，进行复制、传输、转录或翻译成任何一种语言或计算机语言。

未经 FLIR Systems 的事先书面同意，本手册的全部或部分不得复制、影印、转载、翻译或传输到任何电子或可机读媒体上。

此处产品上显示的名称和标志是 FLIR Systems 和（或）其附属公司的注册商标或商标。此处引用的所有其他商标、商品名称或公司名称仅用于标识目的，是其各自所有者的财产。

质量保证

研发和生产这些产品的质量管理系统已按照 ISO 9001 标准获得了认证。

FLIR Systems 致力于持续开发的政策，因而保留未经事先通知而对本手册中所述的任何产品进行修改或改进的权利。

专利

本手册中介绍的产品和/或功能采用了一项或多项以下专利或设计专利:

0002258-2；000279476-0001；000439161；000499579-0001；000653423；000726344；000859020；0101577-5；0102150-0；0200629-4；0300911-5；0302837-0；1144833；1182246；1182620；1188086；1263438；1285345；1287138；1299699；1325808；1336775；1678485；200530018812.0；2106017；235308；3006596；3006597；466540；483782；484155；518836；60004227.8；60122153.2；602004011681.5-08；6707044；68657；7034300；7110035；7154093；7157705；7237946；7312822；7332716；7336823；75530；D540838；D549758；DI6702302-9；DI6703574-4；DM/057692；DM/061609；ZL00809178.1；ZL01823221.3；ZL01823226.4；ZL02331553.9；ZL02331554.7；ZL200530120994.2；ZL200630130114.4；ZL200730151141.4。

**EULA Terms**

- You have acquired a device (“INFRARED CAMERA”) that includes software licensed by FLIR Systems AB from Microsoft Licensing, GP or its affiliates (“MS”). Those installed software products of MS origin, as well as associated media, printed materials, and “online” or electronic documentation (“SOFTWARE”) are protected by international intellectual property laws and treaties. The SOFTWARE is licensed, not sold. All rights reserved.
- IF YOU DO NOT AGREE TO THIS END USER LICENSE AGREEMENT (“EULA”), DO NOT USE THE DEVICE OR COPY THE SOFTWARE. INSTEAD, PROMPTLY CONTACT FLIR Systems AB FOR INSTRUCTIONS ON RETURN OF THE UNUSED DEVICE(S) FOR A REFUND. **ANY USE OF THE SOFTWARE, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO USE ON THE DEVICE, WILL CONSTITUTE YOUR AGREEMENT TO THIS EULA (OR RATIFICATION OF ANY PREVIOUS CONSENT).**
- **GRANT OF SOFTWARE LICENSE.** This EULA grants you the following license:
  - You may use the SOFTWARE only on the DEVICE.
  - **NOT FAULT TOLERANT.** THE SOFTWARE IS NOT FAULT TOLERANT. FLIR Systems AB HAS INDEPENDENTLY DETERMINED HOW TO USE THE SOFTWARE IN THE DEVICE, AND MS HAS RELIED UPON FLIR Systems AB TO CONDUCT SUFFICIENT TESTING TO DETERMINE THAT THE SOFTWARE IS SUITABLE FOR SUCH USE.
  - **NO WARRANTIES FOR THE SOFTWARE.** THE SOFTWARE is provided “AS IS” and with all faults. THE ENTIRE RISK AS TO SATISFACTORY QUALITY, PERFORMANCE, ACCURACY, AND EFFORT (INCLUDING LACK OF NEGLIGENCE) IS WITH YOU. ALSO, THERE IS NO WARRANTY AGAINST INTERFERENCE WITH YOUR ENJOYMENT OF THE SOFTWARE OR AGAINST INFRINGEMENT. **IF YOU HAVE RECEIVED ANY WARRANTIES REGARDING THE DEVICE OR THE SOFTWARE, THOSE WARRANTIES DO NOT ORIGINATE FROM, AND ARE NOT BINDING ON, MS.**
  - No Liability for Certain Damages. **EXCEPT AS PROHIBITED BY LAW, MS SHALL HAVE NO LIABILITY FOR ANY INDIRECT, SPECIAL, CONSEQUENTIAL OR INCIDENTAL DAMAGES ARISING FROM OR IN CONNECTION WITH THE USE OR PERFORMANCE OF THE SOFTWARE. THIS LIMITATION SHALL APPLY EVEN IF ANY REMEDY FAILS OF ITS ESSENTIAL PURPOSE. IN NO EVENT SHALL MS BE LIABLE FOR ANY AMOUNT IN EXCESS OF U.S. TWO HUNDRED FIFTY DOLLARS (U.S.$250.00).**

- **Limitations on Reverse Engineering, Decompilation, and Disassembly.** You may not reverse engineer, decompile, or disassemble the SOFTWARE, except and only to the extent that such activity is expressly permitted by applicable law notwithstanding this limitation.
- **SOFTWARE TRANSFER ALLOWED BUT WITH RESTRICTIONS.** You may permanently transfer rights under this EULA only as part of a permanent sale or transfer of the Device, and only if the recipient agrees to this EULA. If the SOFTWARE is an upgrade, any transfer must also include all prior versions of the SOFTWARE.
- **EXPORT RESTRICTIONS.** You acknowledge that SOFTWARE is subject to U.S. export jurisdiction. You agree to comply with all applicable international and national laws that apply to the SOFTWARE, including the U.S. Export Administration Regulations, as well as end-user, end-use and destination restrictions issued by U.S. and other governments. For additional information see http://www.microsoft.com/exporting/.

# 目录


**1** 警告和小心 ..... 1

**2** 用户须知 ..... 3

**3** 客户服务 ..... 4

**4** 文档更新 ..... 5

**5** 关于本手册的重要说明 ..... 6

**6** 快速入门指南 ..... 7

**7** 装箱单 ..... 9

**8** 热像仪部件 ..... 10

**9** 屏幕元素 ..... 13

**10** 接头和存储介质 ..... 15

**11** 使用热像仪 ..... 16
- 11.1 安装电池 ..... 16
- 11.2 为电池充电 ..... 17
- 11.3 保存图像 ..... 18
- 11.4 重新调用图像 ..... 19
- 11.5 打开图像归档 ..... 20
- 11.6 删除图像 ..... 21
- 11.7 删除所有图像 ..... 22
- 11.8 使用点测表测量温度 ..... 23
- 11.9 使用区域测量温度 ..... 24
- 11.10 标记高于或低于某个设定温度水平的所有区域 ..... 25
- 11.11 更改调色板 ..... 26
- 11.12 更改设置 ..... 27
- 11.13 更改图像模式 ..... 28
- 11.14 设置表面属性 ..... 29
- 11.15 更改辐射率 ..... 30
- 11.16 更改反射表观温度 ..... 31
- 11.17 重置热像仪 ..... 32
- 11.18 查找热像仪的序列号 ..... 33

**12** 清洁热像仪 ..... 34
- 12.1 热像仪的外壳、线缆及其他部件 ..... 34
- 12.2 红外镜头 ..... 35

**13** 技术数据 ..... 36
- 13.1 热像仪数据 ..... 36
- 13.2 其他信息 ..... 39
- 13.3 附件数据 ..... 41

**14** 尺寸 ..... 42
- 14.1 热像仪（正面） ..... 42
- 14.2 热像仪（侧面） ..... 43

**15** 应用案例 ..... 44
15.1 潮气和水渍损害 ..... 44
15.2 插座接触不良 ..... 45
15.3 插座被氧化 ..... 46
15.4 保温缺陷 ..... 47
15.5 气流 ..... 48

**16** 建筑物热成像简介 ..... 49
16.1 重要注意事项 ..... 49
16.2 典型的实地勘察 ..... 49
16.2.1 指导原则 ..... 49
16.2.1.1 一般性指导原则 ..... 49
16.2.1.2 潮气探测、霉菌探测以及水渍损害探测的指导原则 ..... 49
16.2.1.3 检查漏风和保温缺陷的指导原则 ..... 50
16.2.2 关于潮气探测 ..... 50
16.2.3 潮气探测 (1): 低坡度商用屋顶 ..... 51
16.2.3.1 一般信息 ..... 51
16.2.3.2 安全注意事项 ..... 52
16.2.3.3 建筑结构备注 ..... 52
16.2.3.4 红外图像备注 ..... 53
16.2.4 潮气探测 (2): 商用和民用正立面 ..... 54
16.2.4.1 一般信息 ..... 54
16.2.4.2 建筑结构备注 ..... 55
16.2.4.3 红外图像备注 ..... 57
16.2.5 潮气探测 (3): 露台和阳台 ..... 57
16.2.5.1 一般信息 ..... 57
16.2.5.2 建筑结构备注 ..... 58
16.2.5.3 红外图像备注 ..... 60
16.2.6 潮气探测 (4): 管道破裂和泄漏 ..... 60
16.2.6.1 一般信息 ..... 60
16.2.6.2 红外图像备注 ..... 61
16.2.7 漏风 ..... 63
16.2.7.1 一般信息 ..... 63
16.2.7.2 建筑结构备注 ..... 63
16.2.7.3 红外图像备注 ..... 65
16.2.8 保温缺陷 ..... 65
16.2.8.1 一般信息 ..... 65
16.2.8.2 建筑结构备注 ..... 66
16.2.8.3 红外图像备注 ..... 68
16.3 建筑学原理 ..... 70
16.3.1 一般信息 ..... 70
16.3.2 测试和检查的效果 ..... 70
16.3.3 热成像中的干扰源 ..... 71
16.3.4 表面温度和空气泄漏 ..... 72
16.3.4.1 建筑物内的压力条件 ..... 73
16.3.5 测量条件和测量季节 ..... 77
16.3.6 红外图像的解读 ..... 78
16.3.7 湿度和露点 ..... 79
16.3.7.1 相对和绝对湿度 ..... 79
16.3.7.2 露点的定义 ..... 80
16.3.8 摘录自《技术声明》'评估热桥接和保温连续性'（英国示例） ..... 80
16.3.8.1 信誉 ..... 80
16.3.8.2 简介 ..... 81

16.3.8.3 背景信息 ..... 81
16.3.8.4 热异常的量化鉴定 ..... 82
16.3.8.5 条件和设备 ..... 84
16.3.8.6 检测和分析 ..... 85
16.3.8.7 报告 ..... 86
16.4 免责声明 ..... 87
16.4.1 版权声明 ..... 87
16.4.2 培训和认证 ..... 87
16.4.3 国家级或地区级的建筑规范 ..... 87

**17** 简介电气安装的热成像检查 ..... 88
17.1 重要注意事项 ..... 88
17.2 一般信息 ..... 88
17.2.1 简介 ..... 88
17.2.2 一般设备数据 ..... 89
17.2.3 检查 ..... 89
17.2.4 分类和报告 ..... 90
17.2.5 优先级 ..... 90
17.2.6 维修 ..... 91
17.2.7 控制 ..... 91
17.3 用于电气安装的红外检查的测量技术 ..... 92
17.3.1 如何正确设置设备 ..... 92
17.3.2 温度测量 ..... 92
17.3.3 比较测量 ..... 94
17.3.4 正常工作温度 ..... 95
17.3.5 故障的分类 ..... 96
17.4 报告 ..... 97
17.5 电气安装中不同类型的热点 ..... 99
17.5.1 反射 ..... 99
17.5.2 日光加热 ..... 99
17.5.3 感应加热 ..... 100
17.5.4 负载变化 ..... 100
17.5.5 冷却条件差异 ..... 101
17.5.6 电阻差异 ..... 101
17.5.7 由于其它部件故障造成的部件过热 ..... 102
17.6 电气安装的热成像检查中的干扰因素 ..... 103
17.6.1 风 ..... 103
17.6.2 雨和雪 ..... 103
17.6.3 与对象的距离 ..... 103
17.6.4 对象尺寸 ..... 104
17.7 对热成像测量员的实用建议 ..... 106
17.7.1 从冷到热 ..... 106
17.7.2 雨淋 ..... 106
17.7.3 辐射率 ..... 106
17.7.4 反射表象温度 ..... 106
17.7.5 对象太远 ..... 106

**18** 关于 **FLIR Systems** ..... 108
18.1 这不仅仅是红外热像仪 ..... 109
18.2 分享我们的知识 ..... 109
18.3 客户支持 ..... 109
18.4 摄自工厂的一些图片 ..... 110

**19** 词汇表 ..... 112

**20** 热像仪测量技巧 ..... 115
20.1 简介 ..... 115
20.2 辐射率 ..... 115
20.2.1 测出样本的发射率 ..... 115
20.2.1.1 第一步：确定反射的表观温度 ..... 115
20.2.1.2 第二步：确定发射率 ..... 118
20.3 反射表象温度 ..... 119
20.4 距离 ..... 119
20.5 相对湿度 ..... 119
20.6 其它参数 ..... 119

**21** 红外技术发展史 ..... 120

**22** 热像仪的原理 ..... 124
22.1 简介 ..... 124
22.2 电磁波谱 ..... 124
22.3 黑体辐射 ..... 125
22.3.1 普朗克定律 ..... 126
22.3.2 维恩位移定律 ..... 127
22.3.3 史蒂芬-玻尔兹曼定律 ..... 129
22.3.4 非黑体辐射源 ..... 129
22.4 红外线半透明材料 ..... 131

**23** 测量公式 ..... 133

**24** 辐射率表 ..... 138
24.1 参考材料 ..... 138
24.2 关于辐射率表的重要注意事项 ..... 138
24.3 辐射率表 ..... 139

# 1 警告和小心

**警告**

- 本设备会产生、使用并且可能辐射出射频能量，如果不按说明手册安装和使用，可能干扰无线电通讯。本产品经测试符合 FCC 规则第 15 部分第 J 子部分关于 A 类计算设备的限制，该规则设计用于对商业环境下使用时出现的此类干扰提供合理的保护。在居民区使用此设备亦可能引致有害干扰，用户需就此干扰自费予以纠正。
- （仅适用于带有激光指示器的热像仪：）不要直接观看激光束。激光束可能会造成眼睛灼伤。
- 仅适用于带电池的热像仪：
  - 切勿拆卸或改装电池。电池带有安全和保护装置，如被破坏，可能导致电池过热，也可能导致爆炸或燃烧。
  - 如果电池泄漏，漏液进入眼睛，请勿揉搓。而须用水清洗并立即寻求医药治疗。如果不这样处理，电池液可能伤害眼睛。
  - 如果在指定的充电时间内未能充完电，切勿继续对电池充电。如果继续对电池充电，电池会发热并导致爆炸或燃烧。
  - 请仅使用正确的设备对电池进行放电。如果使用了不正确的设备，可能降低电池的性能或缩短电池的使用寿命。如果使用了不正确的设备，可能导致电池中产生不正常的电流。这可能导致电池发热，或者导致爆炸和人身伤害。
- 使用清洁液之前，请确保您阅读了所有适用的 MSDS（材料安全数据表）以及容器上所有的警告标签：清洁液可能有危险。

**小心**

- 无论是否带有镜头盖，都不要将红外热像仪指向激光辐射设备等强能量源，也不可长时间对着太阳。这可能对热像仪的精确度产生不利影响。此外，可能还会导致热像仪探测器的损坏。
- 除非用户文档中有另行规定，否则切勿在温度超过 +50°C 的环境中使用热像仪。高温可能对热像仪产生损伤。
- （仅适用于带有激光指示器的热像仪：）在不使用激光指示器时，请使用保护盖保护激光指示器。
- 仅适用于带电池的热像仪：
  - 切勿将电池直接连接到车载点烟器的插座上，除非用于将电池连接到点烟器插座的特定适配器是由 FLIR Systems 提供。
  - 切勿用任何金属物体（例如导线）将电池的正极和负极相连。
  - 切勿让电池沾上水或盐水，或将电池弄湿。
  - 切勿使用任何物体在电池上打孔。切勿使用锤子击打电池。切勿踩踏电池，应避免对电池的强冲击或是震动。
  - 切勿将电池放在靠近火源的地方，或曝露在直接光照中。当电池变热时，内置的安全装置将启动并停止电池的充电过程。如果电池变热，可能对安全装置产生破坏这可能产生更多的热量、损坏甚至导致电池的燃烧。
  - 切勿将电池放入火中或是通过加热提高电池的温度。
  - 切勿将电池放在靠近火、炉或其它高温物体的附近。
  - 切勿直接焊接电池。
  - 在电池的使用、充电或存储过程中，如果电池发出不寻常的气味，发热，发生颜色、形状的改变或者处于不正常的状态，则请勿再继续使用电池。如果出现上述一种或多种情况，请与您热像仪的销售部门联系。
  - 当为电池充电时，请仅使用特定的电池充电器。

- 除非用户文档中有另行规定，否则对电池充电的温度范围是从 ±0°C 到 +45°C。如果在此范围之外的温度对电池充电，可能导致电池发烫或爆裂，还可能降低电池的性能或缩短电池的使用寿命。
- 除非用户文档中有另行规定，否则电池放电的温度范围是 –15°C 到 +50°C。在此范围之外的温度使用电池，可能会降低电池的性能或缩短电池的使用寿命。
- 当电池破损时，在丢弃前请用胶带或类似材料将两极绝缘。

- 切勿将融液或类似液体涂于热像仪、线缆或其他部件上。这会导致损坏。
- 清洁红外镜头时请务必小心。镜头带有一层精密的抗反射涂层。
- 清洁红外镜头切勿过于用力。这可能会伤害抗反射涂层。

# 2 用户须知

**用户交流论坛**

在我们的用户论坛上与世界各地的热成像同行交流思想、问题和红外解决方案。要转至论坛，请访问：

http://www.infraredtraining.com/community/boards/

**校准**

（本通知仅适用于具有测量功能的热像仪。）

我们建议您每年将热像仪送回校准一次。请与您当地的销售部门联系，以了解将热像仪送往何处进行维修的指示。

**精确度**

（本通知仅适用于具有测量功能的热像仪。）

为获取非常精确的结果，我们建议您在打开热像仪之后，等待 5 分钟再开始测量温度。

对于探测器由机械冷却器冷却的热像仪，该时间段不包括冷却探测器所需的时间（通常 5–7 分钟）。

**电子废弃物的处理**

10742803;a1



与多数电子产品一样，此设备必须按照关于电子废弃物的现有法规以环保的方式进行处理。

请与您的 FLIR Systems 代表联系了解详情。

**培训**

要阅读红外培训，请访问：

http://www.infraredtraining.com

# 3 客户服务

**一般**

有关客户服务的信息，请访问：

http://flir.custhelp.com

**提交问题**

要向客户服务小组提交问题，您必须是注册用户。在线注册只需几分钟即可完成。如果您只想搜索现有的问题解答知识库，则无需成为注册用户。

要提交问题时，请确保手头有下列信息：

- 热像仪型号
- 热像仪的序列号
- 热像仪和 PC 之间的通信协议或方法（例如，HDMI、Ethernet、USB™ 或 FireWire™）
- PC 上的操作系统
- Microsoft® Office 版本
- 手册的全名、出版号和修订号

**下载**

您可以在客户帮助站点下载以下内容：

- 红外热像仪的固件更新
- PC 软件的程序更新
- 用户文档
- 应用案例
- 技术发布

# 4 文档更新

**一般**

我们的手册每年会更新多次，并且我们还定期发布产品关键的更改通知。

要访问最新的手册和通知，请转至 Download 选项卡，网址为：

http://flir.custhelp.com

联机注册只需几分钟即可完成。在下载区中，您还将找到我们其他产品的最新版手册，以及我们的旧产品与过时产品的手册。

# 5 关于本手册的重要说明

**一般**

FLIR Systems 发布的通用手册涵盖一个型号产品线中的若干热像仪。

这意味着本手册可能包含不适用于您特定热像仪型号的说明和解释。

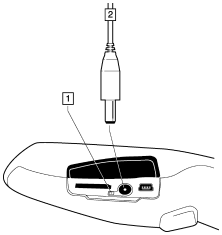
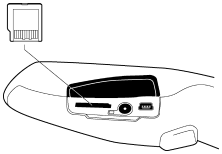
**注意**

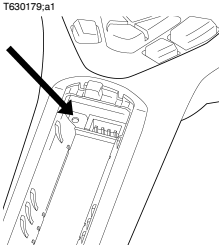
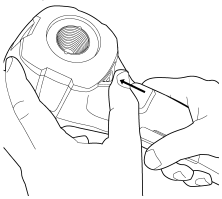
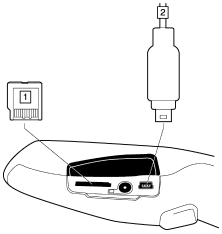
FLIR Systems 保留在未予事先通知的情况下，随时中止供应某些型号、软件、部件或附件及其他物件，或更改相应规格和/或功能的权利。

# 6 快速入门指南

**步骤**

请按以下步骤立即开始:

| | |
|---|---|
| **1** | 移除液晶显示屏上的保护膜。 |
| **2** | 首次使用热像仪之前，必须对热像仪内的电池进行完整的四小时充电（或直至电池充电指示灯显示绿灯为止）。<br>通过将电源连接到热像仪上的电源接头来对电池进行充电。请确保您使用的是正确的交流插头。<br>注意：首次对新出厂的电池充电时，在将电源与热像仪上的电源接头连接后，*必须打开然后关闭热像仪*。<br>T630175;a1<br><br>**1** 电池充电指示灯<br>**2** 电源线 |
| **3** | 将 miniSD™ 存储卡插入到卡槽中。<br>T630176;a1<br> |

| | |
|---|---|
| **4** | 按**“开/关”**按钮打开热像仪。<br>注意：如果将电池充电后热像仪未启动，请使用非传导性工具推动“重置”按钮。“重置”按钮位于电池盒内电池接头的旁边。然后，再次按**开/关**按钮。<br>“重置”按钮：<br>T630179;a1<br> |
| **5** | 推动镜头盖把手打开镜头盖。<br>T630177;a1<br> |
| **6** | 将热像仪对准目标对象。 |
| **7** | 拉动**“保存”**快门保存图像。 |
| **8** | 要将图像传输到计算机，请完成以下操作之一：<br>T630178;a1<br><br><br>■ (上方图 **1**）移除 miniSD™ 存储卡并将其插入到连接在计算机上的读卡器中。miniSD™ 卡适配器随热像仪附赠。<br>■ （上方图 **2**）使用 USB™ Mini-B 缆线将计算机连接到热像仪。 |
| **9** | 在 Windows® Explorer 中，利用拖放操作移动存储卡或热像仪中的图像。 |

# 7 装箱单

**物品**

- 电池（热像仪内）
- 校准证书
- FLIR QuickReport 光盘
- 手带
- 红外热像仪
- miniSD 卡 (512 MB)，带 SD 适配器
- 电源/充电器，带在欧盟、英国、美国和澳大利亚适用的插头
- 打印版《入门指南》
- USB 电缆
- 用户文档 CD 光盘

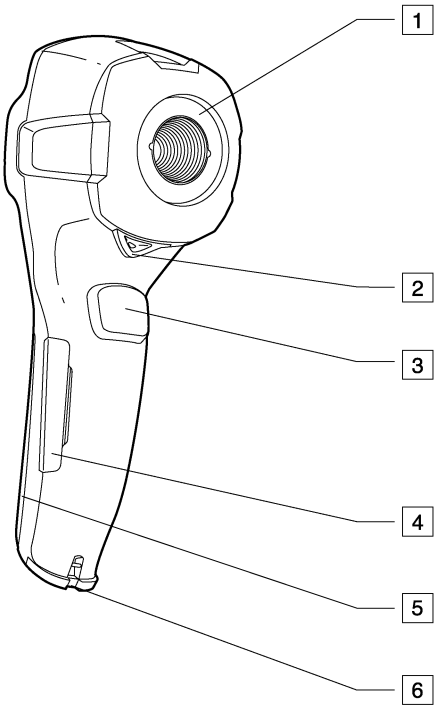
**注意**

- 如果任何物品有损坏或丢失现象，请与您当地的销售部门联系。您可在本手册的封底上找到当地销售机构的地址和电话号码。
- FLIR Systems 保留在未予事先通知的情况下，随时中止供应某些型号、部件或附件及其他物件，或更改相应规格的权利。

# 8 热像仪部件

**图**

10780903;a1



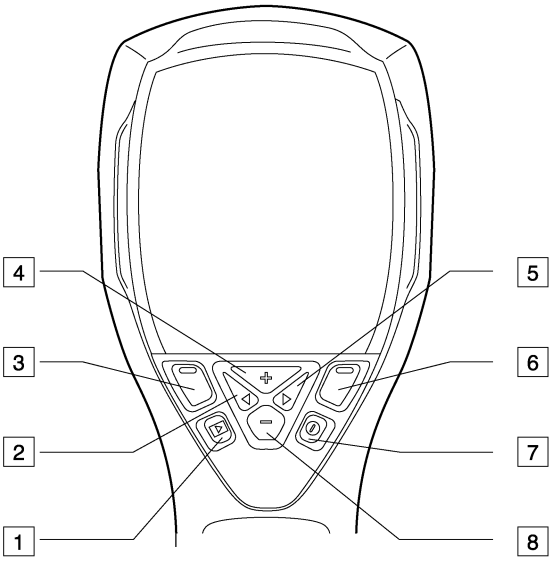

**说明**

下表对上图进行了解释:

| | |
|---|---|
| **1** | 红外镜头 |
| **2** | 用于打开和关闭镜头盖的把手 |
| **3** | 用于保存图像的快门 |
| **4** | 接头和 miniSD™ 存储卡插槽的顶盖 |
| **5** | 电池盒盖 |
| **6** | 腕带连接点 |

**图**

10781003;a1




**说明**

下表对上图进行了解释:

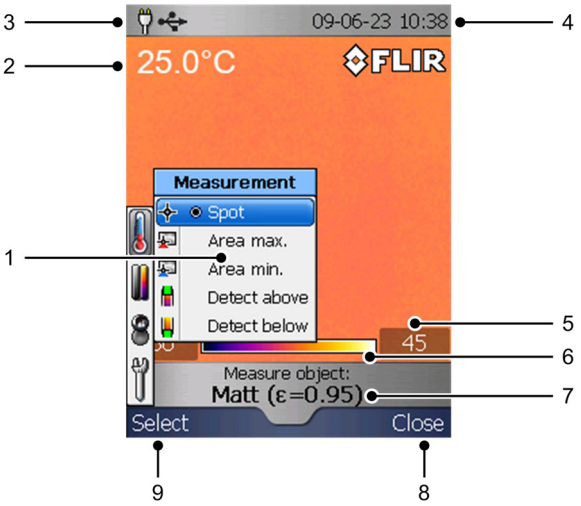
| | |
|---|---|
| **1** | **"归档"**按钮<br>功能：按动可打开图像归档。 |
| **2** | 左箭头按钮（位于导航台上）<br>功能:<br>■ 按动可在菜单、子菜单和对话框中左移。<br>■ 按动可在图像归档中进行浏览。 |
| **3** | 左选按钮。此按钮用于实现上下文功能，当前功能已显示在屏幕上此按钮的上方。 |
| **4** | + 按钮（位于导航台上）<br>功能:<br>■ 按动可在菜单、子菜单和对话框中上移。<br>■ 按动可显示图像归档（在按动**归档**按钮后）。<br>■ 按动可增大/更改值。 |
| **5** | 右箭头按钮（位于导航台上）<br>功能:<br>■ 按动可在菜单、子菜单和对话框中右移。<br>■ 按动可在图像归档中进行浏览。 |

| | |
|---|---|
| **6** | 右选按钮。此按钮用于实现上下文功能，当前功能已显示在屏幕上此按钮的上方。 |
| **7** | **“开/关”**按钮<br>功能:<br>■ 按动可打开热像仪。<br>■ 按住超过一秒钟即可关闭热像仪。 |
| **8** | – 号按钮（位于导航台上）<br>功能:<br>■ 按动可在菜单、子菜单和对话框中下移。<br>■ 按动可减小/更改值。 |

# 9 屏幕元素

**图**

10781203;a2




**说明**

下表对上图进行了解释：

| | |
|---|---|
| **1** | 菜单系统 |
| **2** | 测量结果 |
| **3** | 电源指示灯 |

| 图标 | 意义 |
|---|---|
|  | 执行以下一种操作：<br>▪ 热像仪使用电池进行供电。<br>▪ 电池正在充电（通过动态充填的电池显示框进行指示）。 |
|  | 电池已充满电并且热像仪正在使用电源供电。 |

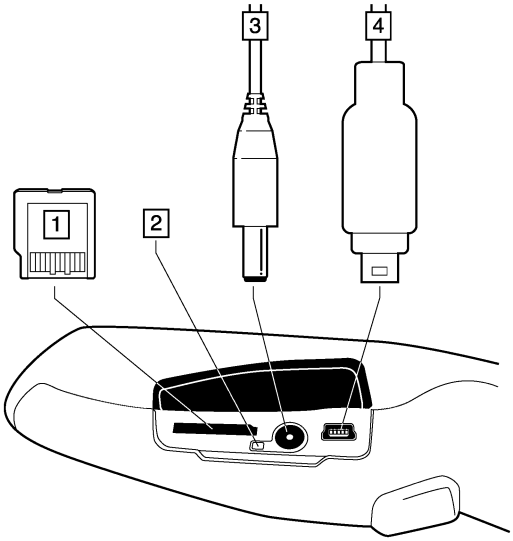
| | |
|---|---|
| **4** | 日期和时间 |
| **5** | 温标的限值 |
| **6** | 温标 |
| **7** | 当前设置的辐射率值或材料属性 |

| | |
|---|---|
| **8** | 右选按钮的当前功能 |
| **9** | 左选按钮的当前功能 |

# 10 接头和存储介质

**图**

10780803;a1




**说明**

下表对上图进行了解释:

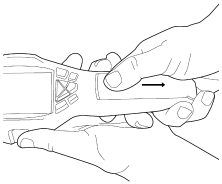
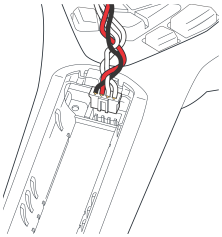
| | |
|---|---|
| **1** | miniSD™ 存储卡<br>我们建议您在 miniSD™ 存储卡上保存的图像不要超过 5000 幅。<br>尽管存储卡的容量可能大于 5000 幅图像，但是，如果保存的图像超过这一数字将严重降低 miniSD™ 存储卡上文件的管理速度。<br>注意：miniSD™ 存储卡的内存大小没有上限。 |
| **2** | 电池充电指示灯:<br>■ 不亮：未连接电源。<br>■ 橙色灯：电池正在充电。<br>■ 绿灯：电池充电已完成。 |
| **3** | 电源线 |
| **4** | USB 缆线，附带 USB Mini-B 接头 |

# 11 使用热像仪

## *11.1 安装电池*

**步骤**

请按以下步骤安装电池：

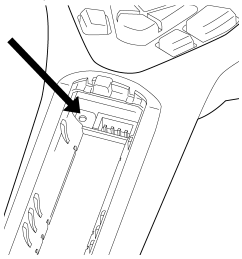
| | |
|---|---|
| **1** | 移除电池盒盖。<br>T630174;a1<br> |
| **2** | 将与电池附连的线缆连接至电池盒内的接头。注意：执行此操作时，切勿使用传导工具。<br>T630173;a2<br> |
| **3** | 将电池推入到位。 |
| **4** | 盖回顶盖将电池盒闭合。 |

## 11.2 为电池充电

**注意**

- 首次使用热像仪之前，必须对热像仪内的电池进行完整的四小时充电（或直至电池指示灯显示绿灯为止）。
- 首次对新出厂的电池充电时，在将电源与热像仪上的电源接头连接后，*必须打开然后关闭热像仪*。
- 如果将电池充电后热像仪未启动，请使用非传导性工具推动“重置”按钮。“重置”按钮位于电池盒内电池接头的旁边。然后，再次按**开/关**按钮。
  “重置”按钮：

T630179;a1



- 切勿频繁更换电池。请仅在电池破损的情况下对其进行更换。

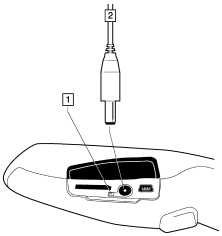
**关于电池充电指示灯**

电池充电指示灯是位于电源接头旁边的 LED。它可显示下列信号：

- 不亮：未连接电源。
- 橙色灯：电池正在充电。
- 绿灯：电池充电已完成。

**步骤**

请遵循以下步骤对电池进行充电：

| | |
|---|---|
| **1** | 连接电源与热像仪上的电源接头。<br>T630175;a1<br><br>**1** 电池充电指示灯<br>**2** 电源线 |
| **2** | 将电源插头连接到电源插座。请确保您使用的是正确的交流插头。 |
| **3** | 当电池充电指示灯显示绿灯时，断开与电源线插头的连接。 |

## 11.3 保存图像

**一般**

您可以将多幅图像保存到 miniSD™ 存储卡上。

**图像容量**

我们建议您在 miniSD™ 存储卡上保存的图像不要超过 5000 幅。

尽管存储卡的容量可能大于 5000 幅图像，但是，如果保存的图像超过这一数字将严重降低存储卡上文件的管理速度。

注意：miniSD™ 存储卡的内存大小没有上限。

**格式化存储卡**

为实现最佳性能，应将存储卡格式化为 FAT (FAT16) 文件系统。使用 FAT32 格式的存储卡可能会导致性能低下。要将存储卡格式化为 FAT (FAT16)，请按照以下步骤操作：

| | |
|---|---|
| **1** | 将存储卡插入到连接在计算机上的读卡器中。 |
| **2** | 在 Windows® 资源管理器中，选择**我的电脑**并右键单击存储卡。 |
| **3** | 选择**格式化**。 |
| **4** | 在**文件系统**下，选择 FAT。 |
| **5** | 单击**开始**。 |

**命名规则**

图像的命名规则为 **IR_xxxx.jpg**，其中 **xxxx** 是唯一的计数器。当您选择 **恢复** 时，热像仪将重置计数器并为新文件指定下一个最大的可用文件名称。

**步骤**

要保存图像，请拉动**"保存"**快门。

## 11.4 重新调用图像

**一般**

当您保存图像时，图像存储在可拆卸的miniSD™ 存储卡上。要再次显示此图像，您可以从 miniSD™ 存储卡中将其重新调用。

**步骤**

请遵循以下步骤重新调用图像:

| | |
|---|---|
| **1** | 按**"归档"**按钮。 |
| **2** | 执行以下操作之一:<br>■ 按导航台上的左/右箭头选择您想要查看的图像。<br>■ 按 + 按钮，使用导航台选择您想要查看的图像，然后按右选按钮 (**打开**)。 |
| **3** | 要返回到实时模式，请执行下列操作之一:<br>■ 按**"归档"**按钮。<br>■ 按右选按钮 (**关闭**)。 |

## 11.5 打开图像归档

**一般**

图像归档是指 miniSD™ 存储卡上所有图像的缩略图图库。

**步骤**

请遵循以下步骤打开图像归档:

| | |
|---|---|
| **1** | 按**"归档"**按钮。 |
| **2** | 按导航台上的 + 按钮。<br>这将会显示图像归档。您现在可以使用导航台在归档中进行浏览。 |
| **3** | 要打开所选的图像，请按右选按钮 (**打开**)。 |

# 11.6 删除图像

**一般**

您可以删除 miniSD™ 存储卡中的一幅或多幅图像。

**替代方法 1**

请按照下述步骤删除一幅图像:

| | |
|---|---|
| **1** | 按**"归档"**按钮。 |
| **2** | 按 + 按钮。这将会显示图像归档。 |
| **3** | 使用导航台选择您想要删除的图像。 |
| **4** | 按左选按钮 (**选项**)。 |
| **5** | 使用导航台选择 **删除图像**。 |
| **6** | 按左选按钮 (**选择**)。 |
| **7** | 按右选按钮确认 (**删除**)。 |
| **8** | 要返回到实时模式，请执行下列操作之一:<br>■ 按**"归档"**按钮。<br>■ 按右选按钮 (**关闭**)。 |

**替代方法 2**

请按照下述步骤删除一幅图像:

| | |
|---|---|
| **1** | 按**"归档"**按钮。 |
| **2** | 使用导航台选择您想要删除的图像。 |
| **3** | 按左选按钮 (**删除**)。 |
| **4** | 按右选按钮确认 (**删除**)。 |
| **5** | 要返回到实时模式，请执行下列操作之一:<br>■ 按**"归档"**按钮。<br>■ 按右选按钮 (**关闭**)。 |

## 11.7 删除所有图像

**一般**

您可以删除 miniSD™ 存储卡中的所有图像。

**步骤**

请按照下述步骤删除所有图像:

| | |
|---|---|
| **1** | 按**"归档"**按钮。 |
| **2** | 按 + 按钮。这将会显示图像归档 |
| **3** | 按左选按钮 (**选项**)。 |
| **4** | 使用导航台选择 **删除所有图像**。 |
| **5** | 按左选按钮 (**选择**)。 |
| **6** | 按右选按钮确认 (**删除**)。 |

## 11.8 使用点测表测量温度

**一般**

您可以使用点测表测量温度。这会将点测表位置处的温度显示在屏幕上。

**步骤**

请遵循以下步骤:

| | |
|---|---|
| **1** | 按左选按钮 (**菜单**)。 |
| **2** | 使用导航台选择**测量**。 |
| **3** | 按左选按钮 (**选择**)。 |
| **4** | 使用导航台选择**点**。 |
| **5** | 按左选按钮 (**选择**)。<br>点测表位置处的温度现在将显示在屏幕的左上角。 |

# 11.9 使用区域测量温度

**一般**

使用连续移动的光标，您可以连续显示某个区域内的最高或最低温度。

**步骤**

请遵循以下步骤:

| | |
|---|---|
| **1** | 按左选按钮 (**菜单**)。 |
| **2** | 使用导航台选择**测量**。 |
| **3** | 按左选按钮 (**选择**)。 |
| **4** | 使用导航台选择以下之一:<br>▪ **面积最大值**<br>▪ **面积最小值** |
| **5** | 按左选按钮 (**选择**)。<br>区域内的最高或最低温度现在将由连续移动的光标显示。<br>测得的温度也将显示在屏幕的左上角。 |

## 11.10 标记高于或低于某个设定温度水平的所有区域

**一般**

您可以标记高于或低于某个设定温度水平的所有区域。

**步骤**

请遵循以下步骤:

| | |
|---|---|
| **1** | 按左选按钮 (**菜单**)。 |
| **2** | 使用导航台选择**测量**。 |
| **3** | 按左选按钮 (**选择**)。 |
| **4** | 使用导航台选择以下之一:<br>▪ **探测高于**<br>▪ **探测低于** |
| **5** | 按左选按钮 (**选择**)。 |
| **6** | 要更改标记高于或低于某个温度的区域时所参照的温度水平，请使用导航台。 |

# 11.11 更改调色板

**一般**

您可以更改热像仪用来显示不同温度的颜色调色板。使用不同的调色板可以让分析图像更为容易。

**步骤**

请遵循以下步骤更改调色板:

| | |
|---|---|
| **1** | 按左选按钮 (**菜单**)。 |
| **2** | 使用导航台前往 **调色板**。 |
| **3** | 按左选按钮 (**选择**)。这将会显示 **调色板** 子菜单。 |
| **4** | 使用导航台选择新的调色板。 |
| **5** | 按左选按钮 (**选择**) 确认选择然后退出子菜单。 |

# 11.12 更改设置

**一般**

您可以更改热像仪的各种设置。其中包括下列各项:

- **自动关闭**
- **显示亮度**
- **语言**
- **单位**
- **时间格式**
- **设置时间**
- **时间戳**
- **固件**（要为热像仪下载程序更新。请访问 http://flir.custhelp.com 以了解更多信息。）
- **恢复**

**步骤**

请遵循以下步骤更改设置:

| | |
|---|---|
| **1** | 按左选按钮 (**菜单**)。 |
| **2** | 使用导航台前往 **设置**。 |
| **3** | 按左选按钮 (**选择**)。这将会显示 **设置** 子菜单。 |
| **4** | 使用导航台选择您想要更改的设置。 |
| **5** | 按左选按钮 (**选择**)，然后使用导航台选择新的设置。 |
| **6** | 按左选按钮 (**选择**) 确认选择然后退出子菜单，或者按右选按钮 (**关闭**) 退出菜单。 |

# 11.13 更改图像模式

**一般**

热像仪可在两种不同的图像模式下进行操作:

| 图像模式 | 图标 | 说明 |
|---|---|---|
| **自动** | [无] | 在**"自动"**模式下，热像仪会连续自动进行调整，以达到最佳的图像亮度和对比度。 |
| **锁定** |  | 在**"锁定"**模式下，热像仪会锁定温度跨度和温度级别。 |

**何时使用"锁定"模式**

通常情况下，您会在寻找类似设计或构造这两项中的温度异常时想要使用**"锁定"**模式。

例如，如果您正在查看两条缆线，您怀疑其中一条过热，则在**"锁定"**模式下工作将清楚显示该缆线是否过热。如果该缆线的温度较高，则温度*越高*产生的颜色*越浅*。

如果您改用**"自动"**模式，则这两项将显示同一颜色。

**步骤**

要在**"自动"**模式和**"锁定"**模式之间进行切换，请按右选按钮 **(自动/已锁定)**。挂锁图标 () 表示"锁定"模式。

# 11.14 设置表面属性

**一般**

要准确测量温度，热像仪必须知道您所测量表面的种类。

最简单的操作方法是在 **测量** 菜单上设置表面属性。您可以在下列表面属性之间进行选择:

- **粗糙**
- **半粗糙**
- **半光滑**
- **光滑**

**步骤**

请遵循以下步骤设置表面属性:

| | |
|---|---|
| **1** | 按左选按钮 (**菜单**)。 |
| **2** | 使用导航台前往 **测量**。 |
| **3** | 按左选按钮 (**选择**)。这将会显示 **测量** 子菜单。 |
| **4** | 在 **测量** 菜单上，使用导航台选择表面属性。 |
| **5** | 按左选按钮 (**选择**) 确认选择然后退出菜单。 |

**另请参阅**

有关更准确的测量方法，请参阅以下各节:

- 第 30 页上的 11.15 – 更改辐射率 一节
- 第 31 页上的 11.16 – 更改反射表观温度 一节

# 11.15 更改辐射率

**一般**

要非常准确地进行测量，您可能需要设置辐射率，而不是选择表面属性。您还需要了解辐射率和反射率如何影响测量结果，而不仅仅是选择表面属性。

辐射率是一项确定某对象相对于其反射的辐射而产生的辐射量的属性。值越低表明反射的比例越大，而值越高则表明反射的的比例越小。

例如，抛光的不锈钢辐射率为 0.14，而成形的 PVC 地板的辐射率通常为 0.93。

**步骤**

请遵循以下步骤设置辐射率:

| | |
|---|---|
| **1** | 按左选按钮 (**菜单**)。 |
| **2** | 使用导航台前往 **测量**。 |
| **3** | 按左选按钮 (**选择**)。这将会显示 **测量** 子菜单。 |
| **4** | 使用导航台选择 **高级**。 |
| **5** | 按左选按钮 (**选择**)。这将会显示 **高级** 子菜单。 |
| **6** | 使用导航台执行下列操作之一:<br>■ 设置辐射率的值<br>■ 在材料列表中选择一种材料 |
| **7** | 按左选按钮 (**选择**) 确认选择然后退出菜单。 |

**另请参阅**

若要了解有关辐射率的更多信息，请参阅第 115 页的 20 – 热像仪测量技巧 节。

# 11.16 更改反射表观温度

**一般**

此参数用于补偿该对象反射的辐射。如果辐射率低并且对象温度与反射温度相差相对较大，则正确设置反射表象温度并对其进行适当补偿将非常重要。

**步骤**

请遵循以下步骤设置反射表象温度。

| | |
|---|---|
| **1** | 按左选按钮 (**菜单**)。 |
| **2** | 使用导航台前往 **测量**。 |
| **3** | 按左选按钮 (**选择**)。这将会显示 **测量** 子菜单。 |
| **4** | 使用导航台选择 **高级**。 |
| **5** | 按左选按钮 (**选择**)。这将会显示 **高级** 子菜单。 |
| **6** | 使用导航台设置反射表象温度。 |
| **7** | 按左选按钮 (**选择**) 确认选择然后退出菜单。 |

**另请参阅**

若要了解有关反射表象温度的更多信息，请参阅第 115 页的 20 – 热像仪测量技巧 节。

# 11.17 重置热像仪

**一般**

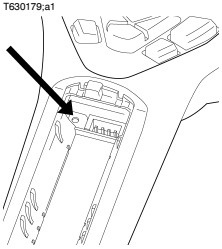
如果您需要重置热像仪，可以使用电池盒内的重置按钮。

**注意**

切勿使用金属或其他传导性工具来重置热像仪。

**步骤**

请遵循以下步骤重置热像仪：

| | |
|---|---|
| **1** | 打开电池盒盖。 |
| **2** | 要找到重置按钮，请参见下图。<br>T630179;a1<br> |
| **3** | 使用非传导性工具推动“重置”按钮。此时将重置热像仪。 |

## 11.18 查找热像仪的序列号

**一般**

当您与我们的服务部门联系时，您可能需要说明热像仪的序列号。
序列号打印在电池盒内位于电池后面的标签上。

# 12 清洁热像仪

## *12.1 热像仪的外壳、线缆及其他部件*

**液体**

可以使用下列液体中的一种:

- 温水
- 温和的清洁液

**用具**

一块软布

**步骤**

请遵循以下步骤:

| | |
|---|---|
| **1** | 用软布蘸取清洁液。 |
| **2** | 拧干软布，挤去多余的清洁液。 |
| **3** | 使用软布清洁部件。 |

**小心**

切勿将融液或类似液体涂于热像仪、线缆或其他部件上。这会导致损坏。

## 12.2 红外镜头

**液体**

可以使用下列液体中的一种:

- 96% 浓度的异丙醇。
- 异丙醇浓度超过 30% 的商用镜头清洁液。

**用具**

医用棉

**步骤**

请遵循以下步骤:

| | |
|---|---|
| **1** | 用医用棉蘸取清洁液。 |
| **2** | 拧干软布，挤去多余的清洁液。 |
| **3** | 医用棉只能使用一次，请勿重复使用。 |

**警告**

使用清洁液之前，请确保您阅读了所有适用的 MSDS（材料安全数据表）以及容器上所有的警告标签：清洁液可能有危险。

**小心**

- 清洁红外镜头时请务必小心。镜头带有一层精密的抗反射涂层。
- 清洁红外镜头切勿过于用力。这可能会伤害抗反射涂层。

# 13 技术数据

**注意**

FLIR Systems 保留在未予事先通知的情况下，随时中止供应某些型号、部件或附件及其他物件，或更改相应规格的权利。

## *13.1 热像仪数据*

**图像和光学数据**

| | |
|---|---|
| 视野 (FOV) | 取决于热像仪：<br>■ 17° × 17°（FLIR i5（2009 型号））<br>■ 25° × 25° (FLIR i7) |
| 最小焦距 | 0.6 m |
| 空间分辨率 (IFOV) | 3.71 mrad |
| 热灵敏度/NETD | < 0.1°C |
| 图像刷新率 | 9 Hz |
| 调焦 | 免对焦 |

**探测器数据**

| | |
|---|---|
| 探测器类型 | 焦平面阵列 (FPA)，非制冷微量热型探测器 |
| 光谱范围 | 7.5–13 $\mu$m |
| 红外分辨率 | 取决于热像仪：<br>■ 80 × 80 像素（FLIR i5（2009 型号））<br>■ 120 × 120 像素 (FLIR i7) |

**图像显示**

| | |
|---|---|
| 显示屏 | 2.8 英寸彩色液晶显示屏 |
| 图像调整 | 自动调整/锁定图像 |

**测量**

| | |
|---|---|
| 对象温度范围 | 0°C 到 +250°C |
| 精确度 | 环境温度 10° 到 35°C 时，误差 ±2°C 或读数的 ±2% |

**测量分析**

| | |
|---|---|
| 测温点 | 中心点 |
| 区域 | 取决于热像仪：<br>■ 不适用（FLIR i5（2009 型号））<br>■ 具有最大值/最小值的方框 (FLIR i7) |

| | |
|---|---|
| 等温线 | 取决于热像仪：<br>■ 不适用（FLIR i5（2009 型号））<br>■ 高于/低于 (FLIR i7) |
| 辐射率校准 | 可从 0.1 至 1.0 进行变化 |
| 辐射率表 | 预定义材料的辐射率表 |
| 反射表象温度校准 | 根据反射温度的输入数值自动进行校准 |

**设置**

| | |
|---|---|
| 调色板 | 黑白、Iron 和 Rainbow |
| 设置命令 | 单位、语言、日期和时间格式的本地转换 |

**图像存储**

| | |
|---|---|
| 图像存储类型 | miniSD 卡 |
| 文件格式 | 包括 14 位标准 JPEG 测量数据 |

**数据通讯接口**

| | |
|---|---|
| 接口 | USB Mini-B：与 PC 来回进行数据传输 |

**电源系统**

| | |
|---|---|
| 电池类型 | 可充电锂离子电池 |
| 电池电压 | 3.6 V |
| 电池操作时间 | +25°C的环境温度和普通使用情况下大约5个小时 |
| 充电系统 | 电池在热像仪内进行充电。 |
| 充电时间 | 3 小时至 90% 容量 |
| 电源管理 | 自动关闭 |
| 交流工作 | 交流适配器，90–260 VAC 输入，5 V 输出到热像仪 |

**环境数据**

| | |
|---|---|
| 操作温度范围 | 0°C 至 +50°C |
| 存储温度范围 | –40°C 到 +70°C |
| 湿度（操作和存储） | IEC 60068-2-30/24 h 95% 相对湿度 |
| EMC | ■ EN 61000-6-2:2005（安全标准）<br>■ EN 61000-6-3:2007（辐射标准）<br>■ FCC 47 CFR 第 15 部分 B 类（辐射标准） |
| 封装 | 热像仪外壳和镜头：IP 43 (IEC 60529) |
| 碰撞 | 25 g (IEC 60068-2-29) |
| 振动 | 2 g (IEC 60068-2-6) |

**物理数据**

| | |
|---|---|
| 热像仪重量，包括电池 | 0.34 kg |
| 热像仪尺寸（长 × 宽 × 高） | 223 × 79 × 83 mm |
| 材料 | 聚碳酸脂 + 丙烯腈-丁二烯-苯乙烯 (PC-ABS)<br>Thixomold 镁<br>热塑性橡胶 (TPE) |
| 颜色 | 蓝色和灰色 |

**认证**

| | |
|---|---|
| 认证 | UL、CSA、CE、PSE 和 CCC |

**交付范围**

| | |
|---|---|
| 包装类型 | 硬质包装箱 |
| 包装内容 | ■ FLIR QuickReport 光盘<br>■ 打印版《入门指南》<br>■ 用户文档 CD 光盘<br>■ 校准证书<br>■ 手带<br>■ 电池（热像仪内）<br>■ 电源/充电器，带在欧盟、英国、美国和澳大利亚适用的插头<br>■ USB 电缆<br>■ miniSD 卡 (512 MB)，带 SD 卡适配器 |

## 13.2 其他信息

**视野与距离 (FLIR i5)**

10780503;a1

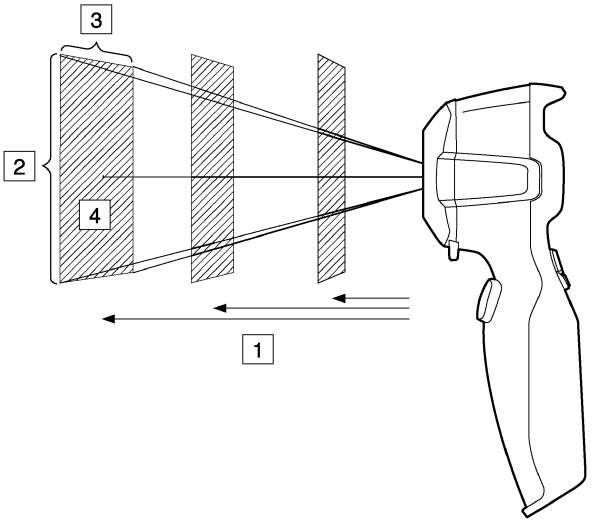



图 **13.1** 视野和距离之间的关系。**1:** 目标距离；**2:** VFOV = 垂直视野；**3:** HFOV = 水平视野；**4:** IFOV = 即时视野（一个探测器元件的尺寸）

下表提供了针对不同目标距离视野的示例。注意：该表未考虑最小焦距。

10781103;a1

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Focal length: 6.76 mm | | | | | | | | | |
| Resolution: 80 x 80 pixels | | | | | | | | | |
| Field of view in degrees: 16.8 | | | | | | | | | |
| **D --->** | **0.50** | **1.00** | **2.00** | **5.00** | **10.00** | **25.00** | **50.00** | **100.00** | **m** |
| HFOV | 0.15 | 0.30 | 0.59 | 1.48 | 2.96 | 7.40 | 14.79 | 29.59 | **m** |
| VFOV | 0.15 | 0.30 | 0.59 | 1.48 | 2.96 | 7.40 | 14.79 | 29.59 | **m** |
| IFOV | 1.85 | 3.70 | 7.40 | 18.49 | 36.98 | 92.46 | 184.91 | 369.82 | **mm** |
| **D --->** | **1.64** | **3.28** | **6.56** | **16.39** | **32.79** | **81.97** | **163.93** | **327.87** | **ft.** |
| HFOV | 0.49 | 0.97 | 1.94 | 4.85 | 9.70 | 24.25 | 48.50 | 97.00 | **ft.** |
| VFOV | 0.49 | 0.97 | 1.94 | 4.85 | 9.70 | 24.25 | 48.50 | 97.00 | **ft.** |
| IFOV | 0.07 | 0.15 | 0.29 | 0.73 | 1.46 | 3.64 | 7.28 | 14.56 | **in.** |
| **Legend:** | | | | | | | | | |
| D = Distance to target in meters & feet | | | | | | | | | |
| HFOV = Horizontal field of view in meters & feet | | | | | | | | | |
| VFOV = Vertical field of view in meters & feet | | | | | | | | | |
| IFOV = Instantaneous field of view (size of one detector element) in millimeters & inches | | | | | | | | | |

**视野与距离 (FLIR**

i7)

10780503;a1

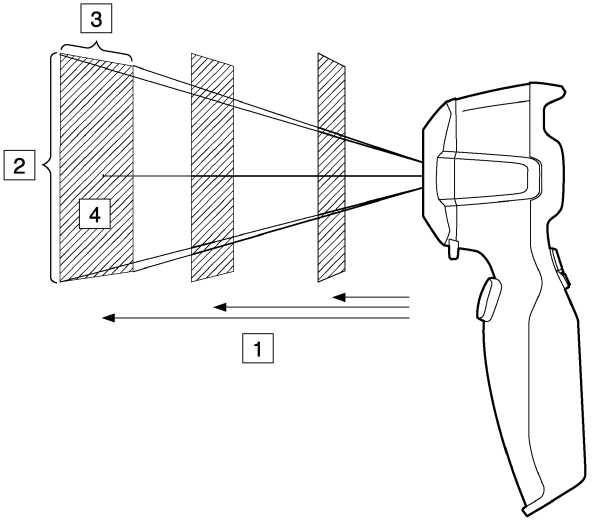



图 **13.2** 视野和距离之间的关系。**1:** 目标距离；**2:** VFOV = 垂直视野；**3:** HFOV = 水平视野；**4:** IFOV = 即时视野（一个探测器元件的尺寸）

下表提供了针对不同目标距离视野的示例。注意：该表未考虑最小焦距。

T638201;a1

| Focal length: 6.76 mm | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Resolution: 120 x 120 pixels | | | | | | | | | |
| Field of view in degrees: 25.0 | | | | | | | | | |
| **D --->** | **0.50** | **1.00** | **2.00** | **5.00** | **10.00** | **25.00** | **50.00** | **100.00** | **m** |
| HFOV | 0.22 | 0.44 | 0.89 | 2.22 | 4.44 | 11.09 | 22.19 | 44.38 | **m** |
| VFOV | 0.22 | 0.44 | 0.89 | 2.22 | 4.44 | 11.09 | 22.19 | 44.38 | **m** |
| IFOV | 1.85 | 3.70 | 7.40 | 18.49 | 36.98 | 92.46 | 184.91 | 369.82 | **mm** |
| **D --->** | **1.64** | **3.28** | **6.56** | **16.39** | **32.79** | **81.97** | **163.93** | **327.87** | **ft.** |
| HFOV | 0.73 | 1.46 | 2.91 | 7.28 | 14.55 | 36.38 | 72.75 | 145.50 | **ft.** |
| VFOV | 0.73 | 1.46 | 2.91 | 7.28 | 14.55 | 36.38 | 72.75 | 145.50 | **ft.** |
| IFOV | 0.07 | 0.15 | 0.29 | 0.73 | 1.46 | 3.64 | 7.28 | 14.56 | **in.** |
| **Legend:** | | | | | | | | | |
| D = Distance to target in meters & feet | | | | | | | | | |
| HFOV = Horizontal field of view in meters & feet | | | | | | | | | |
| VFOV = Vertical field of view in meters & feet | | | | | | | | | |
| IFOV = Instantaneous field of view (size of one detector element) in millimeters & inches | | | | | | | | | |

## 13.3 附件数据

**USB 线缆标准 A ↔ Mini B，2 米**

| | |
|---|---|
| 线缆长度 | 2.0 米 |
| 接头 | 标准 USB-A 到 USB Mini-B |

**电池**

| | |
|---|---|
| 电池类型 | 可充电锂离子电池 |
| 电池电压 | 3.6 V |
| 电池备注 | 大约锂离子含量：0.7 克 |
| 充电系统 | 电池在热像仪内进行充电 |

**电源/充电器，带在欧盟、英国、美国和澳大利亚适用的插头**

| | |
|---|---|
| 交流工作 | 100–240 V，50/60 Hz 输出 5.0 VAC，1.2 A |
| 电源 | 6 W |
| 尺寸（长 × 宽 × 高） | 69.2 × 43.3 × 29.8 毫米 |
| 线缆长度 | 1.8 米 |
| 包装内容 | ■ 电源/电池充电器<br>■ 欧盟、英国、美国和澳大利亚适用的插头 |

**存储卡，512 MB miniSD**

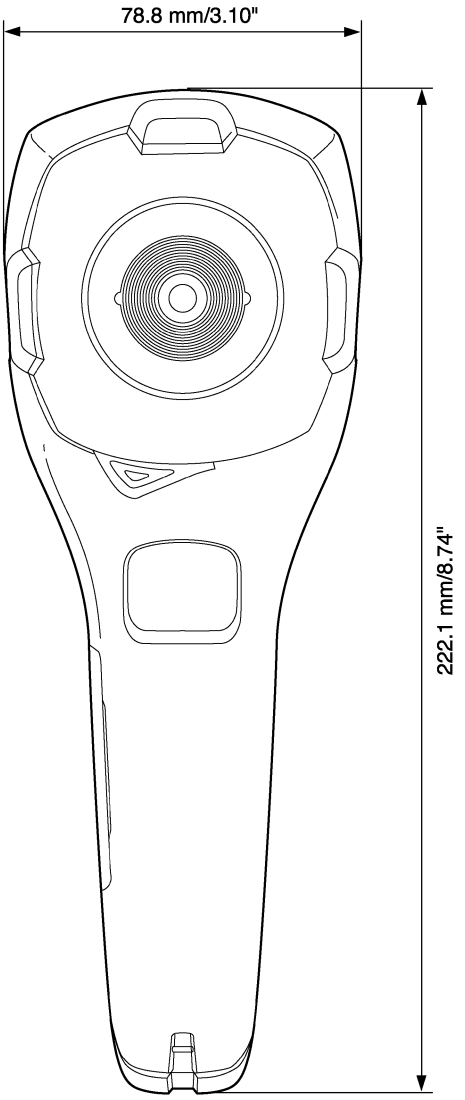
| | |
|---|---|
| 存储卡，大小 | 512 MB |
| 尺寸（长 × 宽 × 高） | 21.5 × 20 × 1.4 毫米 |
| 包装内容 | ■ miniSD 卡<br>■ miniSD 卡到 SD 存储卡适配器 |

# 14 尺寸

## *14.1 热像仪（正面）*

**图**

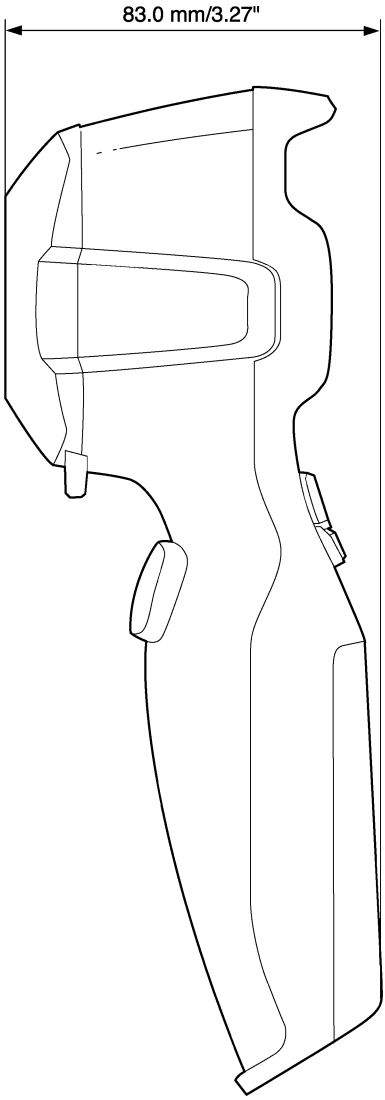
10780603;a1



## 14.2 热像仪（侧面）

**图**

10780703;a1



# 15 应用案例

## *15.1 潮气和水渍损害*

**一般**

使用红外热像仪可以探测出房屋中的潮气和水渍损害。原因一方面是受损区域的热传导特性不同，另一方面是因为与周围的材料相比，这些地方的热容量不同。

**注意**

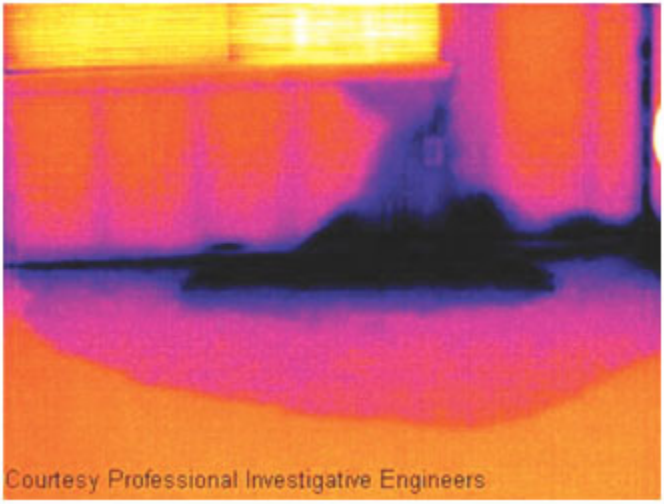
许多因素共同决定了为什么潮气或水渍损害会出现在红外图像。

例如，加热和制冷这些部分的速率会根据材料和一天里时间的不同而有所不同。正是出于这个原因，同时采用其它方式检查潮气和水渍损害是非常重要的。

**图**

下图显示显示了由于窗框安装不当而导致在外表面被水穿透的外墙上的大面积水渍损害。

10739503;a1



## 15.2 插座接触不良

**一般**

根据插座连接的类型，连接不当的线可以造成局部的温度升高。这样的温度升高是由于接入线和插座的接触点上的接触面积减小而造成的，这样的故障可以造成电气火灾。

**注意**

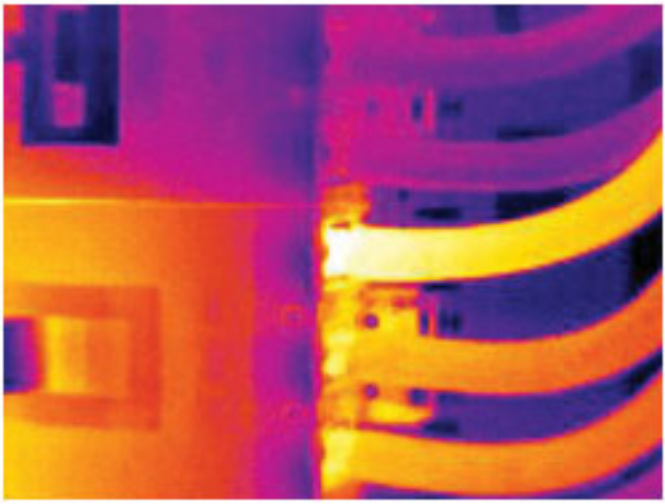
不同制造商生产的插座在结构上可能有很大的差异。出于这个原因，插座上不同的故障可能在红外图像上相同的典型特征。

局部的温度升高还可能是由于线和插座的连接不当或负载差异造成的。

**图**

下图显示了由于线与插座的连接在接触不良的位置造成的局部温度升高。

10739603;a1



## 15.3 插座被氧化

**一般**

根据插座的类型和安装环境，氧化可能发生在插座的接触表面上。这样的氧化可能导致插座在加载状态下的局部电阻增加，这将在红外图像上表现为局部的温度升高。

**注意**

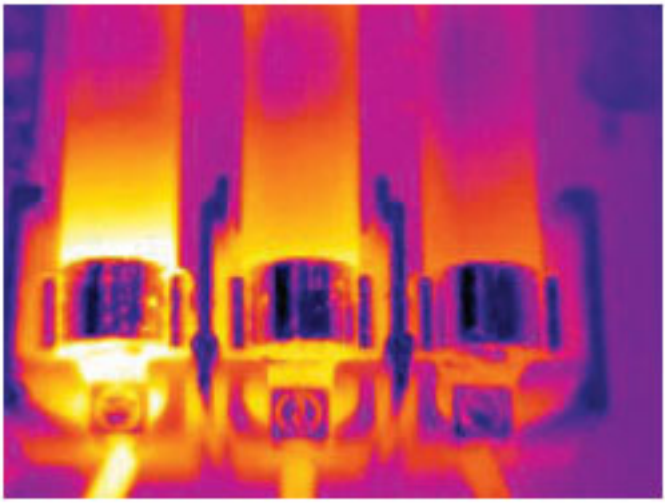
不同制造商生产的插座在结构上可能有很大的差异。出于这个原因，插座上不同的故障可能在红外图像上相同的典型特征。

局部的温度升高还可能是由于线和插座的连接不当或负载差异造成的。

**图**

下图显示了一系列的保险丝，其中一个在与保险丝座的接触面上有温度升高。由于保险丝座上的裸露金属，温度的增加在该位置并不可见，而是体现在保险丝的陶瓷部分。

10739703;a1



## 15.4 保温缺陷

**一般**

保温缺陷可能是保温层由于随着时间流逝体积减少，因此无法完全充满构架墙中间的空间而造成的。

由于这些保温缺陷与正确安装的保温层相比有着不同的导热特性，并且（或者）显示为该区域空气可以穿透建筑的构架，因此可以使用红外热像仪检查出来。

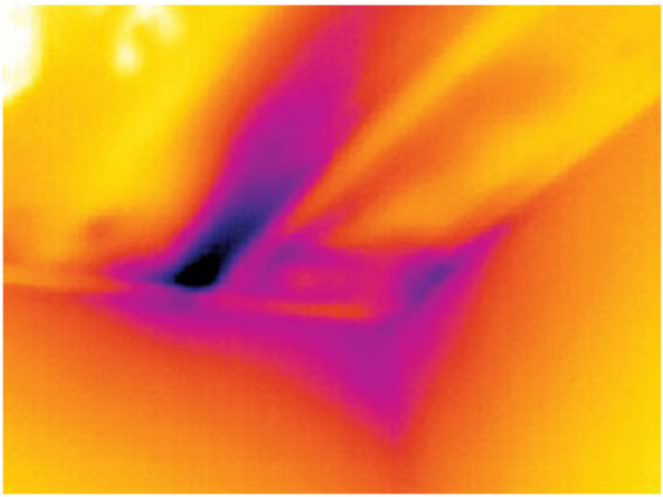
**注意**

当您检查一栋建筑的时候，内侧和外侧的温度差异应当为至少 10°C。立筋、水管、水泥柱以及类似的组件在红外图像上可能类似于保温缺陷。较小的缺陷可能也会自然地产生。

**图**

在下图中，屋顶构架中的保温不足。由于保温层的缺失，空气在气压的作用下可以进入屋顶结构，因此会在红外图像上体现为不同特征的外观。

10739803;a1



## 15.5 气流

**一般**

气流可以在踢脚板、门和窗周围以及天花线板上方等位置出现。由于较冷的气流会冷却周围的表面，这一类型的气流通常可以通过红外热像仪观察到。

**注意**

当检查房屋内的气流时，房屋内的气压应当低于大气压。关闭所有门、窗以及换气通道，并在拍摄红外图像前打开厨房的换气扇一段时间。

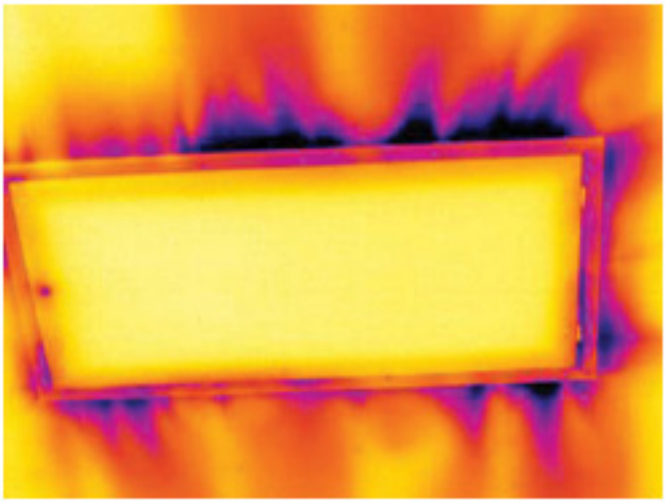
气流的红外图像通常显示为典型的流线型。您可在下图中清晰地观察到这种流线型的图案。

同时应当注意气流可能被来自地板加热电路的热量所掩盖。

**图**

下图显示了一个天窗由于安装不当造成了强烈的气流。

10739903;a1



# 16 建筑物热成像简介

## *16.1 重要注意事项*

您手上特定型号热像仪的配置可能并不支持本节中介绍的各种热像仪功能和特性。

## *16.2 典型的实地勘察*

### 16.2.1 指导原则

在下面章节中我们将介绍一些用户在进行建筑物热成像检查时需要注意的一般性指导原则。 本节对这些指导原则进行了总结。

#### *16.2.1.1* 一般性指导原则

- 大多数建筑材料的辐射率都在 0.85 和 0.95 之间。 作为一个不错的起始点，可以将热像仪的辐射率值设定在 0.90。
- 红外检查本身不应该被用作采取进一步行动的决策依据。 请坚持使用建筑图纸、湿度计、湿度和温度数据记录、示踪气体测试等其它手段来验证可疑的问题和检查结果。
- 更改电平和跨度以从热学的角度调节红外图像，从而显示出更多的细节。 下图显示了没有进行过热学调节和进行过热学调节的红外图像之间的差别。

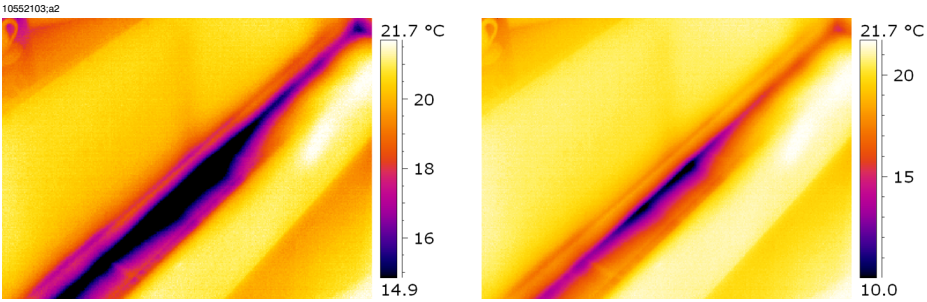



图 **16.1** 左图：未经红外调节的图像；右图：经过热学调节的红外图像，在调整了电平和跨度之后。

#### *16.2.1.2* 潮气探测、霉菌探测以及水渍损害探测的指导原则

- 建筑物与潮气和水渍损害相关的隐患可能只有在表面受热的情况下（例如，在阳光的照射下）才会显现出来。
- 由于水的存在改变了建筑材料的导热性和热质。 由于蒸发的冷却作用，水还可能改变建筑材料的表面温度。 导热性是材料传导热的能力，而热质则是材料存储热的能力。

- 红外检查并非直接探测霉菌的存在，而是用来寻找适于霉菌滋生或是已经滋生霉菌的潮湿地点。霉菌的生长需要在 +4°C 到 +38°C 之间的温度、营养物质以及潮湿的环境。湿度级别大于 50% 就可以提供霉菌生长的湿度要求。

10556003;a1

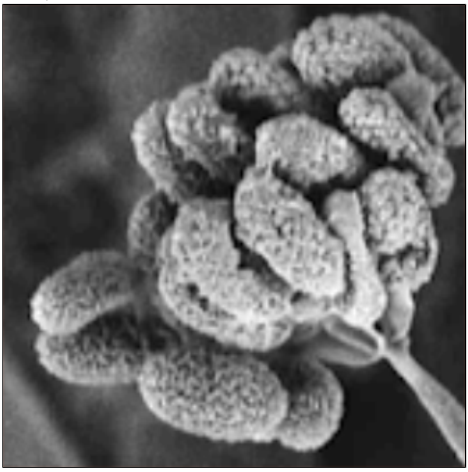


图 **16.2** 显微镜下的霉菌孢子

#### *16.2.1.3* 检查漏风和保温缺陷的指导原则

- 为了获得非常准确的热像仪测量结果，请测量温度并在热像仪中输入这个值。
- 建议在建筑物结构的内侧和外侧存在压力差的情况下进行测量。 这有利于对红外图像的分析并且可以显示出在不存在压力差的情况下无法察觉的缺陷。尽管推荐值是 10 到 50 帕的负压，但在更低的负压下进行检查是可以接受的。要进行此操作，请关闭所有的门窗以及换气通道，然后运行厨房的抽油烟机一段时间以达到 5–10 帕的负压（仅适用于民用建筑）。
- 建议在建筑的内侧和外侧应存在 10–15°C 的温度差。 检查可以在更低的温度差下进行，但是这会让红外图像的分析更为困难。
- 应避免要从内侧检查的建筑结构部分（例如，正立面）的阳光照射。 阳光照射将会使正立面的温度升高，这将减小内外侧的温差并掩盖建筑物结构中的缺陷。 春季的低夜间温度 (±0°C) 和高日间温度 (+14°C) 危险更大。

### 16.2.2 关于潮气探测

建筑物中的潮气主要有以下几个不同来源，例如:

- 外部泄漏，例如，洪水、消防栓的泄漏等
- 内部泄漏，例如，自来水管道和废水管道等
- 凝结水，由于在低温表面上的冷凝作用，空气中的潮气凝结成液体。
- 建筑潮气，在建筑物建成之前，建筑材料中所含的各种潮气。
- 消防用水。

作为一种非破坏性的探测手段，使用红外热像仪同其它方式相比有着诸多好处，同时也有几点不足：

| 好处 | 不足 |
| --- | --- |
| ■ 这一方法非常快捷。<br>■ 这一方法是一种非插入式的检查方式。<br>■ 这一方法不需要转移居民。<br>■ 这一方法的探测结果有着直观的视觉表达。<br>■ 这一方法可以确认破坏点以及潮气的迁移路径。 | ■ 这一方法只能探测表面的温度差异并无法透过墙壁观察。<br>■ 这一方法无法探测表面的损伤，例如，霉菌或结构性损伤。 |

### 16.2.3 潮气探测 (1)： 低坡度商用屋顶

#### *16.2.3.1* 一般信息

低坡度商用屋顶是工业建筑最常见的屋顶之一，例如仓库、工业厂房、机械商店等。与斜尖顶相比主要的好处是材料和建筑的成本低。 但是，由于其设计使得冰雪并不会自行下落（斜尖顶则可以做到），它必须建得非常坚固以承受屋顶结构以及冰、雪和雨的累积重量。

尽管在进行屋顶的热成像检查时，最好对低坡度商用屋顶的建筑有一定的基本了解，但是并不需要专业知识。 低坡度商用屋顶在材料和设计方面都有很多不同的设计原则，并且不可能让检查人员了解所有这些原则。 如果需要了解关于特定屋顶的附加信息，建筑师或承包商应提供相关的信息。

下表列出了造成屋顶坍塌的常见原因（选自《SPIE 热传感学报》第 371 期 (1982)，第 177 页）。

| 原因 | % |
| --- | --- |
| 工程质量差 | 47.6 |
| 屋顶的负载量 | 2.6 |
| 设计不合理 | 16.7 |
| 积存的潮气 | 7.8 |
| 材料 | 8.0 |
| 年限和气候 | 8.4 |

潜在的泄漏位置包括：

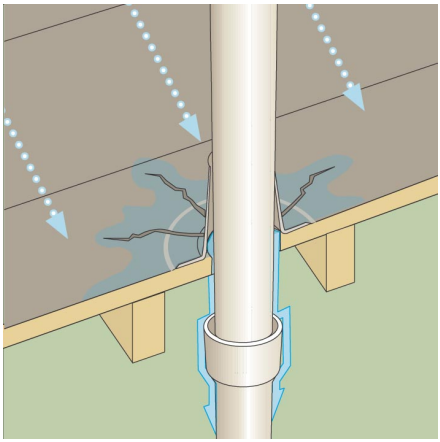
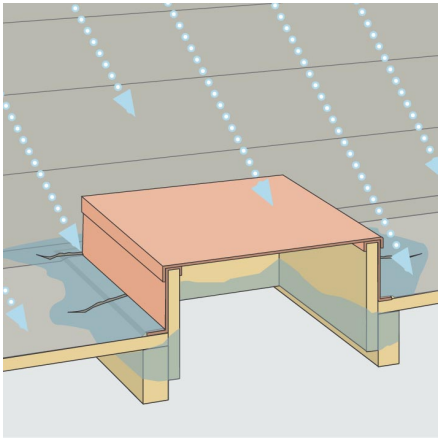
- 遮雨板
- 排水管
- 穿透位置
- 接缝处
- 隆起处

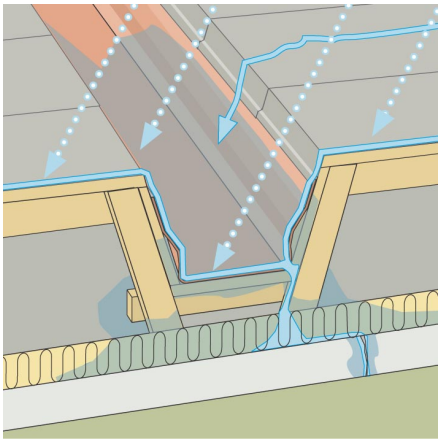
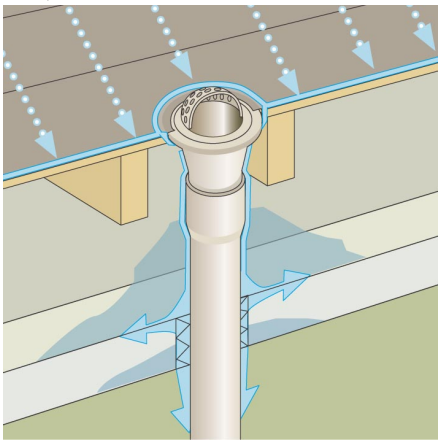
### 16.2.3.2 安全注意事项

- 建议屋顶上应至少有两人，最好有三个以上的人员。
- 在登上屋顶前应先检查屋顶下侧的结构完整性。
- 应避免踩踏沥青和沙石屋顶上常见的隆起处。
- 应准备好无线电话或广播以防紧急情况。
- 在进行夜间屋顶勘测之前应通知当地警察和工厂保安部门。

### 16.2.3.3 建筑结构备注

本节包含一些出现在低坡度商用屋顶上的潮湿问题的典型示例。

| 结构图 | 备注 |
| --- | --- |
| 10553603;a2<br> | 在管道和换气管道周围的防水层密封不充分导致在管道周围的局部泄漏。 |
| 10553703;a2<br> | 天窗周围的屋顶防水层不充分。 |

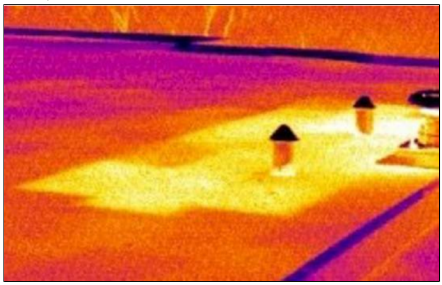
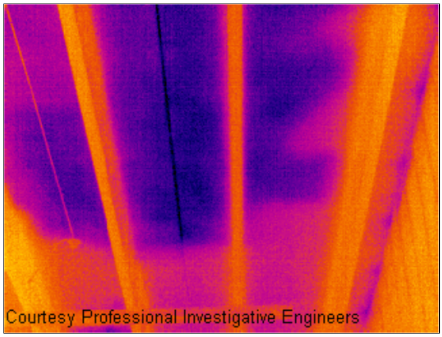
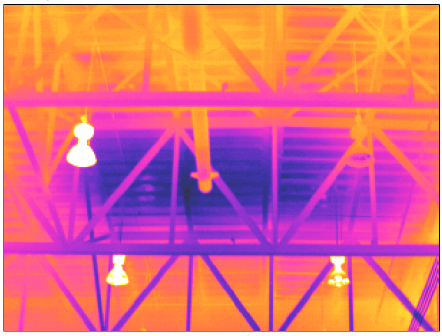
| 结构图 | 备注 |
| --- | --- |
| 10553803;a2<br> | 排水管道的位置过高并且拐弯过低。 雨后一些水会滞留在排水管道中，这会导致在管道周围的局部泄漏。 |
| 10553903;a2<br> | 在屋顶防水层和屋顶排水之间的密封不充分，这会导致屋顶出口周围的局部泄漏。 |

### *16.2.3.4* 红外图像备注

如何找到屋顶表面以下的潮湿的保温层？当包括沙石或石碴在内的表面本身干燥时，一个阳光充足的日间就可以让整个屋顶暖起来。在前半夜，如果天空晴朗，屋顶将因为辐射而冷却下来。由于更高的热容量，湿的保温层将比干的地方保暖的时间更长，这在红外图像上将可以观察到（请参阅下面的照片）。 这一技术对于木纤维、玻璃纤维以及珍珠岩等吸湿性保温层特别有效，这些材料的热学模型与潮气的分布对应得非常好。

对于非吸湿性保温层的红外检查，常见于单板系统，由于模型更为分散使得检查更加困难。

本节包含一些出现在低坡度商用屋顶上的潮湿问题的红外图像。

| 红外图像 | 备注 |
| --- | --- |
| 10554003;a1<br> | 屋顶的潮气探测，夜间记录。<br>由于建筑材料受潮气影响而有更高的热质，其温度比周围的区域下降更慢。 |
| 10554103;a1<br> | 从结构性水泥 T 型台上的建筑屋顶下方进行的红外扫描中识别受水渍损害的屋顶构件以及保温层。<br>由于传导和/或热容效应，受影响的区域要比周围安全区域温度更低。 |
| 10554203;a1<br> | 对建筑的低坡度商用屋顶进行的日间勘察。<br>由于传导和/或热容效应，受影响的区域要比周围干燥区域的温度更低。 |

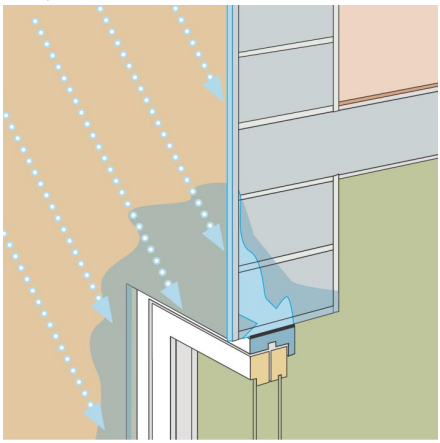
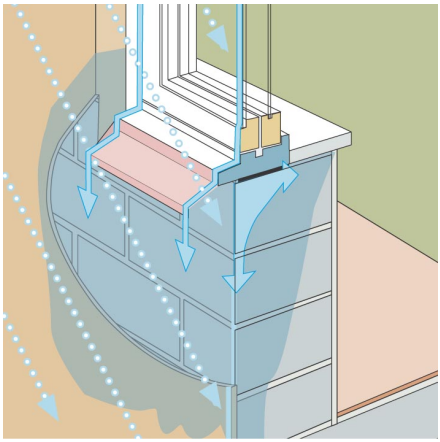
## 16.2.4 潮气探测 (2)： 商用和民用正立面

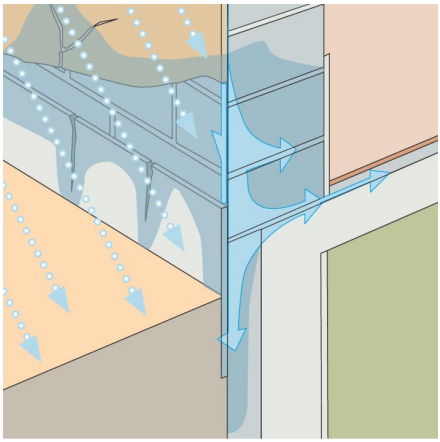
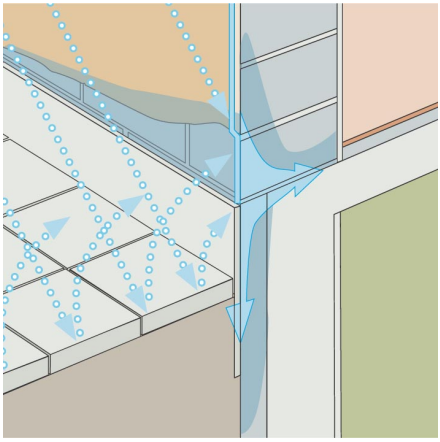
### *16.2.4.1* 一般信息

在评估商用和民用建筑正立面的潮气渗入问题方面，热成像被已经证明是极具价值的。 这种方式能够提供潮气迁移路径的物理示意图，比外推式湿度计位置探测法更为确定，同时比大型插入式测试切口更为经济。

### 16.2.4.2 建筑结构备注

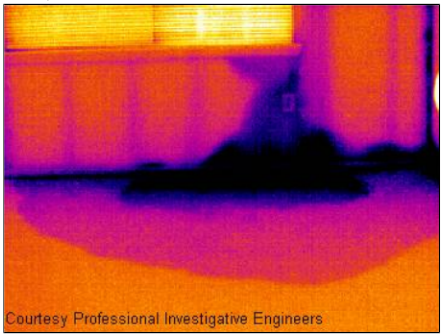
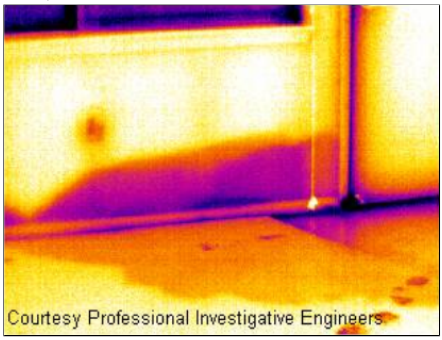
本节包含一些出现在商用和民用正立面上的潮湿问题的典型示例。

| 结构图 | 备注 |
| --- | --- |
| 10554303;a2<br> | 由于劣质的平层接缝，导致雨水透过正立面。潮气会在窗户上方的砖石结构上积累。 |
| 10554403;a2<br> | 暴雨以一定的角度打在窗户上。 大部分雨水会顺着窗户边沿的遮雨板流走，但是一些会顺着遮雨板下沿的灰泥接缝处进入砖石结构。 |

| 结构图 | 备注 |
| --- | --- |
| 10554503;a2<br> | 雨水以一定的角度击打在正立面上并通过缝隙穿过灰泥。 水随后顺着灰泥的内侧流入并导致霜蚀。 |
| 10554603;a2<br> | 雨水溅在正立面上并通过吸收作用透过灰泥和砖石结构，最终将形成霜蚀。 |

#### *16.2.4.3* 红外图像备注

本节包含一些出现在商用和民用正立面上的潮湿问题的典型红外图像。

| 红外图像 | 备注 |
| --- | --- |
| 10554703;a1<br><br> | 窗框上切断和密封不佳的石材贴面以及遮雨板的缺少都会导致潮气渗入墙内的空间以及内部的起居空间。 |
| 10554803;a1<br><br> | 潮气在虹吸作用的驱动下会进干燥的墙壁内，并且由于不充分的间隙和公寓房间的塑料侧立面的角度，潮气会进入内部装饰的构件内。 |

### 16.2.5 潮气探测 (3)： 露台和阳台

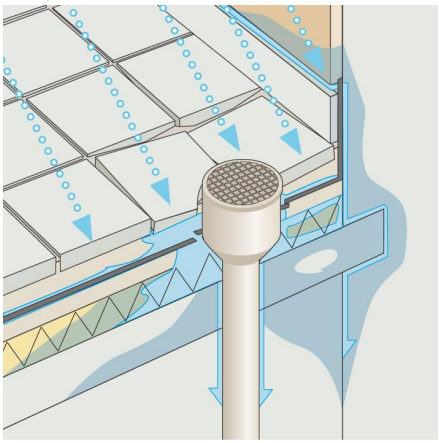
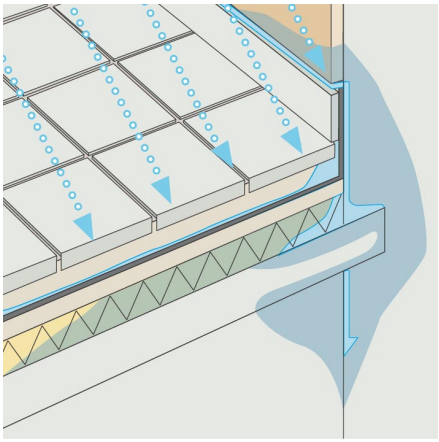
#### *16.2.5.1* 一般信息

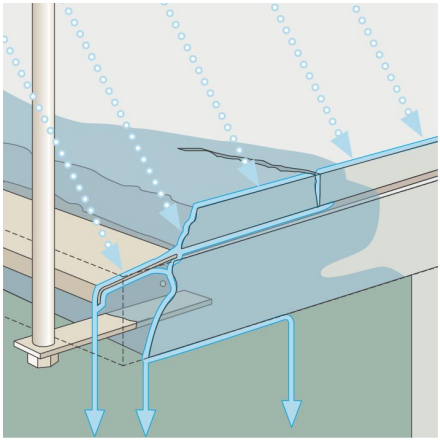
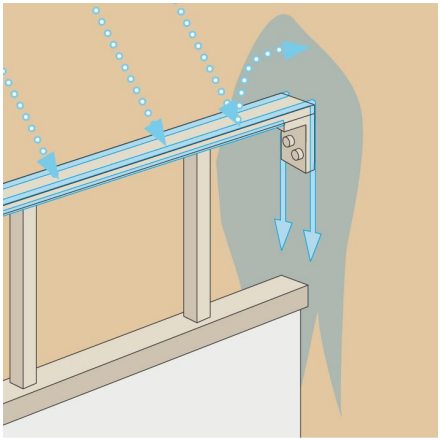
尽管有设计、材料和建筑结构的不同，露台（广场式露台、庭院式露台）与商用屋顶一样都同样饱受潮湿和泄漏问题的困扰。 遮雨板的不当、密封不充分的防水层以及排水不充分都可能导致对下面建筑结构的极大损害。

阳台，尽管尺寸较小，但是无论是在设计、选材还是在施工上都需要给予与其它建筑结构一样的重视。 由于阳台通常只依靠一个侧立面支撑，潮湿会导致支撑和钢筋水泥的侵蚀，进而造成问题和危险的情况。

### 16.2.5.2 建筑结构备注

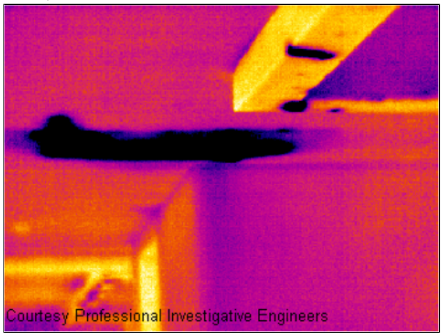
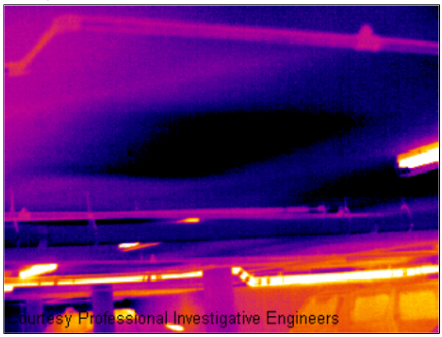
本节包含一些出现在露台和阳台上的潮湿问题的典型示例。

| 结构图 | 备注 |
| --- | --- |
| 10555203;a2<br> | 屋顶出口的铺板和防水层密封不当，导致在雨中造成泄漏。 |
| 10555103;a2<br> | 露台与墙体的连接部分没有遮雨板，导致雨水进入水泥和保温层。 |

| 结构图 | 备注 |
| --- | --- |
| 10555003;a2<br> | 由于垂板的尺寸不足导致水进入水泥，进而导致水泥的解体和钢筋的侵蚀。<br>安全风险！ |
| 10554903;a2<br> | 水已经在扶手固定到墙中的位置进入灰泥以及下面的砖石结构。<br>安全风险！ |

#### *16.2.5.3* 红外图像备注

本节包含一些出现在露台和阳台上的潮湿问题的典型红外图像。

| 红外图像 | 备注 |
| --- | --- |
| 10555303;a1<br><br> | 在阳台与墙体连接处的遮雨板设置不当以及周长不足的排水系统可以导致潮气进入顶层阳台外部走道的木制框架支撑结构。 |
| 10555403;a1<br><br> | 下层车库广场露台结构上缺少复合排水面或介质导致在结构性水泥露台和广场耐磨层之间的潴留水。 |

### 16.2.6 潮气探测 (4)： 管道破裂和泄漏

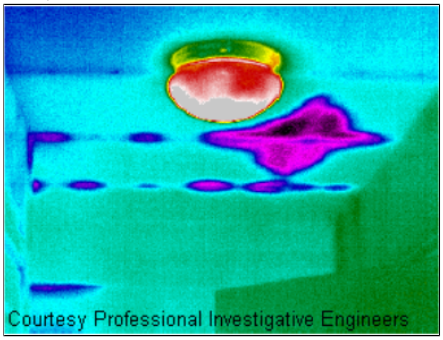
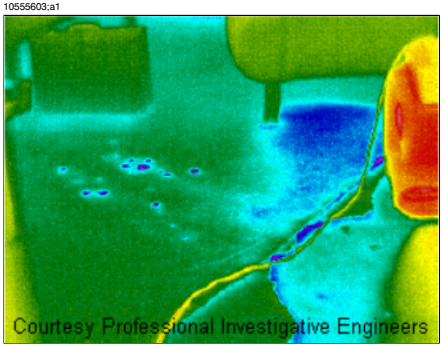
#### *16.2.6.1* 一般信息

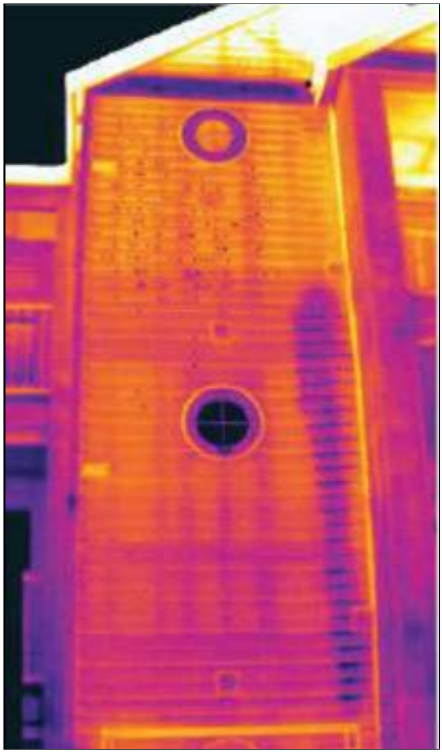
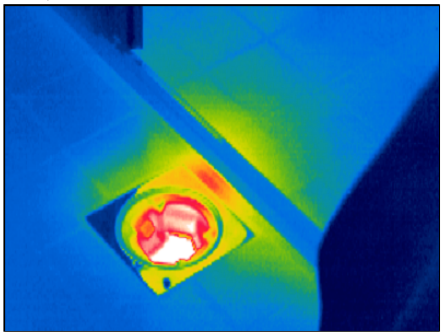
来自管道的漏水经常可以导致对建筑结构的严重损害。小的泄漏可能难于探测，但是常年如此，漏水可能透过结构墙和基础达到导致建筑结构无法修复的地步。

在怀疑有破裂和泄漏现象的早期阶段使用建筑热成像探测可以极大地节约材料和人工。

### 16.2.6.2 红外图像备注

本节包含了一些典型管道破裂和泄漏的红外图像。

| 红外图像 | 备注 |
| --- | --- |
| 10555503;a1<br><br> | 在管道破裂的住宅里，潮气会沿着这套住宅天花板上的工字型钢管道迁移。 |
| 10555603;a1<br><br> | 在使用阻漏毯和安装减湿器的过程中，发现管道泄漏水的迁移已经超出了承包商的预计。 |

| 红外图像 | 备注 |
| --- | --- |
| 10555703;a1<br> | 这座塑料侧墙的 3 层公寓住宅的红外图像显示在第三层洗衣机的位置有严重的泄漏，该泄漏完全隐蔽在墙中了。 |
| 10555803;a1<br> | 由于在地板排水与地板砖之间的密封不当，造成了水的泄漏。 |

## 16.2.7 漏风

### *16.2.7.1* 一般信息

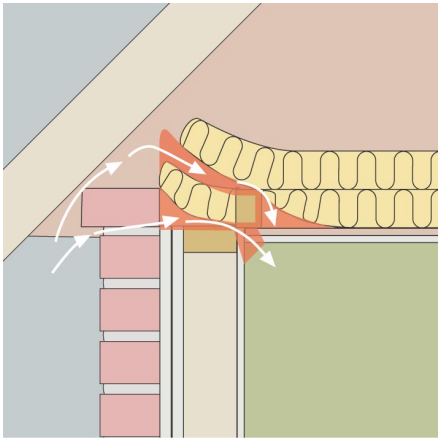
由于风对建筑的压力、建筑内外侧的温度差以及多数建筑都使用排气终端设备抽取建筑内废气这样的事实，通常会产生 2–5 帕的负压。 如果建筑的保温和/或密封不足，这样的负压会让冷空气进入建筑结构，我们称之为*“漏风”*。 漏风通常发生在建筑结构中接口和接缝的位置。

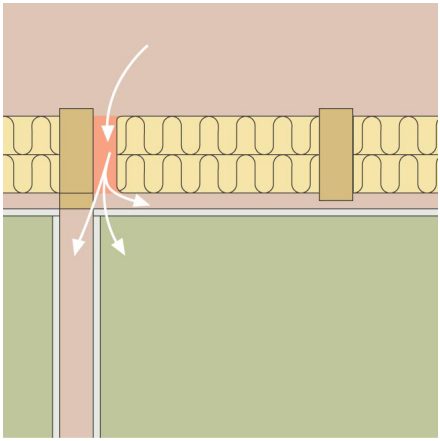
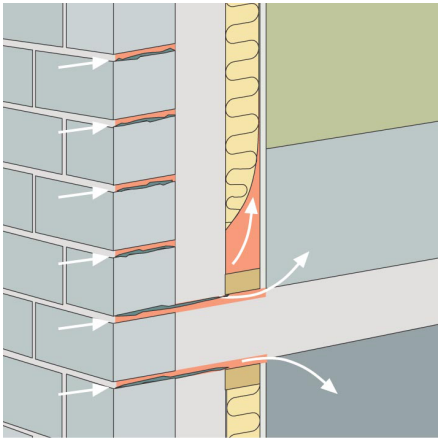
由于漏风会将冷气流带入了房间，所以可能使室内的气候受到极大的影响。 小到 0.15 米/秒的气流就会被居住者察觉到，尽管这些气流可能难于为一般的测量设备所检测到。

在漏风的红外图像上有着标志性的放射图案，该图案起始于建筑结构的出口处，例如，壁脚板的后面。 并且，漏风的区域通常比只是有保温缺陷的地方测得的温度更低。 这是由于气流的风寒指数造成的。

### *16.2.7.2* 建筑结构备注

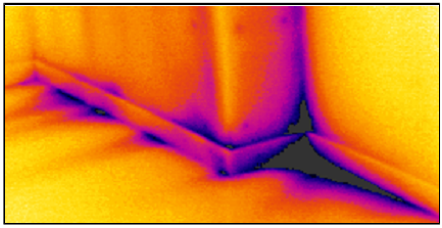
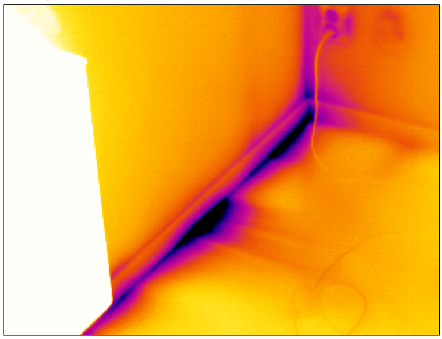
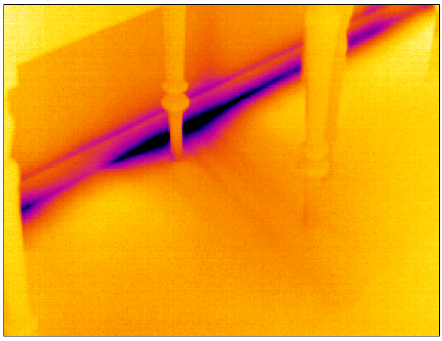
本节包含几个可能发生漏风现象的建筑结构的典型详例。

| 结构图 | 备注 |
|---|---|
| 10552503;a2<br> | 由于玻璃纤维保温棉的安装不当，导致在砖墙建筑屋檐处的保温缺陷。<br>漏风从檐口后面进入房间。 |

| 结构图 | 备注 |
| --- | --- |
| 10552303;a2<br> | 由于玻璃纤维保温棉的安装不当，导致中间楼层上的保温缺陷。<br>漏风从檐口后面进入房间。 |
| 10552603;a2<br> | 由于砖墙正立面上的缝隙，造成在线路和管道空间上方的水泥地板上的漏风。<br>漏风从壁脚板下面进入房间。 |

### *16.2.7.3* 红外图像备注

本节包含几个已经发生漏风现象的建筑结构的典型红外图像细节。

| 红外图像 | 备注 |
| --- | --- |
| 10552703;a1<br> | 壁脚板后面的漏风。 请注意典型的放射图案。 |
| 10552803;a1<br> | 壁脚板后面的漏风。 请注意典型的放射图案。<br>左侧的白色区域是一个辐射体。 |
| 10552903;a1<br> | 壁脚板后面的漏风。 请注意典型的放射图案。 |

## 16.2.8 保温缺陷

### *16.2.8.1* 一般信息

保温缺陷不一定会导致漏风。 如果玻璃纤维保温棉安装不正确，在建筑结构中会形成气阱。 由于这些气阱与正确安装保温棉的区域的导热性不同，在对建筑进行的热成像检查中可以探测到气阱。

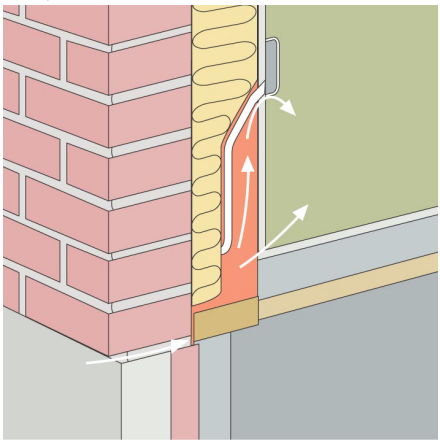
作为一条经验性的原则，存在保温缺陷的区域通常比只有漏风情况的区域有更高的温度。

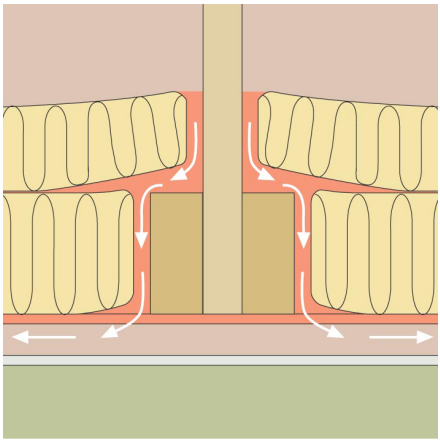
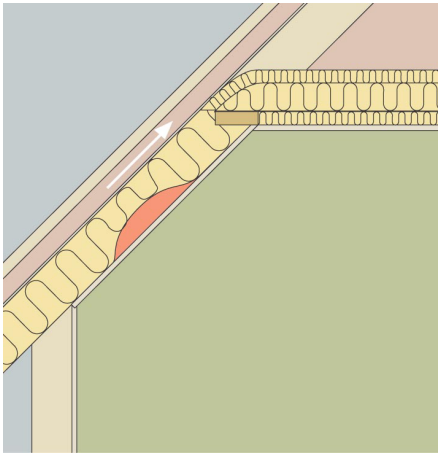
当对建筑物进行旨在探测保温缺陷的热成像检查时，应当留意建筑结构中的以下部分，这些部分在红外图像上可能看起来象保温缺陷:

- 木制托梁、立筋、椽、大梁
- 钢制衍架和大梁
- 墙、天花板、地板内的水管
- 墙、天花板、地板内的电气安装，例如，中继线、管道等
- 木制框架墙内的水泥柱
- 换气通道和通风道

### *16.2.8.2* 建筑结构备注

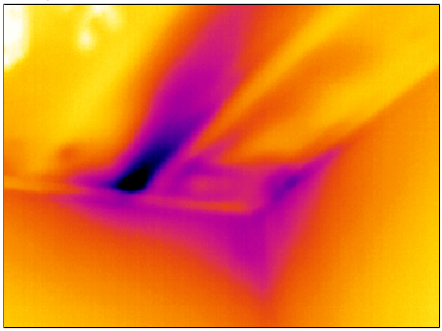
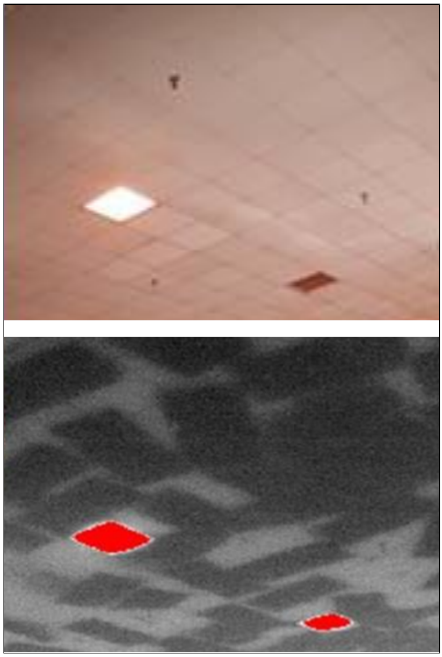
本节包含几个有保温缺陷的建筑结构的典型详例。

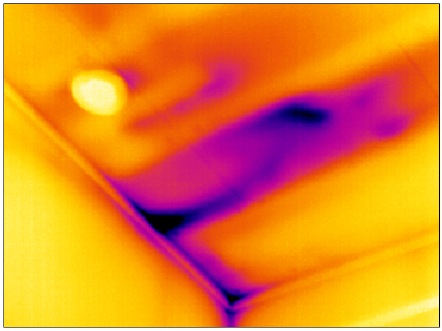
| 结构图 | 备注 |
| --- | --- |
| 10553203;a2<br> | 由于主供电线路周围保温棉的安装不当而造成的保温缺陷（和漏风）。<br>这类保温缺陷在红外图像上会显示为深色的区域。 |

| 结构图 | 备注 |
| --- | --- |
| 10553103;a2<br> | 由于围绕地楞横梁周围保温棉的安装不当而造成的保温缺陷。 冷空气进入结构并冷却天花板内的空间。<br>这类保温缺陷在红外图像上会显示为深色的区域。 |
| 10553003;a2<br> | 由于保温棉安装不当而在倾斜天花板的外侧造成一个气阱的保温缺陷。<br>这类保温缺陷在红外图像上会显示为深色的区域。 |

### 16.2.8.3 红外图像备注

本节包含了一些典型保温缺陷的红外图像。

| 红外图像 | 备注 |
| --- | --- |
| 10553303;a1<br> | 在中间层结构中的保温缺陷。 缺陷可能是由于缺少保温棉或保温棉的安装不当（气阱）所致。 |
| 10553403;a1<br> | 吊顶中安装不当的玻璃纤维棉。 |

| 红外图像 | 备注 |
| --- | --- |
| 10553503;a1<br> | 在中间层结构中的保温缺陷。 缺陷可能是由于缺少保温棉或保温棉的安装不当（气阱）所致。 |

## 16.3 建筑学原理

### 16.3.1 一般信息

近些年来，对于节能建筑结构的呼声越来越高。 能源领域的开发以及对舒适室内环境的需求使得对建筑保温和气密性的功能以及取暖和换气系统的效率要求越来越高。

在高度保温和气密的结构中的缺陷可以造成极大的能源损失。 建筑物保温和气密性的缺陷不仅会造成额外的取暖和维护成本，而且将导致室内气候环境的恶化。

建筑物的保温级别通常以建筑物不同部分的热阻或热传导系数来衡量（U值）。但是，标称的热阻值很难真正衡量建筑中的实际能量损失。 在气密性不好的接口和连接处的空气泄漏和保温层的填充不充分往往会造成设计值与实际值之间的巨大差异。

对各种材料和建筑元素标称属性的验证可以通过实验室的测试获得。 必须对建筑的整体进行检查以确保设计的保温和气密性功能确实得到了实现。

在结构工程应用中，热成像用于研究结构表面上的温度变化。 在特定条件下，结构热阻的变化可造成其表面上的温度变化。 结构上冷空气（或热空气）的泄漏也会影响表面温度的变化。 这意味着建筑中封闭结构性构件的保温缺陷、热桥以及空气泄漏可以被定位和勘察到。

热成像自身并不直接显示结构的热阻或是气密性。 在需要量化热阻或气密性的场合，还需要采用其它测量手段。 建筑物的热成像分析需要满足特定的前提条件，主要是在整个结构中的温度和压力条件。

这些参数中任何一个发生变化，热像图中的细节、形状和对比度都会随之非常清晰地发生变化。 对热像图的深度分析和解读因此需要材料和结构属性、气候作用以及最新测量技术等方面的丰富知识。 测量结果的评估，对测量人员在技术和经验方面有着特殊的要求，例如，以国家级或地区级标准化部门授权的方式。

### 16.3.2 测试和检查的效果

期望就整个建筑物的保温和气密性的性能得出一个结论是非常困难的。 在组合不同构件和建筑元素的过程中有某些特定的因素会极大地影响最终的结果。 在现场的运输、处理和存储方式以及完成工作的方式等因素的影响是无法事先完全估计到的。 为了确保设计的功能能够真正实现，对完成的建筑进行测试和检查是必须的。

现代保温技术已经降低了理论上的热学要求。 但是，这却意味着在重要位置上的那怕是极小的缺陷，例如，有泄漏的连接点或保温的安装不当，可以在保暖和舒适性方面同时造成极大的影响。热成像方式等验证测试的价值已经从设计师、承包商、开发商、物业经理乃至用户的各种角度得到了证实。

- 对于设计师来说，重要的事情是了解不同类型结构的功能，以便在设计过程中对这些因素同时从施工方式和功能要求的角度加以考虑。 设计师必须清楚材料之间的差别以及在实践中如何组合材料的功能。 有效的测试和检查，以及经验性的反馈可以用来获得这一领域中所需的进展。
- 承包商对于通过更多的测试和检查来确保结构可以达到相关法规和合同条款所规定的预期功能是非常支持的。 承包商总是希望能够在建筑工程的早期就了解到那些避免系统缺陷可能需要的任何改动。 因此，在一个大型项目的工程期间，应该在第一套房间完成以后进行检查。 类似的检查应该随着工程的进展不断进行。 通过这种方式可以避免系统的缺陷、不必要的成本以及未来可能的问题。 这种检查对于工程方和用户来说都是有好处的。
- 对于开发商和物业经理来说，检查建筑的热经济性、维护（由于潮湿或漏风所造成的损坏）以及对于住户的舒适性（居住区的制冷表面和气流运动等）是必需的。
- 对于用户来说，最重要的是成品房在建筑物保温和气密性方面能够达到标称的指标。 对于个人来说，购买一套房子需要经济上巨大的投入，因此购买者希望确定房子在建筑结构上不会存在可能带来严重经济后果或健康问题的缺陷。

对建筑物的保温和气密性的测试和检查兼具生理和经济上的意义。

在室内环境中的生理体验是非常主观的，因特定个体的热平衡以及对温度的体验的差异而有所不同。对气候条件的体验与室内气温和周围表面的温度都有关系。与室内空气的流动以及湿度也有一些关系。 在生理上，一股气流将使身体表面产生局部发冷的感觉，其原因在于

- 所处常温空间中的过度空气流动;
- 所处空间的空气流动正常但是室内温度过低;
- 与一个低温表面进行大规模辐射换热。

对于建筑保温的测试和检查很难获得定量的结果。

检查表明在建筑中发现了保温和气密性缺陷，因为热损失比预期值要大20–30%。对由小房子组成的相对大型的住宅区以及多住户居住区在采取补救措施前后的能量消耗监测也同样说明了这一点。 由于检查数据不能说对于整个建筑市场具有重要意义，因此此处引用的数据可能不具备代表所有建筑的一般性意义。 但是非常保守的评估是，对于建筑物的保温和气密性的有效检查可以减少能量消耗大约 10%。

调查还显示与缺陷相关的能量消耗增加通常是由于住户为了补偿与低温表面辐射换热或房间内空气流动等恼人问题而将室内温度提高几度而造成的。

### 16.3.3 热成像中的干扰源

在热成像检测中，在正常情况下，将由保温缺陷造成的温度变化与正常温度变化（与建筑高温表面相应的 U 值相关）相混淆的风险很小。

与 U 值中变化相关的温度变化通常是沿表面逐渐变化并对称分布的。 这类的变化当然是由于屋顶、地面、墙角的角度而产生的。

与空气泄漏或保温缺陷相关的温度变化在大多数情况下都具有特定的形状轮廓，因此非常易于识别。 温度的分布图案通常是不对称的。

在热成像以及解读红外图像的过程中，参考红外图像可为评估提供有价值的信息。

在实际应用中热成像的干扰源通常是由于

- 阳光对被成像表面的作用（阳光透过窗户照在上面）；
- 带有管道的热辐射体;
- 直接照在测量表面，或位于其附近的光;
- 直接作用在表面上的气流（例如，来自进风口）；
- 潴留在表面上的潮气的作用。

阳光的直射表面不应该用于热成像。 如果存在受阳光影响的风险，应当将窗户遮起来（关闭软百叶窗）。 但是，应该注意有些建筑缺陷或问题（通常是潮湿问题）仅在表面受热（例如，来自阳光）的情况下才会显现出来。

有关潮气探测的详情，请参阅第 50 页上的 16.2.2 – 关于潮气探测 一节。

热辐射体在红外图像上显示为明亮的表面。 辐射体旁墙壁的表面温度会上升，这可能隐藏存在的缺陷。

为了在最大限度上避免来自热辐射体的干挠，可能需要在测量前暂时关闭这些设备一会儿。 但是，根据建筑物的结构（热质的高低），可能需要在进行热成像勘察前将这些设备关闭几个小时。 房间的气温不能过低，否则会影响结构表面的温度分布。 电气辐射体的时间延迟很小，因此在关闭后会相对很快地冷却下来（20–30 分钟）。

在拍摄红外图像时，应当关闭靠墙放的灯。

在热成像过程中，不应该有任何可能影响要测量表面的干扰气流（例如，打开的窗户、打开的阀门、对着测量表面的风扇等）。

任何湿的表面（例如，表面冷凝的结果）对表面的热传导和表面温度有非常明显的影响。 如果表面上有潮气，通常总会有带走热量的蒸发效应，因此会将表面温度降低几度。 在存在热桥和保温缺陷的地方会有表面冷凝的风险。

此处介绍的主要干扰通常可以在测量之前被检测到并加以消除。

如果在热成像过程中无法将被测量的表面与干挠因素相隔绝，在对结果进行解读和评估时应当考虑到这些因素。在每次进行测量时，应当详细记录测量的条件。

### 16.3.4 表面温度和空气泄漏

由于结构中小的缝隙导致的建筑物气密性缺陷，可以通过测量表面温度探测到。如果检查的建筑物存在负压，气流会通过建筑上的泄漏处进入到建筑内的空间。冷空气通过墙上的缝隙流入通常会降低墙上临近区域的温度。 结果是在墙的内表面上形成带有标志性形状的低温表面区域。 热成像可用于探测低温的表面区

域。 在墙表面的空气流动可以使用空气速率指示器进行测量。 如果正在检查的建筑中存在正压，室内温暖的空气会通过墙上的缝隙泄漏出去，会在泄漏位置周围形成局部的高温表面区域。

泄漏量部分取决于缝隙大小，部分取决于结构两侧的压差。

#### *16.3.4.1* 建筑物内的压力条件

造成结构元素两侧压差的最主要原因有:

- 建筑物周围风的条件;
- 换气系统的影响;
- 内侧和外侧的温度差（热压差）。

建筑物中的实际压力条件通常是由这些因素综合决定的。

第 74 页上的图说明了合成压力在不同结构元素上的梯度分布情况。 风对建筑物的不规则影响意味着在实际中压力条件可能是相对变化着的并且非常复杂的。

在一股稳定的风中，可以应用柏努利原理:

$$\frac{\rho v^2}{2} + p = \text{constant}$$

此处:

| | |
|---|---|
| ρ | 空气密度以公斤/米³表示 |
| v | 风速以米/秒表示 |
| p | 静态压力以帕表示 |

并且此处:

$$\frac{\rho v^2}{2}$$

表示动态压力并且 p 表示静态压力。 综合这些压力就得出了总压力。

风对表面施加的载荷让动态压力成为了表面上的静态压力。 在众多因素中，决定静态压力大小的主要是表面的形状及其与风向所成的角度。

动态压力中成为表面静态压力的部分（$p_{stat}$）由被称为应力集中系数的因素决定:

$$C = \frac{p_{stat}}{\frac{\rho v^2}{2}}$$

如果 ρ 是 1.23 公斤/米³（空气密度是在 +15°C 下测得的），这为气流给出了以下局部压力：

$$p_{stat} = C \times \frac{\rho v^2}{2} = C \times \frac{v^2}{1.63} \text{ Pa}$$

10551803;a1

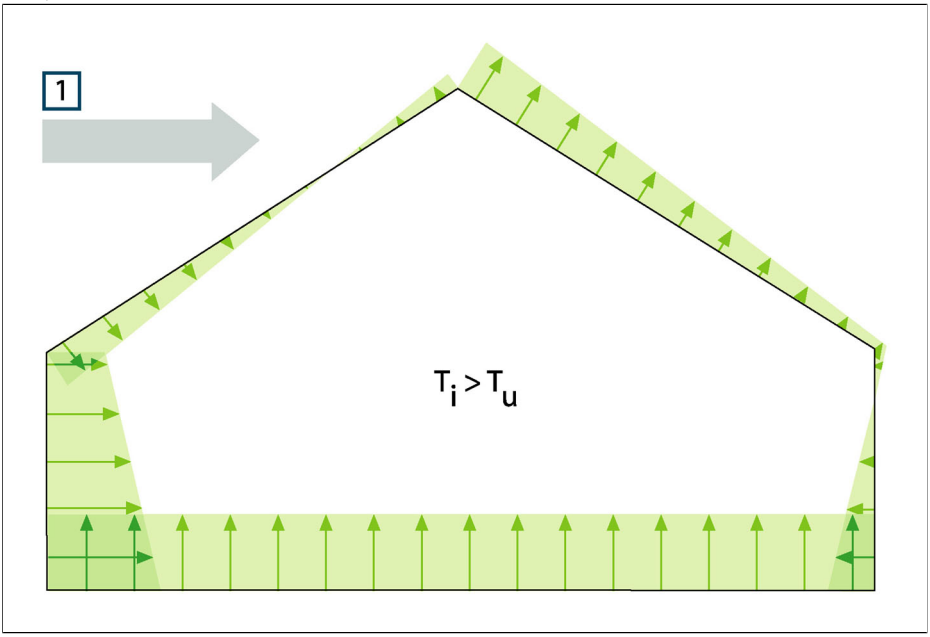



图 **16.3** 建筑物的封闭表面上合成压力的分布由风的影响、换气以及内/外的温度差等因素决定。**1**：风向；$T_u$：室外的热动力学气温以 K 表示；$T_i$：室内的热动力学气温以 K 表示。

如果整个动态压力变成静态的压力，则 C = 1。处于不同风向中建筑的应力集中系数分布如 75 页上图中所示。

风因此会导致在风向上的内侧负压以及在下风方向上的内侧正压。 室内气压取决于风的条件，建筑上的泄漏及其与风向的分布关系。 如果建筑上的泄漏均匀分布，内部的压力可能在 ±0.2 $p_{stat}$ 的范围内变化。 如果多数的泄漏在风向上，内部的压力将有所增加。 相反的情况，如果多数的泄漏在下风方向，内部的压力将降低。

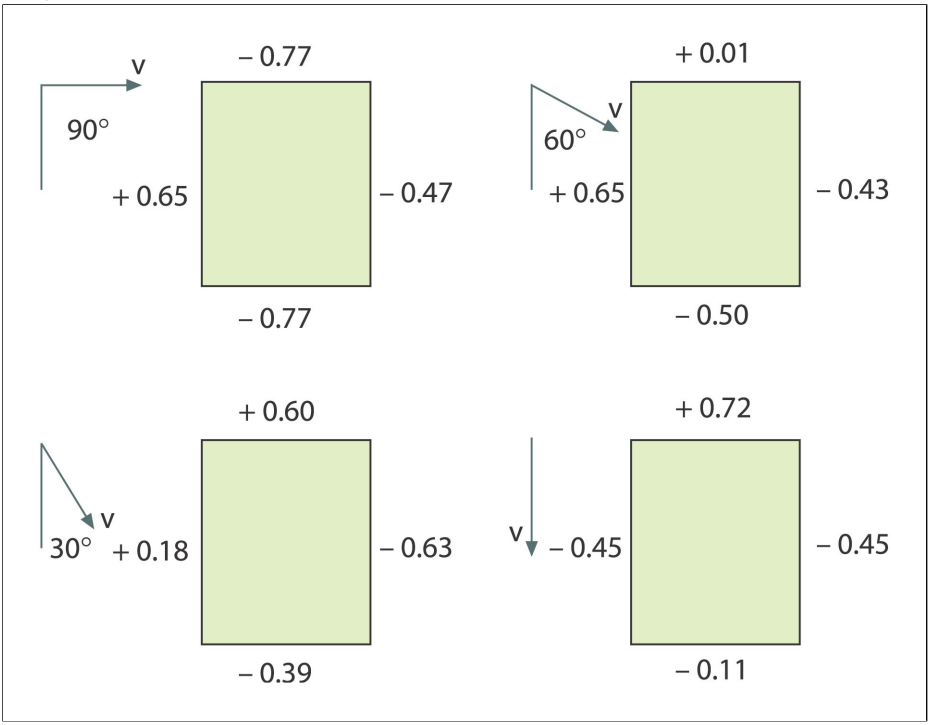



图 **16.4** 应力集中系数 (C) 在不同风向上的分布以及风速 (v) 相对于建筑物的分布。

风的条件随时间和地点（那怕是距离非常近的地点）的不同可能会有显著的不同。 在热成像中，这样的差异会对测量结果有非常明显的影响。

经验表明暴露在大约 5 米/秒风速下的正立面上的压差将大约为 10 帕。

机械换气将带来恒定的负压或正压（根据换气的方向）。 研究表明在小型住宅中由于机械抽吸（厨房抽油烟机）造成的负压通常在 5 到 10 帕之间。在有用于换气的机械抽吸设备时，例如，多住户居住区，负压在一定程度上较大，10–50 帕。在有所谓的平衡换气设备（机械控制的供气及抽气设备）时，这种设备通常调整为在内侧保持轻微的负压（3–5 Pa）。

由于温度差造成的压差，即所谓的烟囱效应（温度不同的空气产生的气密性差异），意味着在建筑中较低部分形成负压，而较高的部分形成正压。 在特定的高度上存在一个平衡区，内外的压力相同，请参见 77 页上的图。压差可被以下关系所解释:

$$\triangle p = g \times \rho_u \times h \left(1 - \frac{T_u}{T_i}\right) \text{ Pa}$$

| | |
|---|---|
| $\Delta p$ | 结构中的气压差以帕表示 |
| g | 9.81 米/秒$^2$ |
| $\rho_u$ | 空气密度以公斤/米$^3$表示 |
| $T_u$ | 室外热动力学气温以 K 表示 |
| $T_i$ | 室内热动力学气温以 K 表示 |
| h | 与平衡区的距离以米表示 |

如果 $\rho_u$ = 1.29 公斤/米$^3$（在 273 K 以及≈100 千帕下的空气密度），结果是：

$$\Delta p \approx 13 \times h \left(1 - \frac{T_u}{T_i}\right)$$

如果环境内侧和外侧的温度差为 +25°C，结构内部的结果高度压差大约是 1 帕/米。

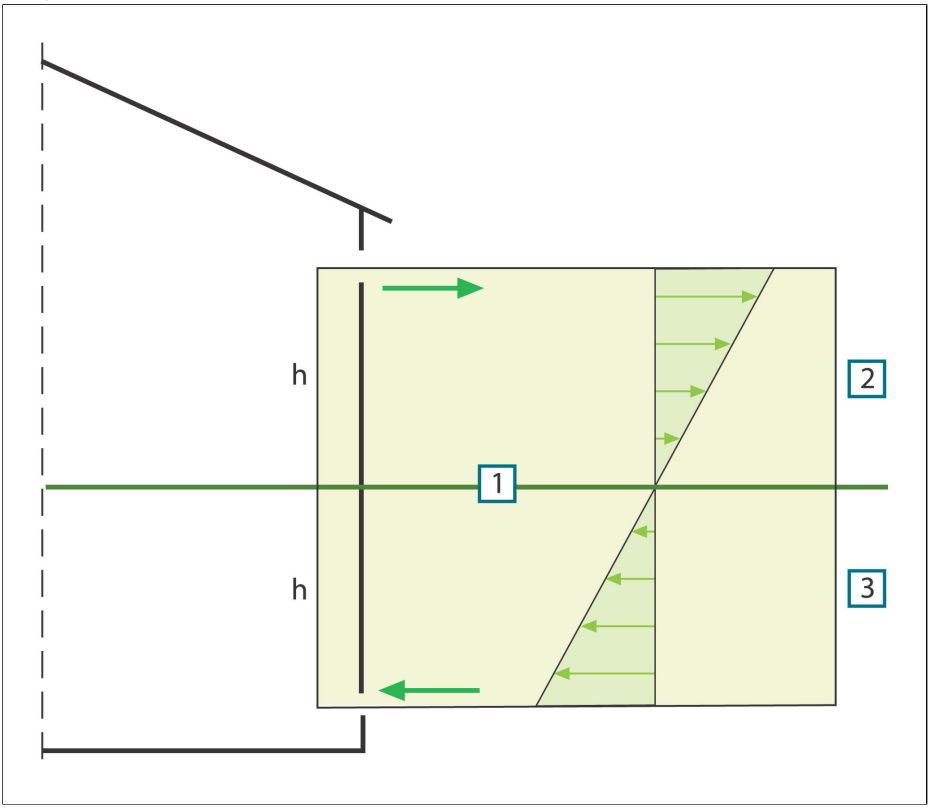



图 **16.5** 当外侧温度低于内侧温度时，带有两个开口的建筑上的压力分布。**1**：平衡区域；**2**：正压；**3**：负压；**h**：以米表示的与平衡区的距离。

根据建筑中泄漏的情况，平衡区的位置可能不同。 如果泄漏在垂直方向上均匀分布，这一区域将大约位于建筑物高度一半的位置。 如果在建筑物的下半部分有更多的泄漏，则平衡区将上移。 如果上半部分有更多的泄漏，则将下移。 在屋顶上烟囱开口的位置对平衡区的影响很大，这可能造成整个建筑物内的负压。这种情况在小型住宅中非常常见。

在大一些的建筑中，例如高大的工业建筑，由于在建筑下半部分有门和窗的泄漏，平衡区位于屋顶下大约三分之一的位置。

### 16.3.5 测量条件和测量季节

当拍摄建筑物的热成像图像时，在测量条件方面的要求总结如下。

热成像应该在外部气候条件干扰的影响尽可能小的情况下进行。 成像过程因此在室内进行，例如，在建筑供暖时，检验结构的高温表面。

室外的热成像只用于获得较大正立面的参考测量数据。 在一些情况下，例如，保温情况非常差或者存在内部正压的时候，外部测量可能有用。 即使在勘察建筑物内气候环境中设备的效果时，可能仍需要在建筑物外进行热成像。

推荐在以下条件下进行检查：

- 在进行热成像前数小时及成像过程中，建筑内相关部分的气温差必须至少为 +10°C。 在同一过程中，环境温度差的变化与热成像开始时相比不得超过 ±30%。 在热成像过程中，室内环境温度的变化不应超过 ±2°C。
- 在进行热成像前的数小时内及成像过程中，不能有干扰的阳光照射到建筑物的相关部分上。
- 结构中的负压 ≈ 10–50 帕。
- 当热成像的目的仅是为了定位建筑物封闭部分的空气泄漏时，测量条件的要求可以较低。 5°C 的内外侧环境温度差应该足以探测到此类的缺陷。 但是，为了能够探测到空气的泄漏，需要满足特定的压差要求，10 帕左右应该足够。

### 16.3.6 红外图像的解读

热成像的主要目的是定位外墙和地板结构中的保温故障和缺陷，并确定其本质和程度。 测量任务也可这样表述，热成像的目的是确定被检验的墙壁是否达到了标称的保温和气密性指标。 设计标称的墙壁保温指标可以转换为在已知的测量条件下勘察表面的预计表面温度分布。

在实践中方法涉及：

实验室或实地测试用于以常见墙壁结构（包括无缺陷结构和有内在缺陷的结构）的典型或比较红外图像的形式产生预计的温度分布。

第 49 页的 16.2 – 典型的实地勘察 一节显示了典型红外图像的示例。

如果在实地测量中拍摄的结构部分的红外图像用作比较红外图像，则必须获得结构的组成、构建方式以及拍摄红外图像时的测量条件等详细信息并记录在案。

在热成像过程中，为了能够分析与预期值产生差异的原因，必须清楚物理、度量以及结构方面的工程前提条件。

对于实地测量中拍摄的红外图像的解读可以简单地概括如下：

根据所勘察墙壁的结构以及进行实地测量的条件选择一个没有缺陷的结构作为比较红外图像。 被检查建筑元素的红外图像将随后与所选的红外图像相比较。 任何无法以结构设计或测量条件解释的差异均可被当作可疑的保温缺陷。 缺陷的本质和程度通常可以通过使用显示不同缺陷的比较红外图像来确定。

如果没有合适的比较红外图像可供使用，评估可以在经验的基础上进行。 这需要在分析中进行更为准确的推理。

在评估一幅红外图像时，应当注意观察以下内容：

- 不存在热桥现象的表面区域红外图像上的亮度一致性。

- 冷却表面区域的规律性和出现情况，例如，壁骨材料和墙角处
- 冷却表面区域的轮廓和标志性形状
- 测量结构正常表面和所选冷却表面区域的温度差。
- 结构表面等温曲线的连续性和统一性。 在不同型号的热像仪中，热像仪软件中等温线功能被分别称为**"等温线"**或**"颜色报警"**。

红外图像所显示的差异和不规则性往往表示保温缺陷。存在保温缺陷的结构其红外图像可能会明显显示较大的差异。特定类型的保温缺陷在红外图像上具有标志性的形状。

第 49 页的 16.2 – 典型的实地勘察 一节显示了解读红外图像的示例。

当拍摄同一建筑的红外图像时，不同区域的红外图像应该在热像仪上使用相同的设置进行拍摄，因为这可以让比较不同的表面区域更为容易一些。

### 16.3.7 湿度和露点

#### *16.3.7.1* 相对和绝对湿度

湿度可以通过两种不同的方式表达，*相对湿度* 或*绝对湿度*。 相对湿度以百分比的形式表示特定体积的空气在特定温度下的含水量，而绝对湿度则以百分比的形式表达在材料重量中的含水量。 在测量木材和其它建筑材料的湿度时通常使用后者来表达。

空气的温度越高，特定体积的空气所能容纳的水分就越大。 下表列出了在不同温度下空气中的最大含水量。

图 **16.6 A:** 以摄氏度表达的温度；**B**: 以克/米3（在海平面）表达的最大含水量

| A | B | A | B | A | B | A | B |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 30.0 | 30.44 | 20.0 | 17.33 | 10.0 | 9.42 | 0.0 | 4.86 |
| 29.0 | 28.83 | 19.0 | 16.34 | 9.0 | 8.84 | -1.0 | 4.49 |
| 28.0 | 27.29 | 18.0 | 15.40 | 8.0 | 8.29 | -2.0 | 4.15 |
| 27.0 | 25.83 | 17.0 | 14.51 | 7.0 | 7.77 | -3.0 | 3.83 |
| 26.0 | 24.43 | 16.0 | 13.66 | 6.0 | 7.28 | -4.0 | 3.53 |
| 25.0 | 23.10 | 15.0 | 12.86 | 5.0 | 6.81 | -5.0 | 3.26 |
| 24.0 | 21.83 | 14.0 | 12.09 | 4.0 | 6.38 | -6.0 | 3.00 |
| 23.0 | 20.62 | 13.0 | 11.37 | 3.0 | 5.96 | -7.0 | 2.76 |
| 22.0 | 19.47 | 12.0 | 10.69 | 2.0 | 5.57 | -8.0 | 2.54 |
| 21.0 | 18.38 | 11.0 | 10.04 | 1.0 | 5.21 | -9.0 | 2.34 |

图 **16.7 A**：以华氏度表达的温度；**B**：以 gr/ft³（在海平面）表达的最大含水量

| A | B | A | B | A | B | A | B |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 86.0 | 13.30 | 68.0 | 7.58 | 50.0 | 4.12 | 32.0 | 2.12 |
| 84.2 | 12.60 | 66.2 | 7.14 | 48.2 | 3.86 | 30.2 | 1.96 |
| 82.4 | 11.93 | 64.4 | 6.73 | 46.4 | 3.62 | 28.4 | 1.81 |
| 80.6 | 11.29 | 62.6 | 6.34 | 44.6 | 3.40 | 26.6 | 1.67 |
| 78.8 | 10.68 | 60.8 | 5.97 | 42.8 | 3.18 | 24.8 | 1.54 |
| 77.0 | 10.10 | 59.0 | 5.62 | 41.0 | 2.98 | 23.0 | 1.42 |
| 75.2 | 9.54 | 57.2 | 5.29 | 39.2 | 2.79 | 21.2 | 1.31 |
| 73.4 | 9.01 | 55.4 | 4.97 | 37.4 | 2.61 | 19.4 | 1.21 |
| 71.6 | 8.51 | 53.6 | 4.67 | 35.6 | 2.44 | 17.6 | 1.11 |
| 69.8 | 8.03 | 51.8 | 4.39 | 33.8 | 2.28 | 15.8 | 1.02 |

*示例:*

在温度为 +30°C 时特定体积空气的相对湿度为 40 % RH。在 +30°C 时，1 米³的空气中含水量 = 30.44 × 相对湿度 = 30.44 × 0.40 = 12.18 克

### *16.3.7.2* 露点的定义

露点是指一定体积空气中的湿气将凝结成液态水时的温度。

*示例:*

在温度为 +30°C 时特定体积空气的相对湿度为 40 % RH。在 +30°C 时，1 米³的空气中含水量 = 30.44 × 相对湿度 = 30.44 × 0.40 = 12.18 克。在上表中，查找空气中的含水量最接近 12.18 克的温度。这将是 +14.0°C，即大致的露点。

## 16.3.8 摘录自《技术声明》'评估热桥接和保温连续性'（英国示例）

### *16.3.8.1* 信誉

本技术声明由一个工作组编写而成，其中包括专业的热成像测量人员和研究咨询人员。本文档还咨询了其他人员和组织，因此得到了各行各业的广泛接受。

本技术声明的内容是经过 United Kingdom Thermography Association (UKTA) 的慷慨允许再生的，并且获得了完整版权。

UK Thermography Association
c/o British Institute of Nondestructive Testing
1 Spencer Parade
Northampton NN1 5AA
United Kingdom

电话：+44 (0)1604 630124
传真：+44 (0)1604 231489

### *16.3.8.2* 简介

在过去几年中，与热成像相关的设备、应用、软件和了解都有了惊人的发展。随着这门技术逐渐集成到主流实践中，也相应产生了应用指南、标准和热成像培训方面的需求。

UKTA 之所以发表本技术声明，是为了建立一种一致的方法来对“保温连续性”检验结果进行评定。本文的用户为应该参考本文档作为满足建筑规范要求指南，因此使得合格热成像人员能够发布通过或失败报告的具体人员。

### *16.3.8.3* 背景信息

热成像可以检测最低为 0.1 K 的表面温度扰动，并且可以产生图像，以可视化的形式说明建筑表面的温度分布。

建筑结构热属性方面的扰动（如保温固定较差或缺少保温层）会导致结构两侧表面温度的扰动。因此热成像人员可以看到这些内容。但是，很多其他因素（如当地热源、反射和空气泄漏）也可能导致表面温度扰动。

为了区分真正的故障和其他温度扰动源，通常需要热成像人员的专业判断。现在越来越多的情况下都要求热成像人员来评判他们对建筑结构的评估，如果缺少适当的指导，则可能很难设定确切的可接受温度扰动或不可接受温度扰动水平。

目前英国的建筑结构热成像标准为 BS EN 13187:1999（BS EN 13187:1999，Thermal Performance of Buildings—Qualitative detection of thermal properties in building envelopes—Infrared method）（基于 ISO 6781:1983 修改）。但是，此标准将热图像的解释工作留给了热成像人员的专业技术，在可接受扰动和不可接受扰动之间的划分方面几乎没有提供任何指导。有关各种热异常表象的指南位于热成像的 BINDT 指南中（Infrared Thermography Handbook，Volume 1，Principles and Practise，Norman Walker，ISBN 0903132338，Volume 2，Applications，A. N. Nowicki，ISBN 090313232X，BINDT，2005）。

#### *16.3.8.3.1* 要求

说明保温连续性、热桥区域和建筑规范遵守性的热成像检测应该包括下列内容：

- 热异常。
- 真正的热异常（由于热保温缺陷导致了温差）与一些复合因素（如当地的空气流动、反射和辐射差异）导致的热异常之间的区分。
- 量化受影响面积与总保温面积之间的比例。
- 表明从整体来看异常和建筑热保温是否可以接受。

### *16.3.8.4* 热异常的量化鉴定

热成像检测会显示视野中各个区域表观温度的差异。但是，要使得上述内容有用，则必须系统性地检测所有表观缺陷；根据预先设定的标准对其进行评估；对不是真正缺陷的异常进行可靠忽略；评估真正的缺陷，以及向客户报告结果。

#### *16.3.8.4.1* 严重温度参数的选择

BRE information Paper IP17/01（Information Paper IP17/01，Assessing the Effects of Thermal Bridging at Junctions and Around Openings。Tim Ward，BRE，2001）对于最低可接受内表面温度和相应的严重表面温度系数值 $f_{CRsi}$ 提供了有用的指导。通过使用表面温度系数，在任何热条件下进行的检测都可显示在设计条件下有可能发生结露或发霉的区域。

真正的表面温度很大程度上取决于检测期间或不处于检测期间的温度，但是提出的“表面温度系数”($f_{Rsi}$) 与绝对条件无关。它是整个建筑结构中温降与内部和外部空气之间总温降的比例。

对于内部检测： $f_{Rsi} = (T_{si} - T_e)/(T_i - T_e)$

$T_{si}$ = 内表面温度
$T_i$ = 内部空气温度
$T_e$ = 外部空气温度

新建筑的合适 $f_{CRsi}$ 值为 0.75，因为在“保温连续性”或“热桥”测试中不考虑较高使用频率的情况。但是考虑重新装修或较长的建筑（例如游泳池）时，内部检测则可能需要考虑非常规情况。

#### *16.3.8.4.2* 仅使用表面温度的其他方法

对于热成像检测仅基于表面温度，而不需要测量空气温度这一理论存在很多分歧。

- 建筑内部的层化使得参考内部空气温度非常困难。这是否意味着应该测量低层、高层或者异常层空气温度，以及它们离墙的距离？
- 辐射效果（如向夜空的辐射）则使得使用外部空气温度变得非常困难。由于指向天空的辐射，很少会出现建筑结构外表面温度低于空气温度（该温度可能会很低，–50 ℃）的情况。这种情况通过肉眼就可以观察到，因为即使空气温度没有降到露点以下时通常也会在建筑表面出现露和雾。
- 应该注意的一点是，U 值的概念是基于结构两侧的“环境温度”的。很多没有经验的分析人员通常会忽略这一点。
- 与建筑结构（和任何固体）热传导紧密相关的两个温度是两侧的表面温度。
- 因此，如果参考表面温度，检测则更具可重复性。
- 使用的表面温度为结构内外接近异常区域内同一材料上的平均表面温度。通过使用严重表面温度系数以及异常温度，可以基于这些温度设置阈值水平。
- 即使有了这些参数，热成像人员仍然需要了解面向建筑接口表面的环境中异常温度下目标的反射。

- 热成像人员还应该使用面向各种方向的外表面之间的比较，来确定是否存在在影响着外表面的太阳余热。
- 对于表面上的 $T_{si} - T_{so}$ 比北侧表面或最接近北侧表面上的 $T_{si} - T_{so}$ 高出 10% 的表面，不应该进行外部检测。
- 对于在 IP17/01 的 0.75 条件下会导致失败的缺陷，内表面的严重表面系数为 0.78，外表面的严重表面系数为 0.93。

下表显示了在 IP17/01 条件下会导致失败的异常下的内表面温度和外表面温度。该表还显示了肯定会导致这种情况的热保温缺陷。

| 带有缺陷保温的轻型建筑覆层示例 | 通过区域 | 失败区域 |
|---|---|---|
| 外部温度 ℃ | 0 | 0 |
| 内表面温度 ℃ | 19.1 | 15.0 |
| 外表面温度 ℃ | 0.3 | 1.5 |
| 基于 IP17/01 的表面系数 | 0.95 | 0.75 |
| 严重外表面温度系数，IP17/01 之后 | | 0.92 |
| 提供此性能级别的保温厚度，mm | 80 | 5.1 |
| 当地 U 值 $W/m^2K$ | 0.35 | 1.92 |
| UKTA TN1 表面系数 | | 0.78 |
| UKTA TN1 表面系数（外部） | | 0.93 |

*表注释*

**1** 表面热阻值取自 ADL2 2001，这些值为：

- 内表面 0.13 $m^2K/W$
- 外表面 0.04 $m^2K/W$

这些系数源自 BS EN ISO 6946 (BN EN ISO 6946:1997 Building components and building elements - Thermal resistance and thermal transmittance - Calculation method。

**2** 此处使用的热保温假设导热率为 0.03 W/m K。

**3** 异常和正常区域之间的温度差别为外部 1.2 度，内部 4.1 度。

**4** 内部检测的 UKTA TN1 表面温度系数为：

$F_{si} = (T_{sia} - T_{so})/(T_{si} - T_{so})$

此处：

$T_{sia}$ = 异常下的内表面温度

$T_{so}$ = 外表面温度（正常区域）

$T_{si}$ = 内表面温度（正常区域）

**5** 外部检测的 UKTA TN1 表面温度系数为：

$F_{so} = (T_{soa} - T_{si})/(T_{so} - T_{si})$

其中 $T_{soa}$ = 异常下的外表面温度

#### *16.3.8.4.3* 选择最大可接受缺陷面积

允许的缺陷面积是一个质量控制问题。对于是否不应有任何区域会发生结露、结雾或缺陷保温，以及报告中是否应该包括任何此类异常的问题，可能还存在分歧。但是，常用值建筑暴露表面面积的 0.1% 通常被接受为遵守建筑规范的最大可允许缺陷面积总和。这就表示，每一千平方米的最大可接受缺陷面积为一平方米。

#### *16.3.8.4.4* 测量表面温度

表面温度的测量是红外成像系统的功能。经过培训的热成像人员应识别、考虑并报告正在检测表面的辐射和反射扰动。

#### *16.3.8.4.5* 测量缺陷面积

只要满足下列条件，即可按照热分析软件或大多数电子表格程序包中使用的像素执行缺陷面积的测量:

- 热像仪与目标的距离已经过精确测量（可能使用激光测量系统），
- 目标距离应该考虑成像系统的 IFOV,
- 考虑了热像仪和目标表面与垂线之间的任何角度变化。

建筑物由很多建筑构件组成，这些建筑构件并不利于进行量化的检测，其中包括窗户、屋顶轻型材料、灯、散热器、冷却设备、维修管道和导电设施。但是，这些目标和建筑表面之间的连接也应视为检测的一部分。

### *16.3.8.5* 条件和设备

要从热保温检测获得最佳的结果，很重要的一点是要考虑环境条件，以及使用最适合该任务的热成像技术。

只有存在温差并且考虑环境现象的情况下，热成像人员才能看到热异常。至少应该符合下列条件:

- 建筑结构中的温差大于 10 ℃。
- 检测之前最近 24 小时的内部空气和环境空气温差大于 5 ℃。
- 检测期间和上一小时内外部空气温度在 ±3 ℃ 之内。
- 前面 24 小时内外部空气温度在 ±10 ℃ 之内。

另外，外部检测也应符合下列条件:

- 必须存在太阳没有直射以及不会受到过去太阳辐射余温影响的表面。通过比较建筑两侧的表面温度可以对此进行检查。
- 检测之前或期间没有降雨。
- 确保要检测的所有建筑表面都是干燥的。
- 风速低于 10 m/s。

计划热成像建筑检测时，除了温度之外，还应考虑其他环境条件。例如，外部检测可能会受相邻建筑或寒冷晴朗天空辐射和反射的影响，甚至会受到太阳对表面的明显加热影响。

另外，如果内部或者外部的环境温度与空气温度相差 5 K 以上，则应该测量所有受影响表面上的环境温度，以实现足够精确的表面温度测量。

### *16.3.8.6* 检测和分析

下面的内容针对热成像操作人员提供了一些操作指南。

检测必须收集足够的热成像信息才能说明为了报告和评估所有热异常而检测了所有表面。

最开始，必须收集环境数据以及包括下列内容的任何热成像检测：

- 异常区域中的内部温度。
- 异常区域中的外部温度。
- 表面辐射。
- 环境温度。
- 与表面的距离。

通过插值，确定要使用的阈值温度。

- 对于内部检测，该阈值表面温度 ($T_{sia}$) 为 $T_{sia} = f_{si}(T_{si} - T_{so}) + T_{so}$。热成像人员要寻找表面温度低于此阈值的证据。
- 对于外部检测，该阈值温度 ($T_{soa}$) 为 $T_{soa} = f_{so}(T_{so} - T_{si}) + T_{si}$。热成像人员要寻找表面温度高于此阈值的证据。

异常图像的捕获必须以适合分析的方式进行：

- 该图像是墙面或屋顶任何构件的一块面积。
- 查看角度接近要成像表面的垂线。红外辐射的干扰源（如灯、散热器、导电设施和反射元素）尽量减少。

分析方法某种程度上取决于所使用的分析软件，但关键阶段如下所示：

对于每个异常或异常组都生成一个图像。

- 使用软件分析工具将异常区域包括在图像内，同时注意不要包括要排除的结构细节。
- 计算内部检测低于阈值温度的面积，或者外部检测高于阈值温度的面积。这就是缺陷面积。检测时某些好像是缺陷的异常在此阶段可能不显示缺陷面积。
- 将所有图像中的缺陷面积加在一起 $\sum A_d$。
- 计算暴露建筑结构的总面积。这是所有墙面和屋顶的表面积。使用外表面面积比较方便。对于一个简单形状的建筑，此面积基于总宽度、长度和高度计算。
  $A_t = (2h(L + w)) + (Lw)$
- 识别严重缺陷面积 $A_c$。此值预设为总表面积的千分之一，即 0.1%。
  $A_c = A_t/1000$

- 如果 $\sum A_d < A_c$，则可以将建筑作为一个整体视为具有“合理连续性”的保温。

#### *16.3.8.7* 报告

报告应该颁发通过/失败结果、符合客户要求，最少应该包括 BSEN 13187 所要求的信息。为了可以按照补救措施重复检测，通常需要下列数据。

- 测试客体和主体的背景信息。
- 检测的位置、方向、日期和时间。
- 唯一的标识引用。
- 热成像人员的姓名和资格。
- 结构类型。
- 天气情况、风速和风向、最近降雨情况、光照和云层度。
- 检测开始以及每个图像成像之前和期间的内部和外部环境温度。应该记录空气温度和辐射温度。
- 与相关测试要求任何偏差的陈述。
- 使用的设备、最后的校正日期，以及任何已知缺陷。
- 测试人员的姓名、关系和资格。
- 每个被观测缺陷的类型、范围和位置。
- 任何补充测量和研究的结果。
- 报告应该由热成像人员进行检索和归档。

##### *16.3.8.7.1* 注意事项和限制

内部检测和外部检测的选择取决于：

- 对于表面的评估。内表面和外表面均存在障碍的建筑（例如，天花板上搭建了不合适的架子或者沿着墙面堆积了材料）可能不适合进行这种类型的检测。
- 热保温的位置。最接近热保温一侧的检测通常更为高效。
- 重型材料的位置。最接近重型材料一侧的检测通常效率较低。
- 检测的目的。如果检测的目的在于显示结露和结雾的危险，则应为内部检测。
- 玻璃、光滑金属或其他反射率较高的其他材料的位置。在反射率较高的表面上进行的检测通常效率较低。
- 在暴露于外部空气流动之下的墙面外侧上，缺陷通常会产生较小的温差。但是，外表面附近的保温缺少或保温缺陷通常可以通过外部检测来更为方便地标识。

## 16.4 免责声明

### 16.4.1 版权声明

本章中的一些节和/或图像的版权属于以下组织和公司:

- FORMAS—The Swedish Research Council for Environment, Agricultural Sciences and Spatial Planning, Stockholm, Sweden
- ITC—Infrared Training Center, Boston, MA, United States
- Stockton Infrared Thermographic Services, Inc., Randleman, NC, United States
- Professional Investigative Engineers, Westminster, CO, United States
- United Kingdom Thermography Association (UKTA)

### 16.4.2 培训和认证

进行建筑物的热成像检查需要大量的培训和经验，可能需要国家级或地区级标准化部门的认证。 本节仅仅是提供了建筑物热成像的介绍。 强烈建议用户参加相关的培训课程。

有关红外培训的更多信息，请访问以下站点:

**http://www.infraredtraining.com**

### 16.4.3 国家级或地区级的建筑规范

本章中备注的建筑结构可能与其它国家的结构不同。 有关结构细节和程序标准的更多信息，请注意参考相关国家级或地区级的建筑规范。

# 17 简介电气安装的热成像检查

## *17.1 重要注意事项*

您手上特定型号热像仪的配置可能并不支持本节中介绍的各种热像仪功能和特性。

电气法规因国家不同而有所不同。出于这一原因，本节中所述的电气规程可能不是您所在国家的标准规程。并且，在许多国家进行电气检查需要正式的资格。请注意参考相关国家或地区的电气法规。

## *17.2 一般信息*

### 17.2.1 简介

时至今日，电气安装检查领域中的热成像已经发展成为了一种比较成熟的技术。这一领域是热成像技术最初的应用领域，并且直到今天也依然是该技术最主要的用途。 我们今天可以这样说，红外热像仪本身经历了爆炸性的发展，目前已经是第 8 代的产品了。 这项技术始于 1964 年，已经经历了 40 多年的历史。 这项技术现在已经广泛应用于全世界。 工业化国家和发展中国家都已经采用了这项技术。

在最近几十年来，热成像与振动分析相结合已经成为工业故障诊断领域（预防性维护的一个分支）的一种主要方式。 这些方式有一个很大的好处，不仅可以在工作状态下进行各种安装的检查，并且正常的工作环境也是获得准确测量结果的一个必要条件，因此运行中的生产流程完全不受影响。 电气安装的热成像检查主要用于三大领域:

- 发电
- 输电
- 供电，也就是电能的工业用途。

上述控制可以在正常的作业环境中完成这一事实同时也在这些领域间产生了一个自然的划分。 电厂在高负载时段的测量。 这些时段根据国家的不同和气候带的不同而各不相同。 测量的时段还会根据电厂类型（例如，水电、核电、燃煤或燃油的火电）的不同而有所不同。

工业检查通常在春季、秋季或在长期停止运营之前进行，至少在北欧国家中是有着明显的季节区分的。 因此，维修是在停产的情况下进行的。 但是，这一规律正在变得越来越不适用，对电厂的检查已经可以在不同负载和运行环境下进行了。

### 17.2.2 一般设备数据

在进行检查前，应该让热成像仪了解被检查设备的特定温度行为。 对于电气设备来说，出现故障的设备由于电阻或电流增大会显示出不同的温度模式这一物理原理是众所周知的。

但是，需要注意的是，在某些情况下（例如螺线管），'过热'是一种正常现象，并不意味着会导致故障。在其他情况下（如电动机的连接），过热可能是由于正常部件承担了整个负载而导致的。

第 102 页的 17.5.7 – 由于其它部件故障造成的部件过热 一节显示了一个类似示例。

存在故障的电气设备因此既可能表现为过热，也可能表现为比正常的部件温度更低。 正是因为如此，在检查之前有必要通过获得尽可能多的关于设备的信息来弄清楚所期待出现的现象是哪一种。

但是一般的规则是，过热的点是由于可能存在的故障所造成的。 特定组件在检查期间以及在其它情况下可能出现的温度和负载将用于判断故障的严重程度。

对于特定案例的正确评估需要关于组件热行为的详细信息，也就是说，我们需要了解相关材料所允许的最高温度以及组件在系统中所充当的角色。

线缆绝缘层，例如，在特定温度以上会失去绝缘属性，这增加了发生火灾的危险。

对于断路器来说，如果温度太高，零件可能熔化并且使断路器无法打开，因此其功能被破坏。

红外热像仪的操作者对要检查的设备了解越多，检查的质量也就越高。 但是要让红外热像仪的操作者了解可能遇到的所有不同类型的设备几乎是不可能的。因此，常见的做法是在测量过程中需要有一个负责该设备的人在场。

### 17.2.3 检查

检查的准备应该包含选择正确类型的报告。 为了测量故障电路中的电流，通常需要使用安培表等辅助设备。 在检查室外设备时，如果要测量风速，则需要风速计。

自动功能可帮助红外测量员以正确的对比度显示组件的红外图像，在图中可以很容易识别出故障位置或者热点。 在扫描过的组件上几乎不可能错过一个热点。测量功能还将自动显示图像区域中的最热点或选中区域的最高温度与参考温度之间的差异，测量者可选择参考温度，例如环境温度。

10712703;a3




图 **17.1** 电线隔离器的红外和光学图像

当故障被明确识别出来并且红外测量员确认其不是反射或正常的热点后，即可开始数据的采集，以便正确报告故障。 在报告中将记录辐射率、组件的名称和实际的工作条件，以及测量到的温度等内容。 为了更易于确定组件，通常需要拍摄故障的光学照片。

### 17.2.4 分类和报告

在过去，报告通常是红外调查中最为费时的部分。 一天的检查可能需要一至两天的工作来报告和分类找到的故障。 对于那些尚未充分利用引入红外环境监测的计算机技术以及现代报告生成软件的红外测量员来说现在依然如此。

故障分类有着重要的意义，不仅要考虑检查时的条件（这当然很重要），而且可能还需要排除标准负载和环境温度条件下的正常温度升高。

一个 +30°C 的温升当然是一个很大的故障。 但是对于一个负载可以在 100% 的基础上超出 50% 的组件来说，很明显，如果负载从 50% 上升到 100%，后者将达到一个非常高的温度。 电厂的环境可能选择这样的标准。 但是，100% 负载时的温度通常是预先确定的。 标准让根据时间比较故障更为容易，因此可以进行更完整的分类。

### 17.2.5 优先级

维护经理可以根据故障的分类为故障指定维修的优先级。 通常，在红外检查中收集的信息将与振动监测、超声波或计划中的预防性维护等其它方式在设备上所采集的补充性信息放在一起进行分析。

即使红外检查正在成为用于采集关于电气组件在正常工作条件下在设备上安全工作的信息的最为常用的手段，维护和生产经理依然需要同时考虑许多其它信息来源。

因此确定维修优先级不应该是红外测量员的职责。 如果在故障的检查或分类过程中发现重大问题，维护经理自然应当给予重视，但是确定维修的紧急程度应该是他的职责。

### 17.2.6 维修

对于已知问题的维修来说，最重要的环节是预防性维修。 但是，在正确的时间或以适当的代价保证生产同样是维修部门的重要目标。 由红外检查提供的信息可用于改善维修效率并以可预见的风险为代价达到其它目标。

监测温度预防那些由于没有可用备件等原因而无法立即维修的已知故障，所带来的效益可能是检查费用的一千倍，有时甚至可以抵消红外热像仪的成本。 确定不维修已知故障从而节省成本并且避免不必要的停机时间也是另一种有效利用红外检查信息的方式。

但是，检测到的故障经过确定和分类后，最为常见的结果是建议立即维修或是在条件具备后立即维修。 维修人员清楚辨别故障的物理原理是非常重要的。 如果一个故障显示出高温并且处于非常紧急的情况，当然希望维修人员能够找到已经高度损坏的部件。 而对于维修人员来讲，这样的情况也是很常见的——一个通常正常的连接如果松动了，也会出现与损坏的部件相同的高温。 这些错误的解读是非常常见的，红外测量结果所代表的实际风险时常会被质疑。

### 17.2.7 控制

一个经过维修的组件在维修后应当立即被恢复到控制状态之下。 为了根据新的检查结果来确定是否恢复对维修后部件的控制而等待计划中的下一次红外检查是非常缺乏效率的做法。 有关维修效果的统计显示多达三分之一的故障在维修后仍会出现高温。 这也就是说，这样的故障并不代表着发生事故的潜在风险。

等待到下一次红外检查对于电厂来说意味着风险。

除了提高维护周期的效率（以降低电厂的风险作为衡量标准），对于维修工作的立即控制还可以为维修人员本身在表现方面带来其它好处。

当故障在维修后依然显示出过高的温度时，确定过热原因可以改善维修的程序、有助于选择最佳的组件供应商以及检测电气安装上的设计缺陷。 维修人员可以非常快地看到工作成果，并且不论维修被证明是成功还是错误的，他们都能够非常快地从中获得经验。

为维修人员提供红外设备的另一个原因是，许多在红外检查中所检测到的故障都不是非常重要的。 与其进行需要耗费维护和生产时间的维修，不如让这些故障处于控制之下。 因此维护人员需要能够使用他们自己的红外设备。

通常在报告的表格中不仅会注明所观察到故障的类型，还会注明需要采取的行动。 这些观察结果是非常重要的经验来源，可用于减少库存、选择最佳的供应商或是培训新的维护人员。

# 17.3 用于电气安装的红外检查的测量技术

## 17.3.1 如何正确设置设备

一幅热学图像可能显示出高温差异:

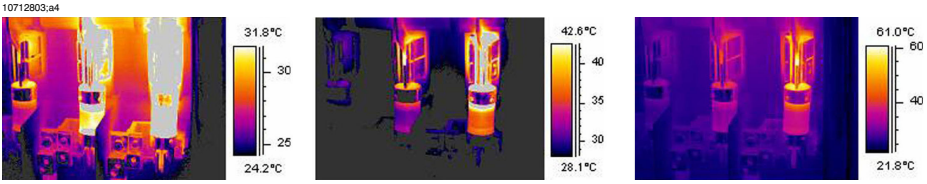



图 **17.2** 保险盒中的温度差异

在上图中，右侧的保险丝的最大温度为 +61°C，左侧的是最大值为 +32°C 的保险丝，而中间的则是介于两者之间的。三幅图像有所不同，因此温标在每幅图中只能增强一个保险丝的图像。但是，这是在一幅图像中，关于三个保险丝的信息都在其中。这只是一个设置温标值的问题。

## 17.3.2 温度测量

今天的一些热像仪可以自动在图像中找到最高温度。 下图显示了测量员所观察到的情况。

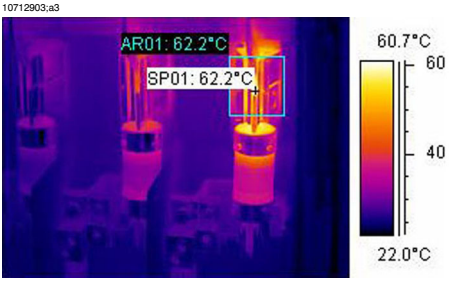



图 **17.3** 这是一幅保险盒的红外图像，其中显示了最大温度

区域中的最大温度为 +62.2°C。 点测量表显示了热点的准确位置。 图像可以轻松地储存在热像仪的存储器中。

但是正确的温度测量不仅取决于评估软件或热像仪的功能。 实际可能出现的错误是，例如，一个连接在测量时刻所处的位置正好无法被热像仪所测量到。 可能的情况是，测量到的热已经是隔了一定距离传导过来的，而“真正的”热点却没有测量到。 下图显示了一个例子。

10717603;a3

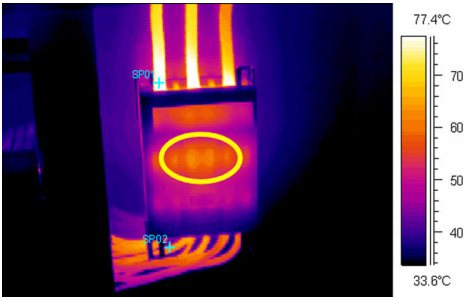



图 **17.4** 隐藏的热点位于一个盒子中

请尝试选择不同的角度并确保发热区域可以被完整地观察到，而不是被可能隐藏最热点的物体所遮挡。在此图上，热像仪所能观察到的最热点为 +83°C，而盒子下面缆线的工作温度是 +60°C。但是真正的热点则最可能隐藏在盒子的后面，请注意在黄圈中的区域。这一故障被报告为超出额定温度 +23°C，而故障真正的温度可能要高得多。

另一种造成低估对象温度的原因是对焦不准。 让所找到的热点处于焦点之上是非常重要的。 请参见下例。

10717403;a2

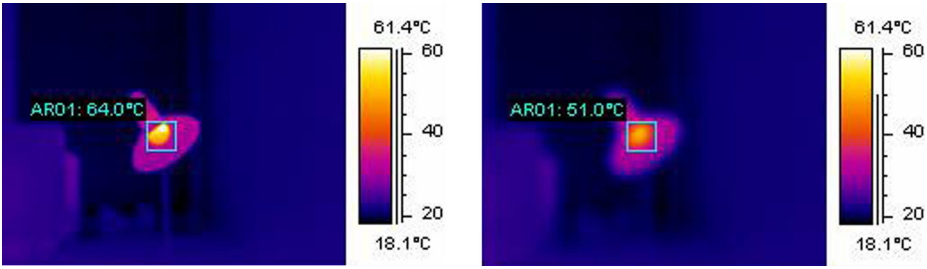



图 **17.5** 左图：一个热点处于焦点之上；右图： 一个热点处于虚焦状态

在左图中，台灯位于焦点之上。其平均温度为 +64°C。在右图中，台灯处于虚焦状态，这导致平均温度只有 +51°C。

### 17.3.3 比较测量

为了对电气安装进行热成像检查，用到了一种特殊的方法，这种方法基于对不同对象的比较，称之为*参考测量法*。 这只是意味着将三相进行互相的比较。 这一方法需要对三相同时进行系统的扫描，来评估一个点是否与正常的温度模式不同。

正常的温度模式意味着带电组件处于以特定颜色（或灰度级别）表示的工作温度之下，三相在对称负载下通常是相同的。在电流路径上，可能出现一些轻微的颜色差别，例如，在两种不同材料的连接处，在导线增加或减少的区域中或者在电流路径被封装的电路断路器上。

下图显示了三个保险丝，温度彼此非常接近。 插入的等温线实际上显示了各相之间小于 +2°C 的温度差。

不同颜色往往是各相负载不对称的结果。 颜色的不同并不代表任何过热，因为这不是发生在局部而是发生在整个相上。

10713203;a3

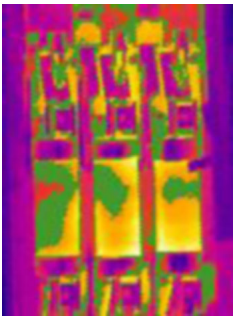


图 **17.6** 保险盒红外图像中的一条等温线

而另一方面，当更仔细观察热源的时候，“真正的”热点将显示一个正在上升的温度。请参见下图，轮廓（线）显示了一个急速上升的温度，在热点上可达到大约 +93°C。

10713303;a4

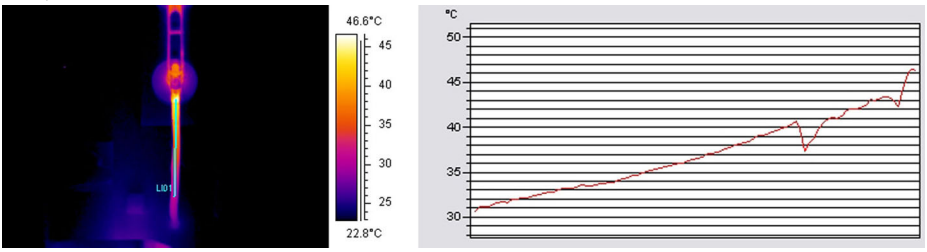



图 **17.7** 红外图像和图形上的一条轮廓（线）显示了正在上升的温度

### 17.3.4 正常工作温度

使用热成像法测量的温度通常给出的是对象的绝对温度。 为了正确地评估对象是否过热，有必要了解其工作温度，如果我们考虑到负载及其环境温度，也就是它的正常温度。

由于直接测量将给出的是绝对温度，必须同时考虑这个温度（由于多数组件的绝对温度都有一个上限），因此有必要计算在给定负载和环境温度下的预计工作温度。 考虑以下定义：

- 工作温度： 组件的绝对温度。 它取决于电流负载和环境温度。 它总是高于环境温度。
- 超出温度（过热）： 正常工作的组件和有故障的组件之间的差异。

超出温度的定义是“正常”组件与其周围环境之间的差异。比较不同相之间的相同点是非常重要的。

作为例子，请参见以下摄于室内设备的图像：




图 **17.8** 室内电气设备 (1) 的红外图像。

左面两相被认为是正常的，而右面两相则显示了非常清晰的超出温度。事实上，左相的工作温度为 +68°C，这是一个非常真实的温度，而右面有故障的相则显示了 +86°C 这一温度。这意味着 +18°C 的超出温度，这是一个需要尽快解决的故障。

出于实际的原因，只要认为它们是在正常地工作，三相中至少有两相的温度都可以被认为是组件的工作温度（正常，预计）。“最正常”的情况当然是所有三相都具有相同或者至少是几乎相同的温度。 分站或电线的室外组件的工作温度通常是比气温高 1°C 或 2°C。 在室内分站中，工作温度则会有很大的不同。

这一事实在下面的图中有清晰的显示。左相中显示了超出的温度。从“较冷”的两相测得的工作温度为 +66°C。故障相显示的温度是 +127°C，必须刻不容缓地得到解决。

10713503;a5




图 **17.9** 室内电气设备 (2) 的红外图像。

### 17.3.5 故障的分类

在探测到存在故障的连接后，可能需要采取纠正措施也可能不需要。 为了确定最适当的措施，必须按以下标准进行评估:

- 测量过程中的负载
- 恒定负载还是变化负载
- 电气安装中有故障部分的位置
- 预计未来的负载状况
- 超出温度是直接在故障点测量到的还是通过仪器内故障的传导热间接测得?

在故障部分直接测得的超出温度通常被分为相对于最大负载 (100%) 的三个类别。

| | | |
|---|---|---|
| I | < 5°C | 过热情况的起始阶段。 这一阶段必须被严密地监测。 |
| II | 5–30°C | 过热的发展阶段。 故障必须被尽快修复（但在决定前应考虑负载状况）。 |
| III | > 30°C | 紧急过热。 故障必须被立即修复（但在决定前应考虑负载状况）。 |

## 17.4 报告

目前，电气安装的热成像检查可能毫无例外地都是采用报告程序记录并报告的。这些程序，虽然根据厂家的不同有所差异，但是通常可以直接适应热像仪并因此让报告的生成快速而简便。

用来创建下面报告页的程序名为 FLIR Reporter。 该程序可以适应 FLIR Systems 的几款红外热像仪。

专业的报告通常被分为两个部分:

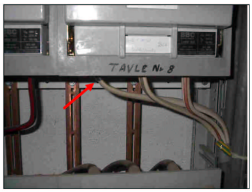
- 第一页，列出关于检查的事实，例如:
  - 客户情况，例如，客户的公司名称和联系人
  - 检查地点： 地址、城市等
  - 检查日期
  - 报告日期
  - 热成像测量员的姓名
  - 热成像测量员的签名
  - 摘要或目录
- 检查页包含归档的红外图像以及对红外属性或异常现象的分析。
  - 确定检查对象:
    - 对象是什么： 项目、名称、号码等
    - 照片
  - 红外图像。 当采集红外图像时，需要考虑一些细节:
    - 光学焦点
    - 对场景或问题的热调整（级别和跨度等）
    - 组成： 适当的观察距离和视角。
  - 备注
    - 是否有异常现象?
    - 是否有反射?
    - 使用测量工具（点测量、区域测量或等温线测量）量化问题。 使用尽可能简单的工具，在电气报告中几乎从来不用轮廓图。

10713603;a3

**THERMOGRAPHY INSPECTION**
**for**
**FLIR Systems AB**

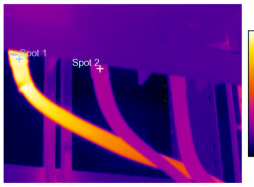
Date: 2005-10-10
Sign. _____
Contract. : 1708

**Photograph**




| | |
|---|---|
| Place | Building 1 |
| Localization | Right panel, group 2 |
| Equipment | Fuse |
| Model / type | BBC LHBN 250 |
| Phase / ID | Supply for Panel 8 |
| Room temperature °C | 15 |
| | |
| **Status** | **Over heated** |

**Thermogram**




| | | | |
|---|---|---|---|
| Temp. Spot 1 | | | 34 °C |
| Temp. Spot 2 | | | 17 °C |
| **TEMPERATURE DIFF** | | | **17 °C** |
| Phase | L1 | L2 | L3 |
| Load ( A ) | 45 | 47 | 47 |
| Rated load | 250 | | |
| **Fault class** | **2** | | |

**Comment**

Disconnect cable, clean contact surfaces. Check for connectivity between cable shoe and lead.
Replace any defective component. Assemble according to directions with correct torque.

Note that load is only 18%. Calculated temperature rise at 50% load would be approximately 104°C.
[ T50=(T1-T2)*(125/45)^1.6+T2 ]

**Corrected**

| | |
|---|---|
| Measure taken:_____ | Date:_____ |
| Sign:_____ | Sign.:_____ |

Side 1

图 **17.10** 报告示例

## 17.5 电气安装中不同类型的热点

### 17.5.1 反射

热成像仪可以观察到任何进入镜头的辐射，不仅包括来自所观察对象的辐射，还包括来自其它来源而被目标物体所反射的辐射。 多数时间，电气组件对于红外辐射象是镜子，即使其对眼睛来说并不可见。 裸露的金属部件非常耀眼，而带漆的、塑料的或是橡胶绝缘的部件则不是如此。 在下图中，您可以清晰地看到来自热成像测量员的反射。 这当然不是对象上的热点。 判断所观察到的是不是反射的最好方法是移动。 从不同的角度观察目标并查看“热点”。 如果在移动时该点也会随之移动，就是一个反射。

测量象镜面一样的元件的温度是不可能的。 下图中的对象有刷漆的部分，非常适于进行温度测量。 材料是铜，非常好的热导体。 这意味着材料表面的温度变化非常的小。

10717503;a2

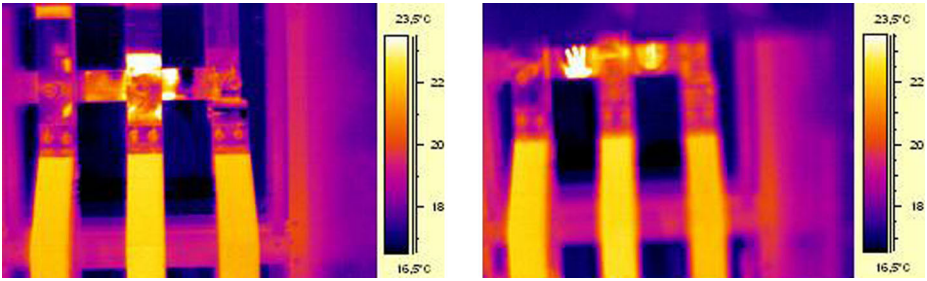



图 **17.11** 对象上的反射

### 17.5.2 日光加热

高辐射率组件的表面，例如，断路器，在炎热的夏日可在日光的照射下升高到很高的温度。 图上显示了一个已经被日光加热的电路断路器。

10713803;a3

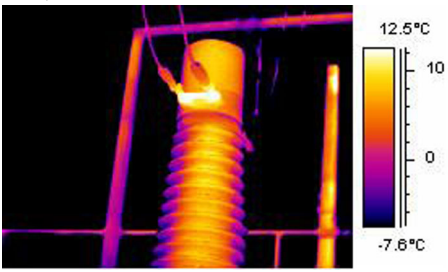



图 **17.12** 电路断路器的红外图像

### 17.5.3 感应加热

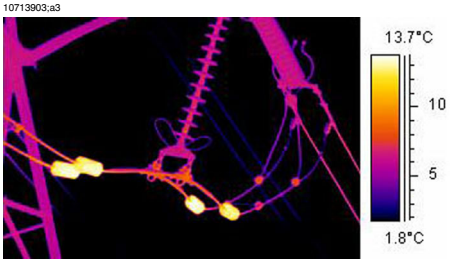



图 **17.13** 热稳定配重的红外图像

电涡流可以在电流路径上造成一个热点。 在高电流并与其它金属物质非常接近的情况下，这已经在某些案例中导致了严重的火灾。 这种类型的加热发生在环绕电流路径的磁性材料上，例如，绝缘套管的金属底盘。 在上图上，高电流运行在稳定配重中。 这些金属配重是由略带磁性的材料制成，不会导电但是暴露在交变磁场中，这将最终导致配重的升温。图像中的过热小于 +5°C。但并非在所有情况下都是如此。

### 17.5.4 负载变化

在电气设备中三相系统是标准。当寻找过热位置时，可以简单地直接在三相之间进行比较，例如，线缆、断路器、绝缘层。在每相上均匀加载的结果应该是所有三相上的温度模式一致。被怀疑有故障的情况往往是某一相的温度与其它两相有明显不同。但是，应该总是确保负载确实是均匀分布。查看固定式安培表或使用卡夹式安培表（最大 600 A）进行测量。

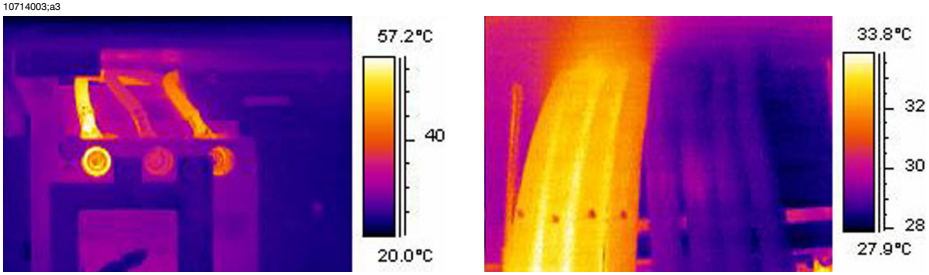



图 **17.14** 负载变化的红外图像示例

左侧的图像显示相邻的三条线缆。 它们之间的距离使其可以被认为是彼此热绝缘。 中间的一个比其它的两个温度低。 除非两相有故障并且过热，这是一个非常典型的非对称负载的示例。 温度沿线缆分布得非常均匀，表明这是一个与负载相关的温升而不是因为有故障的连接而造成的。

右图显示了负载差异极大的两组线。 实际上，右侧的一组线几乎没有负载。 那些带有很大电流负载的线，比那些没有负载的温度高大约 5°C。这些示例中都没有报告故障。

### 17.5.5 冷却条件差异

10714103;a3

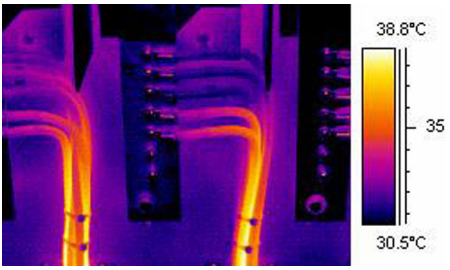



图 **17.15** 成组线缆的红外图像

例如，当许多线缆固定在一起的时候，中间线缆较差的冷却条件可以让它们达到很高的温度。 请参见上图。

图中右侧的线缆在靠近螺栓一侧没有任何过热的迹象。 但是在这组线的垂直部分，线缆被固定得很紧密，线缆的冷却情况非常差，对流无法带走热量，而线缆明显较热，实际上要比冷却良好的部分温度高 5°C。

### 17.5.6 电阻差异

过热可能有很多原因。下面说明了一些常见的原因。

在安装接头的位置或由于材料磨损，可能出现低接触压力，例如，弹簧压力降低，螺母和螺栓的螺纹磨损，甚至是在安装时使用了太大的压力。 当增加负载和温度时，超出材料的屈服点使压力减弱。

左下图显示由于松动的螺栓造成的接触不良。 由于接触不良的范围非常小，所造成的过热仅局限在非常小的范围内，并从该点沿着连接线缆均匀地扩散。 注意，螺栓本身的低辐射率使其比绝热的缆线绝缘层温度稍低，因此具有较高的辐射率。

右图显示了另一种过热情况，这一次同样是由于松动的连接。 这是一个室外的连接，因此它暴露在风的冷却作用下，如果是装在室内，过热很可能将显示出更高的温度。

10714203;a3

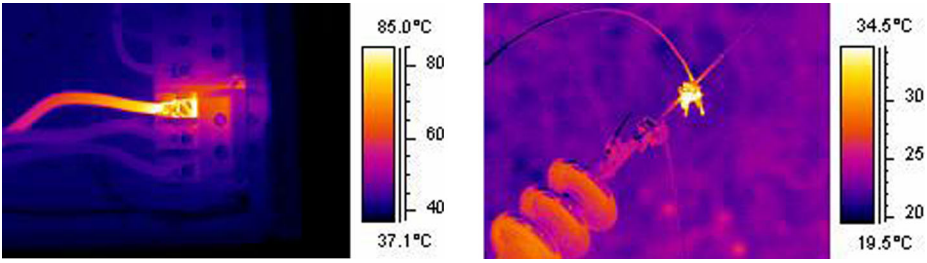



图 **17.16** 左图：红外图像显示由于接触不良造成的过热；右图：一个松动的室外连接，暴露在风的冷却作用下。

### 17.5.7 由于其它部件故障造成的部件过热

有时，出现过热情况的组件并没有问题。 原因是两条导线共同承担负载。 一条导线电阻增加，而另一条则正常。 因此，有故障的组件只分担了较低的负载，而正常的组件则承担了更高的负载，该负载可能过高并导致温度升高。 请参见该图。

10714303;a3

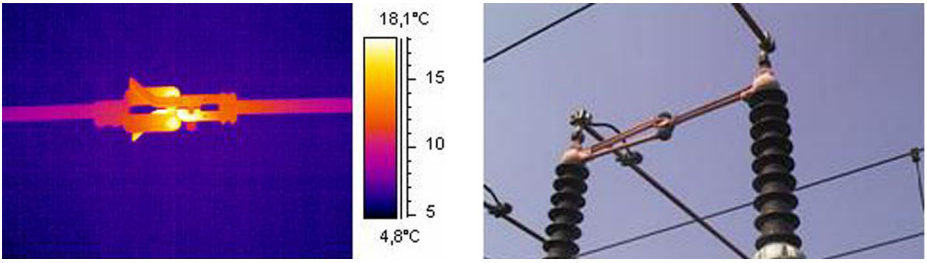



图 **17.17** 电路断路器中的过热

这一电路断路器的过热很可能是由接触器近侧触头的接触不良造成的。 因此，远侧触头承担了更大的电流并且变得更热。 红外图像中的组件与照片上的组件不同，但是非常相象）。

## 17.6 电气安装的热成像检查中的干扰因素

在不同类型电气安装的热成像检查中，风、与对象的距离、雨或雪等干扰因素经常会影响到测量的结果。

### 17.6.1 风

在室外检查中，应考虑风的冷却作用。 在 5 米/秒（10 节）的风速下测得的过热大约相当于在 1 米/秒（2 节）时测得相同值的两倍。 在 8 米/秒（16 节）风速下测得的超出温度相当于在 1 米/秒 (2 节）下测得值的 2.5 倍。 这一基于经验值的校正因子，通常可以应用到最高 8 米/秒（16 节）的风速上。

但是，毕竟还有即使风速超过 8 米/秒（16 节）仍必须检查的情况。 世界上有很多多风的地区，如岛屿、山区等，但是最重要的是清楚在高风速地点发现的过热组件如果是在低风速情况下将显示出高得多的温度。 可以列出经验校正因子。

| 风速（米/秒） | 风速（节） | 校正因子 |
|---|---|---|
| 1 | 2 | 1 |
| 2 | 4 | 1.36 |
| 3 | 6 | 1.64 |
| 4 | 8 | 1.86 |
| 5 | 10 | 2.06 |
| 6 | 12 | 2.23 |
| 7 | 14 | 2.40 |
| 8 | 16 | 2.54 |

过热的测量值乘以校正因子可以给出在无风条件下（1 米/秒（2 节））的超出温度。

### 17.6.2 雨和雪

雨和雪同样对电气设备有冷却作用。 在较干燥的小雪和小雨的天气下，热成像的测量仍可以获得令人满意的结果。 在大雪或大雨的天气下，图像的质量将急剧降低，也将无法得到可靠的测量结果。 这主要是因为红外辐射无法透过大雪和大雨，所测量到的温度其实是雪花或雨滴的温度。

### 17.6.3 与对象的距离

这一图像是从直升飞机上在距离故障连接 20 米的情况下拍摄的。 距离被错误地设置在 1 米，而测得的温度是 +37.9°C。 随后在将距离更改为 20 米后获得的测量值显示在右侧的图像中，经校正的温度为 +38.8°C。 这样的差异并不非常重要，但是有可能让得不到及时处理的故障进一步升级。 因此距离设置显然不应被忽视。

10714403;a3

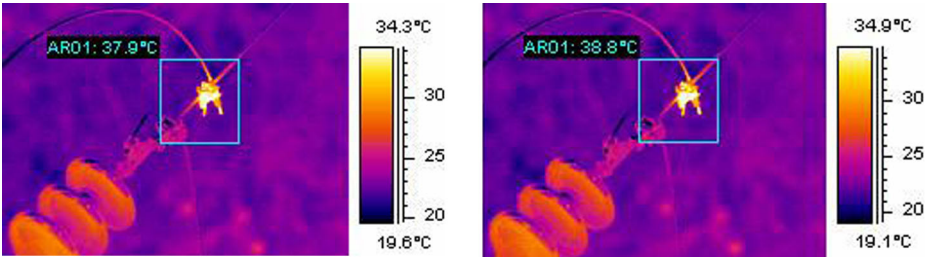



图 **17.18** 左图： 不正确的距离设置；右图： 正确的距离设置

下图显示了在 +85°C 下的黑体在距离增加过程中的温度读数。

10714503;a3

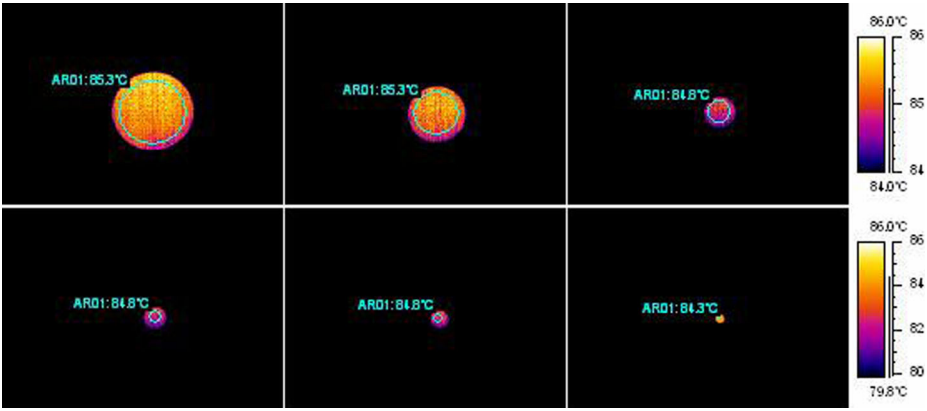



图 **17.19** +85°C 下的黑体在距离增加过程中的温度读数

在 +85°C 下测量的黑体平均温度，从左至右 +85.3°C、+85.3°C、+84.8°C、+84.8°C、+84.8°C 和 +84.3°C。 热谱是使用 12 个镜头测得的。 距离分别为 1、2、3、4、5 和 10 米。 距离的校正经过仔细地设置并可以很好地工作，因为对象对于测量校正来说足够大。

### 17.6.4 对象尺寸

下面第二个图像序列显示了相同的情况，但是采用在垂直方向上的 24 个镜头。 此处，在 +85°C 下测量到的黑体平均温度： +84.2°C、+83.7°C、+83.3°C、+83.3°C、+83.4°C 和 +78.4°C。

最后一个值，(+78.4°C)，是最大温度，在这幅图上黑体已经非常小，不再可能在里面放置一个圆圈了。 很明显，如果对象太小，就不可能测量正确的值了。 距离正确地设置在 10 米上。

10714603;a3




图 **17.20** +85°C 下的黑体在距离增加过程中的温度读数（24 个镜头）

产生这种效果的原因是存在一个能够进行正确测量的最小对象尺寸。 在 FLIR Systems 上会向用户显示最小尺寸。 下图是 695 型热像仪取景器上的显示。点测量表中间有一个开口，在右图上可以看得更清楚。 对象的尺寸必须比这个开口大，否则一些辐射将来自与其最近的环境，周围环境要冷得多，如果这些辐射纳入测量，自然会使读数降低很多。在上面的情况中，我们有一个点状的对象，比周围的环境要热得多，而温度读数将过低。

10714703;a3

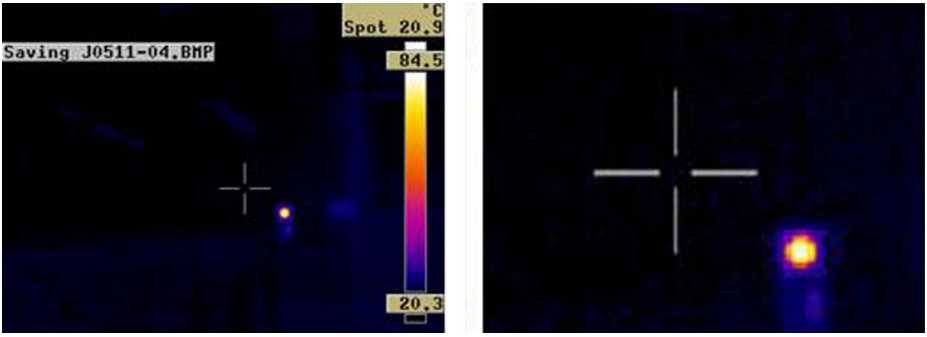



图 **17.21** 此图是 ThermaCAM 695 取景器的显示

这种影响是由于光学技术的不完善以及探测器元素的尺寸造成的。 这是所有热像仪的共同弱点，无法避免。

## 17.7 对热成像测量员的实用建议

在热像仪的实际使用中，您会发现能让工作变得更容易的小窍门。这里有5条基本的注意事项。

### 17.7.1 从冷到热

您带热像仪外出到 +5°C 的环境中。 为了继续工作，您现在必须在室内进行检查。 如果您带眼镜，您应该已经习惯擦去凝结的水珠，否则您将无法看到任何东西。 对于热像仪来说也是如此。 要测量准确，您应该等待热像仪回升到足够的温度以让冷凝水蒸发。 这还将允许内部温度补偿系统进行调整以适应变化的环境。

### 17.7.2 雨淋

如果开始下雨，您就不应该进行测量了，因为雨水将极大地改变您要测量的表面温度。 但是，有时您需要在雨中或飞沫中使用热像仪。 请使用简单的透明聚乙烯塑料袋保护热像仪。 通过调整对象距离，直至读数与没有塑料袋的情况下相同，来校正由于塑料袋造成的辐射减少。 一些型号的热像仪带有单独的**"外部光学器件透射率"**选项。

### 17.7.3 辐射率

您必须确定正在测量的材料的辐射率。 通常，您无法在表中找到该值。 使用光学黑漆，也就是，Nextel Black Velvet。 为您所测量的材料涂一小块漆。 光学漆的辐射率通常是 0.94。 请记住对象是有温度的，与环境的温度不同（通常更高）。 差异越大辐射率的计算就越准确。 辐射率应该至少是20°C。 请记住其它的漆可以支持非常高的温度，最高 +800°C。 但是辐射率可能低于光学黑。

有些情况下，您无法为测量的对象上漆。 在这种情况下，可以使用胶带。 在多数情况下都可以使用事先确定了辐射率的一小条胶带并且可以在事后将其揭下而不会伤及所研究的对象。 应当注意，一些胶带是半透明的，因此不太适合用作这一用途。适于这一用途的最佳胶带是用于室外和零下环境的苏格兰绝缘胶带。

### 17.7.4 反射表象温度

当测量环境中有多个影响测量的热源时。您需要将正确的反射表象温度输入到热像仪中，这样才能获得最佳的校正。请按以下步骤操作：将辐射率设置为 1.0。将热像仪调整至近焦点，并从对象位置向相反的方向看，保存一幅图像。使用区域测量或是等温线测量，确定最接近的图像平均值并使用该值作为反射表象温度的输入。

### 17.7.5 对象太远

您对热像仪是否正在按照实际的距离正确测量存有疑问吗？ 镜头的经验法则是将 IFOV 乘以 3。（IFOV 是由探测器的单一元素所观察到的对象细节）。 示例：25 度对应于大约 437 mrad。 如果热像仪中有一个 120 × 120 的图像，IFOV 则为 437/120 = 3.6 mrad (3.6 毫米/米) 并且您的测量点尺寸比是大约

1000/(3 × 3.6)=92:1。这意味着在 9.2 米，您的目标至少应该为 0.1 米或 100 毫米宽。 请尽量在安全距离 9 米以内工作。 在 7–8 米的范围内，您的测量应该是正确的。

# 18 关于 FLIR Systems

FLIR Systems 始建于 1978 年，是高性能红外图像开发方面的先驱，并在热成像系统设计、制造和市场营销方面处于世界领先，其产品广泛应用于商业、工业和政府等领域。从 1965 年至今，FLIR Systems 共收购了四家在红外技术方面卓有成就的公司—瑞典的 AGEMA Infrared Systems（前身为 AGA Infrared Systems），以及三家美国公司 Indigo Systems、FSI 和 Inframetrics。

10722703;a2




图 **18.1** 左图：Thermovision® 661 型诞生于 1969 年。这款热像仪重量大约在 25 千克左右，示波器重 20 千克，三脚架重 15 千克。操作员还需要一个 220 VAC 的发电机组，以及一个装有液氮的 10 升液罐。在示波器的左边，可以看见 Polaroid 配件（6 千克）。右图：FLIR i5 诞生于 2008 年。重量为 0.34 千克（包括电池）。

迄今为止公司在世界范围内已售出超过 40,000 套红外热像仪，这些设备广泛地用于预测性维修、研发、非破坏性测试、流程控制和自动化、机器视觉等其他众多领域中。

FLIR Systems 在美国有三家制造厂（俄勒冈州的波特兰、马萨诸塞州的波士顿、加利福尼亚的圣巴巴拉），在瑞典有一家制造厂（斯德哥尔摩）。在比利时、巴西、中国、法国、德国、英国、中国香港特别行政区、意大利、日本、瑞典和美国设有直销办事处，它们与分布世界各地的代理机构和经销商一起支持着我们的国际客户群。

FLIR Systems 在红外热像仪行业处于创新前沿。我们通过不断改善现有的热像仪和开发新热像仪来预测市场需求。公司在产品设计和开发方面设立了里程碑，如用于工业检测的第一台电池供电便携式热像仪的引入，第一台非冷却式红外热像仪，而这只是提到的一小部分创新。

FLIR Systems 可以自行生产热像仪系统的所有主要的机械和电子组件。从探测器的设计和制造，到镜头和系统电子器件，再到最终测试和校准，所有生产步骤均是在我们自己工程师的实施监督之下完成的。这些红外专家们的深入专业知识确保了组装成您红外热像仪的所有重要组件的精确度和可靠性。

## 18.1 这不仅仅是红外热像仪

在 FLIR Systems，我们认识到我们的工作不仅仅是生产最好的红外热像仪系统。我们致力于通过为所有红外热像仪系统用户提供最为强大的热像仪和软件组合，使其拥有更高的生产效率。特别值得一提的是，专为预测性维护、研发和流程监控量身定制的软件全部是在内部开发完成的。多数软件在各种语言条件下可用。

我们为我们的所有红外热像仪提供了众多的附件，可以将让您的设备用于最为苛刻的红外应用领域。

## 18.2 分享我们的知识

尽管我们的热像仪均采用了对用户非常友好的设计，但是除掌握热像仪的操控外，还需具备许多热成像方面的专业知识。因此，FLIR Systems 建立了红外培训中心 (ITC)，它是一个独立的商业机构，负责提供经过认证的培训课程。参加其中一门 ITC 课程培训，将会赋予您真正的实践学习经验。

ITC 的专业人员还可在您将红外理论应用到实践当中去的时候，为您提供任何可能需要的应用技术支持。

## 18.3 客户支持

FLIR Systems 运营着一个全球范围的服务网络，可使得您的热像仪随时保持运行状态。 如果您发现热像仪存在问题，当地的服务中心具有在最短时间内解决问题的所有设备和技术。 因此，您无需将热像仪发到世界的另一端，也不用与讲其他语言的人员进行讨论。

## 18.4 摄自工厂的一些图片

10401303;a1

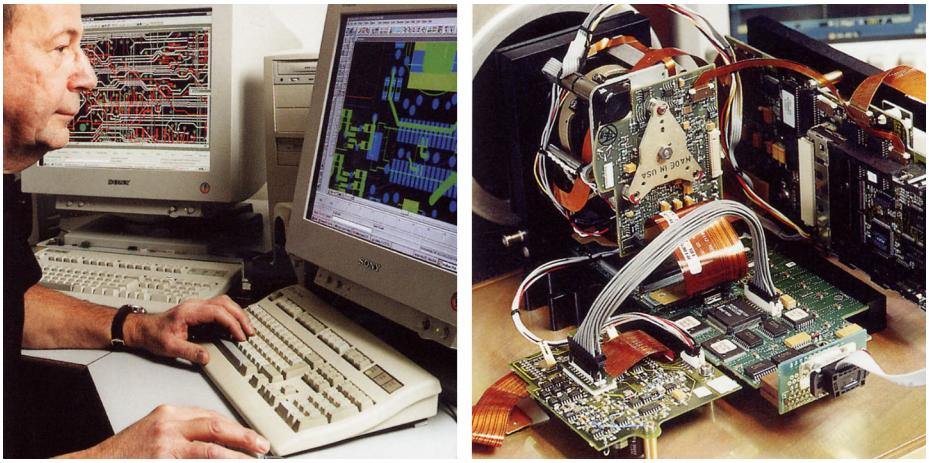


图 **18.2** 左图：系统电子元器件开发；右图： 测试 FPA 探测器

10401403;a1

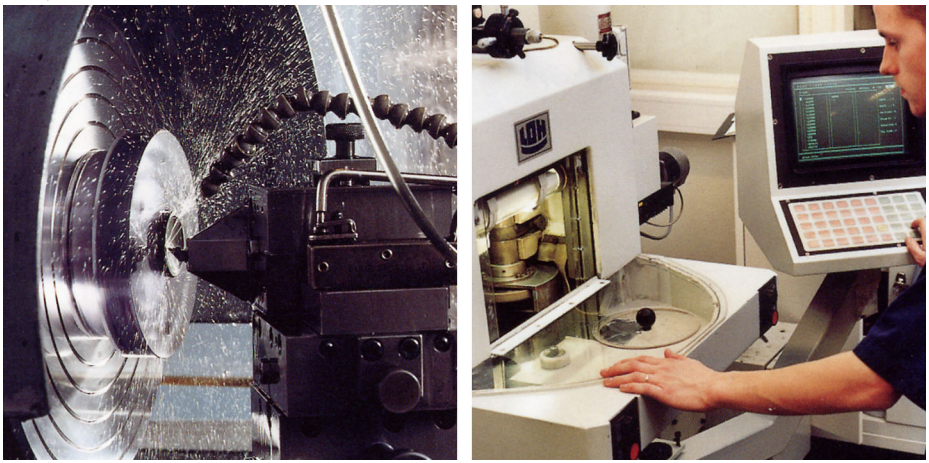


图 **18.3** 左图：金刚石车削机床；右图： 镜头抛光

10401503;a1

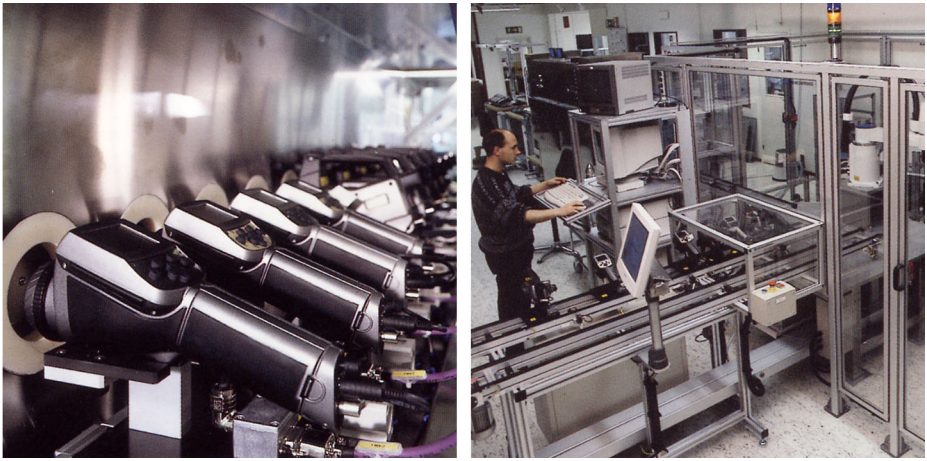


图 **18.4** 左图：在气候箱中测试红外热像仪；右图：用于热像仪测试和校准的机器人

# 19 词汇表

| 术语或惯用语 | 说明 |
|---|---|
| FOV | 视场角：可通过红外镜头看到的水平角度。 |
| FPA | 焦平面阵列：一种红外探测器类型。 |
| IFOV | 瞬时视场角：红外照相机的几何分辨率的度量方法。 |
| Laser LocatIR | 照相机中的一种电动光源，可发射细长、集中的激光束以指向位于照相机前方的某个物体部位。 |
| NETD | 温差的等量干扰。红外照相机图像干扰级别的一种度量方法。 |
| 传导 | 热能导入材料的过程。 |
| 估计大气透射值 | 由用户提供的透射值，取代计算所得的大气透射值。 |
| 像素 | 表示“*图像元素*”。指图像中的单个点。 |
| 光谱（辐射）发射度 | 物体每单位时间、面积和波长所发射的能量 ($W/m^2/\mu m$)。 |
| 参考温度 | 据以比较常规测量值的温度。 |
| 双等温线 | 具有双色带而非一种色带的等温线。 |
| 反射率 | 物体反射的辐射量与收到的辐射量之比。系数介于 0 和 1 之间。 |
| 发射度 | 物体每单位时间和面积所发射的能量 ($W/m^2$)。 |
| 发射率（发射系数） | 物体辐射量与黑体辐射量之比。系数介于 0 和 1 之间。 |
| 可见光 | 指红外照相机的可见光模式，相对于普通模式—热像模式。当照相机处于视频模式时，可以捕捉一般的视频图像，而在红外模式下照相机捕捉的是热像图像。 |
| 吸收率（吸收系数） | 物体吸收的辐射量与收到的辐射量之比。系数介于 0 和 1 之间。 |
| 图像校准（内部或外部） | 补偿活动物体图像不同部位的热敏差异并使照相机稳定的一种方法。 |
| 外部光学器件 | 附加镜头、滤光片、挡热板等，可置于照相机与被测量物体之间。 |
| 大气 | 介于被测量物体与照相机之间的气体，通常为空气。 |
| 对流 | 对流是一种热传导模式，其中流体因重力或其他力而运动，从而将热量从一处传导至另一处。 |
| 干扰 | 红外图像中不希望得到的细微干扰。 |

| 术语或惯用语 | 说明 |
| --- | --- |
| 手动调节 | 通过人工更改某些参数来调节图像的一种方法。 |
| 温宽 | 温标的间隔，通常以信号值表示。 |
| 温差 | 两个温度值相减所得的值。 |
| 温度范围 | 红外照相机目前的总体温度测量限制，照相机可具有数个温度范围，用限制当前校准的两个黑体温度值表示。 |
| 温度范围 | 红外照相机目前的总体温度测量限制，照相机可具有数个温度范围，用限制当前校准的两个黑体温度值表示。 |
| 温标 | 当前显示红外图像所采用的方法，以限定颜色的两个温度值表示。 |
| 滤光片 | 仅对某些红外线波长透明的材料。 |
| 激光指示器 | 照相机中的一种电动光源，可发射细长、集中的激光束以指向位于照相机前方的某个物体部位。 |
| 灰体 | 对于每种波长发射固定比例的黑体能量的物体。 |
| 热谱 | 红外图像。 |
| 物体信号 | 照相机收到的与物体辐射量相关的未校准值。 |
| 物体参数 | 描述测量物体所处的环境及物体本身（例如发射率、反射表象温度、距离等）的一组值。 |
| 环境 | 向被测量物体发出辐射的物体和气体。 |
| 电平 | 温标的中心值，通常以信号值表示。 |
| 相对湿度 | 相对湿度为表示空气中当前水蒸气的质量与在饱和条件下其所含最大值的比率。 |
| 空腔辐射体 | 具有内部吸收能力的，需通过瓶颈查看的瓶形辐射体。 |
| 等温线 | 突出显示高于或低于某一温度间隔线，或介于多条温度间隔线之间的图像部分的一种方法。 |
| 等温线空腔 | 需通过瓶颈查看并具有统一温度的瓶形辐射体。 |
| 红外线 | 一种不可见的辐射光，其波长约为 2–13 µm。 |
| 红外线 | 红外线 |
| 自动调色板 | 以不均匀的颜色分布显示红外图像，可同时显示低温物体与高温物体。 |
| 自动调节 | 使照相机执行内部图像校正的功能。 |
| 色温 | 黑体颜色用以匹配特定颜色的温度。 |

| 术语或惯用语 | 说明 |
| --- | --- |
| 计算所得大气透射值 | 根据空气的温度、相对湿度及与物体的距离计算所得的透射值。 |
| 调色板 | 用于显示红外图像的颜色集合。 |
| 辐射 | 物体或气体发射电磁能量的过程。 |
| 辐射体 | 一件红外线辐射设备。 |
| 辐射功率 | 物体每单位时间所发射的能量 (W)。 |
| 辐射度 | 物体每单位时间、面积和角度所辐射的能量 ($W/m^2/sr$)。 |
| 连续调节 | 一种调节图像的功能。此功能根据图像内容不断调节亮度和对比度。 |
| 透射（或透射率）系数 | 气体和物质可具有不同程度的透明度。透射是透过气体和物质的红外辐射量。系数介于 0 和 1 之间。 |
| 透明等温线 | 显示颜色的线性分布特征的一种等温线，它不包括图像的突出显示部分。 |
| 饱和色 | 温度超过现有电平/温宽设置值的区域将着以饱和色。饱和色包含‘上溢’色和‘下溢’色。此外，还有一种红饱和色，用于标记由探测器充满的所有区域，表示温度范围可能需要调整。 |
| 黑体 | 完全没有反射能力的物体，所有辐射均源于其自身的温度。 |
| 黑体辐射源 | 用于校准红外照相机的具有黑体属性的红外辐射装置。 |

# 20 热像仪测量技巧

## *20.1 简介*

红外热像仪可对物体身上发射的红外线辐射进行测量和成象。根据辐射与物体表面温度成一函数的原理，热像仪可计算并显示出该温度。

但是，热像仪所测量的辐射值不仅取决于物体的温度，还会随辐射率变化。周围环境也会产生辐射，并在物体中进行反射。物体的辐射以及被反射的辐射还会受到空气吸收作用的影响。

因此，为了精确地测量温度，必须将各种不同辐射源的影响考虑在内。此补偿操作是由热像仪自动联机完成的， 但您必须为热像仪提供下列物体参数。

- 物体的辐射率
- 反射表观温度
- 物体与热像仪之间的距离
- 相对湿度
- 大气温度

## *20.2 辐射率*

要正确设定的最重要的一个物体参数是辐射率，简而言之，辐射率是通过与相同温度的绝对黑体相比较，来衡量物体辐射量的一个指标。

通常，不同物体材料和表面处理的辐射率范围约从 0.1 到 0.95 不等。高度抛光（镜面）表面的辐射率低于 0.1，而氧化或涂层表面的辐射率要高得多。油类涂料，无论是可见光谱内的何种颜色，其发射的红外线均具有高于 0.9 的辐射率。人体皮肤的辐射率在 0.97 到 0.98 之间。

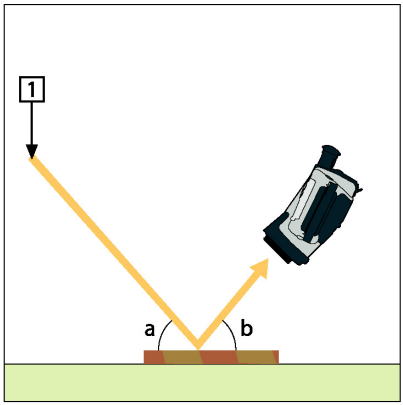
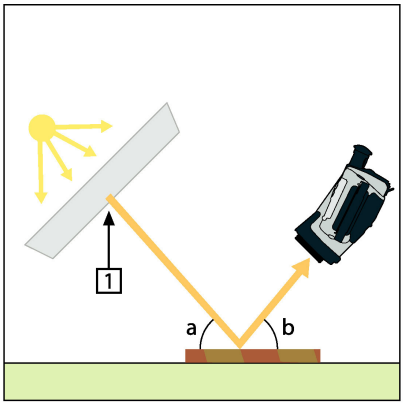
非氧化金属是完全不透明并且具有高反射性的一个特例，它不会随波长发生显著的变化。因此，金属的辐射率很低 - 它只随温度增大。非金属的辐射率通常要更高，并随温度的增大而减小。

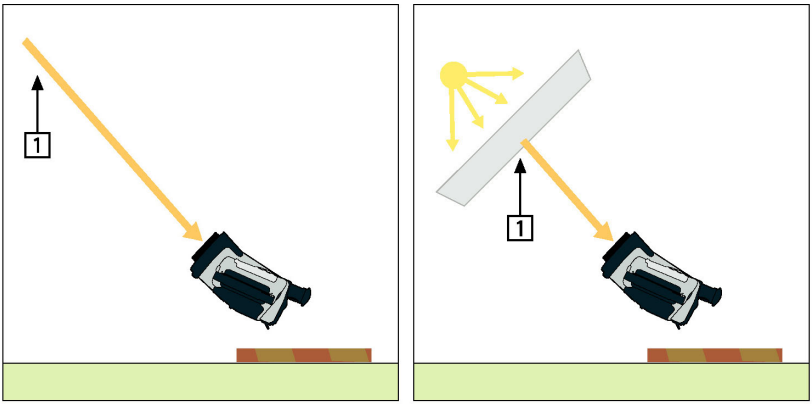
### 20.2.1 测出样本的发射率

#### *20.2.1.1* 第一步：确定反射的表观温度

请使用以下两种方式确定反射表观温度:

### 20.2.1.1.1 方法 1：直接方法

| | |
|---|---|
| 1 | 根据公式“入射角 = 反射角 (a = b)”寻找可能的反射源。<br>10588903;a1<br><br><br>图 **20.1** 1 = 反射源 |
| 2 | 如果反射源是一个点光源，可以使用一张硬纸板阻断该光源来改变其性质。<br>10589103;a2<br><br><br>图 **20.2** 1 = 反射源 |

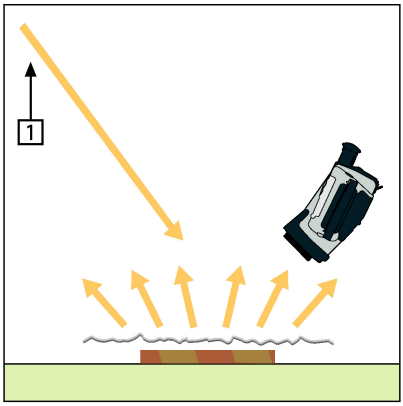
| | |
|---|---|
| **3** | 使用以下设置测量反射源的辐射强度（=表观温度）：<br>▪ 发射率：1.0<br>▪ $D_{obj}$: 0<br>您可使用以下两种方法之一测量辐射强度：<br>10589003;a2<br><br><br>图 **20.3** 1 = 反射源 |

注意：出于以下两个重要原因，不推荐使用热电偶来测量反射表像温度：

- 热电偶无法测量辐射强度。
- 热电偶需要与测量表面有良好的接触，通常需要使用隔热层粘合和覆盖传感元件。

### *20.2.1.1.2* 方法 *2*：反射体方法

| | |
|---|---|
| **1** | 弄皱一大张铝箔。 |
| **2** | 展开铝箔并将其贴在一块同样大小的硬纸板上。 |
| **3** | 将这块硬纸板放在要测量的对象前面。确保带有铝箔的一面对着照相机。 |
| **4** | 将辐射率设置为 1.0。 |

| | |
|---|---|
| **5** | 测量铝箔的表观温度并记录下来。<br>10727003;a2<br><br><br>图 **20.4** 测量铝箔的表观温度 |

### *20.2.1.2* 第二步：确定发射率

| | |
|---|---|
| **1** | 选择放置样本的位置。 |
| **2** | 根据前面的过程，确定并设置反射表观温度。 |
| **3** | 在样本上放置一片已知发射性很高的绝缘胶带。 |
| **4** | 将样本的温度至少加热到高于室温 20 K。加热必须相当均匀。 |
| **5** | 聚焦并自动调整照相机，冻结照相机中的图像。 |
| **6** | 调整**电平**和**温宽**以获得最佳的图像亮度和对比度。 |
| **7** | 设置绝缘胶带的发射值（通常是 0.97）。 |
| **8** | 使用以下测量功能之一测量胶带的温度：<br>▪ **等温线**（用于确定温度和样本加热的均匀程度）<br>▪ **点温**（较简单）<br>▪ **方框平均**（适用于表面发射值不同的各种样本）。 |
| **9** | 记下温度。 |
| **10** | 将测量功能移至样本表面。 |
| **11** | 更改发射率设置，直至读出与前面测量温度相同的值。 |
| **12** | 记下发射率。 |

注意：

- 避免强制对流。
- 寻找不会产生点反射的热稳定环境。

- 使用优质的、不透明并且具有高发射率的胶带。
- 此方法建立在认为胶带和样本表面温度相同的前提下。 如果二者不同，则发射率的测量结果不正确。

## 20.3 反射表象温度

这个参数用于补偿对象上反射的辐射。如果辐射率低并且对象的温度相对于其反射的温度相差很多，正确设置这个参数并补偿反射表象温度就显得非常重要了。

## 20.4 距离

这里的距离指的是对象与照相机前镜头之间的距离。这一参数用于补偿以下两种情况:

- 来自目标的辐射中被对象和照相机之间的大气所吸收辐射部分。
- 来自大气本身并被照相机所检测到的辐射。

## 20.5 相对湿度

热像仪还可弥补空气相对湿度对辐射传输造成的局部影响。为此，请将相对湿度设置为正确的值。在短距离和正常湿度的情况下，相对湿度通常可保持为 50% 的默认值。

## 20.6 其它参数

另外，FLIR Systems 的某些热像仪和分析程序允许您补偿以下参数:

- 大气温度 - *即*热像仪与目标物体之间的空气温度
- 外部光学器件温度 - *即*热像仪前使用的任何外部镜头或窗口的温度
- 外部光学器件透射率 – *即*热像仪前使用的任何外部镜头或窗口的透射率

# 21 红外技术发展史

早在 1800 年，人们对电磁光谱中存在红外线部分已深信不疑。红外光谱（或像通常将其作为一种热辐射形式那样而简称为“红外线”）所具有的独特意义在当前可能不如 Herschel 在 1800 年发现它时那样明显。

10398703;a1

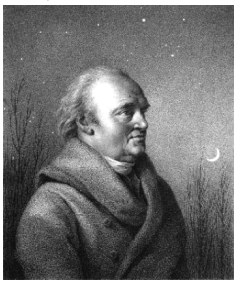


图 **21.1** Sir William Herschel (1738–1822)

红外线是在寻找新的光学介质的时候意外地发现的。William Herschel 爵士是英格兰乔治三世时代的皇家天文学家，在发现红外线之前已经因发现天王星而成名。当时他正在寻找一种滤光介质，以减弱在进行日光观测时望远镜中太阳镜像的亮度。在使用各种不同颜色的镜片样本进行测试时，他发现一个有趣的现象：在达到相近亮度减弱效果的前提下，某些样本只通过了阳光的很少热量，而另一些则通过了大量热量以致他仅仅观察了几秒后就感到眼睛受不了。

Herschel 很快就确信有必要进行系统的实验研究，目的在于找到一种不但能达到预期的亮度减弱效果，并且能最大地削减热量的介质。开始实验时，他实际上重做了牛顿的棱镜实验，但重点在于观察光学频谱亮度的热量效应，而不是亮度的视觉分布。他首先用墨水把一个灵敏水银温度计的水银珠染黑，并固定在桌面上，让阳光通过这个棱镜，作为测试光谱中各种颜色热效应的热辐射测试器。其它的温度计，则放置在阳光不能到达的地方，用作比较。

染黑的温度计沿着光谱上颜色而缓慢移动，温度读数从紫端到红端持续升高。这没有丝毫意外，因此意大利的研究者 Landriani 已在 1777 年的类似实验中观察到了基本相同的效应。然而 Herschel 却是第一个意识到必定存在一个点可以通过最大的热量，但局限于光谱可见光部分的测量法并不能确定这个点在哪里。

10398903;a1



图 **21.2** Marsilio Landriani (1746–1815)

把温度计移动到光谱红端以外的不可知区域时，Herschel 证实热量继续增长。他发现的通过最大热量那一点，在超出红端那边，就是今天所说的“红外波段”部分。

Herschel 公开他的发现时，称电磁光谱中这个新发现的部分为“热光谱”。。而至于这个光谱本身的热辐射，他则有时称为“暗热量”，有时简单的称为“不可见光”。有意思的是，一般人认为术语“红外”是 Herschel 本人首先使用，但事实并非如此。这个词在大约 75 年后才首次出现，直到现在也还不确定谁是始创者。

Herschel 在他最初的实验中使用了棱镜，引发了当时人们关于红外波谱是否真正存在的一些早期争论。另外一些研究者为了证实其研究成果，不加区别地使用了不同类型的对红外线有不同透过程度的玻璃镜片。通过其后期的实验，贺绍尔意识到这种新发现的热辐射线对玻璃镜片的穿透度有限。于是他不得不推断，红外光线大概注定专用于反射性物资（亦即平面镜和曲面镜）。幸运的是，这个推断到 1830 年就被意大利研究者 Melloni 的伟大发现推翻。Melloni 发现，用足够量的天然水晶中含有的天然岩盐 (NaCl) 来制造透镜和棱镜，其对红外线的穿透性极强。研究结果使岩盐在此后的一百年内被认为是理所当然的红外线光学介质，直到二十世纪三十年代人工合成水晶工艺得到飞速发展才有所改变。

10399103;a1



图 **21.3** Macedonio Melloni (1798–1854)

而把温度计用作放射线探测器的做法，则直到 1829 年都维持不变。在这一年，Nobili 发明了热电偶。（Herschel 使用的温度计能精确到 0.2 °C），后期有一些温度计能精确到 0.05 °C）。于是就发生了突破性的进展。Melloni 把几个热电偶连成一串，构成了第一个热电堆。这个新仪器比当时用于探测热辐射的最好的温度计至少精确 40 倍，能够探测到站在三米以外的人发出的热量。

首个所谓的“热像”在 1840 年成为可能。这得益于红外线发现者的儿子，本身也是著名天文学家的 John Herschel 爵士的研究成果。当把一个热的形象聚焦在一张薄油膜上时，薄油膜不同部位的蒸发稍有差别。根据这一点，从反射光中可以看到热成像，油膜的对光的反应使得人眼可以看到形象。John 爵士同时设法在纸上粗糙地记录这个热成像，称之为“热记录器”。

10399003;a2



图 **21.4** Samuel P. Langley (1834–1906)

红外线探测仪精度的提高进展缓慢。另一个重大突破是由 Langley 在 1880 年取得的，他发明了测辐射热仪。测辐射热仪的组成如下：一条变黑的薄铂条连接在单臂电桥回路其中一臂上，红外线辐射物聚焦其上，灵敏检流计用于测量回路电流。据说这个仪器能探测到 400 米以外牛身上发出的热量。

英国科学家 James Dewar 爵士率先把液态气体作为低温研究中的冷却剂（比如温度 -196°C 下的液态氮）来使用。他在 1892 年发明了独特的真空绝缘容器，令液态气体能够储存达数天。今天用于保存冷热饮的“热水瓶”就是基于他的发明而制造的。

在 1900 到 1920 年间，世界上许多发明家“发现”了红外线。许多探测个人、大炮、飞机、船只乃至冰山的仪器申请了专利权。现代意义上的首批应用系统是在 1914－1918 年的一次大战期间开始研制的，当时战争双方都制定了如何将红外线用于军队的计划。这些计划包括针对敌人入侵/侦察、远程温度感应、安全通讯和“飞行鱼雷”导航的实验系统。这个时期的红外线线搜寻系统，经测试表明，能够探测到自 1.5 公里外逼近的飞机，或者 300 米外的人。

直到今天，最灵敏的系统都是基于测辐射热仪的原理的。然而在两次世界大战之间却出现两个革命性发展的新红外线探测仪：变象管和光子探测器。开始时，变象管得到来自军事的极大关注，因为它在历史上首次使“黑暗中观看”真正成为可能。然而，变象管的灵敏度受限于附近的红外波长，并且最想搜寻的军事目标（亦即敌方士兵）必须以红外搜寻光束照射。这就必须冒着向拥有类似设备的敌方侦察员暴露我方侦察员位置的危险。因此军事上对于变象管的兴趣最终转淡也是可以理解的。

被称为“主动的”（亦即发射搜寻光束）热成像系统在军事战术上的缺点，促使了此后 1939－45 二次大战中广泛开展的秘密军事红外研究计划，这些计划围绕具有极高灵敏度的光子探测器，研究是否有可能开发出“被动的”（不发射搜寻光束）系统。期间，军事保密规则完全地防止了红外成像技术发展情况的泄露。这种保密技术直到二十世纪五十年代才被公开，从那时起，才有成熟的热成像设备最终用于民用科学和工业。

# 22 热像仪的原理

## 22.1 简介

对大多数将要使用红外热像仪的用户而言，红外线辐射以及相关的热成像技术仍是一个新话题。在本节中，我们将与您一起探讨热像仪背后的原理。

## 22.2 电磁波谱

电磁波谱可任意划分成许多波长范围，这些波长范围称为“*波段*”，由产生和探测辐射的方法加以区分。电磁波谱的不同波段辐射之间没有本质区别。它们全部遵循相同的法则，唯一的区别仅在于波长不同。

10067803;a1

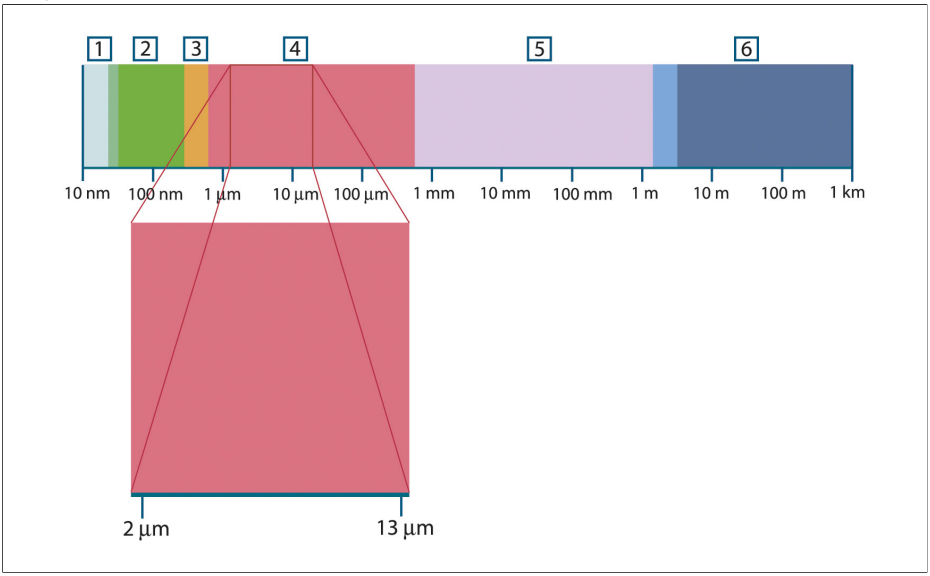



图 **22.1** 电磁波谱。**1**： X 射线；**2**： 紫外线；**3**： 可见光；**4**： 红外线；**5**： 微波；**6**： 无线电波。

热像仪使用红外光谱波段。在短波长一端，其界限为深红色的视觉边界。在长波长一端，它与毫米范围内的微波无线电波长融为一体。

红外线波段通常可进一步划分为四个更小的波段，它们的界限也可任意选定。这四个波段是： *近红外线波段* (0.75-3 µm)、*近红外线波段* (3-6 µm)、*远红外线波段* (6-15 µm) 和*超远红外线波段* (15-100 µm)。虽然波长以 *µm*（微米）表示，但仍可使用其它计量单位来测量此光谱范围内的波长，*如*纳米 (nm) 和 Ångström (Å)。

不同波长测量单位之间的换算关系如下：

$10\ 000\ \text{Å} = 1\ 000\ \text{nm} = 1\ \mu = 1\ \mu\text{m}$

## 22.3 黑体辐射

黑体是一个可以吸收以任意波长照射在其上的所有辐射的物体。与发射辐射的物体有关的*黑体*一词由基尔霍夫定律（以 *Gustav Robert Kirchhoff*，1824-1887 的名字命名）阐明，它指出能够吸收任意波长的所有辐射的物体同样能够发射辐射。

10398803;a1

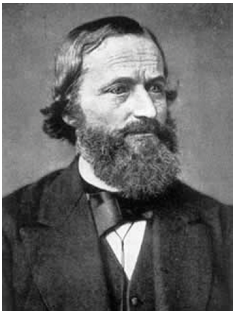


图 **22.2** Gustav Robert Kirchhoff (1824–1887)

黑体源的结构在原理上非常简单。由不透明吸收材料构成的等温线空腔孔隙的辐射特性几乎可以完全代表黑体的属性。完全辐射吸收体结构原理的实际应用包括一个一侧开有小孔的不透光暗箱。进入孔隙的任何辐射经多次反射被分散和吸收，只有极小一部分可能逸出。孔隙处获得的黑度几乎等于黑体，并且对于所有波长均近乎完全黑体。

通过提供此类等温线空腔及适当的热源，就构成了所谓的"*空腔辐射体*"。加热到相同温度的等温线空腔可以产生黑体辐射，其特性由空腔温度唯一确定。此类空腔辐射体通常用作实验室温度参照标准中的辐射源，用于校准诸如 FLIR Systems 热像仪之类的温度记录仪器。

如果黑体辐射的温度提高到 525°C 以上，则辐射源开始可见，因此在人眼看来将不再是黑色。这是辐射体的初始赤热温度，随着温度的进一步提高，辐射体会随后变为橙色或黄色。实际上，所谓的物体*色温*指的是黑体呈现相同外观时必须加热到的温度。

现在让我们研究一下描述黑体发射辐射的三个公式。

### 22.3.1 普朗克定律

10399203;a1



图 **22.3** Max Planck (1858–1947)

*Max Planck* (1858-1947) 使用下面的公式来描述黑体辐射的光谱分布：

$$W_{\lambda b} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 \left(e^{hc/\lambda kT} - 1\right)} \times 10^{-6}[Watt/m^2, \mu m]$$

此处：

| | |
|---|---|
| $W_{\lambda b}$ | 波长 λ 的黑体光谱辐射率。 |
| c | 光速 = 3 × $10^8$ m/s |
| h | 普朗克常数 = 6.6 × $10^{-34}$ 焦耳秒。 |
| k | 玻尔兹曼常数 = 1.4 × $10^{-23}$ 焦耳/K。 |
| T | 黑体的绝对温度 (K)。 |
| λ | 波长 (µm)。 |

➲ 使用系数 $10^{-6}$，因为曲线中的光谱辐射以 Watt/$m^2$, µm 表示。

根据普朗克公式绘制各种温度下的图形，可得到一系列的曲线。在任意一条普朗克曲线上，λ = 0 处的光谱辐射率为零，当波长为 $\lambda_{max}$ 时，光谱辐射率迅速增大到最大值，此后在长波长处又趋近于零。温度越高，则出现最大值的波长越短。

10327103;a4

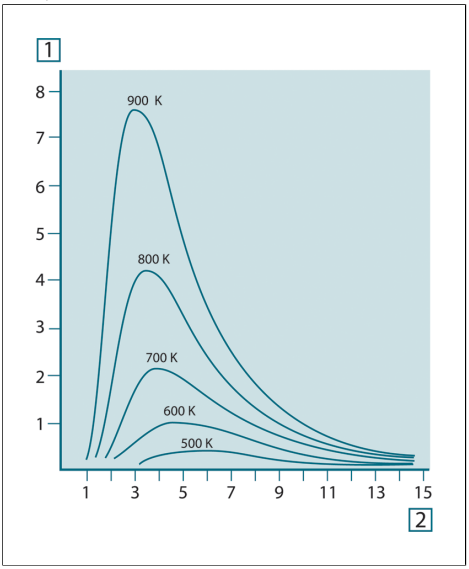



图 **22.4** 根据普朗克定律，在不同绝对温度下绘制的黑体光谱辐射率。**1:**光谱辐射率 (W/cm$^2$ × 10$^3$(µm))；**2:** 波长 (µm)

### 22.3.2 维恩位移定律

针对 λ 对普朗克公式求微分并确定最大值，我们可以得出：

$$\lambda_{\max} = \frac{2898}{T}[\mu m]$$

这就是维恩公式 (*Wilhelm Wien*, 1864-1928)，它以算术形式表达随热辐射体温度的增大，颜色由红色到橙色或黄色变化的常见观测数据。颜色的波长与 $\lambda_{max}$ 计算所得的波长相同。通过应用近似计算 3 000/T µm，可得出指定黑体温度的一个有效近似 $\lambda_{max}$ 值。因此，炽热星体如天狼星 (11 000 K)，发射出青白色的光线，在波长为 0.27 µm 的可见紫外光谱内其光谱辐射率达到峰值。

10399403;a1

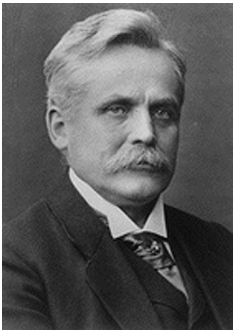


图 **22.5** Wilhelm Wien (1864–1928)

太阳（约 6 000 K）发射黄色光，在可见光谱中央约 0.5 µm 处达到峰值。

在室温 (300 K) 下，辐射率在远红外线 9.7 µm 处达到峰值而在液态氮温度 (77 K) 下微量辐射率在超远红外波长 38 µm 处达到峰值。

10327203;a4

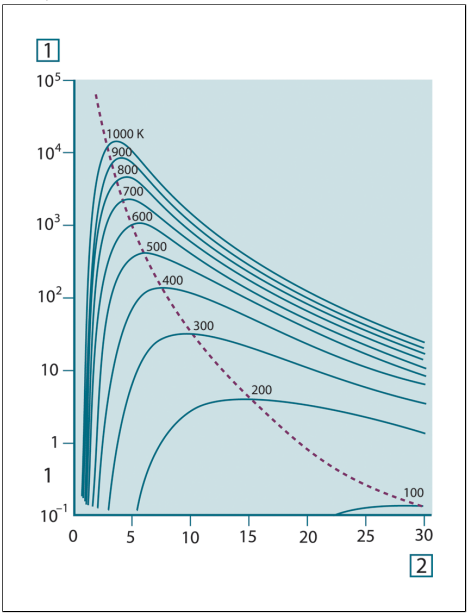



图 **22.6** 在 100 K - 1000 K 半对数范围下绘制的普朗克曲线。其中虚线表示由维恩位移定律描述的各种温度下的最大辐射率轨迹。**1:**光谱辐射率 (W/cm² (µm)); **2:** 波长 (µm)。

### 22.3.3 史蒂芬-玻尔兹曼定律

通过从 λ = 0 到 λ = ∞ 对普朗克公式求积分，我们得出黑体的总辐射率 ($W_b$)：

$$W_b = \sigma T^4 \ [\mathrm{Watt/m^2}]$$

这就是史蒂芬-玻尔兹曼公式（以*约瑟夫 史蒂芬* 1835–1893 和 *路德维格 玻尔兹曼* 1844–1906 的名字命名），它阐明黑体的总发射功率与其绝对温度的四次方成正比。$W_b$ 在图形中表示特定温度下普朗克曲线下方的面积。可以看到，λ = 0 到 $\lambda_{max}$ 区间内的辐射率仅为总发射率的 25 %，表示位于可见光谱范围内大致的太阳辐射量。

10399303;a1



图 **22.7** Josef Stefan (1835–1893) 和 Ludwig Boltzmann (1844–1906)

通过使用史蒂芬-玻尔兹曼公式计算温度为 300 K 及外表面积约为 2 m² 下的人体辐射功率，得出值为 1 kW。此功率损失不是一成不变的，还需考虑在与体温相差不远的室温下的周围表面的辐射吸收，当然，还要考虑衣物的影响。

### 22.3.4 非黑体辐射源

迄今为止，我们仅讨论了黑体辐射源和黑体辐射。但是，真实物体在扩展波长范围内几乎从不遵守这些定律 – 虽然在某些波段内它们可能趋近于黑体行为。例如，某种白色涂料在可见光谱内完全显示为*白色*，但在波长约 2 µm 时则明显变成*灰色*，而在超过 3 µm 时更几乎显示为*黑色*。

真实物体会受三种作用的影响，使之表现与黑体不同的行为。其中，部分入射辐射 α 可能被吸收，部分 ρ 可能被反射，部分 τ 可能被透射。由于所有这些因素不同程度地取决于波长，我们使用下标 λ 来表示其定义中的光谱相关性。因此：

- 光谱吸收比 $\alpha_\lambda$ = 物体吸收的光谱辐射功率与入射辐射功率的比率。
- 光谱反射比 $\rho_\lambda$ = 物体反射的光谱辐射功率与入射辐射功率的比率。
- 光谱透射比 $\tau_\lambda$ = 从物体透射的光谱辐射功率与入射辐射功率的比率。

对于任意波长，这三个系数之和必须始终等于 1，因此我们得出下面的关系式：

$$\alpha_\lambda + \rho_\lambda + \tau_\lambda = 1$$

对于不透明材料，$\tau_\lambda = 0$，所以此关系式可简化为：

$$\alpha_\lambda + \rho_\lambda = 1$$

描述物体在特定温度下产生的黑体辐射率的部分ε，还需使用另一个名为辐射比的系数。因此，我们引入下面的定义：

光谱辐射比 $\varepsilon_\lambda$ = 物体发射的光谱辐射功率相对同温和同波长下的的黑体辐射功率的比率。

用算术方法表示，此定义可表述为物体光谱辐射率与黑体辐射率之比，如下所示：

$$\varepsilon_\lambda = \frac{W_{\lambda o}}{W_{\lambda b}}$$

一般而言，辐射源存在三种类型，它们由随波长变化的光谱辐射方式加以区分。

- 黑体，其 $\varepsilon_\lambda = \varepsilon = 1$
- 灰体，其 $\varepsilon_\lambda = \varepsilon =$ 小于 1 的常数
- 选择性辐射体，其 ε 随波长变化。

根据基尔霍夫定律，任意材料在任意指定温度和波长下的物体光谱辐射比和光谱吸收比相等。即：

$$\varepsilon_\lambda = \alpha_\lambda$$

从此公式推断，不透明材料的计算公式如下（因为 $\alpha_\lambda + \rho_\lambda = 1$）：

$$\varepsilon_\lambda + \rho_\lambda = 1$$

由于高度抛光材料的 $\varepsilon_\lambda$ 趋近于零，因此完全反射材料（*即*完全镜面）的计算公式如下：

$$\rho_\lambda = 1$$

对于灰体辐射源，史蒂芬-玻尔兹曼公式演变成：

$$W = \varepsilon\sigma T^4 \,[\mathrm{Watt/m^2}]$$

这表明灰体的总辐射功率等于同温下黑体的辐射功率乘于灰体的 ε 值。

10401203;a2

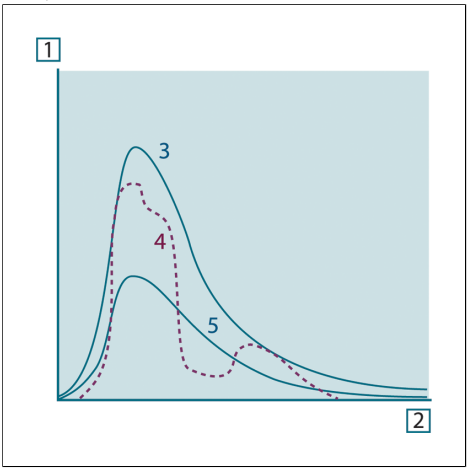



图 **22.8** 三种辐射源类型的光谱辐射率。**1**：光谱辐射率；**2**：波长；**3**：黑体；**4**：选择性辐射体；**5**：灰体。

10327303;a4

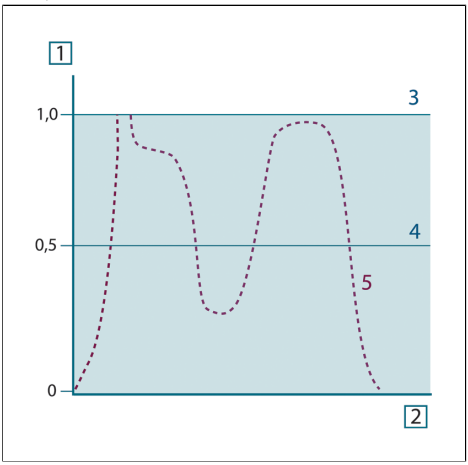



图 **22.9** 三种辐射源类型的光谱辐射比。**1**：光谱辐射比；**2**：波长；**3**：黑体；**4**：灰体；**5**：选择性辐射体。

## 22.4 红外线半透明材料

现在我们研究一下半透明非金属物体，如厚塑料平板。当该平板加热时，其体内产生的辐射必须经材料通向表面，在此过程中部分辐射将被吸收。当到达表面时，部分辐射还会反射回内部。反射回的部分辐射再次被吸收，但其中的一部分

会到达其它表面并逸出，而部分辐射再次被反射。虽然此渐进反射过程逐渐变弱，但在计算平板的总辐射率时，所有过程均必须计算在内。将所得几何级数相加，我们得到半透明平板的有效辐射率:

$$\varepsilon_\lambda = \frac{(1-\rho_\lambda)(1-\tau_\lambda)}{1-\rho_\lambda\tau_\lambda}$$

如果平板为不透明材料，则此公式可简化成下面的简单公式:

$$\varepsilon_\lambda = 1-\rho_\lambda$$

此最终关系式使用起来非常简便，因为相比直接测量辐射比，测量反射比通常要容易得多。

# 23 测量公式

如前所述，在观察物体时，热像仪收到的不仅仅是物体本身的辐射。它还会收集来自周围的、通过物体表面反射的辐射。这两种辐射在某种程度上会被测量路线中的大气削弱。在此过程中，大气本身成了第三种辐射源。

以上对测量情形所作的描述（如下图所示）较真实地反映了实际情况。被忽略的因素包括如大气中的阳光散射，或由视场外的强烈辐射源发出的杂散辐射。此类干扰因素难以度量，幸好在大多数情况下其影响程度可忽略不计。在不可忽略的情况下，对于训练有素的操作员而言，可针对干扰的明显程度进行测量配置。操作员有必要调整测量条件以通过改变观察方向、避开强烈辐射源等来避免干扰。

根据以上描述，我们可使用下图来导出一个公式，用于从经校准的热像仪输出值计算对象温度。

10400503;a1

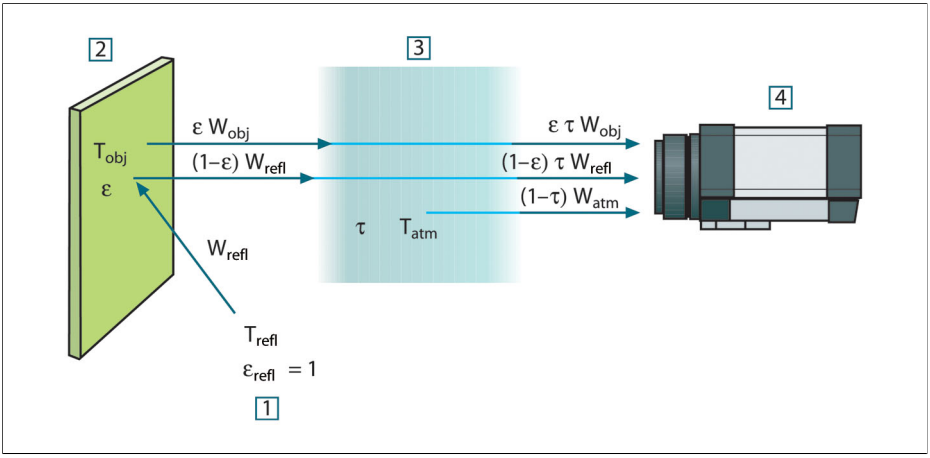



图 **23.1** 普通热像仪测量条件的图示**1:** 周围环境；**2:** 物体；**3:** 大气；**4:** 热像仪

假定收到的辐射功率 W 来自短距离内的黑体温度源 $T_{source}$，它产生的热像仪输出信号 $U_{source}$ 属于功率输入（功率线性热像仪）的一部分。我们可以写出下面的方程式 1：

$$U_{source} = CW(T_{source})$$

还有一个简单的注释：

$$U_{source} = CW_{source}$$

此处 C 是一个常数。

如果辐射源是一个辐射灰体 ε，则收到的辐射率应为 $\varepsilon W_{source}$。

我们现在可以写出三个收到的辐射功率条件：

*1 – 来自物体的辐射* = $\varepsilon\tau W_{obj}$，此处 ε 是物体的辐射率，τ 是大气的传输率。物体温度为 $T_{obj}$。

*2 – 周围辐射源的反射辐射率* = $(1-\varepsilon)\tau W_{refl}$，此处 (1 – ε) 是物体的反射比。周围辐射源具有温度 $T_{refl}$。

此处假定温度 $T_{refl}$ 对于物体表面任意一点所在半球内的所有辐射表面而言均相同。当然这是一个真实情况的简化形式。简化过程对于推导出有效公式是必要的，$T_{refl}$ 并且可以（至少从理论上说）被赋值来表示复杂环境的有效温度。

注意我们同时假定周围环境的辐射率 = 1。根据基尔霍夫定律这是正确的。照射在周围表面上的所有辐射最终会被相同的表面吸收。因此辐射率 = 1（尽管最近的讨论要求考虑物体周围的整个球面）。

*3 – 大气辐射* = $(1-\tau)\tau W_{atm}$，此处 (1 – τ) 是大气的辐射率。大气的温度为 $T_{atm}$。

收到的总辐射功率现在可以用方程式 2 表达：

$$W_{tot} = \varepsilon\tau W_{obj} + (1-\varepsilon)\tau W_{refl} + (1-\tau)W_{atm}$$

我们将每个条件乘以方程式 1 的常数 C，并根据相同的方程式将乘积 CW 取代为相应的 U，得出方程式 3：

$$U_{tot} = \varepsilon\tau U_{obj} + (1-\varepsilon)\tau U_{refl} + (1-\tau)U_{atm}$$

解答方程式 3 得出 $U_{obj}$（方程式 4）：

$$U_{obj} = \frac{1}{\varepsilon\tau}U_{tot} - \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}U_{refl} - \frac{1-\tau}{\varepsilon\tau}U_{atm}$$

这是所有 FLIR Systems 热像仪设备中使用的通用测量公式。公式的电压为：

图 **23.2** 电压

| | |
|---|---|
| $U_{obj}$ | 温度黑体计算所得的热像仪输出电压 $T_{obj}$，即可直接转换为实际要求的物体温度的电压。 |
| $U_{tot}$ | 实际情况下测得的热像仪输出电压。 |
| $U_{refl}$ | 根据校准得出的温度黑体的热像仪输出电压 $T_{refl}$。 |
| $U_{atm}$ | 根据校准得出的温度黑体的热像仪输出电压 $T_{atm}$。 |

操作员必须提供一系列参数值来进行计算：

- 物体辐射率 ε，
- 相对湿度，

- $T_{atm}$
- 物体距离 ($D_{obj}$)
- 物体周围的（有效）温度，或反射的周围温度 $T_{refl}$，以及
- 大气的温度 $T_{atm}$

此任务对于操作员有时可能很繁重，因为通常没有简单的方式来找到实际情形下的准确辐射率值和大气传输率。如果周围环境不包含大的强烈辐射源，则两种温度通常没有多大问题。

此关系的一个实际问题是：了解这些参数的准确值有多重要？通过观察某些不同的测量情况并比较三种辐射条件的相对量级，可查觉到此问题的存在。这可以提示何时有必要使用哪个参数的正确值。

下图说明了三种不同物体温体、两种辐射率及两种光谱范围：SW 和 LW 的三种辐射来源的相对量级。其它参数具有下列固定值：

- $\tau = 0.88$
- $T_{refl} = +20°C$
- $T_{atm} = +20°C$

显然测量低温相比测量高温更有必要，因为“干扰”辐射源在第一种情形下相对要更强烈。如果物体辐射率也相对较低，则情形会更加复杂。

最后我们解答这样一个问题：在最高校准点上使用校准曲线（我们称为外推法）有多重要。假定在某些情况下测得 $U_{tot} = 4.5$ 伏。热像仪的最高校准点为 4.1 伏，此值对于操作员未知。因此，即使物体为黑体，即 $U_{obj} = U_{tot}$，在将 4.5 伏转换成温度时我们实际上是在外推校准曲线。

现在假定对象不是黑体，它的辐射率为 0.75，透射率为 0.92。我们同时假定方程式 4 的两个条件总计为 0.5 伏。使用方程式 4 计算 $U_{obj}$，然后得出 $U_{obj} = 4.5 / 0.75 / 0.92 - 0.5 = 6.0$。这是一种特别情形下的外推法，特别是在考虑视频放大器将输出限制在 5 伏的情况下！注意应用校准曲线是一个理论过程，存在电子的或其它方面的限制。我们相信如果热像仪中没有信号限制，并且经校准远超过 5 伏，则所得曲线很可能相同，因为实际曲线外推超过 4.1 伏（假定校准算法基于辐射物理学，如 FLIR Systems 算法）。当然此类外推法肯定存在限制条件。

10400603;a2

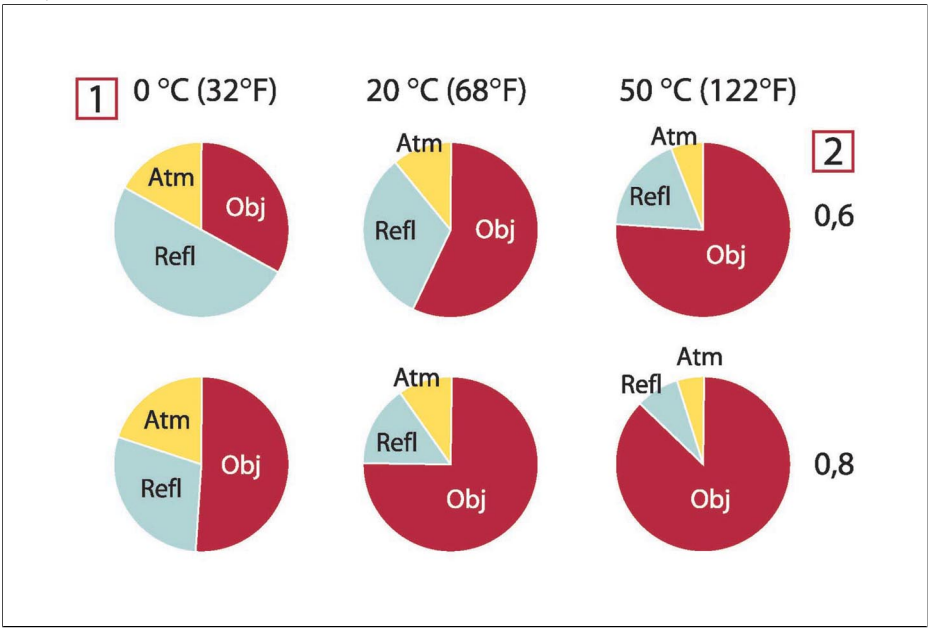



图 **23.3** 变化的测量条件下辐射源的相对量级（SW热像仪）**1:**对象温度；**2:**辐射率；**Obj:**对象辐射；**Refl:**反射辐射；**Atm:**大气辐射。固定参数：τ = 0.88；$T_{refl}$ = 20°C；$T_{atm}$ = 20°C 。

10400703;a2

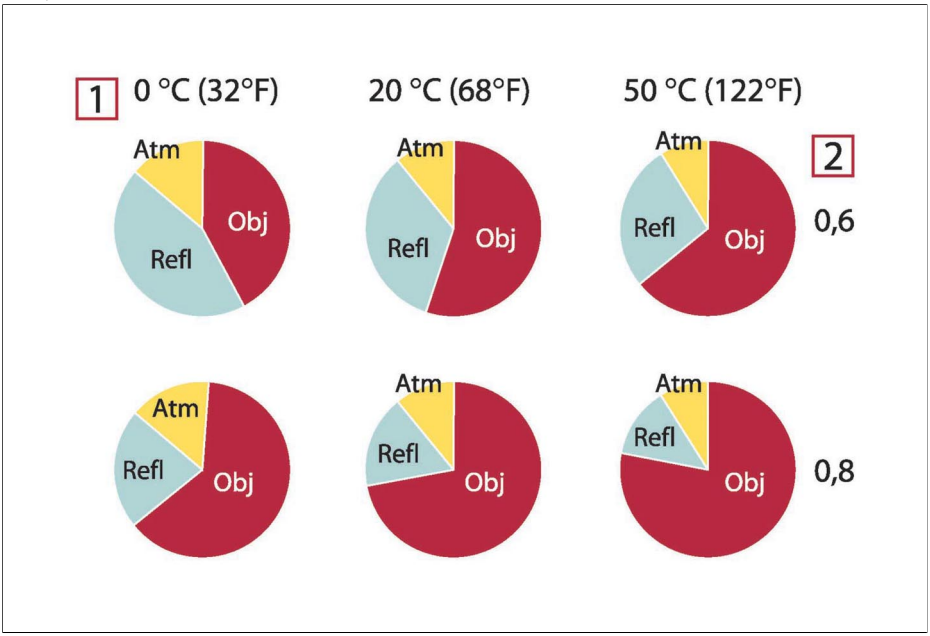



图 **23.4** 变化的测量条件下辐射源的相对量级（LW热像仪）**1:**对象温度；**2:**辐射率；**Obj:**对象辐射；**Refl:**反射辐射；**Atm**：大气辐射。固定参数：τ = 0.88；$T_{refl}$ = 20°C；$T_{atm}$ = 20°C。

# 24 辐射率表

本节列出的辐射率数据是根据红外线文献资料及 FLIR Systems 的测试数据汇编而成的。

## *24.1 参考材料*


| | |
|---|---|
| **1** | Mikaél A. Bramson: *Infrared Radiation, A Handbook for Applications*, Plenum press, N.Y. |
| **2** | William L. Wolfe, George J. Zissis: *The Infrared Handbook*, Office of Naval Research, Department of Navy, Washington, D.C. |
| **3** | Madding, R. P.: *Thermographic Instruments and systems*. Madison, Wisconsin: University of Wisconsin – Extension, Department of Engineering and Applied Science. |
| **4** | William L. Wolfe: *Handbook of Military Infrared Technology*, Office of Naval Research, Department of Navy, Washington, D.C. |
| **5** | Jones, Smith, Probert: *External thermography of buildings...,* Proc. of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, vol.110, Industrial and Civil Applications of Infrared Technology, June 1977 London. |
| **6** | Paljak, Pettersson: *Thermography of Buildings*, Swedish Building Research Institute, Stockholm 1972. |
| **7** | Vlcek, J: *Determination of emissivity with imaging radiometers and some emissivities at λ = 5 µm.* Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. |
| **8** | Kern: *Evaluation of infrared emission of clouds and ground as measured by weather satellites*, Defence Documentation Center, AD 617 417. |
| **9** | Öhman, Claes: *Emittansmätningar med AGEMA E-Box*. Teknisk rapport, AGEMA 1999. (Emittance measurements using AGEMA E-Box. Technical report, AGEMA 1999.) |
| **10** | Matteï, S., Tang-Kwor, E: *Emissivity measurements for Nextel Velvet coating 811-21 between –36°C AND 82°C.* |
| **11** | Lohrengel & Todtenhaupt (1996) |
| **12** | ITC Technical publication 32. |
| **13** | ITC Technical publication 29. |


## *24.2 关于辐射率表的重要注意事项*

下表中的辐射率值是使用短波 (SW) 照相机所记录。这些值应被视作推荐值并谨慎加以使用。

## 24.3 辐射率表

图 **24.1 T**：全光谱；**SW**： 2–5 μm; **LW:** 8–14 μm, **LLW:** 6.5–20 μm; **1:** 材料；**2:** 规格；**3:** 温度 °C；**4:** 光谱；**5**： 辐射率： **6:**参考

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| 3M 35 型 | 乙烯基绝缘胶带（多种颜色） | < 80 | LW | 约 0.96 | 13 |
| 3M 88 型 | 黑色乙烯基绝缘胶带 | < 105 | LW | 约 0.96 | 13 |
| 3M 88 型 | 黑色乙烯基绝缘胶带 | < 105 | MW | < 0.96 | 13 |
| 3M Super 33+ 型 | 黑色乙烯基绝缘胶带 | < 80 | LW | 约 0.96 | 13 |
| Krylon Ultra-flat black 1602 | 平光黑 | 室温最高 175 | LW | 约 0.96 | 12 |
| Krylon Ultra-flat black 1602 | 平光黑 | 室温最高 175 | MW | 约 0.97 | 12 |
| Nextel Velvet 811-21 Black | 平光黑 | –60–150 | LW | > 0.97 | 10 和 11 |
| 不锈钢 | 18-8 类，800°C 下氧化 | 60 | T | 0.85 | 2 |
| 不锈钢 | 18-8 类，抛光 | 20 | T | 0.16 | 2 |
| 不锈钢 | 合金，8% 镍，18% 铬 | 500 | T | 0.35 | 1 |
| 不锈钢 | 喷砂 | 700 | T | 0.70 | 1 |
| 不锈钢 | 抛光薄板 | 70 | LW | 0.14 | 9 |
| 不锈钢 | 抛光薄板 | 70 | SW | 0.18 | 9 |
| 不锈钢 | 未加工薄板，局部括花 | 70 | LW | 0.28 | 9 |
| 不锈钢 | 未加工薄板，局部括花 | 70 | SW | 0.30 | 9 |
| 不锈钢 | 轧制 | 700 | T | 0.45 | 1 |
| 冰：参见“水” | | | | | |
| 土壤 | 充水 | 20 | T | 0.95 | 2 |
| 土壤 | 干燥 | 20 | T | 0.92 | 2 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| 塑料 | PVC，塑胶铺面，暗哑，成形 | 70 | LW | 0.93 | 9 |
| 塑料 | PVC，塑胶铺面，暗哑，成形 | 70 | SW | 0.94 | 9 |
| 塑料 | 纤维玻璃压板（印刷线路板） | 70 | LW | 0.91 | 9 |
| 塑料 | 纤维玻璃压板（印刷线路板） | 70 | SW | 0.94 | 9 |
| 塑料 | 聚亚安酯隔音板 | 70 | LW | 0.55 | 9 |
| 塑料 | 聚亚安酯隔音板 | 70 | SW | 0.29 | 9 |
| 墙纸 | 细长图案，浅灰 | 20 | SW | 0.85 | 6 |
| 墙纸 | 细长图案，红色 | 20 | SW | 0.90 | 6 |
| 布料 | 黑色 | 20 | T | 0.98 | 1 |
| 搪瓷 | | 20 | T | 0.9 | 1 |
| 搪瓷 | 涂漆 | 20 | T | 0.85–0.95 | 1 |
| 木材 | | 17 | SW | 0.98 | 5 |
| 木材 | | 19 | LLW | 0.962 | 8 |
| 木材 | 刨平 | 20 | T | 0.8–0.9 | 1 |
| 木材 | 刨平橡木 | 20 | T | 0.90 | 2 |
| 木材 | 刨平橡木 | 70 | LW | 0.88 | 9 |
| 木材 | 刨平橡木 | 70 | SW | 0.77 | 9 |
| 木材 | 地面 | | T | 0.5–0.7 | 1 |
| 木材 | 松木，4件不同样品 | 70 | LW | 0.81–0.89 | 9 |
| 木材 | 松木，4件不同样品 | 70 | SW | 0.67–0.75 | 9 |
| 木材 | 白色，潮湿 | 20 | T | 0.7–0.8 | 1 |
| 木材 | 胶合板，光滑，干燥 | 36 | SW | 0.82 | 7 |
| 木材 | 胶合板，未加工 | 20 | SW | 0.83 | 6 |
| 橡胶 | 柔软、灰色，粗糙 | 20 | T | 0.95 | 1 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| 橡胶 | 硬质 | 20 | T | 0.95 | 1 |
| 氢氧化铝 | 石棉粉 | | T | 0.28 | 1 |
| 氧化铜 | 石棉粉 | | T | 0.84 | 1 |
| 氧化铜 | 红色，粉状 | | T | 0.70 | 1 |
| 氧化铝 | 活性，粉状 | | T | 0.46 | 1 |
| 氧化铝 | 纯氧化铝粉 | | T | 0.16 | 1 |
| 氧化镍 | | 500–650 | T | 0.52–0.59 | 1 |
| 氧化镍 | | 1000–1250 | T | 0.75–0.86 | 1 |
| 水 | 冰、光滑 | –10 | T | 0.96 | 2 |
| 水 | 冰、光滑 | 0 | T | 0.97 | 1 |
| 水 | 冰，覆盖浓霜 | 0 | T | 0.98 | 1 |
| 水 | 层厚 >0.1 毫米 | 0–100 | T | 0.95–0.98 | 1 |
| 水 | 结晶 | –10 | T | 0.98 | 2 |
| 水 | 蒸馏 | 20 | T | 0.96 | 2 |
| 水 | 雪 | | T | 0.8 | 1 |
| 水 | 雪 | –10 | T | 0.85 | 2 |
| 沙 | | | T | 0.60 | 1 |
| 沙 | | 20 | T | 0.90 | 2 |
| 沙岩 | 抛光 | 19 | LLW | 0.909 | 8 |
| 沙岩 | 粗糙 | 19 | LLW | 0.935 | 8 |
| 沥青铺面 | | 4 | LLW | 0.967 | 8 |
| 油漆 | 8种不同颜色和质量 | 70 | LW | 0.92–0.94 | 9 |
| 油漆 | 8种不同颜色和质量 | 70 | SW | 0.88–0.96 | 9 |
| 油漆 | 塑胶，白色 | 20 | SW | 0.84 | 6 |
| 油漆 | 塑胶，黑色 | 20 | SW | 0.95 | 6 |
| 油漆 | 油 | 17 | SW | 0.87 | 5 |
| 油漆 | 油基，16 种颜色的均值 | 100 | T | 0.94 | 2 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| 油漆 | 油，各种颜色 | 100 | T | 0.92–0.96 | 1 |
| 油漆 | 油，灰亮 | 20 | SW | 0.96 | 6 |
| 油漆 | 油，灰暗 | 20 | SW | 0.97 | 6 |
| 油漆 | 油，黑色无光泽 | 20 | SW | 0.94 | 6 |
| 油漆 | 油，黑色有光译 | 20 | SW | 0.92 | 6 |
| 油漆 | 钴蓝 | | T | 0.7–0.8 | 1 |
| 油漆 | 铝，不同老化期 | 50–100 | T | 0.27–0.67 | 1 |
| 油漆 | 铬绿 | | T | 0.65–0.70 | 1 |
| 油漆 | 镉黄 | | T | 0.28–0.33 | 1 |
| 润滑油 | 0.025 毫米薄层 | 20 | T | 0.27 | 2 |
| 润滑油 | 0.050 毫米薄层 | 20 | T | 0.46 | 2 |
| 润滑油 | 0.125 毫米薄层 | 20 | T | 0.72 | 2 |
| 润滑油 | 厚膜涂层 | 20 | T | 0.82 | 2 |
| 润滑油 | 镍基薄层： 仅限镍基 | 20 | T | 0.05 | 2 |
| 混凝土 | | 20 | T | 0.92 | 2 |
| 混凝土 | 人行道 | 5 | LLW | 0.974 | 8 |
| 混凝土 | 干燥 | 36 | SW | 0.95 | 7 |
| 混凝土 | 粗糙 | 17 | SW | 0.97 | 5 |
| 清漆 | 无光泽 | 20 | SW | 0.93 | 6 |
| 清漆 | 橡木拼花地板 | 70 | LW | 0.90–0.93 | 9 |
| 清漆 | 橡木拼花地板 | 70 | SW | 0.90 | 9 |
| 漆 | 白色 | 40–100 | T | 0.8–0.95 | 1 |
| 漆 | 白色 | 100 | T | 0.92 | 2 |
| 漆 | 粗面镀铝 | 20 | T | 0.4 | 1 |
| 漆 | 耐热 | 100 | T | 0.92 | 1 |
| 漆 | 胶木 | 80 | T | 0.83 | 1 |
| 漆 | 铝表面上喷涂 3 种颜色 | 70 | LW | 0.92–0.94 | 9 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| 漆 | 铝表面上喷涂 3 种颜色 | 70 | SW | 0.50–0.53 | 9 |
| 漆 | 黑色，不光滑 | 100 | T | 0.97 | 2 |
| 漆 | 黑色，暗淡 | 40–100 | T | 0.96–0.98 | 1 |
| 漆 | 黑色，闪亮，铁表面喷涂 | 20 | T | 0.87 | 1 |
| 灰泥 | | 17 | SW | 0.87 | 5 |
| 灰泥 | 干燥 | 36 | SW | 0.94 | 7 |
| 灰泥 | 粗糙石灰 | 10–90 | T | 0.91 | 1 |
| 炉渣 | 锅炉 | 0–100 | T | 0.97–0.93 | 1 |
| 炉渣 | 锅炉 | 200–500 | T | 0.89–0.78 | 1 |
| 炉渣 | 锅炉 | 600–1200 | T | 0.76–0.70 | 1 |
| 炉渣 | 锅炉 | 1400–1800 | T | 0.69–0.67 | 1 |
| 焦油 | | | T | 0.79–0.84 | 1 |
| 焦油 | 纸 | 20 | T | 0.91–0.93 | 1 |
| 瓷器 | 光滑 | 20 | T | 0.92 | 1 |
| 瓷器 | 白色，闪亮 | | T | 0.70–0.75 | 1 |
| 瓷砖 | 光滑 | 17 | SW | 0.94 | 5 |
| 皮肤 | 人类 | 32 | T | 0.98 | 2 |
| 皮革 | 鞣制 | | T | 0.75–0.80 | 1 |
| 石棉 | 地砖 | 35 | SW | 0.94 | 7 |
| 石棉 | 石棉布 | | T | 0.78 | 1 |
| 石棉 | 石棉板 | 20 | T | 0.96 | 1 |
| 石棉 | 石棉板 | 20 | T | 0.96 | 1 |
| 石棉 | 石棉粉 | | T | 0.40–0.60 | 1 |
| 石棉 | 纸 | 40–400 | T | 0.93–0.95 | 1 |
| 石灰 | | | T | 0.3–0.4 | 1 |
| 石膏 | | 17 | SW | 0.86 | 5 |
| 石膏 | | 20 | T | 0.8–0.9 | 1 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| 石膏 | 未加工石膏板 | 20 | SW | 0.90 | 6 |
| 石膏 | 粗面涂层 | 20 | T | 0.91 | 2 |
| 砖 | 抹灰砖体 | 20 | T | 0.94 | 1 |
| 砖 | 普通 | 17 | SW | 0.86–0.81 | 5 |
| 砖 | 未磨光粗面硅砂 | 1000 | T | 0.80 | 1 |
| 砖 | 氧化铝 | 17 | SW | 0.68 | 5 |
| 砖 | 砖体 | 35 | SW | 0.94 | 7 |
| 砖 | 硅石，95% $SiO_2$ | 1230 | T | 0.66 | 1 |
| 砖 | 硅线石，33% $SiO_2$，64% $Al_2O_3$ | 1500 | T | 0.29 | 1 |
| 砖 | 磨光粗面硅砂 | 1100 | T | 0.85 | 1 |
| 砖 | 红色，普通 | 20 | T | 0.93 | 2 |
| 砖 | 红色，粗糙 | 20 | T | 0.88–0.93 | 1 |
| 砖 | 耐火砖 | 17 | SW | 0.68 | 5 |
| 砖 | 耐火粘土 | 20 | T | 0.85 | 1 |
| 砖 | 耐火粘土 | 1000 | T | 0.75 | 1 |
| 砖 | 耐火粘土 | 1200 | T | 0.59 | 1 |
| 砖 | 耐熔硅砂 | 1000 | T | 0.66 | 1 |
| 砖 | 耐熔菱镁矿 | 1000–1300 | T | 0.38 | 1 |
| 砖 | 耐熔金刚砂 | 1000 | T | 0.46 | 1 |
| 砖 | 耐熔，强度辐射 | 500–1000 | T | 0.8–0.9 | 1 |
| 砖 | 耐熔，轻度辐射 | 500–1000 | T | 0.65–0.75 | 1 |
| 砖 | 防水 | 17 | SW | 0.87 | 5 |
| 硬橡胶 | | | T | 0.89 | 1 |
| 硬纸板 | 未加工 | 20 | SW | 0.90 | 6 |
| 碳 | 炭粉 | | T | 0.96 | 1 |
| 碳 | 炭黑 | 20–400 | T | 0.95–0.97 | 1 |
| 碳 | 烛灰 | 20 | T | 0.95 | 2 |
| 碳 | 石墨粉 | | T | 0.97 | 1 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| 碳 | 石墨，经琢磨表面 | 20 | T | 0.98 | 2 |
| 粘土 | 烧制 | 70 | T | 0.91 | 1 |
| 红丹 | | 100 | T | 0.93 | 4 |
| 红丹粉 | | 100 | T | 0.93 | 1 |
| 纤维板 | 刨花板 | 70 | LW | 0.89 | 9 |
| 纤维板 | 刨花板 | 70 | SW | 0.77 | 9 |
| 纤维板 | 多孔，未加工 | 20 | SW | 0.85 | 6 |
| 纤维板 | 硬质，未加工 | 20 | SW | 0.85 | 6 |
| 纤维板 | 纤维板 | 70 | LW | 0.88 | 9 |
| 纤维板 | 纤维板 | 70 | SW | 0.75 | 9 |
| 纸 | 4 种不同颜色 | 70 | LW | 0.92–0.94 | 9 |
| 纸 | 4 种不同颜色 | 70 | SW | 0.68–0.74 | 9 |
| 纸 | 深蓝 | | T | 0.84 | 1 |
| 纸 | 白色 | 20 | T | 0.7–0.9 | 1 |
| 纸 | 白色粘结 | 20 | T | 0.93 | 2 |
| 纸 | 白色，3种不同光泽 | 70 | LW | 0.88–0.90 | 9 |
| 纸 | 白色，3种不同光泽 | 70 | SW | 0.76–0.78 | 9 |
| 纸 | 红色 | | T | 0.76 | 1 |
| 纸 | 绿色 | | T | 0.85 | 1 |
| 纸 | 黄色 | | T | 0.72 | 1 |
| 纸 | 黑漆喷涂 | | T | 0.93 | 1 |
| 纸 | 黑色 | | T | 0.90 | 1 |
| 纸 | 黑色，暗淡 | | T | 0.94 | 1 |
| 纸 | 黑色，暗淡 | 70 | LW | 0.89 | 9 |
| 纸 | 黑色，暗淡 | 70 | SW | 0.86 | 9 |
| 聚苯乙烯泡沫塑料 | 绝缘 | 37 | SW | 0.60 | 7 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| 花岗岩 | 抛光 | 20 | LLW | 0.849 | 8 |
| 花岗岩 | 粗糙 | 21 | LLW | 0.879 | 8 |
| 花岗岩 | 粗糙，4件不同样品 | 70 | LW | 0.77–0.87 | 9 |
| 花岗岩 | 粗糙，4件不同样品 | 70 | SW | 0.95–0.97 | 9 |
| 金刚砂 | 粗糙 | 80 | T | 0.85 | 1 |
| 钛 | 540°C 下氧化 | 200 | T | 0.40 | 1 |
| 钛 | 540°C 下氧化 | 500 | T | 0.50 | 1 |
| 钛 | 540°C 下氧化 | 1000 | T | 0.60 | 1 |
| 钛 | 抛光 | 200 | T | 0.15 | 1 |
| 钛 | 抛光 | 500 | T | 0.20 | 1 |
| 钛 | 抛光 | 1000 | T | 0.36 | 1 |
| 钢铁 | 冷轧 | 70 | LW | 0.09 | 9 |
| 钢铁 | 冷轧 | 70 | SW | 0.20 | 9 |
| 钢铁 | 强烈氧化 | 50 | T | 0.88 | 1 |
| 钢铁 | 强烈氧化 | 500 | T | 0.98 | 1 |
| 钢铁 | 抛光 | 100 | T | 0.07 | 2 |
| 钢铁 | 抛光 | 400–1000 | T | 0.14–0.38 | 1 |
| 钢铁 | 抛光薄板 | 750–1050 | T | 0.52–0.56 | 1 |
| 钢铁 | 新轧 | 20 | T | 0.24 | 1 |
| 钢铁 | 新近磨砂 | 20 | T | 0.24 | 1 |
| 钢铁 | 氧化 | 100 | T | 0.74 | 1 |
| 钢铁 | 氧化 | 100 | T | 0.74 | 4 |
| 钢铁 | 氧化 | 125–525 | T | 0.78–0.82 | 1 |
| 钢铁 | 氧化 | 200 | T | 0.79 | 2 |
| 钢铁 | 氧化 | 200–600 | T | 0.80 | 1 |
| 钢铁 | 氧化 | 1227 | T | 0.89 | 4 |
| 钢铁 | 热轧 | 20 | T | 0.77 | 1 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| 钢铁 | 热轧 | 130 | T | 0.60 | 1 |
| 钢铁 | 生锈，红色 | 20 | T | 0.69 | 1 |
| 钢铁 | 电解 | 22 | T | 0.05 | 4 |
| 钢铁 | 电解 | 100 | T | 0.05 | 4 |
| 钢铁 | 电解 | 260 | T | 0.07 | 4 |
| 钢铁 | 电解铜，精抛 | 175–225 | T | 0.05–0.06 | 1 |
| 钢铁 | 粗糙平面 | 50 | T | 0.95–0.98 | 1 |
| 钢铁 | 红锈薄板 | 22 | T | 0.69 | 4 |
| 钢铁 | 表面红锈 | 20 | T | 0.61–0.85 | 1 |
| 钢铁 | 轧制薄板 | 50 | T | 0.56 | 1 |
| 钢铁 | 铺地物 | 950–1100 | T | 0.55–0.61 | 1 |
| 钢铁 | 锻造，精抛 | 40–250 | T | 0.28 | 1 |
| 钢铁 | 闪亮氧化层薄板 | 20 | T | 0.82 | 1 |
| 钢铁 | 闪亮，蚀刻 | 150 | T | 0.16 | 1 |
| 钢铁 | 高度生锈 | 17 | SW | 0.96 | 5 |
| 钢铁 | 高度生锈薄板 | 20 | T | 0.69 | 2 |
| 钨 | | 200 | T | 0.05 | 1 |
| 钨 | | 600–1000 | T | 0.1–0.16 | 1 |
| 钨 | | 1500–2200 | T | 0.24–0.31 | 1 |
| 钨 | 丝状 | 3300 | T | 0.39 | 1 |
| 钼 | | 600–1000 | T | 0.08–0.13 | 1 |
| 钼 | | 1500–2200 | T | 0.19–0.26 | 1 |
| 钼 | 丝状 | 700–2500 | T | 0.1–0.3 | 1 |
| 铂 | | 17 | T | 0.016 | 4 |
| 铂 | | 22 | T | 0.03 | 4 |
| 铂 | | 100 | T | 0.05 | 4 |
| 铂 | | 260 | T | 0.06 | 4 |
| 铂 | | 538 | T | 0.10 | 4 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| 铂 | | 1000–1500 | T | 0.14–0.18 | 1 |
| 铂 | | 1094 | T | 0.18 | 4 |
| 铂 | 条板 | 900–1100 | T | 0.12–0.17 | 1 |
| 铂 | 纯净，抛光 | 200–600 | T | 0.05–0.10 | 1 |
| 铂 | 线材 | 50–200 | T | 0.06–0.07 | 1 |
| 铂 | 线材 | 500–1000 | T | 0.10–0.16 | 1 |
| 铂 | 线材 | 1400 | T | 0.18 | 1 |
| 铅 | 200°C 下氧化 | 200 | T | 0.63 | 1 |
| 铅 | 已氧化，灰色 | 20 | T | 0.28 | 1 |
| 铅 | 已氧化，灰色 | 22 | T | 0.28 | 4 |
| 铅 | 未氧化，抛光 | 100 | T | 0.05 | 4 |
| 铅 | 闪亮 | 250 | T | 0.08 | 1 |
| 铜 | 商品铜，抛光 | 20 | T | 0.07 | 1 |
| 铜 | 废料 | 27 | T | 0.07 | 4 |
| 铜 | 抛光 | 50–100 | T | 0.02 | 1 |
| 铜 | 抛光 | 100 | T | 0.03 | 2 |
| 铜 | 抛光，商品铜 | 27 | T | 0.03 | 4 |
| 铜 | 抛光，机械 | 22 | T | 0.015 | 4 |
| 铜 | 氧化 | 50 | T | 0.6–0.7 | 1 |
| 铜 | 氧化成黑色 | | T | 0.88 | 1 |
| 铜 | 氧化，黑色 | 27 | T | 0.78 | 4 |
| 铜 | 熔化 | 1100–1300 | T | 0.13–0.15 | 1 |
| 铜 | 电解铜，抛光 | –34 | T | 0.006 | 4 |
| 铜 | 电解铜，精抛 | 80 | T | 0.018 | 1 |
| 铜 | 纯电解铜，表面精抛 | 22 | T | 0.008 | 4 |
| 铜 | 高度氧化 | 20 | T | 0.78 | 2 |
| 铝 | $HNO_3$ 浸泡板 | 100 | T | 0.05 | 4 |
| 铝 | 强烈氧化 | 50–500 | T | 0.2–0.3 | 1 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| 铝 | 抛光 | 50–100 | T | 0.04–0.06 | 1 |
| 铝 | 抛光板 | 100 | T | 0.05 | 4 |
| 铝 | 抛光薄板 | 100 | T | 0.05 | 2 |
| 铝 | 未加工板 | 100 | T | 0.09 | 4 |
| 铝 | 未加工薄板 | 100 | T | 0.09 | 2 |
| 铝 | 真空镀敷 | 20 | T | 0.04 | 2 |
| 铝 | 粗糙表面 | 20–50 | T | 0.06–0.07 | 1 |
| 铝 | 经阳极化处理，浅灰，暗哑 | 70 | LW | 0.97 | 9 |
| 铝 | 经阳极化处理，浅灰，暗哑 | 70 | SW | 0.61 | 9 |
| 铝 | 经阳极化处理，黑色，暗哑 | 70 | LW | 0.95 | 9 |
| 铝 | 经阳极化处理，黑色，暗哑 | 70 | SW | 0.67 | 9 |
| 铝 | 薄板，4件不同程度括花的样品 | 70 | LW | 0.03–0.06 | 9 |
| 铝 | 薄板，4件不同程度括花的样品 | 70 | SW | 0.05–0.08 | 9 |
| 铝 | 表面粗化 | 27 | 3 $\mu$m | 0.28 | 3 |
| 铝 | 表面粗化 | 27 | 10 $\mu$m | 0.18 | 3 |
| 铝 | 铝箔 | 27 | 3 $\mu$m | 0.09 | 3 |
| 铝 | 铝箔 | 27 | 10 $\mu$m | 0.04 | 3 |
| 铝 | 铸件，经强风净化 | 70 | LW | 0.46 | 9 |
| 铝 | 铸件，经强风净化 | 70 | SW | 0.47 | 9 |
| 铝 | 阳极化薄板 | 100 | T | 0.55 | 2 |
| 铝 | 高度风化 | 17 | SW | 0.83–0.94 | 5 |
| 铝铜 | | 20 | T | 0.60 | 1 |
| 铬 | 抛光 | 50 | T | 0.10 | 1 |
| 铬 | 抛光 | 500–1000 | T | 0.28–0.38 | 1 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| 银 | 抛光 | 100 | T | 0.03 | 2 |
| 银 | 纯净，抛光 | 200–600 | T | 0.02–0.03 | 1 |
| 铸铁 | 600°C 下氧化 | 200–600 | T | 0.64–0.78 | 1 |
| 铸铁 | 抛光 | 38 | T | 0.21 | 4 |
| 铸铁 | 抛光 | 40 | T | 0.21 | 2 |
| 铸铁 | 抛光 | 200 | T | 0.21 | 1 |
| 铸铁 | 未加工 | 900–1100 | T | 0.87–0.95 | 1 |
| 铸铁 | 氧化 | 38 | T | 0.63 | 4 |
| 铸铁 | 氧化 | 100 | T | 0.64 | 2 |
| 铸铁 | 氧化 | 260 | T | 0.66 | 4 |
| 铸铁 | 氧化 | 538 | T | 0.76 | 4 |
| 铸铁 | 液体 | 1300 | T | 0.28 | 1 |
| 铸铁 | 经加工 | 800–1000 | T | 0.60–0.70 | 1 |
| 铸铁 | 铸件 | 50 | T | 0.81 | 1 |
| 铸铁 | 锭铁 | 1000 | T | 0.95 | 1 |
| 锌 | 400°C 下氧化 | 400 | T | 0.11 | 1 |
| 锌 | 抛光 | 200–300 | T | 0.04–0.05 | 1 |
| 锌 | 氧化表面 | 1000–1200 | T | 0.50–0.60 | 1 |
| 锌 | 薄板 | 50 | T | 0.20 | 1 |
| 锡 | 抛光 | 20–50 | T | 0.04–0.06 | 1 |
| 锡 | 镀锡铁皮 | 100 | T | 0.07 | 2 |
| 镀锌铁 | 抛光薄板 | 30 | T | 0.23 | 1 |
| 镀锌铁 | 氧化薄板 | 20 | T | 0.28 | 1 |
| 镀锌铁 | 薄板 | 92 | T | 0.07 | 4 |
| 镀锌铁 | 高度氧化 | 70 | LW | 0.85 | 9 |
| 镀锌铁 | 高度氧化 | 70 | SW | 0.64 | 9 |
| 镀锡铁 | 薄板 | 24 | T | 0.064 | 4 |
| 镁 |  | 22 | T | 0.07 | 4 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| 镁 | | 260 | T | 0.13 | 4 |
| 镁 | | 538 | T | 0.18 | 4 |
| 镁 | 抛光 | 20 | T | 0.07 | 2 |
| 镁粉 | | | T | 0.86 | 1 |
| 镍 | 600°C 下氧化 | 200–600 | T | 0.37–0.48 | 1 |
| 镍 | 亮而不滑 | 122 | T | 0.041 | 4 |
| 镍 | 工业纯，抛光 | 100 | T | 0.045 | 1 |
| 镍 | 工业纯，抛光 | 200–400 | T | 0.07–0.09 | 1 |
| 镍 | 抛光 | 122 | T | 0.045 | 4 |
| 镍 | 氧化 | 200 | T | 0.37 | 2 |
| 镍 | 氧化 | 227 | T | 0.37 | 4 |
| 镍 | 氧化 | 1227 | T | 0.85 | 4 |
| 镍 | 电解 | 22 | T | 0.04 | 4 |
| 镍 | 电解 | 38 | T | 0.06 | 4 |
| 镍 | 电解 | 260 | T | 0.07 | 4 |
| 镍 | 电解 | 538 | T | 0.10 | 4 |
| 镍 | 电镀，抛光 | 20 | T | 0.05 | 2 |
| 镍 | 线材 | 200–1000 | T | 0.1–0.2 | 1 |
| 镍 | 铁表面电镀，抛光 | 22 | T | 0.045 | 4 |
| 镍 | 铁表面电镀，未抛光 | 20 | T | 0.11–0.40 | 1 |
| 镍 | 铁表面电镀，未抛光 | 22 | T | 0.11 | 4 |
| 镍铬合金 | 喷砂 | 700 | T | 0.70 | 1 |
| 镍铬合金 | 线材，氧化 | 50–500 | T | 0.95–0.98 | 1 |
| 镍铬合金 | 线材，纯净 | 50 | T | 0.65 | 1 |
| 镍铬合金 | 线材，纯净 | 500–1000 | T | 0.71–0.79 | 1 |
| 镍铬合金 | 轧制 | 700 | T | 0.25 | 1 |
| 雪：参见“水” | | | | | |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| 青铜 | 多孔，粗糙 | 50–150 | T | 0.55 | 1 |
| 青铜 | 抛光 | 50 | T | 0.1 | 1 |
| 青铜 | 石棉粉 | | T | 0.76–0.80 | 1 |
| 青铜 | 磷青铜 | 70 | LW | 0.06 | 9 |
| 青铜 | 磷青铜 | 70 | SW | 0.08 | 9 |
| 黄金 | 抛光 | 130 | T | 0.018 | 1 |
| 黄金 | 精抛 | 200–600 | T | 0.02–0.03 | 1 |
| 黄金 | 高度抛光 | 100 | T | 0.02 | 2 |
| 黄铜 | 80 粒度金刚砂磨砂 | 20 | T | 0.20 | 2 |
| 黄铜 | 600°C 下氧化 | 200–600 | T | 0.59–0.61 | 1 |
| 黄铜 | 抛光 | 200 | T | 0.03 | 1 |
| 黄铜 | 暗淡，无光泽 | 20–350 | T | 0.22 | 1 |
| 黄铜 | 氧化 | 70 | SW | 0.04–0.09 | 9 |
| 黄铜 | 氧化 | 70 | LW | 0.03–0.07 | 9 |
| 黄铜 | 氧化 | 100 | T | 0.61 | 2 |
| 黄铜 | 磨砂薄板 | 20 | T | 0.2 | 1 |
| 黄铜 | 薄板，轧制 | 20 | T | 0.06 | 1 |
| 黄铜 | 高度抛光 | 100 | T | 0.03 | 2 |

**A note on the technical production of this publication**

This publication was produced using XML—the e*Xtensible Markup Language*. For more information about XML, please visit http://www.w3.org/XML/

**List of effective files**

20235113.xml b16
20235213.xml b10
20235313.xml b11
20236713.xml b21
20237113.xml b8
20238513.xml a7
20238713.xml a8
20250413.xml a15
20254903.xml a57
20257013.xml a20
20257113.xml a7
20257313.xml a10
20273213.xml a9
20275213.xml a9
20279813.xml a5
20281013.xml a3
20287313.xml a3
20287713.xml a3
20287813.xml a3
20287913.xml a1
20288013.xml a3
20288113.xml a3
20288213.xml a3
20288313.xml a2
20288413.xml a4
20288513.xml a3
20292413.xml a1
20293913.xml a1
20294013.xml a1
R123.rcp a2
config.xml a5




**▪ AUSTRALIA**
FLIR Systems
10 Business Park Drive
Nottinghill
Victoria 3168
Australia
Tel: +61-3-9550-2800
Fax: +61-3-9558-9853
Email: info@flir.com.au
Web: www.flir.com

**▪ BELGIUM**
FLIR Systems
Uitbreidingstraat 60–62
B-2600 Berchem
BELGIUM
Phone: +32 (0)3 287 87 11
Fax: +32 (0)3 287 87 29
E-mail: info@flir.be
Web: www.flir.com

**▪ BRAZIL**
FLIR Systems
Av. Antonio Bardella, 320
CEP: 18085-852 Sorocaba
São Paulo
BRAZIL
Phone: +55 15 3238 8070
Fax: +55 15 3238 8071
E-mail: flir@flir.com.br
Web: www.flir.com

**▪ CANADA**
FLIR Systems
5230 South Service Road, Suite #125
Burlington, ON. L7L 5K2
CANADA
Phone: 1 800 613 0507 ext. 30
Fax: 905 639 5488
E-mail: IRCanada@flir.com
Web: www.flir.com

**▪ CHINA**
FLIR Systems
Beijing Representative Office
Room 509, Building C, Vantone Center
No. A-6 Chaoyangmenwai Ave.
Chaoyang District
Beijing 100020
P.R.C.
Phone: +86 10 5979 7755
Fax: +86 10 8532 2460
E-mail: beijing@flir.com.cn
Web: www.flir.com

**▪ CHINA**
FLIR Systems
Shanghai Representative Office
Room 6311, West Building
Jin Jiang Hotel
59 Maoming Road (South)
Shanghai 200020
P.R.C.
Phone: +86 21 5466 0286
Fax: +86 21 5466 0289
E-mail: shanghai@flir.com.cn
Web: www.flir.com

**▪ CHINA**
FLIR Systems
Guangzhou Representative Office
1105 Main Tower, Guang Dong
International Hotel
339 Huanshi Dong Road
Guangzhou 510098
P.R.C.
Phone: +86 20 8333 7492
Fax: +86 20 8331 0976
E-mail: guangzhou@flir.com.cn
Web: www.flir.com

**▪ FRANCE**
FLIR Systems
10 rue Guynemer
92130 Issy les Moulineaux
Cedex
FRANCE
Phone: +33 (0)1 41 33 97 97
Fax: +33 (0)1 47 36 18 32
E-mail: info@flir.fr
Web: www.flir.com

**▪ GERMANY**
FLIR Systems
Berner Strasse 81
D-60437 Frankfurt am Main
GERMANY
Phone: +49 (0)69 95 00 900
Fax: +49 (0)69 95 00 9040
E-mail: info@flir.de
Web: www.flir.com

**▪ GREAT BRITAIN**
FLIR Systems
2 Kings Hill Avenue – Kings Hill
West Malling
Kent, ME19 4AQ
UNITED KINGDOM
Phone: +44 (0)1732 220 011
Fax: +44 (0)1732 843 707
E-mail: sales@flir.uk.com
Web: www.flir.com

**▪ HONG KONG**
FLIR Systems
Room 1613–15, Tower 2
Grand Central Plaza
138 Shatin Rural Committee Rd
Shatin, N.T.
HONG KONG
Phone: +852 27 92 89 55
Fax: +852 27 92 89 52
E-mail: flir@flir.com.hk
Web: www.flir.com

**▪ ITALY**
FLIR Systems
Via L. Manara, 2
20051 Limbiate (MI)
ITALY
Phone: +39 02 99 45 10 01
Fax: +39 02 99 69 24 08
E-mail: info@flir.it
Web: www.flir.com

**▪ JAPAN**
FLIR SYSTEMS Japan KK
Nishi-Gotanda Access 8F
3-6-20 Nishi-Gotanda
Shinagawa-Ku
Tokyo 141-0031
JAPAN
Phone: +81 3 6277 5681
Fax: +81 3 6277 5682
E-mail info@flir.jp
Web: www.flir.com.

**▪ SWEDEN**
FLIR Systems
Worldwide Thermography Center
P.O. Box 3
SE-182 11 Danderyd
SWEDEN
Phone: +46 (0)8 753 25 00
Fax: +46 (0)8 753 23 64
E-mail: sales@flir.se
Web: www.flir.com

**▪ USA**
FLIR Systems
Corporate headquarters
27700A SW Parkway Avenue
Wilsonville, OR 97070
USA
Phone: +1 503 498 3547
Web: www.flir.com

**▪ USA (Primary sales & service contact in USA)**
FLIR Systems
USA Thermography Center
25 Esquire Road
North Billerica, MA. 01862
USA
Phone: +1 978 901 8000
Fax: +1 978 901 8887
E-mail: marketing@flir.com
Web: www.flir.com

**▪ USA**
FLIR Systems
Indigo Operations
70 Castilian Dr.
Goleta, CA 93117-3027
USA
Phone: +1 805 964 9797
Fax: +1 805 685 2711
E-mail: cbi@flir.com
Web: www.corebyindigo.com

**▪ USA**
FLIR Systems
Indigo Operations
IAS Facility
701 John Sims Parkway East
Suite 2B
Niceville, FL 32578
USA
Phone: +1 850 678 4503
Fax: +1 850 678 4992
E-mail: cbi@flir.com
Web: www.corebyindigo.com