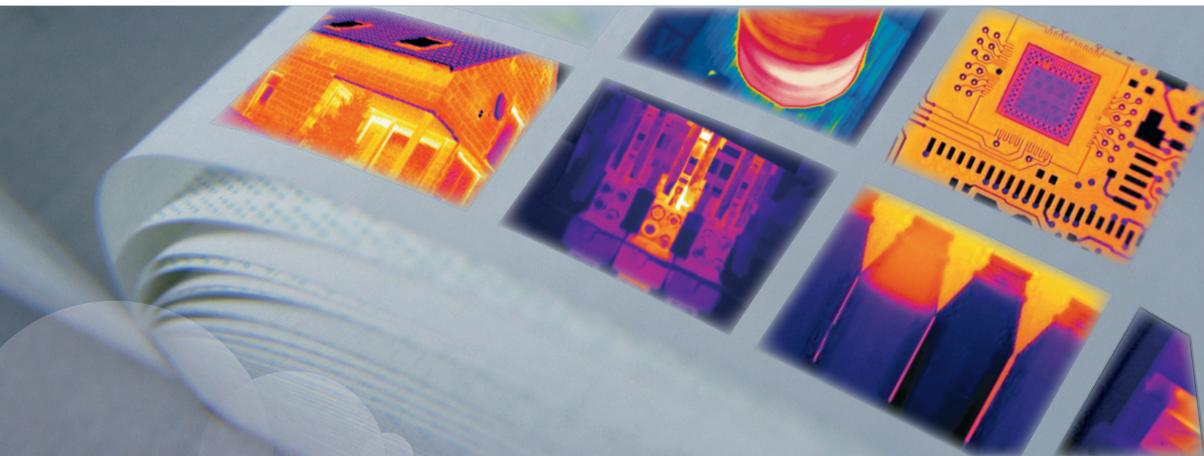




用户手册



FLIR ix series

| | |
|------------|----------------------------|
| Publ. No. | T559733_zh-CN |
| Revision | a571 |
| Language | Simplified Chinese (ZH-CN) |
| Issue date | November 4, 2011 |

用户手册



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上的缺陷，都有一 (1) 年的保修期，前提是此类产品须在正常存放、使用和维修条件下并按照 FLIR Systems 的说明进行操作。

由 FLIR Systems 制造的非冷却手持红外热像仪，从最初购买的交付之日起，如果存在原材料和生产工艺上的缺陷，都有两 (2) 年的保修期，前提是此类产品须在正常存放、使用和维修条件下并按照 FLIR Systems 的说明进行操作，并且热像仪在最初购买之日起 60 天内注册。

由 FLIR Systems 制造的非冷却手持红外热像仪的探测器，从最初购买的交付之日起，如果存在原材料和生产工艺上的缺陷，都有十 (10) 年的保修期，前提是此类产品须在正常存放、使用和维修条件下并按照 FLIR Systems 的说明进行操作，并且热像仪在最初购买之日起 60 天内注册。

非由 FLIR Systems 制造、但包含在 FLIR Systems 出售给原购人的系统中的产品，仅由特定供应商提供保修（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内。

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还给 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用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。

本保修条款应适用瑞典法律的有关规定。

由本保修条款引发或与之相关的任何纠纷、争议或索赔，均应当依照斯德哥尔摩商会仲裁院规则，通过仲裁方式予以最终解决。仲裁地点应为斯德哥尔摩。仲裁程序将要使用的语言应为英语。

版权所有

©2011, FLIR Systems。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，本文档的全部或部分不得复制、影印、翻印、翻译或传输到任何电子或可机读介质上。

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体系已按照 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; 000889290; 001106306-0001; 001707738; 001707746; 001707787; 001776519; 0101577-5; 0102150-0; 0200629-4; 0300911-5; 0302837-0; 1144833; 1182246; 1182620; 1188086; 1285345; 1287138; 1299699; 1325808; 1336775; 1365299; 1402918; 1404291; 1678485; 1732314; 200530018812.0; 200830143636.7; 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; 7544944; 75530; 7667198; 7809258; 7826736; D540838; D549758; D579475; D584755; D599.392; D16702302-9; D16703574-4; D16803572-1; D16803853-4; D16903617-9; DM/057692; DM/061609; 注册号; ZL00809178.1; ZL01823221.3; ZL01823226.4; ZL02331553.9; ZL02331554.7; ZL200480034894.0; ZL200530120994.2; ZL200630130114.4; ZL200730151141.4; ZL200730339504.7; ZL200830128581.2; ZL200930190061.9

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 | 零件清单 | 9 |
| 7.1 | 交付范围 | 9 |
| 7.2 | 附件清单 | 9 |
| 8 | 热像仪部件 | 11 |
| 9 | 屏幕元素 | 15 |
| 10 | 接头和存储介质 | 17 |
| 11 | 使用热像仪 | 18 |
| 11.1 | 安装电池 | 18 |
| 11.2 | 为电池充电 | 19 |
| 11.3 | 保存图像 | 20 |
| 11.4 | 重新调用图像 | 21 |
| 11.5 | 打开图像归档 | 22 |
| 11.6 | 删除图像 | 23 |
| 11.7 | 删除所有图像 | 24 |
| 11.8 | 使用点测表测量温度 | 25 |
| 11.9 | 使用区域测量温度 | 26 |
| 11.10 | 标记高于或低于某个设定温度水平的所有区域 | 27 |
| 11.11 | 更改调色板 | 28 |
| 11.12 | 更改设置 | 29 |
| 11.13 | 更改图像模式 | 30 |
| 11.14 | 设置表面属性 | 31 |
| 11.15 | 更改辐射率 | 32 |
| 11.16 | 更改反射表观温度 | 33 |
| 11.17 | 重置热像仪 | 34 |
| 11.18 | 查找热像仪的序列号 | 35 |
| 12 | 清洁热像仪 | 36 |
| 12.1 | 热像仪的外壳、线缆及其他部件 | 36 |
| 12.2 | 红外镜头 | 37 |
| 12.3 | 红外线探测仪 | 38 |
| 13 | 技术数据 | 39 |
| 13.1 | 其他信息 | 40 |
| 14 | 尺寸 | 43 |
| 14.1 | 热像仪（正面） | 43 |

| | | |
|-----------|------------------------------|-----------|
| 14.2 | 热像仪（侧面） | 44 |
| 15 | 应用案例 | 45 |
| 15.1 | 潮气和水渍损害 | 45 |
| 15.2 | 插座接触不良 | 46 |
| 15.3 | 插座被氧化 | 47 |
| 15.4 | 保温缺陷 | 48 |
| 15.5 | 气流 | 49 |
| 16 | 关于 FLIR Systems | 50 |
| 16.1 | 这不仅仅是红外热像仪 | 51 |
| 16.2 | 分享我们的知识 | 52 |
| 16.3 | 客户支持 | 52 |
| 16.4 | 摄自工厂的一些图片 | 52 |
| 17 | 词汇表 | 54 |
| 18 | 热像仪测量技巧 | 57 |
| 18.1 | 简介 | 57 |
| 18.2 | 辐射率 | 57 |
| 18.2.1 | 测出样本的发射率 | 57 |
| 18.2.1.1 | 第一步：确定反射的表现温度 | 57 |
| 18.2.1.2 | 第二步：确定发射率 | 60 |
| 18.3 | 反射表象温度 | 61 |
| 18.4 | 距离 | 61 |
| 18.5 | 相对湿度 | 61 |
| 18.6 | 其它参数 | 61 |
| 19 | 红外技术发展史 | 62 |
| 20 | 热像仪的原理 | 66 |
| 20.1 | 简介 | 66 |
| 20.2 | 电磁波谱 | 66 |
| 20.3 | 黑体辐射 | 67 |
| 20.3.1 | 普朗克定律 | 68 |
| 20.3.2 | 维恩位移定律 | 69 |
| 20.3.3 | 史蒂芬-玻尔兹曼定律 | 71 |
| 20.3.4 | 非黑体辐射源 | 71 |
| 20.4 | 红外线半透明材料 | 73 |
| 21 | 测量公式 | 75 |
| 22 | 辐射率表 | 80 |
| 22.1 | 参考材料 | 80 |
| 22.2 | 关于辐射率表的重要注意事项 | 80 |
| 22.3 | 辐射率表 | 81 |

1

警告和小心

警告

- (仅适用于 Class A 数字设备。) 本设备会产生、使用和辐射出射频能量，如果不按照说明手册进行安装和使用，可能会导致无线电通讯受到干扰。经测试和调查，本产品符合 FCC 规则第 15 章的 J 子章节对于 A 类计算设备的限制。这些限制旨在提供适当保护，以防范在商业环境中运行的设备产生类似的干扰。本设备在居民区运行时可能会产生干扰。此时，用户需要自行采取任何必要措施来消除这种干扰。
- (仅适用于 Class B 数字设备。) 本设备经测试，证明符合 Class B 数字设备的限制，进而符合 FCC 规则第 15 部分的规定。这些限制是为了防止在安装地点造成有害的干扰。如果不严格按照说明安装和使用，该设备会生成、使用并发出无线电频率能量，可能对无线电通讯造成有害的干扰。但是，不能保证在每个具体安装实例中不发生干扰现象。如果该设备的确对无线电或电视机信号接收造成有害的干扰（可通过打开或关闭设备来判断），用户可以通过以下一种或多种方法来排除干扰：
 - 调整接收天线的方向或位置。
 - 加大设备和接收器的距离。
 - 不要将设备连接到和接收器置于同一电路中的插座上。
 - 请向零售商或有经验的无线电/电视技术人员寻求帮助。
- (仅适用于符合 15.19/RSS-210 的数字设备。) 警告：本设备符合 FCC 规则第 15 部分和加拿大工业部 RSS-210 认证。操作应符合下列两个条件：
 - 1 本设备不会造成有害干扰，以及
 - 2 本设备必须接受任何收到的干扰，包括可能导致意外操作的干扰。
- (仅适用于符合 15.21 的数字设备。) 警告：未经（制造商名称）明确批准而擅自更改或改装本设备，可能会导致操作本设备的 FCC 授权无效。
- (仅适用于符合 2.1091/2.1093/OET Bulletin 65 的数字设备。) 射频辐射暴露信息：本设备的辐射输出功率远低于 FCC 射频暴露限制。然而，应以在正常工作期间将人体接触的可能性降到最低的方式使用本设备。
- (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。这可能会对热像仪的精确度产生不利影响。此外，还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 $\pm 0^{\circ}\text{C}$ 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。
 - 在安装电池之前，请去除电池上的水或潮气。
 - 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。
 - 在高炉和其他高温应用领域，必须在热像仪上安装隔热罩。在高炉和其他高温应用领域使用不带隔热罩的热像仪，可能会导致热像仪损坏。
 - (仅适用于具有可禁用的自动快门的热像仪。) 请勿将热像仪的自动快门禁用太长时间（一般不超过 30 分钟）。禁用快门的时间过长可能损害或严重损坏探测仪。
 - 仅当热像仪上的所有开口都使用其指定的盖子、舱盖或盖帽密封时才能达到有效的密封级别。这包括但不限于数据存储盒、电池盒和接口盒。
-

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。

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>
 - <http://www.irtraining.com>
 - <http://www.irtraining.eu>
-

3

客户服务

一般

有关客户服务的信息，请访问：

<http://support.flir.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://support.flir.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

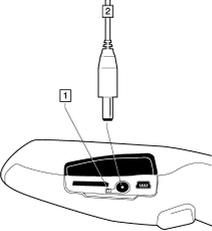
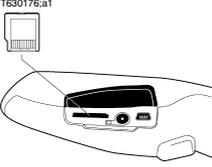
FLIR Systems 保留在未予事先通知的情况下，随时中止供应某些型号、软件、部件或附件及其他物件，或更改相应规格和/或功能的权利。

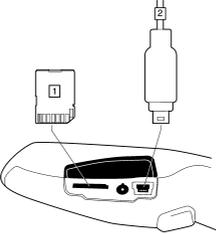
6

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 | <p>首次使用热像仪之前，必须对热像仪内的电池进行完整的小时充电（或直至电池充电指示灯显示绿灯为止）。</p> <p>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。</p> <p>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。这是启动电池测量所必需的。</p> <p>T630175.a1</p>  <p>1 电池充电指示灯 2 电源线</p> |
| 3 | <p>将 miniSD™ 存储卡插入到卡槽中。</p> <p>T630176.a1</p>  |
| 4 | 按“开/关”按钮打开热像仪。 |
| 5 | <p>推动镜头盖把手打开镜头盖。</p> <p>T630177.a2</p>  |
| 6 | 将热像仪对准目标对象。 |

| | |
|---|---|
| 7 | 拉动“ 保存 ”快门保存图像。 |
| 8 | <p>要将图像传输到计算机，请完成以下操作之一：</p> <p>T630178.a2</p>  <p>■ （上面的项目 1）取出 miniSD™ 存储卡并将它插入到与计算机相连的读卡器中。热像仪随附一个 miniSD™ 卡适配器。</p> <p>■ （上面的项目 2）使用 USB™ Mini-B 线缆将计算机连接到热像仪。</p> |
| 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 零件清单

7.1 交付范围

- 电池（热像仪内）
- 校准证书
- 下载手册
- FLIR Tools CD-ROM
- 手带
- 硬质运输箱（包括挂锁）
- 红外热像仪
- 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》
- 打印版《重要信息指南》
- 服务与培训手册
- USB 电缆
- 用户文档 CD 光盘
- miniSD 卡，带 SD 卡适配器

-
- 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。
-

7.2 附件清单

- 1910423 USB 线缆标准 A <-> Mini B
- ITC-CER-5101 ITC 1 级热成像课程 - 参加 1 人。
- ITC-CER-5105 ITC 1 级热成像课程 - 现场班其他学生 1 人。
- ITC-CER-5109 ITC 1 级热成像课程 - 10 人一组。
- ITC-CER-1001 ITC 培训 1 天 - 参加 1 人。
- ITC-CER-1009 ITC 培训 1 天 - 最多 10 人一组。
- ITC-EXP-1011 ITC 热成像短期课程简介 - 参加 1 人（1 天）。
- ITC-EXP-1019 ITC 热成像短期课程简介 - 包括 10 人（1 天）。
- ITC-EXP-1021 ITC 内部培训 - 其他参加 1 人（每天）。
- ITC-EXP-1029 ITC 内部培训 - 最多 10 人一组（每天）。
- ITC-EXP-2001 ITC 培训 2 天 - 参加 1 人。
- ITC-EXP-2009 ITC 培训 2 天 - 最多 10 人一组。
- ITC-EXP-2011 ITC 建筑物热成像短期课程 - 参加 1 人（2 天）。
- ITC-EXP-2019 ITC 建筑物热成像短期课程 - 包括 10 人（2 天）。
- ITC-EXP-2041 ITC 电气热成像短期课程 - 包括 1 人（2 天）。
- ITC-EXP-2049 ITC 电气热成像短期课程 - 包括 10 人（2 天）。
- ITC-EXP-2061 ITC HVAC 和管道短期课程 - 参加 1 人（2 天）。

- ITC-EXP-2069 ITC HVAC 和管道短期课程 - 最多 10 人一组 (2 天)。
- ITC-EXP-3001 ITC 培训 3 天 - 参加 1 人。
- ITC-EXP-3009 ITC 培训 3 天 - 最多 10 人一组。
- ITC-PRA-2011 ITC 实用课程 - 太阳能电池板检查 - 参加 1 人 (2 天)。
- ITC-PRA-2019 ITC 实用课程 - 太阳能电池板检查 - 最多 10 人一组 (2 天)。
- ITC-SOW-0001 ITC 软件课程 - 参加 1 人 (每天)。
- ITC-SOX-0009 ITC 软件课程 - 最多 10 人一组 (每天)。
- T126024 包装袋
- T197410 电池
- T197619 ix 系列专用硬质运输箱
- T197717 FLIR Reporter 8.5 SP3, 专业版
- T197717L10 FLIR Reporter 8.5 SP3, 专业版, 10 用户许可
- T197717L5 FLIR Reporter 8.5 SP3, 专业版, 5 用户许可
- T197778 FLIR BuildIR 2.1
- T197778L10 FLIR BuildIR 2.1, 10 用户许可
- T197778L5 FLIR BuildIR 2.1, 5 用户许可
- T199806 ix 系列一年延长保修期
- T199833 ix 系列一般维护
- T910711 电源/充电器, 带在欧盟、英国、美国和澳大利亚适用的插头
- T910737 包含适配器的存储卡 micro-SD

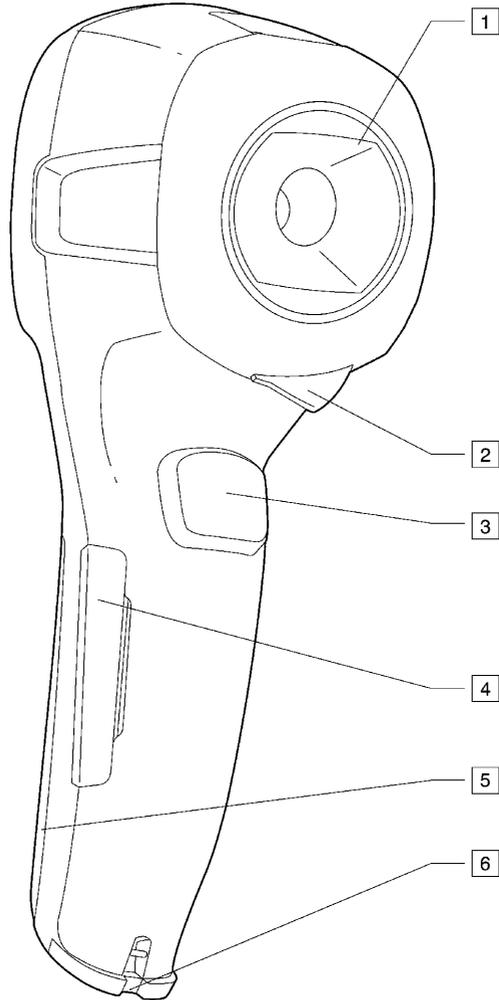
-
- 如果任何物品有损坏或丢失现象, 请与您当地的销售部门联系。您可在本手册的封底上找到当地销售机构的地址和电话号码。
 - FLIR Systems 保留在未予事先通知的情况下, 随时中止供应某些型号、部件或附件及其他物件, 或更改相应规格的权利。
-

8

热像仪部件

图

10780903.a2



说明

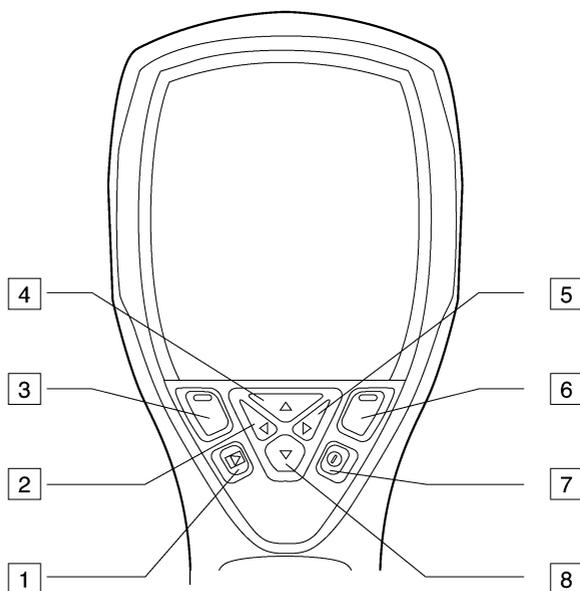
下表对上图进行了解释:

| | |
|---|------|
| 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.a2



说明

下表对上图进行了解释:

| | |
|---|--|
| 1 | <p>“归档”按钮</p> <p>功能: 按动可打开图像归档。</p> |
| 2 | <p>左箭头按钮 (位于导航台上)</p> <p>功能:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 按动可在菜单、子菜单和对话框中左移。 ■ 按动可在图像归档中进行浏览。 |
| 3 | <p>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。</p> |
| 4 | <p>顶部箭头按钮 (位于导航台上)</p> <p>功能:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 按动可在菜单、子菜单和对话框中上移。 ■ 按动可显示图像归档 (在按动归档按钮后)。 ■ 按动可增大/更改值。 |

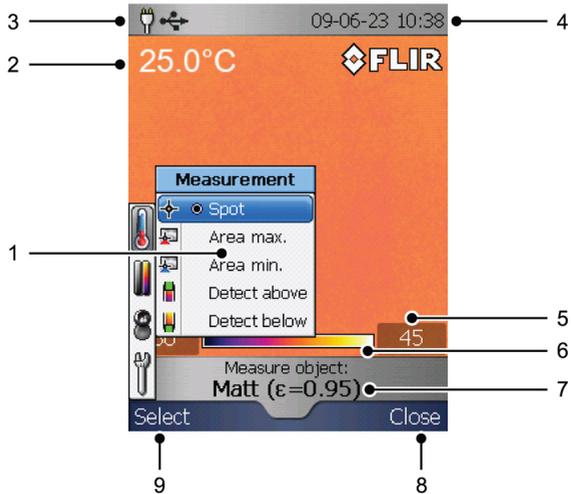
| | |
|---|--|
| 5 | 右箭头按钮（位于导航台上） 功能： <ul style="list-style-type: none">■ 按动可在菜单、子菜单和对话框中右移。■ 按动可在图像归档中进行浏览。 |
| 6 | 右选按钮。此按钮用于实现上下文功能，当前功能已显示在屏幕上此按钮的上方。 |
| 7 | “开/关”按钮 功能： <ul style="list-style-type: none">■ 按动可打开热像仪。■ 按住超过一秒钟即可关闭热像仪。 |
| 8 | 底部箭头按钮（位于导航台上） 功能： <ul style="list-style-type: none">■ 按动可在菜单、子菜单和对话框中下移。■ 按动可减小/更改值。 |

9

屏幕元素

图

10781203.a4



说明

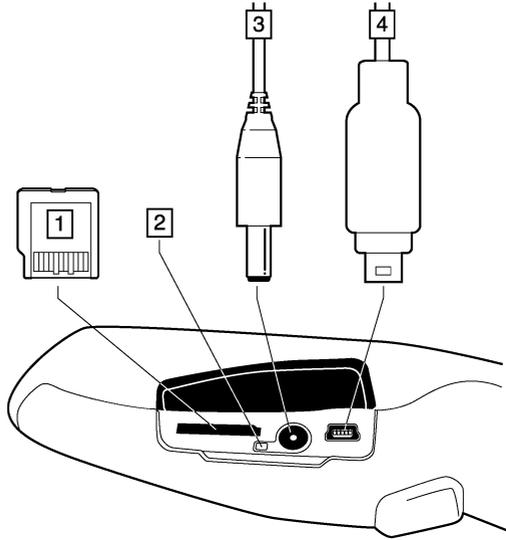
下表对上图进行了解释:

| 1 | 菜单系统 | | | | | | |
|---|---|----|----|--|--|--|----------------------|
| 2 | 测量结果 | | | | | | |
| 3 | 电源指示灯 | | | | | | |
| | <table border="1"> <thead> <tr> <th>图标</th> <th>意义</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>执行以下一种操作: <ul style="list-style-type: none"> 热像仪使用电池进行供电。 电池正在充电 (通过动态充填的电池显示框进行指示)。 </td> </tr> <tr> <td></td> <td>电池已充满电并且热像仪正在使用电源供电。</td> </tr> </tbody> </table> | 图标 | 意义 | | 执行以下一种操作: <ul style="list-style-type: none"> 热像仪使用电池进行供电。 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。 |
| | 图标 | 意义 | | | | | |
| | 执行以下一种操作: <ul style="list-style-type: none"> 热像仪使用电池进行供电。 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 |

图

10780803.a1



说明

下表对上图进行了解释:

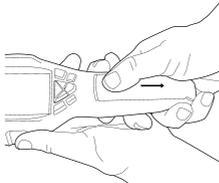
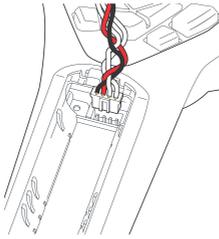
| | |
|---|--|
| 1 | <p>miniSD™ 存储卡</p> <p>我们建议您在 miniSD™ 存储卡上保存的图像不要超过 5000 幅。</p> <p>尽管存储卡的容量可能大于 5000 幅图像，但是，如果保存的图像超过这一数字将严重降低 miniSD™ 存储卡上文件的管理速度。</p> <p>注意：miniSD™ 存储卡的内存大小没有上限。</p> |
| 2 | <p>电池充电指示灯：</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 不亮：未连接电源。 ■ 橙色灯：电池正在充电。 ■ 绿灯：电池充电已完成。 |
| 3 | 电源线 |
| 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。 T630174.a2  |
| 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。 T630173.a2  |
| 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。这是启动电池测量所必需的。
- 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。

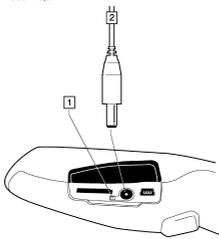
关于电池充电指示灯

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 | <p>连接电源与热像仪上的电源接头。</p> <p>T630175,a1</p>  <p>1 电池充电指示灯 2 电源线</p> |
| 2 | <p>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。</p> |
| 3 | <p>当电池充电指示灯显示绿灯时，断开与电源线插头的连接。</p> |

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： <ul style="list-style-type: none"> ■ 按导航台上的左/右箭头选择您想要查看的图像。 ■ 按顶部箭头按钮，使用导航台选择您想要查看的图像，然后按右侧选择按钮 (打开)。 |
| 3 | 要返回到实时模式，请执行下列操作之一： <ul style="list-style-type: none"> ■ 按“归档”按钮。 ■ 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 | 按导航台上的顶部箭头按钮。 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 | 按顶部箭头按钮。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： <ul style="list-style-type: none"> ■ 按“归档”按钮。 ■ 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： <ul style="list-style-type: none"> ■ 按“归档”按钮。 ■ 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 | 按顶部箭头按钮。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)。 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： <ul style="list-style-type: none">■ 面积最大值■ 面积最小值 |
| 5 | 按左选按钮 (选择)。 区域内的最高或最低温度现在将由连续移动的光标显示。 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： <ul style="list-style-type: none">■ 探测高于■ 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 32 页上的 11.15 – 更改辐射率 一节
- 第 33 页上的 11.16 – 更改反射表面温度 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： <ul style="list-style-type: none"> ■ 设置辐射率的值 ■ 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 57 页的 18 – 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 57 页的 **18 – 热像仪测量技巧** 节。

11.17 重置热像仪

一般

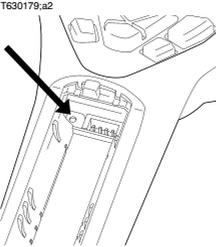
如果您需要重置热像仪，可以使用电池盒内的重置按钮。

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。  |
| 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。

12.3 红外线探测仪

一般

红外线探测仪上即使存在少量的灰尘，都可能导致图像出现重大的瑕疵。要清除探测仪上的灰尘，请按以下步骤操作。

注意

- 本节仅适用于卸下镜头即可暴露出红外线探测仪的热像仪。
- 在某些情况下，灰尘无法通过此步骤来清除：红外线探测仪必须采用机械方式清理。这种机械清理操作必须由经过授权的服务合作伙伴来执行。

小心

在下述步骤 2 中，请勿使用车间等场所中的气动回路产生的压缩空气，因为这种空气通常包含油雾，会对气动工具起润滑作用。

步骤

请遵循以下步骤：

| | |
|---|--------------------|
| 1 | 从热像仪上卸下镜头。 |
| 2 | 使用压缩气筒产生的压缩空气吹掉灰尘。 |

13 技术数据

有关技术数据，请参考热像仪随附的用户文档 CD-ROM 上的数据表。此外，还可以从以下链接找到技术数据：<http://support.flir.com>。

13.1 其他信息

视野与距离 (FLIR i3)

10780503.a2

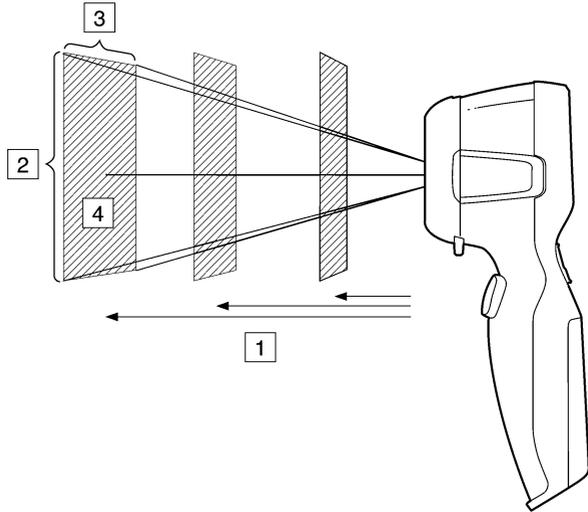


图 13.1 视野和距离之间的关系。1: 目标距离；2: VFOV = 垂直视野；3: HFOV = 水平视野；4: IFOV = 即时视野（一个探测器元件的尺寸）

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。

T639295.a2

| Focal length: 6.76 mm | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|-------|-------|-------|--------|--------|-----|
| Resolution: 60 x 60 pixels | | | | | | | | | |
| Field of view in degrees: 12.6 | | | | | | | | | |
| D ---> | 0.50 | 1.00 | 2.00 | 5.00 | 10.00 | 25.00 | 50.00 | 100.00 | m |
| HFOV | 0.11 | 0.22 | 0.44 | 1.11 | 2.22 | 5.55 | 11.09 | 22.19 | m |
| VFOV | 0.11 | 0.22 | 0.44 | 1.11 | 2.22 | 5.55 | 11.09 | 22.19 | 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 | 0.36 | 0.73 | 1.46 | 3.64 | 7.28 | 18.19 | 36.38 | 72.75 | ft. |
| VFOV | 0.36 | 0.73 | 1.46 | 3.64 | 7.28 | 18.19 | 36.38 | 72.75 | 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 i5)

10780503.a2

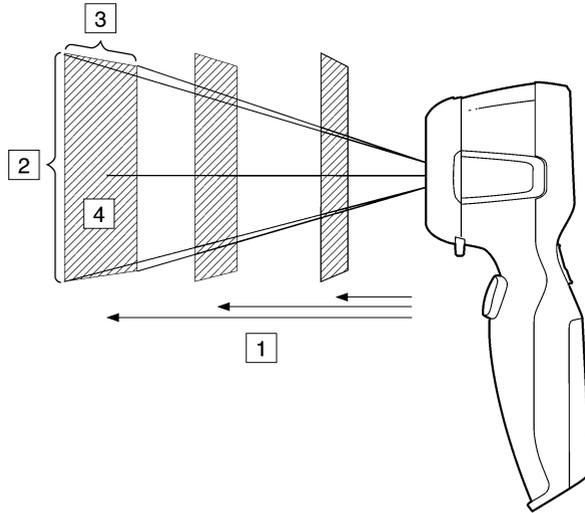


图 13.2 视野和距离之间的关系。1: 目标距离；2: VFOV = 垂直视野；3: HFOV = 水平视野；4: IFOV = 即时视野（一个探测器元件的尺寸）

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。

10781103.a3

| Focal length: 6.76 mm | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|-------|-------|-------|--------|--------|-----|
| Resolution: 100 x 100 pixels | | | | | | | | | |
| Field of view in degrees: 20.9 | | | | | | | | | |
| D ---> | 0.50 | 1.00 | 2.00 | 5.00 | 10.00 | 25.00 | 50.00 | 100.00 | m |
| HFOV | 0.18 | 0.37 | 0.74 | 1.85 | 3.70 | 9.25 | 18.49 | 36.98 | m |
| VFOV | 0.18 | 0.37 | 0.74 | 1.85 | 3.70 | 9.25 | 18.49 | 36.98 | 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 | 0.61 | 1.21 | 2.43 | 6.06 | 12.13 | 30.31 | 60.63 | 121.25 | ft. |
| VFOV | 0.61 | 1.21 | 2.43 | 6.06 | 12.13 | 30.31 | 60.63 | 121.25 | 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.a2

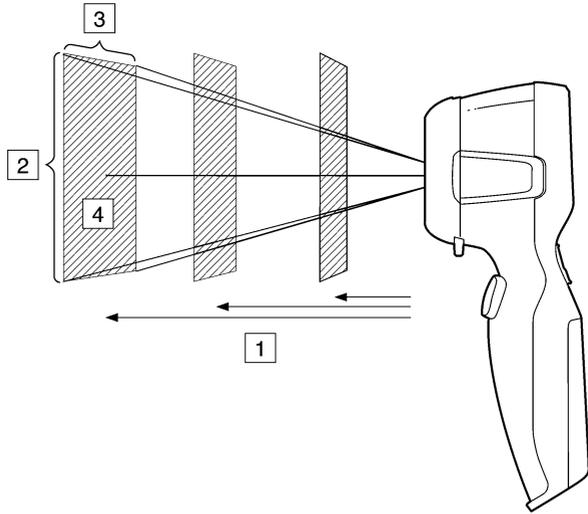


图 13.3 视野和距离之间的关系。1: 目标距离；2: VFOV = 垂直视野；3: HFOV = 水平视野；4: IFOV = 即时视野（一个探测器元件的尺寸）

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.a3

| Focal length: 6.76 mm | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|-------|-------|-------|--------|--------|-----|
| Resolution: 140 x 140 pixels | | | | | | | | | |
| Field of view in degrees: 29.0 | | | | | | | | | |
| D ---> | 0.50 | 1.00 | 2.00 | 5.00 | 10.00 | 25.00 | 50.00 | 100.00 | m |
| HFOV | 0.26 | 0.52 | 1.04 | 2.59 | 5.18 | 12.94 | 25.89 | 51.78 | m |
| VFOV | 0.26 | 0.52 | 1.04 | 2.59 | 5.18 | 12.94 | 25.89 | 51.78 | 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 | 0.85 | 1.70 | 3.40 | 8.49 | 16.98 | 42.44 | 84.88 | 169.75 | ft. |
| VFOV | 0.85 | 1.70 | 3.40 | 8.49 | 16.98 | 42.44 | 84.88 | 169.75 | 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 | | | | | | | | | |

14

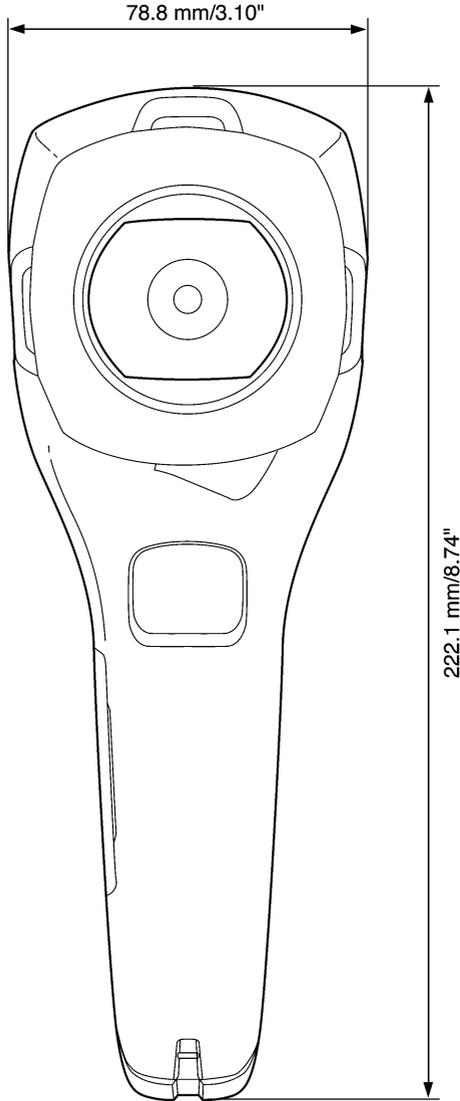
尺寸

14.1

热像仪 (正面)

图

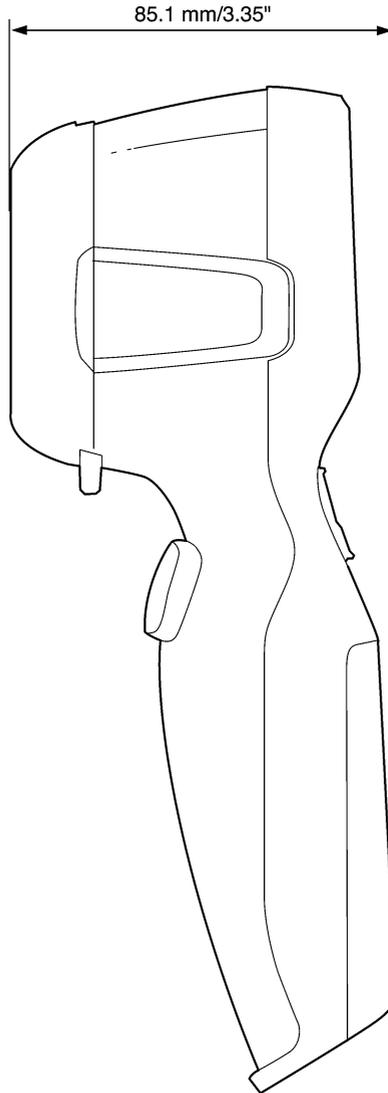
10780603.a2



14.2 热像仪 (侧面)

图

10780703.a2



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

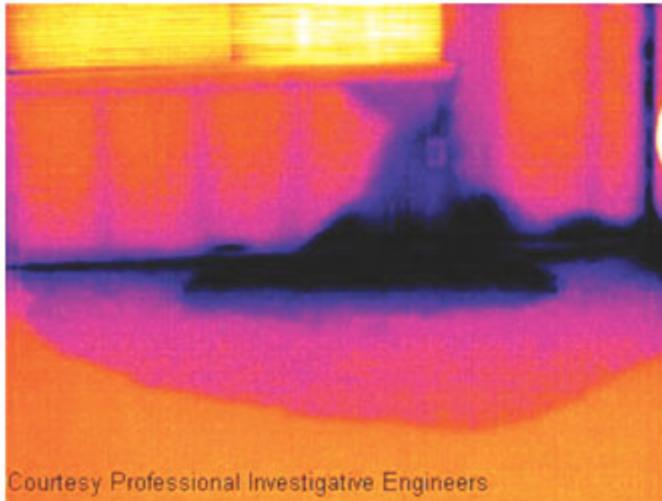
许多因素共同决定了为什么潮气或水渍损害会出现在红外图像。

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

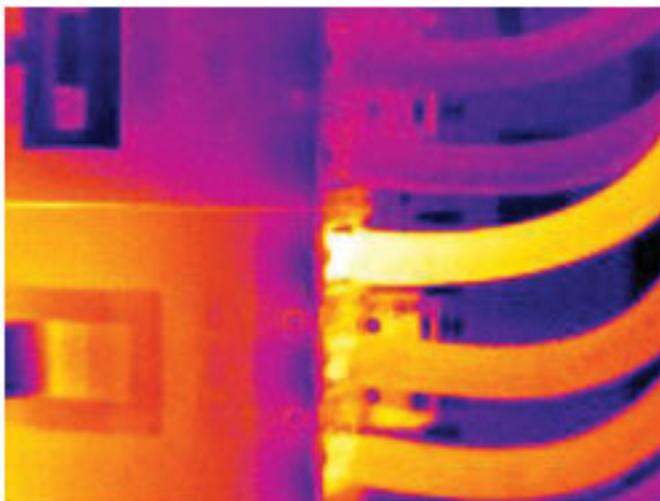
不同制造商生产的插座在结构上可能有很大的差异。出于这个原因，插座上不同的故障可能在红外图像上相同的典型特征。

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

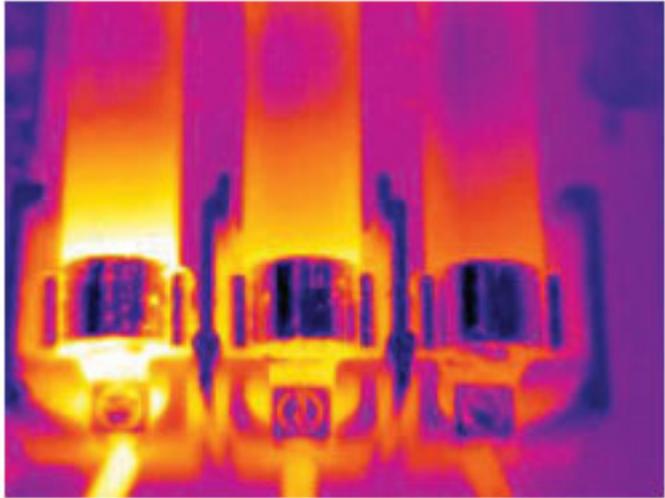
不同制造商生产的插座在结构上可能有很大的差异。出于这个原因，插座上不同的故障可能在红外图像上相同的典型特征。

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。

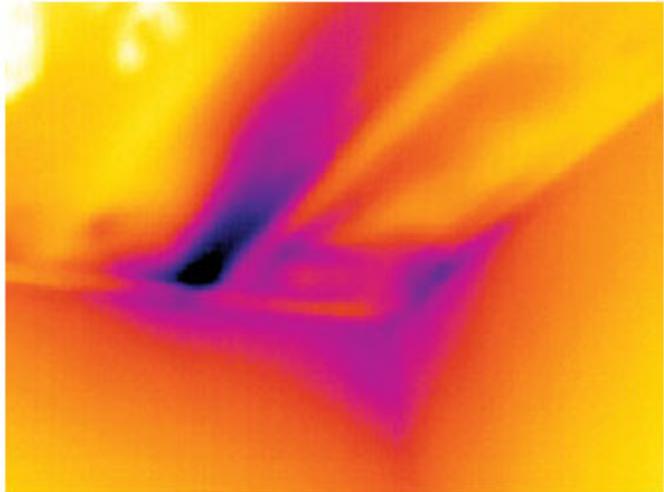
注意

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。

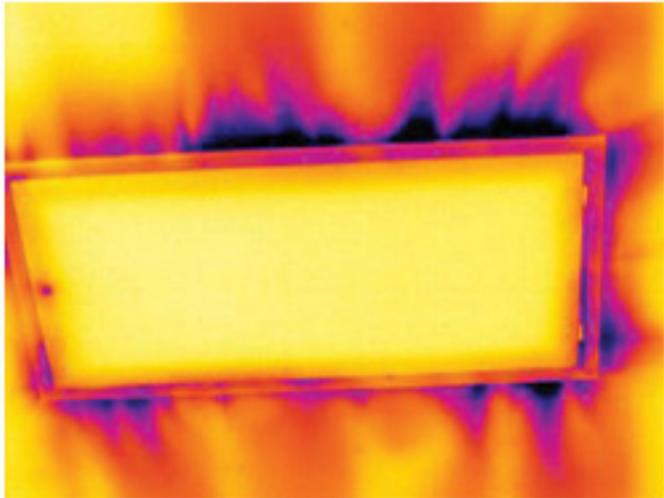
气流的红外图像通常显示为典型的流线型。您可在下图中清晰地观察到这种流线型的图案。

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



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。

10722703.a2



图 16.2 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。操作人员还需要一个 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 i7 诞生于 2009 年。重量为 0.34 千克（包括电池）。

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。

16.1 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。

16.2 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。

16.3 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。

16.4 摄自工厂的一些图片

10401903.a1

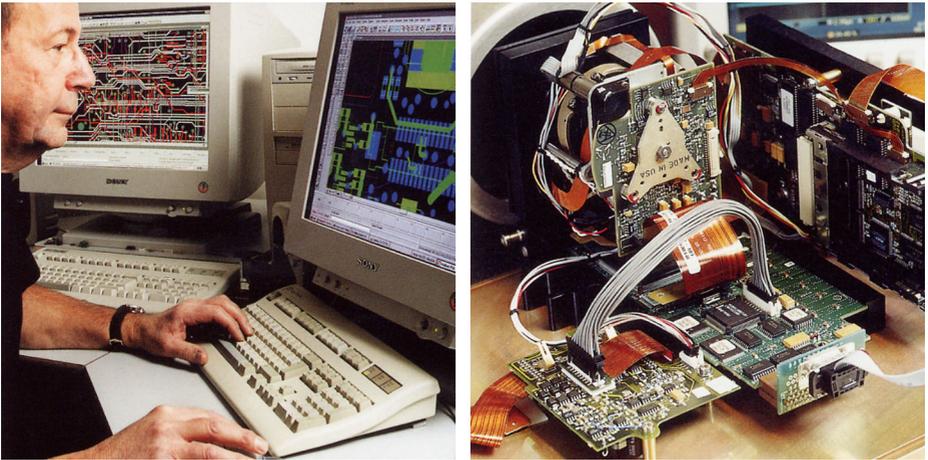


图 16.3 左图：系统电子元器件开发；右图：测试 FPA 探测器

10401403.a1



图 16.4 左图：金刚石车削机床；右图：镜头抛光

10401503.a1



图 16.5 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

| 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、反射表观温度、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。 |

18 热像仪测量技巧

18.1 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像。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

18.2 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。

18.2.1 测出样本的发射率

18.2.1.1 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：

18.2.1.1.1 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。

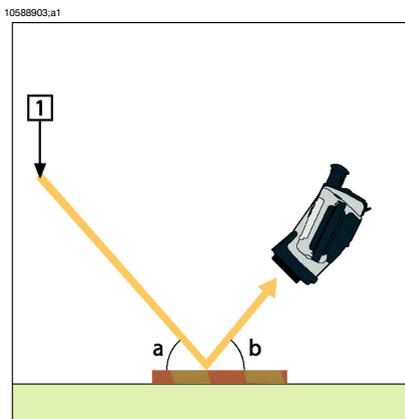


图 18.1 1 = 反射源

- 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。

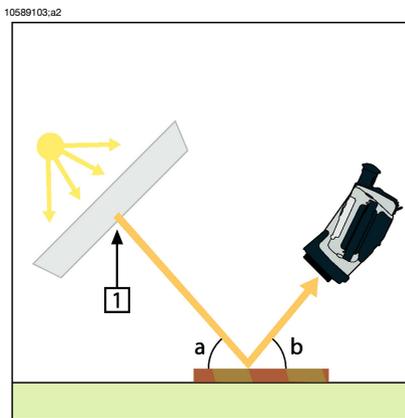


图 18.2 1 = 反射源

3 使用以下设置测量反射源的辐射强度 (= 表观温度) :

- 发射率: 1.0
- D_{obj} : 0

您可使用以下两种方法之一测量辐射强度:

10589003.a2

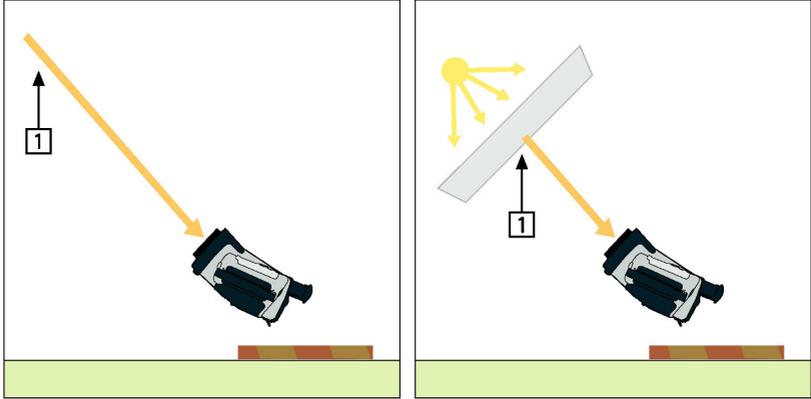


图 18.3 1 = 反射源

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观温度:

- 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。

18.2.1.1.2 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。

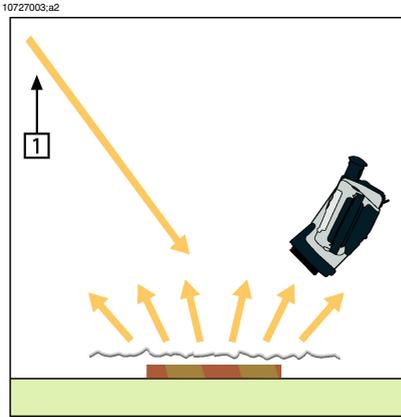


图 18.4 测量铝箔的表观温度

18.2.1.2 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率很高的绝缘胶带。 |
| 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： <ul style="list-style-type: none"> ■ 等温线（用于确定温度和样本加热的均匀程度） ■ 点温（较简单） ■ 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。

18.3 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。

18.4 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。

18.5 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。

18.6 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

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 19.1 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 19.2 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 19.3 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 $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ），后期有一些温度计能精确到 $0.05\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）。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 19.4 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 $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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。

20 热像仪的原理

20.1 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。

20.2 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。

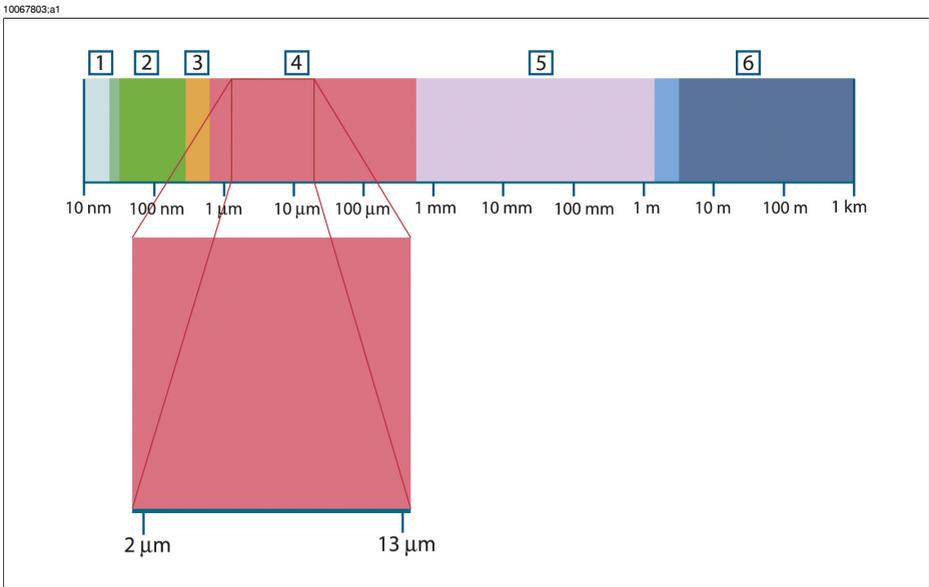


图 20.1 电磁波谱。1: X 射线; 2: 紫外线; 3: 可见光; 4: 红外线; 5: 微波; 6: 无线电波。

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：

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

20.3 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 20.2 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。

20.3.1 普朗克定律

10399203.a1



图 20.3 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：

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

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 $\text{Watt}/\text{m}^2, \mu\text{m}$ 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， $\lambda = 0$ 处的光谱辐射率为零，当波长为 λ_{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

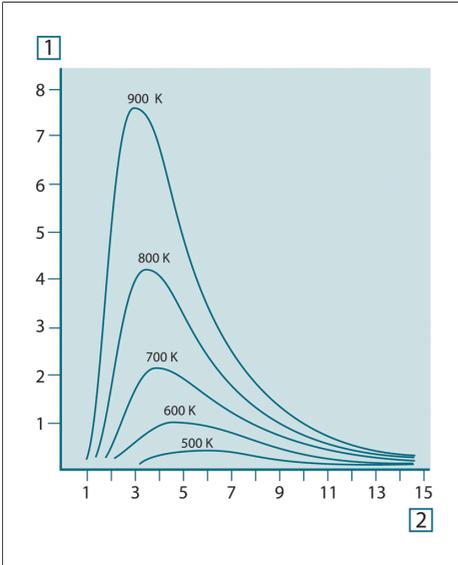


图 20.4 根据普朗克定律，在不同绝对温度下绘制的黑体光谱辐射率。1:光谱辐射率 ($\text{W}/\text{cm}^2 \times 10^3(\mu\text{m})$); 2: 波长 (μm)

20.3.2 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：

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

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 λ_{\max} 计算所得的波长相同。通过应用近似计算 $3000/T \mu\text{m}$ ，可得出指定黑体温度的一个有效近似 λ_{\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 $0.27 \mu\text{m}$ 的可见紫外光谱内其光谱辐射率达到峰值。

10399403,a1

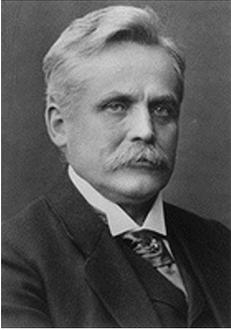


图 20.5 Wilhelm Wien (1864–1928)

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

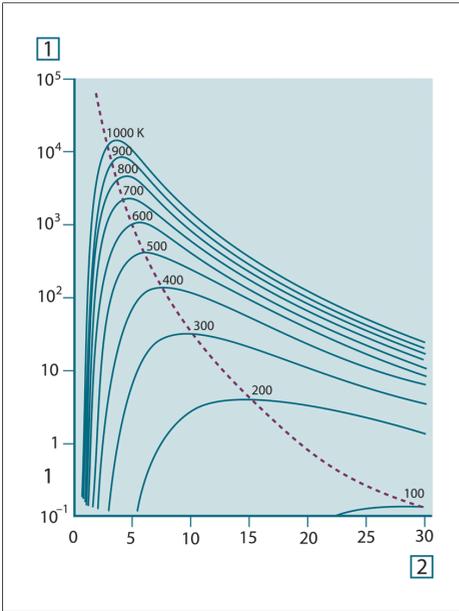


图 20.6 在 100 K - 1000 K 半对数范围内绘制的普朗克曲线。其中虚线表示由维恩位移定律描述的各种温度下的最大辐射率轨迹。1:光谱辐射率 ($\text{W}/\text{cm}^2 (\mu\text{m})$); 2: 波长 (μm)。

20.3.3 史蒂芬-玻尔兹曼定律

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

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

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， $\lambda=0$ 到 λ_{\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 20.7 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。

20.3.4 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 α_λ = 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 ρ_λ = 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 τ_λ = 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 ϵ_λ = 物体发射的光谱辐射功率相对同温和同波长下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：

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

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 $\epsilon_\lambda = \epsilon = 1$
- 灰体，其 $\epsilon_\lambda = \epsilon =$ 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：

$$\epsilon_\lambda = \alpha_\lambda$$

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

$$\epsilon_\lambda + \rho_\lambda = 1$$

由于高度抛光材料的 ϵ_λ 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：

$$W = \epsilon \sigma T^4 \text{ [Watt/m}^2\text{]}$$

这表明灰体的总辐射功率等于同温下黑体的辐射功率乘以灰体的 ϵ 值。

10401203,a2

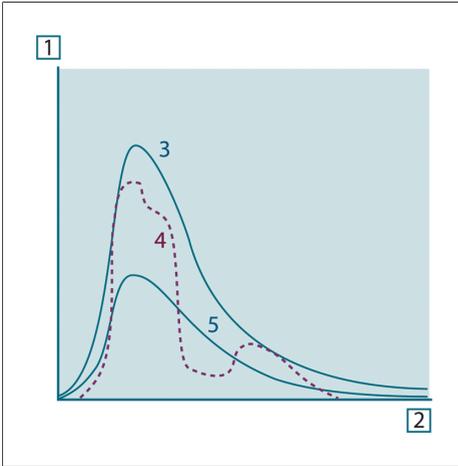


图 20.8 三种辐射源类型的光谱辐射率。1: 光谱辐射率; 2: 波长; 3: 黑体; 4: 选择性辐射体; 5: 灰体。

10327303,a4

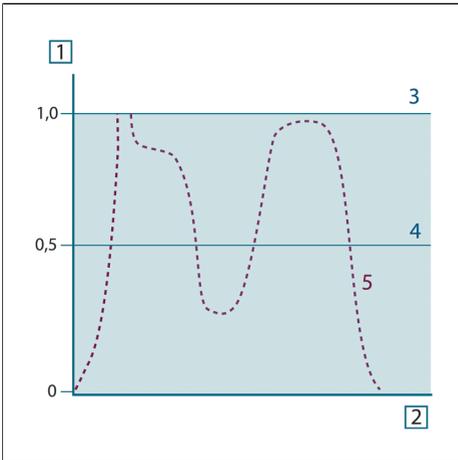


图 20.9 三种辐射源类型的光谱辐射比。1: 光谱辐射比; 2: 波长; 3: 黑体; 4: 灰体; 5: 选择性辐射体。

20.4 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。

21 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。

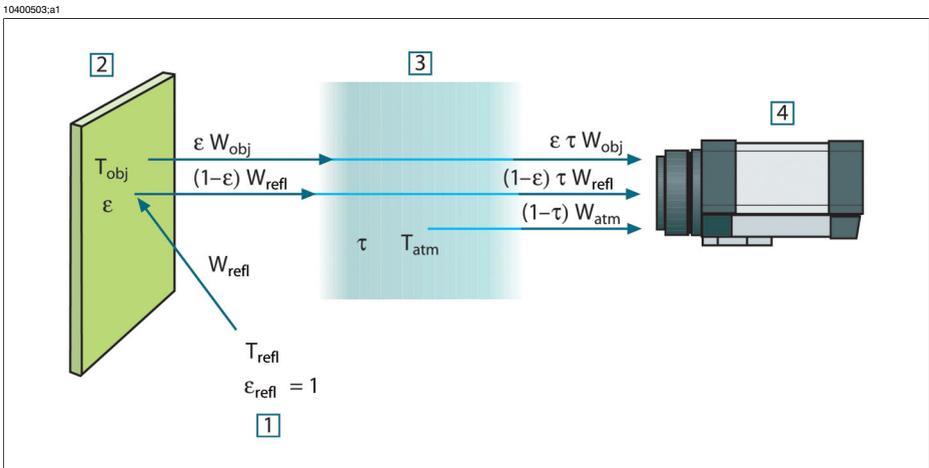


图 21.1 普通热像仪测量条件的图示1: 周围环境；2: 物体；3: 大气；4: 热像仪

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 $\varepsilon W_{\text{source}}$ 。

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 = $\varepsilon \tau W_{\text{obj}}$ ，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 = $(1 - \varepsilon) \tau W_{\text{refl}}$ ，此处 $(1 - \varepsilon)$ 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 = $(1 - \tau) \tau W_{\text{atm}}$ ，此处 $(1 - \tau)$ 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：

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

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：

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

解答方程式 3 得出 U_{obj} （方程式 4）：

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

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 21.2 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, 可觉察到此问题的存在。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度、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:

- $\tau = 0.88$
- $T_{\text{refl}} = +20^{\circ}\text{C}$
- $T_{\text{atm}} = +20^{\circ}\text{C}$

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 $U_{\text{tot}} = 4.5$ 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 $U_{\text{obj}} = U_{\text{tot}}$, 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 $U_{\text{obj}} = 4.5 / 0.75 / 0.92 - 0.5 = 6.0$ 。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

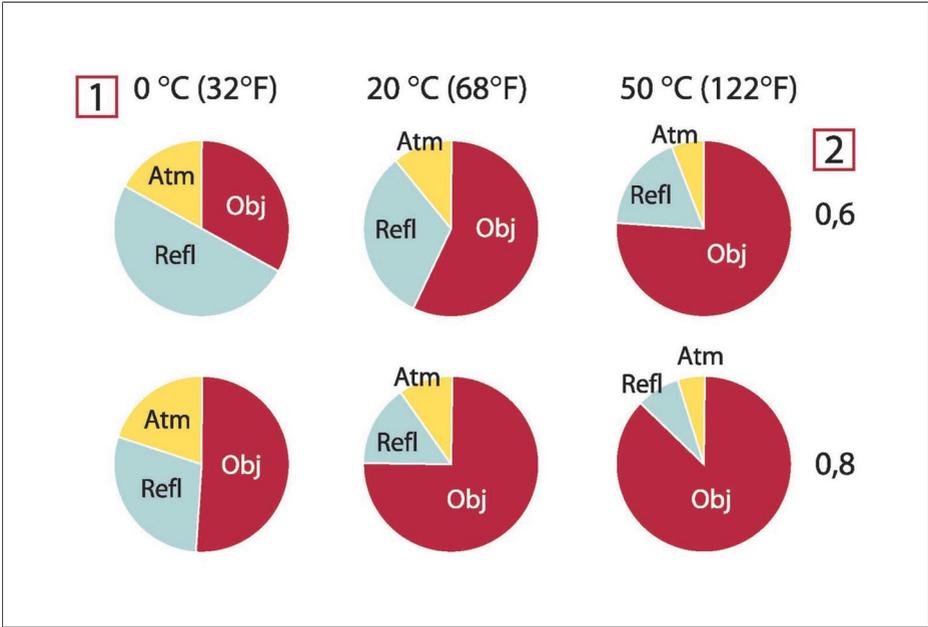


图 21.3 变化的测量条件下辐射源的相对量级 (SW 热像仪) 1:对象温度; 2:辐射率; **Obj**:对象辐射; **Refl**:反射辐射; **Atm**:大气辐射。固定参数: $\tau = 0.88$; $T_{\text{refl}} = 20^\circ\text{C}$; $T_{\text{atm}} = 20^\circ\text{C}$ 。

10400703.a2

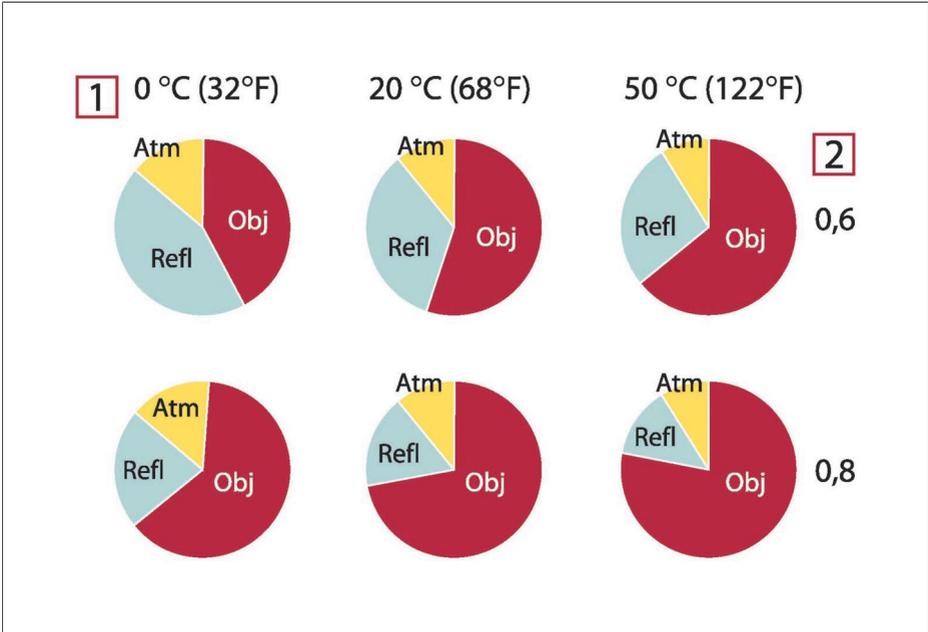


图 21.4 变化的测量条件下辐射源的相对量级 (LW 热像仪) 1:对象温度; 2:辐射率; **Obj**:对象辐射; **Refl**:反射辐射; **Atm**: 大气辐射。固定参数: $\tau = 0.88$; $T_{\text{refl}} = 20^{\circ}\text{C}$; $T_{\text{atm}} = 20^{\circ}\text{C}$ 。

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。

22.1

参考材料

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

22.2

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) 热像仪所记录。这些值应被视作推荐值并谨慎加以使用。

22.3 辐射率表

图 22.1 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 $^{\circ}\text{C}$; 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 $^{\circ}\text{C}$ 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, 哑, 成形 | 70 | LW | 0.93 | 9 |
| 塑料 | PVC, 塑胶铺面, 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, 黑色有光泽 | 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 ₂ O 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 μm | 0.28 | 3 |
| 铝 | 表面粗化 | 27 | 10 μm | 0.18 | 3 |
| 铝 | 铝箔 | 27 | 3 μm | 0.09 | 3 |
| 铝 | 铝箔 | 27 | 10 μm | 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 *eXtensible 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 b12
20236713.xml b28
20237113.xml b8
20238513.xml a7
20238713.xml a8
20250413.xml a18
20254903.xml a74
20257013.xml a24
20257113.xml a8
20257313.xml a14
20279813.xml a7
20281013.xml a3
20287313.xml a4
20287713.xml a5
20287813.xml a4
20287913.xml a1
20288013.xml a4
20288113.xml a3
20288213.xml a4
20288313.xml a2
20288413.xml a5
20288513.xml a4
20292413.xml a2
R136.rcp a2
config.xml a5



Corporate Headquarters

FLIR Systems, Inc.
27700 SW Parkway Avenue
Wilsonville, OR 97070
USA

Telephone: +1-800-727-3547
Website: <http://www.flir.com>