

HFS 热通量传感器使用手册

简介

热通量传感器可用于测量和量化通过系统表面的单位面积热能，还可测量 HVAC 系统、绝缘分析、制冷系统以及其他无数热应用中的热传递。

热通量传感器说明

HFS-5、HFS-6 和 UHFS-09 热通量传感器使用温差热电堆设计，通过传感器表面测量单位面积热能移动，也称为热通量。每个 HFS 传感器包括一个集成 T 型热电偶，可用于传感器温度测量。每个传感器各自的校准证书上都记录了其灵敏度。传感器校准程序符合 ASTM 标准 C1130 的规定，本手册的后面部分将对此进行介绍。

使用手册的内容

1	如何使用热通量传感器	
	热通量传感器使用简述	3
	测量传感器信号	3
	测量热通量电压	3
	测量热电偶电压	4
	检查 HFS 传感器的功能和故障排除	4
	传感器安装	6
	从测量面拆下传感器	6

2	将测量结果转换为热通量和温度	
	T 型热电偶温度测量	6
	HFS 热通量传感器的温度相关性	6
	计算热通量	7
	热通量传感器灵敏度测定	8

HFS 热通量传感器使用手册

3	法规合规性	
	RoHS 合规性	9
	REACH 合规性	10
	CE 合规性	11

本手册中使用的符号列表

符号的含义	符号	英制单位	公制/国际标准单位
热通量	q''	BTU/(ft ² -hr)	W/m ²
电阻	Ω	欧姆或千欧姆	
电压输出	ΔV	V 或 mV 或 μV	
热通量传感器灵敏度	S	$\mu V / \text{BTU}/(\text{ft}^2\text{-hr})$	$\mu V/(\text{W}/\text{m}^2)$
温度	T	$^{\circ} F$	$^{\circ} C$
温差	ΔT	$^{\circ} F$	$^{\circ} C$
某一温度下的热通量传感器灵敏度	$S_{@T^{\circ}C}$	$\mu V / \text{BTU}/(\text{ft}^2\text{-hr})$	$\mu V/(\text{W}/\text{m}^2)$
灵敏度倍增因素	M.F.	没有单位	
温度梯度	dT/dx	$^{\circ} F/\text{ft}$	$^{\circ} C/\text{m}$
材料厚度	δ	英尺	米
热导率	λ 或 k	$\text{BTU}/(\text{ft}^2\text{-hr})/^{\circ} F$	$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$
热阻	R''	$^{\circ} F/\text{BTU}/(\text{ft}^2\text{-hr})$	$(\text{m}^2\text{-K})/\text{W}$

单位换算系数

术语	换算方法
热通量	$1 \text{ W}/\text{m}^2 = 0.317 \text{ BTU}/\text{ft}^2\text{-hr}$
传感器灵敏度	$1 \mu V/(\text{W}/\text{m}^2) = 3.155 \mu V/(\text{BTU}/(\text{ft}^2\text{-hr}))$
	$1 \mu V/(\text{W}/\text{m}^2) = 10 \text{ mV}/(\text{W}/\text{cm}^2)$

第 1 部分：如何使用热通量传感器

以下是有关如何使用热通量传感器进行热测量的详细说明。这些使用方法通用于一般情况，还可根据测试条件进行些许修改，以便为您的应用收集最准确的测量值。

热通量传感器使用简述

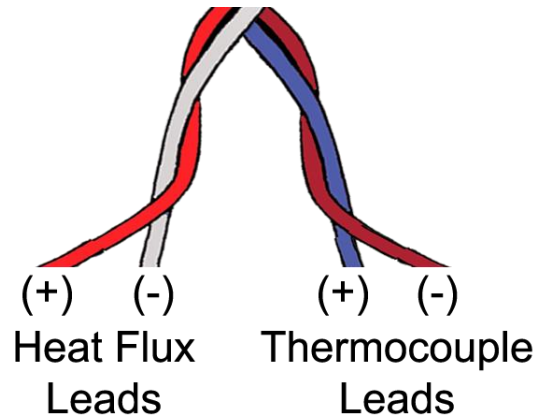
1. 通过进行简单的功能测试，确保传感器工作正常。
2. 将传感器安装到测量面。
3. 将热通量传感器导线和热电偶集成导线连接到精密电压表或精密数据采集设备。
4. 通过读取来自导线的模拟直流电压信号来收集测量值。
5. 根据传感器的温度和基于温度的函数来调节热通量传感器的灵敏度（对于 UHFS-09 传感器无需执行此步骤）。除了基于温度的函数外，每个传感器的校准证书上都记录了其灵敏度。
6. 使用调整后的灵敏度计算热通量。

$$q'' = \frac{\Delta V_{q''}}{S_{@T_{rc}}}$$

7. 如有需要，可从测量面拆下传感器，拆下时需小心，以防损坏传感器

传感器信号测量

HFS 输出的直流电压与传感器吸收的热通量成正比。同样地，用于 HFS 表面温度测量的 T 型热电偶输出的直流电压与传感器表面和电压测量位置之间的温差成比例。输出直流电压信号可使用任何精密电压表或具有微伏、 μV 、分辨率的第三方电压数据采集系统进行测量。HFS 的结构设计允许使用四根电线测量热通量和温差。



测量热通量电压

要测量由传感器吸收热通量导致的传感器输出电压， $\Delta V_{q''}$ ，请将电压测量设备的正极 (+) 端子连接到亮红色导线，将负极 (-) 端子连接到白色导线。这些导线的极性没有太大影响，因为热通量的正负取决于传感器的方向。

测量热电偶电压

热电偶集成在每个 HFS 热通量传感器中，用于测量传感器表面温度。通过测量热电偶的电压输出可获知传感器上表面的温度测量位置和电压测量位置之间的温差。需要在电压测量位置进行额外的温度测量，以确定传感器的绝对温度。此参考温度称为冷端补偿，通常内置于数据采集系统中。

将较暗的红色康铜线连接到电压测量设备的负极 (-) 端子。而电压测量设备的正极 (+) 导线应连接到蓝色铜导线。

检查 HFS 传感器的功能和故障排除

可以通过执行几种不同的简单测试来确保 HFS 工作正常。最好在安装传感器前后执行这些测试，以免意外使用在处理过程中可能已损坏的故障传感器获取不准确的测量值。

1. 检查热通量传感器的电阻:

将欧姆表连接至亮红色导线和白色导线，以检查热通量传感器的电阻。对于 HFS-5 传感器，电阻应该 $<1000 \Omega$ ；对于 HFS-6 和 UHFS-09 传感器，电阻应该 $<5 \text{ k} \Omega$ 。如果电阻比上述值大得多，则传感器可能存在问题。如果传感器导线长度超过标准的 10 英尺/3 米，那么电阻可能稍大。电阻无穷大（断路）则表示热通量传感器已损坏。

2. 检查热电偶的电阻:

将电阻欧姆表连接至较暗的红色康铜线和蓝色铜线。如果使用 10 英尺/3 米这种标准的导线长度，电阻应约为 50Ω 。使用的导线长度越长，电阻越大。电线的标准电阻为每英尺 5Ω 或每米 16Ω 。电阻无穷大（断路）则表示热电偶已损坏。

3. 检查通过传感器的热通量为零时的输出电压:

如果可能，当电压测量设备连接至热通量导线时，测量当通过传感器的绝对热通量为零时的输出热通量电压。一个简单的方法是，让传感器在放置位置保持未安装的状态，比如松散地放在桌面上。热通量输出电压的模拟直流电压读数应大约为 $0.0 \mu\text{V}$ （电噪声会导致 $\pm 5 \mu\text{V}$ 的变化）。

4. 检查通过传感器的诱发型热通量的输出电压: 大致确定 HFS 是否工作正常的一种简单方法是利用身体诱发热通量。将 HFS 传感器放在金属表面上，然后将手掌紧紧地覆盖整个传感器表面。HFS 产生的直流峰值输出电压值应约为 1.0 mV （具体值可能与该值相差 20% 以上，视情况而定）。您也可以快速翻转传感器，这样应该可以测量正负相反（正极 (+) 与负极 (-)）的类似输出直流电压信号。

5. 检查输出热电偶电压:

如果传感器和电压测量位置的温度相等，热电偶的输出电压应大约为零微伏（这种测试环境通常难以实现）。因为热电偶电阻一般足以用来进行测试，所以很少需要执行此测试。

6. 确保传感器的序列号与校准证书上的一致 您需要再次检查热通量传感器的序列号是否与校准证书上标明的序列号一致。这可以确保您使用与您的传感器对应的正确传感器灵敏度。传感器的序列号应位于导线的标签上。

传感器安装

热通量传感器的安装方式取决于它的目标应用。将传感器安装在干净光滑的表面上可获得最佳效果。安装 HFS 的总体目标是使传感器牢固地紧贴，并尽可能均匀地完全接触测量面。这可以减少测量面和传感器之间的热接触电阻，从而提高测量精确度。建议使用以下任一安装方法，但可根据测试条件进行调整。

安装方法 #1: 双面胶

市面上买到的双面胶特别适用于将传感器临时安装到固体表面。使用双面胶时，请确保测量面洁净，用双面胶覆盖所需的安装区域，然后将传感器牢固且均匀地压到胶带上。如果使用多条双面胶，请避免胶带重叠。

安装方法 #2: 导热胶

导热胶可用于永久安装 HFS。安装前，清洁测量面和传感器表面。在传感器的整个表面上均匀地涂抹薄薄的一层导热胶。连续不断地均匀按压传感器，直到导热胶变干。粘合后不要将传感器从表面上拆下，否则可能会损坏传感器。

安装方法 #3: 导热膏

导热膏的适用条件是，在传感器进行测量的过程中有连续不断的均匀压力使传感器保持在位。举例而言，一种合适的测量方案是，将传感器用于传导热传递测量时，传感器被放在两个对其进行挤压并使其固定在位的表面之间。导热膏可涂敷在传感器和每个表面之间，以最大程度地减少接触热阻。我们推荐使用 Omega 在售的 OmegaTherm 201 导热膏。或者，当没有其他产品可用时，甚至可以使用牙膏，牙膏的效果也不错。

另一种方法是在传感器和测量面之间涂抹薄薄的一层导热膏。然后，用胶带将整个传感器固定到表面上。

从测量面拆下传感器

只有在使用导热膏或双面胶等临时粘合剂进行安装的情况下，我们才建议从测量面拆下 HFS。从测量面拆下传感器，如果胶的粘合性很强，则可能粘在传感器上。

重要提示: 拆下传感器时，用一只手非常小心地拆下带导线的一侧，然后用另一只手揭下另一侧，尽可能避免传感器弯曲。传感器轻微弯曲不会影响其性能，但应避免粗暴地将其从表面上撕下，致使其过分弯曲

第 2 部分: 将测量结果转换为热通量和温度

T 型热电偶温度测量

热电偶温度测量可使用能够读取 T 型热电偶且带冷端补偿的热电偶仪表进行记录。（建议使用的仪表：Omega DP41-TC）

HFS 热通量传感器的温度相关性

HFS-5 和 HFS-6 热通量传感器的输出信号与传感器本身的温度有一定的关系。这种相关性意味着传感器的灵敏度在不同温度下会略有变化。**UHFS-09 传感器不存在温度相关性，因此如果使用这一型号的传感器，请忽略本部分。**

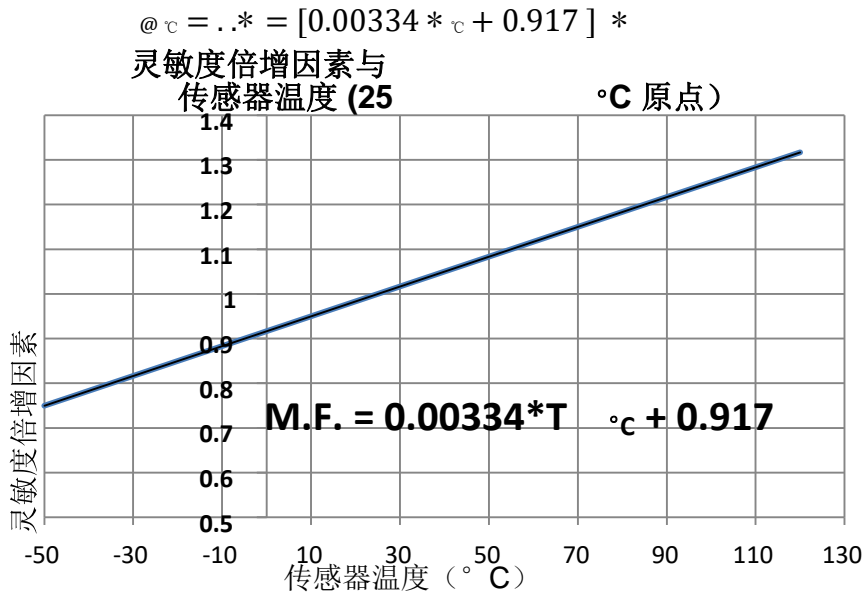
每个传感器都是在 25° C 或 77° F 的基础传感器温度下进行校准。此温度下的灵敏度记录在每个热通量传感器随附的校准表中。校准灵敏度的示例 S_{Calib} 如下方红色圆圈中所示。

如果您是在 25° C 或 77° F 以外的温度下使用热通量传感器，建议您按照以下步骤调整灵敏度，以补偿温度相关性。

Calibration Test Results

Heat Flux Sensor Sensitivity, S_{Calib}	1.00 ± 0.03 $\mu V/(W/m^2)$
Sensor Temperature at Time of Calibration, T_{Calib}	25.0 °C
Heat Flux at Time of Calibration	3000 W/m^2

在每次测量时及时获取传感器的温度测量值 T_c ，同时结合经校准的灵敏度 S_{Calib} 来确定在该特定温度下的热通量灵敏度 $S_{@T_c}$ 。



计算热通量

使用从热通量导线（白色和亮红色）测量的直流电压，以及特定传感器经调整过的灵敏度和以下方程式，可计算出热通量值。

$$q'' = \frac{\Delta V_{q''}}{S_{@T_c}}$$

其中 q'' 是通过传感器吸收的热通量； $\Delta V_{q''}$ 是 HFS 传感器输出热通量电压； $S_{@T_c}$ 是根据该特定时间下传感器温度调整后的传感器灵敏度。

例如：通过热通量导线的电压测量值为 1.80 mV，传感器的经校准灵敏度指定为 $0.90 \mu V/(W/m^2)$ ，并且在该时间点从热电偶导线处测量的传感器温度等于 $30^\circ C$ 。热通量的计算方法如下。

1. 首先，根据从传感器的集成 T 型热电偶测得的传感器温度调整灵敏度。（如果使用 UHFS-09 传感器，请忽略此步骤）。

$$S_{@T_c} = [0.00334 * T_c + 0.917] * S_{Calib}$$

$$S_{@T_c} = [0.00334 * (30^\circ C) + 0.917] * 0.90 \left(\frac{\mu V}{(W/m^2)} \right)$$

$$S_{@T_c} = 0.915 \left(\frac{\mu V}{(W/m^2)} \right)$$

2. 接下来，使用调整过的灵敏度和通过热通量导线的电压测量值来计算热通量。

$$q'' = \frac{\Delta V_{q''}}{S_{@T_c}} = \frac{1800 \mu V}{0.915 \mu V/(W/m^2)} = 1967 W/m^2$$

应注意，HFS 传感器可测量正电压和负电压。与正电压相比，负电压值仅表明热通量沿相反方向移动。

热通量传感器灵敏度测定

传感器灵敏度是由传感器引起的输出电压除以通过传感器传导的热通量得出的。

$$Sensitivity = S = \frac{\Delta V}{q_{absorbed}}$$

使用定制的校准设备、测得的温差和标准参考材料的已知热阻可以计算出热通量。

传感器的灵敏度可通过将传感器的输出电压除以热通量得出。

$$q'' = \frac{\Delta T}{R''_{SRM}} = \frac{\Delta V_{q''}}{S_{@T_c}}$$

$$S_{@T_c} = \frac{\Delta V}{q''}$$

然后，可以根据温度相应地调节灵敏度。

$$S_{@T_c} = [0.00334 * T_c + 0.917] * S_{Calib}$$

其中 T_c 是传感器的温度（单位为摄氏度）， S_{Calib} 是上表中提供的经校准的传感器灵敏度。

第 4 部分：法规合规性

RoHS3 合规声明

欧洲议会和理事会于 2015 年 6 月 4 日颁布的
关于在电气和电子设备中限制使用某些有害物质的指令 (EU) 2015/863。

指令 2015/863 规定了十 (10) 种使用受限的物质。下面列出了每种物质按重量计算的最大限制比例。

物质	最大限制比例 ¹
铅 (Pb)	0.1% ²
汞 (Hg)	0.1%
镉 (Cd)	0.01%
六价铬 (Cr VI)	0.1%
多溴联苯 (PBB)	0.1%
多溴二苯醚 (PBDE)	0.1%
邻苯二甲酸二(2-乙基己)酯 (DEHP)	0.1%
邻苯二甲酸丁苄酯 (BBP)	0.1%
邻苯二甲酸二丁酯 (DBP)	0.1%
邻苯二甲酸二异丁酯 (DIBP)	0.1%

¹均质材料中的受限物质和最大限制比例值（按重量计）

²豁免情况 6(a) 铅作为一种合金元素在用于机械加工的钢和镀锌钢中的含量不得超过 0.35%（按重量计）；豁免情况 6(b) 铅作为一种合金元素在铝合金中的含量不得超过 0.4%（按重量计）；豁免情况 6(c) 铅作为一种合金元素在铜合金中的含量不得超过 4%（按重量计）；豁免情况 7(c)-I 包覆在玻璃或陶瓷（电容器中的介电陶瓷除外）中的含铅电子电气器件，例如：压电元件或者包覆在玻璃或陶瓷复合材料中的器件。

所有 HFS-5、HFS-6 和 UHFS-09 热通量传感器产品均符合以下 RoHS3 标准：

RoHS3 状态： 合规

根据生产商（制造商）提供的部件号符合 RoHS 指令这一证据来指定任何产品的 RoHS 合规性。已采取所有合理措施确认生产商的声明和其他有关不存在受限物质的证明来支持制造商的合规声明。基于对制造记录和技术信息的审查，据我们所知，本产品不包含任何超出上述数量限制的受限物质。

审批人： Rande Cherry 日期： 6/1/2019

REACH 合规声明

欧洲议会和理事会于 2006 年 12 月 18 日颁布的关于化学品注册、评估、授权和限制 (REACH) 的指令 EC 1907/2006, 建立了欧洲化学品管理局, 修改了指令 1999/45/EC 并废除了理事会指令 (EEC) No 793/93 和委员会法规 (EC) No 1488/94, 以及理事会指令 76/769/EEC 和委员会指令 91/155/EEC、93/67/EEC、93/105/EC 和 2000/21/EC。

该指令规定了使用受限的物质。可访问以下网站查看 REACH 高度关注物质 (SVHC) 候选清单:

http://echa.europa.eu/chem_data/authorisation_process/candidate_list_table_en.asp

所有 HFS-5、HFS-6 和 UHFS-09 热通量传感器产品都符合以下 REACH 标准。

REACH 状态: 合规

根据生产商 (制造商) 提供的部件号符合 REACH 指令这一证据来指定任何产品的 REACH 合规性。已采取所有合理措施确认生产商的声明和其他有关不存在受限物质的证明来支持制造商的合规声明。基于对制造记录和技术信息的审查, 据我们所知, 本产品不包含任何超出上述数量限制的受限物质。

审批人: Rande Cherry 日期: 7/19/2019

欧盟符合性声明

公司名称: Omega Engineering Inc.

地址: 800 Connecticut Ave, Suite 5N01, Norwalk, CT 06854

电话号码: 1-888-826-6342

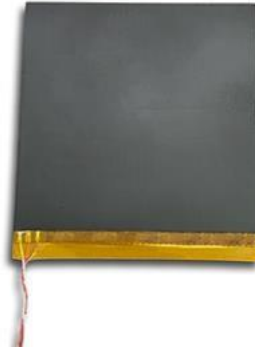
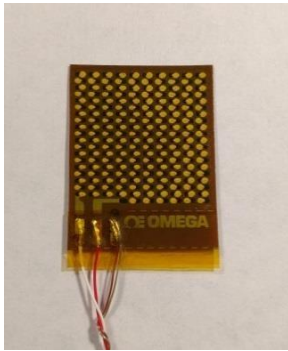
电子邮件地址: info@omega.com

我们声明, 该符合性声明由我们全权负责发布, 并属于以下产品:

声明对象



产品型号：HFS-5、HFS-6 和 UHFS-09



上述声明对象符合相关的欧盟协调法规：

指令 2014/32/EU

已应用以下协调标准和技术规格：

RoHS 2015/863	26月4日 0
EN50581:2012	211月 1日 0

代表签名：

Omega
Engineering Inc.

2019-07-18

首席技术官 Rande Cherry