



Hukseflux China

Thermal Sensors

用户手册 FHF05系列

带散热器的箔式热通量传感器, 5种不同的尺寸和灵敏度 (带温度传感器)



目录

符号列表.....	3
介绍.....	4
1 订货和交货的检查.....	7
1.1 订购 FHF05 系列	7
1.2 包含的物品	7
1.3 仪器的检查	8
2 仪器原理和理论.....	9
3 FHF05 系列规格.....	11
3.1 FHF05 系列规格	11
3.2 FHF05 系列尺寸	14
4 标准和推荐使用做法.....	16
5 FHF05 系列的安装.....	17
5.1 关于安装	17
5.2 安装在曲面上	18
5.3 电气连接	19
5.4 数据采集器的要求和适配采集器型号	21
6 维护和故障排除.....	22
6.1 维护和校准	22
6.2 疑难解答	23
7 附录.....	24
7.1 FHF05 系列可与 BLK-GLD 贴片一起使用	24
7.2 不同温度测量范围	25
7.3 温度测量精度附录	26
7.4 欧盟声明	28

符号列表

Quantities

热通量
电压输出
灵敏度
温度
单位面积热阻

subscripts

散热器属性
最大值, 下限

Symbol

Φ
U
S
T
 $R_{\text{thermal,A}}$

Unit

W/m^2
V
 $\text{V}/(\text{W/m}^2)$
 $^{\circ}\text{C}$
 $\text{K}/(\text{W/m}^2)$

散热器
最高的

介绍

FHF05系列是通用热通量测量的最新标准型号。模型有五个规格和灵敏度。FHF05系列明显更薄、更灵活，取代了早期型号FHF01至FHF04。所有FHF05型号都非常通用：它们具有集成的温度传感器和散热器，以减少对热导率的依赖性。它适用于-70至+120°C的温度范围。FHF05系列是测量传导率、辐射率和对流的热通量。每个传感器型号都可以配备黑色BLK和金色GLD贴片，以分别确定辐射和对流的热传输。

所有FHF05系列都以W/m²为单位测量物体的热通量。其内部的传感器是一个热电堆。这个热电堆可以测量FHF05柔性机身上的温差，还集成了一个T型热电偶。热电堆和热电偶是无源传感器，它们不需要电力。多个小型导热片，形成覆盖在传感器上的导电层，有助于降低测量对导热系数的依赖。这样的好处就是减少了由于周围环境造成的测量误差，也便于安装（FHF05系列的灵敏度与环境无关），许多竞争对手的传感器其实并没有散热器。

想要寻找热流和温度测量加热器吗？请参阅我们的FHF05SC系列热流密度传感器。



图01：带散热器的FHF05-50X50型箔式热通量传感器 特点：薄、柔韧、通用

使用FHF05系列其实很容易。它可以直接连接到常用的数据记录系统。以W/m²为单位的热通量是通过将传感器输出(小电压)除以灵敏度来计算的。灵敏度在FHF05系列产品证书上有提供。

所有FHF05都具有独特的功能和优点：

柔性(弯曲半径 $\geq 7.5 \times 10^{-3}\text{m}$)

低热阻

温度范围广

快速响应时间

防护面积广

集成式散热器，导热系数低

一体式T型热电偶

坚固耐用，包括电缆和密封连接块，可用于传感器和电缆之间损耗的减少
IP防护等级:IP67(户外应用必不可少)
FHF05系列配置了一个保护性的密封连接块，起到消除应力的作用，使水分不会渗透，经证明非常坚固和稳定。



图02 FHF05-15X85型箔式热通量传感器，用于测量管道上的热通量。

FHF05系列具有可追溯到国际标准的校准。工厂校准方法遵循ASTM C1130 - 21的推荐做法。当在与校准参考条件不同的条件下使用时，FHF05系列对热通量的灵敏度可能与其证书上所述的不同。有关最佳实践，请参阅本手册的第2章。

您想详细研究能量输运/热通量吗?Hukseflux帮助您将这种测量提升到一个新的水平:订购FHF05系列，可选配吸收辐射的黑色BLK和反射辐射的金色GLD贴片。可以根据公式获得您想要的参数:

$$\Phi_{\text{radiative}} + \Phi_{\text{convective}} = \Phi_{\text{total}} = \Phi_{\text{BLK}}$$

$$\Phi_{\text{convective}} = \Phi_{\text{GLD}}$$

$$\Phi_{\text{radiative}} = \Phi_{\text{BLK}} - \Phi_{\text{GLD}}$$

它们可以由用户应用到传感器上，也可以在工厂订购应用;请参阅《BLK-GLD_sticker_series_manual》和安装视频。每个传感器型号都有贴片。



图03 FHF05-50X50型热流密度传感器 带有BLK-50X50和GLD-50X50贴片。

1 订货和交货的检查

1.1 订购 FHF05 系列

FHF05系列的标准配置为FHF05-50*05-02,型号为50x50, 电缆长度为2米, 常见选项有:

- FHF05-10X10型
- FHF05-15X30
- FHF05-15X85
- FHF05-85X85
- 不带接线, 不带接线模块
- 电缆长度为2米、5米或10米
- 带有LI-19C手持式记录器; 注: 多通道可定制 (可3通道, 同时显示热通量和温度)
- 对于 HTR02 系列, 箔片加热器的性能校准与验证
- BLK黑色贴片 (用于测量辐射和对流热通量)
- GLD金色贴片 (仅用于测量对流热通量)
- BLK-GLD贴片系列也可以预先订购

1.2 包含的物品

产品到达客户手中, 交付应包括:

- 热通量传感器 FHF05, 和线缆
- 与仪器序列号匹配的产品证书



图1.2.1 型号FHF05-50X50, 序列号和灵敏度显示在电缆末端

1.3 仪器的检查

通过将仪器连接到万用表，可以对仪器进行快速测试。

1. 对照传感器会有一张产品证书，检查FHF05电缆末端标签上的传感器序列号和灵敏度。
2. 检查仪器是否有损坏
3. 检查传感器在红[+]和黑[-]线之间的电阻。使用1k Ω 范围的万用表进行测量。先用指针测量传感器电阻，然后反转极性，取平均值。典型接线的电阻为0.3 Ω /m。电阻应该是表3.1.1中提到的传感器电阻加上每米两根导线（前进和返回）总共0.6 Ω 的电阻。无限大的电阻表示断路；零或低于1 Ω 的电阻表示短路。
4. 检查棕色[+]和白色[-]导线之间的热电偶电阻。将万用表调到100 Ω 范围首先测量一个极性的热电偶电阻，然后反转极性。取平均值。铜线的典型电阻为0.3 Ω /m、对于康铜布线，这是6.5 Ω /m.典型电阻应为标称热电偶电阻2.5 Ω 加6.8 Ω 每米两根电线的总电阻（来回）。无穷大的电阻表示电路断路；零或小于1 Ω 电阻表示短路。
5. 检查传感器是否对热量有反应：将万用表置于直流电压测量的最灵敏范围，通常为100 x 10⁻³ VDC或更低的范围。将传感器暴露在高温下。将背面（没有圆点的一侧）暴露在高温下，应在红[+]线和黑[-]线之间产生正信号。在正面（带点的一侧）执行相同操作，将反转输出的符号。

2 仪器原理和理论

使用FHF05系列非常简单。对于读数，用户只需要一个工作在毫伏范围内的精确电压表。为了将测量的电压 U 转换为热通量 Φ ，必须将电压除以灵敏度 S ，灵敏度 S 是每个单独传感器提供的参数。

$$\Phi = U/S$$

(Formula 2.1.1)⁴

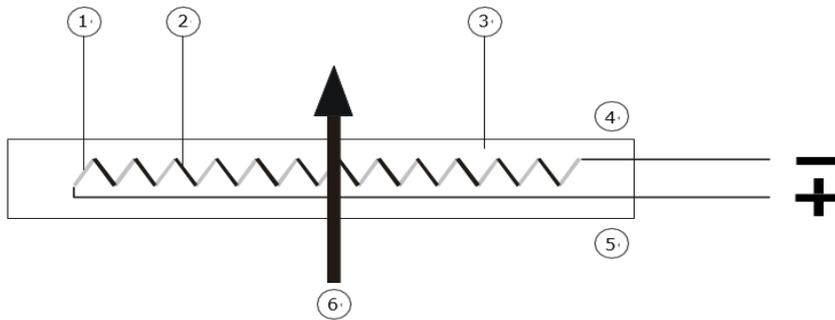


图 2.1 热通量传感器的一般工作原理。

FHF05系列内部的传感器是热电堆。热电堆由多个热电偶组成，每个热电偶由两个串联的金属合金（标记为 1 和 2）组成。单个热电偶产生的输出电压与其热接头和冷接头之间的温差成正比。将热电偶串联可放大信号。在热通量传感器中，热接头和冷接头位于相反的传感器表面（4 和 5）。在稳态下，热通量（6）是传感器两端温差与传感器本体平均热导率（3）的线性函数。热电堆产生与通过传感器的热通量成正比的电压输出。传感器的确切灵敏度由制造商通过校准确定，可以在每个传感器随附的产品证书上找到。



图2.2 FHF05系列的独特功能包括灵活性、柔韧性（弯曲半径 $\geq 7.5 \times 10^{-3} \text{ m}$ ）、低热阻、温度范围广、响应快速、IP67防护等级（对于户外应用至关重要），内置散热器以减少对热导率的依赖性。

3 FHF05系列规格

3.1 FHF05系列规格

FHF05系列规格	
传感器类型	箔式热通量传感器
符合ASTM标准的传感器类型	热流传感器或热通量传感器
测量对象	热流
以 SI为单位表示的测量值	热通量密度 (W/m ²)
测量范围	(-10 至 +10) × 10 ³ W/m ² , 散热器温度 20 °C 时, 详细计算见附录
每个尺寸的灵敏度 (常规)	
型号: FHF05-10X10	1 × 10 ⁻⁶ V/ (W/M ²)
型号: FHF05-15X30	3 × 10 ⁻⁶ V/ (W/M ²)
型号: FHF05-50X50	13 × 10 ⁻⁶ V/ (W/M ²)
型号: FHF05-15X85	7 × 10 ⁻⁶ V/ (W/M ²)
型号: FHF05-85X85	50 × 10 ⁻⁶ V/ (W/M ²)
方向灵敏度	从背面到正面 (带点的一侧) 的热通量产生正电压输出信号
不确定度	< 2 %
灵敏度提高	多个传感器可以电气串联。由此产生的灵敏度是各个传感器灵敏度的总和
预期电压输出	(-100 至 +100) × 10 ⁻³ V 将传感器从一侧翻转到另一侧将导致传感器电压输出反转
公式	$\Phi = U/S$
所需读数	1 个差分电压通道或 1 个单端电压通道, 输入电阻 > 10 ⁶ Ω
可选读数	1 个温度通道
电线额定负载	≤ 1.6 kg
额定弯曲半径	≥ 7.5 × 10 ⁻³ 米
额定温度范围, 连续使用	-70 至 +120 °C
额定温度范围, 短间隔	-160 至 +150 °C (在 -160 °C 下测量时联系 Hukseflux)
温度依赖性	< 0.2 %/°C
非线性	< 5 % (0 至 10 × 10 ³ W/m ²)
太阳吸收系数	0.75 (仅供参考)
导热系数依赖性	可忽略不计, < 270 至 0.3 W/m·K 时为 3 %/ (W/m·k)
传感器长度和宽度	
型号: FHF05-10X10	(10 × 10) × 10 ⁻³ 米
型号: FHF05-15X30	(15 × 30) × 10 ⁻³ 米
型号: FHF05-50X50	(50 × 50) × 10 ⁻³ 米
型号: FHF05-15X85	(15 × 85) × 10 ⁻³ 米
型号: FHF05-85X85	(85 × 85) × 10 ⁻³ 米

表 3.1.1 FHF05 系列的规格 (续上页)。

感应区域	
型号: FHF05-10X10	$0.64 \times 10^{-4} \text{ 米}^2$
型号: FHF05-15X30	$2.70 \times 10^{-4} \text{ 米}^2$
型号: FHF05-50X50	$12.96 \times 10^{-4} \text{ 米}^2$
型号: FHF05-15X85	$7.10 \times 10^{-4} \text{ 米}^2$
型号: FHF05-85X85	$49.70 \times 10^{-4} \text{ 米}^2$
感应区域长度和宽度	
型号: FHF05-10X10	$(8 \times 8) \times 10^{-3} \text{ 米}$
型号: FHF05-15X30	$(10 \times 27) \times 10^{-3} \text{ 米}$
型号: FHF05-50X50	$(36 \times 36) \times 10^{-3} \text{ 米}$
型号: FHF05-15X85	$(10 \times 71) \times 10^{-3} \text{ 米}$
型号: FHF05-85X85	$(70 \times 71) \times 10^{-3} \text{ 米}$
被动防护区	
型号: FHF05-10X10	$0.36 \times 10^{-4} \text{ 米}^2$
型号: FHF05-15X30	$2.25 \times 10^{-4} \text{ 米}^2$
型号: FHF05-50X50	$12.04 \times 10^{-4} \text{ 米}^2$
型号: FHF05-15X85	$5.65 \times 10^{-4} \text{ 米}^2$
型号: FHF05-85X85	$22.55 \times 10^{-4} \text{ 米}^2$
防护罩宽度与厚度之比	
型号: FHF05-10X10	2.5
型号: FHF05-15X30	6.25
型号: FHF05-50X50	17.5
型号: FHF05-15X85	6.25
型号: FHF05-85X85	18.75
传感器厚度	$0.4 \times 10^{-3} \text{ 米}$
传感器热阻	$11 \times 10^{-4} \text{ K/ (W/米}^2)$
传感器导热系数	$0.36 \text{ W/ (M}\cdot\text{K)}$
响应时间 (95 %)	3 秒
每个尺寸的传感器电阻范围	
型号: FHF05-10X10	5 - 30 Ω
型号: FHF05-15X30	50 - 90 Ω
型号: FHF05-50X50	200 - 300 Ω
型号: FHF05-15X85	100 - 180 Ω
型号: FHF05-85X85	800 - 1300 Ω
所需的传感器功率	零点 (无源传感器)
温度传感器	T型热电偶
温度传感器精度	$\pm 5\%$ (温度, 单位为 $^{\circ}\text{C}$)
标准线长	2 米
可选线长	0米、5米 或 10米
布线	3 x 铜线和 1 x 康铜线, AWG 28, 实心芯, 与 MFA 护套捆绑在一起
电缆直径	$2 \times 10^{-3} \text{ 米}$
标记	箔片上的点表示热通量传感器的正面;FHF05 电缆末端有 1 个标签, 显示序列号和灵敏度
IP 防护等级	IP67防护等级
额定工作相对湿度范围	0 至 100 %
在水下使用	FHF05不适合在水下连续使用
毛重 (包括 2m 电线)	约 0.5 kg
净重 (包括 2m 电线)	约 0.5 kg

安装与使用	
典型使用条件	在实验中，在实验室和工业环境中的测量中。暴露在热通量下几分钟到几年。连接到用户提供的数据采集设备。定期检查传感器。持续监测传感器温度。无特殊要求抗扰度、排放、耐化学性。
推荐的传感器数量	每个测量位置 2 个
安装	有关安装的建议，请参阅第 5 章
弯曲	参见第 5.2 节关于在曲面上安装的信息
电缆延长线	标配2米，也可订购电缆长度更长的传感器
传感器贴片安装	参见附录 7.1 关于安装 FHF05 不带接线、不带连接块
校准	
校准可追溯性	至 SI 单位
产品证书	显示校准结果和可追溯性
校准方法	HFPC方法，根据ASTM C1130 - 21
校准层次结构	从国际单位制到国际标准，再到内部程序
校准不确定度	$< \pm 5\%$ ($k = 2$)
建议的重新校准间隔	2年
校准参考条件	20°C，热通量为300（型号-15X85和-85X85）或600（型号-10X10、-15X30和50X50）W/m ² ，安装在铝制散热器上，周围环境的热导率为 0.0 W/ (m·K)
校准的有效性	根据经验，仪器的灵敏度在储存过程中不会发生变化。在使用过程中，仪器“不稳定”规范适用。当在不同于校准参考条件的条件下使用时，FHF05 对热通量的敏感性可能与其证书上所述的不同。
现场校准	通过与校准参考传感器相比，是可行的。通常并排安装，交替安装在现场传感器的顶部。这最好是相同型号和品牌的传感器。具有代表性的测试持续时间 > 24 小时
测量精度	
测量不确定度	关于整体测量不确定度的陈述只能根据个人情况进行。
版本/选项	
电缆长度	可定制电缆长度（以米为单位）
黑色贴片	BLK贴片可由用户自行购买，贴在传感器上 以吸收辐射
金色贴片	GLD贴片可由用户自行购买，贴在传感器上 以反射辐射
辅料	
手持式读出装置	LI-19手持式记录仪（还有 LI-19C 多通道，可定制）
独立铝箔加热器	HTR02 通用加热器，可用于测试和校准目的
单独的黑色贴片	BLK贴片吸收辐射，由用户粘贴
单独的金色贴片	GLD贴片反射辐射，由用户粘贴

3.2 FHF05系列尺寸

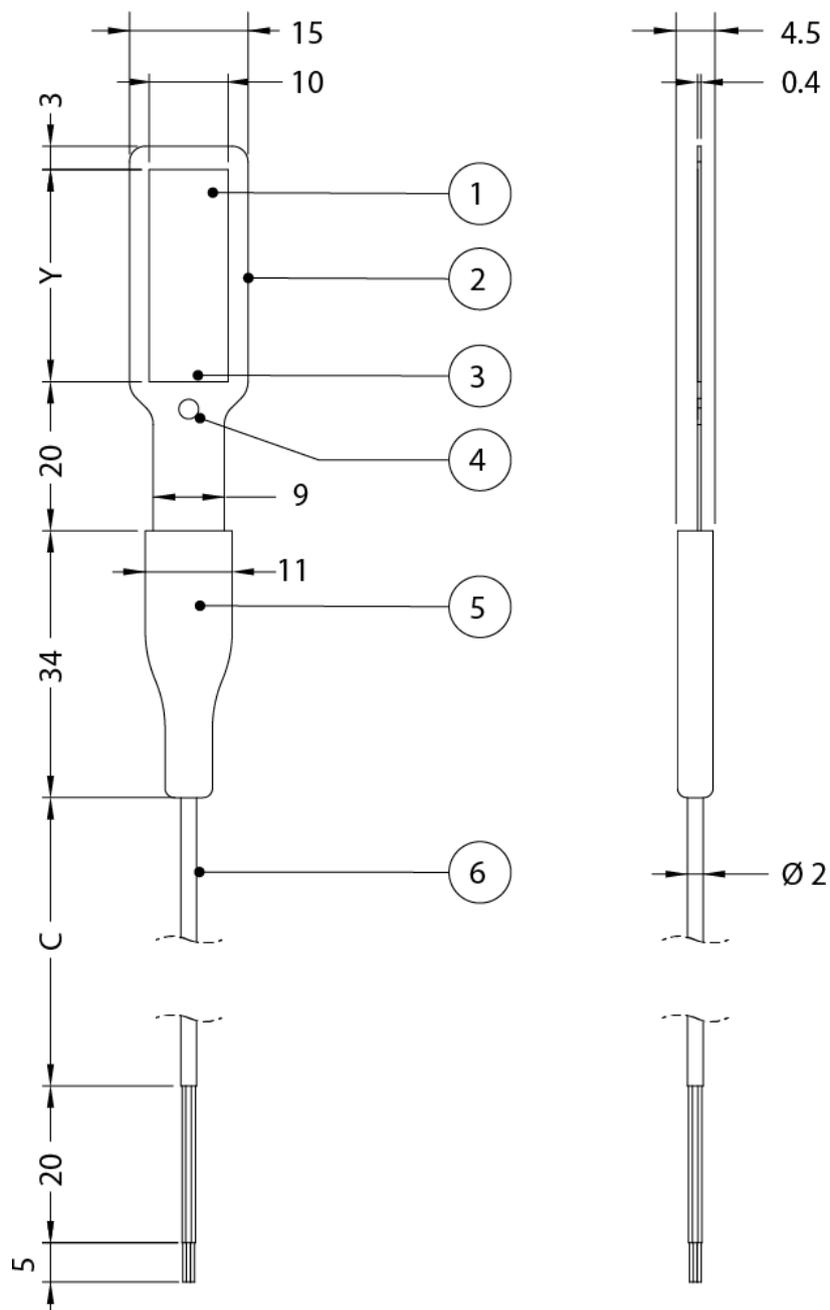


图 3.2.1 型号 FHF05 15X30 和 15X85; $Y = 27$ 或 71 , 尺寸 x

10^{-3} m

- (一) 带导热器的感应区域
- (二) 被动防护
- (三) T型热电偶
- (四) 圆点表示正面
- (五) 用于消除应力的连接块
- (六) 电缆, 标准长度 $C = 2 \text{ m}$

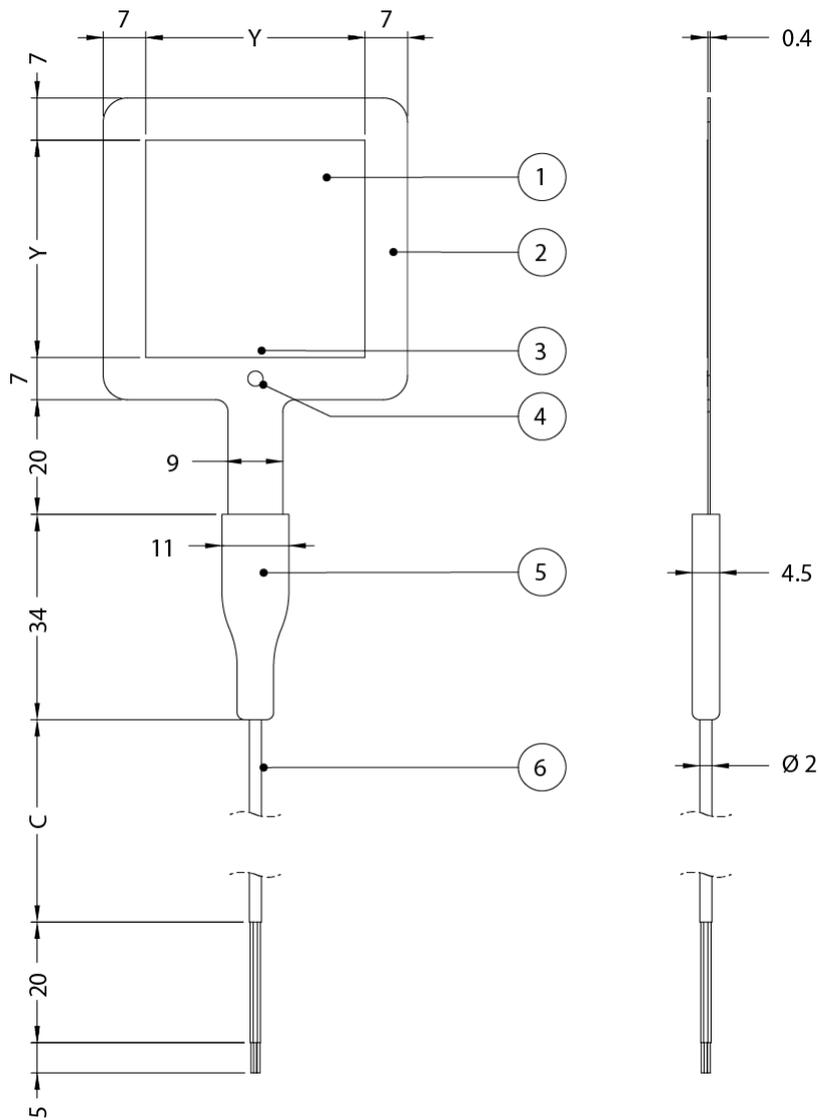


图 3.2.2 型号 FHF05 10X10、50X50 和 85X85 热通量传感器;Y = 8、36 或 70, 尺寸x 10⁻³ m

- (一) 带导热器的感应区域
- (二) 被动防护
- (三) T型热电偶
- (四) 圆点表示正面
- (五) 用于消除应力的连接块
- (六) 电缆, 标准长度 C = 2 m

4 标准的使用方法

FHF05 系列传感器通常用于测量工业墙壁和金属表面。通常，整个测量系统由多个热通量和温度传感器组成。在许多情况下，热通量传感器用于趋向监测。



图 4.1.1 安装在工业管道上测量的 FHF05-85X85 型箔热通量传感器示例。将传感器安装在曲面上。

5 FHF05系列的安装

5.1 关于安装

5.1.1 安装环境：

选择一个有代表性的位置，如果可能的话，避免暴露在阳光、雨水等环境中。不要暴露在气流和横向热通量中，不要安装在热桥、裂缝、加热或冷却设备和风扇附近。

5.1.2 安装注意事项：

安装 FHF05 时，请记住灵敏度方向，从背面到正面（带点的一侧）的热通量产生正电压输出信号。为了实现最高精度的温度测量，请将连接块固定在需要测量的物体上，使连接块的温度尽可能接近热通量传感器的温度。

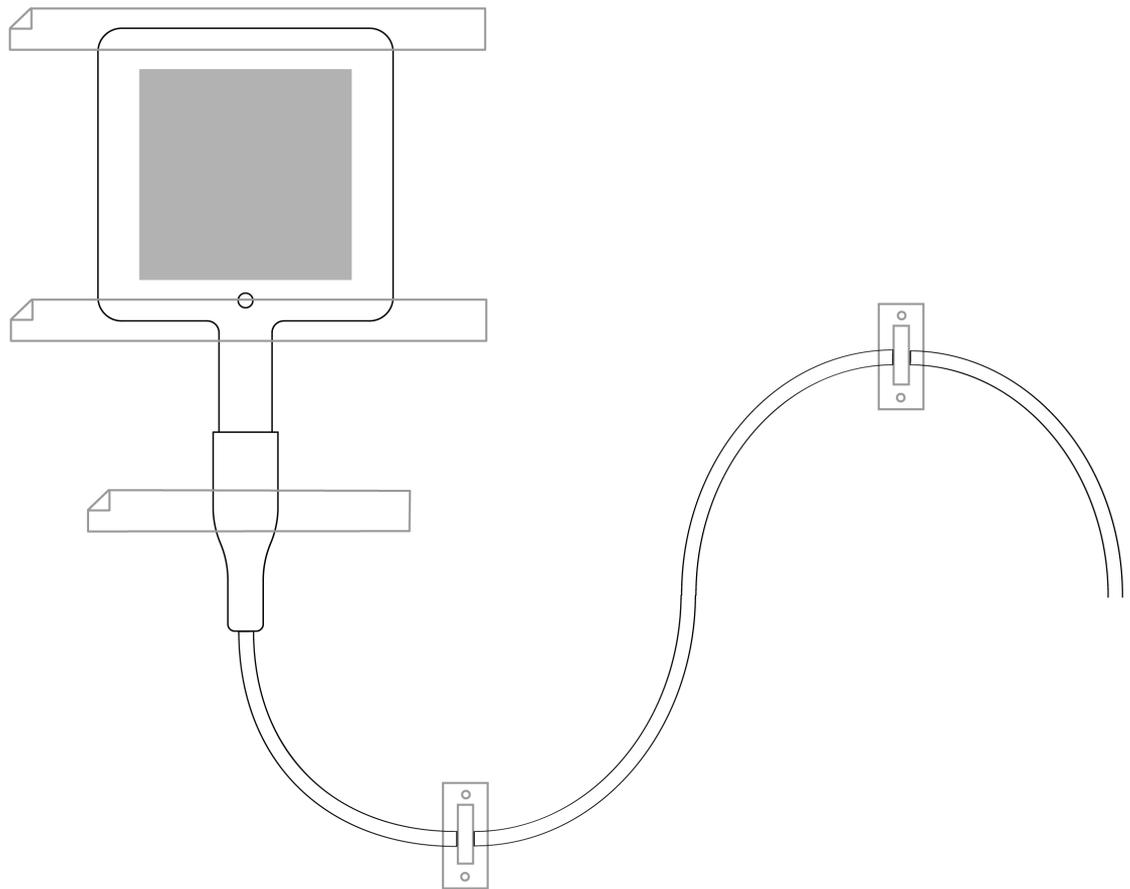


图 5.1.1 FHF05-50X50 型号的安装时，可以使用胶带固定传感器和连接块。

使用配备双面胶带作为粘合剂的电缆扎带安装座，可在电缆上提供额外的应力消除。如图 5.1.1 所示，固定传感器的胶带最好贴在没有源防护区域上，而不是贴在感应区域上（后者在图 5.1.1 中以灰色阴影表示）。请注意，该点在此图像中可见；这表明我们正在查看正面，而另一侧（背面）附着在安装传感器的物体上

5.1.3 安装建议：

为避免气隙，我们建议在短期内安装导热膏或甘油。使用胶带将传感器固定在表面上。如果可能，仅将胶带贴在被动防护区域（感应区域周围）上。对于长期安装，用有机硅建筑密封胶、有机硅胶或有机硅粘合剂填充传感器和物体之间的空间。我们

不鼓励使用导热膏进行永久安装，因为它容易变干，而硅胶更稳定可靠。

5.2 安装在曲面上

FHF05 系列的灵活性使其非常适合安装在单曲面上。传感器可以任意弯曲



图 5.2.1 FHF05-50X50 型箔热通量传感器的弯曲（弯曲半径： $\geq 7.5 \times 10^{-3}$ 米），这张图是安装在管道上的。

在曲面上测量时，适用与上一章相同的建议，只是建议使用导热膏而不是甘油。对于曲面上的安装，通常无法仅将胶带固定在被动防护区域上。使用足够的胶带以确保传感器保持固定并与曲面保持良好的热接触。避免气隙。必要时，可在感应区域上使用胶带。

5.3 连接

5.3.1 正常连接

热通量传感器应连接到测量系统，通常是所谓的数据记录器。所有FHF05 型号均为无源传感器，无需任何电源。电线可能通过拾取电容噪声来充当失真源。我们建议保持数据记录器或放大器与传感器之间的距离尽可能短，并使信号线彼此靠近。

表 5.3.1.1 FHF05 系列的电连接。

线		测量系统
红	热信号流 [+]	电压输入 [+]
黑	热通量信号 [-]	电压输入 [-]
棕色	热电偶类型 T [+]	热电偶输入 [+]
白	热电偶类型 T [-]	热电偶输入 [-]

传感器序列号和灵敏度显示在 FHF05 系列产品证书和 FHF05 电缆的末端。

5.3.2提高灵敏度，串联多个传感器

多个传感器可以串联连接。由此产生的灵敏度是各个传感器灵敏度的总和。计算公式详见下方表5.3.2.1。如果需要，可以将两个以上的传感器串联在一起，再次提高灵敏度。

$$\Phi = U / (S_1 + S_2) \quad (\text{公式 } 5.3.2.1)$$

和

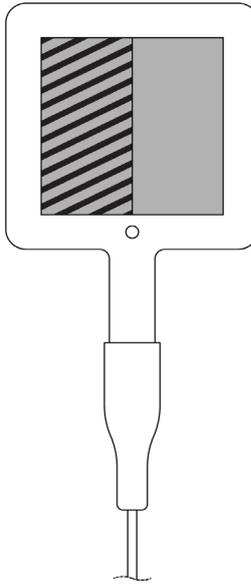
$$U = U_1 + U_2 \quad (\text{公式 } 5.3.2.2)$$

表 5.3.2.1 两个 FHF05 系列型号 1 和 2 串联的电气连接。在这种情况下，灵敏度是各个传感器的两个灵敏度的总和。可以以类似的方式添加更多传感器。

传感器	线		测量系统
1	红	信号 1 [+]	电压输入 [+]
1	黑	信号 1 [-]	连接到信号 2 [+]
1	棕色	热电偶类型 T [+]	
1	白	热电偶类型 T [-]	
2	红	信号 2 [+]	连接到信号 1 [+]
2	黑	信号 2 [-]	电压输入 [-] 或接地
2	棕色	热电偶类型 T [+]	
2	白	T型热电偶 [-]	

各个传感器的序列号和灵敏度显示在 FHF05 系列产品证书和 FHF05 电缆的末端。

5.3.3 读取一半的信号连接



如左图所示：FHF05系列可仅读取通过感应区域左半部分的热通量或通过感应区域右半部分的热通量。如果传感器安装正确，则左侧和右侧将产生恒定百分比的信号。

FHF05-50X50, 左半部分用斜线表示

表 5.3.3.1 FHF05 系列用于 100% 信号的电气连接。

线		测量系统
红	热信号流 [+]	电压输入 [+]
黑	热通量信号 [-]	电压输入 [-] 或接地
棕色	热电偶类型 T [+]	
白	热电偶类型 T [-]	

表 5.3.3.2 FHF05 系列左 50% 信号的电气连接。

线		测量系统
红	热信号流 [+]	电压输入 [+]
黑	热通量信号 [-]	
棕色	热电偶类型 T [+]	电压输入 [-] 或接地
白	热电偶类型 T [-]	

表 5.3.3.3 FHF05 系列用于右 50% 信号的电气连接。

线		测量系统
红	热信号流 [+]	
黑	热通量信号 [-]	电压输入 [-] 或接地
棕色	热电偶类型 T [+]	电压输入 [+]
白	热电偶类型 T [-]	

5.4 数据采集器的要求和适配采集器型号

表 5.4.1 标准配置中 FHF05 系列数据采集和放大的设备要求。

能够测量小电压信号	优选: $< 5 \times 10^{-6} \text{ V}$ 不确定度 最低要求: $20 \times 10^{-6} \text{ V}$ 不确定度 (适用于采集/放大设备的整个预期温度范围)
数据记录仪或软件的功能	存储数据, 并按灵敏度进行除法以计算热通量。 $\Phi = U/S$
能够测量T型热电偶	优选: $< \pm 3^\circ\text{C}$ 不确定度
数据采集输入电阻	$> 1 \times 10^6 \Omega$
开路检测 (WARNING)	不应使用开路检测, 除非与正常测量分开进行, 其响应时间是传感器响应时间的 5 倍以上, 并且电流很小。热电堆传感器对开路检测期间使用的电流很敏感。电流将产生热量, 该热量被测量并显示为临时偏移。

表 5.4.2 适配的采集器选择指导。

Huksail	LC-19	
Campbell	CR1000X	
Campbell	<i>dataTaker</i>	
Hioki	LR8515	
Hioki	LR8432	

6 维护和故障排除

6.1 维护和校准

表 6.1.1 FHF05 系列的维护。如果可能的话，每天进行数据分析

建议的最低限度的 热通量传感器维护			
	间隔	主题	行动
1	1周	数据分析	将测量数据与最大可能或最大预期热通量以及其他测量值(例如来自冗余仪器的测量值)进行比较。寻找任何偏离正常或预期的数值。
2	6个月	检查	检查传感器的磨损情况、电缆和电线质量、检查安装、检查安装位置
3	2年	重新校准	通过与现场校准标准仪器进行比较，进行重新校准 由传感器制造商重新校准
4	2年	寿命评估	判断仪器是否可再使用2年，或者是否应该更换

6.2 疑难解答

表 6.2.1 FHF05 系列故障排除。

常规	<p>检查传感器是否有任何损坏。检查安装是否牢固。检查电线是否正确连接到数据记录器。</p> <p>检查电缆和电线的状况。</p> <p>检查数据记录器程序，特别是是否输入了正确的灵敏度。FHF05 系列灵敏度和序列号显示在产品证书和 FHF05 电缆的末尾。</p> <p>检查黑色 [-] 和红色 [+] 线之间的传感器电阻。有关每个尺寸的灵敏度，请参阅规格表 3.1。先用一个极性测量传感器电阻，然后反转极性，取平均值。接线的典型电阻为 0.3 Ω/m。典型电阻应为表 3.1 中规定的标称传感器电阻加上 0.6Ω，即每m的两条导线(来回)的总电阻。无限电阻表示电路断开;零或低于 1 Ω电阻表示短路。</p>
传感器不发出任何信号	<p>检查传感器是否对热有反应:将万用表置于其最灵敏的DC电压测量范围，通常为100×10^{-3} VDC 范围或更低。将传感器暴露在高温下。将背面(无圆点的一面)暴露在高温下，会在红色[+]和黑色[-]导线之间产生一个正信号，正面(有圆点的一面)也是如此，输出的符号会反转。</p> <p>通过用备用单元更换传感器来检查数据采集。</p>
传感器信号过高或过低	<p>检查电线状况。</p> <p>通过在1×10^{-6} V 范围，查看测量结果。检查它是否符合预期。用 10 Ω电阻器将数据采集输入短路，以检查数据采集。查看输出。检查输出是否接近 0 W/m²。</p>
传感器信号出现意外变化	<p>检查是否存在强电磁辐射源（雷达、无线电）。</p> <p>检查传感器电线的状况。</p> <p>检查测量过程中电线是否没有移动。</p>
温度测量显示不切实际的值	<p>检查数据记录器程序中是否选择了T型热电偶。检查程序中是否选择了正确的参考温度。</p> <p>检查棕色 [+] 和白色 [-] 线之间热电偶的电阻。使用 100 Ω范围的万用表。先用一个极性测量热电偶电阻，然后反转极性，取平均值。铜线的典型电阻为 0.3 Ω/m，对于康铜线，该电阻为 6.5 Ω/m。典型电阻应为标称热电偶电阻 2.5 Ω 加上每米两根导线（来回）总电阻的 6.8 Ω。无限电阻表示电路断开;零或低于 1 Ω电阻表示短路。</p> <p>确保连接块的温度尽可能接近热通量传感器的温度。</p>

7 附录

7.1 FHF05系列可与BLK- GLD贴片一起使用

BLK 黑色和 GLD 金色贴片是 FHF05 系列和 FHF05SC 系列热通量传感器的附件。配备BLK黑色贴片的传感器对辐射和对流热通量都很敏感。配备 GLD 金色贴片的传感器会反射辐射并仅测量对流热通量。要计算辐射热通量，请减去两个测量值。

FHF05 系列的每个传感器都有 BLK - GLD 贴片。也可以订购带有工厂预贴贴片的 FHF05。

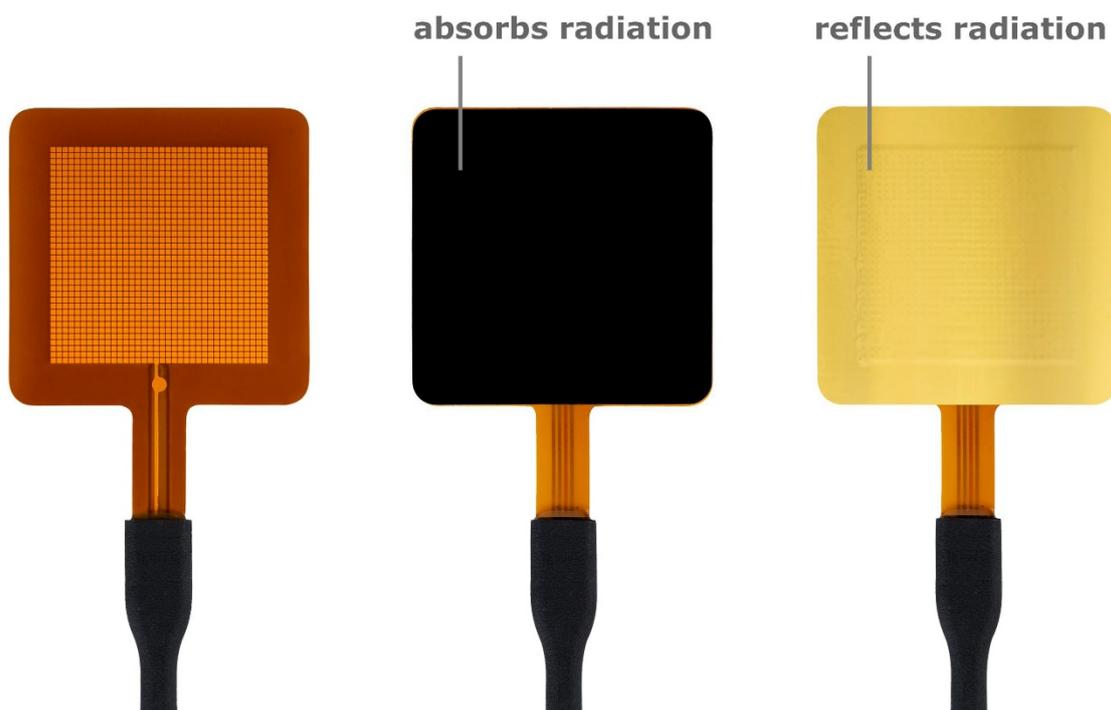


图 7.1.1 FHF05-50X50 热通量传感器：带 BLK-50X50 和 GLD-50X50 贴片。

安装	安装带有 BLK 或 GLD 贴片的 FHF05 时，请记住灵敏度方向从背面到正面（带点的一侧）的热通量产生正电压输出信号。
安装在曲面上	在安装传感器之前贴上 BLK - GLD 贴片
位置	避免直接暴露在阳光下
对灵敏度的影响	BLK-GLD贴片对灵敏度没有显著影响

表 7.1.2 FHF05 系列热通量传感器与 BLK - GLD 贴片的使用建议。

$$\Phi_{\text{辐射}} + \text{对流} = \Phi_{\text{BLK}}$$

$$\Phi_{\text{对流}} = \Phi_{\text{GLD}}$$

$$\Phi_{\text{辐射}} = \Phi_{\text{BLK}} - \Phi_{\text{GLD}}$$

图 7.1.3 贴片计算公式

7.2 不同温度测量范围

FHF05 系列的测量范围指定为 $(-10 \text{ 至 } +10) \times 10^3 \text{ W/m}^2$ 在 20°C 散热器温度。这是一个非常保守的规范。

实际上，连续使用的额定温度为 $+120^\circ\text{C}$ 是极限规格。在特定应用中，传感器温度 T ($^\circ\text{C}$) 取决于散热器温度 T_{heatsink} ($^\circ\text{C}$)、热通量 Φ (W/m^2) 和传感器单位面积热阻 $R_{\text{thermal,A}}$ ($\text{K}/(\text{W/m}^2)$)。

$$T = T_{\text{heatsink}} + \Phi \cdot R_{\text{thermal,A}} \quad (\text{公式 7.2.1})$$

这意味着对于较高的散热器温度，测量范围会更小。

$$\Phi_{\text{maximum}} = (120 - T_{\text{heatsink}}) / R_{\text{thermal,A}} \quad (\text{公式 7.2.2})$$

表 7.2.3 不同散热器温度的测量范围。

散热器温度 ($^\circ\text{C}$)	测量范围
20 $^\circ\text{C}$	$84 \times 10^3 \text{ W/m}^2$
40 $^\circ\text{C}$	$67 \times 10^3 \text{ W/m}^2$
60 $^\circ\text{C}$	$51 \times 10^3 \text{ W/m}^2$
80 $^\circ\text{C}$	$34 \times 10^3 \text{ W/m}^2$
100 $^\circ\text{C}$	$17 \times 10^3 \text{ W/m}^2$

7.3 温度测量精度附录

所有FHF05都有一个集成的热电偶，用于测量被测物体的温度。除了主热通量测量外，该热电偶还提供辅助测量。

不确定性扩大

总测量不确定度是热电偶测量不确定度+冷端不确定度的总和。冷端的不确定性可以在电子器件的规格中找到。通常，这是 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

热电偶测量不确定度

FHF05 系列的电缆带有热电偶延长线，指定为 T 型热电偶，IEC 60584-1: 2013 2 类。它们由棕色正极铜 (Cu) 线和白色负极康铜 ($\text{Cu}_{55}\text{Ni}_{45}$) 线组成。T₂ 和 T₃ 之间的温差精度 $\pm 2\%$ (见图 7.8.1)。

在FHF05传感器本身中，热电偶 (T₁) 由铜和康铜走线组成，这些走线从连接块延伸到热通量传感器敏感区域的边缘。与导线相比，这些走线的Seebeck系数略有不同，这导致 T₁ 和 T₂ 结之间的温差具有更高的测量不确定度，为 $\pm 5\%$ 。

如果是这种情况，确保 T₁ = T₂。那么：

$$u_c(T_1) = \text{cold junction} + 2\% (\Delta T_1 + \Delta T_2)$$

T₁ 中的总扩展不确定度 (U_c (T₁) in $^{\circ}\text{C}$ ，覆盖系数为 2) 基于 T₁ 和 T₂ 之间 ΔT_1 之间以及 T₂ 和 T₃ 或 ΔT_2 之间温差测量的不确定性及系数的误差。

如果 T₁ \neq T₂，则组合标准不确定度可以通过不确定度传播定律计算：

$$u_c(T_1) = 5\% \cdot \Delta T_1 + 2\% \cdot \Delta T_2 \quad (\text{公式 7.8.1})$$

为简单起见，给出了绝对温度测量精度 $\pm 5\%$ 的最坏情况 (以 $^{\circ}\text{C}$ 为单位) 作为测量不确定度的规范。

从公式 7.8.1 可以清楚地看出，精度最好在 2 % 范围内，T₁ 保持接近温度 T₂。如果温度测量至关重要，请考虑使用 单独的温度传感器。

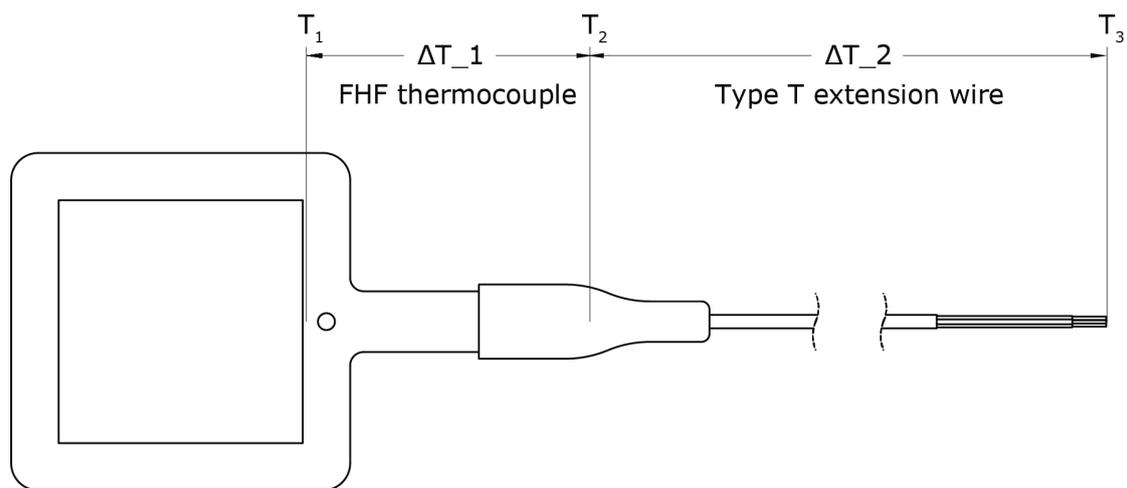


图 7.8.1 型号 FHF05-50X50 及其热电偶结点。为了尽量减少不确定性，请确保 ΔT_1 接近于零。

7.4 欧盟认证



We, **Hukseflux Thermal Sensors B.V., Delftechpark 31, Delft,
The Netherlands**

hereby declare under our sole responsibility that:

Product model **FHF05 series, all models**
Product type **Heat flux sensors**

conform with the following directive(s):

2011/65/EU, EU 2015/863 **The Restriction of Hazardous Substances Directive**

This conformity is declared using the relevant sections and requirements of the following standards:

Hazardous substances **RoHS 2 and EU 215/863 amendment known as RoHS 3**

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'E. Hoeksema', written over a faint circular stamp or watermark.

Eric HOEKSEMA
Director
Delft, 09 November, 2022