

NETZSCH

Proven Excellence.



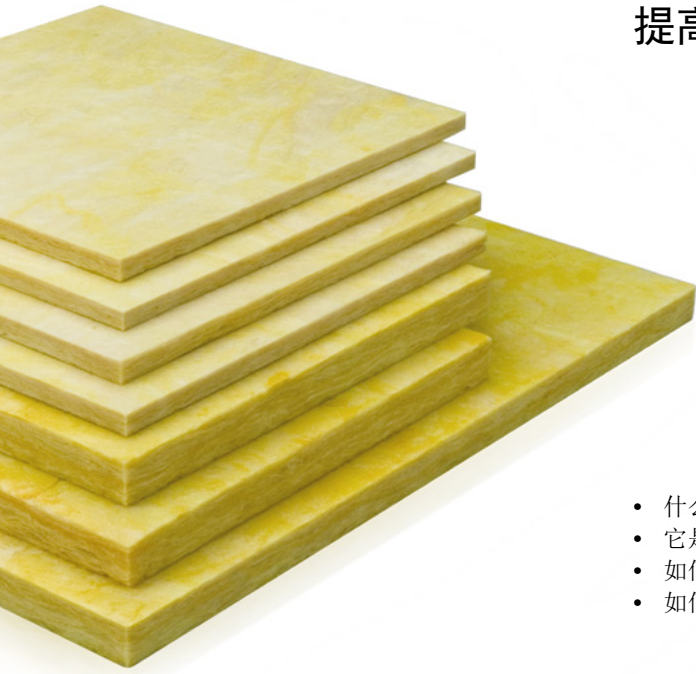
HFM 446 Lambda系列 热流法导热仪，用于测试绝热材料

基于ASTM C518, ASTM C1784, ISO 8301, JIS 1412,
DIN EN 12664, DIN EN 12667, GB/T 10295
用于绝热材料表征的方法与技术

Analyzing & Testing

提高能效的关键参数

导热系数

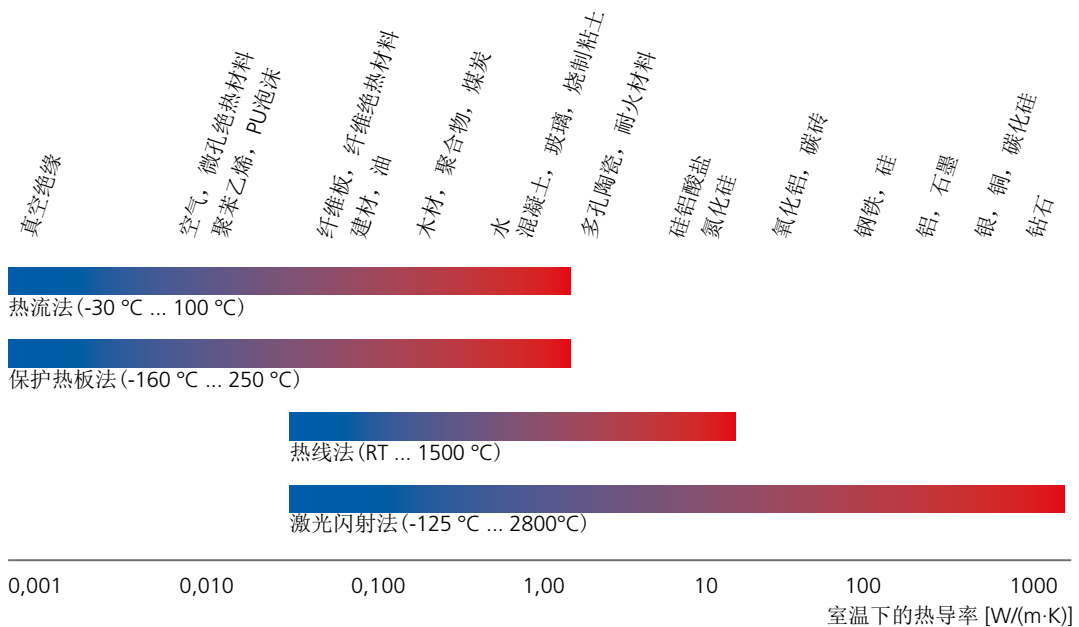


- 什么是建筑物的冷/热负荷？
- 它是如何随气候变化的，又应当如何改善？
- 如何改善电子元件的散热问题？
- 如何设计热交换系统使其达到预期效率，选用哪种材料最为适合？

为了解决这些问题，我们先要了解材料的性能，如：热扩散系数和导热系数。耐驰提供多种导热系数测试仪，覆盖所有应用和各种温度范围，针对不同材料可以选择不同的测试方法。

对于低导热材料，如纤维绝热材料或真空绝热板，耐驰公司提供了多个型号的热流法导热仪（HFM），满足各种样品尺寸和不同温度范围的测量需求。

HFM Lambda系列仪器的设计满足多个相关标准，如ASTM C518，ASTM C1784，ISO 8301，JIS A1412，DIN EN 12664，DIN EN 12667和GB/T 10295。



HFM 是一种精确、快速、易于使用的导热测量仪器，适合于测量绝热材料的导热系数值（ λ ）。

测量原理

热流法导热仪（HFM）测试时，将试样置于两块加热板之间，两块加热板的温度自动进行调整，达到用户定义的平均样品温度（即上下板平均温度）与温差值，随后测量通过样品的热流功率。样品厚度（L）通常为样品实际厚度，对于可压缩样品则为期望的厚度值。两个经过标定的热流传感器测量通过样品的热流（Q），传感器可以覆盖样品上下表面的大部分面积。

在达到设定的热平衡阈值之后，测试完成。热流传感器的输出值通过标样进行标定。软件遵照傅立叶定律（见右侧的方程），使用平均热流与热阻（R）计算导热系数（ λ ）。热透射系数（亦称U-值）定义为总热阻的倒数。U-值越低，材料的绝热性能越好。

$$\lambda = \frac{Q}{A} \cdot \frac{L}{\Delta T}$$

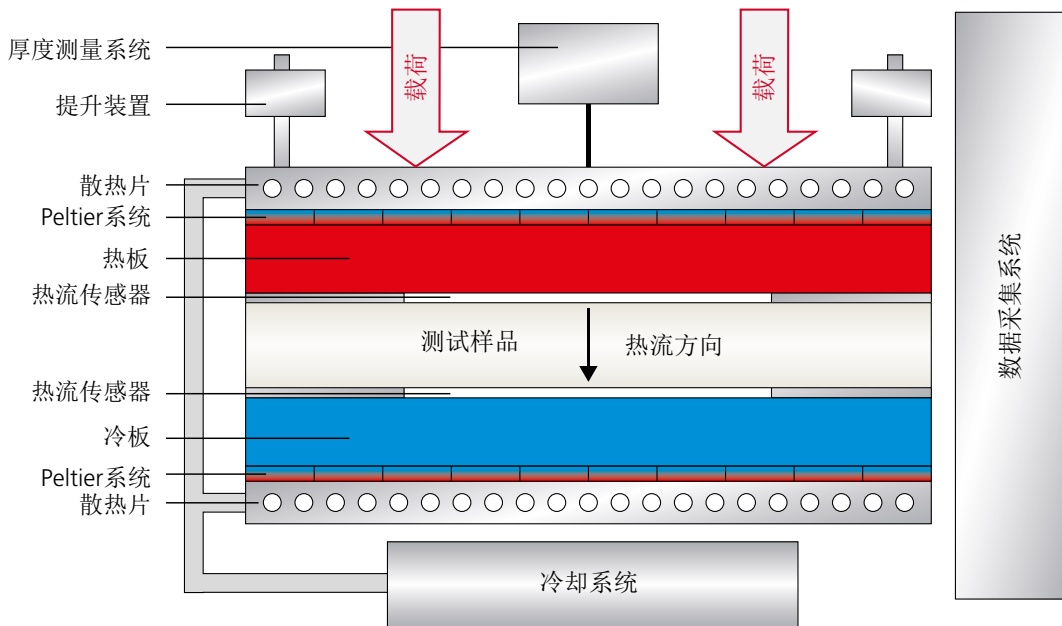
国际单位: [W/(m·K)]
英制热单位: [Btu in/(h·ft²·°F)]

$$R = \frac{L}{\lambda}$$

国际单位: [(m²·K)/W]
英制热单位: [(h·ft²·°F)/Btu]

$$U = \frac{1}{R}$$

U in SI unit [W/(m²·K)]



HFM出厂前会经过校正，遵从ASTM C518, ASTM C1784, ISO 8301, JIS A1412, DIN EN 12664和DIN EN 12667等标准。

HFM 446 Lambda 系列

针对中小样品而设计，功能配置丰富



智能模式 - 集测量、分析与报告的一体化设计

HFM软件的用户界面设计十分人性化，功能丰富而易于理解，包括自动校正、测试向导、用户自定义方法和报告。

热流传感器 - 高灵敏度与精确度

双热流传感器监测输入与输出样品的热流。两个传感器的信号均纳入计算，以尽可能地减少试样边界损耗的影响。每一传感器上有三对K型热电偶用于测定 ΔT ，分别位于中心、左侧与右侧。根据HFM欧洲标准，软件允许从这些热电偶中进行选择并读取数值。



比热容测量

除了测量导热系数，HFM446系列还支持比热容（Cp）的测量与计算。

SMARTMODE
VEARIOUS SAMPLE
GEOMETRIES
HIGH PRECISION & ACCURACY

**ADJUSTABLE TO
NON-PARALLEL
SPECIMEN FACES**

EASY TO USE

$\lambda_{90/90}$

IN COMPLIANCE

WITH STANDARDS

AUTOMATED OPERATION

QA DOCUMENTATION

FULLY SELF CONTAINED

NO COMPUTER REQUIRED

VARIABLE EXTERNAL LOAD

THICKNESS DETERMINATION

PRINTER OUTPUT

C_p-MEASUREMENT

EXTENDABLE TO LOWER
THERMAL RESISTANCES

WIZARDS & METHODS

HFM 446 Lambda 系列

导热测量解决方案

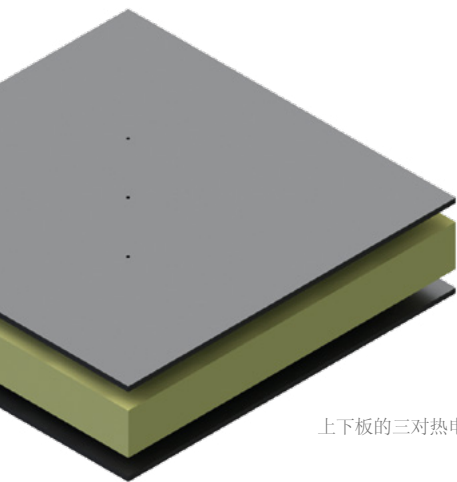
快速更换样品，不影响加热板温度

Peltier系统控制冷板和热板温度

通过双向加热/冷却的Peltier系统，结合由循环水浴（或任何其他恒温循环系统）提供的闭合循环流体，可以对上下板的温度进行独立控制。高输出功率的Peltier系统可在短时间内快速地达到热平衡，并完成数据采集，这可以大大提高测试效率。

马达驱动炉门开闭与上板移动

测试结束后，将HFM 446 Lambda的上板稍稍上移，在几秒钟之内即可完成试样的更换，并进行下一次测试。这样可以最大程度地减少板温度的波动，平板可以快速地回到设定温度。后续的测试亦能更快地达到平衡。



上下板的三对热电偶位置



更换样品时，HFM 446 Lambda可以控制上板不同程度的开启。

可压缩材料（例如纤维棉）的密度是可变的， 密度变化会导致样品的导热系数变化

可变载荷-用于测定样品标称厚度

Lambda可以精确控制上板作用在样品上的载荷，允许操作者设定测试时的接触压力（对于最大样品尺寸，负载为850N），这样就可以控制可压缩样品的厚度，进而控制密度。

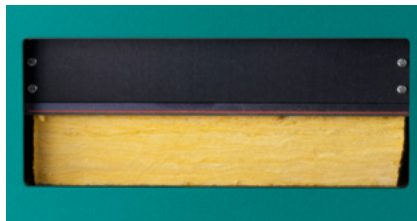
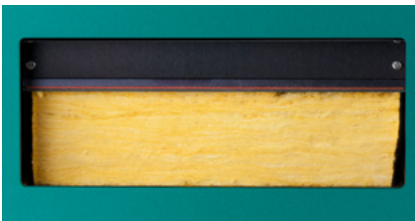
该功能也可以确保平板与样品的整个表面紧密接触，以获得最小的、均匀的接触热阻——这是得到可重复的热导率结果的两个必要条件。

精确的四角厚度测试，用于测定表面不平行样品的厚度

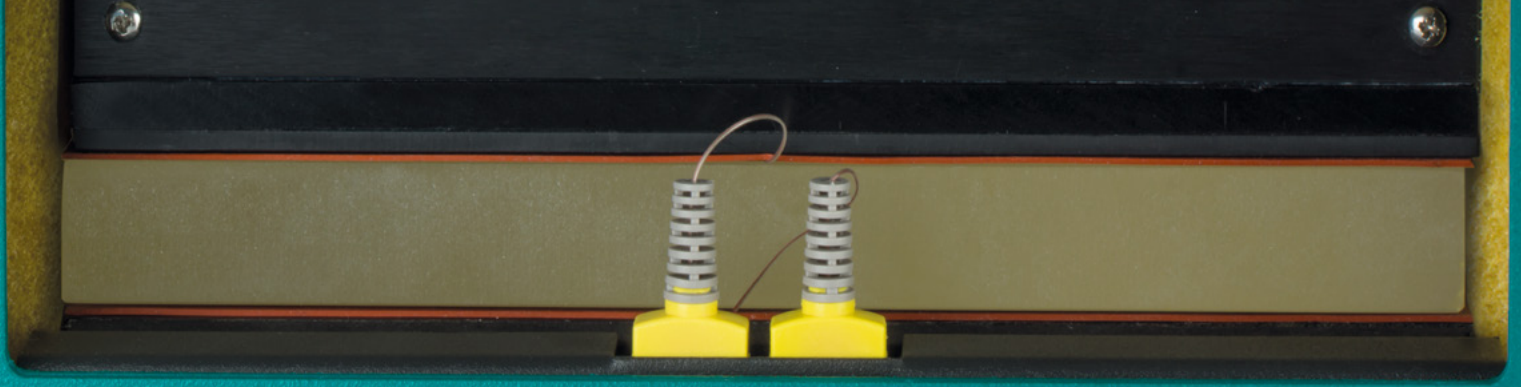
HFM 446 Lambda系列内置微米级分辨率的传感器，可以在几秒钟内完成样品实际厚度的测量。上板内置一个双轴倾斜计，允许多自由度的倾斜，特别适合在不对电机轴施加任何力的情况下测量倾斜和非平行样品的厚度。基于X和Y方向的旋转角度信号以及平板中心厚度测量值，可精确计算样品各边角的厚度值。



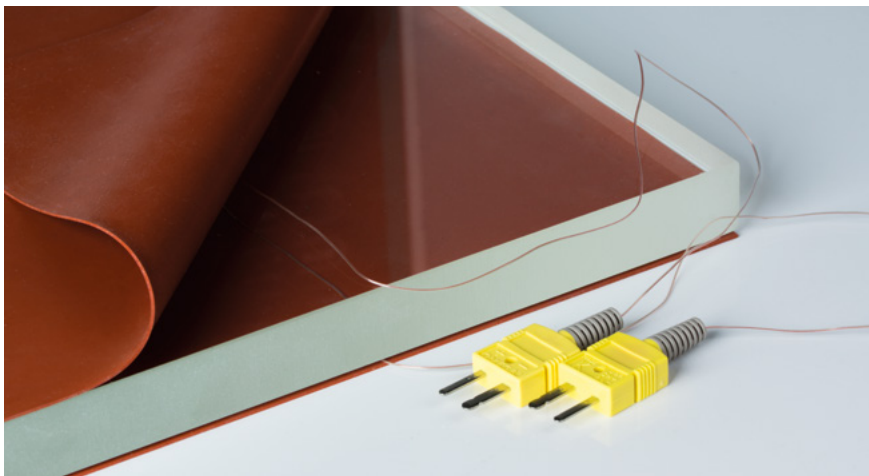
松散样品容器



精确控制可压缩样品的厚度与密度



对于超出HFM常规测试范围的材料，通过加入额外的热电偶和垫片，消除界面热阻的影响，即可测试热阻低、导热系数高的样品。



热电偶可以放置在样品的几何中心

提高刚性和高导热样品的测试精度

HFM 446 Lambda系列通过配备可选的扩展套件，可以扩展其测试范围，以测试更低热阻的材料（最低可达 $0.02(\text{m}^2\cdot\text{K})/\text{W}$ ），如混凝土、木制品、砖等。根据不同型号，最大样品厚度可达200mm。

此套件包括用在上下两面的薄的可压缩垫片和安装在样品两面的辅助热电偶。利用此套件可以提高测温精度，特别适用于需要提高温度感应灵敏度的测试。对某些特殊样品，如样品与板之间存在空气间隙，也能测得可靠的结果。

该仪器在出厂前已经过校正，配备的标准样品可以用来对仪器进行验证。当然，用户可以采用自选的参照材料。

附件及更多

使用经过认证的标准材料对仪器进行预校正

HFM在出厂前已使用NIST认证的导热系数已知的IRRM标准样品进行了校正，得到了传感器输出信号和实际热流值之间精确的换算关系。测试时，一旦达到用户定义的平衡条件，样品的热导率和热阻值即可通过计算获得。

当然，也可以使用其他的标准材料校正仪器。对于标准样品，可以轻松达到 $\pm 1\%$ 的测量精度。



插入标准样品
可选用多种材质的标准样品

HFM 446 Lambda
可以测试比热 (Cp)

最优的测试条件，降低冷凝风险

HFM 446 Lambda系列产品的样品室的设计最大程度地降低了环境的影响，并减少样品室内和平板表面的冷凝。

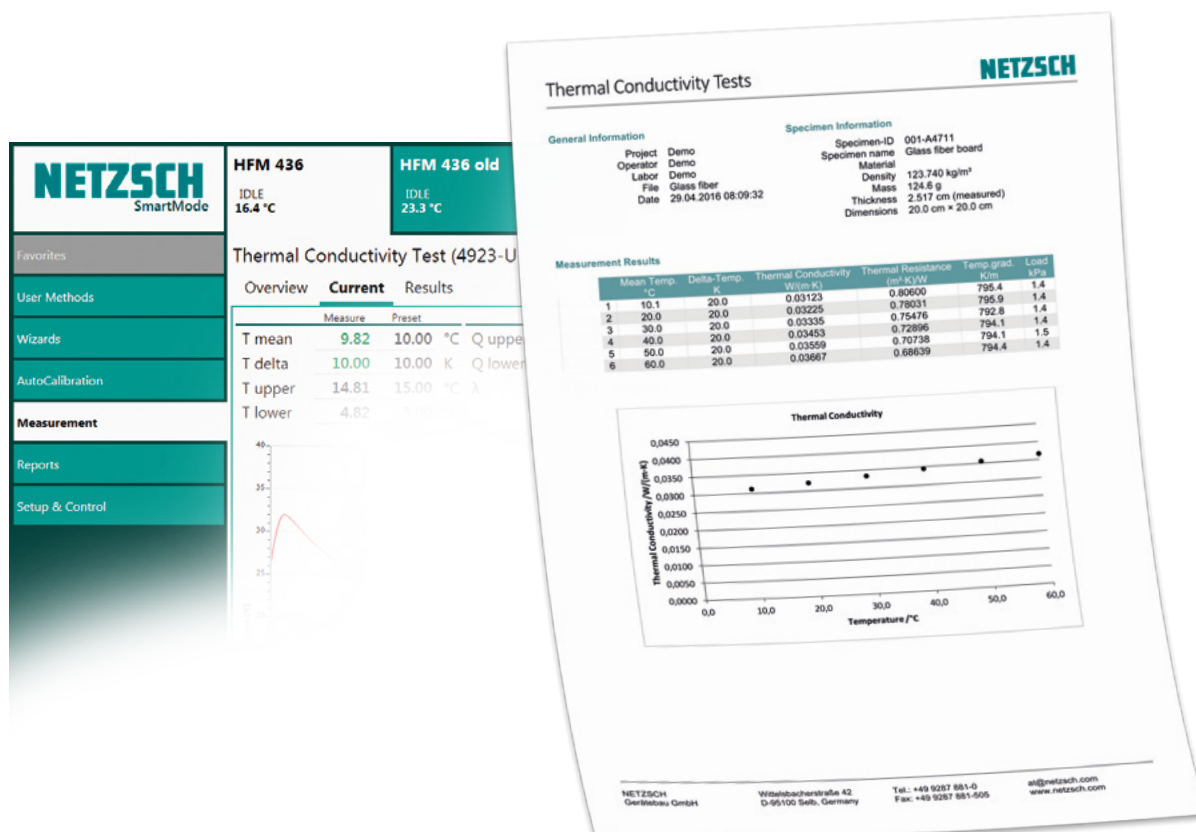
外部制冷不需要程序控制

不需要程序控制的制冷系统。制冷系统设定在某一温度，即可在很宽的温度范围内测试样品热导率。

Cp测试

利用校正因子计算总的热流值，并将平板所吸收的热量纳入计算，得到样品比热值。

软件界面



实用性强

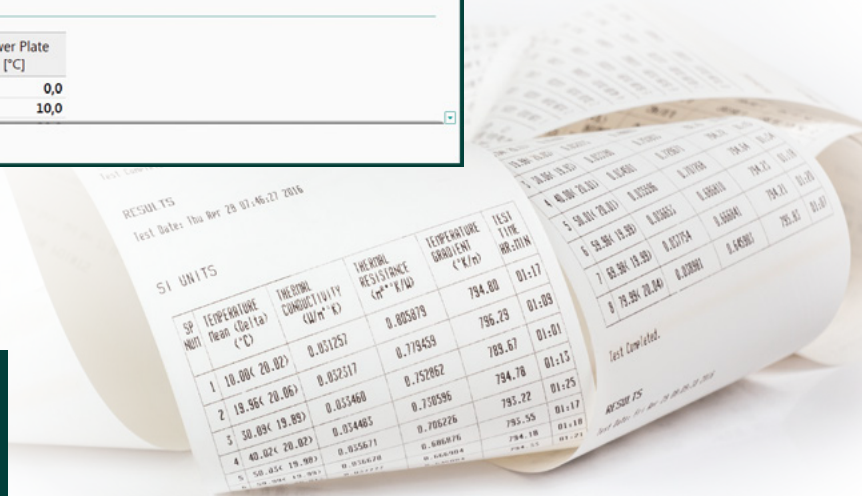
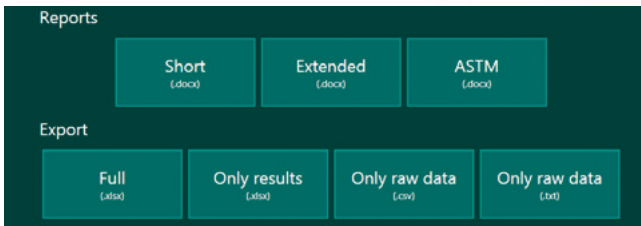
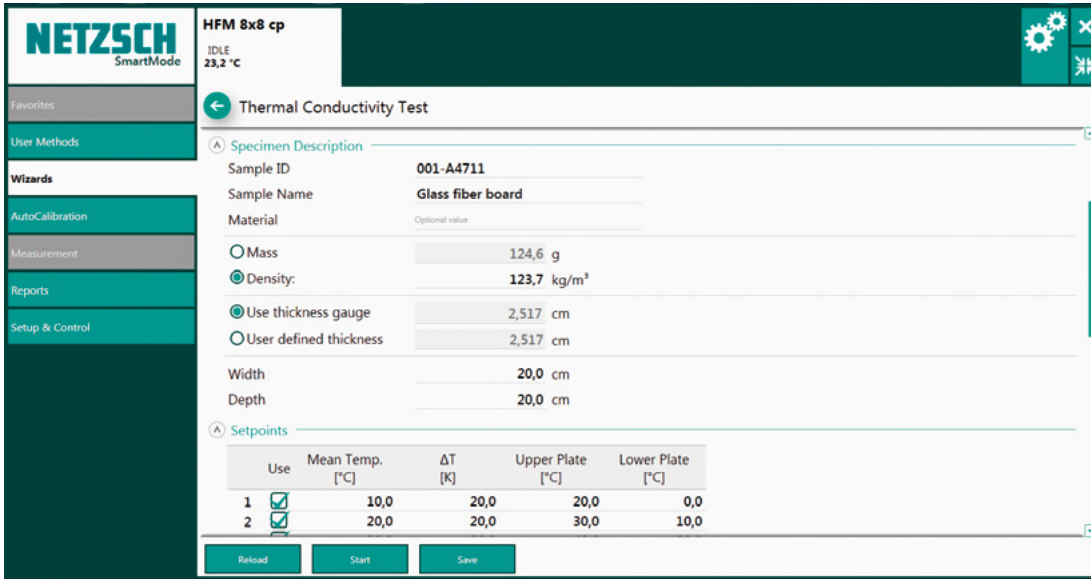
SmartMode是HFM的Proteus®软件，具有用户友好、运行流畅的界面。它的特点是模块设计、层次分明，可以快速、明确地给出当前测试状态的概况，并提供多种格式的报告和导出形式。通过集成电子元件进行连续的数据采集、处理和存储，测试完成后，所有相关结果就可以通过集成打印机直接打印，或者通过软件生成报告。

快速校正

常见的经过认证的标准样品，如SRM 1450D，其热导率数据已经存储在软件中。不过，自动校正还支持用户对自定义的标样材料创建校正曲线，且可以自由选择多达10个温度点。

用户向导

点击“向导”（“Wizards”）按钮，可以手动输入参数。点击“用户方法”（“User Methods”）按钮，可以获取用户之前使用的参数设置。可以将用户方法中使用频繁的参数设置添加至“收藏夹”（“Favorites”）中。



松散样品容器

轻轻一击，即可得到完整的QA文档

报告选项中可以查看各种报告模版，并快速方便的生成报告，其中一种模版符合ASTM C518规定的要求。每份报告都可以添加客户自己公司的标识，另外，仅需点击几次鼠标即可将数据导出为word或者excel格式。“Full”功能键可以将数据、图形和结果导出到一个文件中，原始数据以二进制格式储存，可以有效防止篡改数据。

统计信息：λ 90/90

λ 90/90数值是用于确定建筑材料的导热系数申报值是否在CE认证允许范围内的基础。它是根据一系列测试（至少包含10次测量）计算得到的，代表产品具有此热导率值的概率为90%，可实现90%的产出量。只需点击一下鼠标，软件内置的报告功能即可基于测试结果计算出λ 90/90值，无需额外的文档与计算。

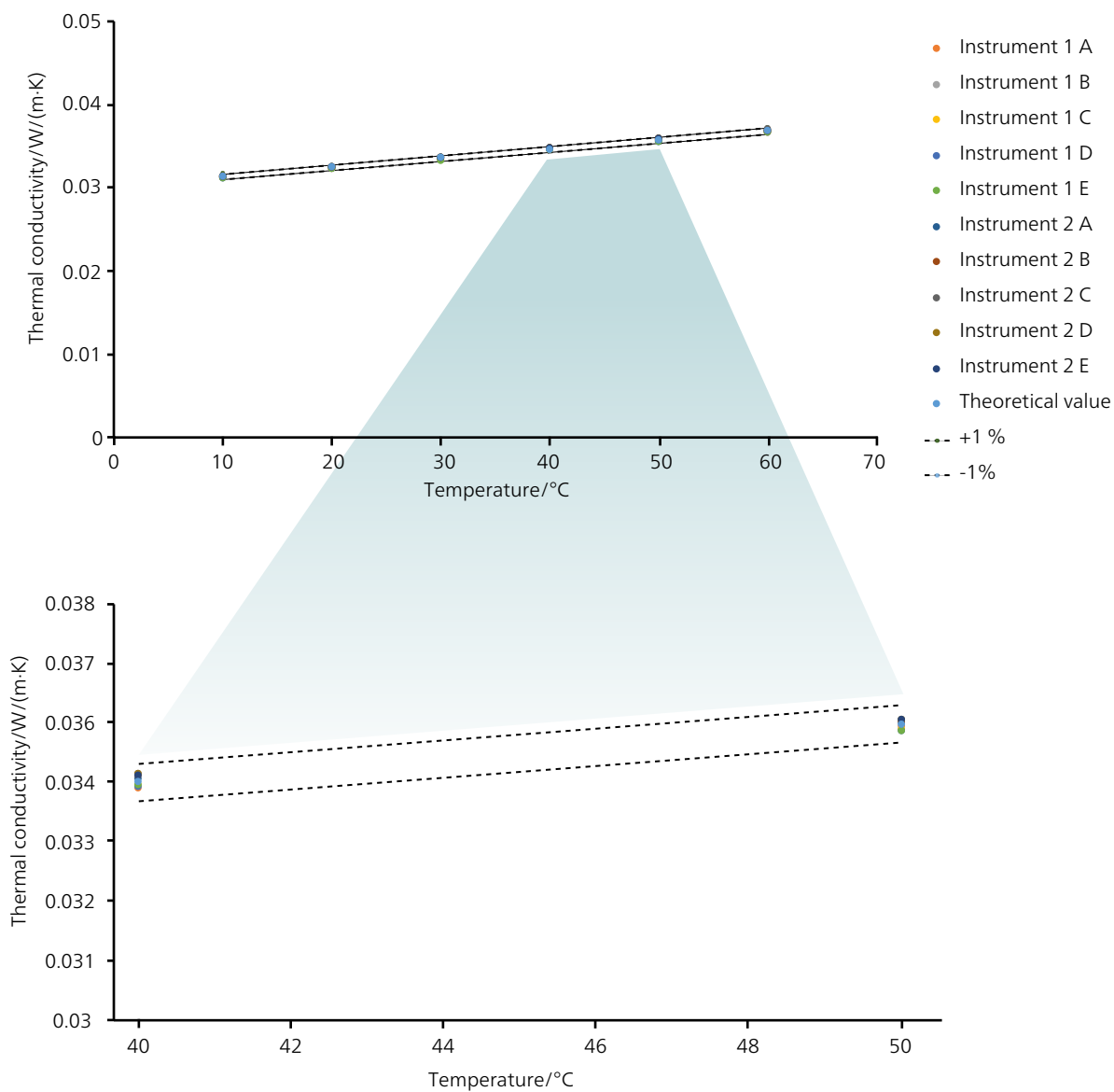
设置和控制功能

所有测试均可以使用预定义的参数设置（包括热电偶的数量和位置，热流传感器的平板数量，平衡参数等）。若有经验的用户希望使用自定义的参数，也可以在“设置与控制”（“Setup & Control”）界面中设置。

性能、应用

性能验证

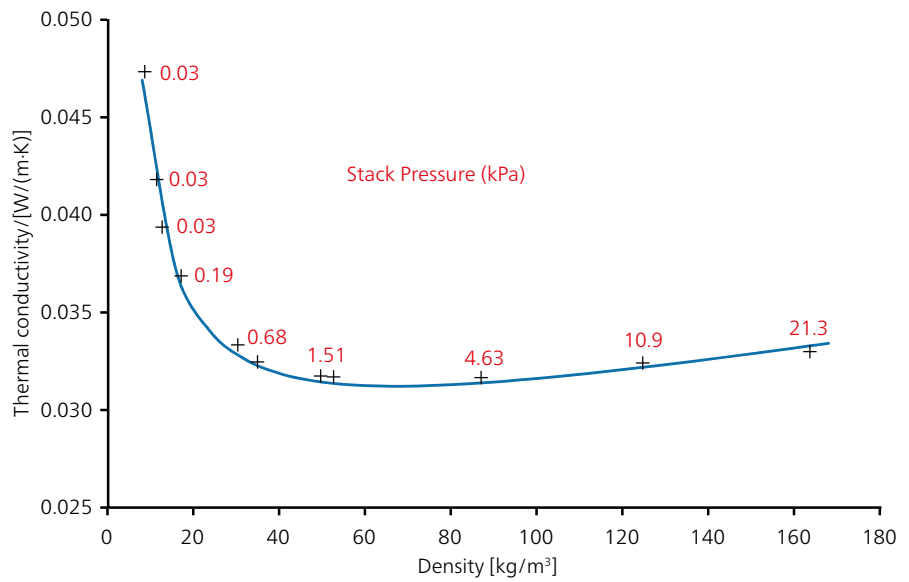
通过对比同一标准样品（NIST SRM 1450D）多次测试的结果验证HFM Lambda small的性能。用两台仪器、两个标样在10至60°C间重复测试5次，所有结果重复性很好，且与理论值（虚线）的偏差在±1%范围内。这个结果同时说明仪器具有很好的精度，严格遵守ASTM C518标准。



两台仪器测试NIST SRM 1450D标样，共测试10次

研究可压缩材料的密度和导热系数关系

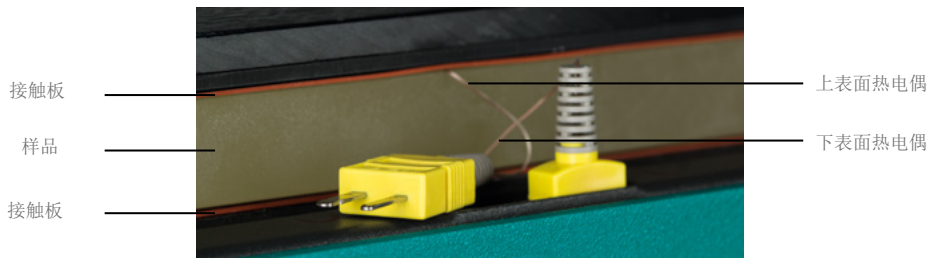
利用可变载荷，可以研究可压缩材料的密度-导热系数曲线，此例证实了玻纤绝热材料内部存在的多种热传导方式。随着压力增大（此处为等效表面压力），综合导热系数先降低（由于辐射传热的影响减小），后增大（热传导逐渐起主导作用）。



HFM446 Lambda系列可测试高导热样品

测试高导热样品需要使用配套的附件。三种混凝土样品的测试结果与保护热板法的结果吻合度很高，导热系数在1.2-1.9W(m*K)之间，偏差在2-4%之间。

样品	厚度 [mm]	密度 [kg/m³]	平均温度 [°C]	导热系数 [W/(m·K)]	热阻 [m²·K/W]
A1, A2 (GHP)	51.4	2297	25.2	1.76	0.0292
A1 (HFM)	51.7	2298	23.4	1.92	0.0269
A2 (HFM)	51.1	2296	23.8	1.69	0.0303
A1, A2 (HFM平均)	51.4	2297	23.6	1.80	0.0286



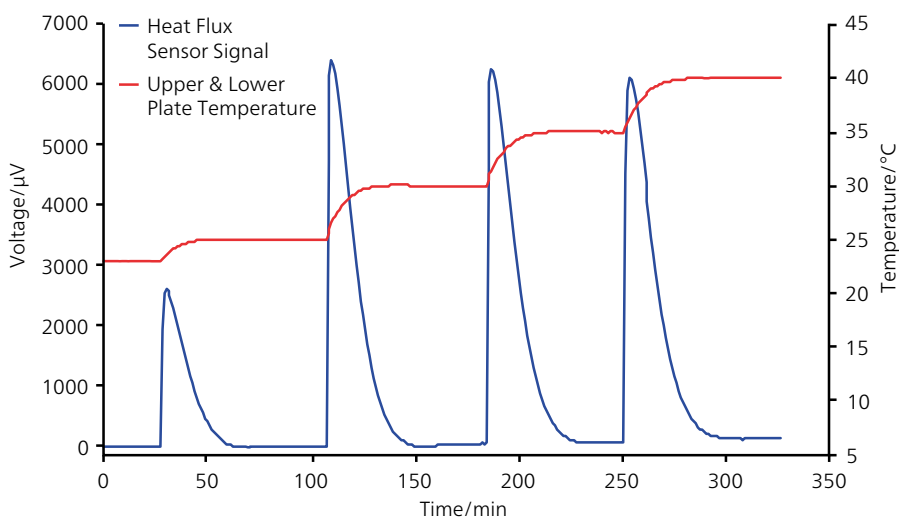
Cp测试

HFM 446 Lambda 系列 可测试比热

测试未知PVC样品的比热

HFM 446 Lambda系列产品通过步阶加热的方法测试比热，同时准确地维持两块板处于同一温度。每次加热，将热流传感器信号的积分值作为输入或输出样品的总热量。当然，板自身温度升高吸收的热量也纳入计算。

为了对比验证比热的测试效果，用DSC 214 Polyma测试了此未知样品的比热。下表中汇总了测试结果，可以看出，两种方法得到的结果非常接近。



HFM 446 Lambda small测试未知PVC样品（25mm厚），温度范围10-50°C

温度 [°C]	HFM 446 [J/(g·K)]	DSC [J/(g·K)]
10	1.007	1.002
20	1.065	1.033
30	1.079	1.062
40	1.125	1.094
50	1.159	1.123

技术参数

HFM 446 Lambda 系列产品

标准	ASTM C518, ASTM C1784, ISO 8301, JIS A1412, DIN EN 12667, EN 12664, GB/T 10295
类型	独立运行, 集成打印机
气密性系统	样品室可通入气体吹扫
马达驱动板	是
导热系数范围	<ul style="list-style-type: none"> • 高达 2.0 W/(m·K) 通过可选的仪器配件可测试2.0W/(m*K)的导热系数, 对于硬的高导热样品建议配置 • 准确度: 1% • 精度: 0.5% • 重复性: 0.5% → 所有性能指标都经过标样验证
冷热板的温度范围	-20°C ... 90°C
传感器尺寸	<ul style="list-style-type: none"> • HFM 446 Lambda Small: 102 mm x 102 mm • HFM 446 Lambda Medium: 102 mm x 102 mm • HFM 446 Lambda Large: 254 mm x 254 mm
冷却系统	外置, 可在板温度范围内的任意温度设定恒温
平板温控系统	Peltier 系统
板的上下移动	操作者控制板的移动, 快速更换样品, 并迅速达到设定温度
热电偶	每块板有3对K型热电偶 (配件中还包括2对外置热电偶)
热电偶分辨率	± 0.01°C
可设置的温度点	最多10个
样品尺寸	<ul style="list-style-type: none"> • HFM 446 Lambda Small: 203 mm x 203 mm • HFM 446 Lambda Medium: 305 mm x 305 mm • HFM 446 Lambda Large: 611 mm x 611 mm
样品厚度 (最大)	<ul style="list-style-type: none"> • HFM 446 Lambda Small: 51 mm • HFM 446 Lambda Medium: 105 mm • HFM 446 Lambda Large: 200 mm
可变载荷/接触力	850N (对于203x203mm尺寸的样品, 压强为21KPa) 精确控制载荷, 对于可压缩材料, 可通过调节压力改变密度 软件基于载荷传感器信号计算接触压力
自动测量厚度	<ul style="list-style-type: none"> • 通过倾斜计测量样品四个角的厚度 • 适合非平行样品的表面
软件特点	<ul style="list-style-type: none"> • SmartMode (包括自动校正, 生成报告, 导出数据, 测量向导, 用户方法, 预定义仪器参数, 用户自定义参数, Cp测定等) • 校正和测试文件的存储和恢复 • 绘制导热系数与板温度/平均温度的关系曲线 • 监控热流传感器信号