

## 热物理性能测试中的参考材料

### Reference Materials for Thermophysical Properties Measurements



摘要：本文介绍了材料热物理性能的标准测试方法和参考材料的定义，特别介绍了参考材料的三种分类：验证过的参考材料、传递标准和参考材料。本文还详细列出了目前国际上能购买到的各种热物理性能测试用的验证过的参考材料清单。

关键词：热物理性能，参考材料，标准参考材料，导热系数，热膨胀系数，热扩散系数，热膨胀系数



## 1. 热物理性能参考材料的定义

材料热物理性能测量的标准，主要是基于它的权威性，尤其是以比较的方式应用时更是如此，测试标准通常表现为两种相互关联方式：

(1) 标准测试方法 (STM)，一份由“专家”在国际、国家或其他权威机构主持下编写的具有共识性的技术文件，包含根据发布时可用的“最新”技术进行测量以确定给定精度所需特性的详细要求。后者意味着由于技术的改进而定期修改。

(2) 参考材料 (SM)，一种耐用且高度稳定的材料或人工制品，具有在工作温度范围内不受外部变量影响的公认的均匀特性，用于验证上述 STM 并量化精度和偏差、验证新技术，校准比较方法，成为实验室间研究的参考点，并在竞争绩效索赔问题中充当裁判。

有三种被一致接受的参考材料：

- 验证过的参考材料 (Certified Reference Material: CRM 或 Standard Reference Material: SRM)，从经过充分表征过的原料中获得，并具有基于广泛测试的合格值，使用绝对（主要）测试技术，包括所有参数的直接测量，由国家测量实验室 (NML) 或同等组织承担或主持，具有尽可能高的准确度。

- 传递标准 (Transfer standard: TS)，具有独特属性值的样品，由国家测量实验室 (NML) 或同等组织使用已知精度的绝对（主要）测量方法获得。

- 参考材料 (Reference material: RM)，一种已知、可重复成分和形式的商业化材料，根据几个组织使用标准测试方法进行了广泛评估，具有公认的属性值。

## 2. 认证过的热物理性能参考材料名录

以下将列出目前国际上能购买到的认证过的热物理性能参考材料名录。

## 2.1. 美国标准技术研究所 (NIST)

验证过的热物理性能参考材料 (CRM-带证书) 名录如下表所示:

| 序号 | 编号    | 参考材料  | 尺寸 (mm)       | 适用方法  |
|----|-------|---|---------------|---|
| 1  | 1450d | 纤维玻璃板 (Fibrous Glass Board)<br>密度范围: 114~124 kg/m <sup>3</sup>                    | 611×611×26    | 温度: 280~340K<br>导热系数: 0.030~0.037 W/(m·K)                   |
| 2  | 1452  | 热阻高精度测量用<br>纤维玻璃板 (Fibrous Glass Board)<br>密度范围: 10~16 kg/m <sup>3</sup>          | 600×600×25.4  | 温度: 100~330K<br>热阻和导热系数 (随材料附上)                             |
| 3  | 1453  | 发泡聚苯乙烯板<br>(Expanded Polystyrene Board)<br>密度范围: 37~46 kg/m <sup>3</sup>          | 930×660×13.4  | 温度: 281~313K<br>导热系数: 0.031~0.036 W/(m·K)                   |
| 4  | 1459  | 煅制氧化硅板 (Fumed Silica Board)<br>密度范围: 300~330 kg/m <sup>3</sup>                    | 300×300×25.4  | 温度: 297K<br>热阻: 1.232~1.195 m <sup>2</sup> K/W              |
| 5  | 2232  | 钢<br>融化温度和焓值  | 1 克           | 热分析仪和量热计<br>熔点: 156.5985± 0.00034°C<br>融化焓: 28.51±0.19 J/g  |
| 6  | 2234  | 高纯钢 (纯度 99.99999 %)<br>融化温度和焓值  | 2 克           | 热分析仪和量热计<br>熔点: 302.9146± 0.0001K<br>融化焓: 80.097±0.032 J/g  |
| 7  | 2235  | 高纯铋<br>融化温度和焓值  | 1.5 克, 直径 1mm | 热分析仪和量热计<br>熔点: 544.556± 0.005K<br>融化焓: 53.146±0.082 J/g    |
| 8  | 3451  | 热电材料 (Bi <sub>2</sub> Te <sub>3+x</sub> )<br>non-stoichiometric bismuth telluride | 3.5×2.5×8     | 温度: 10~391K<br>低温塞贝克系数<br>塞贝克系数: -20~-208 μV/K              |
| 9  | 731L1 | 硼硅玻璃<br>(Borosilicate Glass)  | 6.4×6.4×51    | 温度: 80~680K<br>热膨胀系数: 2.6~5.3×10 <sup>-6</sup> /K           |
| 10 | 731L2 | 硼硅玻璃<br>(Borosilicate Glass)  | 6.4×6.4×102   | 温度: 80~680K<br>热膨胀系数: 2.6~5.3×10 <sup>-6</sup> /K           |
| 11 | 731L3 | 硼硅玻璃<br>(Borosilicate Glass)  | 6.4×6.4×152   | 温度: 80~680K<br>热膨胀系数: 2.6~5.3×10 <sup>-6</sup> /K           |
| 12 | 8240  | 电解铁 (Electrolytic Iron)<br>纯度: 99.90 wt.%<br>密度 7.867±0.005 g/cm <sup>3</sup>     | φ 6.4×50      | 温度: 2~1000K<br>导热系数: 12.32~32.98 W/(m·K)<br>电阻率: 4~909 nΩ·m |
| 13 | 8241  | 电解铁 (Electrolytic Iron)<br>纯度: 99.90 wt.%<br>密度 7.867±0.005 g/cm <sup>3</sup>     | φ 31.7×50     | 温度: 2~1000K<br>导热系数: 12.32~32.98 W/(m·K)<br>电阻率: 4~909 nΩ·m |

## 2.2. 日本国家计量研究所 (NMIJ)

验证过的热物理性能参考材料 (CRM-带证书) 名录如下表所示:

| 序号 | 编号      | 参考材料  | 尺寸 (mm)  | 适用方法   |
|----|---------|---|--|--|
| 1  | 1101-a1 | 单晶硅 (Single Crystal of Silicon)                               | 4.5×4.5×60   | 温度: 293~1000K<br>热膨胀系数: $2.5\sim 4.3\times 10^{-6} / K$  |
| 2  | 1101-a2 | 单晶硅 (Single Crystal of Silicon)                               | 9×9×60   | 温度: 293~1000K<br>热膨胀系数: $2.5\sim 4.3\times 10^{-6} / K$  |
| 3  | 1102-a1 | 玻璃碳 (Glass-like Carbon)                                       | 6×6×10   | 温度: 293~1100K<br>热膨胀系数: $2.2\sim 4.4\times 10^{-6} / K$  |
| 4  | 1102-a2 | 玻璃碳 (Glass-like Carbon)                                       | 6×6×20   | 温度: 293~1100K<br>热膨胀系数: $2.2\sim 4.4\times 10^{-6} / K$  |
| 5  | 1301-a  | 氮化钛薄膜<br>(Titanium Nitride Thin Film)<br>石英玻璃衬底 (10×10×0.525) | 氮化钛薄膜<br>10×10×(680nm)   | 温度: 298K<br>脉冲光热发射法: 厚度向热扩散时间<br>$139.7\times 10^{-9} s$   |
| 6  | 1401-a* | 各向同性石墨 (Isotropic Graphite)                                   | $\phi 10\times 1$<br>$\phi 10\times 2$   | 温度: 300~900K<br>热扩散系数: $9.7\sim 2.3\times 10^{-5} m^2 / s$<br>比热容: $0.73\sim 1.73 J / (g\cdot K)$<br>导热系数: $126\sim 71 W / (m\cdot K)$ |
| 7  | 5803-a1 | 单晶硅 (Single-Crystal of Silicon)                               | 10×10×30   | 温度: 20~300K<br>热膨胀系数: $-0.0038\sim 2.6\times 10^{-6} / K$  |
| 8  | 5803-a2 | 单晶硅 (Single-Crystal of Silicon)                               | 10×10×60   | 温度: 20~300K<br>热膨胀系数: $-0.0038\sim 2.6\times 10^{-6} / K$  |
| 9  | 5804-b  | 各向同性石墨 (Isotropic Graphite)                                   | $\phi 10\times 1.4$ 、 $\phi 10\times 2$<br>$\phi 10\times 2.8$ 、 $\phi 10\times 4$ | 温度: 300~1500K<br>热扩散系数: $10.2\sim 1.4\times 10^{-5} m^2 / s$   |
| 10 | 5805-a  | 高纯铜 (High-purity copper)                                      | 10×10×30   | 温度: 20~300K<br>热膨胀系数: $0.28\sim 16.7\times 10^{-6} / K$  |
| 11 | 5806-a  | 单晶硅 (Single Crystal of Silicon)                               | $\phi 5\times 1$   | 温度: 50~350K<br>比热容: $0.079\sim 0.756 J / (g\cdot K)$   |
| 12 | 5807-a  | 氧化铝-碳化钛陶瓷<br>( $Al_2O_3 - TiC$ Ceramics)                      | $\phi 10\times 1$<br>$\phi 10\times 2$<br>$\phi 10\times 3$                        | 温度: 300~1000K<br>热扩散系数: $9.5\sim 2.6\times 10^{-6} m^2 / s$  |
| 13 | 5808-a  | 钼薄膜 (Molybdenum Film)   | $\phi 38.1\times 0.525$  | 温度: $22.5\pm 0.5^\circ C$<br>厚度向热扩散系数: $3.28\times 10^{-5} m^2 / s$  |

## 2.3. 欧盟参考材料和测量研究所 (IRMM)

验证过的热物理性能参考材料 (CRM-带证书) 名录如下表所示:

| 序号 | 编号        | 参考材料   | 尺寸 (mm)                    | 适用方法  |
|----|-----------|--|----------------------------|---|
| 1  | IRMM-440A | 树脂粘接玻璃纤维板<br>(Resin bonded glass fibre board)<br>密度范围: $64\sim 78\text{ kg/m}^3$ | $300\times 300\times 35$   | 温度: $-170\sim 50^\circ\text{C}$<br>导热系数: $0.012\sim 0.035\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$  |
| 2  | IRMM-440B | 树脂粘接玻璃纤维板<br>(Resin bonded glass fibre board)<br>密度范围: $64\sim 78\text{ kg/m}^3$ | $500\times 500\times 35$   | 温度: $-170\sim 50^\circ\text{C}$<br>导热系数: $0.012\sim 0.035\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$  |
| 3  | IRMM-440C | 树脂粘接玻璃纤维板<br>(Resin bonded glass fibre board)<br>密度范围: $64\sim 78\text{ kg/m}^3$ | $600\times 600\times 35$   | 温度: $-170\sim 50^\circ\text{C}$<br>导热系数: $0.012\sim 0.035\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$  |
| 4  | IRMM-440D | 树脂粘接玻璃纤维板<br>(Resin bonded glass fibre board)<br>密度范围: $64\sim 78\text{ kg/m}^3$ | $1000\times 1000\times 35$ | 温度: $-170\sim 50^\circ\text{C}$<br>导热系数: $0.012\sim 0.035\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$  |
| 5  | BCR-724A  | 玻璃陶瓷<br>(Glass-ceramic)  | $\phi 13.0\times 18$       | 温度: $298\sim 1025\text{K}$<br>热扩散系数: $1.93\sim 0.93\times 10^{-6}\text{ m}^2/\text{s}$<br>比热容: $0.82\sim 1.18\text{ J/(g}\cdot\text{K)}$<br>导热系数: $4.08\sim 2.81\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ |
| 6  | BCR-724B  | 玻璃陶瓷<br>(Glass-ceramic)  | $\phi 13.9\times 21$       | 温度: $298\sim 1025\text{K}$<br>热扩散系数: $1.93\sim 0.93\times 10^{-6}\text{ m}^2/\text{s}$<br>比热容: $0.82\sim 1.18\text{ J/(g}\cdot\text{K)}$<br>导热系数: $4.08\sim 2.81\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ |
| 7  | BCR-724D  | 玻璃陶瓷<br>(Glass-ceramic)  | $\phi 26.9\times 22$       | 温度: $298\sim 1025\text{K}$<br>热扩散系数: $1.93\sim 0.93\times 10^{-6}\text{ m}^2/\text{s}$<br>比热容: $0.82\sim 1.18\text{ J/(g}\cdot\text{K)}$<br>导热系数: $4.08\sim 2.81\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ |