

采用瞬态平面热源法测量几种 典型隔热材料的热导率

The Measurement of the Thermal Conductivity of Some Representative
Insulation Materials Using Transient Plane Source Method



摘要：采用瞬态平面热源法热导率测试系统对硅酸钙隔热材料、纳米超级隔热材料、低密度刚性隔热瓦和纤维增强碳气凝胶隔热材料四种比较典型隔热材料在常温常压下进行了热导率测试，目的是准确确定几种典型隔热材料在常温常压下的热导率数值，同时便于与其它热导率测试方法和测试设备进行对比，对其它测试方法和测试设备测量隔热材料热导率的测试结果做出基本的评判。

1. 测试目的

通过采用美国国家标准与技术研究院 (NIST) 的标准参考材料泡沫聚苯乙烯板 SRM 1453 对瞬态平面热源法热导率测试设备进行校准后，验证了瞬态平面热源法热导率测试设备对于均质低导热材料（热导率 0.03W/mK 量级）的热导率测试具有很高的测量精度，由此选取了几种典型隔热材料采用瞬态平面热源法进行测量，主要为了达到以下目的：

(1) 准确确定几种典型隔热材料在常温常压下的热导率数值；

(2) 便于与其它热导率测试方法和测试设备进行对比，对其它测试方法和测试设备测量隔热材料热导率的测试结果做出基本的评判。

2. 典型隔热材料试样

所选择的四种典型隔热材料分别为硅酸钙隔热材料、纳米超级隔热材料、低密度刚性隔热瓦和纤维增强碳气凝胶隔热材料。其中每种材料有两块试样，以下是这四种典型隔热材料每块试样的尺寸和密度资料。

2.1. 硅酸钙隔热材料

图 2-1 所示为 1 号试样，长宽厚分别为 $298 \times 297 \times 25.30\text{mm}$ ，重量 1720g ，密度 0.76g/cm^3 。

图 2-2 所示为 2 号试样，长宽厚分别为 $298 \times 298 \times 25.15\text{mm}$ ，重量 1669g ，密度 0.75g/cm^3 。

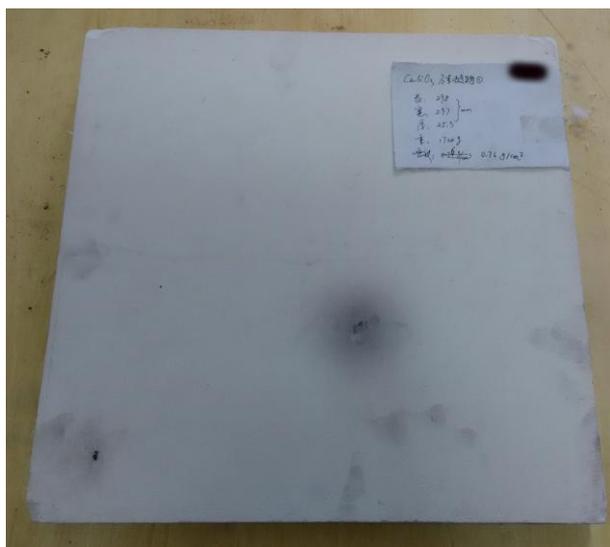


图 2-1 硅酸钙隔热材料 1 号试样



图 2-2 硅酸钙隔热材料 2 号试样

2.2. 纳米超级隔热材料

图 2-3 所示为 1 号试样, 长宽厚分别为 $300 \times 310 \times 19.85\text{mm}$, 重量 539g, 密度 $0.29\text{g}/\text{cm}^3$ 。

图 2-4 所示为 2 号试样, 长宽厚分别为 $300 \times 300 \times 19.70\text{mm}$, 重量 538g, 密度 $0.30\text{g}/\text{cm}^3$ 。



图 2-3 纳米超级隔热材料 1 号试样



图 2-4 纳米超级隔热材料 2 号试样

2.3. 低密度刚性隔热瓦

图 2-5 所示为 1 号试样, 长宽厚分别为 $300 \times 300 \times 19.71\text{mm}$, 重量 435g, 密度 $0.25\text{g}/\text{cm}^3$ 。

图 2-6 所示为 2 号试样, 长宽厚分别为 $300 \times 300 \times 16.82\text{mm}$, 重量 445g, 密度 $0.25\text{g}/\text{cm}^3$ 。

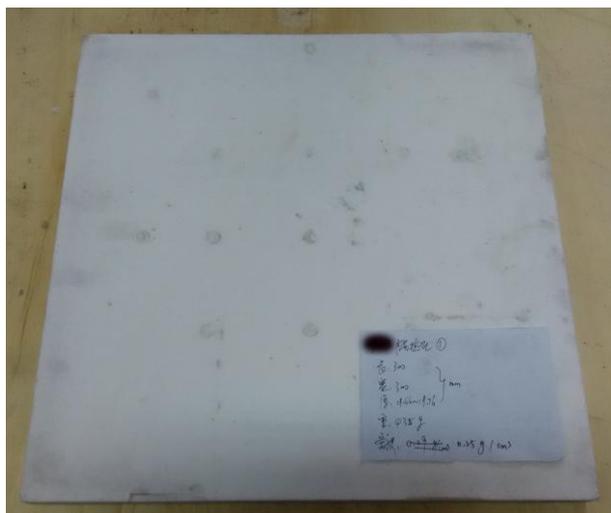


图 2-5 低密度刚性隔热瓦 1 号试样

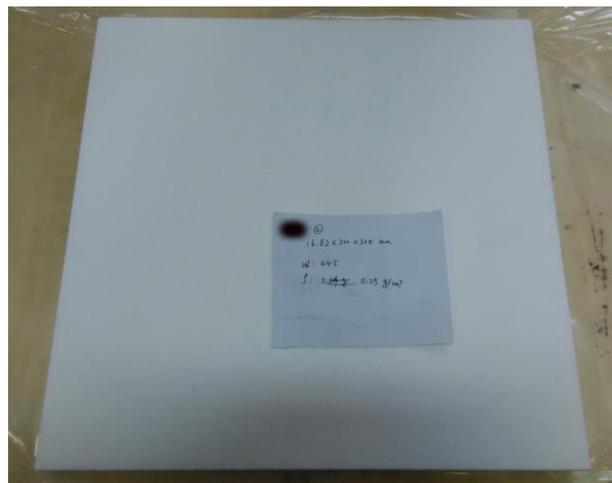


图 2-6 低密度刚性隔热瓦 2 号试样

2.4. 纤维增强碳气凝胶隔热材料

图 2-7 所示为 1 号试样，长宽厚分别为 295 × 290 × 18mm，重量 405g，密度 0.26g/cm³。

图 2-8 所示为 2 号试样，长宽厚分别为 295 × 290 × 21mm，重量 449g，密度 0.25g/cm³。



图 2-7 纤维增强碳气凝胶隔热材料 1 号试样



图 2-8 纤维增强碳气凝胶隔热材料 2 号试样

3. 测试结果

3.1. 硅酸钙隔热材料热导率测试结果

将硅酸钙隔热材料的 1 号和 2 号试样夹持住瞬态平面热源法探头并采用两个铜块压紧。采用 C5501 探头进行测量，功率 25mW，加热时间 40s，室温 23℃。探头分别放置在如图 3-1 所示的八个位置上分别进行测量，每个位置重复测量 2 次，由此获得试样不同位置处的热导率，取平均后得到这两个试样的热导率平均值，测试结果如图 3-1 所示。



图 3-1 硅酸钙隔热材料试样不同测试位置示意图和热导率测试结果

3.2. 纳米超级隔热材料热导率测试结果及厂家数据对比

将纳米超级隔热材料的 1 号和 2 号试样夹持住瞬态平面热源法探头并采用两个铜块压紧。采用 C5501 探头进行测量，功率 3mW，加热时间 160s，室温 22℃。探头分别放置在如图 3-2 所示的四个位置上分别进行测量，每个位置重复测量 2 次，由此获得试样不同位置处的热导率，取平均后得到这两个试样的热导率平均值，测试结果如图 3-2 所示。



图 3-2 低密度刚性隔热瓦试样不同测试位置示意图和热导率测试结果

3.3. 低密度刚性隔热瓦热导率测试结果

将低密度刚性隔热瓦的 1 号和 2 号试样夹持住瞬态平面热源法探头并采用两个铜块压紧。采用 C5501 探头进行测量，功率 7mW，加热时间 40s，室温 22℃。探头分别放置在如图 3-3 所示的四个位置上分别进行测量，每个位置重复测量 2 次，由此获得试样不同位置处的热导率，取平均后得到这两个试样的热导率平均值，测试结果如图 3-3 所示。

位置	热导率测量值	热导率平均值	偏差
	(W/mK)	(W/mK)	(%)
1	0.0699	0.0681	0.7%
1	0.0698		0.7%
1	0.0690		0.4%
2	0.0653		-1.2%
2	0.0659		-0.9%
3	0.0675		-0.3%
3	0.0675		-0.2%
4	0.0691		0.4%
4	0.0693		0.5%

图 3-3 低密度刚性隔热瓦试样不同测试位置示意图和热导率测试结果

3.4. 纤维增强碳气凝胶隔热材料热导率测试结果

将纤维增强碳气凝胶隔热材料的 1 号和 2 号试样夹持住瞬态平面热源法探头并采用两个铜块压紧。采用 C5501 探头进行测量，功率 5mW，加热时间 40s，室温 22℃。探头分别放置在如图 3-4 所示的四个位置上分别进行测量，每个位置重复测量 2 次，由此获得试样不同位置处的热导率，取平均后得到这两个试样的热导率平均值，测试结果如图 3-4 所示。

位置	热导率测量值	热导率平均值	偏差
	(W/mK)	(W/mK)	(%)
1	0.0593	0.0523	13.4%
1	0.0532		1.6%
2	0.0534		2.0%
2	0.0519		-0.8%
3	0.0524		0.1%
3	0.0484		-7.5%
4	0.0490		-6.4%
4	0.0514		-1.8%

图 3-4 纤维增强碳气凝胶隔热材料试样不同测试位置示意图和热导率测试结果

从图 3-4 所示的测试结果可以看出，不同位置处的热导率测试结果波动性较大，这主要是由于探测器所处位置有时无法规避试样上缝接纤维绳，造成探测器与被测试样之间有纤维绳的影响。

3.5. 测试结果汇总

将以上四种隔热材料的测试结果进行汇总，测试结果如下表所示。

被测试样	密度 (g/cm ³)	热导率 (W/mK)
硅酸钙隔热材料	0.75~0.76	0.241
纳米超级隔热材料	0.29~0.30	0.036
低密度刚性隔热瓦	0.25	0.068
纤维增强碳气凝胶隔热材料	0.25~0.26	0.052