

热流计法测定导热系数

A Method Determining the Thermal Conductivity of Frozen Soil with the Heat Flow Meter

陶兆祥 张立新 侯仲杰

(中国科学院兰州冰川冻土研究所冻土工程国家重点实验室)

提 要 本方法试验装置分为两个系统: 恒温系统和测温测热系统。恒温系统由两台低温循环浴与恒温箱组成; 测温测热系统由热流计和两支热电偶及数据采集仪组成。试样要求制成 $0.25 \times 0.25 \times 0.05 \text{ m}^3$ 的试样块, 若是颗粒或粉沫试样, 可装入两个侧面及底部是胶木、两个平壁面是铜板构成的 $0.25 \times 0.25 \times 0.05 \text{ m}^3$ 的试样盒内。将试样粘贴好热流计与热电偶后放入恒温箱内夹紧, 使其两个壁面与试样之间接触紧密。接通低温循环浴和测温测热线路电源, 调好所需温度, 待温度状况稳定后, 采集热流计读数 and 两壁面温度, 据此计算出导热系数。

关键词 导热系数 热流计法 热电偶 低温循环浴 数据采集仪

随着建设事业的日益发展, 新型建筑材料、保温材料不断脱颖而出, 标志这些材料保温性能好坏的一个主要指标便是导热系数。为了精确的测定导热系数, 我们根据近几年来社会的需求与经验, 拟制了热流计法来测定, 弥补我们已有仪器设备所欠缺的部分。热流计法是属于稳定导热原理进行测定的方法, 相当于双层平壁稳定热传导的情况。把试样两壁面保持具有恒定的温差, 当稳定热状态建立起来后, 测定试样壁面温差与通过试样的热流便可求得该试样的导热系数:

$$\lambda = \frac{\frac{E}{C} \cdot \Delta h}{t_1 - t_2}$$

式中, λ 为导热系数($\text{W}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$); C 为热流计系数($\text{mv} \cdot \text{m}^2/\text{W}$); E 为热流计示值(mv); Δh 为两热电偶间距(m); t_1, t_2 为两支热电偶示值($^\circ\text{C}$)。

1 试验装置与操作步骤

本方法试验装置分为两个系统即恒温系统和测温测热系统。恒温系统由恒温箱与两台低温循环浴(温度范围: -50 — 40°C 和 -20 — 10°C ; 控温精度: $\pm 0.05^\circ\text{C}$)组成, 其恒温箱内的循环槽壁面温度均匀性不能大于 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 。整个装置见图 1 所示。测温测热系统由一块热流计和两支铜-康铜热电偶为热流和温度传感器; 二次仪表为数据采集仪。

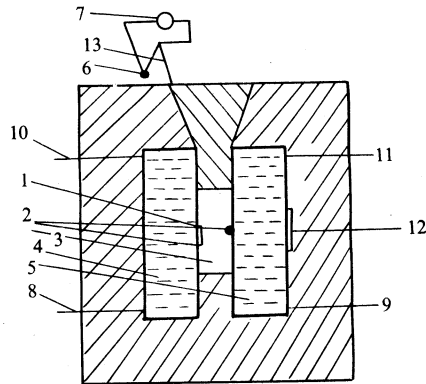


图 1 试验装置示意图

1. 热流计; 2. 热电偶测点; 3. 试样; 4. 恒温槽甲; 5. 恒温槽乙; 6. 热电偶零温端;
7. 数据采集仪; 8, 9. 恒温槽循环酒精进口; 10, 11. 恒温槽循环酒精出口;
12. 夹紧螺杆; 13. 热电偶及热流计引线

本试验操作步骤如下:

(1) 制备试样: 固体试样可制成 $0.25 \times 0.25 \times 0.05 \text{ m}^3$ 的试块。要求试块两个大面平整没凹凸。颗粒或粉沫试样可装入由两个侧面及底部是胶木, 两个平壁面是铜板做成的 $0.25 \times 0.25 \times 0.05 \text{ m}^3$ 的试样盒内, 试样盒事先粘贴好热流计和热电偶探头。

(2) 热流计与热电偶的粘贴: 在制好的固体试块两个与热流垂直的大面上, 沿垂向各刻一小沟槽, 分别贴一支热电偶探头并在其中一个面上按热流计形状厚度刻一平整小槽粘贴热流计, 探头与热流计的位置在该面的中心处, 装颗粒或粉沫试样时, 在试样盒两个铜板面内侧按固体试样方法粘贴热流计与热电偶便可。

(3) 将制好的试样放入恒温箱内夹紧, 使其两平壁面与试样之间接触尽可能紧密。

(4) 接通热电偶与热流计线路和低温循环浴电源, 调好循环浴至所需温度。甲循环浴为 20°C ; 乙循环浴为 $+3^\circ\text{C}$ (正温状态) 或 -20°C 和 -3°C (负温状态), 开机试验。

(5) 等采集仪显示屏上热流与温度达到稳定状态后再采集存盘, 并计算出试样的导热系数。

(6) 因本方法试验时间较长, 一般需 6—8 h; 所以可采取复合样试验方法, 即将两块制备好的样重叠在一起放入恒温箱内进行试验, 这样一次试验可测试两个试样。

2 试验结果与分析

通过对 7 种不同材料的多次反复试验, 证明本方法是可行的(表 1 和表 2)。由表 1 和 2 可见本方法与日本产 TC-22 型数字导热仪测试结果相差无几。由表 1 看出所测的材料有可塑性的、有砗类的、也有颗粒或粉沫的、也有金属类。这些材料都是干燥的不含水分, 其测试有两种方法(热流计法与 TC-22 导热仪)的绝对误差都在 3% 以内, 所以可得出这样的结论: 1) 测试对象为干燥的颗粒或粉沫试样、块状试样, 如建筑保温材料

表 1 两种试验方法所得结果比较(导热系数单位: $W/m \cdot ^\circ C$)

试样名称	干容重 (kg/m^3)	含水量 (%)	热流计法		TC-22 导热仪		绝对误差	
			λ^+	λ^-	λ^+	λ^-	λ^+	λ^-
泡沫聚苯乙烯	34	0	0.034	0.034	0.029	0.029	-0.005	-0.005
泡沫聚苯乙烯	35	0	0.035	0.034	0.031	0.030	-0.004	-0.004
泡沫聚苯乙烯	32	0	0.036	0.035	0.031	0.031	-0.005	-0.004
聚氨酯	36	0	0.019	0.021	0.015	0.015	-0.004	-0.006
聚氨酯	47	0	0.015	0.019	0.016	0.016	-0.001	-0.003
玻璃绵	32	0	0.036	0.038	0.035	0.035	-0.001	-0.003
玻璃绵	32	0	0.034	0.035	0.035	0.035	0.001	0.000
珍珠岩混凝土	930	0	0.231	0.235	0.239	0.231	0.008	-0.004
珍珠岩混凝土	940	0	0.228	0.228	0.225	0.223	-0.003	-0.005
珠光砂混凝土	1 220	0	0.331	0.345	0.323	0.324	-0.008	-0.021
珠光砂混凝土	1 460	0	0.345	0.355	0.327	0.330	-0.018	-0.025
石英砂	1 680	0	0.302	0.251	0.303	0.281	0.001	0.030

表 2 复合试样试验结果(导热系数单位: $W/m \cdot ^\circ C$)

试样名称	干容重 (kg/m^3)	含水量 (%)	试样(1)		试样(2)	
			λ^+	λ^-	λ^+	λ^-
泡沫聚苯乙烯	35	0	0.033	0.038		
泡沫聚苯乙烯	34	0			0.035	0.035
聚氨酯	36	0	0.017	0.017		
聚氨酯	47	0			0.020	0.021
珍珠岩混凝土	940	0	0.231	0.226		
珍珠岩混凝土	930	0			0.230	0.222
泡沫聚苯乙烯	35	0	0.030	0.033		
珍珠岩混凝土	930	0			0.204	0.219

料、塑料制品、各种发泡保温材料和非均质粗颗粒材料等。2) 测试范围为 $0.010\text{--}0.600 W/m \cdot ^\circ C$ 。3) 同时进行两个试样也是可行的。4) 测试精度为 3%。

本工作在徐学祖副主任指导下进行, 吴紫汪主任经常给予关心指导, 顾同欣也参加了部分工作, 特表谢意。