

### 公路工程沥青混合料热物理参数测试规程

Standard Test Methods of Thermal Physical Parameters for  
Highway Bitumen Mixtures

2014 - 06 - 05 发布

2014 - 06 - 30 实施

河北省质量技术监督局 发布

## 前 言

本标准按照GB/T 1.1-2009给出的规则起草。

本规程由河北省交通运输厅提出。

本规程起草单位：石家庄市交通运输局、西安建筑科技大学、河北省交通运输厅公路管理局、河北高速公路邢汾管理处、河北省道路结构与材料工程研究中心。

本规程起草人：李彦伟、张倩、杜群乐、赵永祯、石鑫、李作恒、李江海、王联芳、赵文忠、谢来斌、张尚龙、张永利、李鹏、韩建收。

# 公路工程沥青混合料热物理参数测试规程

## 1 范围

本规程规定了公路工程沥青混合料导热系数、导温系数、比热容测试方法及沥青比热容测试方法。本规程适用于各种沥青混凝土和沥青碎石混合料。

## 2 规范性引用文件

下列文件对本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 10297 非金属固体材料导热系数的测定 热线法  
JTG E20 公路工程沥青及沥青混合料试验规程

## 3 术语与定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

热流密度

单位时间单位面积截面传输的热量，又称热通量，单位为J/(m<sup>2</sup>·s)。

### 3.2

导热系数

反映材料导热能力的物理量，是在一定时间内，一定温差下，通过一定厚度和一定面积材料的热量。数值上等于热流密度与温度梯度之比，即在单位温度梯度作用下沥青混合料内所产生的热流密度，又称热导率，单位为W/(m·K)，用 $\lambda$ 表示。

### 3.3

导温系数

反映温度不均匀的沥青混合料中温度均匀化速度的物理量，数值上等于导热系数与密度和比热容的乘积之比，也称热扩散率或热扩散系数，单位为m<sup>2</sup>/s，用 $\alpha$ 表示，可由下式计算：

$$\alpha = \lambda / \rho c$$

式中：

$\lambda$ ——导热系数，W/(m·K)；

$\rho$ ——密度，kg/m<sup>3</sup>；

$c$ ——比热容，kJ/(kg·K)。

## 3.4

比热容

表征物质的热惯性，数值上等于单位质量的沥青混合料或沥青温度升高1℃所需吸收的热量，单位为kJ/(kg·K)，由下式表示：

$$c = \frac{Q}{m\Delta T}$$

式中：

$c$ ——比热容，kJ/(kg·K)；

$Q$ ——物体吸收的热量，kJ；

$m$ ——物体的质量，kg；

$\Delta T$ ——物体吸热后温度的上升值，K。

## 4 沥青混合料导热系数测试方法

## 4.1 原理

本规程采用瞬态热线法测试沥青混合料导热系数。热线法是测定材料导热系数的一种非稳态方法。其原理是在匀温的试样中放置一根电阻丝，即所谓的“热线”，当热线以恒定功率放热时，热线及其附近试样的温度将会随时间升高。在试验过程中，测量热丝的温升随时间对数变化的关系就可以根据式(1)确定试样的导热系数。

$$\lambda = \frac{q}{4\pi(d\Delta T_{id}/d\ln t)} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$\lambda$ ——导热系数，W/(m·K)；

$q$ ——电阻丝发热量，kJ；

$\Delta T_{id}$ ——电阻丝的温升，K；

$t$ ——加热时间，s；

$d\Delta T_{id}/d\ln t$ ——电阻丝的升温对时间对数的导数，表示电阻丝温升随时间变化的快慢程度。

## 4.2 仪器与材料

4.2.1 导热系数测定仪，示意图见图1。技术参数要求：测量范围为0.005W~20W/(m·K)，分辨率为0.005W/(m·K)；电源为220V/50Hz；试验环境温度可为常温，也可根据需要设定，非常温的试验温度需在环境箱中实现。

4.2.2 热线感应器探头，技术参数要求：发热功率为5W~10W，测温范围为-20℃~100℃，长度为30mm。

4.2.3 砝码2个，每个100g。



图1 沥青混合料导热系数测试装置示意图

### 4.3 方法与步骤

#### 4.3.1 试样制备

本试验采用室内成型的沥青混合料圆柱体试件，或采用工程现场钻芯、切割等方法获得的沥青混合料试件。现场钻芯取样应按照JTG E20中T 0710方法进行，直径不小于50mm。将制作好的沥青混合料圆柱体试件沿试件中部切割成两个大小相同的圆柱体试件，两个试样为一组进行测试。轮碾仪成型的车辙板试件可切割成两个100mm×50mm×50mm的长方体，两个试样为一组进行测试。两个试样的切割尺寸可随沥青混合料公称最大粒径尺寸的增加适当增加。试件表面应除去浮粒，可用无水乙醇进行擦拭清洗，室温存放，保持表面清洁、干燥。

#### 4.3.2 测试步骤

4.3.2.1 试验时，试件应处在一个恒定的温度环境下，试验室温度变化控制在±2℃以内。

4.3.2.2 取其中一块试样平置于试验台，将热线感应器探头放在试样切割面中心，然后将另一块试样的切割面完全覆盖在探头上，其上放置砝码，使试样与热线感应器之间接合紧密。

4.3.2.3 打开电源，开启导热系数测定仪及计算机，启动测试软件，设置每组测试时间为3min。

4.3.2.4 在1.3V~4.0V范围内选择适当加载电压。加载电压由最小值开始施加测量，逐渐增大，当观测软件中的温升曲线趋于平缓时，保持该加载电压不变。

4.3.2.5 点击开始测试，试验过程中计算机实时给出热线感应器探头温度随时间的变化曲线。一组试样至少连续测试5次，测试结束后，保存文件。

### 4.4 结果计算

试验测试软件从热线感应器探头温度随时间变化曲线中回归得到斜率 $d\Delta T_{id}/d\ln t$ ，并从软件读取热线感应器探头电阻丝发热量 $q$ ，由式（1）计算沥青混合料导热系数 $\lambda$ ，精确至0.001W/(m·K)。

### 4.5 试验报告

4.5.1 当一组测值中的某个测定值与平均值之差大于标准差的  $k$  倍时，该测定值应予舍弃，并以其余测定值的平均值作为试验结果。当测试次数  $n$  为 5、6 次时， $k$  值分别为 1.67、1.82，至少进行三次有效试验。

4.5.2 报告中需注明试验温度、试验用时、集料类型、沥青类型、沥青混合料类型、试样来源、成型或加工方法、试样尺寸、空隙率、密度、沥青用量、沥青饱和度及矿料间隙率等信息。

## 5 沥青混合料导温系数测试方法

### 5.1 原理

本规程采用瞬态热流法测试沥青混合料的导温系数。测量原理：给平面热源通以一定形式(阶跃或脉冲式)的加热电流  $I(t)$ ，使其对材料进行加热，同时用热电阻测量距热源为  $x$  位置处材料的温度变化  $T(t)$ ，根据热源-试样测量系统的传热数学模型及其非稳态导热方程的解析解，按式(2)进行导温系数计算。测试装置示意图见图2。

$$\text{ierfc}(u) = \text{ierfc}\left(\frac{\delta}{2\sqrt{\alpha t_2}}\right) = \frac{T_2(\delta, t_2) - T_0}{T_1(0, t_1) - T_0} \frac{1}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{t_1}{t_2}} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$\text{ierfc}\left(\frac{\delta}{2\sqrt{\alpha t_2}}\right)$ ——高斯补误差函数的一次积分，可从表 1 查取，其中  $\frac{\delta}{2\sqrt{\alpha t_2}} = u$ ；

$\delta$ ——沥青混合料试样2的厚度，mm；

$\alpha$ ——沥青混合料试样2的导温系数， $10^{-3}\text{m}^2/\text{s}$ ；

$t_2$ ——导温系数测试的传温终了时刻，s；

$T_2(\delta, t_2)$ ——导温系数测试终了时刻距热源为  $\delta$  位置处试样的温度；

$T_0$ ——试验开始前试样1和试样2表面的初始温度；

$T_1(0, t_1)$ ——导温系数测试开始时刻距热源位置为0处试样的温度；

$t_1$ ——导温系数测试的传温初始时刻，s。

注：在试验过程中，需要测量试样两个截面的温升随时间变化的关系，先带入式(2)求得误差函数变量值，再通过补误差函数表示出因变量，计算导温系数值。

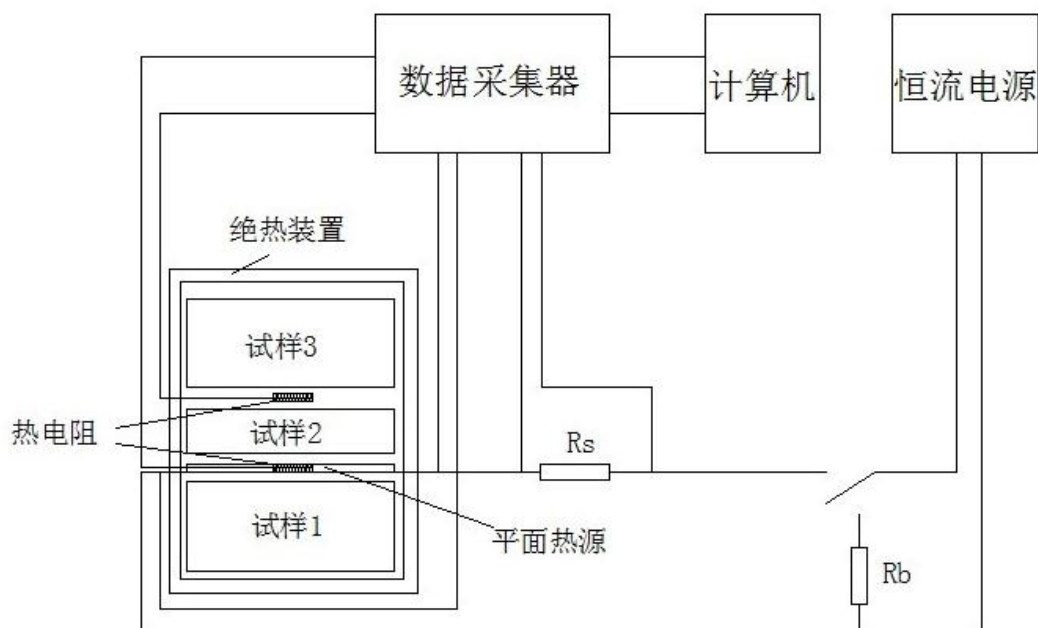


图2 沥青混合料导温系数测试装置示意图

## 5.2 仪器与材料

5.2.1 导温系数测试装置，包括平面热源一个，尺寸为：100mm×100mm，加热功率 20w~50w；测温热电阻两枚，直径 1mm，测温精度 0.1℃；数据采集器，至少能够双通道实时采集，与计算机连接使用；恒流电源一个，绝热装置一套。测试装置示意图见图 2，其中， $R_s$ 、 $R_b$  为保护电阻。

5.2.2 游标卡尺：精度 0.02mm。

5.2.3 秒表：精度 0.1s。

## 5.3 方法与步骤

### 5.3.1 试样制备

采用室内成型的沥青混合料车辙板试件，从车辙板切取尺寸为150mm×150mm×50mm的试样2块（见图2中的试样1和试样3），150mm×150mm×15mm的试样1块（见图2中的试样2），尺寸误差不超过±2mm，试样2的高度可根据沥青混合料公称最大粒径适当调整。试样表面应保持平整、清洁，试样各相邻面均应呈准确的直角，尽量避免存在疤痕、裂缝等缺陷，以免测试结果产生较大误差。

### 5.3.2 测试步骤

5.3.2.1 分别测量试样 2 四条边中点位置处的高度，计算平均值，记为  $\delta$ ，精确到 0.1mm，偏差不大于±2mm。

5.3.2.2 将平面加热片放置在试样 1 与试样 2 之间中心处，见图 2。两个热电阻分别放在加热片与试样 2 之间和试样 2 与试样 3 之间中心处。检查确认试样与试样、试样与加热片、试样与热电阻之间接触紧密，避免形成缝隙，并使绝热装置密封。打开各仪器，检查性能，确保工作正常。

5.3.2.3 试验开始时，对两个热电阻各读数一次，其分别测试的是试样 1 和试样 2 的表面温度。当两者温度差别较大时，寻找原因并进行调整，使其温差小于  $0.5^{\circ}\text{C}$ ，取均值记为  $T_0$ 。待两者初始温度  $T_0$  稳定后，通电加热试样，用秒表计时。

5.3.2.4 设定数据采集器，每隔 1 分钟对热电阻温度进行一次记录。加热 20min 后终止试验。

5.4 结果计算

由计算机记录的试样1和试样2表面温度随时间变化的曲线  $T_1(t)$ 、 $T_2(t)$  中，取加热开始后12min~14min之间任意时刻记为导温初始时刻  $t_1$ ，导温终了时刻  $t_2$  比  $t_1$  延后1min~2min，分别读取各时刻对应温度值  $T_1(0, t_1)$ 、 $T_2(\delta, t_2)$ ，代入式 (2)，计算  $ierfc(\delta_1/2\sqrt{\alpha t_2})$  值，通过表1查取  $\delta/2\sqrt{\alpha t_2}$  的值，然后反算得到导温系数值  $\alpha$ ，精确到  $0.001 \times 10^{-3} \text{m}^2/\text{s}$ 。

表1 高斯补误差函数表

$u$	$ierfc(u)$	$u$	$ierfc(u)$	$u$	$ierfc(u)$
0.00	0.5642	0.70	0.1201	1.40	0.0127
0.10	0.4698	0.80	0.0912	1.50	0.0086
0.20	0.3866	0.90	0.0682	1.60	0.0058
0.30	0.3142	1.00	0.0503	1.70	0.0038
0.40	0.2521	1.10	0.0365	1.80	0.0025
0.50	0.1996	1.20	0.0260	1.90	0.0016
0.60	0.1559	1.30	0.0183	2.00	0.0010

5.5 试验报告

当一组测值中的某个测定值与平均值之差大于标准差的  $k$  倍时，该测定值应予舍弃，并以其余测定值的平均值作为试验结果。当测试次数  $n$  为3、4、5、6次时， $k$  值分别为1.15、1.46、1.67、1.82，至少进行3次试验。

报告中需注明试验温度、试验用时、集料类型、沥青类型、级配类型、试样来源、成型或加工方法、试样尺寸、空隙率、密度、沥青用量、沥青饱和度及矿料间隙率等信息。

6 沥青混合料比热容测试方法

6.1 原理

本规程采用绝热量热法测试沥青混合料比热容。将质量为  $m$  的试样装入量热器，并使其处在绝热环境中，当量热器稳定到所需时间或温度后，通入直流电流加热量热体系，使之升高至一定的温度。通过测量通入量热体系的电能  $Q$  和由此引起的温升  $\Delta T$ ，求出试样的比热容  $c$ 。

6.2 仪器与材料

6.2.1 配置绝热量热法测试装置如图 3 所示，包括量热器（量热器自身比热容小于试样比热容的二分之一）、绝热系统（内外温差控制在  $0.1^{\circ}\text{C}$  范围之内）、电能测试系统（测试电压电流分辨率应分别高于  $0.1\text{mV}$  和  $0.01\text{mA}$ ，测试时间分辨率应高于  $\pm 0.1\text{s}$ 。），以及温度测试系统（分辨率高于  $0.1^{\circ}\text{C}$ ）。



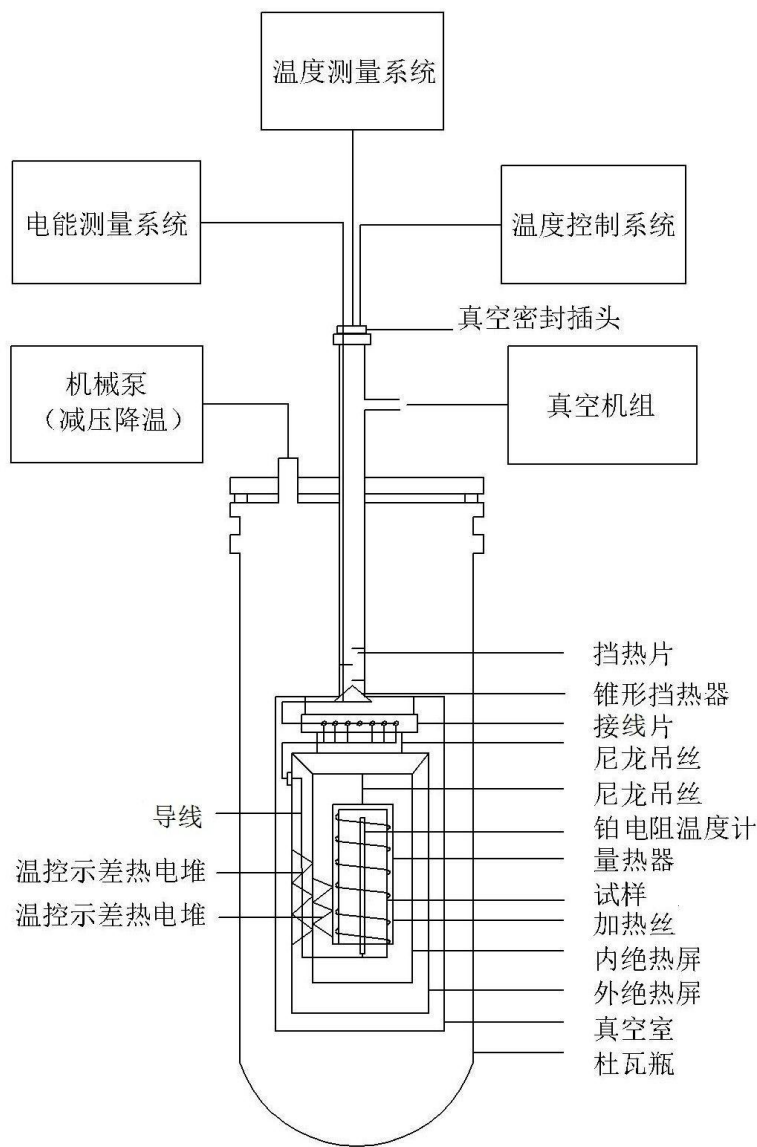


图3 沥青混合料绝热量热法比热容测试装置示意图

6.2.2 天平 1 台：精度 0.01g。

6.2.3 秒表：精度 0.1s。

6.3 方法与步骤

6.3.1 试样制备

本试验按JTG E20成型沥青混合料圆柱体试件，或在工程现场钻芯取样，将其切割成与量热器内径和高度尺寸相匹配的圆柱体试件，误差不超过±2mm，并保持清洁干燥。试件直径和高度可根据沥青混合料公称最大粒径适当调整。沿试样中轴线全高钻孔，孔径以刚好插入铂电阻温度计为宜。

6.3.2 测试步骤

6.3.2.1 称取量热器的质量，精确至 0.01g。将试样装入量热器中，注意试样中心的孔壁应与铂电阻温度计贴合紧密，称取量热器和试样的总质量，精确至 0.01g。计算试样质量  $m$ 。

6.3.2.2 按图3装好量热器,插入铂电阻温度计连接线路,并将示差热电堆、绝热屏等装好。应确保电路绝缘、无断电、密封良好。接通真空系统,抽真空,使压力小至5Pa,停止后冲入制冷剂。当量热器达到所需测试温度时,接通真空系统,再次抽真空,使压力小于 $2 \times 10^{-3}$ Pa,同时接通绝热控制系统。

6.3.2.3 初期恒温 初期恒温的目的是测量量热器初温 $T_c$ 。当量热器的温度已稳定或者变化很小时,每分钟测量并记录量热器的温度一次,连续记录5个读数。

6.3.2.4 主期升温 主期升温的目的是测量通入量热器的电能 $Q_e$ 。在初期结束的同时,给加热器通电加热,记录通电加热时间,并每分钟交替测量加热器两端电压。当铂电阻温度计读数达到预定的温度(如60℃)时,主期结束,末期开始。

6.3.2.5 末期恒温 末期恒温的目的是测量量热器末温 $T_n$ 。当量热器的温度已稳定或者变化很小时,每分钟测量并记录量热器的温度一次,连续记录5个读数。

6.3.2.6 量热器比热 $c$ 是在空载情况下,按6.3.2.2~6.3.2.5条进行试验,并按式(3)~(5)分别计算量热器温升 $\Delta T^0$ ,量热器吸收的热能 $Q_e^0$ ,量热器的比热 $c$ 。

$$\Delta T^0 = T_{n0} - T_{c0} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

$\Delta T^0$ ——空载下量热器温升, K;

$T_{n0}$ ——空载下量热器末温, K;

$T_{c0}$ ——空载下量热器初温, K。

$$Q_e^0 = I_0 \cdot U_0 \cdot t_0 \dots\dots\dots (4)$$

式中:

$Q_e^0$ ——空载下通入量热器的热能, kJ;

$I_0$ ——空载下通入加热器电流的平均值, A;

$U_0$ ——空载下加热器两端电压的平均值, V;

$t_0$ ——通电加热时间, s。

$$c = \frac{Q_e^0}{\Delta T^0} \dots\dots\dots (5)$$

式中:

$c$ ——量热器的比热容, kJ/(kg·K);

## 6.4 结果计算

按式（6）计算量热器和试样温升  $\Delta T$ ，按式（7）计算量热器和试样所吸收的热能，试样比热容计算见式（8）。

$$\Delta T = T_n - T_c \dots\dots\dots (6)$$

式中：  
 $\Delta T$ ——量热器和试样的温升，K；  
 $T_n$ ——量热器末温，K；  
 $T_c$ ——量热器初温，K；

$$Q_e = I \cdot U \cdot t \dots\dots\dots (7)$$

式中：  
 $Q_e$ ——装入试样后通入量热器的热能，kJ；  
 $I$ ——通入加热器电流的平均值，A；  
 $U$ ——加热器两端电压的平均值，V；  
 $t$ ——通电加热时间，s。

$$c_p = (\frac{Q_e}{\Delta T} - c) / m \dots\dots\dots (8)$$

式中：  
 $c_p$ ——试样的比热容，kJ/(kg×K)；  
 $Q_e$ ——通入量热器和试件的热能，kJ；  
 $\Delta T$ ——量热器和试样的温升，K；  
 $c$ ——量热器的比热容，kJ/(kg×K)；  
 $m$ ——试样质量，kg。

6.5 试验报告

当一组测值中的某个测定值与平均值之差大于标准差的k倍时，该测定值应予舍弃，并以其余测定值的平均值作为试验结果，精确到0.001 kJ/(kg×K)。当测试次数n为3、4、5、6次时，k值分别为1.15、1.46、1.67、1.82，至少进行三次试验。

报告中需注明：试验温度、试验用时、集料类型、沥青类型、级配类型、试样来源、成型或加工方法、试样尺寸、空隙率、密度、沥青用量、沥青饱和度和矿料间隙率等信息。

附录 A  
(资料性附录)  
沥青比热容测试方法

A.1 原理

本规程采用差式扫描量热法测试沥青的比热容，其测试原理是通过程序控温，使放置试样和参比物的两个控制室升温或降温，另一个控制室用于补偿试样和参比物之间所产生的温差，在保证试样和参比物温度相同的前提下，测量每单位时间输给两者的热能功率差与温度的关系，以热流率结合质量计算比热容。

A.2 仪器与材料

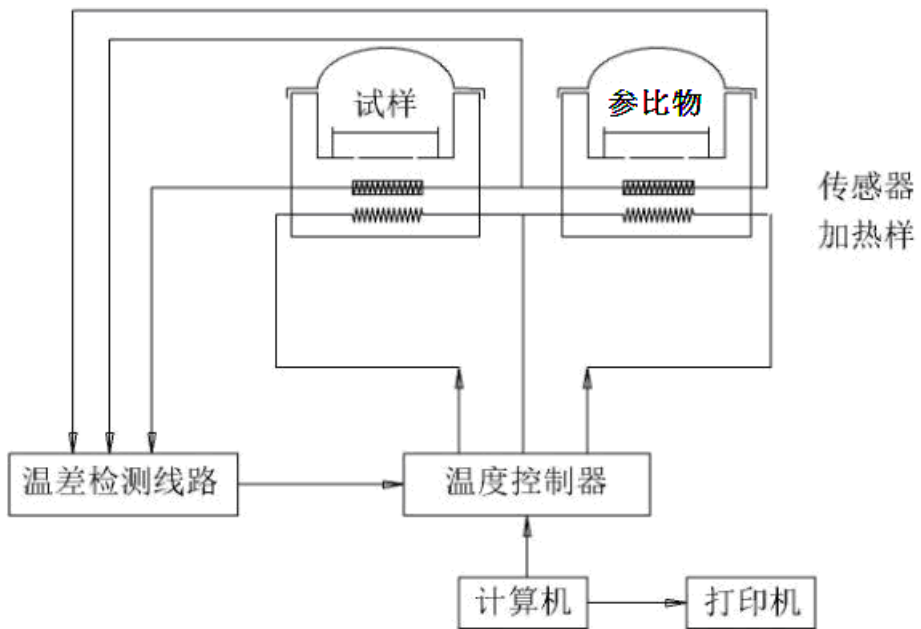
A.2.1 功率补偿型差式扫描量热仪。技术参数要求：测量范围0mW~300mW，解析度0.01mW，灵敏度0.1mW，测温范围-30mW~200℃，温度分辨率0.1℃，升温速率0.1mW~80℃/min，测量时间5s~20s，电源AC 220V/50Hz。测试装置示意图见图A.1。

A.2.2 参比物（如蓝宝石）。

A.2.3 天平：精度0.1mg。

A.2.4 秒表：精度0.1s。

A.2.5 镊子。



图A.1 沥青比热测试装置示意图

A.3 方法与步骤

A.3.1 试样制备

将少量沥青加热至熔融状态，用镊子尖蘸取微量沥青，待沥青冷却凝固后，用小刀将镊子尖上的沥青刮下，并使其呈圆团状，称取其质量  $m_1$ ，精确至0.1mg，要求试样质量不宜超过5mg。将样品放于试样皿盒中间，然后用镊子盖上试样皿盖，移至专用密封成型仪上，按下成型杆，取出试样皿，试样制备完毕。

A.3.2 测试步骤

A.3.2.1 称取参比物质量  $m_2$ ，精确至0.1mg。

A.3.2.2 根据试验目的选取相应温度范围，沥青比热容测温范围为-30℃~180℃。将扫描程序分为三段：初期恒温、中间升温、末期恒温。在初期恒温保持2min；中间升温扫描即从初期恒温升至末期恒温，扫描速率为10℃/min；末期恒温保持2min。

A.3.2.3 启动量热仪，待加热稳定后即可开始扫描。扫描前需先设置炉温使其接近室温，以免炉温与外界温差过大。

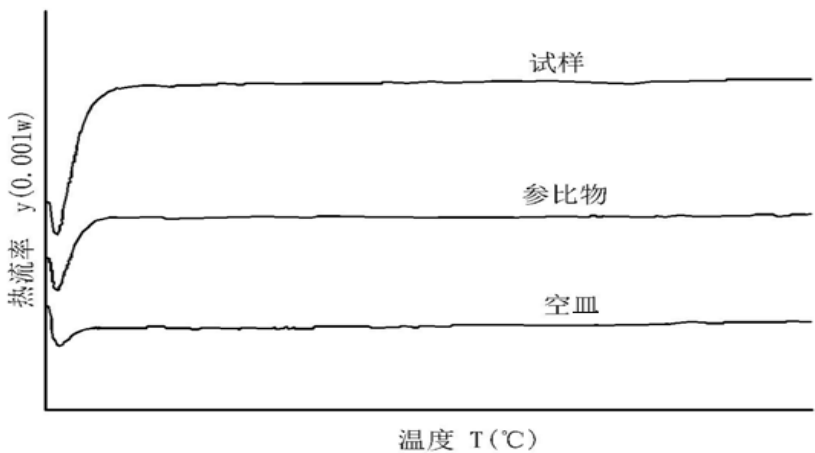
A.3.2.4 将炉温设置好后，把新压制好的两个空皿分别放入试样炉和参比炉中，按初期恒温、中间升温、末期恒温的温度扫描程序进行基线扫描。

A.3.2.5 在炉温达到设定值时，将试样炉中的空皿取出，将待测样品皿放入炉中，将另一个试样炉中的空皿取出，将参比物样品皿放入炉中，按与基线扫描相同的程序进行扫描。

A.3.2.6 每个扫描过程中，计算机以文件形式给出热流率随温度变化曲线，保存文件，打印曲线图。

A.4 结果计算

从测试软件给出的基线扫描、试样扫描以及参比物扫描三条热流率曲线中（如图 A.2）可读出某一温度下的热流率值，空皿、试样及参比物的热流率值分别为  $y_0$ 、 $y_1$  及  $y_2$ ，并结合参比物的比热容值和两者质量，通过式（A.1）计算试样的比热容值：



图A.2 沥青比热容测试热流率曲线图

$$c_{p1} = \frac{m_2(y_2 - y_0)}{m_1(y_1 - y_0)} c_{p2} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

$c_{p1}$  ——试样的比热容值，kJ/（kg×K）；

$m_1$  ——沥青试样质量，mg；

$m_2$  ——参比物质量，mg；

$y_2$  ——参比物的热流率值，0.001W；

$y_0$  ——空皿的热流率值，0.001W；

$y_1$  ——沥青试样的热流率值，0.001W；

$c_{p2}$  ——参比物的比热容值，kJ/（kg×K）。

A.5 试验报告

当一组测值中的某个测定值与平均值之差大于标准差的 $k$ 倍时，该测定值应予舍弃，并以其余测定值的平均值作为试验结果，精确到0.001 kJ/（kg·K）。当测试次数 $n$ 为3、4、5、6次时， $k$ 值分别为1.15、1.46、1.67、1.82，至少进行三次试验。

报告中需注明试验温度、试验用时、试样来源、沥青类型、标号、密度等信息。

\_\_\_\_\_