



中华人民共和国建筑工业行业标准

JG/T 329—2011

混凝土热物理参数测定仪

Apparatus of concrete thermal coefficient

2011-07-04 发布

2012-02-01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部 发布

目 次

前言 I

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 分类与标记 1

5 组成及使用条件 2

6 要求 4

7 试验方法 5

8 检验规则 6

9 标志、包装、运输和贮存 7

附录 A（资料性附录） 混凝土热扩散率逆向热扩散测定法 9

附录 B（规范性附录） 水修正值试验方法 11

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由住房和城乡建设部标准定额研究所提出。

本标准由住房和城乡建设部建筑工程标准技术归口单位归口。

本标准负责起草单位：中国建筑科学研究院、广西建工集团第二建筑工程有限责任公司。

本标准参加起草单位：中国水利水电科学研究院、舟山市博远科技发展有限公司、天津市天宇实验仪器有限公司、苏州市东华试验仪器有限公司、建研建材有限公司。

本标准主要起草人：田冠飞、冷发光、姜福田、纪国晋、诸华丰、王雪昌、王玉杰、田凯、李德智、鲍克蒙。

混凝土热物理参数测定仪

1 范围

本标准规定了混凝土热物理参数测定仪(以下简称热参数仪)的分类与标记,组成及使用条件,要求,试验方法,检验规则,标志、包装、运输和贮存。

本标准适用于热参数仪的设计、生产和质量检验。

2 规范性引用文件

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

GB/T 4214.1 声学 家用电器及类似用途器具噪声 测试方法 第1部分:通用要求

GB 4706.1 家用和类似用途电器的安全 第1部分:通用要求

GB 4706.13 家用和类似用途电器的安全 制冷器具、冰淇淋机和制冰机的特殊要求

GB 4706.17 家用和类似用途电器的安全 电动机-压缩机的特殊要求

GB 4706.19 家用和类似用途电器的安全 液体加热器的特殊要求

SL 352 水工混凝土试验规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

热扩散率 thermal diffusivity

材料在冷却或加热过程中,各点达到同样温度的速率,也称为导温系数。

3.2

比热容 specific heat

单位质量的物质温度升高或降低1℃所吸收或放出的能量,也称为比热。

3.3

热膨胀系数 coefficient of linear thermal expansion

单位温度变化所引起材料单位长度的变化率。

3.4

绝热温升 adiabatic temperature rise

处于绝热状态的混凝土,由胶凝材料水化导致的某一时刻的温升值。

4 分类与标记

4.1 分类

热参数仪(代号:ATC)分为,

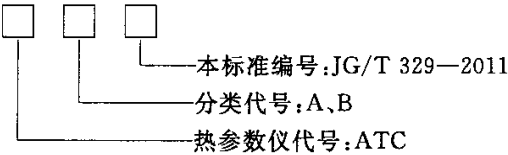
a) A型,用于绝热温升和比热容测定;

b) B型,用于绝热温升、比热容、热扩散率和热膨胀系数测定。

4.2 标记

4.2.1 标记方法

热参数仪标记由热参数仪代号、分类代号和本标准编号组成。表示如下：



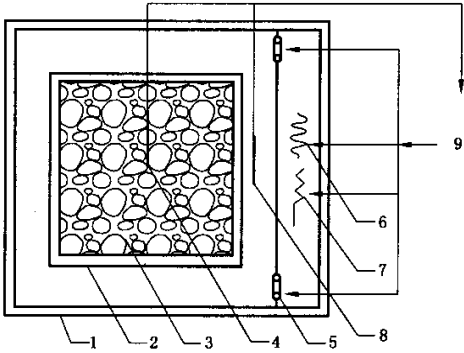
4.2.2 标记示例

- a) 测定项目为绝热温升和比热容的热参数仪表示为: ATC A JG/T 329—2011;
- b) 测定项目为绝热温升、比热容、热扩散率和热线胀系数热参数仪表示为: ATC B JG/T 329—2011。

5 组成及使用条件

5.1 组成

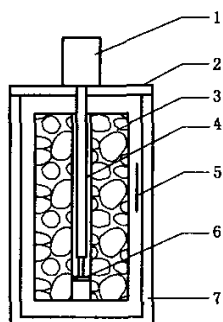
A 型热参数仪主要由绝热温升试验装置、比热容加热装置、温度传感器和控制系统等组成。B 型热参数仪主要由绝热温升试验装置、比热容加热装置、热扩散率和热线胀系数试验装置、温度传感器及控制系统等组成。绝热温升试验装置、比热容加热装置及热扩散率和热线胀系数试验装置结构组成示意图分别见图 1、图 2 和图 3。



说明:

- 1——绝热试验箱;
- 2——试样桶;
- 3——混凝土试样;
- 4、8——温度传感器;
- 5——风扇;
- 6——制冷器;
- 7——制热器;
- 9——温度测量与仪器控制系统。

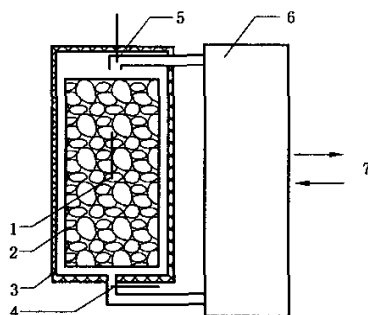
图 1 绝热温升试验装置



说明：

- 1——电机；
- 2——桶盖；
- 3——混凝土试样；
- 4——电加热器；
- 5——温度传感器；
- 6——搅拌器；
- 7——加热桶。

图 2 比热容加热装置



说明：

- 1、4、5——试样中心、出水口、入水口温度传感器；
- 2——混凝土试样；
- 3——试验箱；
- 6——恒温循环水给水装置；
- 7——仪器测量与控制系统。

图 3 热扩散率和热线胀系数试验装置

5.2 使用条件

5.2.1 热参数仪应在相对湿度不大于 90%、周围无强振动及强电磁场影响的条件下使用。室内机组和室外机组的工作环境温度宜分别为 $10\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

5.2.2 供电电源电压宜为 $380\text{ V}\pm 38\text{ V}$ ；频率应为 $50\text{ Hz}\pm 0.5\text{ Hz}$ 。

6 要求

6.1 温度传感器

用于绝热试验箱温度跟踪控制、比热容加热桶循环水温测定、热扩散率和热线胀试验箱循环水温度测控以及试样内部温度测定的温度传感器,测量范围应为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$,温升测量误差不应大于 $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,分辨率不应低于 $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

6.2 绝热温升试验装置

6.2.1 绝热温升试验装置应进行无热源水检验,即试样桶(容积不小于 20 L)内装与绝热温升试验试样体积相同的水,水温分别为 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,在温度跟踪状态下运行 72 h ,试样桶内水的温度变动值不应大于 $\pm 0.05\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

6.2.2 试验时,绝热试验箱内空气的平均温度与试样中心温度的差值应保持不大于 $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

6.3 比热容试验装置

6.3.1 比热容试验所用试验箱应与绝热试验箱为同一箱体。试验时,绝热试验箱内空气的平均温度与试样加热桶水温的差值应保持不大于 $\pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

6.3.2 应提供比热容加热桶 $20\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $30\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $40\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 三个不同温度段的热容量水修正值。每个热容量水修正值与平均值的差值不应大于平均值的 15% 。

6.4 热扩散率试验装置

6.4.1 试验箱内水的温度范围为 $10\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 80\text{ }^{\circ}\text{C}$,升温速率宜为 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}\sim 1.0\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。

6.4.2 试样整个热扩散率测定过程,试验箱内水温变动值不应大于 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$,稳定热扩散阶段水温变动值不应大于 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

6.4.3 对采用逆向热扩散测定法(参见附录 A)的试验装置,整个热扩散率测定过程,试验箱内水温变动值不应大于 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,稳定热扩散阶段水温变动值不应大于 $\pm 0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

6.5 热线胀系数试验装置

6.5.1 试验箱内水的温度范围为 $10\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 80\text{ }^{\circ}\text{C}$,升温速率宜为 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}\sim 1.0\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。

6.5.2 恒温期间试验箱内水温变动值不应大于 $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

6.6 控制系统

控制系统应具有运行控制以及数据显示、采集、存储、处理和输出等功能。

6.7 安全性

设备及组件的安全性应符合 GB 4706.1、GB 4706.13、GB 4706.17 和 GB 4706.19 的相关规定。

6.8 噪声

室内机组满载运转的工作噪声不应大于 70 dB(A) 。

6.9 可靠性

仪器运转时,各项工作指标应正常,运转稳定可靠,连续无故障工作时间不应小于 $3\text{ }000\text{ h}$ 。

6.10 外观

仪器外观应整洁,各控制调整开关和旋钮等应操作灵活。产品标牌应字迹清楚,不应有刻痕和脱漆,且安装应端正牢固。

7 试验方法

7.1 温度传感器

将测量误差不大于 $\pm 0.03\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的标准温度计或温度传感器和热参数仪的温度传感器,在相同条件下,测量冰点槽与插孔之间最大温差不大于 $\pm 0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ 水沸点槽的水温,记录标准温度计或温度传感器与热参数仪对应温度传感器温度差值,并观察仪器温度传感器的分辨率,应符合6.1的要求。

7.2 绝热温升试验装置

7.2.1 绝热试验箱绝热性检验

- 准备一台温度记录仪,在恒温环境中的温度测量偏差不大于 $\pm 0.015\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- 将与混凝土试样相同体积的热水(温度分别为 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右)倒入试样桶内,盖好盖(密封,以便消除湿交换)。然后按SL 352中试验条件,中心插入2支温度传感器(一支连接温度记录仪,另一支连接仪器温度跟踪控制系统)。关闭绝热试验箱保温门,准备试验。
- 开启试验装置,进入绝热温升工作状态。同时用温度记录仪记录试样桶内的水温,开始至少每10 min采样一次,4 h后记录初始温度,调整采样间隔时间为30 min,持续运行72 h。
- 整个72 h持续运行期间,温度记录仪测得的温度与初始温度的偏差值 ΔT 应小于 $\pm 0.05\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。如 ΔT 超出跟踪温度变动值要求,应停止检验。允许重新修正试验装置的偏差控制参数,修正后重新从检验程序c)开始检验。重新检验仍不符合要求的,绝热性为不合格。

7.2.2 按SL 352中相应的试验方法拌制混凝土,装入绝热试验箱内,进行绝热温升试验。用四支恒温环境中测量偏差不大于 $\pm 0.03\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度传感器,一支放入试样中心,另三支分别放在绝热试验箱顶面、底面和中部,同时测量试样中心温度和绝热试验箱空气的平均温度,两者的差值应小于 $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

7.3 比热容试验装置

7.3.1 观察比热容试验箱与绝热试验箱是否相同。按相应的试验方法准备混凝土试样,进行比热容试验。用四支恒温环境中测量偏差不大于 $\pm 0.05\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度传感器,一支放入比热容加热桶内,另三支分别放在比热容加热桶的底面、顶面和中部,同时测量比热容加热桶内水和绝热试验箱空气平均温度,两者差值应小于 $\pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。跟踪温差检验也可在水修正值检验时同时进行。

7.3.2 水修正值试验方法见附录B。

7.4 热扩散率试验装置

7.4.1 按相应的热扩散率试验方法准备好混凝土试样,同时在试验箱内放置一支温度传感器连接温度测量误差不大于 $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度记录仪。开启试验装置,直到结束。

7.4.2 用温度记录仪测量并记录整个热扩散率测定过程试验箱内的循环水温度。

7.5 热线胀系数试验装置

7.5.1 准备好混凝土试样,开启试验装置进入升温阶段,检查升温速率是否符合6.5.1的要求。

7.5.2 用恒温环境中温度测量偏差不大于 $\pm 0.03\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度记录仪测量记录试验箱循环水的温度,应在2 h内达设定温度并符合6.5.2的要求。

7.6 控制系统

操作试验仪器,观察仪器的数据采集、显示、数据处理、存储和打印功能,并计算验证仪器显示试验结果的准确性。

7.7 安全性

按 GB 4706.1、GB 4706.13、GB 4706.17 和 GB 4706.19 中规定的试验方法执行。

7.8 噪声

按 GE/T 4214.1 中的有关规定进行。

7.9 可靠性

仪器连续无故障运行 3 000 h,记录发生故障的次数。

7.10 外观

采用目测。

8 检验规则

8.1 检验分类

热参数仪检验分为型式检验和出厂检验。

8.1.1 型式检验

凡遇下列情况之一者,应进行型式检验:

- a) 新产品或老产品转厂生产的试制定型鉴定;
- b) 结构、工艺和材料改变影响产品性能时;
- c) 停产半年以上(包括半年)恢复生产时;
- d) 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时;
- e) 国家质量监督机构提出型式检验要求时。

8.1.2 出厂检验

对型式检验合格,正式投产的热参数仪,均应在出厂前由制造厂按出厂检验项目进行检验,合格者方准出厂。

8.2 检验项目

热参数仪的检验项目见表 1。

表 1 检验项目

| 序号 | 检验项目 | 类别 | 检验依据 | | 检验类别 | |
|----|----------|----|------|------|------|------|
| | | | 要求 | 试验方法 | 型式检验 | 出厂检验 |
| 1 | 温度传感器 | 主要 | 6.1 | 7.1 | √ | √ |
| 2 | 绝热温升试验装置 | 主要 | 6.2 | 7.2 | √ | √ |

表 1 (续)

| 序号 | 检验项目 | 类别 | 检验依据 | | 检验类别 | |
|--|-----------|----|------|------|------|------|
| | | | 要求 | 试验方法 | 型式检验 | 出厂检验 |
| 3 | 比热容试验装置 | 主要 | 6.3 | 7.3 | √ | √ |
| 4 | 热扩散率试验装置 | 主要 | 6.4 | 7.4 | √ | √ |
| 5 | 热线胀系数试验装置 | 主要 | 6.5 | 7.5 | √ | √ |
| 6 | 控制系统 | 主要 | 6.6 | 7.6 | √ | — |
| 7 | 安全性 | 主要 | 6.7 | 7.7 | √ | √ |
| 8 | 噪声 | 一般 | 6.8 | 7.8 | √ | — |
| 9 | 可靠性 | 主要 | 6.9 | 7.9 | √ | — |
| 10 | 外观 | 一般 | 6.10 | 7.10 | √ | √ |
| 注 1: A 型热参数仪第 4 项和第 5 项不检。 注 2: B 型热参数仪需全部进行检测。 | | | | | | |

8.3 判定规则

8.3.1 型式检验

热参数仪的最大批量不超过 10 台,随机抽取 1 台,按表 1 中型式检验项目进行检验,其主要项目应全部达到本标准要求。在一般项目中,当不合格项目超过 1 项时,则判定为不合格;当只有 1 项不能满足要求时,则允许加倍抽样复检不合格项。复检后,当全部达到要求时,可判定该批产品为合格。当其中仍有 1 项不符合本标准要求时,则判定该批产品为不合格。

8.3.2 出厂检验

热参数仪出厂前,按表 1 规定的检验项目进行检验,全部合格者,方准出厂。出厂检验的主要项目的实测数据应记入随机文件中。

9 标志、包装、运输和贮存

9.1 标志

- 9.1.1 每台热参数仪应在适当位置固定标牌。
- 9.1.2 标牌内容包括:产品名称、标记、尺寸、重量、电压、功率、制造厂名称、出厂编号及日期。

9.2 包装

- 9.2.1 热参数仪包装应牢固可靠。标有名称、标记、收货单位及地址,以及“请勿倒置”、“小心轻放”和“防淋”等字样。随机工具及备件放置在工具箱内随机出厂。
- 9.2.2 每台热参数仪出厂时应有产品使用说明书、产品合格证、随机工具备件及装箱单。使用说明书中应包含电器原理图和接线图等内容。

9.3 运输

仪器在运输过程中,应避免碰撞、抛投和雨雪淋湿。

9.4 贮存

热参数仪应防止受潮,应存放在环境温度 $-5^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ 、清洁且通风良好的库房内。

附录 A

(资料性附录)

混凝土热扩散率逆向热扩散测定法

A.1 测试原理

逆向热扩散测定法属热扩散率稳态法测定方法,其原理是使低温试样在高温恒温环境中实现稳定的热扩散过程,并通过试样中心温度的变化规律实现热扩散率的测定。相对于现行稳态法测定方法(简称:SL 352 法)通过高温试样在低温恒温环境中的冷却过程进行测定而言,其被测试样的热扩散方向是相反的,故命名为逆向热扩散测定法(英文名称:BOYUAN Reverse Thermal Diffusion Method,简称:BYR 法)。

A.2 测量装置

混凝土热扩散率逆向热扩散测定法的测量装置的组成同图 3,其中恒温循环水给水装置以加热方式提供高于被测试样温度的恒温循环水。

A.3 试验方法

A.3.1 试验步骤

- 按 SL 352 制备混凝土试样。
- 将试样从标准养护室或养护水槽取出即放入试验箱,连接好温度传感器,盖好箱体盖。
- 启动测量装置,将恒温循环水给水装置的水加热至预定试验温度,该温度高于试样的初始温度(温差 30℃ 以上,但不限于此值),根据具体的测试要求确定。本步骤也可在试样放入测量装置前进行。
- 当水温达到预定试验温度 T_e 后,试验开始。开启恒温循环水给水装置,使循环水在整个试验过程中均匀流经试样的表面并保持恒温,从而使试样内部形成稳定的热扩散场。
- 实时测量并记录热扩散过程中试样的中心温度了 $T(\tau)$,直到试样中心与恒温循环水温差在 3℃~5℃ 范围内为止,试验结束。
- 重复 b)~e) 步骤,进行另一个试样的热扩散率测试。

A.3.2 试验结果

- 试样中心温差计算见式(A.1)。

$$\theta(\tau) = T_e - T(\tau) \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

$\theta(\tau)$ ——试样中心温差,单位为摄氏度(℃);

$T(\tau)$ ——试样中心温度,单位为摄氏度(℃);

T_e ——恒温循环水温度,单位为摄氏度(℃);

τ ——试验开始时起的历时,单位为小时(h)。

- 以试样中心温差的自然对数 $\ln\theta(\tau)$ 为纵坐标,时间 τ 为横坐标,在直角坐标系中绘制 $\ln\theta(\tau)-\tau$

曲线。该曲线以一段曲线开始,随后以直线相继,表示经过一段时间的热扩散后,试样内部形成了稳定的温度梯度场分布。

- c) 选取 $\ln\theta(\tau)$ - τ 曲线中的直线段,用最小二乘法拟合出直线方程,该直线方程斜率的绝对值为试样的热扩散常数 k 。也可在直线段中选取两个时间点 τ_a 、 τ_b ,按式(A.2)计算试样的热扩散常数:

$$k = \frac{\ln\theta(\tau_a) - \ln\theta(\tau_b)}{\tau_b - \tau_a} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

k ——试样的热扩散常数,单位:l/h;

τ_a 、 τ_b ——试样稳定热扩散阶段的两个时间点,单位为小时(h)。

- d) 试样的热扩散率见式(A.3):

$$\alpha = k \cdot K \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

α ——试样热扩散率, m^2/h ;

K ——试样的形状系数, m^2 。

试样的形状系数 K 与试样的具体形状有关,是基于试样材料的热扩散特性为各向同性且无内热源的假设,根据试样的具体形状和稳态导热的边界条件通过导热微分方程的解计算获得。对于圆柱体试样,该形状系数 K 的计算见式(A.4):

$$K = \frac{1}{(2.4048/R)^2 + (\pi/L)^2} \dots\dots\dots (A.4)$$

式中:

R ——试样的半径,单位为米(m);

L ——试样的高度,单位为米(m);

π ——圆周率。

对于长方体试样,该形状系数 K 的计算见式(A.5):

$$K = \frac{1}{\pi^2 \left(\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} + \frac{1}{c^2} \right)} \dots\dots\dots (A.5)$$

式中, a 、 b 、 c 为长方体的三条边的边长,单位为米(m)。

- e) 两个试样的热扩散率 α 算出后取其平均值即为本次试验的结果。

附 录 B
(规范性附录)
水修正值试验方法

B.1 仪器设备

混凝土比热容试验装置。

B.2 试验方法

B.2.1 水修正值试验应在不少于 3 个温度段 20℃~30℃、30℃~40℃、40℃~50℃ 进行,也可根据工程需要选定试验温度段。

B.2.2 试验步骤

- a) 将 1 800 g±50 g 的水(温度为 20℃±2℃)倒入比热容加热桶内,盖好桶盖,按 SL 352 连接好相关温度传感器和电路,关闭比热容试验箱保温门。
- b) 开启电机,使加热桶内的水流动以达到水温均匀。同时开启绝热试验箱温度跟踪流程,约 15 min 后关闭电机。保持 2 h~4 h,以使绝热试验箱完全进入温度跟踪状态,即加热桶内水温与箱内温度相等,加热桶内温度稳定,测定水温为初始温度(T_0)。
- c) 开启电机使加热桶内的水保持流动,同时开启电加热器(功率为 240 W),运行 45 min 后关闭电加热器,结束试验,此时为终止温度(T_n)。

B.3 水修正值计算

B.3.1 水修正值按式(B.1)计算:

$$M = 3.6W - (T_n - T_0)G \times C_w \quad \text{.....(B.1)}$$

式中:

M ——水修正值,单位为千焦(kJ);

W ——耗电量(电能),单位为瓦小时(Wh);

G ——加热桶内水的质量,单位为千克(kg);

T_n ——终止温度,单位为摄氏度(℃);

T_0 ——初始温度,单位为摄氏度(℃);

C_w ——水的比热容,单位:kJ/kg·℃,不同温度时水的比热容见表 B.1。

表 B.1 水的比热容

| 温度/℃ | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 比热容/[kJ/(kg·℃)] | 4.220 | 4.195 | 4.183 | 4.179 | 4.179 | 4.183 | 4.187 | 4.191 |

B.3.2 每个试验温度段重复测三次,以三次测值的平均值作为试验结果;当三次测值的最大值或最小值与平均值之差超过平均值的 15% 时,应重做该试验温度段的试验。

注: B.2.2 中 b)、c) 及 B.3.1 操控均由比热容试验测定装置的计算机系统完成,试验结果直接显示和打印。