

## 前 言

根据住房和城乡建设部《关于印发〈2008年工程建设标准规范制订、修订计划(第一批)〉的通知》(建标[2008]102号)的要求,规程编制组经广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关国际标准和国外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,编制本规程。

本规程的主要技术内容是:1.总则;2.术语和符号;3.检测仪器;4.测试;5.数据处理;6.检测报告。

本规程由住房和城乡建设部负责管理,由广州市建筑科学研究院有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议,请寄送广州市建筑科学研究院有限公司(地址:广州市白云大道北833号,邮编:510440)。

本规程主编单位:广州市建筑科学研究院有限公司

本规程参编单位:中国建筑科学研究院

哈尔滨工业大学

深圳市建筑科学研究院股份有限公司

江苏省建筑科学研究院有限公司

北京中建建筑科学研究院有限公司

广东省建筑科学研究院集团股份有限公司

华南理工大学

中国建筑西南设计研究院有限公司

西安建筑科技大学

本规程参加单位:沈阳微特应用技术开发有限公司

本规程主要起草人员:任俊 林海燕 方修睦 许锦峰

段恺 杨仕超 孟庆林 冯雅

刘俊跃 宋 波 杨玉忠 杨 柳  
谭 伟 刘大龙 罗 刚 王智勇  
本规程主要审查人员：路 宾 龙恩深 陆津龙 刘月莉  
赵立华 丁力行 冀兆良 任普亮  
夏 赞 江 刚

住房和城乡建设部信息中心  
浏览专用

# 目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	3
3	检测仪器	5
3.1	温度传感器	5
3.2	热流计	5
3.3	热箱仪	5
3.4	环境箱	6
4	测试	7
4.1	一般规定	7
4.2	空气温度	7
4.3	热流计法	8
4.4	热箱法	9
5	数据处理	10
5.1	一般规定	10
5.2	热流计法数据处理	11
5.3	热箱法数据处理	12
6	检测报告	14
附录 A	仪器核查与标定	16
A.1	温度传感器核查	16
A.2	热流计核查	16
A.3	热箱仪标定	17
附录 B	保温材料含湿率微波法测试	18
B.1	含湿率标定	18

B.2 测试方法 .....	19
附录 C 保温材料含湿率质量法测试 .....	20
附录 D 动态分析法 .....	21
附录 E 蓄热修正热容计算方法 .....	25
附录 F 保温材料导热系数含湿率修正系数 .....	27
本规程用词说明 .....	28
引用标准名录 .....	29

住房和城乡建设部信息公开  
浏览专用

# Contents

1	General Provisions .....	1
2	Terms and Symbols .....	2
2.1	Terms .....	2
2.2	Symbols .....	3
3	Apparatus .....	5
3.1	Temperature Sensor .....	5
3.2	Heat Flow Meter .....	5
3.3	Hot Box .....	5
3.4	Environment Box .....	6
4	Measurements .....	7
4.1	General Requirements .....	7
4.2	Air Temperature .....	7
4.3	Method of Heat Flow Meter .....	8
4.4	Method of Hot Box .....	9
5	Data Analysis .....	10
5.1	General Requirements .....	10
5.2	Heat Flow Meter Method Analysis .....	11
5.3	Hot Box Method Analysis .....	12
6	Test Report .....	14
Appendix A	Apparatus Check and Calibration .....	16
A.1	Temperature Sensor Check .....	16
A.2	Heat Flow Meter Check .....	16
A.3	Hot Box Calibration .....	17
Appendix B	Material Moisture Content Test by Microwave Tomography .....	18

B.1	Material Moisture Content Calibration .....	18
B.2	Method of Material Moisture Content .....	19
Appendix C	Material Moisture Content Test by Mass .....	20
Appendix D	Dynamic Analysis Method .....	21
Appendix E	Thermal Mass Factors Calculation .....	25
Appendix F	Moisture Correction for Thermal Conductivity .....	27
	Explanation of Wording in This Specification .....	28
	List of Quoted Standards .....	29

住房和城乡建设部信息公开  
浏览专用

# 1 总 则

**1.0.1** 为贯彻执行国家的技术经济政策，做到技术先进、经济合理、确保质量，规范建筑围护结构传热系数的现场检测，制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于现场采用热流计法和热箱法检测建筑不透明围护结构的传热系数。

**1.0.3** 围护结构传热系数现场检测除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术语和符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 构件 element

建筑围护结构的组成单元，包括墙、屋顶、楼板、窗户、楼梯等。

#### 2.1.2 热流计 heat flow meter

测量建筑构件热流密度的传感器，输出的电信号是热流密度的函数。本规程所指热流计为温度梯度型热流计。

#### 2.1.3 热流计法 method of heat flow meter

采用热流计及温度传感器测量通过构件的热流密度和表面温度，通过计算得到被测部位传热系数的测试方法。

#### 2.1.4 热箱仪 hot box

现场测量构件传导热阻的一种装置，由计量热箱与显示仪表组成。

#### 2.1.5 环境箱 environment box

在围护结构两侧形成温差，以满足传热系数现场检测温差要求的箱体。

#### 2.1.6 热箱法 method of hot box

采用热箱仪测量热箱的发热量及表面温度，通过计算得到被测部位传热系数的测试方法。

#### 2.1.7 期间核查 intermediate checks

为保持对检测仪器设备校准状态的可信度，在两次检定之间对仪器设备进行的核查。

#### 2.1.8 蓄热修正热容 thermal mass factor

消除周期性热作用下构件蓄热对热流密度的影响而对其测试值进行修正的热容。蓄热修正热容包括内、外蓄热修正热容。



### 2.1.9 均质材料 homogeneous material

具有均匀的密度和组分，其热工性能与内部位置、方向无关的材料。

### 2.1.10 非均质材料 heterogeneous material

组成不均匀，其热工性能与内部位置、方向有关的材料。

### 2.1.11 轻质构件 light elements

单位面积热容量小于  $20\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  的构件。

### 2.1.12 重质构件 heavier elements

单位面积热容量大于等于  $20\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  的构件。

### 2.1.13 质量含湿率 moisture content mass by mass

可蒸发水的质量与材料质量之比。

## 2.2 符 号

$A$  —— 热箱开口面积；

$C$  —— 单位面积热容量；

$D$  —— 保温材料厚度；

$d$  —— 测试天数；

$F_e$  —— 外蓄热修正热容；

$F_i$  —— 内蓄热修正热容；

$Q$  —— 热箱加热功率；

$q$  —— 热流密度；

$R$  —— 构件热阻；

$R_T$  —— 测试热阻；

$R_e$  —— 外表面换热阻；

$R_i$  —— 内表面换热阻；

$R_{\text{hfm}}$  —— 热流计热阻；

$R_{\text{ik}}$  —— 内热阻；

$R_{\text{ek}}$  —— 外热阻；

$T_i$  —— 室内空气温度；

$T_e$  —— 室外空气温度；

$t$ ——时间；  
 $U$ ——围护结构传热系数；  
 $\varphi$ ——材料质量含湿率；  
 $\lambda$ ——材料导热系数；  
 $\mu_1$ ——热箱系数；  
 $\mu_2$ ——保温材料含湿率修正系数；  
 $\theta_i$ ——构件内表面温度；  
 $\theta_e$ ——构件外表面温度；  
 $\tau$ ——时间常数。

## 3 检测仪器

### 3.1 温度传感器

3.1.1 围护结构传热系数宜采用热电偶、铂电阻、半导体等类型温度传感器进行测试。

3.1.2 围护结构表面温度宜选用表面式温度传感器进行测量。

3.1.3 温度传感器应符合现行行业标准《温度传感器系列型谱》JB/T 7486、《气象用铂电阻温度传感器》QX/T 24 的有关规定，且温度传感器应进行定期检定，检定周期应符合国家现行标准的有关规定。

3.1.4 温度传感器的精度不应低于 0.3K，且在 2 次检定之间应进行期间核查，核查方法应符合本规程附录 A 第 A.1 节的规定。

### 3.2 热流计

3.2.1 热流计应符合现行行业标准《建筑用热流计》JG/T 3016 的有关规定，且应定期进行标定，标定周期不应大于 3 年。

3.2.2 热流计测量不确定度不应大于 5%。

3.2.3 热流计表面的辐射系数宜与受检表面的接近，否则受检表面宜作表面处理。

3.2.4 热流计在 2 次标定之间应进行期间核查，核查周期为 1 年，核查方法应符合本规程附录 A 第 A.2 节的规定。

3.2.5 当使用范围内核查的标定值变化大于 2% 时，应对热流计标定值进行校正。

### 3.3 热箱仪

3.3.1 热箱仪应符合下列规定：

- 1 开口面积不应小于  $1.2\text{m}^2$ ，单边不应小于 1m，进深不应

小于 220mm;

2 外壁热阻值应大于  $1.0\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ;

3 加热功率不应小于 120W, 控制箱功率计量误差不应大于量程的 0.5%;

4 温度控制精度不应大于  $\pm 0.3\text{K}$ 。

3.3.2 热箱仪应定期进行热箱系数标定, 标定周期应为 1 年, 标定方法应符合本规程附录 A 第 A.3 节的规定。

### 3.4 环境箱

3.4.1 热流计法用环境箱的开口面积不应小于  $1.44\text{m}^2$ , 热箱法用环境箱的开口面积不应小于  $2.88\text{m}^2$ , 环境箱进深不应小于 220mm。

3.4.2 环境箱外壁热阻值应大于  $1.0\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ 。

3.4.3 环境加热功率不应小于 120W, 制冷功率不应小于 500W。

3.4.4 环境箱内加热器应采取措施避免对构件产生辐射传热影响。

3.4.5 环境箱内温度波动范围应为  $\pm 1\text{K}$ 。

## 4 测 试

### 4.1 一 般 规 定

- 4.1.1 围护结构传热系数测试应在被测部位自然干燥 30d 后进行。
- 4.1.2 检测区域应在构件无裂纹等结构缺陷的典型部位选取；检测区域外表面应避免阳光直射，无法避免时应进行遮挡。
- 4.1.3 测试前应使用红外热像仪对测试区域进行预选，传感器测点布置时应避开热桥及热工缺陷位置。
- 4.1.4 传热系数现场检测应避免气温剧烈变化的天气，宜在冬季进行。在其他季节测试，应采取下列措施：
- 1 室内加热；
  - 2 室内制冷；
  - 3 加环境箱。
- 4.1.5 热流计法不宜用于非均质材料自保温和基墙非均质的外保温墙体。
- 4.1.6 砌筑龄期小于 2 年的墙体，宜进行构件的含湿率检验。
- 4.1.7 传热系数测试完成后宜用钻或锯取样检查构造，测量各层材料厚度。
- 4.1.8 构件含湿率检验应在传热系数测试完成后立即进行，测试方法应按本规程附录 B 或附录 C 的规定进行。
- 4.1.9 热流密度、温度、加热功率等参数应采用自动采集装置。

### 4.2 空 气 温 度

- 4.2.1 测试时应关闭被测房间门窗，待室内温度稳定后进行测试。
- 4.2.2 室内空气温度测试点应避开冷热源，宜设在被测房间中

央，靠近层高 1/2 处均匀布置两个点。当房间存在冷热源时，应安装防辐射罩且保持通风。

**4.2.3** 室外空气温度测试点宜设置在临近测试区域的建筑外空旷处的阴影下，或加装防辐射罩，距构件外表面不应小于 0.5m。室外空气温度测试点不宜少于 2 个。

### 4.3 热流计法

**4.3.1** 检测区域不应小于 1.2m×1.2m。

**4.3.2** 检测期间围护结构内外表面温差不宜小于 10K。

**4.3.3** 热流计和温度传感器的安装区域应符合下列规定：

1 采用红外热像仪对待测部位进行测试，选取表面温度分布温差不应大于 0.5K 的区域；

2 被测部位应避开热源或冷源及通风气流的影响，宜避免雨雪侵袭；

3 热流计宜布置在温度稳定的环境一侧，有保温层时，热流计宜布置在保温层一侧；

4 热流计不应安装在金属饰面上。

**4.3.4** 热流计和温度传感器的安装应符合下列规定：

1 热流计应直接安装在受检围护结构的表面上，且应与表面完全接触；

2 表面温度传感器应靠近热流计安装，另一侧表面温度传感器应在相对应的位置安装，温度传感器连同不应小于 100mm 长的引线应与受检表面紧密接触。

**4.3.5** 传感器布置数量应符合下列规定：

1 待检区域应至少布置 3 个热流计；

2 每个热流计应布置不少于 1 个表面温度传感器，对应另一侧应布置与之数量等同的表面温度传感器。

**4.3.6** 检测期间，应定时记录室内外空气温度、内外表面温度和热流密度，采样间隔不宜大于 1min，记录时间间隔不应大于 5min。

4.3.7 对轻质构件，宜取日落后 1h 到日出前的数据，在连续三个夜间数据得到的热阻相差不大于 $\pm 5\%$ 时，可结束测试。

4.3.8 对重质构件，测试结束应同时满足下列条件：

1 传热稳定后，采用动态分析法数据处理的测试时间应超过 72h，采用算术平均法数据处理的测试时间应超过 96h；

2 测试结束时得到的热阻值与 24h 前得到的热阻值偏差不应超过 5%；

3 检测期间内第一个 INT ( $2 \times d/3$ ) 天内与最后一个同样长的天数内热阻的计算值相差不应大于 5%。

4.3.9 检测期间，应采取措施使室内空气温度波动小于 1K。

#### 4.4 热箱法

4.4.1 热箱边缘距离热桥不宜小于围护结构厚度的 1.7 倍，应确保热箱周边与被测表面紧密接触，必要时应采取密封措施。

4.4.2 在被测部位内外表面分别布置不应少于 3 个的温度传感器，温度传感器距热箱开口边缘不得小于 200mm。

4.4.3 热箱内温度设定应与室内温度一致，测试时控制室内空气温度与热箱内空气温度平均温差不应大于 0.5K。

4.4.4 室内外表面温差不宜小于 8K。

4.4.5 检测期间，应定时记录室内外空气温度、内外表面温度和热箱消耗的功率，采样间隔不宜大于 1min，记录时间间隔不应大于 5min。

4.4.6 传热稳定后测试时间不应少于 72h。

## 5 数据处理

### 5.1 一般规定

5.1.1 热流密度及表面温度测试值应符合下列规定：

1 计算同一采集目标的一组传感器记录数据的算术平均值，热流密度应精确到  $0.01\text{W}/\text{m}^2$ ，温度应精确到  $0.01\text{K}$ ；

2 应剔除记录数据中偏差超过算数平均值 15% 的数据，重新计算算术平均值；当该组记录数据中偏差小于算数平均值 15% 的数据少于 2 个时，则该组数据无效；

3 应取有效算术平均值为该时刻测试值。

5.1.2 热流计法测试数据宜采用动态分析法处理，当满足下列条件时可采用算术平均值法处理：

1 构件主体部位热阻的末次计算值与 24h 之前的计算值相差不应大于 5%；

2 检测期间内第一个  $\text{INT}(2 \times d/3)$  天内与最后一个同样长的天数内热阻的计算值相差不应大于 5%。

5.1.3 构件传热系数测试数据的修正应符合下列规定：

1 采用算术平均值法处理检测数据时，对热阻值大于  $1.0\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$  的构件或重质构件，当第一天和最后一天的室内外平均温度差大于第一天的室内外平均温度的 5% 时，应对检测的热流密度进行蓄热影响修正；

2 当构件热阻小于  $0.3\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ，且表面温度传感器贴在热流计旁边时，应对热阻进行热流计热阻的修正；

3 当构件中保温材料含湿率对热阻的影响大于 5% 时，应对构件热阻进行含湿率修正。



## 5.2 热流计法数据处理

5.2.1 采用算术平均法进行数据分析时，构件测试热阻应按下式计算：

$$R_T = \frac{\sum_{i=1}^n (\theta_{ij} - \theta_{ej})}{\sum_{j=1}^n q_j} \quad (5.2.1)$$

式中： $R_T$ ——构件测试热阻 ( $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ )；

$q_j$ —— $j$ 时刻热流密度测试值 ( $\text{W}/\text{m}^2$ )；

$\theta_{ij}$ —— $j$ 时刻构件内表面温度 (K)；

$\theta_{ej}$ —— $j$ 时刻构件外表面温度 (K)。

5.2.2 采用动态分析法进行数据分析时，构件测试热阻计算应符合本规程附录 D 的规定。

5.2.3 在进行蓄热影响修正时，构件测试热阻应按下式计算：

$$R_T = \frac{\sum_{j=1}^n (\theta_{ij} - \theta_{ej})}{\sum_{j=1}^n q_j - (F_i(\Delta\theta_{i2} + \Delta\theta_{i3} + \dots + \Delta\theta_{id}) + F_e(\Delta\theta_{e2} + \Delta\theta_{e3} + \dots + \Delta\theta_{ed}))/\Delta t} \quad (5.2.3)$$

式中： $\Delta t$ ——读数时间间隔 (s)；

$\Delta\theta_{i2}、\Delta\theta_{i3}、\dots、\Delta\theta_{id}$ ——第 2、3、 $\dots$ 、 $d$  天内表面平均温度和第一天内表面平均温度之差 (K)；

$\Delta\theta_{e2}、\Delta\theta_{e3}、\dots、\Delta\theta_{ed}$ ——第 2、3、 $\dots$ 、 $d$  天外表面平均温度和第一天外表面平均温度之差 (K)；

$F_e$ ——外蓄热修正热容 [ $\text{J}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ]，按本规程附录 E 的规定确定；

$F_i$ ——内蓄热修正热容 [ $\text{J}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ]，按本规程附录 E 的规定确定。

5.2.4 热流计热阻修正时, 构件热阻应按下式计算:

$$R = R_T - R_{\text{hfm}} \quad (5.2.4)$$

式中:  $R$ ——构件热阻 ( $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ );

$R_{\text{hfm}}$ ——热流计热阻 ( $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ )。

5.2.5 含湿保温材料导热系数修正系数应按本规程附录 F 的规定确定。

5.2.6 含湿保温材料修正热阻应按下式计算:

$$R_\lambda = \mu_2 \cdot \frac{D}{\lambda} \quad (5.2.6)$$

式中:  $R_\lambda$ ——含湿保温材料修正热阻 ( $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ );

$\mu_2$ ——保温材料含湿率修正系数;

$D$ ——保温材料厚度 (m);

$\lambda$ ——材料导热系数 [ $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ]。

5.2.7 构件热阻按下式进行修正。

$$R = R_T + R_\lambda \quad (5.2.7)$$

5.2.8 围护结构传热系数应按下式计算:

$$U = \frac{1}{R_i + R + R_e} \quad (5.2.8)$$

式中:  $U$ ——围护结构传热系数 [ $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ];

$R_i$ ——内表面换热阻, 取  $0.11\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ;

$R_e$ ——外表面换热阻, 取  $0.04\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ 。

### 5.3 热箱法数据处理

5.3.1 构件测试热阻应按下式计算:

$$R_T = \mu_1 \cdot \frac{\sum_{j=1}^n (\theta_{ij} - \theta_{ej})}{\sum_{j=1}^n (Q_j/A)} \quad (5.3.1)$$

式中:  $A$ ——热箱开口面积 ( $\text{m}^2$ );

$\mu_1$  —— 热箱系数；

$Q_j$  ——  $j$  时刻热箱加热功率 (W)。

**5.3.2** 含湿保温材料修正热阻应按本规程公式 (5.2.6) 计算。

**5.3.3** 围护结构传热系数应按本规程公式 (5.2.8) 计算。

住房和城乡建设部信息中心  
浏览专用

## 6 检测报告

6.0.1 检测报告中关于被测对象的基本信息应包括下列内容：

- 1 工程名称地址；
- 2 构件在建筑中的位置；
- 3 测试目的及依据；
- 4 围护结构类型；
- 5 围护结构的构造形式，包括构造图；
- 6 围护结构的厚度；
- 7 委托单位名称。

6.0.2 检测报告中关于检测方法及过程信息应包括下列内容：

- 1 测试方法；
- 2 温度传感器和热流计的类型和特征；
- 3 热箱的布置说明；
- 4 传感器的安装方法；
- 5 传感器布点位置及数量；
- 6 测试起始和结束日期、时刻；
- 7 测试间隔和测点数。

6.0.3 检测报告中关于数据分析应包括下列内容：

- 1 处理方法：均值法、动态法；
- 2 当进行蓄热修正时，应包括各层热容和热阻、累计第 1 天和最后一天的平均温度；
- 3 当进行动态分析时，应包括方程数目、最佳时间常数、热流的标准偏差、置信区间；
- 4 热流计热阻及保温材料导热系数修正。

6.0.4 检测报告结果应包括下列内容：

- 1 热阻和传热系数；

2 依据测试目的而附加的任何测试，包括含湿量、红外热像图分析、围护结构检查等。

**6.0.5** 检测报告可包括传热系数测量不确定度说明。

住房城乡建设部信息公开  
浏览专用

## 附录 A 仪器核查与标定

### A.1 温度传感器核查

**A.1.1** 温度传感器核查前应进行外观检查，外观检查内容应包括焊接点是否光滑、牢固，热电极是否变脆、变色、发黑，严重腐蚀等。

**A.1.2** 温度传感器核查装置应由恒温水浴、电位差计、热电偶、热电阻、冰点仪、数据采集装置、低电势转换开关和标准玻璃温度计等组成。

**A.1.3** 热电偶的核查应采用标准热电偶法。将待核查热电偶与标准热电偶一起置于恒温介质中，逐点改变恒温介质的温度，待热电偶处于热平衡状态下测出每一点的温差电势，其偏差不应超过最大允许偏差。

**A.1.4** 热电阻的核查应将标准温度计与被校电阻温度计一同插入恒温水浴中，在稳定温度下进行读数，并对标准温度计和被校电阻温度计的读数进行比较，其偏差不应超过最大允许偏差。标准温度计可为一等标准水银温度计或标准铂电阻温度计。

### A.2 热流计核查

**A.2.1** 应采用热平板设备对热流计标定值进行核查，核查方法按现行国家标准《绝热材料稳态热阻及有关特性的测定 防护热板法》GB/T 10294 的有关规定进行。

**A.2.2** 核查时选用的材料、热流密度和温度范围应符合下列规定：

1 应选取至少三种不同的、导热系数分布满足检测范围需要的材料；

2 应选取至少三个不同的、分布满足检测范围的热流密度；

3 应至少选取三个不同的,分布满足室内外极端温度的温度。

A.2.3 核查时若对零热流密度有非零输出,应进行零点自校。

A.2.4 核查中垂直夹紧力和宜小于 2.5kPa,平行应力对标定值的影响可忽略不计。

A.2.5 核查不确定度应为 $\pm 5\%$ 。

### A.3 热箱仪标定

A.3.1 标定热箱仪的设备宜符合现行国家标准《绝热 稳态传热性质的测定 标定和防护热箱法》GB/T 13475 或《建筑外门窗保温性能分级及检测方法》GB/T 8484 的有关规定。

A.3.2 标定用的标准试件内部的接缝不应形成热桥。

A.3.3 标准试件宜采用 X250 以上等级已知导热系数的挤塑聚苯乙烯板。

A.3.4 热箱仪安装在热室内,应与标准试件表面紧密接触。

A.3.5 热箱仪修正系数应按下式计算:

$$\mu_1 = \frac{R_2}{R_1} \quad (\text{A.3.5})$$

式中: $\mu_1$ ——热箱系数;

$R_1$ ——采用标定热箱仪的设备检测出的试件热阻 [W/( $\text{m}^2 \cdot \text{K}$ )];

$R_2$ ——采用热箱仪标定出的试件热阻 [W/( $\text{m}^2 \cdot \text{K}$ )].

## 附录 B 保温材料含湿率微波法测试

### B.1 含湿率标定

**B.1.1** 含湿率标定应针对不同的材料、不同探测深度的探头分类进行。

**B.1.2** 每一类标定应制作 4 块  $300\text{mm} \times 300\text{mm}$ ，且厚度与探头测试深度相同的样品。

**B.1.3** 应保证样品完全浸泡于  $25^{\circ}\text{C}$  的自来水水平面  $25\text{mm}$  以下，浸泡时间应为  $24\text{h}$ 。 $24\text{h}$  后应连续迅速称重，直到两次样品质量变化小于  $0.2\text{g}$ 。确定样品处于饱和吸湿状态，称重时间间隔应为  $1\text{h}$ 。

**B.1.4** 依次取出样品，可用软质聚氨酯泡沫塑料吸去样品表面吸附的残余水分，记录此时样品的质量，然后用保鲜膜将样品整体包裹，同时用微波湿度测试系统测量样品的含湿率指数。

**B.1.5** 测试含湿率时，每块样品应均匀选取 4 个测点（图 B.1.5），每一测点应分别测 3 次并取平均值。

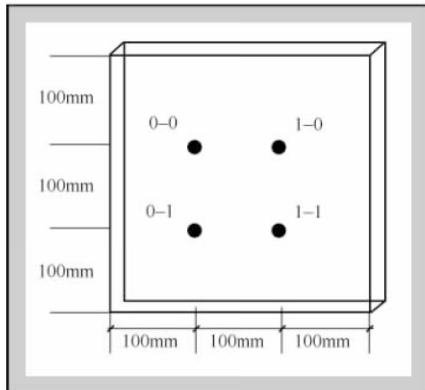


图 B.1.5 测点布置图



**B. 1. 6** 应在去掉样品表面的保鲜膜后，将样品放置烘干箱内进行烘干处理，直至烘干至恒重，取出样品进行称重和含湿率指数测量。

**B. 1. 7** 饱和吸湿状态样品重量含湿率应按下列式计算：

$$\varphi_w = \frac{m_w - m_0}{m_0} \times 100\% \quad (\text{B. 1. 7})$$

式中： $\varphi_w$ ——样品饱和吸湿状态质量含湿率；

$m_w$ ——样品饱和吸湿状态质量（g）；

$m_0$ ——样品绝干状态时的质量（g）。

**B. 1. 8** 将每个样品的饱和含湿状态及绝干状态对应的含湿率指数测量值与重量含湿率进行线性回归，线性回归函数关系式应按下列式进行标定：

$$\varphi = a \cdot X + b \quad (\text{B. 1. 8})$$

式中： $\varphi$ ——材料质量含湿率（%）；

$X$ ——含湿率指数；

$a$ 、 $b$ ——回归系数。

## B. 2 测试方法

**B. 2. 1** 测试时宜选取热流计布置部位或附近部位，至少均匀选取 5 点。

**B. 2. 2** 去除粉刷层上探头大小的区域，应保证探头直接接触到保温材料。

**B. 2. 3** 应选取与材料厚度相适应的探头进行含湿率指数测量，同一测点测试 3 次数，取平均值。

**B. 2. 4** 应将 5 个测试点的含湿率指数取平均值，代入对应材料及探头的回归函数关系式，确定材料的质量含湿率。

## 附录 C 保温材料含湿率质量法测试

- C.0.1** 含湿量检验取样应减少操作对材料含湿率的影响。
- C.0.2** 取样点应选取在传热系数的测试部位，应至少均匀选取 2 点。
- C.0.3** 样品应在取出后迅速放入密封塑料袋中封存。
- C.0.4** 应迅速回到实验室称取样品质量  $m_t$ ，且应将样品放置烘干箱内进行烘干处理，直到烘干到恒重，取出样品进行称重  $m_0$ 。
- C.0.5** 样品质量含湿率应按下式计算：

$$\varphi_t = \frac{m_t - m_0}{m_0} \times 100\% \quad (\text{C.0.5})$$

式中： $\varphi_t$  —— 样品质量含湿率；

$m_t$  —— 样品质量 (g)；

$m_0$  —— 样品绝干状态时的质量 (g)。

- C.0.6** 2 个测试点的质量含湿率平均值应为保温材料质量含湿率，并应精确到 0.01。

## 附录 D 动态分析法

**D. 0. 1** 热流计法测试构件传热系数，测试时间间隔应按下式计算：

$$\Delta t = t_{i+1} - t_i \quad (\text{D. 0. 1})$$

**D. 0. 2**  $t_i$  时刻热流应是  $t_i$  时刻和以前所有时间温度的函数，并按下列公式计算：

$$q_i = \frac{1}{R}(\theta_{i\dot{i}} - \theta_{e\dot{i}}) + K_1 \dot{\theta}_{i\dot{i}} - K_2 \dot{\theta}_{e\dot{i}} + \sum_n P_n \sum_{j=i-p}^{i-1} \dot{\theta}_{i\dot{j}} (1 - \beta_n) \beta_n^{i-j} + \sum_n Q_n \sum_{j=i-p}^{i-1} \dot{\theta}_{e\dot{j}} (1 - \beta_n) \beta_n^{i-j} \quad (\text{D. 0. 2-1})$$

$$\dot{\theta}_{i\dot{i}} = \frac{(\theta_{i\dot{i}} - \theta_{i\dot{i},i-1})}{\Delta t} \quad (\text{D. 0. 2-2})$$

$$\dot{\theta}_{e\dot{i}} = \frac{(\theta_{e\dot{i}} - \theta_{e\dot{i},i-1})}{\Delta t} \quad (\text{D. 0. 2-3})$$

$$\beta_n = \exp\left(-\frac{\Delta t}{\tau_n}\right) \quad (\text{D. 0. 2-4})$$

式中：

$q_i$  —— 热流密度；

$\theta_{i\dot{i}}$  —— 构件内表面温度；

$\theta_{e\dot{i}}$  —— 构件外表面温度；

$\dot{\theta}_{i\dot{i}}$  —— 内表面温度的变化率，按公式 (D. 0. 2-2) 计算；

$\dot{\theta}_{e\dot{i}}$  —— 外表面温度的变化率，按公式 (D. 0. 2-3) 计算；

$K_1$ 、 $K_2$ 、 $P_n$ 、 $Q_n$  —— 构件动态特性，依赖于时间常数  $\tau_n$ ；

$\tau_n$  —— 时间常数，一般取 1~3 个；

$\beta_n$  —— 变量，是时间常数  $\tau_n$  的幂函数，按式 (D. 0. 2-4) 计算。

**D.0.3** 选取  $m$  个时间常数, 本规程公式 (D.0.2-1) 应包含  $R$ 、 $K_1$ 、 $K_2$ 、 $P_1$ 、 $Q_1$ 、 $P_2$ 、 $Q_2$ 、 $\dots$ 、 $P_m$ 、 $Q_m$  等共  $2m+3$  个未知参数。

**D.0.4** 应将本规程公式 (D.0.2-1) 依变化时间写出  $2m+3$  个方程, 解这组线性方程可得到本规程附录 D 第 D.0.3 条要求的参数, 推算构件热阻。

**D.0.5** 应补充  $p$  组为本规程公式 (D.0.2-1) 超过  $j$  的积分和 (图 D.0.5)。数据组数  $N$  应满足下列公式要求:

$$p = N - M \quad (\text{D.0.5-1})$$

$$M \geq 2M + 3 \quad (\text{D.0.5-2})$$

式中:  $N$ ——检测数据组数;  
 $M$ ——数据点, 应满足公式 (D.0.5-2)。

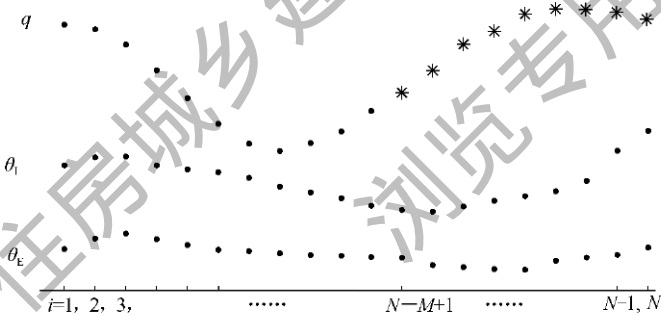


图 D.0.5 动态分析法数据的利用

\* ——用于拟合的热流密度数据

**D.0.6** 热流密度矩阵应按下式计算:

$$\vec{q} = (X)\vec{Z} \quad (\text{D.0.6-1})$$

式中:  $\vec{q}$  ——向量, 其  $M$  个分量是最后  $M$  个热流密度数据  $q_i$ , 且  $i$  取  $N-M+1$  至  $N$ ;

$\vec{Z}$  ——向量, 它的  $2m+3$  个分量式是本规程公式 (D.0.3) 的未知参数;

(X) —— 矩阵,  $M$  行 ( $i = N - M + 1$  至  $N$ ),  $2m + 3$  列 (1 至  $2m + 3$ ) 的矩形矩阵。矩阵的元素应按下列公式计算:

$$X_{i1} = \theta_{\bar{v}} - \theta_{e_i} \quad (\text{D. 0. 6-2})$$

$$X_{i2} = \dot{\theta}_{\bar{v}} = (\theta_{\bar{v}} - \theta_{\bar{v}, i-1}) / \Delta t \quad (\text{D. 0. 6-3})$$

$$X_{i3} = \dot{\theta}_{e_i} = (\theta_{e_i} - \theta_{e_i, i-1}) / \Delta t \quad (\text{D. 0. 6-4})$$

$$X_{i4} = \sum_{j=i-p}^{i-1} \dot{\theta}_{\bar{v}} (1 - \beta_1) \beta_1 (i - j) \quad (\text{D. 0. 6-5})$$

$$X_{i5} = \sum_{j=i-p}^{i-1} \dot{\theta}_{e_j} (1 - \beta_1) \beta_1 (i - j) \quad (\text{D. 0. 6-6})$$

$$X_{i5} = \sum_{j=i-p}^{i-1} \dot{\theta}_{e_j} (1 - \beta_1) \beta_1 (i - j) \quad (\text{D. 0. 6-7})$$

$$X_{i6} = \sum_{j=i-p}^{i-1} \dot{\theta}_{\bar{v}} (1 - \beta_2) \beta_2 (i - j) \quad (\text{D. 0. 6-8})$$

$$X_{i7} = \sum_{j=i-p}^{i-1} \dot{\theta}_{e_j} (1 - \beta_2) \beta_2 (i - j) \quad (\text{D. 0. 6-9})$$

⋮

$$X_{i, 2m+2} = \sum_{j=i-p}^{i-1} \dot{\theta}_{\bar{v}} (1 - \beta_m) \beta_m (i - j) \quad (\text{D. 0. 6-10})$$

$$X_{i, 2m+3} = \sum_{j=i-p}^{i-1} \dot{\theta}_{e_j} (1 - \beta_m) \beta_m (i - j) \quad (\text{D. 0. 6-11})$$

**D. 0. 7** 估计向量  $Z^*$  应按下列下式计算:

$$\underline{Z}^* = ((X)'(X))^{-1}(X)'q \quad (\text{D. 0. 7})$$

式中:  $(X)'$  ——  $(X)$  的转移矩阵。

**D. 0. 8** 时间常数间的不变比率  $r$  应按下列下式计算:

$$\tau_1 = r \cdot \tau_2 = r^2 \cdot \tau_3 \quad (\text{D. 0. 8})$$

**D. 0. 9** 最大的时间常数的选取范围应符合下列下式要求:

$$\Delta t / 10 < \tau_1 < p \cdot \Delta t / 2 \quad (\text{D. 0. 9})$$

**D. 0. 10** 热流向量的估计值  $q^*$  应按下列下式计算:

$$q^* = (X)Z^* \quad (\text{D. 0. 10})$$

**D. 0. 11** 传热系数估计值与测试值的总方差应按下式计算：

$$S^2 = (q - q^*)^2 = \Sigma(q_i - q_i^*)^2 \quad (\text{D. 0. 11})$$

**D. 0. 12** 动态分析法处理数据，热阻的置信区间应按下列公式计算：

$$I = \sqrt{\frac{S^2 Y(1,1)}{M - 2m - 4}} F(P, M - 2m - 5) \quad (\text{D. 0. 12-1})$$

$$[Y] = [(X)'(X)]^{-1} \quad (\text{D. 0. 12-2})$$

式中：  $S^2$ ——由本规程公式 (D. 0. 11) 得到的总方差；

$Y(1, 1)$ ——本规程公式 (D. 0. 12-2) 矩阵的第一个元素；

$M$ ——矩阵内的方程个数；

$m$ ——时间常数个数；

$F$ ——学生分布临界值；

$P$ ——概率；

$M - 2m - 5$ ——自由度。

## 附录 E 蓄热修正热容计算方法

**E.0.1** 从内到外由  $N$  个平行层组成的多层构件 (图 E.0.1), 任一层  $k$  的内热阻和外热阻应按下列公式计算:

$$R_{ik} = \sum_{j=1}^{k-1} R_j \quad (\text{E.0.1-1})$$

$$R_{ek} = \sum_{j=k+1}^n R_j \quad (\text{E.0.1-2})$$

式中:  $R_{ik}$ ——内热阻 ( $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ), 对内层 ( $j=k=1$ ),  $R_{ik} = 0$ ;

$R_{ek}$ ——外热阻 ( $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ), 对外层 ( $j=k=N$ ),  $R_{ek} = 0$ 。

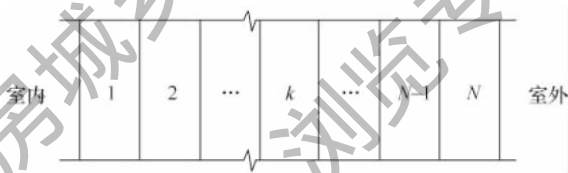


图 E.0.1 构件示意图

**E.0.2** 第  $k$  层内蓄热修正热容及外蓄热修正热容应按下列公式计算:

$$F_{ik} = C_k \left[ \frac{R_{ek}}{R} + \frac{R_k^2}{3R^2} - \frac{R_{ik}R_{ek}}{R^2} \right] \quad (\text{E.0.2-1})$$

$$F_{ek} = C_k \left[ \frac{R_k}{R} \left( \frac{1}{6} + \frac{R_{ik} + R_{ek}}{3R} \right) + \frac{R_{ik}R_{ek}}{R^2} \right] \quad (\text{E.0.2-2})$$

式中:  $C_k$ ——材料层单位面积热容量 [ $\text{J}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ].

**E.0.3** 构件内蓄热修正热容及外蓄热修正热容应按下列公式计算:

$$F_i = \sum_{j=1}^n F_{ij} \quad (\text{E. 0. 3-1})$$

$$F_e = \sum_{k=1}^n F_{ek} \quad (\text{E. 0. 3-2})$$

**E. 0. 4** 对于单层材料组成的构件，蓄热修正热容可按下列公式进行估算：

$$F_i = C/3 \quad (\text{E. 0. 4-1})$$

$$F_e = C/6 \quad (\text{E. 0. 4-2})$$

式中：C——单位面积热容量 [J/ (m<sup>2</sup> · K)]。



## 附录 F 保温材料导热系数含湿率修正系数

**F.0.1** 保温材料导热系数含湿率修正系数计算应符合表 F.0.1 的有关规定。

**表 F.0.1** 保温材料导热系数含湿率修正系数

保温材料	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	含湿率修正系数 ( $\mu_2$ )
模塑聚苯乙烯泡沫塑料	18~25	$1+1.994\varphi-0.371\varphi^2$
挤塑聚苯乙烯泡沫塑料	25~35	$1+1.708\varphi-2.382\varphi^2$
黏土砖	1800~2300	$1+8.073\varphi-17.178\varphi^2$
加气混凝土	400~700	$1+1.047\varphi+3.999\varphi^2$

注： $\varphi$ ——质量含水率(%)。

## 本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

- 1) 表示很严格，非这样做不可的：  
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
  - 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：  
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
  - 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：  
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
  - 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。
- 2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……规定”或“应按……执行”。

## 引用标准名录

- 1 《建筑外门窗保温性能分级及检测方法》GB/T 8484
- 2 《绝热材料稳态热阻及有关特性的测定 防护热板法》  
GB/T 10294
- 3 《绝热 稳态传热性质的测定 标定和防护热箱法》GB/  
T 13475
- 4 《温度传感器系列型谱》JB/T 7486
- 5 《建筑用热流计》JG/T 3016
- 6 《气象用铂电阻温度传感器》QX/T 24