

UDC

中华人民共和国行业标准

**JGJ**

P

**JGJ/T 357-2015**  
备案号 J 1986-2015

# 围护结构传热系数现场检测技术规程

Technical specification for in-situ measurement of thermal transmittance of building envelope

2015-02-05 发布

2015-10-01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部 发布



中华人民共和国行业标准

# 围护结构传热系数现场检测技术规程

Technical specification for in-situ measurement of thermal  
transmittance of building envelope

JGJ/T 357-2015

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

施行日期：2015年10月1日

中国建筑工业出版社

2015 北京

中华人民共和国行业标准

围护结构传热系数现场检测技术规程

Technical specification for in-situ measurement of thermal  
transmittance of building envelope

JGJ/T 357-2015

中华人民共和国行业标准

围护结构传热系数现场检测技术规程

Technical specification for in-situ measurement of thermal  
transmittance of building envelope

JGJ/T 357 - 2015

\*

中国建筑工业出版社出版、发行（北京西郊百万庄）

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

廊坊市海涛印刷有限公司印刷

\*

开本：850×1168毫米 1/32 印张：2 字数：52千字

2015年7月第一版 2015年7月第一次印刷

定价：10.00元

统一书号：15112·26419

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题，可寄本社退换

（邮政编码 100037）

本社网址：<http://www.cabp.com.cn>

网上书店：<http://www.china-building.com.cn>

# 中华人民共和国住房和城乡建设部 公 告

第 743 号

## 住房城乡建设部关于发布行业标准 《围护结构传热系数现场检测技术规程》的公告

现批准《围护结构传热系数现场检测技术规程》为行业标准，编号为 JGJ/T 357-2015，自 2015 年 10 月 1 日起实施。

本规程由我部标准定额研究所组织中国建筑工业出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

2015 年 2 月 5 日

# 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

1.1	总则	1
1.2	术语	2
1.3	编制依据	3
1.4	适用范围	4
1.5	主要审查人员	5
1.6	编制原则	6
1.7	编制程序	7
1.8	编制要求	8
1.9	编制说明	9
1.10	编制依据	10
1.11	编制程序	11
1.12	编制要求	12
1.13	编制说明	13
1.14	编制依据	14
1.15	编制程序	15
1.16	编制要求	16
1.17	编制说明	17
1.18	编制依据	18
1.19	编制程序	19
1.20	编制要求	20
1.21	编制说明	21
1.22	编制依据	22
1.23	编制程序	23
1.24	编制要求	24
1.25	编制说明	25
1.26	编制依据	26
1.27	编制程序	27
1.28	编制要求	28
1.29	编制说明	29
1.30	编制依据	30
1.31	编制程序	31
1.32	编制要求	32
1.33	编制说明	33
1.34	编制依据	34
1.35	编制程序	35
1.36	编制要求	36
1.37	编制说明	37
1.38	编制依据	38
1.39	编制程序	39
1.40	编制要求	40
1.41	编制说明	41
1.42	编制依据	42
1.43	编制程序	43
1.44	编制要求	44
1.45	编制说明	45
1.46	编制依据	46
1.47	编制程序	47
1.48	编制要求	48
1.49	编制说明	49
1.50	编制依据	50
1.51	编制程序	51
1.52	编制要求	52
1.53	编制说明	53
1.54	编制依据	54
1.55	编制程序	55
1.56	编制要求	56
1.57	编制说明	57
1.58	编制依据	58
1.59	编制程序	59
1.60	编制要求	60
1.61	编制说明	61
1.62	编制依据	62
1.63	编制程序	63
1.64	编制要求	64
1.65	编制说明	65
1.66	编制依据	66
1.67	编制程序	67
1.68	编制要求	68
1.69	编制说明	69
1.70	编制依据	70
1.71	编制程序	71
1.72	编制要求	72
1.73	编制说明	73
1.74	编制依据	74
1.75	编制程序	75
1.76	编制要求	76
1.77	编制说明	77
1.78	编制依据	78
1.79	编制程序	79
1.80	编制要求	80
1.81	编制说明	81
1.82	编制依据	82
1.83	编制程序	83
1.84	编制要求	84
1.85	编制说明	85
1.86	编制依据	86
1.87	编制程序	87
1.88	编制要求	88
1.89	编制说明	89
1.90	编制依据	90
1.91	编制程序	91
1.92	编制要求	92
1.93	编制说明	93
1.94	编制依据	94
1.95	编制程序	95
1.96	编制要求	96
1.97	编制说明	97
1.98	编制依据	98
1.99	编制程序	99
1.100	编制要求	100

# 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
附: 条文说明 .....	31
2.2 Symbols .....	2
3 Apparatus .....	3
3.1 Temperature Sensor .....	3
3.2 Heat Flow Meter .....	3
3.3 Hot Box .....	3
3.4 Environment Box .....	3
4 Measurements .....	4
4.1 General Requirements .....	4
4.2 Air Temperature .....	4
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

## 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
	Addition; Explanation of Provisions .....	31

B.1	Material Moisture Content Calculation	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	22
Appendix F	Moisture Correction for Thermal and Insulation	23
	Conductivity	24
	Explanation of Symbols in This Specification	25
	List of Quoted Standards	26
	Addition, Explanation of Provisions	27
1	1.1	28
2	2.1	29
3	3.1	30
4	4.1	31
5	5.1	32
6	6.1	33
7	7.1	34
8	8.1	35
9	9.1	36
10	10.1	37
11	11.1	38
12	12.1	39
13	13.1	40
14	14.1	41
15	15.1	42
16	16.1	43
17	17.1	44
18	18.1	45
19	19.1	46
20	20.1	47
21	21.1	48
22	22.1	49
23	23.1	50
24	24.1	51
25	25.1	52
26	26.1	53
27	27.1	54
28	28.1	55
29	29.1	56
30	30.1	57
31	31.1	58
32	32.1	59
33	33.1	60
34	34.1	61
35	35.1	62
36	36.1	63
37	37.1	64
38	38.1	65
39	39.1	66
40	40.1	67
41	41.1	68
42	42.1	69
43	43.1	70
44	44.1	71
45	45.1	72
46	46.1	73
47	47.1	74
48	48.1	75
49	49.1	76
50	50.1	77
51	51.1	78
52	52.1	79
53	53.1	80
54	54.1	81
55	55.1	82
56	56.1	83
57	57.1	84
58	58.1	85
59	59.1	86
60	60.1	87
61	61.1	88
62	62.1	89
63	63.1	90
64	64.1	91
65	65.1	92
66	66.1	93
67	67.1	94
68	68.1	95
69	69.1	96
70	70.1	97
71	71.1	98
72	72.1	99
73	73.1	100
74	74.1	101
75	75.1	102
76	76.1	103
77	77.1	104
78	78.1	105
79	79.1	106
80	80.1	107
81	81.1	108
82	82.1	109
83	83.1	110
84	84.1	111
85	85.1	112
86	86.1	113
87	87.1	114
88	88.1	115
89	89.1	116
90	90.1	117
91	91.1	118
92	92.1	119
93	93.1	120
94	94.1	121
95	95.1	122
96	96.1	123
97	97.1	124
98	98.1	125
99	99.1	126
100	100.1	127
101	101.1	128
102	102.1	129
103	103.1	130
104	104.1	131
105	105.1	132
106	106.1	133
107	107.1	134
108	108.1	135
109	109.1	136
110	110.1	137
111	111.1	138
112	112.1	139
113	113.1	140
114	114.1	141
115	115.1	142
116	116.1	143
117	117.1	144
118	118.1	145
119	119.1	146
120	120.1	147
121	121.1	148
122	122.1	149
123	123.1	150
124	124.1	151
125	125.1	152
126	126.1	153
127	127.1	154
128	128.1	155
129	129.1	156
130	130.1	157
131	131.1	158
132	132.1	159
133	133.1	160
134	134.1	161
135	135.1	162
136	136.1	163
137	137.1	164
138	138.1	165
139	139.1	166
140	140.1	167
141	141.1	168
142	142.1	169
143	143.1	170
144	144.1	171
145	145.1	172
146	146.1	173
147	147.1	174
148	148.1	175
149	149.1	176
150	150.1	177
151	151.1	178
152	152.1	179
153	153.1	180
154	154.1	181
155	155.1	182
156	156.1	183
157	157.1	184
158	158.1	185
159	159.1	186
160	160.1	187
161	161.1	188
162	162.1	189
163	163.1	190
164	164.1	191
165	165.1	192
166	166.1	193
167	167.1	194
168	168.1	195
169	169.1	196
170	170.1	197
171	171.1	198
172	172.1	199
173	173.1	200
174	174.1	201
175	175.1	202
176	176.1	203
177	177.1	204
178	178.1	205
179	179.1	206
180	180.1	207
181	181.1	208
182	182.1	209
183	183.1	210
184	184.1	211
185	185.1	212
186	186.1	213
187	187.1	214
188	188.1	215
189	189.1	216
190	190.1	217
191	191.1	218
192	192.1	219
193	193.1	220
194	194.1	221
195	195.1	222
196	196.1	223
197	197.1	224
198	198.1	225
199	199.1	226
200	200.1	227
201	201.1	228
202	202.1	229
203	203.1	230
204	204.1	231
205	205.1	232
206	206.1	233
207	207.1	234
208	208.1	235
209	209.1	236
210	210.1	237
211	211.1	238
212	212.1	239
213	213.1	240
214	214.1	241
215	215.1	242
216	216.1	243
217	217.1	244
218	218.1	245
219	219.1	246
220	220.1	247
221	221.1	248
222	222.1	249
223	223.1	250
224	224.1	251
225	225.1	252
226	226.1	253
227	227.1	254
228	228.1	255
229	229.1	256
230	230.1	257
231	231.1	258
232	232.1	259
233	233.1	260
234	234.1	261
235	235.1	262
236	236.1	263
237	237.1	264
238	238.1	265
239	239.1	266
240	240.1	267
241	241.1	268
242	242.1	269
243	243.1	270
244	244.1	271
245	245.1	272
246	246.1	273
247	247.1	274
248	248.1	275
249	249.1	276
250	250.1	277
251	251.1	278
252	252.1	279
253	253.1	280
254	254.1	281
255	255.1	282
256	256.1	283
257	257.1	284
258	258.1	285
259	259.1	286
260	260.1	287
261	261.1	288
262	262.1	289
263	263.1	290
264	264.1	291
265	265.1	292
266	266.1	293
267	267.1	294
268	268.1	295
269	269.1	296
270	270.1	297
271	271.1	298
272	272.1	299
273	273.1	300
274	274.1	301
275	275.1	302
276	276.1	303
277	277.1	304
278	278.1	305
279	279.1	306
280	280.1	307
281	281.1	308
282	282.1	309
283	283.1	310
284	284.1	311
285	285.1	312
286	286.1	313
287	287.1	314
288	288.1	315
289	289.1	316
290	290.1	317
291	291.1	318
292	292.1	319
293	293.1	320
294	294.1	321
295	295.1	322
296	296.1	323
297	297.1	324
298	298.1	325
299	299.1	326
300	300.1	327
301	301.1	328
302	302.1	329
303	303.1	330
304	304.1	331
305	305.1	332
306	306.1	333
307	307.1	334
308	308.1	335
309	309.1	336
310	310.1	337
311	311.1	338
312	312.1	339
313	313.1	340
314	314.1	341
315	315.1	342
316	316.1	343
317	317.1	344
318	318.1	345
319	319.1	346
320	320.1	347
321	321.1	348
322	322.1	349
323	323.1	350
324	324.1	351
325	325.1	352
326	326.1	353
327	327.1	354
328	328.1	355
329	329.1	356
330	330.1	357
331	331.1	358
332	332.1	359
333	333.1	360
334	334.1	361
335	335.1	362
336	336.1	363
337	337.1	364
338	338.1	365
339	339.1	366
340	340.1	367
341	341.1	368
342	342.1	

# 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

现场测量构件导热热阻的一种装置，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。
- 2.1.2 热箱法 (method of hot box) ; 热箱法
- 2.1.3 热流计法 (method of heat flux meter) ; 热流计法
- 2.1.4 热箱仪 (hot box) ; 热箱仪
- 2.1.5 环境箱 (environment box) ; 环境箱
- 2.1.6 热箱法 (method of hot box) ; 热箱法
- 2.1.7 中间检查 (intermediate check) ; 中间检查
- 2.1.8 蓄热修正系数 (thermal mass factor) ; 蓄热修正系数

## 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免冷热源，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  $1.2\text{m} \times 1.2\text{m}$ 。

**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 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:

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

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, 构件热阻应按下列式计算:

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

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列式计算:

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

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 构件热阻按下列式进行修正。

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

5.2.8 围护结构传热系数应按下列式计算:

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

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列式计算:

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

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。

## 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。

A.2.4 检测中应记录下列内容:——

A.2.5 检测不确定度应符合下列规定:

1) 检测内容应符合下列规定:——

1) 检测内容应符合下列规定:——

2) 检测内容应符合下列规定:——

3) 检测内容应符合下列规定:——

4) 检测内容应符合下列规定:——

5) 检测内容应符合下列规定:——

6) 检测内容应符合下列规定:——

7) 检测内容应符合下列规定:——

8) 检测内容应符合下列规定:——

9) 检测内容应符合下列规定:——

10) 检测内容应符合下列规定:——

## 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 [ $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ];

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



## 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  $24\text{h}$ 。24h 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。

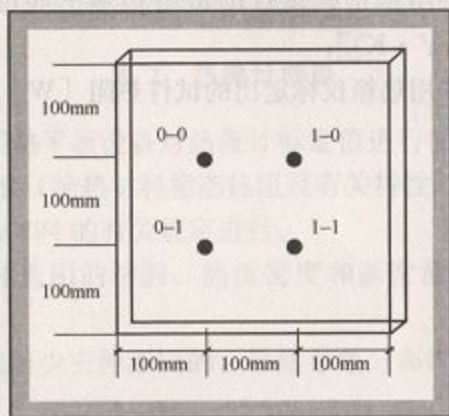


图 B.1.5 测点布置图

**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  $m_1$ ，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：

$$\varphi_1 = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100\% \quad (\text{C.0.5})$$

式中： $\varphi_1$  —— 样品质量含湿率；

$m_1$  —— 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：

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

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

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

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

式中：

$q_i$  —— 热流密度；

$\theta_{ii}$  —— 构件内表面温度；

$\theta_{ei}$  —— 构件外表面温度；

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

$\dot{\theta}_{ei}$  —— 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)。

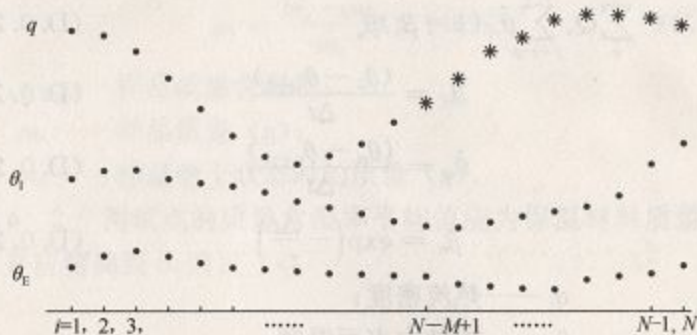


图 D.0.5 动态分析法数据的利用

\*——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  $M$  个分量是最后的  $M$  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:

$$X_{i1} = \theta_u - \theta_{ei} \quad (\text{D. 0. 6-2})$$

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

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

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

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

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

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

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

⋮

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

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

**D. 0. 7** 估计向量  $Z^*$  应按下列公式计算:

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

式中:  $(X)'$  ——  $(X)$  的转移矩阵。

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

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

**D. 0. 9** 最大的时间常数的选取范围应符合下列公式要求:

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

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

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

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:

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

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

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

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

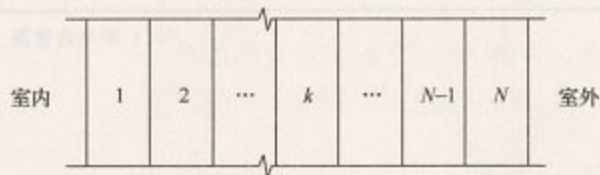


图 E.0.1 构件示意图

**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:

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

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

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:

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

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

**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)]。



图 E. 0. 4 墙体示意图

**E. 0. 5** 多层材料蓄热修正热容及外蓄热修正热容按下式计算：

$$F_i = C \left[ \frac{R_1}{R_1} + \frac{R_2}{2R_1} + \frac{R_3}{3R_1} + \frac{R_4}{4R_1} + \frac{R_5}{5R_1} \right] \quad (\text{E. 0. 5-1})$$

$$F_e = C \left[ \frac{R_1}{6} + \frac{R_2}{3R_1} + \frac{R_3}{2R_1} + \frac{R_4}{R_1} + \frac{R_5}{R_1} \right] \quad (\text{E. 0. 5-2})$$

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

**E. 0. 6** 多层材料蓄热修正热容及外蓄热修正热容按下式计算：

## 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 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	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



# 中华人民共和国行业标准

## 围护结构传热系数现场检测技术规程

JGJ/T 357-2015

### 条文说明

1 总则	1
2 术语和符号	2
3 基本规定	3
4 检测前的准备	4
5 检测过程	5
6 检测结果的判定	6
7 检测报告的编制	7
附录A 围护结构传热系数现场检测技术规程	8
附录B 保温材料导热系数现场检测技术规程	10
附录C 保温材料含水率现场检测技术规程	12
附录D 保温材料密度现场检测技术规程	14
附录E 保温材料抗压强度现场检测技术规程	16
附录F 保温材料吸水率现场检测技术规程	18
附录G 保温材料燃烧性能现场检测技术规程	20
附录H 保温材料导热系数现场检测技术规程	22
附录I 保温材料含水率现场检测技术规程	24
附录J 保温材料密度现场检测技术规程	26
附录K 保温材料抗压强度现场检测技术规程	28
附录L 保温材料吸水率现场检测技术规程	30
附录M 保温材料燃烧性能现场检测技术规程	32

## 制 订 说 明

《围护结构传热系数现场检测技术规程》JGJ/T 357-2015, 经住房和城乡建设部 2015 年 2 月 5 日以第 743 号公告批准、发布。

本规程制定过程中, 编制组进行了大量的调查研究, 总结了我国围护结构现场检测的实践经验, 同时参考了国际标准 Thermal insulation—Building elements—In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance ISO 9869, 通过研究在数据动态处理、围护结构蓄热修正、含湿量影响等方面取得了重要技术参数。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规程时能正确理解和执行条文规定, 《围护结构传热系数现场检测技术规程》编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明, 对条文规定的目的、依据以及执行中需要注意的有关事项进行了说明。但是, 本条文说明不具备与规程正文同等的法律效力, 仅供使用者作为理解和把握规程规定的参考。

# 目 次

1 总则	34
2 术语和符号	36
2.1 术语	36
2.2 符号	36
3 检测仪器	37
3.1 温度传感器	37
3.2 热流计	38
3.3 热箱仪	38
3.4 环境箱	39
4 测试	41
4.1 一般规定	41
4.2 空气温度	42
4.3 热流计法	42
4.4 热箱法	43
5 数据处理	44
5.1 一般规定	44
5.2 热流计法数据处理	44
6 检测报告	46
附录 A 仪器核查与标定	47
A.1 温度传感器核查	47
A.2 热流计核查	47
A.3 热箱仪标定	48
附录 B 保温材料含湿率微波法测试	49
附录 C 保温材料含湿率质量法测试	50
附录 D 动态分析法	51
附录 F 保温材料导热系数含湿率修正系数	52

# 1 总 则

**1.0.1** 现场测试围护结构传热系数可以得到实际使用状态的传热系数，现场测试试验设备比在试验室测试用的防护热板、热箱等设备造价低，现场测试成本较低。

建筑构件传热系数（ $U$  值）是指：在稳态条件下系统两侧空气温差为  $1\text{K}$  时，通过单位面积的热流密度。从原理上讲，可在稳态下用热流计测通过构件的热流密度及测构件两侧温差得到  $U$  值。然而，实际上现场稳态是达不到的，可以采用以下方法：

1 假设在足够长的时间内的平均热流密度和平均温度是对稳态下热流密度和温度的无偏估计，要求在试验的温度范围内，材料的热物理性质为常量，以及围护结构的蓄热量变化与通过围护结构的热量相比可以忽略不计。此法应用范围广，但试验周期长。

2 在分析试验数据时考虑热流密度和温度的波动，用动态处理方法。

**1.0.2** 本规程适用于建筑不透明的建筑构件，包括墙体、屋顶、楼板，不包括透明围护结构。检测围护结构传热系数是基于“一维传热”的基本假定，即围护结构被测部位具有基本平行的两表面，其长度和宽度远远大于其厚度，视为无限大平板。目前，传热系数现场检测国内外一般都采用热流计法，国内也有研究开发了热箱法。本规程未包括其他传热系数现场检测方法。

**1.0.3** 国际标准、美国材料实验协会标准及国家现行标准均对热流计法检测围护结构传热系数作出详细规定。

本规程参考标准如下：  
《建筑物围护结构传热系数及采暖供热量检测方法》GB/T 23483

- 《温度传感器系列型谱》JB/T 7486  
《建筑用热流计》JG/T 3016  
《居住建筑节能检测标准》JGJ/T 132  
《公共建筑节能检测标准》JGJ/T 177  
《气象用铂电阻温度传感器》QX/T 24

Building components and building elements—Thermal resistance and thermal transmittance—Calculation method ISO 6946

Thermal insulation—Physical quantities and definitions ISO 7345

Thermal insulation—Determination of steady-state thermal resistance and related properties—Heat flow meter apparatus ISO 8301

Thermal insulation—Determination of steady-state thermal resistance and related properties—Guarded hot plate apparatus ISO 8302

Thermal insulation—Building elements—In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance ISO 9869

Standard practice for In-situ measurement of heat flux and temperature on building envelope components ASTM C1046

Standard practice for determining thermal resistance of building envelope components from the In-situ data ASTM C1155

## 2 术语和符号

### 2.1 术 语

2.1.1~2.1.13 本节的术语主要针对本规程采用的、其他标准未加以说明的术语，也有术语在本规程有特定的涵义，而环境箱、蓄热修正热容则是本规程特有的术语。

热箱法测传热系数是在被测部件的内侧用热箱仪模拟采暖建筑室内条件，并使热箱内温度与室内空气温度保持一致，被测构件另一侧为室外自然条件或扣上环境箱。热箱内温度稳定到设定温度（高于室外温度 10K 以上），使被测部位的热流总是从室内向室外传递，当热箱内加热量与通过被测部位传递的热量达到平衡时，热箱的加热量（所测量的加热器输入功率减去箱壁热流和侧向迂回热流后的加热器净功率）就是被测部位的传热量。测量热箱内消耗的电能并进行积累，作为热箱的发热量，测量构件内外表面温度，经运算得到被测部位的传热系数。

### 2.2 符 号

本规程采用的符合尽量与《居住建筑节能检测标准》JGJ/T 132 等国家现行标准一致。

## 3 检测仪器

### 3.1 温度传感器

**3.1.1** 温度传感器主要有热电偶温度传感器、热电阻温度传感器、半导体温度传感器等，输出的电信号是温度的单调函数。热电偶由两种不同成分的导体两端接合成回路时，当热电偶的工作端与参比端存有温差时，显示仪表将会指示出热电偶产生的热电势所对应的温度值。热电偶的热电动势将随着测量端温度升高而增长，它的大小只与热电偶材料和两端的温度有关，与热电极的长度、直径无关。各种热电偶的外形常因需要而不相同，但是它们的基本结构却大致相同，通常由热电极、绝缘套保护管和接线盒等主要部分组成，通常和显示仪表，记录仪表和电子调节器配套使用。性能好的热电偶的温度误差与构件两侧温度相比应很小。

**3.1.2** 各类型温度传感器的检定要求不同，检定计划要注意时间要求。

**3.1.3** 围护结构表面温度测量应选用表面式温度传感器，如薄片式热电偶温度传感器、铂电阻表面式温度传感器、数字式温度传感器。由于薄片式热电偶温度传感器制作简单，精度可满足测试要求，故建议采用薄片式热电偶温度传感器。

**3.1.4** 实验室一般对仪器进行定期检定或校准，以保证其量值的溯源性，并加以必要的维护和保养，以保证设备的有效性和可靠性。因此，大多数实验室认为，只要对仪器进行了定期检定或校准，仪器就是可靠的，出具的数据就是有效的，使仪器的期间核查成为实验室最易忽视也最不重视的环节。实际上，使用频率高、易损坏、性能不稳定的仪器在使用一段时间后，由于操作方法、环境条件（电磁干扰、辐射、灰霾、温度、湿度、供电、声

级) 以及移动、振动、样品和试剂溶液污染等因素的影响, 并不能保证检定或校准状态的持续可信度。因此, 实验室应对这些仪器进行期间核查。

仪器的期间核查并不等于检定周期内的再次检定, 而是核查仪器的稳定性、分辨率、灵敏度等指标是否持续符合仪器本身的检测/校准工作的技术要求。针对不同仪器的特性, 可使用不同的核查方法, 如仪器间比对、方法间比对、标准物质验证、添加回收标准物质等。条件允许时, 也可以按检定规程进行自校。期间核查的时间间隔一般以在仪器的检定或校准周期内进行一、二次为宜。对于使用频率比较高的仪器, 应增加核查的次数。

实验室应根据仪器的性能和使用情况, 在规定的时间内, 使用相应的核查方法对仪器进行期间核查, 只要检查方法有效, 周期稳定, 就一定能及时预防和发现不合格的仪器并避免误用, 保证检验结果持续的准确性、有效性, 为客户和社会提供可信的数据和满意的服务。

### 3.2 热流计

3.2.1~3.2.4 热流计是具有热阻的薄平板, 平板内壁布有热电偶, 热电偶输出的信号直接取决于通过平板的热流密度。平板外层为保护层, 提高了热电偶的稳定性。热流计应具备这样的性能: 热阻小, 以减少对测试的干扰; 灵敏度高, 在测试分辨率范围内使最小的热流也有足够大的输出信号; 输出信号是热流密度的单调函数。

3.2.5 标定值漂移, 可能由于材料老化或剥层。

### 3.3 热箱仪

3.3.1、3.3.2 热箱仪工作原理示意图见图 1。

热箱仪是人工制造一个一维传热环境, 内壁采用保温材料, 以减少热箱内热量向室内的传递。

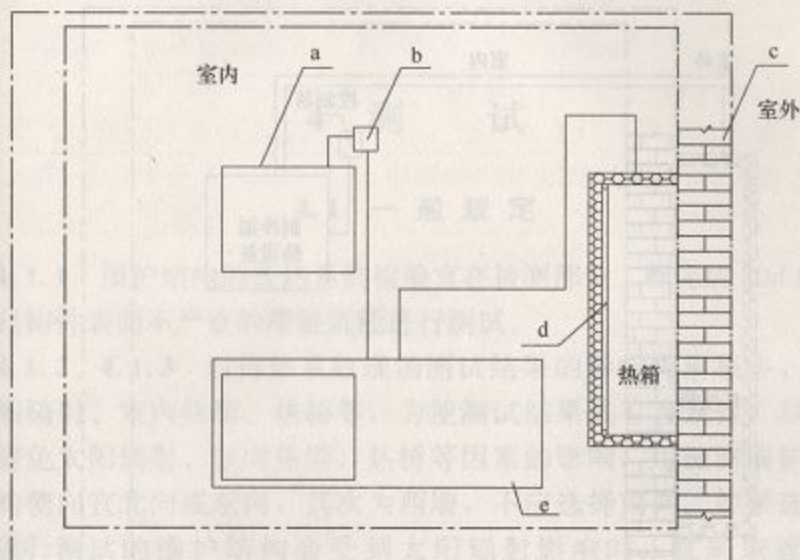


图1 热箱仪工作原理示意图

- a—室内加热器；b—室内加热控制器；c—被测围护结构；  
d—热箱加热装置；e—控制仪

### 3.4 环境箱

3.4.1~3.4.5 环境箱工作原理示意图见图2。

环境箱是用于模拟室外环境条件降低构件外侧温度，保证获得热流计法及热箱法需要的温差的设备，环境箱开口尺寸长宽比热箱开口尺寸至少大600mm，箱内可采用制冷水浴循环冷却。在检测时，将原来布置的外墙外表面和室外空气温度传感器布置在环境内，用于模拟室外环境。



## 4 测 试

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 围护结构的传热系数检验宜在被测部位工程完成 30d 后,且构件表面不严重的潮湿就能进行测试。

**4.1.2、4.1.3** 对传热系数现场测试结果的影响因素很多,太阳辐射、室内热源、热桥等,为使测试结果具有客观性,尽量避免太阳辐射、室内热源、热桥等因素的影响,用被测围护结构朝向宜北向或东向,其次为西墙,不应选择南向。如果选择进行测试的围护结构会受到太阳辐射影响时,宜采取遮挡措施。

测点位置应具有代表性,即测点位置能代表被测部位的构造,不应靠近热桥、裂缝和有空气渗透的部位;避开太阳辐射影响大的部位,一般情况宜采用北向墙;

**4.1.4** 环境箱是一种人工加热(降温)的箱体,主要针对室内外温差不满足  $15^{\circ}\text{C}$  时,在构件外侧附加,室内空调降温至  $22^{\circ}\text{C}$  左右,室外环境箱加热到  $38^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ 。当冬季室外平均空气温度大于  $20^{\circ}\text{C}$ ,应使用环境箱降低被测构件室外的温度。

**4.1.5** 规定了热流计法及热箱法的适用范围。热流计法适用于垂直于热流方向的准均匀材料组成、各向异性方向的尺寸与平行于热流计的壁面相比很小的构件测试。对其他类型的构件,则采用热箱法测传热系数。热箱法的特点是测量结果为代表“面”的数据,它的有效测试面积为  $1.2\text{m}^2$ ,所以适合测试均质材料墙体及空心砌块等非均匀构造墙体,不适用于具有上下连通的通孔构造的空心砌块墙体。

传热系数现场测试方法选用条件宜符合表 1 的要求。

表 1 传热系数现场测试方法选用表

构造形式	热流计法	热箱法
自保温 (近似均质): 加气混凝土墙、烧结黏土砖墙等	✓	✓
自保温 (非均质): 混凝土空心砌块墙体、黏土空心砖墙体等	—	✓
外保温 (基墙均质): 钢筋混凝土 EPS/XPS 复合外保温墙等	✓	✓
外保温 (基墙非均质): 空心砌块 EPS/XPS 复合外保温墙等	—	✓
内保温: 钢筋混凝土 EPS/XPS 复合内保温墙、空心砌块 EPS/XPS 复合内保温墙	✓	✓
均质材料屋面	✓	✓
楼板	✓	✓

4.1.6 一般围护结构在一年乃至几年后才能达到干湿相对平衡状态,在此期间需检测保温材料的含湿率,以分析传热系数测试结果。

## 4.2 空气温度

4.2.1~4.2.3 参考现行行业标准《居住建筑节能检测标准》JGJ/T 132 给出的环境温度的测试方法。环境温度热电偶宜选用铂热电阻温度传感器,这种传感器要屏蔽太阳和热辐射且通风。

## 4.3 热流计法

4.3.3 实际应用中,要求热流计与表面热电偶与基底有相同颜色和辐射率,将传感器置于日晒之下是绝对避免的。

4.3.4 热流计 (及可能有的表面温度传感器) 直接附在构件表面,该表面与受控气候 (加热或制冷空间) 接触,要避免在热流计和构件表面间的任何空气流,为使热接触良好,可使用软膏或胶。

表面温度传感器若与热流计不是一体,则内表面温度传感器装在热流计里面或附近,外表面温度传感器装在外表面。

**4.3.5** 匀质构件可布3个测点,测点要有代表性。

**4.3.6** 数据采集周期取决于分析方法,由于计算机技术的发展,采样频率缩短已不是难题。采样周期与记录周期是不同的概念。连续采样的间隔要能跟踪最高频率的波动,将其平均作为一个记录。

**4.3.8** 热流计周围温度波动不大于 $2^{\circ}\text{C}$ 时,可以认为进入稳定状态。同时应测试足够长时间,以使测试结果相对稳定。

数据采集在完整测试期间,连续或以固定时间间隔记录热流计和热电偶的信号,对轻质构件,一夜就可能得到合适的结果,但为了准确,建议测几昼夜。最大的测试间隔及最小的试验周期依据下列关系:

- 构件性质(重、轻、内保温、外保温);
- 室内、外温度(在测试前及测试期间的平均值和波动情况);
- 试验数据整理方法,对重质构件采用算术平均法处理数据要求进行蓄热影响修正,因此测试周期不小于96h。

实际的试验周期可依据试验中得到的数据确定。数据采集过程中不能中断。

**4.3.9** 检测期间应采取封闭、加热、制冷等方式,维持室内温度相对稳定。

## 4.4 热箱法

**4.4.3** 热箱内与室内空气温度相等是一维传热的另一个条件,当室内温度与热箱内温度相差 $0.5^{\circ}\text{C}$ 以内时可以用热箱的散热/得热给予修正;当室内与热箱内温差大于 $0.5^{\circ}\text{C}$ 以上时应重新调整设置进行测试。

**4.4.4** 对室内外温差的规定是为了保证得到一维传热的主要条件。

## 5 数据处理

### 5.1 一般规定

5.1.2 热流计法数据处理采用两种方法。算术平均法比较简单；动态分析法较复杂，测试的精度高，对重质构件能缩短试验周期，适合于变化的室内外气温条件。

5.1.3 由于现场测试时室内外空气温度每天在变化，而且变化周期无规律，将温度变化的影响分为两部分：

- 1 由于室内或室外温度每天变化的影响；
- 2 室内外温度中平均值变化的影响。

第一个因素造成的热阻值振荡随测试时间会衰减，测试继续进行直到振荡相对小。

室内或室外平均温度的改变意味着构件中蓄热的变化，用蓄热影响修正被测热流密度值对高热阻值和重质构件很重要。这种修正方法的使用，常常缩短满足那些判据而需要的测试周期。

### 5.2 热流计法数据处理

5.2.1 算术平均法假定构件传热系数可用平均温差除平均热流密度得到，平均值取自一较长的测试周期。在每次测试后计算一个估计值，估计值收敛于渐近值，这个渐近值在下列条件下可作为真值：

- 构件在测试起始和结束时热焓未变；
- 热流计未受太阳照射影响，当热流计受日射时会给出错误读数；
- 构件热性能在测试周期内未改变。

若不满足这些条件，会得到错误结果。

5.2.2 使用动态分析法对结果的判定应注意 2 个问题：当时间

常数 $< p\Delta t/2$ 时, 所得结果可靠; 置信区间小于传热系数的5%时, 计算值与实际值很接近。若不满足上述条件, 可能是测试数据少, 或测试数据稳定性差。一般通过增加测试数据量, 删除开头变动比较大的测试数据等方法解决。

**5.2.3 蓄热影响修正**涉及构件内、外蓄热修正热容( $F_i$ 和 $F_e$ )的计算。

**5.2.4 热流计**把一层热阻加到构件上, 若该层无限大和薄则可忽略其修正, 若热流计的热阻已知, 则应该计算。

**5.2.5 保温材料含湿率**对构件传热系数产生很大影响, 修正由于含湿率的影响可以更好地反映构件使用中的传热系数。我国在这方面的研究不多, 一方面现场取样方法难以真实反映材料含湿率, 另一方面含湿率对材料导热系数的影响关系也缺少分析。本规程编制过程中引进了微波含湿率测试方法, 同时参考了哈尔滨工业大学在保温材料含湿率研究的成果。

**5.2.8 传热系数计算中的内、外表面换热阻**按现行国家标准《民用建筑热工设计规范》GB 50176中规定的“冬季换热阻”进行确定。

热流计法) GB/T 10294的方法, 将热流计及其有相同厚度的平均热值的保护层放到热平衡设备的已知传热系数的材料绝缘层之间进行检测。

热流计标定值会随温度、时间、被测材料的导热系数和总热阻改变, 若热流计只用于一种特殊材料, 可只适用于这种材料上进行标定, 长期流动的热流计(如新的面层或加新保护层)或已标定2年以上的热流计必须进行校准。

A.2.2 检查至少要选温度的上限、下限、平均值, 如关系非线性, 则要选择更多的温度, 以得到标定值对温度的关系。

检查至少要选用导热系数低、中、高的三种材料, 若发现任何非线性关系, 则要用更多的材料, 以得到标定值与材料导热系数的完整关系。

检查应选取 $3\text{W}/\text{m}^2$ ,  $10\text{W}/\text{m}^2$ ,  $20\text{W}/\text{m}^2$ 的热流密度, 以恒

## 6 检测报告

**6.0.1** 检测报告应包括被测对象的围护结构类型包括：墙、屋顶、楼板等。

**6.0.5** 传热系数现场从测试精度取决于：

——热流计和温度传感器的标定精度，若标定精确，误差可忽略 ( $<5\%$ )；

——采样系统精度；

——传感器和表面接触轻微波动引起的统计偏差，当传感器接触良好时，这个偏差平均值约为  $5\%$ ；

——对热流计的修正合理，这个偏差平均值大约  $2\% \sim 3\%$ ；

——温度和热流波动引起的误差，这种误差可能很大，若选择合适的数据处理方法，误差可减少到小于  $10\%$ 。

在上述条件均满足时，总精度为  $\pm 13\%$ 。

## 附录 A 仪器核查与标定

### A.1 温度传感器核查

**A.1.2** 恒温水浴上具有搅拌、加热与温度控制装置，可根据要求将温度稳定在设定值附近。

**A.1.3** 热电偶是将两种不同材质的金属导线连接成闭合回路，如果两接点的温度不同，由于金属的热电效应，在回路中就会产生一个与温差有关的电动势，称为温差电势。

标准热电偶法，将待标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。

### A.2 热流计核查

**A.2.1** 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 的方法，将热流计及具有相同厚度和平均热阻的保护框放到热平板设备的已知导热系数的材料和绝热层之间进行核查。

热流计标定值会随温度、时间、被测材料的导热系数和热流量而改变。若热流计只用于一种特殊材料，可只选用在这种材料上进行标定。任何改动的热流计（如新的面层或加新保护框）或已标定 2 年以上的热流计必须进行核查。

**A.2.2** 核查至少要选温度的上限、下限、平均值，如关系非线性，则要选择更多的温度，以得到标定值对温度的关系。

核查至少要选用导热系数低、中、高的三种材料，若发现任何依赖关系，则要用更多的材料，以得到标定值与材料导热系数的完整关系。

核查应选取  $3\text{W}/\text{m}^2$ ， $10\text{W}/\text{m}^2$ ， $20\text{W}/\text{m}^2$  的热流密度，以检

验热流计函数响应的线性程度，若关系呈非线性，需测试更多的热流密度，以得到精确的函数。

**A.2.3 零点自校：**若对零热流有非零输出，这可能由于电接触已损坏，需要进行检查。

### A.3 热箱仪标定

**A.3.1~A.3.5** 热箱法检测时，会因为室内空气温度与箱内空气温度有差异，而造成室内与热箱内有热交换；以及热箱与被测构件接触的边框位置，因为密封不严或两侧空气温度及表面温度不一致产生热损失。这些热损失对一维传热的状态产生了影响，造成检测误差，在设备制作完成后，应定期对其进行标定，修正检测误差。

## 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~B.1.8** 微波 (Microwave) 是指电磁波谱中波长由 1mm 至 100mm 的一部分, 介乎于光波与无线电波之间。微波与其他电磁波一样, 是由互相垂直的电场与磁场组合而成, 它们在空间中以光速传播。

微波扫描测湿 (Microwave Tomography, MT) 是一种利用广阔微波频谱中特定频率进行含湿率检测的技术。微波扫描的原理是透过磁控管产生轻微的电场, 并穿越及深入所检测的结构。由于水分子是极性的, 结构中的水分子也开始跟随电场频率振动, 并且产生介电效应 (Dielectric Effect)。因为水分子在微波电场下有强烈及明显的电介效应, 其介电常数约为 80。但绝大部分的结构材料在微波电场下却只有轻微的介电效应, 其介电值主要在 3~6 之间。由于水分子及结构材料的介电值之间有极大差异, 因此在结构材料中即使有少量水分子都能被探测出来。

微波含湿率测试系统包括一组探头, 探测深度为 (0~80)cm。

微波含湿率测试系统需要针对不同的材料、不同深度的探头进行标定, 以找到材料含湿率与含湿率指数的对应关系。

换热系数响应的线性程度，若关系呈非线性，需测取更多的  
热流密度，以得到精确的函数。

## A.2.3 附录 C 保温材料含湿率质量法测试

**C.0.1~C.0.6** 为了解释传热系数测试值并与理论计算值比较，  
要检验构件保温材料的含湿量。质量法测试含湿率关键是要减少  
取样过程对材料含湿率的影响。

保温材料中含湿率测试方法，其原理是在材料中插入一根细管，  
通过这根细管向材料中通入干燥空气，使材料中的水分蒸发，  
然后用干燥剂吸收这些水分，通过称量干燥剂前后的重量差，  
计算出材料中含湿率。这种方法的关键是要减少取样过程中  
对材料含湿率的影响。为此，在取样过程中，应采取以下措施：  
1. 取样前应将材料表面清理干净，并记录其初始重量。  
2. 取样时应使用专用的取样工具，避免对材料造成破坏。  
3. 取样过程中应尽量减少材料暴露在空气中的时间，以减少  
水分蒸发。  
4. 取样后应立即将样品放入密封容器中，并记录其重量。  
5. 在称量过程中，应使用精度较高的天平，并记录称量结果。  
6. 计算含湿率时，应根据称量结果和材料初始重量进行计算。

此外，还应考虑材料中含湿率测试的精度问题。为了提高测试  
精度，应采取以下措施：  
1. 选择精度较高的天平进行称量。  
2. 增加取样次数，取平均值。  
3. 对测试人员进行培训，确保操作规范。

## 附录 D 动态分析法

**D. 0. 1~D. 0. 11** 为了在温度和热流都有大的波动的建筑构件上用热流计测试得到物件的稳态性质，可用动态分析法。动态分析法在热平衡方程中考虑了热的波动，采用计算机解一组线性方程。

针对方程组  $j$  选方程个数  $M$ ， $M$  大于  $2m+3$ ，但小于数据组数，通常 15 到 40 个方程就足够了，这就需要每个测点 30 到 100 个数据。

时间常数间的不变比率  $r$  通常在 3~10 之间。

**D. 0. 12** 若热阻的置信区间  $P=0.9$  的置信区间小于热阻的 5%，计算的热阻与“直值”很近，在良好的测量条件（例如，对于轻型围护结构在夜间稳定状态下进行检测；而对于重型围护结构经过长时间的检测）下会出现这样的结果。对于一个给定的检测持续时间，置信区间越小，则若干次测量结果的分布就越窄。然而当检测持续时间较短时，测量结果的分布范围大且平均值可能不正确（一般是偏低）。因此，该判定标准是不充分的。

## 附录 F 保温材料导热系数含湿率修正系数

**F.0.1** 根据研究，保温材料导热系数随含湿率而变化。模塑聚苯乙烯泡沫塑料聚苯板的最大含水率能够达到 221.85%，最大导热系数与最小导热系数（干燥状态）之比为 234%~256%；挤塑聚苯乙烯泡沫塑料最大含水率能够达到 41.94%，最大导热系数与最小导热系数（干燥状态）之比为 142%~172%。

模塑聚苯乙烯泡沫塑料不同含水率状态下的导热系数见图 3。

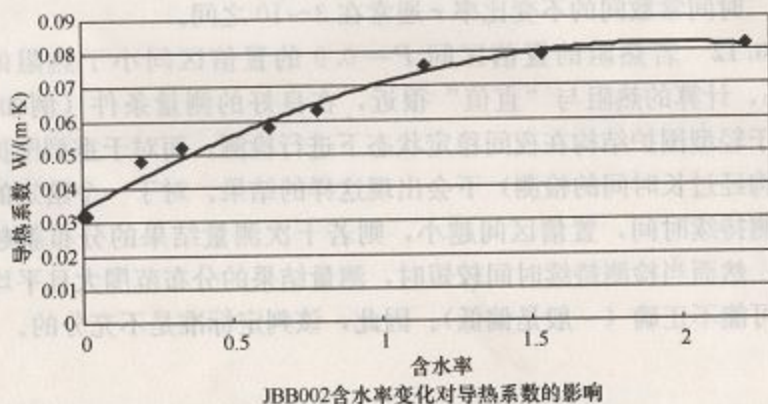


图 3 模塑聚苯乙烯泡沫塑料不同含水率状态下的导热系数

挤塑聚苯乙烯泡沫塑料不同含水率状态下的导热系数见图 4。

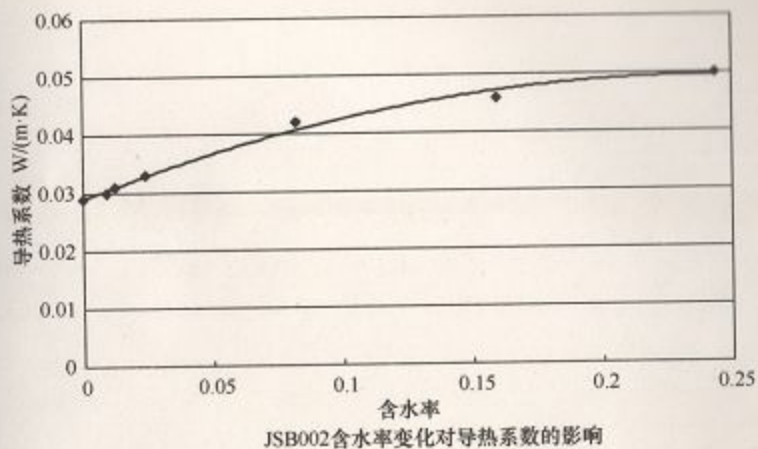


图4 挤塑聚苯乙烯泡沫塑料不同含水率状态下的导热系数