

中华人民共和国国家计量检定规程

热 能 表

Heat Meters

JJG 225—2001

热能表检定规程
Verification Regulation of Heat Meters

JJG 225—2001
代替 JJG 225--1992

本规程经国家质量监督检验检疫总局 2001 年 12 月 04 日批准，并自 2002 年 03 月 01 日起施行。

归口单位：全国流量、容量计量技术委员会

主要起草单位：中国计量科学研究院

参加起草单位：北京市计量测试所

辽宁省计量测试所

山东省计量测试所

大庆联谊伟华高科技有限公司

广州柏诚智能科技有限公司

清华同方有限公司

本规程委托全国流量、容量计量技术委员会负责解释

本规程主要起草人：

王东伟（中国计量科学研究院）

邱萍（中国计量科学研究院）

参加起草人：

翟秀贞（中国计量科学研究院）

张立谦（北京市计量测试所）

臧立新（辽宁省计量科学研究院）

谷祖康（山东省计量测试所）

何绍文（大庆联谊伟华高科技有限公司）

谭文胜（广州柏诚智能科技有限公司）

吕瑞峰（清华同方有限公司）

目 录

| | | | |
|------------------------|--------|------------------------------------|---------|
| 1 范围 | 1—10—4 | 5.3 热能表的误差限 | 1—10—6 |
| 2 引用文献 | 1—10—4 | 5.4 非叶轮式的流量传感器的重 复性 E_r | 1—10—6 |
| 3 术语与定义 | 1—10—4 | 5.5 热能表的温度下限 | 1—10—6 |
| 3.1 热能表 | 1—10—4 | 5.6 流量传感器的最大压降 | 1—10—6 |
| 3.2 热能表的组成部件 | 1—10—4 | 6 通用技术要求 | 1—10—6 |
| 3.3 标称运行条件 | 1—10—4 | 7 计量器具控制 | 1—10—6 |
| 3.4 总量检定 | 1—10—5 | 7.1 检定条件 | 1—10—6 |
| 3.5 分量检定 | 1—10—5 | 7.2 检定项目 | 1—10—7 |
| 4 概述 | 1—10—5 | 7.3 检定方法 | 1—10—7 |
| 4.1 工作原理 | 1—10—5 | 7.4 检定结果的处理 | 1—10—9 |
| 4.2 结构 | 1—10—5 | 7.5 检定周期 | 1—10—9 |
| 4.3 热能的计算公式 | 1—10—5 | 附录 A 定型鉴定及样机试验 | 1—10—9 |
| 5 计量性能要求 | 1—10—5 | 附录 B 水的焓值和密度表 | 1—10—11 |
| 5.1 流量传感器的密封性和强度 | 1—10—5 | 附录 C 热系数表 | 1—10—14 |
| 5.2 热能表的准确度等级 | 1—10—5 | | |

热能表检定规程

本规程参照采用国际法制计量组织 (OIML) 的国际建议 R75《热能表》(草案) (2001 年 5 月), 并参照我国国情, 增减了少量内容。

1 范围

本规程适用于热能表的首次检定、后续检定、使用中检验、定型鉴定及样机试验。

用于计量吸收热量的热能表的检定, 可参考本规程。

2 引用文献

本规程引用下列文献

- 1.OIML R75—2001 热能表 (草案) (OIML R75—2001 Heat meters) (Draft)
- 2.EN 1434—1997 热能表 (EN 1434—1997 Heat meters)
- 3.GB 2423—1989 电工电子产品基本环境试验
- 4.GB 6587—1986 电子测量仪器环境试验
- 5.GB/T 17626—1998 电磁兼容试验和测量技术
- 6.GB/T 8622—1997 工业铂电阻温度传感器
- 7.GB/T 778.3—1996 冷水水表第 3 部分: 试验方法和试验设备

使用本规程时应注意使用上述引用文献的现行有效版本。

3 术语与定义

3.1 热能表 Heat meter

用于测量及显示热交换回路中载热液体所释放的热量的计量器具。

3.1.1 组合式热能表 Combined heat meter

由独立的流量传感器、配对温度传感器和计算器组合而成的热能表。

3.1.2 一体式热能表 Complete heat meter

由流量传感器、配对温度传感器和计算器组成, 而且组成后全部或部分不可分开的热能表。

3.2 热能表的组成部件 Sub-assemblies of a heat meter

3.2.1 流量传感器 Flow sensor

在热交换回路中用于产生载热液体的流量信号的部件, 该信号是载热液体体积或质量的函数, 也可是体积流量或质量流量的函数。

3.2.2 配对温度传感器 Temperature sensor pair

在热交换回路中用于同时采集载热液体在入口和出口的温度信号的部件。

3.2.3 计算器 Calculator

用于接收流量传感器和配对温度传感器的信号,

并进行计算、累积、存储和显示热交换回路中释放的热量的部件。

3.3 标称运行条件 Rated operating conditions

3.3.1 温度范围限 Limits of temperature range

3.3.1.1 温度范围上限 θ_{\max} the upper limit of the temperature range

流经热能表的载热液体的最高允许温度。在此温度下热能表示值不超过最大允许误差。

3.3.1.2 温度范围下限 θ_{\min} the lower limit of the temperature range

流经热能表的载热液体的最低允许温度。在此温度下热能表示值不超过最大允许误差。

3.3.2 温差限 Limits of temperature difference

3.3.2.1 温差 $\Delta\theta$ the temperature difference

热交换回路中载热液体入口温度和出口温度之差。

3.3.2.2 温度上限 $\Delta\theta_{\max}$ the upper limit of the temperature difference

最大允许温差, 在此温差下且在热功率上限值内, 热能表不超过最大允许误差。

3.3.2.3 温差下限 $\Delta\theta_{\min}$ the lower limit of the temperature difference

最小允许温差, 在此温差下, 热能表不超过最大允许误差。

3.3.3 流量限 Limit of flow-rate

3.3.3.1 流量上限 q_u the upper limit of the flow-rate

热能表在示值不超过最大允许误差的情况下能够短期运行 (<1 小时/天及 <200 小时/年) 的最大流量。

3.3.3.2 常用流量 (额定流量) q_p the permanent flow-rate

热能表在不超过最大允许误差的情况下可连续运行的最大流量。

3.3.3.3 最小流量 q_l the lower limit of the flow-rate

热能表在不超过最大允许误差下运行的最小流量。

3.3.4 热功率上限 P_u the upper limit of the thermal power

热能表在不超过最大允许误差下运行的最大热功率。

3.3.5 最大允许工作压力 Maximum admissible working pressure (MAP)

热能表在上限温度下运行可持久承受的最大压力。

3.3.6 最大压损 Δp maximum Pressure loss

热能表在常用流量下运行时, 载热液体流过热能表所产生的压力损失。

3.3.7 最大允许误差 Maximum permissible error (MPE)

热能表允许误差的极限值。

3.4 总量检定

对热能表的热量值直接进行检定的方法称为总量检定。

3.5 分量检定

将组成热能表的流量传感器的参数、温度传感器的参数和积算仪的参数视为热量的分量，按照分量或分量组合分别检定的方法称为分量检定。

4 概述

4.1 工作原理

热能表的工作原理是：将配对温度传感器分别安装在热交换回路的入口和出口的管道上，将流量传感器安装在入口或出口管上；流量传感器发出流量信号，配对温度传感器给入口和出口的温度信号，计算机采集流量信号和温度信号；经过计算，显示出载热液体从入口至出口所释放的热量值。

4.2 结构

热能表主要由流量传感器、配对温度传感器和计算机组成。

热能表按结构类型一般可分为一体式热能表和组合式热能表。

4.3 热能的计算公式

热量的计算公式有下面两种形式：

$$Q = \int_0^t q_m \cdot \Delta h \cdot dt \quad (1)$$

式中：Q——释放的热量，kJ；

q_m ——流经热能表中载热液体的质量流量，kg/s；

Δh ——热交换回路中入口温度与出口温度对应的载热液体的比焓值差，kJ/kg（水的焓值和密度表见附录 B）；

t ——时间，s。

$$Q = \int_0^V k \cdot \Delta \theta \cdot dV \quad (2)$$

式中：Q——释放的热量，J 或 kW·h；

V——载热液体流过的体积，m³；

$\Delta \theta$ ——热交换回路中载热液体入口处和出口处的温差，℃；

k ——热系数，它是载热液体在相应温度、温差和压力下的函数，[J/(m³·℃) 或 kW·h/(m³·℃)]，水的热系数 k 值见附录 C。

注：

1 查热系数表时，允许线性内插。

2 式中的体积计量位置是在热交换回路的出口处，否则，应进行密度修正。

3 附录 C 热系数 k 值的计算公式来源于欧洲标准 EN1434《热能表》。

5 计量性能要求

5.1 流量传感器的密封性和强度

应能承受密封性和水压强度试验，无泄漏、渗漏或损坏。

5.2 热能表的准确度等级

5.2.1 按总量检定时，准确度等级及最大允许相对误差 E 列在表 1 中。

5.2.2 按分量检定时，各分量的准确度等级及最大允许相对误差 E 列在表 2 中。

表 1

| 1 级 | 2 级 | 3 级 |
|---|---|---|
| $E = \pm \left(2 + 4 \frac{\Delta \theta_{\min}}{\Delta \theta} + 0.01 \frac{q_p}{q} \right) \%$ $E_q = \pm \left(1 + 0.01 \frac{q_p}{q} \right) \%$ 且 $\leq +5\%$ | $E = \pm \left(3 + 4 \frac{\Delta \theta_{\min}}{\Delta \theta} + 0.02 \frac{q_p}{q} \right) \%$ | $E = \pm \left(4 + 4 \frac{\Delta \theta_{\min}}{\Delta \theta} + 0.05 \frac{q_p}{q} \right) \%$ |
| 注： 1 对 1 级表 $q_p \geq 100 \text{m}^3/\text{h}$ 。 2 q 为流量。 | | |

表 2

| | 流量传感器误差限 E_q | 配对温度传感器误差限 E_θ | 计算机误差限 E_G |
|---|---|--|--|
| 1 级 | $\pm \left(1 + 0.01 \frac{q_p}{q} \right) \%$ 且 $\leq \pm 5\%$ | 配对温度传感器的温差误差应满足 $\pm \left(0.5 + 3 \frac{\Delta \theta_{\min}}{\Delta \theta} \right) \%$ 对单支温度传感器温度误差应满足 $\pm (0.30 + 0.005 \theta) \text{℃}$ | $\pm \left(0.5 + \frac{\Delta \theta_{\min}}{\Delta \theta} \right) \%$ |
| 2 级 | $\pm \left(2 + 0.02 \frac{q_p}{q} \right) \%$ 且 $\leq \pm 5\%$ | | |
| 3 级 | $\pm \left(3 + 0.05 \frac{q_p}{q} \right) \%$ 且 $\leq \pm 5\%$ | | |
| 注：对 1 级表 $q_p \geq 100 \text{m}^3/\text{h}$ 。 | | | |

5.3 热能表的误差限

使用中检验的热能表的误差限为上述误差限的2倍（即最大允许误差的2倍）。

5.4 非叶轮式的流量传感器的重复性 E_r

非叶轮式的流量传感器的重复性应不大于最大允许误差的一半。

注：对于叶轮式的流量传感器，可以不做重复性。

5.5 热能表的温度下限

热能表的温差下限 $\Delta\theta_{\min}$ 一般为 3°C 。

5.6 流量传感器的最大压降

流量传感器的最大压降 Δp 不应超过 25kPa 。

6 通用技术要求

6.1 热能表外壳应涂层均匀，无裂纹、毛刺等表面缺陷，壳体应能防水、尘侵入，并用箭头标出载热液体流动的方向。

6.2 热能表应有铭牌，铭牌上应注明厂名或注册商标、口径、型号与编号、MC标志、 q 的测量范围、 θ 的测量范围、 $\Delta\theta$ 的测量范围、最大允许工作压力、准确度等级、环境等级、制造年月、安装位置（管道入口或出口）、水平安装或垂直安装（如有必要）。

注：环境等级为

A级环境（户内安装）：

环境温度应为 $(+5 \sim +55)^{\circ}\text{C}$ ；通常湿度；通常的电气和电磁状态。

B级环境（户外安装）：

环境温度应为 $(-25 \sim +55)^{\circ}\text{C}$ ；通常湿度；通常的电气和电磁环境。

6.3 送检的热能表中，新制造的热能表应具有产品合格证及使用说明书；使用中和修理后的热能表应具有产品合格证、使用说明书和上次检定的合格证书。

6.4 热能表显示要求

6.4.1 热能表应至少能显示热量、累积流量、载热液体入口温度和出口温度。热量的显示单位用 J 或 $\text{W}\cdot\text{h}$ 或其十进制倍数。累积流量的显示单位用 m^3 。温度的显示单位用 $^{\circ}\text{C}$ 。显示单位应标在不宜混淆的地方。

6.4.2 热能表应在最大热功率下持续 3000h 而不超量程地显示热量，并在最大热功率下工作 1h 而热量显示的最小位数至少步进一位。

6.4.3 显示数字的可见高度不应小于 4mm 。

6.4.4 显示分辨力

6.4.4.1 使用时显示分辨力

热量： $1\text{kW}\cdot\text{h}$ 或 1MJ ；累积流量： 0.01m^3 ；温度： 0.1°C 。

6.4.4.2 检定时显示分辨力

对于 $\text{DN}15$ 和 $\text{DN}20$ 的热能表，热量：一般为 $0.001\text{kW}\cdot\text{h}$ 或 0.001MJ ；累积流量：一般为 0.00001m^3 ；温度： 0.1°C 。

注：

1—10—6

1 达不到上述要求的热能表应设计有接口并配有接线，检定时可以使分辨力提高至上述要求。

2 对于其他口径的热能表，热量和累积流量的显示分辨力应满足检定分辨力的要求。

6.4.5 热能表通载热液体，平稳地运行几分钟后应进入正常运行。当载热液体不流时，热量显示值应不变。

6.5 影响热能表计量的可拆部件应有可靠的封印。封印必须是有效的。

6.6 热能表的材料与结构

构成热能表的所有部件应有坚固的结构。在规定的温度条件下，与载热液体接触的热能表的材料应具有相应的机械强度和足够的耐磨强度，并能正常工作。热能表中，凡与载热液体接触的部件材料应能耐载热液体和大气的腐蚀或有可靠的防腐层。

7 计量器具控制

计量器具控制包括首次检定、后续检定、使用中检验、定型鉴定及样机试验。附录 A 规定了定型鉴定、样机试验的项目和试验方法。

7.1 检定条件

7.1.1 主要检定设备

主要检定设备列于表 3 中，恒温槽的温场要求列于表 4 中。

表 3

| 总量检定 | 分量检定 | | |
|---|--------------------|-------------------|----------------|
| | 流量传感器 | 配对温度传感器 | 计算器 |
| 热水流量标准装置 耐压试验设备 恒温槽 二等标准铂电阻温度计 | 热水流量标准装置 耐压试验设备 | 恒温槽 二等标准铂电阻温度计 | 信号发生器 标准电阻箱 |

表 4 $^{\circ}\text{C}$

| 名称 | 测量范围 | 工作区域最大温差 | 工作区域水平温场 |
|------|--------|----------|----------|
| 恒温水槽 | 1~95 | 0.02 | 0.01 |
| 恒温油槽 | 90~200 | 0.03 | 0.015 |

7.1.2 热水流量标准装置的扩展不确定度（覆盖因子为 2）应小于等于热能表最大允许误差的 $1/3$ ，标准电阻箱的扩展不确定度（覆盖因子为 2）应小于等于热能表最大允许误差的 $1/5$ 。也可采用标准热能表作为标准，标准热能表的扩展不确定度（覆盖因子为 2）应小于等于热能表最大允许误差的 $1/3$ 。标准热能表应在热水装置上检定。对于其他原理的标准器，如果其不确定度能够满足要求，也可以使用。

7.1.3 热量标准装置应具有测量压力损失的功能。

7.1.4 环境及外部要求

大气温度一般为 (15~35)℃；

大气相对湿度一般为 (15~85)%；

大气压力一般为 (86~106) kPa；

供电电源：电源电压为 (187~242) V；电源频率为 (50±1) Hz；

外界磁场干扰应小到对热能表的影响可忽略不计。

7.1.5 被检热能表实验前在实验室存放不少于 2h。

7.2 检定项目

热能表的检定项目列于表 5 中。

表 5

| 序号 | 检定项目 | 检定类别 | | |
|----|-------|------|------|-------|
| | | 首次检定 | 后续检定 | 使用中检验 |
| 1 | 外观检查 | + | + | + |
| 2 | 运行检查 | + | + | + |
| 3 | 密封性检查 | + | + | - |
| 4 | 示值误差 | + | + | + |
| 5 | 重复性 | + | + | - |

注：“+”表示应检定；“-”表示可不检定。

7.3 检定方法

7.3.1 总量检定法

按总量检定的热能表应至少在以下 3 种情况下进行检定。在每一种情况下，选择给定范围内的一温差、一流量点并在 (50±5)℃ 的水温下进行检定。

- 1) $\Delta\theta_{\min} \leq \Delta\theta \leq 1.2\Delta\theta_{\min}$ 和 $0.9q_p \leq q \leq q_p$
- 2) $10 \leq \Delta\theta \leq 20$ 和 $0.2q_p \leq q \leq 0.22q_p$ ；
- 3) $(\Delta\theta_{\max} - 5) \leq \Delta\theta \leq \Delta\theta_{\max}$ 和 $q_i \leq q \leq 1.1q_i$

7.3.2 分量检定法

7.3.2.1 流量传感器

检定流量传感器时，应在下列每个流量范围内选一流量点并在 (50±5)℃ 的水温下进行检定。

- 1) $q_i \leq q \leq 1.1q_i$
- 2) $0.1q_p \leq q \leq 0.11q_p$
- 3) $0.9q_p \leq q \leq 1.0q_p$

如果提供了型式批准证书及可说明室温下和 (50±5)℃ 下流量传感器的对比性能的试验报告，可在室温下进行检定。

7.3.2.2 配对温度传感器

配对温度传感器的每个温度传感器，应在同一个恒温槽内，在下列的每个温度范围内选一温度点进行检定。

- 1) $\theta_{\min} \sim (\theta_{\min} + 10\text{℃})$ (当 $\theta_{\min} < 20\text{℃}$ 时) 或 (35~45)℃ (当 $\theta_{\min} \geq 20\text{℃}$ 时)
- 2) (45~55)℃ (常温型) 或 (75~85)℃ (高温型)
- 3) $(\theta_{\max} - 5\text{℃}) \sim \theta_{\max}$

配对温度传感器的两个温度传感器，应在温度不

同的两个恒温槽内，在下列的每个温差范围内选一温差点进行检定。

- 1) $\Delta\theta_{\min} \leq \Delta\theta \leq 1.2\Delta\theta_{\min}$
- 2) $10\text{℃} \leq \Delta\theta \leq 20\text{℃}$
- 3) $(\Delta\theta_{\max} - 5\text{℃}) \leq \Delta\theta \leq \Delta\theta_{\max}$

注：

- 1 做温差试验时，高温端温度应在 $(\theta_{\max} - 5\text{℃}) \sim \theta_{\max}$ 范围内。
- 2 $\Delta\theta_{\min}$ 一般为 3℃。

7.3.2.3 计算器

计算器必须在表 6 中给定的模拟温度及温差下检定。

表 6 ℃

| | 温 度 | 温 差 |
|---|--|--|
| 1 | $\theta_{\min} \leq \theta_d \leq \theta_{\min} + 5$ | $\Delta\theta_{\min}, 5, 20, \Delta\theta_{\text{ref}}$ |
| 2 | $\theta_d = \theta_{\text{ref}} \pm 5$ | $\Delta\theta_{\min}, 5, 20$ |
| 3 | $\theta_{\max} - 5 \leq \theta_e \leq \theta_{\max}$ | $20, \Delta\theta_{\text{ref}}, \Delta\theta_{\max} - 5$ |

注：
1 θ_d 为出口温度； θ_e 为入口温度。
 $\theta_{\text{ref}} = \frac{\theta_{\min} + \theta_{\max}}{2}$
 $\Delta\theta_{\text{ref}} = \frac{20 + \Delta\theta_{\max}}{2}$
2 模拟流量信号应不超过计算器可接收的最大值。

7.3.3 计算公式：

7.3.3.1 热量相对误差 E_i 与 E_Q 计算公式：

$$E_i = \frac{Q_{di} - Q_{ci}}{Q_{ci}} \times 100\% \quad (3)$$

$$E_Q = E_{i\max} \quad (4)$$

式中： Q_{di} 、 Q_{ci} ——分别表示第 i 点指示值与约定真值。

7.3.3.2 重复性 E_r 计算公式：

$$E_j = \frac{V_{dj} - V_{cj}}{V_{cj}} \times 100\% \quad (5)$$

式中 V_{dj} 和 V_{cj} ——分别表示在流量 q_p 下流量传感器第 j 次 ($j=1, 2, 3$) 检定的体积指示值和约定真值。

$$E_{\max} = E_{j\max} \quad (6)$$

$$E_{\min} = E_{j\min} \quad (7)$$

$$E_r = E_{\max} - E_{\min} \quad (8)$$

7.3.4 外观检查

用目测法检查热能表的外观，并查验相关资料是否齐全，其结果应符合第 6 条的规定。

7.3.5 运行检查

将热能表安装在热量标准装置上，通水几分钟后，目测法检查；然后切断水流，再目测检查。其结果应符合 6.4 的有关规定。

7.3.6 密封性试验

将热能表安装在热量标准装置上，通温度为 (60

±10)℃的热水 5min 以上,同时将压力调节为该装置的公称压力,然后关闭出水阀,10min 后用目测法检查。其结果应符合 5.1 条的有关要求。

7.3.7 热能表的总量检定

7.3.7.1 检定时载热液体的温度、进口与出口温差与流量点按 7.3.1 要求。

7.3.7.2 检定次数一般为 1 次。如果第一次的 E 大于最大允许误差,允许再补做 2 次,但后面 2 次的 E 均不应超过最大允许误差。以 3 次试验的算术平均值做为热能表的示值。

7.3.7.3 当选用质量法流量标准装置时,将热能表安装到质量法热量标准装置上,通水使其平衡地运行一段时间。

7.3.7.4 用流量调节阀将流量调到第 i 个点,并将载热液体的温度调到检定温度值,通过恒温槽,将温差调到规定值,稳定 10min,秤出 m_{0i} , m_{1i} ; 记录热能表的读数 Q_{0i} , Q_{1i} , 水温与室温。

7.3.7.5 实际热量 Q_{ci} 和热能表显示热量 Q_{di} 分别按式 (9) 和式 (10) 计算。

$$Q_{ci} = (m_{1i} - m_{0i}) \times (h_{1i} - h_{0i}) \quad (9)$$

式中: h_{1i} , h_{0i} ——分别表示载热液体在高温恒温槽的温度下的比焓值与设定的低温恒温槽的温度下的比焓值。

$$Q_{di} = Q_{1i} - Q_{0i} \quad (10)$$

7.3.7.6 热能表第 i 检定点的示值误差 E_i 按式 (3) 计算。

7.3.7.7 重复 7.3.7.4 至 7.3.7.6, 将流量、温度、温差调到其他点,完成全部检定。

7.3.7.8 热能表的示值误差 E 按式 (4) 计算,其结果应符合 5.2 的要求。

7.3.8 热能表的分量检定(以质量法流量标准装置为例)

7.3.8.1 流量传感器

1) 检定时水温与流量点按 7.3.2.1 的规定。

2) 每个流量点一般检定 1 次,如果第一次的 E 大于最大允许误差,允许再补做 2 次,但后面 2 次的 E 均不应超过最大允许误差。以 3 次试验的算术平均值做为流量传感器的示值。

3) 将流量传感器安装到装置上,通水使其平衡地运行一段时间。

4) 用流量调节阀将流量调到第 i 个流量点,并将水温调到检定温度范围,稳定运行 10min,记录流量传感器初始值 V_{0i} 和秤初始值 m_{0i} ; 启动换向器,切换水流,使水流注入称量容器。当秤的示值达到预先规定的值时,切换水流,记录流量传感器的终止值 V_{1i} 、水温 T_{1i} 与室温,待容器内水面波动稳定后,记录秤终止值 m_{1i} 。

5) 计算流过流量传感器的体积量 V_{ci} :

$$V_{ci} = \frac{M_i}{\rho_i} \cdot C_{fi} \quad (11)$$

$$M_i = m_{1i} - m_{0i} \quad (12)$$

$$C_{fi} = \frac{\rho_i(\rho_b - \rho_a)}{\rho_b(\rho_i - \rho_a)} \quad (13)$$

式中 M_i ——第 i 检定点检定时载热液体的质量,kg;

ρ_i ——第 i 检定点检定时载热液体的密度,kg/m³ (可查表);

C_{fi} ——第 i 检定点检定时的浮力修正系数;

ρ_b ——所用砝码的密度,kg/m³;

ρ_a ——空气密度,kg/m³。

(6) 流量传感器各流量点示值误差按式 (14) 计算。

$$E_i = \frac{V_{di} - V_{ci}}{V_{ci}} \times 100\% \quad (14)$$

$$V_{di} = V_{1i} - V_{0i} \quad (15)$$

7) 重复步骤第 4), 调节流量,直到完成全部流量点检定。

8) 流量传感器的示值误差按式 (16) 计算,其结果应符合 5.2 的要求。

$$E_V = E_{i\max} \quad (16)$$

9) 流量传感器的示值重复性按式 (5) ~ (8) 计算,其结果应符合 5.4 的要求。

7.3.8.2 温度传感器

1) 检定点根据 7.3.2.2 的要求选取。

2) 检定时温度传感器应插入恒温水槽或油槽的工作区域内,浸没深度为 300mm,稳定 15min。检定前后水槽或油槽内温度变化不应超过 0.1℃。

3) 对单支传感器的检定是在同一恒温槽内进行,将恒温槽的温度控制在检定点温度,每个点至少读两个循环,每个读数循环为:标准铂电阻温度计→传感器 1→传感器 2→标准铂电阻温度计; 对配对温度传感器温差的检定是在两台恒温槽内进行,按温差检定点的要求控制其温度,每个温差点至少读两个过程,每个读数过程为:标准铂电阻温度计 1→传感器 1→标准铂电阻温度计 2→传感器 2。

4) 误差计算方法,对单支温度传感器的检定,取被检传感器显示温度的算术平均值与标准器对应温度值的算术平均值之差作为传感器的误差; 对配对温度传感器温差的检定,取两次被检传感器显示温度之差的算术平均值与两次标准器对应温度差的算术平均值之差作为配对温度传感器温差的误差。

5) 单支温度传感器和配对温度传感器的误差应符合表 2 的要求。

7.3.8.3 计算器

采用标准脉冲发生器和标准电阻箱提供模拟流量和温度信号。检定点按表 6 进行设置,每个检定点至少检定两次。计算器的示值误差 E 按式 (3) 及式

(4) 计算, 其中 Q_{ci} 为理论计算值。检定结果应符合 5.2.2 表 2 中 E_G 的要求。

7.3.9 重复性检定

7.3.9.1 流量点选择与测量次数

选择 q_p 流量点, 在 $(50 \pm 5)^\circ\text{C}$ 下重复测量 3 次。

7.3.9.2 按公式 (8) 计算其重复性 E_r 。

7.4 检定结果的处理

经检定, 符合本规程要求的热能表, 签发检定证书; 不合格的热能表, 签发检定结果通知书, 并注明不合格项目。

7.5 检定周期

热能表的检定周期一般不得超过 3 年。

附录 A 定型鉴定及样机试验

定型鉴定项目除按照首次检定的要求进行试验 (参见规程正文第 7.2 条) 之外, 还应对本附录所规定的项目进行试验。

A.1 试验项目

本附录所涉及的全部试验项目列于表 A.1。

热能表及其组件的试验程序 表 A.1

| 序号 | 试验项目 | 温度传感器 | 流量传感器 | 计算器 |
|----|--------|-------|-------|-----|
| 1 | 示值误差 | ✓ | ✓ | ✓ |
| 2 | 耐久性 | | ✓ | |
| 3 | 干热试验 | ✓ | ✓☆ | ✓ |
| 4 | 低温储存 | ✓ | ✓☆ | ✓ |
| 5 | 低温试验 | | | ✓ |
| 6 | 湿热储存 | ✓ | ✓☆ | ✓ |
| 7 | 电源电压变化 | | ✓ | ✓ |
| 8 | 电源频率变化 | | ✓ | ✓ |
| 9 | 电源中断 | | ✓☆ | ✓ |
| 10 | 电快速瞬变 | | ✓☆◇ | ✓◇ |
| 11 | 电浪涌 | | ✓☆◇ | ✓◇ |
| 12 | 电磁场 | | ✓☆◇ | ✓◇ |
| 13 | 静电放电 | | ✓☆ | ✓ |
| 14 | 静态磁场 | | ✓ | ✓ |
| 15 | 工频电磁场 | | ✓☆ | ✓ |
| 16 | 耐压强度 | | ✓ | |
| 17 | 压损试验 | | ✓ | |

✓——应进行试验;
 ☆——只适用于带有电子设备的流量传感器;
 ◇——试验应在电缆已经连接好的情况下进行。

A.2 示值误差

应该在水温为室温、 $(50 \pm 5)^\circ\text{C}$ 、 $(85 \pm 5)^\circ\text{C}$ 及规定的流量下进行, 流量点选择应按下列要求:

$$q_i \leq q \leq 1.1q_i$$

$$0.1q_p \leq q \leq 0.11q_p$$

$$0.3q_p \leq q \leq 0.31q_p$$

$$0.9q_p \leq q \leq 1.0q_p$$

$$0.9q_s \leq q \leq 1.0q_s$$

在干热试验、低温储存和湿热储存实验全部完成后, 应抽查示值误差试验, 抽查实验应在 $(50 \pm 5)^\circ\text{C}$ 以及至少包含下列 2 个流量点的条件下进行。

$$0.1q_p \leq q \leq 0.11q_p$$

$$0.9q_p \leq q \leq 1.0q_p$$

A.3 耐久性试验

用加速磨损试验来确定热能表的耐久性。

A.3.1 流量传感器

在流量为 q_s , 并处于流量传感器需要承受的载热流体的温度上限时, 试验持续时间应为 300h。在耐久性试验之后, 应该在 $(50 \pm 5)^\circ\text{C}$ 及按规程正文 7.3.2.1 所规定的流量下进行示值误差试验, 结果应符合规程正文 5.2 的要求 (如果 $\theta_{\max} < 50^\circ\text{C}$, 则在 $(\theta_{\max} - 5^\circ\text{C}) \sim \theta_{\max}$ 的温度范围内进行)。

A.3.2 温度传感器

温度传感器应缓慢 (1min 至 3min) 插入已达上限温度的实验装置中, 并在该温度下保持足够的时间, 以达到热平衡。缓慢 (1min 至 3min) 从上限温度的实验装置中取出, 在室温停留一段时间, 然后再将温度传感器缓慢 (1min 至 3min) 插入已达下限温度的实验装置中, 并在该温度下保持足够的时间, 以达到热平衡。最后缓慢 (1min 至 3min) 从下限温度的实验装置中取出。这一过程应重复 10 次。

在温度循环之后, 作为一个组件的温度传感器的电阻应在以下条件下进行试验。

传感器金属壳和连在传感器上的每个导体间的绝缘阻抗应在参考条件下进行试验, 使用的试验电压不超过直流 100V。电压的极性应颠倒过来。被测电阻不应少于 $100\text{M}\Omega$ 。测量应在传感器处于最高温度时进行。传感器的金属壳与连接到传感器上每一个导体间的电阻, 测试电压不应超过直流 10V。电压的极性应颠倒过来。测量的电阻任何时候都不能少于 $10\text{M}\Omega$ 。

A.4 干热试验

参照 GB 2423.2—1989《电工电子产品基本环境试验: 高温》执行。

温度 $(55 \pm 2)^\circ\text{C}$; 时间 2h; 在加热和冷却过程中, 温度的变化率不应超过 $1^\circ\text{C}/\text{min}$; 试验大气的相对湿度不应超过 20%。

经过干热试验后, 热能表或其组件的外观应无明显变化。

在加热到 $(55 \pm 2)^\circ\text{C}$ 并达到温度稳定之后, 应对计算器做示值误差试验。试验条件如下:

模拟的出口温度为 θ_{\min} 和 θ_{ref} ;

模拟的流量应不超过计算器可接收的最大值;

模拟的温差为 $\Delta\theta_{\min}$ 和 $\Delta\theta_{\text{ref}}$ 。

试验结果应符合规程正文中第 5.2.2 条表 2 中 E_G 的要求。

A.5 低温储存

参照 GB 2423.1—1989《电工电子产品基本环境试验：低温》执行。

A 级环境：温度 $(-15 \pm 3)^\circ\text{C}$ ，时间 2h

B 级环境：温度 $(-30 \pm 3)^\circ\text{C}$ ，时间 2h

低温储存试验后，热能表或其组件的外观应无明显变化。

A.6 低温试验

A 级环境：温度 $(-5 \pm 3)^\circ\text{C}$ ，时间 2h

B 级环境：温度 $(-25 \pm 3)^\circ\text{C}$ ，时间 2h

在冷却和加热过程中，温度的变化率不应超过 $1^\circ\text{C}/\text{min}$ 。

在冷却到预定温度并达到温度稳定之后，应对计算器做示值误差试验，试验条件如下：

模拟的出口温度为 θ_{\min} 和 θ_{ref} ；

模拟的流量应不超过计算器可接收的最大值；

模拟的温差为 $\Delta\theta_{\min}$ 和 $\Delta\theta_{\text{ref}}$ 。

试验结果应符合规程正文中第 5.2.2 条表 2 中 E_G 的要求。

A.7 湿热循环

参照 GB/T 2423.4—1993《电工电子产品基本环境试验：交变湿热》执行。

湿热循环 表 A.2

| 环境等级 | A | B |
|------------------------|-------------|-------------|
| 温度下限/ $^\circ\text{C}$ | 25 ± 3 | 25 ± 3 |
| 温度上限/ $^\circ\text{C}$ | 40 ± 2 | 55 ± 2 |
| 相对湿度 | $\geq 93\%$ | $\geq 93\%$ |
| 周期循环 | 12h + 12h | 12h + 12h |
| 循环次数 | 2 | 2 |

湿热循环试验后，热能表或其组件的外观应无明显变化。

A.8 电源电压变化

交流供电的热能表或其组件在电源电压 187~242V 条件下应能正常工作。

A.9 电源频率变化

交流供电的热能表或其组件在电源频率 47.5~52.5Hz 条件下应能正常工作。

A.10 电源中断

本条只适用于电网供电的热能表。

参照 GB/T 17626.11—1998《电磁兼容试验和测量技术》执行。

中断时间不得少于 50ms，连续两次中断之间的时间间隔应为 (10 ± 1) s。电压中断应重复 10 次。

热能表在电源中断试验中应能正常工作。

A.11 电快速瞬变（脉冲串）

参照 GB/T 17626.4—1998《电磁兼容试验和测量技术》执行。

对于信号线和直流电源线，试验电压 $(1 \pm 10\%) \times 1.0\text{kV}$ 。如果信号线或直流电源线的长度小于 1.2m，可以免做此项试验。

对于交流电源线，试验电压 $(1 \pm 10\%) \times 2.0\text{kV}$

热能表在电快速瞬变试验后仍能正常工作。

A.12 电浪涌

参照 GB/T 17626.5—1998《电磁兼容试验和测量技术》执行。

对于信号线和直流电源线，试验电压 0.5kV。如果信号线或直流电源线的长度小于 10m，可以免做此项试验。

对于交流电源线：

试验电压（共模方式）： $(1 \pm 10\%) \times 2.0\text{kV}$

试验电压（差模方式）： $(1 \pm 10\%) \times 1.0\text{kV}$

热能表在电浪涌试验后应能正常工作。

A.13 电磁场

参照 GB/T 17626.3—1998《电磁兼容试验和测量技术》执行。

频率范围：26MHz~1000MHz；3V/m

热能表在电磁场试验中应能正常工作。

A.14 静电放电

参照 GB/T 17626.2—1998《电磁兼容试验和测量技术》执行。

放电电压：空气放电 8kV 或接触放电 4kV。

热能表在静电放电试验后应能正常工作。

A.15 静态磁场

在试验过程中，一个具有 100kA/m 电磁力的永久磁铁应在流量传感器、计算器外壳和热能表的读数装置上的几个位置与之相接触。

在热能表的外壳，在静态磁场会影响热能表正常运行的位置上应标明做过试验与否、误差、热能表类型、结构和（或）重要的历史记录。

无论磁铁放置在上述的任何位置，热能表的示值都能读出。试验的持续时间应足够长，以使热能表的误差可以确定。

热能表在静态磁场试验中应能正常工作。

A.16 工频电磁场

参照 GB/T 17626.8—1998《电磁兼容试验和测量技术》执行。

磁场强度 60A/m。

热能表在工频电磁场试验中应能正常工作。

A.17 耐压强度

流量传感器应在无溢漏或危害的情况下承受下列两种情况之一：

(1) 在比温度上限低 $(10 \pm 5)^\circ\text{C}$ 的水温下开始试

验, 水压为 1.6MPa 或 1.6 倍于最大工作压力。

(2) 在比温度上限高 5℃ 的温度下, 水压等于最大工作压力。

试验的持续时间应为 15min。

A.18 压损试验

在流量为 q_p 、温度为 $(50 \pm 5)^\circ\text{C}$ 时, 最大的压力降 Δp 不应超过 25kPa。

附录 B 水的焓值和密度表

当 $p=0.60000\text{MPa}$ 时, 水的焓值和密度见表 B.1。

表 B.1

| 温度/℃ | 密度/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) | 焓/($\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) |
|------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | 1000.2 | 4.7841 |
| 2 | 1000.2 | 8.9963 |
| 3 | 1000.2 | 13.206 |
| 4 | 1000.2 | 17.412 |
| 5 | 1000.2 | 21.616 |
| 6 | 1000.2 | 25.818 |
| 7 | 1000.1 | 30.018 |
| 8 | 1000.1 | 34.215 |
| 9 | 1000.0 | 38.411 |
| 10 | 999.94 | 42.605 |
| 11 | 999.84 | 46.798 |
| 12 | 999.74 | 50.989 |
| 13 | 999.61 | 55.178 |
| 14 | 999.48 | 59.367 |
| 15 | 999.34 | 63.554 |
| 16 | 999.18 | 67.740 |
| 17 | 999.01 | 71.926 |
| 18 | 998.83 | 76.110 |
| 19 | 998.64 | 80.294 |
| 20 | 998.44 | 84.476 |
| 21 | 998.22 | 88.659 |
| 22 | 998.00 | 92.840 |
| 23 | 997.77 | 97.021 |
| 24 | 997.52 | 101.20 |
| 25 | 997.27 | 105.38 |
| 26 | 997.01 | 109.56 |
| 27 | 996.74 | 113.74 |
| 28 | 996.46 | 117.92 |
| 29 | 996.17 | 122.10 |
| 30 | 995.87 | 126.28 |
| 31 | 995.56 | 130.46 |
| 32 | 995.25 | 134.63 |
| 33 | 994.93 | 138.81 |
| 34 | 994.59 | 142.99 |
| 35 | 994.25 | 147.17 |
| 36 | 993.91 | 151.35 |

续表

| 温度/℃ | 密度/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) | 焓/($\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) |
|------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 37 | 993.55 | 155.52 |
| 38 | 993.19 | 159.70 |
| 39 | 992.81 | 163.88 |
| 40 | 992.44 | 168.06 |
| 41 | 992.05 | 172.24 |
| 42 | 991.65 | 176.41 |
| 43 | 991.25 | 180.59 |
| 44 | 990.85 | 184.77 |
| 45 | 990.43 | 188.95 |
| 46 | 990.01 | 193.13 |
| 47 | 989.58 | 197.31 |
| 48 | 989.14 | 201.49 |
| 49 | 988.70 | 205.67 |
| 50 | 988.25 | 209.85 |
| 51 | 987.80 | 214.03 |
| 52 | 987.33 | 218.21 |
| 53 | 986.87 | 222.39 |
| 54 | 986.39 | 226.57 |
| 55 | 985.91 | 230.75 |
| 56 | 985.42 | 234.94 |
| 57 | 984.93 | 239.12 |
| 58 | 984.43 | 243.30 |
| 59 | 983.93 | 247.48 |
| 60 | 983.41 | 251.67 |
| 61 | 982.90 | 255.85 |
| 62 | 982.37 | 260.04 |
| 63 | 981.84 | 264.22 |
| 64 | 981.31 | 268.41 |
| 65 | 980.77 | 272.59 |
| 66 | 980.22 | 276.78 |
| 67 | 979.67 | 280.97 |
| 68 | 979.12 | 285.15 |
| 69 | 978.55 | 289.34 |
| 70 | 977.98 | 293.53 |
| 71 | 977.41 | 297.72 |
| 72 | 976.83 | 301.91 |
| 73 | 976.25 | 306.10 |
| 74 | 975.66 | 310.29 |
| 75 | 975.06 | 314.48 |
| 76 | 974.46 | 318.68 |
| 77 | 973.86 | 322.87 |
| 78 | 973.25 | 327.06 |
| 79 | 972.63 | 331.26 |
| 80 | 972.01 | 335.45 |
| 81 | 971.39 | 339.65 |
| 82 | 970.76 | 343.85 |
| 83 | 970.12 | 348.04 |

续表

| 温度/℃ | 密度/(kg·m ⁻³) | 焓/(kJ·kg ⁻¹) |
|------|--------------------------|--------------------------|
| 84 | 969.48 | 352.24 |
| 85 | 968.84 | 356.44 |
| 86 | 968.19 | 360.64 |
| 87 | 967.53 | 364.84 |
| 88 | 966.87 | 369.04 |
| 89 | 966.21 | 373.25 |
| 90 | 965.54 | 377.45 |
| 91 | 964.86 | 381.65 |
| 92 | 964.18 | 385.86 |
| 93 | 963.50 | 390.07 |
| 94 | 962.81 | 394.27 |
| 95 | 962.12 | 398.48 |
| 96 | 961.42 | 402.69 |
| 97 | 960.72 | 406.90 |
| 98 | 960.01 | 411.11 |
| 99 | 959.30 | 415.33 |
| 100 | 958.58 | 419.54 |
| 101 | 957.86 | 423.76 |
| 102 | 957.14 | 427.97 |
| 103 | 956.41 | 432.19 |
| 104 | 955.67 | 436.41 |
| 105 | 954.93 | 440.63 |
| 106 | 954.19 | 444.85 |
| 107 | 953.44 | 449.07 |
| 108 | 952.69 | 453.30 |
| 109 | 951.93 | 457.52 |
| 110 | 951.17 | 461.75 |
| 111 | 950.40 | 465.98 |
| 112 | 949.63 | 470.20 |
| 113 | 948.86 | 474.44 |
| 114 | 948.08 | 478.67 |
| 115 | 947.29 | 482.90 |
| 116 | 946.51 | 487.14 |
| 117 | 945.71 | 491.37 |
| 118 | 944.92 | 495.61 |
| 119 | 944.11 | 499.85 |
| 120 | 943.31 | 504.09 |
| 121 | 942.50 | 508.34 |
| 122 | 941.68 | 512.58 |
| 123 | 940.86 | 516.83 |
| 124 | 940.04 | 521.08 |
| 125 | 939.21 | 525.33 |
| 126 | 938.38 | 529.58 |
| 127 | 937.54 | 533.83 |
| 128 | 936.70 | 538.09 |
| 129 | 935.86 | 542.35 |
| 130 | 935.01 | 546.61 |
| 131 | 934.15 | 550.87 |

续表

| 温度/℃ | 密度/(kg·m ⁻³) | 焓/(kJ·kg ⁻¹) |
|------|--------------------------|--------------------------|
| 132 | 933.29 | 555.13 |
| 133 | 932.43 | 559.40 |
| 134 | 931.56 | 563.67 |
| 135 | 930.69 | 567.93 |
| 136 | 929.81 | 572.21 |
| 137 | 928.93 | 576.48 |
| 138 | 928.05 | 580.76 |
| 139 | 927.16 | 585.04 |
| 140 | 926.26 | 589.32 |
| 141 | 925.37 | 593.60 |
| 142 | 924.46 | 597.88 |
| 143 | 923.56 | 602.17 |
| 144 | 922.64 | 606.46 |
| 145 | 921.73 | 610.76 |
| 146 | 920.81 | 615.05 |
| 147 | 919.88 | 619.35 |
| 148 | 918.95 | 623.65 |
| 149 | 918.02 | 627.95 |
| 150 | 917.08 | 632.26 |

当 $p = 1.60000\text{MPa}$ 时, 水的焓值和密度见表 B.2。

表 B.2

| 温度/℃ | 密度/(kg·m ⁻³) | 焓/(kJ·kg ⁻¹) |
|------|--------------------------|--------------------------|
| 1 | 1000.7 | 5.7964 |
| 2 | 1000.7 | 10.0040 |
| 3 | 1000.7 | 14.2090 |
| 4 | 1000.7 | 18.4110 |
| 5 | 1000.7 | 22.6110 |
| 6 | 1000.7 | 26.8080 |
| 7 | 1000.6 | 31.0040 |
| 8 | 1000.6 | 35.1970 |
| 9 | 1000.5 | 39.3890 |
| 10 | 1000.4 | 43.5790 |
| 11 | 1000.3 | 47.7680 |
| 12 | 1000.2 | 51.9560 |
| 13 | 1000.1 | 56.1420 |
| 14 | 999.95 | 60.3270 |
| 15 | 999.80 | 64.5110 |
| 16 | 999.64 | 68.6930 |
| 17 | 999.47 | 72.8750 |
| 18 | 999.29 | 77.0570 |
| 19 | 999.10 | 81.2370 |
| 20 | 998.89 | 85.4170 |
| 21 | 998.68 | 89.5960 |
| 22 | 998.45 | 93.7740 |
| 23 | 998.22 | 97.9520 |
| 24 | 997.98 | 102.130 |
| 25 | 997.72 | 106.310 |
| 26 | 997.46 | 110.480 |
| 27 | 997.19 | 114.660 |

续表

| 温度/℃ | 密度/(kg·m ⁻³) | 焓/(kJ·kg ⁻¹) |
|------|--------------------------|--------------------------|
| 28 | 996.91 | 118.840 |
| 29 | 996.62 | 123.010 |
| 30 | 996.32 | 127.190 |
| 31 | 996.01 | 131.360 |
| 32 | 995.69 | 135.540 |
| 33 | 995.37 | 139.720 |
| 34 | 995.04 | 143.890 |
| 35 | 994.69 | 148.070 |
| 36 | 994.35 | 152.240 |
| 37 | 993.99 | 156.420 |
| 38 | 993.62 | 160.590 |
| 39 | 993.25 | 164.770 |
| 40 | 992.87 | 168.940 |
| 41 | 992.49 | 173.120 |
| 42 | 992.09 | 177.300 |
| 43 | 991.69 | 181.470 |
| 44 | 991.28 | 185.650 |
| 45 | 990.87 | 189.820 |
| 46 | 990.44 | 194.000 |
| 47 | 990.02 | 198.180 |
| 48 | 989.58 | 202.360 |
| 49 | 989.14 | 206.530 |
| 50 | 988.69 | 210.710 |
| 51 | 988.23 | 214.89 |
| 52 | 987.77 | 219.07 |
| 53 | 987.30 | 223.25 |
| 54 | 986.83 | 227.42 |
| 55 | 985.35 | 231.60 |
| 56 | 985.86 | 235.78 |
| 57 | 985.37 | 239.96 |
| 58 | 984.87 | 244.14 |
| 59 | 984.36 | 248.33 |
| 60 | 983.85 | 252.51 |
| 61 | 983.33 | 256.69 |
| 62 | 982.81 | 260.87 |
| 63 | 982.28 | 265.05 |
| 64 | 981.75 | 269.24 |
| 65 | 981.21 | 273.42 |
| 66 | 980.66 | 277.61 |
| 67 | 980.11 | 281.79 |
| 68 | 979.55 | 285.98 |
| 69 | 978.99 | 290.16 |
| 70 | 978.43 | 294.35 |
| 71 | 977.85 | 298.54 |
| 72 | 977.27 | 302.72 |
| 73 | 976.69 | 306.91 |
| 74 | 976.10 | 311.10 |
| 75 | 975.51 | 315.29 |
| 76 | 974.91 | 319.48 |
| 77 | 974.30 | 323.67 |
| 78 | 973.70 | 327.86 |

续表

| 温度/℃ | 密度/(kg·m ⁻³) | 焓/(kJ·kg ⁻¹) |
|------|--------------------------|--------------------------|
| 79 | 973.08 | 332.06 |
| 80 | 972.46 | 336.25 |
| 81 | 971.84 | 340.44 |
| 82 | 971.76 | 344.64 |
| 83 | 970.21 | 348.83 |
| 84 | 969.93 | 353.03 |
| 85 | 969.29 | 357.23 |
| 86 | 968.64 | 361.42 |
| 87 | 967.99 | 365.62 |
| 88 | 967.33 | 369.82 |
| 89 | 966.66 | 374.02 |
| 90 | 965.99 | 378.22 |
| 91 | 965.32 | 382.43 |
| 92 | 964.64 | 386.63 |
| 93 | 963.96 | 390.83 |
| 94 | 963.27 | 395.04 |
| 95 | 962.58 | 399.24 |
| 96 | 961.88 | 403.45 |
| 97 | 961.18 | 407.66 |
| 98 | 960.48 | 411.87 |
| 99 | 959.77 | 416.08 |
| 100 | 955.55 | 420.29 |
| 101 | 958.33 | 424.51 |
| 102 | 957.61 | 428.72 |
| 103 | 956.88 | 432.93 |
| 104 | 956.15 | 437.15 |
| 105 | 955.41 | 441.37 |
| 106 | 954.67 | 445.59 |
| 107 | 953.92 | 449.81 |
| 108 | 953.17 | 454.03 |
| 109 | 952.41 | 458.25 |
| 110 | 951.65 | 462.48 |
| 111 | 950.89 | 466.70 |
| 112 | 950.12 | 470.93 |
| 113 | 949.34 | 475.16 |
| 114 | 948.57 | 479.39 |
| 115 | 947.78 | 483.62 |
| 116 | 947.00 | 487.85 |
| 117 | 946.21 | 492.08 |
| 118 | 945.41 | 496.32 |
| 119 | 944.61 | 500.56 |
| 120 | 943.81 | 504.80 |
| 121 | 943.00 | 509.04 |
| 122 | 942.19 | 513.28 |
| 123 | 941.37 | 517.52 |
| 124 | 940.55 | 521.77 |
| 125 | 939.72 | 526.02 |
| 126 | 938.89 | 530.27 |
| 127 | 938.06 | 534.52 |
| 128 | 937.22 | 538.77 |
| 129 | 936.37 | 543.03 |
| 130 | 935.52 | 547.28 |

续表

| 温度/℃ | 密度/(kg·m ⁻³) | 焓/(kJ·kg ⁻¹) |
|------|--------------------------|--------------------------|
| 131 | 934.67 | 551.54 |
| 132 | 933.82 | 555.80 |
| 133 | 932.95 | 560.07 |
| 134 | 932.09 | 564.33 |
| 135 | 931.22 | 568.60 |
| 136 | 930.35 | 572.87 |
| 137 | 929.47 | 577.14 |
| 138 | 928.58 | 581.41 |
| 139 | 927.70 | 585.69 |
| 140 | 926.81 | 589.96 |

续表

| 温度/℃ | 密度/(kg·m ⁻³) | 焓/(kJ·kg ⁻¹) |
|------|--------------------------|--------------------------|
| 141 | 925.91 | 594.24 |
| 142 | 925.01 | 598.53 |
| 143 | 924.10 | 602.81 |
| 144 | 923.19 | 607.10 |
| 145 | 922.28 | 611.39 |
| 146 | 921.36 | 615.68 |
| 147 | 920.44 | 619.97 |
| 148 | 919.51 | 624.27 |
| 149 | 918.58 | 628.57 |
| 150 | 917.65 | 632.87 |

附录 C 热 系 数 表

[压力 $p=0.6\text{MPa}$, 单位 $\text{kW}\cdot\text{h}/(\text{m}^3\cdot\text{C})$]

| 进口温度/℃ | 出口温度/℃ | | | | | | | | | | | |
|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 94 | 93 | 92 | 91 | 90 | 89 | 88 | 87 | 86 | 85 | 84 | 83 |
| 95 | 1.125 | 1.126 | 1.127 | 1.127 | 1.128 | 1.129 | 1.129 | 1.130 | 1.131 | 1.131 | 1.132 | 1.132 |
| 94 | | 1.126 | 1.127 | 1.127 | 1.128 | 1.128 | 1.129 | 1.130 | 1.130 | 1.131 | 1.132 | 1.132 |
| 93 | | | 1.126 | 1.127 | 1.128 | 1.128 | 1.129 | 1.130 | 1.130 | 1.131 | 1.132 | 1.132 |
| 92 | | | | 1.127 | 1.128 | 1.128 | 1.129 | 1.130 | 1.130 | 1.131 | 1.131 | 1.132 |
| 91 | | | | | 1.127 | 1.128 | 1.129 | 1.129 | 1.130 | 1.131 | 1.131 | 1.132 |
| 90 | | | | | | 1.128 | 1.129 | 1.129 | 1.130 | 1.131 | 1.131 | 1.132 |
| 89 | | | | | | | 1.128 | 1.129 | 1.130 | 1.130 | 1.131 | 1.132 |
| 88 | | | | | | | | 1.129 | 1.130 | 1.130 | 1.131 | 1.132 |
| 87 | | | | | | | | | 1.130 | 1.130 | 1.131 | 1.131 |
| 86 | | | | | | | | | | 1.130 | 1.131 | 1.131 |
| 85 | | | | | | | | | | | 1.131 | 1.131 |
| 84 | | | | | | | | | | | | 1.131 |
| 83 | | | | | | | | | | | | |
| 82 | | | | | | | | | | | | |
| 81 | | | | | | | | | | | | |
| 80 | | | | | | | | | | | | |
| 79 | | | | | | | | | | | | |
| 78 | | | | | | | | | | | | |
| 77 | | | | | | | | | | | | |
| 76 | | | | | | | | | | | | |
| 75 | | | | | | | | | | | | |
| 74 | | | | | | | | | | | | |
| 73 | | | | | | | | | | | | |
| 72 | | | | | | | | | | | | |
| 71 | | | | | | | | | | | | |
| 70 | | | | | | | | | | | | |
| 69 | | | | | | | | | | | | |
| 68 | | | | | | | | | | | | |
| 67 | | | | | | | | | | | | |
| 66 | | | | | | | | | | | | |
| 65 | | | | | | | | | | | | |
| 64 | | | | | | | | | | | | |
| 63 | | | | | | | | | | | | |
| 62 | | | | | | | | | | | | |
| 61 | | | | | | | | | | | | |
| 60 | | | | | | | | | | | | |
| 59 | | | | | | | | | | | | |
| 58 | | | | | | | | | | | | |
| 57 | | | | | | | | | | | | |
| 56 | | | | | | | | | | | | |
| 55 | | | | | | | | | | | | |
| 54 | | | | | | | | | | | | |
| 53 | | | | | | | | | | | | |
| 52 | | | | | | | | | | | | |
| 51 | | | | | | | | | | | | |
| 50 | | | | | | | | | | | | |

续表

| 进口温度/℃ | 出口温度/℃ | | | | | | | | | | | |
|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 82 | 81 | 80 | 79 | 78 | 77 | 76 | 75 | 74 | 73 | 72 | 71 |
| 95 | 1.133 | 1.134 | 1.134 | 1.135 | 1.136 | 1.136 | 1.137 | 1.137 | 1.138 | 1.139 | 1.139 | 1.140 |
| 94 | 1.133 | 1.134 | 1.134 | 1.135 | 1.135 | 1.136 | 1.137 | 1.137 | 1.138 | 1.138 | 1.139 | 1.140 |
| 93 | 1.133 | 1.133 | 1.134 | 1.135 | 1.135 | 1.136 | 1.137 | 1.137 | 1.138 | 1.138 | 1.139 | 1.139 |
| 92 | 1.133 | 1.133 | 1.134 | 1.135 | 1.135 | 1.136 | 1.136 | 1.137 | 1.138 | 1.138 | 1.139 | 1.139 |
| 91 | 1.133 | 1.133 | 1.134 | 1.134 | 1.135 | 1.136 | 1.136 | 1.137 | 1.137 | 1.138 | 1.139 | 1.139 |
| 90 | 1.132 | 1.133 | 1.134 | 1.134 | 1.135 | 1.136 | 1.136 | 1.137 | 1.137 | 1.138 | 1.139 | 1.139 |
| 89 | 1.132 | 1.133 | 1.134 | 1.134 | 1.135 | 1.135 | 1.136 | 1.137 | 1.137 | 1.138 | 1.138 | 1.139 |
| 88 | 1.132 | 1.133 | 1.133 | 1.134 | 1.135 | 1.135 | 1.136 | 1.137 | 1.137 | 1.138 | 1.138 | 1.139 |
| 87 | 1.132 | 1.133 | 1.133 | 1.134 | 1.135 | 1.135 | 1.136 | 1.136 | 1.137 | 1.138 | 1.138 | 1.139 |
| 86 | 1.132 | 1.133 | 1.133 | 1.134 | 1.134 | 1.135 | 1.136 | 1.136 | 1.137 | 1.138 | 1.138 | 1.139 |
| 85 | 1.132 | 1.133 | 1.133 | 1.134 | 1.134 | 1.135 | 1.136 | 1.136 | 1.137 | 1.137 | 1.138 | 1.139 |
| 84 | 1.132 | 1.132 | 1.133 | 1.134 | 1.134 | 1.135 | 1.135 | 1.136 | 1.137 | 1.137 | 1.138 | 1.138 |
| 83 | 1.132 | 1.132 | 1.133 | 1.134 | 1.134 | 1.135 | 1.135 | 1.136 | 1.137 | 1.137 | 1.138 | 1.138 |
| 82 | | 1.132 | 1.133 | 1.133 | 1.134 | 1.135 | 1.135 | 1.136 | 1.137 | 1.137 | 1.138 | 1.138 |
| 81 | | | 1.133 | 1.133 | 1.134 | 1.135 | 1.135 | 1.136 | 1.136 | 1.137 | 1.138 | 1.138 |
| 80 | | | | 1.133 | 1.134 | 1.134 | 1.135 | 1.136 | 1.136 | 1.137 | 1.138 | 1.138 |
| 79 | | | | | 1.134 | 1.134 | 1.135 | 1.136 | 1.136 | 1.137 | 1.137 | 1.138 |
| 78 | | | | | | 1.134 | 1.135 | 1.136 | 1.136 | 1.137 | 1.137 | 1.138 |
| 77 | | | | | | | 1.135 | 1.135 | 1.136 | 1.137 | 1.137 | 1.138 |
| 76 | | | | | | | | 1.135 | 1.136 | 1.137 | 1.137 | 1.138 |
| 75 | | | | | | | | | 1.136 | 1.136 | 1.137 | 1.138 |
| 74 | | | | | | | | | | 1.136 | 1.137 | 1.138 |
| 73 | | | | | | | | | | | 1.137 | 1.137 |
| 72 | | | | | | | | | | | | 1.137 |
| 71 | | | | | | | | | | | | |
| 70 | | | | | | | | | | | | |
| 69 | | | | | | | | | | | | |
| 68 | | | | | | | | | | | | |
| 67 | | | | | | | | | | | | |
| 66 | | | | | | | | | | | | |
| 65 | | | | | | | | | | | | |
| 64 | | | | | | | | | | | | |
| 63 | | | | | | | | | | | | |
| 62 | | | | | | | | | | | | |
| 61 | | | | | | | | | | | | |
| 60 | | | | | | | | | | | | |
| 59 | | | | | | | | | | | | |
| 58 | | | | | | | | | | | | |
| 57 | | | | | | | | | | | | |
| 56 | | | | | | | | | | | | |
| 55 | | | | | | | | | | | | |
| 54 | | | | | | | | | | | | |
| 53 | | | | | | | | | | | | |
| 52 | | | | | | | | | | | | |
| 51 | | | | | | | | | | | | |
| 50 | | | | | | | | | | | | |

续表

| 进口温度/℃ | 出口温度/℃ | | | | | | | | | | | |
|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 70 | 69 | 68 | 67 | 66 | 65 | 64 | 63 | 62 | 61 | 60 | 59 |
| 95 | 1.140 | 1.141 | 1.141 | 1.142 | 1.143 | 1.143 | 1.144 | 1.144 | 1.145 | 1.145 | 1.146 | 1.146 |
| 94 | 1.140 | 1.141 | 1.141 | 1.142 | 1.142 | 1.143 | 1.144 | 1.144 | 1.145 | 1.145 | 1.146 | 1.146 |
| 93 | 1.140 | 1.141 | 1.141 | 1.142 | 1.142 | 1.143 | 1.143 | 1.144 | 1.144 | 1.145 | 1.146 | 1.146 |
| 92 | 1.140 | 1.141 | 1.141 | 1.142 | 1.142 | 1.143 | 1.143 | 1.144 | 1.144 | 1.145 | 1.145 | 1.146 |
| 91 | 1.140 | 1.140 | 1.141 | 1.142 | 1.142 | 1.143 | 1.143 | 1.144 | 1.144 | 1.145 | 1.145 | 1.146 |
| 90 | 1.140 | 1.140 | 1.141 | 1.141 | 1.142 | 1.143 | 1.143 | 1.144 | 1.144 | 1.145 | 1.145 | 1.146 |
| 89 | 1.140 | 1.140 | 1.141 | 1.141 | 1.142 | 1.142 | 1.143 | 1.144 | 1.144 | 1.145 | 1.145 | 1.146 |
| 88 | 1.139 | 1.140 | 1.141 | 1.141 | 1.142 | 1.142 | 1.143 | 1.143 | 1.144 | 1.144 | 1.145 | 1.146 |
| 87 | 1.139 | 1.140 | 1.141 | 1.141 | 1.142 | 1.142 | 1.143 | 1.143 | 1.144 | 1.144 | 1.145 | 1.145 |
| 86 | 1.139 | 1.140 | 1.140 | 1.141 | 1.142 | 1.142 | 1.143 | 1.143 | 1.144 | 1.144 | 1.145 | 1.145 |
| 85 | 1.139 | 1.140 | 1.140 | 1.141 | 1.141 | 1.142 | 1.143 | 1.143 | 1.144 | 1.144 | 1.145 | 1.145 |
| 84 | 1.139 | 1.140 | 1.140 | 1.141 | 1.141 | 1.142 | 1.142 | 1.143 | 1.144 | 1.144 | 1.145 | 1.145 |
| 83 | 1.139 | 1.140 | 1.140 | 1.141 | 1.141 | 1.142 | 1.142 | 1.143 | 1.143 | 1.144 | 1.145 | 1.145 |
| 82 | 1.139 | 1.139 | 1.140 | 1.141 | 1.141 | 1.142 | 1.142 | 1.143 | 1.143 | 1.144 | 1.144 | 1.145 |
| 81 | 1.139 | 1.139 | 1.140 | 1.141 | 1.141 | 1.142 | 1.142 | 1.143 | 1.143 | 1.144 | 1.144 | 1.145 |
| 80 | 1.139 | 1.139 | 1.140 | 1.140 | 1.141 | 1.142 | 1.142 | 1.143 | 1.143 | 1.144 | 1.144 | 1.145 |
| 79 | 1.139 | 1.139 | 1.140 | 1.140 | 1.141 | 1.141 | 1.142 | 1.143 | 1.143 | 1.144 | 1.144 | 1.145 |
| 78 | 1.138 | 1.139 | 1.140 | 1.140 | 1.141 | 1.141 | 1.142 | 1.143 | 1.143 | 1.144 | 1.144 | 1.145 |
| 77 | 1.138 | 1.139 | 1.140 | 1.140 | 1.141 | 1.141 | 1.142 | 1.142 | 1.143 | 1.143 | 1.144 | 1.145 |
| 76 | 1.138 | 1.139 | 1.139 | 1.140 | 1.141 | 1.141 | 1.142 | 1.142 | 1.143 | 1.143 | 1.144 | 1.144 |
| 75 | 1.138 | 1.139 | 1.139 | 1.140 | 1.141 | 1.141 | 1.142 | 1.142 | 1.143 | 1.143 | 1.144 | 1.144 |
| 74 | 1.138 | 1.139 | 1.139 | 1.140 | 1.140 | 1.141 | 1.142 | 1.142 | 1.143 | 1.143 | 1.144 | 1.144 |
| 73 | 1.138 | 1.139 | 1.139 | 1.140 | 1.140 | 1.141 | 1.142 | 1.142 | 1.143 | 1.143 | 1.144 | 1.144 |
| 72 | 1.138 | 1.139 | 1.139 | 1.140 | 1.140 | 1.141 | 1.141 | 1.142 | 1.143 | 1.143 | 1.144 | 1.144 |
| 71 | 1.138 | 1.138 | 1.139 | 1.140 | 1.140 | 1.141 | 1.141 | 1.142 | 1.142 | 1.143 | 1.144 | 1.144 |
| 70 | | 1.138 | 1.139 | 1.140 | 1.140 | 1.141 | 1.141 | 1.142 | 1.142 | 1.143 | 1.143 | 1.144 |
| 69 | | | 1.139 | 1.139 | 1.140 | 1.141 | 1.141 | 1.142 | 1.142 | 1.143 | 1.143 | 1.144 |
| 68 | | | | 1.139 | 1.140 | 1.141 | 1.141 | 1.142 | 1.142 | 1.143 | 1.143 | 1.144 |
| 67 | | | | | 1.140 | 1.140 | 1.141 | 1.142 | 1.142 | 1.143 | 1.143 | 1.144 |
| 66 | | | | | | 1.140 | 1.141 | 1.142 | 1.142 | 1.143 | 1.143 | 1.144 |
| 65 | | | | | | | 1.141 | 1.141 | 1.142 | 1.143 | 1.143 | 1.144 |
| 64 | | | | | | | | 1.141 | 1.142 | 1.143 | 1.143 | 1.144 |
| 63 | | | | | | | | | 1.142 | 1.142 | 1.143 | 1.144 |
| 62 | | | | | | | | | | 1.142 | 1.143 | 1.143 |
| 61 | | | | | | | | | | | 1.143 | 1.143 |
| 60 | | | | | | | | | | | | 1.143 |
| 59 | | | | | | | | | | | | |
| 58 | | | | | | | | | | | | |
| 57 | | | | | | | | | | | | |
| 56 | | | | | | | | | | | | |
| 55 | | | | | | | | | | | | |
| 54 | | | | | | | | | | | | |
| 53 | | | | | | | | | | | | |
| 52 | | | | | | | | | | | | |
| 51 | | | | | | | | | | | | |
| 50 | | | | | | | | | | | | |

| 进口温度/℃ | 出口温度/℃ | | | | | | | | | |
|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--|--|--|--|
| | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | | | | |
| 95 | 1.163 | 1.163 | 1.163 | 1.163 | 1.163 | 1.163 | | | | |
| 94 | 1.163 | 1.163 | 1.163 | 1.163 | 1.163 | 1.163 | | | | |
| 93 | 1.163 | 1.163 | 1.163 | 1.163 | 1.163 | 1.163 | | | | |
| 92 | 1.163 | 1.163 | 1.163 | 1.163 | 1.163 | 1.163 | | | | |
| 91 | 1.162 | 1.163 | 1.163 | 1.163 | 1.163 | 1.163 | | | | |
| 90 | 1.162 | 1.163 | 1.163 | 1.163 | 1.163 | 1.163 | | | | |
| 89 | 1.162 | 1.162 | 1.163 | 1.163 | 1.163 | 1.163 | | | | |
| 88 | 1.162 | 1.162 | 1.163 | 1.163 | 1.163 | 1.163 | | | | |
| 87 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.163 | 1.163 | 1.163 | | | | |
| 86 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.163 | 1.163 | | | | |
| 85 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.163 | 1.163 | | | | |
| 84 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.163 | | | | |
| 83 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | | | | |
| 82 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | | | | |
| 81 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | | | | |
| 80 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | | | | |
| 79 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | | | | |
| 78 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | | | | |
| 77 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | | | | |
| 76 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | | | | |
| 75 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | | | | |
| 74 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | | | | |
| 73 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | | | | |
| 72 | 1.161 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | | | | |
| 71 | 1.161 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | | | | |
| 70 | 1.161 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | | | | |
| 69 | 1.161 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | | | | |
| 68 | 1.161 | 1.161 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | | | | |
| 67 | 1.161 | 1.161 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | | | | |
| 66 | 1.161 | 1.161 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | | | | |
| 65 | 1.161 | 1.161 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | | | | |
| 64 | 1.161 | 1.161 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | | | | |
| 63 | 1.161 | 1.161 | 1.161 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | | | | |
| 62 | 1.161 | 1.161 | 1.161 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | | | | |
| 61 | 1.161 | 1.161 | 1.161 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | | | | |
| 60 | 1.161 | 1.161 | 1.161 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | | | | |
| 59 | 1.161 | 1.161 | 1.161 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | | | | |
| 58 | 1.161 | 1.161 | 1.161 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | | | | |
| 57 | 1.161 | 1.161 | 1.161 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | | | | |
| 56 | 1.161 | 1.161 | 1.161 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | | | | |
| 55 | 1.161 | 1.161 | 1.161 | 1.162 | 1.162 | 1.162 | | | | |
| 54 | 1.161 | 1.161 | 1.161 | 1.161 | 1.162 | 1.162 | | | | |
| 53 | 1.161 | 1.161 | 1.161 | 1.161 | 1.162 | 1.162 | | | | |
| 52 | 1.161 | 1.161 | 1.161 | 1.161 | 1.162 | 1.162 | | | | |
| 51 | 1.161 | 1.161 | 1.161 | 1.161 | 1.162 | 1.162 | | | | |
| 50 | 1.161 | 1.161 | 1.161 | 1.161 | 1.162 | 1.162 | | | | |