

热量表检定规程

引言

本规程参照采用国际建议 OIML R75-2002 热量表和欧洲标准 EN1434-2007 热量表。

1 范围

本规程适用于以水介质的口径不大于 200mm 的热量表的首次检定和后续检定。其他口径热量表可参考本规程检定。

2 引用文献

本规程引用下列文献

JJG643-2003 标准表法流量标准装置

JJG 164-2000 液体流量标准装置

JJF 1004-2004 流量计量名词术语及定义

OIML R75-2002 Heat meters (热量表)

EN 1434-2007 Heat meters (热量表)

IEC 60751:2008 Industrial platinum resistance thermometer and platinum temperature sensors (工业铂电阻温度计和铂温度传感器)

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 热量表 Heat meter

热量表是测量和显示载热液体经热交换设备所吸收(供冷系统)或释放(供热系统)热能量的仪表。

3.1.1 组合式热量表 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量表。

3.1.2 一体式热量表 Complete heat meter

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

3.2 热量表的组成部件 Sub-assemblies of a heat meter

本条款包括流量传感器、配对温度传感器和计算器等术语。

3.2.1 流量传感器 Flow sensor

在热交换系统中用于产生并可发出载热液体的流量信号的部件, 该信号是载热液体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

用于采集载热液体在热交换系统的入口和出口的温度信号的部件。

3.2.3 计算器 Calculator

用于接收流量和温度的信号, 并进行计算、累积、存储和显示热交换系统中所交换的热量热量表部件。

3.3 标称运行条件 Rated operating conditions

本条款包括温度范围限、温差限、流量限、热功率上限、最大允许工作压力和最大压损等术语。

3.3.1 温度范围限 Limits of temperature range

本条款包括温度范围上限和温度范围下限等术语。

3.3.1.1 温度范围上限($\theta_{\max}$) Upper limit of the temperature range

流经热量表的载热液体的最高允许温度，热量表在此温度下运行不超过最大允许误差。

3.3.1.2 温度范围下限($\theta_{\min}$) Lower limit of the temperature range

流经热量表的载热液体的最低允许温度，热量表在此温度下运行不超过最大允许误差。

3.3.2 温差限 Limits of temperature difference

本条款包括温差、温差上限和温差下限等术语。

3.3.2.1 温差($\Delta\theta$) Temperature difference

热交换系统中载热液体的入口温度和出口温度之差。

3.3.2.2 温差上限($\Delta\theta_{\max}$) Upper limit of the temperature difference

最大允许温差，热量表在此温差和热功率上限内运行不超过最大允许误差。

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

最小允许温差，热量表在此温差运行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_s) Upper limit of the flow-rate

热量表的最大流量，在此流量下短期运行（ $<1\text{h}/\text{天}$ 及 $<200\text{h}/\text{年}$ ）不超过最大允许误差。

3.3.3.2 常用流量（或额定流量）(q_p) Permanent flow-rate

热量表的最大流量，在此流量下连续运行不超过最大允许误差。

3.3.3.3 最小流量(q_i) Lower limit of the flow-rate

热量表的最小流量，在此流量下连续运行不超过最大允许误差。

3.3.4 热功率上限 Upper limit of the thermal power

热量表的最大热功率，在此热功率下运行不超过最大允许误差。

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

热量表在其上限温度下运行可持久承受的最大正压力。

3.3.6 最大压损(Δp) Maximum pressure loss

热量表在额定流量下运行时，载热液体流过热量表允许产生的压力降低值。

3.4 总量检定 Complete verification

对热量表的热量值直接进行测量并同时测量分量值的检定方法称为总量检定。

3.5 分量组合检定 Combined verification

将热量表的流量计单独检定，温度传感器与计算器组合检定的方法称为分量组合检定。

4 概述

4.1 工作原理

热量表计量的热量值由流经热量表中载热液体的质量和其流经热交换系统的入口和出口的温度差对应的焓差经过计算得到。热量表主要由流量传感器、配对温度传感器和计算器组成。其中，流量传感器给出载热液体的体积（或质量），配对温度传感器给出温差值及温度，计算器将输入的流量和温度信号经过计算处理后，显示出载热液体在热交换系统释放或吸收的热量值。热量表按结构类型一般可分为一体式热量表和组合式热量表。

4.2 热量的计算公式

热量的计算公式为：

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

式中： Q ——释放（或吸收）的热量，kJ

q_m ——流经热量表中载热液体的质量流量，kg/s

Δh ——热交换系统中入口温度（或出口）与出口温度(或入口)对应的载热液体的比焓值差，kJ/kg，水的比焓值和密度表见附录 B。

t—— 时间, s

5 计量性能要求

5.1 示值误差

各等级热量表的示值误差应在其最大允许误差范围内。

5.1.1 各等级热量表热量值最大允许误差 E 列在表 1 中。

表 1 热量表热量值的最大允许误差 E

1 级	2 级	3 级
$E = \pm \left(2 + 4 \frac{\Delta q_{\min}}{\Delta q} + 0.01 \frac{q_p}{q} \right) \%$	$E = \pm \left(3 + 4 \frac{\Delta q_{\min}}{\Delta q} + 0.02 \frac{q_p}{q} \right) \%$	$E = \pm \left(4 + 4 \frac{\Delta q_{\min}}{\Delta q} + 0.05 \frac{q_p}{q} \right) \%$

注 1: 对 1 级表 $q_p \geq 100 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

注 2: q 为流量。

5.1.2 各等级热量表分量值的最大允许误差 E_q 、 $E_{\Delta\theta}$ 、 E_θ 、 E_G 列在表 2 中。

表 2 热量表各分量值的最大允许误差 E_q 、 $E_{\Delta\theta}$ 、 E_θ 、 E_G

	流量传感器流量最大允许误差 E_q	配对温度传感器温差及温度值的最大允许误差 $E_{\Delta\theta}$ 、 E_θ	计算器计量热量值最大允许误差 E_G
1 级	$\pm \left(1 + 0.01 \frac{q_p}{q} \right) \%$ 但不超过 $\pm 3.5\%$	配对温度传感器温差的最大允许误差: $E_{\Delta q} = \pm \left(0.5 + 3 \frac{\Delta q_{\min}}{\Delta q} \right) \%$	$\pm \left(0.5 + \frac{\Delta q_{\min}}{\Delta q} \right) \%$
2 级	$\pm \left(2 + 0.02 \frac{q_p}{q} \right) \%$ 但不超过 $\pm 5\%$	单支温度传感器温度的偏差 E_θ : 与 IEC 60751:2008 标准值不大于 2°C	
3 级	$\pm \left(3 + 0.05 \frac{q_p}{q} \right) \%$ 但不超过 $\pm 5\%$		

注 1: 对 1 级表 $q_p \geq 100 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

注 2: 分量组合检定的最大允许误差为上述分量最大允许误差绝对值的算术相加。

5.2 热量表的温差下限 $\Delta\theta_{\min}$ 不得大于 3°C , 冷量表的温差下限 $\Delta\theta_{\min}$ 不得大于 2°C 。

5.3 流量传感器在额定流量下的最大压损 Δp 不应超过 25 kPa 。

6 通用技术要求

6.1 热量表外壳应色泽均匀, 无裂纹、无毛刺、无起皮现象, 壳体上应用箭头标出载热液体的流动方向。

6.2 热量表应在铭牌或表体的明显部位标明至少如下信息: 制造计量器具许可证标志及编号、制造厂的商标或名称、口径、型号、编号、流量的测量范围、温度的测量范围、温差的测量范围、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)。

6.3 新制造的热量表应具有出厂合格证及使用说明书; 使用中和修理后的热量表应具有上次检定的合格证书。

6.4 影响热量表计量性能的可拆部件应有可靠且有效的封印。

6.5 热量表的材料与结构

构成热量表的所有部件应有坚固的结构, 在规定的温度条件下, 热量表应具有足够的机械强度和耐磨性, 并能正常工作。热量表中凡与载热液体直接接触或靠近载热液体处的部件、材料应能耐载热液体和大气的腐蚀或有可靠的保护层。

6.6 固定安装在热量表表体的配对温度传感器应能取出检定，引出线长度不小于 1.5 米。

6.7 热量表显示要求

6.7.1 热量表应至少能显示热量，累积流量，载热液体入口温度、出口温度和温差。热量的显示单位用 J 或 W·h 或其十进制倍数。累积流量的显示单位用 m³。温度和温差的显示单位用℃或 K。显示单位应标在不宜混淆的地方。

6.7.2 显示数字的可见高度不应小于 4mm。

6.7.3 显示分辨力

6.7.3.1 使用模式时显示分辨力

显示分辨力最低要求为：热量：1kW·h 或 1MJ 或 1GJ；累积流量：0.01m³；温度：0.1℃；温差：0.1℃。

6.7.3.2 检定模式时显示分辨力

热量表的热量值的分辨力最低要求为：0.001kW·h 或 0.001MJ；

热量表的温度和温差的分辨力最低要求为 0.01℃；

不同口径热量表的累积流量值的分辨力最低要求为：

DN15 至 DN25：0.00001m³；

DN32 和 DN100：0.0001m³；

DN125 至 DN200：0.001m³；

6.7.3.3 检定模式的流量信号模拟要求

热量表检定模式中应具备自模拟流量信号功能。且该功能模拟引入的流量值应不计入使用模式下的累计流量及累计热量值。

为描述方便起见，对于应用于供冷系统的热量表以下称为冷量表。

6.7.4 密封性要求

热量表在最大允许工作压力下运行应密封良好，无泄漏、渗漏或损坏。

7 计量器具控制

7.1 计量器具控制的内容

计量器具控制包括首次检定和后续检定。

7.2 检定条件

7.2.1 检定设备见表 3

表 3. 热量表及冷量表主要检定设备

设备名称	准确度/扩展不确定度	用途
水流量标准装置	小于或等于热量表及冷量表流量传感器最大允许误差绝对值的 1/5	用于检定热量表及冷量表的流量计流量值。
配对温度传感器检定装置	小于或等于热量表及冷量表配对配对温度传感器最大允许误差绝对值的 1/3	用于检定配对温度传感器的温度及温差值。
密封性试验装置（可以是检定装置本身或独立装置）	满足热量表及冷量表最大允许工作压力要求，压力表准确度等级不低于 2.5 级。	用于热量表及冷量表的密封性试验。

7.2.2 检定设备基本要求

7.2.2.1 水流量标准装置

检定介质为清洁水，水中不应含有气泡。水介质的电导率可能会影响采用电磁感应原理的流量传感器。水介质的电导率应高于 $200\mu\text{S}/\text{cm}$ 。

检定热量表的装置介质运行温度是 $(50\pm 5)^\circ\text{C}$ ，检定冷量表的装置介质运行温度是 $(15\pm 5)^\circ\text{C}$ 。

检定中热量表的流量传感器的供水压力应不大于被检表的允许最大压力，但应足以克服热量表的压力损失影响。热量表的供水压力应保持稳定。尽可能消除水锤、脉动、振动等因素的干扰。

检定过程中选定的流量应保持稳定。流量的相对变化在低区应不超过 $\pm 2.5\%$ ，在高区应不超过 $\pm 5\%$ 。

7.2.2.2 温度传感器检定装置

配对温度传感器检定装置的典型设备（对于最小温差为 3°C 的热量表）

二等标准铂电阻温度计(至少两支)

恒温槽（至少两台，工作区域最大温差 0.01°C ，应满足被测温度计和标准温度计插入深度的要求）

电测仪表（配二等标准铂电阻温度计的准确度为 0.01°C ）。

可以使用不确定度能够满足要求的其他装置。

7.2.3 环境及外部要求

环境温度一般为： $(15 \sim 35)^\circ\text{C}$

环境条件应满足测温用数字仪表的说明书要求。

环境相对湿度一般为 $(15\sim 85)\%$ ；

大气压力一般为 $(86\sim 106)\text{kPa}$ ；

供电电源：单相电源电压为 $(187\sim 242)\text{V}$ ，三相交流电源电压为 $(323\sim 418)\text{V}$ ，电源频率为 $(50\pm 1)\text{Hz}$ ；

外界磁场干扰应小到对热量表及冷量表的影响可忽略不计。

7.3 检定项目

热量表及冷量表的检定项目列于表 4 中。

表 4 热量表及冷量表的检定项目

序号	检定项目	检定类别	
		首次检定	后续检定
1	外观检查	+	+
3	密封性试验	+	+
4	示值误差试验	+	+

注：“+”——表示应检定项目；“—”——表示可不检定项目。

7.4 检定方法

7.4.1 外观检查

用目测法检查热量表的外观及文件，外观及文件检查应注意被检表是否与型式批准的型式一致。其结果应符合第 6.1~6.7 条的相关规定。

7.4.2 运行检查

将热量表安装在热水流量标准装置上通水，同时用目测法检查热量表及装置各连接处，

应无泄漏、渗漏或损坏；在下游切断水流，再目测检查热量表及装置各联接处 5min，应无泄漏、渗漏或损坏。

7.4.3 热量表密封性试验

将安装热量表的管路充满温度为 $(50 \pm 5)^\circ\text{C}$ 的热水，然后关闭出水阀，同时将压力调节为热量表的最大允许压力，用目测法观察热量表 10min，应无泄漏、渗漏或损坏。

7.4.4 示值误差

热量表的示值误差可以采用总量检定法和分量组合检定法，冷量表采用分量组合检定法。

每个检定点的测试次数一般为 1 次。如果 1 次测试值的误差超过最大允许误差，应再重复 2 次测试，但后 2 次测试结果不应超过最大允许误差，且 3 次测试的算术平均值不超过最大允许误差为合格，否则为不合格。

7.4.4.1 总量检定法

a. 热量表检定点的选择

a.1 检定热量表的热量值。其中，热量表流量传感器测量时的水温为 $(50 \pm 5)^\circ\text{C}$ ，配对温度传感器温差测量的低温端温度为 50°C 。热量表应在以下种工况内进行检定：

1) $\Delta\theta_{\min} \leq \Delta\theta \leq 1.2\Delta\theta_{\min}$ 和 $0.9q_p \leq q \leq 1.0q_p$

2) $10^\circ\text{C} \leq \Delta\theta \leq 20^\circ\text{C}$ 和 $0.1q_p \leq q \leq 0.11q_p$

3) $35^\circ\text{C} \leq \Delta\theta \leq 45^\circ\text{C}$ 和 $0.04q_p \leq q \leq 0.05q_p$ （如果低于被检表的最小流量值，则按被检表最小流量值检定。）

a.2 单独检定配对温度传感器中的回水温度传感器 85°C 的温度值。

b. 测量过程

b.1 热量表热量值的测量过程

1) 以下以质量法热水流量标准装置为例，描述热量表热量值的示值误差的检定方法。

按 7.4.4.1 a) 条要求选择流量以及温差检定点。

在热水流量标准装置上安装被检热量表，通水使其平稳地运行一段时间，并观察确认管路中气泡已排除。同时将配对温度传感器放入两个恒温槽内，按温差点检定的要求控制其温度。

将热水流量装置调至第 i 个流量检定点，稳定运行 10 分钟后开始测量，并确认温度传感器达到热平衡后开始测量。每个温度点至少读数两次，取两次读数的平均值作为测量结果。一次检定过程中水流量装置的温度变化不超过 2°C ，恒温槽的温度变化不应超过 0.01°C 。

2) 数据记录

记录热水装置水温，衡器的初始值 m_{0i} 和结束值 m_{1i} ；试验中恒温槽内的标准温度计的温度值；

记录被检热量表热量值的初始读数 Q_{0i} 和结束读数 Q_{1i} ，记录热量表的流量初试值和结束值，配对温度传感器出入口的温度值及温差值。

3) 数据处理

实际热量 Q_{ci} 按式 (3) 计算

$$Q_{ci} = (m_{1i} - m_{0i}) \times C_i \times (h_{1i} - h_{0i}) \times C_t \dots \dots \dots (3)$$

h_{1i} 、 h_{0i} ——分别表示水在高温恒温槽检定温度下的比焓值、低温恒温槽检定温度下的比焓值。

C_t 为温度修正系数， $C_t = \rho_{\text{计算}} / \rho_{\text{管路}}$ ， $\rho_{\text{计算}}$ 是计算被检表流量计流量值对应温度下的

水密度, $\rho_{\text{管路}}$ 是流经被检表流量计管路水温所对应的水密度;

C_i 为第 i 检定点的修正系数 (如浮力修正等因素), 浮力修正系数按下式计算。

$$C_{fi} = \frac{r_i(r_b - r_a)}{r_b(r_i - r_a)} \dots\dots\dots (4)$$

式中:

ρ_i ——第 i 检定点称量的水的密度, kg/m^3 (可查表 B.1、B.2)

ρ_b ——所用砝码的密度, kg/m^3

ρ_a ——空气密度, kg/m^3

被检热量表的热量值 Q_{di} 按式 (5) 计算:

$$Q_{di} = Q_{1i} - Q_{0i} \dots\dots\dots (5)$$

热量表第 i 检定点的热量值的示值误差 E_{Qi} 按式 (6) 式计算。

$$E_{Qi} = \frac{Q_{di} - Q_{ci}}{Q_{ci}} \times 100\% \dots\dots\dots (6)$$

重复 7.5.3.34.4 至 7.5.3.6, 将流量、温度、温差调到其它点, 完成热量值的检定过程。

热量表的热量值的示值误差 E_Q 按式 (7) 计算, 其结果应符合 5.1 条的规定。

$$E_Q = |E_i|_{\max} \dots\dots\dots (7)$$

b.2 单独检定热量表配对温度传感器中回水温度传感器 85°C

将被检热量表的回水温度传感器放在设置温度为 85°C 恒温槽中, 待热平衡后, 记录标准温度计和被检热量表的温度值。至少读数两次, 取两次读数的平均值作为测量结果。

c. 热量表的分量值判定

1) 配对温度传感器温度及温差值的误差判定

被检热量表配对温度传感器在 7.4.4.1 a 条件下各温度点测量的温度值与标准温度计测量的温度值之差的绝对值小于 2°C ;

被检热量表配对温度传感器在 7.4.4.1 a 条件下测量的各个温差值与标准温度计测量的温差值之差应满足 5.1.2 条的要求;

2) 流量传感器的误差判定

被检热量表流量传感器在 7.4.4.1 a.1 条件下测量的各个流量值的误差应满足 5.1.2 条的要求;

7.4.4.2 分量组合检定法

a. 检定点的选择

a.1 流量传感器

检定流量传感器的累积体积流量。热量表流量传感器测量时的水温为 $(50 \pm 5)^\circ\text{C}$, 冷量表流量传感器测量时的水温为 $(15 \pm 5)^\circ\text{C}$, 应在以下三种流量范围内进行检定:

1) $0.04q_p \leq q \leq 0.05 q_p$ (如果低于被检表的最小流量值, 则按被检表最小流量值检定。)

2) $0.1q_p \leq q \leq 0.11q_p$

3) $0.9q_p \leq q \leq 1.0q_p$

a.2 配对温度传感器和计算器组合

1) 配对温度传感器的温度值和温差值

热量表：测量配对温度传感器 50℃ 和 85℃ 的温度值。

冷量表：测量配对温度传感器 5℃ 和 30℃ 的温度值

2) 配对温度传感器和计算器组合的热量值

热量表：在低温端温度为 50℃，高温端温度为 65℃ 的温差条件下，检定配对温度传感器和计算器组合热量值，输入的流量信号应不超过计算器可接收的最大值。

冷量表：在低温端温度为 5℃，高温端温度为 20℃ 的温差条件下，检定配对温度传感器和计算器组合热量值，输入的流量信号应不超过计算器可接收的最大值。

b. 测量过程

b.1 流量传感器

以启停质量法水流量标准装置为例，流量传感器示值误差的检定方法如下：

1) 检定时水温与流量点按第 7.4.4.2.a.1 条的规定。

2) 将流量传感器安装到装置上，通水使其平稳地运行一段时间。

3) 用流量调节阀将流量调到第 i 个流量点，将水温调到检定温度点，稳定运行 10 分钟；关闭流量开关阀，记录流量传感器初始值 V_{0i} 和秤初始值 m_{0i} ，打开流量开关阀，使水流注入称量容器。当秤的示值达到预先规定的值时，关闭流量开关阀，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} 。一次检定过程中水流量装置的温度变化不超过 2℃。

4) 计算流过流量传感器的标准体积量 V_{ci}

$$V_{ci} = \frac{m_{1i} - m_{0i}}{\rho_i} \times C_{fi} \dots\dots\dots (8)$$

式中： ρ_i ——第 i 检定点称量的水的密度 kg/m^3 （可查附录 B 表 B.1）

5) 计算流过流量传感器的累积体积量 V_{di}

$$V_{di} = V_{1i} - V_{0i} \dots\dots\dots (9)$$

6) 流量传感器各流量点示值误差按式（10）计算

$$E_{qi} = \frac{V_{di} - V_{ci}}{V_{ci}} \times 100\% \dots\dots\dots (10)$$

7) 重复第 4) ~ 7) 步骤，直到完成全部流量点检定。

8) 流量传感器的示值误差 E_q 按式（11）计算，其结果应符合 5.1.2 条中流量传感器最大允许误差的规定。

$$E_q = |E_{qi}|_{\max} \dots\dots\dots (11)$$

b.2 配对温度传感器和计算器组合

1) 配对温度传感器的温度值和温差值的测量过程

将配对温度传感器放在同一个恒温槽内进行，按 7.4.4.2.b1) 温度点检定的要求控制其温度，每个温度点至少读数两次，取两次读数的平均值作为测量结果。测量过程中恒温槽的温度变化不应超过 0.01℃。

数据处理：配对温度传感器在各温度点测量的温度值与标准温度计测量的温度值之差的绝对值应不大于 2℃；配对温度传感器的入口温度传感器与出口温度传感器在同一温度点测量的温度值之差应满足最小温差的 5.1.2 条中准确度要求。

对于热量表：入口温度传感器在 85℃温度值和出口温度传感器在 50℃温度值之差的误差应满足热量表 35℃温差的 5.1.2 条中准确度要求；
对于冷量表：入口温度传感器在 5℃温度值和出口温度传感器在 30℃温度值之差的误差应满足热量表 25℃温差的 5.1.2 条中准确度要求；

2) 配对温度传感器和计算器组合的热量值测量过程

将配对温度传感器放在两个恒温槽内进行，按 7.4.4.2.b2) 温度和温差点检定的要求控制其温度，每个温度点至少读数两次，取两次读数的平均值作为测量结果。测量过程中恒温槽的温度变化不应超过 0.01℃。

输入流量信号，记录输入的累积流量值。输入的流量信号应不超过计算器可接收的最大值。

数据处理：热量标准值由标准温度计提供的温差和输入的累积流量通过计算得到。热量表的热量值从热量表读数得到。误差计算按式（6）及式（7）计算。热量表热量值误差应不大于 5.1.2 条中配对温度传感器和计算器最大允许误差绝对值之和。

7.4.5 热量表的示值误差检定可以任选上述方法中的一种。

7.4.6 仲裁检定时，热量表采用总量检定方法。冷量表采用分量组合检定方法。

7.5 检定结果的处理

经检定，对符合本规程要求的热量表（或冷量表），签发检定证书或合格封签；对不合格的热量表（或冷量表），签发检定结果通知书，并注明不合格项目。

7.6 检定周期

口径小于或等于 32mm 的热量表（或冷量表），检定周期一般为 5 年。口径大于 32mm 的热量表（冷量表），检定周期一般为 3 年。

附录 A.

检定证书内页格式

1. 热量表（冷量表）的基本情况

公称通径: mm

流量范围: (~)m³/h

温度范围: (~)℃

温差范围: (~)℃

测量介质:

2. 检定结果

外观检查:

密封性试验:

准确度等级:

检定方法: (总量检定法或分量组合检定法)

注: 检定结果通知书的内页格式参照此格式, 并要注明不合格项。

附录 B. 水的密度和比焓值表

表 B.1 压力 $P \leq 0.6 \text{ MPa}$ 时, 水的密度和比焓值表

温度 ($^{\circ}\text{C}$)	密度 (kg/m^3)	比焓 (kJ/kg)	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	密度 (kg/m^3)	比焓 (kJ/kg)	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	密度 (kg/m^3)	比焓 (kJ/kg)
1	1000.2	4.7841	51	987.80	214.03	101	957.86	423.76
2	1000.2	8.9963	52	987.33	218.21	102	957.14	427.97
3	1000.2	13.206	53	986.87	222.39	103	956.41	432.19
4	1000.2	17.412	54	986.39	226.57	104	955.67	436.41
5	1000.2	21.616	55	985.91	230.75	105	954.93	440.63
6	1000.2	25.818	56	985.42	234.94	106	954.19	444.85
7	1000.1	30.018	57	984.93	239.12	107	953.44	449.07
8	1000.1	34.215	58	984.43	243.30	108	952.69	453.30
9	1000.0	38.411	59	983.93	247.48	109	951.93	457.52
10	999.94	42.605	60	983.41	251.67	110	951.17	461.75
11	999.84	46.798	61	982.90	255.85	111	950.40	465.98
12	999.74	50.989	62	982.37	260.04	112	949.63	470.20
13	999.61	55.178	63	981.84	264.22	113	948.86	474.44
14	999.48	59.367	64	981.31	268.41	114	948.08	478.67
15	999.34	63.554	65	980.77	272.59	115	947.29	482.90
16	999.18	67.740	66	980.22	276.78	116	946.51	487.14
17	999.01	71.926	67	979.67	280.97	117	945.71	491.37
18	998.83	76.110	68	979.12	285.15	118	944.92	495.61
19	998.64	80.294	69	978.55	289.34	119	944.11	499.85
20	998.44	84.476	70	977.98	293.53	120	943.31	504.09
21	998.22	88.659	71	977.41	297.72	121	942.50	508.34
22	998.00	92.840	72	976.83	301.91	122	941.68	512.58
23	997.77	97.021	73	976.25	306.10	123	940.86	516.83
24	997.52	101.20	74	975.66	310.29	124	940.04	521.08
25	997.27	105.38	75	975.06	314.48	125	939.21	525.33
26	997.01	109.56	76	974.46	318.68	126	938.38	529.58
27	996.74	113.74	77	973.86	322.87	127	937.54	533.83
28	996.46	117.92	78	973.25	327.06	128	936.70	538.09
29	996.17	122.10	79	972.63	331.26	129	935.86	542.35
30	995.87	126.28	80	972.01	335.45	130	935.01	546.61
31	995.56	130.46	81	971.39	339.65	131	934.15	550.87
32	995.25	134.63	82	970.76	343.85	132	933.29	555.13
33	994.93	138.81	83	970.12	348.04	133	932.43	559.40
34	994.59	142.99	84	969.48	352.24	134	931.56	563.67
35	994.25	147.17	85	968.84	356.44	135	930.69	567.93
36	993.91	151.35	86	968.19	360.64	136	929.81	572.21
37	993.55	155.52	87	967.53	364.84	137	928.93	576.48
38	993.19	159.70	88	966.87	369.04	138	928.05	580.76
39	992.81	163.88	89	966.21	373.25	139	927.16	585.04
40	992.44	168.06	90	965.54	377.45	140	926.26	589.32
41	992.05	172.24	91	964.86	381.65	141	925.37	593.60
42	991.65	176.41	92	964.18	385.86	142	924.46	597.88
43	991.25	180.59	93	963.50	390.07	143	923.56	602.17
44	990.85	184.77	94	962.81	394.27	144	922.64	606.46
45	990.43	188.95	95	962.12	398.48	145	921.73	610.76
46	990.01	193.13	96	961.42	402.69	146	920.81	615.05
47	989.58	197.31	97	960.72	406.90	147	919.88	619.35
48	989.14	201.49	98	960.01	411.11	148	918.95	623.65
49	988.70	205.67	99	959.30	415.33	149	918.02	627.95
50	988.25	209.85	100	958.58	419.54	150	917.08	632.26

表 B.2 压力 $P=1.6\text{MPa}$ 时, 水的密度和比焓值表

温度 ($^{\circ}\text{C}$)	密度 (kg/m^3)	比焓 (kJ/kg)	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	密度 (kg/m^3)	比焓 (kJ/kg)	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	密度 (kg/m^3)	比焓 (kJ/kg)
1	1000.7	5.7964	51	988.23	214.89	101	958.33	424.51
2	1000.7	10.0040	52	987.77	219.07	102	957.61	428.72
3	1000.7	14.2090	53	987.30	223.25	103	956.88	432.93
4	1000.7	18.4110	54	986.83	227.42	104	956.15	437.15
5	1000.7	22.6110	55	986.35	231.60	105	955.41	441.37
6	1000.7	26.8080	56	985.86	235.78	106	954.67	445.59
7	1000.6	31.0040	57	985.37	239.96	107	953.92	449.81
8	1000.6	35.1970	58	984.87	244.14	108	953.17	454.03
9	1000.5	39.3890	59	984.36	248.33	109	952.41	458.25
10	1000.4	43.5790	60	983.85	252.51	110	951.65	462.48
11	1000.3	47.7680	61	983.33	256.69	111	950.89	466.70
12	1000.2	51.9560	62	982.81	260.87	112	950.12	470.93
13	1000.1	56.1420	63	982.28	265.05	113	949.34	475.16
14	999.95	60.3270	64	981.75	269.24	114	948.57	479.39
15	999.80	64.5110	65	981.21	273.42	115	947.78	483.62
16	999.64	68.6930	66	980.66	277.61	116	947.00	487.85
17	999.47	72.8750	67	980.11	281.79	117	946.21	492.08
18	999.29	77.0570	68	979.55	285.98	118	945.41	496.32
19	999.10	81.2370	69	978.99	290.16	119	944.61	500.56
20	998.89	85.4170	70	978.43	294.35	120	943.81	504.80
21	998.68	89.5960	71	977.85	298.54	121	943.00	509.04
22	998.45	93.7740	72	977.27	302.72	122	942.19	513.28
23	998.22	97.9520	73	976.69	306.91	123	941.37	517.52
24	997.98	102.130	74	976.10	311.10	124	940.55	521.77
25	997.72	106.310	75	975.51	315.29	125	939.72	526.02
26	997.46	110.480	76	974.91	319.48	126	938.89	530.27
27	997.19	114.660	77	974.30	323.67	127	938.06	534.52
28	996.91	118.840	78	973.70	327.86	128	937.22	538.77
29	996.62	123.010	79	973.08	332.06	129	936.37	543.03
30	996.32	127.190	80	972.46	336.25	130	935.52	547.28
31	996.01	131.360	81	971.84	340.44	131	934.67	551.54
32	995.69	135.540	82	971.21	344.64	132	933.82	555.80
33	995.37	139.720	83	970.57	348.83	133	932.95	560.07
34	995.04	143.890	84	969.93	353.03	134	932.09	564.33
35	994.69	148.070	85	969.29	357.23	135	931.22	568.60
36	994.35	152.240	86	968.64	361.42	136	930.35	572.87
37	993.99	156.420	87	967.99	365.62	137	929.47	577.14
38	993.62	160.590	88	967.33	369.82	138	928.58	581.41
39	993.25	164.770	89	966.66	374.02	139	927.70	585.69
40	992.87	168.940	90	965.99	378.22	140	926.81	589.96
41	992.49	173.120	91	965.32	382.43	141	925.91	594.24
42	992.09	177.300	92	964.64	386.63	142	925.01	598.53
43	991.69	181.470	93	963.96	390.83	143	924.10	602.81
44	991.28	185.650	94	963.27	395.04	144	923.19	607.10
45	990.87	189.820	95	962.58	399.24	145	922.28	611.39
46	990.44	194.000	96	961.88	403.45	146	921.36	615.68
47	990.02	198.180	97	961.18	407.66	147	920.44	619.97
48	989.58	202.360	98	960.48	411.87	148	919.51	624.27
49	989.14	206.530	99	959.77	416.08	149	918.58	628.57
50	988.69	210.710	100	959.06	420.29	150	917.65	632.87