

中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX — 20XX

空冷式热交换器换热效率评价方法

The evaluation criterion for heat transfer efficiency of air-cooled heat
exchangers

(征求意见稿)

20XX-XX-XX 颁布

20XX-XX-XX 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前 言	2
1 范围	3
2 规范性引用文件	3
3 术语	3
4 评价指标	3
5 试验方法与要求	5
6 标注	6
附录 A	8

前 言

本标准按照 GB/T 1.1-2009 给出的规则起草。

本标准由国家发展和改革委员会环境和资源综合利用司、国家标准化管理委员会工交部提出。

本标准由全国能源基础与管理标准化技术委员会节能技术与信息分会(SAC/TC 20/ SC 8)和全国锅炉压力容器标准化技术委员会 (SAC/TC 262) 归口。

本标准为首次颁布。

本标准负责起草单位：

本标准主要起草人：

空冷式热交换器换热效率评价方法

1 范围

本标准规定了一侧为空气强制对流换热的空冷式热交换器（以下简称换热器）的换热效率的评定指标、试验方法、测试工况、标注等。

其它类似结构换热器可参照执行。

2 规范性引用文件

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

GB/T 7725-2004 房间空气调节器

GB/T 14296 空气冷却器与空气加热器

GB/T 15386-94 空冷式换热器

GB/T 23130 房间空调器用热交换器

GB/T 25129-2010 制冷用空气冷却器

JB/T 7659.5 氟利昂制冷装置用翅片式换热器

JB/T 10379-2002 换热器热工性能和流体阻力特性通用测定方法

3 术语

GB/T 14296、GB/T 15386、GB/T 23130、和JB/T 7659.5确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1 换热量 heat transfer capacity

换热器在规定的额定工况下运行时，单位时间内流体在换热器中得到或放出的热量，单位为瓦(W)。

3.2 热流体侧流动压降 pressure drop on hot side

换热器在规定的额定工况下运行时，热流体流过换热器的压力损失，单位为帕(Pa)。

3.3 冷流体侧流动压降 pressure drop on cold side

换热器在规定的额定工况下运行时，冷流体流过换热器的压力损失，单位为帕(Pa)。

3.4 火用效率 exergy efficiency

热流体和冷流体在换热器中的有效输出火用与输入火用之比，单位为瓦每瓦(W/W)。

4 评价指标

换热器的换热效率采用火用效率进行评价。

4.1 火用效率的定义

4.1.1 干工况

根据定义，火用效率=输出火用/输入火用。根据流体火用的定义，换热器的火用效率按照下式计算：

$$\eta = \frac{\Delta E_2}{-\Delta E_1} \times 100\% = \frac{q_{mc}(h_3 - h_4) - q_{mc}T_0(s_3 - s_4)}{q_{mh}(h_2 - h_1) - q_{mh}T_0(s_2 - s_1)} \times 100\% \quad (4-1)$$

式中

$\Delta E_1, \Delta E_2$ —分别为输出火用的流体和输入火用的流体的火用变化量，单位为焦耳（ J ）；

q_{mh}, q_{mc} —分别为输出火用的流体和输入火用的流体的质量流量，单位为千克每秒（ kg/s ）；

h_1, h_2 —分别为输出火用的流体进、出口的比焓，单位为焦耳每千克（ J/kg ）；

h_3, h_4 —分别为输入火用的流体进、出口的比焓，单位为焦耳每千克（ J/kg ）；

s_1, s_2 —分别为输出火用的流体进、出口的比熵，单位为焦耳每千克每度（ $J/(kg \cdot K)$ ）；

s_3, s_4 —分别为输入火用的流体进、出口的比熵，单位为焦耳每千克每度（ $J/(kg \cdot K)$ ）；

t_{h1}, t_{h2} 和 t_{c1}, t_{c2} —分别为输出火用的流体和输入火用的流体进、出口温度，单位为度（ K ）；

T_0 —标准环境温度，取为 293.15，单位为开（ K ）。

4.1.2 湿工况

根据流体的火用效率的定义，空气为输出冷量火用的流体，制冷剂为输出冷量火用的流体。火用效率为：

$$\eta = \frac{\Delta E_1}{-\Delta E_2} \times 100\% = \frac{q_{mh}(h_2 - h_1) - q_{mh}T_0(s_2 - s_1) + q_{mh}(e_{D2} - e_{D1})}{q_{mc}(h_3 - h_4) - q_{mc}T_0(s_3 - s_4)} \times 100\% \quad (4-2)$$

$$e_{D1} = R_g T_0 \left[\frac{p_{i1}}{p_1} \ln \frac{p_{i1} p_0}{p_{i0} p_1} - \left(1 - \frac{p_{i1}}{p_1} \right) \ln \frac{1 - p_{i1}/p_1}{1 - p_{i0}/p_0} \right] \quad (4-3)$$

$$e_{D2} = R_g T_0 \left[\frac{p_{i2}}{p_2} \ln \frac{p_{i2} p_0}{p_{i0} p_2} - \left(1 - \frac{p_{i2}}{p_2} \right) \ln \frac{1 - p_{i2}/p_2}{1 - p_{i0}/p_0} \right] \quad (4-5)$$

式中： $\Delta E_1, \Delta E_2$ —分别为空气和循环工质的火用变化量，单位为焦耳（ J ）；

q_{mh}, q_{mc} —分别为空气和循环工质的体积流量，单位为立方米每秒（ m^3/s ）；

h_1, h_2 —分别为空气进、出口的比焓，单位为焦耳每千克（ J/kg ）；

h_3, h_4 —分别为循环工质进、出口的比焓，单位为焦耳每千克（ J/kg ）；

s_1, s_2 —分别为空气进、出口的比熵，单位为焦耳每千克每度（ $J/(kg \cdot K)$ ）；

s_3, s_4 —分别为循环工质进、出口的比熵，单位为焦耳每千克每度（ $J/(kg \cdot K)$ ）；

T_0 —标准环境温度，293.15，单位为度（K）；

p_0 —标准大气压力，取为 101325，单位为帕（Pa）；

p_{i0} —环境温度、压力下的饱和水蒸气的分压力，单位为帕（Pa）；

p_{i1}, p_{i2} —分别为空气进、出口的水蒸气分压力，单位为帕（Pa）；

p_1, p_2 —分别为空气进、出口的压力，单位为帕（Pa）；

e_{D1}, e_{D2} —分别为空气进、出口的单位质量扩散焓，单位为焦耳每千克（J/kg）；

R_g —空气的气体常数，取为 287.1，单位为焦耳每千克每度（J/(kg·K)）。

4.2 火用效率的测量和计算

火用效率按照第5章和附录A规定的方法测量和计算。

5 试验方法与要求

5.1 基本要求

5.1.1 试验时换热器两侧流体均应为实际流体。

5.1.2 试验时两侧流体的流量应为换热器的标称流量。

5.2 试验装置

5.2.1 换热器空气侧试验装置

换热器空气侧的实验装置按照GB/T 23130-2008附录B执行。

5.2.2 换热器管内侧流体试验装置

5.2.2.1 当管内流体为制冷剂时，换热器管内侧流体试验装置按照GB/T 25129-2010附录A或JB/T 10379-2002的相关规定执行。

5.2.2.2 当管内流体为非制冷剂流体时，如水、蒸汽、乙二醇溶液等，换热器管内侧流体试验装置按照JB/T 10379或GB/T14296相关规定执行。

5.2.3 大型换热器

对于不宜使用试验装置进行测试的大型换热器，允许采用现场测试的方法进行测试。但必须可以保证换热器两侧流体的进、出口状态稳定，且在标注时明确说明试验工况。

5.3 测量仪表及测试要求

5.3.1 测量仪表

5.3.1.1 测量仪表的精度应满足如下要求。

- a) 空气侧测试，按照 GB/T 23130-2008 附录 C 的有关规定执行。

- b) 管内制冷剂测试，按照 GB/T 25129-2010 表 5 和表 6 的有关规定执行。
- c) 管内其它流体测试，应满足表 1 的规定。

表 1 仪表精度要求

项目	流量	温度	压力
精度 (%)	±0.5	±0.1	±0.25

5.3.1.2 仪表检定

测定用的流量、温度、压力等测量仪表均应按有关规定送法定计量机构检定，并在检定的有效期内使用。

5.3.2 测试要求

5.3.2.1 换热器空气侧的试验要求按照 GB/T 23130-2008 附录 B 的有关规定执行。

5.3.2.2 管内流体为制冷剂时，换热器管内侧流体试验要求按照 GB/T 25129-2010 附录 A 或 JB/T 10379-2002 的相关规定执行。

5.3.2.3 管内流体为非制冷剂流体时，如水、蒸汽、乙二醇溶液等，换热器管内侧流体试验要求按照 JB/T 10379 或 GB/T 14296 相关规定执行。

5.3.2.4 其它试验要求按照 JB/T 10379-2002 有关规定执行。

5.4 试验工况

5.4.1 房间空调器

房间空调器用换热器的试验工况按照 GB/T 23130-2008 附录 C 的有关规定执行。

5.4.2 其它制冷用换热器

其它制冷用换热器的试验工况按照 GB/T 25129-2010 中 4.3 条或 JB/T 7659.5 的有关规定执行。

5.4.3 非制冷剂换热器

管内为非制冷剂用途流体时，换热器的试验工况按照 GB/T 14296-2008 中 6.5 条的有关规定执行。

5.4.4 其他

对于本标准未规定试验工况的换热器，允许自定试验工况，但需在标注中明确说明试验工况。

6 标注

6.1 一般要求

换热器生产企业应根据本标准的要求，确定换热器的换热效率并在其产品出厂说明书上或铭牌上予以标注。

6.2 标注内容

换热器换热效率的标注至少应包含以下内容：

- a) 换热效率依据的标准号
- b) 换热效率测试依据的标准号
- c) 换热器的换热量
- d) 换热器的效率
- e) 试验工况

f) 两侧流体及其质量流量、压力降

附录 A

(规范性附录)

火用效率的测量与计算

A.1 管外侧流体（空气）

A.1.1 测量参数及要求

A.1.1.1 换热器管外侧空气的测量参数如图A.1所示，测量要求及参数说明见表A.1。

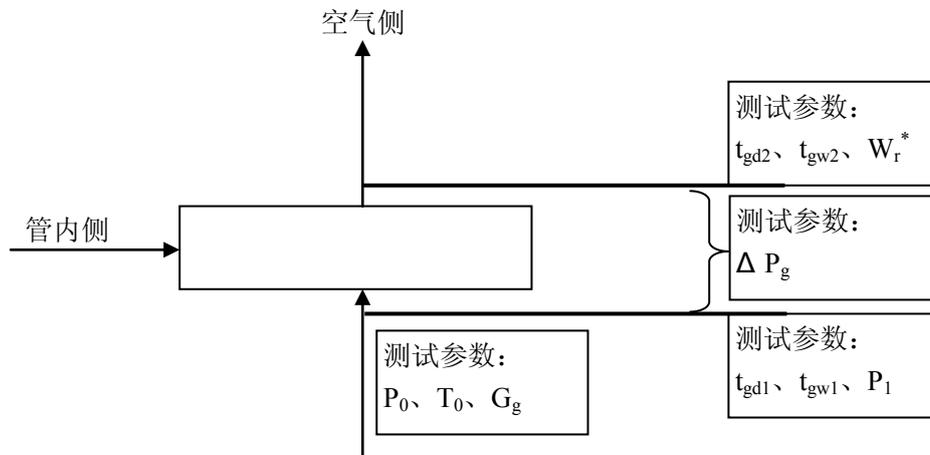


图 A.1 管外侧空气测量参数

表A.1 空气侧参数说明

符号	物理意义	单位	测试方法	备注
t_{gd1}	进口空气的干球温度	°C	按照 GB/T 7725-2004 的 A.2.3.1条款执行	
t_{gw1}	进口空气的湿球温度	°C		
t_{gd2}	出口空气的干球温度	°C		
t_{gw2}	出口空气的湿球温度	°C		
t_{gd0}	当地空气干球温度	°C		
t_{gw0}	当地空气湿球温度	°C		
ΔP_g	进出口空气的压力差	Pa		测量仪表按照 GB/T 7725-2004的C.3条款执行
G_g	空气的体积流量	m ³ /s	按照 GB/T 7725-2004 的 A.2.3.2条款进行测量与计算	
W_r	换热器的凝结水量	kg/s		*当换热表面温度低于露点温度时
P_0	当地大气压力	Pa		计算绝对压力
T_0	环境温度	K		
P_1	进口空气的压力	Pa	按照5.3.2执行	计算绝对压力

A.1.1.2 被测换热器应与周围环境良好绝热，以确保管内侧流体仅与流经换热器的空气进行热交换。

A.1.2 空气参数的计算

A.1.2.1 空气的比焓按下式计算

$$h = (1.01t_{\text{gd}} + d(2501 + 1.85t_{\text{gd}})) \times 10^3 \quad (\text{A-1})$$

式中:

h —空气的比焓, 单位为 J/kg ;

t_{gd} —空气干球温度, 单位为 $^{\circ}\text{C}$;

d —空气的含湿量, 单位为千克每千克干空气 (kg/kg 干空气)。

空气的含湿量按下式计算:

$$d = 0.622 \frac{p_i}{p_0 - p_i} \quad (\text{A-2})$$

式中:

d —空气的含湿量, 单位为千克每千克干空气 (kg/kg 干空气);

p_0 —大气压力, 单位为帕 (Pa);

p_i —为湿空气中水蒸气的分压力, 单位为帕 (Pa)。

湿空气中水蒸气的分压力按下式计算:

$$p_i = p_s - A(t_{\text{gd}} - t_{\text{gw}})p_0 \quad (\text{A-3})$$

式中:

p_i —空气中水蒸气的分压力, 单位为帕 (Pa);

p_s —同温度下饱和水蒸气的分压力, 单位为帕 (Pa);

A —与风速相关的参数, $A = \left(65 + \frac{6.75}{v}\right) \cdot 10^{-5}$, 其中 v 为风速 (单位: m/s), 一般可取

$$A=0.000667。$$

饱和水蒸气的分压力按下式计算:

当 $-100^{\circ}\text{C} \leq t_{\text{gd}} < 0^{\circ}\text{C}$ 时

$$\ln(p_s) = \frac{c_1}{T_g} + c_2 + c_3 T + c_4 T^2 + c_5 T^3 + c_6 T^4 + c_7 \ln(T) \quad (\text{A-4})$$

式中:

T_g —空气的绝对温度, $T_g = t_{\text{gd}} + 273.15$, 单位为开 (K);

$c_1 = -5647.5359$; $c_2 = 6.3925247$; $c_3 = -0.9677843 \times 10^{-2}$; $c_4 = 0.62215701 \times 10^{-6}$; $c_5 = 0.20747825 \times 10^{-18}$;

$$c_6 = -0.9484024 \times 10^{-12}; \quad c_7 = 4.1635019$$

当 $0^\circ\text{C} \leq t_{\text{gd}} < 200^\circ\text{C}$ 时

$$\ln(p_s) = \frac{c_8}{T_g} + c_9 + c_{10}T + c_{11}T^2 + c_{12}T^3 + c_{13}\ln(T) \quad (\text{A-5})$$

式中:

$$c_8 = -5800.2206; \quad c_9 = 1.3914993; \quad c_{10} = -0.04860239; \quad c_{11} = 0.041764768 \times 10^{-4}; \quad c_{12} = -0.14452093 \times 10^{-7}; \\ c_{13} = 6.5459673$$

A.1.2.2 空气的比熵按下式计算

$$s_{g2} - s_{g1} = (C_{pg} + dC_{pv}) \ln \frac{T_{gd2}}{T_{gd1}} - (R_g + dR_v) \ln \frac{p_{g2}}{p_{g1}} \quad (\text{A-6})$$

式中:

s_{g2} —湿空气出口处的熵, 单位为焦耳每千克每度 ($J/(kg \cdot K)$);

s_{g1} —湿空气进口处的熵, 单位为焦耳每千克每度 ($J/(kg \cdot K)$);

C_{pg} —干空气的定压比热容, 单位为焦耳每千克 ($J/(kg \cdot K)$), 取 $C_{pg} = 1005 J/(kg \cdot K)$;

C_{pv} —水蒸气的定压比热容, 单位为焦耳每千克每度 ($J/(kg \cdot K)$), 取 $C_{pv} = 1840 J/(kg \cdot K)$;

d —空气的含湿量; 单位为千克每千克干空气 (kg/kg 干空气), 按公式 (A-2) 计算;

T_{gd1} —进口空气干球温度, 单位为开 (K), $T_{gd1} = t_{gd1} + 273.15$;

T_{gd2} —出口空气干球温度, 单位为开 (K), $T_{gd2} = t_{gd2} + 273.15$;

p_{g1} —空气进口压力, 单位为帕 (p_a), $p_{g1} = p_0$;

p_{g2} —为空气出口压力, 单位为帕 (p_a); $p_{g2} = p_0 - \Delta p_g$

R_g —为干空气的气体常数, 单位为焦耳每千克每度 ($J/(kg \cdot K)$), 取 $R_g = 287 J/(kg \cdot K)$;

R_v —为水蒸气的气体常数, 单位为焦耳每千克每度 ($J/(kg \cdot K)$), 取 $R_v = 461 J/(kg \cdot K)$ 。

A.1.2.3 空气的密度按下式计算

$$\rho = 0.003484 \frac{p_0}{T_{gd}} - 0.00134 \frac{p_i}{T_{gd}} \quad (\text{A-7})$$

式中:

T_{gd} —空气干球温度, 单位为开 (K), $T_{gd} = t_{gd} + 273.15$;

A.2 管内侧流体

A.2.1 管内侧流体无相变时

A.2.1.1 管内侧流体无相变时，换热器管内侧流体的测量参数如图A.2所示，测量要求及参数说明见表A.2。

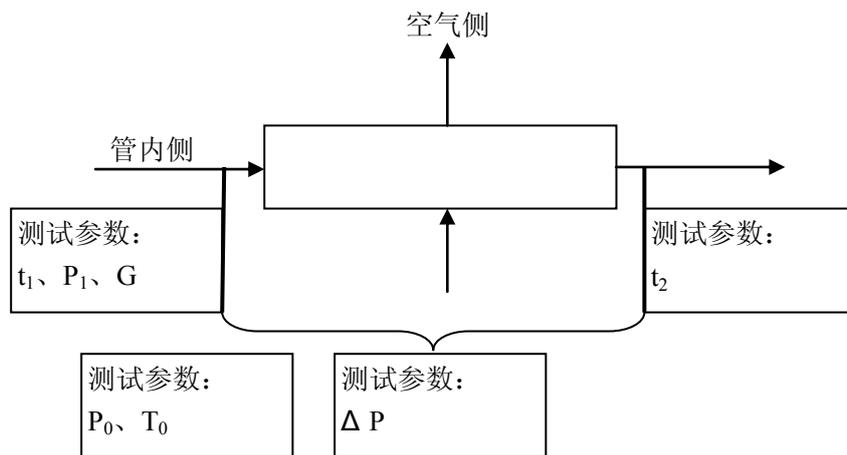


图 A.2 管内侧流体测量参数

表A.2 管内侧参数说明及测试要求

符号	物理意义	单位	测试要求	备注
t_1	进口流体的温度	°C	按照5.3.2执行	测量仪表按照5.3.1执行
t_2	出口流体的温度	°C	按照5.3.2执行	测量仪表按照5.3.1执行
P_1'	进口流体的表压力	Pa	按照5.3.2执行	测量仪表按照5.3.1执行
ΔP	进出口流体的压力差	Pa	按照5.3.2执行	测量仪表按照5.3.1GB/T 7725-2004附录C.3条款执行
G_g	进口流体的体积流量	m^3/s	按照5.3.2执行	测量仪表按照5.3.1执行
T_0	环境温度	K	按照5.3.2执行	测量仪表按照5.3.1执行
P_0	大气压力（绝对压力）	Pa	按照5.3.2执行	测量仪表按照5.3.1执行

A.2.1.2 被测换热器应与周围环境良好绝热，以确保管内侧流体仅与流经换热器的空气进行热交换。

A.2.1.3 管内侧流体参数的计算

管内侧流体的有关参数按照表A.3的规定进行计算。

表A.3 管内侧流体参数的计算

符号	物理意义	单位	计算
P_1	进口流体的绝对压力	Pa	$P_1 = P_0 + P_1'$
P_2	出口流体的压力	Pa	$P_2 = P_1 - \Delta P$
ρ_1	进口流体的密度	kg/m^3	根据 t_1 、 P_1 按照流体的物性计算或查图表求得
S_1	进口流体的熵	$J/(kg \cdot K)$	根据 t_1 、 P_1 按照流体的物性计算或查图表求得
S_2	出口流体的熵	$J/(kg \cdot K)$	根据 t_2 、 P_2 按照流体的物性计算或查图表求得
h_1	进口流体的焓	J/kg	根据 t_1 、 P_1 按照流体的物性计算或查图表求得

h_2	出口流体的焓	J/kg	根据 t_2 、 P_2 按照流体的物性计算或查图表求得
ΔE	进出口流体的焓差	J	根据流体处于冷流体侧还是热流体侧选择公式(4-1)~(4-3)中的分子或分母的计算式计算

A.2.2 管内侧流体有相变时

A.2.2.1 当换热器用作冷凝器时

A.2.2.1.1 换热器用作冷凝器时，其管内侧进口为过热蒸汽、出口为过冷液体，此时换热器管内侧流体的测量参数如图A.3所示，测量要求及参数说明见表A.4。

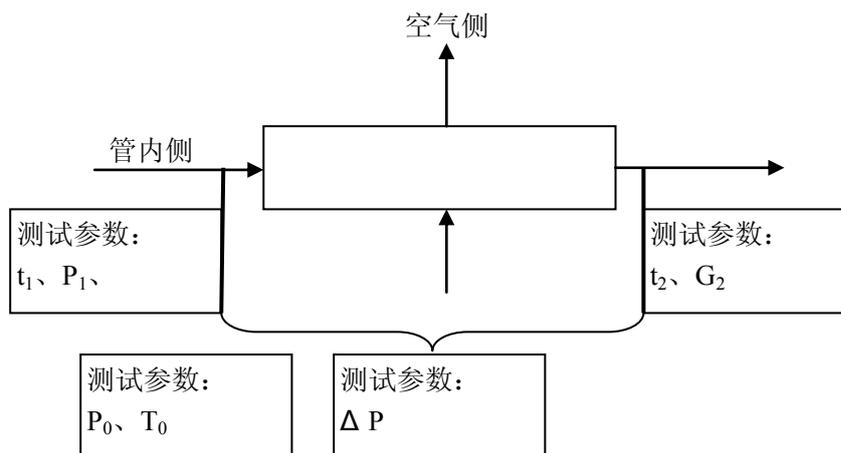


图 A.3 管内侧流体测量参数

表A.4 管内侧参数说明及测试要求

符号	物理意义	单位	测试要求	备注
t_1	进口流体的温度	°C	按照5.3.2执行	测量仪表按照5.3.1执行
t_2	出口流体的温度	°C	按照5.3.2执行	测量仪表按照5.3.1执行
P_1'	进口流体的表压力	Pa	按照5.3.2执行	测量仪表按照5.3.1执行
ΔP	进出口流体的压力差	Pa	按照5.3.2执行	测量仪表按照5.3.1或GB/T 7725-2004附录C.3条款执行
G_2	出口流体的体积流量	m ³ /s	按照5.3.2执行	测量仪表按照5.3.1执行
T_0	环境温度	K	按照5.3.2执行	测量仪表按照5.3.1执行
P_0	大气压力（绝对压力）	Pa	按照5.3.2执行	测量仪表按照5.3.1执行

A.2.2.1.2 被测换热器应与周围环境良好绝热，以确保管内侧流体仅与流经换热器的空气进行热交换。

A.2.2.1.3 管内侧流体参数的计算

管内侧流体的有关参数按照表A.5的规定进行计算。

表A.5 管内侧流体参数的计算

符号	物理意义	单位	计算
P_1	进口流体的绝对压力	Pa	$P_1 = P_0 + P_1'$
P_2	出口流体的绝对压力	Pa	$P_2 = P_1 - \Delta P$
ρ_2	出口流体的密度	kg/m ³	根据 t_2 、 P_2 按照流体的物性计算或查图表求得
S_1	进口流体的熵	J/(kg·K)	根据 t_1 、 P_1 按照流体的物性计算或查图表求得

S_2	出口流体的熵	J/(kg·K)	根据 t_2 、 P_2 按照流体的物性计算或查图表求得
h_1	进口流体的焓	J/kg	根据 t_1 、 P_1 按照流体的物性计算或查图表求得
h_2	出口流体的焓	J/kg	根据 t_2 、 P_2 按照流体的物性计算或查图表求得
ΔE	进出口流体的火用差	J	根据流体处于冷流体侧还是热流体侧选择公式(4-1)~(4-3)中的分子或分母的计算式计算

A.2.2.2 当换热器用作蒸发器时

A.2.2.2.1 当换热器用作蒸发器时，其管内侧进口为湿蒸汽、出口为过热气体，此时换热器管内侧流体的测量参数如图A.4所示，测量要求及参数说明见表A.6。

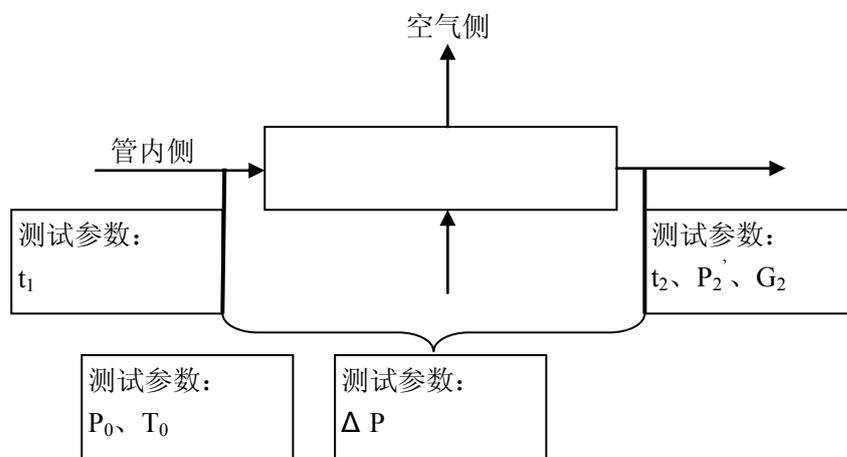


图 A.4 管内侧流体测量参数

表A.6 管内侧参数说明及测试要求

符号	物理意义	单位	测试要求	备注
t_1	进口流体的温度	°C	按照5.3.2执行	测量仪表按照5.3.1执行
t_2	出口流体的温度	°C	按照5.3.2执行	测量仪表按照5.3.1执行
P_2'	出口流体的表压力	Pa	按照5.3.2执行	测量仪表按照5.3.1执行
ΔP	进出口流体的压力差	Pa	按照5.3.2执行	测量仪表按照5.3.1或GB/T 7725-2004附录C.3条款执行
G_2	出口流体的体积流量	m ³ /s	按照5.3.2执行	测量仪表按照5.3.1执行
T_0	环境温度	K	按照5.3.2执行	测量仪表按照5.3.1执行
P_0	大气压力（绝对压力）	Pa	按照5.3.2执行	测量仪表按照5.3.1执行

A.2.2.2.2 被测换热器应与周围环境良好绝热，以确保管内侧流体仅与流经换热器的空气进行热交换。

A.2.2.2.3 管内侧流体参数的计算

管内侧流体的有关参数按照表A.7的规定进行计算。

表A.7 管内侧流体参数的计算

符号	物理意义	单位	计算
P_1	进口流体的绝对压力	Pa	$P_1 = P_2 + \Delta P$
P_2	出口流体的绝对压力	Pa	$P_2 = P_0 + P_2'$

ρ_2	出口流体的密度	kg/m^3	根据 t_1 、 P_1 按照流体的物性计算或查图表求得
S_1	进口流体的熵	$\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$	根据 t_1 、 h_1 按照流体的物性计算或查图表求得
S_2	出口流体的熵	$\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$	根据 t_2 、 P_2 按照流体的物性计算或查图表求得
h_1	进口流体的焓	J/kg	$h_1 = h_2 - \frac{G_g \rho_g (h_{g2} - h_{g1})}{G_2 \rho_2}$
h_2	出口流体的焓	J/kg	根据 t_2 、 P_2 按照流体的物性计算或查图表求得
ΔE	进出口流体的火用差	J	根据流体处于冷流体侧还是热流体侧选择公式(4-1)~(4-3)中的分子或分母的计算式计算

A.2.2.3 其它有相变的流体

对于其它有相变的流体，根据其进出口状态分为以下几种情况：

- 1) 过冷液体
- 2) 过热蒸汽
- 3) 湿蒸汽

分别参照A2.2.1和A2.2.2的对应状态进行测量和计算。