

# 团 体 标 准

T/SCEA XXXX—XXXX

## 蒸汽管网热工检测与评定方法

Thermal detection and evaluation method of steam network

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

上海市循环经济协会 发布



## 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 测试方法 .....	2
4.1 电功率法 .....	2
4.2 保温层间温差法 .....	3
4.3 表面温度法 .....	4
4.4 热流计法 .....	5
4.5 热平衡法 .....	6
5 测试结果评定 .....	6
5.1 蒸汽管网热效率 .....	6
5.2 蒸汽管网的质量管损 .....	6
5.5 蒸汽管网管线的线热流密度 .....	7
5.6 蒸汽管网管线的附加散热系数 .....	9
5.7 直埋敷设蒸汽保温管保温层外表面温度 .....	9
5.8 蒸汽管网的量长比 .....	9
附录 A (资料性) 干空气物理性质 .....	11
附录 B (资料性) 土壤导热系数 .....	12
附录 C (资料性) 常用保温结构材料黑度 $\epsilon$ 参数 .....	13
附：条文说明 .....	13

## 前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由上海科华热力管道有限公司提出。

本文件由上海市循环经济协会归口。

本文件起草单位：上海科华热力管道有限公司、上海燃气工程设计研究有限公司、华东理工设计研究院有限公司、武汉市燃气热力规划设计院有限公司、浙江阿斯克建材科技股份有限公司。

本文件主要起草人：

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

首批承诺执行本文件的单位：

上海科华热力管道有限公司、上海燃气工程设计研究有限公司、华东理工设计研究院有限公司、武汉市燃气热力规划设计院有限公司、浙江阿斯克建材科技股份有限公司。

# 蒸汽管网热工检测与评定方法

## 1 范围

本标准适用于蒸汽管道的压力损失、保温结构散热测试与热网能耗状况的评价。

本标准规定了蒸汽管道的压力损失、管道保温结构散热损失测试与管网能耗状况评价的术语、测试方法和结果评定。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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/T4272 设备及管道绝热技术通则

GB/T8174 设备及管道绝热效果的测试与评价

GB/T10295 绝热材料稳态热阻及有关特性的测定 热流计法

GB/T10296 绝热层稳态传热性质的测定 圆管法

GB/T17357 设备及管道绝热层表面热损失现场测定热流计法和表面温度法

GB/T28638 城镇供热管道保温结构热损失测试与保温效果评定方法

GB 50411 建筑节能工程施工质量验收规范

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**比压降** specific pressure drop

单位长度蒸汽管道中压力下降的量值。

### 3.2

**比温降** specific temperature drop

单位长度蒸汽管道中温度下降的量值。

### 3.3

**质量管损** weight loss ratio

运行中的蒸汽管网在同一时间间隔内  
流失的蒸汽质量占输入蒸汽总质量的比例。

### 3.4

**热流密度** heat flux density

蒸汽管道通过保温层外表面单位面积散失热量的强度。

### 3.5

**线热流密度** linear heat flux density

单位长度蒸汽管道散失热量的强度。

### 3.6

**量长比** volume/length ratio

管道中蒸汽流量与自该管道入口起至下游各用户止管线总长度之和的比值。

### 3.7

**附加散热** additional heat dissipation

蒸汽管网总散热量中除通过管道保温层的基本散热量之外的散热量。

## 4 测试方法

### 4.1 电功率法

4.1.1 电功率法适用于在实验室内对送检保温管道试样进行保温效果测试或者作为产品型式试验的方法。

4.1.2 采用电功率法应保证足够的实验时长,试件达到稳定工况时保持在稳定工况时长应不小于 24 小时。

4.1.3 电功率法采用电热装置替代蒸汽对保温管道加热,并模拟管网的环境状况。当达到稳定状况时,电加热器所消耗的功率,就是保温管的散热强度。

$$q = \frac{10^3 \times N}{L_s} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$q$ ——受检管道的散热强度,单位为瓦每米 (w/m)。

$N$ ——电加热器所消耗的功率,单位为千瓦 (kW);

$L_s$ ——试件有效长度,单位为米 (m);

4.1.4 电功率法的测试装置如图 1 所示。

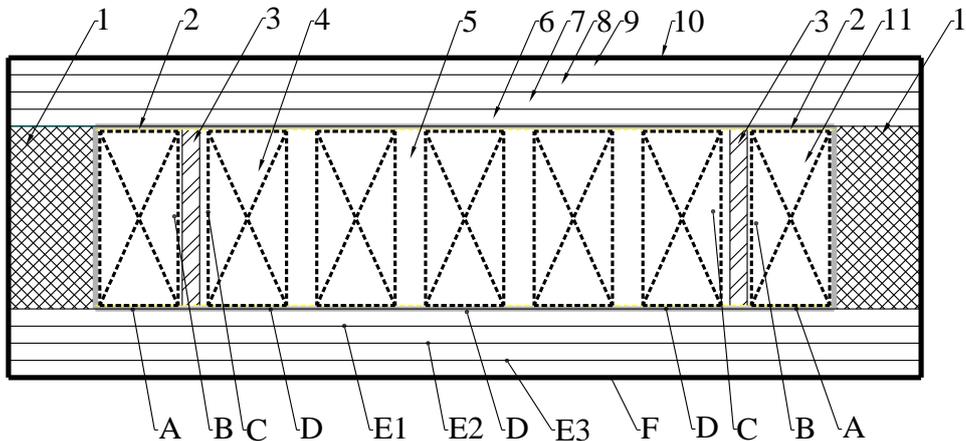


图1 电功率法的测试装置

图中:

- 1、保温端封;
- 2、加热补偿段;
- 3、保温隔断;
- 4、主电加热器;
- 5、主加热段;
- 6~9、试件保温层;
- 10、外护管;
- 11、补偿段电加热器

温度测点:

- A、补偿段外表面测点;
- B、保温隔断补偿段侧测点;
- C、保温隔断主加热段侧测点;
- D、主加热段内表面测点;
- E1~E3、保温层界面温度测点;
- F、外表面温度测点。

4.1.5 实验操作要点:

- a) 保温层内表面测温点沿管道周向均布,至少三点。在管道轴向每间隔 0.5m 应设保温层内表面测温点。

- b) 测试时调节主加热器 4，使保温层内表面温度等于规定的管道内蒸汽温度。
- c) 调节补偿段电加热器 11，使保温隔断内外表面 B 点和 C 点的温度相等。允许误差 0.5℃。
- d) 测试时室内环境温度应保持稳定在 20℃，室温波动幅度应小于 0.2℃。室内相对湿度应小于 70%且保持稳定，湿度波动范围±2.5%。室内风速应小于 0.5m/s。不得有日照和强光源，不得有其他热源。
- e) 主加热段的温度测点 D 和热补偿段的温度测点 A 温差不应大于 2%。
- f) 当各个温度测点间隔 1 小时的读数波动幅度在 0.5℃内，达到 5 次以上，认为试验达到稳定工况。
- g) 所采用的热电偶测量误差不大于 0.5℃，所采用的电加热控制系统应有良好的温控性能，温差波动控制不大于 1%t 且不大于 3℃，其中 t 为电热器工作温度。
- 4.1.6 试件的长度应符合以下要求：主加热段≥1.2 米；加热补偿段≥0.2 米。

#### 4.1.7 取值方法

当主电加热器功率表每小时读数增加的数值连续 5 次保持相等的时候，认为实验装置进入稳定工况。在达到稳定工况之后，记录主电加热器功率表读数。每隔 1 小时记录主电加热器电功率表读数。连续记录时间不小于 24 小时，逐时电功率差值应不超 5%。最终功率数与起始功率数之差既是电加热器所消耗的功  $N$ ，计算测试时间内平均值，为试件散热强度。结果除以试件主加热段长度  $L_s$ ，得到试件线热流密度  $q$ 。

### 4.2 保温层间温差法

4.2.1 保温层间温差法可用于在实验室内对送检保温管道试样进行保温效果测试或者作为型式试验的模拟方法，也可用于在线热网保温管的检测。

4.2.2 保温层间温差法温度测量可采用热电偶或热电阻。同一个试件中采用的测温元件应为同一类型以及进行校准并处于同一精度水平。

4.2.3 测温热电偶或热电阻按图 1 方法布置。测温点在保温层圆周方向均布。每一层的测温点在圆周方向至少应设置 3 个。在管道轴向，测温点亦设置 3 排，每排间距 0.5m，试件检测时外侧的测点距离试件端部距离≥0.2m。

4.2.4 测温热电偶或热电阻元件应预先布置在试件保温层间，包括保温层内、外表面。同时应测量测温元件之间保温层厚度。如果是保温完成后才在保温层间安置测温元件，应按原保温结构和原保温材料修复，达到保温结构初始状态。

4.2.5 单层保温材料线热流密度和热流密度按公式(2)、公式(3)计算，保温材料的导热系数按公式(4)计算：

$$q_L = \frac{2\pi\lambda(t_i - t_0)}{\ln \frac{d_0}{d_i}} \dots\dots\dots (2)$$

$$q = \frac{q_L}{\pi D} \dots\dots\dots (3)$$

$$\lambda = a + bt_m + ct_m^2 + dt_m^3 \dots\dots\dots (4)$$

式中：

$q_L$ ——蒸汽保温管线热流密度，单位为瓦每米 (W/m)；

$q$ ——蒸汽保温管热流密度，单位为瓦每平方米 (W/m<sup>2</sup>)；

$t_i$ ——管道保温层内侧测温点温度，单位为摄氏度 (℃)；

$t_0$ ——管道保温层外侧测温点温度，单位为摄氏度 (℃)；

$d_i$ ——内侧测温点保温层直径，单位为米 (m)；

$d_0$ ——外侧测温点保温层直径，单位为米 (m)；

$D$ ——蒸汽保温管总保温层外径，单位为米 (m)；

$\lambda$ ——内外测温点之间保温材料的导热系数，单位为瓦每米·摄氏度 [w/(m·℃)]；

$a$ ——导热系数公式中系数，无因次；

$b$ ——导热系数公式中系数，无因次；

$c$ ——导热系数公式中系数，无因次；

$d$ ——导热系数公式中系数，无因次；

$t_m$ ——内侧和外侧测温点温度的算术平均值，单位为摄氏度（℃）

4.2.6 多层保温材料形成的保温结构，其蒸汽保温管热流密度和线热流密度按公式（5）和公式（6）计算：

$$q_{L1} = \frac{2\pi\lambda_1(t_0-t_1)}{\ln\frac{d_1}{d_0}} \dots\dots\dots (5)$$

$$q_{Ln} = \frac{2\pi\lambda_n K(t_{n-1}-t_n)}{\ln\frac{d_n}{d_{n-1}}} \dots\dots\dots (6)$$

且应当保持：

$$q_{L1} = q_{L2} = \dots\dots = q_{Ln} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

$n$ ——蒸汽保温管保温结构层数，无因次；

$K$ ——保温材料吸潮修正系数，无因次；

$d_i$ ——第  $i$  层保温的外径，单位为米（m）。

4.2.7 所在区域温度小于 100℃ 的非真空保温层，该层保温材料因吸潮应乘以 1.0~1.7 的修正系数，对闭孔泡沫保温材料，如硬质聚氨酯泡沫，聚苯乙烯泡沫，聚乙烯泡沫和泡沫玻璃， $K$  等于 1.0。其他非闭孔保温材料，根据吸潮程度轻重可分别取  $K$  等于 1.1~1.7 不等。

### 4.3 表面温度法

4.3.1 表面温度法适用于蒸汽管网现场检测和保温管道送检样品实验室检测。

4.3.2 当用于地上架空、管沟、管廊中架空敷设蒸汽保温管道保温效果检测时，应测量蒸汽保温管保温结构外表面温度、环境空气温度、环境空气湿度、风速、风向。还应测量蒸汽保温管保温结构外防护层直径。

4.3.3 应用表面温度法测试蒸汽保温管的热流密度和线热流密度采用公式（2）和公式（8）计算：

$$q_L = \alpha \times \pi \times D \times (t_w - t_f) \dots\dots\dots (8)$$

式中：

$\alpha$ ——蒸汽保温管保温结构外表面总换热系数，单位为瓦每平方米·摄氏度[W/(m<sup>2</sup>·℃)]；

$t_w$ ——蒸汽保温管保温结构外表面温度，单位为摄氏度（℃）；

$t_f$ ——蒸汽保温管周围环境空气温度，单位为摄氏度（℃）。

4.3.4 架空敷设蒸汽保温管道总放热系数包括对流放热部分和辐射放热部分，由公式（9）计算：

$$\alpha = \alpha_c + \alpha_r \dots\dots\dots (9)$$

式中：

$\alpha_c$ ——对流放热系数，单位为瓦每平方米·摄氏度[W/(m<sup>2</sup>·℃)]；

$\alpha_r$ ——辐射放热当量对流放热系数，单位为瓦每平方米·摄氏度[W/(m<sup>2</sup>·℃)]。

4.3.5 户外架空蒸汽保温管道对流放热系数用公式（10）计算：

$$\alpha_c = 11.63 + 7 \times \sqrt{v} \dots\dots\dots (10)$$

式中：

$\alpha_c$ ——对流放热系数，单位为瓦每平方米·摄氏度[W/(m<sup>2</sup>·℃)]；

$v$ ——风速，单位为米每秒（m/s）。

4.3.6 室内、管廊中和地沟中架空敷设的管道同时考虑对流放热和辐射放热。用公式（11）、公式（12）、公式（13）、公式（14）、公式（15）计算。水平管道属于层流对流放热时用公式（11）计算对流放热系数。属于紊流时用公式（12）计算对流放热系数。

$$\alpha_c = 1.16 \times \left(\frac{t_w - t_f}{D}\right)^{0.25} \dots\dots\dots (11)$$

$$\alpha_c = 1.27 \times \left(\frac{t_w - t_f}{D}\right)^{1/3} \dots\dots\dots (12)$$

判断管道周围空气流动状态用格拉晓夫数 Gr 和普朗特数 Pr 的乘积，当 GrPr < 10<sup>9</sup> 时，属于层流状态。当 GrPr > 10<sup>9</sup> 时属于紊流状态。格拉晓夫数用公式（13）计算：

$$Gr = \frac{\beta g \Delta t D^3}{\nu^2} \dots\dots\dots (13)$$

式中:

- $\beta$ ——空气体积膨胀系数,  $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ;
- $g$ ——重力加速度, 取值为米每平方秒 ( $9.81\text{m/s}^2$ );
- $\Delta t$ ——蒸汽保温管保温层外表面温度与周围环境空气温度之差, 单位为摄氏度 ( $^{\circ}\text{C}$ );
- $D$ ——定型尺寸, 取蒸汽保温管保温层外径, 单位为米 (m);
- $\nu$ ——空气的运动粘度, 单位为平方米每秒 ( $\text{m}^2/\text{s}$ )。

公式中的空气运动粘度 $\nu$ , 普朗特数 $Pr$ 根据定性温度在干空气物理性质表中查取。空气的体积膨胀系数 $\beta$ 也用定性温度按公式 (14) 计算:

$$\beta = \frac{1}{273+t} \dots\dots\dots (14)$$

式中:

- $\beta$ ——空气体积膨胀系数,  $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ;
- $t$ ——空气定性温度, 单位为摄氏度 ( $^{\circ}\text{C}$ )。

定性温度用公式 (15) 计算:

$$t = \frac{1}{2} \times (t_w + t_f) \dots\dots\dots (15)$$

式中:

- $t$ ——空气定性温度, 单位为摄氏度 ( $^{\circ}\text{C}$ );
- $t_w$ ——蒸汽保温管保温结构外表面温度, 单位为摄氏度 ( $^{\circ}\text{C}$ );
- $t_f$ ——蒸汽保温管周围环境空气温度, 单位为摄氏度 ( $^{\circ}\text{C}$ )。

4.3.7 室内架空及管廊、管沟内架空蒸汽保温管道辐射放热的当量对流传热系数用公式 (16) 计算:

$$\alpha_{\tau} = \frac{\varepsilon \sigma \times ((273+t_w)^4 - (273+t_f)^4)}{t_w - t_f} \dots\dots\dots (16)$$

式中:

- $\alpha_{\tau}$ ——辐射放热当量对流传热系数, 单位为瓦每平方米·摄氏度 [ $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ];
- $\varepsilon$ ——蒸汽保温管保温层外表面的黑度, 无因次;
- $\sigma$ ——黑体辐射常数, 等于  $5.667 \times 10^{-8} \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{k}^4)$ 。
- $t_w$ ——蒸汽保温管保温结构外表面温度, 单位为摄氏度 ( $^{\circ}\text{C}$ );
- $t_f$ ——蒸汽保温管周围环境空气温度, 单位为摄氏度 ( $^{\circ}\text{C}$ )。

4.3.8 对于直埋敷设蒸汽保温管道, 线热流密度用公式 (17) 计算:

$$q_L = \frac{2\pi\lambda_g(t_w - t_g)}{\ln \frac{4H}{D}} \dots\dots\dots (17)$$

式中:

- $q_L$ ——蒸汽保温管线热流密度, 单位为瓦每米 ( $\text{W}/\text{m}$ );
  - $\lambda_g$ ——检测区域土壤导热系数, 单位为瓦每米·摄氏度 [ $\text{W}/(\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})$ ];
  - $t_w$ ——蒸汽保温管保温结构外表面温度, 单位为摄氏度 ( $^{\circ}\text{C}$ );
  - $t_g$ ——检测区域深度等于 $H$ 且离保温管线距离大于2m的土壤温度, 单位为摄氏度 ( $^{\circ}\text{C}$ );
  - $H$ ——受检管道中心线土壤埋深, 单位为米 (m);
  - $D$ ——定型尺寸, 取蒸汽保温管保温层外径, 单位为米 (m);
- 当不能取得土壤导热系数值时, 可取 $\lambda_g$ 等于  $1.5\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$ 。

#### 4.4 热流计法

4.4.1 由热流传感器和显示仪表组成的热流计, 可用于测量蒸汽保温管保温结构的散热强度。热流计法适用于实验室检测及在线架空敷设热网检测。

4.4.2 保温管道线热流密度用公式 (18) 计算:

$$q_L = c \times E \times \pi \times D \dots\dots\dots (18)$$

式中:

- $c$ ——测头系数, 单位为瓦每平方米毫伏 [ $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{mV})$ ];
- $E$ ——热流传感器的输出电势, 单位为毫伏 (mV);

$q_L$ ——保温管线热流密度，单位为瓦每米 (W/m)；  
 $D$ ——管道保温层外表面直径，单位为米 (m)。

4.4.3 热流传感器系数  $c$  按 GB/T 10295 给定的方法标定。

#### 4.5 热平衡法

4.5.1 热平衡法适用于在线蒸汽管网的保温效果检测，也适用于局部蒸汽管道的保温效果检测。

4.5.2 受检管线热平衡关系式如下：

$$G_i h_i - G_0 h_0 = 3.6 \times q_L \times (1 + \alpha) \times L + G_c h_s \dots\dots\dots (19)$$

式中：

$G_i$ ——进入蒸汽保温管线的蒸汽量，单位为吨每小时 (t/h)；  
 $h_i$ ——进入受检管线蒸汽的焓值，单位为千焦每千克 (kJ/kg)；  
 $G_0$ ——流出受检管线的蒸汽量，单位为吨每小时 (t/h)；  
 $h_0$ ——流出受检管线蒸汽的焓值，单位为千焦每千克 (kJ/kg)；  
 $q_L$ ——蒸汽保温管线热流密度，单位为瓦每米 (W/m)；  
 $L$ ——受检管线长度，单位为千米 (km)；  
 $\alpha$ ——受检管线附加散热系数，无因次；  
 $G_c$ ——检测管段生成的冷凝水量 (t/h)；  
 $h_s$ ——冷凝水焓值 (kJ/kg)。

公式 (19) 中受检管线的蒸汽管道管径及保温结构应为同一种规格。管线中间不得有分支分流蒸汽。管线入口、出口蒸汽压力温度应保持稳定。除了测定管线入口和出口蒸汽流量外，还应同时测量管线入口、出口蒸汽的压力和温度。根据入口、出口蒸汽压力、温度到水蒸汽性质表中可查得入口、出口蒸汽焓值  $h_i$  和  $h_0$ 。

4.5.3 热平衡法不能直接测出受检管线保温结构的线热流密度  $q_L$  和附加散热系数  $\alpha$ 。当需要给出  $q_L$  和  $\alpha$  值时，可结合 4.2 保温层间温差法、4.3 表面温度法或 4.4 热流计法先测出受检管线平均线热流密度  $q_L$ ，然后计算出管线附加散热系数  $\alpha$ 。

### 5 测试结果评定

#### 5.1 蒸汽管网热效率

蒸汽管网热效率按公式 (20) 计算：

$$\eta = \frac{\sum(G_e \cdot h_e)}{G_0 \cdot h_0} \dots\dots\dots (20)$$

式中：

$\eta$ ——蒸汽管网热效率，记录为百分比数值 (%)；  
 $G_e$ ——在指定时间间隔，管网终端蒸汽平均流量，单位为吨每小时 (t/h)；  
 $h_e$ ——在指定时间间隔，管网终端蒸汽平均焓值，单位为千焦每千克 (kJ/kg)；  
 $G_0$ ——在指定时间间隔，管网入口蒸汽平均流量，单位为吨每小时 (t/h)；  
 $h_0$ ——在指定时间间隔，管网入口蒸汽平均焓值，单位为千焦每千克 (kJ/kg)。

5.1.1 蒸汽管网热效率分别有瞬时热效率、日平均热效率、月平均热效率和年平均热效率。

5.1.2 蒸汽管网瞬时热效率不作考评。管网年平均热效率应达到 92% 以上。

#### 5.2 蒸汽管网的质量管损

蒸汽管网的质量管损用公式 (21) 计算：

$$\gamma_c = \frac{G_0 - \sum G_e}{G_0} \dots\dots\dots (21)$$

式中：

$\gamma_c$ ——管网蒸汽质量损失率，记录为百分比数值 (%)；  
 $G_0$ ——管网入口蒸汽流量，单位为吨每 24 小时 (t/24h)；  
 $G_e$ ——管网各终端蒸汽流量，单位为吨每 24 小时 (t/24h)。

#### 5.3 蒸汽管网的比压降

5.3.1 比压降只对蒸汽管网干线进行考评。蒸汽管网干线的比压降不宜大于 0.03 MPa/km。

检测取值时管网工况应稳定，且应接近设计工况。当取值时管线中流量不等于设计流量，可用下列方法予以修正：

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{\Delta P'}{L} \times \left(\frac{G}{G'}\right)^2 \times \left(\frac{\rho_m'}{\rho_m}\right) \dots\dots\dots (22)$$

式中：

$G$ ——管线设计流量，单位为吨每小时 (t/h)；

$G'$ ——管线检测的流量，单位为吨每小时 (t/h)；

$\rho_m$ ——管线中蒸汽设计工况平均密度，单位为千克每立方米 (kg/m<sup>3</sup>)；

$\rho_m'$ ——管线中蒸汽检测工况平均密度，单位为千克每立方米 (kg/m<sup>3</sup>)。

$\Delta P$ ——设计工况下管线蒸汽压降，单位为兆帕 (MPa)；

$L$ ——管线长度，单位为千米 (km)；

$\Delta P'$ ——检测测得的管线蒸汽压降，单位为兆帕 (MPa)。

蒸汽平均密度根据管线中蒸汽平均压力和平均温度用公式 (23) 和 (24) 计算。

$$\rho_m = \frac{18.88P_m}{0.01 \times t_m - 2.2045 \times 10^{-1} \times P_m + 2.11} \dots\dots\dots (23)$$

公式 (23) 适用于温度在 160℃ ≤  $t$  < 250℃ 范围，压力在 0.58MPa ≤  $P$  ≤ 1.5MPa 范围的蒸汽。

$$\rho_m = \frac{19.44 \times P_m}{0.01 \times t_m - 1.467 \times 10^{-1} \times P_m + 2.1627} \dots\dots\dots (24)$$

公式 (24) 适用于温度在 250℃ ≤  $t$  < 400℃ 范围，压力在 0.58MPa ≤  $P$  ≤ 2.0MPa 范围的蒸汽。

#### 5.4 蒸汽管网的比温降

5.4.1 饱和蒸汽管网不作比温降考评。蒸汽管网下游进入饱和状态的管段不纳入考评管线长度。

5.4.2 测定比温降时，应同时测定管道流量。

检测取值时管网工况应稳定，且应接近设计工况，不宜小于 40% 的设计流量，不同流量时的测定值应按下列方法予以修正：

$$\frac{\Delta t}{L} = \frac{\Delta t'}{L} \times \frac{G'}{0.4 \times G} \dots\dots\dots (25)$$

式中：

$\Delta t$ ——检测到的管段入口蒸汽温度和出口蒸汽温度的落差 (℃)；

$G$ ——蒸汽管网中测量管段设计流量 (t/h)；

$G'$ ——蒸汽管网中测量管段实测流量 (t/h)。

5.4.3 蒸汽管网的干线在 40% 的设计流量时，比温降不宜大于 3℃/km。

#### 5.5 蒸汽管网管线的线热流密度

5.5.1 各种规格的蒸汽管道在不同蒸汽温度下的线热流密度推荐值列于表 1。括号内为容许值。

表1 蒸汽保温管线热流密度（取环境温度 20℃）

单位为瓦每米

规格	温度（℃）										
	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	350
DN100	29 (33)	35 (40)	41 (46)	47 (53)	53 (60)	60 (68)	67 (76)	75 (85)	82 (93)	90 (103)	96 (109)
DN125	32 (36)	38 (43)	44 (50)	51 (57)	58 (65)	65 (74)	73 (82)	81 (91)	89 (101)	98 (111)	104 (117)
DN150	34 (37)	41 (44)	47 (51)	54 (59)	62 (67)	70 (75)	78 (84)	87 (93)	96 (103)	105 (113)	112 (120)
DN200	38 (43)	45 (51)	52 (60)	60 (69)	68 (79)	77 (89)	86 (99)	95 (110)	105 (121)	116 (133)	123 (142)
DN250	42 (50)	50 (60)	58 (70)	67 (80)	76 (91)	86 (103)	96 (115)	106 (128)	117 (141)	129 (155)	139 (164)
DN300	44 (52)	53 (62)	61 (73)	71 (83)	80 (95)	90 (107)	101 (120)	112 (133)	124 (147)	136 (161)	146 (171)
DN350	46 (56)	55 (66)	64 (78)	74 (89)	84 (102)	94 (114)	106 (128)	117 (142)	129 (157)	142 (172)	150 (182)
DN400	50 (59)	60 (70)	70 (82)	80 (94)	91 (107)	103 (120)	115 (135)	128 (150)	141 (165)	155 (181)	164 (192)
DN450	53 (62)	63 (74)	74 (86)	85 (99)	96 (113)	109 (127)	122 (142)	135 (158)	149 (174)	164 (191)	174 (203)
DN500	53 (63)	63 (74)	73 (87)	84 (100)	96 (113)	108 (128)	121 (143)	134 (159)	148 (175)	162 (192)	172 (204)
DN600	58 (69)	69 (82)	81 (95)	93 (110)	106 (125)	119 (141)	133 (157)	148 (175)	163 (193)	179 (212)	190 (225)
DN700	61 (74)	73 (88)	85 (103)	98 (118)	111 (134)	125 (151)	140 (169)	156 (188)	172 (207)	189 (228)	200 (242)
DN800	66 (88)	78 (94)	92 (110)	105 (127)	120 (144)	135 (162)	151 (182)	168 (202)	185 (223)	203 (244)	215 (259)
DN900	69 (82)	82 (97)	96 (114)	110 (131)	125 (149)	141 (168)	158 (188)	175 (208)	193 (230)	212 (252)	225 (268)
DN1000	70 (84)	83 (100)	97 (117)	112 (134)	127 (153)	143 (172)	160 (193)	178 (214)	196 (236)	216 (259)	229 (276)

注：此表数据括号外为推荐值，括号内为容许值。

#### 5.6 蒸汽管网管线的附加散热系数

蒸汽管网管线的附加散热系数应小于 0.2。

#### 5.7 直埋敷设蒸汽保温管保温层外表面温度

直埋敷设蒸汽保温管外表面温度应不大于 50℃，管件外表面温度应不大于 60℃。

#### 5.8 蒸汽管网的量长比

蒸汽管网各管线的量长比依照蒸汽管管径和管线入口焓值来定。表 2 中给出了在良好保温状况下，蒸汽管网的最小量长比。

表2 蒸汽管网最小量长比

单位为吨/(小时·千米)

管径(mm)	压力(MPa)													
	1.0	1.0	1.0	1.2	1.2	1.2	1.2	1.6	1.6	1.6	1.6	2.0	2.0	2.0
	温度(°C)													
	180	190	200	210	220	230	240	250	260	280	300	320	340	350
Ø108	1.1	1.2	1.3	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	2.0	2.1	2.3	2.5	2.6
Ø133	1.2	1.3	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.1	2.3	2.5	2.7	2.8
Ø159	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.2	2.4	2.6	2.9	3.0
Ø219	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.2	2.3	2.5	2.7	3.0	3.2	3.4
Ø273	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.2	2.3	2.4	2.7	2.9	3.2	3.4	3.6
Ø325	1.5	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.4	2.5	2.8	3.0	3.3	3.6	3.7
Ø377	1.6	1.7	1.8	1.9	2.1	2.2	2.3	2.4	2.6	2.8	3.1	3.4	3.7	3.8
Ø426	1.6	1.7	1.8	2.0	2.1	2.2	2.3	2.5	2.6	2.9	3.1	3.4	3.7	3.8
Ø480	1.8	1.9	2.0	2.1	2.3	2.4	2.6	2.7	2.8	3.1	3.4	3.7	4.1	4.2
Ø530	1.8	1.9	2.0	2.2	2.3	2.4	2.6	2.7	2.9	3.2	3.4	3.8	4.1	4.2
Ø630	2.0	2.1	2.3	2.4	2.6	2.8	2.9	3.1	3.2	3.6	3.9	4.3	4.6	4.8
Ø720			2.5	2.7	2.8	3.0	3.2	3.4	3.5	3.9	4.3	4.6	5.0	5.2
Ø820			2.7	2.9	3.1	3.2	3.4	3.6	3.8	4.2	4.6	5.0	5.4	5.6
Ø920			2.9	3.1	3.3	3.5	3.7	4.0	4.2	4.6	5.0	5.5	5.9	6.1
Ø1020			3.2	3.4	3.6	3.8	4.1	4.3	4.5	5.0	5.4	5.9	6.4	6.7
Ø1120			3.4	3.9	4.2	4.4	4.7	5.0	5.2	5.8	6.3	6.9	7.4	7.7
Ø1220			3.7	3.9	4.2	4.4	4.7	5.0	5.2	5.8	6.3	6.9	7.4	7.7

注：从热源点起算，最大管径对应全网延伸到各支线最远敷设距离长度之和为其计算长度。

次一级管径从其入口起到各最远点敷设长度之和为其计算长度。

再次一级管径及以下口径管线依此类推。

附录 A  
(资料性)  
干空气物理性质

$t$ (°C)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c_p$ (kJ/kg·°C)	$\lambda \times 10^2$ (W/m·°C)	$\alpha \times 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	$\mu \times 10^6$ (kg/m·s)	$\nu \times 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	$Pr$
0	1.293	1.005	2.44	18.8	17.2	13.28	0.707
10	1.247	1.005	2.51	20.0	17.6	14.16	0.705
20	1.205	1.005	2.59	21.4	18.1	15.06	0.703
30	1.165	1.005	2.67	22.9	18.6	16.00	0.701
40	1.128	1.005	2.76	24.3	19.1	16.96	0.699
50	1.093	1.005	2.83	25.7	19.6	17.95	0.698
60	1.060	1.005	2.90	27.2	20.1	18.97	0.696
70	1.029	1.009	2.96	28.6	20.6	20.02	0.694
80	1.000	1.009	3.05	30.2	21.1	21.09	0.692
90	0.972	1.009	3.13	31.9	21.5	22.10	0.690
100	0.946	1.009	3.21	33.6	21.9	23.13	0.688

注：  $p = 1.01325 \times 10^5 \text{Pa} \approx 760 \text{mmHg}$

附录 B  
(资料性)  
土壤导热系数

土壤		湿度 (%)	$\lambda$ [W/(m·°C)]	
			融化状态	冻结状态
粗砂 (1mm~2mm)	密实的	10	1.74~1.35	1.98~1.35
		18	2.78	3.11
粗砂 (1mm~2mm)	松散的	10	1.28	1.40
		18	1.97	2.68
细沙和中砂 (0.25mm~1mm)	密实的	10	2.44	2.50
		18	3.60	3.80
	松散的	10	1.74	2.00
		18	3.36	3.50
不同粒度的干砂		1	0.37~0.48	0.27~0.38
砂质粉土、粉质黏土、 粉土、融化土		15~26	1.39~1.62	1.74~2.32
黏土		5~20	0.93~1.39	1.39~1.74

附录 C  
(资料性)  
常用保温结构材料黑度 $\varepsilon$ 参数

表面材料		$\varepsilon$
铝材	光亮表面	0.05
	氧化表面	0.13
电镀金属薄板	洁净表面	0.26
	积满灰尘	0.44
奥氏体薄钢板		0.15
铝锌薄板		0.18
非金属表面材料		0.94

# 团 体 标 准

## 蒸汽管网热工检测与评定方法

**T/SCEA XXXXX—XXXXX**

### 条 文 说 明

## 1 范围

现阶段我国建设有大规模的供热蒸汽管网。作为工业园区的基础设施，我国蒸汽管网历史很短，发展迅速。早年建造的管网多参照工业管道建设的标准，内容简单，指标偏低，但对管网热效率又有明确要求。从对热网技术服务中发现，在线蒸汽管网热效率能达标的很少【国家标准（GB/T 28638-2012 中 9.2）规定热网  $\geq 92\%$ 】。实际运行中的热网  $< 90\%$ 、 $< 80\%$ 并不罕见，与热源热电厂能耗水平形成强烈的反差。由于缺少可操作的蒸汽管网热工检测方法标准，国内蒸汽管网热工检测及评定工作仍然空白，造成管网的运行方以及用户无法对管网的运行状态进行有效的评价。随着时间的推移，越来越多的蒸汽管网效率下降，亟需可操作的检测标准进行评定。这是本标准的编制主要原因。

## 3 术语

### 3.1 比压降

本条给出的蒸汽管网中每公里长管道中蒸汽压力损失应不大于  $0.03\text{MPa/km}$  指的是自热网入口到最不利用户全线平均蒸汽压降。管网干线大口径管道中比压降应小于  $0.03\text{MPa/km}$ 。节省出来的资用压头用以补偿末端支线及入户线小口径管道压力损失。如果末端小口径管道也要求比压降小于  $0.03\text{MPa/km}$ ，末端管道中蒸汽流速将变得很低，使沿程散热充分，导致末端管段每公里温降大幅度上升，为避免末端蒸汽温度急剧下降，应允许管网末端小口径管道的比压降大于  $0.03\text{MPa/km}$ 。

对于管网近入口处及中部支线，资用压头较富裕，更无须受限于  $0.03\text{MPa/km}$  的指标限制。

### 3.2 比温降

蒸汽在管网中沿程散热，外在表现为蒸汽温度下降。热网比温降的指标目的在于控制热网流失热量的烈度，以便使热网保持较高的热效率。蒸汽在管道中流动得越快，则散热的的时间就短，热损失就小，表现为比温降小，但流速越高，流动阻力就越高，且呈指数关系变化。管径越小反映越强烈。热网比温降和比压降是两个相背的指标，管径越小，情况越严重。

根据热平衡关系，对一条均匀一致的管道

$$G(h_0 - h_e) = q(1 + \alpha) \times 3.6 \times L$$

$$CG_d c_p (t_0 - t_e) = q(1 + \alpha) \times 3.6 \times L$$

$$CG_d c_p \Delta t = q(1 + \alpha) \times 3.6 \times L$$

$$\Delta t/L = \frac{q(1 + \alpha) \times 3.6}{CG_d c_p}$$

式中：

- $\Delta t/L$ ——管线的比温降， $^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ；
- $q$ ——管线全程平均散热强度， $\text{W}/\text{m}$ ；
- $\alpha$ ——管线附加散热系数，无因次，取  $0.1 \sim 0.2$ ；
- $G_d$ ——管线设计蒸汽流量， $\text{t}/\text{h}$ ；
- $C$ ——管线负荷系数，此处可按平均状态，等于  $0.7$ ；
- $c_p$ ——管线中蒸汽平均定压比热， $\text{kJ}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$ 。

比温降指标主要针对热网的干管和针对热网整体。小口径管道应力求短小，以便降低其在热网中的权重。小口径管道比温降值可不受本条给出的量值限制。

### 3.3 质量管损

蒸汽管网在设计流量和设计温度下，在同一时间间隔蒸汽管网所损失的总流量质量（=24 小时内管网入口蒸汽流量总量-管网各个终端收到的蒸汽流量总量）与管网入口蒸汽流量总量的比值，称为管网的质量管损。该项参数受管网的原始设计、运行工况和参数的综合影响。在实际的管网运行检测过程，质量管损的计算时间段应选取管网的运行具有代表性特征时间段作为参考，一般情况下以 24 小时为一个周期，对于间歇性运行的管网，则应该以管网的实际运行时间为周期进行计算。

对于未达到设计工况运行的供热管网，质量管损的值需要进行计算修正才能正确反应管网的整体性能状况。

### 3.4 热流密度

供热管网的运行过程，保温层外表面在不断地向自然界进行散热，单位时间内外表面单位面积所通过的热量值为散热强度

在设计运行工况下保温管道的外表面单位面积所通过的散热强度，为供热管网的保温效果的主要评判标准之一。

### 3.5 线热流密度

单位长度的保温管道的热流密度与保温层外表面乘积。在本标准中给出了推荐值作为检测结果的参照。

### 3.6 量长比

蒸汽管网各管线的量长比依照蒸汽管管径和管线入口焓值来定，在本标准中给出了管线的相应参数下的最小量长比，为供热管网的设计效果的主要评判标准之一。

### 3.7 附加散热

蒸汽管网的直管保温层表面因为与自然环境存在温差持续对自然环境散热，但是管网中有着管件，如：管托、补偿器、疏水等位置的表面温度比直管位置保温层表面温度要高，这些位置的散热强度比直管段的散热强度要大，在管网的设计过程，这些位置高出的散热强度采用系数法进行计算。

## 4 测试方法

### 4.1 电功率法

4.1.2 采用电功率法进行模拟保温效果测试的时候，试件达到稳态的时间要不小于 24 小时，通过足够长的时间修正存在误差的可能。

4.1.3 式中的  $N$  必须是试件达到稳态的之后的测量时间内的功率平均值。

4.1.4 图 1 中的 3 必须是不燃的耐高温隔热保温材料，能够贴合工作管内壁，有效隔断补偿段和主加热段；11 保温端封厚度应大于工作管外径或者 200mm，以最小值为准。

c) 步骤是试件达到稳态的一个必要条件；

d) 步骤是电功率法测量的一个必须控制条件，环境条件的稳定控制对实验的结果有着关键影响。

f) 温度点测量的间隔可以根据实验的操作条件进行适当调整，但不应大于 1 小时。

4.1.7 记录试件间隔为 1 小时，且具有规律性，每个记录时间点的间隔应一样。

## 4.2 保温层间温差法

4.2.2 在同一个试件中采用的测温元件必须是同一种类型，这对过程的误差控制有利。

4.2.4 在保温完成后才在保温层间安置测温元件，进行恢复保温材料的时候，应使用原保温层的保温材料，不应使用新的保温材料代替是为了保证测量结果的准确性。

## 4.3.8 表面温度法

$t_g$  的测量取值比值必须避开保温管道的热影响区；

## 5 测量结果评定

### 5.1 蒸汽管网热效率

5.1.3 因为瞬时热效率对于蒸汽管网不具有特征代表性，因此不予考评。

### 5.3 蒸汽管网的比压降

5.3.1 比压降的检测的时候，应尽量以统一规格的管道进行压降的测量。

5.3.2 蒸汽管网的压降受管径、长度与流量的比值影响明显，在管网运行过程，进用户的支线往往是小长度，因此支线的比压降不作为管网的考评，设计人员按照实际的用户用汽需求进行优化设计即可。

同样的温度和压力情况下，在管线流量最大的情况下压降最大，因此以最大流量作为最不利条件进行考核。

### 5.4 蒸汽管网的比温降

5.4.1 一般管网的运行过程，受多用户的用汽状况变化以及用汽的同时性影响，很少在最大负荷下运行，流量的减少会进一步导致管网的温降变大，因此为了管网的保温效果检验的时候，取 40% 的设计流量作为检验的标准更加符合管网的经济性考评。

5.4.2~5.4.3 饱和蒸汽管网在运行过程，实际的温降主要受管道内压力影响，不是由保温层的保温效果为主要影响，因此不对饱和蒸汽管网进行比温降考评。