



# 中华人民共和国石油天然气行业标准

SY/T 6421—1999

## 设备及管道散热损失的测定

Measuring heat loss for equipments and pipes

1999 - 05 - 17 发布

1999 - 12 - 01 实施

国家石油和化学工业局 发 布

SY/T 6421—1999

目次

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 前言 .....                          | IV |
| 1 范围 .....                        | 1  |
| 2 引用标准 .....                      | 1  |
| 3 测试方法 .....                      | 1  |
| 4 测试分级及要求 .....                   | 4  |
| 5 测点布置 .....                      | 5  |
| 6 测试工作程序 .....                    | 6  |
| 7 数据处理及结果整理 .....                 | 6  |
| 8 测试误差分析 .....                    | 8  |
| 9 测试报告 .....                      | 8  |
| 附录 A（标准的附录） 关于允许最大散热损失的规定 .....   | 9  |
| 附录 B（标准的附录） 地面设备及管道总放热系数的计算 ..... | 10 |
| 附录 C（标准的附录） 热流计法受表面发射率影响的修正 ..... | 15 |

SY/T 6421—1999

## 前 言

本标准是对 SYJ 4018—87《设备及管道散热损失测试方法》进行修订，其主要修订内容为：

1. 标准名称改为“设备及管道散热损失的测定”；
2. 删去原标准第一章“总则”，改为第一章“范围”；
3. 增加第二章“引用标准”；
4. 删去原标准中“本标准主要符号及其意义和单位表”、“表 8.0.2 测试评价表（格式）”和“附录四 阀门、法兰的当量管道长度”；
5. 对原标准第二章“测试方法”的内容及排序做了修改、调整；
6. 附录 B（标准的附录）中增加对室内设备和管道总放热系数  $\alpha$  的计算方法。

本标准的附录 A、附录 B、附录 C 都是标准的附录。

自本标准生效之日起，同时代替 SYJ 4018—87。

本标准由中国石油天然气集团公司提出。

本标准由石油工业节能专业标准化技术委员会归口。

本标准起草单位：中国石油天然气集团公司工程技术研究院。

本标准主要起草人 莫理京 吕喜军 范树坡 陆琴芳

本标准于 1987 年首次发布，本次为第一次修订。

# 中华人民共和国石油天然气行业标准

SY/T 6421—1999

## 设备及管道散热损失的测定

代替 SYJ 4018—87

Measuring heat loss for equipments and pipes

### 1 范围

本标准规定了对保温结构表面温度及散热损失的几种测试方法和要求, 包括测试组织及准备工作、数据处理方法、测试误差、保温效果评价方法及测试报告编制等。

本标准适用于动力、采暖、供热及一般用热工业部门的设备、管道及附件散热损失测试。

### 2 引用标准

下列标准所包含的条文, 通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时, 所示版本均为有效。所有标准都会被修订, 使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB/T 2588—1981 设备热效率计算通则

GB/T 17357—1998 设备及管道绝热层表面热损失现场测定——热流计法

### 3 测试方法

#### 3.1 热流计法

3.1.1 采用热阻式热流计, 按照 GB/T 17357 的方法进行操作。

3.1.2 将热流传感器贴敷在被测物体外表面进行测试时应满足下列要求:

a) 应保证传感器与被测表面接触良好。粘贴表面应平整并清除尘土。传感器宜采用双面胶纸粘贴, 也可用石膏、黄油或乳胶等进行粘贴, 保证粘贴表面无气泡、间隙。

b) 应保证传感器与热流方向垂直, 以使传感器表面形成等温面。

c) 应使传感器和被测表面的发射率(即黑度)一致。如不一致, 应在传感器的外表面涂上或贴上与被测表面发射率相同的涂料或薄膜。若不能满足上述要求, 应按附录 C(标准的附录)对测试结果进行修正。

d) 传感器粘贴后达到稳态传热(最少 5min 以上)方可读数。

e) 传感器由较高温度的表面移至较低温度的表面进行测量时, 应使传感器冷却至常温后再行粘贴。

3.1.3 将传感器敷设在保温结构内部预埋观测时, 应保证垂直热流方向的传感器两个表面与被测物均有良好的接触, 并应将测得结果换算成被测物外表面的热流密度。

3.1.4 进行埋地设备及管道的散热损失测试, 应对传感器和接头处做好防潮、防水处理。

#### 3.2 表面温度法

3.2.1 测取被测物体的表面温度、表面发射率和外形尺寸等参数, 以及环境温度、风向和风速, 按牛顿冷却公式计算热流密度:

$$q = \alpha(t_w - t_f) \dots\dots\dots(1)$$

式中:  $q$ ——热流密度,  $W/m^2$ ;

$\alpha$ ——总放热系数,  $W/(m^2 \cdot K)$ ;

国家石油和化学工业局 1999-05-17 批准

1999-12-01 实施

## SY/T 6421—1999

$t_w$ ——表面温度, K;

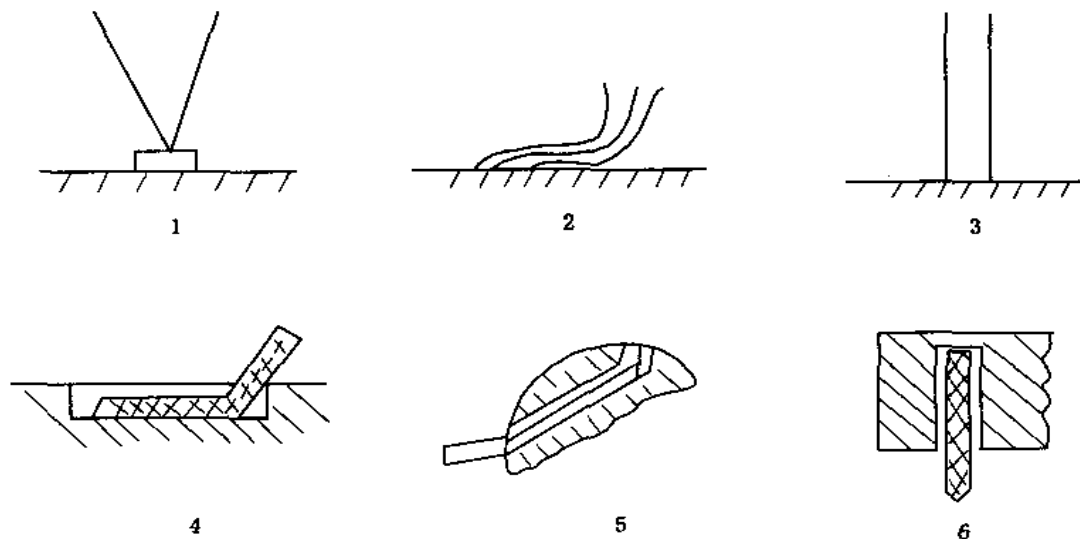
$t_f$ ——环境温度, K。

总放热系数  $\alpha$  可参照附录 B (标准的附录) 进行计算。

### 3.2.2 表面温度测定:

#### 3.2.2.1 热电偶法

将热电偶直接贴敷在被测物体的表面进行测量时, 热电偶与被测表面应保持良好的接触。可参照图 1 选取贴敷方法。



1—表示先将热电偶焊在一块导热性能良好的金属集热块上, 再整体安装到被测表面上;  
2—表示将热电偶沿被测壁面安装, 紧密接触一定长度; 3—表示将两根热电偶丝分别焊在金属壁面上 (测出的是两点的平均温度); 4~6—表示将热电偶焊在或埋在专门开的小槽里

图 1 用热电偶测表面温度的安装示意图

#### 3.2.2.2 表面温度计法

将热电偶、热电阻等类表面温度计的传感器直接与被测物的外表面接触, 进行测量时, 应保证传感器和被测表面紧密接触。

#### 3.2.2.3 红外辐射温度计法

将红外辐射温度计瞄准被测物体的外表面, 进行非接触式测量时, 应正确确定被测表面发射率值, 选择合理的距离及发射角。

3.2.3 环境温度应采用准确度符合表 1 要求的温度计测量。测量位置应距被测物 1m 以外。必要时, 可在温度计的感温部位包覆铝箔, 以防止其他热辐射源的影响。测量应与表面温度测试同步进行。

3.2.4 进行表面温度测量的同时, 用风速计在测点周围测量风向和风速, 测量准确度应满足表 1 的要求。

### 3.3 热平衡法

3.3.1 设备类, 按 GB/T 2588 中规定的正反平衡法测量有关参数, 计算散热损失。

3.3.2 对管道, 用焓差法或能量平衡原理测量有关参数, 计算散热损失。

3.3.2.1 对于无旁路、无途中泄漏的蒸汽管道, 可按下式计算全程散热损失:

$$Q = 0.278G(h_1 - h_2) \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中:  $Q$ ——总散热损失, W;

$G$ ——质量流量, kg/h;

## SY/T 6421—1999

$h_1$ ——管道入口蒸汽比焓, kJ/kg;

$h_2$ ——管道出口蒸汽比焓, kJ/kg。

3.3.2.2 对于无旁路、无途中泄漏的输送液体介质的管道, 可按下式计算全程的散热损失:

$$Q = 0.278G(C_1t_1 - C_2t_2) \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中:  $C_1$ ——管道入口介质比热容, kJ/(kg·K);

$C_2$ ——管道出口介质比热容, kJ/(kg·K);

$t_1$ ——入口介质温度, K;

$t_2$ ——出口介质温度, K。

### 3.4 温差法

3.4.1 通过测定保温层内、外表面的温度 ( $t_a$ ,  $t_s$ )、保温层的厚度 ( $\delta$ )、保温材料在使用温度下的导热系数 ( $\lambda$ ), 按一维导热方程计算热流密度。

a) 单层保温:

平壁:

$$q = \frac{t_a - t_s}{\delta/\lambda} \quad \dots\dots\dots(4)$$

管道:

$$q_L = \frac{t_a - t_s}{\frac{1}{2\pi\lambda} \ln \frac{d_1}{d_0}} \quad \dots\dots\dots(5)$$

b) 多层保温:

平壁:

$$q = \frac{t_a - t_s}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}} \quad \dots\dots\dots(6)$$

管道:

$$q_L = \frac{t_a - t_s}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{2\pi\lambda_i} \ln \frac{d_i}{d_{i-1}}} \quad \dots\dots\dots(7)$$

式中:  $q_L$ ——线热流密度, W/m;

$t_a$ ——保温层内表面温度, K;

$t_s$ ——保温层外表面温度, K;

$d_0$ ——保温层内径, m;

$d_1$ ——保温层外径, m;

$d_i$ ——第  $i$  层保温层外径, m;

$\delta$ ——保温层厚度, m;

$\delta_i$ ——第  $i$  层保温厚度, m;

$\lambda$ ——保温层的导热系数, W/(m·K);

$\lambda_i$ ——第  $i$  层的导热系数, W/(m·K);

$n$ ——保温层数。

3.4.2 保温层内、外表面温度, 可埋入热电偶或热电阻测量。

3.4.3 保温层厚度应实际测量。

3.4.4 导热系数宜实际取样测定。

## SY/T 6421—1999

## 3.5 总传热系数法

3.5.1 本节适用于埋地管道散热损失的测试。

3.5.2 测定埋地管道的总传热系数  $K$ 、管内介质温度及自然地温，然后按下式计算总散热损失：

$$Q = \pi d_1 L K (t_o - t_g) \quad \dots\dots\dots(8)$$

式中： $L$ ——被测管道长度，m；

$K$ ——总传热系数， $W/(m^2 \cdot K)$ ；

$t_o$ ——实测介质温度，K；

$t_g$ ——自然地温，K。

3.5.3 管道的总传热系数  $K$  应按下式计算：

$$K = \frac{GC}{\pi d_1 L} \ln \frac{t_1 - t_g - b}{t_2 - t_g - b} \quad \dots\dots\dots(9)$$

$$b = \frac{i}{Ca} \quad \dots\dots\dots(10)$$

$$a = \frac{K' \pi d_1}{GC} \quad \dots\dots\dots(11)$$

式中： $C$ ——介质比热容， $kJ/(kg \cdot K)$ ；

$t_1$ ——入口介质温度，K；

$t_2$ ——出口介质温度，K；

$b$ ——摩擦热；

$i$ ——管道水力坡降。

用逼近法计算  $K$  值。即先设定  $K'$  值计算  $a$ ，然后代入式(10)中求  $b$ ，再代入式(9)中求  $K$ ，直至  $|K - K'| < 0.01$  时，选定  $K$  值。

3.5.4 测试前，应使管道的输量和介质温度达到稳定。对于输送含蜡原油管道，必要时应对管道进行清蜡。准确度要求较高的测试，应稳定 72h 以上方能进行。

3.5.5 质量流量、介质进、出口温度测试的准确度，应满足表 1 的要求，并应在运行稳定的状态下监测 8h，取多次测试的算术平均值。

3.5.6 自然地温，应在热影响半径以外的管道中心水平延长线上（宜远离管道 10m 以外）测定。并应与介质温度的测试同步进行。

3.5.7 介质比热容，宜取样测定。

3.5.8 管道长度和外径，宜实际测量，外径应取多个部位测试的算术平均值。如无条件实测管长，可选用竣工记录的实际管长或设计管长。

## 4 测试分级及要求

## 4.1 测试分级

4.1.1 一级测试，用于对新技术、新材料、新结构进行鉴定。

4.1.2 二级测试，用于对新建、扩建或大修工程进行测试验收。

4.1.3 三级测试，用于运行工况的定期监测和保温效果的普查。

## 4.2 测试要求

4.2.1 一级测试，应并用两种测试方法进行同步对照测试。如不具备用两种方法进行测试的条件，允许用一种方法在相近工况下作多次测试，取测试数据的算术平均值。重复测试的次数，宜根据测试结果的偏差范围决定，一般不得少于三次。

4.2.2 应按测试等级的要求，选用相应准确度的仪表（见表 1）。

SY/T 6421—1999

表 1 测试准确度及要求

| 序 号 | 测 试 项 目 | 单 位 | 准 确 度 |      |      |
|-----|---------|-----|-------|------|------|
|     |         |     | 一 级   | 二 级  | 三 级  |
| 1   | 热流密度    | %   | ±6    | ±10  | ±10  |
| 2   | 表面温度    | ℃   | ±0.5  | ±1.0 | ±1.0 |
| 3   | 环境温度    | ℃   | ±0.2  | ±0.5 | ±0.5 |
| 4   | 风 速     | %   | ±5    | ±10  | ±10  |
| 5   | 蒸汽流量    | %   | ±1.5  | —    | —    |
| 6   | 液体流量    | %   | ±0.5  | ±1.5 | ±2.5 |
| 7   | 介质温度    | ℃   | ±0.1  | ±0.2 | ±0.5 |
| 8   | 蒸汽压力    | %   | 0.4   | 1.0  | —    |
| 9   | 保温层厚度   | mm  | ±0.5  | ±1.0 | ±1.0 |
| 10  | 外形尺寸    | mm  | ±0.5  | ±1.0 | ±1.0 |
| 11  | 导热系数    | %   | ±5    | ±7   | ±10  |
| 12  | 地 温     | ℃   | ±0.2  | ±0.5 | ±0.5 |

### 4.3 现场测试条件

4.3.1 为满足一维稳定传热条件，应排除和减少不稳定因素对测试结果的影响，并避免在恶劣气候条件下测试。

4.3.2 地面设备和管道的室外测试，风速应小于 0.5m/s。如不能满足，应加挡风装置。

4.3.3 地面设备和管道的测试应避免日照的影响，室外测试宜在阴天或夜间进行，否则，应采取遮阳措施。

4.3.4 若被测表面有其他热辐射源影响，测试时应加以遮挡。

4.3.5 埋地管道的测试如属开挖裸露测试，应参照地面测试要求；如属不开挖测试，在室外测量地温和介质温度时，也应避免风、日照和其他热辐射源的影响。

## 5 测点布置

### 5.1 布点原则

5.1.1 采用热流计法和表面温度计法测试时，应注意测点的代表性。原则上宜按等温区域布置测点。

5.1.2 对于均质保温、等温区可按设备内部介质温度的分布来划分；对非均质保温，宜通过测试划分等温区域。

### 5.2 对地面设备的布点要求

5.2.1 圆筒形设备应按下列要求分别在筒体、封头或顶盖布置测点。

a) 筒体：应沿轴向间隔 2~5m 取若干个测试截面。每个等温区至少设一个测试截面，且筒体总测试截面不少于 3 个。应在每个截面，沿圆周方向均匀布置测点。对一级测试，每个测试截面上的测点数应符合下列规定：

- 1) 设备直径小于 3m 时，不少于 4 个；
- 2) 设备直径 3~15m 时，不少于 8 个；
- 3) 设备直径 15~40m 时，不少于 12 个；
- 4) 设备直径 40m 以上时，不少于 16 个。

b) 封头或顶盖：通过中心划若干个同心圆，在同心圆的圆周上布置测点。圆周上的布点间隔，

## SY/T 6421—1999

可参照筒体圆周布点的间隔弧度选取。对一级测试的测点数：

- 1) 每个封头不少于 9 个，每个罐顶不少于 12 个；
- 2) 同心圆数：设备直径小于或等于 15m 时不少于 2 个，大于 15m 时不少于 3 个；对浮顶罐，同心圆的间隔不宜大于 10m。

**5.2.2** 方形设备，应在壁面上划分若干正交网格，在网格上布置测点。对一级测试，测点间距视设备大小取 0.5~2m，且每个壁面的测点数不应少于 9 个。

**5.2.3** 二、三级测试，测点数可酌情减少。二级测试，不得少于一级测试总点数的 70%，三级测试，不得少于 30%。

### 5.3 对均质保温管道布点的要求

**5.3.1** 横管和竖管应分别布置测点，并分别计算散热损失。

**5.3.2** 沿管长取若干个测试截面，在每个截面的圆周上布置测点。每个管段的测试截面不应少于 5 个，对长输管道，站间测试截面不应少于 10 个。

**5.3.3** 在圆周上布置测点，可经过预测选取布点方案。每个截面的测点不应少于 3 个。

### 5.4 对非均质保温和异常部位的布点要求

**5.4.1** 对于非均质保温和保温层有破损的设备及管道，应对保温层有差异或有破损的部位单独布点测试，并测量其表面积。

**5.4.2** 有金属裸露面、引出件和人孔等散热异常部位时，应单独布点测试，并测量其表面积。

## 6 测试工作程序

**6.1** 根据测试任务确定测试等级及测试负责人，测试人员应持证上岗。

**6.2** 收集测试现场的有关资料。

**6.3** 制定测试方案，内容包括：

- a) 测试体系及布点方案。
- b) 应测的参数及相应的测试方法和计算方法。
- c) 测试仪表的选型。
- d) 测试工况、测试程序、持续时间及保证测试准确度的措施。
- e) 测试记录表格。

**6.4** 检验和校准仪器仪表。

**6.5** 进入现场，开展测试。步骤如下：

- a) 检查设备、管道的运行情况，落实稳定运行的措施。
- b) 采取防风、防日照、防外界热辐射影响的措施。
- c) 清理表面，布置测点。
- d) 必要时进行预备测试。
- e) 正式测试。

**6.6** 测试数据分析处理及结果整理，编写测试报告。

## 7 数据处理及结果整理

### 7.1 数据处理

**7.1.1** 测试数据均应按下列数理统计方法处理：

算术平均法计算公式：

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \dots\dots\dots(12)$$

## SY/T 6421—1999

表面积加权平均法计算公式：

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad \dots\dots\dots(13)$$

式中：X——平均表面温度（℃）或平均热流密度（W/m<sup>2</sup>）；  
X<sub>i</sub>——第 i 区块实测表面温度（℃）或热流密度（W/m<sup>2</sup>）；  
A<sub>i</sub>——第 i 区块表面积，m<sup>2</sup>；  
n——区块总数。

7.1.2 应将测试结果换算成当地年平均温度下的热流密度。计算公式如下：

$$\bar{q}_m = q \frac{\bar{t}_o - \bar{t}_m}{t_o - t_f} \quad \dots\dots\dots(14)$$

式中： $\bar{q}_m$ ——年平均温度下的热流密度，W/m<sup>2</sup>；  
q——实测热流密度，W/m<sup>2</sup>；  
 $\bar{t}_o$ ——正常运行的平均介质温度，K；  
 $\bar{t}_m$ ——当地年平均环境温度，K

7.1.3 利用表面温度法测试散热损失时，对管道，可用测试截面各测点实测表面温度的算术平均值计算热流密度；对设备，应用各壁面不同区块实测表面温度的面积加权平均值分别计算各壁面热流密度；对阀门、法兰等管件，可用实测表面温度的算术平均值，按当量长度的管道计算热流密度。

## 7.2 平均热流密度的计算

7.2.1 设备各壁面的表面平均热流密度，应按表面积加权平均法计算。

7.2.2 管道如属均质保温，可把各测试截面的热流密度的算术平均值作为全管长的平均热流密度，并按下式换算成管道的平均线热流密度：

$$\bar{q}_L = \bar{q} \pi D \quad \dots\dots\dots(15)$$

式中：D——被测管道外径，m；  
 $\bar{q}_L$ ——平均线热流密度，W/m；  
 $\bar{q}$ ——平均热流密度，W/m<sup>2</sup>。

如属非均质保温，则应按表面积加权平均法计算平均热流密度和平均线热流密度。

## 7.3 总散热损失的计算

7.3.1 对金属裸露面、人孔或管件等散热面，应将其热流密度乘以表面积求取总散热损失（Q<sub>R</sub>）。

7.3.2 对于设备，其总散热损失应用下式计算：

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i A_i + Q_R \quad \dots\dots\dots(16)$$

式中：q<sub>i</sub>——第 i 个壁面的平均热流密度，W/m<sup>2</sup>；  
A<sub>i</sub>——第 i 个壁面面积，m<sup>2</sup>；  
n——壁面总数；  
Q<sub>R</sub>——设备上金属裸露面、人孔或管件的总散热损失，W。

7.3.3 对于管道，其总散热损失应用下式计算：

$$Q = q_L L + Q_R \quad \dots\dots\dots(17)$$

式中：L——被测管道长度，m。

SY/T 6421—1999

## 8 测试误差分析

- 8.1 测试误差应包括仪器误差、操作误差、工况波动和外界环境的变化带来的误差及计算误差等。在进行误差分析时，应对所测的各项参数做出误差分析，并对最终结果作出误差分析。
- 8.2 一级测试，测试结果的综合误差不超过 15%，重复测试误差不超过 5%。
- 8.3 二级测试应作误差估计，测试结果的综合误差不超过 20%，重复测试误差不超过 8%。
- 8.4 三级测试可不作误差分析或误差估计。

## 9 测试报告

### 9.1 应对下述指标做出分析和评价：

- a) 最大散热损失是否合乎附录 A（标准的附录）中关于允许最大散热损失的规定和原设计要求。
- b) 总传热系数：对于埋地管道，应分别给出不同管段的总传热系数和全管长的平均总传热系数，并评价是否达到原设计要求。
- c) 按下式计算评价保温结构的保温效率：

$$\eta = \frac{\bar{q}_0 - \bar{q}}{\bar{q}_0} \times 100 \quad \dots\dots\dots(18)$$

式中： $\eta$ ——保温效率，%；

$\bar{q}_0$ ——无保温的平均热流密度，平壁：W/m<sup>2</sup>，管道：W/m；

$\bar{q}$ ——有保温的平均热流密度，平壁：W/m<sup>2</sup>，管道：W/m。

- d) 按下式计算评价相对节能率：

$$E = \frac{Q_0 - Q}{Q_0} \times 100 \quad \dots\dots\dots(19)$$

式中：E——相对节能率，%；

$Q_0$ ——保温改造前的总散热损失，W；

### 9.2 测试数据经计算、分析、整理后，编写正式测试报告，报告应包括下列内容：

- a) 概况，说明任务来源、测试目的、测试体系的自然状况、测试时间、气候条件及测试中出现的问题和解决方法。
- b) 测试情况，包括测试方法、测点布置等。
- c) 测试数据的处理及误差分析。
- d) 测试结果，包括主要参数、计算公式及最终结果。
- e) 分析及评价。
- f) 改进措施的建议。

### 9.3 应把原始记录和整理结果作为技术档案保存。

## SY/T 6421—1999

## 附 录 A

(标准的附录)

## 关于允许最大散热损失的规定

A1 表 A1 给出季节运行工况允许最大散热损失。

表 A1 季节运行工况允许最大散热损失值

|                                                 |              |              |              |              |              |              |
|-------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 设备、管道及其附件外表面温度<br>K (℃)                         | 323<br>(50)  | 373<br>(100) | 423<br>(150) | 473<br>(200) | 523<br>(250) | 573<br>(300) |
| 允许最大散热损失<br>$W/m^2$ [kcal/ (m <sup>2</sup> ·h)] | 116<br>(100) | 163<br>(140) | 203<br>(175) | 244<br>(210) | 279<br>(240) | 308<br>(265) |

A2 表 A2 给出常年运行工况允许最大散热损失。

表 A2 常年运行工况允许最大散热损失值

|                                                          |             |              |              |              |              |              |
|----------------------------------------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 设备、管道及其附件外表面温度<br>K (℃)                                  | 323<br>(50) | 373<br>(100) | 423<br>(150) | 473<br>(200) | 523<br>(250) | 573<br>(300) |
| 允许最大散热损失<br>W/m <sup>2</sup> [kcal/ (m <sup>2</sup> ·h)] | 58<br>(50)  | 93<br>(80)   | 116<br>(100) | 140<br>(120) | 163<br>(140) | 186<br>(160) |

|                                                          |              |              |              |              |              |              |              |
|----------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 设备、管道及其附件外表面温度<br>K (℃)                                  | 623<br>(350) | 673<br>(400) | 723<br>(450) | 773<br>(500) | 823<br>(550) | 873<br>(600) | 923<br>(650) |
| 允许最大散热损失<br>W/m <sup>2</sup> [kcal/ (m <sup>2</sup> ·h)] | 209<br>(180) | 227<br>(195) | 244<br>(210) | 262<br>(225) | 279<br>(240) | 296<br>(255) | 314<br>(270) |

SY/T 6421—1999

附录 B  
(标准的附录)  
地面设备及管道总放热系数的计算

地面设备或管道外表面向大气空间的放热过程包括对流和辐射。对流放热包括自然对流和强制对流。

B1 二级、三级测试，地面设备及管道总放热系数  $\alpha$  的计算

B1.1 对室内布置的热力管道和设备，在没有外界风力和其他因素的影响下，其总放热系数可用下列方法计算：

a) 平壁：

$$\alpha = 9.77 + 0.07(t_w - t_f) \dots\dots\dots(B1)$$

b) 圆筒壁：

$$\alpha = 9.42 + 0.052(t_w - t_f) \dots\dots\dots(B2)$$

式中： $\alpha$ ——总放热系数，W/(m<sup>2</sup>·K)；

B1.2 对露天布置的热工设备和管道，其  $\alpha$  可用下式计算：

$$\alpha = 11.63 + 7.0 \sqrt{W} \dots\dots\dots(B3)$$

式中： $W$ ——室外风速，m/s。

B2 一级测试，地面设备及管道总放热系数  $\alpha$  的计算

B2.1 辐射放热系数 ( $\alpha_r$ ) 的计算

$$\alpha_r = \epsilon \sigma \left( \frac{t_w^4 - t_f^4}{t_w - t_f} \right) \times 10^{-8} \dots\dots\dots(B4)$$

式中： $\alpha_r$ ——辐射放热系数，W/(m<sup>2</sup>·K)；

$\epsilon$ ——壁面的发射率，可参照表 B1 选取；

$\sigma$ ——辐射系数，取 5.67W/(m<sup>2</sup>·K<sup>4</sup>)；

B2.2 自然对流放热系数 ( $\alpha_{ca}$ ) 的计算

根据格拉晓夫数 ( $Gr$ ) 与普朗特数 ( $Pr$ ) 的乘积、壁面状况和定性尺寸，从表 B2 中选出相应的公式，计算自然对流放热系数  $\alpha_{ca}$ 。

表 B1 物体表面发射率

| 材料和表面状况       | $t$<br>℃ | $\epsilon$  |
|---------------|----------|-------------|
| 表面磨光的铝        | 225~575  | 0.027~0.057 |
| 表面不光的铝        | 26       | 0.055       |
| 在 600℃ 时氧化后的铝 | 200~600  | 0.11~0.19   |
| 表面磨光的铁        | 425~1020 | 0.144~0.377 |
| 氧化后的铁         | 100      | 0.736       |
| 未经加工处理的铸铁     | 925~1115 | 0.87~0.95   |
| 表面磨光的钢铸件      | 770~1040 | 0.52~0.56   |

SY/T 6421—1999

表 B1 (完)

| 材料和表面状况        |       | $t$<br>℃ | $\epsilon$    |
|----------------|-------|----------|---------------|
| 经过研磨的钢板        |       | 940~1100 | 0.55~0.61     |
| 在 600℃ 时氧化后的钢  |       | 200~600  | 0.80          |
| 在 600℃ 时氧化后的生铁 |       | 200~600  | 0.64~0.78     |
| 氧化铁            |       | 500~1200 | 0.85~0.95     |
| 无光泽的黄铜板        |       | 50~350   | 0.22          |
| 在 600℃ 时氧化后的黄铜 |       | 200~600  | 0.59~0.61     |
| 精密磨光的电解铜       |       | 80~115   | 0.018~0.023   |
| 在 600℃ 时氧化后的铜  |       | 200~600  | 0.57~0.87     |
| 镀镍酸洗而未经磨光的铁    |       | 20       | 0.11          |
| 在 600℃ 时氧化后的镍  |       | 200~600  | 0.37~0.48     |
| 锡、光亮的镀锡铁皮      |       | 25       | 0.043~0.064   |
| 纯汞             |       | 0~100    | 0.09~0.12     |
| 磨光的纯银          |       | 225~625  | 0.0198~0.0324 |
| 铬              |       | 100~1000 | 0.08~0.26     |
| 有光泽的镀锌铁皮       |       | 28       | 0.228         |
| 石棉纸            |       | 40~370   | 0.93~0.945    |
| 石棉板            |       | 40       | 0.96          |
| 石棉水泥           |       | 40       | 0.96          |
| 石棉瓦            |       | 40       | 0.97          |
| 水面             |       | 0~100    | 0.95~0.963    |
| 石膏             |       | 20       | 0.903         |
| 建筑用砖           |       | 20       | 0.93          |
| 耐火砖            |       | —        | 0.8~0.9       |
| 上釉的粘土耐火砖       |       | 1100     | 0.75          |
| 白油漆、白色珐琅       |       | 23       | 0.9           |
| 有光泽的黑漆         |       | 25       | 0.875         |
| 无光泽的黑漆         |       | 40~95    | 0.9~0.98      |
| 各种不同颜色的油质涂料    |       | 100      | 0.92~0.96     |
| 各种不同含铝量的铝质涂料   |       | 100      | 0.27~0.67     |
| 平整的玻璃          |       | 22       | 0.937         |
| 烟炱             |       | 95~270   | 0.95          |
| 石灰浆粉刷          |       | 10~88    | 0.91          |
| 油纸             |       | 21       | 0.91          |
| 粘土             | 耐火粘土  | 100      | 0.91          |
|                | 土壤(干) | 20       | 0.92          |
|                | 土壤(湿) | 20       | 0.95          |
| 混凝土(粗糙表面)      |       | 40       | 0.94          |
| 橡胶(硬质的)        |       | 40       | 0.94          |
| 雪              |       | -12~-7   | 0.82          |

## SY/T 6421—1999

表 B2 自然对流换热系数计算式

| 表面形状<br>与位置    |            | $Gr \cdot Pr$                                                 |                                        | 定性尺寸<br>$L$<br>m |
|----------------|------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------|------------------|
|                |            | $10^4 \sim 10^9$ (层流)                                         | $10^9 \sim 10^{13}$ (紊流)               |                  |
| 竖直平壁与<br>竖直圆柱体 |            | $\alpha_{ca} = 1.42 \left( \frac{t_w - t_f}{H} \right)^{1/4}$ | $\alpha_{ca} = 1.31 (t_w - t_f)^{1/3}$ | 高度<br>$H$<br>m   |
| 水平圆柱体          |            | $\alpha_{ca} = 1.32 \left( \frac{t_w - t_f}{D} \right)^{1/4}$ | $\alpha_{ca} = 1.24 (t_w - t_f)^{1/3}$ | 直径<br>$D$<br>m   |
| 水平<br>平壁       | 放热面<br>向 上 | $\alpha_{ca} = 1.32 \left( \frac{t_w - t_f}{L} \right)^{1/4}$ | $\alpha_{ca} = 1.43 (t_w - t_f)^{1/3}$ | 短 边<br>$L$<br>m  |
|                | 放热面<br>向 下 | $\alpha_{ca} = 0.61 \left( \frac{t_w - t_f}{L} \right)^{1/4}$ | —                                      | 短 边<br>$L$<br>m  |

a) 格拉晓夫数 ( $Gr$ ) 可按式计算:

$$Gr = \frac{\beta g \Delta t L^3}{\nu^2} \quad \dots\dots\dots (B5)$$

$$T = \frac{1}{2}(t_w + t_f) \quad \dots\dots\dots (B6)$$

$$\Delta t = t_w - t_f \quad \dots\dots\dots (B7)$$

式中:  $\beta$ ——空气的体积膨胀系数,  $\beta = 1/T$ ,  $K^{-1}$ ;

$g$ ——重力加速度 (取  $9.81 m/s^2$ );

$L$ ——定性尺寸, m (见表 B2);

$\Delta t$ ——外壁表面温度和环境温度之差, K;

$\nu$ ——空气的运动粘度,  $m^2/s$  (可从表 B3 中查得)。

b) 普朗特数 ( $Pr$ ) 可从表 B3 中查得。

### B2.3 强制对流放热系数 ( $\alpha_{cw}$ ) 的计算

$$\alpha_{cw} = \frac{Nu_m \lambda_a}{D} \quad \dots\dots\dots (B8)$$

式中:  $\lambda_a$ ——空气的导热系数, 按壁面表面温度和环境温度的平均值选取,  $W/(m \cdot K)$ ;

$D$ ——定性尺寸, m;

$Nu_m$ ——努塞尔数。

表 B3 干空气的热物理性质 ( $p \approx 1.01 \times 10^5 Pa = 760 mmHg$ )

| $t$<br>℃ | $\rho$<br>kg/m <sup>3</sup> | $c_p$<br>kJ/(kg·K) | $\lambda \times 10^2$<br>W/(m·K) | $\alpha \times 10^6$<br>m <sup>2</sup> /s | $\mu \times 10^6$<br>Pa·s | $\nu \times 10^6$<br>m <sup>2</sup> /s | $Pr$  |
|----------|-----------------------------|--------------------|----------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------|----------------------------------------|-------|
| -50      | 1.584                       | 1.013              | 2.04                             | 12.7                                      | 14.6                      | 9.23                                   | 0.728 |
| -40      | 1.515                       | 1.013              | 2.12                             | 13.8                                      | 15.2                      | 10.04                                  | 0.728 |
| -30      | 1.453                       | 1.013              | 2.20                             | 14.9                                      | 15.7                      | 10.80                                  | 0.723 |
| -20      | 1.395                       | 1.009              | 2.28                             | 16.2                                      | 16.2                      | 11.61                                  | 0.716 |
| -10      | 1.342                       | 1.009              | 2.36                             | 17.4                                      | 16.7                      | 12.43                                  | 0.712 |

## SY/T 6421—1999

表 B3 (完)

| $t$<br>℃ | $\rho$<br>kg/m <sup>3</sup> | $c_p$<br>kJ/(kg·K) | $\lambda \times 10^2$<br>W/(m·K) | $\alpha \times 10^6$<br>m <sup>2</sup> /s | $\mu \times 10^6$<br>Pa·s | $\nu \times 10^6$<br>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 |
| 120      | 0.898                       | 1.009              | 3.34                             | 36.8                                      | 22.8                      | 25.45                                  | 0.686 |
| 140      | 0.854                       | 1.013              | 3.49                             | 40.3                                      | 23.7                      | 27.80                                  | 0.684 |
| 160      | 0.815                       | 1.017              | 3.64                             | 43.9                                      | 24.5                      | 30.09                                  | 0.682 |
| 180      | 0.779                       | 1.022              | 3.78                             | 47.5                                      | 25.3                      | 32.49                                  | 0.681 |
| 200      | 0.746                       | 1.026              | 3.93                             | 51.4                                      | 26.0                      | 34.85                                  | 0.680 |
| 250      | 0.674                       | 1.038              | 4.27                             | 61.0                                      | 27.4                      | 40.61                                  | 0.677 |
| 300      | 0.615                       | 1.047              | 4.60                             | 71.6                                      | 29.7                      | 48.33                                  | 0.674 |
| 350      | 0.566                       | 1.059              | 4.91                             | 81.9                                      | 31.4                      | 55.46                                  | 0.676 |
| 400      | 0.524                       | 1.068              | 5.21                             | 93.1                                      | 33.0                      | 63.09                                  | 0.678 |
| 500      | 0.456                       | 1.093              | 5.74                             | 115.3                                     | 36.2                      | 79.38                                  | 0.687 |
| 600      | 0.404                       | 1.114              | 6.22                             | 138.3                                     | 39.1                      | 96.89                                  | 0.699 |
| 700      | 0.362                       | 1.135              | 6.71                             | 163.4                                     | 41.8                      | 115.4                                  | 0.706 |
| 800      | 0.329                       | 1.156              | 7.18                             | 188.8                                     | 44.3                      | 134.8                                  | 0.713 |
| 900      | 0.301                       | 1.172              | 7.63                             | 216.2                                     | 46.7                      | 155.1                                  | 0.717 |
| 1000     | 0.277                       | 1.185              | 8.07                             | 245.9                                     | 49.0                      | 177.1                                  | 0.719 |
| 1100     | 0.257                       | 1.197              | 8.50                             | 276.2                                     | 51.2                      | 199.3                                  | 0.722 |
| 1200     | 0.239                       | 1.210              | 9.15                             | 316.5                                     | 53.5                      | 233.7                                  | 0.724 |

注：表中所用符号的意义：  
 $t$ ——温度； $\rho$ ——密度； $c_p$ ——定压比热容； $\lambda$ ——导热系数； $\alpha$ ——热扩散率； $\mu$ ——动力粘度； $\nu$ ——运动粘度； $Pr$ ——普朗特数

1) 风垂直吹向横卧单管时，可按下列式计算  $Nu_m$

$$Nu_m = 1.11 AR e^{Pr^{0.31}} \dots\dots\dots (B9)$$

SY/T 6421—1999

$$Re = \frac{W \cdot D}{\nu} \quad \dots\dots\dots(B10)$$

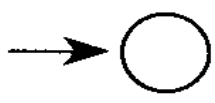
式中：Re——雷诺数；

W——风速，m/s；

Pr——普朗特数；

A，n——系数，可从表 B4 中查得。

表 B4 A 和 n 系数值

| 管截面和风向                                                                            | Re                                   | A      | n     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|--------|-------|
|  | 0.4~4                                | 0.891  | 0.330 |
|                                                                                   | 4~4×10                               | 0.821  | 0.385 |
|                                                                                   | 4×10~4×10 <sup>3</sup>               | 0.615  | 0.466 |
|                                                                                   | 4×10 <sup>3</sup> ~4×10 <sup>4</sup> | 0.174  | 0.618 |
|                                                                                   | 4×10 <sup>4</sup> ~4×10 <sup>5</sup> | 0.0239 | 0.805 |

如果风向与管道的轴线成不同的夹角，可将 B10 式算得的  $Nu_m$  值乘以表 B5 给出修正系数，再代入 B8 式中计算强制对流放热系数。

如属排管或多排管束，应另选计算公式。

表 B5 风对管轴成不同入射角的修正系数

| 风向与管轴夹角        | 90° | 80° | 70°  | 60°  | 50°  | 40°  | 30°  | 20° |
|----------------|-----|-----|------|------|------|------|------|-----|
| 修正系数<br>$\phi$ | 1.0 | 1.0 | 0.99 | 0.95 | 0.86 | 0.75 | 0.63 | 0.5 |

2) 对于平壁，层流边界层和紊流边界层的平均努塞尔数，可利用下列公式计算：

层流边界层 ( $Re \leq 5 \times 10^5$ ):

$$Nu_m = 0.664 Re^{1/2} \cdot Pr^{1/3} \quad \dots\dots\dots(B11)$$

紊流边界层 ( $Re > 5 \times 10^5$ ):

$$Nu_m = 0.036 Re^{4/5} Pr^{1/3} \quad \dots\dots\dots(B12)$$

式中 Re 按 B10 式计算，Pr 可从表 B3 中查得。

#### B2.4 总放热系数 ( $\alpha$ ) 的计算

**B2.4.1** 对于室内设备和管道或风速小于 0.1m/s 的室外设备和管道，可只考虑辐射放热和自然对流放热，按下式计算总放热系数：

$$\alpha = \alpha_r + \alpha_{cn} \quad \dots\dots\dots(B13)$$

**B2.4.2** 对于室外设备、管道，当  $0.1 < \frac{Gr}{Re^2} < 10$  时，宜同时考虑辐射、自然对流和强制对流的影响，按下式计算总放热系数：

$$\alpha = \alpha_r + \alpha_{cn} + \alpha_{cw} \quad \dots\dots\dots(B14)$$

## SY/T 6421—1999

## 附录 C

(标准的附录)

## 热流计法受表面发射率影响的修正

当传感器表面发射率与被测表面不一致而未进行必要的处理时,可参照表 C1 选取适当的修正系数,并按下式对测试结果进行修正:

$$q_s = f \cdot q \quad \dots\dots\dots(C1)$$

式中:  $q_s$ ——热流密度修正值,  $W/m^2$ ;

$q$ ——热流计读数,  $W/m^2$ ;

$f$ ——修正系数。

表 C1 的上半部适用于表面发射率为 0.9 的传感器,例如常用的硅橡胶传感器;下半部适用于表面发射率为 0.4 的传感器,例如表面发射率为 0.4 的金属传感器。

表 C1 表面发射率修正系数 ( $f$ )

| 被测表面温度<br>℃ |     | 50    | 100   | 150   | 200  | 300   | 400  | 500   |
|-------------|-----|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|
| 被测表面发射率     | 0.4 | 0.73  | 0.725 | 0.72  | —    | —     | —    | —     |
|             | 0.5 | 0.78  | 0.78  | 0.78  | —    | —     | —    | —     |
|             | 0.6 | 0.845 | 0.845 | 0.84  | —    | —     | —    | —     |
|             | 0.7 | 0.89  | 0.89  | 0.885 | —    | —     | —    | —     |
|             | 0.8 | 0.96  | 0.96  | 0.95  | —    | —     | —    | —     |
|             | 0.9 | 1.00  | 1.00  | 1.00  | —    | —     | —    | —     |
|             | 0.9 | 1.41  | 1.41  | 1.45  | 1.50 | 1.58  | 1.68 | 1.76  |
|             | 0.8 | 1.33  | 1.33  | 1.35  | 1.40 | 1.48  | 1.53 | 1.60  |
|             | 0.7 | 1.25  | 1.25  | 1.275 | 1.30 | 1.34  | 1.40 | 1.47  |
|             | 0.6 | 1.17  | 1.17  | 1.18  | 1.20 | 1.24  | 1.28 | 1.295 |
|             | 0.5 | 1.09  | 1.09  | 1.10  | 1.11 | 1.115 | 1.13 | 1.16  |
|             | 0.4 | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 1.00 | 1.00  | 1.00 | 1.00  |