

**DL**

**中华人民共和国电力行业标准**

**P**

**DL/T 5072 — 1997**

---

**火力发电厂保温油漆设计规程**

**Code for designing insulation and painting of  
fossil fuel power plant**

**1997 - 06 - 20 发布**

**1997 - 11 - 01 实施**

---

**中华人民共和国电力工业部 发布**

中华人民共和国电力行业标准

DL

DL/T 5072 — 1997

---

# 火力发电厂保温油漆设计规程

Code for designing insulation and painting of  
fossil fuel power plant

主编部门：电力工业部西南电力设计院

批准部门：中华人民共和国电力工业部

批准文号：电技〔1997〕339号

中国电力出版社

1997 北京

中华人民共和国电力行业标准  
**火力发电厂保温油漆设计规程**  
DL/T 5072--1997

\*

中国电力出版社出版、发行  
(北京三里河路6号 邮政编码 100044)  
三河市水利局印刷厂印刷

\*

1997年11月第一版 1997年11月北京第一次印刷  
850毫米×1168毫米 32开本 3.75印张 96千字  
印数 0001--5150册

书号 1580125·142 定价 11.30元

**版 权 专 有      翻 印 必 究**

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

## 前 言

本规程是根据《设备及管道保温技术通则》(GB4272—92)的原则对《火力发电厂热力设备和管道保温油漆设计技术规定》(SDGJ59—84)进行修订的,在技术内容上非等效采用日本工业标准《保温保冷工程施工标准》(JIS A 9501—1990),是火力发电厂设备、管道及其附件的保温、油漆设计的主要技术标准。

本规程对 SDGJ59—84 作了较大的修订:

- 补充新型保温材料,删去性能较差的保温材料;
- 新增保温材料的物理化学性能要求;
- 新增保温材料的选择原则、选材规定;
- 补充修订保温计算方法、计算公式;
- 对保温结构作了新的规定;
- 对油漆和防腐进行了必要的补充等。

本规程从 1997 年 11 月 1 日起实施,原规定 SDGJ59—84 即行废止。

本规程附录 A、附录 B、附录 C、附录 D 都是标准的附录。

本规程附录 E、附录 F、附录 G、附录 H 都是提示的附录。

本规程由电力工业部电力规划设计总院提出并归口。

本规程起草单位:电力工业部西南电力设计院。

本规程起草人:蒋丛进

本规程由电力工业部西南电力设计院负责解释。

## 目 次

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 前 言                           |    |
| 1 总则 .....                    | 1  |
| 2 术语、符号 .....                 | 3  |
| 2.1 术语 .....                  | 3  |
| 2.2 符号 .....                  | 4  |
| 3 基本规定 .....                  | 5  |
| 4 保温材料 .....                  | 7  |
| 4.1 保温材料性能要求 .....            | 7  |
| 4.2 保温层材料选择 .....             | 8  |
| 4.3 保护层材料选择 .....             | 9  |
| 5 保温计算 .....                  | 11 |
| 5.1 保温计算原则 .....              | 11 |
| 5.2 保温层厚度计算 .....             | 12 |
| 5.3 保温辅助计算 .....              | 15 |
| 5.4 保温计算数据选取 .....            | 17 |
| 6 保温结构 .....                  | 24 |
| 6.1 一般规定 .....                | 24 |
| 6.2 保温层 .....                 | 24 |
| 6.3 保护层 .....                 | 27 |
| 6.4 防潮层 .....                 | 29 |
| 7 油漆和防腐 .....                 | 30 |
| 7.1 油漆 .....                  | 30 |
| 7.2 防腐 .....                  | 34 |
| 附录 A (标准的附录) 保温层厚度计算 .....    | 36 |
| 附录 B (标准的附录) 常用保温材料性能 .....   | 44 |
| 附录 C (标准的附录) 保温结构辅助材料用量 ..... | 45 |

|              |                  |    |
|--------------|------------------|----|
| 附录 D (标准的附录) | 油漆和防腐材料耗量 .....  | 50 |
| 附录 E (提示的附录) | 物性数据 .....       | 52 |
| 附录 F (提示的附录) | 气象数据 .....       | 54 |
| 附录 G (提示的附录) | 保温油漆工程设计软件 ..... | 67 |
| 附录 H (提示的附录) | 本规程用词说明 .....    | 69 |
| 条文说明 .....   |                  | 71 |

# 1 总 则

**1.0.1** 为了减少火力发电厂设备和管道的散热损失,满足生产工艺的要求,改善生产环境,防止管道腐蚀,提高经济效益,特制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于火力发电厂的设备、管道及其附件的保温、油漆设计。

本规程不适用于汽轮机、锅炉本体的保温、油漆设计,也不适用于电气、上建专业的有关保温、油漆设计。

**1.0.3** 保温油漆设计应做到技术先进、经济合理、安全可靠、整洁美观,且便于施工和维护。

**1.0.4** 为了确保保温工程质量,控制工程造价,设计单位应参加保温工程的全过程管理,在设计上首先应对保温材料的选择及保温材料的物理化学性能提出明确的要求,同时推荐出若干个保温材料生产厂家供业主(项目法人)选择,并应参加生产厂家的产品验收和施工现场的抽样检查工作。

**1.0.5** 凡未经国家、部级鉴定的新型保温材料,不得在火力发电厂保温设计中推荐使用。

**1.0.6** 保温设计除按本规程外,还应对保温材料生产、施工及验收测试按《工业设备及管道绝热工程施工及验收规范》、《工业设备及管道绝热工程质量检验评定标准》的有关规定提出要求。

**1.0.7** 保温工程完成后,应按《工业设备及管道绝热工程质量检验评定标准》和设计文件进行验收和质量评定。

机组投产运行后,应按《设备及管道保温效果的测试与评价》对保温效果进行测试和评价并提出报告。

**1.0.8** 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 4272—92      | 设备及管道保温技术通则         |
| GB 8174—87      | 设备及管道保温效果的测试与评价     |
| GB 8175—87      | 设备及管道保温设计导则         |
| GB 50185—93     | 工业设备及管道绝热工程质量检验评定标准 |
| GB/T 4132—1996  | 绝热材料及相关术语           |
| GBJ 126—89      | 工业设备及管道绝热工程施工及验收规范  |
| DL/T 5054—1996  | 火力发电厂汽水管道设计技术规定     |
| JIS A 9501—1990 | 保温保冷工程施工标准          |

## 2 术 语、符 号

### 2.1 术 语

本标准采用下列定义。

#### 2.1.1 保温 insulation or hot insulation

覆盖在设备、管道及其附件上，以达到减少散热损失或降低其外表面温度的目的而采取的措施。

#### 2.1.2 保温层 insulation layer

为达到保温的目的而设置的隔离层。

#### 2.1.3 复合保温 composite insulation

由两种不同材料的保温层，在设备、管道及其附件外表面采取的分层包覆措施。

#### 2.1.4 留置空气层 air-space layer

在带加固肋的平面（烟风道和风机等设备）的外表面和保温层之间设置的空气隔离层。

#### 2.1.5 经济厚度 economic thickness

保温结构表面散热损失年费用和保温结构投资的年分摊费用之和为最小值时的保温层计算厚度。

#### 2.1.6 介质焓质系数 exergic coefficient of medium

介质作功能力相对于锅炉过热器出口过热蒸汽作功能力之比。

#### 2.1.7 散热密度 areal density of heat loss

保温结构外表面单位面积的散热量。

#### 2.1.8 散热线密度 lineal density of heat loss

保温结构单位长度的散热量。

## 2.2 符 号

表 2.2 符号含义表

| 符 号         | 单 位                                    | 含 义                 |
|-------------|----------------------------------------|---------------------|
| $A_e$       | —                                      | 介质焓质系数              |
| $A_i$       | —                                      | 内部收益率               |
| $c$         | $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ | 介质比热容               |
| $D_1$       | mm                                     | 保温层外径, 复合保温内层外径     |
| $D_2$       | mm                                     | 复合保温外层外径            |
| $D_i$       | mm                                     | 管道内径                |
| $D_0$       | mm                                     | 管道外径                |
| $h$         | $\text{kJ}/\text{kg}$                  | 介质比焓                |
| $K_r$       | —                                      | 管道通过支吊架处散热附加系数      |
| $L$         | m                                      | 管道实际长度              |
| $P_1$       | $\text{元}/\text{m}^3$                  | 保温层单位造价, 复合保温内层单位造价 |
| $P_2$       | $\text{元}/\text{m}^3$                  | 复合保温外层单位造价          |
| $P_3$       | $\text{元}/\text{m}^2$                  | 保护层单位造价             |
| $P_h$       | $\text{元}/\text{GJ}$                   | 热价                  |
| $q$         | $\text{W}/\text{m}^2$                  | 保温结构外表面散热密度         |
| $q_l$       | $\text{W}/\text{m}$                    | 保温结构散热线密度           |
| $q_m$       | $\text{kg}/\text{s}$                   | 介质流量                |
| $[q]$       | $\text{W}/\text{m}^2$                  | 保温结构外表面允许散热密度       |
| $S$         | —                                      | 保温工程投资贷款年分摊率        |
| $s$         | $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ | 介质比熵                |
| $t$         | $^{\circ}\text{C}$                     | 设备和管道外表面温度          |
| $t_a$       | $^{\circ}\text{C}$                     | 环境温度                |
| $t_b$       | $^{\circ}\text{C}$                     | 复合保温内外层界面处温度        |
| $t_m$       | $^{\circ}\text{C}$                     | 保温材料内外表面温度平均值       |
| $t_s$       | $^{\circ}\text{C}$                     | 保温结构外表面温度           |
| $v$         | $\text{m}^3/\text{kg}$                 | 介质比体积               |
| $w$         | $\text{m}/\text{s}$                    | 室外风速                |
| $\tau$      | h                                      | 年运行时间               |
| $\alpha$    | $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ | 保温结构外表面传热系数         |
| $\alpha_c$  | $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ | 对流传热系数              |
| $\alpha_n$  | $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ | 辐射传热系数              |
| $\delta$    | mm                                     | 保温层厚度               |
| $\delta_1$  | mm                                     | 复合保温内层厚度            |
| $\delta_2$  | mm                                     | 复合保温外层厚度            |
| $\lambda$   | $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$   | 保温层材料热导率 (导热系数)     |
| $\lambda_1$ | $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$   | 复合保温内层材料热导率 (导热系数)  |
| $\lambda_2$ | $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$   | 复合保温外层材料热导率 (导热系数)  |
| $\lambda_k$ | $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$   | 空气的热导率 (导热系数)       |
| $\nu$       | $\text{m}^2/\text{s}$                  | 空气运动粘度              |

### 3 基本规定

**3.0.1** 具有下列情况之一的设备、管道及其附件必须按不同要求予以保温：

1. 外表面温度高于  $50^{\circ}\text{C}$  且需要减少散热损失者；
2. 要求防冻、防凝露或延迟介质凝结者；
3. 工艺生产中不需保温的、其外表面温度超过  $60^{\circ}\text{C}$ ，而又无法采取其他措施防止烫伤人员的部位。

**3.0.2** 需要防止烫伤人员的部位应在下列范围内设置防烫伤保温：

1. 管道距地面或平台的高度小于  $2100\text{mm}$ ；
2. 靠操作平台水平距离小于  $750\text{mm}$ 。

**3.0.3** 除防烫伤要求保温的部位外，下列设备、管道及其附件可不保温：

1. 排汽管道、放空气管道；
2. 直吹式制粉系统中，介质温度小于  $80^{\circ}\text{C}$  的煤粉管道（寒冷地区除外）；
3. 输送易燃易爆介质时，要求及时发现泄漏的设备和管道上的法兰、人孔等附件。

**3.0.4** 下列管道宜根据当地气象条件和布置环境设置防冻保温：

1. 工业水管道、冷却水管道、疏放水管道、补给水管道、消防水管道、汽水取样管道等，对于锅炉启动循环泵的轴承冷却水管道应设伴热保温；
2. 安全阀管座、控制阀旁路管、一次表管；
3. 金属煤粉仓、靠近厂房外墙或外露的原煤仓和煤粉仓；
4. 燃油管道应根据当地气象条件和燃油特性进行伴热防冻保温。

**3.0.5** 环境温度不高于  $27^{\circ}\text{C}$  时，设备和管道保温结构外表面温

度不应超过 50℃；环境温度高于 27℃时，保温结构外表面温度可比环境温度高 25℃。

对于防烫伤保温，保温结构外表面温度不应超过 60℃。

注：环境温度是指距保温结构外表面 1m 处测得的空气温度。

**3.0.6** 为了防止腐蚀，对不保温的和介质温度低于 120℃保温的设备、管道及其附件以及支吊架、平台扶梯应进行油漆。

为了便于识别，在管道外表面（对不保温的）或保温结构外表面（对保温的）应涂刷色环、介质名称和介质流向箭头；在设备外表面只涂刷设备名称。

## 4 保 温 材 料

### 4.1 保温材料性能要求

4.1.1 保温材料应具有明确的随温度变化的热导率方程式、图或表。对于松散或可压缩的保温材料，应有在使用密度下的热导率值、图或表。

4.1.2 保温材料的主要物理化学性能除应符合国家现行有关产品标准外，其热导率和密度尚应符合表 4.1.2 的要求。

表 4.1.2 保温材料热导率和密度最大值

| 介质温度<br>℃ | 热导率最大值<br>W/(m·K) | 密度最大值<br>kg/m <sup>3</sup> |             |
|-----------|-------------------|----------------------------|-------------|
|           |                   | 硬质保温制品                     | 软质材料及其半硬质制品 |
| 450~600   | 0.10              | 220                        | 150         |
| <450      | 0.09              |                            |             |

注：热导率最大值是指保温结构外表面温度为 50℃ 时。

4.1.3 保温材料及其制品应符合下列优选规定：

1. 硅酸钙制品应采用耐高温增强纤维，其抗压强度大于 0.4MPa，质量含水率小于 7.5%，干燥线收缩率小于 2%，在使用温度下不产生裂缝；

2. 岩棉、矿渣棉、硅酸铝纤维制品的渣球含量（粒径大于 0.25mm）应小于 12%，有机物含量小于 3%；

3. 膨胀珍珠岩制品应采用憎水型，其热导率应小于 0.064W/(m·K) (25℃±5℃)，憎水度大于 98%。

4.1.4 保温材料应选用不燃类材料（A 级）。

4.1.5 保温设计采用的保温材料物理化学性能的检验报告必须是由国家、部指定的检测机构按国家标准检验而提供的原始文件。其报告应列出下列性能：

1. 热导率方程式、图或表；
  2. 密度；
  3. 最高使用温度；
  4. 不燃性；
  5. 对硬质保温制品应具有抗压强度、质量含水率、干燥线收缩率和抗折强度等，对软质保温材料及其半硬质制品应具有渣球含量、有机物含量、干燥线收缩率、吸湿率和憎水度等；
  6. 对设备和管道表面无腐蚀。
- 用于奥氏体不锈钢设备和管道上的保温材料需提供氯离子含量指标，并符合 GBJ 126 中有关氯离子指标的规定。

## **4.2 保温层材料选择**

### **4.2.1 保温层材料选择应符合下列原则：**

1. 保温材料及其制品的最高使用温度应比设备和管道的设计温度或介质的最高温度高  $10^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$ ，对于要进行吹扫的管道，应高于吹扫介质温度；
2. 在保温材料物理化学性能满足工艺要求的前提下，应优先选用热导率小、密度小、造价低、施工方便的保温材料。

### **4.2.2 保温层材料宜按下列规定选择：**

1. 介质温度  $350^{\circ}\text{C} \sim 600^{\circ}\text{C}$  范围内的设备和管道的保温层材料宜选择硅酸钙制品，经技术经济比较合理时也可采用硅酸铝复合保温；
2. 介质温度小于  $350^{\circ}\text{C}$  的设备和管道的保温层材料宜选择岩棉制品、矿渣棉制品等；
3. 阀门、弯头等异形件的保温层材料可选择软质保温材料或保温涂料；
4. 外径小于 38mm 管道的保温层材料宜选择普通硅酸铝纤维绳；
5. 潮湿环境中的低温设备和管道的保温层材料宜选择憎水性材料。

**4.2.3** 硬质保温制品采用干砌或湿砌施工。干砌时接缝处应铺设或嵌塞导热性能相近的软质保温材料进行严缝处理；湿砌时接缝处须用导热性能相近的保温胶泥批砌进行严缝处理。

**4.2.4** 设备和管道的保温伸缩缝和膨胀间隙的填塞材料应根据介质温度选用软质纤维状材料，高温时选用普通硅酸铝纤维，中低温时选用岩棉、矿渣棉或玻璃棉等。

### **4.3 保护层材料选择**

**4.3.1** 保护层材料性能应符合下列要求：

1. 防水、防潮，抗大气腐蚀性能好；
2. 材料本身的化学性能稳定，使用年限长，不易老化变质；
3. 强度高，在温度变化及振动情况下不开裂，外形美观；
4. 燃烧性能应符合不燃类材料（A级）的要求；

5. 抹面保护层的密度应小于  $800\text{kg/m}^3$ ，抗压强度大于  $0.8\text{MPa}$ ，烧失量（包括有机物和可燃物）小于 12%。抹面干燥后不得产生裂缝、脱壳等现象。

**4.3.2** 保护层材料的选择应根据投资状况、机组容量、布置环境和保温材料等因素综合决定。

**4.3.3** 高温高压及以上参数的火力发电厂的下列设备和管道应采用金属保护层：

1. 主蒸汽管道、再热蒸汽管道、高压给水管道、送粉管道和制粉管道；
2. 室外布置的主要汽水管道、烟风道及其相连设备；
3. 加热器、除氧器及水箱等设备；
4. 可拆卸式保温结构；
5. 有特殊要求的部位（如布置在油系统设备和油管道附近或电缆附近的高温蒸汽管道等）。

**4.3.4** 金属保护层宜选用镀锌铁皮。

采用镀锌铁皮时，管道可选用  $0.35\text{mm}\sim 0.50\text{mm}$  厚度，设备和矩形截面烟风道可选用  $0.50\text{mm}\sim 0.70\text{mm}$  厚度。

采用铝合金板时,管道可选用 0.50mm~0.75mm 厚度,设备和矩形截面烟风道可选用 0.60mm~1.00mm 厚度。

对大截面矩形烟风道的金属保护层应采用压型板。

**4.3.5** 硅酸钙制品采用抹面保护层时,应选用硅酸钙专用抹面材料。

**4.3.6** 贮存或输送易燃易爆介质的设备和管道,以及与此类管道邻近的管道,必须采用不燃类材料(A级)作保护层。

## 5 保 温 计 算

### 5.1 保 温 计 算 原 则

**5.1.1** 为减少保温结构散热损失的保温层厚度应按经济厚度方法计算，且保温结构外表面散热密度不得超过表 5.1.1 中给出的允许最大散热密度，以及保温结构外表面温度应符合 3.0.5 的规定。

表 5.1.1 保温结构外表面允许最大散热密度

| 介 质<br>温 度<br>℃ | 常年运行<br>工 况<br>W/m <sup>2</sup> | 季节运行<br>工 况<br>W/m <sup>2</sup> | 介 质<br>温 度<br>℃ | 常年运行<br>工 况<br>W/m <sup>2</sup> | 季节运行<br>工 况<br>W/m <sup>2</sup> |
|-----------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 50              | 58                              | 116                             | 400             | 227                             | 314                             |
| 100             | 93                              | 163                             | 450             | 244                             |                                 |
| 150             | 116                             | 203                             | 500             | 262                             |                                 |
| 200             | 140                             | 244                             | 550             | 279                             | --                              |
| 250             | 163                             | 273                             | 600             | 296                             |                                 |
| 300             | 186                             | 296                             | 650             | 314                             | ---                             |
| 350             | 209                             | 308                             |                 |                                 |                                 |

**5.1.2** 由两种不同保温材料构成的复合保温，其内层厚度应按表面温度方法计算，外层厚度按经济厚度方法计算。

复合保温内外层界面处温度不应超过外层保温材料最高使用温度的 90%。

**5.1.3** 防烫伤保温层厚度应按表面温度方法计算。

管道防烫伤保温层厚度可按表 5.1.3 取值。

表 5.1.3 防烫伤保温层厚度

| 介质温度<br>℃  | 150      | 250 | 350 | 450   | 550 | 450                  | 550   |
|------------|----------|-----|-----|-------|-----|----------------------|-------|
| 管道外径<br>mm | 岩棉、矿渣棉制品 |     |     | 硅酸钙制品 |     | 硅酸铝复合保温<br>(内层厚+外层厚) |       |
| ≤57        | 20       | 30  | 50  | 60    | 80  | 20+40                | 30+40 |
| 89~133     | 20       | 30  | 50  | 70    | 90  | 30+40                | 40+50 |
| 159~219    | 20       | 40  | 60  | 80    | 100 | 30+50                | 50+50 |
| 273~426    | 30       | 40  | 60  | 90    | 110 | 40+50                | 50+50 |
| 480~920    | 30       | 40  | 70  | 100   | 120 | 40+50                | 60+50 |

注：表中数据计算条件： $t_a=20^{\circ}\text{C}$ ， $\alpha=8.14\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 。

5.1.4 在允许温降条件下输送液体或蒸汽的管道保温层厚度应按热平衡方法计算。

5.1.5 延迟管道内介质冻结的保温层厚度应按热平衡方法计算。

5.1.6 防止空气中湿气在管道外表面凝露的保温层厚度应按表面温度方法计算。

5.1.7 带伴热的燃油管道保温层厚度应按热平衡方法计算。

蒸汽伴热的燃油管道保温层厚度可为 20mm~100mm。

5.1.8 介质焓质系数等于零的设备和管道（如烟道、疏放水管等）保温层厚度应按表面温度方法计算。

5.1.9 外径小于 38mm 管道的保温层厚度，中低温管道可取 20mm~40mm，高温管道可取 40mm~70mm。

## 5.2 保温层厚度计算

### 5.2.1 保温层经济厚度计算

1. 平面按下式计算：

$$\delta = 1.897 \sqrt{\frac{\lambda \tau P_h A_c (t - t_a)}{P_i S}} - \frac{1000\lambda}{\alpha} \quad (5.2.1-1)$$

2. 管道按下式计算：

$$\left. \begin{aligned} 3.795 \sqrt{\frac{\lambda \tau P_h A_r (t - t_a)}{\left(P_1 + \frac{2000}{D_1} P_3\right) S}} &= \frac{D_1 \ln \frac{D_1}{D_0} + \frac{2000 \lambda}{\alpha}}{\sqrt{1 - \frac{2000 \lambda}{\alpha D_1}}} \\ \delta &= \frac{1}{2} (D_1 - D_0) \end{aligned} \right\} \quad (5.2.1-2)$$

式中:  $P_1$ ——保温层单位造价, 元/ $\text{m}^3$ ;

$D_1$ ——保温层外径, mm。

## 5.2.2 由两种不同保温材料构成的复合保温的经济厚度计算

1. 平面按下式计算:

1) 内层厚度:

$$\delta_1 = \frac{1000 \lambda_1 (t - t_b)}{\alpha (t_s - t_a)} \quad (5.2.2-1)$$

2) 外层厚度:

$$\delta_2 = 1.897 \sqrt{\frac{\lambda_2 \tau P_h A_r (t - t_a)}{P_2 S}} - \lambda_2 \left( \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{1000}{\alpha} \right) \quad (5.2.2-2)$$

2. 管道按下式计算:

$$\begin{aligned} & 3.795 \sqrt{\frac{\lambda_2 \tau P_h A_r (t - t_a)}{\left(P_2 + \frac{2000}{D_2} P_3\right) S}} \\ &= \frac{D_2 \ln \frac{D_2}{D_0} + \frac{2000 \lambda_2}{\alpha} \left[ 1 - \frac{(\lambda_1 - \lambda_2)(t - t_b)}{\lambda_2 (t_s - t_a)} \right]}{\sqrt{1 - \frac{2000 \lambda_2}{\alpha D_2}}} \end{aligned} \quad (5.2.2-3)$$

1) 内层厚度:

$$\left. \begin{aligned} \ln \frac{D_1}{D_0} &= \frac{2000 \lambda_1 (t - t_b)}{\alpha D_2 (t_s - t_a)} \\ \delta_1 &= \frac{1}{2} (D_1 - D_0) \end{aligned} \right\} \quad (5.2.2-4)$$

2) 外层厚度:

$$\delta_2 = \frac{1}{2}(D_2 - D_0) - \delta_1 \quad (5.2.2-5)$$

式中:  $D_1$ ——复合保温内层外径, mm。

### 5.2.3 保温层厚度按允许散热密度方法的计算

1. 平面单层保温按下式计算:

$$\delta = 1000\lambda \left( \frac{t - t_a}{[q]} - \frac{1}{\alpha} \right) \quad (5.2.3-1)$$

2. 管道单层保温按下式计算:

$$\left. \begin{aligned} D_1 \ln \frac{D_1}{D_0} &= 2000\lambda \left( \frac{t - t_a}{[q]} - \frac{1}{\alpha} \right) \\ \delta &= \frac{1}{2}(D_1 - D_0) \end{aligned} \right\} \quad (5.2.3-2)$$

3. 平面复合保温按下式计算:

$$\delta_1 = \frac{1000\lambda_1(t - t_b)}{[q]} \quad (5.2.3-3)$$

$$\delta_2 = 1000\lambda_2 \left( \frac{t_b - t_a}{[q]} - \frac{1}{\alpha} \right) \quad (5.2.3-4)$$

4. 管道复合保温按下式计算:

$$D_2 \ln \frac{D_2}{D_0} = 2000 \left[ \frac{\lambda_1(t - t_b) + \lambda_2(t_b - t_a)}{[q]} - \frac{\lambda_2}{\alpha} \right] \quad (5.2.3-5)$$

1) 内层厚度:

$$\left. \begin{aligned} \ln \frac{D_1}{D_0} &= \frac{2000\lambda_1(t - t_b)}{[q]D_2} \\ \delta_1 &= \frac{1}{2}(D_1 - D_0) \end{aligned} \right\} \quad (5.2.3-6)$$

2) 外层厚度:

$$\delta_2 = \frac{1}{2}(D_2 - D_0) - \delta_1 \quad (5.2.3-7)$$

式中:  $[q]$ ——保温结构外表面允许散热密度, 按表 5.1.1 中给出的允许最大散热密度的 90%取值,  $W/m^2$ 。

#### 5.2.4 保温层厚度按表面温度方法计算

1. 平面单层保温按下式计算：

$$\delta = \frac{1000\lambda(t - t_s)}{\alpha(t_s - t_a)} \quad (5.2.4-1)$$

2. 管道单层保温按下式计算：

$$\left. \begin{aligned} D_1 \ln \frac{D_1}{D_0} &= \frac{2000\lambda(t - t_s)}{\alpha(t_s - t_a)} \\ \delta &= \frac{1}{2}(D_1 - D_0) \end{aligned} \right\} \quad (5.2.4-2)$$

3. 平面复合保温按下式计算：

$$\delta_1 = \frac{1000\lambda_1(t - t_b)}{\alpha(t_s - t_a)} \quad (5.2.4-3)$$

$$\delta_2 = \frac{1000\lambda_2(t_b - t_s)}{\alpha(t_s - t_a)} \quad (5.2.4-4)$$

4. 管道复合保温按下式计算：

$$D_2 \ln \frac{D_2}{D_0} = \frac{2000}{\alpha(t_s - t_a)} [\lambda_1(t - t_b) + \lambda_2(t_b - t_s)] \quad (5.2.4-5)$$

1) 内层厚度：

$$\left. \begin{aligned} \ln \frac{D_1}{D_0} &= \frac{2000\lambda_1(t - t_b)}{\alpha D_2(t_s - t_a)} \\ \delta_1 &= \frac{1}{2}(D_1 - D_0) \end{aligned} \right\} \quad (5.2.4-6)$$

2) 外层厚度：

$$\delta_2 = \frac{1}{2}(D_2 - D_0) - \delta_1 \quad (5.2.4-7)$$

式中： $t_s$ ——保温结构外表面温度，对防烫伤保温， $t_s$ 可取  $60^\circ\text{C}$ 。

### 5.3 保温辅助计算

#### 5.3.1 保温结构外表面散热密度计算

保温结构外表面散热密度不得超过表 5.1.1 中给出的允许最大散热密度。

1. 平面单层保温按下式计算：

$$q = \frac{t - t_a}{\frac{\delta}{1000\lambda} + \frac{1}{\alpha}} \quad (5.3.1-1)$$

2. 管道单层保温按下式计算：

$$q = \frac{t - t_a}{\frac{D_1}{2000\lambda} \ln \frac{D_1}{D_0} + \frac{1}{\alpha}} \quad (5.3.1-2)$$

$$q_L = \frac{2\pi(t - t_a)}{\frac{1}{\lambda} \ln \frac{D_1}{D_0} + \frac{2000}{\alpha D_1}} \quad (5.3.1-3)$$

3. 平面复合保温按下式计算：

$$q = \frac{t - t_a}{\frac{\delta_1}{1000\lambda_1} + \frac{\delta_2}{1000\lambda_2} + \frac{1}{\alpha}} \quad (5.3.1-4)$$

4. 管道复合保温按下式计算：

$$q = \frac{t - t_a}{\frac{D_2}{2000} \left( \frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{D_1}{D_0} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{D_2}{D_1} \right) + \frac{1}{\alpha}} \quad (5.3.1-5)$$

$$q_L = \frac{2\pi(t - t_a)}{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{D_1}{D_0} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{D_2}{D_1} + \frac{2000}{\alpha D_2}} \quad (5.3.1-6)$$

### 5.3.2 保温结构外表面温度计算

保温结构外表面温度应符合 3.0.5 的规定。

1. 平面单层保温按下式计算：

$$t_s = \frac{\frac{\delta}{1000\lambda} t_a + \frac{1}{\alpha} t}{\frac{\delta}{1000\lambda} + \frac{1}{\alpha}} \quad (5.3.2-1)$$

2. 管道单层保温按下式计算：

$$t_s = \frac{\frac{1}{\lambda} \ln \frac{D_1}{D_0} \cdot t_a + \frac{2000}{\alpha D_1} t}{\frac{1}{\lambda} \ln \frac{D_1}{D_0} + \frac{2000}{\alpha D_1}} \quad (5.3.2-2)$$

3. 平面复合保温按下式计算：

$$t_s = \frac{\frac{\delta_1}{1000\lambda_1}t_a + \frac{\delta_2}{1000\lambda_2}t_a + \frac{1}{\alpha}t}{\frac{\delta_1}{1000\lambda_1} + \frac{\delta_2}{1000\lambda_2} + \frac{1}{\alpha}} \quad (5.3.2-3)$$

4. 管道复合保温按下式计算：

$$t_s = \frac{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{D_1}{D_0} \cdot t_a + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{D_2}{D_1} \cdot t_a + \frac{2000}{\alpha D_2} t}{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{D_1}{D_0} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{D_2}{D_1} + \frac{2000}{\alpha D_2}} \quad (5.3.2-4)$$

### 5.3.3 复合保温内外层界面处温度计算

复合保温内外层界面处温度不应超过外层保温材料最高使用温度的 90%。

1. 平面按下式计算：

$$t_b = \frac{\frac{\delta_1}{1000\lambda_1}t_a + \frac{\delta_2}{1000\lambda_2}t + \frac{1}{\alpha}t}{\frac{\delta_1}{1000\lambda_1} + \frac{\delta_2}{1000\lambda_2} + \frac{1}{\alpha}} \quad (5.3.3-1)$$

2. 管道按下式计算：

$$t_b = \frac{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{D_1}{D_0} \cdot t_a + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{D_2}{D_1} \cdot t + \frac{2000}{\alpha D_2} t}{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{D_1}{D_0} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{D_2}{D_1} + \frac{2000}{\alpha D_2}} \quad (5.3.3-2)$$

## 5.4 保温计算数据选取

5.4.1 温度应按下列规定选取：

1. 设备和管道外表面温度

无内衬的金属设备和管道，其外表面温度取设计温度或介质的最高温度；有内衬的金属设备和管道，应按有保温层存在进行传热计算确定其外表面温度。

2. 环境温度

室内布置的设备和管道的环境温度可取 20℃；室外布置的设

备和管道的环境温度，常年运行的可取历年之年平均温度，采暖管道可取历年采暖期间日平均温度。

地沟内管道，环境温度应按表 5.4.1 取值。

表 5.4.1 地沟内管道环境温度

|           |     |        |      |
|-----------|-----|--------|------|
| 介质温度<br>℃ | <80 | 80~110 | >110 |
| 环境温度<br>℃ | 20  | 30     | 40   |

防烫伤保温计算中，环境温度可取历年最热月平均温度。

在校核有工艺要求的保温层厚度计算中，环境温度应按最不利的条件取值。

当缺乏气象资料时，环境温度可参考附录 F 中表 F1 取值。

### 3. 保温材料内外表面温度平均值

保温材料内外表面温度平均值可按式计算：

$$t_m = \frac{1}{2}(t + t_s) \quad (5.4.1-1)$$

对复合保温其内外层材料的内外表面温度平均值可按式计算：

$$t_{m1} = \frac{1}{2}(t + t_b) \quad (5.4.1-2)$$

$$t_{m2} = \frac{1}{2}(t_b + t_s) \quad (5.4.1-3)$$

式中： $t_m$ ——保温材料内外表面温度平均值，℃；

$t_{m1}$ ——复合保温内层的内外表面温度平均值，℃；

$t_{m2}$ ——复合保温外层的内外表面温度平均值，℃。

### 5.4.2 保温材料热导率应按下列规定选取：

保温材料及其制品的热导率方程式、图或表应由保温材料生产厂家提供，并符合 4.1.2 的规定。对软质保温材料应取安装密度下的热导率。

当缺乏资料时，常用保温材料热导率可按附录 B 取值。

### 5.4.3 热价应按下列规定选取：

热价应按当地实际情况取值。当缺乏资料时，热价可按下式计算：

$$P_h = (1 + A_i)P_b \quad (5.4.3-1)$$

式中： $A_i$ ——内部收益率（IRR）或利润，可取 15%；

$P_b$ ——锅炉产热成本，元/GJ。

锅炉产热成本包括燃料费、锅炉设备折旧费、运行维护费及管理费等，应根据工程具体条件计算确定。锅炉产热成本也可按下式计算：

$$P_b = \frac{A_b P_f}{\eta Q_{\text{net,ar}}} \quad (5.4.3-2)$$

式中： $P_f$ ——实际燃料价格，元/t；

$A_b$ ——产热成本系数（考虑锅炉设备折旧费、运行维护费及管理费等），可取 1.05~1.20（大容量锅炉取低值）；

$\eta$ ——锅炉效率；

$Q_{\text{net,ar}}$ ——燃料收到基低位发热量，MJ/kg。

### 5.4.4 介质焓质系数应按下列规定选取：

介质焓质系数可按表 5.4.4 取值或按下式计算：

$$A_e = \frac{h - h_w - (t_w + 273)(s - s_w)}{h_{st} - h_w - (t_w + 273)(s_{st} - s_w)} \quad (5.4.4)$$

式中： $h_w$ ——冷却水比焓，kJ/kg；

$h_{st}$ ——锅炉出口过热蒸汽比焓，kJ/kg；

$s_w$ ——冷却水比熵，kJ/(kg·K)；

$s_{st}$ ——锅炉出口过热蒸汽比熵，kJ/(kg·K)；

$t_w$ ——冷却水温度，℃。

表 5.4.4 介质烟质系数

| 设 备 及 管 道                                                                                                            | 烟质系数 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 热风道、一次风道、制粉管道、送粉管道；<br>主蒸汽管道、再热蒸汽管道、高压给水管道；<br>温度高于 450℃ 的蒸汽管道；<br>利用新蒸汽工作的设备和管道                                     | 1.0  |
| 三次风道、磨煤机密封管道；<br>抽汽管道、厂用蒸汽管道、轴封供汽管道；<br>辅助蒸汽管道及其他蒸汽管道；<br>凝结水管道、中低压给水管道；<br>凝结水泵、给水泵、除氧器、加热器等；<br>利用调节或不调节抽汽工作的设备和管道 | 0.7  |
| 连续排污管道和设备；<br>减温水管道、再循环水管道及其他水管道；<br>疏水泵、补给水泵、冷却器、分离器等                                                               | 0.5  |
| 烟道及除尘器、吸风机等；<br>定期排污管道和设备；<br>设备和管道的疏水、放气、排汽管道；<br>至凝汽器或扩容器（通大气）的汽水管道                                                | 0    |

#### 5.4.5 保温层单位造价、保护层单位造价应按下列规定选取：

1. 保温层单位造价应计算材料费（包括包装费、运输费）、安装费（包括辅助材料费、施工管理费及其他费用）和保温材料损耗附加量及施工余量，可按下式计算：

$$P_1[\text{或 } P_2] = (1 + A_d)P_m + P_e \quad (5.4.5)$$

式中： $P_1$ 、 $P_2$ ——保温层单位造价，元/ $\text{m}^3$ ；

$P_m$ ——保温材料费（包括包装费、运输费），元/ $\text{m}^3$ ；

$P_e$ ——保温材料的安装费（包括辅助材料费、施工管理费及其他费用），元/ $\text{m}^3$ ；

$A_d$ ——保温材料损耗附加量及施工余量，可按表

5.4.9 取值。

保温材料的材料费和安装费应按工程实际情况取值。

2. 保护层单位造价应计算保护层材料费和安装费及施工余量。保护层材料费和安装费应按工程实际情况取值。

**5.4.6** 年运行时间应按下列规定取值：

年运行时间应按工程实际情况取值。常年运行的可按 8000h 计；采暖运行中的采暖期，东北地区按 4000h，华北地区可按 3000h 计，采暖期较长地区应按实际采暖时间计。

**5.4.7** 保温工程投资贷款年分摊率应按下列规定取值：

保温工程投资贷款年分摊率应以复利计息，可按下式计算：

$$S = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (5.4.7)$$

式中： $S$ ——保温工程投资贷款年分摊率；

$i$ ——年利率（复利）；

$n$ ——计息年数，根据不同情况可取 5a~10a。

保温工程投资贷款年分摊率可取 0.17（国外贷款项目可适当提高）。

**5.4.8** 保温结构外表面传热系数应按下列规定选取：

1. 室内的设备和管道保温结构外表面传热系数可按表 5.4.8 选取。

表 5.4.8 室内的设备和管道保温结构外表面传热系数

| 保温层外径<br>mm | 金属保护层<br>W/(m <sup>2</sup> ·K) | 抹 面<br>W/(m <sup>2</sup> ·K) | 保温层外径<br>mm | 金属保护层<br>W/(m <sup>2</sup> ·K) | 抹 面<br>W/(m <sup>2</sup> ·K) |
|-------------|--------------------------------|------------------------------|-------------|--------------------------------|------------------------------|
| 100         | 7.81                           | 11.86                        | 300         | 6.45                           | 10.50                        |
| 150         | 7.26                           | 11.31                        | 400         | 6.15                           | 10.70                        |
| 200         | 6.91                           | 10.96                        | 500         | 5.93                           | 9.98                         |

续表

| 保温层外径<br>mm | 金属保护层<br>W/ (m <sup>2</sup> · K) | 抹 面<br>W/ (m <sup>2</sup> · K) | 保温层外径<br>mm | 金属保护层<br>W/ (m <sup>2</sup> · K) | 抹 面<br>W/ (m <sup>2</sup> · K) |
|-------------|----------------------------------|--------------------------------|-------------|----------------------------------|--------------------------------|
| 600         | 5.76                             | 9.81                           | 1000        | 5.32                             | 9.37                           |
| 700         | 5.62                             | 9.67                           | 1200        | 5.18                             | 9.23                           |
| 800         | 5.51                             | 9.56                           | 1500        | 5.04                             | 9.08                           |
| 900         | 5.41                             | 9.46                           | 平面          | 5.00                             | 9.00                           |

2. 室外的设备和管道保温结构外表面传热系数应为保护层材料的辐射传热系数与对流传热系数之和，可按下式计算：

$$\alpha = \alpha_n + \alpha_c \quad (5.4.8-1)$$

式中： $\alpha$ ——保温结构外表面传热系数，W/ (m<sup>2</sup> · K)；

$\alpha_n$ ——辐射传热系数，W/ (m<sup>2</sup> · K)；

$\alpha_c$ ——对流传热系数，W/ (m<sup>2</sup> · K)。

1) 平面和管道的辐射传热系数可按下式计算：

$$\alpha_n = \frac{5.67\epsilon}{t_s - t_a} \left[ \left( \frac{273 + t_s}{100} \right)^4 - \left( \frac{273 + t_a}{100} \right)^4 \right] \quad (5.4.8-2)$$

2) 平面的对流传热系数可按下式计算：

$$\alpha_c = (5.93 - 0.015t_s) \frac{w^{0.8}}{B^{0.2}} \quad (5.4.8-3)$$

3) 管道的对流传热系数可按下式计算：

$$\alpha_c = 72.81 \frac{w^{0.6}}{D_1^{0.4}} \quad (5.4.8-4)$$

式中： $w$ ——室外风速（常年运行的设备和管道，取年平均风速；采暖管道，取采暖季节的平均风速），m/s；

$B$ ——沿风速方向的平壁宽度，m；

$D_1$ ——保温层外径（当为复合保温时，应代入  $D_2$ ），mm；

$\varepsilon$ ——保护层材料黑度，见附录 E 中表 E5。

**5.4.9 保温材料损耗附加量及施工余量应按下列规定选取：**

保温材料损耗附加量及施工余量可按表 5.4.9 取值。

**表 5.4.9 保温材料损耗附加量及施工余量**

| 保 温 材 料      | 保温材料损耗附加量及<br>施工余量 |
|--------------|--------------------|
| 硅酸钙制品        | 10%                |
| 硅酸铝复合        | 5%                 |
| 岩棉、矿渣棉、玻璃棉制品 | 5%                 |
| 憎水膨胀珍珠岩制品    | 12%                |
| 复合硅酸盐保温涂料    | 5%                 |
| 镀锌铁皮         | 25%                |
| 铝合金板         | 25%                |
| 玻璃丝布         | 25%                |
| 抹 面          | 10%                |

## 6 保 温 结 构

### 6.1 一 般 规 定

6.1.1 保温结构由保温层和保护层组成。地沟内管道和处在潮湿环境中的低温设备和管道，在保温层外应增设防潮层。

6.1.2 保温结构设计应满足下列要求：

1. 保温结构在设计使用寿命内应能保持完整，在使用过程中不允许出现烧坏、腐烂、剥落等现象；

2. 保温结构应有足够的机械强度，在自重、振动、风雪等附加荷载（埋地管道还包括地面运输车辆所造成的偶然荷载）的作用下不致破坏；

3. 保温结构应保温效果好，施工方便，防火、防水，整齐美观。

6.1.3 设备、直管道等无需检修的部位应采用固定式保温结构。

管道蠕变监察段、蠕变测点、流量测量装置、阀门、法兰、堵板、补偿器等部位的保温结构应易于拆卸，当其连接管道采用金属保护层时，宜采用可拆卸式保温结构。

6.1.4 在沿海大风地区，室外布置的设备和管道的保温结构应采取适当加固措施。

6.1.5 保温结构的部件设计宜按《保温结构部件设计》选用。

### 6.2 保 温 层

6.2.1 保温层厚度宜以 10mm 为分档单位。硬质保温制品最小厚度宜为 30mm。

6.2.2 保温层厚度大于 80mm 时，保温层应分层敷设，每层厚度应大致相等，内外层接缝应彼此错开，层间和缝间不得有空穴。

6.2.3 使用纤维状或颗粒状松散保温材料时，应根据材料的最佳保温密度或保证其在长期运行中不致塌陷的密度而规定其施工压

缩量。

**6.2.4** 管道弯头可采用软质保温材料或保温涂料保温。当采用硬质或半硬质保温制品时，制品应做成虾米弯或半圆瓦（外径小于76mm管道的弯头可采用直角弯），弯头两端的直管段上应各留一道伸缩缝。

**6.2.5** 安全阀后对空排汽管道的保温层应采取加固措施。

**6.2.6** 当矩形大截面烟风道和转动机械的保温层厚度小于加固肋的高度时，应对保温层厚度进行调整，也可设留置空气层的保温结构。

**6.2.7** 噪声超过85dB(A)的设备应采用吸声材料保温或设置具有隔声作用的保温结构。

**6.2.8** 保温结构的支承件设计应符合下列规定：

1. 立式设备和管道、水平夹角大于45°的斜管和卧式设备的底部，其保温层应设支承件。对有加固肋的烟风道和设备，应利用其加固肋作为支承件。

2. 支承件的位置应避开阀门、法兰等管件。对设备和立管，支承件应设在阀门、法兰等管件的上方，其位置不应影响螺栓的拆卸。

3. 支承件宜采用普通碳素钢板或型钢制作。

4. 介质温度小于450℃时，支承件可采用焊接承重环；介质温度高于450℃时，支承件应采用紧箍承重环。当不允许直接焊于设备或管道上时，应采用紧箍承重环。直接焊于不锈钢管上时，应加焊不锈钢垫板。

5. 采用软质保温材料及其半硬质制品时，为了保证金属保护层外形整齐美观，应适当设置金属骨架以支承金属保护层。

6. 凡施焊后须进行热处理的设备，其上的焊接支承件宜在设备制造厂预焊。

7. 支承件的承面宽度应比保温层厚度少10mm~20mm。

8. 支承件的间距：对设备或平壁可为1.5m~2m；对管道，高温时可为2m~3m，中低温时可为3m~5m；管道采用软质毡、垫

保温时宜为 1m；卧式设备应在水平中心线处设支承件。

#### 6.2.9 保温结构的固定件设计应符合下列规定：

1. 管道、平壁和圆筒设备的保温层，硬质材料保温时，宜用钩钉或销钉固定；软质材料保温时，宜用销钉和自锁垫片固定。

2. 保温层固定用的钩钉、销钉应选用  $\phi 3 \sim \phi 6$  的低碳圆钢制作。

3. 硬质或半硬质保温制品保温时，钩钉、销钉宜根据制品几何尺寸设在缝中作攀系保温层的桩柱之用，钉之间距 300mm～610mm；软质材料保温时，钉之间距不应大于 350mm。每平方米面积上的钉的个数：侧面不应少于 6 个，底部不应少于 8 个。

4. 对有振动的地方，钩钉或销钉应适当加粗、加密。

#### 6.2.10 保温结构的捆扎件设计应符合下列规定：

1. 保温层应采用镀锌铁丝或镀锌钢带捆扎，镀锌铁丝应用双股捆扎。捆扎件规格应符合表 6.2.10 的规定。

2. 捆扎间距：硬质保温制品不应大于 400mm，半硬质保温制品不应大于 300mm，软质保温材料不应大于 200mm。每块保温制品上至少要捆扎两道。

3. 保温层分层敷设时，应逐层捆扎。

4. 对有振动的部位应适当加强捆扎。

表 6.2.10 捆扎件规格

mm

| 管道保温层外径  | 硬质保温制品                                      | 软质材料及其半硬质制品                                 |
|----------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|
| <200     | $\phi 0.8 \sim \phi 1$ 镀锌铁丝                 | $\phi 1 \sim \phi 1.2$ 镀锌铁丝                 |
| 200～600  | $\phi 1 \sim \phi 1.2$ 镀锌铁丝                 | $\phi 1.2 \sim \phi 2$ 镀锌铁丝                 |
| 600～1000 | $\phi 1.2 \sim \phi 2$ 镀锌铁丝                 | $\phi 2 \sim \phi 2.5$ 镀锌铁丝或<br>12×0.5 镀锌钢带 |
| >1000    | $\phi 2 \sim \phi 2.5$ 镀锌铁丝或<br>12×0.5 镀锌钢带 | 12×0.5 镀锌钢带                                 |
| 平面       | $\phi 0.8 \sim \phi 1$ 镀锌铁丝和<br>12×0.5 镀锌钢带 | $\phi 0.8 \sim \phi 1$ 镀锌铁丝和<br>20×0.5 镀锌钢带 |

**6.2.11** 采用硬质保温制品的保温层应设置伸缩缝，伸缩缝设计应符合下列规定：

1. 伸缩缝应设置在支吊架、法兰、加固肋、支承件或固定环等部位。

2. 伸缩缝间距：高温可为 3m~4m，中低温可为 5m~7m。伸缩缝宽度宜为 20mm~25mm，缝间应满塞软质保温材料。

3. 分层保温时各层伸缩缝应错开，错缝间距不应大于 100mm。

4. 高温管道的伸缩缝外应设置独立的保温结构。

**6.2.12** 下列部位的保温层应留设间隙：

1. 管道阀门、法兰连接处，保温层应留设拆卸螺栓的间隙，间隙中应满塞软质保温材料；

2. 高温蒸汽管道的蠕胀测点处，保温层应留设 200mm 的间隙，间隙中应满塞软质保温材料；

3. 补偿器和支架附近的管道保温层应留设膨胀间隙；

4. 两根相互平行或交叉的管道，其膨胀方向或介质温度不不同时，两管道保护层之间应留间隙；

5. 采用硬质保温制品遇到焊缝时，应按焊缝宽度在硬质保温制品的内壁相应部位抠槽。

**6.2.13** 保温结构的支承件、固定件和捆扎件等辅助材料可按附录 C 计算用量。

## **6.3 保 护 层**

**6.3.1** 金属保护层的接缝应根据具体情况，选用搭接、插接或咬接形式。

1. 硬质保温制品的金属保护层纵向接缝可采用咬接；软质保温材料及其半硬质制品的金属保护层纵向接缝可采用插接或搭接。插接缝用自攻螺钉或抽芯铆钉固定，搭接缝用抽芯铆钉固定。钉之间距宜为 200mm。保温层外径大于 600mm 时，纵向接缝也可做成凸筋结构用抽芯铆钉固定。

2. 金属保护层的环向接缝可采用搭接或插接。搭接时一端应压出凸筋（室内用单凸筋，室外用重叠凸筋），搭接尺寸不得小于50mm，对垂直管道和斜管用自攻螺钉或抽芯铆钉固定。钉之间距可为200mm，每道缝不应小于4个钉。当金属保护层采用支撑环固定时，钉孔应对准支撑环。

3. 水平管道的纵向接缝应设置在管道的侧面，水平管道的环向接缝应按坡度高搭低茬；垂直管道的环向接缝应上搭下茬。

4. 金属保护层应有整体防水功能。室外布置或潮湿环境中的设备和管道，应采用嵌填密封剂或胶泥严缝，安装钉孔处应采用环氧树脂堵孔。安装在室外的支吊架管部穿出金属保护层的地方应在吊杆上加装防雨罩。

**6.3.2** 直管段上为热膨胀而设置的金属保护层环向接缝，应采用活动搭接形式。活动搭接余量应能满足热膨胀的要求，且不小于100mm，其间距应符合下列规定：

1. 硬质保温材料，活动环向接缝应与保温层的伸缩缝设置相一致；

2. 软质保温材料及其半硬质制品，活动环向接缝应符合表6.3.2的规定。

**表 6.3.2 活动环向接缝间距表**

| 介质温度<br>℃ | <100 | 100~320 | >320 |
|-----------|------|---------|------|
| 间距<br>m   | 7~10 | 4~6     | 3~4  |

**6.3.3** 灰泥抹面保护层宜采用硅酸盐水泥等作粘结剂，膨胀珍珠岩粉等作骨料，纤维和麻刀等作连接材料。在保证质量的前提下，按照因地制宜、就地取材的原则确定抹面的配方。

管道保温层外径小于200mm时，抹面层厚度宜为15mm；保温层外径大于200mm时，抹面层厚度宜为20mm；平面（平壁）保

温时，抹面层厚度宜为 25mm。

**6.3.4** 室内玻璃布保护层可采用聚醋酸乙烯树脂作为玻璃布与抹面间的粘合剂，玻璃布表面应涂敷防水、耐候性涂料。玻璃布环向、纵向至少应搭接 50mm。对于水平管道，环向接缝宜顺管道坡向，纵向接缝宜置于管道两侧，缝口朝下。

**6.3.5** 外径小于 38mm 管道的保温层为紧密缠绕单层或多层（多层时应反向回绕，缝隙错开）纤维绳时，应在纤维绳外用  $\phi 1.2$  镀锌铁丝反向缠绕加固，再外包 0.1mm 厚的低碱玻璃布作保护层。

**6.3.6** 玻璃布保护层不应在室外使用。

**6.3.7** 室外布置的大截面矩形烟风道的保护层顶部应设排水坡度，双面排水。

## **6.4 防潮层**

**6.4.1** 需要防潮的管道应在保温层外包沥青胶玻璃布、防水冷胶料玻璃布或改性沥青油毡作防潮层。条件许可时，也可采用聚氯乙烯防水卷材或其他防水材料作防潮层。

沥青胶玻璃布和防水冷胶料玻璃布防潮层应由两层沥青胶或防水冷胶料中间夹一层低碱粗格玻璃布组成。

**6.4.2** 防潮层外不得再设镀锌铁丝或钢带等硬质捆扎件。

## 7 油漆和防腐

### 7.1 油漆

7.1.1 下列情况必须按不同要求进行外部油漆：

1. 不保温的设备、管道及其附件；
2. 介质温度低于 120℃ 的保温设备、管道及其附件；
3. 支吊架、平台扶梯等（现场制作部分）。

7.1.2 不保温的设备和管道应根据防腐工艺要求和油漆的性能选用油漆，选用的油漆种类、颜色和涂刷度数应符合下列规定：

1. 室内布置的设备和管道，宜先涂刷 2 度防锈漆，再涂刷 1～2 度油性调合漆；室外布置的设备和汽水管，宜先涂刷 2 度环氧底漆，再涂刷 2 度醇酸磁漆或环氧磁漆；室外布置的气体管道，宜先涂刷 2 度云母氧化铁酚醛底漆，再涂刷 2 度云母氧化铁面漆。

2. 油管道和设备外壁，宜先涂刷 1～2 度醇酸底漆，再涂刷 1～2 度醇酸磁漆；油箱、油罐内壁，宜先涂刷 2 度环氧底漆，再涂刷 1～2 度铝粉缩醛磁漆或环氧耐油漆。

3. 管沟中的管道，宜先涂刷 2 度防锈漆，再涂刷 2 度环氧沥青漆。

4. 循环水管道、工业水管道、工业水箱等设备，宜先涂刷 2 度防锈漆，再涂刷 2 度沥青漆；直径较大的循环水管道内壁，宜涂刷 2 度环氧富锌底漆。

5. 排汽管道应涂刷 1～2 度耐高温防锈漆。

6. 制造厂供应的设备（如水泵、风机、容器等）和支吊架，若油漆损坏时，可涂刷 1 度颜色相同的油漆。

7. 设备和管道的油漆颜色可按表 7.1.2 规定漆色。

7.1.3 保温的设备和管道选用的油漆种类和涂刷度数应符合下列规定：

1. 当介质温度低于 120℃ 时，设备和管道的表面应涂刷 2 度

防锈漆。

2. 除氧器水箱、疏水箱、扩容器、低位水箱、生产回水箱等设备内壁宜涂刷 2 度耐高温的油漆，其他设备和容器内壁的防腐方式应根据工艺要求决定。

表 7.1.2 油漆颜色表

| 管 道 名 称          | 面漆颜色 | 色环颜色 |
|------------------|------|------|
| 主蒸汽、再热蒸汽管道       | —    | 无环   |
| 抽汽、背压蒸汽、供热管道     | —    | 红色   |
| 其他蒸汽管道           | —    | 红色   |
| 凝结水管道（保温）        | —    | 浅绿色  |
| 凝结水管道（不保温）       | 浅绿色  | 无环   |
| 给水管道             | —    | 绿色   |
| 除盐水、化学补充水管道      | 浅绿色  | 白色   |
| 疏放水、排水管道         | —    | 绿色   |
| 热网水管道            | —    | 褐色   |
| 循环水、工业水、射水、冲灰水管道 | 黑色   | 无环   |
| 消防水管道            | 红色   | 无环   |
| 油管道              | 黄色   | 无环   |
| 冷风道              | 浅蓝色  | 无环   |
| 热风道、除尘器加热风道      | —    | 蓝色   |
| 烟道               | —    | 无环   |
| 原煤管道             | 黑色   | 无环   |
| 制粉、送粉管道（保温）      | —    | 黑色   |
| 送粉管道（不保温）        | 浅灰色  | 黑色   |
| 天然气、高炉煤气管道       | 蓝色   | 黑色   |
| 空气管道             | 天蓝色  | 无环   |
| 氧气管道             | 蓝色   | 红色   |
| 氢气管道             | 橙色   | 无环   |

表 7.1.2 (续完)

| 管 道 名 称    | 面漆颜色 | 色环颜色 |
|------------|------|------|
| 二氧化碳、氮气管道  | 浅灰色  | 红色   |
| 乙炔管道       | 白色   | 红色   |
| 硫酸亚铁和硫酸铝管道 | 褐色   | 无环   |
| 盐水管        | 白色   | 雪青色  |
| 氯气管道       | 深绿色  | 白色   |
| 氮气管道       | 黄色   | 黑色   |
| 联氨         | 橙黄色  | 红色   |
| 酸液         | 浅灰色  | 橙色   |
| 碱液         | 浅灰色  | 雪青色  |
| 磷酸三钠溶液     | 绿色   | 红色   |
| 石灰浆        | 浅灰色  | 白色   |
| 过滤水        | 浅蓝色  | 无环   |
| 埋地管道       | 黑色   | 无环   |
| 工业水箱       | 黑色   | —    |
| 除盐水箱、补水箱   | 浅绿色  | —    |
| 支吊架        | 银灰色  | —    |
| 平台扶梯       | 银灰色  | —    |

**7.1.4** 现场制作的支吊架,宜先涂刷 2 度防锈漆,再涂刷 1~2 度银灰色调合漆。

室内的钢制平台扶梯,宜先涂刷 2 度防锈漆,再涂刷 1~2 度银灰色调合漆;室外的钢制平台扶梯,宜先涂刷 2 度云母氧化铁酚醛底漆,再涂刷 2 度云母氧化铁面漆。

**7.1.5** 为便于识别,管道的色环、介质名称及介质流向箭头应符合下列规定:

1. 管道弯头、穿墙处及管道密集、难以辨别的部位,必须涂刷色环、介质名称及介质流向箭头。介质名称可用全称或化学符号标识(见图 7.1.5)。

2. 主蒸汽、再热蒸汽管道上监视焊缝处及蠕胀测点,应在保护层外设浅蓝色环。

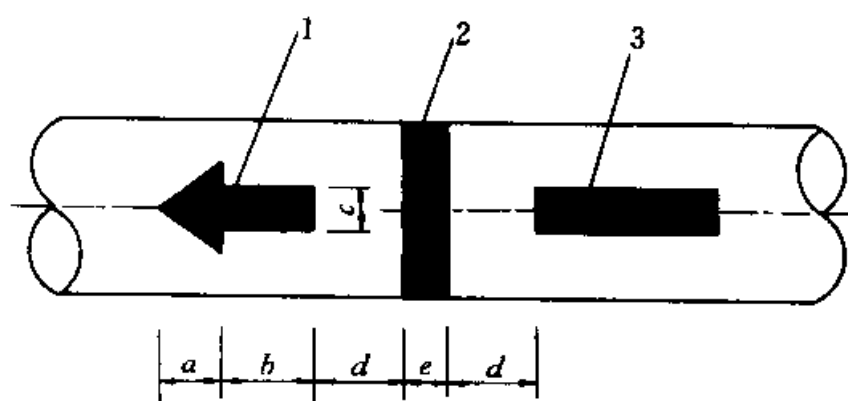


图 7.1.5 管道的色环、介质名称和介质  
流向箭头的位置和形状

1—介质流向箭头；2—色环；3—介质名称

3. 管道的色环颜色可按表 7.1.2 规定漆色。

4. 管道的色环、介质名称和介质流向箭头的位置和形状如图 7.1.5 所示，图中的尺寸数值见表 7.1.5，介质流向箭头的尖角为  $60^\circ$ 。

5. 当介质流向有两种可能时，应标出两个方向的流向箭头。

6. 介质名称和流向箭头可用黑色或白色油漆涂刷。

7. 对于外径小于 76mm 管道，当在管道上直接涂刷介质名称及介质流向箭头不易识别时，可在需要识别的部位挂设标牌。标牌上应标明介质名称，并使标牌的指向尖角指向介质流向。

表 7.1.5 管道的色环、介质名称和介质流向箭头尺寸 mm

| 管道外径或<br>保温层外径 | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>c</i> | <i>d</i> | <i>e</i> |
|----------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| $\leq 100$     | 40       | 60       | 30       | 100      | 60       |
| 101~200        | 60       | 90       | 45       | 100      | 80       |
| 201~300        | 80       | 120      | 60       | 150      | 100      |
| 301~500        | 100      | 150      | 75       | 150      | 120      |
| $> 500$        | 120      | 180      | 90       | 200      | 150      |

7.1.6 设备和管道在油漆之前应对金属表面进行除油、除锈处理。

7.1.7 设备和管道油漆每度耗漆量可按附录 D 中表 D1 取值。

支吊架和平台扶梯的耗漆量可按其钢材重量的 2%~3% 取值 (支吊架工厂制作取低限)。

## 7.2 防 腐

7.2.1 埋地管道可采用沥青或其他防腐材料防腐。

1. 采用石油沥青防腐时, 首先应按表 7.2.1-1 确定土壤腐蚀性等级和防腐等级, 再按表 7.2.1-2 中规定确定防腐结构。

2. 采用环氧煤沥青防腐时, 首先应按表 7.2.1-1 确定土壤腐蚀性等级和防腐等级, 再按表 7.2.1-3 中规定确定防腐结构。

表 7.2.1-1 土壤腐蚀性等级和防腐等级

| 项 目              |                                            | 土壤腐蚀性等级 |           |          |          |         |
|------------------|--------------------------------------------|---------|-----------|----------|----------|---------|
|                  |                                            | 低       | 中         | 较高       | 高        | 特高      |
| 测定方法             | 土壤电阻率 ( $\Omega \cdot m$ )                 | $>100$  | 20~100    | 10~20    | 5~10     | $<5$    |
|                  | 含盐率 (%)                                    | $<0.01$ | 0.01~0.05 | 0.05~0.1 | 0.1~0.75 | $>0.75$ |
|                  | 含水率 (%)                                    | $<5$    | 5         | 5~10     | 10~12    | 12~25   |
|                  | 在 $\Delta V=0.5V$ 时,<br>极化电流密度 ( $A/m^2$ ) | $<0.01$ | 0.01~0.25 | 0.25~0.8 | 0.8~3    | $>3$    |
|                  | 管盒测质量损失 (g/d)                              | 1       | 1~2       | 2~3      | 3~6      | $>6$    |
| 钢的平均腐蚀速度<br>mm/a |                                            | $<0.05$ | 0.05~0.2  | 0.2~1    | 0.2~1    | $>1$    |
| 防腐等级             |                                            | 普通      | 普通        | 加强       | 加强       | 特强      |

表 7.2.1-2 埋地管道石油沥青防腐结构

| 防腐等级 | 防 腐 层 结 构                        | 总厚度<br>mm |
|------|----------------------------------|-----------|
| 普通防腐 | 沥青底漆—沥青 3 层夹玻璃布 2 层—聚氯乙烯塑料薄膜或牛皮纸 | 6         |
| 加强防腐 | 沥青底漆—沥青 4 层夹玻璃布 3 层—聚氯乙烯塑料薄膜或牛皮纸 | 8         |
| 特强防腐 | 沥青底漆—沥青 6 层夹玻璃布 5 层—聚氯乙烯塑料薄膜或牛皮纸 | 12        |

表 7.2.1-3 埋地管道环氧煤沥青防腐结构

| 防腐等级 | 防腐层结构               | 总厚度<br>mm |
|------|---------------------|-----------|
| 普通防腐 | 沥青底漆—沥青 3 层夹玻璃布 2 层 | 0.6       |
| 加强防腐 | 沥青底漆—沥青 4 层夹玻璃布 3 层 | 0.8       |
| 特强防腐 | 沥青底漆—沥青 5 层夹玻璃布 4 层 | 1.0       |

7.2.2 当埋地管道与水工构筑物、铁路、公路相交时，埋地管道应设特强沥青防腐结构。

在杂散电流作用地区的埋地管道均应按特强沥青防腐结构防腐，也可采取其他保护措施（如阴极保护等）。

7.2.3 经常浸渍于海水中和盐碱地的钢管，应涂刷 2 度环氧煤沥青、氯磺化聚乙烯防腐蚀涂料或进行阴极保护等。

## 附录 A (标准的附录)

### 保温层厚度计算

#### A.0.1 在允许温降条件下保温层厚度计算

输送液体的无分支 (无结点) 管道保温层厚度按下式计算:

当  $\frac{t_i - t_a}{t_n - t_a} \geq 2$  时:

$$\left. \begin{aligned} \ln \frac{D_1}{D_0} &= \frac{2\pi\lambda K_r L}{1000q_m c \ln \frac{t_i - t_a}{t_n - t_a}} - \frac{2000\lambda}{\alpha D_1} \\ \delta &= \frac{1}{2}(D_1 - D_0) \end{aligned} \right\} \quad (\text{A.0.1-1})$$

当  $\frac{t_i - t_a}{t_n - t_a} < 2$  时:

$$\left. \begin{aligned} \ln \frac{D_1}{D_0} &= \frac{\pi\lambda K_r L(t_i + t_n - 2t_a)}{1000q_m c(t_i - t_n)} - \frac{2000\lambda}{\alpha D_1} \\ \delta &= \frac{1}{2}(D_1 - D_0) \end{aligned} \right\} \quad (\text{A.0.1-2})$$

输送液体的有分支 (有结点) 管道结点处温度按下式计算:

$$t_c = t_{c-1} - (t_i - t_n) \frac{\frac{L_{c-1 \rightarrow c}}{q_{m,c-1 \rightarrow c}}}{\sum_{i=2}^n \frac{L_{i-1 \rightarrow i}}{q_{m,i-1 \rightarrow i}}} \quad (\text{A.0.1-3})$$

输送蒸汽的管道保温层厚度按下式计算:

$$\left. \begin{aligned} \ln \frac{D_1}{D_0} &= \frac{\pi\lambda K_r L(t_i + t_n - 2t_a)}{1000q_m(h_i - h_n)} - \frac{2000\lambda}{\alpha D_1} \\ \delta &= \frac{1}{2}(D_1 - D_0) \end{aligned} \right\} \quad (\text{A.0.1-4})$$

式中:  $D_1$ ——保温层外径, mm;

$t_i$ ——管道始端介质温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_n$ ——管道终端介质温度, 按下式计算:  $t_n = t_i - \Delta t$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\Delta t$ ——介质允许温降,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_c$ ——结点  $c$  处的温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_{c-1}$ ——前一结点  $c-1$  处的温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$K_r$ ——管道通过支吊架处散热附加系数, 可取 1.05~1.15;

$L$ ——管道实际长度, m;

$L_{c-1 \rightarrow c}$ ——结点  $c$  与前一结点  $c-1$  之间的管段长度, m;

$L_{i-1 \rightarrow i}$ ——任意点  $i$  与前一结点  $i-1$  之间的管段长度, m;

$q_m$ ——介质流量, kg/s;

$q_{m,c-1 \rightarrow c}$ ——结点  $c$  与前一结点  $c-1$  之间的介质流量, kg/s;

$q_{m,i-1 \rightarrow i}$ ——任意点  $i$  与前一结点  $i-1$  之间的介质流量, kg/s;

$c$ ——介质比热容, kJ/(kg·K);

$h_i$ ——管道始端介质压力  $p_i$  和温度  $t_i$  下介质比焓, kJ/kg;

$h_n$ ——管道终端介质压力  $p_n$  和温度  $t_n$  下介质比焓, kJ/kg;

介质比体积变化不大的管道, 其终端压力  $p_n$  按下式计算:

$$p_n = p_i - 8.1067\xi_z \frac{q_m^2 v}{D_i^4} \times 10^5 \quad (\text{A.0.1-5})$$

式中:  $p_n$ ——管道终端介质压力, MPa;

$p_i$ ——管道始端介质压力, MPa;

$v$ ——介质比体积, 当  $p_n \geq 0.9p_i$  时, 可取已知的管道始端或终端介质比体积, 当  $0.6p_i \leq p_n < 0.9p_i$  时, 应取管道始端和终端介质比体积的平均值,  $\text{m}^3/\text{kg}$ ;

$D_i$ ——管道内径, mm;

$\xi_z$ ——管道总阻力系数, 按 DL/T 5054—1996 中有关阻力

系数资料选取。

### A. 0. 2 延迟管道内介质冻结的保温层厚度计算

$$\ln \frac{D_1}{D_0} = \left\{ \frac{7.2\pi\lambda K_r \tau_{fr}}{2(t - t_{fr})(\rho_L c + \rho_{Lp} c_p)} - \frac{0.25\rho_L H_{fr}}{t_{fr} - t_a} - \frac{2000\lambda}{\alpha D_1} \right\}$$

$$\delta = \frac{1}{2}(D_1 - D_0)$$

(A. 0. 2)

式中： $\lambda$ ——保温层材料热导率，保温材料的低温热导率宜由试验确定，W/（m·K）。

$\tau_{fr}$ ——介质在管道内防止冻结停留时间，h；

$t_{fr}$ ——介质冻结温度，℃；

$t_a$ ——环境温度，取历年极端最低温度平均值，℃；

$\rho_L$ ——介质线密度，kg/m；

$\rho_{Lp}$ ——管道材料线密度，kg/m；

$c$ ——介质比热容，kJ/（kg·K），见附录 E 中表 E1 或表 E2；

$c_p$ ——管道材料比热容，kJ/（kg·K），见附录 E 中表 E3；

$H_{fr}$ ——介质融解热，冰的融解热为 334.9kJ/kg。

### A. 0. 3 防止空气中湿气在管道外表面凝露的保温层厚度计算

$$K_c = 275 \frac{\lambda}{D_0} \left( \frac{t_d - t}{t_a - t_d} \right)$$

$$\delta = \frac{D_0}{2} \left( \frac{D_1}{D_0} - 1 \right)$$

(A. 0. 3)

式中： $t_d$ ——露点温度，按历年室外最热月平均相对湿度与历年夏季空气调节室外（干球）温度相对应的露点温度取值，可按附录 F 中表 F2 查取，℃；

$t_a$ ——环境温度,取历年夏季空气调节室外(干球)温度,℃;

$K_c$ ——凝露系数,与 $\frac{D_1}{D_0}$ 值的关系见表 A.0.3。

表 A.0.3  $K_c$  与  $\frac{D_1}{D_0}$  的关系值表

| $K_c$ | $\frac{D_1}{D_0}$ | $K_c$ | $\frac{D_1}{D_0}$ | $K_c$ | $\frac{D_1}{D_0}$ |
|-------|-------------------|-------|-------------------|-------|-------------------|
| 0.0   | 1.000             | 0.6   | 1.997             | 1.2   | 2.741             |
| 0.1   | 1.210             | 0.7   | 2.130             | 1.3   | 2.841             |
| 0.2   | 1.393             | 0.8   | 2.259             | 1.4   | 2.965             |
| 0.3   | 1.559             | 0.9   | 2.384             | 1.5   | 3.075             |
| 0.4   | 1.713             | 1.0   | 2.506             | 1.8   | 3.390             |
| 0.5   | 1.853             | 1.1   | 2.625             | 2.0   | 3.600             |

#### A.0.4 蒸汽伴热的燃油管道保温层(见图 A.0.4)厚度计算

$$\ln \frac{D_0 + 2\delta}{D_0} = \frac{2\pi - \beta}{\beta} \cdot \frac{2000\lambda(t - t_a)}{\alpha_k D_0 (t_k - t)} - \frac{2000\lambda}{\alpha(D_0 + 2\delta)} \quad (\text{A.0.4-1})$$

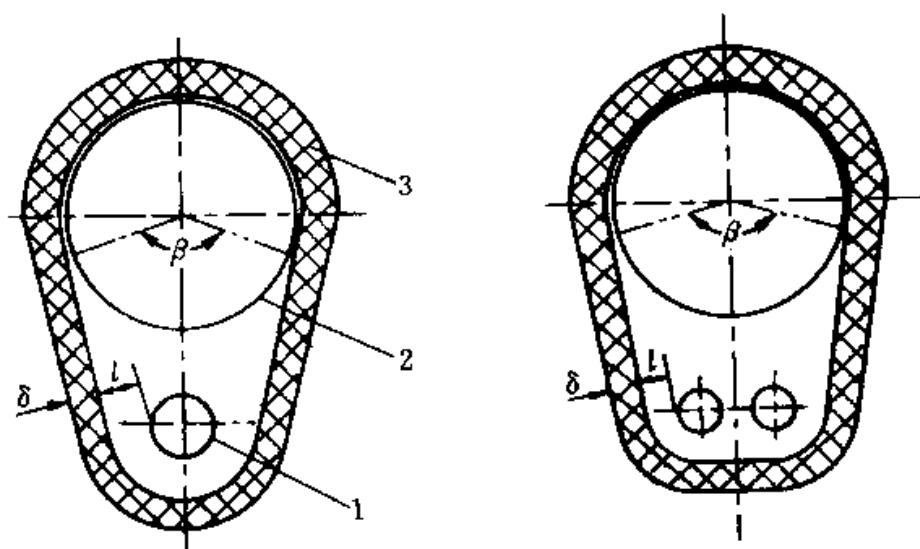


图 A.0.4 蒸汽伴热的燃油管道保温图

1—蒸汽伴热管; 2—燃油管道; 3—保温层

式中： $\delta$ ——保温层厚度，mm；

$D_0$ ——燃油管道外径，mm；

$t$ ——燃油温度，℃；

$t_a$ ——环境温度，取最低极端温度平均值，℃；

$\beta$ ——伴热保温壳夹角，按式 A. 0. 4-2 或式 A. 0. 4-6 计算，rad；

$t_k$ ——伴热保温壳内空气温度，按 A. 0. 4-3 或式 A. 0. 4-7 计算，℃；

$\alpha_k$ ——伴热保温壳内空气到燃油管道的传热系数，其值见表 A. 0. 4-1，W/ (m<sup>2</sup> · K)。

表 A. 0. 4-1  $\alpha_k$  值

| 伴热管蒸汽温度<br>℃                          | 138   | 151   | 164   | 180   |
|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| $\alpha_k$<br>W/ (m <sup>2</sup> · K) | 13. 4 | 14. 0 | 14. 5 | 15. 0 |

伴热保温壳夹角和壳内空气温度按下列规定计算：

伴热管为一根时：

$$\beta = 2\cos^{-1}\left(\frac{D_0 - D_h - 2l}{D_0 + D_h + 2l}\right) \quad (\text{A. 0. 4-2})$$

$$t_k = \frac{\pi D_h \alpha_h t_h + \frac{\beta}{2} D_0 \alpha_k t + K_r \cdot \frac{L_k}{R} t_a}{\pi D_h \alpha_h + \frac{\beta}{2} D_0 \alpha_k + K_r \cdot \frac{L_k}{R}} \quad (\text{A. 0. 4-3})$$

$$L_k = \frac{\beta}{2} (D_h + 2l + 2\delta) + 2 \sqrt{D_0 (D_h + 2l)} \quad (\text{A. 0. 4-4})$$

$$R = \frac{1}{14} + \frac{\delta}{1000\lambda} + \frac{1}{\alpha} \quad (\text{A. 0. 4-5})$$

当伴热管为两根时，两根伴热管的中心距为 $\frac{1}{2}D_0$ ，三根管道的中心为等腰三角形：

$$\beta = 2\text{tg}^{-1} \frac{D_0}{2(D_0 + D_h)} + 2\text{tg}^{-1} \sqrt{\frac{D_0^2 + 16(D_0 - l) + (D_h + l)}{2(D_0 - D_h - 2l)}} \quad (\text{A. 0. 4-6})$$

$$t_k = \frac{2\pi D_h \alpha_h t_h + \frac{\beta}{2} D_0 \alpha_k t + K_r \cdot \frac{L_k}{R} t_s}{2\pi D_h \alpha_h + \frac{\beta}{2} D_0 \alpha_k + K_r \cdot \frac{L_k}{R}} \quad (\text{A. 0. 4-7})$$

$$L_k = \frac{\beta}{2} (D_h + 2l + 2\delta) + \frac{D_0}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{D_0^2 + 16(D_0 - l)(D_h + l)} \quad (\text{A. 0. 4-8})$$

$$R = \frac{1}{14} + \frac{\delta}{1000\lambda} + \frac{1}{\alpha} \quad (\text{A. 0. 4-9})$$

式中： $L_k$ ——由壳内空气经保温层到周围空气的散热长度，mm；

$R$ ——保温结构总热阻， $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ；

$D_h$ ——伴热管外径，mm；

$l$ ——伴热管与燃油管及保温层内壁的间隙，宜为10mm；

$t_h$ ——伴热管内蒸汽温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

$\alpha_h$ ——由伴热管到伴热保温壳内空气的传热系数，其值见表 A. 0. 4-2， $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。

表 A. 0. 4-2  $\alpha_h$  值

| 伴热管外径<br>mm                   | 25                                               | 32   | 48   | 57   |
|-------------------------------|--------------------------------------------------|------|------|------|
| 伴热管蒸汽温度<br>$^{\circ}\text{C}$ | $\alpha_h$<br>W/ ( $\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ) |      |      |      |
| 120                           | 18.4                                             | 17.8 | 17.1 | 16.6 |
| 138                           | 19.8                                             | 19.1 | 18.4 | 18.0 |
| 150                           | 20.8                                             | 20.4 | 19.5 | 19.1 |
| 164                           | 22.1                                             | 21.5 | 20.7 | 20.4 |
| 180                           | 23.7                                             | 23.1 | 22.4 | 21.9 |

### A.0.5 留置空气层的平面保温层（见图 A.0.5）厚度计算

当  $A_r=0$  时：

$$\delta = \frac{\lambda_d}{\lambda_d - \lambda} \left[ \frac{1000\lambda(t - t_s)}{a(t_s - t_a)} - \frac{\lambda}{\lambda_d} b \right] \quad (\text{A.0.5-1})$$

当  $A_r > 0$  时：

$$\delta = \frac{\lambda_d}{\lambda_d - \lambda} \left[ 1.897 \sqrt{\frac{\lambda \tau P_h A_r (t - t_s)}{P_1 S}} - \frac{\lambda}{\lambda_d} b - \frac{1000\lambda}{a} \right] \quad (\text{A.0.5-2})$$

式中： $b$ ——平面（烟风道）加固肋高，mm；

$\lambda_d$ ——留置空气层的当量热导率，按式（A.0.5-3）计算，  
W/（m·K）。

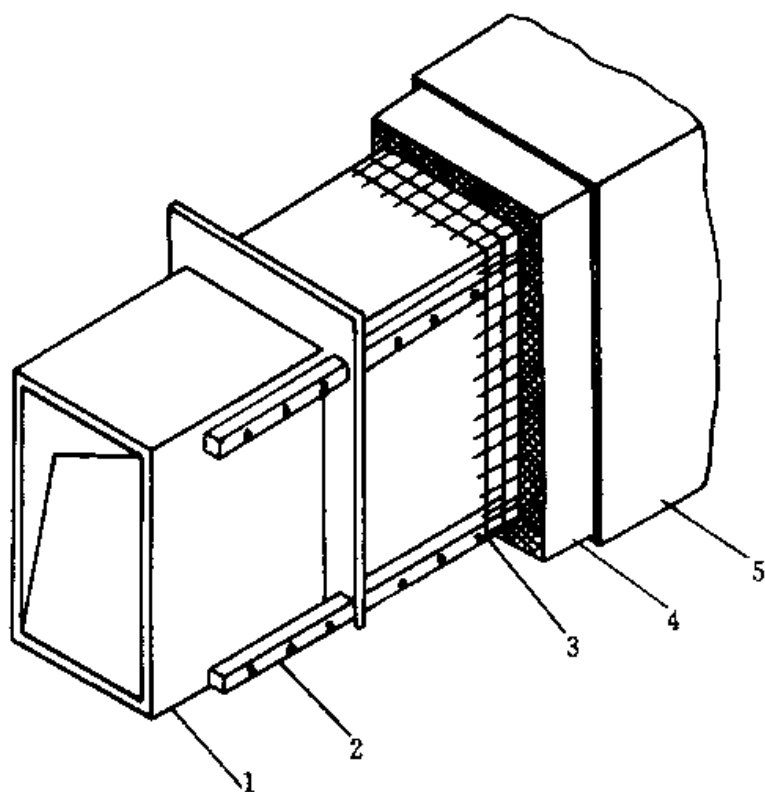


图 A.0.5 烟风道留置空气层保温结构

1—烟风道；2—空气层垫块（多孔硬质板材料）；

3—镀锌铁丝网；4—保温层；5—保护层

留置空气层按有限空间放热计算，其当量热导率按下式计算：

$$\lambda_d = \epsilon_k \lambda_k \quad (\text{A. 0. 5-3})$$

式中:  $\lambda_k$ ——空气的热导率, 见附录 E 中表 E4, W/(m·K);

$\epsilon_k$ ——对流系数, 按下列规定计算:

当  $GrPr < 10^3$  时,  $\epsilon_k = 1$ ;

当  $1 \times 10^3 \leq GrPr < 1 \times 10^6$  时,  $\epsilon_k = 0.105 (GrPr)^{0.3}$ ;

当  $1 \times 10^6 \leq GrPr < 1 \times 10^{10}$  时,  $\epsilon_k = 0.4 (GrPr)^{0.2}$ ;

$Pr$ ——普朗特数 (Prandtl), 见附录 E 中表 E4;

$Gr$ ——葛拉晓夫数 (Grashof), 按下式计算:

$$Gr = \beta_v \frac{g(b - \delta)^3}{\nu^2} (t - t_k) \times 10^{-9} \quad (\text{A. 0. 5-4})$$

$t_k$ ——空气层和保温层介面处温度, °C;

$g$ ——重力加速度, m/s<sup>2</sup>;

$\nu$ ——空气运动粘度, m<sup>2</sup>/s, 见附录 E 中表 E4;

$\beta_v$ ——空气体积膨胀系数, K<sup>-1</sup>, 按下式计算:

$$\beta_v = \frac{1}{273 + \frac{t + t_k}{2}} \quad (\text{A. 0. 5-5})$$

当保温层厚度计算值  $\delta > b$  时, 可不设留置空气层, 令  $\lambda_d = 10^9$  代入式 A. 0. 5-1 或式 A. 0. 5-2 中重新计算保温层厚度。

最后, 应对保温结构外表面温度、空气层和保温层介面处温度分别按式 (A. 0. 5-6)、式 (A. 0. 5-7) 进行校核:

$$t_s = \frac{\frac{b - \delta}{1000\lambda_d} t_a + \frac{\delta}{1000\lambda} t_a + \frac{1}{\alpha} t}{\frac{b - \delta}{1000\lambda_d} + \frac{\delta}{1000\lambda} + \frac{1}{\alpha}} \quad (\text{A. 0. 5-6})$$

$$t_k = \frac{\frac{b - \delta}{1000\lambda_d} t_a + \frac{\delta}{1000\lambda} t + \frac{1}{\alpha} t}{\frac{b - \delta}{1000\lambda_d} + \frac{\delta}{1000\lambda} + \frac{1}{\alpha}} \quad (\text{A. 0. 5-7})$$

留置空气层保温结构外表面散热密度按下式计算:

$$q = \frac{t - t_a}{\frac{b - \delta}{1000\lambda_d} + \frac{\delta}{1000\lambda} + \frac{1}{\alpha}} \quad (\text{A. 0. 5-8})$$

附录 B（标准的附录）

常用保温材料性能

表 B 常用保温材料性能表

| 保温材料      |     | 密度<br>kg/m <sup>3</sup> | 推荐最高<br>使用温度<br>℃ | 抗压强度<br>MPa | 热导率参考方程                                                                                                             |
|-----------|-----|-------------------------|-------------------|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 硅酸钙制品     |     | 170<br>220              | 550<br>550        | 0.4<br>0.5  | $\lambda=0.047+0.00011t_m$<br>$\lambda=0.054+0.00011t_m$                                                            |
| 硅酸铝岩棉复合   | 硅酸铝 | 150                     | 650               | —           | $\lambda=0.035+1.65\times10^{-4}t_{m1}+1.242\times10^{-7}t_{m1}^2$                                                  |
|           | 岩 棉 | 150                     | 320               | —           | $\lambda=0.037+8.25\times10^{-5}t_{m2}+2.035\times10^{-7}t_{m2}^2$                                                  |
| 岩棉、矿渣棉制品  | 棉   | 100                     | 600               | —           | $\lambda=0.037+7.09\times10^{-5}t_m+3.123\times10^{-7}t_m^2$                                                        |
|           | 缝毡  | 100                     | 400               | —           | $\lambda=0.039+7.09\times10^{-5}t_m+3.123\times10^{-7}t_m^2$                                                        |
|           | 板   | 120                     | 350               | —           | $\lambda=0.037+6.81\times10^{-5}t_m+2.999\times10^{-7}t_m^2$                                                        |
|           | 管壳  | 150                     | 350               | —           | $\lambda=t_m<100℃时, 0.031+0.00018t_m$<br>$\lambda=t_m\geq100℃时, 0.037+8.25\times10^{-5}t_m+2.035\times10^{-7}t_m^2$ |
| 玻璃棉制品     | 缝毡  | 64                      | 300               | —           | $\lambda=0.026+0.00023t_m$                                                                                          |
|           | 板   | 80                      | 300               | —           | $\lambda=0.026+0.00023t_m$                                                                                          |
|           | 管壳  | 45                      | 300               | —           | $\lambda=0.027+0.00023t_m$                                                                                          |
| 憎水膨胀珍珠岩制品 |     | 220                     | 400               | 0.5         | $\lambda=0.057+0.00015t_m$                                                                                          |
| 复合硅酸盐保温涂料 |     | 180（干态）                 | 550               | —           | $\lambda=0.058+0.00017t_m$                                                                                          |

保温结构辅助材料用量

表 C1 支承件 (焊接承重环) 材料用量

| 管道外径<br>mm | 焊接承重<br>环型号 | 钢 板       |                         |       |       |       |       |       |       | 角 钢      |            |
|------------|-------------|-----------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|------------|
|            |             | 厚 度<br>mm | 保温层厚度<br>mm             |       |       |       |       |       |       | 规 格      | 数 量<br>m/件 |
|            |             |           | 40                      | 60    | 80    | 100   | 120   | 140   | 150   |          |            |
|            |             |           | 数量<br>m <sup>2</sup> /件 |       |       |       |       |       |       |          |            |
| 76         | A           | 3         | 0.010                   | 0.020 | 0.032 | 0.047 | 0.065 | 0.084 | 0.106 | —        | —          |
| 89         |             |           | 0.011                   | 0.022 | 0.035 | 0.051 | 0.069 | 0.090 | 0.113 |          | —          |
| 108        |             |           | 0.013                   | 0.025 | 0.039 | 0.056 | 0.075 | 0.097 | 0.122 |          | —          |
| 133        |             |           | 0.015                   | 0.029 | 0.045 | 0.063 | 0.084 | 0.108 | 0.133 |          | —          |
| 159        |             |           | 0.018                   | 0.033 | 0.050 | 0.071 | 0.093 | 0.118 | 0.146 |          | —          |
| 219        |             |           | 0.023                   | 0.042 | 0.064 | 0.087 | 0.114 | 0.143 | 0.174 |          | —          |
| 273        |             |           | 0.029                   | 0.051 | 0.075 | 0.103 | 0.132 | 0.165 | 0.199 |          | —          |
| 325        | B           | 3         | —                       | 0.013 | 0.041 | 0.072 | 0.105 | 0.140 | 0.180 | ∠50×50×5 | 1.335      |
| 377        |             |           | —                       | 0.015 | 0.046 | 0.080 | 0.116 | 0.155 | 0.196 |          | 1.499      |
| 426        |             |           | —                       | 0.016 | 0.051 | 0.087 | 0.127 | 0.169 | 0.213 |          | 1.653      |
| 480        |             |           | —                       | 0.018 | 0.056 | 0.096 | 0.139 | 0.184 | 0.232 |          | 1.822      |
| 530        |             |           | —                       | 0.019 | 0.060 | 0.104 | 0.150 | 0.198 | 0.249 |          | 1.979      |

表 C1 (续完)

| 管道外径<br>mm | 焊接承重<br>环型号 | 钢 板       |                         |       |       |       |       |       |       | 角 钢                             |            |
|------------|-------------|-----------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------------------|------------|
|            |             | 厚 度<br>mm | 保温层厚度<br>mm             |       |       |       |       |       |       | 规 格                             | 数 量<br>m/件 |
|            |             |           | 40                      | 60    | 80    | 100   | 120   | 140   | 150   |                                 |            |
|            |             |           | 数量<br>m <sup>2</sup> /件 |       |       |       |       |       |       |                                 |            |
| 630        | B           | 3         | —                       | 0.023 | 0.070 | 0.119 | 0.172 | 0.226 | 0.283 | ∠50×50×5                        | 2.293      |
| 720        |             |           | —                       | 0.025 | 0.078 | 0.134 | 0.191 | 0.252 | 0.315 |                                 | 2.576      |
| 820        |             |           | —                       | 0.029 | 0.088 | 0.149 | 0.213 | 0.280 | 0.349 |                                 | 2.890      |
| 920        |             |           | —                       | 0.032 | 0.097 | 0.165 | 0.235 | 0.308 | 0.384 |                                 | 3.205      |
| 1020       | C           | 3         | —                       | 0.035 | 0.107 | 0.181 | 0.257 | 0.337 | 0.418 | ∠50×50×5                        | 3.519      |
| 1220       |             |           | —                       | 0.041 | 0.125 | 0.212 | 0.301 | 0.393 | 0.487 |                                 | 4.147      |
| 1420       |             |           | —                       | 0.047 | 0.144 | 0.244 | 0.345 | 0.450 | 0.556 |                                 | 4.775      |
| 1620       |             |           | —                       | 0.054 | 0.163 | 0.275 | 0.389 | 0.506 | 0.626 |                                 | 5.404      |
| 1820       |             |           | —                       | 0.060 | 0.182 | 0.306 | 0.433 | 0.563 | 0.695 |                                 | 6.032      |
| 平面         | D           | 4         | 数量<br>m <sup>2</sup> /m |       |       |       |       |       |       | ∠50×50×5 <th rowspan="2">—</th> | —          |
|            |             |           | —                       | 0.02  | 0.06  | 0.10  | 0.14  | 0.18  | 0.22  |                                 |            |

表 C2 支承件 (紧箍承重环) 材料用量

| 管道<br>外径<br>mm | 紧 箍<br>承重环<br>型 号 | 钢 板      |                          |       |       |       |       |       |       |       | 角 钢       |           | 螺 栓    |           | 螺 母 |           | 垫 圈 |           | 肋 板     |           |       |
|----------------|-------------------|----------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-----------|--------|-----------|-----|-----------|-----|-----------|---------|-----------|-------|
|                |                   | 厚度<br>mm | 保温层厚度<br>mm              |       |       |       |       |       |       |       | 规格<br>m/件 | 数量<br>m/件 | 规格     | 数量<br>个/件 | 规格  | 数量<br>个/件 | 规格  | 数量<br>个/件 | 规格      | 数量<br>块/件 |       |
|                |                   |          | 60                       | 80    | 100   | 120   | 140   | 160   | 180   | 200   |           |           |        |           |     |           |     |           |         |           |       |
|                |                   |          | 数 量<br>m <sup>2</sup> /件 |       |       |       |       |       |       |       |           |           |        |           |     |           |     |           |         |           |       |
| 76             | A                 | 3        | 0.037                    | 0.053 | 0.071 | 0.091 | 0.114 | 0.140 | 0.168 | 0.198 | —         | —         | M8×25  | 2         | M8  | 2         | 8   | 2         | —       | —         |       |
| 89             |                   |          | 0.041                    | 0.057 | 0.076 | 0.097 | 0.121 | 0.147 | 0.176 | 0.208 |           | —         |        |           |     |           |     |           |         |           |       |
| 108            |                   |          | 0.046                    | 0.063 | 0.083 | 0.106 | 0.131 | 0.158 | 0.188 | 0.221 |           | —         |        |           |     |           |     |           |         |           |       |
| 133            |                   |          | 0.052                    | 0.072 | 0.093 | 0.117 | 0.144 | 0.173 | 0.205 | 0.239 |           | —         |        |           |     |           |     |           |         |           |       |
| 159            |                   |          | 0.059                    | 0.080 | 0.103 | 0.129 | 0.157 | 0.188 | 0.221 | 0.257 |           | —         |        |           |     |           |     |           |         |           |       |
| 219            |                   |          | 0.075                    | 0.100 | 0.127 | 0.156 | 0.188 | 0.223 | 0.260 | 0.300 |           | —         |        |           |     |           |     |           |         |           |       |
| 273            |                   |          | 0.090                    | 0.118 | 0.148 | 0.181 | 0.216 | 0.254 | 0.295 | 0.338 |           | —         |        |           |     |           |     |           |         |           |       |
| 325            | B                 | 3        | 0.013                    | 0.041 | 0.072 | 0.105 | 0.140 | 0.180 | 0.219 | 0.262 | 1.335     | 1.499     | M12×50 | 2         | M12 | 2         | 12  | 2         | 40×40×8 | 4         |       |
| 377            |                   |          | 0.015                    | 0.046 | 0.080 | 0.116 | 0.155 | 0.196 | 0.240 | 0.286 |           |           |        |           |     |           |     |           |         |           | 1.653 |
| 426            |                   |          | 0.016                    | 0.051 | 0.087 | 0.127 | 0.169 | 0.213 | 0.260 | 0.309 |           |           |        |           |     |           |     |           |         |           | 1.822 |
| 480            |                   |          | 0.018                    | 0.056 | 0.096 | 0.139 | 0.184 | 0.232 | 0.282 | 0.335 |           |           |        |           |     |           |     |           |         |           | 1.979 |
| 530            |                   |          | 0.019                    | 0.060 | 0.104 | 0.150 | 0.198 | 0.249 | 0.302 | 0.358 |           |           |        |           |     |           |     |           |         |           | 2.293 |
| 630            |                   |          | 0.023                    | 0.070 | 0.119 | 0.172 | 0.226 | 0.283 | 0.343 | 0.405 |           |           |        |           |     |           |     |           |         |           | 2.576 |
| 720            |                   |          | 0.025                    | 0.078 | 0.134 | 0.191 | 0.252 | 0.315 | 0.380 | 0.448 |           |           |        |           |     |           |     |           |         |           | 2.890 |
| 820            |                   |          | 0.029                    | 0.088 | 0.149 | 0.213 | 0.280 | 0.349 | 0.421 | 0.495 |           |           |        |           |     |           |     |           |         |           | 3.205 |
| 920            |                   |          | 0.032                    | 0.097 | 0.165 | 0.235 | 0.308 | 0.384 | 0.462 | 0.542 |           |           |        |           |     |           |     |           |         |           |       |

15

| 管道<br>外径<br>mm | 紧 箍<br>承重环<br>型 号 | 钢 板      |                          |       |       |       |       |       |       | 角 钢   |           | 螺 栓                     |        | 螺 母       |     | 垫 圈       |    | 肋 板       |          |           |
|----------------|-------------------|----------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-------------------------|--------|-----------|-----|-----------|----|-----------|----------|-----------|
|                |                   | 厚度<br>mm | 保温层厚度<br>mm              |       |       |       |       |       |       |       | 规格        | 数量<br>m <sup>2</sup> /件 | 规格     | 数量<br>个/件 | 规格  | 数量<br>个/件 | 规格 | 数量<br>个/件 | 规格       | 数量<br>块/件 |
|                |                   |          | 60                       | 80    | 100   | 120   | 140   | 160   | 180   | 200   |           |                         |        |           |     |           |    |           |          |           |
|                |                   |          | 数 量<br>m <sup>2</sup> /件 |       |       |       |       |       |       |       |           |                         |        |           |     |           |    |           |          |           |
| 1020           | C                 | 3        | 0.035                    | 0.107 | 0.181 | 0.257 | 0.337 | 0.418 | 0.502 | 0.589 | L 50×50×5 | 3.519                   | M12×50 | 4         | M12 | 4         | 12 | 4         | 40×40×8  | 8         |
| 1220           |                   |          | 0.041                    | 0.125 | 0.212 | 0.301 | 0.393 | 0.487 | 0.584 | 0.683 |           | 4.147                   |        |           |     |           |    |           |          |           |
| 1420           |                   |          | 0.047                    | 0.144 | 0.244 | 0.345 | 0.450 | 0.556 | 0.666 | 0.778 |           | 4.775                   |        |           |     |           |    |           |          |           |
| 1620           |                   |          | 0.054                    | 0.163 | 0.275 | 0.389 | 0.506 | 0.626 | 0.747 | 0.872 |           | 5.404                   |        |           |     |           |    |           |          |           |
| 1820           |                   |          | 0.060                    | 0.182 | 0.306 | 0.433 | 0.563 | 0.695 | 0.829 | 0.966 |           | 6.032                   |        |           |     |           |    |           |          |           |
| 平面             | D                 | 4        | 数 量<br>m <sup>2</sup> /m |       |       |       |       |       |       |       | L 50×50×5 | —                       | M12×50 | —         | M12 | —         | 12 | —         | 100×40×8 | —         |
|                |                   |          | 0.02                     | 0.06  | 0.10  | 0.14  | 0.18  | 0.22  | 0.26  | 0.30  |           |                         |        |           |     |           |    |           |          |           |

表 C3 固定件材料用量

| 固 定 件        | 规 格                          | $D_0 > 630$ 管道<br>kg/m              | 平 面<br>kg/m <sup>2</sup>         |
|--------------|------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| 钩 钉          | $\phi 3 \sim \phi 6$         | $4D_1 (\delta + 45) \times 10^{-6}$ | $6 (\delta + 45) \times 10^{-4}$ |
| 销 钉          | $\phi 3 \sim \phi 6$         | $4D_1 (\delta + 60) \times 10^{-6}$ | $6 (\delta + 60) \times 10^{-4}$ |
| 弯 钩          | $\phi 8$                     | 0.8                                 | 0.15                             |
| 自锁垫片         | $\delta = 0.5 \quad \phi 65$ | 0.5                                 | 0.06                             |
| 自攻螺钉<br>抽芯铆钉 | M4×12                        | $0.006 + 18D_1 \times 10^{-6}$      | 0.03                             |

表 C4 镀锌铁丝、镀锌钢带用量 kg/m

| 捆扎件  | 管道外径 | $\leq 108$ | 133~159 | 219~273 | 325~426 | 530~720 | $> 720$ | 平面   |
|------|------|------------|---------|---------|---------|---------|---------|------|
| 镀锌铁丝 | 汽水管道 | 0.12       | 0.20    | 0.40    | 0.50    | 0.60    | 0.75    | —    |
|      | 煤粉管道 | 0.10       | 0.10    | 0.10    | 0.16    | 0.26    | 0.33    | —    |
|      | 烟风道  | 0.20       | 0.25    | 0.30    | 0.40    | 0.40    | 0.60    | 0.26 |
| 镀锌钢带 | 汽水管道 | —          | —       | —       | —       | 0.70    | 0.85    | —    |
|      | 煤粉管道 | —          | —       | —       | —       | 0.40    | 0.50    | —    |
|      | 烟风道  | —          | —       | —       | —       | 0.60    | 0.70    | 0.4  |

表 C5 可拆卸式金属保护罩材料用量 m<sup>2</sup>/个

| 管道外径<br>mm | 阀 门   |      | 法 兰  |
|------------|-------|------|------|
|            | 中 低 温 | 高 温  |      |
| 57         | 0.39  | 0.47 | 0.22 |
| 89         | 0.57  | 0.69 | 0.41 |
| 108        | 0.59  | 0.71 | 0.44 |
| 159        | 0.88  | 1.08 | 0.46 |
| 219        | 1.2   | 1.5  | 0.68 |
| 273        | 1.8   | 2.2  | 0.81 |
| 325        | 2.2   | 2.6  | 0.96 |
| 377        | 2.7   | 3.2  | 1.2  |
| 426        | 3.0   | 3.6  | 1.3  |
| 480        | 3.4   | 4.2  | 1.4  |

## 附录 D (标准的附录)

### 油漆和防腐材料耗量

表 D1 油漆耗量

| 类别 | 油漆名称           | 单位面积每度耗漆量<br>kg/m <sup>2</sup> |
|----|----------------|--------------------------------|
| 底漆 | 防锈漆            | 0.20                           |
|    | 环氧底漆           | 0.20                           |
|    | 醇酸底漆           | 0.20                           |
|    | 云母氧化铁酚醛底漆      | 0.20                           |
|    | 沥青底漆           | 0.90                           |
|    | 环氧富锌底漆         | 0.25                           |
|    | 汽包漆            | 0.20                           |
|    | 耐高温防锈漆         | 0.22                           |
|    | 清漆 (稀释防锈漆用)    | 按防锈漆 10% 计                     |
| 面漆 | 油性调合漆          | 0.12~0.20                      |
|    | 环氧磁漆、铝粉缩醛磁漆    | 0.18                           |
|    | 醇酸磁漆           | 0.15                           |
|    | 环氧耐油漆          | 0.20                           |
|    | 云母氧化铁面漆        | 0.18                           |
|    | 沥青漆、环氧沥青漆      | 0.21                           |
|    | 聚酯酸乙烯树脂        | 0.25~0.45                      |
|    | 氯磺化聚乙烯         | 0.8~1.7                        |
|    | 松香水 (稀释油性调和漆用) | 按油性调合漆 10% 计                   |

表 D2 每米管道石油沥青防腐层材料耗量

| 管道<br>外径<br>mm | 底漆<br>kg | 石 油 沥 青<br>kg |      |      | 玻 璃 布<br>m <sup>2</sup> |     |     | 塑料薄膜<br>或牛皮纸<br>m <sup>2</sup> |
|----------------|----------|---------------|------|------|-------------------------|-----|-----|--------------------------------|
|                |          | 普通            | 加强   | 特强   | 普通                      | 加强  | 特强  |                                |
| 57             | 0.04     | 0.9           | 1.9  | 2.9  | 0.3                     | 0.3 | 0.6 | 0.3                            |
| 89             | 0.06     | 1.4           | 3.0  | 4.6  | 0.4                     | 0.4 | 0.8 | 0.4                            |
| 108            | 0.07     | 1.7           | 3.6  | 5.5  | 0.5                     | 0.5 | 1.0 | 0.5                            |
| 133            | 0.08     | 2.1           | 4.5  | 6.8  | 0.6                     | 0.6 | 1.2 | 0.6                            |
| 159            | 0.10     | 2.5           | 5.3  | 8.0  | 0.7                     | 0.7 | 1.4 | 0.7                            |
| 219            | 0.13     | 3.2           | 6.8  | 10.3 | 0.9                     | 0.9 | 1.8 | 0.9                            |
| 273            | 0.16     | 3.9           | 8.1  | 12.5 | 1.1                     | 1.1 | 2.2 | 1.1                            |
| 325            | 0.19     | 4.7           | 10.0 | 15.0 | 1.3                     | 1.3 | 2.6 | 1.3                            |
| 377            | 0.22     | 5.5           | 11.5 | 17.4 | 1.5                     | 1.5 | 3.0 | 1.5                            |
| 426            | 0.25     | 6.3           | 13.5 | 20.0 | 1.7                     | 1.7 | 3.4 | 1.7                            |
| 480            | 0.28     | 7.0           | 15.0 | 22.5 | 2.0                     | 2.0 | 4.0 | 2.0                            |
| 530            | 0.31     | 7.8           | 16.7 | 25.0 | 2.2                     | 2.2 | 4.4 | 2.2                            |
| 630            | 0.36     | 9.4           | 20.0 | 30.0 | 2.6                     | 2.6 | 5.2 | 2.6                            |

## 附录 E (提示的附录)

### 物 性 数 据

表 E1 饱和水比热容

| 介质温度<br>℃        | 0     | 10    | 20    | 30    | 40    | 50    | 60    | 70    |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 比热容<br>kJ/(kg·K) | 4.217 | 4.193 | 4.182 | 4.179 | 4.179 | 4.181 | 4.184 | 4.190 |
| 介质温度<br>℃        | 80    | 90    | 100   | 110   | 120   | 130   | 140   | 150   |
| 比热容<br>kJ/(kg·K) | 4.196 | 4.205 | 4.216 | 4.229 | 4.245 | 4.263 | 4.285 | 4.310 |

表 E2 常用油比热容

| 名 称              | 原 油   | 重 油         | 轻 柴 油 | 润 滑 油       | 透 平 油       |
|------------------|-------|-------------|-------|-------------|-------------|
| 比热容<br>kJ/(kg·K) | 2.093 | 1.633~2.093 | 1.740 | 1.796~2.307 | 1.800~2.118 |

表 E3 常用材料比热容

| 名 称              | 钢     | 铁     | 铝     | 铜     | 不锈钢   |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 比热容<br>kJ/(kg·K) | 0.481 | 0.461 | 0.900 | 0.398 | 0.500 |

表 E4 干空气在压力 0.1MPa 下的物性数据

| 温度<br>$t$<br>℃ | 热导率<br>$\lambda$<br>W/(m·K) | 比热容<br>$c$<br>kJ/(kg·K) | 运动粘度<br>$\nu$<br>$\times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ | 普朗特数<br>$Pr$ |
|----------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------------------------------------|--------------|
| 20             | 0.02603                     | 1.007                   | 15.13                                                 | 0.703        |
| 40             | 0.02749                     | 1.008                   | 16.92                                                 | 0.699        |
| 60             | 0.02894                     | 1.009                   | 18.88                                                 | 0.696        |
| 80             | 0.03038                     | 1.010                   | 21.02                                                 | 0.692        |
| 100            | 0.03181                     | 1.012                   | 23.15                                                 | 0.688        |
| 120            | 0.03323                     | 1.014                   | 25.33                                                 | 0.686        |
| 140            | 0.03466                     | 1.017                   | 27.53                                                 | 0.684        |
| 160            | 0.03607                     | 1.020                   | 29.88                                                 | 0.682        |
| 180            | 0.03749                     | 1.023                   | 32.43                                                 | 0.681        |
| 200            | 0.03891                     | 1.026                   | 34.94                                                 | 0.680        |
| 250            | 0.04243                     | 1.035                   | 41.18                                                 | 0.677        |
| 300            | 0.04591                     | 1.046                   | 48.09                                                 | 0.674        |
| 350            | 0.04931                     | 1.057                   | 55.33                                                 | 0.676        |
| 400            | 0.05257                     | 1.069                   | 62.95                                                 | 0.678        |
| 450            | 0.05564                     | 1.081                   | 70.64                                                 | 0.680        |
| 500            | 0.05848                     | 1.093                   | 78.86                                                 | 0.687        |

表 E5 保护层材料黑度

| 材 料 名 称 | 表 面 状 况 | 黑 度       |
|---------|---------|-----------|
| 镀锌铁皮    | 有光泽     | 0.23~0.27 |
| 镀锌铁皮    | 已氧化     | 0.28~0.32 |
| 氧化铁皮    | 已生锈     | 0.80~0.90 |
| 铝 板     | 已氧化     | 0.20~0.30 |
| 不锈钢板    | —       | 0.20~0.40 |
| 水泥砂浆    | 光 平     | 0.93      |
| 纤维织物    | —       | 0.70~0.80 |
| 黑 漆     | 无光泽     | 0.96      |
| 油 漆     | —       | 0.80~0.90 |

## 附录 F(提示的附录)

## 气象数据

表 F1 部分城市室外气象参数

| 地 名 | 海 拔<br>高 度<br>m | 年平均大<br>气压力<br>hPa | 年平均<br>温 度<br>℃ | 采暖期平均温度<br>℃ |      | 最热月<br>平均温度<br>℃ | 夏季空调<br>室 外<br>(干球)<br>温 度<br>℃ | 极端温度平均值<br>℃ |      | 室外风速平均值<br>m/s |     | 最热月<br>平均相<br>对湿度<br>% | 最大冻<br>土深度<br>cm |
|-----|-----------------|--------------------|-----------------|--------------|------|------------------|---------------------------------|--------------|------|----------------|-----|------------------------|------------------|
|     |                 |                    |                 | 日平均温度        |      |                  |                                 | 最低           | 最高   | 冬季             | 夏季  |                        |                  |
|     |                 |                    |                 | ≤5℃          | ≤8℃  |                  |                                 |              |      |                |     |                        |                  |
| 北 京 | 31.2            | 1009.5             | 11.4            | －1.6         | －0.2 | 25.8             | 33.2                            | －17.1        | 37.1 | 2.8            | 1.9 | 78                     | 85               |
| 天 津 | 3.3             | 1015.7             | 12.2            | －0.9         | 0.3  | 26.4             | 33.4                            | －14.7        | 37.1 | 3.1            | 2.6 | 78                     | 69               |
| 上 海 | 4.5             | 1015.2             | 15.7            | 4.1          | 5.3  | 27.8             | 34.0                            | －6.7         | 36.6 | 3.1            | 3.2 | 83                     | 8                |
| 重 庆 | 259.1           | 982.2              | 18.3            | —            | 7.5  | 28.6             | 36.5                            | 0.2          | 39.1 | 1.2            | 1.4 | 75                     | —                |
| 河北省 |                 |                    |                 |              |      |                  |                                 |              |      |                |     |                        |                  |
| 承 德 | 375.2           | 971.4              | 8.9             | －4.2         | －3.0 | 24.4             | 32.3                            | －21.3        | 36.0 | 1.4            | 1.1 | 72                     | 126              |
| 唐 山 | 25.9            | 1012.8             | 11.1            | －1.5         | －0.6 | 25.5             | 32.7                            | －17.8        | 36.3 | 2.6            | 2.3 | 79                     | 73               |
| 保 定 | 17.2            | 1013.7             | 12.3            | －0.9         | 0.3  | 26.6             | 34.8                            | －16.8        | 38.9 | 2.1            | 2.1 | 76                     | 55               |
| 石家庄 | 80.5            | 1006.3             | 12.9            | －0.2         | 1.0  | 26.6             | 35.1                            | －16.6        | 39.2 | 1.8            | 1.5 | 75                     | 54               |
| 山西省 |                 |                    |                 |              |      |                  |                                 |              |      |                |     |                        |                  |
| 大 同 | 1066.7          | 893.9              | 6.5             | －5.0         | －3.7 | 21.8             | 30.3                            | －25.1        | 34.5 | 3.0            | 3.4 | 66                     | 186              |

表 F1(续)

| 地 名  | 海 拔<br>高 度<br>m | 年平均大<br>气压力<br>hPa | 年平均<br>温 度<br>℃ | 采暖期平均温度<br>℃ |       | 最热月<br>平均温度<br>℃ | 夏季空调<br>室 外<br>(干球)<br>温 度<br>℃ | 极端温度平均值<br>℃ |      | 室外风速平均值<br>m/s |     | 最热月<br>平均相<br>对湿度<br>% | 最大冻<br>土深度<br>cm |
|------|-----------------|--------------------|-----------------|--------------|-------|------------------|---------------------------------|--------------|------|----------------|-----|------------------------|------------------|
|      |                 |                    |                 | 日平均温度        |       |                  |                                 | 最低           | 最高   | 冬季             | 夏季  |                        |                  |
|      |                 |                    |                 | ≤5℃          | ≤8℃   |                  |                                 |              |      |                |     |                        |                  |
| 阳 泉  | 741.9           | 929.5              | 10.8            | -0.9         | 1.1   | 24.0             | 32.5                            | -15.3        | 36.2 | 2.4            | 1.5 | 71                     | 68               |
| 太 原  | 777.9           | 926.1              | 9.5             | -2.1         | -1.2  | 23.5             | 31.2                            | -21.4        | 35.2 | 2.6            | 2.1 | 72                     | 77               |
| 运 城  | 376.0           | 972.5              | 13.6            | 0.3          | 1.7   | 27.3             | 35.5                            | -14.7        | 39.2 | 2.6            | 3.4 | 69                     | 43               |
| 内蒙古  |                 |                    |                 |              |       |                  |                                 |              |      |                |     |                        |                  |
| 海拉尔  | 612.8           | 941.4              | -2.1            | -14.2        | -12.3 | 19.6             | 28.1                            | -41.2        | 33.2 | 2.6            | 3.2 | 71                     | 242              |
| 通 辽  | 178.5           | 993.6              | 6.0             | -7.3         | -5.4  | 23.9             | 32.5                            | -27.7        | 35.8 | 3.4            | 3.1 | 73                     | 179              |
| 赤 峰  | 571.1           | 947.9              | 6.8             | -5.9         | -4.1  | 23.5             | 32.6                            | -25.9        | 36.1 | 2.4            | 2.1 | 65                     | 201              |
| 呼和浩特 | 1063.0          | 895.2              | 5.8             | -5.9         | -4.8  | 21.9             | 29.9                            | -27.0        | 34.1 | 1.6            | 1.5 | 64                     | 143              |
| 辽宁省  |                 |                    |                 |              |       |                  |                                 |              |      |                |     |                        |                  |
| 阜 新  | 144.0           | 998.6              | 7.5             | -5.4         | -3.9  | 24.2             | 31.9                            | -24.6        | 35.3 | 2.3            | 2.1 | 59                     | 140              |
| 抚 顺  | 118.1           | 1001.5             | 6.6             | -6.5         | -5.0  | 23.7             | 31.6                            | -30.7        | 34.3 | 2.8            | 2.6 | 80                     | 143              |
| 沈 阳  | 41.6            | 1010.8             | 7.8             | -5.7         | -4.0  | 24.6             | 31.4                            | -26.8        | 34.0 | 3.1            | 2.9 | 78                     | 148              |
| 锦 州  | 65.9            | 1007.5             | 9.0             | -3.9         | -2.5  | 24.3             | 31.0                            | -21.4        | 34.6 | 3.9            | 3.8 | 80                     | 113              |
| 丹 东  | 15.1            | 1014.5             | 8.5             | -3.0         | -1.8  | 23.2             | 29.0                            | -21.4        | 32.2 | 3.8            | 2.5 | 86                     | 88               |

表 F1(续)

| 地 名   | 海 拔<br>高 度<br>m | 年平均大<br>气压力<br>hPa | 年平均<br>温 度<br>℃ | 采暖期平均温度<br>℃ |      | 最热月<br>平均温度<br>℃ | 夏季空调<br>室 外<br>(干球)<br>温 度<br>℃ | 极端温度平均值<br>℃ |      | 室外风速平均值<br>m/s |     | 最热月<br>平均相<br>对湿度<br>% | 最大冻<br>土深度<br>cm |
|-------|-----------------|--------------------|-----------------|--------------|------|------------------|---------------------------------|--------------|------|----------------|-----|------------------------|------------------|
|       |                 |                    |                 | 日平均温度        |      |                  |                                 | 最低           | 最高   | 冬季             | 夏季  |                        |                  |
|       |                 |                    |                 | ≤5℃          | ≤8℃  |                  |                                 |              |      |                |     |                        |                  |
| 大 连   | 92.8            | 1004.3             | 10.2            | -1.5         | -0.1 | 23.9             | 28.4                            | -16.2        | 31.5 | 5.8            | 4.3 | 83                     | 93               |
| 吉 林 省 |                 |                    |                 |              |      |                  |                                 |              |      |                |     |                        |                  |
| 吉 林   | 183.4           | 993.0              | 4.4             | -9.0         | -7.1 | 22.9             | 30.3                            | -35.0        | 33.7 | 3.0            | 2.5 | 79                     | 190              |
| 长 春   | 236.8           | 986.0              | 4.9             | -8.0         | -6.6 | 23.0             | 30.5                            | -30.2        | 33.8 | 4.2            | 3.5 | 78                     | 169              |
| 四 平   | 164.2           | 995.2              | 5.9             | -7.6         | -5.2 | 23.6             | 30.6                            | -29.3        | 33.5 | 3.1            | 2.9 | 78                     | 148              |
| 通 化   | 402.9           | 967.6              | 4.9             | -7.4         | -5.9 | 22.2             | 29.4                            | -32.8        | 32.5 | 1.3            | 1.7 | 80                     | 133              |
| 黑龙江省  |                 |                    |                 |              |      |                  |                                 |              |      |                |     |                        |                  |
| 齐齐哈尔  | 145.9           | 996.2              | 3.2             | -9.8         | -8.5 | 22.8             | 30.6                            | -32.6        | 35.2 | 2.8            | 3.2 | 73                     | 225              |
| 佳木斯   | 81.2            | 1003.5             | 2.9             | -10.2        | -8.5 | 22.0             | 30.3                            | -34.6        | 33.8 | 3.4            | 3.0 | 78                     | 220              |
| 哈尔滨   | 171.7           | 993.3              | 3.6             | -9.5         | -7.8 | 22.8             | 30.3                            | -33.4        | 34.2 | 3.8            | 3.5 | 77                     | 205              |
| 牡丹江   | 241.4           | 985.4              | 3.5             | -9.1         | -7.5 | 22.0             | 30.3                            | -33.1        | 34.3 | 2.3            | 2.1 | 76                     | 191              |
| 江苏省   |                 |                    |                 |              |      |                  |                                 |              |      |                |     |                        |                  |
| 连云港   | 3.0             | 1015.7             | 14.0            | 1.8          | 2.6  | 26.8             | 33.5                            | -12.3        | 36.9 | 3.0            | 3.0 | 81                     | 25               |
| 徐 州   | 41.0            | 1011.3             | 14.2            | 1.7          | 2.6  | 27.0             | 34.8                            | -11.7        | 37.8 | 2.8            | 2.9 | 81                     | 24               |

表 F1(续)

| 地 名 | 海 拔<br>高 度<br>m | 年平均大<br>气压力<br>hPa | 年平均<br>温 度<br>℃ | 采暖期平均温度<br>℃ |     | 最热月<br>平均温度<br>℃ | 夏季空调<br>室 外<br>(干球)<br>温 度<br>℃ | 极端温度平均值<br>℃ |      | 室外风速平均值<br>m/s |     | 最热月<br>平均相<br>对湿度<br>% | 最大冻<br>土深度<br>cm |
|-----|-----------------|--------------------|-----------------|--------------|-----|------------------|---------------------------------|--------------|------|----------------|-----|------------------------|------------------|
|     |                 |                    |                 | 日平均温度        |     |                  |                                 | 最低           | 最高   | 冬季             | 夏季  |                        |                  |
|     |                 |                    |                 | ≤5℃          | ≤8℃ |                  |                                 |              |      |                |     |                        |                  |
| 淮 阴 | 15.5            | 1014.0             | 14.0            | 2.2          | 3.0 | 26.9             | 33.8                            | －12.4        | 36.7 | 3.6            | 3.2 | 85                     | 23               |
| 南 通 | 5.3             | 1015.3             | 15.0            | 3.4          | 4.5 | 27.3             | 33.0                            | －7.5         | 35.5 | 3.3            | 3.1 | 86                     | 12               |
| 南 京 | 8.9             | 1014.6             | 15.3            | 3.2          | 4.3 | 28.0             | 35.0                            | －8.6         | 37.4 | 2.6            | 2.6 | 81                     | 9                |
| 浙江省 |                 |                    |                 |              |     |                  |                                 |              |      |                |     |                        |                  |
| 杭 州 | 41.7            | 1010.7             | 16.2            | 4.2          | 5.4 | 28.6             | 35.7                            | －6.0         | 37.8 | 2.3            | 2.2 | 80                     | —                |
| 宁 波 | 4.2             | 1015.6             | 16.2            | 4.4          | 5.5 | 28.1             | 34.5                            | －6.2         | 36.9 | 2.9            | 2.9 | 83                     | —                |
| 金 华 | 64.1            | 1008.3             | 17.3            | 5.0          | 6.1 | 29.4             | 36.4                            | －5.8         | 38.4 | 3.0            | 2.4 | 74                     | —                |
| 温 州 | 6.0             | 1014.5             | 17.9            | —            | 7.4 | 27.9             | 32.8                            | －2.4         | 36.4 | 2.2            | 2.1 | 84                     | —                |
| 安徽省 |                 |                    |                 |              |     |                  |                                 |              |      |                |     |                        |                  |
| 蚌 埠 | 21.0            | 1013.2             | 15.1            | 1.6          | 2.3 | 28.1             | 35.6                            | －10.7        | 38.3 | 2.6            | 2.3 | 80                     | 15               |
| 合 肥 | 29.8            | 1011.6             | 15.7            | 3.1          | 4.3 | 28.3             | 35.0                            | －9.4         | 37.6 | 2.5            | 2.6 | 81                     | 11               |
| 芜 湖 | 14.8            | 1013.4             | 16.0            | 3.5          | 4.9 | 28.7             | 35.0                            | －7.8         | 37.4 | 2.4            | 2.3 | 80                     | —                |
| 安 庆 | 19.8            | 1013.3             | 16.5            | 4.0          | 5.1 | 28.8             | 35.0                            | －6.9         | 37.6 | 3.5            | 2.8 | 79                     | 10               |
| 福建省 |                 |                    |                 |              |     |                  |                                 |              |      |                |     |                        |                  |

表 F1(续)

| 地 名 | 海 拔<br>高 度<br>m | 年平均大<br>气压力<br>hPa | 年平均<br>温 度<br>℃ | 采暖期平均温度<br>℃ |     | 最热月<br>平均温度<br>℃ | 夏季空调<br>室 外<br>(干球)<br>温 度<br>℃ | 极端温度平均值<br>℃ |      | 室外风速平均值<br>m/s |     | 最热月<br>平均相<br>对湿度<br>% | 最大冻<br>土深度<br>cm |
|-----|-----------------|--------------------|-----------------|--------------|-----|------------------|---------------------------------|--------------|------|----------------|-----|------------------------|------------------|
|     |                 |                    |                 | 日平均温度        |     |                  |                                 | 最低           | 最高   | 冬季             | 夏季  |                        |                  |
|     |                 |                    |                 | ≤5℃          | ≤8℃ |                  |                                 |              |      |                |     |                        |                  |
| 福 州 | 84.0            | 1004.5             | 19.6            | —            | —   | 28.8             | 35.2                            | 0.9          | 37.7 | 2.7            | 2.9 | 78                     | —                |
| 上 杭 | 205.4           | 990.6              | 19.9            | —            | —   | 27.9             | 34.6                            | —2.0         | 37.6 | 2.8            | 2.0 | 77                     | —                |
| 漳 州 | 30.0            | 1010.3             | 21.0            | —            | —   | 28.7             | 34.9                            | 1.3          | 37.6 | 1.6            | 1.6 | 80                     | —                |
| 厦 门 | 63.2            | 1006.5             | 20.9            | —            | —   | 28.4             | 33.4                            | 4.1          | 36.4 | 3.5            | 3.0 | 81                     | —                |
| 江西省 |                 |                    |                 |              |     |                  |                                 |              |      |                |     |                        |                  |
| 九 江 | 32.2            | 1011.4             | 17.0            | 4.4          | 5.6 | 29.4             | 36.4                            | —5.6         | 38.2 | 3.0            | 2.4 | 76                     | —                |
| 景德镇 | 61.5            | 1007.9             | 17.0            | 4.8          | 6.1 | 28.7             | 36.0                            | —7.4         | 38.5 | 2.0            | 2.0 | 79                     | —                |
| 南 昌 | 46.7            | 1009.0             | 17.5            | 5.0          | 6.1 | 29.6             | 35.6                            | —5.0         | 38.1 | 3.8            | 2.7 | 75                     | —                |
| 赣 州 | 123.8           | 999.6              | 19.4            | —            | 7.7 | 29.5             | 35.4                            | —2.5         | 38.2 | 2.1            | 2.0 | 70                     | —                |
| 山东省 |                 |                    |                 |              |     |                  |                                 |              |      |                |     |                        |                  |
| 烟 台 | 46.7            | 1011.0             | 12.4            | 0.3          | 1.5 | 25.2             | 30.7                            | —10.4        | 35.2 | 3.3            | 4.8 | 80                     | 43               |
| 德 州 | 21.2            | 1013.5             | 12.9            | —0.5         | 0.8 | 26.9             | 34.7                            | —16.5        | 38.9 | 2.8            | 2.0 | 76                     | 48               |
| 潍 坊 | 44.1            | 1010.2             | 12.3            | —0.4         | 0.9 | 25.0             | 34.0                            | —15.4        | 38.0 | 3.5            | 3.2 | 81                     | 50               |
| 济 南 | 51.6            | 1009.4             | 14.2            | 0.9          | 1.8 | 27.4             | 34.8                            | —13.7        | 38.6 | 3.2            | 2.8 | 73                     | 44               |

表 F1(续)

| 地 名 | 海 拔<br>高 度<br>m | 年平均大<br>气压力<br>hPa | 年平均<br>温 度<br>℃ | 采暖期平均温度<br>℃ |     | 最热月<br>平均温度<br>℃ | 夏季空调<br>室 外<br>(干球)<br>温 度<br>℃ | 极端温度平均值<br>℃ |      | 室外风速平均值<br>m/s |     | 最热月<br>平均相<br>对湿度<br>% | 最大冻<br>土深度<br>cm |
|-----|-----------------|--------------------|-----------------|--------------|-----|------------------|---------------------------------|--------------|------|----------------|-----|------------------------|------------------|
|     |                 |                    |                 | 日平均温度        |     |                  |                                 | 最低           | 最高   | 冬季             | 夏季  |                        |                  |
|     |                 |                    |                 | ≤5℃          | ≤8℃ |                  |                                 |              |      |                |     |                        |                  |
| 青 岛 | 76.0            | 1007.1             | 12.2            | 0.9          | 2.2 | 25.1             | 29.0                            | －10.2        | 32.6 | 5.7            | 4.9 | 85                     | 49               |
| 荷 泽 | 49.7            | 1009.8             | 13.6            | 0.7          | 2.0 | 27.0             | 34.8                            | －13.1        | 38.5 | 2.8            | 2.4 | 79                     | 35               |
| 河南省 |                 |                    |                 |              |     |                  |                                 |              |      |                |     |                        |                  |
| 安 阳 | 75.5            | 1006.6             | 13.6            | 0.6          | 1.6 | 26.9             | 35.0                            | －14.3        | 39.5 | 2.4            | 2.3 | 78                     | 35               |
| 新 乡 | 72.7            | 1006.8             | 14.0            | 1.3          | 2.4 | 27.1             | 35.1                            | －12.4        | 39.0 | 2.7            | 2.3 | 78                     | 28               |
| 郑 州 | 110.4           | 1002.3             | 14.2            | 1.6          | 2.6 | 27.3             | 35.6                            | －12.5        | 39.7 | 3.4            | 2.6 | 76                     | 27               |
| 洛 阳 | 154.5           | 998.2              | 14.6            | 1.9          | 3.0 | 27.5             | 35.9                            | －11.3        | 40.2 | 2.5            | 2.1 | 75                     | 21               |
| 平頂山 | 84.7            | 1005.6             | 14.9            | 2.3          | 3.3 | 27.7             | 35.5                            | －10.7        | 39.6 | 3.3            | 2.5 | 78                     | 14               |
| 信 阳 | 114.5           | 1001.7             | 15.1            | 2.8          | 3.8 | 27.7             | 35.1                            | －10.9        | 37.6 | 2.1            | 2.1 | 80                     | 8                |
| 湖北省 |                 |                    |                 |              |     |                  |                                 |              |      |                |     |                        |                  |
| 宜 昌 | 130.4           | 999.6              | 16.8            | 4.7          | 6.1 | 28.2             | 35.8                            | －4.3         | 38.6 | 1.6            | 1.7 | 80                     | —                |
| 武 汉 | 23.3            | 1012.5             | 16.3            | 3.7          | 5.0 | 28.8             | 35.2                            | －9.1         | 37.4 | 2.7            | 2.6 | 79                     | 10               |
| 江 陵 | 32.6            | 1011.0             | 16.1            | 4.0          | 5.4 | 28.1             | 34.6                            | －6.8         | 36.7 | 2.5            | 2.3 | 83                     | 8                |
| 黄 石 | 19.6            | 1012.5             | 17.0            | 4.1          | 5.7 | 29.2             | 35.7                            | －6.4         | 38.3 | 2.1            | 2.2 | 78                     | 6                |

表 F1(续)

[illegible]

表 F1(续)

| 地 名 | 海 拔<br>高 度<br>m | 年平均大<br>气压力<br>hPa | 年平均<br>温 度<br>℃ | 采暖期平均温度<br>℃ |     | 最热月<br>平均温度<br>℃ | 夏季空调<br>室 外<br>(干球)<br>温 度<br>℃ | 极端温度平均值<br>℃ |      | 室外风速平均值<br>m/s |     | 最热月<br>平均相<br>对湿度<br>% | 最大冻<br>土深度<br>cm |
|-----|-----------------|--------------------|-----------------|--------------|-----|------------------|---------------------------------|--------------|------|----------------|-----|------------------------|------------------|
|     |                 |                    |                 | 日平均温度        |     |                  |                                 | 最低           | 最高   | 冬季             | 夏季  |                        |                  |
|     |                 |                    |                 | ≤5℃          | ≤8℃ |                  |                                 |              |      |                |     |                        |                  |
| 桂 林 | 161.8           | 994.5              | 18.8            | —            | 7.9 | 28.3             | 33.9                            | —1.8         | 37.0 | 3.2            | 1.5 | 78                     | —                |
| 柳 州 | 96.9            | 1001.6             | 20.4            | —            | —   | 28.8             | 34.5                            | 0.1          | 37.6 | 1.7            | 1.4 | 78                     | —                |
| 南 宁 | 72.2            | 1003.7             | 21.6            | —            | —   | 28.3             | 34.2                            | 2.0          | 37.3 | 1.8            | 1.6 | 82                     | —                |
| 北 海 | 14.6            | 1009.8             | 22.6            | —            | —   | 28.7             | 32.4                            | 4.3          | 34.9 | 3.6            | 2.8 | 83                     | —                |
| 四川省 |                 |                    |                 |              |     |                  |                                 |              |      |                |     |                        |                  |
| 南 充 | 297.7           | 978.3              | 17.6            | —            | 7.0 | 27.9             | 35.5                            | —0.9         | 38.2 | 0.8            | 1.1 | 74                     | —                |
| 成 都 | 505.9           | 955.5              | 16.2            | —            | 6.5 | 25.6             | 31.6                            | —3.1         | 34.7 | 0.9            | 1.1 | 85                     | —                |
| 宜 宾 | 340.8           | 973.5              | 18.0            | —            | 7.7 | 26.9             | 33.2                            | 0.6          | 37.1 | 0.8            | 1.3 | 82                     | —                |
| 西 昌 | 1590.7          | 836.5              | 17.0            | —            | —   | 22.6             | 30.2                            | —2.0         | 33.8 | 1.7            | 1.2 | 75                     | —                |
| 贵州省 |                 |                    |                 |              |     |                  |                                 |              |      |                |     |                        |                  |
| 遵 义 | 843.9           | 917.5              | 15.2            | 4.4          | 5.7 | 25.3             | 31.7                            | —4.3         | 35.3 | 1.0            | 1.1 | 77                     | —                |
| 毕 节 | 1510.6          | 847.4              | 12.8            | 3.5          | 4.6 | 21.8             | 29.0                            | —5.7         | 32.4 | 0.9            | 1.1 | 78                     | —                |
| 贵 阳 | 1071.2          | 892.7              | 15.3            | 4.9          | 6.2 | 24.0             | 30.0                            | —4.6         | 33.2 | 2.2            | 2.0 | 77                     | —                |

表 F1(续)

| 地 名   | 海 拔<br>高 度<br>m | 年平均大<br>气压力<br>hPa | 年平均<br>温 度<br>℃ | 采暖期平均温度<br>℃ |      | 最热月<br>平均温度<br>℃ | 夏季空调<br>室 外<br>(干球)<br>温 度<br>℃ | 极端温度平均值<br>℃ |      | 室外风速平均值<br>m/s |     | 最热月<br>平均相<br>对湿度<br>% | 最大冻<br>土深度<br>cm |
|-------|-----------------|--------------------|-----------------|--------------|------|------------------|---------------------------------|--------------|------|----------------|-----|------------------------|------------------|
|       |                 |                    |                 | 日平均温度        |      |                  |                                 | 最低           | 最高   | 冬季             | 夏季  |                        |                  |
|       |                 |                    |                 | ≤5℃          | ≤8℃  |                  |                                 |              |      |                |     |                        |                  |
| 安 顺   | 1392.9          | 859.1              | 14.0            | 4.3          | 5.6  | 21.9             | 27.3                            | －5.1         | 30.9 | 2.4            | 2.2 | 82                     | —                |
| 云 南 省 |                 |                    |                 |              |      |                  |                                 |              |      |                |     |                        |                  |
| 昭 通   | 1949.5          | 803.4              | 11.6            | 3.2          | 4.3  | 19.8             | 27.1                            | －8.2         | 31.0 | 2.9            | 1.9 | 78                     | —                |
| 丽 江   | 2393.2          | 761.9              | 12.6            | 5.0          | 6.6  | 18.0             | 25.1                            | －6.0         | 28.7 | 3.9            | 2.2 | 81                     | —                |
| 昆 明   | 1891.4          | 809.8              | 14.7            | —            | 7.7  | 19.8             | 25.8                            | －2.9         | 29.5 | 2.5            | 1.8 | 83                     | —                |
| 景 洪   | 552.7           | 947.2              | 21.8            | —            | —    | 25.6             | 34.3                            | 5.8          | 38.0 | 0.4            | 0.7 | 76                     | —                |
| 西 藏   |                 |                    |                 |              |      |                  |                                 |              |      |                |     |                        |                  |
| 那 曲   | 4507.0          | 586.5              | －1.9            | －5.9         | －3.8 | 8.8              | 16.0                            | －32.2        | 19.8 | 3.3            | 2.4 | 71                     | 281              |
| 拉 萨   | 3658.0          | 651.2              | 7.5             | 0.7          | 1.8  | 15.1             | 22.8                            | －14.8        | 26.0 | 2.2            | 1.8 | 54                     | 26               |
| 日喀则   | 3836.0          | 644.7              | 6.3             | －0.4         | 0.9  | 14.1             | 22.2                            | －19.0        | 26.0 | 1.9            | 1.5 | 53                     | 67               |
| 陕 西 省 |                 |                    |                 |              |      |                  |                                 |              |      |                |     |                        |                  |
| 延 安   | 957.6           | 906.8              | 9.4             | －2.2         | －0.7 | 22.9             | 32.1                            | －20.3        | 36.0 | 2.1            | 1.6 | 72                     | 79               |
| 宝 鸡   | 612.4           | 944.6              | 12.9            | 1.4          | 2.4  | 25.5             | 33.7                            | －10.6        | 37.8 | 1.0            | 1.4 | 70                     | 29               |
| 西 安   | 396.9           | 969.0              | 13.3            | 1.0          | 2.1  | 26.6             | 35.2                            | －11.8        | 39.4 | 1.8            | 2.2 | 72                     | 45               |

表 F1(续)

| 地 名   | 海 拔<br>高 度<br>m | 年平均大<br>气压力<br>hPa | 年平均<br>温 度<br>℃ | 采暖期平均温度<br>℃ |      | 最热月<br>平均温度<br>℃ | 夏季空调<br>室 外<br>(干球)<br>温 度<br>℃ | 极端温度平均值<br>℃ |      | 室外风速平均值<br>m/s |     | 最热月<br>平均相<br>对湿度<br>% | 最大冻<br>土深度<br>cm |
|-------|-----------------|--------------------|-----------------|--------------|------|------------------|---------------------------------|--------------|------|----------------|-----|------------------------|------------------|
|       |                 |                    |                 | 日平均温度        |      |                  |                                 | 最低           | 最高   | 冬季             | 夏季  |                        |                  |
|       |                 |                    |                 | ≤5℃          | ≤8℃  |                  |                                 |              |      |                |     |                        |                  |
| 汉 中   | 508.4           | 955.8              | 14.3            | 3.2          | 4.2  | 25.6             | 32.4                            | -6.7         | 35.9 | 0.9            | 1.1 | 81                     | —                |
| 甘 肃 省 |                 |                    |                 |              |      |                  |                                 |              |      |                |     |                        |                  |
| 敦 煌   | 1138.7          | 886.5              | 9.3             | -3.8         | -2.6 | 24.7             | 34.1                            | -22.9        | 38.6 | 2.1            | 2.2 | 43                     | 144              |
| 兰 州   | 1517.2          | 847.3              | 9.1             | -2.5         | -1.1 | 22.2             | 30.5                            | -18.0        | 35.2 | 0.5            | 1.3 | 61                     | 103              |
| 天 水   | 1131.7          | 886.4              | 10.7            | 0.0          | 1.3  | 22.6             | 30.3                            | -13.4        | 34.1 | 1.3            | 1.2 | 72                     | 61               |
| 青 海 省 |                 |                    |                 |              |      |                  |                                 |              |      |                |     |                        |                  |
| 西 宁   | 2261.2          | 774.3              | 5.7             | -3.2         | -1.8 | 17.2             | 25.9                            | -20.5        | 30.6 | 1.7            | 1.9 | 65                     | 134              |
| 格 尔 木 | 2807.7          | 723.8              | 4.2             | -4.5         | -3.4 | 17.6             | 26.6                            | -25.7        | 31.4 | 2.6            | 3.5 | 36                     | 88               |
| 玉 树   | 3681.2          | 649.0              | 2.9             | -3.2         | -1.0 | 12.5             | 21.5                            | -23.4        | 25.6 | 1.2            | 0.9 | 69                     | >103             |
| 宁 夏   |                 |                    |                 |              |      |                  |                                 |              |      |                |     |                        |                  |
| 银 川   | 1111.5          | 889.6              | 8.5             | -3.4         | -2.1 | 23.4             | 30.6                            | -22.5        | 35.1 | 1.7            | 1.7 | 64                     | 103              |
| 吴 忠   | 1127.4          | 887.8              | 8.8             | -2.2         | -1.3 | 22.9             | 30.3                            | -21.0        | 35.1 | 3.2            | 2.3 | 65                     | 112              |
| 固 原   | 1753.2          | 823.8              | 6.2             | -3.3         | -2.0 | 18.9             | 27.2                            | -23.1        | 31.1 | 2.8            | 2.7 | 71                     | 114              |

表 F1(完)

| 地 名  | 海 拔<br>高 度<br>m | 年平均大<br>气压力<br>hPa | 年平均<br>温 度<br>℃ | 采暖期平均温度<br>℃ |      | 最热月<br>平均温度<br>℃ | 夏季空<br>调室<br>(干球)<br>温 度<br>℃ | 极端温度平均值<br>℃ |      | 室外风速平均值<br>m/s |     | 最热月<br>平均相<br>对湿度<br>% | 最大冻<br>土深度<br>cm |
|------|-----------------|--------------------|-----------------|--------------|------|------------------|-------------------------------|--------------|------|----------------|-----|------------------------|------------------|
|      |                 |                    |                 | 日平均温度        |      |                  |                               | 最低           | 最高   | 冬季             | 夏季  |                        |                  |
|      |                 |                    |                 | ≤5℃          | ≤8℃  |                  |                               |              |      |                |     |                        |                  |
| 新 疆  |                 |                    |                 |              |      |                  |                               |              |      |                |     |                        |                  |
| 克拉玛依 | 427.0           | 969.8              | 8.0             | -8.8         | -6.5 | 27.4             | 34.9                          | -30.0        | 40.4 | 1.5            | 5.1 | 32                     | 197              |
| 乌鲁木齐 | 917.9           | 913.3              | 5.7             | -8.5         | -7.3 | 23.5             | 34.1                          | -29.7        | 38.4 | 1.7            | 3.1 | 44                     | 133              |
| 吐鲁番  | 34.5            | 1013.1             | 13.9            | -4.2         | -2.6 | 32.7             | 40.7                          | -20.1        | 45.5 | 1.0            | 2.3 | 31                     | 83               |
| 和 田  | 1374.6          | 861.8              | 12.2            | -1.8         | -0.4 | 25.5             | 34.3                          | -16.3        | 38.5 | 1.6            | 2.3 | 40                     | 67               |
| 台 北  | 9.0             | 1012.5             | 22.1            | —            | —    | 28.6             | 33.6                          | 4.8          | 36.9 | 3.7            | 2.8 | 77                     | —                |
| 香 港  | 32.0            | 1012.6             | 22.8            | —            | —    | 28.6             | 32.4                          | 5.6          | 34.4 | 6.5            | 5.3 | 81                     | —                |

注:本表摘自《采暖通风与空气调节设计规范》(GBJ19-87)。

表 F2 相对湿度、露点对照表

| $\phi$<br>% | 30                | 35   | 40   | 45   | 50   | 55   | 60   | 65   | 70   | 75   | 80   | 85   | 90   | 95   |
|-------------|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $t_a$<br>℃  | 露 点<br>$t_d$<br>℃ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 10          | -7.0              | -5.0 | -3.0 | -1.3 | 0.0  | 1.5  | 2.5  | 3.6  | 4.8  | 5.3  | 6.7  | 7.6  | 8.4  | 9.2  |
| 11          | -6.5              | -4.0 | -2.0 | -0.5 | 1.0  | 2.5  | 3.5  | 4.8  | 5.8  | 6.7  | 7.7  | 8.6  | 9.4  | 10.2 |
| 12          | -5.0              | -3.0 | -1.0 | 0.5  | 2.0  | 3.3  | 4.4  | 5.5  | 6.7  | 7.7  | 8.7  | 9.5  | 10.9 | 11.2 |
| 13          | -4.5              | -2.0 | -0.2 | 1.4  | 2.8  | 4.1  | 5.3  | 6.6  | 7.7  | 8.7  | 9.6  | 10.5 | 11.4 | 12.2 |
| 14          | -3.2              | -1.0 | 0.7  | 2.2  | 3.5  | 5.1  | 6.4  | 7.5  | 8.6  | 9.6  | 10.6 | 11.5 | 12.4 | 13.2 |
| 15          | -2.3              | -0.3 | 1.5  | 3.1  | 4.6  | 6.0  | 7.3  | 8.4  | 9.6  | 10.6 | 11.6 | 12.5 | 13.4 | 14.2 |
| 16          | -1.3              | 0.5  | 2.4  | 4.0  | 5.6  | 7.0  | 8.3  | 9.5  | 10.6 | 11.6 | 12.6 | 13.4 | 14.3 | 15.2 |
| 17          | -0.5              | 1.5  | 3.2  | 5.0  | 6.5  | 8.0  | 9.2  | 10.2 | 11.5 | 12.5 | 13.5 | 14.5 | 15.3 | 16.2 |
| 18          | 0.2               | 2.3  | 4.0  | 5.8  | 7.4  | 9.0  | 10.2 | 11.3 | 12.5 | 13.5 | 14.5 | 15.4 | 16.4 | 17.2 |
| 19          | 1.0               | 3.2  | 5.0  | 6.8  | 8.4  | 9.8  | 11.0 | 12.2 | 13.4 | 14.5 | 15.4 | 16.5 | 17.3 | 18.2 |
| 20          | 2.0               | 4.0  | 6.0  | 7.8  | 9.4  | 10.7 | 12.0 | 13.2 | 14.4 | 15.4 | 16.5 | 17.4 | 18.3 | 19.2 |
| 21          | 2.8               | 5.0  | 7.0  | 8.6  | 10.2 | 11.7 | 12.9 | 14.2 | 15.3 | 16.4 | 17.4 | 18.4 | 19.3 | 20.2 |
| 22          | 3.5               | 5.8  | 7.8  | 9.5  | 11.0 | 12.5 | 13.8 | 15.2 | 16.3 | 17.3 | 18.4 | 19.4 | 20.3 | 21.2 |
| 23          | 4.4               | 6.8  | 8.7  | 10.4 | 12.0 | 13.5 | 14.8 | 16.2 | 17.3 | 18.4 | 19.4 | 20.4 | 21.3 | 22.2 |

表 F2(续完)

| $\phi$<br>% | 30                | 35   | 40   | 45   | 50   | 55   | 60   | 65   | 70   | 75   | 80   | 85   | 90   | 95   |
|-------------|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $t_a$<br>℃  | 露 点<br>℃<br>$t_d$ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 24          | 5.3               | 7.7  | 9.7  | 11.4 | 13.0 | 14.5 | 15.8 | 17.0 | 18.2 | 19.3 | 20.4 | 21.4 | 22.3 | 23.1 |
| 25          | 6.2               | 8.6  | 10.5 | 12.3 | 14.0 | 15.4 | 16.8 | 18.0 | 19.1 | 20.3 | 21.3 | 22.3 | 23.2 | 23.9 |
| 26          | 7.0               | 9.4  | 11.4 | 13.2 | 14.8 | 16.3 | 17.7 | 19.0 | 20.1 | 21.2 | 22.3 | 23.3 | 24.2 | 25.1 |
| 27          | 8.0               | 10.3 | 12.2 | 14.0 | 15.8 | 17.3 | 18.7 | 19.9 | 21.1 | 22.2 | 23.2 | 24.3 | 25.2 | 26.1 |
| 28          | 8.8               | 11.2 | 13.2 | 15.0 | 16.7 | 18.1 | 19.6 | 20.9 | 22.0 | 23.1 | 24.2 | 25.2 | 26.2 | 27.1 |
| 29          | 9.7               | 12.0 | 14.0 | 15.9 | 17.6 | 19.2 | 20.6 | 21.8 | 23.0 | 24.1 | 25.2 | 26.2 | 27.2 | 28.1 |
| 30          | 10.5              | 12.9 | 15.0 | 16.8 | 18.5 | 20.0 | 21.4 | 22.8 | 23.9 | 25.1 | 26.2 | 27.2 | 28.2 | 29.1 |
| 31          | 11.4              | 13.7 | 15.9 | 17.8 | 19.4 | 20.9 | 22.4 | 23.7 | 24.8 | 26.0 | 26.9 | 28.2 | 29.2 | 30.1 |
| 32          | 12.2              | 14.7 | 16.8 | 18.6 | 20.3 | 21.9 | 23.3 | 24.6 | 25.8 | 27.0 | 28.1 | 29.2 | 30.1 | 31.1 |
| 33          | 13.0              | 15.6 | 17.6 | 19.6 | 21.3 | 22.9 | 24.2 | 25.6 | 26.8 | 28.0 | 29.0 | 30.1 | 31.1 | 32.1 |
| 34          | 13.9              | 16.5 | 18.6 | 20.5 | 22.2 | 23.8 | 25.2 | 26.5 | 27.7 | 29.0 | 29.9 | 31.1 | 32.1 | 33.1 |
| 35          | 14.9              | 17.4 | 19.5 | 21.4 | 23.1 | 24.6 | 26.2 | 27.5 | 28.7 | 29.9 | 31.0 | 32.1 | 33.1 | 34.1 |
| 36          | 15.7              | 18.1 | 20.3 | 22.2 | 24.0 | 25.7 | 27.0 | 28.4 | 29.7 | 30.9 | 32.0 | 33.1 | 34.1 | 35.2 |
| 37          | 16.6              | 19.2 | 21.2 | 23.2 | 24.9 | 26.5 | 27.9 | 29.5 | 30.7 | 31.8 | 33.0 | 34.1 | 35.2 | 36.2 |
| 38          | 17.5              | 19.9 | 22.0 | 23.9 | 25.8 | 27.4 | 28.9 | 30.3 | 31.5 | 32.7 | 33.9 | 35.1 | 36.0 | 37.0 |
| 39          | 18.1              | 20.8 | 23.0 | 24.9 | 26.6 | 28.3 | 29.8 | 31.2 | 32.5 | 33.8 | 34.9 | 36.2 | 36.8 | —    |
| 40          | 19.2              | 21.6 | 23.8 | 25.8 | 27.6 | 29.2 | 30.7 | 32.1 | 33.5 | 34.7 | 35.8 | 36.8 | —    | —    |

注:表中防凝露环境温度( $t_a$ )取夏季空气调节室外(干球)温度,相对湿度( $\phi$ )取最热月平均相对湿度。

## 附录 G(提示的附录)

---

### 保温油漆工程设计软件

**G.0.1** 保温油漆工程设计软件(Package for designing insulation and painting engineering) 是根据 GB4272 和本规程而编制的,是集保温计算、保温设计和油漆设计为一体的综合性软件,以文件方式或交互方式输入原始数据,以多种格式自动输出设计结果,操作简便,快速准确,能完成火力发电厂保温油漆计算和设计工作。

**G.0.2** 保温油漆工程设计软件主要功能包括:

- 保温层厚度计算;
- 保温辅助计算;
- 保温材料明细汇总;
- 油漆材料明细汇总;
- 编制保温油漆设计说明书;
- 编制保温油漆互提资料单;
- 错误数据诊断。

**G.0.3** 保温油漆工程设计软件原始数据采用文件方式输入时,文件由总数组、材料数组和管道数组等三个数组构成。各数组项数可根据需要确定,未输入的项,项值由软件赋予缺省值。

**G.0.4** 保温油漆工程设计软件原始数据采用交互方式输入时,在“下拉式菜单”中按提示输入数据。

**G.0.5** 保温油漆工程设计软件设计结果有五种不同格式的输文件,可根据需要选择打印:

- 保温计算结果表(按管道开列);
- 保温材料明细表(按卷册开列);
- 保温材料汇总表(按材料品种规格开列);

——油漆材料明细表（按卷册开列）；

——油漆材料汇总表（按油漆品种开列）。

可选择打印原始数据。

## 附录 H（提示的附录）

---

### 本规程用词说明

**H. 0. 1** 执行本规程条文时，要求严格程度的用词说明如下：

——表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

——表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”，反面词采用“不得”或“不应”；

——表示允许稍有选择，在条件许可时，首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

——表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词：

采用“可”。

**H. 0. 2** 本规程中高温指介质温度高于 350℃，中温指介质温度为 350℃～150℃，低温指介质温度低于 150℃。

**DL**

**中华人民共和国电力行业标准**

P

DL/T 5072-1997

---

# **火力发电厂保温油漆设计规程**

## **条 文 说 明**

主编部门：电力工业部西南电力设计院

批准部门：中华人民共和国电力工业部

**中国电力出版社**

1997 北 京

# 目 次

## 《火力发电厂保温油漆设计规程》修订说明

|     |                |     |
|-----|----------------|-----|
| 1   | 总则 .....       | 75  |
| 2   | 术语、符号 .....    | 78  |
| 2.1 | 术语 .....       | 78  |
| 2.2 | 符号 .....       | 78  |
| 3   | 基本规定 .....     | 79  |
| 4   | 保温材料 .....     | 84  |
| 4.1 | 保温材料性能要求 ..... | 84  |
| 4.2 | 保温层材料选择 .....  | 88  |
| 4.3 | 保护层材料选择 .....  | 90  |
| 5   | 保温计算 .....     | 92  |
| 5.1 | 保温计算原则 .....   | 92  |
| 5.2 | 保温层厚度计算 .....  | 92  |
| 5.3 | 保温辅助计算 .....   | 99  |
| 5.4 | 保温计算数据选取 ..... | 100 |
| 6   | 保温结构 .....     | 104 |
| 6.1 | 一般规定 .....     | 104 |
| 6.2 | 保温层 .....      | 104 |
| 6.3 | 保护层 .....      | 107 |
| 6.4 | 防潮层 .....      | 109 |
| 7   | 油漆和防腐 .....    | 110 |
| 7.1 | 油漆 .....       | 110 |
| 7.2 | 防腐 .....       | 111 |

# 《火力发电厂保温油漆设计规程》

## 修 订 说 明

《火力发电厂设备和管道保温油漆设计技术规定》(SDGJ59—84)自1984年颁发执行以来,对指导我国火力发电厂保温油漆设计起了很大的作用,但随着我国电力建设事业的发展,高参数、大容量机组不断增多,新型保温油漆材料得到了推广应用,原规定的许多内容已不再适用。为此,能源部电力规划设计总院于1992年以电规计(1992)13号文要求西南电力设计院对《火力发电厂热力设备和管道保温油漆设计技术规定》(以下简称原规定)进行修订。

本规程修订遵循以下基本原则:

(1)贯彻电力部提出的“降低能耗、安全可靠”的目标,以规范保温油漆设计,确保保温油漆工程的安全性、经济性和实用性。

(2)加强与国家有关保温油漆设计标准的协调,避免与之矛盾,慎重采用新型保温油漆材料。

(3)吸收国外电站保温油漆设计方面的先进经验,参考日本JIS、美国ASME等国家的保温标准,博采众长、吸收优点。

(4)本规程按建设部《工程建设标准编写规定》及《电力标准编写的基本规定》(DL/T600—1996)进行修订,计量单位采用我国法定计量单位。

为了搞好本规程的修订工作,西南电力设计院进行了大量的收资调研工作,基本上做到了对十年来电力保温油漆工程设计与施工经验的总结提炼和优化,对原规定作了必要的增补和修订,修改量达80%以上,完成了两份内容丰富的专题报告,并在国内外首次提出了复合保温厚度、允许温降条件下输送蒸汽管道的保温层厚度和留置空气层的保温厚度等计算公式,对保温计算公式进

行了修正和验算，使保温设计技术先进、经济合理。

在本规程的修订过程中，得到了各电力设计院、电管局、电力局、发电厂和有关电力施工、科研单位的支持。1996年2月1日电力工业部电力规划设计总院主持了对本规程送审稿的审查工作，电力工业部于1997年6月20日正式批准，于1997年11月1日起实施。

# 1 总 则

## 1.0.1 系新增条文。

近年来，能源日渐紧张，价格不断上涨，节能工作日益引起各国的重视，许多工业发达国家已制定了节能法规，如日本公布了《合理化使用能源法律》，欧美等国对保温项目采取补助和减税等政策，以达到节能的目的。

我国也公布了一系列节能的政策和法规，如《企业能源平衡通则》(GB3484)、《评价企业合理用热技术导则》(GB3486—93)和《设备管道保温技术通则》(GB4272—92)。

为了贯彻国家节能政策，实现保温的三个基本目的，即减少能源损失、保持生产能力、保证人员安全，统一设备和管道保温油漆设计标准，确保火力发电厂中保温油漆工程的安全性、经济性和实用性，特制定本规程。

## 1.0.2 系原规定第 1.0.1 条的修改条文。

汽轮机、锅炉本体的保温设计有特殊要求。如汽轮机本体保温对机组启动性能影响较大，在汽轮机启停过程中，上汽缸的温度总比下汽缸的高，且在汽缸的不同截面上这一温差的数值是不同的。对于炉墙保温已采用了耐火材料，如以矾土水泥为胶结剂的耐火混凝土、耐火可塑料，已超出保温范畴。按有关规定汽轮机、锅炉本体的保温设计和材料供应均由制造厂承担，故不适用本规程。

锅炉钢架等补漆部分的投资在工程概算中已考虑，不包含在保温油漆设计中。

对于电气的电加热保温，通常其保温结构是在管道外表面先缠上矿物棉带，然后敷设硬质加热电缆，再外包耐热铁丝网和保温材料、保护层，加热电缆的规格应通过计算来选择。

土建的建筑物隔热材料应根据工程的具体情况，因地制宜地

选择。

核电站常规岛中使用的保温材料应具有耐应力腐蚀和耐射线辐照等特性，保温设计可参照本规程执行。

#### 1.0.3 系新增条文。

本条是对保温油漆设计的一般要求。

#### 1.0.4 系新增条文。

保温工作是一个系统过程，不仅要在设计上提出明确要求，还要在保温材料选厂及施工工艺等影响保温效果重要因素方面给以保证。而目前国内保温材料市场比较混乱，使得保温材料的质量很难控制；部分工程施工中又往往为满足投产进度而压缩保温施工周期，忽视了对保温施工质量的要求，结果导致实际保温效果下降，保温材料消耗量增加。鉴于这种局面，本规程送审稿审查会议要求设计院应参加保温工程的全过程管理，在设计上首先应对保温材料的选择及保温材料的物理化学性能提出明确的要求，同时推荐出若干个（2~3个）生产厂家供业主（项目法人）选择，并应参加生产厂家的产品验收和施工现场的抽样检查工作；保温材料的归口管理部门应进一步加强定点产品管理和质量跟踪监督工作，且能够定期提出保温材料的参考价格；施工单位应加强保温施工工序管理，严格工序交接和中间验收，提高保温工程施工质量。只有设计、供货、施工部门共同把关，才能把保温工作搞好。

#### 1.0.5 系新增条文。

火力发电厂中采用的新型保温材料必须是经国家、部级机构组织有关保温设计、施工、检测和科研等方面专家鉴定的材料，在综合经济论证的基础上，证实是高效节能的材料才能在工程中使用，以避免给工程造成经济损失或遗留隐患。

#### 1.0.6 系原规定第1.0.4条的修改条文。

本条要求保温设计除按本规程外，还应按《工业设备及管道绝热工程施工及验收规范》(GBJ126—89)、《工业设备及管道绝热工程质量检验评定标准》(GB50185—93)的有关规定，对保温材

料生产、施工及验收测试提出要求，以杜绝工程中使用劣质保温材料，提高保温施工质量，减少散热损失，开展保温效果的测试与评价，提高电厂的经济效益。

#### 1.0.7 系新增条文。

我国有部分火力发电厂的设备和管道由于保温不良，所造成的散热损失是惊人的，由于这种情况并未直接影响到正常发电，所以往往被忽视。保温不良最直接的表征是保温结构外表面温度超标，如山东某电厂2号机主蒸汽管道保温结构外表面温度四个测点温度分别为108、102、79、90℃，再热热段管道的保温结构外表面温度也高达113℃（测试时环境温度为34℃），镀锌铁皮表面烫手。保温结构外表面温度过高，引起保温结构散热密度超标，在一定程度上降低了电厂运行的经济性。以引进型300MW机组为例，主蒸汽温度降低1℃，汽轮机热耗率增加0.28%，再热蒸汽温度降低1℃，热耗率增加0.2%，分别相当于每年增加标准煤耗量167t和119t。

保温不良是一个综合的质量问题，涉及到保温材料制品的质量、施工质量和设计计算准确性，综合质量只有在热态运行下才能有效地反映出来。因此，在机组投产运行后，需要进行保温效果的热态测试工作，以确定并评价保温工程的优劣，对不合格的保温工程应进行技术改造。如利港电厂（2×350MW）明确提出在机组投产后，应进行表面温度和热损失实测。

#### 1.0.8 系新增条文。

列出本规程所引用的标准。

## 2 术 语、符 号

### 2.1 术 语

本规程术语主要是非等效采用日本工业标准《保温保冷工程施工标准》(JIS A 9501—1990),并在《绝热材料及相关术语》(GB/T4132—1996)基础上作部分补充和修正。

### 2.2 符 号

本规程符号原则上以法定计量符号和“英文含义”为准,主要符号仍沿用原规定的习惯用法,部分符号采用《设备及管道保温设计导则》(GB8175—87)中的符号,仅是符号的下角标改用英文缩略词。

本规程的保温层厚度、管道外径和保温层外径的单位采用毫米(mm),温度的单位采用摄氏度(℃),热导率(导热系数)单位采用瓦每米开  $[W/(m \cdot K)]$ 。

### 3 基本规定

#### 3.0.1 系原规定第 1.0.2 条的增补条文。

设备和管道的保温均从节能的角度出发，考虑介质是否有回收热量的价值（防烫伤保温除外），当介质温度高于  $50^{\circ}\text{C}$  时即有回收热量的价值。

北仑电厂 1 号机组（600MW）的保温由美国、日本设计，以 EBASCO 公司的规范书作为设计依据，按其目的分类有热力保温、人体防护保温、防凝露保温和隔音保温。热力保温规定在正常运行时，设备、管道的裸露表面温度超过  $60^{\circ}\text{C}$  的应保温，当环境温度为  $40^{\circ}\text{C}$  时，保温层外表面不得超过  $60^{\circ}\text{C}$ 。但人体防护保温的厚度比热力保温厚度厚  $83\%\sim 153\%$ ，如主蒸汽管道  $540^{\circ}\text{C}$ ，采用硅酸钙保温，热力保温厚度 140mm，人体防护保温厚度 290mm。

利港电厂（ $2\times 350\text{MW}$ ）保温设计按外商的规定实施。保温分为：保存热量的保温（介质温度超过  $70^{\circ}\text{C}$ ），保持冷态的保温（介质温度低于  $15^{\circ}\text{C}$ ）、人身保护保温（介质温度超过  $70^{\circ}\text{C}$ ）、防凝露保温（环境温度低于  $15^{\circ}\text{C}$ ）、防冻保温和蒸汽、电气伴热保温等。

本规程把保温分成热力保温、防冻防凝露保温和防烫伤保温，须按不同要求计算保温层厚度。

1. 日本标准 JIS A 9501 规定保温起点温度为  $50^{\circ}\text{C}$ 。

美国 EBASCO 公司保温规范以  $125^{\circ}\text{F}$ （ $51.7^{\circ}\text{C}$ ）作为除工艺保温外的最低保温温度；美国 ANSI 标准以  $50^{\circ}\text{C}$  为保温起点温度。

前苏联国家标准（ГОСТ）规定，载热体温度超过  $45^{\circ}\text{C}$  的室内管道和维护人员活动范围内的室外管道、载热体温度超过  $60^{\circ}\text{C}$  的室外管道、位于维护人员活动范围内的排汽管道和室内冷水管（必要时）等需要保温。

GB4272 规定：外表面温度高于  $50^{\circ}\text{C}$  者必须保温。

2. 防止露天的水管道、油管道在冬天结冰，通常仅靠采用保温来实现比较困难，但可以延迟结冰过程。为了尽可能地避免结冰造成管道破坏，应注意机组停运时间与周围气温、保温层厚度及管道直径的关系。如管道停运时间较长，即需要采取专门的预防措施，如完全放净管内存水或加装自动调温的电伴热装置，燃油管道通常需设伴热防冻保温。

防凝露保温是防止在夏天时周围空气中的湿气在管道外表面上冷凝结露。当管道内的介质温度低于周围环境温度，空气中的湿气会在管道外表面上结露形成水滴下落，不但影响环境，还会对下方的电缆、仪表等电气设备造成威胁，故应进行防凝露保温。保温材料选用防水型的。防凝露保温层厚度可为 30mm~50mm。

室内布置的金属煤粉仓，为防止仓壁凝露，宜设防凝露保温。

3. 设备和管道外表面温度超过 60℃ 时，对操作运行人员有烫伤的危险。

美国 EBASCO 公司保温规范中规定：裸露表面温度超过 180F (82.2℃) 的部位，凡是可能有人体接触处，即位于走道和工作区上方 2m 和横向距离 1m 以内的设备和管道应设人体防护保温。

前苏联电站保温规定：室外布置的管道，在环境温度为 25℃ 时，为防止烫伤操作运行人员，在运行人员能到达的范围内，保温外表面温度不应超过 60℃。

德国工程师协会标准 VDI-2055 “保温和防冻”确定：对于有人触及因而需同时考虑接触防护的保温体，规定其最高表面温度为 60℃。

美国《防止热管烫伤》介绍，管道温度和发生烫伤的接触时间关系如表 3.0.1，并且推荐 60℃ 作为防止烫伤的起点温度。

我国劳动保护要求，凡温度高于 70℃ 易发生烫伤，60℃~70℃ 之间也能造成轻度烫伤。

表 3.0.1 热管烫伤时间关系表

| 管道外表面温度<br>℃ | 发生烫伤接触时间<br>s | 管道外表面温度<br>℃ | 发生烫伤接触时间<br>s |
|--------------|---------------|--------------|---------------|
| 53           | 60            | 60           | 5             |
| 56           | 15            | 65           | 2             |
| 58           | 10            | 70           | 1             |

### 3.0.2 系新增条文。

防烫伤保温范围是根据操作人员的安全高度、操作人员不致烫伤的距离而规定的。本条是根据 GB8175 而编制的。

### 3.0.3 系新增条文。

1. 排汽管道、放空气管道在距地面或平台高度 2100mm 以外，可不保温。

2. 美国 EBASCO 公司的设计规范规定：对于直吹式制粉系统的煤粉管道，不设保温层，其考虑人体防护保温起点温度为 180F (82.2℃)。

当煤挥发分  $V_{daf}=12\%\sim 40\%$  时，中速磨煤机出口介质温度为 120℃~70℃。为了保证室内工作环境良好，煤粉管道介质温度大于等于 80℃时应予以保温，介质温度小于 80℃时可以不保温（寒冷地区除外）。考虑其管道系高位布置和借鉴引进国外机组的运行经验，介质温度小于 80℃时可以不保温（寒冷地区除外）。但送粉管道末端管内介质温度有可能降至介质露点温度以下者，必须保温。

3. 输送易燃易爆介质时，设备和管道上的法兰、人孔等附件系属介质可能泄漏之处，故不设保温层，便于监视。

### 3.0.4 系新增条文。

国内设计的电厂中，往往对防冻保温设计重视不够，曾出现在严寒季节因管内介质冻结而造成机组启动困难。日本三菱公司对防冻保温设计规定：当环境温度为 -5℃，风速 10m/s 时，室外布置的管道，如冷却水管道、补给水管道、消防水管道、疏水管道、仪表接管等要求设防冻保温。

许多电厂反映，工业水、冷却水等低温水管道夏季凝露严重，

冬季又有冻结的可能，应设保温。对于锅炉启动循环泵，为保证其安全运行，对轴承冷却水管道宜设伴热保温。

燃油在输送过程中将会不断散热，使油品粘度增大，为了保证燃油输送畅通，燃油管道需进行防冻伴热保温。《石油库设计规范》(GBJ74—84)中规定：输送易凝油品的管线，应采取防凝措施，如保温、伴热、扫线和自流放空等。

### 3.0.5 系原规定第 1.0.2 条之一的修改条文。

美国 EBASCO 公司保温规范中规定经济厚度的保温结构外表面温度的上限是：在静止环境温度 80 F (26.7℃) 时，管道运行温度高于 601 F (316℃) 以上，外表面温度不超过 140 F (60℃)。

美国 Sargent & Lundy 公司保温设计标准规定：理论上静止的 100 F (38℃) 空气中的保温层外表面温度为 150 F (65℃)。

日本规定电站管道保温表面温度与周围空气之差不大于 20℃。

法国规定锅炉炉墙表面温度与距离 1m 远的空气温度之差不应大于 30℃。

前苏联国家标准 (ГОСТ) 规定：当室内空气温度为 25℃ 时，保温结构外表面温度不应超过下列数值：对于介质温度在 500℃ 以下的管道，不应超过 45℃；对于介质温度为 500℃~600℃ 的管道，不应超过 48℃；具有金属保护层的保温结构，允许其外表面温度为 50℃~60℃。

GB8175 规定：环境温度为 25℃ 时，外表面温度为 50℃，即外表面温度与环境温度之差为 25℃。

《电力工业技术管理法规》(试行)规定：空气温度为 25℃ 时，保温层的表面应不超过 50℃。

《火电施工质量检验及评定标准》第三篇锅炉中规定：环境温度  $\leq 25^\circ\text{C}$  时，外表面温度  $\leq 50^\circ\text{C}$ ；环境温度  $> 25^\circ\text{C}$ ，外表面温度  $\leq$  环境温度  $+ 25^\circ\text{C}$ 。

宝钢电厂 (2×350MW)，日本三菱公司要求保温体表面温度与环境空气温度的温差不得大于 15℃。

平圩电厂 ( $2 \times 600\text{MW}$ ), 美国 CE 公司配供的主辅设备的保温层外壁设计温度小于  $60^{\circ}\text{C}$ 。

本条是按《火电施工质量检验及评定标准》并参照原规定而编制的, 环境温度不高于  $27^{\circ}\text{C}$  时, 设备和管道保温结构外表面温度不应超过  $50^{\circ}\text{C}$ ; 环境温度高于  $27^{\circ}\text{C}$  时, 外表面温度可比环境温度高  $25^{\circ}\text{C}$ 。

对于防烫伤保温, 保温结构外表面温度不应超过  $60^{\circ}\text{C}$ 。

### 3.0.6 系原规定第 1.0.3 条的修改条文。

为了防止腐蚀, 对不保温的和介质温度低于  $120^{\circ}\text{C}$  保温的设备、管道及其附件、支吊架、平台扶梯都应进行油漆。

为了便于识别, 在管道外表面 (对不保温的) 或保温结构外表面 (对保温的) 应涂刷色环、介质名称和介质流向箭头, 方便运行操作人员识别。对设备只在外表面涂刷设备名称。

## 4 保 温 材 料

### 4.1 保温材料性能要求

#### 4.1.1 系新增条文。

保温材料的优劣是用保温材料的各种性能指标来评价的。热导率是评价保温材料优劣和保温厚度计算中的一项关键数据，而保温材料及其制品的热导率是随密度和温度而变化的，所以必须提供热导率方程式、图或表。

对于松散或可压缩的保温材料，在设计中不能直接采用材料出厂时松散状态下的热导率，而应当采用在施工中压缩后的使用密度下的热导率，因为保温材料安装压缩后的热导率较松散时的热导率大。有关文献表明：对松散或可压缩的保温材料应以其随温度和密度变化的热导率曲线图为准，而其热导率方程式不能作为设计依据。美国 ASTM、日本 JIS、英国 BS 和澳大利亚的布雷德福绝热手册等均对软质、半硬质矿物棉保温材料，甚至硅酸钙制品提供热导率曲线图或热导率变化关系表。

#### 4.1.2 系原规定第 3.0.2 条的修改条文。

保温材料的主要物理化学性能除应符合国家现行有关产品标准外，着重提出热导率和密度的最大值，其理由之一是现行产品标准对材料的热导率和密度规定不严密，其二是电力建设发展要求保温材料热导率低、密度小，保温性能好，从而减少设备或管道的附加荷载，节省支承结构材料，降低高温高压管道的一次应力和对设备的推力。

介质温度  $450^{\circ}\text{C} \sim 600^{\circ}\text{C}$  时，热导率最大值  $0.10\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  是参照国内外标准制定的；介质温度  $<450^{\circ}\text{C}$  时，热导率较原规定略严，原规定是按使用水泥碯石、A 级焙烧硅藻土和粉煤灰泡沫混凝土而制定，这些产品现已淘汰。

国内外有关标准对保温材料热导率的规定：

日本工业标准 JIS A 9501 规定,在平均温度  $70^{\circ}\text{C}$  时,岩棉热导率为  $0.044\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  以下,硅酸钙为  $0.062\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  以下。

日本《隔热标准》规定,介质温度  $650^{\circ}\text{C}$  时,热导率小于  $0.1163\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ;  $1300^{\circ}\text{C}$  时,小于  $0.349\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。

前苏联国家标准规定,平均温度  $125^{\circ}\text{C}$  时,热导率不大于  $0.081\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ; 平均温度  $300^{\circ}\text{C}$  时,不大于  $0.128\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  (A 级)。

GB4272 规定热导率值不得大于  $0.12\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  (平均温度  $\leq 350^{\circ}\text{C}$ )。

GB8175 规定热导率值不得大于  $0.12\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  (平均温度  $\leq 350^{\circ}\text{C}$ )。

《工业设备及管道绝热工程施工及验收规范》(GBJ126—89) 规定热导率值不得大于  $0.12\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  (平均温度  $\leq 350^{\circ}\text{C}$ )。

密度最大值是按目前保温材料生产水平和国家有关保温节能政策并参考国外标准编制的。

日本硅酸钙保温材料产量统计结果:

1988 年度,130 号占 41%,170 号占 51%,220 号占 8%;

1990 年度,130 号占 53%,170 号占 42%,220 号占 5%;

1991 年度,130 号占 56%,170 号占 37%,220 号占 7%。

以上表明日本硅酸钙保温材料 130 号占主导地位,且 220 号接近淘汰。

#### 4.1.3 系新增条文。

1. 抗压强度是材料受到压缩力作用而未破坏时单位原始横截面上的最大压缩力负载。硬质保温材料在运输和施工中的损坏与制品抗压强度密切相关,制品的抗压强度过低时,不仅破损率增大,而且影响施工进度和施工质量。

国内外有关标准对硅酸钙制品的规定:

美国《硅酸钙绝热块及绝热管规范》(ASTM C533—85) 规定,硅酸钙绝热制品应主要由水化硅酸钙构成且通常含有增强纤

维，不应将石棉作为组分用在材料生产中，5%变形时最小抗压强度 0.414MPa，最大干燥线收缩率 2%，不得有贯穿制品厚度的裂纹。

英国《预制硅酸钙绝热制品规范》(BS3958—82) 第 2 部分规定，干燥状态时，在 0.5MPa 压载下厚度压缩量不超过 5%，质量含水率不超过 7.5%，最大干燥线收缩率 2%，材料不应有显著含量能引起接触面腐蚀的物质（如水溶性氯化物），无石棉硅酸钙绝热制品应涂以醒目的黄颜色识别。

日本《硅酸钙保温材料》(JIS A 9510—1989) 规定，密度  $130\text{kg/m}^3$  和  $170\text{kg/m}^3$  的抗弯曲强度为 0.2MPa，密度  $220\text{kg/m}^3$  的抗弯曲强度为 0.3MPa，干燥线收缩率为 2.0%以下，憎水度为 98%以上。

前苏联《硅酸钙隔热保温制品》(ГОСТ24748—81) 规定，硅酸钙制品分为 200 号特级品和 225 号一级品，在 600℃时的线性温差干燥收缩率不大于 1.8%。

《硅酸钙绝热制品》(GB10699—89) 规定，170 号的抗压强度最小值为 0.4MPa，220 号和 240 号的抗压强度为 0.5MPa，干燥线收缩率不大于 2.0%，质量含水率不大于 7.5%，不得有贯穿裂纹。

近年来，已逐步研制出了无石棉硅酸钙，采用抗碱玻璃纤维或 D 纤维作增强纤维，不过这两种纤维在 400℃及以上时耐高温性能较差。无石棉硅酸钙在热导率、机械强度和干燥线收缩率等主要性能上均比有石棉的有所改善，尤其是机械强度和脆性的改善，有利于工程的施工安装和降低损耗。

2. 岩棉、矿渣棉和硅酸铝纤维制品的渣球含量多，杂质也多，对设备和管道有腐蚀作用。其制品的有机物（粘结剂）含量不同时，最高使用温度不同，当使用硅酸醛树脂作粘结剂，含量 >3% 时最高使用温度小于 300℃，含量为 2%~3% 时最高使用温度 350℃。

日本《岩棉保温材料》(JIS A 9504—1989) 规定：渣球含

量不大于 4% (500 $\mu\text{m}$  筛网筛余干燥后的质量与最初试样质量之比), 纤维直径不大于 7 $\mu\text{m}$ 。

3. 膨胀珍珠岩制品应采用憎水性, 即外型、色泽酷似硅酸钙的第 3 代制品, 提出热导率和憎水度的要求, 以控制产品的质量。

美国《膨胀珍珠岩绝热块及绝热管壳规范》(ASTM C610—85) 规定: 其表观热导率最大值, 在平均温度 93 $^{\circ}\text{C}$  为 0.079W/(m $\cdot$ K), 在平均温度 260 $^{\circ}\text{C}$  为 0.106W/(m $\cdot$ K)。

日本《憎水性珍珠岩保温材料》(JIS A 9512—1989) 规定: 保温板 2 号或保温筒 2 号 (密度 180kg/m<sup>3</sup> 以下), 热导率小于 0.056W/(m $\cdot$ K) (70 $^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ), 干燥线收缩率小于 2%, 憎水度不小于 98%。

#### 4.1.4 系新增条文。

为了防止火灾事故扩大化, 保温材料应选用不燃类材料 (A 级), 其燃烧性能应符合《建筑材料燃烧性能分级》(GB8642) 的要求。

#### 4.1.5 系新增条文。

保温材料的物理化学性能检验是杜绝劣质保温材料应用到火力发电厂工程中的重要手段。为了使设计中采用的性能检验报告具有权威性, 需强调检验单位必须是国家、部指定的检测机构, 并要求其采用的检验方法和仪器设备应符合国家有关保温标准的规定。

保温设计中选用的保温材料应该以生产制造厂家提供的保温材料物理化学性能检验报告作为设计依据, 同时查询有无行业检验合格证。

保温材料的物理化学性能应稳定, 在最高使用温度以内, 材料不应分解, 对设备和管道不具有腐蚀。由于保温材料的化学成分不纯, 并且大多数材料具有一定的吸水吸湿性, 易对金属产生腐蚀或氧化腐蚀。对矿渣棉还应要求其硫氧化物含量不大于 0.06%, 对可燃性有机粘结剂不应大于 3%。

对核电厂常规岛部分的管道保温材料应有抗辐射强度的性能

要求。

当保温材料中含有可溶性氯化物时，对奥氏体不锈钢易发生应力腐蚀裂纹现象。日本三井公司规定：不锈钢表面只能采用氯化物含量小于  $25 \times 10^{-6}$  及含应力腐蚀抑制剂的材料。英国标准 BS3958 规定：必要时，痕量可溶性氯化物含量应按 BS2972—75 估算。对于压水堆核电厂所用奥氏体不锈钢，与其相接触的材料中氯离子和氟离子含量限值为：氯离子含量小于  $15 \times 10^{-6}$ ，氟离子含量小于  $10 \times 10^{-6}$ 。

德国有关专业组织决定，对最大含镍量达到 15% 左右的奥氏体钢，只允许使用含溶于水的氯化物不超过  $6 \times 10^{-6}$  的矿质纤维保温材料。针对核电厂保温材料有可能受到射线的持续辐射，因而尽可能不含或只含微量的硼。

ASTM A213 中 TP304H、TP316、TP321、TP347 等为奥氏体不锈钢。

## 4.2 保温层材料选择

### 4.2.1 系新增条文。

本条系参照 GB8175 的选择原则编制。

日本标准 JIS A 9501 规定，保温材料的选择应考虑使用温度范围、物理化学性能、使用年限、单位体积价格、施工状况的适应性、难燃性和透湿性。

德国保温协会对保温材料的要求是：具有热稳定性、体积稳定性、对振动的不敏感性、对管道温度变化和延伸过程的不敏感性、对管材无腐蚀作用、对核电厂放射性的适应性和不燃性。

一般耐高温的保温制品其密度大，热导率也大，耐热温度较低的制品其密度小，热导率也小。因此，在高温条件下，如采用单一的耐高温的保温材料，势必引起保温厚度的增加，管道支吊架荷载及管道的一次应力均有所增加，这样不仅不利于管道设计，也不经济。如果采用复合保温，即内层使用耐高温的材料，外层使用耐热温度较低的材料，其经济效益将提高。

#### 4.2.2 系新增条文。

保温材料的选择规定系根据各种保温材料性能编制。在设计选材时应慎重,要考虑材料价格、供货来源和施工方便等,经综合比较确定。

日本标准 JIS A 9501 在 1990 年进行了大幅度的修订,作为保温材料只留下三个品种:

JIS A 9504 岩棉保温材料 (Thermal insulation material made of rock wool)

JIS A 9510 硅酸钙保温材料 (Thermal insulation material made of calcium silicate)

JIS A 9512 憎水性珍珠岩保温材料 (Water repellent thermal insulation material made of perlite)

石棉保温材料在修订中没有选用,因为石棉是特定的化学物质,它污染环境,对人体有害,第四届全国环境保护会议和《国务院关于环境保护若干问题的决定》明确禁止使用和生产石棉制品。

保温材料在空气中会因周围空气的相对湿度的变化而改变材料湿度的性质,增加材料的密度,增大材料的热导率,影响保温效果。因此,保温材料在使用时,一定要很好地与水隔绝。通常采用涂刷防水层的办法,但防水层长期使用会产生裂缝,最根本的办法是改变保温材料的内部气孔结构。在潮湿环境中的低温设备和管道的保温层材料宜选择憎水性材料,如憎水硅酸钙制品、憎水膨胀珍珠岩制品等。

#### 4.2.3 系原规定第 3.0.4 条的修改条文。

硬质保温制品采用干砌或湿砌施工,通常应优先采用干砌。干砌时接缝处应铺设或嵌塞软质保温材料进行严缝处理,填充缝隙往往塞不满,形成中空。湿砌时应用胶泥批砌进行严缝处理,施工时略用力将胶泥挤出缝外并及时刮平,砌缝处的胶泥应饱满、密实,不得有漏砌,不得采用普通石棉粉灰或石棉硅藻土灰浆作严缝粘结剂。

#### **4.2.4 系原规定第 3.0.5 条的修改条文。**

**伸缩缝：**为使保温结构中因温度变化而产生的应力给以有规则集中的结构形式，以避免保温结构开裂或破坏。

**膨胀间隙：**随同管道或设备壁面移动的保温结构与相邻的固定物件之间，或热位移方向与保温结构不一致的转动物件之间所设置的空间，以防止保温结构在热位移中受到挤压而变形破损。

保温伸缩缝和膨胀间隙的填塞应引起设计、施工单位的重视。某些电厂由于保温块缝隙未按要求填塞，造成高温热流通过缝隙直冲外层的金属保护层，使金属保护层温度超标。因此，在设计上应开列缝隙的填塞材料，施工应按设计文件要求进行填塞。

原规定填塞材料采用高氧纤维和陶瓷棉，由于订货困难，改用普通硅酸铝纤维。

### **4.3 保护层材料选择**

#### **4.3.1 系新增条文。**

保护层是保温结构的重要组成部分，对保温层起到遮风挡雨、防水隔潮以及防止外来碰撞的保护作用，有的保护层还兼有密封保温、改善工厂环境的作用。保护层材料的选择对保温结构的使用年限影响很大，故要求保护层材料性能应能符合本规程所提出的基本要求。

#### **4.3.2 系原规定第 4.0.3 条之一的增补条文。**

随着电力工业的发展，对保护层的要求也越来越高，既要满足工艺生产的要求，也要满足文明生产的要求，为电厂运行人员和设备创造一个良好的环境。电厂的投资状况和机组容量对保护层材料的选择，影响比较大，因此，较原规定增补“投资状况”和“机组容量”等选择材料的决定因素。

日本标准 JIS A 9501 规定：保护层材料的选择首先应考虑保温效率和使用年限，其次考虑保护层的耐候性、耐久性、耐腐蚀性、耐磨损性、化学性能（耐酸性、耐溶剂性）、保温材料的种类、表面热辐射、安全性（特异臭气、粉尘）和施工的适应性。

#### 4.3.3 系原规定第 4.0.3 条之一的增补条文。

本条强调在高温高压及以上参数的火力发电厂主要设备和管道应采用金属保护层。

金属保护层具有密度小、刚度大、不易变形、外观整齐美观、无裂纹、使用年限长、防水防油、严密性好、单位面积质量稳定、拆卸后可重复使用、便于机械化施工等优点，现被广泛使用，如石洞口二厂、江油电厂等引进工程的绝大部分管道是采用金属保护层。

有特殊要求的部位是指布置在油系统设备和油管道附件或电缆附近的高温蒸汽管道、布置在运转层上或其他比较显眼位置的管道，对安全卫生、文明生产有要求的区域等。

#### 4.3.4 系原规定第 4.0.3 条之二的修改条文。

本规程金属保护层厚度较原规定稍有增加是根据施工经验而确定的。若金属保护层太薄，加工成型不易保证质量，而且刚度低，在外力作用下易变形，影响美观。

80 年代以来，我国电力工业引进了不少大容量、高参数机组，其保护层材料多为金属保护层，如：利港电厂（2×350MW）采用铝板，室内  $\delta=0.5\text{mm}$ ，室外  $\delta=0.7\text{mm}$ ，意大利供货；福州电厂（2×350MW）采用 0.5mm~1mm 铝板，由日商供货；南京电厂（2×300MW）主厂房内的管道采用厚为 0.5mm~0.8mm 的铝合金板，在露天和辅助车间内的管道采用 0.5mm~0.8mm 的镀锌铁皮；岳阳电厂（2×362MW）采用铝合金板，室内不小于 0.5mm 厚，室外不小于 0.7mm；北仑电厂（600MW）和石洞口二厂（2×600MW）均采用镀锌铁皮。

#### 4.3.5 系原规定第 4.0.3 条之三的保留条文。

#### 4.3.6 系新增条文。

贮存或输送易燃易爆介质的设备和管道采用不燃类（A 级）保护层，是按防火安全的有关规定制定的。

## 5 保 温 计 算

### 5.1 保 温 计 算 原 则

保温计算原则是根据 GB4272 编制的。为减少保温结构散热损失的保温层厚度应按经济厚度方法计算。

经济厚度方法不仅考虑了传热基本原理，而且考虑了材料价格、能源价格、贷款利率等经济因素对保温层厚度的影响，它符合我国目前的经济政策。许多发达国家（如美国、日本、英国等）也采用经济厚度方法计算保温层厚度。

在火力发电厂、核电厂常规岛需要空调的空间布置的设备和管道必须限制其热量的散发，在设计通风设备时应考虑到保温散热，通过比较因调整保温层厚度所花费用与加大通风设备所花费用，确定哪个更经济。

表 5.1.1 允许最大散热密度按  $\alpha=11.63\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ，常年运行工况时， $t_s-t_a$  分别为 5、8、10、12、14、16、18、19.5、21、22.5、24、25.5、27℃ 计算出来的；季节运行工况时， $t_s-t_a$  分别为 10、14、17.5、21、23.5、25.5、26.5、27℃ 计算出来的。

### 5.2 保温层厚度计算

#### 5.2.1 系原规定附录一的修改条文。

本规程经济厚度计算公式与 GB8175 和日本标准 JIS A 9501 的计算公式基本相符，且较之精确。参照国家标准，本规程计算公式中不计入保护层厚度，因为保护层虽然能起到一定的保温作用，而实际上是起密封防护作用，对保温层厚度计算结果影响不大，金属保护层时无影响，只是在要求精确计算保温层厚度和散热密度时，才考虑抹面的影响。抹面的热导率为  $0.23\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})\sim 0.35\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。

保温层经济厚度计算公式推导如下：

1. 平面计算公式:

1) 散热损失年费用  $C_q$  [元/ (m<sup>2</sup> · a)]

$$C_q = 3.6\tau P_h A_e q \times 10^{-6}$$

$$= \frac{3.6\tau P_h A_e (t - t_s) \times 10^{-6}}{\frac{\delta}{1000\lambda} + \frac{1}{\alpha}} \quad (5.2.1-3)$$

2) 保温结构投资年分摊费用  $C_s$  [元/ (m<sup>2</sup> · a)]

$$C_s = \left( \frac{\delta}{1000} P_1 + P_3 \right) S \quad (5.2.1-4)$$

3) 保温对象年总费用  $C$  [元/ (m<sup>2</sup> · a)]

$$C = C_q + C_s \quad (5.2.1-5)$$

4) 求保温经济厚度  $\delta$  (mm)

$$\frac{\partial C}{\partial \delta} = 0 \quad (5.2.1-6)$$

2. 管道计算公式:

1) 散热损失年费用  $C_q$  [元/ (m · a)]

$$C_q = \frac{7.2\pi\tau P_h A_e (t - t_s) \times 10^{-6}}{\frac{1}{\lambda} \ln \frac{D_1}{D_0} + \frac{2000}{\alpha D_1}} \quad (5.2.1-7)$$

2) 保温结构投资年分摊费用  $C_s$  [元/ (m · a)]

$$C_s = \left[ \frac{\pi}{4} (D_1^2 - D_0^2) P_1 \times 10^{-6} \right. \\ \left. + \pi D_1 P_3 \times 10^{-3} \right] S \quad (5.2.1-8)$$

3) 保温对象年总费用  $C$  [元/ (m · a)]

$$C = C_q + C_s \quad (5.2.1-9)$$

4) 求保温经济厚度  $\delta$  (mm)

$$\frac{\partial C}{\partial D_1} = 0 \quad (5.2.1-10)$$

手算过程中, 计算出  $D_1 \ln \frac{D_1}{D_0}$  值后可直接按表 5.2.1 查出  $\delta$  值。

表 5.2.1  $\delta-D_1 \ln \frac{D_1}{D_0}$  关系表

mm

| $\delta$<br>$D_1 \ln \frac{D_1}{D_0}$ | $D_0$ | 25 | 32 | 38 | 45 | 57 | 76 | 89 | 108 | 133 | 159 | 219 | 273 | 325 | 377 | 426 | 480 | 530 | 630 | 720 | 820 | 920 | 1020 | 1220 | 1420 | 1620 | 1820 |
|---------------------------------------|-------|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|
| 20                                    |       | 8  | 8  | 8  | 9  | 9  | 9  | 9  | 9   | 9   | 10  | 10  | 10  | 10  | 10  | 10  | 10  | 10  | 10  | 10  | 10  | 10  | 10   | 10   | 10   | 10   | 10   |
| 40                                    |       | 14 | 14 | 15 | 16 | 16 | 17 | 17 | 17  | 18  | 18  | 18  | 19  | 19  | 19  | 19  | 19  | 19  | 19  | 19  | 20  | 20  | 20   | 20   | 20   | 20   | 20   |
| 60                                    |       | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 24 | 25  | 26  | 26  | 27  | 27  | 28  | 28  | 28  | 29  | 29  | 29  | 29  | 29  | 29  | 29   | 29   | 29   | 29   | 30   |
| 80                                    |       | 24 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32  | 33  | 34  | 35  | 36  | 36  | 37  | 37  | 37  | 38  | 38  | 38  | 39  | 39  | 39   | 39   | 39   | 39   | 39   |
| 100                                   |       | 29 | 31 | 32 | 33 | 35 | 36 | 37 | 39  | 40  | 41  | 43  | 44  | 44  | 45  | 45  | 46  | 46  | 47  | 47  | 47  | 48  | 48   | 48   | 48   | 49   | 49   |
| 120                                   |       | 34 | 36 | 37 | 38 | 40 | 42 | 44 | 45  | 47  | 48  | 50  | 51  | 52  | 53  | 54  | 54  | 55  | 55  | 56  | 56  | 57  | 57   | 57   | 58   | 58   | 58   |
| 140                                   |       | 38 | 40 | 41 | 43 | 45 | 48 | 49 | 51  | 53  | 54  | 57  | 59  | 60  | 61  | 62  | 62  | 63  | 64  | 65  | 65  | 66  | 66   | 66   | 67   | 67   | 68   |
| 160                                   |       | 42 | 44 | 45 | 48 | 50 | 53 | 55 | 57  | 59  | 61  | 64  | 66  | 67  | 69  | 70  | 71  | 71  | 72  | 73  | 74  | 74  | 75   | 76   | 76   | 77   | 77   |
| 180                                   |       | 46 | 49 | 51 | 52 | 55 | 59 | 61 | 63  | 65  | 67  | 72  | 74  | 75  | 76  | 78  | 79  | 79  | 80  | 81  | 82  | 83  | 84   | 85   | 85   | 86   | 86   |
| 200                                   |       | 50 | 53 | 55 | 57 | 60 | 64 | 66 | 68  | 71  | 73  | 77  | 80  | 82  | 84  | 85  | 86  | 87  | 89  | 90  | 91  | 91  | 92   | 93   | 94   | 95   | 95   |
| 220                                   |       | 54 | 57 | 59 | 61 | 64 | 69 | 71 | 74  | 77  | 79  | 84  | 87  | 89  | 91  | 92  | 94  | 95  | 97  | 98  | 99  | 100 | 101  | 102  | 103  | 104  | 105  |
| 240                                   |       | 57 | 61 | 63 | 66 | 69 | 74 | 76 | 79  | 82  | 85  | 90  | 93  | 95  | 98  | 100 | 101 | 102 | 104 | 106 | 107 | 108 | 109  | 111  | 112  | 113  | 114  |
| 260                                   |       | 61 | 65 | 67 | 70 | 73 | 78 | 81 | 84  | 88  | 91  | 96  | 100 | 103 | 105 | 107 | 109 | 110 | 111 | 113 | 115 | 116 | 118  | 119  | 120  | 121  | 123  |

表 5.2.1(续)

| $\frac{\delta}{D_1 \ln \frac{D_1}{D_0}}$ | $D_0$ | 25  | 32  | 38  | 45  | 57  | 76  | 89  | 108 | 133 | 159 | 219 | 273 | 325 | 377 | 426 | 480 | 530 | 630 | 720 | 820 | 920 | 1020 | 1220 | 1420 | 1620 | 1820 |
|------------------------------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|
| 280                                      | 64    | 68  | 71  | 74  | 78  | 83  | 86  | 89  | 93  | 97  | 102 | 107 | 110 | 112 | 114 | 116 | 117 | 119 | 122 | 123 | 124 | 126 | 128  | 129  | 130  | 131  |      |
| 300                                      | 68    | 72  | 75  | 78  | 82  | 88  | 91  | 94  | 99  | 102 | 108 | 113 | 116 | 119 | 121 | 123 | 124 | 127 | 129 | 131 | 133 | 134 | 136  | 137  | 139  | 140  |      |
| 320                                      | 72    | 76  | 79  | 82  | 86  | 92  | 95  | 99  | 104 | 107 | 114 | 119 | 123 | 125 | 128 | 130 | 132 | 133 | 136 | 139 | 141 | 142 | 144  | 146  | 147  | 149  |      |
| 340                                      | 75    | 79  | 83  | 86  | 90  | 97  | 100 | 104 | 109 | 113 | 120 | 125 | 129 | 132 | 135 | 137 | 139 | 142 | 144 | 146 | 148 | 150 | 152  | 154  | 156  | 158  |      |
| 360                                      | 78    | 83  | 86  | 90  | 95  | 101 | 105 | 109 | 114 | 118 | 126 | 131 | 135 | 139 | 141 | 144 | 146 | 149 | 152 | 154 | 156 | 158 | 161  | 163  | 164  | 166  |      |
| 380                                      | 82    | 87  | 90  | 93  | 99  | 105 | 109 | 114 | 119 | 124 | 131 | 136 | 141 | 145 | 148 | 151 | 153 | 156 | 159 | 161 | 162 | 166 | 169  | 171  | 173  | 175  |      |
| 400                                      | 85    | 90  | 93  | 97  | 103 | 109 | 113 | 118 | 124 | 128 | 137 | 143 | 147 | 151 | 154 | 157 | 159 | 163 | 166 | 169 | 171 | 173 | 176  | 179  | 181  | 183  |      |
| 420                                      | 88    | 93  | 97  | 101 | 107 | 114 | 118 | 123 | 129 | 134 | 142 | 149 | 154 | 158 | 161 | 164 | 167 | 170 | 173 | 176 | 179 | 181 | 184  | 187  | 189  | 191  |      |
| 440                                      | 91    | 97  | 101 | 104 | 111 | 118 | 122 | 127 | 133 | 139 | 148 | 154 | 160 | 164 | 167 | 170 | 173 | 178 | 181 | 184 | 186 | 188 | 192  | 195  | 198  | 200  |      |
| 460                                      | 95    | 100 | 104 | 108 | 114 | 122 | 126 | 132 | 138 | 143 | 153 | 160 | 165 | 170 | 174 | 177 | 180 | 184 | 188 | 191 | 194 | 197 | 200  | 203  | 206  | 208  |      |
| 480                                      | 98    | 103 | 108 | 112 | 118 | 126 | 131 | 137 | 143 | 148 | 159 | 166 | 171 | 176 | 180 | 183 | 186 | 191 | 195 | 198 | 202 | 204 | 209  | 211  | 214  | 216  |      |
| 500                                      | 101   | 107 | 111 | 115 | 122 | 130 | 135 | 141 | 147 | 153 | 164 | 171 | 177 | 182 | 186 | 190 | 193 | 198 | 202 | 205 | 209 | 211 | 216  | 219  | 222  | 224  |      |
| 520                                      | 104   | 110 | 115 | 119 | 126 | 134 | 139 | 145 | 152 | 158 | 169 | 177 | 183 | 188 | 192 | 196 | 200 | 204 | 208 | 213 | 216 | 218 | 224  | 227  | 230  | 232  |      |
| 540                                      | 107   | 114 | 118 | 123 | 129 | 138 | 143 | 149 | 157 | 163 | 174 | 182 | 188 | 194 | 198 | 202 | 205 | 211 | 216 | 219 | 223 | 226 | 231  | 235  | 238  | 241  |      |

表 5.2.1(续)

| $\frac{\delta}{D_0 \ln \frac{D_1}{D_0}}$ | 25  | 32  | 38  | 45  | 57  | 76  | 89  | 108 | 133 | 159 | 219 | 273 | 325 | 377 | 426 | 480 | 530 | 630 | 720 | 820 | 920 | 1020 | 1220 | 1420 | 1620 | 1820 |
|------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|
| 560                                      | 110 | 117 | 121 | 126 | 133 | 142 | 147 | 154 | 161 | 167 | 179 | 188 | 194 | 200 | 204 | 208 | 212 | 218 | 222 | 226 | 230 | 234  | 238  | 243  | 246  | 249  |
| 580                                      | 114 | 120 | 125 | 130 | 137 | 146 | 151 | 158 | 166 | 172 | 184 | 193 | 200 | 205 | 210 | 214 | 218 | 225 | 229 | 233 | 237 | 241  | 246  | 250  | 254  | 257  |
| 600                                      | 116 | 123 | 128 | 133 | 140 | 150 | 155 | 162 | 170 | 177 | 189 | 198 | 205 | 211 | 216 | 220 | 224 | 231 | 236 | 240 | 244 | 248  | 254  | 258  | 262  | 265  |
| 620                                      | 119 | 126 | 131 | 136 | 144 | 154 | 159 | 167 | 176 | 181 | 194 | 203 | 210 | 217 | 222 | 226 | 230 | 237 | 242 | 247 | 251 | 255  | 261  | 266  | 270  | 273  |
| 640                                      | 122 | 129 | 134 | 140 | 147 | 158 | 163 | 171 | 179 | 186 | 200 | 208 | 216 | 222 | 228 | 232 | 237 | 244 | 250 | 254 | 258 | 262  | 268  | 273  | 277  | 281  |
| 660                                      | 125 | 132 | 138 | 143 | 151 | 161 | 167 | 175 | 183 | 190 | 204 | 214 | 222 | 228 | 233 | 238 | 242 | 250 | 256 | 261 | 265 | 269  | 275  | 281  | 285  | 289  |
| 680                                      | 128 | 136 | 141 | 146 | 155 | 165 | 171 | 179 | 187 | 195 | 209 | 219 | 227 | 234 | 239 | 244 | 249 | 256 | 262 | 268 | 272 | 276  | 283  | 288  | 293  | 296  |
| 700                                      | 131 | 139 | 144 | 150 | 158 | 169 | 175 | 183 | 192 | 199 | 214 | 224 | 232 | 239 | 245 | 250 | 255 | 262 | 268 | 274 | 279 | 283  | 290  | 296  | 300  | 304  |
| 720                                      | 134 | 142 | 147 | 153 | 161 | 173 | 179 | 187 | 196 | 204 | 219 | 229 | 238 | 245 | 250 | 256 | 261 | 269 | 275 | 281 | 286 | 290  | 297  | 303  | 308  | 312  |
| 740                                      | 137 | 145 | 150 | 156 | 165 | 176 | 183 | 191 | 200 | 208 | 223 | 234 | 243 | 250 | 256 | 262 | 267 | 275 | 281 | 287 | 292 | 297  | 304  | 310  | 315  | 320  |
| 760                                      | 140 | 148 | 154 | 159 | 168 | 180 | 187 | 195 | 204 | 213 | 228 | 239 | 248 | 255 | 261 | 268 | 272 | 281 | 287 | 293 | 299 | 304  | 311  | 318  | 323  | 327  |
| 780                                      | 142 | 151 | 157 | 163 | 172 | 183 | 190 | 199 | 208 | 217 | 233 | 244 | 253 | 261 | 267 | 273 | 278 | 287 | 294 | 300 | 306 | 311  | 319  | 325  | 330  | 335  |
| 800                                      | 145 | 154 | 160 | 166 | 175 | 187 | 194 | 203 | 213 | 221 | 237 | 249 | 258 | 266 | 273 | 279 | 284 | 293 | 300 | 307 | 313 | 317  | 325  | 332  | 338  | 342  |

表 5.2.1(完)

| $\delta$<br>$D_1 \ln \frac{D_1}{D_0}$ | $D_0$ | 25  | 32  | 38  | 45  | 57  | 76  | 89  | 108 | 133 | 159 | 219 | 273 | 325 | 377 | 426 | 480 | 530 | 630 | 720 | 820 | 920 | 1020 | 1220 | 1420 | 1620 | 1820 |
|---------------------------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|
| 820                                   |       | 148 | 157 | 163 | 169 | 179 | 191 | 198 | 207 | 217 | 226 | 242 | 254 | 263 | 271 | 278 | 285 | 290 | 299 | 306 | 313 | 319 | 324  | 333  | 340  | 345  | 350  |
| 840                                   |       | 151 | 159 | 166 | 172 | 182 | 194 | 201 | 211 | 221 | 230 | 246 | 259 | 268 | 277 | 283 | 290 | 296 | 305 | 313 | 319 | 325 | 331  | 340  | 347  | 353  | 357  |
| 860                                   |       | 155 | 162 | 169 | 175 | 185 | 198 | 205 | 215 | 225 | 234 | 251 | 264 | 273 | 282 | 289 | 296 | 301 | 311 | 319 | 326 | 332 | 337  | 347  | 354  | 360  | 365  |
| 880                                   |       | —   | —   | —   | —   | 189 | 201 | 209 | 219 | 229 | 238 | 256 | 268 | 278 | 287 | 294 | 301 | 307 | 317 | 325 | 332 | 338 | 344  | —    | —    | —    | —    |
| 900                                   |       | —   | —   | —   | —   | 192 | 205 | 212 | 222 | 233 | 242 | 260 | 273 | 283 | 292 | 300 | 307 | 313 | 323 | 331 | 338 | 345 | 351  | —    | —    | —    | —    |
| 920                                   |       | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | 237 | 247 | 265 | 278 | 288 | 297 | 305 | 312 | 318 | 329 | —   | —   | —   | —    | —    | —    | —    | —    |
| 940                                   |       | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | 241 | 251 | 269 | 283 | 293 | 303 | 310 | 318 | 324 | 335 | —   | —   | —   | —    | —    | —    | —    | —    |
| 960                                   |       | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | 245 | 255 | 274 | 287 | 298 | 308 | 315 | 323 | 329 | 340 | —   | —   | —   | —    | —    | —    | —    | —    |
| 980                                   |       | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | 249 | 259 | 278 | 292 | 303 | 313 | 321 | 328 | 335 | 346 | —   | —   | —   | —    | —    | —    | —    | —    |
| 1000                                  |       | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | —   | 253 | 263 | 283 | 297 | 308 | 318 | 326 | 334 | 340 | 352 | —   | —   | —   | —    | —    | —    | —    | —    |
| 注: $\delta = \frac{1}{2}(D_1 - D_0)$  |       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |

### 5.2.2 系新增条文。

复合保温的经济厚度计算公式根据计算原则：内层厚度按表面温度方法计算，外层厚度按经济厚度方法计算。其推导如下：

#### 1. 平面计算公式

内层厚度计算公式：

$$\delta_1 = \frac{1000\lambda(t - t_b)}{\alpha(t_a - t_s)} \quad (5.2.2-6)$$

外层厚度计算公式：

##### 1) 散热损失年费用 $C_q$ [元/ (m<sup>2</sup> · a)]

$$C_q = \frac{3.6\tau P_h A_e (t - t_s) \times 10^{-6}}{\frac{\delta_1}{1000\lambda_1} + \frac{\delta_2}{1000\lambda_2} + \frac{1}{\alpha}} \quad (5.2.2-7)$$

##### 2) 保温结构投资年分摊费用 $C_s$ [元/ (m<sup>2</sup> · a)]

$$C_s = \left( \frac{\delta_1}{1000} P_1 + \frac{\delta_2}{1000} P_2 + P_3 \right) S \quad (5.2.2-8)$$

##### 3) 保温对象年总费用 $C$ [元/ (m<sup>2</sup> · a)]

$$C = C_q + C_s \quad (5.2.2-9)$$

##### 4) 求经济厚度 $\delta_2$

$$\frac{\partial C}{\partial \delta_2} = 0 \quad (5.2.2-10)$$

#### 2. 管道计算公式

##### 1) 散热损失年费用 $C_q$ [元/ (m · a)]

$$C_q = \frac{7.2\pi\tau P_h A_e (t - t_s) \times 10^{-6}}{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{D_1}{D_0} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{D_2}{D_1} + \frac{2000}{\alpha D_2}} \quad (5.2.2-11)$$

##### 2) 保温结构投资年分摊费用 $C_s$ [元/ (m · a)]

$$C_s = \left[ \frac{\pi}{4} (D_1^2 - D_0^2) P_1 \times 10^{-6} + \frac{\pi}{4} (D_2^2 - D_1^2) P_2 \times 10^{-6} + \pi D_2 P_3 \times 10^{-3} \right] S \quad (5.2.2-12)$$

##### 3) 保温对象年总费用 $C$ [元/ (m · a)]

$$C = C_q + C_s \quad (5.2.2-13)$$

4) 求经济厚度, 需先求出复合保温外层外径  $D_2$

$$\frac{\partial C}{\partial D_2} = 0 \quad (5.2.2-14)$$

在管道计算中, 应先假设  $t_s$  和  $D_2$  值代入式 5.2.2-3 中计算, 可按

$$t_s = 33.4 + 0.028(t - 50) \quad (5.2.2-15)$$

$$D_2 = 12 + 1.24D_0 + 0.28(t - 50) \quad (5.2.2-16)$$

假设  $t_s$ 、 $D_2$  的初始值, 用迭代法逐次计算出  $D_2$  真实值, 通常仅进行 2~3 次计算即可。再用  $D_2$  代入式 5.2.2-4 计算出  $\delta_1$ , 用式 5.2.2-5 计算出  $\delta_2$ 。

注意: 计算出  $\delta_1$ 、 $\delta_2$  后要圆整成以 10mm 为分档单位, 在计算  $\delta_2$  时应代入圆整后的  $\delta_1$  值。计算保温结构外表面散热密度和外表面温度时, 应代入圆整后的  $\delta_1$ 、 $\delta_2$  值。

### 5.2.3 系新增条文。

保温层厚度按允许散热密度方法的计算公式系经热力学推导而得。

保温结构外表面允许散热密度按表 5.1.1 中允许最大散热密度的 90%取值, 是因为保温层厚度在施工过程中将产生施工误差, 致使实际散热密度高于设计值。因此, 在设计时应考虑裕量, 以满足生产工艺要求。

### 5.2.4 系新增条文。

保温层厚度按表面温度方法计算公式系经热力学推导而得。

## 5.3 保温辅助计算

### 5.3.1 系新增条文。

本条是根据 GB8175 编制的, 明确区分了保温结构外表面散热密度和保温结构散热线密度的概念, 并分别列出计算公式。

保温结构外表面散热密度不得超过表 5.1.1 内规定的允许最大散热密度。

### 5.3.2 系新增条文。

本条是根据 GB8175 编制的。

保温结构外表面温度应符合 3.0.5 的规定。

### **5.3.3 系新增条文。**

本条系经热力学推导而得。

复合保温内外层界面处温度不应超过外层保温材料最高使用温度的 90%。留有少量裕量，是考虑到内层厚度会因生产、施工产生误差，内层厚度达不到设计值时，界面处温度将超过外层材料最高使用温度。

## **5.4 保温计算数据选取**

### **5.4.1 系新增条文。**

本条是根据 GB8175 编制的。

室外布置的设备和管道的环境温度应按工程实际情况取值。当缺乏气象资料的，环境温度可参考附录 F 中的表 F1 取值。

### **5.4.2 系新增条文。**

保温材料及其制品的热导率应由保温材料生产厂家提供并符合 4.1.2 的规定。

### **5.4.3 系原规定附录一的增补条文。**

热价取值直接影响经济厚度计算结果，故热价应按工程实际情况取值。热价是燃料费、锅炉及其附属设备折旧费、锅炉安装运行和维护费以及锅炉热效率等的函数，其中燃料费所占比例最大，占 80%~95%。

由于地区差异，热价统一取值很难确定，目前可参考在 5 元/GJ~12 元/GJ 间取值。

### **5.4.4 系原规定附录二的修改条文。**

本规定中介质焓质系数计算公式取原规定附录一热单价计算公式中作功能力部分而得。在介质焓质系数表中较原规定附录二增加了一个 0.5 档，各档间的管道也作了适当调整。

### **5.4.5 系新增条文。**

保温层单位造价和保护层单位造价是一项综合性指标，且随

地区、时间而变化，应按工程施工时实际情况计算。当缺乏资料时可参考表 5.4.5-1 和表 5.4.5-2 取值，本表所列费用是 1994 年调查资料，设计选用时应考虑调价因素（可按 1.06<sup>n</sup> 计）。

表 5.4.5-1 保温材料安装费

| 保 温 材 料   | 设 备<br>(元/m <sup>3</sup> ) | 管 道<br>(元/m <sup>3</sup> ) |
|-----------|----------------------------|----------------------------|
| 硅酸钙制品     | 285                        | 250                        |
| 硅酸铝复合     | 420                        | 300                        |
| 岩棉、矿渣棉制品  | 420                        | 300                        |
| 玻璃棉制品     | 160                        | 230                        |
| 憎水膨胀珍珠岩制品 | 285                        | 250                        |
| 复合硅酸盐保温涂料 | 270                        | 270                        |

表 5.4.5-2 保护层材料费和安装费

| 保 护 层 材 料         | 材 料 费<br>元/m <sup>2</sup> | 安 装 费<br>元/m <sup>2</sup> |
|-------------------|---------------------------|---------------------------|
| 镀锌铁皮 (δ=1.5mm)    | 24                        | 11                        |
| 铝合金板 (δ=0.7mm)    | 35                        | 13                        |
| 灰泥抹面 (δ=20mm)     | 10                        | 15                        |
| 灰泥抹面 (憎水性)        | 20                        | 15                        |
| 硅酸钙专用抹面 (δ=20mm)  | 16                        | 12                        |
| 玻璃丝布 (包括刷 2 度沥青漆) | 7                         | 2                         |
| 玻璃丝布 (包括刷 2 度银粉漆) | 10                        | 2                         |

日本标准 JIS A 9501 规定：保温层单位造价与保温层厚度和管道外径有关。管子越大，保温层越厚，保温层单位造价越低，其关系如下：

$$P_1 = 1.2(12000\delta^{-k} + 100) \quad \text{千日元/m}^3$$

式中  $k$  的取值与管道外径的关系如表 5.4.5-3 所示。

表 5.4.5-3  $k$  值与  $D_0$  的关系

| $D_0$<br>mm | 15~20 | 25~50 | 65~150 | 200~300 | >300 和平面 |
|-------------|-------|-------|--------|---------|----------|
| $k$         | 1.09  | 1.13  | 1.17   | 1.21    | 1.28     |

#### 5.4.6 系原规定附录二的增补条文。

本条补充规定年运行时间应按工程实际情况取值。

日本标准 JIS A 9501 1977 年版年运行时间为 6000h, 1990 年版修改为 7300h, 增加了年运行时间。

#### 5.4.7 系新增条文。

日本标准 JIS A 9501 1977 年版规定偿还年数为 5a, 年利率 10%, 即投资贷款年分摊率为 0.264; 1990 年版修改为偿还年数为 10a, 年利率 7%, 即投资贷款年分摊率为 0.142。前苏联和中国认为电力工程中经济偿还年限为 6a~7a, 贷款年分摊率为 0.187~0.162。本条按原规定推荐年分摊率可取 0.17, 国外贷款项目可适当提高到 0.18~0.20。

#### 5.4.8 系新增条文。

GB8175 中规定保温结构外表面传热系数一般取  $11.63\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , 其保护层的立足基点是抹面, 现在金属保护层广泛应用, 有必要区分保护层材料对传热系数的影响, 故本规程保温结构外表面传热系数取为辐射传热系数和对流传热系数之和。当保温材料和厚度不变时, 辐射与对流是影响外表面温度的主要因素。辐射与使用的保护层材料有关, 即材料黑度; 对流只与保温物体的尺寸和外界环境风速有关。

1. 室内设备和管道的对流传热按大空间自然对流传热, 参与换热的流体的运动完全是由流体 (空气) 各部分温度不均匀所造成的浮外力引起的对流, 按努谢尔特 (Nusselt, W) 准则:

$$Nu = 0.53(Gr \cdot Pr)^{0.25} \quad (5.4.8-5)$$

式中:  $Nu$ ——努谢尔特数 (Nusselt, W);

$Pr$ ——普朗特数 (Prandtl), 见附录 E 中表 E4;

$Gr$ ——葛拉晓夫数 (Grashof), 按下式计算:

$$Gr = \beta_v \cdot \frac{g D_1^3}{\nu^2} (t_s - t_a) \times 10^{-9} \quad (5.4.8-6)$$

$\nu$ ——空气运动粘度, 见附录 E 中表 E4,  $\text{m}^2/\text{s}$ ;

$\beta_v$ ——空气体积膨胀系数,  $\text{K}^{-1}$ , 按下式计算:

$$\beta_v = \frac{1}{273 + \frac{t_s + t_a}{2}} \quad (5.4.8-7)$$

计算出  $Nu$  后，按下式计算出对流传热系数  $\alpha_c$

$$\alpha_c = \frac{\lambda_k}{D_1} Nu \quad (5.4.8-8)$$

式中： $\lambda_k$ ——空气的热导率，见附录 E 中表 E4，W/(m·K)。

室内设备和管道的保护层材料的辐射传热系数按式 5.4.8-2 计算。

2. 室外设备和管道的对流传热按外掠物体换热，辐射传热按斯蒂芬-玻尔兹曼定律 (Stefan-Boltzmann)，即黑体辐射力正比例于其绝对温度的四次方。

#### 5.4.9 系原规定第 4.0.6 条的修改条文。

本规程的保温材料损耗附加量及施工余量按调查资料比原规定稍有增加，符合施工实际情况。

## 6 保 温 结 构

### 6.1 一 般 规 定

#### 6.1.1 系原规定第 4.0.1 条增补条文。

本条增加设防潮层的规定，如地沟内管道和处在潮湿环境中的低温设备和管道应采取防潮措施，避免金属表面发生电化学腐蚀或充氧性腐蚀，故应在保温层外增设防潮层。

#### 6.1.2 系原规定第 4.0.1 条之二、三的增补条文。

本条增加保温结构应保温效果好、施工方便、防火防水、整齐美观等要求，特别是保温结构应施工方便，加快施工进度。

核电厂某些设备部件的保温结构须具有对化学、放射性、振动作用的抵抗能力，对冲击不敏感，具有隔音作用。

#### 6.1.3 系原规定第 4.0.1 条之三的增补条文。

本条明确在无须检修的部位应采用固定式保温结构，在要求检修或检漏的部位，当其连接管道采用金属保护层时，应采用可拆卸式结构，较原规定要求严格。

#### 6.1.4 系新增条文。

在沿海大风地区，为防止保护层被掀开、脱落，可采取在保护层外加圈（扁钢）固定、加强保温结构的固定件等加固措施。

#### 6.1.5 系新增条文。

保温结构的部件设计应标准化，便于加工制造，提高部件质量，宜按《保温结构部件设计》选用。

### 6.2 保 温 层

#### 6.2.1 系新增条文。

保温层厚度以 10mm 为分档单位，在设计中已成习惯，也符合我国保温材料生产实际情况。若按日本等国实行的 5mm 为分档单位，更接近计算厚度值，但增加了生产模具数量，给保温材

料生产厂家带来一定的经济负担。

硬质保温制品最小厚度宜为 30mm。制品厚度太薄，在生产、运输和施工中会加大破损率，增加成本。

#### 6.2.2 系原规定第 4.0.2 条的修改条文。

保温材料压制成型时，若厚度过厚，会出现保温制品承压面紧密、支承面稀疏、内部气孔不匀等情况，并影响导热性能。

日本标准 JIS A 9501 规定：厚度大于 75mm 时分层施工。

法国赫尔蒂公司技术资料《保温总说明》要求厚度大于 80mm 时分层施工。

美国标准 ASTM C533 规定：厚度大于 3in (76.2mm) 的绝热管可以 2 层或 2 层以上提供。

GB8175 规定：设计厚度大于 100mm 时按双层考虑。

本条是参照以上标准并结合原规定而制定的，即保温层厚度大于 80mm 时，应分层敷设。

#### 6.2.3 系新增条文。

纤维状或颗粒状松散保温材料在施工捆扎时会压缩，减少了保温厚度，引起热导率的变化，如岩棉加压使密度从  $110\text{kg}/\text{m}^3$  增大到  $280\text{kg}/\text{m}^3$ ，热导率也从  $0.044\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  降至  $0.0393\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。在设计时，针对不同材料的最佳保温密度或不致塌陷的密度值，应规定其施工压缩量。

密度是保温材料的主要性能指标之一。通常，保温材料密度可分为生产密度、安装密度和最佳密度。硬质保温制品的生产密度与安装密度是基本一致的，而纤维制品和松散材料存在弹性恢复系数，根据施工使用经验可知，松散材料（纤维状和颗粒状）的安装密度可达生产密度的 1.3~2.5 倍，软质材料的安装密度可达生产密度的 1.1~1.5 倍。

各种保温材料及其制品均有一个与材料特性（气孔组织是否细小和封闭、纤维分布是否均匀等）和生产工艺相适应的最佳密度。最佳密度是考虑保温材料具有较小的热导率，具有较高的机械强度和在包装运输及安装过程中材料的外形稳定性好时的密

度。岩棉制品的最佳密度为  $90\text{kg/m}^3 \sim 150\text{kg/m}^3$ ，无碱超细玻璃棉毡的最佳密度为  $60\text{kg/m}^3 \sim 90\text{kg/m}^3$ 。

#### 6.2.4 系新增条文。

管道弯头采用软质保温材料或保温涂料保温是便于施工，提高弯头保温质量。硬质保温制品切割成的虾米弯头通常施工复杂、损耗大、缝隙宽。

#### 6.2.5 系原规定第 4.0.5 条的修改条文。

安全阀后对空排汽管道应采取加固措施（如固定件加密、捆扎件加强等）加固保温层，以防震落。

#### 6.2.6 系新增条文。

矩形大截面烟风道和转动机械宜采用留置空气层的保温结构。这种结构可起到减少噪声、隔振与缩小温差的作用。在平壁面与保温结构之间留有厚度略低于加固肋板高度的空气层，并每隔  $2\text{m} \sim 3\text{m}$  长砌置宽约  $150\text{mm} \sim 200\text{mm}$  的硬质保温板，作为防止对流带。硬质保温板固定在  $\phi 4 \sim \phi 6$  的销钉和垫圈上，而后沿加固肋板点焊钢筋网（两侧及底部采用  $150 \times 150 \times 4$  钢筋网，顶部采用  $100 \times 100 \times 6$  钢筋网），主保温层用镀锌铁丝绑扎在钢筋网架上（软质保温材料应用铁丝网绑扎）。

#### 6.2.7 系新增条文。

噪声超过  $85\text{dB (A)}$  的设备，如吸风机、送风机等，应采用吸声材料保温或设置具有隔声作用的保温结构（如每隔  $1\text{m}$  设一组弹性消振夹，在保护层外涂上一层不燃的重质涂层），以降低噪声水平。岩棉制品和玻璃棉制品具有良好的吸声性能。

#### 6.2.8 系新增条文。

保温结构的支承件，如托架、支承环、支承板等，起着支承保温层和保护层的作用，保证保温结构有足够的机械强度，在自重、风力、雨雪和振动等附加荷载下不致破坏。

#### 6.2.9 系新增条文。

固定件包括螺栓、螺母、销钉、钩钉、箍环、箍带和活动环等。固定件在保温结构中起着定位、固形、抗震等多方面作用。

在选用固定件时应避免使用会产生接触腐蚀的金属材料或者采用加岩棉板隔离。

#### 6.2.10 系新增条文。

保温层捆扎用的镀锌铁丝应为经过退火后的软铁丝，从保证强度和施工方便考虑规定应用双股捆扎。对于平面，应先用镀锌铁丝把保温材料固定好，再用镀锌钢带拉紧捆扎。

镀锌铁丝直径与号数关系如表 6.2.10-1。

表 6.2.10-1 镀锌铁丝直径与号数关系

| 直 径<br>mm | 0.8 | 0.9 | 1.0 | 1.2 | 1.4 | 1.6 | 1.8 | 2.0 | 2.2 | 2.5 |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 号 数       | 21  | 20  | 19  | 18  | 17  | 16  | 15  | 14  | 13  | 12  |

#### 6.2.11 系新增条文。

设备和管道保温层采用硬质保温制品时，应根据介质温度与管道走向确定留设伸缩缝。伸缩缝的宽度和间距应根据介质温度确定，高温时，缝宽取大值，间距取下限。中低温时反之。对于线胀系数较大的奥氏体钢，缝宽取大值。

#### 6.2.12 系新增条文。

在法兰、蠕胀测点、支架附近等留设间隙，是根据引进机组保温设计而编制的，如宝钢电厂。特别是采用硬质保温制品时，应留设足够的间隙，以免保温结构破坏。

#### 6.2.13 系新增条文。

保温结构的支承件、固定件和捆扎件等辅助材料可按附录 C 表中所列计算。表 C1 和表 C2 中，管道为每件支承件的材料用量，平面为矩形周长或平面宽为 1m 时每件支承件的材料用量。

### 6.3 保 护 层

#### 6.3.1 系新增条文。

一金属板搭扣在另一金属板上的结合形式称为搭接。

一金属板的直边端插入另一金属板端部插口的结合形式称为插接。

接合的两金属板互相咬口的结合形式称为咬接。

压有正反方向圆线的两金属板互相嵌合的结合形式称为嵌接。嵌接适宜作管道弯头金属保护层的环向接缝。

本条是根据 GBJ126 编制的。

#### **6.3.2 系新增条文。**

直管段上的金属保护层环向接缝应考虑管道的热膨胀而采用活动搭接形式，即二搭接板可作相对的滑动。

机械转动设备、储罐、扩容器和管道的支吊架、管架、鞍座、补偿器、蠕变测点等部位，凡保温层留有伸缩缝，金属保护层亦应在同一部位留设活动接缝。

本条是根据 GBJ126 编制的。

#### **6.3.3 系原规定第 4.0.3 条之三的修改条文。**

取消原规定的硅藻土石棉粉和石灰膏作粘结剂，强调要在保证质量的前提下，因地制宜，就地取材确定抹面的配方。

#### **6.3.4 系原规定第 4.0.3 条之四的修改条文。**

原规定玻璃布采用聚醋酸乙烯树脂做粘合剂用作防潮层，其实聚醋酸乙烯是一种吸湿性受潮变性的材料，不宜作防潮层，GBJ126 第 6.2.2 条也规定不得用于露天或潮湿环境中。本条改为作室内保护层。

#### **6.3.5 系原规定第 4.0.4 条的修改条文。**

取消原规定的石棉编绳，外径小于 38mm 管道采用纤维绳保温时，应外包低碱玻璃布。

#### **6.3.6 系新增条文。**

玻璃布在长期经受风吹、雨淋后，易老化、脆化、产生裂缝，甚至脱落，起不到隔水、隔潮、保护保温层的作用，因此，玻璃布保护层不应在室外使用。

#### **6.3.7 系新增条文。**

室外布置的大截面矩形管道顶部应设排水坡度，以防顶部积

水，造成保温结构超过设计荷载，防止积水渗入保温层。

## **6.4 防 潮 层**

### **6.4.1 系新增条文。**

防潮层材料应抗蒸汽渗透性能好，防水防潮力强，密封性能及粘结性能好，有一定的耐温性和抗冻性，夏天不软化，冬季不脆化、不开裂。

防潮层材料通常有：沥青胶玻璃布、改性沥青油毡、防水冷胶料玻璃布、聚氯乙烯防水卷材等。聚氯乙烯防水卷材具有便于施工、防水性能好、耐腐蚀性强、使用寿命较长等优点。

本条是根据 GBJ126 编制的。

### **6.4.2 系新增条文。**

防潮层外不得再设铁丝或钢带等硬质捆扎件，以免刺破防潮层，破坏防潮层的完整性，导致湿空气进入保温结构，损坏防潮效果。

## 7 油漆和防腐

### 7.1 油漆

#### 7.1.1 系新增条文。

本条规定对不保温的和介质温度低于 120℃ 保温的设备和管道及其附件必须按不同要求进行油漆。

现场制作的支吊架、平台扶梯应进行外部油漆。工厂制作的支吊架应在工厂内按国家标准涂刷油漆，如采用电镀、热浸镀或机械镀，弹簧表面镀层为锌、铬与镉时，电镀后应进行去氢处理。支吊架、平台扶梯油漆后的漆膜应均匀，不应有气泡、夹渣、龟裂剥落、皱皮和杂色等缺陷，如有上述缺陷必须修补合格。对于沿海工程、腐蚀性气体环境或露天的管道支吊架零部件表面宜采用热镀锌保护。

不锈钢管、镀锌钢管和有色金属管道可不刷油漆。

日本标准规定：沿海岸电厂管道涂层需表面镀锌。

本规程所述油漆也指涂料。

#### 7.1.2 系原规定第 5.0.2 条和第 5.0.3 条之一的增补条文。

1. 室外布置的设备和汽水管道，在要求耐候性和装饰性好时，应采用醇酸磁漆，但醇酸磁漆耐水性差，不能使用在有碱环境中；要求防潮、耐水性好时，宜采用环氧磁漆或酚醛漆；在湿热条件下，有“三防”要求，以及在化工大气条件下时，宜采用环氧磁漆或过氯乙烯漆，因其耐化学腐蚀性好。

环氧底漆具有涂膜附着力好，耐水、耐潮、不易腐蚀等特点。

2. 油管道和设备外壁，宜先涂刷醇酸底漆，因为醇酸底漆具有良好的附着力和一定的防锈性能。

油箱、油罐内壁应涂刷耐油油漆，如铝粉缩醛磁漆、环氧耐油漆、铁红虫胶磁漆、棕环氧沥青耐油漆和氯磺化聚乙烯耐油涂料等。

3. 管沟中的管道应注意防潮,环氧沥青漆涂膜附着力、耐水性好,一次涂装能获得厚涂层。

4. 环氧富锌底漆具有良好的阴极保护和屏蔽作用,防腐蚀性优异、力学性能好。

5. 排汽管道应涂刷耐高温防锈漆,以免排汽管锈蚀。排空气管道可涂刷防锈漆。

设备和管道的底漆也可采用带锈涂料。

#### 7.1.3 系原规定第 5.0.3 条之二的修改条文。

原规定的保护壳以黑铁皮代用内容取消,因为黑铁皮代用,油漆施工繁琐,而且油漆施工费用高,现已不采用。

对于疏水箱、扩容器等设备内壁改为涂刷 2 度耐高温的油漆,不一定都采用汽包漆。

#### 7.1.4 系原规定第 5.0.4 条的修改条文。

现场制作的支吊架和室内的钢制平台扶梯的面漆采用银灰色调合漆,室外的钢制平台扶梯油漆防腐蚀要求高,要耐水耐潮。

#### 7.1.5 系原规定第 5.0.1 条增补条文。

本条对管道的色环、介质名称及介质流向箭头的位置和形状作了适当的修改。原规定保温外径小于 100mm 分三档,现合并为一档,且增加保温外径大于 500mm 一档。

本条增加对于外径小于 76mm 管道,直接涂刷介质名称及介质流向箭头不易识别时,应挂设标牌标识。标牌规格为矩形 250mm×100mm,以 90°尖角指向流向,其符号为 , 标牌上应标明介质名称,但管道色环仍涂刷在管道上。

#### 7.1.6 系新增条文。

设备和管道在油漆之前应对金属表面进行除油、除锈处理。目前除锈主要采取手工、酸洗、喷砂和喷丸等方法。

带锈涂料在涂刷前应把金属表面的泥砂、油污、浮锈去除干净。若锈蚀厚度超过 50μm,也应进行表面处理。

#### 7.1.7 系新增条文。

设备和管道油漆耗漆量和支吊架、平台扶梯的耗漆量取值系

根据工程施工资料所得。

## 7.2 防 腐

### 7.2.1 系原规定第 5.0.3 条之一的增补条文。

埋地管道外防腐材料有石油沥青、环氧煤沥青、塑料（俗称黄甲克、绿甲克）、氯磺化聚乙烯、聚氯乙烯（PVC）防水卷材、硬质聚氨脂泡沫塑料和氯偏等。石油沥青防腐层货源充足，价格低，施工经验成熟，我国多年来一直采用，但吸水率大（可达 20%），易被细菌侵蚀，使用寿命不长。环氧煤沥青防腐层有较好的耐水性，吸水率小，防锈性能好，耐细菌侵蚀，漆膜坚硬，耐酸、碱、盐性能较好，耐温小于 130℃，使用寿命 7a~8a。硬质聚氨脂泡沫塑料具有耐酸、碱性能好，吸水率小，是良好的保温、隔热、绝缘、防腐材料，使用温度 -40℃~120℃，如美国阿拉斯加输油管道通过冻土带时采用了硬质聚氨脂泡沫塑料外加敷一层高密度聚乙烯层复合结构。

土壤腐蚀基本上属于电化学腐蚀，因为土壤是多相物质组成的复杂混合物，颗粒间充满空气、水和各种盐类，使土壤具有电解质的特征，因此，地下管道裸露的金属在土壤中构成了腐蚀电池。腐蚀电池大致可分为两类：因钢管表面状态的影响所形成的微腐蚀电池和因土壤介质差异引起的宏腐蚀电池。

影响埋地管道腐蚀速度的因素是多方面的，主要决定于土壤的性质。而表征土壤性质指标的各种参数均会对管道金属的腐蚀产生影响，如土壤 pH 值、氧化还原电位、土壤电阻率、含盐种类和数量、含水率、孔隙度、有机质含量、温度、细菌、杂散电流等。对土壤腐蚀等级的确定一般只需测定土壤电阻率和管盒测质量损失两级即可。本条土壤腐蚀性等级的确定与原石油工业部标准《钢质管道及储罐防腐蚀工程设计规范》（SYJ7—84）相符。

表 7.2.1-1 中单位 g/d 为克/天、mm/a 为毫米/年。

### 7.2.2 系新增条文。

埋地管道与水工构筑物、铁路、公路相交时，局部地区土壤

的透气性差,含氧量低,因而在管底部的钢-土壤电位低于管顶部的电位,在管底部形成阳极区而发生腐蚀,埋地管道应设特强沥青防腐结构。

散流于大地中的电流叫杂散电流,电气化铁道、电解工厂的直流电源、交直流高压输电系统接地极等都是杂散电流源。对于绝缘不良的管道,杂散电流可能在绝缘破损的某一点流入管道,然后沿管道流动,在另一绝缘破损点流出,返回杂散电流源,从而引起腐蚀,这种腐蚀比一般土壤腐蚀激烈得多。故均按特强沥青防腐结构防腐,也可采取其他保护措施(如阴极保护等)。

### 7.2.3 系新增条文。

环氧煤沥青是在煤焦沥青中按1:1的比例加入环氧树脂的混合涂料,提高了沥青耐超电位的性能(沥青涂层只能耐-0.8V电位),具有突出的抗水性,热敏性低,广泛应用于管道外壁防腐。如在巴拿马运河上采用热熔施工的沥青涂层经20a后仍完好。

氯磺化聚乙烯防腐蚀涂料是以氯磺化聚乙烯20型或30型橡胶为成膜基料,加入改性树脂、硫化剂、促进剂、稳定剂,经机械混合或研磨而制成的双组分涂料,已应用于石油化工的防腐蚀涂装。

---