

ICS 27.100

P 61

备案号: J691—2007

**DL**

# 中华人民共和国电力行业标准

**P**

**DL/T 5072 — 2007**

代替 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**

2007-07-20 发布

2007-12-01 实施

---

中华人民共和国国家发展和改革委员会 发布

## 目 次

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 前言 .....                    | III |
| 1 范围 .....                  | 1   |
| 2 规范性引用文件 .....             | 2   |
| 3 术语和符号 .....               | 3   |
| 4 总则 .....                  | 7   |
| 5 基本规定 .....                | 8   |
| 6 保温材料 .....                | 10  |
| 6.1 保温材料性能要求 .....          | 10  |
| 6.2 保温层材料选择 .....           | 11  |
| 6.3 保护层材料选择 .....           | 12  |
| 6.4 防潮层材料选择 .....           | 13  |
| 7 保温计算 .....                | 14  |
| 7.1 保温计算原则 .....            | 14  |
| 7.2 保温层厚度计算 .....           | 15  |
| 7.3 保温辅助计算 .....            | 18  |
| 7.4 保温计算数据选取 .....          | 20  |
| 8 保温结构 .....                | 27  |
| 8.1 一般规定 .....              | 27  |
| 8.2 保温层 .....               | 27  |
| 8.3 保护层 .....               | 31  |
| 8.4 防潮层 .....               | 32  |
| 9 油漆和防腐 .....               | 33  |
| 9.1 油漆 .....                | 33  |
| 9.2 防腐 .....                | 41  |
| 附录 A (规范性附录) 常用保温材料性能 ..... | 44  |

|              |                     |    |
|--------------|---------------------|----|
| 附录 B (规范性附录) | 保温层厚度计算.....        | 46 |
| 附录 C (资料性附录) | 保温油漆 SPEC 的应用 ..... | 55 |
| 附录 D (资料性附录) | 气象数据 .....          | 56 |
| 附录 E (资料性附录) | 物性数据 .....          | 67 |
| 附录 F (规范性附录) | 保温结构辅助材料用量 .....    | 69 |
| 附录 G (规范性附录) | 常用涂层配套 .....        | 75 |
| 条文说明 .....   |                     | 77 |

## 前 言

本标准是根据《国家发展改革委办公厅关于下达 2004 年行业标准项目计划的通知》（发改办工业〔2004〕872 号）要求，对 DL/T 5072—1997 进行修订的。

本标准与 DL/T 5072—1997 比较主要有以下一些变化：

——部分修订保温和保护材料的选取方法；

——对油漆和防腐进行了补充和修订等。

本标准自实施之日起，代替 DL/T 5072—1997。

本标准附录 A、附录 B、附录 F、附录 G 为规范性附录。

本标准附录 C、附录 D、附录 E 为资料性附录。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业电力规划设计标准化技术委员会归口并解释。

本标准起草单位：西南电力设计院。

本标准主要起草人：范勇刚、贺清辉、马爱萍、廖海燕、孙斌、冯德明。

本标准于 1984 年 2 月首次发布，1997 年 11 月第一次修订，本次为第二次修订。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化中心（北京市白广路二条一号，100761）。

## 1 范 围

本标准规定了火力发电厂的设备、管道及其附件和附属钢结构的保温、油漆设计应遵循的基本原则和设计要求。

本标准适用于火力发电厂的设备、管道及其附件和附属钢结构的保温、油漆设计。

本标准不适用于汽轮机、锅炉本体的保温、油漆设计，也不适用于电气、土建专业的有关保温、油漆设计。

核电站的常规岛和 BOP 部分、燃气—蒸汽联合循环电站以及地热电站的保温、油漆设计可参照执行。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB 8624 建筑材料及制品燃烧性能分级

GB 8923 涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级

GB/T 17393 覆盖奥氏体不锈钢用绝热材料规范

GB 50126 工业设备及管道绝热工程施工及验收规范

GB 50185 工业设备及管道绝热工程质量检验评定标准

GB 50212 建筑防腐蚀工程施工及验收规范

GB 50224 建筑防腐蚀工程质量检验评定标准

DL/T 934 火力发电厂保温工程热态考核测试与评价规程

DL/T 5054 火力发电厂汽水管道设计技术规定

### 3 术语和符号

#### 3.1 术 语

下列术语和定义适用于本标准。

##### 3.1.1

**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。

##### 3.1.2

**保温层 insulation layer**

为达到保温的目的而设置的隔离层。

##### 3.1.3

**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。

##### 3.1.4

**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。

##### 3.1.5

**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。

##### 3.1.6

**介质焓质系数 exergic coefficient of medium**

介质做功能力相对于锅炉过热器出口过热蒸汽做功能力

之比。

3.1.7

**硬质绝热制品 rigid insulation**

制品使用时能基本保持其原状, 在 2kPa 荷重下, 其可压缩性小于 6%, 制品不能弯曲。

3.1.8

**半硬质绝热制品 semi-rigid insulation**

制品在 2kPa 荷重下, 可压缩性为 6%~30%; 弯曲 90° 以下尚能恢复其形状。

3.1.9

**软质绝热制品 soft insulation**

制品在 2kPa 荷重下, 可压缩性为 30% 以上, 可弯曲至 90° 以上而不损坏。

3.1.10

**最高使用温度 maximum service temperature**

在保证正常使用的条件下, 材料所能承受的最高温度。

3.1.11

**热荷重收缩温度 temperature for shrinkage under hot load**

在规定的升温条件下, 试样承受恒定载荷, 厚度收缩率为 10% 时所对应的温度。

3.1.12

**腐蚀 corrosion**

金属与环境介质间的物理—化学相互作用, 其结果使金属的性能发生变化, 并常可导致金属、环境或由他们组成的作为部分技术体系的功能受到损伤。

3.1.13

**腐蚀速率 corrosion rate**

单位时间内金属遭受腐蚀的质量损耗量, 常以 mm/a 或  $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  表示。

## 3.1.14

**涂层配套** asset of matched coating

能相容的各类涂层间在材料选用、结构搭配、涂装工艺等方面合理组合形成的复合涂层。

## 3.1.15

**阴极保护** cathodic protection

通过降低腐蚀电位，使管道的腐蚀速率显著减小而实现电化学保护的一种方法。阴极保护通常有强制电流保护和牺牲阳极保护两种方法。

## 3.2 符 号

下列符号适用于本标准，见表 3.2。

表 3.2 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               |
| $D_o$ | mm                                     | 管道外径               |
| $h$   | $\text{kJ/kg}$                         | 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            |
| $P_h$ | $\text{元/GJ}$                          | 热价                 |
| $q$   | $\text{W}/\text{m}^2$                  | 保温结构外表面散热损失        |
| $q_L$ | $\text{W}/\text{m}$                    | 保温结构线散热损失          |

表 3.2 (续)

| 符号          | 单位                     | 含 义                |
|-------------|------------------------|--------------------|
| $q_m$       | kg/S                   | 介质流量               |
| $[q]$       | W/m <sup>2</sup>       | 保温结构外表面允许散热损失      |
| $S$         | —                      | 保温工程投资贷款年分摊率       |
| $s$         | kJ/(kg · K)            | 介质比焓               |
| $t$         | ℃                      | 设备和管道外表面温度         |
| $t_a$       | ℃                      | 环境温度               |
| $t_b$       | ℃                      | 复合保温内外层界面处温度       |
| $t_s$       | ℃                      | 保温结构外表面温度          |
| $t_m$       | ℃                      | 保温材料内外表面温度平均值      |
| $v$         | m <sup>3</sup> /kg     | 介质比体积              |
| $w$         | m/s                    | 室外风速               |
| $\tau$      | h                      | 年运行时间              |
| $\alpha$    | W/(m <sup>2</sup> · K) | 保温结构外表面传热系数        |
| $\alpha_c$  | W/(m <sup>2</sup> · K) | 对流传热系数             |
| $\alpha_n$  | W/(m <sup>2</sup> · 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           |
| $\lambda$   | W/(m · K)              | 保温层材料热导率 (导热系数)    |
| $\lambda_1$ | W/(m · K)              | 复合保温内层材料热导率 (导热系数) |
| $\lambda_2$ | W/(m · K)              | 复合保温外层材料热导率 (导热系数) |
| $\lambda_k$ | W/(m · K)              | 空气的热导率 (导热系数)      |
| $\nu$       | m <sup>2</sup> /s      | 空气运动黏度             |
| $\phi$      | %                      | 涂料的体积固含量           |
| $\theta_1$  | μm                     | 涂料的湿膜厚度            |
| $\theta_2$  | μm                     | 涂料的干膜厚度            |
| $M_1$       | m <sup>2</sup> /L      | 涂料的理论涂布率           |
| $M_2$       | m <sup>2</sup> /L      | 涂料的实际涂布率           |
| $\xi$       | —                      | 涂料的涂布损耗系数          |

## 4 总 则

4.0.1 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，防止设备、管道和附属钢结构腐蚀，提高经济效益，特制定本规程。

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

4.0.3 为了确保保温和油漆、防腐工程质量，控制工程造价，设计单位应对保温和油漆、防腐材料的选择及性能提出明确的要求。

4.0.4 凡未经具备国家相应资质的法定检测机构鉴定的新型保温材料、油漆和防腐涂料，不得在火力发电厂保温、油漆和防腐设计中使用。

4.0.5 保温油漆设计除按本规程外，还应应对保温、油漆和防腐的施工及验收按 GB 50126、GB 50212 的有关规定提出要求。

4.0.6 保温、油漆和防腐工程完成后，应按 GB 50185、GB 50224 进行质量检验和评定。机组投产运行后，应按 DL/T 934 对保温效果进行测试和评价并提出报告。

## 5 基 本 规 定

5.0.1 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℃ 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、其外表面温度超过 60℃，而又无法采取其他措施防止烫伤人员的部位。

5.0.2 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 2100mm；
- 2 靠操作平台水平距离小于 750mm。

5.0.3 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℃ 的煤粉管道（寒冷地区露天布置除外）；
- 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；
- 4 工艺要求不能保温的管道和附件。

5.0.4 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 露天布置的工业水管道、冷却水管道、疏放水管道、补给水管道、除盐水管、消防水管道、汽水取样管道、厂区杂用压缩空气管道等，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。

5.0.5 环境温度不高于 27℃ 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。

5.0.6 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。

管道外表面（对不保温的）或保温结构外表面（对保温的）应涂刷介质名称和介质流向箭头；设备外表面只涂刷设备名称。

## 6 保 温 材 料

### 6.1 保温材料性能要求

6.1.1 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。

6.1.2 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，其使用状态下的热导率和密度尚应符合表 6.1.2 的要求。

表 6.1.2 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                     | 半硬质保温制品 | 软质保温制品 |
| 450~650   | 0.11              | 220                        | 200     | 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。

6.1.3 保温材料及其制品至少应符合下列规定：

1 硅酸钙制品应采用耐高温增强纤维，其抗压强度不小于 0.4MPa，质量含湿率不大于 7.5%，干燥线收缩率不大于 2%，在使用温度下不产生裂缝，剩余抗压强度不小于 0.32MPa。本规程采用无石棉制品。

2 纤维类制品（岩棉、矿渣棉、玻璃棉、硅酸铝棉纤维制品）的渣球含量、有机物含量和纤维平均直径应符合有关国家标准的规定。

3 膨胀珍珠岩制品应采用憎水型，其热导率应不大于

$0.062\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  ( $25^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ )，憎水率应不小于 98%。

4 复合硅酸盐制品宜采用憎水型，其憎水率应不小于 98%。

6.1.4 保温材料应按 GB 8624 选用不燃类材料，并应符合环保要求。

6.1.5 保温设计采用保温材料的物理化学性能检验报告必须是由具备国家相应资质的法定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，对于松散或可压缩的保温材料，为使用密度下的热导率方程式、图或表。

2 密度，对于松散或可压缩的保温材料，为使用状态下的密度。

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、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、纤维平均直径、有机物含量、加热永久线变化、吸湿率、憎水率等。

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，其氯化物、氟化物、硅酸根、钠离子的含量应符合 GB/T 17393 的规定。

## 6.2 保温层材料选择

6.2.1 保温层材料选择应符合下列原则：

1 保温材料及其制品的推荐使用温度应高于设备和管道的设计温度或介质的最高温度；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、造价合理、施工方便的保温材料。

6.2.2 保温层材料按下列规定选择：

1 介质温度大于 350℃时,应选用耐高温保温材料,或经技术经济比较合理时,也可选择复合保温结构。保温材料及其制品的主要性能见附录 A。

2 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。

3 外径小于 38mm 管道的保温层材料宜选择普通硅酸铝纤维绳。

4 潮湿环境中(如地沟等)的低温设备和管道的保温层材料宜选择憎水性材料。

6.2.3 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。

6.2.4 设备和管道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。

### 6.3 保护层材料选择

6.3.1 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的要求,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作保护层。

5 抹面保护层的密度不得大于  $800\text{kg/m}^3$ ,抗压强度不得小于  $0.8\text{MPa}$ ,烧失量(包括有机物和可燃物)不得大于 12%;抹面干燥后(冷状态下)不得产生裂缝、脱壳等现象,不得对金属产生腐蚀。

6.3.2 保护层材料的选择应根据投资状况、机组容量、布置环境

和保温材料的性能等因素综合决定。

**6.3.3** 火力发电厂的设备和管道及其附件宜采用金属保护层，其他非金属保护层材料如玻璃丝布、玻璃钢和抹面等可以按 6.3.2 的规定选用。

**6.3.4** 金属保护层宜选择铝合金板或镀锌铁皮。

采用铝合金板时，管道可选用 0.50mm~1.00mm 厚度，设备和矩形截面烟风道可选用 0.60mm~1.00mm 厚度。采用镀锌铁皮时，管道可选用 0.35mm~0.75mm 厚度，设备和矩形截面烟风道可选用 0.50mm~0.75mm 厚度。大截面矩形烟风道的金属保护层应采用压型板。设计时，应根据设备或管道的尺寸确定金属保护层厚度。

**6.3.5** 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。

## 6.4 防潮层材料选择

**6.4.1** 防潮层材料的选择应符合下列要求：

1 防潮层材料应选择具有抗蒸汽渗透性能、防水性能和防潮性能，且吸水率不大于 1% 的材料；

2 防潮层材料的燃烧性能应符合 GB 8624 的规定；

3 防潮层材料应选用化学性能稳定、无毒且耐腐蚀的材料，并不得对绝热层和保护层材料产生腐蚀和溶解作用；

4 防潮层材料应选用在夏季不软化、不起泡和不流淌的材料，且在低温使用时不脆化、不开裂、不脱落的材料；

5 涂抹型防潮层材料，其软化温度不应低于 65℃，粘接强度不应小于 0.15MPa，挥发物不得大于 30%。

**6.4.2** 防潮层的材料以沥青类胶泥中间加玻璃纤维布现场涂抹、合成高分子防水卷材、高聚物改性沥青防水卷材等为主。玻璃纤维布宜选用经纬密度为  $10 \times 10$  根/cm<sup>2</sup>、厚度为 0.10mm~0.20mm、中碱粗格平纹、两边封边，也可采用塑料网格布。

## 7 保 温 计 算

### 7.1 保 温 计 算 原 则

7.1.1 为减少保温结构散热损失，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损失不得超过表 7.1.1 中给出的允许最大散热损失，保温结构外表面温度还应符合 5.0.5 的规定。

表 7.1.1 保温结构外表面允许最大散热损失

| 介质温度<br>℃ | 常年运行工况<br>W/m <sup>2</sup> | 季节运行工况<br>W/m <sup>2</sup> | 介质温度<br>℃ | 常年运行工况<br>W/m <sup>2</sup> | 季节运行工况<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                        |           |                            |                            |

7.1.2 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，外层厚度应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推荐使用温度的 90%。

7.1.3 防烫伤保温层厚度应按表面温度方法计算。

7.1.4 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，见附录 B.1。

7.1.5 延迟管道内介质冻结的保温层厚度应按热平衡方法计算，见附录 B.2。

7.1.6 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, 见附录 B.3。

7.1.7 带伴热的燃油管道保温层厚度应按热平衡方法计算, 见附录 B.4。蒸汽伴热的燃油管道保温层厚度可为 20mm~100mm。

7.1.8 介质烟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。

7.1.9 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。

7.1.10 保温工程设计宜采用保温 SPEC 的方法应用于工程, 保温 SPEC 的拟定原则参见附录 C。

## 7.2 保温层厚度计算

### 7.2.1 保温层经济厚度计算

1 平面按式 (7.2.1-1) 计算, 即

$$\delta = 1.897 \sqrt{\frac{\lambda \tau P_h A_e (t - t_a)}{P_1 S}} - \frac{1000\lambda}{\alpha} \quad (7.2.1-1)$$

2 管道按式 (7.2.1-2) 计算, 即

$$3.795 \sqrt{\frac{\lambda \tau P_h A_e (t - t_a)}{\left(P_1 + \frac{2000}{D_1} P_3\right) S}} = \frac{D_1 \ln \frac{D_1}{D_0} + \frac{2000\lambda}{\alpha}}{\sqrt{1 - \frac{2000\lambda}{\alpha D_1}}} \quad (7.2.1-2)$$

$$\delta = \frac{1}{2}(D_1 - D_0) \quad (7.2.1-3)$$

式中:

$P_1$  ——保温层单位造价, 元/m<sup>3</sup>;

$D_1$  ——保温层外径, mm。

### 7.2.2 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) 内层厚度的计算式为

$$\delta_1 = \frac{1000\lambda_1(t-t_b)}{\alpha(t_s-t_a)} \quad (7.2.2-1)$$

2) 外层厚度的计算式为

$$\delta_2 = 1.897 \sqrt{\frac{\lambda_2 \tau P_h A_c (t-t_a)}{P_2 S}} - \lambda_2 \left( \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{1000}{\alpha} \right) \quad (7.2.2-2)$$

2 管道按式 (7.2.2-3) 计算, 即

$$3.795 \sqrt{\frac{\lambda_2 \tau P_h A_c (t-t_a)}{\left(P_2 + \frac{2000}{D_2} P_3\right) S}} = \frac{D_2 \ln \frac{D_2}{D_0} + \frac{2000\lambda_2}{\alpha} \left[ 1 - \frac{(\lambda_1 - \lambda_2)(t-t_b)}{\lambda_2(t_s-t_a)} \right]}{\sqrt{1 - \frac{2000\lambda_2}{\alpha D_2}}} \quad (7.2.2-3)$$

1) 内层厚度按式 (7.2.2-4) 和式 (7.2.2-5) 计算, 即

$$\ln \frac{D_1}{D_0} = \frac{2000\lambda_1(t-t_b)}{\alpha D_2(t_s-t_a)} \quad (7.2.2-4)$$

$$\delta_1 = \frac{1}{2}(D_1 - D_0) \quad (7.2.2-5)$$

2) 外层厚度按式 (7.2.2-6) 计算, 即

$$\delta_2 = \frac{1}{2}(D_2 - D_0) - \delta_1 \quad (7.2.2-6)$$

式中:

$D_1$ ——复合保温内层外径, mm。

### 7.2.3 保温层厚度按允许散热损失方法的计算

1 平面单层保温按式 (7.2.3-1) 计算, 即

$$\delta = 1000\lambda \left( \frac{t-t_a}{[q]} - \frac{1}{\alpha} \right) \quad (7.2.3-1)$$

2 管道单层保温按式 (7.2.3-2) 和式 (7.2.3-3) 计算, 即

$$D_1 \ln \frac{D_1}{D_0} = 2000\lambda \left( \frac{t - t_a}{[q]} - \frac{1}{\alpha} \right) \quad (7.2.3-2)$$

$$\delta = \frac{1}{2}(D_1 - D_0) \quad (7.2.3-3)$$

3 平面复合保温按式 (7.2.3-4) 和式 (7.2.3-5) 计算, 即

$$\delta_1 = \frac{1000\lambda_1(t - t_b)}{[q]} \quad (7.2.3-4)$$

$$\delta_2 = 1000\lambda_2 \left( \frac{t_b - t_a}{[q]} - \frac{1}{\alpha} \right) \quad (7.2.3-5)$$

4 管道复合保温按式 (7.2.3-6) 计算, 即

$$D_2 \ln \frac{D_2}{D_0} = 2000 \left[ \frac{\lambda_1(t - t_b) + \lambda_2(t_b - t_a)}{[q]} - \frac{\lambda_2}{\alpha} \right] \quad (7.2.3-6)$$

1) 内层厚度按式 (7.2.3-7) 和式 (7.2.3-8) 计算, 即

$$\ln \frac{D_1}{D_0} = \frac{2000\lambda_1(t - t_b)}{[q]D_2} \quad (7.2.3-7)$$

$$\delta_1 = \frac{1}{2}(D_1 - D_0) \quad (7.2.3-8)$$

2) 外层厚度按式 (7.2.3-9) 计算, 即

$$\delta_2 = \frac{1}{2}(D_2 - D_0) - \delta_1 \quad (7.2.3-9)$$

式中:

$[q]$ ——保温结构外表面允许散热损失, 按表 7.1.1 中给出的允许最大散热密度的 90%取值,  $W/m^2$ 。

## 7.2.4 保温层厚度按表面温度方法计算

1 平面单层保温按式 (7.2.4-1) 计算, 即

$$\delta = \frac{1000\lambda(t - t_s)}{\alpha(t_s - t_a)} \quad (7.2.4-1)$$

2 管道单层保温按式 (7.2.4-2) 和式 (7.2.4-3) 计算, 即

$$D_1 \ln \frac{D_1}{D_0} = \frac{2000 \lambda (t - t_s)}{\alpha (t_s - t_a)} \quad (7.2.4-2)$$

$$\delta = \frac{1}{2} (D_1 - D_0) \quad (7.2.4-3)$$

3 平面复合保温按式 (7.2.4-4) 和式 (7.2.4-5) 计算, 即

$$\delta_1 = \frac{1000 \lambda_1 (t - t_b)}{\alpha (t_s - t_a)} \quad (7.2.4-4)$$

$$\delta_2 = \frac{1000 \lambda_2 (t_b - t_s)}{\alpha (t_s - t_a)} \quad (7.2.4-5)$$

4 管道复合保温按式 (7.2.4-6) 计算, 即

$$D_2 \ln \frac{D_2}{D_0} = \frac{2000}{\alpha (t_s - t_a)} [\lambda_1 (t - t_b) + \lambda_2 (t_b - t_s)] \quad (7.2.4-6)$$

1) 内层厚度按式 (7.2.4-7) 和式 (7.2.4-8) 计算, 即

$$\ln \frac{D_1}{D_0} = \frac{2000 \lambda_1 (t - t_b)}{\alpha D_2 (t_s - t_a)} \quad (7.2.4-7)$$

$$\delta_1 = \frac{1}{2} (D_1 - D_0) \quad (7.2.4-8)$$

2) 外层厚度按式 (7.2.4-9) 计算, 即

$$\delta_2 = \frac{1}{2} (D_2 - D_0) - \delta_1 \quad (7.2.4-9)$$

式中:

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

### 7.3 保温辅助计算

#### 7.3.1 保温结构外表面散热损失计算

保温结构外表面散热损失不得超过表 7.1.1 中给出的允许最大散热损失的 90%。

1 平面单层保温按式 (7.3.1-1) 计算, 即

$$q = \frac{t - t_a}{\frac{\delta}{1000\lambda} + \frac{1}{\alpha}} \quad (7.3.1-1)$$

2 管道单层保温按式 (7.3.1-2) 和式 (7.3.1-3) 计算, 即

$$q = \frac{t - t_a}{\frac{D_1}{2000\lambda} \ln \frac{D_1}{D_0} + \frac{1}{\alpha}} \quad (7.3.1-2)$$

$$q_L = \frac{2\pi(t - t_a)}{\frac{1}{\lambda} \ln \frac{D_1}{D_0} + \frac{2000}{\alpha D_1}} \quad (7.3.1-3)$$

3 平面复合保温按式 (7.3.1-4) 计算, 即

$$q = \frac{t - t_a}{\frac{\delta_1}{1000\lambda_1} + \frac{\delta_2}{1000\lambda_2} + \frac{1}{\alpha}} \quad (7.3.1-4)$$

4 管道复合保温按式 (7.3.1-5) 和式 (7.3.1-6) 计算, 即

$$q = \frac{t - t_a}{\frac{D_2}{2000} \left( \frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{D_1}{D_0} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{D_2}{D_1} \right) + \frac{1}{\alpha}} \quad (7.3.1-5)$$

$$q_L = \frac{2\pi(t - t_a)}{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{D_1}{D_0} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{D_2}{D_1} + \frac{2000}{\alpha D_2}} \quad (7.3.1-6)$$

### 7.3.2 保温结构外表面温度计算

保温结构外表面温度应符合 5.0.5 的规定。

1 平面单层保温按式 (7.3.2-1) 计算, 即

$$t_s = \frac{\frac{\delta}{1000\lambda} t_a + \frac{1}{\alpha} t}{\frac{\delta}{1000\lambda} + \frac{1}{\alpha}} \quad (7.3.2-1)$$

2 管道单层保温按式 (7.3.2-2) 计算, 即

$$t_s = \frac{\frac{1}{\lambda} \ln \frac{D_1}{D_0} t_a + \frac{2000}{\alpha D_1} t}{\frac{1}{\lambda} \ln \frac{D_1}{D_0} + \frac{2000}{\alpha D_1}} \quad (7.3.2-2)$$

3 平面复合保温按式 (7.3.2-3) 计算, 即

$$t_s = \frac{\frac{\delta_1}{1000\lambda_1} t_a + \frac{\delta_2}{1000\lambda_2} t_a + \frac{1}{\alpha} t}{\frac{\delta_1}{1000\lambda_1} + \frac{\delta_2}{1000\lambda_2} + \frac{1}{\alpha}} \quad (7.3.2-3)$$

4 管道复合保温按式 (7.3.2-4) 计算, 即

$$t_s = \frac{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{D_1}{D_0} t_a + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{D_2}{D_1} t_a + \frac{2000}{\alpha D_2} t}{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{D_1}{D_0} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{D_2}{D_1} + \frac{2000}{\alpha D_2}} \quad (7.3.2-4)$$

### 7.3.3 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推荐使用温度的 90%。

1 平面按式 (7.3.3-1) 计算, 即

$$t_b = \frac{\frac{\delta_1}{1000\lambda_1} t_a + \frac{\delta_2}{1000\lambda_2} t + \frac{1}{\alpha} t}{\frac{\delta_1}{1000\lambda_1} + \frac{\delta_2}{1000\lambda_2} + \frac{1}{\alpha}} \quad (7.3.3-1)$$

2 管道按式 (7.3.3-2) 计算, 即

$$t_b = \frac{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{D_1}{D_0} t_a + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{D_2}{D_1} t + \frac{2000}{\alpha D_2} t}{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{D_1}{D_0} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{D_2}{D_1} + \frac{2000}{\alpha D_2}} \quad (7.3.3-2)$$

## 7.4 保温计算数据选取

### 7.4.1 温度的选取规定

### 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。

地沟内管道的环境温度应按表 7.4.1 取值。

表 7.4.1 地沟内管道的环境温度 ℃

|      |     |        |      |
|------|-----|--------|------|
| 介质温度 | <80 | 80~110 | >110 |
| 环境温度 | 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 D 中表 D.1 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 (7.4.1-1) 计算，即

$$t_m = \frac{1}{2}(t + t_s) \quad (7.4.1-1)$$

复合保温内外层材料的内外表面温度平均值可按式 (7.4.1-2) 和式 (7.4.1-3) 计算，即

$$t_{m1} = \frac{1}{2}(t + t_b) \quad (7.4.1-2)$$

$$t_{m2} = \frac{1}{2}(t_b + t_s) \quad (7.4.1-3)$$

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,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_{m2}$  ——复合保温外层的内外表面温度平均值,  $^{\circ}\text{C}$ 。

#### 7.4.2 保温材料热导率的选取规定

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 6.1.2 的规定。对松散和可压缩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 A 取值。

#### 7.4.3 热价选取规定

热价应按当地实际情况取值。当缺乏资料时, 热价可按式 (7.4.3-1) 计算, 即

$$P_b = (1 + A_i) P_0 \quad (7.4.3-1)$$

式中:

$A_i$  ——内部收益率 (IRR) 或利润, 可取 15%;

$P_0$  ——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式 (7.4.3-2) 计算, 即

$$P_b = \frac{A_b P_f}{\eta Q_{\text{net,ar}}} \quad (7.4.3-2)$$

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。

#### 7.4.4 介质焓质系数选取规定

介质焓质系数可按表 7.4.4 取值或按式 (7.4.4) 计算, 即

$$A_e = \frac{h - h_w - (t_w + 273)(s - s_w)}{h_{st} - h_w - (t_w + 273)(s_{st} - s_w)} \quad (7.4.4)$$

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 7.4.4 介质焓质系数

| 设备及管道                                                                                             | 介质焓质系数 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 热风道、制粉管道、送粉管道，主蒸汽管道、再热蒸汽管道、高压给水管道的，温度高于 450℃ 的蒸汽管道，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，抽汽管道、厂用蒸汽管道、轴封供汽管道，辅助蒸汽管道及其他蒸汽管道，凝结水管道、中低压给水管道的，凝结水泵、给水泵、除氧器、加热器等，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，减温水管道、再循环水管道及其他水管道，疏水泵、补给水泵、冷却器、分离器等                                                    | 0.5    |
| 烟道及除尘器、引风机等，定期排污管道和设备，设备和管道的疏水、放气、排汽管道，至凝汽器或扩容器（通大气）的汽水管道的                                        | 0      |

#### 7.4.5 保温层单位造价、保护层单位造价选取规定

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，可按式（7.4.5）计算，即

$$P_1 \text{ [或 } P_2] = (1 + A_q) P_m + P_e \quad (7.4.5)$$

式中：

$P_1$ 、 $P_2$  ——保温层单位造价，元/m<sup>3</sup>；

$P_m$  ——保温材料费（包括包装费、运输费），元/m<sup>3</sup>；

$P_e$  ——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/m<sup>3</sup>;

$A_d$ ——保温材料损耗附加量及施工余量, 可按表 7.4.9 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。

#### 7.4.6 年运行时间取值规定

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。

#### 7.4.7 保温工程投资贷款年分摊率取值规定

保温工程投资贷款年分摊率应以复利计息, 可按式 (7.4.7) 计算, 即

$$S = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (7.4.7)$$

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 5 年~10 年。

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)。

#### 7.4.8 保温结构外表面传热系数 $a$ 的取值规定

1 室内的设备和管道保温结构外表面传热系数可按表 7.4.8 选取。

表 7.4.8 室内的设备及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                       | 200         | 6.91                           | 10.96                       |
| 150         | 7.26                           | 11.31                       | 300         | 6.45                           | 10.50                       |

表 7.4.8 (续)

| 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) |
|-------------|--------------------------------|-----------------------------|-------------|--------------------------------|-----------------------------|
| 400         | 6.15                           | 10.20                       | 900         | 5.41                           | 9.46                        |
| 500         | 5.93                           | 9.98                        | 1000        | 5.32                           | 9.37                        |
| 600         | 5.76                           | 9.81                        | 1200        | 5.18                           | 9.23                        |
| 700         | 5.62                           | 9.67                        | 1500        | 5.04                           | 9.08                        |
| 800         | 5.51                           | 9.56                        | 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,可按式(7.4.8-1)计算,即

$$a = a_n + a_c \quad (7.4.8-1)$$

式中:

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

$a_n$ ——辐射传热系数, W/(m<sup>2</sup>·K);

$a_c$ ——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式(7.4.8-2)计算,即

$$a_n = \frac{5.67\varepsilon}{t_s - t_a} \left[ \left( \frac{273 + t_s}{100} \right)^4 - \left( \frac{273 + t_a}{100} \right)^4 \right] \quad (7.4.8-2)$$

2) 平面的对流传热系数可按式(7.4.8-3)计算,即

$$a_c = (5.93 - 0.015t_a) \frac{w^{0.8}}{B^{0.2}} \quad (7.4.8-3)$$

3) 管道的对流传热系数可按式(7.4.8-4)计算,即

$$a_c = 72.81 \frac{w^{0.6}}{D_i^{0.4}} \quad (7.4.8-4)$$

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, 参见附录 E 中表 E.5。

#### 7.4.9 保温及保护层材料损耗附加量及施工余量选取规定

保温及保护层材料损耗附加量及施工余量可按表 7.4.9 取值。

表 7.4.9 保温及保护层材料损耗附加量及施工余量

| 保温及保护层材料     | 保温及保护层材料损耗附加量及施工余量 |
|--------------|--------------------|
| 硅酸钙制品        | 10%                |
| 硅酸铝制品        | 5%                 |
| 岩棉、矿渣棉、玻璃棉制品 | 5%                 |
| 憎水膨胀珍珠岩制品    | 12%                |
| 复合硅酸盐制品      | 5%                 |
| 镀锌铁皮         | 25%                |
| 铝合金板         | 25%                |
| 压型板          | 25%                |
| 玻璃丝布         | 25%                |
| 抹面           | 10%                |

## 8 保 温 结 构

### 8.1 一 般 规 定

8.1.1 保温结构一般由保温层和保护层组成。对于地沟内管道以及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。

8.1.2 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。

8.1.3 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,补偿器的保温不应影响其功能。当以上部件连接管道采用金属保护层时,宜采用可拆卸式保温结构。

8.1.4 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。

8.1.5 保温结构的部件设计宜按相关规定选用。

### 8.2 保 温 层

8.2.1 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。

8.2.2 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。保温层应采用同层错缝,内外层压缝方式敷设,内

外层接缝应错开 100mm~150mm。水平安装的管道和设备保温最外层的纵缝拼缝位置应尽量远离垂直中心线上方，纵向单缝的缝口朝下。

8.2.3 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。

8.2.4 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 89mm 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。

8.2.5 安全阀后对空排汽管道的保温层应采取加固措施。

8.2.6 矩形大截面烟风道和转动机械的保温宜采用留置空气层的保温结构，当其保温层厚度小于加固肋高度时，也可以对保温层厚度进行调整。

8.2.7 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。

8.2.8 保温结构的支撑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，其保温层应设支撑件。对有加固肋的烟风道和设备，应利用其加固肋作为支撑件。

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

3 支撑件所选用的材料应与介质的温度相适应。

4 介质温度小于 430℃ 时，支撑件可采用焊接承重环；介质温度高于 430℃ 时，支撑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撑金属保护层。

6 凡施焊后须进行热处理的设备，其上的焊接支撑件宜在设备制造厂预焊。

7 支撑件的承面宽度应比保温层厚度少 10mm~20mm。

8 支撑件的间距：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撑件。

### 8.2.9 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、销钉可选用  $\phi 3 \sim \phi 6$  的镀锌铁丝或低碳圆钢制作。

3 直接焊接于不锈钢设备或管道上的固定件，必须采用不锈钢制作，当固定件采用碳钢制作时，应加焊不锈钢垫板。

4 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。每平方米面积上钉的个数：侧面不应少于 6 个，底部不应少于 8 个。

5 对有振动的地方，钩钉或销钉应适当加粗、加密。

6 凡施焊后须进行热处理的设备，其上的焊接固定件宜在设备制造厂预焊。

### 8.2.10 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 8.2.10 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。

## 5 不得采用螺旋式缠绕捆扎。

表 8.2.10 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     | $\phi 0.8 \sim \phi 1.0$ 镀锌铁丝                 | $\phi 1.0 \sim \phi 1.2$ 镀锌铁丝                 |
| 200~600  | $\phi 1.0 \sim \phi 1.2$ 镀锌铁丝                 | $\phi 1.2 \sim \phi 2.0$ 镀锌铁丝                 |
| 600~1000 | $\phi 1.2 \sim \phi 2.0$ 镀锌铁丝                 | $\phi 2.0 \sim \phi 2.5$ 镀锌铁丝或<br>12×0.5 镀锌钢带 |
| >1000    | $\phi 2.0 \sim \phi 2.5$ 镀锌铁丝或<br>12×0.5 镀锌钢带 | 12×0.5 镀锌钢带                                   |
| 平面       | $\phi 0.8 \sim \phi 1.0$ 镀锌铁丝或<br>12×0.5 镀锌钢带 | $\phi 0.8 \sim \phi 1.0$ 镀锌铁丝或<br>20×0.5 镀锌钢带 |

8.2.11 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、支撑件或固定环等部位。

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，高温时取上限，低温时取下限，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。

8.2.12 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 补偿器和滑动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 保温结构与墙、梁、栏杆、平台、支撑等固定构件和管道所通过的孔洞之间应留设膨胀间隙。

8.2.13 保温结构的支撑件、固定件和捆扎件等辅助材料可按附录 F 计算用量。

### 8.3 保 护 层

8.3.1 金属保护层的设计应符合下列规定:

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,搭接尺寸不得少于 30mm。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。钉间距宜为 150mm~200mm。

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,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。

5 大型设备、贮罐保温层的金属保护层,宜采用压型板或做出垂直凸筋,并应采用弹簧连接的金属箍带环向加固。风力较大地区室外布置的大型设备、贮罐应设加固金属箍带,加固金属箍带之间的间距不应大于 450mm。

8.3.2 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, 活动环向接缝间距: 中低温管道为 4000mm~6000mm, 高温管道为 3000mm~4000mm。

8.3.3 当采用抹面保护层、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。

露天的保温结构, 不宜采用抹面保护层。如采用时, 应在抹面层上包缠毡、箔或布类保护层, 并应在包缠层表面涂敷防水、耐候性的涂料。

8.3.4 室内玻璃布保护层可采用聚醋酸乙烯乳液作为玻璃布与抹面间的黏合剂, 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。

8.3.5 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。

8.3.6 玻璃布保护层不应在室外使用。

8.3.7 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。

## 8.4 防潮层

8.4.1 防潮层现场涂抹的结构为第一层胶泥、中间层玻璃纤维布或塑料网格布、第二层胶泥的形式。胶泥的厚度每层宜为 2mm~3mm。玻璃纤维布或塑料网格布的环向、纵向接缝搭接不应小于 50mm。

8.4.2 防潮层外不得再设镀锌铁丝或钢带等硬质捆扎件。

## 9 油漆和防腐

### 9.1 油漆

#### 9.1.1 一般规定

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）。

2 直径较大的循环水管道以及箱和罐等按不同的要求进行内部油漆。

3 设备、管道和附属钢结构在涂装前的表面预处理应根据钢材表面的锈蚀等级，按设计规定的除锈方法进行，并达到规定的预处理等级。涂料可选用醇酸树脂涂料、乙烯类含氯涂料、环氧树脂涂料、聚氨酯涂料、有机硅涂料等。涂料应配套使用，涂膜一般应由底漆、中间漆和面漆构成。涂装施工可采用刷涂、滚涂、空气喷涂和高压无气喷涂等方法。

#### 9.1.2 涂装前钢材表面预处理

1 预处理前，钢材表面应无可见的油污和污垢，同时钢材表面的毛刺、焊渣、飞溅物、积尘和疏松的氧化皮、铁锈、涂层等物应清除。

2 钢材涂装前的表面预处理应根据钢材表面的锈蚀等级，采用喷射除锈、手工除锈或动力工具除锈来达到设计要求的除锈等级。

3 钢材表面锈蚀等级，按锈蚀程度分 4 个等级，分别以 A、B、C、D 级表示，其文字部分叙述如下：

A 级，钢材表面全面地覆盖着氧化皮而几乎没有锈蚀；

B 级, 钢材表面已发生锈蚀, 并且部分氧化皮有锈蚀;

C 级, 钢材表面氧化皮已因锈蚀而剥离, 或者可以刮除, 并有少量的点蚀;

D 级, 钢材表面氧化皮已因锈蚀而全面剥离, 并且普遍发生点蚀。

4 喷射除锈应满足以下要求:

1) 喷射除锈是以压缩空气为动力, 将磨料以一定的速度喷向被处理的钢材表面, 以除去钢材表面的铁锈、氧化皮及其他污物, 并使钢材表面获得一定的表面粗糙度的表面处理方法。喷射除锈分为喷砂和抛丸除锈。

2) 本标准适用于干喷射方法除锈。除锈时, 应在有防尘措施的场地进行, 以防止粉尘飞扬。

3) 喷射除锈时, 使用的压缩空气必须经过油、水分离处理。

4) 喷射除锈合格后的钢材应及时涂刷底漆, 间隔时间不应超过 5h。如在涂漆前已返锈, 需重新除锈。

5) 喷射除锈后的钢材表面粗糙度, 宜小于涂层总厚度的  $1/3$ 。

6) 喷射除锈后的等级, 应符合下列规定:

Sa1 级: 钢材表面应无可见的油脂和污垢, 并且没有附着不牢的氧化皮、铁锈和油漆涂层等附着物。

Sa2 级: 钢材表面应无可见的油脂和污垢, 并且氧化皮、铁锈和油漆涂层等附着物已基本清除, 其残留物应是牢固可靠的。

Sa2 $\frac{1}{2}$  级: 钢材表面应无可见油脂、污垢、氧化皮、铁锈和油漆涂层等附着物, 任何残留的痕迹应仅是点状或条文状的轻微色斑。

Sa3 级: 钢材表面应无可见油脂、污垢、氧化皮、铁

锈和油漆涂层等附着物，该表面应显示均匀的金属色泽。

5 手工和动力工具除锈应满足以下要求：

- 1) 手工除锈主要是用刮刀、手锤、钢丝刷和砂布等工具除锈。
- 2) 动力工具除锈主要是以风动或电动砂轮、刷轮和除锈机等动力工具除锈。
- 3) 钢材除锈后，应用刷子或无油、水的压缩空气清理，除去锈尘等污物，并应在当班涂完底漆。
- 4) 手工和动力工具除锈的等级应符合下列规定：

St2 级：钢材表面应无可见的油脂和污垢，并且没有附着不牢的氧化皮、铁锈和油漆涂层等附着物。

St3 级：钢材表面应无可见的油脂和污垢，并且没有附着不牢的氧化皮、铁锈和油漆涂层等附着物。除锈等级应比 St2 更为彻底，底材显露部分的表面应具有金属光泽。

6 钢结构表面除锈等级应符合表 9.1.2 的规定。

表 9.1.2 钢材表面除锈等级

| 底层涂料种类                                                                                                      | 最低除锈等级            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| 沥青底漆                                                                                                        | St3 或 Sa2         |
| 醇酸树脂底漆、环氧沥青底漆                                                                                               | St3 或 Sa2         |
| 其他树脂类底漆                                                                                                     | Sa2               |
| 各类富锌底漆                                                                                                      | $Sa2 \frac{1}{2}$ |
| 注 1：不易维修的重要部件的除锈等级不应低于 $Sa2 \frac{1}{2}$ ；<br>注 2：钢材的一般构件选用其他树脂类涂料时，除锈等级可不低于 St3；<br>注 3：除锈等级标准应符合 GB 8923。 |                   |

9.1.3 设备、管道和附属钢结构的涂料、干膜厚度、涂漆度数以

及干膜总厚度应根据其所处的环境、涂料的性能以及要求的防腐蚀年限选用。

1 涂料的选择应符合下列规定：

- 1) 涂料的性能应与腐蚀环境相适应；
- 2) 涂料一般应由底漆、中间漆和面漆构成，并且配套使用；
- 3) 选用的底漆应与规定的钢材除锈等级相适应；
- 4) 安全可靠，经济合理。

2 涂层厚度应符合下列规定：

- 1) 与环境的腐蚀程度相适应；
- 2) 与钢材表面的预处理方法、除锈等级及其表面粗糙度相适应；
- 3) 根据选用涂料品种的特性与使用环境，保证涂层能起保护作用的最低厚度；
- 4) 需要加重防腐蚀部位和涂装困难部位，宜增加适当的厚度。

3 涂层体系的设计，根据 9.1.2 和 9.1.3 的要求，可按附录 G 的规定选用。

4 不保温的设备和管道油漆设计应符合下列规定：

- 1) 室内布置的设备、管道和附属钢结构，可以选用醇酸涂料、环氧涂料等；室外布置的设备、管道和附属钢结构，可选用高氯化聚乙烯涂料、聚氨酯涂料等。
- 2) 油管道和设备外壁可选用环氧涂料、聚氨酯涂料；油罐的外壁可选用耐候性热反射隔热涂料；油箱内壁可选用环氧耐油涂料；油罐内壁应采用耐油导静电涂料。
- 3) 管沟中管道可选用环氧沥青涂料。
- 4) 循环水管道、工业水管道、工业水箱外壁等设备可以选用环氧沥青涂料；直径较大的循环水管道内壁可涂刷环氧沥青涂料或高固体分改性环氧涂料。

- 5) 排汽管道可选用聚氨酯耐热涂料、有机硅耐热涂料等。
  - 6) 烟气脱硫的净烟道和需要防腐的原烟道的内表面, 可采用玻璃鳞片树脂涂料。
  - 7) 制造厂供应的设备(如水泵、风机、容器等)和支吊架, 如涂料损坏时, 可涂刷 1~2 度颜色相同的面漆。
- 设备、管道和附属钢结构的涂料颜色可按表 9.1.3 的规定漆色。

表 9.1.3 涂 料 颜 色 表

| 序号 | 管道、设备名称          | 面漆颜色 |
|----|------------------|------|
| 1  | 主蒸汽、再热蒸汽管道       | —    |
| 2  | 抽汽、背压蒸汽、供热管道     | —    |
| 3  | 其他蒸汽管道           | —    |
| 4  | 凝结水管道(保温)        | —    |
| 5  | 凝结水管道(不保温)       | 浅绿色  |
| 6  | 给水管道             | —    |
| 7  | 除盐水、化学补充水管道      | 浅绿色  |
| 8  | 疏放水、排水管道         | —    |
| 9  | 热网水管道            | —    |
| 10 | 循环水、工业水、射水、冲灰水管道 | 黑色   |
| 11 | 消防水管道            | 红色   |
| 12 | 油管道              | 黄色   |
| 13 | 冷风道              | 浅蓝色  |
| 14 | 热风道、除尘器加热风道      | —    |
| 15 | 烟道               | —    |
| 16 | 原煤管道             | 天蓝色  |
| 17 | 制粉、送粉管道(保温)      | —    |
| 18 | 送粉管道(不保温)        | 浅灰色  |
| 19 | 天然气、高炉煤气管道       | 黄色   |
| 20 | 空气管道             | 天蓝色  |
| 21 | 氧气管道             | 蓝色   |

表 9.1.3 (续)

| 序号 | 管道、设备名称    | 面漆颜色 |
|----|------------|------|
| 22 | 氮气、二氧化碳管道  | 浅灰色  |
| 23 | 氢气管道       | 橙色   |
| 24 | 乙炔管道       | 白色   |
| 25 | 硫酸亚铁和硫酸铝管道 | 褐色   |
| 26 | 盐水管        | 白色   |
| 27 | 氯气管道       | 深绿色  |
| 28 | 氨气管道       | 黄色   |
| 29 | 联氨         | 橙黄色  |
| 30 | 酸液         | 红色   |
| 31 | 碱液         | 黄色   |
| 32 | 磷酸三钠溶液     | 绿色   |
| 33 | 石灰浆        | 浅灰色  |
| 34 | 过滤水        | 浅蓝色  |
| 35 | 埋地管道       | 黑色   |
| 36 | 工业水箱       | 天蓝色  |
| 37 | 除盐水箱、补水箱   | 浅绿色  |
| 38 | 支吊架        | 银灰色  |
| 39 | 平台扶梯       | 银灰色  |

5 保温的设备和管道的涂装设计应符合下列规定:

- 1) 当介质温度低于 120℃ 时, 设备和管道的表面应涂刷 1~2 度环氧富锌底漆;
- 2) 疏水箱、扩容器、低位水箱、生产回水箱等设备内壁宜涂刷 2 度耐高温底漆, 其他设备和容器内壁的防腐方式根据工艺要求决定。

6 室内的钢制平台扶梯和现场制作的支吊架可选用醇酸涂料、环氧涂料等, 室外的钢制平台和支吊架可选用高氯化聚乙烯涂料、聚氨酯涂料等。

#### 9.1.4 涂装施工

1 钢材表面预处理,按 9.1.2 的规定进行,并达到设计规定的除锈等级。

2 涂装施工的环境应符合的要求:

- 1) 施工现场的环境温度宜为  $10^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$ ,环境湿度不宜大于 85%。钢材表面温度必须高于露点温度  $3^{\circ}\text{C}$ 。
- 2) 在大风、雨、雾、雪天及强烈阳光照射下,不宜进行室外施工。

3 涂装施工可采用刷涂、滚涂、空气喷涂和高压无气喷涂等方法,宜根据涂装场所的条件、被涂物形状大小、涂料品种及设计要求等,选择合适的涂装方法。

4 二次涂装的表面在进行下道涂漆前,应清除表面的盐分、油、泥、灰尘等污物,再用钢丝绒等工具对原有漆膜进行打毛处理,最后按原涂装设计进行修补。

9.1.5 涂装施工过程中,必须遵守国家 and 行业的有关防火、防爆和防毒等规定。

### 9.1.6 质量检查及验收

1 质量检查。

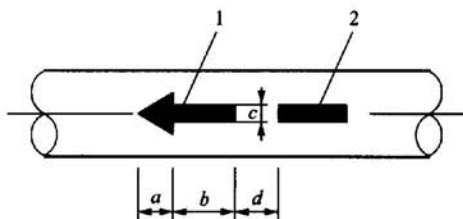
- 1) 涂层的外观:涂膜应光滑平整,颜色均匀一致,无泛锈、气泡、流挂及开裂、剥落等缺陷。
- 2) 涂层表面应采用电火花检测,无针孔。
- 3) 涂层厚度应均匀,涂层的干膜厚度按两个 85% 控制,即 85% 测点的干膜厚度必须大于或等于规定厚度,其余 15% 测点的干膜厚度不应低于规定厚度的 85%。
- 4) 涂层附着力应符合设计要求,可采用画圈法。
- 5) 涂层应无漏涂、误涂现象。

2 涂装工程的验收,包括中间验收和交工验收。工程未经交工验收,不得交付使用。

9.1.7 为便于识别,管道的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。

2 管道的介质名称和介质流向箭头的位置和形状如图 9.1.7 所示，图中的尺寸数值见表 9.1.7，介质流向箭头的尖角为  $60^\circ$ 。



1—介质流向箭头；2—介质名称

图 9.1.7 管道的介质名称和介质流向箭头的位置和形状

表 9.1.7 管道的介质名称和介质流向箭头尺寸 mm

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

3 当介质流向有两种可能时，应标出两个方向的流向箭头。

4 介质名称和流向箭头可用黑色或白色油漆涂刷。

5 对于外径小于 76mm 的管道，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。

### 9.1.8 涂料耗量

1 钢材的实际涂料耗量应按涂膜厚度、理论涂布率和损耗系数计算。

2 涂膜厚度分为干膜厚度和湿膜厚度，可按式 (9.1.8-1) 计算，即

$$\theta_2 = \frac{\theta_1 \phi}{100} \quad (9.1.8-1)$$

式中:

$\theta_1$  ——涂料的湿膜厚度,  $\mu\text{m}$ ;

$\theta_2$  ——涂料的干膜厚度,  $\mu\text{m}$ ;

$\phi$  ——涂料的体积固体含量, %。

3 理论涂布率由涂料厂家根据其产品体积固体含量给定,也可以按式(9.1.8-2)计算,即

$$M_1 = \frac{10\phi}{\theta_2} \quad (9.1.8-2)$$

式中:

$M_1$  ——涂料的理论涂布率,  $\text{m}^2/\text{L}$ ;

$\phi$  ——涂料的体积固体含量, %;

$\theta_2$  ——涂料的干膜厚度,  $\mu\text{m}$ 。

4 实际涂布率根据理论涂布率和损耗系数按式(9.1.8-3)确定,即

$$M_2 = M_1(1 - \xi) \quad (9.1.8-3)$$

式中:

$M_2$  ——涂料的实际涂布率,  $\text{m}^2/\text{L}$ ;

$\xi$  ——涂料的涂布损耗系数。

5 涂料的涂布损耗系数根据施工方法(刷涂、滚涂、空气喷涂和高压无气喷涂)和被涂底材的结构类型在0.2~0.8之间取值。

6 稀释剂应根据油漆的品种和用量按涂料厂家的要求确定。

7 支吊架和平台扶梯的每吨钢材每度涂刷面积可按 $38\text{m}^2$ 计算,且应根据平台扶梯和支吊架的结构类型相应调整。

## 9.2 防 腐

9.2.1 埋地管道可采用环氧煤沥青涂料、互穿网络防腐涂料或其他防腐涂料防腐。

1 埋地管道应按表 9.2.1-1 的规定来确定土壤腐蚀性等级和防腐等级。

表 9.2.1-1 土壤腐蚀性等级和防腐等级

| 土壤腐蚀性等级 | 土 壤 腐 蚀 性 质             |                 |                 |                                 |         | 防腐等级 |
|---------|-------------------------|-----------------|-----------------|---------------------------------|---------|------|
|         | 电阻率<br>$\Omega\text{m}$ | 含盐量<br>质量比<br>% | 含水量<br>质量比<br>% | 电流密度<br>$\text{mA}/\text{cm}^2$ | pH 值    |      |
| 强       | <50                     | >0.75           | >12             | >0.3                            | <3.5    | 特强级  |
| 中       | 50~100                  | 0.75~0.05       | 5~12            | 0.3~0.025                       | 3.5~4.5 | 加强级  |
| 弱       | >100                    | <0.05           | <5              | <0.025                          | 4.5~5.5 | 普通级  |

注：其中任何一项超过表列指标者，防腐等级应提高一级。

2 环氧煤沥青防腐层结构应符合表 9.2.1-2 的规定。

表 9.2.1-2 环氧煤沥青防腐结构

| 防腐等级 | 防 腐 层 结 构           | 涂层总厚度<br>mm |
|------|---------------------|-------------|
| 普通防腐 | 沥青底漆—沥青 3 层夹玻璃布 2 层 | 0.60        |
| 加强防腐 | 沥青底漆—沥青 4 层夹玻璃布 3 层 | 0.80        |
| 特强防腐 | 沥青底漆—沥青 5 层夹玻璃布 4 层 | 1.00        |

3 互穿网络防腐层结构应符合表 9.2.1-3 的规定。

表 9.2.1-3 互穿网络防腐结构

| 防腐等级 | 防 腐 层 结 构              | 涂层总厚度<br>mm |
|------|------------------------|-------------|
| 普通防腐 | 底漆—面漆—面漆               | 0.20        |
| 加强防腐 | 底漆—面漆—玻璃布—面漆—面漆        | 0.40        |
| 特强防腐 | 底漆—面漆—玻璃布—面漆—玻璃布—面漆—面漆 | 0.60        |

9.2.2 与水工构筑物、铁路、公路相交的埋地管道，或在杂散电流作用地区的埋地管道应设特强等级的防腐结构。防腐蚀涂料体

系与阴极保护措施相结合，可以获得更长的使用寿命。

**9.2.3** 埋地钢管外壁，可采用性能优良、施工方便的其他防腐蚀涂料，如采用 2 度高固体分改性环氧涂料，总的干膜厚度达到 500 $\mu\text{m}$ 。

附 录 A  
(规范性附录)  
常用保温材料性能

常用保温材料性能见表 A.1。

表 A.1 常用保温材料性能表

| 序号 | 保温材料                   |   | 使用密度<br>kg/m <sup>3</sup> | 推荐使用<br>温度<br>℃ | 抗压<br>强度<br>MPa | 热导率<br>$\lambda_0$ (70℃)<br>W/(m·K) | 热导率<br>参考方程                                                                                                                                                                                                                              |
|----|------------------------|---|---------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 膨胀珍珠岩制品                |   | 220                       | 400             | 0.4             | 0.065                               | $\lambda = \lambda_0 + 0.00012 (t_m - 70)$                                                                                                                                                                                               |
| 2  | 硅酸钙制品                  |   | 170                       | 550             | 0.4             | 0.055                               | $\lambda = \lambda_0 + 0.00011 (t_m - 70)$                                                                                                                                                                                               |
|    |                        |   | 220                       |                 | 0.5             | 0.062                               |                                                                                                                                                                                                                                          |
| 3  | 硅酸铝<br>棉制品             | 毯 | 64<br>96<br>128<br>192    | 800             | —               | 0.056                               | $t_m \leq 400^\circ\text{C}$ 时,<br>$\lambda_k = \lambda_0 + 0.0002 (t_m - 70)$<br>$t_m > 400^\circ\text{C}$ 时,<br>$\lambda_{\text{H}} = \lambda_k + 0.00036 (t_m - 400)$<br>(下式中 $\lambda_k$ 取上式<br>$t_m = 400^\circ\text{C}$ 时计算<br>结果) |
|    |                        | 毡 |                           |                 |                 |                                     |                                                                                                                                                                                                                                          |
|    |                        | 板 |                           |                 |                 |                                     |                                                                                                                                                                                                                                          |
|    |                        | 壳 |                           |                 |                 |                                     |                                                                                                                                                                                                                                          |
| 4  | 岩棉、<br>矿渣棉<br>及其<br>制品 | 棉 | 40~150                    | 600             | —               | $\leq 0.044$                        | $\lambda = \lambda_0 + 0.00018 (t_m - 70)$                                                                                                                                                                                               |
|    |                        | 毡 | 60~100                    | 400             |                 | $\leq 0.049$                        |                                                                                                                                                                                                                                          |
|    |                        | 板 | 60~200                    | 350             |                 | $\leq 0.044$                        |                                                                                                                                                                                                                                          |
|    |                        | 管 | 60~200                    | 350             |                 | $\leq 0.044$                        |                                                                                                                                                                                                                                          |
| 5  | 玻璃棉<br>及其<br>制品        | 棉 | 40                        | 300             | —               | 0.042                               | $\lambda = \lambda_0 + 0.00017 (t_m - 70)$                                                                                                                                                                                               |
|    |                        | 板 | 40~48                     |                 |                 | $\leq 0.044$                        |                                                                                                                                                                                                                                          |
|    |                        |   | 64~96                     |                 |                 | $\leq 0.042$                        |                                                                                                                                                                                                                                          |
|    |                        | 管 | $\geq 45$                 |                 |                 | $\leq 0.043$                        |                                                                                                                                                                                                                                          |
|    |                        | 毡 | 40                        |                 |                 | $\leq 0.048$                        |                                                                                                                                                                                                                                          |
|    |                        |   | 48                        |                 |                 | $\leq 0.043$                        |                                                                                                                                                                                                                                          |

表 A.1 (续)

| 序号 | 保温材料                    |    | 使用密度<br>kg/m <sup>3</sup> | 推荐使用<br>温度<br>℃ | 抗压<br>强度<br>MPa | 热导率<br>$\lambda_0$ (70℃)<br>W/(m·K) | 热导率<br>参考方程                         |
|----|-------------------------|----|---------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 6  | 复合硅<br>酸盐<br>涂料及<br>其制品 | 涂料 | 180~200<br>(干态)           | 550             | —               | 0.065                               | $\lambda=\lambda_0+0.00017(t_m-70)$ |
|    |                         | 毡  | 60~80                     | 450             |                 | $\leq 0.050$                        | $\lambda=\lambda_0+0.00015(t_m-70)$ |
|    |                         |    | 80~110                    | 500             |                 | $\leq 0.050$                        |                                     |
|    |                         | 管  | 80~130                    | 500             |                 | $\leq 0.055$                        |                                     |

注 1: 设计计算采用的技术数据必须是产品生产厂家提供的、经具备国家相应资质的检测机构核实的数据。

注 2: 本表密度系使用(安装)密度;  $t_m$ 是指保温层内外表面温度平均值。

注 3: 导热系数参考方程中  $(t_m-70)$ 、 $(t_m-400)$  表示该方程的一次项, 如  $\lambda_0$ 、 $\lambda_L$  等应对应代入  $t_m$  为 70℃、400℃时的数值。

## 附 录 B

### (规范性附录)

### 保温层厚度计算

#### B.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列各式计算：

当  $\frac{t_i - t_a}{t_n - t_a} \geq 2$  时，计算式为

$$\ln \frac{D_1}{D_0} = \frac{2\pi\lambda K_r L}{1000q_m c \ln \frac{t_i - t_a}{t_n - t_a}} - \frac{2000\lambda}{\alpha D_1} \quad (\text{B.1-1})$$

$$\delta = \frac{1}{2}(D_1 - D_0) \quad (\text{B.1-2})$$

当  $\frac{t_i - t_a}{t_n - t_a} < 2$  时，计算式为

$$\ln \frac{D_1}{D_0} = \frac{\pi\lambda K_r L(t_i + t_n - 2t_a)}{1000q_m c(t_i - t_n)} - \frac{2000\lambda}{\alpha D_1} \quad (\text{B.1-3})$$

$$\delta = \frac{1}{2}(D_1 - D_0) \quad (\text{B.1-4})$$

输送液体的有分支（有结点）管道结点处温度按式（B.1-5）计算，即

$$t_c = t_{c-1} - (t_i - t_n) \frac{\frac{L_{c-1 \rightarrow c}}{q_{m,c-1 \rightarrow c}}}{\sum_{i=2}^n \frac{L_{i-1 \rightarrow i}}{q_{m,i-1 \rightarrow i}}} \quad (\text{B.1-5})$$

输送蒸汽的管道保温层厚度按式 (B.1-6) 计算, 即

$$\ln \frac{D_1}{D_0} = \frac{\pi \lambda K_r L (t_i + t_n - 2t_a)}{1000 q_m (h_i - h_n)} - \frac{2000 \lambda}{\alpha D_1} \quad (\text{B.1-6})$$

$$\delta = \frac{1}{2} (D_1 - D_0) \quad (\text{B.1-7})$$

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,  $t_n = t_i - \Delta t$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\Delta t$  ——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  $p_n$  按式 (B.1-8) 计算, 即

$$p_n = p_i - 8.1067 \xi_z \frac{q_m^2 v}{D_i^4} \times 10^5 \quad (\text{B.1-8})$$

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  $p_n \geq 0.9 p_i$  时, 可取已知的管道始端或终端介质比体积; 当  $0.6 p_i \leq p_n < 0.9 p_i$  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 中有关阻力系数资料选取。

## B.2 延迟管道内介质冻结的保温层厚度计算

$$\ln \frac{D_1}{D_0} = \frac{7.2\pi\lambda K_f \tau_{fr}}{2(t-t_{fr})(\rho_L c + \rho_{Lp} c_p) - \frac{0.25\rho_L H_{fr}}{t_{fr}-t_a}} - \frac{2000\lambda}{\alpha D_1} \quad (\text{B.2-1})$$

$$\delta = \frac{1}{2}(D_1 - D_0) \quad (\text{B.2-2})$$

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,  $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ;

$\tau_{fr}$  ——介质在管道内防止冻结停留时间, h;

$t_{fr}$  ——介质冻结温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_a$  ——环境温度, 取历年极端最低温度平均值,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\rho_L$  ——介质线密度,  $\text{kg}/\text{m}$ ;

$\rho_{Lp}$  ——管道材料线密度,  $\text{kg}/\text{m}$ ;

$c$  ——介质比热容,  $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ , 见附录 E 中表 E.1 或表 E.2;

$c_p$  ——管道材料比热容,  $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ , 见附录 E 中表 E.3;

$H_{fr}$  ——介质融解热, 冰的融解热为  $334.9 \text{ kJ}/\text{kg}$ 。

## B.3 防止空气中湿气在管道外表面凝露的保温层厚度计算

$$K_c = 275 \frac{\lambda}{D_0} \left( \frac{t_d - t}{t_a - t_d} \right) \quad (\text{B.3-1})$$

$$\delta = \frac{D_0}{2} \left( \frac{D_1}{D_0} - 1 \right) \quad (\text{B.3-2})$$

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 D 中表 D.2 查取,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_a$  ——环境温度, 取历年夏季空气调节室外(干球)温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$K_c$  ——凝露系数。

$K_c$  与  $\frac{D_1}{D_0}$  值的关系见表 B.3。

表 B.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             |

## B.4 蒸汽伴热的燃油管道保温层(见图 B.4)厚度计算

$$\ln \frac{D_0 + 2\delta}{D_0} = \frac{2\pi - \beta}{\beta} \frac{2000\lambda(t - t_a)}{\alpha_k D_0(t_k - t)} - \frac{2000\lambda}{\alpha(D_0 + 2\delta)} \quad (\text{B.4-1})$$

式中：

$\delta$ ——保温层厚度，mm；

$D_0$ ——燃油管道外径，mm；

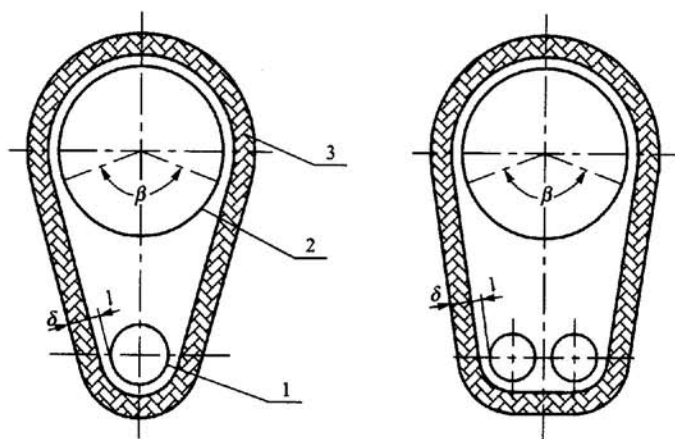
$t$ ——燃油温度，℃；

$t_a$ ——环境温度，取最低极端温度平均值，℃；

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

$t_k$ ——伴热保温壳内空气温度，按式 (B.4-3) 或式 (B.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 B.4-1，W/(m<sup>2</sup>·K)。



1—蒸汽伴热管；2—燃油管道；3—保温层

图 B.4 蒸汽伴热的燃油管道保温图

表 B.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：

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

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

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

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

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：

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

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

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

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

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， $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ ；

$D_h$ ——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, °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 B.4-2,  $W/(m^2 \cdot K)$ 。

表 B.4-2  $\alpha_h$  值

| 伴热管外径<br>mm   | 25                              | 32   | 48   | 57   |
|---------------|---------------------------------|------|------|------|
| 伴热管蒸汽温度<br>°C | $\alpha_h$<br>$W/(m^2 \cdot K)$ |      |      |      |
| 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 |

## B.5 留置空气层的平面保温层 (见图 B.5) 厚度计算

当  $A_e = 0$  时, 计算式为

$$\delta = \frac{\lambda_d}{\lambda_d - \lambda} \left[ \frac{1000\lambda(t - t_s)}{\alpha(t_s - t_a)} - \frac{\lambda}{\lambda_d} b \right] \quad (B.5-1)$$

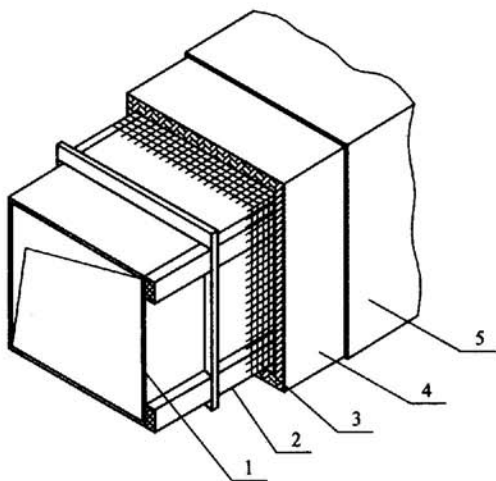
当  $A_e > 0$  时, 计算式为

$$\delta = \frac{\lambda_d}{\lambda_d - \lambda} \left[ 1.897 \sqrt{\frac{\lambda \tau P_h A_e (t - t_a)}{P_l S}} - \frac{\lambda}{\lambda_d} b - \frac{1000\lambda}{\alpha} \right] \quad (B.5-2)$$

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 (B.5-3) 计算,  $W/(m \cdot K)$ 。



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

图 B.5 烟风道留置空气层保温结构

留置空气层按有限空间放热计算，其当量热导率按式 (B.5-3) 计算，即

$$\lambda_d = \varepsilon_k \lambda_k \quad (\text{B.5-3})$$

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

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

式中：

$\lambda_k$  ——空气的热导率，见附录 E 中表 E.4，W/(m·K)；

$\varepsilon_k$  ——对流系数；

$Pr$  ——普朗特数 (Prandtl)，见附录 E 中表 E.4；

$Gr$  ——格拉晓夫数 (Grashof)；

$t_k$  ——空气层和保温层介面处温度，℃；

$g$ ——重力加速度,  $\text{m/s}^2$ ;

$\nu$ ——空气运动黏度,  $\text{m}^2/\text{s}$ , 见附录 E 中表 E.4;

$\beta_v$ ——空气体积膨胀系数,  $\text{K}^{-1}$ 。

$\varepsilon_k$  按下列规定计算:

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

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

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

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 (B.5-1) 或式 (B.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、空气层和保温层界面处温度分别按式 (B.5-6) 和式 (B.5-7) 进行校核:

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

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

留置空气层保温结构外表面散热损失按式 (B.5-8) 计算, 即

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

## 附 录 C

(资料性附录)

## 保温油漆 SPEC 的应用

## C.1 SPEC 简介

保温 SPEC 简单来说就是保温规范,即对于保温材料、保护层材料、保温目的、采用代码进行区分。一条管线一旦标注出保温 SPEC 就表明了这条管线应用的保温材料、保护层材料、保温目的、保温厚度(根据管道的介质温度及管道的公称通径,就能够通过预先拟定的保温 SPEC 厚度表确定保温层的厚度)。保温 SPEC 厚度表通常表示如下:

Insulation Spec: PT01

| 温度范围    | 公称通径    | 保温厚度 |
|---------|---------|------|
| 101~200 | 80~100  | 40   |
| 101~200 | 100~120 | 50   |
| 201~400 | 80~90   | 70   |
| .....   |         |      |

## C.2 SPEC 应用

如果要采用本标准,用保温 SPEC 的方式进行保温设计,则需要在进行保温规范编码时考虑以下五个方面:保温层材料、保护层材料及厚度、管道的介质焓质系数、管道的公称通径与外径的对照关系、保温目的,并通过符合本标准的保温计算程序算出各保温 SPEC 的厚度序列列表。在这里我们注意到我们的保温 SPEC 较为复杂,原因是国外的保温 SPEC 拟定与我国目前考虑的方面有所不同,影响保温设计的因素较我国少。

附录 D  
(资料性附录)  
气象数据

D.1 部分城市室外气象参数见表 D.1。

表 D.1 部分城市室外气象参数

| 地名    | 海拔<br>高度<br>m | 年平均<br>大气<br>压力<br>hPa | 年平均<br>温度<br>℃ | 采暖期<br>平均温度<br>℃ |      |      | 最热月<br>平均<br>温度<br>℃ | 夏季空<br>调室外<br>(干球)<br>温度<br>℃ | 极端温度<br>平均<br>值<br>℃ |      | 室外风速<br>平均<br>值<br>m/s |     | 最热月<br>平均相<br>对湿度<br>% | 最大<br>冻土<br>深度<br>cm |
|-------|---------------|------------------------|----------------|------------------|------|------|----------------------|-------------------------------|----------------------|------|------------------------|-----|------------------------|----------------------|
|       |               |                        |                | 日平均温度<br>℃       | ≤5℃  | ≤8℃  |                      |                               | 最低                   | 最高   | 冬季                     | 夏季  |                        |                      |
|       |               |                        |                |                  |      |      |                      |                               |                      |      |                        |     |                        |                      |
|       |               |                        |                |                  |      |      |                      |                               |                      |      |                        |     |                        |                      |
| 北京    | 31.2          | 1009.5                 | 11.4           | -1.6             | -0.2 | -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  | 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  | 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                  | 8.9            | -4.2             | -3.0 | -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                   |

表 D.1 (续)

| 地名          | 海拔<br>高度<br>m | 年平均<br>大气<br>压力<br>hPa | 年平均<br>温度<br>℃ | 采暖期        |       |       | 最热月<br>平均<br>温度<br>℃ | 夏季空<br>调室外<br>(干球)<br>温度<br>℃ | 极端温度  |      | 室外风速 |     | 最<br>热<br>月<br>平<br>均<br>相<br>对<br>湿<br>度<br>% | 最<br>大<br>冻<br>土<br>深<br>度<br>cm |
|-------------|---------------|------------------------|----------------|------------|-------|-------|----------------------|-------------------------------|-------|------|------|-----|------------------------------------------------|----------------------------------|
|             |               |                        |                | 年平均温度<br>℃ | 日平均温度 | ≤5℃   |                      |                               | 最低    | 最高   | 冬季   | 夏季  |                                                |                                  |
|             |               |                        |                |            |       |       |                      |                               |       |      |      |     |                                                |                                  |
|             |               |                        |                |            |       |       |                      |                               |       |      |      |     |                                                |                                  |
| 山<br>西<br>省 | 大同            | 893.9                  | 6.5            | -5.0       | -3.7  | 21.8  | 30.3                 | -25.1                         | 34.5  | 3.0  | 3.4  | 66  | 186                                            |                                  |
|             | 阳泉            | 929.5                  | 10.8           | -0.9       | 1.1   | 24.0  | 32.5                 | -15.3                         | 36.2  | 2.4  | 1.5  | 71  | 68                                             |                                  |
|             | 太原            | 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<br>蒙<br>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<br>宁<br>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                               |
|             | 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                               |

表 D.1 (续)

| 地名   | 海拔<br>高度<br>m | 年平均<br>大气<br>压力<br>hPa | 年平均<br>温度<br>℃ | 采暖期        |            |      | 最热月<br>平均<br>温度<br>℃ | 夏季空<br>调室外<br>(干球)<br>温度<br>℃ | 极端温度  |       | 室外风速 |     | 最热月<br>平均相<br>对湿度<br>% | 最大<br>冻土<br>深度<br>cm |     |
|------|---------------|------------------------|----------------|------------|------------|------|----------------------|-------------------------------|-------|-------|------|-----|------------------------|----------------------|-----|
|      |               |                        |                | 年平均温度<br>℃ | 日平均温度<br>℃ | ≤5℃  |                      |                               | ≤8℃   | 最低    | 最高   | 冬季  |                        |                      | 夏季  |
|      |               |                        |                |            |            |      |                      |                               |       |       |      |     |                        |                      |     |
|      |               |                        |                |            |            |      |                      |                               |       |       |      |     |                        |                      |     |
| 吉林省  | 吉林            | 993.0                  | 4.4            | -9.0       | -7.1       |      | 22.9                 | 30.3                          | -35.0 | 33.7  | 3.0  | 2.5 | 79                     | 190                  |     |
|      | 长春            | 986.0                  | 4.9            | -8.0       | -6.6       |      | 23.0                 | 30.5                          | -30.2 | 33.8  | 4.2  | 3.5 | 78                     | 169                  |     |
|      | 四平            | 995.2                  | 5.9            | -7.6       | -5.2       |      | 23.6                 | 30.6                          | -29.3 | 33.5  | 3.1  | 2.9 | 78                     | 148                  |     |
|      | 通化            | 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          | 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                   |     |
|      | 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                    |     |

表 D.1 (续)

| 地名  | 海拔高度<br>m | 年平均大气压力<br>hPa | 年平均温度<br>℃ | 采暖期<br>平均温度<br>℃ |     |      | 最热月<br>平均<br>温度<br>℃ | 夏季空<br>调室外<br>(干球)<br>温度<br>℃ | 极端温度<br>平均值<br>℃ |      | 室外风速<br>平均值,<br>m/s |     | 最热月<br>平均相<br>对湿度<br>% | 最大<br>冻土<br>深度<br>cm |
|-----|-----------|----------------|------------|------------------|-----|------|----------------------|-------------------------------|------------------|------|---------------------|-----|------------------------|----------------------|
|     |           |                |            | 平均温度<br>℃        |     |      |                      |                               | 最低               | 最高   | 冬季                  | 夏季  |                        |                      |
|     |           |                |            | 日平均温度            | ≤8℃ |      |                      |                               |                  |      |                     |     |                        |                      |
|     |           |                |            |                  | ≤5℃ | 4.2  |                      |                               |                  |      |                     |     |                        |                      |
| 浙江省 | 杭州        | 1010.7         | 16.2       | 4.2              | 5.4 | 28.6 | 35.7                 | 35.7                          | -6.0             | 37.8 | 2.3                 | 2.2 | 80                     | —                    |
|     | 宁波        | 1015.6         | 16.2       | 4.4              | 5.5 | 28.1 | 34.5                 | 34.5                          | -6.2             | 36.9 | 2.9                 | 2.9 | 83                     | —                    |
|     | 金华        | 1008.3         | 17.3       | 5.0              | 6.1 | 29.4 | 36.4                 | 36.4                          | -5.8             | 38.4 | 3.0                 | 2.4 | 74                     | —                    |
|     | 温州        | 1014.5         | 17.9       | —                | 7.4 | 27.9 | 32.8                 | 32.8                          | -2.4             | 36.4 | 2.2                 | 2.1 | 84                     | —                    |
| 安徽省 | 蚌埠        | 1013.2         | 15.1       | 1.6              | 2.3 | 28.1 | 35.6                 | 35.6                          | -10.7            | 38.3 | 2.6                 | 2.3 | 80                     | 15                   |
|     | 合肥        | 1011.6         | 15.7       | 3.1              | 4.3 | 28.3 | 35.0                 | 35.0                          | -9.4             | 37.6 | 2.5                 | 2.6 | 81                     | 11                   |
|     | 芜湖        | 1013.4         | 16.0       | 3.5              | 4.9 | 28.7 | 35.0                 | 35.0                          | -7.8             | 37.4 | 2.4                 | 2.3 | 80                     | —                    |
|     | 安庆        | 1013.3         | 16.5       | 4.0              | 5.1 | 28.8 | 35.0                 | 35.0                          | -6.9             | 37.6 | 3.5                 | 2.8 | 79                     | 10                   |
| 福建省 | 福州        | 1004.5         | 19.6       | —                | —   | 28.8 | 35.2                 | 35.2                          | 0.9              | 37.7 | 2.7                 | 2.9 | 78                     | —                    |
|     | 上杭        | 205.4          | 19.9       | —                | —   | 27.9 | 34.6                 | 34.6                          | -2.0             | 37.6 | 2.8                 | 2.0 | 77                     | —                    |
|     | 漳州        | 1010.3         | 21.0       | —                | —   | 28.7 | 34.9                 | 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                     | —                    |

表 D.1 (续)

| 地名          | 海拔<br>高度<br>m | 年平均<br>大气<br>压力<br>hPa | 年平均<br>温度<br>℃ | 采暖期       |      |     | 最热月<br>平均<br>温度<br>℃ | 夏季空<br>调室外<br>(干球)<br>温度<br>℃ | 极端温度  |      | 室外风速 |     | 最热月<br>平均相<br>对湿度<br>% | 最大<br>冻土<br>深度<br>cm |
|-------------|---------------|------------------------|----------------|-----------|------|-----|----------------------|-------------------------------|-------|------|------|-----|------------------------|----------------------|
|             |               |                        |                | 平均温度<br>℃ |      |     |                      |                               | 最低    | 最高   | 冬季   | 夏季  |                        |                      |
|             |               |                        |                | 日平均温度     | ℃    |     |                      |                               |       |      |      |     |                        |                      |
|             |               |                        |                |           | ≤5℃  | ≤8℃ |                      |                               |       |      |      |     |                        |                      |
| 江<br>西<br>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<br>东<br>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                   |
|             | 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                   |
|             | 菏泽            | 49.7                   | 1009.8         | 13.6      | 0.7  | 2.0 | 27.0                 | 34.8                          | -13.1 | 38.5 | 2.8  | 2.4 | 79                     | 35                   |
|             | 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                   |
| 河<br>南<br>省 | 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                   |
|             | 平顶山           | 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                    |

表 D.1 (续)

| 地名  | 海拔<br>高度<br>m | 年平均<br>大气<br>压力<br>hPa | 年平均<br>温度<br>℃ | 采暖期       |     |     | 最热月<br>平均<br>温度<br>℃ | 夏季空<br>调室外<br>(干球)<br>温度<br>℃ | 极端温度 |      | 室外风速 |     | 最热月<br>平均相<br>对湿度<br>% | 最大<br>冻土<br>深度<br>cm |
|-----|---------------|------------------------|----------------|-----------|-----|-----|----------------------|-------------------------------|------|------|------|-----|------------------------|----------------------|
|     |               |                        |                | 平均温度<br>℃ |     |     |                      |                               | 最低   | 最高   | 冬季   | 夏季  |                        |                      |
|     |               |                        |                | 日平均温度     | ≤8℃ |     |                      |                               |      |      |      |     |                        |                      |
|     |               |                        |                |           | ≤5℃ | 4.7 |                      |                               |      |      |      |     |                        |                      |
| 湖北省 | 宜昌            | 999.6                  | 16.8           | 4.7       | 6.1 | —   | 28.2                 | 35.8                          | -4.3 | 38.6 | 1.6  | 1.7 | 80                     | —                    |
|     | 武汉            | 1012.5                 | 16.3           | 3.7       | 5.0 | —   | 28.8                 | 35.2                          | -9.1 | 37.4 | 2.7  | 2.6 | 79                     | 10                   |
|     | 江陵            | 1011.0                 | 16.1           | 4.0       | 5.4 | —   | 28.1                 | 34.6                          | -6.8 | 36.7 | 2.5  | 2.3 | 83                     | 8                    |
|     | 黄石            | 1012.5                 | 17.0           | 4.1       | 5.7 | —   | 29.2                 | 35.7                          | -6.4 | 38.3 | 2.1  | 2.2 | 78                     | 6                    |
| 湖南省 | 岳阳            | 1007.0                 | 17.0           | 4.5       | 5.8 | —   | 29.2                 | 34.1                          | -6.0 | 36.6 | 2.8  | 3.1 | 75                     | —                    |
|     | 长沙            | 1009.7                 | 17.2           | 4.6       | 5.8 | —   | 29.3                 | 35.8                          | -5.4 | 38.2 | 2.8  | 2.6 | 75                     | 5                    |
|     | 邵阳            | 985.8                  | 17.1           | 5.0       | 6.0 | —   | 28.5                 | 34.8                          | -4.5 | 37.4 | 1.5  | 1.6 | 75                     | 5                    |
|     | 衡阳            | 1002.6                 | 17.9           | 5.0       | 6.4 | —   | 29.8                 | 36.0                          | -3.8 | 38.8 | 1.7  | 2.3 | 71                     | —                    |
|     | 郴州            | 993.2                  | 17.8           | 4.9       | 6.6 | —   | 29.2                 | 35.4                          | -4.7 | 38.3 | 1.5  | 1.9 | 70                     | —                    |
|     | 韶关            | 1005.5                 | 20.3           | —         | —   | —   | 29.1                 | 35.4                          | -1.2 | 39.3 | 1.8  | 1.5 | 75                     | —                    |
| 广东省 | 汕头            | 1012.7                 | 21.3           | —         | —   | —   | 28.2                 | 32.8                          | 2.9  | 35.4 | 2.9  | 2.5 | 84                     | —                    |
|     | 广州            | 1012.0                 | 21.8           | —         | —   | —   | 28.4                 | 33.5                          | 1.9  | 36.3 | 2.4  | 1.8 | 83                     | —                    |
|     | 湛江            | 1008.2                 | 23.1           | —         | —   | —   | 28.9                 | 33.7                          | 5.2  | 36.2 | 3.5  | 2.9 | 81                     | —                    |

表 D.1 (续)

| 地名          | 海拔<br>高度<br>m | 年平均<br>大气<br>压力<br>hPa | 年平均<br>温度<br>℃ | 采暖期<br>平均温度<br>℃ |       |     | 最<br>热<br>月<br>平<br>均<br>温<br>度<br>℃ | 夏季空<br>调室外<br>(干球)<br>温度<br>℃ | 极端温度<br>平均<br>值<br>℃ |      | 室外风速<br>平均<br>值<br>m/s |     | 最<br>热<br>月<br>平<br>均<br>相<br>对<br>湿<br>度<br>% | 最<br>大<br>冻<br>土<br>深<br>度<br>cm |
|-------------|---------------|------------------------|----------------|------------------|-------|-----|--------------------------------------|-------------------------------|----------------------|------|------------------------|-----|------------------------------------------------|----------------------------------|
|             |               |                        |                | ≤5℃              | 日平均温度 | ≤8℃ |                                      |                               | 最低                   | 最高   | 冬季                     | 夏季  |                                                |                                  |
|             |               |                        |                |                  |       |     |                                      |                               |                      |      |                        |     |                                                |                                  |
|             |               |                        |                |                  |       |     |                                      |                               |                      |      |                        |     |                                                |                                  |
| 海<br>南<br>省 | 海<br>口        | 14.1                   | 1009.2         | 23.8             | —     | —   | 28.4                                 | 34.5                          | 7.0                  | 36.4 | 3.4                    | 2.8 | 83                                             | —                                |
|             |               |                        |                |                  |       |     |                                      |                               |                      |      |                        |     |                                                |                                  |
| 广<br>西<br>省 | 桂<br>林        | 161.8                  | 994.5          | 18.8             | —     | 7.9 | 28.3                                 | 33.9                          | -1.8                 | 37.0 | 3.2                    | 1.5 | 78                                             | —                                |
|             | 柳<br>州        | 96.9                   | 1001.6         | 20.4             | —     | —   | 28.8                                 | 34.5                          | 0.1                  | 37.6 | 1.7                    | 1.4 | 78                                             | —                                |
|             | 南<br>宁        | 72.2                   | 1003.7         | 21.6             | —     | —   | 28.3                                 | 34.2                          | 2.0                  | 37.3 | 1.8                    | 1.6 | 82                                             | —                                |
|             | 北<br>海        | 14.6                   | 1009.8         | 22.6             | —     | —   | 28.7                                 | 32.4                          | 4.3                  | 34.9 | 3.6                    | 2.8 | 83                                             | —                                |
| 四<br>川<br>省 | 南<br>充        | 297.7                  | 978.3          | 17.6             | —     | 7.0 | 27.9                                 | 35.5                          | -0.9                 | 38.2 | 0.8                    | 1.1 | 74                                             | —                                |
|             | 成<br>都        | 505.9                  | 955.5          | 16.2             | —     | 6.5 | 25.6                                 | 31.6                          | -3.1                 | 34.7 | 0.9                    | 1.1 | 85                                             | —                                |
|             | 宜<br>宾        | 340.8                  | 973.5          | 18.0             | —     | 7.7 | 26.9                                 | 33.2                          | 0.6                  | 37.1 | 0.8                    | 1.3 | 82                                             | —                                |
|             | 西<br>昌        | 1590.7                 | 836.5          | 17.0             | —     | —   | 22.6                                 | 30.2                          | -2.0                 | 33.8 | 1.7                    | 1.2 | 75                                             | —                                |
| 贵<br>州<br>省 | 遵<br>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<br>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<br>阳        | 1071.2                 | 892.7          | 15.3             | 4.9   | 6.2 | 24.0                                 | 30.0                          | -4.6                 | 33.2 | 2.2                    | 2.0 | 77                                             | —                                |
|             | 安<br>顺        | 1392.9                 | 859.1          | 14.0             | 4.3   | 5.6 | 21.9                                 | 27.3                          | -5.1                 | 30.9 | 2.4                    | 2.2 | 82                                             | —                                |

表 D.1 (续)

| 地名          | 海拔<br>高度<br>m | 年平均<br>大气<br>压力<br>hPa | 年平均<br>温度<br>℃ | 采暖期<br>平均温度<br>℃ |      |      | 最热月<br>平均<br>温度<br>℃ | 夏季空<br>调室外<br>(干球)<br>温度<br>℃ | 极端温度<br>平均值<br>℃ |     | 室外风速<br>平均值<br>m/s |    | 最热月<br>平均相<br>对湿度<br>% | 最大<br>冻土<br>深度<br>cm |
|-------------|---------------|------------------------|----------------|------------------|------|------|----------------------|-------------------------------|------------------|-----|--------------------|----|------------------------|----------------------|
|             |               |                        |                | 日平均温度<br>≤5℃     | ≤8℃  |      |                      |                               | 最低               | 最高  | 冬季                 | 夏季 |                        |                      |
|             |               |                        |                |                  |      |      |                      |                               |                  |     |                    |    |                        |                      |
|             |               |                        |                |                  |      |      |                      |                               |                  |     |                    |    |                        |                      |
| 云<br>南<br>省 | 昭通            | 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                 | 12.6           | 5.0              | 6.6  | 18.0 | 25.1                 | -6.0                          | 28.7             | 3.9 | 2.2                | 81 | —                      |                      |
|             | 昆明            | 1891.4                 | 14.7           | —                | 7.7  | 19.8 | 25.8                 | -2.9                          | 29.5             | 2.5 | 1.8                | 83 | —                      |                      |
|             | 景洪            | 552.7                  | 21.8           | —                | —    | 25.6 | 34.3                 | 5.8                           | 38.0             | 0.4 | 0.7                | 76 | —                      |                      |
| 西<br>藏      | 那曲            | 4507.0                 | -1.9           | -5.9             | -3.8 | 8.8  | 16.0                 | -32.2                         | 19.8             | 3.3 | 2.4                | 71 | 281                    |                      |
|             | 拉萨            | 3658.0                 | 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                 | 6.3            | -0.4             | 0.9  | 14.1 | 22.2                 | -19.0                         | 26.0             | 1.9 | 1.5                | 53 | 67                     |                      |
|             | 延安            | 957.6                  | 9.4            | -2.2             | -0.7 | 22.9 | 32.1                 | -20.3                         | 36.0             | 2.1 | 1.6                | 72 | 79                     |                      |
| 陕<br>西<br>省 | 宝鸡            | 612.4                  | 12.9           | 1.4              | 2.4  | 25.5 | 33.7                 | -10.6                         | 37.8             | 1.0 | 1.4                | 70 | 29                     |                      |
|             | 西安            | 396.9                  | 13.3           | 1.0              | 2.1  | 26.6 | 35.2                 | -11.8                         | 39.4             | 1.8 | 2.2                | 72 | 45                     |                      |
|             | 汉中            | 508.4                  | 14.3           | 3.2              | 4.2  | 25.6 | 32.4                 | -6.7                          | 35.9             | 0.9 | 1.1                | 81 | —                      |                      |
|             | 敦煌            | 1138.7                 | 9.3            | -3.8             | -2.6 | 24.7 | 34.1                 | -22.9                         | 38.6             | 2.1 | 2.2                | 43 | 144                    |                      |
| 甘<br>肃<br>省 | 兰州            | 1517.2                 | 9.1            | -2.5             | -1.1 | 22.2 | 30.5                 | -18.0                         | 35.2             | 0.5 | 1.3                | 61 | 103                    |                      |
|             | 天水            | 1131.7                 | 10.7           | 0.0              | 1.3  | 22.6 | 30.3                 | -13.4                         | 34.1             | 1.3 | 1.2                | 72 | 61                     |                      |

表 D.1 (续)

| 地名          | 海拔<br>高度<br>m | 年平均<br>大气<br>压力<br>hPa | 年平均<br>温度<br>℃ | 采暖期<br>平均温度<br>℃ |      |      | 最热月<br>平均<br>温度<br>℃ | 夏季空<br>调室外<br>(干球)<br>温度<br>℃ | 极端温度<br>平均<br>值<br>℃ |      | 室外风速<br>平均<br>值<br>m/s |     | 最热月<br>平均相<br>对湿度<br>% | 最大<br>冻土<br>深度<br>cm |
|-------------|---------------|------------------------|----------------|------------------|------|------|----------------------|-------------------------------|----------------------|------|------------------------|-----|------------------------|----------------------|
|             |               |                        |                | 日平均温度            | ≤5℃  | ≤8℃  |                      |                               | 最低                   | 最高   | 冬季                     | 夏季  |                        |                      |
|             |               |                        |                |                  |      |      |                      |                               |                      |      |                        |     |                        |                      |
|             |               |                        |                |                  |      |      |                      |                               |                      |      |                        |     |                        |                      |
| 青<br>海<br>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<br>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                  |
| 新<br>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 GBJ 19—1987《采暖通风与空气调节设计规范》(2001 年版)。

注：本表摘自 GB 119—1987《采暖通风与空气调节设计规范》(2001 年版)。

## D.2 相对湿度、露点对照见表 D.2。

表 D.2 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>°C | 露点 $t_d$<br>°C |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 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 |
| 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 |

表 D.2 (续)

| $\phi$<br>% | 30            | 35   | 40   | 45   | 50   | 55   | 60   | 65   | 70   | 75   | 80   | 85   | 90   | 95   |
|-------------|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $t_a$<br>℃  | 露点 $t_d$<br>℃ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 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 E**  
**(资料性附录)**  
**物 性 数 据**

**E.1 饱和水比热容见表 E.1。**

**表 E.1 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 |

**E.2 常用油比热容见表 E.2。**

**表 E.2 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 |

**E.3 常用材料比热容见表 E.3。**

**表 E.3 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 |

**E.4 干空气在压力 0.1MPa 下的物性数据见表 E.4。**

表 E.4 干空气在压力 0.1MPa 下的物性数据

| 温度<br>$t$<br>℃ | 热导率<br>$\lambda_k$<br>W/(m·K) | 比热容<br>$c$<br>kJ/(kg·K) | 运动黏度 $\nu$<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        |

## E.5 保护层材料黑度见表 E.5。

表 E.5 保护层材料黑度

| 材料名称 | 表面状况 | 黑度 $\epsilon$ |
|------|------|---------------|
| 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  
(规范性附录)  
保温结构辅助材料用量

F.1 支撑件 (焊接承重环) 材料用量见表 F.1。

表 F.1 支撑件 (焊接承重环) 材料用量

| 管道<br>外径<br>mm | 焊接<br>承重<br>环型<br>号 | 钢 板      |             |       |       |       |       |       |       |       |                         | 角 钢 |           |
|----------------|---------------------|----------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------------|-----|-----------|
|                |                     | 厚度<br>mm | 保温层厚度<br>mm |       |       |       |       |       |       |       | 数量<br>m <sup>2</sup> /件 | 规格  | 数量<br>m/件 |
|                |                     |          | 40          | 60    | 80    | 100   | 120   | 140   | 160   | 180   | 200                     |     |           |
| 76             | A                   | 3        | 0.010       | 0.020 | 0.032 | 0.047 | 0.065 | 0.084 | 0.106 | 0.131 | 0.159                   | —   | —         |
| 89             |                     |          | 0.011       | 0.022 | 0.035 | 0.051 | 0.069 | 0.090 | 0.113 | 0.138 | 0.167                   |     |           |
| 108            |                     |          | 0.013       | 0.025 | 0.039 | 0.056 | 0.075 | 0.097 | 0.122 | 0.148 | 0.178                   |     |           |
| 133            |                     |          | 0.015       | 0.029 | 0.045 | 0.063 | 0.084 | 0.108 | 0.133 | 0.162 | 0.193                   |     |           |
| 159            |                     |          | 0.018       | 0.033 | 0.050 | 0.071 | 0.093 | 0.118 | 0.146 | 0.176 | 0.208                   |     |           |
| 219            |                     |          | 0.023       | 0.042 | 0.064 | 0.087 | 0.114 | 0.143 | 0.174 | 0.208 | 0.244                   |     |           |
| 273            |                     |          | 0.029       | 0.051 | 0.075 | 0.103 | 0.132 | 0.165 | 0.199 | 0.237 | 0.276                   |     |           |

表 F.1 (续)

| 管道<br>外径<br>mm | 焊接<br>承重<br>环型<br>号 | 钢 板      |                         |       |       |       |       |       |       |                         |       | 角 钢          |      |      |
|----------------|---------------------|----------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------------|-------|--------------|------|------|
|                |                     | 厚度<br>mm | 保温层厚度<br>mm             |       |       |       |       |       |       | 数量<br>m <sup>2</sup> /件 | 规格    | 数量<br>m/件    |      |      |
|                |                     |          | 40                      | 60    | 80    | 100   | 120   | 140   | 160   |                         |       |              | 180  | 200  |
|                |                     |          |                         |       |       |       |       |       |       |                         |       |              |      |      |
| 325            | B                   | —        | 0.013                   | 0.041 | 0.072 | 0.105 | 0.140 | 0.180 | 0.218 | 0.262                   | 1.335 | ∠50×<br>50×5 | —    |      |
| 377            |                     | —        | 0.015                   | 0.046 | 0.080 | 0.116 | 0.155 | 0.196 | 0.240 | 0.286                   | 1.499 |              | —    |      |
| 426            |                     | —        | 0.016                   | 0.051 | 0.087 | 0.127 | 0.169 | 0.213 | 0.260 | 0.309                   | 1.653 |              | —    |      |
| 480            |                     | —        | 0.018                   | 0.056 | 0.096 | 0.139 | 0.184 | 0.232 | 0.282 | 0.335                   | 1.822 |              | —    |      |
| 530            |                     | —        | 0.019                   | 0.060 | 0.104 | 0.150 | 0.198 | 0.249 | 0.302 | 0.358                   | 1.979 |              | —    |      |
| 630            |                     | —        | 0.023                   | 0.070 | 0.119 | 0.172 | 0.226 | 0.283 | 0.343 | 0.405                   | 2.293 |              | —    |      |
| 720            |                     | —        | 0.025                   | 0.078 | 0.134 | 0.191 | 0.252 | 0.315 | 0.380 | 0.448                   | 2.576 |              | —    |      |
| 820            |                     | —        | 0.029                   | 0.088 | 0.149 | 0.213 | 0.280 | 0.349 | 0.421 | 0.495                   | 2.890 |              | —    |      |
| 920            | C                   | —        | 0.032                   | 0.097 | 0.165 | 0.235 | 0.308 | 0.384 | 0.461 | 0.542                   | 3.205 | ∠50×<br>50×5 | —    |      |
| 1020           |                     | —        | 0.035                   | 0.107 | 0.181 | 0.257 | 0.337 | 0.418 | 0.502 | 0.589                   | 3.519 |              | —    |      |
| 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           | D                   | —        | 0.060                   | 0.182 | 0.306 | 0.433 | 0.563 | 0.695 | 0.829 | 0.966                   | 6.032 | —            | —    |      |
| 平面             |                     | 4        | 数量<br>m <sup>2</sup> /m |       |       |       |       |       |       | 0.14                    | 0.18  |              | 0.22 | 0.26 |

F.2 支撑件（紧箍承重环）材料用量见表 F.2。

表 F.2 支撑件（紧箍承重环）材料用量

| 管道<br>外径<br>mm | 紧箍<br>承重<br>环型<br>号 | 钢 板          |             |       |       |       |       |       |       |                       |                         | 角 钢       |    | 螺 栓       |             | 螺 母       |    | 垫 圈       |   | 肋 | 板 |
|----------------|---------------------|--------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------------|-------------------------|-----------|----|-----------|-------------|-----------|----|-----------|---|---|---|
|                |                     | 厚<br>度<br>mm | 保温层厚度<br>mm |       |       |       |       |       |       | 规格                    | 数量<br>m <sup>2</sup> /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 |   |   |   |
|                |                     |              | 60          | 100   | 140   | 180   | 220   | 260   | 300   |                       |                         |           |    |           |             |           |    |           |   |   |   |
|                |                     |              |             |       |       |       |       |       |       |                       |                         |           |    |           |             |           |    |           |   |   |   |
| 76             | A                   | 3            | 0.037       | 0.071 | 0.114 | 0.168 | 0.222 | 0.305 | 0.388 | —                     | M8×<br>25               | 2         | 8  | 2         | —           | —         | —  | —         | — |   |   |
| 89             |                     |              | 0.041       | 0.076 | 0.121 | 0.176 | 0.231 | 0.316 | 0.402 |                       |                         |           |    |           |             |           |    |           |   |   |   |
| 108            |                     |              | 0.046       | 0.083 | 0.131 | 0.188 | 0.244 | 0.333 | 0.421 |                       |                         |           |    |           |             |           |    |           |   |   |   |
| 133            |                     |              | 0.052       | 0.093 | 0.144 | 0.205 | 0.260 | 0.356 | 0.446 |                       |                         |           |    |           |             |           |    |           |   |   |   |
| 159            |                     |              | 0.059       | 0.103 | 0.157 | 0.221 | 0.277 | 0.379 | 0.473 |                       |                         |           |    |           |             |           |    |           |   |   |   |
| 219            |                     |              | 0.075       | 0.127 | 0.188 | 0.260 | 0.317 | 0.433 | 0.534 |                       |                         |           |    |           |             |           |    |           |   |   |   |
| 273            | B                   | 3            | 0.090       | 0.148 | 0.216 | 0.295 | 0.352 | 0.481 | 0.589 | 1.335<br>∠50×<br>50×5 | M12<br>×50              | 2         | 12 | 2         | 40×<br>40×8 | 4         |    |           |   |   |   |
| 325            |                     |              | 0.013       | 0.072 | 0.140 | 0.219 | 0.307 | 0.406 | 0.514 |                       |                         |           |    |           |             |           |    |           |   |   |   |
| 377            |                     |              | 0.015       | 0.080 | 0.155 | 0.240 | 0.335 | 0.440 | 0.555 |                       |                         |           |    |           |             |           |    |           |   |   |   |

表 F.2 (续)

| 管道<br>外径<br>mm | 紧箍<br>承重<br>环型<br>号 | 钢 板                      |       |       |       |       |       |       |              |                                                             |           | 角<br>钢    | 螺 栓       |           | 螺 母       |           | 垫 圈       |           | 肋 | 板 |
|----------------|---------------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|-------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---|---|
|                |                     | 保温层厚度<br>mm              |       |       |       |       |       |       | 厚<br>度<br>mm | 数量<br>m <sup>2</sup> /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 |   |   |
|                |                     | 60                       | 100   | 140   | 180   | 220   | 260   | 300   |              |                                                             |           |           |           |           |           |           |           |           |   |   |
|                |                     | 数 量<br>m <sup>2</sup> /件 |       |       |       |       |       |       |              |                                                             |           |           |           |           |           |           |           |           |   |   |
| 426            | B                   | 0.016                    | 0.087 | 0.169 | 0.260 | 0.361 | 0.472 | 0.594 | 3            | 1.653<br>1.822<br>1.979<br>2.293<br>2.576<br>2.890<br>3.205 | 规格        | 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 | 4 |   |
| 480            |                     | 0.018                    | 0.096 | 0.184 | 0.282 | 0.390 | 0.508 | 0.636 |              |                                                             |           |           |           |           |           |           |           |           |   |   |
| 530            |                     | 0.019                    | 0.104 | 0.198 | 0.302 | 0.417 | 0.541 | 0.675 |              |                                                             |           |           |           |           |           |           |           |           |   |   |
| 630            |                     | 0.023                    | 0.119 | 0.226 | 0.343 | 0.470 | 0.607 | 0.754 |              |                                                             |           |           |           |           |           |           |           |           |   |   |
| 720            |                     | 0.025                    | 0.134 | 0.252 | 0.380 | 0.518 | 0.666 | 0.825 |              |                                                             |           |           |           |           |           |           |           |           |   |   |
| 820            |                     | 0.029                    | 0.149 | 0.280 | 0.421 | 0.571 | 0.732 | 0.903 |              |                                                             |           |           |           |           |           |           |           |           |   |   |
| 920            |                     | 0.032                    | 0.165 | 0.308 | 0.462 | 0.625 | 0.798 | 0.982 |              |                                                             |           |           |           |           |           |           |           |           |   |   |
| 1020           | C                   | 0.035                    | 0.181 | 0.337 | 0.502 | 0.678 | 0.864 | 1.060 | 3            | ∠50×<br>50×5                                                | 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 | 8         |   |   |
| 1220           |                     | 0.041                    | 0.212 | 0.393 | 0.584 | 0.785 | 0.996 | 1.217 |              |                                                             |           |           |           |           |           |           |           |           |   |   |
| 1420           |                     | 0.047                    | 0.244 | 0.450 | 0.666 | 0.892 | 1.128 | 1.374 |              |                                                             |           |           |           |           |           |           |           |           |   |   |
| 1620           |                     | 0.054                    | 0.275 | 0.506 | 0.747 | 0.999 | 1.260 | 1.532 |              |                                                             |           |           |           |           |           |           |           |           |   |   |
| 1820           |                     | 0.060                    | 0.306 | 0.563 | 0.829 | 1.106 | 1.392 | 1.689 |              |                                                             |           |           |           |           |           |           |           |           |   |   |
| 平面             | D                   | 数 量<br>m <sup>2</sup> /m |       |       |       |       |       |       | 4            | —                                                           | —         | —         | —         | —         | —         | —         | —         | —         |   |   |
|                |                     | 0.02                     | 0.10  | 0.18  | 0.26  | 0.34  | 0.42  | 0.50  |              |                                                             |           |           |           |           |           |           |           |           |   |   |

## F.3 固定件材料用量见表 F.3。

表 F.3 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 | M4×12                        | $0.006 + 18D_1 \times 10^{-6}$      | 0.03                             |
| 抽芯铆钉 |                              |                                     |                                  |

## F.4 镀锌铁丝、镀锌钢带用量见表 F.4。

表 F.4 镀锌铁丝、镀锌钢带用量 kg/m

| 捆扎件      | 管道<br>外径 | ≤108 | 133~<br>159 | 219~<br>273 | 325~<br>426 | 530~<br>720 | >720 | 平面   |
|----------|----------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|------|------|
| 镀锌<br>铁丝 | 汽水<br>管道 | 0.12 | 0.20        | 0.40        | 0.50        | 0.60        | 0.75 | —    |
|          | 煤粉<br>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<br>钢带 | 汽水<br>管道 | —    | —           | —           | —           | 0.70        | 0.85 | —    |
|          | 煤粉<br>管道 | —    | —           | —           | —           | 0.40        | 0.50 | —    |
|          | 烟风道      | —    | —           | —           | —           | 0.60        | 0.70 | 0.4  |

## F.5 可拆卸式金属保护罩材料用量见表 F.5。

表 F.5 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 |

表 F.5 (续)

| 管道外径<br>mm | 阀门   |      | 法兰   |
|------------|------|------|------|
|            | 中低温  | 高温   |      |
| 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 G**  
**(规范性附录)**  
**常 用 涂 层 配 套**

G.1 常用涂层配套见表 G.1。

**表 G.1 常 用 涂 层 配 套**

| 涂料品种     | 涂层配套 |                     | 度数    | 每度涂层干膜厚度<br>$\mu\text{m}$ | 适用类型                  |
|----------|------|---------------------|-------|---------------------------|-----------------------|
| 醇酸涂料     | 底漆   | 铁红醇酸底漆              | 1     | 40                        | 一般大气腐蚀环境              |
|          | 中间漆  | 云铁醇酸防锈漆             | 1     | 40                        |                       |
|          | 面漆   | 醇酸面漆                | 2     | 40                        |                       |
| 高氯化聚乙烯涂料 | 底漆   | 高氯化聚乙烯铁红底漆          | 2     | 30                        | 工业大气腐蚀环境，特别是有硫化物的腐蚀环境 |
|          | 中间漆  | 高氯化聚乙烯云铁中间漆         | 2     | 40                        |                       |
|          | 面漆   | 高氯化聚乙烯面漆            | 2     | 30                        |                       |
| 环氧涂料     | 底漆   | 富锌底漆                | 1     | 60                        | 室内腐蚀环境                |
|          | 中间漆  | 环氧云铁中间漆             | 1     | 80                        |                       |
|          | 面漆   | 环氧防腐面漆              | 2     | 40                        |                       |
| 聚氨酯涂料    | 底漆   | 富锌底漆                | 1     | 60                        | 工业大气腐蚀环境              |
|          | 中间漆  | 环氧云铁中间漆             | 1     | 80                        |                       |
|          | 面漆   | 脂肪族聚氨酯面漆            | 2     | 40                        |                       |
| 聚氨酯耐热涂料  | 底漆   | 聚氨酯铝粉防腐漆<br>(或富锌底漆) | 2 (1) | 30 (60)                   | 耐温 150℃ 以下的环境         |
|          | 面漆   | 聚氨酯耐热防腐面漆           | 2     | 30                        |                       |
| 酚醛环氧涂料   | 底漆   | 酚醛环氧底漆              | 1     | 125                       | 200℃ 以下<br>热水箱内壁      |
|          | 面漆   | 酚醛环氧面漆              | 1     | 125                       |                       |
| 有机硅耐热涂料  | 底漆   | 无机富锌底漆              | 2     | 30                        | 耐温 400℃ 以下的环境         |
|          | 面漆   | 有机硅铝粉防腐漆            | 2     | 25                        |                       |
|          | 底漆   | 有机硅铝粉耐热漆            | 1     | 25                        | 耐温 600℃ 以下的环境         |
|          | 面漆   | 有机硅铝粉耐热漆            | 2     | 25                        |                       |

表 G.1 (续)

| 涂料品种                                                  | 涂层配套 |            | 度数 | 每度涂层干膜厚度<br>μm | 适用类型                        |
|-------------------------------------------------------|------|------------|----|----------------|-----------------------------|
| 环氧沥青厚浆型涂料                                             | 底漆   | 环氧沥青厚浆型底漆  | 1  | 150            | 管沟等潮湿环境、油罐外壁底板防腐、循环水管道内壁防腐  |
|                                                       | 面漆   | 环氧沥青厚浆型面漆  | 1  | 150            |                             |
| 高固体分改性环氧涂料                                            | 底漆   | 高固体分改性环氧涂料 | 1  | 250            | 循环水管道内、外壁长效防腐               |
|                                                       | 面漆   |            |    |                |                             |
| 丙烯酸聚氨酯涂料                                              | 底漆   | 富锌底漆       | 1  | 100            | 大气腐蚀环境下长效防腐、油罐外壁防腐、满足“三防”要求 |
|                                                       | 中间漆  | 环氧云铁中间漆    | 1  | 100            |                             |
|                                                       | 面漆   | 丙烯酸聚氨酯面漆   | 2  | 40             |                             |
| 环氧导静电防腐涂料                                             | 底漆   | 富锌底漆       | 1  | 60             | 油罐内表面防腐                     |
|                                                       | 中间漆  | 环氧导静电防腐中间漆 | 1  | 100            |                             |
|                                                       | 面漆   | 环氧导静电防腐面漆  | 1  | 100            |                             |
| 太阳热反射隔热涂料                                             | 底漆   | 太阳热反射隔热底漆  | 2  | 40             | 油罐外壁隔热防腐                    |
|                                                       | 中间漆  | 太阳热反射隔热中间漆 | 1  | 30             |                             |
|                                                       | 面漆   | 太阳热反射隔热面漆  | 3  | 30             |                             |
| 注 1: 以上富锌底漆可选择环氧富锌、无机硅酸盐富锌或无机磷酸盐富锌底漆, 长效防腐优先选用无机富锌底漆。 |      |            |    |                |                             |
| 注 2: 如果选用无机富锌底漆, 可涂刷两度, 每度干膜厚度为 30μm~40μm。            |      |            |    |                |                             |