

设备及管道保温设计导则

Guide for design of thermal insulation of equipments and pipes

本标准根据 GB 4272 的原则并遵照其第四章“保温设计”的规定编制的。

1 主题内容与适用范围

本标准规定了保温设计的基本原则、保温材料的选择、保温层厚度的计算和确定、保温计算主要数据选取原则及保温结构。

本标准适用于一般热设备和管道。不适用于船舶、核能以及工业炉窑和锅炉的内衬等有特殊要求的装置设施。

施工中的临时设施、各种热工仪表系统的管道及伴热管道不受本标准的约束。

2 引用标准

GB 4132 绝热材料名词术语

GB 4272 设备及管道保温技术通则

GB 8174 设备及管道保温效果的测试与评价

3 保温设计的基本原则

保温设计应符合减少散热损失、节约能源、满足工艺要求、保持生产能力、提高经济效益、改善工作环境、防止烫伤等基本原则。

3.1 具有下列情况之一的设备、管道、管件、阀门等(以下对管道、管件、阀门等统称为管道)必需保温。

3.1.1 外表面温度大于 $323\text{ K}(50^\circ\text{C})$ ¹⁾ 以及根据需要要求外表面温度小于或等于 $323\text{ K}(50^\circ\text{C})$ 的设备和管道。

注:1)指环境温度为 $298\text{ K}(25^\circ\text{C})$ 时的表面温度。

3.1.2 介质凝固点高于环境温度的设备和管道。

3.2 除防烫伤要求保温的部位外,具有下列情况之一的设备和管道可不保温:

3.2.1 要求散热或必需裸露的设备和管道;

3.2.2 要求及时发现泄漏的设备和管道上的连接法兰;

3.2.3 要求经常监测,防止发生损坏的部位;

3.2.4 工艺生产中排气、放空等不需要保温的设备和管道。

3.3 表面温度超过 $333\text{ K}(60^\circ\text{C})$ 的不保温设备和管道,需要经常维护又无法采用其他措施防止烫伤的部位应在下列范围内设置防烫伤保温:

3.3.1 距离地面或工作平台的高度小于 2.1 m ;

3.3.2 靠近操作平台距离小于 0.75 m 。

4 保温材料选择

4.1 保温材料制品应具有的主要技术性能:

4.1.1 平均温度等于或小于 623 K (350℃) 时, 导热系数值不得大于 0.12 W/(m·k) [0.103 kcal/(m·h·℃)], 并有明确的随温度变化的导热系数方程式或图表;

对于松散或可压缩的保温材料及其制品, 应提供在使用密度下的导热系数方程式或图表;

4.1.2 密度不大于 400 kg/m³;

4.1.3 除软质、半硬质¹⁾及散状材料外, 硬质成型制品的抗压强度不应小于 0.294 MPa (3kgf/cm²)。

注: 1) 用软质材料成型的制品。

4.2 保温材料制品应具有下列性能资料:

4.2.1 允许最高使用温度;

4.2.2 必要时尚需注明耐火性、吸水率、吸湿率、热膨胀系数、收缩率、抗折强度、腐蚀性、耐蚀性等。

4.3 应由生产厂按用户提出的要求提供符合上述各项性能指标的产品, 必要时委托国家指定的检测机构按国家标准测定。

4.4 保温材料的选择原则:

4.4.1 保温材料制品的允许使用温度应高于正常操作时的介质最高温度;

4.4.2 相同温度范围内有不同材料可供选择时, 应选用导热系数小、密度小、造价低、易于施工的材料制品, 同时应进行综合比较, 其经济效益高者应优先选用;

4.4.3 在高温条件下经综合经济比较后可选用复合材料。

5 保温层厚度的计算和确定

5.1 管道和圆筒设备外径大于 1 020 mm 者, 可按平面计算保温层厚度; 其余均按圆筒面计算保温层厚度。

5.2 为减少散热损失的保温层其厚度应按经济厚度方法计算。

5.2.1 对于热价低廉, 保温材料制品或施工费用较高, 根据公式计算得出的经济厚度偏小以致散热损失超过 GB 4272 中表 1 或表 2 内规定的最大允许散热损失时, 应重新按表内最大允许散热损失的 80%~90% 计算其保温层厚度;

5.2.2 对于热价偏高、保温材料制品或施工费用低廉、并排敷设的管道, 尚应考虑支撑结构、占地面积等综合经济效益, 其厚度可小于经济厚度。

5.3 保温层厚度和散热损失的计算

5.3.1 保温层经济厚度的计算公式

a. 平面的计算公式见式(1):

$$\delta = A_1 \sqrt{\frac{f_n \cdot \lambda \cdot t (T - T_a)}{P_i \cdot S}} - \frac{\lambda}{\alpha} \dots \dots \dots (1)$$

式中: δ ——保温层厚度, m;

A_1 ——常数, 按中华人民共和国法定计量单位计算 $A_1 = 1.8975 \times 10^{-3}$ (按公制计量单位计算 $A_1 = 10^{-3}$);

f_n ——热价, 元/10⁶kJ (元/10⁶kcal);

λ ——保温材料制品导热系数, 对于软质材料应取安装密度下的导热系数, W/(m·K) [kcal/(m·h·℃)];

t ——年运行时间, h;

- T ——设备和管道的外表面温度, K(°C);
- T_a ——环境温度, K(°C);
- P_i ——保温结构单位造价, 元/m³;
- S ——保温工程投资贷款年分摊率, 按复利计息: $S = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$, %;
- i ——年利率(复利率), %;
- n ——计息年数, 年;
- a ——保温层外表面向大气的放热系数, W/(m²·K) [kcal/(m²·h·°C)]。

b. 圆筒面的计算公式见式(2):

$$\left. \begin{aligned} D_o L_n \frac{D_o}{D_i} &= A_2 \sqrt{\frac{f_n \cdot \lambda \cdot t(T - T_a)}{P_i \cdot S} - \frac{2\lambda}{a}} \\ \delta &= \frac{D_o - D_i}{2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2)$$

式中: A_1 ——常数, 按中华人民共和国法定计量单位计算 $A_1 = 3.795 \times 10^{-3}$ 按公制计量单位计算

$A_2 = 2 \times 10^{-3}$;

D_o ——保温层外径, m;

D_i ——保温层内径, m;

其余符号说明与式(1)相同。

5.3.2 保温层表面散热损失计算公式

a. 平面的计算公式见式(3):

$$q = \frac{T - T_a}{R_i + R_s} = \frac{T - T_a}{\frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{a}} \dots\dots\dots(3)$$

b. 圆筒面的计算公式见式(4):

$$q = \frac{T - T_a}{R_i + R_s} = \frac{2\pi(T - T_a)}{\frac{1}{\lambda} L_n \frac{D_o}{D_i} + \frac{2}{a \cdot D_o}} \dots\dots\dots(4)$$

式中: q ——单位表面散热损失,

平面: W/m² [kcal/(m²·h)],

管道: W/m [kcal/(m·h)];

R_i ——保温层热阻,

平面: (m²·K)/W [(m²·h·°C)/kcal],

管道: (m·K)/W [(m·h·°C)/kcal];

R_s ——保温层表面热阻,

平面: (m²·K)/W [(m²·h·°C)/kcal],

管道: (m·K)/W [(m·h·°C)/kcal];

其余符号说明与式(1)、(2)相同。

5.3.3 保温层外表面温度的计算公式

a. 平面的计算公式见式(5):

$$T_s = q \cdot R_s + T_a = \frac{q}{\alpha} + T_a \quad \dots\dots\dots(5)$$

b. 圆筒面的计算公式见式(6):

$$T_s = q \cdot R_s + T_a = \frac{q}{\pi \cdot D_o \cdot \alpha} + T_a \quad \dots\dots\dots(6)$$

式中: T_s ——保温层外表面温度, K(°C);
其余符号说明与式(1)~(4)相同。

6 保温计算主要数据选取原则

6.1 温度

6.1.1 表面温度 T

6.1.1.1 无衬里的金属设备和管道的表面温度 T , 取介质的正常运行温度。

6.1.1.2 有内衬的金属设备和管道应进行传热计算确定外表面温度。

6.1.2 环境温度 T_a

6.1.2.1 设置在室外的设备和管道在经济保温厚度和散热损失计算中, 环境温度 T_a 常年运行的取历年之年平均温度的平均值; 季节性运行的取历年运行期日平均温度的平均值。

6.1.2.2 设置在室内的设备和管道在经济保温厚度及散热损失计算中环境温度 T_a 均取 293 K(20°C)。

6.1.2.3 设置在地沟中的管道, 当介质温度 $T = 352$ K(80°C) 时, 环境温度 T_a 取 293 K(20°C); 当介质温度 $T = 354 \sim 383$ K(81~110°C) 时, 环境温度 T_a 取 303 K(30°C); 当介质温度 $T \geq 383$ K(110°C) 时, 环境温度 T_a 取 313 K(40°C)。

6.1.2.4 在校核有工艺要求的各保温层计算中环境温度 T_a 应按最不利的条件取值。

6.2 表面放热系数 α

6.2.1 在经济厚度及热损失计算中, 设备和管道的保温结构外表面放热系数 α 一般取 11.63 W/(m²·K)[10 kcal/(m²·h·°C)]。

6.2.2 在校核保温结构表面温度计算中, 一般情况按 $\alpha = 1.163(6 + 3\sqrt{\omega})$ W/m² 计算, 式中 ω 为风速, 单位 m/s。

6.2.3 如要求计算值更接近于真值, 则应按不同外表面材料的热发射率与环境风速对 α 值的影响, 将辐射与对流放热系数分别计算然后取其和。

6.3 导热系数 λ

保温材料制品的导热系数或导热系数方程应由制造厂提供并应符合本标准 6.3 的要求。

注: 1) 一般试验室均将材料烘干至恒重后再行测试, 所得 λ 值常与实际有差别。为使设计计算更接近于实际, 可采用经环境因素影响而校正后的导热系 λ_p 代替试验室测出的 λ 值。

6.4 保温结构的单位造价 P_i

单位造价应包括主材费、包装费、运输费、损耗、安装(包括辅助材料费)及保护结构费等。

6.5 计息年数 n

指计算期年数。根据不同情况取 5~10 年。

6.6 年利率 i

取 6%~10%(复利)

6.7 热价格 f

应按各地区、各部门的具体情况确定, 一般在 3.6~6 元/10⁴kJ(15~25 元/10⁴kcal) 之间取值。

6.8 年运行时间 t

常年运行一般按 8 000 h 计；

采暖运行中的采暖期按 3 000 h 计；采暖期较长地区得按实际采暖期(小时)计；

其他按实际情况选取年运行时间。

7 保温结构

7.1 保温结构一般由保温层和保护层组成。保温结构的设计应符合保温效果好、施工方便、防火、耐久、美观等。

7.2 保温层：

7.2.1 设备、直管道、管件等无需检修处宜采用固定式保温结构；法兰、阀门、人孔等处宜采用可拆卸式的保温结构。

7.2.2 保温厚度宜按 10 mm 为分级单位。

7.2.3 保温层设计厚度大于 100 mm 时，保温结构宜按双层考虑；双层的内外层缝隙应彼此错开。

7.2.4 使用软质和半硬质保温材料时，设计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。

7.3 保温层的支撑及紧固：

7.3.1 高于 3 m 的立式设备、垂直管道以及与水平夹角大于 45°，长度超过 3 m 的管道应设支撑圈，其间距一般为 3~6 m。

7.3.2 硬质材料施工中应预留伸缩缝。设置支撑圈者应在支撑圈下预留伸缩缝。缝宽应按金属壁和保温材料的伸缩量之间的差值考虑。伸缩缝间应填塞与硬质材料厚度相同的软质材料，该材料使用温度应大于设备和管道的表面温度。

7.3.3 保温层应采取适当措施进行紧固。

7.4 保护层：

7.4.1 保护层应具有保护保温层和防水的性能。

7.4.2 一般金属保护层应采用 0.3~0.8 mm 厚的镀锌薄钢板、或防锈铝板制成外壳，壳的接缝必搭接以防雨水进入。

7.4.3 玻璃布保护层一般在室内使用。石棉水泥类抹面保护层不得在室外使用。

7.4.4 可采用其他已被确认可靠的新型外保护层材料。

附录 A
保温层厚度的计算方法
(补充件)

在允许温降条件下输送液体管道的保温层厚度应按热平衡方法计算。

A.1 无分支(无结点)管道

A.1.1

当 $\frac{T_1 - T_2}{T_2 - T_a} > 2$ 时

$$\left. \begin{aligned} L_n \frac{D_o}{D_i} &= 2\pi\lambda \left[\frac{L_c}{q_m \cdot C \cdot L_n} \frac{T_1 - T_2}{T_2 - T_a} - \frac{1}{\pi D_o \alpha} \right] \\ \delta &= \frac{D_o - D_i}{2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (A1)$$

A.1.2

当 $\frac{T_1 - T_2}{T_2 - T_a} < 2$ 时

$$\left. \begin{aligned} L_n \frac{D_o}{D_i} &= 2\pi\lambda \left[\frac{L_c (T_m - T_a)}{q_m \cdot C (T_1 - T_2)} - \frac{1}{\pi D_o \alpha} \right] \\ \delta &= \frac{D_o - D_i}{2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (A2)$$

$$L_c = K_r \cdot L \dots\dots\dots (A3)$$

式中： T_1 ——管道1点处的介质温度，K(°C)；
 T_2 ——管道2点处的介质温度，K(°C)；
 L_c ——管道计算长度，m；
 K_r ——管道通过吊架处的热损失附加系数；
 L ——管道实际长度，m；
 T_m ——算术平均温度，K(°C)；
 q_m ——介质质量流量，kg/h；
 C ——介质热容，J/(kg·K)[kcal/(kg·°C)]；
 其余符号说明与本标准式(1)、(2)相同。

A.2 有分支(有结点)管道

结点处温度按式(A4)计算：

$$T_c = T_{c-1} - (T_i - T_n) \frac{\frac{L_{c-1 \rightarrow c}}{q_{mc-1 \rightarrow c}}}{\sum_{i=2}^n \frac{L_{i-1 \rightarrow i}}{q_{mi-1 \rightarrow i}}} \dots\dots\dots (A4)$$

式中: T_c, T_{c-1} ——分别为结点 c 与前一结点 $c-1$ 处的温度, $K(^{\circ}C)$;

T_i ——管道起点的温度, $K(^{\circ}C)$;

T_n ——管道终点的温度, $K(^{\circ}C)$;

$L_{c-1 \rightarrow c}$ ——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 ;

$q_{mc-1 \rightarrow c}$ —— $c-1$ 与 c 两点间管道介质质量流量, kg/h ;

$q_{mi-1 \rightarrow i}$ ——任意点 i 与前一结点 $i-1$ 之间介质质量流量, kg/h 。

附录 B
保温层厚度的计算方法
(补充件)

延迟管道内介质冻结、凝固的保温层厚度应按热平衡方法计算

$$L_n \frac{D_o}{D_i} = 2\pi\lambda \left[\frac{K_r \cdot t_{fr}}{2(T - T_{fr})(V\rho C + V_p\rho_p C_p)} - \frac{0.25V\rho H_{fr}}{T_{fr} - T_a} - \frac{1}{\pi D_o \alpha} \right] \left. \vphantom{L_n \frac{D_o}{D_i}} \right\} \dots\dots\dots (B1)$$

$$\delta = \frac{D_o - D_i}{2}$$

式中: K_r ——见式(A3)说明;

t_{fr} ——介质在管道内防止冻结停留时间, h;

T_{fr} ——管道内介质的冻结温度, K(°C);

V, V_p ——分别为介质体积和管壁体积, m³;

ρ, ρ_p ——分别为介质密度和管材密度, kg/m³;

C, C_p ——分别为介质热容和管材热容, J/kg·K[kcal/(kg·°C)];

H_{fr} ——介质融解热, J(kcal/kg);

其他符号说明与本标准式(1)、(2)相同。

附 录 C
不同材料双层保温厚度的计算方法
(补充件)

- C.1 内层厚度按表面温度计算;外层厚度按经济厚度方法计算。
- C.2 内外层界面处温度应按外层保温材料最高使用温度的 0.9 倍计算。

附加说明:

本标准由全国能源基础与管理标准化技术委员会提出。

本标准由中国石油化工总公司洛阳石油化工工程公司、国家建筑材料工业局标准化研究所、南京玻璃纤维研究设计院、国家医药局上海医药设计院、中国建筑科学研究院空调研究所、华东电力设计院负责起草。

本标准主要起草人王怀义、李苏华、裘应林、李鸿法、夏敏、汪训昌、莫松涛。