



中华人民共和国国家标准

GB/T 8175—2008

代替 GB/T 8175—1987, GB/T 15586—1995

设备及管道绝热设计导则

Guide for design of thermal insulation
of equipments and pipes

2008-06-19 发布

2009-01-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

前 言

本标准根据 GB/T 8175—1987《设备及管道保温设计导则》和 GB/T 15586—1995《设备及管道保冷设计导则》的内容整合、修订而成。

本标准同时代替 GB/T 8175—1987 和 GB/T 15586—1995。

本标准与 GB/T 8175—1987 和 GB/T 15586—1995 相比,主要变化如下:

- 保温材料、保冷材料要求与 GB/T 4272 的相关要求相一致;
- 修改低温粘结剂的要求;
- 在第 4 章中增加防水材料的要求;
- 增加直埋管道保温计算方法;
- 在绝热结构要求中增加防水层要求。

本标准的附录 A、附录 B、附录 C 均为规范性附录。

本标准由全国能源基础与管理标准化技术委员会提出。

本标准由全国能源基础与管理标准化技术委员会省能材料应用技术分委员会归口。

本标准负责起草单位:建筑材料工业技术监督研究中心、中国疾病预防控制中心环境与健康相关产品安全所。

本标准参加起草单位:阿莱斯绝热(广州)有限公司、无锡市明江保温材料有限公司、兰州鹏飞保温隔热有限公司、北京北工国源联合科技有限公司、浙江振申绝热科技有限公司、中国水利电力物资天津公司、欧文斯科宁(中国)投资有限公司。

本标准主要起草人:戴自祝、金福锦、何振声、周敏刚、武庆涛、吴寿勇、王巧云、陈斌。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为:

- GB/T 8175—1987;
- GB/T 15586—1995。

设备及管道绝热设计导则

1 范围

本标准规定了绝热设计的基本原则、绝热层材料和主要辅助材料的性能要求及选择原则、保温计算、保冷计算、绝热结构和绝热工程的主要施工技术要求。

本标准适用于一般设备和管道。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 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/T 4272—2008 设备及管道绝热技术通则
- GB/T 8174 设备及管道绝热效果的测试与评价
- GB 50126 工业设备及管道绝热工程施工规范
- CJJ 104—2005 城镇供热直埋蒸汽管道技术规程

3 绝热设计的基本原则

3.1 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。

3.1.1 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)应保温。

- a) 外表面温度大于 323 K(50℃)[环境温度为 298 K(25℃)时的表面温度]，以及根据需要要求外表面温度小于或等于 323 K(50℃)的设备和管道；
- b) 介质凝固点高于环境温度的设备和管道。

3.1.2 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也可不保温：

- a) 要求散热或必须裸露的设备和管道；
- b) 要求及时发现泄漏的设备和管道上的连接法兰；
- c) 要求经常监测，防止发生损坏的部位；
- d) 工艺生产中排气、放空等不需要保温的设备和管道。

3.1.3 表面温度超过 333 K(60℃)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：

- a) 距离地面或工作平台的高度小于 2.1 m；
- b) 靠近操作平台距离小于 0.75 m。

3.2 低温设备及管道的保冷设计，应以满足工艺生产、保持和发挥生产能力、减少冷损失、节约能源、并防止表面凝露，改善工作环境等为目的。

3.2.1 具有下列工况要求之一的低温设备、管道及其附件必须保冷：

- a) 需减少冷介质在生产和输送过程中的温度升高或气化者；
- b) 低于常温的设备和管道，需减少冷介质在生产和输送过程中冷损失量者；
- c) 为防止常温以下，0℃以上设备及管道外壁表面凝露者；

d) 低温设备及低温管道相连的低温附件需要保冷者。

4 绝热层材料和主要辅助材料的性能要求及选择原则

4.1 保温材料

4.1.1 保温材料制品的主要性能

4.1.1.1 在平均温度为 298 K(25℃)时热导率值应不大于 0.080 W/(m·K),并有在使用密度和使用温度范围下的热导率方程式或图表;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热导率方程式或图表。

4.1.1.2 密度不大于 300 kg/m³。

4.1.1.3 除软质、半硬质、散状材料外,硬质无机制品的抗压强度不应小于 0.30 MPa,有机制品的抗压强度不应小于 0.20 MPa。

4.1.2 保温材料制品还应具有下列性能资料

a) 允许最高使用温度;

b) 必要时需注明耐火性、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。

4.1.3 保温材料的选择原则

4.1.3.1 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。

4.1.3.2 相同温度范围内有不同材料可供选择时,应选用热导率小、密度小、造价低、易于施工的材料制品时应进行综合比较,其经济效益高者应优先选用。

4.1.3.3 在高温条件下经综合经济比较后可选用复合材料。

4.2 保冷材料

4.2.1 保冷材料及其制品的性能要求

4.2.1.1 泡沫塑料及其制品 25℃时的热导率应不大于 0.044 W/(m·K),密度应不大于 60 kg/m³,吸水率应不大于 4%,硬质成型制品的抗压强度应不小于 0.15 MPa。

4.2.1.2 泡沫橡塑制品 0℃时的热导率应不大于 0.036 W/(m·K),密度应不大于 95 kg/m³,真空吸水率不大于 10%。

4.2.1.3 泡沫玻璃及其制品 25℃时的热导率应不大于 0.064 W/(m·K),密度应不大于 180 kg/m³,吸水率应不大于 0.5%,成型制品的抗压强度不应小于 0.3 MPa。

4.2.1.4 阻燃型保冷材料的氧指数应不小于 30%。

4.2.1.5 保冷层材料尚应具有下列指标:

a) 最低和最高安全使用温度;

b) 线膨胀系数或线收缩率;

c) 必要时尚需提供抗折强度、燃烧(不燃、难燃、阻燃)性能、防潮(吸水、吸湿、憎水)性能、腐蚀或抗蚀性能、化学稳定性、热稳定性、抗冻性及透气性等。

4.2.2 保冷材料的选择原则

4.2.2.1 在主要技术性能均能满足保冷要求的范围内,有不同保冷层材料可供选择时,应优先选用热导率小,密度小,吸水、吸湿率低,耐低温性能好,易施工、造价低其综合经济效益较高的材料。

4.2.2.2 保冷层材料的最低安全使用温度,应低于正常操作时的介质最低温度。

4.2.2.3 在低温条件下经综合经济比较后,可选用两种或多种保冷层材料复合使用,或直接选用复合型保冷材料制品。

4.3 保冷层施工用的粘结剂、密封剂和耐磨剂

4.3.1 性能要求

4.3.1.1 粘结剂、密封剂和耐磨剂应能耐低温、易固化、对保冷层材料不溶解、对金属壁无腐蚀、粘结力强、密封性好。耐磨剂(仅泡沫玻璃用)在温度变化或机械振动的情况下,应能防止保冷层材料与金属外

壁面间和保冷层材料制品的相互接触面发生磨损。

4.3.1.2 低温粘结剂的使用温度范围为 $-196^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ 。其软化温度应大于 80°C 。在使用温度范围内,粘结强度应大于 0.05 MPa 。对于高温吹扫和双温使用的情况,粘结剂应满足使用温度的要求。

4.3.1.3 耐磨剂的使用温度范围为 $-196^{\circ}\text{C}\sim 100^{\circ}\text{C}$ 。其耐热性好,在 100°C 时无流淌及变色现象。耐寒性好,在 -196°C 下无脱落及变色现象。粘结力好,将其涂于泡沫玻璃上,干燥后无脱落现象。

4.3.2 粘结剂、密封剂和耐磨剂选择原则

4.3.2.1 粘结剂、密封剂和耐磨剂的主要技术性能,必须与所采用的保冷层材料特性相匹配。

4.3.2.2 粘结剂、密封剂和耐磨剂与保冷层材料的配用示例如下:

- a) 硬质、闭孔、阻燃型聚氨酯型泡沫塑料制品,可采用聚氨基甲酸酯型双组分粘结剂或 FG 低温粘结剂,并兼作密封剂;
- b) 自熄可发性聚苯乙烯泡沫塑料制品,可采用非溶剂型粘结剂(如无溶剂酚醛树脂型胶等),并兼作密封剂;
- c) 泡沫玻璃可采用 FG 低温粘结剂及专用的耐磨密封剂。

4.4 防潮层材料的性能要求

4.4.1 抗蒸汽渗透性好,防潮、防水力强,其吸水率应不大于 1% 。

4.4.2 阻燃,火焰离开后能在 $1\text{ s}\sim 2\text{ s}$ 内自熄,其氧指数不小于 30% 。

4.4.3 粘结性能及密封性能好, 20°C 时其粘结强度不低于 0.15 MPa 。

4.4.4 安全使用温度范围大。有一定的耐温性,软化温度不低于 65°C ,夏季不起泡,不流淌。有一定的抗冻性,冬季不开裂,不脱落。

4.4.5 化学稳定性好,其挥发物不大于 30% ,能耐腐蚀,并不得对保冷层材料及保护层材料产生溶解或腐蚀作用。

4.4.6 具有在气候变化与振动情况下仍能保持完好的稳定性。

4.4.7 干燥时间短,在常温下能使用,施工方便。

4.5 防水层材料的性能要求

应能有效防止水汽渗透、不燃或阻燃、化学稳定性好。

4.6 外保护层材料的性能要求

4.6.1 防水、防湿、抗大气腐蚀性好、不燃或阻燃、化学稳定性好。

4.6.2 强度高,在气温变化与振动情况下不开裂,使用寿命长,外表整齐美观,并便于施工和检修。

4.6.3 贮存或输送易燃、易爆物料的绝热设备或管道,以及与此类管道架设在同一支架或交叉处的其他绝热管道,其保护层材料必须采用不燃性材料。

4.6.4 外保护层表面涂料的防火性能,应符合现行国家标准、规范的有关规定。

4.7 绝热工程材料的有关规定

4.7.1 绝热工程材料必须具有产品质量证明书或出厂合格证,其规格、性能等技术要求应符合设计文件和现行各级产品标准的规定。

4.7.2 当绝热工程材料的产品质量证明书或出厂合格证中所列指标不全,或对产品(包括现场自制品)质量有异议时,以及在大、中型绝热工程施工前,应对其主要物理化学性能,或对于奥氏体不锈钢设备或管道上的绝热材料需提供氯离子含量指标要求时,应进行现场抽样,送交检验单位复检,并提供检验合格报告。

4.7.3 绝热工程材料主要物理化学性能的检验应由经过认证认可的检测单位承担,所采用的检测方法和仪器设备应符合国家有关标准的规定。

4.7.4 凡未经国家、部、省、市(局)级鉴定的新型绝热工程材料不得用于大、中型绝热工程。

5 保温计算

5.1 计算原则

5.1.1 管道和圆筒设备外径大于 1 000 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。

5.1.2 为减少散热损失的保温层其厚度应按经济厚度方法计算。

5.1.2.1 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/T 4272—2008 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。

5.1.2.2 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。

5.2 保温层厚度和散热损失的计算

5.2.1 保温层经济厚度的计算公式

a) 平面的计算公式见式(1):

$$\delta = 1.897 \times 10^{-3} \sqrt{\frac{f_n \cdot \lambda \cdot \tau (T - T_a)}{P_i \cdot S}} - \frac{\lambda}{\alpha} \dots\dots\dots(1)$$

式中:

δ ——保温层厚度,单位为米(m);

f_n ——热价,单位为元每吉焦(元/GJ);

λ ——保温材料制品热导率,对于软质材料应取安装密度下的热导率,单位为瓦每米开尔文[W/(m·K)];

τ ——年运行时间,单位为小时(h);

T ——设备和管道的外表面温度,单位为开尔文(摄氏度)[K(°C)];

T_a ——环境温度,单位为开尔文(摄氏度)[K(°C)];

P_i ——保温结构单位造价,单位为元每立方米(元/m³);

S ——保温工程投资贷款年分摊率,按复利计息: $S = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \times 100\%$;

i ——年利率(复利率);

n ——计息年数;

α ——保温层外表面与大气的换热系数,单位为瓦每平方米开尔文[W/(m²·K)]。

b) 圆筒面的计算公式见式(2):

$$D_o \ln \frac{D_o}{D_i} = 3.795 \times 10^{-3} \sqrt{\frac{f_n \cdot \lambda \cdot \tau (T - T_a)}{P_i \cdot S}} - \frac{2\lambda}{\alpha} \dots\dots\dots(2)$$

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

式中:

D_o ——保温层外径,单位为米(m);

D_i ——保温层内径,单位为米(m);

其余符号说明与式(1)相同。

5.2.2 保温层表面散热损失计算公式

a) 平面的计算公式见式(3):

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



式中:

q ——单位表面散热损失,

平面:单位为瓦每平方米(W/m^2);

管道:单位为瓦每米(W/m);

R_i ——保温层热阻,

平面:单位为平方米开尔文每瓦 $[(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}]$;

管道:单位为米开尔文每瓦 $[(\text{m} \cdot \text{K})/\text{W}]$;

R_s ——保温层表面热阻,

平面:单位为平方米开尔文每瓦 $[(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}]$;

管道:单位为米开尔文每瓦 $[(\text{m} \cdot \text{K})/\text{W}]$ 。

b) 圆筒面的计算公式见式(4):

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

5.2.3 保温层外表面温度的计算公式

a) 平面的计算公式见式(5):

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

式中:

T_s ——保温层外表面温度,单位为开尔文(摄氏度) $[\text{K}(\text{C})]$ 。

b) 圆筒面的计算公式见式(6):

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

5.3 保温计算主要数据选取原则

5.3.1 温度

5.3.1.1 表面温度 T

a) 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;

b) 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。

5.3.1.2 环境温度 T_a

a) 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;

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

d) 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。

5.3.2 表面放热系数 α

5.3.2.1 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 $11.63 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 。

5.3.2.2 在校核保温结构表面温度计算中,一般情况按 $\alpha = 1.163(6 + 3\sqrt{\omega}) \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 计算,式中 ω 为风速,单位为米每秒(m/s)。

5.3.2.3 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。

5.3.3 热导率 λ ¹⁾

保温材料制品的热导率或热导率方程应由制造厂提供并应符合 4.1.1 的要求。

5.3.4 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。

5.3.5 计息年数 n

计算期年数。一般取 10 年。

5.3.6 年利率 i

取复利。

5.3.7 热价 f_n

应按各地区、各部门的具体情况确定。

5.3.8 年运行时间 τ

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。

5.4 直埋管道保温计算

对于埋地管道保温可参照 CJJ 104—2005 的 5.2 进行计算。

6 保冷计算

6.1 保冷计算原则

6.1.1 为减少冷量损失(热量吸入)并防止外表面凝露的保冷,采用经济厚度法计算保冷层厚度,以热平衡法校核其外表面温度,该温度应高于环境的露点温度,否则加厚重新核算,直至满足要求。

6.1.2 为防止外表面凝露的保冷,采用表面温度法计算保冷层厚度。

6.1.3 工艺上允许冷损失量的保冷,采用热平衡法计算保冷层厚度,并校核其外表面温度。该温度应高于环境的露点温度,否则加厚重新核算,直至满足要求。

6.1.4 公称直径大于 1 000 mm 的管道和圆筒形设备,按平面绝热计算公式计算;公称直径等于或小于 1 000 mm 时,则按圆筒面绝热计算公式计算;球形容器则按球形容器绝热计算公式计算。

6.1.5 在同一管道或设备上采用一种保冷材料保冷时,按单层绝热计算公式计算;采用两种保冷材料保冷时,则按双层绝热计算公式计算(复合预制品除外),双层保冷层的层间间面温度(即内层保冷层外表面温度)应不低于其相邻外层保冷材料的最低安全使用温度。

6.2 保冷层厚度计算

6.2.1 保冷层的经济厚度计算

a) 平面的计算公式见式(7):

$$\delta = 1.897 \times 10^{-3} \sqrt{\frac{f_n \cdot \lambda \cdot \tau (t - t_a)}{P_i \cdot S}} - \frac{\lambda}{\alpha_s} \dots\dots\dots (7)$$

式中:

δ ——保温层厚度,单位为米(m);

f_n ——热价,单位为元每吉焦(元/GJ);

λ ——保冷材料制品在使用温度下的热导率,单位为瓦每米开尔文[W/(m·K)];

τ ——年运行时间,单位为小时(h);

t_a ——环境温度,单位为摄氏度(°C);

t ——设备和管道的外表面温度,单位为摄氏度(°C);

1) 一般试验室均将材料烘干至恒重后再进行测试,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热导率 λ_p ,代替试验室测出的 λ 值。

α_s ——保冷层外表面与大气的换热系数,单位为瓦每平方米开尔文[W/(m²·K)];

P_i ——保冷结构单位造价,单位为元每立方米(元/m³);

S ——保冷工程投资贷款年分摊率。按复利计息:

$$S = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \times 100\%$$

i ——年利率(复利率);

n ——计息年数。

b) 圆筒面的计算公式见式(8):

$$D_o \ln \frac{D_o}{D_i} = 3.795 \times 10^{-3} \sqrt{\frac{f_n \cdot \lambda \cdot \tau(t-t_s)}{P_i \cdot S}} - \frac{2\lambda}{\alpha_s} \dots\dots\dots(8)$$

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

式中:

D_o ——保温层外径,单位为米(m);

D_i ——保温层内径,单位为米(m)。

6.2.2 防止表面凝露的保冷层厚度计算

a) 平面单层保冷层:

$$\delta = \frac{\lambda(t_s - t)}{\alpha_s(t_a - t_s)} \dots\dots\dots(9)$$

式中:

δ ——单层保冷层厚度或双层保冷层总厚度,单位为米(m);

λ ——单层保冷层材料制品在使用温度下的热导率,单位为瓦每米开尔文[W/(m·K)];

t ——金属管道、圆筒形设备及球形容器壁的外表面温度,单位为摄氏度(°C);

t_a ——单层保冷层外表面温度或双层保冷层第二层(外层)外表面温度,单位为摄氏度(°C);

t_s ——保冷层外表面温度,单位为摄氏度(°C)。

b) 平面双层保冷层:

保冷层总厚度:

$$\delta = \frac{\lambda_1(t_1 - t) + \lambda_2(t_s - t_1)}{\alpha_s(t_a - t_s)} \dots\dots\dots(10)$$

式中:

λ_1 ——第一层保冷层材料制品在使用温度下的热导率,单位为瓦每米开尔文[W/(m·K)];

λ_2 ——第二层保冷层材料制品在使用温度下的热导率,单位为瓦每米开尔文[W/(m·K)];

t_1 ——第一层(内层)保冷层外表面温度,第一、二层保冷层间界面温度,单位为摄氏度(°C)。

保冷层各层厚度:

第一层(内层):

$$\delta_1 = \frac{\lambda_1(t_1 - t)}{\alpha_s(t_a - t_s)} \dots\dots\dots(11)$$

第二层(外层):

$$\delta_2 = \frac{\lambda_2(t_s - t_1)}{\alpha_s(t_a - t_s)} \dots\dots\dots(12)$$

c) 圆筒面单层保冷层:

$$\frac{D_1}{D_o} \ln \frac{D_1}{D_o} = \frac{2\lambda(t_s - t)}{D_o \cdot \alpha_s(t_a - t_s)} \dots\dots\dots(13)$$

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

式中：

D_o ——管道、圆筒形设备或球形容器的外径，单位为米(m)；

D_1 ——管道、圆筒形设备或球形容器单层保冷层的外径，或第一层(内层)保冷层外径，单位为米(m)。

d) 圆筒面双层保冷层：

保冷层的总厚度：

$$\frac{D_2}{D_o} \ln \frac{D_2}{D_o} = \frac{2[\lambda_1(t_1 - t) + \lambda_2(t_s - t_1)]}{D_o \cdot \alpha_s(t_s - t_s)} \dots\dots\dots(14)$$

$$\delta = \frac{D_o}{2} \left(\frac{D_2}{D_o} - 1 \right)$$

式中：

D_2 ——第二层(外层)保冷层外径，单位为米(m)。

保冷层各层厚度：

第一层(内层)：

$$\frac{D_1}{D_o} \ln \frac{D_1}{D_o} = \frac{2\lambda_1(t_1 - t)}{D_o \cdot \alpha_s(t_s - t_s)} \dots\dots\dots(15)$$

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

第二层(外层)：

$$\frac{D_2}{D_o} \ln \frac{D_2}{D_o} = \frac{2\lambda_2(t_s - t_1)}{D_o \alpha_s(t_s - t_s)} \dots\dots\dots(16)$$

$$\delta = \frac{D_o}{2} \left(\frac{D_2}{D_o} - 1 \right)$$

6.2.3 控制允许损失量的保冷层厚度计算

a) 平面单层保冷层：

$$\delta = \lambda \left(\frac{t - t_a}{q_p} - \frac{1}{\alpha_s} \right) \dots\dots\dots(17)$$

或

$$\delta = \lambda \left(\frac{t - t_a}{q_p} - R_2 \right) \dots\dots\dots(18)$$

式中：

q_p ——平面保冷层单位冷损失，单位为瓦每平方米(W/m²)；

R_2 ——平面保冷层对周围空气的吸热阻，单位为平方米开尔文每瓦[(m²·K)/W]。

b) 平面双层保冷层：

$$\delta_1 = \lambda_1 \left(\frac{t - t_a}{q_p} - \frac{\delta_2}{\lambda_2} - \frac{1}{\alpha_s} \right) \dots\dots\dots(19)$$

或

$$\delta_1 = \lambda_1 \left(\frac{t - t_a}{q_p} - \frac{\delta_2}{\lambda_2} - R_2 \right) \dots\dots\dots(20)$$

c) 圆筒面单层保冷层：

$$\ln \frac{D_1}{D_o} = 2\pi\lambda \left(\frac{t - t_a}{q_l} - \frac{1}{\pi D_o \alpha_s} \right) \dots\dots\dots(21)$$

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

或

$$\ln \frac{D_1}{D_2} = 2\pi\lambda \left(\frac{t - t_s}{q_L} - R_1 \right) \dots\dots\dots (22)$$

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

式中：

q_L ——圆筒面保冷层单位冷损失，单位为瓦每米(W/m)；

R_1 ——圆筒面保冷层对周围空气的吸热阻，单位为米开尔文每瓦[(m·K)/W]。

d) 圆筒面双层保冷层：

$$\ln \frac{D_1}{D_0} = 2\pi\lambda_1 \left(\frac{t - t_s}{q_L} - \frac{1}{2\pi\lambda_2} \ln \frac{D_2}{D_1} - \frac{1}{\pi D_1 \alpha_s} \right) \dots\dots\dots (23)$$

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

或

$$\ln \frac{D_1}{D_0} = 2\pi\lambda_1 \left(\frac{t - t_s}{q_L} - \frac{1}{2\pi\lambda_2} \ln \frac{D_2}{D_1} - R_1 \right) \dots\dots\dots (24)$$

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

6.2.4 球形容器保冷层厚度计算

$$\frac{D_1}{D_0} \delta = \frac{\lambda(t - t_s)}{\alpha_s(t_s - t_a)} \dots\dots\dots (25)$$

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

注：保冷层厚度应按每一档为 10 mm 取整，如 10, 20, 30, 40, 50, …。

6.3 保冷层冷损失量计算

6.3.1 平面保冷层冷损失量计算

a) 单层保冷层：

$$q_p = \frac{t - t_a}{\frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_s}} \dots\dots\dots (26)$$

b) 双层保冷层：

$$q_p = \frac{t - t_a}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_s}} \dots\dots\dots (27)$$

6.3.2 圆筒面保冷层冷损失量计算

a) 单层保冷层：

$$q_L = \frac{2\pi(t - t_a)}{\frac{1}{\lambda} \ln \frac{D_1}{D_0} + \frac{2}{D_1 \alpha_s}} \dots\dots\dots (28)$$

b) 双层保冷层：

$$q_L = \frac{2\pi(t - t_a)}{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{D_1}{D_0} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{D_2}{D_1} + \frac{2}{D_2 \alpha_s}} \dots\dots\dots (29)$$

6.3.3 球形容器保冷层冷损失量计算

单层保冷层

$$Q = \pi \cdot D_1^2 \cdot \alpha_s (t_s - t_a) \dots\dots\dots (30)$$

式中：

Q ——每台球形容保冷层表面冷量总损失，单位为瓦每台(W/台)。

6.4 保冷层外表面温度计算

6.4.1 平面保冷层外表面温度计算

a) 单层保冷层：

$$t_s = \frac{\lambda + \delta \alpha_s}{\lambda + \delta \alpha_s} \dots\dots\dots (31)$$

或

$$t_s = t - q_p \left(\frac{\delta}{\lambda} \right) \dots\dots\dots (32)$$

b) 双层保冷层：

$$t_s = t - q_p \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} \right) \dots\dots\dots (33)$$

或

$$t_1 = t - q_p \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} \right) \dots\dots\dots (34)$$

$$t_s = t_1 - q_p \left(\frac{\delta_2}{\lambda_2} \right) \dots\dots\dots (35)$$

6.4.2 圆筒面保冷层外表面温度计算

a) 单层保冷层：

$$t_s = t - \frac{q_L}{2\pi} \left(\frac{1}{\lambda} \ln \frac{D_1}{D_0} \right) \dots\dots\dots (36)$$

b) 双层保冷层：

$$t_s = t - \frac{q_L}{2\pi} \left(\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{D_1}{D_0} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{D_2}{D_1} \right) \dots\dots\dots (37)$$

或

$$t_1 = t - \frac{q_L}{2\pi} \left(\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{D_1}{D_0} \right) \dots\dots\dots (38)$$

$$t_s = t_1 - \frac{q_L}{2\pi} \left(\frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{D_2}{D_1} \right) \dots\dots\dots (39)$$

6.4.3 球形容器保冷层外表面温度计算

$$t_s = t_a + \frac{Q}{\alpha_s \cdot \pi \cdot D_1^2} \dots\dots\dots (40)$$

6.5 冷收缩量计算

6.5.1 根据保冷层材料与保冷设备或管道的线膨胀系数，分别算出其在保冷温度下的冷收缩量，在低温保冷工程中应根据这些收缩量之间的差值情况，于保冷层上合理设置伸缩缝。

6.5.2 每米管道或保冷层材料在保冷温度下的收缩量计算

$$\Delta L = \beta L_1 (t_a - t_m) \dots\dots\dots (41)$$

式中：

ΔL ——线膨胀量，单位为毫米(mm)；

β ——物体的线膨胀系数，单位为每摄氏度($^{\circ}\text{C}^{-1}$)；

L_1 ——管道或保冷层材料在常温下的长度，单位为毫米(mm)；

t_m ——管道或保冷层材料的平均温度，单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$)；

t_a ——环境温度，单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$)。

6.6 保冷计算主要数据选取原则

6.6.1 经济厚度法计算的数据

- a) 外表面温度 t (°C)
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 t_f (°C)。
- b) 环境温度 t_a (°C)
常年运行者, 取历年之年平均温度的平均值; 季节性运行者, 取累年运行期日平均温度的平均值。
- c) 表面换热系数 α_s [W/(m²·K)]
保冷结构外表面对周围空气的换热系数 α_s 。
当须核算表面温度时,
并排敷设: $\alpha = 7 + 3.5\sqrt{\omega}$
单根敷设: $\alpha = 11.63 + 7\sqrt{\omega}$
式中 ω 为风速, 取历年年平均风速 (m/s)。
- d) 计息年数 n
一般取 4~6 年。
- e) 年利率 i
取 10% (复利)
- f) 热价 f_n (元/GJ)
按不同地区、不同制冷规模的具体情况来确定。
- g) 年运行时间 τ (h)
常年运行一般按 8 000 h 计算; 间隙或季节性运行按设计或实际规定的天数计。

6.6.2 表面温度法计算的数据

- a) 外表面温度 t (°C)
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 t_f 。
- b) 环境温度 t_a (°C)
取累年夏季空调室外干球计算温度。
- c) 露点温度 t_d (°C)
露点温度 t_d 应取累年室外最热月月平均相对湿度, 与本条 b) 中环境温度 t_a 的取值相对应的露点温度。
- d) 保冷层外表面温度 t_s (°C)
取 $t_s = t_d + (1 \sim 3)^\circ\text{C}$
对于聚氨酯泡沫塑料, 当 $\Delta t = (t_a - t_d) \leq 2^\circ\text{C}$ 时取下限; $\Delta t \geq 4^\circ\text{C}$ 的取上限。
- e) 保冷层层间界面温度 t_1 (°C)
双层保冷层内外层层间界面温度 (即内层保冷层外表面温度) t_1 , 应不低于其相邻外层保冷材料的最低安全使用温度。
- f) 表面换热系数 α_s , 一般取值为 8.14 W/(m²·K)
保冷层外表面对周围空气的换热系数 α_s 。
- g) 热导率 λ [W/(m·K)]
保冷材料热导率 λ , 应按其使用温度进行修正。

6.6.3 热平衡法计算的数据

- a) 表面温度 t 、环境温度 t_a 、露点温度 t_d 、保冷层层间界面温度 t_1 、保冷材料热导率 λ 及保冷层外表面换热系数 α_s 等数据的选取原则, 与表面温度计算法相同。

b) 核算保冷层外表面温度 t_s 的有关数据,与 6.6.2 表面温度法计算的数据相同。

7 绝热结构

7.1 绝热结构

绝热结构由内至外,由防锈层、绝热层、防潮层(或称阻汽层)、保护层、防腐蚀层及识别层组成。防腐层可以兼作识别层,在保温结构中保护层可以兼作防潮层。绝热结构的设计应符合绝热效果好、施工方便、防火、耐久、美观等。

7.2 防锈层

凡碳钢和铁素体合金钢管道、设备及其附件的外表面,在清浄后应涂刷防锈层。不锈钢、有色金属及非金属材料的管道、设备及其附件的外表面,在清浄后不需涂刷防锈层。

7.3 绝热层

有粘结、浇注、喷涂、充填及多层复合等结构,是决定绝热效果好坏最关键的一层。要求材料的技术性能及厚度必须符合设计规定,且厚薄均匀,接缝严实、紧固合理,松紧适度,外形完整无缺,确保绝热效果良好。当厚度大于 80 mm 时,必须分层施工。

7.4 防潮层

防潮层是确保保冷层绝热效果良好的重要一层。防潮层有粘贴、涂膜及包缠等结构。要求防潮层搭接适度、厚薄均匀、完整严密,无气孔,无鼓泡或开裂等缺陷。应具有阻燃、防水、防蒸汽渗透及抗老化等性能。

7.5 防水层

防水层是确保保温层绝热效果良好的重要一层。应能有效防止水汽渗透、不燃或阻燃、化学稳定性好。

7.6 保护层

保护层有金属及非金属结构,是绝热结构的外护层。保护防潮层和保冷层不受机械损伤和室外雨、雪、风、雹等的冲刷和压撞。要求保护层必须严密、防水、防湿、能抗大气腐蚀和光照老化、不燃或阻燃、黑度小、容量轻、不开裂、有足够的机械强度、使用寿命长、并能使保冷结构外形整齐美观。

7.7 防腐蚀及识别层

在保护层外表面可根据需要涂刷防腐漆,其最外层可采用不同颜色的防腐漆或制作相应色标,用以识别管道及设备内外介质类别和流向,故防腐层可兼作识别层。

8 绝热工程的主要施工技术要求

8.1 保温工程

8.1.1 保温层

8.1.1.1 设备、直管道、管件等无需检修处宜采用固定式保温工程,法兰、阀门、人孔等处宜采用可拆卸式的保温工程。

8.1.1.2 保温厚度宜按 10 mm 为分级单位。保温层设计厚度大于 80 mm 时,保温结构宜按分层考虑;内外层应彼此错开。

8.1.1.3 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。

8.1.1.4 保温层的支撑及紧固:

a) 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 m~6 m。

- b) 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。
- c) 保温层应采取适当措施进行紧固。

8.1.2 保护层

- 8.1.2.1 保护层应具有保护保温层和防水的性能。
- 8.1.2.2 一般金属保护层应采用 0.3 mm~0.8 mm 厚的镀锌薄钢板或防锈铝板制成外壳,壳的接缝必须搭接以防雨水进入。
- 8.1.2.3 玻璃布保护层一般在室内使用。纤维水泥类抹面保护层不得在室外使用。
- 8.1.2.4 可采用其他已被确认可靠的新型外保护层材料。

8.2 保冷工程

8.2.1 保冷层

- 8.2.1.1 保冷层厚度应符合设计规定,保冷层设计厚度大于 80 mm 时,保冷结构宜按分层考虑;内外层应彼此错开。当分层施工时应逐层紧固。
- 8.2.1.2 保冷层施工时,应同层错缝,上下层盖缝。其接缝应以粘结剂、密封剂填实、挤紧、刮平、粘牢、密封,接缝宽度不得大于 2 mm。
- 8.2.1.3 保冷工程的金属固定件不得穿透保冷层。
- 8.2.1.4 保冷工程的支、吊、托架等处应采用硬质隔热垫块,或采用经防潮防蛀处理后的硬质木垫块支承。
- 8.2.1.5 采用聚氨酯泡沫塑料现场浇注或喷涂作保冷层时,在正式浇注或喷涂之前,必须按各项技术要求预先进行试浇或试喷。
- 8.2.1.6 保冷箱充填保冷层结束后,必须密封缝口,并进行充气试漏检验。
- 8.2.1.7 伸缩缝的预留应符合下列规定:
 - a) 双层或多层保冷层各层之间伸缩缝的位置必须错开,错开距离不宜大于 100 mm;
 - b) 弯头两端长直管段保冷层上可各留一道伸缩缝。当两弯头之间的间距很小时,其直管段保冷层上的伸缩缝可根据介质温度确定仅留一道或不留设;
 - c) 在卧式设备的筒体保冷层上距连接 100 mm~150 mm 处,均应留一道伸缩缝;
 - d) 立式设备及垂直管道,应在其保冷层的支承环下面留设 25 mm 宽的伸缩缝;
 - e) 球形容器应按设计规定留设伸缩缝;
 - f) 保冷层伸缩缝,应用软质泡沫塑料条填塞严密,或挤入发泡型粘结剂。外面用 50 mm 宽的不干性胶带粘贴密封。伸缩缝还必须再保冷。
- 8.2.1.8 在下列情况之一下,必须按膨胀移动方向的另一侧留出适当的膨胀间隙:
 - a) 填料式补偿器和波纹补偿器;
 - b) 当滑动支架高度小于保冷层厚度时;
 - c) 保冷结构与墙、梁、栏杆、平台、支撑等固定构件及管道所通过的孔洞之间。

8.2.2 防潮层

- 8.2.2.1 防潮层室外施工应避免在雨、雪中进行。
- 8.2.2.2 涂抹型防潮层的外表面应平整、均匀、严密,其厚度应达到设计规定。
- 8.2.2.3 包扎型防潮层,其包扎材料的接缝搭接宽度应不小于 50 mm,搭接处必须粘密实。卧式设备

及水平管道的纵向接缝位置应在两侧搭接,缝口朝下。立式设备和垂直管道的环向接缝应是“上搭下”。粘贴方式可采用螺旋型缠绕或平铺。

8.2.3 保护层

8.2.3.1 金属保护层应采用厚 0.3 mm~0.8 mm 的镀锌薄钢板,或厚度为 0.5 mm~1 mm 的防锈铝板制成护壳。大型设备的金属保护层应采用波型或槽型金属护壳板装配成壳。金属护壳的结构及紧固形式,必须满足保冷层伸缩缝和膨胀间隙的要求。金属护壳的接缝应搭接或咬接,紧固金属护壳时,严禁刺破防潮层。

8.2.3.2 在酸碱环境下可采用阻燃型非金属防腐材料作防护层。



附录 A
(规范性附录)
保温层厚度的计算方法

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(无节点)管道

A.1.1 当 $\frac{T_1 - T_n}{T_2 - T_n} > 2$ 时:

$$\ln \frac{D_o}{D_i} = 2\pi\lambda \left(\frac{L_c}{q_m \cdot C \cdot \ln \frac{T_1 - T_n}{T_2 - T_n}} - \frac{1}{\pi D_o \alpha} \right) \dots\dots\dots (A.1)$$

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

A.1.2 当 $\frac{T_1 - T_n}{T_2 - T_n} < 2$ 时:

$$\ln \frac{D_o}{D_i} = 2\pi \left(\frac{L_c (T_m - T_n)}{q_m \cdot C (T_1 - T_2)} - \frac{1}{\pi D_o \alpha} \right) \dots\dots\dots (A.2)$$

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

$$L_c = K_r \cdot L \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

- T_1 ——管道 1 点处的介质温度,单位为开尔文(摄氏度)[K(°C)];
- T_2 ——管道 2 点处的介质温度,单位为开尔文(摄氏度)[K(°C)];
- L_c ——管道计算长度,单位为米(m);
- K_r ——管道通过吊架处热损失附加系数;
- L ——管道实际长度,单位为米(m);
- T_m ——算术平均温度,单位为开尔文(摄氏度)[K(°C)];
- q_m ——介质质量流量,单位为千克每小时(kg/h);
- C ——介质热容,单位为焦每千克开尔文[J/(kg·K)]。

A.2 有分支(有节点)管道

节点处温度按式(A.4)计算:

$$T_c = T_{c-1} - (T_i - T_n) \frac{L_{c-1 \rightarrow c}}{\sum_{i=2}^n \frac{L_{i-1 \rightarrow i}}{q_{m-1 \rightarrow i}}} \dots\dots\dots (A.4)$$

式中:

- T_c, T_{c-1} ——分别为节点 c 与前一节点 $c-1$ 处的温度, K(°C);
- T_i ——管道起点的温度,单位为开尔文(摄氏度)[K(°C)];
- T_n ——管道终点的温度,单位为开尔文(摄氏度)[K(°C)];
- $L_{c-1 \rightarrow c}$ ——节点 c 与前一节点 $c-1$ 之间的管段长度,单位为米(m);
- $L_{i-1 \rightarrow i}$ ——节点 i 与前一节点 $i-1$ 之间的管段长度,单位为米(m);
- $q_{m-1 \rightarrow c}$ —— $c-1$ 与 c 两点之间管道介质质量流量,单位为千克每小时(kg/h);
- $q_{m-1 \rightarrow i}$ ——任意点 i 与前一节点 $i-1$ 之间介质质量流量,单位为千克每小时(kg/h)。

附 录 B
(规范性附录)
保温层厚度的计算方法

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。

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

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

式中：

- K_r ——管道通过吊架处热损失附加系数；
- t_{fr} ——介质在管道内防止冻结停留时间，单位为小时(h)；
- T_{fr} ——管道内介质的冻结温度，单位为摄氏度(℃)；
- V, V_p ——分别为介质体积和管壁体积，单位为立方米(m³)；
- ρ, ρ_p ——分别为介质密度和管材密度，单位为千克每立方米(kg/m³)；
- c, c_p ——分别为介质热容和管材热容，单位为焦每千克开尔文[J/(kg·K)]；
- H_{fr} ——介质融解热，单位为焦(J)。

附 录 C

(规范性附录)

不同材料双层保温厚度的计算方法

- 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。
-