

设备及管道保温优化设计方法及计算程序

山东工业大学 田茂诚 程林
中科院力学所 方铎荣

摘要:

对现有计算保温层经济厚度的公式进行修正,提出计算经济厚度的数学模型,编制了优选保温材料和计算经济厚度的计算机程序,对不同模型的计算结果进行了分析比较。

一、前言

能源供应日益紧张要求节能,保温是节能的重要途径之一。保温技术的关键是优选保温材料和确定最佳保温层厚度。在保温设计中,保温层厚度一般选择原则是在满足散热损失不超过允许热损和保温结构外表面温度不高于规定温度的情况下,根据技术经济分析来确定经济厚度。

一般工程技术人员在工程设计时,通常参考《动力设施标准图集 R410—2》中表格来选取保温层经济厚度。但制表所用的计算经济厚度的公式为了计算的简单做了一些简化。另外标准推荐的表格是在一定的输入参数下获得的。但这些输入参数(如能源价格、材料价格、环境条件等)随时间推移、地点的不同是不断变化的。这就给实际选择保温层的最优厚度带来困难。

现在计算机已进入各行各业。对于优选保温材料及计算经济厚度这样十分复杂及烦琐的计算,若建立数学模型编程上机计算在几分钟之内可以将问题迎刃而解。

二、优化设计的原理

众所周知:增加保温层厚度虽可以降低散热损失,但需增加保温结构的费用。因此,在确定保温厚度时,需进行技术经济比较,选择一个最佳厚度。优化设计需要建立一个以经济性为约束条件的目标函数,目前国内普遍公认的原理为“年费用最小原理”(1)。图一定性说明了优化设计的方法。A 为热损费用,B 为保温结构投资费用,C 为整个保温系统年总费用。则 δ_0 为这种材料最优保温层厚度, C_0 为最小年费用。对于不同保温材料,则有不同 A、B、C 曲线,则对应有不同的最小年费用 C_0 ,其中最小 C_0 对应的保温材料为最优保温材料。

对于各种情况下设备与管道保温的优化设计方法,国内外发表了许多文献[2,3,4],但这些方法有些为了计算简单作了某些简化,另外这些方法的使用范围有一定的局限性。

为此,我们提出一个通用数学模型,这个模型可适用于:设备和管道、室外和室内、架空、有沟敷设和无沟敷设管道。对大多数保温问题,都能很快地计算出最优保温厚度。

三、优化设计的数学模型

1、传热模型

设备(平板)和输热管道保温后截面如图二、图三所示。在工程范围内,我们做如下假定:

(1)传热是稳态并且无内热源;(2)热流方向是一维的;(3)壁面与保温材料之间的接触热阻忽略;(4)忽略热介质与管壁的换热热阻和金属壁面的导热热阻。($R_1=0, R_2=0$)。

对于设备(平板)一般用单位面积传热量 Q_F 表示散热损失:

$$Q_F = \frac{t_1 - t_2}{\frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

式中: $\lambda = \lambda_0 [1 + \frac{b}{2}(t_1 + t_2)]$; $\alpha_2 = \alpha_c + \alpha_r$

其中 α_c 为对流换热系数; α_r 为辐射换热系数。

$$\alpha_c = \lambda_1 \cdot N_u / L$$

对于强迫对流: $N_u = 0.664Pr^{0.33} \cdot Re^{0.5}$.

对于自然对流:

$$N_u = 0.59(Gr \cdot Pr)^{0.25} \quad \text{竖平板 } 10^4 < Gr \cdot Pr < 10^9.$$

$$N_u = 0.1(Gr \cdot Pr)^{0.33} \quad \text{竖平板 } 10^9 < Gr \cdot Pr < 10^{10}.$$

$$N_u = 0.54(Gr \cdot Pr)^{0.25} \quad \text{水平板面朝上 } 10^5 < Gr \cdot Pr < 10^7.$$

$$N_u = 0.14(Gr \cdot Pr)^{0.33} \quad \text{水平板面朝上 } 2 \times 10^7 < Gr \cdot Pr < 3 \times 10^{10}.$$

$$N_u = 0.27(Gr \cdot Pr)^{0.25} \quad \text{水平板面朝下 } 3 \times 10^5 < Gr \cdot Pr < 3 \times 10^{10}.$$

$$\alpha_r = \epsilon \sigma_0 (T_p^2 + T_a^2) \cdot (T_p + T_a)$$

对于管道, 一般用单位长度的传热量 Q_L 来表示散热损失.

$$Q_L = \frac{(t_i - t_a)}{\frac{1}{2\pi\lambda} \ln\left(\frac{1+2\delta}{d_2}\right) + R_i}$$

R_i 的计算方法如下:

$$\text{对于无沟敷设管道, } R_i \text{ 为土壤热阻; } R_i = \frac{1}{2\pi\lambda_c} \ln\left[\frac{2h}{d_3} + \sqrt{\left(\frac{2h}{d_3}\right)^2 - 1}\right]$$

对于架空及有沟敷设管道, R_i 按下式计算:

$$R_i = 1/[\pi d_3(\alpha_a + \alpha_r)]$$

式中: α_r 计算公式同上; α_a 计算公式为: $\alpha_a = \lambda_1 \cdot N_u/d$

对于强迫对流(室外):

$$N_u = (0.43 + 0.5Re^{0.5})Pr^{0.38} \quad 1 < Re < 10^3$$

$$N_u = 0.25Re^{0.6}Pr^{0.38} \quad 10^3 < Re < 2 \times 10^5$$

对于自然对流(室内): $N_u = 1.18(Gr \cdot Pr)^{1/8} \quad 10^{-3} < Gr \cdot Pr < 5 \times 10^7$

$$N_u = 0.53(Gr \cdot Pr)^{1/4} \quad 5 \times 10^7 < Gr \cdot Pr < 2 \times 10^9$$

$$N_u = 0.135(Gr \cdot Pr)^{1/3} \quad 2 \times 10^9 < Gr \cdot Pr < 10 \times 10^{12}$$

2、经济模型

保温结构总费用包括保温结构的年回收费(折旧费)、保温结构年运行维修费和保温后年散热损失费。

$$C = S \cdot a \cdot V + P \cdot C_m + f_a \cdot h \cdot Q \times 3600 \times 10^{-6}$$

式中: C —总年费用; S —一年投资偿还率, $S = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$, n —计算年限, i —一年利率; a —保温结构价格, v —保温结构的体积; P —平均每年维修费用系数, $P = [(1+i_1)^n - 1]/(i_1 \cdot n)$, 其中, i_1 —维修费用年增加率; C_m —第一年维修费用; f_a —热价; h —一年运行时间; Q —热损;

四、计算方法

为了便于计算机计算, 需把空气的物性参数的数据表拟合成曲线方程。根据上面的数学模型, 我们编制了优选保温材料和计算最优保温层厚度的计算机程序, 程序流程图见附录。

五、不同模型计算结果比较

图 4 为在相同输入参数下, 由《动力设施标准图集 R411-1》查得数据和采用我们采用的数学模型通过计算机计算的结果对比图。通过比较我们发现两者计算结果有些差别。这主要是由于《全国动力设施标准图集》在计算保温经济厚度时, 保温材料导热系数和保温结构的表面散热系数为了计算简单而作为常数处理, 另外保温结构的维修管理费用也没有考虑。

参考文献:

- 汪训昌: 供暖管网的经济保温厚度与经济评价, 《民用建筑节能设计准则》专题报告。
- Gerard F Jones, "Optimal Insulation for Solar Heating Systems", Proceeding of the 1978 Annual Meeting. Vol 2. 1 P87.
- 方铎荣等, 输热管道与储热箱的最优化隔热设计方法及程序, 能源出版社, 1984。
- 全国通用建筑标准设计《动力设施标准图集 R410-2》。

5. 杰姆斯·苏赛克,《传热学》,俞佐平等译,人民教育出版社,1980.
 6. 杨世铭,《传热学》,人民教育出版社.

附录:

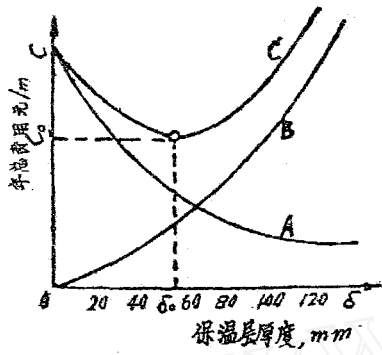
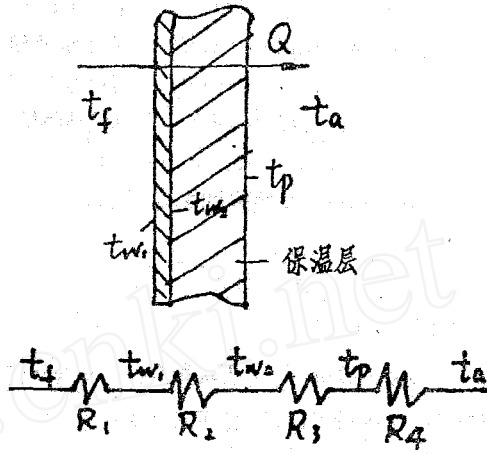
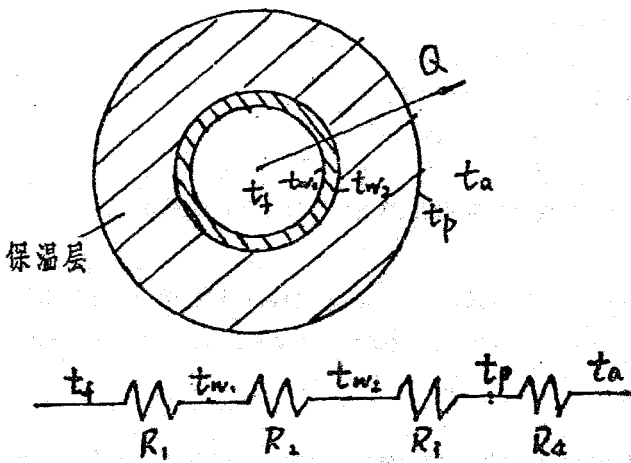


图1 保温优化设计原理图



图二 保温平板传热模型



图三 保温管道传热模型

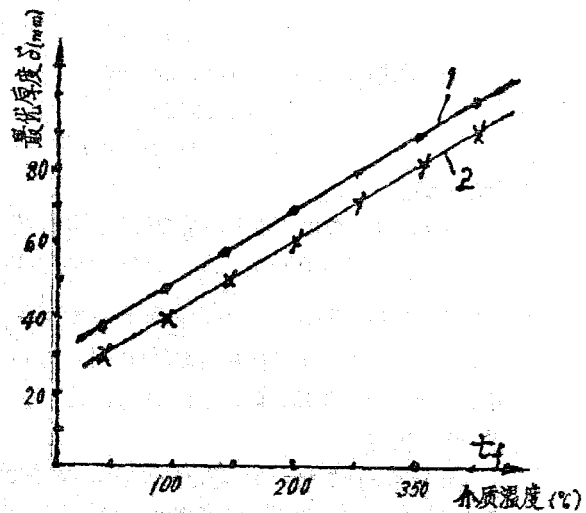


图4 $\phi 89$ 管道最优保温厚度

计算机程序流程图

