

化工设备与管道保温层的经济厚度

田茂诚 程 林 伦 宁 方铎荣

(山东工业大学动力系) (山东省卫生干部学校) (中科院力学所)

摘要 在建立数学模型、编制了保温层经济厚度计算程序的基础上,对各种因素(如能源价格、保温材料价格、物性参数、环境条件等)的变化对保温层经济厚度的影响情况进行了分析研究,对现有标准设计参数表进行某些修正,扩大了其应用范围,这些对设备及管道保温设计具有实际指导意义。

关键词 化工设备 管道 厚度 保温

1 前言

保温设计和保温工程技术改造时,关键问题就是选择最佳保温层厚度。最佳保温层厚度一般按“年费用最小原理”来计算。但计算时一些输入参数存在着某种程度的不确定性,往往只能在其可能变动的范围内取一个估计值。为了研究这种估计值对最优厚度的可靠性带来多大影响,哪些因素影响小,可以放宽其精确尺度,哪些因素影响大,应仔细谨慎地确定其估计值,需对各因素对最优保温厚度的影响作出分析。另外,现在工程人员在保温设计时,往往根据《动力设施标准图集 R410-2》中参数表来选择保温层厚度。但参数表是在一定输入参数下制定的。由于时间的推移和各地地理、经济、交通等多方面的差异,制表条件下的输入参数与我们实际参数不符。为了充分利用参数表,我们可以进行适当修正。这也需要对影响保温层最优厚度的各种因素进行分析。

基于上述考虑,我们在建立数学模型,编制最优保温层厚度计算程序的基础上,对影响最优保温层厚度的主要因素进行了分析。

2 传热温差(热介质与环境温度之差)对经济厚度的影响

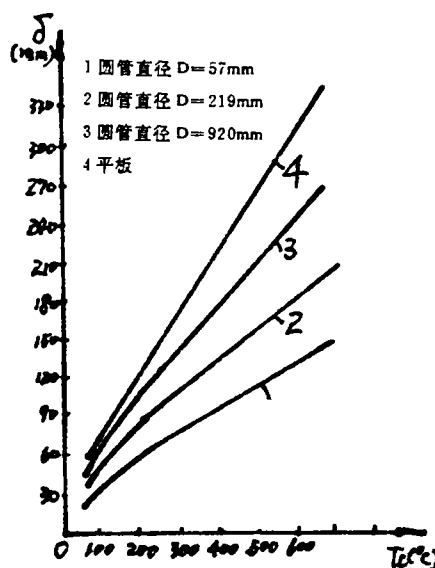


图1 载热体温度对最优保温厚度的影响

由图1、图2可以看到,当热介质温度增加或者环境温度降低也就是传热温差增大时,热损失增加,因此最优保温厚度要增加。当传热温差较大时(一般 $\Delta T > 100^\circ\text{C}$),不管平板还是圆管,最优保温厚度随传热温差的变化近似线性关系。对于相同的传热温差变化,大管径的最优保温层厚度改变要比小管径的大。

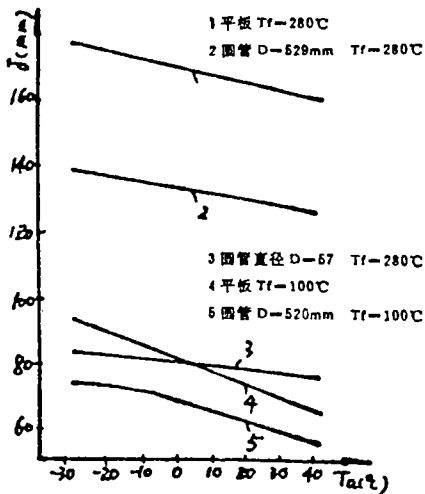


图2 环境温度对最优保温厚度的影响

在设计计算时,传热温差一般给定。对于长距离输热管道,由于介质进口和出口温差较大,保温厚度可以设计成阶梯状,随传热温差减少,保温层厚度递减。

3 保温材料的物性对最优保温层厚度的影响

在保温设计中,要对保温材料容重、耐高温性、耐水性、导热系数等物性参数作出综合考虑。在优化设计计算中,对最优保温厚度影响最大的是保温材料的导热系数,下面仅对导热系数的影响作出分析。图3是不同管径、不同传热温差下,最优保温厚度随导热系数变化曲线。从图中我们可以看到:

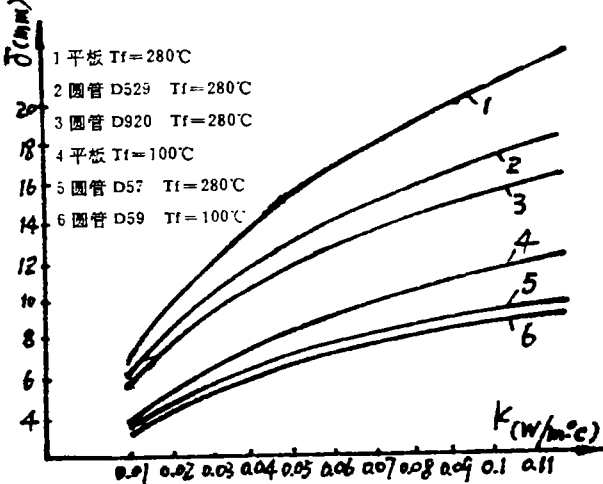


图3 保温材料导热系数对最优保温厚度的影响

(1) 导热系数对最优保温厚度影响非常敏

感(例如对平板 $t_f = 280^\circ\text{C}$, $k = 0.04$ 时,当 k 增加 $0.01\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$ 时,最优保温厚度增加 13.2% ,年费用增加 10.2%)。

(2) 不管平板还是圆管,最优保温厚度随导热系数变化大致按抛物线规律变化。

(3) 管径越大,传热温差越大,导热系数对最优保温厚度影响幅度越大。

由分析可知:在其他条件相似时,应尽量选用导热系数较小的保温材料。但是一般来说,材料导热系数越小,其材料价格越贵(材料价格影响后面将讨论),因此选择保温材料应综合考虑。研制价格便宜、导热系数小的材料也是保温材料发展的方向。

4 经济因素对最优保温层厚度的影响

经济因素包括材料价格、能源价格、保护层费用、维修费用、系统寿命期、银行利率等。各种经济因素一般要受到地理条件、交通运输、以及技术等条件的制约,在确定各经济因素时,要做大量而细致的调查工作。下面讨论能源价格、材料价格、系统寿命期三个比较主要的经济因素的影响。

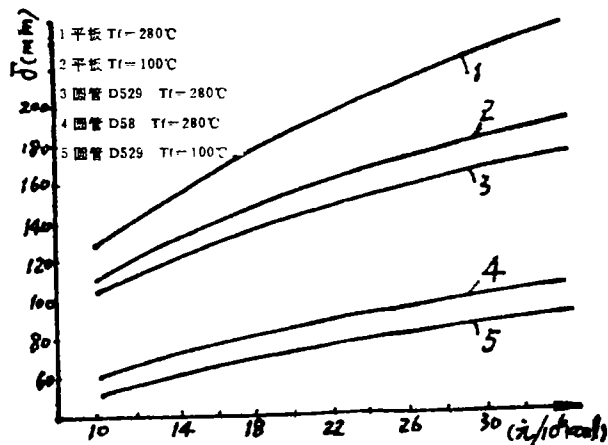


图4 能源价格对最优保温厚度的影响

1 能源价格

图4为不同管径、不同温差情况下能源价格对最优保温厚度的影响曲线。此关系曲线近

似直线,由于能源价格增加,使热损费用增加,从而使得最优隔热厚度增加,年总费用增加。能源价格对最优保温厚度及年费用影响程度是较大的(例如:对平板, $t_r=280^{\circ}\text{C}$, 能源价格 $f_n=4\text{元}/10^{\circ}\text{kJ}$ 时, f_n 增加 $0.5\text{元}/10^{\circ}\text{kJ}$, 最优保温厚度增加 8.5% , 年费用增加 7.2%)。由于以前我国能源价格较低,使得现在正在运行的许多管网保温层厚度小于它的最优保温厚度。另外,以前管道保温材料多用蛭石类、珍珠岩类等易破碎的材料,使得一些保温结构损坏严重。因此,现在有必要对现在的许多管网进行保温改造。

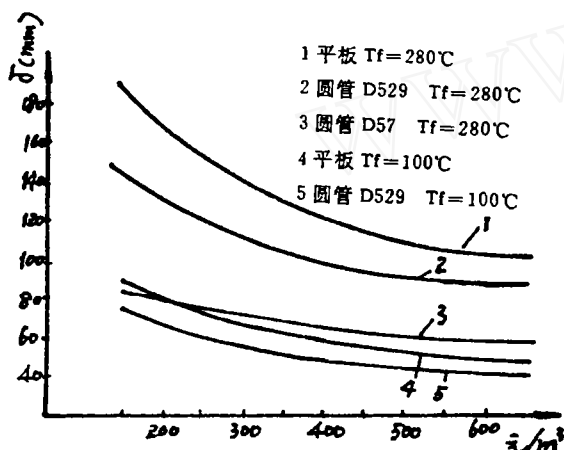


图5 保温材料价格对最优保温厚度的影响

4.2 保温材料价格

随着保温材料价格升高,最优保温层厚度减小,相应的年费用却要增加。图5为不同管径、不同传热温差最优保温厚度随材料价格变化曲线。由此看来,保温材料价格对最优保温厚度的影响是比较敏感的(例如:对平板, $t_r=280^{\circ}\text{C}$, 材料价格为 $200\text{元}/\text{m}^3$ 时,当材料价格再增加 $50\text{元}/\text{m}^3$, 最优保温厚度减少 9.5% , 而年费用却增加 8.8%)。不管是平板还是圆管,最优保温厚度随材料价格变化曲线接近双曲线。在材料价格较低时,材料价格的影响尤为明显。另外,随着管径减小、传热温差降低,最优保温厚度随材料价格变化曲线变得平坦。

由此可见:改进保温材料的生产工艺,降低保温材料价格,也是提高经济性方法之一。

4.3 系统寿命期

随着寿命期的增加,对于材料、施工、外护的费用每年分摊系数逐渐减小,使总费用减小;另一方面每年维修消耗系数却逐渐增加,从而又使得总费用增加,所以必存在一个最佳寿命期。从图6看到,在我们计算的输入参数下,最佳寿命期约为15年。最佳寿命期的大小主要由贷款利率、维修费用系数等经济因素决定,与圆管管径及传热温差的大小关系不大。

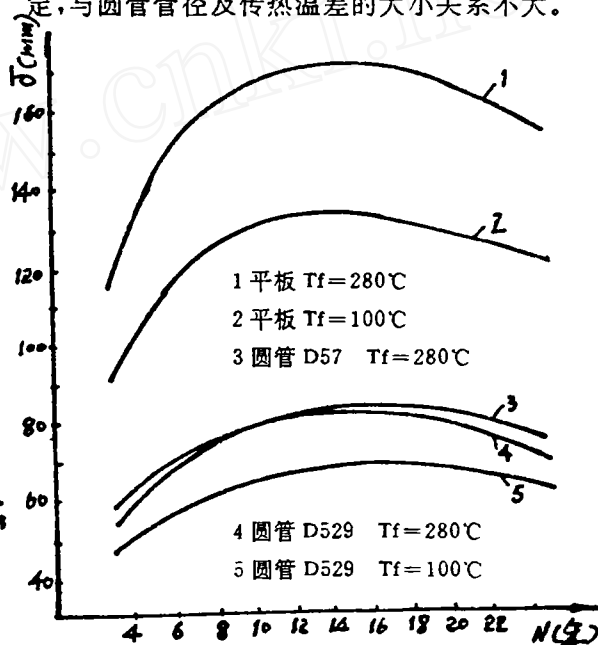


图6 系统寿命期对最优保温厚度的影响

当然最佳寿命期最终要受到保温材料、保护材料使用年限及运行管理水平的限制。例如:易破碎、强度低的保温材料(如珍珠岩类),维修费用比较高,最佳寿命期较小。另外金属保护层要比复合保护层的寿命期长一些。因此实际寿命期要合理选择。

5 环境因素对最优保温层厚度的影响

环境温度对设计参数的影响已在前面讨论过(如图2)。总的来说,环境温度不会变化太大,对设计参数影响幅度不大。

风速对最优保温厚度影响曲线如图7。由

此可见风速对保温厚度影响很小(0~10mm左右)。当风速增加时,最优保温厚度略有增加。这是由于传热热阻主要由隔热材料的导热热阻决定,而保温层外表与环境换热热阻很小,然而风速只对保温层外表面与环境的对流换热起作用,因此风速变化较大时,热损变化不大,最优保温厚度与总年费用也变化不大。

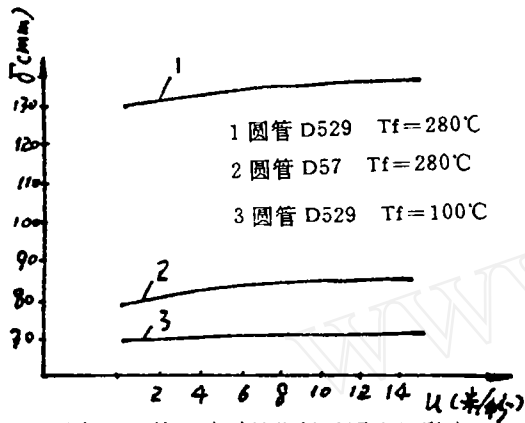


图7 环境风速对最优保温厚度的影响

6 对标准设计提供的参数表修正

根据以上分析,我们对标准设计提供的参数表作某些修正,从而扩大其应用范围。

(1) 对于室外管道

当风速 $< 3\text{m/s}$, 保温层厚度增加 $0\sim 4\text{mm}$;

当风速 $> 3\text{m/s}$, 对于

$t_r \geq 300^\circ\text{C}$, 厚度增加 $8\sim 12\text{mm}$;

$t_r < 300^\circ\text{C}$, 厚度增加 $4\sim 8\text{mm}$ 。

(2) 对于各种管道, 在任何传热温差下, 当

能源价格变化 $0.5\text{元}/10^6\text{kJ}$ 时, 最优保温厚度相应变化 $6.5\%\sim 9\%$ 。

(3) 当保温材料价格降低 $50\text{元}/\text{m}^3$ 时, 最优厚度提高 $7\%\sim 12\%$ (对大管径取上限)。当材料价格增加 $50\text{元}/\text{m}^3$ 时, 最优厚度降低 $6\%\sim 10\%$ (对于大管径取上限)。

7 结论

本文对影响最优保温层厚度的一些因素作出了定性分析, 通过分析发现传热温差、保温材料的导热系数及价格、能源价格对最优保温厚度影响较大, 在设计中应引起注意。另外对现在标准设计所提供的参数表提出了某些修正, 扩大了其应用范围。这些对指导保温设计是有意义的。若将各因素对最优保温层厚度的影响进一步整理成工程实用的经验公式, 这对工程设计帮助更大, 这也是我们以后准备做的工作。

参考文献

- [1] Gerard F Jones. "Optimal Insulation for Solar Heating Systems". Proceeding of the 1978 Annual Meeting. Vol 2.1 187~197
- [2] 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
- [3] 全国通用建筑标准设计《动力设施标准图集 R410-2》
- [4] 田茂诚等. 管道保温优化设计参数分析研究. 毕业设计论文选编. 山东工业大学, 1986