

辐射屏法用于高温输热管网隔热保温的实验与工程应用

李业发 张学圣 乔力

(中国科学技术大学热科学和能源工程系)

〔摘要〕利用一定的条件,矩形密闭空间内的空气不产生自然对流的原理,经过理论计算、模拟实验、中间实验,最后将辐射屏法隔热保温进行了工程应用,并取得了很好的节能效果和经济效益。

关键词 辐射屏、密闭空间、有效导热系数、热发射率

分类号 TK12

0 前言

高温、大口径的输热管道的隔热保温非常重要,要做好这项工作,关键是选择有效导热系数低的隔热保温材料。现在基本都采用多孔材料,如超细玻璃纤维、矿渣棉、岩棉等。这些材料的有效导热系数都很小,因这些材料的孔隙内充满了不流动的空气,由于空气的导热系数很小,辐射经过细纤维的多次反射也非常小,导致总的有效导热系数也小。辐射屏法隔热保温就是基于这个原理。

1 工作原理

基于在密闭的矩形空间里,当热面在上或当雷诺数 $Re < 1700$,矩形的高长比、高宽比都较小,其空间没有自然对流发生的原理。对于输热管道利用多层辐射屏来进行隔热保温,是将环形的空间分隔成如图 1 所示的上、下半环,下半环可以近似看成热面在上的矩形密闭空间;上半环可以近似看成热面在下的矩形密闭空间。由于辐射屏径向距离 W 很小,所以高长比 W/L (L 为沿管轴方向长度),高宽

比 W/D_i 都很小,所以只要上半环满足 $Re < 1700$,即可认为上、下半环间都没有自然对流发生。略去轴向温差;只有径向热流,其有效导热系数只有空气的导热和辐射两部分组成。辐射屏的热阻可以略去,其热网络图如图 2 所示。

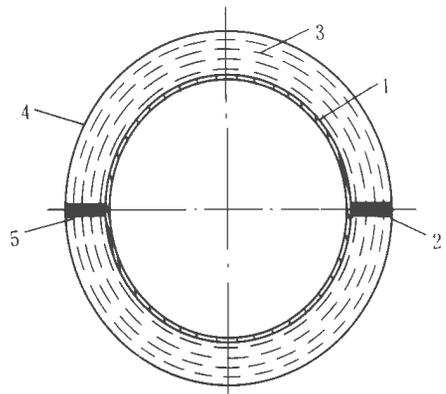


图 1 辐射屏隔热保温断面简图

1. 输热管道 2. 中间隔层 3. 辐射屏 4. 外护层 5. 支架

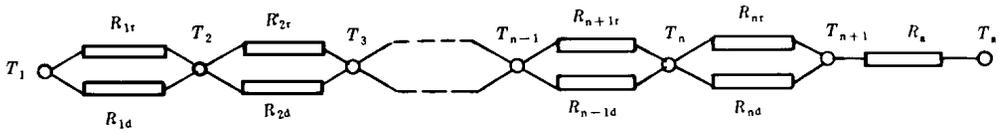


图 2 热网络图

图中: $T_1, T_2 \dots T_{n+1}$ 为各辐射屏温度; $R_{1r}, R_{2r} \dots R_{nr}$ 为各辐射屏间辐射换热热阻; $R_{1d}, R_{2d} \dots R_{nd}$ 为各辐射屏间导热热阻. T_n 为环境温度; R_n 为外护层和环境换热热阻.

由网络图可以看出其径向热流为:

$$Q_{dl} = \frac{2K\pi (T_1 - T_{n+1})}{\ln \frac{D_1 + 1}{D_1}} \quad (1)$$

$$Q_r = \frac{W \pi \cdot D_1 (T_1^4 - T_{n+1}^4)}{\frac{1}{X} + \frac{D_1}{D_1 + 1} \left(\frac{1}{X} - 1 \right)} \quad (2)$$

$$Q = Q_{dl} + Q_r \quad (3)$$

式中: Q 为径向热流; Q_{dl} 为辐射屏间导热热流; Q_r 为辐射屏间辐射换热热流; X 为发射率; D_1 为辐射屏环直径.

$$R_c = \frac{g \cdot U (T_1 - T_{n+1}) W}{T_v \cdot v} \quad (4)$$

式中: g 为重力加速度; U 为空气的热膨胀系数; v

为空气的动力粘度; T 为空气的导温系数.

由以上计算式, 根据国家所规定的不同输热温度 T_1 , 输热管径 D_1 , 每米管道的热损 Q , 略去管壁的热阻和外护层的热阻. 辐射屏的热发射率 X 为已知, 以及 $Re < 1700$ 的控制条件, 利用迭代法就可算出每层间距 W 及辐射屏层数 n .

2 模拟实验

针对安庆石化总厂的输热管道进行模拟实验. 给定的条件为: $T_1 = 300^\circ\text{C}$, $D_1 = 530 \text{ mm}$, $T_{n+1} = 50^\circ\text{C}$, $Q \leq 337 \text{ W/m}$, $X = 0.05$. 经迭代计算出 $n = 12$ 即 13 层铝箔辐射屏, 12 层间隔分别为: 12.5 mm, 11.5 mm, 11 mm; 10 mm; 9.5 mm; 8.5 mm; 8.0 mm; 7.5 mm; 7.0 mm; 6.5 mm; 6.0 mm; 5.5 mm.

由以上各参数算得各辐射屏间的 Re 均小于 1700, 热流为 $Q = 253 \text{ W/m} < 337 \text{ W/m}$.

利用以上所给定和计算出的各参数进行模拟实验. 其实验装置简图如图 3. 当模拟实验管道的长径

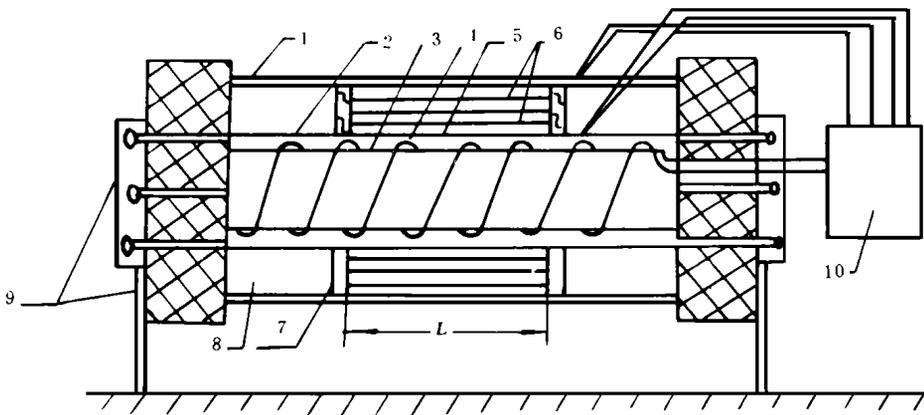


图 3 模拟实验装置

- 1. 保温外壳 2. 模拟管道 3. 加热陶瓷管 4. 加热丝 5. 铜-康铜热电偶
- 6. 铝箔 7. 铝箔支架 8. 玻纤保温段 9. 管道支架 10. 测量仪表

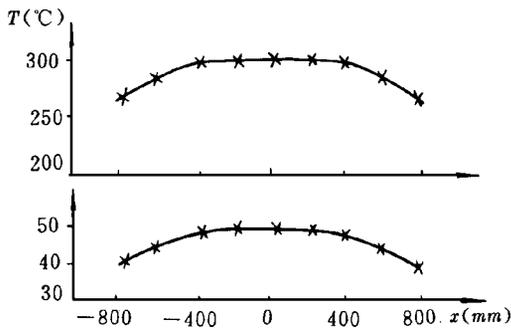


图 4 温度沿轴向分布(上图为内管,下图为外壁)

比大于 15 时即可认为热流为径向一维的。实验中因受条件限制,不能满足长径比大于 15 所以将实验管分三段,中间为实验段,两端为保护段。分别调节三段的电功率,使中间段的内管和外壁温度沿轴向方向基本不变。这样可认为实验段为径向一维热流。内管和外壁的温度沿轴向分布如图 4 实验段的加热功率为 285 W/m , 其有效导热系数 $K_e = 0.06 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ 比理论计算值高 12.6%。这是因为安装误差,引起局部自然对流。同时由于实验条件限制不能完全做到一维径向热流而引起的。

在模拟实验的基础上,在输热管道上进行了两次中间实验,测得热损分别为: 267 W/m , 270 W/m , 其有效导热系数 K_e 分别为 $0.0570 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ 和 $0.0572 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$, 比模拟实验数据要好,因为这里完全可以做到一维径向热流。

3 工程应用

在工程实验的基础上,在 H530, 300°C 的输热管

道上共安装了 464.5 m, 用反射率为 0.95 十三层高纯铝薄作辐射屏。经一年多的运行后测得平均热损为 305 W/m , 比中间实验高 13.6%。因辐射屏间距太小,大规模应用很难保证其间距的均匀性,造成局部地方有自然对流。同时阀门、接头、弯头等局部热损在用焓降法计算时也被计入而造成。但这热损也远低于国家所规定的值。

工程造价为每米 112.26 元,和原保温相比相对节能率为 67.8%。按当时的物价计算,每年可获经济效益 12.2 万元,不到一年可收回投资。

4 结论

由工程应用证明,利用辐射屏法对高温热网管道进行隔热保温节能效果明显。说明了将输热管道的环形保温层分隔成上、下两部分后分别作为矩形密闭空间处理,控制辐射屏间距使 $Re < 1700$, 是可以做到间隙不发生自然对流,能有很好的隔热保温作用。也说明了利用辐射屏进行隔热保温,不但在一些特殊场合可采用,在输热管道上也可以采用。

参考文献

- 1 (美) 弗兰克 P 英克鲁佩勤著. 传热的基本原理. 葛新石等译. 安徽教育出版社, 1985 年 12 月出版
- 2 郑令仪等编. 工程热力学. 国防工业出版社, 1983 年 11 月出版
- 3 魏保太等编. 能源工程. 天津大学出版社, 1986 年 8 月出版

(渠源 编辑)

作者简介 李业发 1944 年生 副教授 1968 年毕业于北京航空航天大学。现在主要从事太阳能热利用, 隔热保温空调制冷等方面的研究工作并讲授一门专业课程。在主持和参加十几项科研工作中, 曾获科学院科技进步二等奖一项, 安徽省科技进步二、三、四等奖各一项; 在国内外核心刊物上发表论文近 20 篇; 编写 40 万字著作一本; 获国家专利四项 (联系地址 230027 合肥市 中国科技大学 13 系西区)

ignition the above-cited burner can enhance the stability of combustion at boiler low loads. In connection with the use experience of such burners at Shandong Electric Grid this paper presents the test results and key points in the burner design. **Key words** boiler, pulverized coal concentration, dense-dilute separation, burners, development and application

辐射屏法用于高温输热管网隔热保温的实验与工程应用 = **Experimental and Engineering Application of Radiation Screen Method for the Thermal Insulation of High-temperature Heating Pipe Network** [刊, 中] / Li Yefa, Zhang Xuesheng, et al (China National University of Science & Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, 1997, 12(6): 452~ 454

Based on the principle of the absence of natural convection in a rectangular air-tight space under certain conditions the engineering application of radiation screen method for thermal insulation has finally been made possible through theoretical calculations, simulation tests and intermediary experiments. As a result, excellent energy-saving results and economic benefits were attained. **Key words** radiation screen, air-tight space, effective thermal conductivity, thermal emissivity

自适应学习率的 BP网络算法及其在汽轮发电机组故障模糊诊断中的应用 = **BP Network Algorithm with Self-adaptive Learning Rate and Its Use in the Fuzzy Diagnosis of Turbogenerator Failures** [刊, 中] / Li Yong, Li Hongyuan, et al (Northeast Electric Power Institute), // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, 1997, 12(6): 455~ 458

To overcome the shortcomings of a BP network, this paper proposes a BP algorithm with self-adaptive learning rate, thus once for all overcoming the demerits of BP networks, i. e., slow convergency and inability to determine the value of learning rate. In addition, the disadvantage of BP network liable to fall into a local minimum point can also be effectively eliminated. Through the use of such an improved algorithm successfully realized is the fuzzy diagnosis of turbogenerator failures. **Key words** neural network, BP algorithm, turbogenerator, fuzzy diagnosis

国内外循环流化床锅炉的设计改进 = **Design Improvements of Circulating Fluidized Bed Boilers at Home and Abroad** [刊, 中] / Yao Huizhen (Northwest Electric Power Construction General Co.) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, 1997, 12(6): 459~ 461

Based on the analysis of the operation conditions of many circulating fluidized bed boilers of various types and in the light of experiences gained in the improvement of the start-up and commissioning tests of such boilers the present paper discusses the design development tendency of their air distribution device and ignition mode, and proposes a new design philosophy concerning the ash and slag discharge control and the monitoring of fluidized bed temperature. **Key words** circulating fluidized bed boiler, air distribution, ignition, operation, analysis

无上排气芯管旋风分离器的性能预测 = **Performance Prediction of a Cyclone Separator without an Upper Exhaust Core Pipe** [刊, 中] / Lin Wei, Wang Naining (East China Polytechnical University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power, 1997, 12(6): 462~ 465

A performance prediction is conducted of a cyclone separator without an upper exhaust core pipe. Under a non-orthogonal adhesion body coordinate system a numerical simulation of an internal gas phase field has been performed with the help of a non-intersecting SIMPLE algorithm. Under a Lagrange coordinate system