

一种新型多层反射型保温结构材料

熊扬恒 (武汉水利电力大学)

[摘要]作者对多层反射型保温结构材料应用于不同场合时的保温性能进行了深入分析计算,并将此结构的技术经济性能与常规保温材料进行了比较,结果表明,此新型保温结构具有更优的综合技术经济性能。

关键词 保温 多层反射型保温结构 技术经济 临界热绝缘层数

分类号 TB30

0 前言

文献1、2、3对多层反射型保温结构之保温原理、分析计算方法作了一般性介绍,作者在文献4中对这种新型保温结构的性能进行了较深入的分析,并第一次提出了临界热绝缘层数 N_c 的概念。在此基础上,作者对不同保温场合、不同保温条件下应用多层反射型保温结构时的保温性能、综合技术经济性能进行了分析讨论。结果表明,这种新型保温结构具有更优的综合技术经济性,可望开发成一种有较大社会效益的新型保温材料。

原理是:利用金属箔间的反射特性以减少其辐射换热,并利用薄空气隙阻碍气体(空气)的对流作用而实现保温目的。

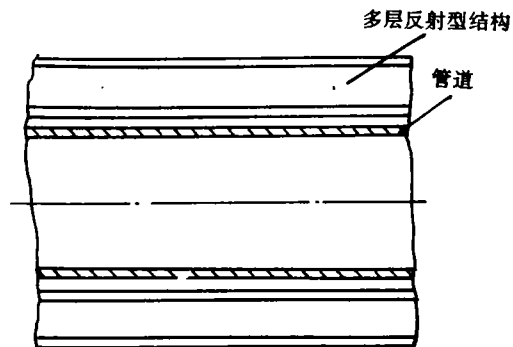


图1 水平管道保温结构示意图

1 计算结果分析讨论

本文分析了工程实际应用中遇得较多的水平管道、水平及竖直放置的大容器或换热设备的保温,后者的保温结构可以大平壁结构处理。其结构如图1所示(以水平管道保温为例),它是由多层金属箔保持一定间距、重叠组合成的多薄层气隙保温结构。其基本

由于多层结构内的换热性能与保温结构的空布置有较大的关系,故分析的方法、依据与简化前提也各不相同。作者根据文献〔3〕、〔5〕,结合对具体问题的分析,建立了上述几种情况下保温结构内的热交换模型〔5〕、〔6〕,并编制出了灵活通用的数值分析程序,既考虑了几何结构(层数 N 、层间间距 δ)的影响,又考虑了物性(层间空气变物性、箔

收稿日期 1993-12-10 收修改稿 1994-03-30

本文联系人 熊扬恒 男 33 副教授 430072 武汉水利电力大学热动教研室

层材料物性及表面状况等)的影响。并且可对计算结果进行自动处理(曲线拟合、绘图等)。下面给出分析计算的结果。

1.1 有效热导率随层数 N 的变化

在一定的工作条件和结构条件下,表征保温结构体保温性能优劣的一个重要参数——有效热导率 λ_{eff} 随层数 N 增加而降低,这是不难理解的,而且这种变化的剧烈程度也随条件不同而异,如图 2 所示。这并不意味着层数越多越好,由图 3 可知,散热损失随层数增加开始减少较快,而当 N 增大到一定程度时,变化趋缓。这是因为随着 N 增加,层间辐射、对流散热减弱,但导热略有增加(因为金属箔的导热系数总是远大于空气的导热系数,从热阻叠加的角度是不难理解的)。随着层数的进一步增加,就会出现散热损失随 N 增加而增大的情况,即是说 N 有一临界值。

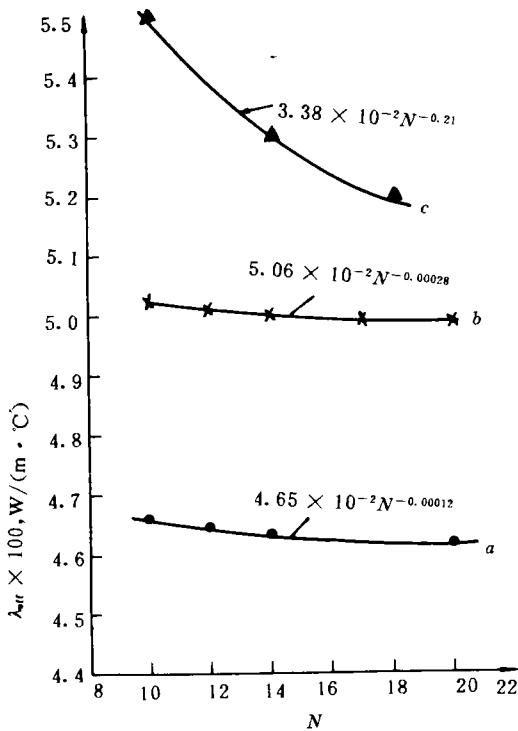


图 2 有效热率 λ_{eff} 随 N 的变化

- a. 水平壁: $T_1 = 823 \text{ K}, T_0 = 318 \text{ K}, \epsilon = 0.02, \delta = 6 \text{ mm}$
- b. 水平壁: $T_0 = 813 \text{ K}, T_0 = 315 \text{ K}, \epsilon = 0.05, \delta = 6 \text{ mm}$
- c. 水平管道: $T_1 = 773 \text{ K}, T_0 = 318 \text{ K}, \epsilon = 0.02, \delta = 10 \text{ mm}$

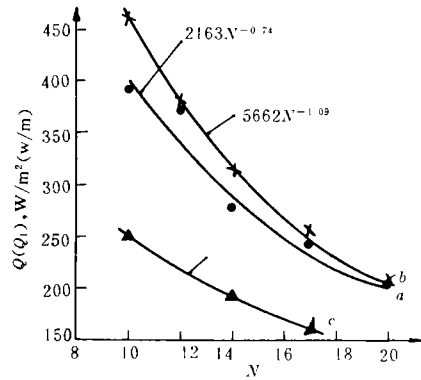


图 3 散热损失随 N 的变化(a. b. c 同图 2)

这就是文献[4]所提出的临界热绝缘层数 N_{cr} 。从技术经济角度看, N 有一最佳值。结合图 2 图 3 的结果, N 值在所给工作条件下, 以 16 ~ 20 为佳。

1.2 有效热导率随层间间距 δ 的变化

计算结果表明:不同保温结构,有效热导率 λ_{eff} 随层间间距 δ 的变化规律是不同的。对平壁保温结构, λ_{eff} 随 δ 增大而增加,而对水平管道保温结构, λ_{eff} 随 δ 增加先减小后增大^[4]。这是因为,对于前者, δ 增加,层间间隙内空气自然对流换热起了较大作用;而对于后者,层间间隙 δ 在一定范围内,由于水平圆筒

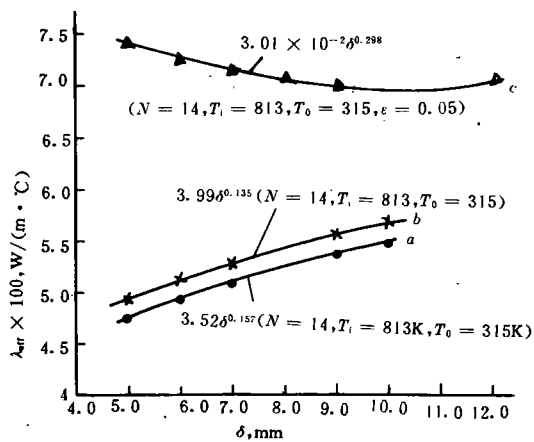


图 4 λ_{eff} 随 δ 的变化

- a. b— 水平壁; c— 水平管道

夹层结构本身对自然对流的展开具有抑制作用,但当 δ 增大到一定程度时,自然对流得以充分展开,而使 λ_{eff} 回升。这种差别正是二者结构有异,热量传递机理不同所致。图4给出了几种情形下 λ_{eff} 随 δ 变化的曲线,并给出了曲线拟合关系。

1.3 有效热导率随工作温度的变化

在一定工作条件下,与常规保温材料一样,有效热导率 λ_{eff} 随工作温度 T_m [$T_m = 1/2(T_1 + T_0)$] 升高而增加,如图5所示,作者拟合了相应曲线。从图5可以看出,这种变化在水平壁和水平圆筒内是不同的。当然 λ_{eff} 随 T_m 的变化也可以用线性关系逼近。作者在这里给出了幂函数关系。

2 技术经济分析比较

下面仅从热损失、投资费用(包括损耗费、辅材费等)两方面将多层反射型保温结构与常规保温材料作一技术比较。

2.1 保温性能比较

表1给出了常规保温材料与多层反射型保温结构有效热导率的比较,部分数据见文献7。

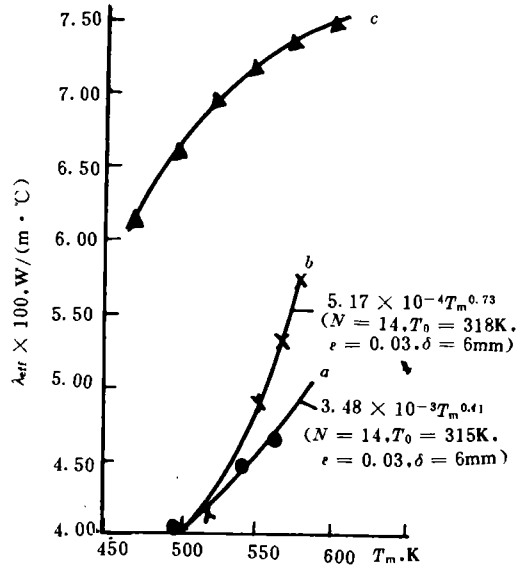


图5 有效热导率随工作温度的变化
a、b—水平壁 c—水平圆筒

表1 多层反射型保温结构与其它产品保温性能比较

名称	导热系数方程	有效热导率 λ_{eff} $w \cdot m^{-1} \cdot k^{-1}$ ($t_m = 250 \text{ } ^\circ\text{C}$)
多层反射型保温结构 (水平布置, $N = 14, \delta = 0.01 \text{ m}$)	$\lambda_{eff} = 0.0425 + 0.000099t_m$	0.0673
普通矿渣棉	$\lambda_{eff} = 0.0500 + 0.00020t_m$	0.1000
水泥珍珠岩管壳	$\lambda_{eff} = 0.0580 + 0.00026t_m$	0.1230
水泥蛭石管壳	$\lambda_{eff} = 0.0930 + 0.00025t_m$	0.1550
焙烧硅藻土	$\lambda_{eff} = 0.1000 + 0.00023t_m$	0.1575
膨胀珍珠岩	$\lambda_{eff} = 0.0424 + 0.000137t_m$	0.0767
FBT(稀土)系列保温材料	$\lambda_{eff} = 0.0360 + 0.000071t_m$	0.0538

由表1可见,除最新报道的 FBT(稀土)系列保温材料的保温性能优于多层反射型保

温结构外,其它常规保温材料的保温性能均比多层反射型保温材料为差,而且差别较大,

因此在相同的散热损失条件下,此新型保温材料所需厚度要薄得多。

2.2 简单经济分析比较

比较的前提为:管道外表面温度 $t_1 = 120\text{ }^\circ\text{C}$,保温层外表面温度 $t_0 = 45\text{ }^\circ\text{C}$,保温管道外径 $D_0 = 57\text{ mm}$ 。管道长度取 100 m 。表 2 给出了比较对照结果,其中多层反射型材料价

格的计算依据是:薄镀锌钢板牌号为 A3 或 B3, 6500 元/吨,薄铝合金箔牌号为 LY12 或 LY13, 8000 元/吨,加工费用取为耗材费用的 50%,在所考虑的保温构尺寸下可计算出其材料价格为 1500 元/ m^3 (此价格为参考价格)。

表 2 多层反射型保温材料与常规保温材料对照表

项目 品种	参照单价 (元/ m^3)	用材体积 (m^3)	保 温 费 用 (元)				使用本产品相 对其它保温 材料节约数
			材料费	损耗费	辅助材料	小计	
多层反射型 保温材料	1500	0.20	300.00	无	无	300.00	
膨胀珍珠岩	162	1.67	300.60	150.30	60.10	511.00	41.29%
泡沫石棉毡	361	0.80	288.80	123.00	无	412.80	27.33%
水泥蛭石	150	2.19	330.00	132.00	85.10	547.10	45.17%
矿渣棉	270	2.20	594.00	130.10	52.76	724.00	58.56%
FBT 系列	2400	0.15	360.00	3.20	无	363.20	17.4%

由上表可见,采用此新型保温材料在经济上具有较强的竞争性,而且这里仅是考虑的初投资,若考虑到多层反射型保温材料无损耗,可多次重复使用而不改变其初期保温性能的优点,可进行初投资与运行、维修费用的综合比较,可以预计,它具有更大的竞争性。

3 结语

上述保温性能、经济分析比较表明,多层反射型保温结构具有优良的保温性能,在经济上也具有竞争性,同时与常规保温材料相比,它无损耗,可多次重复使用而不改变初期保温性能,因而具有更大的应用价值,特别是应用于核电站、食品加工、精细化工等领域时,它所具有的可方便除去尘埃而又不影响

保温性能,无尘粉飞扬而清洁卫生,容重轻等一系列优点,可望产生巨大的社会效益。

参 考 文 献

- 1 冉崇富. 反射型保温结构. 核动力工程, 1982. 3(6): 81—89
- 2 闵桂荣, 郭 舜. 航天器热控制. 北京: 科学出版社, 1985: 104—36
- 3 黄奇明. 铝箔绝热材料及其应用. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1985: 33—86
- 4 熊扬恒. 多层反射型保温结构的传热性能分析. 武汉水利电力大学学报, 1993. 26(6): 705—711
- 5 Incropera F P, Dewitt D P. Fundamentals of heat transfer. New York: John Willey & Sons. Inc. 1987: 290—303.
- 6 Rohsenow W M, et al. Handbook of heat transfer, New York: Mc Graw-Hill Com. 1973: 370—408
- 7 蒋学良. 新型保温隔热材料——硅酸镁的应用. 节能技术, 1992(1): 18—19

Based on the calculation method given in Reference [1] for hydrocarbon gas thermodynamic properties the author has calculated the thermodynamic state parameters. An irreversibility conception is introduced during the calculation of such parameters. A general program for solving gas thermodynamic parameters has been drawn up, which is suitable for gases generated as a result of the combustion of hydrocarbon fuels of arbitrary hydrocarbon ratio with fuel factor β ranging from 0-1 and temperature ranging from 200 K to 1800 K. The aerodynamic parameters obtained have been compared with the multiple specific heat results given in Reference [2] and the difference is found to be within 0.1%. The calculation program features a rational solution and ease of application, making it suitable for use in various engineering designs. **Key words:** variable specific heat, irreversible thermophysical properties, analytical solution

△ **The reliability Analysis of Single Disk Rotor Vibrations**.....Xu Zili (*Harbin Institute of Technology*) **Journal of Engineering for Thermal Energy & Power**, 1995, 10(1): 49~52

Described in this paper is a calculation formula for a single disk rotor system vibration response. A reliability safe margin equation of the rotor corresponding to a vibration failure mode has been deduced and the vibration reliability calculation mathematical model for the single disk rotor system established. This paper also discusses the effect of the variation of various parameters on the rotor vibration reliability and gives a calculation example to illustrate the applicability of the above-cited method. **Key words:** single disk rotor, reliability

△ **A New Type of Thermal Insulation Material with a Reflective Multi-layer Thermal Insulation Structure**.....Xiong Yangheng (*Wuhan University of Electric Power Engineering & Water Resources*) **Journal of Engineering for Thermal Energy & Power**, 1995, 10(1): 53~56

On the basis of the author's earlier work the thermal insulation performance of a reflective multi-layer insulation structure was analysed and calculated during its use in a variety of conditions. The technico-economic performance of the new structure is compared to that of other conventional thermal insulation materials. The results of comparison show that the new thermal insulation structure features a better comprehensive technico-economic performance **Key words:** thermal insulation, reflective multi-layer structure of thermal insulation, technico-economic performance, critical heat insulation layer number

△ **The Failure Analysis of a Boiler Lower Header**.....Wu Qingyu, et al. (*Boiler & Pressure Vessel Inspection Institution under the Harbin Labor Bureau*) **Journal of Engineering for Thermal Energy & Power**, 1995, 10(1): 57~60

A multitude of ring-shaped cracks and three water leakage points were discovered in the right side lower header of a boiler together with a cave-in of the boiler roof water-cooled wall. Through the metallographic analysis of the materials used for the left and right side lower header and the said water-cooled wall as well as an analysis of the boiler construction and water circulation circuits the cause of the boiler lower header failure was finally identified. **Key words:** boiler, lower header, metallographic structure, failure analysis