

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2016.05.008

新型中空无规共聚聚丙烯管保温性能分析^{*}

何发权¹, 刘显茜¹, 侯宏英², 张雪飞¹

(1. 昆明理工大学机电工程学院, 昆明 650500; 2. 昆明理工大学材料科学与工程学院, 昆明 650093)

摘要: 为分析新型中空无规共聚聚丙烯管保温性能, 运用有限元法对新型中空无规共聚聚丙烯管在不同空气层厚度和常规管道包覆不同厚度保温材料的热损进行了计算。结果表明, 新型中空无规共聚聚丙烯管保温效果比常规包覆式管道明显提高。常年运行工况下, 年平均温度为 15℃ (昆明地区), 管内工质温度 95℃, 管道热损不高于 93 W/m² 时, 新型中空无规共聚聚丙烯管保温层 (空气层+护管) 厚度比常规管道包覆玻璃棉厚度减少 27.5%, 岩棉厚度减少 32.9%。在季节运行工况下, 平均温度为 8℃ (昆明地区冬季), 管内流体温度 95℃, 管道热损不高于 163 W/m² 时, 新型中空无规共聚聚丙烯管保温层厚度比常规管道包覆玻璃棉厚度减少 20%, 比岩棉层厚度减少 25.8%。

关键词: 新型中空管; 热损; 空气层厚度; 无规共聚聚丙烯

中图分类号: TQ320.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2016)05-0031-04

Analysis of the Insulation Performance of New Hollow Polypropylene Random Pipe

He Faquan¹, Liu Xianxi¹, Hou Hongying², Zhang Xuefei¹

(1. Faculty of Electrical and Mechanical Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China;

2. Faculty of Material Science and Technology, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract: In order to analyze the performance of new hollow polypropylene random insulation pipe, finite element method (FEM) is applied to calculate heat loss for new hollow insulation pipe and conventional pipe coated with insulation materials. The results show that the insulation performance of the new hollow insulation pipe is significantly improved compared with the conventional pipe coated with insulation materials. The insulation layer (air layer+protective tube) thickness of the new hollow insulation pipe is 27.5% less than the thickness of the conventional pipe coated with glass wool, and 32.9% less than its thickness of the conventional pipe coated with rock wool under perennial operating conditions with the annual average temperature 15 °C (Kunming) and working fluid temperature 95 °C in the working pipe for the maximum heat loss 93 W / m². The insulation layer thickness of the new hollow polypropylene random insulation pipe is 20% less than the thickness of the conventional pipe coated with glass wool, and 25.8% less than its thickness of the conventional pipe coated with rock wool under seasonal operating conditions with an average temperature 8 °C (Kunming winter) and working fluid temperature 95 °C for the maximum heat loss 163 W / m².

Keywords: new hollow pipe; heat loss; thickness of air layer; polypropylene random

管道保温广泛应用于冶金、化工等企业, 对热力管道进行良好保温, 减少其散热损失, 是提高企业经济效益的有效途径。传统包覆式管道保温在外保护层搭接处易出现高低不平, 致使雨水和冷风进入保温层中, 保温材料导热系数成倍增加, 或在保温层冷空气与热空气形成强制对流热交换, 导致保温失效^[1]。采用焊接技术, 以焊接金属带覆盖层取代人工包扎保温层生产保温管, 不但可以延长管道寿命, 提高施工效率, 而且可以减少常年维护费用。章劲文等^[2]指出新型中空围护结构供热管道的保温性能主要由气体导热系数来决定, 固相和辐射导热因子的作用很小。常压密闭条件下, 空气的导热率^[3]

为 0.023 ~ 0.032 W / (m · K) (温度 0 ~ 100 °C), 如果将密闭空气应用于管道绝热工程能显著减少热量损失, 提高能源利用率。邓月超等^[4]通过合理设计中空保温层, 采用空气层与实心保温层相结合, 达到与实心保温相当的保温隔热效果。郑大字等^[5]采用白玻璃、离线单银 Low-E 玻璃和离线双银 Low-E 玻璃充入氩气, 制成中空玻璃, 对充入不同体积分数和不同气层宽度的中空玻璃板进行传热试验, 得出不

^{*} 国家自然科学基金项目 (51566006)

联系人: 刘显茜, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事多孔材料传热传质耦合机理及数值模拟计算研究

收稿日期: 2016-02-24

同条件下的传热系数,证明了充入氩气 Low-E 玻璃有明显节能效果。但是,对于新型中空无规共聚聚丙烯 (PP-R) 管保温性能研究分析工作还较少。笔者利用有限元法对中空保温结构进行传热分析,通过与常规保温材料进行对比,提出密闭空气应用于热力管线保温结构中的可行性,为进一步的实验研究和实践工程设计提供理论参考。

1 保温建模

1.1 热传递模型

新型中空 PP-R 管是由工作管、密闭空气层、护管组成,工作管取公称外径为 50 mm、壁厚为 4.6 mm 的热水管。工作管和护管为 PP-R,工作管与护管通过分布均匀的三组支撑筋板连接,密闭空气层采用常压空气。由于支撑筋板体积相对于密闭空气层很小,为了问题处理方便和简化计算,忽略支撑筋板的热传导影响,新型中空保温管结构图可简化如图 1 所示。常规包覆式热力管道保温结构是由工作管、保温材料层、防护层组成,仿真采用的工作管为 PP-R 管,保温材料层为玻璃棉或岩棉,结构图如图 2 所示。

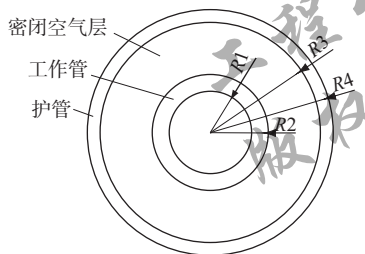


图 1 新型中空保温管简化结构图

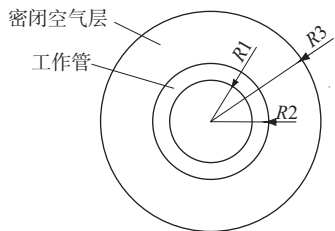


图 2 常规保温材料保温结构图

新型中空 PP-R 管道中的工质为热水 (95℃), 工作管内工质热量依次通过工作 PP-R 管、密闭空气层、PP-R 外防护管, 与周围环境进行热交换, 并最终散失在大气中。由于中空保温结构中的空气为密闭结构且厚度较小, 根据王厚华等^[6]、吴国忠等^[7]的研究结果, 可将密闭空气层内的传热视为纯导热。

1.2 热损计算

为了计算新型中空 PP-R 保温管道热损, 采用 CFD 软件热分析模块 FLEUNT 对新型中空

PP-R 保温结构进行了传热分析模拟计算, 热损计算时, 边界条件的设置主要考虑: (1) 保温管入口工质流速为 1 m/s, 出口压力为 0 Pa; (2) 保温管置于自然对流环境中, 保温管与周围空气进行对流换热, 自然对流换热系数取值为 6 W/(m²·K), 环境温度取昆明地区的平均温度 (季节运行取平均温度 8℃, 常年运行取年平均温度 15℃)。

2 结果分析

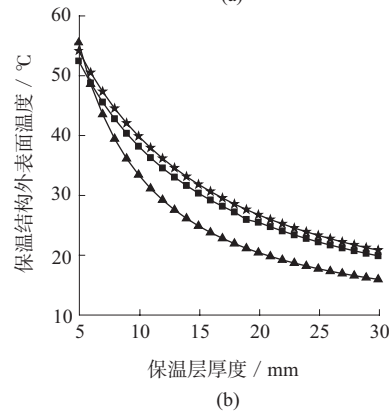
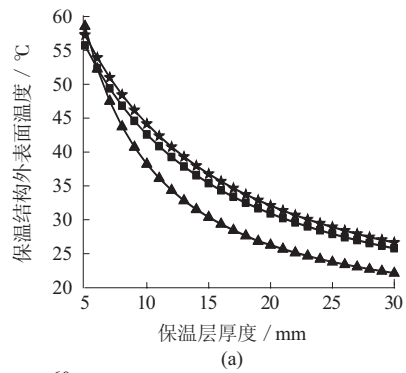
为分析新型中空 PP-R 管保温性能, 对新型中空保温管和常规包覆式管道在常年运行和季节运行工况下的热损进行了计算, 计算中涉及到的自然对流传热系数和热传导率如表 1 所示。

表 1 热传导率和自然对流传热系数

自然对流传热系数 / (W·m ⁻² ·K ⁻¹)	热导率 / [W·(m·K) ⁻¹]			
	玻璃棉	岩棉	PP-R	密闭空气
6	0.041	0.044	0.21	0.023

2.1 保温层厚度对表面温度的影响

图 3 为新型中空 PP-R 管护管表面温度随保温层厚度 (中间空气层厚度与护管厚度之和) 变化曲线及常规管道包覆玻璃棉或岩棉表面温度随保温层厚度 (玻璃棉或岩棉包覆厚度) 变化曲线。



▲—中空保温 95℃ 热水; ■—玻璃棉保温 95℃ 热水;
★—岩棉保温 95℃ 热水

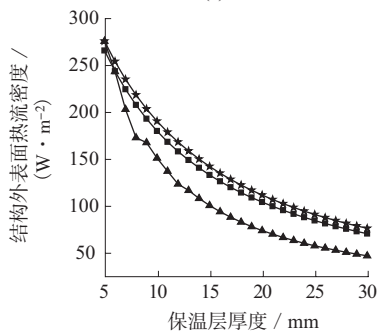
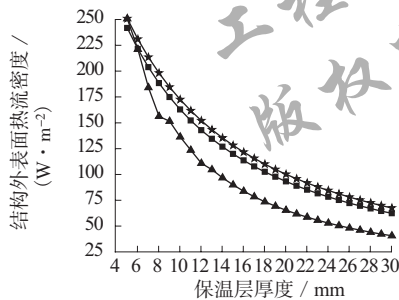
a—常年运行工况; b—季节运行工况

图 3 保温管外表面温度随保温层厚度变化关系曲线

从图3可以看出,无论是在常年运行工况还是在季节运行工况下,新型中空 PP-R 管护管表面温度和常规包覆玻璃棉或岩棉表面温度都随着中间空气层、玻璃棉或岩棉包覆厚度的增加而降低。当中间空气层厚度较低时,由于护管厚度固定且 PP-R 管护管导热系数大,故使新型中空 PP-R 管护管表面温度高于常规包覆玻璃棉表面温度,但随着新型中空 PP-R 管中间空气层厚度的进一步增大,护管表面温度急剧降低,新型中空 PP-R 管表现出良好的保温性能。

2.2 保温层厚度对管道热损影响

图4为管道热损与保温层厚度变化关系曲线。从图4可以看出,在中间空气层厚度与外层护管厚度之和小于6 mm时,由于新型中空 PP-R 管中间空气层与外层护管组成的等效保温层等效热阻小于岩棉,导致新型中空保温管热损高于管道包覆岩棉保温热损。但当中间空气层厚度与外层护管厚度之和大于6 mm时,随着保温层厚度增大,新型 PP-R 管道热损下降明显,无论是常年运行工况还是季节运行工况,新型中空 PP-R 管热损均远低于常规管道包覆玻璃棉或岩棉,表现出良好的绝热保温性能。



▲—中空保温95℃热水; ■—玻璃棉保温95℃热水;
★—岩棉保温95℃热水

a—常年运行工况; b—季节运行工况

图4 管道热损随保温层厚度变化关系曲线

2.3 极大允许热损对应保温层厚度变化

根据《工业设备及管道绝热工程设计规范》,

对常规管道包覆玻璃棉和岩棉保温以及新型中空 PP-R 管保温3种不同保温方式下的管径50 mm工作管在工质温度分别为75,80,85,90,95℃时达到其极大允许热损对应的保温层厚度进行了计算,计算结果如图5和图6所示。从图5常年运行工况下极大允许热损为93 W/m²的3种不同保温方式,包覆玻璃棉和岩棉厚度及新型中空 PP-R 管保温层(中间空气层和护管)厚度可以看出,5种不同温度下,新型中空 PP-R 管的保温层厚度均远小于常规管道包覆岩棉及玻璃棉厚度。特别是工质温度为95℃时,新型中空 PP-R 管中间空气层与护管厚度之和仅14.77 mm,远小于包覆玻璃棉厚度20.37 mm和岩棉厚度22 mm。新型中空 PP-R 管中间空气层和护管厚度比常规管道包覆玻璃棉厚度降低27.5%,比常规管道包覆岩棉厚度降低32.9%。

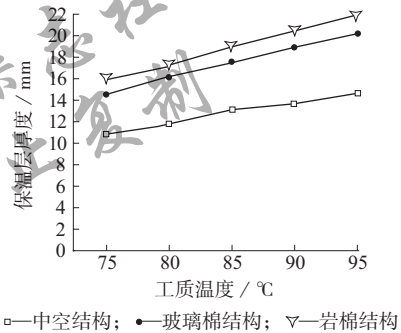


图5 保温结构热损为93 W/m²时保温层厚度

图6为季节运行工况下,极大允许热损163 W/m²时,3种不同保温方式在不同工质温度下的包覆玻璃棉和岩棉厚度及新型中空 PP-R 管中间空气层和护管厚度变化情况。

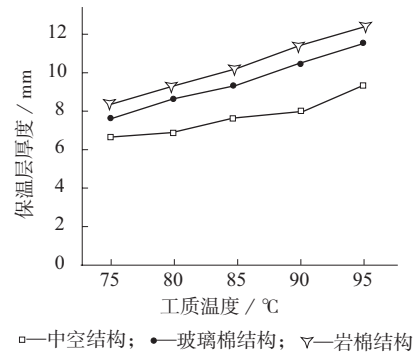


图6 保温结构热损为163 W/m²时保温层厚度

与常年运行工况类似,新型中空 PP-R 管保温层厚度同样小于常规包覆玻璃棉和岩棉厚度。在工质温度为95℃时,新型中空 PP-R 管中间空气层与护管厚度之和、常规管道包覆玻璃棉及岩棉厚度分别为9.2,11.5,12.4 mm,新型中空 PP-R 管保温层

厚度比常规管道包覆玻璃棉厚度减少 20%,比常规管道包覆岩棉厚度减少 25.8%。

3 结论

(1) 新型中空 PP-R 管表面温度和热损 (热流量) 均低于常规管道包覆玻璃棉和岩棉的表面温度和热损,新型中空结构相较于常规管道包覆玻璃棉、岩棉,具有良好的保温绝热性能,能够用于管道工质保温。

(2) 无论是在常年运行工况还是季节运行工况下,管道极大允许热损时,新型中空无规共聚聚丙烯管中空保温结构厚度都远小于同工况下的常规管道包覆玻璃棉、岩棉的厚度,理论上表现出良好的应用前景。

参考文献

- [1] 徐龙. 新型热力管道保温结构效果研究 [J]. 上海节能, 2015, 34(10):552-554.
Xu Long. Study on the effect of new type heat pipe insulation structure[J]. Shanghai Energy Conservation, 2015, 34(10):552-554.
- [2] 章劲文, 万超举. 新型中空围护结构供热管道的保温性能 [J]. 建筑热能通风空调, 2000, 19(1):41-42.
Zhang Jinwen, Wan Chaoju. Characteristic of a new type of hollow thermal insulation used for heat-supply piping[J]. Building Energy & Environment, 2000, 19(1):41-42.
- [3] 邹华生, 钟理, 伍钦. 流体力学与传热 [M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2004.
Zou Huasheng, Zhong Li, Wu Qin. Fluid mechanics and heat transfer[M]. Guangzhou: South China University of Technology Press, 2004.
- [4] 邓月超, 赵耀华, 全贞花, 等. 微热管阵列平板太阳能集热器中空保温层优化 [J]. 农业工程学报, 2015, 31(5):268-274.
Deng Yuechao, Zhao Yaohua, Quan Zhenhua, et al. Optimization of hollow insulation layer for flat plate solar collector based on micro heat pipe array[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(5):268-274.
- [5] 郑大宇, 陈鑫. 中空玻璃的保温方法和实验研究 [J]. 哈尔滨商业大学学报: 自然科学版, 2011 (6):739-742.
Zheng Dayu, Chen Xin. Study on energy-saving method of insulating glass[J]. Journal of Harbin University of Commerce: Natural Sciences Edition, 2011(6):739-742.
- [6] 王厚华, 黄春勇. 中空玻璃空气夹层内的自然对流换热 [J]. 重庆大学学报: 自然科学版, 2009, 32(7):809-814.
Wang Houhua, Huang Chunyong. Natural convection heat transfer in the air-layer of insulating glass[J]. Journal of Chongqing University: Natural Science Edition, 2009, 32(7):809-814.
- [7] 吴国忠, 曲娜, 顾晓东, 等. 中空玻璃多场耦合传热过程数值模拟 [J]. 大庆石油学院学报, 2009, 33(2):84-87.
Wu Guozhong, Qu Na, Gu Xiaodong, et al. Numerical simulation of heat transfer to insulating glass in multiple coupled fields[J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2009, 33(2):84-87.

中国林科院研发出高性能重组木制造技术

中国林业科学研究院自主研发的高性能重组木制造技术成果已通过专家鉴定。高性能重组木是以人工林木材为原料,以细胞为基本单元,通过定向重组与树脂复合而成的一种新型高性能天然高分子复合材料,可克服人工林木材径级小、材质软、强度低和材质不均等缺陷,具有性能可控、结构可设计、规格可调等特点,是小材大用、劣材优用的有效途径之一,是目前天然高分子材料领域研究的前沿和热点之

一。该院研发的高性能重组木制造技术,突破了传统以小径木为单元的疏解技术,利用木材加工后剩余的边角料,进行定向分离疏解,实现单板定向线裂纤维化分离,优化重组木结构。研发了负压逆向导入、真空加压导入、胶粘剂可控导入技术,解决了木束浸胶不均问题。高性能重组木具有强度高、耐腐蚀性强和耐候性好等优点,在建筑材料、园林景观材料、包装材料和家具等高性能结构材料领域具有广泛的应用前景。
(工程塑料网)

(上接第 30 页)

- [4] 刘典新, 王彩红, 李诚, 等. PA6 / EP / LiCl / SiO₂ 复合材料的结构与性能 [J]. 工程塑料应用, 2014, 42(4):1-4.
Liu Dianxin, Wang Caihong, Li Cheng, et al. Structure and properties of PA6 / EP / LiCl / SiO₂ composites[J]. Engineering Plastics Application, 2014, 42(4):1-4.
- [5] Kim K J, Hong D S, Tripathy A R, et al. Toughening and phase separation behavior of nylon 6-PEG block copolymers and in situ nylon 6-PEG blend via in situ anionic polymerization[J]. Journal of Applied Polymer Science, 1999, 73(7):1 285-1 303.
- [6] Petrov P, Gancheva V, Philipova T, et al. Synthesis of nylon-6 triblock copolymers with bifunctional polymeric activators[J]. Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry, 2000, 38(22):4 154-4 164.
- [7] Tsui S W, Johnson A F. Thermal behaviour of nylon 6-poly(ether-esteramide) block copolymers[J]. Journal of Materials Science, 1995, 30 (23):5 967-5 972.
- [8] Meng-Song Yn, Chen-Chi M Ma. Poly(caprolactam)-poly(butadiene-co-acrylonitrile) block copolymers: I. Synthesis, characterization, mechanical properties, and morphology[J]. Journal of Applied Polymer Science, 1994, 53(2):213-224.
- [9] Petrov P, Jankova K, Mateva R. Polyamide-6-b-polybutadiene block copolymers: Synthesis and properties[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2003, 89 (3):711-717.