

轮胎硫化机蜂窝式隔热板的分析和研究

陈赓, 周培林, 奉瑜

(桂林橡胶机械有限公司, 广西 桂林 541002)

摘要: 本文介绍了一种新型轮胎硫化机蜂窝式隔热板结构和材料, 并对其进行分析, 采用蜂窝状设计的板体、集成了固态圆柱气凝胶、配备密封底板, 改良后的结构和材料有非常大的性能优势, 且在满足工艺和节能方面有显著的提升。此结构既可以承受硫化机锁模力的压强, 也可以有效降低隔热板的导热系数, 提升隔热效果, 提高隔热板的抗变形能力和抗老化性能, 在降低电能损耗方面效果显著, 电能损耗大幅降低。

关键词: 硫化机; 蜂窝; 隔热板; 节能

中图分类号: TQ330.47

文献标识码: B

文章编号: 1009-797X(2025)11-0047-04

DOI: 10.13520/j.cnki.rpte.2025.11.011

在现代轮胎制造工艺的关键环节中, 轮胎胶料首先通过轮胎成型机进行初步成型和定型, 使其形成基本的轮胎轮廓结构, 随后, 这些半成品将被送入硫化机, 在高温高压的环境下进行硫化处理。经过一系列复杂的物理和化学变化, 轮胎最终转化为具备完整性能的成品轮胎。

轮胎硫化机隔热板处在硫化热板和主机架之间, 作为轮胎硫化机的关键部件发挥着重要的作用, 其作用是尽可能地减少热板向硫化机主机架的热传导, 从而达到只需要较少的热量, 就可以保持热板温度恒定的目的。其意义在于: 一是显著降低了能源消耗, 二是大大减轻了热应力对主机架造成的变形影响, 从而确保设备的正常运转和使用寿命。

1 技术背景

热量的传递主要通过三种途径: 热传导、热辐射和热对流。

热传导(也称导热)是通过物质内部微观粒子的振动和碰撞来传递热量的一种方式, 其导热效率取决于材料的导热系数。

热对流是指流体(液体或气体)由于温度差引起的宏观运动, 从而实现热量的传递。热对流只发生在液体或气体中。

热辐射是通过电磁波(主要为红外线)传递能量的一种方式, 不需要任何介质。

在目前的硫化机结构中, 轮胎硫化机的硫化室外

层的保温罩已经实现了理想的隔热效果, 因此, 热板对主机的热传导, 成了硫化室热量损失的主要途径。硫化机隔热板的隔热性能的重要性不言而喻, 通过降低轮胎硫化机隔热板的导热系数, 可以有效阻隔热量传递, 因此, 改进隔热板的隔热性能成为提升设备节能效果的突破方向。

1.1 轮胎硫化机隔热板的性能要求

根据隔热板的工作特点, 隔热板的性能指标应满足以下三个特别的要求

(1) 隔热板材料需具备优异的承压特性, 在正常硫化状态下, 热板和主机之间的最大工作压强在 1.5~2.5 MPa 的范围。只有材料能承受这个范围的压强, 才能保证热板与主机的结构稳定。

(2) 隔热板材料的导热系数尽可能小, 这是实现隔热效果的关键指标, 能最大限度地阻断热量的传递。

(3) 隔热板材料本身应具备优异的稳定性, 不仅要保持良好的抗变形特性, 还需具备持久的抗老化性能, 以确保设备长期可靠运行。

1.2 传统结构分析

传统的硫化机隔热板一般设计为圆环形, 单一实体隔热材料, 这种传统设计较为简单直接, 如图 1 所示。传统的硫化机隔热板的结构经历多次优化, 出现了一些优秀的改良结构。

作者简介: 陈赓(1989-), 男, 本科, 工程师, 主要从事机械设计方面的工作。

中国专利申请号 201922443138X 公开了一种单层多列通孔的硫化机隔热板的设计结构, 由于填充孔的开放性, 当填充防水材料差的硅酸铝时容易受潮, 隔热效果会大幅降低。当填充气凝胶时, 固体气凝胶会随时间逐渐散失, 影响隔热板效果, 需要定期更换材料。

另外一个中国专利申请号 202420160401.2 则在结构上进行了大胆创新, 其选用的隔热主体材料为保温棉, 这存在两个显著问题: 一是保温棉的疏水性能不佳, 二是其导热系数远高于气凝胶, 相差一个数量级, 隔热性受环境因素影响波动大。这些问题限制了其在实际中的效果。

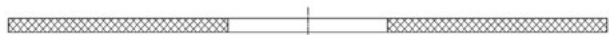


图1 传统轮胎硫化机隔热板

目前, 硫化机厂家使用的隔热板材料为: 增强玻璃纤维复合板材料。此类材料的主要性能参数为:

(1) 增强玻璃纤维复合板材料的导热系数: $0.15 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ 。

(2) 增强玻璃纤维复合板材料的抗压强度: 278 MPa (在室温条件 23°C 时) 和 176 MPa (在高温条件 200°C 时)。

(3) 增强玻璃纤维复合板材料的抗弯强度: 95 MPa (在室温条件 23°C 时)。

2 一种新型轮胎硫化机蜂窝式隔热板的研究和分析

在充分了解了传统硫化机隔热板的结构和用途后, 基于对轮胎硫化机隔热板性能提升的需求, 新型隔热板设计应着重优化以下方面: 首先, 我们可以采用更低导热系数的新型复合材料, 可以考虑将低导热系数的材料与高强度材料进行组合。其次, 在保证隔热性能的同时, 需要确保材料在高温环境下仍然具备足够的抗压强度, 并维持良好的抗弯性能。最后, 通过优化结构设计, 采用蜂窝状的特殊结构, 既能防止新型隔热材料消散, 又可提供更好的力学性能并延长其使用寿命。同时需着重考虑材料的抗老化特性, 确保长期使用性能稳定。

2.1 材料创新点

下面简单介绍一下轮胎硫化机隔热板的隔热原理。

轮胎硫化机隔热板的隔热效果可通过以下三个关

键参数及其关系来理解:

(1) 导热系数 r , 是评估材料隔热性能的一个关键物理指标, 导热系数的数值越小, 隔热性能越好。它的单位量纲为 $[\text{W/m}\cdot\text{K}]$ 。

(2) 热流量密度 q , 是单位面积通过的热功率, 它的单位量纲为 $[\text{W/m}^2]$ 。

(3) 温度梯度 d , 是隔热材料两侧的温度差与隔热材料的厚度之比, 它的单位量纲为 $[\text{K/m}]$ 。

这三个物理量遵循这个公式: $r=q/d^{[3]}$

以上单位量纲中的 W 表示功率瓦, m 是长度单位米, K 是开氏温度单位。

气凝胶^[2]是目前已知的最好的固体隔热材料, 导热系数低至 $0.018 \text{ W/m}\cdot\text{K}^{[1]}$, 兼具疏水性、防火防爆、耐高温性 (可达 1000°C 以上), 然而, 其主要局限在于抗压性能不足, 这一特性限制了其进行独立应用。

2.2 新结构设计

我们巧妙地设计了一种结合了 2 种材料优势的结构, 如图 2 和图 3 所示, 增强玻璃纤维复合板体 1 作为主体结构, 充分利用了其优异的抗压性能, 能够有效承受硫化过程中的锁模压力。通过蜂窝状圆柱形盲孔设计, 盲孔中填充形状尺寸相同的固态气凝胶圆柱 2, 凭借其低导热系数, 显著提升了整体硫化机隔热板的隔热效果。底板 3 的封装设计有效解决了气凝胶的固定和保护问题, 防止其在使用过程中流失和损坏。

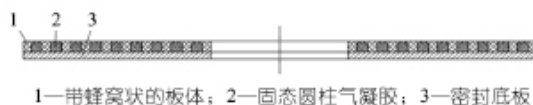


图2 蜂窝状隔热板剖面图

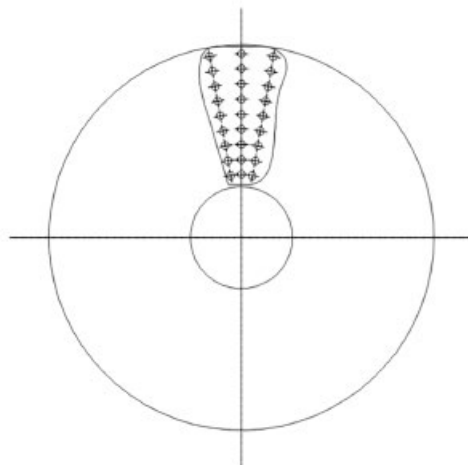


图3 蜂窝状隔热板平面图

这种结构设计实现了增强玻璃纤维复合材料和气

凝胶的优势互补，正好利用增强玻璃纤维复合材料抗压性能大大富余的特性，又结合了固体气凝胶材料优良的隔热效果，既保证了足够的抗压强度，又达到了理想的隔热效果。

2.3 新结构的安全性分析

这个设计方案的安全性分析如下：

当盲孔面积占总导热面积的 80% 时，意味着承压区域减少到原来的 20%，这使得增强玻璃纤维复合材料所承受的实际压强增加到原来的 5 倍，即 7.5~12.5 MPa。

然而，这个压强水平与材料的抗压强度相比仍有很大的安全余量：

(1) 在 23 °C 时材料抗压强度为 278 MPa

(2) 在 200 °C 时材料抗压强度仍有 176 MPa

即使在最不利的高温工况下，实际工作压强（最高 12.5 MPa）也远低于材料的抗压强度（176 MPa），安全系数充足，完全能确保隔热板在实际使用过程中的结构安全性。这种设计既优化了隔热性能，又保证了使用安全。

2.4 新型轮胎硫化机蜂窝式隔热板的节能效果

这种蜂窝式隔热板的节能设计主要通过两个方面实现：

(1) 面积优化

通过在增强玻璃纤维复合板（导热系数 0.15 W/m·K）上加工盲孔，将 80% 的导热面积替换为导热系数显著更低的固态气凝胶（导热系数 0.018 W/m·K）。

(2) 导热系数改善

用导热系数仅为 0.018 W/m·K 的气凝胶替代大部分导热面积，显著降低了整体隔热板的综合导热系数。原本这些区域是由导热系数为 0.15 W/m·K 的玻璃纤维复合材料占据的。

这种结构设计在保证足够抗压强度的同时，通过材料的合理搭配和面积分配，大幅提升了隔热效果，从而实现了显著的节能效果。

根据提供的计算公式，让我们计算新型蜂窝式隔热板的综合导热系数 r_1 ：

$$\begin{aligned} r_1 &= (20\% \times 0.15 \text{ W/m}\cdot\text{K}) + (80\% \times 0.018 \text{ W/m}\cdot\text{K}) \\ &= 0.03 \text{ W/m}\cdot\text{K} + 0.0144 \text{ W/m}\cdot\text{K} \\ &= 0.0444 \text{ W/m}\cdot\text{K} \end{aligned}$$

这个计算结果显示：

新设计的隔热板综合导热系数仅为 0.0444 W/m·K 相比原始的增强玻璃纤维复合板 (0.15 W/m·K)，

导热系数降低了约 70%。

这种显著的导热系数降低直接转化为更好的隔热效果，证实了这种复合结构设计在提升节能效果方面的优越性。

2.4.1 原始隔热板

让我们基于原始隔热板的热损失计算数据，分析其能耗情况：

一台双工位轮胎硫化机有 4 块这样的隔热板，一年按 360 个工作日计算，如果是采用电加热板，按工业用电 1.0 元 /kW·h。

2.4.1.1 原始参数

隔热板尺寸： $\Phi 1220 \times \Phi 320 \times 15 \text{ mm}$ ；

导热面积 s ：1.08 m²；

温度梯度 d ：7 000 K/m；

导热系数 r ：0.15 W/m·K。

2.4.1.2 热损失计算

(1) 单块隔热板

热流量密度 $q=r \cdot d=0.15 \times 7\ 000=1\ 050 \text{ W/m}^2$ ；

传导热损失 $Q=q \cdot s=1\ 050 \times 1.08=1\ 134 \text{ W}$ 。

(2) 年度能耗（双工位硫化机，4 块隔热板）

日耗电量：113.4 W×4 块×24 h=108.864 kWh/天；

年耗电量：108.864×360 天=39 191 kWh/年；

年度电费：39 191 kWh×1.0 元/kWh≈39 000 元。

2.4.2 新型隔热板

在相同的工作条件下重新计算新型隔热板的能耗：

2.4.2.1 新型隔热板参数

导热面积 $s=1.08 \text{ m}^2$ ；

温度梯度 $d=7\ 000 \text{ K/m}$ ；

综合导热系数 $r_1=0.018 \times 0.8+0.15 \times 0.2=0.0444 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ 。

2.4.2.2 热损失计算

(1) 单块隔热板

热流量密度 $q=r_1 \cdot d=0.0444 \times 7\ 000=310.8 \text{ W/m}^2$ ；

传导热损失 $Q=q \cdot s=310.8 \times 1.08=336 \text{ W}$ 。

(2) 年度能耗（双工位硫化机，4 块隔热板）

日耗电量：336 W×4 块×24 h=32.256 kWh/天；

年耗电量：32.256×360 天=11,612 kWh/年；

年度电费：11 612 kWh×1.0 元/kWh≈11 612 元（约 1.2 万元）。

2.4.3 对比原始隔热板

年节能量：39 191-11 612=27 579 kWh；

年节约电费：27 579 元（约 2.7 万元）；

节能率：70.4%。

从以上数据计算结果可以看出，这种新型蜂窝式隔热板的经济效益非常显著，如图 2，图 3，每台硫化机的年度节能效益：

（1）节能量：27 579 kWh（2.7 万 kW·h）。

（2）节约成本：27 579 元（2.7 万元）。

这种节能改造不仅能快速收回投资成本，还能持续创造经济效益，对企业来说是一项非常有价值的技术改造投资。同时，这也符合国家节能减排的政策导向，具有良好的社会效益。

3 结束语

这种新型蜂窝式隔热板设计的优势可总结为以下几个方面：

（1）结构设计优势：增强玻璃纤维复合板作为主骨架，保证了足够的抗压强度。整体保持良好的抗变

形能力。

（2）材料组合优势：填充导热系数极低的固态气凝胶材料，密封设计延长了气凝胶使用寿命。

（3）性能提升：显著降低综合导热系数，提高气凝胶抗老化性能，保证了足够的机械强度。

（4）经济效益：大幅减少热传导损耗，年节能 2.7 万 kW·h 时，年节约电费 2.7 万元。

这种创新设计在保证实用性的同时，实现了显著的节能效果，具有很好的工程应用价值。

参考文献：

- [1] 张兴丽，梁蒙康，马嘉．一种基于 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiC}$ 气凝胶的热防护系统隔热性能研究 [J]．航天器环境工程．2024(5):595-601.
- [2] 单婷，赵春林，乐弦，等．气凝胶研究进展 [J]．现代技术陶瓷，2018.39(1):1-39.
- [3] 李志信．过增元．对流传热优化的场协同理论 [M]．北京：科学技术出版社，2010.

Analysis and research on honeycomb insulation board for tire curing press

Chen Geng, Zhou Peilin, Feng Yu

(Guilin Rubber Machinery Co. LTD., Guilin 541002, Guangxi, China)

Abstract: This article introduces the structure and materials of a new type of honeycomb insulation panel for tire curing presses, and conducts an in-depth analysis. The insulation panel adopts a honeycomb design, integrates solid cylindrical aerogel, and is equipped with a sealed bottom plate. The improved structure and materials exhibit significant performance advantages, especially in meeting process requirements and energy conservation. This structure not only withstands the pressure of the curing press's clamping force but also effectively reduces the thermal conductivity of the insulation panel, significantly enhancing the insulation effect, strengthening the resistance to deformation and anti-aging performance of the insulation panel, and achieving particularly notable results in reducing electrical energy loss, which has been significantly reduced.

Key words: curing press; honeycomb; insulation panel; energy saving

(R-03)

