

轮胎硫化胶囊内压泄露自动检测

邓海珊

(上海人造板机械厂有限公司, 上海 201800)

摘要：轮胎硫化过程中，中心机构活塞杆的密封圈和胶囊的使用寿命，会随着轮胎硫化次数增多逐渐出现橡胶老化龟裂和破损现象，从而产生硫化介质（氢气、蒸汽）泄漏。因此及时发现轮胎硫化内压泄漏，能够有效减少轮胎报废。本次轮胎定型硫化机技术改造旨在解决相关问题，并提供综合解决方案，同时给轮胎企业带来良好的经济效益，提升轮胎品质和竞争力。

关键词：轮胎硫化；胶囊；泄漏；自动检测

中图分类号：TQ330.67

文献标识码：B

文章编号：1009-797X(2025)08-0055-05

DOI:10.13520/j.cnki.rpte.2025.08.012

1 轮胎硫化内压泄露检测现状

1.1 胶囊内泄漏与中心机构

改革开放至今，轮胎制造业在国内经历了蓬勃发展，目前中国的轮胎制造住进走向东南亚等市场，中国轮胎的进步也逐渐被世界所接受。这些年尽管中国轮胎装备制造取得了一些成绩，但是在某些领域依旧存在短板，比如我们对轮胎定型硫化机在内压泄漏判断检测这块技术的研究起步相对较晚，从20世纪90年代就有资料显示，国外有先进的轮胎设备制造商，分别对轮胎定型硫化机的中心机构泄漏检测进行了研究，并取得了很好的成果。到目前为止，轮胎定型硫化机，中心机构也已经发生了好几代技术进步，从轮胎硫化机引进中国市场开始，为满足不同型号的轮胎生产，各大轮胎设备厂家陆续开发了A型，B型，RIB型，C型中心机构。发现各型中心机构所使用的橡胶胶囊和密封圈，对轮胎的制造成本都有着息息相关的影响。因轮胎的硫化工艺不同而导致胶囊和密封圈的使用寿命有所差异。在国内的轮胎厂，广泛热衷于采用B型中心机构，不仅便于维修更换，更重要的使用寿命和制造技术都比较成熟。

1.2 轮胎定型工艺过程内压泄漏分析

轮胎定型硫化机内压泄漏，一般的泄漏可以分为氢气泄漏和蒸汽泄漏。轮胎刚进入硫化机室的时候，首先是进行氢气定型轮胎工艺，有少部分轮胎工厂采用低压蒸汽定型代替氢气定型。轮胎定型工序结束后，轮胎硫化将依次经历以下过程：中压蒸汽—高压蒸

汽—高压氢气—氢气保压—排空—抽真空。在经历一个完整轮胎硫化过程后，橡胶胶囊需要饱受几次高温、高压的硫化介质逐渐膨胀拉伸，在轮胎硫化工艺即将结束时，胶囊又需要被抽真空工艺进行收缩折叠。所以每一次轮胎硫化都在提速胶囊和密封圈老化。特别是胶囊在流体作用下容易发生胶囊局部应力集中，从而导致胶囊局部加速破损。硫化介质从胶囊破损处溢出，如图1所示。



图1 硫化机胶囊内压泄漏

轮胎硫化胶囊内压泄漏一般容易导致轮胎欠硫，欠硫的轮胎存在安全隐患不得被使用与机动车安装。但是实际生产过程中，这种轻微的胶囊泄漏表现的特征不稳定，很难被发现。常见的手段是通过观察轮胎

作者简介：邓海珊（1986—），男，工程师，本科，主要从事橡胶机械设计与研发工作。

在硫化工序结束时，硫化机的在开模过程中，轮胎活络模花纹板打开的一瞬间，观察硫化机顶部是否存在大量的水蒸气溢出胶囊，从而判断胶囊是否存在泄漏。发现泄漏必须及时更换胶囊。从胶囊泄漏到泄漏被发现这个事件看，暂时属于概率性事件。从分析来看，这个过程必定存在一定数量的欠硫轮胎未被检测而流入市场，给汽车行驶带来了安全隐患。

解决胶囊内泄漏的问题，成为了各大轮胎厂商持续改善的难题。主要的难点是胶囊泄漏的位置具有不确定性，有的密封圈位置的泄漏，有轮胎侧面位置的泄漏，也有轮胎胎面位置的泄漏。不同的位置泄漏对轮胎的影响也各有轻重。不同位置的泄漏量导致增加了检测难度。胶囊一旦发生了内压介质泄漏，轮胎内侧会留下些许痕迹，如图2所示，轮胎内侧会遗留一块小斑点。

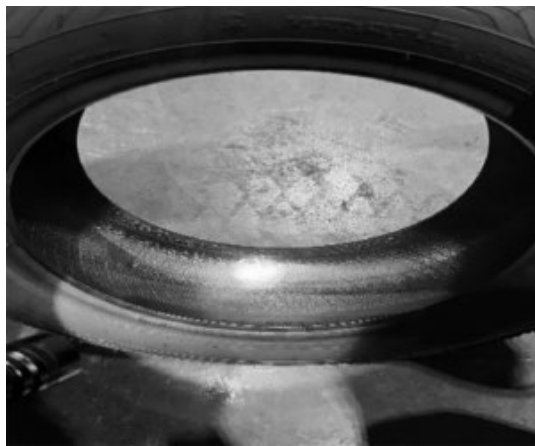


图2 胶囊泄漏的轮胎

近些年，随着轮胎生产自动化水平日益提高，越来越多的轮胎制造工厂将实现无人操作管理。因此研发胶囊内泄漏自动检测迫在眉睫。由于各家的水平略有差异，大部分轮胎工厂是根据平时测试后的胶囊的使用次数作为胶囊使用寿命，从而提前将胶囊泄漏的风险排除，这种简单粗暴的方法主动牺牲了胶囊使用寿命。也有些厂家自主研发了一些新技术，其中常见的检测手段是胶囊氮气在线保压检测和环境温湿度检测。

1.3 内压管道保压测试法

管道保压检测法是使用最普遍的方法。在轮胎硫化机控制程序上设定胶囊内泄漏检测程序。当胶囊使用了一定的次数后，调用胶囊泄漏检测程序。使用胶囊检测程序无需生胎，胶囊内充入一定量的高压氮气，待管道内压力稳定后，关闭管道上的流体进出口阀门，

安装在管道上的压力传感器实时采集压力数据传送到PLC，PLC根据内压环境的压力变化趋势判断胶囊是否存在泄漏的。该方法适用于氮气定型的硫化工艺。

1.4 温湿度激光检测法

常见的环境温湿度检测方法是在硫化机的中心机构上附近安装一个传感器，传感器具有发射和接收特定波段功能。当遇上内压有泄漏的时候，泄漏的流体对周围环境中的空气密度和湿度将会产生影响，温湿度传感器通过对周围环境中空气发射的光束以及接收的反射光波之间的波长对比，判断波形变化进而来判断胶囊是否存在泄漏。温湿度传感器的检测原理如图3所示。

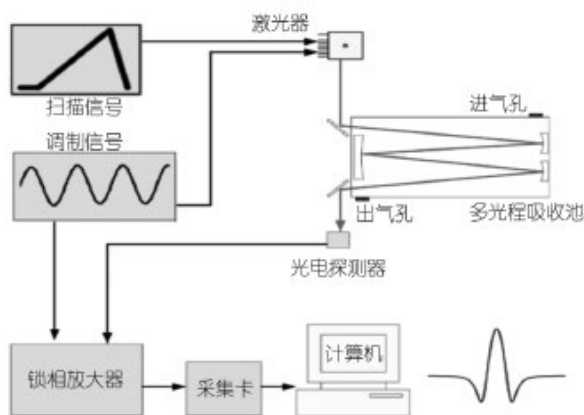


图3 温湿度传感器检测原理

2 轮胎硫化内压泄露检测的目标

2.1 硫化机线上检测

本方案采用轮胎定型硫化机在工作过程线上检测方式。硫化机胶囊内压泄漏检测系统具有压力，温度，湿度等参数实时跟踪采样功能，系统根据异常自动报警提示，并由PLC发出指令指导轮胎硫化机下一步操作。胶囊泄漏的检测要求准确率达到因内压泄露引起的轮胎报废不大于1.2 tire/event。检测系统的工作时间与轮胎硫化机工作时间保持同步。当系统检测出有泄漏了，PLC立即发出报警提示。并执行管道保压测试中心机构泄漏情况。提示现场管理人员再次确认内压是否存在泄漏。

2.2 方便维护

检测系统维护方便，系统要求实现一定的自我诊断和自我维护功能。需要有一定的传感器长时间使用导致灵敏度下降检测功能，管道系统长时间使用可能会积聚轮胎硫化产生的焦油等杂物，需要时系统自我

清洁功能自动完成工作。

3 检测方法

3.1 研究方向和可行性分析

研究发现导致轮胎硫化机内压泄漏的主要原因有：管路杂质随流体混合，容易刺破胶囊；长时间在高温高压环境下使用的橡胶密封圈容易老化龟裂，导致密封圈失去密封性能；中心机构的胶囊夹盘上的螺钉松动等。轮胎定型硫化机内压泄漏的介质主要是氮气和蒸汽。硫化工艺中的氮气温度一般在 30~50℃，而在硫化过程中使用的饱和蒸汽温度基本在 175℃ 以上。在硫化过程中氮气的压力维持在 2.8 MPa，而高压蒸汽压力 2.3 MPa 左右。所以通过检测发现两种介质的压力相差不大，但是温度相差显著。所以将检测目标首选为温度变化作为变量。泄漏流体的温度变化作为研究对象似乎更有利于提高方案的可靠性。备件市场可提供丰富的压力、温度检测仪器和技术成熟的传感器，将有利于实验的顺利进行。

3.2 内压泄漏检测原理

从轮胎硫化过程分析，假如发生蒸汽泄漏，那么胶囊外温度会偏离正常的环境温度很多，那么温度作为目标函数迭代泄漏的介质温度能够出现明显的变化量。假如发生氮气泄漏，那么破损的胶囊在下一锅轮胎硫化蒸汽进入时必然发生蒸汽泄漏。同理根据检测泄漏温度变化判断内压是否泄漏。初定胶囊内压泄漏检测系统原理如下图 4 所示。

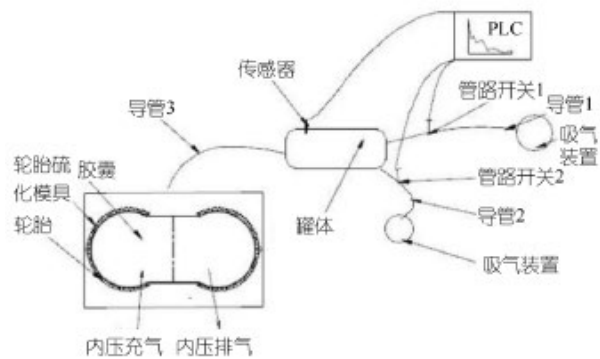


图 4 胶囊内压泄漏检测系统原理图

轮胎硫化胶囊内压泄漏的检测方案分两阶段进行：第一步，PLC 实时采集罐体环境静态温度，在硫化工艺高温蒸汽进入胶囊阶段，吸气装置吸入一定量的环境空气，然后通过比对罐体内的静态空气温度，温差 ΔT_1 超出 10℃ 判断中心机构密封圈存在泄漏。

第二步，在硫化工艺抽真空—主机开模阶段，吸气装置吸入一定量的环境空气，然后通过比对罐体内的静态空气温度，温差 ΔT_2 超出 5℃ 判断胶囊泄漏。

3.3 流体管道设计：

管道是流体运动的重要通道，设计合理的流体管道能够提高检测效率。在硫化机的横梁顶部安装一根通往活络模的吹风管道，管道上安装有温度传感器。管道上的传感器安装位置不能距离模具太近，否则热板温度（175℃）容易通过热传导的方式快速被传感器检测，影响数据准确性。同时传感器的安装位置也不能距离热板位置太远，不然泄漏流体的信息不能及时被传感器收集到。管道连接模具端为吸热端，管道另外一端连接传感器，模具热量主要是通过传导的方式将热量带到管道上，管道将传导吸收的热量主要通过对流方式散热到空气中，轮胎硫化机上安装胶囊内压泄漏管道如图 5 所示。

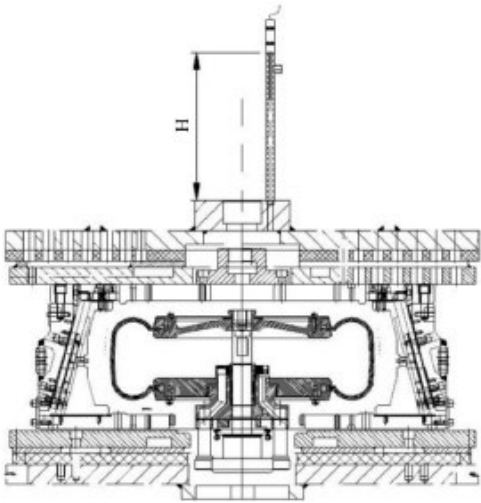


图 5 胶囊内压泄漏检测系统管道图

根据吸热传导和对流散热能量守恒原理，计算主管道的长度按照下面的计算公式：

$$L_2 = \frac{\lambda_2(t_0 - t_1)Ln(\frac{D_0}{D_1})}{2\eta 2\eta h_1 L_1 \lambda_2 (T - T_a)}$$

公式中

T —传递热源表面温度； T_a : 传递热源环境温度；
 λ_1 : 热源传导部分材料导热系数； D_0 : 导管外径；
 D_1 : 导管内径； L_1 : 导热部分长度；
 η : 热传递效率； λ_2 : 散热管散热系数；
 h_1 : 对流散热管高度； t_0 : 热源表面温度；
 t_1 : 环境温度； L_2 : 对流散热管长度。

3.4 流体管道设计

有些微小的泄漏在轮胎硫化过程中很难被发现, 经过分析得出主要原因是胶囊泄漏的流体体积小。泄漏的流体量太少有可能导致流体还未来得及被检测, 就已经被环境吸收中和。其次, 泄漏的流体往往夹带着焦油, 管道长时间被焦油污染, 容易导致管路堵塞, 焦油凝结严重, 会影响传感器检测效果。因此设计时需考虑, 吸气装置要求效果高, 满足硫化机开模瞬间 3~5 s 内能够检测到泄漏流体信息。使用一定体积的清洁气体高速清洁管道, 清洁管道的气体不能进入模具。

泄漏流体和管道清理的气体统一汇聚到废气处理管道, 不但提高了检测效率, 而且减少了模具污染造成的轮胎瑕疵。

3.5 PLC 数据处理提高分析能力

传感器采集的温度和湿度, 数据实时传递到 PLC。目标数据与环境以及轮胎规格有关系。随着轮胎硫化机使用的时间累积, 环境温度呈现上升趋势。流体泄漏的温度视为一个稳定变量。传感器采集的温

度目标数据也是一个变量, 检测系统将轮胎硫化过程中连续 5 个环境温度的平均温度作为稳定变量, 并实时记录在 PLC 处理器。传感器每 0.02 s 采集一个温度数据, 实时采集数据与目标温度建立一次函数关系。经过跟踪现场实验数据分析比对, 内压流体泄漏时温度变化很明显, 即使微小的泄漏, 温差都会大于 5 °C, 泄漏的流体会导致管道内湿度上升。PLC 综合分析温度和湿度最终在轮胎硫化机开模结束时, 提前做出硫化机内压泄漏报警提示, 避免因泄漏导致轮胎继续硫化生产。

4 胶囊泄漏线上检测与应用前景分析

4.1 有利于提高硫化机的自动化水平

内压泄漏检测结构简单, 改造技术内嵌于原有系统和设备, 工程难度可控, 几乎可以覆盖市场上所有硫化机。轮胎硫化机每一次工作都进行实时检测, 检测数据自动汇总到数据中心。系统能够根据不同的轮胎规格和轮胎硫化机使用时间自动调用配方信息。同时增加了 HMI 报警显示。如图 6 所示:

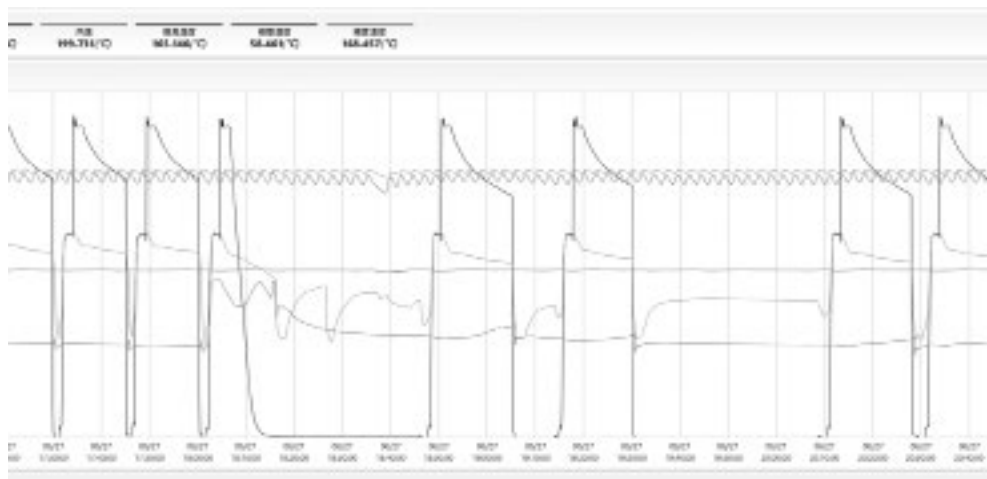


图 6 胶囊泄漏 HMI 报警界面

胶囊内压一旦发生泄漏报警, 操作人员只需要在机台再次确认即可。相比较改造前的检测手法, 简单高效。

4.2 有利于提高轮胎品质

原来泄漏检测都是通过观察刚生产的轮胎内侧是否有泄漏流体的残留痕迹判断。微量的泄漏或者泄漏部位发生在密封比较严密的位置时, 这种情况极易发生, 但又很难被发现。所以在轮胎生产过程, 从发生容轻微泄漏到严重泄漏产生的轮胎报废是一种非

人为因素导致的不可控。我们的改造方法采用了主动采集和精准分析相结合, 可以统一检测标准, 微量探测技术可极大程度减少轮胎硫化过程中内压流体泄漏导致的报废率。

5 结束语

轮胎定型硫化机内压泄漏检测技术融合了数据自主采集和数据自动分析自动判断的技术应用。内压泄漏流体的信息采集是本次技术研发的重点攻克难题。

易导致轮胎报废。而且微量的泄漏容易被环境中和,影响检测效果。其次,焦油的自动收集和清理装置的应用也是一大亮点,轮胎硫化过程中产生焦油,焦油在传感器的探头部位长期积累影响测量的可靠性。轮胎硫化机内压泄漏全自动检测技术改造,提高了轮胎品质,产生了良好的市场应用价值。

Deng Haishan

Abstract: During the tire curing process, the service life of the sealing ring and bladder of the piston rod in the central mechanism will gradually decrease with the increase in the number of tire curing cycles, manifesting as rubber aging, cracking, and damage, which in turn leads to leakage of curing medium (such as nitrogen and steam). Therefore, timely detection of tire curing internal pressure leakage is crucial for reducing tire scrap. This technical transformation of the tire shaping curing press aims to address the aforementioned issues and provide a comprehensive solution, with the expectation of bringing significant economic benefits to tire companies and enhancing the product quality and market competitiveness of tires.

(R-03)

(R-03)