

自动化技术在液压式轮胎硫化机中的节能应用分析

蒋鸿斌

(中化(福建)橡塑机械有限公司, 福建 三明 365500)

摘要: 轮胎硫化是轮胎生产全流程中能耗最高的关键环节, 而轮胎硫化机作为该环节的核心设备, 其能耗高低直接关系到轮胎生产企业的日常运营成本, 也决定了企业在绿色发展道路上的推进速度。本文首先分析液压式轮胎硫化机运行能耗分布特点, 然后结合具体应用方向探讨了电气自动化技术在液压式轮胎硫化机节能控制中的应用方法, 这些方法为轮胎企业朝着绿色、高效、智能化的发展方向提供了借鉴。

关键词: 电气自动化技术; 硫化机; 节能; 伺服控制; 智能传感

引用论文: 蒋鸿斌. 自动化技术在液压式轮胎硫化机中的节能应用分析 [J]. 橡塑技术与装备, 2026, 52(9):26-30.

中图分类号: TQ330.493

文章编号: 1009-797X(2026)09-0026-05

文献标识码: B

DOI: 10.13520/j.cnki.rpte.2026.09.005

0 引言

随着我国“双碳”目标的明确提出, 制造业的节能降耗工作是行业发展的核心重点^[1]。轮胎制造业属于典型的高能耗行业, 其中硫化工序的能耗占整个轮胎生产流程能耗的60%以上, 因此硫化工序的节能降耗工作是关键突破口^[2]。轮胎硫化机作为硫化工序的核心生产设备, 主要是通过营造高温、高压的环境, 让轮胎胎坯完成硫化反应, 最终形成具备合格强度、弹性和耐磨性的成品轮胎^[3]。长期以来, 我国多数轮胎生产企业一直沿用传统的手动控制或半自动化控制模式, 这就导致硫化机在运行过程中, 动力输出与实际生产需求不匹配, 能耗监测不及时, 不仅造成了大量电能、热能的浪费, 还对轮胎产品的质量稳定性产生了不利影响^[4]。电气自动化技术的快速发展, 为轮胎硫化机的节能控制提供了全新的技术支持。

电气自动化技术是利用传感器、可编程序控制器(Programmable Logic Controller, PLC)与伺服控制等技术实现设备与产线自动运行的技术, 被称为“工业的神经中枢”。陈志^[5]利用智能传感器与能源管理策略检测加热过程中的能源利用效率, 但未包括设备电机运行以及设备总体的电能消耗, 以避免无效能耗; 裘浩明^[6]提出利用PLC的先进比例-积分-微分(Proportional-Integral-Derivative, PID)控制技术和

高精度传感器, 实现硫化工艺过程的稳定性和均一性, 以减少硫化机的热能消耗, 但未提出PID算法在电磁加热的硫化工艺的具体实施方案; 魏应展等^[7]提出采用伺服液压系统对压力和流量进行实时闭环控制, 调整实时输出, 减少了硫化机的动能消耗, 从而达到节能效果。本文将探讨自动化技术在液压式轮胎硫化机节能控制中的应用方法, 这些方法为轮胎企业朝着绿色、高效、智能化的发展方向提供借鉴意义。

1 轮胎硫化机的工作原理与能耗分布特点

1.1 轮胎硫化机的工作原理

轮胎硫化机最核心的作用是轮胎胎坯的硫化和成型, 工作流程主要分为装胎合模、升温升压、恒温恒压硫化、开模取胎这四个关键阶段^[8]。硫化机通过PLC技术设定工艺参数控制温度、压力、时间这三个关键因素, 让胎坯里的橡胶分子互相交联, 形成稳固的三维网状结构, 使得轮胎具备足够的硬度、韧性、耐磨性等特性, 满足各类使用工况要求。合模阶段通

作者简介: 蒋鸿斌(1991-), 男, 电气工程师, 主要从事硫化机电气设计工作。

过电机或液压缸将上下两个模具紧紧合在一起，是硫化机主传动环节，为接下来的硫化反应做好准备；升温升压阶段是硫化反应的“预热准备”，该阶段硫化机的加热系统会慢慢把模具的温度升到提前设定好的数值，压力系统会往模具里注入高压蒸汽或者氮气；在恒温恒压硫化阶段，硫化机通过 PLC 控制程序把温度和压力稳定在预设的范围内，让橡胶分子充分发生交联反应，形成稳固的结构；最后，在开模取胎阶段，经过以上升温升压、恒温恒压硫化后胎坯硫化成型，硫化机会自动卸去模具里的压力，通过主传动进行开模，通过卸胎装置把成型好的轮胎取出来，这样就完成了一次完整的硫化加工。

1.2 轮胎硫化机的能耗分布特点

液压式轮胎硫化机工作流程分为装胎合模、升温升压、恒温恒压硫化、开模取胎这四个关键阶段，液压硫化机区别于传统机械式硫化机在于用液压动力驱动的液压缸代替各类电机驱动、动力水驱动、气力驱动，如主传动采用液压缸直驱，各类动力系统如装胎装置、卸胎装置、活络模驱动装置、中心机构均由液压缸驱动。宋月涛等^[9]在对轮胎硫化能耗分析及节能措施中指出，升温升压、恒温恒压硫化阶段主要通过加热系统对模具和胶囊进行温度和压力的控制，该部分能耗占比约 74.6%，动力系统在硫化机整体能耗中占比约 20.3%。谭晶等^[10]在对轮胎电磁感应加热直压硫化模具内鼓瓦感应线圈的优化设计中提出新型电加热伺服液压硫化机的加热系统和动力系统分别占整体能耗的 68.5% 和 17.8%，总共占比 96.3%。据中国橡胶工业协会行业能效统计调研：国内主流硫化机其加热系统和动力系统分别占硫化工序整体能耗的 75% 和 20%，总共占比 95%。最后，其他系统的能耗占比相对较低，约为 5%~10%，是除了加热系统与动力系统外，保障硫化机正常运行的辅助配套系统，主要包括电气控制、散热、冷却、照明、润滑与气动等运行所需的能源。

如图 1 液压式轮胎硫化机能耗分布图，综上硫化机四个关键阶段的能耗占比约为整体能耗的 95%，这四个阶段是硫化过程的主要阶段也是能耗集中阶段。本文尝试以其中的加热系统与动力系统为突破口，利用电气自动化技术，对设备能耗监测、硫化工序加热程序控制、液压动力系统能耗控制，三个方向展开探讨，以提升硫化机的节能应用。

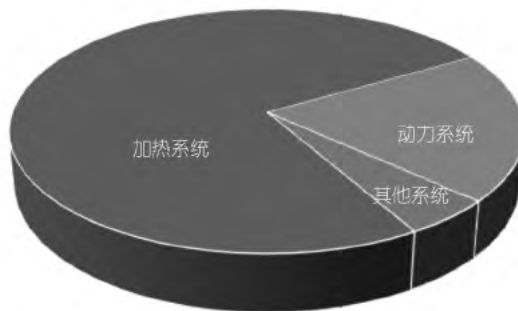


图 1 液压式轮胎硫化机的能耗分布图

2 电气自动化技术在轮胎硫化机节能控制中的应用方法

2.1 智能传感与监控技术在硫化机能耗监测中的应用

对硫化机节能进行分析，首先需要实时掌握设备的能耗数据，智能传感与监控技术很好地解决了这个关键问题，为后续的节能控制工作，提供了大量的、可信赖的数据支持。通过在电控柜安装电能表，监控整体的电能损耗；通过智能传感器在硫化机各个关键的能耗节点，如加热系统的热板和模具、动力系统的液压站、加热系统的蒸汽管道等处安装智能传感器，实时捕捉能耗数据并传回 PLC，实现对这些数据的动态监控、记录、分析，具体如下：

(1) 加热系统的监测。如图 2 所示，将温度传感器采用多点布置的方式，确保硫化时模具的每一个部位都能被监测到，同时把采样频率调到 100 Hz 以上，保证温度监测的准确性，避免因温度监测不准而影响节能效果；使用高精度的蒸汽压力变送器实时监测硫化腔内的压力变化，防止因压力监测出现偏差，造成不必要的能耗浪费。

(2) 动力系统的监测。通过安装电流、电压传感器，实时记录伺服电机运行时的能耗数据，选用抗干扰能力比较强的应变式压力传感器监测液压系统的压力变化，如监控开模、合模、装胎和卸胎动作时的能量消耗，这样就能全面掌握动力系统的能耗情况。

(3) 能耗数据的分析。这些传感器收集到的温度、压力、电能消耗等各类数据会实时传送到触摸屏上，工作人员在设备前，就能清楚直观地看到设备的运行状态和能耗变化，一旦发现能耗出现异常，比如机械装置润滑不到位导致执行相应动作时能耗上升，或者某台设备的液压系统出现内漏导致能耗明显上升，就能第一时间排查故障、解决问题，避免能耗浪费。其

次,通过横向对比同型号设备在硫化时的热能损耗和纵向对比同一台设备在不同生产班次时硫化的热能损耗,及时发现异常的热能损耗。最后,通过大量监测数据的积累,对数据进行分析总结,能找到能耗消耗最严重的关键环节,为后续的节能优化工作,提供科学、可靠的数据依据,进一步优化硫化机的能耗。

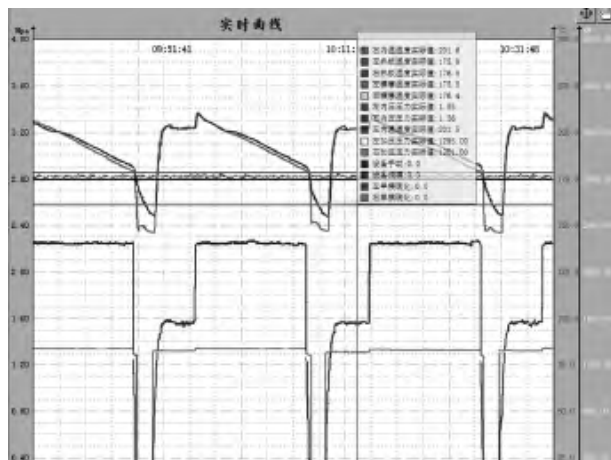


图2 硫化机温压实时监测图

2.2 PLC 控制技术在硫化工艺中的节能应用

PLC 控制系统在轮胎硫化机的节能控制中起到了核心支撑作用,也是保障工艺参数精准性的关键所在。轮胎硫化的整个过程,对温度、压力以及硫化时间这三个核心参数有着极高的要求。传统加热系统采用的是蒸汽导热方法,这样不仅能耗偏高,而且参数控制

的误差特别明显,工艺参数容易波动,影响硫化轮胎产品质量,以及造成大量的能源浪费。

因此,新型的电磁加热孕育而生,电磁感应加热具有生产效率高、运行成本低、安全性高、绿色环保等特点^[11]。但是,相比于传统的蒸汽导热,电磁加热容易出现热板与模具供热不均匀的情况,使得电磁加热对程序的控制要求更高,否则容易出现因部分位置硫化温度过高造成的过硫问题和加热元件过度输出造成的能源浪费,基于以上问题,本文提出在硫化机中利用 PLC 控制器采用独立的 PID 算法控制电磁加热控制程序,结合一线操作人员的长期实践经验,反复调试、设定了一套贴合生产实际的 PID 控制逻辑,为电磁加热控制逻辑提供一种可行的实施方案,解决部分位置硫化温度过高造成的过硫问题和加热元件过度输出造成的能源浪费。

为解决以上温度不均、能源过度输出问题,本文提出将上下热板和模套内部进行独立分区的控制方案,该方案执行如图3独立加热区 PID 控制逻辑图的逻辑程序,上下热板和模具的每个区域都有对应独立的功率和数量的加热元件、独立的温度传感器和独立的 PID 工艺参数(比例系数 K_p 、积分系数 K_i 、微分系数 K_d) ;其中,比例系数影响当前温度差的反应强度,数值越大响应越快,积分系数能够消除长期存在的静差,累积修正温度差,微分系数负责预测温度差趋势,抑制系统震荡,增强稳定性。



图3 独立加热区 PID 控制逻辑图

$$u = K_p \cdot e + K_i \cdot \int e dt + K_d \cdot de/dt \quad (1)$$

$$e = SP - PV \quad (2)$$

式中: SP 为硫化温度, PV 为实际温度, e 为温差, u 为反馈调节数值。

PLC 控制器对每个区域执行独立 PID 运算逻辑,根据实时计算硫化温度与实际温度的温差,对温差进行 PID 运算如式(1),以此调节加热元件功率,从而解决各区域温度不均的问题;此外,PLC 控制器可以精准控制各个区域加热状态,维持设定的硫化温度,如一旦发现某个区域数据出现偏差,就会立刻自动调整该区域电加热功率,确保硫化温度稳定在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 以

内,这样一来提升了电磁加热的控制精度,实现热板和模具均匀供热,有效避免了能源过度输出。

2.3 伺服控制技术在硫化机动力系统节能控制应用

液压式轮胎硫化机的动力系统主要由定量泵和普通电机等关键设备组成,这部分也是硫化机能源消耗的主要环节之一。传统的动力系统控制采用的是工频运行模式,简单来说就是不管生产负荷大小,电机始终保持一定的转速运转,哪怕设备处于空载状态,电机也照样高速运转,这样就造成了大量的能源浪费。本文分析伺服控制系统对液压系统动力输出的控制,

通过动态调节电机转速与扭矩，实现节能降耗。

如图 4 所示，伺服液压控制系统，液压式轮胎硫化机通过 PLC 输出流量值 Q_1 与压力值 P_1 控制伺服驱动，伺服驱动通过控制电机的转速 n_1 与扭矩输出 T_q ，从而控制液压系统的流量 Q 与压力 P 。其中，液压系统的流量与电机的转速成正比，液压系统的压力与电机的扭矩成正比，并且通过对比液压阀的压力传感器的反馈信号 P_2 ，可以实现压力的闭环控制，通过伺服电机编码器反馈的转速 n_2 ，实现流量的闭环控制，最终实现压力、流量双闭环控制模式。

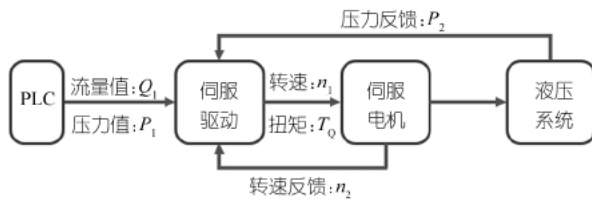


图 4 伺服液压控制系统

当硫化机完成装胎合模、开模取胎这些动作后，液压站不需要维持高负荷运行，伺服控制单元同步调节电机输出，让电机以低速运转，维持运转所需的压力就可以；当液压系统开始工作，系统压力下降时，伺服系统快速响应，提升压力限制，驱动电机高扭矩输出，为设备提供足够的动力。这种根据生产负荷动态调整电机转速的方式，结合伺服控制的高精度调节，有效减少了硫化机运行时的动能消耗。

3 结束语

轮胎硫化机最核心的作用是轮胎胎坯的硫化和成型，硫化工序主要分为装胎合模、升温升压、恒温恒压硫化、开模取胎这四个关键阶段，其中升温升压和恒温恒压硫化是硫化机加热系统主要组成部分，装胎合模和开模取胎是硫化机动力系统主要组成部分，加热系统和动力系统的能耗占比约为整体能耗的 95%，因此四个阶段是硫化工序的主要阶段也是能耗集中阶段。

本文以加热系统与动力系统为突破口，利用电气自动化技术，对设备能耗监测、硫化工艺加热程序控制、液压动力系统能耗控制，三个方向展开探讨，以提升硫化机的节能应用。其中，设备能耗监测得到数据为能耗的动态监控、记录、分析提供基础；提出独立加热区 PID 控制逻辑方案，解决了热板、模具温度不均、能源过度输出问题；此外，探讨了伺服控制系统对液压系统动力输出的控制，通过动态调节电机转速与扭矩，实现节能降耗。

在实际生产中，各个企业可以根据自己的生产规模、设备现状，有针对性地采用上面提到的技术，从多方面发力，去实现节能降耗、降本增效的目标，推动轮胎生产行业朝着绿色、高效、智能化的方向稳步发展。

参考文献：

- [1] 丁振堂. 轮胎硫化机技术创新四阶段，践行节能降耗 [J]. 中国橡胶, 2025,41(08):43-49.
- [2] 樊若男. 轮胎硫化机内外模电磁加热装置研究 [D]. 山东大学, 2023.
- [3] 邱伟平. 径向伸缩式轮胎硫化机内模机构设计与研究 [D]. 华南理工大学, 2021.
- [4] 赵璞, 李楠. 疏水阀在半钢轮胎硫化机的节能应用 [J]. 橡塑技术与装备, 2021,47(03):28-32.
- [5] 陈志. 轮胎硫化机电加热系统节能效率提升研究 [J]. 中国轮胎资源综合利用, 2025,(12):53-55.
- [6] 裴浩明. 节能视域下轮胎定型硫化机改造优化路径 [J]. 中国轮胎资源综合利用, 2025,(07):94-96.
- [7] 魏应展, 林本宏, 黎保新. 伺服液压系统在轮胎硫化机中的节能应用 [J]. 机床与液压, 2018,46(08):86-88+92.
- [8] 薛超旭. 液压轮胎硫化机快速换模机构及油温控制研究 [D]. 青岛科技大学, 2019.
- [9] 宋月涛, 王峰, 李明, 等. 全钢轮胎硫化工艺能源消耗的分析 [J]. 橡塑技术与装备, 2023,49(05):54-57.
- [10] 谭晶, 谭敏, 杨卫民, 等. 轮胎电磁感应加热直压硫化模具内鼓瓦感应线圈的优化设计 [J]. 北京化工大学学报 (自然科学版), 2021,48(03):99-105.
- [11] 张扬. 我国轮胎硫化机电加热的现状与发展趋势 [J]. 橡塑技术与装备, 2025,51(9):14-17.

Analysis of energy-saving application of automation technology in hydraulic tire curing press

Jiang Hongbin

(Sinochem (Fujian) Rubber Machinery Co. LTD., Sanming 365500, Fujian, China)

Abstract: Tire curing is the key process with the highest energy consumption in the entire tire production process. As the core equipment in this process, the energy consumption of the tire curing press directly affects the daily operating costs of tire manufacturing enterprises and determines the speed of their advancement towards green development. This article first analyzes the characteristics of energy consumption distribution in the operation of hydraulic tire curing presses, and then explores the application methods of electrical automation technology in energy-saving control of hydraulic tire curing presses based on specific application directions. These methods provide references for tire enterprises to develop towards a green, efficient and intelligent direction.

Key words: electrical automation technology; curing press; energy saving; servo control; intelligent sensing

(R-03)

狂赚 23 亿！倍耐力押注高端大尺寸轮胎 Earning a whopping 2.3 billion! Pirelli bets on high-end large-size tires

受高价值轮胎销售拉动，倍耐力 2026 年上半年净利润增长 13%，达到 3.4 亿美元（约合 23.05 亿元人民币）；营收与去年基本持平，为 39.7 亿美元（约合 269.74 亿元人民币），调整后经营利润率保持在 16%。

尽管整体销售额持平，倍耐力表示，其高端轮胎业务的增长和定价的改善，帮助抵消了全球需求走弱的影响。公司提到的其他因素包括不利的汇率波动，以及地缘政治问题导致的成本上升。

其中，2 季度营收增长 1% 至 20 亿美元（约合 135.86 亿元人民币），利润增长近 4%，达到近 1.62 亿美元（约合 11.01 亿元人民币）。

倍耐力表示，其聚焦大尺寸高端轮胎的战略持续见效——高价值产品占总销售额的 82%，比去年提升 2 个百分点。高端乘用车和摩托车轮胎销量增长 3.5%，倍耐力在两大业务板块的市场份额均有提升。

在北美市场，倍耐力指出替换市场表现强劲，并持续获得整车厂的支持。近期，倍耐力宣布计划对其美国业务投资 10 亿至 12 亿美元（约合 67.93 亿~81.51 亿元人民币），资金将用于提升产能，并推动 Cyber Tyre 技术的开发与部署。

倍耐力在财报中还提到，期内获得了约 200 个新的原配认证，其中 90% 为 19" 及以上大尺寸轮胎，60% 为电动汽车配套。

倍耐力提醒，全球需求预计将走弱，降幅在 1%~3% 之间。公司表示原配需求也将下滑，但高端替换胎（包括下半年在北美市场）有望持续增长。

倍耐力重申了全年财务指引，但由于持续的经济不确定性，下调了对全球轮胎需求的预期。倍耐力报告的全年营收仍接近 80 亿美元（约合 543.42 亿元人民币），调整后 EBIT 利润率约为 16%。

摘编自“中国轮胎商务网”

(R-03)

