

2024 年度福建省科学技术奖提名项目公示内容

项目名称: 基于人工智能的高效节能轮胎硫化机关键技术及应用

提名奖种: 福建省科学技术进步奖

提名单位: 三明市科学技术局

项目简介:

轮胎硫化装备是轮胎制造的核心设备，其技术水平直接影响产品质量、生产效率和能源消耗。当前，国际先进硫化机已全面应用人工智能闭环控制技术，实现 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 的高精度温控，综合能效较传统设备提升 30%以上。相比之下，我国硫化机仍以 PLC 控制为主，能耗高、效率低、废品多，严重制约我国轮胎产业的高端化发展。针对这一“卡脖子”难题，本项目聚焦智能工艺优化、数字孪生技术、机器人上下料、深度节能技术应用，成功研制出具有自主知识产权的深度节能轮胎硫化机。项目成果显著提升了我国轮胎装备的智能化水平和能源利用效率，对推动行业绿色转型升级、助力实现“双碳”目标具有重要意义。

项目通过产学研深度融合，历经数年攻关，研发了硫化机智能控制系统，发明了轮胎柔性上下料智能机械手，创新了高效节能的轮胎硫化成套装置，解决了上述关键技术难题：

1. 研发了基于人工智能的轮胎硫化工艺参数控制技术。研发了基于物联网的无线传感、智能网关、远程监控三大智能感知控制策略，实现运动参数及硫化参数的实时感知及耦合分析，构建基于工业物联网的数字化集成控制与管理系统，实现了轮胎硫化工艺参数的智能感

知与网络化管理；构建了轮胎硫化-传热耦合方程，提出了基于数值标定法的混合动力学模型来描述橡胶在热硫化阶段硫化程度随着时间、温度的变化规律。明晰了焦烧、硫化程度和温度等硫化特性参数的变化规律，揭示水囊厚度、初始温度、介质温度、橡胶热物性等因素对轮胎硫化特性的影响机制，提出基于黏菌优化算法的自学习优化算法，实现了硫化温度分区控制和硫化时间的自适应匹配。揭示了硫化温度、压力、时间与硫化机定型、合模、加热、硫化、开模等硫化工序动作的耦合规律，研发了动态自适应液压控制系统，动态分析优化控制优化液压系统。提出一种基于 LTCN-BLS 新型轻量化深度学习算法，研发出硫化机故障自诊断系统。

2. 发明了轮胎柔性上下料智能机械手。构建了硫化机上下料机器人运动学模型及一种基于动物群优化的机械手定位控制及其在严重震动环境下的误差补偿算法；开拓性地提出了基于两层网络控制理论的机器视觉在线对中检测系统，构建了基于基于迭代学习控制和卡尔曼滤波的轮胎胎体抓取移动增强模型，实现了不同规格轮胎上下料的精准定位夹持；建立了硫化机机械手在搬运过程柔软胎体变形模型，基于 ORB 特征匹配算法的多尺度触觉图像序列特征提取算法，研发出了硫化机机械手柔性抓取末端执行器，减小了抓取对轮胎内部结构的破坏，确保了轮胎的均匀性。

3. 创新了轮胎硫化机深度节能技术。研发了硫化机智能化液压系统。构建了伺服直驱泵控液压系统数学模型及多模态可拓控制智能控制策略，研发出了硫化机智能化液压系统，提高了生产效率 5%，节能效率达 36.3%；针对传统硫化工艺采用过热水和蒸汽硫化导致能耗过高问题，揭示温度测量滞后、补水回水流量变化等因素对硫化过程的影响规律，构建过热水温度控制系统的数学模型，设计左右二套

独立管路，降低了硫化能耗。针对轮胎不同区域的硫化变温控制要求，温控性能在温升速度，抑制超调性能，响应时间等性能显著改善。

通过项目的实施，建立了硫化机智能终端装备与轮胎生产企业的物联网无缝融合的机制，完善了基于工业物联网的数字化集成控制与管理系统的轮胎硫化机研发体系，自主技术的超前研发，前瞻技术的探索，为客户提供了高性能硫化机综合解决方案，率先在硫化机行业建立了全过程数字化示范车间。

主要完成单位：

三明学院

广州宝力特液压技术有限公司

中化（福建）橡塑机械有限公司（原福建天华智能装备有限公司）

厦门理工学院

东方电气（福建）创新研究院有限公司

主要完成人及其贡献：

序号	姓名	工作单位	对成果创造性贡献
1	艾子健	三明学院；	项目负责人，液压系统的开发
2	吴海丹	广州宝力特液压技术有限公司	液压系统开发及实验
3	张杰	中化（福建）橡塑机械有限公司	硫化机装备电气系统研发及实验
4	贾鹤鸣	三明学院	智能化控制系统研究，控制算法的研究
5	纪联南	三明学院	上料系统研发及实验
6	陈焯	中化（福建）橡塑机械有限公司	装备调试及实验
7	廖延章	中化（福建）橡塑机械有限公司	轮胎硫化模具开发及加热系统研究
8	蔡良霄	中化（福建）橡塑机械有限公司	硫化胶囊及加热系统研究及实验

9	王县贵	中化（福建）橡塑机械有限公司	硫化温度控制系统的研究及实验
9			
10			

主要知识产权:

序号	专利名称	专利类型	申请人	发明人
1	一种用于大行程重载夹具的自动对中机构	发明专利	三明学院； 东方电气（福建）创新研究院有限公司； 广州宝力特液压密封有限公司	艾子健、李万成、 郭凯俊、何庆
2	一种辅助 V 型推力杆成型的夹具	发明专利	三明学院	艾子健、林泽烽、 林嘉伟、余昌杰
3	一种送料机构	发明专利	三明学院	杨基鑫、王焜洁、 邱思杰、纪联南
4	一种自动化抓取装置	发明专利	三明学院	杨基鑫、王焜洁、 张雯娟、邱思杰、 纪联南、高浩
5	基于计算机的液压设备远程智能监控方法及系统	发明专利	广州宝力特液压技术有限公司	吴海丹、陈竹礼、 钟育奎、申晟、薛艳
6	一种液压系统漏液故障智能诊断及系统	发明专利	广州宝力特液压技术有限公司	吴海丹、薛艳、陈竹礼、 钟育奎
7	一种硫化机及其液压系统	发明专利	广州宝力特液压技术有限公司	陈竹礼、吴海丹、 薛艳、陈煜熙
8	一种轮胎硫化后充气用柔性对中锁紧装置	发明专利	福建天华智能装备有限公司	廖延章
9	一种轮胎硫化机卸胎装置	发明专利	福建天华智能装备有限公司	蔡良霄、张启深、 王县贵、黄书伟、 潘铭云
10	工程胎翻转卸胎装置	发明专利	福建天华智能装备有限公司	王县贵
11	带自动取件功能的数控机床系统	发明专利	三明学院；福建天华智能装备有限公司； 厦门理工学院	李长顺

代表性论文专著：

序号	论文名称	作者	发表刊物	发表时间	署名第一单位
1	Multi-strategy Remora Optimization Algorithm for solving multi-extremum problems	Heming Jia; Honghua Rao; Changsheng Wen; Laith Abualigah	Journal of Computational Design and Engineering	2023.06	三明学院
2	Improve coati optimization algorithm for solving constrained engineering optimization problems	Heming Jia; Shengzhao Shi; Di Wu; Honghua Rao ; Jinrui Zhang ; Laith Abualigah	Journal of Computational Design and Engineering	2023.10	三明学院
3	Modifed crayfish optimization algorithm for solving multiple engineering application problems	Heming Jia; Xuelian Zhou; Jinrui Zhang; Laith Abualigah; Ali Riza Yildiz; Abdelazim G. Hussien	Artificial Intelligence Review	2024.04	三明学院
4	单向顺序阀平衡回路的性能分析	陈可欣；艾子健； 张杰；陈璐祺； 刘明华	工程机械	2023.06	三明学院
5	一种硫化机自适应伸缩内模技术研究	张杰；艾子健； 魏剑；陈焜； 赵少聪	科学新生活	2024.06	福建天华智能装备有限公司