

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：

轮胎硫化机是生产轮胎的关键机械装备，其性能直接决定了胎体的耐磨性、耐屈挠度等使用寿命关键性能指标。进入“十四五”规划时期，轮胎硫化机的发展面临着新的机遇和挑战。在智能制造的大背景下，轮胎硫化机需要进一步优化结构、提高性能，以适应轮胎生产智能化、连续化、高效化的需求。但国内高性能硫化机成套装备的研发存在以下共性技术难题：传统硫化机控制系统智能化水平低、硫化温度控制适应性差；轮胎上下料运动精度、稳定性及适应性差；硫化过程中存在耗能严重，效率低下，响应慢等问题。

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
- 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）
- 福建省集茂源建设工程有限公司
- 福建博业建设集团有限公司
- 厦门理工学院

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	广州宝力特液压密封有限公司	液压系统开发及实验
3	贾鹤鸣	三明学院	上下料机械手控制方法及控制系统的研究
4	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
5	纪联南	三明学院	硫化温度控制系统的研究及实验
6	陈竹礼	广州宝力特液压密封有限公司	智能化控制系统研究，控制算法的研究
7	陈烨	中化（福建）橡塑机械有	硫化胶囊及加热系统研究及实验

		限公司	
8	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
9	蔡良霄	中化（福建）橡塑机械有限公司	上料系统研发及实验
10	王县贵	中化（福建）橡塑机械有限公司	装备调试及实验

主要知识产权:

序号	专利名称	专利类型	申请人	发明人
1	一种综合化扬尘式循环分离系统及分离方法	发明专利	三明学院	艾子健、张梓伟、李万成、陈旭发
2	一种用于空心管的上下料装置及其上下料方法	发明专利	三明学院	艾子健、李万成、万宇、肖庆敏
3	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
4	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	艾子健、李万成、郭凯俊、何庆
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	广州宝力特液压密封有限公司	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方法及系统	发明专利	广州宝力特液压密封有限公司	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	广州宝力特液压密封有限公司	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

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	贾鹤鸣等	Journal of Computational Design and Engineering	2023/6	三明学院
2	改进人工大猩猩优化算法的机器人路径规划	贾鹤鸣等	新乡学院学报	2023/12	三明学院
3	基于改进黏菌算法的无线传感器网络覆盖	贾鹤鸣等	新乡学院学报	2022/126	三明学院
4	一种硫化机自适应伸缩内模技术研究	张杰等	科学新生活	2024/6	三明学院
5	一种硫化机自适应伸缩内模技术研究	陈烨等	探索科学	2024/6	三明学院