

蒙药制造装备智能化关键技术与发展策略研究

包文育^{1,2,3} 张春友¹ 韩太平^{1*}

1. 内蒙古民族大学 工学院, 内蒙古 通辽 028000

2. 蒙东高寒经济特色作物智能农机装备内蒙古自治区工程研究中心, 内蒙古 通辽 028000

3. 牧草智能装备创新中心, 内蒙古 通辽 028000

[摘要]蒙药作为我国独特的传统医药之一,在民族医药中占据着重要的地位。然而,当前蒙药生产多使用通用装备,缺乏针对其特性的专用装备,影响了生产效率和产品质量,限制了产业的现代化发展。文中首先分析了当前用于通用药材制造装备的产业发展现状,系统梳理了国内外在粉碎、脱壳及清洗装备智能化领域的技术进展与应用案例。基于上述技术分析,文中提出了蒙药制造装备智能化的具体实现路径和发展策略。展望未来,机械化、自动化与智能化水平的深度融合将进一步促进蒙药制造装备的智能化发展,助力蒙药产业现代化与国际竞争力提升,对带动整个蒙药产业的高质量发展具有深远的意义。

[关键词]蒙药; 制造装备; 粉碎; 脱壳; 清洗; 智能化

DOI: 10.33142/cmn.v3i2.18174

中图分类号: R29

文献标识码: A

Research on Key Technologies and Development Strategies for Intelligent Manufacturing Equipment of Mongolian Medicine

BAO Wenyu^{1,2,3}, ZHANG Chunyou¹, HAN Taiping^{1*}

1. College of Engineering, Inner Mongolia Minzu University, Tongliao, Inner Mongolia, 028000, China

2. Inner Mongolia Engineering Research Center of Intelligent agricultural machinery equipment for alpine economic characteristic crops in eastern Inner Mongolia, Tongliao, Inner Mongolia, 028000, China

3. Innovation Center for Intelligent Forage Equipment, Tongliao, Inner Mongolia, 028000, China

Abstract: Mongolian medicine, as one of the unique traditional medicines in China, occupies an important position in ethnic medicine. However, the current production of Mongolian medicine mostly uses general equipment and lacks specialized equipment for its characteristics, which affects production efficiency and product quality, and limits the modernization development of the industry. The article first analyzes the current industrial development status of equipment used in the manufacturing of general medicinal materials, and systematically reviews the technological progress and application cases in the field of intelligent crushing, shelling, and cleaning equipment at home and abroad. Based on the above technical analysis, the article proposes a specific implementation path and development strategy for the intelligence of Mongolian medicine manufacturing equipment. Looking ahead to the future, the deep integration of mechanization, automation, and intelligence will further promote the intelligent development of Mongolian medicine manufacturing equipment, help modernize the Mongolian medicine industry and enhance its international competitiveness, and have profound significance in driving the high-quality development of the entire Mongolian medicine industry.

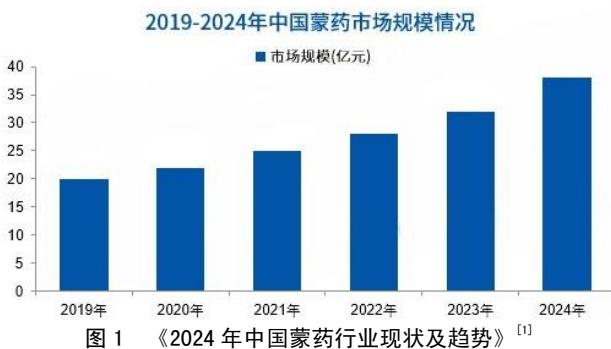
Keywords: Mongolian medicine; manufacturing equipment; crushing; shedding; cleaning; intelligentization

引言

蒙药作为中国传统医药体系的重要组成部分,拥有悠久的历史和独特的理论体系。近年来,国家持续加大对中医药及少数民族医药发展的支持力度。国务院印发的《“十四五”中医药发展规划》明确提出,要重点推进少数民族医药的发展,将其作为核心任务之一,为蒙药等民族医药的传承与创新提供了有力的政策保障。在政策扶持不断加强、民族文化自信日益提升的双重推动下,叠加公众对健康需求的增长以及对传统医学价值的重新认识,我国蒙药产业实现了快速发展。如图1所示,根据华经产业研究院发布的《2024年中国蒙药行业现状及趋势》报告显示,截至2023年,全国蒙药市场规模已攀升至约32亿元,展

现出强劲的发展潜力^[1]。然而,目前蒙药生产企业普遍使用的是从市场上采购的通用药品生产装备,尚未配备专门针对蒙药产品特性的专用装备。由于蒙药在处方组成、药材配伍及制备工艺等方面与化学药品和常规中药存在显著差异,现有通用装备难以满足其生产工艺要求。这导致在实际生产过程中,许多关键工序缺乏适配的机械化装备,仍依赖传统手工操作,这极大地限制了蒙药产业的发展潜力。正因如此,推动蒙药制造装备向专业化、智能化转型升级,已成为突破产业瓶颈的关键所在。本文系统梳理了通用药材制造装备产业的发展现状,聚焦粉碎、脱壳与清洗等关键环节,深入分析了国内外智能化技术的应用进展与典型案例。在粉碎环节,通过集成智能传感器与控制系

统,实现了对粉碎过程的实时监测与参数优化,显著提升了效率与产品均匀性;在脱壳环节,借助自动化检测与质量控制技术,达成了工艺参数的精准调控与运行稳定性;在清洗环节,筒式混合机的智能化设计与自动化清洗流程有效解决了交叉污染与效率低下的难题。基于上述技术路径,本文进一步提出了蒙药装备智能化的发展策略,强调多技术融合、系统集成与数字化管理的协同推进。展望未来,智能制造将深度融合新材料、新工艺与智能装备,推动蒙药制造向高端化、智能化发展,为产业现代化与国际竞争力提升提供有力支撑。



1 制药装备产业发展现状

随着医药现代化进程的不断推进,通用药材制药装备作为支撑传统医药产业高质量发展的关键环节,其技术水平与智能化程度日益成为制约行业升级的核心因素。秦昆明等指出,当前中药制药装备整体技术水平较为落后,智能化程度不足,制约了产品质量的稳定性和生产效率的提升^[2]。杨学民进一步分析了制药企业装备管理中存在的问题,强调装备自动化与智能化改造是提升企业核心竞争力的关键路径^[3]。程京等从中医智能装备视角系统总结了智能传感与自动控制技术在传统制药装备中的应用现状,认为智能化改造能够有效解决传统装备效率低下及质量波动的问题^[4]。

在粉碎装备领域,国外研究多聚焦于自动化与智能控制技术的集成应用,借助先进传感器实现粉碎过程的实时监测与参数优化,显著提升了粉碎均匀性和能耗效率^[5]。国内粉碎装备智能化改造尚显不足,装备老化问题突出,亟需引入智能监测与控制技术以实现粉碎过程的精准调节^[6]。脱壳工艺作为药材制造中的关键环节,曾瑾等于2022年指出,智能检测与质量控制技术的应用显著提升了脱壳效率和产品合格率,减少了人工干预带来的不确定性^[7]。筒式混合机清洗装备的智能化设计日益成为研究热点,2021年,张丽丽等强调自动化清洗系统在防止交叉污染和提升清洗效率方面具有显著优势^[8]。2020年,冯绘敏等介绍了电子传感技术在中药材分析中的广泛应用,为装备智能化提供了坚实的技术支撑^[9]。程翼宇等在2019提出智慧精益制药工程理论,强调通过信息化与智能化手

段推动中药工业转型升级^[10]。唐雪等从新工艺与新装备角度展望了中成药生产中智能装备的应用前景,认为新技术融合将引领制药装备向高效、绿色、智能方向发展^[11]。药材制药装备正处于由传统向智能化转型的关键阶段,亟需借鉴国内外先进技术,推动粉碎、脱壳及清洗装备的智能化升级,实现生产效率与产品质量的双重提升。这不仅契合现代制药工业的发展趋势,也为传统医药产业的可持续发展奠定了坚实基础^[12-14]。

2 制药装备智能化相关技术研究现状

2.1 粉碎装备智能化技术研究

2.1.1 国外粉碎装备自动化与智能控制技术

随着智能制造的快速发展,国外粉碎装备在自动化与智能控制技术方面取得了显著进展。欧美和日本等发达国家通过引入先进的传感器技术、数据采集系统及智能算法,实现了粉碎过程的实时监测与精准控制,显著提升了装备的生产效率和产品质量稳定性。

国外主流粉碎装备普遍配备了多参数传感器,如振动传感器、温度传感器和粒径在线检测仪,能够实时采集关键工艺参数。这些数据通过工业物联网平台传输至中央控制系统,利用机器学习和大数据分析技术对粉碎过程进行动态调整,确保粉碎粒度均匀且符合工艺要求^[15]。此外,国外粉碎装备智能控制系统通常采用模块化设计,便于装备升级和维护。系统架构如图2所示,该架构实现了从数据采集、传输、分析到执行的闭环控制,确保粉碎过程的高效稳定运行。远程监控和智能诊断功能使装备维护更加及时和精准,降低了停机风险。国外粉碎装备的自动化与智能控制技术已形成较为成熟的体系,为蒙药制造装备智能化改造提供了宝贵的技术借鉴。

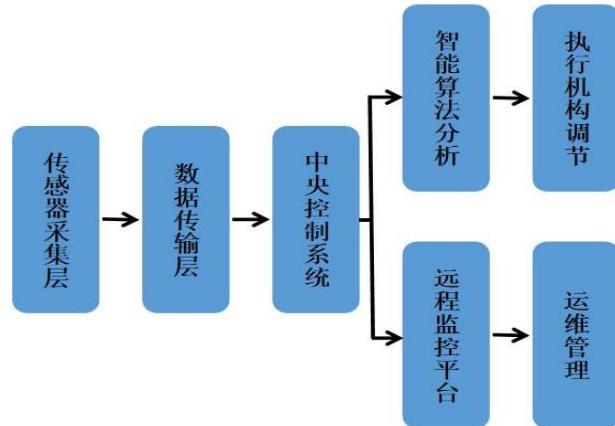


图 2 国外粉碎装备智能控制系统架构

2.1.2 国内粉碎装备智能化改造现状与问题

国内粉碎装备的智能化改造虽取得一定进展,但仍面临诸多亟待解决的问题。2013年,赵之璧进一步分析了智能化改造的瓶颈,主要体现在智能传感器应用不足、数据采集与处理能力有限,以及缺乏统一的智能控制平台,

导致粉碎过程难以实现精准调控^[16]。同年,李泮海与尹爱群强调,当前国内粉碎装备在智能化改造中技术集成度不高,自动化控制系统响应速度较慢,影响了粉碎过程的稳定性和均匀性^[17]。王艳萍等在2014年通过实验证明了粉碎粒度对有效成分含量的显著影响,强调智能装备必须具备对粉碎粒度的精确调节功能,以确保药材质量稳定^[18];苗旭辉等在2015年总结认为,智能化改造应注重传感器技术与先进控制算法的深度融合,以实现粉碎过程的精准控制和优化^[19]。2018年,赵洪珍开发的高效率粉碎装备在提升生产效率方面表现突出,但智能化水平仍处于初级阶段,缺乏对关键粉碎参数的动态调控能力^[20]。次年,钱珊珊等指出,虽然超微粉碎技术在中药领域得到广泛应用,但智能化监测与反馈调节机制尚未完善,难以实现粉碎过程的实时优化与动态调整^[21]。国内粉碎装备智能化改造虽取得一定成效,但仍需加强智能传感器的应用、提升数据处理能力及控制系统的集成度,推动粉碎过程向自动化、智能化和精细化方向发展,以满足现代蒙药制造对高效、精准装备的需求^[4]。

2.1.3 粉碎过程参数智能监测与优化技术

粉碎过程参数的智能监测与优化技术是提升蒙药粉碎装备性能的关键环节。通过引入先进的传感器技术和数据采集系统,实现对粉碎过程中的关键参数如转速、温度、振动、粒径分布等的实时监测,能够有效掌握装备运行状态和产品质量变化。智能监测系统利用多传感器融合技术,采集多维度数据,结合边缘计算和云平台,实现数据的快速处理与反馈,确保粉碎过程的稳定性和高效性。

在参数优化方面,基于采集的数据,采用机器学习算法对粉碎过程进行建模和分析,识别影响粉碎效果的关键因素,并通过智能控制系统动态调整装备运行参数,实现粉碎效率和产品均匀性的双重提升。通过调整转速和进料速度,可以显著改善粉碎粒径的分布范围,减少过细或过粗颗粒的产生,提高药材的利用率和后续工艺的适应性。

2.2 脱壳工艺智能化技术研究

2.2.1 国外脱壳装备智能控制技术发展

随着制药工业自动化和智能化水平的不断提升,国外脱壳装备的智能控制技术取得了显著进展。智能脱壳装备通过集成先进的传感器技术、自动控制系统和数据分析平台等,实现了脱壳过程的实时监测与精准调节,极大地提高了生产效率和产品质量稳定性。其中,以德国、日本和美国为代表的发达国家,率先将机器视觉、力反馈传感器及人工智能算法应用于脱壳装备中,推动了脱壳工艺的智能化升级^[2-6]。

2.2.2 国内脱壳工艺自动化技术应用现状

国内脱壳工艺自动化技术取得了显著进展,众多研究成果和企业实践表明,自动化脱壳装备在提升生产效率和保障产品质量方面发挥了关键作用。王文杰等人设计的基

于PLC控制的茯苓自动去皮机,实现了脱壳过程的自动化控制,显著提升了装备的稳定性和操作便捷性^[22]。亳州市楚王制药机械制造有限公司开发的带壳中药材脱壳处理装置,通过机械结构优化与自动化控制技术,有效解决了传统脱壳装备易损耗及脱壳不彻底的问题^[23]。广东慧达康制药有限公司提出的一种中药药材脱壳装置,采用智能传感器实时监测脱壳状态,实现了过程的动态反馈与精准调节,显著增强了装备的智能化水平^[24]。化州市华逸中药饮片有限公司研发的带壳药材脱壳机,集成自动化控制系统,不仅提升了脱壳效率,还大幅减少了人工干预,提高了生产的连续性和稳定性^[25]。赵洪珍等针对医疗药材的高效粉碎装备,也在脱壳环节引入自动化设计理念,推动了装备整体性能的提升^[20]。重庆归真阁中医药开发有限公司设计的种子类药材快速脱壳装置,融合机械自动化与智能控制技术,实现了脱壳速度与质量的双重优化^[26]。综观上述研究与应用,国内脱壳工艺自动化技术正朝着智能化、集成化方向稳步发展,重点聚焦于提升脱壳效率、装备稳定性及产品质量控制等关键环节。尽管在机械结构创新、控制系统集成和智能监测方面取得了诸多突破,但多传感器融合与智能算法的深度应用仍有待加强,以实现更高水平的脱壳过程智能化和质量保障^[22-24]。结合数字化管理平台与大数据分析技术,将进一步推动脱壳工艺的自动化升级,满足蒙药制造装备智能化发展的迫切需求。

2.2.3 脱壳过程智能检测与质量控制技术

脱壳过程作为传统药材制造中的关键环节,其智能检测与质量控制技术直接影响最终产品的质量和生产效率。传统脱壳工艺多依赖人工经验,存在脱壳不彻底、破损率高及效率低下等问题。随着智能制造技术的发展,脱壳过程的智能检测系统逐渐应用于生产线,实现了对脱壳状态的实时监控和自动调节^[27]。

智能检测技术主要依托于高精度传感器和图像识别技术,通过对脱壳机械的振动、声音、温度等参数进行采集,结合机器视觉对脱壳效果进行在线检测,能够准确识别脱壳完整度和破损率。采用高清摄像头对脱壳后的药材进行图像采集,利用深度学习算法分析图像特征,自动判别脱壳质量,及时反馈给控制系统调整机械参数,确保脱壳过程的稳定性和一致性。

2.3 筒式混合机清洗装备智能化技术研究

2.3.1 国外清洗装备智能化设计与实现

随着制药行业对生产效率和产品质量要求的不断提升,国外在筒式混合机清洗装备的智能化设计与实现方面取得了显著进展。智能化清洗装备不仅提高了清洗效率,还有效降低了交叉污染风险,保障了药品的安全性和一致性。欧美和日本等发达国家率先引入了自动化控制系统、传感器技术和数据分析平台,实现了清洗过程的全程监控与智能调节。国外智能清洗装备普遍采用多传感器融合技

术,实时监测清洗液的温度、压力、流量及残留物浓度等关键参数。

2.3.2 国内筒式混合机清洗智能化技术现状

国内筒式混合机清洗智能化技术取得了显著突破,相关研究与专利不断涌现,推动了清洗装备的自动化与智能化水平显著提升。2018年,潘金槐提出的自清洁胶囊粉末混合机设计,通过自动清洁机构有效缩短了人工清洗时间,提升了装备运行效率与卫生安全性^[28]。2021年,中科健康产业集团设计的药物混合机缸体清洁机构,采用智能感应技术,能够根据实际清洗需求自动调节清洗参数,既保证了清洗效果,又节约了用水和清洗剂^[29]。四川青和药业有限公司在2023年开发了中药粉末混合机搅拌装置,集成智能控制系统,实现了叶片自动清洁功能,显著降低了交叉污染风险^[30]。同年,广州傲农生物科技有限公司提出的混合机叶片自清洁系统,结合传感器实时监测叶片表面残留物,通过自动喷淋与机械刮除技术,实现了清洗过程的智能化与高效化^[31]。次年,天津市好日子动物药业有限公司研发的便于清洁的兽药生产原料混合装置,采用模块化设计理念,便于拆卸与清洗,配合智能控制系统实现自动清洗流程^[32]。2025年,重庆凯麦隆机械制造有限公司推出的全自动自清洁混合研磨系统,集成多种传感器与智能控制算法,能够实时调整清洗参数,确保装备在不同工况下均达到最佳清洗效果^[33]。

这些技术创新不仅极大提升了筒式混合机的清洗效率,还有效解决了传统清洗过程中存在的交叉污染和清洗不彻底问题。文献普遍指出,智能传感器、自动控制系统与机械结构优化的深度融合,是实现清洗装备智能化的核心所在。传感器技术能够实时采集装备内部残留信息,结合智能算法精准判断清洗需求,自动调整清洗程序与参数,显著提升清洗精准度与节能效果。模块化与易拆卸设计为智能清洗系统的维护与升级提供了便利条件^[29,31]。

总体而言,国内筒式混合机清洗智能化技术正朝着集成化、自动化和智能化方向快速发展。结合物联网、大数据等现代信息技术,未来有望实现装备全生命周期的智能管理与远程监控,进一步提升蒙药制造装备的生产效率与产品质量。

2.3.3 清洗过程智能监控与自动化技术

清洗过程智能监控与自动化技术是提升筒式混合机清洗效率和保障产品质量的关键环节。传统清洗多依赖人工操作,存在清洗不彻底、交叉污染风险高及效率低下等问题。智能监控技术通过传感器实时采集清洗过程中的温度、压力、流量和残留物浓度等关键参数,实现对清洗状态的动态监测和反馈控制,确保清洗过程的科学性和稳定性。

自动化技术则通过集成PLC控制系统和执行机构,实现清洗程序的自动启动、运行和结束,减少人为干预,

提高操作的规范性和一致性。智能清洗系统能够根据不同药材残留特性,自动调整清洗时间、清洗剂浓度及冲洗压力,优化清洗效果,降低资源消耗。系统具备故障诊断和报警功能,能够及时发现装备异常,保障装备安全运行。

3 思考与展望

蒙药制造装备的智能化发展,是传统民族医药与现代先进科技深度融合的必然趋势,是推动蒙药产业实现现代化、标准化、国际化发展的核心驱动力。当前,尽管在粉碎、脱壳、清洗等关键前处理环节的智能化技术应用已取得阶段性成果,国内外在自动化控制、智能传感、数据采集与反馈调节等方面积累了宝贵经验,为我国蒙药专用装备的研发提供了重要的技术借鉴和实践参考,但整体来看,蒙药制造装备的智能化水平仍处于由“机械化”向“自动化”迈进,并逐步探索“智能化”路径的关键阶段。现有研究与实践多集中于通用设备的功能优化,缺乏对蒙药全生产流程的系统性设计与集成创新,专用化、定制化程度不足,难以充分适应蒙药复杂多样的药材特性与独特的炮制工艺要求。未来的发展方向,不应局限于单一设备的技术升级,而应立足于构建覆盖药材净制、粉碎、提取、浓缩、干燥、制剂成型、包装、仓储物流等全链条的智能化制造体系,实现从“碎片化改造”向“系统化重构”的战略跃迁。

随着人工智能、大数据、云计算、数字孪生、工业互联网、5G/6G通信、边缘计算等新一代信息技术的迅猛发展与深度融合,蒙药制造正迎来前所未有的变革机遇。未来的智能化蒙药工厂将不再是简单的设备联网,而是形成一个高度协同、自我学习、动态优化的“智慧生命体”。通过建立涵盖蒙药常用药材的物理特性(如硬度、韧性、含油率、含糖量)、化学成分、炮制机理、工艺参数与最终产品质量关联性的大型数据库,并结合机器学习与深度学习算法,构建起蒙药智能制造的知识图谱与数字孪生模型。在此基础上,生产过程将实现从“经验驱动”向“数据驱动”和“模型驱动”的根本性转变。例如,在粉碎环节,系统可根据实时采集的药材特性数据,自动匹配最优的粉碎方案,动态调整转速、进料速度、筛网规格等参数,确保粒径分布的精准可控;在脱壳环节,通过高精度机器视觉与力反馈系统,实现对不同形态、不同成熟度种子类药材的智能识别与自适应脱壳,最大限度减少破损率与有效成分损失;在清洗与混合环节,基于残留物在线检测与流体力学模拟,智能生成最优清洗程序与混合轨迹,有效杜绝交叉污染,保障批次间一致性。这种全流程、全要素的智能感知、实时监控、预测性维护与自主决策能力,将极大提升蒙药生产的效率、稳定性与安全性,为蒙药质量的均一性、可控性和可追溯性提供坚实的技术保障。

与此同时,智能化发展也对蒙药产业的组织模式、人

才培养、标准体系和生态构建提出了更高、更全面的要求。一方面，亟需打破学科壁垒，推动药学、蒙医学、电子信息、机械工程、材料科学、自动化控制等多学科的深度交叉融合，培育一批既精通蒙药理论与炮制工艺，又掌握智能制造核心技术的复合型、创新型人才团队。高校、科研院所与企业应加强协同创新，建立产学研用一体化平台，加速科技成果转化。另一方面，必须加快制定和完善蒙药智能制造相关的技术标准、数据标准、设备标准和质量控制标准体系，解决当前存在的设备接口不统一、数据格式不兼容、信息孤岛等问题，为装备的互联互通、系统的集成优化和行业的规范化发展奠定基础。此外，在追求高效、精准、智能的同时，必须始终坚持绿色发展理念，将节能环保、资源高效利用和循环经济原则贯穿于装备设计、制造、运行和维护的全生命周期。推广使用低能耗电机、环保型清洗剂、可回收材料，优化工艺流程以减少能源消耗与废弃物排放，推动蒙药产业向低碳化、可持续方向发展，践行生态文明建设要求。

更为深远的是，蒙药制造装备的智能化不仅是技术层面的革新，更是一场深刻的产业生态重构。它将重塑蒙药研发、生产、流通、服务的价值链条，催生新的商业模式和服务形态。例如，基于大数据的个性化用药方案设计、远程质量监控与技术服务、智能供应链管理等，都将成为可能。智能化的高质量产品也将显著增强蒙药在国内主流医药市场和国际市场的竞争力，有助于打破文化与技术壁垒，推动蒙药更好地融入现代医疗体系，服务于更广泛的健康需求。展望未来，随着国家对中医药及少数民族医药支持力度的持续加大，以及公众对传统医学价值认同感的不断提升，蒙药制造装备的智能化发展将迎来更加广阔的空间。这不仅关乎一个产业的转型升级，更承载着传承与弘扬中华民族优秀传统文化、提升民族医药话语权、为全球健康治理贡献中国智慧与中国方案的重要使命。唯有坚持创新驱动、系统谋划、协同推进，方能真正实现蒙药这一古老医学瑰宝在数字时代的创造性转化与创新性发展，使其焕发出更加璀璨的时代光芒。

基金项目：通辽市科技计划项目（蒙药智能化生产装备研究与开发平台建设，编号：TL2023YF032）。

【参考文献】

- [1] 华经产业研究院.2024 年中国蒙药行业现状及趋势 [EB/OL].<https://www.huaon.com/channel/trend/1026227.html>.
- [2] 秦昆明,李伟东,张金连,等.中药制药装备产业现状与发展战略研究 [J].世界科学技术 - 中医药现代化,2019,21(12):2671-2677.
- [3] 杨学民.制药企业设备管理的问题与对策分析 [J].科技风,2020(8):197.
- [4] 程京,李勐,李航,等.中医智能装备研究进展与思考 [J].广西医科大学学报,2023,40(4):523-532.
- [5] 王莹,肖莉,陈伟,等.中药智能制造的发展与展望 [J].中医药导报,2022,28(3):37-39.
- [6] 刘南岑,耿立冬,马丽娟,等.中药制造领域近红外光谱技术的专利技术进展和趋势 [J].中草药,2021,52(21):6768-6774.
- [7] 曾瑾,陈平,尹竹君,等.中药配方颗粒质量保障关键技术及智能制造装备研究现状 [J].中药药理与临床,2022,38(3):231-237.
- [8] 张丽丽,曹婷婷,李梦,等.中药智能产业的发展与展望 [J].世界中医药,2021,16(2):346-350.
- [9] 冯绘敏,侯一哲,黄天赐,等.电子传感技术在中药材及农产品分析领域的应用研究进展 [J].分析测试技术与仪器,2020,26(4):239-248.
- [10] 程翼宇,张伯礼,方同华,等.智慧精益制药工程理论及其中药工业转化研究 [J].中国中药杂志,2019,44(23):5017-5021.
- [11] 唐雪,伍振峰,孙萍,等.新工艺与新设备在中成药生产中的应用展望 [J].中国中药杂志,2019,44(21):4560-4565.
- [12] 徐明,张静,邱建平,等.草房子的炮制历史沿革及其药理作用研究进展 [J].中医药导报,2021,27(10):132-137.
- [13] 龙泉洪.蒙药桔梗八味颗粒的生产工艺变更研究 [J].北方药学,2021,18(1):16-17.
- [14] 张喜,袁霭凤,宋军,等.红外热成像技术在证候研究中的现状与展望 [J].中华中医药杂志,2019,34(12):5812-5814.
- [15] 易俊飞,张辉,赵晨阳,等.医药智能制造生产线关键技术研究进展 [J].中南大学学报 (自然科学版),2021,52(2):421-433.
- [16] 赵之璧.中国制药企业制药设备存在的问题与对策探讨 [J].中国新技术新产品,2013(20):51-52.
- [17] 李泮海,尹爱群.中国制药企业制药设备存在的问题与对策 [J].中国药事,2013,27(3):252-257.
- [18] 王艳萍,刘宇灵,杨立新,等.超微粉碎技术对三七药材粉碎效果及有效成分含量的影响 [J].中国中药杂志,2014,39(8):1430-1434.
- [19] 苗旭辉,唐其,谢宇,等.超微粉碎技术在中药领域中的研究概况 [J].中国民族民间医药,2015,24(3):36-38.
- [20] 赵洪珍.一种用于医疗药材的高效率粉碎设备:201710165020.8[P].2017-03-20.
- [21] 钱珊珊,桂双英,杨满琴,等.中药超微粉碎技术的研究进展 [J].陕西中医药大学学报,2019,42(3):136-140.
- [22] 王文杰,郑志安,吴敏,等.基于 PLC 的茯苓自动去皮机控制系统设计 [J].中国农机化学报,2022,43(9):88-94.
- [23] 亳州市楚王制药机械制造有限公司.一种带壳中药材脱壳处理装置:202123146206.X[P].2022-06-17.
- [24] 广东慧达康制药有限公司.一种中药药材脱壳装置:201920532358.7[P].2020-05-26.

- [25]化州市华逸中药饮片有限公司.一种带壳药材脱壳机:201821376217.2[P].2019-06-28.
- [26]重庆归真阁中医药开发有限公司.一种种子类药材快速脱壳装置:201721107667.7[P].2018-04-13.
- [27]郭文勇.蒙药草乌不同炮制品化学成分及抗炎活性研究[D].北京:中国中医科学院,2024.
- [28]潘金槐.一种自清洁的胶囊粉末混合机:201711449663.1[P].2018-06-08.
- [29]中科健康产业集团股份有限公司,南京中科药业有限公司,中科健康产业集团江苏药业有限公司.一种药物混合机缸体清洁机构:202120541111.9[P].2021-11-09.
- [30]四川青和药业有限公司.一种中药粉末混合机用的搅拌装置:202220251625.5[P].2023-01-10.
- [31]广州傲农生物科技有限公司,金华傲农生物科技有限公司,福建傲农生物科技集团股份有限公司.一种混合机叶片自清洁系统:202321659474.8[P].2023-12-22.
- [32]天津市好日子动物药业有限公司.一种便于清洁的兽药生产原料混合装置:202322108779.6[P].2024-03-08.
- [33]重庆凯麦隆机械制造有限公司.一种混合药机全自动自清洁混合研磨系统:202421792370.9[P].2025-05-02.
- 作者简介: 张春友 (1980—), 男, 教授, 博士, 研究方向: 新能源。