

蒙药硬质药材粉碎设备技术现状与发展趋势研究

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]蒙药硬质药材粉碎是保障制剂质量和疗效的关键环节。然而, 其质地坚硬导致传统粉碎设备普遍存在效率低、能耗高、药效成分破坏严重及自动化水平不足等问题, 制约了蒙药的现代化发展。文中聚焦于传统硬质药材粉碎设备的技术现状与发展趋势, 深入分析了当前设备在粉碎效率、活性成分保护及自动化控制方面面临的主要技术瓶颈。通过系统梳理国内外相关研究进展, 对比评估不同粉碎技术的优缺点及其对药材成分的影响, 研究针对设备结构设计、动力传输机制和工艺参数优化等关键技术难点, 提出了改进方案和创新思路。分析揭示出设备向智能化控制、节能环保材料应用及多功能集成化发展的必然趋势, 探讨了新材料与新工艺在提升粉碎效率和保护活性成分方面的潜力, 同时强调了跨学科技术融合的关键推动作用。结合蒙药产业升级的迫切需求, 文中展望了粉碎设备向高效、智能、绿色方向发展的广阔前景。本研究兼具重要的理论价值和实践意义, 为相关设备的研发与产业升级提供了坚实支撑。

[关键词] 蒙药; 硬质药材; 粉碎设备; 技术现状; 发展趋势; 智能化

DOI: 10.33142/cmn.v3i2.18173 中图分类号: R29 文献标识码: A

Research on the Current Status and Development Trend of Equipment for Crushing Hard Medicinal Materials in 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: Grinding hard Mongolian medicinal materials is a key step in ensuring the quality and efficacy of formulations. However, its hard texture has led to common problems with traditional crushing equipment, such as low efficiency, high energy consumption, severe damage to medicinal ingredients, and insufficient automation level, which have constrained the modernization development of Mongolian medicine. The article focuses on the current technical status and development trends of traditional hard medicinal material crushing equipment, and deeply analyzes the main technical bottlenecks faced by current equipment in terms of crushing efficiency, active ingredient protection, and automation control. By systematically reviewing relevant research progress at home and abroad, comparing and evaluating the advantages and disadvantages of different crushing technologies and their impact on the composition of medicinal materials, and studying key technical difficulties such as equipment structure design, power transmission mechanism, and process parameter optimization, improvement plans and innovative ideas are proposed. The analysis reveals the inevitable trend of equipment towards intelligent control, application of energy-saving and environmentally friendly materials, and multifunctional integration. It explores the potential of new materials and processes in improving crushing efficiency and protecting active ingredients, while emphasizing the key driving force of interdisciplinary technology integration. In response to the urgent need for upgrading the Mongolian medicine industry, this article looks forward to the broad prospects of the development of crushing equipment towards high efficiency, intelligence, and green direction. This study has both important theoretical value and practical significance, providing solid support for the research and development of related equipment and industrial upgrading.

Keywords: Mongolian medicine; hard medicinal herbs; crushing equipment; technical current status; development trend; intelligentization

1 概述

1.1 蒙药硬质药材及其加工技术的重要性

蒙药作为我国少数民族传统医学的重要组成部分, 广泛应用于疾病预防和治疗。蒙药材檀香、降香、沉香等硬

质药材因其成分稳定、药效持久, 在蒙药中占据核心地位。但其质地较硬, 而入药的物料性状要求为粉末状。现有木料粉碎机械不能满足蒙药材的生产加工要求, 针对蒙药硬质药材的破碎加工仍然以人工为主, 辅助相关破碎机械,

导致生产效率低，成本高昂。

硬质药材的粉碎技术对中药、蒙药、藏药等民族医药质量与疗效具有关键影响，是保障药材活性成分完整性的核心环节。蒋思楠在2023年强调粒径控制对药材均匀性及溶出速率的重要性，合理粒径分布有助于药效稳定和制剂工艺优化^[1]。2024年，李蕊汐等指出，超微粉碎技术显著提升药材比表面积，促进有效成分释放，但需控制温度和机械力，防止活性成分热降解和结构损伤^[2]。同年，卓玛才金则指出，粉碎设备设计应兼顾高效粉碎与成分保护，确保蒙药疗效与安全^[3]。优化粉碎工艺参数是提升蒙药质量的关键所在。

随着现代粉碎设备技术的不断进步，蒙药硬质药材的加工效率和质量得到了显著提升。自动化控制系统的引入，使粉碎过程更加精准稳定，减少了人为误差，提高了产品一致性，先进的粉碎技术能够有效保护药材中的活性成分，保证药效的稳定性和安全性。

1.2 现存问题与挑战

现有硬质药材粉碎设备在技术层面存在多重瓶颈，主要体现在粉碎效率低、能耗高及药材成分破坏严重等方面。传统机械粉碎设备多采用单一破碎方式，难以满足不同硬度药材的粉碎需求，导致粉碎粒度不均匀，影响后续加工质量。设备结构设计缺乏优化，动力传输效率低，能耗普遍偏高，制约了生产规模的提升。更为关键的是，粉碎过程中产生的高温和机械应力易导致药材有效成分的热降解和结构破坏，降低药效稳定性。

粉碎过程对蒙药硬质药材的有效成分和生物活性具有显著影响。过度粉碎可能导致药材细胞结构破坏，活性成分氧化或挥发，降低药效；而粉碎不足则影响药材的溶出速率和吸收效率。

随着蒙药硬质药材种类和规格的多样化，粉碎设备在适应不同药材特性方面面临较大挑战。目前多数设备缺乏灵活调节功能，难以满足不同硬度、粒径和含水量药材的粉碎需求，导致粉碎效率和产品质量波动较大。自动化水平普遍偏低，设备多依赖人工操作，自动监控和智能调节功能不足，限制了生产过程的稳定性和可控性。

2 硬质药材粉碎设备的国内外研究进展

现有的设备多以传统机械结构为主，自动化和智能化水平较低，难以实现精准控制和实时监测。粉碎过程中药材活性成分的保护机制研究不足，导致药效成分损失较大。节能环保技术应用有限，能耗较高，影响生产成本和可持

续发展。针对不同硬质药材的适应性设计缺乏系统性，设备通用性和多功能集成化程度较低，难以满足多样化生产需求。未来需加强智能控制技术、绿色节能材料及工艺的研发，提升设备的综合性能和应用广度。

2.1 硬质药材粉碎设备的国内研究进展

国内硬质药材粉碎设备虽取得一定进展，但仍存在诸多技术瓶颈，如表1所示。2004年，胡义飞等强调设备温升控制不足，易引发有效成分热降解，亟需优化设计与工艺参数以提升质量与效率^[4]。2011年，吴锦圃从设备改进角度分析，降低粉碎过程温升和机械冲击，有助保护热敏性成分稳定^[5]。2016年，林胜强调，超细粉碎技术通过优化设备结构和工艺参数，不仅提高粉碎效率，还促进药材溶出速率和生物利用度，凸显工艺对药效释放的关键作用^[6]。邵彩云等在2018年通过优化三子散超微粉碎工艺参数，实现了粒度均匀细化，提升药效成分释放率^[7]。同年，陈伟发明的软化研磨装置，通过预处理降低粉碎难度，减少设备磨损，体现了结构创新^[8]。2022年，赵庭强调合理选型粉碎设备对药材粒度和活性成分保持至关重要^[9]。2023年，高瑞方指出设备改进有助于保护药材微观结构，增强药效^[10]。这些改进为蒙药硬质药材高效粉碎奠定了坚实基础。合理调控粉碎工艺参数是保障蒙药硬质药材药效成分完整性及制剂质量的关键。

表1 国内硬质药材粉碎设备研究进展

年份	研究者	核心发现/技术贡献
2004	胡义飞	揭示温控缺陷致成分热降解
2011	吴锦圃	降低粉碎过程温升和机械冲击可保护热敏成分
2016	林胜	超细粉碎技术优化设备结构与工艺参数
2018	邵彩云	三子散超微粉碎工艺参数优化
2018	陈伟	软化研磨装置通过预处理降低粉碎难度
2022	赵庭	设备选型对药材粒度和活性成分保持具决定性作用
2023	高瑞方	设备改进可保护药材微观结构

近年来，国内研究聚焦多级粉碎与结构创新，如采用三重阶梯刀片系统实现粗碎至精磨的分级处理，显著降低刀具损耗30%以上。动态压紧装置通过液压-弹簧系统自适应调节研磨压力，攻克硬质药材打滑难题，效率提升40%。温控方面，粉碎腔体夹层冷却设计将温度控制在≤50°C，保护热敏成分活性；密闭防尘结合负压除尘技术使粉尘泄漏率低于0.1%^[11,12]。模块化设计则通过弹簧联动进料槽门实现自动密封，并配备快拆刀具结构以满足蒙药“一人一方”的定制化需求。

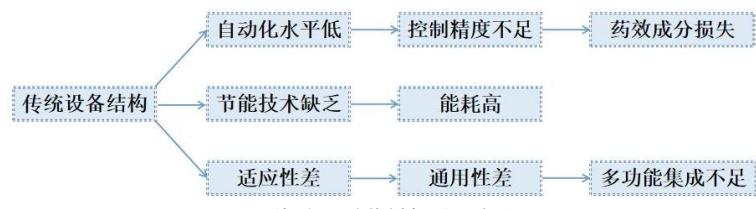


图1 传统硬质药材粉碎设备的不足

2.2 硬质药材粉碎设备的国外研究进展

国外对蒙药的针对性研究虽较为有限,但在硬质药材粉碎技术领域已构建了系统化的创新体系。欧美企业通过集成液氮深冷系统(-50°C至-196°C)显著提升热敏性成分保留率,典型如德国 IKA、NETZSCH 的深冷机组将三七等药材脆化点降至-60°C以下,使三七总皂苷保留率提升26%,而瑞士 Hosokawa 的低温分级机结合氮气循环,在-50°C环境下实现0.1~75μm粒径精准控制及超98%破壁率,大幅优化生物活性成分溶出效率;针对高硬度矿物类药材(如玛瑙、磁石),德国 Retsch 的气流粉碎技术以0.7~0.85MPa高压空气驱动碰撞,避免金属污染并实现精细度,日本企业则通过多级涡轮分级系统高效处理纤维性根茎类药材。智能化领域,德国 Fritsch 设备搭载多传感器网络,依托AI算法动态调节参数,将产能波动率控制在≤5%且降低能耗30%,瑞士 Hosokawa 的模块化设计支持快速更换陶瓷刀具或液氮喷嘴,适配个性化生产需求。材料方面,碳化钨合金(Hv 1400~1800)或氧化锆陶瓷涂层刀具寿命达普通钢材3倍,尤其适用于高石英含量矿物药材,Retsch 的氧化锆研磨罐更将污染风险压至0.001%。市场布局上,欧美企业通过技术授权与本地化生产(如 IKA 在华基地)主导全球高端市场,2024年占据75%份额(市场规模4.63亿美元),其设备单价超国产3倍,但凭借破壁率(>98%)及智能化优势维持溢价。未来需结合蒙药特性(矿物比例高、纤维韧性强)深化参数优化,推动国产设备在耐磨材料与智能算法领域的突破^[12-16]。

2 结论与展望

2.1 结论总结

目前,蒙药生产企业普遍采用从市场上购入的通用型药品生产设备,尚未配置针对蒙药特性专门设计的专用设备。传统机械粉碎设备在处理硬质药材时存在效率低、能耗高及粉碎粒度不均等问题,难以满足现代蒙药生产对高质量粉末的需求。部分设备在粉碎过程中对药材有效成分的保护不足,导致药效降低。智能化控制技术和新型材料的应用逐渐引入粉碎设备,提升了设备的自动化水平和节能性能,但整体技术仍处于发展阶段,尚未实现全面智能化和绿色化。当前蒙药硬质药材粉碎设备技术虽取得一定进展,但仍面临效率提升与药效保护的双重挑战。

传统硬质药材粉碎设备在实际应用中面临多项关键技术难题,主要包括粉碎效率低、药材成分易受损以及设备自动化程度不足等问题。针对粉碎效率低的问题,优化设备结构设计和提升动力传输系统成为重要方向;为减少药材有效成分的损失,需采用温控和低速粉碎技术,确保药效稳定;提升设备的智能化水平,通过传感器监测和自动调节,实现粉碎过程的精准控制,有助于提高生产效率和产品质量。综合来看,解决这些技术难题需多学科协同创新,推动设备向高效、智能和绿色方向发展。

随着科技的不断进步,硬质药材粉碎设备正朝着高效化、智能化和绿色环保方向发展。未来设备将更加注重粉碎过程的精准控制,以最大限度地保护药材的有效成分和活性。智能传感与自动化技术的融合将提升设备的操作便捷性和稳定性,实现实时监测与动态调节。节能减排和材料环保成为设计的重要考量,推动设备向低能耗、低噪音和高耐用性方向演进。多功能集成化设备的出现也将满足中药、蒙药、藏药等民族药材粉碎需求,促进医药产业的现代化升级。

2.2 未来展望

随着材料科学和制造工艺的不断进步,新材料在蒙药硬质药材粉碎设备中的应用展现出广阔前景。高强度、耐磨损的先进合金材料和陶瓷复合材料能够显著提升设备的使用寿命和粉碎效率,减少设备维护频率。新型表面处理技术和涂层工艺的引入,有效降低了设备运行过程中的摩擦和能耗,保障药材成分的稳定性。微纳米技术和智能制造工艺的结合,使得设备结构更加精密,粉碎过程更加可控,促进了粉碎质量的提升。新材料与新工艺的深度融合将成为推动蒙药粉碎设备技术革新的重要动力。

智能化与绿色节能技术正成为蒙药硬质药材粉碎设备发展的重要方向。智能化技术通过引入传感器、自动控制系统和数据分析,实现设备运行状态的实时监测与精准调节,提高粉碎效率和产品质量。绿色节能技术强调降低能耗和减少环境污染,采用高效节能电机、新型环保材料及优化结构设计,有效减少资源浪费和噪音排放。智能化与绿色节能技术的深度融合将推动设备向高效、环保、智能化方向迈进,满足蒙药产业可持续发展的需求。

蒙药硬质药材粉碎设备的技术进步对蒙药产业现代化具有重要推动作用。先进的粉碎技术不仅提升了药材的加工效率和产品质量,还有效保护了药材的活性成分,增强了蒙药的疗效和市场竞争力。智能化和自动化设备的应用降低了人工成本,提高了生产的稳定性和安全性,促进了产业规模化和标准化发展。通过技术创新,蒙药产业能够更好地满足现代医疗和健康需求,实现传统医药与现代科技的深度融合,推动蒙药产业向高质量、可持续方向迈进,助力民族医药文化的传承与创新。

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]蒋思楠.扁平式气流粉碎机分离粒径控制研究[D].重庆:重庆科技学院,2023.
- [2]李蕊汐,王闻,刘燕,等.超微粉碎技术在中药制备领域的应用与研究进展[J].中国医药工业杂志,2024,55(2):187-216.
- [3]卓玛才金.蒙药格西古纳-3贴剂的制备工艺及质量标准研究[D].通辽:内蒙古民族大学,2024.
- [4]胡义飞,刘根凡,舒朝晖,等.超微粉碎设备及其在中药加

- 工中的应用[J].湖南中医杂志,2004(1):61-62.
- [5]吴宏富.中草药材超微粉碎设备——高效节能 CWJ 超微粉碎机[J].广东化工,2000(3):56.
- [6]林胜.我国超细粉碎设备的现状与展望[J].中国粉体技术,2016,22(2):78-85.
- [7]邵彩云,朝乐门,吴彬彬.三子散的超微粉碎工艺条件优选 [J]. 内蒙古民族大学学报 (自然科学发展版),2018,33(2):170-173.
- [8]陈伟,药材软化研磨装置.安徽省,安徽盛海堂中药饮片有限公司,2018-01-12.
- [9]赵庭.浅析制药粉碎方法及设备选型 [J].流程工业,2022(1):34-36.
- [10]高瑞方.蒙药乌兰-3 超微粉颗粒剂制备工艺及药效学研究[D].内蒙古:内蒙古医科大学,2023.
- [11]三门峡玉皇山制药有限公司.一种硬质药材破碎装置:202422083960.0[P].2025-06-24.
- [12]呼和浩特市蒙医中医医院(呼和浩特市中蒙医研究所).一种蒙药材粉碎装置:202321948694.2[P].2024-01-02.
- [13]Lu, Yujie, et al. Lyophilization enhances the stability of Panax notoginseng total saponins-loaded transfersomes without adverse effects on ex vivo/in vivo skin permeation[J]. International Journal of Pharmaceutics,2024(649):123668.
- [14]亚洲建材网.Pulverisette 14 pl 中药原料粉碎机膜材料超微粉碎碎 [EB/OL].<https://www.a-bm.cn/product/detail/1037793>.
- [15]孙德平.浅谈中药粉碎设备的选择 [J].机电信息,2009(14):53-55.
- [16]刘根凡,王晓晨,舒朝晖,等.根茎类药材粉碎设备的实验研究[J].华西药学杂,2005(5):378-380.
- 作者简介: 张春友 (1980—), 男, 教授, 博士, 研究方向: 新能源。