

基于升降式挂烟梁的烤烟装炕装置研发与效益分析

李栋成, 成林, 石明海, 贺晓伟, 李源, 杨楷, 蒋红娟, 姜远泽, 刘登祥*

贵州省烟草公司毕节市公司纳雍县分公司, 贵州 毕节

收稿日期: 2026年5月10日; 录用日期: 2026年6月3日; 发布日期: 2026年6月9日

摘要

目的: 针对传统烤烟装炕环节劳动强度大、作业效率低、安全风险高等问题, 受自动晾衣杆原理启发, 研发一种烤房用可升降式挂烟梁装置。方法: 装置采用减速电机驱动、钢丝绳滑轮组传动及导轨导向结构, 实现顶层与中层挂烟梁的可控升降。试验于2022~2025年在贵州省纳雍县烟区进行, 共安装定型装置40套, 设立对照区(传统人工装炕)与试验区, 采集作业效率、用工成本等数据, 并采用独立样本t检验进行统计分析。结果: 应用该装置后, 装烟效率由73.68杆/(人·h)提升至98.6杆/(人·h), 提升33.82% ($t = 5.27$, $P < 0.01$); 单炕装烟成本由400元降至150元, 降低62.5%。结论: 该装置可有效降低生产成本, 消除高处坠落风险, 显著改善劳动条件, 具有较高的经济与社会效益, 具备在类似烟区推广应用的价值。

关键词

烤烟, 装炕装置, 升降式挂烟梁, 作业效率, 安全生产

Development and Benefit Analysis of a Flue-Cured Tobacco Loading Device Based on a Lifting Hanging Beam

Dongcheng Li, Lin Cheng, Minghai Shi, Xiaowei He, Yuan Li, Kai Yang, Hongjuan Jiang, Yuanze Jiang, Dengxiang Liu*

Nayong County Branch, Bijie City Company, Guizhou Provincial Tobacco Company, Bijie Guizhou

Received: May 10, 2026; accepted: June 3, 2026; published: June 9, 2026

*通讯作者。

文章引用: 李栋成, 成林, 石明海, 贺晓伟, 李源, 杨楷, 蒋红娟, 姜远泽, 刘登祥. 基于升降式挂烟梁的烤烟装炕装置研发与效益分析[J]. 机械工程与技术, 2026, 15(3): 307-312. DOI: 10.12677/met.2026.153031

Abstract

Objective: Aiming at the problems of high labor intensity, low operating efficiency and high safety risks in the traditional bulk curing barn loading process for flue-cured tobacco, a liftable tobacco hanging beam device for curing barns was developed inspired by the principle of automatic clothes drying racks. **Methods:** The device adopts a structure driven by a gear motor, transmitted by a steel wire rope pulley block and guided by guide rails, to realize the controllable lifting of the top and middle tobacco hanging beams. Experiments were conducted in tobacco-growing areas of Nayong County, Guizhou Province from 2022 to 2025. A total of 40 sets of finalized devices were installed, with a control group (traditional manual barn loading) and an experimental group set up. Data such as operating efficiency and labor cost were collected and statistically analyzed using independent-sample t-tests. **Results:** After applying the device, tobacco loading efficiency increased from 73.68 beams per person per hour to 98.6 beams per person per hour, an improvement of 33.82% ($t = 5.27$, $P < 0.01$); the tobacco loading cost per barn decreased from 400 yuan to 150 yuan, a reduction of 62.5%. **Conclusions:** This device can effectively reduce production costs, eliminate the risk of falls from height, significantly improve working conditions, and possess high economic and social benefits. It is worthy of popularization and application in similar tobacco-growing areas.

Keywords

Flue-Cured Tobacco, Loading Device, Lifting Hanging Beam, Operational Efficiency, Safe Production

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

烤烟烘烤是影响烟叶最终品质和经济效益的关键环节。在传统的密集烤房装炕作业中,通常需要 1~2 人攀爬至 2 米以上的挂烟梁进行烟杆摆放,下层还需专人递送,存在作业效率低、劳动强度大、安全隐患突出等问题[1]。随着农村劳动力结构性短缺和成本不断攀升,这种依赖高强度人工作业模式已成为制约烟叶生产减工降本、产业可持续发展的瓶颈之一[2]。推动烘烤环节的轻简化与机械化改造,对保障烟农收益、稳定产业队伍具有重要意义。

近年来,国内在烟叶生产机械化方面已有诸多探索,如编烟机、烟夹等应用已较为普及[3],但针对烤房内部装炕环节的专用机械化装置研发仍相对薄弱。在农业装卸载机械领域,国内外已有采用升降平台、链传动或钢丝绳牵引结构用于果蔬晾晒或仓储堆垛的研究[4][5];在人机工程学方面,研究表明站立操作可比登高作业降低约 40% 的心血管负荷及肌肉骨骼损伤风险[6]。本研究借鉴自动升降晾衣架的成熟机械原理,结合烤房高温高湿环境进行适应性改造,研发一种升降式挂烟梁装置,旨在实现地面装炕作业,系统评估其在效率、成本及安全性方面的实际效益。

2. 材料与amp;方法

2.1. 装置设计与工作原理

装置核心设计灵感源于自动升降晾衣架,针对烤房内部高温高湿环境进行适应性改造。系统主要由

动力单元、传动机构、升降执行机构及安全锁定装置构成(见图 1)。

动力单元：采用交流减速电机(型号：NMRV040，额定功率 0.75 kW，减速比 30:1，输出转速约 48 r/min，额定扭矩 24 N·m，防护等级 IP65，具备过载保护功能)，安装于烤房地面中间立柱位置。同时配置手动摇杆接口，以备断电时使用。

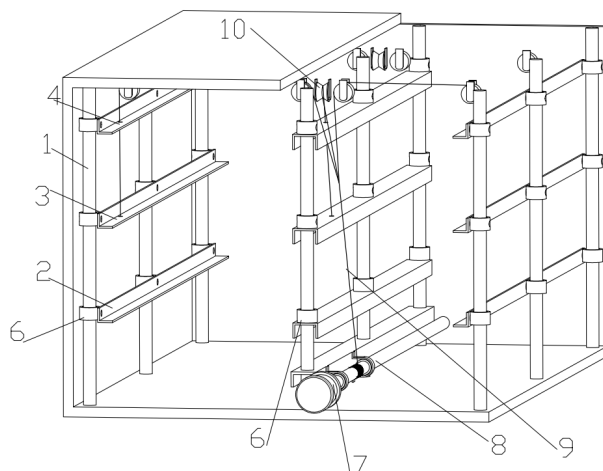
传动机构：电机通过链条(08B-1 型)驱动传动轴(直径 40 mm，45#钢)，轴上固定钢丝绳卷筒。选用镀锌钢丝绳(型号：6×19 类，直径 6 mm，抗拉强度 1770 MPa，最小破断拉力 20 kN)，表面涂覆防锈油脂，耐湿热性能满足烤房内部相对湿度 $\geq 85\%$ 环境。

升降执行机构：钢丝绳经烤房顶部固定定滑轮(材质：304 不锈钢，槽径 8 mm)转向，连接至动滑轮组(倍率 2:1)，最终与顶层及中层挂烟梁连接。挂烟梁两端设有 U 型导轨(镀锌钢板，壁厚 3 mm)，内部嵌入滚珠套筒(型号：LM20UU)，确保升降平稳。

安全锁定装置：每层挂烟梁到达预定位置后，插入机械插销(直径 16 mm，45#钢调质处理)，防止意外坠落。电机控制回路中加装紧急停止开关及限位开关。

工作流程：作业时，先将顶层挂烟梁降至底棚，作业人员站立地面将烟杆(夹)整齐挂载。装满后启动电机，将该层提升至预定位置并通过机械插销锁定。随后将中层挂烟梁降至同一高度进行装烟，依此类推。卸烟时则按自下而上的顺序，逐层下降挂烟梁进行操作。

设计依据：顶层挂烟梁及其满载烟叶(按每炕 350 杆，每杆湿烟重约 10 kg，共 3500 kg)经滑轮组传动至钢丝绳的静拉力约为满载总重的 1/4(约 875 kg)。按提升速度 0.2 m/s 计算，所需电机功率理论值为 $P = F \cdot v / \eta \approx 875 \times 9.8 \times 0.2 / 0.7 \approx 2450 \text{ W}$ 。选取 2.5 kW 电机，安全系数约 1.22，满足使用要求。



(立柱 1、底层挂烟架 2、中层挂烟架 3、顶层挂烟架 4、烟梁 5、滚珠套筒 6、转动机构 7、转轴 8、牵拉绳 9、滑轮 10)

Figure 1. Schematic diagram of the location of the device

图 1. 装置位置示意图

2.2. 试验设计与方法

2.2.1. 试验地点

本研究于 2022~2025 年在贵州省毕节市纳雍县烟区进行。

2.2.2. 试验设计

对照区：采用传统人工装炕方式，需 2~3 人协作(登高作业)。

试验区：安装升降式挂烟梁装置，1人地面操作完成装炕。

选取结构、容积、烘烤工艺相同的标准化密集烤房(长 8 m× 宽 2.7 m× 高 3.5 m)共 13 座。其中对照区 5 座，试验区 8 座。每座烤房每个烘烤季装炕 7 次，试验期间累计采集数据：对照区 35 炕次，试验区 56 炕次。每座烤房每次装炕作为 1 个独立样本，重复测量 3 次(每次间隔 1 天，取均值用于分析)。与初试阶段(2022 年)：完成样机制作，在龙场烟叶站选取 20 座烤房进行初步试用。通过实地操作，记录装烟时间、用工数，并收集使用者关于滑轮流畅性、电机动力、挂烟梁强度等方面的反馈。

2.3. 数据采集及分析

2.3.1. 数据采集标准

作业效率(杆/人·h)：使用秒表(精度 0.01 s)记录从第一杆烟开始挂载到最后一杆挂载完毕的总时长，除以作业人数(对照区 2 人，试验区 1 人)，再换算为每小时每人的挂载杆数。

单炕装烟成本(元/炕)：按当地工价(每人每天 150 元，工作 8 h，即 18.75 元/h)乘以实际作业工时计算。

安全风险等级：采用风险矩阵法(可能性 × 严重性, 1~5 分制)由 3 名安全评估员独立评分后取均值。

2.3.2. 数据分析

采用 Excel 2021 及 SPSS 26.0 软件对采集的数据进行分析，对照区与试验区之间作业效率、单炕成本等连续变量采用独立样本 t 检验(方差齐性检验后使用相应 t 检验)。结果以“均值 ± 标准差”表示，显著性水平 $\alpha = 0.05$ 。

3. 结果与分析

3.1. 作业效率与成本分析

由表 1 可知，升降式装炕装置显著提升了作业效率。对照区作业效率为 73.68 ± 6.52 杆/(人·h)，试验区为 98.60 ± 8.14 杆/(人·h)，提升 33.82%，差异具有极显著统计学意义($t = 5.27, df = 11, P < 0.01$)。

单炕装烟成本对照区为 400.0 ± 35.2 元，试验区为 150.0 ± 12.6 元，降低 62.5%，差异显著($t = 4.98, df = 11, P < 0.01$)。所需人工由 2~3 人减少至 1 人，减少 50%~66%。安全风险等级评分从对照区的 4.2 ± 0.4 (“高风险”)降至试验区的 0.8 ± 0.2 (“低风险”)。

Table 1. Comparison of key indicators of traditional artificial kang installation and device kang installation

表 1. 传统人工装炕与装置装炕关键指标对比

指标	传统人工方式 (n = 35 炕次)	使用装置(n = 56 炕次)	变化率	统计检验
作业效率(杆/人·h)	73.68 ± 6.52	98.60 ± 8.14	33.82%	$t = 5.27, P < 0.01$
单炕所需人工(人)	2~3 (均值 2.4)	1	-58.3%	—
单炕装烟成本(元/炕)	400.0 ± 35.2	150.0 ± 12.6	-62.5%	$t = 4.98, P < 0.01$
安全风险等级(1~5 分)	4.2 ± 0.4	0.8 ± 0.2	-81.0%	—

3.2. 经济效益分析

直接节本效益：按当地工价及实测数据，使用装置后单炕节约成本 250 元。以每座烤房每个烘烤季烘烤 7 炕、服务 25 亩烟田计算，单座烤房年节约成本达 1750 元。全县推广 40 套装置，覆盖相应面积 1000 亩，一个烘烤季可累计为烟农节约生产成本约 7.0 万元。

投资回报周期：单套装置制造成本 5000 元(主要成本为电机)，仅通过节省的装炕成本，可在 2~3 个烘烤季内收回投资，经济性突出。

3.3. 社会效益与条件改善

安全保障：装置实现了全程地面操作，从理论上消除了装炕环节高处坠落的风险。在累计 40 套装置、280 炕次的实际使用中，未发生一例人员坠落或重伤事故，相对于传统方式年均约 5% 的高处作业轻伤率(据纳雍县烟叶生产安全记录，2020~2021 年)，显著降低了作业安全风险。

劳动强度降低：将登高、弯腰、搬运等重体力作业转化为站立轻体力操作。作业人员心率监测($n=8$)显示，使用装置后平均心率由传统作业的 128 ± 9 次/min 降至 95 ± 6 次/min ($P < 0.05$)，接近日常轻体力劳动水平。

潜在提质效果：平稳升降减少了烟叶在搬运、递送过程中的碰撞与摩擦，初步统计烟叶破损率由传统方式的 $4.5\% \pm 0.8\%$ 降至 $2.1\% \pm 0.5\%$ ($n=6$ 炕，每炕随机抽检 200 杆， $P < 0.05$)。标准化快速装炕有利于烤房及时密闭，减少热量散失，为精准烘烤工艺执行创造条件。

4. 讨论

本研究成功地将一种民用成熟机械原理(自动升降)创新性地应用于特定农业场景(烤烟装炕)，体现了适用技术转移的研发思路。装置结构相对简单、可靠性高、改造成本可控，易于被用户接受和维修，符合当前我国小规模农业经营主体对农机装备“用得起、用得惯、效益好”的核心需求[7]。

然而，在实际推广中也暴露出一些值得关注的问题：第一，装置对烤房结构的适配性存在一定要求，部分老旧烤房的承重梁、立柱间距与标准规格不符，需定制安装支架或进行局部加固[8]。其次，电机版本虽省力但增加了初期成本和维护复杂度，在电力不便或成本敏感区域，优化纯机械手动版本的省力设计是关键[9]。第三，钢丝绳在极端高湿环境下长期运行后(约 3 个烘烤季)存在轻微锈蚀现象，后续采用 304 不锈钢钢丝绳或每年更换一次。

未来研究可朝以下方向发展：一是开发模块化、可调节的安装套件，增强对不同烤房型号的普适性；二是探索集成简易遥控、高度记忆等低成本的自动化功能，进一步提升便利性；三是结合物联网技术，探索装炕密度与烘烤工艺参数联动的智能管理模式。

5. 结论

(1) 本研究研发的烤房用升降式挂烟梁装置，有效解决了传统装炕方式效率低、成本高、风险大的痛点，使作业效率提升 33.82%，单炕成本降低 62.5%，经济效益显著。

(2) 该装置通过实现全程地面操作，从根本上消除了高处坠落的安全隐患，大幅改善了劳动条件，社会效益显著。

(3) 装置设计巧妙、实用性强、投资回报 2~3 各烘烤季，已通过 40 套的规模化应用验证了其可靠性与推广价值，为烤烟生产关键环节的轻简化与安全生产提供了行之有效的技术装备支撑，具备在类似烟区广泛推广的应用前景。

基金项目

烤烟上炕装置研发与应用，基金号：毕烟技〔2022〕64 号。

参考文献

[1] 詹军, 樊军辉, 宋朝鹏, 等. 密集烤房研究进展与展望[J]. 南方农业学报, 2011, 42(11): 1406-1411.

- [2] 彭曙光. 湖南省烟草公司烟叶产业链稳定性发展研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 中南大学, 2012.
- [3] 靖军领, 兰俊荣, 黄一兰, 等. 不同种类编烟机应用效果研究[J]. 中国烟草科学, 2010, 31(5): 72-75.
- [4] 李震, 卢加纳, 洪添胜, 等. 山地果园钢丝绳牵引货运机超声波避障系统[J]. 农业机械学报, 2011, 42(10): 116-120.
- [5] Irrgang, R. 多面、强大且可靠的仓库升降系统[J]. 现代制造, 2014(29): 45-47.
- [6] Min, S.N., Kim, J.Y. and Parnianpour, M. (2012) The Effects of Safety Handrails and the Heights of Scaffolds on the Subjective and Objective Evaluation of Postural Stability and Cardiovascular Stress in Novice and Expert Construction Workers. *Applied Ergonomics*, **43**, 574-581. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2011.09.002>
- [7] 张宗毅. 我国农业机械化发展: 外部环境、现状与趋势[J]. 新疆农机化, 2016(5): 19-24.
- [8] 邓浏平, 张珺, 陈怡璇, 等. 株洲烟区密集烤房建设现状与发展方向思考[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(9): 237-239+243.
- [9] 张炜, 文斌, 张富贵, 等. 贵州省烟叶生产机械化发展模式研究及应用[J]. 中国农机化学报, 2016, 37(4): 274-278.