

分类号: S24
学号: 20232009030

密级: 公开
单位代码: 10759

石河子大学

硕士学位论文



不同回潮率下可调式籽棉清理机工作参数优化研究

学位申请人	吴悦铭
指导教师	张梦芸 教授 吴超 副教授
申请学位门类级别	工学硕士
学科、专业名称	农业工程
研究方向	农业电气化与自动化
所在学院	机械电气工程学院

中国·新疆·石河子

2026年5月

分类号: S24
学号: 20232009030

密级: 公开
单位代码: 10759

石河子大学

硕士学位论文



不同回潮率下可调式籽棉清理机工作参数优化 研究

学位申请人	吴悦铭
指导教师	张梦芸 教授 吴超 副教授
申请学位门类级别	工学硕士
学科、专业名称	农业工程
研究方向	农业电气化与自动化
所在学院	机械电气工程学院

中国·新疆·石河子
2026年5月

**Optimization of working parameters of adjustable seed cotton
cleaner under different moisture regain**

A Dissertation Submitted to

Shihezi University

In Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Engineering

By

WU Yueming

(Agricultural Engineering)

Dissertation Supervisor :Prof. Zhang Mengyun

May,2026

石河子大学学位论文独创性声明及使用授权声明

学位论文独创性声明

本人所提交的学位论文是在我导师的指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含其他个人已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中作了明确的说明并表示谢意。

研究生签名： 吴悦铭

时间： 2026年05月28日

使用授权声明

本人完全了解石河子大学有关保留、使用学位论文的规定，学校有权保留学位论文并向国家主管部门或指定机构送交论文的电子版和纸质版。有权将学位论文在学校图书馆保存并允许被查阅。有权自行或许可他人将学位论文编入有关数据库提供检索服务。有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

研究生签名： 吴悦铭

时间： 2026年05月28日

导师签名： 张梦芸

时间： 2026年05月28日

摘要

在机采棉加工过程中，由于新疆地区棉花加工具有显著的季节性特征，大批量籽棉的处理过程受烘干时间的影响，其实际回潮率难以维持在一个恒定的水平之内。且现有的倾斜式籽棉清理机多采用固定参数结构化设计，缺乏针对不同回潮率籽棉物料特性的调节能力，致使清理机工作参数与相应籽棉回潮率不匹配，易造成“高回潮率下清杂效率低”与“低回潮率下纤维损伤大”的矛盾无法调和。为此，本研究以实现清杂效率最大化与纤维损伤最小化为协同目标，深入探究了回潮率与籽棉物料特性的内在联系，试制了结构参数数字化可调的试验样机，并基于试验结果结合多目标优化算法构建了不同回潮率下最优工作参数的配方。

(1) 开展了不同回潮率梯度下机采籽棉拉伸特性、摩擦特性及单粒籽棉团压缩破碎特性等试验的测定与分析，根据相应试验结果结合前期调研内容，选取了机采籽棉回潮率可处理范围为 5.5 ~ 12%。不同回潮率籽棉物料特性测定揭示了回潮率同其他加工参数交互作用的内在力学联系，为第四章参数优化提供了数据支撑；同时又可界定刺钉辊打击力的安全阈值，并以此作为刺钉辊转速范围选取的依据。

(2) 设计了一种通过调节椭圆杆转动角度继而改变相邻格条间隙的调节机构，对其主要结构及工作原理进行了系统阐述，并通过几何计算确定了其参数调节范围为 8.5 ~ 12.5 mm。进一步对机构进行了静力学及瞬态动力学有限元分析，结果表明机构零件均符合刚度设计要求且不同格条间隙下机构最大总变形量均不大于 $1.34 \times 10^{-1} \text{mm}$ ；在相邻格条间隙为 11.5mm 时椭圆杆的等效应力最大为 20.59MPa。结合 5.5% ~ 11.5% 回潮率下单粒籽棉团质量、破坏力及破坏能的测试结果，对清理环节中单粒籽棉团与刺钉之间弹性碰撞过程进行了分析，选取了刺钉辊转速试验区间为 560 ~ 760 r/min；同时，完成了籽棉喂入量的参数化设计，以保障后续试验的准确性。

(3) 基于上述结构参数的设计，进一步完成了控制系统的搭建。首先对控制系统硬件、PLC 及传感器进行了选型，绘制了相应硬件接线图并搭建了控制柜。后根据机构控制要求，对 PLC 控制器及触摸屏软件程序进行了编译，并对控制系统软硬件进行了集成，实现了对相邻格条间隙、刺钉辊转速的实时监测与数字化调控。

(4) 以刺钉辊转速、籽棉喂入量、相邻格条间隙及籽棉回潮率为试验因素，以机器清杂效率及籽棉短纤维率为评价指标，首先进行了单因素试验，确定了影响较为显著的因素及其参数范围，后进行了二次回归正交旋转组合试验设计，得到了评价指标与各试验因素之间的回归方程。并基于带精英策略的非支配排序遗传算法实现了籽棉回潮率—加工参数的映射。多工况验证表明，与未优化前相比，机器清杂效率最高提升了 14.14%，籽棉短纤维率最大降低了 11.22%；不同参数组合下机器清杂效率最大相对误差小于 4.59%，籽棉短纤维率最大相对误差小于 2.80%，证明了回归模型与参数优化的可靠性。

关键词：回潮率；籽棉清理机；清杂效率；短纤维率；参数优化

Abstract

During machine-picked cotton processing, due to the significant seasonal characteristics of cotton processing in Xinjiang, the processing process of large batches of seed cotton is affected by drying time, and its actual moisture regain is difficult to maintain within a constant level. In addition, the existing inclined seed cotton cleaners mostly adopt a structured design with fixed parameters and lack the ability to adjust the material characteristics of seed cotton with different moisture regain, resulting in mismatch between the working parameters of the cleaner and the corresponding moisture regain of seed cotton, which easily leads to "high moisture regain". The contradiction between low cleaning efficiency under moisture regain "and" large fiber damage under low moisture regain "cannot be reconciled. To this end, this study aimed at maximizing impurities removal efficiency and minimizing fiber damage as the collaborative goal, deeply explored the intrinsic relationship between moisture regain and seed cotton material characteristics, trial-produced a test prototype with digitally adjustable structural parameters, and based on the test results, combined with multi-objective optimization algorithm, a formula of optimal working parameters under different moisture regain was constructed.

(1) Tests on the tensile characteristics, friction characteristics and compression and crushing characteristics of single seed cotton mass of machine-picked seed cotton under different moisture regain gradients were carried out. Based on the corresponding test results and previous research contents, machine-picked seed cotton was selected. The moisture regain can be processed range is 5.5 ~ 12%. The measurement of material characteristics of seed cotton with different moisture regain reveals the intrinsic mechanical connection between the interaction of moisture regain and other processing parameters, providing data support for parameter optimization in Chapter 4; at the same time, it can define the safety threshold of the striking force of the spike roller, and use it as the basis for selecting the speed range of the spike roller.

(2) An adjustment mechanism is designed that adjusts the rotation angle of an elliptical rod and then changes the gap between adjacent grids. Its main structure and working principle are systematically described, and its parameter adjustment range is determined through geometric calculation to be 8.5 ~ 12.5 mm. Further static and transient dynamic finite element analysis of the mechanism was carried out. The results show that all the mechanism parts meet the rigidity design requirements and the maximum total deformation of the mechanism under different grid clearances is not more than 1.34×10^{-1} mm; the maximum equivalent stress of the elliptical rod is 20.59MPa when the gap between adjacent grids is 11.5mm. Based on the test results of the mass, destructive power and destructive energy of a single seed

cotton mass under a moisture regain of 5.5% ~ 11.5%, the elastic collision process between a single seed cotton mass and a spike in the cleaning process was analyzed, and the test range of the spike roller speed was selected to be 560 ~ 760 r/min; At the same time, the parametric design of the seed cotton feeding amount was completed to ensure the accuracy of subsequent tests.

(3) Based on the design of the above structural parameters, the construction of the control system was further completed. First, the control system hardware, PLC and sensors were selected, the corresponding hardware wiring diagram was drawn and the control cabinet was built. Afterwards, according to the mechanism control requirements, the PLC controller and touch screen software programs were compiled, and the control system software and hardware were integrated to realize real-time monitoring and digital control of the gap between adjacent grids and the speed of the nail piercing roller.

(4) Taking the speed of the spike roller, the feed amount of seed cotton, the gap between adjacent grilles and the moisture regain of seed cotton as test factors, and taking the machine cleaning efficiency and the short fiber rate of seed cotton as evaluation indicators, a single factor test was first carried out to determine the factors with significant effects and their parameter ranges. Then, a quadratic regression orthogonal rotation combination test design was carried out, and the regression equations between the evaluation indicators and each test factor were obtained. The mapping between seed cotton moisture regain and processing parameters was realized based on the non-dominated sorting genetic algorithm with elite strategy. Verification under multiple working conditions shows that compared with before optimization, the machine cleaning efficiency has increased by 14.14%, and the seed cotton short fiber rate has decreased by 11.22%; the maximum relative error of machine cleaning efficiency under different parameter combinations is less than 4.59%, and the maximum relative error of seed cotton short fiber rate is less than 2.80%, which proves the reliability of the regression model and parameter optimization.

Key words: moisture regain; seed cotton cleaner; cleaning efficiency; short fiber rate; parameter optimization

目录

摘要	I
Abstract	III
目录	V
第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景及意义	1
1.2 国内外研究现状	2
1.2.1 回潮率对于加工环节的影响及调整手段	2
1.2.2 籽棉清理机的研究现状	5
1.2.3 对籽棉加工品质的要求	8
1.3 主要研究内容	9
1.3.1 研究目标	9
1.3.2 研究内容	9
1.3.3 研究方法	9
1.3.4 技术路线	10
1.4 本章小结	12
第 2 章 不同回潮率下籽棉物料特性测定	13
2.1 试验物料及试验仪器	13
2.2 籽棉拉伸特性试验	14
2.2.1 试验内容	14
2.2.2 试验结果与分析	16
2.3 不同回潮率下单粒籽棉团的质量分布	17
2.4 不同回潮率下单粒籽棉团压缩破碎力学特性试验	19
2.5 不同回潮率下棉纤维摩擦力学特性试验	21
2.5.1 试验内容	21
2.5.2 试验结果及分析	22
2.6 本章小结	23
第 3 章 可调式籽棉清理机结构参数设计	25
3.1 整机结构与工作原理	25
3.1.1 总体结构	25
3.1.2 工作原理及主要技术参数	26

3.2 可调式籽棉清理机结构参数设计	26
3.2.1 相邻格条间隙调节机构设计	27
3.2.2 刺钉辊转速调节机构设计	40
3.2.3 喂入量调节机构设计	44
3.3 控制系统设计	45
3.3.1 控制系统架构设计	45
3.3.2 控制系统硬件选型及接线	46
3.3.3 控制系统软件设计	48
3.3.4 控制系统集成与测试	56
3.4 本章小结	57
第4章 可调式籽棉清理机工艺参数优化设计试验	58
4.1 试验材料与设备	58
4.2 影响因子的确定	59
4.3 试验方法与指标	60
4.3.1 试验方法	60
4.3.2 试验评价指标的确定	60
4.4 影响作业性能的单因素试验	62
4.4.1 籽棉回潮率对作业质量的影响	62
4.4.2 刺钉辊转速对作业质量的影响	67
4.4.3 籽棉喂入量对作业质量的影响	71
4.4.4 相邻格条间隙对作业质量的影响	75
4.5 工作参数优化回归试验	80
4.5.1 试验方案设计	80
4.5.2 试验结果	80
4.5.3 方差分析与回归模型的建立	81
4.5.4 交互因素对作业指标的影响	83
4.5.5 参数优化与试验验证	85
4.6 本章小节	88
第5章 结论与展望	89
5.1 研究结论	89
5.2 研究展望	90
参考文献	91
致谢	96
作者简介	97

第1章 绪论

1.1 研究背景及意义

世界棉花看中国，中国棉花看新疆。新疆地区作为我国优质棉花种植与生产基地，其棉花产量在全国占比逐年递增^[1]。如图 1-1 所示。

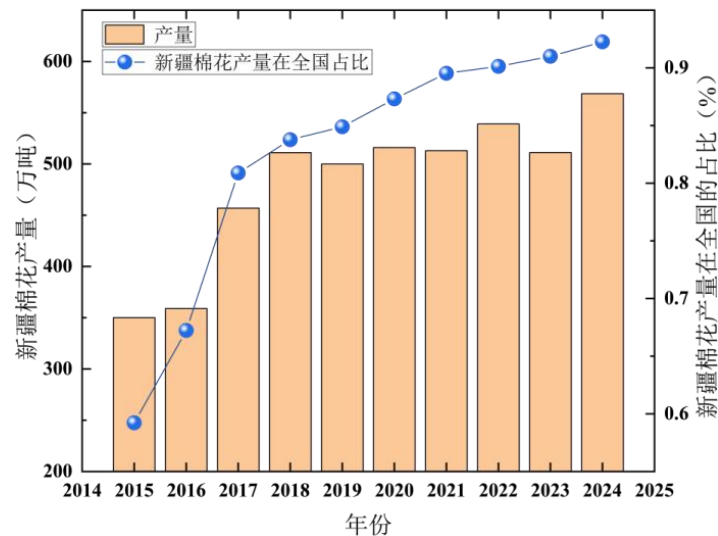


图 1-1 2015-2024 年中国棉花种植情况

Fig.1-1 Cotton cultivation in China from 2015 to 2024

受人工成本及棉花种植规模的影响，机械化采收方式因其减轻劳动强度、降低采棉成本的优势，受到广大新疆棉农的青睐^[2]。但由于新疆地区普遍采用高密度的植棉模式在提高棉花产量的同时，也让机采籽棉的回潮率及含杂率远高于手采棉^[3]，大大增加了籽棉清理的难度。在皮棉加工过程中若棉花含杂率过高，会导致纺纱环节落棉率上升，疵点数量增加，降低棉纤维的可纺性，增加纺纱成本^[4-5]。籽棉清理环节作为皮棉加工的前置清理工序，其清理效果不仅直接关系到后续皮棉阶段的加工，更是与棉花加工的最终品质直接相关。

前期调研可知，目前棉花加工厂籽棉清理机普遍采用固化的加工参数，导致籽棉回潮率的动态变化直接决定了籽棉的清理效果与加工品质：低回潮率下，籽棉纤维脆性增强、与杂质间黏附力降低，虽能有效提高机器清杂效率，但易导致纤维断裂、短纤维率剧增等损伤问题；高回潮率条件下，纤维柔软性增加但其与杂质间的黏附效应变强，不仅大幅削弱了清杂效率，还易引发设备堵塞、缠绕，导致含杂率居高不下，难以满足加工要求^[6]。这种由不同回潮率籽棉与固化加工参数不匹配引发的耦合矛盾，成为了制约籽棉清理加工提质增效的核心瓶颈。然而新疆棉花加工季节性较强，当前棉花加工企业

普遍采用混收混加模式^[7]，即便经烘干塔统一预处理，受籽棉初始堆积状态^[8]、采收批次的影响，其回潮率仍难以实现均匀化控制，仅能维持在有限区间内波动。而传统籽棉清理机多为固定加工参数设计，无法动态适配不同回潮率下的籽棉物料特性，导致同一加工参数下，低回潮率籽棉纤维损伤超标、高回潮率籽棉清杂不彻底，既无法满足《GB 1103.1-2023 棉花第1部分：锯齿加工细绒棉》标准中“从严设置含杂率，倒逼机采棉加工工艺的优化”的加工要求，也难以落实《GB/T 22335-2018》中“以回潮率为分类指标，分工艺加工”的技术导向。

因此，本课题拟开展不同回潮率下可调式籽棉清理机参数优化研究。通过对不同回潮率下籽棉的物料特性进行试验分析，结合可调式籽棉清理机核心结构参数设计平台的构建，依托试验结果建立多加工参数与清杂效率、短纤维率的优化模型，进而为可调式籽棉清理机适配不同回潮率籽棉提供科学化、定量化的参数调整依据，实现清杂效率与纤维保护的协同优化，同时为棉花加工产业的数字化、智能化转型升级提供理论参考与技术支持。

1.2 国内外研究现状

国内外专家针对籽棉机械化加工过程中普遍存在的工作参数与籽棉回潮率适配性不足，进而导致清理后含杂率偏高、纤维损伤严重等问题，开展了广泛且深入的研究探索。研究重点聚焦于两大领域：一是探究籽棉回潮率的精准调控，以实现回潮率的科学管理，从而提升棉花的加工品质^[9]；二是通过优化籽棉清理环节的加工参数^[10]，以提升其清杂效率，从而有效降低籽棉中杂质的含量^[11]。

1.2.1 回潮率对于加工环节的影响及调整手段

籽棉的回潮率是指：一定质量的籽棉中，水分质量与绝干籽棉质量之比，其计算公式如下^[12]：

$$W = \frac{M_0 - M_1}{M_1} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中：W——回潮率（%） M_0 ——棉花湿重（g） M_1 ——棉花干重（g）

回潮率作为影响棉花加工质量的关键指标，不同回潮率条件下籽棉的物料特性存在显著差异。随着回潮率的变化，棉纤维之间的结合力与内聚特性也会发生相应改变，进而影响后续加工过程的行为与效果。吴帆、孔凡婷等^[13-14]建立了不同回潮率下棉纤维集合体的力学模型，模拟了其在受压过程中纤维应力的变化过程。结果表明，在回潮率为4.2%至14.1%的范围内，随着回潮率的升高，棉纤维集合体的应力呈现先下降后上升的趋势。进一步，Boykin J C等^[15]通过实地试验对棉纤维束间的摩擦力进行了测算，发现