

A stylized spiral graphic composed of multiple curved, overlapping bands in shades of pink, purple, and blue, radiating from a central point. It is positioned in the upper left quadrant of the book cover.

衣淑娟 著

螺旋叶片板齿组合式 轴流装置理论与试验研究

STUDY ON ASSEMBLED PLANK-TOOTH
AND HELICAL VANES AXIAL FLOW
DEVICE THEORY AND EXPERIMENT

 中国农业出版社

螺旋叶片板齿组合式轴流装置 理论与试验研究

STUDY ON ASSEMBLED PLANK-TOOTH
AND HELICAL VANES AXIAL FLOW DEVICE
THEORY AND EXPERIMENT

衣淑娟 著

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

螺旋叶片板齿组合式轴流装置理论与试验研究/衣淑娟著. —北京: 中国农业出版社, 2008. 9

ISBN 978-7-109-12944-3

I. 螺… II. 衣… III. 稻谷脱壳-脱粒装置-研究
IV. S226.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 142528 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100125)

责任编辑 殷 华 段丽君

北京昌平环球印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2008 年 9 月第 1 版 2008 年 9 月北京第 1 次印刷

开本: 850mm×1168mm 1/32 印张: 4.625

字数: 106 千字

定价: 18.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

内 容 提 要

本书在综述分析国内外水稻轴流收获技术现状的基础上，通过理论分析与试验相结合的方法，对螺旋叶片板齿组合式轴流装置机理、参数进行了研究与探索。从稻谷在脱分空间的运动分析入手，利用高速摄像和试验手段对该装置的工作特性进行了系统研究，这些研究作为样机研制奠定了基础。

本书可作为农业机械化工程和有关机械设计与理论专业研究生的教学参考书，同时适用于从事农业机械设计制造的工程技术人员参考。

ABSTRACT

On the base of summarizing and analyzing the existing state of domestic and foreign research, through the comprehensive method of theory analysis and experiments, study and explore on the mechanism and parameters of the assembled plank-tooth and helical vanes axial flow threshing and separating device. Starting with the motion analysis in the threshing and separating space, carry on systematical research on operating characteristics of the device by means of high-speed photography and experiments which lays a solid foundation for the development of model machine.

This book will serve as a reference for graduate students and engineering technicians in agricultural engineering.

作者简介

衣淑娟，女，1965年生，博士，黑龙江八一农垦大学工程学院教授，博士生导师。近年来完成多项科研项目，主要有：主持完成黑龙江省科技厅课题“2CM—2型马铃薯种植机”，并获得黑龙江省科技进步三等奖；主持完成农垦总局课题“5SHY—1型谷物烘干机”，获农垦总局科技进步二等奖，并获国家专利；主持完成农垦总局课题“4DJT型大豆牵引式捡拾脱粒机”，获得农垦总局科技进步二等奖；主持完成轴流脱粒与分离装置试验台获黑龙江省高校科技进步三等奖等。以第一作者在《农业机械学报》、《农业工程学报》等学术刊物上发表论文二十余篇。出版著作《水稻干燥技术的研究》一部。主编教材两部。参与领导了农业机械化及其自动化专业新的课程体系与教学内容改革，在教学和研究生培养方面取得了较突出成绩，负责的课程《农业机械学》于2007年获省级精品课程。主要社会兼职：中国农垦农机化分会副秘书长、黑龙江省农业机械学会理事、《农机化研究》编委、中国农业机械学会收获加工机械分会委员会委员，以及黑龙江省农业工程学会理事等。

前 言

在我国，水稻机械化生产中唯有收获这一环节最为落后，因为传统的联合收获机系为麦类作物研制的，不适应水稻，主要表现为分离损失大、破碎破壳严重、作业效率低。日本的半喂入式联合收获机可以解决前两个问题，但机构复杂，价格昂贵，在我国应用有局限性。螺旋叶片板齿组合式轴流装置作为新型的轴流装置，其装置因结构特点在脱粒过程中对稻谷既有打击又有输送功能，使稻谷在轴流式脱粒装置中作旋转运动的同时又有轴向运动，稻谷在脱粒装置中运动的路程较长，且作用柔和，使其能在脱粒的同时进行分离，脱净率高、破碎率低，因此得到广泛认可。本课题以轴流收获机械的关键部件脱粒分离装置为研究对象，针对寒地水稻特点，在前人研究的基础上，采用理论分析与试验研究相结合的研究方法，利用先进的测试手段，对螺旋叶片板齿组合式轴流装置机理与参数进行研究，同时与生产中应用较广泛的钉齿式轴流装置进行对比研究，了解不同脱分装置的特点，以期适合寒地水稻收获机械的研制奠定基础。

全书由 7 章组成，主要可分为以下几个部分。

第一部分由第 2 章组成。本部分研制了纵置轴流装置试验台，主要包括输送喂入机构、脱分装置、动力台、数据采集和监控系统、高速摄像等部分，能实现多种形式互换、实时数据采集等功能，提高了试验台操作的简便性和试验参数测量的准确性。

第二部分由第3章组成。本部分在分析前人研究工作的基础上,针对螺旋叶片板齿组合式轴流装置的工作特点,在合理假设的前提下,建立了谷物脱分空间中的运动模型,并对运动模型进行了仿真研究,得到了谷物角位移、角速度与时间关系曲线,及螺旋升角、螺旋叶片高度、滚筒转速不同时谷物角位移、轴向速度与时间的关系曲线,进行了分析说明。

第三部分由第4章组成。本部分利用高速摄像技术对稻谷运动、脱粒等过程进行了观察和图像分析。

第四部分由第5、6章组成。本部分选取影响脱粒性能的栅格尺寸和顶距两个因素,在固定导向板导角、凹板间隙、喂入量、滚筒转速等条件下,进行了单因素试验研究。根据单因素试验结果,选择喂入量、滚筒转速、凹板间隙三个因素进行多因素试验。另外,研究了凹板间隙、顶距、栅格尺寸等参数对螺旋叶片板齿组合式与钉齿式轴流装置脱出物分离规律的影响,并对螺旋叶片板齿组合式与钉齿式轴流装置的工作特性进行对比试验研究。

在本书编写的过程中,得到了陶桂香、毛欣、张义峰等同事的大力支持,对他们以及对本人成长给予热心帮助的师长深表谢意。

再一次对导师蒋恩臣教授表示最诚挚的谢意。

作者水平有限,书中错误在所难免,恳请各位批评指正。

作 者

2008年8月

目 录

前言

1 引言	1
1.1 课题研究目的与意义	1
1.2 国内外研究动态	3
1.2.1 国外研究现状	3
1.2.2 国内研究现状	6
1.3 本文研究的主要内容	10
2 纵置轴流装置试验台的研制	12
2.1 组成与工作原理	12
2.2 主要结构简介	13
2.2.1 平皮带输送机	13
2.2.2 过桥	13
2.2.3 脱粒滚筒	14
2.2.4 接料车	17
2.2.5 动力台	17
2.2.6 数据采集与监控	18
3 稻谷运动模型的建立及仿真	24
3.1 概述	24
3.2 数学模型的建立	25
3.2.1 速度方程	26

3.2.2 加速度方程	27
3.3 仿真分析	28
3.3.1 仿真的初始条件	28
3.3.2 仿真结果与分析	29
3.4 小结	33
4 物料在组合式轴流装置内脱粒与运动的高速 摄像观察分析	37
4.1 试验设备与方法	37
4.2 拍摄参数的选择	38
4.3 高速摄像观察分析	38
4.3.1 稻谷整体运动与脱粒过程	38
4.3.2 稻穗脱粒过程	39
4.3.3 断穗脱粒过程	44
4.3.4 自由籽粒的运动	45
4.3.5 短茎秆运动	51
4.3.6 脱出物下落过程观察	52
4.4 小结	57
5 组合式轴流装置脱粒性能的试验研究	60
5.1 试验装置与方法	60
5.2 主要评定指标	60
5.3 单因素试验结果与分析	61
5.3.1 栅格尺寸影响规律	62
5.3.2 顶距影响规律	64
5.4 多因素试验研究	65
5.4.1 试验方案确定	65
5.4.2 试验数据结果分析	67
5.5 性能指标优化	86
5.6 验证试验	88

5.7 小结	89
6 两种轴流装置脱出物分离规律的试验研究	91
6.1 试验装置与方法	92
6.2 组合式轴流装置脱出物分离规律的试验研究	92
6.2.1 凹板间隙对脱出物分布规律影响	92
6.2.2 顶距对脱出物分布规律影响	98
6.2.3 栅格尺寸对脱出物分布规律影响	101
6.2.4 喂入量对累积分离规律影响	104
6.2.5 滚筒转速对累积分离规律影响	105
6.3 钉齿式轴流装置脱出物分离规律试验研究	107
6.3.1 脱出物分布规律的试验研究	107
6.3.2 喂入量对累积分离规律影响	110
6.3.3 滚筒转速对累积分离规律影响	111
6.3.4 凹板间隙对累积分离规律影响	113
6.4 两种轴流装置工作特性的分析	114
6.4.1 稻谷在脱粒与分离空间的运行时间	114
6.4.2 两种装置脱分性能分析	115
6.5 小结	119
7 结论	122
主要参考文献	125

CONTENTS

Preface

1 INTRODUCTION	1
1.1 Intention and Meanings of Subject Study	1
1.2 Research Situation of Subject Study at Home and Abroad	3
1.2.1 Research Situation at Abroad	3
1.2.2 Research Situation at Home	6
1.3 Contents of Research	10
2 RESEARCH AND MANUFACTURE OF TEST-BED OF AXIAL FLOW DEVICE	12
2.1 Composition and Working Principle	12
2.2 Brief Introduction of Primary Structures	13
2.2.1 Flat-belt Transporter	13
2.2.2 Inclination Conveyor	13
2.2.3 Threshing Roller	14
2.2.4 Material Take-up Truck	17
2.2.5 Power-bed	17
2.2.6 Data Acquisition and Monitoring System	18

3 MATHEMATICAL MODEL ESTABLISHMENT AND SIMULATION OF PADDY MOVING	24
3.1 Review	24
3.2 Mathematical Model Establishment	25
3.2.1 Speed Equation	26
3.2.2 Acceleration Equation	27
3.3 Simulation Analyse	28
3.3.1 Initial Condition of Simulation	28
3.3.2 Result and Analysis of Simulation	29
3.4 Summary	33
4 OBSERVATION AND ANALYSIS OF THRESHING AND MOTION OF MATERIAL IN ASSEMBLED AXIAL FLOW DEVICE BY HIGH-SPEED PHOTOGRAPH	37
4.1 Apparatus and Methods	37
4.2 High-speed Photograph Parameters	38
4.3 Observation and Analysis on High-speed Photograph	38
4.3.1 Paddy Moving and Threshing Processes	38
4.3.2 Threshing Processes of Intact Ears	39
4.3.3 Threshing Processes of Breaking Ears	44
4.3.4 Moving of Untreated Kernels	45
4.3.5 Moving of Short Straws	51
4.3.6 Falling Processes of Mixture	52
4.4 Summary	57
5 EXPERIMENTAL RESEARCH ON SEPARATION RULE OF MIXTURE OF ASSEMBLED AXIAL FLOW DEVICE	60
5.1 Apparatus and Methods	60
• 2 •	

5.2	Main Assessing Indices	60
5.3	Signal-factor Experiment	61
5.3.1	The Effect Rule of Grid Size	62
5.3.2	The Effect Rule of Apex Distance	64
5.4	Multi-factors Experiment	65
5.4.1	The Design of Experiment	65
5.4.2	The Result of Experiment and Analyses	67
5.5	The Optimization of Performance Indexes	86
5.6	Confirmatory Experiment	88
5.7	Summary	89
6	EXPERIMENTAL RESEARCH OF SEPARATING RULE OF MIXTURE OF TWO AXIAL FLOW DEVICES	91
6.1	Apparatus and Methods	92
6.2	Research on Distribution Rule of Mixture of Assembled Axial Flow Device	92
6.2.1	The Effect of Threshing Gap on Distribution Rule of Mixture	92
6.2.2	The Effect of Apex Distance on Distribution Rule of Mixture	98
6.2.3	The Effect of Grid Size on Distribution Rule of Mixture	101
6.2.4	The Effect of Feeding Rate on Cumulative Separation Rule	104
6.2.5	The Effect of Roller Rotating Speed on Cumulative Separation Rule	105
6.3	Research on Separating Rule of Mixture of Spike-tooth Axial Flow Device	107
6.3.1	Research on Distribution Rule of Mixture	107
6.3.2	The Effect of Feeding Rate on Cumulative	

Separation Rule	110
6. 3. 3 The Effect of Roller Rotating Speed on Cumulative Separation Rule	111
6. 3. 4 The Effect of Threshing Gap on Distribution Rule of Mixture	113
6. 4 Operational Characteristics Analysis of Two Axial Flow Devices	114
6. 4. 1 Paddy Moving Time in Threshing and Separating Space	114
6. 4. 2 Threshing Performance Analysis of Two Devices	115
6. 5 Summary	119
7 CONCLUSIONS	122
REFERENCE	125

1 引 言

1.1 课题研究目的与意义

水稻是我国的主要粮食作物之一，常年种植面积 $3 \times 10^7 \text{ hm}^2$ ，约占耕地的 33%，而产量占全国总产量 45%，水稻生产在我国粮食生产中占有极其重要的地位（李庆章，2006）。因此，加快发展水稻生产全程机械化，减轻水稻生产的劳动强度，降低生产成本，是提高水稻综合生产能力、保障我国粮食安全的一项战略措施，对推动现代化农业和社会主义新农村建设具有重要意义。由于我国幅员辽阔，地形复杂，水稻种植、收获受气候条件、地理环境、耕作制度、经济条件等多因素的影响，全国水稻机械化生产程度不一。据统计，目前我国水田耕整地机械化程度达到 70%，水稻机播机插程度达到 7%，机收达到 26%。黑龙江省是我国重要的商品粮基地之一，也是我国最大的粳稻区和优质米生产区，2003 年水稻种植面积为 $1.4 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ，2004 年种植面积 $1.67 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ，呈稳步增长趋势。水田耕整地机械化程度达到 94.7%，水稻机播机插程度达到 34.4%，机收达到 41.9%（黑龙江省农机局，2005）。黑龙江垦区地域辽阔，资源丰富，是国家重要的商品粮基地和最大的无公害、绿色、有机食品基地。从“九五”以来，垦区调整种植业结构，实施大力发展水稻的农业发展战略，水稻种植面积逐年增加，现已达到 $7.73 \times 10^5 \text{ hm}^2$ ，机收达到 74%，综合机械化率已达到 84%（黑龙江省农垦农机局，2005），水稻收获机械化依然处于水稻发展的瓶颈状态。

黑龙江垦区在进一步加大农机新技术的引进、消化、吸收和

推广力度的同时,水稻收获机械坚持“四个结合”的收获模式,即在收获时限上,霜前与霜后相结合;在机型上,半喂入式与全喂入式相结合;在收获方式上,直接与割晒分段收获相结合;在机械配套上,大中小型相结合。重点推广大中型全喂入水稻专用收获机械,并针对部分用户闲置的传统收获机带来的重复投资等问题对现有传统收获机进行改装。

北方水稻收获一般在 10 月初,气温在 0°C 左右,籽粒水分在 20%、茎秆水分在 30%~40% 左右。作物品种特点是口紧,脱粒、分离、清选困难,且种植面积大,收获季节短,对收获机械要求高。黑龙江垦区收获机械归纳起来主要有以下几种机型:①以美国 CASE2366 型和迪尔佳联生产的 3060CTS、3518CTS 型为代表非传统型联合收割机,这类机型可实现水稻全程收获,并能达到国家标准要求,作业效率高,适合于垦区大面积作业的需要;②以四平、浙江柳林生产机型为代表的橡胶履带式小型收获机;③以洋马、久保田机型为代表的半喂入自走式收获机,性能优良,收获质量高,转向灵活,通过性好,但收获期受限,收获成本高,维修费用高,价格高;④以迪尔佳联 3070 型为代表的中小型轮式收获机;⑤以上海向明机械厂生产机型为代表的背负式收获机;⑥传统机型改装成轴流滚筒式收获机。

近年来,黑龙江省与黑龙江垦区大量引进了国外的水稻收获机械,通过国外轴流收获机械 CASE2366 型、洋马 CA600S 型、纽荷兰 TR98 型等机型的引进与应用,提高了用户对轴流收获技术的认识。实践表明,轴流收获机械较适应于垦区大面积种植对机械效率高的要求。

农业机械的不断发展,脱粒与分离试验装置不断地向高精度方向发展,国内外都关注对装置测试、监控手段的研究,通过利用先进的测试、控制仪器,提高试验精度,尽而提高机械的作业质量。

针对目前轴流式机具中存在的脱干作物时分离物中含杂率

高、脱湿长作物困难、功耗过大等的主要问题，研究适应寒地水稻大面积种植条件的新型轴流收获装置及其机理，是一项重要的工作。轴流滚筒的脱粒部件一般为纹杆、钉齿、弓齿、板齿或纹杆与杆齿组合式，随着轴流收获技术的不断研究，一种新型脱粒与分离形式——螺旋叶片板齿组合式轴流脱粒与分离装置在国外轴流收获机械中开始应用。本课题依据日本洋马公司生产的CA600S型收获机，结合现有轴流收获机械的特点，对螺旋叶片板齿组合式轴流脱粒与分离装置进行理论与试验研究，并进行了高速摄像观察分析，为新机型设计和传统机型改造提供可靠的理论依据。

1.2 国内外研究动态

1.2.1 国外研究现状

国外对轴流脱粒与分离机理的研究，已有 200 多年的发展历史，早在 1785 年英国的温劳（Willam Winlaw）就发明了水力驱动的立式锥形轴流脱粒机。1886 年德国出现了利用导向装置使物料作螺旋运动的柱形轴流脱粒的专利。1959 年 Lamp B. Jr 首先研制了一种锥形轴流脱粒部件，其结构是：里面有一个旋转的锥形滚筒，其表面包着橡胶的脱粒杆，外面是一个多冲孔铁板制成的锥形笼罩，固定不动。Lamp 对这种结构的离心脱粒和分离原理作了初步探讨，并在理论上研究了谷物在这种机器内部的运动情况（王岳，1985）。

从 20 世纪 60 年代初开始，美国一些公司对轴流装置进行大量的试验，到 70 年代已有样机在田间工作。从 1977 年起美国等一些国家的公司先后成批生产了不同类型的轴流联合收获机并投入市场，但无公开发表的资料。

1960 年 Lamp 和 Buchele W. F. 对锥形轴流脱粒部件作了进一步的研究和分析，指出在脱小籽粒作物时，正常条件下离心力