



吉林大學

中文题目 玉米脱粒机工作过程分析及优化设计

英文題目 Analyse and Optimal Design of the
Threshing

Process of the Corn Thresher

学生姓名_____ 班级_____ 学号_____

学 院 _____

专 业

如不慎侵犯了你的权益，请联系我们告知！

指 导 教 师 _____ 职 称

目 录

摘 要.....	I
Abstract	II
第 1 章 绪论.....	1
1.1 研究背景与意义.....	1
1.2 玉米脱粒机的种类及特点	1
1.2.1 玉米脱粒机的表示方法	1
1.2.2 各类玉米脱粒机的工作原理	2
1.2.3 综合比较各类玉米脱粒机	4
1.3 国外玉米脱粒机的发展	4
1.4 国内玉米脱粒机的发展	5
1.5 存在的问题.....	6
1.6 本文主要研究内容	7
第 2 章 板齿玉米脱粒机总体结构与工作原理	8
2.1 板齿脱粒机基本结构与工作过程	8
2.2 板齿脱粒机工作原理	8
2.3 本章小结.....	9
第 3 章 板齿玉米脱粒机脱粒元件设计	9
3.1 板齿设计	10
3.1.1 板齿作用	10
3.1.2 板齿样式及尺寸	10
3.2 电动机设计	10
3.2.1 板齿玉米脱粒机所需功率	11
3.2.2 电机选择	12
3.3 传动带的设计	12
3.3.1 传动带的选取	12
3.3.2 V 带设计	13
3.4 带轮设计	15
3.4.1 带轮材料	15
3.4.2 主动带轮设计	15
3.4.3 从动带轮设计	16
3.5 脱粒滚筒设计	18
3.5.1 脱粒主轴作用	18
3.5.2 阶梯轴设计	18
3.5.3 脱粒滚筒设计	21

3.5.4 阶梯轴的校核	22
3.6 凹板设计	27
3.6.1 凹板作用	27
3.6.2 凹板类型	27
3.6.3 凹板间隙	27
3.6.4 凹板其他尺寸	28
3.7 脱粒仓结构设计	29
3.7.1 脱粒仓作用	29
3.7.2 脱粒仓结构与尺寸	30
3.8 本章小结	30
第 4 章 板齿玉米脱粒机外部结构设计	30
4.1 入料斗设计	31
4.2 排芯斗设计	31
4.3 出料斗设计	32
4.4 排芯区压板设计	32
4.4.1 排芯区压板作用	32
4.4.2 排芯区压板材料以及结构	33
4.5 上盖设计	33
4.5.1 上盖作用	33
4.5.2 上盖材料与结构	33
4.6 机架设计	33
4.7 整体结构设计	34
4.8 本章小结	35
第 5 章 离散元法仿真分析	35
5.1 离散元法基本原理	36
5.2 板齿玉米脱粒机仿真模型的建立	36
5.2.1 仿真模型的建立	36
5.2.2 仿真参数的设置	37
5.3 板齿玉米脱粒机仿真优化	38
5.4 板齿玉米脱粒机仿真过程	39
5.5 滚筒转速对脱粒的影响	40
5.6 喂入量对脱粒的影响	43
5.7 本章小结	44
第 6 章 总结与展望	45
6.1 工作总结	46
6.2 工作展望	46
致谢	46
参考文献	47

摘 要

我国为玉米生产大国，种植面积超过 0.27 亿公顷。玉米既可以作为食品以及饲料，也可以作为工业原料。传统钉齿滚筒玉米脱粒机对玉米籽粒损伤大，在国外早已不用此类机型。设计新型的对玉米籽粒损伤小的脱粒机对农民的收入以及我国的可持续发展都有重要的意义。

本文首先对比了各类脱粒机的优缺点。钉齿打击原理的玉米脱粒机虽然脱粒效率高，但是对籽粒损伤大，影响玉米收获质量。碾压原理玉米脱粒机的脱粒效率较低，并且容易造成籽粒擦伤。差速原理玉米脱粒机的效率较低，仅适用于脱粒单穗玉米。挤搓原理玉米脱粒机的脱粒过程柔和，对籽粒损伤小。因此本文设计挤搓原理的板齿式玉米脱粒机。

采用 PRO/E 软件对设计的玉米脱粒机进行三维建模，并采用 CAD 软件对所设计的玉米脱粒机进行二维工程图设计。

采用离散元法及课题组自主研发的 AgriDEM 软件，利用离散元法对设计的板齿玉米脱粒机进行仿真。通过改变滚筒转速以及喂入量等变量，探究所设计的脱粒机的脱粒情况并进行优化。

关键词：玉米脱粒机 结构设计 离散元法 仿真分析

Abstract

For corn production country in China, the planting area of corn more than 0.27 million hectares. Corn could act as both a food and feed, also can be used as industrial raw material. Traditional spike-tooth drum corn thresher of corn grain damage, had no such models in foreign countries. Design of a new type of maize grain damage small thresher of farmers' income and the sustainable development of our country has important meaning.

This paper first compares the advantages and disadvantages of various kinds of thresher. Spike-tooth hit principle although corn thresher threshing efficiency is high, but the grain damage, affects the quality of corn harvest. Rolling principle of the corn thresher threshing efficiency is low, and easy to cause the grain abrasion. Differential principle of corn thresher efficiency is low, only applies to single ear corn threshing. Crowded rub principle of corn thresher threshing process soft, grain damage small. So this article design rub principle of plate type corn thresher.

Through the PRO/E software for three dimensional modeling design of corn thresher. Through the CAD software for the design of the corn thresher two-dimensional engineering graphics design.

Developed by the tutor team with AgriDEM software, using the discrete element method to design the plate gear for the calculation of the corn thresher. Through change variables, such as roller speed investigation results: corn thresher threshing corn grain crushing rate, corn, corn grain to take off the net rate of grain in the thresher threshing distribution curve, etc. explores the design of the thresher threshing, and the most suitable working parameters.

如不慎侵犯了你的权益，请联系我们告知！

Keywords: corn sheller physical design discrete element simulation
analysis

第 1 章 绪论

1.1 研究背景与意义

玉米是一种很重要的粮食作物，既可以食用或者作为饲料，也是重要的工业原料之一^[1]。玉米种植面积增长十分迅猛，全球种植面积已超过 1.3 亿公顷，主要分布于中国、美国、阿根廷和巴西^[2]。在我国玉米作为第二大农作物，其全国种植面积仅次于美国^[3]，约为 0.27 亿公顷。十五期间的数据表明我国玉米年消费增长率已经突破 2.7%。而十一五期间玉米的供求也得到了进一步的增长，玉米的产量由 2003 年 1258 亿千克增长到 2006 年的 1440 亿千克^[4]，此产量可以较好的满足国内玉米的需求。

我国国土面积大，自然资源丰富，各农作物的产量皆位于世界前列，但大部分地方玉米脱粒仍然采用的是较落后的技术。虽然个别地方采用各种大中型的玉米脱粒机进行脱粒，但是这些机器生产不规范，容易造成玉米籽粒的破碎，而且往往一次脱粒不干净，需要重复脱粒几次，严重的影响了玉米的生产质量与生产效率^[5]。人工手摇式玉米脱粒机生产率低，仅适用于小批量的玉米脱粒生产，费时费力。电动机械式玉米脱粒机脱净率差，效率低，脱粒时破损玉米芯影响脱粒质量^[6]，并且结构较为复杂，制造成本较高。运用玉米脱粒装置进行脱粒时产生的压缩、冲击和剪切等作用都会损伤玉米籽粒^[7]，玉米脱粒质量严重的影响着玉米产量。目前，在我国玉米脱粒机的普及率仅仅达到 2%，主要都在北京、天津、河北、山东等发达地区的一些大型农场。因此玉米脱粒环节是我国粮食作物机械化生产的一个瓶颈。

1.2 玉米脱粒机的种类及特点

1.2.1 玉米脱粒机的表示方法

玉米脱粒机的表示方法如下所示。

<u>5</u>	<u>T</u>	<u>Y</u> —	<u>XX</u>	—	<u>XX</u>
①	②	③	④		⑤

① 5 代表脱粒机械产品代号

② T 代表脱粒机第一个字“脱”的第一个拼音字母

③ Y 代表玉米第一个字“玉”的第一个拼音字母

④ 滚筒的工作长度，单位为厘米

⑤ 滚筒的最大工作直径，单位为厘米

1.2.2 各类玉米脱粒机的工作原理

(1) 打击脱粒原理：通过钉齿或者纹杆打击玉米果穗，以及玉米果穗相互撞击后，破坏玉米籽粒与其穗轴之间的连接使其脱落。打击式玉米脱粒机主要有两类：钉齿滚筒式玉米脱粒机以及纹杆式玉米脱粒机^[8]，如图 1-1 所示。当滚筒转动时，凹板表面、钉齿上部、齿两侧都对玉米果穗产生打击作用，使玉米籽粒脱粒，完成脱粒过程。打击的机会以及打击的速度都影响着脱粒机的脱粒效率。打击式玉米脱粒机虽然脱净率与效率高但是对玉米籽粒的伤害较大。

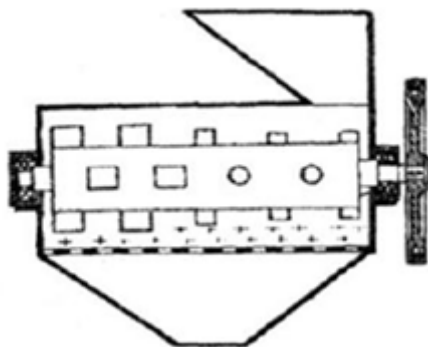
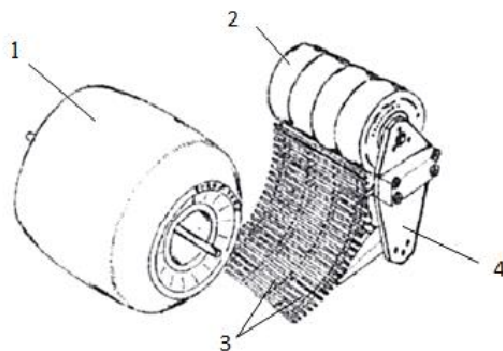


图 1-1 打击原理玉米脱粒机

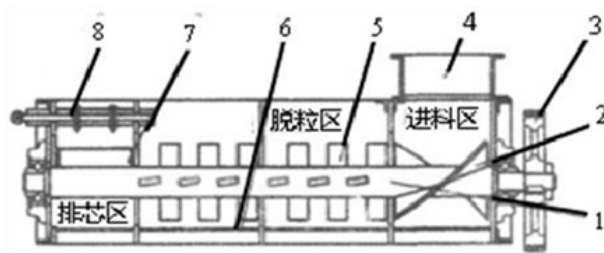
(2) 碾压脱粒原理：碾压式玉米脱粒机在脱粒时，其碾压滚筒与玉米果穗相互碾压，在碾压的过程中使玉米芯与玉米籽粒之间产生侧移的趋势。这个侧移趋势就形成了剪切作用破坏籽粒与玉米芯之间的连接力。一般来说玉米芯与玉米籽粒之间的抗剪力比较小。这种碾压式玉米脱粒机的脱粒效率较低，并且当喂入量过大时，容易堵塞滚筒造成籽粒擦伤。碾压式玉米脱粒机如图 1-2 所示。



1. 脱粒主辊 2. 脱粒定位棍 3. 栅格凹板 4. 凹板调节器

图 1-2 碾压原理玉米脱粒机

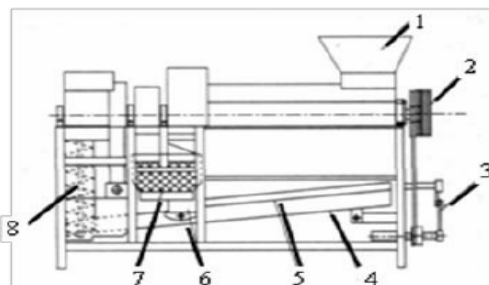
(3) 挤搓脱粒原理：挤搓式玉米脱粒机的主要构成元件有入料斗、出料斗、脱粒板齿、凹板、带轮、压板等，如图 1-3 所示。脱粒滚筒上有板尺、螺旋输送板等结构，使得玉米果穗在脱粒仓内做螺旋前进的运动。挤搓式玉米脱粒机运用了仿生技术，模仿人工用手挤搓玉米时的动作，极大的降低了玉米籽粒的破损率。在脱粒的过程中，果穗与板尺以及凹板充分接触，板尺与果穗以及果穗与果穗之间相互挤搓，使得果穗上的籽粒脱落，从而完成脱粒。挤搓脱粒原理的脱粒过程柔和，对果穗的冲击不大，因此对玉米籽粒造成的损伤比传统的脱粒方式低。



1 脱粒滚筒 2 入料区螺旋叶片 3V 带轮 4 入料斗
5 脱粒区板齿 6 栅格凹板 7 排芯区直板齿 8 排芯区压板机构

图 1-3 挤搓原理玉米脱粒机

(4) 差速脱粒原理：差速式玉米脱粒机如图 1-4 所示，两辊在皮带轮的带动下以不同的转速转动，两辊的转动方向相同。在脱粒区里，直滚筒与螺旋滚筒差速旋转组成脱粒部件。玉米果穗一边向着排芯口运动一边脱粒，被脱下的玉米籽粒以及一部分破碎的玉米芯等杂物通过两辊间的缝隙到排料区。杂物被排料区内的筛筛分出来排出出口，玉米籽粒则通过筛进入排料口。但是差速式玉米脱粒机的效率较低，仅适用于脱粒单穗玉米。



1. 入料口 2. 带轮 3. 清选调节装置 4. 出料斗 5. 筛分装置
6. 排杂装置 7. 排芯斗 8. 籽粒收集装置

图 1-4 差速原理玉米脱粒机

(5) 除了上面的这些常用的脱粒原理外，还有并列籽粒成对脱粒法。这种脱粒方法是为了获得连体成对并列的种子的。通过脱粒元件从玉米果穗内部打碎玉米棒^[9]，接着将玉米籽粒并列成对的取出。采用这种原理设计的脱粒机虽然破碎率较低，但是结构复杂且工作效率低，仅用于专用的双珠栽培制种。

1.2.3 综合比较各类玉米脱粒机

钉齿打击原理的玉米脱粒机虽然脱粒效率高，但是对籽粒损伤大，影响玉米收获质量。碾压原理玉米脱粒机的脱粒效率较低，并且容易造成籽粒擦伤。差速原理玉米脱粒机的效率较低，仅适用于脱粒单穗玉米。挤搓原理玉米脱粒机的脱粒过程柔和，对籽粒损伤小。因此本文设计挤搓原理的板齿式玉米脱粒机。

1.3 国外玉米脱粒机的发展

早在 200 多年以前国外的学者就开始研究玉米脱粒机理。1975 年，英国人 Wiilam Winlaw^[10]发明出一台利用水力作为动力的立式轴流锥形滚筒玉米脱粒机。

美国的第一台手工操作的玉米脱粒机诞生于 1815 年，这台机器极大的改善了农民的工作，减轻农民的负担，但是这台机器结构比较简单，生产效率不高。

Zorer 和 Hall^[11]于 1960 年，对玉米籽粒的温度、含水率、加载位置以及加载速度等因素对玉米籽粒所受的挤压强度的影响做了分析研究。

Bilanski 等学者^[12]于 1966 年研究了玉米籽粒含水率对玉米籽粒脱粒时变形的影响。

Paulsen 等学者^[13]于 1978 年，对约翰迪尔公司以及万国收获机械公司的联合收割机在收获时的机械损伤做了一系列测试研究。得出了含水率对机械损伤率以及综合损失之间的关系。

Huynh 等学者^[14]于 1979 年，研究并建立出凹板分离过程与脱落谷粒的数学模型。

Wrubleshi 等学者^[15]于 1980 年，对比分析了传统玉米脱粒机与双轴流式玉米脱粒机，研究出玉米果穗喂入量与轴流脱粒分离损失之间的关系。

Trollope^[16]于 1982 年，分析研究了玉米脱粒过程中谷物的受力状况。

Pomeranz 和 Watson 等学者^[17]于 1986 年分析比较了玉米籽粒破碎敏感性与玉米籽粒硬度之间的关系。

Henrich 等学者^[18]于 1999 年，实验分析了谷物脱粒过程，研究分析了分离率与谷物含水率之间的关系。

Kumara^[19]于 2002 年，研制出符合人体工程学的玉米脱粒装置。

Miu 和 Kutzbach^[20]于 2008 年，研究了纹杆玉米脱粒装置，提出一系列数学模型。Petkevichius 等学者^[21]研究了玉米果穗的喂入方式与籽粒含水率以及玉米品种对籽粒损失率之间的关系。

1.4 国内玉米脱粒机的发展

虽然对于脱粒机的研究在国内较晚起步，但是其发展速度十分快。葛永久、王成芝等学者^[22]于 1969 年，研究了轴流滚筒式脱粒装置的工作原理后自主研制了大型轴流滚筒试验台。

邵维民等学者^[23]于 1992 年，研究了小型板齿式轴流玉米脱粒机，将轴流式玉米脱粒装置与纹杆滚筒的脱粒装置进行对比，研究杂质和谷物在轴向的分布规律。李保国等学者^[24]研究了轴流式玉米脱粒机的凹板脱落下的籽粒沿着滚筒长度方向上的分布规律。

陈树人等学者^[25]于 1999 年分析研究了联合收割机，应用计算机仿真技术对摘脱滚筒梳刷作物的动作以及割台上板尺的运动进行了研究。

张认成^[26]等学者于 2000 年，应用 Matlab 对钉齿式玉米脱粒装置进行研究，建立出一系列的力学模型。

何晓鹏等学者^[27]于 2003 年，对玉米不同含水率下的破碎率进行研究，并发明出一台挤搓式玉米脱粒装置。

周旭等学者^[28]于 2005 年，对比圆柱形滚筒与圆锥形滚筒，指出圆锥形滚筒的玉米脱粒机对玉米籽粒的损伤率低。李耀明等学者^[29]研究了轴流式玉米脱粒装置内玉米芯以及籽粒在轴向的分布曲线。

吴多峰等学者^[30]于 2006 年，对比了钉齿式玉米脱粒机，指出了板齿式玉米脱粒机的各项优点。

李心平等学者^[31]于 2007 年，发明了一种差速式玉米脱粒装置，并对该脱粒装置的籽粒破碎率以及脱净率进行了性能测试。张伟等学者^[32]应用 Matlab 软件对轴流玉米脱粒机进行模拟仿真。

衣淑娟等学者^[33]于 2008 年发明了一台轴流式玉米脱粒装置，研究了稻谷脱出物在装置内的分布规律，得到了稻谷脱出物沿着轴向分布的曲线方程。

凤鸣农业机械制造有限公司唐昌兵等人^[34]于 2010 年发明出一台组合式玉米脱粒装置。这台装置分为两个部分，第一部分为纵向脱粒，第二部分为横向脱粒。

张克新等人^[35]发明了一种横式滚子玉米脱粒装置。

张飞等学者^[36]于 2011 年发明了一种籽粒破碎率低，脱净率高的脱粒机，这种脱粒机是一种软脱式玉米脱粒机，它的外部由橡皮套组成。杜红军等学者^[37]研制出一台五滚筒双进穗的玉米脱粒装置。宋清亮等学者^[38]研制出一台双筒脱粒装置。

长沙齐行机电科技有限公司的唐勇等人^[39]于 2012 年，设计发明了一台玉米脱粒装置，采用切向力进行脱粒，通过旋转挤压的方式使得脱粒后的玉米籽粒以及玉米芯可以保持完整。

1.5 存在的问题

我国对于玉米的加工方式流程和外国存在一些差异。玉米脱粒装置主要用于脱粒晾干后含水率较低的玉米果穗。在国外玉米果穗刚收获时其水分一般为 35%左右，需要对果穗进行烘干使其水分达到 12.5%左右再进行脱粒。然而在我国，玉米种子公司规模一般都不大，没有建立玉米果穗的烘干室的资金，因此基本上都不对玉米果穗进行烘干。在我国种子公司一般将玉米果穗在场上晾干，降低其水分到 18%左右，然后运用烘干塔对籽粒进行烘干，最终使玉米籽粒的水分可以降至 13%^[40]。因此在我国对玉米果穗进行脱粒时，其水分比较高，导致玉米芯与玉米籽粒的连接强度较大，最终影响脱粒质量^[41]。普通玉米脱粒机在工作时，平均籽粒破碎率在 3%到 5%之间，有时可能达到 8%甚至更多^[42]，这将严重影响玉米产量。因此，需要结合我国玉米脱粒现状，研制出适合我国市场需求并且破碎率低、脱净率高的玉米脱粒机。

虽然玉米脱粒机的研究已经取得了许多成果，但是仍旧存在一些不足。由于玉米脱粒过程的复杂性，迄今为止，国内外对玉米脱粒过程的研究大部分采用的是试验方法、高速摄像技术、经验方法以及统计分析方法或者连续介质力学的分析方法^[43]。运用这些方法对脱粒的机理进行研究并研制出脱粒机，大量耗费人力物力，只能对脱粒过程的宏观层面进行分析，无法保证精度，并且作物与机械之间以及作物之间的相互作用考虑较少，取得的成果也不具有普遍意义。当脱粒机种类的不同、作物种类的不同时参数还需要进行重新安排实验然后建立新的数学模型，增加了实验的重复性，延长研发周期。

1.6 本文主要研究内容

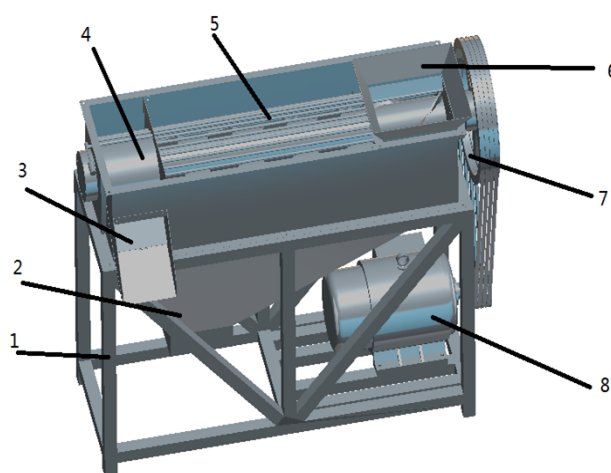
我国市面上用的最多的脱粒机为钉齿滚筒式脱粒机。这种脱粒机采用打击式原理将玉米粒从玉米果穗上脱落。这种脱粒方式虽然脱粒效率以及脱净率比较高，但是对玉米籽粒的损伤较大。挤搓原理的脱粒机如今在美国等的发达国家已经得到广泛的推广应用并取代了打击原理的脱粒机。挤搓原理脱粒机全面克服了钉齿式玉米脱粒机的缺点，不仅脱净率高而且破碎率低，它的损失率比打击式玉米脱粒机至少下降了 0.5%^[30]，适合种子玉米以及普通玉米的脱粒。因此本文主要设计一款运用挤搓原理的板齿式玉米脱粒机。

本文采用基于离散元法的数字化设计方法研究玉米脱粒机的脱粒过程。该方法首先建立脱粒机的数字化模型，并在计算机上进行物理仿真，根据仿真结果修改设计尺寸与结构，然后再对修改后的脱粒机模型进行仿真分析，直到得出符合要求的分析结果，从而实现对玉米脱粒机的优化设计。本文首先绘制二维 CAD 草图，建立 PRO/E 三维模型。然后通过课题组自主研制的 AgriDEM 软件，采用离散元法对自行设计的板齿玉米脱粒机进行仿真。通过改变滚筒转速以及喂入量等变量，考察玉米脱粒机的脱粒效果：籽粒破碎率、果穗脱净率、脱落籽粒沿滚筒轴向分布曲线等，以期对所设计的脱粒机的工作性能进行优化。

第 2 章 板齿玉米脱粒机总体结构与工作原理

2.1 板齿脱粒机基本结构与工作过程

板齿玉米脱粒机的基本结构如图 2-1 所示。玉米果穗由入料口进入脱粒机，V 带轮将电机的功率传动给脱粒滚筒使其转动。入料口对应的滚筒段为入料区，入料区上的螺旋叶片将玉米果穗送入脱粒区。脱粒区的滚筒上安装有 16 个板齿，滚筒外围围绕着栅格凹板。在脱粒区，玉米果穗在板齿的作用下顺着栅格凹板做螺旋运动至排芯区。在脱粒区内玉米果穗与果穗之间以及玉米果穗与凹板间相互挤搓，致使籽粒脱落。脱掉玉米籽粒后的玉米芯被板齿推送到排芯区，当排芯区充满玉米芯后，排芯区隔板将被顶开，脱粒机排出玉米芯。玉米籽粒在脱落后通过栅格凹板的间隙进入出料斗排出脱粒机。挤搓式玉米脱粒机的脱粒过程相对柔和，对果穗的冲击力相对小从而玉米籽粒的破碎率比较低。



1 机架 2 出料口 3 排芯口 4 出料口压板 5 栅格凹板 6 入料口 7 带轮 8 电机

图 2-1 板齿玉米脱粒机基本结构

2.2 板齿脱粒机工作原理

挤搓式板齿玉米脱粒机充分应用了仿生技术 [44]

如不慎侵犯了你的权益，请联系我们告知！

，脱粒区的板齿对玉米果穗的运动模仿了人工用手搓玉米。玉米果穗于脱粒区中，在滚筒板齿的作用下沿着栅格凹板做圆周运动。板齿和滚筒轴具有一定的夹角，玉米果穗也同时被推向排芯区。因此玉米果穗在脱粒机内的运动轨迹为螺旋线。为了模仿人工用竹签先挤掉玉米果穗上的局部籽粒这一动作，前一部分的板齿被设计成带冠板齿。带冠板齿先将局部籽粒挤掉，方便后续的脱粒。后一部分板齿为直板齿。排芯区隔板使玉米果穗充满于脱粒仓内，脱粒区的板齿推动玉米果穗时，果穗与凹板的相对运动为既滑动又滚动。从而达到挤搓玉米果穗使其脱下籽粒的效果。果穗与果穗之间也具有一定的压力进行充分挤搓。因此可以脱掉所有的籽粒，保证脱净率。

2.3 本章小结

本章详细介绍了板齿式玉米脱粒机的基本结构。并根据板齿式玉米脱粒机的工作过程以及工作原理分析此类玉米脱粒机在脱净率以及破碎率等方面的优点。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。

如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/545010332204011214>

- [1] 贺俊林，佟金. 我国玉米收获机械的现状及其发展[J]. 农机化研究，2006(2)：29-36
- [2] 郝付平，陈志. 国内外玉米收获机械研究现状及思考[J]. 农机化研究，2007(10)：206-208
- [3] 章惠全，李伟红，谢琼，慕美霞. 5TN-1 型玉米对生种子脱粒机的设计[J]. 农业科技与装备，2009，10(5)：40-41
- [4] 李波. 湘西地区小型玉米脱粒机的应用与推广[D]. 湖南；湖南农业大学，2012
- [5] 毛江峰. 小型电动玉米脱粒机的设计[J]. 机械工程师，2012(11)：155
- [6] 周志伟. 一种锤头式玉米脱粒机[Z]. 实用型专利说明书，2009
- [7] 杨玉芬，张永丽，张本华，佟玲，高连兴. 典型玉米种子籽粒的静压破损试验研究[J]. 农机化研究，2008(7)：149-151
- [8] 李清龙. 打击式玉米脱粒机脱粒过程实验研究及仿真分析[D]. 吉林；吉林大学. 2014
- [9] 李心平，张伏，高连兴. 玉米种子脱粒装置的结构技术剖析[J]. 农机化研究，2008(6)：24-26
- [10] Maertens K, Baerdemaeker J De. Flow rate based prediction of threshing process in combine harvesters[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2003, 4: 83-388
- [11] Hall G.E. Damage during handling of shelled corn and soybean[J]. Transaction of the ASAE. 1974, 17(2): 556-561
- [12] Bilanski W K. Damage Resistance of Seed Grains[J]. Transaction of the ASAE. 1966, 11(2): 360-363

- [13] Balastreire L A. Relaxation modulus for corn endosperm in bending [J]. Transactionsof the ASAE, 1978, 21(4): 1261-1268
- [14] Huynh V M, Powell T, Siddall J N. Threshing and separating process-a mathematicalmodel[J]. Transaction of the ASAE. 1982, 20(1): 65-73
- [15] Wrubleshi. Process in conventional combin-thresher [J]. J. Engng, 1986(5): 119-130
- [16] Trollope J R. A mathematical model of the threshing process in a conventional combine-thresher [J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1982, 27(2): 119-130
- [17] Watson S A, Herum F L. Comparison of eight devices for measuring breakage susceptibility[J]. Cereal Chemistry, 1986, 63(2): 139-142
- [18] Heinrich S, Heinze D, Kutzbach. Influence of moisture content on threshing and separating process [J].Proceeding of 99 International Conference on griculturalEngineering.I, 1999: 242~245
- [19] Kumara A, Mohanb D, Patel R, . Development of grain threshers based on ergonomic design criteria[J]. Applied Ergonomics, 2002, 33: 503-508
- [20] Miu P I, Kutzbach H D. Modeling and simulation of grain threshing and separation in axial threshing units[J]. Application to tangential feeding. Computers and electronics in agriculture, 2008, 60(4): 105-109
- [21] Petkevichius S, Shpokas L, Kutzbach H D. Investigation of the maize ear Threshing process[J]. Biosystems Engineering, 2008, 99: 532-539
- [22] 王成芝, 葛永久. 轴流滚筒的试验研究[J]. 农业机械学报, 1982, 13(1): 55-72
- [23] 邵维民, 祝永昌, 穆浩民. 小型轴流脱粒分离装置的试验研究[J]. 农业机械学报, 1992, 23(1): 99-103
- [24] 李保国. 轴流脱粒装置凹板分离物分布规律的研究[J]. 河南职技师院学报, 1992, 3(1): 43-48
- [25] 陈树人. 板齿摘脱滚筒梳脱过程的计算机仿真[J]. 农业工程学报, 1999, 5(1): 59-62.
- [26] 张认成, 桑正中. 轴流脱粒空间谷物动力学仿真[J]. 农机化研究, 2000, 4: 36-40
- [27] 何晓鹏. 挤搓式玉米脱粒机的研制[J]. 农业工程学报, 2003, 19(3): 105-108
- [28] 周旭, 李心平, 高连兴. 两种脱粒滚筒的玉米籽粒损伤试验研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2005, 36(6): 756-758
- [29] 李耀明, 徐立章, 邓玲黎. 复脱分离装置的理论分析及试验[J]. 农业机械学报, 2005, 36(11): 55-58
- [30] 吴多峰, 许峰, 袁长胜. 板齿式与钉齿式玉米脱粒机的性能比较[J]. 农机化研究, 2006, 10: 78-80
- [31] 李心平, 马福丽, 高连兴. 差速式玉米种子脱粒机的设计[J]. 农业机械学报,

2008, 29(8): 192-195

- [32] 张伟, 衣淑娟. 轴流脱粒与分离装置数学模型的建立与仿真[J]. 农机化研究, 2007, 7: 40-47
- [33] 衣淑娟, 李敏, 孟臣. 谷物脱粒分离装置试验数据采集系统[J]. 农业机械学报, 2005, 36(1): 100-103
- [34] 风冈县凤鸣农用机械制造有限公司. 一种组合式玉米脱粒机及其脱粒方法: 中国, 201110288408. X[P]. 2011-09-26
- [35] 张克新. 新型玉米脱粒机: 中国, 201020268475. 6[P]. 2010-07-23
- [36] 张飞. 一种软脱式玉米脱粒机: 中国, 201110338692. 7[P]. 2011-10-25
- [37] 杜红军. 五滚筒双进穗玉米脱粒机: 中国, 201120285973. 6[P]. 2011-08-09
- [38] 宋清亮. 双筒玉米脱粒机: 中国, 201120242765. 8[P]. 2011-07-02
- [39] 长沙齐行机电科技有限公司. 玉米脱粒机及玉米脱粒方法: 中国, 201210066127.4[P]. 2012-03-14
- [40] 赵克明. 关于我国玉米生产发展问题的看法[J]. 玉米科学, 2003(专刊): 60-61
- [41] 赵武云, 吴劲锋, 张锋伟, 杨术明. 玉米轴流脱粒机研究现状分析[Z]. 机械研究与应用. 2009: 9-13
- [42] 邓小红. YT-1.5 型小型玉米脱粒机设计[Z]. 郴州; 郴州职业技术学院北院, 2009: 10-13
- [43] Petre I. Miu. Mathematical model of threshing process in an axial unit with tangentialfeeding [J]. CSAE Paper, 1997, 2: 217-219
- [44] 柳建安, 李伟杰. 螺旋挤搓式玉米脱粒机的设计[J]. 农机化研究, 2010(8): 82-84