

马丽华,朱春梅,赵西伟. 挤搓式玉米脱粒机脱粒装置的改进与试验[J]. 江苏农业科学,2019,47(17):252-256.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.17.062

挤搓式玉米脱粒机脱粒装置的改进与试验

马丽华,朱春梅,赵西伟

(北京信息科技大学现代测控技术教育部重点实验室,北京 100192)

摘要:针对玉米脱粒机脱粒时存在脱净率低、破碎率高的问题,设计改进了玉米脱粒机的脱粒装置,使其能更好地适应玉米脱粒时的实际工况。挤搓式玉米脱粒机采用的是挤搓原理,主要组成部分有喂入装置、脱粒装置和清选装置。改进之处是在脱粒装置的尾端加入弹簧齿部分和压板机构,弹簧齿能够自动调整脱粒空间的大小,避免玉米粗细不一时造成的卡机和玉米破碎问题;压板机构可以控制玉米芯的排出量,实现玉米尖部的完全脱粒,二者的配合使用,降低了破碎率,并同时确保了脱净率。经试验验证,改进后的脱粒机脱粒装置具有更加良好的脱粒效果,适合推广应用。

关键词:玉米脱粒机;挤搓原理;弹簧齿;压板机构

中图分类号: S226.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)17-0252-05

玉米脱粒过程中的机械损伤会给玉米的生产和存储带来影响,降低脱粒损伤是玉米脱粒机需要解决的问题^[1]。目前我国脱粒现状是:脱粒不集中,人工脱粒慢,费时间,而且现在多使用的是传统打击式玉米脱粒机,其特点是破碎率高、脱净率低、含杂质多,需要进行再次清选,增加了脱粒的后续工作和劳动强度^[2]。

近年来,玉米脱粒机的发展较快,种类也比较繁多。目前,钉齿式玉米脱粒机在国内应用比较普遍^[3],其工作原理是:钉齿打击玉米时会产生振动和惯性力从而使玉米粒与轴穗间脱离连接。而在国外挤搓式玉米脱粒机应用最为普遍^[4],该工艺利用挤搓脱粒的原理,类似于模仿人手搓玉米的动作。国内外专家学者对玉米脱粒机存在的各种问题也作了各种研究。Folarin 等改进了脱粒滚筒,采用搓擦滚筒,脱粒机的适应能力得到提高^[5]。李新平等采用了仿生技术,对玉米破碎率的降低有一定作用^[6]。张翔等设计了立式轴流单穗种子玉米脱粒机,将脱粒室设计为锥形结构从而改变果穗下落过程中受到的挤搓力^[7]。钟成义等设计了凹板间隙自动调节系统,该系统对玉米脱粒有一定的参考意义^[8]。

上述研究对玉米脱粒机的脱粒性能均有一定的提高,但

在玉米脱粒质量方面存在问题仍未得到很好的解决。因此,提出了一种改进方法即在脱粒机尾端增加了弹簧齿和压板机构,二者的配合工作提高了脱净率同时减少了破碎率。

1 脱粒机主体结构设计和计算

设计的玉米脱粒机主要部分包括入料斗、脱粒部件、主轴、机架、出料斗、导芯口、排芯口、弹簧齿部分、压板机构、皮带轮、电机等。

1.1 入料口和出料口的设计

入料口位于脱粒机最上端,与脱粒机的上盖相连,是玉米进入脱粒机的入口,它的作用是使玉米顺利进入机体进行脱粒。出料口是将脱完的玉米籽粒由栅格掉落在其收集区,然后流出机外,采用 2 mm 的 Q235 钢板焊接制成,材料强度以及结构方面都比较合理^[9],结构分别见图 1、图 2。

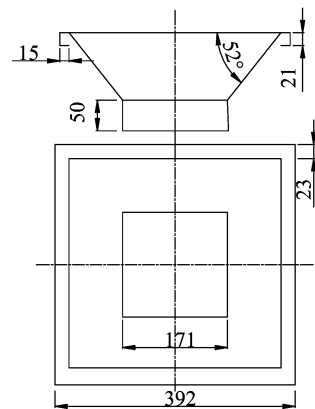


图1 入料口结构(单位: mm)

收稿日期:2018-05-22

基金项目:北京学者计划(编号:2015-025);北京信息科技大学校基金(编号:1825026)。

作者简介:马丽华(1993—),女,山东菏泽人,硕士研究生,研究方向为机电设备状态监测与故障诊断技术。E-mail: malihua1018@163.com。

通信作者:赵西伟,博士,助理研究员,研究方向为旋转机械状态监测及故障诊断。E-mail: zhaoxiwei2010@163.com。

transform and SVD based acoustic noise reduction and its application in leak detection for natural gas pipeline[J]. Mechanical Systems and Signal Processing, 2016, 72-73:266-285.

[19] 谢伯承,薛绪掌,刘伟东,等. 基于包络线法对土壤光谱特征的提取及其分析[J]. 土壤学报,2005(1):171-175.

[20] 丁丽霞,王志辉,葛宏立. 基于包络线法的不同树种叶片高光谱

特征分析[J]. 浙江林学院学报,2010,27(6):809-814.

[21] 何正友,蔡玉梅,钱清泉. 小波嫡理论及其在电力系统故障检测中的应用研究[J]. 中国电机工程学报,2005(5):40-45.

[22] 赵志宏,杨绍普. 基于相对小波能量的滚动轴承故障诊断[J]. 电子测量与仪器学报,2011,25(1):44-49.

[23] 彭玉华. 小波变换与工程应用[M]. 北京:科学出版社,1999.

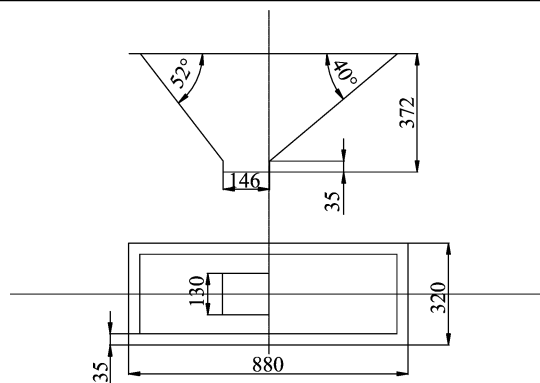


图2 出料口结构(单位: mm)

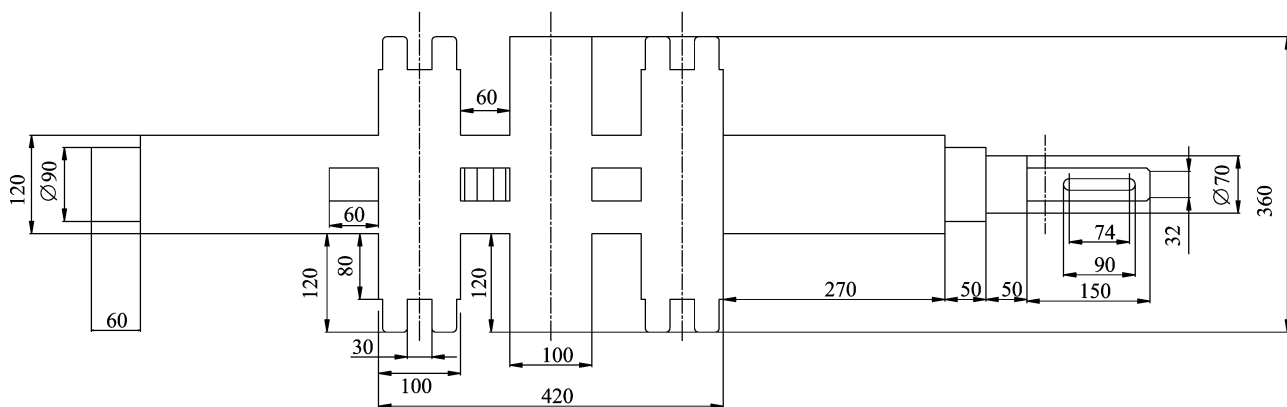


图3 脱粒部分结构(单位: mm)

脱粒滚筒采用的是板齿式,为降低破碎率,板齿外缘的线速度 $v_1 \leq 4$ m/s,一般线速度在 3.3 ~ 3.9 m/s 之间的范围选取比较合适,小型机应选取偏低值,故设计的线速度合适。

1.2.2 主轴的功率 玉米脱粒时所需要的功率为 P_1 ,根据脱粒机的工作阻力和板齿外缘的线速度可计算:

$$P_1 = \frac{F_{r1}}{1000} \quad (2)$$

参考国外生产量为 5 t/h 的挤搓式玉米脱粒机板齿的齿宽为 110 mm,受到的均布载荷为 150 N^[11];按比例计算若设计的每个齿板齿宽为 72 mm,则平均受力约为 95 N,而脱粒主轴上共有 12 个板齿受力,得: $F = 95 \times 12 = 1140$ N,由式(1)算得 $v_1 = 3.2$ m/s,代入公式(2)得: $P_1 = 3.6$ kW。

1.3 筛选部分的设计

筛选部分包括凹板栅格和风机 2 个部分。玉米脱粒机中

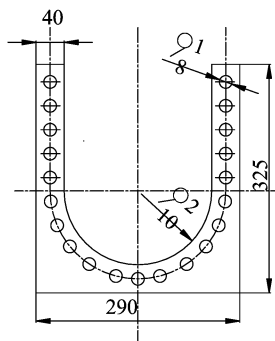


图4 凹板栅格结构示意图(单位: mm)

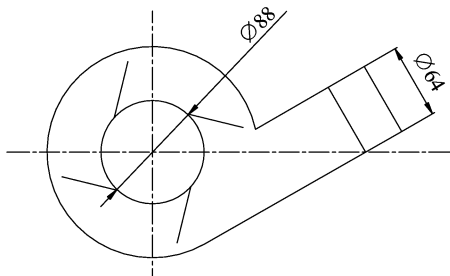


图5 风机结构示意图(单位: mm)

1.2 脱粒部分的设计

玉米脱粒机的脱粒机构主要组成部分有螺旋滚筒、筛网、半圆形上盖,本研究选取的是轴流切线型脱粒装置。脱粒板齿采用的是平板齿和冠状齿的组合,板齿表面均采用渗碳处理,可以提高强度减少磨损^[10],脱粒装置结构见图 3。

1.2.1 脱粒板齿的线速度

$$v_1 = \frac{\pi \cdot n \cdot D}{60 \times 1000} \quad (1)$$

式中: v_1 表示板齿的线速度, m/s; n 表示脱离主轴的转速, r/min; D 表示板齿外缘的回转直径, mm。取主轴转速 $n = 266$ r/min,设计板齿外缘直径为 $D = 230$ mm,代入公式(1)得: $v_1 = 3.2$ m/s。

的栅格凹板与板齿滚筒相配合,安装在机架上。凹板整体采用的是圆柱形分开式结构,上凹板为导向板,下凹板是栅格式结构。通过隔板将圆柱均匀分布连接成“U”形栅格式凹板,起到揉搓和筛板的作用,其结构见图 4。玉米籽粒从栅格落下后,仍有少量比较轻的杂质,这时可利用风机进行清选,风量的大小决定了清选的程度,风机的主要参数如下:流量 $Q = 0.34$ kg/m³;风口风速 $v_2 = 8$ m/s;转速 $n = 480$ r/min;叶片为径向直叶片,叶片数为 4,其结构见图 5。

1.4 机架的设计

机架在脱粒机中起主要支撑作用,承担着脱粒机的主要质量、压力和力矩,因此,机架的稳固性是保证玉米脱粒机稳定工作、平稳运转的基础,因此,机架设计的关键是要保证整个机器的强度和刚度,结构见图 6。

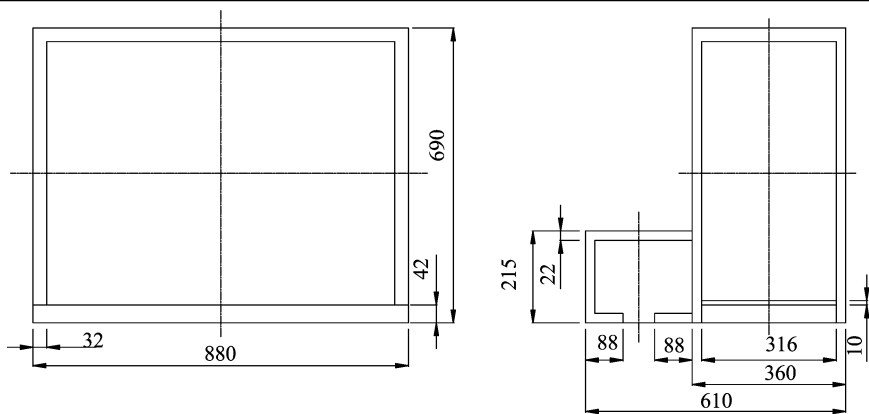


图6 机架结构(单位: mm)

2 带传动的设计计算

电动机和主轴之间选用带传动,因为传送带本身是一个挠性件,它具有弹性,能吸收振动,缓和冲击,因而具有工作平稳、噪音小等优点,能够满足玉米脱粒机的传动要求。除此之外,带及带轮的结构比较简单、制造成本低、容易维修和保养、便于安装,所以选用带传动方式比较合理。

2.1 电动机的选择

电动机对于工作过程的顺利进行有着很重要的作用,因此要根据工作负载的大小和速度、玉米脱粒机的结构特点、传动装置的体积大小等来选择电动机的类型。在实际应用中,对于小型机械,通常采用同步电动机。电动机的功率 P 主要由脱粒主轴功率 P_1 来计算:

$$P = \frac{P_1}{\eta} \quad (3)$$

式中: η 表示各级传动效率。

带传动的机械效率 η_1 为 0.94 ~ 0.98, 取 0.97; 一对滚动轴承的机械效率 η_2 为 0.99; 滚筒传动: 由于板齿固定于轴上与轴进行同步转动, 所以取 η_3 为 1。脱粒机传动中用到带传动, 还有一对滚动轴承, 故 $\eta = \eta_1 \eta_2 \eta_3$ 得: $P = 3.7 \text{ kW}$ 。

2.2 带轮的设计

2.2.1 确定计算功率 电动机的功率 $P = 4 \text{ kW}$, 电动机转速 $n_1 = 960 \text{ r/min}$, 传动比 $i = 3.6$, 平均工作大约 8 h/d。可得带轮功率(P_{ca})为

$$P_{ca} = K_A P_0 \quad (4)$$

取工况系数 $K_A = 1.1$, 可得:

$$P_{ca} = 1.1 \times 4 = 4.4 \text{ kW}。$$

2.2.2 选择 V 带类型及带轮的相关参数计算

2.2.2.1 根据计算功率 P_{ca} 、转速 n_1 、实际情况确定传送带选用 A 型带。

2.2.2.2 确定带轮基准直径并验证带速。

(1) 初选小带轮的基准直径 d_{d1} 。

根据机械设计手册的标准, 取小带轮基准直径 $d_{d1} = 106 \text{ mm}$ 。

(2) 验算带速 v 。

$$v = \frac{\pi \cdot d_{d1} \cdot n_1}{60 \times 1000} = 5.325 \text{ m/s}。 \quad (5)$$

因为 $5 \text{ m/s} < v < 30 \text{ m/s}$, 故带速符合要求。

(3) 计算大带轮的基准直径。

$$d_{d2} = i \cdot d_{d1} = 382 \text{ mm}。 \quad (6)$$

取整为 $d_{d2} = 400 \text{ mm}$ 。

2.2.2.3 确定 V 带中心距和基准长度。

(1) 初定中心距 a_0 。

$$0.7 \times (d_{d1} + d_{d2}) \leq a_0 \leq 2 \times (d_{d1} + d_{d2}); 354.2 \text{ mm} \leq a_0 \leq 1012 \text{ mm}。 \quad (7)$$

故初定 $a_0 = 600 \text{ mm}$ 。

(2) 计算所需的基准长度 L_{d0} 。

$$L_{d0} \approx 2a_0 + \frac{\pi(d_{d1} + d_{d2})}{2} + \frac{(d_{d1} - d_{d2})^2}{4a_0}。 \quad (8)$$

计算得 $L_{d0} = 2030 \text{ mm}$, 取带的基准长度 $L_{d0} = 2000 \text{ mm}$ 。

(3) 计算实际中心距 a 。

$$a \approx a_0 + \frac{L_{d0} - L_d}{2} = (600 - 15) \text{ mm} = 585 \text{ mm}。 \quad (9)$$

式中: L_d 为带的节线长度。

中心距的实际变化:

$$a_{\min} = a - 0.015L_d = 555 \text{ mm}; a_{\max} = a + 0.03L_d = 645 \text{ mm}。$$

所以中心距的变化范围 555 mm ~ 645 mm。

2.2.2.4 验算小带轮包角

$$\alpha_1 = 180^\circ - \frac{d_{d2} - d_{d1}}{\alpha} \times 57.3^\circ = 151.2^\circ \geq 120^\circ。 \quad (10)$$

满足要求。

2.2.2.5 计算 V 带根数。

(1) 计算单根 V 带的额定功率 P_r 。

由 $d_{d1} = 106 \text{ mm}$ 和 $n_1 = 960 \text{ r/min}$, 查设计手册, 得: V 带的基本额定功率 $P_0 = 1.05 \text{ kW}$ 。根据 $n_1 = 960 \text{ r/min}$, $i = 3.6$ 和 A 型带, 得额定功率增量 $\Delta P_0 = 0.11 \text{ kW}$ 。根据标准取 $K_\alpha = 0.923$, $K_L = 0.882$, 可得:

$$P_r = (P_0 + \Delta P_0) \cdot K_\alpha \cdot K_L = 0.944 \text{ kW}。 \quad (11)$$

(2) 计算 V 带的根数 z 。

$$z = \frac{P_{ca}}{P_r} = \frac{4.4}{0.94} = 4.66。 \quad (12)$$

所以取 5 根。

2.2.2.6 计算单根 V 带初拉力的最小值。

A 型带的单位长度质量 $q = 0.1 \text{ kg/m}$ 。

$$(F_o)_{\min} = \frac{500(2.5 - K_\alpha)P_{ca}}{K_\alpha z v} + qa^2 = 144 \text{ N}。 \quad (13)$$

应使实际初拉力满足 $F_0 > (F_0)_{\min}$ 。

3 脱粒机的工作原理和优化设计

3.1 工作原理

主要针对的是对传统挤搓式玉米脱粒机的改进,其工作过程是玉米果穗从入料口进入脱粒机,首先,玉米果穗在螺旋滚筒上的板齿的推动下做螺旋运动,进入螺旋轨道,然后在螺旋板齿的推动下继续前进。脱粒机外壳采用前大后小的结构,随着玉米的前进,脱粒仓的空间越来越小,摩擦力越来越大。整个过程中的挤搓力,主要来自于玉米果穗与螺旋滚筒上的板齿之间以及外壳之间产生的挤压力,玉米果穗依靠这种挤搓力完成脱粒过程。最后在螺旋板齿的推动下,玉米芯由排芯口排出,在玉米芯的排出过程中会经过弹簧齿和压板机构,弹簧齿根据玉米芯的粗细调整空间大小,压板机构根据玉米果穗的脱粒程度调节压力大小,主要通过移动重锤在压杆上的位置或增加重锤的质量来增加压板机构的压力,使玉米在脱粒仓多停留一段时间,从而提高脱净率。其工作原理见图 7。

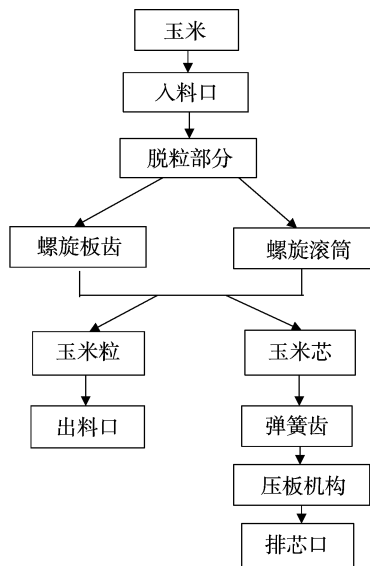


图7 工作原理流程

3.2 优化设计

3.2.1 弹簧齿的设计 在螺旋滚筒的尾端安装弹簧齿,其结构见图 8。弹簧齿的主要作用是减少玉米芯上残留的玉米颗粒以及使玉米芯顺利排出机外,锥形的机体外壳决定了越接近机械尾端,空间越小,玉米受到的摩擦力也越大,所以玉米很容易被挤碎。同时由于玉米芯粗细不一,有的脱粒不干净,有的卡在排芯口排不出。在尾端装有弹簧齿将会解决以上问题,弹簧齿的下端设有弹簧,可随玉米的粗细而自动调节,故可以避免玉米粒破碎以及玉米芯被卡在排芯口,保证了脱净率以及玉米粒和玉米芯的完整性。

利用弹簧和弹簧固定圈将弹簧齿的下端与轴连接,弹簧齿中的主要构件是弹簧,其作用是控制弹簧齿随玉米芯的粗细进行调节。为了保证刚度,所用的弹簧为专用弹簧,此弹簧的特点是两端间距较小,中间间距较大,这样便于与弹簧固定圈连接。弹簧上端与弹簧齿约束配合,弹簧下端套在固定圈

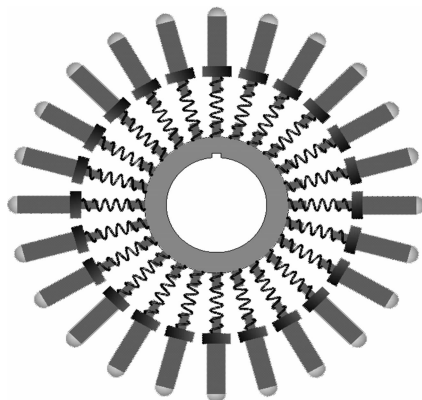


图8 弹簧齿结构

表面凸起的圆柱上,设计每个凸起的圆柱之间夹角为 15° 。如果角度设计得过小,齿笼的约束承载能力会降低;角度设计得过大,2 齿之间的空隙就会较大,造成玉米果穗可能会卡在 2 齿的空隙中,影响脱净程度。在脱粒过程中,弹簧施加的压力主要由弹簧固定圈承受,而凸起的圆柱主要起约束作用。

3.2.2 压板机构的设计 压板的作用在于控制脱净率,其机构见图 9。脱完或未脱完的玉米果穗和芯棒在螺旋板齿的作用下向排芯口集合,聚集到一定量的玉米芯后,压板在拨轮的推动下被顶开,绕轴向上转动 1 个角度,玉米芯即可通过排芯口排出。玉米芯越多,压板张开的角度就越大。

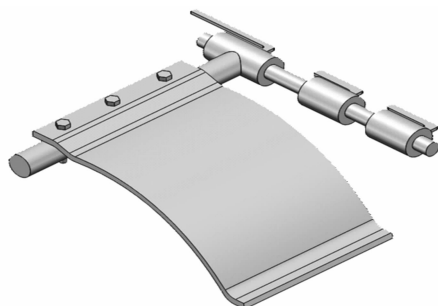


图9 压板机构

通过重锤调节压板的压力大小,进而控制脱净率,如果物料的含水率较高,那么玉米果穗就会较难脱粒或者玉米芯上的残留籽粒较多,这时可移动重锤在压杆上的位置或增加重锤重量增加压板的压力,使玉米在脱粒仓多停留一段时间,脱粒滚筒上的平板齿对其进行再次脱粒,从而提高脱净率。挤搓脱粒技术主要靠该结构与弹簧齿的配合工作提高脱净率和降低破碎率。但压板的配重大小对生产率和功率消耗有一定影响,所以须要根据物料实际情况调整压板的配重。

3.3 优化试验

为了验证改进后的挤搓式玉米脱粒机的脱粒性能是否符合生产要求,选取打击式玉米脱粒机、传统挤搓式玉米脱粒机和改进后的玉米脱粒机作为试验对象,以玉米籽粒破损率和未脱净率作为试验指标,通过对比试验来验证改进后的玉米脱粒机的性能参数。

为了保证脱粒机的普遍应用能力和适应能力,试验选取 2 个玉米品种来进行验证,分别为:登海 9 号,马齿型,果穗形

状是长筒形;中单 868,半马齿型,果穗形状是短筒形,这 2 种玉米在籽粒形状和果穗形状方面都更具有代表性,而且几乎涵盖了玉米所具有的特征。这样更能验证脱粒机的脱粒性能。在每组脱粒机上进行脱粒时,每个品种分别进行 6 次重复试验,每次试验分别选 23 个玉米果穗。然后计算每次的破碎率,最后再进行取平均值,作为每组的试验结果。试验数据见表 1、表 2。

对试验结果取平均值得出打击式玉米脱粒机的籽粒破损率为 2.89%、未脱净率为 4.09%,脱粒后玉米芯完整度为 73.5%;传统挤搓式玉米脱粒机的籽粒破损率为 1.36%、未脱净率为 2.52%,脱粒后玉米芯完整度为 85.6%;改进后的玉米脱粒机的籽粒破损率为 0.26%、未脱净率为 0.75%、玉米芯完整度 98%,通过 3 组试验结果的比较,可得到改进后的装置在破碎率和脱净率方面都优于传统的玉米脱粒机,而且选用的 2 个玉米品种的试验结果相近,进一步验证了该脱粒装置的脱粒性能及适应能力。目前国内玉米脱粒机总体上未脱净率低于 1.5%、破损率在 1%~4% 之间,所以该脱粒装置具有低破损率的优势。对于玉米育种的数据采集工作来说,籽粒破损率越低越好,因此相对于其他玉米脱粒机,该脱粒装置性能更好,更具有实用价值。

表 1 试验方案及结果

脱粒机类型	重复	破损率 (%)	未脱净率 (%)
打击式玉米脱粒机	1	3.22	3.56
	2	3.42	3.78
	3	4.21	3.97
	4	2.56	4.55
	5	1.78	3.67
	6	2.13	5.01
传统挤搓式玉米脱粒机	1	1.25	2.55
	2	1.23	2.67
	3	1.28	2.18
	4	1.30	1.98
	5	1.45	3.01
	6	1.65	2.75
改进后的玉米脱粒机	1	0.25	0.78
	2	0.24	0.75
	3	0.27	0.72
	4	0.29	0.79
	5	0.28	0.68
	6	0.23	0.78

表 2 验证试验结果

品种	脱粒机类型	含水率 (%)	破损率 (%)	未脱净率 (%)	玉米芯完整率 (%)
登海 9 号	打击式	13.9	2.87	3.99	74
	传统挤搓式	13.9	1.37	2.58	86
	改进后	13.9	0.26	0.72	97
中单 868	打击式	13.9	2.91	4.19	73
	传统挤搓式	13.9	1.35	2.46	85
	改进后	13.9	0.24	0.78	98

4 结论

为解决玉米脱粒机破碎率高,脱净率低的问题,结合了传统挤搓式玉米脱粒机的脱粒技术,首次提出了将弹簧齿和压板机构置于一体的玉米脱粒机。将改进后的玉米脱粒机与传统玉米脱粒机进行脱粒性能的对比试验,试验结果表明,改进后的玉米脱粒机破损率为 0.23%~0.29%,未脱净率为 0.68%~0.75%,完整率为 97%~98%,这些试验指标表明,改进后的脱粒机能够达到高脱净率、低破碎率的脱粒要求,而且更具有实用价值。设计的弹簧齿和压板机构的配合工作适应性强,脱粒性能好。一方面,弹簧齿可以根据玉米芯的粗细自动调整,从而减少玉米芯被挤碎或者排芯口的堵塞,降低破碎率,同时还可以减少脱粒后的杂质。另一方面,玉米尖部和玉米芯上残留的玉米颗粒可以通过压板机构的控制来实现再次脱粒,保证了脱净率。

参考文献:

[1]李心平,熊 师,杜 哲,等. 浮动式玉米单穗脱粒装置设计与试验[J]. 农业机械学报,2017,48(7):104-111.
[2]张秀琴,孙 伟,张力允,等. 小型玉米脱粒机的研究现状及发展

[J]. 农业机械,2016(7):113-115,117.
[3]何晓鹏,师建芳. 新型挤搓式玉米脱粒机[J]. 农业科技通讯,2003(8):39.
[4]曾雄梅,张 燕,马 延. 螺旋挤搓式自动玉米脱粒机的设计[J]. 食品与机械,2015,31(4):100-102,129.
[5]Alonge A F, Kosemani B S. Development of a guinea corn thresher [C]// American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2011.
[6]李心平,马义东,金 鑫,等. 玉米种子仿生脱粒机设计与试验[J]. 农业机械学报,2015,46(7):97-101.
[7]张 翔,杨然兵,尚书旗. 立式轴流玉米单穗种子脱粒机试验参数优化[J]. 农业机械学报,2014,45(增刊1):73-79.
[8]钟成义,王 硕,石研研. 联合收割机凹板间隙自动调节系统的设计[J]. 农业开发与装备,2014(3):53.
[9]赵武云,郭康权. 组合式螺旋板齿种子玉米脱粒机工作参数优化[J]. 农业机械学报,2012(12):56-61.
[10]赵学观,李 飞,邵志刚,等. 复式双滚筒种子玉米脱粒机的研制[J]. 农业科技与装备,2012(4):13-16.
[11]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,2010,32(8):82-85.