

谷物收获机割台的发展现状及趋势*

薛志原¹, 陈秀生^{1*}, 唐怀壮¹, 李德建¹, 邢晓铭²

(1. 济南大学机械工程学院, 山东 济南, 250022; 2. 济南大学政法学院, 山东 济南, 250022)

摘要:【目的】随着我国农业机械化水平的不断提高, 谷物收获机的应用也越来越广泛。充分分析谷物收获机割台发展现状有利于保证收割质量, 减少收获时的损失, 并适应国际上谷物收获机的发展趋势。【方法】通过查阅国内外文献以及报道, 综述了谷物收获机割台主要部件拨禾轮、切割装置、割台螺旋推运器的原理和特点, 主要说明了谷物收获机各部分高度和速度对于收割的影响, 并进行分析, 并介绍了一些国内对于割台振动情况的研究以及国内外谷物收获机的发展现状。【结果】国外谷物联合收割机械起步比较早, 一些发达国家已经基本实现了利用自走式谷物联合收割机来完成农产品的收割, 而我国收割机起步时间很短, 所以需要着重创新型发展。【结论】通过对比我国与国外先进收获机的差距, 并对当前我国收获机的发展情况和国外收获机的发展情况展开分析, 指出当前谷物收获机的主要发展方向为大功率、多功能、智能化、节能化, 并对我国以后的谷物收获机割台发展提出相应的建议。

关键词: 谷物收获机; 割台; 发展现状; 发展趋势

DOI: 10.12105/j.issn.1672-0423.20180503

0 引言

谷物联合收获机使用和设计在不同国家和地区有不同的要求。由于我国耕地面积至少有 1.13 亿 hm^2 , 而且耕地类型多样, 南北地区有着不同的温度、湿度等自然条件, 所以其耕作制度也不尽相同, 对粮食收获的农业技术要求也不尽相同。但在收割时, 首先要保证收割质量, 在保证其清洗率的同时, 应该让小麦粒在收获时减少掉落, 同时还应尽量减少收割时造成的破损和机器对谷粒的损伤。其次, 应该具有很强的环境适应性, 中国南北方的自然环境条件和耕作的耕地类型均有较大差异, 北方多平原、山地和旱地, 南方多水田和梯田, 因此应该使其不仅可以完成正常收获, 也可以在雨季泥泞道路或者梯田进行收获。

收稿日期: 2018-09-27

第一作者简介: 薛志原 (1996—), 男, 汉族, 山东菏泽人, 硕士研究生。研究方向: 农业机械。

Email: 305116022@qq.com

* 通信作者简介: 陈秀生 (1974—), 男, 汉族, 山东临沂人, 硕导、副教授。研究方向: 农业智能化制造技术。

Email: 57909330@qq.com

* 基金项目: 山东省农机装备研发创新计划项目 (2016YF027); 山东省 2018 年重点研发计划 (重大科技创新工程) 项目 (2018CXGC0216)

2018年10月

1 谷物收获机割台原理及特点

谷物收获机将收割机和脱粒机与中间输送装置连为一体，目前已得到广泛应用。其中，割台是谷物收获机的重要组成部分，其作用是切割农作物并输送到脱粒装置。它由拨禾轮、切割器、分禾器和输送器等组成。拨禾轮把要收割的谷物移到切割器上，当割刀切断作物后，拨禾轮将作物拨到割台。割台的绞龙将割好的谷物堆到割台右部，绞龙上的伸缩扒指将作物送入倾斜输送机，再由倾斜输送机的输送链耙将作物送入滚筒脱粒。当前我国对于大喂入量的收割机的需求很大，但是由于技术不成熟，现有大喂入量机器较少，如何发展大喂入量机器也是我国谷物收获机发展的方向之一。

1.1 拨禾轮

收割机和联合收割机装备有拨禾、扶禾装置，称为拨禾器。其作用是将待切割作物的茎秆引向切割器，并在引导过程中扶正倒伏作物。切割时支撑茎秆，以完成切割，并将切割后的茎秆推到割台运输装置上，避免茎秆聚积。因此，拨禾、扶禾装置能够帮助割台完成对小麦的收割，减少作物收割时的谷粒掉落比例，提高机器对倒伏作物的收割能力。拨禾轮结构相对比较简单，在完成直立作物收割的同时也可以完成倒伏作物收割，因此拨禾轮广泛应用于卧式割台收割机和联合收割机。

拨禾轮主要是由带弹齿的管轴、辐盘、偏心辐盘、主辐条（左、右两组）、偏心辐条、曲柄、拨禾弹齿等组成。辐盘上的辐条与拨禾齿轴铰接，在拨禾齿轴的右端有曲柄连接偏心辐盘上的辐条，右侧辐盘与偏心辐盘的两组辐条基本相同，长度也相等。偏心距的长度一般为50~80 mm，曲柄与两个轮盘铰接在一起，曲柄长度要和偏心距长度相等，保证拨禾轮工作时可以产生偏心运动。偏心辐盘可绕轴心转动，当调整偏心辐盘的位置，就可以改变偏心辐盘与辐盘的相对位置，拨禾轮旋转时，不论转到哪个位置，其曲柄长度始终与其偏心距长度相等，拨禾弹齿也始终保持竖直向下^[1]。

根据对拨禾轮速度的分析，收获机工作时，拨禾轮的运动受到自身圆周运动和机器前进运动的共同影响，只有当两者达到合适的比例，才能让拨禾板具有向后的水平分速度，使得拨禾轮转动时，可以将茎秆或倒伏茎秆推送到割刀位置，帮助割刀完成切割，完成对茎秆的扶持和推送。如果拨禾轮转速太高，收获时拨禾轮会打落过多籽粒。在普通收获时，拨禾轮速度一般不超过3 m/s，拨禾轮转速与收割机前进速度之比一般在1.1~1.7之间，不得超过1.7。

其次，拨禾轮的位置不能太高。拨禾轮位置过高，会使收割时拨禾弹齿轴打击穗头。因此，拨禾轮应调整到适当高度，使拨禾轮弹齿插入作物时，对作物无冲击，即当弹齿轴旋转到最低位置时应作用在禾秆重心稍上方位置（割取部分的1/3处）。如果正拨在重心处，会将割断的禾秆抛出割台；如果在重心以下，会将禾秆拨倒在割台前。现在收获机都可以调整拨禾轮两侧升降油缸来调节拨禾轮升高或者降低，使得收获机可以收获倒伏或者低矮作物。但是拨禾轮最低可调节高度必须要使拨禾弹齿与切割器和绞龙保持一定

距离，防止收割时产生刮碰^[2]。

1.2 切割装置

谷物联合收割机的收割机装置有往复式和圆盘式两种。往复式利用动刀片相对于护刃器上的定刀片做左右往复切割运动将禾株切断，可以用于各种割幅的联合收割机；圆盘式收割器作回转运动，优点是振动较小，但是其割幅一般不能超过 1.5 m，目前已经很少使用。

我国往复式切割器大都采用标准 II 型普通型切割器，此切割器由动刀、护刃器、摩擦片、压刀板等组成，动刀是由许多齿刃刀片铆在刀杆上组成的，而护刃器的尖端有护舌，其中间铆接定刀片。当其工作时，护舌和定刀片对茎秆起到双支撑作用的同时为了保持稳定的往复运动和防止过度磨损，刀杆背和动刀片背面应该贴在摩擦片上，动刀片在曲柄连杆机械的带动下作往复运动，从而使定刀片和动刀片产生稳定剪切幅^[3]。

此外，动刀片与定刀片间隙不能过大，应使动刀片中心线与护刃器中心线重合，动刀片前端应与定刀片接触，后端应有 0.3~1 mm 的间隙，而且动刀片与定刀片前端的最大间隙不能超过 0.5 mm，如果超出这个间隙，收割时很容易产生塞草情况，导致不能完成正常收割^[4]。

现在国外的割台切割装置，一般都力图同时收割多种农作物，如收割小麦的同时，对水稻、马铃薯、油菜等不同作物进行收割，以增强对作物的适应性，割刀后方一般会安装锯齿形输送齿条，减少收割死区带来的损失。此外，割台高度一般设计为可调节的，使其收获长茎秆的同时也可以收获短茎秆。

1.3 割台螺旋推运器

割台螺旋推运器基本由螺旋筒和伸缩扒指两部分组成，其中又包括传动系统以及固定扒指的固定板组件等部分。螺旋筒将割刀割下的谷物通过旋转集中到伸缩扒指，扒指在驱动轴的带动下，跟着螺旋筒一起转动，由于扒指采用偏心机构，其转动时可以产生一定的抓取能力，将禾秆转 90° 纵向送入过桥。

茎秆长度过大会缠绕割台，小麦收获时割下茎秆的长度约为 800 mm，割台螺旋的内径大小 d 应使其周长略大于割下谷物茎秆长度，为防止被禾秆缠绕，应满足 $d \geq 900/\pi$ 。此外，割台螺旋的外径不能太大，如果外径过大，则割台结构庞大，但是还应使其可以容纳割下的谷物，一般叶片高度为 100 mm。同时，割台螺旋的螺距大小决定着对谷物的输送能力，采用螺旋叶片输送麦秆时，必须先克服麦秆与叶片之间的摩擦，才能使麦秆进入到扒指范围，其螺距越大，输送能力越强，螺距越小，输送能力也相对变弱，一般根据其螺旋升角和内径决定^[5]。

伸缩扒指由若干个扒指并排铰接在扒指轴上，扒指轴与传动轴固结在一起并安装在螺旋筒内。扒指的外端穿过导向套连接在螺旋筒上，由于曲轴中心与驱动轴中心有一偏心距，所以当喂入绞龙链轮通过带动驱动轴旋转使螺旋筒旋转时，螺旋扒指也会跟着一起旋转。但是由于驱动轴和伸缩扒指之间存在偏心距，扒指在作旋转运动的同时相对于螺旋筒面也作伸缩运动。当扒指运动到靠近割刀位置时，扒指向外伸出的长度最大，方便扒送谷物，此时应该伸出螺旋叶片外 40~50 mm。当扒指转动到靠近过桥位置时，其伸

2018年10月

出长度最短,但最短时也应螺旋筒外留 10 mm 的余量,以免产生回草,同时也防止其缩回筒内对扒指造成磨损。

2 国内外研究现状

2.1 国外发展现状

英国、美国等发达国家已基本实现利用自走式谷物联合收割机完成农产品收割。此外,部分发达国家的农机企业通过产品零件的标准化,在不断改进收割机结构和提高收获率的同时,降低了成本,将零部件标准化不仅提高了联合收割机工作耐用性,还极大程度减少了成本。

1990 年以来,随着对大喂入量收割机的需求越来越强烈,国外联合收割机制造商为达到作物收割的要求和获取更多利益,加大了对大喂入量自走式谷物联合收割机的投资,通过对拨禾轮转速以及对大功率发动机的研究,使联合收割机的喂入量从 4~5 kg/s 发展到 9~10 kg/s。此外,在很多方面都作出了重大技术改进,比如增加液压缸来调节拨禾轮高度,增加过桥长度提升输送能力,使得在保证联合收割机收割率的同时,提高了生产效率^[6]。同时,如何向宽割幅、大喂入量发展也是当前的研究热点,约翰迪尔公司生产的 STS 收获宽度可达 11 m,纽荷兰联合收割机的 CR9000,其收获宽度甚至可达 13.7 m,大大提高了收获效率。

至 2000 年,国外的联合收获机收获工艺流程更加合理,其可靠性和适应性有了很大提高,同时也从各方面采取措施减少非生产时间,提高时间利用率,如采用快速挂接割台来提高生产效率。新一代联合收获机在提高发动机功率、创造舒适和安全的工作条件、减少籽粒损失和破损等方面广泛采用了电子学技术,使其功能更加完善,且融入了机电一体化、自动化及智能化新技术,采用计算机模拟设计、试验,对收割机的作业参数进行有效的实时监测、调控^[7]。

随着经验的积累,国外大型自走式谷物联合收获机生产厂家每年都有与谷物联合收割机相关的新专利。同时,联合收割机制造技术基本成熟,并且随着液压知识水平和智能化知识水平不断提高,创新速度也逐渐加快。而且国外也趋向于使用大功率发动机,大多采用涡轮增压增加发动机,以此提高收获机功率,使得在不降低收获机基本的收割、脱粒、清洗等功能的同时,提高其喂入量,从而实现更大喂入量收获机的研究。

近几年,国外的先进企业都向通用性联合收获机的方向发展,其中割台是其不可缺少的部分。凯斯公司的代表机型为 Case IH 8010,其柔性仿形割台可根据田间作业情况进行自动调节,提高对低矮作物的切割效果;纽荷兰联合收割机 CR9000,其仿形割台可以自动控制割茬高度,并配备新型浮式作业系统;德国克拉斯公司的代表机型为 LEXION 系列,其柔性割台配备方向和高度均可在一定范围内自动调节,同时还配备了灰尘吸附装置;美国爱科集团的麦赛福格森 9000 系列,其联合收获机的拨禾轮可以自动调节转速,可以使其在收割时减少籽粒损失^[8]。

21 世纪以来,国外大型自走式谷物联合收获机的技术开始朝着智能化方向全面发

展, 由于液压驱动技术和电子监控技术的日益成熟, 国外企业逐渐将这些技术应用到收割机上, 来实现自动化收割, 极大地减少劳动力数量。

2.2 国内发展现状

自走式小麦联合收割机具有自走式道路收获、操作灵活、运输方便等优点。我国谷物联合收获机的中小型收割机处于国际领先地位, 而大喂入联合收割机在还处于研究和生产的初级阶段, 处于落后地位。

20 世纪 90 年代初期以来, 中小型联合收割机收割效率高, 可以保证粮食及时收获, 丰产丰收, 农民使用方便, 只需要简单学习便可操作, 通过道路的能力和对小麦收获的适应性好, 价格便宜, 所以成为我国收割机的主要机型。但是我国联合收割机市场呈现出厂家多、品种杂、市场大的格局, 质量好的几大产品产销发展几乎呈现出对市场的垄断趋势, 所以各产品机型比较固定, 尤其是其割台基本都只配备单一形式。从市场数量和销售潜力来看, 中小型谷物收获机每年的销售额占收割机总销售额比例较大, 所以当前我国市场大部分都是中小型联合收割机, 如何改进中型自走式谷物收获机使其可以实现多种谷物的收获也是当前的一个方向^[9]。

随着我国科研水平不断提高, 农产品的研发也取得了很大进展, 农产品开始向国际化方向迈进。同时, 农村土地生产结构也发生了调整, 农村经济体制成功改革使农村社会生产力得到了解放, 生产规模逐渐变大, 为了适应新时代的需求和国际化发展的大方向, 联合收割机收割将逐步形成规模, 一村或者一镇规模化统一使用收割机收割将成为新的趋势。同时, 收割机增大割幅, 向大喂入量方向发展, 也会是市场发展的另一趋势^[10]。

为了达到更高的经济效益, 国内联合收割机企业去国外先进企业交流学习, 对国外的大型自走式谷物联合收获机进行了系统消化吸收, 尤其是设计和制造技术, 同时加大了大中型喂入模式的研发投入, 通过学习和完善, 不断缩小自身与国外的差距, 取得了很大进步, 现在已经基本实现了 6~8 kg/s 喂入量机型的产品系列化生产。如山东时风集团生产的 6158 型自走式纵轴流谷物联合收割机、福田重工生产的 GN70 纵轴流谷物联合收割机等^[11]。但是, 由于受到传统思维模式的禁锢, 这些公司生产的产品在外形和内部结构上基本没有太大改动, 仅在原有的小型收割机的结构基础上稍作改进, 比如加大整机功率, 增加割台的收割面积等一系列措施将原有喂入量增大一些, 但是由于没有结构上的创新改动, 无法将大马力发动机与割台传统系统以及整机结合起来。同时, 国内并没有对伸缩式或折叠式割台的深入研究, 也没有类似产品, 所以喂入量很难取得更大进展, 不能实现大中型收割机的量产, 因此也无法满足市场对大中型收割机的需求^[12]。

我国改革开放以来, 没有好的技术基础, 虽然中小型联合收割机基本可以满足市场需求, 但是大喂入量联合收割机与外国有较大差距, 一些关键部件还无法自主研发, 只能仿制国外大型联合收割机割台、过桥、清选筛等部件技术来完成对大喂入量收割机的制造^[13]。但是由于精密部件都是引进和仿制的, 无法达到技术要求, 所以对一些零件之间的配合不够了解, 无法达到预期目标, 影响了零件之间的相互作用, 使得收割机难以

2018年10月

长久使用,每年都会出现很多产品质量问题,比如液压失灵、皮带、轴承等易损坏部件的损坏或者是谷物收获时损失太多等。因此,大型联合收割机主要还是从外国采购,国内使用的喂入量 8 kg/s 以上的谷物收割机基本都是从国外进口。一些知名厂家如凯斯 88 系列收割机,其生产的大型谷物收割机运行效率相对较高,维护也很简便,只需要定期维护一次,就可以实现长时间的工作^[14]。

从我国联合收割机智能化程度和作业自动化程度来看,国内联合收割机技术还需要向国外联合收割机学习,但是考虑到国内农民购买力生产水平较低,仍应该以发展通用型收割机为主,制造出一种通用底盘以及多种专用割台,这样不仅可以用来收获小麦、水稻等作物,在其他时间也可以用来收割其他作物,以此来降低农民的收割成本。

3 国内外发展趋势

国外的联合收获机技术一直处于发展前沿,国内经过不断学习和改进,收获机技术也基本成型,现在正朝着大功率、多功能、智能化、节能化方向发展,而割台的发展趋势大致有如下方面。

(1) 国外的割台收获宽度普遍达到了 10 m 以上,使其在拨禾轮转速一定的情况下,喂入量也能达到 9~10 kg/s。而且当前国外普遍采用涡轮增压增加发动机,发动机功率最高的谷物收获机其功率可达 434 kW,极大地提高了工作效率,也是当前的一大发展方向。我国耕地面积较广,对大喂入量收割机需求更大,大型、高速、大功率、大喂入量收割机也是我国农业现状的迫切需求。

(2) 通用型谷物收获机一直是发展的一个大方向,如何实现一机多用是国内外亟待解决的问题。当前已经可以实现一台收割机通过更换不同割幅的割台,来适应不同割幅、不同地区和不同单产的需要。此外,割台仿形结构的改进,也使得收割机在平缓地或起伏地都能贴合地面起伏坡度进行收割,可以实现收割高度一致。

(3) 割台发展同时也需要一些新技术、新思想,比如如何将割台底盘一般化,使其可以简单安装一些专用割台,来实现多种作物的收割(如土豆、油菜等),或者是用来田间运输,物尽其用,更符合农民的购买力。而且现在收割机割台会出现一些堆积现象,因为现在收获机的拨禾轮与伸缩扒指会有一些接触不到的地方,使割下的作物堆积于拨禾轮和割台推运器之间的台面上,尤其是当作物稀疏、矮小的时候更容易出现,如何更好地解决死区问题来减少收割损失也是需考虑的一个方面。

(4) 在联结方式上大都设有快速挂接装置,搅龙筒高度可以通过控制室中的控制按键对其连接的液压装置进行控制,适当增加搅龙与底板之间的间隙以提高搅龙的输送能力,但是当喂入量不足但间隙大时,输送能力反而减小,所以需要搅龙筒底板之间的间隙进行调节,以适应不同喂入量的要求。对于收割机割台发生堵塞的情况,可利用快速安全离合装置停止收割机继续收割,并利用反吐装置将堵塞作物清除出去,继续进行收割。同时,为了提高切割器的强度和刚度,防止其损坏,切割器锯齿也多采用热压成型工艺,使其可靠性更高。

(5) 对于拨禾轮的研究, 其趋势不仅是要求拨禾轮能调节高度和转速。同时, 研究小麦的拨禾运动, 对小麦拨禾过程进行运动学和动力学分析, 提出拨禾过程小麦损失的原因, 基于仿生学原理, 提出降低损耗的小麦拨禾装置仿生结构, 提高拨禾装置的效率和寿命, 开发拨禾结构仿生材料, 研发新型低损拨禾装置是拨禾轮的发展方向。

(6) 一台谷物联合收获机在工作时会产生很大的振动, 经常会导致收获损失率增大, 振动也会使机器的连接装置产生松动, 使得其结构发生疲劳破坏, 而且强烈的振动也会使人体舒适感变差, 通过国外研究发现割台的振源最主要是来自于割刀传动系统, 其中割台水平方向的振动量最大, 所以如何减少割台工作时产生的振动也成为收获机割台的一个发展方向。

(7) 收获机割台的发展也应该与全球卫星定位系统 GPS 的应用联系起来, 通过 GPS 来获取农作物产量和其生长环境的信息, 可以在收割时更好地控制割台高度、拨禾轮高度、收割机前进速度以及拨禾轮转速, 从而使收割机处于最好的收割状态, 提高其收获质量。

4 结论

为了适合我国收获条件以及我国国情, 我国谷物收获机割台需要向研究适应不同地形和大割幅要求的可伸缩割台或折叠式并安装柔性切割器割台; 设计开发智能谷物收获机割台。研究智能化监测和控制系统的功能, 确定监控方案, 开发基于 GPRS 和 GPS 等技术的割台高度、拨禾轮高度控制系统。同时, 采用仿生技术开发拨禾装置结构和材料, 能够减少拨禾装置的摩擦磨损, 提高拨禾装置的效率和寿命; 拨禾装置智能化控制系统能够探测谷物的物理机械特性, 智能化的调整拨禾装置, 提高谷物的收获效率, 降低谷物损失率。

参考文献

- [1] 万霖, 车刚, 张燕梁. 谷物收获机割台工作部件的动态仿真. 黑龙江八一农垦大学学报, 2003(4): 58~61.
- [2] 李智文, 李耀明. 谷物收获机械拨禾扶禾装置的设计. 农机化研究, 2002(3): 78~80.
- [3] 罗海峰, 汤楚宙, 邹冬生. 龙须草茎秆往复式切割试验研究. 农业工程学报, 2012, 28(2): 13~17.
- [4] 王振强, 赵春花, 刘伟. 手扶牧草收割机往复式切割器主要参数试验分析. 山西农业科学, 2011, 39(9): 1001~1004.
- [5] 陈志. 农业机械设计手册. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007.
- [6] 林梅. 国外农业机械发展现状. 吉林农业, 2007(9): 27.
- [7] 李永涛. 浅谈我国水稻联合收割机的现状与发展趋势. 农产品加工, 2017(1): 118~120.
- [8] 陈庆文, 韩增德, 崔俊伟, 等. 自走式谷物联合收割机发展现状及趋势分析. 中国农业科技导报, 2015, 17(1): 109~114.
- [9] 魏宏安. 我国小麦收获机械的发展与研究现状. 甘肃农业大学学报, 2001, 36(2): 195~200.
- [10] 王文杰. 我国水稻联合收割机的现状及发展趋势. 农家参谋, 2017(19): 46.
- [11] 刘红云. 我国联合收获机现状及发展趋势. 中国农机化学报, 1998(1): 11~12.
- [12] 杨娜娜. 我国水稻联合收割机发展现状分析. 农业开发与装备, 2016(6): 20.
- [13] 李纪周, 杨宁. 我国水稻收获机械发展现状分析. 全国联合收获机技术发展及市场动态研讨会, 2002.
- [14] 郝海青. 收获机械现状与未来发展. 农业机械, 2009(1): 54~56.

Development status and trend of grain harvester header

Xue Zhiyuan¹, Chen Xiusheng^{1*}, Tang Huaizhuang¹, Li Dejian¹, Xing Xiaoming²

(1. School of Mechanical Engineering, University of Jinan, Shandong Jinan 250022, China;

2. School of Political Science and Law, University of Jinan, Shandong Jinan, 250022, China)

Abstract: [**Objective**] With the continuous improvement of agricultural mechanization level in China, grain harvesters are being used more and more widely. This paper aims to summarize the global trend of grain harvester development by reviewing the existing publications from both China and abroad. [**Methods**] The paper mainly focuses on the principles and characteristics of the main parts of grain harvester header, including reel, cutting device and header auger and analyzes the effects of height and speed of each part of grain harvester on harvesting. In addition, some Chinese studies on header vibration and the development status of grain harvesters in both China and abroad are also introduced. [**Results**] The development on grain combine harvesters has started earlier in foreign countries than those in China. Some developed countries have almost completed the harvesting of agricultural products with self-propelled grain combine harvesters, while the development of China's harvesters have largely fallen behind. [**Conclusion**] By comparing the gap between China and foreign advanced harvesters, and analyzing the current development of China's harvesters and foreign harvesters, it is very urgent for China to accelerate its innovative development on harvesters. Some specific suggestions are put forward for the future development of grain harvesters header in China, which mainly indicates the development of high power, multi-function, intelligence and energy-saving harvesters in the near future.

Key words: grain harvester; header; current status of development; development trends