

DOI: 10.13733/j.jcam.issn.2095-5553.2024.01.045

司书宁, 张彬, 张媛媛, 等. 整秆式收获打捆装备研究现状与发展趋势[J]. 中国农机化学报, 2024, 45(1): 330-336

Si Shuning, Zhang Bin, Zhang Yuanyuan, et al. Research status and development trend of whole-bar harvesting and baling equipment [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2024, 45(1): 330-336

整秆式收获打捆装备研究现状与发展趋势*

司书宁, 张彬, 张媛媛, 黄继承, 沈成, 田昆鹏

(农业农村部南京农业机械化研究所, 南京市, 210014)

摘要:我国麻类、芦苇、稻麦秸秆等茎秆类作物资源丰富,整秆利用具有较高的社会和经济效益。通过阐述国内外整秆打捆技术的发展历程、研究现状及进展,对比分析国内外技术的基础理论与原理性机构、装备的工作性能等方面差异,剖析国内存在的打捆装置核心技术受限、创新动力不足、夹持输送环节农机农艺融合差等问题。对相关打捆装备的研究现状作出总结,并提出整秆式打捆装备研究未来将朝着核心技术不断突破、自主创新程度提高、智能化程度提升等方向发展。

关键词:高秆作物;打捆技术;作物秸秆;整秆式;收获装备

中图分类号:S225 **文献标识码:**A **文章编号:**2095-5553(2024)01-0330-07

Research status and development trend of whole-bar harvesting and baling equipment

Si Shuning, Zhang Bin, Zhang Yuanyuan, Huang Jicheng, Shen Cheng, Tian Kunpeng

(Nanjing Institute of Agricultural Mechanization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Nanjing, 210014, China)

Abstract: There are abundant resources of stalk crops such as hemp, reed, rice and wheat straw in China, and the utilization of whole stalks has high social and economic benefits. This paper elaborates the development history, research status and progress of whole straw baling technology at home and abroad. Through comparison, it analyses the differences in the basic theories, the principle institutions of domestic and foreign technologies, and the working performance of equipment. It points out the existing various problems such as limited core technology of baling device, insufficient innovation power, and poor agro-mechanical and agronomic integration of clamping and conveying link at domestic. At last, the article summarizes the current research status of the relevant baling equipment, and looks forward to the future research of continuous breakthrough of core technologies, improvement of independent innovation, and continuous improvement of intelligent equipment.

Keywords: tall stalk crops; bundling technology; crop straw; whole stalk type; harvesting equipment

0 引言

我国麻类、芦苇、稻麦等植物秸秆资源丰富,可利用秸秆资源量占年产秸秆资源总量的70%以上。茎秆的综合利用是农业发展面临的难题之一。将秸秆通过整秆打捆作为青贮,能够降低人力、运输与储藏投入成本,同时促进周边养殖业良好发展。将水稻、油菜等作物进行分段式收割、打捆,然后田间铺放晾晒,能够提高粮食品质,降低晾晒成本。麻类特色经济作物主要依靠人力在夏季高温环境下收割,作业环境恶劣,劳

动强度大,成本也相对较高。芦苇是湿地生态系统的主体,收获成本高成为行业经济效益逐年弱化的重要原因,芦苇的弃收与腐烂造成水体污染、资源浪费。

作物的打捆、收集费时费力,推广作物打捆装备能够降低农业生产成本,缓解农忙时间紧、劳动力不足的局面,满足农民对作物机械化打捆的需求,提高生产效率、经济效益和社会效益^[1]。方捆、圆捆打捆技术主要用于牧草、玉米等茎秆破碎还田或压缩成捆^[2-3]。与之相反,整秆式收获技术在收割时能够保持茎秆的完整、直立状态,整秆成捆后可直接抛放至田间,或收集到车

收稿日期:2022年6月27日 修回日期:2022年8月30日

* 基金项目:现代农业产业技术体系专项资金资助(CARS-16-E20)

第一作者:司书宁,男,1996年生,山东淄博人,硕士研究生,研究方向为收获机械与开发。E-mail: ssn0604@163.com

通讯作者:张彬,女,1974年生,浙江东阳人,硕士,研究员,硕导;研究方向为收获机械与开发。E-mail: xtssset@hotmail.com

斗中进行集中堆卸。然而,高秆作物由于其物理性质特殊,机械化收割效果较差。

目前国内整秆式机械化收获装备的研发主要依赖仿制,打捆技术理论研究基础相对薄弱。细长的高秆作物物理性质特殊,对整秆机械化收割技术提出了较高的要求。基于此,本文首先综述了国内外整秆打捆装备的发展历程,然后梳理国内外具有代表性的整秆打捆机具,阐述和比较各机型的技术特点,分析和归纳了国内整秆打捆关键核心技术研究存在的问题和不足,并展望未来的发展趋势。

1 整秆式打捆技术研究

1.1 发展历程

欧美国家在作物打捆装备的研发方面具有悠久历史。18世纪中期,为提高摇臂收割机的工作效率、解决小麦打捆问题,美国先后设计了半自动收割人力打捆机、自动割捆机、麻绳割捆机等,并且发明改良了打捆机、玉米割捆机^[4]。美国 John Appleby 用麻绳代替铁丝制作捆绳后,麻绳打捆装备逐步得到推广,20世纪20年代,麻绳打捆装备在西欧国家得到广泛应用^[5]。法国在20世纪30年代就已经基本实现农业机械化,二战后农业机械迅速发展,到2000年法国割捆机保有量达到了27万台^[6]。

农业机械化起步前日本主要采用传统的人力和畜力农作装置,简易落后的生产机具无法满足农业生产的需求。日本的地形复杂、丘陵多,以水田为主且田块面积规模小,1950年日本政府开始制定政策发展农业机械化,大力改良与推广农业装备。1967年日本基本实现农业机械现代化,水稻割捆机得到了快速普及,几年后保有量迅速增长达到26.1万台。70年代,联合收获机问世并且广受欢迎,割捆机的使用率下降。到1977年,日本拥有割捆机159.8万台,但割捆机收割面积下降到43.2%,而联合收获机的收割面积达到48.2%。80年代以后,半喂入联合收获机的推广加剧了割捆机市场的衰落,割捆机保有量持续缩减^[7]。

打结器是衡量打捆装备性能的精密核心装置。Appleby于1879年设计出一种由齿盘驱动的新型打结器,被称作现代打结器的原型。20世纪初,Deering公司收购了D型打结器并设计改进,其工作原理成为后续相关研究的基础。紧接着,打结嘴问世并且被视作打结器的核心部件,广泛应用于各类打捆机具中。1967年,Nolt提出“快速打结”概念,打结器的研究逐步趋向整体的结构优化,成捆率与耐磨性得到大幅提升。1999年,德国Homborg在D型打结器工作原理基础上,设计出能够打活结的C型打结器。

与发达国家相比,我国的整秆打捆技术研究起步较晚,直到第一个五年计划后才开始引进国外先进割晒机、联合收获机等装备。20世纪70年代,我国开始出现各类作物打捆机械,例如吉林省怀德县农机研究所^[8]试制动力割捆机,并进行水稻割捆试验。以割晒机为原型改进设计出了作物割捆机,大幅提高了作业效率。80年代研制出与手扶拖拉机配套的割捆机。受限于制造技术水平低且研发成本高,打结器的研究未能取得进展。水稻割捆机作为重点研究对象,国内的科研院所与农机企业研发、生产出与一批日本割捆机相似的收割打捆机,在东北地区推广使用率较高。

1.2 研究现状

目前,对农作物秸秆的处理主要采用粉碎还田与收集处理两种方式。联合收获机自动化、集成化程度高,且能够将作物秸秆还田处理,受到市场追捧。打捆机按照打捆形式可分为整秆、方捆与圆捆打捆,按照工作方式可分为自走式、固定式以及捡拾式。方捆与圆捆打捆机可用于牧草、玉米等秸秆压缩打捆^[9]。然而,整秆式打捆装备仍拥有其不可替代的优势,高效的割捆装备对于提高生产率,带动相关产业发展至关重要。针对稻、麦与油菜等作物,许多地区采取提前收割、打捆晾晒的生产方式,这不仅有利于提高粮食品质,还有助于缓解“赶农时”时劳动力不足的局面。

工作时,倒伏的秸秆借助扶禾器被扶起、扶正,并且引导至切割器。随后,被切割的茎秆通过链传动被输送至打捆装置进行打结成捆,根据机型不同选择车斗收集或田间抛放处理。小型割捆装备结构简单、工作灵活,可直接将秸捆直接铺放在田间,最后经人工搬运收集。自走式打捆装备则以其大机型和高度集成化的特点脱颖而出,装备自身具有运载功能。茎秆切割后经过夹持、输送与自动打捆几个环节后,由人工或单独输送机构将秸捆有序堆放至装备的料斗中。相较之下,自走式打捆装备集成化程度更高,能够显著减少人力投入,从而提高收获作业效率。

1.2.1 国外整秆打捆技术研究现状

发达国家在大型打捆装备研发方面拥有完善的体系,相关装备的种类齐全,并配备有高效的维护设施,确保设备在使用过程中能够持续稳定运行,最大程度地提高生产效率和资源利用率。尤其是打结器的作业质量与可靠性较高,成捆率达到99%。如在美国的规模化种植中广泛采用中大型打捆装备,配合D型双结打结器,工作效率大幅提升。在长期推广应用的基础上,发达国家的打捆装备正趋向于大型化、智能化、高度自动化,生产制造水平始终处于国际领先地位^[10]。

目前国际市场上主流打结器分为C型与D型打

结器两种,尽管它们在基本结构上相似,但 D 型打结器在自动化程度与打结质量方面均优于前者,因此其应用更为广泛。为追求更高的技术水平,国外企业投入了大量研发资源,在结构创新与优化方面积累了丰富经验,与机电一体化技术结合,产品技术水平已经相当成熟。德国与美国生产的打结器产品质量处于世界一流水平,但与之配套使用的打捆装备及其配件价格昂贵。

市场上的打结器产品工作原理基本一致,主要分为送绳、夹绳、绕扣、脱扣四个环节。打结嘴作为打结器的核心部件,在工作时受到频繁的冲击与摩擦,影响使用寿命与工作精度。德国舒马赫集团的拉斯伯^[11]拥有 100 多年的打结器生产历史,依靠先进的打结器研发与制造水平,主要生产用于稻麦、玉米等秸秆打捆的单结与双结打结器,使用特殊工艺与材质保证打捆高效性、稳定性与耐用性。美国公司^[12]设计了 Loop Master 环形打结器,结合现有打结技术的优势,通过“环”式打结与打双结,使抗拉强度增加了 26%,解决了捆绳头废弃田间的问题。

意大利设计生产的 BCS-242 机型是世界首台机动割草机,622 系列为 242 机型的演变产品,该机型具有 127~140 cm 的工作幅宽,其独立控制的两轮使整机行进轻便灵活,且具备良好的地形适应性。波兰的 Reeda 芦苇收割机(图 1)属于自走式打捆机,其割台结构与 BCS-622 类似,但使用了履带式自走底盘,从而提高了底盘适应性和通过性。该机型规模较大,能够完成收割、打捆,苇捆收集,无芦苇夹持输送装置。前悬挂式割台可高效的收割芦苇,将芦苇向中间收集打捆,打捆直径 60 cm。只需两人即可操作,由人工将芦苇捆摆放在料仓堆垛成型并集中卸载^[13]。



图 1 波兰 REEDA 芦苇收割机

Fig. 1 Poland REEDA reed harvester

1. 前置割台 2. 打捆装置 3. 料斗 4. 履带式底盘

荷兰冬季芦苇割捆机工作性能更加突出,其割台采用前悬挂式安装,搭配履带式自走底盘,采用往复式割刀。切割宽度达到了 3.1 m,割台切割芦苇后直接进行打捆。输送装置将苇捆送至一定高度,输送带高度可调节。该机器自带料仓,仅需 2~3 人就可以完成整个收割过程。可升降的输送装置方便工人进行堆

垛,节省人力。此外,将苇捆收集、堆垛在料仓的同时,料仓的捆绑装置再进行整体加固,运输更加可靠,工作效率大幅度提高。

日本 ER6120 半喂入式水稻收割机性能卓越,在日本本土销量好。该机具在保持水稻秆完整的同时,实现了水稻的脱粒和秸秆打捆。采用履带式自走底盘,三排带拨指的秸秆输送机构,秸秆输送机构稳定可靠。在机器的后部加装了秸秆打捆装置,在脱粒后将茎秆打捆,从机具后侧抛出置于田间,经过自然晾干后再利用。日本 HF608G 半喂入收割脱粒打捆一体机(图 2)使用交叉型拨指输送装置,改善倒伏秸秆的收割困难问题。该机具一次性完成收割、脱粒、秸秆打捆三个作业环节,成捆率在 98% 以上,站捆率在 96% 以上,作业质量稳定可靠。



图 2 半喂入收割脱粒打捆一体机

Fig. 2 Semi-feeding, harvesting, threshing and bundling integrated rice harvester

1. 履带式底盘 2. 稻捆出口 3. 带拨指输送链条 4. 割刀

作为农业现代化程度最高的国家,美国农业有着大规模化生产、技术创新、高效率农业等特点,对装备的作业效率和通用性提出了较高的要求。尤其是在整秆收割打捆技术领域拥有深厚的研究基础,以中大型打捆装备为主导,整秆打捆装备体系更加成熟,配套设施完善,农业机械化水平相对较高。日本在农机农艺融合方面表现出色,更擅长与当地的作物品种、种植模式和地形等条件相结合。鉴于我国种植地形多样,整体种植模式与日本更相像,我们可以借鉴学习相关整秆打捆技术与装备研发方面的特点,提高农机农艺的结合程度。

1.2.2 国内整秆打捆装备研究现状

我国科研机构与企业在国外先进打捆技术和体系的基础上学习、改进与创新,整秆式打捆技术发展迅速,研究成果显著,装备作业水平有了明显提升^[14-15]。目前,国内自主生产的小型打捆机具已经取代进口产品,生产成本降低且维护方便,对国内复杂地形条件的适应性也得到显著提高。随着技术创新的推动,为满足农业各种场景的收获需求,装备类型逐渐更加多样化,中型和大型打捆机完成从无到有的突破,能够有效满足不同规模田块的作业需要。然而,进一步改进和

优化,以提升整体的工作质量和可靠性,是未来研究和发展的重点。

打结器自主化生产仍然是国内打捆装备生产面临的难题。我国从20世纪80年代起,在引进欧美国家打捆装备的基础上,积极进行打结器的自主研发。由于打结器内部结构复杂以及对运动配合关系要求极高的精度,再加上零件的制造对精密铸造、加工技术要求高,打结器研究未能取得实质性进展。后来国内开始出现仿制打结器,但部件运动配合一致性较差,使用寿命、打结速度、可靠性等方面均低于进口产品的水平,这不仅削弱了农民与研发企业的积极性,同时为产品研发与后期优化造成困难。

近年来,国内科研院所及企业以现有打结器为模型,从基本结构原理、精密制造、运动原理等方面出发开展了大量的研究工作^[16-18]。张安琪^[19]针对D型打结器的空间结构复杂问题,对成结器动作过程进行分解,解析获得基本空间结构参数。通过逆向工程对打结器的零件进行参数化建模,确定零件的制造工艺要求,研制了打结器性能试验台。李诚^[20]以D型打结器为研究对象,通过逆向手段建立三维几何模型并进行运动仿真研究,基于ANSYS软件平台模拟仿真了打结钳嘴工作时受力状态。打结器技术难题得到了广泛重视,基本理论研究成果丰硕。

作物秸秆具有密度低、分布广、季节性强、运输与存储困难等特点。人力收割与打捆,劳动强度大、生产效率极低,秸秆资源浪费严重。因此整秆式打捆装备的研发对满足农业生产需求、提高劳动生产效率有重要意义。郭占斌等^[21]立足于国内水稻生产的实际情况,以日本水稻割捆机为样机,对小型手扶水稻割捆机进行总体设计。该机具主要由分禾器、切割装置、输送装置、打捆机构、传动机构等组成。文章对机具的主体结构及相关参数进行设计计算,生产率达到 $0.16 \text{ hm}^2/\text{h}$ 。手扶式打捆机机构紧凑,操作灵活,打捆速度快,对不同地形、地块有良好的适应性。与大型整秆式水稻打捆机相比,扶禾能力较差,可收割倒伏角 $20^\circ \sim 30^\circ$ 左右的作物,生产率较低。张洪山等^[22]论述了水稻本禾割捆机研究的必要性,详尽地阐述打捆机的结构和工作原理,无绳索设计原理避免了捆绑物易缠绕等问题。黑龙江省水田机械化研究所^[23]设计了4GK-90型水稻割捆机(图3)、4GK-100手扶割捆机等小型装备,打捆装置参数合理、性能稳定可靠。李湘萍^[24]为解决麦秸处理问题,对4SLK-50型麦秸联合收捆机进行研究改进,对小麦收割后茎秆进行捡拾收集与打捆。该机具可用于牧草打捆作业,适用性好。2012年,程联社等^[25]提出一种玉米整秆打捆装备的设

计方案,制定玉米秸秆的打捆工艺与技术要求,并对打捆机的运动原理、关键零部件设计、传动方案等多方面进行了研究分析。

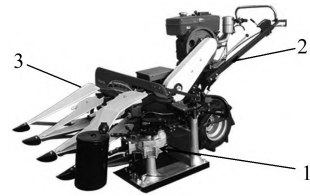


图3 4GK-90 稻麦割捆机

Fig. 3 4GK-90 rice and wheat baler

1. 打捆装置 2. 手扶轮式底盘 3. 割台

颜新鹏等^[26]提出将履带式联合收割机与打捆机二者功能结合,设计开发一种全喂入履带自走式收获打捆一体机。介绍装备的整机结构、技术参数与工作流程,对小麦、水稻等谷物籽粒收获并对秸秆进行规整地打捆。牟向伟等^[27]设计了一种小型水稻割捆机的打捆装置。打结器仍然采用鸟嘴式打结,但设计了新的传动、缆绳、压减绳结构。杨文敏等^[28]设计了一种油菜打捆装置,该装置配置于4SY-2.2油菜割晒机左侧,组成了油菜割捆机。通过对各机构进行设计计算,确定打捆装置的主要参数,试验表明该装置各机构配合协调,成捆率达到95%。盘锦市芦苇科学研究所针对传统芦苇收割机存在的问题,研究设计了4W2.0型芦苇收割机,并在此基础上开发了多代机型。收割机割台在配套动力车的一侧,放堆机构放置在收割台的右侧、机具的后部,采用侧向联接、立式收割、横向输送的收割打捆方式,搂拨堆放机构设计合理,整机结构紧凑。

2 国内外整秆打捆技术对比

整秆式打捆技术的关键在于打捆装置的研制、扶起与输送装置的设计及实用化。国外打结器的研发已有上百年的历史,设计出D型、C型、Loop knotter(活结)等多种类型打结器,工作原理不尽相同。更重要的是经过多代的更迭与优化,打结器的理论研究基础雄厚,打结器精密程度较高。同样的,配套的整秆式打捆装备研发时间久,机具种类齐全,扶起与输送装置等结构的设计更具针对性。装备的研发理念是以机器代替人力,且大多与欧美等国家“工业化”种植模式相适应,中大型装备动力强,工作可靠性好,更加重视工作效率。但是收获全程的高度机械化无法适用于其他国家地区,并且主张高速度与批量化生产,忽视了产量与利用率,茎秆损伤与浪费现象严重。

经过几十年的发展,国内的秸秆打捆装备技术研发取得显著成效。然而,目前打捆技术主流研究方向

为方捆与圆捆打捆机,整秆式打捆技术研究重视程度不高。国内农业种植田块的地形复杂多样,小型手扶式割捆机因为其结构简单,仿制成本低,机动灵活而广受欢迎。将打结装置安装在收割机具一侧,应用于稻麦等矮秆作物的收获。而国内打结技术的瓶颈仍未取得突破,仿制打结器成本低但工作质量较差。扶起与输送技术的研究仍然套用传统收割装备的输送装置,缺少与打结技术配套的相关研究,因此输送打捆过程存在流畅性差,可靠性低,易堵塞、易损伤茎秆等问题^[29]。

对国内外典型收割打捆装备进行整合(表1)。通过分析对比能够看出,打捆装备往往与当地农业模式相适应。国外推崇工业化种植模式,整秆式打捆装备以中大型为主,主要针对具有较大种植规模的农场和农业企业。依仗高度发达的工业制造水平,整秆式打捆装备的自动化与集成化程度较高,可以实现对作物的自动收割、打捆和堆放等工序的全面控制和操作,高度自动化的特点使得农业生产过程更加高效,能降低人力成本。但是过于重视速度和批量化生产,有时会忽视产量与秸秆利用率。

表1 整秆式打捆装备对比

Tab. 1 Comparison of whole-bar baling equipment

型号	机型	工作幅宽/m	结构特点	夹持输送形式	收集方式
BCS622	中小型	1.4	前置割台	无	料斗堆放
Reeda	中小型	1.2	前置割台	无	田间铺放
德佛里斯	大型	2.3	割台侧向联接	链轮齿式	料斗堆放
ER6120	大型	1.72	半喂入式	拨齿杆式	田间铺放
HF608G	大型	1.45	半喂入式	拨齿杆式	田间铺放
4GK-90	小型	0.9	手扶式	链轮齿式	田间铺放
4W2.0	大型	2.2	割台侧向联接	链轮齿式	料斗堆放

发达国家高度工业化农业与国内差异较大,机械化发展模式也不可盲目复制。在我国,由于地形条件、土地利用结构和农业模式的差异,土地碎片化问题严重。国内的打捆装备应更偏向于中小型割捆装备研发和推广,以适应小型农场和个体农户的需要。这些打捆装备通常较为灵活轻便,可以适应山区、丘陵地带等地形复杂的状况。虽然工作效率相对较低,但更加符合当地农户的实际情况和经济能力。同时,在当前的我国农村劳动人口相对充足,大规模推广大型农业收获装备可能会导致劳动力剩余和就业问题。因此,这些都要求农机研发的逐步调整和过渡,以保持农业生产的稳定性和可持续性。

3 国内整秆打捆技术存在问题

经过近几十年的改革与发展,在国家相关政策的引导与扶持下,农业机械化取得了长足的进步,整秆打捆装备研究成果显著,但与发达国家相比技术水平仍然有差距,发展过程仍然存在许多问题。

3.1 整秆打捆技术研究不足

打捆装置的设计制造需要解决多领域的难题。关键核心技术的缺失,打捆装置机械结构理论研究薄弱,在狭小空间内完成复杂的传动配合,这需要对机械结构与运动控制进行长期的改进优化。工作稳定性和可靠性有待于提升,这要求零部件有着良好的加工精度,各零件之间衔接、配合传动精准可靠。使用寿命较短,紧密的传动配合会产生磨损、冲击,关键零件的材料研发,零件加工技术精度等方面都有待于改进。自动化程度低,要通过控制系统提高准确性和可靠性,减少人工参与以提高安全性,应用传感器技术确保机器高效和连续运行。

3.2 整秆打捆装备的创新落后于农业需求

农业现代化快速发展,这要求推进农业装备现代化、智能化。一方面,长期借鉴与使用进口产品让企业尝到仿制机器研发周期短、成本低的甜头,长期依赖国外技术而忽视自主设计,研发思路拘泥于机械结构层面的仿制,而缺乏前瞻性基础理论研究,自动化程度更加落后。另一方面,因为农业生产的需求多样、变化迅速,但在农机制造商和农业生产者之间可能不对称,企业可能不充分了解农业生产的新需求和最新动态,不能及时调整和改进整秆打捆装备的设计。

3.3 自主创新环境较差

一款成熟的农业装备需要较长的研发周期和产品迭代,基础理论研究耗时耗力却又难出成果。试制成功样机以后,生产企业为了快速占领市场、减少研发时间成本,往往省去对样机的试验与改进阶段,装备工作机理研究相对薄弱。因此造成了市场上整秆打捆装备质量较差、可靠性不高、稳定性差、使用寿命短、后期维护困难等问题。很多企业坚持自主创新,投入了大量人力、物力与财力研发核心技术。但成果极易被恶意抄袭,得不到保护。创新的积极性被削弱,最终导致科研氛围恶性发展,没有形成有效的创新竞争市场,阻碍了打捆技术的进步。

3.4 农机与农艺结合不佳

整秆打捆装备的设计和研发脱离生产需求和农艺要求。推进农业机械化进程要以装备与农艺结合为前提,我国与国外种植模式存在差异,生搬硬套会导致农机和农艺之间的脱节。不同作物茎秆物理性质不同,

需要针对性研发输送、打捆装置的结构、运动参数以适应农业生产需求。此外,农机制造企业缺乏与农业生产者的有效沟通和反馈机制,无法了解用户对打捆装备的真实需求和问题,就很难进行及时的改进和优化。

4 总结与展望

近年来,我国打捆装备产业呈现较快的发展态势,研究成果显著,自主生产的中小型整秆打捆产品已经取代进口,装备制造技术与质量都在稳定提升。欧美国家的打捆技术更为成熟,大型装备作业质量好,智能化、集成化程度高;日本的小型整秆打捆装备作业灵活,打捆性能稳定可靠。国产打捆机械的中低端产品扎堆,集成化程度更高、结构更加复杂的中大型装备仍被国外垄断。因此,实现打捆装备产业系列化、标准化的目标仍然任重道远。

我国农业打捆装备的设计研制存在一些不足之处,如自主创新成效低、理论研究基础薄弱、整秆式打捆的关键核心技术没有突破性进展等。为推进整秆打捆装备的发展,相关部门应注重提高社会整体对农机装备科技创新的积极性,推动农机、农艺的融合,利用科技发展提升打捆装备工作质量、效率与可靠性,推进整秆打捆装备的系列化、标准化进程,为乡村振兴提供装备与技术支撑。

打捆技术的革新需要政策的支持引导、科研单位的研发投入、研究成果转化等多方面的推动,未来国内整秆式收获打捆技术的发展可能会具备以下几个特点。

1) 更加重视对整秆打捆关键技术突破,着力解决打捆器这个“卡脖子”难题。重视基础理论研究,提升工艺制造水平,深化应用计算机、自动化等先进技术手段。引进学习与自主创新并举,政府与企业更加注重前沿科学技术的应用,加大研发投入。从田间出发,以高新技术改造传统制造技术,改善打捆装备科技创新总体滞后的局面。

2) 自主创新意识不断增强,企业的创新主体地位更加明确。深化基础理论研究,重视前瞻性理论研究。随着打捆器基本制造原理、工作原理研究的深入,自主研制出高效、可靠的打捆器。相关部门强化法规、政策的规范引导作用,营造企业间良性竞争的创新环境。同时,规范市场秩序,充分发挥农机企业在科技创新中的主体作用,推动创新成果转化,使科研成果成为激励企业创新的动力。

3) 营造良好的科研环境。相关部门主动引导,企业诚信经营,将创新研发目标由“从无到有”转向“由低质量到高水平”,将产品质量作为企业之间的竞争核心,加强注重社会对创新成果的保护,推动整秆打捆装

备的优化升级,农机鉴定部门要在研发进程中扮演重要角色,做好市场上打捆装备的评价与质量工作。

4) 要转变农业机械化发展方式,推进农机农艺一体化,提升节本增效成果。农机与农艺相适应是农业发展的需要,整秆打捆装备的研发不能脱离秸秆,秸秆的物理特性分析与种植农艺研究也是科研的一部分。针对国内农业模式的需求因地制宜,结合不同地区特点、不同作物品种秸秆特性,形成特色的区域化打捆装备设计。

5) 打捆装备的自动化、智能化、集成化程度不断提升。机电一体化技术将会得到广泛应用,如研发基于传感器原理的自动打捆装置来提高成捆率与秸秆完整率。整秆打捆装备的综合性能将更加优越,随着制造水平的提升、新材料的应用,零件的精密度与使用寿命将得到改善。打捆器研究打破国外垄断的困境,整机的结构、运动参数优化效果良好,打捆质量、效率、可靠性大幅提升。

参 考 文 献

- [1] Tang Z, Li Y, Cheng C. Development of multi-functional combine harvester with grain harvesting and straw baling [J]. Spanish Journal of Agricultural Research, 2017, 15(1): e0202-e0202.
- [2] 雷军乐,肖建中,尹诗豪. 小型秸秆圆捆机喂入机构的设计与试验[J]. 中国农机化学报, 2022, 43(1): 7-13.
Lei Junle, Xiao Jianzhong, Yin Shihao. Design and test of feeding mechanism of small straw round baler [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2022, 43(1): 7-13.
- [3] 张丽,张宁,孟玉刚,等. 捡拾输送集草机设计与试验研究[J]. 中国农机化学报, 2021, 42(9): 1-6.
Zhang Li, Zhang Ning, Meng Yugang, et al. Research on design and experiment of grass picking and collecting machine [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2021, 42(9): 1-6.
- [4] 宣杏云. 国外农业现代化的模式及其借鉴[J]. 江苏农村经济, 2006(5): 16-17.
- [5] 部楠. 割捆机打捆机构分析与动力学优化设计研究[D]. 长春: 吉林大学, 2008.
Gao Nan. Structure designing and dynamic optimizing research on binding parts of a rice reaping-binder [D]. Changchun: Jilin University, 2008.
- [6] 法国的农业机械化 and 农机标准化[J]. 南方农机, 2006(4): 46-47.
- [7] 曲法纯. 日本谷物割捆机介绍[J]. 农机推广, 1994(4): 30.
- [8] 吴征毅. 基于虚拟样机技术巨菌草小型割捆机工作装置设计与仿真[D]. 福州: 福建农林大学, 2017.
Wu Zhengyi. Based on virtual prototype technology giant JunCao small binder work device design and

- simulation [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2017.
- [9] 罗强军, 陈永生, 韩柏和, 等. 自走式打捆机的国内外研究进展[J]. 中国农机化学报, 2018, 39(12): 18-24.
Luo Qiangjun, Chen Yongsheng, Han Baihe, et al. Research progress of self-propelled baler in China and abroad [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2018, 39(12): 18-24.
- [10] Kaho T, Iida M, Umeda M, et al. Measurement of straw yield for head feeding combine using knotter [J]. Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery, 2003, 65(1): 62-68.
- [11] 赵弢. 拉斯伯打结器, 德国制造“结”出品质[J]. 农业机械, 2020(8): 60.
- [12] 关群. 纽荷兰打结器获爱迪生发明奖金奖[J]. 农机市场, 2021(6): 61.
- [13] Ivan G H. Reed harvesting equipment in the country and worldwide [J]. Annals of the University of Craiova-Agriculture, Montanology, Cadastre Series, 2017, 46(2): 430-435.
- [14] 李晓红, 刘丽敏, 王鹏, 等. 4GL-90型稻麦割捆机[J]. 现代化农业, 2006(4): 38-39.
- [15] 闫小铭. 小型麦谷类杂粮割捆机部件的设计[J]. 农业技术与装备, 2021(5): 13-14, 17.
Yan Xiaoming. The design of small wheat and cereal grain combine harvester and baler [J]. Agricultural Technology & Equipment, 2021(5): 13-14, 17.
- [16] Cen H. Reliability analysis of the CAM on the drive gear plate of D type knotter [J]. International Journal of Performability Engineering, 2019, 15(1): 23-34.
- [17] Guo J, Cen H, Tang H, et al. Research on design of the D-knotter split spindle [C]. Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2022, 2218(1): 012077.
- [18] 宋淑美, 姜丽玲, 杨善东, 等. 方捆打捆机打结装置的研究现状及发展趋势[J]. 中国农机化学报, 2020, 41(1): 223-228.
Song Shumei, Jiang Liling, Yana Shandong, et al. Research status and development trend of knotting device for square balers [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2020, 41(1): 223-228.
- [19] 张安琪. D型打结器空间结构参数解析与精密制造[D]. 北京: 中国农业大学, 2017.
Zhang Anqi. Spatial structure parameters analysis and numerical manufacture of D-bale knotter [D]. Beijing: China Agricultural University, 2017.
- [20] 李诚. 逆向重构D型打结器运动仿真分析与打结钳嘴受力分析研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2015.
Li Cheng. Motion simulation of reverse reconstructed D-bale knotter and bill hook mechanical analysis during straw baling [D]. Beijing: China Agricultural University, 2015.
- [21] 郭占斌, 汪春, 衣淑娟. 小型手扶水稻割捆机的研究[J]. 农业机械学报, 2005(3): 64-66.
Guo Zhanbin, Wang Chun, Yi Shujuan. Overall design for small-scale rice binder supported with hands [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2005(3): 64-66.
- [22] 张洪山, 陈淑梅. 水稻本禾割捆机的研究[C]. 中国农业机械学会农机维修分会. 第十四次全国农机维修学术会议论文选. 黑龙江省农业机械维修研究所; 黑龙江省绥滨县农机化学校, 2010: 4.
- [23] 李肖婷. 4GK-900型丘陵山区谷子割捆机主要部件的试验与研究[J]. 当代农机, 2021(9): 19-21.
- [24] 李湘萍. 4LSK-50型麦秸联合收割机的研究[J]. 农业工程学报, 2003(1): 107-109.
- [25] 程联社, 金莹. 玉米整秆打捆机整体设计[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(7): 3849-3850.
Cheng Lianshe, Jin Ying. Integrated design of corn straw bundling machine [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2012, 40(7): 3849-3850.
- [26] 颜新鹏, 赵研科, 蔡登辉, 等. 全喂入履带自走式收获打捆一体机设计[J]. 拖拉机与农用运输车, 2020, 47(4): 52-54.
Yan Xinpeng, Zhao Yanke, Cai Denghui, et al. Design of all-feed crawler self-propelled harvesting and bundling integrated machine [J]. Tractor & Farm Transporter, 2020, 47(4): 52-54.
- [27] 牟向伟, 黄伟凤, 黄积佰. 一种小型水稻割捆机的打捆装置[P]. 中国专利: CN106211927B, 2019-04-09.
- [28] 杨文敏, 何明, 邬备. 油菜割捆机打捆部件的设计与试验[J]. 中国农学通报, 2019, 35(31): 129-133.
Yang Wenmin, He Ming, Wu Bei. The baling device of rape binder: design and experiment [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2019, 35(31): 129-133.
- [29] 李艳聪, 卫勇, 张浩, 等. 芦苇收割机关键部件设计及运动分析[J]. 中国农机化学报, 2020, 41(12): 20-23.
Li Yancong, Wei Yong, Zhang Hao, et al. Design and motion analysis of parts of reed harvester [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2020, 41(12): 20-23.