

# 电动农机发展现状与趋势<sup>\*</sup>

王杰, 张学敏, 张波, 侯秀宁, 宋昌博, 赵继云

(中国农业大学工学院, 北京市, 100083)

**摘要:**随着我国国四六排放标准的颁布实施,研发更低排放、更高效节能的农机产品成为行业发展的热点。重点阐述国内外电动化农机发展的研究进展,分析典型电动农机发展趋向。在系统总结和分析我国农机国情特点和发展趋势的基础上,指出现阶段我国电动农机技术发展难点,并提出小型化、自动化、智能化是电动农机的研究重点,为我国电动农机发展提供参考。

**关键词:**电动农业机械;研究现状;发展趋势

**中图分类号:**S125; S23   **文献标识码:**A   **文章编号:**2095-5553 (2019) 10-0035-07

王杰, 张学敏, 张波, 侯秀宁, 宋昌博, 赵继云. 电动农机发展现状与趋势[J]. 中国农机化学报, 2019, 40(10): 35-41  
Wang Jie, Zhang Xuemin, Zhang Bo, Hou Xiuning, Song Changbo, Zhao Jiyun. Research status and trend of electric agricultural machinery [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2019, 40(10): 35-41

## 0 引言

2016 年,农业农村部和信息化部、国家发展改革委联合印发了《农机装备发展行动方案(2016—2025)》,明确了未来 10 年农机工业发展的指导思想、基本原则和行动目标。《行动方案》中已将“清洁燃料与新能源农用动力、电控喷射与新能源拖拉机”列为重点发展主机产品。2017 年,农业农村部和信息化部、国家发展改革委等 10 个部门成立了农机装备制造推进工作组,建立了年度推进工作机制。2018 年 3 月,《农业部办公厅、财政部办公厅关于做好 2018—2020 年农机新产品购置补贴试点工作的通知》对开展植保无人飞机等创新农机产品补贴试点做出全面部署。

可见,未来新能源动力的农业机械将得到更大力度的政策扶植,具有巨大的产业化发展优势。我国人多地少,能源短缺,山区与丘陵耕地面积多,地块分散,尤其适合小型电动农业机械。随着油价的上涨,农机使用成本不断增加,大力发展电力农业机械符合我国国情和未来的需要。

## 1 国外电动农机的发展现状

国外研制电动汽车和移动机器设备的尝试开始于

19 世纪,但由于早期的技术问题,电动拖拉机和电动农业机械还没有在实践中得到更广泛的应用。伴随着电子技术发展所提供的新机会的出现,包括交流电的电子处理,以及国外发达国家对环境保护要求的提高,农业机械的电动化逐渐成为研究的方向<sup>[1]</sup>。国外对于电动农机的研究较早,在 20 世纪初就已经展开了相关研究。1912 年,德国研制的有线式电动拖拉机的面世,标志着国外对于电动农机领域研究的展开。随后在 1970 年石油危机期间,英、美、日等国也纷纷开始了车载电池供电电动拖拉机的研制,极大地促进了电动拖拉机进一步的发展。美国推出的 Elec-Trak 系列电动拖拉机,采用铅酸蓄电池供电和永磁无刷电机作为动力源,推出市场后便取得了极大反响。随着电力电子技术的发展以及动力电池的研究深入,国外的电动农机设备主要集中在易操作性、高可靠性、多功能性等方面<sup>[2-3]</sup>。

### 1.1 约翰迪尔 SESAM 大功率纯电动拖拉机

在 2017 年 2 月法国的 SIMA 展上,发布了世界首款纯电动拖拉机样机 ESAM(Sustainable Energy Supply Agricultural Machine(图 1),可持续能源供应农业机械)。该款拖拉机已经完成了田间作业测试,能够胜任传统拖拉机的作业功能<sup>[4]</sup>。该拖拉机由 6R 经典系列改进完成,配备了两块功率为 130 kW 的锂电池,其

收稿日期:2019 年 4 月 3 日   修回日期:2019 年 6 月 6 日

<sup>\*</sup>基金项目:农机装备智能制造创新方法系统性应用研究与示范(2016IM030200)

第一作者:王杰,男,1994 年生,湖北黄冈人,硕士研究生;研究方向为车辆动力及新能源技术。E-mail: Peterwangjie@163.com

通讯作者:张学敏,男,1975 年生,内蒙古呼和浩特人,博士,副教授,博导;研究方向为车辆动力及新能源技术。E-mail: xuemin\_zh@cau.edu.cn

中一块为行走供电,另一块为 PTO 供电可提供 279.3 kW 的标准动力。由于是电驱动,拖拉机整个传动系统十分简单,降低了传输过程中的能量损失。另外,SESAM 可持续作业 4 h 或 55 km 的运输时间。充电时间为 3 h,电池寿命可充电 3 100 次。



图 1 约翰迪尔 SESAM 纯电动拖拉机

Fig. 1 John Deere SESAM electric tractor

2017 年,德国也推出了中功率纯电动拖拉机 e100<sup>[5]</sup>。这款拖拉机(图 2)与迪尔 SESAM 理念相同,均采用锂电池供电,但 e100 拖拉机标准动力为 50 kW,供电电池为 650 V 电池容量为 100 kW·h。另外该电动拖拉机不但可以配套传统液压农具,在其输出部位还提供了两个 AEF 兼容电源插口,可兼容其他电动农具。



图 2 芬特 e100 电动拖拉机

Fig. 2 Fenter e100 electric tractor

## 1.2 电动割草机

国外电动割草机的开发研制相对国内来说已经比较成熟,在电动割草机研制上更趋于商业化和市场化,很多优质的产品已经面向市场,对许多传统农业机械造成不小的冲击。

美国 Eco-Equipment Supply (EES)推出的 WBX-33 Walk-Behind 电动割草机自面市以来,受到了广大消费者的喜爱(图 3)。该款电动除草机采用 48 V 电压系统,最高割草速度能够达到 8 km/h,采用 25 A (110 V)或 35 A (220 V)充电,充电时间为 4 h,并能够快速割草作业长达 7 h 只需充电一次。在控制上面也非常方便,能做到“一键”启动,只需操作人员在控制面板上设定好合适的行走速度,就能够轻松展开作业。在电池电量耗尽之前,自动关闭割草机刀片,允许大量

电力返回充电区域。同时配备了智能充电器,充电过程快捷方便。



图 3 WBX-33 Walk-Behind 电动割草机

Fig. 3 Wbx-33 Walk-Behind electric mower

## 1.3 家用电动微耕机

国外微小型电动农机的发展满足了许多果园作业、家庭日常庭院整理的需求,在很多家庭,电动农机就像家用电器一样成为了他们日常生活必不可少的工具,而电动微耕机就是其中典型的代表<sup>[6]</sup>。

电动微耕机轻便省力,在市场上产生了不错的经济效益。图 4 所示的电动微耕机采用 20 V 锂电池供电,采用小型涡轮蜗杆动,空转时转速能够达到 390 rpm。电池一次充电 3 h,能够工作 60 min。该电动微耕机耕作深度能够达到 220 mm,耕作宽度为 350 mm,总质量只有 9.5 kg,同时噪声值为 85 db,让使用者能够方便快捷地完成日常花园、菜地、果园、大棚的耕作作业。



图 4 家用电动微耕机

Fig. 4 Household electric micro-cultivator

小功率的电动农机具极大的满足了很多中小型农户的需求,凭借其结构简单,操作便捷、节能环保等优点,在农机市场上得到越来越多的关注,这特极大地促进了国外小型电动农机的研究和发展。

## 2 国内电动农机发展状况

我国电动农业机械起步较晚,目前也主要是集中在微小型电动农业设备上。1972 年,我国从英国引进了手持式电动喷雾机械,并开始进行技术消化和吸收,逐渐开始了电动农业机械的研发。20 世纪 80 年代,

我国从日本和美国等国家批量进口电动割草机,2002 年日本本田技研工业株式会社采用充电电池组动力驱动的割草机在我国申请了发明专利<sup>[7]</sup>。2004 年,安徽农业大学研发了一款微型电动采茶机,采用蓄电池为动力源,采摘作业效率是人工的三倍以上。以此为基础,便携式采茶机技术也逐渐成熟,产品已大量走进农村农户。2009 年中棉种业科技股份有限公司研制了一款电动棉花采粉器<sup>[8]</sup>,解决了过滤装置因花粉阻塞滤网增加能量消耗等问题,并申请了实用性专利。2010 年,华南农业大学研制了一款步进式两行电动插秧机,采用锂电池供电,可连续工作 4 h<sup>[9-10]</sup>。2014 年河北农业大学崔保健等<sup>[11]</sup>设计了一种温室大棚用电动旋平机,以蓄电池为动力,单片机为核心组建激光测控系统,实现了温室小面积土地无污染旋耕与平整。2015 年兰州城市学院杨天兴等<sup>[12]</sup>研发了一种手持式电动绿篱修剪机,结构简单、省工高效,大大降低了修剪人员的劳动强度。2018 年中国农业大学张波等<sup>[13]</sup>在此基础上,设计了一种电动遥控式绿篱修剪机,推动了其智能化进展。

### 2.1 电动微耕机

微耕机是指功率不大于 7.5 kW,可以直接用驱动轮轴驱动旋转工作部件(如旋耕),主要用于水田旱田耕整、田园管理、设施农业等耕耘作业为主的机动微型耕耘机。从结构上看,微耕机是由手扶拖拉机演变而来的,具有更宽的作业范围,安装配套的机具可以进行旋耕、犁耕、播种、抽水、喷药、覆膜、碎草、开沟、覆土等多种作业,由于其体积紧凑,重量不大,广泛适用于山地、丘陵等地形和温室大棚、果园等小面积耕地机械作业。近年来,随着温室大棚技术的进一步推广,特别是在北方寒冷地区,棚室技术的应用会越来越普及。温室大棚的耕作环境比较特殊,空间有限且比较封闭,对耕作机械的要求一般是体积小、噪音低和没有废气污染等,电动微耕机能够满足这一要求,因此电动微耕机的研发也成为设施农业机械化发展的热点<sup>[14]</sup>。

2012 年南京农业大学高辉松等<sup>[15]</sup>率先设计研发了一种温室大棚用电动机微耕机系统(图 5),推进了电动微耕机研究的进展。该电动微耕机整体结构主要由机架、电动机、减速箱、操作扶手、调速旋钮、控制器、动力输出轴、阻尼杆、行走箱及旋耕刀等组成。该电动微耕机采用三相异步电机,需外接电源,因此还设计了温室大棚供取电系统,保证其在作业时能够在棚室内移动作业。通过该电动微耕机经实际作业试验,在安全检查、机身总长、结构质量、比质量及最大耕深 5 个方面符合我国微耕机相关技术要求。与同功率汽油微耕机相比,在经济型上具有很大优势,在作业过程

中,电动微耕机操作时振感轻,环境噪声低,排放为零,能够极大地改善了操作人员的工作环境。



图 5 电动微耕机大棚试验系统

Fig. 5 Greenhouse test system for electric micro-cultivator

1. 供电轨 2. 取电蹄 3. 电缆线 4. 变频器 5. 电动微耕机

### 2.2 电动割草机

随着果园设施农机装备的电动化发展,从早期的外接有线式电源作为动力到逐步到以发电机、电池这种内置式动力传递为主,极大地促进了人们在电动力结构和控制方面的创新。

在国内电动割草机只有 15 年左右的发展历史,目前国内大部分企业的现有产品与其引进的第一代产品相比,很少有功能和性能上的突破,现有的割草机跟国外相比还存在着许多问题。近年来,果树栽培趋于矮化密植方向发展。为适应新的果园种植情况,果园除草机械是必不可少的。传统的割草机一般都是采用机械传动,其主要的缺点是机械传动部件比较复杂,并且容易磨损和出现故障,有时候机械传动的特性对个割草机结构的灵活性造成限制。电动式割草机主要是因为电池电量不足限制了割草机的发展。2015 年山西农业大学荆龙龙<sup>[16]</sup>设计研发了一款电传动式小型果园割草机,实物装配如图 6 所示。该果园割草机由微耕机上的伸出端带动皮带轮,带动永磁恒压直流发电机以小于 14 V 的输出电压正常发电,通过电路把电力输送到两个直流割草电机上,以此来让割草电机进行正常的割草作业。该割草机采用的电传动方式进行动力传递,简化了割草机的传动结构,其平均净割草时间效率  $\eta = 75.25\%$ ,割草机作业中的平均燃料消耗率  $\eta_e = 1.44 \text{ mL/m}^2$ ,平均割幅利用系数为 93.5%。相比传统的斜挎和背负式割草机,能够替代农民长时间进行割草作业,在经济型和实用性上相比传统机械式割草机具有较大优势。2018 年济南大学和广东海洋大学针对传统割草机的缺点,合作研制了一款升降式电动全驱割草机<sup>[17]</sup>。该割草机采用可升降杆组,可以控制割草量和留茬高度,能够满足绝大多数工况需要,其主要由车辆照明系统、行走控制系统、收草系统、电机驱动器、动力分配及电动操作接口组成。其切割装



置如图 7 所示,该装置能够实现挂接、升降、传动、切割等功能,采用交错刀盘设计,双刀盘相切放置,提高切割效率同时保证不重割和漏割。另外在刀片上添加旋翼,利用刀片产生的气流可实现割草、收草的自动化和一体化。

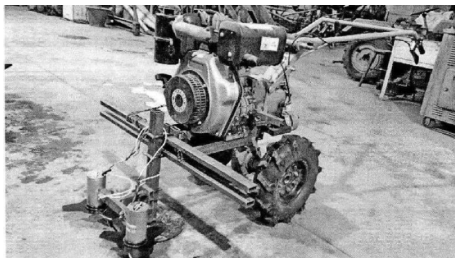


图 6 电传动小型果园电动割草机实物装配图

Fig. 6 Assembly drawing of small electric orchard mower



图 7 升降式电动全驱割草机割草装置

Fig. 7 Lift electric all-wheel mower mowing device

### 2.3 温室用小型电动拖拉机

拖拉机作为主要的农用动力装备,能够在小地块、丘陵山区、温室大棚等作业环境中使用,但它的排放是一大问题。传统拖拉机的变速结构复杂,传动效率较低、油耗和排放较高,这也是如今研发电动拖拉机逐渐成为热点的重要原因之一。我国科研人员主要集中在对电动拖拉机的整机结构设计及其性能分析、电池及能量管理、电机驱动及其控制和系统仿真技术等方面。就目前研究进展来看,对于电动拖拉机绝大部分属于电动拖拉机结构设计、传动方案和动力性研究,少部分电子技术研究,研究成果较少,集中在工程应用程度<sup>[18]</sup>。2011 年西北农林科技大学薛少平团队研制了一台微型双动力拖拉机样机,如图 8 所示。该样机在大棚内工作时电能通过电缆线获取,但长且重的电缆线无法进行有效传递,容易与拖拉机发生缠绕,因此该机没有取得推广使用<sup>[19]</sup>。2012 年杨福增教授团队研制了一款温室遥控电动拖拉机,如图 9 所示,该机以铅酸电池为动力源,直流串励电动机为动力机,具有良好的操作性,但整机续航能力较短。同年该团队又提出了双电源电动拖拉机的设计理念,采用两种不同的能量源和可调开关电源及其他组件<sup>[20]</sup>。2015 年,南京农业机械化研究所和江苏大学管春松合作研制的一种温室用小型电动拖拉机推进了针对设施栽培用电动拖

拉机研究的进展<sup>[21]</sup>。温室内用小型电动拖拉机整机主要包括动力集成装置、传动系统、转向制动装置、升降装置、履带行走机构。该电动拖拉机分为电气控制部分和机械传动部分,采用锂电池组为能源,由能量管理器、牵引电机控制器和提升电机控制器来调整整个作业过程中能量的控制与分配,再分别由相应的牵引电机、提升电机结合机械传动部分来达到作业所需要的转矩、转速和转向等要求。电动拖拉机的加减速通过传感器将信号传递给相应的控制器来重新分配能量,从而实现加速和减速动作。当农机进行耕地作业时,牵引电机提供自身行走动力以及机具工作动力,提升电机用来调整三点悬挂机构的工作高度,完成不同耕深要求作业。

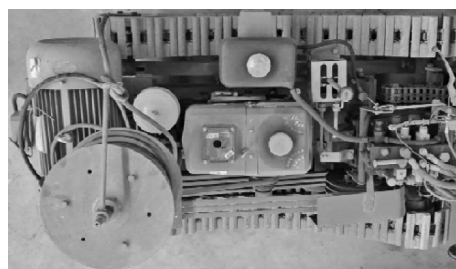


图 8 微型双动力拖拉机样机(2011)

Fig. 8 Prototype of a miniature twin-power tractor (2011)

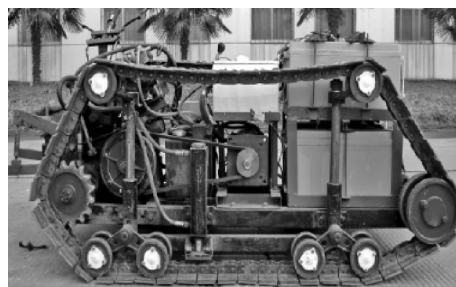


图 9 遥控电动拖拉机样机(2012)

Fig. 9 Prototype of a remote control electric tractor (2012)

2017 年安徽科技学院方树平等<sup>[22]</sup>提出一种纯电动拖拉机动力系统设计,并进行了性能分析,为开发一种传递路线简单、柔性化好、无需换挡的纯电动拖拉机提供了理论依据。2019 年中国农业大学谢斌团队<sup>[23]</sup>针对目前纯电动拖拉机多采用单电机驱动,难以满足农田作业的多工况、经济要求等问题,对电动拖拉机双电机耦合驱动系统传动特性展开了研究,在电动拖拉机驱动系统综合控制策略设计方面进行了突破。近年来,增程式电动拖拉机,即附加一个柴油机和发电机组成的增程器,由于其具有环保、传输功率损失小等优点,也逐渐成为研究的热门。2018 年,中国农业大学工学院宋正河等<sup>[24]</sup>进行了增程式电动拖拉机控制策略与启动方法的研究,通过对增程器启动性能进行了实验研究与分析,确定了启动控制方法及最佳拖动

角度,提高了启动的平顺性和成功率,降低了启动能耗,为目前纯电动拖拉机所面临的一些问题提供了一条新的发展思路。河南科技大学徐立友等<sup>[25]</sup>针对纯电动拖拉机续航能力问题,设计了燃料电池/蓄电池混合动力电动拖拉机动力系统结构,制定了一种基于模糊控制的能量管理策略,推进了电动拖拉机在特定工况作业控制技术的发展。

### 3 电动农机存在的问题及发展趋势

电动农机结构简单紧凑,低能耗,符合我国节能减排的环保趋势,在国家政策和财政的扶持下,农业机械电动化必将是未来的发展主流。但目前来看,仍有许多问题亟待解决。

1) 农机作为生产工具,耗电量快,多备电池成本增加,频繁更换电池也会导致作业效率降低。例如,现阶段几乎所有植保无人机均存在载重较小的缺点,普通植保无人机的载重大约为 5~25 kg,而一组电池只能维持植保无人机飞行 8~20 min。加之在植保作业中植保无人机需要频繁起降、补充药剂,在一小时之内基本要完成两个起落架次。但电池通常需要 1 h 以上的时间才能充满,如果按照 6 h 的工作时间来计算,使用植保无人机完成一次喷洒作业需要 20 块电池,能量电池成为制约电动农机发展的重要因素。开展对电池控制策略的研究,研制微型高能电池将成为农机电动化研究的重点。

2) 电动农机需要满足复杂的田间作业要求,需要加强对田间应用及作业规律方面的研究,解决动力性能较差,作业性能偏弱的问题。现阶段电动农机性能研究还主要以仿真实验为主,在设定条件下对车速、电池 SOC 变化情况、驱动电机转速与扭矩输出、驱动电机功率与效率输出进行研究,但实际作业工况复杂且仿真模拟数据有限,还需进一步优化参数匹配<sup>[26]</sup>。因此,要对非道路行驶以及机组田间作业载荷变化规律进一步研究,为电动农机研究提供基本参数依据。

3) 电动农机还需进行动力总成系统匹配技术的研究。目前纯电农机动力总成匹配主要参考纯电汽车动力匹配技术的相关经验,但汽车行驶路线相对稳定,行驶工况也相对固定,农业机械由于其作业工况的复杂性,进行电动农机的动力匹配研究是非常有必要的。除考虑如何提高电动农机传动效率,系统可靠性等方面外,保证电动农机对操作员的安全性及舒适性也将是以后研究的重点。参考电动汽车整车控制系统,建立电动农机的整车控制系统也将成为日后研究的热点。

4) 电池污染比柴油机排放对环境的影响更大,应

加强对农民的环保意识教育,建立完善的农机电池回收体系。根据动力电池质保期限、电池寿命、车辆使用情况等方面统计和估计,预计在 2020 年对动力电池的需求将达 1.208 亿 kW·h,动力电池的报废将进入高峰期<sup>[27]</sup>。现阶段,我国还没有完善动力电池回收利用体系,消费者对于电池回收意识还不强,电池回收产业还未形成规模效应,这些都是潜在的问题,需要后期解决。

5) 目前电动农机的相关性能指标还没有较为科学的评定指标,相关的行业评价标准还需进一步完善。以电动拖拉机为例,它的主要用途是牵引不同农机具进行作业,相比较电动汽车对最高车速和加速性能的要求,电动拖拉机性能主要集中在不同工况下牵引性能和转向特性上,这与电动汽车动力评价指标有所区别,但国内研究相对较少,因此对于电动农机评定标准的建立还需逐渐完善。

从目前国内电动农机发展来看,在小型农机领域,电动农机对传统农机具有很强的替代性,更多地集中在适用于一些如温室大棚、果园、丘陵山区等作业环境的微小型农机设备上,未来将对传统小型农机市场产生强大的冲击;在中小型农机领域,由于电池能量控制、电机对复杂作业环境适应性以及经济成本、安全性等方面问题尚未得到解决,电动农机发展受到极大限制,仍然处于初步研究阶段。但经过近几年发展,在政策支持、环保要求下,中小型逐步电动化、智能化已然成为现如今发展的趋势,如为解决电动拖拉机电能消耗等问题而衍生出的增程式电动拖拉机研究也为该领域电动化发展提供了新的方向;在大型农机领域传统农机依然处于不可动摇的地位,电动农机设备很难真正深入该领域中,仍需要等待相关瓶颈技术的突破。

### 4 结语

电动农机是未来农业机械来发展的主流方向,有着广阔的发展空间。当前我国的电动农业机械的研究处于一个快速发展的阶段,在短期内也不可能广泛替代传统农机。但随着相关基础研究的深入,逐渐将我国的电动农机往小型化、自动化、智能化方向上发展,努力研发出更符合当下国情和农民需求的优良设备。

#### 参 考 文 献

- [1] Keska W. Electric drive in agricultural machines-prospects of the application [J]. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, 2012, 57(1): 66.
- [2] 许东生, 黄晓鹏. 电动农业机械研究现状及发展趋势[J]. 河南农业, 2017(29): 40.
- [3] Buning E A. Electric drives in agricultural machinery-ap-

- proach from the tractor side [J]. Journal of Agricultural Engineering, 2010, 47(3): 30–35.
- [4] 段运红. 近距离感受约翰迪尔纯电动拖拉机[J]. 农业机械, 2017(4): 52.
- [5] 段运红. 盘点新能源拖拉机, 哪款代表未来发展趋势[J]. 农业机械, 2018(1): 28–30.
- [6] Yamane S. Electric driven machines to resolve light load farm work [J]. Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery, 2010, 72(6): 517–530.
- [7] 饭田哲生, 小林隆夫, 泷泽敏明, 等. 电动割草机[P]. 中国专利: CN02122863.9, 2003–03–12.
- [8] 中棉种业科技股份有限公司. 棉花电动采粉机[P]. 中国专利: CN200920032307.4, 2010–01–13.
- [9] 杨志平. 电力农业机械发展现状和趋势分析[J]. 农业机械, 2013(31): 103–104.
- [10] 张松泓, 徐碧赢. 电动农业机械研究现状及发展趋势[J]. 河北农机, 2017(2): 54–56.
- [11] 崔保健, 袁永伟, 李娜, 等. 温室电动旋平机设计[J]. 中国农机化学报, 2014, 35(3): 82–85.  
Cui Baojian, Yuan Yongwei, Li Na, et al. Greenhouse electric rotary leveling machine design [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2014, 35(3): 82–85.
- [12] 杨天兴, 赵春花, 安虎平, 等. 手持式电动绿篱修剪机的研究与设计[J]. 中国农机化学报, 2015, 36(3): 67–69, 73.  
Yang Tianxing, Zhao Chunhua, An Huping, et al. Research and design of handheld electric hedgerow trimmer [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2015, 36(3): 67–69, 73.
- [13] 张波, 张学敏, 邵书山, 等. 电动遥控绿篱修剪机的设计[J]. 中国农机化学报, 2018, 39(3): 19–25.  
Zhang Bo, Zhang Xuemin, Shao Shushan, et al. Design of electric remote control hedge trimmer [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2018, 39(3): 19–25.
- [14] 孙庆振. 电力农业机械发展现状与趋势[J]. 农业开发与装备, 2017(2): 122.
- [15] 高辉松, 朱思洪, 史俊龙, 等. 温室大棚用电动微耕机研制[J]. 机械设计, 2012, 29(11): 83–87.  
Gao Huisong, Zhu Sihong, Shi Junlong, et al. Development of electric micro-farming machines for greenhouses [J]. Journal of Machine Design, 2012, 29(11): 83–87.
- [16] 荆龙龙. 果园小型割草机的设计及性能测试研究[D]. 晋中: 山西农业大学, 2015.  
Jing Longlong. The design and research of the performance testing about orchard small-sized mower [D]. Jinzhong: Shanxi Agricultural University, 2015.
- [17] 徐红, 周天文, 谭光宇, 等. 升降式电动全驱割草机的结构设计及主轴有限元分析[J]. 机械制造, 2018, 56(6): 10–13.
- [18] 沈文龙, 周俊, 姬长英, 等. 中国电动拖拉机研究进展[J]. 中国农机化学报, 2017, 38(10): 102–107.  
Shen Wenlong, Zhou Jun, Ji Changying, et al. Research review about electric tractor in China [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2017, 38(10): 102–107.
- [19] 赵国栋, 管春松, 高庆生, 等. 电动拖拉机发展现状与趋势[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(22): 24–28.
- [20] 王元杰, 刘永成, 杨福增, 等. 温室微型遥控电动拖拉机的研制与试验[J]. 农业工程学报, 2012, 28(22): 23–29.  
Wang Yuanjie, Liu Yongcheng, Yang Fuzeng, et al. Development and test of tiny remotely controlled electric tractor for greenhouses [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(22): 23–29.
- [21] 管春松, 胡桢, 陈永生, 等. 温室用小型电动拖拉机研究[J]. 中国农机化学报, 2015, 36(2): 67–69, 76.  
Guan Chunsong, Hu Hui, Chen Yongsheng, et al. Study on small electric tractors for greenhouse [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2015, 36(2): 67–69, 76.
- [22] 方树平, 王宁宁, 易克传, 等. 纯电动拖拉机动力系统设计及性能分析[J]. 中国农机化学报, 2017, 38(1): 80–84.  
Fang Shuping, Wang Ningning, Yi Kechuan, et al. Design and performance analysis of power system for pure electric tractor [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2017, 38(1): 80–84.
- [23] 李同辉, 谢斌, 宋正河, 等. 电动拖拉机双电机耦合驱动系统传动特性研究[J]. 农业机械学报, 2019, 50(6): 379–388.  
Li Tonghui, Xie Bin, Song Zhenghe, et al. Transmission characteristics of dual-motor coupling system for electric tractors [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(6): 379–388.
- [24] 王丽绵, 王书茂, 宋正河. 增程式电动拖拉机控制策略与启动方法研究[J]. 农业机械学报, 2018, 49(S1): 486–491.  
Wang Lijin, Wang Shumao, Song Zhenghe. Control strategy and startup method of extended range electric tractors [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(S1): 486–491.
- [25] 徐立友, 刘恩泽, 刘孟楠, 等. 燃料电池/蓄电池混合动力电动拖拉机能量管理策略[J]. 河南科技大学学报(自然科学版), 2019, 40(2): 80–86, 9.  
Xu Liyou, Liu Enze, Liu Mengnan, et al. Energy management strategy of fuel cell and storage battery hybrid electric tractor [J]. Journal of Henan University of Science & Technology, 2019, 40(2): 80–86, 9.
- [26] 方树平, 王宁宁, 易克传, 等. 基于 CRUISE 的纯电动拖拉机作业性能研究[J]. 山东理工大学学报(自然科学版), 2019, 33(1): 20–25.  
Fang Shuping, Wang Ningning, Yi Kechuan, et al. Research on operation performance of pure electric tractor



based on CRUISE [J]. Journal of Shandong University of Technology, 2019, 33(1): 20–25.

- [27] 赵新楠, 张艳会. 动力电池生产者责任延伸制度的研究[J]. 中国资源综合利用, 2018, 36(7): 114–121.

Zhao Xinnan, Zhang Yanhui. Some analyses of the implementation of the extended system of responsibility extension for power battery producers [J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2018, 36(7): 114–121.

## Research status and trend of electric agricultural machinery

Wang Jie, Zhang Xuemin, Zhang Bo, Hou Xiuning, Song Changbo, Zhao Jiyun

(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing, 100083, China)

**Abstract:** With the promulgation and implementation of China IV and China VI emission standards, the development of lower emission, more efficient and energy-saving products has become a hot spot in the industry. This paper focuses on the research progress of the development of electrified agricultural machinery at home and abroad, and analyzes the development trend of typical electric agricultural machinery. On the basis of summarizing and analyzing the characteristics and development trends of China's agricultural machinery, it refers to the development difficulties of China's electric agricultural machinery technology at this stage, and points out that miniaturization, automation and intellectualization are the research emphases of electric agricultural machinery, providing reference for the development of electric agricultural machinery in China.

**Keywords:** electric agricultural machinery; research status; development trend

(上接第 29 页)

- [25] 方会敏, 姬长英, Chandio F A, 等. 基于离散元法的旋耕过程土壤运动行为分析[J]. 农业机械学报, 2016, 47(3): 22–28.

Fang Huimin, Ji Changying, Chandio F A, et al. Analysis of soil dynamic behavior during rotary tillage based on distinct element method [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(3): 22–28.

- [26] 张加清, 陈长卿, 徐锦大, 等. 仿生开沟机刀盘的设

计[J]. 中国农机化学报, 2013, 34(6): 138–142.

Zhang Jiaqing, Chen Changqing, Xu Jinda, et al. Design of the bionic ditching cutter [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2013, 34(6): 138–142.

- [27] 孙聪, 曹亮, 史志明, 等. 基于离散元法的施肥机排肥性能分析[J]. 中国农机化学报, 2019, 40(3): 44–50, 127.

Sun Cong, Cao Liang, Shi Zhiming, et al. Analysis on fertilizer performance of fertilizer machine based on discrete element method [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2019, 40(3): 44–50, 127.

## Performance analysis and parameter optimization of diversion device of ditcher based on EDEM

He Bintao<sup>1, 2</sup>, Qi Jiangtao<sup>1, 2</sup>, Meng Hewei<sup>1, 2</sup>, Lin Yuanxi<sup>1, 2</sup>, Zhou Xinzhaoh<sup>1, 2</sup>, Zhao Wenwen<sup>1, 2</sup>

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Shihezi University, Shihezi, 832000, China;

2. Key Laboratory of Northwest Agricultural Equipment, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shihezi, 832000, China)

**Abstract:** Aiming at the serious problem of soil reflux in most ditching machines, a diversion device is designed. By explaining the structure of the device and analyzing the kinematics of soil dispersed in the diversion device, the diversion device model was established by SolidWorks, and the movement model of soil particles was established in EDEM. Taking the rotational speed of the cutter head, the distance between the surface and the trench cutter and the inclination angle of the surface as test factors, the grid Bin Group is set at 0.3m from the center of Z direction by EDEM post-processing Selection module, and the trench is set as a grid. The EDEM discrete element simulation analysis is carried out with the angular velocity of the soil thrown as test index. The results showed that the effect on the angular velocity of the soil was in turn the speed of the cutter head > the inclination angle of the surface > the distance between the surface and the grooving cutter; when the speed of the cutter head was 130 r/min, the distance between the surface and the grooving cutter was 42.39 degrees (42 degrees), and the distance between the surface and the grooving cutter was 40 mm, the angular velocity of 231.558 rad/s was the best.

**Keywords:** agricultural machinery; ditching machine; diversion device; discrete element simulation; angular velocity