DOI: 10.12398/j.issn.2096-7217.2024.01.004

标准化果园多功能作业平台关键技术研究现状与趋势

刘羊[1,2], 刘宇洋[1], 陈江春[1], 李景彬[1*], 林小卫[2], 蔺广兆[1]

(1. 石河子大学机械电气工程学院,新疆石河子,832003;
2. 浙江广力工程机械有限公司,浙江龙泉,323700)

摘要:我国是水果生产和消费大国,产量和面积常年居世界首位。然而我国果园长期面临复杂环境,传统人工作业存在成本高、劳动力紧缺、效率低等问题,随着标准化、规模化果园的建立,传统模式已不适应现代果园的发展。多功能作业技术平台集成采摘、开沟、施肥、喷雾、运输等功能,有效提升果园作业效率,节约成本,成为现代林果业高效发展的关键工具。主要概述了多功能作业平台结构组成及工作原理,包括对升降结构与底盘系统两大关键部分,并对国内外标准化果园作业平台的发展动态进行概述,从简单移动平台到可扩展平台,后续加入导航与自动调平系统等一系列改进,通过对比不同类型果园作业平台的特点和优势,明晰国内多功能作业平台发展不足,并总结归纳分析出国内外多功能作业平台主要研究重心聚焦在自动调平技术、通用底盘技术、导航避障技术、升降技术、底盘通过性技术、动力系统协调管理技术、系统品质提升技术等方面,并且探讨了我国多功能作业平台发展所面临的瓶颈,如信息化、智能化不足,政策支持相对滞后等。最后,针对我国作业平台与国外作业平台发展差距提出建议,如推进果园种植规范化、标准化,向信息化、智能化发展等,以期为我国果园高品质机械化作业提供发展思路。

关键词:果园作业平台;自动调平;通用底盘;导航避障;底盘通过性;动力系统协调管理

中图分类号:S432 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-7217(2024)01-0031-09

刘羊, 刘宇洋, 陈江春, 李景彬, 林小卫, 蔺广兆. 标准化果园多功能作业平台关键技术研究现状与趋势[J]. 智能化农业装备学报(中英文), 2024, 5(1): 31-39

LIU Yang, LIU Yuyang, CHEN Jiangchun, LI Jingbin, LIN Xiaowei, LIN Guangzhao. Research status and trend of key technologies of standardized orchard multi-functional operation platform [J]. Journal of Intelligent Agricultural Mechanization, 2024, 5(1): 31-39

0 引言

我国是世界水果生产大国,水果产量常年居世界首位,据统计2022年我国产量18 156 kt,同比增产1.5%。其中,园林水果产量12 126.4 kt,同比增产1.5%。但目前我国果树种植区域多为丘陵地带且较为分散,存在果园地形复杂,规范化种植率低等问题。果园作业环节包括剪枝、套袋、喷药、采摘等环节,国内果园作业仍以人工搭梯作业为主[1],人工成本投入占生产总成本超50%,同时人工劳动强度大、效率低、劳动水平差异大等问题严重制约了林果业的健康发展。

近年来,随着农业机械化水平的提高和农业现代化的需求,果园种植逐步规范化,尤其标准化果园的建设,果树种植及管理更加标准化,果园作业平台作为一种集成农业机械和信息技术的工具,逐渐成为农业生产的关键技术之一[2]。果园作业平台可以提高果园管理的精细化水平、减少人力成本、提高作业效率和产品质量,对推动果园精细化、高质量管理具有重要意义。

本文针对果园作业平台的国内外发展现状进行研究,对比总结国内外典型产品,分析国内外发展差距,指明国内外作业平台研究重点,并提出果园平台发展的建议,以期对果园作业平台未来发展指明方向。

1 果园作业平台结构及工作原理

多功能作业平台以石河子大学机械电气工程学院

收稿日期:2023-12-01 修回日期:2024-01-30
基金项目:兵团农业关键核心技术攻关项目(CZ00270601)
第一作者:刘羊,男,1988年生,湖北黄石人,博士后;研究方向为农业装备及智能输送装备。E-mail: lyhake@163.com
*通信作者:李景彬,男,1980年生,河南周口人,博士,教授,博导;研究方向为农业装备设计与数字图像处理。E-mail: ljb8095@163.com

研制的产品为例,如图1所示。其主要由工作平台、升降机构、动力底盘、电液控制等系统组成。升降机构如图2所示,主要由剪叉式机构、升降液压缸、伸缩滑轨等部分组成,平台通过连接部件与剪叉式升降机构连接。底盘结构如图3所示,其前部与后部有挂接机构,可以根据作业需求挂接不同作业机械,作业平台主要技术参数如表1所示。果园多功能电动作业平台动力部分采用电池电力驱动,当电池电压低时,可利用前部汽油增程器发电。工作时:操作员通过输入作业指令和参数传输给动作控制器,动作控制器根据接收到的指令和参数进行计算和决策,控制作业设备的运行。动作控制器将控制信号传输给驱动控制单元,驱动控制单元根据控制信号,动力系统输出动力,控制底盘的运动。其中升降机构由升降液压油缸提供动力,液压活塞伸长,剪叉式升降结构向上运动,下部后方两连接处绕铰点顺时针转动,经限位槽向前滑动移动,确保升降机构完成伸缩动作,剪叉式升降机构前部连接处保持不变,此外,通过挂接不同作业部件,如开沟器、施肥机、喷雾机等,实现多功能作业。



图1 果园作业平台结构图

Figure 1 Structure diagram of orchard operation platform

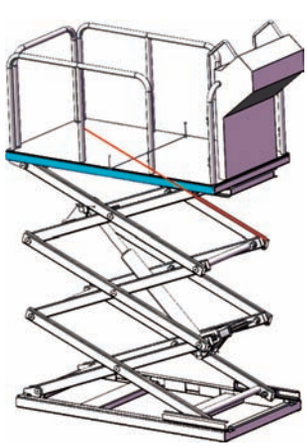


图2 果园作业平台升降结构图

Figure 2 Diagram of the lifting structure of the orchard operation platform

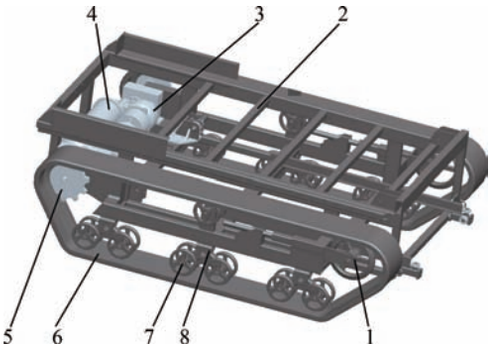


图3 果园作业平台底盘结构图

Figure 3 Chassis structure diagram of orchard operation platform

1. 张紧轮 2. 车架 3. 减速器 4. 驱动电机 5. 驱动轮 6. 履带 7. 承重轮 8. 承重支架

表1 果园多功能作业平台主要参数

Table 1 Main parameters of orchard multi-function operation platform

参数	数值
平台离地最大距离/mm	2 500
最大举升高度/mm	1 500
最大举升重量/kg	300
举升时间/s	8~10
平台面积/(mm×mm)	1 200×1 200

2 国内外果园作业平台发展现状

2.1 国外果园作业平台发展现状

欧美等发达国家农业机械化进程较早,20世纪初期均已起步,因此西方农业种植标准化高,农业机械设备相较更为成熟,国外多功能作业平台功能更加齐全、行走速度高、智能化程度高、可靠性更强。图4展示了一种结构为阶梯型的在自走式收获平台系统巧妙的装卸结构可以在作业过程中交换料箱,不影响收获等环节作业。系统具有易于上下楼梯的设计、可调节的平台以及速度控制和轻松的山坡操控,非常人性化。



图4 阶梯型自走式收获平台系统

Figure 4 Stepped self-propelled harvesting platform system

图5展示了一种Brownie Quad收获平台,配置脚踏板转向和方向盘的收获平台,采用44 kW涡轮增压

柴油泵和三重液压泵作为动力系统，四轮液压驱动，通过性强，可在斜坡、雪地、泥泞地等复杂环境工作。两侧液压升降平台可单独控制，最大提升高度 1 800 mm，平台可向两侧展开，工作人员可在平台上使用遥控器控制车辆，可最大左右调节角度 10°，前部可加装额外平台，后部加装各类作业工具，通过挂接另一台作业平台，同时作业。



图 5　Brownie Quad 收获平台

Figure 5　Brownie Quad platform of harvest

日本丸山公司研发出 MFH－P260 升降平台（图 6），折叠式平台、伸缩式防倾支架、多段式伸缩结构等，使其适宜在山地丘陵地带行走。托举最大重量 120 kg，最大抬升高度可达 2 600 mm。



图 6　MFH－P260 升降平台

Figure 6　MFH－P260 lifting platform

Piattaforma 果园作业升降平台如图 7 所示，两级式升降，可实现横坡和纵坡调平，发动机功率有多重选项，可以选择最新一代的 3 缸柴油发动机，LDW1003 19.5 kW/26.1 V 或者功率大的 26 kW/34.8 V 的 4 缸 LDW1404 柴油发动机。



图 7　Piattaforma 升降平台

Figure 7　Piattaforma lifting platform

ZIP30 果园作业平台如图 8 所示。行走动力由四个液压马达提供，最高行驶速度 15 km/h，可全轮转向；工作台升降高度范围 1 050～2 500 mm，承载能力可达 500 kg，工作台四角的液压缸，用以连接剪叉升降装置，并起到调平作用，此款机型适合山区或丘陵果园使用。



图 8　ZIP30 果园作业平台

Figure 8　ZIP30 orchard operation platform

2.2　国内果园作业平台发展现状

国内果园作业平台研发起步相较于国外较晚，我国于 20 世纪 50 年代开始农业机械化进程，由于基础工业的落后，机械化进程进展缓慢。

果园作业环节中，各种作业设备多以人背肩扛的原始方式进行，缺乏农业机械底盘，尤其是果园机械底盘，该方向研究一直处于空白。另一方面，国内林果种植未被重视，种植方式多为散户家庭种植，未能形成产业化，标准化果园普及率低[3]。种植区域分布在南方丘陵地带，复杂的林间地势环境等诸多因素均限制了我国果园机械化的进程[4]。20 世纪 70 年代后，国家不断引入国外较为先进的果园作业机械装备进行研究应用，果园机械研究步入正轨。20 世纪 90 年代后，国内经济发展迅速，基于林果产业化发展的需要，应用于果园的各类植保作业装备陆续上市。

2007 年，新疆机械研究所研制成功我国首台多功能果园升降作业平台，如图 9 所示。该机器为适应林间复杂地形，为降低重心保持稳定，采用履带式驱动底盘，配合长 1 200 mm、宽 1 000 mm 小机身，保证了机器林间通过性。为方便实现果园作业，平台配备发电机和空压机，为加装植保设备提供动力。但该装备发电机噪音大，空压机提供气动压力存在气流不稳定的问题。

3GP－155 自走式果园作业平台如图 10 所示。该机长 4 100 mm、宽 1 690 mm，采用电喷式柴油发动机，全液压驱动，关键元件均为进口，可靠性好。最大作业速度 4 km/h，最大负载 800 kg，在普通作业平台的基础上增加了前后叉臂，无须人工上下搬运果箱等物品，提高了工作效率，降低了劳动强度。平台配置倾角传感器，具有预防倾倒报警功能。

自走式果园作业平台如图 11 所示，四驱四轮转

向,最多12人同时作业,集成了行进、采摘、输送、收集等系统,输送码放系统实现果实自动装箱,同时具有3种梯次作业平台,可实现平台自动伸缩,大大提高了效率,最大输送效率可达2 400 kg/h。



图9 L－1型多功能果园作业机

Figure 9 L－1 multifunctional orchard operating machine

作业平台具有自走功能,通过两侧避障杆以及传感器检测车辆位置,自动调整路线。大大提高了果园作业平台信息化、智能化,为作业平台发展开辟了新的发展方向。D060履带式果园作业平台如图12所示,该平台基于传统吊车研制,具有吊车稳定、作业范围大、承重大等优点。该作业平台最大工作高度为7 800 mm,最大速度为3.8 km/h。相较于其他品牌果园作业平台,该型号底部为转盘,配合大臂和液压杆,实现果园多方位作业效果,大大节约了因作业时应对不同位置果树,需反复调节车辆位置所花费时间。但同时,该机型也因大臂的存在,6 220 mm的车长使其在果园中移动受限。图13展示了3GYP－500果园作业平台,车身尺寸小型化,采用双电机驱动,液压升举。该小型作业平台可在果园中里灵活作业,具有噪音小、节能、动力供应方便、可遥控/手控的优点。但由于举升结构限制,举升高度及举升重量有限,且该平台仅能用于采摘,功能单一。江苏大学智能农机装备理论与技术重点研究室最新研发了一种自动调平作业平台,如图14所示。不同于其他机器仅能单方向调节角度,该型号机器可以实时调整作业平台,使平台始终处于水平位置。



图10 3GP－155自走式果园作业平台

Figure 10 3GP－155 self-propelled orchard operation platform



图11 自走式果园作业平台

Figure 11 Self-propelled orchard operation platform



图12 D060履带式果园作业平台

Figure 12 D060 crawler orchard operation platform



图13 3GYP-500果园作业平台

Figure 13 3GYP-500 orard operation platform



图14 新型自动调平作业平台

Figure 14 New type of automatic leveling operation platform

3 国内外作业平台关键部件研究分析

果园作业平台研发初期专注于基本功能的实现,随着国内外产品研发的推进与实际应用过程中出现的问题,研究逐渐转向自动调平机构、通用底盘系统、导

航避障系统以及升降技术研究、底盘通过性研究、动力系统研究、系统品质研究等关键部件研究[5]。

3.1　导航避障技术研究

农业机械自动导航避障技术作为精准农业一项关键核心技术，涉及导航定位技术、传感器检测技术、自动控制技术、视觉感知技术等[6]。果园环境复杂多样，新疆等地作业面积大，所需作业时间长，自动导航技术的应用可以节省大量人力。

目前该项技术研究主要为两种策略，即机器视觉策略与卫星位置策略。前者通过机器视觉对果园等环境参照物进行基准方向测定，生成基准路线，由车身位置与基准线偏差值作为控制变量自动行走。后者基于导航卫星与作业平台收发装置确定平台位置，输入作业区域信息后自动计算生成路径，结合红外传感器、声波传感器与压力传感器等进行定位[6]。目前国内外果园自动导航机械设备均处于实验室阶段，果园环境过于复杂，不同于工厂等试验环境，影响传感器因素过多，果园标准化程度低，完全自主导航机械设备的应用短期内难以实现。自动导航技术目前主要有卫星导航技术、机器视觉导航、激光雷达导航以及多传感器导航[7-10]。

3.2　升降技术研究

果园作业平台的升降技术研究涵盖机械工程、自动控制、传感技术等多个领域。研究方向包括升降机构设计，以适应果树的高度和密度；自动控制系统的开发，实现升降平稳、准确的运动，同时考虑果树生长的动态变化和环境因素的影响；能源系统的研究，利用有效的电池技术确保升降平台在果园中的长时间使用；传感技术的应用，感知果树的位置、生长状态等信息以调整升降平台的运动。果园升降机构以剪叉式为主，剪叉式结构具有较高的稳定性与承重能力[11]。通过单一或多个液压油缸提供动力。升降技术研究主要通过力学分析、模型仿真对结构进行验证优化。极限状态下分析结构模型的可行性。当前阶段研究重点为如何改进剪叉式机构以提高机构承重能力、减少形变量、提升升降范围等。另一方面，可通过对结构的优化设计，减少对结构强度的要求，减少高强度材料的使用，降低成本，同时减少对液压系统依赖，提高驱动效率。

3.3　自动调平技术研究

自动调平技术是一项应用广泛的先进技术，主要研究包括传感器技术、高效控制算法、执行器设计、实时反馈系统和适应性调整等方面。通过实时监测设备的倾斜和姿态，该技术能够迅速、准确地调整设备的位置，以确保在不平坦或不稳定的地面上保持水平和稳定。果园作业平台作业时离地间隙大，作业人员作业过程中有一定安全隐患，为方便作业人员工作以及确保其安全性，国内外研究机构进行自动调平技术研究。如Brownie Quad平台可以自主横向调节10°左右，以保证作业人员安全性。中农博远公司产品加入防倾倒传感器，对车身姿态进行预警。

国内自动调平技术研究多采用PID控制器，如华南农业大学基于角速度－偏差作为控制变量进行闭环控制，基于传感器获得偏差信号，该方法响应速度快、无稳态误差[12]。韩国国立韩京大学机械工学部在底盘下部两侧加装侧向液压杆，通过侧向倾角传感器测得数据，经控制器处理，控制侧向液压杆伸缩，对平台进行自动调平[13]，如图15所示。

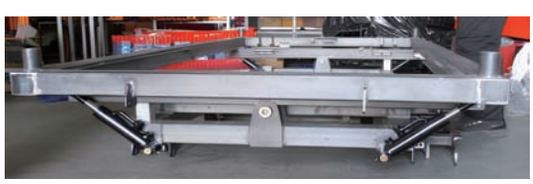


图15　倾斜调整装置

Fiugre 15　Structure of tilt adjustment device

江苏大学研制了一种全向调平作业机器，相较于以往调平机械，该型号作业平台可以基于“三层车架”实现全方向调平。该机器通过多层液压系统，通过姿态检测传感器检测，经控制器处理后，6液压油缸协同工作，对车身进行实时调平[14]。

3.4　底盘通过性研究

底盘通过性研究聚焦于提升各类交通工具在复杂地形或恶劣环境下的通过性能。主要关注传感器技术、悬挂系统设计、轮胎性能等方面。通过采用先进的传感器，如地形感知传感器和惯性导航系统，实时监测地面状况，为底盘系统提供准确的环境数据。同时，优化悬挂系统和轮胎设计，适应不同地形，提高车辆在复杂地貌中的通过性。这项研究的目标是使交通工具能够更稳定、安全地行驶，同时提高其在各种自然条件下的适应性，在斜坡位置，由于作业过程中底盘重心的升高，影响机构所受应力因素依次为横坡角、纵坡角和加载质量[15]。另一方面，不同地形对于抓地力影响较大，果园作业平台在国内外均有不同应用环境，基于此问题研究人员设计了轮式、履带式以及足式驱动[16]。综合研究结果，履带式应用环境相对较广，此外较小机型更易于林间作业[17]。

3.5　动力系统研究

动力系统研究致力于提升各类交通工具和机械设备的动力性能和效率。该领域涵盖发动机设计、燃料系统优化、电动驱动技术等多个方面。研究人员利用先进的计算方法和仿真技术，优化内燃机和电动机的

设计,以提高动力输出并降低能耗。同时,动力系统研究还关注新型能源的应用,推动电动化和混合动力技术的发展,以应对环境可持续性的挑战。这一领域的创新努力还包括研究先进的传动系统、能量回收技术以及智能控制策略,以全面提升交通工具和机械设备的性能和可持续性。

如今新能源技术发展迅速,新能源技术逐渐应用于农机领域,但农机领域由于其独特的应用环境,对电力需求以及电力分配有较高的要求,现有研究重点为动力系统的合理分配,以满足不同部件不同电压、电流的供给要求。虽然国内新能源产业发展迅速,居于世界前列,但农机方面应用较少,国外目前已有全电动拖拉机,可以实现无人驾驶以及自动调平功能,同时具备手势识别功能。纯电动四轮驱动,其平台可应用于农业相关各领域,满电状态可工作 10 h以上。

3.6 系统品质研究

果园作业平台的品质研究着眼于提升果园管理效率和农业作业的自动化水平[18]。在保证通过性的前提下,研究主要聚焦于提高人工作业的效率、准确性和舒适性,以满足现代果园管理的需求。以下是该领域的一些主要研究方向:研究人员着重于设计和开发智能化的辅助工具,如智能果篮、摘果机械臂等,以降低工作者的体力劳动强度,通过可伸展平台,增加同时作业效率,提高采摘的效率和质量。研究人员关注改善果园工作者与作业平台的交互体验,包括人机界面设计、语音识别技术等,以提高工作操作的便捷性和用户满意度。研究努力改善果园工作者的工作环境,考虑到气候、季节等因素,通过调节作业平台的设计,提供更加舒适和安全的工作条件。在智能化座舱及操作系统方面,国外较早专注于自动化驾驶及智能控制,国内相对起步较晚,目前已应用技术限于遥控控制,自动驾驶技术仍处于实验室阶段。

西北农林科技大学杨福增教授团队研制的苹果采摘机器人,该型机器人很好的体现了目前果园作业机械智能化研究方向:智能规划路径、基于机器视觉无人作业、多机协同合作等。如今人工智能高速发展,将人工智能等新技术应用于农业机械中,可以更好地提高系统品质。

3.7 国内外关键技术对比

分别从导航技术、调平技术、升降技术、底盘系统、图像识别技术、智能控制系统对比分析了国内外果园作业平台关键技术,如表 2 所示。

表 2 国内外关键技术对比

Table 5 Comparison of key technologies between China and abroad

	国外	国内
导航技术	成熟度高、全天候高精度工作,定位精准,抗干扰能力强,扫描距离远、速度快定位精度可达±1 cm	目前依靠北斗导航技术,技术相对成熟,仅在个别地区信号易丢失
调平技术	实时性好,多传感器互补,反馈迅速,误差小	多传感器方案不成熟,难以协调
升降技术	提升高度达且提升过程平稳,最大工作高度可达 7 800 mm	升降作业单一,坡地能力不足,作业范围小
底盘系统	以履带式为主,独立悬挂,越障能力好、通过性强,最大行走速度可达 15 km/h	具有一定的越障能力,但易引起车身倾斜、抖动,最大行走速度一般为 4 km/h
图像识别技术	抗干扰能力强,数据处理能力强,能快速收集、处理大量数据	一般不具备图像识别技术
智能控制系统	实现人机交互作业,可以实时反馈及其工作状态机故障诊断	人工操作为主,只能实现简易智能控制操作

4 存在问题

近年来,我国水果种植面积与水果产量不断提高,相应的人工成本也在提高,机械化作业装备的应用尤为需要。通过机械化装备作业,可以大大节约劳动成本,提高工作效率,但目前实际应用到果园的装备并不多,果园作业平台的应用过程中还存在以下问题[19]。

4.1 产品功能单一、使用率低

虽然国内外企业以及科研单位均投入到果园作业平台的研制中,但现有装备功能较为单一,仅能完成果园作业中某一环节,未能覆盖更多的作业环节,不能和其他作业设备结合使用。果农需购置更多的装备,考虑到成本问题,果农仍愿意人工作业,且大部分产品仍处于试验阶段,未能大范围推广应用,操作要求高,对果农自身要求高,因此果园作业平台使用率低。

4.2 种植模式不规范

果园机械化作业对果园种植模式有一定的要求,适宜在标准化果园作业,但国内标准果园占比低,大部分

果园仍采用传统模式种植，导致果园通用平台不能在果园中发挥作用，甚至难以进入果园作业，且果农多为散户种植，改种难度大，果园通用平台不能发挥自身优势。

4.3　作业安全性能有待提高

近年来，果园作业平台研究人员对于作业平台的安全设计仅停留在被动安全层面，例如倾斜报警与护栏围挡，但要保证果园作业人员安全需要采取主动安全防护，加装调平装置。果园地面不平，在完全举升状态下，重心上升，平台倾斜于水平面，作业人员移动加剧平台晃动。国外作业平台中具有主动调平装置，但价格昂贵，维修、维护成本高，与国内装置通用性差，与国内种植模式匹配性差[20]。

5　果园作业平台发展建议与展望

5.1　增强产业链合作，提高平台通用性

根据国内外复杂果园环境，研制果园作业平台时，考虑不同种植模式下所能允许通过的作业平台大小，并对之进行动力系统匹配设计[21]。在此基础上设计底座连接系统，通过产业线深度合作，使底座连接系统能匹配市面上大部分作业设备，并为加装设备设计功能装置，实现果园多功能作业地盘在不同环境下完成不同作业环节。

5.2　增加主动调平装置，提高平台稳定性

国内外果园环境多样，地形复杂，土壤质地不同，果园作业平台作业过程中受环境影响大，安全问题应受到重视，研究主动调平装置，可以实时调整平台角度，调整重心，使平台始终保持水平，保证作业人员安全，提高稳定性，提高果园作业平台作业对环境的适应性。

5.3　提高作业平台信息化、智能化，降低劳动强度

果园作业环节多样，一些作业环节如喷雾环节作业时，农药对人体伤害大，在高温天气作业时，作业人员感受差，对身体健康影响大。因此，提高果园作业平台智能化、信息化，如研发无人驾驶、自动导航技术，可以实现人员远程操控，保证了作业人员的健康和体验。

5.4　加强完善果园规范化种植，强化农机农艺融合

鼓励农户承包果园，制定规范化果园种植标准，政策扶持规范化果园改造建设，逐步扩大规范化果园占比，为果园机械化作业奠定基础，形成果园智能农装全产业链上下兼容，农机农艺融合。

5.5　加强政策扶持与机械化装备推广

鼓励扶持优秀企业研发先进农机装备，联合地方农机推广单位推广优秀产品，给予政策优惠，购买农机装备实行财政补贴，推动农业机械化装备入户。

6　结论

本文介绍了多功能作业平台结构组成及工作原理，并对国内外标准化果园作业平台的发展动态进行概述，明晰了国内多功能作业平台发展的不足，并归纳出国内外多功能作业平台主要研究重心，指出了我国多功能作业平台发展瓶颈，并给出相应建议，具体结论如下。

1）对比分析了我国多功能作业平台与国外产品差距，主要在产品适应性、智能化程度、可靠性，行走速度等方面处于劣势。

2）总结分析了国内外多功能作业平台主要研究重心在自动调平技术、通用底盘技术、导航避障技术、升降技术、底盘通过性技术、动力系统协调管理技术、系统品质提升技术等方面。

3）指明我国多功能作业平台发展瓶颈为：产品功能单一、使用率低、种植模式不规范、作业安全性能有待提高。

4）提出促进我国发展多功能作业平台措施，如增强产业链合作、提高平台稳定性、提高作业平台信息化、智能化、完善果园规范化种植农艺、加大政策扶持与机械化装备推广等。

总体而言，目前，全球果园作业平台发展水平参差不齐，国内起步晚，我国多功能作业平台的发展，需要对比差距、脚踏实地、砥砺前行，根据时代发展需要，进行智能化、信息化升级，实现技术高质量、快速发展。

参　考　文　献

[1] 孟祥金，沈从举，汤智辉，等. 果园作业机械的现状与发展[J]. 农机化研究，2012，34(1)：238－241.
MENG Xiangjin，SHEN Congju，TANG Zhihui，et al. Actuality and development of orchard machinery and equipment [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research，2012，34(1)：238－241.

[2] 刘大为，谢方平，李旭，等. 果园采摘平台行走机构的研究现状及发展趋势[J]. 农机化研究，2013，35(2)：249－252.
LIU Dawei，XIE Fangping，LI Xu，et al. Research status and development trend of running gear in orchard picking platform [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research，2013，35(2)：249－252.

[3] 袁文龙，李明远，滕新素，等. 现代新型苹果园适度规模化建园技术标准[J]. 河北农业，2019(3)：48－50.

[4] 宋月鹏，张红梅，高东升，等. 国内丘陵山地果园运输机械发展现状与趋势[J]. 中国农机化学报，2019，40(1)：50－55，67.
SONG Yuepeng，ZHANG Hongmei，GAO Dongsheng，et

al. Development status and trend of domestic orchard transportation machinery in hilly and mountainous areas [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2019, 40(1): 50－55, 67.

[5] 郑永军, 江世界, 陈炳太, 等. 丘陵山区果园机械化技术与装备研究进展[J]. 农业机械学报, 2020, 51(11): 1－20.
ZHENG Yongjun, JIANG Shijie, CHEN Bingtai, et al. Review on technology and equipment of mechanization in hilly orchard [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(11): 1－20.

[6] 胡静涛, 高雷, 白晓平, 等. 农业机械自动导航技术研究进展[J]. 农业工程学报, 2015, 31(10): 1－10.
HU Jingtao, GAO Lei, BAI Xiaoping, et a1. Review of research on automatic guidance of agricultural vehicles [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(10): 1－10.

[7] 李会宾, 韩伟, 史云. 果园作业机器人的自主行间导航系统研究[J]. 中国农业信息, 2019, 31(4): 51－64.
LI Huibin, HAN Wei, SHI Yun. Autonomous inter-line navigation system for orchard robots [J]. China Agricultural Informatics, 2019, 31(4): 51－64.

[8] 崔鑫宇, 崔冰波, 马振, 等. 几何路径跟踪组合算法及其农业机械自动导航应用[J]. 智能化农业装备学报(中英文), 2023, 4(3): 24－31.
CUI Xinyu, CUI Bingbo, MA Zhen, et al. Integration of geometric-based path tracking controller and its application in agricultural machinery automatic navigation [J]. Journal of Intelligent Agricultural Mechanization, 2023, 4(3): 24－31.

[9] 张隆梅, 刘岗微, 齐彦栋, 等. 农业机械无人驾驶系统关键技术研究进展(英文)[J]. 智能化农业装备学报(中英文), 2022, 3(1): 27－36.
ZHANG Longmei, LIU Gangwei, QI Yandong, et al. Research progress on key technologies of agricultural machinery unmanned driving system [J]. Journal of Intelligent Agricultural Mechanization, 2022, 3(1): 27－36.

[10] 罗锡文, 廖娟, 邹湘军, 等. 信息技术提升农业机械化水平[J]. 农业工程学报, 2016, 32(20): 1－14.
LUO Xiwen, LIAO Juan, ZOU Xiangjun, et al. Enhancing agricultural mechanization level through information technology [J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(20): 1－14.

[11] 刘俊谊, 杨刚, 张万军, 等. 剪叉式提升机构受力特性分析[J]. 解放军理工大学学报(自然科学版), 2014, 15(2): 133－138.
LIU Junyi, YANG Gang, ZHANG Wanjun, et al. Analysis of force characteristics of shear fork lifting mechanism [J]. Journal of PLA University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2014, 15(2): 133－138.

[12] 陈君梅, 赵祚喜, 陈嘉琪, 等. 水田激光平地机非线性水平控制系统[J]. 农业机械学报, 2014, 45(7): 79－84.
CHEN Junmei, ZHAO Zuoxi, CHEN Jiaqi, et al. Design of nonlinear leveling control system for paddy land leveler [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(7): 79－84.

[13] LEE S S, KIM J T, PARK W Y. Structural analysis for the development of a vertically raise type aerial work machinery [J]. The Journal of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology, 2017, 10(3): 225－231.

[14] 蒋俞, 孙泽宇, 汪若尘, 等. 丘陵山区履带式作业机全向调平系统设计与性能试验[J]. 农业工程学报, 2023, 39(18): 64－73.
JIANG Yu, SUN Zeyu, WANG Ruochen, et al. Design and performance test of the omnidirectional leveling system for crawler work machine in hilly areas [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2023, 39(18): 64－73.

[15] SUN J, MENG C, ZHANG Y, et al. Design and physical model experiment of an attitude adjustment device for a crawler tractor in hilly and mountainous regions [J]. Information Processing in Agriculture, 2020, 7(3): 466－478.

[16] PIJUAN J, COMELLAS M, NOGUES M, et al. Active bogies and chassis levelling for a vehicle operating in rough terrain [J]. Journal of Terramechanics, 2012, 49(3): 161－171.

[17] 崔志超, 管春松, 陈永生, 等. 温室用小型多功能电动履带式作业平台设计[J]. 农业工程学报, 2019, 35(9): 48－57.
CUI Zhichao, GUAN Chunsong, CHEN Yongsheng, et al. Design of small multi-functional electric crawler platform for greenhouse [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2019, 35(9): 48－57.

[18] 郑永军, 陈炳太, 吕昊暾, 等. 中国果园植保机械化技术与装备研究进展[J]. 农业工程学报, 2020, 36(20): 110－124.
ZHENG Yongjun, CHEN Bingtai, LÜ Haotun, et al. Research progress of orchard plant protection mechanization technology and equipment in China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020, 36(20): 110－124.

[19] 张武斌. 小型多功能摇控动力平台研制成功[J]. 农机科技推广, 2011(5): 54－54.

[20] 刘大为, 谢方平, 李旭, 等. 小型果园升降作业平台的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(3): 113－121.
LIU Dawei, XIE Fangping, LI Xu, et a1. Design and

experiment of small lifting platform in orchard [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(3): 113－121.

[21] 张仕杰，张国忠，赵胜华，等. 水稻联合收获机双电机履带式底盘设计与驱动功率试验[J]. 安徽农业大学学报，2019，46(6)：1075－1082.
ZHANG Shijie, ZHANG Guozhong, ZHAO Shenghua, et a1. Design of dual-electric motors crawler chassis for rice harvester and drive power test [J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2019, 46(6): 1075－1082.

Research status and trend of key technologies of standardized orchard multi-functional operation platform

LIU Yang[1, 2], LIU Yuyang[1], CHEN Jiangchun[1*], LI Jingbin[1], LIN Xiaowei[2], LIN Guangzhao[1]

(1. *School of Mechnical and Electrical Engineering, Shihezi University, Shihezi* 832003, *China*; 2. *Zhejiang Guangli Engineering Machinery Co., Ltd., Longquan* 323700, *China*)

Abstract: China is a major producer and consumer of fruits, with output and area consistently ranking first in the world. However, China's orchards have long faced complex environments, with traditional manual operations facing high costs, labor shortages, and low efficiency. With the establishment of standardized and large-scale orchards, traditional models are no longer suitable for the development of modern orchards. The multi-functional operation technology platform integrates the functions of picking, ditching, fertilization, spray, transportation, etc., effectively improves the efficiency of orchard operations, saves costs, and becomes the key tool for the efficient development of modern forestry and fruit industry. This article introduces the structural composition and working principle of a multifunctional homework platform, mainly introducing the two key parts of the lifting structure and chassis system, and provide an overview of the development trends of standardized orchard operation platforms at home and abroad, from simple mobile platforms to scalable platforms, followed by a series of improvements such as navigation and automatic leveling systems. By comparing the characteristics and advantages of different types of orchard operation platforms, clarify the shortcomings of domestic multi-functional operation platforms, and summarize and analyze the main research focus of multifunctional operation platforms at home and abroad, focusing on automatic leveling technology In terms of general chassis technology, navigation obstacle avoidance technology, lifting technology, chassis passability technology, power system coordination and management technology, and system quality improvement technology, this paper explores the bottlenecks faced by the development of multifunctional work platforms in China, such as insufficient intelligence and informatization, and relatively lagging policy support. Finally, suggestions are proposed to address the development gap between China's homework platforms and foreign homework platforms, such as promoting standardization and standardization of orchard planting, and developing towards intelligence and informatization, in order to provide development ideas for high-quality mechanized operations in China's orchards.

Keywords: sorchard operation platform; automatic leveling; general chassis; navigation obstacle avoidance; chassis passability; power system coordination management