

东北红松果采收技术优化与装备改进

张威

敦化市林业局, 吉林省敦化市, 133700;

摘要: 东北红松果采收长期依赖人工攀爬, 效率低且风险高。为实现安全高效的机械化作业, 本文剖析了现有采收技术的局限, 围绕动力系统、作业机构与控制单元等核心部件展开技术优化, 研制出适应复杂林地工况的新型采收装备。该研究对提升采收机械化水平、保障作业安全、降低生产成本具有重要实践价值。

关键词: 红松果采收; 机械化装备; 技术优化; 作业效率

DOI: 10.64216/3080-1508.26.03.084

东北红松是我国珍稀的针叶树种, 主要分布于长白山、小兴安岭等地, 种子营养价值高, 经济效益好。松果的采收是红松产业链的重要环节, 直接影响林农的收益以及资源的可持续利用。长期以来松果采收主要依靠人工攀爬树干作业, 劳动者要携带工具攀爬到十几米甚至数十米高进行采摘, 劳动强度大, 存在严重的坠落风险。随着林业劳动力老龄化严重, 人工成本不断上升, 传统的采收方式的弊端越来越明显。机械化采收装备的研发和利用是解决该问题的有效方法。本文根据汽车检测领域机械设计经验, 就红松果采收设备技术改进、优化做了详细研究。

1 红松果采收作业现状与技术需求分析

红松果采收作业受树种特性、林地环境、气候条件等的影响很大, 具有很强的地域性、技术难度。东北林区地形复杂、坡度变化大、林间道路通行条件差, 给机械化作业带来很多困难。

1.1 传统人工采收方式的技术瓶颈

人工攀爬采收是沿用多年的传统作业方式, 采收人员用脚扣、安全绳等简易工具攀爬树干, 到达松果着生部位后用杆钩或者手工摘取。劳动强度方面采收人员长时间攀爬姿势下, 腰部、腿部肌肉一直处在紧张状态之中, 单人日工作时长很难超过4小时。高空作业时, 由于树皮剥落、树枝断裂、绳索磨损等原因, 都会造成坠落事故, 每年都有人员伤亡的事件发生。熟练工人每天采收量一般在200到300公斤之间, 树冠高大、松果分布稀疏时效率更低。劳动力供给上年轻人不愿意做这种高风险体力劳动, 采收队伍老化严重, 50岁以上占到了60%以上^[1]。

1.2 机械化采收装备发展现状

国内外对各类果实采收机械化进行了广泛研究, 形成了多种技术路线。传统方式主要包括振动式、气吹式与机械臂式。振动式采收通过向树干或枝条施加周期性激振力, 利用惯性使果实脱落。气吹式采收则依靠高速气流冲击果实, 实现非接触采摘。机械臂式装备配备多自由度末端执行器, 可进行精准抓取, 但存在结构复杂、成本较高的局限。对于果柄结合力较强的红松果, 单纯依靠振动或气流难以实现有效采摘, 通常需结合机械剪切或敲击动作。

除上述传统机械路径外, 一些新兴技术平台也展现出应用潜力。例如, 搭载轻型机械臂或振动装置的多旋翼无人机, 具备空中悬停与灵活机动的优势, 可用于树冠上层难以触及区域的辅助采收或果实定位。此外, 系留氦气球平台能提供稳定的低空作业基站, 可搭载作业人员或机械装置进行定点采收, 减少了高大树干攀爬的风险。国内部分林区(如吉林省长白山区域)曾试点采用高空作业车辅助人工采摘, 虽降低了攀爬风险, 但受限于林区通过性及设备成本, 作业效率与经济效益提升有限^[2]。

1.3 采收装备技术优化方向

综合现有技术局限与红松果采收的实际作业需求, 未来装备的优化改进需着力解决以下关键技术问题: 在作业高度上, 需有效覆盖25米及以上树冠; 在灵活性上, 采收机构应能适应复杂多变的树冠形态与松果分布; 在动力与机动性上, 需兼顾功率充足、设备轻量化及林区能源补给便利性。同时, 对无人机、气球平台等新型载体与采收机构的集成适配性进行探索, 亦是拓展机械化解决方案的重要方向。

2 红松果采收装备关键技术优化

2.1 移动底盘与行走机构设计

采收装备的移动底盘承载整机质量,在林间地形条件下完成可靠的行走。东北林区地面多为腐殖土覆盖,遇雨泥泞湿滑,坡度一般都在 15° 到 25° 之间。底盘采用履带式行走机构,履带板宽度为300mm,单侧履带长度2800mm,接地比压控制在0.05MPa以下,减小对林地表土的破坏。行走动力系统用柴油发动机做为主动力源,额定功率为35kW。传动系统采用液压静压传动方式,调节液压泵排量实现无级调速,行走速度0-5km/h可连续调节。液压马达直接驱动履带链轮,传动效率高,有原地转向功能,提高了林间机动灵活性^[3]。

底盘稳定性属于高空作业安全的基本保证。底盘两侧装有液压伸缩支腿,作业时支腿下伸与地面接触,形成四点支撑,增大支撑面积。支腿伸出长度可达1500mm,根据地面坡度情况独立调节各支腿高度,实现整机水平姿态调整。整机配置倾角传感器来实时监测机身姿态,当倾角超过设定的安全阈值时,控制系统会自动切断作业机构的动力,防止因为失稳而造成安全事故。

2.2 伸缩臂架与作业机构优化

伸缩臂架是连接底盘和作业机构的重要部件,在保证刚度和强度的前提下要实现轻量化设计。臂架采用多节套筒式伸缩结构,共设三节臂段,收缩状态总长4.2米,完全伸出最大工作长度22米。臂架截面为矩形管,基节尺寸为280mm×200mm,壁厚8mm,材料采用高强度低合金钢Q690。各节臂段之间采用尼龙滑块支撑,减小伸缩过程中摩擦阻力。臂架伸缩驱动采用液压缸来推动,在基节内部安装两级伸缩油缸,行程分别为3800mm和4200mm。臂架根部装设回转机构,用液压马达带动回转减速机,实现 360° 连续回转,回转速度3转/分。

作业机构是直接作用于松果的执行部件,作业机构的结构形式及工作参数决定采收效果的好坏。设计出振动剪切复合式作业头,作业头主体为圆盘形,直径600mm,圆盘边缘均匀分布12组弹性齿条,齿条材料为高弹性钢,既能给松果施加敲击力,又不会破坏树枝。圆盘中心装有偏心振动器,由液压马达带动,振动频率为20Hz,振幅为15mm。作业头外设柔性护罩,用高强度尼龙网布制成,在作业时包裹树枝,防止松果掉落地面。护罩下端接集料斗,容积为0.8立方米,松果落入后通过输送管道送至地面收集容器^[4]。

2.3 液压系统与动力分配

液压系统给采收装备的各个执行机构提供动力,系统设计要满足多个执行器同时或者独立工作的要求。使用负荷传感液压系统,根据各个执行器的实际负载自动调节供油压力和流量。主液压泵采用变量柱塞泵,排量63ml/r,系统额定工作压力21MPa,最大流量110L/min。配置蓄能器作为辅助能源,容积为10L,在执行器短时需要大流量的时候释放能量,减小发动机功率波动。液压系统采用多路阀集中控制方案,配置六联多路阀,分别控制行走、回转、变幅、伸缩、支腿、作业头等机构。

液压系统散热对于长时间作业而言十分关键。配置板翅式油冷却器,换热面积2.5平方米,冷却介质为发动机冷却液,利用热交换将液压油的温度控制在 65°C 以下。回油路上装设精密过滤器,过滤精度是 $10\mu\text{m}$,可以清除油液中的金属颗粒和胶质物。油箱容量为150升,内部装有隔板将吸油区、回油区分隔开来,加装空气滤清器以防止外界的灰尘进入系统。

2.4 电控系统与安全防护

电控系统起到控制设备运作、监测状态和保障安全的功能。采用CAN总线通信架构,把各个传感器、执行器、控制单元连接成网络。主控制器采用工业级PLC,具备抗震动、抗电磁干扰的能力。操作台设在底盘驾驶室内,装有彩色触摸显示屏,可以实时显示臂架姿态、作业参数、系统状态等信息。安全防护功能属于电控系统设计的主要内容。臂架各关节上均安装有角度传感器,可以实时地对臂架的姿态进行监测。当臂架伸出长度或变幅角度超出安全范围的时候,控制系统会立即对相应的动作加以限制。底盘倾角传感器和臂架控制联锁,整机倾角大于 5° 时,禁止臂架继续伸出和变幅动作,发出声光报警。液压系统压力传感器监测各回路工作压力,当压力异常升高时切断相应的回路供油。

电控系统具备故障诊断功能,各个关键部件工作状态经由传感器采集后传给控制器,控制器依据事先设定的故障判断逻辑进行分析,把故障信息以代码形式显示在操作屏幕上。系统记录装备累计工作时间、作业量、故障历史等数据,给设备维护保养提供依据。

3 采收装备性能测试与应用效果评价

3.1 整机性能参数测试

整机功能试验在平坦场地进行,检验各个执行机构

的动作范围、速度、力量等基本性能。行走机构测试结果表明,装备在硬质路面最大行驶速度为4.8km/h,15度坡度的草地上爬坡能力很好,原地转向半径2.1米。臂架伸缩测试中三节臂架从完全收缩到完全伸出用时95秒,回缩用时78秒。臂架回转360度用时20秒,变幅动作从水平位置到最大仰角用时42秒。作业机构性能测试主要是检验振动剪切功能。作业头在额定转速下圆盘边缘线速度为6.3m/s,振动频率稳定在19-21Hz之间。用模拟松果进行脱落试验,直径为8cm到12cm的成熟松果的脱落率是92%,在脱落的进程中树枝损伤率小于5%。

负载能力测试评价的是装备在最大工作负荷下工作的情况。臂架末端挂200kg配重模拟作业头和松果的总质量,测试臂架在不同姿态下强度、刚度。根据测试结果可知,臂架完全伸出并且处于水平状态时末端下挠量为32mm,满足设计允许值40mm的要求。液压系统在最大负荷工况下连续工作2个小时,油温升到62度以后趋于稳定,系统压力波动小于1兆帕。

3.2 林地作业能力实测

在黑龙江省某红松种植基地进行实地作业试验,试验林地面积为50公顷,红松平均树高为18~24米。作业效率上单台装备由两人操作,实测单台装备日均采收松果1800-2200公斤,是人工采收效率的6-8倍。每棵树的平均作业时间是12-15分钟。松果采净率测试选择20棵样本树,机械采收之后人工攀爬补采残留松果数量,得出机械采收的采净率为85%到90%,残留松果主要分布在树冠顶部和内侧隐蔽处。

对机械采收的松果进行质量检验。检测结果显示,完整松果占91%,轻微破损占6%,严重破损占3%。机械采收的松果破损率比人工采收高2个百分点,但是考虑到效率提高的优势,该差异在可以接受的范围内。从林木的影响上来说,作业后对样树进行检查,发现树干表皮无明显损伤,树枝折断率为4%,主要是枯死的小枝条。履带行走会对地表植被造成一定的压实,但是没有出现深碾压沟槽,作业一周以后压实区域的植被逐渐恢复。

3.3 经济效益与推广应用前景

装备的经济性是决定其是否能够推广应用的关键因素。单台采收装备市场售价28万元,使用年限按10年计算,年均折旧2.8万元。作业季节为每年的9月到

10月,连续工作60天左右,每天工作6小时,燃油消耗为18升/天,按照柴油价格6.5元/升计算,季度燃油费用约为7000元。液压油、润滑油等耗材费用2000元/年,易损件更换费用3000元/年。操作人员两人,每人每天工资300元,季度人工成本3.6万元。综合计算单台装备年运行成本为5.3万元。按照每台机器日均采收2000公斤计算,在作业季节里可以采集到松果120吨。当地松果收购价为8元/公斤,机械化方式单位采收成本约为0.44元/公斤,人工采收成本约为1.2元/公斤。

推广应用前景东北三省红松种植面积200万公顷以上,年产量50万吨左右,市场规模大。目前机械化采收率不到5%,推广空间大。影响推广的主要因素有林农认识不深、初始投资大、售后服务体系缺乏。建议用政府补贴降低购置门槛,用现场演示提高认知度,建立区域服务中心提供技术支持,加快机械化采收技术的普及应用。

4 结束语

东北红松果采收机械化是推进林业现代化发展的重要举措,依靠技术改善和装备更新,可以较好地克服传统人工采收方式的诸多弊端。本文所提出的移动式高空作业采收装备,采用履带底盘、伸缩臂架、振动剪切作业头等技术方案,实现了红松果的高效、安全、低损采收。根据实地试验可知,装备作业效率是人工采收的6到8倍,采净率85%到90%,经济效益好。今后应进一步提高装备的结构优化、智能化程度,开发更适应复杂地形、多种树型的通用采收装备。加强同林业管理部门、科研院所的协同创新,完善技术服务体系,推动红松果采收机械化技术在更大范围内推广应用,为东北林区经济发展和生态保护做出积极贡献。

参考文献

- [1]李建国,王宏伟,张晓东.林木果实机械化采收技术研究进展[J].林业机械与木工设备,2024,52(6):8-14.
- [2]赵明阳,刘永胜,孙德强.山地林业机械底盘结构与性能分析[J].农业工程学报,2024,40(11):45-53.
- [3]陈志军,马世荣,李春华.振动式坚果采收装置设计及试验研究[J].中国农机化学报,2024,45(5):112-119.
- [4]周建平,吴晓明,张海涛.林果采收机械液压系统优化设计[J].液压与气动,2024,48(8):87-94.