

天然橡胶机械化割胶研究现状与对策分析

曹建华 栗鑫 张以山* 范博 邓祥丰 肖苏伟 陈娃容

(中国热带农业科学院橡胶研究所,

国家重要热带作物工程技术研究中心机械分中心 海南海口 571101)

摘要: 天然橡胶作为重要的工业原料,在我国经济发展中占据着不可替代的地位。然而,随着农村人力成本上升和劳动力短缺问题的日益加剧,传统的人工割胶方式正面临巨大挑战,机械化割胶已成为天然橡胶产业发展的必然趋势。该文系统梳理了国内外天然橡胶机械化割胶技术的研发与应用现状,深入剖析了当前机械化割胶装备存在的主要问题,并结合产业实际需求提出了未来机械化割胶技术研发的思路与策略,旨在为促进天然橡胶产业的可持续发展提供理论依据和实践参考。

关键词: 天然橡胶; 机械化割胶; 研究进展; 对策分析

中图分类号: TQ332

Research Status and Countermeasure Analysis of Mechanized Rubber Tapping in Natural Rubber

CAO Jianhua, SU Xin, ZHANG Yishan*, FAN Bo, DENG Xiangfeng

XIAO Suwei, CHEN Warong

(Mechanical Subcenter of ITCETR; Rubber Institute of China, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou 571101, Hainan)

Abstract: Natural rubber is a crucial industrial raw material and strategic military resource, and it holds significant importance in global economic development. With rising labor costs and increasing labor shortages,

基金项目: 海南省科技专项资助 (ZDYF2025XDNY128)。

作者简介: 曹建华 (1973—), 男, 博士, 研究员, 研究方向为农业机械化工程。E-mail: cjh1314521@126.com

***通信作者:** 张以山 (1966—), 男, 研究员, 研究方向为热作栽培与机械化。E-mail: catasz@126.com

traditional manual rubber tapping methods face substantial challenges, making mechanized rubber tapping an inevitable trend for the development of the natural rubber industry. This paper comprehensively reviewed the current status of research, development, and application of mechanized rubber tapping technologies both domestically and internationally. It provided an in-depth analysis of existing issues in mechanized tapping equipment and proposes future research directions and strategies aligned with industry demands. The study aimed to offer insights for advancing the sustainable development of the natural rubber industry.

Keywords: natural rubber; mechanized rubber tapping; research progress; countermeasure analysis

天然橡胶是重要的战略资源，在通用性能、高抗冲击、耐穿刺、抗撕裂性能及金属黏合方面具有合成橡胶无法比拟的优势，从而使其在航空航天、武器装备、轨道交通、抗震防震、医疗卫生以及载重汽车、矿山机械等高端制品的领域中具有不可替代性^[1-5]。全球产胶植物约2000种，其中巴西三叶橡胶树（*Hevea brasiliensis*）是栽培区域最广、面积最大的产胶植物，占全球天然橡胶总产量的98%以上^[1]。长期以来，人工割胶是获取天然橡胶的主要方式，但这种方式劳动强度大、生产效率低，且对胶工技术要求高。随着社会经济的发展，劳动力成本持续攀升，胶工短缺现象愈发突出，胶园弃管弃割现象严重，制约了天然橡胶的稳产保供。机械化割胶作为解决这些问题的关键途径，受到了国内外的广泛关注，对其进行深入研究和应用推广机械化割胶机具具有重要的现实意义。

一、采胶生理基础研究

橡胶树复杂的生理结构是制约割胶机械装备产业化应用的关键因素。

橡胶树是多年生、长周期（25~30年）收获的经济作物，其收获物——胶乳（液态），来源于树皮内的乳管。橡胶树树皮结构由外向内可分为5层：第1层为粗皮层，主要由木栓层组成；第2层为砂皮层（厚度约5~6mm），其内层含有少量乳管，但产胶能力较弱；第3层为黄皮层（厚度约1~2mm），富含大量乳管，是主要的产胶部位；第4层为水囊皮层（厚度小于1mm，属于禁割区域），内含具有输导功能的筛管及少量幼嫩乳管；第5层为形成层，具有分生能力，能够促进割胶后树皮再生^[6-8]。橡胶树树皮的总厚度为7~15mm，

而实际产胶区域仅为3~4mm（图1）。由于橡胶树是长周期经济作物，割胶深度需精确控制，通常要求割至第3层黄皮层，同时保留第4层水囊皮层，避免损伤第5层形成层，即割至木质部外1.8~2.0mm的位置。此外，耗皮量需严格把控，例如在3d割1刀的割制下，每刀次的耗皮量应控制在1.1~1.3mm以内。

二、割胶技术与割制变革

生产上割胶，通常用割胶工具，切开树皮、割断乳管，并收集从乳管切断口流出的胶乳。在15世纪以前，人们就发现了天然橡胶的作用，用斧头或刀砍树皮采胶（图2A），但伤树严重且不可持续。直到1897年，新加坡植物园主任芮德勒（H. N. Ridley）发明了不伤及橡胶树形成层组织、在原割口上重复切割的连续割胶法（图2B），从此揭开了天然橡胶栽培的新纪元。经过一百多年的发展，人工采胶技术发生了巨大变化，逐步形成了刺激剂配合下的阳刀、阴刀连续割胶法和针刺采胶法，割胶频率也演变为1d、2d、3d、4d、5d、6d、7d，割线长度包括s/2（主流）、s/3、s/4及（气刺）微割（割线长5~8cm），但以螺旋式割胶法为主（图2C、D）。

但是，木本植物树皮厚度会沿树高方向呈现规律性的减小^[9-12]且橡胶树树皮厚度沿树高方向呈现不规则的分布（图3A），因此人工割胶的每1个剖面都为切割深度不均匀的螺旋剖面（图3B）。考虑到橡胶树的生长性和横截面非圆性，螺旋剖面切割深度的变化会更加复杂。在人工割胶过程中，这种复杂的螺旋式切割降低了工作效率，增加了胶工的劳动强度和技能要求^[13]。

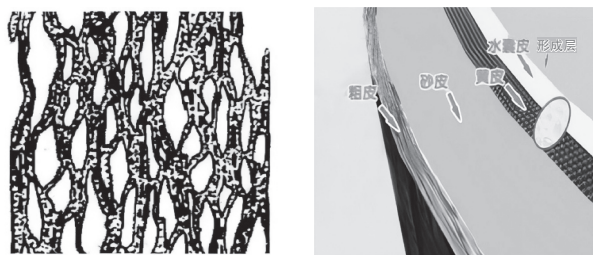
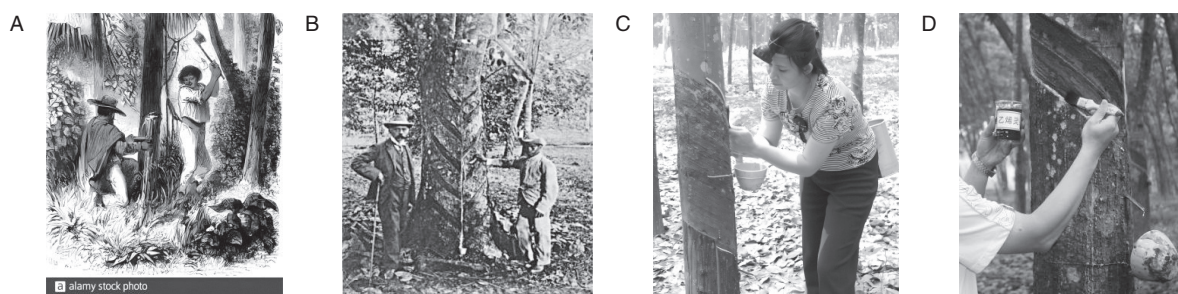
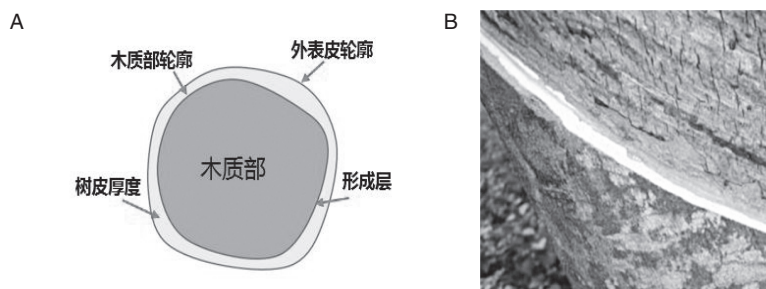


图1 橡胶树乳管及树皮结构



A: 砍树皮采胶法; B: 芮德勒连续割胶法; C: 螺旋式割胶法; D: 乙烯刺激采胶

图2 割胶技术的变革



A: 橡胶树截面结构简图; B: 螺旋剖面

图3 橡胶树截面结构和螺旋剖面

三、割胶工具的发展与变革

(一) 人力采胶工具

自“芮德勒连续割胶法”问世以来，割胶刀被研发出来，主要分为推式（Gouge）和拉式

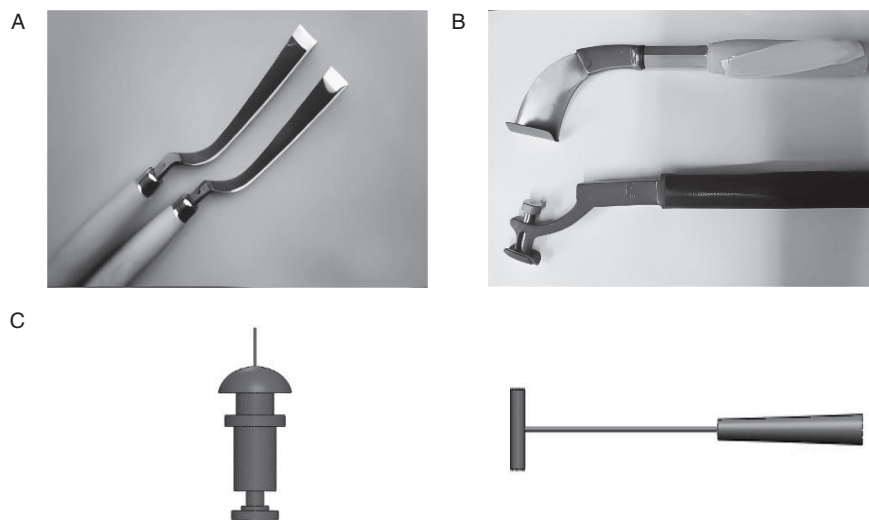
（Gebung）两大类胶刀（图4A、B）。这两类割胶工具至今仍是全球植胶国使用历史最悠久、应用最广泛的采胶设备。为了降低割胶技术难度并提升采胶效率，20世纪80年代，马来西亚与中国分别研发

了手压式和锤式针刺采胶器（图4C）。然而，由于针刺采胶产量较低、不稳定且易对橡胶树造成损伤，针刺采胶工具的应用受到了较大限制。

（二）便携式电动割胶工具

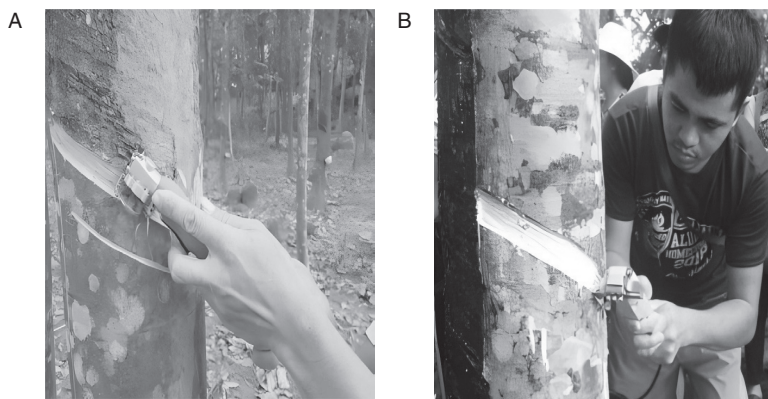
为了进一步节省人力、提高采胶效率并实现更高的产量，1979年，马来西亚橡胶研究院

（RRIM）与日本Nihon Giken公司合作开发了1款往复式电动胶刀——Motoray Mark II。这是目前已知最早的电动割胶刀产品，但由于其体积大、重量重，胶工操作时容易疲劳，因此仅短暂推广了一段时间。2015年以来，国内先后研发了旋转铣削式（图5A）和往复切削式（图5B）两大类电动割



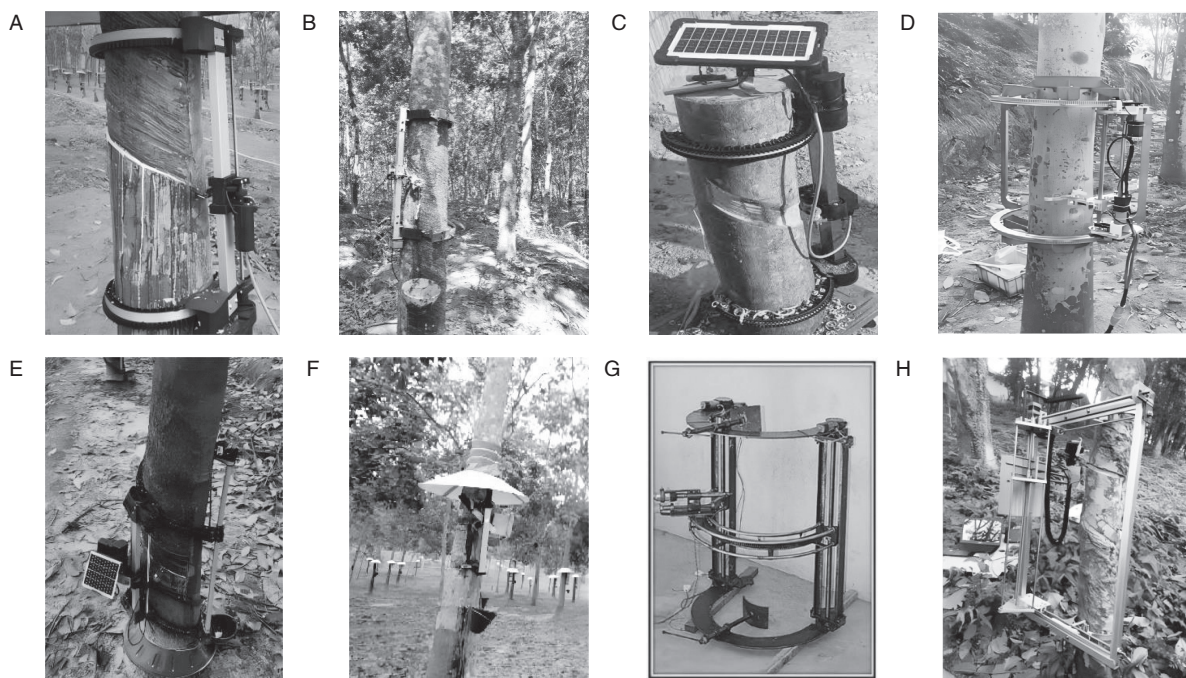
A: 推式割胶刀; B: 拉式割胶刀; C: 针刺采胶器

图4 人力割胶工具



A: 旋转铣削式电动胶刀; B: 往复切削式电动割胶刀

图5 中国热带农业科学院橡胶所研发的电动割胶刀



A: 宁波中创翰维科技有限公司研制的全自动采胶设备; B: 海南大学研制的全自动采胶设备;
C: 华南农业大学研制的全自动采胶设备; D: 广东省现代农业装备研究所研制的全自动采胶设备;
E: 海南海胶智造科技有限公司研制的全自动采胶设备; F: 马来西亚橡胶局研制的全自动采胶设备;
G: 斯里兰卡研制的全自动采胶设备; H: 印度研制的全自动采胶设备

图6 固定螺旋式全自动割胶机

胶刀,并实现了产业化推广应用。其中,曹建华等^[14-17]研发的4GXJ型往复切削式电动割胶刀性能突出,成功解决了树干仿形、割胶深度和耗皮厚度精准控制、旧胶线干涉、伤树、效率、胶水污染及产量等问题。该设备小巧轻便,性能达到世界领先水平,并率先在全球13个植胶国推广应用,是世界割胶工具的重要变革。

(三) 固定式全自动采胶装备

现有的机械化采胶方式主要包括“螺旋式”和“针刺式”两种形式。其中,固定螺旋式采胶装备通过固定架和导轨安装于橡胶树树干上,采用树干表面仿形切割技术,利用太阳能或锂电池供电,驱动电机在水平和竖直方向上协同运行,从而实现仿人工s/2三维螺旋线割胶方式的自动化采胶。在国内,宁波中创翰维科技有限公司(图6A)、海南大

学(图6B)、华南农业大学(图6C)、广东省现代农业装备研究所(图6D)以及海南海胶智造科技有限公司(图6E)等单位均开展了相关研发工作。在国际上,马来西亚橡胶局(图6F)以及斯里兰卡(图6G)和印度(图6H)的一些机构也相继开发了样机或产品。

曹建华等^[18]、陈娃容等^[19]将针刺采胶技术与全自动装备相结合,创新性地研制了针刺式采胶机。该设计有效规避了复杂树干作业工况对装备性能的影响,进一步简化了装备结构,为同类装备的研发提供了一种全新的思路和解决方案(图7)。在多年研究的基础上,曹建华等进一步提出了“气刺微割+自动化割胶”的新型割胶方式,并成功创制了轻简高效的ARTS-R01型自动割胶机(图8)。与现有同类装备相比,该设备成本降低了约50%,树皮

消耗量减少约70%，装备适应性提升至95%以上，割胶效率提高了1倍以上，割胶产量达到人工割胶产量的80%以上。这一创新成果显著提升了割胶作业的经济性和可持续性。

（四）移动式采胶机器人

初期的移动式采胶机器人主要由移动底盘、机械臂、切割器、激光雷达与陀螺仪等组件构成^[20,21]。经过近年来的功能优化与升级，装备的核心组成部分扩展至机械臂、GPS、底盘、激光雷达、储胶罐、扫描仪和切割器等，同时融入了二维

码标识、云端系统等现代信息技术，实现了由云端系统控制的智能化割胶作业^[22-30]。

典型的采胶机器人移动方式可分为地轨移动式与轮履自主移动式。中国农业大学周航等^[31,32]研发的地轨移动式割胶机器人，通过红外技术定位目标橡胶树的剖面，结合双目视觉技术、机械臂携带的切割装置以及铺设在胶园的轨道移动系统，实现了一机多树的割胶作业（图9）。北京理工大学张伟民等^[33,34]开发的履带式智能割胶机器人，采用6自由度机械臂进行割胶操作，利用三维激光雷



图7 针刺式全自动采胶机

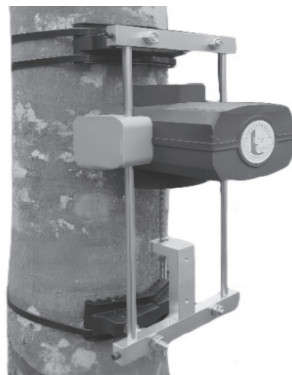


图8 ARTS-R01型固定式全自动割胶机



图9 地轨移动式割胶机器人



图10 履带式割胶机器人



图11 空轨移动式针刺采胶机器人

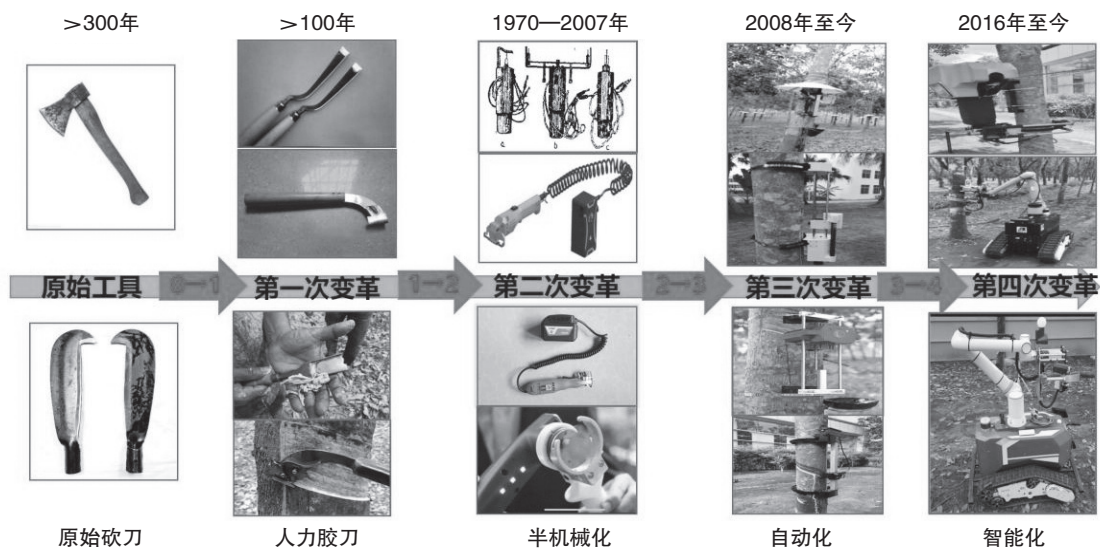


图12 割胶工具的变革

达构建胶林地图，并通过自适应蒙特卡洛定位算法（AMCL）获取机器人位姿，结合基于DBSCAN的树干检测算法自动设定目标，显著提升了割胶精度和适应性（图10）。为了克服胶园复杂地形对装备作业的影响，并进一步简化机械结构、增强装备的广适性，曹建华等^[35]将针刺采胶技术与全自动割胶机器人相结合，研发了基于空架轨道移动式的针刺采胶机器人（图11）。这一创新设计为割胶机器人

的高效作业提供了新的技术路径。

四、未来发展趋势与展望

（一）机械化割胶装备存在的问题

总体来看，近年来国内外在机械化割胶装备领域的研究进展迅速，技术路线逐步打通，样机或产品相继试制成功，推动了该领域的科技进步（图12）。其中，便携式电动割胶刀技术相对成熟，性

价比较高,已得到一定程度的推广应用。然而,自动化割胶装备的设计大多仍基于传统人工割胶方式(如s/2半树周螺旋线割胶),由于机艺融合度不足,采用树皮表面仿形切割的方式,未能充分契合橡胶树的生物学特性,导致割胶产量显著下降(仅为人工割胶的40%~50%)。此外,半树周螺旋线割胶需要机械实现三维运动,这使得装备结构复杂化,单位面积使用成本较高、广适性不足,制约了装备的产业化应用。因此,创新割胶方式,实现机械化与农艺的深度融合,简化装备结构,降低成本并提升适应性,是解决当前自动化割胶装备技术瓶颈的有效途径。

(二) 未来需求趋势分析

随着世界工业化进程的快速发展,社会从业结构将发生重大变化,天然橡胶割胶环节技术要求高、劳动强度大、胶工收入低,对劳动力的吸引力越来越弱,产业技术工人短缺已在不同国家先后出现。因此,研发轻简高效、低成本、广适性强、高割胶产量的全自动、智能化采胶装备,是未来天然橡胶产业的必然需求。

(三) 未来机械化割胶装备技术攻关策略

1. 问题导向策略

要以解决产业“痛点”问题和推动产业化应用为核心导向,既要瞄准技术前沿,仰望技术的“星空”,更要立足产业实际、脚踩产业应用的“大地”,确保技术创新与产业需求紧密结合。

2. 实用为主策略

坚持农艺与农机的深度融合,从割胶生理特性出发,技术创新应注重轻简化、高效化、高产量、广适性、可靠性和低成本,推动全品类装备的研发攻关与集成优化,实现技术成果的快速转化与产业化应用。

3. “三一”融合策略

即“一升、一降、一让”：“一升”指提升装备的适应性和可靠性；“一降”指降低加工制造与维护成本；“一让”指在采胶标准上适当让步,以适应机械化、智能化的作业需求。通过三者协同,实现技术与产业的深度融合。

4. 因树制宜策略

推动AI技术进入胶园,结合橡胶树的品种、树

龄差异,配合科学的农艺刺激技术,实行“一品一制、一龄一制”的精准割胶模式,将成为天然橡胶产业新质生产力的重要发展方向,为产业的高效、可持续发展提供技术支撑。

5. 机械化割胶装备技术攻关需求分析

由于我国胶园环境复杂多样,且民营胶园规模小而分散,加之胶农经济收入水平的限制,对割胶装备性价比有特殊的要求。人力胶刀、便携式电动胶刀、固定式全自动采胶机以及移动式割胶机器人等各类装备各有其优势和局限性。未来,轻简高效全品类装备将形成高低搭配、互为补充的格局,以满足不同场景的需求,为胶农和企业提供更多选择。因此,针对各类装备存在的不足,需有针对性地进行技术攻关与优化提升。

(1) 从装备类型维度分析

①便携式电动割胶刀。其最大优势是割胶效果及作业功能完全满足生产割胶技术标准要求。尽管需要人工辅助,但技术相对成熟、使用性价比高,不受地形、场景限制,不仅能很好的适应民营胶园小而分散的现状,也适合国营农场规模化应用。需解决旋转铣削式老胶线缠绕、树皮碎屑污染胶水、起收刀圆弧减产以及对割胶线损坏等问题,并进一步优化机械结构、一体化集成,提升加工制造和装备精度,进一步降低使用技术难度、提升其“傻瓜式”性能,降低对胶农割胶技术的要求。

②固定式全自动割胶机。自动化割胶技术的实现,显著降低了对人工的依赖,其结构相对简单、体积小巧,能够适应山地丘陵等复杂环境的作业需求。然而,为进一步推动其产业化应用,仍需在以下几个方面进行优化与突破:一是深化机艺融合,创新并简化采胶方式,提升装备对复杂树干工况的适应性;二是通过技术改进和规模化生产,显著降低单位面积装备的使用成本;三是解决割胶低产量问题,确保割胶产量至少达到人工割胶的80%以上。根据生产综合成本分析,自动化割胶装备的单机成本需控制在180元/台以内(农机补贴后约为120元/台),使用寿命至少达到5年,在单位面积产量超过90kg/亩(1亩 $\approx$ 666.7m²,下同)胶园中有望实现产业化应用。

③移动式割胶机器人。相对于固定式全自动割

胶机，单位面积使用成本更低，亦可拓展应用功能并进一步降低使用成本。但需大力攻关移动底盘技术，提升其对复杂胶园地形、割胶作业树干复杂工况的适应性，增加信息感知与智能化控制精度；开发基于机器视觉和力反馈的智能控制系统，实时调整切割参数（如刀片角度、切割速度）以适应不同树龄和树皮状态。应机艺融合优化割胶方式，简化装备结构，轻量化设计，提升割胶效率和产量。经生产综合成本分析，单机成本需控制在60000元/台以内（农机补贴后约为40000元/台），使用寿命至少5年，割胶产量至少达人工割胶的80%以上，割胶效率低于30s/株，在单位面积产量超过80kg/亩的平地或缓坡地胶园有望实现产业化应用。

（2）采胶技术维度需求分析

国内十几年的研发历程表明，由于橡胶树树干不规则、采胶需单株作业、采胶生理特殊，单靠机械自动化、自动控制技术，难以解决自动化割胶问题。现行人工割胶方式并不完全适合自动化采胶，会导致割胶深度不达标、伤树率高、大幅减产（50%~60%），还有装备结构复杂、成本高、广适性不强等突出问题。必须要对橡胶采胶生理、树皮与乳管发育结构有深入的研究，以经济实用、产业化应用为目标导向，并对农艺和机械自动化两大学科融会贯通，创新采胶方式，从而达到简化装备结构、提升采胶效率和产量、控制装备成本的目的，并在不同场景的胶园进行产业化应用。

（3）从组织形式维度分析

当前，机械化割胶成为产业研发的热点，吸引了国外多家单位或企业投身于该领域研发工作，对于推动学科发展具有积极作用。但行业聚合力度不足，导致了有限科研经费的重复投入和浪费。因此，有必要由研究基础扎实的优势单位牵头，整合国内机械自动化、智能控制的优势科研院所、高校、企业，形成“研—学—产—用”一体化团队，集中力量攻关，才能最终破解机械化割胶这一世界性难题。

五、结语

天然橡胶机械化割胶是实现产业升级的关键技术和必由之路。尽管我国在电动胶刀、智能割胶机

等领域已取得显著进展，但仍需突破环境适应性、经济性及产业链协同等瓶颈。未来将通过技术创新、政策扶持和模式创新，构建“智能装备+产业生态”的新业态，打造天然橡胶产业特色的新质生产力增长极。

参考文献

- [1] Salehi M, Cornish K, Bahmankar M, et al. Natural rubber-producing sources, systems, and perspectives for breeding and biotechnology studies of *Taraxacum kok-saghyz*[J]. *Industrial Crops and Products*,2021,170:113667.
- [2] Boonmahitthisud A, Boonkerd K. Sustainable development of natural rubber and its environmentally friendly composites[J]. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*,2021,28:100446.
- [3] Sethulekshmi AS, Saritha A, Joseph K. A comprehensive review on the recent advancements in natural rubber nanocomposites[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*,2022,194(1):819–842.
- [4] Bennacer R, Liu B, Yang M, et al. Refrigeration performance and the elastocaloric effect in natural and synthetic rubbers[J]. *Applied Thermal Engineering*, 2022,204(5):117938.
- [5] Chao J, Wu S, Shi MJ, et al. Genomic insight into domestication of rubber tree[J]. *Nature communications*, 2023,14:4651.
- [6] 田维敏,史敏晶,谭海燕,等.橡胶树树皮结构与发育(第一版)[M].北京:科学出版社,2015.
- [7] Angel TS, Amrithesh K, Krishna K, et al. Artificial intelligence-based rubber tapping robot[J]. *Inventive Communication and Computational Technologies*,2022, 11(11):427–438.
- [8] Zhang CL, Sheng XY, Zhang SL, et al. Design and experiment of portable electric tapping machine[C]. 2018 ASABE Annual International Meeting. Michigan: Detroit,2018.
- [9] Laasasenaho J, Melkas T, Aldén S. Modelling bark thickness of *Picea abies* with taper curve[J]. *Forest Ecology and Management*,2005,206:35–47.
- [10] Sonmez T, Keles S, Tilki F. Effect of aspect,tree age and

- tree diameter on bark thickness of *Picea orientalis*]]. Scandinavian Journal of Forest Research, 2007, 22(3): 193–197.
- [11] Williams VL, Witkowski ETF, Balkwill K. Relationship between bark thickness and diameter at breast height for six tree species used medicinally in South Africa]]. South African Journal of Botany, 2007, 73(3): 449–465.
- [12] 王晓林, 蔡可旺, 姜立春. 落叶松树皮厚度变化规律的研究]]. 森林工程, 2011, 27(2): 8–11.
- [13] 张喜瑞, 温振拓, 张志富, 等. 螺旋运动式自动割胶装置设计与试验]]. 农业机械学报, 2023, 54(3): 69–179.
- [14] 曹建华, 张峰, 张以山. 橡胶便携式电动割胶刀: CN105340688B[P]. 2018–04–13.
- [15] 曹建华, 张以山, 张峰, 等. 电动割胶刀及其旋切刀头: CN107278807B[P]. 2020–05–19.
- [16] 曹建华, 张以山, 张峰, 等. 电动割胶刀及其旋切刀头: CN107278807A[P]. 2017–10–24.
- [17] 曹建华, 陈凌琳, 郑勇, 等. 电动割胶刀(橡丰牌4GXJ#I型): CN304291029S[P]. 2017–09–22.
- [18] 曹建华, 张以山, 王玲玲, 等. 天然橡胶便携式采胶机械研究]]. 中国农机化学报, 2020, 41(8): 20–27.
- [19] 陈娃容, 黎土煜, 邓祥丰, 等. 便携式电动针刺采胶机械的结构设计与仿真]]. 中国热带农业, 2021(5): 13–21.
- [20] 张春龙, 周航, 张顺路, 等. 一种割胶机器人系统及割胶方法: CN110122256A[P]. 2019–08–16.
- [21] 张春龙, 李德程, 张顺路, 等. 基于激光测距的三坐标联动割胶装置设计与试验]]. 农业机械学报, 2019, 50(3): 121–127.
- [22] 邱继红, 孙原博, 刘航, 等. 一种智能割胶机器人及割胶方法: CN112847381A[P]. 2021–05–28.
- [23] 孙泽瑾, 邢洁洁, 胡宏男, 等. 基于机器视觉的天然橡胶树割胶轨迹识别规划研究]]. 中国农机化学报, 2022, 43(5): 102–108.
- [24] Bu LX, Chen CK, Hu GG, et al. Design and evaluation of a robotic apple harvester using optimized picking patterns]]. Computers and Electronics in Agriculture, 2022, 198: 107092.
- [25] Wang S, Zhou H, Zhang CL, et al. Design, development and evaluation of latex harvesting robot based on flexible Toggle]]. Robotics and Autonomous Systems, 2022, 147: 103906.
- [26] Jin SZ, Min S, Huang JH, et al. Rising labour costs and the future of rubber intercropping in China]]. International Journal of Agricultural Sustainability, 2021, 9: 1–16.
- [27] Zhou H, Gao J, Zhang F, et al. Evaluation of cutting stability of a natural-rubber-tapping robot]]. Agriculture, 2023, 3(3): 583.
- [28] Fang JH, Shi YL, Cao JH, et al. Active navigation system for a rubber-tapping robot based on trunk detection]]. Remote Sensing, 2023, 15(15): 3717.
- [29] Yang H, Sun ZJ, Liu JX, et al. The development of rubber tapping machines in intelligent agriculture: A review]]. Applied Sciences, 2022, 12(18): 9304.
- [30] Yatawara Y, Brito W, Perera MS, et al. "Appuhamy"—the fully automatic rubber tapping machine]]. Engineer—Journal of the Institution of Engineers Sri Lanka, 2019, 52(2): 27–33.
- [31] 周航, 张顺路, 翟毅豪, 等. 天然橡胶割胶机器人视觉伺服控制方法与割胶试验]]. 智慧农业(中英文), 2020, 2(4): 56–64.
- [32] Zhou H, Gao J, Zhang F, et al. Evaluation of cutting stability of a natural-rubber-tapping robot]]. Agriculture, 2023, 13(3): 583.
- [33] 张伟民, 孙尧, 王红兵, 等. 一种割胶机器人: CN110558196A[P]. 2019–12–13.
- [34] 张伟民, 孙尧, 周谊轩, 等. 一种基于割胶机械臂的割胶方法及系统: CN110651686A[P]. 2020–01–07.
- [35] 曹建华, 肖苏伟, 王玲玲, 等. 一种多树采胶的位移控制系统: CN111685012A[P]. 2020–09–22.