

# 团体标准《桑叶采摘机器人设计规范》 (征求意见稿)编制说明

## 一、项目来源

根据《广西农业农村产业振兴促进会关于〈自动化养蚕技术规程〉等 11 项团体标准立项的通知》(桂农促会技〔2025〕7 号)文件精神,由河池学院提出,河池学院、广西林胜堂蚕具有限公司、复旦大学、广西农投时宜农业科技有限公司、河池恒晟农业科技有限公司、广西嘉联丝绸股份有限公司共同起草的团体标准《桑桑叶采摘机器人设计规范》获批立项。

本标准的编写将按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分:标准化文件的结构和起草规则》以及《广西农业农村产业振兴促进会团体标准管理办法》等规定进行。

## 二、必要性和意义

### (一) 必要性

党的二十大报告提出加快建设农业强国,蚕桑产业作为我国传统优势特色产业,面临产业结构优化和转型升级的契机。广西的桑茧产量、桑园面积和蚕种产量均居全国首位,成为当地农民增收致富的重要途径。2024 年上半年,广西蚕茧产量已累计达到 19 万吨,一季度桑叶种植面积达 287 万亩,丰产期每亩年收桑叶约 2500 公斤。然而,桑叶采摘依然依赖人工操作,属于劳动密集型环节。大面积种植的桑园主要依靠人工采摘,蚕农每日工作时间接近 10 小时,劳动强度大,效率较低。随着广西蚕桑产业的持续扩大,人工采摘面

临的问题日益凸显：劳动强度大、采摘效率低、受自然灾害和技术水平差异影响明显，尤其在劳动力日益短缺的背景下，这些问题更加突出。在广西这样的大规模桑园中，研发智能桑叶采摘机器人将带来革命性变革。它不仅能大幅减轻农民的劳动负担，还能有效缓解劳动力不足带来的生产瓶颈，特别是在蚕桑企业面临的“招工难、用工荒”和劳动人口老龄化问题上，智能化采摘技术将极大提高生产效率和质量的稳定性。从长远来看，智能桑叶采摘机器人具有显著的成本效益。一方面，它能在保证桑叶采摘质量的前提下，降低人工成本；另一方面，智能采摘技术将提高工作效率，缓解季节性劳动力短缺问题，助力广西蚕桑产业的持续发展。河池学院针对广西蚕桑产业中劳动力不足的问题开发智能桑叶采摘机器人以提升广西蚕桑业的自动化水平，推动广西现代蚕桑产业的转型升级，促进产业的高质量发展，使之成为全国乃至世界蚕桑业的领先力量。近年来，国家及自治区高度重视桑蚕产业的发展，发布了一系列政策支持文件，广西壮族自治区印发的《加快推进桑蚕产业高质量发展三年行动实施方案（2025—2027年）》旨在推动桑蚕产业规模化、机械化发展，包括智能化养蚕示范推广、桑园机械化作业提升等；根据《广西2022年农业重大技术（蚕桑规模化机械化生态高效）协同推广计划试点实施方案》，通过聚焦蚕桑产业的规模化、机械化与生态高效技术推广，内容包括桑园机械化作业、自动化伐条设备应用等，旨在提升生产效率并降低人工成本。

此外,还有《河池市茧丝绸全产业链发展规划(2021-2025年)》等文件,共同推动了广西桑叶采摘向机械化、科技化发展,为《桑叶采摘机器人设计规范》的制定提供了政策依据。

## (二) 目的和意义

广西桑园分布零散,多位于丘陵山区,对桑叶采摘机器人的地形适应性和灵活性提出了更高要求。此外,当前缺乏针对桑叶采摘机器人的设计标准,影响推广和应用。制定本标准有助于规范设计和生产,提高产品质量和可靠性,促进蚕桑产业现代化。随着劳动力成本上升和农村劳动力短缺,传统桑叶采摘方式难以为继,而桑叶采摘机器人存在适应性、精准性等问题,亟需统一设计规范,推动技术改进和产业发展。因此,制定《桑叶采摘机器人设计规范》团体标准显得尤为迫切:

一、 规范桑叶采摘机器人设计流程,确保产品质量与安全。通过明确设计的技术要求和操作规范,可有效避免人为因素导致的质量波动,提升桑叶采摘机器人的品质稳定性。

二、 有助于提高生产效率,降低生产成本。机器人能够实现连续化、规模化采摘作业,减少人工操作环节,大大提升采摘效率,降低人力成本和时间成本,使桑叶采摘更具市场竞争力。

三、 推动产业转型升级,促进产业发展壮大。标准的制定将为桑叶采摘机器人设计企业提供技术指导,引导企业

采用先进的设计技术和制造工艺，推动产业升级，提高产业整体效益，带动农民增收致富，巩固脱贫攻坚成果，助力乡村振兴战略的实施。

综上所述，通过制定团体标准《桑叶采摘机器人设计规范》，推动机械化替代人工，降低生产成本，增强市场竞争力，进一步提高广西桑蚕业的经济效益，促进乡村振兴的发展具有现实意义。

### **三、项目编制过程**

#### **（一）成立标准编制工作组**

团体标准《桑叶采摘机器人设计规范》项目任务下达后，河池学院、广西林胜堂蚕具有限公司、复旦大学、广西农投时宜农业科技有限公司、河池恒晟农业科技有限公司、广西嘉联丝绸股份有限公司成立了标准编制工作组。标准编制组安排时间进度，明确任务职责，确定工作技术路线，开展标准研制工作。编制工作组下设三个组，分别是资料收集组、草案编写组、标准实施组。

草案编写组负责标准草案、征求意见稿和标准编制说明、送审稿的编写工作，及后期召开征求意见会、网上征求意见，以及标准的不断修改和完善。

资料收集组负责国内外有关桑叶采摘机器人设计的文献资料查询、收集和整理工作，对桑叶采摘机器人的特点进行系统总结。

草案编写组负责起草标准草案、征求意见稿和标准编制

说明、送审稿及编制说明的编写工作，包括后期召开征求意见会、网上征求意见，以及标准的不断修改和完善。

标准实施组负责团体标准《桑叶采摘机器人设计规范》发布后，组织相关企业开展标准宣贯培训会，对标准进行详细解读，让相关人员了解标准，并对标准实施情况进行总结分析，不断对团体标准提出修正意见。

## **（二）资料收集、调查研究分析**

标准编制工作组收集国内国外相关的法律法规和技术标准，主要有：《DB5305/T 191 桑叶茶加工技术规程》《DB51/T 3134 叶用桑全程机械化生产技术规范》等，以及相关文献《装备制造技术》2016年第09期“多自由度桑叶采摘机的设计”、《农机化研究》2016年第4期：“往复式桑叶采摘机设计及采摘效益分析”等文献掌握国内及区内有关桑叶采摘机器人设计的案例、数据及相关标准研究成果，了解其发展趋势和动向。

## **（三）研讨确定标准主体内容**

标准编制工作组在对收集的资料进行整理研究后，标准编制工作组召开了标准编制会议，对标准的整体框架及标准的关键性问题进行初步研究探讨。经过研究，标准的主体内容确定为设计要求和证实方法等方面内容。

## **（四）调研、形成文本草案、征求意见稿**

2025年4月，标准起草工作小组进行了实地调研，查阅了大量的国内外文献资料，对桑叶采摘机器人设计系统总结。结合实地调研，理清逻辑脉络，借鉴已有的参考资料中有关

桑叶采摘机器人设计的内容，按照简化、统一等原则，经编制工作组反复讨论，形成了标准的基本构架，编制完成了团体标准《桑叶采摘机器人设计规范》（草案）。

2025年7月，标准编制工作组邀请相关单位、企业代表等进行座谈讨论，并深入开展调研并实地征求意见，根据意见进行多次讨论修改形成团体标准《桑叶采摘机器人设计规范》（征求意见稿）及编制说明。

#### **四、标准制定的原则**

##### **（一）实用性原则**

本标准是在充分收集相关资料和文献，调研分析桑叶采摘机器人设计情况，在现有国家、行业标准对于桑叶采摘机器人设计的基础上，结合河池学院、广西林胜堂蚕具有限公司、复旦大学、广西农投时宜农业科技有限公司、河池恒晟农业科技有限公司、广西嘉联丝绸股份有限公司的经验起草的。符合当前桑叶采摘机器人设计的需求，有利于广西桑蚕业的长远发展，对保护桑叶采摘机器人品质，进一步提高桑叶采摘机器人设计效率，具有较强的实用性和可操作性。

##### **（二）协调性原则**

本标准编写过程中注意了与桑叶采摘机器人设计相关法律法规的协调问题，在内容上与现行法律法规、标准协调一致。

##### **（三）规范性原则**

本标准严格按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的要求和规定编写

本标准的内容，标准内容表达准确，引用数据来源真实可靠，各项指标科学合理、论证充分，标准质量有保证。

#### **（四）前瞻性原则**

本标准在兼顾当前桑叶采摘机器人设计的现实情况的同时，还考虑到了桑叶采摘机器人的发展趋势和需要，在标准中体现了特色性、前瞻性和先进性条款，作为对桑叶采摘机器人设计的指导。

### **五、标准主要内容及依据来源**

#### **（一）主要内容**

团体标准《桑叶采摘机器人设计规范》的主要内容包括设计要求和证实方法。

#### **1. 设计要求**

##### **（1）正常工作条件**

基于广西桑园实测数据设定参数机器人应能在下列环境条件正常工作：环境温度 $-10^{\circ}\text{C} \sim 45^{\circ}\text{C}$ （无冷凝）；平均相对湿度 $\leq 95\%$ （无冷凝）；存储温度 $-20^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$ ；坡度 $\leq 15^{\circ}$ 。桑园应符合机器人采摘要求：树势健壮、无缺株断行、发芽整齐、生长势强、种性较纯的桑园；桑园中应无杂草和异物；桑园应有改土培肥、合理治理桑树病虫害等管理措施。

##### **（2）基本要求**

应按照 GB/T 36008、GB 11291.1 中的有关规定来设计机器人。机器人设计应考虑其行走宽度与桑树行间距的匹配，

以及行走路径对枝叶伸展空间的避让。机器人设计应保证其能源系统（供能方式和续航能力）与正常班次作业的用能需求相匹配。机器人行走方式宜为四轮驱动、原地平移旋转移动底盘方式。在最大负载和最大工作范围的工况下，机器人应保持整体稳定。单一部件故障不应引发安全功能失效。机器人设计文档应包括但不限于设计说明书、原理图、装配图、零部件清单和安全手册等组成部分。关键零部件（如伺服电机、减速器、传感器）应提供合格证明及可靠性测试报告。机器人各功能单元（如机械臂、控制柜、末端执行器）应实现模块化，便于更换和维护。机器人设计应考虑预留检修空间，确保关键部件易于拆卸，且故障诊断接口应支持远程监控功能。机器人本体及部件应有清晰的型号、参数、安全警示标识，符合 GB 11291.1 的有关规定。

### （3）性能

组成机构包括 3D 视觉识别和导航定位系统（重复定位精度、分辨率、误判率）、行走系统（行走速度、爬坡能力、避障能力、垮沟能力、转弯半径、遥控距离、制动距离、载重）、机械臂及控制系统（自由度、升降机构、动作成功率、位置稳定时间、轨迹速度、轨迹精准度和重复性、位姿精准度和重复性）、采摘和收集系统（采摘范围、收集系统容量、采摘成功率）、整机本体（续航能力、温升、单次采摘动作时间、漏切率、切割破头及枝条损伤率、采摘含杂率、工作噪声、纯工作小时生产率）。

采摘效率：机器人每小时可采摘桑叶 360-500 片，相较于传统人工采摘效率显著提升。依据是项目研究目标中明确提出了该采摘效率指标，这是基于对桑叶采摘任务量和时间的综合评估，旨在满足大规模桑园的采摘需求，减少人工劳作时间。

识别能力：机器人单次拍照对叶片识别召回率 >90%，准确率 >90%，桑叶采摘关键点识别率 85% 以上，误判率 10% 以下即漏切率  $\leq 10\%$ 。这一性能指标是通过采用基于 3D 视觉和深度估计的智能感知系统实现的，该系统结合 RGB-D 信息以及 NeRF 和单目深度估计修正技术，能够精确定位桑叶和枝干，确保采摘点的精准识别，即使在复杂干扰场景下也能保持较高的识别精度。

动作成功率：机器人动作成功率 85% 以上，切割破头率及枝条损伤率  $\leq 10\%$ 。这得益于机器人末端执行器的特制蛇嘴形机构和柔性材料设计，能够快速定位并采摘桑叶，同时减少对桑叶和枝条的损伤，保证桑叶的完整性和质量。

适应能力：机器人采用模块化设计，能够适应不同地形和种植模式，处理园区多样化的路况及桑树结构的变化。其底盘为四轮驱动、原地平移旋转移动底盘，集成多传感器，如激光雷达、超声波传感器和 IMU，实现自主导航和避障，可在坡地稳定运行，适用于广西蚕桑生产园区典型的丘陵山地环境。基于河池学院语义 SLAM 技术 (Page16-17)，结合 RTK+激光雷达定位。

续航能力：机器人利用自动换电技术，可实现全天候 24 小时桑叶采摘，设备无故障率 80% 以上。这意味着机器人能够在连续作业过程中自主更换电池，减少因电量不足而导致的停机时间，提高整体作业效率，满足桑叶采摘的连续性需求。

#### （4） 控制功能设计

机器人应具备但不限于以下功能：安全保护功能（主动避障、异常报警、碰撞保护、保护性停止和独立急停等功能）；导航与定位控制功能；路径搜索及确定功能；视觉伺服引导控制功能；手动运动控制和自动运动控制功能；速度限制功能；作业编辑、地图编辑功能；远程控制、信息采集和交互功能；冗余协同控制功能；故障处理功能。

#### （5） 人机交互界面

原则：易用性（确保操作简便高效）。直观性（信息呈现清晰易懂，操作逻辑符合用户预期）。安全性（设计应优先保障操作人员安全，防止误操作）。

软件界面要求界面应简洁、直观，应支持中文显示。核心功能模块应包含且清晰区分状态监控、参数设置、故障报警。

硬件交互要求按键布局应符合人体工程学原理，便于操作者使用。急停装置位置应醒目、易于识别且易于触及和操作，紧急按钮类型宜使用红色。

#### （6） 接口设计

功能：机器人末端执行器安装法兰的尺寸设计应符合 GB/T 30819 的有关规定。机器人电源接口与信号接口应配置防误插设计，脚定义应符合 GB/T 5226.1 的有关规定，且连接器防护等级应不低于机器人本体防护等级。机器人控制接口应提供基于标准协议的机器人控制接口。机器人的脚本语言扩展库应覆盖全部控制功能。

状态和指示：指令装置的操作状态应始终清晰可辨。在远程控制时，每个装置应清晰标明其控制的机器人部件。远程控制系统的设计与制造应针对并适配特定的机器人部件及其功能。

连接和断开：机器人通信接口应支持以太网、RS-485、CAN 等接口，协议兼容性可通过第三方测试。保护性停止触发条件在发生任何指令装置的连接、断开、重连接和发生连接故障，且继续运行将导致不可接受的风险（依据风险评估确定）时，机器人应启动保护性停止。远程控制信号响应在远程控制模式下，机器人应设计为仅响应来自预定且经过授权的控制单元的信号。

接口使用权限：远程访问时，应采取措施以避免未经授权的控制或参数改变。

## （7） 安全设计

机器人外壳：应具备足够的机械强度和刚度。外壳的防护等级应不低于 GB/T 4208 规定的 IP5X 等级。

机器人元器件及外壳的表面温升：应控制在干扰其正

常运行的范围内。

机器人中构成危险因素的电气、液压等部件：其固定防护罩或外壳在正常运行期间应保持闭合。仅在需要时方可打开，且应使用工具进行操作。

机器人各关节的机械连接方式：应避免引入额外风险，连接机构应采用平滑过渡的设计，确保外观结构无直接突出部分。

机器人在人机协作或与周边设备交互时：直接接触区域应消除潜在的危险机械结构。

因机器人机械结构设计可能导致发生危险的部位：应有明显的安全警示标识，并在使用手册上明确指出。

机器人协同操作区域内的裸露带电部件：其工作电压不应超过安全特低电压（SELV）限值。

机器人电气部件：应符合 GB/T 5226.1 的有关规定，金属外壳应可接地，接地端子标识清晰。

机器人应具备防静电及防意外触电的安全防护设计。

#### （8） 电磁兼容性

机器人的电磁兼容性应考虑的内容应符合 GB/T 21398 的有关规定。

#### （9） 机械设计

关键承载部件（机械臂、底座等）的设计应通过有限元分析进行验证，其额定负载工况下的变形量应 $<0.1\%$ ，工作应力不应超过材料屈服强度的 $80\%$ 。基于学院行走装置试验

平台，适应丘陵地形。

传动部件（减速器、齿轮、丝杠等）应选用高精度等级产品，并配备有效润滑系统或使用自润滑材料。

所有关节部位应安装防尘罩及密封圈，以隔绝异物；暴露的高速运动部件应配备防护栏或张贴清晰的安全警示标识。

螺栓、销轴等连接件应满足抗疲劳设计要求；关键部位连接应采用防松装置。

结构件应优先选用高强度轻量化材料，并具备足够刚度和耐腐蚀性；接触液体或腐蚀性气体的部件应进行表面防护处理。

#### （10）可靠性设计

机器人的设计与制造应确保其在正常工况下的稳定运行，满足平均无故障工作时间(MTBF)和平均修复时间(MTTR)等可靠性指标。同时，在最大负载及最大工作范围条件下，机器人整体结构应保持稳定，不发生失衡。

#### （11）排放要求

机器人能量供应涉及排放时，其排放限值应符合 GB/T 26572、SJ/T 11364 的有关规定。

## 2. 证实方法

机器人制造商应按照本文件第 4 章的要求，提供对机器人设计与构造的验证和确认。正常工作条件宜使用红外测温仪、电子温湿度记录仪、温度记录仪、坡度尺等工具进行。

基本要求采用目测、手感的方式进行。性能按照 GB/T 12642、JB/T 6268 的有关规定进行。控制功能设计机器人试运行操作，按照产品说明书中规定的操作方式进行。人机交互界面采用试运行的方法进行。接口设计采用试运行的方法进行。安全设计按照 GB/T 4208 和 GB/T 5226.1 的有关规定进行。电磁兼容性按照 GB/T 21398 的有关规定进行。机械设计采用目测、手感、试运行操作的方式进行。可靠性设计按照 GB/T 12642 的有关规定进行。排放要求按照 GB/T 26572 和 SJ/T 11364 的有关规定进行。

## **(二) 依据来源**

通过市场调研、桑叶采摘机器人生产企业反馈和竞争分析等手段，分析桑叶采摘机器人设计内的需求和痛点，以及了解技术发展趋势和法规要求，制定符合市场需求的设计技术标准，确保标准贴近市场实际。通过深入的利益相关者参与和案例研究，确保标准不仅能满足市场需求，还能推动行业创新与可持续发展，从而增强标准的适用性和有效性。参考以往的加工案例、相关法律法规、行业标准以及实际调研数据。在制定过程中，充分考虑了桑叶采摘机器人设计技术的特点，结合了广西地区的实际情况，确保标准的科学性、合理性和可操作性。

## **六、引用相关的国家标准、地方标准和相关资料**

本标准的修改编写格式根据 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定，

内容和要求参考了相关法律法规，本文件规范性引用文件具体如下所示：

GB/T 4208 外壳防护等级（IP 代码）

GB/T 5080.1 可靠性试验第 1 部分：试验条件和统计检验原理

GB/T 5226.1 机械电气安全机械电气设备第 1 部分：通用技术条件

GB 11291.1 业环境用机器人安全要求第 1 部分：机器人

GB/T 12642 工业机器人性能规范及其试验方法

GB/T 12643 器人词汇

GB/T 21398 农林机械电磁兼容性试验方法和验收规则

GB/T 26572 电子电气产品中限用物质的限量要求

GB/T 30819 机器人用谐波齿轮减速器

GB/T 36008 机器人与机器人装备协作机器人

JB/T 6268 自走式收获机械噪声测定方法

SJ/T 11364 电器电子产品有害物质限制使用标识要求

## 七、国内同类标准制修订情况及与法律法规、强制性标准关系

### （一）国内同类标准制修订情况

目前国内尚无专门针对桑叶采摘机器人设计技术的国家标准或行业标准。因此，本文件的编写涉及到的桑叶采摘机器人设计技术由编制单位研发，具有唯一性，填补了这一方面的空白。

### （二）与法律法规、强制性标准的关系

本标准与现行法律、法规和强制性国家标准没有冲突。

标准的编写符合 GB/T 1.1—2020 的要求。

#### 八、重大分歧意见的处理经过和依据

本标准研制过程中无重大分歧意见。

团体标准《桑叶采摘机器人设计规范》

标准编制工作组

2025 年 7 月 23 日