

基于“人-机-环境”系统的智能名优采茶机设计研究

尹俊方, 孙虎, 冉秋艺
(西华大学, 成都 610039)

摘要: **目的** 旨在提高采茶效率, 解决现有名优茶采茶机在使用过程中存在的一些问题, 即不贴合作业环境、用户交互体验感弱和采摘效率低等。**方法** 以四川蒙顶山为设计目标地, 运用“人-机-环境”系统理论分析影响设计与产品相关的“人”与“环境”因素, 结合“人”的生理和心理特征以及作业环境、政策导向等信息准确定义智能采茶机。**结论** “人”的因素影响采茶机的色彩以及交互体验, “环境”因素影响采茶机的尺寸、结构、行走方式、动力机构等, 综合运用“人-机-环境”系统下的各个子因素以及相关因素的关系, 能够更加准确地定义智能名优采茶机, 产品在功能、体验感、贴合作业环境等方面明显增强, 提高了设计准确率。“人-机-环境”系统理论对具有明确设计目标的农机产品设计具有很大的借鉴意义。

关键词: “人-机-环境”系统; 智能采茶机; 名优茶; 采茶机设计

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)12-0183-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.12.024

Design and Research of Intelligent Famous and Excellent Tea Picking Machine Based on “Human-Machine-Environment” System

YIN Jun-fang, SUN Hu, RAN Qiu-yi
(Xihua University, Chengdu 610039, China)

ABSTRACT: This paper aims to improve the efficiency of tea picking, and change the existing non-cooperative industry environment, weak user interaction experience and low picking efficiency in the existing famous tea picking machines. With the Mengding Mountain in Sichuan as the design destination, the “human-machine-environment” system theory was used to analyze the “human” and “environment” factors affecting the product in the design, combining the physiological and psychological characteristics of the “human” and the “environment” information such as the operating environment and policy orientation, to accurately define the smart tea maker. The “human” factor affects the color and interactive experience of the tea picking machine, and the target “environment” factor affects the size, structure, walking mode, power mechanism, etc. of the tea picking machine. Comprehensively using each sub-system of the “human-machine-environment” system factors and the relationship between them can more accurately define the intelligent tea-picking machine, and the product is significantly enhanced in terms of functions, experience, and cooperative environment, which improves the design accuracy. “Human-machine-environment” system theory has great reference significance for the design of agricultural machinery products with clear design goals.

KEY WORDS: “Human-machine-environment” system; intelligent tea picking machine; famous tea; tea picker design

茶业是中国传统的优势产业, 我国茶园面积占世界的 60%。茶叶分为名优茶及大宗茶, 名优茶鲜叶选

收稿日期: 2021-02-13

基金项目: 成都哲学社会科学重点研究基地美丽乡村建设与发展研究中心自主项目 (CCRC2020-1); 四川省教育厅工业设计产业研究中心开放课题资助项目 (GYSJ2021-010)

作者简介: 尹俊方 (1996—), 女, 河北人, 西华大学硕士生, 主攻工业设计。

通信作者: 孙虎 (1982—), 男, 安徽人, 硕士, 西华大学教授, 主要研究方向为产品创新系统、信息交互设计。

取独芽,一芽一、两叶为标准叶,根据其颜色、形状选择性采摘,2017年名优茶的产值在国内茶产值的占比率为75%,采摘方式主要为手采。在步入老龄化社会的今天,面对农村劳动力短缺、劳动成本高以及劳动强度大等问题,直接影响茶叶的采摘效率和质量。传统名优茶采摘设备运用仿人茶叶机械手采摘系统,主要采用图像识别嫩芽技术进行选择采摘。在此基础上,徐张群^[1]研究出DSP的图像识别与控制集成系统,范元瑞^[2]所研究的有关并联式自动采茶机Delta机器人对于茶叶采摘的可行性验证实验等,都推动了名优茶机采设备技术的发展,但是忽视人机交互、机环交互问题。本文以“人-机-环境”系统为指导,以四川蒙顶山茶园为目标地,设计研究名优茶智能机采设备,解决现有智能采茶机所存在的体验感弱、操作不便、不贴合环境的问题,使设计更好地服务于茶园和茶农。

1 基本概念

1.1 人机环境系统模型

将“人-机-环境”系统理论带入智能采茶机的设计中,“人”作为工作的主体,是采茶机的使用者和利益相关者;“机”是人所控制的一切对象,也是本文研究的对象;“环境”指自然环境、社会环境及人文环境,自然环境主要指茶园的作业环境及地理环境,社会环境主要体现在政策机制,文化环境体现在风俗习惯和文化内涵中。

在智能采茶机的设计中“人-机-环境”系统的3个子系统相互影响、互相作用。系统中包括3个层次互动关系,人机关系是指用户的生理结构和心理认知对采茶机的影响和产品使用反馈;机环关系是指自然环境、社会环境和文化环境对采茶机的影响以及产品作业方式、技术、尺寸、大小、材质的适用性;人环关系是指用户与作业环境和物理环境的交互。机械作业的前提是指即用户怎样把机器运输到茶园,这是机器作业的前提。基于这些影响因素故对采茶机的操作

方式、作业方式、造型、尺寸、材质、技术、色彩等方面进行设计研究,见图1。

1.2 智能名优采茶机

名优茶是茶叶的一种分类,相对于大宗茶而言,特指生长在山头好,土壤好,并用嫩度恰好的原料来匠心加工的茶叶。其品质优良、具有一定知名度,原料选取独芽,一芽一、两叶,根据其颜色、大小、形状、舒展度等辨别采摘,采摘方式多为指摘,即用拇指和食指置于采摘端,拈新生之细芽,指端用时着力,其采摘效率取决于采摘者的娴熟程度。

针对名优茶的采茶机是将茶树顶梢新嫩茶叶采集的机械。目前对于名优茶机械采摘主要是采用图像视觉和机械手臂配合的方式,传统乘坐式智能采茶机由驾驶室、控制系统和机架组成,见图2。图2a为传统乘坐式智能采茶机的构成系统关系图,控制机构主要包括视觉检测单元、割刀水平控制单元、割刀高度控制单元、割刀对准控制单元、割刀切割控制单元、集茶风机控制单元、行走机构控制单元和驾驶室控制系统,机架构件支撑驾驶室和控制系统^[3];图2b为乘坐式智能采茶机正视图,红色标记为采集目标物的摄像头。

2 “人-机-环境”系统下的智能采茶机设计模型—以蒙顶山茶园为例

蒙顶山又名蒙山,位于四川省雅安市名山区,呈东北至西南走向,属于亚热带季风气候,地貌以平坝丘陵为主^[4]。蒙顶山满足茶树生长所需的有利条件,盛产绿茶和黄茶,且多产名优茶。截至2019年,茶园面积占全区耕地的85%以上,90%以上的农户种茶,75%的人口从事茶业相关的生产经营活动。采摘时间从3月持续到10月,茶叶品质因采摘时节各异。春茶品质高、经济价值大,采摘方式多为手采。夏茶和秋茶产量高、采摘周期长,相对春茶而言采摘环境恶劣。同时随着劳动人口的逐年缩减,夏、秋两季采茶的机械化需求增大。

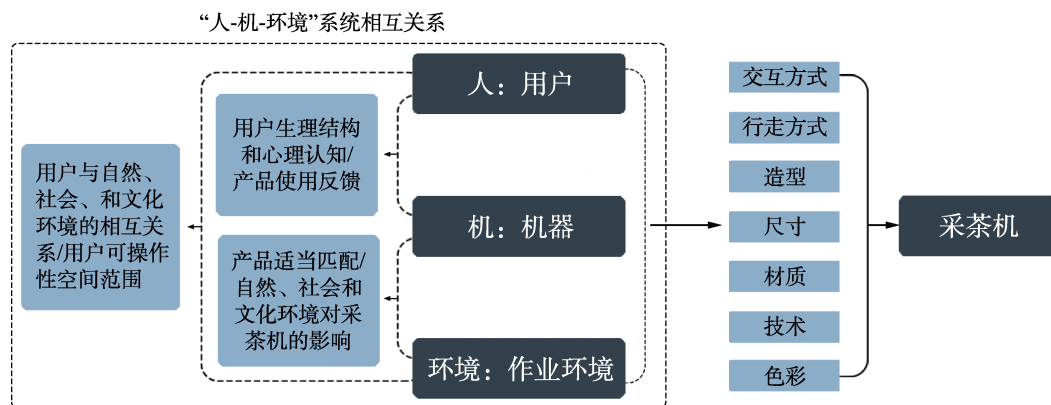


图1 基于“人-机-环境”系统的采茶机设计模型

Fig.1 Tea picking machine design model based on “human-machine-environment” system

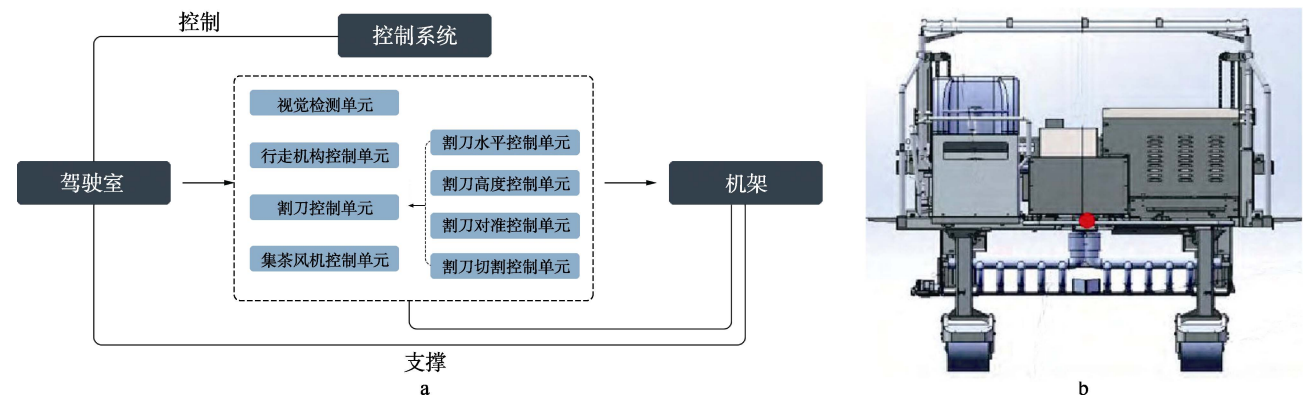


图 2 乘坐式智能采茶机整体结构
Fig.2 Overall structure of the riding intelligent tea picking machine

结合徐张群及汤一平的成果初步分析采茶机模型应由行走机构、动力系统、茶叶收集箱、图像识别系统、采摘机械手、升降结构和控制系统组成。具体工作流程如下：（1）用户通过载具将采茶机运输至茶园；（2）开启开关键，设置自动驾驶、升降装置、左侧/右侧/两侧机采装置、识别采摘系统并开启待机模式；（3）采茶机行走过程中，使用摄像头采集图像，用图像处理方法识别鲜叶及其采摘位置；（4）然后控制机械手运动到目标位置并完成采摘；（5）机械臂滑动到收集通道口，松开机械夹，茶叶进入收集通道至收集箱，由此完成一次采茶工作，随后机器继续重复前一个操作命令；（6）茶叶集满会发出信号通知用户清理收集箱，见图 3。

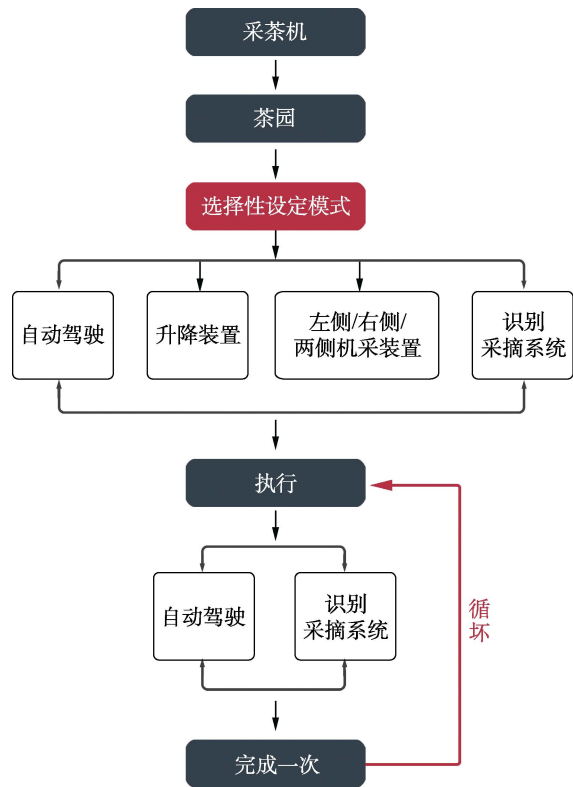


图 3 智能采茶机工作流程
Fig.3 Intelligenttea picker working flow chart

2.1 子系统“人”对智能采茶机设计影响及其模型

人是采茶机的使用者和利益相关者。自 2010 年起，农机产品用户群体逐步转变为 1980 年以后出生的群体，这类人群对于农机要求更倾向于好用、易用、自动化^[5]。目前，现有的智能采茶机主要以技术驱动型为主，而忽略了用户的体验感受，源于设计时对生产工具和劳动者之间的协调配合有所忽视，故智能采茶机的设计方向应转向以用户为中心，根据用户的生理结构、心理状况、认知能力、行为习惯等对采茶机进行再设计，使用户操作机器时更得心应手，提高人对机器的识别率、信任度以及易用性。

“人-机”关系应着眼于人的生理和心理状况，见图 4。从生理角度而言，影响采茶机设计的因素有用户身高、手部尺寸和机械可承重范围，这些因素会影响采茶机的行走方式、形状、重量等方面；从心理角度分析，用户受教育程度和行为习惯则影响采茶机的机械化程度和技术等。设计时应匹配“人”的生理特征和心理预期，减小操作失误和事故的发生概率。

由于 80 后的劳作者对农机要求好用、易用、自动化，因此操控系统要清晰，且采摘技术实现智能化。控制系统的程序设计包括自动化驾驶控制、图像识别系统控制、机械臂的控制、末端执行机构的控制和升降装置的控制 5 个部分，见图 5a。用户按动开关启动屏幕后，可选择性设定自动驾驶、升降装置、双侧机采装置、图像识别/机械手装置的开启状态，以便执行不同的工作状态，操作流程见图 5b。

自动化驾驶技术以嵌入式 PC 处理器为核心，结合 Linux 嵌入式系统和物联网技术设计控制系统软硬件部分，其效果表明自主导航曲线和预设导航曲线吻合程度较高，定位误差较小，误差收敛速度较快^[6]。

图像识别和机械臂控制是茶叶自动化采摘的两个关键技术，见图 6，本机使用两侧采摘模式，单侧设有 3 个机械臂，相当于 6 只手同时采摘，每个机械臂都配有单独的摄像头，精准定位不会混淆，机械臂前端使用机械夹，末端有割刀和橡胶软垫，起到减缓机械夹用力过大损坏茶叶以及增大摩擦防止茶叶滑

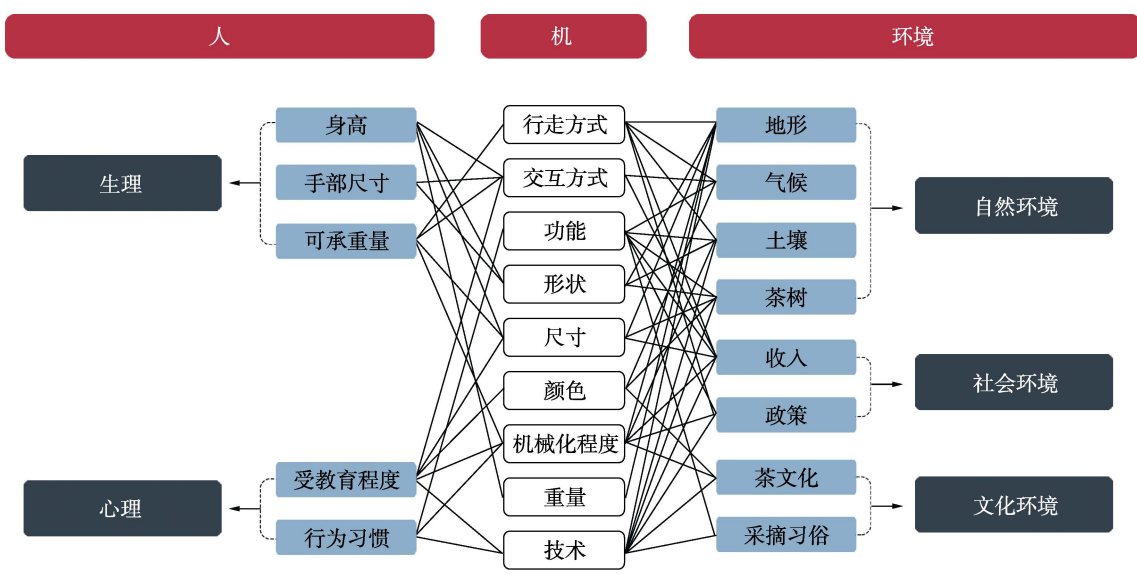


图 4 “人-机-环境”系统对采茶机影响因素分析
Fig.4 Analysis of influencing factors of “human-machine-environment” system on tea picking machine

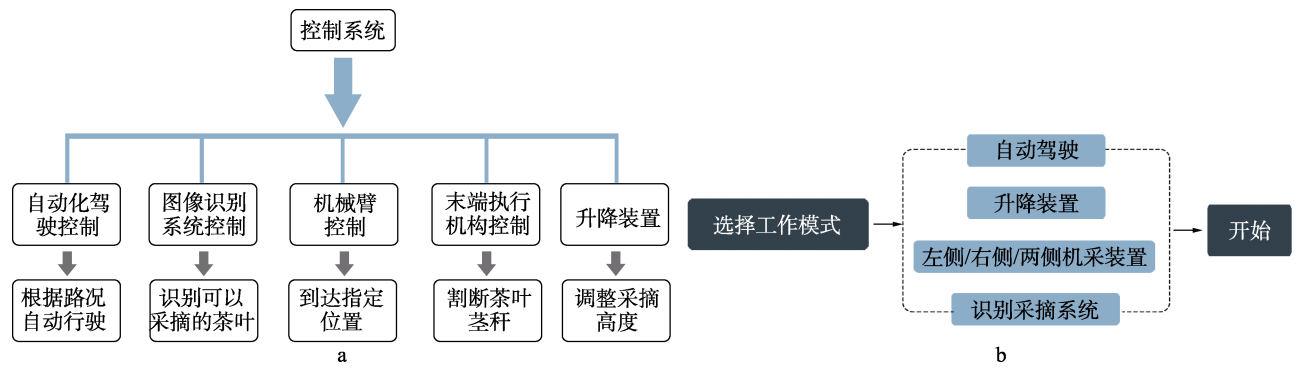


图 5 采茶机控制系统构架和交互流程
Fig.5 Tea picking machine control system and Interaction flowchart

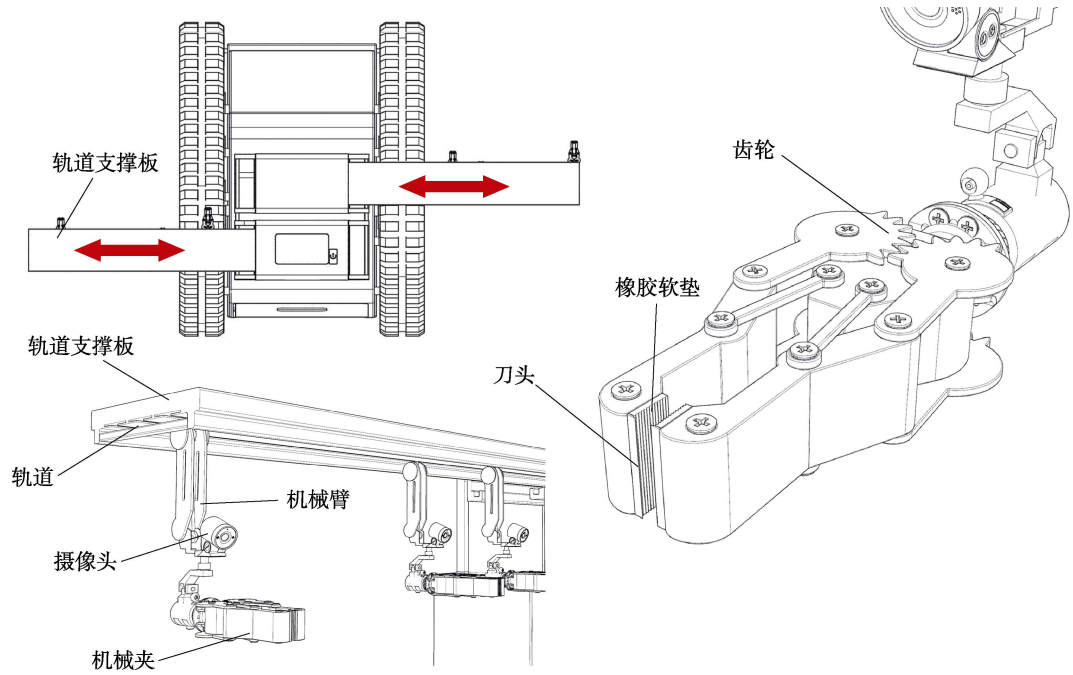


图 6 采摘系统组件
Fig.6 Picking system components

落的作用。机械臂通过轨道和轨道支撑板相连接，轨道支撑板长 500 mm，双向伸缩，使得采摘面积增大，针对于阶梯单行栽种茶树，也可都在同侧进行作业，机械臂在轨道内移动采摘茶叶，然后放置到轨道最内侧的茶叶收集通道中。

工作原理：基于 TMS320F28335 的 DSP 将图像识别和运动控制集成起来，采用 OV7670 摄像头采集图像，用图像处理方法识别鲜叶及其采摘位置（DSP 读取外扩 SRAM，将图像坐标系和机械手坐标系转换），然后控制机械手运动到目标位置完成采摘，采摘到茶叶后输送到茶叶收集通道里^[1]。

另外，由于农业生产活动机械式地重复同一动作，较为枯燥，所以应注重关怀用户的心理感受。合适的色彩搭配会给人愉快、和谐的感受，使枯燥的生产劳作过程变得“轻松”起来。人们对于农机产品色彩选择无彩色、纯度高的产品较少，相对来说，暖色系的产品更受好评^[7]，在绿色农田环境下，补色系评价较好。考虑到茶园以绿色系为主，采茶机主色设定为黄色、黑色搭配，暖色调使得可视度清晰，有助于操作者及时获得机器位置和作业情况以及避免其他人与机器产生碰撞冲突，与茶园的绿色形成鲜明对比，获得可观感。

2.2 子系统“环境”对采茶机设计的影响及其模型

智能采茶机是否能够推广应用很大程度上取决于“环境”系统，即自然环境、社会环境、文化环境。自然环境中的土壤、地势、气候等因素成为约束设计采茶机的造型、技术、尺寸、行走方式等方面条件；社会环境如政策引导的倾向会影响采茶机动力的选择和机械化水平；文化环境如风俗习惯也会影响采茶机的机械化水平，如图 4。通过深入分析目标地（蒙顶山），并与国情和地理条件结合，发展技术精准、全面兼顾的中国高端农业装备产品。以下为设计依据及其设计模型。

1) 蒙顶山地理环境。位于亚热带湿润气候区，年均气温 15.4℃，气候温和；地貌以平坝丘陵为主，为川西老冲积地之一，年平均降水量 1454.7 mm，降水充沛；年平均无霜期 298 d，年平均相对湿度 83%，属空气潮湿地区。土壤松软潮湿，非常适宜茶树生长^[8]。地理环境信息会影响智能采茶机的行走方式、操作方式和功能设定，如图 4。

2) 农作物信息。蒙顶山标准茶园里的茶树为灌木型，也是本文研究的作业对象。茶园依坡而建，坡度 15°~35°，海拔 900~1450 m^[4]；茶垄地面间距为 600 mm，树枝在高于地面约 300 mm 处向外伸展，茶树平均高度为 800~900 mm，名优茶大致生长在垂直高度为 150 mm 的弧面上，茶垄宽度为 900 mm，茶垄间宽度为 600 mm。根据调研结果最终确定茶垄的横截面及名优茶的采摘区域为左图所示的阴影区域，茶垄宽度 900 mm，高度 150 mm。农作物信息会影响智能采茶

机的尺寸、形状、颜色和操作技术，如图 4，见图 7。

3) 政策激励制度。为推动名优茶产业的转型升级，市区委、区政府公布了《雅安市人民政府办公室关于进一步加快推进雅茶产业发展的实施意见》、《蒙顶山茶转型升级中长期发展规划（2015—2025）》^[9]等相关文件，涉及到大力发展标准茶园，立足规模化、工业化发展，务实茶业科技支撑，为提高茶园全机械化、自动化水平而引进名优茶采茶机械，提升名优茶自动化采摘率。通过茶叶种植机械化推广试点的示范，落实机具扶持政策等措施提升茶叶种植机械化率。目前全区茶业种植机械化率已高达 98%^[10]。政策会影响采茶机的动力选择、自动化程度以及控制系统。

上述环境对采茶机设计有着极大的制约因素。设计模型应如下。（1）目标地的丘陵地势和土壤性质以及茶树灌丛宽幅、高度、种植间距等因素决定采茶机采用橡胶三角履带，见图 8。系统主要由履带板、驱动轮、导向轮、承重轮、张紧轮构成^[11]，单侧外形尺寸（长×宽×高）为 630 mm×100 mm×300 mm，其中履带板宽度为 100 mm，履带轨距为 500 mm。张广晖^[11]测试得出三角履带纵向上、下坡行驶坡度分别为 37.6°~38.4°、38.1°~33.2°，横向匀速直线和匀速转弯最大行驶角度为 26.4°和 22.8°，三角履带有效减小转弯半径，增强产品稳定性，更能适应丘陵地区茶园作业。（2）考虑到中国土地使用权、茶园所处的地形和面积、茶树间距等因素。名优茶的智能采茶机器人设计体积应适当缩小，不仅能适应个体户收纳、运输、使用还能适应丘陵山坡地区路况；采茶机主要承重底盘和机箱位于茶垄间下部，因机械臂要采摘茶树顶端的鲜叶，故使得中间需要升降装置将机械臂提升到高于茶树的位置。本机采用固定液压剪叉式升降结构，主要是由剪叉起升机构和液压系统以及平台共同构成，由液压缸驱动剪叉，起升机构变幅，从而达到升降的目的^[12]。升降范围为 1000~2000 mm，长×宽为 195 mm×110 mm，选用冷加工变形的空心型钢技术，以提高钢的屈服强度^[13]，见图 9。（3）采茶机机箱位于底盘和平衡器上方，机箱内装有汽油箱和发动机、控制系统、升降架以及收集箱。由于环境复杂性，机身采用金属材质，尺寸（长×宽×高）为 510 mm×290 mm×270 mm，参考农用小型电动三轮拉货车车厢

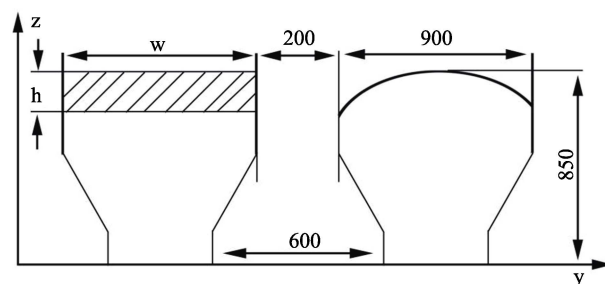


图 7 茶树信息分析（单位：mm）

Fig.7 Tea tree information analysis

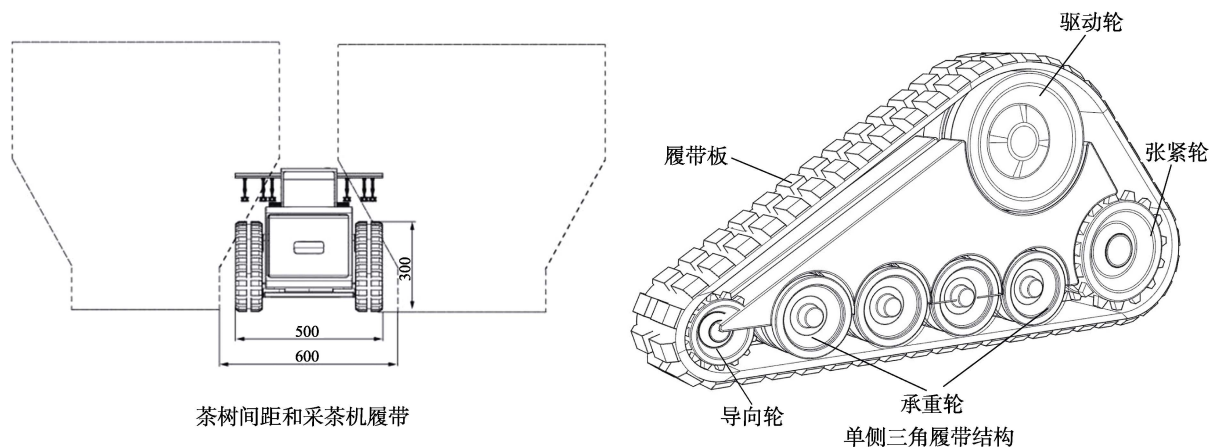


图8 茶树间距和采茶机履带结构 (单位: mm)

Fig.8 Tea tree pitch and tea picker tracks structure

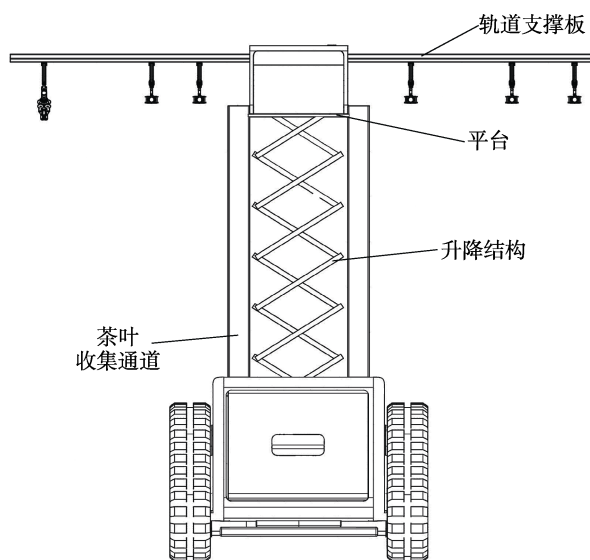


图9 固定液压剪叉式升降结构

Fig.9 Fixed hydraulic scissor lift structure

体量最小为 1300 mm×900 mm, 最大承重 300 kg, 本机质量为 25 kg, 可借助电动三轮车运输至作业环境。茶叶收集箱位于机箱的中后侧, 呈抽屉式以便清理茶叶, 容量约为 17 kg, 见图 10。(4) 目前农机产品中使用最多的动力机器仍是汽油发动机, 其续航时间长并且对于山地作业来说具有较大优势, 标定功率为 11 kw, 标定转速为 3600 r/min, 包括单缸、风冷、四冲程、顶置气门及水平轴汽油发动机的动力输出轴与直径为 85 mm 的皮带轮连接。工作时汽油机给整个底盘提供动力并通过机械传动(包括皮带轮传动、变速箱的变速传动、齿轮箱的齿轮传动)完成减速增扭和动力分流再分别传递给行走装置的驱动轮、升降机和机械臂等工作部件^[14]。

3 人机环境影响下的蒙顶山智能采茶机设计

“人”和“环境”的因素对智能采茶机的影响共同促进采茶机设计方案的形成和完善, 智能采茶机设

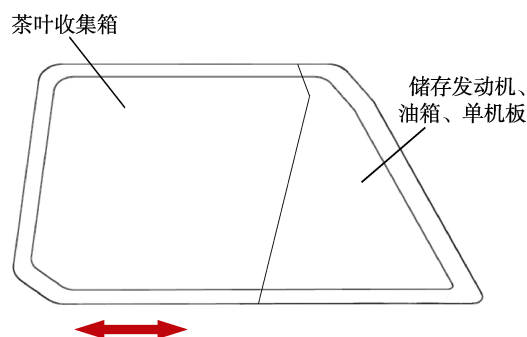


图10 机箱侧视图

Fig.10 Case side view

计效果见图 11, 智能采茶机系统组成特点见表 1。智能采茶机由行走机构、动力系统、茶叶收集箱、图像识别系统、采摘机械手、升降结构和控制系统组成。采用自动化驾驶技术和智能图像识别采摘技术, 减轻劳动者的劳作强度; 行走方式使用三角履带形式, 稳定性高, 适合丘陵地区作业环境; 中间采用升降结构系统以支撑双侧机械臂活动轨道, 并且可选择单双侧不同的作业模式, 易于收纳; 茶叶收集通道位于升降架两侧, 机械臂采摘茶叶后放入收集通道进入茶叶收集箱, 抽屉式茶叶收集箱位于主机箱后侧, 方便拉出并倾倒茶叶; 采用汽油发动机, 保证作业时间足够长, 避免动力不足问题; 机身采用金属材质, 坚硬且不易变形, 并起到防水作用, 考虑到作业环境以绿色为主, 机身采用黄色和黑色搭配, 使得操作者能够通过颜色快速精准知晓机器位置和状态。

4 结语

目前我国对于名优茶自动化采摘设备还处于技术研发阶段, 现有的名优茶智能采茶机仍存在体验感弱、不贴合作业环境和采摘效率低的问题。本文基于“人-机-环境”系统理论, 结合目标地蒙顶山, 通过分析“人”和“环境”对采茶机设计的制约因素, 明确智能采茶机设计方向。设计表明基于“人-机-环境”



图 11 智能采茶机设计效果

Fig.11 Design effect diagram of intelligent tea picking machine

表 1 智能采茶机系统组成特点

Tab.1 Characteristics of intelligent tea picker system

部件分类	技术参数	设计分析	特征
整机尺寸	630 mm×500 mm×490 mm	适应运输、作业环境	体积小、轻便
动力系统	德尼尔森 190F 型汽油发动机	动力充足、待机时间长	续航持久
行走装置	(单侧) 630 mm×100 mm×300 mm	三角履带越障能力更强, 更适应丘陵坡地行走	三角履带
收集箱	17 kg	空间利用最大化、抽拉式取出, 操作便利	配置收集箱
采摘系统	DSP 图像识别和运动控制	一个摄像头对应一个机械手, 识别准确	精准识别采摘
升降架	升降范围为 1000~2000 mm	剪叉升降结构, 高强度承重稳托上部装置	伸缩性强, 易收纳

系统理论对智能采茶机设计有着良好的功能和体验感, 这种设计模式对山地农机产品研发有着一定的借鉴意义。

参考文献:

[1] 徐张群, 郑相周, 黄伟军. 名优茶采摘机械手的 DSP 图像与控制集成设计[J]. 江西农业大学学报, 2018, 40(6): 1323-1330.
XU Zhang-qun, ZHENG Xiang-zhou, HUANG Wei-jun. Integrated Design of DSP Image and Control of Famous Tea Picking Manipulator[J]. Journal of Jiangxi Agricultural University, 2018, 40(6): 1323-1330.

[2] 范元瑞, 马智斌, 杨化林. 名优茶采摘机器人工作空间分析[J]. 机械与电子, 2019, 37(8): 73-75.
FAN Yuan-rui, MA Zhi-bin, YANG Hua-lin. Work-

space Analysis of Famous Tea Picking Robots[J]. Machinery and Electronics, 2019, 37(8): 73-75.

[3] 汤一平, 韩旺明, 胡安国, 等. 基于机器视觉的乘用式智能采茶机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2016, 47(7): 15-20.
TANG Yi-ping, HAN Wang-ming, HU An-guo, et al. Design and Test of Passenger Intelligent Tea Picking Machine Based on Machine Vision[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2016, 47(7): 15-20.

[4] 蔡艳, 易江婷, 宋威, 等. 蒙顶山茶园土壤微生物区系和酶活性研究[J]. 湖北农业科学, 2009, 48(2): 317-320.
CAI Yan, YI Jiang-ting, SONG Wei, et al. Study on Soil Microbial Flora and Enzyme Activity of Mengding Mountain Tea Garden[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2009, 48(2): 317-320.

- [5] 武月琴. 基于信息框架的农机产品设计研究[J]. 农机化研究, 2017, 39(12): 200-204.
WU Yue-qin. Research on Agricultural Machinery Product Design Based on Information Framework[J]. Research of Agricultural Mechanization, 2017, 39(12): 200-204.
- [6] 殷玥. 基于嵌入式 PC 和物联网的无人驾驶拖拉机研究[J]. 农机化研究, 2018, 40(1): 247-251.
YIN Yue. Research on Driveless Tractor Based on Embedded PC and Internet of Things[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2018, 40(1): 247-251.
- [7] 柳沙. 基于 SD 量表的农机产品色彩感性体验研究[J]. 农机化研究, 2010, 32(4): 50-54.
LIU Sha. Study on Color Sensory Experience of Agricultural Machinery Products Based on SD Scale[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2010, 32(4): 50-54.
- [8] 林正雨, 李晓, 常洁, 等. 蒙顶山茶产业转型升级发展路径研究[J]. 四川农业科技, 2015(11): 56-60.
LIN Zheng-yu, LI Xiao, CHANG Jie, et al. Research on the Development and Transformation Path of Mengding Mountain Tea Industry[J]. Sichuan Agricultural Science and Technology, 2015(11): 56-60.
- [9] 雅安市人民政府. 雅安市人民政府办公室关于进一步加快推进雅茶产业发展的实施意见[EB/OL]. (2015-08-17) [2020-01-18]. <http://www.yaan.gov.cn/gongkai/show/20150817110544-755237-00-000.html>.
Ya'an Municipal People's Government. Opinions of the Office of Ya'an Municipal People's Government on Further Accelerating the Development of the Ya Tea Industry[EB/OL]. (2015-08-17) [2020-01-18]. <http://www.yaan.gov.cn/gongkai/show/20150817110544-755237-00-000.html>.
- [10] 四川省雅安市名山区农业农村局. 立足资源优势推动产业升级促进茶农增收——蒙顶山茶转型升级做法及成效[EB/OL]. (2019-05-14) [2020-01-18]. http://tea.zjol.com.cn/201905/t20190514_10121602.shtml.
Agriculture and Rural Affairs Bureau, Mingshan District, Ya'an City, Sichuan Province. Based on the Advantages of Resources to Promote Industrial Upgrading and Increase Tea Farmers' Income: Mengding Camellia Transformation and Upgrading Practices and Results[EB/OL]. (2019-05-14) [2020-01-18]. http://tea.zjol.com.cn/201905/t20190514_10121602.shtml.
- [11] 张广晖, 王立海, 许明贤, 等. 三角履带式集材机的设计与分析[J]. 林产工业, 2019, 56(9): 31-36.
ZHANG Guang-hui, WANG Li-hai, XU Ming-xian, et al. Design and Analysis of Triangular Tracked Skidder[J]. Forestry Industry, 2019, 56(9): 31-36.
- [12] 李兴慧, 张光明, 胡小青, 等. 固定液压升降台的优化设计[J]. 科学技术与工程, 2012, 12(18): 4374-4378.
LI Xing-hui, ZHANG Guang-ming, HU Xiao-qing, et al. Optimized Design of Fixed Hydraulic Lifting Platform[J]. Science Technology and Engineering, 2012, 12(18): 4374-4378.
- [13] 耿佳期, 刘俊峰. 果园作业升降平台设计与剪叉分析[J]. 农机化研究, 2017, 39(4): 42-46.
GENG Jia-qi, LIU Jun-feng. Design and Scissor Analysis of Orchard Lifting Platform[J]. Research of Agricultural Mechanization, 2017, 39(4): 42-46.
- [14] 王锋, 杨玲, 谢守勇, 等. 一种三角履带式果园动力底盘的设计与研究[J]. 农机化研究, 2019, 41(5): 91-96.
WANG Feng, YANG Lin, XIE Shou-yong, et al. Design and Research of a Triangular Tracked Orchard Power Chassis[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2019, 41(5): 91-96.