

王沈策,张奕宇,朱彬彬.面向老龄用户的农机产品人机交互设计[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2022,37(4):57-65. doi:10.13582/j.cnki.1672-9102.2022.04.008

WANG S C, ZHANG Y Y, ZHU B B. On Human-computer Interaction Design of Agricultural Machinery Products for Elderly Users[J]. Journal of Hunan University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2022, 37(4): 57-65. doi: 10.13582/j.cnki.1672-9102.2022.04.008

面向老龄用户的农机产品人机交互设计

王沈策*,张奕宇,朱彬彬

(湖南科技大学 建筑与艺术设计学院,湖南 湘潭 411201)

摘要:针对农业劳动力老龄化和在农业机械化的过程中,农机产品老龄用户数量逐渐增加的问题,探索面向老龄用户的农机产品人机交互设计.以文献分析法、归纳法和案例分析法为主,围绕国内农业、农村、农民在经济、文化、伦理等方面的现状,从心理情感和生理极限两方面展开分析,总结国内农机产品老龄用户特征,从安全、包容和感官代偿 3 个方面提出面向老龄用户的农机产品人机交互设计原则,构建设计模型,最后,以萝卜收获机为例对所设计的模型进行验证.依据老龄用户在农业生产环节中的分工不同,农机产品老龄用户的人机交互可以分为驾驶员工位、操作员工位和人力协作员工位 3 种类型,并对人机交互设计原则提出设计关注点.安全原则注重交互行为的容错性和交互空间防护性,包容原则关注交互流程的简约化、交互模式多样化及交互界面认知问题,感官代偿原则体现对感官机能、感官健康需求的关爱.研究对构建适用于老龄用户的农机产品人机交互设计理论具有参考意义和价值.

关键词:人机交互;农机产品;老龄用户;产品设计

中图分类号:TB472; S22 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-9102(2022)04-0057-09

On Human-computer Interaction Design of Agricultural Machinery Products for Elderly Users

WANG Shence, ZHANG Yiyu, ZHU Binbin

(School of Architecture and Art Design, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: Aiming at the aging of agricultural labor force and the gradual increase in the number of aging users of agricultural machinery products in the process of agricultural mechanization, the human-computer interaction design of agricultural machinery products for aging users is explored. The literature analysis method, inductive method, and case study method are used. The design model is constructed by analyzing the current situation of domestic agriculture, rural areas and farmers in terms of economy, culture and ethics, analyzing the psychological and emotional aspects and physiological limits, summarizing the characteristics of aging users of agricultural machinery products in China, and proposing the design principles of human-computer interaction for aging users in three aspects, namely safety, tolerance and sensory compensation. According to the different division of labor of aging users in agricultural production, human-computer interaction for aging users of agricultural machinery products can be divided into three types, that is driver's station, operator's station and human collaborator's station, and design concerns are raised for human-computer interaction design principles.

收稿日期:2021-11-30

基金项目:湖南省社会科学成果评审委员会重点课题资助项目(XSP22ZDI001);湖南省研究生科研创新项目资助(CX20211028)

*通信作者,E-mail: scwang@hnust.edu.cn

The principle of inclusion focuses on the simplicity of the interaction process, the diversification of interaction modes and the interaction interface, and the principle of sensory compensation reflects the care for sensory functions and sensory health needs. The research has referential significance and value for constructing the human-computer interaction design theory of agricultural machinery products applicable to aging users.

Keywords: human-computer interaction; agricultural machinery products; elderly users; product design

农业劳动力老龄化是指从事农业生产的老年人的占比较高^[1].农机产品能够有效地降低农业生产的劳动强度,提高农业生产效率^[2],是应对农业劳动力老龄化的重要途径之一.相对于国内,20世纪日本、美国及一些欧洲国家是在完成农业机械化之后才出现农业劳动力老龄化的现象.新世纪以来,农业劳动力老龄化程度进一步加深,如美国从事农业生产的55岁以上的老年人占比超过50%^[3],日本从事农业生产的65岁以上的老年人占比70%左右^[4].从农业经济效益和农业技术水平来看,一些发达国家的经济发展程度高,对农业补贴的力度较大,农业、农民的经济效益好,因此,农户不会过于在意农业生产中的投入成本,这些都会持续提高对农机产品智能化、自动化等技术要素的投入,因此,国外的很多农机产品都会结合物联网等新兴技术进一步提高农业现代化水平^[5],进而呈现出高成本、高端化的特点^[6-7].反观国内,由于传统农业文化、家族经济收益、土地养老等因素的影响,60岁以上从事职业性劳动的老年人占农村老年人口的比例高达54.6%^[8],这是形成土地撂荒、弃耕问题的重要因素.张云文等^[9]的研究中提及了农机产品老龄用户问题,然而,较为全面开展农机产品老龄用户人机交互研究的文献较少.随着国内农业机械化水平的不断提高,农业劳动力老龄化的趋势不断加深,农机产品的老龄用户数量不断增长,农机产品智能化将会成为必然的发展趋势.结合国内农业、农村、农民的现状,开展面向老龄用户的农机产品人机交互设计研究成为重要的课题之一.

1 国内农机产品老龄用户特征

国家统计局对农林牧副渔业整劳动力的计量范围为男子18~50周岁,女子18~45周岁,高于或低于此年龄范围则按照半劳动力统计^[10].因此,相对于广义老龄化以60岁为标准的养老统计方式,实际从事农业生产的农村老年人的数量要比统计的比例更高.由于农业青壮年劳动力向非农部门转移和人口自然老龄化等原因,农业劳动力老龄化会进一步加深.在农业机械化过程中,农业老年人借助农机产品开展农业生产活动会持续增加,从而产生更多的农机产品老龄用户.

1.1 持续从事农业生产的心理情感特征

作为传统的农业大国,长久以来国内农民对土地的热爱之情根深蒂固,对农业生产活动的热情不减.农机产品老龄用户受个人技能、生活惯性、传统乡土文化、家族经济收益等因素的影响,从主动和被动两个方面形成了对持续从事农业生产的心理情感特征.一方面具有主动从业意愿的心理情感.具体表现为老龄用户在农业生产、管理、技能等方面拥有丰富的经验,对于农业生产具有“经验积累效应”,是农业生产领域的宝贵财富,也是其自身技能价值的体现,并且很多农机产品老龄用户认为从事农业生产活动是一种习惯坚守,农业生产作为一种可持续生计,不但可以获取经济收入,保持独立的生活空间和自由度,还能够为自己带来成就感,同时,农业生产活动对老龄用户而言也是一种情感寄托,他们能够从中获得精神满足.另一方面受制于被动从业的影响.国内工业生产的年龄极限为55岁左右,被劳动力市场排斥的农民群体则会重回农村从事农业生产^[11],但仍拥有充足的农业生产能力,能够承担农业生产中的各个环节,并能依靠劳动生产换取独立的养老生活来源,从而维持家族、家庭生计和“以土地养老”的被动现实.因此,心理情感层面老龄用户的特征是建立在自身农业生产技能基础之上,从主动和被动2个方面维持经济、文化、价值和伦理等需求.

1.2 坚持从事农业生产的生理极限特征

相对于青壮年用户,农机产品老龄用户在农业生产中受环境的影响更为显著,如农机产品作业环境中

的噪声、振动、粉尘、农药和颠簸等,对老龄用户的生理危害和影响更加显著.但是,受农业劳动力无成本供给、家族生计、传统乡土文化和家庭伦理的影响,只要身体条件允许,农业老年人通常一直参加农业生产,直到完全失去劳动能力^[12].由于生理机能的衰减,加之职业性的劳作积累的疾病,农机产品老龄用户持续从事农业生产的生理极限特征表现在两个方面:(1)老龄用户根据生理状态,对从事的农业生产环节进行自身生理能力评估,结合体能、经验和技能等因素,坚持从事农业生产环节中具有价值的工作,甚至在明显的身体残疾、病痛等情形下持续进行,直至达到生理能力的极限.(2)随着年龄的增长,老龄用户的生理机能不断衰减,为了维持农业生产效率,老龄用户更加倾向于调整生产要素,其中农业机械要素是最主要和直接的方式^[13],从而进一步补充生理机能的不足之处,在人力基础之上通过农机产品满足持续从事农业生产的条件.由此可见,在生理层面上,农机产品老龄用户的极限为完全失去劳动能力,在农业生产的各个环节中通过农机产品的替代和补充发挥作用.

2 面向老龄用户的农机产品人机交互设计原则

依据工作效能,农机产品可以分为农具机械、动力机械和联合机械^[14],涉及运动行驶、静态作业和移动作业3种人机交互状态,形成单机作业人机交互、多机作业人机交互和人-机协同等3种人机交互模式.依据农业生产环节的作用,农机产品老龄用户的人机交互可以分为驾驶员工位、操作员工位和人力协助员工位3种类型.农机产品作业人机交互工况如图1所示,农机产品的作业特点和农机产品老龄用户群体共同构成了农机产品作业人机交互工况.

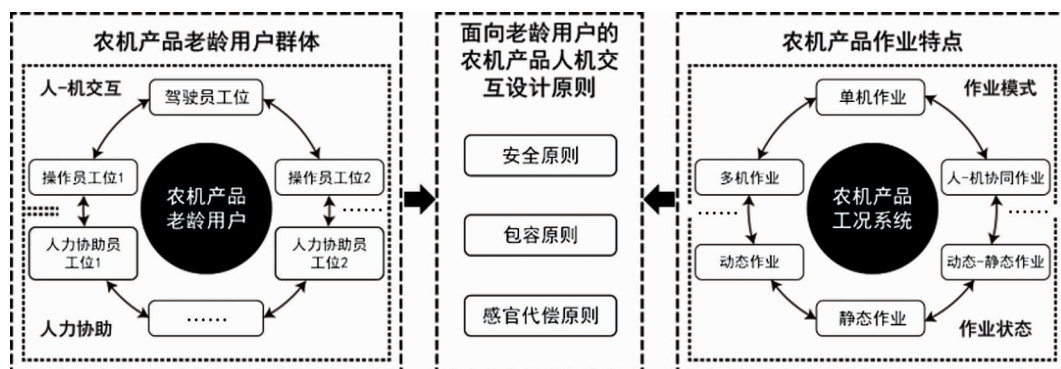


图1 农机产品作业人机交互工况

2.1 安全原则

根据相关数据,2021年上半年,全国累计报告在国家等级公路以外的农机事故74起、死亡14人、受伤21人、直接经济损失144.02万元^[15].农机产品作业环境的复杂性导致农机事故的发生无法准确预测,但可以根据事故发生的规律对农机产品进行合理设计以减少安全隐患,避免事故的发生.Cecchini等^[16]研究意大利中部农业工人的安全知识和行为改变评估模型,其中老年工人对安全工作持消极态度,因此,针对农机产品老龄用户的安全问题,更为主动积极的人机交互设计会取得良好的效果;Ayers等^[17]设计了一种升降辅助结构以便于操作员改变可折叠翻车保护结构的位置,该装置可有效地降低发生翻车事故的死亡率,提高驾驶安全.面向老龄用户的农机产品人机交互安全性原则具有以下特点:(1)交互行为的容错性.在农机产品人机交互的操作布局、操作方式等方面,防止误操作或干涉操作.如采用交互元器件的多级布置,通过多级操作完成交互任务,避免单一操作带来任务失败的影响^[18],或对老龄用户注意力不集中的状态进行检测,及时提醒^[19],降低因注意力分散、人为操作造成的失误,提高作业效率和安全性,防止因操作不当造成安全事故.(2)交互空间的防护性.主要围绕机体本身的防护、事故的预防和产生事故后的防护,如由于地形、地貌等因素,农机产品作业过程的运动结构、运动姿态会发生变化,防止机器抖动导致侧翻等情况.结合交互空间的障碍式、阻拦式和隔离式等提供防护,如栏杆、机壳、盖、罩、屏、门和封闭式装置等从而形成安全的交互空间.

2.2 包容原则

包容性指在认识到用户多样性的情况下,使主流产品和服务性设计尽可能地满足更多人的需求^[20]. 老龄用户在身体机能方面相较于青壮年用户较弱.因此,提高农机产品人机交互的包容性,让老龄用户顺利地使用农机产品显得尤为重要.首先,交互流程的简约化.农机产品人机交互的包容性原则应将农业老龄用户置于核心位置,并对核心流程进行简化,降低农机产品的人机交互复杂度.例如,设置操作优先层级关系,帮助老龄用户关注核心任务以减少老龄用户信息筛选时的负担,提高工作效率^[21].其次,交互模式的多样化.结合农机产品老龄用户和青壮年用户的多样性与差异性,提供不同的人机交互模式,增加人机交互对老龄用户的适用性.特别是考虑农业老龄用户对新技术接受较慢等因素,农机产品人机交互中所使用的智能化、自动化等技术,提高了老龄用户的使用门槛.因此,多样化在技术层面具有适度性,从而能匹配老龄用户的接受能力.最后,交互界面的认知方面,就受教育程度而言,老龄用户的文化水平普遍较低,并且由于精力不足造成其学习新技术新知识的能力不强,交互界面会直接影响操作体验.因此,在交互方式上,应尽量选择用户熟悉或容易理解的表现形式,降低认知成本.

2.3 感官代偿原则

感官代偿是指人的某些感官受到损害时,其他感官的功能会相应增强,将这一特性应用在设计中,使产品不仅能够容易被感官障碍者理解,又能进一步锻炼他们的感官代偿功能^[22].农机产品老龄用户在感官代偿方面具有感官机能需求、感官健康需求的特点.首先,在感官机能需求方面,通过视觉代偿、听觉代偿和触觉代偿等多种感知方式的联合作用,避免单一感知方式对农机老龄用户造成生理负担,优化交互绩效^[23].其次,在感官健康需求方面,农机产品作业以自然环境为主,作业过程中的粉尘、光线以及机器产生的噪音,都会对农机老龄用户的健康造成危害,因此在作业时,需要考虑过滤空气、减弱光线和降低噪音以保护老龄用户的感官机能,提高作业时的舒适度.此外,农业老龄用户在使用产品的过程中,心理上可能对现代技术产生抵触、恐惧等消极情绪,采用友好的交互形式,如温馨提示、一键重置和语音输入等,避免老年用户在使用时产生排斥心理,增强产品的亲和力.

3 面向老龄用户的农机产品人机交互设计模型

面向老龄用户的农机产品人机交互设计模型如图2所示.针对农机产品的作业工况类型及农机产品老龄用户群体的特征,从农机产品作业工况系统、农机产品人机交互空间、农机产品人机交互界面和设计原则之间的关系出发,借鉴相关研究^[24-27],构建面向老龄用户的农机产品人机交互设计模型.

1) 农机产品作业工况系统.结合环境作业需求及用户需求,作业类型可分为单机作业、多机作业和人机协同作业;结合农作物种类及地形地貌特征,农机种类可分为动力机械、农具机械和联合机械;根据作业复杂程度,作业模式可分为动态作业、静态作业和动态静态结合作业.综合实际作业情况,作业类型、农机种类和作业模式可进行多种有机组合.

2) 农机产品人机交互空间.首先,根据农机产品的结构及功能特性、作业要求和任务规划确定人机交互行为,对农机产品的整体空间进行初步布局;其次,根据作业需求和老龄用户的人机尺寸及生理特点对驾驶员工位、操作员工位和人力协助员工位进行合理布局;最后,结合各工位老龄用户在作业前准备-作业中操作-作业后整理的活动过程进行动线交互空间布局.

3) 农机产品人机交互界面.从老龄用户的行为和认知出发,归纳多种人机交互通道,优化信息通道布局,构建合理的人机交互信息框架.对信息的重要程度进行排序,确定信息界面的优先级,对人机交互界面进行整体协调,减少用户筛选信息时的生理负担.

4) 农机产品人机交互评价.根据农机产品老龄用户的人机交互设计原则进行评价,首先,针对老龄用户的生理特征,提高交互行为的容错性,满足交互空间的安全要求;其次,使交互流程简约化,降低记忆成本评估交互形式,符合老龄用户对交互界面的认知;最后,在感官代偿机制下,评估感官机能需求和感官健康需求对老龄用户的适用度.

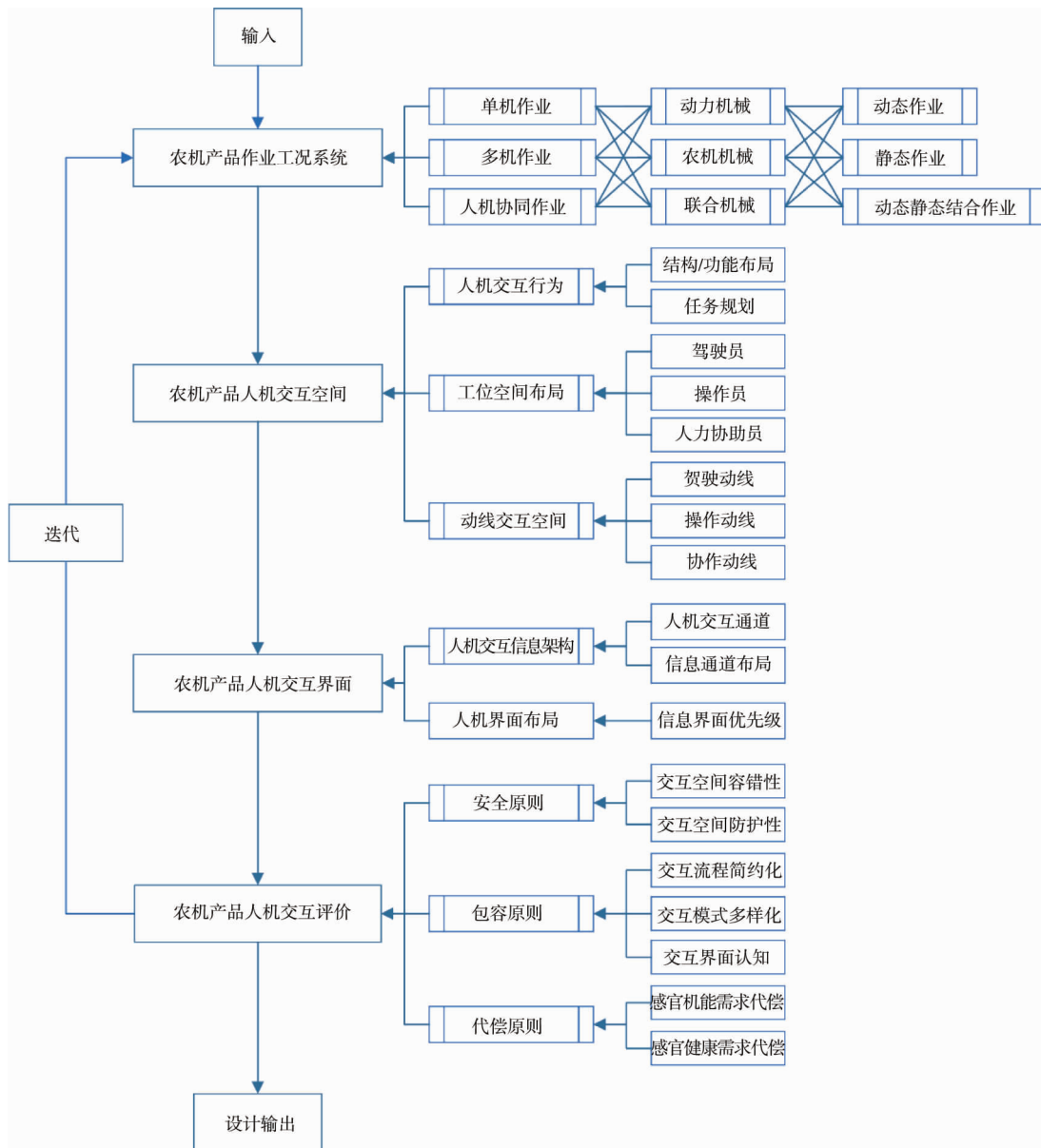


图 2 面向老龄用户的农机产品人机交互设计模型

4 应用案例

面向农机老龄用户对某品牌萝卜收获机人机交互设计进行应用,该产品为双行拔取式萝卜收获装备,整车布置如图 3 所示.



图 3 整车布置

4.1 萝卜收获机作业工况系统

萝卜收获作业过程主要为人机协同工况,其交互过程主要有整车的驾驶作业控制、萝卜夹持作业控制和萝卜初加工作业.因此,采用交互层级布置的设计方式,通过多通道系统优化人机交互行为,以提高作业的准确性,提高老龄用户人为操作的容错率.人机交互系统构成如表 1 所示.

表 1 人机交互系统构成

人机交互系统构成	人机交互通道	人机交互界面构成	交互元器件
驾驶系统	视觉通道、听觉通道、触觉通道	后视系统、侧视系统、车载仪表、灯光、音频信号、震动信号……	刻度仪表、双控开关、钥匙开关、柴发开关、作业模式选择旋钮、操纵手柄、急停按钮、雨刮开关、阀门、摄像头……
操作系统	视觉通道、听觉通道、触觉通道	对讲系统、紧急停止系统、测距系统、音频信号……	电子显示屏、摄像头、蜂鸣器、滑动调节器、调速开关、刀开关、距离传感器、急停按钮、音频输入、音频输出……
协作系统	视觉通道、听觉通道、触觉通道	防滑装置、安全辅助装置、安全监测系统……	蜂鸣器、防滑垫、操作扶手、指示灯、雷达传感器、激光传感器、速度检测器、车况检测系统……

工况环境如图 4 所示.萝卜收获机的工况环境包含内室和外室 2 部分,内室工况环境见图 4a,包含驾驶工位 A;外室工况环境见图 4b,外室包含操作工位 B、操作工位 C 和人力协作工位 D 这 3 个室外作业人员.该萝卜收获机的 1 个机组由 4 名成员构成,即 A 位的 1 名驾驶员进行内环境作业,B 位、C 位、D 位的 3 名人员进行外环境作业.这 4 名成员对萝卜收获机进行控制、机器作业状态检测和收割速度调节,对收获的萝卜进行切缨处理和分拣装箱.该萝卜收获机为动力机械,工况环境以运动形式、动态收割作业、动态传送切缨作业和动态传送分拣作业为主,涉及运动行驶和移动作业 2 种人机交互状态,形成人机协同交互模式.

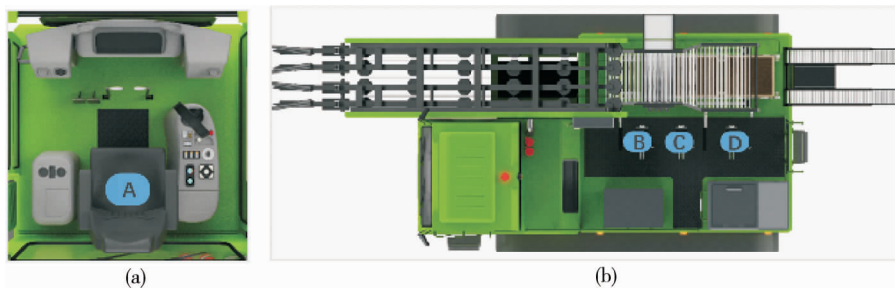


图 4 工况环境

4.2 萝卜收获机人机交互空间

萝卜收获机的人机交互空间分为内室和外室 2 部分.内室作业为单人作业,仅驾员工位,内室人机交互通过仪表台和操纵杆进行承载,各交互元器件的布局满足互不干扰和准确性的要求.根据感官代偿原则,将多种功能整合以减少记忆负担,并在部分按钮上增加灯光反馈,通过视觉补偿辅助操作,增大按键接触面积,提高容错率.在操纵杆上通过力的补偿以减少农机老龄用户的生理负担.驾驶室门为左侧单开门,便于驾驶员出入,右侧为整面玻璃,便于观察机器工作状态.最后,结合驾驶室的结构特点及仪表台的空间布局特性,完成萝卜收获机驾驶室的效果图,设计效果如图 5 所示.



图 5 设计效果

外室作业为多工位作业,即 2 个操作员工位和 1 个人力协助员工位,外室人机交互通过仪表台和传送装置进行承载,仪表台与传送装置为独立结构.操作员工位靠近传送装置,便于作业和观察,人力协助员工位靠近仪表台,便于协助作业和控制.根据作业人员的工作动线,在地面设有防滑纹,操控台和操作柜设有

扶手及护栏,以提高作业时的安全性.最后,结合作业任务及设备的空间特性,完成萝卜收获机操作平台的效果图,设计效果图及细节图如图6所示.外室设计效果如图6a和6b所示,外室仪表台细节图如图6c所示.外室作业人员动线图如图7所示.

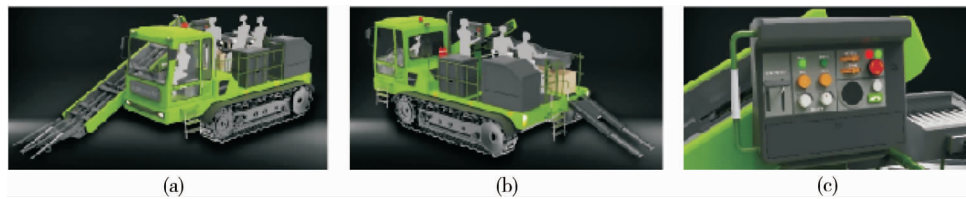


图6 设计效果图及细节

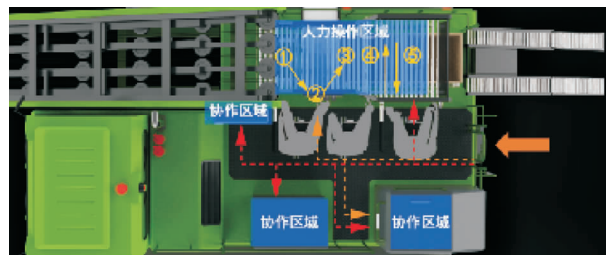


图7 外室作业人员动线

4.3 萝卜收获机人机交互界面

萝卜收获机人机交互界面分为驾驶室人机交互界面和工作平台人机交互界面.驾驶室人机交互界面由主操作面板、副操作面板和中控台3部分构成,工作平台人机交互界面由操作面板组成.人机交互通道包括视觉通道、听觉通道和触觉通道,通过多通道补偿模式以提高容错率和准确性.驾驶室人机交互设计界面通道布局如图8所示.通过A'区域、B'区域和C'区域的视觉通道,D'区域、E'区域的触觉通道的元器件进行实体交互,F'区域为音频输入/输出装置.在人机交互的过程中,首先通过车载电脑对信息进行优先级排序,然后通过电子屏显示,突出重要信息,以减少驾驶员的信息筛选负担和记忆负担,并通过电子屏显示任务规划,帮助用户合理高效地完成作业.

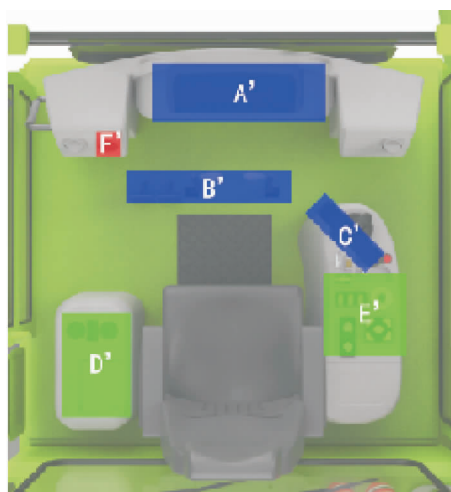


图8 驾驶室人机交互设计界面通道布局

4.4 萝卜收获机人机交互设计评价

根据GB 4053.3—2009《固定式钢梯及平台安全要求》,萝卜收获机外室工作平台护栏高度为1 200 mm.内饰操控面板和外室仪表台均设有启动开关,且为串联开关,各工位开关启动后机器才可正常工作,以防止误启动造成安全事故.内室和外室均设有紧急停止按钮,便于及时处理突发状况,驾驶室外和

工作平台上下阶梯两侧配有安全扶手,用来提高操作平台动态作业时的安全性.车辆与地面的货物传送带由操作平台上的开关控制,防止作业人员直接操作造成安全事故.传送带控制图如图9所示.

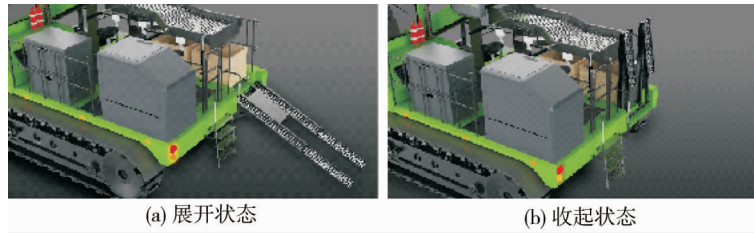


图9 传送带控制

驾驶室内装配的车载电脑会对信息进行筛选处理,设置信息布局的优先级以帮助用户关注核心任务和重要信息.车载电脑启动后,通过语音播报的形式引导用户进行后续操作,减轻记忆负担.正式作业前通过电子显示屏设定工作量,可选择以面积为单位或以工作时间为单位,帮助用户高效地完成任务.用户也可在作业过程中通过语音输入对车载电脑下达指令,防止因视线转移导致注意力分散,从而引发安全事故.移动端界面设计如图10所示.



图10 移动端界面设计

功能元器件采用自然倾向行为设计,如旋钮、滑动操作杆和按键等,不同功能元器件的形状不同,通过限制性设计防止用户误操作以减少用户的学习负担.部分按键通过增加灯光来加强信息反馈,部分旋钮通过增大接触面积以增强可操作性,提高容错率.操纵杆通过运动能力辅助以减少用户操作时所施加的力,借助外力辅助用户可以更好地完成操作,优化交互绩效.驾驶室为封闭式,可以减少因自然环境中的粉尘、光线以及机器产生的噪音对用户身体造成的危害.

5 结论

1) 面向老龄用户的农机产品人机交互设计模型由农机产品作业工况系统、交互空间、人机交互界面和人机交互评价4部分构成.展开设计实践过程需依据不同的作业环境、不同作业任务下农机产品特性和不同文化背景下老龄用户行为及认知等因素进行,使面向老龄用户的农机产品人机交互设计更具有针对性和代表性.

2) 目前,通过智能化、自动化农机产品解决农业劳动力老龄化的问题较为困难,用户深度参与为主的农机产品作业过程仍会成为人机交互的主要形式.研究在农业劳动力老龄化的大背景下展开,理论价值上一定程度填补了农机产品中有关老龄用户群体问题的空白,实践意义上对面向老龄用户的农机产品人机

交互设计提供设计范式与指导.

3) 由于农机产品品类众多,文中初步以萝卜收获机为例对理论进行验证,未来会从全面性、系统性等方面出发继续完善与探索.

参考文献:

- [1] 李澜,李阳.我国农业劳动力老龄化问题研究——基于全国第二次农业普查数据的分析[J].农业经济问题,2009,30(6):61-66.
- [2] 方师乐,黄祖辉.新中国成立70年来我国农业机械化的阶段性演变与发展趋势[J].农业经济问题,2019(10):36-49.
- [3] Amshoff S K, Reed D B. Health, Work, and Safety of Farmers Ages 50 and Older[J]. Geriatric Nursing, 2005, 26(5): 304-308.
- [4] 潘希迁.日本农业劳动力人口老龄化的对策及对中国的启示[J].世界农业,2018(1):84-91.
- [5] 刘敏.浅析国外农业机械化的发展[J].中国新技术新产品,2010(12):231.
- [6] 肖体琼,何春霞,曹光乔,等.机械化生产视角下我国蔬菜产业发展现状及国外模式研究[J].农业现代化研究,2015,36(5):857-861.
- [7] 燕贵成,唐春根,胡永盛.以色列农业物联网发展基本经验与启示[J].世界农业,2016(9):184-189.
- [8] 姜向群,杜鹏.中国人口老龄化和老龄事业发展报告[M].北京:中国人民大学出版社,2013.
- [9] 张云文,鲁媛,赵启明,等.基于工业设计理论的微耕机用户研究和设计需求分析[J].中国农机化学报,2016,37(6):280-284.
- [10] 李俏,陈健,蔡永民.“老人农业”的生成逻辑及养老策略[J].贵州社会科学,2016(12):158-163.
- [11] 李文明,罗丹,陈洁,等.农业适度规模经营:规模效益、产出水平与生产成本——基于1552个水稻种植户的调查数据[J].中国农村经济,2015(3):4-17.
- [12] 孙明扬.逃离农业:农民土地流转观念的形成机制[J].求实,2021(1):87-98.
- [13] 孙明扬.中国农村的“老人农业”及其社会功能[J].南京农业大学学报(社会科学版),2020,20(3):79-89.
- [14] 杨宇,李容.劳动力转移、要素替代及其约束条件[J].南京农业大学学报(社会科学版),2015,15(2):44-50.
- [15] 中华人民共和国农业农村部.2020年上半年农机事故情况通报[EB/OL].(2020-08-28)[2021-11-30] <http://www.njhs.moa.gov.cn/>.
- [16] Cecchini M, Bedini R, Mosetti D, et al. Safety Knowledge and Changing Behavior in Agricultural Workers: an Assessment Model Applied in Central Italy[J]. Safety and Health at Work,2018,9(2):164-171.
- [17] Ayers P D, Khorsandi F K, Poland M J, et al. Foldable rollover protective structures: Universal lift-assist design[J]. Biosystems Engineering,2019,185:116-125.
- [18] 王黎文,周同乐,吴庆宪.多层级联合任务规划人机交互界面设计研究[J].工业控制计算机,2021,34(9):25-27.
- [19] Zhang Y, Gao P B, Ahamed T. Development of a rescue system for agricultural machinery operators using machine vision[J]. Biosystems Engineering,2018,169:149-164.
- [20] Persson H, Ahman H, Yngling A A, et al. Universal design, inclusive design, accessible design, design for all: different concepts-one goal? On the concept of accessibility-historical, methodological and philosophical aspects [J]. Universal Access in the Information Society, 2015, 14(4): 505-526.
- [21] 黎昉,董华.通用设计与包容性设计原则的发展和挑战[J].南京艺术学院学报(美术与设计),2018(5):71-78.
- [22] 熊兴福,李姝瑶.感官代偿设计在产品中的应用[J].包装工程,2009,30(10):131-132.
- [23] 张萍,丁晓敏.代偿机制下适老智慧产品交互设计研究[J].图学学报,2018,39(4):700-705.
- [24] 孙光,张梓晗.基于老龄化社会问题的无障碍设施应用设计[J].包装工程,2019,40(18):108-111.
- [25] 王秋惠,张一凡,刘力蒙.老龄服务机器人人机界面设计研究进展[J].机械设计,2018,35(9):105-113.
- [26] 晏群,庄德红.数控机床人机界面及造型设计研究[J].机械设计,2013,30(12):111-113.
- [27] 汪海波,薛澄岐,王选.基于实体交互的数控机床造型创新设计研究[J].机械设计,2017,34(8):124-128.