

基于人机环境系统的喷流式挖藕机改良设计

孙虎, 周洁, 雷颜瑞
(西华大学, 成都 610039)

摘要: **目的** 解决现阶段喷流式挖藕机使用感受不良的问题。**方法** 以喷流式挖藕机功能模型为基础结合“人—机—环境”系统建立喷流式挖藕机系统功能模型, 对系统中影响产品的人体尺寸、用户操作行为习惯、喷流式挖藕机的作业环境及物理环境深入分析, 结合分析结果在“人—机—环境”系统中对喷流式挖藕机进行改良设计。**结论** 用“人—机—环境”系统理论对喷流式挖藕机进行功能与造型的改良设计能够有效满足操作者的生理与心理需求; 改良后的喷流式挖藕机操作简单、功能分布易识别, 符合用户的操作习惯、降低错误和事故的发生率, 能够提高产品的安全性及使用效率。这种改良设计模式, 对其他农机化产品有着极大的借鉴作用。

关键词: “人—机—环境”系统理论; 喷流式挖藕机; 造型改良

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)22-0130-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.22.023

Improved Design of Jet Flow Lotus Root Digger Based on Man-Machine Environment System

SUN Hu, ZHOU Jie, LEI Yan-rui
(Xihua University, Chengdu 610039, China)

ABSTRACT: The work aims to solve the problem regarding the bad feeling of using jet flow lotus root digger at present stage. Based on the function model of jet flow lotus root digger, and in combination with the "man-machine-environment" system, the function model of jet flow lotus root digger was established. An in-depth analysis on the body size, behavioral habit of the user operation and working environment and physical environment of the jet flow lotus root digger in the system that affected the product was carried out. Combined with the analysis results, in the "man-machine-environment" system, the design of jet flow lotus root digger was improved. The "man-machine-environment" system is applied to improve the function and modeling of the jet flow lotus root digger which can effectively satisfy the physical and psychological needs of the user. The improved jet flow lotus root digger is simple in operation and easy to identify the function distribution. It is in line with the user's operating habits, reduces the incidence of errors and accidents, and can improve the safety and use efficiency of the product. And this improved design model has a great reference for other agricultural machinery products.

KEY WORDS: system theory of "man-machine-environment"; jet flow lotus root digger; modeling improvement

莲藕是一种十分广泛的食用水生经济作物, 深加工产品及周边衍生产品众多, 市场需求量大。早期, 藕成熟后基本靠人工采摘, 采摘时间主要集中在冬季, 劳动环境恶劣、劳动强度大、成本过高, 以致莲

藕增产不增收。随着各式挖藕机研究的深入, 制约莲藕产业化的瓶颈——采挖机械技术初步得到解决, 提高了莲藕采挖的农业机械化程度, 使采藕工作变得相对轻松。本文以用户为中心, 开展基于“人—机—环

收稿日期: 2019-08-24

基金项目: 四川省工业设计产业研究中心项目(GYSJ2019-008); 2017年教育部人文社科研究艺术学青年项目阶段性成果(17YJC760101); 西华大学校级教改课题资助项目(XJJG2017074)

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

境”系统理论对传统喷流式挖藕机进行改良设计，不仅关注挖藕机的机械功能，同时基于“人”和“环境”的各个影响因素优化设计方案，使产品不仅能用，更加好用，使用户爱用。

1 “人—机—环境”系统模型

人类社会发展的历史就是一部人、机、环境三大要素相互关联、相互制约、相互促进的历史，因此，人、机、环境便构成了一个系统^[1]。1981 年钱学森先生提出了“人—机—环境”系统的重要概念，人机环境系统基本核心问题可概括为：从控制论、模型论、优化论出发，着重分析“人—机—环境”3 个要素，历经方案决策—研制生产—工程实用 3 个步骤，以实现整个系统安全、环保、高效、经济的 4 个目标^[2]。在系统中，“人”即是用户是工作的主体，“机”是产品是人所控制的一切对象是与机相对而言的物，“环境”是指人与机所处的特定工作条件，包含社会环境、外部作业空间、物理环境、生化环境等。

“人—机—环境”系统是以人为核心，在产品的开发中更多的考虑人的因素、环境的因素，围绕更好地发挥人的能力、提高人的效能的原则进行的^[3]。三者之间相互影响、共同作用，其系统模型见图 1。在系统运行过程中，环境和机器的状态和特性都会对人的性能产生一定的作用。以人为核心的“人—机—环境”系统设计正是要通过对其中具有共性的作用研究，避免降低人的性能的作用，使人在系统运行中能够保持高效、准确和可靠的工作状态，从而提高整个系统的性能^[4]。

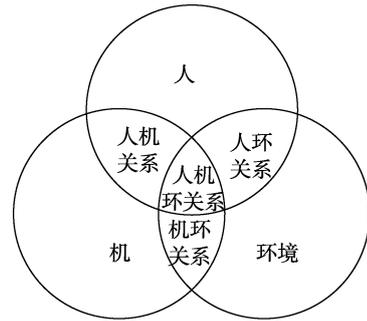


图 1 “人—机—环境”系统模型
Fig.1 "Man-machine-environment" system model

2 “机”的分析——喷流式挖藕机功能模型

功能模型是对系统功能建模的过程，由不同的系统组件构成，所建的模型应包括系统组件、“人—机—环境”系统、作用对象等元素，通过功能模型分析可提升整个系统所有组件之间的相互作用关系，以及如何实现系统，并从中发现设计的手切入点^[5]。

喷流式挖藕机是通过发动机驱动水泵产生高压，经喷头成射流将覆盖在莲藕上的泥土冲掉，莲藕依靠浮力自动浮出水面，其主要的系统组件包括：发动机、水泵、射流喷头、浮筒、储水箱、框架、手扶连杆、进水管、高压水腔、滤网^[6]。“人—机—环境”系统为水面环境、运输环境、用户，作用对象为莲藕。操作流程是用户将挖藕机搬运至水塘并放入，开动机，操作机器，回收莲藕，操作完成，搬回机器。考虑到用户在不同的操作中与不同的组件发生联系，在用户分析时单列，受水面环境及运输环境制约的喷流式挖藕机功能模型见图 2。

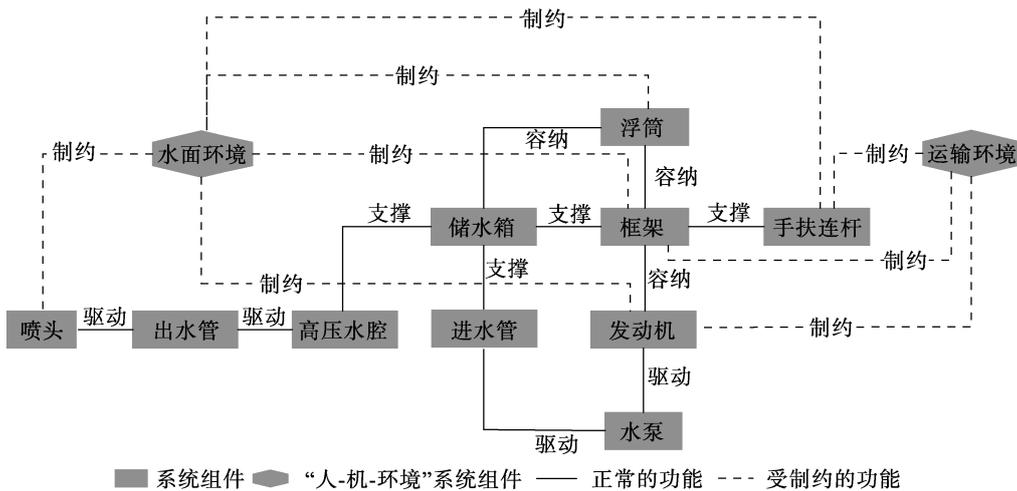


图 2 喷流式挖藕机功能模型
Fig.2 The function model of the jet flow lotus root digger

3 挖藕机设计改良

基于“人—机—环境”的挖藕机改良是对系统中的“人”“机”“环境”3 个单项因素进行分析研究，准确

确定各因素自身特点、内容以及相互之间的关系，全面地分析挖藕机系统中的所有组件，发现系统中的问题，为系统研究匹配提供支撑^[7]。“人—机—环境”系统作用在挖藕机上其结构包括了 3 个层次互动关系，见图 2：（1）人与机，用户对挖藕机的认知、操作以

及操作结果相关信息的反馈；(2)机与环境，社会环境、文化环境、作业空间、运输方式与挖藕机技术、尺寸、工艺的适度匹配；(3)人与环境，用户可操作

空间范围、用户与社会环境、文化环境之间的相互关系。在此基础上，结合用户需求、材料、造型、色彩等方面对产品进行改良设计，见图3。

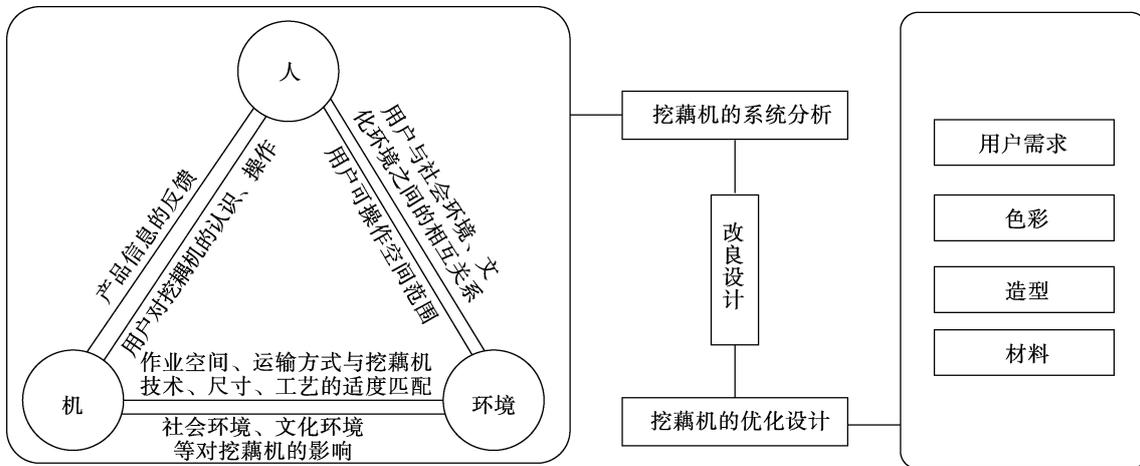


图3 基于“人—机—环境”系统的挖藕机设计改良模型

Fig.3 Improved design model of lotus root digger based on "man-machine-environment" system

3.1 现有喷流式挖藕机

日本于20世纪80年代研制出的喷流式I型、宽幅II型和III型等3种挖藕机^[8]，国内20世纪90年代研制出自走式水压莲藕掘取机、船式自动挖藕机等，郭洋民^[9]基于ANSYS优化莲藕采挖机的结构及部件，刘鹏等^[10]设计了一款结构更加紧凑的浮筒式的挖藕机，刘义满^[11]等提出未来机械采藕机的8个未来功能方向等。

传统喷流式挖藕机的研究全部停留在产品功能的角度，以工程师为主导思考解决机械产品如何更快的将水田中的莲藕挖出，很少关注用户的使用感受以及产品在使用过程中与环境的相互关系。这导致产品未考虑到人的感官，无法被用户接受从而没有得到大规模的推广，见图4。



图4 传统的挖藕机

Fig.4 Traditional lotus root digger

3.2 “人”因素的系统分析

人即是用户，是挖藕机的使用者。人对挖藕机的

操作应做到完成任务，并获得操作、运输及维护的简单、高效、可靠及安全。对人的分析应该着眼于其生理及心理两个方面。

从生理上而言，人的活动总是同物、时间、空间、环境有关，人体的活动姿态主要有坐、卧、站、弯腰、跪、行、操作等基本形式。在人和人体的活动过程中，应研究如何做到在确保安全的基础上效率最高，时间最少，费用最低，误差最小。用户对挖藕机的操作大致可以分为3类：(1)1名及1名以上的用户搬运挖藕机的操作，操作部位为把手处，执行动作为“搬”，设计要求把手易握、整机易于搬运、使用户执行此操作时更加省力；(2)单个用户对挖藕机的执行操作，操作对象主要包括操作台和手扶连杆，执行动作包括推、拉、按等，设计要求操作台及其操作按钮易识别、易操作、相应迅速，手扶连杆所处的高度及尺寸符合人体尺寸；(3)用户对挖藕机的简单维修操作，操作对象是整机，执行动作包括拆卸机器的外壳及部分部件等，设计要求整机可拆卸，活动部件易拆卸。在考虑挖藕机上不同的零部件及设备时，要将人体数据运用于各个执行部件，同时还要考虑挖藕机整体的适应性、兼容性、操纵性和维护性。设计时涉及：(1)用户执行操作的性质、频率和难度；(2)用户执行操作时身体位置、姿态以及人体尺寸；(3)用户执行操作时的工作空间尺寸、可活动性增量；(4)在三类操作中因环境原因需要补偿的尺寸增量。

从心理上而言，用户对挖藕机的心理感受分为使用前和使用后两个阶段。在使用前，用户根据挖藕机的外观造型所体现的物感（包括质量感、尺寸感、表面质感、形状感、结构感、色感等）做整体判断、通过整机或部件形态所表现出来的各种信息推测其基本的用途和操作方式。使用后，用户对产品有了更深

人的了解，能够对挖藕机产生操作感、状态感、行为过程感、平衡感、行为结果感等^[12]的判断。对挖藕机的设计需要匹配用户心理预期，操作简单、功能分布易识别，从而符合用户的操作习惯、降低错误和事故的发生率，提高产品的安全性及使用效率。

3.3 “人—机”系统下的喷流式挖藕机改良设计

用户对挖藕机的 3 种操作是作用于系统组件的操作，每种操作仅中有一部分组件与用户直接发生关系。通过矩阵分析能够清晰的反映出与用户不同操作直接相关的组件，若与用户直接作用，则用“+”标记，否则用“-”标记，见表 1。

矩阵分析表明，在用户执行搬运操作时，2 个组件与用户发生直接的关系。在用户执行使用操作时 4 个组件与用户发生直接的关系。因挖藕机所有的组件均有可能损坏，所以用户可能对所有的组件执行维修的操作。

用户作用于挖藕机的 3 类操作，即搬运、使用及维修主要是上肢和手的操作，涉及的手上动作包含“抓握”、“按”、“拉”、“提”等，为了使用户即使在长时间的操作中处于相对舒适的状态，在设计时必须

考虑人体在站姿下操作的有力工作区域、操作方向以及“手”的因素，如手幅长度、手握粗度等。我国正常成年男女人体主要尺寸按 GB 10000—1988，见表 2^[13]。

表 1 系统组件与用户操作相互作用分析
Tab.1 Analysis on interaction between system components and user operation

| | 用户的搬运操作 | 用户的使用操作 | 用户的维修操作 |
|------|---------|---------|---------|
| 发动机 | - | + | + |
| 水泵 | - | - | + |
| 射流喷头 | - | + | + |
| 储水箱 | - | - | + |
| 浮筒 | + | - | + |
| 框架 | - | + | + |
| 手扶连杆 | + | + | + |
| 进出水管 | - | - | + |
| 高压水腔 | - | - | + |
| 滤网 | - | - | + |
| 作业环境 | - | + | - |
| 运输环境 | + | - | - |

表 2 我国成年男女主要尺寸
Tab.2 The main size of adult men and women in China

| 百分位数 | 性别分组 | | | | | | | | | |
|-------|------------|------|------|------|------|------------|------|------|------|------|
| | 男 (18~60岁) | | | | | 女 (18~55岁) | | | | |
| 测量项目 | 5 | 10 | 50 | 90 | 95 | 5 | 10 | 50 | 90 | 95 |
| 身高/mm | 1583 | 1604 | 1678 | 1754 | 1755 | 1484 | 1503 | 1570 | 1640 | 1659 |
| 肩高/mm | 1281 | 1299 | 1367 | 1435 | 1455 | 1195 | 1211 | 1271 | 1333 | 1350 |
| 肩宽/mm | 344 | 351 | 375 | 397 | 403 | 320 | 238 | 351 | 371 | 387 |
| 肘高/mm | 954 | 968 | 1024 | 1079 | 1093 | 899 | 913 | 960 | 1009 | 1023 |
| 手长/mm | 175 | 179 | 194 | 208 | 213 | 157 | 161 | 175 | 190 | 194 |

手的宽度应不超过人体肩宽加两只手握宽，从表中可以看出，按成人男子百分位数 P_{90} 把手宽度约 700 mm 可满足多数中国男性操作的舒适性；不易疲劳、比较省力的人体推动操作高度应不低于站姿时的肘高，而又不能高于肩的高度，考虑到莲藕水中作业的水塘深度在 35 mm 左右，按成人男子及女子百分位数 P_{90} 在水中作业时把手至水面的高度 H 应为： $659\text{ mm} < H < 1085\text{ mm}$ ，考虑把手较低有利于推力作用，同时略高于肘部更为舒适，如把手不可调节其高度设定为 750~800 mm，如把手可调节高度可将其设定为 $650\text{ mm} < H < 900\text{ mm}$ ；舒适的把手握度能够方便操作者的用力，其直径应参考手长，按成人男子及女子手长百分位数 P_{90} ，把手直径 R 应为 $30\text{ mm} < R < 33.6\text{ mm}$ 。有倾角的操作台面更利于用户的状态观察以及操作，根据人体与操作屏幕之间高度的关系操作台倾角 α 一般为 $10^\circ < \alpha < 45^\circ$ 。考虑到用户实际的使用情况，可做一些创新设计尝试，如在浮筒外侧增加副把手，以提高搬运效率；可拆卸、组装的发动机，方便一个人情

况下的搬运，见图 5。

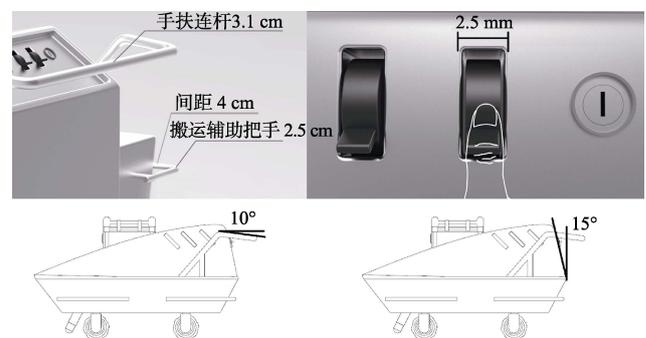


图 5 “人—机”系统下的喷流式挖藕机改良设计
Fig.5 Improved design of jet flow root digger under "man-machine" system

3.4 “人—环境”因素的系统分析

这里的环境主要包含作业环境以及物理环境，直接作用并影响了挖藕机的设计。

作业环境包含作业空间及作业时间。莲藕是水生植物,我国60%的莲藕为河塘养殖,水深30~50 cm,这就决定了挖藕机主要的作业空间是在水面上。挖藕期是在每年的7月至来年5月,主要集中在冬天,需要挖藕机在较大的温差范围内能够稳定的工作。从设计的角度来说,作业环境对挖藕机的影响主要体现在两个方面:(1)在水面上的作业需要挖藕机在水面中重心居中同时易于推进,可以通过造型设计的方法以流线型的方式减少水的阻力;(2)部分组件色彩鲜艳在有水气的环境易于识别。

物理环境主要指其需要在地面与水田之间相互运输。在我国农民运输的主要方式是面包车、平板车及纯粹的人力搬运,需要考虑运输载体的空间以及运输的便利性。这就要求产品的设计在满足功能的前提下相对轻巧,尺寸上能够放入面包车后备箱为宜。考虑到挖藕机从房间搬至运输工具、从运输工具搬至作业水面的这个过程,需要给挖藕机设计滚动前行的配件,同时要综合考虑农村道路环境,以保证挖藕机的通过性。

3.5 “机一环”影响下的喷流式挖藕机改良设计

喷流式挖藕机的作业环境是每年7月至次年5月,悬浮在水面由用户推动、晃动而移动的。水的阻力增加了用户的疲劳程度,缩短了用户的作业时间,因此有效降低水的阻力能够提高挖藕机的使用效率。水的阻力是由摩擦阻力和波浪阻力共同构成,摩擦阻力与水中移动物体的形态、表面光滑程度、移动速度有关,水中物体表面越光滑、移动速度越慢,摩擦阻力越小。波浪阻力与水中物体的移动速度及形态有关,与移动速度成正比。将浮筒设计成流线型能够有效减少挖藕机在水中移动时的阻力,缓解用户操作的疲劳以及提高用户作业的效率^[14],见图6。

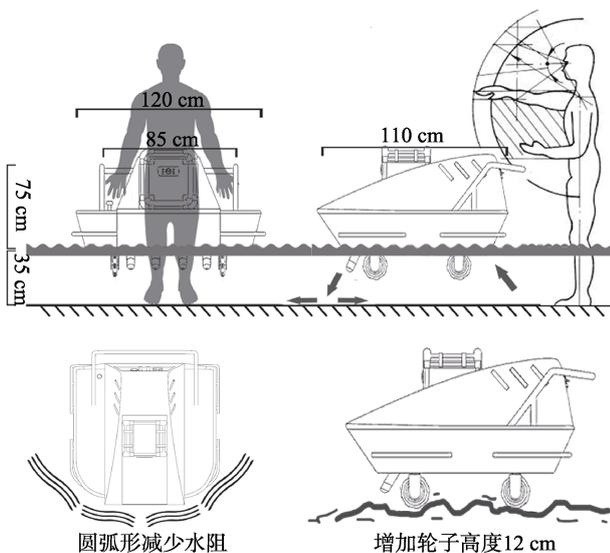


图6 “机一环”系统下的喷流式挖藕机改良设计
Fig.6 Improved design of jet flow lotus root digger under "machine-environment" system

挖藕机工作时对用户会产生一定的震动,主要原因是发动机的振动,振动通过发动机和手扶连杆传动,引起手把的振动,若长时间振动严重,会减少机器的使用寿命;对用户而言容易导致手臂组织损伤,引起病变。同时,其作业时间集中在冬季,在连杆及把手处安装增加摩擦、减少振动的装置,是喷流式挖藕机手把人性化设计的主要体现,见图5。

我国农村微型面包车保有量很高,对于很多家庭而言充当了小货车的功能^[16],面包车是挖藕机主流的运输工具。以五菱荣光为例,其后备箱最大宽度为1440 mm,最小宽度为1120 mm,后备箱进门宽度最小为1200 mm,后备箱最高为1270 mm,纵深为370~1580 mm。这些数据可以给挖藕机提供一定的参考意义,适应移动工具的挖藕机会更受用户的欢迎。

3.6 “人一机一环”影响下的喷流式挖藕机改良设计

“人”的因素、“环境”的因素对挖藕机的影响各有侧重,然而它们并不是相互独立的,而是多个因素同时进行、同时作用的。例如挖藕机的色彩即是物感的一部分,能够帮助用户对产品做整体判断,通过整机或部件色彩推测其基本的用途和操作方式又是在有水气的环境中易于识别产品的必然需要。适当的配色,可以协调或弥补产品造型中的一些缺点。美观、个性、合理的色彩造型能够吸引更多的用户^[15]。喷流式挖藕机的色彩设计,要注意产品的颜色,特别是产品功能的提示作用,尽可能的将色彩和功能相匹配,更好的辅助产品功能效果的发挥。另外在色彩设计时,必须考虑色彩对操作者心理方面的影响。喷流式挖藕机主体为金属本色,为了提升产品的品质感在金属表面以磨砂工艺处理,在操作面板处配以彩色,一方面起到点缀的作用另一方面使用户易于识别。



图7 “人一机一环”系统下的喷流式挖藕机造型改良
Fig.7 Modeling improvement of jet flow lotus root digger under "man-machine-environment" system

喷流式挖藕机整机尺寸为1200 mm×1100 mm×870 mm(含轮子,轮子可拆卸),可以放入国内主流的面包车后备箱,方便运输。可采用不同马力的柴油机、双燃料内燃动力作为动力驱动,框架放置位置较为固定并可拆卸,用户操作时不用手扶同时减少整机的震动。为了提高用户的操作效率,在框架背面设计

一组操作面板, 提高人机交互效率。

4 结语

通过“人一机一环境”系统对喷流式挖藕机建立功能模型图, 以“人”、“环境”两个单项因素进行分析为基础确定“人一机”及“机一环”关系, 对喷流式挖藕机系统组件进行功能、结构及造型上的改良设计, 设计用户愿意使用, 好用的产品, 在人机交互处如手扶连杆、辅助扶手、操作面板等处的符合人体尺寸、用户操作习惯以及兼顾作业环境的设计能够减低用户使用产品时的疲劳、提高产品工作效率。结果表明, 用“人一机一环境”系统理论对喷流式挖藕机进行功能与外观的改良设计能够有效满足用户的生理与心理方面的实际需求, 这种改良设计模式, 对其他产品有着极大的借鉴作用。

参考文献:

- [1] 陈汗青. 系统设计[M]. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2004.
CHEN Han-qing. System Design[M]. Wuhan: Wuhan University of Technology Press, 2004.
- [2] 王保国, 王伟灯. 钱学森系统科学思想在人机环境系统工程中的应用[J]. 华北科技学院学报, 2014(8): 1-4.
WANG Bao-guo, WANG Wei-deng. Application of Tsien Hsueshen's System Science Thought in Man Machine Environment System Engineering[J]. Journal of North China Institute of Science and Technology, 2014(8): 1-4.
- [3] 陈信, 袁修干. 人机环境系统工程总论[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1996.
CHEN Xin, YUAN Xiu-gan. General Introduction to Human Machine Environment System Engineering[M]. Beijing: Beihang University Press, 1996.
- [4] 王立刚, 袁修干, 杨春信. 人机环境系统设计中人的性能研究[J]. 北京航空航天大学学报, 1997(5): 535-538.
WANG Li-gang, YUAN Xiu-gan, YANG Chun-xin. Research on Human Performance in the Design of Man Machine Environment System[J]. Journal of Beihang University, 1997(5): 535-538.
- [5] 刘征, 孙守迁, 吴剑锋. 基于用户认知的产品外观设计知识模型[J]. 计算机集成制造系统, 2009, 15(2): 265-270
LIU Zheng, SUN Shou-qian, WU Jian-feng. Knowledge Model of Product Appearance Innovation Design Based on User Cognition[J]. Computer Integrated Manufacturing System, 2009, 15(2): 265-270.
- [6] 刘鹏, 陶雷. 液力驱动挖藕机的结构设计[J]. 中农机化研究, 2017(1): 78-82.
LIU Peng, TAO Lei. Structural Design of Hydraulic Driving Lotus Digging Machine[J]. Middle Agricultural Research, 2017(1): 78-82.
- [7] 郝兴玉. 基于 ARIZ 算法的方草捆收集车改进设计与试验[J]. 农业机械学报, 2016(10): 254-260.
HAO Xing-yu. Improved Design and Test of Square Bundle Collection Vehicle Based on ARIZ Algorithm[J]. Journal of Agricultural Machinery, 2016(10): 254-260.
- [8] 王维. 4SWJ-1 型船式水力挖藕机研制[J]. 农业机械, 2005, 28(1): 88-90.
WANG Wei. 4SWJ-1 Boat Type Hydraulic Excavating Lotus Root Machine to Develop[J]. Agricultural Machinery, 2005, 28(1): 88-90.
- [9] 郭洋民. 水田莲藕采挖机设计与研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2015.
GUO Yang-min. Design and Research of Lotus Root Excavator in Paddy Field[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2015.
- [10] 刘鹏. 液力驱动挖藕机的结构设计[J]. 农机化研究, 2017(1): 78-81.
LIU Peng. Structural Design of Hydraulic Driving Lotus Digging Machine[J]. Agricultural Mechanization Research, 2017(1): 78-81.
- [11] 刘义满. 莲藕人工采挖和机械采挖技术[J]. 长江蔬菜, 2014, 21(1): 10-13.
LIU Yi-man. Lotus Artificial Digging and Mechanical Mining Technology[J]. Changjiang Vegetable, 2014, 21(1): 10-13.
- [12] 孙永伟. TRIZ 打开创新之门的金钥匙[M]. 北京: 科学出版社, 2015.
SUN Yong-wei. TRIZ Opens the Golden Key to Innovation Door[M]. Beijing: Science Press, 2015.
- [13] 徐灏. 机械设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.
XU Hao. Mechanical Design Manual[M]. Beijing: China Machine Press, 2000.
- [14] 孙全洲. Q 软件测试充分性模糊决策方法研究及应用[J]. 北京化工大学学报, 2007(1): 36-40.
SUN Quan-zhou. Q Software Test Sufficient Fuzzy Decision-making Method Research and Application[J]. Journal of Beijing University of Chemical Technology, 2007(1): 36-40.
- [15] 杜鹤民. 基于产品语义的形态仿生设计方法研究[J]. 包装工程, 2015, 36(10): 60-63.
DU He-min. Research on the Form Bionic Design Method Based on Product Semantics[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(10): 60-63.