

基于多属性决策模型的传统长柄农具改良设计方法

李雪瑞, 明煜程*, 杨文园, 张业辉, 赵坤容

(山东科技大学, 山东 青岛 266590)

摘要: **目的** 提出一种多属性决策模型, 进行以人为本的传统长柄农具改良设计研究, 旨在改善农民在从事农业生产活动中的使用体验, 减轻身体负担, 提升工作效率。**方法** 首先, 以农民用户为中心, 以 JACK 人机仿真数据为依据提出具体需求, 利用层次分析法对需求权重进行计算, 明确设计目标和亟需解决的设计问题; 其次运用 TRIZ 工具中的物场模型分析问题, 根据对应的标准解决设计问题, 以此为依据完成改良设计方案, 最后通过 JACK 仿真软件验证该方法的合理性。**结论** 构建了融合层次分析法、TRIZ 理论、JACK 仿真评估的多属性决策模型, 完成了传统长柄农具改良方法研究, 并且以铁锹为例进行了设计验证, 为传统长柄农具的改良设计提供了一条有效路径和实施策略。

关键词: 多属性决策; 层次分析法; TRIZ 理论; JACK 仿真评估; 农具改良设计

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)22-0114-09

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.22.013

Traditional Improved Design Method of Manual Agricultural Tools Based on Multi-attribute Decision-making Model

LI Xue-rui, MING Yu-cheng*, YANG Wen-yuan, ZHANG Ye-hui, ZHAO Kun-rong

(Shandong University of Science and Technology, Shandong Qingdao 266590, China)

ABSTRACT: The work aims to propose a multi-attribute decision-making model to study the improvement design of traditional farm tools based on people, so as to improve farmers' experience in agricultural production, reduce their physical burden and improve their work efficiency. First of all, with farmer users as the center, specific requirements were put forward based on JACK man-machine simulation data. The analytic hierarchy process was adopted to calculate the weight of demand, clear the design objectives and urgent design problems. Then, the object field model in the TRIZ tool was used to analyze the problems. According to the corresponding standard solution, the design problems were solved. Based on this, the improved design scheme was completed. Finally, the rationality of the method was verified with JACK simulation software. A multi-attribute decision-making model integrating analytic hierarchy process (AHP), TRIZ theory and JACK simulation evaluation is constructed to complete the research on the improvement method of traditional farm tools. The design was verified with shovels as examples, providing an effective path and implementation strategy for the improvement design of traditional farm tools.

KEY WORDS: multiple-attribute decision-making; analytic hierarchy process; TRIZ theory; JACK simulation evaluation; improved design of farm tools

随着我国 2020 年宣布全面脱贫, 乡村振兴战略作为中央一号文件成为了社会关注的焦点, 如何改善农村人民的经济状况, 为农村人民增福祉是全社会需要共同努力的方向。考虑到我国为发展中国家, 且为农业大国, 短时间内无法完全实现农业机械化, 手工

生产作业方式还是会存在很长一段时间。传统长柄农具是农民从事农业生产活动的重要工具, 而且是对农民身体健康关系极为密切的工具传统长柄农具的长时间使用难免会对农村人民的身体健康造成严重的损害。因此, 本文希望通过从保护农村劳动者的身体

健康出发,针对生产作业过程中的传统长柄农具进行改良设计策略研究。期望矫正和优化农村劳动者在使用传统长柄农具从事农业活动时的身体姿态,以此来预防和减轻农民因从事农业活动而导致的身体健康问题,从本源上提升农民福祉。

目前,多学科理论结合的设计方法已经应用广泛,针对 AHP 与 TRIZ 理论的结合运用目前已有众多学者进行了研究。唐雪燕等^[1]为解决市场上大多数老年代步车在结构和功能上存在的设计缺陷,采用 SET、AHP、TRIZ 融合设计方法得到完善的老年代步车的设计方案。辜俊丽等^[2]采用 AHP 与 TRIZ 理论结合的方法得到设计重点并解决设计冲突,实现了对残障人轮椅的创新设计,并验证了多理论结合使用的有效性与科学性。付晓莉^[3]等采用 AHP 与 TRIZ 结合的模糊评价方法进行了馒头机生产线的设计,解决了馒头机生产线设计中定性数据与定量参数的转换问题。苏建宁^[4]等为改进玫瑰花蕾采摘机作业方式,提高采摘效率,运用 AHP、QFD、TRIZ 融合设计方法按照整体功能要求完成了采摘机的设计,证明方案具有一定的可行性,为采摘收集设备设计提供了参考。杨勤^[5]等运用 TRIZ 理论对行李箱进行设计研究,并且运用 JACK 仿真验证了设计的合理性。综上所述,AHP 把定性方法与定量方法有机地结合起来,使复杂的系统分解,是一个简洁实用的决策方法,这对传统长柄农具改良设计目标的明确及设计问题的确定具有重要的作用;TRIZ 理论将产品创新过程中的矛盾进行归纳总结并给出对应的解决方案,通过科学简单的发明创造流程加快发明创造的进程,这对于传统长柄农具内部矛盾的解决起到至关重要的作用。本文创新性的将 AHP、TRIZ 理论及 JACK 人机工效仿真分析有效结合,提出一种适用于传统长柄农具改良设

计的多属性决策模型,以农民健康及工作需求为导向,为传统长柄农具的改良设计提供了一条有效路径和实施策略。

1 构建多属性决策模型

我国是历史悠久的农业大国,传统农具种类繁多,农民一直使用传统的农具进行耕作。长柄农具在农民的耕作劳动中有着很大占比,是使用频率高且简单的农具种类,主要由长柄握杆和农具头组成。长柄农具的使用姿势多为双手握住握杆一前一后,双脚支撑,通过上半身发力来进行相应农业劳动。铁锹是农村最常用的长柄农具,能够用来进行翻土、装卸车、掘土等大部分重体力农业劳动,因此本文将以铁锹为例开展传统长柄农具的改良设计研究。

层次分析法(AHP)是由美国教授 Saaty.T.L.提出的,是一种多指标的综合评价算法,可以将与决策有关的元素进行分解,并且在此基础上进行定性和定量的分析,是一种系统的、简单的、灵活的决策方法。TRIZ 理论是由前苏联发明家阿奇舒勒(G. S. Altshuller)及其团队根据大量的优质专利总结归纳而提出的,它可以为人们提供一个快捷科学的解决问题流程,大大缩短创新产品的发明创造时间。JACK 仿真软件是由宾夕法尼亚大学人类模型和模拟中心开发的一款人体仿真模拟分析软件,它可以对人体在不同环境中不同动作进行分析,并根据需要给出身体各部位受力数据,因此可以对本设计方案进行对比分析。

本文将 AHP 层次分析法系统性的特点、TRIZ 理论解决系统矛盾问题的优势以及 JACK 在人机工效模拟分析中的优势充分融合,提出了针对传统长柄农具改良设计的多属性决策模型,详见图 1。

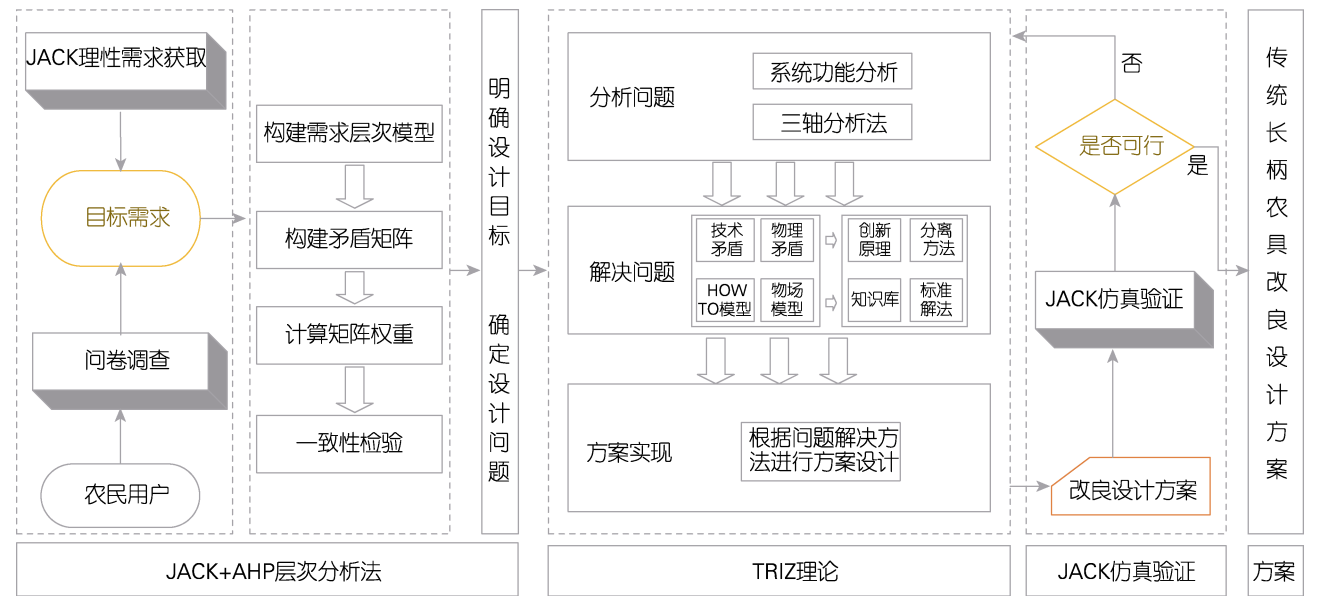


图 1 面向传统长柄农具改良设计的多属性决策模型

Fig.1 Multi-attribute decision-making model for improvement design of traditional long handle farm tools

流程如下:

1) 对铁锹使用者进行行为分析, 通过 JACK 仿真软件进行仿真模拟, 确定铁锹的理性设计需求, 同时对农民用户问卷调查, 获取感性设计需求, 建立 AHP 需求层次模型并对产品的设计目标进行分析。

2) 引入 1~9 标度法量化相邻评价指标, 发放调查问卷并根据问卷调查结果建立判断矩阵, 计算各项指标权重并且通过一致性检验。

3) 根据各项指标权重确定设计目标, 将 AHP 获取的参数与 TRIZ 进行衔接; 分析产品矛盾冲突, 确定通过物场模型分析来解决问题, 最终实现铁锹方案的设计。

4) 对设计方案进行 JACK 仿真模拟, 与传统铁锹对比仿真数据, 根据改进后的铁锹对人体的作用力是否优于传统农具来判断改进后的设计方案的合理性。

2 多属性决策模型下的传统农具铁锹改良设计方法

2.1 基于 AHP 的设计指标体系构建与评估

AHP 层次分析法是一个完善的决策系统, 通过构建需求层次模型获取评价指标, 对指标进行专家打分, 通过计算公式最终确定各指标的需求权重, 明确设计目标, 从而完成长柄农具改良设计指标体系的构建与评估。

2.1.1 建立设计需求层次模型

首先对铁锹使用进行操作演示并将操作行为进行分解, 得出使用铁锹的行为过程主要包含的肢体动作为: 腿部弯曲支撑、身体弯曲前倾、右臂后曲抓握、左臂前屈抓握, 见图 2。然后通过 JACK 仿真软件以传统农具铁锹的使用进行仿真模拟, 建立 JACK 仿真人体模型, 采用传统铁锹使用方式对人体进行 Ovako Working Posture Analysis 仿真分析, 其中人体数据选择中国 50% 百分位数的成年男性, 身高为 167.8 cm, 体重为 59 kg。将铁锹与作业对象看作整体, 设置重

量为 4 kg, 得出分析结果, 见图 3。可见传统长柄农具的使用姿态会对人体肌肉骨骼产生较大的损害, 因此将人机舒适性作为长柄农具设计评价层级之一。

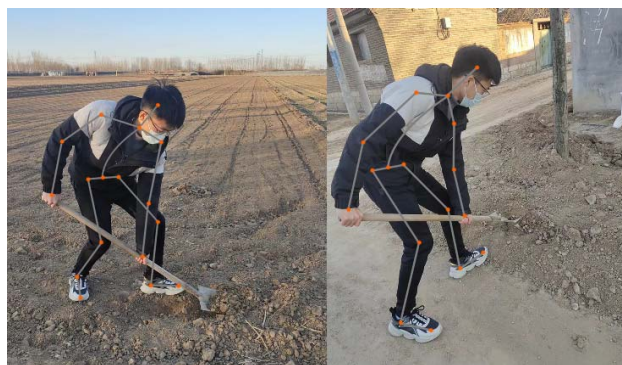


图 2 传统铁锹使用操作演示
Fig.2 Operation demonstration of traditional shovels

从青岛市内平度县及黄岛区的几个乡村随机挑选 80 位农民用户进行问卷访谈, 收回有效问卷 77 份, 经过数据整理与分析, 总结出除人机舒适性外的外观合理性、产品功能性、结构简易性三个评价层级。

综合 JACK 仿真与用户问卷调查最终确定研究目标为传统长柄农具改良设计, 使之在不改变原有功能性的基础上, 合理地改善人机交互过程, 同时兼顾产品的外观合理性。基于使用行为对产品进行重要度分析^[6-7], 将设计需求分为四层级: 外观合理性、人机舒适性、产品功能性、结构简易性。

1) 外观合理性: 外观造型是产品给人的第一印象, 也是产品功能的另一体现, 有效用则美, 无效用则丑。因此, 将产品的美观性分为外观造型、材料工艺、色彩搭配三个要素为美观性的评价指标。

2) 人机舒适性: 从事农业活动是人直接对农具交互的过程, 人与农具的交互过程存在于农业活动的始终, 长时间的不合理劳作姿势还会对人体舒适度产生影响最终导致伤病的出现。因此, 将产品的人机舒适性分为重量舒适度、腰部舒适度、握把舒适度三个要素作为产品人机舒适性的评价指标。

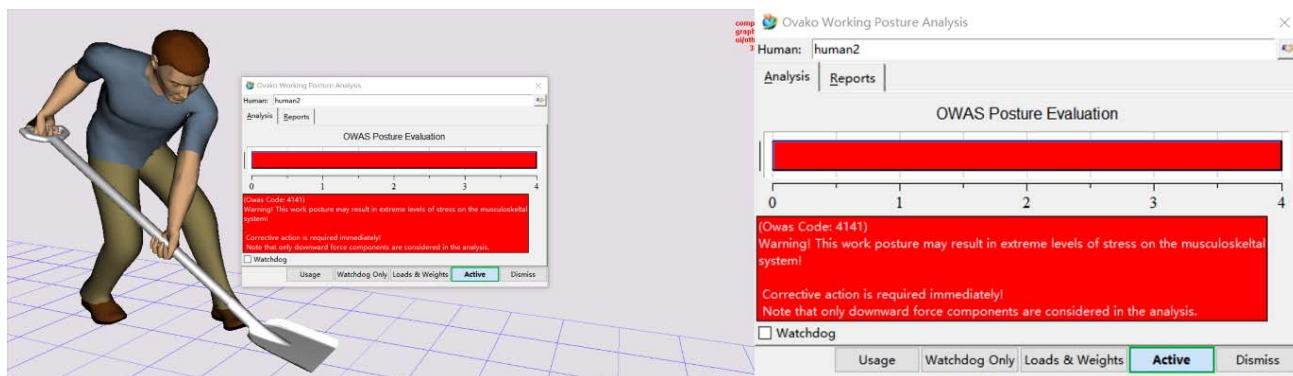


图 3 Ovako Working Posture Analysis 仿真分析结果
Fig.3 Simulation analysis result of Ovako Working Posture Analysis

3) 产品功能性: 产品的功能是产品存在的意义, 在农业生产活动中, 农具要适应复杂的环境, 保证在不同的环境中可以保持良好的功能性, 同时新设计的农具不应因结构的改变而导致产生收纳问题。因此, 将可用于用途广泛、方便收纳、功能良好三个要素作为产品功能性评价指标。

4) 结构简易性: 作为与使用者直接接触的农具, 设计的简单性可以减少使用者过多的精力分配, 并且可以降低制造成本, 易于农具的维护修复。因此, 将结构简单、操作方便、容易维护三个要素作为农具结构简易性的三个评价指标。

构建长柄农具的改良设计评价体系为目标层, 表示为 A 。外观合理性、人机舒适性、产品功能性、结构简易性作为准则层, 用 B_1 、 B_2 、 B_3 、 B_4 表示。外观造型、材料工艺、色彩搭配为准则层 B_1 的子准则层, 分别表示为 B_{11} 、 B_{12} 、 B_{13} ; 重量舒适度、腰部舒适度、握把舒适度为准则层 B_2 的子准则层, 分别表示为 B_{21} 、 B_{22} 、 B_{23} ; 用途广泛、方便收纳、功能良好为准则层 B_3 的子准则层, 分别表示为 B_{31} 、 B_{32} 、 B_{33} ; 结构简单、操作方便、容易维护为准则层 B_4 的子准则层, 分别表示为 B_{41} 、 B_{42} 、 B_{43} ^[8], 见图 4。

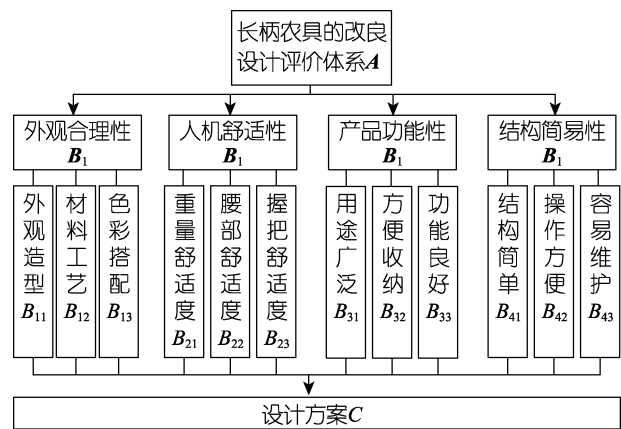


图 4 长柄农具改良设计需求层次模型
Fig.4 Hierarchical demand model for improvement design of long handle farm tools

2.1.2 构建矛盾矩阵

将 1~9 标度法引入, 见表 1。根据 AHP 评价级建立问卷, 发放给长时间从事农业活动的劳动人民, 共发放问卷 80 份, 回收有效问卷 75 份, 根据评价数据构建准则层与子准则层的判断矩阵, 并计算对应权重^[9]。

2.1.3 计算矩阵权重

几何平均法、和积法、本征向量法、最小平方法是计算判断矩阵权重常常采用的方法, 本文采用几何平均法进行权重的计算^[10]:

1) 将每行标度相乘得到其乘积, 见式 (1)。

$$M_i = \prod_{j=1}^m b_{ij} \quad (i=1, 2, \cdots, m)$$
 (1)

其中: M_i 表示每行标度乘积, 表示 b_{ij} 表示第 i 行第 j 列元素, m 表示因素的数量。

2) 计算得到的每行标度乘积的几何平均值, 见式 (2)。

$$a_i = \sqrt[m]{M_i} \quad (i=1, 2, \cdots, m)$$
 (2)

其中: a_i 表示每行标度乘积的几何平均值。

3) 计算矩阵所有几何平均值之和, 见式 (3)。

$$N = \sum_{i=1}^m a_i \quad (i=1, 2, \cdots, m)$$
 (3)

其中: N 表示几何平均值之和。

4) 计算对每个标度乘积的几何平均值 a_i 求相对权重, 见式 (4)。

$$w_i = \frac{a_i}{N} \quad (i=1, 2, \cdots, m)$$
 (4)

其中: w_i 为几何平均值 a_i 的相对权重。

求出子准则层相对权重后采用加权平均值方法计算子准则层综合权重值, 得到准则层及子准则层权重值表和子准则层权重值条形图, 见表 1~2 和图 5。

表 1 1~9 标度及含义	
Tab.1 Scale from 1 to 9 and their meanings	
标度	因素 i 对于因素 j 来说
1	一样重要
3	稍微重要
5	明显重要
7	十分重要
9	极其重要
2, 4, 6, 8	两相邻判断的中间值
标度倒数	反向比较

2.1.4 一致性检验

为确保数据的一致性与可靠性, 需要对其进行一致性检验。

1) 计算矩阵的最大特征值 $\lambda_{\max}$, 见式 (5)。

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{[Aw]_i}{nw_i} \quad (i=1, 2, \cdots, m)$$
 (5)

其中: $[Aw]_i$ 为向量 Aw 的第 i 个分量, n 表示矩阵的阶数。

2) 计算判断矩阵的一致性指标 I_{CI} , 见式 (6)。

$$I_{CI} = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$
 (6)

3) 计算一致性比值 I_{CR} , 若 $I_{CR} \leq 0.1$ 则证明一致性检验通过, 见式 (7)。

$$I_{CR} = \frac{I_{CI}}{I_{RI}}$$
 (7)

其中: I_{CR} 为平均随机一致性指标, 以下是平均随机一致性指标数据, 见表 3。

表 2 准则层及子准则层权重
Tab.2 Weights of criteria layer and sub criteria layer

目标层	准则层及权重	子准则层	综合权重
长柄农具改良设计 A	外观合理性 B_1 0.091 2	外观造型 B_{11}	0.051 9
		材料工艺 B_{12}	0.030 4
		色彩搭配 B_{13}	0.008 9
	人机舒适性 B_2 0.494 4	重量舒适度 B_{21}	0.128 5
		腰部舒适度 B_{22}	0.204 0
		握把舒适度 B_{23}	0.161 9
	产品功能性 B_3 0.285 4	用途广泛 B_{31}	0.114 2
		方便收纳 B_{32}	0.057 1
		功能良好 B_{33}	0.114 2
	结构简易性 B_4 0.129 0	结构简单 B_{41}	0.055 9
		操作方便 B_{42}	0.060 2
		容易维护 B_{43}	0.013 0

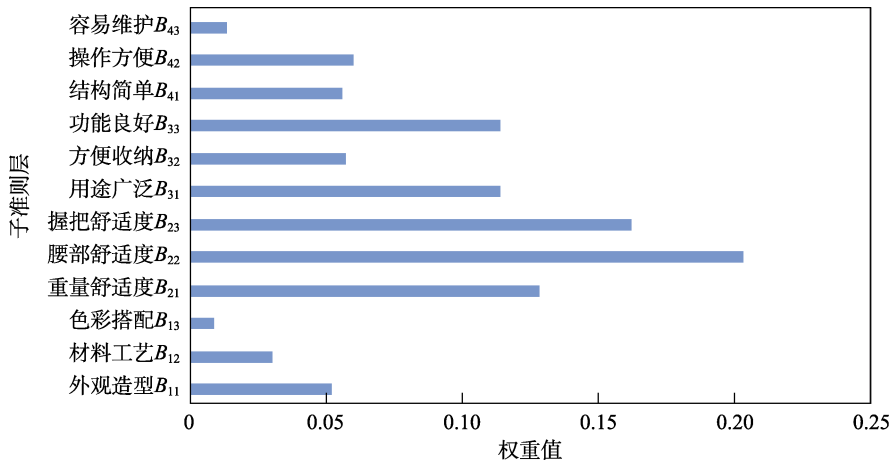


图 5 子准则层综合权重值
Fig.5 Histogram of comprehensive weight value of sub criteria layer

表 3 平均随机一致性指标
Tab.3 Average random consistency indexes

矩阵阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I_{CR}	0	0	0.53	0.882	1.11	1.25	1.341	1.404	1.45	1.49

最终计算得出目标层 A 与指标层 B_1 、 B_2 、 B_3 、 B_4 的一致性检验结果， $I_{CR} \leq 0.1$ 通过一致性检验见表 4。

表 4 一致性检验结果
Tab.4 Consistency test results

需求层次	A	B_1	B_2	B_3	B_4
$\lambda_{\max}$	4.071 0	3.024 6	3.053 6	3.000 0	3.005 5
I_{CI}	0.023 7	0.012 3	0.026 8	0	0.002 8
I_{RI}	0.882 0	0.525 0	0.525 0	0.525 0	0.525 0
I_{CR}	0.026 8	0.023 4	0.051 1	0	0.005 3

2.1.5 确定设计侧重点

根据子准则层权重值可以得出用户对农具铁锨

改良的需求度排序，其中腰部舒适度权重为 0.204，为子准则层中权重最高的一项。因此长柄农具的改良设计需要考虑到现有长柄农具对农业劳动者腰部的损伤，重点从腰部舒适度出发根据权重兼顾其他各项指标进行再设计。

2.2 基于 TRIZ 理论的设计问题解决策略

TRIZ 理论解决问题的流程：TRIZ 理论有着完善的解决问题方法，通过将复杂的工程问题进行系统功能分析法或三轴分析法进行分析，将工程问题分类为四大类，并给出每一类问题对应的解决问题方法进行方案设计形成备选方案，最终完善为概念方案，从而实现最终方案的设计^[11~13]，见图 6。

2.2.1 明确设计目标

根据层次分析法得出的结论，明确设计目标为一款更加符合人体工程学的能够明显减轻使用者腰部疲劳度的长柄农具。本文将以铁锨为例通过 TRIZ 理论进行分析设计。传统的铁锨因其结构设计的原因，

导致使用者必须以不合理的姿势来使用，长时间的劳作致使腰部疲劳，久而久之便会积累成病。因此，根据层次分析法得出的结论，与 TRIZ 理论衔接，将设计重点放在农具的人机舒适性上，改良设计出在轻度弯腰状况下使用的农具，希望通过减小劳作者的腰部弯曲度来降低弯腰姿势对腰部的损害，以此来保证劳作者的身体健康，见图 7。

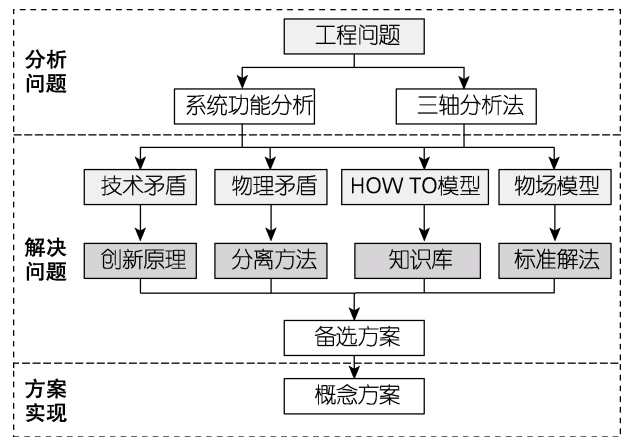


图 6 TRIZ 理论解决问题流程
Fig.6 Problem solving flow of TRIZ theory

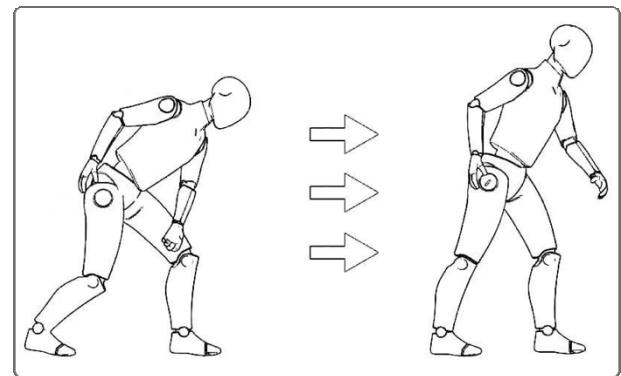


图 7 设计方案预想工作状态转换
Fig.7 Transformation of expected working state in design scheme

2.2.2 系统功能析功能分析

1) 组件分析。组件分析是 TRIZ 理论中功能分析的重要部分，可以将工程系统、主要功能、系统组件以及超系统组件列举出来。以铁锹作为工程系统，对系统组件以及超系统组件进行列举，将系统组件分为握杆、铁锹头两部分，超系统组件分为人、地面和从事农业活动时的作业对象三部分，见表 5。

表 5 组件分析
Tab.5 Component analysis

工程系统	主要功能	系统组件	超系统组件
铁锹	传递人的力	1. 握杆	1. 人
		2. 铁锹头	2. 作业对象
			3. 地面

2) 相互作用分析。相互作用分析可以将各组件之间的相互作用表示出来。通过构建组件间相互作用矩阵来发现各组件之间的相互接触关系，其中“○”代表两组件之间存在相互接触关系，“×”代表两组件之间不存在相互作用关系，见表 6。

表 6 相互作用分析
Tab.6 Interaction analysis

组件	握杆	铁锹头	人	作业对象	地面
握杆		○	○	×	×
铁锹头	○		×	○	×
人	○	×		×	○
作业对象	×	○	×		○
地面	×	×	○	○	

3) 铁锹功能分析模型。功能分析模型能找出组件之间矛盾。根据相互作用分析构建铁锹的功能模型，见图 8。功能模型中可以表示系统中的有用作用和有害作用。根据功能分析模型可以清晰看出，产生恶性结果的原因是人与握杆之间存在着矛盾，根据以人为本的原则，可以通过改变握杆的设计来缓和矛盾。

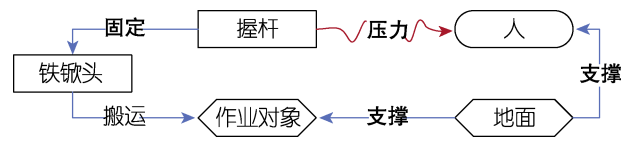


图 8 铁锹功能分析模型
Fig.8 Functional analysis model of shovels

2.2.3 矛盾分析下的物—场模型

对铁锹的功能分析得出通过物—场模型寻找对应的标准解来解决系统中存在的问题为最优解决问题方式。物场分析是以物质和场的形式表示的、工程系统中任意子系统的模型，其中以 S 表示物质，F 表示场。对使用传统铁锹劳作时，腰部的过度弯曲导致腰部产生较明显疲劳感这一过程构建物—场模型：F 机械场，S1 人，S2 农具。TRIZ 理论为物—场模型提供了成模式的解法，称为标准解法^[14]，共 76 个，76 个标准解决方法可分为 5 类。

- ①不改变或仅少量改变系统（基本物场模型）；
- ②改变系统（增强物场模型）；
- ③传递系统（向双、多级系统或微观级系统进化）；
- ④检测系统（测量与检测）；
- ⑤简化改进系统（简化与改善）。

由于人在使用农具劳作过程中会产生疲劳感，因此，S2 对 S1 产生有害作用。根据分析，腰部在弯曲度较小的情况下，双手的水平位置几乎相同，无法满足双手握持农具握杆的动作，通过查阅 76 个标准解选用第 1 类标准解中的第 3 个标准解：“假如系统不

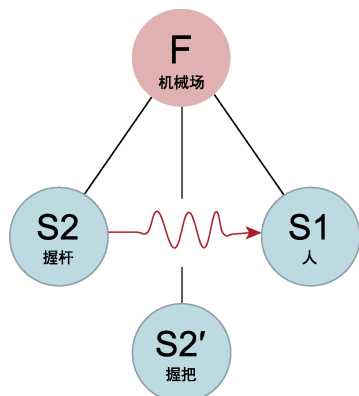


图 9 物场分析模型

Fig.9 Object field analysis model

能改变,但可以用永久的或临时的外部添加物来改变 S1 或 S2 是可以接受的,则加之。”决定通过引入变形的第三种物质 S2'来改变 S2 农具的外形,以此缓解 S2 对 S1 产生的有害作用,见图 9。

3 改良设计方案输出及 JACK 人机工效仿真验证

3.1 改良设计方案输出

为验证 AHP 理论与 TRIZ 理论对改良传统长柄农具的可行性,将该理论方法用于铁锹改良的设计实践中,根据 AHP 理论确定的设计需求重要度排列顺序,确定铁锹改良的设计方向,应用 TRIZ 理论物—场分析原理进行铁锹的设计改造,最终得到铁锹设计方案,见图 10。



图 10 铁锹改进方案及改进方案与传统铁锹使用对比
Fig.10 Improvement plan of shovel and comparison between improvement plan and traditional use of shovels

通过 AHP 理论与 TRIZ 理论确定最终设计方案以人机舒适性为主,在劳作者较小的弯腰姿势下对铁锹进行改进。通过在铁锹的握杆上增加握把的方式,劳动者可以一手握住握杆顶端,另一手握住新增握把,使得劳动者可以在较小的弯腰姿势下仍然可以用双手来控制握杆。新增握把采用拆卸式安装,使用者可以根据身高及舒适度改变握把所在位置以及角度以达到可以以最舒适的状态使用的目的。根据设计方案图可以看出,在铁锹使用角度相同的情况下,通过增加握把 S2'可以明显地减小使用者的腰部弯曲度,从而减轻使用者在长时间劳作过程中的疲劳感。

3.2 JACK 人机工效仿真分析验证

制作简易的铁锹改良方案样机并进行使用操作演示,对使用动作行为进行分析采集,见图 11。使用过程主要包含的肢体动作为:腿部轻微弯曲、身体轻微前倾、右臂后曲抓握、左臂前伸抓握。根据演示动作建立使用改良铁锹的仿真人物模型,并且与使用传统铁锹的人物模型进行对比分析。人体数据选择中国 50%百分位数的成年男性,身高为 167.8 cm,体重为 59 kg。将铁锹与作业对象看作整体,设置重量为 4 kg,分别对使用传统铁锹与本文的设计方案铁锹的人物腰部进行 Lower Back Analysis 仿真分析^[15],得出数据对比结果,见图 12。

根据仿真分析数据得出在假设铁锹与作业对象重量为 4kg 的情况下,传统铁锹的使用方式对腰部产生 1 607 N 的作用力,而使用本文设计方案给出的铁锹对腰部只产生 1 055 N 的作用力,有效的证明了本文给出的设计方案的人机舒适性。同时为了保证改进方案的使用不会对其他身体部位产生超负荷的压力,对使用改进方案的人物模型进行 ForceSolver 仿真分析,得出身体其他部位的受力强度并没有超出安全值(见图 13),证明了设计方案的科学性。



图 11 改良方案样机使用操作演示
Fig.11 Operation demonstration of improved prototype

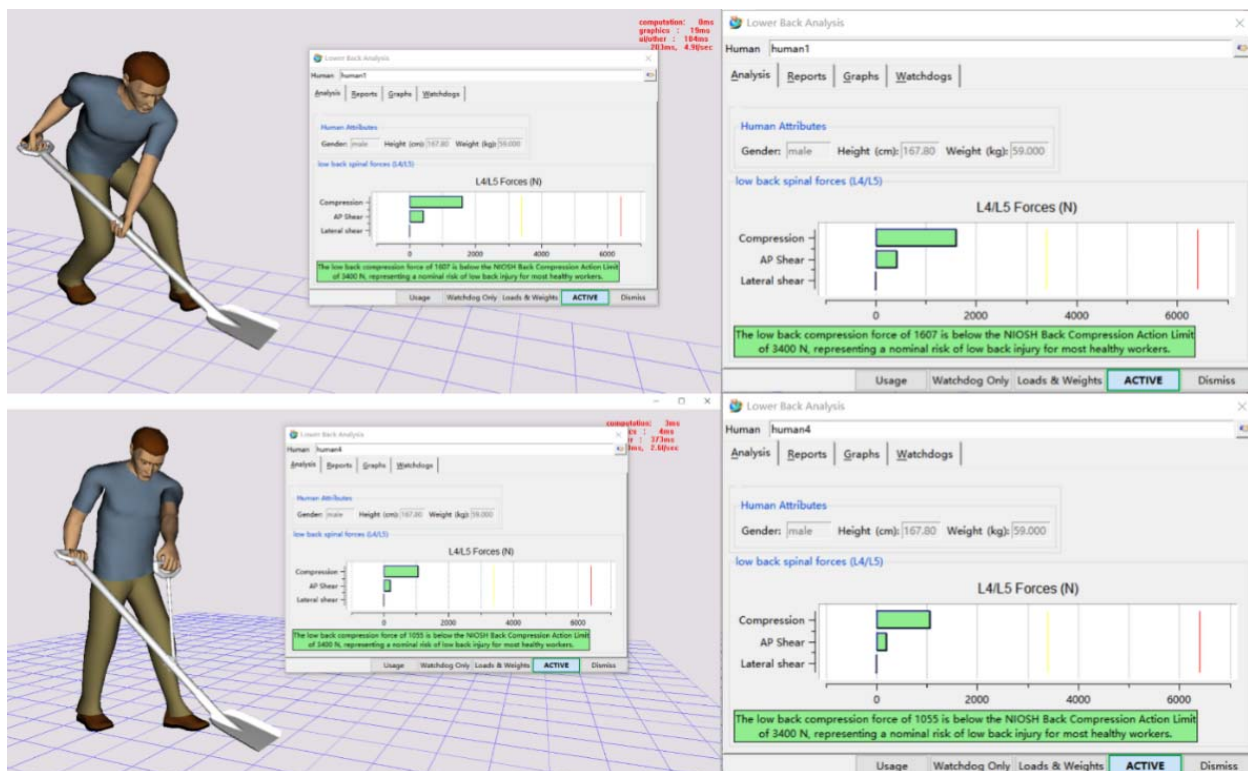


图 12 使用传统铁锹与改进后的铁锹的腰部受力分析

Fig.12 Analysis of waist force of traditional shovels and improved shovels

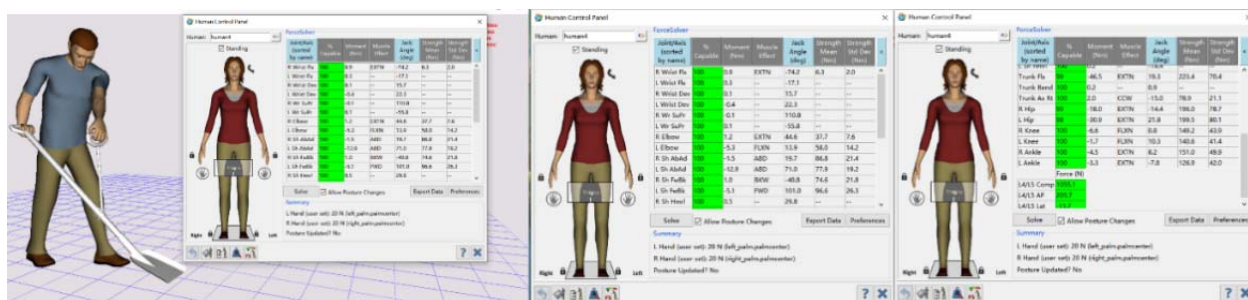


图 13 ForceSolver 仿真分析结果

Fig.13 ForceSolver simulation analysis results

4 结语

本文通过结合 AHP 与 TRIZ 理论以铁锹为例对长柄农具改良设计进行研究, 首先对产品进行分析, 确定需求层次模型, 通过问卷打分确定各设计因素的综合权重, 从而确定设计侧重点, 对设计侧重点进行设计改良。引入 TRIZ 理论, 与层次分析法所得结论进行衔接, 分析设计矛盾, 构建物-场模型, 对矛盾分析下的物-场模型进行分析, 通过标准解法找出构建的物-场模型对应标准解, 通过实例验证设计出改良方案, 并且通过 JACK 仿真验证了方案的合理性。综上所述, 本文通过多学科理论结合的方式完成了较为合理的铁锹改良设计, 优化了铁锹的使用姿态, 缓解了农业劳动者因长时间使用铁锹从事农业活动而导致的腰部不适, 降低了农业劳动者腰病的患病概

率, 为传统长柄农具的改良设计提供了一条有效路径和实施策略。

参考文献:

- [1] 唐雪艳, 李翠玉. 融合 SET/AHP/TRIZ 的老年电动代步车创新设计研究[J]. 机械设计, 2021, 38(S2): 113-117.
TANG Xue-yan, LI Cui-yu. Research on Innovative Design of an Elderly Electric Scooter with SET/AHP/TRIZ [J]. Journal of Machine Design, 2021, 38(S2): 113-117.
- [2] 辜俊丽, 宋端树, 崔天琦, 等. 基于 AHP 与 TRIZ 的残疾人轮椅设计[J]. 包装工程, 2019, 40(24): 187-193.
GU Jun-li, SONG Duan-shu, CUI Tian-qi, et al. Design of Wheelchair for the Disabled Based on AHP and TRIZ [J]. Packaging Engineering, 2019, 40(24): 187-193.

- [3] 付晓莉, 许桥, 杨树峰, 等. 基于 AHP 与 TRIZ 的馒头机生产线设计[J]. 食品与机械, 2021, 37(11): 81-86.
FU Xiao-li, XU Qiao, YANG Shu-feng, et al. Design of Steamed Bread Machine Production Line Based on AHP and TRIZ Theory[J]. Food & Machinery, 2021, 37(11): 81-86.
- [4] 苏建宁, 魏晋. 基于 AHP/QFD/TRIZ 的玫瑰花蕾采摘机设计[J]. 机械设计, 2020, 37(8): 121-126.
SU Jian-ning, WEI Jin. Design of Rose Buds Picking Machine Based on AHP/QFD/TRIZ[J]. Journal of Machine Design, 2020, 37(8): 121-126.
- [5] 杨勤, 李炜烙, 周艾, 等. 基于 TRIZ 理论的行李箱创新设计[J]. 图学学报, 2021, 42(1): 158-164.
YANG Qin, LI Wei-lao, ZHOU Ai, et al. Innovative Design of Luggage Case Based on TRIZ Theory[J]. Journal of Graphics, 2021, 42(1): 158-164.
- [6] 王子翔, 许佳. 基于 AHP 与模糊模型的农特产品包装设计与评价[J]. 包装工程, 2022, 43(6): 213-219.
WANG Zi-xiang, XU Jia. Packaging Design and Evaluation of Agricultural Specialty Products Based on AHP and Fuzzy Mathematical Model[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(6): 213-219.
- [7] 王南轶, 石畅, 魏阳阳, 等. 基于 AHP/QFD/TRIZ 理论的可伸缩式餐桌设计[J]. 包装工程, 2023, 44(2): 90-100.
WANG Nan-yi, SHI Chang, WEI Yang-yang, et al. Design of Retractable Dining Table Based on AHP/QFD/TRIZ Theory[J]. Packaging Engineering, 2023, 44(2): 90-100.
- [8] 王慧, 张书涛, 邹建强, 等. 基于动物行为理论的 B/AHP/FAST 创新设计方法研究[J]. 包装工程, 2022, 43(24): 144-152.
WANG Hui, ZHANG Shu-tao, ZOU Jian-qiang, et al. Research on Innovative Design Method of B/AHP/FAST Based on Animal Behavior Theory[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(24): 144-152.
- [9] UZOKA C, MISHRA R. Integration of TRIZ and CFD to New Product Development Process[J]. International Journal of Computational Fluid Dynamics, 2020, 34(6): 418-437.
- [10] WANG Jian-wei, ZHANG Jian-min. Research on Innovative Design and Evaluation of Agricultural Machinery Products[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2019, 11: 1-8.
- [11] 许继峰, 王姝蕴. 基于 AHP-TRIZ 的家庭厨余智能回收产品设计[J]. 机械设计, 2022, 39(9): 128-134.
XU Ji-feng, WANG Shu-yun. Design of Intelligent Recycling Products for Household Kitchen Waste Based on AHP-TRIZ[J]. Journal of Machine Design, 2022, 39(9): 128-134.
- [12] 胡海霞, 常博斌, 王成军, 等. 基于 TRIZ 理论的挤奶机器人末端执行器结构设计[J]. 机械设计与制造, 2022, 51(5): 159-162, 166.
HU Hai-xia, CHANG Bo-bin, WANG Cheng-jun, et al. Structural Design of End Effector of Milking Robot Based on TRIZ Theory[J]. Machine Building & Automation, 2022, 51(5): 159-162, 166.
- [13] 姜民政, 闫春雨, 董康兴, 等. 基于 TRIZ 理论的管道内多功能涂覆装置设计[J]. 机械设计与研究, 2022, 38(4): 208-212, 218.
JIANG Min-zheng, YAN Chun-yu, DONG Kang-xing, et al. Design of Multifunctional Coating Device in Pipeline Based on TRIZ Theory[J]. Machine Design & Research, 2022, 38(4): 208-212, 218.
- [14] 付敏, 郝镒林, 李萌, 等. 基于物场模型构建与进化变换的创新设计模型[J]. 机械设计与研究, 2022, 38(1): 25-30, 50.
FU Min, HAO Yi-lin, LI Meng, et al. Innovative Design Model Based on Su-Field Models Construction and Evolutionary Transformation[J]. Machine Design & Research, 2022, 38(1): 25-30, 50.
- [15] 张文彦, 陶庆, 李兆波, 等. 采用动作捕捉与 JACK 软件的坐姿评价方法研究[J]. 机械设计与制造, 2022(9): 32-36.
ZHANG Wen-yan, TAO Qing, LI Zhao-bo, et al. Research on Sitting Posture Evaluation Method Using Motion Capture and JACK Software[J]. Machinery Design & Manufacture, 2022(9): 32-36.

责任编辑: 陈作