

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2021.11.015

# 基于 AHP 与 TRIZ 的馒头机生产线设计

## Design of steamed bread machine production line based on AHP and TRIZ theory

付晓莉 许 桥 杨树峰 张 斌

FU Xiao-li XU Qiao YANG Shu-feng ZHANG Bin

(中原工学院, 河南 郑州 451191)

(Zhongyuan Institute of Technology, Zhengzhou, Henan 451191, China)

**摘要:**目的:采用层次分析法(AHP)与发明问题解决理论(TRIZ)结合的模糊评价方法解决馒头机生产线主要存在的人机交互程度低、造型审美不足、缺乏设计特色等问题。方法:利用 AHP 获取定位设计重点区域;运用 TRIZ 标准工程参数分析矛盾冲突并构建矛盾矩阵,利用发明原理找寻设计方案最优解并引入物—场分析法解决馒头机生产线具体实际问题,运用模糊评价法对 3 个馒头机造型设计方案进行评分。结果:设备造型以直线、圆角和斜角为元素的 A3 为优选方案。结论:该方法可解决馒头机生产线设计中定性数据与定量参数的转换问题。

**关键词:**馒头机;生产线;造型设计;AHP;TRIZ;模糊评价法

**Abstract:** Objective: In view of the problems of low human-computer interaction, insufficient modeling aesthetics and lack of design characteristics in the production line of steamed bread machine, the fuzzy evaluation method combined with AHP and TRIZ is used for the innovative design. Methods: The key areas of positioning design were obtained by analytic hierarchy process. The TRIZ standard engineering parameters were used to analyze the contradiction and construct the contradiction matrix. The invention principle was used to find the optimal solution of the design scheme, and the matter field analysis method was introduced to solve the specific practical problems of the steamed bread machine production line. Results: The fuzzy evaluation method was used to score the three modeling design schemes of steamed bread machine, and the relatively optimal scheme was obtained. Conclusion: According to the analysis of application examples, the rationality of this method to evaluate the design scheme of steamed bread machine production line is verified.

基金项目:河南省科技攻关项目(编号:212102210346)

作者简介:付晓莉(1962—),女,中原工学院教授。

E-mail: 908562354@qq.com

收稿日期:2021-05-31

**Keywords:** steamed bread machine; production line; modeling design; AHP; TRIZ; fuzzy evaluation method

馒头机生产线作为馒头批量化生产的主要方式,是传统面食的新制造工艺<sup>[1]</sup>。面对食品加工生产线行业逐渐壮大发展的现状,客户对馒头机生产线的品质和造型提出了更高的要求。因馒头机生产线存在设备流程操作复杂、造型设计缺乏特色的现象,需借助多学科理论进行设计,以实现造型、功能的优化配置。苏建宁等<sup>[2]</sup>运用 AHP/QFD/TRIZ 对玫瑰花蕾采摘机进行整体功能要求的设计,保证了设计过程的客观性。Vinodh 等<sup>[3]</sup>运用 ECQFD、AHP 与 TRIZ 集成模式对汽车部件进行创新设计,实现了产品在竞争中的可持续发展。Leonardo<sup>[4]</sup>利用 QFD 与 TRIZ 对模具进行开放式设计,以提升材料和能源的利用率。王军等<sup>[5]</sup>基于可拓创新法与 TRIZ 理论优化营地手推车,提高了手推车利用率,获取了手推车折叠结构的创新解决方案。辜俊丽等<sup>[6]</sup>基于 AHP 与 TRIZ 理论,以残障人士的轮椅为设计案例进行研究,验证了多理论结合运用的合理性。

综上,多学科理论的结合可有效避免设计过程中的偏差。针对现有馒头机生产线现状,文章拟利用 AHP 对用户需求进行重要度分析<sup>[7]</sup>;通过 TRIZ 标准工程参数与 AHP 参数快速转换,构建 TRIZ 矛盾矩阵完成方案求解,运用 TRIZ 物—场分析法解决作业过程存在的问题,确定馒头机生产线设计最佳方案,并导入模糊评价法对方案进行定量评估<sup>[8-9]</sup>,旨在推动食品生产线领域造型研究的发展。

### 1 基于 AHP 与 TRIZ 的创新流程

AHP 与 TRIZ 设计模式以提高设计流程的效率为目的,通过精准定位设计需求解决具体问题,使求解过程变得有据可依,保持精度的同时提升问题解决效率。

AHP 与 TRIZ 融合创新设计流程如图 1 所示。

(1) 通过对产品进行设计分析, 确定设计目标, 建立 AHP 需求层次模型对产品设计目标进行分析。

(2) 根据问卷调查、专家打分引入 1~9 标度法<sup>[10]</sup>量化相邻评价指标, 建立判断矩阵; 运用 Matlab 计算指标权重; 再通过检验判断矩阵一致性, 从而确定设计目标区域。

(3) 将 AHP 获取的参数与 TRIZ 的标准参数进行快速转换; 分析产品矛盾冲突, 确定具体解域以建立矛盾矩阵, 定位最佳解域; 并将其导入物-场模型进行具体分析, 确定 3 个设计方案。

(4) 利用模糊评价法, 对 3 个设计方案进行专家评价, 确定最佳设计方案。

## 2 馒头机生产线设计

### 2.1 AHP 评价层级建立

2.1.1 建立层次模型 基于产品用户的行为触点<sup>[11]</sup>重要度进行分析排序, 确定设计需求三层级: 美观性、功能性及人机交互, 建立馒头机层次模型。主要研究目标为馒头机生产线的造型设计, 造型设计满足使用功能, 同时注重人机交互。得到馒头机生产线设计评估指标体系如图 2 所示。

(1) 美观性: 造型是对功能的体现, 同样作为企业品牌形象的展示。以色、形、质三要素准确把握美观性设计的核心, 塑造自身品牌设计特色。因此, 以上 3 个要素作为美观性层级的评价指标。

(2) 功能性: 馒头机生产线作为功能性设备, 在造型设计中将功能性纳入评价指标。现有馒头机生产线存在

操作流程复杂且连续性不强的问题, 通过简化操作步骤、增强设备紧密性来保证操作流程的完整, 实现功能与形式的和谐。

(3) 人机交互: 馒头机生产线需要与人配合完成, 实现以人为中心的交互设计思路<sup>[12]</sup>。以行为驱动设计提升馒头机生产线的可操作性<sup>[13]</sup>, 考虑设计以下指标: 人机操作舒适度、界面交互适配性和设备流程便捷。推进食品加工生产线对于人机交互尺度的考量。

2.1.2 构建矛盾矩阵 引入 1~9 标度法量化相邻评价指标, 如表 1 所示。根据调查馒头机生产线工人、设计人员及馒头消费者, 共发放 60 份问卷, 回收有效问卷 55 份; 获取评价数据, 构建判断矩阵; 运用 Matlab 计算求解, 得到判断矩阵最大特征值及对应特征向量; 运用一致性比率 CR 判断是否合理, 计算各层级指标权重, 相关数据见表 2。

2.1.3 确定设计目标 由表 2 可知, 馒头机生产线基准层重要程度由高到低为人机配合、功能性、美观性。通过对每层级关键要素分析, 明确设计目标, 如表 3 所示。

人机交互基准层用户细节关注度由高到低为: 界面交互适配性、人机操作舒适度和设备流程便捷, 对于人机交互来说设备操作细节要符合人机习惯; 功能性层级中用户对设备关联度较重视, 兼顾操作流程的完整性; 美观性层级中用户侧重于形态结构简单和材料使用寿命, 整

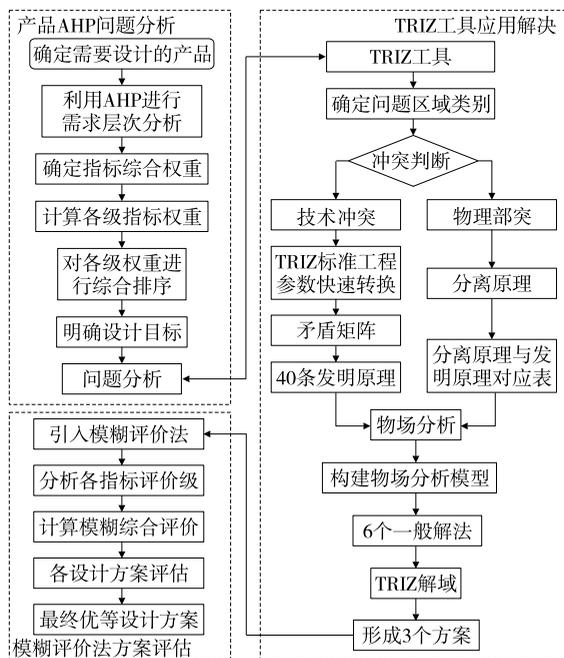


图 1 基于 AHP 与 TRIZ 的设计流程

Figure 1 Design process based on AHP and TRIZ theory

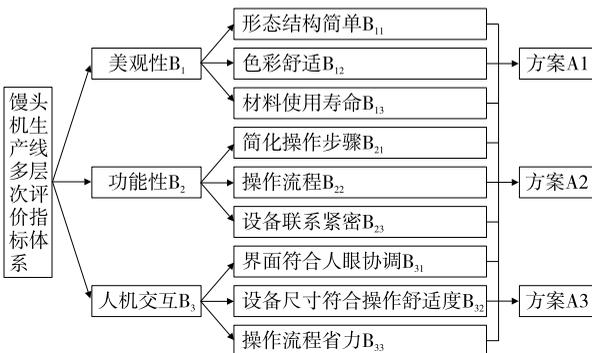


图 2 馒头机生产线需求层次模型

Figure 2 Demand hierarchy model of steamed bread machine production line

表 1 1~9 标度及含义

Table 1 1~9 scale and meaning

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	两相临判断的中间值

表 2 单排序权重、综合权重及第 2,3 层级一致性检验

Table 2 Single ranking weight, comprehensive weight and consistency test of level 2 and level 3

层级指标	单排序权重	综合权重	一致性检验	总排序
B <sub>1</sub>	0.104 7	—	$\lambda_{\max}=3.039 5$	低
B <sub>2</sub>	0.258 3	—	$C_1=0.019 3$	中
B <sub>3</sub>	0.637 0	—	$C_R=0.033 2$	高
B <sub>11</sub>	0.428 6	0.044 87	$\lambda_{\max}=3.000 0$	6
B <sub>12</sub>	0.142 9	0.014 96	$C_1=2.220 4e-16$	9
B <sub>13</sub>	0.428 6	0.044 87	$C_R=2.828 4e-16$	6
B <sub>21</sub>	0.071 9	0.018 57	$\lambda_{\max}=3.064 9$	8
B <sub>22</sub>	0.279 0	0.072 07	$C_1=0.032 4$	4
B <sub>23</sub>	0.649 1	0.167 70	$C_R=0.055 9$	3
B <sub>31</sub>	0.279 0	0.177 70	$\lambda_{\max}=3.064 9$	2
B <sub>32</sub>	0.649 1	0.413 50	$C_1=0.032 4$	1
B <sub>33</sub>	0.071 9	0.045 80	$C_R=0.055 9$	5

表 3 各层级重要因素的确定

Table 3 Determination of important factors at all levels

基准层级	各层级指标	对应排序	重要因素
美观性	形态结构简单=材料使用寿命>色彩舒适	6,6,9	形态、材料
功能性	设备联系紧密>操作流程完整>简化操作步骤	3,4,8	设备操作流程完整
人机交互	界面交互适配性>人机操作舒适度>设备流程便捷	1,2,5	操作协调

体造型满足功能前提下实现产品造型美观升级。因此对馒头机生产线进行创新设计,需充分考虑表 3 中数据。

2.2 矛盾矩阵构建与 40 条发明原理应用

通过对设计目标满足馒头机生产条件进行分析,若要进行创新改进则存在 4 对矛盾:人机操作舒适性与设备间故障率的矛盾、操作流程的简化与设备间复杂度的矛盾、设备安全运行效率与外部适应能力间的矛盾、造型创新与设备运行时长的矛盾。调研发现,以上矛盾中一方的改善势必会造成另一方的恶化,因此判断为技术矛盾并进行通用工程参数转换,如表 4 所示。建立矛盾矩阵,对应最佳的解域如表 5 所示。

通过查询 40 个创新发明原理并结合馒头机生产线自身的功能特性,提出 4 对矛盾冲突的解决方向。对于冲突 1,为满足人机使用的舒适度,增加有效操作范围,通过对生产线操作维度的改变来降低失误率,拟采用第 17 条发明原理;冲突 2 为简化馒头机操作流程、提升运行效率,可以提取设备中有用的功能来改善整体设备复杂程度,对应发明原理第 2 条;冲突 3 为增强设备间的运行安全,需加强设备内外环境的联系来提升应变能力,选择第 24 条发明原理设计;馒头机生产线造型创新表现可通过改变曲面、运动轨迹,使设备间联系更紧密同时减少运行时间,运用第 14 条原理设计。具体原理应用及初步方案设计见表 6,矛盾解决方案示意图如图 3 所示。

2.3 矛盾分析下的馒头机生产线物-场模型应用

针对技术矛盾问题,应用 39 个通用工程参数及 40 条发明原理来解决,但在实际问题中需引入物-场模型理论<sup>[14]</sup>,以物质和场的角度分析馒头机生产线技术系统存在的问题。当馒头机生产线由直线转换为环形,产生闭环造成修理人员对机器维修困难及总开关放置的不便。

表 4 设计冲突与通用工程参数转化

Table 4 Design conflict and transformation of general engineering parameters

技术改进	改善参数	技术恶化	恶化参数
人机操作协调性及舒适度	可操作性	设备流程的故障概率上升	可靠性
设备流程操作简化与连贯性	结构稳定性	设备间复杂程度加重	装置复杂性
设备环节的安全运行效率	可靠性	设备系统的外部应变能力下降	适应及多变性
设备造型创新设计	形状	设备做功时间延长	运动物体作用时间

表 5 TRIZ 矛盾矩阵简表

Table 5 TRIZ contradiction matrix

改善参数	恶化参数			
	可靠性	装置复杂性	适应及多用途性	运动物体作用时间
可操作性	17,27,8,40	—	—	—
结构稳定性	—	2,35,22,26	—	—
可靠性	—	—	13,8,24,35	—
形状	—	—	—	14,26,9,25

表 6 发明原理应用及创新方案

Table 6 Application and innovation scheme of invention principle

方案冲突	对应发明原理	原理解释	冲突解决方案
冲突 1	17 空间维数变化	物体维度及倾斜角度进行改变	由一维直线生产线改变为二维环状生产线,环状生产线降低馒头机使用操作压力
冲突 2	2 抽取	抽取系统中有用的部分来对整体改进	运输传送带这一功能的抽取,相邻机器侧边设置传送带,使机器与机器间由运送带联系成为闭环,对传输范围优化同时减去人工加入
冲突 3	24 借助中间物	借助中间物原理加入中间物,增强内外环境联系	在机器正面开一个符合机器自身功能舱门,例如:和面机开斜窗进行物料放置;压面机、运输机、成型机、馒头机各开一个透明工作舱门,检测机器工作状态下的运行;摆盘机功能舱门完成摆盘出舱。功能舱门设置可以实时检测每台机器工作状态,排除故障操作
冲突 4	14 曲面化	改变物体结构及运动轨迹,增加曲线要素	对机器进行系列化设计,提取几何元素进行系列化设计。使每台机器契合八边形环状生产线,作业时更加流畅

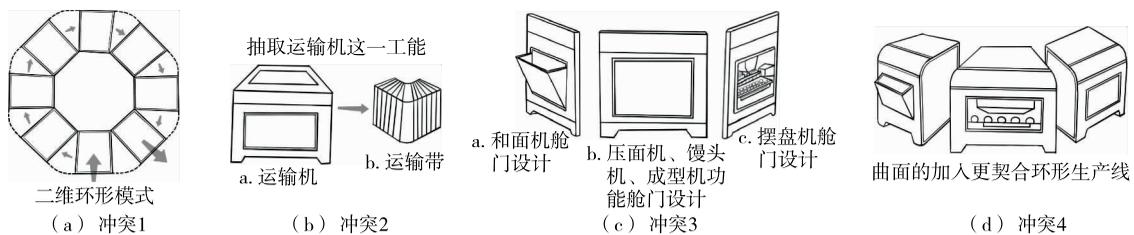


图 3 矛盾解决方案示意图

Figure 3 Schematic diagram of conflict resolution

引入物-场模型进行分析,得出该物-场模型属于有害模型,利用物-场分析中一般解法 3,引入 1 个场  $F_2$  来抑制原来场  $F$  的有害作用,重建物-场分析的三角模型表达两者间的关系。

改进方案:由于冲突 2 中抽取出运输的功能,可将运输机由原有的 2 台改进为 1 台。针对馒头机环形生产线原有 8 台机器改进为 7 台,以和面机与摆盘机间空出区域促成环形中心与外部环境的联系。保证机器维修与总开关放置的便捷,方案解决流程如图 4 所示。

### 3 应用实例

#### 3.1 方案设计

为验证 AHP 与 TRIZ 结合的模糊评价法的可行性,将其运用于馒头机生产线创新设计中。由于人机配合因素在产品的使用体验上非常重要,因此,对于馒头机生产线

的创新设计需提供更符合人机工学的优选方案。如设备在高度一定的情况下,控制面板要求符合人眼视觉特性,功能舱门大小、设备操作平台尺寸的设计符合人体动态尺寸等。依据文中阶段各要素权重值排序结果对馒头机生产线造型进行设计,得到 3 个造型设计方案如图 5 所示。

方案 A1 整体以圆润的弧形为主要设计表现,设备罩壳采用圆角设计,塑造一种流畅简洁的风格,圆润的造型虽更美观,但在设备间同等体量运输带的设置,影响操作者工作效率,易产生疲劳;方案 A2 整体主要以曲面、圆角为设计元素,其设计风格饱满、有张力,安全性较高,但作为机械设备硬朗的美观性相对较差;方案 A3 设备造型以直线、圆角和斜角为元素,结合方案 A1 和方案 A2 设计一种硬朗中带有圆润的设计风格,对于运输带的进一步改善,便于使用者操作,能够对馒头机生产线进行安全性与美观性的均衡考虑。

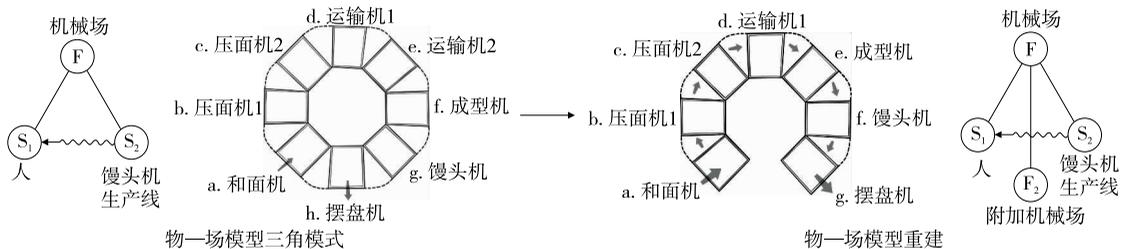


图 4 物-场分析解决流程图

Figure 4 Flow chart of matter field analysis solution

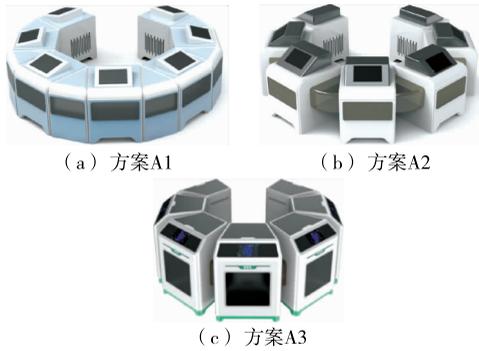


图 5 馒头机生产线造型设计方案

Figure 5 Modeling design of steamed bread machine production line

3.2 模糊综合评价

为有效解决方案评价中设计要素多且复杂、主观判断无法量化的问题,选择食品行业专家 5 名,基于基准层和子准则层的目标权重对 3 个馒头机生产线造型设计进行评价,同时运用模糊评价法进行定量评估。将评价等级划分 5 级,即  $V = (\text{非常满意, 满意, 一般, 较差, 非常差})$ 。根据专家打分生成表格(见表 7)。通过 Matlab 进行数据分析,得出方案 A1 得分为 81.76,方案 A2 得分为 80.76,方案 A3 得分为 83.26,评价结果优劣排序为方案  $A3 > \text{方案 A1} > \text{方案 A2}$ ,因此方案 A3 为最佳设计方案。

(1) 具体评估过程运用一级模糊综合评价,

$$A_{ij} = w_i R_{ij}, \tag{1}$$

式中:

$i$ ——不同层级,  $i=1,2,3$ ;

$j$ ——不同方案,  $j=1,2,3$ ;

$R_{ij}$ —— $i$  层级的第  $j$  方案隶属度矩阵。

(2) 二级模糊综合评价:

$$\begin{cases} R_j = [A_1, A_2, A_3] \\ D_j = WR_j \\ D_1 = (0.325 \ 8, 0.523 \ 0, 0.150 \ 0, 0.000 \ 0, 0.000 \ 0), \\ D_2 = (0.325 \ 8, 0.424 \ 2, 0.250 \ 0, 0.000 \ 0, 0.000 \ 0) \\ D_3 = (0.425 \ 8, 0.474 \ 2, 0.100 \ 0, 0.000 \ 0, 0.000 \ 0) \end{cases} \tag{2}$$

式中:

$R_j$ ——第  $j$  层级二级指标权重矩阵;

$D_j$ ——第  $j$  层二级模糊评价指标。

3.3 最终优化方案描述

最终优化方案以几何特征为系列化设计元素,采用环形加工流程,增强了设备间的关联度;通过功能舱门设计,实现生产过程可视化,高效把控加工环节;融合机电智能化设计,简化操作流程。其中以和面机、压面机、成型机、运输机、馒头机、摆盘机为馒头机生产线主要设备,通过各设备间的流程配合,实现馒头的生产。和面机、压面机作为生产前期的发酵系统;成型机、运输机、馒头机组成中期的成型系统;摆盘机作为最终的成品输出系统;各系统间相互配合,构成环形馒头机生产线的整体方案,如图 6 所示。

表 7 产品综合隶属度

Table 7 Comprehensive membership degree of products

指标	非常满意			满意			一般			较差			非常差			隶属度
	A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3	A1	A2	A3	
形态结构简单	0.3	0.3	0.4	0.5	0.4	0.5	0.2	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	美观性 $R_1$
色彩舒适	0.2	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
材料使用寿命长	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.2	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
简化操作步骤	0.2	0.3	0.3	0.5	0.6	0.6	0.3	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	功能性 $R_2$
操作流程完整	0.3	0.2	0.3	0.4	0.5	0.5	0.3	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
设备联系紧密	0.3	0.3	0.4	0.5	0.4	0.5	0.2	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	人机交互 $R_3$
屏幕界面符合人眼协调	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.3	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
设备尺寸符合操作舒适度	0.2	0.2	0.3	0.5	0.6	0.5	0.3	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
操作流程省力	0.4	0.5	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

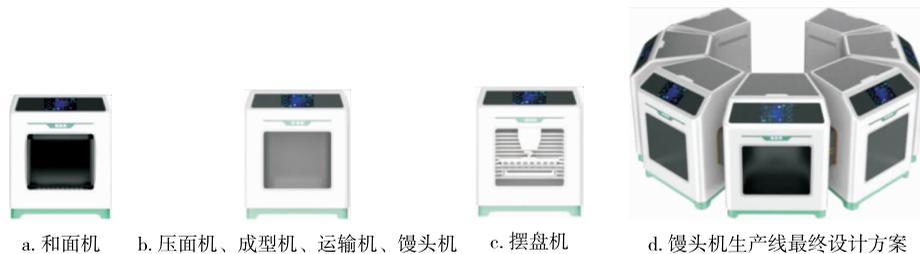


图 6 馒头机生产线优化方案

Figure 6 Optimization of steamed bread machine

## 4 结论

以馒头机生产线设计为例的层次分析法和发明问题解决理论结合的模糊评价系统,从馒头机生产线的美观性、功能性、人机交互三方面,运用层次分析法获取用户的核心需求并将主观性分析转化为客观数据信息;结合发明问题解决理论进行工程参数转化,确定矛盾冲突类型并运用发明原理构建产品创新初步方案,再运用物—场分析法解决实际运行的问题;通过对方案集进行模糊综合评价,实现对方案的优选排序,分别为 80.76, 81.76, 83.26, 得出 A3 为最佳设计方案。经设计实践表明,食品机械专家评分与基于层次分析法和发明问题解决理论结合的模糊评价系统的评价结果相同,方案 A3 最符合设计要求。综上,评价模型的有效性与合理性,实现了馒头机生产线最佳方案的选择,解决了馒头机生产线设计中定性数据与定量参数的问题,为其他方案设计提供量化参考。但在设计方案评价中专家意见存在一定的主观因素,因此,该问题还需进一步研究改进。

### 参考文献

- [1] 石瑜, 尚锐, 孙志坚, 等. 全自动家用面条机结构设计[J]. 科技风, 2019(22): 4-5.  
SHI Yu, SHANG Rui, SUN Zhi-jian, et al. Structural design of automatic household noodle machine [J]. Science and Technology Wind, 2019(22): 4-5.
- [2] 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 bud picker based on AHP/QFD/TRIZ[J]. Mechanical Design, 2020, 37(8): 121-126.
- [3] VINODH S, KAMALA V, JAYAKRISHNA K. Integration of EC-QFD, TRIZ, and AHP for innovative and sustainable product development[J]. Applied Mathematical Modelling, 2014, 38(11/12): 2 758-2 770.
- [4] LEONARDO Frizziero. Sustainable design of open molds with QFD and TRIZ combination[J]. Journal of Industrial and Production Engineering, 2018, 35(1): 21-31.
- [5] 王军, 孙帅. 基于可拓创新法和 TRIZ 理论的营地手推车折叠机构设计[J]. 图学学报, 2021, 42(5): 866-872.  
WANG Jun, SUN Shuai. Design of camp trolley folding mechanism based on extension innovation method and TRIZ theory[J]. Journal of Graphics, 2021, 42(5): 866-872.
- [6] 辜俊丽, 宋端树, 崔天琦, 等. 基于 AHP 与 TRIZ 的残障人轮椅设计[J]. 包装工程, 2019, 40(24): 187-193.  
GU Jun-li, SONG Duan-shu, CUI Tian-qi, et al. Wheelchair design for the disabled based on AHP and TRIZ[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(24): 187-193.
- [7] DIPIKA Pramanik, ANUPAM Haldar, SAMAR Chandra Mondal, et al. Resilient supplier selection using AHP-TOPSIS-QFD under a fuzzy environment[J]. International Journal of Management Science and Engineering Management, 2017, 12(1): 45-54.
- [8] 宋磊, 李鹏玉, 杨卓懿, 等. 基于 AHP 法的游艇造型设计模糊综合评价方法[J]. 船舶工程, 2020, 42(12): 30-34.  
SONG Lei, LI Peng-yu, YANG Zhuo-yi, et al. Fuzzy comprehensive evaluation method of yacht modeling design based on AHP [J]. Shipbuilding Engineering, 2020, 42(12): 30-34.
- [9] VAIDYA O S, KUMAR S. Analytic hierarchy process: An overview of applications[J]. European Journal of Operational Research, 2004(1): 1-2.
- [10] 葛世伦. 用 1-9 标度法确定功能评价系数[J]. 价值工程, 1989(1): 33-34.  
GE Shi-lun. Determination of functional evaluation coefficient by 1-9 scale method[J]. Value Engineering, 1989(1): 33-34.
- [11] 王伟伟, 王微, 李焕妮. 基于用户行为触点的智能奶粉冲泡机设计[J]. 食品与机械, 2018, 34(12): 83-85, 180.  
WANG Wei-wei, WANG Wei, LI Huan-ni. Design of intelligent milk powder brewing machine based on user behavior contact[J]. Food & Machinery, 2018, 34(12): 83-85, 180.
- [12] 马超民, 赵丹华, 辛灏. 基于用户体验的智能装备人机交互界面设计[J]. 计算机集成制造系统, 2020, 26(10): 2 650-2 660.  
MA Chao-min, ZHAO Dan-hua, XIN Hao. Human computer interaction interface design of intelligent equipment based on user experience[J]. Computer Integrated Manufacturing System, 2020, 26(10): 2 650-2 660.
- [13] 彭清爽. 人机交互设计在工业设计中的现状分析与应用[J]. 农村经济与科技, 2020, 31(2): 348-349.  
PENG Qing-xin. Analysis and application of human-computer interaction design in industrial design[J]. Rural Economy and Technology, 2020, 31(2): 348-349.
- [14] 王亮申, 孙峰华. TRIZ 创新理论与应用原理[M]. 北京: 科学出版社, 1910: 132-144.  
WANG Liang-shen, SUN Feng-hua. TRIZ innovation theory and application principle[M]. Beijing: Science Press, 1910: 132-144.