



河北省设计创新及产业发展研究中心资助项目

2018年河北省专业学位教学案例(库)立项建设项目(KCJSZ2018021)

# 人机产品创新设计 与评价

张芳兰 著



燕山大学出版社  
YANSHAN UNIVERSITY PRESS

河北省设计创新及产业发展研究中心资助项目

2018年河北省专业学位教学案例(库)立项建设项目(KCJSZ2018021)

# 人机产品创新设计与评价

张芳兰 著

 燕山大学出版社

· 秦皇岛 ·

## 图书在版编目 (CIP) 数据

人机产品创新设计与评价 / 张芳兰著. —2 版. —秦皇岛: 燕山大学出版社, 2022.1  
ISBN 978-7-81142-967-1

I. ①人… II. ①张… III. ①人-机系统—设计 IV.①TB18

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2022) 第 000901 号

## 人机产品创新设计与评价

张芳兰 著

---

出版人: 陈 玉

责任编辑: 孙志强

封面设计: 赵小雨

出版发行:  燕山大学出版社  
YANSHAN UNIVERSITY PRESS

地 址: 河北省秦皇岛市河北大街西段 438 号

邮政编码: 066004

电 话: 0335-8387555

印 刷: 英格拉姆印刷(固安)有限公司

经 销: 全国新华书店

---

开 本: 700mm×1000mm 1/16

印 张: 8.75 字 数: 160 千字

版 次: 2022 年 1 月第 2 版

印 次: 2022 年 1 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-81142-967-1

定 价: 40.00 元

---

版权所有 侵权必究

如发生印刷、装订质量问题, 读者可与出版社联系调换

联系电话: 0335-8387718



## 作者简介

张芳兰（1980.7-），女，陕西宝鸡人，南昌大学机械设计及理论专业工学博士毕业，美国北卡罗莱纳州立大学访问学者，现任燕山大学艺术与设计学院工业设计系副教授、硕士生导师，《包装工程》期刊评审专家，中国人类工效学学会会员。主要从事产品创新设计理论与方法、人机工效学设计研究。主持河北省社会科学基金项目2项、河北省教育厅项目2项、秦皇岛市科技局项目1项、燕山大学博士基金项目1项、燕山大学青年教师自主研究计划课题1项。在国内外重要刊物上发表论文23篇，其中被SCI收录1篇，EI收录2篇，核心12篇。合著2部，授权实用新型专利7项、外观专利2项。获得第四届中国出版政府奖1项，河北省工业设计概念设计一等奖2项、三等奖1项，秦皇岛市第八届社会科学成果奖三等奖2项，国家级大学生创新性训练计划项目优秀指导教师奖1项，河北省第八届大学生工业设计大赛优秀指导教师三等奖1项。



燕山大学出版社官方微信

网址: <http://press.ysu.edu.cn/>

地址: 河北省秦皇岛市河北大街西段438号

投稿邮箱: [yandapress@163.com](mailto:yandapress@163.com)

联系电话: 0335-8387718

在日益激烈的全球化市场竞争中,创新是企业产品占领市场、获取生存、赢得利润的核心武器。与发达国家相比,目前中国企业产品创新设计已取得一定成果,但仍存在一些问题,主要表现在:创新过程所涉及的科学与技术领域知识愈来愈多,增加了创新的复杂性与周期性;企业对多样化与个性化用户需求增长的响应能力差,用户需求获取的完整性与准确性缺少客观的分析方法,无法最大限度满足用户需求,影响设计质量;针对同一设计目标问题,可能会产生多种不同的设计方案,产品方案的形成是一个不确定的、复杂的、多解的创造性过程,方案评价与优选的精确性与客观性无法保障。因此,面对激烈的市场竞争与多样化的市场需求,企业只有依靠先进的理论与方法指导产品创新开发,在创新的周期、设计质量、评价等多方面形成优势,才能具有更强的全球化市场竞争力。设计阶段的产品创新设计与评价是一项复杂的创造性活动,科学准确的设计理论与方法可以有效指导产品设计过程,是产品成功开发的重要前提。虽然创新设计与评价方法历经多年的研究与发展,并在企业产品开发与创新设计实践中得到广泛应用,但其本身仍存在许多有待解决的理论与实践问题。设计阶段是产品创新设计与评价的首要阶段,对产品开发过程的影响至关重要。因此,针对设计阶段的产品创新设计与评价开发出使用快速且科学有效的技术方法,能够从方法论本质上与设计过程实践中提升产品创新与评价的效率和质量,以快速响应来满足多样化、时代化的用户市场需求。

用户在追求产品基本功能、质量的同时,产品的安全性、舒适性、易用性、高效性、审美性、愉悦性、环保性等人机设计特性越来越受到用户的重视。用户使用设计不当的产品、重复损害健康的作业方法、与危害健康的不良工作环境接触,诸如振动、噪音、异常温度、有毒气体等,均会对人体造成危害,甚至引发人体肌肉骨骼病变、职业病及工伤事故。人机工程学理论提供科学的原理与方法,可以有效改善生产、生活与工作环境,为设计师与工程师进行产品创新提供人机设计方向。因此,基于人机工程学

理论的人机产品设计研究,可以为各项生产、生活及工作提供更加安全、高效、易学、易用、舒适、高情感的使用方式,可以引导用户形成正确的操作行为与习惯,降低设计与操作不当所引发的各种生理与心理负荷,减少人体肌肉骨骼病变、职业病及工伤事故的发生。

另外,QFD与TRIZ集成设计方法及应用已成为设计研究的热点,可以有效指导基于用户需求的产品设计,促进产品创新设计概念的形成,但并未涉及方案的评价与优选问题。《人机产品创新设计与评价》一书将人机工程学理论、QFD方法、TRIZ理论、模糊综合评价方法进行有效结合,探究人机产品创新设计与评价的模型、方法、理论与关键技术,发挥理论与方法的集成与互补优势,将会大大改善产品设计质量,减少设计失误,缩短设计时间,降低设计成本,提高产品竞争力与用户满意度。通过对人机产品的准确开发与合理使用,可以有效预防与缓解由设计、生物、化学、物理等因素引起的人体危害,提高用户各项生活、生产劳动或工作的质量,形成用户、产品与环境的共生系统。

希望《人机产品创新设计与评价》一书的出版对我国设计研究领域的创新思路有所开拓与启示。

浙江工业大学

刘肖健 博士/教授

2018年12月于杭州

第 1 章 设计前期相关设计理论与方法 .....	1
1.1 人机产品设计理论 .....	2
1.1.1 人机工程学 .....	2
1.1.2 E 理论应用范围 .....	3
1.2 设计集成理论 .....	9
1.2.1 QFD 方法 .....	9
1.2.2 TRIZ 理论 .....	11
1.2.3 QFD、TRIZ 与其他设计理论集成趋势 .....	12
1.3 设计方案评价方法 .....	14
1.3.1 产品设计方案评价方法 .....	14
1.3.2 基于 E 理论的人机产品设计评价方法 .....	18
1.4 本章小结 .....	20
第 2 章 基于 E 理论的用户需求评价模型 .....	21
2.1 现有用户满意度理论与模型分析 .....	21
2.2 人机产品用户满意度模型与 E 设计原则 .....	26
2.2.1 人机产品用户满意度三维分类模型 .....	26
2.2.2 E 设计原则 .....	27
2.3 基于 E 理论的用户需求优先度评价模型 .....	27
2.3.1 基于三角测量法的用户需求原始描述 .....	28
2.3.2 用户需求初选 .....	29
2.3.3 基于李克特五点量表法的用户需求优先度评价 .....	29
2.3.4 基于因子分析方法的用户需求数据优化 .....	30
2.3.5 最终用户需求评价 .....	34
2.4 本章小结 .....	34
第 3 章 基于 QFD 方法的人机产品创新设计关键定位 .....	36
3.1 QFD 方法 .....	36
3.1.1 QFD 的核心思想 .....	36

3.1.2	QFD 模式与过程	37
3.1.3	QFD 核心元件	39
3.1.4	传统 QFD 方法的局限	43
3.2	简化的 QFD 质量屋模型创建与应用	44
3.2.1	简化的 QFD 质量屋模型创建	44
3.2.2	面向简化的质量屋矩阵汽车设计优先度分析	45
3.3	人机产品创新设计关键定位集成模型 E/QFD 创建	47
3.3.1	E/QFD 集成模型创建	47
3.3.2	用户需求与设计特性关系构建	49
3.3.3	构建质量屋确立设计特性优先度与正负相关性	49
3.3.4	关键创新问题与关键设计区域确立	50
3.4	本章小结	50
<b>第 4 章</b>	<b>基于 TRIZ 理论的人机产品创新设计方案研究</b>	<b>52</b>
4.1	TRIZ 理论	52
4.1.1	技术与需求进化理论	52
4.1.2	冲突解决原理	58
4.1.3	TRIZ 理论解决问题的一般过程	63
4.1.4	传统 TRIZ 理论的局限	63
4.2	人机产品创新方案产生集成模型 E/QFD/TRIZ 创建	64
4.2.1	E/QFD/TRIZ 集成模型构建	64
4.2.2	关键创新问题与 TRIZ 问题转化	65
4.2.3	关键创新问题冲突分析与消除	66
4.2.4	具体创新方案产生	67
4.3	E/QFD/TRIZ 集成模型在人机洗浴设施创新中的应用	67
4.4	本章小结	71
<b>第 5 章</b>	<b>基于模糊多属性群决策的人机产品设计方案评价</b>	<b>73</b>
5.1	模糊理论	73
5.1.1	三角模糊数	73
5.1.2	语言变量与模糊数	74
5.2	多属性群决策设计评价	75
5.2.1	设计评价与群决策	75
5.2.2	多属性群决策设计评价方法	76

5.3	评价属性体系构建方法	77
5.3.1	基于 E 设计要素的评价属性体系构建	77
5.3.2	基于外观形态特征群的评价属性体系构建	78
5.4	基于 FTOPSIS 的模糊多属性群决策评价方法	81
5.4.1	设计方案评价模型构建	81
5.4.2	确定方案及其评价属性	82
5.4.3	确定决策群体	82
5.4.4	FTOPSIS 方案排序	82
5.4.5	敏感性分析	84
5.5	基于 FTOPSIS 的汽车形态设计方案评价应用	85
5.6	本章小结	91
<b>第 6 章</b>	<b>人机产品创新设计与评价完整集成模型创建与应用</b>	<b>92</b>
6.1	完整集成模型 E/QFD/TRIZ/FTOPSIS 创建	92
6.2	四阶段式人机产品创新与评价完整过程分析	94
6.2.1	人机用户需求优先度评价	94
6.2.2	人机创新设计关键定位	95
6.2.3	人机创新设计方案产生	95
6.2.4	人机设计方案评价	96
6.3	E/QFD/TRIZ/FTOPSIS 完整集成模型在烟机灶具 创新中的应用	96
6.3.1	厨房烹饪工作中的危害	96
6.3.2	基于 E/QFD/TRIZ/FTOPSIS 的烟机灶具 创新过程	97
6.4	本章小结	110
	研究工作总结与展望	112
	致 谢	115
	参考文献	116
	附录	130
	附录 A 汽车外观形态 24 项评价属性公信度评测	130
	附录 B 厨房烟机灶具用户需求重要度问卷调查	131

## 第 1 章 设计前期相关设计理论与方法

在日益激烈的全球化市场竞争中,创新是企业产品占领市场、获取生存、赢得利润的核心武器。与发达国家相比,目前中国企业产品创新设计已取得一定成果,但仍存在一些问题,主要表现在:创新过程所涉及的科学与技术领域知识愈来愈多,增加了创新的复杂性与周期性;企业对多样化与个性化用户需求增长的响应能力差,用户需求获取的完整性与准确性缺少客观的分析方法,无法最大限度满足用户需求,影响设计质量;针对同一设计目标问题,可能会产生多种不同的设计方案,产品方案的形成是一个不确定的、复杂的、多解的创造性过程,方案评价与优选的精确性与客观性无法保障。因此,面对激烈的市场竞争与多样化的市场需求,企业只有依靠先进的理论与方法指导产品创新开发,在创新的周期、设计质量、评价等多方面形成优势,才能具有更强的全球化市场竞争力。设计阶段的产品创新设计与评价是一项复杂的创造性活动,科学准确的设计理论与方法可以有效指导产品设计过程,是产品成功开发的重要前提。虽然创新设计与评价方法历经多年的研究与发展,并且在企业产品开发与创新设计实践中得到广泛应用,但其本身仍存在许多有待解决的理论与实践问题。德国工程师协会(VDI)的统计显示,产品生命周期成本的 70%是由产品设计阶段最早的 10%的环节所决定的<sup>[1]</sup>。设计阶段是产品创新设计与评价的首要阶段,对产品开发过程的影响至关重要。因此,本研究针对设计阶段的产品创新设计与评价开发使用了快速且科学有效的技术方法,希望能够从方法论本质上与设计过程实践中提升产品创新与评价的效率和质量,以快速响应来满足多样化、时代化的用户市场需求。

另外,用户使用设计不当的产品、重复损害健康的作业方法、与危害健康的不良工作环境接触,诸如振动、噪音、异常温度、有毒气体等,均会对人体造成危害,甚至引发人体肌肉骨骼病变、职业病及工伤事故。近十年来该现象呈现反弹趋势。中国受到危害用户人群居于世界首位,每年产生直接经济损失达 1 000 亿元,间接经济损失 2 000 亿元<sup>[2]</sup>。依据美国国家卫生安全研究院估计,美国每年人体肌肉骨骼相关的伤害损失约 130 亿~200 亿美元,占有所有劳安补偿费用的 1/3。美国劳工

统计局数据显示,由肌肉骨骼或软组织的疼痛、失常、受伤等引起的劳工工时损失占 52.5%,累积性伤害占有所有职业病的 65%<sup>[3]</sup>。人体肌肉骨骼病变、职业病及工伤事故的发生与有害设计因素、生物因素、化学因素及物理因素密切相关。其中,有害设计因素指不良的产品设计形态、材质、结构、界面、色彩、操作按键及作业姿势等。例如,长期电脑作业导致的疲劳、肌肉疼痛、骨骼伤害、腕管综合征、颈椎病,长期使用电锤、电钻引发的职业性手臂振动症等。有害生物因素指细菌、病毒、寄生虫等,例如医疗人员可能与病人或医疗废弃物接触而感染等。有害化学因素指气态、液态、固态污染物,窒息性、过敏性、神经毒性、致癌性物质。例如,以油烟、花粉、棉尘及工业粉尘为过敏原引发的呼吸系统不适症。有害物理因素指异常的温度、湿度、气压,照明或采光不足,游离或非游离辐射,噪音或振动。例如,热痉挛、中暑等急性生理影响。

人机工程学(Ergonomics, E)理论,能够提供科学的原理与方法,可以有效改善生产、生活与工作环境,为设计师与工程师进行产品创新提供人机设计方向。良好的人机产品为各项生产、生活及工作提供更加安全、高效、易学、易用、舒适、高情感的使用方式,可以引导用户养成正确的操作行为与习惯,降低因设计与操作不当所引发的各种生理与心理负荷,减少人体肌肉骨骼病变、职业病及工伤事故的发生。目前,在全球化市场竞争中,在追求产品基本功能、质量的同时,产品的安全性、舒适性、易用性、高效性、审美性、愉悦性、环保性等人机设计特性越来越受到用户的重视。因此,本研究试图将 E 理论引入产品设计方法过程中,针对创新的本质、规律、思路、方法和工具,探究人机产品创新设计与评价的模型、方法、理论与关键技术,期望大大改善产品设计质量,减少设计失误,缩短设计时间,降低设计成本,提高产品竞争力与用户满意度。通过对人机产品的准确开发与合理使用,可以有效预防与减少因设计、生物、化学、物理等因素引起的人体危害,提高用户各项生活、生产劳动或工作的质量形成用户、产品与环境的共生系统。

## 1.1 人机产品设计理论

### 1.1.1 人机工程学

1857年,波兰学者 Jastrzebowski 提出“Ergonomics”一词,该词是由希腊词根“ergon”(即工作、劳动)和“nomics”(即规律、规则)组合而成,基本含义是“工作的规律或法则”。人机工程学(Ergonomics, E)起源于欧洲,形成发展于美国、日本。它

是研究系统中人、机(产品)、环境三大要素交互关系的一门学科。运用E理论相关原则、方法和数据进行设计,可以优化系统中产品操作工效、人的舒适与安全及与环境的协调共生关系。

关于E理论的定义如下<sup>[4]</sup>:

Wood认为:E研究的是设备设计必须适合人的各方面因素,从而在操作中付出最小力量而获得最大效率的科学。

Woodson认为:E研究的是如何获得作业与工作时的效率高、安全性、舒适性,即研究人与产品的相互关联性。

人机应用心理学专家Chapanises认为:E是在机械设计中,考虑如何使人操作简便又准确的学科。

国际人机工程学学会对E的定义为:分析与研究人、机与环境的相互作用,以及人在工作与生活中如何提高工作效率、确保人的健康与安全等问题的科学。

综上所述,E是一门研究人在使用产品、机器或机械作业、人机工作环境中如何解决人体健康问题、保障作业安全及提高作业效率的科学,涉及设计学、生理解剖学、人体测量学、心理学、安全科学、环境科学、管理学、工程学等多学科理论体系。E理论主要被用来解决用户在产品使用过程中的安全、舒适和身心健康问题,产品运行过程中的效能、可靠性和生产率问题,人与产品所构建的工作环境协调与匹配问题及对外界环境的保护问题。人机产品是基于E理论设计开发的、能够提供给用户安全、舒适、高效、高情感、美观且易学易用的产品。例如,可穿戴助力机械手(如图1.1)、辅助蹲起助力器(如图1.2)、脑控感知按摩椅(如图1.3)、颈椎康复按摩仪(如图1.4),在保证功能的前提下,从人的生理尺度、心理认知、行为方式等角度,体现良好的穿戴舒适性、操作简易性、使用安全性,并同时兼具美观度。

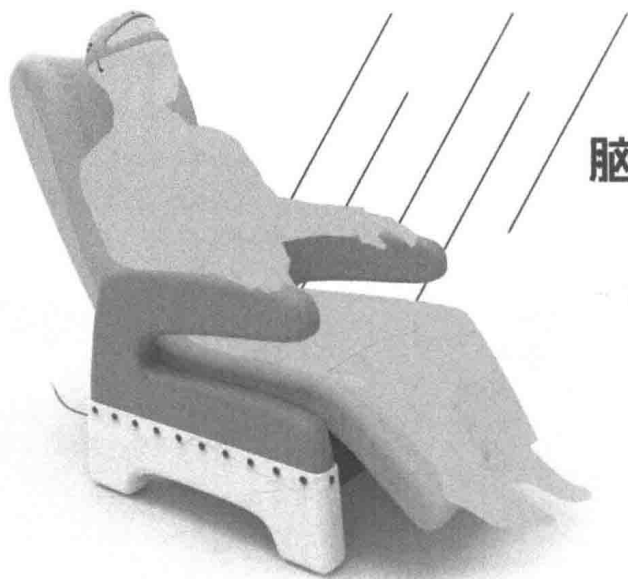
### 1.1.2 E理论应用范围

国内外相关文献显示,E理论研究应用于作业、产品、工业系统以及周边环境的设计与改善,并逐步形成以下研究方向:

(1) 驾驶安全与驾驶仿真测试。该方向主要涉及研究、干预与测试驾驶人员的各种认知度与行为能力,汽车安全装置有效性评价,驾驶仿真测试技术与理论,以及道路安全管理等<sup>[5]</sup>。随着对用户、产品、环境的进一步认识,以及对人的能力与限制的研究,在航空飞行器安全设计、汽车安全与舒适性设计等方面,E理论的应用已成为设计是否成功的决定因素,且逐步进入安全实用阶段研究。







## 脑控感知按摩椅 × LIHIGH-Y



人在不同的状态下会发出不同的脑电信号，通过脑电模块收集这些信号，针对目前人体的状态来改变按摩椅的按摩力度/座椅的角度/震动的强度以及热量的高低，同时也能通过语音来对按摩椅进行控制，让人更放松。

### 产品说明 Product Display



1. 一体式旋转
2. 脚开关及功能按键
3. 扶手
4. 底座
5. 铆钉
6. 电源线及主机壳



■ 按摩椅动态展示

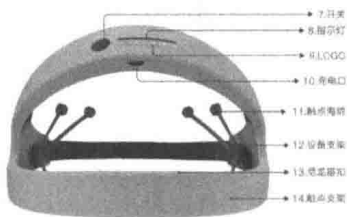
#### ■ 设计说明

按摩椅可以灵活的改变靠背和脚靠的角度，用来满足用户不同的需求；设有震动和加热的功能，以更多地功能方式求使身体达到舒适的需求；设计之初想要减少按摩椅的占用空间，并且不止在需要按摩的时候使用，所以在不使用的时候可以当作普通的沙发椅使用。

#### ■ 材质使用

1. 布网 (R:149 G:188 B:197)
2. 黑色硬质塑料底座和白色橡胶按键
3. 布网 (R:161 G:111 B:188)
4. 白色皮革
5. 不锈钢铆钉表面黑色喷漆
6. 按键为硬质塑料，表面磨砂处理

#### ■ 细节展示



7. 开关
8. 指示灯
9. HLCGG
10. 充电口
11. 触点弯钩
12. 磁条支架
13. 底座铆钉
14. 触点支架

#### ■ 设计说明

此设备可以接收人在舒适/疲劳时的脑电信号，将此信号通过蓝牙传输至按摩椅，使按摩椅作出相应的模式改变，借此设备使按摩椅更加智能化。

#### ■ 细节展示



#### ■ 材质使用

7. 黑色硬壳塑料，表面磨砂处理
8. 透明亚克力，表面磨砂处理
9. 树脂
11. 原色金属
12. 具有弹性的布网 (R:173 G:178 B:183)
14. 表面光滑的紫色硬壳塑料



■ 使用示意图

#### ■ 尺寸三视图

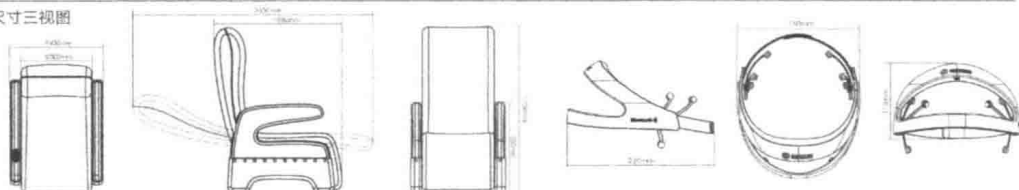


图 1.3 脑控感知按摩椅



图 1.4 颈椎康复按摩仪