

谢友柏设计科学研究基金

物质需求与精神需求耦合驱动的统一化设计研究 项目结题报告

王伶俐

一、结题部分

1. 研究计划执行情况概述

1.1 按计划执行情况

本项目旨在系统研究物质需求与精神需求耦合驱动的统一化设计理论与方法。项目执行期间（2019.12-2022.04），项目组严格按照计划书年度计划开展研究，具体包括：

- 第一阶段（2019.12-2020.09），研究物质需求与精神需求的耦合建模方法。

1) 掌握国内外有关需求驱动的设计研究的最新发展状况，完成文献综述报告；

- 2) 研究物质需求驱动的设计功能扩展方法；
- 3) 研究精神需求驱动的情感化设计建模方法；
- 4) 研究物质需求与精神需求的耦合建模方法。

- 第二阶段（2020.10-2021.06），研究物质与精神需求耦合驱动的设计原理解生成方法。

- 1) 研究物质需求驱动的设计的“形”的生成方法；
- 2) 研究精神需求驱动的设计的“态”的生成方法；
- 3) 研究物质与精神需求耦合驱动的设计原理解的生成方法。

- 第三阶段（2021.01-2022.04），研究统一化设计原理解的形态学综合评价方法。

- 1) 研究面向主观不确定环境的设计原理解的评价方法；
- 2) 研究基于设计心理学与美学的设计原理解的评价方法；
- 3) 研究综合物质与精神需求的设计原理解的综合评价方法。

1.2 研究目标完成情况

截至 2023 年 06 月，本项目组已完成了计划书中研究目标要求，具体如下：

1) 从系统层面上提出物质需求与精神需求耦合驱动的统一化设计理论与方法。包括：

- 研究物质需求与精神需求的耦合建模方法；
- 研究物质与精神需求耦合驱动的设计原理解生成方法；
- 研究统一化设计原理解的形态学综合评价方法；

2) 项目执行期间，在核心刊上发表了多篇反映本项目研究成果的论文，在基金会议上介绍了研究成果，并按时提交项目年度报告与研究成果证明材料，达到了研究目标要求。

3) 发表或者录用标注了谢友柏设计科学研究基金号的论文 8 篇、授权软件著作权 5 项，专利 6 项，达到研究目标。

2. 研究工作主要进展、结果和影响

2.1 主要研究内容

本项目的研究框架如图 1 所示，研究内容如下：

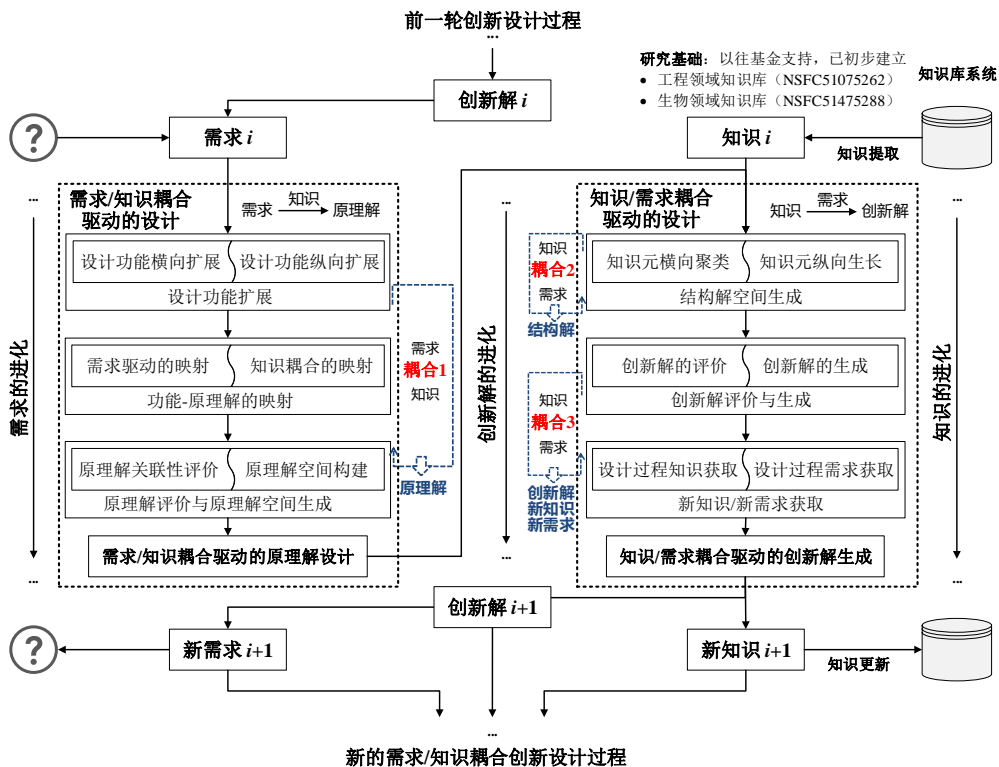


图 1. 本项目研究总体框架.

研究内容 1: 研究物质需求与精神需求的耦合建模方法。

设计过程是从需求出发, 通过需求到原理解的映射, 获得设计原理解空间的过程。在这个过程中, 不仅要考虑物质需求, 而且要考虑精神需求, 因此有必要研究物质需求与精神需求的耦合模型。本部分的研究内容包括:

1) 研究物质需求驱动的设计功能扩展方法。研究物质需求驱动的横向扩展, 找到与需求功能相似的功能; 研究设计功能的跨领域的纵向扩展, 找到与需求功能相关的功能。

2) 研究精神需求驱动的情感化设计建模方法。提出满足用户精神需求的情感化表示模型, 拓展经典的普拉切克的情绪轮盘, 研究基于 8 种基本情绪的情感化设计模型。

3) 研究物质需求与精神需求的耦合建模方法。提出物质需求对应的设计的“形”与精神需求对应的设计的“态”的耦合建模方法, 从设计形态学的角度, 构建物质与精神需求的耦合模型。

研究内容 2: 研究物质与精神需求耦合驱动的设计原理解生成方法。

设计原理解生成实质上是物质需求驱动的设计的“形”与精神需求驱动的设计的“态”的耦合驱动的结果, 因此有必要研究物质与精神需求耦合驱动的原理解生成方法。本部分的研究内容包括:

1) 研究物质需求驱动的设计的“形”的生成方法。提出跨领域的创新问题标准解, 建立设计功能与原理解之间映射的知识模型, 实现物质需求驱动的设计的“形”的生成。

2) 研究精神需求驱动的设计的“态”的生成方法。基于设计心理学, 提出以人为本的设计原则与方法, 从本能、行为、反思三个层次研究情感化设计环境下的设计的“态”的生成。

3) 研究物质与精神需求耦合驱动的设计原理解的生成方法。提出物质与精神需求的耦合聚类方法; 给出耦合模型的自组织融合创新机制, 实现功能层、行为层和结构层的融合创新。

研究内容 3: 研究同一化设计原理解的形态学综合评价方法。

设计是一个不断满足物质需求和精神需求的同一化设计过程, 因此, 在设计过程中, 不仅要评价设计原理解是否满足物质需求, 还有必要在设计过程中

对设计原理解是否满足精神需求进行评价。本部分的研究内容包括：

1) 研究面向主观不确定环境的设计原理解的评价方法。提出跨领域设计解评价指标权重计算和跨领域创新解方案排序，提出群决策环境下主观决策数据的不确定性表示模型及度量方法，最终实现基于评价的创新解的生成。

2) 研究基于设计心理学与美学的设计原理解的评价方法。提出情感化设计的评价标准与评价机制，综合运用设计心理学、设计美学、感性工学、人因工学等手段，给出满足用户精神需求的设计评价方法。

3) 研究综合物质与精神需求的设计原理解的综合评价方法。提出原理解的关联性评价，以保证原理既最大限度满足物质与精神需求，又满足创新设计初期的发散性要求。

2.2 主要研究成果

研究成果 1：研究物质需求与精神需求的耦合建模方法

成果 1.1. 研究物质需求驱动的设计功能扩展方法

本项目研究了物质驱动的设计功能扩展方法，即功能需求驱动的横向扩展，从而找到与需求功能相似的功能，以及设计功能跨领域的纵向扩展，从而找到与需求功能相关的功能。在设计功能的横向扩展中，本项目提出根据一定的关联规则，找到与需求功能相似设计功能，从而扩大设计空间，启发设计者的设计思路。为了找到与需求功能相似的设计功能，本项目基于公理化设计方法，构建了功能语义层次化结构树，利用语义谓词在结构树中的距离，确定由不同功能语义谓词表示的功能之间的相关性。通过功能的横向扩展，可以为设计师进行创新设计时提供具有相似功能的启发。

在设计功能的纵向扩展中，本项目提出可从其他领域产品进化路线中获得启发，设计出具备新功能的产品。因此，本项目基于 TRIZ 系统进化法则，建立基于需求/功能关联模型和创新进化规则，从而设计产品创新进化路线，推理出与需求功能处于同一条创新进化路线上的其他功能，从而把零散的需求功能，扩展成满足整体产品设计要求的设计功能集。

成果 1.2. 研究精神需求驱动的情感化设计建模方法

本项目研究了一种从设计精神需求到原理解的正向映射方法，以实现设计精神需求与设计原理解之间的映射，为创新设计问题提供了原理性的解决方案，指导设计者快速找到产品设计解。在设计需求到原理解的正向映射过程，本项目基

于实例相似性原理,提出了知识库已有设计需求与功能原理映射相似类推的方法,建立新设计需求与功能原理解之间的映射关系。根据设计需求不同的类型,包括数值型、区间型。语义型和模糊型,采用不同的相似类推算法,包括数值型相似类推、语义型相似类推、区间型相似类推和模糊型相似类推,并引入最相邻权重,获得设计需求之间的相关性。

在获得相关已有设计精神需求与功能原理映射基础上,项目组考虑了新设计需求的约束信息,在知识库中功能原理采用附加语义约束的功能谓词表示,从而从多个相关性映射中,聚焦获得符合约束的映射关系,进一步提高了从设计需求到原理解的正向映射的效率。

成果 1.3. 研究了物质需求与精神需求的耦合建模方法

本项目研究在物质需求与精神需求的耦合建模方法过程中,基于知识的逆向评价方法,提出了对于正向映射获得的原理解进行关联度评价。评价过程中对原理解中各个功能模块的联系的紧密程度作出判断。

建立了原理解关联度评价的三个定量指标:1)功能元最大平均关联度:原理解在功能执行过程中,单个功能元在各个功能流形态中建立的输入/输出流匹配数目平均值的最大值,反映的是原理解中单个功能元在功能执行过程中,与其他功能元平均关联程度的最大情况;2)原理解平均关联度:原理解在功能执行过程中,各个功能流形态中的功能元输入/输出流匹配数目的平均值;3)原理解瞬时最大关联度:原理解在功能执行过程中,单个功能流形态中的功能元输入/输出流匹配数目的最大值。创新设计初期往往无法获取充足的设计信息,只有设计需求和以往的设计知识(包括专家经验和以往产品的实例库等)可以利用。通过建立原理解关联度评价定量指标,实现原理解的有效评价。

研究成果 1-在期刊上发表了论文 3 篇(已标注基金号 XYB-DS-202001)。

■ 论文:

[1] **Lingyu Wang**, Siyu Zhu , Jin Qi, Jie Hu. An evolutionary form design method based on aesthetic dimension selection and NSGA-II. Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing. (SCI). 2022

[2] **王伶羽**,左亚雪,胡洁. 基于感性工学与知识工程的用户需求认知研究.

包装工程. 2021. 第 42 卷 (第 2 期): 28-34.

[3] 王伶俐, 胡洁. 形态的安全属性与创新设计. 包装工程. 2020. 06 (第 12 期): 33-37.

[4] Wang lingyu, li, Yingchuan, Fu Yulong. Preliminary Exploration of Digital Interaction Design in the Context of NUI. 2022 10th International Conference of Applications and Techniques in Cyber Intelligence (ICATCI 2022). June 19, 2022.

■ 学术交流

[1] 在线参加 2020 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference (IDETC/CIE 2020)国际会议.

[2] 参加 2021 年 03 月第四届中国人工智能与机器人开发者大会(CAIRDC).

研究成果 2: 研究物质与精神需求耦合驱动的设计原理解生成方法

成果 2.1. 研究了基于知识元的分层聚类法的物质需求驱动的设计的“形”的生成方法

本项目研究了针对本领域知识元的聚类方法, 在知识元功能 F-行为 B-结构 S 基本架构中, 引入环境约束特征属性。通过同领域知识元环境约束特征属性之间相关性, 实现知识元环境约束条件下聚类。在实现同领域知识元聚类基础上, 本项目研究了针对跨领域的知识元聚类方法。在不同领域的知识元聚类中, 重点解决不同领域知识元在本领域中的适应性问题, 以知识元功能 F-行为 B-结构 S 基本架构中行为特性为对象, 分析不同领域知识元在本领域的环境约束条件下的功能行为和使用行为是否与设计产品具有行为相容性和环境兼容性, 从而获得适应本领域产品的其他领域知识元。对于适应性较好的跨领域知识元, 提出基于生长分层结构模型的跨领域知识库层次聚类方法, 分别考虑不同领域知识元在功能层、行为层和结构层的知识聚类, 实现跨领域知识元基于生长分层聚类结构的知识聚类, 组成跨领域知识元聚类空间。最终提出跨领域的创新问题标准解, 建立设计功能与原理解之间映射的知识模型, 实现物质需求驱动的设计的“形”的生成。

成果 2.2. 研究了基于设计心理学的精神需求驱动的设计的“态”的生成方法

从知觉心理学角度的三个心理层级：1) 本能层次的设计：本能层次的设计与反思层次不一样，它是一种跨越种族和文化的，是源自人类的天生的本性。所以要遵循基本的简单的设计原则。关注点包括：外型、色彩、声音、材质、重量和气味等多个感官层面。本能的设计与我们的第一印象很相关，是我们第一眼看到的它时的感受。本能层次的设计和其他两个层次的设计的都一样重要。2) 行为层次的设计：行为层次的设计关注的是功能和实现，包括四个要素：功能性、易理解性、易用性、感受。很多行为层设计都考虑了功能，但是很少考虑其他三个方面，尤其是感受。好的行为层次设计应该以人为本，专注于了解和满足真正使用产品的人。3) 反思层设计：反思层的设计和本能层有很大差别，反思层设计涵盖了更多的领域，它与信息、文化以及产品的含义和用途都紧密相关。研究了基于心理物理学实验的规则类知识的获取与建模方法，以眼视觉的知识建模为示范，有效地解决了眼视觉领域的用户体验、美学、功能、性能等规则类知识知识建模问题。研究分析认识心理学的三层次的特征关联模型构建方法，基于决策树技术，利用相似设计特征值分布，构建了特征关联树；研究了可修正性（Adaptability）计算算法，根据特征关联与个体相似度，构建了研究了基于设计心理学的精神需求驱动的设计的“态”的生成方法。

成果 2.3. 研究了知识与需求耦合驱动的聚类知识元结构解生成方法.

本项目针对跨领域知识元聚类空间，提出跨领域知识元网络构建方法。在知识元的功能（或行为）信息中，加入了功能流（或行为流）信息，通过前一知识元功能（或行为）输出流与后一知识元功能（或行为）输入流的属性特征值匹配，形成两个知识元功能（行为）链条，并继续与其他知识元进行关联分析，最终形成具有上下游关系的多个知识元的功能（或行为）链，完成跨领域知识元的重组与知识元聚类空间网络的构建。在知识元聚类空间网络中，提出知识元网络的自组织融合创新机制，在知识元的功能层，通过功能术语语义匹配与关联，实现知识元的功能融合；在知识元行为层，通过多知识元的行为链以及行为链路径规划，实现知识元的行为融合；在知识元结构层，对融合的知识元组合进行结构方面的模糊多目标决策定性分析和相容度指数定量分析，确定知识元聚类空间中最佳知识元组合，建立对应的结构解空间。

研究成果 2，在期刊上发表了论文 4 篇（已标注基金号 XYB-DS-202001）。

■ 论文：

[1] Lingyu Wang, Mingzhu Fang, Jie Hu. The Effect of Vibration Massage on Fatigue of the Upper Trapezius Muscle during Different Tasks. *Symmetry*. 2022,14: 2158. (SCI)

[2] 黎映川，蓝雯琳，付玉龙，王伶俐. 包装创新设计中的智能技术专利数据可视化分析. *包装工程*. 2021. 第 42 卷（第 2 期）：57-63

[3] 方明珠，王伶俐，胡洁（通讯作者）. 基于表面肌电信号的人因与工效学评估研究综述（已录用）. *包装工程*. 2023 年第十四期“工业设计”栏目发表. 中文核心.

[4] 王伶俐，黎映川，付玉龙. 基于 IFR 理论的情感化公共场景数字交互设计研究. *美与时代*. 2022. 08 (已录用).

■ 学术交流

参加 2021 年 6 月 2021 “健康中国”设计创新学术论坛暨设计周学术论坛.
参加 2021 年 8 月 “谢友柏设计科学基础研究基金”—2021 设计科学研讨会

研究成果 3：研究同一化设计原理解的形态学综合评价方法

成果 3.1. 研究面向主观不确定环境的设计原理解的评价方法

本项目综合考虑了物质需求和精神需求同一化设计原理多个评价要素，从建立针对跨领域创新解的评价指标体系。既考虑了功能、结构、约束等技术属性满足度，也考虑了经济性、环境属性等其他属性的满足度。在该评价指标体系中，设计者不仅需要考虑创新解在各评价指标上的性能，还需要考虑各评价指标间的相互影响及隶属关系，评价指标间存在一定的层次性。本项目建立了双层跨领域创新解评价指标体系，其中第一层次指标包括为正确性、经济性、相容性和创新性等四大类，第二层次指标中，正确性指标包括功能满足度、约束满足度和属性满足度等；相容性指标分为行为相容性、结构相容性及环境相容性等；创新性指标包含新颖性、实用性、可靠性和柔性等。

在跨领域创新解的评价指标体系基础上，本项目研究了针对主观不确定性

的创新设计解的评价方法。由于传统模糊评价方法中需要事先定义模糊隶属度函数，评价过程仍受评价者主观影响，因此本项目在多目标创新解评价过程中，引入了粗糙集理论，基于群决策思想，提出了基于粗糙模型的跨领域创新解评价方法。首先，把设计者对评价指标的主观偏好，通过粗糙数转化为客观量化权重值，确定评价指标的重要程度；然后通过粗糙数，把设计者对于创新解的主观评价意见，也转化为客观化评价值，并导入多目标评价模型中，从而实现创新解多目标粗糙评价。由于，在构建粗糙数中，不需要事先人为定义相关系数，而完全基于设计者已有的评价意见，最大限度的减少了评价过程中主观不确定性因素对评价过程的影响，因此实现了真正的创新解客观化评价。最后，通过多目标评价，对候选的创新解进行优先排序，从而生成最终的设计方案。

成果 3.2. 研究基于设计心理学与美学的设计原理解的评价方法

本项目研究了基于设计心理学与美学的设计原理解的评价方法，在基于设计知识跨领域聚类的设计方案原理解生成过程中，以同一化设计功能需求为导向，针对多个知识聚类中产生的新功能需求，提出设计心理学与美学关键词构造方法，以及基于词汇语义关系和语料库的动态功能关键词集构建方法，获取满足新设计知识的新功能需求；在设计心理学与美学原理的设计方案物理解生成过程中，以结构特征为导向，在多个知识冲突消解中产生的新结构特征，提出情感化设计的评价标准与评价机制，综合运用设计心理学、设计美学、感性工学、人因工学等手段，给出满足用户精神需求的设计评价方法。

成果 3.3. 研究了综合物质与精神需求的设计原理解的综合创新评价方法

本项目研究综合物质与精神需求的设计原理解的综合评价创新方法，以设计知识“功能 F→行为 B→结构 S”模型为基础，由设计知识模型的结构约束条件，确定已有设计方案中不同设计知识之间的矛盾，根据设计知识的结构特征，表征结构性需求；由行为 B 与结构 S 映射，确定对应的设计行为层中不同设计原理之间的矛盾，并根据设计知识的行为原理，表征原理性需求；由功能 F 与行为 B 映射，确定对应的设计功能层中不同设计功能之间的矛盾，并根据设计知识的功能语义，表征功能性需求。根据新设计方案中的结构性需求、原理性需求和功能性需求，确定新的需求信息，并由该需求信息，驱动新的设计

过程，产生新的原理解空间和物理解空间，实现设计过程数据的知识繁衍。

研究成果 3，在期刊上发表了论文 5 篇（已标注基金号 XYB-DS-202001）。

■ 论文：

[1]Lingyu Wang , Xingyun Yan, Mingzhu Fang, Hua Song and Jie Hu. A Systematic Design Framework for Zero Carbon Campuses: Investigating the Shanghai Jiao Tong University Fahua Campus Case. Sustainability. Sustainability 2023, 15, (SSCI /SCI)

[2]Xingyun Yan, Lingyu Wang, Mingzhi Fang and JieHu. How can industrial park achieve caibon neutrality? Literature review and research prospect bosed on the citespace knowledge map. Sustainability. 22 December 2022. (SSCI /SCI)

[3]王伶俐, 方明珠, 胡洁. 老河口木版年画形态分析与传承创新研究. 艺术教育. 2022. 07(已录用).

[4]闫星云, 王伶俐, 胡洁. 设计形态学视域下儿童水杯创新设计研究. 美与时代. 2022. 08 (已录用).

[5]刘悦, 胡洁, 王伶俐. 基于形状文法的敦煌藻井纹样创新设计研究. 2023. 06 (已录用).

■ 学术交流

参加 2021 年 10 月 2021 年世界工业设计大会设计论坛 (WIDC) .

研究成果 04: 系统开发与应用验证方面

本项目开发具有自主知识产权的“需求/知识耦合驱动的创新设计”软件系统工具集，主要模块包括：1) 耦合驱动的原理解生成模块。2) 耦合驱动的结构解生成模块。3) 耦合驱动的创新解/新知识/新需求生成模块，获得软件著作权 5 项。同时，利用本项目的研究方法，申请获批了教育部人因工效学创新设计实验室项目，在机电产品（工业机器人散乱件抓取控制器、工业机器人运动轨迹控制器）、光机电产品（显微成像装置）、生机电产品（人工视觉假体视觉采集装置）等产品开发中进行了应用验证，如图 2-图 5 所示。采用本项目的研究方法，分别获得了基于手眼协调的工业机器人散乱件抓取控制器设计解、基

于中枢发生器的实时动态轨迹规划控制器设计解、曲面复眼显微成像系统设计解、复眼佩戴式视觉信息采集装置设计解。



图 2. 研究方法在工业机器人散乱件抓取控制器设计中应用.

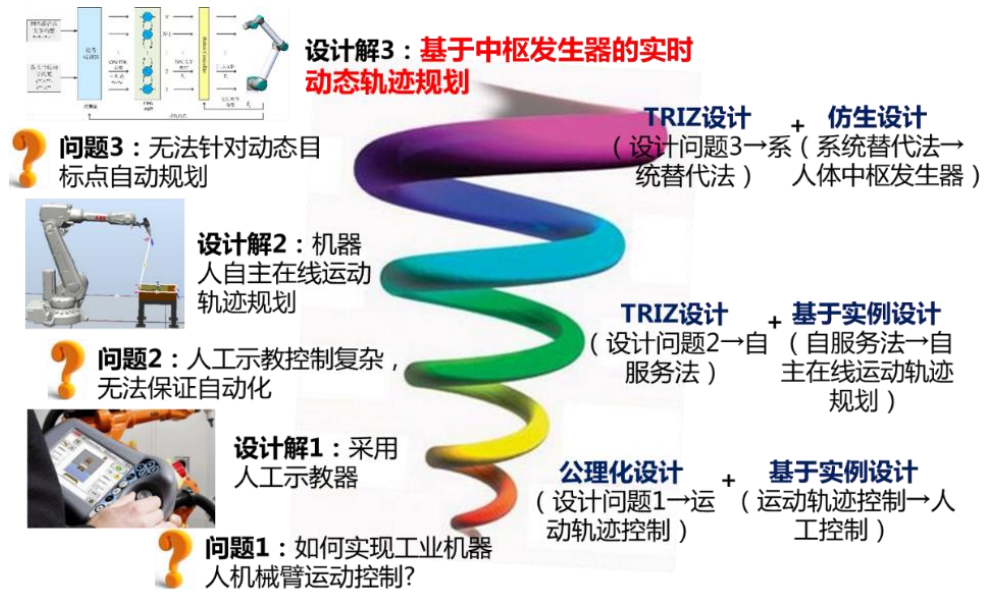


图 3. 研究方法在工业机器人运动轨迹控制器设计中应用

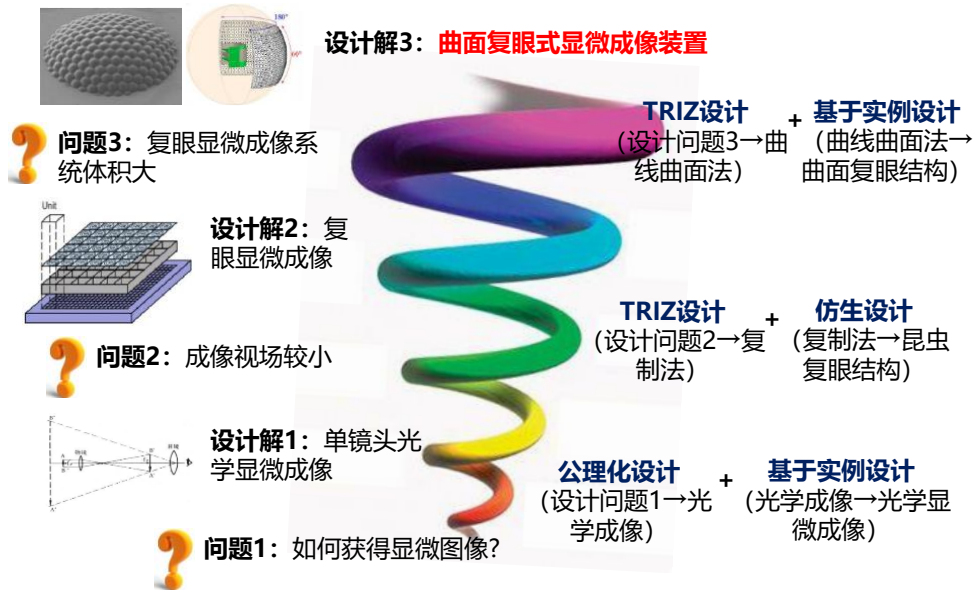


图 4. 研究方法在显微成像装置设计中应用.



图 5. 研究方法在人工视觉假体视觉采集装置设计中应用.

■ 教育部人因工效学创新设计实验室项目:

1. 完成对人因与工效学和设计学科的背景, 研究概况以及发展趋势。完成文献综述, 提炼学术观点, 奠定研究基础。建立人因与工效学和设计学科融合发展理论体系。

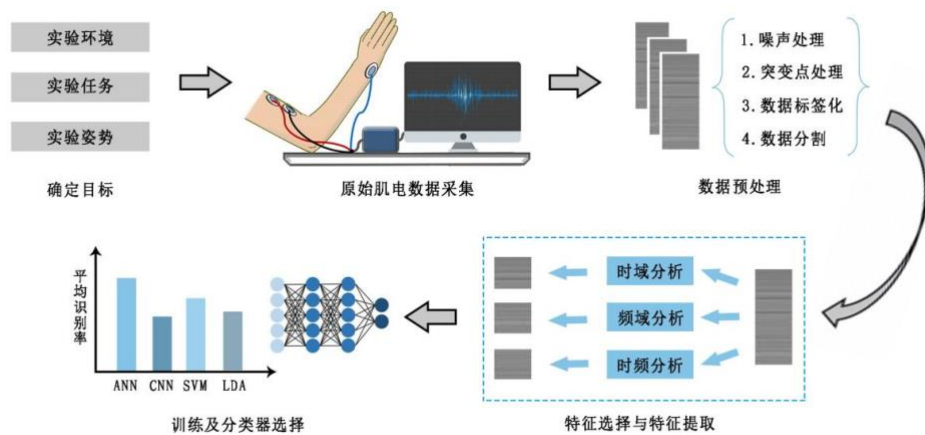
2. 通过实验完成收集用户行为数据, 建立用户行为数据库。发掘用户隐形需求, 归纳出用户隐形需求模型。收集用户反馈与评价结合定量模型与定性的系统分析法, 总结用户匹配模型。

3. 探讨学科融合理论体系的构建与实验研究的耦合关系。研究学科融合成果

在实践中的应用和对于创新设计发展的影响。发表项目研究成果相关论文，指导后续创新设计产业发展。

研究成果：1) 总体上来说，国外目前已经在工作相关肌肉骨骼风险评估、工作场所与姿势评估，设备与工具评估、界面交互优化评估以及外骨骼等方面取得了突破性的进展，对许多行业中可能存在的不良工效学因素进行了评估。但目前基于表面肌电信号的人因与工效学研究在理想条件和现实条件下的研究差异性较大，并存在数据与方法不通用等问题，限制了表面肌电信号在人因与工效学研究中的发展与应用。因此，亟需基于现有的研究成果，面向人因与工效学评估与应用需求，重点开展多模态数据融合、特征提取算法优化、融合多方法优化分类模型等的创新研究，为未来构建基于表面肌电信号的人因与工效学评估通用数据集和创新智能化评估系统提供坚实的理论依据与技术支撑。

2) 通过分析干预组和对照组之间的最大自主收缩 (MVC%) 差异值，我们确定振动按摩干预确实对斜方肌肌肉有显著影响。我们还通过分别分析三种不同疲劳条件下左侧和右侧斜方肌的 MVC% 值的变化，探讨了 1 级振动按摩干预 (36 Hz) 与 3 级振动按摩干预 (46 Hz) 对双侧上斜方肌肌肉的影响。该分析结果表明，相同的振动水平对双侧上斜方肌肌肉的缓解有不对称的影响，并总结了与不同振动按摩水平相对应的双侧斜方肌肌肉的最佳缓解方案。



■ 研究成果 4，授权软件著作权 5 项

[1] 用户驱动的辅助设计软件，登记号：2020SR1820119，开发完成日：2020.12.15.

[2] 融合用户需求的产品设计评价系统, 登记号: 2020SR1724427, 开发完成日: 2020.12.3.

[3] 基于本体的手机产品辅助设计软件, 登记号: 2020SR0573965, 开发完成日: 2020.4.5.

[4] 数据驱动的计算机辅助设计系列软件, 登记号: 2020SR0639516, 开发完成日: 2020.2.18.

[5] 支持多因素融合的自行车概念设计与分析软件, 登记号: 2020SR0269256, 开发完成日: 2019.12.10.

■ 研究成果 4, 授权软件著作权 6 项

[1] 外观专利: 健康检测仪器 (儿童智能树洞), 登记号: CN307878750S, 公开日期: 2023.02.28

[2] 实用新型专利: 可调多边形卡口结构及手持结构, 登记号: CN217992330U, 公开日期: 2022.12.9

[3] 实用新型专利: 厂区低碳排放用空气过滤装置, 登记号: CN218130806U, 公开日期: 2022.12.27

[4] 发明专利: 一种防腐坏的果蔬密封包装设备, 登记号: CN115520420A, 公开日期: 2022.12.27

[5] 发明专利: 一种防腐坏的果蔬密封包装设备, 登记号: CN115520420A, 公开日期: 2022.12.27

[6] 新型专利: 可折叠单人担架结构, 登记号: CN218220463U, 公开日期: 2023.01.06

2.3. 国内外学术合作交流等情况

本项目执行期间, 项目团队成员以线上和线下形式参加了多个工程领域国际知名会议, 在大会中介绍了研究成果, 进行了学术交流, 包括:

■ 在线参加 2020 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference (IDETC/CIE 2020) 国际会议

■ 参加 2021 年 03 月第四届中国人工智能与机器人开发者大会 (CAIRDC), 地点: 中国.上海, 时间: 2021.03.26-2021.03.27

■ 参加 2021 年 06 月 “健康中国” 设计创新学术论坛暨设计周学术论坛, 地点: 中国.武汉, 时间: 2021.06.04-2019.06.06.

■ 参加 2021 年 8 月 “谢友柏设计科学基础研究基金” —2021 设计科学研

会，地点：中国.上海（线上），时间：2021.08.21

■ 参加 2021 年 10 月世界工业设计大会设计论坛（WIDC），地点：中国.烟台，时间：2021.10.21.

■ 参加 2023 年 4 月参加中央美术学院“未-未来”国际教育论坛，地点：中国.北京，并做主题报告：需求驱动的创新设计研究，时间：2023.04.09

2.4. 存在的问题、建议及其他需要说明的情况。

本项目按照项目计划书要求开展相关研究，无存在问题。

二、成果部分

1. 项目取得成果的总体情况

本项目系统研究了需求与知识耦合驱动的创新设计理论与方法，理论研究成果包括：

1) 需求/知识耦合驱动的原理解空间生成研究。

实现功能需求驱动的横向扩展和设计功能的跨领域的纵向扩展；提出了需求/知识同向驱动的原理解空间生成方法，建立设计功能与原理解之间映射的知识模型，实现需求与知识同向驱动的原理解生成；提出了需求与知识逆向驱动的原理解评价方法，以保证原理既最大限度满足设计需求，又满足创新设计初期的发散性要求。

2) 知识/需求耦合驱动的结构解空间生成方法研究。

提出了基于本领域知识元横向聚类的结构解生成方法，实现基于环境约束特征属性的本领域知识元聚类，以支持结构解生成；提出了基于跨领域知识元纵向生长的结构解生成方法，通过知识元相容性分析，实现对知识元领域外的相容聚类；提出了知识与需求耦合的聚类的结构解空间生成方法，通过知识元网络的自组织融合创新机制，实现功能层、行为层和结构层的融合创新。

3) 耦合驱动的创新解、新知识与新需求的生成方法研究。

提出了面向主观不确定环境的创新设计解的评价与生成方法，实现基于评价的创新解的生成；提出了创新解生成过程中的新知识的挖掘与生成方法，实现功能层基于领域本体的向量空间模型构建及维度约简，行为层的设计原理获

取，结构层基于结构单元的概念图建模；提出创新设计过程中的新需求的生成方法，通过对设计过程中的潜在的需求进行挖掘，实现基于创新设计过程数据的需求获取。

发表或录用论文 13 篇（均已标注基金号）：

[1] **Lingyu Wang**, Siyu Zhu , Jin Qi, Jie Hu. An evolutionary form design method based on aesthetic dimension selection and NSGA-II. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*. (SCI). 2022

[2] 王伶俐, 左亚雪, 胡洁. 基于感性工学与知识工程的用户需求认知研究. *包装工程*. 2021. 第 42 卷 (第 2 期): 28-34.

[3] 王伶俐, 胡洁. 形态的安全属性与创新设计. *包装工程*. 2020. 06 (第 12 期): 33-37.

[4] **Wang lingyu**, li, Yingchuan, Fu Yulong. Preliminary Exploration of Digital Interaction Design in the Context of NUI. 2022 10th International Conference of Applications and Techniques in Cyber Intelligence (ICATCI 2022). June 19, 2022.

[5] **Lingyu Wang**, Mingzhu Fang, Jie Hu. The Effect of Vibration Massage on Fatigue of the Upper Trapezius Muscle during Different Tasks. *Symmetry*. 2022, 14: 2158. (SCI)

[6] 黎映川, 蓝雯琳, 付玉龙, **王伶俐**. 包装创新设计中的智能技术专利数据可视化分析. *包装工程*. 2021. 第 42 卷 (第 2 期): 57-63 (通讯作者).

[7] 方明珠, 王伶俐, 胡洁 (通讯作者). 基于表面肌电信号的人因与工效学评估研究综述 (已录用). *包装工程*. 2023 年第十四期 “工业设计” 栏目发表. 中文核心.

[8] **王伶俐**, 黎映川, 付玉龙. 基于 IFR 理论的情感化公共场景数字交互设计研究. *美与时代*. 2022. 08 (已录用).

[9] **Lingyu Wang** , Xingyun Yan, Mingzhu Fang, Hua Song and Jie Hu. A Systematic Design Framework for Zero Carbon Campuses: Investigating the Shanghai Jiao Tong University Fahaha Campus Case. *Sustainability*. *Sustainability* 2023, 15, (SSCI /SCI)

[10]Xingyun Yan, Lingyu Wang, Mingzhi Fang and JieHu. How can industrial park achieve carbon neutrality? Literature review and research prospect based on the CiteSpace knowledge map. Sustainability. 22 December 2022. (SSCI /SCI)

[11]王伶俐, 方明珠, 胡洁. 老河口木版年画形态分析与传承创新研究. 艺术教育. 2022. 07 (已录用).

[12]闫星云, 王伶俐, 胡洁. 设计形态学视域下儿童水杯创新设计研究. 美与时代. 2022. 08 (已录用)

[13]刘悦, 胡洁, 王伶俐. 基于形状文法的敦煌藻井纹样创新设计研究. 2023. 06 (已录用).

2. 项目成果转化及应用情况。

本项目开发了具有自主知识产权的“需求/知识耦合驱动的创新设计”软件系统工具集，主要模块包括：1) 耦合驱动的原理解生成模块。2) 耦合驱动的结构解生成模块。3) 耦合驱动的创新解/新知识/新需求生成模块。同时，利用本项目的研究方法，在机电产品（工业机器人散乱件抓取控制器、工业机器人运动轨迹控制器）、光机电产品（显微成像装置）、生机电产品（人工视觉假体视觉采集装置）等产品开发中进行了应用验证。采用本项目的研究方法，分别获得了基于手眼协调的工业机器人散乱件抓取控制器设计解、基于中枢发生器的实时动态轨迹规划控制器设计解、曲面复眼显微成像系统设计解、复眼佩戴式视觉信息采集装置设计解。

本项目应用成果获得软件著作权 5 项：

[1] 用户驱动的辅助设计软件，登记号：2020SR1820119，开发完成日：2020. 12. 15.

[2] 融合用户需求的产品设计评价系统，登记号：2020SR1724427，开发完成日：2020. 12. 3.

[3] 基于本体的手机产品辅助设计软件，登记号：2020SR0573965，开发完成日：2020. 4. 5.

[4] 数据驱动的计算机辅助设计系列软件，登记号：2020SR0639516，开发完成日：2020. 2. 18.

[5] 支持多因素融合的自行车概念设计与分析软件, 登记号: 2020SR0269256, 开发完成日: 2019. 12. 10.

本项目应用成果获得软件著作权 6 项:

[1] 外观专利: 健康检测仪器 (儿童智能树洞), 登记号: CN307878750S, 公开日期: 2023. 02. 28

[2] 实用新型专利: 可调多边形卡口结构及手持结构, 登记号: CN217992330U, 公开日期: 2022. 12. 9

[3] 实用新型专利: 厂区低碳排放用空气过滤装置, 登记号: CN218130806U, 公开日期: 2022. 12. 27

[4] 发明专利: 一种防腐坏的果蔬密封包装设备, 登记号: CN115520420A, 公开日期: 2022. 12. 27

[5] 发明专利: 一种防腐坏的果蔬密封包装设备, 登记号: CN115520420A, 公开日期: 2022. 12. 27

[6] 新型专利: 可折叠单人担架结构, 登记号: CN218220463U, 公开日期: 2023. 01. 06

3. 其他需要说明的成果

无

4. 项目成果的应用与推广

创新设计实质上是设计者针对需求使用多领域知识进行的创造性工作。需求驱动的设计理论有公理化设计理论、TRIZ 理论等, 知识驱动的设计理论有基于实例的设计理论、生物激励设计理论等。本项目围绕创新设计的三个阶段的特点: 创新设计初期的发散性、中期的创新性和后期的收敛性, 从系统层面上提出需求与知识耦合驱动的创新设计理论与方法。研究创新设计初期的需求与知识耦合驱动的原理空间生成方法; 研究创新设计中期的知识与需求耦合驱动的结构解空间生成方法; 研究创新设计后期的知识与需求耦合驱动的创新解生成, 以及设计过程中的新知识与新需求的获取方法。开发需求与知识耦合驱动的创新设计软件系统工具集, 以机电产品、光机电产品、生机电产品这三类典型产品设计为对象进行应用验证。本项目的实施, 对于构建需求与知识耦合驱动的创新设计理论, 提高产品的持续创新设计能力具有重要的理论与现实意义。