

工业设计视角下工业控制类产品 人机工程学与界面设计研究

庄娘设

身份证号: 445222197712080633

DOI:10.61369/ERA.2025090028

摘要： 本文探讨工业控制类产品设计，涵盖低压开关智能化设计，包括集成技术、新功能植入等；分析工业4.0下操作人员行为转变带来的设计需求；阐述产品形态与功能语义关系等多方面内容，还提出设计方法论及整合框架，展望未来研究方向。

关键词： 工业控制产品；设计；智能化

Research on Ergonomics and Interface Design of Industrial Control Products from the Perspective of Industrial Design

Zhuang Niangshe

ID: 445222197712080633

Abstract： This paper explores the design of industrial control products, covering intelligent design of low-voltage switches, including integration technology and the incorporation of new functions; it analyzes the design requirements brought about by changes in operator behavior under Industry 4.0; elaborates on various aspects such as the relationship between product form and functional semantics, and proposes a design methodology and an integrated framework, while also looking forward to future research directions.

Keywords： industrial control products; design; intelligence

引言

在智能化转型的时代背景下，工业4.0等政策推动了工业领域的深刻变革。智能化技术的发展促使工业控制类产品设计面临诸多新挑战与机遇。产品设计不仅要考虑物联网、边缘计算等技术的集成应用，还要关注用户体验，包括形态语言与功能语义的映射、多模态交互系统集成创新以及人机界面演进的操作惯性维护等。材料工艺迭代、IP防护等级提升等因素也对产品设计产生重要影响，本研究正是在此背景下，着重探讨智能化趋势下低压开关产品的人机工程与界面设计转型。

一、智能化趋势下低压开关产品工业设计转型

（一）智能化技术对产品设计的重构

随着物联网、边缘计算等智能化技术的发展，低压开关产品设计面临重构。在集成路径方面，需深入研究如何将这些技术有效融入开关设备。例如，通过合理的硬件布局和软件编程，实现数据的高效传输和处理^[1]。对于新型功能的植入，触控交互可改变传统的操作方式，采用触摸屏幕或触摸按键，提升操作的便捷性和直观性。状态监测功能则需借助传感器等设备，实时获取开关的运行状态，如温度、电流等参数，并将数据反馈给用户或控制系统。这不仅提高了设备的安全性和可靠性，也为智能化管理提

供了基础。

（二）数字化场景中的用户需求演变

在工业4.0环境下，操作人员的行为模式发生了显著转变^[2]。随着智能化技术的融入，生产流程变得更加复杂和高效，操作人员不再局限于简单的手动操作，而是需要与智能系统紧密协作。这种转变促使了新的设计需求的产生。例如，模块化扩展需求应运而生，以适应不同生产环节的灵活配置和升级。同时，数据可视化的重要性日益凸显，操作人员需要直观地获取大量生产数据，以便及时做出决策。这不仅要求界面设计能够清晰呈现数据，还需要考虑如何以符合人体工程学的方式进行布局，确保操作人员在复杂的数字化场景中能够高效、准确地操作，从而提高

生产效率和质量。

二、智能开关产品多维设计体系构建

（一）形态语言与功能语义的映射关系

智能开关产品的形态语言与功能语义存在紧密的映射关系。产品的形态应直观地传达其功能，使用户能够快速理解和操作。例如，开关的按钮形状、大小和位置等形态元素，需与开启和关闭的功能语义相匹配，符合用户的操作习惯和预期。同时，材质的选择和表面处理也能传达功能信息，如光滑的表面可能暗示触摸操作的流畅性。这种映射关系还体现在产品的整体造型上，简洁的造型可能对应着简单直接的功能，而复杂的造型则可能暗示着多种功能的集成。通过合理构建形态语言与功能语义的映射关系，可以提高智能开关产品的易用性和用户体验^[9]。

（二）多模态交互系统的集成创新

在智能开关产品的多模态交互系统集成创新中，需研究触觉反馈、语音控制与 AR 辅助的协同机制。触觉反馈能为用户提供直观的操作感受，如按下开关时的触感确认^[4]。语音控制则增加了操作的便捷性，用户无需手动操作，通过语音指令即可控制开关。AR 辅助可提供更直观的操作引导，例如在复杂的工业环境中，通过 AR 技术将开关的操作信息叠加在真实场景中。同时，构建符合相关 IP 防护标准的交互解决方案至关重要。这确保了在不同工业环境下，交互系统的稳定性和安全性，避免因外界因素干扰而出现故障，保障智能开关产品在工业控制领域的可靠应用。

三、产品家族化设计语言体系研究

（一）品牌 DNA 的提取与演化

1. 典型企业设计基因库构建

工业控制类产品家族化设计语言体系的构建对于企业具有重要意义。在品牌 DNA 的提取与演化方面，需深入研究企业的历史、文化和市场定位等因素。以施耐德、ABB 等企业为例，在典型企业设计基因库构建中，要解析其产品线的造型基因传承规律。通过对大量产品样本的分析，识别出具有代表性的特征线。进一步建立特征线提取的量化模型，从而更科学、准确地把握企业的设计基因。这不仅有助于企业保持产品家族的一致性和独特性，还能为新产品的设计开发提供有力的指导，增强品牌的辨识度和市场竞争力^[5]。

2. 模块化设计中的基因表达

在工业控制类产品家族化设计中，标准接口设计的家族特征保持至关重要。这需要深入研究品牌 DNA 的提取与演化，明确家族基因。对于标准接口，应从功能、形式、交互等多维度提取共性特征，作为家族基因的一部分^[6]。同时，在模块化设计的基因表达过程中，要注重对组合变异度的控制。一方面，要确保接口在不同模块组合下仍能保持家族特征的一致性；另一方面，合理控制变异度，以满足不同产品型号的特定需求，实现家族化设计语言体系的有效构建，提升产品的家族辨识度和用户体验。

（二）跨代产品的视觉连续性管理

1. 材料工艺迭代中的识别度保持

工业设计领域中，材料工艺迭代是产品发展的关键环节。随

着表面处理技术升级，产品的视觉特征会发生变化，这对产品辨识度产生重要影响。在跨代产品的视觉连续性管理框架下，需制定合理策略以保持识别度。例如，采用渐变式更新策略，避免因技术升级导致产品视觉形象的突兀改变。渐变式更新可以从材质的质感、颜色的过渡以及纹理的演变等方面着手，在引入新技术的同时，保留产品家族化设计语言的核心元素，使消费者能够在不同代际的产品中感受到视觉上的连贯性和一致性，从而增强产品的品牌识别度，提升产品在市场中的竞争力^[7]。

2. 人机界面演进中的操作惯性维护

在工业控制类产品的家族化设计中，人机界面演进的操作惯性维护至关重要。对于跨代产品，需确保操作方式的连贯性。控制逻辑的继承具有显著价值，它能有效降低用户的培训成本^[8]。当用户在使用新一代产品时，若能基于以往的操作经验迅速上手，将极大提高工作效率。同时，界面升级过程中，应建立认知负荷评估体系。通过该体系，能够精准衡量界面变化给用户带来的认知负担，避免因过度创新导致用户操作困难。合理的界面升级应在保持操作惯性的基础上，逐步引导用户适应新的功能和界面元素，实现人机界面的平滑演进。

四、人机工程与界面设计的系统整合

（一）控制设备的生理适配性研究

1. 作业姿势与产品形态的匹配模型

在工业控制类产品的设计过程中，充分考虑操作人员的作业姿势是至关重要的。不合理的产品形态可能导致操作人员长时间处于不舒适的姿势，从而引发疲劳甚至职业病。基于 OWAS (Ovako Working posture Analysing System) 分析法，对典型的工业控制设备安装和操作场景进行细致的研究，建立人机尺寸链模型。该模型能够精确地描述操作人员在执行不同任务时身体各部分的尺寸和活动范围。进一步地，通过对这些数据的分析，可以推导出最优的操作包络空间，确保操作人员进行诸如按钮按压、旋钮旋转、拨动开关等操作时，肢体能够以自然、放松的状态进行，避免不必要的弯腰、抬头或扭转。产品形态的设计应当与这些最优操作包络空间相匹配，例如，控制面板的倾斜角度、操作元件的布局和间距等都应服务于操作人员的舒适性和操作效率。一个良好的人机匹配模型能够显著提升操作人员的工作效率，降低错误率，并最终提高整体的生产质量和安全性^[9]。

2. 力学特性与操作舒适度的关联

除了静态的姿势匹配外，控制设备的力学特性，如旋钮的扭矩、按键的行程和反馈力等，直接影响着操作的舒适度。过大的操作力可能导致操作疲劳，而过小的力则可能引起误操作。因此，深入研究这些力学参数的生物力学阈值，即人体在操作时所能承受和感受到最舒适的力度范围，对于产品设计至关重要。通过对大量用户操作数据的采集和分析，结合人体工程学的原理，可以确定这些力学参数的合理范围。例如，对于需要频繁操作的旋钮，其扭矩应适中，既能提供足够的操作阻尼以防止意外转动，又不会使用户感到费力。同样，按键的行程和反馈力应设计得清晰可感，使用户能够明确判断操作是否成功^[10]。制定符合 ISO 相关标准的力学设计规范，不仅有助于提升产品的操作舒适度，也保证了产品在全球范围内的通用性和适用性，从而提高用

户满意度。

（二）工业显示界面的认知优化

1. 信息架构的视觉逻辑设计

在工业控制领域，显示界面通常承载着大量关键的操作和监控信息。如何有效地组织和呈现这些信息，直接影响着操作人员的认知效率和操作准确性。信息架构的视觉逻辑设计是提升界面认知性的核心。首先，需要根据操作任务的流程和信息的关联性，对界面上的元素进行合理的分组和排列。运用 Fitts 定律优化菜单层级和关键操作按钮的布局，确保操作人员能够快速准确地定位和选择所需的功能，减少不必要的搜索时间和操作步骤。其次，建立符合 ISO 相关的界面布局原则，例如一致性的原则、显著性的原则、反馈的原则等，能够确保界面的规范性和易用性。从视觉逻辑的角度来看，应通过清晰的视觉层级、对比度、色彩以及图标等视觉元素，增强信息的可读性和可识别性，降低操作人员的认知负荷，从而提高其对工业控制类产品界面的认知效率，最终优化人机交互的整体体验。

2. 告警系统的多通道表达策略

工业环境往往复杂且充满各种潜在的风险，及时准确地传递告警信息对于保障设备和人员的安全至关重要。单一的告警方式在嘈杂的环境中可能难以引起操作人员的注意。因此，研究色彩编码、声频特征与振动模式的组合应用，构建多通道的分级警示体系显得尤为重要。不同的色彩可以直观地传达不同等级的危险程度，例如红色通常表示紧急或危险状态，黄色表示警告或异常状态，绿色表示正常状态。声频特征方面，可以通过不同的音调、频率、节奏和音量来区分告警的级别和类型。例如，急促的高音可能用于表示紧急告警，而平缓的低音可能用于提示一般性异常。此外，对于某些特定场景或穿戴式设备，振动模式也可以作为一种有效的辅助告警方式。通过合理地组合这些多通道的告警元素，可以确保操作人员在各种复杂的工业环境中，都能够快速、准确地识别告警信息的重要性，并及时采取相应的措施，从而提高工业控制系统的安全性和整体效率。

（三）环境适配性设计研究

1. 极端工况下的可视性保障

工业控制类产品常常需要在各种极端工况下运行，例如高温、低温、强光、粉尘等环境。在这些条件下，保障显示界面的良好可视性对于操作人员的正常工作至关重要。以高环境照度为

例，屏幕反光会严重影响信息的读取。因此，提升屏幕的可读性是关键。这需要深入研究屏幕的材质和涂层技术，选择具有低反射率、高对比度的材料，以最大限度地减少环境光的干扰，确保屏幕内容清晰可见。同时，制定智能化的背光调节算法也至关重要。该算法应能够根据环境光传感器实时采集的数据，动态分析当前的环境照度水平，并自动调整屏幕的背光亮度。当环境光较强时，自动增加背光亮度以克服环境光的干扰；当环境光较弱时，则适当降低背光亮度，以避免屏幕过亮对人眼造成不适。通过这种软硬件相结合的系统整合方式，可以有效地保障工业控制类产品在各种极端工况下的可视性，从而提高操作人员的工作效率和操作的准确性。

2. 防护设计与操作性能的平衡

为了使工业控制类产品能够在恶劣的工业环境中稳定可靠地运行，提升其 IP（Ingress Protection）防护等级是必不可少的。较高的防护等级意味着产品具有更好的防尘、防水等性能，能够有效地保护内部的电子元件免受环境因素的损害。然而，防护设计的提升往往会对产品的交互体验带来一定的挑战。从人机工程学的角度出发，需要在防护设计和操作性能之间寻求一个最佳的平衡点。这需要深入分析防护等级提升对用户操作可能产生的影响。在保证产品达到所需防护等级的前提下，通过合理地设计产品的密封结构和操作部件的布局，选择合适的材料和制造工艺，例如采用具有良好触感的防水按键、高灵敏度的防护触摸屏等，来最大限度地降低操作阻力，提高操作的便利性和整体的交互体验，最终实现防护设计与操作性能的和谐统一。

五、总结

在智能化转型背景下，本研究针对工业控制类产品的设计展开探讨。首先系统阐述了相关设计方法论，为产品设计提供了理论指导。接着提炼出人机工程与界面设计的整合框架，强调了两者协同的重要性。这一框架有助于提升产品的易用性和用户体验。同时指出未来研究方向应聚焦于自适应界面和混合现实交互等领域。通过在这些方向的深化研究，有望进一步优化工业控制类产品的设计。本研究成果可为装备制造业的数字化转型提供有力的设计支持，推动产业升级和发展。

参考文献

[1] 孔寅. 西门子工业控制类产品中国市场战略研究 [D]. 对外经济贸易大学, 2004.
[2] 奚宏伟. 智能眼镜类产品工业设计研究 [D]. 东南大学, 2017.
[3] 庄长升. 工业控制领域中应用电子技术的可行性研究 [J]. 信息记录材料, 2020, 21(10): 56-57.
[4] 刘小芳. 工业控制产品抗电磁干扰技术研究与应用 [D]. 西安工程大学, 2017.
[5] 林雪. 基于人机工程学的 Tandem 双丝气体保护焊接专机的工业设计研究 [D]. 东南大学, 2020.
[6] 王强. 工业设计中的人机工程学与工效学研究 [J]. 科学与信息化, 2024(3): 117-119.
[7] 褚福涛, 李广东. 火灾报警控制器操作界面设计中的人机工程学问题研究 [J]. 中国科技信息, 2011(18): 66, 68.
[8] 康天娇, 邹春明. 工业控制系统网络安全产品研究分析 [J]. 网络空间安全, 2020, 11(01): 34-38+44.
[9] 周鼎. 工业设计人机工程学课程设计研究 [J]. 中国科技信息, 2011(10): 267-268.
[10] 田保珍, 杨刚俊, 卢春莉, 等. 工业设计专业人机工程学教学改革研究 [J]. 科技信息, 2014(6): 49, 53.