

基于人因工程的化工厂安全信息设计研究进展

方长青, 方浩*

武汉工程大学, 湖北 武汉 430070

DOI:10.61369/ME.2025070019

摘 要 : 在化工行业高风险背景下, 安全信息设计的有效性直接关系到事故预防与人员响应效率。本文系统梳理了近年来我国化工厂安全信息设计领域的研究进展, 聚焦风险感知、人因工程及眼动技术等关键方向, 分析其在安全信息呈现与传播中的应用现状与不足。特别指出, 安全告知工具在认知适配性等方面存在局限, 难以满足现代工人对安全信息需求。文章重点探讨了“四知卡”作为安全告知工具的设计优化路径, 强调引入人因工程学方法与眼动实验技术, 有助于提升信息可视化的实用性。

关 键 词 : 化工厂; 安全信息设计; 风险感知; 人因工程; 眼动技术

Research Progress of Safety Information Design in Chemical Plant Based on Human Factors Engineering

Fang Changqing, Fang Hao*

Wuhan Institute of Technology, Wuhan, Hubei 430070

Abstract : In the high-risk environment of the chemical industry, the effectiveness of safety information design directly impacts accident prevention and personnel response efficiency. This paper systematically reviews recent research advancements in safety information design for chemical plants in China, focusing on key areas such as risk perception, human factors engineering, and eye-tracking technology. It analyzes the current application status and shortcomings of these technologies in safety information presentation and dissemination. Notably, safety notification tools exhibit limitations in cognitive adaptability, failing to meet modern workers' demands for safety information. The study specifically explores the design optimization path of the "Four-Knowledge Card" as a safety notification tool, emphasizing that incorporating human factors engineering methods and eye-tracking experimental techniques can enhance the practicality of information visualization.

Keywords : chemical plant; safety information design; risk perception; human factors engineering; eye movement technology

化工行业作为典型的高危领域, 其安全事故往往具有突发性强、破坏性大、救援难度高等特点。尽管近年来我国在政策规范、技术装备和管理制度方面持续发力, 但由人为因素引发事故仍占较高比例, 这暴露出安全信息在传递与认知环节中的薄弱点。传统安全标识、操作规程和培训材料多以“标准化”为导向, 忽视了信息接收者在认知能力、注意分配、情境理解等方面的差异性。

随着人因工程学、认知心理学及眼动追踪等技术的发展, 安全信息设计逐渐从“形式合规”转向“认知适配”。特别是在“四知卡”这一新兴安全管理工具的推广应用中, 如何通过科学设计提升其信息传达效率与应急响应能力, 成为当前研究的热点议题。本文将从人因工程视角出发, 系统梳理相关研究成果, 提出具有实践意义的设计优化建议^[1]。

一、我国化工厂安全信息设计研究的重要性

化工厂安全信息设计是化工安全管理的关键组成部分, 对事故预防和工人安全意识的提升具有深远意义。在国家层面, 化工行业的安全生产受到高度重视, 多项政策文件为安全信息设计的

研究与实践提供了有力支持。例如, 《“十四五”国家安全生产规划》明确提出, 要加快推进安全生产的信息化与智能化建设, 并推动高危企业建立以风险分级管控和隐患排查治理为核心的双重预防机制。这些政策导向进一步强化了安全信息设计在系统性风险管理中的基础性作用。

基金项目: 第十六届研究生创新基金项目“人因工程视角下的化工厂安全四知卡设计优化研究”(项目编号: CX2024216)。此论文由武汉工程大学研究生基金资助。

作者简介:

第一作者: 方长青(2000—), 女, 回族, 湖北省随州人, 工学学士, 单位: 武汉工程大学, 研究方向: 信息交互与智能设计。

通讯作者: 方浩(1975—), 男, 汉族, 湖北武汉人, 教授, 博士生导师, 单位: 武汉工程大学, 研究方向: VR创意工程、人智交互设计、位置导航信息设计。

然而，随着科技的发展和工人需求的日益提高，传统的安全信息设计方式已难以适应现代化工企业的要求。当前问题主要体现在三个方面：一是信息呈现方式较为单一，缺乏针对不同场景和人群的适应性；二是个体认知差异未被充分重视，导致信息传达效果有限；三是缺乏科学系统的评估手段，使得设计优化缺乏依据与方向。这些问题的存在，使得化工安全信息在实际应用中的效果受到制约，亟需引入先进的设计理念及技术手段，以全面提升安全信息的表达效率和接受度。

二、我国化工厂安全信息设计研究现状分析

通过对中国知网学术文献的检索分析，发现目前化工厂安全信息设计研究主要集中在五个方面：风险感知、人因工程、安全管理、认知负荷研究及眼动技术。这些研究为安全信息设计提供了理论基础和方法支持，但仍存在系统性不足的问题。

（一）风险感知背景下的安全信息设计研究

风险感知是化工安全管理的核心环节，它指的是工人对生产过程中潜在危险的主观认识与评估。研究表明，工人的风险感知水平受到个体心理状态、认知偏见、工作环境以及组织文化等多重因素的综合影响，这一领域在安全科学与灾害防治文献中占有较高比重，充分体现了其重要性及复杂性。具体而言，在心理与环境因素方面，情绪、认知偏见和环境压力源均对风险感知具有显著影响。例如，陈启慧的研究发现，情绪类型虽在一般情况下对风险知觉的主效应不显著，但在特定情境下会与知觉对象产生交互作用；而 Slovic 所提出的“乐观偏见”与“可得性启发式”理论，则从认知机制层面解释了工人为何常常低估实际风险。为提升风险感知效果，必须重视风险沟通的优化。当前化工厂中普遍存在信息复杂、工人素养不一、沟通方式单一等问题，传统的安全公告和应急演练常因信息过载或形式僵化而效果有限。李斌提出的“六级危险源识别法”与“危险工艺边界提取”模型，强调应在系统设计阶段就嵌入风险沟通机制，为从源头改善风险信息传递提供了值得借鉴的思路^[2-3]。

（二）人因工程在安全信息设计中的应用

人因工程在化工安全信息设计中的应用也日益受到重视。该学科强调以人为中心，关注人的生理、心理特性及其与系统、环境的互动关系，旨在提升安全信息的可读性、易懂性与可操作性。在人为因素影响机制方面，Reason 的“瑞士奶酪模型”指出，事故的发生往往源于系统多层防线中存在的人为漏洞；薛津津的研究进一步明确，人的不安全行为是化工事故的主要诱因，需从个体行为与组织管理两个层面进行系统分析。

基于上述认识，以人为本的设计理念被明确提出，主张从用户的认知特征出发，系统性优化信息结构、呈现方式与交互逻辑。金晶的实验研究发现，安全标志中使用的信号词可显著影响个体的注意分配与情绪反应；同时，简化风险信息被证实有助于提升工人的记忆准确率并减少误操作。这些研究成果共同表明，将人因工程原则深入融入安全信息设计，是提升整体风险防控能力的有效路径。

（三）安全信息设计中的认知负荷研究

认知负荷理论强调通过优化任务流程与信息呈现方式，以提升任务完成的效率。研究表明，合理的信息设计应致力于减轻外部认知负荷，从而使学习者能够将更多认知资源集中于内在负荷，即对内容本身的理解与吸收。在影响因素方面，信息设计的质量尤为关键：清晰且逻辑连贯的组织结构有助于学习者更轻松地掌握知识，而运用图表、流程图等可视化工具呈现复杂信息，则能帮助其快速把握信息间的关联，有效降低认知压力。在化工厂安全信息设计的具体应用中，需通过系统优化信息表达来管理认知负荷。可行的策略包括控制信息总量、突出关键内容，并采用图文结合与色彩编码等方式增强可读性。需要强调的是，相关研究指出，恰当运用颜色线索能够引导注意力，但过度使用反而可能增加认知负担，因此设计中需把握适度原则^[4-5]。

（四）安全管理工具的设计与标准化应用

安全管理工具是化工企业安全信息设计成果的重要体现，其中“四知卡”作为一种具有代表性的工具，通过“知责、知规、知险、知措”四个模块，系统性地帮助员工掌握关键安全信息，有效提升安全意识与应急响应能力。该制度最早源于化工行业对安全生产的实践需求。2017年湖北某化工企业发生较大窒息事故后，湖北省应急管理厅开始倡导在大型国有企业中探索推进“四知卡”建设；至2024年，该厅进一步在“12345”管理办法中明确将“四知卡”作为全员安全管理的核心内容之一。四知卡具体包括岗位安全生产责任卡、岗位操作规程卡、岗位风险辨识卡和岗位应急处置卡，形成从职责明确、规范操作到风险防控与应急响应的全链条闭环管理。在实际应用中，企业通常通过班前培训、现场张贴和动态更新等方式推动四知卡落地，使其成为岗位安全提醒与应急指导的重要载体。邓莉等在湖北地区的调研表明，四知卡的推广显著提升了员工的风险识别与应急反应速度。

在安全管理文献中，安全标识与化工厂相关研究占有较高比重，而四知卡作为安全告知工具的深化形式，因其岗位针对性、内容系统性与携带便利性，在实践中显示出降低事故概率的积极效果。然而，当前四知卡的设计仍较多依赖个人经验与既有设计规律，其理念主要围绕清晰易懂、标准化与合规性、视觉冲击力、环境适应性以及个性化等方面展开。尽管现有设计在信息传达、视觉效果与环境适配方面表现良好，但多数仍停留在视觉层面，对使用者的视觉感受、认知负荷及具体作业情境等因素的系统考量仍显不足，这在一定程度上影响了其在复杂场景中的可用性^[6]。

因此，将人的因素纳入四知卡设计体系，开展以认知研究为基础的系统优化与评估，已成为提升其实际效能的必然方向。未来有必要加强对四知卡设计过程中用户阅读习惯、信息理解路径与情境适配性的研究，推动其从“视觉传达”向“认知支持”转型，逐步实现安全信息工具的真正人性化与高效化^[7]。

（五）眼动技术与安全信息可视化研究

眼动技术为安全信息设计的科学优化提供了关键的数据支持与客观依据。通过追踪和分析工人在观看安全信息时的视觉轨迹与注意力分布，设计者能够准确识别哪些元素最能吸引注意，从

而科学调整关键内容的优先级与呈现方式。现有研究已积累了大量关于安全视觉行为的成果。例如，Holmqvist 等人指出，在化工场景中，动态图标相较于静态文字更能吸引视线，并能更持久地维持工人的视觉注意力。李思宇的眼动实验进一步发现，不同颜色与形状的安全标识在视觉搜索效率上存在显著差异，其中红黄组合在高风险情境下识别速度最快，这为信息视觉层级的科学设计提供了重要参考。

在风险信息的表现形式上，研究提出了多种优化策略。Wogalter 等人强调，“信号词+图标+颜色”的三元组合能产生最强的警示效果，例如在红色背景上配合火焰图标与“危险”文字，可在瞬间传递明确的风险信号。Chauhan 等则指出，动态显示技术不仅能增强信息的吸引力，还可提升工人的记忆保持度和行为引导效能。这些发现可直接应用于“四知卡”等安全工具的改进：通过眼动数据优化其信息布局与层级，将关键风险提示置于视觉热点区域；并可在未来引入电子墨水屏、二维码链接或 AR 互动等技术，实现内容动态更新与多层信息展示，从而在紧急情况下显著提升风险信息的获取效率与工具的整体实用性。

三、化工厂安全信息设计启示

综上所述，化工厂安全展示信息的设计与评价需要大量的认知实验验证。人因工程学实验通过更加科学严谨的方法研究四知

卡的设计和应用过程，研究安全信息管理中人的因素，为实现以人为本的安全信息设计提供重要根据。人因工程学研究综合了大量的心理学、设计学、可用性工程等实验方法，取得了不少研究成果，为现代安全信息的认知和可用性研究提供了方法指导。但目前，在安全信息设计研究中，研究者大多简单的认知实验或采用问卷调查的方式探寻信息设计原则和呈现规律，研究结果的可重复性较差、客观性不高。虽然也有部分研究开始使用诸如眼动等更为有效的形式，但相对于安全信息设计要素的研究，该方面的成果还都比较零散，没有形成完整的体系^[8-10]。

四知卡是化工厂安全管理的重要衡量因素，目前安全信息设计研究大多聚焦于安全标识的设计，并无文章对于安全告知牌较为系统的研究，因此研究四知卡不同呈现形式与特殊场景下认知特性对于阅读效果的影响，对于安全信息设计的认知研究具有重要意义。另外，认知负荷是在日常培训过程中重要的因素，根据相关研究，认知负荷会对人的决策产生影响。但在目前研究中，较少将认知负荷引入设计中。本研究从人因工程学视角，探究不同信息设计形式对于认知负荷和决策的影响，进而基于研究结论提出四知卡设计原则。基于以上研究本文提出研究假设：基于人因工程学设计原则设计的四知卡能有效降低工作人员的认知负荷和提升应急响应时间。

参考文献

[1] 冷家文. 化工工艺安全设计中风险因素识别与控制 [J]. 浙江化工, 2023, 54(10): 33-36.

[2] 周璐, 孔繁昌, 周宗奎. 认知风格和情绪调节策略对风险决策的影响 [A] 第二十四届全国心理学学术会议摘要集 [C]. 中国心理学会, 中国心理学会, 2022: 3.

[3] 李斌. 化工工艺设计风险的防范措施 [J]. 化工设计通讯, 2020, 46(01): 75+242.

[4] 王东, 巴建磊. 人为因素对化工生产过程安全的影响 [J]. 化工管理, 2024, (08): 93-96.

[5] 苏文盛. 基于人因工效学原则的安全标志设计研究 [D]. 华南理工大学, 2021.

[6] 杨晓楠, 房浩楠, 李建国等. 智能制造中的人-信息-物理系统协同的人因工程 [J]. 中国机械工程, 2023, 34(14): 1710-1722+1740.

[7] 丁慧哲, 侯玮, 秦洪利, 魏利娜. 事故案例展示方式和发展阶段对认知的影响研究 [J]. 安全与环境学报, 2023, 23(11): 4082-4088.

[8] 郑霞忠, 王毓, 陈云, 张蒙, 何双岸. 建筑施工安全培训信息呈现方式学习效果评价 [J]. 中国安全科学学报, 2023, 33(05): 96-102.

[9] 蔡耀庆. 平面设计中视觉元素对信息传递的影响及优化策略 [J]. 上海服饰, 2024, (05): 183-185.

[10] 邓莉, 袁俊. 将安全监管会“搬进”企业生产现场省应急管理厅推进工贸企业“四知卡”和信息化建设 [J]. 湖北应急管理, 2024, (05): 40-41.