Service Science and Management 服务科学和管理, 2025, 14(5), 590-595
Published Online September 2025 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/ssem
https://doi.org/10.12677/ssem.2025.145071

Hans汉斯

基于工程设计理论的安全检测装备开发与创新路径分析

王金会[1]，何冠荣[1]，龚霖传[1]，罗维长[2*]

[1]南宁学院智能制造学院，广西 南宁
[2]南宁学院创新创业教育学院，广西 南宁

收稿日期：2025年8月1日；录用日期：2025年8月25日；发布日期：2025年9月1日

摘 要

本文针对基于工程设计理论的安全检测装备的研发与创新进行了研究。安全工作刻不容缓，其安全检测装备首当其冲。本文通过探讨工程设计理论在安全检测装备研发中的应用，通过案例分析与文献分析，对其创新路径进行研究，发现系统工程理论、工业设计理论等可应用于装备的设计，提高功能、结构与用户体验，多学科综合、人工智能等是创新的新方向、新趋势，为研发安全检测装备提供理论指导，为安全工作的开展提供技术帮助。

关键词

工程设计理论，安全检测装备，创新路径，安全

Exploring the Development and Innovation Path of Safety Detection Equipment through Engineering Design Theory

Jinhui Wang[1], Guanrong He[1], Linchuan Gong[1], Weizhang Luo[2*]

[1]School of Intelligent Manufacturing, Nanning University, Nanning Guangxi
[2]School of Innovation and Entrepreneurship Education, Nanning University, Nanning Guangxi

Received: Aug. 1st, 2025; accepted: Aug. 25th, 2025; published: Sep. 1st, 2025

Abstract

This paper focuses on the research and innovation of safety detection equipment based on engi-

*通讯作者。

文章引用: 王金会, 何冠荣, 龚霖传, 罗维长. 基于工程设计理论的安全检测装备开发与创新路径分析[J]. 服务科学和管理, 2025, 14(5): 590-595. DOI: 10.12677/ssem.2025.145071

neering design theory. In light of the urgent need for enhanced safety measures, the development of safety detection equipment is of paramount importance. By exploring the application of engineering design theory in the development of such equipment through case studies and literature analysis, this study examines innovative pathways. It finds that systems engineering theory, industrial design theory, and other approaches can be effectively applied to optimize the equipment's functionality, structure, and user experience. Multidisciplinary integration and artificial intelligence are identified as emerging directions and trends in innovation, providing theoretical guidance for the development of safety detection equipment and technical support for the advancement of safety efforts.

Keywords

Engineering Design Theory, Safety Detection Equipment, Innovation Path, Safety

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

1. 引言

世界范围内的安全问题威胁着社会稳定、经济发展和人民健康。安全检测设备作为安全行动中的重要组成部分，其性能直接决定了安全检测的精度和效率。随着技术的发展，工程设计理论为安全检测装备的研发提供了系统化、人本化的新视角。然而，当前研究多聚焦于理论的应用表象，缺乏对工程设计理论与安全检测装备核心挑战之间深层次适配逻辑及潜在局限性的探讨。同时，创新路径的提出往往失之空泛，可操作性指导不足。鉴于此，本研究旨在：深入剖析工程设计理论在安全检测装备开发中的适用性、作用机制及边界条件。通过深度案例分析，提炼可复用的设计经验与教训。提出并细化具备可操作性的创新路径及评估维度，以期弥补现有研究的不足，为装备的升级与创新提供更具价值的理论支撑与实践指南。

2. 文献综述

2.1. 工程设计理论及其在安全检测装备领域的适用性探讨

工程设计理论为复杂产品的开发提供了系统性框架。系统工程理论强调整体优化与集成，其层级分解、接口管理、可靠性设计等核心方法，尤其适用于解决安全检测装备多模块协同带来的复杂性问题，确保系统鲁棒性[1]。工业设计理论聚焦用户与产品的交互，其用户中心设计原则和情感化设计理念，对提升现场操作人员在高压、复杂环境下的操作效率、减少误操作、增强设备接受度至关重要[2]。人机工程学则直接关乎操作安全性与舒适性，其关于人体尺度、认知负荷、环境适配的研究，是设计便携、易用、长时间作业友好型检测装备的基础[3]。

然而，理论应用于安全检测装备亦存在挑战：一是，系统工程的高度结构化可能牺牲快速迭代能力，难以适应检测技术的飞速发展。二是，工业设计对美学与体验的追求可能增加成本或与极端环境的硬性要求冲突。三是，人机工程学标准在不同用户群体和操作场景间差异显著，需高度定制化。深入理解这些理论的适用性与局限性，是有效指导安全检测装备开发的前提。

2.2. 安全检测装备研究现状与发展趋势

现有装备面临的核心挑战包括：检测准确性受基质效应干扰显著；现场快速检测设备的灵敏度和通

量难以平衡，智能化辅助决策能力弱；人机交互复杂，尤其对非专业用户学习曲线陡峭；恶劣环境下的可靠性与便携性矛盾突出。

近年来研究趋势聚焦于多技术融合微流控芯片集成多种预处理与检测单元，提升 POCT 性能。人工智能赋能机器学习用于光谱和色谱图谱解析、异常检测、结果判读，显著提升准确性与自动化水平。新材料与新传感机制，纳米材料、生物传感器提升检测限与特异性。物联网与云平台实现远程监控、数据管理与分析[4]。

2.3. 工程设计理论在检测设备领域的应用案例与启示

除血糖仪外，新型食品安全现场快检仪的设计深度融合了工业设计与系统工程。其模块化设计允许灵活更换检测靶标模块，符合人体工效学的握持造型与防滑设计提升野外操作的稳定性。极简交互界面与语音引导大幅降低操作门槛[5]。反观某些早期便携式环境监测仪，过度追求功能堆砌，导致界面混乱和操作繁琐，最终用户接受度低、故障率高。通过正反案例深刻揭示，成功的设计必须系统性地应用工程设计理论，并紧密结合特定领域的核心需求，任何环节的短板都可能制约整体效能[6]。

3. 研究方法

3.1. 文献研究法

研究主要通过国内外文献调研工程设计理论研究情况、安全检测装备技术和研究现状、专利文献等检索方式来进行资料搜集，通过文献分析研读，了解工程设计理论在安全检测装备设计中的应用、存在问题及研究前景，以此作为论文研究工作的理论基础和借鉴。

3.2. 案例分析法

通过案例分析法对案例中工程设计理论应用细节、量化效果、成功要素及失败教训的深度挖掘与跨案例对比。跨学科研究法将聚焦于寻找理论交叉点并评估其协同效应。

3.3. 跨学科研究法

研究运用工程设计各学科知识，从系统工程、工业设计、人机工程学、化学、生物学、电子学等方面，交叉运用系统工程、人机工程学、化学、生物医药学等学科知识对安全检测装备进行多学科的开发与创新，寻找跨学科的新途径，突破常规安全检测装备开发思路的束缚。

4. 基于工程设计理论的安全检测装备开发分析

4.1. 系统工程理论在安全检测装备开发中的应用

对于研发安全探测装备而言，在系统工程理论指导下首先需要对装备的功能需求进行系统分析，通过对污水安全检测系统分析，发现其功能需求为检测污水安全种类、浓度、实时传输数据、数据处理、数据分析等。

研究依据功能的不同需求将装备划分为不同的子系统，如传统的功能模块、采样采集模块、传输模块和数据分析模块等，在此基础上对各个子系统的设计进行了优化，确保各子系统之间相互配合。其中对于检测模块的设计通过大量研究，找出了正确的检测技术、检测传感器，确保检测准确率、灵敏度。数据传输模块则运用了 5G 通信技术传输数据，比传统数据传输速度更快 80%，传输稳定性更高等。

研究利用系统工程的方法对装备可靠性和可维修性进行设计，利用冗余设计、失效诊断法等方法来提高装备可靠性，设计易拆卸、易更换的零件结构以便于维修、维护，从而降低装备使用成本。系统工

程方法显著提升了系统的集成度和可靠性，但其前期复杂的需求分析与架构设计可能延长开发周期，在技术快速迭代的检测领域需寻求敏捷开发与系统严谨性的平衡点。

4.2. 工业设计理论在安全检测装备外观与功能设计中的体现

工业设计理论重视安全查缉设备的外观设计，在设备造型设计上追求美观大方和实用，从现场快速检测试纸的角度来讲，设计大量的实验进行试纸色彩、纹饰设计使其外观醒目、方便识别、易于保存。在设备整体造型设计上，从场景、用户的角度出发，采用干净、简洁、流畅的线条，使设备更具有时代感和亲和力。

在操作设计上，工业设计理论倡导简化操作步骤，易于操作，本研究在此理论基础上，在对新型尿液检测仪的设计上，采用一体化的操作界面，集采集样本－开始检测－结果显示等步骤于一体，在操作步骤上简化，减少了操作难度，运用了人体工程学原理，设计出宜人化的手持操作器型，易掌握。工业设计极大提升了设备的可用性和用户满意度，但在成本敏感或极端环境优先的应用中，美学诉求可能需要适度妥协于功能坚固性和成本控制。

4.3. 人机工程学在安全检测装备操作便利性上的考量

人机工程学对安全检测装备的应用主要体现在操作的便利性。针对需要人工操作的安全检测装备，通过实验室色谱分析仪进行试验，色谱分析仪可以根据使用者身高、臂长、视力等人体生理参数设计操作高度、布局、显示界面等。

针对人机工程学方面的诸多分析，将常用操作按钮设计在人手可及的位置，大尺寸、高对比度屏幕易于操作人员读取数据信息，同时考虑到操作人员长时间工作的疲劳感，对设备座椅进行优化设计，具有良好的腰背部支撑和腿部活动空间。在设备交互界面上进行设计，采用简单易懂的图标和操作提示，降低操作人员的学习成本，提高操作的效率和准确率。人机工程学优化是提升操作效率和安全性的基石，但针对高度差异化用户，“一刀切”的设计难以满足所有需求，模块化或可配置界面是潜在解决方案。

5. 安全检测装备的创新路径分析

5.1. 多学科融合推动技术创新

多学科交叉融合是安全检测装备发展的新方向，本文将纳米技术与免疫分析技术相结合，开发高灵敏度、高特异性的纳米免疫传感器，能够更灵敏地实现痕量安全的检测，结合微流控技术可快速处理分析样品，提高检测速度，节约样品用量[7]。

人工智能技术也广泛地应用到了安全检测设备之中，文章通过机器学习算法，对海量的安全检测数据进行学习，学习检测出安全的学习模型，对检测结果进行智能性的判定分析，提高检测结果的准确可靠性。通过深度学习算法对色谱检测图进行识别分析，自动判断出检测安全的种类和含量[8]。

5.2. 智能化发展提升检测效率与准确性

智能化是安全检测装备创新核心，开发了自动检测、自动数据分析、远程监控的安全检测装备，实现了安全检测的自动化、智能化。开展基于物联网技术的安全检测系统研究，实时监控检测结果，采用云平台方式对检测数据进行分析处理，管理人员可以在 PC 电脑端、手机远程查看检测结果和设备数据，及时发现异常处理。

在智能化的基础上，也应用智能诊断的方法，对设备工作状态进行实时诊断、故障诊断，提前预测设备工作状态，保障检测工作的顺利推进。试验采用大数据对安全检测数据进行数据挖掘，为安全决策

工作提供参考，通过安全的滥用情况、安全检测区域情况等方面的分析助力相关部门进行有效的安全措施部署[9]。

5.3. 用户需求导向优化装备设计

用户需求为导向进行安全检测装备创新的重要原则，在开发过程中，深入了解不同用户的需求，走访调研基层安全民警、实验室检测人员、社区安全康复人员等。针对基层安全民警对现场快速检测设备的需要，开发出方便使用、便携、快速操作的设备。针对实验室检测人员对现场安全检测装备的需要，开发出检测准确、稳定、可拓展的安全检测装备。针对社区安全工作人员对现场快速检测设备的需求，开发出可居家使用、动态检测安全人员康复情况的现场安全检测装备。

结合用户调查及用户意见不断对装备进行完善设计、功能优化。根据基层一线安全民警的使用意见，在一线现场快速检测装备中设计语音提示功能，方便嘈杂环境使用。根据实验室检测人员需求意见，对接口设计进行完善，方便与其它实验室设备衔接。

6. 案例分析

6.1. 案例深度剖析：某新型污水安全监测系统

系统严格遵循系统工程方法进行层级分解与接口定义。工业设计确保了户外机柜的防护等级(IP65)、醒目标识和简洁造型。人机工程学优化了室内监控终端的操作台高度、屏幕视角及常用控件布局。

采用色谱－质谱联用及在线固相萃取技术，关键滥用物质检测限达到 ng/L 级，较传统方法提升 1 个数量级。集成 5G 与边缘计算，数据上报延迟<2 秒，满足实时监控需求。基于大数据平台的智能分析模块，对区域滥用趋势的预测准确率较人工研判提升约 30%。模块化设计使传感器更换时间缩短至 15 分钟，维护效率提升 40%。环保部门用户评价系统稳定性高，相关部门用户认为趋势预警功能对资源调配有显著指导价值。

6.2. 跨案例对比与经验教训总结

选取一个侧重“单一技术高性能”但忽视系统工程和用户体验的食品安全检测设备案例进行对比。

对比分析污水系统综合应用三大理论，侧重技术忽视系统集成和工业人机设计。系统综合性能优，用户满意度高，推广性好。设备技术指标突出，但现场适用性差，用户接受度低。

顶层系统设计是基础，保障稳定与可维护。多学科技术融合与智能化是效能倍增器，以用户及使用场景为中心的设计是落地关键。

6.3. 案例的普适性借鉴与行业启示

通过案例成功验证了系统工程确保基础、多学科融合与智能化提升上限、用户导向保障落地这一路径的有效性。

工程设计理论需协同应用，不可偏废。量化指标是评估设计成功与否的核心，创新需平衡技术先进性与工程可行性、用户可接受度。其经验可推广至各类需兼顾现场适应性、准确性及用户多样性的安全检测装备开发，如大气污染物监测、爆炸物痕量检测、生物战剂快检等。开发者在借鉴时，需结合自身产品的具体检测对象、使用环境和目标用户，对上述路径进行适配性调整，并设定明确的评估基准。

7. 结论

通过工程设计理论在安全检测装备开发中具有不可或缺的作用，但其应用需深入理解其与装备核心

特性的内在适配逻辑与潜在冲突。系统工程是稳定性的基石，工业设计优化人机交互，人机工程学保障操作效能，三者协同方能发挥最大效益，但也需警惕结构化对敏捷性的制约、美学、成本和环境的权衡以及用户差异化的挑战。

深度、量化的案例分析有力证明，成功的设计源于理论的系统性应用、多学科技术的有效融合、智能化水平的提升以及对用户需求的精准把握。失败案例则警示忽视系统集成、过度追求单一指标或脱离用户场景的危害。

基金项目

本文系 2024 年度广西大学生创新创业训练计划项目“智禁护盾——科技护航，为社会筑起安全无毒防线！”(2024XLJH1196)。

参考文献

[1] 钱学森. 工程控制论[M]. 第 3 版. 北京: 科学出版社, 2011.

[2] 唐纳德·A·诺曼. 设计心理学[M]. 北京: 中信出版社, 2010.

[3] 王继成. 人机工程学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.

[4] 梁萌, 戴勇, 陈晨, 张军. 高速研磨-固相微萃取-LC-MS 测定毛发中苯丙胺类、氯胺酮及其代谢物[J]. 法医学研究, 2021, 6(4): 273-280.

[5] (英)彼得·奥格罗德尼克. 医疗器械设计: 从概念到上市[M]. 第 2 版. 左针冰, 等, 译. 北京: 机械工业出版社, 2025.

[6] Li, T.X., Li, Z.Y., Wang, L., *et al*. (2024) Reproducible, Accurate, and Sensitive Food Toxin On-Site Detection with Carbon Nanotube Transistor Biosensors. *ACS Nano*, **18**, 26891-26901. https://doi.org/10.1021/acsnano.4c08323

[7] Zhang, S., *et al*. (2024) Research on Single-Molecule Detection Technology of DNA-Protein Interaction in Microfluidic System. Project Supported by the National Natural Science Foundation of China.

[8] Lu, Y.F., Li. X., Yun, L., *et al*. (2023) Machine Learning Algorithms for Intelligent Decision Recognition and Quantification of Cr(III) in Chromium Speciation. *Analytical Chemistry*, **95**, 18635-18643.

[9] 张梦茜, 王超. 大数据驱动的重大公共安全风险治理: 内在逻辑与模式构建[J]. 甘肃行政学院学报, 2020(4): 37-45+125.