



科技创新与工程

Technological Innovation and Engineering

Volume 2 Issue 7 July 2025 ISSN 3060-8996(Print) 3060-8988(Online)



Nanyang Academy of Sciences Pte. Ltd.
Tel.: +65 62233839
E-mail: contact@nassg.org
Add.: 12 Eu Tong Sen Street #07-169 Singapore 059819



科技创新与工程

Technological Innovation and Engineering

Volume 2 · Issue 7 · July 2025 · ISSN 3060-8996(Print) 3060-8988(Online)



中文刊名：科技创新与工程

ISSN：3060-8996（纸质）3060-8988（网络）

出版语言：华文

期刊网址：<http://journals.nassg.org/index.php/tie-cn>

出版社名称：新加坡南洋科学院

Serial Title: Technological Innovation and Engineering

ISSN: 3060-8996 (Print) 3060-8988 (Online)

Language: Chinese

URL: <http://journals.nassg.org/index.php/tie-cn>

Publisher: Nan Yang Academy of Sciences Pte. Ltd.

《科技创新与工程》征稿函

期刊概况：

中文刊名：科技创新与工程

ISSN：3060—8996（Print） 3060—8988（Online）

出版语言：华文刊

期刊网址：<http://journals.nassg.org/index.php/tie-cn>

出版社名称：新加坡南洋科学院

出版格式要求：

- 稿件格式：Microsoft Word

· 稿件长度：字符数（计空格）4500以上；图表核算200字符

· 测量单位：国际单位

· 论文出版格式：Adobe PDF

· 参考文献：温哥华体例

出刊及存档：

- 电子版出刊（公司期刊网页上）

· 纸质版出刊

· 出版社进行期刊存档

· 新加坡图书馆存档

· 谷歌学术（Google Scholar）等数据库收录

· 文章能够在数据库进行网上检索

作者权益：

- 期刊为 OA 期刊，但作者拥有文章的版权；

· 所发表文章能够被分享、再次使用并免费归档；

· 以开放获取为指导方针，期刊将成为极具影响力的国际期刊；

· 为作者提供即时审稿服务，即在确保文字质量最优的前提下，在最短时间内完成审稿流程。

评审过程：

编辑部和主编根据期刊的收录范围，组织编委团队中同领域的专家评审员对文章进行评审，并选取专业的高质量稿件进行编辑、校对、排版、刊登，提供高效、快捷、专业的出版平台。

Database Inclusion



Google Scholar



Crossref



China National Knowledge Infrastructure

版权声明/Copyright

南洋科学院出版的电子版和纸质版等文章和其他辅助材料，除另作说明外，作者有权依据Creative Commons国际署名—非商业使用4.0版权对于引用、评价及其他方面的要求，对文章进行公开使用、改编和处理。读者在分享及采用本刊文章时，必须注明原文作者及出处，并标注对本刊文章所进行的修改。关于本刊文章版权的最终解释权归南洋科学院所有。

All articles and any accompanying materials published by NASS Publishing on any media (e.g. online, print etc.), unless otherwise indicated, are licensed by the respective author(s) for public use, adaptation and distribution but subjected to appropriate citation, crediting of the original source and other requirements in accordance with the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) license. In terms of sharing and using the article(s) of this journal, user(s) must mark the author(s) information and attribution, as well as modification of the article(s). NASS Publishing reserves the final interpretation of the copyright of the article(s) in this journal.

Nanyang Academy of Sciences Pte. Ltd.

12 Eu Tong Sen Street #07-169 Singapore 059819

Email: info@nassg.org

Tel: +65-65881289

Website: <http://www.nassg.org>



科技创新与工程

Technological Innovation and Engineering

Volume 2 Issue 7 July 2025
ISSN 3060-8996 (Print) 3060-8988 (Online)

主 编

康继军

Jijun Kang

编 委

刘 敏 Min Liu

龚勤林 Qinlin Gong

陈 升 Sheng Chen

包 艳 Yan Bao

夏旭东 Xudong Xia

1	智能化技术在煤矿通风安全中的应用分析 / 李成 王澍沛	27	基于“分解 - 预测 - 聚合”及 GA 优化的碳价格预测方法研究 / 李晶磊
4	消防员火场应急决策能力培养方法研究 / 颜明俊	31	新能源汽车转毂测试台发展趋势 / 谢博
7	胶体金快检技术在食品安全的应用 / 陈亮宇	35	食品检测中的光谱技术应用研究进展 / 赵峰峰 姚庆华
10	基于大数据分析的汽车研发过程设计预防研究 / 朱云凌	38	十万分之一天平的使用与维护研究 / 晏斌
13	基于智能控制的自适应树木涂白装备研制与性能分析 / 韩晓丽 郑丙超 汤明超	42	食品检验质量的影响因素及优化对策探析 / 付建尧
17	基于中继站平台的森林应急救援领域无人机结构与外观效能优化研究 / 樊世龙 张琪	45	探讨 PVC 人造革在汽车座椅中的运用 / 苏扬
21	大数据技术下食品安全检验检测评估体系的构建策略分析 / 陈雪霞 浦绍飞 贾巧莉 解粉莲 和玉玲	48	汽车维修中智能化检测设备的应用研究 / 王海平
24	立体智能萎凋装备在茶叶加工中的应用与产业化发展 / 荆毅	51	冶金化工设备维护与管理策略分析 / 魏广志 靳宏霞 赵海营 魏亦然

1	Analysis on the application of intelligent technology in coal mine ventilation safety / Cheng Li Shupe Wang	27	Research on Carbon Price Prediction Method Based on Decomposition-Prediction-Aggregation and Genetic Algorithm (GA) Optimization / Jinglei Li
4	Research on Methods for Cultivating Firefighters' Emergency Decision-Making Abilities in Fire Situations / Mingjun Yan	31	Development Trends of Roller Brake Tester for New Energy Vehicles / Bo Xie
7	Application of Colloidal Gold Rapid Detection Technology in Food Safety / Liangyu Chen	35	Research progress of spectral technology application in food testing / Fengfeng Zhao Qinghua Yao
10	Research on the Design and Prevention of Automotive R&D Process Based on Big Data Analysis / Yunling Zhu	38	Research on the use and maintenance of one in 100,000 balance / Bin Yan
13	Development and Performance Analysis of Adaptive Tree Whitewashing Equipment Based on Intelligent Control / Xiaoli Han ¹ Bingchao Zheng ¹ Mingchao Tang ²	42	Analysis of influencing factors and optimization strategies of food inspection quality / Jianyao Fu
17	Research on Structural and Aesthetic Optimization of Drones for Forest Emergency Rescue Based on Relay Station Platform / Shilong Fan Qi Zhang	45	Discussion on the application of PVC artificial leather in automobile seats / Yang Su
21	Analysis of Construction Strategies for Food Safety Inspection and Evaluation Systems under Big Data Technology / Xuexia Chen Shaofei Pu Qiaoli Jia Fenlian Xie Yuling He	48	Application research of intelligent detection equipment in automobile maintenance / Haiping Wang
24	Application and Industrial Development of Three-Dimensional Intelligent Wilting Equipment in Tea Processing / Yi Jing	51	Analysis of Maintenance and Management Strategies for Metallurgical and Chemical Equipment / Guangzhi Wei Hongxia Jin Haiying Zhao Yiran Wei

Analysis on the application of intelligent technology in coal mine ventilation safety

Cheng Li Shupe Wang

Kexin Coal Industry Co., Ltd., Kexin City, Aksu, Xinjiang, 842000, China

Abstract

Ensuring the safety of coal mine workers and maintaining normal production is the top priority in coal mine ventilation safety. As the depth and difficulty of coal mining increase, the management of coal mine ventilation safety has gradually revealed several shortcomings, including monitoring blind spots, delayed warnings, and high energy consumption. The integration of intelligent technology provides crucial technical support for coal mine ventilation safety management. This paper explores the impact of intelligent technology on coal mine ventilation safety by examining its application value. It focuses on the role of high-precision sensors, wireless sensor networks, big data processing, and automatic control systems in coal mine ventilation safety management, aiming to provide theoretical and technical support for coal mine safety management.

Keywords

intelligent technology; coal mine ventilation; safety management; application

智能化技术在煤矿通风安全中的应用分析

李成 王淑沛

库车市科兴煤炭实业有限责任公司, 中国·新疆阿克苏 842000

摘 要

煤矿通风安全是确保煤矿工人生命安全和煤矿正常生产的头号工作。煤矿开采深度和难度加大导致煤矿通风安全管理逐步暴露出监测盲点多、预警迟滞、能耗高等短板, 智能化技术的加入为煤矿通风安全管理工作提供重要的技术支持。本文通过研究智能化技术的应用价值对煤矿通风安全的影响, 立足当前煤矿通风安全的现状, 对智能化技术中涉及的高精度传感器、无线传感器网、大数据处理及自动控制系统等在煤矿通风安全管理中的作用进行了重点研究, 从而达到为煤矿安全管理工作提供理论支撑和技术支持的目的。

关键词

智能化技术; 煤矿通风; 安全管理; 应用

1 引言

煤矿通风是煤矿安全生产的核心技术之一, 其根本目的是为矿井的掘进巷道提供足够多的空气量, 稀释和排除有毒气体, 并降低瓦斯爆炸、粉尘爆炸和中毒等事故发生率。传统通风安全管理依靠人工巡查和定点固定监测, 对煤矿井下有害气体环境变化不具有全面、实时、动态监测和快速应急功能。随着煤矿开采逐步走向深部, 通风条件日益复杂, 且危及因素日益突出, 传统的通风安全管理方法弊端暴露。传感技术、无线通信、大数据分析 with 自动化控制等智能科学技术的进步, 使煤矿通风安全问题迎来转机, 其先进的技术手段和装备提高了煤矿井下通风监测的精准度和快速化程度, 对风量进行动态调控及有效节能, 并优化井下通风

系统的管控、降低安全事故发生率, 为矿工提供一个更加安全和舒适的环境。

2 智能化技术在煤矿通风安全中的应用价值

2.1 提升实时监测能力, 消除监测盲区

现有煤矿通风监控设备多为固定设备安装方式, 由此可以看出这种方式确实存在很大的缺点, 比如对于矿井复杂地形部分, 由于地形复杂, 有些部位往往无法有效地监控到, 所以这就造成了监控的死角, 对于深部矿井或偏僻角度, 由于布点布线困难, 没有实时数据的支持, 对井下通风情况的分析掌握则不够完善和及时。而采用智能化技术, 可以很好地对此问题进行彻底解决^[1,2]。

2.2 实现预警机制, 降低安全事故风险

矿井通风的安全管理直接关系到矿工人身安全和矿井的安全生产, 基于经验的传统安全管理过程需要人工巡查、分析, 在很多情况下无法及时发现、不能有效排除事故隐患。

【作者简介】李成 (1987-), 男, 中国河南永城人, 本科, 工程师, 从事煤矿通风安全研究。

而当前人工智能和大数据分析、机器学习能够对海量的数据进行深度挖掘、有效分析,挖掘异常变化,从而及时进行超前判断,建立多元因素的综合模型,对瓦斯突变、风压突变等事故因素进行有效判断和异常预警。

2.3 优化通风系统运行,节约能源

煤矿井下的通风系统耗能是整个煤矿系统中耗能最大的环节,对煤矿系统的影响最为明显,因而煤矿井下的通风系统运行效率高低将直接影响到煤矿井下系统的经济效益与环境效益。传统通风调节模式相对粗放,通常采取固定风量大小来进行通风调节,这极易造成通风系统风量过剩或过小的情况,从而导致煤矿井下系统出现浪费能源或瓦斯、火灾隐患等问题。运用智能化技术,通过对矿井系统当前通风环境中存在的相关数据进行监测与分析,并结合自动化控制技术实现对通风设备的调节。

3 煤矿通风安全现状

3.1 监测盲区明显

现阶段,用于煤矿通风系统的各种监测装置大部分还是属于传统的安装固定监测装置,监测点较为稀疏,尤其在煤矿的深部、交叉口、地形较为复杂的地方,覆盖率较低,存在盲区。这些盲区缺少有效的传感装置,无法在第一时间得到环境变化的数据,使得瓦斯溢出、有害气体聚集等隐患没有被及时发现,大大增加了安全性隐患;另外,矿井的环境也比较恶劣,潮湿、高温以及粉尘等环境因素影响着监测装置的稳定运行,从而导致监测设备的出现频率很高,有些甚至无法获取数据或丢失数据。

3.2 数据反馈滞后

安全监测反馈是保障煤矿通风安全管理的关键一环,而目前很多煤矿依然采用人工巡检和定期采集等传统方式监测煤矿通风数据,往往会出现通风安全监测数据时效性不佳的问题,人工巡检的时间间隔过长、数据的采集、传输、处理方式以及异常的处理都需要经过较多的步骤才能完成,尤其是在数据的反馈和传输的过程中容易造成信息的传递延迟或失真,难以在第一时间发现和解决矿井通风异常的情况。而通风的即时监测信息反馈的滞后性在一定程度上影响了对煤矿通风状况的掌握,处于被动的态势,无法实现对通风的即时调整和科学预判,煤矿通风安全管理由于数据监测与反馈的滞后性,也加大了煤矿的安全风险。

3.3 调节手段有限

现有的煤矿通风系统调节手段仍较为落后且片面单一,主要依靠现场的人为调节,即调节风门大小,改变风机工作转速等,缺乏先进的人工智能自动化控制系统,依靠人工的调节较为低效,且人为的把握不能做到精准,不能有效把握矿井通风状况,在矿井通风系统的调节中存在着不稳定性,通风系统中通风量有少有大,对安全性形成一定的威胁,也造成了相应的资源浪费。由于没有一个针对当前情况做出的即时调节,因而通风系统没有随着矿井通风的环境及时调

节,对矿井通风调节来说,其综合通风系统的安全性和效率也受到了一定的影响。

4 智能化煤矿通风安全技术的关键技术分析

4.1 高精度传感器技术

高精度传感器是智能煤矿通风安全系统关键部件,用来采集和精确、实时监测矿井中的各种关键参数,图1为煤矿智能通风管控平台。高精度传感器采用先进的电化学法、红外法、催化燃烧法等,实现对多种气体的有效监测、灵敏度高和快速响应;实现矿井中风速、风压高精度监测,需要微机械压力传感器、超声波风速传感器,动态响应速度快,能实时反映通风量的变化等;采用高精度的电阻技术、电容技术实现温度、湿度参数检测;高精度传感器设计需实现模块化,便于安置在矿井复杂空间狭小的地方,多点多位立体化实现不形成死角盲区监测;需考虑高精度传感器在矿井的电源及电量问题,既要满足低功耗长寿命要求,电池供电或者电压范围有限等限制,又要采取多层抗干扰的屏蔽技术实现对矿井的电场和粉尘等干扰的有效抑制;由于矿井环境潮湿且含有腐蚀性气体,传感器的外壳需要具有抗腐蚀性,并有防水、防尘功能,有效保证长期稳定工作;实现传感器的标定和自诊断,实现自动标定校正和异常报警,能减少和避免因设备的原因造成数据的错误。



图1 煤矿智能通风管控平台

4.2 无线传感网络技术

矿井无线传感网是矿井智能通风安全保障系统无线网络的专用技术之一,其有效解决了矿井有线通信建设难、维护成本高的弊端,在提供传感器布设灵活性和信号快速及时传递等方面取得重大突破和显著成果。矿井内部道路错综复杂,巷道长度长、环境恶劣,采用有线通信的建设成本高、线路容易遭到机械损伤和环境影响,维护难度高,但可利用矿井无线传感器组网技术,采用自组网和多跳路由的方法保证节点间的信息传输和高效传递,达到覆盖矿井各区域的目的。矿井无线传感器网设计还考虑到井下信号传播的衰减和电磁干扰的难题,针对井下复杂多变的环境,选择低功耗蓝牙、ZigBee、LoRa等通信协议满足井下巷道传输要求,保证井下实时传输数据的质量和实时性。智能路由算法,可以根据无线传感器之间的信号衰减、反射情况自动选择最合适

的传递通道,进行最快速的数据传递,在出现信号屏蔽或信号干扰时,不再进行“无效”传输,确保矿井上“地面服务器”能够快速、及时接收数据,避免发生数据丢包的问题,最大限度降低发生事故导致人员伤亡的可能和机会^[3,4]。

4.3 大数据分析 with 机器学习

智能煤矿通风安全系统借助传感器技术以及无线网络技术,对煤矿通风环境进行监控,采集了庞大的环境数据,如何将这庞大数据的有价值数据挖掘出来实现准风险评估控制和危险预测,才是大数据分析及机器学习技术施展拳脚的地方。大数据技术通过数据加工、整理、洗濯、多源数据融合、多源数据信息融合剔除数据噪声和空缺,构建通风环境大数据库。基于数据挖掘分析,挖掘出井下甲烷浓度、风速和压力、温湿度变化规律,建立出井下通风环境风险评价数学模型的基础。智能算法还用于风险预测以及预警的智能化发展。常用的智能算法有神经网络、支持向量机(SVM)、决策树、随机森林、集成学习等,可根据历史数据和在线数据训练风险识别算法,及时发现瓦斯超限、通风异常等风险,还可以根据矿井生产变化,实时优化模型,动态分析,预测潜在风险,通过不断地调整与学习降低模型错误预测率与漏报率,且不再仅为静态报警,也可以根据瓦斯浓度变化动态预测、火患发生等可能带来的问题,为预测提供科学的依据。

4.4 自动控制与执行机构技术

自动控制技术是自动化煤矿通风安全系统的主要实施单元,对监测分析的数据进行实时的调节控制,将主通风机、辅助风机、风门、阀门等通风设备作为自动化控制的主体,自动调节风量、风压,保持矿井通风系统的动态平衡,保持安全稳定。在自动控制系统中,以传感器等反馈的实际环境参数、风险评估结果为数据基础,应用自动控制的算法技术做出决策、自动执行控制命令等操作,减少人力操作依赖,提高控制速率和响应度等。

常用的自动化控制技术包括PID控制、自适应控制、模糊控制等。PID控制因其实用性广、操作性强,主要应用到通风设施中调节通风机的速率和闸门的开度,通常矿井环境动态变化时系统能够做出及时的反应。自适应控制技术能

够随着环境参数的变化自动选择合适的控制量,并随着复杂的地质条件和多变的气候条件实现环境因子控制参数的调整。模糊控制技术能够识别出环境中的不可确定关系和非线性关系,能够确保系统的鲁棒性强,从而能够保证通风控制的精准性和稳定性。控制系统中的执行装置技术也十分关键,具体执行机构必须实现无故障运行和响应,具备很高的可靠性;矿井通风系统风门和风阀执行机构控制要求风门和风阀开度可以精准控制;煤矿通风系统风机执行机构控制要求风机转速根据系统的需要及时调整。因此执行机构技术一般采用驱动马达或驱动气缸的执行机构组成,而且具体执行机构中还具有冗余和故障监测技术,确保执行机构在矿井环境中长时间可靠和安全运行。

5 结语

智能化技术在煤矿通风安全中的应用。目前煤矿开采条件越来越复杂,通风安全管理要求也越来越高,因此智能化技术对矿井通风安全管理非常重要,不仅能提高通风安全系统的实时监控及预警能力,解决监控盲区等问题,通过自动控制保障通风系统的稳定运行、节能环保,有效提高矿井职工工作环境,保障煤矿安全生产;将来通过传感技术、无线通信、大数据、人工智能技术的发展,通风安全的智能化还将趋于智能化、集成化及自主化。煤矿企业应加快智能化技术的发展,并得到推广普及,努力实现矿井通风安全数字化,为矿井绿色、安全、高效的生产提供强有力的保障。

参考文献

- [1] 张洁. 智能化通风系统在煤矿安全生产中的应用[N]. 安徽科技报, 2025-04-23 (012).
- [2] 李勇. 自动化技术在煤矿通风安全中的应用分析 [J]. 能源与节能, 2024, (04): 249-251. DOI:10.16643/j.cnki.14-1360/td.2024.04.062.
- [3] 元阳民. 通风安全技术 在煤矿开采中的运用 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2021, (06): 146-147. DOI:10.13487/j.cnki.imce.019739.
- [4] 高鹏飞. 通风技术与安全技术在煤矿开采中的应用策略 [J]. 内蒙古煤炭经济, 2021, (01): 174-175. DOI:10.13487/j.cnki.imce.019205.

Research on Methods for Cultivating Firefighters' Emergency Decision-Making Abilities in Fire Situations

Mingjun Yan

Cangzhou Fire Rescue Station, Cangzhou Fire Rescue Team, Hebei Provincial Fire Rescue Corps, Construction Street, Cangzhou, Hebei, 061000, China

Abstract

The focus of this paper is to cultivate the emergency response ability of firefighters in the fire scene. In view of the fact that the characteristics of the fire scene are constantly changing, how to ensure that firefighters make correct emergency judgments and decisions has become the core that directly affects the safety of the fire scene and the success or failure of the firefighting operation. Modern firefighters may face threats to their decision-making under the influence of complex clues and emotional repression, environmental changes, and other factors. In response to this problem, this paper proposes a method that combines scenario simulation training, fire fighting team cooperation training, and fire fighting psychological quality and emotional regulation ability training. Scenario simulation can help firefighters hone their decision-making skills in actual combat, and teamwork can improve the overall effectiveness of decision-making. Firefighting psychological quality and emotional regulation ability training can improve the ability to make wise and calm decisions under high pressure. Through case study and experimental research, it is confirmed that this method can effectively improve the decision-making ability of firefighters.

Keywords

firefighter; Fire emergency; Decision-making ability; Cultivation method; Scenario simulation; Teamwork; Psychological quality training

消防员火场应急决策能力培养方法研究

颜明俊

河北省消防救援总队沧州市消防救援支队建设大街消防救援站, 中国·河北 沧州 061000

摘要

本文阐述的重点在于培养消防员火场应急能力。鉴于火灾情景瞬息万变的特性, 如何保证消防员做出正确的应急判断与决策, 也就成为直接影响火场安全和灭火作战成败的核心。现代消防员在面临着纷繁复杂的线索和情感压抑、环境变化等因素影响下可能会使他们做出的决策面临威胁。针对这个问题, 本文提出应用情景模拟训练、消防战斗班组合作性训练与消防心理素质及情绪调控能力训练相结合的方法。情景模拟可以让消防员在实战中锤炼自身决策能力, 班组合作可以提升决策总体有效性, 消防心理素质及情绪调控能力训练可以提升在高压情况下做出睿智冷静的决策, 通过案例研究与实验论证确认该方法能有效提升消防员的决策能力。

关键词

消防员; 火场应急; 决策能力; 培养方法; 情境模拟; 团队协作; 心理素质训练

1 引言

消防人员在火灾现场做出的紧急决策对扑灭火灾、人身安全都起到重要作用, 在复杂火源区域需要准确做出判断, 对消防人员的专业技术水平提出了较高要求、较大心理承受度, 和良好的团队协作技能。虽然目前已进行了专门培训, 但仍可能存在由于各种限制因素(信息不足、环境不清晰、压力过大)造成的误判。因此提高消防队员的火灾现场紧急决策能力也成为了现在消防教育中亟需解决的问题。本研究的主要目的是通过分析消防人员在火灾现场做出的紧

急决策存在的问题, 寻找提升其处理突发事件能力的有效途径, 作为理论参考和指导实践^[1]。

2 研究背景与意义

2.1 研究现状与问题分析

近年来, 消防员应急决策能力已成为消防研究的热点之一。许多学者对此也非常有兴趣, 其研究主要集中在情境模拟训练、心理素质培训及决策支持系统等方面。例如, 部分学者提出了采用虚拟现实技术来提高消防员的决策能力, 并设计了多种形式的火灾场景来帮助消防员在日常训练中尽快适应紧急决策环境从而提高训练效果。另外, 心理学研究证明, 消防员面对火场会受极度的紧张情绪及精神压力的影响, 因此消防员需要情绪稳定。

【作者简介】颜明俊(1988-), 男, 中国吉林敦化人, 本科, 从事消防灭火救援研究。

2.2 研究目标与方法

本文意在探索一种综合的方式，在尽可能全面的基础上加强消防员参与火灾的即时决策技能，以解决当前影响消防员决策训练工作中的突出问题。基于文献材料和实际状况，首先，从理解的过程对消防员火灾现场决策进行探索与分析，找出提高消防员决策水平的关键环节，提出一整套可操作的教学策略。

首先搜集整理目前消防员培训手段与制约因素，包括国内外文献调查；然后以实例为根据分析火灾场景中决策行为发生过程及其重要影响因素，以探究致消防员失误行为发生因素所在；最终建立及实践具有模拟训练及团队行为特点的培育模式及加入心理素质培养环节，以实现实践测试验证及结果评估，确认培育策略有效性^[2]。

3 火场应急决策的理论基础

3.1 决策理论概述

不确定型决策是指决策者在面临着各种可能性的情况下，进行的决策科学是一门应用性很强的学科。不确定型决策理论可以普遍地运用在管理学、心理学、经济学等多个领域中，在面对突发性事件的解决时，可帮助我们在纷繁复杂的状况下有效快速地作出决定，传统的不确定型决策理论包括理性决策原理、直觉式决策方法和限制理性原则等等。

理性决策假定人能够利用所有可用的信息经过深思熟虑并选择最佳的解决方案。然而，在现实中火灾事故由于信息和情况的缺失及复杂性很难实现这样的决策过程。有限理性假定，决策者会受其认知能力和信息分析能力的影响，通常作出选择都是“不错”的，而不是“更好”的。其对于火灾事故的紧急决策有很大的影响，这是因为消防员通常都面临着信息不足和时间紧迫的情况。

3.2 火场应急决策的特点与挑战

火灾应急决策具有不可预见性、环境复杂性以及生理受干扰性。其不可预见性在于，火灾现场充满不可知变量，其情况瞬息万变，要求消防员在极为短的时间内做出决策；其环境复杂性在于，因火灾环境条件恶劣，消息传播难以及时且常常令消防员处于信息稀缺的环境之中；其生理受干扰性在于，面对热、浓烟等的环境，生理干扰降低了火灾应急决策的准确度及敏捷性。

第三点是心理负担。在现场，消防员在需要处理火灾威胁的同时还要受到上级指挥员、同伴和被困人员的监督压力，有可能做出错误决策和犹豫不决，因此如何在高压下保持冷静和专注有助于提高消防员决策水平^[3]。

3.3 决策能力与职业素质的关系

决定力是消防员工作素质的一个重要方面。良好的工作质量还包含着丰富的专业知识、精湛的协同能力及良好的心理承受力等内容，这些因素对于消防员做出合理的选择都起着决定性的作用。首先，消防员首先应该对基本的火灾原

理和紧急救援常识有系统深入的了解，从而在火灾现场能迅速分析问题、判断形势并提出解决方案。其次，消防员大多数时候要和同伴在火灾中齐心协力开展工作，在火灾中他们配合得越默契，在做判断时越不浪费时间。

除此之外，需要注意的是，人的心理素质对决策力的影响是十分的重要的。因为消防员在火灾现场经常会遇到困难繁重、极为紧急的情境。拥有良好的心理素质可以让消防员保持冷静做出决策。同样情绪的控制也至关重要，在危急时刻做好情绪把控，使得决策更加冷静，避免因惊慌、恐惧等导致的冲动性决策。因此提高我们的决策力需要综合提高业务素质，互相促进，一起提升消防员的临机反应能力^[4]。

4 火场应急决策能力培养的主要问题

4.1 火场决策中的信息获取与处理问题

对火灾事故中的信息收集、处理的正确与否是决定救援成败的核心关键因素之一。现实中火灾场景常常复杂多变、信息不足及信息不及时问题大量出现。一方面，火灾场景的复杂性导致可获得信息有限；不同种类及形式的温度、烟雾、火势强度和可燃建筑结构的不断变化，都可能导致信息的不准确和不及时性；另一方面，由于火灾空间大、温度高，消防员也很难实时获取准确信息，他们的判断依赖于现场的主观经验而非专业数据，而主观经验的使用有可能导致信息判断偏差或信息重要性被忽略。

4.2 团队协作与领导力问题

决策不仅取决于个体消防员本身，它还决定于整个组织群体的工作表现，在实际灭火中由于火灾现场环境不可控、不断变化，在极短时间里消防员就必须作出应对。该场景下跨单位协同工作十分重要。但组织内部的碎片化是产生负面影响的。首先，在组织内部工作协作不到位。消防员们在应急情况下的高压和混乱的工作环境中，个体之间信息的传递可能会出现困难，使重要的命令或回答的信息的产生延期甚至错误。其次，组织内部的成员具有不同的个性、经验和行为等方面的不同会导致工作冲突和矛盾，消极的工作氛围会严重影响工作决策的实施时间及质量^[5]。

其次，领导力对于火灾现场的重要性表现在对关键决策的制定能力上，作为队长、小组长的消防员必须具备对状况的快速判断能力、资源的分配能力以及对队员队伍指导的能力。如果缺少足够的实践经验和一味依靠上级下命令式的决策方式，会导致行动迟缓、权力过度集中等问题，导致组织的机动能力下降，应变速度慢。因此加强团队合作、领导力培养以及队员交流技能、互信程度是火灾紧急决策能力提升中亟待解决的核心问题。

4.3 心理压力与情绪管理问题

急救决策多发生在紧张、高强度环境之中，而心理压力与情绪控制对决策的质量起着重要作用。消防员处于火灾现场，需面对人员的死亡、财产的损失以及热辐射、浓烟等

恶劣条件下产生的压力。可能导致他们产生严重的焦虑、恐惧、烦躁情绪,从而影响其思维和判断,导致决策的质量下降。特别是当生命受到威胁时,过份的担心则可能导致决策延迟或出错,这会影响到灭火抢险的正常展开。

此外,精神压力还可能造成领导情绪崩溃,并对团队协作与指导有效性产生不良影响,消防人员在紧张的环境下也容易发生犹豫不决、沟通不畅、反应能力下降的情况,将这种情绪与压力叠加在一起,导致决策的不确定性与挑战性加剧。因此,如何有效地缓解消防员的精神压力和情绪管理,成为提升火场决策质量的一个重要因素。

5 火场应急决策能力培养方法

5.1 基于情境模拟的训练方法

5.1.1 模拟环境的构建与应用

建立真实的模拟场景环境是进行情景模拟训练的先决条件。为了使消防队员能在真实火灾场景中做出决策,就必须让设置的模拟环境与实际情况接近。首先要尽可能地还原火灾发生现场的要素,比如着火位置、烟密度、温度变化情况和人员伤亡等。其次还应考虑场景的动态性,根据不同的选择改变火灾现场。例如虚拟火灾场景中,在消防员操作选择后,能根据他们的操作和选择,相应的改变火势蔓延和救援难度等情况。再次还有必要设置好相应的应急装备设施,例如监控探头、通信设备等来保证指挥信息的正确传递。

5.1.2 情境模拟在决策能力培养中的作用

在能力形成的过程中,情景模拟发挥着两大作用:一是提升消防官兵决策响应速度;二是提升消防官兵决策水平。而由于在压力情境下的决策往往面临信息不充分或决策时间紧张的问题,因此,情景模拟为他们提供了一个安全的实践场所,在没有生命安全风险的情况下反复实践。消防官兵通过对各种虚拟火场的仿真,可以在这一无危险情境中积累经验并巩固突发事件应对能力。而情景模拟也能通过对各种决策结果的呈现帮助消防官兵对其所作决定的优缺点进行反思以修正提高他们的决策能力。

5.2 团队协作训练方法

5.2.1 团队沟通与协调能力的提升

提升小组协作能力与联动工作效率是培训应变情形下决策能力中的重点。有效的小组内交流除了涉及信息传递,还有情感传递以及积极支持。在遇到突发事件时作出决策的快速、果断以及良好的团队行动都能产生较好的结果。为提升小组间的协作效率,可通过利用模拟演练、角色扮演的方

式进行培养小组成员的信息沟通能力与团队协作能力。例如,在模拟火灾情境下,安排不同角色的人员,分别扮演领导、救援人员或后勤服务等角色,模拟火灾发生时的消息传递过程,让他们明白如何有效传递信息,以便获得更好的沟通效果。

5.2.2 实战演练中的团队决策模式

要提高团队决策能力,我们可以通过实践的方法。为此,可以设置各种火场情形让消防员在这种火场情形中不断修正策略选择,以应对火灾发展进程的变化。在此过程中要求消防员有紧密合作与相互依存的行为,共同制定合理选择。同时我们也应当倡导在训练中多提出建议,组织全体人员进行深入讨论,从而达成一致,杜绝因个人独立判断与专断而影响整个队伍工作的有效性。此外也应明确团队决策程序中的各角色分配,使得各成员能针对具体情形执行相关任务,明确自身责任,确保决策的精准性和执行的有效性。

6 结语

综上所述,本研究总结出以下观点:首先,情境模拟训练、团队协作训练以及心理素质和情绪训练都是很有成效的培养方式以提升消防队员面对火灾紧急情景决策能力。情境模拟可以让消防员亲身置身火灾应急环境中,压榨训练他们的应急决策技能;团队协作训练可以提高消防员协调配合下信息交流和调用应急决策技能;最后,心理素质和情绪训练可以为消防员应对决策压力下理性决策的情景提高应对技能。其次,整合运用以上几种培训方式都可以明显提升消防员处理复杂火灾应急环境下应急决策能力,最后构建长时间稳定的决策能力建设体系,结合政策保障和及时反馈,不光可以改善个体决策能力也能提升团队效能从而给消防任务提供有效的帮助。

参考文献

- [1] 张晓明;刘志华;王鹏飞.基于情境模拟的消防员决策能力培养研究[J].消防技术与工程,2023(7):45-48.
- [2] 陈海波;李秋红.火场应急决策中的信息处理与心理干预研究[J].安全与应急管理,2022(12):56-60.
- [3] 李红星;王宇飞.消防员应急决策能力的影响因素与提升路径分析[J].消防科学,2023(3):72-75.
- [4] 高翔宇;张伟民.团队协作在消防员决策中的作用研究[J].火灾与防控,2024(5):88-91.
- [5] 黄佳怡;许泽宇;王志强.心理素质对消防员火场决策能力的影响及其培养策略[J].心理学报,2023(10):110-113.

Application of Colloidal Gold Rapid Detection Technology in Food Safety

Liangyu Chen

Shenzhen Zhuorun Testing Technology Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518114, China

Abstract

Food safety is a crucial foundation of public health. Residues of agricultural and veterinary drugs, as major risk factors, continue to pose threats to food quality and public health. Traditional laboratory detection methods rely on large instruments, require complex sample pretreatment, have long detection cycles, and are costly, making them difficult to meet the needs of grassroots supervision, enterprise self-inspection, and on-site rapid screening. Against this background, colloidal gold rapid detection technology has emerged, leveraging the integrated advantages of specific antigen-antibody recognition and chromatographic separation.

Keywords

Colloidal gold rapid detection technology; Food safety; Application

胶体金快检技术在食品安全的应用

陈亮宇

深圳市卓润检测技术有限公司, 中国 · 广东 深圳 518114

摘 要

食品安全乃是公共健康的关键基础所在。农兽药残留作为主要的风险因素,持续对食品质量以及公众健康造成威胁。传统的实验室检测方法依靠大型仪器,需要进行复杂的样品前处理,检测周期较长,并且成本较高,很难契合基层监管、企业自检以及现场快速筛查的需求。在这样的背景状况下,胶体金快检技术借助抗原与抗体特异性识别以及层析色谱分离的集成优势而出现,可实现对食品中微量农兽药残留的定性或者半定量检测,弥补了传统方法在现场即时检测领域的空缺,为食品安全风险的早期预警以及产业链质量控制提供了关键的技术途径。

关键词

胶体金快检技术; 食品安全; 应用

1 引言

胶体金快检技术是一种集成检测方法,它基于胶体金颗粒信号标记、抗原与抗体特异性免疫反应以及层析色谱技术,把金纳米颗粒当作核心信号载体,借助免疫层析流程达成对目标分析物的快速检测。这项技术的核心优势在于:检测周期短,操作简便,灵敏度可达到 ng/mL 级别,而且成本低,不需要依赖大型仪器,可契合现场即时检测的需求。该技术在食品安全领域应用广泛,在农药残留与兽药残留检测方面,为农产品质量控制、公共健康保障以及基层监管提供了高效的技术支持。本文将针对其原理特点、应用场景以及发展趋势展开探讨,揭示其在食品安全风险预警中的关键价值^[1]。

【作者简介】陈亮宇(1998-),男,中国广东深圳人,助理工程师,从事食品安全工程研究。

2 胶体金快检技术的原理与核心特点

2.1 技术基本原理

胶体金快检技术是一种集成检测方法,它融合了胶体金颗粒信号标记、抗原与抗体特异性免疫反应以及层析色谱技术。其中,胶体金作为核心信号载体,是由氯金酸经过还原反应生成的金纳米颗粒。这种颗粒有高电子密度以及显色特性,在 520 至 550nm 波长处会呈现出强吸收峰,可凭借肉眼直接观察到红色条带。该技术的免疫层析流程如下:把特异性抗体固定在硝酸纤维素膜(也就是 NC 膜)的检测线(即 T 线)和质控线(即 C 线)处。当样本中的目标分析物与胶体金标记抗体相结合后,会凭借层析作用迁移到 T 线,形成“抗体-目标物-胶体金标记抗体”免疫复合物并显色。而 C 线则用于验证检测体系的有效性。结果判读标准是:若 T 线与 C 线都显色,则判定为阳性;要是仅 C 线显色,就是阴性;若 C 线不显色,那么检测无效^[2]。

2.2 核心技术特点

该技术有诸多优势:其一,检测周期较短,一般是 5 至

30分钟,不需要进行复杂的样品前处理工作,可达成现场采样、即时检测以及结果判读的一体化操作流程;其二,操作较为简便,依靠试纸条或者卡式装置便可完成,不需要专业技术人员,适合基层监管以及企业自检的场景;其三,基于抗原与抗体的特异性结合原理,检测灵敏度可达到ng/mL级别,可以契合多数食品安全限量标准的筛查要求;其四,结果依靠肉眼直接观察即可,无需依赖大型分析仪器,检测成本相较于传统实验室方法明显更低。

3 胶体金快检技术在农药残留与兽药残留检测中的应用

3.1 农药残留检测

农药残留是影响食品安全的关键风险因素,对其进行精准且快速的检测,对于农产品质量把控以及公共健康保障而言意义重大。胶体金快检技术依据抗原与抗体特异性免疫识别以及层析色谱分离的原理,借助靶向识别农药分子和抗体的特异性结合,达成对食品中微量农药残留的现场定性或者半定量检测,为食品安全风险预警开辟了高效的技术途径^[3]。

3.1.1 主要检测目标

胶体金快检技术围绕食品产业链里典型的农药残留类型搭建了多维度筛查体系,核心检测目标包含四大类化合物。这些化合物的化学特性以及它们所带来的健康风险情况如下:

有机磷类农药:属于广谱杀虫剂,其中囊括敌敌畏、乐果以及马拉硫磷等多种类型,该类农药会抑制乙酰胆碱酯酶的活性,干扰神经信号的传递过程,倘若出现过量残留的情况,便有可能引发中枢神经系统毒性,有机磷类农药在果蔬以及谷物的种植环节有着广泛的应用,而叶菜类蔬菜是其主要残留载体。

氨基甲酸酯类农药:包含灭多威、克百威、异丙威等,其凭借竞争性抑制乙酰胆碱酯酶的活性来发挥杀虫功效;若短期大量摄入,会引发胆碱能危象。这类农药大多时候被用于果树以及蔬菜虫害的防治工作中,在浆果类中较容易检测出残留情况。

拟除虫菊酯类农药:包括氯氰菊酯、溴氰菊酯等,这类农药依靠作用于昆虫神经系统的钠离子通道来发挥毒性,它有高脂溶性的特点,容易在油脂类食品中富集,若长期暴露,可能会干扰人体内分泌系统,对生殖发育产生潜在的影响。

3.1.2 技术应用实例

胶体金快检技术用于农药残留检测时,能呈现出针对不同基质食品的较高适配性以及灵敏度,其典型应用场景具体如下:

果蔬中有机磷农药残留检测:对于生菜、草莓这类容易残留有机磷农药的生鲜果蔬样本,在进行有机磷农药残留检测时,运用“匀浆-超声提取-离心净化”这样的前处理

流程,借助胶体金试纸条可在10分钟之内完成检测工作。该检测方式的检出限处于0.01-0.1毫克每千克的范围,契合GB2763-2024《食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量》中叶菜类蔬菜对于敌敌畏、乐果的限量规定,并且与气相色谱法检测结果的一致性超过了93%。

谷物中拟除虫菊酯类残留检测:对于小麦、水稻这类谷物样本,运用“粉碎-固相萃取净化”的前处理方式,胶体金快检卡可同时检测氯氰菊酯、溴氰菊酯等多种残留物质。其检测限为0.05mg/kg,符合GB2763-2024中小麦中氯氰菊酯的限量规定,与高效液相色谱法的检测结果一致性超过92%,适用于粮食收购环节的快速质量筛查工作。

3.1.3 技术优势

胶体金快检技术于农药残留检测领域呈现出三方面核心优势,对食品安全监管效能起到了提升作用:

现场快速筛查能力突出:有效克服传统实验室检测前处理繁杂、检测周期漫长的局限,借助简化前处理流程,达成“采样-检测-判读”一体化操作,整体耗时≤30分钟,可契合农贸市场、种植基地等场景的即时检测需求。

基质适应性强:对于高色素、高水分、高油脂这类复杂基质样本而言,借助优化缓冲液配方的方式,可有效降低果蔬当中多酚、有机酸以及谷物里面淀粉、蛋白质给检测带来的干扰,把假阳性率控制在5%以内。

批量检测效率高:运用多通道试纸条设计方式,借助独立检测通道达成多个样本的平行检测,单批次可完成12个样本的同步筛查工作,检测时间≤30分钟。相比传统单样本检测模式,其效率提高了8至12倍,提高了基层监管部门的批量筛查能力,为农产品质量安全风险预警给予技术支持。

3.2 兽药残留检测

兽药残留属于动物源食品安全监管方面的核心议题,经由食物链传递所带来的潜在健康风险,已然成为全球公共卫生领域备受关注的重点,胶体金快检技术依靠抗原与抗体之间特异性识别以及层析色谱可快速分离的综合优势,达成了对动物源食品里微量兽药残留的现场高效筛查工作,给养殖环节的质量把控以及流通领域的风险预警提供了关键技术方面的支持^[4]。

3.2.1 主要检测目标

胶体金快检技术针对兽药残留检测所设定的目标,着重关注养殖环节中那些使用频率较高或者存在非法添加情况的高风险化合物,其核心主要包含以下几类:

抗生素类:作为抗感染治疗方面的主流药物,它的残留风险在养殖的整个链条中都存在着。磺胺类药物被广泛用于畜禽细菌性感染的防治工作中,要是长期接触的话,会诱导细菌耐药基因出现水平转移的情况,使得临床抗生素的治疗效果降低。四环素类药物由于有广谱抗菌的特性,大多时候被用作饲料添加剂,很容易在动物的肝脏以及肌肉组织里

蓄积,这有可能会对人体肠道菌群的稳态以及矿物质吸收造成干扰。 β -内酰胺类药物属于人畜共用的抗生素,其残留有可能引发 I 型过敏反应,而且还可能加快耐药菌株的进化速度,在乳制品中需要严格把控残留阈值。

β -受体激动剂类: 克伦特罗、莱克多巴胺、沙丁胺醇等化合物被非法添加于饲料中,这些化合物会激动 β_2 受体,促进肌肉蛋白合成,虽然可提高瘦肉率,然而却有着强心脏毒性。人体摄入后,有可能引发心律失常、高血压等心血管系统损伤,它们属于国家明确禁止的非法添加剂。

驱虫药类: 在畜禽寄生虫防治工作中,阿苯达唑、伊维菌素这类广谱驱虫药大多时候会被使用,然而如果出现过量残留的情况,这些药物会借助食物链进行传递,它们所产生的毒性效应涉及了神经系统损伤以及生殖发育毒性等方面,这无疑会对孕妇和婴幼儿的健康构成潜在的威胁。

其他类别: 硝基呋喃类代谢物属于禁用兽药,有遗传毒性以及致癌性,要达成“零残留”管控,氯霉素由于骨髓抑制副作用被列为动物源性食品禁用药物,其残留检测需要达到 $\mu\text{g/kg}$ 级别的灵敏度。

3.2.2 技术应用实例

胶体金快检技术在兽药残留检测领域可呈现出对于复杂基质样本有较高适配性以及灵敏度的特点,其典型的应用场景主要涉及以下几个方面:

畜禽产品里四环素类残留的检测: 对于鸡肉、猪肉这类高蛋白基质的样本,运用“匀浆-离心-稀释”这三步前处理办法,胶体金试纸条可在 15 分钟之内完成检测工作。它的检出限达到 5-10 ng/mL ,符合 GB31650-2019《食品安全国家标准 食品中兽药最大残留限量》里鸡肉中四环素以及猪肉中土霉素的限量规定,和高效液相色谱法检测结果的一致性超过 92%。

牛奶中 β -内酰胺类抗生素残留检测: 考虑到生鲜乳有高分水基质特性,运用直接稀释法,借助胶体金免疫层析法可在 10 分钟内完成检测工作,其检出限达到 2 至 5 ng/mL ,该数值远远低于国家标准限值,此方法可迅速排查奶牛养殖过程中非法使用青霉素类兽药的情况,与液相色谱-串联质谱法检测结果相比,一致性超过 95%,目前已在乳制品企业原料验收环节得到广泛应用。

3.2.3 技术优势

胶体金快检技术在兽药残留检测中的核心优势体现在以下方面:

养殖环节的源头管控: 积极支持养殖场以及屠宰场对畜禽样本展开自我检测,借助“采样-检测-判读”这样完整的一体化流程,可及时地识别出兽药滥用的行为,从养殖的源头方面降低残留风险,减少不合格产品流入市场的情况

发生。就比如说,生猪养殖企业利用尿液样本对“瘦肉精”类物质进行快速筛查,可以把检出的阳性率有效地控制在 0.1% 以下。

复杂基质适配性: 对于高蛋白、高油脂、高水分这类复杂基质,借助优化硝酸纤维素膜的孔径、调节标记抗体的浓度以及缓冲液的离子强度,可有效降低基质成分对免疫反应造成的非特异性干扰,把假阳性率控制在 5% 以下。

法规符合性: 所有的检测限可符合国内外兽药残留限量标准,像欧盟 EC No. 37/2010 针对氯霉素的标准,以及中国 GB31650-2019 针对磺胺类的要求,可为进出口动物源食品检验检疫打造快速筛查工具,可贸易合规性管控以及国际市场准入。

4 胶体金快检技术的现存挑战与发展趋势

为了加强胶体金快检技术在农兽药残留检测方面的应用价值,未来的研究将会把重点放在以下几个方向上:灵敏度的提升,凭借结合纳米材料来提高信号强度,或者利用核酸适配体取代抗体以提高识别精度,把检测限降低到 pg/mL 级别;智能化定量检测,借助分析条带灰度值来实现半定量或定量分析,取代肉眼判读,减少主观误差;标准化体系的建设,推动胶体金快检技术的国家标准制定,统一检测流程以及质量控制要求,提升技术可靠性与监管认可度^[5]。

5 结语

胶体金快检技术凭借快速、简便、灵敏这些核心优势,在食品安全农兽药残留检测里呈现出应用价值,有力地支撑了基层监管、企业自检以及现场风险筛查工作。不过,它依然面临着一些挑战,像灵敏度与定量能力不够、复杂基质前处理需要简化以及多重检测能力有限等。未来,借助纳米材料信号提高、多通道试纸条开发、智能化定量检测以及标准化体系建设等方式,这项技术有望突破当前的局限,提高检测精度与效率,为食品安全监管提供更可靠的技术保障,帮助构建起从农田到餐桌的全链条质量安全防线。

参考文献

- [1] 李莉,张登洲,林光强. 胶体金快检技术在基层农产品质量安全监管中的应用推广现状及对策[J].现代食品,2025,(03):149-152.
- [2] 李学林. 胶体金快检技术在豇豆质量安全监管中的应用[J].云南农业,2024,(11):51-52.
- [3] 衣彩美. 胶体金免疫层析技术在食品安全检测中的应用[J].现代食品,2021,(09):108-110.
- [4] 张丽霞,王学松. 胶体金免疫层析技术在食品安全检测中的应用[J].广东化工,2021,48(01):180-181+163.
- [5] 翟培,韩晋辉. 胶体金免疫层析技术在食品安全现场快速检测中的应用[J].现代农业科技,2020,(04):225-227+229.

Research on the Design and Prevention of Automotive R&D Process Based on Big Data Analysis

Yunling Zhu

Anhui Jianghuai Automobile Group Co., Ltd., Hefei, Anhui, 230601, China

Abstract

In contemporary times, as the automotive industry is transforming towards intelligence, electrification, and connectivity, the complexity and uncertainty of the R&D process have significantly increased. The traditional R&D model based on experience in the automotive industry has become difficult to cope with multi-dimensional risks and challenges. This article takes the entire life cycle of automotive R&D as the research object and explores the application path of big data analysis technology in the design, prevention and optimization of the automotive R&D process. By building a multi-source data fusion system covering market demand, simulation testing, supply chain, and historical fault analysis and avoidance, and combining machine learning, data mining and other algorithms, the identification, assessment and prediction of potential risks in the early stage of R&D can be achieved. Form a closed-loop optimization mechanism of “data-driven - risk early warning - design iteration”. Research shows that big data-driven design prevention and optimization can reduce the design change rate in the later stage of R&D by 25%, shorten the R&D cycle by more than 15%, and lower quality losses by over 20%, providing theoretical and practical references for automotive enterprises to improve R&D efficiency, control costs, and enhance product competitiveness.

Keywords

Big data analysis; artificial intelligence; Automotive research and development; Design prevention; Risk identification; whole life cycle

基于大数据分析的汽车研发过程设计预防研究

朱云凌

安徽江淮汽车集团股份有限公司, 中国·安徽 合肥 230601

摘 要

当代随着汽车产业向智能化、电动化、网联化转型,研发过程的复杂性与不确定性显著提升,传统汽车行业基于经验的研发模式已难以应对多维度风险挑战。本文以汽车研发全生命周期为研究对象,探讨大数据分析技术在汽车研发过程设计预防优化中的应用路径。通过构建涵盖市场需求、仿真测试、供应链及历史故障分析与规避的多源数据融合体系,结合机器学习、数据挖掘等算法,实现对研发早期潜在风险的识别、评估与预测。形成“数据驱动-风险预警-设计迭代”的闭环优化机制。研究表明,大数据驱动的设计预防优化可将研发后期设计变更率降低25%,缩短研发周期15%以上,质量损失降低20%以上,为汽车企业提升研发效率、控制成本、增强产品竞争力提供理论与实践参考。

关键词

大数据分析; 人工智能; 汽车研发; 设计预防; 风险识别; 全生命周期

1 引言

汽车研发是一项融合机械工程、电子信息、材料科学等多学科的复杂系统工程,具有周期长(通常 3-4 年)、投入大(单车型研发成本超 8 亿元以上)、风险点多(涉及设计、测试、供应链等环节)的特点。在传统研发模式中,设计决策多依赖工程师经验,问题识别往往滞后于设计阶段,导致后期产品变更成本递增是概念设计阶段的 100 倍以上。

随着大数据、人工智能等技术的发展,汽车研发正从“经验驱动”向“数据驱动”转型。一方面,研发过程中产生的

仿真数据、测试数据、CAE 分析数据量级呈爆发式增长;另一方面,市场端的用户反馈数据、竞品分析数据、供应链数据等外部数据可实时接入研发体系。

本文聚焦汽车研发过程中的设计预防优化,通过分析大数据技术在概念设计阶段、方案计划阶段、设计开发阶段和量产验证阶段等关键阶段的应用场景,提出基于大数据的设计预防优化框架,旨在为汽车研发提供创新思路。

2 汽车研发过程的核心阶段与传统痛点

汽车研发全生命周期可划分为概念设计阶段、方案计划阶段、设计开发阶段和量产验证阶段四个核心阶段,各阶段均存在不同的风险与传统模式下的优化痛点。

【作者简介】朱云凌(1979-),男,中国安徽歙县人,本科,工程师,从事工商管理研究。

2.1 概念设计阶段

该阶段主要确定产品的需求和备选概念，完成市场需求分析、产品定位及造型方案确定等，是完成系统需求，研发方向的关键决策期。

该阶段传统痛点：需求分析依赖市场调研问卷与专家判断，样本量有限且主观性强，易导致“需求误判”。

2.2 方案计划阶段

该阶段主要完成总体方案和详细项目计划，完成总布置方案设计、完成各子系统方案发布、完成架构与系统设计等，通过完善商业计划，形成合同基准，导入产品投资决策管理理念。

该阶段传统痛点：各子系统设计团队数据孤立，缺乏协同优化机制，易出现“设计冲突”。例如，动力系统在底盘的布置空间的合理性问题，往往在后期设计验证阶段才发现，需重新调整方案设计，不光延误研发进度，还会造成开发成本的增加。

2.3 设计开发阶段

该阶段主要完成产品开发和系统集成测试，将方案设计转化为具体的工程图纸，涉及车身结构、动力系统、热管理系统、电子电气架构等细节设计，通过CAE仿真、台架测试、性能试验及可靠性验证等手段验证设计方案的可行性，是发现设计缺陷的重要环节，从而达到小批量生产条件。

该阶段传统痛点：故障数据反馈滞后，难以追溯问题根源。样车测试中出现的故障多依赖工程师经验排查，缺乏对历史故障数据的关联分析，导致同类问题在不同车型研发中重复出现。

2.4 量产验证阶段

该阶段主要完成产品客户环境验证和制造一致性验证，可获得满足量产要求的产品。通过对制造一致性验证，达成批量生产条件。

该阶段传统痛点：量产制造过程匹配类问题突出，尺寸链及零部件尺寸波动大，即使零部件符合正态分布，也因各子系统零部件偏差累积导致匹配超差，出现面差超差及间隙不均匀等问题。

3 大数据分析在汽车研发设计预防优化中的应用路径

针对传统研发模式的痛点，大数据分析技术可通过数据融合、算法建模与实时预警，在研发各阶段实现“提前识别、主动预防、动态优化”的设计预防优化模式。

3.1 概念设计阶段：需求预测与产品定位优化

在汽车研发过程中，可以通过整合市场端多源数据，构建用户需求预测模型，为产品定位提供数据支撑。

收集数据来源：用户社交媒体评论、汽车论坛帖子、电商平台购车评价、竞品销售数据、政策法规数据（如新能源汽车补贴政策）。

人工智能分析方法：采用自然语言处理（NLP是人工智能的核心分支，旨在让计算机理解、处理并生成人类语言，

实现人机间的自然沟通）技术对非结构化文本数据进行情感分析与关键词提取，识别用户对车辆动力、智能座舱、安全性能等维度的关注焦点；结合时间序列分析算法，预测市场需求趋势。

设计预防优化效果：提前锁定用户核心需求，避免因产品定位偏差导致的研发方向错误。例如，某新能源车企通过分析用户评论数据，发现用户对“续航里程真实性”的关注度远超“最大续航”，遂在研发中改进电池技术、完善热管理系统、优化能量回收技术，并重点优化低温续航衰减等问题，以降低能耗，提高车辆续航里程的真实性，使得产品上市后获得市场认可。

3.2 方案计划阶段：协同设计与冲突预警

在汽车研发过程中，构建研发数据中心，打破子系统数据壁垒，实现设计过程的协同优化与冲突预警。

各数据来源：各子系统设计团队数据、BOM（物料清单）数据、DG0数据、供应商零部件参数数据。

子系统冲突分析方法：采用图数据库技术构建零部件关联关系模型，实时监测不同子系统设计参数的兼容性；通过关联规则挖掘算法，分析历史设计冲突数据，识别易发生冲突的设计环节（如“电池包体积”与“后排空间”的关联冲突），并提前预警。

设计预防优化效果：将设计冲突识别从设计开发阶段和量产验证阶段提前至方案计划阶段，减少后期变更成本。某车企引入该机制后，方案计划阶段的冲突识别率提升35%，后期设计变更次数减少25%。

3.3 设计开发阶段：测试场景拓展与缺陷预测

在汽车研发过程中，利用大数据技术拓展仿真测试场景，构建缺陷预测模型，提升测试的全面性与前瞻性。

测试数据来源：实车路试数据（如GPS轨迹、传感器数据）、仿真测试数据（如碰撞仿真、NVH仿真数据）、历史故障数据、极端天气与路况数据。

场景构建分析方法：通过聚类算法对实车路试数据进行场景划分，生成覆盖城市道路、高速、山区等复杂场景的仿真测试工况；利用机器学习算法（如随机森林、神经网络），以仿真参数为输入，历史故障数据为标签，构建设计缺陷预测模型，提前识别潜在风险（如车身结构强度不足、电子控制系统响应延迟）。

设计预防优化效果：使得人工智能化下仿真测试场景覆盖率提升30%以上，潜在缺陷识别率提升50%，避免因测试不充分导致的量产风险。

3.4 量产验证阶段：故障溯源与根因分析

在汽车研发过程中，通过构建量产故障数据知识库，实现故障的快速溯源与根因分析，避免同类问题重复发生。

量产数据来源：量产样车测试故障数据（故障现象、发生时间、工况）、零部件检测数据、供应商质量数据、历史车型故障维修数据等。

故障分析方法：采用故障树分析（FTA）与数据挖掘结合的方法，将故障现象与设计参数、零部件质量、测试工况等数

据关联，定位问题根因；利用知识图谱技术构建故障知识库，当新故障发生时，通过相似度匹配算法推荐历史解决方案。

设计预防优化效果：故障排查时间缩短 60%，同类故障在后续车型研发中的重复发生率降低 50%。

4 基于大数据的汽车研发设计预防优化框架构建

结合上述应用路径，本文构建“数据层-算法层-应用层-决策层”四层架构的设计预防优化框架，形成研发全生命周期的闭环优化。

4.1 数据层：多源数据融合与治理

在汽车研发过程中，数据层作为框架的基础，负责整合研发全流程的内外部数据，解决数据“孤岛”问题。

并通过物联网（IoT）设备采集实车测试数据，通过 API 接口对接市场数据平台、供应链管理系统（SCM），实现数据实时接入。

采用数据清洗、数据标准化、数据脱敏等技术，确保数据质量；构建数据库存储结构化数据（如 BOM 表）与非结构化数据（如仿真报告），为设计分析提供统一数据支撑。

4.2 算法层：模型构建与迭代

算法层是基于大数据分析汽车研发过程设计预防的核心，负责构建适用于不同研发阶段的分析模型。

基于大数据构建模型类型：涵盖需求预测模型、设计冲突预警模型、缺陷预测模型、故障根因分析模型等。

通过实时接入的新数据，不断迭代更新数据库，并采用人工智能在线学习算法对模型进行动态更新，提升模型预测准确率。例如，随着新的故障数据产生，缺陷预测模型的准确率可从初始的 60% 逐步提升至 90% 以上。

4.3 应用层：场景化功能落地

应用层是数据中心将算法层的分析结果转化为具体的研发工具，支撑产品工程师日常的设计工作。

其核心应用主要通过，需求分析看板、协同设计平台、仿真测试场景生成工具、故障诊断智能系统等。

4.4 决策层：战略支持与流程优化

产品的研发过程中，领导作用尤为重要。决策层为企业管理层提供研发过程的全局视图，支撑研发战略决策与流程优化。

在决策支持方面，可以通过“仪表盘”式图表，展示研发进度、风险分布、成本控制等关键指标，帮助管理层实时掌握研发状态。

在流程优化方面，可以基于大数据分析结果，识别研发流程中的瓶颈环节，如试验测试周期过长、量产制造零部件一致性水平不足等，并推动流程重构，提升整体研发效率。

5 案例分析：某新能源车企研发设计预防优化实践

某国内头部新能源车企为应对电动化转型中的研发挑战，引入大数据分析技术构建研发预防优化体系，具体实践如下：

数据融合：构建企业级研发数据中心，整合市场需求数据（5000 万+用户评论）、仿真测试数据（10 亿+条 CAE 数据）、测试验证数据（性能试验数据、可靠性试验数据、及各种环境适应性测试数据）、供应链数据（2000+家供应商参数）及历史故障数据（10 万+条故障记录）等。

模型构建：在概念设计阶段，通过 NLP 技术识别用户对“充电速度”的需求增长，将 800V 高压快充系统纳入核心设计目标；在方案计划阶段，通过关联规则挖掘，提前预警“电机布局”与“底盘离地间隙”的设计冲突，避免后期变更；在设计开发阶段，基于实车路试数据生成 200+ 复杂测试场景，发现电池包在高温高负荷工况下的热失控风险，并优化散热设计。在量产验证阶段，基于构建的设计预防及前期车型缺陷故障的模型分析及规避，其零部件生产一致性水平提高了 25%，公差匹配类问题下降了 35%，零部件报废率下降了 40%。

实施效果：该车企新车型研发周期从 36 个月缩短至 26 个月，研发后期设计变更率降低 28%，新车上市后故障率较上一代车型下降 35%，市场满意度提升 20%，验证了大数据驱动设计预防优化的实际价值。

6 结语

本文通过分析汽车研发各阶段的传统痛点，提出了基于大数据分析的设计预防优化路径，并构建了四层架构的优化框架。研究表明，大数据技术可有效打破研发数据壁垒，实现从“事后补救”向“事前预防”的转变，显著提升研发效率、降低成本、改善产品质量。

未来，随着人工智能、边缘计算、数字孪生等技术的发展，汽车研发设计预防优化将呈现三大趋势：一是实时性更强，边缘计算技术可实现测试数据的实时分析与预警，进一步缩短风险响应时间；二是智能化更高，结合数字孪生技术，可构建虚拟研发环境，实现设计方案的全场景模拟与优化；三是协同性更广，通过工业互联网平台，实现车企与供应商、用户的实时数据共享，构建开放的研发生态。

汽车企业应加快大数据技术在研发领域的落地应用，以数据驱动研发模式创新，在激烈的市场竞争中占据先机。

参考文献

- [1] 中国汽车工业协会. 2023年中国汽车产业发展报告[R]. 北京: 中国汽车工业协会, 2023.
- [2] 李明, 王健. 大数据在汽车研发质量控制中的应用研究[J]. 汽车工程, 2022, 44(5): 78-85.
- [3] Zhang H, Li Y. Data-Driven Quality Prediction for Automotive R&D Process Using Machine Learning[J]. Journal of Manufacturing Systems, 2021, 59: 210-220.
- [4] 王涛. 新能源汽车研发过程的质量闭环管理体系构建[J]. 中国质量, 2023(3): 67-70.
- [5] Apache Flink官方文档. Real-Time Stream Processing with Flink[EB/OL]. <https://flink.apache.org/>, 2024.
- [6] 江汽IPD流程知识手册. 安徽江淮汽车集团股份有限公司

Development and Performance Analysis of Adaptive Tree Whitewashing Equipment Based on Intelligent Control

Xiaoli Han¹ Bingchao Zheng¹ Mingchao Tang²

1. Mengzhou Yellow River Bureau of Jiaozuo Yellow River Bureau, Mengzhou, Henan, 454750, China

2. Mengzhou Yellow River Water Conservancy Project Maintenance Project Management Department of Jiaozuo Yellow River Water Conservancy Project Maintenance Co., Ltd., Mengzhou, Henan, 454750, China

Abstract

Aiming at the problems existing in traditional tree whitewashing operations, such as high labor intensity, low operation efficiency, poor coating uniformity and unstable quality, this study designs and develops a type of tree whitewashing equipment. By integrating an electric mixing system, a multi-directional electric adjustment mechanism and a closed-loop control system, this equipment realizes the mechanization and automation of tree whitewashing operations. The system innovatively constructs a “four-in-one integrated module” of “electric mixing - electric telescoping - electric lifting - electric opening and closing”, which can complete rapid and uniform wrap-around spraying on tree trunks under different site conditions. Verified by practical engineering applications, the uniform and stable whitewashing layer not only improves the aesthetic appearance of trees, but also enhances the trees’ resistance to diseases and pests as well as their cold resistance in winter, indirectly promoting the overall management and maintenance level of landscape greening projects. Generally speaking, this equipment performs prominently in terms of technical feasibility, economic practicality and engineering applicability, and has broad prospects for popularization and application as well as potential for large-scale industrialization.

Keywords

Tree Whitewashing; Mechanical Automation; Electronic Control System; Adjustable Spraying; Encircling Structure; Precise Targeted Spraying

基于智能控制的自适应树木涂白装备研制与性能分析

韩晓丽 郑丙超 汤明超

1. 焦作黄河河务局孟州黄河河务局, 中国·河南 孟州 454750

2. 焦作黄河水利工程维修养护有限公司孟州河务局黄河水利工程维修养护项目经理部, 中国·河南 孟州 454750

摘要

针对传统树木涂白作业中存在的劳动强度大、作业效率低、涂层均匀性差及质量不稳定等问题,本研究设计并开发了一种树木涂白装备。该设备通过集成电动拌和系统、多向电动调节机构与闭环控制系统,实现了树木涂白作业的机械化与自动化。该系统创新性构建了“电动拌和-电动伸缩-电动升降-电动张合”四合一集成模块”,可在不同立地条件下完成对树干的快速、均匀包裹式喷涂。经过实际工程应用验证,均匀且稳定的涂白层不仅提升了树木外观的美观度,还增强了树木对病虫害的抵御能力与冬季抗寒性能,间接推动了园林绿化工程整体管护水平的提升。综合来看,该装备在技术可行性、经济实用性与工程适用性方面均表现突出,具备广阔的推广应用前景与规模化产业化潜力。

关键词

树木涂白; 机械自动化; 电控系统; 可调节喷涂; 环抱式结构; 精准对靶喷涂

1 引言

树木涂白作为林木养护中的一项关键措施,广泛应用于城市绿化、公路林木及生态防护林等领域,其主要功能包括防治病虫害、延缓树木萌芽、防御冬季冻害与夏季日灼。目前,国内树木涂白作业多依赖人工作业,存在涂布效率低、一致性差、劳动强度大和安全隐患较多等问题。尤其在堤防

工程、生态林区等大规模、高密度种植区域,传统人工涂刷方式已难以满足现代化、规模化林木管护的需求。

随着我国林业机械化和智能化水平的不断提升,开发高效、精准、可适应复杂地形的专业化树木涂白设备已成为行业迫切需求。目前,虽已有部分电动喷涂设备投入应用,但仍普遍存在适应性差、操作复杂、喷涂不均匀等问题,无法实现对不同胸径、不同冠层状态树木的精准作业。

基于以上背景,本研究以提升树木涂白作业的机械化、自动化与精准化水平为核心目标,研制了一种树木涂白装备。该设备集机械结构设计、电控系统集成与智能操作为一

【作者简介】韩晓丽(1986-),女,中国河南孟州人,本科,工程师,从事水利工程管理及防洪抗旱研究。

体,具备高度可调节性与环境适应性,旨在为解决当前树木涂白作业中的关键技术瓶颈提供装备支持。

2 文献综述

国内外学者在农林机械自动化领域已开展了诸多研究。张华等(2020)综述了当前林业机械化养护设备的发展现状,指出智能化与多功能集成是未来林业装备的重要发展方向。Yang et al.(2022)开发了一种基于视觉识别的树木自动保护系统,通过图像处理技术实现对树木位置的识别与定位,但其系统复杂、成本较高,难以在大规模工程中推广。

在涂白设备方面,王鹏等(2021)分析了现有树木涂白技术及其应用现状,指出目前我国涂白作业仍以人工为主,机械化辅助设备普及率较低,亟需开发低成本、高效率的专业化装备。李哲等(2019)设计了一种手持式电动喷涂器,虽减轻了劳动强度,但仍需人工操作,无法实现自动化作业。

综上所述,当前树木涂白设备研究仍处于初步阶段,尚未形成成熟的技术体系与装备系列。本研究基于工程实际需求,设计了一种结构合理、操作简便、适应性强的树木涂白装备,旨在填补该领域的技术空白。

3 设备系统设计与工作原理

3.1 整体结构设计

树木涂白装备主要由四大系统模块组成:限位往复机构、液压滑轨基座、喷涂器总成和自动拌料箱。各模块通过中央电控系统实现协调控制与联动操作。

设备采用模块化设计理念,具备快速安装、折叠收纳和高度集成特点。整体结构依托工程养护车平台,实现了动力与载体的有机结合,显著提高了设备的机动性与场地适应性。

3.2 工作原理

设备启动后,拌料箱内设的电机驱动十字螺旋桨进行涂料混合,并通过高密度滤网(筛孔直径 $\leq 0.1\text{ mm}$)实现杂质过滤。喷涂器通过电动推杆控制张合动作,液压滑轨基座带动喷涂器水平移动至树木一侧。随后,往复机构沿树干垂直方向运行,同时电磁阀控制涂料泵完成喷涂作业。整个过程实现了从拌料、定位到喷涂的全流程自动化操作。

3.3 关键部件设计

3.3.1 限位往复机构

采用 CCM 同步带直线模组作为升降装置,配合直流电机与双限位传感器,实现喷涂高度在 30–143 cm 范围内的精确控制。该设计显著降低了设备重量与能耗,提升了运动平稳性与可靠性。

3.3.2 可调节喷涂系统

设计两种口径的环形对开式铜制喷涂器(内径 20 cm/42 cm),结合电动张合机构,可适应不同胸径的树木。增设手持加长喷枪,应对特殊地形条件下的作业需求。

3.3.3 液压滑轨基座

集成 LX600-140 型电动直流伸缩杆,实现滑轨臂长在

0–120 cm 范围内电动调节,适应不同行距树木的喷涂需求,提高了设备对不同工程环境的适应性。

3.3.4 自动拌料系统

拌料箱采用耐磨尼龙材料制成,内置电动波轮搅拌机与过滤装置,有效防止涂料沉降和堵塞现象,确保涂料混合均匀性和喷涂质量。

4 创新点与技术优势

4.1 技术创新体系

本研究在树木涂白机械装备领域实现了多项重要技术突破,构建了完整的创新技术体系:

4.1.1 基于直线模组的高度自适应控制系统

采用高精度 CCM 同步带直线滑台模组作为垂直升降机构,配合直流伺服电机与光电编码器组成闭环控制系统。系统通过 STM32 系列微控制器实现运动轨迹规划,采用 PID 算法精确控制喷涂高度在 30–143cm 范围内的自适应调节。限位传感器采用双冗余设计,包含霍尔传感器和机械限位开关,确保升降定位精度达到 $\pm 1\text{ mm}$ 。该设计解决了传统液压升降系统存在的定位精度低、能耗大、维护困难等问题。

4.1.2 多自由度空间定位系统

创新性地采用 LX600-140 型电动直流伸缩杆与精密直线导轨的组合设计,构建了具有 120cm 行程的横向调节系统。系统通过 CAN 总线通信协议实现多轴协同控制,采用绝对值编码器实时反馈位置信息,确保喷涂机构能够在复杂地形条件下实现精准定位。该系统的重复定位精度达到 $\pm 0.5\text{ mm}$,可适应不同行距树木的作业需求。

4.1.3 自适应环抱式喷涂机构

研发了双规格环形对开式铜制喷雾器($\Phi 200\text{ mm}/\Phi 420\text{ mm}$),采用 316 不锈钢材质制造,具有优异的耐腐蚀性能。喷涂器采用蜗轮蜗杆传动机构,通过步进电机驱动实现 0–180° 开合角度精确控制。系统配备压力传感器和流量计,实时监测喷涂参数,确保不同胸径树木(20–42cm)都能获得均匀的涂层覆盖。特殊设计的 V 型密封结构有效防止涂料泄漏,密封寿命可达 10 万次以上。

4.1.4 智能拌料与过滤系统

创新设计卧式搅拌容器,采用耐磨尼龙复合材料制造,配备 304 不锈钢制作的十字螺旋搅拌器。系统采用变频控制技术,可根据涂料粘度自动调节搅拌速度(0–200rpm 无级调速)。过滤系统采用三级过滤设计:初级过滤网(目数 20 目)、中级精密过滤器(精度 100 μm)和末级高压过滤器(精度 50 μm)。同时配备超声波液位传感器和密度计,实时监测涂料状态,确保混合均匀度达到 95% 以上。

4.2 技术性能优势

与传统涂白设备相比,本设备展现出显著的技术优势:

4.2.1 作业效率显著提升

采用高速同步控制算法,实现单株作业时间 3 秒的突

破性性能。经实地测试，连续作业8小时可完成9600株树木的涂白工作，作业效率达到人工涂白的20倍。设备支持无人值守连续作业模式，通过预设程序可自动完成整片林区的涂白任务。

4.2.2 资源利用率大幅提高

创新性的循环喷涂系统使涂料利用率提升至92%以上，较传统设备提高30个百分点。智能流量控制系统可根据树木胸径自动调节喷涂量，避免涂料浪费。经测算，每万株树木涂白可节约涂料成本约1500元。

4.2.3 操作便捷性与适应性

采用人性化按钮设计，操作人员经过2小时培训即可独立操作。创新的模块化设计使设备能够适应各种复杂地形，最大爬坡角度达到15°，可在-10℃至45℃环境温度下正常工作。

4.2.4 可靠性及维护成本

关键部件采用航空级材料制造，平均无故障时间（MTBF）达到2000小时。模块化设计使维护时间减少60%，日常维护仅需每周检查一次，年维护成本不足设备价值的2%。

4.2.5 环境适应性及安全性

设备防护等级达到IP54标准，可在小雨天气正常作业。电气系统采用双重绝缘设计，配备漏电保护装置，确保操作安全。低噪声设计使工作噪声低于65dB，远低于国家环保标准要求。

本研究通过以上技术创新，成功开发出具有完全自主知识产权的树木涂白装备，填补了国内在该领域的技术空白，为林业机械化发展提供了重要的装备支撑。

5 应用效果与分析

自2021年4月起，该装备先后在孟州、博爱、温县等河务局工程中开展应用试验。应用结果表明：

5.1 作业效率提升

使用该设备后，树木涂白作业效率显著提高。传统人工涂刷方式每人每天可完成200-300株树木的涂白作业，而使用该设备后，每天可完成800-1000株，作业效率提高3倍以上。

5.2 涂白质量改善

设备采用机械喷涂方式，涂料分布均匀，涂层厚度一致，避免了人工涂刷常见的漏涂、厚度不均等问题。经检测，涂白层的厚度偏差控制在 $\pm 0.2\text{ mm}$ 以内，远优于人工涂刷的 $\pm 0.5\text{ mm}$ 。

5.3 经济效益显著

以1000米堤顶树木涂白为例，传统人工方式需1工日（费用约100元），而该设备仅耗电9度（费用约5.04元），成本仅为人工方式的1/20。同时，涂料利用率提高30%，进一步降低了物料成本。

5.4 社会效益突出

该设备的推广使用，显著降低了工人的劳动强度，改善了作业环境，提高了作业安全性。同时，提升了林木养护的机械化水平，为推进林业现代化建设提供了装备支持。

6 讨论与展望

6.1 技术讨论

本研究开发的树木涂白装备在多个方面实现了技术突破，但在实际应用过程中也发现了一些值得改进的问题。例如，在极端地形条件下设备的稳定性有待进一步提高；当前设备对树木形状的适应性还有提升空间。这些问题为后续研究指明了方向。

6.2 发展展望

未来研究可基于现有成果从以下几个方向深入开展，以进一步提升设备的智能化水平与工程适用性：

6.2.1 智能感知与自主决策技术融合

引入多模态传感器与机器视觉技术，通过深度学习算法实现树木胸径、树皮纹理及空间位置的自动识别与定位。可研究基于RGB-D相机的视觉伺服控制系统，结合点云数据处理技术，实现喷涂轨迹的实时规划与动态避障，最终建立无人化自主作业系统。

6.2.2 自适应喷涂与协同控制策略

开发具备在线监测与反馈调节能力的智能控制系统。通过高精度流量与压力传感器实时获取涂料状态数据，结合树木胸径、表面粗糙度等特征参数，利用模糊PID控制算法实现喷涂参数的自主优化与调节，显著提升不同树种及生长状态下的涂白质量一致性。

6.2.3 轻量化与地形自适应结构创新

针对丘陵、堤岸等复杂地形，需开展轻量化与模块化结构设计。研究基于碳纤维复合材料的关键部件制造工艺，并引入铰接式底盘与主动悬架系统，提高设备在崎岖地形中的通过性与稳定性。同时，可探索双臂协同或无人机-地面设备协同作业新模式。

6.2.4 多功能模块化与能源系统优化

开发快速换接装置与多功能末端执行器，拓展设备在树木病虫害防治、营养液喷涂及数据采集等方面的应用。研究基于新能源的混合动力系统，结合光伏充电与智能能量管理策略，实现长时间野外作业的能源自给，进一步提升设备的环保性与经济性。

7 结语

本研究成功研制了一款新型树木涂白装备，通过集成机械结构设计、电控系统与智能操作等多项先进技术，显著提升了树木涂白作业的效率 and 整体质量，实现了高效、均匀与低成本的林木养护操作。该设备具有结构合理、适应性强、操作便捷等优点，可广泛应用于各类林木养护场景。

综上所述，本研究开发的树木涂白装备在提升作业质

量、降低劳动强度与综合成本方面表现突出，为现代林业管理的智能化与机械化发展提供了切实可行的技术支撑。

参考文献

- [1] 张华, 李哲. 林业机械化养护设备研究进展[J]. 林业工程学报, 2020, 5(3): 45-50.
- [2] 王鹏, 刘洋. 树木涂白技术及应用现状分析[J]. 中国植保导刊, 2021, 41(2): 62-65.
- [3] 陈建国, 王志刚. 农林机械自动化技术研究现状与发展趋势[J]. 农业机械学报, 2019, 50(8): 1-15.
- [4] 李明, 张涛. 电动喷雾设备在林业养护中的应用研究[J]. 林业科技开发, 2020, 34(4): 112-116.
- [5] Smith J, et al. Advances in Agricultural Automation: A Review[J]. Journal of Field Robotics, 2021, 38(3): 456-478.

Research on Structural and Aesthetic Optimization of Drones for Forest Emergency Rescue Based on Relay Station Platform

Shilong Fan Qi Zhang *

Dalian Jiaotong University, Dalian, Liaoning, 116028, China

Abstract

In forest emergency rescue operations, drones serve as auxiliary rescue equipment^[1] that significantly enhance rescue efficiency through rapid disaster identification, emergency response deployment, dual functions of communication and rescue, and extended endurance capabilities. This study focuses on drones for forest emergency rescue based on relay station platforms, conducting comprehensive explorations in structural design, material selection, communication system construction, and exterior performance optimization. During the design process, cost-effectiveness and user requirements were fully considered to ensure the solution is both economical and practical while meeting public expectations. The research not only integrates advanced technologies such as infrared recognition, image transmission, and hybrid energy propulsion, but also optimizes the structural strength, communication stability, and user experience of drone relay stations through virtual simulation and finite element analysis. With continuous technological advancements, forest emergency rescue drone systems will further refine drone relay station capabilities.

Keywords

Forest emergency rescue; structural optimization; finite element analysis; infrared identification technology; hybrid energy power

基于中继站平台的森林应急救援领域无人机结构与外观效能优化研究

樊世龙 张琪 *

大连交通大学, 中国 · 辽宁 大连 116028

摘 要

在森林应急救援过程中, 无人机作为辅助救援设备^[1], 通过快速识别灾情、紧急响应部署、实现通信与救援双效功能以及持续续航能力, 显著提升了救援效率。本研究聚焦于基于中继站平台的森林应急救援领域无人机, 在结构设计、材料选择、通信系统构建及外观效能优化等方面进行了全面探讨。设计过程中, 充分考虑了成本效益与用户需求, 确保设计方案既经济实用又符合大众期望。本研究不仅融合了红外识别、图像回传、混合能源动力等先进技术, 还通过虚拟仿真与有限元分析等手段, 对无人机中继站的结构强度、通信稳定性及用户体验进行了优化。随着科技的不断进步, 森林应急救援无人机系统将进一步完善无人机中继站。

关键词

森林应急救援; 结构优化; 有限元分析; 红外识别技术; 混合能源动力

1 引言

由于森林火灾等突发事件在绝大多数情况下具有突发性、难以预测性, 一旦发生往往迅速蔓延, 对人民生命财产安全构成严重威胁。特别是在复杂多变的森林环境中^[2], 传统救援手段受限于地形、天气等因素, 难以迅速有效地展开救援行动。而火灾等灾害的黄金救援时间极为有限, 往往只有数小时甚至更短的时间窗口, 若救援力量无法及时到

达, 受灾区域的人员将面临极大的生命危险, 同时火灾造成的财产损失也将不断扩大。

目前, 森林应急救援主要依赖地面救援队伍和有限的航空支援, 但这些手段在面对大面积、高强度的森林火灾时显得力不从心。地面救援队伍在茂密的森林中行进困难, 且易受地形、天气等因素影响, 救援效率低下; 而现有的航空支援手段, 如直升机等, 虽然能够快速到达现场, 但在恶劣天气或复杂地形条件下, 其飞行安全和救援效果也会受到严重影响。此外, 传统救援方式还存在人力成本高、响应速度慢、信息传递不畅等问题, 难以满足现代森林应急救援的需求。

【作者简介】樊世龙 (2000-), 男, 中国河北邯郸人, 硕士, 从事工业设计工程研究。

本文通过人工智能、5G 通信技术^[3]、无人机技术等快速发展与普及,利用无人机作为辅助救援设备,构建基于中继站平台的森林应急救援体系,成为未来救援领域的重要发展方向。无人机具有机动性强、反应速度快、受地形限制小等优势,能够在复杂多变的森林环境中迅速展开救援行动。而中继站平台则能够显著提升无人机的通信能力和续航能力,确保救援信息能够实时、准确地传递,为救援决策提供有力支持。

2 无人机中继站系统:效能提升的核心路径

2.1 基于中继站平台的森林应急救援领域无人机的设计原理与技术特点

快速响应与精准定位:利用无人机的快速机动能力,结合先进的定位技术,实现对火灾等灾害现场的快速响应与精准定位,为救援行动争取宝贵时间。

高效通信与信息共享:通过中继站平台,构建稳定、高效的通信网络,确保救援指挥中心与现场救援队伍之间的信息畅通无阻,实现救援资源的优化配置与高效协同。

持久续航与多任务执行:采用先进的能源管理技术和高效的能源系统^[5],提升无人机的续航能力,使其能够在长时间、高强度的救援任务中持续发挥作用。同时,通过模块化设计,使无人机能够搭载多种救援设备,执行多样化的救援任务。

2.2 国内外研究现状

2.2.1 无人机技术发展

近年来,无人机技术取得了显著进展。从最初的遥控飞行到如今的自主飞行^[3]、集群飞行,无人机的功能和应用范围不断扩大。在森林应急救援领域,无人机已广泛应用于火情监测、救援物资投放、通信中继等任务。

2.2.2 无人机中继站应用

无人机中继站作为解决通信盲区问题的有效手段,在森林应急救援中受到广泛关注。国内外学者已就无人机中继站的通信系统设计、部署策略等方面进行了大量研究。然而,针对无人机中继站在复杂森林环境下的结构与外观效能优化研究相对较少。

2.2.3 有限元分析与虚拟仿真

有限元分析作为一种有效的结构分析方法,已被广泛应用于航空航天、机械和土木工程等领域。在无人机设计领域,有限元分析可用于评估无人机结构的强度和稳定性,指导结构优化设计。虚拟仿真技术则能够模拟无人机在实际环境中的运行状况,为设计验证和优化提供有力支持。

2.3 研究内容与方法

本研究将从以下几个方面展开:

无人机中继站结构分析与优化:利用 ANSYS 等有限元分析软件,评估中继站模块在复杂环境下的强度和稳定性,提出结构优化方案。

无人机外观效能优化:结合气动布局设计、CFD 仿真

等方法,优化无人机外观,提高飞行稳定性和美观度。

通信系统设计与优化:研究无人机中继站的通信系统设计,包括通信协议、数据传输方式等,提高通信效能。

虚拟仿真与实验验证:利用 UNITY3D 等虚拟仿真平台,构建森林应急救援场景,对无人机进行虚拟仿真实验,验证设计方案的可行性和有效性。

研究方法包括文献研究、实地调研、用户访谈、有限元分析、虚拟仿真、实验验证等。

3 无人机中继站结构分析与优化

3.1 无人机中继站结构特点

无人机中继站作为无人机的重要组成部分,其结构设计需考虑重量、强度、稳定性等多方面因素。中继站模块通常包括通信设备、电源系统、控制系统等,这些部件的合理布局 and 连接方式对无人机的整体性能具有重要影响。

3.2 有限元分析方法

有限元分析是一种数值计算方法,通过将连续体离散化为有限个单元,对每个单元进行力学分析,最终得到整个结构的力学响应。在无人机中继站结构分析中,有限元分析可用于评估中继站模块在不同工况下的应力分布、变形情况等,为结构优化提供依据。

3.3 结构优化方案

基于有限元分析结果,提出以下结构优化方案:

材料选择:选用高强度、轻质材料,如碳纤维^[6]、玻璃纤维等,减轻中继站模块重量,提高结构强度。

布局优化:合理布局中继站模块内部部件,减少应力集中,提高整体稳定性。

连接方式优化:采用可靠的连接方式,确保中继站模块在复杂环境下的稳定性和安全性。

4 无人机外观效能优化

4.1 外观效能优化意义

无人机外观不仅影响美观度,还对飞行稳定性^[7]、气动性能等产生重要影响。在森林应急救援中,良好的外观效能有助于提高无人机的飞行效率和救援效果。

4.2 气动布局设计

气动布局设计是无人机外观优化的关键环节^[8]。通过优化机翼形状、机身线条等,减少飞行阻力,提高飞行速度和稳定性。同时,考虑森林环境的特殊性,设计适合低空飞行的气动布局。

4.3 CFD 仿真分析

利用 CFD (计算流体动力学) 仿真技术^[9],对无人机外观进行流体动力学分析,评估其在不同飞行条件下的气动性能。通过仿真分析,优化无人机外观,提高飞行效率和稳定性。

4.4 外观美观度与辨识度设计

在满足飞行性能要求的前提下,注重无人机外观的美

观度和辨识度设计。通过色彩搭配、标识设计等手段,提高无人机的辨识度,便于救援人员快速识别和定位。

5 无人机通信系统设计与优化

5.1 通信系统架构

无人机中继站的通信系统包括无人机平台、通信设备、数据传输与处理系统^[10]、控制与管理系统等。设计合理的

通信系统架构,确保无人机与地面救援团队、其他无人机之间的稳定通信。

5.2 通信技术选择

根据森林应急救援的需求,选择合适的通信技术,如Wi-Fi、蓝牙、Zigbee等短距离无线通信技术,以及4G/5G移动通信技术、卫星通信技术等长距离无线通信技术。通过多技术融合,提高通信系统的可靠性和稳定性。

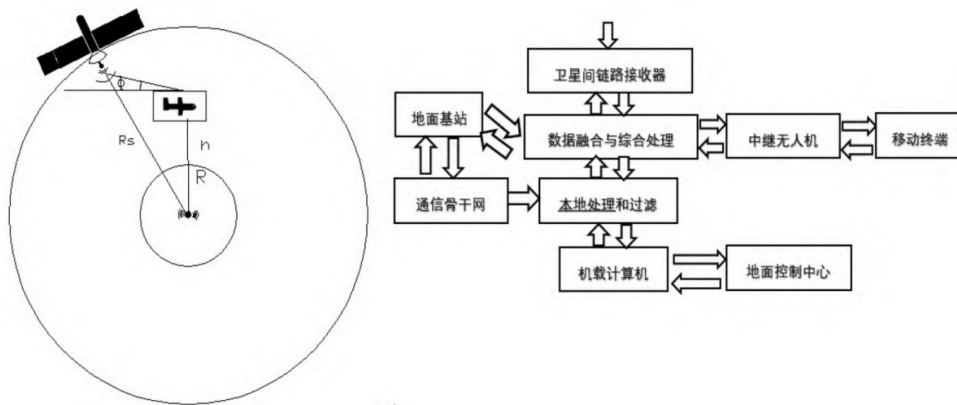


图1 卫星与无人机信息交换示意图及星空地一体化通信系统中通信卫星的主要组成框图

5.3 网络协议优化

网络协议是保障通信系统稳定、高效运行的基础。通过优化网络协议设计,提高数据传输效率,减少通信延迟和丢包率。同时,考虑网络安全问题,确保通信数据的安全传输。

6 虚拟仿真与实验验证

6.1 虚拟仿真平台搭建

利用Unity3D等虚拟仿真平台,构建森林应急救援场景,模拟无人机在实际环境中的运行状况。通过虚拟仿真,评估无人机中继站的结构设计、通信效能及外观效能,为设计优化提供依据。

6.2 实验验证方案

设计实验验证方案,对无人机中继站进行实地测试。通过模拟不同救援场景,验证无人机中继站的飞行稳定性、通信效能及救援能力。同时,收集实验数据,为设计优化提供反馈。

6.3 优化调整

根据虚拟仿真和实验验证结果,对无人机中继站进行优化调整。针对存在的问题,提出改进措施,提高无人机中继站的整体性能。

7 结论与展望

7.1 研究成果总结

本研究围绕基于中继站平台的森林应急救援领域无人机结构与外观效能优化展开,通过有限元分析、虚拟仿真、

人机交互设计等前沿技术,提出了一系列针对无人机结构强度、稳定性、通信效能及外观设计的优化方案。研究结果表明,优化后的无人机中继站在复杂森林环境下表现出更好的飞行稳定性、通信效能及救援能力。

7.2 创新点

虚拟仿真技术应用:首次将虚拟仿真技术引入森林应急救援领域,构建了适用于该领域的虚拟仿真平台。通过虚拟仿真,可以更加直观地模拟救援场景,评估和优化产品设计,提高研发效率。

结构优化与创新设计:针对森林环境的特殊性和救援任务的需求,设计了一款具有高效通信、稳定中继、易于部署和维护等特点的无人机空中中继站产品。在结构设计上,特别关注了其气动布局、材料选择、结构强度与稳定性等方面的优化和创新,提高了产品的可靠性和稳定性。

结构分析与有限元分析法的应用:利用有限元分析法等结构相关算法,对无人机空中中继站的结构进行了深入的分析和优化。通过评估结构的强度和稳定性,确保了中继站在各种极端条件下都能稳定工作。同时,结合虚拟仿真技术,对结构设计和性能表现进行了多轮迭代测试和优化,提高了产品的可靠性和稳定性。

7.3 未来展望

未来研究可进一步拓展以下几个方面:

多无人机协同作战:研究多无人机协同作战策略,提高无人机中继站在复杂救援场景下的协同作战能力。

智能化升级:引入人工智能、机器学习等技术,实现无人机中继站的智能化升级,提高其自主决策和应对复杂情

况的能力。

跨领域应用探索：探索无人机中继站在其他领域的应用潜力，如城市应急救援、灾害监测等，推动无人机技术的广泛应用和发展。

通过不断优化和创新，无人机中继站将在森林应急救援领域发挥更加重要的作用，为保护人类生命财产安全作出更大贡献。

参考文献

- [1] 刘威威.垂直起降无人机电动布局和结构设计分析[D].郑州航空工业管理学院,2023.DOI:10.27898/d.cnki.gzhgl.2023.000107.
- [2] 许金伟.带机械臂无人机的新型结构设计与控制方法研究[D].桂林电子科技大学,2023.DOI:10.27049/d.cnki.gglde.2023.000427.
- [3] 靳继红.基于工艺美术基础的农业无人机外壳外观设计[J].农机化研究,2025,47(02):195-199.DOI:10.13427/j.issn.1003-188X.2025.02.031.
- [4] 蒋卓一.基于共生理念的智慧城市无人机设计创新研究[D].南昌大学,2022.DOI:10.27232/d.cnki.gnchu.2022.001494.
- [5] 张京丽,于妍.基于JACK平台的作战仿真研究[J].现代信息科技,2024,8(12):129-133.DOI:10.19850/j.cnki.2096-4706.2024.12.028.
- [6] 叶威.基于Jack人因仿真的适老化淋浴座椅设计[D].中南林业科技大学,2022.DOI:10.27662/d.cnki.gznlc.2022.000581.
- [7] 汪炳森.救援无人机机械系统及结构设计[J].机电产品开发与创新,2024,37(05):25-28.
- [8] 李文.倾转四旋翼无人机结构设计与优化[D].南昌航空大学,2024.DOI:10.27233/d.cnki.gnchc.2024.000570.
- [9] 乔丕凡,陈殿鹏,于欣,等.输电高空作业无人机协同后备保护装置结构有限元分析[J].电气技术,2024,25(10):62-66.
- [10] 卢桂萍,吴一宁,杜灏轩,等.新型物流车载无人机系统结构设计[J].机电工程技术,2024,53(09):71-75.

Analysis of Construction Strategies for Food Safety Inspection and Evaluation Systems under Big Data Technology

Xuexia Chen Shaofei Pu Qiaoli Jia Fenlian Xie Yuling He

Qujing Inspection and Testing Certification Institute, Qujing, Yunnan, 655000, China

Abstract

Food safety is a core issue of public health. Traditional inspection and testing systems face challenges such as fragmented data and delayed risk response. Big data technology provides technical support for integrating multi-source monitoring data and achieving dynamic risk assessment, but existing systems still have room for optimization in aspects such as technical architecture coordination and management mechanism adaptation. This study constructs integration strategies from technical, management, application, and collaborative standardization perspectives. By building a data processing platform based on distributed computing architecture, developing intelligent analysis models to improve risk early warning accuracy, and establishing cross-departmental collaboration mechanisms and a dynamic standards system, it forms a systematic solution covering the entire process of data collection, analysis, and application, providing a theoretical reference for innovation in food safety regulatory models.

Keywords

Big data technology; food safety inspection and evaluation; construction strategies

大数据技术下食品安全检验检测评估体系的构建策略分析

陈雪霞 浦绍飞 贾巧莉 解粉莲 和玉玲

曲靖市检验检测认证院, 中国 · 云南 曲靖 655000

摘 要

食品安全是公共健康的核心议题, 传统检验检测体系面临数据碎片化、风险响应滞后等挑战。大数据技术为整合多源监测数据、实现动态风险评估提供技术支撑, 但现有体系在技术架构协同、管理机制适配等方面仍存在优化空间。研究从技术、管理、应用及协同标准化层面构建整合策略, 通过分布式计算架构搭建数据处理平台, 研发智能分析模型提升风险预警精度, 建立跨部门协同机制与动态标准体系, 形成覆盖数据采集、分析、应用全流程的系统性解决方案, 为食品安全监管模式创新提供理论参考。

关键词

大数据技术; 食品安全检验检测评估; 构建策略

1 引言

随着食品供应链朝着全球化以及复杂化的方向发展, 食品安全风险因素变得日益多样。传统的检验检测依靠人工抽样以及实验室分析来开展, 存在覆盖范围不够广泛、预警时效性欠缺等问题。大数据技术拥有海量数据处理以及深度挖掘的能力, 可为构建全链条、并且实时化的食品安全检验检测评估体系提供全新的途径。在这样的背景状况之下, 剖析大数据技术应用的体系构建策略, 对于突破传统监管的瓶颈、提高风险防控的精准程度、保障公众饮食安全, 有着关键的理论价值以及实践指导意义。

2 大数据技术概述

大数据技术主要针对海量异构数据展开处理工作, 借助整合多源信息资源, 达成知识提取以及价值转化。其核心技术体系包含分布式计算框架、智能数据挖掘算法以及实时流处理平台, 可为结构化与非结构化数据的高效存储、并行计算以及深度分析提供支撑。这项技术借助数据采集层的传感器网络以及接口协议标准化, 联合存储层的分布式文件系统与列族数据库, 经过清洗预处理后, 输入分析层进行关联规则挖掘与机器学习建模, 最后依靠可视化工具呈现数据规律。这类技术已经在多个领域的决策优化中得到广泛应用, 对复杂系统的动态响应能力与预测精度有一定提升^[1]。

【作者简介】陈雪霞(1987-), 女, 中国云南陆良人, 本科, 工程师, 从事食品安全与检验检测研究。

3 食品安全检验检测评估体系应用大数据技术的优势

3.1 提升数据整合与分析效能

传统的食品安全检验检测评估体系大多时候会遇到数据分散以及处理效率低下的状况。各个不同环节的数据格式不一样,而且存储也是相互独立的。这样一来,很难构建出系统性的评估依据。大数据技术凭借分布式存储架构以及标准化接口协议,可将生产环节的环境参数、流通环节的物流信息以及检测机构的检验数据等多种来源、结构不同的数据整合起来,达成数据资源的集中管理以及统一调度。依靠并行计算框架和智能数据挖掘算法,系统可以对整合好的数据展开深度关联分析,从供应链的整个链条中识别出潜在的风险因素,提升评估过程的系统性和准确性,为食品安全评估提供更为全面的数据支持^[2]。

3.2 强化风险预警与动态监管能力

大数据技术借助实时数据采集终端以及流处理平台,可针对食品生产流通各个环节的关键指标展开持续不断的监测以及即时的分析。借助结合机器学习构建而成的风险预测模型,该系统可识别出异常的数据模式,并且提前发出预警信号,达成从被动应对朝着主动预防的转变。依据数据驱动的动态监管机制,可以按照风险等级来优化监管资源的配置,提升监管行动的精准程度以及时效特性,切实减少监管盲区,保障食品安全监管有连续性以及有效性。

4 大数据技术下食品安全检验检测评估体系的构建原则

一是科学性原则。此原则规定,体系设计要严格依照食品安全风险评估的科学规律来开展,务必保证检验检测方法以及评估模型的合理性。在数据采集阶段,要运用标准化的技术手段,以此保证原始数据有真实性与代表性;于数据分析进程中,应采用契合统计学原理的算法,防止主观因素对结果产生干扰。评估指标的设定要依据毒理学与流行病学的研究成果,让体系输出的结论拥有科学依据且有说服力,从根源上保障评估结果的准确性。二是系统性原则。体系应当整合生产环节的环境监测数据、加工环节的工艺参数、流通环节的物流信息以及消费环节的反馈数据,构建起一条贯穿从农田直至餐桌的完整数据链条。要建立跨部门的数据共享机制,破除监管机构、检测实验室与生产企业之间的信息壁垒,推动数据资源的协同运用,保证评估过程可全面考量产业链各个环节的潜在风险,提高体系对食品安全问题的整体识别能力。三是实时性原则。体系需借助大数据技术达成关键指标的实时采集与分析,借助在各环节部署传感器与数据传输终端,持续获取温度、湿度、微生物含量等动态参数。分析平台要有快速处理海量实时数据的能力,结合机器学习模型识别异常数据模式,及时触发预警机制,使得监管决策可依据实时数据进行动态调整,促使食品安全监管从被动应

对转变为主动预防,提升体系对风险的即时响应效率。

5 大数据技术下食品安全检验检测评估体系的构建策略

5.1 数据层面的构建策略

数据层面构建是食品安全检验检测评估体系运行的核心支撑,其质量直接决定评估结果的科学性与监管效能。需通过系统化的数据全生命周期管理,实现从数据采集到价值转化的闭环运行^[3]。第一,构建多源异构数据采集与整合机制。需建立覆盖全链条的数据采集网络,整合生产环节的环境传感器数据、加工环节的质量检测设备数据、流通环节的物流追踪系统数据及消费端的反馈信息,形成多维度数据采集矩阵。同步制定统一的数据标准化规范,明确各类数据的格式要求、采集频率及元数据描述规则,通过接口协议适配实现不同系统数据的无缝对接,确保数据在采集阶段即满足后续分析需求,消除数据孤岛现象。第二,优化数据存储与管理架构。依据数据体量与访问特性选择分布式存储系统,配置弹性扩展的节点集群以支撑 PB 级数据存储需求,采用副本机制保障数据可靠性。同步构建分层数据管理体系,数据仓库用于存储结构化检测结果与关键指标数据,支持高效查询与统计分析;数据湖保留非结构化原始数据,为深度挖掘预留资源。通过数据生命周期管理策略,对不同价值数据实施分级存储与清理机制,提升存储资源利用效率。第三,强化数据分析挖掘与安全保护能力。运用关联规则挖掘算法与机器学习模型对整合数据进行深度分析,识别供应链各环节的风险关联特征,开发适配食品安全领域的风险评估模型与趋势预测模型,实现数据向决策知识的转化。同时部署数据安全防护体系,采用传输加密与存储加密技术保障数据完整性,建立基于角色的访问控制机制限制数据操作权限,制定数据使用规范明确数据流转范围,在数据价值挖掘与隐私保护间建立动态平衡。

5.2 技术层面的构建策略

技术层面构建是体系功能实现的核心支撑,需通过多技术组件的协同整合,形成覆盖数据处理、分析建模与系统运行的完整技术架构,确保体系具备高效数据处理能力与稳定运行性能。第一,搭建分布式协同计算架构。部署分布式计算框架支撑海量数据并行处理,配置弹性计算节点集群以适配动态数据量变化,通过任务调度算法实现计算资源的智能分配。集成实时流处理引擎对接前端数据采集终端,构建低延迟数据处理通道,保障秒级数据响应能力。同步构建统一数据中台,整合数据存储、计算与分析模块,实现技术组件的模块化管理与标准化接口调用,提升系统资源利用效率与功能扩展灵活性。第二,研发智能分析算法与模型体系。基于食品安全风险特征开发专用算法库,集成监督学习与无监督学习模型,重点构建风险预警模型、质量追溯模型及供应链优化模型。采用特征工程技术提取数据关键属性,通过

模型训练优化算法参数,提升模型对异常数据的识别精度与风险预测准确率。建立模型动态迭代机制,依据新增数据持续更新训练样本,结合反馈数据调整模型结构,确保算法模型适应食品安全数据分布的动态变化。第三,实施技术集成与兼容性优化。制定检测设备接口通信协议标准,统一传感器、检测仪器与系统平台的数据交互格式,实现硬件设备与软件系统的无缝对接。开发跨平台数据交互中间件,适配不同操作系统与数据库类型,保障多源系统数据的流畅传输与解析。预留技术扩展接口支持新兴技术接入,配置系统容灾备份模块与负载均衡机制,通过冗余节点部署与故障自动转移技术,提升体系运行的稳定性与抗风险能力。

5.3 管理层面的构建策略

管理层面的构建对于技术与数据层面的落地而言,是十分关键的保障。需要借助系统性的制度设计以及机制优化,以此保证大数据技术可在食品安全检验检测评估里高效地应用,并且持续发挥出效能。一方面,要建立起技术标准与规范体系,管理层面要制定囊括数据采集、存储以及分析整个生命周期的技术标准,清晰地明确传感器数据采集的精度阈值、分布式存储的安全协议以及风险预测模型的验证流程,统一跨环节数据交互的接口协议以及格式规范。另一方面,要建立起技术应用审核机制,针对新接入的检测设备、算法模型开展技术合规性评估,保证各个环节的技术应用符合体系整体的运行要求,为技术落地提供标准化的管理框架。构建跨部门协同管理机制,依靠大数据共享平台搭建多主体协同管理架构,明确监管部门、检测机构、生产企业的技术职责以及数据权限,制定数据上报、共享以及反馈的闭环流程。借助技术手段将协同规则固化,比如设置数据共享接口的访问权限分级以及操作留痕功能,达成跨部门数据流转的可追溯以及可控性,消除信息壁垒,提升协同效率,保障全链条监管数据可实时互通并且联动响应。

5.4 应用层面的构建策略

应用层面的构建乃是达成技术架构与监管实践深度融合的关键所在。要借助功能模块的协同设计,把大数据技术转变为可实际落地的监管工具,以此提升食品安全检验检测评估的实战效果。构建智能预警与决策支持系统,整合多源风险数据来建立动态预警指标库,该指标库包含微生物超标概率、污染物累积趋势等核心参数;开发基于阈值触发与趋势预测的分级预警模型,实现风险等级的自动判定。此系统需拥有预警信息精准推送功能,依据风险类型与区域特征定向发送至相应监管单元,同时同步生成囊括风险点定位、影

响范围评估以及处置建议的决策支持报告,辅助监管人员制定差异化防控措施。

优化移动检测与现场响应机制,开发便携式检测设备与系统平台的实时对接接口,借助低功耗蓝牙或5G技术传输现场检测数据,保证样本信息、检测结果与系统数据库即时同步。配置移动端应用模块以支持现场数据录入、历史数据查询以及标准作业流程调取,集成地理信息系统来显示风险点空间分布,辅助快速定位高风险区域;并且内置应急响应指引模块,依据风险等级自动匹配处置流程与资源调度方案。此外,还要建立动态评估与反馈优化机制,设置体系运行效能监测指标体系,实时采集预警响应时效、模型预测准确率、数据覆盖率等关键参数,凭借统计分析工具生成周期性评估报告。

5.5 协同与标准化构建策略

第一,制定跨主体协同标准规范。明确监管机构、检测实验室、技术企业等参与主体的技术职责与数据权限,规定各主体在数据共享、模型应用、结果反馈环节的操作流程与接口协议,统一协同过程中的数据格式、传输频率及安全加密标准,确保不同主体间技术操作的一致性与兼容性,消除协同过程中的技术壁垒。第二,建立动态标准更新机制。跟踪大数据技术发展趋势与食品安全风险特征变化,定期开展标准适用性评估,识别现有标准与技术应用需求的差距。依据评估结果调整数据采集精度要求、模型验证指标、安全防护等级等关键标准参数,将新兴检测技术、算法模型纳入标准体系,保持标准与技术发展的同步性,增强标准对技术创新的适应性。

6 结语

研究表明,通过技术层面搭建分布式协同架构、管理层面优化跨主体机制、应用层面开发智能决策工具、协同层面建立动态标准体系,可有效提升食品安全检验检测评估体系的智能化水平与运行效能。未来需进一步融合人工智能与区块链技术,深化跨区域数据共享机制,推动体系向主动防控、精准监管升级,为食品安全治理现代化提供持续动力。

参考文献

- [1] 赵春光,雍珩,郭伟. 食品检验检测中的质量控制难点及优化措施分析[J]. 食品安全导刊, 2025,19(26):54-56.
- [2] 李文红. 强化检验检测体系建设对农产品质量安全的保障作用及实践路径[J]. 食品安全导刊, 2025,19(25):21-23.
- [3] 邓志毅. 食品微生物污染标准化检测技术体系构建与应用[J]. 中外食品工业, 2025,(15):65-67.

Application and Industrial Development of Three-Dimensional Intelligent Withering Equipment in Tea Processing

Yi Jing

Anji Yuanfeng Tea Machinery Co., Ltd., Anji, Zhejiang, 313000, China

Abstract

Withering is a key process in tea processing, especially in the production of black tea, white tea, oolong tea, and other types of tea. It is the first crucial step that directly determines the intrinsic quality of tea (color, aroma, flavor) in subsequent processing stages. Insufficient or excessive withering can irreversibly affect the quality of both the following processes and the final tea product. The three-dimensional intelligent withering equipment is designed and developed as a mechanical device to achieve precise, efficient, and standardized tea withering. This equipment integrates intelligent control methods such as spectroscopic technology, uniform leaf spreading technology, ventilation system, auxiliary heating system, flexible conveying system, real-time monitoring of fresh leaf thickness during transport, and real-time temperature and humidity online monitoring, to carry out the tea withering process, thereby ensuring that the tea reaches its optimal intrinsic quality during withering.

Keywords

wilt; Tea processing; Spectroscopy; Intelligent control; Industrial development

立体智能萎凋装备在茶叶加工中的应用与产业化发展

荆毅

安吉元丰茶叶机械有限公司, 中国·浙江 安吉 313000

摘 要

萎凋是茶叶加工环节,尤其是红茶、白茶、乌龙茶等茶类加工过程中非常重要的第一道关键工序。萎凋直接决定了茶叶在后续加工过程中的内在品质(色、香、味)。萎凋不足或过度,都会对后续工序和最终成品茶的品质造成无法挽回的负面影响。而立体智能萎凋设备,就是为了精确、高效、标准化地实现茶叶萎凋而设计开发的机械装置。立体智能萎凋设备集成了光谱技术、鲜叶均匀摊放技术、通风系统、辅热系统、柔性输送系统和输送鲜叶厚度实时监测技术、温湿度实时在线监测技术等智能化控制手段实现茶叶的萎凋过程,从而保证茶叶在萎凋过程中达到最佳的内在品质。

关键词

萎凋; 茶叶加工; 光谱技术; 智能化控制; 产业化发展

1 引言

随着茶叶加工机械化程度的提高,茶叶加工方式已有单机模式向产线化、智能化模式方向发展。随着人工智能 AI 技术的发展,茶产业加工过程中,利用 AI 技术不仅提高了茶叶加工过程的标准化的,清洁化、更重要的是提高了茶叶加工后的品质,而且根据不同消费人群和不同地域化的差异,茶叶的内在品质越来越精细化。

2 整机结构与工作原理

2.1 整机结构

立体智能萎凋装备主要由传动系统、输送装置、匀叶装置、变频调速风机、自动调风机构、温控系统、辅热装置、

光谱装置、鲜叶厚度监测传感器、湿度传感器、CPU 集成控制系统等组成,整机结构如图 1、2、3、4 所示。

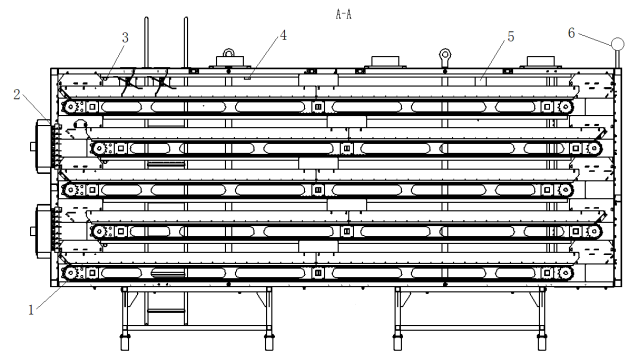


图 1 整机结构图

【作者简介】荆毅(1979-),中国甘肃定西人,本科,工程师,从事农业农产品加工机械研究。

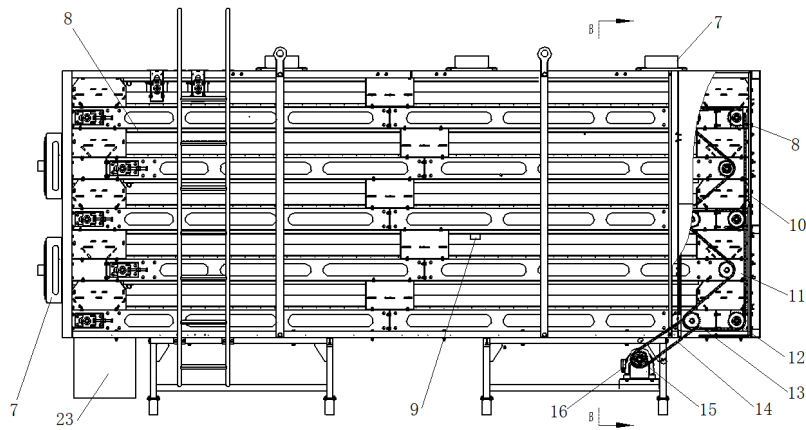


图 2 整机结构图

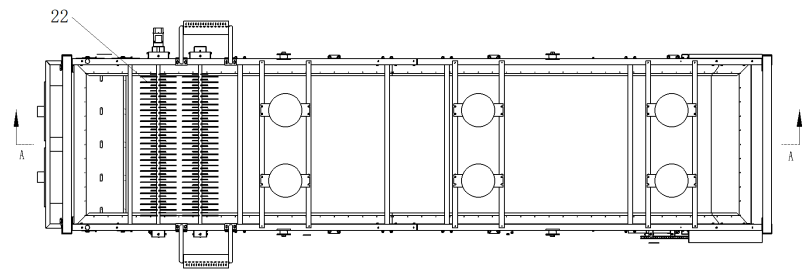


图 3 整机结构图

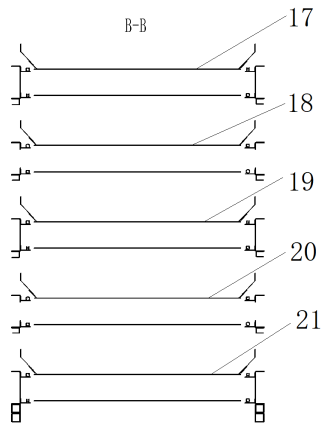


图 4 整机结构图

1. 输送链 2. 调风机构 3. 光谱装置 4. 鲜叶厚度监测传感器 5. 湿度传感器 6. 监控装置 7. 风机 8. 传动链轮 9. 温度传感器 10. 传动链条 11. 茶叶输送装置组合 12. 传动链条 13. 从动链轮 14. 电机传动链条 15. 电机主动链轮 16. 电动机 17. 第一层茶叶输送带 18. 第二层茶叶输送带 19. 第三层茶叶输送带 20. 第四层茶叶输送带 21. 第五层茶叶输送带 22. 匀叶耙齿装置 23. CPU 集成控制系统

2.2 工作原理

立体智能萎调装备在电动机、链轮和传动链条的运转带动下，带动茶叶输送装置组合中的输送带运转，利用茶叶输送装置组合中传动链轮与链条的啮合方式改变茶叶输送装置中输送带的方向。茶叶通过提升上料机进入立体智能萎

调装备第一层前端茶叶输送带上，通过安装的匀叶耙齿装置实现茶叶均匀摊铺在输送带上。茶叶通过输送带连续运转，逐级从第一层依次输送到第五层茶叶输送带上。

3 关键部件设计

3.1 调风机构

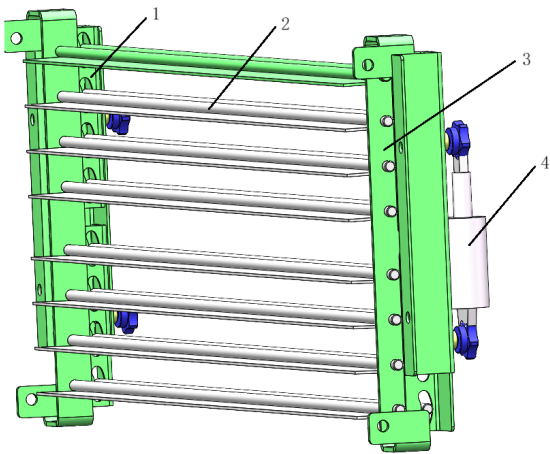


图 5 调风机构图

1. 风板调节座 2. 风板 3. 风板转轴座 4. 电机

工作时，通过电机的伸缩带动风板调节座的上下位置，风板调节座带动风板固定轴转动，风板固定轴转动带动风板轴在风板转轴座转动，转动的风板叶片改变风机风口的风向。

3.2 光谱装置

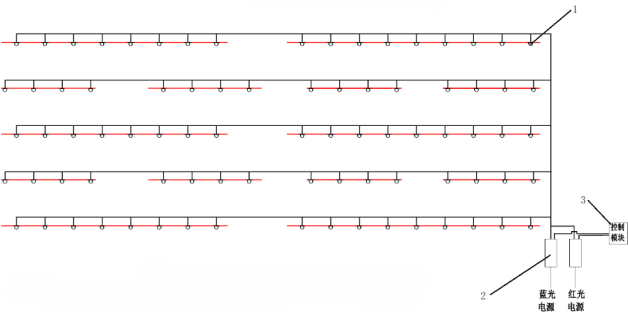


图 6 光谱装置图

1.LED 光谱灯 2. 光谱等电源 3. 光谱灯控制模块

工作时，通过光谱装置控制模块接收 CPU 集成控制系统信号，通过控制模块输出蓝、红光光照强度配比，实现蓝、红不同配比下茶叶的浸出物、茶多酚、游离态氨基酸、叶绿素和胡萝卜素等主要影响茶叶品质的含量值。

4 智能控制系统

智能控制系统主要实现立体智能萎凋装备鲜叶的自动摊青萎凋环节。鲜叶在萎凋过程中主要是散失水分和启动内含物质通过物理和化学方式转化。通过精确控制温度、湿度、通风和时间这四个关键变量，为鲜叶创造一个理想的“转化”环境，形成茶叶醇厚、鲜爽、回甘的滋味基础，同时为下一道工序提供优质原料。

通过装备上安装的温度传感器，快速准确监测萎凋区域的环境温度，湿度传感器监测萎凋区域的环境湿度，通过风机和自动调风机构确保茶叶适应的最佳萎凋温度和湿度。

通过上料提升系统，将鲜叶提升输送到第一层茶叶输送带上，根据不同时间采摘的鲜叶萎凋需求，鲜叶在输送带上的摊铺厚度通过鲜叶厚度监测传感器将监测信号传输到

集成控制系统，集成控制系统发出控制匀叶耙齿升降电机控制信号，确保输送带上的鲜叶摊铺厚度满足需求，同时旋转的耙齿确保了鲜叶在输送带上摊铺的均匀性和一致性。鲜叶在摊铺萎凋过程中，安装在设备上的温度传感器和湿度传感器将监测信号传输到集成控制系统，系统根据设定值与实际监测的信号值进行计算，通过数据分析计算，将控制信号发送到风机系统，通过风机系统的风量和风速大小和风向保持萎凋空间温湿度。

鲜叶在上料过程中，根据鲜叶的状态，设定输送带运转速度，通过变频控制系统，控制输送带的传输速度，达到最佳的鲜叶在输送带上的摊铺速度。

5 结语

立体智能萎凋装备通过光谱装置调整影响茶叶品质的关键因素含量，提高了茶叶的品质，获得最佳的口感。

通过装备结构和传感器以及智能控制系统，实现了茶叶的智能化萎凋过程，立体智能萎凋装备不仅解决了传统萎凋槽占用空间大，萎凋过程标准不一致的情况，更重要的是实现了自动化、连续化生产，效率高，萎凋程度均匀一致，品质稳定，是现代大型茶厂的标配。

参考文献

[1] 何喜玲, 陈建强. 名优茶加工机械的发展现状和趋势[J]. 农业装备技术, 2008, 34(6): 41 — 42.

[2] 陈华荣. 炒青绿茶自动化生产线数据采集与监控系统的设计与实现[D]. 长沙: 中南大学, 2013.

[3] 机械设计手册 化学工业出版社 成大先

[4] 机械设计手册 成大先 [M] 化学工业出版社 2022

[5] 茶叶加工机械与设备 罗学平 赵先明 [M] 中国轻工业出版社 2018

Research on Carbon Price Prediction Method Based on Decomposition-Prediction-Aggregation and Genetic Algorithm (GA) Optimization

Jinglei Li

Inner Mongolia University of Technology, Hohhot, Inner Mongolia, 010000, China

Abstract

In the context of carbon neutrality, accurate carbon price forecasting is crucial for data centers. The nonlinear and non-stationary nature of carbon price series limits the accuracy of single models. The existing “decomposition-aggregation” paradigm employs variational mode decomposition (VMD) technology, where the subjective setting of parameters (K , α) affects prediction accuracy. To address this, we propose the VMD-GA-BiLSTM model. The core innovation lies in introducing a genetic algorithm that minimizes the average approximate entropy of intrinsic mode components as the fitness function, adaptively optimizing the VMD parameters K and α to enhance predictability. Subsequently, bidirectional long short-term memory networks (BiLSTM) are utilized to independently predict each component and aggregate them. Empirical analysis using EU carbon market data demonstrates that the proposed model outperforms benchmarks including autoregressive integrated moving average (ARIMA), BiLSTM, and unoptimized VMD-BiLSTM in both root mean square error (RMSE) and mean absolute error. This study provides a rigorous framework for high-volatility series prediction and delivers reliable price signals for low-carbon data center scheduling.

Keywords

carbon price forecasting; data center; decomposition-prediction-aggregation; variational mode decomposition (VMD); genetic algorithm (GA); approximate entropy (ApEn); bidirectional long short-term memory network (BiLSTM)

基于“分解 – 预测 – 聚合”及 GA 优化的碳价格预测方法研究

李晶磊

内蒙古工业大学, 中国 · 内蒙古 呼和浩特 010000

摘 要

“碳中和”背景下, 碳价格精准预测对数据中心至关重要。碳价序列非线性非平稳, 单一模型精度受限。现有“分解-聚合”范式中变分模态分解技术 (VMD) 参数()设定主观, 影响精度。为此, 本文提出VMD-GA-BiLSTM模型。核心创新在于: 引入遗传算法, 以最小化本征模态分量的平均近似熵为适应度函数, 自适应寻优VMD最佳参数, 以提升序列可预测性。随后利用双向长短期记忆网络进行独立预测各分量并聚合。选取欧盟碳市场数据实证表明, 所提模型在均方根误差、平均绝对误差上均优于自回归积分滑动平均模型、双向长短期记忆网络 (BiLSTM) 及未优化VMD-BiLSTM等基准。本研究为高波动序列预测提供了严谨范式, 为数据中心低碳调度提供了可靠的价格信号。

关键词

碳价格预测; 数据中心; 分解-预测-聚合; 变分模态分解(VMD); 遗传算法(GA); 近似熵(ApEn); 双向长短期记忆网络 (BiLSTM)

1 引言

1.1 研究背景与意义

随着全球气候变化问题日益严峻, 构建可持续发展路

径已成为国际社会的普遍共识。碳排放权交易体系 (ETS) 作为一种核心的政策工具, 其重要性与日俱增。截至 2025 年, 全球运行的碳市场已覆盖约 19% 的温室气体排放量, 其核心信号——碳价格, 正日益深刻地影响着资本流向与产业决策。在此背景下, 中国提出的“双碳”目标不仅是一项庄严承诺, 更是一场广泛而深刻的经济社会系统性变革。作为实现该目标的关键抓手, 全国碳市场的稳步发展与未来从能源“双控”向碳排放“双控”的转变, 将进一步凸显碳价格在资源配置中的决定性作用^[1]。

【基金项目】“内蒙古自治区直属高校基本科研业务费“基于人工智能的数据中心碳中和关键技术研究”项目支持。

【作者简介】李晶磊 (1995–), 女, 蒙古族, 硕士, 讲师, 从事人工智能、数据分析研究。

与此同时,数字经济的飞速发展带来了数据中心产业的爆炸式增长,其巨大的能源消耗与碳排放问题随之而来。据国际能源署预测,在人工智能等高算力需求的驱动下,全球数据中心的电力消耗到 2030 年将可能翻倍^[2]。这种能源需求的爆炸式增长,与全球及各国日趋严格的碳减排目标形成了尖锐的矛盾。因此,碳价格已从一个外部环境因素,转变为影响其核心运营决策与长期战略规划的内生成本变量。精准的碳价格预测是企业实施低碳经济调度的前提,它能指导企业优化能源采购、管理碳排放、对冲市场风险,并为绿色技术投资提供可靠的决策依据^[3]。然而,现有研究常采用过于简化的线性函数模拟碳价,与真实市场动态相去甚远,无法为企业提供有效的运营指导。因此,开发能够精确捕捉碳价格复杂动态的高保真度预测模型,不仅具有重要的理论价值,更对支持关键产业的绿色转型具有紧迫的现实意义。

1.2 碳价格预测研究现状与本文贡献

碳价格作为一种典型的金融时间序列,受政策、经济、能源等多重因素影响,表现出高度的非线性、非平稳性与多尺度波动等复杂特性^[4]。现有预测方法大致可分为三类。第一类是传统的计量经济模型,如自回归积分滑动平均模型 (ARIMA) 和广义自回归条件异方差模型 (GARCH),它们擅长捕捉线性规律,但在非线性特征日益显著的碳市场中精度受限。第二类是单一机器学习与深度学习模型,如向量回归 (SVR)、长短期记忆网络 (LSTM) 等^[5],虽具备强大的非线性拟合能力,但在处理充满噪声的原始序列时,性能易受干扰。

为克服上述局限,基于“分解-预测-聚合”范式的混合模型应运而生。范式通过经验模态分解 (EMD)、集合经验模态分解 (EEMD) 以及变分模态分解 (VMD) 等技术将原始序列分解为多个更平稳的子序列,再分别预测并聚合,显著提升了预测精度^[6]。然而,现有基于 VMD 的研究普遍存在一个关键缺陷:其核心参数“模态数量 K 和惩罚因子”多依赖主观经验设定,缺乏客观依据,导致分解效果不稳定,直接影响最终预测精度,损害了研究的科学性与可复现性^[7]。

为解决上述研究空白,本文提出了一种基于“分解-优化-预测-聚合”精细化范式的 VMD-GA-BiLSTM 混合预测模型。本研究的核心贡献在于将分解过程转变为数据驱动的、可优化的。首先,引入遗传算法 (GA) 自动搜索 VMD 的最佳参数组合,以替代主观的人工试错^[8]。其次,创造性地构建以最小化所有模态分量的平均近似熵 (ApEn) 目标的适应度函数。ApEn 是衡量时间序列复杂性的稳健指标,其值越小,序列规律性越强,可预测性越高。该设计旨在引导 GA 寻找一种能使分解后各子序列“最简单”、“最规律”的分解方式,为后续预测创造理想输入。最后,采用双向长短期记忆网络 (BiLSTM) 对各分量进行预测,以同时捕捉序列的历史与未来上下文信息,进一步提升预测精度^[9]。

2 相关理论与方法

2.1 变分模态分解

变分模态分解是一种新兴的、非递归的自适应信号处理技术,其目的在于将一个实值输入信号分解为一系列离散的、具有特定稀疏特性的模态分量 u_k (亦称为本征模态函数, IMF)。每个 u_k 模态被假定为紧凑地围绕一个中心频率 ω_k 的调幅-调频信号。VMD 通过构建并求解一个约束变分问题,寻找一组使总带宽最小的模态分量,同时确保它们的和能精确重构原始信号^[10]。相较于 EMD 等方法, VMD 具有更坚实的数学基础,能有效抑制模态混叠问题,获得物理意义更明确的分量^[11]。然而, VMD 的性能高度依赖于预设的模态数 K 和惩罚因子 α ,这两个参数的不当选择会严重影响分解效果,是其应用中的核心挑战^[12]。

2.2 近似熵

近似熵是一种用于量化时间序列规律性与复杂度的非线性动力学指标^[13]。它通过衡量序列中新模式产生的概率来评估其可预测性。ApEn 值越小,表明序列规律性越强,随机性越弱,可预测性越高。该算法对数据长度不敏感且抗噪能力强,尤其适用于分析金融时间序列。在本研究中, ApEn 被用作评价 VMD 分解效果的关键指标,其核心逻辑是:有效的分解应将复杂序列转化为一组复杂度更低的子序列。

2.3 遗传算法

遗传算法是一种模拟生物进化过程的全局概率性搜索算法^[14]。它通过选择、交叉和变异等操作,在解空间中迭代搜索,逐步收敛至最优解。GA 不依赖梯度信息,鲁棒性强,特别适用于解决 VMD 参数寻优这类复杂的非线性优化问题。在本研究中,遗传算法的适用性体现在其能够在一个预设的二维参数空间 (由 K 和 α 构成) 中,以一个明确的适应度函数为引导,高效地搜索 VMD 的最优参数组合^[15]。

2.4 双向长短期记忆网络

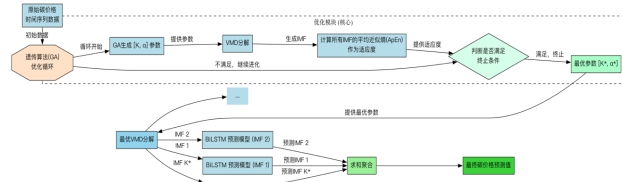
长短期记忆网络是一种特殊的循环神经网络,通过引入输入门、遗忘门和输出门等门控机制,有效解决了处理长序列时的梯度消失问题^[16]。但 LSTM 在处理序列数据时是单向的,即在时间点 t 的预测仅能利用过去 ($t-1$ 及之前) 的信息。为了克服这一局限性,而 BiLSTM 则由一个前向 LSTM 层和一个后向 LSTM 层构成^[17]。这种结构使得模型在任一时间点都能同时利用过去和未来的上下文信息,从而构建更全面的特征表示,有望实现比单向 LSTM 更高的预测精度^[18]。

3 基于 GA-VMD-BiLSTM 的预测模型构建

3.1 模型总体框架

模型框架包含四个核心模块:GA 优化、VMD 分解、BiLSTM 预测与聚合重构。首先,原始碳价格序列被送入 GA 优化模块,其任务是为 VMD 寻找最优参数组合 $[K, \alpha]$ 。GA 在其内部迭代中,不断生成候选参数对,调用 VMD 进

行分解,并依据一个预设的适应度函数评估分解效果,直至找到最优解。随后,利用这组最优参数,通过 VMD 模块对原始序列进行最终分解,得到 K^* 个 IMF 分量。接着,为每个 IMF 分量构建独立的 BiLSTM 网络进行并行预测。最后,聚合模块将所有分量的预测结果求和,并经反归一化处理,重构为最终的碳价格预测值。模型总体框架如下图表 1 所示。



图表 1 模型总体框架流程图

3.2 GA 优化 VMD 参数

3.2.1 适应度函数构建:

为引导 GA 的搜索方向,本研究构建了以最小化所有 IMF 分量的平均近似熵为目标的适应度函数:

$$\text{Fitness} = \min \left(\frac{1}{K} \sum_{i=1}^K \text{ApEn}(\text{IMF}_i) \right)$$

该设计的理论依据在于,时间序列的可预测性与其内在规律性直接相关,而 ApEn 正是衡量此复杂度的有效指标。因此,最小化平均近似熵,等同于寻找一种能最大程度剥离噪声、提取出最具规律性内在模式的分解方式。这些被“提纯”的子序列更易于后续的 BiLSTM 模型学习,从而为提升最终预测精度奠定基础。

3.2.2 GA 优化流程:

GA 的优化流程遵循标准框架。首先,将候选解编码为染色体 $[K, \alpha]$,并在预设的合理搜索范围内随机生成初始种群。接着,在迭代循环中,根据适应度函数评估每个个体,并执行选择、交叉和变异操作以产生新一代种群。此过程重复进行,直至达到最大迭代次数或适应度函数收敛。最终,适应度最优的个体即为 VMD 的最佳参数组合 $[K, \alpha]$ 。

3.3 BiLSTM 预测与聚合

获得最优分解后的 K^* 个 IMF 分量后,首先对每个序列进行归一化处理,并采用滑动时间窗口构造监督学习样本。随后,为每个 IMF 分量分别构建并训练独立的 BiLSTM 网络,以适应其独特的频率和波动特性。所有模型训练完成后,对测试集进行预测,得到各分量的预测序列。最后,将这些预测序列逐点相加并进行反归一化,重构出最终的碳价格预测值。

4 实验设计与结果分析

4.1 实验数据与评价指标

本研究选取欧盟碳排放交易体系的年度收盘价数据(2017-2024年)作为分析对象,该市场具有全球代表性。

数据集按 70%、15%、15% 的比例划分为训练集、验证集和测试集。为全面评估模型性能,选用均方根误差、平均绝对误差和平均绝对百分比误差作为评价指标,数值越小代表预测精度越高。

4.2 基准模型

为凸显模型优势并量化各模块贡献,设置了以下四类基准模型进行对比:

传统模型: ARIMA, 作为经典时间序列预测基准^[19]。

单一深度学习模型: LSTM 和 BiLSTM, 用于验证深度学习直接处理原始序列的效果。

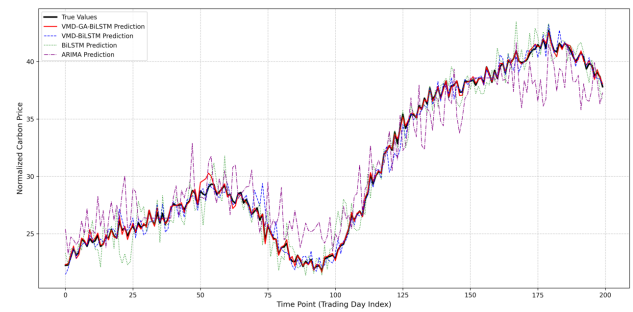
对比混合模型: EEMD-BiLSTM, 用于验证 VMD 的优越性;以及 VMD-BiLSTM, 此为关键对比项,旨在凸显 GA 优化的价值^[20]。

4.3 实验结果与分析

在实验中,首先观察到 GA 的适应度函数随着迭代次数增加而收敛,证明了优化过程的有效性。

核心的预测性能对比将通过一个包含所有模型在测试集上各项评价指标的表格来呈现。根据理论设计,观察到清晰的性能层级: VMD-GA-BiLSTM 在所有指标上均优于所有基准模型。具体而言, VMD-GA-BiLSTM 优于未优化的 VMD-BiLSTM, 将直接证明 GA 参数优化的有效性; VMD-BiLSTM 优于 EEMD-BiLSTM, 将体现 VMD 在信号分解上的优势;而混合模型普遍优于单一的 BiLSTM 和 LSTM, 将证实“分解-预测-聚合”范式本身的价值;深度学习模型优于 ARIMA, 则再次确认了其处理非线性动态的能力。

下图表 2 所示为预测值与真实值的对比折线图。根据图可以清晰得到, VMD-GA-BiLSTM 模型的预测曲线能最紧密地贴合真实价格曲线,尤其是在价格的转折点处,显示出更强的跟踪能力和更小的预测滞后。



图表 2 各模型预测值与真实值在测试集上的对比

5 结论与展望

5.1 结论总结

本文针对碳价格序列的复杂动态特性,提出了一种基于“分解-优化-预测-聚合”的 VMD-GA-BiLSTM 混合预测模型。核心创新在于利用 GA 和 ApEn 实现了对 VMD 参数的自适应寻优,将分解过程转变为一个数据驱动的科学过程。实证分析结果系统地验证了所提模型相较于多种基准模

型, 在各项评价指标上均表现出最优的预测精度和稳定性。

5.2 研究意义与展望

本研究在理论上为处理高波动性金融时间序列提供了一种有效的“分解-优化-预测-聚合”新范式。在实践上, 为数据中心等高耗能企业提供了更精准的碳价预测工具, 以辅助其制定低碳经济调度策略。

尽管模型取得了良好效果, 但仍存在不足。本研究为单变量模型, 未考虑政策、能源价格等多重外部因素的影响。未来研究可向两个方向拓展: 一是构建多变量输入的预测模型, 通过融合文本挖掘或引入相关经济指标, 构建更全面的预测系统; 二是在数据中心的实际能源调度仿真中嵌入此预测模型, 以量化其在真实运营场景下所能带来的经济与减排效益^[21]。

参考文献

- [1] Wang, Y., Qin, L., Wang, Q., Chen, Y., Yang, Q., Xing, L., & Ba, S. (2023). A novel deep learning carbon price short-term prediction model with dual-stage attention mechanism. **Applied Energy*, 347*, 121380.
- [2] International Energy Agency. (2025). **Energy and AI**. IEA. <https://www.iea.org/reports/energy-and-ai>
- [3] Bisiotis, K., Christopoulos, D., & Tzougas, G. (2025). Forecasting carbon prices: A literature review. **Journal of Forecasting**. Advance online publication. <https://doi.org/10.1002/for.70054>
- [4] Byun, S., & Cho, H. (2013). Forecasting carbon futures volatility using GARCH models with energy volatilities. **Energy Economics*, 40*, 207–221. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.06.017>
- [5] Liu, Y., Xiao, G., Chen, W., & Zheng, Z. (2023). A LSTM and GRU-based hybrid model in the cryptocurrency price prediction. In **Proceedings of the ...** (pp. ...). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-99-8104-5_3
- [6] Qin, Q., & Li, L. (2025). A VMD-based four-stage hybrid forecasting model with error correction for complex coal price series. **Mathematics*, 13*(18), 2912. <https://doi.org/10.3390/math13182912>
- [7] Feng, W., Tao, R., Cartlidge, J., & Zheng, J. (2025). **VMDNet: Time series forecasting with leakage-free samplewise variational mode decomposition and multibranch decoding**. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2509.15394>
- [8] Wu, S., & Cai, H. (2025). Short-term power load prediction of VMD-LSTM based on ISSA optimization. **Applied Sciences*, 15*(9), 5037. <https://doi.org/10.3390/app15095037>
- [9] Yentes, J. M., Hunt, N., Schmid, K. K., Kaipust, J. P., McGrath, D., & Stergiou, N. (2013). The appropriate use of approximate entropy and sample entropy with short data sets. **Annals of Biomedical Engineering*, 41*(2), 349–365. <https://doi.org/10.1007/s10439-012-0668-3>
- [10] Esquivel-Cruz, E., Beltran-Carbajal, F., Rivas-Camero, I., Arroyo-Núñez, J. H., Tapia-Olvera, R., & Guillen, D. (2025). Hybrid empirical and variational mode decomposition of vibratory signals. **Algorithms*, 18*(1), 25. <https://doi.org/10.3390/a18010025>
- [11] Lahmiri, S. (2016). A variational mode decomposition approach for analysis and forecasting of economic and financial time series. **Expert Systems with Applications*, 55*, 268–273. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.02.025>
- [12] Putra, H. R. K., Yudistira, N., & Fatyanosa, T. N. (2024). **Variational mode decomposition and linear embeddings are what you need for time-series forecasting**. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2408.16122>
- [13] Richman, J. S., & Moorman, J. R. (2000). Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy. **American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 278*(6), H2039–H2049. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.2000.278.6.H2039>
- [14] Wright, A. (1999). Genetic algorithms for real parameter optimization. In **Foundations of Genetic Algorithms** (Vol. 1, pp. ...). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-050684-5.50016-1>
- [15] Boyabath, O., & Sabuncuoglu, I. (2004). Parameter selection in genetic algorithms. **Journal of Systemics, Cybernetics and Informatics*, 4*(2), 78–83.
- [16] Chen, Y. (2024). Carbon price prediction for the European carbon market using generative adversarial networks. **Modern Economy*, 15*, 219–232. <https://doi.org/10.4236/me.2024.153011>
- [17] Fan, Y., Tang, Q., Guo, Y., & Wei, Y. (2024). BiLSTM-MLAM: A multi-scale time series prediction model for sensor data based on Bi-LSTM and local attention mechanisms. **Sensors*, 24*(12), 3962. <https://doi.org/10.3390/s24123962>
- [18] Siarni-Namini, S., Tavakoli, N., & Namin, A. S. (2019). The performance of LSTM and BiLSTM in forecasting time series. In **2019 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)** (pp. 3285–3292). IEEE. <https://doi.org/10.1109/BigData47090.2019.9005997>
- [19] Jiang, L., & Wu, P. (2015, November). International carbon market price forecasting using an integration model based on SVR. In **Proceedings of the 2015 International Conference on Engineering Management, Engineering Education and Information Technology** (pp. 303–308). Atlantis Press. <https://doi.org/10.2991/emeeit-15.2015.61>
- [20] De Rojas, A. L., Jaramillo-Morán, M. A., & Sandubete, J. E. (2024). EMDFormer model for time series forecasting. **AIMS Mathematics*, 9*(7), 9419–9434. <https://doi.org/10.3934/math.2024458>
- [21] Mujiono, E. P. U. P., Mukhlash, I., Pradana, Y. A., Putri, E. R. M., & Irawan, M. I. (2025). Carbon price prediction by incorporating fossil fuel prices using long short-term memory with temporal pattern attention (TPA-LSTM). **Science and Technology Indonesia*, 10*(3), 856–865. <https://doi.org/10.26554/sti.2025.10.3.856-865>

Development Trends of Roller Brake Tester for New Energy Vehicles

Bo Xie

Fori Bernd, Beijing, 100176, China

Abstract

This paper mainly explores some new trends and directions in testing new energy vehicles on comprehensive roller brake tester. It first introduces the structure and components of roller brake tester, then explains the basic working principles of traditional roller brake tester and some commonly tested basic items. Finally, it discusses the impact of new energy vehicles on roller brake tester and new measurement development trends.

Keywords

New energy; roller; tester; battery; autonomous driving

新能源汽车转毂测试台发展趋势

谢博

福瑞博达, 中国 · 北京 100176

摘 要

本文主要探究新能源汽车在综合转毂试验台上测试的一些新的趋势和方向, 首先介绍了转毂设备的结构, 组成, 然后介绍了传统转毂测试台的基本工作原理, 和一些通常需要测试的基本项目, 最后阐述新能源汽车对转毂试验台的影响, 以及新的测量发展趋势。

关键词

新能源, 转毂, 检测, 电池, 自动驾驶

1 转毂试验台的功能结构和原理

1.1 转毂试验台功能

转毂试验台是一项基本试验设备, 为了保证车辆速度准确以及刹车制动安全, 以及 ABS、EPB 功能是否准确有效, 车辆下线必须在转毂试验台测试。

转毂设备不再局限于传统的几项测量项目, 如静态 ABS 测试, 40km/h 车速表测试, 加速试验, 静态制动力测试, 倒档试验。还会拓展其他测量项目, 比如轴重测试, 喇叭测试, 阀泵测试等。

1.2 转毂试验台结构

转毂试验台主要由三部分组成, 第一部分是前后辊筒组件, 一般情况下前辊筒是固定件, 后面辊筒是移动框架, 主要是方便调节设备的轴距以满足不同轴距的车辆。第二部分是辊筒组件的支撑部分, 采用钢结构框架的支撑结构, 底部立柱上端有高度调节螺栓, 下端是螺栓固定在基坑上或者焊接在预埋板上。

设备辊筒采用双辊筒, 辊筒中间有一个气动的举升机构, 当车辆进入和开出时, 举升机构升起; 当车辆开到辊筒组上进行测量时, 举升机构降下。后部一般有防止车辆在测试过程中由于意外冲出试验台的阻挡机构, 前部有可升降的防撞柱子, 防止车辆在测试过程中从前方冲出试验台。

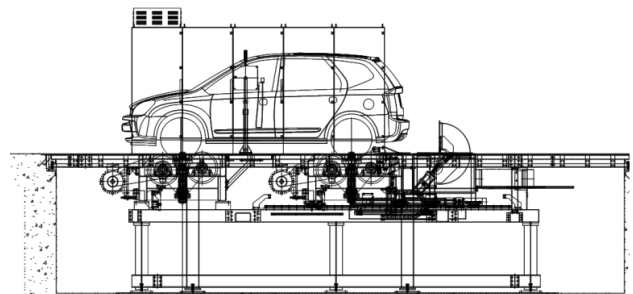


图 1 转毂设备的布局

1.3 工作原理

目前主流的转毂试验台都是采用双摩擦辊筒的结构, 进行动态测量实时收集数据, 可以收集摩擦数据, 并在各种制动系统上提供精确的阻力和动态制动力测量。累积的统计

【作者简介】谢博 (1984-), 中国北京人, 硕士, 工程师, 从事汽车检测研究。

信息可以识别潜在的制动问题，使工厂能够判断生产过程的质量，然后决定其工艺控制等是否可行或需要修订。辊筒的速度可以通过电机转轴后连接的编码器来采集，动态制动力可以通过牛顿物理第二定律推导出滚动（电机）的加速 / 减速。

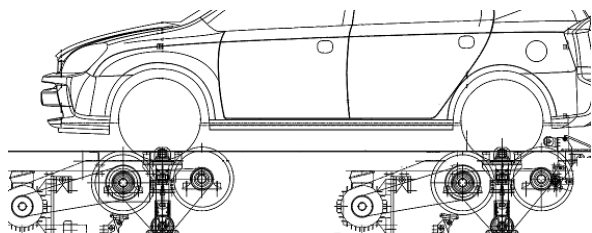


图 2 车辆在转鼓设备上

当车辆在转鼓设备上，操作员踩下刹车的时候，制动力会作用在车辆上。

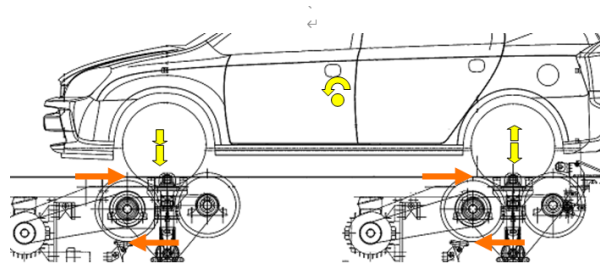


图 3 制动水平力

此时制动力为水平力。通过计算车轮的减速度来测量制动力。

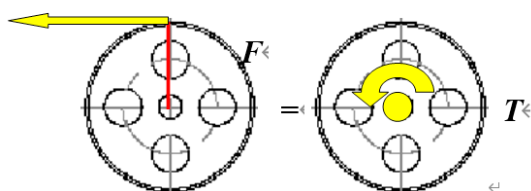


图 4 车轮切向力和力臂

车轮切向力与力臂相乘得到扭矩。

$$T = F \times r$$

扭矩产生角加速度。我们也能将扭矩表达为“ $F = ma$ ”的形式

$$T = F \times r = (ma)r = mr \cdot a$$

$$T = I \times a$$

I 为转动惯量，表示在产生转动加速度时受阻碍大小。

$$I = \int r^2 dm$$

可通过下面公式得到制动力。

$$F = I / R \cdot \alpha$$

滚筒的转动惯量由其形状以及材料特性决定。用下面公式求得滚筒转动惯量近似值。最后将每个滚筒的贡献加和。

$$I = mr^2$$

滚筒半径可以测量得到，从而根据编码器输出计算出每个角加速度。

通过这些数值能够计算出制动力。

2 转鼓试验台的测试项目

传统的转鼓试验台，主要安装在汽车厂的检测线区域，通常位于定位仪测试台的后方，主要测试项目包括：静态制动力测量，转速表测量，加速测试，定速巡航测试，倒挡测试，手刹和脚刹检测等。

2.1 测量模式和项目

综合转鼓系统通过编码器测量测速以及制动传感器测量车辆静态制动力。滚筒有自由、恒速、恒扭矩、跟随（前滚筒跟随后滚筒或者后滚筒跟随前滚筒）运行模式。

前驱车加速过程中需要前滚筒自由模式，后滚筒跟随前滚筒模式运行；后驱车加速过程总需要后滚筒自由模式，前滚筒跟随后滚筒模式运行；四驱车加速过程中需要需要四个滚筒全部自由模式，全部由车辆驱动滚筒转动；恒扭矩模式，软件给滚筒下发反扭矩，车轮带动滚筒转动，加速到一定速度，可以测试车辆的爬坡能力。

可以进行但不局限于如下测量项目：

- 40km/h 车速表测试
- 国标静态制动力测量
- 加速性能测试
- 定速巡航测试
- 倒挡测试
- 低速 ABS 测试
- 高速动态 ABS 测试

2.2 信号采集

转鼓试验台速度通过安装在转鼓滚筒电机上的编码器采集转动频率，将信号传输给变频器，然后 PC 再从变频器获取转动频率，PC 软件根据设备的滚筒半径计算出实际速度。车辆带动滚筒转动，由滚筒的速度就可以得到实际车速，一般车辆仪表显示速度要小于等于转鼓测出的时间速度。

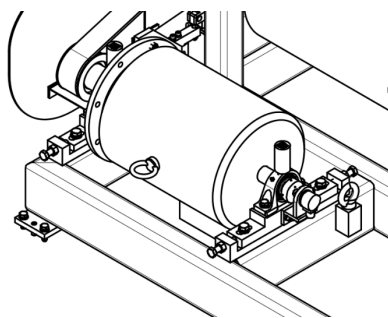


图 5 辊筒轴端编码器

转鼓试验台制动力通过拉力传感器采集电压值，然后经过研华 3016 模块放大信号，进入 BeckHoff 模块转换为 AD 值，PC 软件通过网络采集 AD 值，标定转换为实际的制

动力。车辆在踩制动的时候对滚筒刹车的作用力传给拉力传感器,从而可以计算得到车辆的制动和以及制动差等结果。

ESC 轮速传感器测试,车辆空挡模式下,转鼓四个滚筒一般分别依次 3km/h、6km/h、9km/h、12km/h 恒速带动车轮转动,然后软件通过 ECU 读取 ESC 控制器内的各个轮速传感器速度,分别跟 3km/h、6km/h、9km/h、12km/h 比较,误差一般小于等于 10% 认为合格。

ESC 动态测试,一般低速四个滚筒都以 3km/h 恒速带动车轮转动,然后上位机通过给 ESC 接口给 ESC 控制器发送升压或者降压指令,设备通过制动力传感器获取当前轮的制动力是否满足设计要求。

3 转鼓设备的发展

传统的转鼓试验台,结构相对固定,测量项目固化,在面对如今快速迭代的车型,设备已不能满足其要求,需要重新建立生产线,浪费巨大。而新的转鼓设计就应该更加的灵活,给各个部件赋予了更多的自由度,能快速响应车型和测量项目的变化。比如后轴增加移动机构,可以在轴距变化的时候适应不同轴距,或者前轴增加移动机构,另外比如传统的机械抱闸,设计繁琐沉重,改成电子驱动的零位保持,不但减少了机械结构而且大大的提高了运行的效率和安全性。

3.1 设备结构变化

新的转鼓在尺寸上变小,由于取消了像尾气翻板系统,前阻挡系统等,整体的尺寸会变的更紧凑,前后变短。但是还有一个新的趋势,就是目前消费者对空间的要求更高,各个厂家在设计汽车的时候更趋于大的车内空间,长的轴距。所以转鼓的轴距目前是一个加长的趋势。

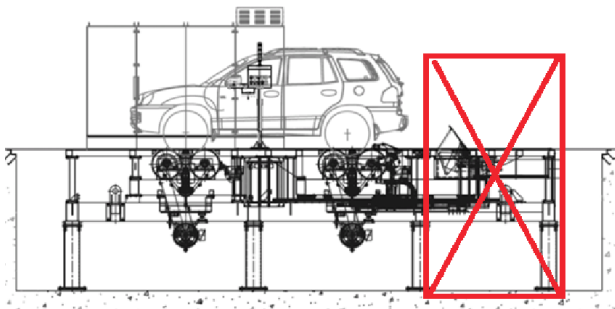


图 6 转鼓结构变化

3.2 承载的变化

新能源汽车,相比传统的燃油车,在重量上会有一个大的变化,比如锂电池纯电汽车,虽然相比燃油汽车,取消了发动机等配件,但是却增加了电池系统,特别是续航长的电池系统,重量上会有一个比较大的跃升,所以锂电池纯电汽车,相比同等级的燃油车,在重量上会有所增加,所以新的转鼓在设计的时候,就得考虑设备本身对载荷的承受。

3.3 整体包装运输

由于新的转鼓结构趋于紧凑和集成,在设计之初的时

候,就要考虑设备的包装运输,随着大型吊车等起重设备的普及,目前一个趋势就是整体发货,设备在工厂调试完成,然后整体包装发运,到工厂直接吊运的基坑安装,这样不但节省了安装的费用,而且缩短了设备在现场调试的时间。

3.4 馈电系统的增加

转鼓制动台由于在制动过程中会产生大量的电能,这些电能如果通过制动电阻消耗掉是很可惜的,而且需要制动电阻的功率也会非常大,所以新的设备一般都会标配馈电系统,可以将这些能量反馈给电网,达到节能的目的。

4 新能源汽车的进化和转鼓测量趋势

新能源汽车的发展已经进入了快速赛道,特别是近几年锂电池技术的突破,比如比亚迪刀片电池,宁德时代三元锂电池,固态电池等,汽车续航能力不断增强。另外是智能驾驶技术的突破,智能驾驶技术是汽车行业的一大热点,其发展前景广阔。目前,全球各大汽车制造商纷纷布局智能驾驶领域,力求在未来的汽车市场中占据有利地位。

转鼓测试台作为新能源汽车下线检测的重要环节,伴随着新能源汽车技术的蓬勃发展,转鼓测试台也有了新的功能和使命。未来它不单独是一个以检测制动力为主的平台,而是可以拓展其他功能的集成体。

4.1 新能源汽车的进化

人们对汽车的要求已经不局限于交通工具,而是一个集成的智能驾驶舱,一个可移动的智慧生活空间,尤其是近些年自动驾驶技术的加持,5G 技术的普及,电池技术的革新,使得新能源汽车市场占有率越来越高。主要体现在以下几个方面:

4.1.1 多样化能源发展

传统汽车主要依靠燃油的燃烧来驱动,会产生二氧化碳等温室气体,目前全球共同面临的一个问题是全球变暖,海平面上升。而新能源汽车,不论是电池驱动,还是氢能源汽车,或者是太阳能驱动等,降低或者避免了温室气体的排放,有助于改善环境污染。

4.1.2 新能源经济性提高

随着全球能源危机,传统燃料像汽油,天然气等价格升高,各个国家也在投资新的能源来改变能源结构,大幅提升绿色能源的投入,这就使得绿色能源价格降低。就目前最普遍的锂电池驱动汽车,随着电力价格降低,电池汽车在长期使用过程中,相比传统的加油成本可以节省很大一部分费用。

4.1.3 智能化技术发展

汽车产业进入了智能化下半场,从“感知”迈向“认知”。智能驾驶技术正经历一场深刻的范式转移,从依赖硬件传感器的“感知”时代,全面迈向以 AI 算法与数据为核心的“认知”时代。未来的汽车将变成更智能化的移动出行工具和空间,能够实现智能辅助驾驶,再进一步升级为自动驾驶、无人驾驶。

4.1.4 固态电池等前端技术突破

固态电池采用固态电解质替代传统电解液，可大幅降低电池内部短路的风险，具备本征安全性与极高能量密度，将成为动力电池的终极技术路线。本征安全性：固态电解质替代传统电解液，解决锂枝晶生长和穿透问题，进而避免热失控。高能量密度：固态电解质电化学窗口宽，能够兼容高电压正极、Li 金属负极等高能量材料。

4.2 转毂设备测量新趋势

随着智能化驾驶技术的发展，高阶辅助驾驶已经是标准配置，在转毂设备上可测量的项目会继续拓展，比如由传统的定速巡航，切换到变速巡航，应能升级适应将来的其他先进的驱动/制动辅助系统，且满足不同型号的 ABS/EDS/EBD、ASR/TCS、ESP 等驾驶辅助的诊断和测试。主要体现在如下几方面：

4.2.1 自适应巡航检测

自适应巡航是一项舒适性的辅助驾驶功能。如果车辆前方畅通，自适应巡航将保持设定的最大巡航速度向前行驶。如果检测到前方有车辆，自适应巡航将根据需要降低车速，与前车保持基于选定时间的距离，直到达到合适的巡航速度。自适应巡航启用时，驾驶员仍需观察前方路况并在必要时施加制动。转毂试验台可以做一些功能上的升级，加入自适应巡航的检测和诊断功能。

4.2.2 高阶辅助驾驶检测

ADAS (Advanced Driver Assistance System) 作为一种高级驾驶辅助系统，其利用车载信息传感器获取道路目标信息并对车辆的行驶做出部分自动控制，以此减轻驾驶员的驾驶负担。此外，在主车即将发生碰撞或失稳危险而驾驶员未及时采取有效措施时，该系统可对主车进行自动安全控制，从而避免交通事故的发生或减小交通事故的伤害程度。可以在转毂工位集成 ADAS 的部分检测功能，减少其他工位的检测任务。

4.2.3 汽车电检

整车电检工作内容是指对汽车电气系统进行全面检查

和测试的过程。这包括了检查汽车的电池、发电机、起动机、电子控制单元（ECU）、电线和传感器等关键部件。通过整车电检工作内容，汽车维修技师可以确保汽车的电气系统正常运行，从而提高汽车的性能和安全性。这些电检功能，可以在转毂工位实施，提高该工位的利用率。

4.2.4 自动驾驶功能检测

自动驾驶汽车测试是自动驾驶研发中的重要环节，也是自动驾驶技术发展的重要支撑，随着智能网联汽车高等级的自动化和网联化系统不断产业化落地，对测试的依赖越来越深入，尤其是面对即将量产落地的 L3 级以上自动驾驶产品，对现有的测试技术、标准和法规，都提出了新的挑战，需要新的技术突破。转毂测试台作为一个独立的测试单元，也能加持一些自动驾驶检测的项目，比如激光雷达，自动泊车等检测功能。

5 结语

本文首先介绍了转毂试验台的功能和检测原理，然后罗列和分析了其检测的项目，下一节讲述了伴随着新能源汽车的发展，转毂试验台相应的变化和发展，最后展望了新能源汽车的进化和转毂试验台的测量趋势。

参考文献

- [1] 四川诚邦浩然测控技术有限公司.AT4000—轮毂电机测试系统[EB/OL].[2024-11-12].
- [2] 佚名.基于labview的新能源汽车转鼓测试系统开发与试验[D/OL].[2025-04-07].
- [3] 周孟喜.电动汽车驱动工况下的整车控制策略研究[J].重庆大学学报,2021(05):256-258.
- [4] 李松,曾董,彭文杰,等.电动汽车低温阻力构成及电耗影响研究[J].汽车工程学报,2023(06):115-117.
- [5] 和夏科技.全新一代四电机台架,助力新能源开发[EB/OL].[2025-09-08].

Research progress of spectral technology application in food testing

Fengfeng Zhao Qinghua Yao

Linyi Inspection and Testing Center, Linyi, Shandong, 276000, China

Abstract

As an innovative detection technology, spectroscopy has gained widespread application in food testing due to its advantages of high sensitivity, rapid analysis, non-destructive testing, and multi-parameter detection. To continuously enhance food testing capabilities and maximize the performance advantages of spectroscopy, this paper employs literature review methods to summarize the main types of spectroscopy technologies, outline their fundamental characteristics, draw on past successful experiences, adopt systematic thinking, innovate application strategies, refine implementation processes, and explore future development trends. The aim is to provide theoretical support for the promotion and application of spectroscopy in food testing, thereby advancing the standardization and perfection of food safety assurance systems.

Keywords

food testing; spectral technology; application path; research progress

食品检测中的光谱技术应用研究进展

赵峰峰 姚庆华

临沂市检验检测中心, 中国 · 山东 临沂 276000

摘 要

光谱技术作为一种新型检测技术, 凭借高灵敏度、快速分析、无损检测及多参数检测等优势, 在食品检测领域得到了广泛应用。为持续提升食品检测能力, 发挥光谱技术的性能优势, 文章运用文献资料研究等方法, 总结光谱技术的主要类型, 概括技术的基本特点, 借鉴过往有益经验, 坚持系统性思维, 创新技术应用举措, 完善技术应用流程, 探索技术发展趋势, 旨在为光谱技术在食品检测中的推广与应用提供理论支撑, 推动食品安全保障体系的规范化与完备化。

关键词

食品检测; 光谱技术; 应用路径; 研究进展

1 引言

光谱技术作为成熟的工艺方案, 能够基于物质对不同波长光的吸收、发射或散射等特性, 准确检测分析食品成分、污染物、品质等关键指标^[1]。近些年来, 国内外学者围绕光谱技术在食品检测中的应用开展了大量研究, 在技术优化、应用场景拓展及与其他技术融合等方面取得了诸多成果。文章总结借鉴现有研究成果, 深入分析其在食品检测中的应用价值与应用路径, 并对未来发展趋势进行展望, 推动光谱技术在食品检测领域的持续发展。

2 光谱技术概述

2.1 光谱技术的主要类型

2.1.1 吸收光谱技术

吸收光谱技术以物质对特定波长光的选择性吸收为核

心原理, 凭借对有机化合物特征官能团的识别能力, 借助定量分析, 能够精准检测食品中的人工色素与防腐剂, 将检测误差控制在 3% 以内。在食品重金属元素检测环节, 将样品消解为原子蒸汽, 利用重金属原子对特征谱线的吸收特性, 实现对铅、汞、镉等元素的痕量检测, 检测限度可以达到 0.001mg/kg。

2.1.2 发射光谱技术

发射光谱技术基于物质受激发后释放特征光谱的特性, 通过电感耦合等离子体激发源, 同时检测食品中的钙、铁、锌等 20 余种微量元素, 检测效率较传统单元素检测技术提升 10 倍以上, 为食品营养成分的全面评估提供高效技术支撑。例如在蜂蜜检测中, 依托发射光谱技术能够准确识别蜂蜜是否添加荧光增白剂, 检测灵敏度可以达到纳克级别, 且无需复杂样品预处理, 检测耗时仅需要 5 分钟。

2.1.3 散射光谱技术

散射光谱技术借助检测分子振动散射光, 实现食品中农药残留的原位检测, 例如, 在果蔬检测中, 不需要清洗或

【作者简介】赵峰峰 (1986-), 男, 中国山东临沂人, 本科, 从事食品检验检测研究。

破坏样品,直接通过激光照射即可识别表面的有机磷农药残留,检测时间控制在1分钟内,快速区分不同种类农药的特征光谱^[2]。针对谷物类食品的品质检测,通过分析光的散射强度与颗粒大小、水分含量的关联,实现对小麦容重、玉米霉变程度的快速评估,为粮食收购与储存环节的质量管控提供实时技术支持。

2.2 光谱技术的基本特点

2.2.1 高灵敏度特性

相较于传统化学分析法,光谱技术可以实现对痕量有害物质与微量营养成分的精准捕获,例如原子荧光光谱技术对食品中砷元素的检测限低至0.0001mg/kg,可以有效识别水产品中因环境污染导致的微量砷超标;荧光光谱技术对食品中维生素B12的检测灵敏度可以达到0.1ng/mL,能够满足婴幼儿食品中微量维生素的检测需求,为食品营养强化与安全风险管控提供精准数据支撑。

2.2.2 快速分析特性

传统检测技术完成一份食品样品的成分分析需要2-4小时,而光谱技术通过简化预处理流程,大幅缩短检测周期。近红外光谱技术对食用油酸价与过氧化值的检测仅需要3分钟,可以实现生产流水线的实时检测,拉曼光谱技术对乳制品中三聚氰胺的快速筛查耗时不超过2分钟,能够在乳制品生产出厂环节形成高效质量把关,避免不合格产品流入市场。

2.2.3 无损检测特性

在进口红酒品质鉴定、名贵中药材等高端食品检测过程中,光谱技术可以在不破坏样品完整性的前提下完成检测,例如利用近红外光谱技术检测红酒的酒精度、总糖含量时,仅需将检测探头贴近酒瓶即可以获取数据,检测后红酒仍可以正常销售与饮用。在水果品质分级中,近红外光谱技术通过非接触式检测,实现对苹果糖度、酸度的快速分析,同时保障水果外观完好,提升商品价值。

2.2.4 多参数同步检测特性

传统检测技术需针对不同指标开展多次检测,光谱技术通过一次检测获取食品的多项关键指标。例如,近红外光谱技术对奶粉的检测,可以同步完成蛋白质、脂肪、水分、乳糖含量的定量分析,检测效率较传统方法提升4-6倍。

3 光谱技术在食品检测中的应用价值

3.1 提升食品检测的高效性

光谱技术通过重构检测流程、优化技术衔接,实现食品检测效率的跨越式提升,为食品生产、流通、监管等环节的高效运转提供技术保障。具体来看,光谱技术构建了实时采样-快速分析-即时反馈的闭环检测模式。以乳制品生产为例,传统原料奶检测需将样品送至实验室,历经样品预处理、仪器分析等流程,耗时超过2小时,近红外光谱在线检测系统可以直接安装于原料奶输送管道,通过实时采集光谱数据,5分钟内完成脂肪、蛋白质、体细胞数等指标的分析,

如果检测结果超标,系统可以自动触发报警并切断原料奶输送,避免不合格原料进入生产环节,大幅提升生产效率与产品质量稳定性^[4]。在食品流通领域的批量检测中,光谱技术解决了传统检测“效率低、耗时长”的痛点。在大型农产品批发市场,拉曼光谱便携检测设备可以实现对果蔬农药残留的快速筛查,检测人员每小时可以完成30-40份样品检测,较传统气相色谱法效率提升30倍以上。在粮食收购环节,近红外光谱检测设备可以实现对粮食的快速抽检,10分钟内完成水分、杂质、不完善粒等指标的分析,单日可以完成500吨以上粮食的检测任务,为粮食收购的高效推进提供技术支撑。在食品安全应急检测中,光谱技术可以快速响应突发安全事件。当发生疑似食品污染事件时,如蔬菜农药残留超标、饮料非法添加等,光谱技术可以在现场完成快速检测,例如利用便携式拉曼光谱仪,30分钟内即可以确定食品中是否存在违禁添加物,为监管部门快速决策、及时控制风险提供关键技术支持,避免污染食品扩散引发更大安全事故。

3.2 增强食品检测的精准性

光谱技术通过优化检测原理、融合先进数据处理方法,显著提升食品检测结果的准确性与可靠性,为食品安全风险评估与质量判定提供科学依据。在复杂食品基质检测中,光谱技术有效克服了基质干扰问题。食品基质的复杂性是传统检测技术的主要误差来源,而光谱技术通过特异性检测机制与先进校正方法,提升检测精准度。例如,在酱油中苯甲酸钠检测中,紫外-可见吸收光谱技术通过选择特征吸收波长,结合多元散射校正算法,有效排除酱油中色素与蛋白质的干扰,检测相对标准偏差(RSD)控制在2.5%以内。在肉类重金属检测中,原子吸收光谱技术通过加入基体改进剂,消除脂肪与蛋白质对重金属原子化的影响,检测结果与标准方法的吻合度达98%以上。在痕量污染物检测中,光谱技术实现了低浓度目标物的精准定量。随着食品安全标准的不断严格,对食品中痕量污染物的检测要求日益提高,光谱技术通过技术创新满足这一需求。例如,在饮用水中微囊藻毒素检测中,荧光光谱技术结合免疫亲和柱富集技术,检测限低至0.01μg/L,可精准识别饮用水中因蓝藻污染产生的微量毒素。在茶叶中重金属铅检测中,石墨炉原子吸收光谱技术通过程序升温控制,实现铅元素的高效原子化,检测限可达0.005mg/kg,满足欧盟食品安全标准对茶叶铅含量的严苛要求。

4 光谱技术在食品检测中的应用路径

4.1 做好技术应用流程的完善

4.1.1 样品前处理流程优化

针对不同食品基质特性,制定差异化预处理方案,引入智能化预处理设备。对于固体食品,开发低温粉碎-均匀取样-在线输送的一体化预处理系统,通过-10℃至-5℃的低温粉碎,避免样品成分因高温发生变化,同时利用自动取样装置确保样品代表性,取样误差控制在1%以内。对于液

体食品,设计在线过滤-自动稀释-恒温控制的预处理体系,通过精密过滤膜去除杂质干扰,自动稀释系统根据样品浓度精准调节稀释比例, ($25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$) 的恒温环境下,保证样品物理性质稳定,预处理效率较传统手工操作提升 3-5 倍。

4.1.2 仪器设备操作流程标准化

建立全流程操作规范,并融入数字化管理系统。制定涵盖仪器开机校准、样品检测、数据输出、关机维护的标准化操作手册(SOP),明确各环节操作参数与时间节点。开发仪器操作数字化管理平台,实现操作过程的实时监控与数据追溯,平台可自动记录操作人员、操作时间、设备参数等信息,如果出现操作偏差,系统实时报警并提示纠正措施,避免人为操作误差影响检测结果。

4.1.3 检测质量控制流程强化

构建“三级质量控制”体系,确保检测结果可靠。一级质控要求每批次样品需加入空白样品与标准样品,空白样品用于扣除背景干扰,标准样品用于验证检测准确性。二级质控需要定期开展仪器性能验证,包括检测限、精密度、准确度验证,例如每月对原子吸收光谱仪进行检测限验证,确保满足检测要求。三级质控建立检测数据审核机制,由专业技术人员对检测数据进行逻辑性与准确性审核,审核通过率需达到 100%,没有通过审核的数据需重新检测,形成完整的质量控制闭环。

4.2 做好光谱数据的科学处理

结合食品检测需求,引入机器学习与深度学习算法,提升数据分析能力。在定量分析中,将传统偏最小二乘回归算法与随机森林算法融合,构建“偏最小二乘-随机森林”混合模型,利用偏最小二乘回归提取光谱特征变量,随机森林算法提升模型泛化能力,例如在奶粉蛋白质含量检测中,混合模型的预测均方根误差(RMSEP)较传统偏最小二乘回归模型降低 15%-20%。在定性分析中,引入卷积神经网络(CNN)算法,通过构建多层卷积与池化层,自动提取光谱特征,实现对农药残留、非法添加剂的精准识别,识别准确率可达 95% 以上,较传统主成分分析-判别分析模型提升 10%-15%^[5]。建立标准化数据库存储与共享平台,实现数据的高效利用。设计光谱数据库架构,涵盖样品信息、仪器参数、光谱数据、检测结果等核心字段,采用分布式存储技术确保数据安全与快速访问。

4.3 做好光谱数据模型有效搭建

采用特征选择-模型训练-参数优化的一体化构建策略。在特征选择阶段,引入递归特征消除算法(RFE)与竞争自适应重加权采样算法(CARS),筛选与检测目标高度相关的光谱特征变量,减少冗余变量对模型的干扰,例如在食用油过氧化值检测中,通过 CARS 算法筛选出 20-30 个特征波长,较全光谱模型计算效率提升 5-8 倍。在模型训练阶段,针对不同检测类型选择适配算法,定量检测采用梯度提升回归树(GBRT)算法,定性检测采用支持向量机(SVM)算

法。在参数优化阶段,利用粒子群优化算法(PSO)对模型参数进行全局优化,例如对 SVM 模型的惩罚因子与核函数参数进行优化,提升模型分类准确率。建立多维度验证指标与动态验证机制,确保模型可靠性。制定涵盖预测均方根误差(RMSEP)、决定系数(R^2)、相对分析误差(RPD)的定量模型验证指标体系,其中 $\text{RPD} > 2.5$ 表示模型性能优良,可满足实际检测需求。定性模型验证采用准确率、召回率、F1 分数作为核心指标,准确率 $> 95\%$ 为合格标准。

5 食品检测领域光谱技术发展趋势

5.1 与在线检测技术的融合

通过将光谱检测模块与食品生产流水线深度集成,结合自动化控制技术与数据分析算法,构建“实时采样-光谱分析-数据反馈-工艺调整”的智能化在线检测系统。在饮料生产中,在线近红外光谱检测系统可安装于饮料灌装前的输送管道,实时采集饮料的光谱数据,通过建立的定量模型快速分析饮料的糖分、酸度、添加剂含量等指标,分析结果实时传输至生产控制系统,

5.2 与便携检测设备的融合

通过采用微机电系统(MEMS)技术、微型光谱芯片与集成化光学设计,实现便携式光谱检测设备的体积缩小与重量减轻,同时保障检测精度。在微型光谱芯片研发方面,基于互补金属氧化物半导体(CMOS)技术的微型近红外光谱芯片,体积可缩小至几平方毫米,重量不足 1 克,集成于便携式设备中,可实现食品中水分、蛋白质等成分的快速检测,在设备集成化方面,开发“光谱检测模块-数据处理模块-结果显示模块”一体化便携式设备。

6 结语

光谱技术凭借高灵敏度、快速分析、无损检测与多参数同步检测的核心优势,在提升食品检测高效性、增强检测精准性与降低检测成本方面发挥重要作用,为食品安全保障提供了关键技术支撑。文章通过完善技术应用流程、科学处理光谱数据与有效搭建数据模型,进一步释放光谱技术的应用效能,推动其在食品生产、流通与监管环节的广泛应用。

参考文献

- [1] 史谢飞.食品检测中近红外光谱分析技术的应用研究[J].当代化工研究, 2024(4): 124-126.
- [2] 吴丹虹, 黄荣博, 朱晓霞等.红外光谱技术在食品检测中的运用研究[J].中外食品工业: 下, 2024(16): 72-74.
- [3] 张红涛, 王龙杰, 谭联等.太赫兹光谱技术在食品污染检测中的研究进展[J].光谱学与光谱分析, 2024(8): 2120-2126.
- [4] 李坚, 姚智恩, 王金花等.高光谱成像技术在食品品质检测中的研究进展[J].食品工业科技, 2025.
- [5] 吴远浪.食品检测中近红外光谱分析技术的应用[J].粮油与饲料科技, 2024(4): 207-209.

Research on the use and maintenance of one in 100,000 balance

Bin Yan

Wuhan Jiangnan District Ecological Environment Monitoring Station, Wuhan, Hubei, 430020, China

Abstract

Abstract

Electronic balances have become increasingly prevalent in daily life, operating on the principle of electromagnetic balance. This design allows direct weighing without the need for traditional weights, making them a preferred choice for precision measurements. The 100,000th-Part-Per-Million (ppm) balance, a high-precision electronic weighing instrument, can measure masses as small as 0.00001g. Widely used in fields such as chemistry, pharmaceuticals, materials science, and biotechnology, these balances play a crucial role in quality control and assurance. This article analyzes the proper usage of ppm balances, outlines key considerations for ensuring data accuracy, and explores daily maintenance practices to extend their service life and prevent malfunctions.

Keywords

1/100,000 balance; instrument usage; instrument maintenance;

十万分之一天平的使用与维护研究

晏斌

武汉市江宁区生态环境监测站, 中国 · 湖北 武汉 430020

摘 要

电子天平在日常生活中的使用愈发频繁,它是根据电磁力平衡原理制作而成。因此,可以直接进行称量,不需要像传统称一样添加砝码,这也是其受欢迎的重要原因之一。十万分之一天平是一种高精度的电子称重仪器,通常可以测量 0.00001g 的质量。它广泛应用于化学、制药、材料科学、生物技术等领域的质量测量和分析,对于质量控制和质量保证有着重要的作用。本文主要是分析十万分之一天平的正确使用方法,对需要注意的事项进行阐述,保证数据的准确性,本文也对其日常地维护与保养工作进行了探究,延长天平的使用年限,防止损坏天平现象地发生。

关键词

十万分之一天平; 仪器使用; 仪器维护

1 引言

十万分之一天平,用于称量物体质量。十万分之一天平一般采用应变式传感器、电容式传感器、电磁平衡式传感器,应变式传感器,结构简单、造价低,但精度有限,目不能做到很高精度;电容式传感器称量速度快,性价比较高,但也不能达到很高精度;采用电磁平衡传感器的电子天平。其特点是称量准确可靠、显示快速清晰并且具有自动检测系统、简便的自动校准装置以及超载保护等装置。

2 十万分之一天平的基础理论概述

2.1 十万分之一天平的定义与精度等级

十万分之一天平的定义:最小分度值为 0.01mg,可精

确称量至十万分之一克的高精密称量仪器。

准确度级别	检定分度值 e	最小称量
特种准确度级	$e \geq 1 \text{ mg}$	100e
高准确度级	$e \geq 0.1 \text{ g}$	50e
中准确度级	$e \geq 5 \text{ g}$	20e
普通准确度级	$e \geq 5 \text{ g}$	10e

准确度级别划分依据 JJG 1036-2008《电子天平检定规程》

- 高精度天平(如分析天平):适用于微量样品的精确称量,精度在 0.1mg 以下。
- 中精度天平(如精密天平、电子台秤):精度在 0.1g 到 0.1mg 之间,适合实验室和工业场景。
- 低精度天平(如案秤、汽车衡):精度在 1g 以上,主要用于日常商业或工业粗略称量。

2.2 十万分之一天平的结构组成

机械结构:称量盘:用于放置被称量的物体,通常由

【作者简介】晏斌(1972-),男,中国湖北武汉人,本科,工程师,从事环境监测研究。

不锈钢或其他耐腐蚀材料制成。

外壳：保护天平内部组件免受外界环境（气流）的影响，同时提供稳定的称量平台

减震垫：减少振动干扰

水平调节脚：调节天平水平

电子系统：解析传感器（核心部件，如电磁力平衡式传感器）、显示屏、按键（如“TARE”去皮键、“CAL”校准键）、电路主板等电子元件的工作机制，说明传感器精度对称量结果的决定性影响。

传感器：十万分之一天平一般采用应变式传感器、电容式传感器、电磁平衡式传感器。

显示系统：用于显示称量结果，通常具有高分辨率和快速响应的特点。

自动检测系统：能够自动检测天平的工作状态和准确性。

自动校准装置：可以自动进行校准，确保称量的准确性。

超载保护装置：当称量超过天平的最大承载能力时，能够自动切断电源，保护天平不受损坏。

3 十万分之一天平的使用规范

3.1 使用前的准备工作

3.1.1 环境条件控制

温度要求：适宜温度范围（ $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ），温度波动会导致传感器变形、电子元件不稳定，进而产生称量误差。

湿度要求：相对湿度范围（ $50\% \pm 5\%$ ），湿度过高易导致电路受潮、称量盘生锈，湿度过低易产生静电吸附样品。

防震与防干扰：天平需放置在专用防震台，工作台应稳定牢固，台面的水平度要好，远离离心机、通风橱等振动源，避免地面震动影响传感器平衡；避免电磁干扰。

天平室应避免阳光直射，可采取遮光措施或选择阴面房间。

天平室内应干净整洁且避免气流的影响。

天平室内应无腐蚀性气体等影响。

3.1.2 仪器状态检查

外观检查：查看防风罩是否完好（无破损、密封性好）、称量盘是否清洁（无残留样品、污渍）、按键是否灵敏。天平称量盘上若有灰尘或其它落入物体，应用软毛刷轻扫干净。

水平状态检查：检查天平是否处于水平位置，若未处于水平状态，应调节天平前部下方支脚底座上的两个水平调节螺丝，使水泡水准器中的水泡处于正中位置即认为天平水平。水平偏差会导致重力方向偏移，影响电磁力平衡精度。

电源与预热：确认电源连接稳定，按规范开机后预热30分钟，使电子元件达到稳定工作状态，减少温度漂移带来的误差。

3.2 称量操作全流程

3.2.1 常规样品称量步骤

打开防风罩侧门，将洁净的称量容器（如称量瓶、烧杯）

放入称量盘中央，关闭侧门。

按“TARE”键去皮，待显示屏显示“0.0000g”，确认容器质量已被扣除。

轻轻打开防风罩侧门，用药匙缓慢向容器中加入样品（避免样品洒落在称量盘或防风罩内），加样完成后关闭侧门。

放置样品，关闭天平门后，等待10到30秒，待读数稳定后记录读取并记录称量数据（精确至 0.01mg ）。对关键样品，可多次称量并取平均值，确保结果可靠。

打开侧门，取出样品与容器，关闭防风罩。

3.2.2 特殊样品称量方法

腐蚀性样品：需使用密封称量瓶（如聚四氟乙烯材质），快速完成称量（避免样品挥发腐蚀仪器），称量后立即清理残留，说明若样品溅落需用无水乙醇及时擦拭。

挥发性样品：采用“减量法”称量（先称取样品+称量瓶总质量，倒出部分样品后再称，计算差值），在通风橱内操作，减少样品挥发对称量精度的影响。5到10秒内快速读数。

易吸潮样品：在干燥器中准备样品，快速转移至天平称量，避免样品吸收空气中水分导致质量增加。在干燥环境中操作，尽量缩短称量时间。

3.2.3 注意事项

避免过早读数：读数过早可能导致数据不准确。

避免过晚读数：长时间等待可能导致样品挥发或吸湿，影响结果。

观察稳定性指示：部分天平配有稳定性指示符（如“●”或“▲”），可据此判断是否达到稳定状态。

一般情况下，建议在放置样品后等待**10到30秒**，待读数稳定后再记录。对于特殊样品或环境不稳定的情况，可根据实际情况调整等待时间。通过合理控制读数时间，可以确保称量结果的准确性和可靠性。

3.3 使用后的收尾工作

仪器操作：按“OFF”键关机，关闭电源开关，拔掉电源插头（长期不用时）。

清洁处理：用软毛刷清除称量盘上的残留样品，用蘸有无水乙醇的脱脂棉擦拭防风罩内壁及称量盘，待干燥后关闭防风罩。

记录与整理：填写仪器使用记录（包括使用时间、操作人员、称量样品、仪器状态等），整理实验台面，确保天平周边环境整洁。

4 使用十万分之一天平（精度为 0.01mg ）时，需特别注意以下事项，以确保称量结果的准确性：

4.1 环境控制

温度稳定：避免温度波动，最好在恒温室内操作。

湿度控制：保持适宜的湿度，防止样品吸湿或失水。

避免气流：远离通风口、门窗等气流干扰源。

防震：将天平放置在稳定的防震台上，避免震动干扰。

4.2 天平校准

预热：使用前预热 30 分钟以上，确保内部元件稳定。

定期校准：每次使用前或环境变化时进行校准，确保准确性。

4.3 样品处理

干燥样品：确保样品干燥，避免吸湿或挥发。

使用合适容器：选择轻便、稳定的称量容器，避免静电干扰。

避免直接接触：使用镊子或手套操作，防止污染。

4.4 称量操作

关门称量：称量时关闭天平门，减少气流和静电干扰。

轻拿轻放：避免剧烈动作，防止震动影响。

稳定读数：待读数稳定后再记录，避免误差。

4.5 静电控制

防静电措施：使用防静电设备或在干燥环境中使用离子风机消除静电。

避免塑料容器：尽量使用金属或玻璃容器，减少静电干扰。

4.6 数据记录

及时记录：称量后立即记录数据，避免遗忘或混淆。

重复称量：对关键样品进行多次称量，确保结果可靠。

5 十万分之一天平的维护

5.1 日常维护（每日 / 每次使用后）

5.1.1 清洁维护

称量盘与防风罩：天平称量盘的清洁工具选择应遵循“温和、无纤维、无残留、不损伤”的原则。

日常清洁：软毛刷 + 无绒布

油污 / 消毒：无绒布 + 中性清洁剂或异丙醇

死角清洁：棉签 + 轻微湿润

顽固残留：拆卸后浸泡清洗

按键与显示屏：用干燥的软布擦拭按键，避免液体渗入；显示屏若有污渍，用镜头纸轻轻擦拭，防止划伤屏幕。

仪器周边环境：清理天平周围的实验垃圾、试剂瓶，保持防震台整洁，避免杂物堆积影响仪器散热或造成意外碰撞。

5.1.2 防潮防尘维护

防潮措施：在天平内放置硅胶干燥剂（定期更换，避免干燥剂失效后返潮），潮湿季节增加实验室除湿频率，每月检查天平内部是否有霉斑。

防尘措施：每次使用后及时关闭防风罩，长期不用时罩上专用防尘罩，避免灰尘进入仪器内部堵塞传感器或影响电路接触。

5.2 定期维护（每月 / 每季度）

5.2.1 定期校准

按照校准规范，每月进行 1 次定期校准，记录校准数据（如校准前示值、校准后示值），建立校准档案，便于追溯仪器精度变化。

若校准过程中发现示值偏差超过允许范围（如大于 0.02mg），需分析原因（如传感器故障、砝码污染），及时处理后重新校准。

5.2.2 部件检查与维护

电子部件：检查电源插头、电源线是否有破损，按键是否响应灵敏，显示屏显示是否清晰（无花屏、缺字），若发现异常及时联系维修人员。

机械部件：检查水平调节脚是否松动、防风罩门轴是否灵活（若卡顿可涂抹少量专用润滑油）、称量盘是否稳固（无晃动、倾斜）。

砝码维护：校准用标准砝码需定期送至计量检定机构检定（通常每年 1 次），日常存放于干燥、清洁的砝码盒中，避免碰撞、腐蚀。

5.3 长期闲置维护（超过 3 个月不使用）

存放环境：将天平放置在干燥、通风、无振动的房间，避免阳光直射和高温环境。（2）定期通电：每 3 个月开机通电 1 次，预热 30 分钟，检查仪器是否能正常启动、显示屏是否正常，避免电路受潮老化。

闲置前处理：彻底清洁天平内外，取出内部干燥剂，关闭电源并拔掉插头，罩上防尘罩，在防尘罩内放置新的硅胶干燥剂。

5.4 常见故障处理

5.4.1 仪器无法开机或开机无显示

故障原因：电源未连接、电源线破损、电源开关故障、电路主板损坏。

处理方法：检查电源连接（插头、插座）、更换电源线、联系维修人员检修开关或主板，禁止非专业人员拆卸电路部件。

5.4.2 按键无响应或响应错乱

故障原因：按键被污渍堵塞、按键内部接触不良、电路主板故障。

处理方法：用无水乙醇清洁按键缝隙、联系维修人员检查按键线路，避免用力按压按键加重故障。

5.4.3 称量精度异常（示值不准、波动大）

故障原因：环境温湿度超标、天平未水平、传感器污染、校准过期、样品静电吸附。

处理方法：调整实验室温湿度、重新调节水平、清洁传感器（需专业人员操作）、重新校准、对易静电样品采取接地措施（如使用导电称量盘）。

6 结语

十万分之一天平作为高精密称量仪器，其称量结果的准确性不仅依赖于仪器本身的性能，更取决于操作人员的规范使用和日常维护。本文系统梳理了天平的结构原理、使用流程、环境控制、样品处理及维护保养等关键环节，强调了温度、湿度、静电、震动等外部因素对称量精度的深远影响。尤其在实际应用中，任何细微的疏忽都可能导致数据偏差，进而影响实验结果或产品质量。无论如何，在使用的过程中，人们都需要注意对其进行检查、保养，另外还需要做好技术工作，确保使用电子天平的每一个环节都非常地准确，这样不仅能够得到精准的数据，还能够延长电子天平的使用年限，防止损坏电子天平现象地发生。因此，建立标准化操作规程、定期开展校准与维护、强化人员培训，是保障天平长期稳定运行的根本。未来，随着技术的不断进步，天平将朝

着更高精度、更智能化方向发展，但“规范操作+精心维护”始终是确保其性能发挥的核心准则。唯有如此，方能真正发挥十万分之一天平在科研与生产中的关键作用，实现数据可靠性与设备寿命的双重保障。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家计量检定规程.JJG 1036-2008 电子天平[S].北京:中国计量出版社, 2008.
- [2] 张玢胡洁靓.精密电子天平的维护与故障分析[J].计量与测试技术,2014年第41卷第五期, 460.4025
- [3] 白云峰.浅谈电子天平的基础知识.[J].山东化工, 1008 - 021X (2019) 16 - 0155 - 01
- [4] 刘雪梅, 王立新, 马振红. 十万分之一电子天平计量性能影响因素分析及控制措施[J]. 计量学报, 2021, 42(9): 1187-1192.
- [5] 张丽, 魏锋, 赵晓光. 实验室电子天平防静电气流干扰的实验研究与改进[J]. 分析测试技术与仪器, 2022, 28(3): 185-190.

Analysis of influencing factors and optimization strategies of food inspection quality

Jianyao Fu

Shiyan Institute of Food and Drug Inspection, Shiyan, Hubei, 442000, China

Abstract

The rapid socio-economic development has driven diversified consumer market demands while accelerating the industrialization of the food industry. However, such as excessive use of food additives, Drug residues exceed the standard and microbial contamination continue to emerge. Food safety has become a major public concern, This has put forward higher requirements for food safety supervision. For food safety, food inspection is an indispensable link, and ensuring the quality of food inspection is particularly important. This study makes a detailed analysis of the factors affecting the quality of food inspection, and then makes an effective discussion on the corresponding optimization strategy. The research aims to provide food inspection institutions with reference for Improving the quality of food inspection.

Keywords

food inspection; quality; influencing factors; optimization strategies

食品检验质量的影响因素及优化对策探析

付建尧

十堰市食品药品检验检测所, 中国 · 湖北 十堰 442000

摘 要

社会经济快速发展, 激发了消费市场需求的多元化发展, 推动了食品行业的“工业化”发展, 但与此同时食品添加剂使用超标、药物残留超标、微生物污染等食品质量问题时有发生。食品安全问题已然成为社会大众高度关注的焦点, 这对食品安全监管工作提出了更高要求。对于食品安全而言, 食品检验是不可或缺的环节, 确保食品检验质量显得尤为重要。文章对食品检验质量的影响因素进行了详细分析, 进而对相应的优化、提高对策进行了探析。希望能够为食品检验机构提升食品检验质量提供参考。

关键词

食品检验; 质量; 影响因素; 优化对策

1 引言

通过对食品进行科学检验是食品安全监管的重要支撑, 同时也是食品安全风险源头把控、完善食品市场准入监控的重要支点。食品检验的专业性要求较高, 并且检验相关的内容、流程较为复杂, 尤其是在检验过程中的影响因素较多且复杂, 这也是有效保证食品检验质量难度较大的重要原因。加之规范要求、检验标准、技术方法等的不断更新升级, 确保高质量食品检验的难度也日益提高。食品检验质量把控不严, 不但会导致市场秩序混乱, 更会对消费者的合法权益, 乃至生命安全造成严峻威胁。因此, 加强对食品检验质量影响因素的深入分析和精准把控, 对于严把食品检验质量关,

维护食品安全有着十分重要的现实意义。

2 食品检验质量的影响因素

2.1 人员因素

食品检验相关人员的专业技能与职业素养, 直接影响食品检验的结果准确性。食品检验属于多学科交叉领域, 对检验人员在化学分析、分子生物学、微生物检验等方面的理论基础与实验室操作能力有着较高要求。比如, 在液相色谱—质谱联用技术实验操作中, 要求检验人员必须能够正确、熟练操作实验仪器, 根据检验需要进行参数的调整设置, 并通过对图谱的正确解析来提取出相应的检验结果。并且, 检验人员需要熟练掌握对食品基质等各种干扰情况的排除、处理方法^[1]。但是在实际上, 许多检验机构的检验人员的专业技能较为单一, 知识、技能的成长严重滞后于食品检验工作发展的需求。尤其是在检验标准的学习、掌握方面不够及时、深入、全面, 进而对检验数据与限量指标的理解出现较

【作者简介】付建尧 (1982-), 男, 中国湖北房县人, 本科, 从事食品检验、食品检验质量分析、食品检验质量控制研究。

大偏差。对检验程序复杂、存在关键影响因素的情况，较高的食品检验质量甚至需要检验人员严格规范按各项具体的作业指导书进行操作才能得以保证。此外，检验人员的职业道德也会直接影响检验结果的公正性。检验人员责任意识缺失，未能严格遵守相应的职业道德规范，不但会导致较大的检验偏差，甚至出现错误的检验结果，更会使得食品检验行业丧失权威。因此，加强对食品检验的专业队伍建设显得尤为重要。

2.2 仪器设备因素

食品检验涉及诸多专业、复杂的实验操作，其中不可避免地需要使用许多专业仪器设备，如原子吸收光谱仪、分光光度计、气相色谱仪、液-质联用仪等，需要确保这些仪器设备性能良好，才能得到准确、可靠的检验结果。在实际操作中需要结合检验的具体内容选择合适的设备类型与参数配置，若是选用的仪器设备在精度、量程等方面未能充分适应检验需要，得到检验数据也就失去意义，进而影响整个食品检验质量。同时，这些仪器设备也需要做好日常维护、校准、期间核查，才能减少仪器设备的故障，确保准确性^[2]，否则，很可能导致检验结果与实际情况出现较大偏差。

2.3 检验耗材因素

食品检验在一般情况下操作步骤较多，通常会使用到不少检验耗材。首先，其中尤为关键的是可能使用到的标准物质、标准溶液，这是因为其标识含量或浓度的准确性直接影响参与结果计算的数据，进而极大影响检验结果的准确性。其次，实验过程中所用的化学试剂对检验结果影响也不小。优质的化学试剂不仅能起到所需的萃取、螯合、参加反应、催化等作用，而且还能确保引入的干扰杂质较少；而劣质或失效的化学试剂在检验过程中起到的效果与之相反，将严重影响检验结果的准确性。

2.4 样品管理因素

食品检验是以试样作为检验对象，因此，检验结果会受到试样的代表性、完整性的直接影响。试样的代表性不足，将无法客观、准确反映检验批次的质量状况。比如，某批次袋装食品检验的样品在采样时只进行了表面采样，内部等不同位置的采样缺失，将影响试样的代表性，进而导致得到的检验结果不具备代表性。同时，样品的保存也会对检验结果产生影响。不同食品保存对于温湿度、光照等有着不同要求。若是样品的保存条件不符合要求，将会导致样品的质量发生改变。比如，对于冷藏食品样品未严格实施低温保存，使得内部微生物大量繁殖，导致食品发生变质，进而影响检验结果的准确性。除此之外，做好样品运输的管理也十分重要。要结合样品的实际情况选择合适的运输方式，运输过程中样品受到剧烈震动、碰撞、挤压等将导致样品的物理性质发生变化，尤其是对于玻璃瓶等易破碎物品包装的食品样品更是如此。

2.5 检验方法因素

食品检验方法的选择与使用也会对检验结果的准确性、可靠性产生直接影响，进而影响检验质量。不同类型的食品检验，在检验内容、方法应用等方面有所差异。首先，检验方法应尽可能选择操作简便、周期短、影响因素少、重复性好、检出限低的方法。这样才能尽可能保证最终检验结果的准确性和重现性。其次，选择检验方法应注意方法适于检验的食品范围。大部分检验方法都有其适于检验的产品类别，对超出这些产品类别的产品仍选用该方法，不仅会影响结果的法律或监管效力，而且很可能因待测组分分离提取效果、食品基质的较大差等导致检验结果与真值出现较大偏差，甚至可能出现检验结论错误而造成更严重的后果。

2.6 环境条件因素

食品检验质量也会受到环境温湿度、洁净度等因素的影响。不同的检验项目，在环境的温度、湿度、洁净度等方面的要求也有所差异。例如，对于食品微生物的检验，必须有效控制操作环境洁净度，才能确保检验结果不受外界环境影响。否则，若是实验环境的洁净度不足，样品会受到实验环境中的微生物污染，得到的检验结果与真值必然存在较大差异。又如，诸多食品理化检验中，温度、湿度等发生变化，可能会使反应速率、反应平衡等发生明显变化，进而导致检验结果出现偏差；而在涉及精密仪器的实验操作过程中，环境的温湿度、电磁干扰、震动等，也都可能会影响检验结果。

3 优化食品检验质量的相关对策

3.1 加强检验人员管理

首先，要加强对检验人员的专业技能培训，提高其检验专业技术水平。通过对检验人员进行定期培训，提高检验人员在食品检验技术理论、检验标准、实际操作技术应用等方面的能力。采用聘请行业专家授课、组织检验人员外出学习、权威机构规培等多元化方式来夯实检验人员的理论与技能水平^[3]。其次，要强化职业道德教育，采用树立先进模范、典型案例剖析、定期开展专题讲座等方式，培养检验人员的责任意识，提高其职业素养，铸牢恪守职业道德意识，杜绝不规范的检验行为。除此之外，还需要建立完善的考核机制，将检验人员的专业技能、职业道德、工作成绩等纳入到周期性考核体系当中，与薪资绩效挂钩，奖优惩劣，形成对检验人员的约束和自我提升的有效激励。

3.2 强化仪器设备管理

首先，在仪器设备的选择上，尽可能选择可靠性、准确性、灵敏度、自动化程度较高的仪器设备，确保食品检验质量的硬件基础。其次，要做好仪器设备的检定、校准和期间核查工作，这是保证仪器设备持续提供准确数据的基础。其中，检验机构特别要对期间核查工作提高重视程度，因为通常仪器设备的检定校准周期较长，而很多仪器设备在日常被频繁使用，如果检验机构自身开展的期间核查工作流于形

式,必将难以发现仪器设备准确性的偏离情况,最终导致检验结果与真值出现较大偏差。此外,要重视仪器设备的维护保养工作,制定明确的维护保养规范和计划,按时保质保量进行维护保养,确保仪器设备时刻处于良好工况。最后,检验机构还需要结合食品检验项目、技术要求的不断变化,做好仪器设备的更新换代,充分满足检验工作需求,确保食品检验质量。

3.3 严控检验耗材质量

首先,要从制度上为保障检验耗材质量打下坚实基础。定期评估供应商提供的检验耗材整体质量,建立合格供应商名录,在名录中保留、新增整体质量持续较高的供应商,剔除整体质量低下或波动较大的供应商,实现合格供应商名录的动态优化,保障检验耗材整体质量。其次,要充分发挥检验人员经验优势,在综合考量费用的基础上分类选择目标检验耗材品牌。例如检验人员已知A品牌常用有机试剂质量较高,而B品牌常用酸类试剂质量较高,那么在提出使用需求时,可以考虑优先申购A品牌的有机试剂和B品牌的酸类试剂,最终在采购环节结合价格和资金量确定性价比较高的品牌实施采购。最后,要规范各类耗材存储管理。例如,要注重化学试剂保存的温度条件,应按常温、冷藏、冷冻分开保存各类试剂,避免试剂因保存温度不合适而迅速变质;要考虑试剂的酸性、碱性、挥发性等性质差异,对不同性质的试剂分开存放,减少试剂之间的相互影响^[4]。

3.4 加强样品管理

首先,在样品采集方面。需要制定详细的样品采集方案,对样品采集的目的、代表性要求、适用工具与容器等进行明确。严格按照食品样品采集规范要求进行现场采样,确保采样均匀、有效,同时需要避免采样工具的交叉使用造成样品污染,做好对样品的即时分装、标识、封样等处理,对采样过程进行记录,以便于后续的检验追溯^[5]。其次,在样品的运输与保存方面。需要严格按照食品安全标准及相关技术标准做好运输管理,要根据冷藏食品、冷冻食品、特殊样品等的不同分类,做好温度分层控制与监测;做好防破损设计(如采用泡沫袋隔离、泡沫箱包装等方式)以及其他防震措施,避免在运输途中包装破裂而发生样品被污染现象,进而影响食品检验质量。最后,还应严格控制运输时效管理,避免样品因运输时间过长而变质。

3.5 增强检验方法选择应用

首先,在检验方法的选择方面,结合标准适用类别优

先选择指定的标准检验方法。对于没有适用标准的情况,在充分考虑检验的操作便捷性、影响因素多少、重复性、检出限等的基础上,与委托方协商选择知名技术组织发布的方法,确保食品的检验、验证、确认全过程可控、可靠。而对于标准之外的检验方法则需经过充分的测试、评估,在与委托方协商一致的情况下开展相关实验工作。同时,需要加强检验标准、方法操作的规范化培训,确保检验人员能够严格按照标准、方法要求开展样品处理、提取浓缩、上机操作等工作,并加强检验过程监督,及时纠正不规范的实验操作行为,确保食品检验结果准确、可靠。

3.6 加强检验环境控制

首先,对于实验室环境的控制,需要针对食品检验的特殊需求对实验室进行合理布局。例如,完善空调系统、通风净化系统,配置加湿装置或干燥装置等,按照洁净等级要求与污染防控要求等做好人流、物流等的分离管理,完善定向气流设计及排风设计,营造适宜样品检验的环境条件。其次,在加强环境监控方面。严格设定理化检验区、微生物检验区、样品储存区等在温湿度控制方面的标准,利用自动监测与报警设备,实施严格的温湿度精准控制;做好微生物检验区的洁净度控制和监测,确保微生物检验的环境条件。最后,要结合检验仪器设备的使用要求,做好不利因素的全面排查,如做好电磁干扰、震动等不利因素的排除,减少对精密仪器使用的不良影响。

4 结语

综述可知,食品检验会受到人员、设备、方法、样品管理、环境条件等诸多因素的影响,需要检验机构从以上方面着手,采取针对性措施提高对这些关键因素的可控性,优化食品检验的软硬件条件,为确保食品检验质量提供可靠保障。

参考文献

- [1] 董竞.食品检验实验室质量控制的影响因素及对策[J].食品安全导刊, 2025,19(24):38-40.
- [2] 杨仙,赵益丽.食品检验过程中的质量控制策略分析[J].中外食品工业, 2024(05):63-65.
- [3] 罗艳.食品检测准确性的影响因素及解决策略[J].中国食品工业, 2024(22):114-116.
- [4] 曹晓晨.影响食品检验检测准确性的因素分析[J].食品安全导刊, 2022,(26):184-186.
- [5] 李栋,刘静.食品检验的质量控制要素分析[J].现代食品, 2020(07):24-26.

Discussion on the application of PVC artificial leather in automobile seats

Yang Su

Changchun Fuwei Anduotuo Automotive Trim System Co., Ltd., Changchun, Jilin, 130000, China

Abstract

PVC artificial leather, commonly referred to as PVC-coated fabric, was one of the earliest widely used seat covering materials. As a leather material for automotive interiors, the industry has established fundamental performance requirements for it, including lightfastness, abrasion resistance, color fastness, abrasion resistance, flame retardancy, tensile strength, durability, and easy cleaning. Due to its low cost and high durability, PVC artificial leather has been extensively used in automotive seats. However, it also presents challenges such as poor breathability and insufficient environmental friendliness. This study primarily analyzes the advantages of PVC artificial leather in automotive seats, identifies its shortcomings and corresponding countermeasures, and explores specific application scenarios to provide reference for relevant professionals.

Keywords

PVC artificial leather; automobile seat; application

探讨 PVC 人造革在汽车座椅中的运用

苏扬

长春富维安道拓汽车饰件系统有限公司, 中国 · 吉林 长春 130000

摘 要

PVC人造革被称为PVC涂覆织物,是早期被广泛应用的座椅包覆材料。作为汽车内饰皮革材料,业界对其有一些基本的性能要求,例如耐光性、耐摩擦、色牢度、耐摩擦破损性、阻燃性、拉伸强度、经久耐用、易清洁等。PVC人造革因其成本低、耐用性强等特点,在汽车座椅中的应用比较广泛,不过也存在透气性差、环保性不足的问题。开展本文的研究工作,主要分析PVC人造革在汽车座椅中的应用优势,以及PVC人造革的短板和应对对策,探究具体的应用情况,以供相关人员参考。

关键词

PVC人造革; 汽车座椅; 运用

1 引言

PVC人造革精准匹配了车企的量产需求和用户的使用需求,具有有效控制成本、耐用性、环境适应性、设计灵活性等一定优势,因此成为汽车座椅的主流材料之一。按照车型定位和使用场景分层匹配,合理应用PVC人造革,满足用户的需求。高耐磨PVC人造革的引入,不仅能够延长汽车内饰材料的使用寿命,还能提升车内的舒适度和豪华感。通过调整表面处理工艺和添加功能性填料,高耐磨PVC人造革还可以具备防火、阻燃、抗老化等特性,进一步增强汽车内饰材料的安全性和可靠性。

2 PVC 人造革的概述

2.1 PVC 材料

PVC人造革的本质是一种复合材料,通过将聚氯乙烯

(PVC)树脂、增塑剂、稳定剂、颜料等辅料混合制成糊状或片状,然后施加到基布上,再经过凝胶化、压花、表面处理等工序制成。

2.2 应用优势

2.2.1 耐用易维护

对于日常用车,PVC人造革的耐用性和易清洁性远超过织物,甚至部分优于真皮。PVC人造革表面有致密的PVC涂层,液体、油污、零食残渣等都不会渗透到内部,只需要使用湿布或者普通清洁剂擦拭,便可清理干净。无需像织物那样拆洗,或者像真皮那样使用专用的养护剂。经过耐磨处理,长期使用也不会出现真皮常见的坐痕裂纹,使用寿命可达6~8年。而且PVC人造革能耐受汗液中的盐分、日常接触的化妆品以及一些轻微的酒精擦拭,不会像真皮出现染色、腐蚀、斑点,也不会像织物那样因摩擦起球。

【作者简介】苏扬(1987-),男,中国吉林长春人,本科,工程师,从事汽车座椅蒙皮的设计与研发研究。

表 1 PVC 人造革、真皮和超纤革的耐磨度和抗污性对比

成本	PVC 人造革	真皮	超纤革
耐磨度 (马丁代尔次数)	5 万 -8 万次 (出租车款可达 10 万次)	3 万 -5 万次 (易出现坐痕、裂纹)	8 万 -12 万次 (部分超纤达 15 万次, 优于真皮)
抗污性	优 (防渗透, 油污 / 液体可直接擦除)	差 (易渗污、染色, 咖啡 / 口红需专业清洁)	优 (表面 PU 涂层防渗透, 清洁难度与 PVC 相当)

2.2.2 有效控制成本

PVC 人造革具有一定的成本优势, 是中低端车型控制成本的关键。首先是原材料成本低, PVC 是通用化工材料, 价格仅为真皮的 1/5~1/3, 而且无需依赖畜牧业。原材料供应稳定, 不会因为上游资源波动导致成本上涨^[1]。其次, PVC 人造革的生产效率高。采用压延和涂覆工艺, 可实现连续化量产, 能快速匹配车企的大规模生产节奏, 减少生产线的等待时间。而且 PVC 材料全球产能充足, 不会受地域政策的限制, 车企无需担心断供问题, 库存管理成本也很低。

表 2 PVC 人造革、真皮和超纤革的成本对比

成本	PVC 人造革	真皮	超纤革
原材料成本 (元 /m ²)	30-80 (经济型); 80-150 (高端环保型)	300-800 (普通头层皮); 800-1500 (高端纳帕皮)	150-300 (常规款); 300-500 (高性能款)
维护成本	极低: 湿布擦拭即可, 无需专用养护剂	高: 需定期用真皮养护剂, 易脏污且修复成本高	低: 湿布 + 中性清洁剂即可, 无需特殊养护

2.2.3 更好地适应环境

汽车座椅需要面对暴晒低温潮湿等各种环境, 而 PVC 人造革有着良好的环境适应性, 可以应对不同情况。因此得到了广泛应用。一, PVC 人造革, 耐高温耐受强。经过耐候性测试, 可在零下 30℃至 80℃的温度区间内保持性能稳定。低温时不会变硬开裂, 高温时也不会软化粘手。二, PVC 人造革有着良好的抗紫外线老化性能。表面添加的抗 UV 剂, 可以阻挡阳光中的紫外线, 长期暴晒以后, 长期暴晒以后, 颜色褪色率低于 10%, 保持内饰外观一致性^[2]。三, 有着良好的防水防潮性。南方梅雨季或者意外洒水时, 座椅内部不会受潮发霉, 也不会产生细菌和异味。

2.2.4 加工与设计优势

PVC 人造革还具有加工与设计优势。通过工艺调整, 可满足不同车型的内饰设计需求。使用模具压纹, 可以模拟各种真皮纹理, 视觉上媲美中高端车型的真皮座椅。而且 PVC 材料可以调配出各种颜色, 匹配不同车型的内饰风格, 设计自由度高于真皮。PVC 人造革的质地均匀, 而且韧性好, 可与织物、pu 革等其他材料无缝拼接。

3 PVC 人造革的应用短板和应对情况

3.1 环保问题及对策

PVC 人造革在汽车座椅中的应用还存在一些弊端, 其

中环保与健康是 PVC 材料面临的巨大挑战。PVC 在生产过程中使用的增塑剂、稳定剂和溶剂等, 会在车内长期缓慢释放, 产生新车味, 并可能含有甲醛、苯等一些有害物质, 影响车内空气质量和人们的健康。而且生产过程中为了使 PVC 变得柔软, 添加了大量的增塑剂, 这些增塑剂随着时间和温度变化, 逐渐挥发, 甚至黏附在灰尘上, 导致材料本身逐渐变硬脆化, 更有可能被人体吸收, 引发潜在的健康风险。而 PVC 废弃物则很难降解, 焚烧处理会产生一些有毒气体, 对环境造成一定的压力。

针对这一情况, 从源头有效提升性能和环保性, 要采用环保增塑剂, 逐渐淘汰传统的增塑剂。例如使用柠檬酸酯类、生物基增塑剂等更环保安全的替代品, 从根本上减少 VOCs 释放和健康风险^[3]。升级现有的稳定剂系统, 可采用钙锌稳定剂等无重金属的稳定剂, 避免铅铬等重金属, 对环境造成影响。采用水性树脂替代溶剂型胶黏剂、无溶剂压延工艺减少 VOCs 排放, 已成为行业主流。为了进一步优化性能, 还要添加弹性体改性剂, 提升 PVC 在低温下的柔韧性, 减少脆化开裂的风险。添加高性能导热填料, 例如氧化石墨烯, 可以改善座椅加热系统的热传导效率, 解决冬季加热慢的弊端。

3.2 触感、观感及对策

PVC 皮革的触感通常偏硬、偏塑料化, 缺乏天然皮革或其他高级合成材料的柔软、细腻和温暖的触感。尽管印花技术可以模拟各种皮纹, 但其纹理的立体感和自然度通常比较差, 光泽度不够自然很容易给人廉价的视觉印象。

而针对这一情况, 实现工艺的有效升级。升级表面处理技术, 例如应用微孔发泡层技术, 在 PVC 表层之下增加一层微孔发泡层, 可以显著提升触感的柔软度和丰盈度, 同时也能改善透气性^[4]。使用更精致的压花模型, 创造出更加接近真皮的自然, 立体的纹理, 提升视觉上的高级感效果。在处理最后的面层涂饰时, 采用水性或无溶剂技术, 可以大幅减少生产过程和成品中的有机溶剂的残留与释放。

4 PVC 人造革在汽车座椅中的运用

4.1 应用于中低端家用车

中低端家用车, 如 10 万元以下的经济型轿车, 入门级 SUV 等类型的汽车, 它的核心卖点是高性价比, 因此汽车座椅包覆的首选材料为 PVC 人造革。100% 覆盖座椅, 包括坐垫、靠背、侧翼、头枕等各个部位, 会通过纹理仿真和细节优化, 弱化人造革的廉价感, 使用模具压制出小牛皮纹等真皮常见的纹理, 视觉上更加接近真皮^[5]。同时采用与座椅颜色对比的缝线, 模拟高端真皮座椅上的手工缝线细节。在 PVC 表层下, 贴海绵发泡层, 按压时产生轻微回弹, 提升触感的柔软度。

4.2 在中高端车型中的应用

中高端车型例如高端品牌入门款, 15 万 ~30 万元的合

资b级车,更加关注质感与性价比的平衡,因此通过局部使用PVC人造革有效控制成本。PVC人造革仅应用于用户不常直接接触的区域,例如靠背背面、座椅侧翼、头枕侧面或底部。通过真皮与PVC拼接,视觉上没有明显的差异。可以有效降低座椅成本,兼顾质感与定价竞争力。

4.3 特殊功能车型中的应用

出租车、网约车等一些特殊功能车型对座椅的耐用性和易维护性有着更高的要求,因此PVC人造革是唯一的选择。可在全车座椅上进行全面覆盖,且重点强化一些高磨损区域。例如坐垫前端,这是上下车时臀部摩擦最频繁的部位,因此可在此处采用加厚的PVC材料^[6]。靠背下方是乘客容易踢到的区域,因此可以额外添加防刮涂层,避免鞋子刮出划痕。采用1.2mm厚PVC皮革,表面涂覆聚四氟乙烯耐磨层,马丁代尔耐磨次数达8万次。在工艺方面,可选择哑光涂层,避免强光下反光刺眼。在PVC表层添加防油、防笔渍的助剂,产生污渍,使用酒精擦拭就能清除。同时减少拼接缝隙,避免灰尘、食物残渣卡在缝隙里难以清理。

4.4 新能源车型中的应用

在一些新能源车的座椅中,PVC人造革也得到了应用。在工艺上进行升级,满足环保要求。为响应“双碳”目标,吉利开发了生物基PVC革,材料可持续性强,生物基含量占比40%,替代传统石油基PVC,100%回收PET基布,碳排放较普通PVC降低20%以上。工艺方面,针对座椅通风需求,采用双层复合基布,打孔后断裂强力提升30%,避免开裂风险。而且通过表面微纳结构处理,模拟真皮的亲肤感。

5 PVC人造革在汽车座椅中应用的发展趋势

未来发展中,PVC人造革会朝着轻量化、定制化等的方向发展。材料创新与结构优化并重,实现轻量化。PVC

人造革与碳纤维、铝合金骨架结合,形成三明治结构,在保证强度的同时实现整体减重。工艺精简与一体化成型的应用,有效实现轻量化。无溶剂热压成型技术减少拼接工序,使座椅包覆件重量降低8%。而定制化满足细分市场多元需求,通过纳米压印技术,PVC可复刻鳄鱼皮、蜥蜴纹等高端皮革纹理,满足用户的需求。而且柔性制造技术使PVC人造革小批量订单响应周期从14天缩短至7天。用户可在线选择纹理、缝线颜色及功能模块,通过3D打印快速打样,实现定制化服务。

6 结语

综上所述,我国PVC人造革的应用越来越广泛,相关工艺也在不断提升,逐步改进PVC人造革的产能和提升性能。在一些性能方面,人造革已经同真皮超纤革相当。因此,在汽车座椅的应用中,可根据实际需求,优化选择。有效降低整车的成本,提高耐久性和使用的舒适性,为用户提供更多满意的服务,也能促进汽车行业的进一步发展。

参考文献

- [1] 李彬,熊芬,付丹,等. 皮革材料在汽车座椅上的应用[J]. 汽车制造业,2020(5):48-50.
- [2] 李彬,熊芬,胡玉洁,等. 汽车座椅PVC革柔软度影响因素研究[J]. 皮革科学与工程,2021,31(5):25-27,38.
- [3] 岳成,鲁家豹. 汽车座椅常用面料的材料性能对比及分析[J]. 上海塑料,2023,51(6):60-65.
- [4] 王硕,韦东林,杨松霖. 汽车座椅PVC面料打孔设计对面料力学性能影响分析[J]. 汽车与驾驶维修,2023(6):32-35.
- [5] 李彬,熊芬,付丹,等. 汽车座椅用人造革柔韧性评价方法的研究[J]. 中国皮革,2021,50(4):41-44.
- [6] 高梦鸾,顾雪,倪周松,等. 生物基PVC革在汽车座椅上的应用[J]. 汽车零部件,2023(8):47-50.

Application research of intelligent detection equipment in automobile maintenance

Haiping Wang

Dezhou Vocational and Technical College, Dezhou, Shandong, 253000, China

Abstract

The rapid development of the automotive industry and continuous advancements in intelligent technologies have led to the widespread adoption of smart diagnostic equipment in vehicle maintenance. This study investigates the current applications, advantages, and future trends of intelligent diagnostic systems in automotive repair. Through analyzing their implementations in engine, chassis, and electronic/electrical systems, the paper highlights their benefits in improving maintenance efficiency, reducing human errors, and enhancing diagnostic accuracy. The findings demonstrate that intelligent diagnostic equipment enables rapid and precise fault detection, significantly boosting both maintenance efficiency and quality. However, challenges such as high equipment costs and inadequate technician training persist. To address these issues, the study proposes enhancing technological innovation, refining training programs, and promoting standardization. The research indicates that intelligent diagnostic equipment will become a crucial development trend in the automotive maintenance industry, playing a vital role in elevating repair standards and driving industry transformation. Future research should focus on deep integration with emerging technologies like big data and artificial intelligence, as well as expanding applications in new energy vehicle maintenance, to provide theoretical support and practical guidance for the intelligent development of the automotive repair sector.

Keywords

automobile maintenance; intelligent detection equipment; fault diagnosis; maintenance efficiency; technological innovation

汽车维修中智能化检测设备的应用研究

王海平

德州职业技术学院, 中国 · 山东 德州 253000

摘 要

汽车工业快速发展且智能化技术不断进步,使得智能化检测设备在汽车维修领域越来越广泛应用,本研究打算探究智能化检测设备在汽车维修方面的应用现状、优势和发展趋向,本文分析了智能化检测设备在发动机、底盘、电子电气系统等层面的应用并探讨了它在提高维修效率、减少人为错误、优化诊断精确度等方面的长处,结果显示智能化检测设备可快速精准诊断故障从而大大提高维修效率和质量,不过在应用时依然存在设备成本高、技术人员培训不够等难题,针对这些问题本文给出了加强技术创新、完善培训体系、推动标准化建设等提议,研究表明智能化检测设备的应用会成为汽车维修行业的重要发展走向并且对提升维修水平、促使行业转型升级意义非凡,以后的研究要关注智能化检测设备和大数据、人工智能等新技术深度融合以及在新能源汽车维修领域的应用拓宽,以便给汽车维修行业的智能化发展提供理论支持与实践引导。

关键词

汽车维修; 智能化检测设备; 故障诊断; 维修效率; 技术创新

1 引言

近年来全球交通行业被汽车工业的迅猛发展深刻变革着,统计显示到 2022 年全球汽车保有量超 15 亿辆且新能源汽车占比每年都在上升,预计 2025 年能达到近 30%,随着汽车技术越来越复杂传统维修方式局限性慢慢显现出来,在发动机、底盘和电子电气系统故障诊断时尤其如此,因为人工操作效率和精度满足不了市场需求,于是智能化检测设备

有高效、精准的特性在汽车维修领域很快冒头,这些设备不但能快速识别车辆故障而且可通过数据分析优化维修方案从而大大提高维修效率和客户满意度,汽车维修行业是支撑汽车产业的重要部分,它转型升级对推动整个交通行业可持续发展很重要。

智能化检测设备的应用不但是技术进步的体现,而且是汽车维修行业应对市场挑战的关键策略。相关研究表明,用了智能化检测设备之后,维修效率平均能提升 40%,人为错误率可降低 30% 还多。虽然智能化检测设备在汽车行业有着巨大潜力,但在推广时仍存在不少阻碍,中小修车企业因设备购置成本太高而不去问津,技术人员专业水平不够

【作者简介】王海平(1977-),男,中国山东德州人,本科,讲师,从事汽车运用与维修技术研究。

也限制了设备的广泛应用,并且不同品牌和型号的汽车与检测设备的兼容性问题还没彻底解决,这又让修车企业的运营更难了。所以,怎样靠技术创新降低成本、完善培训体系提高人员技能以及推动行业标准化建设,都是急需解决的问题。本研究着眼于当下智能化检测设备的应用情况,深入探究其优缺点和面临的挑战并给出有针对性的建议,给汽车维修行业的智能化转型提供理论依据和实践方法。

2 智能化检测设备在汽车维修中的应用现状

2.1 智能化检测设备的类型与特点

近年来汽车工业迈向电动化、智能化,汽车维修领域的核心工具逐渐变成智能化检测设备,像故障诊断仪、传感器检测系统、底盘分析仪以及电子电气测试平台这类设备依靠物联网、人工智能和大数据技术,具有高精度、实时性和多功能性的特点,例如故障诊断仪能经车载通信接口读取车辆运行数据以快速找出问题,传感器检测系统可动态监测车辆关键部件的工作状态,并且智能化检测设备有模块化设计的优越之处,能根据不同的车型和维修需求灵活调整功能,中国汽车工业协会数据显示,到2022年我国汽车维修市场里智能化检测设备普及率超45%,市场规模预计2025年会突破300亿元,这既体现出行业对高效维修手段急需,也表明智能化技术在传统汽车维修领域意义重大^[1]。

2.2 智能化检测设备在汽车维修中的主要应用领域

汽车维修核心领域如发动机系统、底盘系统、电子电气系统等均已遍布智能化检测设备应用的身影,在发动机维修时它能精准识别点火系统、燃油喷射系统以及排放控制系统的故障并依据数据分析给出有针对性的维修方案,像基于人工智能算法的诊断设备还能预测发动机零部件寿命以达成预防性维护,底盘维修方面悬挂系统、转向系统和制动系统的检测主要靠智能化设备且其利用三维扫描和压力传感技术对部件磨损状况加以评估进而优化维修策略,电子电气系统领域这些设备有着不可替代的价值在新能源汽车维修中尤其如此,因为新能源汽车搭载复杂电池管理系统和高压电路使得传统检测手段难以应对,而智能化检测设备可实时监测电压、电流、温度等参数保障车辆安全运行,研究表明用了智能化检测设备汽车维修行业诊断准确率提升大概30%、维修时间缩短将近40%,这一显著成果显示智能化检测设备正深刻变革汽车维修技术模式与服务水平给行业注入新活力。

2.3 智能化检测设备应用的优势与挑战

汽车维修中智能化检测设备的应用有显著优势但挑战也不少,虽然这类设备维修效率和诊断精度提高很明显,比如自动化检测与数据分析既减少人为误差概率又实现故障快速定位和解决方案精准匹配,其高效性缩短车辆维修周期且让客户等待成本也降下来,但是智能化检测设备成本和技术门槛高阻碍推广,中小维修企业根本承担不起动辄几十万

的高端设备购置费并且技术人员专业技能不足是大问题,现在行业内懂智能化设备操作和维护的人才少得很从而使设备利用率低,2021年全国维修人员接受过智能化设备相关培训的不到60%,所以要应对这些挑战就得行业加强技术创新降低设备成本并完善培训体系提升从业人员专业素养,而且推动标准化建设规范设备使用流程也有助于智能化检测技术在汽车维修领域更广泛地应用。

3 智能化检测设备在汽车维修中的创新应用

3.1 人工智能技术在故障诊断中的应用

近年来,汽车维修行业被人工智能技术的迅猛发展注入新活力,由于汽车工业是全球年产值超2万亿美元的巨大产业且正处于从传统机械向智能化转型的关键期,所以人工智能技术凭借强大的数据处理与学习能力成为汽车故障诊断的核心工具,在实时采集和分析车辆运行数据时,它能迅速识别像发动机异常振动、电气系统短路之类复杂问题并结合历史数据给出精确诊断结果,就拿基于深度学习的神经网络模型来说,几分钟就能筛查完数千种潜在故障模式从而大大缩短维修时间,并且人工智能还有自优化能力,靠不断更新训练数据提高诊断精度,不过开发成本和技术门槛高仍然是推广的主要阻碍,以后随着算法优化和硬件成本降低,人工智能在汽车维修领域的应用会更广泛进而推动行业发展到新高度。

3.2 物联网技术在车辆状态监测中的应用

物联网技术充当着连接物理世界与数字世界桥梁的角色,在汽车维修领域有着广阔的应用前景。市场研究机构数据显示,到2022年全球车联网市场规模已然突破1500亿美元,且估计到2027年能达成年均复合增长率超15%。车辆运行数据如发动机温度、胎压、油耗等关键指标可被物联网技术借由传感器网络实时采集并把信息传输到云端综合分析,这一实时监测能力既能助力发现潜在问题也可让维修人员提前采取措施防止故障出现,比如说某车制动系统有轻微磨损时物联网平台就会自动预警告车主及时检修。物联网技术支持远程诊断功能使得维修服务不只限于实体车间,线上平台也能提供技术支持^[2]。不过数据安全和隐私保护问题当下仍是急需解决的难题,唯有构建完备的安全机制,物联网技术在车辆状态监测里的潜力才得以充分释放。

3.3 增强现实技术在维修指导中的应用

汽车维修的传统模式正被增强现实技术(它具有直观、交互的特点)所改变,并且在近年里,智能眼镜、头戴显示器之类的增强现实设备渐渐出现在维修车间,给技术人员提供实时操作指导,因为增强现实技术能把虚拟信息叠加于真实场景从而清晰展现复杂维修步骤,像拆卸发动机部件、更换电子模块之类的工作步骤,这既大大降低人为操作失误风险又提高维修效率,就拿某个国际知名汽车品牌来说,引进增强现实技术之后,维修时间平均减少30%且客户满意度

明显上升,还有增强现实技术可用于远程协作,专家能共享视野并直接指导现场维修工作以进一步优化资源配置,不过普及时还得解决设备成本高、对技术人员适应能力要求这两个问题,以后随着硬件成本降下来、软件功能优化,增强现实技术有望成汽车维修行业的标配工具。

3.4 大数据分析在预测性维护中的应用

汽车维修的预测性维护模式被大数据分析技术强大的数据挖掘能力重新定义着,因为全球汽车维修市场每年因故障造成的经济损失高达数千亿美元,而人们认为预测性维护是解决这个问题的有效办法。大数据分析整合车辆运行数据、环境数据以及历史维修记录后能构建精准的预测模型以提前识别可能发生的故障,例如分析几十万辆汽车轮胎磨损数据就能预测特定车型在特定路况下的更换周期进而制定科学维护计划,并且大数据分析还能帮企业优化库存管理来减少备件积压和浪费。不过,数据质量和算法精度对预测效果影响关键,若数据来源不准确或者算法设计不合理就可能出现错误的预测结果,所以以后的研究应重点放在数据清洗技术和算法优化方法上以提升预测性维护的可靠性和实用性。

3.5 智能化检测设备应用的案例分析

在汽车维修领域,智能化检测设备的实际应用案例很好地彰显出它的巨大价值,就拿某国内大型汽车维修连锁企业来讲,它引进一套集成人工智能、物联网与大数据分析的智能化检测系统用来全面诊断发动机和底盘,投入使用首年企业维修效率提高 40% 且客户投诉率降低 25%,在新能源汽车维修方面尤其如此,该系统能实时监测电池组电压、电流和温度参数从而避免多起潜在安全隐患。另外一家国际车企用增强现实技术开发出一款维修辅助工具助力技术人员

迅速掌握新型混合动力系统维修流程,这些事例显示智能化检测设备不但能解决传统维修痛点还为企业带来明显经济效益,不过要注意成功应用得靠完善培训体系和技术支持,唯有持续进行技术升级和人才培养,智能化检测设备在汽车维修行业才能发挥更大作用^[3]。

4 结语

现代交通运输体系离不开汽车维修行业的支撑,近年来在智能化技术推动之下该行业有了新的发展机遇,因为智能化检测设备被应用后维修效率和诊断精度提升明显且给行业转型升级提供了强大动力。研究显示,在发动机、底盘以及电子电气系统故障检测方面这种设备性能优异,能减少人为错误并使维修流程更优,不过成本高、技术人员培训不到位等问题依然是它广泛应用的主要阻碍,以后加强技术创新、完善培训体系、推动标准化建设有望让这些问题逐渐解决,并且新能源汽车市场快速增长起来之后智能化检测设备在电池管理系统、电机控制等领域应用会成为研究重点,再结合大数据和人工智能技术智能化检测设备就能进一步做到精准预测和高效维护从而为汽车维修行业可持续发展提供坚实保障,这一方向的研究理论价值大且对实际应用影响深远。

参考文献

- [1] 顾亚洁;.汽车检测设备在车辆维修和性能检测中的应用[J].汽车测试报告,2024(16):79-81.
- [2] 王焱;.智能诊断技术在新能源汽车检测与维修中的应用[J].中国机械,2023(34):61-64.
- [3] 孙超;.智能化技术在新能源汽车检测与维修中的应用[J].汽车测试报告,2024(08):43-45.

Analysis of Maintenance and Management Strategies for Metallurgical and Chemical Equipment

Guangzhi Wei Hongxia Jin Haiying Zhao Yiran Wei

Baotou Xijun Rare Earth Co., Ltd., Baotou, Inner Mongolia, 014010, China

Abstract

As a foundational industry for the national economy, the metallurgical and chemical industry features equipment operation environments characterized by high temperature, high pressure, and strong corrosion. The maintenance and management levels of such equipment directly impact production safety, efficiency, and costs. This paper, based on the theory of equipment lifecycle, combines typical cases and empirical data from the industry to systematically analyze the current status and pain points of equipment management in the metallurgical and chemical sector. It proposes an optimized strategy of 'preventive maintenance-predictive maintenance-intelligent management' as a three-in-one approach. Research indicates that a scientific management system can reduce equipment downtime due to faults by 30%-45%, and decrease comprehensive maintenance costs by 15%-25%, thereby providing equipment assurance for high-quality development in the industry.

Keywords

metallurgical chemical equipment; full life cycle management; predictive maintenance; intelligent platform; fault prevention and control

冶金化工设备维护与管理策略分析

魏广志 靳宏霞 赵海营 魏亦然

包头市玺骏稀土有限责任公司, 中国·内蒙古 包头 014010

摘要

冶金化工行业作为国民经济的基础性产业, 其设备运行环境具有高温、高压、强腐蚀等特点, 设备维护与管理水平直接影响生产安全、效率及成本。本文基于设备全生命周期理论, 结合行业典型案例与实证数据, 系统分析当前冶金化工设备管理的现状与痛点, 提出“预防维护—预测维护—智能管理”三位一体的优化策略。研究表明, 科学的管理体系可使设备故障停机率降低30%~45%, 综合维护成本下降15%~25%, 为行业高质量发展提供设备保障。

关键词

冶金化工设备; 全生命周期管理; 预测维护; 智能平台; 故障防控

1 引言

冶金化工行业是能源与资源密集型产业, 其生产设备涵盖高炉、反应釜、压缩机等关键装置, 运行环境具有“三高一强”特征——高温(如高炉炉缸温度达 1500℃)、高压(如合成氨装置压力达 32MPa)、高转速(如轧机转速达 1800r/min)及强腐蚀(如酸碱处理设备)。设备故障不仅导致生产中断, 更可能引发爆炸、泄漏等重大安全事故。据中国冶金工业协会统计, 2022 年全国冶金企业因设备故障导致的非计划停机平均时长为 4.2 小时/月, 直接经济损失超 300 亿元; 化工行业因设备腐蚀引发的事故占比达 42%, 年均损失约 280 亿元。

随着智能制造技术的发展, 传统“故障后维修”模式

已难以适应现代生产需求。宝钢集团、万华化学等龙头企业通过引入预测维护与智能管理系统, 实现了设备故障率的显著下降。本文以设备全生命周期管理为框架, 从维护模式创新、技术应用、管理机制三个维度, 构建适配冶金化工行业的设备管理体系, 并结合具体案例验证策略有效性, 为行业提供实践参考。

2 冶金化工设备维护与管理的现状及痛点

2.1 设备特性与管理要求

冶金化工设备按功能可分为冶炼设备(高炉、转炉)、反应设备(聚合釜、加氢反应器)、传动设备(泵、风机)及特种设备(压力容器、起重机械)等, 其管理需满足三大核心要求:

- 安全性优先: 高压设备泄漏可能引发爆炸(如某化肥厂合成塔爆炸致直接损失 1.2 亿元);
- 连续性保障: 生产线停机 1 小时将导致吨钢成本上

【作者简介】魏广志(1979-), 男, 中国内蒙古赤峰人, 本科, 工程师, 从事化工冶金研究。

升 12~15 元，大型化工装置单日停机损失超千万元；

3. 精度控制：轧机辊缝偏差超 0.1mm 将导致产品质量降级，合格率下降 15%~20%。

2.2 当前管理模式的局限性

2.2.1 被动维修为主，计划性不足

调研显示，70% 的中小型冶金化工企业仍采用“故障停机后维修”模式。某民营钢铁企业 2021 年因轧机齿轮箱突发故障，导致生产线停机 18 小时，直接损失达 230 万元；某化工厂因未及时更换反应釜密封垫，造成介质泄漏，环保罚款及停产损失合计 890 万元。

2.2.2 数据割裂与经验依赖

设备数据分散在生产、维修、采购等部门，未形成统一管理平台。某焦化厂依赖老技师经验制定焦炉检修周期，未考虑原料成分变化对设备腐蚀的影响，2022 年发生上升管泄漏事故，煤气回收率下降 8%，年增能耗成本 450 万元。

2.2.3 技术与管理脱节

部分企业虽引入振动监测、油液分析等技术，但因缺乏专业团队，数据未有效转化为决策依据。某钢厂风机振动超标预警后未及时处理，最终导致轴承烧毁，停机维修损失达 150 万元。

2.2.4 成本控制失衡

部分企业为压缩成本减少必要维护。某氯碱企业连续 3 年未更换电解槽阳极，导致槽电压升高 15%，电耗增加 200 万 kWh/ 年，反而推高生产成本。

3 设备维护模式创新与技术应用

3.1 预防维护模式的优化

预防维护基于设备运行周期制定计划，核心是通过数据优化维护间隔。结合“故障浴盆曲线”理论，分阶段实施策略：

初期故障期（投用 1 年内）：加强磨合期监测。某铝厂对新电解槽每周进行 3 次槽温与电压巡检，初期故障率下降 40%，磨合期从 3 个月缩短至 1.5 个月；

偶然故障期（稳定运行阶段）：基于磨损数据调整周期。某钢管厂通过轧辊磨损量监测，将更换周期从 15 天延长至 20 天，年节约成本 120 万元；

损耗故障期（老化阶段）：强化维护频率。某钢铁企业对服役 15 年以上的高炉冷却壁，将检查周期从 3 个月缩短至 1 个月，避免炉壳烧穿风险。

案例 1：宝钢集团冷轧厂预防维护优化：宝钢股份分析 2018-2020 年连轧机组故障数据，发现工作辊轴承故障占比 35%，且 80% 发生在运行 1200 小时后。据此将维护周期从 1500 小时调整为 1200 小时，2021 年该类故障减少 62%，年节约维修成本 860 万元，设备综合效率（OEE）从 82% 提升至 89%。

3.2 预测维护技术体系构建

预测维护通过状态监测预判故障，核心技术包括：

振动监测：对旋转设备（风机、泵）采用 25.6kHz 采

样频率的加速度传感器，可识别早期轴承磨损（如某化工厂风机振动值从 0.1mm/s 升至 0.3mm/s 时，预警轴承内圈剥落）

油液分析：通过光谱仪检测油中金属元素含量。某轧机齿轮箱油样中铁元素浓度从 5ppm 升至 30ppm 时，预测齿轮磨损趋势，提前更换避免齿面崩裂；

红外热成像：对高压配电柜温度监测，温升超 8℃即预警接触不良，某钢厂通过该技术避免了配电柜短路事故；

超声波检测：用于压力容器焊缝泄漏检测，灵敏度达 0.01mm/ 年的腐蚀速率，某化肥厂通过该技术发现合成塔焊缝微泄漏，及时修复避免爆炸风险。

效益数据：中国设备管理协会统计显示，预测维护较传统模式可降低故障停机率 30%~45%，维护成本 20%~30%，备件库存 15%~25%。

案例 2：万华化学 MDI 装置预测维护系统：万华化学在 MDI 装置部署 1200 余个传感器，构建设备健康管理平台。2022 年通过振动数据分析，提前 72 小时预测循环气压缩机叶轮不平衡故障，安排计划停机维修，避免非计划停机损失约 500 万元。系统运行后，装置年均故障停机时长从 18 小时降至 5.2 小时，OEE 提升至 92%。

3.3 主动维护与故障自愈技术

主动维护通过改善运行环境降低故障概率：

高温设备采用强制冷却系统：某钢厂将高炉热风炉温度控制精度从 $\pm 50^{\circ}\text{C}$ 提升至 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ ，炉衬寿命延长 2 年；

腐蚀设备实施阴极保护：某化工厂对氯碱装置管道采用外加电流阴极保护，腐蚀速率从 0.2mm/ 年降至 0.05mm/ 年；

智能自愈技术：智能阀门定位器可自动补偿磨损量，某石化企业应用后阀门控制精度维持在 $\pm 0.5\%$ 以内，故障率下降 60%。

4 设备全生命周期管理体系构建

4.1 前期管理：选型与安装优化

设备前期管理（规划、采购、安装）决定全生命周期成本的 70%。

4.1.1 全周期成本评估模型

某企业连铸机选型时的评估矩阵如表 1 所示。

表 1 设备性能评估表

指标	权重	国产设备得分	进口设备得分
初始投资（万元）	0.2	85	60
预计寿命（年）	0.3	60	90
维护成本（万元/年）	0.25	70	50
故障停机损失	0.25	50	90
综合得分	-	66.5	73.5

最终选择进口设备，虽初始投资增加 30%，但 10 年全周期成本降低 15%。

4.1.2 安装精度控制

轧机安装时牌坊垂直度控制在 0.03mm/m 以内，空载试车 48 小时后进行 110% 额定负载测试，某企业通过该标

准使轧机精度寿命延长1倍。

4.2 运行阶段：精细化管理体系

4.2.1 三维度绩效指标

可靠性：平均故障间隔时间（MTBF）、故障停机率；

经济性：单位产品维护成本、OEE；

安全性：特种设备定检率、隐患整改率。

某钢铁企业2022年关键设备MTBF达420小时，较行业平均高150小时；OEE达89.7%，超行业平均5.3%。

4.2.2 标准化点检流程

制定《设备点检作业指导书》，明确：

路线：按“工艺流程+故障高发区优先”设计（如高炉点检优先检查风口、冷却壁）；

周期：关键泵类每2小时一次，辅助设备每日一次；

记录：二维码扫码实时上传数据，某企业应用后数据准确率从75%提升至98%。

4.3 后期管理：退役与根因分析

4.3.1 退役评估与再利用

某企业对服役10年的转炉评估后，将炉壳翻新再利用，节约新购成本60%；电机、减速机等核心部件经检测合格后用于辅助生产线，年降成本280万元。

4.3.2 故障根因分析（RCA）

某化工厂反应器泄漏事件分析：

直接原因：密封面垫片老化；

根本原因：维护规程未考虑介质温度波动对垫片寿命的影响；

修订规程后，将垫片更换周期与温度波动系数关联，类似故障未再发生。

5 智能管理平台建设与应用

5.1 数据采集与整合

构建“物联网+工业互联网”网络；

底层设备：通过PLC、DCS采集实时数据（采样间隔1~10秒）；

监测系统：振动、温度等传感器数据（间隔1~60分钟）；

管理数据：维护记录、备件库存等（实时更新）；

某钢铁企业平台日均采集数据800GB，实现3000余台关键设备全网。

5.2 智能分析与决策模型

5.2.1 设备健康度评价模型

基于多参数构建健康指数（HI）：

$$HI = \sum_{i=1}^n w_i \times (1 - \frac{x_i - x_{\min,i}}{x_{\max,i} - x_{\min,i}})$$

其中， w_i 为权重， x_i 为实测值， $x_{\min,i}$ 、 $x_{\max,i}$ 为正常范围。HI < 0.6时触发预警，某企业应用后故障预警准确率达92%。

5.2.2 剩余寿命预测（RUL）

采用LSTM神经网络预测设备RUL，某轧机RUL预

测误差控制在5%以内，为维护计划提供精准依据。

5.3 平台架构与效益

平台分三层架构见表2。

表2 冶金化工设备智能管理平台架构图

层级	构成	数据流向	效果
感知层	传感器、智能仪表	数据采集—分析—决策—执行	维护工单响应时间从4小时缩短至1.5小时； 备件库存周转率提升25%； 年降管理成本1200万元
平台层	云服务器、AI引擎		
应用层	设备监控、维护管理等模块		

6 管理机制与保障体系

6.1 组织架构优化

建立“设备总监—区域工程师—点检员”三级体系，推行TPM（全员生产维护）：

生产班组：负责日常点检与微小缺陷处理；

维修团队：实施专业维护与抢修；

技术部门：制定策略与标准。

某冶炼厂推行TPM后，操作人员发现的隐患占比从15%升至60%，故障发现及时率提升40%。

6.2 成本控制策略

6.2.1 维护成本结构优化

企业实施新策略后成本结构变化见表3。

表3 企业实施新策略后成本结构变化表

维护类型	实施前占比	实施后占比
预防维护	30%	55%
预测维护	5%	25%
故障维修	65%	20%

6.2.2 备件ABC分类管理

A类（轧机工作辊）：供应商寄售，保障库存；

B类（阀门）：动态调整采购周期；

C类（螺栓）：集中采购降低成本。

某冶金企业维护成本与效益趋势见表4。

表4 某冶金企业维护成本与效益趋势表

项目	实施前数值	实施后数值
故障停机损失	2800万	980万
维护成本	3200万	2500万
设备寿命	8年	10年
年度综合效益提升	-	年均增加4200万元

6.3 人员能力提升

构建“技能+知识+数字化”培训体系：

技能培训：焊工、钳工等级认证；

知识培训：设备原理、材料性能；

数字化培训：数据分析工具、智能平台操作。

某企业培训后，维修人员处理复杂故障时间从 8 小时降至 3 小时，培训投入产出比达 1:5。

7 结论与展望

冶金化工设备维护与管理需从“被动应对”转向“主动防控”，通过预防维护与预测维护结合、全生命周期管理与智能平台支撑，实现安全性、经济性与连续性的统一。实践表明，科学的管理体系可显著降低故障率与成本，提升生

产效率。

参考文献

[1]高虎.A钢铁企业设备管理优化研究[D].云南师范大学,2023.
[2]何立军.山东A钢铁公司精益设备管理应用及对策研究[D].山东师范大学,2023.
[3]张思岩.多种生产设备预知性联合维修决策模型研究[D].沈阳工业大学,2022.