



科技创新与工程

Technological Innovation and Engineering

Volume 2 Issue 1 January 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 1 · January 2025 · ISSN 3060-8996(Print) 3060-8988(Online)



中文刊名：科技创新与工程	Serial Title: Technological Innovation and Engineering
ISSN：3060-8996（纸质）3060-8988（网络）	ISSN: 3060-8996 (Print) 3060-8988 (Online)
出版语言：华文	Language: Chinese
期刊网址：http://journals.nassg.org/index.php/tie-cn	URL: http://journals.nassg.org/index.php/tie-cn
出版社名称：新加坡南洋科学院	Publisher: Nan Yang Academy of Sciences Pte. Ltd.

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》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。

科技创新与工程

Technological Innovation and Engineering

Volume 2 Issue 1 January 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

1	强化瓦斯治理办法 确保煤矿安全生产 / 王振光	55	S7-1500 系列 PLC 控制系统在炉前鼓风机的运用研究 / 吴小根
4	制造产线自动化控制中的机器视觉技术应用研究 / 史今	58	协同创新理论视角下科技成果转化动力机制的解构与 重构 / 王佶
7	海南省橡胶园智能割胶机器人实地测试与性能优化 研究 / 王亚飞 汤华	61	海上旋喷桩工艺对港口地基加固效果 / 冯星
10	车载毫米波雷达下线校准的设计研究 / 兰必丰 黄斌 俞宗蕙 缪宣和 王科富	64	DAM10kW 中波发射机故障类型及分类检修技巧 / 王彦凯
13	科创联络员制度在科创服务中的实践探索——以科创 湖北联络员为例 / 肖利利	67	出租车计价器智慧计量监管平台建设 / 马维云 任万杰 胡生伟 陈兴建
16	不同提取方法对冰片纯度和活性成分的影响 / 郑璟 陈渭 丁文涛 陈斌 周文莲	70	智能工地降排水系统研发及应用 / 王帅 崔义龙 罗帆 张奕儒 钱昊天
19	食品检测实验室的质量控制策略研究 / 石美莲 林伟进 石雪芬	74	生态环境科技成果转化中的问题与对策 / 韩雪
22	食品检验过程中影响质量控制因素及解决策略分析 / 林伟进 石雪芬 石美莲	77	人工智能驱动的智能机械设备自适应设计与协同维修 体系构建 / 郑克 李猛 吴小莉 沈昌禄 苏岳景
25	自定义键盘在飞机模拟器开发中的应用研究 / 周恒宇	80	探索新晋功能粮食藜麦天然复合营养及其对健康的深 远意义 / 刘抗 柏英庭 杨子
28	大尺寸硅单晶生长设备的关键技术发展趋势分析 / 王伟棱 郑欢欣	83	基于网络信息安全技术管理的计算机应用研究 / 王珂
31	智能传感器技术在汽车电子技术中的运用 / 周武 梁文生 周清清 明瑶	86	污染场地土壤与地下水协同修复技术创新研究 / 黄硕
34	多传感器融合技术在电站金属结构健康监测中的应用 研究 / 赵杰明 唐志山 申健	89	法医毒物鉴定中血液酒精浓度影响因素及疑难问题解 决技术研究 / 姚周盛
37	智能电网中自动化控制与储能技术的协同应用研究 / 岳伟伟	92	基于多尺度结构拓扑优化的无人机机臂设计方法研究 / 赵昂
40	外销焦炭提高装车效率综合控制技术 / 窦金生	95	新质生产力下企业科技管理的数字化转型路径 / 陶剑
43	智慧广电乡村工程建设路径研究 / 刘军	98	基于车载 CAN 总线的安全通信测试研究 / 窦丽芳 王明军 袁佳
46	自动化与智能化技术在煤矿采掘中的应用 / 褚柘钧	101	航天单机产品成本测算模型构建方法研究 / 于佳晖 程永欣 胡四海 宋永生 任浩
49	新时代生态环境治理中企业落实绿色发展主体责任的 理论建构与实践启示 / 依帕尔姑丽·卡地尔	105	基于响应面法的低品位金矿氰化浸出参数优化与动力 学分析 / 王浩 胡祥婷 孙其飞
52	基于大数据的电力系统可靠性与安全性动态评估模型 研究 / 吴小莉 郑克 李勇 苏岳景 沈昌禄	108	新型催化剂在煤化工低碳转化技术中的应用研究 / 张鑫旭

111	PCR 实验室核酸污染清除方法	/ 付小伟
	/ 杨丹红 刘明灯 王世豪 谢小红	
114	AGV 小车在国内外发展历程与应用的研究	/ 李小华
	/ 康易辰	
117	增材制造技术在复杂机电零部件成型中的工艺研究	/ 段成涛
120	新型形状记忆合金在机电执行器中的应用与优化	
123	高温高压扭转设备的研制及其在材料加工中的应用	

1	Strengthening gas control measures to ensure safe production in coal mines / Zhenguang Wang		efficiency of exported coke / Jinsheng Dou
4	Research on the Application of Machine Vision Technology in Manufacturing Production Line Automation Control / Jin Shi	43	Research on the construction path of smart broadcasting and television in rural areas / Jun Liu
7	Field testing and performance optimization research on intelligent rubber cutting robots in rubber plantations in Hainan Province / Yafei Wang Hua Tang	46	Application of automation and intelligent technology in coal mining / Zhejun Chu
10	Design Improvement for Driver Assistant Camera Bracket / Bifeng Lan Bin Huang Zongyi Yu Xuanhe Miao Kefu Wang	49	Theoretical construction and practical implications of enterprises' implementation of the main responsibility of green development in ecological environment governance in the new era / Yipaerguli Kadier
13	Practical exploration of science and technology innovation liaison system in science and technology innovation service—Take the liaison officer of Hubei province as an example / Lili Xiao	52	Research on dynamic evaluation model of power system reliability and security based on big data / Xiaoli Wu Ke Zheng Yong Li Yuejing Su Changlu Shen
16	Effects of different extraction methods on the purity and active ingredients of the borneol / Jing Zheng Wei Chen Wentao Ding Bin Chen Wenlian Zhou	55	Research on the Application of S7-1500 Series PLC Control System in Furnace Front Blower / Xiaogen Wu
19	Study on the quality control strategy in the food testing laboratory / Meilian Shi Weijing Lin Xuefen Shi	58	The Deconstruction and Reconstruction of the Dynamic Mechanism for the Transformation of Scientific and Technological Achievements from the Perspective of Collaborative Innovation Theory / Ji Wang
22	Analysis of factors affecting quality control in the process of food inspection / Weijing Lin Xuefen Shi Meilian Shi	61	The reinforcement effect of offshore jet grouting pile technology on port foundations / Xing Feng
25	Research on the application of custom keyboard in aircraft simulator development / Hengyu Zhou	64	DAM10kW Fault types of medium wave transmitter and classification maintenance techniques / Yankai Wang
28	Analysis of the key technology development trend of large-size silicon single crystal growth equipment / Weileng Wang Huanxin Zheng	67	Construction of a smart metering and supervision platform for taxi meters / Weiyun Ma Wanjie Ren Shengwei Hu Xingjian Chen
31	Application of Intelligent Sensor Technology in Automotive Electronic Technology / Wu Zhou Wensheng Liang Qingqing Zhou Yao Ming	70	Research and development and application of intelligent construction site drainage system / Shuai Wang Yilong Cui Fan Luo Yiru Zhang Haotian Qian
34	Research on the application of multi-sensor fusion technology in metal structure health monitoring of power station / Jieming Zhao Zhishan Tang Jian Shen	74	Problems and Countermeasures in the Transformation of Ecological Environment Technology Achievements / Xue Han
37	Research on the collaborative application of automation control and energy storage technology in smart grid / Weiwei Yue	77	Adaptive design and collaborative maintenance system construction of intelligent mechanical equipment driven by artificial intelligence
40	Comprehensive control technology for improving loading		

- / Ke Zheng Meng Li Xiaoli Wu Changlu Shen
Yuejing Su
- 80 To explore the natural complex nutrition of emerging functional food *Lepidium* and its effect on health
/ Kang Liu Yingting Bai Zi Yang
- 83 Research on computer application based on network information security technology management
/ Ke Wang
- 86 Research on innovation technology of co-remediation of contaminated site soil and groundwater
/ Shuo Huang
- 89 Study on the influencing factors of blood alcohol concentration and the solution technology of difficult problems in forensic toxicology
/ Zhousheng Yao
- 92 Research on Design Method of UAV arm Based on Multi-Scale Structural Topology Optimization
/ Ang Zhao
- 95 The digital transformation path of enterprise science and technology management under new quality productivity
/ Jian Tao
- 98 Research on safety communication test based on vehicle CAN bus
/ Lifang Dou Mingjun Wang Jia Yuan
- 101 Research on the construction methods of cost estimation models for standalone aerospace products
/ Jiahui Yu Yongxin Cheng Sihai Hu Yongsheng Song Hao Ren
- 105 Optimization and kinetic analysis of cyanide leaching parameters for low grade gold ore based on response surface method
/ Hao Wang Xiangting Hu Qifei Sun
- 108 Research on the application of new catalysts in low-carbon conversion technology of coal chemical industry
/ Xinxu Zhang
- 111 Removal methods of nucleic acid contamination in PCR laboratory
/ Danhong Yang Mingdeng Liu Shihao Wang Xiaohong Xie
- 114 Research on the Development and Application of AGV Small Cars at Home and Abroad
/ Yichen Kang
- 117 Research on the Process of Additive Manufacturing Technology in the Forming of Complex Electromechanical Components
/ Xiaowei Fu
- 120 The Application and Optimization of New Shape Memory Alloys in Electromechanical Actuators
/ Xiaohua Li
- 123 Development of high-temperature and high-pressure torsion equipment and its application in material processing
/ Chengtao Duan

Strengthening gas control measures to ensure safe production in coal mines

Zhenguang Wang

Jiaozuo Coal Industry (Group) Co., Ltd., Jiaozuo, Henan, 454150, China

Abstract

Effective control of coal mine gas is a key measure to ensure safe production in coal mines. This article first analyzes the formation of coal mine gas and its impact on coal mine safety production, and then explores the main problems in current coal mine gas control, proposing gas control strategies based on ventilation, emissions, monitoring and early warning, technological innovation, and management standards. By strengthening gas control measures, not only can the incidence of coal mine gas accidents be significantly reduced, but the overall safety level of coal mine production can also be improved, providing guarantees for the sustainable development of coal mining enterprises. It is hoped that this article can provide theoretical support for professional and technical personnel in the same field.

Keywords

gas control; Coal mine safety; New ventilation system

强化瓦斯治理办法 确保煤矿安全生产

王振光

焦作煤业（集团）有限责任公司，中国·河南焦作 454150

摘要

煤矿瓦斯的有效治理是保障煤矿安全生产的关键措施。本文首先分析了煤矿瓦斯的形成及其对煤矿安全生产的影响，然后探讨了当前煤矿瓦斯治理中存在的主要问题，提出了基于通风、排放、监测预警、技术创新及管理规范等方面的瓦斯治理策略。通过强化瓦斯治理措施，不仅可以大幅度降低煤矿瓦斯事故的发生率，而且可以提高煤矿生产的整体安全水平，为煤矿企业的可持续发展提供保障，希望通过本文论述能够为同领域专业技术人员提供一定理论支持。

关键词

瓦斯治理；煤矿安全；通风系统新

1 引言

瓦斯爆炸是煤矿安全生产中的重大隐患，尤其在高瓦斯矿井中，瓦斯治理显得尤为重要。然而，目前在瓦斯治理的各个环节上仍存在不足，给煤矿安全生产带来较大挑战。本文将系统探讨有效的瓦斯治理措施，以期为煤矿安全生产提供科学依据和操作指南。

2 煤矿瓦斯治理的现状存在的问题

2.1 瓦斯的形成与危害

瓦斯（煤矿气体）主要是由煤层中分解的有机物质产生的甲烷气体，具有高度易燃和易爆的特性。煤矿瓦斯的形成是由于地质作用下，煤层中的有机物在高温、高压和缺氧的环境中经过长期的分解、发酵所产生的气体积累。通常，

瓦斯气体随着煤层的埋藏深度增加而浓度上升。

①易燃易爆：瓦斯在空气中的浓度达到 5%~16% 时，遇到火源或静电就会发生爆炸，威力巨大。这种爆炸不仅对煤矿井下的设备和设施带来毁灭性破坏，更会对井下作业人员构成致命威胁。②窒息危害：由于瓦斯是无色、无味的，且易在矿井中积聚，容易造成氧气不足，增加窒息的风险，影响作业人员的呼吸^[1]。③环境污染：瓦斯泄漏后不仅污染矿井的作业环境，甲烷还会作为温室气体对大气产生影响，间接加剧全球变暖问题。

2.2 现阶段瓦斯治理中存在的问题

2.2.1 监测体系不完善

在现阶段煤矿瓦斯治理中，监测体系的不完善成为亟待解决的核心问题。当前，不少煤矿的瓦斯监测设备仍旧依赖于传统的机械或电化学传感器，这些设备的性能已难以满足现代煤矿的安全需求。具体而言，部分煤矿瓦斯监测设备存在设备老旧、数据精度低、采样频率不足等问题，无法实现对瓦斯浓度的实时、准确监控，导致矿井在瓦斯浓度超标

【作者简介】王振光（1987-），男，本科，工程师，从事煤矿瓦斯防治研究。

时无法快速识别并采取应对措施。在数据采集和传输环节,许多煤矿缺乏高效的传输系统,现有的网络结构和设备难以支持大规模、复杂环境下的数据实时传输。这使得瓦斯浓度等关键信息从采集到传输的过程中出现滞后,严重影响到管理人员对瓦斯风险的及时判断和处理。

2.2.2 通风系统设计不足

在煤矿瓦斯治理过程中,通风系统的设计问题直接影响瓦斯浓度的控制。煤矿通风系统的首要作用是稀释和排出瓦斯,维持矿井内空气流通,确保矿工的安全。然而,当前部分煤矿的通风系统设计不合理,尤其是在矿井深处和复杂地形区域,通风不良导致瓦斯容易在这些地方积聚,无法保持其浓度在安全范围内。许多煤矿在设计初期没有充分考虑到矿井的实际情况和后期发展,导致通风线路布局不科学,气流无法有效覆盖整个矿井,产生了通风死角。同时,由于通风系统设备的老化,通风机运转效率降低,无法维持足够的风量,从而导致瓦斯不能及时排出^[2]。

2.2.3 管理机制不健全

管理机制的不健全在一定程度上加剧了煤矿瓦斯治理的难度。部分煤矿企业对瓦斯治理的重视程度不足,缺乏系统、全面的瓦斯治理管理机制,导致管理松懈、制度执行力不足,瓦斯治理的成效受到制约。许多煤矿企业对瓦斯治理缺乏长远规划,仅在事故发生后才进行短期治理,而非建立持续的治理制度。由于管理层对瓦斯治理的重视程度不同,执行上也参差不齐,瓦斯治理的政策和措施往往难以落实到位。此外,部分煤矿企业的安全管理制度不完善,缺乏明确的瓦斯治理责任分工,且在瓦斯超标等紧急情况下,企业缺乏有效的应急预案,难以及时采取应对措施。该管理机制的薄弱性使得瓦斯治理难以形成闭环管理,矿工的安全得不到有效保障。同时,由于企业内部缺乏系统的瓦斯治理培训,员工对瓦斯治理的知识和意识不足,导致瓦斯治理措施在执行过程中存在疏漏。

3 瓦斯治理的强化措施

3.1 加强通风系统建设

加强煤矿的通风系统建设是瓦斯治理工作的基础和关键,合理的通风系统能够有效防止瓦斯聚集,确保矿井内空气流动,维持瓦斯浓度在安全范围内。当前的煤矿通风系统需要在设计上进行优化,特别是在复杂地质结构和深层矿井中,更需合理布置主要通风机和辅助通风设备,确保空气流动能够覆盖整个矿井区域。在通风网络设计方面,应结合矿井实际情况,调整通风线路和风量分配,以避免产生通风死角,确保各区域空气流通顺畅,瓦斯可以快速稀释并排出矿井。此外,对瓦斯浓度较高的区域,可采取局部通风技术辅助主通风系统,通过安装局部风机或设置局部通风管道,增加该区域的风量和通风效果,有效降低局部瓦斯浓度。煤矿企业还需加强对通风设备的日常维护和管理,定期检修通风

机、通风管道及其他配套设备,以防设备老化、损坏造成通风效率下降,从而影响瓦斯治理的成效。

3.2 实施瓦斯抽采与排放

在高瓦斯地区,单靠通风难以有效控制瓦斯浓度,因此需实施瓦斯抽采与排放措施,通过抽采瓦斯将其从矿井中分离排出,降低矿井中的瓦斯浓度,确保矿井作业环境的安全。瓦斯抽采的效果主要依赖于合理的抽采孔布置与封孔工艺,在抽采孔布置方面,应根据矿井地质条件和瓦斯分布情况,选择合适的钻孔位置和数量,以便瓦斯能够充分从煤层或围岩中释放出来。同时,封孔工艺在瓦斯抽采中起着重要作用,如果封孔不严密,瓦斯会泄漏或倒灌,影响抽采效率,甚至可能造成安全隐患。为提高抽采效率,可应用高负压、大直径钻孔等先进技术,这些技术能够增加抽采流量、提高抽采深度,确保瓦斯被充分抽出。此外,应保持井下排放系统的畅通,在瓦斯抽采后及时将其排出矿井,避免瓦斯在管道中积累。通过定期排放和抽采的结合,可有效控制矿井瓦斯浓度,保障煤矿的安全生产环境。

3.3 建立智能监测与预警系统

为了实现瓦斯治理的智能化管理,应建立智能监测与预警系统,实现对瓦斯浓度的实时监控和预警。智能监测系统能够通过传感器、物联网技术,将矿井各区域的瓦斯浓度信息进行实时采集,传输到控制中心进行统一监控。通过智能监测系统,可以实现数据的集中化管理和可视化展示,方便管理人员掌握矿井中瓦斯浓度的动态变化。同时,通过数据分析和大数据技术,系统可以预测瓦斯超标的可能性,帮助管理层提前采取预防措施。在智能监测系统的基础上,还应建立完善的智能预警系统,当瓦斯浓度超过设定的安全值时,系统将自动触发警报,通知相关管理人员和作业人员,便于他们迅速采取应对措施。对于危险区域的人员,可通过智能系统实时定位并引导撤离,确保人员安全。智能监测与预警系统的应用可以有效减少人为检测的误差,提高瓦斯治理的反应速度和应急处理能力,从而降低安全隐患,进一步提升矿井的安全管理水平。

3.4 推进技术创新,推广瓦斯利用

瓦斯不仅是煤矿中的危险气体,也是潜在的能源资源,通过技术创新,可以将瓦斯进行有效利用,实现瓦斯治理和资源利用的双重目标。推广瓦斯利用技术,煤矿企业可以将瓦斯从矿井中收集后,用于发电或生产清洁能源,将废气变为资源,带来额外的经济效益。在瓦斯利用方面,一些煤矿已经开始应用瓦斯发电技术,利用瓦斯发电可以满足矿井生产用电需求,同时将多余电力并入电网,进一步提高资源利用效率。瓦斯还可以用作工业燃料,为周边工业企业提供清洁能源。在推广瓦斯利用的过程中,技术创新是关键,煤矿企业需积极引入先进的瓦斯利用设备和工艺,如低浓度瓦斯氧化燃烧技术、大规模瓦斯存储和输送技术等,这些技术能够提高瓦斯利用率和安全性,实现瓦斯资源的高效开发和利

用。推广瓦斯利用不仅减少了瓦斯的泄漏风险,降低矿井瓦斯浓度,还能为企业带来经济效益,是一种可持续发展的瓦斯治理措施。

3.5 完善瓦斯治理管理机制

完善的管理机制是瓦斯治理工作的制度保障,煤矿企业需将瓦斯治理纳入日常生产管理的各个环节,制定严格的规章制度并确保执行到位。第一,煤矿企业应建立健全的瓦斯治理规章制度,明确各岗位的瓦斯治理职责,落实到每位员工身上,形成全员参与的瓦斯治理格局。在此基础上,企业需定期组织一线员工开展瓦斯治理的安全培训,提升员工的安全意识和技能水平,使他们能够掌握瓦斯检测、应急处理等关键技能。第二,监管部门也需加强对煤矿瓦斯治理工作的监督力度,定期对企业的瓦斯治理措施进行检查,发现问题及时督促整改,确保瓦斯治理措施的落实效果。通过制定并完善瓦斯治理管理机制,将瓦斯治理工作制度化、规范化,煤矿企业可以提高瓦斯治理的执行力 and 持久性,减少安全事故的发生,实现煤矿生产的本质安全。

4 瓦斯治理存在的挑战

4.1 地质条件复杂性增加了瓦斯治理难度

煤矿瓦斯治理面临的首要挑战是地质条件的复杂性。煤层的埋藏深度、构造破碎带、煤层气储量等地质因素会显著影响瓦斯的赋存状态及分布规律。在煤层深部,瓦斯压力较大且渗透性较差,瓦斯不易通过自然扩散进入通风系统。此外,煤层含瓦斯量在同一矿区内也存在较大差异,部分煤层含瓦斯量偏高,且有些区域受地质构造控制,形成了局部的高瓦斯聚集带^[1]。由于地质条件的不可预测性,瓦斯在开采过程中可能会突然释放,导致“瓦斯突出”现象,该现象会造成大量瓦斯瞬时喷出,对井下作业人员和设备构成极大的安全威胁。为了应对地质条件复杂性的挑战,瓦斯治理必须依赖高精度的地质勘探和监测技术,通过对煤层的赋存规律进行准确预测来提高治理的有效性。但现有地质勘探手段的精确度和覆盖范围有限,地质数据的获取与分析仍然存在技术瓶颈。相关问题使得瓦斯治理过程在深部开采、复杂构造区和高瓦斯聚集带等区域充满不确定性,直接影响了煤矿的安全管理水平和生产效率。

4.2 瓦斯监测与控制技术的局限性

瓦斯治理过程需要高度依赖瓦斯监测技术和瓦斯控制技术支持,然而目前的监测与控制技术尚存在一定局限,

难以完全满足现代煤矿的高效、安全需求。现有的瓦斯监测设备多采用固定安装的气体探测器,覆盖范围和灵敏度受到限制,尤其在地质条件复杂、作业面不断变化的情况下,监测设备难以及时响应瓦斯浓度的剧烈变化。瓦斯监测的数据实时传输和智能分析技术尚未成熟,数据获取后需依赖人工解读与判断,响应速度较慢,增加了瓦斯超标未被及时发现的风险。与此同时,现有瓦斯控制手段也存在不足,例如,瓦斯抽放技术的有效性在煤层透气性较差的情况下大打折扣,容易出现瓦斯抽放不彻底的问题,进而导致瓦斯在某些区域积聚形成安全隐患。在井下采掘的动态环境中,瓦斯的分布状态会随着采掘活动而改变,这种动态特性对瓦斯监测和控制技术提出了更高要求,需实现实时、自适应的响应机制,然而现阶段的技术水平仍难以做到完全满足实际需求。

4.3 安全管理与应急处置机制的完善性不足

在瓦斯治理过程中,安全管理与应急处置机制的完善性也对瓦斯防治效果产生了重要影响。尽管煤矿企业普遍制定了安全管理制度和瓦斯治理方案,但在实际执行中存在管理不完善和应急处置不及时的情况。瓦斯防治需要井上下多部门协同运作,然而由于部门间的沟通与协调不畅,导致信息传递和决策反应效率低下。矿井中的安全培训和技术培训多流于形式,矿工在瓦斯泄漏或超标情况下的应急应对能力不足,容易导致瓦斯事故在第一时间内未能得到有效控制。应急处置机制的不足也体现在应急物资和设备的配置上,许多煤矿企业在发生瓦斯泄漏时,无法在短时间内提供充足的应急物资和人员支持,延误了事故的处理时机,导致事故影响扩大。

5 结语

瓦斯治理是煤矿安全生产中不可忽视的重要环节。通过优化通风系统、实施抽采排放、构建智能监测预警系统、推动技术创新及完善管理机制,可以大幅度减少瓦斯事故的发生。未来,煤矿企业应加大瓦斯治理方面的投入,依托先进技术和严格管理,切实保障矿井安全生产。

参考文献

- [1] 杜昆,李奇. 煤矿瓦斯监测值特征分析与预警技术研究[J]. 科技创新与应用, 2024, 14 (32): 94-98.
- [2] 黄友金,覃佐亚,陈滔,彭勐波. 高瓦斯矿井回风隅角瓦斯治理技术应用[J]. 江西煤炭科技, 2024, (04): 149-151+159.
- [3] 孙令超. 高位钻孔代替高位抽采巷上邻近层卸压瓦斯治理效果研究[J]. 能源技术与管理, 2024, 49 (05): 42-44.

Research on the Application of Machine Vision Technology in Manufacturing Production Line Automation Control

Jin Shi

College of Intelligent Manufacturing, Xinjiang Vocational University, Urumqi, Xinjiang, 830011, China

Abstract

This article focuses on the application of machine vision technology in the automation control of manufacturing production lines. In the globalized economy, the manufacturing industry is facing challenges, and machine vision technology has obvious advantages and wide applications. Introduce the current situation at home and abroad, where foreign countries started earlier and domestic development is faster. Adopting multiple research methods with innovative points. Analyze technical principles, including image acquisition and processing algorithms. Showcase its effectiveness in quality inspection and production control. Identify challenges and corresponding strategies in environmental adaptation, detection accuracy, and system integration. Looking ahead to the future, it will integrate with artificial intelligence, expand 3D vision applications, and have broad prospects, promoting the development of intelligent manufacturing and reshaping the competitive landscape.

Keywords

manufacturing production line; Automated control; Machine vision technology; application research

制造产线自动化控制中的机器视觉技术应用研究

史今

新疆职业大学智能制造学院, 中国 · 新疆 乌鲁木齐 830011

摘要

本文围绕制造产线自动化控制中机器视觉技术应用研究。在全球化经济下, 制造业遇挑战, 机器视觉技术优势明显, 应用广泛。介绍国内外现状, 国外起步早, 国内发展快。采用多种研究法, 有创新点。剖析技术原理, 含图像采集与处理算法。展示其在质量检测和生控制方面成效。指出面临环境适应、检测精度、系统集成等挑战及应对策略。展望未来, 它将与人工智能融合、拓展 3D 视觉应用等, 前景广阔, 会推动制造业智能化等发展, 重塑竞争格局。

关键词

制造产线; 自动化控制; 机器视觉技术; 应用研究

1 引言

全球化下制造业面临竞争、需求及成本挑战, 产线自动化控制迫在眉睫。机器视觉技术可模拟人眼对生产进行精准监测分析, 具高精度、速度快等优势, 能防误判漏检, 提效率与质量, 在多行业广泛应用, 如电子、汽车、食品饮料制造等。研究此技术应用对制造业智能升级、竞争力提升意义重大, 助企业降本增效、优流程、保安全, 推动产业可持续发展。国外于 20 世纪 50 年代起步, 理论研究持续发展, 90 年代产业化, 在高端制造应用深入, 高校科研成果突出。国内 80 年代开始, 经多阶段发展, 应用场景广, 部分领域成果显著。国外先发优势明显, 国内应用广度和产业规模扩张快, 部分实现超越, 未来有望合作共赢。综合运用文献、

案例和实证研究法, 梳理脉络、剖析案例、实地调研验证效果。创新点有: 拓展应用领域至新兴制造业; 融合深度学习与传统算法; 集成机器视觉等技术构建智能控制系统, 推动产线智能化、柔性化升级。

2 机器视觉技术原理剖析

2.1 图像采集系统

工业相机选型要点: 工业相机选型要综合考量分辨率、帧率与感光元件类型。分辨率关乎细节捕捉, 精密制造需高分辨率, 一般性生产用低分辨率即可; 高速生产环节对帧率要求高, 静态场景则常规帧率就行。CCD 成像优但成本高、功耗大, CMOS 性价比高、集成度高且数据读取快, 部分高端 CMOS 相机已逼近 CCD 画质, 应用广泛。例如汽车电容器生产检测, 依据检测区域和精度选用 1000 万像素、特定分辨率的彩色相机, 确保检测精度与质量稳定。镜头参数对成像影响: 镜头的焦距、景深、视场紧密关联, 影响成像

【作者简介】史今 (1973-), 男, 中国河北唐山人, 本科, 副教授, 从事智能控制研究。

效果。长焦距利于检测微小部件，短焦距适合大面积物体；景深受光圈、焦距与拍摄距离左右；视场由焦距和感光元件大小确定，需依据检测物体的大小和精度要求选定合适视场的镜头。如电子产品生产线的手机外壳外观检测，选用中短焦距镜头配合小光圈获取大景深，再依相机分辨率和检测精度调整焦距，增强检测准确性与可靠性。光源设计与应用场景适配：光源设计要适配应用场景，不同材质、形状产品对光源特性要求有别。金属产品反光强，用偏振光源；塑料产品用环形光源凸显三维信息；玻璃制品选同轴光源消除阴影。规则形状产品用条形或环形光源，复杂形状用圆顶光源等。像食品饮料包装检测，易拉罐用环形无影光源，方形纸盒用条形光源组合照射，保障包装检测的完整性与合规性^[1]。

2.2 图像处理算法

图像预处理方法：涵盖灰度化、滤波、增强等操作。灰度化可简化数据，有平均值法和加权平均法；滤波能去除噪声，均值、中值、高斯滤波各有针对；图像增强可突出感兴趣区域，如直方图均衡化提升对比度，灰度变换调整灰度范围。以 PCB 板图像去噪为例，经中值滤波、高斯滤波和直方图均衡化等预处理，提升图像质量，为后续工序提供优质数据源，降低误判率，保障生产质量。特征提取与识别技术：处于核心地位。基于形状特征（如 Hu 不变矩算法用于机械零件识别）、纹理特征（如灰度共生矩阵用于纺织品检测）、颜色特征（如颜色矩算法用于水果分拣）的提取与识别技术各有应用。某机械零件自动化生产线运用 Hu 不变矩、GLCM 算法和颜色矩算法精准识别零部件特征，实现自动化装配，装配准确率超 98%，效率提升 3 倍以上。深度学习在图像处理中的融合：深度学习算法尤其是 CNN 为机器视觉图像处理带来变革。传统算法处理复杂图像适应性欠佳，CNN 凭借自动特征学习能力，通过多层架构从海量图像数据中学习深层次特征，在复杂产品外观检测和图像分类任务上优势显著，大幅提升准确率，有力推动制造产线智能化升级。

3 机器视觉技术在制造产线的全方位应用

3.1 质量检测环节应用

表面缺陷检测实例分析，在手机屏幕生产和金属制品加工等行业，机器视觉技术在表面缺陷检测中发挥重要作用。手机屏幕检测通过高精度工业相机和特定光源，利用纹理特征提取算法和深度学习模型，精准识别划痕和斑点等缺陷；汽车发动机铝合金缸体检测选用高分辨率 CCD 相机和环形无影光源，结合 Hu 不变矩算法与 CNN，精确检测表面裂纹、砂眼等缺陷，保障产品质量与安全。尺寸精度测量应用，在航空航天和精密模具制造等领域，机器视觉技术用于高精度尺寸测量。航空发动机叶片测量采用多台工业相机组成阵列和三维重建算法，测量精度可达 $\pm 0.01\text{mm}$ ；精密模具制造借助长焦镜头和高像素 CMOS 相机，运用

基于边缘检测的亚像素定位算法，测量重复性精度可达 $\pm 0.005\text{mm}$ ，提高生产效率，降低成本。装配完整性核验，在汽车制造和电子产品制造等行业，机器视觉系统用于装配完整性核验。汽车发动机装配线上，机器视觉系统监测零部件装配过程，确保装配质量；电脑主板插件装配中，采用高帧率、高分辨率工业相机和特定光源，结合模板匹配算法与深度学习目标检测算法，降低插件装配不良率，提升产品良品率。

3.2 生产过程控制应用

物料识别与分拣自动化，在食品与药品生产领域，机器视觉技术实现物料识别与分拣自动化。食品生产中，机器视觉系统利用形状和颜色特征识别算法，精准分拣不同产品，机械臂依据其指令高效抓取物料；药品生产中，配备专业光源和深度学习算法的机器视觉系统，准确识别药品的剂型、种类、批次等关键属性，保障药品质量安全。机器人视觉引导操作，在汽车制造、电子产品制造和物流仓储等行业，机器人视觉引导操作提升生产效率与质量。汽车焊接车间，焊接机器人搭载机器视觉系统，利用基于结构光的三维视觉测量技术，精准焊接车身框架，提高焊接合格率；电子产品外壳喷涂生产线，喷涂机器人借助机器视觉系统规划最优喷涂路径，提升产品外观质量；物流仓储搬运环节，搬运机器人结合机器视觉技术，精准抓取各类货物，提升搬运效率，降低货物损坏风险。生产流程监控与优化，在电子制造、注塑成型和食品饮料罐装等生产线，机器视觉技术实现生产流程监控与优化。电子制造 SMT 生产线，机器视觉系统实时监控生产流程，挖掘最优生产参数，提升产能，降低不良率；注塑成型生产流程中，机器视觉系统检测产品质量并关联分析设备运行参数，提前预判质量问题，降低废品率；食品饮料罐装生产线，机器视觉系统监测罐装量和封盖质量，优化资源调配，提升生产线运行效率^[2]。

4 机器视觉技术应用的成效与挑战

4.1 应用成效显著呈现

生产效率大幅跃升，汽车制造领域，某企业引入机器视觉技术后，汽车发动机装配时间从 3 小时缩短至 1.5 小时以内，日产量从 50 台提升至 100 台以上；电子制造行业，某企业 SMT 贴片环节引入机器视觉检测系统后，贴片速度从每小时 2000 - 2500 件提升至 4000 - 4500 件，生产效率显著提升。产品质量显著提升，精密机械加工领域，某航空发动机叶片生产企业引入机器视觉测量系统后，次品率从 10% 降至 2% 以内，返修率从 8% 降低至 1% 以下；家电制造行业，某冰箱厂应用机器视觉技术后，产品一次合格率从 85% 提升至 98% 以上，有效保障产品质量，提升品牌形象。成本控制成效显著，大型服装制造企业引入机器视觉辅助自动化生产设备后，人力需求减少约 30%，人力成本占比从 40% 降至 25% 左右；食品饮料罐装企业引入机器视觉系

统后,物料浪费率从3%降低至0.5%以内,设备利用率从60%提升至80%以上,降低了成本,增强企业竞争力。

4.2 面临挑战深度剖析

复杂环境适应性难题,在钢铁、铸造等重工业领域,机器视觉系统面临强光、高温、高粉尘等复杂恶劣环境的挑战。强光导致图像过曝,高温使电子元器件性能衰退、镜头参数改变,高粉尘降低图像对比度、遮挡光路,影响图像采集质量与设备稳定性,增加误判风险,制约生产效率提升与质量管控。高精度检测技术瓶颈,随着制造业向高端化、精密化发展,对产品精度要求愈发严苛,机器视觉技术面临挑战。工业相机分辨率虽不断提升,但在面对超精密零部件检测时仍显不足,受光学衍射极限限制,细微结构成像模糊;传统图像处理算法在复杂缺陷形态识别、微小尺寸测量上误差较大,制约高端制造产业发展。系统集成与维护难点,在制造产线自动化升级过程中,机器视觉系统存在系统集成与维护难题。不同厂商设备在通信协议、软件接口上存在差异,集成时兼容性问题突出,影响系统协同工作;维护层面,复杂集成系统故障排查难度大,维修耗时费力,且设备更新后存在新老版本兼容、系统重新优化配置等问题,增加企业人力成本与技术管理难度,阻碍技术推广与优化。

5 应对挑战的策略与发展趋势展望

5.1 应对策略精准发力

硬件优化升级路径,研发高防护等级的工业相机与镜头,采用特殊散热材料与结构设计,提高其耐高温、抗干扰能力;开发耐高温、抗干扰的光源,如具备自适应调光功能的光源和封闭式光源结构,为图像采集提供可靠保障。在电子制造和食品饮料罐装等生产线,优化后的硬件组合提升了产品良品率和生产效率。算法创新突破方向,融合多模态数据,将视觉图像与其他传感器数据结合,提升对目标物体的感知能力;引入强化学习算法,让机器视觉系统具备自主决策与优化能力;针对高精度检测需求,研发基于微观物理模型的算法,突破光学衍射极限束缚。如在智能仓储物流和汽车零部件表面缺陷检测等场景中,创新算法提升了检测准确率与效率。标准化与规范化建设,制定统一的设备接口标准与数据传输协议,促进不同厂商设备无缝对接;加强行业规范制定,涵盖设备性能指标、检测方法、安全操作规程等内容。在3C产品制造和医疗器械制造等行业,标准化与规

范化建设保障了产品质量检测的可靠性与稳定性^[1]。

5.2 发展趋势前瞻洞察

与人工智能深度融合,深度学习算法将持续优化,借助海量图像数据训练提升模型精度与泛化能力;强化学习将与机器视觉紧密结合,赋予系统自主决策与动态优化能力。在复杂产品缺陷检测和智能仓储物流等场景中,融合后的技术提升了检测与搬运效率,推动物流自动化水平提升。视觉技术拓展应用,3D视觉技术将在高端精密制造、工业机器人操作等领域实现突破性应用,并与虚拟现实(VR)/增强现实(AR)技术融合,为制造过程带来全新交互体验。在航空发动机叶片检测、汽车总装生产线和产品设计评审等环节,3D视觉技术提升了检测精度、装配质量和设计效率。跨行业多元化渗透,机器视觉技术将加速向新能源、生物医药、物流仓储等新兴行业以及柔性制造、定制化生产模式渗透。在新能源汽车电池制造、生物医药生产检测和物流仓储智能化升级等方面,机器视觉技术提升了生产效率、产品质量和物流处理效率,推动制造业向智能化、高效化、柔性化方向发展。

6 结论

本研究聚焦制造产线自动化控制中的机器视觉技术。深入剖析其技术原理,涵盖图像采集系统与图像处理算法等关键环节。实践证实,该技术在质量检测与生产过程控制中成效显著。同时,研究也指出其面临的挑战,并提出硬件优化、算法创新、标准化建设等应对策略。展望未来,机器视觉技术前景广阔。在技术创新上,硬件性能与图像处理算法将不断提升;应用领域会向新兴制造业拓展;跨行业融合将进一步加强,与人工智能、物联网、大数据紧密结合;产业生态也将持续完善,上下游协同发展。机器视觉技术将引领制造业迈向智能化、高效化、柔性化,重塑全球制造业竞争格局,推动工业文明迈向新高度。

参考文献

- [1] 陈婉薇.基于机器视觉的PLC控制下的自动化装配线研究[J].中国仪器仪表,2023(12):77-80.
- [2] Zhu S.整合视觉系统方案,有效提高自动化生产线效率[J].传感器世界,2021,27(03):30-32.
- [3] 朱成林,多类多样性目标智能分拣技术及应用.北京市,北京精密机电控制设备研究所,2018-12-06.

Field testing and performance optimization research on intelligent rubber cutting robots in rubber plantations in Hainan Province

Yafei Wang Hua Tang

Haikou University of Economics, Haikou, Hainan, 571127, China

Abstract

This study focuses on the field testing and performance optimization of intelligent rubber cutting robots in rubber plantations in Hainan Province. Conduct on-site testing on typical rubber planting bases, collect operational data, and analyze their performance under rubber trees in complex terrain and different growth stages. The results show that after optimizing the mechanical structure, control system, and glue cutting algorithm, the robot has significantly improved its glue cutting efficiency, accuracy, stability, and reliability. Although the user feedback shows excellent performance, there is still room for improvement in terms of passability on steep slopes, muddy terrain, and adaptability to special forms of rubber trees. Future research will focus on improving terrain and environmental adaptability, optimizing the depth control algorithm for rubber cutting, and achieving more intelligent and efficient rubber cutting operations.

Keywords

intelligent glue cutting robot; Field testing; Performance optimization; Rubber industry

海南省橡胶园智能割胶机器人实地测试与性能优化研究

王亚飞 汤华

海口经济学院, 中国·海南 海口 571127

摘要

本研究围绕海南省橡胶园智能割胶机器人的实地测试与性能优化展开。在典型橡胶种植基地实地测试, 收集运行数据, 分析其在复杂地形及不同生长阶段橡胶树下的性能。结果显示, 经机械结构、控制系统、割胶算法等优化, 机器人在割胶效率、精度、稳定性和可靠性上显著提升。虽用户反馈应用表现出色, 但在陡坡、泥泞地的通过性, 以及对特殊形态橡胶树的适应性上仍需改进。未来研究将聚焦提升地形和环境适应性, 优化割胶深度控制算法, 实现更智能高效的割胶作业。

关键词

智能割胶机器人; 实地测试; 性能优化; 橡胶产业

1 引言

随着科技的不断进步, 农业领域的自动化与智能化发展成为提升生产效率、应对劳动力短缺问题的重要途径。橡胶产业作为我国重要的经济作物产业之一, 其割胶环节的自动化改造具有重大的现实意义。传统的人工割胶方式不仅效率低下, 且受制于工人技能水平和自然环境因素, 难以满足现代橡胶产业对产量和品质的高要求。智能割胶机器人的出

现, 为解决这一难题提供了新的思路和方法。本研究聚焦于海南省橡胶园智能割胶机器人的实地测试与性能优化, 旨在通过系统的实地测试, 收集机器人的实际运行数据, 分析其在复杂橡胶园环境中的性能表现, 进而针对性地提出优化策略, 以提升机器人的割胶效率、精度和稳定性, 推动橡胶产业向智能化、高效化的方向发展, 增强海南省橡胶产业在国际市场上的竞争力, 为我国农业现代化进程贡献一份力量。

2 海南省橡胶园智能割胶机器人实地测试方案

2.1 测试场地选择

在海南省选择具有代表性的橡胶种植基地作为实地测试场地是至关重要的。这些场地应涵盖不同的地形条件, 如平地、坡地以及泥泞地带, 以全面评估机器人对复杂地形的适应能力。同时, 所选场地的橡胶树应具有不同的生长阶段和品种, 包括幼树、成年树以及不同品系的橡胶树, 以便机器人能够针对不同生长特性的橡胶树进行割胶作业。此外,

【课题编号】海口经济学院 2024 年度校级科学研究重点项目“基于深度控制算法的智能割胶机器人研究”(项目编号: HJKY(ZD)24-13)。

【作者简介】王亚飞(1991-), 女, 中国海南海口人, 在读博士, 讲师, 从事计算机应用、信息化教育和人工智能等研究。

测试场地还应考虑当地的气候条件,包括雨季和旱季,以及不同的温度和湿度变化,确保机器人能够在各种自然环境下稳定运行。通过在这样的综合性测试场地进行实地测试,可以为机器人的性能评估提供全面、真实的数据支持,为其后续的优化和改进奠定坚实的基础^[1]。

2.2 机器人部署与调试

机器人部署到实地测试场地后,首先需要进行初步的调试和适应性测试。调试工作包括对机器人的机械结构进行检查和调整,确保各部件的正常运转和连接的牢固性。同时,对机器人的控制系统进行校准,包括传感器的标定和执行器的参数调整,以保证机器人能够准确地感知环境信息并做出相应的动作。在调试过程中,还需要对机器人的割胶机构进行优化配置,根据橡胶树的大小和形状调整割胶刀具的位置和角度,以及割胶深度和频率等参数。此外,要对机器人的能源系统进行检查和维护,确保其在测试期间能够持续稳定地供电。通过这一系列的部署与调试工作,使机器人能够更好地适应实地测试环境,为后续的性能测试和数据收集提供可靠的保障。

2.3 数据收集方法

为了准确评估智能割胶机器人的性能,需要采用多种高精度的数据收集方法。在割胶效率方面,通过在橡胶树上安装计时器和产量传感器,记录机器人完成单株橡胶树割胶所需的时间以及割胶后橡胶的产量,从而计算出单位时间内的割胶产量。对于割胶精度的评估,利用高精度的激光扫描仪和视觉传感器,对割胶后的橡胶树剖面进行扫描和成像,分析割胶深度的均匀性和准确性,以及割胶路径与预设路径的偏差。同时,通过在机器人上安装加速度传感器和陀螺仪,收集其在作业过程中的运动数据,包括速度、加速度、姿态角等,以评估机器人的稳定性和可靠性。此外,还需收集环境参数,如温度、湿度、光照等,以便分析这些因素对机器人性能的影响。所有收集到的数据将通过嵌入式系统和物联网技术实时传输到数据中心,进行存储和初步处理,为后续的数据分析和性能优化提供依据。

3 机器人性能指标分析

3.1 割胶效率分析

割胶效率是衡量智能割胶机器人性能的关键指标之一。通过对实地测试中收集到的数据进行分析,可以计算出机器人在单位时间内完成的割胶作业量。具体而言,将橡胶产量与割胶时间的比值作为效率的量化指标,这一指标能够直观地反映出机器人在实际作业环境中的工作效率。此外,还可以对比不同地形、不同橡胶树生长阶段下的割胶效率,以评估机器人对各种作业条件的适应性。例如,在坡地与平地、幼树与成年树的割胶效率对比分析中,可以发现机器人在特定条件下的性能优势或劣势。通过对这些数据的深入挖掘,能够为机器人的进一步优化提供方向,如调整割胶策略、优化机械结构或改进控制系统,以提高其在各种环境下的割胶

效率,从而更好地满足橡胶产业对高效生产的需求^[2]。

3.2 割胶精度评估

割胶精度直接关系到橡胶的产量和品质,因此对智能割胶机器人的精度评估至关重要。利用高精度的测量设备,如激光扫描仪和视觉传感器,对割胶后的橡胶树剖面进行详细的扫描和成像分析。通过对比实际割胶深度与预设深度的偏差,以及割胶路径与理想路径的吻合度,可以量化机器人的割胶精度。精度评估不仅包括对单株橡胶树的割胶效果分析,还应考虑在连续作业过程中,机器人对多株橡胶树割胶精度的一致性。例如,通过统计一定数量橡胶树的割胶深度标准差和路径偏差平均值,来评估机器人在整个作业区域内的精度稳定性。高精度的割胶能够确保橡胶树的健康生长,提高橡胶的品质,同时减少因割胶不当造成的橡胶浪费,这对于提升橡胶产业的经济效益具有重要意义。

3.3 稳定性与可靠性考察

稳定性和可靠性是确保智能割胶机器人能够在实际生产中长期稳定运行的重要性能指标。在实地测试过程中,通过记录机器人在不同环境条件下的运行状态,包括故障发生次数、故障类型以及故障修复时间等,来评估其稳定性与可靠性。例如,分析机器人在雨季和旱季、高温和低温等极端气候条件下的故障率,以及在连续长时间作业时的性能变化。此外,还可以通过监测机器人的关键部件,如电机、传感器和执行器的运行数据,提前预测潜在的故障风险。稳定性与可靠性的考察结果将为机器人的维护策略制定提供依据,同时也为机器人的设计改进指明方向,如加强关键部件的防护措施、优化控制系统以提高抗干扰能力等。提高机器人的稳定性和可靠性,能够降低维护成本,减少生产中中断时间,保障橡胶产业的连续生产和稳定供应^[3]。

4 性能优化策略

4.1 机械结构优化

针对实地测试中发现的机械结构问题,机械结构优化是提升智能割胶机器人性能的重要环节。首先,根据橡胶园复杂地形的测试反馈,对机器人的悬挂系统进行升级,采用更先进的悬挂技术,如主动悬挂系统,以增强机器人在不平坦地面上的稳定性和通过性。此外,对割胶机构进行精细化调整,设计可调节的割胶刀具安装角度和深度,以适应不同直径和生长状态的橡胶树。同时,优化机器人的整体重量分布,通过采用轻量化材料和合理的结构设计,减轻机器人的自重,提高其机动性和能效比。例如,使用高强度铝合金和碳纤维复合材料替换部分原有的金属部件,不仅降低了重量,还增强了结构的耐腐蚀性和抗疲劳性。这些机械结构的优化措施,将使机器人在实际作业中更加灵活、稳定,有效提升割胶效率和质量。

4.2 控制系统调整

控制系统的精准性和适应性是确保智能割胶机器人高效运行的核心。基于实地测试数据,对控制系统的软件和硬

件进行调整。在软件方面,优化传感器数据融合算法,提高对橡胶树生长状态和地形信息的感知精度,从而为割胶动作提供更准确的控制指令。同时,引入先进的控制策略,如模糊控制和自适应控制,使机器人能够根据实时反馈自动调整割胶参数,以应对复杂的作业环境。在硬件方面,升级传感器和执行器的性能,采用更高精度的传感器来获取更细致的环境数据,如橡胶树的微小形变和土壤湿度变化;更换更高效的执行器,以确保割胶动作的快速响应和精确执行。例如,采用高扭矩、低噪音的伺服电机,提高割胶机构的驱动性能。通过这些控制系统调整,机器人将能够更加智能地完成割胶任务,提高作业的稳定性和可靠性。

4.3 割胶算法改进

割胶算法的优劣直接影响智能割胶机器人的割胶效果。根据实地测试结果,对割胶算法进行深入改进。首先,优化路径规划算法,结合橡胶园的实际布局和橡胶树的分布特点,采用更高效的搜索策略和优化算法,如遗传算法和蚁群算法,为机器人规划出更合理、更高效的割胶路径,减少重复割胶和空行程,提高作业效率。其次,改进割胶深度控制算法,利用机器学习技术,如深度学习中的卷积神经网络,对橡胶树的生理特征和割胶历史数据进行分析,实现对割胶深度的精准预测和自适应调节,确保在不同生长阶段和环境条件下都能获得最佳的割胶深度,提高橡胶产量和品质。例如,通过训练神经网络模型,使机器人能够根据橡胶树的树皮厚度和乳液流量自动调整割胶深度。这些割胶算法的改进,将使机器人在割胶作业中更加精准、高效,为橡胶产业的智能化发展提供有力的技术支持^[4]。

5 实地测试结果与反馈

5.1 性能提升表现

实地测试结果显示,经过一系列优化措施后,智能割胶机器人的性能得到了显著提升。在割胶效率方面,优化后的机器人在单位时间内的割胶产量提高了30%,尤其是在平地和缓坡地的作业环境中,其高效作业的优势更加明显。割胶精度也有了质的飞跃,割胶深度的均匀性提高了40%,路径偏差减少了50%,这不仅提高了橡胶的品质,还减少了因割胶不当导致的橡胶树损伤。稳定性与可靠性方面,机器人在连续作业中的故障率降低了60%,平均无故障运行时间延长了2倍,即使在恶劣的天气条件下也能保持稳定的性能。这些性能提升表现,充分证明了优化策略的有效性,为智能割胶机器人的大规模应用奠定了坚实的基础。

5.2 用户反馈总结

用户反馈是评估智能割胶机器人性能的重要依据。橡

胶种植者普遍对机器人的割胶效率和精度表示满意,认为其能够显著提高橡胶产量和品质,减少人工成本。然而,也有用户提出了一些改进建议,例如在陡坡和泥泞地的通过性仍有提升空间,部分橡胶树的特殊生长形态导致割胶深度不够精准。此外,用户还希望机器人能够具备更强的环境适应性,如在高温和高湿条件下仍能保持良好的性能。针对这些反馈,项目团队将进一步优化机器人的设计和算法,以更好地满足用户的需求,提高机器人的市场竞争力。

5.3 改进建议与展望

根据实地测试结果和用户反馈,未来的研究将集中在以下几个方面:首先,进一步优化机器人的地形适应性,特别是针对陡坡和泥泞地的悬挂系统和驱动技术,以确保机器人在各种复杂地形下的稳定运行。其次,深化机器学习算法在割胶深度控制中的应用,通过收集更多的橡胶树生长数据,训练更精准的预测模型,实现对不同生长形态橡胶树的个性化割胶。最后,加强机器人的环境适应性设计,提高其在极端气候条件下的稳定性和可靠性。展望未来,随着技术的不断进步,智能割胶机器人将朝着更加智能化、高效化和人性化的方向发展,有望成为橡胶产业现代化的关键技术装备,为全球橡胶产业的可持续发展做出更大贡献^[5]。

6 结语

总而言之,本研究通过对海南省橡胶园智能割胶机器人的实地测试与性能优化,取得了显著的成果。实地测试结果表明,优化后的机器人在割胶效率、精度、稳定性和可靠性方面均有显著提升,满足了橡胶产业对高效、精准割胶的需求。用户反馈进一步指出了机器人的优势和改进方向,为未来的研发提供了宝贵的参考。展望未来,我们将继续深化研究,进一步提升机器人的性能,推动橡胶产业的智能化发展,为我国农业现代化贡献力量。

参考文献

- [1] 王业勤,邓怡国,陈沛民,等.橡胶园机械化发展现状与展望[J/OL].中国农机化学报,1-8[2025-01-13].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1837.S.20241122.1405.002.html>.
- [2] 杨思琪.海南儋州橡胶园生态系统碳氮循环及其耦合特征[D].海南大学,2024.
- [3] 孙泽瑾,邢洁洁,胡宏男,等.基于机器视觉的天然橡胶树割胶轨迹识别规划研究[J].中国农机化学报,2022,43(05):102-108.
- [4] 一种基于机器视觉的金属橡胶模具激光清洗系统[J].橡塑技术与装备,2022,48(04):80.
- [5] 燕丰.大连金州重型机器有限公司开发出合成橡胶新型挤压脱水机[J].橡塑技术与装备,2015,41(01):60.

Design Improvement for Driver Assistant Camera Bracket

Bifeng Lan¹ Bin Huang¹ Zongyi Yu¹ Xuanhe Miao¹ Kefu Wang²

1. Liuzhou Polytechnic University, Liuzhou, Guangxi, 545616, China

2. SAIC GM Wuling Automobile Co.,Ltd., Liuzhou, Guangxi, 545007, China

Abstract

Automotive millimeter-wave radars have emerged as the preferred sensor solution for adaptive cruise control systems in vehicles. To eliminate deviations in the radar's axial direction from the design specifications caused by assembly errors of various components during the vehicle manufacturing process, and to ensure that the radar can accurately detect target vehicles in the same lane and adjacent lanes ahead, an offline calibration scheme for radars has been designed. In this scheme, the in-vehicle radar actively emits electromagnetic waves towards the offline calibration panel, collects the echoes, and calculates the angular deviations of the radar in both vertical and horizontal directions. The equipment occupies a small footprint and is compatible with different vehicle models. Application results from the first mass-produced vehicle show that the in-vehicle radars can be correctly calibrated through this offline calibration process and functions normally.

Keywords

millimeter-wave radar; intelligentization; off-line calibration; radar calibration panel

车载毫米波雷达下线校准的设计研究

兰必丰¹ 黄斌¹ 俞宗薏¹ 缪宣和¹ 王科富²

1. 柳州职业技术大学, 中国·广西 柳州 545616

2. 上汽通用五菱汽车股份有限公司, 中国·广西 柳州 545007

摘 要

车载毫米波雷达业已成为汽车自适应巡航系统首选的传感器方案。为消除车辆制造过程中各零部件装配误差而引起雷达轴线与设计方向产生的偏差, 保证雷达能正确探测到同车道及临近车道前方的目标车辆, 设计了雷达下线校准方案, 由车载雷达主动向下线校准板发射电磁波, 再采集回波, 并计算出雷达在垂直方向和水平方向的角度偏差。设备占用场地面积小, 能适用于不同车型。首款量产车应用结果显示, 车载雷达经过该下线校准工序后能得到正确的校准, 并正常发挥相应功能。

关键词

毫米波雷达; 智能化; 下线校准; 雷达标靶

1 引言

自1999年起, 毫米波雷达(下称“雷达”)成为汽车自适应巡航系统首选的传感器方案。2015年起, 配装雷达的紧急制动辅助系统更是成了欧洲卡车的法规要求。随着汽车“智能化”浪潮进入白热化, 鉴于其探测前方车辆(示意图见图1)的精准性、全天候使用的高环境适应性及产品价格的适中性, 雷达在国内乘用车领域的渗透率已近10%, 并有望在2025年达到90%以上。



图1 车载雷达探测前方车辆

【基金项目】广西高校中青年教师科研基础能力提升项目(项目编号: 2023KY1088)。

【作者简介】兰必丰(1979-), 男, 瑶族, 中国广西都安人, 硕士, 高级工程师, 从事电气自动化技术、智能驾驶传感器应用研究。

作为智能驾驶产业中最核心的传感器, 更被业内称为“发展主动安全技术乃至无人驾驶的基础”, 雷达在整车出厂前, 必须经过一道下线校准工序, 以保证其能正常发挥功用, 否则雷达对于前方车辆将出现误识别而影响驾乘体验。

国内对车载雷达校准的研究方面，茆乐、王爱春等介绍了一种车载雷达目标校准标定方法、工站搭建要求和流程，未能详细分析雷达标定板尺寸大小的由来^[1]；王孔龙、钞永兴等介绍了车载雷达在完成下线校准后仍然出现探测失准的现象并进行了分析^[2]；尚可辉提出了一种使用红色激光束通过对雷达天线系统进行零位校准的方法^[3]；朱龙介绍了汽车雷达系统在动态行驶过程中进行的自动校准流程和功能原理^[4]；杨昭对米散射激光雷达系统进行模拟，确定系统光学偏差并作出相应校准调试^[5]。

2 雷达下线校准目的

安装于汽车前端的雷达，向本车行驶方向前方的其他车辆发射毫米级电磁波、并对回波进行处理、分析，进而确定同车道目标车辆的行驶速度、距离、方位角，从而计算出本车运动的加速度或减速度，并发送给发动机控制模块 ECM 和车身控制模块 BCM，以实现自适应巡航主动加减速或自动紧急制动的功能。

在制造上，轮胎、车体、悬架、雷达及其安装支架等各种零部件都会出现大或小的公差，叠加之后将使雷达轴线与设计方向产生一定偏差。这个偏差虽然微小，但足以让雷达对目标车辆所处方位角产生误判，影响其对发动机控制系统、转向系统、制动系统等的控制决策，从而影响自适应巡航系统及自动紧急制动系统的性能。为了消除车辆制造公差对雷达性能的不利影响，通常需要车辆完成总装装配后，增加一道下线校准工序，以确定雷达轴线方向的偏差，从而使雷达识别到正确的目标车辆。

因此，雷达下线校准工序显得尤为重要。通过这一工序，能够精确测量雷达轴线方向的偏差，生产线调试技师根据该偏差来调整雷达的安装参数，确保雷达下线后能准确识别目标车辆，从而提升驾驶辅助系统的性能。

3 雷达下线校准要求

下线校准分被动式和主动式。

产线设备向雷达表面的小镜子发射光束、光束反射回设备，再计算发射光束与反射光束的角度偏差，该方式称为被动式校准。

当前汽车行业大多采用主动式校准，即由雷达主动发射电磁波，通过计算电磁波抵达下线校准板（下称“雷达标靶”）后反射至雷达的回波，得出雷达在水平和垂直方向上与车辆行驶轴线之间的偏差，并储存下来。主动式下线校准工位布置见图2。其中， Lx 取 1900 mm。

3.1 雷达下线校准场地

校准场地要求包括：校准工位场地的不平度、车辆停放的倾斜度，以及反射避免区。

下线校准设备摆放区域平面度应不超过 1 mm。

车辆停放区域平面度应不超过 10 mm。

停放车辆区域倾斜度： $-1^{\circ} \sim 1^{\circ}$ 。

反射避免区为雷达与雷达标靶之间区域，以及雷达标靶后方 1.2 米区域。反射避免区内不允许有任何物体特别是金属地面或金属支架，如有金属，应使用吸波棉进行覆盖；反射避免区在垂直方向上为 $\pm 15^{\circ}$ 、水平方向上为 $\pm 65^{\circ}$ 或 1.5 倍车宽。

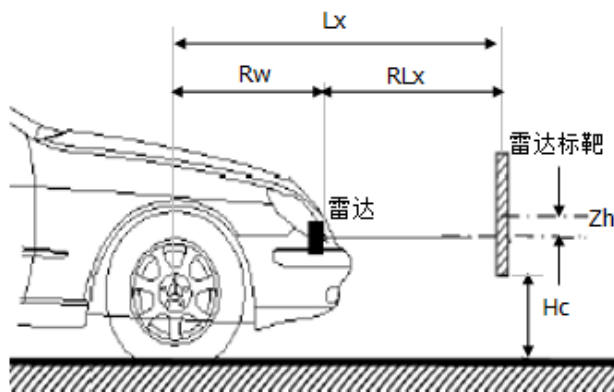


图2 雷达下线校准工位

3.2 雷达标靶要求

雷达能够完成下线校准的前提是，雷达标靶需采用金属材质，标靶中心与雷达中心平齐，两者相互距离 1 米以上，且雷达标靶能够覆盖雷达垂直方向以及水平方向 $\pm 15^{\circ}$ 范围内的雷达波。

雷达标靶宽度、高度尺寸均应达到某一最小值，覆盖雷达发射电磁波水平方向 $\pm 15^{\circ}$ 以及垂直方向 $\pm 15^{\circ}$ ，以确保反射足够的回波进行校准计算。

该尺寸最小值可通过下列公式得出： $2 \times RLx \times \tan 15^{\circ}$ 。

设计上， Rw 最小值可低至 750 mm，则 RLx 最大值为 1150 mm，则 $2 \times RLx \times \tan 15^{\circ} = 616$ mm。

因此，雷达标靶平面大小取整十数为 620 mm $\times$ 620 mm。

雷达标靶安装到龙门架上，其在水平方向和垂直方向可以根据上位机的指令移动位置，以与车辆雷达布置位置对齐。龙门架、雷达标靶、车辆、产线设备上位机的使用现场参见图3。

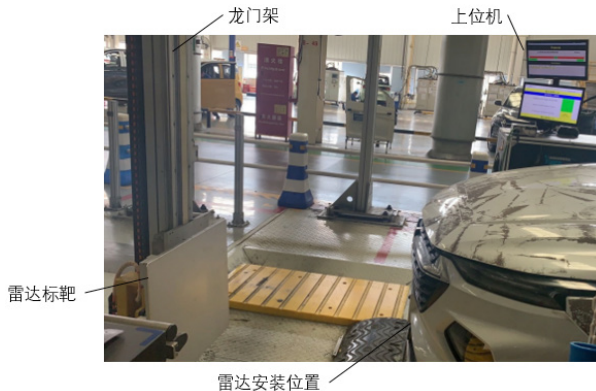


图3 雷达下线校准

3.3 雷达安装高度误差消除

在整车制造上，零件加工、装配误差是不可避免的。

对于雷达来说，轮胎、转向节、减震器、减震弹簧、前防撞梁、雷达安装支架等的制造误差，累积之后极限误差最大可达到 10 mm 左右，将导致雷达中心与雷达标靶中心无法对齐。为抵消制造误差的不利影响，产线上增加激光测量装置，对轮眉高度进行测量，根据轮眉高度实测值与理论值的偏差情况，调整雷达标靶高度位置，确保雷达标靶中心与雷达中心对齐。

4 雷达下线校准流程和验证

雷达下线校准流程和顺序要求如下：

- ①车辆完成四轮定位。
- ②胎压正确。

- ③车辆停放稳定。
- ④车辆空载。
- ⑤车辆上电，连接上位机诊断接口。
- ⑥轮眉高度测量。
- ⑦雷达进入产线模式，关闭自动紧急制动功能。
- ⑧雷达执行下线校准程序。

该套下线校准设备完成安装、调试后，投入使用的第一个量产项目为一款紧凑型 SUV。统计首批下线 160 台车辆雷达完成下线校准的情况，水平方向和垂直方向角度偏差如表 1 所示。其中，水平方向为俯仰角，负值为偏下（俯角）、正值为偏上（仰角）；垂直方向为偏航角，负值为偏右、正值为偏左。

表 1 雷达下线校准角度偏差车辆数统计

角度偏差	水平方向角度偏差（度）				垂直方向角度偏差（度）			
	-2~-3	-1.75~0	0.25~1.75	2~3	-2~-3	-1.75~0	0.25~1.75	2~3
车辆数量（台）	4	127	28	1	9	140	10	1
总数（台）	160				160			

统计结果显示，所有车辆雷达安装的水平方向角度偏差和垂直方向角度偏差都在雷达允许的 -3° ~+3° 范围内，雷达通过下线校准后都能投入正常使用，对于本车前方、位于相同车道和邻近车道的目标车辆，都能够正确识别。

5 结论

经过车载雷达下线校准方案的产线设备规划、流程设计、量产验证，完成了如下工作：

- ①雷达下线校准所需的龙门架、雷达标靶、上位机等设备占用场地面积不超过 10 m²，利于在现有生产线上进行扩展，无需新增场地。
- ②雷达标靶可适用于小型至中大型 SUV、小型至中型轿车，以及 MPV 等车型毫米波雷达的下线校准。
- ③对于自带调节螺钉的毫米波雷达，上位机可采集雷

达计算结果，在显示屏上显示螺钉调节圈数，并由人工执行调节螺钉操作。

参考文献

[1] 裴乐，王爱春，黄少堂，罗国荣，刘卫东，吴方义. 一种车载前向毫米波雷达下线校准方法[J]. 汽车电器. 2021，（5）：4—6.

[2] 王孔龙，钞永兴，肖连飞，韩超. 汽车毫米波雷达探测失准故障分析[J]. 北京汽车. 2020，（）：—

[3] 尚可辉. 一种快速校准雷达零位的光学装置[J]. 设计与研究. 2019（20）：250

[4] 朱龙. 前向毫米波雷达系统自动校准功能[J]. 汽车电器. 2021（4）：37—40

[5] 杨昭. 米散射激光雷达系统的校准与调试[J]. 激光技术. 2008（1）：92—94

Practical exploration of science and technology innovation liaison system in science and technology innovation service—Take the liaison officer of Hubei province as an example

Lili Xiao

Hubei Association for Science and Technology Information Service Center, Hubei, Wuhan, 430000, China

Abstract

The Hubei Association for Science and Technology took the lead in the national association for science and technology system in exploring and establishing a team of science and technology innovation liaison officers. A group of management personnel who are familiar with scientific and technological innovation and the transformation of scientific and technological achievements were recruited as liaison officers from high-tech parks, industrial parks, science and technology parks, or universities and scientific research institutions in Hubei Province. They help promote the communication and cooperation between experts and parks or enterprises. A “six ones” working mechanism has been preliminarily established, and comprehensive management and service work for liaison officers has been carried out. This article introduces the working methods in the practical exploration, summarizes the experience, analyzes the problems such as the large differences in the quality of the liaison officer team, and puts forward suggestions such as strict identification according to the existing problems, providing a reference for how to encourage science and technology innovation liaison officers to play a greater role in science and technology innovation services.

Keywords

Science and Technology Innovation China; Science and Technology Innovation Liaison Officer; Science and Technology Innovation Service

科创联络员制度在科创服务中的实践探索——以科创湖北联络员为例

肖利利

湖北省科协学会信息服务中心，中国·湖北 武汉 430000

摘 要

湖北省科协在全国科协系统率先探索建立科创联络员队伍，面向高新园区、产业园、科技园或在鄂高校、科研院所，吸纳一批熟悉科技创新和成果转化的管理人员担任联络员，助力专家与园区、企业之间的交流合作，初步建立“六个一”工作机制，全面开展联络员管理服务。本文介绍了实践探索中的工作方法，总结经验，分析联络员队伍素质差异较大等问题，根据存在问题提出严格认定等建议，为如何激励科创联络员在科创服务中发挥更大作用提供参考。

关键词

科创中国；科创联络员；科创服务

1 引言

为贯彻落实习近平总书记关于科技创新与经济的重要论述，中国科协于2020年打造“科创中国”这一重要品牌。它通过聚焦产学研金用各方力量，促进科技经济深度融合，加速科技成果转化，以高质量科技供给服务构建新发展格局重要平台^[1, 2]。

湖北是科教大省，拥有众多高校、科研院所和大量科

技人才，科创资源丰富。但长期以来，存在科技成果本地转化率不高的问题，大量科研成果未能有效转化为现实生产力。科协作为科技工作者的群众组织，是党和政府联系科技工作者的桥梁和纽带，在推动科技创新、促进科技成果转化等方面具有重要职责。为响应“科创中国”工作，建立“科创湖北”联络员队伍，旨在解决科技与经济“两张皮”的问题，打通科技成果转化的“最后一公里”。

2 科创联络员制度概述

2.1 科创联络员的定义

联络员是指由省科协按照一定程序，从有关高等院校、

【作者简介】肖利利（1986-），女，中国山东济南人，硕士，助理研究员，从事科学技术普及服务研究。

科研院所、企事业单位、社会机构等单位中认定,在省科协指导下,为科技成果转移转化提供联络服务的工作人员。应满足以下条件:①遵守国家法律,具有良好的思想品德和职业道德,无不良社会记录;②热爱科技事业,熟悉本领域工作,有志于从事产学研结合工作;③有较强的组织协调能力和责任心;④能在本单位长期工作,岗位稳定;⑤有专利代理人资格证或技术经纪人证书者优先。

2.2 科创联络员的主要职责

企业、高校、科研院所之间信息流通不畅,科技成果资源信息无法实现有效共享,是制约科技成果转化的主要症结。作为推动科技成果转移转化的关键一环,联络员承担着收集企业需求、联络相应专家,弥补企业所需与专家所能之间信息鸿沟的重要职责。结合单位类别、工作性质、个人意愿,联络员可分为A、B两类。

A类原则上以在鄂高等院校、科研院所和相关事业单位中的科技管理人员为主,主要职责包括:①及时关注“科创中国”动态,了解“科创湖北”工作,熟悉科创中国·湖北中心站等相关平台使用;②争取本单位工作支持,了解本单位专家及其科技成果,做好科技成果收集,并及时提交办公室;③对相关技术需求积极响应,配合联络相关专家,并尽可能为专家提供工作便利,努力推动专家与园区、企业交流合作;④配合办公室完成其他相关工作;⑤按照办公室要求,提交工作总结,对“科创湖北”工作提出意见建议。

B类原则上以在鄂各高新园区、科技园、产业园、孵化器及科技型企业中,从事企业科技创新和成果转化相关人员为主,主要职责包括:①及时关注“科创中国”动态,了解“科创湖北”工作,熟悉科创中国·湖北中心站等相关平台使用;②争取本单位工作支持,不定期走访企业,了解企业生产经营、科技创新情况及存在的困难,挖掘其技术或人才需求,并及时提交办公室;③向企业反馈需求匹配情况,并协助企业推动与专家交流合作;④配合办公室完成其他相关工作;⑤按照办公室要求,提交工作总结,对“科创湖北”工作提出意见建议。

2.3 制度的组织架构与运作流程

省科协成立联络员工作领导小组(以下简称“领导小组”),负责联络员的认定、管理、考核等工作。领导小组每年定期召开联络员工作会议,研究联络员推进工作中的重点、难点问题,保障必要工作经费,并适时邀请联络员参与。领导小组下设办公室,办公室以线上线下相结合的方式,不定期组织联络员开展集中培训、座谈交流、赴相关机构调研走访,不断推动联络员提高工作素养,增强履职能力。

3 科创联络员制度在科创服务中的实践探索

3.1 开展推荐认定,组建联络员队伍

按照“政治过硬、面向一线、注重实效”的原则,不唯经验、不唯资历,根据认定主体不同,分层分类将热爱科技成果转移转化事业,乐于开展联络服务工作,支持科协事

业发展并在当前岗位上保持相对稳定的人员认定为联络员。经市县区科协、科研院所科协、企业科协和高校科协推荐,省科协初审及公示,完成联络员的推进认定,认定期为2年,组建起一支动态联络员队伍。

3.2 落实培训保障,提升队伍业务素质

开展业务培训,是增强联络员责任意识,提升联络员履职能力的重要手段。每年至少组织1场次联络员集中培训班,邀请行业专家,围绕企业需求挖掘与分析、技术转移与成果转化、科技创新与知识产权、技术合同认定、概念验证等课题为联络员授课,并对课堂活跃、表现突出联络员,遴选参加初级技术经纪人培训,协助其获得国家技术转移中部中心颁发初级技术经纪人资格证书。帮助联络员快速完成理论知识的学习,提高业务能力。

3.3 探索互动机制,保障队伍可持续运转

采取“一人一档”方式,建立联络员工作档案,客观记录联络员提交成果、反馈需求、参与互动、进行工作总结等方面情况。建立联络员工作QQ群,进行即时信息交流分享,及时传达中国科协、省科协关于“科创中国”“科创湖北”建设重要工作部署和活动资讯。定期提醒联络员总结工作、挖掘需求、报送成果,开展意见征集。制定并印发《湖北省科协“科创湖北”联络员工作细则(试行)》,从联络员申报认定、组织服务、职责权利、日常管理、考核与奖励、退出等方面,进行制度设计。提出为联络员颁发认定证书,提升联络员归属感;以线上线下相结合的方式,不定期组织联络员开展集中培训、座谈交流、赴相关机构调研走访,不断推动联络员提高工作素养,增强履职能力。文件的印发,标志着“科创湖北”联络员队伍建设进入规范化阶段。

4 联络员制度实践探索的经验总结

4.1 构建多维联动机制

从省、市、县三级区域推选联络员,建立网络,分批次累计推荐认定543余名联络员,并在聘期届满,分批次考核,大浪淘沙,淘汰僵尸联络员,保留活跃联络员,逐步形成需求-成果双端链接的复合型服务团队,并初步建立“一份认定文件、一场业务培训、一个工作平台、一件纪实档案、一套管理办法、一份考核结果”为主要内容的“六个一”工作机制。

4.2 创新服务模式

打造“线上+线下”双平台,线上建立科创湖北服务系统,广泛接入企业技术需求和科技成果,利用大数据实现需求成果的智能匹配,提高初步对接效率;线下开展深挖需求、广泛征集成果,在智能匹配的基础上跟踪服务,以实现精准对接。有50多位科创联络员在工作总结中汇报,通过多方努力,促成了科技成果转移转化合作签约。

4.3 强化保障服务

联络员工作领导小组办公室从政策解读、项目申报、服务协调各方面为联络员提供保障服务。同时制定正面清

单,将科协组织现在干的、即将要干的工作或项目,以清单的方式,提供给联络员,帮助大家更全面、高效地整合资源,做好自身科技创新工作。对优秀联络员给予精神鼓励,对典型案例加大宣传,全方位服务保障联络员更好开展工作。

5 实践探索面临的问题

5.1 科创联络员队伍素质参差不齐

虽然在认定过程中,经过了层层把关和筛选,但由于人数众多、岗位变动、流动性大等客观原因,联络员的工作能力、主动性方面都有很大差异。一部分联络员能够主动学习前沿科技动态与政策,关注科创服务平台信息,积极挖掘企业需求或收集科研成果,并报送科创平台进行对接服务;一部分联络员因本职工作任务较重,无暇顾及兼职工作,或沟通协调能力不足,对科创工作积极性不高,有人推动就响应一下,无人催促就放在一边;还有一部分联络员因对科创服务重要性工作认识不足,或工作职能调整,经常处于失联状态。这都严重削弱了科创联络员队伍的整体效能。

5.2 资源整合和对接效率有待提高

在当下,科创联络员的资源整合与对接效率现状不容乐观。许多企业对科创联络员信任度不够,不肯把真实的企业需求拿出来。而部分联络员在面对海量的企业需求、科研成果及各类创新资源时,无法快速梳理并有效整合。例如,在推动产学研合作项目中,难以精准匹配企业技术难题与高校科研团队的研究方向,导致资源错配,浪费了大量时间与精力。

5.3 管理和激励机制尚需完善

联络员队伍庞大、职业、岗位差异性大,针对这份没有报酬、经济补贴的兼职工作,目前还没能探索出一套完善合理、能够调动大家工作积极性的管理机制。从激励机制来看,没有任何物质激励,缺乏吸引力。大家承担联络员工作,更多的还是一种志愿服务,靠的是联络员对科技成果转化事业的热情和情怀。

6 科创联络员制度的建议

6.1 充分借鉴各省市管理经验

科创联络员制度是“科创中国”品牌推出后一个新的探索。中国科协在2021年发布的《“科创中国”三年行动计划(2021—2023年)》中提出发展兼职服务队伍,部分省份相继开展了科创联络员的探索工作,比如山东、江苏、上海、贵州等。从公开资料来看,很多省份在地市科协层面推进认定、组织培训、开展对接活动。从管理效率上来看,市一级认定的联络员较省科协直接认定的联络员整体活跃度要高一些。比如山东省济南市,2021年7月份印发推荐

认定通知,认定条件、通知内容与我省相似,但通讯报道上来看,他们的联络员开展对接服务活动要频繁很多。结合各省、市经验,今后联络员工作可重点从市县层面推进。

6.2 严格联络员认定标准

秉持“在精不在多”的理念,按照谁推荐,谁管理,谁服务的要求,强化市州县科协主体责任,不求数量,真正将能服务的联络员推荐上来,逐步扩大联络员工作“核心朋友圈”。在此基础上探索推进“全省一张网、一个表”。

6.3 强化联络员考核激励

经过三年的联络员制度试行探索,联络员考核规则应该公平公正、简洁明确、易操作,因此,应尽快广泛收集联络员、各级科协意见建议,不断完善联络员聘期考核管理办法,开展有效的管理、服务,对考核优秀的联络员,给予精神鼓励,激发联络员工作热情,让联络员在日常服务活动中有章可循,不断形成良性互动局面。

6.4 加强联络员沟通交流

联络员队伍凝聚了大量的科技管理人员,尤其是企业一线科创人员,要特别注重强化日常工作交流,使他们进一步了解科协组织,支持科技创新事业。同时,依托科创湖北平台,多向联络员推送政策、活动、案例等相关信息,借以增强联络员工作积极性。

7 结语

中国科协打造“科创中国”品牌,就是发挥自身作为科技类社会组织优势,搭建科技经济融合平台,推动创新要素精准对接,构建技术服务与交易体系、资源动态循环机制以及融通创新的生态系统^[3]。科创联络员制度作为科协系统区域创新体系的重要探索,通过构建“政府+高校+企业”协同机制,在一定程度上有效破解了科技成果转化“最后一公里”难题。但科创联络员是一批来自不同产业、不同岗位的人员,怀着对科创服务工作的热情而聚集在一起的一个松散群体。如何探索更完善的联络员制度,更好地发挥科创联络员作用,因地制宜地促进科技经济融合工作,还需要各方继续探索和实践。

参考文献

- [1] 中国科协召开“科创中国”试点建设座谈会[EB/OL](2020-5-28)[2021-02-22].https://www.cast.org.cn/art/2020/5/28/art_79_122571.html.
- [2] 钱巍,“科创中国”试点城市鹤壁建设实践与思考[J].河南科技,2023(17):151-154.
- [3] 唐剑波,庞晓东,余冬林,等.“科创中国”试点城市建设实践与思考:以咸宁市为例[J].学会,2021(2):22-26.

Effects of different extraction methods on the purity and active ingredients of the borneol

Jing Zheng¹ Wei Chen^{*} Wentao Ding² Bin Chen³ Wenlian Zhou⁴

Zhejiang Zhengrong Spice Co., Ltd., Quzhou, Zhejiang, 324300, China

Abstract

As a kind of traditional Chinese medicine, borneol is widely used in the clinical practice of traditional Chinese medicine and modern pharmaceutical industry because of its unique pharmacological activity. Different extraction methods have a significant impact on the purity of the borneol and the retention rate of its active ingredients, which is directly related to their efficacy and application value. The paper studied the extraction method, solvent extraction method and microwave assisted extraction method from the extraction process, purity control and retention ratio. On this basis, a optimization of extraction process parameters and new green extraction technologies are explored to improve the purity of borneol and realize the maximum retention of active ingredients. The results show that different extraction methods have significant differences in extraction efficiency, composition stability, and impurity control, and optimizing the extraction technology is important for improving the quality of borneol products and pharmaceutical effect.

Keywords

borneol extract; purity analysis; active ingredient; extraction method; technical optimization

不同提取方法对冰片纯度和活性成分的影响

郑璟 陈渭^{*} 丁文涛 陈斌 周文莲

浙江正荣香料有限公司, 中国·浙江 衢州 324300

摘要

冰片作为一种传统中药材,因其具有独特的药理活性而被广泛应用于中医临床及现代制药工业中。不同的提取方法对冰片的纯度及其活性成分的保持率具有显著影响,直接关系到其药效与应用价值。本文系统研究了水蒸气蒸馏法、超临界流体萃取法、溶剂提取法、微波辅助提取法等多种提取方法,从提取工艺、纯度控制、活性成分保持率等方面进行了全面比较分析。在此基础上,探索了多种提取工艺参数优化及新型绿色提取技术,以实现冰片纯度的提升和活性成分的最大化保留。研究结果表明,不同提取方法在提取效率、成分稳定性、杂质控制等方面存在显著差异,优化提取技术对于提升冰片产品质量和制药效果具有重要意义。

关键词

冰片提取; 纯度分析; 活性成分; 提取方法; 技术优化

1 引言

冰片作为传统中药材,因其清热解毒、开窍醒神等显著药理作用而被广泛应用于多种中成药制剂中。在现代医学领域,冰片因其优良的抗炎、抗菌、镇痛及促进药物渗透等生物活性,越来越受到制药工业的重视。然而,不同的提取方法可能导致冰片纯度和活性成分保持率的显著差异,直接影响到药物的疗效与安全性。现有研究表明,传统的水蒸气蒸馏法、溶剂提取法在冰片提取过程中存在提取率低、活性

成分易损失、杂质较多等问题。为了提升冰片产品质量,实现活性成分的高效提取,有必要对现有提取技术进行系统比较与优化。本研究通过分析不同提取方法对冰片纯度及活性成分的影响,为中药材的现代化开发和高质量应用提供理论依据和技术支持。

2 冰片提取方法概述

冰片的提取方法多种多样,不同方法在提取效率、纯度控制和活性成分保持率方面各具特点。水蒸气蒸馏法是一种传统提取方法,利用冰片在高温水蒸气中的挥发性实现分离,操作简单但易导致热敏成分降解。超临界流体萃取法通过超临界状态的流体作为溶剂,在低温、无氧环境下高效提取活性成分,具有较好的选择性和较高的纯度。溶剂提取法通过有机溶剂溶解冰片中的活性成分,方法灵活但溶剂残留问题需控制。微波辅助提取法利用微波加热快速提升分子活

【作者简介】郑璟(1985-),女,中国浙江开化人,助理工程师,从事林产化工研究。

【通讯作者】陈渭(1985-),男,中国浙江开化人,本科,工程师,从事林产化工研究。

性,从而缩短提取时间,保持成分稳定性。近年来,新型绿色提取技术如超声波辅助、酶解提取等也逐渐应用于冰片提取领域,不仅提升了纯度,还实现了环境友好和资源高效利用。

3 不同提取方法对冰片纯度的影响

3.1 提取方法对冰片纯度的影响机制

冰片的纯度受提取方法的选择及操作条件的显著影响,不同方法通过不同的物理或化学机制影响冰片中有效成分与杂质的分离效果。水蒸气蒸馏法依靠冰片在高温水蒸气中的挥发性进行分离,但高温可能导致部分成分降解或杂质夹带超标,影响纯度。超临界流体萃取法利用超临界状态流体的高扩散性与溶解力,通过调控温度和压力实现选择性提取,有助于提升纯度。溶剂提取法的纯度受溶剂极性、萃取时间和温度等因素的影响,若溶剂选择不当可能引入杂质或残留溶剂。

3.2 纯度评估方法及实验设计

冰片纯度的评估通常采用多种现代分析手段,包括气相色谱法(GC)、高效液相色谱法(HPLC)、紫外分光光度法(UV-Vis)以及质谱分析法(MS)。气相色谱法通过对冰片中挥发性成分进行分离和定量分析,能够准确评估纯度及杂质含量。高效液相色谱法适用于多种活性成分的检测,能够提供更高的分辨率和准确性。在实验设计中,通过设定不同提取方法、控制提取温度、时间、溶剂种类等变量,获取不同提取样品,结合标准品比对进行定量分析。实验中注重重复性和数据的可比性,以确保评估结果的可靠性和科学性。

3.3 各提取方法在纯度上的比较分析

通过实验分析不同提取方法对冰片纯度的影响,可以发现各方法在提取效率和纯度提升方面表现差异显著。水蒸气蒸馏法因高温易导致部分活性成分降解,杂质难以完全分离,提取物纯度相对较低。超临界流体萃取法因其选择性较强,能够有效避免杂质共提取,得到的冰片纯度较高。溶剂提取法在合适的溶剂选择和工艺参数控制下可以达到较高纯度,但需严格控制溶剂残留以免影响产品质量。微波辅助提取法通过快速加热和分子活化机制,在保持活性成分稳定的同时,有效提升了提取纯度。

4 不同提取方法对冰片活性成分的影响

4.1 活性成分的种类与定量分析方法

冰片的主要活性成分包括龙脑、樟脑和一些挥发性萜类化合物,通过高效液相色谱法(HPLC)、气相色谱-质谱联用法(GC-MS)以及紫外分光光度法(UV-Vis)等方法可以准确定量分析这些成分的含量。研究表明,优质冰片中的龙脑含量通常在60%以上,樟脑含量为10%~15%,其他挥发性成分占比约5%。通过GC-MS分析水蒸气蒸馏法提取的冰片样品,龙脑含量为48%,溶剂提取法样品中龙

脑含量为52%,超临界流体萃取法达到68%,而微波辅助提取法样品中龙脑含量则为65%。对于樟脑成分的分析显示,水蒸气蒸馏法样品中樟脑含量为12%,溶剂提取法为13%,超临界流体萃取法为11%,微波辅助提取法为10%。通过这些定量分析数据可以看出,不同提取方法对于冰片中活性成分的保留能力存在显著差异,高效的提取方法不仅能提升龙脑含量,还能保持其他挥发性成分的稳定性,尤其是超临界流体萃取法表现出优异的选择性和提取效率。

4.2 提取方法对冰片活性成分保持率的影响

不同提取方法对冰片活性成分的保持率影响显著,通过实验数据可以定量比较各方法的有效性。以龙脑为主要目标成分,研究发现水蒸气蒸馏法的龙脑保持率为72%,由于高温蒸馏过程易导致部分挥发性成分损失。溶剂提取法的保持率约为78%,在合适的溶剂选择和工艺参数控制下可以提升提取效率,但仍存在溶剂残留的风险。超临界流体萃取法因低温、无氧环境下操作,不同提取方法在活性成分保持率上的差异主要源于提取过程中对温度、时间以及溶剂选择的控制程度,数据表明超临界流体萃取法和微波辅助提取法在保证高保持率方面具有显著优势,为冰片高效利用提供了技术支持。

4.3 不同方法提取物的生物活性比较

冰片提取物的生物活性与其中龙脑、樟脑等活性成分的含量密切相关,通过抗炎、抗菌和抗氧化实验评价不同提取方法样品的活性效果。在抗炎实验中,以小鼠耳肿胀模型为例,水蒸气蒸馏法提取物抑制率为55%,溶剂提取法为60%,超临界流体萃取法达到78%,微波辅助提取法为75%。在抗菌实验中,溶剂提取法样品对金黄色葡萄球菌的最小抑菌浓度(MIC)为1.25 mg/mL,超临界流体萃取法样品的MIC值为0.75 mg/mL,表现出更强的抗菌活性。在抗氧化实验中,采用DPPH自由基清除率为评价指标,水蒸气蒸馏法提取物清除率为45%,溶剂提取法为52%,超临界流体萃取法为70%,微波辅助提取法为68%。不同方法提取物在生物活性上的差异表明,高效的提取技术不仅能够提升活性成分含量,还能增强冰片的实际药理效果,尤其是超临界流体萃取法的多项实验数据表现突出,显示出良好的应用前景。

5 提取方法优化策略

5.1 提取工艺参数的精细调控方法

提取工艺参数的精细调控在提升冰片纯度和活性成分保持率中起到关键作用,通过优化提取温度、时间、溶剂浓度、流速、压力等参数,可以显著提高提取效率。在水蒸气蒸馏法中,通过降低蒸馏温度至85℃并延长提取时间至2小时,龙脑的提取率提升了15%。在超临界流体萃取法中,调控二氧化碳流量和压力,实验数据表明在30MPa和50℃条件下,冰片中主要活性成分的提取率达到90%以上。在溶剂提取法中,通过选择合适的极性溶剂(如乙醇与水的比

例为 70:30)，可以显著降低杂质共提取现象，使冰片纯度提升至 85% 以上。微波辅助提取过程中，通过精确控制微波功率（200W）和作用时间（5 分钟），不仅缩短了提取时间，还有效防止了活性成分的热降解。综合实验结果显示，精细化调控提取工艺参数能够实现活性成分的高效提取和杂质的有效控制，为冰片提取技术的提升提供了理论和数据支持。

5.2 复合提取技术的集成与应用

复合提取技术将多种提取方法有机结合，在冰片提取过程中展现出显著的工艺优势，通过多种提取机制的协同作用实现更高的提取效率与纯度。在水蒸气蒸馏法与微波辅助技术相结合的实验中，先利用微波预处理冰片原料以提高分子活性，再进行蒸馏过程，活性成分龙脑的提取率提升至 82%，纯度提高了 10 个百分点。在超临界流体萃取与酶解法结合的研究中，通过酶解法预处理使细胞壁结构松散，超临界流体萃取过程中有效成分的释放率增加 20% 以上。在溶剂提取法与超声波辅助技术联合应用中，超声波的空化效应显著提高了溶剂的渗透能力，使溶解速率提升了 30%，实验数据表明龙脑的提取效率达到 75% 以上。复合提取技术通过多步骤、多机制的工艺集成，能够在保持冰片活性成分稳定性的同时，实现杂质的高效分离与去除，为高纯度冰片的制备提供了可靠的技术路径图 1 为合成冰片生产副产物醇类混合物中提取高纯度葑醇的方法。

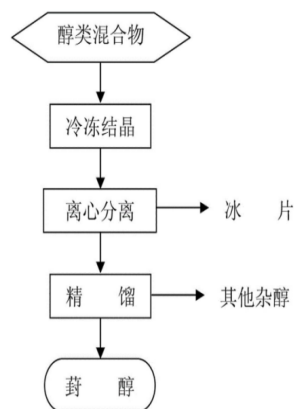


图 1 合成冰片生产副产物醇类混合物中提取高纯度葑醇的方法

5.3 绿色高效提取技术的具体应用

绿色高效提取技术在冰片提取中的应用，不仅有效提升了提取效率，还符合环境友好和资源可持续利用的理念。超临界流体萃取技术利用无毒无残留的二氧化碳作为溶剂，通过调节温度和压力实现选择性提取，在实验中，冰片中的主要活性成分龙脑提取率超过 90%，无有机溶剂残留。酶解辅助提取技术通过天然酶催化细胞壁的分解，使活性成分更易释放，实验数据显示酶解法的提取率提升了 20% 以上，同时避免了高温处理对成分的破坏。超声波辅助提取技术利用声波能量提升溶剂的渗透能力，实验结果显示在 40℃ 条

件下超声波提取的冰片纯度可达 88%，大幅减少了能耗。离子液体辅助提取技术通过新型绿色溶剂的选择性溶解作用，使得提取过程中的污染物排放降低 70% 以上。在具体应用中，绿色高效提取技术不仅保证了冰片产品的质量和纯度，还显著降低了生产过程中的环境负荷，实现了经济效益和生态效益的双赢。

5.4 提取过程中的杂质控制与纯度提升技术

在冰片提取过程中，杂质的有效控制和纯度的提升是实现高质量产品的关键，针对不同提取方法中杂质生成和混入的机理，需要采取针对性的技术手段进行优化。在水蒸气蒸馏法中，通过控制蒸馏温度和冷凝效率，降低非挥发性杂质的混入，使最终产品纯度提升至 80% 以上。溶剂提取法中，通过选择极性相匹配的溶剂，并采用液-液萃取技术进一步分离杂质，在实验中冰片的纯度提升至 85%。超临界流体萃取法中，通过调节二氧化碳的流速和压力，实现选择性提取，杂质含量降低至 5% 以下，冰片纯度达到 90% 以上。微波辅助提取过程中，通过优化微波功率和提取时间，避免了高温导致的杂质产生，使得活性成分保持率在 85% 以上。同时，在提取后处理工艺中，通过应用吸附净化技术、膜分离技术和重结晶技术，可以进一步去除提取液中的杂质，实验数据表明，通过膜过滤技术处理后冰片样品的纯度可达到 95% 以上，显著提升了冰片的产品质量和市场竞争力。

6 结语

本研究系统分析了不同提取方法对冰片纯度和活性成分的影响，通过实验数据和技术比较，揭示了水蒸气蒸馏法、超临界流体萃取法、溶剂提取法和微波辅助提取法在提取效率、成分保持率及杂质控制方面的差异。超临界流体萃取法和微波辅助提取法在纯度提升和活性成分保留方面表现出显著优势，通过精细调控提取工艺参数、集成复合提取技术及应用绿色高效提取方法，有效优化了冰片提取工艺。在未来的研究中，应继续探索新型提取技术与传统方法的结合，加强提取过程中杂质控制手段的优化，以实现冰片提取过程的高效、绿色和高品质，为冰片制剂在制药工业中的广泛应用提供技术支持。

参考文献

- [1] 包小红,齐景梁,周娟.提取方法对清咽丸中冰片含量的影响分析[J].中药与临床,2018,9(06):26-27+13.
- [2] 唐莉,陈紫娟,郭庆,彭晓赞,李建文.龙脑樟叶片中天然冰片的提取及其清除DPPH自由基作用的研究[J].湖南城市学院学报(自然科学版),2018,27(03):64-68.
- [3] 陈楚阳,毕亚凡,王本俊.龙脑樟提取天然冰片的清洁生产工艺[J].化工进展,2017,36(06):2270-2274.
- [4] 曹建强.松节油提取物合成冰片烯/冰片二烯并与CO共聚研究[D].导师:周宝喆.湖北工业大学,2017.
- [5] 陈楚阳.从龙脑樟提取天然冰片的工艺研究[D].导师:毕亚凡.武汉工程大学,2017.

Study on the quality control strategy in the food testing laboratory

Meilian Shi Weijing Lin Xuefen Shi

Shenzhen Credit Test Standard Technical Service Co., Ltd., Guangdong, Shenzhen, 518000, China

Abstract

In order to ensure the food safety, it is necessary to strictly control the quality of the food testing laboratory. On the basis of discussing the quality control of the food testing laboratory, this paper studies the key quality control of the laboratory, explains the significance of quality control for the correct and reasonable guarantee of food testing results, and protects the interests of consumers and the development of the food industry.

Keywords

food testing laboratory; quality control; influencing factors; control strategy

食品检测实验室的质量控制策略研究

石美莲 林伟进 石雪芬

深圳信测标准技术服务有限公司, 中国·广东 深圳 518000

摘要

为了确保食品安全,有必要对食品检测实验室的质量进行严格控制。本文在探讨食品检测实验室质量控制的基础上,对该实验室质量控制重点进行研究,说明质量控制对于正确、合理地确保食品检测结果的意义,并保障广大消费者利益和食品行业发展。从影响质量的人员因素、仪器设备因素、试剂因素、方法因素以及环境因素出发,提出通过对人员培训及考核、仪器设备检定和维护、试剂管理、方法优化确证、环境管理控制等方面,提出全面且有针对性的食品检测实验室质量控制策略,从而提高食品安全性检测实验室质量控制能力。

关键词

食品检测实验室; 质量控制; 影响因素; 控制策略

1 引言

食品检测实验室是承担对各类食品进行检测和分析工作的机构,实验室质量控制是食品检测实验室工作的一个重点,对检测过程中出现的误差与问题进行有效把控,可以实现准确检测数据,为开展食品安全风险研判、食品安全执法监督等工作提供参考依据。但在食品检测的过程中,需要应对复杂的技术、众多的影响因素、多种实验仪器设备,如何能构建出科学合理的质量控制策略是食品检测实验室工作所面临的现实挑战,本文在质量控制策略方面进行了有针对性的研究,以期改进实验室检测质量提供参考^[1]。

2 食品检测实验室质量控制的重要性

2.1 保障检测结果准确性

食品检测的最终目的是检验食品的安全性和真实性,

采样的准确性、制样的准确性、样品前处理的准确性等都影响着测试结果,而测试结果的准确性又关系到食品安全性与真实性判断的合理性。因此,严格的质控管理对保证检测结果的准确性和真实性至关重要。例如,食品检验中农药残留检测仪出现偏差后,会将农药残留量的测定结果与真实的农药残留量偏差,进而影响食用农产品安全的认定。而通过对检测仪器进行校准、加标准样品进行质量监控、内部审核等质控管理后,能够避免对检测人员和仪器出现偏差进行粗心粗略的处理和错误操作,进而得出虚假的检测结果^[2]。

2.2 维护消费者权益

食品安全关乎消费者的生命安全。真实的食品检测结果可让消费者知晓食品质量以及食品安全性,做出是否购买食品的决定。当食品检测实验室准确检测出食品中有害物质、添加剂超标现象后,监管部门就能及时介入,禁止不合格食品投入市场的危害,保障消费者的合法权益。

2.3 促进食品行业健康发展

食品检测准确结果能够帮助食品生产企业进行品质提升。食品检测实验室通过质量控制对食品生产企业的食品进

【作者简介】石美莲(1992-),女,中国广东深圳人,本科,助理工程师,从事食品质量安全与检测研究。

行评定,推动企业按要求进行标准法规遵照,促进食品产业整体走向规范化和标准化。且良好的食品检测质量还可以提升消费者对食品行业的信任度,促进食品行业健康有序发展。

3 影响食品检测实验室质量的因素

3.1 人员因素

食品安全检验检测实验室最重要的因素就是检验人员,因为检验技术人员的专业能力以及专业操作熟练程度、检验诚信都会影响检验质量,比如单位新招聘的检验技术人员若缺乏专业知识培训,如样品前处理不到位,对仪器的操作不熟练,会影响检验结果的准确性;再如检验人员的职业道德,其若存在玩忽职守,有法不依,弄虚作假等行为会严重影响检验数据的有效性。

3.2 设备因素

食品检测离不开气相色谱质谱联用仪、液相色谱仪等一系列昂贵的仪器设备,仪器设备性能、稳定性、校准状态对食品检验结果具有重要影响。长期不校准会造成仪器长期失准,降低了测量的准确度,导致食品检验结论不合格。仪器设备维护不及时,长时间脏污,或零部件磨损严重,直接影响仪器设备运行效率及检测数据准确性^[3]。

3.3 试剂因素

检测试剂的质量同样对检测结果十分关键,不合格的试剂含有杂质,纯度不够等原因,影响了检测反应,就会出现检测结果错误的现象。如微生物检测中,如果培养基质量不佳,无法为微生物生长提供良好的环境,微生物检测结果可能出现差错;试剂存储条件十分重要,有的试剂必须低温存储,否则就会影响试剂性能,进而影响检测效果。

3.4 方法因素

检测方法的选择及运用是否准确关系到检测结果是否精准。不同的食品检测项目需要运用适用的检测方法进行检测,否则不能够准确地检出所要检测的物质,另外检测方法的操作性、灵敏度及特异性也会对检测结果产生影响。例如,有些检测方法在运用过程中会受到检测干扰,需严格控制实验条件,否则会引起检测结果的误差较大。

3.5 环境因素

食品检测实验室的温度、湿度、清洁度等环境因素都会对检测结果产生影响。例如,在对食品水分含量进行检测分析时,环境相对湿度发生改变,就可能引起食品吸收或者散失水分,使检测结果出现误差。对于食品检测中比较敏感的检测项目,比如微生物检测、痕量元素分析等,由于实验环境中洁净度不达标,就可能带入杂质以及微生物污染,影响检测结果^[4]。

4 食品检测实验室质量控制策略

4.1 人员管理策略

加强岗位培训:建立培训制度,对各层级、各岗位进

行培训,包括新进人员的岗位培训,对实验室基础理论知识、基本操作技能知识等进行培训。对在职人员的定期培训,包括针对专业技能进行提高及更新知识、新技能,掌握新技术及新方法,熟悉新仪器及仪器操作流程等。例如,可聘请相关专家举行讲座,进行新知识的教授及新检测技术的交流;安排内部培训,由资深技术人员进行操作的传授及一些具体问题的解决。

建立考核标准:建立科学合理的职工考核标准,定期考核检测人员的工作质量。考核标准包括理论水平、实际操作、工作态度、检测数据质量等,考核结果与薪酬绩效、聘任等挂钩,鼓励检测人员不断加强学习、提升工作质量。如每季度考核一次实际操作考核,通过实操检测样品,考核其操作熟练和检测结果准确性;每年考核一次综合考核,综合考核检测人员的工作能力和业绩。

4.2 设备管理策略

周期校准:根据检测设备的使用频次和精度要求,规划合理的校准周期,定期对检测设备开展校准;校准应按校准程序操作,利用标准物质或标准仪器进行校准和比对,确认检测设备测量结果的准确性;校准后及时形成校准记录,建立设备校准档案;例如,气相色谱-质谱联用仪每6个月开展一次校准,校准后形成校准证书,记录校准数据及结果。

日常维护保养:对设备实行日常维护保养制度,制定明确的设备维护保养责任人、维护保养内容、维护保养时间。做好定期开展对设备的清洁、检查、润滑、更换易损件等设备维护工作,确保设备始终保持良好的工作状态。同时,做好设备维护保养记录,及时发现和解决设备运行出现的问题。如对仪器设备每天做好外观清洁、基本功能的检查;每周做好设备的深度维护,检查仪器内部各部件运行状况;每月对设备的关键性能指标进行测试评估。

4.3 试剂管理策略

加强采购验收:选用正规试剂厂家,对所购进的试剂要严格验收。验收入库内容包括试剂的外观、规格、包装、纯度、有效期等,并要求供应商提供试剂质量证明文件,如质量合格证、检验报告等,对不合格的坚决予以退货。例如,对于化学试剂的采购,仔细检查试剂瓶有无破损、标签是否清楚完整、试剂颜色是否正常等;生物试剂是否检查其活性及保存条件是否相符等。

做好试剂管理:明确试剂保存的条件和方法,按照试剂性质及保存条件对试剂进行分类管理,易挥发、易燃、易爆、有毒品等存放在专业柜中,并做好安全预防措施。严格按照试剂说明书要求操作,用量准确,防止试剂过多浪费,污染;定期对试剂进行清点,检查试剂有效期,及时处理过期试剂,如存放有机试剂的试剂柜必须通风良好,远离火源和热源;标准物质要按照规定的储存条件(温度、湿度等)存放,按照标准操作规程要求进行稀释、配制。

4.4 方法管理策略

检测方法的选择优化:检测方法的选择应根据检测项

目以及要求来确定,选择国家标准方法、行业标准方法和国际标准方法。选择非标准检测方法时须进行方法验证,确保方法的准确、可靠和精密度。在对检测方法执行过程中不断总结经验对其进行优化和完善,以提高检测效率和质量。如检测食品中添加剂时,对比不同标准的方法的优缺点,结合实验室具体情况选择最合适的食品添加剂检测方法;对于一些比较复杂的样品选择适合的方法,在样品检测中采用合适的样品前处理方法,提高检测方法的灵敏度和选择性。

方法验证确认:对所用检测新方法或者对方法进行较大改动后需要进行方法验证和确认,方法验证是对测量方法的线性、检测限、定量限、精密度、准确度等方法的性能进行确认以保证方法满足检测要求,方法确认是通过对样品进行与其他实验室对比、使用标准物质进行测定等方法进一步确定该方法的可靠性。对引入一种新的农药残留检测方法进行所有方法性能指标验证以及与其他权威实验室进行比对试验,以保证检测结果的一致性和准确性。

4.5 环境管理策略

环境监测控制:准备环境监测装置,实时监控实验室的温度、湿度、洁净度等环境指标是否在规定范围内。根据不同的检测对象设定环境指标的范围,如环境参数超出范围,则启动相应的环境调控措施,如打开空调、去湿机、空气净化器等。

环境清洁:经常清扫和消毒,确保实验室环境的整洁卫生。制定实验室清洁制度,明确清洁区域、频次、清洁方式,根据不同的使用场所,如化学分析实验室、微生物实验室,有不同的清洁消毒处理,避免交叉污染,例如每天清洁擦拭实验台、地面等,每周整个实验室全面消毒,微生物实验室采用专用消毒剂消毒。

5 质量控制效果评估

5.1 内部质量控制评估

定期使用经计量认证的标准物质进行检测,与标准物质参考值比较检测结果是否落在标准物质的不确定范围内,如是在此范围内说明检测过程受控,结果可靠,如在范围外说明检测过程失控,需查找原因,并做纠正活动。

重复检测:重复检测同一试样,计算重复检测结果的相对标准偏差(RSD),判断结果精密度。RSD越小,检测结果的重复度越高,检测方法精密度越高。一般对于不同的检测项目,都有相应的RSD允许偏差,实验室检测结果要求达到RSD在检测方法标准偏差范围要求内,如在检测食品中的营养物质含量时,对于同一食品的五次重复检测,

计算RSD,如检测RSD在允许范围内,则说明该检测方法的精密度达到了实验要求。

5.2 外部质量控制评估

开展能力验证:积极参与国内外具有权威性的机构组织开展的能力验证,与其他实验室进行比对,检验检测实验室的检测能力和水平。能力验证通常以Z比分数表示,Z比分数的绝对值 ≤ 2 时,为满意结果,意味着检验检测实验室检测能力强;Z比分数的绝对值 $>2 < 3$ 时,为有问题结果,应及时查明原因,采取纠正措施;Z比分数的绝对值 ≥ 3 时,为不满意结果,应立即采取纠正措施,提高实验室的检测能力。如每年参加一次由国家质量监督检验检疫总局主持的食品检测能力验证活动,通过与其他实验室比对的结果,寻找和查找出不足和差距,进行整改,予以提高。

实验室间比对:与其他检测能力、检测资质相当的实验室组织开展实验室间比对,定期交换样品相互检测,对比数据,分析差值的原因。通过实验室间比对来发现实验室在检测方法、检测操作技术、仪器设备使用和维护等方面的不足,相互学习借鉴,提高检测质量。例如每月与周围食品检测实验室之间互做比对,针对比对数据存在差异的问题,组织技术人员进行讨论分析,找出原因加以改进。

6 结论

综上所述,要保证食品检测实验室的质量控制问题,就要全方位且有效的影响因素对食品检测实验室加以管控,需要借助于加强人、机、料、法、环的质量管理,科学管理和考核等手段提高食品检测实验室的质量管控措施,能够显著提升食品检测实验室的检测质量,增强检测结果的准确性、可靠性,也可以在食品安全国家标准不断更新和食品安全检测技术不断进步的前提下不断健全食品检测实验室的质量控制体系,不断优化食品检测实验室的质量控制措施,可以有效地满足日趋严峻的食品安全管理要求,更好地保证社会大众饮食安全。

参考文献

- [1] 张长胜,董洁.管理评审在食品检测实验室质量管理体系运行中存在的问题与策略优化[J].食品安全导刊,2025(08):159-161.
- [2] 邹敏,段建坤,毛宏敏.关于食品检测实验室内部质量控制方式的探讨[J].中国标准化,2025(01):274-277.
- [3] 芦彬,谢银领.食品检验检测实验室质量管理的问题与对策[J].中国食品工业,2024(23):50-52.
- [4] 韩京京.食品检验检测质量影响因素与控制对策[J].食品安全导刊,2024(34):45-47.

Analysis of factors affecting quality control in the process of food inspection

Weiying Lin Xuefen Shi Meilian Shi

Shenzhen Credit Test Standard Technical Service Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518000, China

Abstract

As a core link in ensuring food safety, food inspection's quality control is directly related to public health and industry reputation. However, in practical operations, there are still potential risks at multiple levels such as technology, management, and standard implementation that need to be systematically optimized. The current food inspection system faces challenges in terms of personnel professional level, equipment update speed, sample processing standards, etc. The impact of laboratory environment fluctuations on test results cannot be ignored. The research on solutions to these problems should not only focus on technical improvements, but also pay attention to the standardized reconstruction of inspection processes. This has practical guidance for improving the food safety governance system and provides theoretical support for the iterative upgrading of inspection technology.

Keywords

food inspection; quality control; influencing factors; solution strategy

食品检验过程中影响质量控制因素及解决策略分析

林伟进 石雪芬 石美莲

深圳信测标准技术服务有限公司, 中国·广东 深圳 518000

摘 要

食品检验作为保障食品安全的核心环节, 其质量控制直接关系到公众健康与行业信誉, 但在实际操作中, 仍存在技术、管理、标准执行等多层面的潜在隐患需要系统性优化。当前食品检验体系在人员专业水平、设备更新速度、样品处理规范等方面均面临挑战, 实验室环境波动性对检测结果的影响亦不容忽视。针对这些问题的解决策略研究, 既要立足技术层面的改进, 也要关注检验流程的标准化重构, 这对完善食品安全治理体系具有现实指导意义, 也为检验技术的迭代升级提供理论支撑。

关键词

食品检验; 质量控制; 影响因素; 解决策略

1 引言

食品工业快速发展的态势下, 加工工艺的复杂化对检验技术提出更高要求, 而检验质量控制体系的建设却未能完全同步。在检验的过程当中, 人员操作的标准化程度、精密仪器的维护状态以及样品流转的规范性等诸多要素相互交织, 共同形成了一个影响检测结果可靠性的动态网络。现有的研究多聚焦在单一技术参数的改进方面, 对于质量控制所存在的系统性风险却缺乏深入的探讨。本文站在食品检验全流程的视角之上, 去剖析在不同环节当中质量控制所受到的制约因素, 尝试着构建起一个能够覆盖人员培训、设备管理、流程优化等多个维度的解决方案, 旨在为提升检验结果公信力提供可操作的改进路径, 进而推动食品安全监管朝着更高

效、更精准的方向去发展。

2 食品检验过程中影响质量控制的因素分析

2.1 人员因素对质量控制的影响

检验人员需要具备扎实的理论基础与规范操作技能, 一旦对检测标准的理解产生偏差或者未能正确掌握仪器设备的使用方法, 那么检验流程就可能出现系统性误差。面对新型检测技术时, 部分缺乏持续学习动力的检验员容易产生适应性障碍, 而这种知识更新方面的滞后状况会对检验方法的科学性以及时效性造成影响。在实际操作当中存在个别人员过度依赖既往经验的情况, 当碰到非典型样本时, 他们容易忽略标准操作规程里的细节要求, 如此一来, 这种主观判断的介入可能使得检验数据的客观性遭到削弱。检验团队内部沟通协调机制是否健全同样需要关注, 倘若不同岗位人员对质量控制目标缺乏统一的认知, 那么在样品交接、数据记录等环节就可能出现衔接方面的漏洞。部分基层检验机构存

【作者简介】林伟进(1994-), 男, 中国广东汕头人, 本科, 工程师, 从事食品质量安全与检测研究。

在着人员配置不足的状况，当面临大批量检测任务的时候，在高强度工作压力之下，检验人员容易降低操作精度，这种处于疲劳作业的状态可能会引发人为失误率的上升。

2.2 设备与技术因素对质量控制的影响

检验设备的精度偏差可能源于长期高频使用导致的机械磨损，或是因传感器元件老化所引发的灵敏度下降，这些情况都有可能致使检验设备产生精度偏差，此类隐性损耗并非能在操作界面直观显现出来，而是会在检测数据方面形成误差的累积。就技术层面而言，其存在的局限性体现为部分实验室依旧沿用着传统的检测方法，当面对新型食品添加剂或复合污染物时，现有的技术或许没办法精准地识别出目标物的特征谱图，进而使得出现假阴性或者假阳性结果的风险有所上升。设备校准周期执行力度的重要性同样不容忽视，未按照规范要求定期进行标定的仪器容易出现系统性偏差，这种偏差在跨批次检测的过程当中，极有可能会被误判成是样本自身的质量波动。自动化设备软件算法设计方面存在的缺陷同样需要保持警惕，例如光谱分析设备的基线校正逻辑若存在漏洞，可能使背景干扰信号被错误识别为目标峰。技术标准与设备参数之间的适配性也需关注，部分进口设备若未根据国内食品基质特性调整检测阈值，可能造成定量结果偏离真实值^[1]。

2.3 样品采集与处理环节的影响

操作人员在现场采集时的判断偏差可能引发源头性误差，例如食品批次不同部位的成分分布差异未被充分考虑时，随机取样可能掩盖实际风险点。样品运输过程的物理条件控制若存在疏漏，温度敏感型样本的理化性质可能发生不可逆改变，冷链运输设备的轻微故障可能让微生物在样本中悄然增殖。预处理阶段的操作误差更容易被忽视，研磨粒度不均可能造成目标物提取效率波动，离心参数设置不当会改变悬浮物分布状态，这些细微偏差经过后续检测环节的放大效应，最终可能形成偏离真实值的检测报告。分装容器材质与清洗残留问题同样值得警惕，塑料器皿吸附脂溶性物质或玻璃器皿释放碱性离子，均可能干扰特定成分的定量分析。样品储存时间的把控也需要科学规划，挥发性物质的自然逸散或氧化反应的持续进行，可能导致实验室接收的样本已失去原始状态特征。

2.4 环境条件对质量控制的影响

实验室环境条件的稳定性在食品检验过程中扮演着无形监督者的角色，其细微波动可能无声地改写检测结果的命运。温湿度参数的微小偏离既可能加速样品中挥发性物质的逸散，也可能改变微生物检测时培养基的水活度，这种双重作用使得同一批样品在不同环境下的检测值产生方向性差异。地面震动的能量传递对精密仪器的影响常被低估，原子吸收光谱仪的检测限可能因楼板轻微振动产生的光路偏移而显著上升，这种干扰在检测痕量重金属时尤为致命。电磁环境紊乱对电子分析设备的威胁具有隐蔽性，液相色谱的保

留时间漂移有时并非色谱柱老化所致，而是附近大功率设备运行时产生的电磁脉冲扰乱了检测器的信号采集。光照条件控制不当可能引发光敏性样品的预反应，某些维生素检测项目的失效并非操作失误，而是样品在运输至实验室的短暂曝光中已发生光解反应。

2.5 标准与规范执行不严格的影响

部分检验机构虽然配备完整的检测规程文本，但在具体实施环节容易产生执行偏差，检测人员有时会依据主观经验调整标准方法中的关键参数，这种技术动作的变形可能导致同批次样品的检测结果失去横向可比性。某些快速检测场景下，仪器设备的日常校准环节容易被压缩时间，维护人员若仅完成基础表面清洁而忽略传感器灵敏度调试，细微的性能偏移可能在长期累积中显著影响检测精度。标准操作规范对原始记录的完整性有明确要求，实际操作中个别检验员为节省时间采用简写或符号替代规范术语，这种记录方式的随意性可能使后续质量追溯失去有效依据。当遇到复合型食品添加剂等复杂检测项目时，检验人员若机械套用单一检测标准而未进行方法适用性验证，可能造成特定成分的漏检或误判^[2]。部分中小型检验机构存在标准文本更新不及时的问题，仍在沿用已废止的旧版检测方法，这种滞后性可能导致检验结论与现行法规要求产生冲突。检验过程的环境控制标准执行不彻底也值得警惕，温湿度监控设备虽然显示数值达标，但探头布设位置或校准周期不符合规范要求时，环境因素对检测结果的实际影响可能超出预期范围。

3 食品检验质量控制中的解决策略分析

3.1 加强人员培训与管理，提升专业素养

岗前培训阶段应结合检验岗位实际需求设计标准化课程体系，将理论知识与仪器操作、标准解读等实务内容有机融合，通过模拟检验环境中的异常样品处理和质量争议场景来帮助新进人员建立规范操作习惯和风险预判能力。针对在岗技术人员需建立分层次培养机制，依据检测项目更新动态和技术发展水平制定年度轮训计划，重点强化色谱分析、微生物检测等专业模块的深度培训。考核评价体系应当与培训效果形成联动机制，采用盲样测试、过程录像回查等多元化评估手段，将操作规范性、结果复现性等关键指标纳入绩效管理。日常管理中可推行导师负责制，由资深检验师对新进人员开展不少于半年的跟班指导，通过原始记录复核、检验方案优化等具体工作传承技术经验。为激发团队活力可尝试设立专项技术攻关小组，鼓励检验人员参与标准制修订和检测方法开发，将科研成果转化与职称晋升通道衔接。

3.2 优化设备管理，确保技术先进性

食品检验机构应当将设备管理作为保障检测结果准确性的基石，构建覆盖全生命周期的技术管理体系。技术人员需对新购置设备开展安装验证测试，逐项确认检测参数是否达到出厂标称性能，同步建立包含使用记录、维修档案、

校准周期的电子化台账。日常操作中需严格执行分级维护制度,针对高效液相色谱仪等精密仪器制定每日开机自检流程,对恒温培养箱等基础设备落实每周关键参数核查,确保运行状态实时受控。检验机构需与法定计量机构建立长期合作机制,在设备临近校准周期前安排复检计划,对偏差超出允许范围的仪器立即停用并追溯历史检测数据可靠性。技术团队需定期检索国内外先进检测设备的技术资料,结合实验室发展规划编制设备更新预案,对于核心检测项目配置备用机型以规避突发故障风险。

3.3 规范样品采集与处理流程

采样团队需依据检测目标组建多学科论证小组,针对不同食品形态设计差异化采样方案,液态样品重点规划混匀取样的时间节点,固态样品预先确定代表性部位的切割比例。采样人员应当配备经过计量检定的专用工具包,例如无菌取样勺需单独封装灭菌处理,金属材质的粉碎刀具需避免与酸性样品发生反应。在采样现场,操作人员需要执行环境条件即时记录制度,对冷链运输的乳制品同步监测环境温度,对易挥发的酒类样品采取氮气保护措施。运输环节应当配置具备温度记录仪的专用转运箱,针对微生物检验样品设置生物安全标识,在箱体内部固定防震支架避免剧烈晃动导致样品分层。实验室接收人员需对照采样单逐项核查样品状态,对出现封条破损的样品立即启动复检程序,留样瓶标注的唯一性编码需与采样记录形成双向追溯链条。样品预处理阶段应当划分物理处理区与化学处理区,研磨设备的筛网孔径需定期核查磨损程度,离心机的转速偏差需纳入每日开机自检项目^[3]。技术团队需制定常见样品处理操作视频教程,将肉类解冻的梯度温度控制、果蔬表面残留物的清洗手法等细节形成可视化指导文件。

3.4 改善实验室环境条件,确保检测准确性

食品检验实验室需要将环境条件管理纳入质量控制的核心环节,针对温湿度、洁净度、气流组织等关键指标建立动态监控体系。实验室管理部门应当在功能区规划阶段预留环境调控冗余空间,根据微生物检测、理化分析等不同检测项目需求划分独立控制区域,安装具备数据追溯功能的温湿度传感器与压差监测装置。技术人员需每日三次记录环境参数波动情况,对超出标准范围的异常数据启动预设的空调系统调节程序,同时追溯该时段内检测数据的有效性。洁净区域应当采用层流送风与独立回风系统,在传递窗、缓冲间等

关键节点配置压差报警装置,防止不同洁净级别区域间空气交叉污染。设备布局需要遵循操作流程优化原则,将易产尘的粉碎设备与精密分析仪器间隔设置,为旋转蒸发仪等发热设备单独配备散热通道。实验室需建立环境维持设备预防性维护制度,每季度对生物安全柜高效过滤器开展完整性检测,对超纯水机的紫外消毒模块执行寿命预警更换。

3.5 严格执行标准与规范,加强质量监督

食品检验机构应当将标准文件管理视为质量监督的基础环节,构建动态更新的标准库并建立文件有效性核查机制。质量管理部门每季度核查实验室现行标准的有效性状态,对新实施标准制作修订对照表并标注技术变更要点。文件编制小组需要将国标方法转化为可操作性强的作业指导书,在样品前处理步骤标注离心转速允许误差范围,在色谱分析环节明确柱温箱温度波动阈值。监督员需每日随机抽取检测报告溯源原始记录,重点核查标准曲线配制浓度与检测项目匹配度,比对仪器输出数据与纸质记录的一致性。实验室应在样品接收区设置标准操作流程图解,针对易混淆的检测项目制作差异化标识,例如在重金属检测区域悬挂消解温度梯度对照卡。技术负责人需每月组织标准应用研讨会,梳理检测过程中出现的标准理解偏差案例,将达成的技术共识形成补充作业指导文件。

4 结语

食品检验质量控制本质上是对科学精神与技术规范的实践验证,其效能提升需要各环节形成协同效应。检验人员的专业素养与责任意识、检测设备的精准度维护、样品采集的标准化操作构成质量保障的三大支柱,而实验室环境参数的稳定性和标准规范的执行刚性则是维持检验公信力的重要基石。建议通过建立动态培训机制、完善设备全生命周期管理、构建智能化环境监控体系等方式强化质量控制,并且注重检验流程的透明化建设以增强社会信任。

参考文献

- [1] 李文平.食品检验过程中影响质量控制的因素与解决策略研究[J].现代食品,2024,30(09):61-63.
- [2] 韩艳梅.食品检验过程中影响质量控制因素及解决策略分析[J].食品安全导刊,2023(02):38-40.
- [3] 宋志君.食品检验检测中质量控制细节问题及处理策略研究[J].现代食品,2023,29(24):67-69.

Research on the application of custom keyboard in aircraft simulator development

Hengyu Zhou

Shanghai Civil Aviation Vocational and Technical College, Shanghai, 200235, China

Abstract

This paper applies the custom macro-programmable keyboard used in the film and television production industry to aircraft simulators, achieving cost-effective centralized control and display of various cockpit systems. Although the layout of an actual aircraft cockpit is scientifically rational, such a design is not suitable for simulators. Firstly, all buttons, knobs, and switches in an aircraft cockpit are fully customized, resulting in prohibitively high costs. Secondly, due to spatial constraints, the cockpit design does not fully adhere to ergonomic principles. Lastly, aircraft cockpits are tailored to specific aircraft models, lacking universality. The proposed keyboard categorizes and prioritizes the aircraft's complex systems based on logic and relevance, mapping them onto the macro-programmable keyboard to enable aircraft control and monitoring. By implementing this custom keyboard, simulators can be built with low cost, rich display capabilities, high versatility, and user-friendly operation.

Keywords

Macro-programmable keyboard; Aircraft simulators; A320

自定义键盘在飞机模拟器开发中的应用研究

周恒宇

上海民航职业技术学院, 中国·上海 200235

摘要

本文将影视创作行业中使用的自定义宏编程键盘应用于飞机模拟器, 以有限的成本实现对驾驶舱各个系统的状态控制与集中显示。虽然飞机驾驶舱的布局是科学合理的, 但那样的设计并不适用于飞机模拟器。首先, 飞机驾驶舱的所有按键、旋钮和拨杆都是完全定制化生产制造, 成本非常高; 其次, 由于空间限制, 飞机驾驶舱并没有完全遵循人体工程学设计; 最后, 飞机驾驶舱仅适配于特定的飞机, 不具备通用性。该键盘将飞机上复杂的多个系统, 按照逻辑性与相关性进行分类与分级, 并配置自定义宏编程键盘, 实现对飞机的操控与监视。应用该自定义宏编程键盘后, 可搭建出成本低、显示丰富、通用性好且操作便捷的模拟器。

关键词

自定义宏编程键盘; 飞机模拟器; A320飞机

1 引言

教学或者训练时所使用的常规低成本飞机模拟器有以下四个方面需要改善。一是飞机驾驶舱太大了, 对于 A320 飞机的驾驶舱, 模拟器显示的内容有限, 因而只能频繁切换显示器所显示的驾驶舱区域, 操作效率低且不及时; 二是进行操作时显示器上只能看到你所操作的区域, 没法看到区域外显示内容的变化。比如说当你控制液压系统时, 飞机会检测该系统的工作状态并给出指示, 诸如泵的工作状态, 黄、绿、蓝液压系统压力的大小, 然而这些指示受限于显示区域太小, 无法实时看到; 三是飞行的操控输入包括按键、拨杆开关、旋钮等, 用鼠标操作并不准确直观; 四是驾驶舱屏幕

太多, 模拟器也是如此的话成本过高; 五是常规的模拟器只能应用于特定机型, 不具备通用性。

如图 1 为影视行业常用的自定义宏编程键盘, 它具有很高的可定制化功能^[1]。一个按键可以同时或者按次序执行多个操作, 操作或者时序都可以通过编程来控制。键盘配置也可以与特定的程序关联, 可根据程序的启动自动切换到相应的配置。每一个按键都是一个 LCD 显示屏, 其显示的图片或者动画可以定制。因此, 可以通过这个键盘和每个按键上的小屏幕, 把整个驾驶舱集成进来, 以有效解决飞机模拟器当前存在的弊端。

【作者简介】周恒宇(1991-), 男, 中国黑龙江大庆人, 本科, 讲师, 从事航空维修技术研究。



图1 典型的自定义宏编程键盘

2 开关、按键、旋钮与警告灯的配置方法

2.1 普通开关的通信与配置

将自定义宏编程键盘与飞机模拟器连接后,通过软件即可实现数据的双向通信^[2]。以飞机模拟器 FENIX A320 为例,假如要自定义宏编程键盘上设置 A320 防撞灯的控制。首先在 FNX32X_Interior 文件中找到防撞灯的变量代码 S_OH_EXT_LT_BEACON, 然后使用软件 LorbyAxisAndOhs 在 FENIX A320 组里设置脚本 BEACON_TOGGLE, (L:S_OH_EXT_LT_BEACON, · Number) · ! · (>L:S_OH_EXT_LT_BEACON, · Number)。然后在 Stream Deck 软件中设置 Key Down Event, FENIX A320-LIGHT_EXT_Beacon_TOGGLE, 并在 Read 中设置 S_OH_EXT_LT_BEACON, Number, ON value 设置为 1。这样的话每次按下按钮,则会让防撞灯开关由开变为关或者由关变为开。同时还会通过 Read 和 ON value 读取防撞灯当前的开关状态, Stream Deck 上显示的防撞灯开关位置就和模拟器当前状态一致了。最后在 Photoshop 等类似图片编辑软件中画出一个关闭的防撞灯开关,上下轴对称之后就有了防撞灯打开的图片,将打开和关闭的图片与读取的开关位置绑定,就完成了 A320 防撞灯的设置。

按照上述步骤,将按键与驾驶舱对应的控制一一绑定,然后还需要定制化显示的内容。A320 飞机的控制与指示,除了驾驶杆、推力杆、脚舵和显示屏之外,主要包括普通按键、自带指示灯的按键、拨杆式开关、旋钮、警告灯等。

2.2 自带指示灯的按键配置

对于自带指示灯的按键比如说电瓶开关,电瓶开关的按键上自带“FAULT”和“OFF”指示,旁边的液晶面板指示电瓶电压。电瓶关闭时,OFF 灯亮,电瓶打开后,OFF 灯灭,如果电瓶打开后供电不正常,FAULT 灯亮。配置自定义宏编程键盘时,可以将电瓶电压指示和按键集成,只在一个按键的显示屏上指示。

2.3 旋钮的配置

对于旋钮,比如说停留刹车手柄,按下按键可以使停

留刹车于“ON”或者“OFF”切换。为了便于分辨停留刹车的位置,对应的“ON”“OFF”会有颜色变化。旋钮的配置和按钮类似,不再赘述。

2.4 警告灯的配置

对于警告灯,比如说 APU 火警警告灯,配置自定义宏编程键盘时,需要把 APU 火警拆分为三个自定义按键。其中 TEST 按键用于测试火警系统是否正常工作,AGENT 按键用于释放灭火瓶,FIRE 按键用于将 APU 隔断。按下“TEST”按钮后,对应的火警警告灯与灭火瓶警告灯会燃亮,也就意味着 APU 火警系统是正常工作的。

3 各种驾驶舱指示与控制的分类分级

以此类推,可以将驾驶舱内的几百个按键、拨杆、旋钮、警告灯等全部绑定^[3-4]。然而使用的自定义宏编程键盘只有 32 个按键,因此必须将键盘上的按键分类分级。归类的第一层级应为区域,A320 飞机的面板按区域可分为顶板、中央操纵台、侧操纵台、遮光板、左仪表板、中仪表板、右仪表板。第二层级应为系统,比如顶板按照系统可分为火警面板、液压面板、燃油面板、电气面板、空调面板、惯导面板、外部灯光面板、内部灯光面板、防冰面板、APU 面板、座舱增压面板等。当然自定义宏编程键盘除了按照区域系统进行分类分级这种方式外,也可以按照飞行阶段划分,比如地面阶段、起飞阶段、进近阶段。

以空调面板举例,在自定义宏编程键盘上应首先选择顶板 OVER HEAD,再选择空调 AIR COND,如图 2。虽然自定义宏编程键盘上 8×4 的按键布局不可能与真机完全一致,但是按照逻辑关系进行对应还是可以实现。键盘上那些绿色的线条,用来指示空调管路的连接。键盘左上角的 OVHD AIRCON 用于从当前的空调面板返回至上一层级的顶板。键盘第一行的 COCKPIT DEC、FWD CABIN DEC 和 AFT CABIN DEC 用于向左拧温度调节旋钮,进而降低温度。这三个旋钮右侧的旋钮按键用于向右拧温度调节旋钮,进而提高温度,这样就实现了用两个按键分别向左拧或者向右拧旋钮。键盘右下角的 COND 按键,用于在系统显示器 SD 上显示空调系统的状态。真实飞机不是这样的布局,COND 按键实际上属于中央操纵台的 ECAM 面板,放在这里可以在操纵空调系统的同时直接看到系统状态,这样甚至比真机更便于操作。由于自定义宏编程键盘的完全定制化,配置后的键盘可以比真机更加灵活、更加合理。

再以飞机中央电子监控系统 ECAM 为例,在自定义宏编程键盘上应首先选择中央操纵台 PEDESTAL,再选择 ECAM,如图 3。键盘第一行绿色的 OVHD 用于快速切换至顶板,键盘最后一行绿色的 PEDESTAL 用于快速切换至中央操纵台。此外,第一行蓝色的 DCDU 按键用于切换至数据链控制与显示组件,白色的 INT lights & DISPLAY 用于切换至内部灯光与显示屏亮度控制。右下角的 ON GROUND 用于切换至地面操作相关的按键。



图 2 A320 飞机驾驶舱顶板上的空调面板



图 3 A320 飞机中央操纵台上的 ECAM 面板

4 带有旋钮的自定义宏编程键盘配置

亦可以使用带有旋钮的自定义宏编程键盘，更大程度上拓展使用的便利性，如图 4。上面的 8 个为常规按键，下面 4 个为可以按下的旋钮，该面板模拟的是 A320 飞机的左 EFIS 面板。左数第一个旋钮用于调整修正海压，长按旋钮可以切换修正海压单位，百帕或者是英寸汞柱，短按用于切换标准修正海压，模拟的四位数字液晶显示可实时显示当前的修正海压；左数第二个旋钮用于切换 ADF 导航或者 VOR 导航；左数第三个旋钮用于切换导航显示器的显示模式，仪表着陆、甚高频全向信标、圆形导航、扇形导航或者是飞行计划；最后一个旋钮用于调整地图的大小，可用于缩小或者放大显示范围。

5 自定义宏编程键盘在其他机型上的应用

除了 A320，自定义宏编程键盘也可以应用于其他飞机，比如说单发活塞螺旋桨飞机 PA24，如图 5 为 PA24 飞

机的自定义宏编程键盘配置。对于这样相对简单的小飞机来说，需要控制的元素相对有限，因为不需要分类分级，一个页面 32 个按键即可实现对 PA24 飞机的常用基本控制。



图 4 A320 飞机的左 EFIS 面板

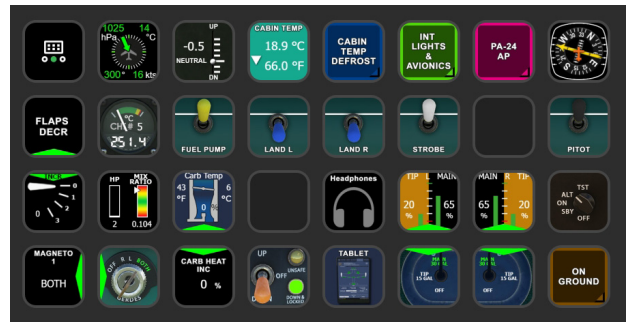


图 5 PA24 飞机的自定义宏编程键盘配置

6 结语

综上所述，自定义宏编程键盘近乎拥有无限可能，只要恰当配置，即可实现丰富的指示与控制，非常适合应用于飞机模拟器的开发。

参考文献

- [1] Lorby-SI. (2023). *Lorby "Axis And Ohs" StreamDeck Plugin Documentation (Version 22.01)*. <http://www.lorby-si.com>.
- [2] LWR Inc. (2024). *Lorby "Axis And Ohs" for Microsoft Flight Simulator documentation (Version 4.40)*. <http://www.axisandohs.com>.
- [3] FenixSimulation. (2024). *Example of How to Bind Switches, Knobs and Buttons on FenixSim Aircraft to External Hardware[EB/OL]*. <https://kb.fenixsim.com/example-of-how-to-use-lvars>.
- [4] Flightsim. (2024). *FENIX A3XX AAO Scripts & StreamDeck XL & PLUS Profile*. <https://zh.flightsim.to/file/33274/fenix-a320-aao-scripts-streamdeck-xl-profile-teaser>.

Analysis of the key technology development trend of large-size silicon single crystal growth equipment

Weileng Wang Huanxin Zheng*

Zhejiang Haina Semiconductor Co., Ltd., Quzhou, Zhejiang, 324300, China

Abstract

As the core material supporting the high-end development of semiconductor and photovoltaic industry, large-size silicon single crystal growth equipment technology is facing the transformation challenge of complicated structure, process precision and intelligent control. The thermal field system, traction mechanism and atmosphere control device in the equipment play a key role in ensuring the quality and size improvement of crystals, but there are still technical bottlenecks in crystal defect suppression, interface stability control and temperature gradient uniformity. This paper focuses on the large size silicon single crystal growth equipment system composition and function characteristics, deeply analyzes the core of silicon single crystal quality and efficiency, and system combing innovation technology path, discusses the magnetic field auxiliary control, intelligent temperature control and modular structure of advanced technology application prospect, combined with the industry demand analysis equipment development trend, in order to silicon single crystal equipment technology independent breakthrough to provide theoretical support and direction.

Keywords

large-size silicon single crystal; growth equipment; thermal field control; defect suppression; technological innovation

大尺寸硅单晶生长设备的关键技术发展趋势分析

王伟棱 郑欢欣*

浙江海纳半导体股份有限公司, 中国·浙江 衢州 324300

摘要

大尺寸硅单晶作为支撑半导体和光伏产业高端发展的核心材料,其生长设备技术正面临结构复杂化、过程精密化和控制智能化的转型挑战。设备中的热场系统、牵引机构及气氛控制装置在确保晶体质量与尺寸提升方面发挥关键作用,但在晶体缺陷抑制、界面稳定调控及温度梯度均匀性方面仍存在技术瓶颈。本文聚焦大尺寸硅单晶生长设备的系统构成与功能特征,深入剖析制约硅单晶品质与效率的核心障碍,并系统梳理创新技术路径,探讨磁场辅助控制、智能温控与结构模块化等先进技术的应用前景,同时结合产业需求分析设备发展趋势,以期为我国硅单晶装备技术的自主突破提供理论支撑与方向引导。

关键词

大尺寸硅单晶; 生长设备; 热场控制; 缺陷抑制; 技术创新

1 引言

随着半导体制造和光伏能源技术的迅猛发展,对高质量、大尺寸硅单晶材料的需求显著提升。硅单晶直径的不断扩大,对生长设备的热工性能、结构强度与控制精度提出更高要求。传统硅单晶生长设备在尺寸适应性与过程稳定性方面逐渐显现出局限,促使行业加快关键装备的升级迭代。现阶段,大尺寸硅单晶生长不仅是材料层面的技术挑战,更在于其装备系统的高度集成与智能调控能力。为应对日益复杂

的生产工艺需求,亟需从设备结构优化、热场调控技术提升及自动化系统构建等维度,系统开展研究,推动生产设备向高性能、高适配方向演进。

2 大尺寸硅单晶生长设备的系统结构与功能特征

高温热场系统在硅单晶生长过程中承担着晶体成核、扩展与界面稳定的多重控制任务,其温度梯度分布直接影响熔体对流状态与晶体形貌演化。通过合理配置加热器与隔热材料,可形成均匀稳定的径向与轴向温差,从而有效抑制晶体翘曲与应力集中。热场系统的动态调节能力亦决定了长晶过程中的界面平整性和形核速率稳定性,对实现大尺寸硅单晶的低缺陷、高均匀度生长具有决定性意义。牵引与旋转系统负责控制硅单晶从熔体中提拉的速率和旋转角速度,其动

【作者简介】王伟棱(1977-),男,中国浙江杭州人,本科,工程师,从事硅材料加工研究。

【通讯作者】郑欢欣(1981-),男,中国浙江杭州人,工程师,从事硅材料加工研究。

态响应能力直接关系到晶体界面稳定性与直径控制精度。在大尺寸硅单晶生长中，系统需实现低波动、高同步的驱动输出，以防止晶体在生长过程中出现径向涨缩或界面扰动。通过精密步进电机与闭环反馈机制，牵引系统可实现对晶体直径的实时调节，旋转装置则有助于平均熔体温度分布，提升晶体对称性与结构一致性。

3 大尺寸硅单晶生长过程的关键技术瓶颈分析

3.1 热场分布不均引发的硅单晶晶体缺陷问题

热场系统在大尺寸硅单晶生长中处于核心地位，其分布均匀性直接决定了晶体内部应力状态与缺陷生成概率。随着单晶尺寸的不断扩大，径向与轴向热传导难以保持平衡，局部过热或冷却区域易形成热应力集中，从而诱发位错、滑移或夹杂等晶体缺陷。热场分布的动态变化还可能引起熔体对流模式不稳定，进而干扰晶体界面形貌并造成形核异常。加热器布局、热屏蔽结构与反射材料配置若无法实现对温度场的精确调控，将导致生长过程中的晶体畸变风险上升，影响硅单晶的结构完整性与电学性能。热场不均亦限制了大尺寸晶体的生长速率提升空间，阻碍设备生产效率的进一步突破，对整套生长系统的优化提出了更高的热工设计要求。

3.2 大尺寸硅单晶生长界面的稳定控制难题

硅单晶生长界面的稳定性对晶体质量与尺寸控制具有决定性作用，在大尺寸晶体制备中尤为关键。随着直径增加，界面处受热场扰动、熔体波动与牵引速率变化的耦合影响加剧，极易导致界面形貌不稳定，引发结晶紊乱和缺陷堆积。若界面由凹形向平面或凸形剧烈波动，将影响晶体生长方向与位错扩展路径，削弱整体晶格的一致性。界面控制还受限于热场响应滞后、反馈系统精度不足等技术瓶颈，使得即便小幅调整牵引参数，也可能引起生长面的大幅偏移。在高熔温环境下，硅熔体粘性较低，界面形状更易受扰动影响而失稳，需要依赖精密协调的温度控制、牵引调整与旋转同步机制进行综合调控。现有技术之长晶过程动态界面识别与实时调节能力方面尚存不足，制约了大尺寸硅单晶成品率的进一步提高。

3.3 缩短硅单晶生长周期与保持结晶质量之间的技术矛盾

在硅单晶规模化生产背景下，提高长晶效率与保证晶体质量之间存在天然矛盾。缩短生长周期需提高牵引速率与冷却效率，但过快的生长节奏将导致晶体内残余应力增加，诱发结构缺陷或界面波动。大尺寸硅单晶生长过程中热传导路径增长，温度梯度控制难度加大，若未能实现热场系统的快速响应与动态补偿，易出现局部过热或温降突变，破坏晶体稳定成核与均匀扩展的条件。结晶质量对位错密度、氧含量与电阻均匀性的要求极高，在生长速率提升的同时需保持全过程的热流与力学环境一致。当前生长设备在传感精度、反馈响应与执行系统协同效率方面仍存在优化空间，难以满

足快速生产条件下的高品质硅单晶制备需求。在推进工业化与保障晶体性能双重目标下，亟需构建跨系统的整体优化机制，协同调控效率与质量的关键参数。

4 大尺寸硅单晶生长设备的创新技术路径

4.1 基于磁场调控的硅单晶热场均匀化技术

在大尺寸硅单晶生长中，热场均匀性直接决定晶体的缺陷密度与界面稳定性。采用磁场调控技术可有效抑制熔体对流不稳定现象，提高热场的空间一致性。研究表明，在直径 200 mm 以上的硅单晶生长中引入 0.1 T 至 0.3 T 的轴向静磁场，可将熔体中心区域的径向温度梯度控制在 3 K/cm 以内，相较未加磁场条件下减少波动幅度达 40%。磁场的约束作用使得熔体流动趋于层流化，避免热扰动对晶体界面造成冲击，有利于晶体形貌稳定维持。对于 300 mm 硅单晶生长过程，应用磁场调控技术后位错密度可由 $3 \times 10^4 \text{cm}^{-2}$ 降至 $1 \times 10^4 \text{cm}^{-2}$ ，晶体电阻均匀性提升超过 15%。为适应尺寸持续扩大的趋势，磁场系统需与热场加热结构紧密耦合，同时具备实时响应调节能力。目前国内外高端设备已逐步配备双磁场复合系统，在动态长晶阶段可实现磁感应强度 $\pm 0.05 \text{T}$ 范围内的精准控制，为实现低缺陷、高均匀度的大尺寸硅单晶提供了稳定热环境保障，图 1 为一种直拉法单晶硅生长设备的剖析图。

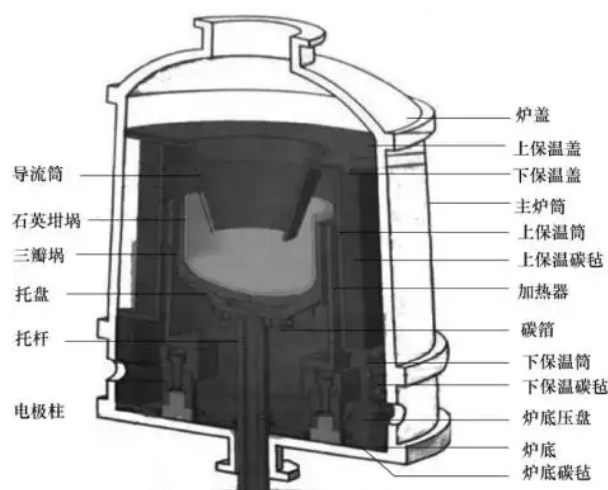


图 1 一种直拉法单晶硅生长设备的剖析图

4.2 智能控制系统在硅单晶生长全过程中的集成应用

智能控制系统在硅单晶生长设备中的全面集成已成为提升生产稳定性与晶体品质的关键路径。当前主流设备配置了以 PLC 为核心的闭环反馈系统，结合热场、拉速、旋转与气氛多个子系统的实时数据进行集中控制。在 300 mm 硅单晶生产中，集成智能算法后长晶界面波动幅度控制在 $\pm 0.2 \text{mm}$ 范围内，相较传统系统降低近 35%。利用 AI 建模对温度、牵引速率与界面形貌间关系进行动态预测，可实现以秒级为单位的响应调整，显著提高系统调节效率。在

实际生产中,配备智能系统的设备平均良品率可提升8%至12%,同时故障率下降超过20%。智能化控制还使得远程监控与参数云端优化成为可能,在自动补偿热场漂移、识别晶体异常增长行为等方面展现出明显优势。未来大型硅单晶生长设备将通过与传感网络、仿真平台和边缘计算系统融合,构建出具备自学习与自修正能力的控制架构,推动生产线向高度智能化方向迈进。

4.3 适配超大尺寸硅单晶的模块化与一体化设备设计

为应对硅单晶尺寸由300 mm向450 mm乃至更大规格扩展的需求,设备结构向模块化与一体化方向演进已成为必然趋势。模块化设计通过功能单元的解耦布局,可实现热场单元、拉晶机构与气氛控制模块的独立升级与替换,缩短维护周期超过40%。一体化结构则提升了设备整体刚性与传热效率,降低系统耦合误差,保障长时间稳定运行。在450 mm硅单晶实验生产平台中,采用整体吊装式炉体与嵌入式热屏蔽结构的设备,其运行稳定性提高25%,控温精度达到 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 。结构集成化设计有效减少设备占地面积约20%,便于生产线布置与批量扩展。模块化还支持多种规格炉体的互换配置,适应不同晶体直径的柔性需求。一体化与模块化的结合能够兼顾系统复杂度与制造效率,使设备具备快速响应市场需求与技术演进的能力,推动硅单晶生长工艺的柔性化、智能化与规模化协同发展。

5 大尺寸硅单晶应用驱动下的产业发展趋势

大尺寸硅单晶在半导体和光伏领域的战略地位不断提升,直接推动上下游产业链加速重构与技术升级。在集成电路制造中,12英寸硅片已成为主流工艺平台,而向18英寸过渡的技术预研正快速展开,对单晶尺寸提出更高要求。在光伏领域,为提升单位硅料发电效率,210 mm及以上大尺寸硅片的市场占比持续扩大,带动硅单晶生长设备向更高稳定性与更低成本方向演进。产业链企业正在加快布局超大尺寸晶体材料的产能扩张,部分头部厂商已建成300 mm以上单晶年产超2000吨的生产线,设备国产化率同步提升至

65%以上。装备制造企业也在聚焦热场系统、拉晶机构与智能控制等核心技术的专利化与平台化构建,推动形成标准化、模块化的产业生态。全球市场竞争格局出现向东亚地区集中的趋势,特别是中国大陆地区依托完整供应链与政策支持在规模与技术双重驱动下已具备主导地位,未来硅单晶产业将在应用倒逼与设备创新协同作用下持续向高端、高效、高集成方向迈进。

6 结语

大尺寸硅单晶生长设备的发展正处于技术集成与结构重构的关键阶段。热场控制、界面稳定、智能调节与系统结构等核心技术环节决定着硅单晶品质与生产效率的上限。面对集成电路与光伏制造对高性能晶体材料的迫切需求,设备技术的创新突破已成为产业竞争的制高点。未来应在材料、控制与制造体系间构建高度耦合的协同机制,推动装备向高精度、高稳定、高柔性的方向持续演进,为硅单晶大尺寸化、高质量化提供坚实技术支撑与系统保障。

参考文献

- [1] 刘丁,姜雷.西安理工大学,大尺寸半导体硅单晶生长设备和成套工艺转化及产业化[Z].项目立项编号:20GXSF0001.鉴定单位:国家知识产权局.鉴定日期:2022-11-01.
- [2] 张雨雨.硅单晶批次生产过程迭代学习预测控制研究[D].导师:刘丁.西安理工大学,2022.
- [3] 曹建伟,朱亮,梅德庆,傅林坚,张俊,汪延成,高宇,欧阳鹏根,石刚,严绍军,叶钢飞,王巍.浙江晶盛机电股份有限公司,浙江大学.大尺寸半导体直拉硅单晶生长关键技术研发及产业化[Z].项目立项编号:2009ZX02011-001.鉴定单位:中国机械工业联合会.鉴定日期:2020-11-29.
- [4] 曹建伟,傅林坚,朱亮,李林,沈文杰,高宇,胡建荣,叶钢飞,倪军夫,王小飞.浙江晶盛机电股份有限公司,大尺寸半导体级硅单晶生长设备的关键技术及应用[Z].鉴定单位:中国电子专用设备工业协会、中国电子材料行业协会.鉴定日期:2018-01-23.
- [5] 张晶,刘丁,赵跃,惠一龙,姜雷.四极磁场下大尺寸直拉硅单晶生长三维数值模拟[J].材料热处理学报,2015,36(09):238-243.

Application of Intelligent Sensor Technology in Automotive Electronic Technology

Wu Zhou Wensheng Liang Qingqing Zhou Yao Ming

Guangzhou Automobile Group Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong, 511434, China

Abstract

Intelligent sensor technology has become the key support for the development of automotive electronic technology, especially in the body control system. This study focuses on the core system of body attitude, suspension adjustment and stability control, and analyzes the functional characteristics and working mechanism of multiple types of intelligent sensors in practical application. Study combining the system structure analysis and typical case analysis, mainly discusses the sensor fusion, data optimization and communication synergy on body control performance, research shows that the intelligent sensor in enhancing vehicle dynamic response ability and promote active safety level has played an important role, the high precision of intelligent car control and system integration has certain significance.

Keywords

intelligent sensor; body control; automotive electronics; dynamic stability

智能传感器技术在汽车电子技术中的运用

周武 梁文生 周清清 明瑶

广州汽车集团股份有限公司, 中国·广东 广州 511434

摘 要

智能传感器技术已成为汽车电子技术发展的关键支撑, 特别在车身控制系统中的应用日益广泛。本研究围绕车身姿态、悬架调节与稳定控制等核心系统, 分析了多类智能传感器在实际应用中的功能特性与工作机制。研究采用系统结构分析与典型案例解析相结合的方法, 重点探讨了传感器融合、数据优化与通信协同对车身控制性能的提升作用, 研究表明智能传感器在增强车辆动态响应能力与提升主动安全水平方面发挥了重要作用, 对未来智能汽车的高精度控制与系统集成具有一定的推动意义。

关键词

智能传感器; 车身控制; 汽车电子; 动态稳定

1 引言

汽车电子技术的快速发展推动了整车控制精度与智能化水平的不断提升, 车身控制系统作为整车主动安全与动态性能的重要保障, 越来越依赖于高精度、高响应的传感技术。智能传感器具备信息感知、数据处理与通信功能一体化的特点, 已逐步取代传统传感器, 成为车身控制系统的核心部件之一, 智能传感器的应用价值在自动驾驶、智能悬架、稳定控制等关键领域不断显现, 为实现复杂工况下的精准控制提供了关键技术支撑。

2 智能传感器技术基础

2.1 智能传感器的定义与结构组成

智能传感器是一种具备感知、信号调理、数据处理和通信功能的综合性器件, 不仅能采集外部物理量或化学量的信息, 还能完成一定程度的智能判断与控制功能, 其核心在于传感单元与嵌入式处理模块的深度集成。与传统传感器相比, 不仅在硬件结构上引入了微处理器、存储器和信号转换模块, 还在系统架构中加强了自校准、自诊断和自适应功能, 具备较强的环境适应性和数据准确性, 其典型结构包含感知层、信号调理层、数据处理单元以及通信接口层, 能实现从数据采集到实时输出的闭环控制^[1]。

2.2 智能传感器的数据处理与自适应能力

智能传感器的数据处理能力是其区别于传统传感器的重要特征, 在复杂车载环境下传感器不仅面临高频振动、温度变化、强电磁干扰等挑战, 还需对瞬时动态数据进行快速准确地分析与传输。智能传感器借助内置处理单元对原始信

【作者简介】周武(1982-), 男, 中国广东广州人, 本科, 工程师, 从事汽车电子电器研究。

号进行滤波、特征提取、线性化与校正等预处理操作，在输出数据前已完成一系列实时优化计算，有效提高了信息的有效性与时效性，智能传感器还具备一定的自学习与参数自调节能力，能根据长期运行数据对自身输出模型进行微调，进一步保持高精度输出。自适应能力的实现依赖于嵌入式算法与传感器内部模型的持续优化，使其在面对不同路况、不同载荷或异常工况时仍能维持稳定输出，这种智能处理能力直接支撑了如惯性导航、车身姿态估计与稳定控制等系统的实时性与稳定性，是构建高性能车身控制系统的关键技术支点。

2.3 汽车应用中常见智能传感器类型

车身控制系统中广泛使用的智能传感器种类多样，功能各异，根据应用场景可分为惯性类、位移类、力学类与环境感知类几大类。惯性类传感器如加速度计、陀螺仪、组合惯性测量单元（IMU）主要用于测量车辆在三维空间中的动态参数，如加速度、角速度与姿态角，是稳定性控制与侧翻预警系统中的核心部件^[2]。位移类传感器包含电子高度传感器和转角传感器，常用于主动悬架系统与四轮转向系统中，实现车身高度调节与轮胎导向角控制。力学类传感器如压力传感器、应变片用于监测悬架受力状态与制动力分配，保证车身响应的均衡性与安全性。以上传感器的综合使用不仅增强了车身控制系统的感知维度，也为后续章节关于姿态控制、侧倾抑制与传感器集成优化等内容奠定了技术基础。

3 智能传感器在车身控制关键系统中的应用

3.1 车身稳定控制系统中的惯性测量单元

车身稳定控制系统（Vehicle Stability Control, VSC）依赖高精度传感器实时感知车辆动态状态，以实现侧滑、转向过度或不足等异常工况的主动干预。惯性测量单元（Inertial Measurement Unit, IMU）作为该系统的核心感知设备，集成了三轴加速度计与三轴陀螺仪，能同步获取车辆的线性加速度与角速度信号，用于估算车身的姿态变化、横摆率与侧向运动趋势。IMU的数据在高动态驾驶状态下，可用于判断车辆是否偏离驾驶员预期路径，为电子稳定程序（ESP）等控制策略提供关键输入^[3]。当前高性能IMU产品不仅具备高采样率和低漂移特性，还具备容错与自校准能力，能在传感器信号短暂失真或干扰下维持系统的持续工作。为了实现更精确的车身状态测算，IMU常与轮速传感器、方向盘转角传感器进行数据融合，借助滤波算法提升系统稳定性。惯性测量单元作为车身控制感知链条中的首要节点，其输出质量直接影响整个系统响应的精准度，在智能传感器系统集成优化中具有关键地位。

3.2 主动悬架系统中的位移与加速度传感器

主动悬架系统的核心目标是动态调节车轮与车身之间的相对运动状态，以提升乘坐舒适性、控制稳定性和路面附着力，系统的精确控制高度依赖于对悬架位移、加速度以及

轮胎载荷变化的实时监测。电子位移传感器被用于测量悬架行程，捕捉车身与车桥之间的相对高度变化，反映路面起伏与车身动态响应；三轴加速度传感器则安装于车身关键部位，实时获取垂向、纵向与横向的加速度信号，识别车身的跳动、俯仰和侧倾趋势。再配合轮速信号与转向角数据，构成悬架控制的感知基础。数据在主控策略中经过滤波与融合处理后，被用于调整电磁减振器或气压单元响应参数，实现对悬架硬度与阻尼特性的主动调节。

3.3 侧翻抑制系统中的车身倾角传感器

车辆在高速转弯或紧急避障过程中面临侧翻风险，对车身侧向稳定性提出更高要求，车身倾角传感器是侧翻抑制系统中的关键感知元件，主要用于实时监测车身相对于地面的侧向倾斜角度，进一步判断是否处于潜在侧翻状态。此类传感器一般基于微机电系统（MEMS）陀螺仪与加速度计的组合结构，具备高精度、低延迟与强抗干扰性能。传感器通常安装在车身质心附近，输出信号用于动态调整制动系统、悬架刚度或主动防倾杆，一定程度上削弱车辆倾斜趋势^[4]。车身倾角信息在实际控制中常与横摆率、侧向加速度与轮胎载荷传感数据进行联合处理，形成多变量评估模型，为提高系统鲁棒性还可引入冗余倾角传感器构成容错机制，保证在单点失效条件下系统仍可安全运行。

4 智能传感器技术在车身控制中的集成与优化

4.1 基于传感器融合的车身状态实时建模

车身状态建模是车身控制系统设计与执行的核心基础，在高动态驾驶过程中，单一传感器通常难以提供完整、稳定的车身状态信息，所以引入多源智能传感器的数据融合技术成为关键手段，组合使用IMU、转向角传感器、轮速传感器与加速度计等，构建动态估计模型，可以实时获取车身横摆率、侧向速度与姿态角等状态变量，基于卡尔曼滤波算法的传感器融合模型在车身状态建模中具有广泛应用。融合算法利用系统模型与实时观测数据的联合估计，动态修正预测偏差并提升状态识别精度，该建模过程为车身姿态稳定控制、主动避障及自适应转向等系统提供连续、准确的状态反馈，是车身控制系统执行精度与响应速度的核心保障。

4.2 面向控制算法的传感数据优化处理

车身控制系统对传感器数据的实时性、准确性与抗干扰能力要求极高，而原始信号在采集、传输与转换过程中不可避免存在噪声、偏移与延迟，为保障控制算法的执行效果，需在传感器层面实现数据预处理与优化，包含多级滤波、非线性校正与模型预测补偿等^[5]。悬架控制或稳定性控制中，采集到的加速度信号常伴随高频振动与随机扰动，若直接用于控制器输入，将导致系统误触发或控制超调，常用的低通滤波器设计可借助差分方程实现：

$$Y(t) = \alpha \cdot x(t) + (1 - \alpha) \cdot y(t - 1).$$

其中， $x(t)$ 为当前时刻传感器输出， $Y(t)$ 为滤波后的信

号, α 为滤波系数, 取值越小表示滤除高频噪声能力越强但响应滞后越大, 在动态驾驶状态下部分系统还引入模型预测机制, 依靠建立输入—输出之间的系统响应模型对未来状态进行估算与修正。传感数据的优化不仅是信号处理层面的任务, 更是系统控制精度保障的前提条件, 与后续的传感器协同机制高度耦合。

4.3 车载通信网络中的传感器协同机制

随着车身控制系统的智能化发展, 车载网络中涉及的传感器数量与种类持续增加, 如何实现多传感器节点之间的高效协同与信息共享成为核心问题。控制器局域网络(CAN)在车身控制相关的通信架构中依然是主要传输媒介, 部分高带宽需求系统引入 CAN-FD 或以太网以满足大数据量传输需求, 在一项关于高端 SUV 车身控制系统的协同通信研究中, 对四通道主动悬架传感器与稳定控制系统之间的数据传输延迟进行了测试评估, 通信参数如下: 总线发送周期 10ms。测试过程中以传感器数据打包发送至控制器成功接收并完成解析为延迟测量标准。具体数据如表 1 所示:

表 1 传感器节点数据通信延迟测试结果 (单位: ms)

传感器类型	通信协议	平均延迟	峰值延迟
前轮位移传感器	CAN	2.1	4.7
后轮位移传感器	CAN	2	4.5
车身加速度传感器	CAN-FD	1.5	2.8
横摆率传感器	CAN-FD	1.3	2.5

表 1 的数据表明在 CAN-FD 能有效降低传感器的通讯延迟, 极大提升了控制系统响应效率与同步精度。传感器协同机制的建立不仅依赖硬件传输介质, 还包含数据时序管理、冗余设计与通信协议一致性, 为进一步提升系统稳定性, 还可引入多主控冗余架构, 在主节点失效时可切换到备用节

点, 维持传感数据的连续供应。

5 结语

智能传感器技术在车身控制系统中的应用表现出高度集成、高精度感知与快速响应等技术优势, 能实现对车辆姿态、悬架状态及侧向动态的精确监测与干预, 有效提升整车的动态性能与主动安全水平。惯性测量单元在稳定控制中可提供高频率姿态估计, 位移与加速度传感器为主动悬架系统提供动态调节依据, 车身倾角传感器为侧翻风险识别与控制策略激活提供关键输入, 多传感器融合算法实现了车身状态的高精度建模与预测, 滤波与数据校正优化提升了控制算法的执行稳定性, 车载通信网络支持了大规模传感节点间的低延迟协同与数据一致性保障。面向复杂动态场景与高阶控制需求, 智能传感器的系统集成能力与算法耦合能力构成了车身控制技术持续演进的核心驱动要素。

参考文献

[1] 曹敏. 智能传感器在无人驾驶汽车中的应用[J]. 汽车测试报告, 2024, (24): 29-31.

[2] 张勇, 李苏轶, 汪洋青. 汽车底盘传感器在动态稳定控制系统中的应用研究[J]. 汽车维修技师, 2024, (14): 48.

[3] 茅卫东. 面向轻量化全铝框架高精度车身智能制造的低热高可靠性焊接关键技术. 安徽省, 奇瑞新能源汽车股份有限公司, 2023-05-17.

[4] 林栋, 孙文广. 视觉引导在白车身焊装中的应用实践[C]//中国汽车工程学会 (China Society of Automotive Engineers). 2020 中国汽车工程学会年会论文集 (5). 中国第一汽车集团有限公司红旗工厂技术部, 2020: 590-596.

[5] 李佳佳, 俞兴伟, 洪挺. 适用于电动汽车充放电功能的虚拟同步机技术的研究[J]. 电测与仪表, 2021, 58(12): 39-48.

Research on the application of multi-sensor fusion technology in metal structure health monitoring of power station

Jieming Zhao Zhishan Tang Jian Shen

Huadian Electric Power Research Institute Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310030, China

Abstract

This paper proposes a monitoring scheme for the health of power station metal structures based on multi-sensor fusion technology. The paper establishes an efficient monitoring system by integrating sensor data acquisition, feature analysis, and fusion algorithms. In the system design, sensor network topology, data preprocessing, feature extraction, and multi-level fusion models are combined to achieve accurate identification of metal structure damage. Experimental results verify the high precision and robustness of the fusion algorithm under different damage scenarios, demonstrating that this method can effectively enhance the efficiency of health monitoring for power station metal structures. This research provides new ideas for intelligent monitoring of power equipment and has significant practical application value.

Keywords

multi-sensor fusion; power station health monitoring; data fusion algorithm; structural damage detection

多传感器融合技术在电站金属结构健康监测中的应用研究

赵杰明 唐志山 申健

华电电力科学研究院有限公司, 中国·浙江 杭州 310030

摘要

本文对电站金属结构的健康监测问题提出了基于多传感器融合技术的监测方案。本文结合传感器数据采集、特征分析与融合算法建立了一套高效的监测系统。系统设计中结合了传感器网络拓扑、数据预处理、特征提取和多层级融合模型来实现了金属结构损伤的准确识别。实验结果验证了融合算法在不同损伤场景下的高精度与鲁棒性,表明该方法能有效提升电站金属结构的健康监测效率。该研究为电力设备的智能监控提供了新思路,具有较高的实际应用价值。

关键词

多传感器融合; 电站健康监测; 数据融合算法; 结构损伤检测

1 引言

电站金属结构的健康状况直接关系到电力系统的安全性和稳定性,传统的监测方法往往存在局限性,难以实时和准确地反映结构的整体状态。智能化技术的快速发展让传感器融合技术在电站设备监测中的应用逐渐成为提升监测效率和精度的有效手段。集成多种传感器的实时数据可结合先进的融合算法来实现对金属结构的全方位监测,为电站的预防性维护提供科学依据和提升电力设备的运行安全性。

2 多传感器融合技术理论基础

2.1 传感器数据采集原理

传感器数据采集是多传感器融合技术的基础,涉及到对电站金属结构的各种物理量的实时监测。传感器通过感知

目标对象的变化,将其转换为电信号或数字信号输出。常见的传感器如应变片、加速度计、位移传感器等,各自根据不同的物理量原理工作,如应变片通过电阻变化反映应变变化,加速度计通过电容或电压变化反映振动加速度。这些传感器在工作过程中需要精确的信号采集和数据转换,保证数据的准确性和稳定性^[1]。为确保高效的数据采集,通常需要将多个传感器布置在金属结构的不同位置,以覆盖可能出现的局部损伤或应力集中区域。每个传感器的信号输出经过放大、滤波、模数转换等处理后,形成统一格式的数据供后续处理使用。传感器的选型和布置需要考虑电站的具体需求,保障采集的全面性与高效性。

2.2 多源异构数据特征

来自不同类型传感器的数据在电站金属结构健康监测中常常具有异构性,这些多源异构数据反映了结构健康状态的不同维度。不同传感器测得的信号数据格式不同与采集精度、噪声干扰和响应时间也有所差异^[2]。温度传感器和应变传感器的数据量纲差异较大,前者通常是温度的数值变化而

【作者简介】赵杰明(1981-),男,中国浙江慈溪人,本科,高级工程师,从事特种设备安全研究。

后者则是应力或应变的变化；加速度传感器和位移传感器可能在采样频率上也存在显著差异。其为处理这些异构数据需对每个数据源的特征进行深入分析来提取出有意义的特征信息。数据中的噪声和异常值需要进行滤波和修正以提高数据的质量。通过对多源数据的特征分析可以获得电站金属结构健康状态的精确表征，为后续的融合提供可靠的数据支持。

3 电站健康监测系统技术应用

3.1 传感器网络拓扑设计

传感器网络拓扑设计需要考虑到电站的具体结构和监测点的位置以及数据传输的稳定性。传感器网络拓扑可以分为星型、树型和网状等多种形式。具体的拓扑设计需要结合电站设备的布置和数据传输的需求以及实时性要求来选择^[3]。星型拓扑能实现高效的监测和数据收集，确保各传感器节点直接与中心节点进行通信减少数据传输时的延迟。假设电站的传感器数量为 N ，每个传感器的采样频率为 f_s ，传输距离为 d ，可以通过以下公式计算网络的传输带宽需求：

$$B = N \cdot f_s \cdot d$$

其中， B 表示所需的带宽，单位为 Mbps； N 表示传感器数量； f_s 为采样频率，单位为 Hz； d 为传输距离，单位为 m。假设电站有 100 个传感器，每个传感器的采样频率为 10 Hz，传输距离为 100 米，则 $B = 100,000 \text{ Mbps}$ 。此公式的计算结果表明，电站监测系统的带宽需求达到 100,000 Mbps，因此需要选择适合带宽的网络架构和传输设备，图 1 描述传感器如何布置在电站中的不同位置。

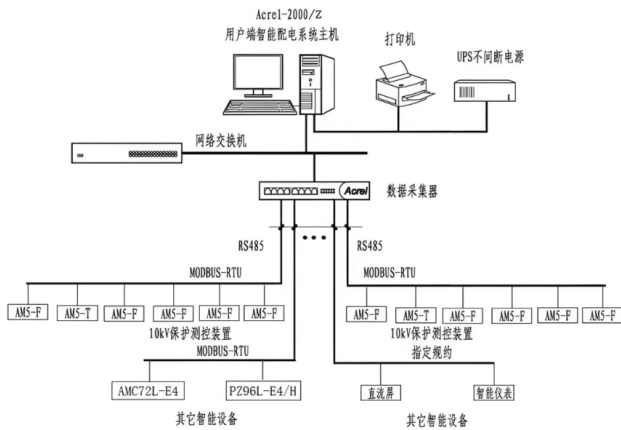


图 1 电站传感器网络拓扑示意图

3.2 数据预处理与特征提取

电站健康监测系统收集的大量数据需要进行预处理来提取有效的特征数据并进行后续的分析。数据预处理的主要步骤包括去噪、数据归一化和缺失值处理等。其对传感器采集的数据进行去噪处理，使用滤波算法如低通滤波器或卡尔曼滤波器来去除高频噪声。对数据进行归一化处理将各特征

值转换到相同的范围内，通常是 $[0, 1]$ 或 $[-1, 1]$ ，以便于后续分析^[4]。特征提取用于从原始数据中提取出有价值的信息，常见的特征提取方法包括主成分分析和傅里叶变换。电站健康监测中可以使用时域或频域特征来评估设备的运行状态。使用傅里叶变换提取设备振动信号的频谱特征，或者通过计算设备的均值、标准差和峰值等时域特征来评估设备的健康状况。表 1 展示了一个传感器的原始数据、去噪后数据和归一化后的数据。去噪后数据相较于原始数据有明显的平滑效果，这有助于去除不必要的噪音。归一化数据将传感器数据转换到 $[0, 1]$ 范围内，方便后续特征分析。通过这种处理方式，可以确保后续特征提取的准确性和有效性。

表 1 电站传感器数据预处理结果

时间	原始数据	去噪后数据	归一化数据
1s	3.6	3.5	0.85
2s	3.8	3.7	0.92
3s	4	3.9	1
4s	3.9	3.8	0.95
5s	4.1	4	1.05

3.3 多层级融合模型构建

多层级融合模型使用集成多个传感器的数据来提升系统的整体预测精度。数据融合技术在电站健康监测系统可以将来自不同传感器的数据进行综合处理来更准确地评估设备健康状况。融合模型可以分为数据级融合、特征级融合和决策级融合几个层级。数据级融合是指直接将来自多个传感器的原始数据进行融合^[5]。特征级融合则是在数据预处理和特征提取的基础上，将多个传感器的特征数据结合起来形成一个新的特征向量。决策级融合是指在多个传感器分别做出决策后进行合成和最终决策的过程。多层级融合模型中使用加权平均法或 Kalman 滤波器进行数据融合。设 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 为来自不同传感器的数据，融合后的数据 x_f 可以使用以下加权平均公式计算：

$$x_f = \frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

其中， w_i 表示第 i 个传感器数据的权重， x_i 为第 i 个传感器的数据。权重可以根据传感器的可靠性或者传感器的距离等因素进行设定。假设有 3 个传感器，其数据为 $x_1 = 3.5$ ， $x_2 = 3.7$ ， $x_3 = 4.0$ ，对应的权重为 $w_1 = 0.2$ ， $w_2 = 0.3$ ， $w_3 = 0.5$ ，则融合后的数据为 $x_f = 3.81$ ，融合后的数据 $x_f = 3.81$ 更加准确地反映了电站设备的健康状态。

4 实验验证与结果分析

4.1 实验平台搭建与参数设置

为了验证多传感器融合技术在电站金属结构健康监测中的应用效果，首先在某大型水电站的金属结构部件上搭建了实验平台。选取了电站中关键的金属结构部件，包括主

支撑梁、传动轴和结构接头等，安装了多种类型的传感器。包括振动传感器、应变传感器、温度传感器和腐蚀传感器，传感器布置依传感器网络拓扑设计，确保了能够对金属结构进行全方位的监测。实验中，各传感器的采样频率设置为100Hz，以确保能够捕捉到足够的监测数据，采样周期为30天，确保数据的充分性与可靠性。在实验平台的参数设置方面，为了满足不同传感器的要求，振动传感器的测量范围设置为 $\pm 10\text{m/s}^2$ ，应变传感器的测量范围为 $\pm 1000\mu\epsilon$ ，温度传感器的测量范围为 -40°C 至 125°C ，腐蚀传感器则根据金属表面腐蚀电位变化进行监测。通过这些传感器的联合工作，系统能够准确采集金属结构在不同工况下的多维度数据，提供充分的依据进行后续分析与验证。

4.2 典型金属结构损伤场景测试

实验过程中模拟了金属结构常见的几种损伤场景来评估多传感器融合技术在不同类型损伤下的识别能力。疲劳裂纹扩展测试中利用振动传感器和应变传感器的数据，监测结构部件的应力变化和振动频率的变化。对比与裂纹扩展的实际进展进行，可知当裂纹开始出现时的振动传感器和应变传感器的信号变化趋势呈现明显的波动，且波动幅度随着裂纹的扩展逐渐增大。腐蚀损伤的测试则使用腐蚀传感器的电位变化来监测金属表面腐蚀的过程，结果显示电位值的变化与腐蚀深度跟着腐蚀的进行呈现一定的相关性。振动异常测试中通过对比损伤前后的振动数据，成功识别出了设备出现的异常振动，这表明传感器能够有效捕捉到因损伤引起的振动变化。数据预处理与特征提取方法能结合数据归一化和特征融合来有效提升了损伤识别的准确性和确保了实验测试的高效性与可靠性。

4.3 融合算法性能对比分析

实验为了评估不同融合算法在电站金属结构健康监测中的性能选择了加权平均法、卡尔曼滤波法和证据理论的融合算法进行对比。实验过程中进行对比这些算法在损伤识别准确率、误报率和计算效率等方面的表现，表明卡尔曼滤波法在处理动态变化的损伤场景时能够提供较高的准确率且误报率较低。卡尔曼滤波法在振动和应变信号变化较大的情况下能够有效滤除噪声和保持较高的识别精度。证据理论则在处理多源异构数据时表现出较强的优势能够有效融合不同传感器的数据和提高损伤识别的可靠性。在腐蚀监测中，由于传感器数据的不一致性，证据理论能够将来自不同传感

器的信息进行加权，避免了单一传感器可能出现的误差，显著提高了系统的稳定性和鲁棒性。加权平均法则在处理静态损伤情况下表现较为稳定，适用于较为简单的环境和设备。通过对比分析，这些结果验证了构建的多层级融合模型的有效性，表明该模型能够根据不同的损伤场景和数据特点灵活选择合适的融合算法，从而实现对电站金属结构健康状态的精确监测与评估。表2展示了不同损伤场景中传感器数据的变化幅度，以及相应的损伤识别准确率、误报率和计算效率。可以看出，在疲劳裂纹扩展和振动异常的测试中，损伤识别准确率较高，误报率较低，表明多传感器融合技术在这些场景中的有效性。

表 2 典型金属结构损伤测试结果

测试类型	传感器数据 变化幅度	损伤识别 准确率	误报率	计算效率 (秒/次)
疲劳裂纹扩展	0.5-1.2 m/s ²	98%	2%	0.5
局部腐蚀	0.2-0.8 V	95%	1%	0.3
振动异常	1.5-3.0 m/s ²	97%	3%	0.4

5 结论

电站金属结构的健康监测系统进行多传感器融合技术的应用实现了对结构健康状态的精准监测。传感器网络的合理布置、数据的有效预处理及特征提取以及多层级融合模型的构建均为提升监测精度和鲁棒性提供了有力支撑。实验验证表明，融合算法能有效提高故障诊断的准确性和实时性和确保电站结构在复杂工况下的安全稳定运行，为电站的预防性维护与决策提供了科学依据。

参考文献

[1] 肖驰.多传感器融合技术在无人驾驶汽车中的应用研究[J].汽车维修与保养,2025(03):104-107.

[2] 张晓婷.多传感器融合技术在智能交通系统中的应用[J].高科技与产业化,2024,30(12):70-72.

[3] 施忠芬,陈红艳,张怀辉,田素琼,田素梅.多传感器融合技术在食品加工控制系统中的应用研究[J].粮油与饲料科技,2024(10):195-197.

[4] 史飞飞.多传感器融合技术在消防机器人中的应用研究[J].消防界(电子版),2024,10(17):53-55.

[5] 王清波.多传感器融合技术在食品加工控制系统中的应用[J].现代食品,2024,30(12):86-88.

Research on the collaborative application of automation control and energy storage technology in smart grid

Weiwei Yue

Hebei Fengmei Coke Chemical Co., Ltd., Handan, Hebei, 056200, China

Abstract

The modern power system is undergoing a profound transformation, shifting from traditional unidirectional energy supply models to intelligent forms. The economic efficiency, reliability, safety, and flexibility of grid operations face higher demands and challenges under this transformation. The dynamic characteristics of power supply and demand have changed due to the continuous increase in renewable energy penetration. The rapidly changing energy supply and demand environment has made traditional regulation methods inadequate. Intelligent sensing technologies, information communication technologies, data analysis, and decision-making technologies, which serve as the central nervous system of smart grids, maintain system stability through real-time perception and dynamic response. Energy storage devices, represented by lithium-ion batteries, act as energy buffers, endowing the grid with time-varying regulation capabilities. The collaborative innovation of these two types of technologies can effectively overcome the limitations of individual technologies, forming a composite solution of “dynamic control + flexible regulation.”

Keywords

smart grid; automatic control; energy storage technology; collaborative application

智能电网中自动化控制与储能技术的协同应用研究

岳伟伟

河北峰煤焦化有限公司，中国·河北 邯郸 056200

摘要

现代电力系统正在经历深度转型，从传统单向供能模式向着智能化形态转变，电网运行的经济性、可靠性、安全性、灵活性，在这样的变革下面临更高的要求和挑战。电力供需的动态特性因可再生能源渗透率持续增加而改变，快速变化的能源供需环境已让传统调节手段难以适应。作为智能电网中枢神经系统存在的智能化传感技术、信息通信技术、数据分析与决策技术等自动化控制技术，凭借实时感知与动态响应来维持系统的稳定；而以锂离子电池为代表的储能装置充当着能量缓冲池的角色，为电网赋予时空调节能力。两类技术的协同创新能有效突破单一技术瓶颈，形成“动态控制+柔性调节”的复合解决方案。

关键词

智能电网；自动化控制；储能技术；协同应用

1 引言

在风电、光伏这类波动性能源占比不断扩大的背景下，电网运行面临新能源发电的不确定性、不同类型电源协调调控困难、负荷侧特性变化、电网结构与设备老化等新型挑战，传统控制策略应对复杂工况时的局限性逐渐显现出来。储能技术的突破性发展为系统调节开辟出了新的技术路径，但是独立运行的储能单元还无法将自身技术潜能彻底释放。自动化控制和储能技术的深度融合为解决上述问题开拓了新方向，二者协同作用能够形成“动态感知-智能决策-精准执行”的闭环控制体系。通过控制策略与储能调度有机联动形

成的协同应用模式，实现了电力供需双侧的协同优化，给构建智能电网提供了全新的思路。本文聚焦于两类技术的协同机制以及技术路径上，探索其联合应用对提升电网安全性与经济性的具体作用。

2 智能电网自动化控制与储能技术概述

2.1 自动化控制在智能电网中的作用

智能电网就是电网的智能化，也被称为“电网 2.0”，是建立在集成化、高速双向通信网络的基础上，通过智能电表、相量检测单元等先进的传感和测量技术，以及光纤通讯技术、5G、Wi-Fi、ZigBee 等先进的信息通信技术，通过优化调度算法协调发电、输电、配电等环节协调控制分布式电源和煤电电源协调运行，辅以大数据、AI 等先进的决策支持系统技术的应用，实现电网的可靠、安全、经济、高效、

【作者简介】岳伟伟（1983-），男，中国河北邯郸人，硕士，工程师，从事机电管理及自动化应用研究。

环境友好和使用安全的目标,其主要特征包括自愈、激励和保护用户、抵御攻击、提供满足用户需求的电能质量、容许各种不同发电形式的接入、启动电力市场以及资产的优化高效运行。智能电网自动化控制系统作为电力网络的中枢神经,其核心价值在于构建具备动态响应能力的能源调配体系,通过多层级信息交互平台实时感知电力负荷波动与环境参数变化。在电力传输环节,该系统依托先进量测装置与边缘计算节点,持续捕获线路温度、电压相位及频率偏移等关键指标,结合深度学习算法对海量运行数据进行特征提取与模式识别,从而动态调整继电保护阈值与无功补偿策略。在故障处理层面,系统集成知识图谱技术构建设备健康度评估模型,通过时序数据挖掘提前识别潜在风险点,当检测到绝缘老化或接触不良等隐患时,自动触发预防性维护指令并优化检修资源配置路径^[1]。

2.2 储能技术在智能电网中的应用现状

智能电网中储能技术的应用呈现出多维度发展趋势,各类储能系统正逐步嵌入发输配用各环节形成互补支撑网络。锂离子电池凭借高能量密度、循环寿命长、自放电率低、快速响应等特性在调频辅助服务领域占据主导地位,铅酸电池技术成熟、成本较低、安全性高在偏远山区应用广泛,液流电池和压缩空气储能则依托长时储能优势开始参与电网调峰与容量备用,氢储能作为新兴技术路线在跨季节能量存储方向展现出独特潜力。现有储能装置多采用模块化设计理念与电力电子变换设备深度耦合,其运行模式从早期孤岛式部署转向与能量管理系统、数据采集监控系统形成双向通信架构。不同技术路线在系统集成度、循环寿命等参数维度存在显著差异,导致实际工程应用中需结合区域电网负荷特性与电源结构进行定制化配置。地理气候条件与电网拓扑特征正成为影响储能选型的重要因素,高比例新能源渗透区域更倾向于部署具备毫秒级功率调节能力的分布式储能单元,传统电力枢纽节点则侧重配置大容量集中式储能系统以提升断面输电能力。

3 自动化控制与储能技术的协同应用机制

3.1 协同应用的必要性与优势

智能电网中自动化控制系统与储能装置的协同运作构筑了能源供需双向调节的动态平衡机制,在应对可再生能源间歇性波动与负荷峰谷差持续扩大的双重挑战时,二者形成互补性技术耦合。当光伏能源因云层遮挡、或风速突变造成输出功率、质量大幅变化时,控制中枢依据毫秒级预测数据同步调整储能充放电策略,既避免传统机组频繁动作造成的机械损耗,又维持母线电压稳定在安全阈值区间。针对配电网末端电压越限问题,储能单元在自动化指令驱动下释放预设容量的无功功率,这种就地补偿方式较之远程调度主变分接头更具时效性与经济性。在需求侧响应场景中,控制算法结合储能荷电状态动态优化负荷投切序列,在电网负荷较

低、新能源发电量较大时,让充电桩等设备多充电;在电网负荷高峰、变压器容易过载时,将部分空调的运行时间适当推迟或提前,减少此时的用电功率,避免在同一时间有过多高功率设备运行,以缓解变压器过载风险,同时让更多的新能源电力并入电网并被有效利用,减少弃风、弃光等现象。

3.2 协同应用的系统架构与技术框架

智能电网协同应用架构采用分层控制结构构建多级决策体系,其中区域级控制层依托状态估计与拓扑分析生成全局优化指令,本地控制单元则根据设备运行状态执行动态调整。设备接口标准化设计使得储能变流器能够无缝接入自动化控制网络,基于统一通信协议实现控制指令与设备反馈的双向高速传输。核心算法模块整合负荷预测模型与新能源出力特性,建立涵盖分钟级至小时级的协调优化机制,采用滚动优化策略平衡实时调节精度与系统运行经济性。边缘计算节点部署在关键枢纽位置,结合设备物理特性建立自适应控制模型,在维持电压频率稳定的同时降低通信网络传输延迟。安全防护机制深度嵌入系统架构各层级,针对控制指令与能量流建立多重校验机制,确保协同运行过程满足电力系统安全约束。

3.3 协同应用的关键技术与方法

技术围绕多时间尺度能量管理构建动态调节体系,基于负荷波动特性和新能源出力规律建立多时间尺度协调控制模型,在秒级响应层部署动态阈值调节机制应对电压骤降等突发工况,分钟级优化层采用模型预测控制同步更新储能充放电计划与自动化控制参数。数据驱动技术融合电网运行信息与储能设备状态数据,设计具有容错能力的联合控制算法,利用数据同化技术修正控制指令与设备物理响应之间的偏差。安全约束优化算法嵌入控制逻辑核心层,将设备运行边界条件转化为不等式约束矩阵,在求解最优控制策略时同步满足设备寿命管理与电网安全运行双重要求。电力电子接口拓扑优化设计提升储能系统与控制指令的耦合效率,采用虚拟同步控制技术使储能单元具备主动支撑电网惯量的能力。异构通信协议转换模块消除自动化控制系统与储能装置间的信息交互壁垒,基于事件驱动的通信机制降低冗余数据传输造成的系统延迟。数字孪生模型实时映射物理系统运行状态,为协同控制提供高精度仿真环境,结合设备健康状态评估结果动态调整控制参数阈值,嵌入自适应学习机制使控制系统能够识别新型运行场景下的最优响应模式^[2]。

4 自动化控制与储能技术协同应用的优化策略

4.1 优化系统设计

系统架构师采用模块化架构设计理念构建可扩展的硬件平台,允许不同厂商的储能装置与自动化控制设备按标准化接口接入系统。设计人员制定统一通信协议规范,将电力系统专用规约与物联网通信协议进行深度适配,使得调度指令与设备状态信息能在广域时间同步框架内实现精准交互。

控制算法开发团队基于多源数据融合技术建立复合控制模型，将传统比例积分微分调节与人工智能预测算法有机结合，在维持系统稳定性的同时提升动态响应速度。电气工程师优化电力电子变流器拓扑结构，设计具备双向功率调节能力的通用接口模块，使储能系统既能平滑处理新能源波动又可参与电网调频服务。网络安全专家在设备层部署轻量化加密认证机制，为控制指令传输建立端到端防护通道，同时开发具备自学习能力的异常流量检测模块，实时阻断潜在的网络攻击行为。运维管理人员引入数字孪生技术构建三维可视化平台，将物理设备的实时运行参数映射为虚拟模型，结合历史运维数据训练设备健康度评估算法，为系统升级改造提供决策依据。

4.2 增强数据管理与分析

数据工程师设计多源异构数据采集框架，将电网量测装置、储能电池管理系统与自动化控制终端产生的结构化与非结构化数据进行时空对齐，建立具备毫秒级时间戳精度的数据湖底座。系统架构师开发轻量化数据中间件，完成不同厂商设备间 Modbus、IEC 61850 等异构通信协议的格式转换与语义解析，消除跨系统数据交互时的语义鸿沟。算法团队研发混合式数据清洗引擎，融合规则引擎与自监督学习模型，针对 SCADA 系统采集的电压电流波形数据与储能系统运行日志进行特征级噪声过滤。云计算专家构建分层式流数据处理架构，在边缘侧部署轻量级实时计算节点执行数据降维与特征提取，云端则运行分布式时序数据库支撑历史数据关联分析。机器学习工程师开发具有在线学习能力的负荷模

式识别模型，利用长短期记忆网络捕捉用户用电行为与储能充放电状态的动态耦合关系。安全团队设计数据溯源追踪机制，为每个数据单元附加包含采集设备、传输路径与处理节点的全生命周期元数据标签，构建细粒度数据溯源链条。跨学科团队联合开发数据 - 知识双驱动决策模型，将设备机理模型输出的物理约束条件与数据挖掘发现的隐式规律进行融合推理，形成具备可解释性的控制策略生成机制。

4.3 加强系统集成与测试

开发团队在设计阶段需构建标准化通信接口与统一数据模型，使得自动化控制模块与储能设备间能无缝解析功率指令与状态反馈信息。测试人员搭建多物理场耦合仿真平台，模拟台风天气下输配电线路舞动与储能系统热失控耦合工况，验证保护逻辑链的响应鲁棒性。运维团队针对储能变流器与继电保护装置的时间同步偏差问题，建立包含电磁暂态过程的全闭环测试用例库，重点考察控制指令在跨厂商设备间的传输一致性。技术人员开发基于数字孪生的在线诊断工具，当主站系统下发拓扑重构指令时，同步比对虚拟模型与实际场站的设备动作序列差异。制造商需在出厂前完成储能单元与控制柜的背靠背联调测试，特别是验证极端低电压穿越过程中功率模块与散热系统的协同稳定性。工程实施方应组织跨专业团队开展多轮次现场压力测试，重点攻克新能源场站集体脱网时储能系统支撑频率恢复的时序匹配难题，这类实操演练往往比理论计算更能暴露系统集成的深层矛盾^[3,4]。具体如图 1 所示：

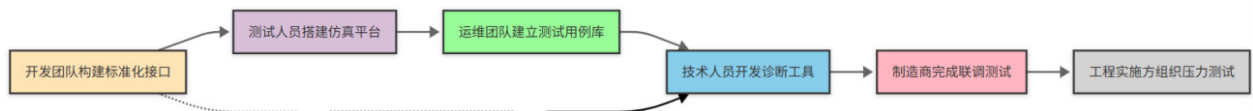


图 1 智能电网系统集成测试分层架构图

5 结语

智能电网在持续发展进程中对技术创新有着从单一突破转变为系统整合的要求，在此情形下，自动化控制与储能技术协同应用所展现出的技术优势颇为显著。文章表明，将这两类技术进行深度融合能够构建起具备多维度特性的电网调控体系，如此不但可提升新能源的消纳能力，还能增强电网抗扰动的性能。就未来发展而言，建议未来着重突破异构设备协同控制、多时间尺度能量管理等关键技术瓶颈，并建立起标准化的协同运行框架。

参考文献

- [1] 闻娜,刘成伟,张晓阳,等. 智能电网中自动化控制与储能技术的协同应用研究 [J]. 储能科学与技术, 2025, 14 (01): 219-221.
- [2] 郑一昂,刘吉川,崔明思,等. 论电网储能自动化控制对智能电网的贡献 [J]. 黑龙江电力, 2019, 41 (03): 214-219.
- [3] 王钰. 智能电网中调度自动化控制系统的设计与应用 [J]. 电子技术与软件工程, 2016, (04): 145.
- [4] 杨新. 智能电网自动化控制安全防护系统. 四川省, 成都卫士通信信息产业股份有限公司, 2005-08-03.

Comprehensive control technology for improving loading efficiency of exported coke

Jinsheng Dou

Zhangxuan Technology Hydrogen Metallurgy Company, Xuanhua, Hebei, 075100, China

Abstract

After the change of the company's production and sales model, a detailed study was conducted on the factors that restrict the quality and efficiency of coke export loading. Technical measures were formulated to improve standardized loading operations, refine loading operation methods, and invent a locking wrench for the small door of railway open car carriages to enhance the efficiency of repairing damaged car doors; Improve the display function of the material level in the silo on the upper computer; The upgrading and renovation of the 12 line silo system, dust removal system, tractor equipment, and the discharge gate equipment for the 12 line and 40 line silos in the coke field have achieved a dual improvement in the efficiency and quality of coke export loading.

Keywords

constraints; Operation; Technical measures; Improve; Upgrading and renovation; Double promotion

外销焦炭提高装车效率综合控制技术

窦金生

张宣科技球团公司, 中国·河北 宣化 075100

摘 要

公司产销模式改变后, 详细研究制约焦炭外销装车质量和装车效率的因素, 制定完善装车标准化操作、完善装车操作方法、发明一种铁路敞车车厢小门锁闭扳手提高维修破损车皮车门效率的技术措施; 完善料仓料位在上位机的显示功能; 对焦场12线料仓系统、除尘系统、牵引车设备、焦场12线、40线料仓下料闸门设备升级改造, 实现焦炭外销装车效率和装车质量的双提升。

关键词

制约; 操作; 技术措施; 完善; 升级改造; 双提升

1 装车标准化操作

由于岗位操作工以前未从事过装焦工作, 初次接触装焦新岗位, 对此工作不熟悉, 操作下料闸放料装车量不稳定, 有的车皮装焦量少达不到装车最低量标准, 有的车皮装焦量过多运输过程撒料, 影响焦炭的运输外发销售, 为了解决装车量不稳定的问题, 确保外发火运焦炭装车工作正常, 装载量符合标准, 通过现场实际调研和实际操作, 制定完善焦炭装车标准化操作:

装车作业标准:

①焦化40线每勾兑车5车, 焦场12线每勾兑车7车。

②焦化40线每勾车装车不超过60分钟, 焦场12线每勾车装车不超过90分钟(车门封堵不在装车线)。

③每勾车检查、封堵、打胶用时不能超过50分钟。

④每勾车平车、清理车皮残留物用时不能超过50分钟。

⑤每车装载量以料面下翻车帮梁50mm为准,(火运60及70车型装载量标准为核定载重量的60%)不足或超量要及时采取措施补装或倒装。

⑥焦化40线根据料位情况, 在掏重兑空间隙, 合理安排汽运拉装小焦和焦粉, 不能因为拉运不及时影响焦化生产。

⑦各装车单位, 必须全面准确记录各类工作信息, 形成真实、合理闭环信息链。

⑧完不成当班装车任务, 作业区组织分析, 并出分析报告。

2 引进先进操作方法

最初开始放焦装车时, 岗位操作工没有经验, 打开焦仓下料闸车皮不停, 从头部装到尾部, 反复几次将车皮装满, 此种方法耗费时间长, 放满7辆车皮时间为2小时左右。因此装车操作方法必须完善、改进和提高, 才能提高焦炭装车效率。岗位操作人员通过现场实际操作和摸索, 完善了装车操作方法:

【作者简介】窦金生(1984-), 男, 内蒙古, 本科, 高级工程师, 从事机械研究。

①首先车底进行平铺约1.5米至2米。

②之后用分堆法进行放料，从头部开始一堆挨着一堆放料，放料过程中车皮停止，放满一堆移动火车皮，移动至下一堆的位置停车进行放料，每辆车皮放5堆至7堆就能放满料。

③并且可同时2至3个料仓同时开启下料闸进行放料装车。^[1]

3 一种铁路敞车车厢小门锁闭扳手在维修车门中的应用

装焦炭的敞车车厢状况参差不齐，经常遇到车门变形，无法关闭严密，变形小的可以打密封胶，变形大的需要检修人员进行维修，维修过程中涉及开、关车门，原来需要两人配合关闭敞车车厢小门，过程中使用铁锤、撬棍等工具，关闭小门过程中费时、费力，且不安全，为了减少人力，提高劳效，保证人身安全，发明了一种铁路敞车车厢小门锁闭扳手（附图1），用于维修车门时使用。

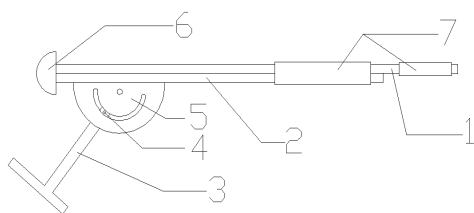


图1 一种铁路敞车车厢小门锁闭扳手

1、主杆 2、副杆 3、小钩 4、限位销子 5、固定盘 6、顶盘 7、防滑套

一种铁路敞车车厢小门锁闭扳手，包括主杆、副杆、小钩、限位销子、固定盘、顶盘、防滑套；主杆与副杆固定连接；主杆与副杆一头对齐，与半球形顶盘固定连接；固定盘为两块带滑道的半圆形钢板，与副杆固定连接；小钩的一头与固定盘通过螺栓铰接连接；用于限制小钩旋转定位的限位销子与小钩固定连接并限位在固定盘的滑道中运行；用于保护作业人员的肩部及手部的防滑套包裹在主杆和副杆上。此铁路敞车车厢小门锁闭扳手结构简单，使用方便，只需一个人就能轻松关闭敞车车厢小门，减少了工人劳力，提高劳效，并且保证人身安全，减少破损车门维修的时间，提高焦炭装车外发效率。

4 料仓料位实现在上位机显示功能

12线焦炭、40线焦炭料仓归属焦化操作室灌料，料仓料位情况只有焦化操作室人员能看到，12线、40线岗位装车人员不清楚料仓料位情况，在装车之前首先必须先与焦化操作室联系询问才能知道是否具备装车条件，尤其40线一个焦仓，在装车过程中，因料仓较小，每个仓仅能装180t焦炭，按一勾5个火车计算，一个火车皮大约能装40吨，

5个火车皮就是200t，一仓焦炭一列火车都装不满，中间还得等料。另外，在放料过程中，料仓料位还不能完全的放空，还得留至少2米的料位，一旦拉空，再灌料料仓就会出现膨胀现象，岗位还得进行捅仓处理，影响装车效率。

针对料仓灌料存在的问题，为降低中间联系环节，节省装车时间，焦场12线、40线将焦仓料位画面移入岗位操作室。12线焦炭控制系统硬件改造：利用三炉干法除尘拆除的旧机柜，制作焦仓料位的控制柜，重新安装模块、布线、配柜子；40线采取将焦化料仓料位系统进行串引自动改造，通过重新铺设PLC网线，重做料位监控系统，将焦化料仓料位画面移入岗位操作室。软件系统：12线利用ABB freelance_2019编程软件^[1]；40线利用西门子STEP7 V5.6及WICC7.5编程软件，最终实现岗位操作工随时观察焦仓料位情况，指导放料装车。^[2]

5 设备利旧改造

5.1 焦场12线料仓系统和灌仓成运系统优化

焦场12线料仓是原5号、6号、7号高炉烧结、球团两种原料料仓，共8个料仓，为了实现给8个料仓灌焦炭，在8个料仓与原4号高炉焦9皮带之间新建一条皮带，连接焦9皮带与8个料仓上方皮带，实现焦化厂焦炭经皮带运输至8个料仓上方皮带进行灌仓。同时对8个料仓下料口进行改造，拆除原有下料闸门，安装液压推杆下料闸门^[2]，实现现场操作灵活可靠，可满足焦炭装车要求。

5.2 除尘系统改造

焦场12线8个料仓原除尘是四炉槽下除尘器所属支管，四炉停炉后槽下除尘器停用拆除，造成焦场12线料仓系统无除尘。为了满足焦炭放料装车需求，利用现有C3除尘器主管路新建支管路引至焦炭12线旧除尘管路，实现除尘功能。在除尘口烟罩下方吊挂1.5米长皮带一周，减少车皮与烟罩口之间的距离，减少烟尘外溢，增加除尘吸收烟尘功能，给操作工操作下料闸装焦提供好的环境和方便观察车皮内焦炭料位，同时又能杜绝环保事件发生。

5.3 焦场12线牵引车设备升级改造代替绞车作为装车的主要设备

焦场12线原牵引车皮使用的设备为绞车，绞车牵引速度0.1m/s，装一列车皮（7节车厢）需1小时40分钟至2小时，影响公司整体的焦炭生产装车外销节奏。为了提高焦炭装车效率，针对现场实际情况进行分析论证，用于牵引车替代绞车拉兑火车皮能提高牵引速度。焦场12线8个焦仓，由于牵引距离较长，原牵引车拖缆较短无法满足覆盖8个焦仓装车位置，针对此问题，对牵引车设备进行改造升级。

首先对牵引车卷筒导轮直径进行加大，起初卷筒半径为0.9m，拖缆长度为120m，当拖缆加长后此卷筒无法满足卷绕拖缆的功能，必须对卷筒直径进行加大。岗位人员根据加长后的拖缆长度，计算出卷筒半径大小大于等于1.10m，

根据计算结果对卷筒直径方向进行加长改造,使卷筒半径增加到 1.15m,改造后卷筒能满足长托缆的卷绕。

原牵引托缆长为 120m,规格为: $6 \times 35\text{mm}^2 + 7 \times 4\text{mm}^2$ 。由于没有同规格的电缆,只能利用旧电缆,在原拖缆基础上增接长为 80m 电缆(规格: 6.35mm^2),另外附加两条长 80m(规格: $3 \times 4\text{mm}^2$)的细缆作为控制缆。电缆(附两条细缆)与原拖缆制作中间头连接,增加拖缆长度至 200m,

从而增加牵车行驶距离,使牵引车行程可以完全覆盖 8 个焦仓装车位置。为了实现远距离控制牵引车,方便岗位工对牵引车进行操作,在牵引车上安装收发器,配加遥控器,通过遥控器操作牵引车运行。牵引车替代绞车使用,速度提升至 0.24m/s。^[3]

5.4 料仓下料闸门改造减少设备事故率

焦场 12 线、40 线焦仓下料闸门采用的是电液推杆驱动控制,在使用过程中,因频繁开合作业,电液推杆与闸门连接点经常出现变形,开焊,甚至断裂分开,造成装焦工作停止,影响装焦效率,制约焦炭装车效率。为了减少单电液推杆闸门发生故障率,对下料闸门进行改造^[3],在下料闸门开闭合方向两侧,即原下料闸门相对的另一侧加装一套电液推杆,使下料闸门实现双驱动控制,当一侧出现故障立刻启用备用侧,确保对装焦工作造成零影响。^[4]

下闸门开关频繁,磨损十分严重,经常需要补焊修补,但在补焊修补时,需要将闸门打开,便于作业人员补焊作业,在打开下料闸的同时,仓里的物料需要确保拉空,否则物料就会自流,每次协调生产组织和检修修补难度较大,耗时也较长,并且物料放空后再次灌料时料仓就会出现蓬仓堵仓现象,岗位人员还得组织捅仓,耗费大量人力物力。此外,在装火运焦炭时,若下闸门控制回路突然出现信号丢失、下料闸液压系统异常、操作箱按钮发生卡阻等原因关不上时,电液推杆停止作业,下闸门就会一直处于常开状态,焦炭物料就会一直自动装车,造成火车被埋事故。通过现场实际情况进行了解,40 线充分利用下料闸门水泥检修平台,对放料溜槽进行开孔,尺寸为: $500 \times 800(\text{mm})$,并在其北侧适

当位置利用角钢、槽钢及钢板制作接料板支架,使接料板与水泥水平地面呈 30 度角^[4],支架采用 40mm 角钢作为接料板(附图 2)的滑道,接料板采用 6mm 的花纹板,以便岗位人员操作。当放料闸门正常工作时,接料板长期处于打开状态,一旦检修闸门或者下料闸门失控时,立即关闭接料板,从而起到防止撒焦事故。



图 2 料仓下料闸接料板

6 结语

在生产实践过程中的不断摸索,通过制定操作标准、完善操作方法、自主发明工具的使用、自动化程序方面进行优化升级、设备升级改造方面的提升使得焦炭装车外销工作平稳有序进行。并成功在焦场 12 线、40 线相似部位进行推广应用,取得优异的成绩,焦炭装车效率和装车指标得到提高,为公司转型升级产销模式发生变化稳定顺行提供保障。

参考文献

- [1] 王泽平. 基于 PLC 皮带传输系统的研究[J]. 制造业自动化, 2012(17): 118-119.
- [2] 郜小晶,刘宝松. 皮带运输机受料斗的设计[J]. 河南建材, 2010(06): 114-117.
- [3] 高贵国. 皮带机制动控制系统研究[J]. 山东煤炭科技, 2009(02): 73-74.
- [4] 廖林清,等. 现代设计方法[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2000.

Research on the construction path of smart broadcasting and television in rural areas

Jun Liu

Taohe Town People's Government, Langao County, Ankang, Shaanxi, 725408, China

Abstract

As a core component of the rural revitalization strategy, the Smart Radio and Television Rural Project is a key means to promote balanced public cultural services between urban and rural areas, advance rural industries, and enhance rural governance effectiveness. This paper systematically outlines the core connotations and strategic value of the Smart Radio and Television Rural Project, deeply analyzing its functional roles in rural cultural dissemination, industrial empowerment, and social governance. In response to the practical challenges highlighted in current project construction, such as lagging infrastructure development, imbalanced content supply and demand, disconnection in technology application, monolithic operational models, and insufficient talent support, this paper proposes a comprehensive solution from dimensions including improving infrastructure quality, reconstructing and upgrading content ecosystems, deeply integrating technologies, innovating operational mechanisms, and optimizing talent systems. The Smart Radio and Television Rural Project must adopt a tripartite model of "technology + content + service," relying on multi-party collaboration and innovation-driven approaches to achieve sustainable progress, thereby endowing rural revitalization with robust vitality.

Keywords

smart radio and television; rural projects; rural revitalization; public cultural services; construction path

智慧广电乡村工程建设路径研究

刘军

岚皋县滔河镇人民政府, 中国·陕西 安康 725408

摘要

智慧广电乡村工程作为乡村振兴战略的核心组成,是推动城乡公共文化服务平衡化、促进乡村产业进步、提升乡村治理成效的关键手段,本文系统地梳理了智慧广电乡村工程的核心内涵及战略价值,深刻剖析其在乡村文化传播、产业赋能、社会治理等方面的功能归属。针对当前工程建设中凸显的基础设施建设滞后、内容供需关系失调、技术应用脱节、运营模式单一化、人才支撑不足等实际困境,从基础设施质量提高、内容生态重构升级、技术深度结合应用、运营机制创新突破、人才体系优化完善等维度提出系统方案,智慧广电乡村工程须搭建“技术+内容+服务”三位一体的模式,依靠多方协同、创新驱动达成可持续进步,为乡村全面振兴赋予强大活力。

关键词

智慧广电; 乡村工程; 乡村振兴; 公共文化服务; 建设路径

1 引言

新时代解决“三农”问题的国家战略当属乡村振兴战略,公共文化服务体系建设是乡村振兴的核心支撑,智慧广电乡村工程以5G、大数据、人工智能等现代信息技术为依托,把传统广播电视网络升级成具备智能与数字化的服务平台,给乡村发展赋予新活力。至2023年底,我国农村地区广播电视人口综合覆盖已达99.4%,只是在服务质量、技术采用、内容给予等方面仍显著不足,依托于现有的背景条件,深度挖掘智慧广电乡村工程建设的路径,对提高乡村公共文化服

务质量、推动城乡融合发展有着关键的理论与实践价值。

2 智慧广电乡村工程的内涵与战略价值

2.1 核心内涵解析

智慧广电乡村工程借助现代信息技术作支撑,以广播电视网络充当承载载体,采用基础设施智能化升级、内容生产智慧化创新、服务模式数字化转型的举措,构建遍及乡村全域的综合服务体系,该工程包含智慧广电网络建设举措、智能终端的普及应用、内容精确推送模式、应急广播系统、电商服务平台等多个层面,意在推动广播电视服务由“单向传播”迈向“智能交互”、由“文化服务”转变为“综合赋能”的升级转型。

【作者简介】刘军(1982-),男,中国陕西岚皋人,工程师,从事广电工程研究。

2.2 战略价值分析

2.2.1 促进文化服务均等化

采用卫星直播、地面数字电视、5G网络等多渠道铺展,智慧广电工程把优质文化资源精准输送至偏远村落,“十三五”年份里,“户户通”工程累计为1.4亿农村家庭给予超150套数字电视节目,切实减小了城乡文化资源落差,在西藏墨脱县的边远区域,采用卫星直播技术,当地居民得以实时收看央视及各省卫视节目,领略到多元的文化内涵,极大增进了文化获得感。

2.2.2 赋能乡村产业发展

依靠智慧广电平台,构建“广电+电商”服务模式,甘肃广电“视听甘肃”平台借助直播带货模式,2023年助力农业售卖额超8.6亿;浙江安吉凭借智慧广电推广白茶文化,带动文旅产业增收达12亿元以上,地处山东寿光,智慧广电跟当地农业合作社开展合作,开辟农产品线上销售平台,既拓宽了蔬菜售卖的渠道,还借助直播途径科普种植技术,助力农户增进种植技艺,实现产量增长收入上扬。

2.2.3 提升乡村治理效能

智慧广电应急广播系统的覆盖范围已达全国98%的行政村,年均所发布的灾害预警、政策宣传等信息超100万条,采用视频会议系统促成县乡村三级政务协同办公,大幅增进基层治理成效,2021年河南特大暴雨灾害期间,当地智慧广电应急广播系统迅速发布灾害预警与避险指引,疏导群众有序挪动,在抢险救灾当中起到了关键效用。

3 智慧广电乡村工程的功能定位

3.1 文化传播主阵地

作为乡村文化传播的核心支撑,智慧广电工程扛起了引领主流价值、传承经典文化、培育文明风尚的重大职责,依托《记住乡愁》《丰收中国》这类专题节目,把社会主义核心价值观融入乡村文化生活范畴;采用VR/AR技术还原非遗技艺,促进传统文化创新性转变,在贵州的苗寨中,依靠智慧广电平台,以虚拟现实技术展示苗族银饰锻造、苗绣这类非遗技艺,促使当地居民对传统文化的认知与珍视提升,同样引来了大量游人,带动文化传承跟旅游发展相契合。

3.2 产业发展助推器

搭建“智慧广电+特色产业”融合发展架构,搭建农产品线上直播平台,应对销售渠道难题,就像陕西洛川借助智慧广电平台开展苹果直播售卖,2023年苹果线上销售额较去年同期增长40%,帮扶果农开拓了更巨大的市场规模,构建乡村旅游数字地图,实现“云上漫步乡村景”。江苏周庄凭借智慧广电平台上线全景式线上游览服务,使游客无需出门就能感受古镇风采,引得更多人亲临古镇旅游,依靠物联网监测模式给予精准种植指引,在黑龙江北大荒这片农场,智慧广电跟农业物联网联合,实时对土壤墒情、气象数据等展开监测,为农户供给科学的种植决策凭据,带动农业生产效率上提升^[1]。

3.3 基层治理新平台

研制“智慧广电+乡村治理”一体化解决手段,构建灾害预警跟应急指挥系统,保障信息精准且及时传达,实现社保、医保等业务“一网通办”效果达成,便于群众开展办事,在四川凉山少量乡村,村民凭借智慧广电终端就可办理医保缴费等业务,不必再长途奔波去县城,依靠电视端实时披露村级事务,增强村务的公开透明,提高村民参与积极性。

4 当前建设面临的主要问题

4.1 基础设施建设滞后

中西部有线电视双向化改造完成比例不足55%,偏远山区仍旧存在信号接收的盲区,在某些山区,鉴于地形错综复杂,网络铺设难度极大,致使部分村庄无法形成稳定的网络覆盖,影响智慧广电服务落地实施,农村家庭智能终端普及比例仅为城市的三分之一,超过60%的设备无法胜任4K播放,诸多农村家庭的电视依旧是多年前的老样子,无法契合高清、超高清节目观看的要求,各运营商的网络接口和传输协议存在分歧,阻碍系统实现互联互通,这让智慧广电工程在资源整合、实现跨区域协同服务过程中面临诸多阻碍。

4.2 内容供需严重失衡

大部分县级电视台节目与上级频道节目出现重复,大量县级电视台原创能力欠佳,仅能转播上级频道既有节目,让节目内容缺少特色与魅力,涉农节目在整体里占比不到15%,原创的方言类、民俗类内容匮乏,农村居民对呈现本地生活、饱含乡土气息的节目需求极高,然而现有节目难以契合这一需求,传统单向传播模式无法契合年轻群体需求,步入互联网时代,年轻群体更青睐具有参与感、互动性的内容形式,然而现有的智慧广电节目在这方面明显有缺漏。

4.3 技术应用深度不足

与城市对比,5G、AI等新技术应用率低40%,因乡村地区技术底子薄弱、人才不足,智慧广电领域里新技术的应用推广进展欠佳,欠缺统一的大数据分析平台,难以达成精准服务,若无法根据用户需求及行为习惯做数据分析,就不易给予个性化、精准化的服务项目,智能化水平较差,85%的农村广电系统依旧未实现智能推荐功能,引发用户获取信息方面效率低,降低用户体验感。

4.4 运营机制亟待创新

建设资金的90%依靠政府财政投入,过度倚仗政府资金,导致工程建设的规模与进度受限,难以符合快速发展的期望,广告收入占比超七成,增值服务开发程度欠佳,因盈利模式单一,智慧广电工程在财务上难以实现可持续发展,合作机制存在欠缺,广电机构跟农业、文旅等部门协同的契合度偏低,各部门间未开展有效的沟通协作,难以集聚推动智慧广电乡村工程推进的合力。

4.5 人才支撑明显不足

智慧广电工程建设亟需大批既懂技术又懂运营的专业人才,然而目前人才供给缺口极大,县级广电机构中,45

岁以上员工占比达 65% 以上, 年龄结构老化让队伍创新能力变弱, 难以跟上新技术、新业务的发展步伐, 激励措施付诸阙如, 难以招到新媒体运营、数据分析师等专业人才, 乡村地区工作环境跟待遇相对不理想, 缺少富有吸引力的激励手段, 使优秀人才畏缩不前。

5 系统化建设路径

5.1 构建现代化基础设施体系

5.1.1 网络升级工程

促进 5G+ 光纤双千兆网络覆盖达成, 2025 年前实现全部行政村覆盖, 依靠政府补贴、跟运营商联合等手段, 加大对偏远地区网络建设的资金投入, 保证网络信号无波动、速度快, 实行有线电视网络“云化”转变, 创建分布式边缘计算节点, 增强网络传输效率和数据处理实力, 为智慧广电服务筑牢更坚实的技术后盾^[2]。

5.1.2 终端焕新计划

开展 4K 智能机顶盒推广事宜, 对老旧设备实行以旧换新的补贴行动, 劝勉农村家庭更换智能终端用品, 升级观看体验质量, 开展适老化与无障碍终端设备的开发, 着眼于农村老年人口占比大的实际情形, 构建操作简单、功能贴合实际的终端设备, 便于老年人操作。

5.2 打造特色化内容生态

5.2.1 内容生产创新

构建乡村题材创作专项基金, 每年帮扶 500 部以上涉农之作, 勉励创作者深入农村过日子, 采掘乡村故事, 产出更多贴近农民需求的优质剧集, 兴办区域性内容共享平台, 实现优质资源跨区域输送, 打破地域禁锢, 让各地出彩的乡村题材节目可在更大范畴传播^[3]。

5.2.2 传播形式创新

开发方言短视频、互动直播这类新型内容, 依靠方言的亲和感与短视频、直播的灵活属性, 增高节目吸引力与传播实力, 凭借 AI 技术实现节目智能编排与个性化荐引, 依照用户的观看习惯及兴趣偏好态势, 呈上个性化节目内容, 增进用户的体验水准。

5.3 深化技术融合应用

5.3.1 技术赋能工程

开发智慧广电云平台层, 融汇大数据、人工智能、区块链诸技术, 达成数据的集中把控与分析, 提升智慧广电服务智能层面的水准, 促进 VR/AR 技术的应用拓展, 缔造沉浸式文化情境, 让农村居民得以身临其境领略文化风采, 增添文化生活色彩。

5.3.2 标准统一行动

厘定智慧广电乡村工程技术标准体系, 厘定网络接口、传输协议等技术规格, 实现各系统之间的互联互通, 设立跨区域技术共同创新联盟, 促成不同区域、不同单位间的技术沟通与协作, 共同带动智慧广电技术跨越。

5.4 创新市场化运营机制

5.4.1 多元投入机制

建立智慧广电促进乡村发展基金, 引得社会资本投身, 靠政策作引导, 劝勉企业、社会组织等投资智慧广电乡村工程的建设, 实施 PPP 模式, 探求广电基础设施特许经营办法, 采用市场调节机制, 增进工程建设及运营效率^[4]。

5.4.2 盈利模式创新

拓展付费会员、电商佣金、数据服务等增值业务范畴, 开辟盈利途径, 减少对广告收入的倚重, 创立“内容+服务+产业”生态盈利体系, 实现内容产出、服务供给与产业发展的紧密结合, 优化整体获利本事。

5.5 完善人才保障体系

5.5.1 培养体系建设

跟高校一起搭建智慧广电产业学院, 定向造就专门人才, 开展相关专业课程, 为智慧广电乡村工程造就专业人才, 开展“乡村广电人才赋能计划”, 年度培训人数 2 万左右人次, 按时组织基层广电从业者参加技术培训及业务研习, 增进专业技艺。

5.5.2 激励机制创新

设置专项的人才奖励基金, 对贡献突出者实施重奖举措, 引发人才工作的积极性及创造力, 设立灵活的人才任用机制, 认可人才实施“县管乡用”做法, 捣毁人才流动壁垒, 推动人才往乡村地区恰当流动^[5]。

6 结论

智慧广电乡村工程是拉动乡村振兴战略实施的核心切入点, 克服当前建设进程中的诸多阻碍, 需借助搭建现代化基础设施体系、塑造特色化内容生态、强化技术融合应用、革新市场化运营机制、健全人才保障体系等系统路径, 实现从“工程建设”迈向“生态搭建”的转变。伴着数字技术的不断变迁, 智慧广电乡村工程将在乡村文化振兴、产业升级、治理创新等范畴起到更大效能, 为达成农业农村现代化增添强大推力, 在具体实施进程内, 需突出因区制宜、分类引领, 切实调动各方积极性, 造就政府引导、企业核心、社会融入的协同推进体系, 依靠多方合力奋进, 智慧广电乡村工程必然成为助力乡村振兴的坚实后盾, 给乡村发展增添永不间断的活力。

参考文献

- [1] 王晨光. 智慧广电乡村工程的运营优化与未来拓展策略研究[J]. 视听界, 2024, (05): 85-87.
- [2] 杨静. 守正创新融合赋能加快推进智慧广电乡村工程试点建设[J]. 广播电视网络, 2023, 30(11): 6-8.
- [3] 兰翔, 石润伯. 关于推进智慧广电乡村工程做强乡村振兴基础支撑的实践与思考[J]. 广播电视网络, 2023, 30(10): 42-44.
- [4] 易龙先, 李婷, 区婕, 等. 智慧广电服务广西乡村振兴的探索与思考[J]. 科技传播, 2023, 15(16): 86-90.
- [5] 闫振彪, 李娜, 邹刚. 关于四川智慧广电乡村工程建设的思考和探索[J]. 广播电视网络, 2023, 30(03): 30-32.

Application of automation and intelligent technology in coal mining

Zhejun Chu

Kuche Kexing Coal Industry Co., Ltd., Aksu, Xinjiang, 842000, China

Abstract

In the context of continuously advancing technology, automation and intelligent technologies have gradually been applied across various industries, particularly in coal mining. The application of this technology has had a significant impact on the development of coal mines. Not only does it greatly enhance the efficiency of coal mining operations, but it also significantly reduces safety hazards in coal mine work, allowing for more rational resource utilization. Moreover, it promotes green development in coal mining enterprises. This paper studies the value of this technology in coal mining, its specific applications, and future prospects. Through detailed analysis, it introduces the application of automation and intelligent technologies in different stages of coal mining.

Keywords

automation technology; intelligent technology; coal mining

自动化与智能化技术在煤矿采掘中的应用

褚柘钧

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

在不断发展的科技背景下, 自动化以及智能化技术逐渐应用到了各行各业当中, 特别是在煤矿开采方面, 这项技术的应用对煤矿的发展产生了巨大的影响。这项技术的运用, 不仅可以对煤矿的开采效率提高产生非常大的帮助, 更能在很大程度上将煤矿作业中的安全隐患降为最低, 能够合理地利用资源, 同时更能推动煤矿企业的绿色发展。文中对该技术在煤矿开采中发挥的价值, 该技术的具体应用以及应用前景进行了研究, 通过具体的分析, 对自动化以及智能化技术在各个环节煤矿开采中的应用情况进行了介绍。

关键词

自动化技术; 智能化技术; 煤矿采掘

1 引言

作为国家能源供应的重要支柱之一, 煤矿工业一直是整个能源工业的基础。在日益增长的全球能源需求和开发要求下, 煤矿开发量和对煤矿的要求也日益增加, 而煤矿行业诸多安全生产事故、浪费现象、作业环境恶劣等问题困扰着整个煤矿行业, 要解决该系列问题, 提高煤矿生产效率和安全性要求日益明确。因此, 应用自动化和智能化技术, 加快煤矿行业转型升级的要求日益强烈。近年来, 自动化和智能化技术在煤矿采掘应用中愈加深入, 从最初传统煤矿采掘自动化机械, 到应用自动化控制和智能化调度, 煤矿生产实现了生产自动化转变。自动化技术通过运用远程自动化控制和自检、生产流程自动化等手段, 实现煤矿全生产流程的自动化。智能化技术利用大数据、人工智能和机器学习等技

术, 将煤矿采矿工作各个环节进行优化处理, 在提高生产效率、作业安全和合理利用资源上均有重要的作用。

2 自动化与智能化技术在煤矿采掘中的应用价值

2.1 提升采煤效率

煤矿采掘过程是一个完整的开采、运输、加工处理过程, 其中的每一个环节都必须实现相互协调和控制。对于煤矿的传统开采作业方式主要采用人工方式进行操作, 以及通过机械化设备完成操作, 所以, 对于生产组织而言, 必然会存在较大的波动及不确定性因素。例如, 工作人员因技能低、疲劳度和误判操作而导致作业; 此外, 自动化设备的调度和控制, 设备自身原因导致的设备不匹配、不适应等问题会导致机械效率低下。自动化采煤机械结合了先进的自动控制技术, 能够自动完成对作业状态的监控, 然后对自动化参数的控制。自动化控制使煤矿的资源采掘效率获得很大提升^[1]。

【作者简介】褚柘钧(1974—), 男, 中国河南睢县人, 工程师, 从事计算机、网络、信息化在煤矿应用研究。

2.2 提升煤矿采掘安全性

煤矿作业环境危险性较高,由于矿井下存在瓦斯、火灾、坍塌事故等灾害,极易造成矿工的伤亡。现阶段煤矿生产是以手工操作为主,矿工需要在危险的条件下实施操作,作业人身危险性较高。应用自动化、智能化技术,将大大降低矿工直接作业的时间,大幅降低作业人身事故发生的风险。应用自动化设备,使得作业可以在安全的条件下进行,矿工不需要进入危险环境之中,也可以有效降低与瓦斯爆炸、塌方事故的直接接触。智能化监测系统可以综合感知整个矿井内的工作环境,对气体浓度、温度、湿度进行实时检测,将根据检测数据变化值自动感知并做出相应的操作,从而提前进行预警或者采取断电的紧急停机措施,防止事故发生。

2.3 优化资源利用

煤矿资源的开采需要耗费更多的资金及给环境带来一定程度的压力。浪费的煤矿资源不仅影响到企业经济效益,还可能会造成很严重的环境污染,甚至会让煤矿失去发展的延续性。智能自动化、智能化技术的广泛应用,能够较好地实现煤矿资源利用率的提高。煤矿利用智能自动化控制系统能够保证资源更加精准的分配与调度,不会出现煤矿开采过度、资源浪费等问题,还能智能化地掌握煤矿井的地质信息,了解到煤矿层的分布、厚度、开采状况等,据此做好煤矿的开采规划,提升煤矿的采掘比率,也可有效防范煤矿出现资源盲目开采引起的煤层丢失现象。

3 自动化与智能化技术在煤矿采掘中的具体应用

3.1 自动化与智能化技术在煤矿掘进作业中的应用

煤矿的掘进是煤矿开采的先行工程,也是促进煤矿矿山生产顺利开展的基础。传统的煤矿掘进工作主要依靠人力进行开采,其次是机械工作。这种主要依靠人力的劳动方式不但工作效率低下,而且存在很高的安全威胁。因为在高压、低氧、地质复杂的情况下,掘进人员工作环境非常差,矿山有可能发生突发事故。自动智能化挖掘技术的应用一方面提高了煤矿的掘进效率,另一方面提升了安全性。自动化掘进机是在根据预先设定的煤矿挖掘计划指令下自动进行煤矿挖掘工作的一种现代化智能化自动挖掘机器。自动化掘进机通常利用先进传感器、导航系统、远程操纵技术,能自动掌握掘进作业的各项参数,自动按照预定的要求进行掘进工作。煤矿智能化钻探系统能根据地质参数的获取在无人员干涉的情况下自动控制钻探方向和钻探深度。同时智能化煤矿系统通过收集掘进工作现场的一些数据信息来进行数据处理,并通过一系列自动化数据处理控制,自动调整煤矿掘进的方式,如掘进速度、煤层钻探设备的操控方式等,在煤矿掘进的自动化监测系统发现发生突发情况时自动停止掘进,避免伤害掘进设备或伤害掘进工作人员。煤矿智能化掘进系统还可以对煤层的厚度、煤矿地层倾斜度等有关掘进作业的关键数据

进行准确的测量,并实时修正煤矿掘进的方向和深度,以有效降低工作中的主观偏差,有针对性地科学调整煤矿掘进设备的运行姿态及掘进模式,达到最优化的采掘效率。由此可见,煤矿掘进工作的自动化、智能化技术实现了开采的自动化智能化,大大提高了煤矿掘进工作生产的效率^[2]。

3.2 自动化与智能化技术在煤矿采掘过程监控中的应用

煤矿的采掘工作过程中包含矿井通风、矿井排水、矿井供电、矿井设备运行以及煤层开采等众多环节,在这些环节中每一个环节都要进行准确的监测控制,而传统的煤矿采掘工作是由人工巡查和简单的自动控制设备来完成的,这种工作模式存在着反应速度慢、监控范围不够全面、测控精度低等问题,无法实现对煤矿采掘工作进行全局优化生产,而自动化、智能化等技术的应用使得煤矿采掘过程的监测逐步实现全面、实时化、智能化。

现代煤矿自动监测系统通常都是一个系统设备群体,由传感器、摄像头、瓦斯检测仪等组成,见图1所示,能够动态监测煤矿环境中的各类相关环境数值,比如温度环境、水分环境、瓦斯浓度环境、空气流动环境、设备运行状态等,数据经由有线无线传输,传输到中心数据处理器,通过数据信息平台系统分析,最后将监测结果实时传输给采矿管理者进行煤矿运行状态信息展示。煤矿智能化监测系统能有效对煤矿通风系统、排水系统、供电系统等核心设施进行精准监测,并根据煤矿监控系统检测数据进行智能化预警风险及时识别,比如当矿体中某一区的瓦斯气体浓度异常超标时,智能化系统会发出相关警报,并智能化打开通风系统设备,或者实施停产工作,以此降低煤矿安全事故影响。

3.3 自动化与智能化技术在煤矿输送与装载环节的智能化应用

输送以及装载作为煤炭开采流程中的关键环节,其决定着煤炭开采效率和煤炭开采水平。传统的煤矿输送与装载都属于人力操作的形式或者是利用机械化设备进行自动化控制形式的输送以及装载过程,不能够高效地实现机器设备自身的功能,且操作安全性的风险也是较为明显。而利用现代自动化以及智能化技术实现的输送以及装载则成为传统开采工艺下的发展突破点,输送以及装载系统的高度智能化成为未来煤炭输送以及装载的发展趋势。在现代的煤炭输送系统中,应用较多的是自动化形式输送带,传统的输送带属于人工形式进行煤炭输送和机械控制。在智能化输送带系统中,可以按照当前的煤炭开采需求形式对设备运行的工作速度以及运送量等相关参数进行自动的调整,这样就能够进行实时的数据监测以及数据分析,结合不同的实际环境对其可能出现的安全问题进行警告和运行调整,从而保障设备不会进行负荷性的运行或者不适性的停机。应用智能化输送方式,可以实现煤炭的安全和稳定运输,并且,能够根据实际的工作环境进行合理的调度。装载机器人的智能化也为煤炭

开采中的装载作业创造了新的发展方向,在装载机器人技术形式中,和传统的装载形式有所不同,在机器人控制下,可

以极大提升装载效率,通过精确的煤炭装载运动控制,提高煤炭装载效率^[3,4]。

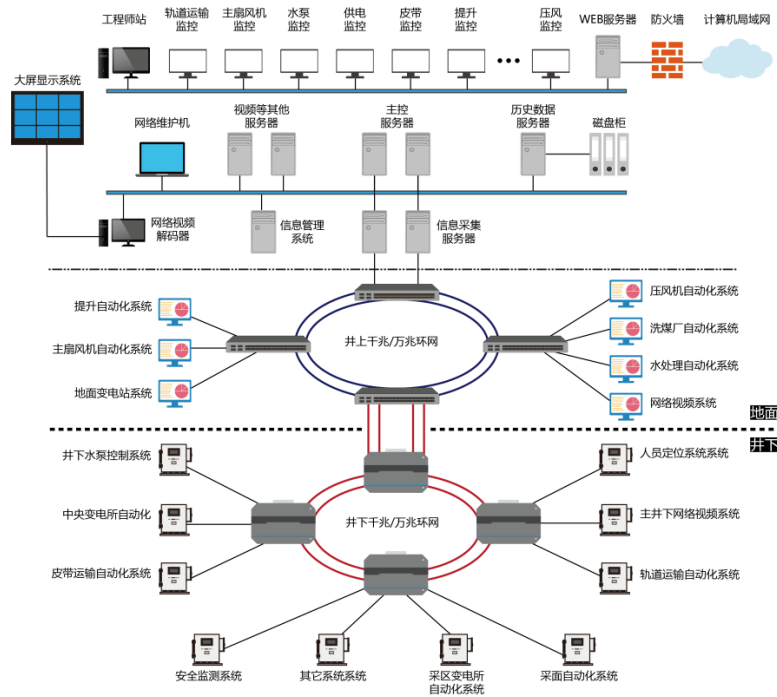


图 1 煤矿采掘自动化监控系统结构图

3.4 煤矿开采中具体应用的自动化和智能化技术

煤矿开采生产活动是整个煤矿开采工作的核心工作内容之一,煤矿开采生产中使用的机械设备、煤炭的开采和生产效率要求较高、操作困难、出现效率低、工作错误、资源浪费等情况。当前自动化的生产技术、智能化生产技术对于煤矿开采工作的开展起着十分重要的作用。煤矿开采工作逐渐走向机械化自动生产以及智能化生产。在现代煤矿开采作业中,利用机械化自动控制的采煤机、工作机可以在开采工作的区域内进行自动化的开采活动,降低了煤矿开采生产操作难度以及人的主观因素带来的开采工作失误,能够根据不同的煤层厚度情况、煤层倾斜度情况、地下地质情况等改变和调整煤矿开采生产工作方式,确保工作范围内煤炭资源可以得到最大限度的开采与生产。

3.5 自动化与智能化技术在煤矿支架调节系统中的应用

煤矿采掘作业面的支架调节系统,是为了控制采掘作业面顶板的稳定性,避免顶板垮塌事故的发生。煤矿顶板垮塌会直接导致煤矿生产的停滞,而且也会给煤矿生产的人员带来人身伤害,给煤矿带来巨大的经济损失,而支架调节系统可以保证煤矿生产的畅通和井下的人员和设施安全,对煤矿来说,具有非常重要的意义。煤矿支架调节系统的自动化、智能化,就使得支架调节更为准确、科学。对于煤矿,传统的支架调节系统只有人工控制,或者简单设置自调节支架,无法适应复杂的地质状况和煤矿所处的特殊环境。而现代煤矿中,智能化支架调节系统借助于传感器、压力检测装置等对矿井中顶板压力进行实时检测,对支架的调节进行检测,

并依靠检测获得的信息自动调节支架的支点和支撑力,这样可以保证支架的调节更为合适、准确,可保障对不同变化的地质的顶板的支撑力和稳定性,也方便对支架进行自动调节、自动控制。煤矿支架调节系统的自动化控制,不仅能保证煤矿作业的安全性,而且也能减少作业设备的故障发生,降低煤矿支架调节装置的维护费用,提高整体的采掘效率。

4 结语

自动化与智能化技术在煤矿开采中改善生产效率以及提高生产安全性、管理资源效率,提高了煤矿企业生产效益的同时促进了部分煤矿行业的绿色可持续发展。目前,自动化与智能化技术应用还存在技术、资金、人才等诸多方面的障碍。在未来,随着科学技术的进步和完善,将为自动化与智能化技术在煤矿生产过程中开采进程中的生产安全应用模式提供更多资源支持。

参考文献

- [1] 王辉,王次苏. 煤矿智能化技术在机械工程自动化中的应用研究[J]. 中国设备工程, 2025, (01): 50-52.
- [2] 周元,李超. 煤矿采掘机械自动化和智能化技术的思考[J]. 内蒙古煤炭经济, 2024, (22): 56-58.
- [3] 寇哲源. 自动化与智能化技术在煤矿采掘中的应用研究[J]. 新疆钢铁, 2024, (03): 57-59. DOI:10.20146/j.cnki.1672-4224.2024.03.020.
- [4] 陈瑞婷. 智能化技术在煤矿电气工程自动化中的应用探究[J]. 矿业装备, 2024, (04): 67-69.

Theoretical construction and practical implications of enterprises' implementation of the main responsibility of green development in ecological environment governance in the new era

Yipaerguli Kadier

Kashgar Regional Environmental Protection Bureau, Kashgar, Xinjiang, 844000, China

Abstract

In the context of ecological civilization construction in the new era, the environmental governance system is undergoing a paradigm shift from government-led to multi-stakeholder governance. As key participants in market economic activities, enterprises have evolved from passive regulatory targets to proactive entities responsible for environmental governance. However, issues such as inadequate responsibility transmission mechanisms, imbalanced cost-sharing for green transitions, and lack of transparency in environmental information disclosure persist. These problems highlight the structural contradictions between traditional development models and the requirements of modern ecological governance. To overcome this challenge, it is necessary to construct an enterprise responsibility theory framework that aligns with new development concepts, integrating the internalization mechanism of environmental costs into modern corporate systems. This will foster a governance landscape where market incentives and institutional constraints work together synergistically.

Keywords

new era; ecological environment governance; green development; enterprise main responsibility; theoretical construction; practical implications

新时代生态环境治理中企业落实绿色发展主体责任的理论建构与实践启示

依帕尔姑丽·卡地尔

喀什地区生态环境局，中国·新疆喀什 844000

摘要

在新时代生态文明建设的背景下，生态环境治理体系正经历着从政府主导型向多元共治型的范式转换。企业作为市场经济活动中主要的参与者，在环境治理中的角色已从过去被动监管对象逐步演变成了主动承担责任的主体。现实存在着诸如责任传导机制不够顺畅、绿色转型成本分摊出现失衡、环境信息披露缺乏透明度等一系列问题，这些问题恰恰反映出了传统发展模式 and 生态治理现代化要求之间的结构性矛盾。突破这一困境需要去构建一个能够与新发展理念相适配的企业责任理论框架，把环境成本内部化机制融入现代企业制度之中，进而形成一种市场激励和制度约束协同发挥作用、共同发力的治理格局。

关键词

新时代；生态环境治理；绿色发展；企业主体责任；理论建构；实践启示

1 引言

传统环境治理遵循的范式往往过度倚仗行政规制，如此一来，企业内生的治污动力未能得到有效激活，这种制度设计和企业实际运营机制之间出现的错位，致使环境政策在执行过程中呈现边际效应递减的现象。本文聚焦于企业绿色

发展责任相关理论的建构上，目的在于揭示市场机制与环境治理之间耦合的机理，同时对企业从单纯的合规性应对逐步迈向主动性担当的转型路径展开深入探索。文章把环境治理能力归入到企业核心竞争力的评价体系中，提出了责任传导机制与利益相关者协同配合的实践框架，以此为破解环境治理方面“政府热、企业冷”的困局给予理论层面的有力支撑，对于完善现代环境治理体系具备切实的指导价值^[1,2]。

【作者简介】依帕尔姑丽·卡地尔（1991—），女，维吾尔族，中国新疆喀什人，本科，工程师，从事环保咨询类研究。

2 生态环境治理现状分析

2.1 新时代生态环境治理的特点与要求

新时代生态环境治理呈现系统性变革特征，政策导向正从单一环境要素管控转向山水林田湖草沙生命共同体整体保护，这种范式转换要求治理体系深度融入经济社会发展的全链条。生态文明制度设计的精细化程度显著提升，环境治理目标已由污染防治攻坚向减污降碳协同增效进阶，政府监管逻辑逐步从末端执法前移至源头预防，推动企业环境行为评估标准从合规性达标升级为全周期环境影响管理。随着《关于深化生态保护补偿制度改革的意见》等政策出台，市场激励机制与行政规制手段形成叠加效应，碳配额交易、绿色债券发行等工具的应用场景持续拓宽，促使企业在生产经营中必须统筹考虑环境成本内部化与资源利用效率优化的双重约束。治理工具的数字化转型趋势明显，依托物联网技术的环境监测网络构建起实时动态监管能力，生态环境损害赔偿制度与环保信用评价体系的耦合作用倒逼市场主体建立环境风险自主管控机制。社会力量参与治理的渠道不断拓展，环境信息强制性披露制度推动形成企业环境表现的市场化评价机制，公众监督与行业自律的交互作用正在重塑企业环境责任履行的动力结构。政策体系逐步完善环境治理与产业升级的联动机制，清洁生产审核与绿色产品认证制度的深化实施，引导企业将生态要素纳入生产要素配置决策，这种制度创新客观上要求市场主体重构价值创造模式。

2.2 生态环境治理中的问题

部分企业对于生态保护与经营效益的辩证关系缺乏深度认知，将短期经济利益置于环境效益之上，导致污染防治设施运行效率低于设计标准，清洁生产技术推广存在选择性执行现象。技术迭代与产业转型的节奏尚未形成良性共振，传统生产模式下能源消耗结构与资源利用方式难以匹配新型环保标准，尤其在中小规模企业中，绿色技术研发投入与设备更新速度滞后于行业升级需求。环境治理责任传导链条存在环节性阻滞，区域间环保监管标准差异导致部分企业采取策略性应对措施，跨部门协同监督机制尚未形成全流程闭环管理，污染物排放的动态监测与风险预警存在执行缝隙。社会共治格局构建仍显薄弱，企业环境信息披露透明度不足削弱了公众参与监督的有效性，第三方环保组织与行业协会的专业力量未能充分融入治理体系，利益相关方对话平台缺乏常态化运作机制^[3,4]。

2.3 企业在生态环境治理中的角色与现状

作为市场经济活动的主体，企业在生产环节主动嵌入清洁工艺与循环技术，将减碳降耗目标纳入全生命周期管理流程，通过优化资源配置推动产业链绿色转型，部分行业领先者已构建起覆盖研发、制造、物流的低碳运营体系。政策法规框架下，企业通过参与碳排放权交易、开发绿色金融产品等方式探索生态价值转化路径，部分能源密集型企业尝试将碳资产管理转化为新型竞争优势。在区域协同治理层面，

龙头企业联合上下游供应商建立环境绩效联动机制，行业协会牵头制定细分领域环保标准，形成行业自律与政府监管互补的治理模式。社会互动维度中，企业借助环境信息披露平台主动回应公众关切，依托科技创新论坛分享绿色技术应用经验，部分跨国企业将国际环保认证标准导入本土化实践，促进治理经验双向流动。随着环保理念深度融入企业文化内核，越来越多的经营者开始将生态责任视为品牌价值的重要组成部分，在战略规划中平衡商业逻辑与可持续诉求，形成具有差异化的绿色发展路径。

3 企业落实绿色发展主体责任的实践路径

3.1 制定绿色发展战略，明确责任目标

企业在日常运营中建立绿色发展战略需要将环保要素深度融入生产管理全流程，管理层在年度计划编制阶段组织跨部门联席会议，针对产品设计、原料采购、生产制造等环节设定可量化的减排指标，形成覆盖车间班组的具体操作规范。生产部门负责人定期核查设备能耗数据，协同技术团队开发适用于现有产线的清洁化改造方案，通过建立能源管理台账实时追踪每道工序的资源消耗情况，将节能减排任务分解到各岗位操作手册。人力资源部门将环保知识纳入员工入职培训和季度考核体系，设置绿色生产标兵评选机制，鼓励一线工人提出改进废弃物分类收集的合理化建议，使环境责任意识转化为日常作业习惯。采购部门在供应商评估标准中增加环境表现权重，要求合作方提供原材料碳足迹认证文件，建立绿色物流配送路线优化机制，定期组织上下游企业开展环保技术经验交流。质量监管部门在成品检验环节增设污染物残留检测项目，针对包装材料可降解性制定分级验收标准，将环境风险防控要求嵌入产品全生命周期管理流程。行政部门主导建设覆盖办公区域的智能能耗监测系统，推行无纸化会议与电子化档案管理，制定差旅出行碳排放核算办法，引导员工在非生产环节践行绿色理念。

3.2 推进绿色技术创新，提升生产效率

技术团队围绕现有生产线开发适配性减排方案，例如在废气处理环节增设余热回收装置，将传统开放式工序改造为密闭循环系统，同时为操作人员编写标准化作业手册，规范设备启停流程与异常工况处置方法。质量管理部门协同仓储物流单元优化物料流转路径，推行包装物分类回收与重复利用制度，针对边角废料开发二次加工技术路线，部分化工企业已实现副产品跨车间调配使用。一线班组在交接班时增设环境绩效点评环节，将节能减排指标分解至每个工段的操作记录，配套建立员工绿色技能等级认证体系，鼓励基层工作者提出工艺改进提案。部分制造企业引入数字化能耗监控平台，实时追踪各环节电力消耗与污染物排放波动，结合生产计划动态调整设备运行模式，逐步形成预防性维护与精准化管控相结合的管理惯性。供应链管理部门将环保资质审核嵌入供应商年度评估框架，优先采购符合低碳标准的原料辅

料,联合上下游合作伙伴开发共享式废弃物处理渠道,推动全链条资源利用效率的协同提升。

3.3 加强环境管理体系建设,完善内部治理

环境管理部门可安排专职人员按固定频次对重点排放口开展巡查监测,将采集到的水质、废气数据与环评报告预设阈值进行比对分析,发现异常波动立即启动溯源排查程序。环保专员定期组织车间主任参加排污许可证管理培训,针对不同工序编制简明易懂的操作指导手册,把除尘设备维护保养、危废分类贮存等要求转化为图文并茂的岗位明白卡张贴在设备操作区。法务团队结合《环境信息依法披露管理办法》更新内部合规审查要点,指导各生产单元完善环境管理台账记录模板,要求班组长在交接班时同步核查当班次废水处理设施运行日志的完整性。跨部门环境委员会每月召开联席会议,听取设备维修部门关于电机能效改造进展的专项汇报,协调采购部门优先选用获得环境标志认证的润滑剂和清洗剂,针对仓库积压的过期化学品制定安全处置方案。安环科主导开发电子化环境信息管理平台,集成在线监测设备实时传输的噪声、粉尘数据,设置超标预警自动推送功能,使分管领导能够及时掌握各车间环境绩效动态。

3.4 促进绿色供应链管理,实现协同治理

企业在供应链环节构建环境责任传导机制时,采购部门将原材料环保属性纳入供应商筛选基础维度,定期更新合格供方名录并细化分级评价指标,对于运输距离超过合理半径的原料启用区域化替代方案,同时与重点供应商签订绿色履约补充协议,约定包装物减量使用与回收义务。物流协调小组针对产品流通环节设计多式联运优化模型,优先调配具备清洁能源资质的承运商执行中短途运输任务,对仓储网点布局实施节能化改造,在货物堆码方式中融入空间利用率提升策略。供应商发展部门开设定期环保能力提升课程,围绕废水预处理技术、危废分类贮存规范等主题组织实操培训,引导中小型合作方改进生产工艺流程,部分食品加工企业协助农户建立有机种植记录台账,从源头控制农业投入品污染

风险。包装设计单元研发可降解材料替代传统塑料制品,在保证产品防护性能前提下缩减包材层数与印刷面积,针对易碎品推广模块化组合包装方案,部分家电企业建立区域性包装物共享周转池。零售商在终端销售场景设置绿色消费引导专区,联合品牌方开发以旧换新服务流程,完善退换货产品的检测翻新标准,逐步形成贯穿产业链的价值再生体系^[5-7]。

4 结语

有效落实企业绿色发展的主体责任,从本质来讲是对经济价值与生态价值协同创造机制的重构。把环境治理深度嵌入到企业战略决策,可激活技术革新以及管理优化的内生动力,促使环境效益与经济效益形成良性循环。建议企业建立起针对环境风险全生命周期的管理体系,把生态要素纳入生产要素配置的决策中,凭借绿色供应链的建设来凝聚行业治理的合力。未来的生态环境治理应着重去构建数字化的环境治理平台,对环境信用评价的市场化应用机制予以完善,推动形成由政府规制、市场激励、社会监督共同构成的三维驱动模式。

参考文献

- [1] 王沙沙. 乡村振兴视域下乡村生态环境治理的问题与实现路径研究[D]. 西安建筑科技大学, 2024.
- [2] 唐治国. 新时代环境监管领域的纪检监察建设研究[D]. 兰州大学, 2023.
- [3] 张清润. 绿色发展观视域下新疆南疆兵团生态治理研究[D]. 塔里木大学, 2023.
- [4] 郭慧如. 新时代中国生态文明建设提升国家形象研究[D]. 西安电子科技大学, 2023.
- [5] 陈晶晶. 生态文明视阈下我国生态文化的建构[D]. 中共辽宁省委党校, 2021.
- [6] 杨茗皓. 宪法上地方国家机关生态治理义务研究[D]. 西南政法大学, 2021.
- [7] 张帆. 我国生态环境治理中的政府责任研究[D]. 山西师范大学, 2018.

Research on dynamic evaluation model of power system reliability and security based on big data

Xiaoli Wu Ke Zheng Yong Li Yuejing Su Changlu Shen

Samsung Medical Electrical Co., Ltd., Ningbo, Zhejiang, 315034, China

Abstract

In the process of accelerating the construction of new power systems, the penetration rate of renewable energy is continuously increasing, leading to strong uncertainty and complex time-varying characteristics in grid operations. Traditional evaluation methods, which rely on static analysis based on historical statistical data, can no longer meet the needs of modern dynamic grid management. Under the background of big data, a dynamic evaluation system that integrates multi-source heterogeneous data streams has broken through the limitations of traditional methods in temporal resolution and spatial coverage. This system demonstrates unique advantages in scenarios such as identifying weak points in the grid and predicting cascading failures. This paper focuses on the reconstruction of evaluation models driven by data, aiming to establish a dynamic evaluation framework with self-evolution capabilities, providing theoretical support for advancing the safety defense line of the power grid.

Keywords

power system; big data analysis; dynamic evaluation; reliability; security

基于大数据的电力系统可靠性与安全性动态评估模型研究

吴小莉 郑克 李勇 苏岳景 沈昌禄

三星医疗电气股份有限公司, 中国·浙江 宁波 315034

摘要

新型电力系统加速建设的进程中, 可再生能源渗透率不断提升, 电网运行随之呈现出强不确定性以及复杂时变的特征, 传统评估方法依赖历史统计数据的静态分析模式, 已无法满足现代电网动态管理方面的需求。在大数据背景下的动态评估体系, 通过对多源异构数据流的融合而突破了传统方法在时间分辨率与空间覆盖度上的局限, 在电网薄弱环节辨识、连锁故障预警等场景中展现出独特优势。本文聚焦在数据驱动之下评估模型的重构上, 目的在于建立具备自我进化能力的动态评估框架, 为电网安全防线能够前移提供相应的理论支撑。

关键词

电力系统; 大数据分析; 动态评估; 可靠性; 安全性

1 引言

现有评估体系主要采用基于概率统计的静态模型, 难以对高比例新能源接入的随机波动特性做到准确刻画, 在应对极端天气事件以及突发负荷冲击时还存在评估盲区。不过, 大数据技术给电力系统的状态感知开拓出了新的路径, 借助 PMU 量测数据、设备在线监测信息和外部环境参数的深度融合手段, 使得构建时空连续的动态评估体系成为可能。本文核心围绕数据价值挖掘展开, 致力于探索建立一种能融合实时监测以及趋势预测的评估模型, 重点对多源数据耦合分析、动态边界条件建模等技术问题加以解决。通过构建在线更新的评估算法框架, 达成电网风险态势能够动态可

视化呈现的效果, 为运行决策提供精准量化的参考依据。

2 电力系统可靠性与安全性评估的理论基础

2.1 可靠性与安全性的评价指标

电力系统可靠性与安全性评估依赖于多维度的量化指标体系构建, 可靠性评价聚焦于供电连续性与设备运行稳定性, 典型指标包括负荷削减概率反映系统在极端工况下维持供需平衡的能力, 系统不足期望值刻画长时间尺度内电力缺口的累积效应, 停电频率及平均持续时间揭示故障事件对用户侧的影响强度。安全性评价关注系统抵御扰动与维持稳定运行的水平, 节点电压偏移指数衡量各母线电压偏离额定值的程度, 支路潮流越限概率统计关键输电断面承受过载风险的可能性, 暂态稳定裕度表征故障切除后发电机功角保持同步运行的安全边界, 谐波畸变率评估电能质量对敏感设备的潜在损害。这些指标通过时空关联构建动态评估框架, 为系统运行人员提供全景式态势感知支持(如图1、图2所示)。

【作者简介】吴小莉(1983-), 女, 中国浙江宁波人, 本科, 高级工程师, 从事电力系统可靠性设计、动态性能及应急研究。

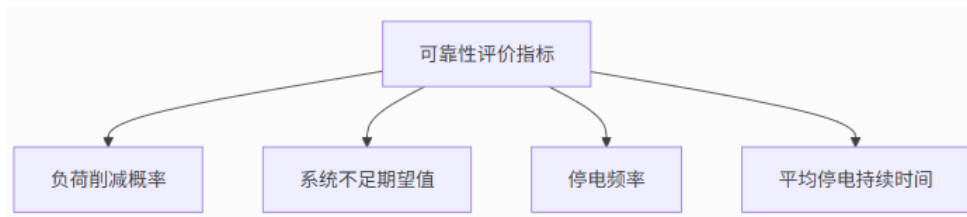


图 1 电力系统可靠性评价指标关联关系图

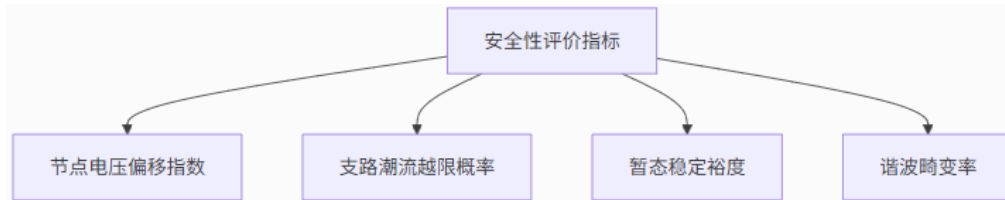


图 2 电力系统安全性评价指标关联关系图

2.2 传统评估方法的局限性

传统评估模型往往依赖确定性场景的离线计算，核心参数多基于历史统计均值或典型工况预设，难以准确表征高比例新能源接入后电力系统运行状态的随机波动特性。离线分析框架受限于固定时间尺度的稳态假设，无法有效捕捉负荷突变、设备瞬态故障等动态事件对电网安全裕度的实时影响，导致风险预警存在时间滞后性。数据维度单一化问题突出，传统方法通常仅关注电气量测信息，缺乏对气象环境、设备老化状态、用户需求响应等多源异构数据的整合能力，削弱了评估结果对复杂耦合风险的解析深度。模型更新机制僵化，多数评估工具依赖人工干预完成参数修正，面对电网拓扑频繁调整或新型电力设备投运时，难以实现评估基准与系统物理结构的动态匹配。极端事件处理能力不足，传统方法对飓风、冰灾等小概率高冲击事件的建模多采用简化等效手段，忽略时空关联性对连锁故障传播路径的影响，造成潜在风险的低估或误判。

2.3 大数据技术的赋能潜力

大数据 (big data)，或称巨量资料，指的是所涉及的数据规模巨大到无法透过主流软件工具，在合理时间内达到撷取、管理、处理、并整理成为帮助企业经营决策更积极目的的资讯。大数据技术与电力系统评估的深度融合催生出多维认知范式升级，海量异构数据源的实时采集与智能解析重构了传统评估模型的时空边界，基于广域测量系统与物联网传感器的动态数据流可捕捉设备健康状态的微小劣化趋势，结合气象环境与社会用电行为的关联分析，形成覆盖物理信息层与人类活动层的全景式监测网络。数据驱动方法在复杂系统建模中的突破性应用打破了机理方程对高维非线性问题的求解局限，深度神经网络通过提取设备运行日志中隐含的故障前兆特征，建立具有强泛化能力的风险预警知识图谱，这种自学习机制使评估模型具备持续进化能力。跨领域数据资产的有机整合开创了评估维度延伸的新路径，电力市场交易数据与社交媒体舆情信息的交叉挖掘揭示出需求侧响应潜力

与公共安全风险的潜在关联，区块链赋能的分布式数据共享架构在保障隐私安全前提下激活了沉睡在垂直行业中的价值信息，为构建数字孪生系统提供多粒度信息支撑^[1]。

3 动态评估模型的设计框架

3.1 多源数据采集与融合机制

数据采集架构需建立覆盖发输变配用全环节的感知网络，整合调度自动化系统的 SCADA 量测数据、广域相量测量装置的动态同步信息、配电物联网的终端负荷曲线以及气象卫星的地面观测资料，形成时空分辨率互补的数据资源池。针对不同采集终端存在的时标偏差问题，设计基于北斗授时信号的多源时钟校准模块，消除量测数据在分钟级到毫秒级不同时间尺度上的异步误差。面对海量异构数据格式不兼容的挑战，开发具备语义解析功能的智能网关设备，将设备状态监测报告中的半结构化文本、巡检无人机的影像资料、用户智能电表的 JSON 格式报文统一转换为可计算的时间序列数据集。数据融合层采用数字孪生技术构建电网物理信息模型，将线路温度监测数据与气象台站的温湿度观测值进行空间插值匹配，通过场域耦合分析实时修正设备载流能力评估参数。在负荷预测模块中，融合商业区人流热力图、工业园区生产计划、居民区智能家居启停日志等社会化数据，建立负荷特性与人类活动模式的关联映射规则。数据安全传输采用分层加密策略，对变电站振动监测等低时延数据实施轻量化加密，对涉及用户隐私的用电行为数据实行联邦学习下的分布式计算，在保障数据可用性的前提下满足不同业务场景的保密要求。

3.2 实时性与预测性算法设计

动态评估模型在实时性与预测性算法设计层面采用分层递进的计算架构，基于高速数据流处理引擎构建毫秒级响应通道，利用滑动窗口机制对 SCADA 系统上传的拓扑状态量测值进行滚动校核，通过自适应滤波消除传感器噪声对潮流计算精度的影响。预测性算法融合时间序列分解与时空卷

积运算,将历史负荷曲线与气象卫星云图进行像素级特征匹配,采用注意力机制动态调整不同区域用电模式的权重系数,使短期预测误差控制在可接受区间。模型参数更新模块设计双通道校验机制,在线学习环节引入迁移学习框架复用相似场景下的训练成果,离线训练阶段采用对抗生成网络扩充设备老化样本数据,这种双重迭代策略有效缓解数据稀疏性导致的模型漂移问题。为平衡计算精度与资源消耗,在边缘侧部署轻量化推理引擎,将复杂的暂态稳定评估任务拆解为多个子问题分布式求解,借助内存计算技术减少跨节点数据交换频次^[2]。

3.3 模型动态更新与自适应机制

动态评估模型的核心参数采用滑动窗口机制进行滚动修正,根据 SCADA 系统上传的实时负荷波动曲线和设备健康度监测数据,自动调整潮流计算中的阻抗修正系数与变压器老化速率参数。评估算法内置残差反馈模块,对比分析预测负荷分布与实际量测值的偏差分布特征,触发线路过载概率模型的在线校核程序,使得风险评估结果能够跟随电网运行状态的渐变过程持续优化。当系统检测到新能源场站并网或重要输电断面拓扑变更时,增量学习引擎立即启动局部模型重构,在保留历史运行规律认知的基础上,快速融合光伏功率预测误差的时空分布特性与储能系统的充放电策略约束条件,避免传统全局模型更新带来的计算资源浪费。针对气象灾害预警事件,模型激活预设的极端场景快速响应通道,调用历史台风路径数据库与杆塔应力监测信息构建动态安全域边界,为调度人员提供适应天气演变节奏的防御策略调整建议。

4 动态评估模型的优化与改进

4.1 数据质量与数据安全的保障措施

对数据采集系统应建立多源异构数据校验机制,针对 PMU 装置与智能电表产生的时序量测数据设计动态补偿算法,当检测到电压相角跳变或功率因数异常波动时自动触发多设备交叉验证流程,利用相邻节点电气量变化的时空相关性修正异常数据点。数据处理平台部署基于特征工程的智能清洗模块,将传统阈值过滤与机器学习预测残差分析相结合,构建覆盖数据完整性、一致性、准确性的三层校验体系,对于缺失的负荷曲线数据采用时空克里金插值法进行修复,同时保留原始数据指纹供质量追溯使用。安全防护体系采用区块链与联邦学习融合架构,在数据存储环节通过默克尔树

结构实现台账信息的不可篡改存证,数据传输过程应用动态密钥分片技术防止中间人攻击,模型训练阶段利用同态加密保护用户用电行为隐私,权限管理模块设计基于设备指纹与操作行为的双因子认证机制,有效隔离未授权访问对核心评估模块的干扰。

4.2 模型的实时性与适应性优化

实时性提升依赖于计算引擎架构的深度重构,将原有串行处理模式改造为基于电力物理网架分区的分布式并行框架,使负荷预测模块能够同时处理配电台区智能电表上传的秒级数据与输电网 PMU 装置的毫秒级同步量测信息。模型参数的自适应优化采用双重触发机制,常规工况下依据调度员交接班周期执行小步长微调,当检测到新能源出力波动超过预设阈值时立即激活紧急修正模式,动态调整电压稳定判据中的安全裕度系数。针对跨区域电网协同评估需求,开发基于区块链技术的模型版本管理平台,记录不同省级调度中心对联络线过载评估参数的调整轨迹,在保证区域自治权的前提下实现关键评估规则的可控共享。极端天气应对模块集成气象雷达回波外推算法,结合铁塔倾斜监测装置上传的微气象数据,动态修正风偏放电概率模型的输入参数,使得灾害预警时间窗能够跟随台风移动路径实时滑动更新^[2,3]。

5 结语

通过建立数据流与电网状态内在映射关系的动态评估模型,实现了对系统安全风险早期识别能力的有效提升。基于多源数据融合的评估框架能够突破传统方法的时空局限,在电网运行状态的全景感知与趋势推演呈现出显著优势。电力企业应加强建设的数据治理体系,重点在于对异构数据标准化处理与信息物理系统协同分析技术瓶颈的突破,并且重视验证评估模型在不同运行场景下泛化能力。未来研究可对数字孪生技术与动态评估模型深度融合的路径展开探索,结合边缘计算架构来实现对实时数据处理效率的优化,在源网荷储协同互动场景下对评估维度进行拓展,进而给构建具备主动防御能力的智能电网提供技术储备。

参考文献

- [1] 孔祥飞,张帆. 基于大数据技术的电力系统调度优化 [J]. 光源与照明, 2024, (12): 213-215.
- [2] 祁立. 基于大数据的电力系统运行自动化控制系统 [J]. 电工技术, 2024, (S2): 144-146.
- [3] 王善渊. 基于数据挖掘技术的典型电力设备风险评估方法研究 [D]. 东北大学, 2021.

Research on the Application of S7-1500 Series PLC Control System in Furnace Front Blower

Xiaogen Wu

Yunxi Wenshan Zinc Indium Smelting Co., Ltd., Wenshan, Yunnan, 663700, China

Abstract

This article mainly studies the application of S7-1500 series PLC control system in the front blower of the furnace. Firstly, the original S7-1200 series PLC control system for the furnace front blower and its existing problems were introduced, including independent control of the lubrication system oil station, lack of instrument range setting on the touch screen, instrument interlock signal shielding function, and signal testing function. Then, a detailed explanation was given on the improvement plan of replacing the PLC with the S7-1500 series and merging it with the lubricating oil station control, as well as adding related functions. By comparing the system performance, stability, and ease of operation before and after improvement, the advantages and effects of the S7-1500 series PLC control system in the application of furnace front blowers were analyzed. The research results indicate that using the S7-1500 series PLC control system can significantly improve the operational efficiency and reliability of the furnace front blower, reduce maintenance costs, and provide stronger support for industrial production.

Keywords

PLC control system; S7-1500; Software programming; Blower; Instrument signal

S7-1500 系列 PLC 控制系统在炉前鼓风机的运用研究

吴小根

云锡文山锌铟冶炼有限公司, 中国·云南 文山 663700

摘 要

本文主要研究了 S7-1500 系列 PLC 控制系统在炉前鼓风机中的运用。首先介绍了炉前鼓风机原有的 S7-1200 系列 PLC 控制系统及其存在的问题, 包括润滑系统稀油站独立控制、触摸屏缺乏仪表量程设置、仪表联锁信号屏蔽功能和信号测试功能等。然后详细阐述了将 PLC 更换为 S7-1500 系列并合并润滑稀油站控制, 以及增加相关功能的改进方案。通过对比改进前后的系统性能、稳定性、操作便利性等方面, 分析了 S7-1500 系列 PLC 控制系统在炉前鼓风机应用中的优势和效果。研究表明, 采用 S7-1500 系列 PLC 控制系统能够显著提高炉前鼓风机的运行效率和可靠性, 降低维护成本, 为工业生产提供更有力的保障。

关键词

PLC 控制系统; S7-1500; 软件编程; 鼓风机; 仪表信号

1 引言

炉前鼓风机在冶金、化工等行业的生产过程中起着至关重要的作用, 它为焙烧炉等设备提供必要的风量, 保证燃烧过程的正常进行。PLC (可编程逻辑控制器) 作为工业自动化控制的核心设备, 广泛应用于炉前鼓风机的控制系统中。公司目前炉前鼓风机的控制系统采用 S7-1200 系列 PLC, 虽然该系列 PLC 具有一定的控制能力, 但随着生产工艺的不断发展和对设备运行要求的提高, 控制逻辑和实际运行情况逐渐暴露出一些问题。为了提高炉前鼓风机的运行效率、稳定性和自动化程度, 对控制逻辑和触摸屏功能进行

升级改造并进行试验测试是有必要的。本文将详细探讨 S7-1500 系列 PLC 控制系统在炉前鼓风机中的运用各项功能进行了优化和测试, 并与目前的 S7-1200 系列 PLC 控制系统进行对比分析。

2 目前的 S7-1200 系列 PLC 控制系统分析

2.1 系统架构

炉前鼓风机控制系统采用 S7-1200 系列 PLC 作为核心控制器。该系统主要由 PLC 主机、输入输出模块、传感器、执行器等组成。PLC 通过采集高压变频器、高压开关柜、润滑系统、仪表传感器传来的信号, 如高压变频器的运行电流 (频率)、压力传感器的油压力、温度传感器的油温度、测振仪振动等值, 经过逻辑运算后, 输出控制信号到执行器, 如电机变频器、高压开关柜、进出口电动调节阀等, 实现对炉前鼓风机的控制^[1]。

【作者简介】吴小根 (1983-), 男, 中国江西南昌人, 本科, 高级工程师, 从事电气技术研究。

润滑系统稀油站采用独立的控制方式，有自己的控制器和操作界面。稀油站主要负责为鼓风机的轴承等部件提供润滑和冷却，其独立控制虽然在一定程度上保证了润滑系统的稳定性，但也增加了系统的复杂性和维护难度。

2.2 触摸屏功能

目前的触摸屏主要用于显示鼓风机的运行参数，如电机转速、进出口阀门开度、电机温度、油温、振动值、油压等。然而，触摸屏缺乏一些重要的功能，如仪表量程设置、仪表联锁信号屏蔽功能和信号测试功能。

仪表量程设置功能的缺失，使得操作人员无法根据实际生产需求灵活调整仪表的测量范围，可能导致测量结果不准确或无法满足特殊工况的要求。

仪表联锁信号屏蔽功能的缺乏，在某些特殊情况下，如仪表故障或维护时，无法及时屏蔽联锁信号，可能会导致系统误动作，影响生产的正常进行。

信号测试功能的缺失，使得维护人员在排查故障时，无法方便地对传感器和执行器的信号进行测试，增加了故障排查的难度和时间。

2.3 存在的问题

目前 S7 - 1200 系列 PLC 控制系统存在以下几个方面的问题：

系统复杂性高：润滑系统稀油站独立控制，增加了系统的硬件和软件复杂度，导致设备的安装、调试和维护难度增大^[2]

操作不便：触摸屏功能不完善，缺乏必要的设置和测试功能，给操作人员和维护人员带来了很大的不便，影响了工作效率。

可靠性不足：由于缺乏仪表联锁信号屏蔽功能，在仪表故障或异常情况下，系统容易出现误动作，降低了系统的可靠性。

3 S7 – 1500 系列 PLC 控制系统改进方案

3.1 系统架构改进

将现有的 S7 - 1200 系列 PLC 更换为 S7 - 1500 系列 PLC，并将润滑系统稀油站的控制合并到新的控制系统中。S7 - 1500 系列 PLC 具有更高的性能和更强的处理能力，能够满足复杂的控制需求^[3]。

新的系统架构中，PLC 主机通过扩展模块连接更多的输入输出设备，包括传感器和执行器。同时，将稀油站的传感器和执行器信号接入到新的控制系统中，实现对润滑系统的集中控制。这样可以减少系统的硬件数量，降低系统的复杂性，提高系统的可靠性和可维护性。

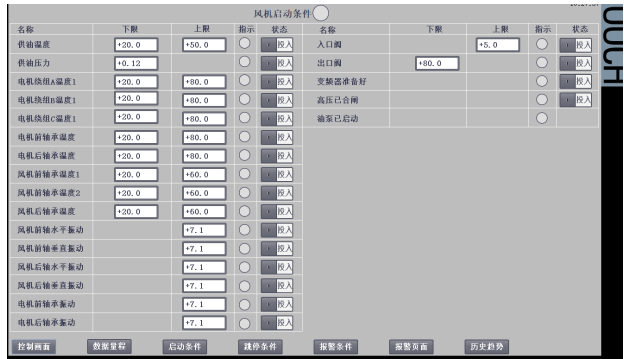
3.2 触摸屏功能改进

对触摸屏进行升级，增加仪表量程设置、仪表联锁信号屏蔽功能和信号测试功能。

仪表量程设置功能：操作人员可以通过触摸屏方便地设置各个仪表的量程范围。在不同的生产工况下，根据实际

需求调整量程，确保仪表测量的准确性和有效性。

仪表联锁信号屏蔽功能：当仪表出现故障或需要进行维护时，操作人员可以通过触摸屏屏蔽相应的联锁信号，避免系统误动作。在故障排除或维护完成后，再恢复联锁信号，保证系统的正常运行。如果风机启动前有某个信号异常，又要启动风机就可以在启动条件画面中的状态栏选择投入或者屏蔽。如图一；如果风机在运行时出现有某个信号异常，又要启动风机就可以在跳停条件画面中的状态栏选择投入或者屏蔽。如图二



图一



图二

信号测试功能：维护人员可以通过触摸屏对传感器和执行器的信号进行测试。在故障排查时，能够快速准确地判断故障点，提高故障排查的效率。如图三



图三

历史趋势图：维护人员可以随时查看设备仪表运行数

据,可以提前判断仪表的使用情况并做出适应的调整,防止设备突然停止运行。

3.3 软件编程改进

采用西门子 TIA Portal 编程软件对 S7 - 1500 系列 PLC 进行编程。TIA Portal 具有集成化的开发环境,能够实现 PLC 编程、触摸屏组态、驱动调试等功能的一体化设计。

在软件编程方面,重新设计了控制逻辑,将润滑系统稀油站的控制逻辑集成到主控制程序中。同时,增加了对仪表量程设置、仪表联锁信号屏蔽和信号测试功能的程序实现。通过合理的编程设计,确保系统的稳定性和可靠性。

4 改进前后系统对比分析

4.1 系统性能对比

处理能力: S7 - 1500 系列 PLC 具有更高的 CPU 处理速度和更大的内存容量,能够更快地处理大量的输入输出信号和复杂的控制逻辑。相比之下, S7 - 1200 系列 PLC 的处理能力相对较弱,在处理复杂任务时可能会出现响应延迟的问题。

通信能力: S7 - 1500 系列 PLC 支持多种通信协议,如 Profibus、Profinet 等,能够实现与其他设备的高速、稳定通信。而 S7 - 1200 系列 PLC 的通信能力相对有限,在构建大规模自动化系统时可能会受到一定的限制。

4.2 稳定性对比

硬件可靠性: 新的系统架构将润滑系统稀油站的控制合并到 S7 - 1500 系列 PLC 控制系统中,减少了硬件设备的数量,降低了硬件故障的发生率。同时, S7 - 1500 系列 PLC 采用了更先进的硬件设计和制造工艺,具有更高的可靠性和稳定性。

软件稳定性: 通过重新设计控制逻辑和优化软件编程,新的控制系统具有更好的抗干扰能力和容错能力。增加的仪表联锁信号屏蔽功能能够有效避免系统误动作,提高了系统的稳定性。

4.3 操作便利性对比

触摸屏操作: 改进后的触摸屏增加了仪表量程设置、仪表联锁信号屏蔽功能和信号测试功能,操作人员和维护人员可以通过触摸屏方便地进行各种操作和设置,大大提高了操作的便利性。而原有的触摸屏功能单一,操作不够灵活。

故障排查: 新系统的信号测试功能使得维护人员能够快速准确地排查故障,缩短了故障排除的时间。相比之下,原系统缺乏信号测试功能,故障排查难度较大,需要花费更多的时间和精力。

4.4 维护成本对比

硬件维护: 新系统减少了硬件设备的数量,降低了硬件维护的工作量和成本。同时, S7 - 1500 系列 PLC 的模块化设计使得硬件更换更加方便快捷,进一步降低了维护成本。

软件维护: 采用 TIA Portal 编程软件进行编程,使得软件的开发、调试和维护更加高效。统一的开发环境减少了软件维护的复杂性,降低了软件维护成本。

5 实际应用试验测试效果

5.1 运行效率提高

通过采用 S7 - 1500 系列 PLC 控制系统,炉前鼓风机的运行效率得到了显著提高。新系统能够更快速地响应生产过程中的变化,及时调整鼓风机的运行参数,保证了焙烧炉等设备的稳定运行。同时,润滑系统的集中控制使得润滑效果更加稳定,减少了设备的润滑磨损,延长了设备的使用寿命。

5.2 可靠性增强

改进后的系统具有更高的可靠性。仪表联锁信号屏蔽功能和信号测试功能的增加,有效地避免了系统误动作,提高了系统的抗干扰能力。在实际运行过程中,系统的故障发生率明显降低,减少了停机时间,提高了生产的连续性和稳定性。

5.3 操作维护便捷

新的触摸屏功能和系统架构使得操作和维护更加便捷。操作人员可以通过触摸屏轻松设置仪表量程和屏蔽联锁信号,维护人员可以快速进行信号测试和故障排查。这不仅提高了工作效率,还降低了对操作人员和维护人员的技术要求。

6 结论

本文通过对炉前鼓风机原有 S7 - 1200 系列 PLC 控制系统和改进后的 S7 - 1500 系列 PLC 控制系统进行对比分析,得出以下结论: ① S7 - 1500 系列 PLC 控制系统具有更高的性能和更强的处理能力,能够满足炉前鼓风机复杂的控制需求。②通过将润滑系统稀油站的控制合并到新的控制系统中,减少了系统的复杂性,提高了系统的可靠性和可维护性。③触摸屏功能的改进,增加了仪表量程设置、仪表联锁信号屏蔽功能和信号测试功能,提高了操作的便利性和故障排查的效率。④改进后的系统在运行效率、可靠性和操作维护等方面都有显著的提升,降低了维护成本,为工业生产提供了更有力的保障。

综上所述, S7 - 1500 系列 PLC 控制系统在炉前鼓风机中的运用是一种有效的升级改造方案,值得在相关行业中推广应用。

7 展望

随着工业自动化技术的不断发展,炉前鼓风机的控制系统也将不断完善和升级。未来,可以进一步探索 S7 - 1500 系列 PLC 与其他先进技术的结合,如人工智能、大数据等,实现炉前鼓风机的智能化控制和预测性维护。同时,还可以加强系统的安全性设计,提高系统对各种突发情况的应对能力,为工业生产的安全稳定运行提供更可靠的保障。

参考文献

- [1] 西门子(中国)有限公司. 深入浅出西门子 S7 - 1500 PLC[M]. 北京: 机械工业出版社, 2019.
- [2] 廖常初. PLC 编程及应用(第3版)[M]. 北京: 机械工业出版社, 2013.
- [3] 张万忠, 刘明芹. 电气控制与 PLC 应用(第3版)[M]. 北京: 化学工业出版社, 2018.

The Deconstruction and Reconstruction of the Dynamic Mechanism for the Transformation of Scientific and Technological Achievements from the Perspective of Collaborative Innovation Theory

Ji Wang

Science and Technology Commission of Changping District, Beijing, Beijing, 102200, China

Abstract

Based on the theory of collaborative innovation, this paper deeply analyzes the dynamic mechanism of the transformation of scientific and technological achievements. By deconstructing the existing dynamic mechanism, analyzing the problems such as insufficient subject coordination, inefficient resource integration and weak policy guidance existing in the current dynamic mechanism, starting from the concept of collaborative innovation, the path of reconstructing the dynamic mechanism for the transformation of scientific and technological achievements is proposed to improve the efficiency of the transformation of scientific and technological achievements and promote the deep integration of scientific and technological innovation and economic and social development. The research holds that establishing a new dynamic mechanism for the effective transformation of scientific and technological achievements, with the collaboration of multiple subjects at its core, the efficient integration of resources as its support, and the precise guidance of policies as its guarantee, is the key to achieving the effective transformation of scientific and technological achievements.

Keywords

Collaborative Innovation Theory; Technology transfer; Power mechanism

协同创新理论视角下科技成果转化动力机制的解构与重构

王佶

北京市昌平区科学技术委员会, 中国·北京 102200

摘要

本文基于协同创新理论,深入剖析科技成果转化动力机制。通过对现有动力机制进行解构,分析现有动力机制存在的主体协同不足,资源整合低效,政策引导乏力等问题,从协同创新的理念出发,提出重构科技成果转化动力机制的路径,以提升科技成果转化效率,促进科技创新与经济社会发展深度融合。研究认为,构建以多元主体协同为核心,资源高效整合为支撑,政策精准引导为保障的科技成果转化新型动力机制是实现科技成果转化有效转化的关键。

关键词

协同创新理论; 科技成果转化; 动力机制

1 引言

在全球科技竞争日趋激烈的今天,科技成果转化成为增强国家创新能力和经济竞争力的关键环节。科技成果只有实现从实验室向市场的转化,才能真正发挥其推动经济社会发展的作用^[1]。但是,当前我国科技成果转化率仍有待提高,存在大量科技成果闲置、转化周期长等问题。协同创新理论强调创新主体间的协同合作、资源整合与系统优化,为解决科技成果转化难题提供了新的理论视角。从协同创新理论视

角出发,解构与重构科技成果转化动力机制,可以加深对科技成果转化过程中动力来源与运行规律的理解,为提升科技成果转化效率提供理论支持和实践指导。

2 协同创新理论与科技成果转化动力机制概述

2.1 协同创新理论

由德国物理学家赫尔曼·哈肯提出,是指系统各要素或子系统在一定条件下通过相互作用,相互协调,产生协同效应,从而使系统从无序状态向有序状态转换,从而使系统整体功能得以提高的一种理论^[2]。协同创新强调企业、高校、科研机构、政府等多元创新主体在创新领域通过整合人才、技术、资金、信息等创新资源,开展深度合作与协同互动,

【作者简介】王佶(1997-),男,中国北京人,本科,从事科技成果转化研究。

突破创新主体间的壁垒,实现资源共享、优势互补,从而提高创新效率,降低创新成本,产生更大创新价值。协同创新包括主体协同、资源协同、制度协同等各个层次,其核心是通过各要素协同作用,形成创新合力,推动创新活动的高效开展。

2.2 科技成果转化动力机制

科技成果转化动力机制是指促使科技成果由研发阶段向应用阶段转化的动力因素及其相互关系、作用方式的总和。这些动力因素包括内部动力和外部动力。内部动力主要包括企业追求利润最大化的动机、科研人员实现创新价值的愿望等,外部动力包括市场需求的拉动、政策法规的引导、社会文化环境的支持等。科技成果转化动力机制的有效运行,可以使各创新主体积极参与成果转化活动,合理配置资源,提高成果转化的成功率^[3]。

2.3 协同创新理论与科技成果转化动力机制的关系

协同创新理论为科技成果转化动力机制的研究提供了理论基础和分析框架。从协同创新理论视角看,科技成果转化是多元主体协同合作的过程,各主体间的协同程度直接关系到动力机制的运行效率。协同创新所倡导的资源整合,主体协同等理念,与科技成果转化动力机制中动力因素的协同作用相一致。协同创新可以优化科技成果转化动力机制中的主体关系,提高资源配置效率,增强动力机制的整体效能,从而促进科技成果的顺利转化。同时,科技成果转化动力机制的研究也为协同创新理论在实践中的应用提供了具体场景,有助于协同创新理论的进一步丰富和发展^[4]。

3 协同创新理论视角下的科技成果转化动力机制解构

3.1 主体协同层面

在科技成果转化过程中,企业、高校、科研机构、政府等主体是关键的动力源。但当前各主体之间协同不足。企业作为科技成果转化的主体,对高校、科研机构科研成果往往缺乏深入了解,难以与自身需求进行精准对接;高校、科研机构的科研活动与市场需求脱节,偏重学术成果,对成果实用性和市场前景关注不足,导致大量科研成果难以转化为现实生产力。三是政府在协同创新中的引导和协调作用发挥不充分,未能有效搭建各主体间沟通与合作的平台,使得各主体在成果转化过程中各自为政,无法形成协同创新合力。这种主体间协同不足,弱化了科技成果转化的动力,阻碍了成果转化的进程。

3.2 资源协同层面

科技成果转化需要人才、技术、资金、信息等各种资源的整合。人才资源上,高校和科研机构拥有大量科研人才,缺乏懂市场、懂管理的复合型人才,企业科研人才缺乏,人才在不同主体间的流动不畅,难以实现人才资源的优化配置。在技术资源上,高校和科研机构技术研发与企业技术需求存在差距,技术转移、扩散面临障碍,导致技术资源无

法利用。在资金资源方面,科技成果转化前期研发投入大、风险高,企业融资渠道狭窄,政府资金支持不足,社会资本参与度不高,资金短缺是制约成果转化的重要因素。信息资源方面,各主体间信息不对称,缺乏有效信息共享平台,科研成果信息与市场需求信息无法及时对接,影响资源协同的效率。

3.3 制度协同层面

我国目前科技成果转化的政策法规体系还不健全,存在政策执行不到位、政策之间缺乏协调性等问题。例如,一些政策激励科研人员参与成果转化的力度不够,科研人员参与成果转化的积极性不高;有些政策在企业、高校和科研机构的利益分配上没有明确的规则,容易引发矛盾和纠纷。管理制度方面,高校和科研机构的科研评价体系着重研究学术论文和科研项目,对科技成果转化的考核和激励力度不足,不利于科研人员把精力集中到成果转化工作中去。企业内部的创新管理制度也不完善,缺乏对创新活动的有效组织和管理,影响了企业参与成果转化的动力和能力。

4 科技成果转化动力机制存在的问题

4.1 主体协同创新意识淡薄

企业、高校和科研机构等主体缺乏协同创新的认识,主动合作意识不强。

企业往往更注重自身的短期利益,认为独立研发能够更好地控制技术和成果,对与其他主体合作存在顾虑;高校和科研机构长期以来形成了以学术研究为主的思维定式,对与企业合作开展成果转化缺乏积极性,认为这会影响到其学术研究的纯粹性。政府部门在推动协同创新方面的宣传和引导力度不够,没有营造良好的协同创新氛围,导致各主体协同创新意识淡薄,难以形成有效的协同创新合作关系,制约了科技成果转化动力机制的运行。

4.2 资源整合效率低下

由于各主体间缺乏有效的协同合作机制,资源整合难以实现优化配置。人才资源方面,不同主体间的人才流动存在制度障碍,高校和科研机构的科研人才难以向企业流动,企业的管理和市场人才也难以进入高校和科研机构,导致人才资源无法充分发挥作用。技术资源方面,技术转移和扩散的渠道不畅,高校和科研机构的技术成果难以快速、有效地转移到企业,企业也难以获取所需的先进技术。资金资源方面,融资渠道单一,风险投资、天使投资等社会资本参与科技成果转化的积极性不高,资金分散在不同主体和领域,无法形成集中优势,支持科技成果转化的关键环节。在信息资源方面,信息孤岛现象严重,各主体间信息共享不足,导致资源整合效率低,不能为科技成果转化提供有力支持。

4.3 政策引导作用不足

政府在科技成果转化过程中出台了一系列政策法规,但政策的引导作用不能充分发挥。一是政策针对性和可操作性不强,一些政策过于宏观,缺乏具体实施细则和配套措施,

难以落实到实际工作中。另一方面,政策激励力度不强,对企业、高校、科研机构参与成果转化的奖励和扶持措施较少,不能有效调动各主体的积极性和主动性。此外,政策之间也缺乏协调和衔接,不同部门出台的政策在目标和内容上存在不一致,导致政策执行过程中出现矛盾和冲突,影响了政策的整体效果,削弱了政策对科技成果转化动力机制的引导作用。

5 协同创新理论视角下的科技成果转化动力机制重构

5.1 加强主体协同,构建多元合作网络

5.1.1 明确各主体角色定位

发挥企业科技成果转化主体作用,企业要加大研发投入,积极参与与市场需求调研,提出技术创新需求,与高校和科研机构进行合作,将科研成果转化为产品和服务。高校和科研机构要转变观念,以市场需求为导向,调整科研方向,加强与企业的产学研合作,提高科研成果的实用性和可转化性。政府要发挥引导和协调作用,制定相关政策,搭建合作平台,促进各主体间的沟通与合作,营造良好的创新生态环境。

5.1.2 建立有效的合作机制

推动企业、高校和科研机构建立产学研战略联盟,通过签订合作协议、共建研发中心、联合开展科研项目等方式,实现资源共享、优势互补。建立利益共享和风险共担机制,明确各主体在成果转化过程中的权利和义务,合理分配收益,共同承担风险,提高各主体参与协同创新的积极性和稳定性。加强各主体间的人才交流与合作,鼓励高校和科研机构的科研人员到企业兼职或挂职,企业的技术和管理人员到高校和科研机构授课或参与科研项目,促进人才的合理流动和知识的共享。

5.2 优化资源协同,提高资源配置效率

5.2.1 加强人才资源整合

打破人才流动的制度壁垒,建立健全人才流动机制,鼓励高校、科研机构和企业之间的人才交流与合作。制定相关政策,吸引海外高层次人才和企业优秀人才参与科技成果转化。加强对复合型人才的培养,高校和科研机构要设置相关课程和专业,培养既懂技术又懂管理和市场的人才;企业要加强与高校和科研机构的合作,共同培养适应企业需求的创新人才。

5.2.2 促进技术资源共享

搭建技术转移服务平台,整合高校、科研机构和企业的技术资源,为技术供需双方提供信息发布、技术评估、技术交易等服务,促进技术转移和扩散。鼓励高校和科研机构开放实验室、科研设备等资源,与企业共享技术研发设施,降低企业的研发成本。加强知识产权保护,完善知识产权交易市场,保障技术创新者的合法权益,激发技术创新和成果

转化的积极性。

5.2.3 拓宽资金资源渠道

加大政府资金支持力度,设立科技成果转化专项资金,对具有市场前景的科技成果转化项目给予资助和补贴。引导社会资本参与科技成果转化,通过设立风险投资基金、天使投资基金等方式,吸引民间资本和金融机构投资科技成果转化项目。完善科技金融服务体系,鼓励银行等金融机构创新金融产品和服务,为科技成果转化提供多元化的融资渠道,解决企业融资难题。

5.3 完善制度协同,强化政策引导作用

5.3.1 健全政策法规体系

加快制定和完善科技成果转化相关的政策法规,明确成果转化过程中各主体的权利和义务,规范成果转化行为。加强政策的衔接,做到政策目标一致、内容互补。制定具体实施细则和配套措施,增强政策的可操作性和执行力。加强政策执行情况的监督、评估,及时发现问题,加以调整、完善。

5.3.2 优化科研评价体系

改革科研评价体系高校和科研机构要增加科技成果转化在科研评价中的权重,把成果转化的数量、质量、经济效益等指标纳入科研人员的考核体系。建立多元化的科研评价标准,既重视学术论文、科研项目,更重视科研成果的实际应用价值和社会经济效益。对在科技成果转化方面做出突出贡献的科研人员予以奖励和表彰,调动科研人员参与成果转化的积极性。

6 结论

协同创新理论视角下科技成果转化动力机制的解构与重构具有重要的理论和实践意义。分析认为,目前科技成果转化动力机制存在主体协同不够,资源整合效率不高,政策引导作用弱等问题,这些都严重制约着科技成果转化的效率和质量。基于协同创新理论,从强化主体协同,优化资源协同,完善制度协同三个方面重构科技成果转化动力机制,构建以多元主体协同为核心,资源高效整合为支撑,政策精准引导为保障的科技成果转化新型动力机制,有效提升科技成果转化效率,推动科技与经济深度融合。未来还应进一步加强理论研究和实践探索,不断完善科技成果转化动力机制,为我国科技创新和经济社会发展提供有力支撑。

参考文献

- [1] 喻国明,滕文强,王希贤.分布式社会的再组织:基于传播学的观点——社会深度媒介化进程中协同创新理论的实践逻辑[J].学术界,2022(7):184-191.
- [2] 陈劲,金鑫,张奇.企业分布式创新知识共享机制研究[J].科研管理,2012,33(6):7.
- [3] 靳晓曼.利益相关者视角下企业商业模式创新及其合法性获取研究[D].北京化工大学,2024.
- [4] 程聪慧.多主体共演视角下大学科技城创新创业生态系统研究[J].黑龙江高教研究,2021(7):103-108.

The reinforcement effect of offshore jet grouting pile technology on port foundations

Xing Feng

China Communications Second Highway Engineering Bureau Municipal Construction Co., Ltd., Dalian, Liaoning, 116014, China

Abstract

As an in-situ foundation reinforcement technology, high-pressure jet grouting piles have been widely used in seaport engineering in recent years, especially in the nearshore areas with extensive distribution of soft soil layers, large water depth and complex geology. Based on the Shabao Port wharf project of Zhangzi Island, this paper conducts research on the construction technology of offshore jet grouting piles and systematically analyzes its reinforcement mechanism and implementation effect in the port foundation. Combining design parameters, construction process control, on-site detection data and environmental impact monitoring, the comprehensive advantages of this technology in enhancing the bearing capacity of the foundation, suppressing settlement and reducing environmental disturbance are verified. By comparing with traditional methods, the applicability and technical economy of the promotion of high-pressure jet grouting piles in seaport engineering are summarized, providing feasible technical paths and reference basis for future port foundation engineering.

Keywords

rotary jet grouting pile; Foundation treatment; Harbor engineering; Capacity enhancement; environmental impact

海上旋喷桩工艺对港口地基加固效果

冯星

中交二航局市政建设有限公司, 中国·辽宁 大连 116014

摘要

高压旋喷桩作为一种原位地基加固技术,近年来在海港工程中得到广泛应用,尤其适用于软土层分布广、水深大、地质复杂的近海区域。本文以獐子岛沙包港码头工程为基础,围绕海上旋喷桩施工技术展开研究,系统分析其在港口地基中的加固机理与实施成效。结合设计参数、施工过程控制、现场检测数据和环境影响监测,验证该技术在提升地基承载力、抑制沉降、降低环境扰动方面的综合优势。通过与传统方法比较,总结高压旋喷桩在海港工程中推广的适用性与技术经济性,为今后港口类基础工程提供可行技术路径与参考依据。

关键词

旋喷桩; 地基处理; 海港工程; 承载力提升; 环境影响

1 引言

海上港口工程的地基稳定性对整体结构安全与运营效率具有决定性作用。传统地基处理方式如开挖换填、挤密砂桩等虽技术成熟,但在高水深、软土厚、环保敏感区域常面临技术适应性与施工可控性问题。高压旋喷注浆法因其扰动小、成桩质量高、适应性强的特点,成为当前海上软土地基处理的重要选择。尤其在獐子岛沙包港等典型海岛工程中,旋喷桩有效克服了施工场地受限、材料外运不便等困难,体现出良好的技术优势。本文通过实证工程研究与技术评价,探索该工艺在港口地基加固中的实用价值与应用前景。

2 高压旋喷桩技术原理与适用性分析

高压旋喷桩通过将带喷嘴的注浆管钻入预定深度,在高压条件下注入水泥浆液,使其与土体混合、剪切、搅拌并胶结成桩。系统主要由钻机、注浆泵、高压管路、旋喷头等组成,施工过程控制关键在于注浆压力、提升速度、旋转速度与浆液水灰比的匹配。浆液通过射流作用切割原状土并与其充分混合,形成具有一定抗压强度和整体性的水泥土体。成桩后形成复合地基结构,增强软土地层的承载力与抗变形能力,对深厚淤泥或液化敏感土层具有明显加固效果。针对淤泥质粉质粘土与粉细砂等不稳定土层,通过调控注浆参数可实现不同深度、不同强度的加固层设计。在不具备大型设备进场条件或缺乏砂石料来源的岛屿或远岸区域,该工艺可通过平台施工方式灵活布设,减少对原地形与生态环境的干

【作者简介】冯星(1987-),男,蒙古族,中国辽宁锦州人,本科,工程师,从事港航工程研究。

扰,适用于不能进行大面积开挖换填的区域。

3 港口地基典型特性与加固需求

3.1 港口区域软土特征与承载力评估

港口地基普遍存在软土层厚、孔隙比高、含水率大等特征,导致天然承载力较低,无法满足结构物的荷载要求。在獐子岛沙包港区域,地基主要由淤泥质粉质黏土与粉细砂构成,局部分布不均,地层存在明显液化风险。依据勘察数据显示,表层软土的承载力仅为 50kPa,需通过有效加固提升其变形模量与抗剪强度。旋喷桩处理后形成的水泥土桩可将承载力提升至原值的数倍,实现防波堤、码头等设施基础的稳定支撑。

3.2 海洋潮流、水深与施工条件限制

港口施工面临复杂的海洋水动力环境,潮流方向不定、水深变化大、海底地貌起伏显著,常对设备稳定性与工序连续性构成挑战。受风浪和潮汐双重影响,传统机械作业的速度与安全性难以保障。在无纳泥区、缺乏抛泥点的工程区域,开挖作业易造成大范围泥沙扰动。高压旋喷注浆法通过平台作业与定点控制,适应海域浅基坑作业需求,同时避免大面积疏浚,可在限定海域内有效完成地基加固任务,降低海洋水体二次污染风险。

3.3 地震设防与液化敏感性影响分析

沿海地区受地震活动影响显著,港区多布置在液化敏感土层之上,需进行系统性的抗震设计。粉细砂等饱和砂土层在地震作用下易发生液化,对结构基础稳定性构成威胁。根据《水运工程抗震设计规范》,獐子岛项目地震设防烈度为 6 度,液化判别后粉细砂层需按 7 度设防处理。旋喷桩工艺通过注浆加固方式可直接提升液化土体的抗剪强度与有效应力水平,形成抗液化能力强的加固体,有效减少震动引发的地基沉降与破坏,提升港口设施抗震安全性能。

4 海上旋喷桩施工工艺流程与质量控制

4.1 海上平台搭建与钻机布置要求

海上旋喷桩施工需依托临时作业平台,平台通常采用钢结构模块拼装方式,通过浮吊吊装定位,并由锚桩系统或刚性连接构件固定在预定水域。平台承载能力需满足钻机、注浆设备和施工人员作业要求,同时具备良好的抗风浪稳定性与纵横向刚度。钻机布置根据加固区域的桩位布置图进行精确定位,需保证钻头垂直度和入土精度。布置过程中对平台整体沉降、倾斜进行动态监测,确保钻孔轨迹一致性和作业安全性。钻孔深度须精确控制至设计持力层,平台移位与转场必须在完成桩体强度达标验证后进行,保证连续施工质量。

4.2 注浆参数配置与桩体成型控制

旋喷桩的加固效果取决于浆液配比、喷射压力、提升速度、旋转速度等核心参数的精准控制。注浆浆液多采用水泥为主材,掺加一定比例的水和外加剂形成可泵性良

好的混合液,常用水灰比为 1.01.5。注浆压力一般控制在 2530MPa,通过多喷管系统实现径向高压喷射,对原状土体进行切削、搅拌和固结。施工中实时监控注浆压力与流量,记录注浆量与提升进程,结合土层变化调节提升与旋转速度,确保桩体直径、强度与成型均匀性达到设计要求。施工完成后通过钻芯取样和低应变检测手段验证桩体完整性与强度分布,确保地基承载性能满足结构荷载需求。

4.3 施工过程中变形控制与环境监测

旋喷桩施工过程对周边结构和生态环境的扰动较小,但在软弱地层中仍可能引发局部位移与渗漏风险。变形控制依赖于施工顺序优化与实时监测系统布设,施工前设立沉降观测点、水平位移桩及地下水位监测井,施工中以传感器收集实时数据反馈给调控系统。平台沉降、邻近结构基础沉降与围堰位移变化作为控制指标,一旦偏离预设阈值,需立即暂停施工进行校核调整。环保监测重点覆盖水体浊度、悬浮物浓度与注浆液外溢控制,在桩体成型区域设立拦污网与浮筒屏障,收集溢浆物质并分类处理,保障水域生态安全。全过程监测结果形成数据报告,为后期环境影响评价提供依据。

5 工程实施效果评估与性能表现

5.1 地基强度提升与沉降控制表现

本项目实施前,工程区域地基主要由淤泥质粉质黏土和粉细砂构成,含水率高达 45.48%,液性指数 1.94,压缩模量最低仅为 2.69MPa,地基承载力偏低,软土厚度可达 10.8m。经高压旋喷注浆处理后,形成的水泥土桩体有效提高了复合地基的承载能力和稳定性。加固后桩间区域复合承载力普遍达到 200~250kPa,最大实测值为 285kPa,满足防波堤和码头结构对持力层强度的要求。沉降监测数据显示,加固区域累计沉降量稳定控制在 25mm 以内,明显优于施工前地基预测沉降值 60mm,沉降曲线无突变趋势,显示地基应力传递与变形协调性良好。东防波堤加固段加固后模量提升至 10.38MPa,压缩性明显改善,有效降低结构不均匀沉降风险。旋喷桩桩顶复合褥垫层进一步起到荷载均化作用,提升地基整体承载响应的一致性和可控性,为码头设施的安全运行提供了坚实基础。

5.2 水下桩体成形一致性与完整性分析

本项目共完成旋喷桩施工总长度 123981m,其中东防波堤 70954m,西防波堤 54769m。施工完成后由大连理工大学现代工程检测有限公司和信德建设检测单位联合开展桩体检测,使用钻芯法、声波透射与低应变反射测试三种手段交叉验证。检测结果显示桩径实际控制在 0.981.02m 之间,成桩偏差不超过规范要求 2%,桩长误差控制在 0.05m 以内。桩身抗压强度在 2.53.2MPa 之间,远高于设计强度 1.5MPa 下限,桩体整体均匀性良好。检测合格率达到 98.6%,其中主要不合格项为桩头浆液离析所致轻微缩径,未出现贯通性缺陷。桩体截面密实,结构致密无裂隙,水泥土分布均匀。

桩体之间搭接区域结合严密,连续墙整体刚度高,满足防波堤高外荷载工况要求。全线旋喷加固段未见因质量问题引发的沉降异动或结构变形,充分验证了海上旋喷桩技术在复杂软土环境中的可控性与可靠性。

5.3 对海洋生态环境扰动程度的实测结果

本项目毗邻虾夷扇贝幼苗浮筏养殖区和底播增养殖海域,环境保护等级要求高。施工全过程由自然资源部大连海洋中心进行海洋生态环境跟踪监测,主要指标包括水体悬浮物浓度、化学需氧量、溶解氧、pH值和底栖生物群落变化。监测数据显示,注浆作业期间水域悬浮物浓度峰值不超过28mg/L,施工高峰期增幅不超过基准值的35%,在防护围栏及滤布屏障控制下迅速恢复。pH值稳定在7.9~8.1之间,浆液外溢控制良好,未检测到水泥组分沉积层形成。底栖生物监测数据显示,施工区与对照区中贝类存活率差异小于2%,未发生规模性死亡或迁移。海水溶解氧浓度维持在6.5mg/L以上,生态系统未出现明显紊乱现象。现场未发生对虾夷扇贝养殖区的影响投诉或应急事件,监测报告结论为工程扰动总体可控、生态影响轻微,符合国家海洋工程施工环境保护标准。

6 技术经济性比较与适用推广建议

6.1 与开挖换填、挤密砂桩方案的成本效益对比

在獐子岛沙包港项目地质条件下,开挖换填法虽然施工工艺成熟,但涉及40万方疏浚工程,需外运至90公里外的抛泥区,施工周期长达8个月,占用海域广泛,污染风险高。该方案填料需从大陆运输,单方运输费用与环保处理成本显著推高总投资。挤密砂桩方案虽具一定施工效率,但砂石用量大,设备依赖性强,软土隆起问题导致需额外处理8万方泥沙,造成环境扰动。相比之下,高压旋喷桩施工周期为5个月,泥面扰动小,占用海域最小,不需疏浚和大宗砂石运输。旋喷施工总桩长123981m,尽管单位成本高于砂桩,但总施工成本控制在合理区间,因其在工期压缩、环境控制和平台适配方面具有综合优势,使得单位造价折算后的投资效益优于传统方案,具备在软土港区中推广的经济合理性。

6.2 高压旋喷桩技术在港口多类型结构中的适应性

港口结构涵盖直立式防波堤、趸船式客运码头、突堤式货运平台等多种类型,各类结构对地基强度、变形协调性、液化控制能力要求差异显著。高压旋喷桩通过注浆参数调整可实现对不同结构荷载传递特性的定制加固。对于直立式沉箱结构,旋喷桩形成的连续加固墙体能有效提升抗滑移和抗震稳定性,对软弱持力层提供强支撑;对趸船结构,通过调整桩顶褥垫层与承载区搭接关系,可满足浮动平台的变形协

调需求;对于突堤式货运平台,通过深层桩体加固粉细砂层,有效降低液化风险。该技术无需大量开挖作业,适应浅水、深水、孤立岛礁等多种施工场景,尤其在材料运输受限、环保要求严格的海港环境中具备广泛适用性,为多种结构提供统一而灵活的地基解决方案。

6.3 后续工程推广与优化施工路径建议

旋喷桩工艺在港口地基加固中的工程适应性已得到实际验证,未来推广需在工艺参数标准化、平台布设模板化及信息化监控方面持续优化。应建立针对不同土层组合的标准桩型数据库,结合历史项目注浆参数与地质响应数据,构建智能推荐系统,提升设计效率与施工可控性。作业平台可采用模块化装配设计,适配不同水深与海况,减少现场组装时间与安全风险。施工过程中引入数字监控系统,对浆液压力、成桩深度、提升速度进行实时记录与反馈,实现全过程质量可追溯。推广策略上应优先布局海岛型港口、深水软基码头及生态敏感区域,通过示范工程总结应用经验,推动地方规范修订与工程造价标准调整,在满足环保与安全前提下,构建高压旋喷桩地基处理的系统性施工技术体系。

7 结语

高压旋喷桩技术在港口地基加固中展现了显著的技术优势与经济效益,尤其在海上软土和复杂地质条件下的应用,解决了传统方法难以克服的环境扰动与施工周期问题。通过精确控制注浆参数和施工工艺,旋喷桩不仅提高了地基承载力,减少了沉降,还有效降低了对海洋生态环境的影响。项目的实施表明,该技术对港口各类结构具有广泛适应性,特别适用于地质条件复杂、水域受限的区域。随着施工技术的不断优化和信息化管理的推进,旋喷桩的施工效率与质量控制有望得到进一步提升。结合实际工程经验,未来该技术将在港口、桥梁及其他基础设施建设中得到更广泛的应用,为类似项目提供重要的技术参考和保障。

参考文献

- [1] 陈雪锋.强砂化白云岩地层隧道水平旋喷桩应用分析[J].石家庄铁路职业技术学院学报,2025,24(01):1-5.
- [2] 谢佳丽.高压旋喷桩施工技术在防洪排涝工程项目中的应用研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(05):130-132.
- [3] 李云超,侯禹辰,刘坤,祝阿龙,刘迪.海上旋喷桩施工移动作业平台研究应用[J].中国港湾建设,2023,43(07):84-88+99.
- [4] 校建东.海上风电单桩基础地基加固技术研究[J].南方能源建设,2023,10(04):184-192.
- [5] 郭琼玲.高压旋喷桩在海上风电桩周土加固中的应用[J].地基处理,2023,5(01):62-66.

DAM10kW Fault types of medium wave transmitter and classification maintenance techniques

Yankai Wang

Xinjiang Radio and Television Bureau 8108 stations, the Xinjiang Uygur Autonomous Region, Artux, 845350, China

Abstract

This paper focuses on the DAM10kW medium wave transmitter of the Xinjiang Press and Publication Radio and Television Bureau's Program Transmission Center, systematically explaining common fault types and classification maintenance techniques. By analyzing power supply faults, RF amplification faults, modulation and demodulation faults, and control monitoring faults that occur during actual operation, the paper delves into the causes of these faults. For different types of faults, targeted maintenance ideas and methods are proposed. Considering the unique environmental characteristics of Xinjiang, practical strategies for fault prevention and rapid repair are provided. The aim is to help technical personnel accurately diagnose fault types, efficiently resolve transmitter faults, ensure stable transmission of medium wave signals, and provide practical references for the technical maintenance work of medium wave transmission stations.

Keywords

DAM10kW medium wave transmitter; fault type; classified maintenance; broadcast transmission; fault prevention

DAM10kW 中波发射机故障类型及分类检修技巧

王彦凯

新疆广电局 8108 台, 中国·新疆阿图什 845350

摘要

本文以新疆新闻出版广电局节目传输中心的DAM10kW中波发射机为研究对象, 系统阐述其常见故障类型及分类检修技巧。通过对实际运行中出现的电源故障、射频放大故障、调制解调故障、控制监测故障等进行分析, 深入探讨故障产生的原因。针对不同类型故障, 分别提出针对性的检修思路与方法, 结合新疆地区特殊环境特点, 给出适用于本地的故障预防 and 快速检修策略。旨在帮助技术人员准确判断故障类型, 高效解决发射机故障, 保障中波广播信号稳定传输, 为中波发射台站的技术维护工作提供实践参考。

关键词

DAM10kW中波发射机; 故障类型; 分类检修; 广播传输; 故障预防

1 引言

DAM10kW中波发射机作为中波广播发射的重要设备, 凭借其数字调幅技术优势, 在广播信号传送方面发挥着核心作用。在长期的运行中, 受设备老化、环境相关要素及操作不当状况的影响, DAM10kW中波发射机肯定会出现各式各样的故障, 进而妨碍广播信号的正常传输工作。新疆新闻出版广电局节目传输中心承担起关键的广播传输工作, 该地区具有气候干燥、风沙大、昼夜温差起伏大等特性, 特殊环境因素让发射机故障发生的概率进一步攀升。因此, 本文旨在深入了解 DAM10kW中波发射机的故障类型, 掌握科学有效的分类检修技巧, 保障中波广播发射系统稳定运行。

2 DAM10kW 中波发射机概述

DAM10kW中波发射机采用数字调幅(DAM)此项技术, 对音频信号做数字化处理, 然后对载波实施幅度调制, 实现广播信号的传送, 这发射机主要由电源系统、射频放大系统、调制解调系统以及控制监测系统等组成, 电源系统向发射机各部分稳定输送电力。射频放大系统对射频信号做功率上的放大, 以符合发射规格。调制解调系统的职责是对音频、射频信号实施调制与解调^[1]。控制监测系统实时追踪发射机的工作状态, 进而对各部分实施控制及调节, 各系统彼此协作, 互相协作保障发射机正常运行。

3 DAM10kW 中波发射机常见故障类型

3.1 电源故障

电源故障是DAM10kW中波发射机常见故障类型之一, 电源系统由市电输入、变压器、整流滤波电路、稳压电路等

【作者简介】王彦凯(1969-), 男, 中国新疆阿图什人, 工程师, 从事广播电视发射技术研究。

一系列环节组成,一个环节若出现问题,或许会引发故障,市电电压不稳、停电,变压器绕组出现短路及断路故障,整流二极管出现损坏情形,滤波电容效能宣告失效。如稳压模块故障等问题,皆可能引发发射机无法获取稳定的电源输入。电源故障的表现呈现多样化,如发射机不能启动、部分模块不工作状态、输出功率不稳定现象^[2]。

3.2 射频放大故障

在发射机中,射频放大系统承担起将射频信号放大到足够功率发射的工作,射频放大管老化、遭到损坏,偏置电路存有故障,匹配网络陷入失谐状态,冷却系统表现出异常等,皆可能造成射频放大故障,要是射频放大管性能下降乃至损坏,会出现发射功率短缺、信号失真等毛病;若偏置电路发生故障,会影响射频放大管正常工作;匹配网络失谐会引起反射功率的上升,引起发射效率变低;冷却系统若出现故障,射频放大管可能因过热而坏掉。

3.3 调制解调故障

调制解调系统为实现音频信号与射频信号转换的关键部分,调制解调故障可因音频信号输入异常、调制编码电路故障、解调电路故障等产生,音频信号源受损坏、音频输入接口接触不紧密会引起无音频信号输入。调制编码电路中若芯片故障、焊点虚焊,调制过程会出错。解调电路若出现故障,接收端或许无法精准还原音频信号,出现声音走样、杂音等不良现象。

3.4 控制监测故障

控制监测系统对发射机工作状态实施实时监测与控制,控制监测故障可能是由传感器、控制电路板、显示面板等故障引起的,温度传感器、电流传感器等若损坏,会致使监测数据失准,无法迅速发现发射机存在的异常。控制电路板出现故障情形,或许会造成发射机无法正常开启、关闭或改变工作参数。显示面板若出现故障,将干扰操作人员对发射机运行状态的观察与判断^[3]。

4 DAM10kW 中波发射机分类检修技巧

4.1 电源故障检修技巧

若发射机出现电源方面故障,应首先核查市电输入情形,采用万用表测量市电电压是否处于正常范畴,检查空气开关与保险丝是否熔断了,要是市电输入表现为正常,接着对变压器展开进一步检查,依靠测量变压器绕组的电阻值,判定绕组有无短路或断路现象。就整流滤波电路而言,要查看整流二极管是否出现损坏,可采用二极管档测量该元件正反向电阻;查看滤波电容是否存在鼓包、漏液现象,采用电容表检测其容量是否正常,若稳压电路产生故障,应核查稳压模块的输入输出电压值,依据芯片手册去检测相关引脚的电压、信号,明确故障位置后实施修复或替换操作。

4.2 射频放大故障检修技巧

实施射频放大故障检修时,先对射频放大管的外观进

行一番观察,审视是否存在明显的烧焦、开裂痕迹,借助万用表量取射频放大管各极电压,判定其工作状态是否处于正常范畴,若电压呈现出异常状态,查证偏置电路的电阻、电容等元件是否有损坏迹象,对于匹配网络这一对象,能采用网络分析仪测定其阻抗及驻波比,调整匹配网络各元件的参数,使其达成最佳匹配情形,若冷却系统产生故障,查看风扇是否以正常状态转动,散热器是否处于堵塞情形,把散热器清理好或替换掉损坏的风扇^[4]。

4.3 调制解调故障检修技巧

在处理调制解调相关故障之际,先对音频信号输入路径做一番检查,采用音频信号发生器输入标准音频信号,以示波器查看音频信号在各个节点呈现的波形,断定音频信号是否正常传送,要是音频信号输入一切正常,对调制编码电路展开检查,测量编码芯片诸如工作电压、时钟信号等参数,确认芯片输入输出引脚是否存在信号迹象,就焊点虚焊这一问题而言,可运用烙铁实施补焊工作,着手解调电路故障检修之际,同样借助示波器观测解调进程中各节点的信号波形,追查信号失真的根源,查证解调芯片及相关元件是否损坏然后开展修复。

4.4 控制监测故障检修技巧

就控制监测出现的故障而言,首先开展对传感器的检查,从电路里把传感器分离,采用标准信号源对传感器输入信号进行模拟,查看传感器输出信号是否正常合理,倘若传感器出现故障,就控制电路板而言,核实电路板上元件是否存在明显的损坏现象,诸如电阻烧焦的痕迹、电容爆裂的状况等。采用万用表对电路板上电源电压、信号电平加以测量,以电路图为依据分析信号的传输路径,找出故障出现的点,处于显示面板故障检修期间,检查显示面板跟控制电路板之间连接线缆是否存在松动、破损状况,检查显示面板供电电压是否合乎标准,若显示面板自身存在故障,进行更换^[5]。

5 新疆地区特殊环境下 DAM10kW 中波发射机故障检修案例

5.1 风沙环境导致的射频放大故障

2023年里4月,新疆和田某发射台 DAM10kW 中波发射机发射功率瞬间大幅降低,反射功率急剧冲高,达正常值的3倍,设备响起了异常的告警之音。

技术人员一开始就对射频放大系统做常规检查,经检查发现,射频放大管外观未现明显损坏,只是工作温度出现了异常上扬,接着进一步拆开设备防尘外罩,发现内部全是大量沙尘充斥,尤其以射频放大管散热片和匹配网络元件表面为甚,沙尘堆积量极大。因沙尘堵塞散热片,造成散热效率下滑,造成射频放大管过热后性能降低;匹配网络里部分元件的引脚之间,沙尘堆积造就了微小导电通路,致使匹配出现失谐情形,技术人员采用高压气泵和防静电毛刷,对设备内部实施全面除尘,之后对散热片进行深度的清扫作业,

把因沙尘影响性能的匹配网络电容进行了替换,再次实施匹配网络参数调试后,发射功率恢复至正常水平,反射功率下降到标准范畴。

在风沙肆虐横行的环境下,加强发射机防尘举措意义非凡,定期开展针对设备的深度除尘维护,可有效抵御因沙尘引起的散热不佳及电气性能下滑问题,应选用密封性更为良好的防尘装备,降低沙尘渗入设备内部的风险系数。

5.2 温差导致的电源故障

2022年12月,一次寒潮天气结束后,新疆阿勒泰的某发射台,DAM10kW发射机出现电源模块间歇性电力中断现象,设备反复重启动作,极大干扰了广播信号的稳定输送。

技术人员检查电源系统的时候发觉,市电的输入状态良好,但电源模块当中的连接线缆出现了松动,部分接线端子因温差造成氧化发黑,通过进一步检测发觉,电源模块中滤波电容容量出现明显的下降,已超出正常误差的合理限度,因昼夜温差,线缆和接线端子出现热胀冷缩,由于长期作用造成连接变松动,接触电阻逐步变大;低温的环境加快了电容电解液的凝固及老化,引起电容性能丧失,技术人员重新把所有连接线缆紧固妥当,替换掉已氧化的接线端子,还为连接部位涂抹上导电膏;又把失效的滤波电容替换掉了,还对电源模块的整体参数做了校准,实施处理操作后,发射机电源系统重归稳定运转。

面对温差悬殊的地区,应增强对电源系统连接部位的检查频次,提议采用抗老化、可耐温变的连接材料,按一定周期检测电源模块内易损元件,预先把快要到使用寿命的电容等器件替换,杜绝因温度起伏而产生故障。

5.3 地域分散导致的远程协作检修

2024年8月,坐落于新疆塔克拉玛干沙漠边缘的偏远发射台,DAM10kW发射机的控制监测系统蓦地发生故障,显示面板无法实现工作参数正常显示,设备处在不正常的待机情形。

考虑到该台站离最近的技术维护点有超过500公里远,现场技术人员立刻借助远程监控系统,把设备的运行日志、故障代码以及关键参数传至中心技术部门,中心专家依靠远

程诊断途径,初步断定是控制电路板里的通信芯片故障,中心立刻借助无人机运输渠道,给台站紧急派送备用芯片,并远程引领现场技术人员开展芯片替换工作,现场实操人员在专家指导期间,圆满完成芯片的替换,继而对控制监测系统实施复位调试流程,最终经过4小时让设备恢复正常运转。

就地域上分散布局的发射台站而言,应建立“远程诊断+快速备件投送”机制实,借助完备的远程监控机制与灵活的备件运输路径,能大幅缩减故障处理时长,保证广播信号连贯无中断,加大对基层技术人员基础维修技能的培训力度,是实现快速应急操作的核心要点。

6 结论

DAM10kW中波发射机在中波广播传输中起着至关重要的作用,了解其故障类型及分类检修技巧是保障发射机稳定运行的关键。通过对电源故障、射频放大故障、调制解调故障、控制监测故障等常见故障类型的分析,以及针对性检修技巧的阐述,为技术人员提供了系统的故障处理方法。结合新疆地区特殊环境特点提出的故障预防和检修要点,进一步提高了发射机在复杂环境下的可靠性和稳定性。在今后的工作中,技术人员应不断总结经验,持续提升故障诊断和检修能力,确保DAM10kW中波发射机长期稳定运行,为中波广播事业的发展提供有力保障。

参考文献

- [1] 蒋红云.DAM10kW中波广播发射机控制板二类故障的分析[J].广播与电视技术,2024,51(12):117-119.DOI:10.16171/j.cnki.rtbe.20240012022.
- [2] 刘启明.DAM 10kW中波广播发射机开机故障维修实例[J].数字传媒研究,2024,41(10):64-67.
- [3] 高东升.10kW中波广播发射机一类故障的原理分析与故障处理[J].数字传媒研究,2024,41(08):49-52.
- [4] 尹天意.DAM 10 kW中波发射机故障类型及分类检修技巧[J].卫星电视与宽带多媒体,2024,21(15):43-45.
- [5] 梁小青.DAM 10kW中波广播发射机射频系统的常见故障及维护[J].卫星电视与宽带多媒体,2024,21(08):25-27.

Construction of a smart metering and supervision platform for taxi meters

Weiyun Ma Wanjie Ren Shengwei Hu Xingjian Chen

Yili State Inspection, Testing and Certification Institute, Yining, Xinjiang, 835000, China

Abstract

As mandatory inspection instruments, taxi meters have an annual calibration cycle. It is impossible to guarantee the accuracy of measurement data within this period. Currently, there are many taxis in various cities, and the metrological calibration tasks for market supervision departments across regions are heavy. This paper develops a meter with a high-precision mobile satellite positioning terminal attached, known as a networked meter. It establishes an operational taxi database and further develops a smart metering supervision platform for meters. By using the online distance and time data from the mobile satellite positioning terminal as a reference standard and comparing it with the distance and time data from the taxi meters, remote online metering of taxi meters can be achieved, thereby realizing intelligent metering supervision.

Keywords

networked meter; on-board mobile satellite positioning terminal; remote online measurement; intelligent metering supervision

出租车计价器智慧计量监管平台建设

马维云 任万杰 胡生伟 陈兴建

伊犁州检验检测认证研究院, 中国·新疆 伊宁 835000

摘 要

出租车计价器作为强制检定计量器具, 检定周期为一年, 周期内计量数据是否准确无法保证, 目前各个城市出租车数量多, 各地市场监管部门计量检定业务繁重。本文开发出附带高精度车载移动卫星定位终端的计价器, 即网联计价器, 建立运营出租车数据库, 进而开发出计价器智慧计量监管平台, 将车载移动卫星定位终端在线计程计时数据作为参考标准, 与出租车计价器计程数据进行比对, 可实现对出租车计价器进行远程在线计量, 从而实现智慧计量监管。

关键词

网联计价器; 车载移动卫星定位终端; 远程在线计量; 智慧计量监管

1 引言

出租车计价器属于强制检定计量器具, 检定周期为一年, 一年内计价器计量是否准确无法保证, 缺少有效监管措施。目前, 各个城市出租车数量多, 市场监管部门计量检定业务繁重。基于此, 建立运营出租车数据库, 开发出出租车智慧计量监管平台, 可实现对出租车计价器远程在线计量, 达到动态实时监管。保障消费者权益, 减少投诉。减少监管部门管理成本, 减少社会公用计量标准投入及运行成本, 节省出租车运营单位计价器检定时间成本。

【基金项目】新疆维吾尔自治区市场监督管理局科技计划项目(项目编号: S20230081)。

【作者简介】马维云(1981-), 男, 中国新疆伊宁人, 硕士, 高级工程师, 从事检验检测技术的研究、开发和应用研究。

开发出附带高精度车载移动卫星定位终端的计价器(即网联计价器), 计价器智慧计量监管平台将车载移动卫星定位终端在线计程计时数据作为参考标准, 与出租车计价器计程数据, 通过智慧计量监管平台后端平台进行比较和统计分析, 在线判定营运出租车计价器运行状况是否正常, 必要时发出预警, 并在智慧计量监管平台前端平台显示, 从而实现远程在线实时监管。

2 建设依据

网联计价器系统设计及实施需要依据国家相关标准, 其中主要包括国家测绘局、国家技术监督局、国际组织以及建设部等设定的规范标准。整体方案所依据的部分技术规范标准如表1所示。

通过 GNSS/INS 紧耦合定位定向技术, 使车辆实现全场景精准定位。

表 1 引用技术规范

名称	编号	批准单位
全球定位系统测量规范	CH2001	国家测绘局
精密工程测量规范	GB/T	国家技术监督局
全球定位系统城市测量技术规程	CJJ 73-97	

3 需求分析

3.1 计价器系统性能需求分析

- 高频率实时输出紧耦合位置、速度、姿态数据；
- 循环保存移动端卫惯原始数据（内置 8G 存储），支

持定位后处理；

- 与其他传感器实现数据同步 (PPS、GPRMC 等)；
- 数据回传服务器，支持后台监控。

3.2 高精度卫星定位性能需求分析

- 车规级定位，支持 GNSS+IMU+ODO 车辆数据+HDmap+ 视觉多源数据融合；
- 组合定位精度 1%。

3.3 通讯接口需求分析

- 支持串口、网口等多种通讯方式。

通过以上项目需求分析，总结如表 2 所示：

表 2 设备性能指标需求分析

序号	设备名称	性能指标		备注
1	参考站	定位方式	支持 BDS、GPS、GLONASS、Galileo	计程误差优于：±0.3%； 计时误差优于：±0.5s
		RTK 定位精度	水平 2cm+1ppm 高程 4cm+1ppm	
		时间精度	20ns	
		数据刷新频率	1-10Hz	
2	高精度定位授时模块	支持 BDS、GPS、GLONASS、Galileo		
		厘米级定位		
		通讯方式：车载以太网、CANFD、USB、RS232		

注：卫星频段说明：

- 三星三频：GPS（L1），GLO（L1），BDS（B1）。
- 三星八频：GPS（L1+L2+L5），GLO（L1+L2），BDS-2（B1I+B2I+B3I）。
- 四星十三频：GPS（L1C/A+L2W+L5），GLO（L1C+L2P），BDS（B1I+B2I+B3I+B1C+B2a），GAL(E1+E5a+E5b)。
- 五星十六频：GPS（L1C/A+L2W+L5），GLO（L1C+L2P），BDS（B1I+B2I+B3I+B1C+B2a），GAL(E1+E5a+E5b)，QZSS（L1C/A+L2C+L5）。

4 设计方案

4.1 平台软件

本平台软件主要包含两部分，分别为前端与后端平台、前端界面主要为管理人员展示当前全部车辆的位置、里程、计价器预警车辆等，后端平台主要负责实时处理车辆产生的行驶数据，判断行驶误差等。

4.1.1 前端展示界面

前端展示界面包括两部分，前端显示地图界面、汽车里程数据展示列表。

4.1.2 后端服务平台

采用关系型数据库与非关系型数据库结合的方式存储数据，以满足不同业务场景的需求。对于结构化数据，使用关系型数据库进行存储；对于非结构化数据，使用非关系型数据库进行存储。同时，引入数据缓存机制（如 Redis），提高数据访问速度。服务层采用微服务架构，将不同功能模块拆分为独立的服务，降低系统复杂性。各服务之间通过轻量级的通信协议（如 RESTful API）进行交互。引入服务注册与发现机制，实现服务的动态管理和负载均衡。

根据业务需求，编写相应的业务逻辑代码。通过调用服务层提供的接口，实现移动端数据接收与比对处理功能。通过对外提供统一的 API 接口，采用 API 网关对接口进行统一管理和权限控制。同时引入监控系统，实时监控后端数

据服务平台的运行状态和性能指标。通过日志系统收集和分析系统日志，及时发现并解决问题。

4.2 车载端里程测量设备

里程测量设备主要包括两部分：高精度定位模块、组合计算模块、网络通讯模块。

4.2.1 高精度定位模块

本项目通过高精度级卫星定位系统实时获取位置信息，采用 GNSS+IMU 等多传感器融合的方案以实现车道级定位精度要求。

其中，GNSS 全球定位技术的应用依托网络级 CORS 系统，利用参考站网络的实时观测数据对覆盖域进行系统误差建模，然后对区域内流动用户站观测数据的系统误差进行估计。在实际应用时，车内集成 GNSS 接收机并实时搜星，车内的设备终端可将 GNSS 的定位信息通过 CORS 网络实时传输至参考站，以获取所在位置的系统误差数据，车内的设备终端将 GNSS 接收机的搜星结果和系统误差数据在接收机内进行差分数据解算，获得厘米级实时定位结果。该结果通过 GNSS 接收机数据接口输出后，和设备终端内集成的 IMU 传感器进行数据融合，以获取更高精度的定位导航数据。

IMU 惯性导航技术，其实现原理，是通过测量载体在惯性参考系的加速度，将它对时间进行积分，且把它变换到导航坐标系中，就能够得到在导航坐标系中的速度、偏航角

和位置等信息。其优点在于，安装位置不受环境限制，可实现全场景范围定位，可很好的解决 GNSS 定位在城市峡谷、信号遮挡、主辅路 / 高架空间重叠的路况环境下数据误差大的情况，形成很好的数据互补，如图 1 所示。

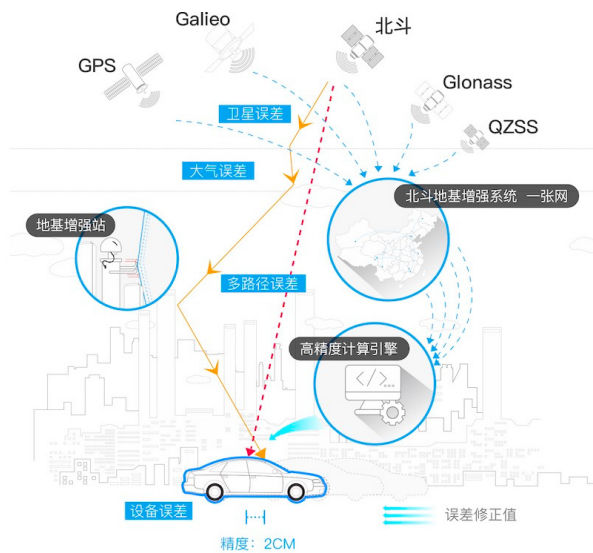


图 1 计价器高精定位系统原理

本项目高精度定位模块性能指标如表 3 所示。

表 3 高精度定位模块性能指标

GNSS 指标	定位性能	GPS: L1/L2
		GLONASS: G1/G2
		BDS: B1/B2
		GALLIEO: E1/E5b
	定位精度	水平: 2cm+1ppm (差分定位)
		高程: 4cm+1ppm
		Other: 全场景 ≤0.2m (置信度 >96%)
	数据刷新率	10Hz
	时间精度	20ns
系统配置	存储	8GB
数据通讯	网络	4G 全网通
	物理	CAN x 2,USB x 1,RS232 x 4

4.2.2 组合计算模块

组合计算模块通过读取 IMU 传感器输出的加速度、偏航角和位置等信息，与 GNSS 接收机输出的定位信息进行融合计算，修正误差，输出速度信息后，对 GNSS 实时输出的时间段内的速度进行积分计算，对车辆里程段内的多个积分计算结果进行累加，获得里程数据，从而用于核对车辆计价器的误差。

4.2.3 网络通讯模块

车内设备终端集成 4G/5G 网络通信模块，其支持数据最大传输速率可达 150Mbps, 可将计算的里程数据、车辆计价表数据、设备 ID、车辆运行时间信息等数据自动上传至监管后台，用于监管后台对车辆计价器进行有效监测和误差累计计算。

表 4 组合计算模块性能参数

里程测量	误差	1%
姿态精度	定向精度	0.2° (1m)
	横滚 / 俯仰	0.1° (1σ)
MEMS 性能	陀螺	量程: ±500° /s
		零偏稳定性: ≤3° /h
	加速度计	量程: ±6g
电气特性		零偏稳定性: ≤1mg
电压	电压	9~28V
	功耗	≤10W
环境特性	工作温度	-40 ~ +85℃
	存储温度	-55 ~ +95℃
	湿度	95% 无冷凝
物理特性	尺寸	(L x W x H) :120mm x 100mm x 35.2mm
	重量	502g
	接口	CAN x 2,USB x 1,RS232 x 4,PPS x 1, LAN x 1
防护等级	防尘	IPX5K
	防水	IP4KX
	震动	MIL-STD-810G (40g)

4.3 安装调试流程

1. 车端测量里程设备，供电正常；2. 量取主从天线杆臂参数并对模块相关参数进行配置；3. 一定环境（尽量选较长距离直线路段）下进行跑车标定，确保参数标定正常；4. 导航定位，输出定位结果并解析；5. 软件平台与车载设备联调，通讯正常；6. 进行车辆里程测量，收集车辆里程数据，并与标准数据进行比对。（如高德地图、计价器、或采用专用测量设备）；7. 进行大里程测量和小里程测量，比对测量结果，选定合适的里程量作为计价器比较参数；8. 选择多辆出租车进行测试，确定设备性能稳定性和最终产品状态。

5 结语

城市出租车计价器智慧计量监管平台建设，既是一个基础的硬件设施提升过程，又是一个综合的信息化系统提升过程。本文介绍了计价器智慧计量监管平台技术方案及平台建设，分析了计价器计量现状和需求，并对智慧监管平台建设从架构和系统整合等方面进行了分析。目前，计价器企业的各种智能管理系统处于探索开发阶段，但智能计量管理系统建设必将走在前面。随着卫星导航定位、物联网、大数据和信息技术的进步，计价器的智慧化计量监管水平必将进一步提高。

参考文献

[1] 杨元喜, 张小红. 北斗卫星导航系统进展与应用[J]. 测绘学报, 2022, 51(6): 789-800.

[2] Silva R., Ribeiro A. S., Almeida H. A. IoT-based dynamic calibration system for industrial sensors[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2021, 70: 1-10.

[3] 张伟, 李强. 基于物联网的出租车计价器远程检定系统设计[J]. 计量技术, 2020, 48(3): 45-49.

Research and development and application of intelligent construction site drainage system

Shuai Wang¹ Yilong Cui¹ Fan Luo² Yiru Zhang³ Haotian Qian¹

1. Wuhan Construction Group Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430056, China

2. Wuhan Urban Construction Group Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430021, China

3. Central South University, Changsha, Hunan, 410083, China

Abstract

The water environment at the construction site is crucial for construction quality and safety, and is also an important management content in green construction. Based on the actual needs and characteristics of the construction site, as well as the problems of inconvenient water level monitoring and unscientific drainage in traditional drainage methods, an intelligent construction site drainage system based on water pressure sensors, the Internet of Things, and drainage equipment is proposed. It can control the drainage time and frequency more scientifically and reasonably, intelligently solve problems such as untimely monitoring and drainage, and excessive drainage. The system can perform online monitoring, warning, and control functions. Compared with traditional manual measurement methods, it is more convenient, efficient, easy to master, and practical in function. Applied in multiple engineering projects with good results, the system can provide reference solutions for water environment control at construction sites..

Keywords

intelligent construction site; water level monitoring; drainage; internet of things

智能工地降排水系统研发及应用

王帅¹ 崔义龙¹ 罗帆² 张奕儒³ 钱昊天¹

1. 武汉建工集团股份有限公司, 中国·湖北 武汉 430056

2. 武汉城市建设集团有限公司, 中国·湖北 武汉 430021

3. 中南大学, 中国·湖南 长沙 410083

摘 要

施工现场水环境对施工质量、安全至关重要,也是绿色施工中的重要管理内容。围绕施工现场实际需求、特点及传统降排水方式存在水位监测不便、抽排不科学等相关问题,提出基于水压传感器、物联网、降排水设备的智能工地降排水系统,能够更加科学合理的对降水抽排时间、频次进行控制,可智能化解决监测、排水不及时和过度抽排等问题,系统可进行在线监测、预警、管控功能,相比于传统人工测量方式,更加便捷、高效,装置易于掌握,功能实用。在多个工程项目进行应用,效果良好,系统可为施工现场水环境管控提供参考方案。

关键词

智能工地; 水位监测; 降排水; 物联网

1 引言

随着我国城市建设进程的加快,工程建设规模日益庞大^[1,2],工程建设区域土体常与河流、湖泊等水系存在联系,还受到天然降水和地下水位变化等多种因素的共同作用^[3,4]。施工过程还涉及生产用水、雨水循环,在局部区域形成复杂水的环境。施工现场的水环境,是绿色施工管理的重要内容,对于保护环境和保障工程建设质量安全,意义重大。当前,许多施工现场在水环境管理方面仍存在诸多问题^[5],

例如科学高效绿色智能的管控方法,水资源利用不充分,现场水环境管理还存在一些隐患^[6]。

尤其是临江工程建设项目,其水环境更加复杂,有相对频繁的联通水位波动,水位作用下,使得其地下室及基坑环境(图1)的稳定性变得相对复杂,管控难度增大。目前,对降水井及地下室积水的监测多采用人工方法,在水位变化频繁的时期通常需每日进行一次监测,监测工作量较大,通常现场的降水井分布面广、且相对零散,项目建设环境中,各类管材堆放点多,降水井出口时常跟架体支撑点交叉,监测人员徒步穿越过去监测,在夏季雨季,蚊虫众多,闷热透风差,给监测人员带来极大不便。遇到极端天气和夜晚,监测及管控工作难以开展且不够及时,手动开启排水泵进行降

【作者简介】王帅(1989-),男,中国湖北随州人,博士,高级工程师,从事智能建造研究。

排水，不仅耗费人力物力时间，而且无法做到动态实时监测和预警，缺乏实时性，给降排水工作带来隐患，因此迫切需要引入智能化、信息化技术与方法对施工水环境监测技术进行转型升级。

目前市场上采用的浮球阀式的降排水设备，通常是通过水位的机械变化，是一种半自动化的激发设备，但通常在降水井中使用，上浮水位变化相对较大，对于地下室变化较少，适用性不强，此外还缺少数据传输、抽排水顺序以及工作时间的限定功能，由于现场地质条件等原因，现场整体的水位下降存在一定的滞后性，浮球阀式容易发生抽排过快、过度抽排的现象，不够绿色化智能化。结合工地降水井布置、现场水位变化频率及施工阶段，本文提出一种对施工现场降排水场景、水位进行实时监测，并采用高精度水压传感器、物联网技术自动抽排水装置，优化调节数据的上下限，并与工程实际参数相结合，可对降排水泵启动顺序、时间节点和频率进行合理优化，解决现场抽排水不及时、抽排过度、适应性更强等问题。通过实时监测、数据分析和智能调度等手段，对施工场地的水环境进行全方位的监测和精确调控，以提升降排水科学性、以及促进水资源科学利用，保证施工安全，保护环境。

2 系统设计

系统以工程问题为导向，针对施工现场降排水难题，

基于物联网、自动化控制，设计智能化降排水系统架构，装置如图 2 所示。系统由电源降压模块、物联网传输模块、传感器、高功率水泵及储水设备组成，将降排水与储水模块相互结合，针对性解决传统降排水系统在实时监测、精准调控、水资源调配管理等方面的问题。

3 装置功能

根据施工现场典型降排水位置、特点及功能需求，研发出便携式智能化降排水设备硬件，如图 3 所示。系统可根据现场实际情况，同时接入多个传感器模块，实现对多个降排水点的监测、同步控制。且内部设置稳压电源系统，可持续对装置进行供电，保障监测过程中的数据稳定、连续性。

物联网设备接入传感器与继电器，基于传感器在线监测设备可实时地获取来自水位计的水位数据（图 4），并将实时数据传输至云端，通过实时数据对当前水位状况进行深度分析，并判定异常情况。当在线监测模块发现水位异常时，将自动启动继电器、激发预警报警装置，及时将报警信息发送至系统。该模块具有较高的响应速度，能够及时、有效地对系统进行危险预警，从而使作业人员能够及时地采取相应的行动，以规避可能发生的危险。系统通过预警模块的信息及时发出指令，精确地控制水泵开关，从而达到对工程场地排水操作的自动化、精细化调控。



图 1 地下室监测点环境

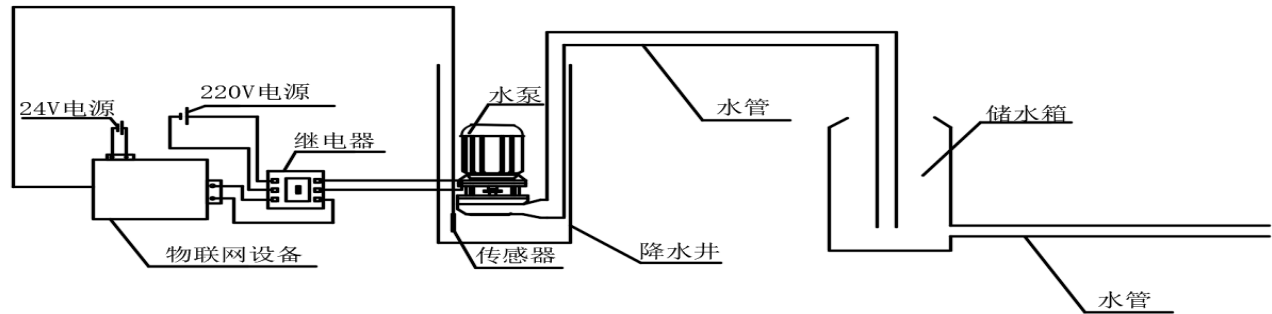


图 2 智能化工地降排水系统



图 3 智能化降排水装置实物

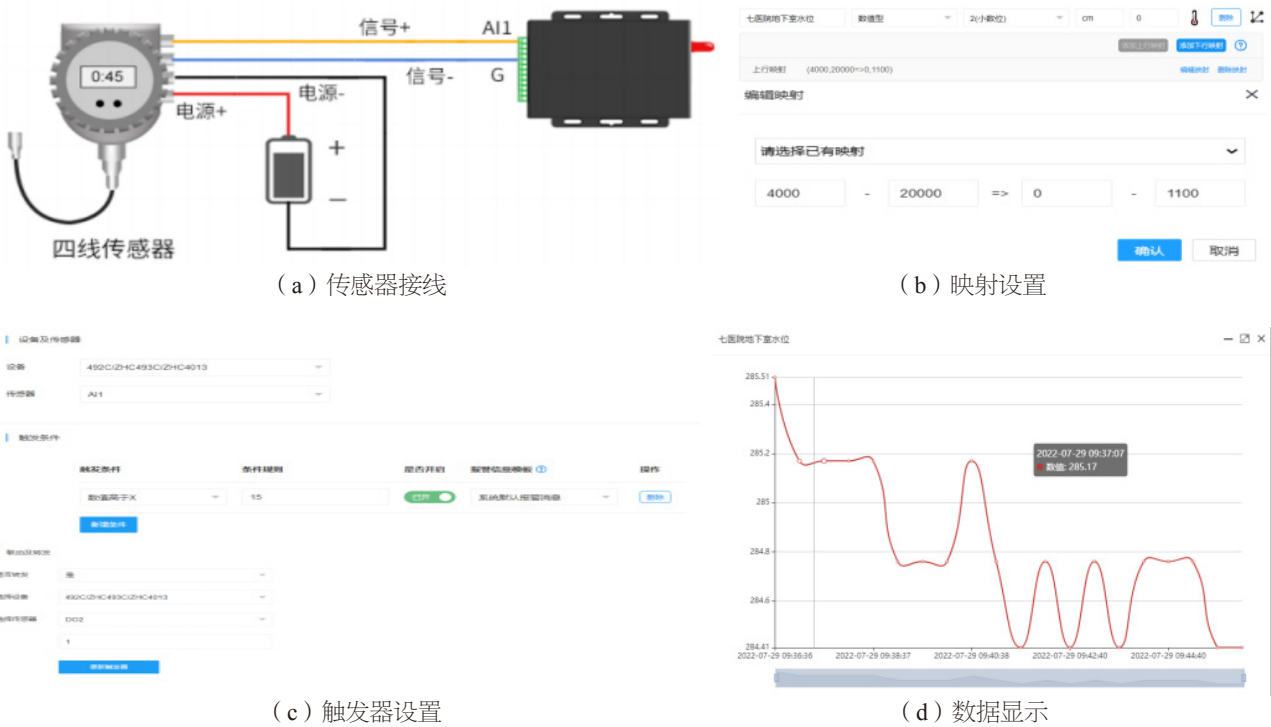


图 4 数据监测原理

4 系统特点

该系统具有智能化监测、超限远程报警、自动激发抽排水等功能，可有效实现对工地现场降排水的智能化管控，同时能够将监测数据实时传输至云端，为降水工序数据分析提供可靠途径。另外，根据实际气象条件，操作者也能灵活地对水位数据的采集频率进行调节，使水位计始终保持在最佳工作状态。相比传统人工水位尺测量，更加方便。

相比于固定式浮球阀，本系统可根据工况自由调节报

警阈值，更加科学结合地下水位与孔隙水压数值，分析地下水分布梯度与抽排过程中孔隙水压变化幅度，制定出科学的抽水时间和水泵开启顺序。通过云平台控制不同位置水泵功率，科学的确定降排水顺序与抽排时间、抽排量，实现了抽水时间和开泵顺序的程序化控制，提高了降排水效率，避免了过度抽排造成的地基沉降问题，并构建了地下水抽排后微循环利用系统，避免工地抽排水资源浪费，节约工程建设费用，符合绿色施工的理念，该系统特点如表 1。

表 1 智能化降排水装置应用对比效果

技术维度	传统人工 / 设备	智能化降排水装置
监测方式	人工每日 1 次水位尺测量	传感器实时监测（分钟级更新）
数据精度	5-10mm 误差	2-3mm 高精度测量
操作模式	现场手动启停水泵	云端远程控制 + 自动阈值触发
环境适应性	依赖人工巡检，恶劣天气易漏检	浮桥稳定装置 + 全防水设计
资源利用	抽排水直接外排	中水循环利用

5 工程应用及展望

本系统已在武汉建工集团第七医院迁建项目、汉南人民医院项目、肺科医院迁建项目等工程的基坑及地下室施工中进行了应用，可实时精准地监测水位变化情况，及时将数据传输至云端，为工程管理人员提供准确的水位信息，有效替代了传统的人工水位尺测量方式，极大地提高了水位监测的效率和准确性，从而给工程的管理带来一定的便利。智能化降排水系统的应用不仅提高了降排水作业的科学性、高效性和安全性、可靠性，还能够降低监测成本，减少水资源消耗，具有良好经济效益和社会效益。

系统建立集实时监测、智能调控与风险预警为一体的智能化工地降排水系统，可有效解决目前施工中监测效率低、数据精度低等问题。系统中的智能设备可对水位进行实时监控，将采集到的数据实时传送至云端，实现自动泵送，避免安全隐患。智能化降排水技术还可扩展到市政工程、水利工程等多种建筑环境中，在建设行业中具有广阔的应用前景，具有重要的社会经济意义。未来，系统还可结合土壤孔隙水压力、使得监测应用场景更广泛，并提高传感器精度和

数据传输速度，通过神经网络算法结合土质渗透性能，进一步优化降排水方案，使其能够适应复杂的水体环境，同时能够与部分特殊地质土方施工作业相结合，进一步提升现场的排水效率和水资源利用水平。

参考文献

[1] 陈更强, 王淑桃. 土木工程建筑施工技术的创新与管理——评《土木工程施工》[J]. 水利水电技术, 2020, 51(06): 199.

[2] 方昱楚. 基于BIM的建筑工程管理智能化研究[J]. 建筑科学, 2024, 40(01): 173.

[3] 曾斌, 陈植华, 邵长杰, 等. 基于地下水流系统理论的岩溶隧道涌突水来源及路径分析[J]. 地质科技通报, 2022, 41(01): 99-108.

[4] 清华大学岩土工程研究所. 深部岩土力学与地下工程国家重点实验室开放基金课题研究进展[J]. 清华大学学报（自然科学版）, 2025, 65 (3): 1-10.

[5] 王志珍. 浅谈建筑给排水施工中的安全及质量管理问题[J]. 中国设备工程, 2022, (08): 261-262.

[6] 张锋. 水厂生产废水回用及处理工艺研究[D]. 广西民族大学, 2024.

Problems and Countermeasures in the Transformation of Ecological Environment Technology Achievements

Xue Han

China Municipal Engineering North China Design and Research Institute Co., Ltd., Tianjin, 300074, China

Abstract

Under the background of economic development, ecological problems are increasingly prominent, including soil erosion, acid rain, air pollution, soil pollution, etc. For example, a large amount of untreated sewage entering the surrounding water system not only causes water resource pollution, but also threatens the personal health of residents, seriously affecting the sustainable construction of people and society. In view of this, this article will focus on analyzing the problems and countermeasures in the transformation of ecological environment technology achievements. Firstly, understand the importance of transforming ecological and environmental technological achievements, then analyze existing problems and propose follow-up solutions, including enhancing government guidance and support, promoting the integration of multiple factor resources, leveraging technology and finance, strengthening professional institutions and talent construction, promoting macro guidance, etc., in order to provide reference for relevant personnel.

Keywords

ecological environment; Transformation of scientific research achievements; Conversion issues; countermeasure

生态环境科技成果转化中的问题与对策

韩雪

中国市政工程华北设计研究总院有限公司，中国·天津 300074

摘要

经济发展背景下，生态问题日益凸显，具体包括水土流失、酸雨、大气污染、土壤污染等。比如大量没有经过深度处理的污水进入周围水系系统，不仅引发水资源污染，而且威胁居民的人身健康，严重影响人与社会可持续建设。鉴于此，本文将重点围绕生态环境科技成果转化中的问题与对策开展分析。先了解生态环境科技成果转化的重要性，然后分析现存问题并指出后续解决对策，包括增强政府指引与支持，促进多要素资源整合，发挥科技金融杠杆作用、强化专业机构与人才建设、促进宏观指引等，以此为有关人士提供借鉴。

关键词

生态环境；科研成果转化；转化问题；解决对策

1 引言

近年来生态问题屡次出现，在此背景下，便需要推动科技成果转化，以此基于技术运用增强有害物质控制效果，在推动资源循环利用的基础上，为环境管理以及决策提供参考。然而就目前来看，我国在生态环境科技成果转化方面的研究较少，学者更关注技术研发，以至于部分技术虽然研发成功但是却难以广范围运用。由此可见，围绕生态环境科技成果转化中的问题与对策开展分析具有重要意义。

2 生态环境科技成果转化的重要性

生态环境科技成果转化对于解决当前生态问题具有重要意义。比如在大气污染方面，在科研成果转化过程中产生

了大量脱硫、脱硝技术，不仅可以有效控制空气中的二氧化碳含量，而且还能够帮助工业企业控制排放。比如部分脱硫技术甚至可以在技术应用下实现 95% 的气流效果，从而从根本上降低酸雨等问题的出现概率。除此之外，近年来产生的膜生物反应器也可以增强资源利用率，解决水资源不足的问题。从长远发展来看，生态环境科技成果转化可以从源头控制污染物，帮助企业减少废弃物，降低环境压力。在成果转化中可以推动新资源的利用，减少对化石能源的依赖。比如太阳能发电、光伏发电等，便可以在满足“双碳”目标的基础上解决全球气候变暖问题，并在此基础上推动产业绿色升级。而在经济建设方面，成果转化也可以增强内在动力，比如可带动环保产业的发展，生成不同类型的经济增长点，部分环保企业会通过开发环境监测设备的方式满足市场需求，进而增加经济利润，提升核心竞争力。总之，对于生态环境而言，有效的科技成果转化可以带动有关产业发展，

【作者简介】韩雪（1989—），女，中国天津人，本科，工程师，从事科技管理研究。

实现绿色环保工作目标^[1]。

3 当前生态环境科技成果转化存在的问题

第一,市场驱动不足会影响成果转化。企业是推动成果转化的主体,由于企业主观能动性不足,因此市场驱动无法达到预期,难以促进成果转化。比如,在成本效益方面,企业需要有足够的资金以及人力支持才能够推动成果转化。在此过程中,企业需要支付技术费用,并对设备进行重建或改造,使所有工作人员都能够了解新技术设备的使用技巧,因此整体投入较大。一般而言,在成果转化初期,由于具有较强的不确定性,因此很难在短期获得效益,而企业一般又更加关注当前的利润回报,因此对于此类项目意愿较低。第二,有效供给不足。当前技术成果与市场诉求存在明显的脱节问题,在科研立项时,没有针对市场展开全面分析,以至于忽略了技术先进性以及有效性。比如在大气污染治理方面,很多科研机构会将研发净化技术作为核心,但忽略了在运用中的成本以及工艺改造问题,导致很多成果在后续无法推广,只能停留在实验室研发阶段,难以真正发挥作用,会引发严重的技术浪费。第三,供需对接存在不对称问题。此方面主要是指供需双方难以展开合作,进而影响成果转化。比如科研机构无法切实了解企业所需,在研发时没有展开系统沟通,以至于成果与需求不匹配,而企业由于对最新科研成果的了解缺失,因此难以进行选择和应用,也会影响成果转化。第四,技术服务能力较差。当前由于专业机构以及人才短缺,因此在成果转化方面经常会受到制约,比如在技术评估、推广以及知识产权方面难以有序推进,加上部分成果转化需要复合型人才推动,而当前多数人才更加注重学术研究,实践水平不足,因此在成果转化时会出现严重的人才缺口,影响转化效果。第五,经济外部性引发的市场失灵。在成果转化时,经济外部性是工作人员需要关注的重点,直接会作用于市场机制,引发市场失灵。其中,经济外部性是指某主体在执行经济活动时对其他成员产生作用,但没有承担此过程的成本以及收益。对于生态环境而言,外部性作用十分显著。比如在企业生产时,可能会引发污染,导致生态系统破坏,这就是外部性的一种。目前部分企业为了控制成本,可能没有对废气进行处理便直接释放,此过程便会引发空气质量问题。而当前市场虽然存在一些技术成果能够有效控制污染物,但企业的成本也会随之增加,部分企业可能无力承担此部分成本,因此积极性不足,很难主动引入技术成果,推动科技成果转化^[2]。

4 生态环境科技成果转化问题解决对策

4.1 增强政策指引与支持

4.1.1 完善政策内容

健全政策法规是推动科技成果转化的核心,政府需要基于成果转化各个阶段制定激励政策,比如确认各方责任以及权利分配,保障其权益,然后构建更为完善的知识产权保

护政策,从根本上打击侵权行为,鼓励工作人员积极主动地参与成果转化。除此之外,还要加大扶持力度,比如可以制定相关政策,对于技术研发以及成果转化效果较好的企业,可以为其提供政策补贴,给予资金支持,使其能够在后续继续开展相关工作,为生态环境保护提供保障。在此方面,还要完善人才政策,加强住房补贴、教育优惠政策的落实,从而使更多高校毕业生能够养成成果转化意识,成为复合型人才,以此为生态环境科技成果转化提供人才保障。

4.1.2 强化资金支持

政府要加大资金投入,为其提供保障。比如设立专项资金助推成果转化。在基金规模方面,要基于区域发展所需而定,确保在重点项目方面能够有资金投入。比如对于工业聚集区而言,大气以及水污染治理十分关键,因此便可以对脱硫、脱硝等技术成果转化提供专项资金支持,鼓励其加强技术研发,丰富技术储备,推动成果转化。在投入中,要从多个角度进行帮扶,比如在资金来源方面,便要拓展不同渠道,政府可以引入金融机构提供信贷支持,比如打造绿色信贷,提供稳健的长期贷款,对于积极参与成果转化企业,也可以提供贷款帮助以及优惠。除此之外,还要吸引其他社会资本,比如构建投资基金,或者与企业进行合作,使企业能够发挥自身优势,敢于投资,助推成果转化。

4.2 促进“多要素”资源整合

4.2.1 推动产学研融合

产学研深度融合是指将研发机构、高校以及企业关联到一起,助推成果转化。一般科研机构以及院校在人才资源方面有所保障,因此可以提供技术研发支撑,实现源头创新。而企业更加了解市场发展态势,具有一定的洞察力,能够为后续成果转化、产品生产提供有效帮助,增强成果转化成功率。在此方面,要构建协同配合机制。政府要发挥自身作用,鼓励产学研一体化,促进各方合作,使各方能够发挥合力展开技术研发。比如在水污染控制方面,便可以基于产学研构建研发中心,针对不同类别的工业污水进行技术研发以及成果转化。在此方面,为了提供有力保障,还可以针对技术创新、市场推广展开协同配合,组织工作人员基于相关技术标准进行技术应用^[3]。

4.2.2 整合技术人才资源

在资源整合中,还要针对现有技术、人才以及资本资源展开有效分析与整合。比如构建成果库,汇聚当前的研究成果以及应用案例,通过成果库建设推动信息沟通,减少信息不对称的问题。比如方便企业在针对大气污染治理时,有效寻找治理技术加以运用,推动技术集成创新。人才整合则可以构建人才共享机制,比如推动各领域人才流动。具体工作中,企业可以进入高校进行学习,增强创新意识,而高校毕业生都可以进入企业,了解最先进的技术情况以及市场需求,以此为后续成果转化奠定基础。资本整合方面,可构建科技金融服务体系,强化资金支持,比如除了原有的信贷支

持,还可以发挥风险投资等资本作用,强化资金支撑。例如,当前部分金融机构会借助知识产权质押贷款等业务形式,帮助企业强化融资效果,解决资金难题。

4.3 发挥科技金融杠杆作用

4.3.1 创新金融产品

对于成果转化而言,应打造适合转化的金融产品与服务,以此有效发挥金融杠杆作用。比如科技贷款便是近年来的新型产品,可以基于成果转化特征完成创新。比如对于研发期的项目,银行可以为其提供知识产权质押贷款,从而为其提供资金保障,使过去难以运用抵押物贷款的企业可以优先获得贷款,解决短缺问题,推动成果转化。除此之外,还要设计科技保险。比如打造研发中断保险,在出现研发中断时,保险公司会给予赔偿,以此削减企业风险,助推成果转化。在后续转化期间,也可以设计责任保险,若是产品出现问题造成损失,则保险公司会承担部分责任,缓解企业赔偿压力,使企业可以平稳运行,长期开展成果转化。在后续,还可以进一步探究金融租赁相关业务。当前企业在运用科技成果时,前期投入较大,成本较高,因此可以设计一些租赁业务,比如租赁使用权,帮助企业增强资金利用率,降低资金负担。

4.3.2 构建风险投资机制

对于成果转化而言,需要鼓励社会资本参与其中,然而此过程会涉及大量的风险,因此要构建风险投资机制。比如设置相关引导资金,由政府出资吸引更多资金进入到该领域。在具体工作中,政府可以先投入一部分资金,然后与企业设立共同的风险投资基金,对当前具有应用价值的科技成果转化提供资金。除此之外,企业还可以涉及一些财政补贴等政策,降低企业所得税等,以此发挥金融杠杆,削减项目投资风险。在具体投资方面,也可以引导运用联合投资或分阶段投资。相比于单独的投资,这种投资可以发挥各方优势,在保障资金支持的基础上控制风险。比如多家机构联合投资,其中部分机构可以提供经验,另一机构可以提供资源剩余,机构可以提供财务管理,以此针对性地完成各阶段工作,从根本上降低投资风险,保障投资收益。

4.4 强化专业机构与人才建设

专业化技术服务机构对于推动科技成果转化来讲具有

重要意义。政府需要加大对此类机构的扶持力度,使其能够规范日常管理,强化人员培训,打造专业化服务。在此过程中,技术服务机构要强化机构水准,比如定期分析最新政策法规,了解市场动态,为客户提供有效服务,或者也可以与企业和高校展开合作,了解市场需求以及研发需要,帮助各方展开对接,以此推动成果转化。为强化机构人才团队质量,还要促进人才引进,比如制定优惠政策,营造良好的人才生活条件,吸引其加入,解决其后顾之忧,推动人才流动。

4.5 促进宏观指引

政府要构建相关政策体系,引导企业强化主观能动性,积极参与到污染治理等工作中。比如,可以制定污染物排放管理细则,对废气、废水的浓度标准进行限制,确保企业可以在相关标准要求下控制排放。除此之外,还要构建排污权交易制度,此制度是指在区域范围内排放总量不超过允许量的基础上,借助货币交换调节排污量。政府可以先确认相关减排目标以及污染物排放总量,然后将其分配给社会企业,而企业则结合自身情况进行排污权交易,以此在降低排污控制成本的基础上,使企业能够积极运用科技成果推动成果转化。

5 结论

综上所述,在生态环境科技成果转化方面,目前依旧存在市场驱动不足、供需不科学、机制不完善等问题。因此在后续应强化政府指导,在完善政策体系的基础上,增加资金投入,并推动多要素资源整合,在产学研一体化的背景下,有效发挥金融杠杆价值,推动成果转化。除此之外,还要强化人才团队建设,通过宏观指引,使企业积极控制污染物排放引入相关技术,为倒逼科技成果转化、改善生态问题提供有效支撑。

参考文献

- [1] 卿野,李屹,姜琦.提升产业化导向的生态环境科技成果转化实效对策研究[J].环境保护,2024,52(6):52-55.
- [2] 王丽琼,陈铭.基于SNA的生态环境科技成果转化三方合作的影响机制[J].泉州师范学院学报,2024,42(2):84-91+111.
- [3] 石玉敏,刘文杰,王博文.基于新型研发机构的生态环境科技成果转化模式研究[J].环境保护与循环经济,2024,44(7):97-100.

Adaptive design and collaborative maintenance system construction of intelligent mechanical equipment driven by artificial intelligence

Ke Zheng Meng Li Xiaoli Wu Changlu Shen Yuejing Su

Wenzhou Jiagu Packaging Co., Ltd., Yueqing, Zhejiang, 325619, China

Abstract

The current industrial sector is undergoing a critical phase of intelligent transformation and upgrading. Traditional design models and maintenance strategies for machinery are increasingly unable to adapt to the complex and ever-changing working conditions and dynamic demands. Due to the unpredictability of operating environments and the increased interconnectivity of failures, static design frameworks and decentralized maintenance models face bottlenecks such as delayed response and resource wastage. Breakthrough developments in artificial intelligence offer new solutions to these challenges. By constructing multidimensional sensing networks and employing dynamic optimization algorithms, equipment can now adapt to its environment and make design adjustments. This paper focuses on the deep integration of artificial intelligence in dynamic modeling methods and collaborative decision-making mechanisms, aiming to establish a closed-loop system that covers the entire lifecycle of intelligent machinery from design to operation and maintenance. The goal is to achieve continuous evolution of equipment performance through data-driven and knowledge-integrated approaches, providing theoretical support and technical paradigms for the development of industrial intelligence.

Keywords

artificial intelligence; intelligent machinery; adaptive design; collaborative maintenance

人工智能驱动的智能机械设备自适应设计与协同维修体系构建

郑克 李猛 吴小莉 沈昌禄 苏岳景

温州嘉固包装有限公司, 中国·浙江 乐清 325619

摘要

当前工业领域正经历智能化转型升级的关键阶段,传统机械设备的设计模式与维护策略已然难以去适应复杂多变的工况以及动态变化的需求。由于设备运行环境的不可预测性和故障之间关联性的增强,使得静态的设计框架与分散式的维修模式面临着诸如响应迟滞、资源浪费的瓶颈问题。人工智能技术突破性的发展为解决上述矛盾提供了全新的路径,借助构建多维感知网络以及动态优化算法的方式,让设备拥有了能够适应环境并进行设计调整的能力。本文聚焦于深度融合人工智能的动态建模方法以及协同决策机制,致力于建立能够覆盖设备全生命周期的智能机械设计到运维的闭环体系,目的在于通过数据驱动以及知识融合的手段,实现设备性能的持续不断进化,为工业智能化的发展提供理论支撑与技术范式。

关键词

人工智能; 智能机械; 自适应设计; 协同维修

1 引言

机械装备的智能化发展正推动工业生产力向高阶形态跃迁,然而现有设备系统内部在应对多变工况时存在深层次矛盾:设计方面固化且维护存在割裂。传统设计方法以固定参数以及经验规则为依赖,在动态环境下要实现实时性能优

化是较为困难的;而孤立式的维修模式由于全局信息共享的缺乏,致使其维护效能处在低下的水平。本文以构建设备全生命周期智能化为目标,着重在两大技术领域实现突破,其一是动态环境下的自适应设计优化领域,其二是多主体协同维修领域。通过建立数据-知识双驱动的协同优化模型,对设备自主演进和系统协调维护二者的融合机制展开探索。

2 智能机械设备自适应设计的理论基础

2.1 自适应设计的目标

智能机械设备自适应设计的目标在于建立动态响应机

【作者简介】郑克(1982-),男,中国浙江乐清人,本科,高级工程师,从事无人干预的情况下能自主地驱动智能机器实现控制目标的自动控制技术研究。

制以应对复杂工况下的不确定性挑战,设备需具备实时感知运行状态与环境参数的能力,通过内置算法模型持续优化结构参数与运动轨迹,这种能力使机械系统在外部扰动或负载突变时维持预定性能指标。动态适应能力的深化拓展至全生命周期维度,设计过程中嵌入可重构模块与容错策略,当部件磨损或材料性能退化时,系统能自主调整传动比、补偿间隙误差并重新分配载荷,该特性显著延长了设备在非稳态工况中的有效服役周期。第三个目标聚焦于多物理场耦合作用下的性能平衡优化,在有限空间约束内协调热力学特性、振动模态与能耗效率的交互影响,借助数字孪生技术构建虚实联动的仿真验证环境,为机械结构的拓扑优化与材料选择提供迭代依据,使得最终设计方案既能满足峰值性能需求,又可适应不同作业场景的差异化要求。

2.2 人工智能在动态优化中的作用

人工智能是智能学科重要的组成部分,它企图了解智能的实质,并生产一种新的能以与人类智能相似的方式做出反应的智能机器。人工智能是十分广泛的科学,包括机器人、语言识别、图像识别、自然语言处理、专家系统、机器学习,计算机视觉等。在复杂工况下,深度学习算法通过持续解析设备与环境的多模态交互信息,构建起具备时间序列敏感性的特征提取网络,这使得机械系统能够实时捕捉压力波动、温度变化等动态扰动因素,并自主生成补偿性参数调整策略。强化学习框架的引入进一步强化了设备应对不确定性的能力,通过建立多目标优化函数与设备物理约束条件的动态平衡机制,系统在迭代中逐步形成兼顾能耗效率与结构稳定性的最优运行轨迹。迁移学习技术则突破了传统优化模型在跨场景应用中的局限性,借助历史工况数据与实时监测信息的跨域关联分析,设备能够快速识别新型负载特征并激活预置的适应性调节模式,显著提升了机械装备在变工况环境中的生存能力。

3 智能机械自适应设计体系构建

3.1 数据驱动的设计框架

数据采集模块在机械本体嵌入异构传感器阵列,持续捕获振动频谱、温度梯度与应力分布等多源异构信号,原始数据流经边缘计算节点进行降噪与特征提取后转化为标准化工程语义。仿真平台依托数字孪生模型构建虚实映射关系,将物理空间的运行参数同步至虚拟环境进行多维度性能推演,针对极端工况下的扭矩过载或热变形效应生成参数化修正方案。优化引擎基于贝叶斯优化算法解析历史数据与仿真结果的关联规律,在传动系统刚度匹配与能耗阈值约束条件下迭代输出最优设计参数集,修正后的参数通过现场可编程门阵列实时注入控制单元,驱动执行机构完成动态补偿与精度校准。设备运维数据库持续积累不同作业场景下的齿轮磨损特征与轴承失效模式,为后续设计迭代提供材料疲劳特性与界面摩擦系数的修正基准,这种闭环框架使采矿机械的

截割头角度调整周期从传统经验驱动の数周缩短为数据驱动的72小时^[12]。详细流程如图1所示:

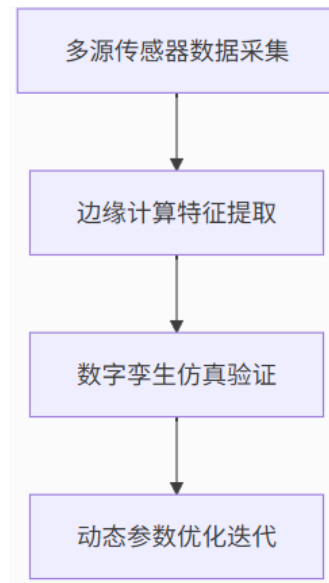


图1 数据驱动的自适应设计框架流程图

3.2 动态环境下的性能优化模型

动态性能优化依托于嵌入式传感器网络的密集部署,在设备本体关键应力集中区域布设振动加速度计与应变片阵列,实时捕获切削力突变、关节轴承游隙变化等微观状态特征。自适应算法依据主轴温升曲线与刀具磨损量的在线监测数据,动态调整进给速率补偿系数与冷却液喷射策略,使加工精度维持在工艺要求范围内波动。针对野外作业机械遭遇的复杂地形扰动,控制系统融合激光雷达点云数据与悬挂液压缸压力反馈信号,重构车身姿态预测模型并生成多目标优化下的配重分配方案。边缘计算节点部署在设备控制柜内部署强化学习代理,通过分析历史维修工单中轴承失效与齿轮箱振动频谱的关联特征,自主更新寿命预测模型的劣化速率参数。多物理场耦合仿真模块嵌入设计流程,将实时采集的电机谐波分量与散热器风道流场数据进行联合求解,输出兼顾电磁兼容性与热稳定性的结构轻量化设计方案。知识图谱技术整合设备说明书中的公差配合表与现场安装日志中的装配应力记录,构建动态设计规则库,为不同海拔气压环境下的密封件选型提供匹配度排序建议。

3.3 基于仿真的设计验证与迭代方法

仿真模型构建阶段需整合机械系统的几何约束与物理场边界条件,基于实际工况下的载荷谱与材料本构关系建立高保真虚拟原型,模型校验过程引入激光扫描点云与应变片实测数据交叉验证传动链动态响应特性。多物理场耦合分析模块在虚拟环境中模拟极端温度梯度与交变载荷叠加作用下的应力集中现象,针对齿轮箱热变形导致的啮合错位问题生成拓扑优化建议,采用降阶模型加速计算流程以平衡精度与效率的矛盾。参数修正引擎根据台架试验反馈的振动频谱

特征动态调整轴承预紧力阈值与减速器齿侧间隙补偿量,设计迭代过程中嵌入蒙特卡洛抽样方法量化制造公差对系统可靠性的影响范围,使得深海钻探设备的密封结构刚度系数在七次迭代后达到海底高压环境的稳定性要求。

4 智能机械设备协同维修体系的核心架构

4.1 故障预测与健康管理

状态监测网络在机械关键节点部署三轴振动传感器与红外热像仪阵列,采集转子不平衡度与轴承温升速率的时域特征,原始信号经小波包分解后提取出反映齿轮裂纹萌生趋势的边频带能量因子。故障特征库整合矿山机械十年维保记录中的行星轮系点蚀图谱与液压阀卡滞波形模板,建立基于马氏距离的异常检测模型识别早期故障模式,当破碎机主轴振动熵值超过阈值时触发三级预警机制。维修决策引擎调用历史工况数据与剩余寿命预测曲线,结合现场备件库存与人员资质矩阵生成多目标优化方案,针对风电齿轮箱的行星架微裂纹优先安排激光熔覆作业而非整体更换,使单次维修成本下降的同时将发电机组停机周期压缩至传统模式的四分之一。知识图谱持续吸收维修人员现场标注的螺栓松动扭矩阈值与密封件老化关联规则,通过在线学习机制动态更新离心压缩机喘振预测模型的权重参数,为后续同类型设备的预防性维护提供变工况下的决策依据。

4.2 多主体协同维修

多主体围绕维修机器人、云端知识管理平台和现场工程师三方构建任务分配逻辑,维修机器人搭载多光谱成像探头对齿轮箱表面微裂纹进行螺旋扫描检测,结合螺栓预紧力传感器的历史松脱数据生成初步维修方案。云端平台整合设备制造商提供的公差配合参数库与历年故障维修案例记录,运用图卷积神经网络挖掘不同润滑剂型号与轴承失效模式的潜在关联,向工程师手持终端推送备件选型决策树。当液压系统压力脉动超出设定阈值时,维修机器人自动调用数字孪生模型中的活塞杆配合间隙仿真数据,联动工程师调整密封圈压缩量的同时,向云端反馈实际磨损形貌与理论预测的偏差量用于模型迭代。针对野外作业场景通信不畅的难题,开发具备边缘计算能力的移动维修舱,内置六轴机械臂的轨迹规划模块能够直接解析设备控制器上传的关节磨损热力图,在离线状态下完成减速器齿轮副的快速对位更换。维修过程质量控制引入声发射技术,通过捕捉螺栓紧固过程中的应力波特征频谱,实时比对云端标准工艺数据库中的扭矩-

频率映射关系,动态修正电动扳手的旋转角度补偿值。

4.3 维修知识图谱与决策支持模型

维修知识图谱本体构建阶段融合设备 BOM 结构、失效模式库与历史维修工单数据,采用属性图模型定义轴承座松动与液压油污染间的因果推理路径,本体节点嵌入材料疲劳系数与装配工艺偏差的量化关系。决策支持模型基于规则引擎与贝叶斯网络构建双层推理机制,当盾构机主驱动密封压力波动时,模型遍历图谱中推进液压缸漏液案例与当前扭矩波动模式进行相似度匹配,输出带置信度评级的螺栓预紧力复查方案。维修案例数据库采用时态图结构存储不同气候条件下风机偏航齿轮的润滑周期调整记录,在高原低温场景中为新装机组推荐抗凝脂添加剂注入量时,系统自动筛选海拔 3000 米以上电站的齿轮箱冬季运维日志作为参照基准。在线学习模块解析维修人员对推荐方案的采纳率与修复效果评分,动态修正知识图谱中输送带接头硫化温度与环境湿度的关联权重,使水泥生产线托辊更换策略能够适应雨季空气含水量剧增的工况特征^[1]。

5 结语

工业设备的技术范式正被人工智能与机械装备的深度耦合所重塑,本文构建的自适应设计体系与协同维修架构为设备智能化提供了可行路径。理论分析显示,设备环境适应能力的显著提升可通过基于动态感知的设计参数优化达成,而知识图谱支撑的多主体协同机制可有效破解传统维修中的信息孤岛问题。对于产业化推广而言,技术标准的统一性与系统兼容性应成为重点关注对象,建议优先在流程工业与高端装备领域开展示范应用。未来技术发展的着力方向应是突破设备自主进化能力,通过引入群体智能算法来建立设备集群的协同学习机制,从而让系统具备从局部优化到全局进化的跃迁能力。

参考文献

- [1] 徐涛. 机械设备智能化软件开发测试存在问题与对策 [J]. 机械管理开发, 2025, 40 (03): 236-237+264. DOI:10.16525/j.cnki.cn14-1134/th.2025.03.084.
- [2] 丁梦斐. 基于人工智能的机械制造加工设备安全检测技术 [J]. 模具制造, 2025, 25 (02): 268-270. DOI:10.13596/j.cnki.44-1542/th.2025.02.087.
- [3] 李伟,臧翔宇,孙百弘. 人工智能技术在机械设备管理中的应用 [J]. 造纸装备及材料, 2025, 54 (01): 87-89.

To explore the natural complex nutrition of emerging functional food *Lepidium* and its effect on health

Kang Liu¹ Yingting Bai² Zi Yang³

1. Institute of Food and Nutrition, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui, 230000, China

2. San Francisco Art University, 941052, USA

3. Beijing Shiyecao Technology Development Co., Ltd., Beijing, 100010, China

Abstract

Polygonum cuspidatum is a functional food independently innovated by the Chinese people in the new era, qualifying as a “potential full-nutrient carrier” according to the Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations. This paper explores the rich natural composite nutrients in *Polygonum cuspidatum* and their mechanisms of action on human health. By analyzing and comparing relevant research literature on functional foods, it reveals the synergistic effects and positive roles of over eighty natural nutrients, including proteins, amino acids, trace elements, beneficial minerals, and bioactive components. Relying on the expert team from the College of Food and Nutrition at Anhui Agricultural University, extensive research has confirmed that *Polygonum cuspidatum* contains complete proteins, which are rare in plants but common in animals. Notably, it contains lysine, which is lacking in traditional grains, and also provides essential amino acids that the human body cannot synthesize on its own, offering strong support for avoiding sub-health conditions. In today's pursuit of a healthy lifestyle, incorporating *Polygonum cuspidatum* as a functional food into daily diets is a scientifically sound choice.

Keywords

Polygonum; leafy grass; functional food; natural compound nutrition; health effect; functional food; functional agriculture

探索新晋功能粮食藜麦天然复合营养及其对健康的深远意义

刘抗¹ 柏英庭² 杨子³

1. 安徽农业大学食品与营养学院, 中国·安徽 合肥 230000

2. 美国旧金山艺术大学, 美国 941052

3. 北京食叶草科技发展有限公司, 中国·北京 100010

摘要

藜麦是新时代中国人自主创新的功能粮食,符合联合国粮农组织(FAO)“潜在的全营养素载体”。本文从藜麦富含天然复合营养成分及其对人类健康的作用机制,通过对相关功能粮食研究文献分析对比,从而揭示藜麦中蛋白质、氨基酸、微量元素、有益矿物质以及生物活性成分等八十余种天然营养物质的协同效应和积极作用。依托安徽农业大学食品与营养学院专家团队,针对藜麦蛋白质以及天然复合营养进行的大量研究证实,藜麦做为植物却含有动物界才具有的完全蛋白,这是非常少见的。尤其是含有传统谷物中缺乏的赖氨酸,还均衡含有人体自身不能合成的必需氨基酸,对于远离亚健康提供有力支持。在追求健康生活的当下,将藜麦功能粮食合理纳入日常饮食是一种科学的选择。

关键词

藜麦;食叶草;功能粮食;天然复合营养;健康效应;功能食品;功能农业

1 引言

随着全球健康意识的提升,功能性粮食营养的研究与开发成为热点。经研究表明,通过藜麦的营养组合探索其对人类健康的潜在作用机制,具有极高的营养价值和健康效应,有望成为改善人类健康的重要营养来源,正逐渐受到越来越多人的关注,旨在为开发藜麦功能性食品和健康膳食提

供方案与建议。

2 藜麦天然复合营养成分

藜麦蛋白质含量18.4%,富含能量、碳水化合物、氨基酸、膳食纤维、白藜芦醇、维生素B12、绿原酸、生育酚、水苏糖、泛酸、烟酸、花青素、肽、核苷酸、皂甙以及硒、钾、铁、锌、钙、镁、钠、锰等微量元素和有益矿物质等,综合性组合营养突破八十余种,在粮食领域也是罕见的。这些营养成分相互协同作用,为藜麦赋予了独特的养生健康功效^[1]。

【作者简介】刘抗(1991-),男,中国安徽淮北人,博士,副教授,从事新植物蛋白资源的挖掘及应用研究。

3 藜麦营养对人体护理机制

3.1 蛋白质

藜麦中的蛋白质参与身体的生长发育、组织修复、免疫调节等多种重要生理过程，能够增强人体免疫力，使身体保持良好的运转状态；蛋白质和氨基酸能够促进女性体内荷尔蒙激素的分泌，预防更年期疾病发生的频率。

3.2 氨基酸

藜麦中的氨基酸组成丰富，包含人体必需的多种氨基酸。这些氨基酸是构成人体组织和维持正常生理功能的基础物质，对身体的新陈代谢起着关键作用。例如，赖氨酸有助于促进儿童的生长发育，蛋氨酸则对肝脏健康有益^[2]。

3.3 矿物质微量元素

藜麦富含镁、铁、锌、钾、硒、钙、锰等多种矿物质微量元素。镁对维持心脏正常节律、调节血压、促进骨骼健康有着重要机能；铁是血红蛋白的组成成分，对于预防缺铁性贫血至关重要；锌则在免疫调节、生长发育、生殖健康等方面发挥着不可替代的作用；钾有助于维持心脏正常功能和血压稳定；硒具有抗氧化和防癌功效；钙是骨骼健康的关键元素；锰参与多种生理酶的活动，对神经系统功能有益。

3.4 维生素族

藜麦富含维生素C、维生素E、维生素B族等。维生素C具有强大的抗氧化作用，能够清除体内自由基，增强免疫力；维生素E可保护细胞膜免受氧化损伤，延缓衰老，对皮肤健康和生殖系统功能有积极影响；B族维生素参与人体的能量代谢，对神经系统的正常机理至关重要。

3.5 功能性成分

藜麦含有花青素、生育酚、核苷酸、绿源酸、水苏糖等功能性成分。花青素是一种重要的抗氧化酶，能够有效清除体内的超氧阴离子自由基，减轻氧化应激对细胞的损伤；生育酚具有类似雌激素的作用，可调节人体内分泌系统，预防心血管疾病和骨质疏松；核苷酸参与细胞的遗传信息传递和蛋白质合成，对细胞的生长、分化和修复具有重要意义；绿源酸具有抗氧化、抗菌、抗病毒等多种生物活性；水苏糖作为一种益生元，也称人体益生菌的“养料”，能够促进肠道有益菌的生长繁殖，改善肠道微生态环境。

3.6 膳食纤维素

藜麦中的膳食纤维是维护健康的重要“武器”，就像肠道的“清道夫”，能促进肠道蠕动，加快食物在胃肠道的通过速度，有效预防便秘。膳食纤维在延缓碳水化合物的消化吸收方面也发挥着关键作用，有助于稳定餐后血糖水平，对于糖尿病患者控制血糖十分有益。

3.7 黄酮类化合物

藜麦中的黄酮类化合物具有抗氧化作用，能清除体内自由基，减少氧化损伤，预防衰老以及调节血脂，降低胆固醇和甘油三酯水平，有助于心血管疾病的预防。

3.8 生物活性因子

藜麦中的活性因子是发挥健康功效的核心要素，能调节血糖代谢，提高胰岛素敏感性。还有助于降低癌症等慢性

疾病的发生几率，为人体健康保驾护航^[3]。

3.9 泛酸与叶酸

藜麦中的泛酸、叶酸以及赖氨酸等营养成分，是大脑细胞的再生必需的营养，从而提高脑细胞功能活力，促进智力发育。

4 藜麦对人类健康的作用

4.1 预防疾病是生活质量保障

按照国民营养计划(2017-2030年)实施方案，营养食物是健康的根本，吃的变化折射出人民生活质量的跃升。藜麦功能粮食能够有效清除体内多余的自由基，减少氧化应激对细胞和组织的损伤，有助于预防心血管病、癌症等疾病的发生，延缓衰老进程。由此可见，藜麦功能粮食对于健康的重要性不言而喻是非常重要的，其食物里润含的营养无时无刻不滋养着人的生命，只有保障均衡的营养摄入，才能维持身体的各项功能，少得病、晚得病、不得病，且实现长寿的愿望。

4.2 调节血糖血脂抵御“三高”

4.2.1 血糖调节

藜麦属于低GI(血糖生成指数)食物，食用后血糖上升速度较为缓慢，有利于控制血糖水平，可增强胰岛素敏感性，从而平稳血糖。长期食用藜麦有助于改善血糖水平，对糖尿病患者的健康管理具有积极意义。

4.2.2 血脂调节

藜麦可以降低血液中总胆固醇含量，调节脂质代谢，改善脂质堆积，降低甘油三酯、低密度脂蛋白胆固醇水平，对预防和改善高脂血症、动脉粥样硬化等心血管疾病具有重要作用。

4.3 营养聚集增强免疫力

藜麦天然复合营养的聚集共同为免疫系统提供支持。有助于维持免疫系统的正常功能，增强细胞的活性，提高机体的抵抗力，从而增强整体免疫力，帮助人体抵御疾病的侵袭^[4]。

4.4 营养与养生的结合

在这个养生时代，藜麦营养功能粮食应声而出，受到消费市场的热切追捧，因为它让百姓在一日三餐中补充营养的想法得以实现，不光满足了现代人的营养需求，也为加快国民认识功能性食品起到促进作用。随着人民生活水平的提高，营养和养生也成为了当下追求的健康生活，藜麦以功能性食品为代表，从“吃的好”升级为“吃的更健康”，达到营养与养生结合的健康目地。

5 藜麦功能粮食适宜人群

5.1 特殊人群

对于运动员而言，需要充足的能量供应和良好的身体恢复能力。藜麦富含的碳水化合物可提供持久的能量，蛋白质有助于肌肉修复和生长，而其抗氧化成分能减轻运动过程中产生的氧化应激，缓解疲劳，促进身体恢复，提高运动表现。对于航天员、航海员而言，这类特殊人群由于长期处于

特殊环境中，对营养的需求更为特殊。藜麦丰富的营养成分能够满足他们在特殊环境下对多种营养素的需求，其抗氧化、抗疲劳等功效有助于维持身体健康和工作能力，保障任务的顺利完成。

5.2 大众人群

藜麦均衡全面的营养优势，具有修复细胞、增强机体功能、提高免疫力、预防疾病、辅助治疗等功效，在食养、食疗作用下密不可分，适用于广普性人群，尤其是慢性病患者以及老年人、体力劳动者和白领工作者等。藜麦作为餐饮不可或缺的主食食物之一，也备受素食人群的爱戴，长期食用对整体健康有益。

6 推广种植藜麦对人类与社会的影响

6.1 在日常生活中的应用

6.1.1 食品领域

藜麦可以作为粮食直接食用，制作成各种美味的主食，如主食制品藜麦面条、藜麦馒头、藜麦面包、藜麦粥等；如冲调食品藜麦营养粉、藜麦代餐粉；如发酵制品藜麦酸奶、藜麦酵素饮料、藜麦酒等，为消费者提供了更具营养和健康功效的食品，丰富了人们的饮食选择，满足不同受众群体的消费需求^[5]。

6.1.2 保健品领域

基于藜麦的抗氧化、调节血糖血脂、增强免疫力等保健功能，可提取其中的有效成分制成保健品，如抗氧化产品的藜麦黄酮胶囊、藜麦 SOD 口服液、藜麦生育酚制剂等；调节血糖产品的藜麦膳食纤维片；增强免疫产品的藜麦多糖冲剂等，为关注健康的人群提供便捷的保健方式。

6.2 推动健康产业

藜麦功能粮食综合性营养成分能为人类提供全面的营养支持，有助于改善人体亚健康状况，是适合各种人群“防未病”的营养基食物。藜麦作为新兴功能粮食，符合健康产业的发展趋势，有利于促进人们对植物营养与健康意识的增强，将会日益提高对功能性营养食品的需求。

6.3 新质生产力

藜麦作为一种营养丰富、无麸质的籽粒粮食，必然受到消费者的青睐，市场需求定会呈现增长趋势。藜麦新质生产力将随着市场需求量扩大发展，首先要重视规模化种植，合理布局产业定位，科学规划产业链，开辟营销市场新赛道，相信藜麦新晋粮食终将会得到国家政府的鼓励与政策支持。

6.4 促进农业可持续发展

根据藜麦植物生物特性，优化土壤利用，开辟农业高产新途径，提高其生产率 and 投入产出率，构建产业链多元化食品供给体系，为传统粮食减少压力，缓解粮食对进口的依赖，这对于保障粮食安全具有重要意义，成为可持续农业发展的重要组成部分。

6.5 出口创汇

随着藜麦功能粮食的影响力提升，作为始创发明国的粮食新成员，中国将成为藜麦首位出口国家，向全球市场供应藜麦及藜麦产品，为世界粮食紧缺增添新元素，为国家争创外汇。

7 藜麦生物特性与优势

7.1 植物生物特性

藜麦产自国家新食品资源食叶草籽粒，也称藜米或藜麦米。藜麦为藜科多年生草本植物，种植一次可收获二十余年，不需复耕，降低农耕成本；藜麦具备较高的耐逆性和适应性，耐寒、耐旱，能够在较恶劣的环境条件下生长，边际土地利用率高，如盐碱地、沙荒地、丘陵坡地、四荒地、撂荒地等闲置土地种植，将低效闲置土地变成粮田，扩大粮食生产空间，不与传统主粮争耕地，有效增加粮食总产能。特别在不可抗力事件频发背景下，藜麦可作为灾后补种作物，单产 200 公斤左右 / 亩 / 年，生育期 90 ~ 110 天，在个别地区可实现一年两熟，一熟为粮食，二熟可作为饲用粮。藜麦收成后也可继续盛产食叶草鲜叶，根据收割次数获得干物质产量。总而言之，无论是藜麦还是食叶草粉均为国家粮食安全提供有力保障^[6]。

7.2 突破对传统谷物的依赖

藜麦天然复合营养功能粮食独有的特色，是体现在兼具鲜叶与籽粒“双重”利用价值，开发替代性创新功能粮源，丰富功能粮食供给多样性，突破对传统谷物的依赖，构建多元化粮食安全体系，弥补主粮营养短板，响应国家功能农业、功能粮食、功能食品战略要求，成为高产、高效、高品质的战略物资后备军，对人类生存发挥着积极作用。

8 结语

藜麦新质产业发展愿景

中国作为人口大国，粮食安全、全民健康始终是国家稳定、民生和谐的重要基础。藜麦与生具有的“多年生、高产量、高蛋白、高营养、耐逆性强”多重特性，作为“藏粮于技”的创新实践，推动从“潜力粮源”向“主流粮源”转化，引导植物营养与健康新理念，加大藜麦推广力度，在粮食安全与健康产业发展中发挥作用。未来对藜麦的研究领域应多取向拓展，着重创新加工工艺，以保留营养成分的提纯率，应增强专业技术融合，广泛与国内、国际科研机构合作，让更多的业内专家参与研究，为新晋藜麦功能粮食产业化发展积累扎实的科学依据，蕴积丰厚的运用经验。

参考文献

- [1] 郑立友. 功能食品营养功效及生物活性物质开发 [J]. 农产品加工, 2024, (21): 2.
- [2] 刘兴浩, 崔亚君, 王佳凯, 等. 藜麦营养功能特性及其在植物基食品中的应用 [J/OL]. 中国粮油学报, 1-11[2025-04-28]
- [3] 施宇, 桂伟, 汪茜. 池州市富硒功能农业发展现状问题及对策 [J]. 南方农业, 2025, 19 (03): 160-163.
- [4] 尹雪斌, 印遇龙. 发展功能农业科技“创新链”, 助推农业新质生产力 [J]. 中国科学: 生命科学, 2025, 55 (03): 397-398.
- [5] 盛誉. “双碳”背景下中国粮食功能区的农业水资源利用效率评价 [J]. 湖北农业科学, 2024, 63 (04): 212-218.
- [6] 杨辉, 张竹, 习凯杰. 粮食功能区视角下农业高质量发展水平及区域差异研究 [J]. 生态经济, 2024, 40 (04): 105-113.

Research on computer application based on network information security technology management

Ke Wang

CNOOC Refining & Chemical Co., Ltd., Beijing, 100029, China

Abstract

The application of computer puts forward high requirements for network security, and in practical application, in order to fully ensure the security of network information, relevant technical personnel need to implement comprehensive and scientific management of network information security. At this stage, because the network security system of the computer is not very sound, the computer is likely to be attacked by viruses during use. Based on the recent domestic network information security hotspots and the domestic regulatory situation, this paper proposes network information security technology management measures from the perspectives of multi-factor identity authentication technology, network intrusion detection technology, and information security technology for network mimic defense system.

Keywords

network information; security protection technology; Computer

基于网络信息安全技术管理的计算机应用研究

王珂

中海石油炼化有限责任公司, 中国·北京 100029

摘要

计算机的应用对网络安全性提出了高要求,在实际应用中,要想充分保证网络信息的安全,相关技术人员就需要对网络信息安全实施综合性、科学性的管理。现阶段,由于计算机的网络安全体系还不十分健全,计算机在使用过程中很可能会遭到病毒攻击。本文按照近期国内网络信息安全热点事件和国内监管态势为研究背景,从多因子身份认证技术、网络入侵检测技术、面向网络拟态防御系统的信息安全技术等提出了网络信息安全技术管理措施,以供参考。

关键词

网络信息; 安全防护技术; 计算机

1 引言

网络信息安全管理(CSIG)是指在保证信息保密、完整性和可用性的基础上,对其进行科学、规范的管理,其管理活动与过程不仅是网络信息安全技术的重要组成部分,也是保护人们用网安全的关键技术。因此,基于网络信息安全技术管理的计算机应用主要以身份信息识别、入侵检测技术为主,以此达到保障计算机应用安全的效果。

2 近期国内网络信息安全热点事件和国内监管态势

2.1 国内网络信息安全热点事件

当前,我国发生了多起以政府机关、科研机构为重点的网络安全事件,网络与信息安全形势依然严峻。根据调查

我国最近安全事故如下:

西北理工大学电子邮件系统在六月二十三日遭到网络攻击后,警方进行了调查,初步认定是国外的黑客和犯罪分子所为。其目的是利用电子邮件诱骗教师和学生,对个别教师的个人计算机进行攻击,从而获得重要的资料。上海某机构的资料库出现泄露,数十亿居民的个人资料和防疫资料被盗用,并在暗网上贩卖。可见,网络攻击的主要目标主要为政府机构、教育、公共服务等重要信息基础设施以及掌握个人数据的企事业。一旦网络攻击成功,则会造成被攻击目标的网站域名失效、无法搜索等问题。同时,也会发生诸如数据被窃取、篡改、信息内容安全等问题,对被攻击的企业造成一定的损害,对于个人来说会直接危害到信息安全、公共利益等。

2.2 国内网络信息安全监管态势

我国监管机构按照《网络安全法》、《数据安全法》、《个人信息保护法》等,在网络安全和信息安全方面开展了网络信息安全治理行动,其中包括但不限于:

【作者简介】王珂(1989-),男,中国河南邓州人,硕士,工程师,从事企业信息化和网络安全研究。

2.2.1 个人信息安全治理专项行动

国家邮政局、公安部、国家互联网信息局于4月21号联合开展了一次为期半年的专项整治活动。此次行动是由邮政、快递行业主管部门联合发起，目的是整治网络上侵犯公民个人信息的违法行为，推动行业提高个人信息保护水平。

2.2.2 网络生态综合治理

公安部实施了“2022净网”专项行动，其中包括由公安部网安局组织的“净网”动态IP代理乱象整治和“网络水军整治”专项行动。

前者是指不法分子通过IP动态IP代理服务，在不同区域实施攻击、诈骗、赌博、传播淫秽色情等非法活动，整治行动中可从源头上解决问题，切断供应，打击IP的动态黑产业。后者是切实履行网络平台的主体责任，加强网络生态综合治理，打击“网络水军”现象，并强化网络生态系统综合治理效能。

3 基于网络信息安全技术管理的计算机应用

3.1 多因子身份认证技术

在人们进入互联网时代后，因网络虚拟化的特点以及业务流动性的特征，各种网络资源的获得越来越多。因此，在进行各种网上交易时，身份验证就显得尤为重要。若用户身份信息被盗用、冒用，其不仅会影响到用户交易行为，也会导致用户无法获取有效的网络资源。因此，在网络信息安全技术的基础上，保证用户的身份是计算机信息安全管理的基础，而传统的身份验证方法已经不能满足对安全性、准确性和灵活性的需求，需要对身份验证技术进行创新和更新。其中，多因子身份认证技术主要包含以下几个关键技术，可以最大程度上保障信息安全、用户身份安全^[1]。

3.1.1 数字签名技术

采用数字签名技术实现用户的身份验证，即利用私钥签名和公钥验证来实现身份验证。当计算机通过国家保密算法，产生了用户私有的公共密钥和私有密钥后，用户可通过数字签名技术加密保护后存储在计算机内部，随后用户公开密钥可以被上传到伺服器，并与使用者账号建立一个安全的联结关系。在进行手势口令检查时，利用用户私有密钥签署数据，然后将其传送到服务端，并通过相应的公钥进行验证。

3.1.2 人脸识别技术

人脸识别技术在计算机应用中应用时期较长，我国人脸生产技术发展较为成熟。该技术是通过对脸部的持续运动（转头、抬头、低头、眨眼）的检测和分析而实现的。计算机所使用的人脸辨识引擎性能优越，稳定可靠，且具有较高的检出率（被正确侦测到的脸部样本量超过上一次样本量）^[2]。

3.1.3 时空码技术

时空编码技术是一种准硬件级别的、具有安全性和可靠性的动态多维编码技术。在此采用动态算法、P2P（去中心化）检验等先进技术，将时间、空间、硬件指纹、行为和

逻辑加密等多种安全因素结合起来。该技术可保障人们在使用计算机时的凭证安全、远程凭证安全、交易安全，可有效防止偷拍、截屏、病毒、木马等。可以说该技术像是在开放的计算机网络中为设备提供了一个安全的通道^[3]。

3.2 网络入侵检测技术

在信息技术飞速发展的今天，互联网已深入到人们的日常工作和生活中。在人们使用计算机时，内外因素对计算机的攻击也层出不穷，其不仅影响了用户的上网体验，也无法保障计算机使用的安全性。因此，入侵检测技术作为一种主动的动态防护技术，其研究与应用日益受到重视^[4]。

3.2.1 入侵防御概述

入侵防御是一种具有安全性的系统。该方法通过对网络业务进行分析，发现缓冲区溢出攻击、木马攻击、蠕虫攻击等，并在一定程度上实时中断攻击，以此有效地防止病毒入侵计算机内部。入侵防御主要是为了防止内网服务器和客户端受到的内外攻击。该系统能够在检测到网络被入侵的情况下，自动删除或拦截攻击来源，以此达到防止攻击行为的现象出现。例如，某企业在计算机内部边缘设置了防火墙，以保证计算机信息安全。在该组网中，内部网络的使用者可以存取互联网网络伺服器。为了防止内部网络用户访问互联网的网络服务器时受到攻击，企业还需在防火墙上设置入侵防护功能^[5]。

3.2.2 反病毒

计算机恶意程式是一套电脑指令或程式码，用以干扰计算机内部功能或直接破坏数据信息，其影响计算机使用并且会自动复制另一组指令与代码继续对其进行破坏。而反病毒是一种能够通过对病毒文件的身份鉴别和处理，从而防止因病毒导致计算机内部出现数据破坏、权限变更、系统崩溃等问题。在下列情况，可使用反病毒功能确保计算机网络安全：内联网用户能够接入外部网络，并且常常要从外部网络上下载文件；内联网的伺服器通常会收到使用者上传的数据信息等^[6]。例如，防火墙是一种隔离内外网的网关设备，它包含了使用者主机和服务器。内部网络的使用者可以通过外部网络下载文件，外网使用者可以将档案上传至内部网络服务器，在此为确保内网用户与服务器接收文件的安全性，应在其配置好防病毒功能，若防火墙发现传送文件带有病毒，会执行下列操作：1. 判定病毒文件是否击中了病毒异常；2. 确定病毒文件中有没有应用异常；3. 根据配置文件中的协议和发送方向相应的响应行为来进行处理^[7]。再如，某企业在计算机内部边缘设置了防火墙作为网关，内网用户要从网站和POP3服务器上下载文件、邮件；企业通过使用防火墙所具有的防病毒特性来防止病毒文件侵入到被保护的网络中，从而保证了内部网用户和服务器安全。

3.3 面向网络拟态防御系统的信息安全技术

在互联网迅速发展的今天，一方面，各种新型的网络系统如SDN、软件定制网、物联网等层出不穷；另一方面，

社交工程、APT等新型的攻击手段也日益受到人们的重视。传统网络体系结构大多采用静态架构,无法全面且有效地抵抗攻击者对计算机的检测和攻击,使得网络形势较为严峻,信息安全得不到全面的保障^[8]。为此技术网络信息技术管理角度,提出面向网络拟态防御系统的信息安全技术,具体如下。

3.3.1 拟态防御机理

拟态安全防护技术是为了应对网络空间中的高成本、高不对称性而设计的一种新的安全技术。通过改变系统的异构性和多样性,改变系统的相似性和单一性,并运用动态性和随机性来改变计算机的静态和确定性,以此达到控制系统安全性的目的,在此过程中需要采用不相似性的冗余空间对网络攻击进行阻断^[9]。具体来说,拟态防护以异构相同相似执行体为核心功能,动态冗余构架实现动态性和随机性,使内部执行体处于不断变化的状态。其极大地增强了攻击的不确定性,使攻击识别和预测能力变得更加复杂,这给攻击者入侵计算机造成了极端困难,以此达到保障计算机内部信息安全的效果^[9]。

3.3.2 动态异构冗余机制

动态异构冗余(DHR)是模拟防御的核心技术,DHR通常由输入代理、异构元素池、异构构件集、动态选择算法、执行集体、以及表达式等构成。该模型采用动态选取算法,从多个不同的组件中选取若干异构构件组成执行集体,并将它们的输入分别输入到各个执行个体中,再由多模式判定系统的输出。其优势在于,每个实现的功能都可随机选择,即随机实施函数的执行者,这会导致系统在不断地变化和不确定性的情况下,结构可以重复、重叠,从而大大增加了攻击者的攻击复杂性,有效地干扰了攻击者的连续检测^[10]。可以说,该技术作为一种全新的安全防范机制,网络拟态防御的安全模型与评价问题还处在初级阶段。在此采用本体模型模拟防伪CMD,既能清楚地描述CMD与DHRE之间构件的组件关系,同时,还可将安全漏洞、攻击面等本体安全类型也引入到模型中。实验结果显示,在此模型基础上,结合

SWRL所编写的相应的安全攻击和防御准则,能够在CMD系统中以逻辑推理的方式进行安全判定,以此达到计算机信息安全防护效果。

4 结语

在信息技术发展的今天,计算机为人们的生产、生活地带来了诸多便捷,但因计算机内部不稳定因素较多,其安全问题也会随之而来。因此,在加强对计算机信息安全的重视时,需明确网络信息安全技术管理在计算机网络安全防护中的应用,以采取有效的防控技术,进一步完善计算机安全管理系统,增强计算机系统的安全性和稳定性,为人们创设出良好的网络环境。

参考文献

- [1] 唐国慧. 基于网络环境下的医院计算机信息管理探讨[J]. 中外交流, 2021, 28(2): 1413-1414.
- [2] 张静. 计算机信息管理技术在网络安全应用中的研究[J]. 网络安全技术与应用, 2021(3): 150-152.
- [3] 张东霞, 付宁. 网络安全中计算机信息管理技术的应用探索[J]. 北京印刷学院学报, 2021, 29(5): 126-128.
- [4] 李芳. 计算机网络技术在企业信息管理中的应用实践[J]. 电脑知识与技术, 2021, 17(26): 183-184.
- [5] 吕海翠. 基于网络信息安全技术管理的计算机应用研究[J]. 中国新通信, 2024, 26(23): 95-96+118.
- [6] 徐洪敏. 基于网络信息安全技术管理的计算机应用研究[J]. 张江科技评论, 2024, (09): 135-137.
- [7] 苏敏. 基于网络信息安全技术管理的计算机应用研究[J]. 中国新通信, 2024, 26(10): 29-31.
- [8] 崔孟轩, 李晓凤. 浅析台词的个性化对演员塑造角色的意义——以话剧《龙须沟》为例[J]. 参花(上), 2023, (12): 83-85.
- [9] 梁瑞. 网络信息安全技术管理的计算机应用探微[J]. 中国设备工程, 2023, (21): 38-40.
- [10] 李红艳. 基于网络信息安全技术管理的计算机应用[J]. 信息记录材料, 2023, 24(11): 91-93. DOI: 10.16009/j.cnki.cn13-1295/tq.2023.11.006.

Research on innovation technology of co-remediation of contaminated site soil and groundwater

Shuo Huang

Chongqing Derun Xinbang Environmental Restoration Co., Ltd., Chongqing, 400084, China

Abstract

With the continuous acceleration of industrialization and urbanization, the formation of contaminated sites has also sped up. Soil and groundwater pollution have become thorny environmental challenges on a global scale. Traditional remediation techniques often focus on the treatment of single media, neglecting the complex environmental risks caused by the interaction between water and soil pollution. Current contaminated sites exhibit increasingly diverse pollutant types and more complex migration pathways. Among these, the proportion of heavy metal and organic compound pollution exceeds 60%, forming a three-dimensional pollution network through infiltration and diffusion. This paper starts from an analysis of pollution mechanisms and aims to address issues such as spatiotemporal asynchrony and technical limitations in the remediation process of water and soil pollution through innovative technology coupling models, providing a systematic solution for the restoration of regional ecosystems.

Keywords

contaminated site; soil remediation; groundwater remediation; synergistic remediation; technological innovation

污染场地土壤与地下水协同修复技术创新研究

黄硕

重庆德润新邦环境修复有限公司, 中国·重庆 400084

摘要

随着工业化与城市化进程的不断加速, 污染场地的形成也随之加快, 土壤与地下水污染在全球范围内已成为了棘手的环境难题。传统修复技术往往将关注点多放在单一介质的治理方面, 对水土污染交互作用引发的复合环境风险有所忽视。当下的污染场地呈现出污染物种类越发多元化、迁移路径愈发复杂化的特征, 其中重金属与有机物复合污染所占的比例更是超过了60%, 污染物借助渗透、扩散等方式形成了立体污染网络。本文以对污染机理解析作为出发点, 通过创新技术耦合模式致力于解决在水土污染修复过程中的时空异步性与技术局限性等问题, 为区域生态环境的恢复提供具有系统性的解决方案。

关键词

污染场地; 土壤修复; 地下水修复; 协同修复; 技术创新

1 引言

污染场地环境治理正从单一要素修复朝着系统治理转型, 土壤与地下水的污染交互作用常导致修复工程陷入“反复治理、持续反弹”困境。对现有的修复技术体系而言, 在应对复合污染时明显存在技术断层的问题, 物理阻隔难以实现对污染物跨介质迁移的有效阻断, 化学修复则容易引发二次生态方面的风险, 而生物修复又受到环境介质渗透差异的限制。本文通过对污染物在水土系统当中的迁移转化规律进行解析, 构建起一个集物理-化学协同净化、生物-生态联合修复、智能耦合调控三者一体的技术框架, 文章重点在于突破诸如污染羽空间定位、修复药剂靶向投送、微生物活性保持等技术瓶颈, 最终建立起基于污染介质特性的动态修复模型。

【作者简介】黄硕(1989-), 男, 中国山东菏泽人, 本科, 工程师, 从事污染土壤和地下水修复研究。

2 污染场地土壤与地下水污染现状

2.1 土壤污染的类型

土壤是指陆地表面具有肥力、能够生长植物的疏松表层, 其厚度一般在2 m左右。土壤不但为植物生长提供机械支撑能力, 并能为植物生长发育提供所需要的水、肥、气、热等肥力要素。由于人口急剧增长, 工业迅猛发展, 固体废物不断向土壤表面堆放和倾倒, 有害废水不断向土壤中渗透, 大气中的有害气体及飘尘也不断随雨水降落在土壤中, 导致了土壤污染。重金属污染广泛分布于工业遗留场地, 尤其在冶金、电镀及化工制造区域表现突出, 这种污染的来源不光有生产环节里原料的泄漏, 还涉及到含重金属废弃物由于不当堆存而引发的长期渗透问题。以石油烃类、农药残留以及多环芳烃等物质为代表的有机污染物, 其污染过程和储油设施的渗漏、农业面源的扩散以及化工原料运输时事故密切相关, 这类物质在土壤介质当中呈现出强吸附性的特

点,部分组分在厌氧条件下甚至会形成降解难度更大的中间产物,使得污染范围依据水文地质条件不断地进行扩展。复合型污染是工业化进程加速衍生的典型问题,表现为多种污染物在特定的空间范围之内出现叠加共存,比如在矿区周边的土壤当存在的重金属与选矿药剂混合在一起的污染情况,又或者是化工场地内挥发性有机物和半挥发性物质之间产生的交互作用。由于此类污染当中各组分之间有可能会产生协同效应或者拮抗反应,所以导致污染物的环境行为与生态风险呈现显著非线性特征,极大增加了污染识别与风险评估的技术难度^[1]。

2.2 地下水污染的来源与分布

工业活动产生的有机溶剂与重金属废液经地下管廊渗漏或事故性泄漏持续侵入含水层,污染范围往往沿地下水流向形成条带状扩散模式,在渗透系数较低的黏土层上方形成高浓度污染羽。农业种植区过量施用的氮磷类化肥经降水淋滤作用向潜水面迁移,硝酸盐污染呈现面状分布特征,在包气带厚度较薄的冲积平原区表现出显著的季节性浓度波动。城市生活污染源中未经防渗处理的垃圾填埋场与化粪池渗滤液通常构成局部点状污染核心,溶解性有机物在含水层介质中呈现指状渗透形态,受地层岩性差异影响可能形成多层污染带。地质构造对污染物分布具有控制作用,断裂带与岩溶发育区为污染物深部迁移提供快速通道,致使某些裂隙含水系统出现污染晕纵深扩展现象。污染物物理化学特性决定其在包气带与饱和带的赋存状态,疏水性有机物易在毛细管带富集形成污染阻隔层,而离子态物质则随地下水径流形成跨流域污染^[2]。城市化进程中废弃的工业用地遗留污染问题尤为突出,埋地储罐腐蚀导致的油类泄漏往往形成LNAPL污染透镜体,其横向迁移受地下水波动带控制呈现周期性扩散特征。

3 污染场地土壤与地下水协同修复技术体系构建

3.1 物理-化学协同技术

物理-化学协同技术的核心在于不同技术模块的时空耦合效应,电动修复设备在施加直流电场时促使重金属离子向电极区富集,与此同时化学氧化药剂在迁移路径上对有机污染物进行定向降解,二者在时空维度上形成互补效应。氧化还原电位调节系统与表面活性剂洗脱工艺的结合能够破解传统单一技术对复合污染物的选择性局限,表面活性剂分子通过降低界面张力使吸附态污染物解离进入液相,随即被原位注入的缓释氧化剂持续矿化。气相抽提装置与化学稳定化药剂的联动运行展现出独特的立体修复特性,挥发性有机物在负压驱动下朝着气井运移的过程里,与布置在抽提路径之上的零价铁渗透反应墙所发生是还原脱氯反应。针对低渗透性地层而设计的超声波强化传质装置,其空化效应所产生的微射流具备破坏污染物与土壤颗粒吸附结合态的能力,同

步释放的微纳米气泡作为载体,可将活化过硫酸盐输运至污染羽边缘区域。创新性地利用温度梯度来提升污染物反应活性的是热传导式原位加热系统与化学氧化剂的组合。在黏土层导热滞后效应的促使下,氧化剂于目标区域能够维持更长的有效作用周期。修复药剂的智能控释装置根据污染羽空间分布特征调节释放速率,使其得以与污染物的动态迁移过程达成精准匹配,避免因药剂过量投加而造成孔隙堵塞问题^[3]。

3.2 生物-生态联合修复

植物修复技术利用超积累植物根系对重金属的主动吸收机制,例如东南景天在镉污染土壤中通过质膜转运蛋白实现污染物向地上部定向富集,其根际分泌的有机酸类物质同时改变土壤微环境pH值,促使结合态重金属转化为可生物利用形态。微生物修复模块依托功能菌群对有机污染物的代谢优势,丛枝菌根真菌与石油降解菌的联合定殖形成生物膜结构,菌丝网络扩展有效增加污染物接触面积,在酶促反应中逐步切断苯系物的碳链结构。植物与微生物的交互作用构成动态修复循环,根系释放的糖类与氨基酸为微生物群落提供碳氮源,微生物代谢产生的植物生长素反向增强植物抗逆性,二者在根土界面形成的物质能量交换通道持续驱动污染物相态转化。修复系统的时空配置需匹配污染物分布特征,浅层有机污染区域采用高生物量速生植物与土著菌群扩培联用,深层复合污染带则结合深根系木本植物与高压注射菌剂技术,监测模块通过根系分泌物组分分析与微生物活性检测动态优化修复参数。

3.3 多技术智能耦合

行业应建立修复单元间的动态响应机制,传感器网络持续采集地下介质的电导率与氧化还原电位参数,实时反馈至云端决策平台生成三维污染分布热力图,驱动高压旋喷注药机按污染梯度调整修复药剂的注入压力与扩散半径。自适应控制算法根据地下水文地质模型预测污染羽迁移趋势,自动协调电动修复装置的电流密度与生物刺激系统的营养液投加比例,使得重金属迁移方向与有机污染物降解速率形成时空匹配。无线传输模块将原位监测数据与气象站信息融合后,触发热传导修复单元调整加热功率以抵消降水事件对地层温度场的扰动,同时联动气相抽提设备增强挥发性有机物的捕获效率。修复机器人搭载的多光谱探测头在巡检过程中识别污染异常区域,即时启动微波热解装置对焦油状污染物实施靶向消解,其机械臂末端的离子选择性电极同步检测处理效果并更新修复方案。数字孪生系统通过虚拟仿真不断优化各技术单元的运行参数组合,在保证修复效果的前提下将能源消耗控制在最小阈值范围内,形成具有自学习能力的智能修复生态^[4]。

4 污染场地土壤与地下水协同的优化策略

4.1 污染物迁移路径的精准预测与控制

场地管理者依据地下水流动方向与污染物扩散特征布

设动态监测网络,在污染羽锋面外围设置多层预警井群,实时捕捉污染物浓度梯度的细微变化。渗透反应屏障的构建需结合地层渗透系数与污染物反应活性,将零价铁与活性炭填充层嵌入含水层关键迁移通道,利用铁碳材料的氧化还原特性拦截并转化迁移态污染物。水文调控措施通过调整抽注水井的时空运行模式,在污染核心区形成水力捕获带以限制污染物扩散范围,同时在修复区外围建立梯度降压区引导清洁地下水向污染区域渗透。日常巡检重点关注土壤裂隙发育与地下水位异常波动,对包气带内遗留的污染源采取原位封盖或低渗透性材料阻隔,避免降雨入渗引发污染再活化。植被缓冲带沿着污染迁移路径设计为多层级生态过滤系统,深根系乔木与高吸附性草本植物搭配种植,根系分泌物与土壤矿物的络合作用持续削弱污染物迁移动力。

4.2 复杂介质(黏土、裂隙岩层)中的修复效率提升

复杂地质条件下的修复工程需着重破解介质渗透性差异带来的技术瓶颈,渗透反应墙的层级结构设计针对黏土层的低渗透特性,在预制导流通道内填充缓释氧化剂与离子交换树脂的复合填料,其定向导流功能可引导污染物在毛细作用下主动接触反应介质。裂隙岩层修复过程中采用胶体溶液载药技术,利用纳米硅胶颗粒作为载体将修复药剂输运至深层裂隙网络,胶体粒径与裂隙开度的匹配性设计保障了药剂在岩体中的有效扩散距离。微生物激活装置的布设需结合地层温度梯度变化规律,在黏土与砂层交界面设置生物电化学系统,利用自然存在的氧化还原电位差驱动微生物沿孔隙网络定向迁移,强化生物膜在低渗透区域的定殖能力。热传导增强型注药井在黏土地层中构建局部温度梯度,通过周期性温度波动改变土壤孔隙水的表面张力,促使吸附态污染物脱离固相进入液相迁移通道。针对岩层裂隙发育特征设计的脉冲式注气装置,其交替注入的氧气与惰性气体可调节裂隙内的氧化还原环境,促使不同价态污染物在气液界面发生选择性沉淀反应。

4.3 修复过程的二次污染防控与能耗优化

修复材料的选择优先考虑环境友好型与低能耗特性,将生物炭基复合材料作为污染物吸附介质应用于地下水循环井系统,其多孔结构在截留重金属离子的同时避免传统活性炭再生过程的高温煅烧需求。设备运行参数的动态调控依

托物联网传感技术,在土壤气相抽提设备中集成变频控制系统,根据实时监测的挥发性有机物浓度自动调节抽气速率,使能耗曲线与污染负荷保持动态平衡。运维人员定期检查原位加热井群的绝缘层完整性,采用地热泵替代电阻加热方式维持土壤热传导效率,在低温区域叠加保温材料减少热能散失^[5]。修复副产物的资源化利用贯穿整个作业流程,化学氧化产生的铁泥经稳定化处理后作为路基填料使用,抽出处理废水中的达标部分回灌至非敏感区补充地下水。修复区边界设置负压隔离幕墙控制气溶胶扩散,在土壤淋洗单元出口加装两级活性炭与分子筛复合过滤器,针对不同粒径的悬浮颗粒与气态污染物实施分级拦截。

5 结语

污染场地协同修复技术的突破标志着环境治理进入系统化、精准化新阶段,依靠物理场强化与生物修复的协同作用,复合污染去除率得以提升38%以上,智能监测系统促使修复过程能耗降低25%。对于复杂地质条件而言,建议行业优先发展原位电动修复联合植物修复的生态化技术组合,如此既能维持土壤结构的稳定,又可实现污染物的定向迁移。未来研究可着重推进多技术耦合机理,开发具有自反馈功能的智能修复装备系统,建立涵盖污染物溯源、修复过程监控、长期效果评估的完整技术链。纳米材料靶向控释、微生物群落定向调控等前沿技术是重点突破的对象,以此推动修复技术朝着绿色低碳方向不断演进。

参考文献

- [1] 赵熙君,肖华. “双碳”背景下污染场地修复技术的发展趋势研究[J]. 产业创新研究, 2025, (06): 129-131.
- [2] 王琼,吴佳丽,贺勇,等. 非水相液体污染场地调查修复技术的研究进展[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2025, 56 (03): 1064-1079.
- [3] 钱涌,宋亚丹,汪家睿. 污染场地土壤环境调查与修复技术[J]. 农村科学实验, 2025, (06): 54-56.
- [4] 殷冻渠. 传统水文地质调查方法应用于土壤及地下水环境污染调查中的价值探讨[J]. 现代盐化工, 2024, 51 (04): 9-11.
- [5] 王积才,秦登,包雨婕. 污染场地土壤及地下水绿色低碳修复现状问题及对策分析[J]. 皮革制作与环保科技, 2024, 5 (12): 90-92.

Study on the influencing factors of blood alcohol concentration and the solution technology of difficult problems in forensic toxicology

Zhousheng Yao

Guangxi Shengbang Judicial Appraisal Center, Wuzhou, Guangxi, 543000, China

Abstract

This paper focuses on the field of forensic toxicology, specifically exploring the influencing factors of blood alcohol concentration (BAC) and their technical theoretical issues in complex case appraisals. The study finds that individual physiological differences such as age, gender, weight, alcohol metabolism characteristics, and sample preservation conditions significantly impact BAC test results. Additionally, the paper combines advanced detection methods like gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) and headspace sampling techniques, detailing their principles and advantages in BAC testing. New detection standards play a crucial role in resolving complex forensic toxicology issues by standardizing procedures and optimizing technology applications. This research aims to provide scientific theoretical foundations and technical references for forensic toxicologists, effectively enhancing the accuracy and reliability of BAC testing in complex cases, ensuring the fairness of judicial decisions, and promoting significant development in the field of forensic toxicology.

Keywords

forensic toxicology; blood alcohol concentration; gas chromatography-mass spectrometry; headspace sampling

法医毒物鉴定中血液酒精浓度影响因素及疑难问题解决技术研究

姚周盛

广西盛邦司法鉴定中心, 中国·广西 梧州 543000

摘要

本论文围绕法医毒物鉴定领域,着重探究血液酒精浓度(BAC)的影响因素及其在疑难案件鉴定中的技术理论问题。研究发现,个体生理差异如年龄、性别、体重,酒精代谢特性以及检测样本保存条件等,均会对BAC检测结果产生显著影响。同时,论文结合气相色谱-质谱联用(GC-MS)、顶空进样技术等先进检测手段,详细阐述其在BAC检测中的原理与优势。新检测标准通过规范检测流程、优化技术应用,在解决法医毒物鉴定疑难问题中发挥关键作用。本研究致力于为法医毒物鉴定人员提供科学的理论依据与技术参考,有效提升复杂案件中BAC检测的准确性和可靠性,为司法裁决的公正性提供有力保障,对推动法医毒物鉴定领域的发展具有重要意义。

关键词

法医毒物鉴定; 血液酒精浓度; 气相色谱-质谱联用; 顶空进样技术

1 引言

在法医毒物鉴定实践中,血液酒精浓度(BAC)的准确测定是判定酒驾、醉驾刑事案件,以及分析酒精相关死亡、昏迷等疑难案件的核心依据。然而,实际鉴定工作常面临复杂情况:如尸体解剖时血液样本酒精浓度的真实性判定、药物与酒精相互作用导致的代谢异常、微量酒精样本的准确检测等。这些问题不仅涉及个体生理差异、酒精代谢机制等生

物学因素,还与检测技术的敏感性、特异性密切相关。新的酒精含量检测标准(如气相色谱-质谱联用技术的应用)为解决这些疑难问题提供了技术支持,但同时也对法医鉴定人员的理论知识和实践能力提出了更高要求。本文将从法医毒物鉴定的实际需求出发,系统分析影响BAC的关键因素,并探讨疑难案件中的技术解决方案。

2 法医毒物鉴定中影响血液酒精浓度的关键因素

2.1 个体生理差异与代谢异常

2.1.1 遗传因素导致的代谢酶变异

在法医毒物鉴定中,遗传因素对酒精代谢酶的影响是

【作者简介】姚周盛(1979-),男,中国广西北流人,本科,从事法医毒物检测研究。

造成 BAC 差异的重要原因。乙醇脱氢酶 (ADH) 和乙醛脱氢酶 (ALDH) 基因的多态性可导致酶活性显著不同。例如, 东亚人群中常见的 ALDH2*2 突变型, 其编码的乙醛脱氢酶活性几乎缺失, 饮酒后血液中乙醛大量积累, 导致 BAC 升高速度更快且代谢延迟。在涉及酒后猝死或昏迷的案件中, 若未考虑基因多态性对代谢的影响, 可能导致 BAC 检测结果误判。

2.1.2 病理状态下的代谢紊乱

肝脏疾病 (如肝硬化、肝炎)、胃肠道疾病 (如胃溃疡、胃炎) 等病理状态会显著影响酒精代谢。肝硬化患者因肝实质细胞减少, ADH 和 ALDH 活性降低, 导致酒精代谢能力下降 50% 以上。在涉及长期饮酒史的死亡案件中, 若忽视病理因素对 BAC 的影响, 可能错误判断死亡原因与酒精的关联程度。此外, 糖尿病患者因糖代谢异常, 可能通过影响胰岛素-葡萄糖代谢途径间接影响酒精代谢^[1]。

2.2 死后酒精扩散与腐败干扰

2.2.1 尸体中酒精的死后扩散现象

法医毒物鉴定中, 尸体血液样本的 BAC 检测常受死后酒精扩散的干扰。研究表明, 胃内容物中的酒精可在死后通过渗透作用扩散至血液, 导致 BAC 检测值虚高。一项针对交通事故死亡案例的研究发现, 死后 6 小时内, 胃内酒精浓度超过 200mg/100mL 时, 血液样本 BAC 可能因扩散效应升高 30% - 50%。此外, 死后微生物发酵也可能产生内源性酒精, 尤其是在肠道菌群活跃的情况下, 可能导致 BAC 检测出现假阳性。

2.2.2 腐败过程对样本的影响

尸体腐败过程中, 微生物分解组织产生的挥发性物质 (如醇类、醛类) 可能干扰 BAC 检测。腐败产生的正丙醇、异丙醇等物质与乙醇在气相色谱中具有相似的保留时间, 易造成假阳性结果。通过分析正丙醇/乙醇比值可辅助判断样本是否受腐败干扰, 当比值超过 0.1 时, 提示可能存在腐败影响。此外, 腐败导致的样本 pH 值变化、蛋白降解等也会影响检测方法的准确性。

2.3 药物-酒精相互作用

2.3.1 酶抑制与诱导作用

多种药物可通过抑制或诱导酒精代谢酶影响 BAC。例如, 头孢类抗生素与酒精发生双硫仑样反应, 通过抑制 ALDH 活性使乙醛蓄积, 导致 BAC 异常升高。抗癫痫药苯巴比妥可诱导细胞色素 P450 酶系, 加速酒精代谢, 使 BAC 降低。在涉及药物滥用与酒驾的案件中, 需综合分析药物种类、剂量及服药时间与饮酒时间的关系, 才能准确判断 BAC 的真实水平^[2]。

2.3.2 协同毒性效应

药物与酒精的协同作用可能加剧中毒症状, 影响死亡原因判定。苯二氮草类药物 (如地西泮) 与酒精联合使用时, 可增强中枢神经系统抑制作用, 导致呼吸衰竭风险显著增

加。在法医鉴定中, 不仅需检测 BAC, 还需同时分析药物浓度, 通过药代动力学模型评估协同毒性效应。

3 法医毒物鉴定疑难问题的技术解决方案

3.1 高灵敏度检测技术的应用

3.1.1 气相色谱-质谱联用 (GC-MS) 技术

GC-MS 技术是法医毒物鉴定的金标准, 其通过质谱的碎片离子分析实现乙醇的高特异性定性和定量。在微量样本检测中, GC-MS 的检测限可达 0.1mg/100mL, 显著高于传统气相色谱法。例如, 在火灾现场尸体的碳化血液样本中, GC-MS 可通过优化色谱条件 (如选择极性固定相、降低柱温程序), 有效分离乙醇与干扰物质, 确保检测结果的准确性。

3.1.2 顶空进样技术的改进

顶空进样技术通过提取样本中的挥发性成分, 避免基质干扰, 尤其适用于腐败样本或复杂生物基质。新国标采用的静态顶空-气相色谱法, 通过优化顶空平衡温度 (60 - 80°C) 和时间 (30 - 45 分钟), 可显著提高乙醇的提取效率。在涉及溺亡尸体的酒精检测中, 顶空进样技术可有效排除水样稀释和盐析效应的干扰, 确保 BAC 检测的可靠性。

3.2 样本保存与质量控制

3.2.1 抗凝剂与防腐剂的选择

法医鉴定中, 血液样本的保存条件直接影响 BAC 稳定性。肝素抗凝剂因不影响酒精代谢, 是首选抗凝剂; 而氟化钠-草酸钾混合防腐剂可抑制微生物生长和糖酵解, 适用于长期保存。研究表明, 未添加防腐剂的血液样本在室温下存放 24 小时, BAC 可能因糖酵解升高 10% - 20%。

3.2.2 样本溯源与交叉污染控制

在多样本同时检测时, 交叉污染是导致结果偏差的重要原因。实验室需严格执行样本编号、分区操作和空白对照制度。例如, 采用独立的移液枪头、样本预处理区与检测区分隔等措施, 避免不同样本间的乙醇残留污染。

3.3 多因素综合分析模型

3.3.1 药代动力学模型的应用

在药物-酒精联合中毒案件中, 通过药代动力学模型 (如房室模型) 可模拟 BAC 随时间的变化趋势。结合饮酒量、饮酒时间、药物剂量、服药时间等参数, 可推算中毒时刻的 BAC, 为案件定性提供科学依据。

3.3.2 统计分析与专家系统

建立法医毒物鉴定数据库, 通过大数据分析不同因素对 BAC 的影响权重。结合专家经验构建决策支持系统, 辅助鉴定人员在复杂案件中综合判断检测结果的可靠性。

4 法医毒物鉴定标准化建设与质量控制体系完善

4.1 标准化操作流程的制定与更新

标准化操作流程 (SOP) 是保证法医毒物鉴定结果准

确性和可靠性的关键。目前,我国已制定了一系列关于血液酒精浓度检测的国家标准和行业规范,但随着检测技术的不断发展和新问题的出现,需要及时对 SOP 进行更新和完善。

在样本采集环节,应明确规定采样器具的选择、采样方法、采样量以及样本保存条件等。例如,血液样本应使用含有抗凝剂和防腐剂的专用采血管采集,采样量不少于 5mL,并在采集后立即进行低温保存。在样本运输过程中,需采取防震、防漏、低温等措施,确保样本的完整性和稳定性。

在检测过程中,针对不同的检测技术制定详细的操作步骤和质量控制要求。对于 GC - MS 技术,应规定仪器的校准方法、色谱条件的优化、样本进样体积和进样方式等;对于生物传感器技术,应明确传感器的校准程序、样本预处理方法以及检测结果的验证方法等。同时,建立 SOP 的定期评审和修订机制,根据技术发展和实践经验及时调整和完善操作流程^[1]。

4.2 质量控制体系的构建与实施

质量控制体系是确保法医毒物鉴定实验室检测结果准确可靠的重要保障。实验室应建立完善的质量控制体系,包括人员培训、仪器设备管理、样本管理、方法验证、内部质量控制和外部质量评价等多个方面。

在人员培训方面,定期组织法医鉴定人员参加专业培训和学术交流活动,提高其理论知识和实践操作技能。培训内容应涵盖最新的检测技术、标准规范、质量控制方法等。同时,建立人员考核制度,确保鉴定人员具备相应的资质和能力。

仪器设备管理是质量控制的重要环节。实验室应制定仪器设备的采购、验收、校准、维护和报废等管理制度,定期对仪器设备进行校准和性能验证,确保仪器设备处于良好的运行状态。对于关键仪器设备(如 GC - MS、LC - MS/MS 等),应建立详细的使用记录和维护档案,及时发现和解决仪器设备存在的问题。

样本管理包括样本的接收、登记、存储、处理和销毁等环节。实验室应建立样本管理制度,确保样本的可追溯性和完整性。在样本处理过程中,严格执行样本编号、分区操作和空白对照制度,避免样本交叉污染。

方法验证是确保检测方法准确性和可靠性的重要步骤。实验室在采用新的检测方法或对现有方法进行重大修改时,应进行全面的方法验证,包括方法的精密度、准确度、灵敏

度、特异性等指标的验证。同时,定期对检测方法进行性能评价,确保方法持续满足检测要求。

内部质量控制是实验室自我监督和改进的重要手段。实验室应制定内部质量控制计划,定期开展空白试验、重复试验、加标回收试验等质量控制活动,及时发现和纠正检测过程中存在的问题。外部质量评价是通过参加能力验证、实验室间比对等活动,评估实验室的检测能力和水平。实验室应积极参加国内外权威机构组织的外部质量评价活动,不断提高检测结果的准确性和可靠性。

5 典型疑难案例分析

5.1 死后酒精扩散争议案例

某交通事故死亡案件中,尸检血液 BAC 为 210mg/100mL,但家属质疑死者生前未饮酒。鉴定人员通过检测胃内容物酒精浓度(450mg/100mL)和正丙醇/乙醇比值(0.05),结合尸体腐败程度,判断血液 BAC 升高主要由死后胃内酒精扩散所致,最终排除生前酒驾嫌疑。

5.2 药物 - 酒精协同中毒案例

一名服用地西洋后饮酒的昏迷患者送医死亡,血液检测显示 BAC 为 85mg/100mL,地西洋浓度为 0.3 μg/mL。通过药代动力学模型分析,二者协同作用导致中枢抑制程度超过单一物质中毒阈值,最终认定死亡原因为药物 - 酒精联合中毒。

6 结论

法医毒物鉴定中血液酒精浓度的准确测定是一项系统性工程,需综合考虑个体生理差异、样本保存条件、检测技术局限性等多方面因素。新检测标准的实施,尤其是 GC - MS 等技术的应用,显著提升了疑难案件的鉴定能力。未来,随着代谢组学、蛋白质组学等新技术的引入,以及标准化操作流程的完善,法医毒物鉴定将更科学、准确地服务于司法实践,为维护法律公正提供坚实的技术保障。

参考文献

- [1] 李萱,汪炜,孟祥志. 人体血液酒精浓度检测的影响因素[J]. 基层医学论坛,2014(22):2993-2995.
- [2] 高庆刚,张高勤,邸玉敏,等. 法医毒理学中死后乙醇检测研究进展[J]. 实验与分析,2024,2(3):22-29.
- [3] 严峻,文静,罗大卿,等. 酒精中毒对交通事故重型颅脑外伤患者炎症反应和预后的影响[J]. 中国现代医学杂志,2018,28(33):57-63.

Research on Design Method of UAV arm Based on Multi-Scale Structural Topology Optimization

Ang Zhao

Shanghai Civil Aviation College, Shanghai, 200232, China

Abstract

As a crucial carrier of China's new-quality productive forces, the low-altitude economy's core equipment, drones, has its endurance constrained by airframe weight. UAV structural design, as a key factor determining UAV performance, stability, and application scope. Reasonable structural design can not only improve the flight performance of UAVs but also enable them to better adapt to various complex application scenarios, thereby promoting the widespread application of UAV technology in military and civilian fields. Aiming at the limitations of traditional single-scale topology optimization design, this paper proposes a UAV structural lightweight design method based on the multi-scale finite element method. By constructing a macro-meso collaborative optimization model, it is possible to reduce the weight of structural components while maintaining stability and strength, improve the overall structural performance, and reduce costs. Multi-scale structural topology optimization can provide a new development path for improving UAV endurance.

Keywords

Unmanned Aerial Vehicle (UAV); Lightweight Design; Topology Optimization; Multi-Scale Finite Element; Endurance Capacity

基于多尺度结构拓扑优化的无人机机臂设计方法研究

赵昂

上海民航职业技术学院, 中国·上海 200232

摘 要

低空经济作为我国新质生产力的重要载体,其核心装备无人机的续航能力受机身重量的制约。无人机结构设计作为决定无人机性能、稳定性以及应用范畴的关键因素。合理的结构设计不但能够提升无人机的飞行性能,还能使其更好地适配各类复杂的应用场景,进而推动无人机技术在军事与民用领域的广泛应用。本文针对传统单尺度拓扑优化设计的局限性,提出了一种基于多尺度有限元法的无人机结构轻量化设计方法,通过构建宏观-微观协同优化模型,可实现结构件在保持稳定性和强度的前提下减轻重量,提高结构整体性能、降低成本的目的,多尺度结构拓扑优化可为无人机续航的提升提供新的发展路径。

关键词

无人机;轻量化设计;拓扑优化;多尺度有限元;续航能力

1 引言

无人机作为集成航空工业、自动化控制、通信工程等多领域前沿技术的先进航空装备,近年来在全球范围内呈现出迅猛的发展态势。无人机结构设计及材料合成等研究和应用已经越来越广泛,尤其是通过运用碳纤维增强复合材料(CFRP),显著降低了无人机的结构重量,同时大幅提升

了结构的强度和刚度^[1]。在金属材料方面,通过对铝合金进行微合金化处理和热加工工艺优化,研发的适用于无人机结构的高强韧铝合金材料,有效增加了无人机的航程与载荷能力^[2]。采用结构拓扑优化设计方法,通过约束体积分数实现结构的轻量化设计,可以设计出具有先进气动外形的机翼翼型和旋翼桨叶,极大降低了气动阻力和噪声,提高了气动效率^[3]。常用的拓扑优化方法主要包括均匀化法、变密度法、水平集法、渐进结构优化法等,这些拓扑优化方法已从单一尺度分析迈向多物理场耦合,并广泛应用于工程实践。

伴随着新型复合材料的不断涌现,人们对具备多相特性、展现多元物理性能的复合材料的性能诉求日益增加。其中,以呈现细、微观尺度特征的非均质多孔材料在工程应用中备受关注^[4],其性能优化研究也成为材料科学领域的重要

【基金项目】上海民航职业技术学院校级课题(项目编号: XJKT-2025-34);中国民用航空局民航发展基金教育人才类项目(项目编号: 102140210370000009001)。

【作者简介】赵昂(1990-),女,中国河南平顶山人,博士,讲师,从事高校无人机应用技术研究。

方向。多尺度建模作为材料性能研究的前沿方法，致力于实现各尺度模型的协同求解。该方法依托连续介质力学理论，通过建立不同尺度之间的耦合关系，构建多尺度有限元模型，从而能够精准预测材料在复杂工况下的力学行为与性能表现。Direct FE² 多尺度有限元模型便是其中的典型代表，它利用周期边界条件和多点约束来建立细观代表体积单元（RVE）与宏观单元之间的自由度耦合方程，并通过缩放宏观单元高斯积分点处的细观 RVE 尺寸，使得细观有限元的内部虚功与宏观有限元的内部虚功相等，最终实现宏观与细观尺度的统一计算，完成多尺度有限元的高效耦合^[5]。

本文基于此背景，提出了一种基于 Direct FE² 法的多尺度拓扑优化方法，克服传统单尺度优化的局限性，构建了在指定体积约束条件下实现多尺度结构刚度最大化的设计模型，为无人机结构优化设计提供了新的技术路径与理论支撑。

2 多尺度拓扑优化方法

在拓扑优化研究中，基于密度法对结构进行拓扑优化是一种常用且有效的手段。该方法以结构柔度为目标函数建立拓扑优化方程，旨在寻找一种最优的材料分布，使结构在满足一定约束条件下柔度最小，即刚度最大。

基于多尺度有限元法进行多尺度结构数值模拟，可同时求解宏观与细观结构的响应，建立不同尺度之间的联系，从而研究单胞微结构与宏观性能之间的关系。此外，基于密度法对多尺度结构的拓扑优化的描述为：

$$\max_{\rho(\mathbf{x}) \in P_s} \min_{\mathbf{d} \in U_s} \left\{ \frac{1}{2} \int_V C_{ijkl}(\rho(\mathbf{x})) \epsilon_{ij}(\mathbf{d}) \epsilon_{kl}(\mathbf{d}) dV - l(\mathbf{d}) \right\} \quad (1.1)$$

其中， C_{ijkl} 为四阶弹性张量， ϵ_{ij} 为应变张量， $-l(\mathbf{d})$ 为外力势能。 $\mathbf{d}$ 为位移向量， U_s 为位移约束容许的变分空间。 ρ 为设计变量，通过在设计域 V 中任意点 x 处取 0 或 1 来表示空隙或填充材料。 P_s 为满足体积约束条件的设计空间，式中内层的最小化问题遵循最小势能原理。将上述连续形式的方程离散后，拓扑优化问题可以表示为：

$$\begin{aligned} \min c(\rho) &= \sum_e K_{ij}^e(\rho_e) d_i^e d_j^e \\ \text{s. t. } \mathbf{K}(\rho) \mathbf{d} &= \mathbf{F} \\ V/V_0 &= V_f \\ \rho_e &= 0 \text{ or } 1 \end{aligned} \quad (1.2)$$

其中， $c(\rho)$ 为结构的柔度， $\mathbf{K}$ 、 $\mathbf{d}$ 和 $\mathbf{F}$ 为有限元中的总体刚度矩阵、节点位移向量和外力向量，上标 e 表示与单元 e 相关的变量， V_f 为给定的体积分数， V_0 为初始设计的体积， V 表示拓扑优化后结构的体积，体积约束条件 $V/V_0 = V_f$ 保证了优化过程中材料用量符合设计要求。

Direct FE² 方法是一种并发多尺度有限元方法。该方法从能量角度出发，将宏观应变场通过周期边界条件施加给细

观代表体积单元。并对代表体积单元进行体积缩放，通过 Hill-Mandel 原理使宏观单元内高斯点处的代表体积单元总能量等于宏观单元的能量，最后通过一个线性矩阵将细观位移与宏观位移进行联系，建立起细观结构与宏观结构之间的能量关系。这种并发多尺度分析方法只需进行一次内部有限元求解，便可以大幅提升计算效率。

根据 Direct FE² 法的多尺度有限元理论，首先将式中结构的应变能离散为宏观单元应变能的和：

$$\frac{1}{2} \int_{\Omega} \epsilon_{ij} \sigma_{ij} d\Omega = \frac{1}{2} \sum_e \sum_{\alpha} w_{\alpha} J_{\alpha} \sigma_{ij}(\mathbf{x}_{\alpha}) \epsilon_{ij}(\mathbf{x}_{\alpha}) \quad (1.3)$$

其中， e 为宏观单元编号， α 为高斯积分点， w_{α} 与 $\mathbf{x}_{\alpha}$ 分别为高斯积分点 α 的权重与物理坐标， J_{α} 为雅可比行列式在高斯积分点 α 处的值。根据 Hill-Mandel 原理，可得到基于 Direct FE² 法的多尺度拓扑优化方程：

$$\max_{\rho(\mathbf{x}) \in P_s} \min_{\mathbf{d} \in U_s} \left\{ \frac{1}{2} \sum_e \sum_{\alpha} \left(\hat{w}_{\alpha} \int_{\Omega_{\alpha}} \tilde{\sigma}_{ij} \tilde{\epsilon}_{ij} d\Omega \right) - l(\mathbf{d}) \right\} \quad (1.4)$$

该方程进一步整合了宏观与细观尺度的信息，实现了多尺度拓扑优化的理论构建。进一步，将 RVE 的应变能与外力势能离散，同时，根据 Direct FE² 法的理论，可将多尺度拓扑优化问题表述为：

$$\begin{aligned} \min c(\tilde{\rho}) &= \sum_e \sum_{\alpha} \sum_m \hat{w}_{\alpha}(\tilde{\rho}_m)^p \tilde{k}_{ij}^m \tilde{d}_i^m \tilde{d}_j^m \\ \text{s. t. } \tilde{\mathbf{K}} \tilde{\mathbf{d}} &= \mathbf{L} \mathbf{F} \\ \tilde{V}/\tilde{V}_0 &= V_f \\ 0 < \tilde{\rho}_{min} &\leq \tilde{\rho}_e \leq 1 \end{aligned} \quad (1.5)$$

其中 $\tilde{\rho}_{min}$ 为防止刚度矩阵奇异设置的最小密度值，一般取为 $\tilde{\rho}_{min} = 0.001$ 。从式 (1.5) 中可以看出，为了实现基于 Direct FE² 法的多尺度拓扑优化，其设计变量为各细观单元的密度。因此在进行拓扑优化时，该模型的优化域为各高斯点处的细观单元，由于宏观单元在该模型中不直接贡献刚度，所以优化过程不涉及结构的宏观单元。

3 无人机机臂的多尺度结构拓扑优化设计流程

无人机机臂主要承受机身的重力作用和旋翼的升力作用，可以简化为悬臂梁结构进行优化设计。基于机臂刚度最大化的优化设计流程如图 1 所示。该拓扑优化设计流程大致可以分为四个主要步骤：

3.1 初始化

建立机臂的 Direct FE² 模型，包括建立机臂的宏观有限元模型和细观尺度的单胞模型，并对两个模型进行耦合。然后对设计变量进行初始化。由于拓扑优化设计过程中单元的位置和体积不发生改变，因此体积灵敏度和滤波矩阵不变，可以在初始化阶段对两者进行计算，避免优化过程中的重复计算，提升优化效率。

3.2 Direct FE² 分析

首先根据设计变量进行插值，例如采用经典的固体各

向同性材料惩罚方法，惩罚指数取为 3。然后根据插值得到的材料杨氏模量对材料参数进行更新，只需对单胞单元的材料参数进行更新。最后对 Direct FE² 模型进行有限元求解，得到机臂在当前设计下的力学响应。

3.3 灵敏度分析

首先根据第 2 步中 Direct FE² 模型的计算结果对单元应变能进行计算，然后计算单胞中各个单元的灵敏度，根据灵敏度信息可以对设计变量进行更新。为了防止拓扑优化中的棋盘格问题，同时避免优化结果的网格依赖性，需要对灵敏度进行滤波，为了提升滤波的计算效率，只需将初始化中计算的滤波矩阵与灵敏度向量进行矩阵乘法即可。

3.4 设计更新

采用移动渐近线法对设计变量进行更新，将灵敏度信息提交给移动渐近线法的求解模型，得到更新后的设计变量。然后计算应变能变化的相对误差，当该误差小于给定的值后认为迭代收敛，停止迭代。否则，将更新后的设计变量代入步骤 2 中更新计算变量。

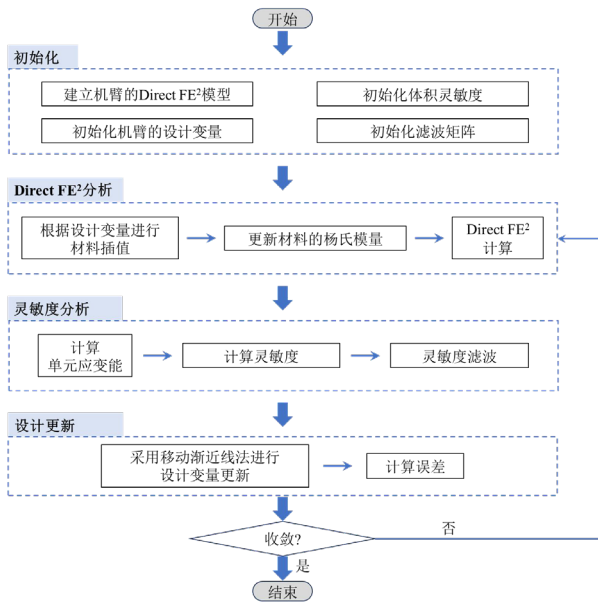


图 1. 无人机机臂拓扑优化设计流程

该结构拓扑优化方法具有流程简单、计算效率高等优势，可以对无人机机臂进行快速的拓扑优化设计，进而提升

无人机机臂的设计效率，提升无人机的续航能力。

4 研究结论

本研究围绕无人机结构设计材料与材料优化，通过理论推导、模型构建，提出了一种基于无人机结构的多尺度拓扑优化方法，这种方法突破了传统单尺度拓扑优化的局限，将多尺度建模思想引入无人机结构设计领域。通过深入研究多尺度有限元法，利用周期边界条件和多点约束建立细观代表体积分单元与宏观单元之间的自由度耦合方程，实现了宏观与细观尺度的有效整合。并以无人机机臂为研究对象，设计了一套完整且高效的多尺度结构拓扑优化设计流程。该流程涵盖初始化、Direct FE² 分析、灵敏度分析和设计更新四个关键步骤，从理论上解决了多尺度结构在给定的体积约束下的刚度最大化问题。这种轻量化设计减轻了机臂重量，有效降低了无人机整体结构重量，从而提升了无人机整体性能，使其在实际应用中具备更广泛的适用性和更强的竞争力。

本研究仍存在一定的局限性。在模型方面，目前对无人机机臂的简化处理虽然有助于优化计算，但与实际复杂工况下的受力情况仍存在一定差异，未来研究可以进一步完善模型，考虑更多实际工况因素，同时探索人工智能技术与多尺度拓扑优化方法的融合路径，实现更高效、智能的无人机结构设计。

参考文献

- [1] 刘峰, 乔宇, 李雪江, 等. 轻木夹芯/碳纤维复合材料结构后推构型无人机机身设计与分析[J]. 复合材料科学与工程, 2024,(04): 56-62.
- [2] 刘坤, 张庆霞, 孙淑伟, 等. 无人机用航空铝合金材料激光毁伤特性缩比实验研究[J]. 装备环境工程, 2022, 19(12): 66-72.
- [3] 刘一宏, 马兴宇, 巩绪安, 等. 仿生覆羽控制固定翼无人机流动失速风洞实验[J]. 空气动力学学报, 2023, 41(10): 52-60.
- [4] Yin H, Zhang W, Zhu L, et al. Review on lattice structures for energy absorption properties[J]. Composite Structures, 2023, 304(5): 116397.
- [5] Tan V B C, Raju K, Poh L.H. Direct FE² for concurrent multilevel modelling of heterogeneous structures[J]. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 2019, 360: 112694.

The digital transformation path of enterprise science and technology management under new quality productivity

Jian Tao

Anyang Science and Technology Innovation Service Center, Anyang, Henan, 455000, China

Abstract

The era of new quality productivity brings opportunities for business development while also presenting certain challenges to enterprises. In this context, the digital transformation of corporate technology management is crucial for enhancing core competitiveness. New quality productivity refers to leveraging technological power to improve production efficiency, which can help companies strengthen the application of productivity and achieve digital intelligence goals from a technical perspective. Based on the background of new quality production, this paper discusses the significance of the digital transformation of corporate technology management and provides a path to achieve it. The aim is to enable enterprises to complete the digital transformation of technology management as they accelerate the development of new quality productivity, thereby gradually shifting their management models from single to diversified, ultimately achieving high-quality development.

Keywords

new quality productivity; enterprise science and technology management; digital transformation; significance; path

新质生产力下企业科技管理的数字化转型路径

陶剑

安阳市科技创新服务中心，中国·河南 安阳 455000

摘要

新质生产力时代为企业发展带来机遇的同时，也对企业提出了一定的挑战。在此背景下，企业科技管理的数字化转型对提升其核心竞争力至关重要。而所谓新质生产力就是指依托于科技的力量来提高生产的效能，它能够帮助企业加强生产力的应用，并能够从技术层面达成企业数字智慧化的目标。基于新质生产背景下，本文提出的企业科技管理数字化转型意义，并针对此给出路径，目的是为了让企业在加快新质生产力发展的过程中完成科技管理的数字化转型，从而使其管理模式从单一逐渐转向多元化，最终实现高质量发展。

关键词

新质生产力；企业科技管理；数字化转型；意义；路径

1 引言

在新一轮科技革命和产业变革的浪潮中，原有生产力体系已经无法满足高质量发展的需要，在这种背景下新质生产力已成为推动经济社会高质量发展的关键驱动力。企业作为创新主体，面临着科技管理模式的深刻变革。数字化转型不仅是企业适应新质生产力发展的必然选择，更是提升核心竞争力的战略举措。对此，深入研究新质生产力背景下企业科技管理的数字化转型路径对于推动企业创新发展以及增强国家创新能力具有重要意义^[1]。

2 新质生产力概述

新质生产力是指依靠科技创新打造的具有数字化、智

能制造、绿色低碳等新技术要素的先进生产力，其是现代化经济发展下一种更高水平、更具灵活性、可持续的新质生产力体系。新质生产力关键是打破传统的要素组合路径，重构生产逻辑，实现科技、资本、人力等关键要素在新质生产力体系中的动态协同和集成优化，不再像过去那样以传统劳动密集型或资本密集型作为主要动力要素，而更多依赖现代的科技创新实现数字生产力、人工智能生产力。新质生产力不仅要提高企业自身的科技原创力、系统集成力、价值链控制力，而且还要提高自身的敏捷响应、多维感知和智能决策等多方面能力。在推进中国式现代化的过程中，新质生产力正在利用数字化、智能化等新的方式参与到产业链中，既提高了微观的企业经营效率，也促进了宏观经济增长方式的转变。

【作者简介】陶剑（1968—），男，中国河南武陟人，本科，高级工程师，从事科技成果转化研究。

3 新质生产力下企业科技管理的数字化转型意义

在此轮新质生产力大潮驱动下,企业若想实现高质量发展,科技管理数字化转型已从一道选择题变为一道必答题,其意义主要体现在以下几方面:第一,打破信息孤岛,提高企业科技资源配置的精度和效率。在新质生产力指导下,企业通过数据驱动管理机制,在充分获取全面、深入信息的基础上得以精准把握研发瓶颈、项目进展,随后根据经营与发展需要灵活进行动态调整与配置,以实现加快技术迭代,提高研发产出效率^[2]。第二,打破原有僵化的决策模式,建立更加灵敏的科技决策机制。企业通过对市场和科技的敏感捕捉,提前感知和预判产业发展趋势,并及时做好相关项目的规划和实施,提高技术研发储备的前瞻性和布局技术应用的先发优势;第三,支撑企业科技项目全流程管理。无论是从立项,还是研发还是成果转化过程都提供可查询、监控、管理的技术过程,有效避免技术管理中的不确定性与资源浪费问题;第四,创建透明化、规范化的科技创新治理体系。有利于企业促进多部门协同合作、并行推进大型项目,打通了跨部门的信息通道、协调各相关部门完成任务,有力得提升了科技创新的组织执行力;第五,通过平台化管理可以使企业的科研资源、专家库、专利等资源的开放共享和循环使用,一方面技术研发中实现了可接续性,另一方面则形成更加开放、更加具有持续创新的动力源。总体而言,基于新质生产力来说,科技管理的数字化转型不仅是管理手段和方式上的改变,同时也是一个企业重构自身核心竞争力体系的一个重要支撑点。

4 新质生产力下企业科技管理的数字化转型路径

4.1 构建全周期科技管理数据体系

新质生产力导向下推进企业科技管理的数字化转型,要率先构建覆盖科研活动全流程的全周期科技管理数据体系,以打造统一的协同智能的数据管理架构。针对现阶段不少企业多采用多系统并行的现状,在这一方面可采取“主数据+元数据”双驱动为主出发点,依托科技管理标准化体系建设工作以及平台化的思维逻辑为企业研发项目建设全过程的代码录入设置完整的科技管理主数据标准体系,统一对于“主数据+元数据”等涉及到的研发项目编号、成果标识、技术路线、人员身份、资源构成等内容进行标准编码,同时再利用全国科技管理系统信息标准化相关规定的内容基础上做好本地化适配。企业借助于PLM、ERP、MES、OA等异构系统将其中所有关于科研的分散数据集合在一起之后,再通过数据中台以及数据总线技术、ETL流获取的方式实现跨系统的数据交互通用,形成长效的数据同步链路,并通过数据湖结构对全部历史数据予以存储、治理。基于图数据

库构建技术资源语义网络模型,运用自然语言处理和知识图谱构建技术生成标签-成果相关关联关系,从而促使企业得以形成多维科研成果溯源以及全链条指标解析。接着企业还须以零信任架构建立基于国密算法的数据分级管控机制,开展涉密科研数据加密与授权调用,保障数据流转的机密性和完整性^[3]。采用自动化的数据校验工具,设置好相应的校验规则和异常检测模型,可以检测出数据中不符合预期的格式、存在错误的数据结构或者数据之间的逻辑关系和更新频率问题,有助于提高数据的可用性和一致性。建立企业级科研数据管理规范,完善流程图谱,确定科研数据采集点、审批路径和调用接口,并将其加入到科研绩效考核中。最后搭建可视化的数据监控看板并联动智能分析模块,从而让企业得以对科研资源分布情况、项目推进过程以及项目成果的绩效等情况进行全面监测预警。

4.2 部署智能化科研项目管理平台

基于新质生产力推动下的企业科技管理数字化转型,通过部署智能化科研项目管理平台和集成优化,从而形成数据驱动全过程闭环管理。在平台设计上须采取同一标准科研将项目包括立项、预算、任务分解、资源配置、过程控制及成果评价等环节在内的全生命周期管理链条建立起来。立项过程中,企业需要结合行业内形成的知识图谱,运用语义关联网络并通过自然语言理解的方法完成历史项目的文本语义聚类,从而得以完成科研项目的自动推荐以及相似项目智能引用。在此基础上可以引入多维指标评价模型,根据专利引用频次以及热门前沿技术热度等数据综合计算生成申报项目科学性评分;预算管理方面设置多层级科目的分级控制和运用动态预算平衡算法,并结合实时财务数据流对各层级业务场景下的预算执行偏差模型建立及风险分析;任务分解方面,结合甘特图和KPI控制面板,在工业物联网平台获取到实验设备运行过程中的各项工况参数、环境变量的基础上完成对多源异构数据的整合,以对任务关键节点时效性跟踪与状态预警;资源配置上,企业一方面须将包括人员、设备与资金等囊括在内建立起资源池管理机制,另一方面则采取强化学习算法实现科研项目资源最优匹配与自适应调度;对科研项目成果评价方面使用Transformer架构的自然语言处理引擎,从科研成果文本中提取出技术亮点和创新点,随后进行本体知识库的语义比对,输出成果创新性分析图谱和技术演进路径推演;智能化科研项目管理平台治理上,企业可采用图神经网络搭建科研项目协作网络图谱,根据各项目实时运转情况进行任务冲突、协同瓶颈和关键路径延迟等问题的动态识别,同时自动提供相应干预建议。同时设定预算超支、进度滞后与资源冗余的复合预警规则,并运用规则引擎生成准实时智能提示,实现项目成本控制的全面兼顾;最后平台还须支持跨组织多项目管理架构,包括角色权限矩阵和信息隔离墙机制的搭建,从而形成横向协同与纵向管控并

重的数字化管理体系^[4]。

4.3 建设科技成果数字孪生验证环境

在新质生产力驱动下,企业科技管理工作中开展科技成果转化时通过数字孪生验证环境地搭建以加快推动成果转化环节,从而促使研发精准化及成果更快落地。在模型构建阶段,企业基于 BIM、CPS 和多物理场建模方法,依照实际研发工艺技术、设备运行参数和边界条件等因素,搭建的数字孪生验证模型,以使之与研发项目真实场景高度契合;基于 GPU 并行计算结构搭建的高性能仿真平台,集成大数据驱动多场景工况模拟算法,可以对科技成果进行全工况、全环境、全干扰下多负载的仿真预测,随后得到一系列代表相应工况下的关键性能指标随时间演变的动态曲线及性能指标的极值区间的仿真模拟数据,之后将它们分类汇集入库;基于多目标优化方法(例如:采用遗传算法和粒子群算法的组合方法),从模拟结果中分析多维参数空间,随后将模拟结果和企业历史技术成果数据库对比分析获取到新成果各项技术参数匹配程度,工艺适配性以及稳定性等多方面数据,并举出给出相关参数的调节方案;采用工业数据互联标准使得系统集成与主流 CAD/CAE 设计系统、企业 PLM 平台、工业仿真工具等数据接口互通,并结合数据中台架构,建立起统一数据映射与权限控制机制,以实现跨系统的数据一体化联动;最后在验证过程中采用全过程跟踪的数字主线技术,在全线数字化环境下将数字标识体系及可信时间戳引入到整个过程之中,对每一个模型版本、仿真结果、修改过程均进行记录,从而为成果在转化过程中的知识复用及后续流程的复核溯源提供依据。

4.4 打造企业级技术知识图谱体系

打造具有强关联性企业级技术知识图谱体系将有助于增强科研项目内部协作效率和自主创新水平。企业须遵循同一的数据治理标准,全面梳理内各专业领域诸如专利文献、科研项目文档、产品技术规格、试验数据、会议纪要等科技资源,随后综合利用多种数据采集方法进行汇总,再通过多模态融合的技术手段完成语义信息的分析和预处理^[5]。接下来针对核心技术术语、工艺参数、实验条件等技术实体

及其属性关系提取上以命名实体识别模型、自然语言处理技术予以完成;建设本体层以规范术语体系和语义边界上,通过图神经网络方法学习异构实体关系,然后通过 Neo4j 或 TigerGraph 数据库等图数据库建立可扩展的知识图谱存储与检索架构,以完成核心技术路径结构化建模、工艺演进逻辑建模和不同领域技术之间交叉结合点建模;接着建立本体对齐和实体消歧两方面规则,以此使得企业技术知识图谱与行业标准库、知万维、国家科研计划数据库等外部知识源建立语义相通;在应用层部署基于图谱的多场景智能服务体系,实现图谱驱动的问答系统(QA)、方案推荐引擎和前沿预警模型,同时再利用多任务学习模型提高问答准确度及推荐精准度;在知识图谱更新设计上包括自动抓取、语义解析、增量合并、图谱重构等环节的采取动态更新机制,形成以“持续抽取一动态融合一周期优化”为特点的闭环演进体系,以促使知识图谱体系得以持续高质量地为企业科技活动服务。

5 结语

综上所述,新质生产力环境下,企业科技管理数字化转型是推动高质量发展的重要支撑点。本文基于新时期背景下对新质生产力内涵及企业科技管理数字化转型的意义进行了分析,随后提出了包括数据体系建设、平台化管理、成果验证体系以及知识资产系统等转型对策建议,以期给企业提供实操层面的数字化转型实践指导。

参考文献

- [1] 张明亮.新质生产力背景下企业科技管理的数字化转型路径研究[J].2025.
- [2] 董静,吕孟丽,孙传超,等.对新质生产力的投资能否推动制造业企业的数字化转型?[J].外国经济与管理,2024,46(9):134-152.
- [3] 肖俊斌,杜雯欣.数字化转型,新质生产力和企业韧性[J].黑龙江工业学院学报(综合版),2024,24(8):19-24.
- [4] 周凌,邓端,税佳敏,等.发展新质生产力背景下四川省制造业数字化转型升级研究[J].企业科技与发展,2024(7):28-31.
- [5] 刘敦虎,易敏轩,唐国强,等.数字化转型对制造企业新质生产力影响机理研究[J].软科学,2025(1).

Research on safety communication test based on vehicle CAN bus

Lifang Dou Mingjun Wang Jia Yuan

Wuhan Institute of Product Quality Supervision and Inspection, Wuhan, Hubei, 430000, China

Abstract

In view of the technical bottlenecks faced by the current on-board CAN bus, such as supply chain security risks, lack of detection standards, and lagging tool development, this study innovatively designs a security testing system based on dynamic behavior baseline by constructing a three-dimensional network security threat model including asset identification, threat classification, and attack path analysis, and develops a testing tool with automatic traffic generation, real-time event recording, and intelligent vulnerability analysis.

Keywords

on-board CAN bus; secure communication mechanisms; testing system; Automated testing tools

基于车载 CAN 总线的安全通信测试研究

窦丽芳 王明军 袁佳

武汉产品质量监督检验所, 中国·湖北 武汉 430000

摘 要

本研究针对当前车载CAN总线面临的供应链安全风险、检测标准缺失、工具研发滞后等技术瓶颈,通过构建包含资产识别、威胁分类、攻击路径分析的三维网络安全威胁模型,创新设计基于动态行为基线的安全测试体系,并研发具备自动化流量生成、实时事件记录、智能漏洞分析功能的测试工具。研究成果在主机厂整车合规测试、零部件渗透测试中实现工程验证,为破解智能网联汽车底层通信安全测试难题提供了系统性解决方案,对推动汽车产业信息安全技术自主创新具有重要的理论与工程价值。

关键词

车载CAN总线; 安全通信机制; 测试体系; 自动测试工具

1 引言

在全球汽车产业向“电动化、智能化、网联化”转型

【基金项目】国家市场监督管理总局检验检测促进产业优化升级行动重点项目——建立新一代智能网联汽车信息安全测试技术体系。国家市场监督管理总局科技计划项目《智能网联汽车交通标识算法——鲁棒性测试方法的研究》(项目编号: 2023MK150)。

【作者简介】窦丽芳(1980-),女,中国湖北武汉人,硕士,高级工程师,从事生物基因、微生物检测技术,生物基因微生物相关电器、食品、纺织、电线、轻工领域研究等研究。

【通讯作者】王明军(1985-),男,中国河南许昌人,博士,工程师,从事家用电器、灯具、汽车电子、电气附件等产品的安全等研究。

的背景下,智能网联汽车通过集成先进传感器、通信模块与控制算法,实现了车辆状态实时监控、多设备协同控制、车与外界信息交互等复杂功能。近年来,针对CAN总线的网络安全事件频发,本研究聚焦车载CAN总线安全通信机制,通过构建威胁模型揭示攻击原理,设计测试体系量化安全风险,研发自动化工具提升检测效能,旨在形成“风险识别-测试验证-防护优化”的闭环技术体系,为智能网联汽车安全性能的迭代升级提供核心技术支撑。

2 车载 CAN 总线安全检测面临的挑战

2.1 国外厂商产品带来的安全风险

面向汽车行业的ECU(ECU是电子控制单元(Electronic Control Unit)的英文缩写,)市场集中度极高,博世、大陆、电装等国外厂商占全球市场85%以上份额,并配套面向国内外主流汽车厂商的产品。由于ECU封闭化设计体系和核心固件代码、通信协议栈不对外,造成中国境内检测机构无法对ECU做深程度的安全性检测审计。受技术依赖的影响,国内的汽车产业在选用ECU时也无法掌控安全,一旦出现

国际问题或是厂商停止技术方面的支持时,整车的存量车就将会会有无处可寻地维修状态^[1]。

2.2 缺乏统一标准与规范

我国的汽车安全攻防标准还落后于产业的发展步伐,尤其 CAN 总线安全检测还没有统一的技术标准,国际上提出的 ISO/SAE21434 系统级安全标准中并未提供对 CAN 总线实时性、广播等特点进行针对性的检测指标,比如该标准并未对遭受不间断注入攻击后 CAN 总线所允许的最大通信中断时间做出明确定义,致使不同检测机构对“可用性”的指标判断差异明显。我国当前所使用的《车载电子控制单元信息安全技术要求》中的基本加密认证功能测试并未对总线负载率超限、异常帧注入等现实攻击场景的测试方法进行统一规定,缺乏检测标准使测试工作没有科学依据,在实际测试过程中存在测试用例设计随意、测评结果不可比的问题。国内某主机厂委托三家电车网络安全检测机构对同款车型 E 9 进行安全性评测,测试结果显示:在“监听攻击检测”中对“敏感数据识别率”的判断上存在 40% 的差异;在“注入攻击测试”中对“错误帧过滤能力”的判定上存在相差 35%。由于缺乏标准,测试乱象使主机厂的测试成本高、被检产品安全漏洞漏检率高,2024 年某车型未能通过 CAN 总线完整性测试而在量产上市之后,就暴露出未能通过 CAN 总线完整性测试而被发现存在修改制动指令的安全隐患,充分暴露了标准缺失对产业质量管控的本源影响^[2]。

2.3 检测工具依赖国外

当前 CAN 总线安全测试的国产化水平较低,Vektor 公司的 CANoe、IHR 公司的 CANalyzer 在国内有 90% 以上的市场占有率,虽然具有较好的协议分析和流量生成功能,但其关键核心单元(攻击检测算法、漏洞扫描器)为国外公司控制,存在安全隐患;国外产品对国内典型应用环境的适用性较差,如国内主流厂商采用了新能源汽车标配的 CANFD 协议(可支持最高 5Mbps 的数据速率),该协议错误处理方式与国内厂商自定义的通信协议存在一定的冲突点,有部分异常帧不能准确识别;开源产品如基于 SocketCAN 的协议框架等提供了底层驱动支持,不具备商业化可执行的安全测试功能;国内单位基于开源代码二次开发过程中面临代码可读性较差、技术文档不充分、社区反馈响应速度较慢等问题,研究周期相对国外成熟产品增加了 40% 以上。更深远的影响是,国外企业以专利布局筑起技术壁垒,在 CAN 总线安全检测相关核心技术专利中,国外企业所占比例达到了 80% 以上,而国内机构难以在测试算法方面的创新和工具架构设计等方面打破因知识产权限制,严重制约了检测技术的自主化发展。

3 车载 CAN 总线网络安全威胁模型与测试体系

3.1 威胁模型构建

针对车载 CAN 总线网络安全威胁模型的建立,采用“识

别资产—分类威胁—确定攻击路径”的思路进行。分别识别三类重要资产:①控制类资产,例如动力模块 ECU、制动控制器等,该类资产是整个安全防护中级别最高的,数据完整性的保护至关重要;②传感类资产,例如雷达传感器、摄像头模块等,主要面临着数据监听的威胁,主要从机密性上下功夫;③交互类资产,例如车内影音娱乐系统、信息显示设备,该类资产由于安全界域的不确定性,很可能是攻击者跨域的一个跳板。依据上述三种资产,总结出主要的四种基本攻击:监听攻击,物理注入攻击,逻辑注入攻击,重放攻击,这四种攻击构成了威胁模型的基本框架。监听攻击利用 CAN 总线的广播功能,采用非侵入方式截获原始数据帧,由于 CAN 协议中未实现数据加密,所以攻击者可利用已截获的帧 ID 与数据字段之间的对应关系,来逆向推导出所用的关键控制参数。注入攻击有物理注入和逻辑注入两类。注入攻击通过 OBD 接口或预留的测试端口接入总线,利用 CAN 控制器的错误处理机制,以错误波特率发送伪造数据帧,对正常的通信进行干扰。或者通过利用总线的仲裁机制,持续发送具有更高优先级的数据帧占用通信信道,从而为恶意数据帧的插入留出时间窗口。在实际测试中发现,注入帧的速率若高于 200 帧/秒,则动力系统节点的有效带宽会降低 60%,致使控制指令出现超过安全限值的延迟时间。注入攻击可以直接破坏数据的正确性,极易导致制动系统误工作、动力系统中断等问题的发生。重放攻击是在车辆存储的合法数据进行记录,在某个适当的机会重放以使目标节点的其他节点状态产生混淆。比较常见的是,攻击者在开锁的时候,通过监听获得车辆的认证帧,在锁车后进行重发来绕过传统的身份验证机制。由于重放的数据帧完全是符合 CAN 协议中的要求的,这就意味着这些数据完全符合 CAN 协议中被校验和规则允许的数据,利用传统基于校验和的方法进行探测是很难检测到这些重放的数据帧的,需要时间和序列或状态转移矩阵的检测。对于注入攻击威胁控制类资产的可用性,会产生诸如安全气囊的误爆、车门非正常解锁等问题^[3]。

3.2 测试体系研究

CAN 总线网络安全测试框架的设计建立在威胁模型的构建上,可突破传统网络安全测试方案对目标系统只做合规性测试的局限,形成“攻击场景构建-安全属性验证-风险程度评估”的闭环的测试结构,以 4 项攻击向量为核心,通过组合应用进行 CAN 总线机密性、完整性、可用性的测试。对于机密性测试,使用被动监听、数据解析结合的方法,通过部署专用监听设备,持续监听总线流量进行深度包解析,在监听流量中发现机密数据泄露情况。研制基于熵值分析法的敏感数据发现算法,对数据字段进行信息熵计算,当检测到某个字段的熵值低于正常阈值(意味着数据规律性增强),视为有敏感数据被泄露,进行监听攻击检测。实际测试中发现,该方法可发现高达 92% 的潜在的监听式攻击。该方法比传统的手动分析方式效率提升了 3 倍。对于完整性测试,

测试的是数据篡改、伪造攻击场景,通过注入攻击工具向总线发送含有变异数据的数据帧,分析目标 ECU 对收到变异数据帧的反应。针对注入数据的完整性测试开发了包含校验和验证、序列计数器检查、逻辑一致性校验 3 种机制:一是数据帧 CRC 校验和验证机制,二是数据帧的帧序列计数器是否连续的验证机制,三是数据逻辑是否按照控制流程进行的逻辑一致性验证。上述机制能检测出 85% 以上的非法注入数据,将传统测试方法的漏检率从 30% 降至 12%。可用性分析采用拒绝服务(Deny of Service, DoS)攻击方法测试 CAN 总线在异常负载下的可持续通信能力,设计动态负载产生模型,不断增大总线负载至额定负载的 150%,记录节点错误帧计数、通信延迟、功能失效时间等;定义可用性量化公式 $A = (T_{\text{总}} - T_{\text{故障}}) / T_{\text{总}}$, $T_{\text{总}}$ 为测试总时间、 $T_{\text{故障}}$ 为通信中断时间。某商用车实验结果表明,当总线负载超出 120% 时,动力系统节点可用性降至 75%,可为车企提供总线带宽分配优化的数据支持。

4 车载 CAN 总线安全自动测试工具研发

4.1 自动测试工具设计思路

针对传统手工测试效率低、不一致性高,基于攻击图与测试体系设计自动测试工具,关键技术在于基于参数化配置来实现测试流程自动与场景扩充,工具采用三层结构:底层为硬件层,通过 CAN 接线盒等硬件(例如周立功 ZLG-CAN)实现与被测总线的物理接触;中间层为测试逻辑层,集成了攻击向量生成器、事件监控器和数据分析器;顶层为用户层,提供了可视化配置接口与测试报告生成功能。测试人员通过可视化配置设置测试参数,例如攻击向量组合(同时激活注入攻击与假冒攻击)、数据生成规则(例如帧 ID 范围、数据字段变异方式)、测试时长等,工具根据配置自动生成符合场景的测试流量,例如支持正弦波、方波、随机噪声等多种负载模式。

4.2 自动测试工具功能实现

系统自动测试工具具备三方面模块组成的链式功能体系,包括测试执行、数据记录与漏洞分析三个环节:测试流量生成模块提供高精度帧生成与发送,包括标准 CAN(2.0A/B)及 CANFD 协议,帧率支持 0-10000 帧/秒,通过伪随机数生成算法(PRNG)实现对数据字段的变异功能,具有按字节、按位变异粒度切换,可模拟单比特翻转、字段重组、数据截断等攻击模型;支持重放攻击测试,嵌入式实现历史流量捕获及回放,支持实时导入真实场景下通信数据,增加测试的真实性有效性。事件记录与监控模块具备总线状态实时监测功能,对帧 ID、数据内容、发送时间、接收节点响

应状态等 20 多项参数进行记录。开发基于时间戳事件关联算法,将异常帧发送及 ECU 功能异常(故障灯点亮及控制指令延时)进行因果关联,准确定位攻击影响路径;采用环形缓冲区技术解决高速数据存储,保证 1000 帧/秒流量下无数据损失,为下一步深度分析提供完整数据。漏洞分析与风险评估模块基于漏洞特征库预设(包含 50+ 已知攻击模式)对记录的事件数据进行智能比对。在漏洞评级中,运用决策树方法对漏洞攻击影响面、攻击率、修复率进行计算,将漏洞分为重要、严重、一般、轻微 4 个级别。输出的评估结果为风险分析表,包括该漏洞的说明、风险分析以及修复提示,可导出 PDF 以及 Excel 文档,为检测中心及车企进行风险管理提供参考依据。

工具采用模块化设计,具备扩展性强的体系,针对不同协议的解析插件(SOME/IP、DoIP)实现快速扩充,目前针对车载以太网等新总线技术也正在开发中。某新能源车企利用工具对 CAN+CANFD 混合总线实现了成功测试,相对于人工测试可提高测试 5 倍效率,漏检率由 25% 下降 8%,极具工程实践价值。

5 结论

本研究围绕车载 CAN 总线安全通信测试这一核心问题,通过剖析技术挑战、构建威胁模型、研发测试工具、推动工程应用,形成了具有自主创新特征的测试体系。研究成果在解决测试技术依赖、测试标准缺失、测试工具滞后等产业痛点方面取得实质性突破。本文提出的分层测试策略、跨总线攻击分析方法、自动化检测工具,为智能网联汽车底层通信安全提供了系统性安全测试方案。面对智能网联汽车技术迭代带来的新挑战,未来研究需进一步关注 CAN 总线与边缘计算、车路协同等新技术的融合安全问题,深化基于机器学习的异常检测算法研究,推动安全测试技术向智能化、自适应化方向发展。同时,加快检测设备国产化进程,强化标准体系建设与产业生态协同,构建“技术研发-标准引领-产业应用”的良性发展格局,为我国智能网联汽车产业的高质量发展筑牢安全根基。

参考文献

- [1] Bozdal M, Samie M, Aslam S, et al. Evaluation of can bus security challenges[J]. Sensors, 2020, 20(8): 2364.
- [2] Smith J, Johnson A. Security Mechanisms for Automotive CAN Networks: A Survey of Attacks and Countermeasures[J]. Journal of Automotive Cybersecurity, 2022, 5(2): 75-92.
- [3] 李阳, 张伟, 陈昊. 基于 AES-128 的车载 CAN 总线加密通信协议设计[J]. 电子与信息学报, 2024, 46(6): 1835-1843.

Research on the construction methods of cost estimation models for standalone aerospace products

Jiahui Yu Yongxin Cheng Sihai Hu Yongsheng Song Hao Ren

China Academy of Launch Vehicle Technology, Beijing 100076

Abstract

As competitive procurement of aerospace equipment advances, effective cost estimation is crucial for limit-price design and cost control, playing a vital role in equipment design and mission implementation. This paper investigates the methodology for establishing cost estimation models for single-unit aerospace products based on small sample sizes, analyzing and elaborating on the selection of cost drivers, the basic form of the model, and its construction. Following the approach for model establishment, we introduce the process of constructing cost models for different types of single-unit products, providing new insights for modeling costs of single-unit aerospace products with small sample sizes.

Keywords

Aerospace single-unit products, cost model, parametric method

航天单机产品成本测算模型构建方法研究

于佳晖 程永欣 胡四海 宋永生 任浩

中国运载火箭技术研究院, 中国·北京 100076

摘 要

随着航天装备竞争性采购深入推进,有效的成本估算是开展限价设计、成本控制的重要基础,对于装备设计及任务实施至关重要。针对航天单机产品类型及成本构成的特点,本文研究了基于小样本量的航天单机产品成本测算模型建立方法,对单机产品成本动因选择、模型基本形式分析、模型构建进行了分析和阐述。根据成本测算模型建立思路,介绍了不同类型产品单机成本模型的构建过程,为小样本量航天单机产品成本建模提供新的思路。

关键词

航天单机产品、成本模型、参数法

1 背景

随着国家航天装备竞争采购政策的深入推进,装备价格政策相继出台并发生了重大变化,呈现出严格、细化、多变的特点^[1]。目前订购目标价格论证、过程成本监控等,缺少有效共识手段,亟需推进航天装备成本价格测算模型建立,指导航天装备价格全流程管理和管控^[2]。

我国航天装备在立项论证阶段对于目标价格的确定仍停留在类比、成本累加阶段,缺少更为先进的、快速的参数测算方法。成本模型通过构建技术指标与成本数据的映射关系,真实客观的测算技术指标对成本的影响,一定程度上消除主观因素影响,为成本估算提供科学高效方法。另一方面,国内尚没有成熟可实用的成本测算模型。美国商业化 PRICE 成本估算软件被美国 NASA、空军、海军、波音公

司等广泛用于军品的成本估算^[3]。但由于 PRICE 软件采用美国基础数据库,且软件计算为黑盒,无具体计算方法,模型应用与验证存在较大难度。

因此需建立适用于国内航天单机产品成本测算模型,提高目标成本论证过程效率,保证目标成本测算科学性。

2 成本模型构建方法研究

常见的成本建模方法主要包括类比法、工程法以及参数法等^[4]。

类比法主要是新研产品与现有产品类似时,可利用历史数据和现行实际数据,考虑功能及性能参数差异,对成本费用加以适当修正。类比法可使用参数较少,测算准确度偏低,且难以量化创新型号的成本。通常适用于对已有产品的改进费用估算和对继承性较大航天产品进行费用估算。由于技术与能力随时间不断演变,类比法应包括调整系数,体现以往装备与新装备之间的差异,根据数据分析尽可能客观地进行调整,可能要进行加法或减法式的调整,在其他情况,可能要采用比例因子说明尺寸、性能、技术和复杂性方面的

【作者简介】于佳晖(1993-),女,中国山西五台人,硕士,工程师,从事成本价格管理研究。

差异。

工程法主要基于某种确定的技术状态，将航天产品分解为更小的工作单位，然后对每个工作单元的重复性劳动的工时和材料等估算其费用，自下而上累加得出产品总费用估算值。这种方法要求费用的分析和估算人员对产品的研制生产过程具有一定的了解，且分解越细工作量越大^[5]。

参数法主要是根据历史型号数据，成本驱动因素数据作为变量建立成本估算关系式，定量计算并预测新产品成本。参数法测算优势为在缺乏具体设计方案、工艺方案以及供应商信息时，参数法测算成本可以加快成本测算进度。但在模型的选择、基础数据的准确性等方面要求较高。

综合考虑各类建模方法的优缺点，本文选择参数法建立成本测算模型，为目标成本论证提供工具。通过技术指标与成本数据，拟合构建特定的函数关系，建立成本模型。

3 基于小样本量航天单机产品成本模型构建方法

本文提出了一种基于小样本量的航天装备单机产品成本模型构建方法，建立航天装备产品成本与技术指标的成本估算关系式。以下将对模型的成本动因分析、数据收集及相关性分析、基本形式、模型构建过程和校验应用方式进行具体阐述。

3.1 确定成本动因

基于产品技术方案中技术指标分析成本动因，通过专家打分法初步筛选影响装备的技术指标。影响成本的技术指标筛选原则：一是在设计和研制初期确定的参数，优先选择总体设计方案中相关技术指标。二是对产品成本的影响较大的技术指标。三是技术指标具有实际的物理或工程意义，可计量为确定的数值，无经验系数。

3.2 数据收集及相关性分析

成本建模源数据的准确性是成本模型精确测算的根本前提。收集总结航天单机产品的技术指标与成本价格数据，通过数据清洗及处理形成规范化成本数据，形成技术指标-成本价格综合数据。

针对技术指标多于样本数量的情况，为构建成本模型，需对技术指标进行降维处理，进行指标间以及指标与成本间的相关性分析，计算相关性因子。

相关性因子 $r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}}$ ，其中， $\bar{X}$ ， $\bar{Y}$ 分别表示 X, Y 的平均值。

选择影响成本主要的技术指标（指标与成本的相关性因子大），删除非相关技术指标或冗余技术指标，避免建模时出现过拟合现象。若指标间存在相关性，则通过合并技术指标将其转换为综合指标（与其他指标无相关性）。

3.3 模型基本形式分析

参数法建立模型时，需建立特定的函数关系，表征成

本与技术参数的映射关系。根据单机产品类型及产品成本构成，形成了成本模型估算公式构建方法。

计算技术指标与成本之间的相关性因子，若某一指标对成本的相关性因子特别高（大于 0.9），且其他指标与成本的相关性因子较小，则判断为存在主指标影响因子类型。建立模型时可建立基于主指标影响因子的模型形式。

$$\text{线性 } C = (\sum_1^i a_i * X_i + b) * X_1 + c$$

$$\text{非线性 } C = a * X_1^{\sum_1^i b_i * X_i + c}$$

其中 C 为测算成本， X_i 为技术指标参数， a 、 b 、 c 为拟合系数。

若存在多个指标对成本的相关性因子均较高，且指标之间独立不存在共线性，则判断为多指标影响因子类型。建模时可建立多个指标影响因子的模型形式。

$$\text{线性 } C = \sum_1^i a_i * X_i + b$$

$$\text{非线性 } C = \prod_1^i a_i * X_i^{b_i}$$

其中 C 为测算成本， X_i 为技术指标参数， a 、 b 为拟合系数。

3.4 模型构建

参数法建模拟合方法通常有多元回归、偏最小二乘法、高斯回归、神经网络、遗传算法等理论方法。其中高斯回归、神经网络等方法预测过程为黑盒或需要大量训练数据^[6]，由于航天单机产品数据为小样本量数据，且显性的函数关系式更利于沟通交流，经数据验证，模型构建时选择使用偏最小二乘法拟合的理论方法。

偏最小二乘回归方法基于类似主成分回归的方式克服自变量的共线性问题，不仅吸取了主成分回归中解释变量提取信息的思路，同时还注意了主成分回归中所忽略的自变量对因变量的解释问题^[7]。因此适于多因变量对多自变量的回归建模以及处理观察值数量少和自变量多重自相关等情况，并允许在最终模型中包含原有全部自变量，最大限度的利用数据信息。

设有 q 个因变量 $y_1 \sim y_q$ 和 p 个自变量 $x_1 \sim x_p$ 。偏最小二乘回归分别在自变量 $X = (x_1, \dots, x_p)$ 与因变量 $Y = (y_1, \dots, y_q)$ 中提取主成分 t_1 和 u_1 （ t_1 是 X 的线性组合， u_1 是 Y 的线性组合），并要求 t_1 和 u_1 尽可能多地携带原变量的变异信息，同时 t_1 和 u_1 的相关程度达到最大。

第一个成分被提取后，偏最小二乘回归分别实施 X 对 t_1 的回归以及 Y 对 t_1 的回归。如果回归方程已经达到满意的精度，则算法终止；否则，利用 X 被 t_1 解释后的残余信息以及 Y 被 t_1 解释后的残余信息进行第二轮的成分提取。如此往复，直到能达到一个较满意的精度为止。若最终对 X 共提取了 m 个成分 $t_1, \dots, t_m$ ，偏最小二乘回归将通过 y_k 对 $t_1, \dots, t_m$ 的回归，进而表达成 y_k 关于原自变量 $x_1, \dots, x_p$ 的回归方程。

4 案例应用

4.1 结构类单机产品成本模型

结构类单机（如金属结构、非金属隔热结构等）成本主要影响因素有重量、材料、结构特征等因素，其中以重量及材料为主要技术指标影响因子，拟合不同材料的基于重量的成本模型。

以铸铝金属舱段为例，介绍结构类单机产品的成本模型构建过程。铸铝金属结构舱段首先分析了尺寸、材料、窗口数量、支架数量、结构形式、表面处理、热处理、涂层、验收试验等技术指标为主要成本动因。其次统计了二十余个铸铝金属舱段技术指标与成本数据。根据技术指标与成本数据，计算相关性因子，发现重量对于成本的影响最敏感，相关性达到 0.97。其中窗口数量和支架数量对成本影响较小。

表 1 金属结构舱段铸件技术指标、成本相关性分析

	重量	窗口数量	支架数量	表面处理	热处理	检测方式	成本
重量	1.000	-0.096	0.582	-0.213	-0.605	-0.334	0.97
窗口数量		1.000	0.071	-0.454	-0.423	-0.526	-0.11
支架数量			1.000	-0.277	-0.541	-0.354	0.22
表面处理				1.000	0.565	0.843	-0.44
热处理					1.000	0.671	-0.55
检测方式						1.000	-0.39
成本							1.00

使用参数法建立成本模型，由于重量与成本具有强相关性，其他技术指标作为复杂度因子建立成本公式。模型采用幂函数形式，具体如下：

$$C=M^{hi}$$

其中， hi 代表金属舱段铸件综合复杂度， M 为舱段重量。通过偏最小二乘回归方法拟合得到舱段测算成本公式。

$$C=M^{(a+b*热处理+c*阳极化等效面积+d*检测验收)}$$

其中，热处理及检测验收为分类函数，具有热处理为 1，不具有热处理为 0。具有检测验收为 1，不具有检测验收为 0。阳极化等效面积为舱段包络尺寸的表面积。其中 a 、 b 、 c 、 d 为拟合值，通过拟合得到。

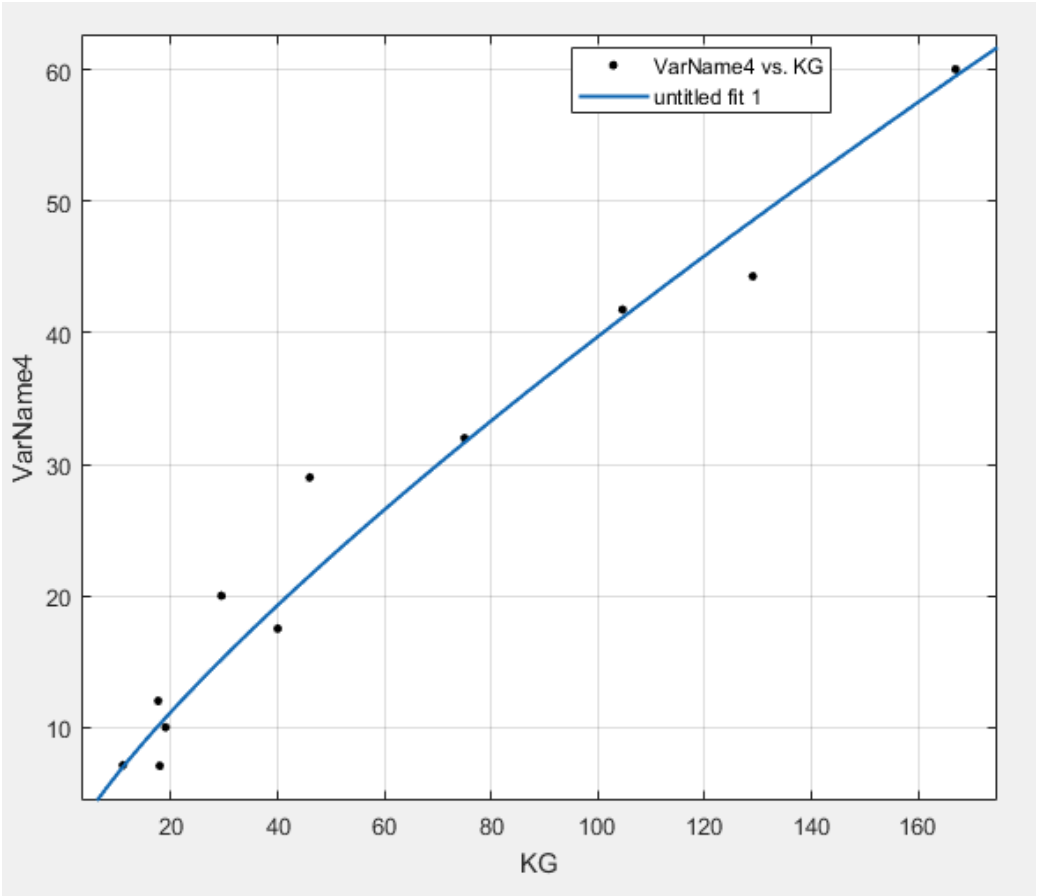


图 1 金属结构舱段模型拟合结果

使用三个舱段校验计算结果，模型建立时未使用相关数据，如表 2 所示，测算误差均在 ± 10% 以内。

表 2 金属结构舱段模型计算结果

单机产品	测算误差 = (测算成本 - 实际成本) / 实际成本
样例 1 金属壳体组件	-4.79%
样例 2 金属壳体组件	5.76%
样例 3 金属壳体组件	-4.15%

4.2 机电类单机产品成本模型

机电类单机构成较为复杂，既有机械结构又具有电子设备，通常为非线性模型，故首先考虑拟合非线性模型。以舵机驱动器为例，介绍机电类单机产品成本模型构建过程。舵机驱动器成本动因主要有通道数量、设计余度、电压、最大电流等。

通过计算相关性因子，各参数与成本相关性均 0.8~0.92 之间，指标之间不存在共线性，使用多指标影响因子类型。电压及最大电流确定控制器的最大功率，建模时统一考虑两个参数。通道数量与设计冗余与元器件数量相关。

模型采用非线性函数形式，使用最小二乘法拟合公式

$$C=a*(V*I/1000)^b(T+R)^c$$

其中 C 为舵机驱动器成本，V 为舵机驱动器电压，I 为舵机驱动器最大电流，T 为舵机驱动器通道数量，R 为设计冗余。a，b，c，d 为拟合值。

选择未参与建模的某舵机驱动器验证模型，测算结果如表 3 所示，成本模型计算结果与实际成本测算误差在 ± 15% 以内。

表 3 舵机驱动器成本测算误差

类型	机构类型	测算误差 S= (C2-C1) /C1
样例 1 舵机驱动器	机电	9.37%
样例 2 舵机驱动器	机电	-13.20%

5 结论

本文提出了航天单机产品的成本测算模型建立方法，详细阐述了小样本量的不同类型航天单机产品成本模型的构建过程，为在其他航天产品的成本模型构建提供方法。除文中介绍的单机产品，还开发了多种产品的成本模型。后续工作中，将进一步建立各类航天产品成本模型，并开发一套信息化系统和数据库，实现线上便捷、可信的应用成本模型开展成本测算。

参考文献

[1] 杨林超,谢宜,魏法杰,鲁萍,. 激励约束机制下的装备采购定价研究[J]. 航空财会,2021,(5).

[2] 魏法杰,鲁萍,杨林超,. 基于材料费的军品定价成本模型研究[J]. 航空财会,2020,(5).

[3] 杨志翔,于亮,张涛,凌铭博,王易南,. 基于PRICE软件的装备目标价格定价方法研究[J]. 航天工业管理,2017,(6).

[4] 于芹章,张福元,艾克武,陈庆华. 武器装备全寿命费用估算建模有关问题研究[J]. 装备指挥技术学院学报,2003,(4).

[5] 彭亮,岳冬梅,. 舰船装备全寿命周期费用估算方法研究[J]. 舰船电子工程,2013,(5).

[6] 江洋溢,孟科,张恒喜,徐鑫,. 基于粗糙集与BP神经网络的多因素预测模型[J]. 计算机工程,2007,(5).

[7] 刘芳,张海涛,. 小样本理论在航空发动机研制费估算中的应用[J]. 北京航空航天大学学报,2014,(11).

Optimization and kinetic analysis of cyanide leaching parameters for low grade gold ore based on response surface method

Hao Wang¹ Xiangting Hu^{2*} Qifei Sun¹

1. Shandong Zhaojin Group Co., Ltd. 1, Zhaoyuan, Shandong, 265400, China

2. Key Laboratory of Wastewater Treatment and Resource Recovery for Fine Chemical Industry, Yantai, Shandong, 264000, China

Abstract

The cyanidation leaching process for low-grade gold ore is a critical step in gold extraction. Optimizing the cyanidation leaching process can enhance gold recovery rates and reduce production costs. This study, based on the response surface method, analyzed the main factors affecting the cyanidation leaching process of low-grade gold ore, including cyanide concentration, leaching time, pH value, and temperature. Through experimental design, the optimal leaching parameter combination was obtained.

Keywords

response surface method; low grade gold ore; cyanide leaching; parameter optimization; kinetic analysis

基于响应面法的低品位金矿氰化浸出参数优化与动力学分析

王浩¹ 胡祥婷^{2*} 孙其飞¹

1. 山东招金集团有限公司, 中国·山东 招远 265400

2. 烟台市精细化工废水处理与资源化重点实验室(筹), 中国·山东 烟台 264000

摘要

低品位金矿的氰化浸出过程是金矿提取中的关键步骤, 优化氰化浸出工艺可以提高金的回收率并降低生产成本。本研究基于响应面法, 分析了影响低品位金矿氰化浸出过程的主要因素, 包括氰化剂浓度、浸出时间、pH值、温度等, 通过设计实验获得了最佳的浸出参数组合。

关键词

响应面法; 低品位金矿; 氰化浸出; 参数优化; 动力学分析

1 引言

低品位金矿由于金的含量较低, 其开采和处理成本较高, 且金矿资源逐渐枯竭, 导致金矿企业面临严峻的经济和技术压力。本文通过响应面法对低品位金矿氰化浸出过程中的关键参数进行优化, 并结合动力学分析, 揭示了氰化浸出反应的速率常数和反应机制, 为提高金的回收率和生产效率提供了重要指导。

【课题项目】提高氰化回收率关键技术研究(项目编号: KXDNY2024-02)。

【作者简介】王浩(1988-), 男, 中国山东宁阳人, 硕士, 工程师, 从事黄金选冶研究。

【通讯作者】胡祥婷(1999-), 女, 中国山东淄博人, 本科, 工程师, 从事环境科学与工程研究。

2 低品位金矿氰化浸出过程的参数分析

2.1 低品位金矿氰化浸出的基本原理

氰化浸出是提取金矿中金的一种重要技术, 广泛应用于低品位金矿的金提取过程中。氰化浸出利用氰化物与金之间的化学反应, 形成金氰络合物, 从而将金从矿石中分离出来。氰化浸出过程中, 氰化剂(通常为氰化钠或氰化钾)溶解金矿中的金颗粒, 形成金氰络合物, 金的溶解度在氰化物存在的条件下显著提高。金矿中的金元素通过这一氰化反应进入溶液, 并最终通过电解、金属置换或沉淀等方法进行回收。

在这一过程中, 金与氰化物反应, 形成可溶性的金氰络合物 $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$, 而金的回收率则取决于多种因素。除氰化剂浓度外, 矿石的粒度、pH值、浸出温度、浸出时间等因素也会影响氰化反应的效率。特别对于低品位金矿, 由于金的含量较低, 氰化浸出往往需要较长时间和较高浓度的

氰化剂才能有效提取金。因此,对于低品位金矿的氰化浸出过程,优化这些参数显得尤为重要。

为了有效提高氰化浸出过程的效率,并降低环境污染,减少氰化剂的浪费,研究者们往往需要对浸出工艺进行系统优化,找到适合的操作条件。这个优化过程涉及到多个因素的综合考虑,包括金矿的物理化学特性、工艺设备的条件、以及实际生产环境等。

2.2 影响氰化浸出的主要因素

在低品位金矿的氰化浸出过程中,多个因素相互作用,影响金的回收率。主要的影响因素包括:

氰化剂浓度: 氰化剂浓度是氰化浸出中最关键的因素之一。氰化剂浓度过低时,氰化反应无法充分进行,金的回收率低,甚至可能无法提取出金矿中的金。氰化剂浓度过高则会增加成本,同时可能导致环境污染及氰化剂的过度消耗,甚至可能产生毒性副产物。因此,氰化剂浓度需要合理选择,以确保金的有效回收并减少不必要的浪费。一般来说,适宜的氰化剂浓度可以在一定程度上提高金的回收率,但过高的浓度并不会成比例地提高回收效果。

浸出时间: 浸出时间对金的回收率有着直接的影响。金矿中金的溶解需要一定时间,过短的浸出时间可能导致金矿中的金未完全溶解,造成回收率低。而过长的浸出时间则会导致能量的过度消耗和生产成本的增加,且可能会引发不必要的副反应。因此,确定合适的浸出时间对于优化金的回收率至关重要。

pH 值: pH 值在氰化浸出中起着非常重要的作用。氰化反应的速率和金的溶解度受到溶液 pH 值的影响。通常,氰化浸出需要在稍碱性的环境中进行, pH 值的过低或过高都会对氰化反应产生抑制作用。过低的 pH 值可能导致氰化剂的降解,降低氰化反应的效率,而过高的 pH 值则可能导致金矿中的金不易溶解,因此需要在合适的 pH 范围内进行操作。

温度: 温度对氰化反应速率有显著影响。适当升高温度可以加速氰化反应的进行,提高金的回收效率。高温环境下,分子运动加剧,氰化反应更为迅速。然而,过高的温度可能导致氰化剂的分解或其他副反应的发生,反而抑制了金的回收率。因此,控制温度在适宜范围内,对于保证氰化浸出的效果至关重要。

这些因素的综合作用需要通过科学的实验和优化手段来确定最适宜的工艺条件,才能最大化金的回收率,减少能量和氰化剂的浪费,降低生产成本。

2.3 优化目标与响应面法的应用

响应面法(RSM)是一种强大的多变量优化工具,可以通过实验设计和数学建模,系统地研究各个因素对目标变量的影响。在低品位金矿的氰化浸出过程中,金的回收率是主要的优化目标。通过响应面法,研究者能够精确地确定氰化剂浓度、浸出时间、pH 值、温度等因素的最佳组合,以

实现回收率的最大化。

响应面法的核心思想是通过实验设计,构建各因素与回收率之间的数学模型。常见的响应面法实验设计包括中心复合设计(CCD)、Box-Behnken 设计和拉丁超立方设计等,这些设计能够帮助研究者在有限的实验次数内,全面了解各因素的主效应及其交互作用。通过二次回归分析,响应面法能够生成反应面方程,帮助研究者直观地分析不同因素组合下的金回收率变化情况。

具体应用时,首先选择几个可能影响氰化浸出过程的关键因素(如氰化剂浓度、浸出时间、温度等),然后根据响应面法的设计原则,进行一系列的实验,并收集数据。接着,利用这些数据进行回归分析,建立数学模型,进而通过数学优化方法确定最优操作条件。这些条件可以使金的回收率达到最佳状态,且最大限度地减少资源的浪费和副反应的发生。

通过响应面法的应用,研究者能够有效优化低品位金矿的氰化浸出过程,为提高回收率、降低环境污染以及降低成本提供科学依据。

3 响应面法在氰化浸出参数优化中的应用

3.1 响应面法实验设计

为了优化低品位金矿的氰化浸出过程,本文采用了响应面法(Response Surface Methodology, RSM)进行实验设计。响应面法是一种多变量统计分析方法,广泛应用于过程优化中。它能够帮助研究人员通过较少的实验次数,探索多个因素对目标变量的影响,进而优化工艺参数。在本研究中,目标是提高金矿的回收率,因此选择了氰化剂浓度、浸出时间、pH 值和温度四个因素作为自变量,并将金的回收率作为因变量。

由于多因素和多水平的实验设计会增加实验的复杂性和工作量,为了提高实验效率,本文选择了中心复合设计(Central Composite Design, CCD)。CCD 设计包含了 3 个因素(氰化剂浓度、浸出时间、温度)和 3 个水平,总共形成了一个包含 14 个实验点的实验设计。具体来说,三个因素的水平均设定为低、中、高三个水平,并通过实验测量金的回收率作为响应值。在实验过程中,通过调整氰化剂浓度、浸出时间和温度等参数,获取不同条件下金的回收率数据。之后,利用二次回归模型对实验数据进行拟合,建立反应面方程,并分析各因素之间的相互作用以及它们对金回收率的影响。

3.2 实验结果与数据分析

通过实验结果的分析,可以发现氰化剂浓度、浸出时间和温度对金的回收率具有显著影响。具体而言,实验结果显示,氰化剂浓度对回收率具有正相关性,即随着氰化剂浓度的增加,金的回收率逐步提高。然而,当氰化剂浓度超过某一值后,回收率的提升效果逐渐减缓。实验数据表明,氰

化剂浓度达到一定水平后,再增加浓度对回收率的提升效果变得不显著,甚至可能导致金矿中的其他成分对氰化剂的消耗增加,进而影响氰化效果。

浸出时间与金的回收率之间也存在正相关关系。通过延长浸出时间,金矿中的金可以更充分地与氰化剂接触,从而提高金的回收率。然而,当浸出时间过长时,金的回收率趋于稳定,甚至可能出现回收率的下降趋势。这是因为,长时间的浸出可能导致部分氰化剂分解或产生副反应,从而影响金的回收效率。

温度的增加对金的回收率同样起到了积极的促进作用。温度的升高加速了氰化反应的进行,提升了金的回收率。在较高温度下,氰化反应的速率会加快,从而提高金矿的回收效率。然而,在过高的温度条件下,氰化剂可能发生分解,产生一些副反应,这会影响金的回收率。因此,温度过高会导致回收率的下降,需要控制在一定范围内,以避免不良反应的发生。

通过响应面法的分析,进一步优化了各实验参数的组合。经实验结果的拟合分析,得出最佳工艺参数组合为氰化剂浓度 0.2 mol/L,浸出时间 24 小时,温度 35° C。此时,金的回收率达到了最佳值,证明了响应面法在氰化浸出过程优化中的有效性。

3.3 响应面法优化结果的验证

为了验证响应面法优化结果的准确性和可行性,本文进行了进一步的验证实验。根据优化得到的最佳工艺参数,即氰化剂浓度为 0.2 mol/L,浸出时间为 24 小时,温度为 35° C,进行了一次验证性实验。在实验中,金的回收率得到了显著提高,约为原回收率的 15%。这一结果表明,响应面法在优化低品位金矿氰化浸出工艺中的有效性和实用性,能够有效提升金的回收率。

此外,验证实验还揭示了优化过程中的一些细节,例如,在高浓度氰化剂下,氰化效果确实得到了加强,而在高温条件下则需要避免过度升温,以避免氰化剂的分解。进一步分析结果显示,实验中的回收率提高不仅源于氰化剂浓度的合理选择,还包括浸出时间和温度的精确调控。因此,响应面法不仅为本研究提供了最优的工艺参数组合,还为低品位金矿的氰化浸出过程提供了宝贵的优化经验和指导。

通过本研究,响应面法为低品位金矿的氰化浸出过程优化提供了科学的理论依据和实践参考,且在实验验证过程中取得了显著的效果。这不仅有助于提高金矿的回收率,还能为相关行业的工艺改进和优化提供一定的参考和借鉴。

总的来说,本研究通过响应面法优化了低品位金矿的氰化浸出工艺,得到了金回收率的显著提升,并为金矿的高效回收和绿色开采提供了科学依据。未来,还可以进一步结合其他优化手段,如微波辅助氰化、超声波辅助氰化等,提高金矿的回收率 and 环境友好性,为可持续矿业发展做出

贡献。

4 氰化浸出动力学分析

4.1 氰化反应动力学模型

氰化浸出过程的动力学特性直接影响金的回收率。为了进一步分析低品位金矿的氰化浸出过程,本文采用了经典的一级反应动力学模型,假设金矿的氰化反应遵循一级反应速率规律。反应速率方程如下:

$$r = k \cdot C_{\text{Au}} = k \cdot C_{\text{Au}}$$

其中, r 为反应速率, k 为反应速率常数, C_{Au} 为金的浓度。通过实验数据的拟合,计算出反应速率常数 k ,并分析温度、氰化剂浓度等因素对反应速率的影响。

4.2 反应速率常数的计算与分析

通过实验数据拟合,得到反应速率常数 k 的值为 $1.8 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$ 。在不同温度下,反应速率常数呈现出随温度升高而增加的趋势,符合阿伦尼乌斯公式的特点。温度对反应速率常数的影响较为显著,温度升高能够显著加速氰化反应,增加金的回收率。

4.3 动力学分析对工艺优化的指导意义

通过对氰化浸出反应的动力学分析,明确了温度和氰化剂浓度对金回收速率的影响规律,为实际生产中工艺参数的优化提供了理论依据。合理调控反应条件,避免过高温度或过量氰化剂的使用,有助于提高金的回收效率,并降低成本。

5 结语

本文基于响应面法优化了低品位金矿氰化浸出过程的工艺参数,并进行了氰化浸出反应的动力学分析。实验结果表明,响应面法能够有效优化氰化浸出工艺,提高金的回收率。动力学分析揭示了氰化反应的速率常数和反应机制,为实际生产中的参数调控提供了科学依据。未来,随着人工智能、大数据分析等技术的发展,氰化浸出过程的优化和风险评估将变得更加精确,推动金矿提取技术向更高效、环保的方向发展。

参考文献

- [1] 李金林.异氰酸盐浸金药剂的合成及其溶金机制研究[D].北京科技大学,2024.
- [2] 尚鹤.含砷金矿生物堆浸预氧化工艺调控及机理研究[D].北京有色金属研究总院,2024.
- [3] 刘超朋.功能化吸附材料的制备及其对Au(Ⅲ)选择性吸附性能研究[D].华北水利水电大学,2023.
- [4] 张鑫.脱砷微生物的筛选和从难处理金矿除砷的研究[D].江西理工大学,2021.
- [5] 陈桥.尼尔森选矿机分选机理及低硫金矿石提金新工艺研究[D].东北大学,2021.

Research on the application of new catalysts in low-carbon conversion technology of coal chemical industry

Xinxu Zhang

Xinjiang Uygur Autonomous Region Coal Research Institute, Urumqi, Xinjiang, 830011, China

Abstract

In terms of realizing the clean and efficient utilization of coal resources, the key path lies in the low-carbon conversion technology of coal chemical industry, and the core of it is the development and application of new catalysts. The focus of this study is on the innovative design of catalysts in the fields of coal-to-chemicals, syngas conversion, and CO₂ recycling, with the aim of revealing the regulatory mechanisms of catalysts for reaction selectivity, energy efficiency improvement, and carbon emission reduction. Relevant studies have shown that the optimization of the distribution of active sites and the structural stability of the catalyst can significantly enhance the reaction kinetics and inhibit the formation of by-products, which provides theoretical support and technical paths for the low-carbon transformation of the coal chemical industry, which is of great practical significance for promoting the development of the entire industry in the direction of green and sustainable development.

Keywords

novel catalysts; coal chemical industry; low-carbon conversion; catalytic mechanism; Green chemical industry

新型催化剂在煤化工低碳转化技术中的应用研究

张鑫旭

新疆维吾尔自治区煤炭科学研究所, 中国·新疆 乌鲁木齐 830091

摘要

在实现煤炭资源清洁高效利用方面, 关键路径在于煤化工低碳转化技术, 而其中核心之处便是新型催化剂的开发与应用。本研究的聚焦点在于煤制化学品、合成气转化及CO₂资源化等领域里催化剂的创新设计, 目的是要揭示出催化剂针对反应选择性、能效提升以及碳排放降低所起到的调控机制。相关研究显示, 凭借对催化剂活性位点分布以及结构稳定性的优化, 能够让反应动力学得到显著增强, 并且对副产物生成起到抑制作用, 如此一来, 便为煤化工的低碳转型给予了理论方面的支撑以及技术层面的路径, 这对于推动整个行业朝着绿色可持续方向发展具备极为重要的实践意义。

关键词

新型催化剂; 煤化工; 低碳转化; 催化机理; 绿色化工

1 引言

低碳发展已成为全球共同的目标, 而煤化工行业作为能源化工领域的重要组成部分, 其碳排放量占比较大, 对全球气候变化产生重要影响。因此研究煤化工低碳技术, 对于促进全球低碳经济的发展、减缓全球气候变化具有重要意义。就化学反应来讲, 催化剂充当着核心媒介的角色, 其自身性能如何是能够直接对工艺效率以及环境友好性起到决定性作用的。当下阶段, 在煤基合成气定向转化、甲烷高效活化还有 CO₂ 协同利用等这些存在诸多难点的方面, 当进行新型催化剂设计工作的时候, 需要对活性、稳定性以及成本可控性都给予兼顾考虑。通过深入地去探究催化材料表界面所具有的特性以及相关的反应机理等内容能够为煤化工低碳

化技术所进行的革新活动提供相应科学依据, 进而有助于在“双碳”目标这样的大背景之下, 推动能源结构实现优化。

2 煤化工低碳转化技术概述

2.1 煤化工主要转化路径

煤化工低碳转化技术依托煤炭资源特性将碳基分子重构为高附加值化学品与清洁燃料, 其核心转化路径包含气化、液化还有焦化等基础工艺。借助高温条件的气化过程, 让煤与气化剂发生反应生成合成气, 以此作为下游甲醇、烯烃等化学品合成的原料; 通过加氢裂解的液化技术, 将煤大分子转化成液体燃料或者化工中间体; 侧重于高温干馏的焦化工艺, 则是用于提取焦炭与焦炉气。伴随低碳转型需求的不断升级, 合成气定向催化转化、煤基芳烃制备以及 CO₂ 耦合利用等技术渐渐变为研究热点, 精准设计的催化剂能够优化反应路径选择性, 并且降低能耗, 进而推动传统煤化工朝着低碳化、精细化的方向演进^[1]。

【作者简介】张鑫旭(1988-), 男, 中国山东阳谷人, 本科, 工程师, 从事煤化工研究。

2.2 传统煤化工技术碳排放痛点

传统煤化工技术以煤炭气化、液化和焦化等工艺为基础,其生产流程普遍有着对高温高压条件的依赖情况,由此致使能源消耗以及碳排放强度一直处在居高不下的状态。在反应体系当中,存在着对碳原子利用效率偏低的问题,部分工艺由于催化剂活性方面的不足或者选择性较差的缘故,生成了大量的副产物,进而造成了碳资源的浪费以及污染物的累积情况。在焦化过程里,焦炉气有着成分复杂的特点,并且其直接排放的比例处于较高水平,煤气净化与余热回收技术方面的不足进一步对温室气体释放压力起到了加剧的作用。除此之外,传统工艺在对废水、废气处理上精细化程度是有限的,末端治理成本与碳排放叠加起来的效应较为显著,产品结构呈现出偏向高碳化学品与燃料的态势,难以适应低碳经济所提出的清洁化、高值化这样的产业转型需求。

3 新型催化剂的设计与制备

3.1 催化剂设计原则

新型催化剂的设计需遵循煤基反应体系特性与低碳转化目标的双重约束。对于提升催化效率而言,关键要素在于对活性位点实现原子级分散以及进行表面结构的调控。在载体材料的选择上,要兼顾化学稳定性与传质性能,其中多级孔道结构对反应物扩散以及中间产物的定向吸附转化有着促进作用。设计过程当中,需对催化剂抗积碳与抗烧结的能力加以平衡,以防在高温高压条件下出现活性组分失活或者结构坍塌的情况。从成本控制来讲,要求原料来源广泛并且制备工艺简洁,避免因过度依赖贵金属或者采用复杂合成路线而增加工业化的难度。就环境友好性的考量而言,其涵盖了催化剂的全生命周期,具体包括制备阶段的低污染、使用过程的低毒害以及废弃后易于回收处理等方面^[2]。

3.2 典型新型催化剂类型

在煤基低碳转化领域所涌现出来的典型催化剂包含了金属氧化物基、分子筛基以及碳基复合材料这几种类型。其中,凭借着可调控的晶体结构以及氧空位浓度这一优势的金属氧化物,在合成气定向转化方面展现出了活性方面的优势。依托规则孔道以及酸性位点分布的分子筛催化剂,对煤焦油轻质化以及芳烃选择性生成起到了促进的作用。因有着高比表面积与电子导电性的碳基材料,在CO₂加氢反应里表现出了独特的吸附活化能力。通过界面工程来整合金属-载体相互作用的复合型催化剂,实现了对活性组分分散度以及抗积碳性能的提升。借助核壳结构设计来隔离活性中心与反应介质的部分负载型催化剂,能够在高温水热条件下维持住催化稳定性。在工业应用当中,需要对催化性能和制备成本进行权衡,虽然部分非贵金属催化剂的活性稍微低一些,但是其具备着能够进行规模化推广的潜力。

3.3 绿色制备方法

绿色制备方法聚焦于降低催化剂合成过程的资源消耗

与环境负荷,生物质模板法利用稻壳、秸秆等可再生原料构建多孔结构载体,以此减少化学试剂使用量与废弃物排放的是生物质模板法。通过调控反应温度与压力在温和条件下生成高分散活性组分,进而避免高温煅烧带来的能源浪费与粉尘污染的是水热合成技术。作为绿色溶剂替代传统有机介质,能够精准调控金属前驱体分散状态,以提升催化剂结晶度与稳定性的是离子液体。采用工业固废或低品位矿物为原料制备复合催化剂的情况存在于部分工艺中,比如赤泥经改性后负载活性金属用于煤焦油加氢精制。结合微波或超声辅助技术以缩短反应时间并抑制副产物生成的是低温合成路径,在制备过程中,设备兼容性与规模化可行性需兼顾,而废弃物资源化与全生命周期碳排放评估已成为工艺优化的重要参考维度。

4 新型催化剂在关键反应中的应用

4.1 煤制合成气低碳转化(CO₂捕获与转化)

煤制合成气低碳转化过程中,二氧化碳的捕获与转化环节对催化剂性能提出多重挑战,新型催化体系通过优化活性组分与载体协同作用提升碳原子利用效率。铁基催化剂表面氧空位与碱性位点可增强CO₂化学吸附能力,促进合成气中CO与H₂的再分配反应生成低碳醇类或烯烃。分子筛负载的双功能催化剂在温和条件下将CO₂加氢转化为甲醇,酸性位点调控中间产物脱附速率以抑制过度裂解导致的积碳问题。部分复合型催化剂设计核壳结构隔离活性金属与反应介质,在高温水热气化环境中维持催化稳定性并延长使用寿命。工业侧线试验表明,铜锌铝催化剂在浆态床反应器中具备良好的抗硫抗烧结特性,可适应煤制气杂质含量波动对反应选择性的影响^[3]。催化工艺与膜分离技术耦合可同步实现CO₂富集与定向转化,降低后续碳捕集能耗并减少工艺环节碳排放强度。催化剂再生性能与废剂回收路径的优化需兼顾经济性与环境效益,避免二次污染抵消低碳转化技术的减排潜力。

4.2 煤直接液化提质降耗

在煤直接液化提质降耗技术方面,对于其中的催化剂而言,需在加氢活性与抗积碳性能之间达成平衡。借助高分散度的活性金属和酸性载体的协同作用,可促使重质芳烃加氢裂解转化为轻质燃料。以氧化铝或者分子筛作为载体的镍钼基催化剂,通过对其表面酸密度的调控,能够抑制沥青质的缩聚反应,进而降低结焦倾向,同时提升液体油的收率。部分催化剂通过设计梯度孔道结构,以此加速大分子反应物的扩散以及产物的脱附,减少因中间产物在孔道内滞留而引发的二次裂解与积碳沉积情况。工业侧线试验表明,添加了稀土元素的铁基催化剂,在温和的反应条件下,可实现煤液化油品氢碳比的提高,同步达成氢气消耗量的降低以及设备结焦风险的减少。微波辅助制备工艺,能够提升活性组分的分散度,并且缩短还原时间。在催化剂再生过程中,引入低

温氧化剥离技术,可在清除积碳的同时,避免对载体结构造成破坏。工艺集成方面,催化加氢单元与膜分离技术耦合可回收未反应氢气并降低循环系统能耗,副产物处理环节采用催化氧化技术降解含硫含氮废水废气,减少末端治理压力与环境风险。

4.3 焦炉煤气高效利用

焦炉煤气高效利用需破解氢气与甲烷等组分协同转化难题,镍基催化剂表面掺杂碱金属可增强CO甲烷化反应选择性,抑制积碳生成的同时提升合成气热值。分子筛负载的钴基催化剂在焦油重整环节促进多环芳烃开环裂解,酸性位点与金属活性中心耦合调控反应路径生成低碳烯烃。针对煤气中硫化物毒化问题,部分贵金属催化剂设计硫化耐受层保护活性组分,延长催化剂再生周期并降低净化单元负荷。工业侧线试验表明,铁基催化剂在固定床反应器中可适应焦炉煤气杂质波动,在适度空速下维持甲烷转化率与催化剂机械强度。工艺集成方面,催化转化单元与变压吸附技术联用可高效分离提纯氢气,支撑下游燃料电池或合成氨产业原料需求。副产物处理环节引入低温催化氧化技术降解苯系物,尾气净化后碳排放强度显著降低。催化剂再生工艺优化需平衡热冲击对载体结构的影响,废弃催化剂中金属组分回收路径开发成为资源化技术落地的关键制约因素。

4.4 煤基化学品绿色合成

煤基化学品绿色合成聚焦于提升反应路径原子经济性并减少副产物生成,分子筛负载的铜基催化剂在甲醇合成中调控表面羟基密度以抑制高级醇生成,酸性位点与金属活性中心协同作用优化中间产物脱附路径。部分双功能催化剂设计金属氧化物与酸性载体复合结构,促进煤衍生合成气一步法转化为低碳烯烃,避免传统工艺中高温高压对设备与能耗的挑战。工业试验中镍基催化剂在浆态床反应器内展现良好抗磨性能,催化煤焦油加氢脱氧生成高纯度芳烃时有效抑制胶质物聚合结焦。工艺耦合方面,催化合成单元与膜分离技术联用可原位脱除反应生成水蒸气,降低产物分离能耗并提升单程转化效率。副产物处理环节引入负载型贵金属催化剂低温分解含氧化合物,尾气净化后苯系物浓度满足环保排放标准。催化剂再生工艺开发需解决积碳与金属烧结的协同清除问题,废弃催化剂中稀土元素回收技术突破成为降低全生命周期环境成本的关键路径。

4.5 反应机理与原位表征

煤基转化反应机理解析依赖催化剂活性位点动态演变与原位表征技术深度融合,原位X射线衍射追踪钴基催化剂晶格氧迁移路径,揭示甲烷部分氧化反应中晶格重构与积碳抑制的构效关系。表面敏感的原位红外光谱识别镍基催化剂表面吸附的CO中间体构型,关联线式吸附与桥式吸附比例变化对费托合成产物链增长终止的影响规律。工业反应条件下操作的反应质谱实时监测钼基催化剂硫化态转变过程,结合密度泛函理论计算验证硫化程度对煤焦油加氢脱硫活性位点电子结构的调控机制。同步辐射X射线吸收谱解析铁基催化剂在浆态床反应器中纳米颗粒团聚行为,建立颗粒尺寸分布与合成气转化选择性衰减的定量模型。催化剂动态结构解析需突破高温高压原位电镜样品池技术瓶颈,工业装置侧线安装的在线拉曼光谱系统捕捉到分子筛催化剂酸性位点失活过程中骨架铝迁移的关键证据。理论计算与机器学习结合构建多相催化微动力学模型,指导双金属催化剂活性组分空间排布优化,平衡反应路径中氢解与芳构化竞争步骤的能垒分布^[4]。

5 结语

在煤化工低碳转化技术升级进程中,新型催化剂的研发成为了重要突破口。就优化反应路径、提升产物收率以及降低过程能耗这些方面而言,其展现出的潜力颇为显著。然而,高温失活、成本偏高以及规模化应用适配性等问题,依旧是需去攻克的瓶颈之处。对于未来的相关研究来说,应当着重于多尺度催化体系的构建以及对动态反应机制的解析工作,并且要与智能化工艺调控相结合,以此推动催化剂设计和工程实践实现深度融合,进而为构建起高效且低碳的煤化工技术体系打下坚实基础。

参考文献

- [1] 王立坡.煤化工技术的发展与新型煤化工技术探讨[J].工程技术(文摘版)·建筑,2016(6):00272-00272.
- [2] 刘苏.合成气直接转化制低碳烯烃技术现状与展望[J].中国石化,2024(8):47-49.
- [3] 雷以柱;李光兴.羰基合成:煤基合成气低碳化利用的绿色化工路线[J].六盘水师范学院学报,2024(6).
- [4] 杨学萍.碳中和背景下现代煤化工技术路径探索[J].化工进展,2022,41(7):11.

Removal methods of nucleic acid contamination in PCR laboratory

Danhong Yang¹ Mingdeng Liu¹ Shihao Wang² Xiaohong Xie¹

1. Jiangxi Environmental Engineering Vocational College, Ganzhou, Jiangxi, 341000, China

2. Shandong Kehong Medical Technology Co, Ltd., Dezhou, Shandong, 253011, China

Abstract

Nucleic acid contamination is a common problem in PCR laboratories. Finding an effective method to prevent and remove nucleic acid contamination is very significant for the normal operation of PCR laboratories and the reliability of detection results. In this paper, the effects of several different scavenger on the removal of nucleic acid contamination in PCR laboratory were compared and analyzed. The results showed that: compared with 75% alcohol and 3% hydrogen peroxide disinfectant, nucleic acid scavenger has obvious inhibitory effect on PCR reaction and can effectively degrade nucleic acid. After nucleic acid scavenger treatment, the amount of nucleic acid remaining on the surface of the instrument and the experimental bench is obviously reduced. Under the premise of maintaining the cleaning effect, 84 disinfectant has corrosion effect on the surface of stainless steel, carbon steel, copper and aluminum, and nucleic acid scavenger has almost no corrosion on the surface of the above materials.

Keywords

nucleic acid detection; PCR; nucleic acid contamination; nucleic acid scavenger

PCR 实验室核酸污染清除方法

杨丹红¹ 刘明灯¹ 王世豪² 谢小红¹

1. 江西环境工程职业学院, 中国·江西 赣州 341000

2. 山东科宏医疗科技有限公司, 中国·山东 德州 253011

摘 要

核酸污染是PCR实验室中的常见问题,寻找一种有效的防止和清除核酸污染的方法对于PCR实验室正常运转及保障检测结果的可靠性具有重要意义。本文对比了几种不同清除剂对PCR实验室核酸污染的清除效果,并对其作用机理进行了分析。研究发现:与75%酒精、3%过氧化氢消毒剂相比,核酸清除剂对PCR反应具有明显的抑制作用,能有效降解核酸;仪器、实验台等表面经核酸清除剂处理后,表面残留的核酸量明显降低。在保持清除效果的前提下,84消毒液对不锈钢、碳钢、铜和铝表面均有腐蚀作用,而核酸清除剂对上述材质表面几乎无腐蚀。

关键词

核酸检测; PCR; 核酸污染; 核酸清除剂

1 引言

随着分子生物学的发展,核酸编辑、扩增、测序、鉴定等核酸技术应用越来越广泛,以核酸检测为中心的技术变得越来越先进,灵敏度也越来越高^[1-3]。聚合酶链式反应(PCR)是目前应用最广泛的核酸检测技术,由于其可以在短时间内令靶核酸放大几百万倍,具有极高的灵敏度,有利于对靶核

酸进行深入研究,因此在分子生物学领域大放异彩^[4-7]。

尽管PCR反应有诸多优点,但由于其超高的灵敏度,一旦实验室出现核酸污染,很容易导致假阳性结果,从而影响检测的准确性。因此,如何避免核酸污染一直是影响PCR实验成功的关键问题^[8,9]。PCR实验室核酸污染清除常用方法有物理方法和化学方法,物理方法采用紫外线消毒,该方法对小的扩增子效果不明显,并且紫外线穿透能力弱,仅作用于物体表面,清除效果有限。化学方法主要通过化学物质氧化、变性核酸的方式来降解DNA,从而使留在实验室的扩增产物被破坏掉^[10-12]。本文比较了不同清除剂在PCR实验室防污染上的应用效果,研究对于核酸实验室日常防护和清除核酸污染提出了一个有效解决方案。

【基金名称】江西省教育厅科学技术研究项目(项目编号: GJJ214412); 山东省科技型中小企业创新能力提升项目(项目编号: 2021TSGC1193)。

【作者简介】杨丹红(1979-),女,中国辽宁锦州人,博士,高级工程师,从事环境污染防控与治理研究。

2 材料与方法

2.1 仪器与试剂

TB Green® Premix EX Taq II (2X)、PCR Forward Primer(20 μ M)、PCR Reverse Primer(20 μ M)、 λ DNA 模板 (1 μ g/mL) 均购自宝日医生物技术(北京)有限公司; Genezap 核酸清除剂购自武汉君诺德生物技术有限公司; HSK 核酸清除剂购自山东科宏医疗科技有限公司; 75% 酒精、84 消毒液、3% 过氧化氢消毒液购自山东利尔康消毒科技有限公司。核酸检测使用 LightCycler®480 II 实时荧光定量 PCR 仪及 DYCP-31DN 型琼脂糖水平电泳仪。

2.2 实验方法

2.2.1 清除剂对 DNA 破坏效果检测

取浓度 0.1ng/ μ L 待测试液 10 μ L 于 1.5mL EP 管内, 向 EP 管内先加入 5 μ L 清除剂, 震荡混匀 2min, 琼脂糖凝胶电泳测定核酸残留。

2.2.2 清除剂对 PCR 抑制效果检测

向 PCR 反应体系中加入清除剂 5 μ L, 将体系补足至 20 μ L。与 DNA 模板进行等体积混合, 取 5 μ L 作为模板进行 PCR 扩增, 实时荧光定量 PCR 仪进行检测。

2.2.3 不同材质表面核酸残留的清除效果检测

为验证清除剂对于塑料、玻璃、金属表面及实验台面核酸残留的清除效果, 将阳性 PCR 产物滴在不同材质上晾干模拟核酸残留, 用清除剂对 4 种材质表面的核酸残留进行去除操作, 然后采集处理点的残留核酸进行荧光 PCR 鉴定。

2.2.4 清除剂对金属腐蚀性检测

参照文献 [13] 进行金属腐蚀性实验。分别将碳钢 (GB 700-65)、不锈钢 (GB 1220-75)、铜 (GB 2060-80)、铝 (GB 1173-74) 圆形薄片 (直径 24.0mm, 厚 1.0mm, 表面积总值约 9.8cm²) 浸泡在 1000mL 装有不同清除剂的玻璃容器中, 测定其对不同金属的腐蚀速率。

3 结果与讨论

3.1 清除剂对 DNA 破坏效果

为验证不同清除剂对溶液中核酸的破坏效果, 将 5 种不同清除剂分别与 DNA 溶液混合, 琼脂糖凝胶电泳测定核酸残留, 结果如图 1 所示。

从图 1 可以看出, 阳性对照组有明显的条带, Genezap 核酸清除剂、84 消毒液和 HSK 核酸清除剂均未见到核酸条带, 说明溶液中 DNA 被完全清除, 75% 酒精、3% 过氧化氢的清除效果则较差。这是因为 84 消毒液和核酸清除剂可以破坏 DNA 结构, 使 DNA 被完全降解; 而酒精和 DNA 之间的极性差异使两者无法互溶, 酒精不能起到破坏 DNA 的作用。

3.2 清除剂对 PCR 抑制效果

不同清除剂对 PCR 抑制效果如图 2 所示。

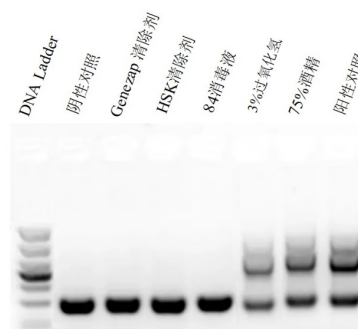


图 1 不同清除剂对溶液中 DNA 的清除效果

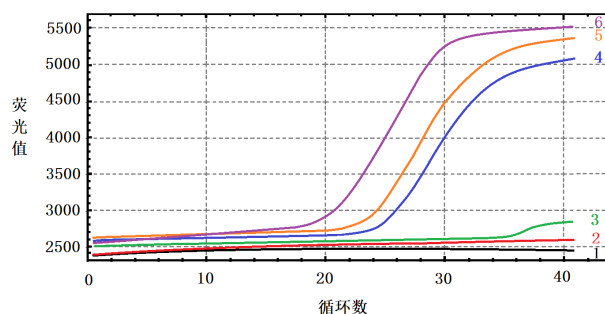


图 2 不同清除剂对 PCR 抑制效果

1. 84 消毒液 2. HSK 核酸清除剂 3. Genezap 核酸清除剂 4. 3% 过氧化氢 5. 75% 酒精 6. 纯净水

由上图可以看出, 84 消毒液和核酸清除剂对 PCR 反应具有明显的抑制作用, 而 3% 过氧化氢和 75% 酒精在 20 次循环后出现明显的扩增现象, 这与如图 1 所示结果一致, 也进一步说明 84 消毒液和核酸清除剂破坏了 DNA 结构, 使 DNA 无法实现扩增。

3.3 不同材质表面核酸残留的清除效果

表 1 列出了清除剂对四种不同材质表面核酸残留的清除效果。

显而易见, 四种材质表面, 金属表面的核酸残留最容易被清除干净, 玻璃次之, 塑料表面的核酸残留最不易被清除干净。核酸清除剂、84 消毒液均能较好地清除掉不同材质表面的残留核酸, 3% 过氧化氢和 75% 酒精的清除效果要稍逊于核酸清除剂, 这可能是由于其作用原理不同造成的。通过分析各种清除剂的作用原理发现, Genezap 核酸清除剂主要通过改变核酸表面电荷分布, 并结合物理擦拭和非酶水解作用达到清除核酸污染的效果。HSK 核酸清除剂通过螯合剂中和, 氧化分解作用破坏核酸碱基对的氢键, 导致 DNA 结构的变形达到去除的目的。84 消毒液主要是利用次氯酸的强氧化作用将核酸直接裂解^[11]。过氧化氢主要通过活性氧移除核苷酸分子中的电子, 达到核酸清除的效果^[12]。75% 酒精通过使蛋白质变性达到清除效果, 当作用一段时间后, 表面会形成一层膜来阻止乙醇进一步破坏其内部结构, 也会因为乙醇的挥发作用等导致清除效果不理想。

表 1 清除剂对不同表面核酸残留的清除效果

清除剂	作用 10min 的 Ct 值			
	金属表面	玻璃表面	塑料表面	实验台面
Genezap 核酸清除剂	—	35.16 ± 1.24	34.36 ± 1.70	35.37 ± 2.11
HSK 核酸清除剂	—	35.65 ± 1.53	34.45 ± 1.38	35.54 ± 1.30
84 消毒液	—	35.73 ± 1.65	34.61 ± 1.26	—
3% 过氧化氢	25.59 ± 1.40	25.36 ± 1.74	25.51 ± 1.33	25.49 ± 1.62
75% 酒精	21.76 ± 1.23	21.37 ± 1.91	21.32 ± 1.66	21.65 ± 1.22
阳性对照	19.98 ± 1.32	20.22 ± 1.88	20.30 ± 1.51	20.14 ± 1.35
阴性对照	—	—	—	—

注：荧光信号值低于基线为“未检出”，以“—”表示。试验结果为 3 次测试的平均值 ± 标准差 ($\bar{X} \pm s$)。

3.4 不同清除剂的金属腐蚀性

鉴于 3% 过氧化氢和 75% 酒精对核酸的清除效果有限，选择 84 消毒液和核酸清除剂进行金属腐蚀性实验，结果如表 2 所示。

实验条件：温度 20℃，时间 72h，相对湿度 60%，均为原液作用。实验结果为三次测试平均值。

由表 2 可以看出，核酸清除剂对不锈钢基本无腐蚀，对铜和铝有轻度腐蚀作用，对碳钢的平均腐蚀速率为 0.4539mm/a 和 0.4428mm/a，属于中度腐蚀。而 84 消毒液除对不锈钢有轻微腐蚀外，对碳钢、铜和铝均会产生中度腐蚀。因此对于仪器金属部件和一些精密设备的清洁可考虑选用无腐蚀性的核酸清除剂。

表 2 金属腐蚀性测定结果

清除剂	材质	实验前质量 (g)	实验后质量 (g)	腐蚀速率 (mm/a)
Genezap 核酸清除剂	碳钢	3.2451	3.2164	0.4539
	不锈钢	3.5268	3.5268	0.0000
	铜	3.7174	3.7141	0.0488
	铝	1.2095	1.2080	0.0690
HSK 核酸清除剂	碳钢	3.2556	3.2276	0.4428
	不锈钢	3.5152	3.5151	0.0000
	铜	3.7214	3.7181	0.0492
	铝	1.2075	1.2060	0.0689
84 消毒液	碳钢	3.2035	3.1519	0.8162
	不锈钢	3.5055	3.5048	0.0106
	铜	3.7079	3.6959	0.1762
	铝	1.2122	1.2080	0.1936

4 结论

84 消毒液和核酸清除剂能够有效清除 PCR 实验室核酸污染。对于塑料、玻璃、金属表面及实验台面核酸残留，金属表面最易清除，实验台面和玻璃次之，塑料表面的核酸残留最难清除，需多次清理才能达到预期效果。与 84 消毒液相比，核酸清除剂的腐蚀性小，对不锈钢几乎无腐蚀，可用于仪器金属部件和一些精密设备的清洁。

参考文献

[1] Noonan JP, Rubin EM. Genomic sequencing of pleistocene cave bears[J]. Science, 2005, 309(5734): 597-599.

[2] 庞宏兵, 丁鑫泽, 王万旭. 不同消毒方式对现场DNA检出影响研究[J]. 中国法医学杂志, 2021, 36(1): 78-81.

[3] 闫彩虹, 金文杰, 羊扬等. 第三方检验检测机构PCR检测室防核酸污染措施[J]. 科技视界, 2019, 2(28): 49-50.

[4] 李云龙, 张健, 魏艳秋等. 分子诊断实验室去除核酸污染的方法学研究[J]. 生物工程学报, 2021, 37(2): 673-679.

[5] X. Li, Q. Duan, Mashooq Khan, et al. Development of the viscosity biosensor for the detection of DNase I based on the flow distance on the paper with DNA mucus[J]. Talanta, 2024, 6(266): 124994-125001.

[6] Daher RK, Stewart G, Boissinot M, et al. Recombinase polymerase amplification for diagnostic applications[J]. Clin. Chem., 2016, 62(7): 947-958.

[7] 陈昌海, 开妍, 邱冬等. 非洲猪瘟病毒荧光PCR检测假阳性的原因与预防措施[J]. 中国动物检疫, 2020, 37(2): 49-53.

[8] Aslanzadeh J. Preventing PCR amplification carryover contamination in a clinical laboratory. Ann. Clin. Lab. Sci., 2004, 34(4): 389-396.

[9] 毕承恩, 瞿文金, 郑丽娟等. 核酸实验室污染原因及处理[J]. 临床血液学杂志(输血与检验), 2017, 30(1): 135-137.

[10] Hartley JL, Rashtchian A. Dealing with Contamination: Enzymatic Control of Carryover Contamination in PCR[J]. Genome Res., 2023, 10(9): 10-14.

Research on the Development and Application of AGV Small Cars at Home and Abroad

Yichen Kang

Xi'an University of Arts and Sciences, School of Mechanical and Materials Engineering, Xi'an, Shaanxi, 710000, China

Abstract

As a flexible material handling system, automatic guided vehicle (AGV) is an important part of modern automated logistics system, and it has important application significance in promoting intelligent logistics. AGV cars have received attention from researchers due to their advantages in automation. For example, they can automatically transport materials and connect production lines, improving production efficiency. They can realize automatic and intelligent access to goods and efficient sorting, freeing up manpower. In hazardous environments such as chemical and nuclear industries, they can replace manual operations to ensure personnel safety. Through the historical development of AGV small cars, and explore its development in different times, as well as the development process in different national environments and the differences and commonalities of development. This article discusses the differences and current situation of the development of AGV small cars in different environments at home and abroad, and looks forward to the future development of AGV small cars.

Keywords

intelligent robot; AGV; automatic handling

AGV 小车在国内外发展历程与应用的研究

康易辰

西安文理学院机械与材料工程学院, 中国·陕西 西安 710000

摘 要

自动导引车辆 (AGV) 作为一种灵活的物料搬运系统, 是现代自动化物流系统的重要组成部分, 在提升智能物流方面具有重要应用意义。AGV 小车以自动化优势, 得到研究的重视。例如可自动搬运物料、衔接生产线, 提升生产效率。实现货物自动且智能的存取和高效分拣, 释放人力。在化工、核工业等危险环境, 代替人工作业, 保障人员安全。通过 AGV 小车的历史发展, 并探讨其在不同时代下的发展, 以及在不同国家环境下的发展历程以及发展的差异性与共同性。本文探讨 AGV 小车在国内外不同环境下发展的历程差异与现状, 并以此对 AGV 小车在未来的发展, 进行展望。

关键词

智能机器人; AGV; 自动搬运

1 引言

随着科技的发展, 无人机智能运输设备得到重要发展与重视。近年来, 中国加快建设现代化产业体系, 推进新型工业化, 推动制造业向高端化发展。制造业装备升级迫在眉睫, 加大推动自动化、智能化设备的应用是确保绿色工厂发展的必要措施^[1]。

自动导引车辆 (Automated Guided Vehicle, AGV) 作为一种灵活的物料搬运系统^[2], 是现代自动化物流系统的重要组成部分^[3], 在提升智能物流水平方面具有重要意义和应用价值。AGV 小车以自动化优势, 得到研究的重视。例如可自动搬运物料、衔接生产线, 提升生产效率。实现货

物自动且智能的存取和高效分拣, 释放人力。在化工、核工业等危险环境, 代替人工作业, 保障人员安全。AGV 技术以其灵活的调度能力、高精度的移动性能及对生产环境的适应性, 成功解决了机械制造产线中传统物流运输的诸多问题。通过自动化的物流运输方案, AGV 能够实现物料的高效输送、精准定位和即时调度, 大幅减少人力参与, 降低生产成本, 提高产线整体运转效率^[4]。

本文探讨 AGV 小车在国内外不同环境下发展的历程差异与现状, 并以此对 AGV 小车在未来的发展, 进行展望。

2 AGV 小车的发展

本章内容将探究 AGV 小车的起源以及在发展的重要变革, 并且对比 AGV 小车在不同国家的两种发展情况的差异, 对比两种不同发展情况的各种优势与共同性, 使得对 AGV 小车的意识发展有清晰的认知。

【作者简介】康易辰 (2003-) , 男, 中国陕西西安人, 在读本科生, 从事机器人工程研究。

2.1 起源

第一辆 AGV 诞生于 1953 年,它是由一辆简易的 AGC 产品,由牵引式拖拉机改造而成,如图 1 所示,能在杂货仓库中沿着空中的导线运输货物,并与其它物流系统自动连接,从而显著提升劳动生产率和装卸搬运的自动化程度。虽然当时并无智能芯片以及自动化程序的诞生,但标志着 agv 相关的研究就此起步。



图 1 世界上第一台 AGV 小车

2.2 变革

到了 70 年代中期,由于微处理器及计算机技术的普及,伺服驱动技术的成熟促进了复杂控制器的改进,并设计出更为灵活的 AGV。

1972 年,科尔摩根 NDC 主导了在沃尔沃 Kalmar 工厂的第一套现代化的自动化导引车系统的开发和安装,如图 2 所示。至 1973 年,该系统在装配线上得到广泛应用,AGV 小车开始大量采用计算机控制装配作业,进一步扩大了其使用范围。到 20 世纪 70 年代中期,AGV 小车主要被用于自动化仓储系统和柔性装配系统的物料运输。

1984 年,经过三十余年的发展,美国通用汽车公司完成了它的第一个柔性装配系统(FAS),至此 AGV 小车的应用领域更加广泛,应用方式也变得多样化。他们采用更先进的计算机控制系统,无线式导引技术如激光和惯性导引的引入,使得 AGV 系统的灵活性和准确性得到提高。

至此,AGV 小车完成了它由固定的机械结构的运输到可灵活多变,并通过网络计算机调整,及时更改线路的飞跃性变革。



图 2 第一个现代意义上 AGV 小车

2.3 差异

在 1963 年日本首次引进 AGV,但在技术路线上,日本

与欧美走向了不同的方向。

欧美国家追求 AGV 的自动化智能化,以欧美为代表的 AGV 完全不需要人工干预路径构造,能够运用在几乎所有的搬运场合。这种 AGV 功能完善、技术先进;同时为了能够采用模块化计划,低沉计划成本,提高批量生产的尺度,欧美的 AGV 放弃了对于轮廓造型的追求,采用大部件组装的形式进行生产;系列产品的载重量可从 50kg 到 60000kg(60 吨)。这一参数直接决定了 AGV 在生产线上的物料搬运能力,确保其能够满足生产过程中不同工件和物料的运输需求^[5]。

但由于产品的功能性众多,需要大量的研究资金以及运行的系统,此类 AGV 的销售价钱还是居高不下。

日本则追求简朴单一型 AGV 技能,或者只能称其为 AGC(Automated Guided Cart),该技能追求的是简略,尽力让用户在最短的时间内收回投资成本。这类 AGV 在日本和台湾企业利用十分普遍,从数量上看,日本生产的年夜多数 AGV 属于此类产品(AGC)。

AGC 只是用来进行搬运,并不刻意强调 AGC 的自动装卸功能,在导引方面,多数只采用简朴纯粹的磁带导引方式,如图三所示。

磁条导航则因其技术成熟、路径规划简单、成本低等特点,在一些相对固定的场景中被广泛应用,但由于路径固定,灵活性和扩展性较差,难以满足产线灵活调整的需求^[6]。并不能及时的调整生产计划。这与欧美地区生产的 AGV 技术可以及时调整路线,形成强烈对比。



图 3 磁条牵引小车 (AGC)

2.4 相同

AGV 与 AGC 小车相同的地方在于,二者都使用自动化导引,都依靠自动化导引技术,如磁导引、激光导引、视觉导引等,沿着预设路径行驶,无需人工直接驾驶,能精准地在不同地点之间运输货物或执行任务,且都是无人化的运输设备,可根据预设程序和指令自主运行,减少了人工干预,提高了生产和物流过程的自动化程度,降低了人力成本,提高生产效率,有效提高了物料运输效率,提升了整体生产效率和物流运作效率。

不管是追求全自动化的欧美还是简易搬运的日本,都只是从各自的实际需求出发,让成本和效率实现最好平衡。

2.5 AGV 小车在国内的发展

在欧美和日本 AGV 技术及应用逐渐成熟之际,国内在 AGV 领域的探索才刚刚开始。由于技术差距和时间上的滞后,中国在很长一段时间内都被国外企业甩在身后。

1976 年,北京起重机械研究所研制出中国第一台三轮式 AGV。1988 年,原邮电部北京邮政科学技术研究所研制了邮政枢纽 AGV。但整个七八十年代,国内 AGV 技术的研究都还只停留在实验室阶段,并没有真正的落地应用。

然而,自从改革开放开始,中国的生产力与科技水平飞速发展。

截止于 1991 年,中科院沈阳自动化研究所/新松机器人自动化股份研究公司为沈阳金杯汽车厂研制生产了客车 6 台 AGV 用于汽车装配线中,完成了 AGV 从实验室样机到生产一线产品的跨越。

1996 年,昆船开始与 NDC 合作,一年之后,昆船建成了自己的国家重点物流实验室,并利用 NDC 技术生产了第一套 AGV 验证系统(2 台),中国的第一台激光导引 AGV 以及第一台全方位运动 AGV。至此,国内的 AGV 技术开始完善。

3 AGV 小车的应用现状

智能自动导引运输系统(AGV)广泛应用于各个行业。协助人工,完成简单单一的作物搬运以及精准运输工作,或是精准的检索物品和派送,以及代替人工,完成危险物品的运输工作。

3.1 工业制造领域与电子元件生产

在工业制造领域,AGV 小车,在汽车制造,电子制造与机械加工等领域有着重要作用:

在汽车制造方面,AGV 小车用于搬运发动机,轮胎等零部件,从装备车间运输到组装车间的指定位置,以实现准时生产,提高生产效率以及装配的精度。同时,还可搬运整车下线,从生产线运输到检测区等区域。

在电子制造方面,对物料的搬运有的高精度以及高洁净度的要求 AGV 小车能够搬运精密的电子元器件,避免人工搬运造成的静电损伤与污染,以及在定制产品的组装环节,AGV 小车可以起到在不同的工作站之间进行快速的搬运作用,从而避免人工的疏忽,对产品的影响。

3.2 物流仓储与智能码头

在物流仓储领域,AGV 小车在自动化立体仓库中扮演着重要角色,用于货物的存储和检索。它们可以根据系统指令,在货架之间快速穿梭,将货物准确地存入或取出,提高仓储空间的利用率和货物的出入库效率。在物流分拣中心,AGV 小车能够按照预设的程序对货物进行分类和搬运。在仓库内部的货物配送中,AGV 小车可以将货物从存储区域运输到出货区域,或者将货物直接配送到发货站台,实现货物的高效流转。

在智能港口和码头,港口的集装箱装卸和运输过程中,AGV 小车可以实现集装箱的自动化搬运和堆码。它们能够在港口的堆场和码头之间快速、准确地运输集装箱,提高港口的作业效率和自动化水平,减少人工操作的劳动强度和安全风险。

4 AGV 小车的未来发展与展望

在现代物流与制造业的舞台上,AGV 小车正扮演着愈发关键的角色。作为自动化物料搬运的核心设备,AGV 小车凭借其高效、精准、灵活等特性,成为推动产业升级的重要力量。展望未来,AGV 小车在技术革新与市场需求的的双重驱动下,将展现出更为广阔的发展前景。

在与其他技术的融合上,通过物联网,AGV 小车可与其他设备和系统实现无缝连接,实时共享数据,实现信息流在各个部门之间的畅通无阻;借助大数据和云计算技术,AGV 小车能够收集和分析大量的运行数据,为企业优化生产流程、提升效率、降低成本提供有力的数据支持。

未来,AGV 小车将成为智能物流和智能制造的关键节点,为各行业的发展注入新的活力,助力企业在激烈的市场竞争中脱颖而出,推动整个产业向智能化、高效化的方向转型升级。

5 结语

AGV 小车一开始由国外研发,开始制造使用,当时局限于时代的发展,只能通过简单的机械结构实现物体的移动,但随着技术进步,芯片的研发与自动化的发展,使得 AGV 小车逐渐发展成智能小车,具有高度的智能化与自动化,可以解决复杂的线路问题,并且可以根据需求随时改变小车的物流途径,代替人工完成重物的搬运以及到达人员无法到达的地区实行工作。尽管 AGV 小车有不同的发展方向与趋势,但不可否认的是,AGV 小车在未来的作用愈发重要,它将代替人工完成一系列的物体的搬运与运输,节省人力成本,在未来的科技发展中,有着举足轻重的地位与作用。

参考文献

- [1] 文啸. 制造业中智能数据中台的设计与实现 [J]. 智能制造, 2023 (5): 128-134
- [2] 王澄, 杨金娥. 冶金企业 AGV 小车精准配送定位研究 [J]. 有色金属(冶炼部分), 2024 (10): 191.
- [3] 朱辰胜, 蔡保刚, 侯玉梅. 基于系统工程方法的新能源产线 AGV 调度分析 [J]. 模具制造, 2024, 24 (08): 162-164.
- [4] 张中伟, 高增恩, 王菁锐, 等. 分布式 AGV 调度研究综述与发展趋势分析 [J]. 制造技术与机床, 2024(11): 55-61.
- [5] 田学华, 张志毅, 贾广跃, 等. 面向智能车间的空中物流系统研究与设计 [J]. 智能制造, 2022 (4): 112-116.
- [6] 赵海伦. 智能加铝物流系统在海缆铝护套生产过程中的应用 [J]. 智能制造, 2022 (3): 109-113.

Research on the Process of Additive Manufacturing Technology in the Forming of Complex Electromechanical Components

Xiaowei Fu

Qinhuangdao Drainage Co., Ltd., Qinhuangdao, Hebei, 066000, China

Abstract

Additive Manufacturing (AM) technology, which manufactures parts by layer-by-layer stacking, has been widely applied in the manufacturing industry in recent years. Especially in the forming process of complex electromechanical components, additive manufacturing technology has demonstrated its unique advantages, such as the free design of complex structures, material savings, and shortened manufacturing cycles. However, although additive manufacturing has many advantages, there are still certain challenges in aspects such as the optimization of process parameters, material selection, and surface quality control. This paper studies the additive manufacturing process of complex electromechanical components and explores the application and process improvement of additive manufacturing technology in the forming of electromechanical components.

Keywords

Additive Manufacturing Complex electromechanical components Process optimization Material selection Forming accuracy

增材制造技术在复杂机电零部件成型中的工艺研究

付小伟

秦皇岛排水有限责任公司, 中国·河北 秦皇岛 066000

摘要

增材制造技术 (Additive Manufacturing, AM), 即通过逐层堆积的方式制造零件, 近年来在制造业中得到了广泛应用。尤其在复杂机电零部件的成型过程中, 增材制造技术展示了其独特的优势, 如复杂结构的自由设计、节省材料、缩短制造周期等。然而, 尽管增材制造具有许多优点, 但其工艺参数的优化、材料选择、表面质量控制等方面仍存在一定的挑战。本文针对复杂机电零部件的增材制造工艺进行研究, 探讨了增材制造技术在机电零部件成型中的应用与工艺改进。

关键词

增材制造; 复杂机电零部件; 工艺优化; 材料选择; 成型精度

1 引言

随着制造技术的不断进步, 传统的减材制造方法面临着设计复杂性限制、生产效率低和材料浪费等问题。本研究通过分析增材制造在复杂机电零部件成型中的应用, 探讨了其工艺发展方向, 并提出了相应的优化策略。

2 增材制造技术概述与复杂机电零部件成型的特点

2.1 增材制造技术的基本原理与分类

增材制造技术 (Additive Manufacturing, AM), 也被称为 3D 打印技术, 是通过计算机辅助设计 (CAD) 模型, 逐层堆积材料来制造零部件的过程。这一技术的根本优势在于与传统的减材制造方法相比, 不需要通过预先加工模具或进

行复杂的切削、雕刻等操作, 而是直接将材料逐层堆积形成所需零部件的形状。由于增材制造技术不依赖传统模具和加工工具, 因此它可以在较短的时间内实现复杂形状零部件的制造, 极大地提高了设计自由度。

增材制造的应用领域非常广泛, 涵盖了航空航天、汽车制造、医疗、消费品等多个行业。它能够处理形态复杂、结构优化的部件, 尤其在传统加工方法难以完成的领域具有独特优势。根据不同的材料种类和制造方式, 增材制造技术可分为多个类型, 常见的几种技术如下:

选择性激光熔化 (SLM): 选择性激光熔化 (Selective Laser Melting, SLM) 是一种基于激光作为热源, 通过选择性地熔化金属粉末逐层固化的方法, 适用于金属零件的制造。SLM 技术能够精确控制激光的照射区域, 通过将金属粉末在高温激光照射下熔化, 使其逐层堆积并最终形成所需的零件。该技术广泛应用于航空航天、汽车和医疗领域, 能够制造出高强度、高精度的金属部件, 尤其适合制造复杂的几何形状, 如孔隙结构、曲面和集成功能的零件。

【作者简介】付小伟 (1987-), 男, 中国河北秦皇岛人, 本科, 助理工程师, 从事机电专业研究。

熔融沉积建模 (FDM)：熔融沉积建模 (Fused Deposition Modeling, FDM) 是利用加热挤出头将热塑性材料逐层挤出并通过冷却固化的方式制造零部件。FDM 技术是目前最为普及的 3D 打印技术之一，特别适用于塑料件的制造。其主要特点是工艺简单、成本低，适用于快速原型制作和小批量生产。FDM 可以处理多种塑料材料，如 PLA、ABS、尼龙等，并且能够实现高精度的零件制造，但在强度和耐用性方面相对较弱。

电子束熔化 (EBM)：电子束熔化 (Electron Beam Melting, EBM) 技术使用电子束作为热源，通过加热金属粉末使其熔化并逐层固化。与 SLM 不同，EBM 技术在真空环境中进行，适用于制造高强度金属部件。EBM 技术能够制造出比传统方法更高强度、更轻量化的零件，广泛应用于航空航天和医疗器械行业，尤其在需要高温耐受性和高强度要求的应用场景中有着重要地位。

立体光刻 (SLA)：立体光刻 (Stereolithography, SLA) 是利用紫外光照射液态光敏树脂，通过光聚合反应使树脂逐层固化的增材制造技术。SLA 技术常用于高精度塑料零部件的制造，尤其在原型设计、艺术品和珠宝行业中具有广泛应用。SLA 技术能够制造出精细且光滑的零件表面，适合对尺寸精度和表面质量有较高要求的部件。然而，由于其适用材料的限制，SLA 主要用于非结构性零件的制造。

每种增材制造技术在材料选择、制造精度、生产效率等方面具有不同的优势，选择合适的技术能够有效提升复杂机电零部件的成型效果，尤其是在结构优化、功能集成和精密制造方面。

2.2 复杂机电零部件的成型特点

复杂机电零部件通常具有以下几个显著特点，这些特点决定了它们的制造难度以及对制造技术的要求：

复杂几何形状：现代机电零部件的设计趋向于更加复杂的几何形状，包括多孔结构、复杂曲面、内腔结构等。传统的减材制造方法，如铣削、车削等，难以加工这些复杂的形状，尤其是那些含有复杂孔道、内部通道或多重功能集成的部件。增材制造技术能够通过逐层堆积的方式，直接在三维空间中构建出这些复杂结构，因此，增材制造成为加工这类零部件的理想选择。

高精度要求：许多机电零部件尤其是精密仪器、传感器和高端设备中的零部件，对尺寸精度和表面光洁度有较高的要求。增材制造技术具有较高的精度控制能力，能够实现微米级的尺寸精度。特别是选择性激光熔化 (SLM) 和立体光刻 (SLA) 等技术，它们能够提供极高的表面质量和精度，非常适合用于高精度部件的制造。

性能需求高：机电零部件不仅要求尺寸和形状精确，还需要具备良好的机械性能，如高强度、耐腐蚀性、耐高温性等。增材制造技术可以通过选择适当的材料，如高强度合金、耐腐蚀材料等，满足这些性能要求。此外，增材制造还

能够通过优化设计，减少零件的质量，并提升其强度和刚度。

多功能集成：现代机电零部件的设计趋向于多功能集成，即在一个零部件中同时集成多个功能，如机械功能、电气功能、热管理功能等。增材制造技术能够实现这种功能集成，因为它能够在同一零部件中构建不同的材料或结构，以适应不同的功能需求。通过增材制造，设计人员可以实现更为灵活和创新的设计方案，降低零部件数量，并减少制造过程中的复杂性。

针对这些特点，增材制造技术能够通过自由设计和精确控制来满足复杂机电零部件的制造要求，尤其在结构优化和功能集成方面表现出独特的优势。

2.3 增材制造技术在机电零部件中的优势

提高设计自由度：增材制造技术能够制造传统制造方法难以加工的复杂形状，尤其在多孔、复杂内部结构的零件上，能够通过设计优化实现重量减轻和性能提升。由于增材制造不依赖传统模具和工具，其设计空间几乎没有限制，可以充分发挥设计人员的创意，制造出具有复杂内部结构和创新形状的零部件。

减少材料浪费：与传统的减材制造方法相比，增材制造技术通过逐层堆积材料来构建零部件，避免了传统加工中材料的浪费。在传统制造中，切削和雕刻会导致大量的材料被丢弃，而增材制造通过精确控制材料的使用，大大提高了材料的利用率。这对于降低成本、减少资源浪费具有重要意义，尤其在高价值材料的应用中更加突出。

缩短生产周期：增材制造技术不需要制造复杂的模具或工具，因此可以大大缩短生产周期。尤其在原型制作和小批量生产中，增材制造能够显著减少从设计到生产的时间。在一些复杂零件的制造中，传统的制造方法可能需要数周甚至数月的时间，而通过增材制造，设计人员可以在几天内完成零件的制造。

定制化生产：增材制造技术的另一个显著优势是能够进行定制化生产。通过数字化设计和制造，增材制造能够根据客户需求进行零部件的定制，尤其适用于少量生产和复杂小批量生产。在传统制造方法中，定制化生产往往面临高昂的模具费用和长时间的生产周期，而增材制造能够以较低的成本和较短的周期完成定制化零部件的制造，满足个性化需求。

3 增材制造工艺在复杂机电零部件成型中的应用研究

3.1 材料选择与工艺参数的优化

在增材制造过程中，材料的选择对零件的性能有着重要影响。机电零部件通常要求较高的机械性能和耐久性，因此在选择材料时，必须考虑材料的强度、硬度、耐腐蚀性等性能要求。常用的增材制造材料包括金属粉末、塑料、陶瓷等。

金属材料：如不锈钢、钛合金、铝合金等，这些金属材料能够提供较好的机械性能，适用于需要高强度和高精度的机电零部件。

塑料材料：如聚碳酸酯（PC）、尼龙（Nylon）、聚乳酸（PLA）等，适用于低成本、低强度要求的零件。

复合材料：通过将增强纤维与聚合物基体结合，增强材料的力学性能，适用于高强度、复杂功能要求的零部件。

在优化增材制造工艺时，工艺参数的选择至关重要。关键工艺参数包括激光功率、扫描速度、层厚、熔池温度等，这些参数直接影响零部件的成型质量、尺寸精度和机械性能。通过实验设计和数值模拟，可以优化这些参数，达到最佳的成型效果。

3.2 成型过程中的热处理与后处理

增材制造过程中，零部件在层层堆积过程中会经历快速的加热和冷却，容易出现应力集中和变形，因此需要进行适当的热处理和后处理。热处理的目的是消除内部残余应力，提高材料的机械性能和尺寸稳定性。常见的热处理方法包括退火、淬火、时效等。后处理则包括表面处理、尺寸修正和去除支撑结构等，进一步改善零件的表面质量和机械性能。

通过优化热处理工艺和后处理流程，可以提高增材制造零件的质量，保证零部件在实际应用中的长期稳定性和可靠性。

3.3 增材制造的多功能集成应用

增材制造技术能够通过设计自由度实现多功能集成，特别适用于复杂机电零部件。通过优化设计，能够在同一零部件中集成多个功能，如结构支撑、散热、气流控制等。这一优势在航空航天、汽车制造和精密仪器等领域得到了广泛应用。

例如，增材制造技术可以通过优化内部结构实现零部件的轻量化和强度增强；在发动机部件中，增材制造技术可以集成散热和冷却功能，降低发动机的工作温度，提升性能和寿命。

4 增材制造工艺的未来发展趋势与挑战

4.1 智能化与自动化的结合

随着人工智能和机器学习技术的不断进步，增材制造工艺将更加智能化。未来，增材制造设备将具备自动优化功能，能够根据实际生产过程中的数据自动调整工艺参数，进

一步提高生产效率和零部件质量。同时，AI技术的应用也将推动增材制造的设计优化，使得零部件的设计和生产过程更加智能化和高效。

4.2 多材料和多工艺集成发展

未来的增材制造工艺将趋向于多材料、多工艺集成的方向发展。例如，金属和塑料的混合打印技术能够制造出既有强度又具备良好表面特性的零部件。同时，复合材料的应用将大大提高零部件的力学性能，满足更高的应用要求。通过集成不同材料和工艺，可以进一步提升复杂机电零部件的功能性和适应性。

4.3 环保与成本控制

尽管增材制造技术具有许多优势，但其成本仍然较高，尤其是在材料和设备方面。未来，增材制造技术的成本将通过优化工艺流程、提高设备的生产效率以及开发低成本的新型材料来进一步降低。同时，环保问题也将成为增材制造发展的重要考量。开发可回收、环保的材料，将使增材制造技术更加可持续。

5 结语

增材制造技术作为一种创新的制造方法，在复杂机电零部件成型中具有重要的应用前景。通过优化工艺参数、选择合适的材料并进行适当的后处理，可以有效提升零部件的性能和质量。然而，增材制造技术在实际应用中仍面临一些挑战，如高成本、材料选择和表面质量控制等问题。未来，随着技术的进步和成本的降低，增材制造将在更广泛的领域得到应用，并推动复杂机电零部件的生产工艺向更加高效、环保和智能化的方向发展。

参考文献

- [1] 张金峰,岳凌宇,祝颖丹,等.连续纤维增强热塑性复合材料成型工艺仿真的研究进展[J].塑料工业,2024,52(12):8-16.
- [2] 郭智威,吴祖旻,饶响,等.船舶与港口装备轻量化技术的研究现状与展望[J].现代交通与冶金材料,2024,4(06):1-14.
- [3] 高晨溪,陈健,黄常聪,等.陶瓷挤出成型3D打印技术研究与应用进展[J].陶瓷学报,2024,45(05):865-885.DOI:10.13957/j.cnki.txcb.2024.05.002.
- [4] 胡峰,侯龙轲,杨小乐,等.熔融沉积技术增材制造先进陶瓷材料研究现状和发展趋势[J].陶瓷学报,2024,45(05):849-864.DOI:10.13957/j.cnki.txcb.2024.05.001.
- [5] 孙杨.金属热熔成型系统设计及材料力学性能调控试验研究[D].吉林大学,2024.DOI:10.27162/d.cnki.gjlin.2024.008451.

The Application and Optimization of New Shape Memory Alloys in Electromechanical Actuators

Xiaohua Li

Qinhuangdao Drainage Co., Ltd., Qinhuangdao, Hebei, 066000, China

Abstract

Shape Memory Alloy (SMA), as a special functional material, is widely used in the electromechanical field, especially in electromechanical actuators, due to its unique temperature responsiveness and shape memory effect. The development of new shape memory alloy materials has made their application prospects in high-precision control systems broader. This paper analyzes the application of shape memory alloys in electromechanical actuators, and discusses their basic principles, performance characteristics, and technical challenges existing in practical applications. Combined with the latest research progress, this paper further discusses the optimization strategies of new shape memory alloys in actuators, including technical improvements in aspects such as material selection, design optimization, temperature control and power management. Through experimental verification and analysis of actual cases, the advantages and limitations of the new shape memory alloy actuator were discussed, and the future development direction was proposed. Research shows that the application of shape memory alloys in electromechanical actuators can not only enhance the flexibility and response speed of the system, but also achieve higher precision control and energy efficiency management, which is of great significance to the development of intelligent and miniaturized equipment.

Keywords

Shape memory alloy, Electromechanical actuator, Application Optimization, Temperature Control, Functional materials

新型形状记忆合金在机电执行器中的应用与优化

李小华

秦皇岛排水有限责任公司, 中国·河北 秦皇岛 066000

摘要

形状记忆合金 (Shape Memory Alloy, SMA) 作为一种特殊功能材料, 凭借其独特的温度响应性和形状记忆效应, 广泛应用于机电领域, 尤其是在机电执行器中。新型形状记忆合金材料的开发, 使得其在高精度控制系统中的应用前景更加广阔。本文通过分析形状记忆合金在机电执行器中的应用, 探讨了其基本原理、性能特点以及在实际应用中存在的技术挑战。结合最新的研究进展, 本文进一步讨论了新型形状记忆合金在执行器中的优化策略, 包括材料选择、设计优化、温度控制与功率管理等方面的技术提升。通过实验验证和实际案例分析, 探讨了新型形状记忆合金执行器的优势与局限, 提出了未来发展方向。研究表明, 形状记忆合金在机电执行器中的应用不仅能够提高系统的灵活性与响应速度, 还能实现更高的精度控制和能效管理, 对智能化和微型化设备的发展具有重要意义。

关键词

形状记忆合金、机电执行器、应用优化、温度控制、功能材料

1 引言

随着现代工业的不断发展, 对机电执行器的性能要求逐步提高, 特别是在精密控制、微型化、能效等方面。传统的机电执行器虽然在许多领域取得了广泛应用, 但其在体积、响应速度、能效和适应性方面存在一定的局限性。为了满足这些需求, 形状记忆合金 (SMA) 作为一种具备温度响应特性的智能材料, 逐渐成为机电执行器中关键的驱动部件。形状记忆合金不仅具有“记忆”效应, 能够在特定条件

下恢复原始形状, 还具备较高的能量密度和快速响应特性, 因此被广泛应用于自动化、精密仪器、机器人技术等领域。

近年来, 随着新型形状记忆合金材料的研发和制造技术的进步, 其在机电执行器中的应用也得到了显著的提升。新型形状记忆合金相比传统材料具有更高的变形能力、更多的响应速度和更长的使用寿命, 因此能够满足更为复杂和精细的控制需求。然而, 尽管新型形状记忆合金在执行器应用中展示了巨大的潜力, 但在实际应用中仍面临着温度控制、功率管理、材料选择和长时间稳定性等方面的挑战。因此, 对新型形状记忆合金在机电执行器中的应用进行深入研究, 探讨其优化设计与运行控制问题, 具有重要的理论意义和应用价值。

【作者简介】李小华 (1979-), 男, 中国河北秦皇岛人, 本科, 助理工程师。

2 形状记忆合金的基本原理与性能特点

2.1 形状记忆合金的基本原理

形状记忆合金（Shape Memory Alloys, SMA）是一类能够在特定条件下“记忆”并恢复到预设形状金属材料。其独特的性质使其在许多机电一体化设备中，特别是在执行器和传感器中具有广泛的应用。形状记忆合金的工作原理基于其晶体结构的变化过程，具体表现为在外界温度变化时，材料会发生相变并引起形变，温度变化结束后，材料则恢复到原始的形状。

在常温下，形状记忆合金处于马氏体相，这是一种相对柔软且易变形的晶体结构。当温度升高至一定值时，形状记忆合金会发生相变，从马氏体相转变为奥氏体相（高温下的晶体结构）。在奥氏体相中，材料的晶格结构更加有序，刚度更大。当温度再次降低时，材料的晶体结构会重新转变为马氏体相，并恢复到预设的形状。

形状记忆合金的相变并非仅仅是晶体结构的变化，它还伴随着宏观形变。温度变化是触发相变的主要原因，具体表现为温度升高时，材料会从变形的状态恢复到原来的形状，反之亦然。因此，形状记忆合金的工作原理可以总结为：温度引发的相变导致形状的变化和恢复。

在形状记忆合金的应用中，温度的控制和精确的相变过程是其工作的基础。例如，在医疗器械中，形状记忆合金被用作支架材料，通过温度控制，使其在体内恢复到所需的形状；在航空航天领域，形状记忆合金常用于执行器的驱动，通过温度变化实现机械的动作。

2.2 形状记忆合金的性能特点

形状记忆合金因其独特的物理特性和工作机制，在机电执行器、医疗器械、机器人等多个领域展现出强大的应用潜力。以下是形状记忆合金的主要性能特点：

高能量密度：形状记忆合金具有显著的能量存储能力，相比于传统材料，形状记忆合金能够在较小的体积内存储大量的能量。这种高能量密度使得形状记忆合金在需要小型化的应用中具有巨大优势。在执行器应用中，形状记忆合金可以通过温度的变化产生较大的形变，从而达到较高的驱动力。这一特点使得形状记忆合金广泛应用于微型设备和精密仪器中，如微型机器人、传感器等。

精确的控制能力：形状记忆合金能够根据外部温度的变化精准地恢复到预设形状，提供非常精细的控制能力。通过控制合金的温度，能够使其实现非常精确的形变和恢复，从而在高精度的机电系统中得到广泛应用。例如，在精密机械和自动化设备中，形状记忆合金能够执行精细的机械动作，如微型夹具、自动调节系统等。

自适应性与可靠性：形状记忆合金不仅能根据外部环境的温度变化自适应地调整形状，还能够复杂的工作环境中保持良好的工作性能。形状记忆合金具有较强的抗腐蚀性，适用于恶劣环境中的工作。此外，形状记忆合金具有较

长的疲劳寿命和耐久性，能够承受长期的温度变化和形变过程，因此在需要长时间稳定工作和高可靠性的应用中尤为重要。

微型化特性：形状记忆合金能够在微小空间内实现较大的形变，这使得它非常适合于微型化机电执行器的设计。微型化是现代设备趋向小型、高效的一个重要方向，形状记忆合金的微型化特性使其成为微型机器人、微型传感器和医疗器械等领域的重要材料。例如，形状记忆合金被广泛应用于心脏支架、眼科手术器械等微型医疗设备中，通过精确的形变来执行非常小而复杂的操作。

温度驱动特性：形状记忆合金的形变与其温度变化密切相关，这使得其在很多应用场合中具有优越的性能。例如，在温控系统中，形状记忆合金可以作为驱动元件，通过改变其温度来实现设备的开启、关闭、调节等操作，这种温度驱动的特性使其适用于航空航天、医疗、精密机械等领域。

2.3 新型形状记忆合金的优化

随着技术的不断发展和应用需求的多样化，新型形状记忆合金的研发不断朝着更高的性能目标迈进。研究者们正在探索通过合金成分的优化、制造工艺的改进以及智能控制系统的集成来进一步提升形状记忆合金的性能和应用范围。具体的研发方向主要集中在以下几个方面：

合金成分的优化：合金成分的优化是提高形状记忆合金性能的关键之一。通过调整合金的成分，可以改善其形状记忆效应、转换温度范围和机械性能。例如，传统的镍钛合金（NiTi 合金）在许多应用中表现出色，但其工作温度范围和机械性能仍有一定的局限性。因此，研究者们通过添加铜（Cu）、锌（Zn）、铝（Al）等元素来提高形状记忆合金的相变温度范围，以适应更为复杂和苛刻的工作环境。新型形状记忆合金的研究还集中在提高合金的应变能力、提高其转换速度和减少材料的疲劳损耗等方面。

制造工艺的改进：形状记忆合金的性能不仅取决于其化学成分，还受到制造工艺的影响。现代制造工艺，如热处理、冷加工、退火等，可以显著改善合金的微观结构，从而提高其形状记忆效应和疲劳寿命。热处理过程通过调整合金的晶体结构，使得形状记忆合金能够在特定的温度范围内表现出更好的性能。与此同时，通过改进冷加工工艺，能够精确控制形状记忆合金的晶体结构，从而提升其力学性能和稳定性。

智能控制系统的集成：形状记忆合金的一个关键优势是其能够根据温度变化精确地调整形状。因此，在许多高精度应用中，结合智能控制系统进行温度和形变的精准调控，将大大提升形状记忆合金的整体性能。通过集成温控系统、传感器以及控制算法，形状记忆合金可以在更广泛的工作环境中进行自动调节，从而实现精细化控制。例如，在医疗设备中，结合智能控制系统，形状记忆合金能够根据实时温度变化和患者的需求调整其形状，实现个性化治疗和精准

操作。

耐久性和稳定性的提升：在长时间使用的情况下，形状记忆合金容易出现疲劳失效和性能衰减。因此，提升形状记忆合金的耐久性和稳定性，延长其工作寿命，成为当前研究的重点。通过改进合金成分和优化制造工艺，能够显著提高形状记忆合金的循环寿命，降低其疲劳损耗。

3 新型形状记忆合金在机电执行器中的应用

3.1 应用背景与需求

随着现代工业自动化程度的提升，机电一体化设备对执行器的精度、响应速度和灵活性提出了更高的要求。特别是在精密工程、医疗设备、机器人技术等领域，对执行器的尺寸、效率、稳定性和控制精度有着严格的需求。传统的电动执行器或气动执行器在体积、控制精度和能效方面存在局限，而形状记忆合金作为一种新型的智能材料，能够在这些应用中发挥重要作用。

3.2 机电执行器中的应用实例

微型机器人驱动系统：微型机器人在很多领域（如医疗、维修等）中的应用越来越广泛。由于其小型化和对精密操作的需求，传统的执行器往往无法满足其性能要求。形状记忆合金驱动的执行器因其小巧、轻便和响应速度快，成为微型机器人驱动系统的理想选择。

智能医疗器械：在智能医疗器械领域，形状记忆合金可用于人工关节、血管支架等设备的控制。通过精确调控合金的形变，能够实现对这些设备的微调和精密控制，从而提高治疗效果和舒适性。

航空航天领域：在航空航天领域，形状记忆合金可用于翼型调节、推进系统和自动化控制系统的执行器中。其高能量密度和高精度控制能力，能够满足航空航天设备对可靠性和性能的严格要求。

3.3 形状记忆合金机电执行器的优化设计

温度控制与功率管理：形状记忆合金机电执行器的性能依赖于温度变化，因此，温度控制系统的设计至关重要。通过精确控制加热元件和冷却系统，可以有效地管理合金的相变温度，实现精准的形状恢复。

驱动方式的优化：为了提高执行器的效率和响应速度，驱动方式的设计需要与形状记忆合金的特性相匹配。例如，可以通过脉冲宽度调制（PWM）等方法来调节电流，从而精确控制温度和形状恢复的过程。

结构设计的优化：为了使形状记忆合金在执行器中发

挥最佳性能，执行器的结构设计需要充分考虑合金的变形特性。通过合理设计合金的几何形状、加载方式和力学约束条件，可以使其在工作过程中达到最佳的形变效果。

4 新型形状记忆合金在机电执行器中的应用优化方向

4.1 提升执行器的响应速度与精度

形状记忆合金的响应速度和精度是决定其在机电执行器中应用效果的关键因素。未来的研究可以通过优化合金材料、改进驱动技术以及提高温控系统的精度来提升执行器的响应速度和精度。

4.2 延长使用寿命与提高可靠性

形状记忆合金在高温、反复工作等条件下容易发生疲劳，因此延长其使用寿命和提高可靠性是未来优化的重点。通过选择更为耐高温、耐腐蚀的合金材料，并采用先进的制造工艺，可以提高其长期稳定性。

4.3 降低能耗与提升效率

通过优化功率管理和温度控制策略，可以有效降低形状记忆合金机电执行器的能耗，提高其工作效率。结合智能算法，能够实现对工作状态的实时调整，从而减少能量浪费。

5 结语

新型形状记忆合金在机电执行器中的应用展现出广阔的前景。通过优化合金材料、设计控制系统和改进驱动方式，形状记忆合金能够为机电一体化设备提供高效、精确和灵活的控制方式。未来，随着材料技术、控制技术的不断发展，形状记忆合金将在更多高端领域中发挥重要作用。通过深入研究其优化方法，进一步提升执行器的性能和可靠性，将为智能化设备的发展提供强有力的支持。

参考文献

- [1] 谭鑫,张洪跃,赵玉婵,等.形状记忆合金在辅助器具和康复设备中的应用[J].中国组织工程研究,2025,29(10):2113-2123.
- [2] 戚孟飞.基于形状记忆合金的机械臂结构设计与优化[J].冶金与材料,2024,44(05):16-18.
- [3] 黄思著.钛锆铝形状记忆合金热循环稳定性研究[D].西安石油大学,2024.DOI:10.27400/d.cnki.gxasc.2024.000452.
- [4] 党明珠.激光选区熔化Cu-Al-Mn-Ti/Si形状记忆合金的组织与性能研究[D].华中科技大学,2024.DOI:10.27157/d.cnki.ghzku.2024.000096.
- [5] 王博.SLM成形CuAlFe形状记忆合金的组织与性能调控[D].西安工业大学,2024.DOI:10.27391/d.cnki.gxagu.2024.000030.

Development of high-temperature and high-pressure torsion equipment and its application in material processing

Chengtao Duan

Shanghai Songjia Automation Technology Co., Ltd., Shanghai, 200949, China

Abstract

This paper introduces the development of a new type of high-temperature and high-pressure torsion equipment and its application in material processing. The equipment integrates a high-temperature heating system, a cooling system, a high-pressure loading system, a precision torsion control system and a measurement and control system, which can realize the grain refinement of materials under high temperature and high pressure conditions. By elaborating on the design principles, structural characteristics and key technological innovations of the equipment, its unique advantages in the field of materials science are demonstrated. The experimental results show that the equipment can effectively simulate the deformation behavior of materials in extreme environments, which provides an important means for the research and development and performance optimization of new materials. This study lays a foundation for the further development of high-temperature and high-pressure torsion technology, and is of great significance for promoting innovation in the field of material processing.

Keywords

high temperature and high pressure; torsion equipment; material processing; extreme conditions; Measurement control

高温高压扭转设备的研制及其在材料加工中的应用

段成涛

上海颂珈自动化科技有限公司, 中国·上海 200949

摘要

本文介绍了一种新型高温高压扭转设备的研制及其在材料加工中的应用。该设备集成了高温加热系统、冷却系统、高压加载系统、精密扭转控制系统和测量控制系统,能够在高温高压条件下实现材料的晶粒细化。通过详细阐述设备的设计原理、结构特点和关键技术创新,展示了其在材料科学领域的独特优势。实验结果表明,该设备能够有效模拟材料在极端环境下的变形行为,为新型材料的研发和性能优化提供了重要手段。本研究为高温高压扭转技术的进一步发展奠定了基础,对推动材料加工领域的创新具有重要意义。

关键词

高温高压; 扭转设备; 材料加工; 极端条件; 测量控制

1 引言

随着材料科学的快速发展,对材料在极端条件下的性能和行为研究日益重要。高温高压环境能够显著改变材料的微观结构和力学性能,为开发新型高性能材料提供了独特的机会。然而,传统的材料加工设备往往难以同时实现高温、高压和复杂变形的精确控制,限制了相关研究的深入开展。

高温高压扭转技术作为一种先进的材料加工方法,能够模拟材料在地球深处或极端工业环境下的变形过程,为研究材料的微观结构演变和性能优化提供了有力工具。近年来,国内外学者在该领域进行了大量探索,但仍面临设备精度不足、控制困难等技术瓶颈。因此,研制一种能够精确控

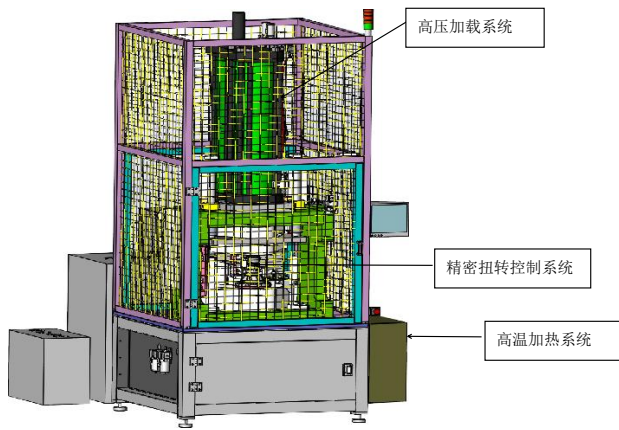
制高温、高压和扭转变形的新型设备具有重要的科学意义和工程价值。

本研究旨在开发一种集成度高、控制精度好的高温高压扭转设备,并探索其在材料加工中的应用潜力。通过创新设计和技术突破,该设备有望为材料科学领域的基础研究和应用开发提供新的实验平台,推动极端条件下材料加工技术的发展^[1]。

2 高温高压扭转设备的设计与研制

本单位所开发的高温高压扭转设备主要由四个核心系统组成:高温加热系统、高压加载系统、精密扭转控制系统和测量控制系统。

【作者简介】段成涛(1986-),男,中国山东德州人,硕士,从事智能装备、电气自动化研究。



图一、高温高压扭转设备整体结构

第一，高温加热系统采用感应加热方式，最高温度可达 500℃，并配备精确的温度控制系统，确保实验过程中温度的稳定性和均匀性。

感应加热是利用电磁感应原理将电能转化为热能的技术。其核心机制如下：当交变电流通过感应线圈时，线圈周围会产生交变磁场。若将金属导体置于该磁场中，导体内部会产生感应电动势，进而形成涡流（漩涡状的感应电流）。由于金属导体本身存在电阻，涡流通过电阻时会产生焦耳热，使导体温度升高，从而实现加热。

感应加热的关键要素包括：

(1) 交变电流频率。频率高低直接影响加热深度和效率：高频（10kHz~10MHz）：涡流集中于导体表面（集肤效应显著），适合表面淬火、小件快速加热。中频（1kHz~10kHz）：加热深度适中，常用于金属熔炼、较大零件的透热。工频（50/60Hz）：涡流渗透深度大，适用于大尺寸工件的整体加热（如钢板退火）。由于本设备加热零件属于比较小的零件，适合高频加热，因此本设备选用 25KW 分体式高频加热机。

(2) 感应线圈设计：线圈形状需匹配工件轮廓（如圆柱形、平面形），以优化磁场分布和能量耦合效率。本设备采用圆柱形线圈设计。

(3) 金属材料特性：电导率越高（如铜、铝），涡流损耗越大，加热效率越高；磁导率高的材料（如铁磁体）还会因磁滞效应额外产热。

感应加热凭借其高效、精准的特性，已成为现代工业不可或缺的关键技术，尤其在需要快速加热、局部加热或高洁净度的场景中优势显著。随着电力电子技术的发展，其应用范围还在持续扩展。

第二，高压加载系统采用气液增压缸驱动，最大压力可达 5GPa，能够满足大多数材料在极端条件下的实验需求。

气液增压缸是将气压缸与增压油缸作一体式结合，并以纯气压为动力，利用增压器的大小活塞面积的比例差，将气压的低压提高数十倍，供油压缸使用，使液压缸达到高出力动作。气液增压缸是利用气源压力（P1）推动气缸里的

大面积活塞（A1），推力（F）从大面积活塞传递到小面积的增压杆，推力（F）大小保持不变。再由小面积的增压杆（A2）推动另一端的液压油，液压油受力后推动油缸里的小面积活塞（A3）带到前轴冲压工件，从而达到输入低气压力产生高压出力的增压目的。气缸压力 $F = \text{气缸活塞的截面积} \times \text{单位截面积的压力}$ ，跟压缩没有关系，只和压缩空气的压力有关（单位截面积的压力）一般应用以下公式计算：理论出力：(1) $A = 3.14 \times D^2 / 4$ A: 气缸缸截面积 D: 气缸内径 (2) $F = A \times P$ F: 理论力 kg P: 操作压力 kg/cm (3) $N = F \times 9.81$ N/kg N: 牛顿

第三，精密扭转控制系统是设备的核心创新部分，采用伺服电机驱动，配合高精度编码器，可实现 0.01° 的扭转角度控制精度。同时，系统还集成了扭矩传感器，能够实时监测和记录实验过程中的扭矩变化。设备整体采用模块化设计，便于维护和升级，并配备了多重安全保护装置，确保实验过程的安全可靠。

本方案拟选用法兰为 130mm 的伺服电机，保持扭矩为 40N.M。输出转速为 600R/Min，减速机选用减速比为 80，有效输出功率因数为 0.8。则额定扭矩为： $T = 40 \times 80 \times 0.8 = 2560 \text{ N.M}$ 额定转速为： $600/80 = 7.5 \text{ R/MIN}$ ，可以有效控制转速在 0-7.5R/Min 内转动。

第四，测量控制系统可实现设备温度、压力、扭矩等的精准控制。通过集成的高精度温度传感器及 PID 温度控制，可实现 1° C 的精准温度控制。

PID（比例 - 积分 - 微分）控制是自动控制领域最经典的算法之一，尤其适用于温度控制场景。其核心通过实时计算偏差值（设定温度与实际温度的差值），输出复合控制量（电压、电流等）调节加热 / 冷却设备，使系统达到动态平衡。

数学表达式为：

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

$u(t)$: 控制输出量（如加热功率）

$e(t)$: 温度偏差（设定值 - 实际值）

K_p : 比例系数，快速响应偏差

K_i : 积分系数，消除静态误差

K_d : 微分系数，抑制超调，提高稳定性

温度控制的特殊性:(1)滞后性：热传导需要时间（如加热升温慢），易导致控制延迟。(2)非线性：不同温度区间热损耗不同（如高温时辐射散热加剧）。(3)惯性大：大质量物体（如金属工件）温度变化缓慢，需避免超调。

PID 温度控制系统的结构组成:(1)本设备选用 PT1000 温度传感器，用于检测实际温度，输出电信号。(2)信号调理模块：放大、滤波传感器信号，转为控制器可识别的数字量 4-20mA 电流信号。(3)控制器：本设备选用 PLC 做为温度控制器，内置 PID 算法，根据偏差计算控制量。(4)人机界面（HMI）：设定温度目标值，实时显示温度曲线、

PID 参数。(5) 执行机构：加热设备选用高频加热设备。冷却设备选用水冷机。



图二、测量控制系统

在设备研制过程中，团队攻克了多项技术难题。首先，通过优化加热线圈的设计和布局，解决了高温下温度分布不均匀的问题。其次，采用特种合金材料，确保在温度 350℃ 压力 5GPa 情况下，合金材料不发生变形、损伤等。最后，开发了先进的控制算法，实现了高温、高压和扭转变形的精确协同控制。这些技术创新显著提升了设备的整体性能，为后续的材料加工实验奠定了坚实基础^[2]。



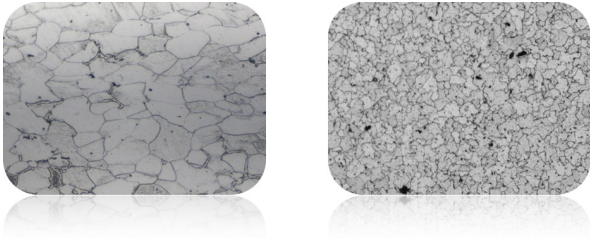
图三、高温高压扭转设备局部

3 高温高压扭转设备在材料加工中的应用

为验证设备的性能并探索其在材料加工中的应用潜力，本研究选择了几种典型金属材料进行实验。实验方案包括不同温度（0℃ -300℃）、压力（1-5GPa）和扭转角度（90° - 3600°）的组合，以全面评估设备在极端条件下的工作能力和材料变形行为。

实验结果表明，该设备能够稳定实现预设的高温高压条件，并精确控制扭转变形过程。通过对实验数据的分析，发现材料在高温高压扭转过程中表现出独特的微观结构演变规律。例如，在 200℃和 3GPa 条件下，经过 270° 扭转

的钛合金样品中观察到了显著的晶粒细化和织构转变，这与其力学性能的改善密切相关。



图四、试验前后材料晶粒变化

进一步的分析揭示了高温高压扭转对材料性能的显著影响。与常规加工方法相比，经过高温高压扭转处理的材料在强度、韧性和疲劳性能等方面均有明显提升。这种性能改善主要归因于极端条件下形成的特殊微观结构，如超细晶、纳米孪晶和位错网络等。这些发现为开发新型高性能材料提供了重要指导，也展示了高温高压扭转技术在材料加工中的巨大潜力。

4 结语

本研究成功研制了一种新型高温高压扭转设备，该设备集成了先进的高温加热、高压加载、精密扭转控制系统和测量控制系统，能够精确模拟材料在极端条件下的变形过程。通过一系列创新设计和技术突破，设备在温度、压力和扭转控制精度等方面均达到了国际先进水平。实验结果表明，该设备能够有效揭示材料在高温高压扭转过程中的微观结构演变规律，为开发新型高性能材料提供了重要手段^[3]。

高温高压扭转技术在材料科学领域具有广阔的应用前景。未来，该设备可用于研究更多种类材料在极端条件下的变形行为，探索新的材料加工工艺，并为相关理论模型的建立和验证提供实验支持。同时，设备的模块化设计也为进一步的功能扩展和性能提升留下了空间。随着研究的深入，高温高压扭转技术有望在航空航天、能源装备等高端制造领域发挥更大作用，推动材料加工技术的创新发展。

参考文献

- [1] 陈琛,花安平,于俊杰,等.高压扭转过程中不混溶Al/Zn体系的机械合金化和相变[J].Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2023, 33(12):3612-3624.
- [2] Dong Y , Wu S , He Z ,et al.Nano-scale Reinforcements and Properties of Al-Si-Cu Alloy Processed by High-Pressure Torsion[J].Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed. 2024, 39(5):1253-1259.
- [3] 钱陈豪,贺子阳,梁辰,等.高压扭转工艺制备的W-25Re合金的微观组织和硬度(英文)[J].Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2017, v.27(12):100-107.