

科技创新与工程

Technological Innovation and Engineering

Volume 1 · Issue 4 · September 2024 · ISSN 3060-8996(Print) 3060-8988(Online)

科技创新与工程

Technological Innovation and Engineering

Volume 1 Issue 4 September 2024 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



中文刊名：科技创新与工程

ISSN: 3060-8996 (纸质) 3060-8988 (网络)

出版语言：华文

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

出版社名称：新加坡南洋科学院

Serial Title: Technological Innovation and Engineering

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

Language: Chinese

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

Publisher: Nan Yang Academy of Sciences Pte. Ltd.

《科技创新与工程》征稿函

Database Inclusion



Google Scholar

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>



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 1 Issue 4 September 2024
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

- | | |
|--|---|
| <p>1 基于人工智能的电气程设备故障诊断方法研究
/ 王超</p> <p>4 数字化装配工艺技术在电子设备生产中的应用分析
/ 杨明齐 史剑</p> <p>7 连铸工艺参数优化对汽车板铸坯组织与性能的影响
/ 余志华</p> <p>10 汽车底涂视觉引导机器人喷胶应用研究
/ 韦学谦</p> <p>15 新能源工程建设成本控制与优化研究
/ 刘世隆</p> <p>18 端到端视角的制造业集群数字化转型顶层设计方案
/ 谭云婷</p> <p>24 地铁中行车安全事故防范控制与管理探讨
/ 曹国梁</p> <p>27 应用于柔性电子及喷墨打印技术的纳米银材料的研究
/ 孙立恒</p> <p>30 基于 triz 理论隧道雷达监测预警系统的研究
/ 李昊阳 袁振霞 刘伟建 彭仲凯 袁碧琦 焦利娟</p> <p>33 基于广义出行费用的乘客换乘方式选择研究——以淮安高铁站为例
/ 包天雯 马继业 张佳雪 刘玲玲</p> <p>36 复杂地质条件下的煤矿采煤掘进支护技术及其运用
/ 杨赞</p> <p>39 基于信号分析的射频模拟电路故障定位方法
/ 谢嘉威</p> | <p>42 痛析智能选线软件普及化进程
/ 马志明</p> <p>45 钛合金与高温合金焊接前的预处理工艺对焊接质量的影响研究
/ 郑守峰</p> <p>48 造纸化学品的开发及其对纸张品质的影响分析
/ 马家勇 罗军 韩孝琴 王邦法 巫新俊</p> <p>51 基于智能化技术的机械工程自动化运用及发展
/ 邬青松</p> <p>54 新时期食品快速检测在食品安全监管中的重要性
/ 周晓丽</p> <p>57 高温合金电子束焊接熔池流动行为与焊缝成形机制探究
/ 谢庆飞</p> <p>60 探讨信息化技术在海洋石油行业安全监管领域中的运用
/ 安卿</p> <p>63 自动驾驶仪与飞行管理系统的融合技术探讨
/ 赵航程</p> <p>66 两种无线通信信号检测技术研究及仿真分析
/ 代文涛</p> <p>70 基于物联网的电力机械设备远程控制系统设计与实现
/ 郑磊</p> <p>73 提高房屋建筑工程管理与施工质量的措施研究
/ 朱贺民</p> |
|--|---|

- 1 Research on fault diagnosis method of electrical engineering equipment based on artificial intelligence / Chao Wang
- 4 Application analysis of digital assembly process technology in electronic equipment production / Mingqi Yang Jian Shi
- 7 Effect of optimization of continuous casting process parameters on the organization and performance of automobile plate casting billet / Zhihua Yu
- 10 Research on the application of visual guide robot spray for automotive undercoat / Xueqian Wei
- 15 Study on cost control and optimization of new energy project construction / Shilong Liu
- 18 Top-Level Design on digital transformation of manufacturing clusters from an End-to-End Perspective / Yunting Tan
- 24 Discussion on prevention and management of traffic safety accidents in subway / Guoliang Cao
- 27 Research on nano-silver materials applied to flexible electronics and inkjet printing technology / Liheng Sun
- 30 Research on tunnel radar monitoring and early warning system based on triz theory / Haoyang Li Zhenxia Yuan Weijian Liu Zhongkai Peng Biqu Yuan Lijuan Jiao
- 33 Research on the selection of passenger transfer mode based on the broad travel cost—Take Huai'an High-speed Railway East Station as an example / Tianwen Bao Jiye Ma Jiaxue Zhang Lingling Liu
- 36 Coal mining and excavation support technology and its application under complex geological conditions / Yun Yang
- 39 Fault positioning method of RF analog circuit based on signal analysis / Jiawei Xie
- 42 Analyze the popularization process of intelligent line selection software / Zhiming Ma
- 45 Study on the Influence of Pre treatment Process on Welding Quality of Titanium Alloy and High Temperature Alloy before Welding / Shoufeng Zheng
- 48 Development of paper chemicals and its influence on paper quality / Jiayong Ma Jun Luo Xiaoqin Han Bangfa Wang Xinjun Wu
- 51 Application and Development of Mechanical Engineering Automation Based on Intelligent Technology / Qingsong Wu
- 54 The Importance of Rapid Food Testing in Food Safety Supervision in the New Era / Xiaoli Zhou
- 57 Exploration of the Flow Behavior of High Temperature Alloy Electron Beam Welding Pool and the Formation Mechanism of Weld Seam / Qingfei Xie
- 60 Discuss the application of information technology in the field of safety supervision of offshore oil industry / Qing An
- 63 Discussion on the data fusion technology of autopilot and flight management system / HangCheng Zhao
- 66 Research and simulation analysis of two kinds of wireless communication signal detection technology / Wentao Dai
- 70 Design and implementation of the remote control system for electric power mechanical equipment based on the Internet of Things / Lei Zheng
- 73 Research on measures to improve the management and construction quality of housing construction projects / Hemin Zhu

Research on fault diagnosis method of electrical engineering equipment based on artificial intelligence

Chao Wang

CNOOC Security Technology Service Co., Ltd., Tianjin, 300000, China

Abstract

With the rapid development of artificial intelligence technology, its application in the field of electrical engineering is gradually increasing. Aiming at the fault diagnosis problem of electrical engineering equipment, an artificial intelligence-based diagnosis method is proposed in this paper. First of all, by building a big data platform to collect equipment operation data, and use data preprocessing technology to clean the data; Secondly, machine learning algorithms are used to train and learn from the data. To realize fault mode identification and classification; Finally, the experimental results show that this method can improve the accuracy and efficiency of fault diagnosis effectively, especially when dealing with complex and changeable fault conditions, showing a high level of intelligence and automation. The research not only improves the technical level of traditional electrical equipment fault diagnosis, but also provides a new idea for the intelligent management and maintenance of electrical engineering equipment.

Keywords

artificial intelligence; Electrical engineering equipment; Fault diagnosis; Machine learning; Big data platform

基于人工智能的电气 Engineering 设备故障诊断方法研究

王超

中海油安全技术服务有限公司, 中国·天津 300000

摘要

随着人工智能技术的快速发展,其在电气工程领域的应用逐渐增多。本研究针对电气 Engineering 设备的故障诊断问题,提出了一种基于人工智能的诊断方法。首先,通过搭建大数据平台收集设备运行数据,并利用数据预处理技术清理数据;其次,选用机器学习算法对数据进行训练和学习,实现故障模式的识别和分类;最后,通过实验验证,该方法能有效提高故障诊断的准确率和效率,特别是在处理复杂多变的故障状况时,表现出较高的智能化和自动化水平。研究不仅提升了传统电气 Engineering 设备故障诊断的技术水平,同时也为电气 Engineering 设备的智能化管理和维护提供了新思路。

关键词

人工智能; 电气 Engineering 设备; 故障诊断; 机器学习; 大数据平台

1 引言

随着科技的快速发展,电气设备在我们生活中变得很重要。但是有时电气设备会出故障,人们需要找出原因。传统的查找原因的方法需要靠专家,这既慢又不一定准确。所以,现在我们开始使用人工智能来诊断电气设备的故障,这种方法更聪明、更快速,而且准确。我们研究的目的,就是想通过建立一个大的数据平台,使用先进的数据处理技术和人工智能,使得电气设备故障诊断更精准、更有效。这样不仅可以提升我们诊断故障的能力,还能帮助我们更好地管理和维护电气设备。

2 人工智能在电气 Engineering 设备故障诊断中的应用现状

2.1 电气 Engineering 设备故障诊断方法现状

电气 Engineering 设备的故障诊断方法在传统技术基础上经历了长足的发展^[1]。早期方法主要依赖于专家经验和规则基础的系统,这些方法以知识库和推理机制为核心,能够在一定程度上识别常见故障^[2]。由于依赖专家的知识积累和准确性,这些系统在面对复杂和非线性问题时表现出局限性。一些信号处理技术逐渐融入故障诊断领域,包括振动分析、声学诊断和红外热成像,这些方法通过捕捉设备的物理信号变化来识别潜在故障。这些物理信号诊断方法常常受到噪声和环境因素的干扰,导致检测精度受限。近年来,统计分析和模型驱动方法得到应用,如回归分析和基于仿真的建模技术,能够对设备故障发展进行建模和预测。这些方法对模型参数的选择和对实际工况的适应性提出了较高要求。在新兴技术不

【作者简介】王超(1981-),男,中国天津人,本科,工程师,从事电气研究。

断推动下,亟须一种更加智能化的解决方案来应对电气 Engineering 设备日益复杂的故障诊断需求。

2.2 人工智能技术发展现状

人工智能技术近年来发展迅速,其在电气 Engineering 设备故障诊断中的应用潜力逐步得到认知。深度学习、机器学习等技术已经在图像识别、语音处理等领域取得突破性进展,并被引入故障诊断领域。其中,深度学习能够自动提取数据特征,提高故障模式识别的准确性和效率。大数据技术的发展也为处理复杂的电气设备故障提供了支持,通过对海量数据的快速分析,能够实现潜在故障的预测和识别。人工智能算法的优化提升了处理多变故障模式的能力,即使在无明显特征的情况下也能提供准确的诊断结果。随着计算能力和算法的不断进步,人工智能在故障诊断中的应用将更加广泛和深入,为电气设备的智能化管理开辟新的途径。

3 基于人工智能的电气 Engineering 设备故障诊断方法提出

3.1 大数据平台的搭建与设备运行数据的收集

搭建大数据平台是实现电气 Engineering 设备故障诊断的基础环节。数据平台的建设需要综合考虑数据的多样性、实时性和可靠性,确保能够高效收集各类设备的运行数据。平台的构建主要包括数据采集层、数据存储层和数据处理层。数据采集层通过传感器网络和物联网技术,获取设备的电流、电压、温度等实时运行参数。数据存储层则需要采用分布式存储技术,以应对数据量庞大的挑战,实现数据的高效存取与管理。数据处理层利用先进的流处理技术和批处理技术,确保数据能够得到实时或近实时的分析处理。为了提高数据的有效性和准确性,需设计完善的数据校验和清洗机制,去除冗余和异常数据,保证数据的一致性。还应建立数据安全和隐私保护机制,防止因数据泄露导致的安全隐患。合理设计和搭建大数据平台,是后续利用机器学习算法进行故障诊断的关键前提。

3.2 数据预处理技术的应用

数据预处理技术是保障故障诊断系统准确性的重要环节。在电气 Engineering 设备故障诊断中,原始数据易受噪声影响,存在缺失值和异常值。这些问题可能导致诊断结果不准确。应用多种数据预处理方法是必要的。通过滤波技术消除噪声,提高数据的清晰度和可用性。采用插值方法处理缺失数据,以减少数据不完整带来的影响。异常值检测方法用于识别并修正不合理的数据点,确保数据的真实性。数据标准化和归一化步骤,通过将数据转换至合适的范围,提高了算法的学习效率和模型的收敛速度。这些预处理措施为机器学习算法的后续应用提供了优质的输入数据,确保故障诊断系统在识别和分类时更为准确。通过系统的预处理流程,增强了诊断方法的鲁棒性,有助于提升电气设备的故障检测水平^[3]。

3.3 机器学习算法的选用与数据训练

机器学习算法的选用与数据训练在故障诊断中至关重

要。选择适当的算法需要考虑其对电气 Engineering 设备故障数据的适应性和泛化能力。常用的算法包括支持向量机(SVM)、随机森林以及神经网络等。支持向量机能够有效分类高维数据,适用于多种故障模式的识别;随机森林具有良好的处理大规模数据集的性能,并能防止过拟合问题;神经网络尤其是深度学习模型,在处理复杂、非线性故障数据方面表现突出。训练过程中,通过交叉验证优化模型参数,并使用标准性能指标如准确率、召回率和 F1 分数评估模型效果,从而确保诊断方法的精度和可靠性。

4 基于人工智能的电气 Engineering 设备故障诊断方法的实验验证

4.1 故障模式的识别和分类的实现

故障模式的识别和分类是基于人工智能的电气 Engineering 设备故障诊断方法的核心之一。在这一环节中,实验通过收集到的大量设备运行数据进行分析与处理。应用机器学习算法,特别是神经网络和支持向量机等技术,对预处理后的数据进行训练,可以有效地识别出不同的故障模式。这些算法通过学习历史故障数据的特征,建立模型,能够自动识别和分类新发生的故障。实验中,对于多种复杂故障的分类,算法展现出了高度的识别精度和适应能力。在不同的实验场景下,识别正确率均保持在较高水平,证明了模型的稳健性。分类结果与设备实际运行记录保持一致,进一步验证了方法的可靠性。通过持续优化模型结构和参数,实验确保了该方法在多样化故障条件下的有效性,展示了在电气 Engineering 设备中的广泛应用潜力。

4.2 方法的准确率和效率的评价

在评价基于人工智能的电气 Engineering 设备故障诊断方法的准确率和效率时,进行了大量实验,利用多种故障数据集对其效果进行测试。通过应用不同的机器学习算法,包括支持向量机、决策树和神经网络等,对故障模式的识别和分类进行了深入分析。实验结果显示,该方法在大多数情况下能够达到较高的准确率,超越传统方法。针对复杂的故障场景,诊断时间显著缩短,提高了整体效率^[4]。进一步比较表明,所选算法的结合能够有效处理数据中的噪声与异常,增强了模型的鲁棒性。结果不仅验证了该方法在故障诊断中的可靠性和适用性,也为电气设备的实时监测和预防性维护提供了强有力的支持,实现了智能化管理。实验的成功为方法的推广应用奠定了坚实的基础。

4.3 对处理复杂多变的故障状况的智能化和自动化处理的能力验证

在复杂多变的故障状况处理中,智能化和自动化能力的验证至关重要。通过实验将多种故障情境进行模拟,以考察系统的自适应性。针对多类型故障模式,设计不同复杂度的场景,包括单一故障和多重故障交织情况,利用基于人工智能的方法进行实时监测和诊断。系统需要快速识别故障的根因,自动调整诊断模型以提高准确率。结果表明, AI 模

型能够在数据动态变化的环境中保持高水平的诊断精确度,自动化处理模块有效减少了人力干预时间,提高了整体响应效率^[5]。在不同复杂场景下的准确性评估中, AI 系统保持了显著优势,展示了其强大的学习适应能力和对故障模式变化的敏感性。这不仅证实了利用人工智能进行电气设备故障诊断的可行性,也为电气工程领域的智能运维提供了坚实的技术支持。

5 细致地探讨每个环节,为提高传统电气设备故障诊断的技术水平,推进电气工程设备的智能化管理和维护提供有力的理论依据

电气工程设备故障诊断的方法在人工智能的应用下得到了显著提升。大数据平台的搭建与设备运行数据的收集是整个故障诊断过程的基础。电气工程设备在运行过程中产生大量数据,包括电流、电压、温度和振动等,各项参数每日变化甚多。这些数据需要通过大数据技术进行收集、存储和管理,以便为后续故障诊断提供可靠的数据支持。大数据平台的构建不仅要求强大的数据处理能力,还需具备高效的数据采集和传输能力。通过分布式系统,可以实现大规模数据的实时处理;通过云计算,能有效降低数据存储成本,提升数据分析效率。

数据预处理技术在故障诊断中起着承上启下的作用,经过收集的数据往往存在一些不足之处,如噪声、缺失值和异常点等。这些问题如果不加处理,可能会对诊断结果产生负面影响。数据预处理包括数据清洗、数据平滑、缺失值补全和数据规约等步骤。通过数据清洗,可以去除影响分析的噪声;数据平滑可以减小数据波动对分析的影响;缺失值补全能够确保数据的完整性;数据规约则是通过减少数据维度,使模型训练更加高效,从而提高算法的训练速度和模型的准确性。

机器学习算法的选用和数据训练是故障诊断的核心环节。不同的故障模式对算法有不同的要求,常用的机器学习算法有支持向量机、决策树、随机森林和神经网络等。这些算法通过对已知数据进行学习,能够自动识别故障模式的特

征,并实现对未知数据的预测。对于复杂的电气设备故障,深度学习可通过多层神经网络结构来捕捉数据中的深层次特征,提高模式识别能力。模型训练的过程需要大量标记数据做支撑,由此获得的模型能够自动化地对未来设备运行过程中出现的故障进行诊断。

通过对基于人工智能的电气工程设备故障诊断方法的系统性研究,各个环节的优化和创新有效提高了故障诊断的效率与准确率,解决了传统技术方法中存在的诸多难题,为电气工程设备的管理和维护智能化奠定了坚实的基础。这不仅推动了电气工程领域的技术进步,也为现代智能电网的构建提供了有力支撑。

6 结语

本研究成功探索了一种基于人工智能技术在电气工程设备故障诊断中的应用方法。通过构建大数据平台并利用数据预处理技术清理数据,结合机器学习算法对数据进行高效训练和学习,实现了故障模式的精准识别和分类。实验结果验证了该诊断方法在提高故障诊断的准确率和效率方面的有效性,尤其是在处理复杂和多变故障状况时,显示出了较高的智能化和自动化水平。然而,该诊断方法在处理极端异常数据的鲁棒性和对新增故障类型的适应能力方面还存在一定的局限。未来的研究可以从优化算法和增强数据处理能力两方面进行,以提高系统的整体性能和适应性,并进一步推动电气工程设备智能化管理和维护的发展。

参考文献

- [1] 丛璋玮.人工智能在电气设备故障诊断中的应用[J].装备维修技术,2021,(26):0345-0345.
- [2] 陈严.基于人工智能技术的设备故障诊断方法设计[J].信息记录材料,2023,24(05):219-221.
- [3] 李逸轩,简凯纳,李天洲,邓青蓝.基于人工智能技术的机械设备故障诊断[J].科学大众:科技创新,2021,(07):77-77.
- [4] 王超.石油电气工程设备故障诊断系统研究[J].休闲,2020,(33):0237-0237.
- [5] 董洪禹.电气工程施工设备故障诊断分析[J].科学与信息化,2019,0(15):98-98.

Application analysis of digital assembly process technology in electronic equipment production

Mingqi Yang Jian Shi

Xi'an Institute of Mechanical and Electrical Information Technology, Xi'an, Shaanxi, 710065, China

Abstract

The continuous progress of science and technology also makes the functions of electronic products more integrated, the structure of electronic products has become more and more complex, and the requirements for production control are becoming higher and higher. The application of assembly technology under the traditional electronic equipment production mode has been difficult to meet the development requirements of the new era. In terms of improving the production and assembly efficiency of electronic equipment, the application of digital assembly technology has been more and more widely concerned by the electronic production industry. How to realize the combination of electronic equipment production and digital assembly process has become an important direction for electronic manufacturing enterprises to achieve further development. Based on this, this paper analyzes and discusses the application of digital assembly technology in the production of electronic equipment for its reference.

Keywords

digital assembly; electronic equipment production; structured process; process planning

数字化装配工艺技术在电子设备生产中的应用分析

杨明齐 史剑

西安机电信息技术研究所, 中国·陕西 西安 710065

摘要

科技的不断进步也使得电子产品功能越发集成化, 电子产品的结构组成也变得越发复杂, 对于生产控制的要求也越来越高。传统的电子设备生产模式下的装配技术应用已难以满足新时代的发展要求。在提高电子设备生产、装配效率方面, 数字化装配技术的应用越发受到电子生产行业的广泛关注, 如何实现电子设备生产和数字化装配工艺的结合, 成为电子制造企业实现进一步发展的重要方向。基于此, 文章对数字化装配工艺技术在电子设备生产中的应用进行了分析、探讨, 以供参考。

关键词

数字化装配; 电子设备生产; 结构化工艺; 工艺流程规划

1 引言

在电子设备生产过程中, 装配组装是较为关键的步骤, 并且在装配过程中的工艺应用会对电子产品的生产周期、产品质量等产生直接影响。现代电子设备的内部结构越发紧凑, 装配过程中的可操作空间也变得越来越小, 尤其是元器件内部线束密集、功能高度集成, 对电子产品的装配操作提出了更高要求。对于电子设备生产企业而言, 在进行电子产品装配过程中通常涉及模块组合装配、线路集成装配、箱柜装配等内容, 一些较为复杂的电子设备还涉及机械与电气系统的混合组装, 难度更大。做好电子设备装配工艺的设计, 是做好产品设计与装配环节衔接的重要工作^[1]。当前, 大部

分电子设备生产企业采用的装配工艺大多是以二维图纸作为设计依据, 在二维图纸上对工艺应用进行简单描述, 工艺文件信息也较为简单、单一, 许多诸如装配顺序是否准确、装配的零部件是否合适、装配操作空间是否充足等问题只有在实际装配生产过程中才会暴露出来。同时, 装配人员也难以准确把握产品工艺与设计意图, 导致电子设备的装配生产效率难以提升, 且出现较高的装配返工率。尤其是在较为复杂的电子产品装配生产过程中, 要求装配人员必须能够深入理解工艺设计理念以及工艺信息所表达需求, 才能确保较高的电子产品生产质效。近年来, 数字化装配工艺技术在电子设备生产领域中的广泛应用, 使得电子设备的研发、生产模式发生了较大改变, 尤其是三维数字模型取代了二维图纸作为电子产品研制依据, 实现了对电子设备生产装配工艺的可视化分析, 使得电子设备的生产质效得到大幅提升, 提高了企业的核心竞争力。

【作者简介】杨明齐(1979-), 男, 中国四川乐山人, 硕士, 高级工程师, 从事机电产品工艺研究。

2 数字化装配工艺技术在电子设备生产中的应用现状分析

简单来说,数字化装配工艺技术的应用,就是借助了对计算机技术等现代先进信息技术的应用构建数字化装配系统,用于对电子设备等产品的生产指导。随着数字化装配工艺技术应用领域的不断扩大,逐渐成为电子设备研发生产企业不可或缺的重要技术体系。例如,手机、平板、计算机等电子产品在人们生产生活中的广泛普及,对于电子设备的使用需求量与质量要求也在不断提升,采用传统的生产装配方式存在较大的失误率,并且生产效率较低,唯有加强对先进数字化装配工艺技术的应用,才能在越发激烈的市场竞争中占据优势^[2]。与传统的装配技术不同,数字化技术的应用能够借助对3D模拟系统的应用对电子设备进行统一装配、测试,使得生产准确性与生产效率得到显著提升。经济与科技的发展推动下,许多电子企业加强了对数字化装配技术的引进、融合,3D数字化制造业因此得到快速发展。

3 当前电子设备生产面临的主要问题

许多电子制造企业,尤其是规模较小的电子产品企业,在数字化装配工艺技术的应用方面仍然处于较为初级的阶段,即便是在某些环节应用了3D制造技术,但是应用的全面性,以及整体利用效率仍然较低,在日常生产中表现出了诸多问题。

3.1 2D模式技术水平较低

传统的2D制图模式在电子设备生产中的应用要求工作人员必须具备较好的制图能力与图纸的理解能力,但是许多设计方面的细节极易遭到忽略,或者把握不当,进而在电子设备的装配环节无法实现对工程细节的直观掌握,往往需要设计人员花费大量的实践、精力进行装配降解。加上不同员工在理解、领悟能力上有所差异,采用2D制图模式极易出现理解上的偏差,进而影响生产的进度与质量。

3.2 技术配合度较低

许多电子设备生产企业在数字化装配工艺技术应用方面的掌握水平较低,在实际应用过程中表现出了技术青涩、工艺应用一知半解等现象,尤其是在对关键环节的处理方面缺乏足够的协调性。例如,在电子设备的线路、电缆敷设方面,设计人员在进行产品设计工程中忽略了对产品工艺与电路电缆之间契合性的全面考虑,仅仅是结合自身工作经验对线路的放置空间、电路的配置等进行预估^[3]。但是不同的企业环境下空间、使用环境等条件各不相同,在完成产品设计之后再对设备空间、电路配置等进行考虑、调节,极易导致设备、电路之间的连接问题,或者是导致串联电路过多,导致后期使用与维护方面存在较大困难。

3.3 设计效率相对较低

传统的电子设备生产模式下,需要采用人工方式对作业环境、场地等进行测量、熟悉,人为操作下不免会产生各

种各样的误差、偏差问题,多次进行返工以及数据的频繁变更使得生产工作量与生产成本大幅增加,也会对生产进度产生不良影响。并且传统的电子设备装配生产还会受到生产人员情绪的影响,进而降低设计、生产效率,不利于企业的生产发展。

3.4 技术利用不够充分

当前许多企业受到传统生产理念的影响,设计、生产等形成了固定思维,对于数字化装配、自动化生产等新鲜模式的应用接受程度较低,影响了电子设备生产技术含量的提升。即便是有些企业应用了3D模型技术,但也仅仅是在设计阶段进行较为初级的应用,在后期的生产中仍然沿用传统的生产模式,数字化装配工艺技术的应用不够深入,生产失误率得不到有效改善,许多生产失误只能在完成安装之后再测试阶段暴露,增加生产成本的同时还影响了生产工期。

4 电子设备生产对于数字化装配工艺技术需求分析

经济、科技的快速发展使得人们对于电子设备的需求与要求也越来越高,传统的2D生产技术显然已然难以满足新时期的发展需求,3D模型技术成为当前许多电子企业的发展首选。电子产品生产前需要采用虚拟方式进行产品功能的测试,完成对生产数据的整合以及产品质量、性能等的评估。数字化装配工艺技术的应用借助3D模拟空间来对电子设备的生产流程、参数等进行直接模拟,确定电路、电缆等的连接位置、距离。然后结合实际安装环境与测试数据对设备装配方式、特殊生产要求等进行准确确定。以虚拟装配的方式确认和优化生产流程,更好地保障了电子设备安装的准确性,降低生产装配失误,有效降低生产成本。借助对数字化装配工艺技术的应用,转变传统的生产模式,能够有效降低企业的生产损失,提高电子设备生产的效率与合格率,缩短生产周期,提高生产效益^[4]。

首先,针对当前电子设备生产行业需求的变化,明确数字化装配工艺应用的重点在于实现有效的3D建模,弥补传统2D模式的不足。加强3D技术的应用来完善虚拟设计、装配技术体系,实现对电子设备装配工艺与制造技术应用的实时验证,以确保产品的生产质量,并且实现对产品生产整体结构可行性的有效验证。其次,实现对产品的生产监督,通过将环境数据变更与模拟数据同步,对产品模型参数进行合理调整,避免产品与生产环境之间的适配率不高而导致较大的经济损失。再者,在进行生产环境检测以及生产条件准备过程中,通过将相关数据与模型数据库相连,得到优化生产环境的最佳参数,并且电缆、电路等的敷设也能够模拟环境中进行演示,及时发现和解决生产过程中的缺陷,确保装配生产的较高准确性。除此之外,借助3D建模能够形成对电子设备生产过程的演示视频,供员工进行观摩学习,减少培训、沟通成本,降低装配操作的失误率。

5 数字化装配工艺技术在电子设备生产中的实际应用

5.1 数字化装配工艺技术应用方案

数字化装配工艺技术的应用需要结合企业实际生产环境、产品数据等,对数字化装配工艺技术应用结构进行合理划分,并充分涵括电子设备生产的产品设计、工艺设计、产品制造全过程。首先,设计人员需要将产品的相关数据输入数字化系统中进行3D建模,对产品相关信息与技术要求进行确认,完成数据归档。其次,在工艺技术设计阶段,数字化系统能够快速获取归档的产品数字信息,并结合企业实际设计环境与生产需求进行工艺流程的合理设计,不断优化基础模型,转变成为可行的虚拟模型,以此作为后期生产与产品测试依据。最后,需要结合工艺流程对产品的装配需求进行确认,打开虚拟模型为产品装配提供3D模拟环境,并进行组合测试。结合测试结果对产品数据进行调整,确保装配过程准确、可行,避免出现生产误差损失^[5]。

5.2 数字化装配工艺应用

电子设备生产过程中数字化装配工艺的应用主要包括以下几个环节:一是对设计数据进行读取、转换。不同的三维模型应用有着不同的数据存储模式,需要确保三维数据模型数据的较高完整性与准确性。以及在装配工艺实施之前需要做好实体模型的轻量化转换,提高对庞大数据的处理效率以及避免硬件升级的成本增加,提高产品设计效率。二是基于人机交互环境对数字化装配工艺进行规划与仿真。借助3D模型的虚拟环境对产品动态化装配生产过程进行规划,验证工装、工具、人体操作的装配顺序的正确性、合理性,以及严重生产装配空间的充足与否。借助虚拟环境将产品装配的顺序、流程进行动态分析,得到最优的电子设备生产流程。三是要借助数字化设计系统对生产现场进行三维可视化展示,提高现场操作的准确性,通过产品的三维模型对产品进行直接浏览、旋转、测量,实现对产品生产过程的直接观

察,掌握生产装配要点,提高对电子设备生产工艺的理解与消化水平,提高装配质效。四是进行设计工艺的一体化变更。借助3D装配示意图对电子设备生产的每一道工序进行清晰展示,并且与原设计模型进行关联,进而能够根据设计模型的变更情况进行装配工艺文件等的及时调整,并迅速反馈至生产作业现场,提高了设计工艺变更的响应速度,降低生产的时间成本。五是制定相应的规范、标准,这是数字化装配工艺应用的关键,将这些规范、标准植入到信息化系统当中,对设计模拟、生产模拟等进行引导,实现规范的、标准的产品生产流程控制。六是要重视思维转换。工艺、技术、生产等相关人员需要积极转变传统的二维设计、生产经验,建立形成三维建模与仿真分析的数字化装配设计与生产观念,更好地把控电子设备生产的数字化装配流程。

6 结语

综述可知,数字化装配工艺技术的应用相较于传统的装配技术有着较为明显优势,在电子设备生产中的应用能够有效提高生产装配的准确性与效率性,降低生产成本,对此电子设备生产企业需要积极转变传统的生产理念,加快对数字化装配工艺应用理念的深化应用,实现生产力水平的有效提升。

参考文献

- [1] 葛长健.数字化装配工艺技术在电子设备生产中的应用[J].机械设计与制造工程,2019,48(4):4.
- [2] 李云鹏.数字化装配仿真装配技术在飞机装配中的应用[J].科技创新与应用,2017(23):2.
- [3] 吴刚.数字化装配工艺在电子装备制造中的应用与探索[J].数字化用户,2022(12):46-48.
- [4] 徐宏聚.数字化装配工艺技术研究应用[J].机电产品开发与创新,2022,35(5):58-60.
- [5] 曾昭武.电子信息设备智能制造的技术热点研究[J].信息记录材料,2022(004):023.

Effect of optimization of continuous casting process parameters on the organization and performance of automobile plate casting billet

Zhihua Yu

Valin Arcelle Mittal Automobile Board Co., Ltd., Loudi, Hunan, 417000, China

Abstract

As one of the key technologies of contemporary steel production, continuous casting process plays a key role in the manufacturing of high-performance steel such as automobile plate. This paper comprehensively analyzes the core link of continuous casting process and its impact on the organization and performance of the billet, and focuses on the organizational defects and performance problems caused by improper process parameters, such as the cooling speed is too fast or too slow, and the temperature control of molten steel is not accurate enough. In addition, with the help of practical cases, the methods of optimizing the overheat of molten steel, drawing speed and cooling speed are given, which highlights the significance of accurate control for enhancing the tissue uniformity and performance stability of the billet, and gives strong guidance to the production of high quality billet.

Keywords

continuous casting process; automobile plate; casting quality; cooling speed

连铸工艺参数优化对汽车板铸坯组织与性能的影响

余志华

华菱安赛乐米塔尔汽车板有限公司, 中国·湖南 娄底 417000

摘要

连铸工艺身为当代钢铁生产的关键技术之一, 于汽车板这类高性能钢材的制造中发挥着关键作用。本文全面剖析了连铸工艺的核心环节及其给铸坯组织与性能带来的影响, 着重研讨了因工艺参数不当所导致的组织瑕疵和性能方面的问题, 像是冷却速度太快或者太慢、钢水温度把控不够精确等。另外借助实践案例的探究, 给出了优化钢水过热度、拉坯速度还有冷却速度的办法, 突出了精准控制对于增强铸坯组织均匀程度和性能稳定特性的重要意义, 给达成高质量铸坯生产给予了有力的引导。

关键词

连铸工艺; 汽车板; 铸坯质量; 冷却速度

1 引言

连铸工艺作为钢铁生产中的关键技术被大量运用在汽车板等高性能钢材的生产流程中, 伴随汽车工业针对钢材质量所提要求的持续攀升怎样借由优化连铸工艺的参数, 增进铸坯的组织结构和性能变成了亟需处理的难题。铸坯的质量径直关联着后续加工流程里的成型性、强度以及延展性等核心性能。

2 连铸工艺及其影响因素

2.1 连铸工艺概述

连铸工艺指的是把液态的钢水持续浇注至具有特定形

状的结晶器内, 借助对冷却流程的把控让其凝固成为铸坯的一种生产方式。此工艺涵盖了钢水的筹备、浇注、冷却凝固以及铸坯的拉矫与切割等一系列环节。起初钢水在完成精炼处置后由炼钢炉注入钢包, 再经由中间包进入结晶器。在结晶器当中钢水迅速降温形成坯壳, 紧接着在二冷区持续冷却最终彻底凝固成为铸坯。连铸工艺具备高效能、节能性以及连续化生产等特性已然成为当代钢铁生产的主流方法。

2.2 汽车板铸坯的组织与性能要求

汽车板铸坯的组织需要均匀且细密, 晶粒度要适度以此保障优良的塑性与韧性。一般期望获取细小的等轴晶构造, 防止产生粗大的柱状晶或者不均匀的组织, 由于这些不均匀的情况会致使铸坯的力学性能降低对后续的加工和运用造成影响。铸坯的性能需求涵盖了高强度、出色的成型性以及焊接性。高强度是为了契合汽车结构件在承载和安全层

【作者简介】余志华(1981-), 男, 中国湖南娄底人, 硕士, 工程师, 从事企业管理、冶金技术研究。

面的需要；出色的成形性能能够保证在冲压成型的过程中铸坯不会产生裂纹或者破裂之类的缺陷；而焊接性保证在制造过程中，焊接工艺能够顺畅开展确保焊缝的质量。为达成这些要求铸坯的晶粒度应当控制在适宜的区间并且等轴晶率要达到特定的比例，力学性能像屈服强度、抗拉强度、延伸率等也需要符合汽车行业的有关标准，例如抗拉强度的要求通常在 300MPa 及以上延伸率不低于 30%。

3 连铸工艺参数不合理的影响分析

3.1 连铸工艺参数不合理导致铸坯组织缺陷

在连铸的进程之中工艺参数的设定对于铸坯组织的质量有着极为关键的影响，倘若拉速、冷却强度这类工艺参数的设定缺乏合理性，就容易致使铸坯出现各类组织缺陷。拉速过快的话会致使钢水在结晶器里的停留时长不够，坯壳的厚度达不到要求或许会引发裂纹以及漏钢的情况；而拉速过慢的话则会致使坯壳加厚，加大拉坯的阻力或许会造成铸坯表面出现凹陷、脱方等问题。与此同时冷却强度设定不恰当会引发铸坯内部的温度分布不均匀，产生热应力致使裂纹出现对铸坯的内部质量造成影响。

3.2 过快或过慢的冷却速度对铸坯性能的影响

冷却速度对于铸坯的质量具备显著的作用，冷却速度太快会于脆性温度区段形成较大的热应力，易于致使铸坯产生裂纹特别是在冷却过程中塑性和韧性下降。同一时间过快的冷却还有可能抑制合金元素的析离，对铸坯的强化成效产生影响。与之相反冷却速度太慢会致使晶粒过度扩张，削减铸坯的强度和硬度同时增大铸坯的各向异性，让其在后续的加工中出现不均衡的变形对产品性能造成干扰。

3.3 流速和液面波动对铸坯质量的影响

在连铸进程中钢水的流速以及液面的波动对于铸坯质量起着关键作用，钢水流速过快会致使结晶器内坯壳的均匀性遭到破坏，提升缺陷产生的可能性像卷渣和夹渣之类；同时液面波动幅度过大会让保护渣混入钢水，造成夹渣缺陷对铸坯的表面质量产生不良影响。此外液面波动还有可能致使坯壳生长不均，加大裂纹和凹陷等缺陷出现的风险进而使铸坯的综合质量下降。

3.4 温度控制不精确对铸坯组织的影响

温度控制在连铸过程中属于极为关键的一个环节，倘若温度控制不够精准钢水过热度过高将促使柱状晶过度生长，致使铸坯的晶粒组织缺乏均匀性削弱其力学性能与塑性。而过低的过热度或许会造成钢水流动性欠佳，引发浇注不完整的情况乃至形成短浇或者冷隔缺陷。与此同时温度的不均衡还会对坯壳的凝固速度造成影响，增大裂纹和缺陷的出现概率进而极大地影响铸坯的质量。

4 优化连铸工艺参数的实践策略

4.1 优化连铸工艺参数，减少组织缺陷

在连铸流程中工艺参数的精准把控对于铸坯质量意义

非凡，特别是针对钢水的过热度、拉坯速度以及冷却系统等核心要素进行优化。钢水过热度对于铸坯的凝固过程以及组织构建有着关键的决定作用，不同种类的钢对于过热度的需求各异，过热度不论是过高还是过低都会致使铸坯产生缺陷。通常而言低碳钢与低合金钢的过热度应当把把控在 15℃~30℃ 的区间，过热度如果太高或许会造成晶粒变得粗大；而过热度太低则容易引起铸坯表面出现裂纹。有效把控拉坯速度同样是保障铸坯质量的关键办法。在冷却阶段拉坯速度太快会致使坯壳无法充分生长，有可能产生中心缩孔和疏松等状况，特别是针对高碳钢和高合金钢来讲，需要减缓拉坯速度以此保障坯壳的质量。

4.2 精确控制冷却速度与温度梯度

精准把控冷却速度与温度梯度属于铸坯质量控制的关键步骤，对于增进铸坯的组织均匀性、性能稳定性具备重大作用。在连铸流程中冷却速度直接左右铸坯的组织结构，特别是针对不同的钢种，其冷却速率的选取务必要结合钢种的化学成分以及性能需求。太快的冷却速度或许会致使铸坯表面硬化迅速形成裂痕；而太慢的冷却速度则会拖延凝固进程，造成晶粒过大对力学性能产生影响。所以科学设计并精确掌控冷却曲线，可以有效增强铸坯的组织稳定性和性能。而温度梯度的调节主要依靠冷却结构的优化，温度梯度过大会使得铸坯内部的热应力变大容易引发开裂、变形等缺陷，而过小的温度梯度则会减慢凝固速度作用于铸坯的最终质量。

4.3 改善流速控制与液面稳定性

钢液流速的把控以及结晶器液面稳定性的调控属于保障铸坯质量的关键步骤，钢液流速的不平稳会致使结晶器当中钢液流动出现混乱的状况，进而增大涡流、湍流的产生概率引发卷渣等不足之处；液面起伏过大则或许造成铸坯表面夹渣以及裂纹的情况，为优化钢液流速的控制，能够运用电磁搅拌技术以及对水口设计加以完善。电磁搅拌借助在结晶器周边施加磁场增强钢液的对流，提升流速的均匀程度同时对偏流的情况进行抑制。对于水口设计的优化，通过调节其几何形态和孔径的分布状况，促使钢液平稳地流入结晶器内部降低湍流现象的出现。另外液面的稳定性能够凭借精密的液面检测与控制体系来予以保证，比如采用激光液面计或者涡流液面传感器展开实时的监测，并通过调节拉坯的速度或者水口的开度，来维持液面的平稳状态以此降低表面缺陷的出现概率。

4.4 引入先进的温度监测与控制系统

为了增进连铸生产里的铸坯质量引进先进的温度监测与控制体系极其关键，温度监测体系以高精度的传感器作基础，借由恰当的布局和实时的数据收集达成对铸坯温度的全方位把控。在结晶器当中凭借着宽面和窄面配置多个热电偶，能够实时监控钢水的温度变动情况；在二冷区顺着铸坯

的长度方向与周向安排热电偶阵列，精确把控铸坯冷却进程中的温度梯度。数据收集完毕后体系通过自动化解析，察觉异常并即刻发出警报给操作人员给予调整的根据。与此同时基于实时数据的工艺参数动态优化性能，让温度监测系统可以切实降低由于温度起伏造成的铸坯缺陷，给连铸生产的稳定性和产品质量的提高给予了技术支撑。

以某家钢铁企业为例，此企业于其连铸生产线上引入了前沿的温度监测和控制系统且收获了突出成果。在具体施工过程中，企业起初在结晶器的内宽面以及窄面各自装设了 5 个高精度的热电偶，以对钢水的温度分布进行即时监测。

与此同时在二冷区安排了顺着铸坯方向的热电偶阵列，涵盖了铸坯的整个冷却范畴达成对温度梯度的精确把控。在实际运作当中系统凭借热电偶采集到的温度数据，察觉到某一区域的温度反常偏高。经剖析明确问题出自冷却水量的匮乏。操作人员依照系统的报警提醒，即刻增添该区域的冷却水量，并且检修冷却设施让正常冷却功能得以恢复。该企业又进一步凭借温度监测系统所提供的实时数据，对拉坯速度和冷却策略予以优化，顺利将铸坯由于温度异常所引发的缺陷率降低了 30%。另外产品的力学性能有了显著的改良，抗拉强度提高超过 20MPa 延伸率提升了大概 7%。

表一：连铸工艺参数优化策略与效果总结

优化方向	实践策略	实施措施	优化效果
优化钢水过热度与拉坯速度	减少铸坯组织缺陷，提升坯壳质量	- 控制钢水过热度范围（低碳钢：15℃ -30℃） - 调整拉坯速度，特别是在高碳钢和高合金钢生产中降低拉坯速度 - 采用自动化控制系统监控参数	- 显著减少中心缩孔和疏松问题 - 提高铸坯质量，降低废品率
精确控制冷却速度与温度梯度	提高铸坯组织均匀性和性能稳定性	- 设计钢种特定冷却曲线 - 结合气雾冷却和水幕冷却两种方式 - 优化结晶器水流道设计，控制温度梯度范围	- 降低裂纹发生率（减少 40%） - 改善晶粒均匀性，提高强度、韧性和表面质量
改善流速控制与液面稳定性	避免缺陷（如卷渣、夹渣、裂纹）	- 使用电磁搅拌技术改善钢液流速均匀性 - 优化水口设计，减少湍流 - 引入激光液面计和涡流液面传感器实时监控液面	- 降低表面夹渣缺陷率（减少 45%） - 提升屈服强度和表面质量
引入温度监测与控制系统	提升温度控制精度，减少温度波动引发的缺陷	- 在结晶器及二冷区布置多个热电偶，精准监控温度 - 通过实时数据分析与报警系统调节冷却策略与拉坯速度	- 降低温度波动引发的缺陷率（减少 30%） - 提高产品抗拉强度和延伸率，优化力学性能

5 结语

连铸工艺于汽车板等高性能钢材的生产中具备无可取代的关键作用，其工艺参数的精确把控直接决定了铸坯的质量与性能。本文凭借针对连铸工艺核心环节以及其优化策略展开的探究，深度剖析了冷却速度、拉坯速度以及钢水过热度等参数对铸坯组织均匀性和性能稳定性产生的影响。研究显示科学地调节工艺参数不但能够切实规避铸坯内部的缺

陷，而且能够明显提升钢材性能的一致性和可靠性。

参考文献

- [1] 周律敏,周汉全,李源源,等.稳定板坯7号连铸机汽车板生产的工艺实践[J].柳钢科技, 2019(2):4.
- [2] 马强,韩仁义,范立强,等.大方坯连铸工艺参数对非调质钢宏观偏析的影响研究[C]//中国钢铁年会.2013.
- [3] 陈瑾.冷轧微碳钢工艺参数对深冲性能的影响[D].华北理工大学,2010.

Research on the application of visual guide robot spray for automotive undercoat

Xueqian Wei

SAIC GM Wuling Automobile Co., Ltd., Liuzhou, Guangxi, 545027, China

Abstract

With the increasing demand for automation and intelligence in the automotive industry, the traditional manual mode of the automotive undercoat spraying process is facing a major challenge to improve the accuracy and efficiency. In this paper, based on the new project of UBS and UBC undercoating process in painting workshop, the application of vision guided robot spraying technology in automotive undercoating process is studied, and the key technical schemes such as visual identification and positioning technology, system design and selection, system calibration, robot spraying control strategy are described in detail. The production verification of the project shows that through the deep integration of visual guidance technology and robot spraying technology, the automation, intelligence and high precision of the complete process spraying process can be achieved, and the research also provides experience and technical reference for the subsequent robot system integration in related fields.

Keywords

automotive undercoat; UBS; UBC; Visual guidance robot; Calibration; Spraying process;

汽车底涂视觉引导机器人喷胶应用研究

韦学谦

上汽通用五菱汽车股份有限公司, 中国·广西柳州 545027

摘要

随着汽车工业对自动化与智能化需求的日益增长, 汽车底涂喷胶工艺的传统人工模式面临着提升精度与效率的重大挑战。本文围绕涂装车间UBS和UBC底涂工艺新项目, 对汽车底涂工艺采用视觉引导机器人喷胶技术进行了研究, 详细阐述了视觉识别与定位技术、系统设计选型、系统标定、机器人喷胶控制策略等关键技术方案。项目经生产验证表明, 通过视觉引导技术与机器人喷胶技术的深度融合, 实现完整工艺喷胶过程的自动化、智能化与高精度, 研究也为后续相关领域的机器人系统集成提供经验借鉴与技术参考。

关键词

汽车底涂; UBS; UBC; 视觉引导机器人; 标定; 喷胶工艺

1 引言

汽车底涂工艺对整车品质至关重要。传统喷胶依赖人工, 效率低且质量不稳定。视觉引导机器人通过机器视觉和精确控制, 提升喷胶准确性和一致性^[1]。业内关注系统设计和优化, 提高复杂表面适应能力和精度, 以及喷胶过程智能化, 实现智能监控^{[2][3]}。本文研究3D视觉引导机器人喷胶方案, 探索关键技术融合与创新, 为相关领域提供借鉴。

2 汽车底涂工艺需求分析

2.1 传统工艺存在的问题

汽车底涂的传统喷胶工艺长久以来面临着诸多挑战,

这些挑战主要集中在精度和效率两大方面, 严重制约了汽车制造业的高质量发展。

就精度而言, 传统喷胶工艺往往受到人为因素、设备老化以及环境条件等多重影响。例如, 操作工人的技能水平和经验直接决定了喷胶的精准度, 然而人为操作难免存在误差和不稳定性。

在效率方面, 传统喷胶工艺同样存在明显不足。首先, 人工喷胶的速度受限于操作工人的体能和反应速度, 无法实现高速、连续的喷胶作业。其次, 喷胶过程中需要频繁地进行设备调试、胶料更换等操作。最后, 传统喷胶工艺在应对复杂形状和多变喷胶需求时, 显得力不从心, 难以满足现代汽车制造业对高效率、高灵活性的生产要求^[1]。

2.2 传统输送系统定位问题

传统人工喷涂工位的车身输送系统定位精度远低于焊接工装。企业在实施机器人自动喷涂时, 需平衡高精度要求

【作者简介】韦学谦(1981-), 男, 壮族, 中国广西柳州人, 本科, 工程师, 从事汽车制造业机器人自动化领域相关研究。

与改造成本^[2]。汽车底涂工艺中,车身提升高度通常为2.0m,输送采用 stop/go 方式。进入机器人区域前,PLC 系统需与输送设备连锁控制,检测车型信息。在喷涂区,空中输送吊具需夹紧定位,精度保证在 $\pm 1.5\text{mm}$ 内。本项目采用空中托盘式摩擦输送机构,与地面滚床滑橇铰接。然而,无论是滚床滑橇还是空中托盘输送机构,其定位精度累计误差均超过 $\pm 10\text{mm}$,远低于底涂机器人喷涂工艺要求的 $\pm 1.5\text{mm}$ 。若要求整体满足车身工装定位精度,需大量投入成本,且机械定位结构复杂,维护量大,整体投入不划算。



图1 空中摩擦输送机构

因此,要消除车身定位偏差,实现精准喷胶,降低成本,研究视觉定位技术并结合控制策略,高效解决传统难题,对

提升制造业水平意义重大。

3 视觉引导机器人技术概述

3.1 视觉识别与定位技术

视觉定位技术利用三维空间信息实现物体精确识别和定位,主要依赖深度信息获取和三维重建算法。深度信息获取方法包括结构光、激光扫描和双目立体视觉。结构光通过光模式变形解算深度,激光扫描测量激光飞行时间获取深度数据,双目立体视觉则根据图像视差计算深度。获取深度信息后,通过图像预处理、特征提取与匹配、三维坐标解算等步骤,将信息转换为物体三维坐标数据,实现三维重建和定位^[4]。

3.2 数据处理

本项目采用3D视觉定位技术,利用2个高精度双目3D相机,每个3D相机是由2个相机和1个投影仪组成,其结构光是由投影仪投射出一系列条纹光,条纹光按照编码进行变换,相机拍摄到条纹后,解算物体三维点云数据,识别车身位置和姿态。先标定机器人和视觉系统,确保图像数据准确捕捉和传输^{[5][6]}。图像预处理后,提取车身关键信息,如孔、边缘等,见图2。视觉系统识别车身特征,计算出车身位置和姿态数据,传输给机器人控制系统。机器人根据数据调整喷胶轨迹,实现精准喷涂。

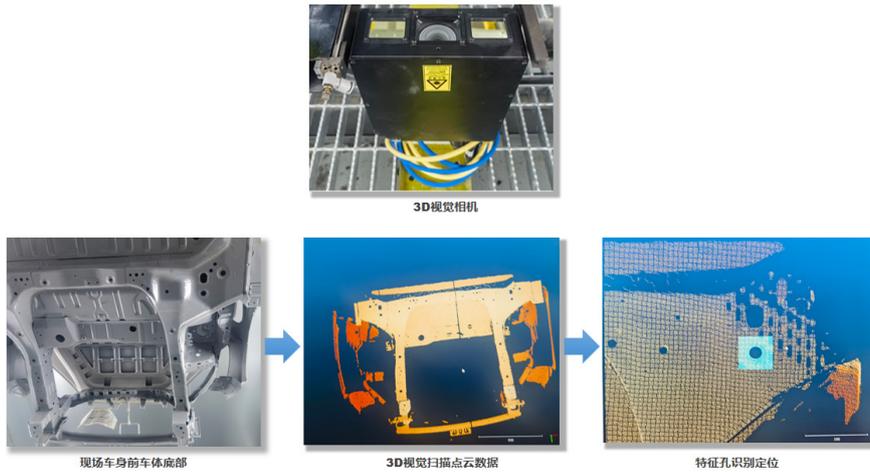


图2 3D视觉系统

4 视觉引导机器人喷胶系统设计与实现

4.1 系统硬件组成与选型

本项目系统方案如图3,硬件组成与选型至关重要,需综合考虑以确保系统性能和可靠性。机器人作为核心执行机构,选型需考虑工作环境复杂性、任务繁重性及精度效率要求。现场底涂工位车身底部高2米,故选6轴工业机器人,臂展1850mm,配置上滑移轨道轴,提高自由度和灵活性,适应不同车型。机器人刚性和稳定性良好,确保高速高负载下精确轨迹控制,满足底涂工艺要求(胶条中心与焊缝偏差 $< 1.5\text{mm}$,机器人重复精度 $\pm 0.05\text{mm}$)。采用视觉定位引导技术,两台3D视觉相机基于工位坐标系计算车身位置

引导机器人。生产过程每台车身停止位置相对于地面位置是变化的,为此通过DH参数和减速机减速比标定,控制机器人绝对精度在0.1mm内很有必要。

作为机器人的“眼睛”,视觉系统在选型时,需要光柱分辨率、精度、远近视场范围、采集识别时间等关键性能指标,以确保柔性识别多车型和满足精度和实时性要求。本项目3D视觉系统采用双目相机加结构光设计,相机参数见图5,体积小、抗干扰、正弦结构光成像快,实现2s内车身底部快速扫描建模,1s内基于点云图片数据的车身目标特征识别,快速定姿定位,位置定位精度可达 $\pm 0.1\text{mm}$,姿态定位精度 $\pm 1^\circ$,总体定位时间小于3.5s,满足产线的节拍要求。

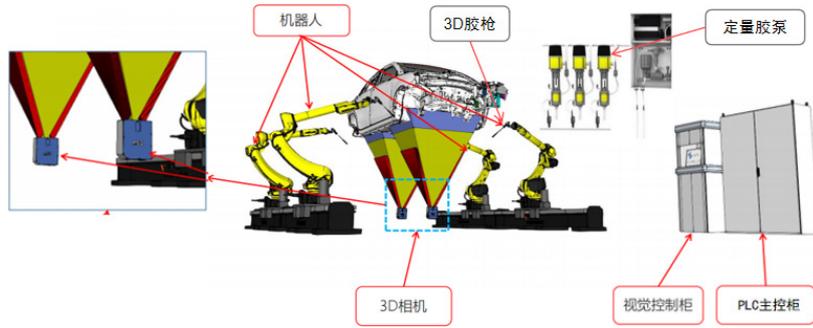


图 3 系统示意图

硬件参数	尺寸 (LxWxH)	178x198x88mm
	产品重量	2.3kg
	接口类型	M12双千兆以太网接口
	基线长度	110mm
	激光等级	Class 3R
技术参数	分辨率	1616x1240
	工作距离范围	1200-2800mm
	近端视场	460x460x200mm@1200mm
	远端视场	750x750x400mm@2000mm
	建模精度	0.04-0.08mm
	3D采集时间	0.5-1.5S
	输出结果	空间三维坐标及姿态信息X,Y,Z,A,B,C
环境参数	识别精度	目标位置坐标±0.1mm,目标姿态±0.5°
	识别速度	1-3S
	工作温度	0-50°C
	存储温度	-20-70°C
电源要求	湿度	20%-90% RH 无凝结
	防护等级	IP65
电源要求	输入	AC200-240V 50/60HZ
	输出	DC 24V 10.5A

图 4 相机技术参数

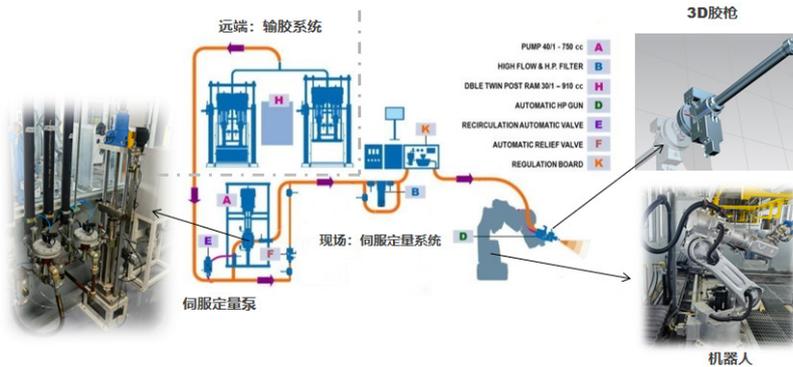


图 5 输胶架构

喷胶设备选型，见图 6，需要考虑胶量控制、喷涂压力、速度等，使用伺服定量泵精确控制流量，压力监控和调压阀控制输胶压力，3D 胶枪提供三向胶嘴，易于受限空间使用，

这些核心设备应用，使得喷涂扇幅不稳定、胶型褶皱、喷胶拉丝等喷胶问题得到很好的控制，提升轨迹柔性和喷涂效率，满足汽车底涂工艺要求。

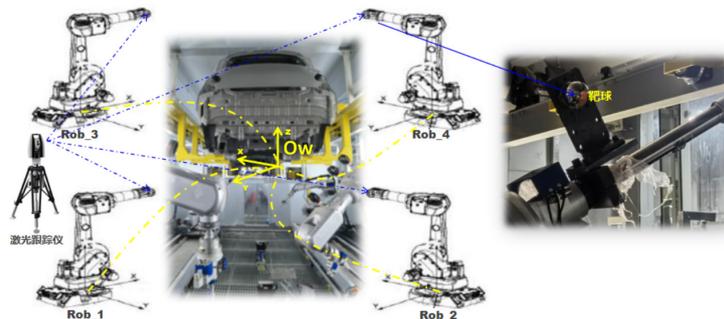


图 6 系统建标

4.2 系统建标

在本项目中，系统坐标系建标是至关重要的一环。它涉及车身、机器人和视觉相机三方坐标系变换的测量标定，对应我们需要全局坐标系建标、多机坐标融合、手眼标定等多个关键标定工作，这几项标定测量工作是确保底涂 4 台机器人在统一的全局坐标系下能够被视觉系统精准引导协同对同一台车身进行喷涂的基础。

全局坐标系的建立为机器人提供了一个统一的参考框架，使得不同位置、不同姿态的机器人能够在这个共同框架下进行视觉引导机器人轨迹偏移规划，从而实现精确的定位、导航与协同作业。本次项目采用三坐标激光跟踪仪，配合其使用的靶球在工位两侧机器人滑移轨道上各采集 2 个点，合计 4 点利用跟踪仪软件拟合出工位平面，经过工位中心点（就是车身底部中心位置正下方）垂直于该平面的法线作为全局坐标系的 Z 轴，车身输送方向定义为 X 轴也就是轨道上 2 个采样点，Y 轴即随之确认，此时坐标系原点还在靠近地面位置，为了减少视觉数学模型误差，我们尽可能把坐标系原点定义在靠近白车身底部的位置，通过机器人手持靶球，在靠近车身底部中心下方，取参考点位，将坐标系整体平移至参考点，见上图 7，最终锁定实际三维空间中的全局坐标系 O_w 。在实际生产过程中，车身的停止位靠近此全局坐标系原点附近，视觉系统计算出来的校正矢量应该很小，有利于机器人的喷涂轨迹引导校正。

多机坐标融合是多机器人系统协同工作的一个关键技术，它涉及将多台机器人的基座标数据进行统一处理，以得到一个全局一致的坐标系数据，以便视觉系统能够统一引导这些机器人的运动轨迹进行偏移。本项目全局坐标系建立完毕后，需要确认 4 台机器人基座标与全局坐标系之间的转换关系，为此我们继续将靶球固定在底涂机器人的第 6 轴手持的工具上，见图 7，每台机器人基于各自的基座标系，分别带着靶球示教 18 个 Fine 精确到位的轨迹点，其中包括 10 个平移和 8 个旋转轨迹点，得到每台机器人的示教器上

18 组轨迹点的六维坐标值，在机器人依次逐个走完 18 个点位的同时，激光跟踪仪基于全局坐标系也同时对应检测记录靶球 18 个三维坐标值。示教测量采集的 18 组数据后，本次项目引入一个数学工具 Orange Apps RobFit 进行相应三维空间变换矩阵计算，见图 8，得出的每台机器人坐标系变换矩阵。视觉软件中使用这个变换矩阵，就可以将世界坐标中视觉定位车身的坐标分别转换成每台机器人基座标系坐标值。

手眼标定是机器人视觉与运动控制领域中的一项关键技术，其目的在于确定机器人手部（即末端执行器）与相机之间的相对位置和姿态关系。这种关系的准确标定对于实现机器人的精确抓取、操作以及与环境的有效交互至关重要。在手眼标定过程中，基本原理涉及多个坐标系的转换与对齐。首先，需要明确机器人基座标系、机器人手部标系以及相机标系之间的关系。机器人基座标系是整个机器人系统的参考坐标系，而机器人手部标系则与机器人末端执行器固连，随其运动而变化。相机标系则是以相机为中心建立的坐标系，用于描述相机观测到的环境信息。手眼标定的核心在于求解手部标系与相机标系之间的变换矩阵，这通常包括旋转矩阵和平移向量两部分^{[4][5][6]}。为了求解这一变换矩阵，需要在视觉相机近端和远端视场范围以及工作距离内采集多组机器人手部在不同位置下的标定板图像数据，见下图 10，拍照后的图像数据导入本次项目智能 3D 引导系统软件中，将标定板特征点进行匹配与对齐计算，得到最终标定结果文件。本次项目 4 台机器人已经通过坐标融合统一到全局坐标系中，因此手眼标定的工作只需要在其中 1 台机器人进行，相应标定结果通过视觉系统关联其余各台机器人。

以上标定工作完成后，由控制系统获取车身输送到位信息，触发 3D 相机拍照识别特征进而视觉软件计算出白车身在全局坐标系下的准确位置，经过标定阶段得出坐标转换矩阵计算，分别得出 4 台机器人坐标系偏移的喷胶轨迹，最终实现车身精准喷涂。

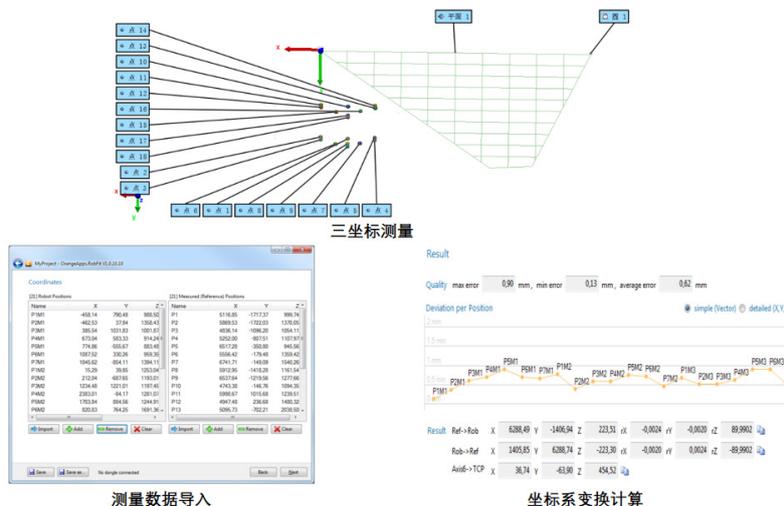


图 7 坐标转换计算

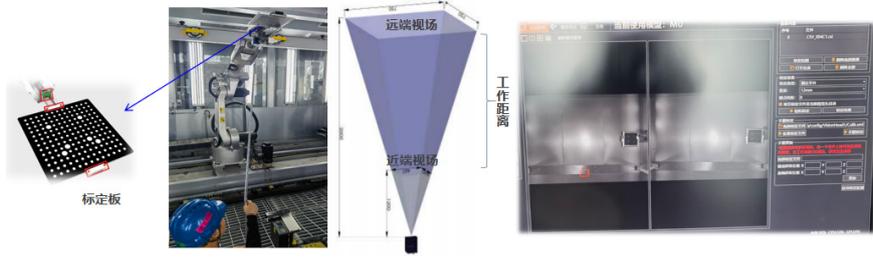


图8 手眼标定



图9 实验验证

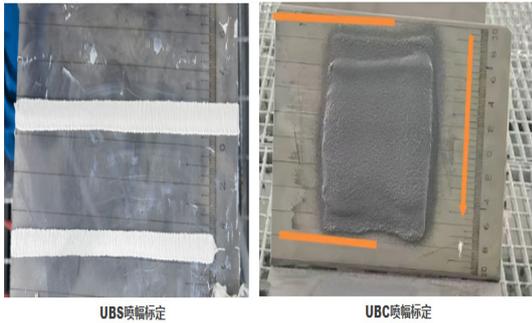


图10 喷胶参数标定

4.3 系统实验验证与实车喷涂

系统设计与实现后，我们进行了实验验证与性能评估。此过程包括车身位置偏移模拟、实验参数设置、数据收集与分析，以及性能评估。车身偏移模拟中，人为调整合车定位，多次测试统计偏差，确保实验条件与生产环境契合，见图11，以准确评估系统性能，测得XYZ平均偏差范围为0.3mm~0.5mm。



图11 实车喷涂

实验参数设置根据喷胶工艺要求，调整了机器人运动速度、喷涂压力、喷幅及视觉系统识别精度等关键参数，这对后续结果的准确性和可靠性至关重要。在控制策略上，关联控制输胶系统与机器人运动速度是关键，通过调整枪距、速度、涂胶流量和压力控制胶型变化，固定值通过标定板标定。通常UBS枪距(20±2)cm，UBC枪距(25±5)cm，枪速(400~600)mm/s，建议统一车型吐出量参数，避

免炸枪、胶型不一、起枪点堆胶等问题，确保喷幅稳定。

在实验数据收集与分析环节，我们记录了机器人喷胶轨迹、喷胶量、均匀性等数据，评估系统表现，找出问题与改进方向。最终性能评估阶段，综合实验数据，评价视觉引导机器人喷胶系统，指标涵盖精度、效率、稳定性。与传统工艺相比，系统显著提升精度与效率，保持稳定。大批量生产验证，喷涂质量见图13，证明其在汽车底涂应用中的可行性和有效性。

5 结论

本次研究，基于项目成功实现了汽车底涂视觉引导机器人喷胶应用，详细分析了系统硬件的组成选型和视觉系统建标过程，确保各子系统的协调高效运作，3D视觉引导技术实现了图像处理、识别定位、高效控制等关键功能，为喷胶过程的自动化与智能化提供了有力支持。截至目前，系统在实际生产中已通过长期实践验证和完善，该系统在实际应用中具有良好的可行性和稳定性，能够满足汽车底涂喷胶工艺需求。未来，在关注行业动态和技术发展趋势的同时，我们将探索更为先进的视觉识别算法和机器人控制策略，进一步提升整体系统性能，以期对相关领域研究实践提供借鉴参考。

参考文献

- [1] 孙小忠 汽车PVC密封胶线生产过程中产生的问题分析 现代涂料与涂装 2010
- [2] 李振房 关于UBC喷涂自动化设备的研究 现代涂料与涂装 2024
- [3] 周宝仓 机器视觉技术研究现状及发展趋势 河南科技 2021
- [4] 张明文 工业机器人视觉技术及应用 人民邮电出版社出版 2020
- [5] 郭源 基于3D相机的拆垛机器人手眼标定方法研究 组合机床与自动化加工技术 2024
- [6] 茅靖峰 工业机器人手眼标定综合实验设计 实验室研究与探索 2024

Study on cost control and optimization of new energy project construction

Shilong Liu

Qinghai Yellow River upstream hydropower development Co., Ltd., Xining, Qinghai, 810008, China

Abstract

With the transformation of the global energy structure and the rapid development of new energy technologies, the position of new energy engineering construction in the energy field has become increasingly prominent. However, the complexity and high technology content of new energy engineering projects make its cost control face many challenges. Based on this, this paper carried out a new energy project construction cost control and optimization research. This paper aims to reveal the key factors of cost control by analyzing the cost composition and characteristics of new energy engineering construction, and put forward corresponding optimization strategies and methods. Through this study, it is expected to provide useful references for cost control and optimization in the field of new energy engineering construction, and promote the sustainable development of new energy engineering projects.

Keywords

new energy; Engineering construction; Cost control; Optimization strategy

新能源工程建设成本控制与优化研究

刘世隆

青海黄河上游水电开发有限责任公司, 中国·青海 西宁 810008

摘要

随着全球能源结构的转型和新能源技术的快速发展, 新能源工程建设在能源领域中的地位日益凸显。然而, 新能源工程项目的复杂性和高技术含量使得其成本控制面临诸多挑战。基于此, 本文开展了新能源工程建设成本控制与优化研究。本文旨在通过分析新能源工程建设的成本构成和特点, 揭示成本控制的关键因素, 并提出相应的优化策略和方法。通过本文的研究, 期望能够为新能源工程建设领域的成本控制与优化提供有益的参考和借鉴, 推动新能源工程项目的可持续发展。

关键词

新能源; 工程建设; 成本控制; 优化策略

1 引言

随着全球对环境保护和可持续发展的日益重视, 新能源的开发和利用已成为全球能源结构转型的重要方向。新能源工程, 如风电、光伏等, 作为新能源领域的重要组成部分, 其建设和运营对于推动能源转型、促进经济可持续发展具有重要意义。然而, 新能源工程项目的复杂性和高技术含量使得其成本控制成为一个亟待解决的问题。新能源工程建设涉及多个环节和多个参与方, 成本控制不仅关系到项目的经济效益, 还直接影响到项目的进度、质量和可持续发展。因此, 如何有效控制新能源工程建设的成本, 成为一个具有现实意义和理论价值的研究课题。

2 新能源工程建设成本构成剖析

2.1 初始建设成本

初始建设成本是新能源工程启动阶段的关键投入, 在总成本中占据相当大的比重。以风力发电场为例, 土地购置成本因项目选址不同而差异显著。在土地资源稀缺的沿海地区, 土地购置费用可能高达总投资的 10% - 20%, 而在土地相对丰富的内陆地区, 这一比例可能在 5% - 10% 左右。设备采购是初始建设成本的核心部分, 风力发电机的采购成本约占总投资的 40% - 60%, 其价格受单机容量、技术先进程度等因素影响, 先进的大容量风机虽然单价较高, 但发电效率也更高, 从长期来看可能降低单位发电成本。基础设施建设涵盖道路修建、变电站建设等, 约占总投资的 15% - 25%, 良好的基础设施是保障设备运输和电力输送的基础, 对项目的顺利运营至关重要。初始建设成本直接决定了项目的启动资金规模, 影响项目的投资决策和后续发展。若初始建设成本过高, 可能导致项目融资困难, 增加投资回收压力, 甚

【作者简介】刘世隆 (1984-), 男, 中国青海西宁人, 硕士, 高级工程师, 从事水利水电、新能源工程建设研究。

至使项目因资金短缺而停滞。

2.2 运营与维护成本

运营与维护成本是新能源工程在运行过程中的持续性支出，对项目长期成本有着深远影响。人力资源成本是运营与维护成本的重要组成部分，包括技术人员、管理人员的薪酬及培训费用等，约占运营与维护总成本的30% - 40%。随着新能源技术的不断发展，对专业技术人员的需求日益增加，人力成本也呈上升趋势。日常维护费用涵盖设备的定期检修、零部件更换、润滑剂补充等。技术更新成本是为了适应新能源技术的快速发展，对现有设备进行技术升级或更换所产生的费用，随着行业技术的不断进步，技术更新成本在运营与维护成本中的占比逐渐提高，可能达到10% - 20%，忽视技术更新可能导致设备性能下降，发电效率降低，从而增加长期运营成本。

2.3 融资成本

融资成本在新能源工程建设中占据重要地位，主要包括贷款利息和股权融资成本等。贷款利息是通过银行贷款等债务融资方式获取资金所产生的费用，其高低受贷款利率、贷款期限和贷款金额等因素影响。若新能源项目获得低息贷款，且贷款期限较长，如一些政策性银行提供的长期低息贷款，贷款利息成本相对较低，可能在项目总成本的10% - 15%；但如果贷款利率较高，贷款期限较短，利息成本则会显著增加。股权融资成本是通过出让公司股权获取资金所付出的代价，如向投资者支付股息或红利等，股权融资成本通常与企业的盈利能力和市场预期相关，盈利能力强、市场前景好的项目，股权融资成本相对较低，但可能会稀释原有股东的权益。不同融资方案对成本的影响差异较大，债务融资虽利息支出明确，但会增加企业的债务负担和财务风险；股权融资虽无需偿还本金，但会分散企业控制权，且股息红利的支付也具有不确定性。

2.4 政策与法规成本

政策与法规成本对新能源工程建设成本结构有着重要影响。税收优惠政策能直接降低企业成本，如一些国家和地区对新能源企业实施税收减免，减免企业所得税、增值税等，使企业在运营过程中资金压力减轻，成本降低，可能减少总成本的5% - 10%。补贴政策则为新能源项目提供资金支持，如中国对太阳能光伏发电项目给予度电补贴，有助于提高项目的经济效益，吸引更多投资，补贴政策在一定程度上改变了项目的成本效益比，使原本成本较高的新能源项目更具可行性。环保法规对新能源工程建设也提出了严格要求，企业需投入资金用于环保设施建设和运营，以满足污染物排放等环保标准，这增加了项目的建设和运营成本，如建设污水处理设施、废气净化设备等，环保成本可能占总成本的3% - 8%^[1]。

3 新能源工程建设成本控制难点洞察

3.1 技术不确定性导致的成本预算难题

在新能源工程领域，新兴技术如新一代太阳能光伏技

术、海上风电技术、智能电网储能技术等发展迅猛。以钙钛矿太阳能电池为例，这一新型光伏技术近年来发展迅速，其理论光电转换效率高于传统晶硅电池，但由于技术仍处于发展阶段，稳定性和长期可靠性尚未得到充分验证。在应用该技术进行项目建设时，企业难以准确预估设备采购成本、研发投入成本以及后期维护成本。一方面，技术的不成熟可能导致设备的频繁更换和维修，增加额外的成本支出；另一方面，随着技术的快速进步，可能需要不断投入资金进行技术升级和改进，使得成本预算的准确性大打折扣。这种技术不确定性使得新能源工程的投资回报周期难以准确预测，增加了投资风险。

3.2 材料价格频繁波动的影响

新能源项目所需的原材料，如光伏项目中的硅、风电项目中的稀土等，其价格受到全球市场供需关系的显著影响。在光伏产业中，多晶硅作为主要原材料，其价格近年来波动剧烈。当全球对光伏产品需求旺盛，而多晶硅产能不足时，多晶硅价格会大幅上涨。

例如，在某一时期，由于新兴市场对光伏发电的大力推广，多晶硅需求激增，价格在短短几个月内上涨了50%，导致光伏项目的材料采购成本大幅增加，直接压缩了项目的利润空间。而当产能过剩，需求相对稳定时，价格又会大幅下跌，给企业库存管理带来挑战，若企业前期高价囤积原材料，可能面临资产减值损失。

3.3 项目管理与执行效率低下问题

在新能源工程建设中，项目管理与执行环节存在诸多问题，导致资源浪费和时间拖延，进而增加项目成本。在一些风电项目建设中，由于项目规划不合理，施工场地布置混乱，导致设备运输和安装效率低下，大量施工设备和人力闲置，造成资源的浪费。同时，施工进度计划执行不力，缺乏有效的监督和协调机制，使得项目工期延长，增加了人工成本、设备租赁成本等。

据统计，部分风电项目因管理不善，实际工期比计划工期延长了20% - 30%，成本相应增加了15% - 25%。此外，项目参与各方之间沟通不畅，信息传递不及时，也容易导致施工过程中的重复作业和错误施工，进一步增加成本。提升项目管理和执行效率，需要建立科学合理的项目管理体系，明确各部门和人员的职责，加强沟通与协调，引入先进的项目管理工具和技术，优化施工流程，提高资源利用效率。

3.4 法规政策变化带来的成本控制复杂性

新能源工程建设受到法规政策的影响较大，政策的变化会直接影响项目的资金投入和成本结构。补贴政策的调整对新能源项目成本影响显著。如国家对太阳能光伏发电项目的补贴政策，若补贴标准降低或取消，项目的收入将减少，企业为了维持项目的盈利能力，可能需要增加投资，改进技术以提高发电效率，降低运营成本，这无疑增加了成本控制的难度。环保法规的日益严格也对新能源项目提出了更高的要求。

例如,在海上风电项目中,为了满足海洋生态保护法规的要求,企业需要投入更多资金用于环保设施建设和生态监测,以减少项目对海洋生态环境的影响,这使得项目的建设和运营成本增加。企业需要密切关注政策法规动态,提前做好应对策略,加强与政府部门的沟通与协调,积极争取政策支持,以降低政策变化带来的成本控制风险^[2]。

4 新能源工程建设成本优化方法与策略解析

4.1 优化设计方案

推行限额设计是优化设计方案、降低工程成本的重要手段。在新能源工程设计阶段,根据项目的投资估算和预算要求,对各个设计环节设定明确的成本限额。例如,在太阳能光伏电站设计中,对光伏组件选型、支架结构设计、电气系统布局等方面进行成本限制,确保在满足发电效率和安全性能的前提下,将成本控制在合理范围内。设计团队应在限额内进行多方案比选,综合考虑技术可行性、经济性、环保性等因素,选取最优设计方案。

通过优化设计方案,可有效降低工程材料用量、减少施工难度和工期,从而降低工程成本。如在某风电项目中,通过优化风机基础设计,采用新型的基础结构形式,在保证基础稳定性的同时,减少了混凝土和钢材用量,降低了基础建设成本约15%。同时,优化后的设计方案还缩短了施工周期,减少了设备租赁和人工成本,进一步降低了项目总成本。

4.2 加强采购管理

集中采购能够充分发挥规模优势,降低采购成本。新能源企业可整合内部采购需求,与供应商进行集中谈判,争取更优惠的价格和条款。以大型风电企业为例,通过集中采购风力发电机、塔筒、电缆等设备和材料,采购价格可降低10% - 20%。建立长期稳定的合作关系,对于确保材料质量和供应稳定性具有重要意义。长期合作的供应商为了维护合作关系,会更加注重产品质量和服务水平,同时在价格上也可能给予一定的优惠。企业还应建立完善的供应商评估体系,从产品质量、价格、交货期、售后服务等多个维度对供应商进行定期评估,及时淘汰不合格供应商,选择优质供应商,确保采购的设备和材料质量可靠,价格合理,供应及时。

4.3 提升项目管理效率

建立高效的项目团队是提升项目管理效率的关键。团队成员应具备丰富的新能源工程经验、专业知识和良好的沟通协作能力。在项目实施过程中,明确各成员的职责和分工,加强团队内部的沟通与协作,提高工作效率。使用项目管理软件,如Project、Worktile等,能够对项目进度、成本、质量等进行实时监控和管理。通过软件制定详细的项目计划,

设置关键里程碑和任务节点,实时跟踪项目进度,及时发现和解决问题,确保项目按时完成。例如,在某新能源项目中,通过优化施工顺序,将设备安装和调试工作交叉进行,缩短了项目工期30天,节省了设备租赁和人工成本约50万元。

4.4 实施绩效考核机制

设定明确的考核指标是实施绩效考核机制的基础。对于新能源工程项目团队和部门,考核指标应包括成本控制目标完成情况、项目进度完成率、工程质量达标率、安全事故发生率等。将成本控制目标细化分解到每个部门和岗位,明确各部门和岗位在成本控制中的责任和任务。对项目团队和部门进行定期考核,根据考核结果进行奖惩。对于成本控制效果显著、完成考核指标的团队和个人,给予奖金、晋升、荣誉证书等奖励;对于未完成成本控制目标的团队和个人,进行相应的处罚,如扣减绩效奖金、警告、降职等。通过绩效考核机制,激励全员积极参与成本控制,提高成本控制的积极性和主动性^[3]。

4.5 推动技术创新

研发新技术、新工艺是降低新能源项目成本的重要途径。以太阳能光伏技术为例,通过研发新型光伏材料和电池结构,提高光伏电池的光电转换效率,降低光伏发电成本。目前,一些新型钙钛矿太阳能电池的实验室光电转换效率已超过25%,若能实现大规模产业化应用,将大幅降低光伏发电成本。采用智能化运维技术,利用大数据、人工智能等技术对新能源设备进行实时监测和故障预测,实现设备的精准维护,减少设备故障停机时间,降低运维成本。

5 结语

综上所述,新能源工程建设成本控制与优化是一个复杂而系统的过程,需要全面考虑各种成本因素并采取针对性的措施进行优化,在市场竞争日益激烈的环境下,新能源企业将更加注重成本控制与优化,通过不断创新和提高管理水平,提升自身的核心竞争力,推动新能源产业的健康、可持续发展。展望未来,随着全球对清洁能源需求的持续增长,新能源工程建设将迎来更广阔的发展空间。在技术创新方面,预计将不断涌现出更高效、更经济的新能源技术,进一步降低新能源工程的建设和运营成本。

参考文献

- [1] 王晓明.新能源工程建设成本控制与优化研究[J].能源工程学报,2020,7(3):50-65.
- [2] 李磊,张伟.新能源项目管理中的成本控制与优化策略[J].能源经济,2019,15(2):30-45.
- [3] 张静,刘强.新能源技术创新对建设成本的影响分析[J].新能源技术,2018,5(1):20-35.

Top-Level Design on digital transformation of manufacturing clusters from an End-to-End Perspective

Yunting Tan

China Electronics Science and Technology Group, Guangzhou, Guangdong, 510000, China

Abstract

The digital transformation of the manufacturing clusters is a parallel engineering within the Digital Economy. It strategically aims at achieving greening and high-end manufacturing, upgrades manufacturing by digital technologies and strengthens the digital industry synchronously, thereby develops the regional digital economy. Industrial clusters serve as regional economic units, their digital transformation involves stakeholders from multiple levels and various fields. However, identifying digital value in the manufacturing sector from a digital product perspective is challenging. This article analyzes the digital transformation of the manufacturing industry based on a systems architecture methodology. Through trend analysis and stakeholder analysis, it designs a three-tier user profile model aimed at green digital transformation, forms a solution with '1+3+2' architecture.

Keywords

User Profile; digital transformation of the manufacturing clusters; Industrial Internet; digital economy; Top-level Design; architecture design

端到端视角的制造业集群数字化转型顶层设计方案

谭云婷

中电科普天科技股份有限公司, 中国·广东广州 510000

摘要

制造业数字化转型是一项数字经济的并行工程,其战略意图是以制造业绿色化、高端化发展为目标,以数字技术驱动制造业转型升级,同步推进数字产业,实现区域数字经济整体提升。产业集群是一个区域经济单元,其数字化转型涉及多层次、多领域利益相关者,传统的数字产品视角往往难以覆盖产业层面的数字化价值。本文基于体系架构方法论分析制造业数字化转型,通过端到端的总体分析视角,设计一套面向绿色数字化转型的三层用户画像模型,进而通过逐层需求分析,输出“1+3+2”数字化方案架构,形成一套纵向“双碳”达成、横向产业协同、可持续创新推进的顶层设计方案。

关键词

用户画像; 产业集群数字化转型; 工业互联网; 数字经济; 顶层设计; 架构设计

1 制造业数字化转型趋势

1.1 个性化市场驱动柔性化生产能力

制造业的产品生产模式经历了手工生产、大批量生产、大规模定制化生产,目前逐步进入到多品种小批量的大规模个性化生产阶段,在四个阶段的演进中,产品的生产效率与质量稳定性,在大批量生产阶段达到顶峰。丰厚的市场利润引入了更多的市场主体,尤其在供给侧充分竞争的领域,质量成了企业的生命线,制造企业也在多样化产品、定制化服务中寻找更多的增量空间,并以敏捷的市场响应机制,在用户市场占领先发优势。

从制造企业运营创新角度来看,柔性制造能力是多样化的产品、定制化的服务、敏捷响应市场的解决方案。柔性

制造性能力主要体现在两个方向,一是以“事”为导向的柔性组织,围绕产品生命周期构建高效的价值链体系,汇聚设计研发—物料/零部件供应—生产制造—物流配送—营销推广为主线的产业生态,共同推进产品的创新与市场化渗透。另一个方向是以“机”为核心的柔性产能,围绕物料配送、车间工序、质检品控,构建可编排的生产能力,基于共性的生产单元,通过整体编排或物流衔接的方式,构成适应大、小批量生产,兼容多品类产品的柔性生产线。

柔性的组织、柔性的产能可采用平台化、智能化两种数字化能力切入赋能。平台化运营面向产业集群、制造企业,采用网络化协同的方式,共享产业链、供应链资源,推进企业的良性竞合与产业的持续创新。智能化生产面向制造企业,聚焦生产现场的产线、设备推进数字化、网络化、智能化升级,围绕质量、效率、成本三项价值因素挖掘现场的数字化场景创新,构造性价比高、多品类个性化产品的核心竞争力。

【作者简介】谭云婷(1980-),女,中国广东南海人,硕士,高级工程师,从事信息化规划设计研究。

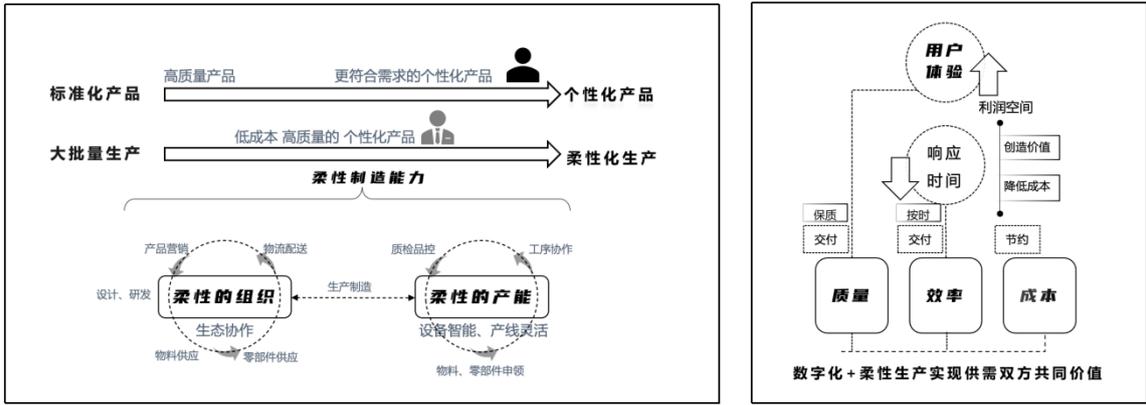


图 1 制造业柔性化升级与制造企业数字化价值的核心三要素

1.2 “双碳”战略下的绿色化转型责任

制造业绿色转型是均衡生产空间与生活空间的主要任务。位于生产空间的工业制造活动从大自然获取生产资料，依赖用电设备制造产品，同时向大自然排放污染，一旦排污超过了大自然的消纳能力，生活空间的土地资源、大气环境、洁净水体受损，将直接影响公众的生活环境。另外，环境影响的另一个因素，是制造业数字化、网络化、智能化的升级的道路上，工业生产设备将越来越多，化石能源为主的供电方式产生大量碳排放，这也是“双碳”战略下制造业发展的一项严峻的挑战。因此，制造业需要走绿色可持续发展之路，通过提升资源利用率、节约减排技术改造、行业配套服务等途径，实现制造业绿色转型升级。

制造业绿色转型的策略是源头节约、末端控排两头并进，辅以资源化利用推进“零”排目标。

政府、协会作为行业监管与服务主体，围绕产业绿色转型升级主要包括治理、服务两方面工作。在治理域，把控制约型社会、“零”排式生产的总体目标，在资源供给、污染排放两头进行额度控制与均衡调度，动态监测企业用水、用电、排污情况，推进制造企业的绿色转型升级；在创新域，通过平台化服务聚合绿色服务生态，为制造企业提供再生利用、净化排放等环保公共服务，推进制造业绿色产业生态的

创新发展。

制造企业作为资源利用与污染排放的主体，在绿色升级的过程中，围绕材料、水、电、污等治理要素，建立源头节约、资源化利用、末端治理三道关卡，在三个节点中推进场景式的数字化点状创新，最大限度实现企业“零”排。

1.3 绿色的数字化转型方向

制造业数字化转型主要有两个方向，一是柔性生产能力，以智能化升级、平台化服务建立低成本、高质量的敏捷制造能力，迎接个性化定制这一市场发展趋势；二是绿色可持续发展能力，在配额总控的约束性条件下推进源头节约、资源化利用、净化排放的场景化创新，构造“零”排方案，应对日益严峻的环境压力。从产业角度考虑，制造业数字化转型的目标是制造业集群普惠升级与产业绿色可持续发展。

2 制造业数字化转型三层用户模型

面向柔性化生产、绿色化转型的发展趋势，制造业数字化转型的关注主体涉及三个层面的七类核心角色，形成区域、产业、企业三级用户体系，形成区域绿色数字化发展—产业链高效协同—企业智能化生产三层数字化需求，以“绿色化转型+生态化发展”的数字化战略为指引，建立集群数字化生态能力，推进产业链数字化协同，赋能企业数字化转型。

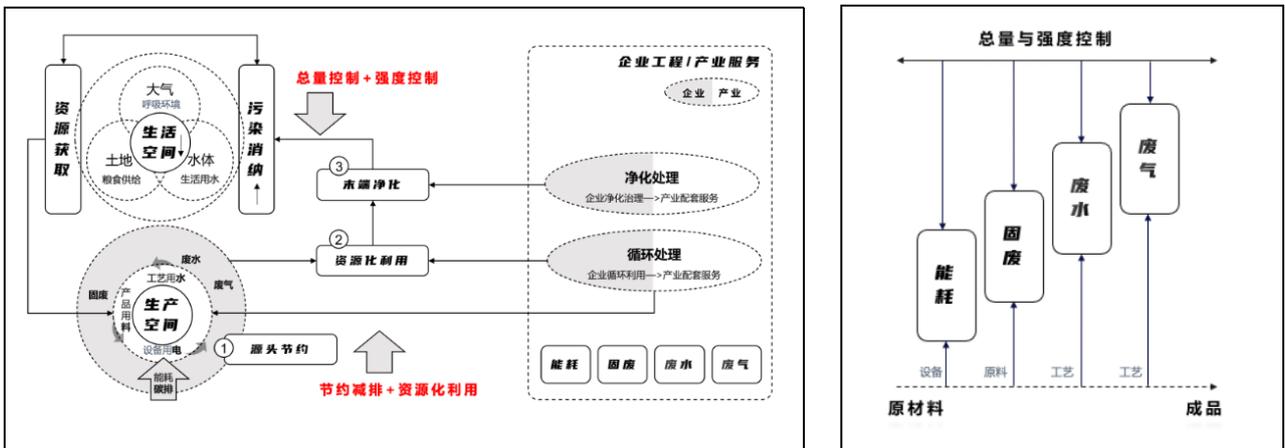


图 2 生产空间与生存空间的平衡发展关系及环境影响因素

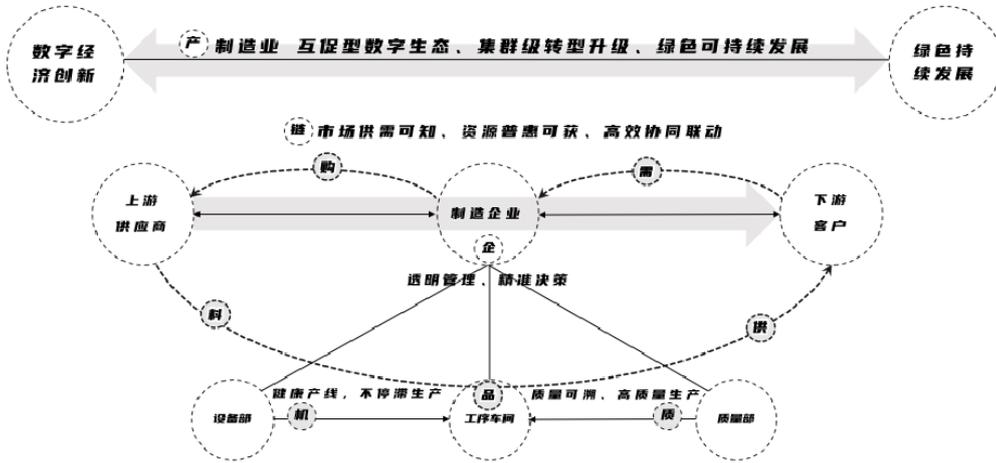


图 3 制造业数字化转型三级用户画像

区域绿色数字化战略。区域级用户角色以政府为主，聚焦数字经济、“双碳”可持续发展的目标推进产业集群数字化转型，打造区域绿色智能的制造业品牌。集群级用户的目标是培育区域智能化生产、平台化服务的数字服务生态，推动区域制造业数字化、绿色化转型，形成数字产业化、产业数字化的良性发展态势。

产业链网络化协同。产业链用户角色以制造企业为中心，向上、下游分别延伸供应链企业与下游市场客户，形成三类用户角色，构成一条供需闭环。制造企业以订单为载体，积极响应市场需求，向上游供应商采购产品加工所需的原材料，形成需求链；在产品制造过程中，企业以工单为载体启动生产，获取上游原材料进行制品加工、成品包装与运输，为下游客户提供产品服务，形成供给链。此环节通过二次供需链条，完成原材料→产品→服务的价值递增。

企业级智能化生产。企业级用户主要指制造企业内产品制造相关的核心部门，涉及管理部门、工序车间、设备部门、质检部门四类用户。在管理部门综合管控下，以工序车间为核心，上、下延伸至设备部门、质量部门，形成四类用

户角色。技术、生产、环保等综合性部门统一归为管理部门，下发工作要求，实时监测生产动态，调度各方资源保障生产，各工序部门协作完成产品制造，通过质检部门的过程、最终检验通过后，为下游客户提供高质量的产品服务，同时，设备部门做好设备日常维护与应急检修，确保一条生产“不停滞的健康产线”。

3 制造业数字化转型痛点与需求分析

3.1 数字化需求分析概述

在数字化推进过程中，政府、企业构成三层用户体系具有不同的目标诉求，也存在不同视角的痛点需求。政府在数字经济的推进中，面临环境与经济的权衡难点，以及数字化需求牵引无力的问题，需要建立一个可持续发展的绿色数字化生态；制造企业在数字化转型中，在横向协作方面，面临上游议价难、中游成本高、风险追溯难等问题，需要一个供需可知、资源可获、高效协同的能力平台，在垂直管控方面，需要建立透明管理能力解决生产管控盲区问题，实现外部高效协同，对内质效可控、优质交付。

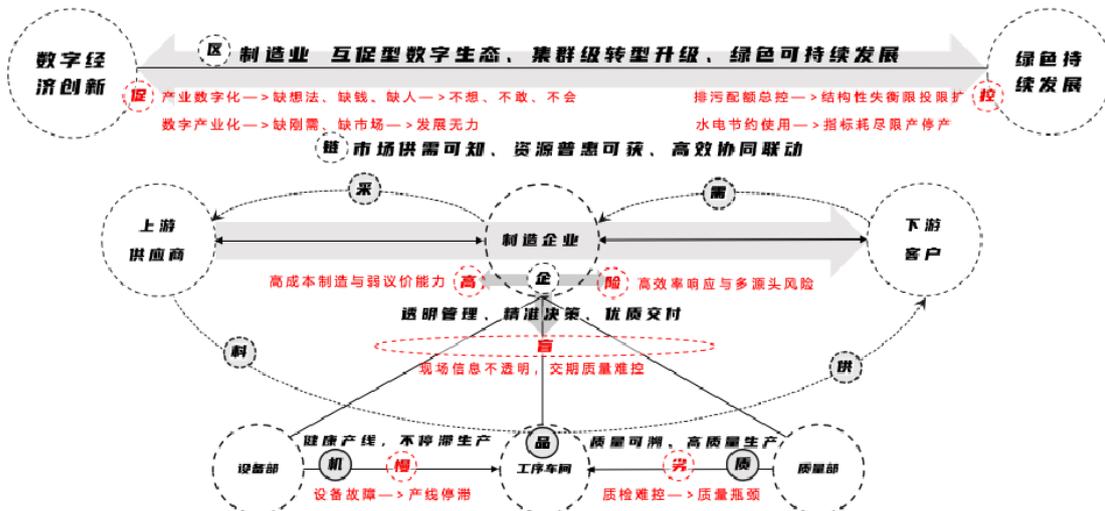


图 4 基于三级用户画像的痛点与需求分析

3.2 政府“促”与“控”的痛点与需求

在产业集群绿色数字化转型战略中,政府以“促”与“控”的方式,通过政策引导推进制造业数字化转型与区域环境资源保护。在促进面,以数字化转型为创新主动力发展数字经济,推动制造业转型升级的同时,发展数字产业;在控制面,围绕节约型社会与“双碳”目标,采用配额调控的方式,以最小的环境与资源代价,推进制造业整体均衡发展、全面稳步上升。政府在数字化、绿色化推进过程中,主要面临两项挑战。

3.2.1 区域产业升级痛点分析

①产业环境协调失衡。

水、电是制造业的核心资源,自动化产线、清洗或化学工艺为主的制造业具有高能耗、高水耗、高排放的产业特征,政府对水、电、污进行配额治理一直存在决策权衡的难点,如果配额不足会限制新项目投产、扩产,而超额分配则会导致总量不足,甚至是存在环境风险。

②数字化需求牵引无力。

数字化是长周期的投入型项目,大部分企业,尤其是尚处于生存阶段的中小企业,在缺资金、缺技术、缺人才的情况下,数字化投入的意愿较低,也难以形成需求充足的数字化市场,从而难以依托“供需互促”的方式进一步孵化数字化技术与生态。

③数字化创新不持续。

在数字化创新推进中,缺少普惠便捷的数字化基础设施与高价值数字化场景,大、中、小企业创新能力不平衡。大企业投入数字化、绿色化设施设备,持续提升生产效率、质量与清洁生产能力,沉淀了有价值的数字化、绿色化成果,由于定制化要求高,未能普及中小企业,行业数字化、绿色化呈现设施不完善、能力未覆盖、创新不持续的情况。

3.2.2 区域绿色数字化发展需求

政府层面的数字化需要建立产业集群绿色数字化综合治理与服务能力,包括绿色数字化、数字普惠化、创新可持续三项能力。从绿色数字化方向切入,推动区域、企业绿色转型发展;在数字普惠化方面,政府推动区域数字化基础设施、数字化生态体系的建设,配套资金、人才等产业数字化公共服务,实现制造业“数字惠企”;维护区域数字生态与产业集群良性互动与健康发展的数字环境,保障创新可持续。

3.3 产业链“供”与“需”的痛点与需求

从产业链视角观察,制造企业作为实体经济的价值中心,沿产业链向上、下游拓展,进一步延伸上游供应商、下游客户两类角色。制造企业既是供给侧,也是需求侧,从需求牵引角度出发,制造企业作为供给方,面向需求市场,持续建设自身交付、创新能力,提升市场竞争力,作为需求方,围绕市场订单寻求价格合理、质量保障、稳定供给的原材料与设备供应商。

3.3.1 产业链协同的痛点分析

①高成本制造与弱议价能力。

定制化产品议价能力低、品控难,制造成本高。个性化市场的驱动下,定制化产品成为市场热点,以创新持续推进市场满意度,从而驱动了供应链的整体价值提升。定制化产品一般采用多品类、小批量的制造模式,难以形成规模效应,从而削弱了上游原材料的议价能力,制造过程、品控难度也进一步加大,从而增加制造成本。

②高效率响应与高风险库存。

库存可提升交付效率,也增加了投入的成本与风险。市场关注产品供给的时效性,产品从原材料开始,到半成品、成品,最后触达市场的过程中,往往设置有合理的冗余库存,有效应对需求激增、上游缺料、运输中断等突发情况,避免下游断供风险,一旦市场预测失准,将导致库存成本过高、滞销产品等问题。

③风险溯源面对多环节参与主体。

产品缺陷涉及多环节主体,责任难追溯。产品从原材料、制品、成品、走向市场的过程中,质量、碳足迹问题贯穿产业链各环节的加工制造、仓储运输过程,下游出现的质量、环保等问题难以溯源、追责,将增加责任成本。

3.3.2 产业链高效协作需求

为了应对高成本制造、高库存风险、多环节溯源的问题,产业链建立市场感知、供需对接、集成采购、跟踪溯源的产业链数字化协作能力,解决议价不公平、库存不可控、产品难溯源等问题,实现产业链各环节价值最大化。

3.4 企业“质”与“效”的痛点与需求

3.4.1 企业管控的痛点与需求

①管控盲,车间信息不透明,交付效率难把控。

管控难以深入车间生产现场,成本效率难管控。生产活动位于车间现场,依赖生产设备开展生产制造,也是能耗、水耗、排污集中区域,车间生产设备、生产过程的聋、哑、盲现象将形成车间协作、生产实况等信息的断点、堵点,上层管理无法实时掌握现场生产进度、合规情况,采用粗放管理、滞后管理的方式存在交付、环保风险。

②品控难,人、机、物问题难溯源,质量难追责。

产品缺陷涉及内、外部多环节、多来源,问题定位追责难。在制造过程中,产品质量的问题可归纳为人、机、物三方面问题,人为操作失误、机器运行故障、原材料缺陷导致均可导致产品缺陷问题的产生。其中,原材料的质量问题来源于上游供应商,也存在仓储环境引起的材料问题,人为问题、机器问题在各工序车间中产生。

3.4.2 企业透明管理需求

透明管控能力包括生产管控与绿色管控两项能力,涉及横向透明管理与纵向透明管理。纵向打通从管理到执行层面的信息流,保障生产目标进度、生产指令等信息的上传下达;横向贯穿产品生命周期建立车间级、产线级、设备级实

时信息能力，监测效率、质量、环保等问题。及时发现、解决生产堵点，提升产品的交付、品控能力，同时推进绿色品牌建设，提升企业的市场竞争力。

4 制造业数字化转型顶层视角方案

4.1 “1+3+2” 数字化方案架构

从产业集群数字化转型的角度观察区域、产业、企业的三级问题，自上而下归纳为产业环境失衡、发展不均衡、创新不持续三类问题，涉及区域产业经济、产业数字化转型、数字化产业发展三个范畴。围绕环境、产业、创新三类问题，可搭建“1+3+2”绿色数字化平台体系，从顶层绿色切入、

中层平台共享、底层创新支撑三个方向搭建产业集群数字化能力，推进制造业绿色健康发展、能力普惠覆盖、持续创新升级。

“1+3+2”绿色数字化方案架构，以一个数字底座，承载能源与资源治理、产业链供需服务、数字化公共服务三项数字化子系统，结合数字化人才培养、数字化生态创新两翼能力，形成可迭代成长的创新态势，实现区域绿色数字化、产业数字化服务、数字化基础设施与可持续创新三项能力，持续推进产业集群绿色转型、资源普惠共享、大中小企业共同成长、协同共创。

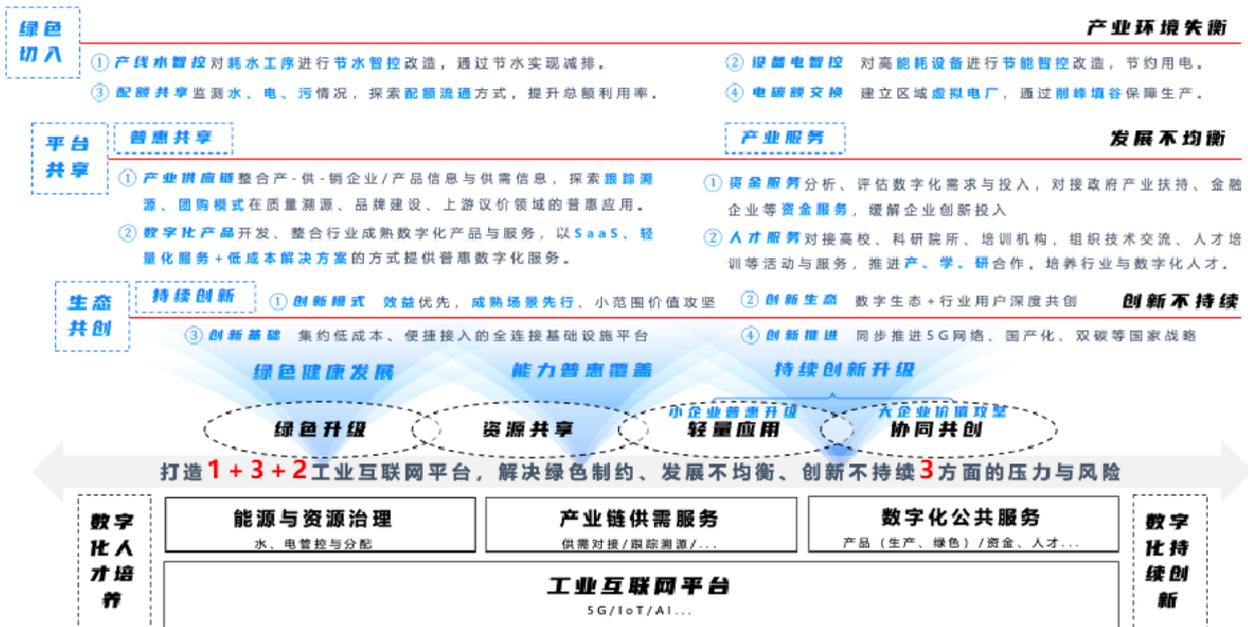


图 5 “1+3+2” 绿色数字化方案与三层数字化能力建设

4.2 绿色数字化切入区域产业升级

顶层能力区围绕国家“双碳”推进目标，推进绿色数字化能力建设。聚焦政府对区域资源最大化利用、企业对生产过程最小成本投入的共同价值，从水、电两个方向切入区域级、企业级的数字化升级，包括区域级能源与资源治理，企业级节水、节能数字化改造，上下共进，有序衔接，共同推动产业绿色化转型。

在建设策略上，政府建设能源与资源治理平台，实时监测配额与产业运行状态，合理分配资源，并探索配额流通方式，提升区域水、电、污配额的综合利用率；为数字化运营企业提供虚拟电厂等区域级公共服务平台，提供削峰填谷、电碳额交换等服务，帮助企业降低生产成本；企业聚焦耗能、耗水、排污等高成本、高风险场景，开展设备级、产线级、企业级数字化接入与改造。

4.3 产业数字化推进平台共享服务

中层能力区以平台共享的模式推进产业资源的普惠覆盖，基于产业链供需服务平台、数字化公共服务平台，推进

供应链资源与数字产品的普惠共享，同时匹配人才、资金等数字化公共服务，支撑大中小企业公平享有数字化转型能力。

4.3.1 产业链供需服务平台

建立产业链供需服务平台，整合产—供—销全链条供需信息，以及设备、产线、仓库等闲置资产信息，采用集成采购模式充分对接供需双方，实现产业链价值最大化；持续积累的市场大数据，提供日益准确的市场情报服务，支撑企业开展生产决策；建立基于物码对应的产品跟踪与溯源系统，向上游溯源质量、碳足迹等，向下游跟踪时效、用户体验等信息。

4.3.2 数字化产品服务

引入行业成熟的数字化产品与服务商，聚焦数字化生产现场、全过程绿色生产两个方向，整合设备级、产线级、企业级数字化产品，为企业提供低成本、轻量化的产品解决方案，帮助企业快速落地有价值的数字化场景。

4.3.3 数字化配套服务

围绕普惠共享的目标，面向中小企业提供咨询、资金、

人才等配套服务，通过财税补贴、金融服务等方式，扶持成熟数字化场景的普惠覆盖与创新场景的价值攻坚。

4.4 数字化基础设施推进生态共创

底层能力区侧重数字化能力底座与数字化创新生态的建设。面向制造业赋能，搭建一个含5G、IoT、AI等新一代信息技术的云网数字底座，数字化生态基于“效益优先、成熟场景先行、价值场景最小范围攻坚”的方式开展数字化创新，实现高价值场景研发、稳定性运行、低成本赋能、全行业覆盖的良性创新循环。可围绕数字化生产现场、全过程绿色生产两条主线推进数字创新，持续赋能制造企业。

4.4.1 数字化生产现场

面向生产透明管控需求，保障一条“不停滞的健康产线”。对现场生产设备进行数字化、网络化改造，逐步击破现场信息盲点，搭建现场级数字底座；以“按时交付”为目标，建立计划、物料、设备、质量、环保部门与工艺车间的联动信息库，提升跨部门协作效率；以问题为导向，实时监测预警生产现场异常信息，发现生产堵点，联动生产调度系统，建立发现问题、解决问题的应对机制。

4.4.2 全过程绿色生产

面向绿色透明管控的需求，推进上下一体的“绿色工厂”。面向水耗、能耗、排污等生产过程，通过设备升级、

数字化改造等方式推进清洁生产；衔接国家“双碳”目标，建立车间、产线级绿色绩效模型，探索企业一车间一产线的绩效联动方式，共同推进绿色生产。

5 结论

在国家“双碳”发展、“数字经济”的总体推进下，制造业数字化转型呈现柔性化生产、绿色可持续的总体发展趋势，政府、企业在数字化进程中具有不同的目标导向。匹配区域一产业一企业三层架构的用户模型，聚焦用户痛点，从产业环境失衡、发展不均衡、创新不持续三类问题切入，进一步梳理绿色数字化发展、产业链高效协作、企业透明管理三层数字化能力需求。建立“1+3+2”架构的绿色数字化解决方案，形成区域绿色数字化、产业公共服务、数字化基础设施与可持续创新能力，形成“数字化生态联合创新，产业数字化普惠覆盖”的可持续发展态势，科学推动区域制造业绿色数字化升级。

参考文献

- [1] 官迅伟. 供应链战略顶层设计[M]. 北京：机械工业出版社，2024年.
- [2] 陈晓华. 数字经济大变革[M]. 北京：电子工业出版社，2023年.
- [3] 曹立. 数字时代的碳达峰与碳中和[M]. 北京：新华出版社，2022年.

Discussion on prevention and management of traffic safety accidents in subway

Guoliang Cao

Beijing Metro Operation Co., Ltd. Operation Command Center, Beijing, 100101, China

Abstract

In the rapidly expanding urban rail transit network, the subway has gradually become an indispensable means of daily transportation for urban residents with its efficient and convenient characteristics. However, the frequent occurrence of traffic safety accidents in the subway has attracted great attention from all walks of life. This paper focuses on the subway traffic safety accidents, analyzes the common categories and causes of accidents, and discusses the effective prevention and management strategies. For the subway traffic safety management, through technical innovation, system optimization, personnel training, emergency treatment and other comprehensive strategies, aims to improve the efficiency of safety management, reduce the accident rate, to ensure that citizens travel without worry. The operating enterprises, management departments and technical personnel of subway traffic, this paper aims to provide a reference to promote the synchronous improvement of subway traffic safety and service quality.

Keywords

subway safety; traffic accidents; prevention and control; management strategy; technology innovation; emergency management

地铁中行车安全事故防范控制与管理探讨

曹国梁

北京市地铁运营有限公司调度指挥中心, 中国·北京 100101

摘要

在快速扩张的城市轨道交通网络中, 地铁以其高效便捷的特性, 逐渐成为都市居民日常出行不可或缺的交通手段。然而, 地铁中行车安全事故的频发, 已引起了社会各界的高度关注。本文研究聚焦于地铁行车安全事故, 剖析了事故的常见类别、形成原因, 并探讨了有效的预防及管理策略。针对地铁行车安全管理, 通过技术创新、制度优化、人员培训与应急处理等全方位策略, 旨在提高安全管理效率, 降低事故发生率, 确保市民出行无忧。地铁交通的运营企业、管理部门以及技术人员, 本文旨在为其提供参考, 以促进地铁交通安全与服务质量的同步提升。

关键词

地铁安全; 行车事故; 防范控制; 管理策略; 技术创新; 应急管理

1 引言

随着城市化进程的加快, 地铁已成为许多大城市中重要的交通工具, 承担着大量的日常客运需求。然而, 日益发展的地铁系统, 行车安全问题已逐步演变为其健康成长的重障碍。随着地铁技术手段与设施的持续进步, 行车安全事故却频发, 事故类型及成因亦呈现多元化态势, 这无疑对地铁运营的安全性提出了更为严苛的挑战。乘客的生命安全受到地铁行车安全事故的威胁, 此类事故亦干扰地铁运行流畅, 更可能激发社会公众对公共交通安全的广泛忧虑。当前迫切需要解决的关键议题, 在于如何高效地预防和应对地铁行车安全事故, 以及如何提升地铁的运营管理水平。本

文将在分析地铁行车安全事故现状和成因的基础上, 提出针对性的防范与控制策略, 进一步推动地铁安全管理的完善和优化。

2 地铁行车安全事故的现状与类型

随着城市化进程的推进, 地铁作为一种高效、环保的交通方式, 广泛服务于大中型城市。然而, 尽管地铁系统在持续进化与改良之中, 但行车安全事故仍不时浮现。统计数据揭示, 地铁行车安全事故频发, 事故类型亦趋多元, 涵盖设备故障、交通管理失误等常规问题, 亦包含自然灾害及人为因素诱发之安全隐患。地铁行车事故中, 设备故障类事故是地铁行车事故中较为常见的类型, 通常是由于设备老化、系统故障或维护不到位所导致的。信号系统故障、供电系统问题以及门控系统失灵等常见设备故障事故, 往往会对列车正常运行造成直接影响, 进而导致列车停运或引发交通拥堵^[1]。

【作者简介】曹国梁(1969-), 男, 中国山西太原人, 本科, 工程师, 从事轨道交通行车组织、安全管理研究。

一些地铁事故是由于外部环境因素造成的。例如，突发的自然灾害（如地震、洪水等）、极端天气（如暴雨、大风、雷电等）都会对地铁的运行产生影响。此外，社会事件（如恐怖袭击、重大骚乱等）也可能对地铁的行车安全造成威胁。地铁事故隐患可能源于乘客的不文明举动，地铁车厢内乘客若进行打闹、随意触碰车门、逾越安全警戒线等动作，此类举动可能导致紧急制动启动或安全事故的发生。地铁运行安全可能受到乘客在车站或车厢内表现出的推搡、急躁等行为的间接影响，此类行为亦可能引发群体性事件。

3 地铁行车安全事故的成因分析

安全事故在地铁行车过程中通常表现为多因素交织的后果，其主要成因可分为以下几个方面：技术因素、人员因素以及外部环境因素。事故的发生往往是由诸多因素的错综复杂交织作用所引起的。地铁系统的高效运作依赖于先进技术的支撑，然而，技术本身亦可能成为引发安全事故的隐忧。地铁系统所涉及的设备，其退化或保养不善，往往构成一项普遍存在的难题。例如，当地铁信号系统遭遇故障，这往往会导致列车运行调度出现偏差，有时甚至可能引发碰撞事故。事故的发生可能与地铁的自动化控制系统失误密切相关，技术缺陷存在于自动驾驶及车辆控制系统中，此等问题若未得到妥善解决，则可能引发列车误操作或失控现象。行车安全高度依赖于供电系统的稳定性，供电系统一旦中断或电量不足，将直接引发列车运行延误，进而引发大规模交通拥堵^[2]。

地铁行车安全受诸多外在要素的制约，其中外部因素尤为关键，诸如暴雨、大雾和冰雪等极端气候现象，其出现往往会导致能见度下降及轨道湿滑等一系列问题，从而显著提升事故发生的风险。自然灾害的突发性，诸如地震与洪水，足以摧毁轨道与隧道，乃至车站结构，进而引发事故。地铁运营可能面临恐怖袭击、破坏行为等社会安全事件的威胁，此类事件不仅可能激发乘客恐慌情绪，更显著提升了行车风险系数。行车安全受地铁乘客行为的影响，此现象不容忽视。车厢内，乘客若出现诸如与车门冲突、尝试越轨或与同车乘客争执等不当举动，此类行为极有可能对地铁的正常行驶造成干扰，乃至引发紧急制动或列车停驶。

4 地铁行车安全事故防范控制策略

4.1 技术创新与设备更新：提高安全性能与自动化水平

地铁行车安全的保障离不开技术的支持和设备的创新。在科技进步的推动下，地铁领域安全技术革新与装备升级换代，成为保障安全性能的核心要务。在安全性提升的过程中，自动化与智能化的运用发挥着至关重要的作用。列车调度、监控及运行管理领域，现代地铁系统广泛采纳自动化控制系统，先进自动驾驶技术与智能监控系统之引入，有效降低了人为操作失误概率，并显著提高了系统响应敏捷度。基于大

数据技术的智能调度系统，能实时监控线路客流、列车运行状态及潜在安全隐患，异常情况发生时，系统将自动调整运行策略或触发警报，确保行车安全。

设备更新和技术创新能够有效提升地铁的安全性和稳定性。比如，利用高精度传感器及激光扫描技术，轨道检测得以实时进行，对磨损状况及轨道结构完整性的监测亦然，此举旨在提前揭示轨道潜在的安全风险。在列车领域，持续的技术革新推动了刹车与防撞技术的升级，显著提升了列车的整体安全指标。智能化系统普遍应用于新一代地铁车辆，其中车内的智能控制设备能够实时监控并调整其行驶状态，即便在恶劣天气或突发状况下，亦能保障其安全稳定运行。在持续进步的地铁车站领域中，安全设施亦在持续进行升级迭代，智能门禁、自动检测报警系统以及智能视频监控的引入，有效遏制了乘客的危险举动，显著减少了因突发情况导致的各类安全事故^[3]。

4.2 完善安全管理制度：优化运营流程、强化安全检查

在地铁行车安全保障体系中，安全管理制度的完善尤为重要。确保地铁安全运营的根本途径，在于构建一套清晰、完善的安全管理制度，以有效预防事故的爆发。行车安全得以确保，离不开对运营流程的优化以及对安全检查的强化。地铁各环节的安全，亟需一套完善的管理体系，其中不仅包括对设备设施的日常巡检，亦涵盖对乘客行为规范的明确规范与执行准则。地铁公司需对列车、轨道、信号系统等设备实施周期性全面审查，保障各设备维持卓越的运行条件。为确保设备安全运行，必须构建一套包括安全巡查与定期检修在内的双重防护体系，以便对潜在问题实施实时监控，有效预防设备老化与故障导致的各类安全事故。

优化运营流程是提升安全管理水平的有效途径。多方面交织的地铁运营流程中，列车调度、车站管理、票务系统等要素紧密相连，构成了这一复杂系统的核心。整合资源、优化调度系统与运营计划，有效规避因人力资源调配错误引发的意外事故。在交通高峰期，科学规划列车发车间隔，防止列车过于密集，亦能显著降低潜在安全风险。对工作人员而言，安全意识与操作规范性的培养。在运营环节的安全与效率，具有举足轻重的地位。为确保地铁运营安全，地铁管理方需构建一套严密的工作流程，并确保所有工作人员严格执行标准操作，以便能够迅速识别并妥善解决可能存在的安全隐患。完善管理制度，关键在于强化安全检查执行力度及突发事件应对机制的落实。在地铁车站及列车上，需配置增设的安全巡查员，并定时组织安全演练与稽核。

4.3 强化人员培训与应急演练：提升操作人员与乘客的安全意识

人员培训和应急演练是保障地铁行车安全的重要环节。地铁系统的安全性受操作人员与乘客安全意识之双重影响，通过周期性组织员工培训和应急响应模拟，不仅有效提升了

操作人员的工作技能,亦显著增强了乘客的自保能力,进而大幅度降低了事故发生的可能性。对操作人员进行的培训是至关重要的。地铁运行安全的命脉,操作人员肩负重任,其专业素质与应变速度的高低,直接关乎地铁行车的安危与否。在地铁公司运营中,对操作人员,尤其是担任驾驶员、调度员及车站工作人员等关键岗位的人员,实施周期性的专业技能训练,显得尤为关键。涉及技术操作、安全法规等多领域的培训内容,对于应急处理和心理素质的培养亦至关重要。面临突发的紧急情况,负责操作的个人必须迅速冷静应对,以保障乘客的安危。

此外,应急演练也是提高人员应变能力的重要手段。在模拟各类事故的虚拟场景中,操作者得以在非实际情境下锤炼其应对突发状况的技能,开展定期的广泛应急演练,既是对现行安全管理措施效能的验证,又有利于员工在面临压力时维持冷静,保障他们能迅速有效地处理问题。例如,火灾事故处理与地震疏散演练,旨在确保事故发生时各环节响应迅速,全力守护乘客生命安全。在确保旅客安全方面,安全教育同样不容忽视,地铁公司通过宣传、安全提示以及培训课程等多样化手段,致力于提升乘客的安全认知水平。让乘客了解如何正确使用地铁设施、如何避免危险行为,并鼓励他们在突发情况下保持冷静,并遵循工作人员的指引。通过提升操作人员和乘客的安全意识,能够更好地预防地铁行车过程中的安全事故,确保地铁系统的安全稳定运行。

5 地铁行车安全事故应急管理 with 事故后处理

地铁系统持续安全运行,关键在于对地铁行车安全事故实施有效的应急管理及事故后续处理。事故发生时,应急管理系统的高效运行能够迅速作出反应,显著降低事故对乘客及运营系统造成的负面影响;而事故后处理则确保在事故过后及时恢复正常运行,并对事故原因进行深入分析和整改,以防止类似事件的再次发生。

在应急管理的领域中,核心要素在于预先编制详尽的应急响应方案。针对设备故障、自然灾害及突发事件等不同类别的事故,地铁公司须制定相应应急处理措施,各个事故处理阶段,如事故确认、紧急应对、信息通报、乘客撤离及医疗救助等,均需纳入应急方案的编制范畴。明确划分各职能部门的责任边界,旨在事故发生时,各相关方能够高效联动,确保旅客的人身安全得以保障。在火灾等紧急事件发生之际,车站的工作人员需当机立断疏散乘客,同时紧急联络

相关部门。而列车驾驶员亦需严格遵循应急程序,立即停驶列车并实施紧急应对措施。在应急管理领域,依托自动化监控、智能调度等高效技术系统,显得尤为关键。在现代化的地铁网络中,依托智能监控平台,对列车行进与轨道状况实施实时监控,一旦检测到运行异常,系统即刻触发警报机制,助力工作人员迅速定位故障,并迅速作出应对措施。利用智能化技术,事故发生点得以快速锁定,进而高效调度所需资源,显著提升了应急处理的效能与精确度。为确保在紧急情境下工作人员操作娴熟,地铁企业需定期施行应急演练,模拟真实事故状况,以此达到在突发事件发生时,能够迅速、井然有序且高效地应对的目的。

在事故发生后,事故处理和恢复工作同样重要。在事故发生之后,首要的任务是对事故造成的损失进行迅速评估,明确受损的区域与设施。事故发生后,迅速启动调查程序,对事故的根本原因进行全面探究,不论缘起于设备问题、人为操作不当抑或外部环境,所有相关事故成因均需详尽记录并深入分析。对事故发生的相关数据深入剖析,拟定针对性的改进策略,旨在阻止同类事故的再度涌现。相关部门与地铁公司应紧密沟通协作,确保受损设施得到迅速修复,并力求将运营影响降至最低。对于事故事件,处理环节需兼顾对旅客心理关怀与经济补偿的双重任务。在发生事故时,乘客的情绪容易受到影响,地铁公司应通过现场工作人员或专业心理咨询人员进行及时疏导。此外,事故涉及的乘客可能会提出赔偿要求,地铁公司应通过合理、公正的方式进行赔偿处理,保障乘客的合法权益。

6 结语

地铁行车安全事故防范控制与管理的研究需要多维度的思考和系统化的解决方案。从技术手段的创新、管理制度的完善、人员培训到应急处置机制的建立,都需要通过持续的投入与改进,确保地铁系统在日益复杂的环境中能够始终保持安全、高效、稳定的运营。

参考文献

- [1] 马彪,洪从鲁.反恐视野下地铁车辆基地公共安全隐患与防范对策研究[J].郑州铁路职业技术学院学报,2018,30(02):9-11+15.
- [2] 张晶,董洁,肖梦露.我国地铁安全防控的现状及其对策研究[J].湖南警察学院学报,2022,34(01):72-78.
- [3] 白云霄.地铁车站建筑设计中的防火安全问题[J].工程建设与设计,2020,(06):7-8.

Research on nano-silver materials applied to flexible electronics and inkjet printing technology

Liheng Sun

Shenzhen Zhongxuantian Technology Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518000, China

Abstract

With the rapid development of information technology, flexible electronics and inkjet printing technology, as an emerging and widely applied field, is gradually deepening into daily life and industrial production. With its excellent electrical conductivity and good flexibility, nano-silver materials show great application potential in these two fields. This paper discusses the preparation methods, performance characteristics and practical application of nano-silver materials in flexible electronic and inkjet printing technology, and analyzes the main challenges and countermeasures. The development of flexible electronics and inkjet printing technology marks a revolution in the field of electronics manufacturing. Flexible electronics, with its thin and flexible characteristics, show unique advantages in wearable devices, flexible displays and other applications. It is expected that these studies will provide a useful reference for the further application and development of nanosilver materials.

Keywords

flexible electronics; inkjet printing technology; nano-silver materials

应用于柔性电子及喷墨打印技术的纳米银材料的研究

孙立恒

深圳市中炫天科技有限公司, 中国·广东 深圳 518000

摘要

随着信息技术的飞速发展, 柔性电子和喷墨打印技术作为新兴的广泛应用领域, 正逐步深入到日常生活和工业生产中。纳米银材料凭借其优异的导电性能和良好的柔韧性, 在这两个领域展现出巨大的应用潜力。本文详细探讨了纳米银材料在柔性电子和喷墨打印技术中的制备方法、性能特点及实际应用, 并分析了其面临的主要挑战及应对措施。柔性电子和喷墨打印技术的发展标志着电子制造领域的一次革命。柔性电子以其轻薄、可弯曲的特点, 在可穿戴设备、柔性显示器等应用中展现出独特优势。期望通过这些研究, 为纳米银材料的进一步应用和发展提供有益的参考。

关键词

柔性电子; 喷墨打印技术; 纳米银材料

1 引言

喷墨打印技术则以其高效率、低成本的特点, 成为电子制造的一种新选择。纳米银材料作为一种高导电、高稳定性的新型材料, 成为这两项技术中的关键材料。然而, 纳米银材料在实际应用中仍面临成本、环境和性能稳定性等挑战。因此, 深入研究纳米银材料的制备方法、性能特点及其在柔性电子和喷墨打印技术中的应用, 具有重要的现实意义。

2 基础理论

2.1 柔性电子技术的定义

柔性电子技术是一种利用柔性材料、工艺和制造技术, 实现电子设备柔性和可变形性的技术, 该技术结合了电子、

材料、化学、机械等多个领域的知识, 为电子设备的发展提供了新的思路。柔性电子技术作为一种集材料科学、物理学和工程学于一体的新兴领域, 其核心在于将电子元件和电路集成到可弯曲、可拉伸的柔性基材上, 这种技术打破了传统刚性电子设备的限制, 为电子产品带来了前所未有的灵活性和多功能性。柔性电子技术的发展不仅改变了我们对电子设备的认知, 还开启了全新的应用领域, 如智能可穿戴设备、柔性显示器和生物医疗传感器等。这些应用不仅要求设备具有高导电性和稳定性, 还必须具备出色的柔韧性和轻薄性。纳米银材料因其独特的高导电性和良好的稳定性, 在柔性电子技术中显得尤为重要。此外, 柔性电子技术还能够实现大规模生产, 降低制造成本, 提高生产效率, 这使得其在商业和工业应用中具有巨大潜力。然而, 柔性电子技术的发展也面临着材料选择、制备工艺和性能优化等方面的挑战, 需要进一步的深入研究和技术创新来克服这些问题^[1]。

【作者简介】孙立恒(1981-), 男, 中国黑龙江齐齐哈尔人, 硕士, 工程师, 从事电子材料研究。

2.2 喷墨打印技术的定义

喷墨打印技术就是利用喷头将液态墨水以微小液滴的形式精确喷射到基材上,形成文字、图像或电路的一种打印方法。与传统的印刷技术相比,喷墨打印技术具有高精度、低成本和灵活性强的特点。这种技术不仅能够实现图案的快速打印,还能在各种基材上进行高质量的印刷,包括纸张、塑料、金属和纺织品等。在柔性电子领域,喷墨打印技术更是展现了其独特的优势。例如,喷墨打印可以实现柔性电路的高精度制造,大幅降低生产成本,提高生产效率,使得柔性电子设备的商业化生产成为可能。此外,喷墨打印技术还允许在复杂形状的基材上进行图案化印刷,这为设计和制造更加多样化、个性化的电子设备提供了技术支持。然而,喷墨打印技术的应用也并非一帆风顺,特别是在纳米银墨水的制备和使用过程中,需要克服液滴尺寸控制、墨水粘度调节和基材表面处理等难题。这些挑战需要科研人员和工程师共同努力,不断创新,才能确保喷墨打印技术在柔性电子领域的持续发展和广泛应用。

2.3 纳米银材料的特点

纳米银材料作为柔性电子和喷墨打印技术中的关键材料,其独特的性质令人瞩目。纳米银颗粒的粒径通常在几纳米到几十纳米之间,这种极小的尺寸赋予了它们卓越的导电性能和良好的稳定性。例如,纳米银墨水在喷墨打印过程中能够形成连续的导电路径,确保电子元件的高效工作。此外,纳米银材料还具备出色的抗菌性能,这在医疗和卫生领域的应用中显得尤为珍贵。然而,最令人兴奋的莫过于纳米银材料的柔韧性和可伸缩性,这使得它们在柔性基材上能够承受反复的弯曲和拉伸而不影响导电性能。这一特性对于设计和制造轻薄、灵活的可穿戴设备和柔性显示器至关重要。值得注意的是,纳米银材料的制备过程相对复杂,需要严格的工艺控制以确保颗粒的均匀性和分散性。尽管如此,纳米银材料在性能和应用潜力上的巨大优势,仍然激发了科研人员和工程师的无限热情,不断推动着这一领域的技术进步和创新发展^[2]。

3 纳米银材料在柔性电子中的应用

3.1 纳米银导电墨水的制备与性能

纳米银导电墨水的制备通常涉及将纳米银颗粒分散到合适的溶剂中,形成稳定的油墨体系。这听起来简单,但实际操作中需要高度的技术和工艺控制。例如,纳米银颗粒的粒径、形状和表面改性都会直接影响墨水的导电性能和印刷稳定性。粒径太大的颗粒容易堵塞喷头,影响打印精度;而粒径太小的颗粒则可能会在溶剂中迅速沉降,导致分散不均匀。因此,制备过程中需要精确调控这些参数,以确保纳米银颗粒在油墨中的均匀分散和稳定存在。此外,纳米银导电墨水的性能还与其溶剂的选择密切相关。合适的溶剂不仅能确保墨水的稳定性和流动性,还能在基材上形成良好的附着

力和导电性。常见的溶剂包括水、醇类和有机溶剂,每种溶剂都有其优势和局限性。水基纳米银墨水环保且成本低廉,但干燥速度较慢,容易导致银颗粒的聚集。而有机溶剂基的纳米银墨水则具有较快的干燥速度和较好的附着力,但可能存在一定的环境和安全问题。因此,选择合适的溶剂也是制备纳米银导电墨水的关键之一。当纳米银导电墨水应用于柔性电子时,其导电性能和机械柔性令人欣慰。良好的导电性能确保了电子元件的高效工作,而出色的机械柔性则使得这些设备在弯曲、拉伸等复杂环境中依然保持稳定。这也为设计和制造更加灵活、轻便的可穿戴设备和柔性显示器提供了坚实的基础。然而,纳米银导电墨水在实际应用中也面临一些挑战,如在高湿度和高温环境下可能会出现银颗粒的氧化和电导率下降等问题。这些问题需要科研人员进一步研究,开发出更加稳定、耐久的纳米银导电墨水,以满足不同应用场景的需求^[3]。

3.2 纳米银在柔性电子器件中的应用实例

纳米银在柔性电子器件中的应用实例丰富多样,每一项研究都展示了其在这一领域中的巨大潜力。比如,纳米银导电墨水被广泛用于制作柔性电路板,这些电路板不仅轻薄柔软,而且具备出色的导电性能,非常适合应用于可穿戴设备中。想象一下,未来的智能手表或健康监测设备,既可以轻松贴合皮肤,又能在各种运动中保持稳定的信号传输,这无疑是纳米银材料的一大贡献。另外,纳米银还被用于制作柔性触摸屏,这种触摸屏不仅响应速度快,触感灵敏,而且可以在多次弯曲后依旧保持良好的导电性和透明度。这种技术的应用,让未来的柔性显示设备变得更加实用和耐用。在太阳能电池领域,纳米银导电墨水的应用也尤为突出。柔性太阳能电池需要在轻薄和高效之间找到平衡,而纳米银导电墨水的使用,不仅提高了电池的光电转化效率,还使得电池更加灵活,可以安装在曲面或不规则的表面上,拓展了应用范围。这些应用实例不仅证明了纳米银材料的优越性能,也为柔性电子技术的未来发展指明了方向。科研人员和工程师们对纳米银材料的深入研究和不断优化,让人对柔性电子的未来充满了期待。

4 纳米银材料在喷墨打印技术中的应用

4.1 纳米银喷墨打印墨水的制备与性能

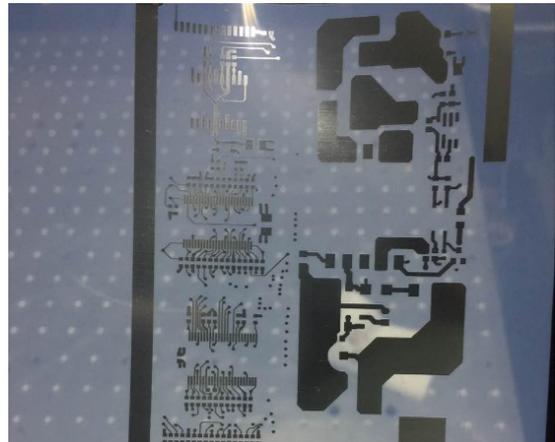
纳米银喷墨打印墨水的制备与性能是喷墨打印技术中的一个技术亮点,制备过程不仅需要精细的工艺,还要确保墨水的稳定性、导电性和打印效果,如图一所示。在制备纳米银喷墨打印墨水时,一个关键步骤是将纳米银颗粒均匀分散在合适的溶剂中,这看似简单,但实际操作中却充满挑战。纳米银颗粒的粒径、形状和表面性质都会直接影响墨水的性能,粒径太大的颗粒容易堵塞喷嘴,导致打印不稳定;而粒径太小的颗粒则可能在溶剂中快速沉降,影响打印精度。因此,需要选择合适的分散剂和溶剂,确保纳米银颗粒在墨水

中均匀分布，同时保持良好的流动性和稳定性。此外，溶剂的选择也非常关键，有机溶剂如乙醇和丙酮能够提供较好的溶解性和挥发性，有助于形成均匀的导电层；而水基溶剂则更加环保，但需要处理好干燥速度和颗粒聚集的问题。这不仅是一门科学，也是一门艺术，需要科研人员 and 工程师们不断试验和优化。在实际应用中，纳米银喷墨打印墨水展示了卓越的导电性能，打印出的导电路径不仅电阻低，还具有良好的机械柔韧性，能够在反复的弯曲和拉伸中保持稳定。这对于制作柔性电路板和可穿戴设备来说至关重要，因为这些设备经常需要在各种复杂环境中使用。此外，纳米银喷墨打印墨水还具备快速干燥和固化的特点，可以显著提高生产效率，减少制造成本。这些优势不仅推动了喷墨打印技术的发展，也为柔性电子器件的工业化生产提供了有力支持。

4.2 纳米银喷墨打印技术的应用实例

纳米银喷墨打印技术在柔性电子领域中的表现尤为突出。比如，纳米银喷墨打印技术被广泛应用于制作柔性电路板，这种电路板不仅轻薄柔软，还能在多种基材上实现高精度打印，大大提高了制造的灵活性和效率，如图一所示。想象一下，未来的可穿戴设备如智能手环或健康监测贴片，通过纳米银喷墨打印技术，可以在柔软的塑料或织物基材上直接打印出导电路径，这些设备不仅佩戴舒适，还能在复杂的运动中保持稳定的信号传输。另外，纳米银喷墨打印技术还在柔性触摸屏中大放异彩，这种技术可以实现高分辨率的导电图案打印，使得触摸屏的触感和响应速度达到新的高度。更重要的是，打印出的导电层在反复弯曲后依然能保持良好的导电性和透明度，这为未来的柔性显示设备提供了广阔的应用前景。在太阳能电池领域，纳米银喷墨打印技术也被用于制作柔性太阳能电池的电极，这种电极不仅导电性好，还具有优异的机械柔性和耐久性，能够在不同形状和曲面的基材上应用，极大拓展了太阳能电池的安装范围和应用场景，这些应用实例不仅展示了纳米银喷墨打印技术的优越性

能，还为柔性电子的发展注入了新的活力，令人对未来充满期待。



图一：纳米银柔性电路板

5 结语

纳米银材料在柔性电子和喷墨打印技术中的应用展现了广阔的发展前景。尽管在制备和应用过程中仍面临诸多挑战，但通过技术创新和环保措施的引入，这些挑战有望逐步解决。未来，随着新型纳米银材料的不断研发，其在柔性电子和喷墨打印技术中的应用将更加广泛，不仅能够提高电子产品的性能，还能促进相关产业的可持续发展。这一领域的研究，不仅是技术上的突破，更是对社会发展的贡献。

参考文献

- [1] 金晶,杨国超,张帆. 纳米银/介孔氧化硅复合材料的制备及其抗菌性能[J]. 北京林业大学学报, 2024, 46 (06): 145-153.
- [2] 郑仲杰. 纳米银/生物质分子导电橡胶薄膜的制备、性能及应用研究[D]. 广西大学, 2024.
- [3] 曹辰辉. 应用于柔性电子及喷墨打印技术的纳米银材料的研究[D]. 南京大学, 2014.

Research on tunnel radar monitoring and early warning system based on triz theory

Haoyang Li Zhenxia Yuan Weijian Liu Zhongkai Peng Biqu Yuan Lijuan Jiao

School of Intelligent Construction and Architectural Engineering, Zhongyuan Institute of Technology, Zhengzhou, Henan, 450007, China

Abstract

This paper proposes the shortage of monitoring equipment in tunnel construction, Using this theory to further improve the application of tunnel radar safety early warning system, First, apply triz theory to study the tunnel monitoring system, Through the functional analysis, To of tunnel monitoring and early warning system, At the same time, various new methods to optimize tunnel monitoring and early warning, And then, through the technical contradictions, Physical contradiction, Analysis of similar means and the comparison of existing techniques, From the problems, Finally, using triz theory to solve the problem, Prothe innovative practice of each module, Improve the tunnel detection and early warning system based on tunnel radar, In order to provide new ideas for the monitoring and early warning of tunnel surrounding rock.

Keywords

triz theory; SAR synthetic aperture radar; monitoring and early warning; tunnel radar

基于 triz 理论隧道雷达监测预警系统的研究

李昊阳 袁振霞 刘伟建 彭仲凯 袁碧琦 焦利娟

中原工学院智能建造与建筑工程学院, 中国·河南 郑州 450007

摘要

本文基于triz理论技术提出现有隧道施工中监测设备的不足, 利用该理论进一步完善隧道雷达安全预警系统中的应用, 首先应用triz理论对隧道监测系统展开研究, 通过功能分析, 因果链构建隧道监测预警体系, 同时提出多种优化隧道监测预警的新方法, 再通过技术矛盾, 物理矛盾, 对同类手段的分析和现有技术对比, 从中发现问题, 最后利用triz理论解决问题, 提出各模块的创新实践, 完善基于隧道雷达的隧道检测预警体系, 以期能为隧道围岩监测预警提供新思路。

关键词

triz理论; SAR合成孔径雷达; 监测预警; 隧道雷达

1 TRIZ 理论方法和问题处理流程

创新驱动, 方法先行。TRIZ 理论方法是以 Genrich · Altshuller 为首的苏联数十家科研团队对数百万份的专利文献进行系统的分析和整理, 并对其中具有数以万计的具有代表性的专利为重点进行归纳和总结, 建立了一套以技术系统进化原理为核心的、体系化的、实用性强的解决问题的理论^[1]。TRIZ 被认为是目前最全面系统地论述发明创造、实现技术

【基金项目】 国家级大学生创新训练计划支持项目(重点支持领域项目: 202410465001); 河南省“专创融合”特色示范课程(教办高〔2024〕2号); 河南省本科高校智慧教学专项研究项目(教高〔2023〕334号)。

【作者简介】 李昊阳(2003-), 男, 中国新疆人, 在读本科生, 从事创新创业研究。

创新的理论, 运用这一理论可以大大加快人们创造发明的进程, 进而得到高质量的创新产品^[2]。创新问题解决的过程就是将实际问题转换表达为一个 TRIZ 标准问题, 然后利用 TRIZ 标准问题的解转化为实际的解决方案^[3]。

1.1 TRIZ 理论在隧道监测中应用的尝试

项目团队将根据 TRIZ 理论研究过程, 对现有安全预警监测系统应用进行剖析。

1.2 问题提出

隧道施工面临地质条件复杂, 岩层变化大、地下水涌出等情况, 需科学评估并有效防控, 以保障施工安全与顺利进行。目前, 隧道监测使用的先进测量仪器存在成本高昂问题, 不适合在隧道复杂环境中工作; 传统测量技术工作量大, 难以对隧道进行有效控制等问题, 导致隧道施工现场出现围岩变形的情况, 对施工人员人身安全存在较大威胁。

1.3 问题分解

将隧道围岩监测问题按照 TRIZ 方法对问题进行分解,

问题所在技术系统为：位移监测系统；
 该技术系统的功能为：收集位移信息；
 问题组件：监测对象和监测系统；
 终端受害组件：隧道，施工员；

系统组件：信息收集模块、信息处理模块、信息传输模块、信息反馈模块、供电模块；
 超系统组件：隧道环境，操作人员；
 实现该功能的约束有：提高测量精度、降低成本。

1.4 现有技术系统的工作原理

隧道位移信息由信息收集模块采集，传输至信息处理模块，最终由信息反馈模块呈现。

1.5 TRIZ 分析流程

见图 1。

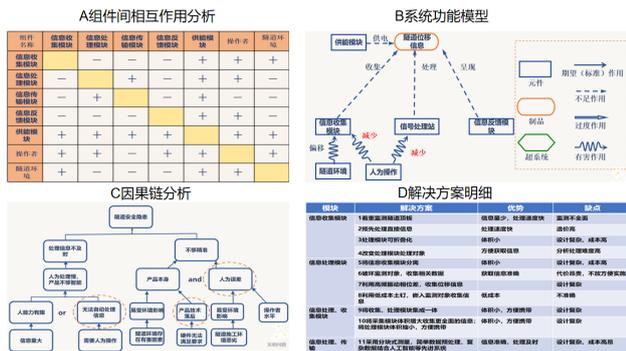


图 1 TRIZ 分析流程

经上述分析现有监测位移监测普遍痛点：达不到精度要求、信息处理不及时、造价高昂、受现场环境限制大、无法避免人为误差。

利用因果链分析问题关键点：无法自动处理信息，受人为误差影响大，产品本身技术落后。

理想解分析：

设计的最终目的是什么？

隧道围岩不发生坍塌

理想解是什么？

隧道围岩不出现位移

达到理想解的障碍是什么？

无法准确及时获取隧道位移信息

出现这种障碍的结果是什么？

易发生施工事故

不出现这种障碍的条件是什么？

及时准确地处理传输隧道位移信息

依据理想解分析得到方案为：为达到及时精准，需将隧道围岩监测和围岩形变计算分块处理同步运行。

2 现有监测方法分析

2.1 大地测量法

大地测量法通过设置变形观测站，采用经纬仪、水准仪和全站仪等高精度测量仪器，对隧道进行三维坐标测量。

这种方法技术成熟，成果可靠，能够全面反映围岩的变形情况。然而，大地测量法的实施受到施工条件和人为因素的较大影响，如观测站的设置、测量仪器的校准和测量人员的操作技能等，这些因素都可能影响测量结果的准确性。此外，大地测量法需要人工定期进行测量，无法实时获取隧道变形数据，这在紧急情况下可能无法及时提供预警信息。

2.2 三维激光扫描法

三维激光扫描法利用激光扫描仪对隧道进行快速扫描，获取隧道围岩表面的三维点云数据。通过对比不同时间点的扫描图像，可以实时监测隧道的变形情况。这种方法具有采集特征数据快速直观的优势，能够迅速捕捉到隧道表面的整体变形趋势。然而，三维激光扫描法的精度受到多种因素的影响，如激光束的发散角、扫描速度、环境噪声等，这些因素可能导致测量结果的精度下降。此外，三维激光扫描法主要获取的是隧道表面的整体变形情况，对于微小的局部变形可能无法准确反映。

2.3 电测法

电测法通过电子仪表（如电阻应变片、位移传感器等）对隧道的变形进行实时监测。电测法具有测试简便、易于实现全自动化远程监测的优点，能够实时获取隧道变形数据，为隧道安全预警提供有力支持。然而，电测法的测量标距较短，通常适用于小范围的变形监测。此外，电子仪表易受电磁干扰的影响，导致测量结果不稳定。在长期使用过程中，电子仪表还可能因老化、损坏等原因导致测量精度下降。

3 技术冲突与物理冲突的主要问题

3.1 位移监测可靠性的深层技术挑战

隧道雷达监测系统，理论上能够捕捉微小位移，实现高精度监测，但在实际操作中，精度往往受限于复杂地形、恶劣天气及电磁干扰等现场环境。从技术层面剖析，雷达波束的扩散效应、多路径反射、地表粗糙度以及植被遮挡等，均会对雷达信号造成干扰，进而影响位移测量的准确性。此外，雷达设备的分辨率、信号处理算法的优化程度以及校准过程的严谨性，也是决定位移监测精度的关键因素。例如，高分辨率雷达与先进信号处理算法的结合，能显著提升测量数据的信噪比，但面对复杂多变的现场环境，这些技术措施的实施效果往往不尽如人意。

3.2 信息处理时效性的技术瓶颈

隧道雷达监测系统面临的技术瓶颈主要在于数据处理速度和时效性。由于需要实时处理海量数据，传统数据处理架构常遭遇性能瓶颈，导致信息处理滞后。为突破这一局限，业界开始探索分布式计算、云计算及边缘计算等技术的应用。分布式计算通过并行处理加速数据处理，云计算提供云端强大的计算与存储资源，而边缘计算在数据源头附近进行初步处理，减少数据传输延迟^[4]。然而，这些技术的集成应用并非易事，需要解决数据安全、隐私保护、技术兼容性等

问题,以确保信息处理的时效性与安全性。

3.3 高昂造价的技术与经济考量

雷达监测系统造价高,主因在于其复杂硬件和尖端技术集成。多线激光雷达通过集成多个设备,发射多条扫描线,提高数据量,但成本随之增加。软件方面,数据采集、处理和软件的开发和维护也需大量投资。为降低成本,业界正探索模块化设计、标准化生产和通用硬件应用,优化生产流程,提高效率。技术创新和研发是降低造价的关键,但需持续投入和时间积累,短期内难以显著降低成本。

3.4 结合冲突矩阵发明原理的解决方案

发现系统中技术冲突与物理冲突,得到恶化参数和改善参数,利用冲突矩阵和发明原理得出以下解决方案见图1D。

4 各模块的创新实践

4.1 聚焦隧道顶板监测策略

在隧道结构的安全监控中,信息收集模块首要关注的是隧道顶板沉降这一关键承重部位。因GBSAR技术具有覆盖范围大,高空间分辨率、非接触式、全天候、高精度和不需要人员实地测量等优点,利用该技术通过部署精密传感器,该模块能够实时捕捉顶板微小的位移和变形数据。这种聚焦策略有效减少了数据处理量,提升了响应速度,

基于TRIZ原理得到解决方案:抽取发射、接收、处理关键模块,微型化设计减体积;抛弃冗余如大散热、多余连接,精简高效。实现小巧,精准监测,适应隧道复杂环境,同时降低成本,提升经济效益^[5]。

4.2 信息预处理加速机制

为了提高监测效率,信息收集模块内置了预处理机制。通过地基合成孔径雷达系统技术,在距离向利用脉冲压缩实现高分辨率,在方位向通过波束锐化实现分辨率,从而获取观测区的二维高分辨率图像;通过差分干涉测量技术,把同一目标区域,不同时间获取的序列二维高分辨率图像结合起来,利用图像中各像素点的相位差反演获得被监测区域的高精度变形信息^[6]。该机制对直接收集到的信息进行初步筛选和分析,通过智能算法快速标记和分类异常数据,为后续深入处理提供了便利。

4.3 反馈模块折叠化设计

为满足不同场景的监测需求,信息收集模块采用了折叠化设计。这种设计显著减小了模块的体积,便于携带和部署,同时通过精密机械结构保证了折叠后的稳定性和耐用性^[7]。折叠设计虽然增加了设计复杂性,但显著提升了监测的灵活性和适应性。采用人工智能技术,实现隧道监测数据的高速自动化处理。通过智能算法分析庞大数据,减少人工负担,提升处理速度。构建阈值预警系统,实时监测并预警安全风险。优化信息传输,确保数据快速稳定传输至云端,利用大

数据处理能力,协同高效分析数据^[8]。

4.4 处理对象灵活切换

信息收集模块具备处理对象灵活切换的功能,能够根据不同的监测任务快速调整传感器类型和监测对象。这一创新设计增强了模块的通用性,但也对算法优化和数据处理能力提出了更高要求,以确保信息的准确性和完整性。隧道监测受地磁干扰,信号差,传输信息需实时高效传输,且信息体量大^[9]。采用光纤传输,以其强抗干扰、大带宽特性,确保信息高效稳定。锁定光纤因其优越性能,提升传输质量,降低维护成本,增强隧道安全性^[10]。此方案显著提升监测效率,为隧道实时监测和后续预测提供坚实支撑。

5 总结

基于triz理论,采用地基微变形雷达,利用厘米级波长的微波进行干涉测量,快速准确地获取隧道位移信息,用人工智能快速处理信息。为了充分发挥隧道雷达形变位移数据、配合隧道监测成像系统,隧道监测安全稳定预警系统,在封闭空间下对隧道围岩的回波处理,通过智能算法可自动去掉外部环境干扰。监测精度不低于0.1mm,作用距离大于1km,监测范围为水平90°,垂直45°;采集周期约为1~6min,全天时全天候24小时连续监测,最快每1分钟获取一幅观测场景位移图像,每幅位移图像获取百万级监测点数据。实现对隧道施工安全稳定性的实施自动判别和预警,具有分级预警功能。达到智能化监测对隧道围岩做到实时控制。

参考文献

- [1] 谢寿峰.基于专利分析的技术演变与预测研究[D].南京理工大学,2014.
- [2] 王健.城市隧道施工的关键技术研究与创新[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(12):205-207.
- [3] 罗莉萍,林剑峰,胡华.TRIZ创新方法科普化的研究[J].广东科技,2010,19(11):53-56.
- [4] 徐凯.隧道工程智能监测云信息系统的研发与应用[D].西安建筑科技大学,2023.
- [5] 盛兆哲,李宁,王旭斌.隧道洞口危险事件自动化监测预警平台设计与实现[J].测绘与空间地理信息,2024,47(03):147-149.
- [6] 刘晓龙.隧道有轨运输障碍物检测与预警方法研究[D].石家庄铁道大学,2023.
- [7] 杨朝栋,许建文,梁海深,黄涛,董学盛.隧道安全预警及安全管理要点分析[J].企业科技与发展,2022,(11):62-65.
- [8] 李斌,柯巍,刘盈,符凯娟.基于雷达增强型机器视觉的全息隧道监测预警技术[J].中国交通信息化,2022,(04):116-119.
- [9] 栗明明,王艳利.基于时序InSAR技术的地表形变监测技术研究[J].工程勘察,2021,49(07):60-63.
- [10] 吴星辉,璩世杰,马海涛,等.隧道雷达系统在露天矿隧道监测中的应用[J].金属矿山,2018,(02):188-191.

Research on the selection of passenger transfer mode based on the broad travel cost—Take Huai'an High-speed Railway East Station as an example

Tianwen Bao¹ Jiye Ma² Jiaxue Zhang¹ Lingling Liu¹

1. Huaiyin Institute of Technology, Huai'an, Jiangsu, 223001, China

2. PLA Unit 93125, Xuzhou, Jiangsu, 221000, China

Abstract

With the continuous improvement of social and economic level, the construction of China's high-speed railway and the continuous development, high-speed railway stations have become the main part of urban passenger transport. The connection between the high-speed railway station and the city, that is, the choice of the transfer mode, is particularly important. Based on the direct economic cost, travel cost and comfort cost, a generalized travel cost function model of various transfer modes of passengers in Huai'an East High-speed Railway Station is established. Through the stochastic utility function, namely the generalized travel cost function, the traditional Logit model is improved to study the influence of the generalized travel cost on passengers' choice of transfer mode. Calculating the value of broad travel expenses will be conducive to provide reference for managers to induce passengers to choose the travel mode with low broad travel cost, so as to achieve the optimization of the travel system.

Keywords

broad travel costs; Huai'an high-speed railway East station; transfer mode

基于广义出行费用的乘客换乘方式选择研究——以淮安高铁东站为例

包天雯¹ 马继业² 张佳雪¹ 刘灵灵¹

1. 淮阴工学院, 中国·江苏淮安 223001

2. 中国人民解放军 93125 部队, 中国·江苏徐州 221000

摘要

随着社会经济水平的不断提高,中国高速铁路的建设不断发展,高铁站已经成为城市客运的重要组成部分。高铁站与城市之间的衔接,即换乘方式的选择尤为重要。以直接经济成本,出行成本以及舒适性成本为基础,建立淮安高铁东站乘客各种换乘方式的广义出行费用函数模型。通过随机效用函数,即广义出行费用函数,对传统Logit模型进行改进,研究广义出行费用的高低对乘客选择换乘方式的影响。通过计算各广义出行费用值将有利于给管理者提供借鉴,让管理者诱导乘客选择广义出行费用低的出行方式,达到出行系统最优化。

关键词

广义出行费用;淮安高铁东站;换乘方式

1 引言

随着中国高速铁路建设的快速发展,高铁站已成为区域交通与城市交通衔接的重要节点。高铁车站与城市交通的便捷衔接是发展客流的有效措施,对城市发展和公共出行也有重要影响。此外,对高铁客运换乘的研究将有助于提高铁路枢纽客流分配效率,提高乘客满意度,对提高客运市场份额起到重要作用。

淮安高铁东站通过高铁到发乘客约为 227.39 万人次,乘客出站后会选择公交,出租车等换乘方式来前往目的地。由于高铁建设发展过于迅速,乘客到达淮安高铁东站进行换乘时存在乘客换乘时间过长、乘客换乘过程中舒适性差、换乘费用过于昂贵等问题,这些问题让乘客在换乘过程中产生困扰,乘客如何选择最优化的换乘系统以提高换乘效率和换乘中的舒适性是本文研究的方向。

2 淮安高铁东站乘客换乘方式选择模型构建

广义出行费用是由乘客换乘过程中产生的直接成本以及间接成本之和组成的。主要包括 3 个方面,即出行时间成

【作者简介】包天雯(1993-),女,中国江苏徐州人,硕士,助教,从事城市智慧交通研究。

本，直接经济成本以及舒适性成本。

2.1 广义出行费用函数

广义出行成本是由直接成本以及间接成本组成的。其中，直接成本是乘客直接支付或者税收等方式支付的成本，主要包括：车票价格，燃油费等；间接成本是指运行时产生的成本，主要包括：出行时间成本，舒适性成本等。广义出行费用函数可以表示为：

$$C_i = \alpha EC_i + \beta TC_i + \gamma MC_i \quad (1)$$

其中， C_i 表示换乘方式 i 的广义出行费用； EC_i 表示换乘方式 i 为出行的直接经济费用成本； TC_i 表示为换乘方式 i 出行的时间成本； MC_i 表示为换乘方式 i 出行的舒适度成本； α, β, γ 为待定系数。

根据调查问卷的收集以及数据分析，把各成本的重要程度由高到低进行一个排序，并根据这个排序进行一个打分，分值为 3, 2, 1，然后平均处理，得到各成本的重要程度的分值，如表 1 所示。

表 1 各成本的重要程度的分值

成本名称	分值
舒适性成本	0.595
时间成本	0.576
直接经济成本	0.383

把所有的成本统一成以直接经济成本为基础的费用函数，由此可以求出待定系数 α, β, γ 的值。

2.2 直接经济成本

出行的直接经济成本按照乘客在换乘过程中所选择的交通方式消耗的金钱以及公共汽车的票价来决定，即各种换乘方式的直接经济成本可用函数表示为：

$$EC_i = f_i \quad (2)$$

其中， f_i 为换乘方式 i 的计价函数，计算单位为“元”。

2.3 出行时间成本

出行的时间成本出行时间成本也称出行时间价值，是由于出行者在出行过程中所消耗的时间存在机会成本而产生的价值^[1]。

不同的收入水平对乘客选择换乘方式有着较大的影响。因此，设计了相关的调查问卷，根据调查问卷收集回来的数据分析，算出选择相同换乘方式的乘客的平均收入水平。因此，单位出行时间成本（按每月 30 天计算）可以表示为：

$$\text{单位出行时间成本} = \frac{\text{选择相同换乘方式的乘客的平均收入}}{30 \times 24 \times 60} \quad (3)$$

式中，单位出行时间成本按每分钟计算，计算单位为“元/min”。

2.4 出行方式分担率

将广义出行费用函数作为效用函数，从而改进传统的 Logit 模型。为了避免指数级增长使误差增大，需要对广义

出行费用函数进行平均处理，即各指数项部分除以各出行方式的平均广义出行费用 \bar{C} ，改进后的模型为：

$$P_i = \frac{\exp\left(\frac{\omega \bar{C}}{C_i}\right)}{\sum_i^5 \exp\left(\frac{\omega \bar{C}}{C_i}\right)} \quad (4)$$

3 淮安高铁站乘客换乘的实例分析

3.1 出行方式相同但出行距离不同时的广义出行费用函数

根据调查问卷所收集的数据分析，可以求出乘客的平均出行时间 \bar{t} ，即为 $\bar{t} = \frac{(29+28+29+29+29)}{5} = 28.8 \text{ min}$ 。

假设当初乘客的出行时间为 28.8 分钟以及乘客的出行距离为 3 公里，10 公里，15 公里时，各种换乘方式的广义出行费用如图 1 所示，计算单位为“元”。

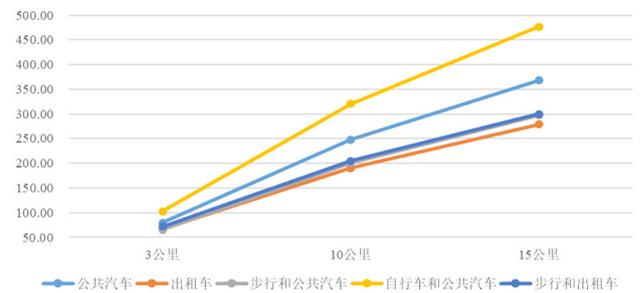


图 1 各种换乘方式在相同的出行时间以及不同的出行距离时广义出行费用

根据上图，可以发现当乘客的出行时间确定的时候，广义出行费用的大小与出行距离成正相关关系，即广义出行费用的大小随着乘客的出行距离的增加而增大。

3.2 出行距离相同但出行时间不同时的广义出行费用函数

根据调查问卷所收集的数据分析，可以求出乘客的平均出行距离 \bar{d} 为 6.2km。乘客的出行时间为 15min, 20min, 25min, 30min 以及 35min 时，各种换乘方式的广义出行费用如图 2 所示，计算单位为“元”。

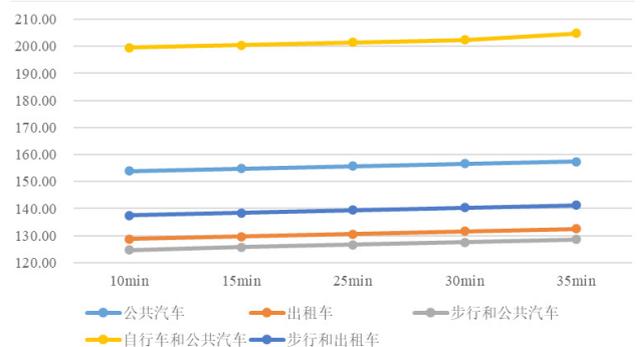


图 2 各种换乘方式在相同的出行距离以及不同的出行时间时广义出行费用

根据上图,可以发现当乘客的出行距离确定的时候,广义出行费用的大小与出行距离成正相关关系,即广义出行费用的大小随着乘客的出行距离的增加而增大。当乘客的出行距离一定时,各种换乘方式的广义出行费用由小到大的排序分别为步行和公共汽车,出租车,步行和出租车,公共汽车,自行车和公共汽车。

3.3 改进传统 Logit 模型的换乘方式分担率计算

根据调查问卷数据的收集和分析,可以得到乘客的平均出行距离 \bar{d} 以及平均出行时间 \bar{t} , 分别为平均出行距离 $\bar{d} = 6.2$, 单位为 km, 平均出行时间 $\bar{t} = 28.8 \text{ min}$ 。

因此,可以求出淮安高铁东站五种主要换乘方式的广义出行费用,如图3所示,计算单位为“元”。由图可知,淮安高铁东站五种主要换乘方式的广义出行费用由小到大的排序,分别为步行和公共汽车,出租车,步行和出租车,公共汽车,自行车和公共汽车。



图3 淮安高铁东站5种主要换乘方式的广义出行费用

基于传统的 Logit 模型和改进的 Logit 模型分别对淮安高铁东站五种主要换乘方式的分担率进行计算,结果如表2所示。

表2 淮安高铁东站五种主要换乘方式的分担率

换乘方式	传统的分担率	改进后的分担率
公共汽车	19.98%	15.19%
出租车	20.05%	26.36%
步行和公共汽车	20.06%	29.36%
自行车和公共汽车	19.89%	7.85%
步行和出租车	20.02%	21.24%

根据淮安高铁东站五种主要换乘方式的广义出行费用结果以及基于改进传统 Logit 模型的分担率结果,可以给出淮安高铁东站换乘方式引导的合理化建议,为管理者提供参考借鉴。

4 结论与建议

本文基于直接经济成本,出行时间成本以及舒适性成本,构建淮安高铁东站五种主要换乘方式的广义出行费用模型,并根据随机效用理论将广义出行费用作为效应函数,改进传统的 Logit 模型,对淮安高铁东站五种主要换乘方式的分担率进行计算。结果表明:当乘客的出行时间一定但出行距离小于3公里时,应当选择步行和公共汽车这种换乘方式;当乘客的出行时间一定但出行距离在3公里以上时,应当选择广义出行费用最小的出租车这种换乘方式;当乘客的出行距离一定时,应当选择步行和公共汽车这种换乘方式。研究结果可为交通管理者诱导乘客选择广义出行费用低的出行方式提供理论借鉴意义。

参考文献

- [1] 彭辉,王剑坡,张娜.基于SVM的高原川道型城市通勤者出行方式选择研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2021,40(11):18-23.
- [2] 栾彩云,冯天军,曹胜月,谢渊然.基于舒适度的寒区冰雪期广义出行费用研究[J].科技与创新,2020(19):44-45+47.
- [3] 高婷婷,王武宏.基于时间价值的城市交通出行成本研究[J].铁道运输与经济,2014,36(02):1-3+10.

Coal mining and excavation support technology and its application under complex geological conditions

Yun Yang

Shaanxi Huadian Yuheng Coal and Power Co., Ltd., Yulin, Shaanxi, 719000, China

Abstract

Coal mining faces many challenges under complex geological conditions, especially the safety problems in the tunneling process. In order to ensure the smooth progress of coal mining and the life safety of operators, excavation support technology is particularly important. This paper discusses the effectiveness of coal mining support technology under complex geological conditions, analyzes the problems faced by the current support technology, and puts forward targeted strategies. In order to improve the safety and efficiency of coal mine excavation support and provide a strong guarantee for coal mining under complex geological conditions by optimizing support technology, strengthening equipment maintenance, improving personnel quality and strengthening technological innovation.

Keywords

complex geological conditions; coal mining; excavation support technology; Apply strategy

复杂地质条件下的煤矿采煤掘进支护技术及其运用

杨赞

陕西华电榆横煤电有限责任公司，中国·陕西 榆林 719000

摘要

煤矿开采在复杂地质条件下面临诸多挑战，尤其是掘进过程中的安全问题尤为突出。为确保煤矿开采的顺利进行和作业人员的安全，掘进支护技术显得尤为重要。本文探讨了复杂地质条件下煤矿采煤掘进支护技术的有效性，分析了当前支护技术面临的问题，并提出了针对性的策略。以期通过优化支护技术、加强设备维护、提升人员素质及强化技术创新等措施，提高煤矿掘进支护的安全性和效率，为复杂地质条件下的煤矿开采提供有力保障。

关键词

复杂地质条件；煤矿采煤；掘进支护技术；运用策略

1 引言

煤矿开采是国民经济的重要支柱，但在复杂地质条件下，煤矿掘进工作面临着诸多挑战。岩层断裂、地应力分布不均、顶板岩屑量大等问题给掘进工作带来了极大的困难，同时也严重威胁着作业人员的生命安全。因此，合理选择和应用掘进支护技术，对于保障煤矿开采的顺利进行和作业人员的安全具有重要意义。本文将从复杂地质条件下煤矿采煤掘进支护技术的有效性出发，分析当前支护技术面临的问题，并提出相应的策略，为煤矿开采提供有益的参考。

2 复杂地质条件下利用煤矿采煤掘进支护技术的有效性

在复杂地质条件下，煤矿掘进支护技术的有效性对于

保障矿井的安全、提高采煤效率以及降低生产成本具有至关重要的作用。合理的支护技术能够有效防止顶板坍塌、煤与瓦斯突出等灾害的发生，极大降低矿工的安全风险，从而确保矿井的长期稳定运行。支护的稳定性不仅关系到工作面的安全，还对生产进度有着直接影响。通过科学的支护设计和施工，可以有效控制地质灾害，减少意外事故的发生，保障矿工的生命安全^[1]。

此外，掘进支护技术能够显著提高采煤效率。在支护结构的保障下，工作面可以保持长时间的稳定，避免由于支护失败而造成的生产中断。同时，支护技术的优化应用，有助于减少不必要的材料浪费，提高资源利用率，从而提升整个采煤过程的效率。另外，从经济角度来看，适当的支护技术能够降低矿井的运营成本。通过选用适合的支护方式，不仅可以延长矿井的使用寿命，降低维护费用，还可以减少频繁更换支护设备的需求，进一步优化矿井的经济效益。因此，支护技术的有效性不仅体现于矿工安全的保障和采煤效

【作者简介】杨赞（1990-），男，中国山东济宁人，本科，工程师，从事煤矿安全生产管理研究。

率的提升,更在于其对矿井经济效益的长期影响。

3 复杂地质条件下的煤矿采煤掘进支护技术面临的问题

在复杂地质条件下,煤矿掘进支护技术面临的主要问题表现在多个方面。首先,由于地质条件的不稳定性,支护质量常常难以得到有效保障。随着掘进工作的深入,岩层结构的变化和突发的地质灾害使得支护系统的稳定性受到极大挑战。尤其在煤层断裂、裂隙发育等特殊地质条件下,传统支护技术往往难以应对,导致支护效果大打折扣。与此同时,支护材料的质量和施工工艺对最终支护效果的影响也不容忽视,若质量控制不到位,极易出现支护结构失稳的情况,进而危及矿工安全。

另外,尽管现代支护技术层出不穷,但许多技术仍存在成本过高的问题。在煤矿生产过程中,支护设备和材料的高投入给矿井经济带来较大压力,尤其是对于资源有限的小型矿井而言,经济效益难以得到保障。此外,部分支护技术的适应性也较差,难以完全满足复杂地质条件下的需求。现有技术快速变化的地质环境下往往缺乏足够的灵活性,导致支护效果无法持续保持稳定,这对煤矿的长期开采带来潜在隐患^[2]。最后,一些支护设备和技术与矿井实际地质环境的匹配度不高,设备性能和适用范围受到限制,导致支护工作效率低下,甚至无法有效应对复杂地质的变化。因此,如何提升支护技术的适应性、降低其成本并确保其稳定性,成为当前煤矿掘进支护技术有待解决的关键问题。

4 复杂地质条件下的煤矿采煤掘进支护技术的运用策略

4.1 优化掘进支护技术

掘进支护技术的优化是确保复杂地质条件下煤矿安全生产的基础。通过系统分析和实践验证,科学合理的支护技术优化方案可显著提升支护效果,降低安全隐患。

针对不同地质条件的锚杆支护技术优化尤为关键。研究表明,在20~35MPa抗压强度的软弱围岩中,采用树脂锚杆配合全长锚固工艺,可使锚固力提升至180~220kN,较传统水泥锚固提高45%。锚杆间距应控制在0.8~1.0m,排距为0.7~0.9m,成组布置形成强化支护区。实测数据显示,这种布置方式可使顶板下沉量控制在30mm以内,比常规支护方案降低58%。同时,采用直径22mm、长度2400mm的左旋螺纹钢锚杆,配合M24螺母紧固,扭矩控制在200~250N·m,可使锚杆轴向力达到120kN以上。另外,弹性支护技术的应用需因地制宜。在冲击地压频发区域,建议采用让压型U型钢支架配合可缩性托盘。通过现场应用验证,当围岩压力达到0.3~0.5MPa时,支架产生200~300mm可控变形,有效避免了支架被压断的风险。支架规格选用U29,间距控制在0.6m,横向连接采用4根 ϕ 14mm圆钢,可使支护结构承载力达到280~320kN/m²。

与此同时,在高应力集中区域,复合支护系统的优化尤为重要。采用“锚杆+钢带+金属网+喷射混凝土”的联合支护方案,其中喷射混凝土强度等级不低于C25,厚度控制在80~100mm。金属网采用 ϕ 6.5mm钢筋网片,网格间距100×100mm。实践证明,这种复合支护系统可使围岩内聚力提高0.8~1.2MPa,内摩擦角增加3~5°,显著提升了巷道的整体稳定性。最后,前探预警技术的应用是支护优化的重要环节^[3]。通过超前钻探,探测范围不小于30m,钻孔间距3~4m。当遇到导水断层或软弱夹层时,采用双液注浆加固,注浆压力控制在3~4MPa,注浆材料选用水泥-水玻璃双液浆,其中水泥标号不低于P.O 42.5,水玻璃模数2.4~2.8。这种预加固措施可使软弱带的抗压强度提升至15MPa以上。

4.2 加强设备维护与更新

设备的可靠性直接影响掘进支护的质量和效率。科学的维护管理体系和及时的设备更新是确保支护工作顺利开展的重要保障。设备管理应建立在精确的数据分析基础之上。

液压支护设备的维护管理体系需要特别关注。液压支架工作压力应保持在28~32MPa范围内,溢流阀开启压力设定为35MPa。液压油过滤精度要求达到NAS7级以上,油温控制在45℃以下。通过在线监测系统,当发现支架立柱跳动超过0.5MPa或工作阻力降低10%以上时,应立即进行检修。实践表明,这种精细化维护可使设备故障率降低65%,使用寿命延长30%以上。另外,钻探设备的维护更新周期应严格把控。岩石钻机的钻头使用寿命通常在150~180小时,当钻进速度下降20%或振动值超过2.5mm/s时应及时更换。液压系统压力应保持在18~22MPa,泵站流量不低于120L/min。钻机动力头转速宜控制在90~120r/min,推进力保持在80~100kN。设备维护记录显示,执行这些标准可使钻机的年利用率提升至85%以上。

再有,锚杆支护设备的性能保障尤为重要。锚杆钻机的冲击功率应维持在2.8~3.2kW,钻进速度不低于1.2m/min。锚杆扭矩应控制在600~800N·m,主轴最大转速不超过400r/min。通过建立设备健康档案,记录关键部件的磨损状况,当主轴跳动超过0.15mm或马达效率降低15%时,应进行更换。这种预防性维护策略可降低设备非计划停机时间,将维修成本控制在设备原值的8%以内。除此之外,支护材料存储和运输设备的管理同样关键。树脂药卷储存温度应控制在5℃~25℃,相对湿度不超过75%。运输设备的载重能力需达到设计值的85%以上,制动距离不大于30m。通过GPS定位系统实时监控运输车辆状态,结合智能调度平台,可使材料运输效率提升40%,确保支护作业的连续性^[4]。

4.3 提升人员素质与技能

煤矿掘进支护作业要求技术人员具备专业的知识储备和实践经验。人员素质的提升直接关系到支护工作的质量和

安全性，需要建立系统化的培训体系。

专业理论知识培训体系的构建至关重要。培训内容应涵盖岩石力学、支护理论、设备原理等核心知识，每年培训时长不少于180学时。理论考核采用百分制，及格线定为75分，优秀率要求达到35%以上。通过案例分析显示，实施专业化培训后，技术人员对复杂地质条件的识别准确率提升至92%，支护方案制定的合理性提高了45%。职业技能认证也要严格把控，要求技术人员持证上岗率达到100%，其中高级工程师占比不低于15%。另外，实操技能训练需采用模拟实训与现场实践相结合的方式。建立智能化培训基地，配备VR设备模拟不同地质条件下的支护场景。培训基地应具备至少5个不同类型的模拟工作面，覆盖断层、褶皱、软弱夹层等典型地质构造。实操考核标准要求锚杆安装角度误差不超过2°，锚固剂充填率达到95%以上，支护质量合格率不低于98%。数据统计表明，通过系统化实训，技术人员的操作熟练度提升了65%，作业效率提高了38%。

此外，应急处置能力的培养同样重要。每季度开展一次突发事件应急演练，包括顶板失稳、瓦斯超限、水患等典型险情。演练考核采用百分制，要求个人得分不低于80分，团队协作得分不低于85分。通过定期演练，应急响应时间缩短至原来的1/3，处置方案的准确性提升至95%以上。建立应急处置档案，记录每次演练中发现的问题和改进措施，形成完整的经验积累体系。最后，技术创新能力的培养需要建立激励机制。鼓励技术人员参与工法改进和技术创新，每年至少提出2项合理化建议。创新成果评估采用百分制，从实用性、创新性、经济性三个维度进行评分，达到85分以上的予以奖励。实践证明，通过创新激励机制，技术创新热情得到提升^[5]。

4.4 强化技术创新与研发

技术创新是提升煤矿掘进支护效果的核心动力。科研投入和创新机制的建立对推动支护技术进步具有决定性作用。实践证明，持续的技术创新能显著提高支护效果^[6]。

智能化支护系统的研发需要重点突破。开发基于物联网技术的支护监测系统，传感器采集频率不低于100Hz，数据传输延迟控制在100ms以内。系统具备实时监测支护压力、围岩变形、锚杆受力等参数的能力，当任一参数超过警戒值的85%时自动报警。研究数据显示，智能化系统可使支护参数的采集精度提升至±0.5%，预警准确率达到97%，较传统人工监测提高了60%。与此同时，新型支护材料的研发应注重性能优化^[7]。研制高强度、快速凝固的喷射混凝土，其28天抗压强度达到65MPa，初凝时间控制在90秒内，

终凝时间不超过4小时。通过添加0.8%的聚丙烯纤维和1.2%的硅灰，可使混凝土的抗裂性能提升40%，粘结强度增加35%。实验证明，改性后的喷射混凝土与围岩的粘结强度可达2.8MPa，较普通喷射混凝土提高了55%。

除此之外，支护设备的技术革新同样重要。开发具备自适应功能的液压支架，能根据围岩压力自动调节支护阻力，调节范围20~35MPa，响应时间小于0.5秒。采用数字孪生技术建立支架受力模型，实时分析支架变形特征，预测使用寿命。现场应用结果显示，自适应支架可使支护效果提升25%，设备故障率降低40%。

最后，理论研究的深化是技术创新的基础。建立三维数值模拟平台，模拟网格精度达到0.1m，计算精度控制在95%以上。通过有限元分析优化支护参数，建立围岩稳定性评价体系。研究成果表明，基于数值模拟的支护方案可使支护效果提升30%，工程造价降低15%，为支护技术的优化提供了科学依据^[8]。

5 结语

复杂地质条件下的煤矿采煤掘进支护技术是保障煤矿开采顺利进行和作业人员生命安全的重要手段。面对当前支护技术面临的问题，我们需要不断优化掘进支护技术、加强设备维护与更新、提升人员素质与技能以及强化技术创新与研发。通过这些措施的实施，可以提高煤矿掘进支护的安全性和效率，为复杂地质条件下的煤矿开采提供有力保障。

参考文献

- [1] 宋厚武, 朱海义. 浅析复杂地质条件下的煤矿掘进与支护技术[J]. 中国设备工程, 2024,3(16):219-221.
- [2] 安保山. 煤矿复杂地质条件下的掘进支护技术分析[J]. 能源与节能, 2024,(04):137-139+143.
- [3] 董广路, 孙立虎. 复杂地质条件下煤矿开采掘进支护技术的应用[J]. 冶金与材料, 2024,44(05):127-129.
- [4] 马洪亮. 复杂地质条件下煤矿开采掘进支护技术探析[J]. 矿业装备, 2023,(12):13-15.
- [5] 韩于锋. 复杂地质条件下的煤矿掘进与支护技术的应用研究[J]. 自动化应用, 2024,65(04):154-156.
- [6] 孔磊, 宋士涛, 魏本亮. 复杂地质条件下的煤矿采煤掘进支护技术情况探究[J]. 科技资讯, 2024, 22 (22): 205-207.
- [7] 张有福. 复杂地质条件下的煤矿采煤掘进支护技术[J]. 矿业装备, 2024, (08): 88-90.
- [8] 李鹏飞. 复杂地质条件下的煤矿采煤掘进支护技术及其应用[J]. 矿业装备, 2024, (02): 11-13.

Fault positioning method of RF analog circuit based on signal analysis

Jiawei Xie

The 34th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Guilin, Guangxi, 541004, China

Abstract

RF analog circuit is widely used in communication, broadcasting, radar and other fields, but due to its complexity and high frequency characteristics, it is prone to failure. Traditional fault location methods have some limitations, especially in the environment of signal interference and high-frequency noise, and the efficiency and accuracy of fault location are affected. This paper presents a fault localization method of RF analog circuits based on signal analysis to accurately locate the fault points by analyzing the signals in the RF circuit and combining with the fault feature extraction technique. By constructing the signal transmission model and using the combination of frequency domain analysis and time domain analysis, this method can quickly identify the fault position in the circuit, and reduce the error caused by human interference and equipment imprecision in the traditional method. The experimental results show that this method has significant advantages in improving the accuracy and efficiency of fault localization and has important applications for fault diagnosis of RF circuits.

Keywords

radio frequency analog circuit; fault location; signal analysis; frequency domain analysis; time domain analysis; fault diagnosis

基于信号分析的射频模拟电路故障定位方法

谢嘉威

中国电子科技集团公司第三十四研究所, 中国·广西 桂林 541004

摘要

射频模拟电路广泛应用于通信、广播、雷达等领域,但由于其复杂性和高频特性,容易发生故障。传统的故障定位方法存在一定的局限性,尤其是在信号干扰和高频噪声的环境中,故障定位的效率和准确性受到影响。本文提出了一种基于信号分析的射频模拟电路故障定位方法,通过对射频电路中的信号进行分析,结合故障特征提取技术,精确定位故障点。该方法通过构建信号传输模型,利用频域分析和时域分析相结合的技术,能够快速识别电路中的故障位置,并且减少了传统方法中人为干扰和设备不精确导致的误差。实验结果表明,该方法在提高故障定位的精度和效率方面具有显著优势,对于射频电路的故障诊断具有重要的应用价值。

关键词

射频模拟电路; 故障定位; 信号分析; 频域分析; 时域分析; 故障诊断

1 引言

射频模拟电路在现代通信系统中起着至关重要的作用,广泛应用于无线通信、广播、雷达、电子战等领域。射频电路的设计和运行依赖于高频信号的传输和处理,因此,其稳定性和可靠性对整个系统的性能至关重要。然而,由于射频电路的高频特性和复杂结构,故障的发生不可避免,这对设备的正常运行、性能的保持以及维护的效率都带来了巨大挑战。传统的故障定位方法主要依赖人工检查和逐步排除的方式,这不仅效率低下,而且容易受到人为因素的影响,导致定位结果不够精确。

近年来,随着电子技术和通信技术的飞速发展,射频电路的复杂度和应用场景的多样性不断增加,这对故障诊断技术提出了更高的要求。传统的故障定位方法多依赖于静态检测和经验判断,而随着信号复杂性的增加,采用基于信号分析的动态监测方法成为一种有效的解决方案。信号分析方法通过对射频电路中的信号进行实时监控和分析,可以根据不同故障类型的特征,快速定位故障源。信号分析结合了频域分析和时域分析的优点,能够有效提高故障诊断的精度和效率。

本研究旨在探讨一种基于信号分析的射频模拟电路故障定位方法,通过对电路信号的实时监控和分析,结合先进的信号处理技术,提供一种高效、精确的故障定位方案。通过分析射频电路中故障的信号特征,本研究提出了一种结合时域与频域分析的混合模式,能够准确判断电路中故障的类

【作者简介】谢嘉威(1989-),男,中国广西桂林人,本科,工程师,从事光通信技术研究。

型和位置，从而提高电路的维护效率和使用寿命。

2 射频模拟电路的故障类型与故障特征

2.1 射频模拟电路的常见故障类型

射频模拟电路的故障类型多种多样，通常可以分为以下几类：

信号衰减故障：电路中的某些元件失效，导致信号衰减。常见的原因包括连接不良、元件老化或电路短路等。

失真故障：射频信号在传输过程中出现失真，导致输出信号形态变化。这种故障常由滤波器失效、增益不均或噪声干扰等引起。

频率漂移故障：射频电路的工作频率发生漂移，导致设备无法正常工作或与其他设备产生频率干扰。常见原因包括温度变化、元件老化或电源不稳定。

相位失调故障：信号的相位出现失调，通常是由电路中某些元件的参数变化或不匹配引起的。

杂散信号故障：由于电磁干扰或电路不良接地等问题，射频电路可能产生杂散信号，影响电路的正常工作。

2.2 射频电路故障特征

射频电路故障的特征通常体现在信号的幅度、频率、相位以及波形等方面。常见的故障特征如下：

信号幅度变化：故障导致信号的幅度发生变化，通常表现为信号衰减或增益失衡。

频谱异常：故障可能导致频谱发生异常，表现为频率偏移、失真或产生附加信号。

波形失真：故障可能导致信号波形的形态变化，尤其是在高频应用中，波形的失真可能严重影响系统的性能。

相位变化：由于电路不稳定或元件参数变化，信号的相位可能发生偏移，导致相位失调。

2.3 故障特征的信号分析方法

通过对射频电路信号的特征分析，可以快速识别出故障类型。常用的信号分析方法包括频域分析和时域分析。频域分析通过傅里叶变换将信号转换为频谱，帮助分析信号的频率特性；时域分析则通过观察信号在时间上的变化，帮助识别信号的幅度、相位等特征的变化。

3 基于信号分析的射频模拟电路故障定位方法

3.1 频域分析方法

频域分析是一种有效的信号处理技术，在故障诊断中，尤其在频率相关的故障识别方面具有重要应用。通过频域分析，可以更加清晰地看到信号的频率成分以及信号在频域中的分布情况，进而揭示潜在的故障问题。频域分析的基本步骤包括傅里叶变换、频谱分析和滤波器分析等。傅里叶变换是频域分析中的基础，通过将时域信号转换为频域信号，得到信号的频谱，可以方便地识别信号的频率成分以及与正常信号相比的偏移或畸变。频谱分析则帮助工程师更好地理解

信号的频率分布和特征，通过观察频谱中是否存在额外的频率成分（如副频、谐波等），可以判断信号是否存在频率漂移、谐波失真或杂散信号等问题，这些通常是射频电路中的常见故障症状。

此外，滤波器分析也常用来辅助故障定位。在射频电路中，滤波器通常用于清除不需要的信号或调整信号的频谱特性，因此滤波器的性能直接影响信号的质量。如果滤波器发生失效或者其性能不稳定，就可能导致信号的失真或衰减。

3.2 时域分析方法

时域分析是信号分析中的基础方法，主要用于观察信号在时间上的变化，能够直观展示信号幅度、相位等信息。时域分析常用于检测信号衰减、失真以及其他时域特性引发的问题。时域分析的关键技术包括信号幅度分析、波形分析和时域反射分析等。在时域幅度分析中，通过对信号幅度随时间变化的观察，可以轻松检测到由于组件故障（如电阻、电容损坏等）引起的信号衰减。若信号幅度出现异常下降或波动，通常意味着存在设备故障或者连接问题，可能是线路短路、接触不良等引发的。

波形分析则用于观察信号波形是否发生失真。信号在传输过程中的任何问题都可能导致其波形失真，尤其在射频电路中，由于非线性元件或设计不合理，可能出现波形畸变。通过对时域波形的实时分析，可以直接观察到这些失真现象，进而帮助判断故障位置和性质。在许多实际应用中，波形分析能够快速反馈电路中潜在的故障点，提供直观的故障识别依据。

3.3 混合分析方法

混合分析方法结合了频域分析和时域分析的优势，是故障定位中非常有效的分析手段。通过将时域分析和频域分析结合，可以全面考虑信号的时间和频率特性，进而提供更为精准的故障定位结果。特别是在现代射频电路中，信号非常复杂，单一的时域或频域分析方法往往难以准确揭示故障的全貌。混合分析方法能够结合时域信号的直观特征和频域信号的频率变化，全面剖析故障产生的原因和位置，从而提高故障定位的精度。

在具体实施过程中，混合分析方法往往通过将信号同时在时域和频域中进行处理，使得分析结果更加全面。比如，针对一些由频率漂移引起的故障，通过频域分析可以精准捕捉到信号频率的偏移，而时域分析则能够通过观察波形的变化提供具体的故障信息。此外，混合分析方法还可以通过对比时域和频域中的变化趋势，进一步验证故障类型的判断。例如，若频域中存在明显的谐波成分，同时时域波形出现畸变，则可以进一步确认是由于非线性问题引起的故障。混合分析方法在解决复杂信号故障时展现出较高的灵活性和适应性，尤其在对复杂射频电路的故障诊断中，具有广泛的应

用前景。

4 故障定位的优化策略与实验验证

4.1 优化策略

在基于信号分析的故障定位过程中，优化策略是提高故障诊断精度和效率的关键。首先，信号采集与处理的优化是提升整个系统性能的基础。信号采集系统的精度直接影响到数据的质量和后续分析的准确性。在信号采集过程中，采用高性能的传感器和精密的采样电路可以减少噪声干扰，保证信号的原始特性被充分保留。此外，通过优化采集系统中的滤波器和放大器，可以进一步减少系统的损耗，提高信号的质量，确保数据在传输和存储过程中的完整性。信号处理阶段的优化也是至关重要的，通过采用高效的信号处理算法，如快速傅里叶变换（FFT）、小波变换等，能够从复杂的射频信号中提取出有用的信息，进一步提高故障检测的精度。

其次，数据融合与分析的优化也是提升故障定位精度的重要途径。射频电路中的故障通常会在时域和频域上产生不同的表现，单一的分析方法可能难以全面覆盖所有故障类型。因此，采用时域和频域分析相结合的多维度分析方法，可以更全面地捕捉信号中的变化，从而提高故障定位的准确性。结合时域和频域的数据融合方法，通过加权平均、卡尔曼滤波等算法对多维数据进行优化融合，可以有效抑制噪声，提高故障检测的可靠性。

最后，智能化分析方法的应用是未来故障定位技术发展的重要方向。随着大数据、人工智能（AI）和机器学习的快速发展，基于信号分析的故障定位技术已经逐渐向智能化转型。通过深度学习和神经网络算法，系统可以自动从大量历史数据中学习并建立故障模型，识别出电路中潜在的故障模式。这种智能化方法不仅能够传统算法的基础上提高定位的速度和准确性，还能根据不同的工作环境和复杂信号进行自适应调整，从而实现实时、准确的故障定位。

4.2 实验验证

为了验证所提出的基于信号分析的故障定位方法的有效性，本文进行了多种典型射频模拟电路故障的实验测试。在实验中，我们选择了包括频率漂移、信号衰减、相位失调等常见故障类型，并对这些故障类型进行信号采集、处理和分析。通过时域与频域分析相结合的方式，采用多种信号处理算法对采集到的信号数据进行分析，成功实现了故障的准

确定位。

实验结果表明，所提出的故障定位方法在频率漂移和信号衰减等问题上表现出较高的精度。通过频域分析，可以精确地检测到信号频率的偏移，从而定位到出现故障的部分；而通过时域分析，能够更直观地观察到信号的衰减或失真，进一步验证故障类型。与传统的逐步排除法和基于经验的故障诊断方法相比，本方法在定位的速度和精度上有了显著提高。具体而言，频率漂移的故障定位误差控制在 ± 0.2 MHz 以内，信号衰减故障的定位精度在 ± 0.5 dB 以内，满足了高精度射频电路的故障诊断需求。

实验还显示，在实际工作条件下，结合时域和频域分析的故障定位方法能够在多种复杂工作环境下稳定运行，成功检测并定位了多种类型的射频电路故障。测试表明，该方法不仅具有较高的准确性，而且在噪声较大和信号复杂的环境中也能有效工作，确保了故障定位的稳定性和可靠性。

5 结语

基于信号分析的射频模拟电路故障定位方法为射频电路的故障诊断提供了新的思路和有效的技术支持。通过采用时域和频域分析相结合的方式，并结合先进的信号处理和智能化分析方法，能够在复杂环境下实现高精度、快速的故障定位。实验验证结果表明，该方法在频率漂移、信号衰减和相位失调等常见故障的诊断中具有显著的优势，为射频电路的维护和优化提供了有力工具。

随着通信技术的不断发展，射频电路的复杂性和多样性不断增加，未来故障定位技术将面临更加严峻的挑战。基于信号分析的故障定位方法将继续朝着更加智能化、自动化的方向发展，结合人工智能、大数据分析等先进技术，进一步提高故障定位的速度和精度。随着 5G、6G 等高频通信技术的逐步应用，射频电路的故障诊断方法将会不断创新，为射频设备的维护和优化提供更为可靠和高效的解决方案。

参考文献

- [1] 梁德文.逻辑电路的模拟及其应用[J].电讯技术,1980,(04):48-60.
- [2] 吴成禧.模拟电路自动故障诊断评论[J].国防科技大学学报,1984,(04):77-90.
- [3] 邹锐.模拟电路K故障诊断[J].华中工学院学报,1985,(S2):1-8. DOI:10.13245/j.hust.1985.s2.001.
- [4] 孙义闯.模拟电路故障诊断理论和方法综述[J].大连海运学院学报,1989,(04):68-75.DOI:10.16411/j.cnki.issn1006-7736.1989.04.013.

Analyze the popularization process of intelligent line selection software

Zhiming Ma

Xinjiang Jiaotou Construction Management Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830099, China

Abstract

Intelligent line selection transforms the cumbersome and inefficient scheme comparison and selection and engineering quantity statistical modification work into convenient and efficient parameter condition input, replaces the most cumbersome manual line display and slope brushing work in CAD line selection, and achieves the purpose of fast line selection and accurate line selection.

Keywords

intelligent line selection; route comparison; Corridor belt comparison

痛析智能选线软件普及化进程

马志明

新疆交投建设管理有限责任公司，中国·新疆 乌鲁木齐 830099

摘要

智能选线将繁琐、低效的方案比选与工程量统计修改工作转变为即便捷又高效的参数条件输入，取代cad选线中最繁琐的人工展线刷坡工作，达到快速选线、精准选线的目的。

关键词

智能选线；路线比选；廊带比选

1 公路选线方式历史进程

1.1 一阶段

尺子+铅笔+纸+地形图，辅助以简单的计算器，完全人工手画选线、计算并统计编制图表。

1.2 二阶段

借助于电脑计算机系统，如常用的 AUTOCAD\ 纬地软件\海地软件\VI 等软件，结合地形图，以人工选线为主，计算机辅助计算，在数天、数周内进行几条、十几条路线方

案的比选。

1.3 三阶段

随着地形图等高线获取方式的多元化与便捷化，为在大面积范围内进行快速选线奠定了基础，同时智能选线软件的出现，在人工确定基本道路参数的前提下，主要以计算机软件计算、筛选为主，在数分钟内进行近百万条路线的选线+工程量+造价分析后，向工程师提供数条参照方案，再进行人工判断、核查、优化、细化。

表 1 选线方式发展进程对比表

发展阶段	工具	操作区别	效率	比选方案	人力的侧重点
一阶段	铅笔、尺子、纸张	完全人工选线	慢	有限	人力负责 100% 的工作量
二阶段	电脑 cad	以人工筛选为主，电脑辅助计算	较快	有限	展线刷坡、数据分析、工程量统计比选几乎全靠人力，需大量投入人力
三阶段	电脑 CAD+ 智慧选线软件	以电脑软件筛选为主，人工复核优化	极快	近乎无限	人力集中在判断、复核路线的合理性及优化工作

注：在数模、参数等基础数据齐全的前提下，智慧选线软件可在几分钟内完成初步的路线比选及工程量和工程造价的计算对比，前两个阶段的工作方式完全无法实现高效批量对比。

【作者简介】马志明（1986-），男，回族，中国新疆乌鲁木齐人，本科，高级工程师，从事公路工程（路线、路基路面）、设计变更审查审批研究。

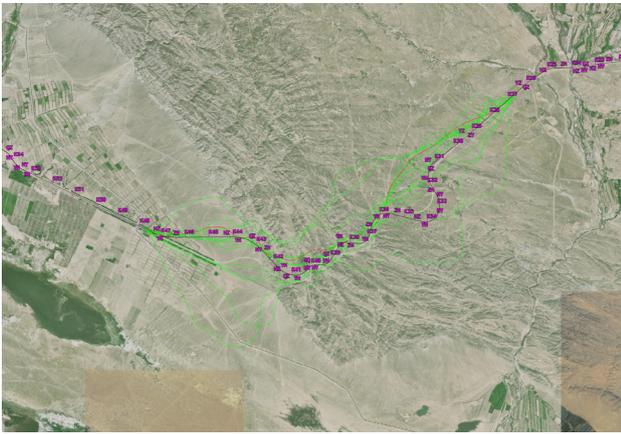


图1 山区选线案例

上图所示,在几年前山区选线中,偶然机会得到智能选线软件使用权,绿色路线为智能软件在几分钟内产生的15条路线方案,并推荐出1条推荐方案,在这之前,项目组已通过传统道路cad选线方式在此片地势起伏的山脉中反复展线对比3个月,两种方式最终的推荐方案几乎一致,但在工程量微观计算比选中,智能选线更优,且选线时间成本天差地别。

2 软件的操作方式

选线是一个由面到带、由带到线、由线到点的研究过程,是一个控制条件由粗到细、方案研究逐步深入的过程,智能选线软件亦不例外,操作过程大致分为以下五个步骤:

- 地形图数模
- 控制参数输入
- 输入几何设计参数
- 软件自动筛选生成廊带、路线
- 人工复核、优化

①确保地形图如准确、全面反映地形和地物的最新现状。

②根据具体项目标准输入初步的费用参数、地质参数。以及主要的地形、区域控制参数,如主要相交道路、影响区域等。

③初定几何参数,对平纵指标极限值、一般值等参数进行设置。

④软件在项目区域内根据地形等条件进行大范围走廊带搜索,结合输入的参数初步筛选出有价值的廊带、路线。

⑤结合各专业组分工配合,优化调整,最终人工确定最佳路线设计。

3 软件操作的效果

相较传统的以人工操作为主、cad辅助设计,智能选线操作过程中通过基础数据与参数的输入,主要以计算机计算、筛选为主,辅助以人工核查、优化。

软件通过对各项标准、要求、基础资料的整合,通过

一次运算分析就可对路线走廊带进行验证、比较和优化,同时为所有可行的路线提供研究和对比的数据基础,通过极高的效率,大大提升工作效率,在项目前期工作中提供更轻便、直观的方案与数据参考。也可以通过修改参数条件快速进行选线方案比选计算。

4 软件市场调查

经过调查软件经销商及个别使用者,在过去数年期间,软件使用权购买基本按年收费,市场价格稳定在40~50万元/年。软件开发者通过数量有限的电子狗及密钥保护措施,严格控制了每个会员软件的使用范围和操作权限。

5 软件未普及化原因分析

任何高大上的商业产品,无论性能优劣,如果不被消费者所采纳,不被使用者所普遍接受,它都不能称之为成功的产品。本文所述的智能选线软件产品与使用者(自然人)之间,更多的不是使用者(自然人)主观的排斥,距离感的产生原因更多地来自外在原因,经初步分析,智能选线软件经久未普及化的原因有以下几点:

5.1 产品使用者

这里的产品使用者,所指不排除自然人,但更多的是代表具有相应资质的企事业单位。

①支出:设计工程师人员平均工资,暂且按设计单位工程师年平均工资10~15万元计算,软件年收费价格几乎为3~5位工程师的年工资支出。对以盈利生存为基本前提的企业来说,软件收费明显价格偏贵,对内购买软件进行推广的动力不足。

②收入:勘察设计费计算与工程总投资是否进行了最优化关联性小,工程造价的降低,对设计方勘察设计咨询费用没有直接关联。在缺乏相应奖励机制的现状下,前期方案研究单位全力、拼力优化方案,以节约工程投资的内在动力不足。

③即使某一个企事业单位购买了一个电子狗,也仅仅能满足个别人员或者项目组在有限的范围内操作使用,在面对基数庞大的技术人员时,想人人拥有一个电子狗,确保每一位工程师拥有随时、随地、便利的软件使用权,近乎痴人说梦。

5.2 软件开发者知识产权利益与全民利益之间的统一与矛盾

根据软件知识产权法规定,任何组织和个人预获得软件使用权利,需向软件开发者支付相应费用,从软件开发者处获得使用许可权,软件开发者由此而获得相应的报酬,用以对既有成果的交流,或作为后期软件继续研发改进的资金支撑。

一方面是具体软件开发者的产权保护利益,一方面是全民所有的基础建设项目投资金额控制,两者矛盾又统一。众所周知,市场机制对经济的调节是自发的,但市场调节不

是万能的，其结果不一定符合社会的要求，在市场调节力度失控或不足时，政府主导或引导的微观经济政策应及时进行补充跟进，保护知识产权的目的是激励创新，服务和推动高质量发展，满足人民美好生活需要，知识产权保护应坚持人民利益至上、公正合理保护的原则，既要严格保护知识产权，又要防范个人和企业权力过度扩张，确保公共利益和激励创新兼得，在建设知识产权强国与建设基础设施强国道路中，应两者相结合，共同实现全体国民经济的利益最大化。

5.3 行业主管部门在推广智能选线软件中的作用

随着计算机技术的发展，工程行业辅助软件层出不穷，旧版辅助软件在满足基本行业需求的前提下，已占据操作行业市场，新软件的出现与推广面临着重重困难。设计单位与设计工程师在惯性操作方式下对新软件积极性不足，加之软件高昂的使用费让绝大多数操作人员无缘接触到该智能选线软件，如果没有行业主管部门的主动介入，仅仅依靠市场的调节，智能选线软件与用户之间的隔离墙将长期存在。

行业主管部门应重视、加强对智能选线软件的关注，从节约国民总投资的责任出发，在前期审查工作中对适宜使用智能选线软件的项目强制要求工程研究单位、初步设计与施工图设计方必须采用计算机智能选线辅助系统，并将此类价格高昂但明显有利于控制工程方案与规模的新型软件费用纳入勘察设计费计取子目中。行业主管部门在政策与资金方面引导先进工作方式的推广，利国利民。

6 生产工具、生产技术的改进对经济发展的作用

科技是第一生产力，智能选线软件工具的使用，结合更先进的智慧技术系统，相较传统的选线软件远远增大了比选基数，更能选出最优方案。初步分析，通过智能选线软件的使用，可降低以下国民损失。

①设计单位前期工程师人力资源、外业勘察消耗损失。

②行业主管单位前期方案决策、工程推进时间损失。

③具体项目因比选方案数量有限，错失最优方案而造成的建安费等投资损失。

④工程方案欠最优化而引起工程运营期、全寿命周期内投资方与管养单位的费用损失。

⑤路线方案欠最优化而导致道路寿命期内全民使用者运行时间损失、通行成本等损失。

7 前景展望

因本软件相对高昂的使用费，致使绝大多数企业与工程师无法接触到软件操作，无法享受智能选线软件带来的便捷与高效率，同时也致使大量工程项目路线研究方式依旧停留在传统的人工为主 CAD 辅助选线的操作方式上，由此造成的最优方案错失，导致在建设期与运营期的社会资源浪费无从预估。本次论文编辑期间，因不能支付高昂的软件费，缺少智能选线软件，未能提供更加清晰直观的项目操作过程及结果数据对比，建议由行业主管部门牵头，组织总体路线工程师，选取几段典型的道路，针对传统的 cad 辅助选线方案与智能选线软件成果进行对比验证。

虽然，截至目前智能选线软件尚不能如纬地、海地等路线软件进行最终的工程图表的生成，但在路线廊带选取，最优路线方案比选方面，远超纬地、海地选线软件。现阶段应两者相结合使用，后期期待智慧软件的更新与改进。

最后，智能选线软件在快速比选廊带、路线方面已相对领先于纬地、海地等 cad 路线软件约 10 年，但至今，该软件未普及化，个人深感惋惜。

参考文献

- [1] 陈坚, 旷达系统在衡茶吉铁路选线中的应用, 铁道建筑技术期刊, 1009-4539 (2010) 增-001-02.
- [2] 包洋洋, 旷达软件在山区道路中的应用, 物流工程与管理期刊, 2017.07.036.
- [3] 《中华人民共和国专利法》.

Study on the Influence of Pre treatment Process on Welding Quality of Titanium Alloy and High Temperature Alloy before Welding

Shoufeng Zheng

Haizhuang Shenyang Bureau, Shenyang, Liaoning, 110000, China

Abstract

Titanium alloys and high-temperature alloys are widely used in high-end fields such as aerospace and energy due to their unique and excellent properties, but the welding difficulty between the two is relatively high. The article focuses on exploring the influence mechanism of pre-treatment processes before welding, including surface cleaning, groove preparation, pre deformation, and pre heating, on the welding quality of titanium alloys and high-temperature alloys. By combining theoretical analysis with a review of existing research results, the article deeply analyzes the inherent relationship between each pre-treatment process link and the performance and microstructure characteristics of welding joints. The aim is to provide comprehensive theoretical basis and technical reference for optimizing welding processes and improving welding quality, and to help promote the progress and development of manufacturing technology in related fields.

Keywords

titanium alloy; high-temperature alloy; pre-treatment before welding; welding quality

钛合金与高温合金焊接前的预处理工艺对焊接质量的影响研究

郑守峰

海装沈阳局, 中国·辽宁 沈阳 110000

摘要

钛合金与高温合金因各自独特的优异性能在航空航天、能源等高端领域广泛应用,但二者焊接难度较大。文章着重探讨焊接前预处理工艺,包括表面清理、坡口制备、预变形与预加热等方面对钛合金与高温合金焊接质量的影响机制,通过理论分析与已有研究成果综述相结合的方式,深入剖析各预处理工艺环节与焊接接头性能、微观组织特征之间的内在联系,旨在为优化焊接工艺、提升焊接质量提供全面的理论依据与技术参考,助力推动相关领域制造技术的进步与发展。

关键词

钛合金; 高温合金; 焊接前预处理; 焊接质量

1 引言

随着现代工业,尤其是航空航天、能源动力等领域向着高性能、高可靠性方向发展,钛合金与高温合金的应用日益广泛。钛合金以其低密度、高强度、良好的耐腐蚀性等特点,在减轻结构重量、提高结构效率方面表现卓越;高温合金则凭借出色的高温强度、抗氧化性及抗热腐蚀能力,成为高温部件的关键材料。然而,由于钛合金与高温合金在物理性能(如热膨胀系数、热导率、熔点等)和化学性质(如元素活性)上存在显著差异,二者焊接时面临诸多挑战,如焊

接裂纹、气孔、未熔合等缺陷极易产生,严重影响焊接接头的质量与性能。焊接前的预处理工艺作为焊接过程的重要前置环节,对后续焊接质量的保障起着举足轻重的作用。深入研究其对焊接质量的影响规律与机制,具有极为重要的理论与现实意义。

2 钛合金与高温合金的特性差异

2.1 物理性能差异

2.1.1 热膨胀系数

钛合金的热膨胀系数相对较高,而高温合金的热膨胀系数较低。在焊接过程中,这种差异会导致在热循环作用下,焊接接头处产生较大的热应力。例如,在冷却阶段,钛合金收缩程度较大,而高温合金收缩相对较小,两者相互制约,容易在接头区域形成应力集中,为焊接裂纹的产生埋下

【作者简介】郑守峰(1988-),男,中国辽宁沈阳,硕士,工程师,从事先进材料的焊接与制造研究。

隐患。

2.1.2 热导率

钛合金的热导率一般低于高温合金。这意味着在焊接时，热量在钛合金中的传导速度相对较慢，容易造成局部热量积聚，使焊接熔池的温度场分布不均匀。而高温合金相对较好的热导率则可能导致焊接热影响区的范围有所不同，进一步影响焊接接头的组织和性能。

2.1.3 熔点

钛合金的熔点通常低于高温合金。在焊接过程中，需要精确控制焊接热输入，以确保两种材料都能在合适的温度区间内实现良好的熔合，避免因熔点差异导致的未熔合或过度熔化等问题^[1]。

2.2 化学性质差异

钛合金在高温条件下具有极强的化学活性，容易与周围环境中的氧、氮、氢等气体元素发生反应，形成钛的氧化物、氮化物或氢化物等脆硬化合物。这些化合物的生成会显著降低钛合金的力学性能，特别是焊接接头的韧性和强度。例如，钛合金在焊接过程中，如果高温环境下与空气接触，可能在接头区域形成氧化钛（ TiO_2 ）层。氧化钛不仅硬度高，而且较脆，容易在焊接过程中开裂或在使用过程中断裂，导致焊接接头的强度下降。此外，氢的吸收会导致钛合金产生氢脆现象，进而使焊接接头变得更加脆弱。这些化学反应不仅影响钛合金的微观结构和力学性能，还可能导致焊接接头的脆断，特别是在承受较大机械应力或高温环境下使用时，焊接接头的破坏风险显著增加。因此，控制焊接过程中的温度、氛围和保护气体的使用是避免这种化学反应并确保焊接质量的关键。

高温合金具有较高的化学稳定性，其合金元素如镍、铬、钴等在高温条件下表现出较好的耐腐蚀和抗氧化性能，但在与钛合金焊接时，仍可能发生元素扩散和化学反应，从而影响焊接接头的组成和性能稳定性。在焊接过程中，钛合金中的钛元素与高温合金中的一些元素（如镍）可能发生扩散，形成金属间化合物。例如，镍和钛在高温下容易反应形成钛镍金属间化合物（ $TiNi$ ），这些金属间化合物通常具有较高的硬度和脆性，且在焊接接头中容易成为薄弱环节，导致接头的脆性增加。随着焊接温度的升高，钛和高温合金中的其他元素（如铬、铁）也可能发生扩散和反应，形成不均匀的相结构，影响接头的机械性能。为了提高钛合金与高温合金的焊接质量，必须采取适当的焊接工艺，精确控制焊接温度和焊接环境，减少元素扩散，防止形成脆硬的金属间化合物，从而确保接头的韧性和强度。

3 焊接前预处理工艺

3.1 表面清理

3.1.1 机械清理

机械清理主要包括打磨、抛光、喷砂等方法。打磨可

以去除钛合金与高温合金表面的氧化皮、油污、锈蚀以及其他表面污染物，使焊接表面平整光洁，有利于焊接电弧的稳定引燃和熔池的良好形成。例如，采用砂轮打磨时，需注意选择合适的砂轮粒度和打磨力度，避免过度打磨造成表面划痕或损伤基体材料。抛光则可进一步提高表面光洁度，减少表面粗糙度对焊接质量的影响。喷砂处理能够在金属表面形成均匀的微小凹坑，增加表面的比表面积，从而提高焊接时的润湿性和结合力。但喷砂过程中要严格控制喷砂压力和砂粒的粒度与材质，防止砂粒嵌入金属表面或对表面造成过度冲击^[2]。

3.1.2 化学清理

化学清理是利用化学试剂与金属表面的杂质发生化学反应，从而达到清洁表面的目的。对于钛合金，常用的化学清理试剂有氢氟酸-硝酸混合液等。氢氟酸能够溶解钛合金表面的氧化膜，硝酸则起到氧化和钝化的作用，防止钛合金表面过度腐蚀。在使用化学清理方法时，必须精确控制试剂的浓度、温度和清洗时间。浓度过高可能导致金属基体过度腐蚀，温度过高或时间过长也会产生类似的不良后果。对于高温合金，通常先采用碱性溶液去除油污，然后再用酸液进行钝化处理，以去除表面的氧化层并形成一层钝化膜，提高其在焊接过程中的抗氧化能力。

3.2 坡口制备

3.2.1 坡口形状

坡口形状的选择直接影响焊接质量和焊接工艺的难易程度。常见的坡口形状有V形、U形、X形等。V形坡口加工相对简单，但其焊接时填充金属量较大，且焊接过程中热量分布不均匀，容易导致较大的焊接变形。U形坡口在减少填充金属量方面具有优势，同时能使焊缝根部的应力集中程度相对较低，但U形坡口的加工难度较大，需要专用的加工设备和较高的加工精度。X形坡口在双面焊接时，能够使焊接应力分布更为均匀，有效减少焊接变形，并且在相同板厚条件下，相较于V形坡口可减少焊接填充量。然而，X形坡口对焊件的装配精度要求极高，否则容易出现根部未焊透或未熔合等缺陷。在钛合金与高温合金焊接中，应根据焊件的厚度、焊接方法以及对焊接质量和变形控制的要求等因素综合考虑选择合适的坡口形状。

3.2.2 坡口尺寸

坡口尺寸主要包括坡口角度、钝边高度和根部间隙等参数。坡口角度过大，会使焊接时的填充金属量显著增加，焊接热输入增大，从而导致焊接变形加剧，同时也可能使焊缝金属的结晶方向发生改变，影响焊缝的力学性能。坡口角度过小，则会使焊接电弧难以到达坡口根部，容易造成根部未熔合或未焊透等缺陷。钝边高度的设置要合理，过大会阻碍焊接电弧对根部的熔化，导致根部无法焊透；过小则可能在焊接过程中被烧穿，使焊缝背面成形不良。根部间隙过大，容易在焊接过程中产生气孔、夹渣等缺陷，因为过大的

间隙会使熔池中的气体和熔渣难以排出；根部间隙过小则会使得焊接操作困难，同样容易引发未熔合等问题。

3.3 预变形与预加热

3.3.1 预变形

由于钛合金与高温合金热膨胀系数差异较大，焊接过程中必然会产生焊接变形。预变形处理是在焊接前根据焊件的形状、尺寸以及焊接工艺参数等因素，对焊件施加一定量的反向变形。例如，对于平板对接焊接，可以通过机械弯曲的方式使焊件预先产生一定的弯曲变形，在焊接过程中，随着焊接热应力的产生，焊件会朝着与预变形相反的方向变形，从而在一定程度上抵消焊接变形，使焊接后的焊件尺寸更接近设计要求。预变形量的确定需要综合考虑多种因素，如焊件的材质特性、板厚、焊接热输入以及焊接顺序等。如果预变形量过大或过小，都无法达到理想的控制焊接变形的效果。

3.3.2 预加热

预加热是在焊接前对焊件进行加热处理。对于钛合金与高温合金焊接，预加热的主要目的是降低焊接过程中的冷却速度，减少焊接热应力，防止焊接裂纹的产生。预加热温度的选择至关重要，温度过高可能会导致钛合金晶粒长大，降低其力学性能，同时也可能使高温合金中的某些强化相发生溶解或粗化，影响其高温性能；温度过低则无法有效发挥预加热的作用。此外，预加热的范围和加热速度也需要合理控制。加热范围应覆盖焊接接头及其周边一定区域，以保证温度场的均匀性；加热速度过快可能会在焊件内部产生热应力，而过慢则会影响到生产效率。

4 预处理工艺对焊接质量的影响机制

4.1 表面清理对焊接质量的影响

4.1.1 对焊接熔合的影响

经过彻底的表面清理，无论是机械清理还是化学清理，都能有效去除金属表面的氧化膜、油污和杂质等。这使得焊接时焊接热源能够更有效地作用于金属基体，促进熔池的形成和熔合。例如，去除钛合金表面的氧化膜后，钛原子与其他合金元素在熔池中的扩散更加顺畅，有利于形成均匀的焊缝金属，提高焊缝的结合强度。

4.1.2 对焊接气孔和夹渣的影响

表面清理不彻底时，残留的油污、氧化皮等杂质在焊接过程中会分解或卷入熔池，形成气孔或夹渣。而良好的表面清理工艺能够显著减少这些缺陷的产生。如化学清理去除了钛合金表面的氢氧等杂质，降低了焊缝中氢气孔的形成几率；机械清理去除的氧化皮和杂质可防止其在熔池中形成夹渣。

4.2 坡口制备对焊接质量的影响

4.2.1 对焊接应力与变形的影响

合理的坡口形状和尺寸能够优化焊接热循环过程，减少焊接应力与变形。如X形坡口双面焊接时，焊接热量分布相对对称，使得焊接过程中产生的横向收缩应力相互抵消一部分，从而降低焊接变形量。而坡口尺寸不合适，如坡口

角度过大或根部间隙过大，会导致焊接热输入不均匀或过大，使焊接应力集中，进而增大焊接变形程度，甚至可能导致焊接裂纹的产生^[1]。

4.2.2 对焊缝金属结晶与力学性能的影响

坡口形状和尺寸影响焊缝金属的结晶过程。较窄的坡口角度和较小的根部间隙会使焊缝金属的结晶方向相对单一，可能导致焊缝的各向异性增强；而合适的坡口形状和尺寸能够使焊缝金属在结晶过程中形成较为均匀的晶粒结构，有利于提高焊缝的力学性能，如强度、韧性和塑性等。

4.3 预变形与预加热对焊接质量的影响

4.3.1 预变形对焊接变形与残余应力的影响

预变形通过预先调整焊件的形状，在焊接过程中与焊接变形相互作用。当预变形量合适时，能够有效控制焊接变形，使焊件最终的形状和尺寸精度得到提高。同时，由于焊接变形得到有效控制，焊接接头处的残余应力分布也更加均匀，减少了因残余应力集中导致的焊接裂纹萌生的可能性，提高了焊接接头的疲劳寿命和可靠性。

4.3.2 预加热对焊接裂纹与组织性能的影响

预加热降低了焊接冷却速度，减少了焊接热应力，对于防止钛合金与高温合金焊接时因热应力过大而产生的冷裂纹具有重要作用。同时，预加热能够影响焊缝金属和热影响区的组织转变。例如，对于高温合金，适当的预加热可以使焊缝金属中的强化相在冷却过程中更均匀地析出，提高焊缝的高温强度；对于钛合金，预加热可避免因冷却速度过快而形成马氏体等脆性组织，改善焊接接头的韧性。

5 结论

钛合金与高温合金焊接前的预处理工艺对焊接质量有着至关重要的影响。表面清理工艺通过去除表面杂质和氧化膜，为良好的焊接熔合创造条件，减少气孔和夹渣等缺陷。坡口制备工艺中的坡口形状和尺寸参数直接关系到焊接应力、变形以及焊缝金属的结晶和力学性能，合理选择坡口能够优化焊接过程，提高焊接质量。预变形与预加热工艺分别从控制焊接变形和改善焊接组织性能、减少焊接裂纹等方面发挥作用。在实际的钛合金与高温合金焊接工程中，必须综合考虑各种因素，根据焊件的具体要求和焊接工艺条件，精心设计和实施焊接前的预处理工艺，以确保焊接质量满足高端领域对结构件性能的严格要求，推动钛合金与高温合金焊接技术在航空航天、能源等关键行业的进一步发展与应用。

参考文献

- [1] 周牧, 王倩, 王延绪, 翟梓融, 何伦华, 李昂, 马英杰, 雷家峰, 杨锐. 焊前预处理对钛合金厚板焊接残余应力的影响[J]. 金属学报, 2024, 60 (08): 1064-1078.
- [2] 陈凤林, 侯春明. 焊接顺序对TC4钛合金TIG焊T型接头残余应力和变形的影响[J]. 机械工程材料, 2023, 47 (12): 75-81.
- [3] 刘鹏, 梁敬凡, 肖奇, 雷强, 罗文忠. 不同条件下钛合金电极块焊接氮化规律研究[J]. 冶金与材料, 2023, 43 (11): 169-171.

Development of paper chemicals and its influence on paper quality

Jiayong Ma¹ Jun Luo¹ Xiaoqin Han² Bangfa Wang¹ Xinjun Wu¹

1. Fujie Gi (Quzhou) Special Paper Co., Ltd., Quzhou, Zhejiang, 324000, China

2. Wuzhou Special Paper Group Co., Ltd., Quzhou, Zhejiang, 324000, China

Abstract

With the improvement of the quality and environmental protection requirements of modern paper manufacturing, the research and development of paper chemicals is increasingly important. This paper outlines the classification of paper chemicals and their role in improving pulp fiber properties, optimizing production processes and improving paper quality, emphasizing the impact of functional additives such as enhancers, and retention aids on the physical and chemical properties of paper. This paper discusses the development trend of environmentally friendly chemicals, including the use of renewable raw materials and reducing the emission of harmful substances, and points out that the rational selection and application of paper chemicals have great significance for the realization of high-quality paper production and environmental protection.

Keywords

paper chemicals; paper quality; environmentally friendly chemicals

造纸化学品的开发及其对纸张品质的影响分析

马家勇¹ 罗军¹ 韩孝琴² 王邦法¹ 巫新俊¹

1. 美捷歌尼(衢州)特种纸有限公司, 中国·浙江衢州 324000

2. 五洲特种纸业集团股份有限公司, 中国·浙江衢州 324000

摘要

随着现代纸张制造对品质与环保要求的提升, 造纸化学品的研发日益重要。本文概述了造纸化学品的分类及其在改善纸浆纤维性能、优化生产流程和提高纸张质量方面的作用, 强调功能性添加剂如增强剂、助留剂等对纸张物理和化学特性的影响。探讨了环境友好型化学品的发展趋势, 包括采用可再生原料和减少有害物质排放的技术, 并指出合理选择和应用造纸化学品对于实现高质量纸张生产和环境保护具有重要意义。

关键词

造纸化学品; 纸张品质; 环保型化学品

1 引言

造纸化学品作为现代纸张制造不可或缺的一部分, 其发展历程见证了从简单辅助材料到复杂多功能助剂转变。早期, 造纸主要依赖天然物质; 随着科技的进步, 人们开始合成特定功能的化学品以满足不同需求。研究和开发新型造纸化学品不仅能够显著提升纸张的质量, 使其更适用于多样化的应用领域, 而且有助于减少能源消耗和废弃物排放, 实现经济效益与环境保护的双赢局面。因此, 深入探究造纸化学品的应用具有深远意义。

2 造纸化学品概述

造纸化学品是指在纸张制造过程中添加的各类化学物

质, 可以用于改善纸浆纤维的性能、优化生产流程以及增强最终产品的品质。这些化学品不仅包括直接参与成纸过程的成分, 如纤维处理剂、湿部添加剂和涂布化学品, 还包括那些辅助性的助剂, 比如漂白剂、分散剂等。纤维处理剂主要用于改善纤维间的结合力, 确保纸张具备良好的机械强度; 湿部添加剂则作用于制浆和抄造阶段, 通过促进填料与纤维的保留及过滤效率来提高生产速度和质量; 而涂布化学品则是赋予纸张特定表面特性的重要元素, 如光泽度和平滑度, 对于印刷用纸尤为重要。还有干燥助剂、抗水剂、柔软剂等多种功能性化学品, 在不同环节发挥着各自的作用。根据其用途和效果, 造纸化学品被细致分类, 并且随着技术的发展, 新的种类不断涌现, 以适应日益复杂的市场需求和技术挑战。

【作者简介】马家勇(1975-), 男, 中国山东寿光人, 本科, 工程师, 从事造纸工艺质量控制研究。

3 造纸化学品的研发

3.1 功能性添加剂

在造纸化学品开发中，功能性添加剂有着重要作用，通过改进纸张的物理与化学特性，提升最终的产品质量。功能性添加剂主要是一系列的化合物，包括增强剂、助留剂和涂布化学品等。增强剂如干强剂和湿强剂被广泛应用于提高纸张的机械强度。例如，聚酰胺环氧氯丙烷树脂（PAE）作为湿强剂，能显著提升纸张在潮湿环境下的抗拉强度，从而扩大了其应用范围。助留剂则主要作用于纤维与填料之间，促进两者间的结合，减少细小颗粒在造纸过程中的流失，这不仅提高了纸张的质量，还降低了生产成本。分散剂确保了浆料中固体成分的均匀分布，避免结块现象的发生，进而改善了成纸的平滑度和印刷适性。对于有特殊需求的纸张，如需要高光洁度或防水性能的产品，表面施加涂层变得至关重要。涂布化学品的选择直接决定了纸张的外观和功能特性。无机颜料如碳酸钙和高岭土因其良好的遮盖力和经济性而常用于涂布层。同时，合成聚合物赋予了纸张额外的功能属性，如光泽度、耐磨性和尺寸稳定性。这些添加剂的应用不仅增强了纸张的实用价值，也为造纸工业带来了新的增长点，不仅满足了市场对高性能纸张的需求，还推动了造纸化学品领域的创新发展。

3.2 环境友好型化学品

造纸化学品的绿色化是适应全球环境保护战略的手段，旨在降低造纸过程中对环境的影响。传统造纸化学品往往依赖于不可再生资源，并可能释放有害物质到环境中。因此，研发和使用环境友好型化学品成为现代造纸业追求可持续发展的核心内容。这类化学品强调采用可再生原料、减少有毒副产物生成以及提高产品的生物降解性。例如，在溶剂的选择上，行业正逐步转向基于生物质的绿色溶剂，这种转变既减少了化石燃料的消耗，又降低了碳排放。在漂白工艺方面，传统的氯气漂白法会生成二恶英等持久性有机污染物，对生态系统构成威胁。为此，氧气、过氧化氢等非氯化物漂白剂应运而生，能够在保持高效漂白效果的同时大幅减少环境污染。生态友好型胶黏剂的研发也取得了重要进展，这类产品在自然环境中易于分解且不会造成二次污染，为废纸回收利用创造了有利条件。除了原材料的选择外，生产工艺的优化也是实现环保目标的重要途径。例如，通过调整反应条件或引入新型催化剂，可以有效降低化学品合成过程中的能源消耗和废弃物排放。环境友好型造纸化学品的发展不仅符合现代社会的环保理念，也为造纸企业提供了更具竞争力的产品方案，促进了整个行业的绿色转型。

3.3 高效制备技术

高效制备技术在造纸化学品的开发中也较为重要，不仅决定了化学品本身的性能优劣，还直接影响着造纸技术的应用效果及经济效益。微胶囊技术作为一种先进的材料封装手段，在造纸化学品领域得到了广泛应用。该技术将活性成

分包裹在微米级别的胶囊内，能够根据特定条件（如温度、pH值）精确控制其释放速率，从而实现了化学品效能的最大化。纳米技术同样为造纸化学品带来了革命性的变革，纳米级材料由于具有极大的比表面积和独特的物理化学性质，使得基于这些材料设计的新一代造纸化学品具备了更优异的功能特性^[1]。比如，纳米二氧化钛因其卓越的紫外线吸收能力和抗菌性能，被用作高级纸张的防护涂层；而纳米纤维素素则因为其高强度和柔韧性，成为制造高质量纸张的理想选择。连续流反应器作为一种新兴的化工生产设备，相较于传统的间歇式反应器，具有诸多优势。连续流反应器提供的稳定操作环境有利于实现更高效的传质和传热过程，从而提高了化学反应的选择性和产率。

4 造纸化学品的作用机制

4.1 化学组成与结构

造纸化学品的化学组成和分子结构对其在纸张制造过程中的功能特性起着决定性作用。例如，助留剂通常由高分子量的阳离子聚合物构成，通过静电吸附和桥接机制促进细小纤维和填料粒子的聚集，从而提高保留率。这类聚合物具有长链结构，能够有效地缠绕并连接纤维素纤维，形成三维网络结构，增强了纤维间的结合力。而增强剂则可能包含天然或合成的多糖类物质，如淀粉、羧甲基纤维素（CMC）等，这些物质含有丰富的羟基官能团，可以在干燥过程中产生氢键交联，赋予纸张额外的强度。染色剂的化学结构决定了其颜色属性及与纤维的亲合力。偶氮类染料是常用的纸张染色剂之一，由芳香族化合物通过氮氮双键相连而成，这种特殊的结构赋予了染料鲜艳的颜色，并且使得染料分子可以通过范德华力或共价键牢固地附着在纤维上，实现持久的色彩效果。表面施胶剂，像聚乙烯醇（PVA），是一种线型聚合物，其分子链上的羟基可以与纸张表面的纤维素发生反应，形成一层保护膜，防止油墨渗透，同时增加纸张的平滑度和光泽度。总之，不同类型的造纸化学品因其独特的化学组成和结构特征，在纸张生产中发挥着不可或缺的作用。

4.2 化学品的作用原理

湿部化学品主要是在纸浆悬浮液阶段添加，旨在优化纤维的分布和凝聚，确保良好的成型质量。助留剂通过降低纤维和细小颗粒之间的排斥力，使得更多的原料得以保留在成形网面上，减少流失，这不仅提高了原材料利用率，还改善了纸张的均匀性和紧实度。干强剂则在后续工序中发挥作用，当纸张进入干燥阶段时，干强剂会促使纤维间形成更强的化学键，如酯键或酰胺键，从而显著提升纸张的抗拉强度、撕裂强度以及耐折度^[2]。

功能性化学品为纸张提供了额外的特性。防水防油剂通常采用疏水性的有机硅化合物或氟碳树脂，它们能够在纸张表面形成一层致密的屏障，阻止水分或油脂侵入纸张内部，保持纸张的清洁和完整性。而柔软处理剂，比如阳离子

表面活性剂,可以使纸张获得更佳的手感和舒适度,适用于卫生纸、面巾纸等生活用纸产品。通过合理选择和应用各种造纸化学品,可以精准调控纸张的各项性能,满足不同应用场景的需求,从日常印刷到特殊工业用途,都有相应的解决方案来保障纸张的最佳品质。

4.3 造纸化学品的影响因素

影响造纸化学品效能的因素众多,其中 pH 值、温度、浓度和反应时间是最为关键的几个方面。pH 值的变化可以直接影响化学品的电荷状态和溶解性,进而改变其与纤维或其他成分之间的相互作用。例如,某些阳离子聚合物在酸性条件下表现出更高的活性,因为此时更容易与带负电荷的纤维素纤维结合;而在碱性环境中,一些阴离子型化学品可能会失去效力。温度同样重要,因为它不仅影响化学反应的速度,还会改变流体的粘度,从而影响化学品的分散性和渗透性。高温环境下,化学品可能会加速分解或失效,因此需要根据具体工艺条件调整操作温度。

浓度则是另一个不可忽视的因素,过低的浓度可能导致化学品无法充分覆盖所有纤维表面,影响最终效果;过高则会造成浪费甚至引发副反应。找到最佳使用浓度对于最大化化学品效能至关重要。反应时间也会影响结果,足够的停留时间可以让化学品与纤维有更多接触机会,完成必要的化学或物理变化。相反过长的时间也可能导致不希望发生的副作用。通过对上述因素进行精细调控,可以有效优化造纸化学品的效果,确保纸张生产过程顺利进行,最终获得高质量的产品。

5 造纸化学品对纸张品质的影响

5.1 化学品对纸张物理性能的影响

造纸化学品能够有效改善纸张的物理特性,包括改变纸张厚度、密度以及抗拉强度等关键参数。在制浆过程中添加增强剂可以有效提升纤维间的结合力,从而增加纸张的整体强度和韧性^[1]。研究表明,适量使用干强剂可使纸张的抗拉强度提高约 15% 至 30%,这对于需要承受较大机械应力的应用至关重要。此外,助留剂通过改善填料与纤维的粘附性,不仅有助于保持纸张的均匀厚度,还能优化其密度分布,使得纸张表面更加平滑细腻。当助留剂用量适当时,纸张的孔隙率降低,密度相应增加,这直接提升了纸张的印刷适性和书写体验。化学品的选择和配比对于最终产品的质量有着决定性影响,不同的添加剂组合可能会导致纸张物理性能出现明显差异,因此,在实际生产中应根据具体需求进行精确调配,以确保获得理想的纸张特性。

5.2 化学品对纸张光学性能的影响

在纸张制造过程中,化学品也影响着纸张的光学特性,特别是对于白度和透明度这两个重要指标,合适的化学品

处理可以显著改善纸张的视觉效果。漂白剂是提升纸张白度的主要手段之一,能去除木质素和其他杂质,赋予纸张更高的亮度。现代漂白工艺采用多段式处理方法,既保证了高效去杂,又减少了化学残留,确保纸张符合严格的环保标准。而透明度则更多依赖于涂布化学品的作用,如颜料的选择和分散程度将直接影响纸张的透光性能。某些特殊应用场合,如食品包装或艺术创作领域,对纸张的光学特性有特定要求,此时选择适当的化学品显得尤为重要。通过精准控制化学品的种类和用量,可以在不影响纸张其他性能的前提下,满足不同应用场景下的光学需求,为用户提供多样化的产品选择。

5.3 化学品对纸张化学稳定性和耐久性的影响

对纸张化学稳定性和耐久性也同样受到化学品的影响,尤其在长期保存条件下,这些特性显得尤为重要。抗酸剂和抗氧化剂是确保纸张持久性的关键添加剂。抗酸剂能够中和纸张内部及外界环境中的酸性物质,防止其与纤维素发生反应导致纤维降解,从而有效延缓纸张的老化进程。研究表明,经过抗酸处理的纸张,在模拟加速老化的实验环境中,其强度保持率显著高于未经处理的样品。此外,抗氧化剂通过捕捉自由基,抑制了氧化反应的发生,减少了因光照、温度变化等因素引起的纸张变黄和脆裂现象。这些添加剂不仅提高了纸张的物理稳定性,还增强了其抵抗外部因素侵袭的能力,对于档案文献、珍贵艺术品等需要长久保存的纸制品尤为关键。

6 结语

在造纸工艺中使用化学品可以显著提升纸张的质量特性,通过精准选择和科学应用各类添加剂,可以有效改善纸张的物理性能、光学特性和化学稳定性,满足不同应用场景下需求。适当的化学品组合能够提高纸张的抗拉强度和平滑度,确保其在印刷过程中表现出色;而环保型化学品的应用则有助于减少生产过程中的能源消耗和废弃物排放,实现经济效益与环境保护的双赢。随着社会对可持续发展理念的重视,造纸化学品的研究和发展也将更加注重绿色环保。生物基化学品和可降解材料的研发已成为当前热点,这类物质不仅能降低对传统石化资源的依赖,还能有效减少环境污染,为循环经济贡献力量。

参考文献

- [1] 赵丽红,柯珣,吴敏,等.AKD预聚工艺对纸张施胶效果的影响[J].林产化学与工业,2022,42(05):69-75.
- [2] 孟聪聪.聚丙烯酰胺改性及在造纸中的应用[D].大连工业大学,2021.
- [3] 张琦.环保型酰胺共聚物纸张增湿强剂的制备及性能研究[D].南京林业大学,2023.

Application and Development of Mechanical Engineering Automation Based on Intelligent Technology

Qingsong Wu

Armed Police Noncommissioned Officer School, Hangzhou, Zhejiang, 311100, China

Abstract

With the rapid advancement of intelligent technology, mechanical engineering automation has increasingly become the core way to improve production efficiency and product quality. By integrating intelligent technology with mechanical engineering automation, precise management of production processes, efficient operation of facilities, and personalized manufacturing of products can be achieved. Despite the significant potential of intelligent technology in the field of mechanical engineering automation, it still faces challenges in terms of technology integration, information security, and employee training in practical applications. Therefore, promoting the deep integration and innovative development of intelligent technology and mechanical manufacturing automation has become a core factor in enhancing industry competitiveness.

Keywords

mechanical engineering; Automation; Internet of Things; artificial intelligence; Production efficiency; Technical application

基于智能化技术的机械工程自动化运用及发展

邬清松

武警士官学校, 中国·浙江 杭州 311100

摘要

随着智能化技术迅猛进步, 机械工程自动化日益成为提升生产效率与产品质量的核心途径。借助智能化技术与机械工程自动化相融合, 实现生产流程的精确管理、设施的高效运作及产品的个性化制造。尽管机械工程自动化领域智能化技术展现显著潜力, 在实际运用过程中, 仍旧遭遇技术融合、信息安全、员工培训等方面的难题。因此, 促进智能科技与机械制造自动化领域的深度融合及创新发展, 成为增强行业竞争实力的核心因素。

关键词

机械工程; 自动化; 物联网; 人工智能; 生产效率; 技术应用

1 引言

随着全球工业 4.0 的到来, 机械工程领域迎来了智能化革命, 机械工程自动化领域智能化技术的运用, 见证传统制造业向智能化制造领域转变的关键进展, 通过整合物联网、人工智能、大数据分析等技术, 亦能显著提升生产效能, 优化运营支出, 进一步保障生产环节的安全稳定。然而, 智能化技术的广泛运用在带来发展机遇之际, 亦遭遇诸多困难, 涵盖技术整合挑战、数据管理困境、人力资源不足等方面。因此, 本文将分析智能化技术在机械工程自动化领域的应用状况、存在的主要挑战及未来发展趋势。

2 智能化技术在机械工程自动化中的概述

智能化技术的引入为机械工程自动化带来了革命性的变革。通过物联网 (IoT)、大数据分析、人工智能 (AI) 等技术, 机械工程自动化能够实现远程控制、实时数据反馈、生产流程优化等多项功能。这些技术的结合使得生产线变得更加灵活高效, 可以根据市场需求和生产情况进行调整, 提高了资源利用率, 减少了能源消耗和生产成本。此外, 智能化技术还能大大提高产品的精度和质量, 降低人工干预, 减少人为错误的发生^[1]。

然而, 在运用智能化技术之际, 机械工程领域仍存在诸多挑战。技术融合的复杂性、数据安全的隐忧以及专业人才的短缺, 关键要素均关乎智能化技术在自动化生产领域应用的成效。因此, 确保问题得以解决, 乃是促进智能化技术有效实施的关键。

【作者简介】邬清松 (1996-), 男, 中国重庆人, 本科, 讲师, 从事机械工程研究。

3 智能化技术应用中的问题

3.1 技术集成与标准化问题

我国智能化技术持续发展，机械工程自动化领域面临的关键挑战是技术融合与规范统一问题。智能化技术诸如物联网、大数据分析、人工智能等已在机械工程界得到广泛运用，此类技术未必总能实现兼容及高效协同运作。在实际运用中，企业遭遇设备与系统融合的挑战，尤其是面临不同企业供应的设备与技术平台间标准不一的情况时，系统整合难度大、费用高。

现有的机械设备通常由多个不同的生产厂家提供，这些设备可能采用不同的通信协议、操作系统和数据格式，造成了技术间的壁垒。为确保该设备间实现有效连接，务必遵循标准化协议及接口技术，确保设施与系统运行协调。例如，物联网设备数据传输、智能传感器测量精度等，需构建一致规范以增强资讯搜集与处理效能。

此外，行业内部技术规范不统一，导致众多企业在智能化系统构建方面拥有较高的自主性与选择性，该做法存在明显缺陷。一方面，技术及平台间兼容度较低，无法达成数据互通，引发信息孤立现象；另一方面，公司内部信息系统升级与技术革新时，未设立统一规范，亦增加了设备升级改造及技术维护的复杂性。

3.2 数据安全与隐私保护问题

在智能化技术应用中，数据安全与隐私保护问题是亟待解决的关键问题之一。随着机械工程领域物联网、大数据、云计算等技术的深入融合，生产环节中各类信息持续收集、传递及保存。信息涵盖生产设施运行状况、生产线实时数据及操作者资料等，内容广泛且繁杂，确保数据安全与隐私保护措施，系业界当前遭遇的关键难题。

数据泄露的风险是一个不可忽视的安全隐患。在智能化生产中，所有数据都通过互联网进行传输和存储，攻击者可能通过网络漏洞或恶意软件获取敏感数据。一旦数据被窃取或泄露，可能会导致企业的知识产权丧失，甚至影响到客户和合作伙伴的信任度，损害企业的声誉。

数据存储与处理环节存在隐私防护挑战。在众多国度与地区，企业须严格遵守数据保护法，对个人信息收集、储存及处理设定严苛要求。企业开展数据搜集与解读活动，严格遵守相关法律规范，保护个人信息安全。特别在处理员工、客户等个人资料方面，企业务必严格执行管控措施，保障数据传输与存储环节的加密安全。

此外，企业需关注如何在提升生产效能的过程中，维护关键商业信息。在生产过程中，数据往往涉及产品研发、生产工艺、设备维护等核心信息，这些数据的安全至关重要。为此，企业可运用数据加密、权限控制、定期数据备份等手段，保障数据安全。

3.3 人才培养与技术适应性问题

智能化技术运用与进步，引发了对机械工程领域技术

人才的强烈需求。尤其是引入物联网、大数据、人工智能等前沿技术，需确保操作人员拥有扎实的机械基础理论，需熟悉新兴技术运用。当前，机械工程界广泛面临人才匮乏、技术匹配度不足等问题，此问题对智能化技术的普及与运用产生直接影响。

智能化技术难度大、技术标准高，企业在实施人才吸纳与培育工作中遭遇诸多困难。技术人员普遍存在知识储备不足，难以理解和运用智能化设备和系统的问题。特别是在人工智能、大数据等领域，需拥有扎实的数学、统计、编程等领域的工程技术人才功底。然而，我国高端技术人才供不应求，企业在智能化技术应用推广中难以获得及时充足的技术支援。

机械行业对技术人员培训及继续教育投入不够，导致众多员工在智能化技术适应过程中遭遇挑战。智能化设备操作与维护要求员工持续学习并适应新技术工具，当前众多企业尚未建立完善的培训体系，员工常需依靠自学或临时性学习来填补知识空白。此外，鉴于技术革新步伐加快，员工知识更新存在时滞，技术适用性不佳，对智能化技术应用成效产生不利影响。

4 发展策略与创新路径

4.1 强化技术研发与创新应用

随着智能化技术的不断发展，机械工程自动化的技术创新已经成为行业发展的关键驱动力。要进一步促进机械工程行业智能化发展，务必加强技术研发与应用。企业需增强对关键技术的研发资金支持，特别在互联网物联网、人工智能、机器人技术、大数据分析等前沿领域，提高其在智能化机械工程领域的应用层次。通过研发新型智能控制系统、传感器、执行器等关键设备，解决现有技术在精度、效率、稳定性等方面的局限性，从而为机械工程的自动化提供更为先进的解决方案^[2]。

此外，企业需积极进行技术创新或携手科研机构协作，促进技术升级。当前，众多智能化技术正处于迅猛发展阶段，企业需强化对新技术应用的探究实践，将前期研究成果转化为实际应用，增强企业市场竞争能力。积极吸纳和培育技术研发人才，企业可保证持续推动技术革新，为推动自动化和智能化发展提供源源不断的动力。

同时，创新应用范围不限于硬件设备研发，还应涵盖智能算法及软件系统的优化。例如，在生产数据搜集与加工领域，可融合大数据及云计算技术，构建更高效的数据分析与决策辅助平台。此外，机器人与智能监控诊断系统综合应用，亦将为机械工程领域提供更多智能化解决方案，提升生产效能与产品质量。

4.2 完善数据安全机制

智能化技术的广泛应用使得机械工程领域面临前所未有的数据安全挑战。随着物联网、大数据、人工智能等前沿

技术的广泛运用,企业对各类数据的收集与保存日益增加,该文涵盖生产数据、设备运行数据、操作人员资料等,该数据泄露或篡改可能引发重大经济损失及安全风险。因此,加强数据安全保障是推动智能化技术稳健发展的基石,企业务必加大数据安全保障措施,确保生产流程中各项数据传输、存储及处理严格遵守安全标准。为此,企业可运用数据加密手段,保障数据传输与存储安全,防止未授权访问。除此之外,企业需构建分级别的权限管理体系,严格限制敏感数据访问权限,定期对数据访问记录进行审计,加强内部信息保密工作。

随着生产环节的自动化与信息化程度不断提高,企业需要加强网络安全防护,防止黑客攻击和网络入侵。企业需运用防火墙、入侵监测系统、数据备份等措施,保障网络安全。同时,要加强员工的网络安全意识培训,提高全员对数据安全问题的重视,防止人为操作失误或恶意攻击带来的数据泄露。除了技术途径,企业必须遵循相应法律法规,确保数据采集与运用严格遵守我国相关数据保护法律法规。尤其是在涉及个人隐私信息时,企业须严格遵守数据隐私保护相关法律法规,强化员工与客户信息管控,严守个人信息保密,保障企业社会责任及信誉。

4.3 推动跨领域合作与人才培养

推动智能化技术在机械工程中的应用,不仅仅是技术本身的创新,还需要跨领域的协作与综合人才的培养。智能化技术应用横跨诸多学科范围,如自动化操控、计科、人工智能、机械工程等领域。以优化技术整合为目标,企业需强化跨行业协作,推动各学科领域知识交流与技术创新。企业可以与高校、科研院所构建长期协作关系,推动协同研究与技术创新。推动校企联合,企业不仅能取得先进的科研成果,可着力培育契合智能化技术应用的精英人才。科研工作者可为企事业提供技术辅导,助力企业突破技术难关,企业向科研机构提供真实的生产数据和需求,促进科技研发成果的实际运用。

在当前智能化技术迅猛发展的背景下,企业面临着对高技能人才日益增长的需求,特别是那些具备跨学科知识和综合能力的技术人才。在机械设备制造领域,企业需在硬件及软件系统层面推动技术创新与变革,还需构建一支精通相关技术的精英人才队伍。因此,企业需增强对技术人才吸纳与培育的投入,确保与智能化发展同步。

企业需与高校及科研院所深化协作,采取定向培育、校企联合等措施,强化源头培育契合企业需求的技术人才。借助此类协作,企业可量身定制人才培养方案,挑选具备发展潜力的杰出学生加入企业研发及生产环节。在实践中提升其处理实际问题的能力,同时,高校可为企事业输送尖端科

技成果与革新理念,企业可为学术研究搭建实践基地,促进技术成果的应用与实施。这种产学研结合的模式,有助于实现人才培养与企业需求的无缝对接。

企业需关注内部人才培养及进步,智能化技术的引进与实施,不仅仰赖外部引进的专家,更多的是需要强化现有员工技能与素质培养。为应对新兴生产模式与技术装备,企业可采取举办定期技术研修、岗位轮岗、技术交流会等形式,提升员工技术适应力与创新能力。采取该措施,员工不仅得以掌握尖端智能化技术,仍能在实际操作中持续提高个人技能水准。

此外,企业需构建完善的技术培训与人才培养体系。为员工制定清晰的职业发展路径,提供充足的学习和发展机会,让员工能够看到自身成长的空间和价值。此举措亦能促进职员工作热情的激发,还能增强员工对企业的归属感,减少人才流失风险^[1]。企业需依据各职位及员工技术功底,制定专属的培训方案,保障每位员工在其岗位责任区内持续提升专业技能,适应市场变化需求。

不仅如此,企业应强化技术团队协作精神与研发能力。在智能化技术应用方面,团队协同与跨学科合作极为关键。企业可举办周期性技术交流会、跨部门课题研讨等,推动各学科专家之间的互动与启发,调动员工创新意识,营造协同创新的良好环境,不仅有助于解决技术难题,还能够为企业的智能化进程提供更多的解决方案。通过集体协作与革新方式,企业持续掌握技术前沿,在激烈的市场竞争中掌握先机。

5 结语

智能化技术在机械工程自动化中的应用,正逐步推动行业向更高效、更智能的方向发展。智能化科技,诸如物联网(IoT)、大数据分析、人工智能(AI)等,可对机械装备实施远程监控及即时调整,增强生产流程的可见性与智能化程度。通过物联网、大数据、人工智能等先进技术的引入,机械工程自动化不仅能够提高生产效率和产品质量,还能在生产安全、环境保护等方面发挥重要作用。然而,智能化技术的应用也面临技术集成、数据安全和人才培养等多方面的挑战。因此,推动技术创新、加强跨领域合作和培养专业人才,将是未来智能化技术在机械工程自动化中成功应用的关键。

参考文献

- [1] 易义宁,李泳霄,黄德位.基于矿山智能化技术的机械工程自动化运用及发展[J]. 2024(6):152-155.
- [2] 孙世超.机械自动化技术在矿山作业中的应用[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2023.
- [3] 安晓英.矿山智能化技术在机械工程自动化中的应用[J].中国机械, 2023(7):108-111.

The Importance of Rapid Food Testing in Food Safety Supervision in the New Era

Xiaoli Zhou

Market Supervision and Administration Bureau of Jinshui District, Zhengzhou, Henan, 450000, China

Abstract

Food safety has always been a focus of social attention. With the continuous acceleration of food production and circulation speed, the risks faced by food safety are also increasing. Traditional food testing methods have played an important role in ensuring the accuracy of food quality, but often struggle to cope with rapidly changing food safety issues. The rapid food testing technology in the new era, with its efficient and accurate characteristics, can quickly identify potential food safety hazards, greatly improving the timeliness and accuracy of supervision. Through the integration of big data analysis, intelligent devices, and sensing technology, rapid detection technology not only enhances the emergency response capabilities of regulatory authorities, but also effectively safeguards public health and the safety of the food consumption environment. With the continuous advancement of technology, future food rapid detection technology is expected to further improve detection accuracy, reduce costs, and promote modernization of food safety governance on a global scale.

Keywords

food safety; Rapid detection; Food regulation; technological innovation Public Health

新时期食品快速检测在食品安全监管中的重要性

周晓丽

郑州市金水区市场监督管理局, 中国·河南 郑州 450000

摘要

食品安全一直是社会关注的焦点,随着食品生产和流通速度的不断加快,食品安全面临的风险也日益增多。传统的食品检测方法在确保食品质量的准确性方面起到了重要作用,但在应对快速变化的食品安全问题时,往往显得力不从心。新时期的食品快速检测技术,凭借其高效、精准的特点,能够迅速识别潜在的食品安全隐患,大大提高了监管的及时性和准确性。通过大数据分析、智能化设备和传感技术的融合,快速检测技术不仅提升了监管部门的应急响应能力,还能有效保障公众健康和食品消费环境的安全。随着技术的不断进步,未来食品快速检测技术有望进一步提高检测精度、降低成本,并在全球范围内推动食品安全治理的现代化。

关键词

食品安全; 快速检测; 食品监管; 技术创新; 公共卫生

1 引言

食品安全问题对人类健康具有至关重要的影响,因为食品是我们日常生活中不可或缺的一部分。食品安全事故不仅会对社会稳定和经济发展造成巨大的冲击,更会对民众的健康和生命安全产生严重威胁。随着食品生产和消费方式的不断变革,传统的食品安全检测手段已经难以应对日益复杂多变的食品安全风险。幸运的是,随着科技的持续进步和创新检测技术的涌现,食品快速检测技术已成为现代食品安全监管领域的强大武器。这些快速检测技术不仅能够更迅速、更准确地发现食品中的有害成分,还能大大提高食品安全监

管的效率,及时遏制潜在的风险,从而减少食品安全事故的发生,保护公众的健康和安全。

2 食品安全面临的新挑战

2.1 食品生产和流通速度加快

随着全球化贸易的不断深入,国际的食品生产、加工与流通速度得到了前所未有的提升。大量食品在极短的时间内跨越国界,迅速从产地输送到消费者手中,这种高效流通带来了许多便利,但也带来了潜在的食品安全风险。尤其是在进口食品方面,由于跨境流通中涉及多个环节和不同国家的监管标准,消费者往往难以直接辨识食品中是否含有有害物质或违规添加剂。此外,食品包装的多样化、生产加工过程的复杂性以及供应链的全球化,使得许多国内食品生产企业和监管部门面临前所未有的挑战。快速消费品的流通周

【作者简介】周晓丽(1982-),女,中国河南永城人,硕士,工程师,从事食品检测研究。

期过短,使得监管部门在追踪和检测食品的安全性方面面临困难。一旦发生食品安全事件,责任追溯和处理的难度也大大增加。

2.2 食品种类和污染物种类繁多

随着现代食品种类的日益丰富,食品加工技术的不断进步,新型添加剂、保鲜剂等化学物质的使用也变得越来越广泛。这些化学物质的使用虽然在一定程度上提高了食品的保质期、外观以及口感,但与此同时,也带来了潜在的食品安全风险。此外,由于全球化贸易的推进,来自不同国家和地区的食品原料种类繁多,食品安全问题更加复杂。一些有害物质,如农药残留、重金属污染、微生物污染等,因其隐蔽性强且种类繁多,给食品安全监管带来了巨大的挑战。这些污染物往往难以通过肉眼或简单的感官检测来发现,常常存在于极微量的水平,且具有累积效应,长时间摄入可能对人体健康造成不良影响。传统的食品安全检测方法一般需要较长的时间来完成,检测流程烦琐,无法满足现代食品生产和消费中的快速检测需求。

2.3 消费者食品安全意识提升

随着消费者对食品安全意识的不断提升,人们在选择食品时越来越重视其质量和安全性。消费者对食品的要求不仅仅停留在口感和外观上,更加关注其是否符合健康标准,是否存在有害物质,如农药残留、重金属污染等。然而,现有的食品安全检测方法往往存在时间延迟和信息滞后的问题,不能及时反馈食品是否符合安全标准。这使得消费者在面对不确定的食品安全问题时,往往感到无从判断,导致公众对食品安全监管的信任度不足。由于信息的不对称和检测结果的延迟,消费者对于市场中某些食品的安全性缺乏信心,甚至会产生恐慌情绪^[1]。

3 新时期食品快速检测技术的重要性

3.1 提高检测速度和效率

食品快速检测技术因其出结果迅速、操作简便等特点,近年来在食品安全监管中得到了广泛应用。与传统的实验室检测方法相比,快速检测技术能够在较短时间内完成样品的分析和检测,从而大大提高了食品安全监管的效率。在食品生产、流通及销售的各个环节,及时发现潜在的食品安全隐患变得尤为重要。通过引入这一技术,监管部门能够实时监测食品中的有害物质,如农药残留、重金属、致病菌等,确保食品在进入市场前符合相关安全标准,减少因食品安全问题引发的社会风险。例如,在食品生产环节,通过快速检测技术,可以及时发现生产过程中可能产生的污染源,及时纠正问题,避免有害成分进入产品并流入市场。在流通环节,监管人员可以对食品进行快速检测,确保食品在进入商超、餐饮等渠道之前未受到污染,减少了不合格食品进入消费者餐桌的风险。同时,消费者也可以通过便捷的快速检测设备,对购买的食品进行简单检查,提升食品消费的安全感和信任

度。此外,快速检测技术在应急食品安全事件中的作用不可忽视。面对突发的食品安全问题,能够迅速出具检测报告,为决策提供数据支持,减少了食品安全事件的处理时间,帮助相关部门在最短时间内采取有效措施,防止危害的扩散。因此,快速检测技术的推广应用,对于提高食品安全监管水平、保障公众健康具有重要意义。

3.2 保证检测的准确性和灵敏度

新型快速检测技术的核心优势在于其采用了先进的传感器、试剂盒和数据分析方法。这些技术手段使得它能够在极短的时间内检测出低浓度的有害物质,如农药残留、重金属、致病菌等,解决了传统检测方法在时间上的局限性。传统检测方法虽然在精确度和可靠性上具有一定的优势,但其通常需要较长的检测周期,且依赖于复杂的实验设备和环境。这种时间上的滞后性往往无法满足现代食品安全监管、突发公共卫生事件或日常检测中对快速响应的需求。相比之下,快速检测技术通过对检测流程的优化,能够显著缩短分析时间,同时保持较高的检测精度。新的试剂盒和传感器设计使得检测过程更加简便,减少了传统方法中烦琐的步骤和长时间的等待。与此同时,采用先进的数据分析方法,可以实时分析采集到的数据,自动识别样品中可能存在的有害物质,并迅速给出检测结果。这些技术不仅提高了检测效率,也有效降低了误差率,减少了假阳性和假阴性的发生,从而确保了检测结果的可靠性。通过引入这一新型技术,食品安全监控的响应时间大幅缩短,使得监管部门能够更加迅速地发现问题并采取措。此外,食品生产和流通环节也因此更加高效和安全,有助于保障消费者的健康。整体而言,新型快速检测技术不仅在提升检测效率方面发挥了重要作用,也在保证检测准确性上作出了重大贡献,是现代食品安全监管不可或缺的重要工具^[2]。

3.3 降低检测成本和提高监管覆盖面

传统的食品检测方法虽然准确性较高,但往往需要昂贵的仪器设备和实验室支持,这使得检测成本居高不下。尤其是在进行大规模食品安全监控时,传统方法的高成本和长时间的检测周期往往无法满足迅速响应的需求,且需要大量专业人员和设备的配合,进一步增加了监管工作的难度。这种局限性使得食品安全监管在许多情况下显得低效,特别是在食品生产和流通环节中的监测存在一定的空白和滞后。然而,随着新型快速检测技术的出现,尤其是便携式检测设备的引入,食品安全检测变得更加经济和高效。便携式检测设备不仅价格相对较为实惠,而且操作简便,检测人员无需高昂的实验室支持即可在现场完成检测。通过这些便携式设备,检测人员可以在食品生产、加工、流通等关键环节直接进行快速检测,大大提高了检测的覆盖面。相比于传统的集中式检测方式,便携式设备能够实现更广泛的分布式监测,确保每一个环节都能够得到实时的监督和评估。这种技术的优势不仅体现在成本和便捷性上,还能够实现多点监测。检

测人员可以在不同的地点和时间进行多次采样和检测,获取更为准确的数据,减少漏检的风险。同时,检测结果可以实时反馈,通过数字化系统和云平台进行数据分析与存储,帮助相关部门快速做出决策。通过这一技术,食品安全监管的效率和覆盖面得到大幅提升,食品的质量控制变得更加实时和精准,进一步保障了公众的食品安全。

4 食品快速检测技术的应用现状与挑战

4.1 应用现状

食品快速检测技术的应用领域非常广泛,随着科技的不断进步,这一技术在确保食品安全方面发挥了重要作用。农药残留、重金属含量、食品添加剂等常见的食品安全隐患,都可以通过快速检测技术在极短的时间内获得准确的结果。这种技术不仅能够高效筛查各种可能的食品污染物,还能对食品的品质进行及时评估,帮助相关部门和企业实时掌握食品质量状况,防止不合格产品进入市场。在一些大型超市、批发市场和食品加工企业中,食品快速检测技术已经成为日常质量控制的核心工具。这些商业机构通过建立食品安全检测体系,能够在采购、运输、销售等环节中进行有效的监控,确保消费者能够享受到安全、健康的食品。在食品加工过程中,使用快速检测技术不仅能够提高生产效率,还能大大降低由于质量问题而引发的风险,提升企业的信誉和市场竞争力^[1]。随着移动互联网和大数据技术的飞速发展,食品快速检测的效果进一步得到增强。通过智能化设备和在线平台,检测结果可以实时上传至云端进行存储和分析,相关监管部门、企业和消费者能够随时获取最新的检测数据。这种数据共享机制使得食品安全问题能够在最短的时间内得到反馈和解决,也为政府监管提供了更为精准的决策依据。

4.2 面临的挑战

尽管食品快速检测技术在保障食品安全、提高监管效率方面显示了巨大的潜力,但在实际应用中,仍然面临着一些挑战,亟待解决。部分快速检测技术在灵敏度和准确性方面的表现仍有提升空间,尤其是在面对复杂样本时,可能会受到干扰因素的影响,导致检测结果出现偏差。例如,一些样本可能含有多个成分或者是高浓度的背景物质,

这些因素会干扰检测设备的正常工作,从而影响检测结果的准确性。为了应对这一问题,科研人员和技术开发者需要不断优化检测方法,加强仪器的灵敏度和抗干扰能力。食品快速检测设备的普及和应用仍面临着较高的成本和技术难题。目前,许多高效的检测设备在性能上虽然优秀,但其生产和维护成本较高,这使得中小型企业或地方监管部门在采购和使用这些设备时面临较大的经济压力。此外,设备的操作难度和技术要求也可能对部分从业人员构成挑战。因此,降低设备成本、提升设备的易用性和可靠性,已成为推进食品安全快速检测技术普及的关键。最后,食品快速检测技术的标准化问题同样需要解决。由于不同地区和企业采用的检测方法、技术和标准可能存在差异,这对于统一的监管体系和数据比对带来了诸多困难。在监管部门需要对食品安全状况进行实时监控时,数据的统一性和可比性至关重要。

5 结语

综上所述,新时期食品快速检测技术作为现代食品安全监管的重要工具,凭借其高效、灵敏、便捷的特点,正在发挥越来越重要的作用。通过提高检测速度和准确性,快速检测技术为食品安全提供了有力的保障,能够及时发现潜在的食品安全隐患,减少安全事故的发生。然而,快速检测技术的普及仍面临一定的挑战,只有通过技术创新、设备优化和标准化建设,才能更好地推动其在食品安全监管中的应用,提升公众对食品安全的信任,保障人民群众的生命健康。食品安全问题关乎社会的稳定与经济发展,随着新技术的不断涌现,食品快速检测技术将发挥更加重要的作用。在未来的监管实践中,结合先进的检测技术和科学的管理手段,定能提升食品安全监管的效能,保障食品市场的健康运行。

参考文献

- [1] 左喜梅,李慧梅.快速检测技术在保障食品安全中的应用[J].中国食品工业,2024,(22):105-107.
- [2] 巴特尔.食品安全检测中快速检测技术的应用研究[J].食品安全导刊,2024,(32):190-192.
- [3] 宫艳艳,李亚维,成群,周文梅,郑翔中.食品快速检测技术的发展与应用分析[J].食品科技,2024,49(10):346-351.

Exploration of the Flow Behavior of High Temperature Alloy Electron Beam Welding Pool and the Formation Mechanism of Weld Seam

Qingfei Xie

AVIC Shenyang Liming Aero Engine Co., Ltd. Sheet Welding Processing Plant, Shenyang, Liaoning, 110000, China

Abstract

High temperature alloys play a crucial role in many fields such as aerospace due to their excellent high-temperature performance. Electron beam welding, as a high-energy beam welding technology, has demonstrated unique advantages in connecting high-temperature alloys. This article aims to deeply analyze the melt flow behavior and weld formation mechanism of high-temperature alloys during electron beam welding. Through comprehensive experimental observation, numerical simulation, and theoretical analysis, the characteristics of molten pool flow and its impact on weld formation were carefully revealed, laying a solid theoretical foundation for optimizing welding processes and improving weld quality. This research not only provides strong theoretical support for the reliable connection of high-temperature alloys, but also promotes the vigorous development of key component manufacturing technology in aerospace, energy and other fields.

Keywords

high-temperature alloy; Electron beam welding; Molten pool flow; Welding seam formation; modern industry

高温合金电子束焊接熔池流动行为与焊缝成形机制探究

谢庆飞

中国航发沈阳黎明航空发动机有限责任公司钣金加工厂, 中国·辽宁·沈阳 110000

摘要

高温合金凭借其卓越的高温性能,在航空航天等诸多领域占据了举足轻重的地位。电子束焊接作为一种高能束焊接技术,在连接高温合金时展现出了独特的优势。本文致力于深入剖析高温合金在电子束焊接过程中的熔池流动行为与焊缝成形机制。通过综合实验观察、数值模拟及理论分析的方法,细致地揭示了熔池流动的特性及其对焊缝成形的影响规律,为优化焊接工艺和提升焊缝质量奠定了坚实的理论基础。这一研究不仅能为高温合金的可靠连接提供强有力的理论支撑,还能推动航空航天、能源等领域关键部件制造技术的蓬勃发展。

关键词

高温合金; 电子束焊接; 熔池流动; 焊缝成形; 现代工业

1 引言

在现代工业的广阔舞台上,高温合金因具备出色的高温性能而备受青睐。然而,传统焊接技术在处理这类合金时,往往面临着诸多难以逾越的挑战。电子束焊接技术,作为一种前沿的焊接手段,凭借其能量密度高、焊缝深宽比大等显著特点,逐渐崭露头角。随着对焊接质量和性能要求的日益提升,对高温合金电子束焊接过程中的熔池流动行为与焊缝成形机制进行深入探究,显得尤为关键。掌握熔池中液体的流动规律,有助于精准调整焊接工艺参数,有效减少焊接缺陷,进而提升焊缝的力学性能和可靠性。

【作者简介】谢庆飞(1983-),男,中国辽宁沈阳人,硕士,高级工程师,从事先进材料的焊接与制造研究。

2 实验方法与材料

2.1 实验材料

本实验精心选取了镍基高温合金 GH4169 作为研究对象。该合金以其卓越的高温强度、优异的抗氧化性能和抗腐蚀性能,在航空航天等领域得到了广泛应用。在实验开展前,对所选高温合金的化学成分进行了严格而精确的测定,确保其镍(Ni)、铬(Cr)、钼(Mo)、铌(Nb)等主要元素的含量均符合相关标准。同时,还对该合金的抗拉强度、屈服强度、延伸率等力学性能进行了全面而细致的测试,为后续分析焊接接头的性能奠定了坚实的基础。

2.2 实验设备

2.2.1 先进的电子束焊接设备

实验采用了具备高精度和卓越稳定性的电子束焊接设

备。该设备能够输出稳定的电子束流和加速电压，从而确保焊接过程的平稳进行和高度重复性。设备还配备了先进的控制系统，能够实现对接参数（如束流、聚焦电流、焊接速度等）的精确调节。

2.2.2 高速摄像系统

为了实时捕捉焊接过程中熔池的动态变化，实验引入了高速摄像系统。该系统能够以极高的帧率（如 5000 帧/秒）记录熔池的形成、流动和凝固过程。通过对拍摄图像进行细致分析，可以获取熔池的形状、尺寸、流动速度等关键信息^[1]。在某一实验中，当电子束流为 20 mA 时，熔池的扩展速度约为 1.5 mm/s；而当电子束流增加至 30 mA 时，熔池的扩展速度则提升至 2.1 mm/s。

2.2.3 测温装置

实验还采用了非接触式的红外测温仪，用于实时测量焊接过程中熔池表面及附近区域的温度分布。通过对温度数据的采集和分析，可以深入了解焊接过程中的热传递情况。在某次实验中，发现焊接区域的最高温度高达 2500° C，且在不同位置存在显著的温度梯度。

2.3 数值模拟

2.3.1 模型建立

利用专业的数值模拟软件（如 ANSYS、ABAQUS 等），构建了电子束焊接的热流耦合模型。在模型构建过程中，充分考虑了材料的热物理性能、焊接参数以及边界条件等因素。通过对模型进行合理的简化和假设，有效提升了计算效率和准确性。

2.3.2 模拟结果与分析

模拟结果清晰地展示了熔池内的温度场、流场分布以及焊缝的形状和尺寸。模拟发现，当焊接速度较慢时，熔池内的温度梯度较小，流体流动相对平缓，导致焊缝宽度增加；而当焊接速度较快时，温度梯度增大，流体流动加剧，焊缝宽度则相应减小。通过将模拟结果与实验数据进行对比验证，发现两者较为吻合，误差在可接受范围内，从而证明了数值模拟的可靠性和准确性。

表 1 模拟结果与实验数据的对比分析

焊接参数	模拟焊缝宽度 (mm)	实验焊缝宽度 (mm)	相对误差 (%)
电子束流 25 mA, 焊接速度 10 mm/s	4.2	4.5	6.7
电子束流 30 mA, 焊接速度 12 mm/s	3.8	4.0	5.0

从上述数据可以看出，模拟结果与实验数据高度一致，进一步验证了数值模拟方法的可靠性。

3 高温合金电子束焊接熔池流动行为分析

3.1 电子束能量输入对熔池流动的影响

在电子束焊接工艺中，能量输入扮演着至关重要的角色，其变化对熔池流动行为具有显著影响。随着电子束能量

的逐步提升，熔池所接收的能量密度显著增加，进而引发熔池温度的急剧攀升。这一温度变化不仅深刻改变了熔池的物理特性，还使得表面张力成为驱动熔池流动的关键因素。温度的升高导致熔池表面张力发生动态调整，尤其是在高温条件下，表面张力梯度显著增大^[2]。这种梯度变化为熔池内部提供了更强的驱动力，促进了熔池内部对流的加剧。对流强度的提升意味着熔池内部的液态金属能够更加充分地混合与流动，有助于消除成分的不均匀性，并降低缺陷形成的可能性。然而，值得注意的是，过度的对流也可能导致熔池稳定性下降，从而增加气孔、裂纹等缺陷的潜在风险。

3.2 焊接速度对熔池流动的影响

焊接速度作为另一个关键参数，在高温合金电子束焊接过程中同样对熔池流动特性产生深远影响。较快的焊接速度意味着热量输入相对减少，同时熔池处于高温状态的时间缩短，导致熔池冷却速率加快。这种快速冷却过程限制了熔池的流动能力，因为液态金属在较短时间内凝固，无法充分进行流动与混合。相反，较慢的焊接速度则为熔池提供了更多的高温保持时间，使得液态金属有足够的时间进行充分的流动与混合。这种充分的流动有助于热量和溶质的均匀分布，进而提升焊缝的整体质量和性能。然而，过慢的焊接速度也可能导致热输入过高，引发焊缝的过度熔化以及晶粒粗大等不利现象。

3.3 保护气体对熔池流动的影响

在高温合金电子束焊接过程中，保护气体的作用同样不容忽视。保护气体的种类和流量能够显著改变熔池表面的压力分布，进而对熔池的流动形态产生深远影响。不同类型的保护气体具有独特的物理性质，如密度、热导率等，这些性质决定了气体在熔池表面的分布和作用方式。某些气体可能更容易在熔池表面形成均匀的压力分布，有助于促进熔池的平稳流动；而另一些气体则可能导致局部压力差异显著，进而引发熔池流动的不规则性。保护气体的流量大小也发挥着重要作用。较大的流量能够更有效地排除周围的空气，维持焊接环境的纯净度，并在熔池表面形成相对稳定的压力层。这种稳定的压力分布有助于减少熔池流动的波动性和不规则性，提升焊缝的成形质量和性能。相反，流量过小可能无法充分发挥保护作用，导致熔池表面受到外界因素的干扰，进而影响流动形态和焊缝质量。

4 高温合金电子束焊接焊缝成形机制探究

4.1 熔池流动与焊缝熔深的关系

在高温合金的电子束焊接工艺中，熔池流动状态对焊缝熔深的影响尤为显著。熔池的剧烈涌动能够显著促进热量向焊缝底部的有效传递，进而实现熔深的提升。这一现象的根源可深入剖析如下：一方面，熔池内部液态金属的剧烈流动大大增强了热量的对流传导。这种流动仿佛熔池中一股强劲搅拌力，促使热量迅速且均匀地分布，使得焊缝底部得

以接收到更多的热量。这种对流效应不仅提升了热量传递的效率，还确保了熔池内部温度场的均匀性。另一方面，熔池流动对熔池几何形态的塑造也起到了关键作用。强烈的流动往往使熔池底部呈现出更为尖锐的形态，这种形态变化使得热量在底部的集中程度增加，进一步推动了热量向焊缝底部的深入传递，从而增大了熔深^[9]。相比之下，当熔池流动减弱时，热量的对流传导效应减弱，熔池内部的温度分布变得不均匀，难以有效传递至焊缝底部。同时，熔池底部形态趋于平缓，热量集中区域减小，导致熔深相应减小。

为了更加深入地理解熔池流动与焊缝熔深之间的复杂关系，研究者们通常采用数值模拟与实验研究相结合的方式。数值模拟技术能够直观地展现熔池流动的速度场、温度场等关键参数，为理解流动对熔深的影响机制提供了有力的工具。而实验研究则通过实际焊接过程中的测量与分析，验证了数值模拟结果的准确性，并获取了更为真实可靠的实验数据。

4.2 熔池流动与焊缝宽度的关系

在高温合金的电子束焊接过程中，熔池的流动速度和方向对焊缝的凝固过程具有至关重要的影响，进而显著决定了焊缝的宽度。熔池流动速度的快慢直接关联着焊缝凝固的速率。当熔池流动速度较快时，液态金属能够迅速填充焊缝区域，并在较短的时间内完成凝固过程。这种快速的凝固限制了液态金属在横向方向上的充分扩展，从而导致焊缝宽度相对较窄。相反，当熔池流动速度较慢时，焊缝的凝固时间得以延长，液态金属在横向方向上有了更多的流动和铺展机会，进而形成了较宽的焊缝。熔池流动的方向也对焊缝宽度产生了不可忽视的影响。当熔池流动主要沿着焊缝长度方向时，液态金属在横向上的补充相对较少，导致焊缝宽度较窄。而当熔池流动方向具有较大的横向分量时，液态金属能够更充分地填充焊缝的横向空间，从而增加了焊缝的宽度。

为了实现焊缝宽度的精确调控，并达到理想的焊接接头性能，研究者们需要深入理解和有效控制熔池流动的速度和方向。这通常通过优化焊接工艺参数（如电子束电流、焊接速度、聚焦位置等）来实现。同时，借助先进的监测技术（如实时高速摄像、红外热成像等），对熔池流动进行实时监测与分析，为工艺参数的优化提供了有力的数据支持。

4.3 焊缝缺陷的形成与熔池流动的关联

在高温合金的电子束焊接过程中，焊缝缺陷的形成往往与熔池流动的不稳定性紧密相连。气孔作为一种常见的焊缝缺陷，其产生机制与熔池内部气体的逸出过程息息相关。当熔池流动呈现不稳定状态时，内部易形成局部漩涡与湍流区域。这些复杂的流动形态可能会阻碍气体顺利逸出至熔池

表面，导致气体被捕获并在焊缝凝固过程中形成气孔。未熔合缺陷则是另一类需关注的焊缝问题，其根源同样可追溯到熔池流动的不均匀性。在焊接过程中，若熔池流动未能实现均匀分布，将导致热量在焊缝区域的不均衡传递。某些局部区域可能会因热量不足而无法使母材充分熔化，进而在焊缝凝固后形成未熔合区域。这种流动不均匀性可能源于多种因素，包括电子束能量分布的不均衡、焊接速度的变化以及熔池内部物理特性的动态变化等。

为了有效减少和避免焊缝缺陷的产生，稳定熔池流动成为一项至关重要的任务。这要求采取一系列措施来优化焊接过程。一方面，通过精细调整焊接工艺参数，如电子束的功率水平、焊接速度以及束流的聚焦程度等，可以显著改善熔池的流动状态，降低其不稳定性。另一方面，预热和后热处理工艺的恰当应用同样有助于减少母材与焊缝之间的温度梯度，进而降低熔池流动的不稳定因素。实时监测熔池流动状态并结合先进的控制技术进行动态调整，也是预防焊缝缺陷的有效策略。利用智能控制系统对焊接过程中的熔池流动参数进行实时监测，并根据监测结果自动调整焊接工艺参数，以确保熔池流动的稳定性。这种实时反馈与动态调整机制能够显著提升焊接过程的可控性和焊缝质量。

5 结语

综上所述，本研究致力于深入剖析高温合金电子束焊接过程中熔池流动行为与焊缝成形机制之间的复杂关系。研究明确了电子束能量、焊接速度以及保护气体等关键因素对熔池流动行为的重要影响。在此基础上，进一步揭示了熔池流动行为与焊缝成形之间的内在联系，为优化焊接工艺参数提供了坚实的理论基础。同时，本研究还探索了通过控制熔池流动来减少焊缝缺陷、提升焊缝质量的有效途径。这些研究成果不仅为高温合金电子束焊接的实际应用奠定了坚实基础，同时也为未来的深入研究指明了方向。然而，值得注意的是，当前研究仍存在一些局限性。未来研究需进一步关注复杂结构件焊接时的熔池流动规律，并借助智能化控制技术实现更为精准的焊接过程调控。这将有助于推动高温合金电子束焊接技术的持续发展和广泛应用。

参考文献

- [1] 张秉刚,王一帆,王厚勤.先进材料与异种材料电子束焊接研究进展[J].焊接学报,2022,43(08):95-101+119-120.
- [2] 彭靖,张嘉艺,吴若琛,等.不同电子束焊接参数对GH4169和IC10镍基高温合金组织和力学性能的影响[J].有色金属科学与工程,2024,15(05):716-722.
- [3] 文圣明.镍基高温合金电子束焊接接头服役失效机理与寿命评估研究[D].湖南大学,2023.

Discuss the application of information technology in the field of safety supervision of offshore oil industry

Qing An

CNOOC Safety Supervision Office, Beijing, 100000, China

Abstract

With the rapid progress of information technology, the demand for safety management in the offshore oil industry also continues to rise. This paper deeply explores the application of information technology in the offshore oil industry, and clearly points out its obvious advantages in many fields such as enhancing safety monitoring, risk assessment and accident prevention. By using the integration of the Internet of things (IoT), big data analysis and artificial intelligence (AI) the frontier technology, the safety management of offshore oil can realize real-time monitoring, intelligent analysis and accurate warning, it will greatly reduce the risk of accidents, and improve the response speed of emergency, hope this paper can promote the sustainable development of the offshore oil industry and security.

Keywords

information technology; offshore oil; safety supervision; Internet of Things

探讨信息化技术在海洋石油行业安全监管领域中的运用

安卿

中国海洋石油集团有限公司安监办海油分部, 中国·北京 100000

摘要

伴随着信息技术的飞速进步, 海洋石油产业在安全管理方面的需求也在持续上升。本文深度探索了信息技术在海洋石油产业中的安全管理应用, 并较为明确指出了其在增强安全监测、风险评定和预防事故等多个领域中的明显优越性。通过利用整合物联网 (IoT)、大数据分析以及人工智能 (AI) 这些前沿技术, 海洋石油的安全管理可以实现实时的监视、智能化的分析和精确的预警, 这将大大减少事故发生的风险, 并提高紧急情况下的响应速度, 希望本文可以促进海洋石油行业的可持续发展和安全保障。

关键词

信息化技术; 海洋石油; 安全监管; 物联网

1 引言

伴随着信息科技, 特别是在物联网、大数据、云计算以及人工智能等多个领域的迅猛发展, 各种行业的安全管理模式都经历了深刻的变革。海洋石油领域的安全管理同样不是孤立的, 通过融合智能感知、数据的收集与分析以及实时的预警功能, 信息技术可以大大增强监管的高效性和安全预防的能力。借助信息技术工具, 安全监管可以对海上平台、钻井操作、运输环节等多个环节进行全面的监控和动态管理, 能够及时识别潜在的风险, 并做出预警和响应, 从而显著降低事故发生的可能性。本文旨在探究信息技术在海洋石油行业安全监管方面的具体应用, 并分析其在提升监管效能、强化风险管理以及优化资源分配等多个方面所起的作用。

【作者简介】安卿 (1983-), 男, 中国山东日照人, 本科, 工程师, 从事海洋石油安全监管工作研究。

2 安全监管的核心需求

海洋石油作业环境的持续变化揭示了作业过程中涉及的各种设备、工作人员以及环境因素都存在着显著的不稳定性。因此, 为了对实时数据进行高效的监测和预警, 海洋石油行业必须依靠尖端的信息技术工具。通过持续的实时监控, 监管机构可以随时掌握平台设备的运行状态、环境的变化以及工作人员的安全情况, 从而能够快速识别潜在的风险。例如, 海上平台上的钻井工具、管道系统和供电设备的状态都需要持续的监测。若设备遭遇故障或操作出现不正常情况, 该系统会自动激活警报机制, 以确保相关的工作人员能够迅速实施紧急响应。

3 传统监管方式的局限性

在传统的海洋石油安全管理架构中, 信息管理通常是由多个不同的部门和各自独立的监控系统来执行分散的操

作。例如，在钻井设备、海洋环境、油气储存和运输等多个环节中，安全数据是由不同的系统进行管理和监控的，这导致了数据的碎片化和孤立。这种信息孤岛的现象不仅削弱了监管效能，同时也增加了监管人员所面临的工作负担。一个更为核心的是，由于信息管理的多样性和监管数据的实时响应差异，这使得快速整合各种数据变得困难，并且难以实现跨部门和跨系统的有效联动^[1]。

从传统角度看，海洋石油的安全管理大多依赖于人类的观察和基于经验的评价，但并没有足够的智能化手段来实施。在处理大量实时监测数据的情况下，依靠人工进行数据分析不仅会耗费大量时间，还有可能引发判断失误。虽然某些监测工具可以收集大量的数据，但要从这些数据中提取有价值的信息，并评估数据背后可能存在的风险，仍然需要依赖于手工操作。这样的状况不仅会导致大量数据无法得到充分的应用，而且在面对复杂的风险时，仅仅依赖人工分析是远远不够的。

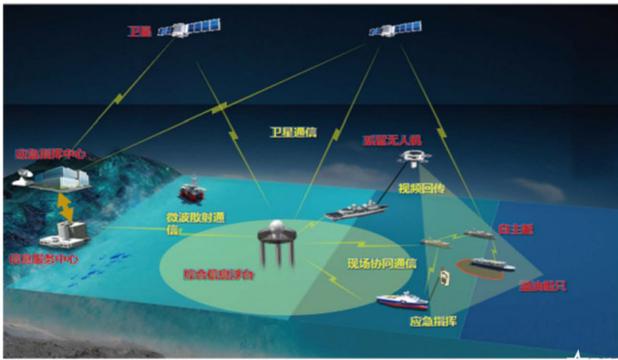


图1 信息化作业平台

4 环境监控与数据采集

海洋环境的不稳定性对石油开采活动的安全性有着极其重要的影响，特别是在受到恶劣气候、海浪、风速、气压波动和海洋污染等多重因素的影响下，平台的运行状态可能会出现剧烈波动，这无疑会增加作业过程中的风险。考虑到海洋石油平台主要分布在远离陆地的海域，并直接受到气候和海洋环境的影响，传统的安全监管方法很难满足高效和精确的安全需求。在目前的环境下，采用环境监测传感器已经成为提高海洋石油安全管理效能的核心手段。通过部署环境监测传感器，海洋石油行业可以实时收集各种环境数据，从而为平台的安全操作提供全面的保护。

在海洋石油行业中，数据来源是非常丰富的，这包括由传感器收集的各种数据（例如温度、压力、流速、震动等）、视频监控数据、作业日志、气候信息以及海洋污染物的监测数据。在物联网系统的支持下，这组数据被实时地监测，并被传输到一个集中的管理系统中，同时也被存储在众多的存储空间里。这组数据经常显示出高频、实时更新和大数据量的特点，传统的数据处理方式已经无法满足对实时性和准确

性的高要求，因此，采用大数据技术变得尤其重要。

5 无人机（UAV）与自动化机器人技术的应用

无人机（UAV）和自动化水下机器人（ROV）作为现代海洋石油产业在安全监控和操作方面的核心技术工具，其重要性正逐步上升。伴随着科技的持续发展，这些建议的技术在未来的海上操作中已经变得不可或缺。得益于海洋石油平台和油气管道的高效与智能化特点，它们的巡查和维护变得更加精确和安全，这也大大降低了人力资源的成本和潜在的事故风险。在科学技术的不断发展中，如何实现无人机（UAV）和自动化水下机器人（ROV）在海洋石油产业安全监管工作中的协作是当前的热点问题，并且在实际应用中如何通过协作来提高工作效率和安全是研究方向^[2]。

由于无人机具备高效性、灵活性和低成本的优势，它在海洋石油平台以及油气管道的巡查和安全监控领域获得了广泛的应用和认可。通过无人机技术可以构建针对海洋石油领域的安全巡查系统，系统中包括高清摄像头、红外传感器和气体检测仪等，这确保了它能够进行精准的视觉检测，及时发现设备的故障、异常环境或潜在的安全隐患。



图2 海底观测技术

6 对信息平台与决策支持系统进行了融合

随着海洋石油行业中信息技术的不断发展，相关的安全监管标准也变得越来越复杂和准确。在当前的大数据背景下，企业所遭遇的挑战不只是确保生产流程的安全，还需要对整个生产流程进行严格的管理和控制，以保证其能够稳定运作。因此，仅仅依靠单一的信息技术手段已经无法满足这个领域日益增长的安全需求。现阶段，我国正致力于构建国家级的应急管理体系，而在这一体系中，核心问题在于如何运用当前可用的信息技术工具，以实现海洋石油资源开发活动的全面监控。为了更有效地整合各种技术手段，并提升决策过程的效率与响应速度，我们有必要构建一个全方位的信息管理平台，以便更好地整合和管理信息技术的多个应用领域。该信息平台需要综合数据收集和分析、综合预警以及应急救援等多个功能。这个集成平台的核心功能是融合

多种数据源,通过数据分析和决策支持系统,为安全监管人员提供全方位、智能化的决策支持,从而确保海洋石油作业的安全。

作为海洋石油产业安全管理的重要组成部分,信息平台在整个整合和管理过程中都扮演着不可或缺的角色。本文介绍了一套基于物联网技术构建的海洋石油平台的安全监控系统,该系统主要由现场观测站和后端管理中心两个主要部分构成。这个系统融合了来自多个专业领域的各种数据,这些数据包括但不限于传感器采集的数据、气候状况、设备当前的运行状态,以及以往事故的历史纪录。这批数据有助于增强监管人员在决策过程中的科学依据,进而能够对海洋环境的风险进行准确的评估和预警,并能够及时地实施相应的管理措施。通过搭建一个多角度的数据整合系统,这个平台能够为监管部门提供全面的实时监测以及对历史数据的深入解读,进而更深入地掌握海洋石油平台的总体安全情况。

决策支持系统还具备实时整合过去数据的能力,这将帮助监管机构更加有效地进行风险评估。该系统通过建立一个全面的风险评估体系,具备为平台管理团队提供关于各类安全风险深度分析报告的能力。国内外已有相关针对信息系统平台的应用对于海洋石油领域安全监管工作的价值的研究成果,这些成果涵盖了对各种船舶、海洋状况和环境因子的系列研究。全面评估了设备故障和环境变化等多重因素对安全的影响,还可以与气象数据和海洋污染物浓度进行深度的综合分析,从而为优化作业流程和紧急响应提供关键的数据支持^[3]。

综合信息平台同样具备产生智能报告和提供自动化决策支持的功能。该系统能够根据用户的具体需求,在任何时候向系统内部发布各种相关的信息。这一平台拥有对实时数据进行深入分析的功能,并能自动生成安全报告,同时对潜在的风险元素进行详尽的评价。这个系统是由一个综合性的监控中心负责汇总所有相关部门发出的警报信息,并将这些

警报数据整合到综合监控中心的数据库里,之后以可视化的形式展示给用户。这套报告深入地阐述了设备的工作状况、环境的演变、可能存在的安全隐患以及在突发事件中的应对策略等多个方面的细节。这些建议报告将是监管者及时了解设备工作状态的关键参考资料。这个平台运用了先进的自动化技术来生成这些报告,这不仅显著地提高了监管人员的工作效率,还大大减轻了手动分析的负担。

此外,这个平台还拥有在突发事件中为决策流程提供援助的特性。为了充分发挥这些功能,本研究提出了一个专为应急管理领域设计的智能决策支持系统的框架。在一个可以接收紧急报警信息的平台上,决策支持系统具备基于历史数据、实时数据和预测模型的能力,可以自动制定应急响应计划,并能向相关的工作人员发送预警和行动命令。此外,该平台能够通过深入分析历史事件,以确定在未来可能出现的灾害或灾难情况下,需要实施哪些应对策略。例如,当系统检测到某个海洋石油平台存在油气泄漏的风险时,该平台会立即启动应急响应机制,该机制包括但不限于通知维修团队、调整工作计划、调度紧急设备等。采纳这些建议的措施有助于降低因重大安全事故导致的经济损失。这种自动化的应急响应策略不仅可以显著增强事故处理的及时性和精确性,还能有效地减少事故可能带来的负面后果。

7 结语

总之,随着信息化技术的不断发展,未来海洋石油安全监管领域必将迎来更加智能、高效和全面的监管模式,为行业的长远发展提供有力支持。

参考文献

- [1] 刘成真.面向物与人的石油工具库房管理系统设计与实现[D].中国科学院大学,2022.56.
- [2] 王瑞.地理信息系统技术在海洋石油行业中的应用[J]. 2021.34.
- [3] 宋可可.海洋石油钻井生产信息化管理研究[J].中国石油和化工标准与质量, 2023.67.

Discussion on the data fusion technology of autopilot and flight management system

HangCheng Zhao

Beijing Aircraft Maintenance Engineering Co., Ltd. Aviation Technology Training Department Chengdu Training Area, Chengdu, Sichuan, 610212, China

Abstract

In order to deeply explore the data fusion technology of autopilot and flight management system, in order to improve the intelligence level of aircraft. In this paper, we analyze the working principle of autopilot and flight management system, combine advanced technologies such as deep learning and multi-source data fusion, build a data fusion model, and conduct simulation experiments on the model. The experimental results show that the integrated system has significantly improved in flight performance, safety and adaptability. It can be seen that the data fusion technology of autopilot and flight management system can effectively improve the intelligence level of aircraft and provide strong support for the future development of aircraft.

Keywords

autopilot; flight management system; data fusion technology

自动驾驶仪与飞行管理系统的融合技术探讨

赵航程

北京飞机维修工程有限公司航空技术培训部成都培训区，中国·四川成都 610212

摘要

为深入探讨自动驾驶仪与飞行管理系统的融合技术，以提升飞行器的智能化水平。本文对自动驾驶仪与飞行管理系统的工作原理进行分析，结合深度学习、多源数据融合等先进技术，构建数据融合模型，并对模型进行仿真实验。实验结果表明，融合后的系统在飞行性能、安全性及适应性等方面均有显著提升。由此可见，自动驾驶仪与飞行管理系统的融合技术能够有效提高飞行器的智能化水平，为未来航空器的发展提供有力支持。

关键词

自动驾驶仪；飞行管理系统；数据融合技术

1 引言

随着科技的发展，无人机和自动驾驶车辆等智能交通工具的应用越来越广泛。这些交通工具的自动驾驶系统（Autonomous Vehicle Systems, AVS）和飞行管理系统（Flight Management Systems, FMS）在实现自主操作和安全运行中扮演着关键角色。自动驾驶仪和飞行管理系统都需要通过融合来自多种传感器的数据来提高其决策的准确性和实时性。然而，这些系统在数据融合技术方面存在一定的挑战，如数据类型多样、数据量巨大、数据质量参差不齐等。因此，研究自动驾驶仪与飞行管理系统的融合技术，对于提高智能交通工具的性能和安全性具有重要意义。

2 自动驾驶仪与飞行管理系统概述

2.1 自动驾驶仪的功能与工作原理

2.1.1 姿态控制

自动驾驶仪的首要功能是姿态控制，通过调整飞机的俯仰、横滚和偏航角度，确保飞机在飞行过程中保持稳定的姿态。姿态控制系统通常包括以下几个部分：（1）姿态传感器：如陀螺仪、加速度计等，用于实时测量飞机的姿态变化。（2）控制计算机：根据姿态传感器提供的实时数据，计算出控制指令，通过执行机构调整飞机姿态。（3）执行机构：如舵面、升降舵等，根据控制指令调整飞机的姿态。

2.1.2 导航控制

导航控制是自动驾驶仪的另一个重要功能。它负责引导飞机按照预定的航线和高度飞行。导航控制系统主要包括导航设备、导航计算机及飞行管理系统等部分。导航设备包括全球定位系统（GPS）、惯性导航系统（INS）等，用于获取飞机的实时位置信息。导航计算机是根据导航设备提供的实时位置信息，计算出飞机的飞行路径和高度^[1]。

【作者简介】赵航程，（1973-），男，中国四川安县人，本科，工程师，从事航空电子研究。

2.1.3 飞行轨迹控制

飞行轨迹控制是自动驾驶仪的高级功能，它能够根据飞行计划和实时环境变化，自动调整飞机的飞行轨迹。飞行轨迹控制系统主要包括飞行计划、飞行管理系统及执行机构。飞行计划包括预定的航线、高度、速度等信息。飞行管理系统是根据飞行计划和实时环境变化，计算出飞机的最佳飞行轨迹。执行机构是根据飞行管理系统的指令，调整飞机的飞行轨迹，确保飞机按照最佳轨迹飞行。

2.2 飞行管理系统的组成与功能

2.2.1 飞行计划制定

飞行计划的制定是飞行管理的核心功能，系统通过对飞行任务、天气状况、机场运行规则等因素的综合分析，为飞行员提供合理的飞行路线和 timetable。系统根据航班的目的地、起飞机场和降落机场的具体情况，系统会自动选择最佳起飞和降落点。根据飞行计划和天气条件，系统会计算出最佳飞行高度和速度，以确保航班的安全和效率。系统会根据飞行计划和机场运行规则，规划出一条最优的飞行航线，以减少飞行时间和燃油消耗。

2.2.2 性能计算

飞行管理系统负责对飞机的性能进行实时监控和计算，以确保飞行过程中的各项指标符合规定。系统会根据飞行高度、速度和飞行时间等因素，实时计算燃油消耗情况，以便飞行员及时调整飞行策略^[2]。系统会根据飞机的性能参数，计算爬升和下降所需的时间和燃油消耗，确保飞行过程平稳、高效。系统会实时监控飞机的导航系统，确保导航精度和可靠性。

2.2.3 导航管理

飞行管理系统负责管理飞机的导航过程，系统会根据飞行计划和导航数据，实时调整飞机的航向，确保飞机按照预定航线飞行。系统会根据飞行计划和高度限制，实时调整飞机的高度，确保飞行高度符合规定。系统会根据飞行计划和速度限制，实时调整飞机的速度，确保飞行速度符合规定。

3 自动驾驶仪与飞行管理系统的融合方法

3.1 数据采集与预处理

3.1.1 传感器数据的采集与校准

根据飞行器的性能需求和环境特点，选择合适的传感器，如 GPS、惯性导航系统 (INS)、雷达、激光雷达等。将传感器合理安装在飞行器上，确保传感器能够准确采集飞行过程中的各种数据。对传感器进行校准，消除系统误差，提高数据采集的准确性。校准方法包括：(1) 实验室校准：在实验室环境下，使用标准设备对传感器进行校准。(2) 现场校准：在飞行过程中，通过对比地面基准数据对传感器进行校准。

3.1.2 数据清洗与筛选

对采集到的原始数据进行处理，消除噪声、异常值等，提高数据质量。数据清洗方法包括：检测并删除重复的数据记录，根据数据规律，对缺失数据进行估计或插值。对数据

进行滤波处理，消除噪声。根据飞行任务需求，对数据进行分析，筛选出对自动驾驶仪与飞行管理系统有用的数据。筛选方法包括：(1) 阈值筛选：根据设定的阈值，筛选出符合条件的数据。(2) 特征提取：提取数据中的关键特征，用于后续的数据融合。(3) 关联规则挖掘：挖掘数据之间的关联规则，为数据融合提供依据。

3.2 数据融合模型与算法

3.2.1 基于卡尔曼滤波的数据融合

卡尔曼滤波是一种广泛应用于信号处理和系统估计的算法，具有较好的滤波效果和实时性。在自动驾驶仪与飞行管理系统数据融合中，卡尔曼滤波器可以将多个传感器数据融合，提高估计精度。具体步骤如下：建立系统模型，包括状态方程和观测方程。根据实际应用场景，选择合适的卡尔曼滤波器类型，如线性卡尔曼滤波器或非线性卡尔曼滤波器^[3]。初始化卡尔曼滤波器，包括状态向量、协方差矩阵和过程噪声、观测噪声等。根据传感器数据，进行状态估计和误差估计。更新状态估计和协方差矩阵，提高估计精度。

3.2.2 基于模糊逻辑的数据融合

模糊逻辑是一种处理不确定性和模糊信息的数学方法，具有较强的适应性和鲁棒性。在自动驾驶仪与飞行管理系统数据融合中，模糊逻辑可以处理传感器数据的不确定性和模糊性，提高系统性能。具体步骤如下：建立模糊逻辑模型，包括输入变量、输出变量和规则库。根据实际应用场景，设计模糊规则，如模糊规则推理和模糊推理算法。对传感器数据进行模糊化处理，将输入变量转换为模糊集。根据模糊规则进行推理，得到输出变量的模糊集^[4]。对输出变量的模糊集进行解模糊化处理，得到精确的输出结果。

3.2.3 基于神经网络的数据融合

神经网络是一种模拟人脑神经元结构的计算模型，具有较强的非线性映射能力和学习能力。在自动驾驶仪与飞行管理系统数据融合中，神经网络可以处理复杂的数据关系，提高估计精度和系统性能。具体步骤如下：选择合适的神经网络结构，如前馈神经网络、卷积神经网络或循环神经网络等。收集和预处理传感器数据，包括数据清洗、特征提取等。将预处理后的数据输入神经网络进行训练，调整网络参数。使用训练好的神经网络进行状态估计，提高估计精度。根据实际应用需求，对神经网络进行优化和改进。

3.3 融合结果的评估与验证

3.3.1 准确性评估指标

计算融合前后系统输出值与真实值之间的平均误差 (Mean Error, ME)，公式如下： $ME = (1/N) * \sum(|X_f - X_t|)$ ，其中，N 为数据样本数量， X_f 为融合后的系统输出值， X_t 为真实值。计算融合前后系统输出值与真实值之间的标准差 (Standard Deviation, SD)，公式如下： $SD = \sqrt{[(1/N) * \sum(X_f - X_t)^2]}$ ；评估融合后系统在决策过程中的决策一致性 (Consistency of Decision, CD)，公式如下： $CD = (1 - (\text{错误决策次数} / \text{总决策次数}))$ ；评估融合后系统的预测准确率 (Accuracy of Prediction, AP)，公式如下： $AP = (\text{正}$

确预测次数 / 总预测次数) * 100%; 融合效果指数 (Fusion Effectiveness Index, FEI) 综合考虑融合前后系统性能的变化, 公式如下: $FEI = (1 - (ME_{fusion} / ME_{original})) * (1 - (SD_{fusion} / SD_{original}))$, 其中, ME_{fusion} 为融合后的平均误差, $ME_{original}$ 为融合前的平均误差, SD_{fusion} 为融合后的标准差, $SD_{original}$ 为融合前的标准差。

3.3.2 可靠性验证方法

从原始数据中随机抽取一定数量的样本, 对融合后的系统进行测试, 验证其可靠性。针对数据集中极端值较多的样本, 对融合后的系统进行测试, 验证其在极端情况下的可靠性。将数据集分为训练集和测试集, 对融合后的系统在训练集上进行训练, 在测试集上进行测试, 验证其泛化能力。在真实飞行场景中, 对融合后的系统进行测试, 验证其在实际应用中的可靠性。对融合后的系统进行长时间运行测试, 观察其性能变化, 验证其稳定性。模拟系统故障, 验证融合后的系统在故障情况下的可靠性。

4 自动驾驶仪与飞行管理系统的融合仿真实验

4.1 飞行任务中的应用情况

4.1.1 自动起飞和降落

自动起飞和降落是飞行任务中最为关键的环节, 其安全性直接影响整个飞行过程。通过数据融合仿真实验, 可以研究自动驾驶仪与飞行管理系统在自动起飞和降落过程中的应用效果。设置仿真环境, 包括飞机、气象条件、飞行航线等。启动自动驾驶仪, 飞机开始加速, 当达到规定速度后, 自动驾驶仪接管飞机, 进行爬升。飞机进入巡航阶段, 自动驾驶仪保持飞机在预定的航线上飞行^[9]。

4.1.2 自动巡航

自动巡航是飞行任务中的核心环节, 通过数据融合仿真实验, 可以研究自动驾驶仪与飞行管理系统在自动巡航过程中的应用效果。飞机进入巡航阶段, 自动驾驶仪保持飞机在预定的航线上飞行, 并根据实时气象条件自动调整飞行高度和速度。通过仿真实验, 对比分析自动巡航过程中的飞机性能、燃油消耗、安全性等指标。

4.1.3 飞行计划管理

通过仿真实验, 验证自动驾驶仪与飞行管理系统在飞行计划管理中的应用效果, 包括飞行路径规划、起降时间优化等。根据实际飞行需求, 设置仿真实验场景, 包括起降机场、飞行高度、速度、航线等参数; 利用飞行管理系统进行航线规划, 包括避开空中障碍物、合理分配飞行高度和速度等; 仿真实验中, 自动驾驶仪根据飞行管理系统提供的航线数据, 自动调整飞行姿态和速度, 实现飞行任务; 对飞行计划管理过程进行实时监控, 确保飞行任务顺利进行。

4.1.4 飞行性能监控

通过仿真实验, 验证自动驾驶仪与飞行管理系统在飞行性能监控中的应用效果, 包括飞行高度、速度、燃油消耗等参数的实时监测。设置仿真实验场景, 包括起降机场、飞行高度、速度、航线等参数; 利用飞行管理系统实时监控飞

行高度、速度、燃油消耗等参数; 自动驾驶仪根据飞行管理系统提供的飞行性能数据, 调整飞行姿态和速度, 实现最优飞行性能; 对飞行性能监控过程进行实时分析, 确保飞行任务顺利完成。通过仿真实验, 验证自动驾驶仪与飞行管理系统在飞行性能监控中的应用效果, 提高飞行安全性、降低燃油消耗。

4.2 应用效果分析

4.2.1 对飞行安全性的提升

自动驾驶仪与飞行管理系统的融合仿真实验表明, 通过将多种数据源进行综合分析, 能够显著提高飞行安全性。数据融合系统能够实时监测飞行过程中的各种参数, 如风速、气压、油量等, 一旦发现异常情况, 立即发出预警, 确保飞行员能够及时采取措施。系统可以分析周围环境, 包括地形、天气等因素, 为自动驾驶仪提供准确的避障信息, 降低飞行风险。数据融合系统能够根据实时数据优化航线规划, 减少飞行距离, 降低风险。

4.2.2 对燃油效率的影响

系统根据实时数据调整飞行路径, 减少不必要的飞行距离, 降低燃油消耗。通过对飞行过程中各种参数的分析, 系统可自动调整发动机功率, 实现燃油的最优消耗。系统可根据历史数据和实时信息预测未来燃油需求, 提前做好燃油储备, 避免因燃油不足而影响飞行。

5 结论

自动驾驶仪与飞行管理系统的融合技术是提高智能交通工具性能和安全性的一项重要技术。通过将来自不同传感器的数据进行融合, 以提高系统对环境信息的准确感知。对传感器数据进行特征提取和选择, 以减少数据冗余和提高处理效率。确保不同传感器数据的同步性和时间戳的准确性。采用滤波和估计方法, 如卡尔曼滤波、粒子滤波等, 对数据进行处理和优化。通过仿真和实验验证, 数据融合技术能够显著提高自动驾驶仪和飞行管理系统的性能。多传感器数据融合能够提供更全面的环境信息, 有助于提高决策的准确性和安全性。数据融合算法的设计和实现需要考虑实时性、可靠性和鲁棒性等因素。随着相关技术的不断发展和完善, 未来自动驾驶和飞行管理系统将更加智能化、高效和安全。

参考文献

- [1] 胡珉, 裴烈烽, 吴秉键, 等. 盾构自动驾驶技术现状与展望[J]. 隧道建设(中英文), 2023, 43(03): 383-391.
- [2] 孙闻. 通用飞机自动驾驶仪. 安徽省, 安徽华明航空电子系统有限公司, 2022-03-15.
- [3] 华厚强, 杜卓然. 基于MATLAB/Simulink的飞机自动驾驶仪俯仰通道控制优化[J]. 电子测量技术, 2022, 45(02): 55-64.
- [4] 许红娟, 杨婧, 封素敏. 基于无源性自动驾驶仪的控制设计及稳定性标准分析[J]. 舰船科学技术, 2021, 43(24): 25-27.
- [5] 杨建营. 典型飞机自动驾驶系统工作模式管理与控制[J]. 设备管理与维修, 2021, (21): 136-137.

Research and simulation analysis of two kinds of wireless communication signal detection technology

Wentao Dai

The Tenth Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Chengdu, Sichuan, 610036, China

Abstract

In wireless communication environments, receivers often need to detect useful signals from the wireless environment. On the one hand, they can effectively intercept enemy signals and extract effective information from them; On the other hand, directional interference can be applied to the detected signal features, thereby winning the wireless electromagnetic spectrum rights. This article proposes two detection methods based on the principle of signal energy detection, namely the ideal detector method and the non overlapping bandwidth detector method, and elaborates on their theoretical principles. Simulation analysis is conducted on the relationship between their detection probability and SNR, and bandpass filter bandwidth. The results indicate that the two methods studied in this article can effectively detect wireless communication signals.

Keywords

the ideal detector method; the non overlapping bandwidth detector method; detect wireless communication signals.

两种无线通信信号检测技术与仿真分析

代文涛

中国电子科技集团公司第十研究所, 中国 · 四川 成都 610036

摘要

无线通信环境中, 接收机往往需要针对无线环境的有用信号进行检测, 一方面可以对敌方无线通信信号进行有效截获, 提取其中有效信息; 另一方面可以针对检测信号特征进行定向干扰, 从而赢得战场环境无线电磁频谱权。本文根据信号能量检测的原理, 提出了两种检测方法, 即理想检测器法和非交叠带宽检测器法, 并分别对其理论原理进行推导, 针对其检测概率与信噪比、带通滤波器带宽关系进行仿真分析。结果表明, 本文研究的两种方法可以有效检测无线通信信号。

关键词

理想检测器、非交叠带宽检测器、检测无线通信信号

1 引言

信号检测是在信道干扰噪声的情况下检测无线环境通信信号的情况。建立通信信号模型为:

$$H_0 : x(t) = n(t)$$

$$H_1 : x(t) = s(t) + n(t)$$

其中, $n(t)$ 是信道背景噪声, 而 $s(t)$ 是信号, 可能是干扰信号也可能是通信信号, 虚警率为 $P(H_1|H_0)$, 检测概率为 $P(H_1|H_1)$ 。理想情况是虚警率越小越好, 检测概率越大, 通信接收机做出错误判决的概率越小。综上所述, 采用恒虚警率准则进行信号检测。

信号检测通常采用能量检测法, 本文针对能量检测特征, 提出了两种检测技术, 即理想检测器和非交叠带宽检测器两种, 其通信模型分别建立如下:

【作者简介】代文涛 (1989-), 中国四川泸州人, 硕士, 工程师, 从事通信研究。

理想检测器的模型:

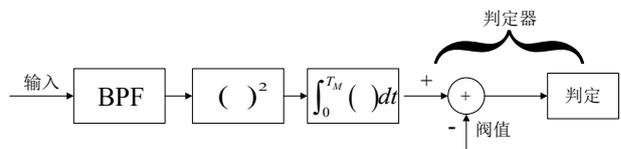


图 1 理想检测器模型

理想检测器模型下, 发射机发射的信号经过路径衰减到达接收机, 接收机对接收到的信号首先经过带通滤波器滤除干扰噪声, 然后平方积分处理求其能量, 最后和判决门限比较判断是否检测到信号。

非交叠带宽检测器的模型:

非交叠带宽检测器模型下, 发射机发射的信号经过路径衰减到达接收机, 接收机对接收到的信号首先经过带通滤波器滤除干扰噪声, 然后分成三段平方积分处理求其能量分别和判决门限比较, 三个积分数值任意一个比判决门限大则

认为检测到了信号。

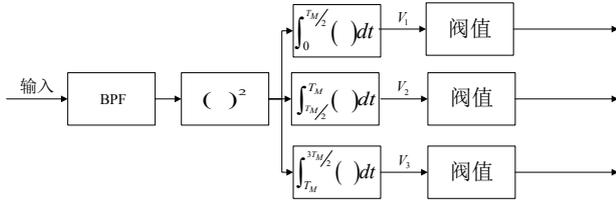


图 2 非交叠带宽检测器模型

以上理想检测器和非交叠带宽检测器主要涉及到以下参数：采样率、带通滤波器的带宽、积分时间、虚警率的大小、敌我识别信号的中心频率和带宽、判决门限（阈值）相偏、衰落、路径衰减。

2 理想检测器原理

理想检测器模型中，假设满足采样定理条件的采样率是 F_s ，而带通滤波器的带宽是 B ，带通滤波器的作用是让有用信号完全通过，但是噪声会受到限制，因此噪声经过带通滤波器能量会变小。本文引入一个带通滤波器因子 K ， K 的值是带通滤波器的带宽和采样率一半的比值，即噪声经过带通滤波器的时候能量会缩小 K 倍。将噪声近似高斯白噪声处理，方差和功率相等，经过带通滤波器后噪声的方差也缩小了 K 倍。综上所述，经过带通滤波器后，噪声数学模型可近似为： $n_i \sim N(0, KBN_0)$ 。

根据带通滤波器特征，信号中心频率 f_c 和带通滤波器的带宽 B 是已知量，带通滤波器影响了噪声积分时能量，通常积分时间 T 和总的信息长度 T_M 相等，即 $T=T_M$ 。

只有噪声的情况以及噪声和信号都存在的情况建模为：

$$H_0 : x(t) = \int_0^{T_M} n^2(t) dt$$

$$H_1 : x(t) = \int_0^{T_M} (n(t) + s(t))^2 dt$$

将连续信号离散化处理，假设抽样得到了一个向量：

$\vec{x} = (x_1, x_2, \dots, x_N)$ ，各分量之间相互独立。那么得到：

$$\int_0^{T_M} x^2(t) dt = \frac{T_M}{N} \sum_{i=1}^{i=N} x_i^2$$

在 $N \rightarrow +\infty$ 的时候，由中心极限定理可知此项服从正态分布。由于点数 N 不可能无穷大，忽略卡方分布和正态分布之间的差异，认为此项服从正态分布。

在 H_0 的情况下求均值和方差：

$$E\left[\int_0^{T_M} n^2(t) dt\right] = \frac{T_M}{N} \sum_{i=1}^{i=N} E(x_i^2) = \frac{T_M}{N} \sum_{i=1}^{i=N} [D(x_i) + E^2(x_i)] = KBN_0 T_M$$

$$D\left[\int_0^{T_M} n^2(t) dt\right] = \left(\frac{T_M}{N}\right)^2 \sum_{i=1}^{i=N} D(x_i^2) = \left(\frac{T_M}{N}\right)^2 \sum_{i=1}^{i=N} [E(x_i^4) - E^2(x_i^2)] = \frac{2K^2 B^2 N_0^2 T_M^2}{N}$$

根据正态分布的原点矩知识：

$$E(X) = 0 \quad E(X^2) = \sigma^2 \quad E(X^3) = 0 \quad E(X^4) = 3\sigma^4 \quad X \sim N(0, \sigma^2)$$

推理可得：

$$\int_0^{T_M} n^2(t) dt \sim N\left(KBN_0 T_M, \frac{2K^2 B^2 N_0^2 T_M^2}{N}\right)$$

假设 H_1 的情况下，若得知信号格式：

$$s_k(t) = A_s \cos\left(2\pi f_c t + \frac{\pi}{2} \sum_{j=1}^{k-1} a_j + \pi a_k \frac{t - (k-1)T_s}{2T_s} + \theta\right)$$

$$t \in [(k-1)T_s, kT_s] \quad k = 1, 2, 3 \dots N$$

θ 表示一个随机相位， $\theta \sim U(0, 2\pi)$ 。

信道干扰噪声 $n(t)$ 建模为：

$$\begin{aligned} \int_0^{T_M} (n(t) + s(t))^2 dt &= \frac{T_M}{N} \left(\sum_{i=1}^{i=N} n_i^2 + \sum_{i=1}^{i=N} s_i^2 + 2 \sum_{i=1}^{i=N} n_i s_i \right) \\ &= \frac{T_M}{N} \sum_{i=1}^{i=N} n_i^2 + \frac{1}{2} T_M A_s^2 + \frac{2T_M}{N} \sum_{i=1}^{i=N} n_i s_i \end{aligned}$$

第一项服从高斯分布，第二项是一个常数，第三项是一个高斯分布。

根据数学原理：

$$\begin{aligned} E\left(\frac{2T_M^2}{N^2} \sum_{i=1}^{i=N} n_i^2 \sum_{i=1}^{i=N} n_i s_i\right) &= \frac{2T_M^2}{N^2} E\left(\sum_{i=1}^{i=N} n_i^3 s_i + \sum_{i=1}^{i=N} \sum_{j \neq i} n_i^2 n_j s_j\right) \\ &= \frac{2T_M^2}{N^2} E\left(\sum_{i=1}^{i=N} n_i^3 s_i\right) + \frac{2T_M^2}{N^2} E\left(\sum_{i=1}^{i=N} \sum_{j \neq i} n_i^2 n_j s_j\right) = 0 \end{aligned}$$

且 $n_i \sim N(0, KBN_0 T_M)$ ，则可推出：

$$E\left(\frac{T_M}{N} \sum_{i=1}^{i=N} n_i^2\right) E\left(\frac{2T_M}{N} \sum_{i=1}^{i=N} n_i s_i\right) = 0$$

因此，第一项和第三项独立，即此积分变量服从高斯分布。

在 H_1 的情况下求均值和方差：

$$E\left[\int_0^{T_M} (n(t) + s(t))^2 dt\right] = KBN_0 T_M + \frac{1}{2} A_s^2 T_M$$

$$D\left[\int_0^{T_M} (n(t) + s(t))^2 dt\right] = \frac{2KBN_0 T_M^2 A_s^2}{N} + \frac{2K^2 B^2 N_0^2 T_M^2}{N}$$

得到结果：

$$\int_0^{T_M} (n(t) + s(t))^2 dt \sim N\left(KBN_0 T_M + \frac{1}{2} A_s^2 T_M, \frac{2KBN_0 T_M^2 A_s^2}{N} + \frac{2K^2 B^2 N_0^2 T_M^2}{N}\right)$$

本文的仿真中，采样率是 $160M$ ，而带通滤波器的带宽是 $24M$ ，因此 $K = \frac{24M}{80M} = 0.3$ 。

经过带通滤波器之后信号能量的均值和方差为：

$$E_1 = KBN_0 T_M; \quad \sigma_1^2 = \frac{2K^2 B^2 N_0^2 T_M^2}{N}$$

$$E_2 = KBN_0 T_M + \frac{1}{2} A_s^2 T_M; \quad \sigma_2^2 = \frac{2KBN_0 T_M^2 A_s^2}{N} + \frac{2K^2 B^2 N_0^2 T_M^2}{N}$$

判决的思路为针对两个高斯随机变量，设立一个判决门限，得出差错概率，依靠最小差错概率准则，对差错概率求导得到判决门限的大小，计算出虚警概率和检测概率，比较虚警概率和检测概率之间的关系，从而可知在虚警率恒定的条件下的检测概率。

检测概率为:

$$P_d = P(V > V_T) = qfunc\left(\frac{V_T - E_2}{\sigma_2}\right)$$

虚警率为:

$$P_f = P(V > V_T) = qfunc\left(\frac{V_T - E_1}{\sigma_1}\right)$$

给定一个虚警概率可以求出判决门限,二者之间的桥梁 V_T 为已知量。假设 $P_f = qfunc\left(\frac{V_T - E_1}{\sigma_1}\right)$, 则 $V_T = E_1 + \sigma_1 qfuncinv(P_f)$ 。得到检测概率:

$$P_d = qfunc\left(\frac{E_1 + \sigma_1 qfuncinv(P_f) - E_2}{\sigma_2}\right)$$

不考虑发射端的信噪比 $snr_{transmit} = \frac{P_s}{\sigma_n^2} = \frac{A_s^2}{2BN_0}$, 在接收机处需要考虑到路径衰减, 信号振幅会变小。假设接收机处的信号振幅为 A , 根据自由空间衰减模型:

$$Pl = 32.5 + 20 \log(f)(MHZ) + 20 \log(D)(Km)$$

信噪比计算公式为:

$$10 \times \log_{10}\left(\frac{A^2}{2BN_0}\right) = snr_{receive} = 10 \times \log_{10}\left(\frac{1}{2} A_s^2\right) - Pl - Np$$

其中, 噪声基底是 $Np = -174 + 10 \log(BW)(HZ) + NF - 30$, 噪声基底用来计算背景高斯白噪声的方差 / 功率。

综上所述, 检测概率简化为:

$$P_d = qfunc\left(\frac{-\frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{2BN_0}{A^2}\right) \frac{K}{N} + \left(\frac{2BN_0}{A^2}\right)^2 \frac{1}{2N} K^2} + qfuncinv(P_f) / \sqrt{1 + \left(\frac{A^2}{2BN_0}\right) \frac{2}{K}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{A^2}{2BN_0}\right) \frac{2}{K}}}\right)$$

3 非交叠带宽检测器原理

非交叠带宽检测器模型中, 积分时间为信息长度的一半, 即: $\frac{1}{2} T_M$, 它是利用连续的三个积分器积分判决, 任意一个输出比门限大即判断有信号。在最坏的情况下, 第一, 第三积分器只有一半的积分时间 ($\frac{1}{4} T_M$) 有信号, 而第二积分器在整个积分时间内都有信号。

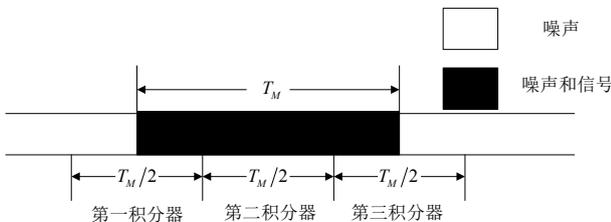


图 3 非交叠带宽检测器原理示意图

其中, 第一积分器判决门限为:

$$V_1 = \int_{-\frac{1}{4}T_M}^0 n^2(t)dt + \int_0^{\frac{1}{4}T_M} (n(t) + s(t))^2 dt$$

$$= \int_{-\frac{1}{4}T_M}^0 n^2(t)dt + \int_0^{\frac{1}{4}T_M} s^2(t)dt + 2 \int_0^{\frac{1}{4}T_M} n(t)s(t)dt$$

第二积分器判决门限为:

$$V_2 = \int_{\frac{1}{4}T_M}^{\frac{3}{4}T_M} (n(t) + s(t))^2 dt = \int_{\frac{1}{4}T_M}^{\frac{3}{4}T_M} n^2(t)dt + 2 \int_{\frac{1}{4}T_M}^{\frac{3}{4}T_M} n(t)s(t)dt$$

第三个积分器判决门限为:

$$V_3 = \int_{\frac{3}{4}T_M}^{T_M} (n(t) + s(t))^2 dt + \int_{\frac{3}{4}T_M}^{T_M} n^2(t)dt$$

$$= \int_{\frac{3}{4}T_M}^{T_M} n^2(t)dt + \int_{\frac{3}{4}T_M}^{T_M} s^2(t)dt + 2 \int_{\frac{3}{4}T_M}^{T_M} n(t)s(t)dt$$

可得上述三个随机变量均服从高斯分布, 而且没有交叠的部分即三个积分器得到的高斯变量相互独立, 求均值和方差为:

$$V_1 \sim N\left(\frac{1}{2} KBN_0 T_M + \frac{1}{8} A_s^2 T_M, \frac{K^2 B^2 N_0^2 T_M^2}{N} + \frac{KBN_0 A_s^2 T_M^2}{2N}\right)$$

$$V_2 \sim N\left(\frac{1}{2} KBN_0 T_M + \frac{1}{4} A_s^2 T_M, \frac{K^2 B^2 N_0^2 T_M^2}{N} + \frac{KBN_0 A_s^2 T_M^2}{N}\right)$$

$$V_3 \sim N\left(\frac{1}{2} KBN_0 T_M + \frac{1}{8} A_s^2 T_M, \frac{K^2 B^2 N_0^2 T_M^2}{N} + \frac{KBN_0 A_s^2 T_M^2}{2N}\right)$$

在白噪声情况下, 可简化为:

$$V_1 = V_2 = V_3 = \int_0^{\frac{1}{2}T_M} n^2(t)dt \sim N\left(\frac{1}{2} KBN_0 T_M, \frac{K^2 B^2 N_0^2 T_M^2}{N}\right)$$

若发射端的信号振幅是 A_s , 经过路径衰减后变为 A , 则虚警率为:

$$P_f = 1 - p\{V_1 < V_T \text{ and } V_2 < V_T \text{ and } V_3 < V_T\}$$

$$= 1 - (1 - qfunc\left(\frac{V_T - \frac{1}{2} KBN_0 T_M}{\sqrt{\frac{K^2 B^2 N_0^2 T_M^2}{N}}}\right))^3$$

由恒虚警率得到检测概率:

$$P_d = p\{V_1 > V_T \text{ or } V_2 > V_T \text{ or } V_3 > V_T\} = 1 - p\{V_1 < V_T\} p\{V_2 < V_T\} p\{V_3 < V_T\}$$

$$= 1 - (1 - qfunc\left(\frac{V_T - \frac{1}{2} KBN_0 T_M - \frac{1}{4} A^2 T_M}{\sqrt{\frac{K^2 B^2 N_0^2 T_M^2}{N} + \frac{KBN_0 A^2 T_M^2}{N}}}\right))(1 - qfunc\left(\frac{V_T - \frac{1}{2} KBN_0 T_M - \frac{1}{8} A^2 T_M}{\sqrt{\frac{K^2 B^2 N_0^2 T_M^2}{N} + \frac{KBN_0 A^2 T_M^2}{2N}}}\right))^2$$

综上所述, 检测概率可简化为:

$$P_d = 1 - (1 - qfunc(qfuncinv(1 - \sqrt[3]{1 - pf}) / \sqrt{1 + \frac{2}{K} snr} - \frac{1}{4} / \sqrt{\frac{K^2}{4Nsnr^2} + \frac{K}{2Nsnr}})) (1 - qfunc(qfuncinv(1 - \sqrt[3]{1 - pf}) / \sqrt{1 + \frac{1}{K} snr} - \frac{1}{4} / \sqrt{\frac{K}{Nsnr} + \frac{K^2}{Nsnr^2}}))^2$$

4 检测概率相关指标仿真分析

4.1 理想检测器

带通滤波器的带宽在满足使有用信号完全通过的情况

下影响的是经过带通滤波器之后噪声方差的大小，进而影响截获端积分能量大小，对检测概率产生影响。理想检测器检测概率和带通滤波器带宽、信噪比关系的仿真曲线见下图。

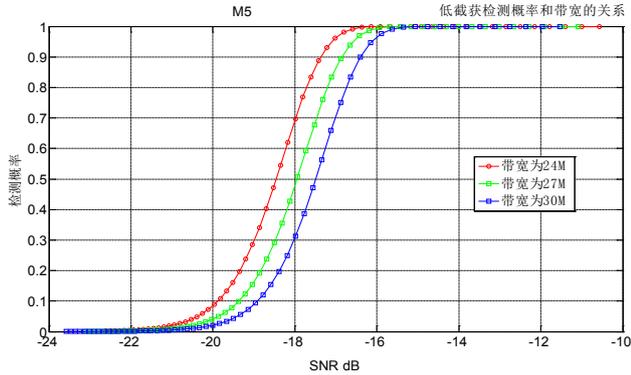


图4 理想检测器检测概率和带宽的关系曲线图

带通滤波器的带宽越大，相当于噪声能量不变但是信号的能量变小了，因此带通滤波器的带宽越大，检测概率越小。截获端需要知道信号的带宽，频谱越宽的信号越不利于接收机提高检测概率。

4.2 非交叠带宽检测器

带通滤波器带宽的大小关系到噪声经过滤波器后噪声能量的大小。非交叠带宽检测器检测概率和带通滤波器带宽、信噪比关系的仿真曲线见下图。

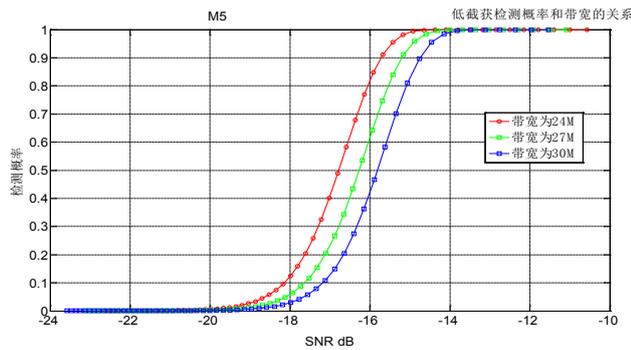


图5 非交叠带宽检测器检测概率和带宽的关系曲线图

由仿真可得，带通滤波器带宽越大，检测性能越差。

5 结语

本文针对无线场景中信号截获应用场景，基于能量检测法基本原理，提出了两种无线通信检测技术，即理想检测器技术和非交叠带宽检测器技术。通过对两种通信信号检测技术的理论推导和仿真分析，不难得出，两种技术均能较好地实现无线环境信号截获检测，且理想检测器性能略优于非交叠带宽检测器。

参考文献

- [1] 周亮. 纠错编码原理与方法. 成都: 电子科技大学出版社, 2005.
- [2] 李晓峰, 周宁, 周亮等. 通信原理. 北京: 清华大学出版社, 2008年.
- [3] 刘仁品. RS解码器在CMMB系统中的设计及实现: [硕士学位论文]. 北京: 北京工业大学, 2009.
- [4] Shin-Lin Shieh, Shuenn-Gi lee, Wern-Ho Sheen. A Low-Latency Decoder for Punctured/Shortened Reed-Solomon Codes. IEEE 16th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communication. 2005.
- [5] M.A.Khan, S.Afzal, R.manzoor. Hardware Implementation of Shortened (48,38) Reed Solomon Forward Error Correcting Code. Proceedings IEEE INMIC 2003.
- [6] 田丽华. 编码理论. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2011. 30~45页.
- [7] 王新梅, 肖国镇. 纠错码-原理与方法. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2002.
- [8] 刘兰, 林军. 基于MATLAB的Reed-Solomon编解码仿真. 广东技术师范学院学报. 2006年第6期: 1~4期.
- [9] Jagadeesh Sankaran, from Texas Instruments corporation. Reed Solomon Decoder: TMS320C64x Implementation. Application Report SPRA686-December 2000.
- [10] 郝永杰. 移动信道条件下RS码的应用及DSP实现相关问题研究: [硕士学位论文]. 合肥: 合肥工业大学, 2007.

Design and implementation of the remote control system for electric power mechanical equipment based on the Internet of Things

Lei Zheng

Wuhan Drainage Pump Station Management Office, Hubei, Wuhan, 430000, China

Abstract

With the rapid development of the Internet of Things (IoT) technology, the intelligence and remote control of the power system has become one of the key factors to improve the efficiency of power equipment management and ensure the safety of power supply. Based on the Internet of Things technology, this paper designs and realizes a set of remote control system for power mechanical equipment. The system conducts real-time data exchange with the Internet of Things equipment through the wireless network, realizing the remote monitoring, fault diagnosis, state detection and control operation of the power mechanical equipment. The system adopts the efficient data acquisition and processing technology, combined with the cloud platform and big data analysis, to ensure the efficient operation and timely maintenance of the equipment. The experimental results show that the designed system has good real-time performance, reliability and scalability, and can effectively improve the management level and work efficiency of electric power mechanical equipment.

Keywords

Internet of Things; electric power machinery; remote control; data collection; intelligent; system design

基于物联网的电力机械设备远程控制系统设计与实现

郑磊

武汉市排水泵站管理处, 中国·湖北 武汉 430000

摘要

随着物联网 (IoT) 技术的快速发展, 电力系统的智能化与远程控制成为提升电力设备管理效率和保障电力供应安全的关键因素之一。本文基于物联网技术, 设计并实现了一套电力机械设备远程控制系统。系统通过无线网络与物联网设备进行实时数据交换, 实现对电力机械设备的远程监控、故障诊断、状态检测及控制操作。系统采用了高效的数据采集与处理技术, 结合云平台 and 大数据分析, 保证了设备的高效运转和及时维护。实验结果表明, 所设计的系统具有良好的实时性、可靠性及可扩展性, 能够有效提高电力机械设备的管理水平与工作效率。

关键词

物联网; 电力机械; 远程控制; 数据采集; 智能化; 系统设计

1 引言

在现代电力系统中, 电力机械设备如变电站设备、输电线路、开关装置等的管理与维护是确保电力供应安全的重要环节。传统的电力机械设备监控方式多依赖人工检查, 操作频繁且存在较大的安全隐患和管理成本。随着信息技术特别是物联网 (IoT) 技术的不断发展, 传统的电力机械设备管理模式逐渐向智能化、自动化、远程化方向发展。物联网技术使得设备之间能够通过互联网进行数据交换, 实现对设备状态的实时监控和远程控制, 极大地提高了电力机械设备的运维效率和安全性。

然而, 尽管物联网在电力设备的远程监控中具有广阔的应用前景, 当前电力机械设备远程控制系统的设计与应用仍面临许多挑战, 包括设备的兼容性、数据传输的实时性、系统的稳定性以及远程控制的安全性等问题。因此, 基于物联网的电力机械设备远程控制系统的设计与实现显得尤为重要。本文将深入探讨如何利用物联网技术, 结合现代电力设备的特点, 设计一套高效、可靠且具备可扩展性的电力机械设备远程控制系统。

2 物联网技术概述

2.1 物联网的基本概念

物联网 (Internet of Things, IoT) 是通过互联网将各种信息传感设备与物理世界中的物品进行连接, 实现智能感

【作者简介】郑磊 (1986-), 男, 中国湖北武汉人, 本科, 助理工程师, 从事水力机械研究。

知、识别和管理。物联网的基本构成包括感知层、网络层和应用层。感知层主要由传感器、数据采集模块等组成，负责数据的采集与监测；网络层则是数据传输和处理的核心，通常采用无线通信、蓝牙、Wi-Fi等多种技术；应用层是物联网的最终应用场景，包括远程控制、数据分析、报警系统等。通过这三层结构，物联网能够实现对各类设备的智能化监控和远程管理。

2.2 物联网在电力系统中的应用

物联网技术在电力系统中的应用广泛，涵盖了设备状态监测、故障诊断、运行优化、资产管理等方面。通过物联网技术，电力企业可以实现对变电站设备、电力输送线路及配电设施的实时监控，及时发现设备的运行异常并采取相应的措施进行维护。此外，物联网还能通过数据分析提供预测性维护的功能，有效延长电力设备的使用寿命，减少电力系统的故障停运时间，确保电力供应的可靠性。

在电力机械设备领域，物联网技术主要应用于以下几个方面：

实时监控：通过传感器监测设备运行参数，如电流、电压、温度等，并将数据实时传输到远程管理平台进行分析。

故障诊断：通过采集设备的运行数据，结合大数据分析技术，预测设备故障，提前进行维护，减少停机时间。

远程控制：通过物联网平台，可以对设备进行远程操作，启动、停止或调整设备运行状态，提高管理效率和应急处理能力。

3 系统设计与架构

3.1 系统总体设计

本系统的设计目标是基于物联网技术，实现对电力机械设备的远程控制和智能管理。系统架构分为四个主要模块：数据采集模块、数据传输模块、数据处理模块和远程控制模块。每个模块负责特定的功能，并通过无线通讯技术与其他模块进行数据交互，确保系统的高效与稳定运行。

数据采集模块：该模块主要由传感器、采集卡等硬件设备组成，负责采集电力机械设备的运行数据。传感器能够实时监测设备的电流、电压、温度、振动等参数，并将数据传输给数据处理模块。数据采集模块的设计要求具有高精度和实时性，以确保采集到的运行数据真实、准确^[1]。

数据传输模块：数据传输模块采用无线通信技术，通常包括 Wi-Fi、LoRa、ZigBee 等通信协议。该模块的主要任务是将数据从采集模块传输至云平台或数据处理服务器。为了确保数据的实时传输，本系统采用了低延迟、长距离的无线通信协议，以保证电力机械设备的状态信息能够实时、稳定地传输到远程监控平台。

数据处理模块：数据处理模块主要负责接收传输过来的设备运行数据，并进行分析、处理与存储。采用云平台与大数据分析技术，能够实时显示设备的运行状态，识别设备

的潜在故障，并生成维护建议报告。通过数据处理模块，系统可以进行远程诊断，评估设备的健康状态，并根据设备的状态调整维护计划。

远程控制模块：该模块通过物联网平台，提供对设备的远程控制功能。工作人员可以通过移动设备、PC 等终端，远程操作设备，如启动、停止、调整设备参数等。远程控制模块的设计需保证系统的安全性，防止未经授权的操作。

3.2 系统架构设计

本系统采用分层架构设计，分为数据采集层、数据传输层、数据处理层和应用层。每一层都有明确的功能和分工，层与层之间通过标准化的接口进行数据交互。

数据采集层：主要由传感器、执行器等硬件组成，负责采集设备的实时数据并传输至上层系统。该层的设计强调传感器的高精度与稳定性，并根据不同设备的需求配置不同类型的传感器。

数据传输层：主要负责通过无线通讯技术传输数据，并确保数据的安全性和实时性。该层的设计侧重于选择合适的通信协议和保证数据传输的稳定性。

数据处理层：该层负责对采集到的设备数据进行处理、分析和存储。通过云平台进行数据的实时监控和历史数据分析，为远程控制和故障预测提供决策支持。

应用层：提供用户交互界面，用户可以通过 Web 平台或移动端应用查看设备的运行状态，进行故障诊断和远程控制^[2]。

4 系统实现与测试

硬件实现：本系统的硬件部分包括数据采集设备、通信模块和执行器，分别承担着不同的功能。硬件设计的关键在于确保系统的高稳定性、实时性和可靠性，特别是在电力机械设备这种高风险的工业环境中，设备必须具备抗干扰能力、耐用性和精确的测量能力。

数据采集设备：数据采集设备的核心是各种传感器，传感器的选择直接决定了数据采集的准确性与实时性。本系统使用的传感器包括温度传感器、电流传感器、电压传感器、压力传感器等，用于实时采集电力设备的运行状态数据。为了确保设备的长期稳定性，传感器的选择应具备高精度、低误差和较长的使用寿命。此外，传感器需要具有较强的抗干扰能力，以适应电力系统复杂环境中可能出现的电磁干扰。数据采集设备通过传感器将采集到的原始数据转化为数字信号，通过处理模块传输至控制系统。

通信模块：通信模块是物联网系统的关键组成部分，负责将各类传感器采集到的数据通过无线网络实时传输到远程控制平台。本系统采用了基于 Wi-Fi 和 LoRa 等通信协议的无线传输技术，以保证在不同距离、不同场景下的有效传输。Wi-Fi 通信技术适用于较短距离的数据传输，能够提供高速率、低延迟的数据交换，而 LoRa 技术则适用于长距离、低功耗的无线传输，能够在远距离或信号不良的环境中提供

稳定的连接。通信模块的设计保证了数据传输的稳定性和实时性,同时采用加密技术保障数据的安全性,防止被非法篡改或窃取。

执行器:执行器是本系统中的关键控制单元,负责接收来自远程控制平台的指令并执行相应的操作,如启动、停止、调节设备运行状态等。执行器与电力设备之间通过继电器或其他电气接口进行连接,能够实时控制设备的工作状态。执行器的设计要求具备高响应性和可靠性,确保控制信号能准确无误地传递到设备并及时完成操作^[3]。

硬件整合与稳定性测试:在硬件实现过程中,我们充分考虑了设备的稳定性和系统的扩展性。通过精密的电路设计,确保所有硬件组件能够长期稳定运行。在实际环境中,电力设备通常面临高压、高温和振动等恶劣条件,因此硬件的设计和组装必须严格按照工业标准执行。所有设备在投入使用前都经历了严格的环境适应性测试,包括温度、湿度、电磁干扰、振动等条件下的工作测试,确保在各种环境下都能稳定工作。

软件实现:系统的软件部分是实现数据采集、传输、处理和远程控制的核心模块。软件系统的设计不仅要保证数据的准确性、实时性和安全性,还需要提供一个用户友好的界面,便于操作人员进行远程监控和控制。

数据采集模块:数据采集模块负责与各类传感器进行通信,采集电力设备的实时数据。该模块通过设备驱动程序与硬件设备进行交互,定期采集电流、电压、温度等参数,并将数据转化为数字信号后发送给数据传输模块。

数据传输模块:数据传输模块负责将采集到的数据通过无线通讯技术发送到云平台或远程控制中心。为了提高数据传输的效率与可靠性,数据传输模块采用了智能化的数据路由算法,能够根据网络状况自动选择最优路径进行数据传输。

数据处理模块:数据处理模块是本系统的软件核心,负责接收传输过来的实时数据并进行分析与处理。该模块基于云计算技术,能够实时监测电力设备的工作状态,并根据设备的健康状况生成设备报告^[4]。

测试与验证:系统的测试与验证阶段是确保整个系统可靠性和实用性的重要环节。为了验证系统的性能,本文设计了一系列详细的测试,包括数据采集的准确性测试、数据传输的实时性测试、系统稳定性测试和远程控制的有效性测试。

数据采集的准确性测试:在数据采集测试中,主要测试了各类传感器在不同环境条件下的准确性与稳定性。通过对比传感器采集的数据与标准数据源,验证了采集模块的准确性。实验结果表明,传感器的采集误差在可接受范围内,能够提供稳定、可靠的数据支持。

数据传输的实时性测试:实时性是远程控制系统的核心要求之一,因此对数据传输延迟进行了严格测试。测试通过多种网络环境模拟,验证了数据传输的响应时间与稳定性。在标准环境下,系统的数据传输延迟通常在100ms以内,能够满足电力设备监控和控制的实时性要求。

系统稳定性测试:系统稳定性测试主要包括长时间运行测试与高负载测试。长时间运行测试表明,系统在连续运行72小时以上时仍然保持稳定,无数据丢失或故障发生。

远程控制的有效性测试:远程控制模块的测试验证了系统在不同网络环境下的控制响应速度与操作准确性。测试结果表明,无论是通过Wi-Fi还是通过LoRa通信,操作人员都能在5秒内接收到设备状态反馈,并且控制命令能够及时传达并执行。

5 结语

本文基于物联网技术设计并实现了一套电力机械设备远程控制系统。通过数据采集、无线通信、云平台数据处理等技术手段,本系统能够实现对电力机械设备的实时监控、故障诊断和远程操作,大幅提升了电力设备的管理效率和运行安全性。经过广泛的测试验证,系统表现出了良好的实时性、准确性和稳定性,能够在复杂的电力环境中长期稳定运行。然而,系统在大规模应用中仍存在扩展性和抗干扰能力等方面的提升空间,未来的研究可进一步优化系统架构和数据处理算法,以应对更复杂的电力系统环境,推动电力行业的智能化和信息化发展。

参考文献

- [1] 段锦鹏,张瑞洲,刘裕生.基于物联网技术的智能电力系统监控平台设计与实现[J].电子产品世界,2024,31(12):34-37.
- [2] 辛明勇,徐长宝,祝健杨,等.基于磁力电耦合效应的电力线路磁场能量采集研究[J].自动化与仪器仪表,2024,(11):43-47. DOI:10.14016/j.cnki.1001-9227.2024.11.043.
- [3] 王毅超.基于智能优化算法的物联网设备故障检测研究[J].智能物联网技术,2024,56(06):55-58.
- [4] 赵平林.基于物联网的电气自动化仪器远程监控技术研究[J].仪器仪表用户,2024,31(11):68-70.

Research on measures to improve the management and construction quality of housing construction projects

Hemin Zhu

Jiayan Kaibo Construction Engineering Consulting Co., Ltd., Beijing, 100013, China

Abstract

With the continuous advancement of urbanization in China, the scale of housing construction projects has gradually expanded, and the problems of project management and construction quality have become increasingly prominent, especially in the aspects of project progress, cost control and safety management. In order to ensure the smooth progress of housing construction projects and improve the construction quality, this paper puts forward specific measures and strategies from the aspects of strengthening the construction of management system, improving the level of construction technology, and optimizing project teamwork. Through an in-depth analysis of the management of housing construction projects, this paper discusses the main problems existing at present, and proposes a series of effective improvement measures based on the actual situation, in order to provide theoretical basis and practical guidance for the sustainable development of the industry and promote the high-quality development of the construction engineering industry.

Keywords

housing construction engineering; construction quality; management measures; project management

提高房屋建筑工程管理与施工质量的措施研究

朱贺民

建研凯勃建设工程咨询有限公司，中国·北京 100013

摘要

随着我国城市化进程的不断推进，房屋建筑工程规模逐渐扩大，工程管理和施工质量问题日益凸显，尤其在工程进度、成本控制和安全管理方面面临较大挑战。为了确保房屋建筑工程的顺利进行，提升建筑质量，本文从加强管理制度建设、提高施工技术水平、优化项目团队合作等方面提出了具体的措施和策略。通过对房屋建筑工程管理的深入分析，本文探讨了当前存在的主要问题，并结合实际情况提出了一系列有效的改进措施，以期为行业的持续发展提供理论依据和实践指导，推动建筑工程行业的高质量发展。

关键词

房屋建筑工程；施工质量；管理措施；工程管理

1 引言

房屋建筑工程作为现代化城市发展的重要组成部分，其管理水平和施工质量直接影响到建筑的使用功能和安全性。近年来，随着建筑市场的逐步扩大，工程管理和施工质量的矛盾也逐渐显现。为了解决这一问题，提高房屋建筑工程的管理与施工质量已经成为行业的重要课题。本文将结合目前建筑工程管理的实际问题，提出有效的解决策略，帮助提升房屋建筑工程的整体质量水平。

2 加强工程管理制度的建设

2.1 健全项目管理制度

项目管理制度是确保房屋建筑工程顺利进行的关键环

节，它为整个建设过程提供了明确的指导和控制框架。为了确保工程质量，建设项目应在启动阶段制定严格的管理制度，并通过规范制度的执行来全面保障施工质量。在项目的各个阶段，要明确责任分工，确保每个部门和人员都知道自己的职责和任务，避免工作交叉和推诿。制定详细的施工计划，明确每个阶段的目标、时间节点和质量要求，并根据实际情况进行灵活调整，以应对可能出现的变化。同时，要定期组织检查，实时跟踪项目进度和质量，确保施工过程按计划推进。项目经理作为管理核心，要严格把控工程质量，确保每个环节、每道工序都经过精细管理，避免任何可能影响质量的问题和隐患。在施工过程中，项目经理还需定期组织检查和评估，及时发现问题并进行调整，以确保工程按时保质完成。通过精确的制度执行和严格的质量控制，才能最大限度地降低风险，确保建设项目的顺利进行^[1]。

【作者简介】朱贺民（1976-），男，中国安徽阜阳人，工程师，从事建筑工程施工研究。

2.2 加强质量监管机制

质量监管机制的完善对提升房屋建筑工程质量具有至关重要的作用。在传统质量检查的基础上，施工现场的质量控制也应得到进一步加强，尤其是对关键节点的严格监控。例如，钢筋绑扎、混凝土浇筑等环节是建筑结构的基础，任何疏忽都可能导致严重的质量隐患。因此，在这些关键节点的施工过程中，项目管理团队应安排专门的技术人员进行全程监督，确保工序和材料符合设计要求和规范标准。定期组织质量检查，不仅能及时发现施工中的问题，还能为施工人员提供改进的建议，确保每一个施工环节都达到标准。对不合格的部分，项目团队应采取有效的整改措施，尽早消除隐患，防止问题扩大。同时，建立详细的工程质量档案，记录每次质量检查的具体情况和整改措施，为后期的质量追溯提供真实可靠的数据支持。

3 提高施工技术水平

3.1 技术人员的专业培训

施工技术水平是影响房屋建筑工程质量的核心因素，直接决定了建筑工程的安全性和耐用性。为了确保施工质量，项目经理应定期组织施工人员进行技术培训，特别是在新技术、新材料的应用方面，帮助施工人员掌握最新的行业发展动态和技术进步。通过定期培训，不仅可以增强技术人员的专业素养，还能提升他们对新型施工技术的理解和操作能力。培训内容可以涵盖新型建筑材料的使用方法、先进施工设备的操作技巧、现代建筑技术的应用等方面，确保施工人员能够紧跟行业发展，掌握高效、精确的施工方法。提高施工人员的专业技能，能够有效减少施工过程中的人为操作失误，避免因技术不熟练而导致的质量问题。此外，项目经理还应通过考核和实操演练等方式，确保施工人员真正理解并能熟练应用所学技术。这样，不仅能够提升整个施工团队的整体技术水平，还能在施工过程中确保每一个环节的精准执行，保障工程质量的稳定和可靠^[2]。

3.2 先进施工技术的引入

随着建筑技术的不断进步，采用先进施工技术已成为提升建筑工程效率和质量的重要途径。建筑信息模型(BIM)技术的引入，为工程规划、施工过程控制和后期运维提供了全面的数字化支持。通过BIM技术，项目团队能够在施工前进行详细的三维建模，准确模拟建筑结构，优化设计方案，从而确保施工过程中各个环节的精准对接，减少资源浪费、时间延误和不必要的返工。同时，BIM技术还能在施工过程中实时监控进度和质量，及时发现潜在问题并采取措施，确保项目按时高质量完成。此外，采用新型施工材料也是提升建筑质量的重要手段。比如，环保型水泥和高强度钢筋的使用，不仅能提高建筑物的整体抗压能力和抗震性能，还能有效延长建筑的使用寿命。这些材料的引入，不仅符合现代绿色建筑的发展趋势，还能提升建筑的耐久性，减少维护成

本。因此，推动先进施工技术与新型材料的应用，能够全面提高建筑工程的施工质量和长期稳定性，为社会提供更加安全、环保和高效的建筑产品。

4 优化项目团队合作

4.1 强化各方沟通协作

房屋建筑工程通常涉及多个环节，如设计、施工、监理等，因此，加强各方之间的沟通与协作，是确保工程质量的关键措施。在项目的初期，设计单位需要与施工单位紧密合作，确保设计方案的可行性，并对施工过程中可能遇到的实际问题进行提前预判。通过对设计方案的详细讨论和现场勘查，施工单位能够更好地理解设计意图，避免因设计与施工不匹配而导致的返工或延误，从而提高施工效率和质量。监理单位应加强对施工过程的全过程监督，确保施工质量符合设计要求和国家规范。在施工过程中，监理人员要定期检查施工进度和质量，对施工中的偏差及时发现并反馈，提出整改意见，确保施工按计划进行，并避免不合格工程流入下一环节。监理单位还要与设计 and 施工单位保持密切联系，形成信息共享与沟通反馈机制，及时调整施工方案和进度安排，确保项目能够顺利推进，最终达到预期的质量和效果。通过各方的协作与配合，能够最大限度地提高房屋建筑工程的整体质量，确保项目顺利完成。

4.2 提升团队协作能力

项目团队的协作能力在工程管理中发挥着至关重要的作用，直接关系到工程项目的顺利实施和最终质量。在项目初期，必须明确各方的职责和任务，确保每个成员都能清楚了解自己的工作内容和目标，同时建立有效的信息沟通渠道，以确保项目中的各项决策和进展能够快速流通，避免信息滞后或误传带来的负面影响。为了提高团队协作效率，可以通过团队建设活动、定期会议等方式，增强团队成员之间的信任与合作意识。团队建设活动可以帮助成员更好地了解彼此的工作风格，增强彼此间的默契，建立起强大的凝聚力。在项目执行过程中，定期会议为各方提供了一个交流的平台，大家可以在此分享工作进展、讨论问题、解决难题，及时调整和优化施工方案。团队成员之间要保持紧密的协作与支持，共同应对施工过程中遇到的各种挑战，确保问题得到及时有效地解决。通过相互配合和共同努力，可以有效避免由于信息不对称、责任不清而导致的施工质量问题，从而提升工程管理的整体效果，确保项目顺利完成并达到预期的质量标准。

5 加强施工现场安全管理

5.1 制定安全施工规范

施工现场的安全管理是保障工程质量和施工顺利进行的基础，也是每一个建筑工程项目中不可忽视的关键环节。有效的安全管理不仅可以保护施工人员的生命安全，还能避免因事故引发的工程停工、质量问题和经济损失。因此，

施工单位应根据项目的规模和复杂程度,制定详细的安全施工规范,确保所有施工活动都在安全可控的环境下进行。施工现场的安全设施应包括但不限于安全防护网、安全警示标志、灭火器材、急救设备等,确保每个施工环节都能得到有效的安全保障。施工人员应经过安全培训,掌握必要的安全知识,熟悉现场的安全操作规程,确保在施工过程中能够自觉遵守安全规定,减少人为疏忽和操作失误带来的风险。此外,施工单位还应定期组织安全检查,确保所有安全设施处于良好状态,发现问题要立即整改,防止隐患的累积^[1]。

项目经理和现场负责人要时刻关注施工现场的安全隐患,确保施工活动不受到任何威胁。他们应定期巡视施工现场,及时发现潜在的安全风险并采取有效措施加以控制。例如,在施工过程中可能出现的高空作业、电气设备操作、重型机械使用等环节,都需要特别关注。项目经理应协同安全管理人员制定具体的应急预案,提前做好事故处理的准备,以应对突发情况。同时,现场负责人要加强施工人员的安全意识教育,定期开展安全培训和演练,让每个施工人员都能熟练掌握应急处理流程,确保在突发事件中能够迅速应对,最大限度地减少损失。在施工过程中,项目经理和现场负责人还需要建立健全的安全管理制度,确保所有施工人员严格按照规定进行作业。无论是施工设备的使用,还是个人防护装备的佩戴,都应严格执行标准,任何松懈都可能导致事故的发生。施工单位要加强对施工人员的日常管理,定期进行安全教育和技能培训,提升全体施工人员的安全素养。通过全面加强施工现场的安全管理,可以有效保障施工人员的生命安全,确保工程进度的顺利进行,同时也能提高工程质量,减少由于安全问题引起的工程损失。加强安全管理是实现施工高效、安全、优质的重要保障,是确保每个建筑项目成功的重要因素。

5.2 加强安全培训与应急演练

为增强施工人员的安全意识,施工单位应定期开展一系列安全培训活动,以确保每位工人都能掌握基本的安全知识和操作技巧。安全培训应根据施工现场的具体情况,围绕常见的施工风险和安全操作规程进行设计,内容涵盖防火、防电、防高空坠落等各类事故预防措施。培训期间,不仅要传授理论知识,还应结合实际情况进行现场演示和操作演

练,让施工人员更好地理解 and 掌握安全技能。此外,培训内容应根据施工项目的不同阶段和特点进行针对性调整,确保培训的全面性和实用性。定期组织应急演练也是提升施工人员安全意识的重要手段。应急演练的目的是让施工人员在面对突发事件时,能够迅速、准确地采取应急措施,最大程度地降低事故发生后的损失。在施工现场,应定期开展火灾、坠落、高压电击等应急演练,让工人熟悉紧急情况下的逃生路线、报警流程以及急救常识。通过模拟突发事故,施工人员可以在不发生实际损失的前提下,积累应对经验,增强自我保护和团队协作的能力。

施工单位还应建立有效的安全管理机制,定期检查施工现场的安全隐患。项目经理和现场负责人要时刻关注施工过程中的各项安全措施,确保每个环节都严格按照安全规定进行操作。针对现场存在的安全问题,应及时整改并做好记录,以防类似问题的重复发生。此外,施工单位还可以通过建立激励与惩罚机制,进一步增强工人的安全意识。例如,对表现优秀的施工人员进行奖励,对违反安全规定的人员进行处罚,形成一种重视安全、严格执行安全措施的工作氛围。这种机制不仅能增强工人的安全意识,还能促使全体施工人员自觉遵守安全规程,避免因疏忽大意导致的事故发生。

6 结语

提高房屋建筑工程管理与施工质量是一个系统性工程,需要在管理制度、技术水平、团队合作和安全管理等多个方面进行全面提升。通过健全项目管理制度、加强技术人员的培训、引入先进施工技术、优化团队协作以及强化施工现场安全管理等措施,可以有效提升房屋建筑工程的施工质量,确保工程的顺利完成。随着建筑技术和管理方法的不断发展,房屋建筑工程的管理与施工质量将得到持续优化,进而推动建筑行业的健康发展。

参考文献

- [1] 赵智强,田志明.提高房屋建筑工程管理与施工质量的途径分析[J].低碳世界,2024,14(07):91-93.
- [2] 吴永杰.探究优化房屋建筑工程管理与施工质量的有效措施[J].新疆有色金属,2024,47(01):96-97.
- [3] 郑锦渊.房屋建筑工程管理与施工质量的措施探究[J].产品可靠性报告,2023,(09):74-76.