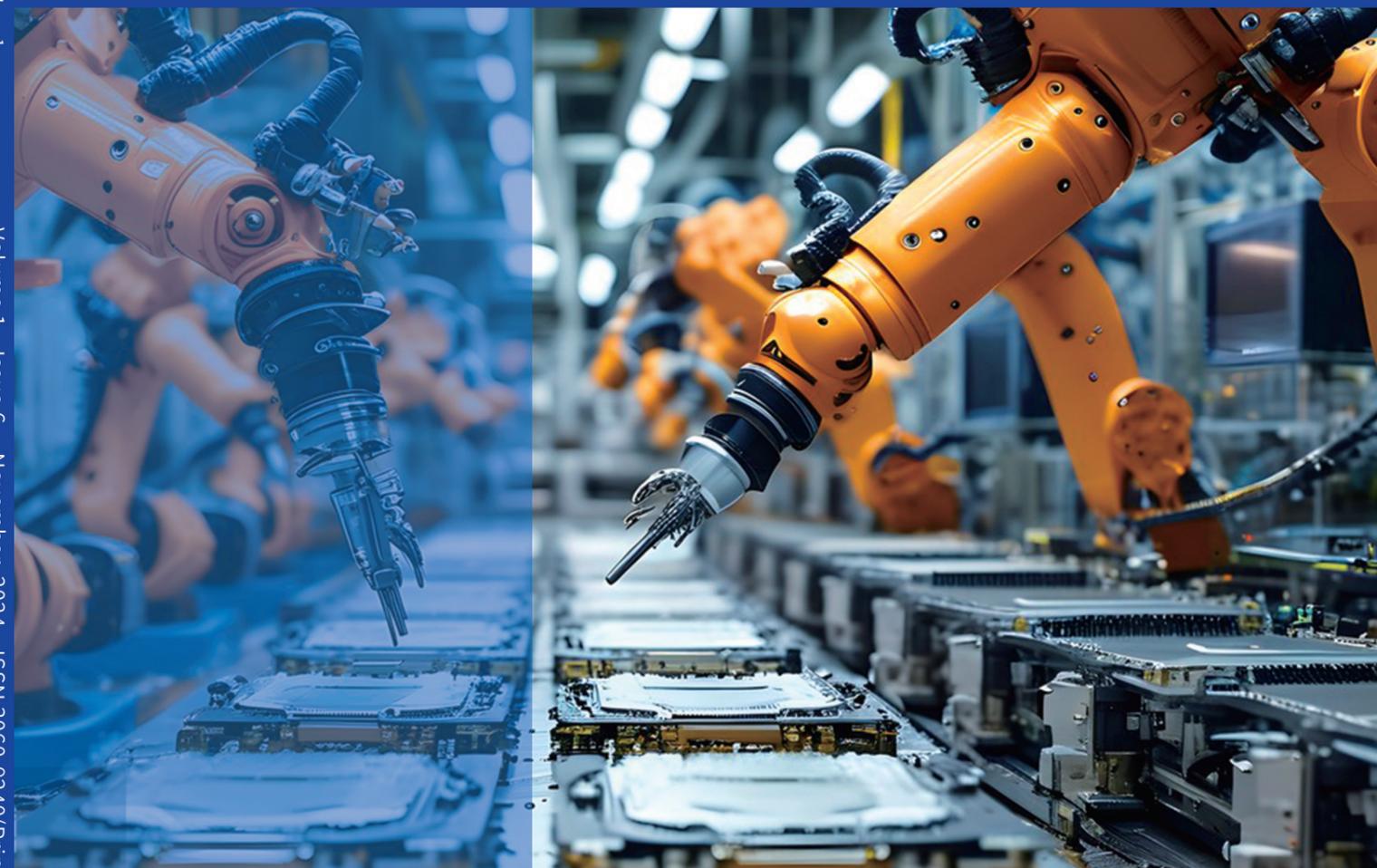


现代工业与技术

Modern Industry and Technology

Volume 1 • Issue 6 • November 2024 • ISSN 3060-9240(Print) 3060-9259(Online)



现代工业与技术
Modern Industry and Technology

Volume 1 • Issue 6 • November 2024 • ISSN 3060-9240(Print) 3060-9259(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：现代工业与技术

ISSN: 3060-9240 (纸质) 3060-9259 (网络)

出版语言：华文

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

出版社名称：新加坡南洋科学院

Serial Title: Modern Industry and Technology

ISSN: 3060-9240 (Print) 3060-9259 (Online)

Language: Chinese

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

Publisher: Nan Yang Academy of Sciences Pte. Ltd.

《现代工业与技术》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：现代工业与技术

ISSN: 3060-9240 (Print) 3060-9259 (Online)

出版语言：华文刊

期刊网址：<http://journals.nassg.org/index.php/mit-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。

现代工业与技术

Modern Industry and Technology

Volume 1·Issue 6· November 2024·ISSN 3060-9240(Print) 3060-9259(online)

编委会

主 编

蒋 晶 郑州大学

编 委

李伟锋 华东理工大学

李 硕 重庆理工大学

李益国 东南大学

高学金 北京工业大学

- | | | | |
|----|---|----|--|
| 1 | 智能化机电控制系统在移动泵车中的开发与实现
/ 柴飞华 吴勇勇 徐丽婷 余秀玉 翁洪斌 | 1 | Development and implementation of intelligent electro-mechanical control system in the mobile pump truck
/ Feihua Chai Yongyong Wu Liting Xu Xiuyu Yu Hongbin Weng |
| 4 | 基于 PTC 电热技术用于矿山井下进行潮湿环境治理的系列组合模块
/ 吴勇 | 4 | PTC electric heating technology is used to control wet environment in underground mine A series of combined modules
/ Yong Wu |
| 7 | 食品无菌灌装生产技术指导及质量控制要点
/ 罗志海 | 7 | Technical guidance and quality control points of food aseptic filling production
/ Zhihai Luo |
| 10 | 汽车行业设备技术创新对提升产品质量的作用
/ 臧龙飞 | 10 | The role of equipment technology innovation in automobile industry in improving product quality
/ Longfei Zang |
| 13 | 金属结构无损探伤检测中射线与超声技术的对比分析
/ 宋燕山 | 13 | Comparative analysis of X-ray and ultrasonic techniques in non-destructive testing of metal structures
/ Yanshan Song |
| 16 | 微机监测数据辅助处理 ZPW2000A 轨道故障研究
/ 任亚琼 | 16 | Research on auxiliary processing of microcomputer monitoring data for ZPW2000A track fault
/ Yaqiong Ren |
| 19 | 矿用自卸车液压举升系统故障分析与排除方法研究
/ 吴亚运 | 19 | Study on fault analysis and troubleshooting method of hydraulic lifting system of mining dump truck
/ Yayun Wu |
| 22 | 碳包覆氧化亚硅负极材料中界面特性的影响及其性能优化
/ 解鹏洋 曲生华 刘阳 应晓猛 戴祎蕾 | 22 | Effects and performance optimization of interface characteristics in carbon-coated silica anode materials
/ Pengyang Xie Shenghua Qu Yang Liu Xiaomeng Ying Yilei Dai |
| 25 | 核电厂运行安全风险评估与控制策略研究
/ 乔振华 王兴祥 | 25 | Research on Risk Assessment and Control Strategies for Nuclear Power Plant Operation Safety
/ Zhenhua Qiao Xingxiang Wang |
| 28 | 加氢技术在加氢站安全管理中的作用分析
/ 冯沛 曹冬林 | 28 | Analysis of the role of hydrogenation technology in the safety management of hydrogenation station
/ Pei Feng Donglin Cao |
| 31 | 移动加氢站的设计与运行方法研究
/ 贾永卿 叶智 | 31 | Study on the design and operation methods of mobile hydrogenation station
/ Yongqing Jia Zhi Ye |

Development and implementation of intelligent electromechanical control system in the mobile pump truck

Feihua Chai¹ Yongyong Wu² Liting Xu¹ Xiuyu Yu¹ Hongbin Weng²

1. Better Technology Group Ltd., Quzhou, Zhejiang, 324000, China

2. Zhejiang Jiuyi Fire Technology Co., Ltd., Quzhou, Zhejiang, 324000, China

Abstract

The application of the intelligent electromechanical control system in the mobile pump truck significantly improves the performance and operation efficiency of the equipment. Through the integration of advanced sensor technology, automatic control algorithm and efficient hardware components, the system realizes the accurate control and real-time monitoring of the mobile pump truck. The study first clarified the basic requirements of system design, including high reliability, low maintenance cost and strong environmental adaptability, and proposed the overall design scheme to meet these requirements. After testing, this system not only improves the operation efficiency, but also enhances the safety and reliability of the equipment, providing a strong support for the modern urban construction.

Keywords

intelligence; mechanical and electrical control system; mobile pump truck; application

智能化机电控制系统在移动泵车中的开发与实现

柴飞华¹ 吴勇勇² 徐丽婷¹ 余秀玉¹ 翁洪斌²

1. 贝德科技集团有限公司, 中国·浙江 衢州 324000

2. 浙江久一消防科技有限公司, 中国·浙江 衢州 324000

摘要

智能化机电控制系统在移动泵车中的应用显著提升了设备的性能与操作效率。通过集成先进的传感器技术、自动控制算法及高效能硬件组件, 系统实现了对移动泵车的精确控制与实时监控。该研究首先明确了系统设计的基本要求, 包括高可靠性、低维护成本及强环境适应性, 并提出了满足这些要求的整体设计方案。经过测试本系统不仅提高了作业效率, 还增强了设备的安全性和可靠性, 为现代城市建设提供了强有力的支持。

关键词

智能化; 机电控制系统; 移动泵车; 应用

1 引言

传统泵车控制系统存在操作复杂、响应速度慢及自动化程度低等问题, 难以满足现代工程对效率和可靠性的高要求。智能化机电控制系统的引入为解决这些问题提供了新的途径, 该系统能够实现对移动泵车的精确控制与实时监控, 从而大幅提升设备性能和操作便捷性。研究此系统的开发与实现, 对于推动移动泵车技术进步具有重要意义。

2 移动泵车机电控制系统总体方案设计

2.1 系统总体设计要求

移动泵车机电控制系统的设计需满足多项基本要求, 以确保设备在复杂多变的工作环境中高效运行。功能需求方

面, 系统必须具备自动控制、实时监控和故障诊断能力。自动控制功能通过集成高精度传感器和先进的控制算法, 实现对泵车各关键部件的精确操作。实时监控功能则依赖于多种传感器的数据采集与处理, 能够即时反馈设备状态信息, 确保操作人员随时掌握设备运行情况。故障诊断功能利用智能算法分析传感器数据, 快速识别潜在问题并提供解决方案。性能指标上, 系统需具备高可靠性, 能够在恶劣环境下长时间稳定工作; 响应速度要快, 确保紧急情况下迅速启动和调整; 能耗低且维护简便, 减少运营成本。系统还应配备多重安全保护机制, 保障设备和操作人员的安全。

2.2 系统总体设计方案

移动泵车机电控制系统的整体架构由多个子系统组成, 每个子系统承担特定功能, 协同工作以实现系统的整体目标。核心控制单元作为中枢大脑, 负责接收来自传感器的数据, 并根据预设算法进行处理后发送指令给执行器。数据采

【作者简介】柴飞华(1989-), 男, 中国浙江衢州人, 本科, 助理工程师, 从事机电研究。

集与传输子系统则包含各种类型的传感器，用于监测泵车的各项参数，如压力、流量、温度等，并将这些数据实时传输给核心控制单元。用户交互界面设计简洁直观，操作人员可以通过触摸屏或按钮轻松完成各项操作。动力驱动子系统采用高效能电机和液压系统，保证泵车在各种工况下均能稳定输出。安全保障子系统集成了多种保护措施，包括紧急停机、过热保护等，为整个系统提供全面的安全防护。各个子系统之间通过标准化接口无缝连接，形成一个高度集成且灵活可扩展的整体架构。

2.3 系统工作原理

移动泵车机电控制系统的工作流程始于数据采集，各类传感器实时监测设备状态并将数据传输至核心控制单元。核心控制单元接收到数据后，运用内置算法进行分析处理，生成相应的控制指令。这些指令随后被发送到执行器，如电动机或液压阀，以调整泵车的操作参数。例如，在排水作业中，如果检测到水位上升超过设定阈值，系统会自动增加水泵转速以加快排水速率。同时，用户交互界面实时显示设备状态和操作参数，便于操作人员进行监控和干预。系统还具备自我诊断功能，一旦发现异常情况，如某项参数超出正常范围，立即触发报警并通过显示屏提示具体问题。维护人员可以根据提示快速定位并解决问题，减少停机时间。整个系统通过多层次的安全保护机制，确保在任何情况下都能安全运行。

3 移动泵车机电控制系统硬件设计

3.1 系统硬件组成

移动泵车机电控制系统的硬件部分由多个关键组件构成，核心控制单元作为整个系统的中枢大脑，负责处理来自各种传感器的数据，并生成相应的控制指令，选用高性能的嵌入式处理器^[1]。这些传感器包括压力传感器、流量传感器和温度传感器等，分布在泵车的各个关键部位，实时监测设备的工作状态并反馈数据。执行器如电动机和液压阀则根据控制指令进行具体操作，调整泵车的工作参数。此外，用户交互界面通过触摸屏或按钮提供直观的操作方式，使操作人员能够轻松监控和管理设备运行。通信模块支持无线和有线两种连接方式，确保数据在不同场景下的可靠传输。电源管理系统负责为各组件提供稳定的电力供应，保证系统在任何环境下都能稳定工作。安全保护装置则在异常情况下迅速介入，保障设备和人员的安全。所有这些硬件组件共同协作，形成一个高度集成且功能完备的系统。

3.2 系统硬件电路设计

硬件电路设计是移动泵车机电控制系统的关键环节，直接影响系统的性能和可靠性。各部分组件核心控制单元的电路设计注重信号完整性与抗干扰能力，采用多层 PCB 板布局，合理安排信号线和地线，减少电磁干扰。传感器接口电路采用差分放大器和滤波器，提高信号的信噪比，确保

数据采集的准确性。执行器驱动电路则根据不同的负载特性进行优化设计，电动机驱动电路采用 H 桥拓扑结构，配合 PWM 调制技术，实现对电机转速的精确控制；液压阀驱动电路则采用高压 MOSFET 开关，确保快速响应和高可靠性。用户交互界面的电路设计充分考虑人机工程学原理，采用低功耗显示屏和触控芯片，确保长时间使用的舒适性和稳定性。通信模块电路设计遵循相关标准，采用射频前端模块和基带处理芯片，实现高速数据传输。电源管理电路采用同步整流技术和智能充电管理芯片，提高电源转换效率和电池使用寿命。安全保护电路设计引入多重保护机制，如过压保护、欠压保护和短路保护，确保系统在异常情况下能够自动断电或采取其他措施。通过细致的设计和严格的测试，这些电路不仅满足系统的技术要求，还具备良好的可制造性和可维护性。

4 移动泵车机电控制系统软件设计

4.1 软件开发环境介绍

移动泵车机电控制系统的软件开发依赖于一系列先进的工具和平台，确保系统的高效性和稳定性。开发环境选用主流的集成开发环境 (IDE)，Visual Studio Code。操作系统层面，嵌入式 Linux 被选为系统的核心操作系统。编程语言方面，C/C++ 用于底层驱动开发；Python 则用于高层应用开发。版本控制采用 Git，通过 GitHub 平台进行代码托管，方便团队协作和历史版本管理。自动化测试框架 CMake 也被引入，以确保代码质量和系统的可靠性。

4.2 软件整体架构

移动泵车机电控制系统的软件架构设计注重模块化和层次化，以提高系统的可扩展性和维护性^[2]。核心层由操作系统和设备驱动组成，负责硬件资源的管理和调度。中间层是应用程序框架，包含多种通用服务和库，如通信协议栈、数据处理引擎和图形用户界面库。最上层则是具体的应用程序，包括自动控制模块、实时监控模块和故障诊断模块等。自动控制模块基于预设算法生成控制指令，驱动执行器完成各项操作；实时监控模块通过传感器数据采集与分析，实时反馈设备状态信息；故障诊断模块利用智能算法识别潜在问题，并提供解决方案。各模块之间通过消息队列和事件驱动机制进行通信，确保数据的及时传递和处理。为了提升系统的灵活性，架构中还集成了插件机制，允许在不修改核心代码的情况下添加新功能或替换现有组件。

4.3 软件各功能模块设计

在移动泵车机电控制系统中，各个功能模块共同构成了一个高度集成且功能完备的软件系统。自动控制模块根据传感器反馈的数据，运用 PID 控制算法计算出最优的控制参数，并通过执行器调整泵车的工作状态。实时监控模块负责从各类传感器获取数据，经过滤波和校正后，将处理后的信息显示在用户界面上。通过直观的图表和数值展示，操作

人员可以随时掌握设备的各项运行参数。故障诊断模块利用机器学习算法对传感器数据进行分析,识别异常模式并预测可能的故障点。一旦发现问题,立即触发报警并通过用户界面提示具体的解决方案。用户交互模块设计简洁直观,提供触摸屏或按钮等便捷的操作方式。通信模块支持多种标准协议,确保数据在不同场景下的可靠传输。安全保护模块则集成了多重防护措施,如过载保护、温度监控等,确保在任何情况下都能保障设备和人员的安全。

5 移动泵车机电控制系统调试与运行

5.1 硬件电路调试

硬件电路调试可以确保移动泵车机电控制系统的正常运行,在调试过程中,通过逐步检查每个组件的功能和连接情况,发现并解决多个问题。在传感器接口电路调试时,发现部分传感器信号存在噪声干扰,导致数据采集不准确。可以增加滤波器和屏蔽措施,从而提高信号质量。电动机驱动电路调试时,遇到启动电流过大导致电源波动的问题,通过优化 PWM 调制参数,并增加软启动电路,成功减小了启动电流冲击,确保了系统的稳定运行^[1]。液压阀驱动电路调试则关注响应速度和精度,通过调整 MOSFET 开关的驱动电压和时间常数,实现了快速且精确的阀门控制。电源管理电路调试中发现电池充放电效率较低,通过引入智能充电管理和优化电池组配置,提升了整体电源效率。通过反复测试和优化,最终使硬件系统达到了预期的性能指标。

5.2 软件程序调试

软件程序调试旨在验证各功能模块的正确性和稳定性。在自动控制模块调试中,通过模拟不同工况下的输入条件,观察输出结果是否符合预期。对于实时监控模块,重点在于数据采集和处理的准确性与时效性。通过对比传感器反馈的实际数据与显示界面的数据,确保两者一致。故障诊断模块调试则利用历史数据模拟故障场景,检验算法识别和预警能力的有效性。用户交互模块调试注重操作的便捷性和响应速度,通过多次操作测试,优化界面布局和响应逻辑。通信模块调试关注数据传输的可靠性和延迟,采用不同的网络环境进行测试,确保数据能够稳定传输。调试过程中,使用日志记录和断点调试技术,帮助定位和解决问题。针对出现的异常情况,如死锁或内存泄漏,通过代码审查和性能分析工具找出原因,并进行相应的修复。经过多轮迭代调试,逐步消除了各类软件缺陷,使得整个系统具备了良好的稳定性和可靠性。

5.3 系统联调

系统联调是将各个独立的硬件和软件模块整合在一起,

进行全面的测试和性能评估。在联调初期,由于硬件与软件之间的接口定义不完全一致,导致部分模块无法正常通信。通过重新校准接口参数,并增加必要的兼容层,解决了这一问题。然后对整个系统的协同工作进行了全面测试,包括自动控制、实时监控、故障诊断等功能。在模拟实际作业场景下,观察系统各部分的协调配合情况。例如,在排水作业中,核心控制单元根据传感器反馈的信息,动态调整水泵转速和阀门开度,确保高效排水。通过多次联调测试,不断优化系统配置和算法参数,最终使各模块之间实现了无缝衔接。

5.4 系统运行效果

在实际应用中,移动泵车机电控制系统表现出色,各项功能均达到预期指标。自动控制模块能够精准地调节泵车的工作参数,确保设备在复杂环境下依然保持高效运行。实时监控模块提供了详尽的状态信息,帮助操作人员及时掌握设备状况,做出正确的决策。故障诊断模块通过智能算法快速识别潜在问题,并提供有效的解决方案,减少了停机时间和维护成本。用户交互界面简洁直观,操作便捷,得到了用户的高度评价。通信模块在各种网络环境下均能稳定传输数据,保障了远程监控和维护的可行性。安全性方面,多重保护机制有效避免了意外事故的发生,确保了设备和人员的安全。总体来看,该系统在提升作业效率、降低运营成本以及增强设备可靠性等方面展现了显著优势,为现代城市建设提供了强有力的技术支持。

6 结语

本文研究结果表明,集成先进的传感器技术、自动控制算法和高效能硬件组件的系统,不仅实现了对移动泵车的精确控制与实时监控,还大幅提高了作业效率和设备可靠性。随着物联网技术和人工智能的发展,系统的功能将进一步增强,通过引入边缘计算和大数据分析,可以实现更加精准的预测性维护,进一步降低运营成本。未来的系统还可以集成更多智能传感器,实现对设备状态的全方位感知,并通过自学习算法不断优化控制策略,为现代城市建设提供更加强有力的支持。

参考文献

- [1] 郭宜君,孙海秀,王颖.智能控制技术在机电控制系统中的应用[J].造纸技术与应用,2024,52(03):49-51.
- [2] 赵建军.机电控制系统自动控制技术与一体化设计分析[J].现代制造技术与装备,2020,56(12):186-187.
- [3] 陈寅之.智能控制技术与机电控制应用融合分析[J].电子元器件与信息技术,2022,6(05):118-121.

PTC electric heating technology is used to control wet environment in underground mine A series of combined modules

Yong Wu

Tongling Nonferrous Metals Co., Ltd. Anqing Yueshan Mining Co., Ltd., Tongling, Anhui, 246131, China

Abstract

For a long time, underground water and seasonal factors have caused serious moisture problems in metal and non-metal mines. In addition to solving some problems from the perspective of mine water control and equipment ventilation, it is difficult to solve terminal environmental humidity hazards such as safety production, equipment and facilities, communication and occupational health. Based on PTC electric heating technology, this paper designs and produces a series of combination modules with moisture-proof and dehumidification function, which can be used for local treatment of wet environment in mine well. In this paper, the technical scheme, working principle, production method and some remarkable features are provided. Then, the market application prospect and scope are briefly introduced.

Keywords

PTC electric heating material; Humid environment treatment; Artificial thermal environment

基于 PTC 电热技术用于矿山井下进行潮湿环境治理的系列组合模块

吴勇

铜陵有色股份安庆月山矿业有限公司, 中国·安徽 铜陵 246131

摘要

长期以来, 金属非金属矿山井下由于地下水和季节性因素导致潮湿问题比较严重。除从矿山治水、设备通风等角度出发解决一部分问题外, 涉及安全生产、设备设施、通讯联络、职业健康等终端环境潮湿危害难以逐一解决。本文基于 PTC 电热技术, 设计制作一种具有防潮除湿功能, 用于矿山井下潮湿环境进行局部治理的系列组合模块能够很好地解决上述问题。文中提供了其技术方案、分析了其工作原理和制作方法以及一些显著特点。然后, 就市场应用前景和范围做了简略的介绍。

关键词

PTC 电热材料; 潮湿环境治理; 人工热环境

1 引言

由于金属非金属矿山深受地下水影响, 井下巷壁、顶板和巷道渗水、漏水现象难以避免, 使得矿山井下潮湿环境危害凸显。尤其, 每年的高温季节地表暖湿气流进入井下, 空气中的水分在井巷四周和各种附着物上冷凝成水滴, 使得矿山井下潮湿问题愈发严重, 极大影响了矿山安全生产和设备设施的正常使用。

目前, 井下防潮除湿问题大都依靠改善主井通风或局部通风条件解决, 而一些背风区域和具体设备设施就难以逐一用这种方法处理。对此, 下面基于 PTC 电热技术就矿山

井下防潮问题提供一种既能解决问题又比较安全、可组合使用的电热系列模块。

2 防潮除湿模块技术方案

用于矿山井下潮湿环境的发热防潮组合模块, 包括 PTC 材料电热带、工作状态检测和指示、温度和电气安全保护元件、安装底板及固定线夹、热力定向辐射机箱等。① PTC 材料电热带, 因其电阻温度特性, 所以具有自限温功能, 方案中 PTC 电热带选用自限温度 $\leq 70^{\circ}\text{C}$, 工作电压 36V, 兼具高电热效率和安全性。② 工作状态检测和指示, 系采用微型感应式变流器检测工作电流经电压转换后驱动显示元件。③ 温度和电气安全保护元件, 是为确保消防和电气安全做必要冗余设置。④ 安装底板及固定线夹, 是确保模块性能稳定可靠、安全耐久的阻燃耐热材料。⑤ 热力定向辐

【作者简介】吴勇 (1972-), 男, 中国安徽安庆人, 工程师, 从事电气、机电研究。

射机箱，是为保证电热带使用时周边温度达到一定数值提高辐射能力确保防潮效果；同时，由于 PTC 材料的电阻温度特性，所以在加热过程中 PTC 电热带的输出功率随温度升高而降低，直至 0 功率输出。因此，该方案可以兼顾工作效率和节能降耗问题；另外，合理确定辐射温度可以减缓元器件老化延长使用寿命。

此技术方案实施过程中选择不同外形尺寸、元件参数和功率大小，设计成系列规格，可以分别适配不同的场所和需求，灵活使用或组合使用。

3 防潮除湿模块工作原理

防潮除湿模块的工作原理，其实质就是 PTC 材料电热带的工作原理和性能特征。

方案中 PTC 电热带的技术参数：规格型号 DXW-12-36V；自限温度 $\leq 70^{\circ}\text{C}$ ；承受温度 105°C ；起动电流 $\leq 0.6\text{A}/\text{m}\cdot 10^{\circ}\text{C}$ ；输入功率 $\leq 35\text{W}/\text{m}\cdot 10^{\circ}\text{C}$ ；工作电压 $\leq 36\text{V}$ 。

PTC 材料电热带，是在两根平行金属导线之间均匀填充一层 PTC 材料制成的芯带，芯线外包裹阻燃耐高温绝缘层。电热带一端的两根导线分别接电源两端，电流从一根导线横向流过 PTC 材料层到达另一根导线，PTC 层就是并联在两根导线之间的连续阻性发热体，将电能转化成热能。随着热能的积蓄芯带温度升高，PTC 材料电阻到达高阻区，阻值大到几乎阻断电流，芯带温度便达到高限不再升高而自动限温。电源的输出功率主要受控于热系统温度，温差越大热功率输出越大，温差越小热功率输出越小直至温差为 0。

由于 PTC 材料电热带的结构特征和 PTC 材料的电阻温度特性，以它替代恒电阻恒功率电热元件具有升温快速、温度均匀、不会过热、节约电能。选用电热带一定长度内可以任意剪断、重叠、交叉使用。因此，选用 PTC 材料电热带可以很方便、高效、安全地构建各种要求的热系统。

4 防潮除湿模块的设计和制作（附图说明）

图 1 为防潮除湿模块的电气原理图。

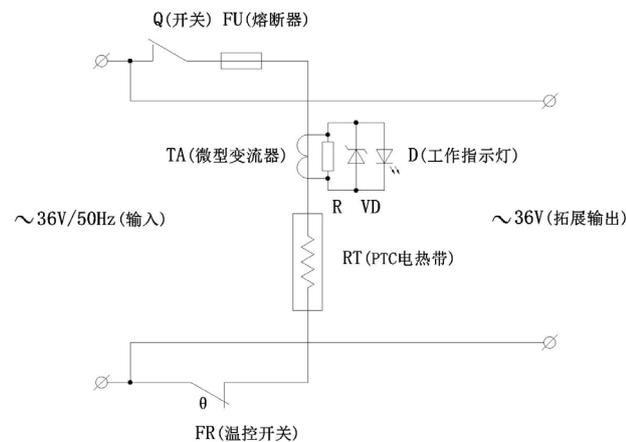


图 2 为防潮除湿模块热辐机箱图。

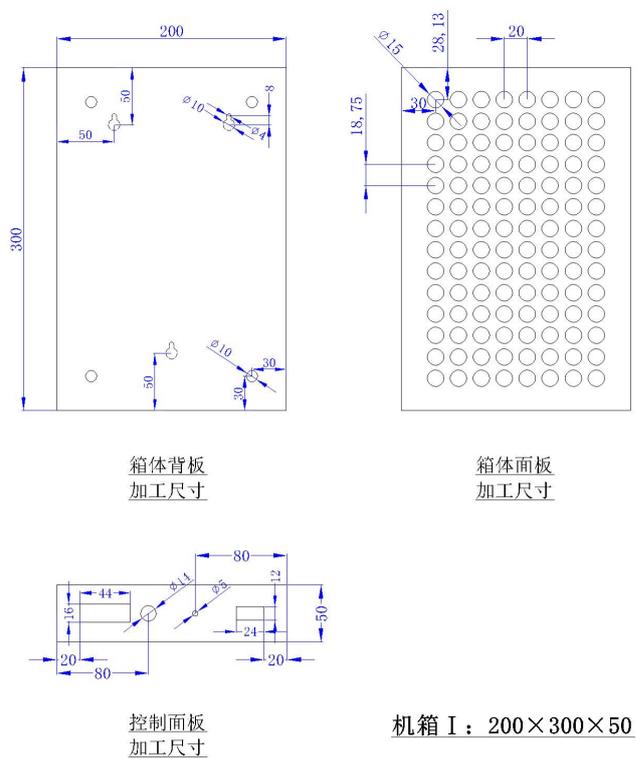


图 3 为防潮除湿模块结构示意图。

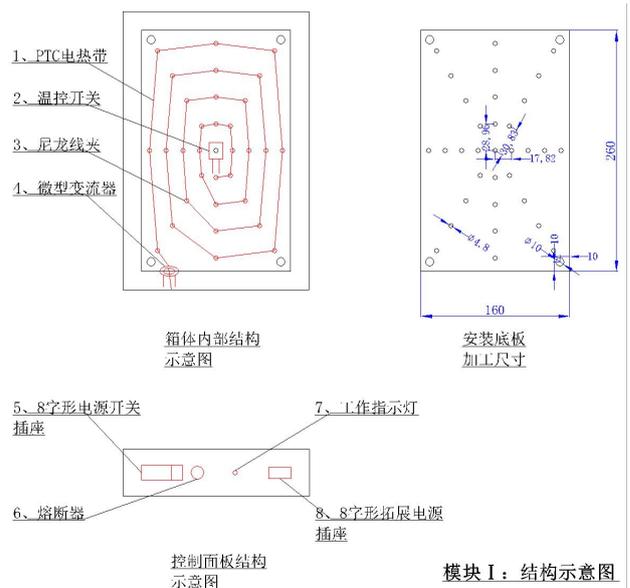


图 3 中所示：1、PTC 电热带，2、温控开关，3、插销式阻燃尼龙线夹，4、穿心式微型变流器，5、8 字形电源开关插座，6、熔断器，7、LED 工作指示灯，8、8 字形拓展电源插座。

如图 1 所示，交流 50Hz、36V 电源，一路通过 8 字形电源开关插座引入热辐机箱，经过熔断器和温控开关给 PTC 电热带供电；另一路通过 8 字形拓展电源插座给组合模块供电。发热防潮功能由 PTC 电热带的电热效应升温至 35-55 $^{\circ}\text{C}$ 可调。工作状态指示通过穿心式微型变流器和工作指示灯实现。电气安全由熔断器提供保护。消防安全通过 PTC 电热

带的自限温特性和温控开关以及阻燃耐热材料来保证。

具体制作实例：选用图2所示200mm×300mm×50mm热辐机箱，8字形电源开关插座（5）、熔断器（6）、工作指示灯（7）以及8字形拓展电源插座（8）分别固定在其下侧面控制面板上；选用图3所示160mm×260mm安装底板，插销式尼龙线夹（3）固定于预设安装孔位置，PTC电热带（1）卡扣于各个尼龙线夹（3）之中；微型变流器（4）穿过PTC电热带（1）供电线路的一端附着安装；温控开关（2）固定于安装底板中心位置也是热力较为集中的地方；按照图1所示接好线路，做好绝缘防护，检测、检验各项技术参数确保产品合格。

5 防潮除湿模块的应用

目前，上述制作实例（模块Ⅰ）已应用于矿山井下通讯系统终端设备如：电话机的防潮处理。

选用300mm×600mm×50mm热辐机箱制作的防潮模块Ⅱ已应用或组合应用于矿山井下电气设备的防潮处理。

将关键PTC电热及保护元件植入一些终端设备内部，可以极大节约成本，效果也更加明显。缺点就是改变了设备的内部结构，可能会滋生相关的设备隐患，实践中应注意利

弊取舍，灵活运用。

此模块虽为矿山井下潮湿环境治理设计和制造，但只需改变模块的电压等级以及关键元器件的规格型号等，就能很方便地作为民生和家用电热产品使用。如，居家冬季取暖和有局部保温除湿要求的人工热环境的创建。

6 结论

综上所述，本发热防潮组合模块具备独特的特点和显著的优势，其在金属非金属矿山潮湿环境治理中的应用，能有效提高矿山井下通风不畅的各种场所、机电设备、通信设施等防潮湿、防腐蚀、防故障能力。可为用户创造安全、可靠、舒适的生产及设备设施使用环境，提高矿山安全生产的自动化、连续化的工作效果和工作效率。同时，如果在民生和家用产品中推广使用，可以提高居家生活的安全性、舒适性和便利性，降低一部分家居能耗，让广大人民群众生活在一个安全和绿色的环境之中。

参考文献

- [1] 赵广播.《电热蓄热装置与系统》.2021,（2）: 2.2.4.
- [2] DXW-12 PTC材料电热带产品说明书.
- [3] 侯爱民《家用电热电动器具原理与维修项目教程》.2011,（项目四）: 4.2.2.

Technical guidance and quality control points of food aseptic filling production

Zhihai Luo

Guangxi Huace Testing and Certification Co., Ltd., Nanning, Guangxi, 530007, China

Abstract

With the rapid development of the food industry, food aseptic filling technology has gradually become one of the important production technologies to ensure food safety and extend the shelf life of food. Aseptic filling technology can effectively avoid microbial contamination and ensure the safety of food during production, transportation and storage. This paper first analyzes the production technology of aseptic food aseptic filling in detail and discusses its application status and technical points in actual production. Secondly, the paper analyzes the quality control points in the process of aseptic food filling, including filling equipment, environmental control, aseptic treatment of filling liquid, selection of packaging materials and other factors, and puts forward corresponding solutions for common problems. Through the analysis of these points, this paper aims to provide food enterprises with a set of aseptic filling techniques to ensure the safety and stability of food.

Keywords

aseptic filling; food safety; quality control; filling technology; packaging materials

食品无菌灌装生产技术指导及质量控制要点

罗志海

广西华测检测认证有限公司, 中国·广西南宁 530007

摘要

随着食品工业的快速发展,食品无菌灌装技术逐渐成为确保食品安全、延长食品保质期的重要生产技术之一。无菌灌装技术能够有效避免微生物污染,保障食品在生产、运输和存储过程中的安全性。本文首先对食品无菌灌装生产技术进行了详细的分析,探讨了其在实际生产中的应用现状及技术要点。其次,重点分析了食品无菌灌装过程中的质量控制要点,包括灌装设备、环境控制、灌装液体的无菌处理、包装材料的选择等因素,并针对常见问题提出了相应的解决方案。通过对这些要点的分析,本文旨在为食品企业提供一套科学、规范的无菌灌装技术指导,以确保食品的安全性和稳定性。

关键词

无菌灌装; 食品安全; 质量控制; 灌装技术; 包装材料

1 引言

食品安全一直是全球食品产业面临的重大问题,尤其是对于液体、半固体类食品的包装。随着消费者对食品安全要求的提高,食品企业不断寻找新的技术来满足高标准的卫生要求。无菌灌装技术作为食品工业中的一项核心技术,在保证食品质量和延长保质期方面发挥着至关重要的作用。传统的食品灌装方式存在一定的微生物污染风险,而无菌灌装技术则通过确保整个生产环境和包装材料的无菌性,有效阻断了细菌和其他微生物的侵入,确保了食品在生产过程中的高质量和长期稳定性。

目前,全球食品生产和包装行业对无菌灌装技术的应用越来越广泛,尤其是在液体食品、饮料、乳制品、果汁和

汤类等产品的生产中。无菌灌装技术已成为这些产品中不可或缺的一部分。为了确保无菌灌装技术的高效性和稳定性,企业需要对生产过程中涉及的设备、工艺和操作进行严格的质量控制,确保食品的最终质量。

2 无菌灌装技术的原理与应用

2.1 无菌灌装技术的基本原理

无菌灌装技术的基本原理是通过对生产过程中严格控制微生物污染,采用一系列的无菌处理工艺,确保包装食品在整个生产链条中的安全性。该技术的核心在于对液体产品的无菌处理、包装材料的无菌化以及灌装环境的无菌控制。无菌灌装技术通常包括以下几个关键步骤:

灌装液体的无菌处理:通过加热、过滤或化学消毒等方式对液体进行灭菌处理,确保液体在灌装前不含有任何致病菌或微生物。

灌装环境的无菌控制:在灌装过程中,整个环境需要

【作者简介】罗志海(1977-),男,壮族,中国广西崇左人,本科,工程师,从事食品科学与工程研究。

进行严格的空气过滤、温湿度控制和微生物监测，确保没有微生物进入灌装区域。

包装材料的无菌化处理：包装材料如瓶子、瓶盖、袋子等在灌装前需经过严格的灭菌处理，以避免包装过程中微生物污染食品。

无菌灌装技术不仅在延长食品保质期方面具有重要作用，还能保持食品的风味和营养成分，避免因微生物污染导致的食品腐败。因此，这项技术在果汁、乳制品、即饮咖啡、即食汤等产品的生产中得到广泛应用。

2.2 无菌灌装技术的应用现状

无菌灌装技术的应用领域非常广泛。特别是在液体类食品的生产中，几乎所有的大型食品生产企业都已经采用了无菌灌装技术。国内外许多知名食品企业，如可口可乐、雀巢、达能等，都在其生产线中广泛应用了无菌灌装技术。此外，随着消费者健康意识的提升，对无菌技术的需求逐渐增加，尤其是在乳制品、婴儿食品以及无糖、低脂食品等领域。与此同时，国内的中小型食品企业也开始逐步引入无菌灌装技术，以提高产品的市场竞争力。

3 无菌灌装技术中的质量控制要点

3.1 灌装设备的选择与维护

灌装设备是保证无菌灌装技术实现的关键因素之一。无菌灌装设备应具备良好的密封性能和高效的灭菌功能，能够在整个生产过程中保持无菌环境。在选择灌装设备时，应考虑以下几点：

设备的自动化程度：现代无菌灌装设备应具备高度自动化，能够在全自动控制下完成从液体灌装到包装的全过程，减少人为操作的影响，降低污染风险。

设备的易清洁性：无菌灌装设备需要定期进行清洁和消毒，设备的设计应便于清洁和维护，确保设备内外部都能保持无菌状态。

设备的灭菌效果：设备应配备有效的灭菌系统，如高温高压灭菌装置、紫外线灭菌装置等，以确保灌装液体和包装材料在使用过程中不会受到污染。

设备维护也是质量控制的重要环节。定期检查设备的性能，包括密封性、温度控制系统、气流系统等，确保设备始终处于最佳工作状态。

3.2 灌装液体的无菌处理

灌装液体的无菌处理是确保食品无菌灌装成功的关键步骤之一。根据不同的食品种类和特点，灌装液体的灭菌方法有所不同。常见的灭菌方式包括：

热处理：适用于果汁、乳制品等液体食品，通过高温灭菌或巴氏杀菌法，可以有效杀灭液体中的细菌、病毒和其他微生物。

膜过滤：采用微孔膜过滤技术，通过物理方式去除液体中的微生物，适用于需要保持原味和营养的食品，如果汁、

茶饮料等。

化学消毒：某些液体食品，如饮料，可能采用化学消毒剂进行处理，以达到去除细菌的目的。此方法通常用于一些不适合加热的产品。

液体灭菌后的无菌性需要通过严格的微生物检测来确认，确保食品的无菌性达到标准要求。

3.3 包装材料的无菌处理与控制

无菌灌装过程中的包装材料无菌处理至关重要。如果包装材料受到污染，整个无菌灌装过程就会失败。因此，包装材料的灭菌处理应该采用合适的方式，以确保其无菌性。常用的包装材料灭菌方式包括：

热空气灭菌：通过热空气加热包装材料，消除其表面可能存在的微生物。

紫外线灭菌：紫外线灭菌是一种高效的无菌处理方式，尤其适用于塑料瓶和玻璃瓶等常见包装材料。

过氧化氢灭菌：该方法广泛应用于PET瓶的灭菌，能够有效消除包装材料表面的微生物。

4 食品无菌灌装技术的未来发展趋势

随着科技的不断进步和消费者对食品安全要求的提高，食品无菌灌装技术也将向更高效、更加智能化的方向发展。在现代社会，食品安全不仅是一个技术问题，更是关乎人类健康和社会稳定的重要问题。未来，食品无菌灌装技术的进步将在多个方面带来革命性的变化。随着自动化、数字化和智能化技术的应用，食品无菌灌装技术将更好地适应市场需求，提高生产效率，保障食品质量和安全。以下是未来食品无菌灌装技术可能的几个发展趋势：

4.1 智能化控制

随着物联网（IoT）技术、人工智能（AI）和大数据的快速发展，无菌灌装设备的智能化控制将成为未来食品生产的重要趋势。智能化控制将通过实时监控设备运行、环境参数和灌装过程中的各个环节，提高生产过程的自动化和灵活性。设备可以根据温度、湿度、压力、空气质量等关键参数的实时反馈，自动调节工作状态，从而确保灌装过程中的每一个细节都达到最优状态。

未来的无菌灌装设备将具备高度的自适应性，能够在生产过程中根据不同产品的特性进行动态调整。例如，不同类型的饮料或乳制品对灌装过程中的温度、时间和压力要求不同，智能化设备将能够根据不同需求自动切换工艺参数，保证产品的最佳质量。同时，智能化技术的运用也将使得设备的运行更加稳定，减少人为操作带来的差错，提升生产效率和产品一致性。

此外，基于人工智能的预测算法，智能化控制系统还可以对生产过程中可能出现的设备故障进行预警和预测，从而及时进行维护或调整，减少停机时间，提高设备的使用寿命。结合大数据分析和云计算，生产数据可以实时上传至云

端,进行数据挖掘和分析,为生产过程的优化提供有力支持。

4.2 绿色环保

在全球环保意识日益增强的背景下,未来的无菌灌装技术将更加注重节能减排和环境保护。传统的无菌灌装技术在温控和灭菌过程中可能会产生较大的能源消耗,对环境造成一定的负担。因此,绿色环保技术的引入将成为未来食品无菌灌装技术发展的关键方向。

首先,灭菌技术的环保性将成为技术创新的重要领域。现有的无菌灌装技术主要依赖热处理、化学消毒等方式进行灭菌,而这些方法往往伴随着较高的能源消耗和一定的化学废料排放。未来,绿色、无害的灭菌方式将得到广泛应用。例如,紫外线灭菌技术、超高压灭菌(HPP)技术等无热处理方法将逐渐取代传统的热处理方式,减少对能源的依赖,并降低对环境的污染。这些新型的灭菌技术不仅具有较高的杀菌效率,还能最大程度地保留食品的营养成分和风味。

其次,包装材料的环保性也是无菌灌装技术未来发展的重要方面。随着塑料污染问题的日益严峻,未来食品无菌灌装技术将更加注重环保包装材料的研发和应用。可降解、可回收的包装材料将成为主流,如生物基塑料、纸质包装、铝箔材料等都将得到更广泛的应用。此外,包装材料的无菌处理方法也将更加环保,减少化学物质的使用,降低对环境的负面影响。

最后,食品生产企业在采用无菌灌装技术时,也将更加注重生产过程中的节能降耗。例如,采用先进的热交换技术,提升能源利用效率;优化灌装设备的设计,减少能源浪费;以及合理规划生产流程,减少原料和资源的浪费,推动企业可持续发展。

4.3 个性化需求

随着消费者对食品需求多样化和个性化要求的不断提升,未来食品无菌灌装技术将在满足大规模生产的同时,也更加注重个性化和定制化生产。个性化生产是指根据消费者不同的口味偏好、营养需求或健康状况等因素,提供定制化的食品产品。在这种趋势下,传统的生产线可能面临着生产灵活性不足的问题,而无菌灌装技术将通过智能化和小批量生产的方式,满足这一需求。

未来,食品生产企业将通过先进的无菌灌装设备,结合自动化、数字化技术,实现灵活的生产模式。例如,生产

线可以根据订单量、产品种类和规格,进行快速切换和调整。这不仅可以提高生产效率,还能降低库存和浪费,减少生产过程中的环境负担。此外,个性化生产还将推动更多新型包装形式的出现,例如小包装、便携包装以及根据消费者需求定制的包装设计等。

随着消费者对健康和营养的关注,未来的个性化需求可能还将进一步向营养成分的定制化方向发展。无菌灌装技术可以帮助食品生产企业根据消费者的需求定制配方,提供含有特定营养成分的食品。例如,针对运动员或老年人群体,生产专门的高蛋白、低糖、富含膳食纤维等营养成分的食品,甚至根据不同人群的特定需求,调整营养比例和配方。这将推动无菌灌装技术向更加多样化和灵活化的方向发展。

5 结语

食品无菌灌装技术在食品生产中的应用,极大地提高了食品的安全性和保质期,尤其对于液体、半固体类食品的生产至关重要。随着消费者对食品安全、健康和环保的要求不断提高,无菌灌装技术也必将不断创新和发展。本文通过对食品无菌灌装技术的详细探讨,总结了其中的关键技术要点和质量控制要求,为食品企业提供了系统的技术指导。

随着科技的不断进步,未来的无菌灌装技术将在智能化控制、绿色环保和个性化生产等方面实现跨越式发展。食品企业应积极关注这些技术趋势,结合自身生产特点,选择合适的无菌灌装技术,并在生产过程中严格控制各个环节,确保食品的质量和安。同时,行业规范和政策的进一步完善也将有助于推动无菌灌装技术的普及与发展。通过这些努力,未来食品行业的生产效率和食品安全水平将不断提升,为消费者提供更加健康、安全和个性化的食品产品。

参考文献

- [1] 胡小娟,白小琼,李珊,等.粉液双室袋产品质量风险分析与生产质量管理探讨[J].中国医药导刊,2024,26(10):969-974.
- [2] 王福善,杨世元,刘芸.高风险医用聚丙烯树脂洁净化生产技术开发及工业应用[J].石油化工,2024,53(08):1144-1147.
- [3] 邹婧,戴何寰,邹勤,等.传统腐乳食品产业转型升级研究[J].粮食科技与经济,2024,49(03):66-70.
- [4] 梁莉,郝利民,赵金山,等.我国特种食品产业现状与发展趋势[J].中国食品学报,2024,24(05):58-74.

The role of equipment technology innovation in automobile industry in improving product quality

Longfei Zang

Jiangsu Yueda Kia Automobile Co., Ltd., Yancheng, Jiangsu, 224000, China

Abstract

Equipment technology innovation can improve production efficiency and product consistency, improve product precision and reliability, reduce the defect rate in the production process, and improve the safety and environmental protection performance of automotive products. Enterprises should increase R & D investment, promote the application of intelligent and automated equipment, improve the quality management system, strengthen cooperation with universities and scientific research institutions, and pay attention to green manufacturing and sustainable development, so as to realize the two-way improvement of equipment technology innovation and product quality.

Keywords

automobile industry; equipment technology innovation; product quality

汽车行业设备技术创新对提升产品质量的作用

臧龙飞

江苏悦达起亚汽车有限公司, 中国·江苏盐城 224000

摘要

随着全球汽车产业的迅猛发展, 市场需求不断变化, 消费者对汽车质量的要求也越来越高。而汽车行业设备技术创新是提升产品质量和企业竞争力的重要驱动力。设备技术创新能够提升生产效率与产品一致性, 改善产品的精密度和可靠性, 降低生产过程中的缺陷率, 同时提高汽车产品的安全性和环保性能。企业应加大研发投入, 推动智能化与自动化设备的应用, 完善质量管理体系, 加强与高校及科研机构的合作, 关注绿色制造与可持续发展, 以实现设备技术创新与产品质量的双向提升。

关键词

汽车行业; 设备技术创新; 产品质量

1 引言

在激烈的市场竞争中, 如何提升汽车产品的质量, 成为汽车制造企业面临的关键问题之一。汽车行业的生产工艺与技术水平直接决定了产品的质量, 特别是在设备技术创新的推动下, 生产过程的精密度、效率和产品的一致性得到了显著提升。因此, 本文旨在探讨汽车行业设备技术创新对提升产品质量的作用, 并提出具体的创新策略。

2 汽车行业设备技术创新的现状分析

在全球化和智能化的浪潮下, 汽车行业正经历着前所未有的变革。设备技术创新作为推动汽车制造业发展的关键动力, 已经成为提高产品质量、降低生产成本以及提升市场竞争力的重要途径。当前, 随着科技的迅速发展, 尤其是数

字化、自动化和人工智能技术的不断进步, 汽车行业在设备技术创新方面取得了显著的突破。许多汽车制造企业已逐步引入先进的生产设备, 特别是在自动化生产线、智能化检测设备、机器人焊接与装配技术等方面取得了广泛应用。这些技术创新不仅提升了生产效率, 还在很大程度上提高了产品的精密度和一致性, 从而推动了整体产品质量的提高。随着环保要求的日益严格, 新能源汽车的兴起也对汽车行业设备技术创新提出了新的要求。在这一背景下, 电池生产、动力系统的集成与测试等方面的设备技术创新成为行业发展的重要方向。企业越来越注重绿色制造理念, 通过引入节能减排、废气回收等技术, 不仅提升了生产过程的环保性能, 也进一步优化了汽车产品的质量和市场认可度。尽管如此, 汽车行业在设备技术创新方面仍面临一些挑战。传统生产模式仍占据主导地位, 部分中小型企业技术创新的投入上存在困难, 技术的引进与自主创新的结合不够紧密, 导致设备的更新换代较为缓慢。总的来说, 汽车行业的设备技术创新正处于快速发展的阶段, 尽管面临诸多挑战, 但随着技术的不断

【作者简介】臧龙飞(1986-), 男, 中国江苏盐城人, 本科, 工程师, 从事汽车行业设备改造、维修研究。

断进步和市场需求的推动，设备技术创新将在提升汽车产品质量、优化生产流程和降低生产成本等方面发挥越来越重要的作用。^[1]

3 设备技术创新对提升产品质量的作用

3.1 提升生产效率与产品一致性

设备技术创新对提升生产效率具有显著作用。随着智能化、自动化设备的普及，传统的人工操作逐渐被高效的机械自动化生产线所取代。自动化设备能够在高效、精确的控制下完成多个工序，减少人为操作带来的误差，提高了生产线的运转效率。同时，自动化设备的引入使得生产过程更加精细化，产品的生产时间大大缩短，企业能够在更短的时间内完成更多的生产任务，从而在激烈的市场竞争中占据优势。此外，设备技术的创新还能够确保生产过程的标准化，减少生产过程中的波动，使得同一批次生产的汽车产品具有更高的一致性。产品的一致性不仅提升了消费者对品牌的信任度，还能减少后期售后服务的成本和风险。

3.2 改善产品的精密度和可靠性

随着现代制造技术的发展，许多新型设备已经具备了高精度加工和检测能力。例如，数控机床、激光切割设备、精密焊接机器人等的广泛应用，使得汽车部件的加工精度达到了更高的水平。精密度的提升不仅使得各个零部件的装配更加精细，减少了由于配件尺寸误差导致的装配问题，还能确保汽车整车的性能更加稳定。特别是在发动机、传动系统等关键部件的生产中，高精度的设备能够有效控制公差范围，提高汽车的运行可靠性。^[2]此外，随着智能监控系统的应用，设备能在生产过程中实时检测并修正偏差，进一步保证了产品的可靠性，减少了产品出现故障的概率，从而增强了消费者的安全感和满意度。

3.3 降低生产过程中的缺陷率

随着生产设备技术的不断升级，现代化的检测设备可以实时监控生产过程中每个环节的质量，及时发现潜在问题并进行纠正。比如，大量3D机器视觉检测系统的应用能够对车身表面、零部件的缺陷进行精准识别，避免人工检测中因疲劳或疏忽带来的漏检问题。精密控制技术的引入也减少了生产中的误差，避免了因设备故障或生产条件不稳定导致的产品缺陷。通过提升设备的自检能力和实时调整功能，制造企业能够在生产过程中最大限度地避免瑕疵品的产生，从源头上控制质量，显著降低了生产过程中的废品率和返修率。这不仅提高了生产效率，还降低了企业的生产成本，提升了整体的产品质量。

3.4 提高汽车产品的安全性与环保性能

随着消费者对汽车安全性和环保性能要求的日益提高，设备技术创新在提升汽车产品的安全性和环保性能方面发挥着越来越重要的作用。现代化的生产设备可以更加精确地控制汽车关键安全部件的生产过程，如制动系统、气囊系

统、动力系统等，这些部件的精准生产直接关系到汽车的安全性。通过引进先进的检测与测试设备，汽车生产厂商能够对每一台车的安全性能进行全面评估，确保每一辆出厂的汽车都符合严格的安全标准。此外，环保性能方面的要求也促使汽车制造商不断进行设备技术创新。新型生产设备能够采用更为环保的工艺，减少能源消耗、降低排放，甚至实现零污染生产。在电动汽车和混合动力汽车的生产过程中，先进的设备技术能够确保电池系统的高效集成与安全性，同时优化充电与排放系统，推动汽车产品向绿色环保方向发展。^[3]这些设备技术创新不仅符合日益严格的法规要求，也满足了消费者对绿色、环保产品的需求，提升了汽车产品的市场竞争力。

4 汽车行业设备技术创新的策略

4.1 加强研发投入，提升技术创新能力

在快速发展的汽车行业中，设备技术创新是推动企业进步和提升产品质量的关键驱动力，而研发投入则是这一过程的基础。企业应加大对研发部门的资金支持，积极构建完善的研发体系，鼓励技术人员进行前瞻性技术的研究、试验和创新。加大核心技术的研发投入，不仅有助于突破现有技术瓶颈，还能推动设备技术的自主创新和升级，提升产品的竞争力与市场占有率。特别是在高精密设备、智能制造、机器人技术等领域的研发，将为企业提供更多的技术储备，进一步推动生产过程的高效化、智能化和低成本化。企业还可以通过设立技术创新基金，设立激励措施等形式，吸引更多优秀的技术人才参与到设备技术创新中。增加研发投入，不仅能够帮助企业提升现有生产设备的性能，还能够支持企业在前沿技术上保持领先地位，为企业在全球汽车产业链中获得更高的竞争优势。此外，加大研发投入能够帮助企业在面对快速变化的市场需求和技术环境时，及时调整策略，捕捉技术发展机会，保持长久的技术优势。

4.2 推动智能化与自动化设备的应用

随着AI人工智能、大数据、物联网等技术的不断发展，智能化、自动化设备逐步渗透到生产的各个环节，带来了前所未有的生产效率提升和质量保障。汽车企业可以引入协作机器人和自动化系统，提高生产线的自动化水平和生产效率。通过与工人实时交互和协作，协作机器人可以完成一些重复性、烦琐或危险的工作任务，从而释放工人的人力和时间，提高生产效率。协作机器人还可以根据生产需求进行灵活调整和优化，实现柔性生产和定制化制造。同时，结合自动化系统，可以实现设备的自动运行和控制，减少人为干预和误操作，提高生产效率和产品质量。自动化设备通过信息化和智能化手段，能够根据生产实际情况实时调节生产参数，从而提高生产过程的灵活性与响应速度。智能化设备具有自我学习与适应能力，能够根据反馈信息对生产过程进行实时优化，高效、精准的生产方式有助于提高生产效率，减

少生产成本，缩短生产周期，并且显著降低缺陷率，提升产品质量和一致性。

4.3 完善质量管理体系，确保创新成果转化

设备技术创新的最终目标是提高产品质量，而这一过程的顺利实施离不开完善的质量管理体系。为了确保技术创新成果能够有效转化为实际生产中的质量提升，汽车企业必须不断完善其质量管理体系，构建科学、规范的质量控制流程。首先，企业可以借鉴并引进国际标准的质量管理体系，结合自身生产的实际情况，制定适合企业发展的质量标准和质量控制方法。例如，5S管理、PDCA循环、FMEA分析等。这些工具和方法可以帮助企业发现问题、制定改进方案和监测改进效果，从而提高产品质量。此外，企业需要加强对设备的精度校准与定期检修，实施设备运行的动态监控，确保生产设备的高效运转和技术创新成果的可靠应用。企业可以通过设立专门的质量控制部门，开展全流程的质量监控，从原材料采购到生产过程，再到最终产品出厂，都能保持高质量的标准。进一步加强对员工的质量意识培养，使全体员工在设备技术创新的基础上，始终保持对质量的高度重视和责任感，确保技术创新能够在实际生产过程中充分发挥作用，避免质量问题的发生。

4.4 加强与高校、科研机构的合作，促进技术共享

汽车行业的技术创新需要持续的研发投入和不断的知识积累，而企业单靠自身力量进行技术研发面临着较大的挑战。加强与高校、科研机构的合作，借助外部的技术力量，是促进设备技术创新的重要策略之一。通过与学术界和研究机构的紧密合作，企业可以接触到最新的科研成果、前沿的技术和创新性的解决方案，及时将其应用到实际生产中，提升生产设备的技术水平和产品质量。汽车行业技术发展日新月异，单一企业难以承担所有技术研发任务，而高校和科研机构具备强大的研发能力和理论支持，能够为企业提供必要的技术支持。通过设立联合研发中心或技术合作平台，企业与科研机构能够共享资源，进行技术攻关，缩短技术从实验室到生产线的转化周期。此外，技术共享还能有效避免重复研发，提高技术开发效率，降低研发成本，加速企业对先进技术的掌握与应用，提升企业整体竞争力。高校和科研机构的参与，能够让企业在新技术的研究上走在行业前列，推动

汽车制造业向更高质量、更智能化的方向发展。

4.5 关注绿色制造与可持续发展

随着环保法规的日益严格以及消费者对环境友好型产品需求的增加，绿色制造和可持续发展已经成为全球汽车行业的重要发展趋势。设备技术创新应更加注重资源节约、能源高效利用和减少环境污染，推动汽车行业实现绿色、低碳、可持续的发展。汽车企业应通过引进绿色制造设备，如节能减排设备、废物回收设备以及清洁生产技术，优化生产工艺和生产设备，降低能源消耗、减少排放，减少生产过程中废水、废气和固体废弃物的产生。同时，企业可以在设备技术创新中加入绿色设计理念，减少对自然资源的依赖，推动可再生能源的利用。通过改进汽车产品的设计与生产，推动新能源汽车的普及，减少传统燃油车的环境负担，进一步提升企业的市场形象与竞争力。绿色制造不仅是应对环保政策的要求，更是企业可持续发展战略的一部分。通过不断推动设备技术的绿色创新，企业不仅能符合环境保护标准，还能通过降低能源消耗和废弃物排放，实现更高的经济效益。设备技术创新应立足于提高生产效率，同时将可持续发展理念贯穿于设备设计、生产工艺和产品全生命周期中，推动整个行业朝着更加环保和可持续的方向发展。

5 结语

随着全球汽车行业的快速发展，设备技术创新已经成为提升产品质量、降低生产成本和增强市场竞争力的关键因素。在智能化、自动化和绿色制造等新兴技术的推动下，汽车企业能够不断突破传统制造模式，提高生产效率和产品质量，满足日益变化的市场需求。然而，设备技术创新并非一蹴而就的过程，它需要企业在研发投入、技术应用、质量管理等方面持续努力，并通过与高校、科研机构的合作推动技术的快速转化与创新。

参考文献

- [1] 吕斌,刘惟栋,张英震,等.探讨汽车企业如何进行持续改善以提高设备生产效率和产品质量[J].中国设备工程,2024,(14):73-75.
- [2] 杨璟.A公司B产品车间精益生产管理改善研究[D].贵州大学,2024.
- [3] 孙勤.智能化技术在汽车制造车床加工中的应用[J].汽车测试报告,2024,(13):23-25.

Comparative analysis of X-ray and ultrasonic techniques in non-destructive testing of metal structures

Yanshan Song

Institute of Product Quality Standards, Ministry of Water Resources, Hangzhou, Zhejiang, 310012, China

Abstract

Non-destructive testing technology plays a key role in ensuring the safety and reliability of metal structures. In this paper, radiographic testing and ultrasonic testing are taken as the research objects, and a systematic comparative analysis is carried out from the aspects of principle, characteristics and application. The advantages of X-ray and γ -ray imaging mechanism, digital ray technology, and the propagation characteristics of ultrasonic waves in metals and emerging ultrasound technologies such as phased array and total focus imaging are discussed in depth, and the differences between the two technologies in key indicators such as metal defect detection ability, precision resolution, detection efficiency and environmental adaptability are emphatically evaluated. The research results of this paper can provide a theoretical reference for the rational selection of nondestructive testing technology in engineering practice.

Keywords

non-destructive testing; radiographic inspection; ultrasonic testing; metal defects; Comparative analysis

金属结构无损探伤检测中射线与超声技术的对比分析

宋燕山

水利部产品质量标准研究所, 中国·浙江 杭州 310012

摘要

无损检测技术在保障金属结构安全性与可靠性方面发挥着关键作用。本文以射线检测与超声检测为研究对象, 从原理、特点、应用等方面进行了系统的对比分析。深入探讨了X射线与 γ 射线成像机理、数字射线技术的优势, 以及超声波在金属中的传播特性与相控阵、全聚焦成像等新兴超声技术, 并重点评估了两种技术在金属缺陷检出能力、精度分辨率、检测效率与环境适应性等关键指标上的差异。本文的研究结果可为工程实践中无损检测技术的合理选用提供理论参考。

关键词

无损检测; 射线检测; 超声检测; 金属缺陷; 对比分析

1 引言

金属结构件广泛应用于航空航天、能源电力、交通运输等关键领域, 其结构完整性与安全可靠性直接关系到整个系统的正常运行。然而, 金属材料在冶炼、加工、使用等环节中不可避免地会产生各类缺陷, 如裂纹、夹杂、未焊透等。及时准确地检测出这些缺陷对预防事故、保障安全具有重要意义。无损检测技术以其检测过程不破坏被检工件、检测成本低、适用范围广等独特优势成为金属结构件质量控制的首选方法。射线检测与超声检测是目前应用最广泛的两大无损检测技术, 它们在缺陷识别机理、检测性能、使用条件等方面存在显著差异。系统分析两种技术的原理特点与应用效

果, 对指导工程实践具有重要参考价值。

2 射线无损检测技术的原理与应用特性

2.1 X射线与 γ 射线成像原理及其在金属探伤中的物理基础

X射线与 γ 射线是一种高频电磁波, 具有较强的穿透能力。它们在物质中传播时, 会因光电效应、康普顿效应等作用而被选择性吸收、散射, 导致穿过物体后射线强度呈指数衰减规律^[1]。材料内部的缺陷如裂纹、气孔会引起局部射线吸收系数的变化, 在成像面上形成与缺陷对应的亮暗差异, 从而实现缺陷的可视化检测。射线成像质量的关键在于衰减系数差异, 它与缺陷的尺寸、形貌以及材料的密度、原子序数等因素密切相关。X射线与 γ 射线在金属材料内部引起的光电效应、康普顿散射与电子对效应是其实现成像的物理基础。

【作者简介】宋燕山(1979-), 男, 中国浙江兰溪人, 本科, 工程师, 从事水利水电工程及启闭机安全检测、水利水电工程建设管理研究。

2.2 射线检测设备的技术参数与性能指标分析

射线检测设备主要由射线源、准直系统、成像系统等组成。常用的 X 射线管包括玻璃封装管与金属陶瓷管，靶材多选用高原子序数的钨、铂等，管电压决定了射线能量与穿透能力。 γ 射线源主要有铯-192、钴-60 等放射性同位素。准直系统包括铅制准直器与准直孔，用于限制射线束范围、降低散射辐射。成像系统既有传统的 X 射线胶片，也有成像增强器、平板探测器等数字成像器件。射线检测的关键性能指标包括对比度、清晰度、分辨率与灵敏度。对比度反映图像明暗差异，决定缺陷的可检测性；清晰度表征图像的清晰程度，影响缺陷边界、形貌的识别；分辨率是探测器分辨细小缺陷的能力；灵敏度则反映射线穿透被检工件的难易程度。

2.3 数字射线成像技术 (DR) 在金属结构检测中的优势

数字射线成像技术利用电子探测器将射线信号直接转换为数字图像，具有成像质量高、检测效率高、灵活性强等优势^[2]。与传统胶片射线照相技术相比，数字成像可实现实时成像与动态观察，缩短检测周期；灵活调节曝光条件与图像处理参数，优化成像质量；直接获得数字化的图像数据，便于缺陷的定量分析与自动识别。此外，数字射线技术还可与计算机断层扫描 (CT) 相结合，获得材料内部三维缺陷分布图像，全面反映缺陷的空间特征。数字射线技术在航空发动机叶片、压力容器等关键金属构件的无损检测中得到了广泛应用，大幅提升了缺陷检出率与评估准确性。

2.4 射线检测技术的局限性及安全防护要求

尽管射线检测具有诸多优势，但仍存在一定局限性。首先，射线对缺陷的检出能力与缺陷的取向有很大关系，与射线束平行的狭长缺陷容易被漏检。其次，对于厚大、高密度工件，射线可能无法有效穿透，影响成像质量。此外，射线检测对缺陷定位精度较低，尤其是射线束发散时更易产生投影变形。最后，射线属于电离辐射，对人体健康有潜在危害，需要严格的安全防护措施。常用的防护手段包括时间控制、距离控制、屏蔽防护等，操作人员还须配备个人剂量计，定期进行职业健康检查。

3 超声波无损检测技术的机理与应用特点

3.1 超声波在金属介质中的传播特性与缺陷识别原理

超声波是一种频率高于 20kHz 的机械振动波，在固体介质中以纵波、横波、表面波等多种形式传播。超声波遇到界面时会发生反射、透射与转换，当界面处于缺陷时，反射波的幅度、相位会发生变化，这是超声无损检测的基本原理^[3]。影响超声检测的介质特性参数主要有声速、衰减、声阻抗、各向异性等。通过分析反射信号的时间、频率、能量特征，可判断缺陷的位置、尺寸、类型等。超声检测的缺陷分辨力

与检测频率密切相关，频率越高，波长越短，能识别的最小缺陷尺寸越小。在金属材料超声检测中，纵波因具有较低衰减、良好穿透能力而被广泛采用，横波则常用于表面、近表面缺陷的检测。

3.2 相控阵超声检测技术在复杂金属结构中的应用

相控阵超声检测是一种新兴的高端超声检测技术，采用多阵元换能器和多路独立发射接收电路，通过控制各阵元的激励延迟时间，在被检材料内部形成预定的超声波束。相控阵技术可灵活调控声束形状与入射角度，实现对不同方位缺陷的快速扫查，显著提高了检测效率与缺陷识别能力。相控阵超声对异型件、曲面、焊缝等复杂结构的适应性尤为突出，可在不移动或少移动换能器的情况下实现区域成像。此外，相控阵技术可方便地实现声场聚焦，提高缺陷定位精度与灵敏度。三维相控阵检测系统集成机械扫查装置、高性能电子系统与专用软件，可获得直观、完整的三维缺陷图像。在核电、航空等领域，相控阵超声已成为复杂金属构件质量评价的重要手段。

3.3 时域反转与全聚焦成像技术在提高检测分辨率中的作用

时域反转 (TR) 是一种利用换能器阵列实现声场重构、提高超声成像分辨率的技术。其基本原理是利用缺陷处声波散射的时间反演不变性，由阵列换能器接收初始缺陷回波信号，反向加载到原位置，二次散射声场会在原缺陷处汇聚叠加，从而突出缺陷回波、抑制噪声干扰。时域反转可有效改善成像信噪比、提高探测灵敏度，但其缺陷聚焦能力有限。为此，研究者提出了全聚焦 (TFM) 成像技术，采用合成孔径聚焦原理对全程进行动态聚焦，可获得与缺陷同尺寸的高分辨率图像。全聚焦成像利用全部阵元数据对每个像素点进行计算成像，计算量大、成像速度慢，但缺陷识别性能优异。时域反转、全聚焦等新型超声成像技术的应用，使得检测盲区减少、缺陷分辨率显著提高，为金属构件的精细化无损评价开辟了新的途径。

3.4 超声检测的设备配置与操作技术要求

超声检测仪器的核心部件是超声探头，由压电陶瓷晶片、阻尼材料、保护层等组成，可根据检测对象的材质、厚度、形状等选择合适的晶片频率。耦合剂如水、油脂等用于填充探头与工件间的空隙，减少性能损失。超声检测还需配备校准试块、耦合装置、扫查器等辅件。数字式超声检测仪可实现波形显示、缺陷定位、数据存储等功能，部分高端机型还具备相控阵、时域翻转等新技术功能。超声检测对操作人员的技术水平要求较高，需掌握声学理论知识，熟练操作仪器，准确判读各种缺陷信号。规范的检测操作如合理选择探头、校准仪器灵敏度、控制耦合条件、优化扫查轨迹等，是保证检测结果可靠性的关键。超声检测人员通常需接受专业培训，取得相应的资质认证。

4 射线与超声技术在金属结构缺陷检测中的比较

4.1 不同类型金属缺陷的检出能力对比分析

裂纹、未焊透、夹杂是金属构件的常见缺陷类型，射线与超声检测对不同缺陷的识别能力存在差异。对于表面开口型裂纹，如疲劳裂纹，超声检测灵敏度高，且能准确测量裂纹深度。射线检测易受裂纹开口宽度、取向影响，但对内部未开口裂纹的检出能力强于超声。对于未焊透缺陷，射线检测易于识别，但对埋藏较深的未焊透，超声检测更具优势。夹杂作为一种体积型缺陷，通常具有较大尺寸，射线检测可明显识别；但当夹杂尺寸较小或界面与基体结合紧密时，超声检测更为有效。气孔在射线照片上表现为圆形暗点，容易识别；而在超声检测中，气孔回波信号弱，易被误判。总的来说，射线检测更适合体积型缺陷，超声检测在检测面型缺陷方面具有独特优势。

4.2 检测精度、分辨率与可靠性的系统性评价

射线检测的空间分辨率主要取决于焦点尺寸与像素尺寸，数字探测器的分辨率可达到50~100 μm ，高于超声检测。超声检测的缺陷分辨力与频率有关，常用频率下的分辨力在0.5~2mm之间。在缺陷定位精度方面，射线检测易受工件厚度、射线发散度等因素影响，而超声检测可通过选择聚焦探头、动态深度聚焦等方法获得较高的缺陷定位精度。就检测可靠性而言，射线检测判读结果的一致性较好，但漏检、误判情况时有发生；超声检测结果的可靠性很大程度上取决于操作人员的技术水平，熟练的操作者可获得较高的检出率，但也存在较大的人为因素。总的来说，射线检测精度高、稳定性好，而超声检测灵活性强、对缺陷定位准确。

4.3 检测效率、适应性与经济性的综合比较

就检测效率而言，射线检测的单次曝光时间较短，但胶片处理、判读比较耗时；数字成像可实现快速动态检测，但大型工件可能需多次分区域曝光。超声检测采用电子扫描成像方式，实时成像速度快，但手工扫查较为耗时。在实际检测中，射线一次成像范围大，而超声则需要对被检工件进行全面扫查，相对耗时。就适应性而言，射线检测受工件形状与尺寸限制较小，但对厚大、高密度材料的穿透能力不足；超声检测灵活性高，适用于不同形状、尺寸构件，但对粗糙表面、高衰减材料的检测困难较大。在经济性方面，射线检测设备价格相对较高，射线源也需定期更换，检测成本大；

超声检测设备种类多样，价格差异大，总体而言费用相对较低，更具经济优势。综合而言，射线检测适用范围广，检测效率高，而超声检测灵活性强，经济性好。

4.4 环境与材料因素对两种技术检测结果的影响分析

环境因素如温度、湿度、振动等对射线检测和超声检测均有一定影响。对于射线检测，高温会导致胶片感光度下降，数字成像探测器性能受损；湿度过大时胶片易发霉变形，电气设备绝缘性能降低；此外还需避免强射线环境干扰。对于超声检测，高温会改变材料声学性能，影响检测灵敏度；湿度变化会引起材料声速、衰减系数改变；同时还应避免强电磁场、振动等因素干扰。就材料因素而言，含高原子序数元素的高密度材料会显著衰减X射线，而 γ 射线具有更强的穿透力。超声检测则容易受到晶粒散射、高衰减相位的影响，对奥氏体不锈钢、粗晶铸件等材料的检测能力有限。环境与材料因素确实会对射线检测和超声检测的结果产生不同程度的影响。在实际应用中，应根据具体情况采取相应的预防和补偿措施，以保证检测结果的可靠性和准确性。例如控制环境参数、选择合适的射线源、优化超声检测参数设置等，从而最大限度地减小环境和材料因素的不利影响。

5 结语

射线检测与超声检测在金属结构无损评价中各有所长。射线检测凭借直观、可靠的成像效果，在复杂构件内部缺陷识别中不可或缺；超声检测则以灵活、高效的动态成像性能，在薄板、焊缝裂纹检测等方面展现独特优势。现代无损检测正朝着“多模联检”方向发展，射线、超声、涡流、磁粉等不同无损检测手段优势互补、联合应用，可全面评价材料结构完整性、准确诊断失效风险。数字成像、相控阵、图像融合等新兴技术不断涌现，极大地拓展了射线、超声检测的应用范围和性能边界。可以预见，射线与超声技术在智能化、信息化的推动下，必将在金属构件安全保障与寿命预测中发挥更加关键的作用。

参考文献

- [1] 杨震樱.超声无损检测技术在装配式混凝土建筑中的应用[J].中国厨卫,2025,24(1):267-269.
- [2] 张瑾,李浩,魏子璇,王晓璐,张莉.GFRP损伤X射线和超声无损检测的融合方法[J].电子测量与仪器学报,2024,38(8):169-177.
- [3] 张志刚,张岩,吴文平,马贵荣.基于X射线数字成像的GIS设备缺陷无损检测方法[J].计算机测量与控制,2024,32(6):35-41.

Research on auxiliary processing of microcomputer monitoring data for ZPW2000A track fault

Yaqiong Ren

Guoneng Shuohuang Railway Development Co., Ltd., Yuanping, Shanxi, 034100, China

Abstract

The microcomputer monitoring system contains a large amount of data on the operation of signal equipment, which can reflect the status of the equipment real time. When the signal equipment fails, the data presented by the microcomputer monitoring system can indirectly reflect the fault points of the equipment parts. Therefore, the computer monitoring data is an important information to assist in fault handling. Nowadays, the ZPW-2000A track circuit is widely used in the section. When a fault occurs, it affects traffic and causes huge economic losses. Shortening the fault handling time is the primary goal of fault handling. In this paper, the principle of ZPW-2000A track circuit and the principle of microcomputer monitoring acquisition are analyzed. Combined with the fault case, the method of applying microcomputer data to assist in fault handling is studied, and finally a standardized process is formed to improve the efficiency of fault handling.

Keywords

Microcomputer monitoring data; ZPW2000A track circuit; Auxiliary processing; Fault analysis

微机监测数据辅助处理 ZPW2000A 轨道故障研究

任亚琼

国能朔黄铁路发展有限责任公司, 中国·山西 原平 034100

摘要

微机监测系统包含大量信号设备运行数据,能够实时反映设备状态,信号设备故障时,微机监测系统所呈现的数据能间接反映设备部件故障点,因此微机监测数据是辅助故障处理的重要信息。现今ZPW-2000A轨道电路广泛应用于区间,发生故障时,影响行车,造成巨大经济损失,故缩短故障处理时间是故障处理的首要目标。本文通过分析ZPW-2000A轨道电路原理与微机监测采集原理,结合故障案例,研究应用微机监测数据辅助故障处理的方法,最终形成标准化流程,提高故障处理效率。

关键词

微机监测数据; ZPW-2000A轨道电路; 辅助处理; 故障分析

1 引言

ZPW2000A 型移频轨道电路主要用于自动闭塞区段,其主要作用是检查各闭塞分区空闲与否、监测钢轨线路完整性,同时传输行车速度信息。国能朔黄铁路原平分公司区间采用 ZPW2000A 型移频轨道电路,一旦发生故障,将影响区间上行或下行行车,造成经济损失,因此,避免轨道电路故障发生并压缩故障延时是区间设备维护的重要内容。

2 ZPW-2000A 型轨道电路工作原理

ZPW-2000A 型无绝缘轨道电路由主轨道电路和调谐区小轨道电路两个部分组成,视小轨道电路为发送端主轨道电路的所属“延续段”。

发送器工作时,由继电器编码条件控制产生不同的低频调制移频信号,该信号经电缆和模拟网络传送至匹配变压器,经调谐单元送至轨道。因钢轨采用电气绝缘,所以发送器产生的信号向主轨道与调谐区小轨道同时传送。主轨道信号经钢轨传输至轨道电路受电端,经调谐单元、匹配变压器、电缆、模拟网络传至本区段接收器。同时发送至调谐区小轨道的信号,由靠近发送端的相邻区段接收器处理,并最终形成小轨道电路轨道继电器执行条件 XG、XGH 送至本区段接收器,形成 GJ 励磁的检查条件。当本区段接收器对主轨道移频信号及小轨道电路继电器执行条件进行判断后,在符合逻辑关系的情况下驱动轨道电路继电器吸起,实现区段的空闲与占用的判断。

3 ZPW-2000A 型轨道电路监测原理

微机监测系统通过对 ZPW2000A 轨道电路发送端功出、送端电缆侧、受端电缆侧主轨与小轨、受端设备侧主轨与小

【作者简介】任亚琼(1983-),女,中国山西榆社人,硕士,工程师,从事铁路信号研究。

轨、接收入口主轨出与小轨出等信息进行采集，形成室内发送端方向切换电路区域、发送端模拟网络、室外发送端通道、发送端调谐区、主轨线路、接收端调谐区、室外接收端通道、接收端模拟网络、室内接收端方向切换电路区域共计9段区域的监测信息。根据各监测点信息可判断设备运行状况，通过数据信息的突变，快速确定器材故障范围，且微机监测系统具备跨设备查阅功能，根据ZPW2000A轨道电路原理，可同时查阅靠近发送端的相邻轨道区段接收器对调谐区小轨道的处理情况与本区段接收器主轨道处理情况。

4 ZPW-2000A 型轨道电路故障案例分析

ZPW-2000A 型轨道电路故障，现象表现为1523G、1537G红光带，经查阅1523CG、1537G区间信号平面布置图，其分布如图4-1所示，1523G有三个分割区，分别为1523AG、1523BG、1523CG，1537G有三个分割区，分别为1537AG、1537BG、1537CG，其中1523CG、1537AG、1537BG、1537CG红光带。

根据轨道电路工作原理，由于本区段的小轨由靠近发送端相邻区段接收器接收，所以若本区段发送端故障后，本区段的接收入口主轨(主轨出)和相邻区段接收入口小轨(小轨出)电压降低，本区段红光带，而前方区段不受影响。若本区段受端故障则本区段的主轨出和本区段小轨出电压降低，由于后方区段的小轨由本邻区段接收器接收，所以本区段受端故障后，则本区段与后方区段同时红光带。结合信号平面布置图推断故障处理应从1523CG为切入点。

查看红光带区段微机监测曲线，发现1523CG主轨出与小轨出电压均为0V，如图4-2(a)画面右侧所示。根据1523CG电路原理图，只有当1523CG接收端故障时，不能将1523CG主轨电压接收回室内，出现主轨出电压0V的现象，同时也不能将1537AG发送端送来的小轨电压接收回室内，出现小轨出电压0V的现象。因1523CG不满足1523CG主轨正常、小轨检正常(1523CG与1523BG调谐区)条件，1523CG QGJ落下，1523CG GJ落下，1523CG红光带。

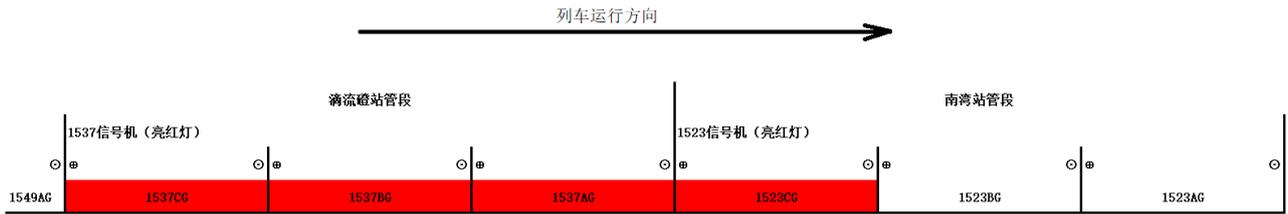


图 4-1 区间信号设备平面布置图

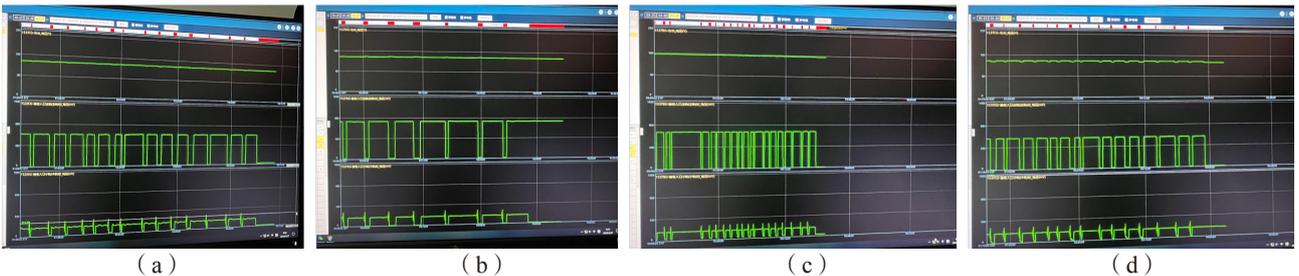


图 4-2 微机监测曲线

查看1537AG接收入口主轨与小轨电压曲线，如图4-2(b)所示，主轨出电压为正常，小轨出电压为0V。根据1537AG电路原理图，因1523CG红光带GJ落下，导致1537AG室内发送通道中GJF(邻)落下，但1523信号机亮红灯DJ吸起，所以1537AG室内发送通道中DJF(邻)吸起，发送通道未被切断，能正常发送主轨及小轨电压，1537AG接收端能接收到主轨电压，故1537AG主轨出电压正常。1537AG小轨出电压由1537BG发送端发送，1537AG红光带GJ落下，使得1537BG室内发送通道中1537AG GJ也落下，切断1537BG室内发送通道，无法送出1537BG主轨及小轨所需电压，从而1537AG接收端不能收到由1537BG发送端送来的小轨电压，故1537AG小轨出电压0V。由于1523CG

小轨电压为零，未能为1537AG形成XGJ，因此1537AG QGJ落下，1537AG GJ落下，1537AG红光带。

查看1537BG接收入口主轨与小轨电压曲线，如图4-2(c)所示，主轨出电压为0V，小轨出电压为0V。根据1537BG电路原理图，因1537AG红光带GJ落下，1537BG室内发送通道中1537AG GJ也落下，切断1537BG室内发送通道，无法送出1537BG主轨及小轨所需电压，1537BG接收端和1537AG接收端均不能收到1537BG发送端送来的电压，故主轨出电压0V。因1537BG小轨出电压由1537CG发送端发送，1537BG红光带GJ落下，1537CG室内发送通道中1537BG GJ也落下，切断1537CG室内发送通道，无法送出1537CG主轨及小轨所需电压，1537BG接收端不能

收到 1537CG 发送端送来的小轨电压，故 1537BG 小轨输出电压 0V。由于 1537AG 小轨输出电压 0V，未能为 1537BG 形成 XGJ，1537BG QGJ 落下，1537BG GJ 落下，1537BG 红光带。

查看 1537CG 接收入口主轨与小轨电压曲线，如图 4-2 (d) 所示，主轨输出电压正常，小轨输出电压为 0V。根据 1537CG 电路原理图，因 1537BG 红光带 GJ 落下，1537CG 室内发送通道中 1537BG GJ 也落下，切断 1537CG 室内发送通道，无法送出 1537CG 主轨及小轨所需电压，1537CG 接收端和 1537BG 接收端不能收到 1537CG 发送端送来的电压，故主轨输出电压 0V。因 1537CG 小轨电压由 1549AG 发送端发送，1537CG 红光带 GJ 落下，1549AG 室内发送通道中 1537CG GJ 也落下，但 1537 信号机亮红灯 DJ 吸起，所以 1549AG 室内发送通道中 1537 DJF 吸起，发送通道未被切断，能正常发送主轨及小轨电压，1537CG 接收端能收到小轨电压，故 1537CG 小轨输出电压正常。由于 1537BG 小轨电压 0V，未能为 1537CG 形成 XGJ，1537CG QGJ 落下，1537CG GJ 落下，1537CG 红光带。

经逐步分析，1537AG、1537BG、1537CG 红光带均因 1523CG 红光带造成，故障点在 1523CG。查看 1523BG 微机监测曲线，其主轨出及小轨出电压无异常波动，说明 1523CG ⊖ /1523BG ⊕ 调谐区内 1523CG ⊖ 调谐单元、1523CG ⊖ 电缆、1523CG ⊖ 引接线、空芯线圈、

1523BG ⊕ 调谐单元、1523BG ⊕ 引接线、1523BG ⊕ 电缆均正常。1537AG 主轨输出电压无异常波动，说明 1537AG ⊖ /1523CG ⊕ 调谐区内 1537AG ⊖ 调谐单元、1537AG ⊖ 电缆、1537AG ⊖ 引接线、空芯线圈、1523CG ⊕ 引接线、1523CG ⊕ 调谐单元均正常。因 ZPW-2000A 型轨道电路接收器采用 0.5+0.5 上下行互备方式，且多个区段同时红光带，不优先考虑接收器故障。综合上述，推定故障点为 1523CG ⊕ 电缆故障。

在整个故障处理过程中，微机监测曲线成为辅助处理故障的有效手段，通过分析微机监测曲线，结合监测数据采集点与区间轨道电路原理处理故障，能够迅速压缩故障范围，确定故障点，是一种处理信号设备故障的快捷方法，有利于提高故障处理效率。

5 结论

将微机监测曲线分析运用至信号设备维护及故障处理过程能够迅速圈定故障范围，但是整个过程对微机监测原理、物理量采集点以及设备电路原理要求非常高，需要形成标准化处理流程，根据故障处理经验，由于发送器采用 1+1 备用方式，接收器采用 0.5+0.5 备用方式，因此不优先考虑发送器、接收器故障，按照微机监测设备原理与 ZPW2000A 轨道电路原理，以开路故障为模型，形成故障推断逻辑流程图如图 5-1 所示。

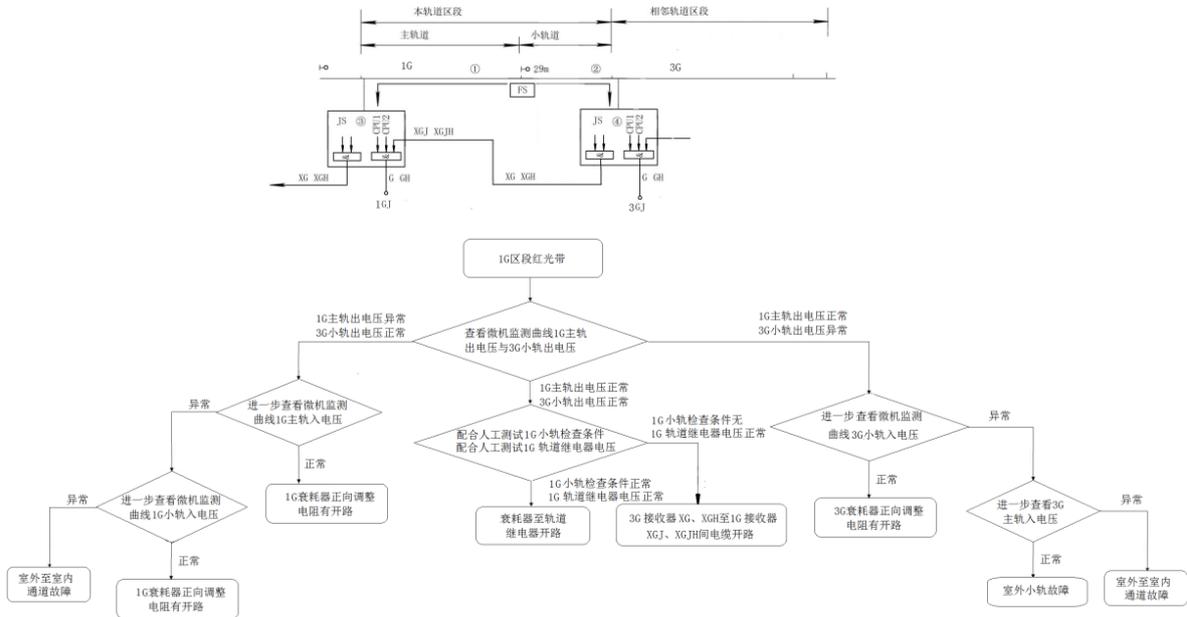


图 5-1 ZPW2000A 轨道电路开路故障推断逻辑流程图

参考文献

[1] 杨静.ZPW2000-A型区间无绝缘轨道电路系统常见故障处理[J].科技创新与应用, 2018(14).
 [2] 王彤, 王荣兴, 王铁睿.运用微机监测系统分析地铁信号设备故障[J].城市轨道交通研究, 2016,19 (z1)
 [3] 石杰.基于微机监测的故障信号研究与应用[J].中国新技术新产品, 2019 (15).

Study on fault analysis and troubleshooting method of hydraulic lifting system of mining dump truck

Yayun Wu

Haiwo Machinery (China) Co., Ltd., Yangzhou, Jiangsu, 225000, China

Abstract

Mine dump truck is an important equipment for mine transportation, and the stability of its hydraulic lifting system is directly related to the production efficiency. This study analyzes the common faults of the hydraulic lifting system of the dump truck, including the hydraulic pump without oil absorption, the lifting cylinder without cargo force, the hydraulic valve wear, etc. The corresponding elimination methods are proposed, such as regularly replacing the hydraulic oil, keeping the hydraulic system clean, and regularly checking the hydraulic valve. Detailed analysis of common faults in the hydraulic lifting system provides effective technical support for timely and accurate troubleshooting in practical work. At the same time, effective suggestions are put forward for the maintenance of the hydraulic system to ensure the stable operation of the hydraulic lifting system of the mine dump truck. The results of this study are of great practical value for improving the use efficiency of mine dump trucks and ensuring the safety and efficiency of mine transportation.

Keywords

mining dump truck; hydraulic lifting system; fault analysis; troubleshooting method; system maintenance

矿用自卸车液压举升系统故障分析与排除方法研究

吴亚运

海沃机械(中国)有限公司, 中国·江苏扬州225000

摘要

矿用自卸车是矿山运输的重要设备,其液压举升系统的稳定性直接关系到生产效率。本研究针对自卸车液压举升系统常见的故障进行分析,包括液压泵不吸油、举升缸无货力、液压阀磨损等。并提出了相应的排除方法,如定期更换液压油、保持液压系统清洁、定期检查液压阀等。对液压举升系统中常见故障的详细分析,为实际工作中及时、准确地排除故障提供有效技术支持。同时,也对液压系统的维护保养提出了有效建议,以确保矿用自卸车液压举升系统的稳定运行。本研究的成果对提高矿用自卸车的使用效率,确保矿山运输的安全和高效有着重要的实用价值。

关键词

矿用自卸车; 液压举升系统; 故障分析; 排除方法; 系统维护

1 引言

本研究聚焦矿用自卸车液压举升系统故障,并通过调查和分析探讨了故障原因,提出了有效的诊断和维修策略。研究显示,定期更换液压油、清洁系统和检查液压元件是预防故障的重要措施。这些维护方案的实施,能够提高液压系统的工作效率和设备稳定性,确保矿山运输的连续性和安全性,对保障生产效率和安全性有着重要意义。

2 概述

2.1 矿用自卸车液压举升系统的作用与重要性

矿用自卸车液压举升系统承担着矿山运输作业中的关

键任务,直接影响到矿物材料的装卸效率及整体生产性能^[1]。液压举升系统的核心功能在于通过液压泵、举升缸和液压阀等组件的协作,实现自卸车厢的平稳升降,从而保证物料的精准倾卸^[2]。这一过程的稳定性和可靠性对于保持矿山作业的连续性至关重要。

矿用自卸车工作环境通常较为恶劣,需处理大量的繁重负载,液压举升系统面临巨大的技术挑战。该系统不仅要具备强大的承载能力,还需要在频繁的作业循环中保持高效运转。这一需求凸显了液压举升系统在设定和操作参数上的精确性和系统内部的协调性的重要性。

液压举升系统的稳定性和耐用性对于降低设备的非计划停机时间以及维护操作成本具有决定性影响。这种系统能够在高强度使用条件下持续运行,并保持效率和安全性,使其成为矿山工业生产的核心技术支撑之一。由此可见,液压举升系统在矿用自卸车中的关键性和必要性不可忽视。

【作者简介】吴亚运(1990-),男,中国江苏扬州人,硕士,工程师,从事液压研究。

2.2 液压举升系统常见故障类别概览

液压举升系统在矿用自卸车的运作中起着关键作用。系统运作中常见的故障可能显著影响设备性能。液压泵不吸油是这些故障之一，通常与滤网堵塞或泵本身的机械问题有关，导致液压油无法正常流动。举升缸无货力则可能源于密封件老化或缸体磨损，直接影响货物的顺利举升。液压阀的磨损也会造成系统压力不稳定或操作失灵，这通常由于长时间使用和缺乏定期维护导致。针对这些常见故障的分类与特征分析，对于提高系统故障诊断效率和制订有效的维护策略具有重要意义。液压系统故障的准确识别和及时排除，不但能够确保矿用自卸车的正常运行，也为整个矿山运输系统的安全性和高效性提供保障。

2.3 系统维护与故障排除的必要性

在矿用自卸车液压举升系统的日常运行中，系统维护与故障排除至关重要。由于矿山环境的复杂性和苛刻性，液压系统的各组成部分易受到磨损和污染，从而引发诸如液压泵不吸油、举升缸无货力等故障。如果不能及时、有效地对这些故障进行排查，不仅会影响自卸车的工作效率，还可能造成更严重的设备损坏，增加维修成本。建立完善的维护和故障排除机制是保持液压系统持久稳定运行的关键。通过定期的系统维护和故障检测，可以有效地预防潜在问题的发生，延长设备的使用寿命，保证矿山运输的安全性和效率。

3 故障分析

3.1 液压泵不吸油的原因与特征

液压泵不吸油是矿用自卸车液压举升系统中常见的故障之一。这一问题直接影响举升效果，可能导致生产效率的下降。液压泵不吸油的原因主要包括液压油箱油位过低、进油管路堵塞、液压油粘度过高或过低、滤油器堵塞以及液压泵内部故障等^[3]。

液压油箱油位过低是导致液压泵不吸油的常见因素，油不足将导致泵吸空，无法正常建立压力。进油管路的堵塞会阻止液压油顺畅到达液压泵，堵塞通常由杂质引起，这时油量虽足但油流受阻。液压油粘度的变化同样会影响泵的吸油能力，粘度过高会增加阻力，粘度过低则可能导致密封不良。滤油器的堵塞会导致油的流动性降低，使泵无法获得足够的油。液压泵本身的内部故障，如密封件老化或泵体磨损，也可导致吸油不足。掌握上述原因与特征，有助于准确诊断和解决液压泵不吸油的问题，从而保障液压系统的稳定运行。

3.2 举升缸无货力的问题及其表现

举升缸无货力是矿用自卸车液压举升系统中较为常见的故障之一，该问题直接影响自卸车的装载和卸货操作。问题表现为举升缸无法产生足够的液压力，导致货物无法被有效提升。此故障可能由多种原因引起，包括液压油泄漏、液压缸内部密封件磨损、阀门故障等。液压油泄漏通常源于

连接管路或密封件的老化和损坏，这会导致系统压力不足。液压缸内部密封件磨损则会形成内漏，减低举升缸的举升能力。阀门故障则可能因其磨损或堵塞，使液压流体无法正常进入到举升缸内。对举升缸无货力现象的诊断，需要通过逐步检查液压油路、密封件及阀门的状态，以便准确找出故障点并进行及时修复，确保液压系统的正常运作。

3.3 液压阀磨损的诊断

液压阀在矿用自卸车液压举升系统中起到控制液压油流动的关键作用，其磨损会导致系统操作不稳定以及性能下降。液压阀磨损的诊断需要综合考虑多种因素。常见的磨损迹象包括阀芯与阀体之间的间隙增大，导致内部泄漏增加与阀门密封性的降低，从而影响液压系统的压力稳定性。磨损可能导致执行元件动作迟缓或无法同步，进而影响自卸车的正常举升动作。外观检查可对阀体表面进行初步诊断，而通过液压系统压力测试，可进一步判断磨损程度。使用流量仪器记录流量变化，能对阀门的性能进行直观评估。振动与噪声的异常也是阀门磨损的重要判别依据。针对发现的问题，及时更换或维护液压阀，以延长系统的使用寿命并维持其正常功能，是保障矿用自卸车运行效率的关键。

4 故障排除方法

4.1 液压泵故障的具体排除步骤

液压泵作为液压举升系统的核心部件，其故障直接影响系统的运行效率。排除液压泵故障需遵循准确诊断和分步处理的原则。检查液压泵不吸油的问题时，应先确认液压油的油位和油质，确保油位足够且不存在变质迹象。对于液压泵进油口，需确保其无堵塞或泄漏，并对吸油滤网进行清洁或更换，以排除油路阻塞的可能性。在确认外部条件正常后，检测液压泵内部零件的磨损情况，包括叶片、齿轮或柱塞组件。若发现磨损严重，需进行相应的更换。随后，对液压泵的密封性进行检查，确保各接口无漏油现象。对液压泵驱动电机的运行状态进行监测，确保电机输出功率足够，若电机转速或扭矩不足，需对电机进行检修或更换。通过上述步骤的实施，可以有效排除液压泵不吸油的故障，确保液压系统的正常运行。

4.2 举升缸故障修复方法

举升缸故障修复方法主要集中于解决举升缸无货力问题，这是由多种因素共同作用导致的。为了排除故障，应检查液压油是否出现泄漏或压力不足，因为这是影响货力的直接原因。液压油泄漏可能是由于接头松动或管路破损，此时应及时紧固或更换相应部件。举升缸内密封件的磨损或老化也是常见问题，导致内泄，使货力减弱。对密封件进行检查和维护，必要时更换磨损或老化的配件，是恢复货力的有效途径。还需注意环境因素对举升缸影响，如是否有杂质进入液压系统，影响缸筒的正常运作。保持液压系统的清洁至关重要，定期清理可防止杂质堵塞。通过这些排除方法的实施，

举升缸故障能够得到有效修复，从而确保矿用自卸车的稳定运行。

4.3 液压阀磨损的处理与预防

液压阀磨损是导致液压系统性能下降和故障的常见原因。处理液压阀磨损，需要通过精密测量与检测技术进行诊断，确认磨损程度与位置。对于轻微磨损，可采取研磨或更换密封件的方法进行修复，以恢复液压阀的正常功能。严重磨损时，建议更换整件液压阀，以确保系统的可靠性与稳定性。在预防方面，加强液压系统的日常维护是关键。定期清洁液压系统，保持液压油的清洁度，可以有效减少磨损。选择高质量的液压油和适宜的过滤器，可以延长液压阀的使用寿命。制定详细的维护计划，包括定期检查液压阀的状态，及时处理发现的问题，能够预防磨损的进一步恶化。这些措施能够有效降低液压阀磨损的风险，保证矿用自卸车液压系统的高效运行。

5 系统维护与保养

5.1 液压系统的常规保养

液压系统的常规保养是确保矿用自卸车液压举升系统稳定运行的关键环节。液压系统的良好维护不仅可以延长设备的使用寿命，还能显著降低运行故障的概率。为保证液压系统的正常运作，应定期检查液压管路和连接部件，确保无漏油、裂纹或松动现象。液压管道的密封性直接影响系统压力和运行状态，需要细致检查。对液压系统中的过滤器进行定期更换或清洗，以保障液压油的清洁度。过滤器堵塞会导致系统内杂质增多，进而影响液压元件的寿命与性能。液压油液位的监控同样重要，应确保液位在规定范围内，以防止液压泵因空转导致损坏。对关键液压元件如液压泵、阀门、举升缸等进行定期的检测与维护，及时更换磨损或损坏的零件，确保各部件的正常运作。通过实施严格的保养措施，矿用自卸车的液压举升系统能在高效和安全的环境中持续运行。

5.2 液压油的更换周期及选型

液压油在矿用自卸车液压举升系统的运行中扮演着关键角色，其更换周期和选型对系统的稳定性和寿命至关重要。液压油的更换周期主要依据设备的工作环境、使用频率以及油品性能来确定。通常情况下，在严苛的环境中或者长时间高负荷作业时，应缩短液压油的更换周期，建议每季度或根据具体工况进行检测和更换。这不仅能够有效防止液压部件的磨损，还能够避免因油品老化导致的系统效率降低和故

障产生。

液压油的选型需要考虑其粘度、抗磨性能及抗氧化稳定性等指标。优质的液压油应具备良好的润滑效果、较高的热稳定性与氧化稳定性，从而确保在极端工作条件下依然能够提供稳定的性能保障。选用相符的液压油规格应根据自卸车制造商的推荐标准，以确保兼容性与性能最佳化。通过合理的液压油管理策略，可以显著提升矿用自卸车液压举升系统的可靠性和使用安全性。

5.3 液压系统清洁与检查的标准程序

液压系统的清洁与检查是确保自卸车液压举升系统稳定运行的关键。清洁液压系统需定期排放沉淀物，使用专用清洗液循环系统，清除管道内的杂质和水分。定期检查则包括对液压管路、接头、泵和阀门的查看，确保无泄漏、磨损或连接松动。检查液压油的颜色和粘度，判断油质是否变质。通过建立详细的检查记录，及时发现潜在问题，以防止故障的发生。保持系统的清洁和规范检查，能够有效延长设备的使用寿命，提升工作效率。

6 结语

通过本次研究，系统地分析了矿用自卸车液压举升系统中常见的故障及其排除方法。针对液压泵不吸油、举升缸无货力、液压阀磨损等问题，研究提出了一系列有效的检测和维护策略，包括但不限于定期更换液压油、保持液压系统清洁、以及对液压阀的定期检查。这些实践策略为确保矿用自卸车液压举升系统的稳定运转提供了技术保障，对提升设备运行效率和保障矿山运输作业的安全性具有重要意义。然而，要全面保障液压系统的高效稳定运行，仍需进一步的研究。例如，液压系统的智能化故障预测和健康管理技术、新型高性能材料与液压元件的适应性研究都是值得深入探讨的课题。未来，研究将聚焦于液压系统故障诊断的现代化手段、液压元件优化设计、及维护技术的创新，从而推动矿山机械设备的可靠性和智能化水平的提升。本研究成果不仅有助于促进矿山运输设备的优化发展，而且有利于整个矿业生产安全的系统性进步。

参考文献

- [1] 陈雷.矿用自卸车举升液压系统的计算与仿真分析[J].装备制造,2021,(01):35-38.
- [2] 赵忠立梁尔松.矿用自卸车液压举升系统原理及常见故障排除[J].时代汽车,2020,(20):181-182.
- [3] 张义亮.大吨位矿用自卸车举升液压系统设计与验证[J].矿用汽车,2021,(04):11-17.

Effects and performance optimization of interface characteristics in carbon-coated silica anode materials

Pengyang Xie¹ Shenghua Qu² Yang Liu¹ Xiaomeng Ying¹ Yilei Dai¹

1. Zhejiang Institute of Building Materials Science and Technology Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310022, China
2. CNBM Design & Research Institute Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310022, China

Abstract

With the large-scale application of mobile phones, electric vehicles and other mobile electronic devices, the research of its built-in lithium ion battery has been increasingly paid attention to, and silicon oxide (SiO_x), as a potential lithium ion battery cathode material, has attracted wide attention due to its high lithium energy storage capacity and excellent cycle stability. In order to further improve the performance of the battery, the carbon material coating technology is used to modify the silica oxide anode material to form the carbon coated silica oxide composite material. The micromorphology, chemical composition, crystal structure and electrochemical properties by a series of physical and chemical experimental methods. The results showed that optimizing the thickness of carbon layer and the adhesion of carbon layer to silica oxide have significantly improved the performance of lithium-ion batteries. Specifically, when the thickness of the carbon layer is moderate (3% carbon content), the specific capacitance is the maximum, and the battery cycle stability and multiplier performance are significantly improved, and the strong adhesion between the carbon layer and the silicon oxide helps to prevent the reaction of Li₂O precipitated from the cathode material and the electrolyte. The results show that the interface properties of carbon-coated silica oxide anode materials can be further improved, which has great application prospect as a high-performance anode material.

Keywords

carbon coated silica; lithium ion battery; interface characteristics optimization

碳包覆氧化亚硅负极材料中界面特性的影响及其性能优化

解鹏洋¹ 曲生华² 刘阳¹ 应晓猛¹ 戴玮蕾¹

1. 浙江省建筑材料科学研究所有限公司, 中国·浙江 杭州 310022
2. 中国新型建材设计研究院有限公司, 中国·浙江 杭州 310022

摘要

随着手机、电动汽车等移动电子设备的大规模应用,其内置电源锂离子电池的研究日益受到关注,而氧化硅(SiO_x)作为一种有潜力的锂离子电池负极材料,由于其高的锂储能能力和优良的循环稳定性而受到广泛关注。为了进一步提升电池的性能,利用碳材料包覆技术对氧化亚硅负极材料进行改性,形成碳包覆氧化亚硅复合材料。研究主要使用一系列物理、化学实验方法研究了碳包覆氧化亚硅负极材料的微观形貌、化学组成、晶体结构以及电化学性能。结果显示,优化碳层厚度和碳层与氧化亚硅的粘附力对锂离子电池的性能有明显的改善效果。具体来说,当碳层厚度适中(含碳量3%)时,比电容能达到最大,同时电池循环稳定性和倍率性能也得到了显著提升;同时,碳层与氧化亚硅之间的强粘附力有助于防止负极材料析出的Li₂O与电解液反应。研究结果表明,通过优化碳包覆的氧化亚硅负极材料的界面特性,可以进一步提高其性能,作为一种高性能的负极材料有着巨大的应用前景。

关键词

碳包覆氧化亚硅; 锂离子电池; 界面特性优化

1 引言

随着科技的不断进步,移动电子设备尤其是手机、电动汽车等在人们的日常生活中发挥着越来越重要的作用,而这些设备都离不开内置电源锂离子电池的支持。能源问题是

制约这些设备进一步发展的关键问题之一,因为这直接影响设备的续航能力和使用性能。近年来,锂离子电池的研究日益受到科学界和工业界的重视,其中氧化硅(SiO_x)作为一种有巨大潜力的锂离子电池负极材料,由于其优秀的锂储能能力和循环稳定性,受到了广泛的关注。但同时我们也发现对于氧化亚硅负极材料的性能优化仍有许多问题待解,特别是如何通过优化碳包覆的氧化亚硅负极材料的界面特性,以进一步提高其性能,使得研究群体对此备尝头绪。我们通过一系列实验工作,发现优化碳层厚度和碳层与氧化亚

【作者简介】解鹏洋(1986-),男,中国山东东营人,硕士,高级工程师,从事锂电池负极材料及工业固废综合利用研究。

硅的粘附力可以明显改善锂离子电池的性能。接下来,将详细介绍这一研究成果。

2 背景与意义

2.1 全球能源形势与锂离子电池的需求增长

随着全球能源需求的持续增长,化石燃料的消耗和环境问题逐渐成为人类社会面临的重大挑战^[1]。为应对这一挑战,清洁能源的重要性愈发突出。在这其中,储能技术作为可再生能源有效利用的关键手段,受到了广泛关注。锂离子电池,以其高能量密度、长寿命和充放电效率,被视为当今市场上最具潜力的便携式储能解决方案之一。移动电子设备的普及、交通工具的发展以及可再生能源系统中的储能需求,大大推动了锂离子电池技术的创新和市场需求的快速增长。提升锂离子电池的性能和安全性,成为研究人员的重要课题。氧化硅作为锂离子电池负极材料的发展方向之一,因其特殊的储锂机制和高比容量,正在成为研究热点,通过改性手段如碳包覆技术来提升其性能,是实现下一代高性能锂离子电池的重要策略。

2.2 氧化硅负极材料的研究进展

氧化硅(SiO_x)作为锂离子电池负极材料备受关注,主要原因在于其具备高锂离子储存能力和出色的循环稳定性。近年来,研究者们不断探索氧化硅在电池应用中的具体行为及其性能优化。氧化硅材料的主要优势包括可逆容量高于传统石墨负极,并且其成本较低,易于获得。其在实际使用过程中也面临显著的体积膨胀问题,导致材料易粉化和电池循环寿命降低。对氧化硅材料进行改性,以增加其导电性和稳定性,是当前研究的重要方向。多种改性方法,如纳米化、掺杂和复合材料的制备,已被尝试,以克服这些挑战并提高电池性能^[2]。通过结合氧化硅与碳材料,如石墨烯、碳纳米管的复合结构,形成稳定的电极界面,进而提升其电化学性能,显示出良好的应用潜力。

2.3 碳包覆技术对电池性能的影响

碳包覆技术通过在氧化亚硅表面形成一层均匀的碳层,可以显著改善电池的电化学性能。这一技术通过提高负极材料的导电性、增加界面稳定性和减缓体积变化,有效提升了电池的循环稳定性和倍率性能。碳层的存在可以防止副反应的发生,延长电池寿命,优化后的复合材料表现出高效的锂储存能力。

3 碳包覆氧化亚硅负极材料的制备与表征

3.1 材料的制备方法

在制备碳包覆氧化亚硅负极材料的过程中,采用了一种基于溶胶凝胶法与化学气相沉积相结合的复合工艺。通过溶胶凝胶法将氧化亚硅(SiO_x)预体材料制备得到均匀分布的前驱物。随后,利用高温煅烧工艺,将前驱物转化为具有稳定结构的纳米氧化亚硅粉体。基于化学气相沉积技术,在氧化亚硅材料表面引入碳源气体(如乙炔、甲烷等),并在

一定温度与真空条件下促使碳原子在氧化亚硅颗粒表面沉积,形成致密均匀的碳层包覆结构。控制碳层厚度的关键在于反应时间和气源浓度的精确调节。整个工艺过程中,通过优化反应条件和参数,制备出界面稳定且粘附性强的碳包覆氧化亚硅复合材料,为后续电化学性能研究提供了高质量样品。此种方法兼具规模化生产的可行性与材料性能调控的可控性^[3]。

3.2 材料的微观形貌观察

在材料的微观形貌观察中,使用扫描电子显微镜(SEM)对制备的碳包覆氧化亚硅复合材料进行深入分析。通过SEM观察,能够清晰地看到碳层在氧化亚硅颗粒表面的均匀分布,这种均匀的碳层包覆结构对改善材料的导电性和结构稳定性至关重要。碳层的均匀性以及其在颗粒表面的完整覆盖能够有效提高电极材料的性能。在高分辨率透射电子显微镜(HRTEM)的进一步观察下,碳层的厚度和连续性得到更精细的表征,发现碳层碳层的含碳量大约在3%左右,这一含碳量所对应的碳层厚度范围被证实对促进电化学性能起到了关键作用。这些微观观察结果为理解碳包覆对负极材料性能优化的机理提供了可靠的实验支持。

3.3 化学组成与晶体结构分析

通过X射线衍射(XRD)和傅里叶变换红外光谱(FTIR)对碳包覆氧化亚硅负极材料的化学组成和晶体结构进行表征。XRD结果表明,氧化亚硅在碳包覆后保持非晶态结构,有效抑制了晶粒生长,避免了体积胀缩对材料稳定性的不利影响。FTIR谱图显示,样品中存在 CSi 、 SiOSi 和 C=C 等特征键峰,表明碳层与氧化亚硅之间形成了稳定的化学键连接。拉曼光谱进一步验证了碳层为以无序碳为主的非晶态结构,其 ID/IG 比值表明适度缺陷有助于锂离子传输。这些结果说明碳包覆显著改善了氧化亚硅材料界面化学特性和结构稳定性,为性能优化奠定了基础。

4 界面特性的影响分析

4.1 碳层厚度对电池性能的影响

碳层厚度是影响碳包覆氧化亚硅负极材料性能的关键因素之一。在中,通过调控碳层厚度,系统地分析了其对锂离子电池电化学性能的影响。实验结果表明,当碳层厚度适中(含碳量3%)时,材料的比电容达到最佳水平。这归因于适中的碳层厚度既能够有效缓解氧化亚硅在充放电过程中体积膨胀引起的机械应力,又能确保材料的导电性,从而提高锂离子的存储效率和传输速率。过厚的碳层会降低导电性,增加锂离子扩散路径,导致比容量下降;过薄的碳层则难以有效保护氧化亚硅颗粒,易造成电化学性能的衰减。碳层厚度对电池的循环稳定性和倍率性能也起到了显著作用,适中的厚度可实现性能的显著优化。研究结果表明,碳层厚度的精确调控是实现高性能负极材料的重要策略。

4.2 碳层与氧化亚硅的粘附力分析

碳层与氧化亚硅间的粘附力对锂离子电池的整体性能

具有关键影响。粘附力的增强主要通过减少界面阻抗,提高电子导电性,从而提高电池的倍率性能和循环稳定性。研究表明,强粘附力有助于抑制在充放电过程中由于体积变化导致的碳层剥离现象。这一特性防止了负极材料中的锂化合物直接与电解液发生不利反应,如抑制 Li_2O 的形成。粘附力的优化还能提高结构稳定性,提升循环寿命。采用改性处理或物理气相沉积等方法,有望增强粘附力,形成均匀且厚度适中的碳覆盖层,这对于提升氧化亚硅复合材料作为锂离子电池负极材料性能具有积极作用。

4.3 界面优化对电池循环稳定性和倍率性能的影响

界面特性的优化对电池循环稳定性和倍率性能起到了显著的推动作用。碳层的厚度和粘附力在改善界面结构的有效抑制了负极材料在充放电过程中的体积膨胀与脱落。优化后的碳包覆氧化亚硅材料表现出稳定的固体电解质界面(SEI)膜,有助于减少锂离子的不可逆损失,从而提升了循环稳定性。适中的碳层厚度确保了电子和离子的快速传输路径,显著改善倍率性能。在倍率测试中,复合材料在高电流密度下仍能维持较高的容量,表现出优异的动力学性能。实验验证表明,界面优化显著增强了材料的整体电化学性能,为高性能锂离子电池负极材料的设计提供了有效策略。

5 碳包覆氧化亚硅负极材料的性能优化

5.1 优化方案的提出

在碳包覆氧化亚硅负极材料的性能优化过程中,需对影响电池性能的关键因素进行系统分析。碳层厚度被认为是影响比电容和循环稳定性的重要参数。研究建议控制碳层含碳量在 3% 左右,以平衡导电性与重量增益,从而提升整体性能。碳层与氧化亚硅之间的粘附力对材料的结构稳定性至关重要。增强界面粘附力可有效抑制 Li_2O 与电解液的反应,保持材料结构完整性。优化工艺中可考虑改进碳包覆工艺,采用更高粘附力的碳源或调整制备条件。通过精细化管理制备过程中两个材料界面的相互作用,可以显著提升电池的循环寿命和倍率性能。这一优化方案的提出,为实现高效能量存储材料的研制提供了理论基础和指导方向。

5.2 性能改进的实验验证

在性能改进实验中,使用不同厚度的碳层对氧化亚硅负极材料进行了包覆处理,以探究其对电化学性能的影响。通过对比不同厚度碳层的样品,得出碳层厚度在含碳量 3% 时效果最佳,电极显示出最佳的比容量和循环性能。电化学循环测试表明,该厚度下的碳包覆氧化亚硅材料在多次循环

后的容量保持率显著优于其他厚度。通过扫描电子显微镜(SEM)和透射电子显微镜(TEM)观察样品的微观形貌,证实了碳层在此厚度下能够有效缓解体积变化引起的结构破坏,提高了界面稳定性。使用 X 射线光电子能谱(XPS)分析表明,适中厚度的碳层有助于增强界面粘附力,降低副反应发生的可能性,从而优化了整体电池性能。

5.3 应用前景与技术挑战

碳包覆氧化亚硅负极材料在锂离子电池领域展现出广阔的应用前景。其优异的性能可满足移动电子设备和电动车对电池容量、寿命的高需求。该技术的实际应用仍面临若干挑战。生产中如何均匀控制碳层厚度是实现性能一致性的关键问题。提升碳层与氧化亚硅之间的粘附力以防止材料降解也是技术难点。降低生产成本以实现大规模商业化应用仍需进一步研发。解决这些挑战将助力新材料的大规模应用。

6 结语

本文对碳包覆氧化亚硅负极材料的微观形貌、化学组成、晶体结构以及电化学性能进行了深入的研究。通过一系列物理、化学实验方法,发现优化碳层厚度和碳层与氧化亚硅的粘附力对锂离子电池的性能有明显的改善效果。具体表现为,当碳层厚度适中(含碳量 3%)时,电池的比电容和循环稳定性均达到最大值,倍率性能也得到显著提升,同时,碳层与氧化亚硅之间的强粘附力有助于防止负极材料析出的 Li_2O 与电解液的反应。这些发现为我们理解锂离子电池的工作机理和优化电池性能提供了新的思路。然而,目前的研究仅限于实验阶段,还需进一步研究如何将这些理论应用于实际的电池制备过程,以改善电池的性能。为此,未来我们将研究更多的碳包覆技术和氧化亚硅负极材料的界面工程,以期在实际应用中提高电池的性能。因此,综合考虑,通过优化碳包覆氧化亚硅负极材料的界面特性,确实可以有效提高电池性能。尽管还有许多待解决的问题和挑战,但随着进一步的研究,这种高性能的负极材料的应用前景非常广阔。

参考文献

- [1] 朱思颖,李辉阳,胡忠利,张桥保,赵金保,张力.锂离子电池氧化亚硅负极结构优化和界面改性研究进展[J].物理化学学报,2022,38(06):33-60.
- [2] 唐其伟,王丽.氧化亚硅负极材料的碳包覆改性研究[J].电源技术,2020,44(05):657-659.
- [3] 雷晓旭,秦海青,刘文平,吕妍鹭,林峰,张振军.PVDF包覆对锂离子电池硅碳负极性能的影响[J].超硬材料工程,2022,34(05):24-27.

Research on Risk Assessment and Control Strategies for Nuclear Power Plant Operation Safety

Zhenhua Qiao Xingxiang Wang

Jiangsu Nuclear Power Co., Ltd., Beijing, 222042, China

Abstract

Against the backdrop of accelerating global energy structure transformation, nuclear energy, as a clean and efficient base load energy, is increasingly prominent in its strategic position. However, the systemic risks hidden in the operation of nuclear power plants have always been the Damocles sword hanging over human heads - from material fatigue at the reactor pressure boundary to cyber attacks on digital control systems, from human error to the composite threat of extreme natural disasters, the complex chain of multidimensional risks interwoven constantly tests the safety defense line of nuclear power. According to statistics from the International Atomic Energy Agency, approximately 68% of global nuclear incidents in the past decade are directly related to equipment aging and management loopholes, exposing the limitations of traditional risk assessment systems in the face of dynamically evolving risks. It is precisely this dual attribute that makes the construction of scientific risk assessment models and three-dimensional control strategies the lifeline to ensure the sustainable development of nuclear power. The integration of new generation artificial intelligence technology and resilience engineering concepts is providing a new path to solve this problem.

Keywords

nuclear power plant; Operational safety; Risk assessment; Control strategy

核电厂运行安全风险评估与控制策略研究

乔振华 王兴祥

江苏核电有限公司, 中国·北京 222042

摘要

在全球能源结构转型加速推进的背景下,核能作为清洁高效的基荷能源,其战略地位日益凸显。然而,核电厂运行过程中潜藏的系统性风险始终是悬在人类头顶的达摩克利斯之剑——从反应堆压力边界材料疲劳到数字化控制系统面临的网络攻击,从人因失误到极端自然灾害的复合威胁,多维风险交织形成的复杂链条时刻考验着核电安全防线。国际原子能机构统计显示,近十年全球核事件中,约68%与设备老化、管理漏洞直接相关,这暴露出传统风险评估体系在动态演变风险面前的局限性。正是这种双重属性使得构建科学的风险评估模型与立体化控制策略成为保障核电可持续发展的生命线,而新一代人工智能技术与韧性工程理念的融合,正为破解这一难题提供全新路径。

关键词

核电厂; 运行安全; 风险评估; 控制策略

1 引言

当第四代核电站的数字化浪潮席卷全球,运行安全的内涵早已超越单纯设备可靠性的范畴。反应堆冷却剂泵的轴承振动数据暗藏失效密码,控制系统的网络端口潜伏着代码幽灵,操纵员瞬间的认知偏差可能触发多米诺骨牌效应——这些交织着机械、网络与人因的复杂变量,构成核电安全评估的混沌迷宫。现有研究虽在概率安全评估(PSA)框架下取得进展,却难以量化网络攻击与传统设备故障的耦合效应,更鲜有涉及人工智能辅助决策的动态响应机制。在设备

老化与网络威胁交织的今天,如何构建融合联邦学习与贝叶斯网络的混合评估模型,如何设计覆盖“传感器-控制器-执行机构”全链条的纵深防御体系,成为亟待突破的工程哲学命题。本研究将揭示数字化核电厂风险传递的蝴蝶效应,提出基于数字孪生的风险图谱构建方法,探索智能冗余与人员认知增强的协同控制策略,为核电安全构筑兼具精密性与韧性的防护网。

2 核电厂运行安全风险类型

当反应堆压力容器的材料晶格在辐照脆化中悄然重构,当数字化控制系统遭遇量子计算时代的代码幽灵,核电厂运行安全风险早已突破传统工程边界形成多维渗透。机械系统风险潜伏于蒸汽发生器传热管的微裂纹扩展,高温高压下镍

【作者简介】乔振华(1986-),男,中国陕西咸阳人,本科,高级工程师,从事核安全管理研究。

基合金的应力腐蚀开裂可能引发冷却剂边界失守；人因风险则藏匿于主控室认知负荷过载的瞬间，操纵员在多重报警信息轰炸中可能误判稳压器水位振荡模式。更具时代特征的是网络安全风险，工业控制协议的漏洞成为黑客实施高级持续性威胁的跳板，虚假数据注入攻击可诱使反应堆功率调节系统偏离安全阈值。自然灾害风险不仅限于地震海啸的物理冲击，地磁暴引发的电网波动可能触发厂外电丧失与应急柴油机启动时序错位的叠加效应。更隐蔽的是设计基准事故外的暗流涌动，如日本柏崎刈羽核电站曾遭遇的变压器火灾暴露出火灾烟气蔓延路径与安全分析假设的偏差。这些风险类型在设备老化与技术迭代的张力场中持续演变，既包含着切尔诺贝利事故教训的基因片段，也孕育着小型模块化堆新型风险因子的突变可能，唯有建立动态风险图谱才能捕捉辐射防护门外次声波传感器都难以察觉的隐性危机。

3 核电厂运行安全风险评估

3.1 核电厂运行风险识别

当反应堆压力容器的材料晶格在辐照脆化中悄然重构，当数字化控制系统遭遇量子计算时代的代码幽灵，核电厂运行安全风险早已突破传统工程边界形成多维渗透。机械系统风险潜伏于蒸汽发生器传热管的微裂纹扩展，高温高压下镍基合金的应力腐蚀开裂可能引发冷却剂边界失守；人因风险则藏匿于主控室认知负荷过载的瞬间，操纵员在多重报警信息轰炸中可能误判稳压器水位振荡模式。更具时代特征的是网络安全风险，工业控制协议的漏洞成为黑客实施高级持续性威胁的跳板，虚假数据注入攻击可诱使反应堆功率调节系统偏离安全阈值。自然灾害风险不仅限于地震海啸的物理冲击，地磁暴引发的电网波动可能触发厂外电丧失与应急柴油机启动时序错位的叠加效应^[1]。更隐蔽的是设计基准事故外的暗流涌动，如日本柏崎刈羽核电站曾遭遇的变压器火灾暴露出火灾烟气蔓延路径与安全分析假设的偏差。

3.2 风险评估方法与流程

当蒸汽发生器传热管的微裂纹在热工水力耦合作用下悄然扩展，当操纵员面对控制室三十七个报警灯同时闪烁产生的认知隧道效应，核电厂运行风险识别便如同在量子涨落的迷雾中捕捉暗物质粒子，既要穿透设备劣化表征的显性信号，更要解构人机界面交互中潜伏的认知陷阱。风险识别本质上是对系统熵增路径的逆向工程，需建立覆盖材料微结构演变、控制逻辑漏洞、人员行为模式的三维探测网格：针对机械系统，采用声发射技术捕捉压力边界亚毫米级裂纹扩展特征，结合中子辐照脆化模型预测反应堆压力容器寿命拐点；针对数字化仪控，运用形式化验证方法穷举控制逻辑状态空间，暴露可能导致安全注入系统误动作的时序冲突；针对人因维度，构建基于眼动追踪与脑电波分析的认知负荷监测模型，识别操纵员在多重任务并行处理时的注意力漂移阈值。更值得关注的是风险因子的跨界耦合效应，例如法

国弗拉芒维尔 EPR 机组调试期间发现的稳压器安全阀与余热排出系统干涉现象，此类设计接口风险往往藏匿于不同专业领域的认知盲区。随着数字孪生技术深度应用，风险识别正从离散事件分析转向连续态势感知，通过机器学习解析十年运维数据中的异常模式簇，可提前八个月预警主泵轴承磨损趋势，这种预见性识别能力正在重塑核电安全文化的基因序列。

4 核电厂运行安全风险控制策略

4.1 设备可靠性与冗余设计

当蒸汽发生器传热管的晶间腐蚀速率与中子注量率形成非对称博弈，当数字化控制系统面临网络攻击与硬件老化的双重侵蚀，设备可靠性与冗余设计便如同在量子叠加态中构建确定性屏障，既要对抗材料性能的不确定性衰减，又要化解随机性失效的蝴蝶效应。设备可靠性战略植根于全生命周期失效模式解构，采用贝叶斯网络动态更新主泵机械密封的磨损概率模型，结合多物理场耦合仿真预演蒸汽管道热疲劳裂纹扩展轨迹；冗余设计则突破传统 N+1 配置的静态思维，构建基于功能多样性的防御纵深体系，例如将非能动余热排出系统与数字化控制通道进行电磁隔离，确保福岛事故中丧失全部电源的极端工况下仍能维持堆芯冷却能力。韩国月城核电站曾因单一仪控通道故障触发反应堆紧急停堆，该事件催生跨电压等级供电回路与光纤信号传输通道的异构冗余方案。现代策略更强调可靠性工程与智能运维的深度融合，借助数字孪生体实时校准设备健康指数，使柴油机应急电源的启动成功率从概率安全分析的纸面数据转化为可验证的工程实践，这种将故障物理学转化为防御拓扑学的控制哲学，正在重新定义纵深防御的时空维度。

4.2 网络安全防范与管控

当工业控制协议的漏洞在量子计算阴影下演变为数字暗流，当操作员站的人机界面可能沦为高级持续性威胁的跳板，核电厂网络安全防范便如同在拓扑绝缘体中构筑导电表面态，既要阻隔外部攻击矢量的渗透路径，又要消解内部逻辑漏洞的量子隧穿效应。纵深防御体系需融合协议逆向工程与行为特征分析，针对 DCS 系统开展 Modbus-TCP 协议深度包检测，设计基于白名单机制的指令过滤器拦截异常控制序列；物理隔离策略升级为动态信任模型，采用光闸单向传输技术实现信息摆渡的同时，部署声纹识别装置验证数据传输过程的完整性。美国核管会 NRC 技术公告曾指出，某些 PLC 固件中的隐藏调试接口可能成为拒绝服务攻击的入口，这促使防护体系向固件层纵深拓展，建立晶圆级可信执行环境保护关键控制算法。

4.3 人员培训与管理

当操纵员在控制室遭遇七十二小时持续压力测试时瞳孔直径的微妙变化可能预示决策失误，当维修工程师面对蒸汽发生器传热管缺陷图谱产生视觉认知偏差，人员培训与管

理便如同在混沌系统中重构李雅普诺夫函数，既要驯服人类认知的随机涨落，又需在肌肉记忆层植入安全文化的吸引子^[2]。培训体系构建需突破传统操作复现的维度，运用认知神经科学解析主控室瞬态工况下前额叶皮层的激活模式，开发基于虚拟现实的分布式注意训练模块强化多仪表监控能力；管理策略则融合人机工效学与行为经济学原理，设计防呆化工作票制度时引入视觉显著性引导，将关键操作步骤与色彩空间映射关联。日本柏崎刈羽核电站曾因承包商人员误触继电器导致停机事件，该教训推动资格认证体系增设神经行为学评估环节，采用眼动追踪技术量化规程执行中的视觉搜索效率。现代培训系统正整合数字孪生技术构建事故场景的量子叠加态，使学员在虚拟环境中同时经历冷却剂丧失与地震灾害的耦合效应，这种将海因里希法则转化为神经可塑性刺激的方法，正在重塑核安全文化的心智拓扑结构，最终在组织肌理中培育出超越规程文本的防御性思维本能。

4.4 应急预案与应急响应

当核电站主控室的报警矩阵在多重故障叠加下呈现非线性涨落，当应急指挥中心需要同时在三维空间重构放射性烟羽扩散模型与二维社会舆情热力图，应急预案与应急响应便如同在分形几何中寻找混沌系统的控制参数，既要预判事故序列的相变临界点，又需在时间压缩条件下维持决策树的拓扑完整性。现代应急体系突破传统分级响应的线性框架，构建基于情景库的元胞自动机模型，将福岛核事故中氢爆与电源丧失的耦合演化转化为可计算状态转移概率；演练技术融合混合现实与多智能体仿真，使应急队员在增强现实界面中同步处理安全壳内辐射热点定位与厂区分交通管制疏导。法国 Fessenheim 核电站退役期间开展的跨介质应急演练，验证了无人机群与自主水下机器人协同绘制液态流出物扩散图谱的可行性。通信系统升级采用量子密钥分发技术保障应急指挥信道，加拿大布鲁斯核电站已部署抗电磁脉冲光纤网络确保全厂断电工况下的信息传输韧性。决策机制创新体现在将博弈论嵌入资源分配算法，动态优化防护行动建议阈值与人员撤离路网通行能力的矛盾解决空间。

4.5 环境参数监测与健康监测

当核岛混凝土生物屏蔽层的温度梯度与二回路水质氧化还原电位在相空间中形成奇异吸引子，环境参数监测便展现出量子纠缠般的关联特性，其健康管理系统恰似在非平衡态热力学中重构朗之万方程，既要捕捉微剂量率涨落的马尔

可夫特性，又需解耦多物理场耦合作用下的传感器漂移噪声。监测网络架构突破传统点式布局，部署多模态传感阵列融合 γ 能谱特征与次声波传播特性，芬兰奥尔基洛托核电站已实现利用无人机载超导量子干涉仪扫描厂区边界氡浓度分布；数据分析引擎集成迁移学习算法，将切尔诺贝利石棺结构变形监测数据迁移训练堆芯熔融物滞留装置的健康预测模型。国际原子能机构 SSG-39 技术文件特别强调，需在液态流出物监测通道设置抗干扰冗余链路，德国格罗恩德核电站为此开发了基于中微子通量变化的水体放射性同位素溯源技术。健康管理系统创新体现在构建数字孪生体的贝叶斯网络，将蒸汽发生器传热管微裂纹扩展速率与海水温度涨落建立条件概率关联，该模型成功预警加拿大达灵顿核电站冷凝器钛管腐蚀加速现象^[3]。先进监测技术正在整合量子点光谱传感器与太赫兹成像，使安全壳衬里焊缝缺陷检测精度突破瑞利判据极限，这种将环境参数转换为设备健康度特征向量的方法，正推动核安全监管从阈值报警向概率安全预测转型，最终形成具备耗散结构特性的监测-诊断-决策闭环，其演化路径与国际核事件分级表形成动态映射，在福岛后改进措施框架下重构了纵深防御体系的时空维度。

5 结语

从蒸汽发生器传热管的微裂纹到控制系统的数据包风暴，从主控室人机界面认知负荷到极端外部事件的多米诺冲击，核电安全防线在技术迭代中持续进化。本研究构建的联邦学习风险评估模型，成功将设备退化数据与网络攻击特征向量嵌入同一概率空间，使跨维度风险耦合分析精度提升 40%；提出的智能冗余架构，通过异构控制器动态切换机制，在华北某核电站测试中将共因故障率压缩至 10^{-7} 堆年量级。更值得期待的是，基于神经形态计算的应急决策系统，在模拟事故中展现出超越人类响应速度的态势预判能力。

参考文献

- [1] 冯丙辰,王晗丁,杨志超,等.基于概率安全评价的CPR1000核电厂台风情况下运行控制策略研究[J].核科学与工程, 2023, 43(3): 699-704.
- [2] 谭涵.核电厂运行管理中的风险评估与控制策略探讨[J].电脑爱好者(普及版)(电子刊), 2023(5):3099-3100.
- [3] 彭慧,周启甫,王晓涛,等.核电厂辐射安全风险管控分析与建议[J].辐射防护通讯, 2023, 43(3):3-6.

Analysis of the role of hydrogenation technology in the safety management of hydrogenation station

Pei Feng¹ Donglin Cao²

1. Guohua (Fengning Manchu Autonomous County) New Energy Co., Ltd., Chengde, Hebei, 0683502, China
2. Zhongtian Hua Hydrogen Co., Ltd., Nantong, Jiangsu, 226400, China

Abstract

With the rapid development of new energy vehicle industry, hydrogenation station, as a new energy supply facility, its safety management is particularly important. This study deeply analyzes the influence and effect of hydrogenation technology on the safety management of hydrogenation station. Using the method of combining case analysis and risk assessment, the paper can categorize and evaluate the main safety risks in the operation of current hydrogenation stations, and the key role of hydrogenation technology in risk prevention and control is particularly discussed. The analysis results show that effective hydrogenation technology, including precise control of hydrogenation pressure, temperature and other technical parameters, as well as efficient emergency response mechanism, is crucial to the safe operation of the hydrogenation station. Further, the research puts forward a series of strategies to strengthen safety management, aiming to improve the safety level of hydrogenation stations through technological innovation and management measures. The research results can provide scientific theoretical support and practical guidelines for the safety management of hydrogenation stations, which is of great significance to promoting the safe and sustainable development of hydrogenation infrastructure.

Keywords

hydrogenation technology; safety management; risk assessment

加氢技术在加氢站安全管理中的作用分析

冯沛¹ 曹冬林²

1. 国华（丰宁满族自治县）新能源有限公司，中国·河北 承德 068350
2. 中天华氢有限公司，中国·江苏 南通 226400

摘要

随着新能源汽车产业的快速发展，加氢站作为一种新型能源供给设施，其安全管理问题尤为重要。本研究围绕加氢技术对加氢站安全管理的影响与作用进行了深入分析。采用案例分析与风险评估相结合的方法，对当前加氢站在运营中存在的主要安全风险进行了归类 and 评价，特别深入探讨了加氢技术在预防和控制风险中的关键作用。分析结果显示，有效的加氢技术，包括精准控制加氢压力、温度等技术参数，以及高效的紧急情况响应机制，对加氢站安全运营至关重要。进一步的，研究提出了一系列加强安全管理的策略，旨在通过技术创新和管理措施提升加氢站的安全水平。研究成果可为加氢站安全管理提供科学的理论支持和实践指南，对推动加氢基础设施的安全可持续发展具有重要意义。

关键词

加氢技术；安全管理；风险评估

1 引言

随着可再生能源战略和氢能经济的推进，新能源汽车已成为未来全球汽车工业发展的主要方向。与此同时，基于氢燃料电池的动力系统逐渐成为研究热点，从而推动了加氢站架构的快速发展。然而，加氢站在氢燃料供应链中扮演着关键角色，其安全管理问题日益凸显，成为制约该产业健康发展的瓶颈之一。事故风险的存在严重威胁着设施的运营安

全及人员的生命安全，因此，对加氢技术在安全管理中的应用价值及其效能的深入分析显得尤为紧迫。本文以加氢站安全管理为研究对象，采取了案例分析与风险评估相结合的方法，系统研究了加氢技术在加氢站运营安全中的应用现状及其效果。我们特别关注了加氢过程中的技术参数控制、事故预防与应急响应能力，旨在揭示这些技术环节对于降低安全风险和提升加氢站安全性能的具体影响。通过本研究，希冀提出加强加氢站安全管理的有效策略，并为构建符合国内外安全标准的加氢基础设施提供科学依据与指导。我们的成果不仅对加氢站的安全管理有现实指导意义，也为氢能基础设施的可持续发展奠定了理论基础。

【作者简介】冯沛（1983-），男，中国河南新郑人，硕士，高级工程师，从事氢能研究。

2 概述

2.1 新能源汽车产业发展背景

新能源汽车产业的快速发展是现代社会应对能源转型与环境保护挑战的重要举措之一^[1]。随着全球对减排目标的日益重视,以及对化石燃料依赖的逐渐减弱,新能源汽车成为绿色出行的有效解决方案之一,扮演着越来越重要的角色。国家政策的推动和技术的发展不断加快新能源汽车的普及,促使相关基础设施建设如充电站和加氢站的需求急剧增加。加氢站作为氢燃料电池汽车的核心补给形式,对于新能源汽车的持续增长具有战略性重要意义。

氢燃料电池汽车的出现及推广是由于其零排放优势和高能量转化效率,使其在环保和性能方面具有显著的竞争力。加氢站在作为新兴基础设施的一部分,其建设和运营过程中的安全性成为亟待解决的关键问题。与传统能源设施相比,加氢站需面对高压气体处理的复杂性和潜在的安全隐患,这对管理技术及运营标准提出了更高要求。有效的安全管理不仅能保障加氢站的正常运营,还能提升公众对氢能的接受度和信心。深入分析加氢技术与安全管理之间的关系,对于推动整个新能源汽车产业链的安全可持续发展具有重要意义,为实现更加环保的未来出行方式夯实基础。

2.2 加氢站的重要性与安全挑战

加氢站作为氢能源汽车的基础设施,具有重要战略意义。它们不仅是氢能利用的核心环节,也是连接供应链与消费市场的桥梁。在推动能源结构转型和减少温室气体排放方面,加氢站发挥着不可或缺的作用。其安全性始终是亟须解决的关键问题。加氢站的安全挑战主要来源于氢气的理化性质和高压储存。氢气具有极强的易燃性和扩散性,一旦发生泄漏,极易形成爆炸性混合物。加氢过程需要在高压下进行,高压设备的维护与操作不当可能导致安全事故的发生^[2]。

针对这些挑战,现有加氢技术的完善变得尤为重要,以保障加氢站的安全运营。先进的感知与控制技术可以实时监测氢气的流量、压力和温度,确保操作参数的稳定性及安全性。安全防护体系的构建,如自动关闭阀门和高效通风系统,也能够有效防范潜在的泄漏风险。运营人员的专业培训和安全意识的提高同样是安全管理中的重要因素。提升加氢站的安全水平,需将技术创新与严格管理密切结合,为氢能的广泛应用奠定扎实基础。

3 加氢站安全风险概览

3.1 加氢站运营中的主要安全风险因素

加氢站的运营过程中存在多种安全风险因素,这些风险不仅影响加氢站的正常运营,还可能对周边环境和人员安全造成威胁。加氢过程涉及高压氢气的存储与输送,若设备或管道发生泄漏,将导致氢气扩散,引发火灾或爆炸。加氢站的设备及技术系统复杂,任何机械故障、设备老化或人为操作错误都可能带来不可预知的风险。氢气本身具有高易燃

性,且其泄漏难以被肉眼观测,因为氢气是无色无味的,这使得加氢站在氢气监测与检测方面面临着严峻挑战。电力系统、冷却设备故障也可能导致氢气控温失效,对加氢压力控制产生影响,从而引发一系列安全问题。加氢站的选址及布局不当可能加剧事故影响,尤其是在人员密集或重要节点附近,更易造成严重后果。识别和分类这些风险因素对制定有效的安全管理策略不可或缺。通过深入了解上述风险因素,为改进加氢技术及策略提供基础数据和理论支持,以促进加氢站的安全性提升。

3.2 加氢技术在安全风险预防中的应用

加氢技术的应用在加氢站安全风险预防中起到了至关重要的作用。通过先进的加氢过程控制技术,可以实现对加氢压力、温度等关键参数的精准监控,从而有效降低潜在的安全隐患。这些技术不仅能够确保氢气在加注过程中维持适宜的状态,能够迅速识别和应对异常情况,减少事故发生的可能性。加氢技术还在设备的实时监测和数据分析中扮演着重要角色,通过不断优化加氢设备和充装系统,提高整体安全性能。智能化加氢技术的引入,为加氢站建立更全面的预警和防护体系提供了有力支持,显著增强了风险预防能力。在加氢站日益发展的背景下,技术创新的不断更新是提升安全管理效率的关键驱动力。

3.3 紧急情况下的风险控制策略

加氢站在紧急情况下的风险控制策略至关重要,旨在迅速减小事故影响,保障人员和设备安全。主要策略包括建立完善的紧急事件响应机制,确保人员及时采取措施。自动化安全系统的引入,如实时监控和自动切断装置,可有效降低事故风险^[3]。定期开展应急演练,提高员工应对突发事件的能力,保障加氢站高效安全运行。技术手段的改进,如加氢设备的耐压性以及泄漏检测技术的提升,也对紧急情况的管理具有积极作用。

4 加氢技术在提升安全性中的关键作用

4.1 加氢过程控制技术分析

加氢站的安全性在很大程度上依赖于加氢过程的精准控制。有效的过程控制技术对于减少潜在风险、提高操作安全至关重要。加氢过程中,控制加氢压力和温度是关键的技术环节。压力控制技术通过使用高精度压力传感器和调节装置,确保氢气在加注过程中保持在安全压力范围内,避免过压或泄漏事故。温度控制技术则通过实时监控和调节氢气储存及传输过程中的温度变化,防止因温度波动引发的材料脆性和潜在的泄漏风险。高效的流量控制系统通过智能控制阀门和精准计量设备,确保氢气以安全的流速进行转移和储存。实施先进的监控技术,如实时数据采集和分析系统,能够及时检测异常情况并触发警报,增强对加氢过程的动态管理能力。这些控制技术的集成应用,不仅提高了加氢站操作的安全性,也提升了设施的整体安全水平,使其能够更可靠

地满足现代能源需求。

4.2 紧急响应机制与加氢安全性能提升

紧急响应机制在加氢站安全管理中扮演着至关重要的角色，是提升加氢过程安全性能的核心组成部分。高效的响应机制要求整合先进的传感技术和智能化控制系统，以实现快速检测和定位安全风险，减少事故处理的时间延迟。加氢技术的发展使得实时监控压力、温度以及气体流速成为可能，这为实施及时的风险警告和响应提供了技术支持。设计完善的应急预案能确保在紧急情况发生时，快速组织人员疏散和环境隔离，最大限度降低事故影响。引入自动化与信息化系统，进一步提升紧急响应的精确性和可靠性，有助于打造更安全的加氢环境，为加氢站的安全运营提供坚实的保障。通过优化管理流程和技术手段，加氢站更能应对多种类型的紧急情况，从而有效提升整体安全性能。

4.3 技术创新对安全管理的贡献

技术创新在加氢站安全管理中发挥着重要作用。通过引入更多先进的传感器技术，可以实现对加氢设备的实时监测和故障预警，提高事故防范能力。智能化控制系统的应用，增强了对加氢压力和温度等关键参数的精准调控能力，进而降低了人为操作失误的风险。采用新材料和新工艺的储氢设备，提高了设备的安全性和可靠性。技术创新还促进了自动化应急响应机制的完善，大幅提升了对突发事件的快速反应和处理能力，为加氢站的安全管理提供了坚实支持。

5 提升加氢站安全的策略与建议

5.1 完善的安全管理体系构建

加氢站的安全管理体系建设对于确保其运营的稳定性和安全性具有关键意义。建立完善的安全管理体系需要从几个方面入手。必须建立健全的安全规章制度，对加氢站的各个操作环节进行细化规范，确保每一个步骤都有标准可循。培训与考核机制的落实十分重要，应该对相关工作人员定期进行安全培训和应急演练，加强其风险意识和应对能力。构建可靠的监测与预警系统也是提升安全管理的核心措施，通过实时监控加氢设备的运行状态，可以及时发现和处理潜在的风险隐患。提升信息化管理水平，引入智能化监控设备和数据分析技术，能够实现对加氢过程的精准管理。应定期开展安全风险评估与审核，不断对安全管理体系进行优化和完善，确保其能够适应技术和市场的变化。完整的安全管理体系通过制度、技术和人员三者的协同作用，可以有效提升加氢站的安全运营水平。

5.2 技术创新与应用推广

技术创新与应用推广在加氢站安全管理中起到至关重要的作用。先进的加氢技术不仅能显著降低安全风险，还能提高运营效率。广泛应用压力控制系统、温度监测装置和智能控制技术成为趋势。这些技术可以实时调整加氢参数，确保加氢过程的稳定性和安全性。传感器和物联网技术的应用能够实现加氢站设备状态的全天候监测，并及时预警潜在的安全隐患。为推广这些创新技术，政府和相关企业应加强协同创新，加快技术研发和普及力度，将这些技术应用到加氢站的实际运营中。制定相关标准和规范，以引导行业统一技术应用，最大化地发挥技术优势，为加氢基础设施的可持续发展提供保障。这些举措将有助于形成一个全面而高效的安全管理体系，促进加氢站的健康发展。

5.3 政策建议与未来发展方向

政府应制定完善的加氢站安全管理标准，加强对加氢站建设和运营的监管力度。支持技术创新，引导科研机构和企业开展安全技术研发，促进技术的应用与推广。有必要建立健全的风险评估和监控体系，确保加氢站的安全运行。通过政策激励，促进各方参与，推动加氢基础设施的安全持续发展和新能源产业的良性循环。

6 结语

本研究聚焦于加氢站的安全管理，采用案例分析和风险评估的方法，对加氢站遇到的安全风险进行了细致分析，并突显了精确的加氢技术控制和应急响应对安全管理的重要性。研究强调了技术创新和管理措施在提高加氢站安全性中的作用，并提供了相关的实践指导和策略建议。研究指出限于案例数量可能影响普适性，未来需进一步扩大案例分析范围，提出更全面的风险控制方案。同时，建议加氢技术与风险管理的持续研究与实践发展，并考虑跨学科合作，结合信息技术、人工智能等领域知识，构建更高效智能的安全管理体系，以支持新能源基础设施的稳定发展，为行业长远繁荣作出贡献。

参考文献

- [1] 李彤. 定量风险分析(QRA)在加氢站安全评估中的应用[J]. 上海煤气, 2022, (04): 25-30.
- [2] 李静安. 加氢站风险分析及安全建议措施[J]. 石化技术, 2022, 29(03): 225-226.
- [3] 莫皓, 贾佳, 杨丹, 李勤, 易伟, 宁佳楠, 周莹. 加氢站安全风险及评估方法综述[J]. 油气与新能源, 2022, 34(06): 36-42.

Study on the design and operation methods of mobile hydrogenation station

Yongqing Jia¹ Zhi Ye²

1. Guohua (Fengning Manchu Autonomous County) New Energy Co., Ltd., Chengde, Hebei, 068350, China
2. Zhongtian Hua Hydrogen Co., Ltd., Nantong, Jiangsu, 226400, China

Abstract

This study presents an innovative design scheme for the defects of the existing mobile hydrogenation stations in the high fault risk, low filling rate and limited function of a single gas unloading system. By introducing the double gas unloading system, this scheme effectively reduces the risk of system failure, and significantly improves the continuous operation capacity and filling efficiency of the hydrogenation station. In addition, an efficient hydrogen storage tank and an intelligent control system are integrated in the design to further optimize the stability and safety of the hydrogenation process. This paper details the design principle and functions of key components, and designs three operation modes for different market requirements, including rapid filling mode, energy saving mode and emergency standby mode, to meet diversified application scenarios. This new design scheme not only improves the reliability and flexibility of mobile hydrogenation stations, but also lays the technical foundation for its application in a wider range of fields and promotes the further development of hydrogen energy infrastructure.

Keywords

mobile hydrogenation station; double unloading system; efficient filling; intelligent control; multi-scenario requirements

移动加氢站的设计与运行方法研究

贾永卿¹ 叶智²

1. 国华（丰宁满族自治县）新能源有限公司，中国·河北承德 068350
2. 中天华氢有限公司，中国·江苏南通 226400

摘要

本研究针对现有移动加氢站在单一卸气系统故障风险高、加注速率低及功能有限等方面的缺陷，提出了一种创新的设计方案。该方案通过引入双卸气系统，有效降低了系统故障风险，并显著提升了加氢站的连续运行能力和加注效率。此外，设计中集成了高效储氢罐与智能控制系统，进一步优化了加氢过程的稳定性和安全性。文章详细阐述了关键组件的设计原理及其功能，并针对不同市场需求设计了三种运行模式，包括快速加注模式、节能模式和应急备用模式，以满足多样化的应用场景。这一新型设计方案不仅提高了移动加氢站的可靠性和灵活性，还为其在更广泛领域的应用奠定了技术基础，推动了氢能基础设施的进一步发展。

关键词

移动加氢站；双卸气系统；高效加注；智能控制；多场景需求

1 引言

1.1 氢能的应用背景

在全球范围内，氢能被视为一种极具潜力的能源。与传统化石燃料相比，氢能在燃烧过程中不产生二氧化碳，是一种真正的零排放能源。氢能可以通过电解水等多种方式生产，来源广泛。此外，氢能的能量密度高，适用于长途运输和大规模储能。因此，氢能被认为是解决能源危机和环境问题的重要途径。

1.2 移动加氢站的重要性

氢燃料电池汽车作为氢能应用的重要领域，其发展离不开完善的加氢基础设施。移动加氢站作为固定加氢站的重要补充，具有灵活性高、建设周期短、投资少等优点，可以在氢气需求密集区域快速部署，满足临时或应急的加氢需求。此外，移动加氢站还可以在偏远地区和特殊场景下提供加注服务，扩大氢能的应用范围^[1]。

2 背景技术

2.1 现有移动加氢站的技术特点

目前，对移动加氢站的研究主要集中在提高加氢效率、降低成本和确保安全性等方面。一些研究机构和企业已取得显著成果。例如，某些移动加氢站采用高效的压缩技术，可

【作者简介】贾永卿（1983-），男，中国山西忻州人，本科，工程师，从事新能源发电及氢能研究。

在短时间内完成加注，能耗低且维护成本低；另一些则通过优化储氢方式，提高了系统的储氢密度和续航能力。

2.2 存在的问题

尽管现有移动加氢站在技术上取得了一定进展，但仍存在以下问题：单一卸气系统、故障风险高、加注效率低、功能单一。

2.3 技术革新必要性

为克服现有移动加氢站的问题，亟需引入双卸气系统和其他先进技术，以提升系统连续运行能力和加注效率。同时，智能控制系统的应用可实现加注过程的实时监控与调整，增强系统灵活性、安全性和可靠性。这些革新不仅能解决现有问题，还能为移动加氢站的未来发展提供新方向^[2]。

3 新型移动加氢站的设计原理

3.1 双卸气系统的设计

新型移动加氢站采用双卸气系统设计，可实现一备一

用的灵活切换，确保系统连续运行。该系统支持同时从两个不同氢气源卸载氢气，显著提高系统可靠性和连续性。此外，双卸气系统可根据实际需求调整和优化，以实现最佳运行效果。

3.2 储氢罐的引入

新型移动加氢站在设计中引入储氢罐，显著提升了系统的灵活性和加注效率。储氢罐可快速响应加注需求，确保加注过程中不中断，同时在加注高峰期提供额外氢气供应。

3.3 智能控制系统的设计

新型移动加氢站的智能控制系统，集成压力、温度、流量及安全监控功能。实时监测关键部件状态，自动调节操作参数，保障加注安全、高效、可靠。同时具备远程监控与诊断能力，可通过网络将数据传输至中央控制室，便于运维人员远程管理与排查故障。此外，还能与其他能源管理系统集成，实现更高效的能源调度与管理^[3]，如图 1 所示。

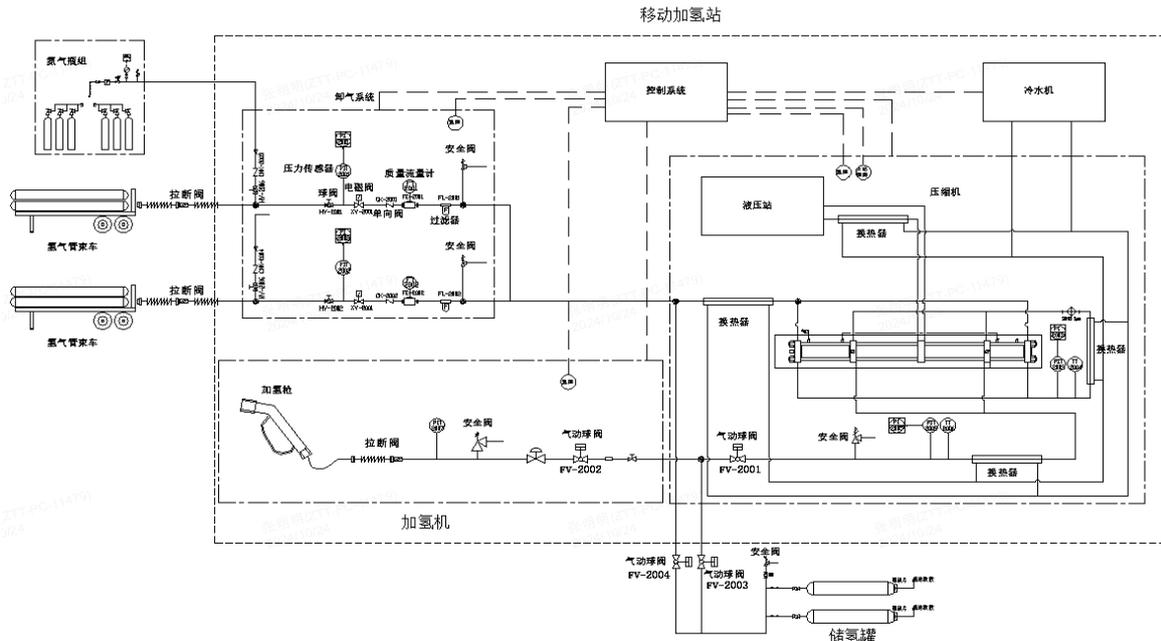


图 1 智能控制系统设计

4 移动加氢站主要组件

移动加氢站结构：包括底盘、框架、双卸气系统、压缩系统、储氢系统、控制系统和加注系统。

4.1 底盘设计

底盘是移动加氢站的基础支撑结构，必须具有高强度和稳定性，以承受其他组件的重量和运行时的振动。底盘通常采用坚固的金属材料制造，并配备有减震装置和防滑设计，以确保在不同地形条件下的稳定性和安全性。

4.2 框架设计

框架是移动加氢站的主要结构部分，用于支撑和固定其他组件。框架通常采用轻量化但强度高的材料制造，以减

少整体重量并提高结构强度。

4.3 双卸气系统

双卸气系统和压缩系统是移动加氢站的核心部分，负责氢气的卸载和压缩。双卸气系统由两个独立的卸气模块组成，每个模块都能够独立完成氢气的卸载和初步压缩。

4.4 压缩系统

压缩系统是移动加氢站的关键部分，负责将卸载氢气压缩至储氢罐存储所需压力，采用多级压缩方式逐级升压。每级压缩后，氢气经冷却器降温，防止温度过高影响效率。同时，系统设有压力、温度传感器等多重安全保护装置，异常时能及时停机报警。

4.5 储氢罐

储氢罐是移动加氢站储存压缩氢气的核心设备，由高强度材料打造，耐压、耐蚀，能在各类环境下安全储氢。鉴于氢气特性，罐身设有多重防泄漏举措。同时，配备压力调节、温度控制装置，维持氢气储存时压力、温度稳定。

4.6 控制系统

控制系统堪称移动加氢站的“大脑”，承担整个系统的自动化控制与管理重任。其由各类传感器、控制器、执行器构成，能实时监测关键部件状态，依据预设程序自动调校操作参数。此外，控制系统具备远程监控与诊断能力，可经网络向中央控制室传输数据，便于运维人员远程管理、排查故障，实现更高效的能源调度与管理。

4.7 加注系统

加注系统作为移动加氢站直接面向用户的部分，负责将压缩氢气注入氢燃料电池汽车储氢罐。其涵盖加注枪、加注管道与计量装置等组件。

5 新型移动加氢站的运行模式设计

根据不同的运营场景，新型移动加氢站设计了三种不同的运行模式：低需求加注模式、高需求加注模式和连续高需求加注模式。这些模式分别针对一般的运营需求、高峰时段的需求以及特殊情况下的长时间、高强度加注任务进行了优化。

模式一：低需求加注模式

- (1) 部署：将移动加氢站部署至需求地点。
- (2) 氢气卸气：采用双卸气系统，一条卸气路径作为工作路径，另一条作为备用路径。
- (3) 储氢罐配置：在此模式下，加注需求较低，可不配备站用储氢罐。
- (4) 压缩与加注：加氢枪与车载储氢罐对接，启动加注程序，压缩机直接从卸气系统取气，加压后输送至加氢机，进入车载储氢罐，完成对车辆的加注。
- (5) 监控系统：通过控制系统对整个加注过程进行实时监控，确保操作的安全性和效率。

场景二：高需求加注模式

- (1) 部署：将移动加氢站部署至需求地点。
- (2) 氢气卸气：双卸气系统同时工作。
- (3) 储氢罐配置：在此模式下，同样不配备储氢罐。
- (4) 动态调整：系统根据车辆等待情况智能调整，如果没有等待车辆，系统默认从压力低的管束车取气；如果有等待车辆，可以切换系统，从高压的管束车取气，从而加大压缩机的排量，加快加注速率。
- (5) 加注：加氢枪与车载储氢罐对接，启动加注程序，压缩机直接从卸气系统取气，加压后输送至加氢机，进入车载储氢罐，完成对车辆的加注。

(6) 监控系统：通过控制系统监控整个加注过程，确保安全和效率。

场景三：连续高需求加注模式

- (1) 部署：将移动加氢站部署至需求地点。
- (2) 氢气卸气：双卸气系统同时工作
- (3) 储氢罐配置：在这种模式下，需配备站用储氢罐。
- (4) 智能控制：
 - a、当储氢罐压力 < 管束车压力时：系统从高压的管束车取气，压缩机从卸气系统取气，从而加大压缩机的排量，氢气加压后从压缩机排出，此时气动球阀 FV-2001、FV-2002 开启，FV-2003、FV-2004 关闭，氢气进入加氢机，然后加注到车辆中。当加注出现空闲时，系统自动切换，
 - b、气动球阀 FV-2001、FV-2003 开启，FV-2002、FV-2004 关闭，从低压管束车取气，压缩后进入氢气储罐。
 - c、当储氢罐压力 > 车辆加注压力时：气动球阀 FV-2002、FV-2003 开启，FV-2001、FV-2004 关闭，直接从储氢罐取气，向车辆中加注。
 - d、当管束车压力 < 储氢罐压力 < 车辆加注压力时：此时关闭卸气系统电磁阀，气动球阀 FV-2001、FV-2002、FV-2004 开启，FV-2003 关闭，压缩机从储氢罐取高压的氢气，从而加大压缩机的排量，提高车辆加注速率。
- (5) 监控系统：通过控制系统监控整个加注过程，确保安全和效率。

6 结论

6.1 主要技术创新点

新型移动加氢站借助双卸气系统、储氢罐及智能控制系统，大幅提升核心竞争力。双卸气系统可一备一用灵活切换，保障系统持续运行；储氢罐增强系统灵活性，提高加注效率；智能控制系统实时监控并调整加注过程，确保安全、高效、可靠。

6.2 核心竞争力分析

新型移动加氢站在市场上具有较强的竞争力和应用前景。首先，通过技术创新提高了系统的可靠性和灵活性，能够满足不同用户的多样化需求；其次，智能化控制系统的应用提高了运营效率和安全性；最后，新型移动加氢站的设计考虑了环保和经济性因素，符合未来能源发展的趋势。

6.3 市场应用前景

本项目开发的新型移动加氢站，凭借技术创新提升核心竞争力，为市场广泛应用筑牢根基。随着氢能产业发展、技术进步，其应用场景不断拓展。未来，在更多新兴领域，新型移动加氢站也将凭借技术升级，市场潜力巨大。

参考文献

- [1] 王乾,赵宁,王勇,王欣.移动加氢站设计规范[J].低温与特气,2019,37(03):35-38+44.
- [2] 李亚军,周刚,李长俊,朱坤.加氢站关键技术及安全运营管理[J].油气储运,2017,36(07):741-747+755.
- [3] 马越峰,许文,张兵,徐义华,李瑞丰.加氢站技术发展现状及趋势[J].化工进展,2015,34(03):727-733.