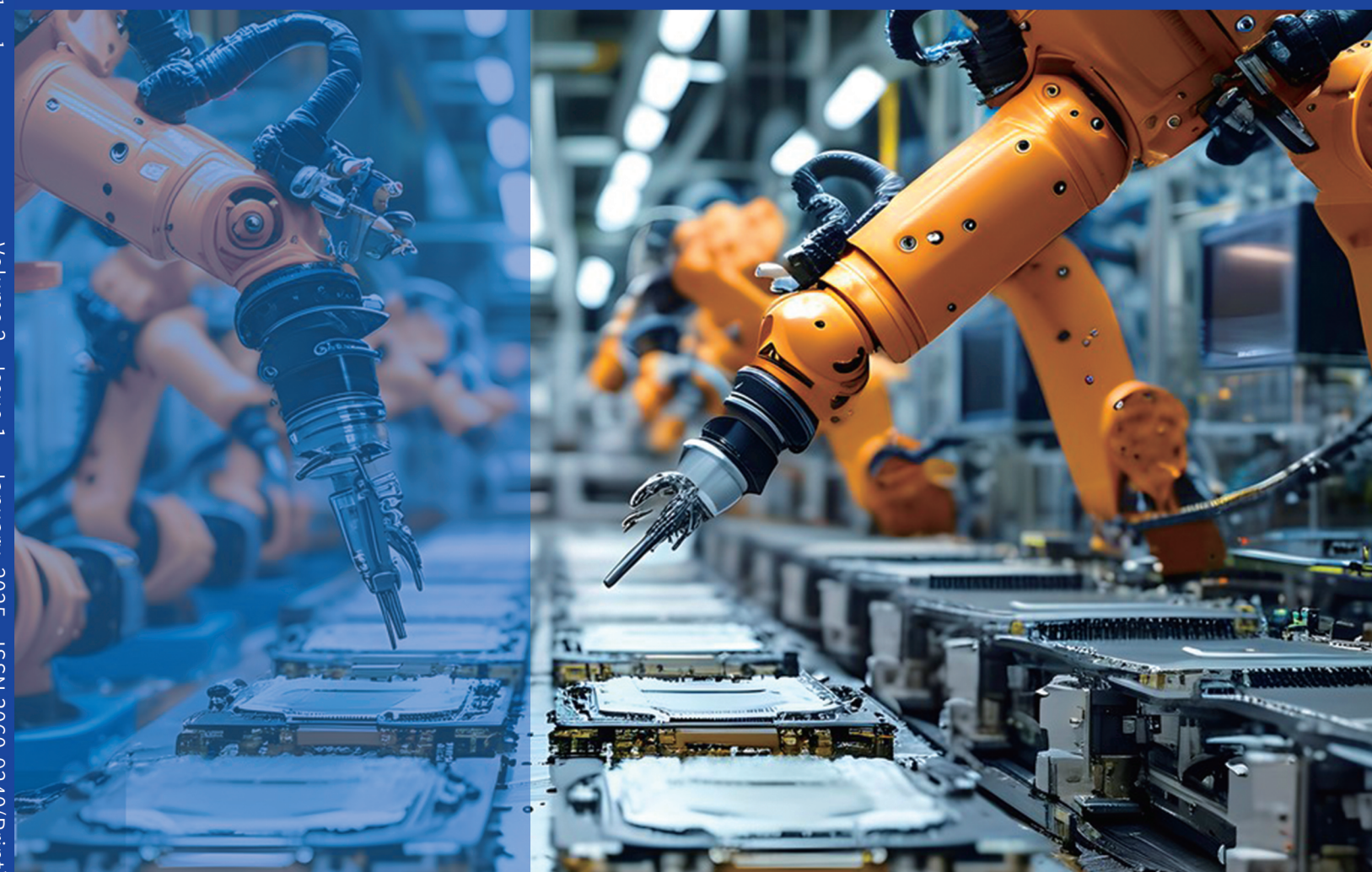


现代工业与技术

Modern Industry and Technology

Volume 2 • Issue 1 • January 2025 • 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

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。

Database Inclusion



Google Scholar



Crossref



China National Knowledge Infrastructure

版权声明/Copyright

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

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

Nanyang Academy of Sciences Pte. Ltd.

12 Eu Tong Sen Street #07-169 Singapore 059819

Email: info@nassg.org

Tel: +65-65881289

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



现代工业与技术

Modern Industry and Technology

Volume 2·Issue 1· January 2025·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	计量标准器具期间核查及其信息化管理分析 / 李淑环		
4	探究 PLC 技术在电气设备自动化控制中的应用 / 张家瑞	36	原料质量对产品的影响—单氰胺质量变化导致苯基胍颜色发黄 / 葛杰 戴玲玲
7	一二次融合环网柜智能化升级路径及未来技术发展趋势研究 / 李勇 沈昌禄 苏岳景 李猛 郑克	40	掺氨混合燃烧实验台搭建及应用研究 / 王峰涛
10	PLC 机电一体化技术在数控机床中的应用 / 刘中阳 李玉青	43	数控车削加工中的刀具选择与间隙补偿研究 / 付小红
13	石化企业应用系统的网络安全“等级保护 2.0”的方案研究 / 李璐	46	金属有机框架（MOFs）在食品安全传感器中的应用 / 张磊 王桂英
16	仪器设备资产管理方法探索 / 刘晓	49	纳米传感器在食品包装的应用及最新进展 / 王琨 王桂英
19	稳定多肽药物的制备工艺与质量控制研究 / 周子原 洪娟 左靖 杜宁 孟珺	52	斗轮机金属结构疲劳寿命预测与检验标准研究 / 王辉 方瑜 楼挺
22	超薄硅片加工中的应力分析与断裂控制 / 郑欢欣 王伟棱	55	摇青工艺对夏秋茶加工红茶品质影响研究 / 鲍王栋 叶红燕 周小芬
25	试论 BIM 技术在建筑工程施工管理中的运用 / 朱贺民	58	混凝土智能安全浇筑监测系统研究及应用 / 王帅 吴思迪 王林 王理 崔义龙
28	冰片制造工艺的优化与创新研究 / 丁文涛 陈渭 陈斌 郑璟 邱露金	61	低温环境风电齿轮箱超温机理分析及措施研究 / 谢勇
31	德国相机工业的兴衰与二战的影响	64	天然气管道输送系统泄漏检测与安全防护技术 / 刘昌玉

1	Measurement Standard Instruments Period Verification and Information Management Analysis / Shuhuan Li		Impact of World War II / Guangyuan Jiang Qing Tong
4	To explore the application of PLC technology in automatic control of electrical equipment / Jiarui Zhang	36	The influence of raw material quality on product—The yellow color of phenylguanidine is caused by the change of mononitramine quality / Jie Ge Lingling Dai
7	Research on the intelligent upgrading path and future technology development trend of primary and secondary integrated ring network cabinet / Yong Li Changlu Shen Yuejing Su Meng Li Ke Zheng	40	Research on the construction and application of ammonia mixed combustion test bench / Fengtao Wang
10	Application of PLC mechatronics integration technology in CNC machine tools / Zhongyang Liu Yuqing Li	43	Study on tool selection and clearance compensation in CNC turning / Xiaohong Fu
13	Research on the scheme of “level protection 2.0” for the network security of the application system of petrochemical enterprises / Lu Li	46	The application of Metal-Organic Frameworks (MOFs) in food safety sensors / ZHANG Lei, WANG Guiying
16	Exploration of instrument and equipment asset management methods / Xiao Liu	49	Application of Nanosensors in Food Packaging and Recent Advances / Kun Wang Guiying Wang
19	Preparation process and quality control of stable polypeptide drugs / Ziyuan Zhou Juan Hong Jing Zuo Ning Du Jun Meng	52	Research on fatigue life prediction and inspection standard of bucket metal structure / Hui Wang Yu Fang Ting Lou
22	Stress analysis and fracture control in ultrathin silicon wafer processing / Huanhuan Zheng Weileng Wang	55	Study on the influence of shaking process on the quality of black tea processed from summer and autumn tea / Wangdong Bao Hongyan Ye Xiaofen Zhou
25	On the application of BIM technology in construction management of construction projects / Hemin Zhu	58	Research and application of intelligent concrete safety pouring monitoring system / Wang Shuai Wu Sidie Wang Lin Wang Li Cui Yilong
28	Research on the optimization and innovation of ice-chip manufacturing process / Wentao Ding Wei Chen Bin Chen Jing Zheng	61	Analysis And Research On Over-temperature Mechanism Of Wind Power Gearbox In Low-temperature Environment And Measures / Xie Yong
31	The Rise and Fall of the German Camera Industry and the	64	Leak detection and safety protection technology of natural gas pipeline transmission system / Changyu Liu

Measurement Standard Instruments Period Verification and Information Management Analysis

Shuhuan Li

Chifeng City Product Quality Inspection and Testing Center, Chifeng, Inner Mongolia, 024005, China

Abstract

The standard of measurement is the basis of measurement and calibration, and its accuracy and reliability are very important to ensure the quality of measurement results. This paper aims to explore the importance of period verification of measuring standard instruments and its application in practice. As an important means to ensure the stability, accuracy and reliability of the measurement standard instruments, the verification is of great significance to improve the quality and reliability of the measurement results. Information management can improve the management efficiency of measuring standard instruments and ensure that they are always under control in the process of use. Through the analysis of the importance of period verification, practical operation and information management, it provides a useful reference for the scientific management of measurement standards.

Keywords

measuring standard instruments; period verification; information management

计量标准器具期间核查及其信息化管理分析

李淑环

赤峰市产品质量检验检测中心, 中国·内蒙古 赤峰 024005

摘 要

计量标准器具是测量和校准的基础, 其准确性和可靠性对于保障测量结果的质量至关重要。论文旨在探讨计量标准器具的期间核查重要性及其在实践操作中的应用。期间核查作为确保计量标准器具性能稳定、准确可靠的重要手段, 对于提高测量结果的质量和可信度具有重要意义。信息化管理则能够提升计量标准器具的管理效率, 保障其在使用过程中始终处于受控状态。通过对期间核查的重要性、实践操作以及信息化管理的分析, 为计量标准器具的科学管理提供了有益的参考。

关键词

计量标准器具; 期间核查; 信息化管理

1 引言

随着科技的不断进步和测量需求的日益增加, 计量标准器具的性能稳定性和准确性要求也越来越高。期间核查作为一种有效的质量控制手段, 通过定期监控计量标准器具的性能状态, 及时发现和处理潜在问题, 从而确保其在使用过程中的准确性和可靠性。同时, 信息化管理作为一种现代管理模式, 能够实现对计量标准器具的全面、高效、准确管理, 进一步提高其管理水平和使用效率。

2 计量标准器具期间核查的重要性

2.1 保证测量结果的准确性

在复杂多变的测量环境中, 计量标准器具可能会受到各种内外因素的干扰, 如温度、湿度、振动等, 这些因素都可能微妙地影响器具的精度和稳定性。若未能及时发现并纠

正这些潜在偏差, 那么测量结果将难以避免地偏离真实值, 从而导致后续决策失误、产品质量下降等一系列连锁反应。通过定期的期间核查, 能够对计量标准器具的性能进行实时监测和评估, 确保其始终保持在规定的误差范围内。这一环节不仅是对器具本身的一种“体检”, 更是对测量结果准确性的有力保障。它能够及时发现并纠正偏差, 确保每一次测量都能得出真实、可靠的数据, 从而为企业的生产、质量控制以及科研活动提供坚实的支撑。

2.2 满足法规要求与标准规范

计量标准器具的使用受到严格的法规要求与标准规范的约束, 这些规定不仅是对器具性能、精度、使用条件等方面的明确要求, 更是对测量结果准确性和可靠性的有力保障。通过期间的核查, 能够确保计量标准器具始终符合这些法规要求与标准规范, 从而避免因违规使用而带来的法律风险和质量隐患。另外, 随着科技的进步和行业的发展, 相关的法规要求与标准规范也在不断更新和完善。通过期间的核查, 还能及时了解并适应这些新的要求, 确保计量标准器具

【作者简介】李淑环(1973-), 女, 蒙古族, 中国内蒙古赤峰人, 本科, 高级工程师, 从事力学, 电磁研究。

的合规性，为企业的可持续发展奠定坚实基础。这不仅是对企业自身的一种负责，更是对社会 and 消费者的一种承诺，体现了企业的责任感和担当精神。

2.3 降低质量风险和成本

若计量器具未经及时核查，其准确性可能逐渐下降，导致测量数据出现偏差；这种偏差不仅可能引发产品质量问题，增加返工和报废的风险，还可能因不符合客户或行业标准而导致退货、索赔等后果。这些都将直接增加企业的质量成本，包括修复成本、赔偿费用以及因信誉受损而间接导致的销售损失。而定期的期间核查，则能够及时发现并纠正计量器具的偏差，确保测量数据的准确性和一致性。这不仅有助于提升产品质量，减少不良品率，还能避免因质量问题引发的额外成本^[1]。同时，通过期间核查，企业还能更准确地掌握生产过程中的质量状况，为持续改进和优化提供有力支持，从而在整体上降低质量风险和成本。

3 计量标准器具期间核查方法的实施

3.1 直接测量法

直接测量法，作为计量标准器具期间核查的一种常用手段，其核心在于利用高精度测量设备对目标器具进行直接比对或校验。这一方法直接、明了，能够直观反映出计量标准器具的当前状态与性能。在实施过程中，需先选定合适的高精度测量设备，确保其精度远高于被核查的计量标准器具，以保证测量结果的准确性。随后，将被核查的计量标准器具置于标准测量环境下，与高精度测量设备一同进行比对测量。通过对比两者的测量结果，可以清晰地判断计量标准器具是否存在偏差，以及偏差的大小和方向。直接测量法不仅操作简便，而且结果直观可靠，是确保计量标准器具准确性的有效手段。

3.2 比对测量法

比对测量法是一种将待核查的计量标准器具与多个经过校准的同类器具或更高精度的标准器进行逐一测量对比的方法。这种方法通过比较不同器具在同一测量条件下的输出结果，来评估待核查器具的准确性和稳定性。在实际操作中，选择一系列已知精度和性能的同类计量标准器具或更高一级的标准器，确保它们的状态良好且经过最近一次的校准。然后，在相同的测量条件下，使用这些标准器对待核查的计量标准器具进行逐一测量。通过对比各次测量的结果，可以分析出待核查器具与标准器之间的差异，从而判断其是否存在偏差以及偏差的程度。比对测量法能够全面、客观地反映待核查计量标准器具的性能状态，是确保其准确性和可靠性的重要手段之一。

3.3 利用核查标准进行核查

利用核查标准进行核查，是一种基于已知精度和特性的核查标准件或标准物质来评估计量标准器具状态的方法。这种方法通过比对计量标准器具对核查标准的测量结果与

已知的标准值，来判断器具的准确性和稳定性。核查标准通常是由权威机构提供或经过严格校准的，具有极高的精度和稳定性。在实际操作中，将核查标准置于与被核查计量标准器具相同的测量条件下，使用器具对其进行测量。随后，将测量结果与已知的核查标准值进行比较，通过计算偏差或不确定度来评估器具的性能。利用核查标准进行核查，不仅操作简便，而且能够直接反映出计量标准器具的准确性和稳定性，是确保其满足使用要求的重要手段。同时，这种方法也提供了对器具进行定期校准和调整的依据。

4 计量标准器具的信息化管理系统的构建

4.1 需求分析

构建计量标准器具的信息化管理系统的过程中，需求分析是至关重要的第一步；这一步骤要求对系统的目标、功能、性能、用户群体以及运行环境进行全面而深入的调研与理解。需求分析的核心在于明确系统的目标，需要清楚地知道，构建这一系统的目的是什么，是为了提高计量标准器具的管理效率，还是为了提升测量数据的准确性和可追溯性。例如，如果目标是提高管理效率，那么系统就需要具备快速录入、查询、统计等功能；如果目标是提升数据准确性，那么系统就需要具备严格的校准、比对、数据审核等功能。功能需求是需求分析的重要组成部分，需要根据计量标准器具的实际管理需求，确定系统需要实现哪些功能。例如，系统需要支持计量标准器具的录入、修改、删除、查询等基本操作；需要支持校准计划的制定、执行、跟踪等功能；需要支持数据的导入、导出、备份、恢复等操作；还需要支持用户权限的管理、日志的记录等功能。性能需求也是不可忽视的，需要考虑系统的响应时间、吞吐量、并发用户数等性能指标，以确保系统能够满足实际应用场景的需求^[2]。例如，在计量标准器具数量庞大、用户数量众多的情况下，系统需要具备良好的并发处理能力，确保用户能够流畅地使用系统。用户群体分析也是需求分析的重要一环，需要了解系统的使用者是谁，使用者的操作习惯、技能水平、使用场景等信息，以便为系统设计出符合用户需求的界面和操作流程。例如，如果系统的使用者主要是计量管理人员，那么界面设计就需要简洁明了，操作流程需要直观易懂。运行环境分析也是必不可少的，需要考虑系统的部署环境、硬件配置、网络条件等因素，以确保系统能够在实际应用中稳定运行。

4.2 系统设计

系统设计是基于需求分析的结果，对信息化管理系统的整体架构、模块划分、数据库设计、界面设计以及安全策略等进行详细规划的过程。整体架构设计是系统的核心，需要根据系统的目标和功能需求，设计出一个清晰、合理、可扩展的系统架构。例如，可以采用分层架构，将系统划分为表现层、业务逻辑层、数据访问层等多个层次，各层次之间通过接口进行通信，实现松耦合、高内聚的设计目标。

这样的架构不仅便于系统的开发和维护,还能提高系统的可扩展性和灵活性。模块划分是系统设计的关键环节,需要根据功能需求,将系统划分为多个独立的模块,每个模块负责完成特定的功能。例如,可以将系统划分为计量标准器具管理模块、校准管理模块、数据查询与统计模块、用户权限管理模块等。这些模块之间通过接口进行交互,实现功能的整合和协同工作^[3]。数据库设计是系统设计的重要组成部分,需要根据系统的数据需求,设计出一个结构清晰、关系明确、易于维护的数据库。例如,可以为计量标准器具设计一个包含基本信息、校准记录、使用记录等多个字段的数据库表;为校准计划设计一个包含计划名称、计划时间、执行人员等多个字段的数据库表。同时,还需要考虑数据库的备份、恢复、安全性等问题,以确保数据的完整性和安全性。界面设计是系统设计的重要一环,需要根据用户群体的特点和需求,设计出符合用户习惯的界面和操作流程。例如,可以采用简洁明了的界面风格,将常用的功能按钮放置在显眼的位置;采用直观的图标和提示信息,帮助用户快速理解系统的功能和操作流程。安全策略设计也是必不可少的,需要考虑系统的安全性问题,包括数据的保密性、完整性、可用性等方面。例如,可以采用加密技术保护敏感数据;采用身份验证和权限控制机制确保只有合法用户才能访问系统;采用日志记录和审计机制跟踪和记录用户的操作行为。

4.3 系统开发

系统开发是将系统设计阶段所规划的架构、模块、数据库、界面以及安全策略等转化为实际可运行系统的过程。这一阶段需要开发人员严格按照系统设计文档进行编码、测试、调试等工作,以确保系统能够满足需求分析阶段所提出的要求。在编码阶段,开发人员需要根据系统设计文档,使用合适的编程语言和技术框架,将各个模块的功能实现为具体的代码。例如,对于计量标准器具管理模块,开发人员需要编写代码来实现器具的录入、修改、删除、查询等功能;对于校准管理模块,则需要编写代码来制定、执行、跟踪校准计划等。在编码过程中,开发人员需要注重代码的可读性、可维护性和可扩展性,以便后续的系统维护和升级。测试阶段是保证系统质量的关键环节,开发人员需要对系统进行全

面的测试,包括单元测试、集成测试、系统测试等,以确保系统的功能、性能、安全性等方面都满足要求。例如,对于单元测试,开发人员需要编写测试用例来验证每个模块的功能是否正确;对于集成测试,则需要测试各个模块之间的接口是否正确、数据传递是否顺畅;对于系统测试,则需要模拟实际的使用场景,测试系统的整体性能和稳定性。调试阶段是在测试阶段发现问题后进行修复的过程,开发人员需要根据测试报告,对系统中存在的问题进行定位和修复。例如,如果某个模块的功能不符合要求,开发人员需要分析原因,修改代码,然后重新进行测试,直到问题得到解决。在开发过程中,开发人员还需要注重与需求方、测试人员、运维人员等团队成员的沟通和协作。例如,开发人员需要定期向需求方汇报开发进度和遇到的问题,以便及时调整开发计划;与测试人员共同制定测试计划和测试用例,确保测试的全面性和准确性;与运维人员协作,了解系统的部署和运行环境,确保系统能够在实际应用中稳定运行^[4]。通过严格的开发流程和团队协作,可以确保计量标准器具的信息化管理系统的质量和稳定性,为后续的部署和运行打下坚实的基础。

5 结论

论文通过对计量标准器具期间核查及其信息化管理的分析,提出了计量标准器具期间核查和信息化管理的有效策略和建议,为计量标准器具的科学管理提供了有益的参考。未来,随着科技的不断进步和测量需求的持续增加,计量标准器具的期间核查和信息化管理将朝着更加智能化、自动化和高效化的方向发展。

参考文献

- [1] 于一,刘春霞,陈文须,等.计量标准技术报告撰写中的常见问题解析[J].仪器仪表与分析监测,2023(1):48-50.
- [2] 徐光洁.计量标准器具期间核查及其信息化管理分析[J].安徽科技,2024(2):38-39.
- [3] 盛杰.计量检测仪器的计量检定管理标准研究[J].大众标准化,2023(10):193-195.
- [4] 陈岫,梁庆姣,杨经荣.计量标准器及配套设备的配置[J].中国计量,2021(9):59-61.

To explore the application of PLC technology in automatic control of electrical equipment

Jiarui Zhang

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

Abstract

In the context of information development, electrical automation equipment has played a significant role in various fields. Among these, the application of PLC technology can achieve continuous optimization of electrical equipment automation control systems, ensuring stable operation of electrical devices. The application of PLC technology in electrical equipment automation control mainly manifests in sequential control systems, closed-loop control systems, and switch control. To further develop the control function of PLC technology, it is necessary to continuously optimize the operating environment, improve technical networks, and enhance adaptability. This article primarily analyzes the practical application of PLC technology in electrical equipment automation control, thereby effectively improving production levels in industrial enterprises, reducing production costs, and promoting the healthy development of electrical automation.

Keywords

PLC technology; electrical equipment; automatic control

探究 PLC 技术在电气设备自动化控制中的应用

张家瑞

中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 中国 · 天津 300074

摘 要

在信息化发展背景下, 电气自动化设备在各个领域发挥了重要作用。其中, PLC技术的应用, 能够实现电气设备自动化控制系统的持续性优化, 保障电气设备稳定运行。PLC技术在电气设备自动化控制中的应用主要体现在顺序控制系统、闭路控制系统、开关量控制等方面, 为了进一步发展PLC技术的控制作用, 需要持续优化操作环境、完善技术网络、提高适应能力。文章主要对PLC技术在电气设备自动化控制中的应用实践进行分析, 从而有效提升工业企业的生产水平, 降低生产成本, 推动电器自动化的良性发展。

关键词

PLC技术; 电气设备; 自动化控制

1 引言

PLC 技术在电气设备自动化控制中的应用, 可以进一步提高工业生产效率, 降低生产成本, 并降低企业对生产控制设备的投资, 为企业长远发展奠定良好基础。此外, PLC 技术的数据采集功能较强, 且还具备较为完善的自动逻辑控制功能, 抗干扰能力较强, 编程方法简单, 功能性、适应性较强, 在电气设备自动化控制系统中发挥重要作用。

2 PLC 技术概述

PLC 技术, 也就是可编程逻辑控制器, 是自动化数字电子系统的重要组成部分。其中, 可编程储存模块可以执行逻辑运算、自动控制、算数运算等指令; CPU 可以有效处

理相关信息, 并对信号输出环节进行自动控制。PLC 技术的运行包含以下阶段: (1) 输入采样阶段, 利用数据扫描方式采集外部传感器、开关输入的信号并将其转换为数字信号, 然后存储在 I/O 映像区^[1]。(2) 数据处理阶段, 需要利用中央处理器处理输入的型号, 有效联系编写的控制程序, 进而对其进行逻辑运算、处理等工作, 在此基础上借助输出模块输出结果。(3) 信号输出阶段, 需要利用输出模块把输出信号进行转换, 确保控制信号能够以既定的形式进行呈现, 在此基础上执行相关指令, 促进电气设备运行过程的自动化控制。由此可见, 用户利用 PLC 技术针对性编程语言, 把控制逻辑向既定指令进行转化, 方便电气设备的实际操作和执行; 此外该技术的输入、输出功能较强, 能够实现不同传感器、执行器之间的互联互通, 确保各个环节都可以即时采集、输出信号; 该技术的稳定性较强, 对复杂环境的适应性较好。其中 PLC 技术的组成如图 1 所示。其中,

【作者简介】张家瑞 (1992-), 男, 中国新疆乌鲁木齐人, 本科, 工程师, 从事电气及其自动化研究。

PLC 技术在电气设备自动化控制中的应用原则为：（1）合理性原则，在具体应用中，需要结合具体情况，优化选择 PLC 设备，主要是因为 PLC 设备型号、品牌不同，其应用性能也有所不同，所以要结合实际的应用场景需求，优化选择 PLC 设备，进而最大程度上发挥 PLC 设备功能作用。（2）最优化原则，在电气设备自动化控制系统应用中，可以利用 PLC 技术执行预设功能，并结合实际情况，对其持续性优化，这样可以有效控制 PLC 的控制工作压力，进一步强化应用效果^[2]。（3）适应性原则，当前，电气设备运行环境较为恶劣，基于此，要持续优化设备运行环境，从而保障 PLC 设备控制质量的全面提升。同时还需要进一步强化 PLC 设备对复杂环境的适用性，同时对 PLC 设备定期维修和保养，尽量延长使用寿命。

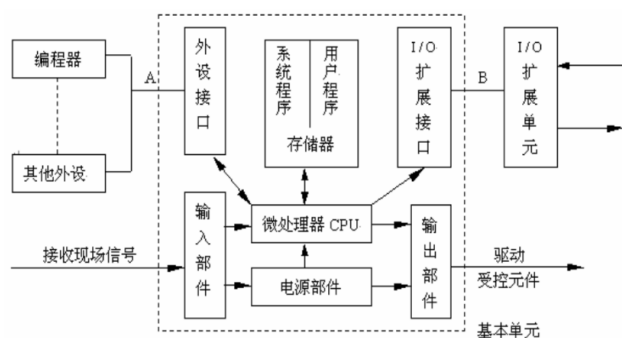


图 1 PLC 技术的组成示意图

3 PLC 技术在电气设备自动化控制中的应用意义

3.1 提高准确性与安全性

在电气设备自动化控制系统中引入 PLC 技术，可以对设备数据信息进行高效处理和及时传递，这样可以降低人工操作负担和人为操作失误率，有效提升设备运行数据准确性，促进电气设备自动化系统的可靠性运行。由此可见，PLC 技术在电气设备自动化控制系统中的优化应用，能够进一步提高整体系统对外界干扰的抵抗能力，使其良好适应复杂的操作环境，保障工业企业生产效率的全面提升。

3.2 简化操作流程

以往工业电气设备运行流程较为复杂，且人工操作压力较大。通过 PLC 技术的融合应用，可以借助计算机系统远程操控，并自动传达操作指令，进而简化操作流程，进而满足电气设备行业的发展需求^[3]。此外为了减少电磁干扰对电气设备的影响，在未来发展中需要进一步提高 PLC 技术的稳定性、高效性，才能进一步强化电气设备自动化控制效果。

3.3 实现多功能、网络化使用

PLC 技术存在较为多样化的功能特性，能够进一步保障电气设备的安全可靠性运行。通过 PLC 技术的应用，可以构建整体化的控制现场总线的系统，以便更加严格地控制

生产作业流程，同时动态控制设备仪表，使其逐渐向智能化、网络化方向发展，保障电气设备自动化水平的提高，为经济发展奠定良好基础。

4 PLC 技术在电气设备自动化控制中的应用实践

4.1 顺序控制系统中的应用

设备自动化技术在企业生产活动中的应用，可以在 PLC 技术的顺序控制功能基础上提高生产效率，减少生产成本，增加经营利润。在电气设备自动化控制中引入 PLC 技术，可以实现便捷化操控，工作人员只需要在监控室就可以开展远程操作。其中，在控制模块设计中，需要使用分层架构，该类模块主要在传感器、远程控制设备中应用，工作人员可以需要结合实际生产任务远程下达指令，通过这种方式才能保障电气设备的自动化、标准化控制^[4]。PLC 技术的应用，能够促进电气设备的稳定可靠性运行，并减少生产成本，有效提升经济效益。此外，为了进一步提高电气设备自动化监控效果，需要结合实际情况，持续性优化顺序模块。如在原料抓取设备中引入 PLC 技术，员工只需要按下启动按钮，然后电信号传输到 PLC 系统，并传送到中央处理器，在该环节完成信号处理工作，进而发出具体的生产指令；PLC 系统把接收到的电信号转变为中央处理器信号，并将其传送到机械手臂，实现自动抓取过程。

4.2 开关量控制中的应用

在电气设备自动化控制环节中，可以利用 PLC 技术全过程监控开关运行状态，以便第一时间发现设备短路等故障问题，并及时处理，避免故障问题扩散到更大范围，保障继电器的可靠性运行。在现代化技术支持下，电子自动化技术得到不断完善，且开关点数量呈现增长趋势，对开关控制工作提出了更高的要求。针对这种情况，需要在 PLC 技术支持下，构建电气系统云平台，以便对开关进行统一控制，并结合电气设备的实际运行需求，开展个性化操作，避免错误指令、冲突指令等^[5]。例如，在煤矿提升机系统控制中引入 PLC 技术，只需要在地面系统输入请求信号，井底工作人员就可以按下开关发送开车信号，在确保开车状态符合标准要求后，才能松开制动手柄启动车辆。在 PLC 控制下能够保障高压换电器及时获得电能信号，并通过主电动机绕组向转子电阻传送高压信号，并启动电阻，同时切断 8 段电阻，然后在自然机械特性的支持下实现加速运转。

4.3 闭路控制系统中的应用

通常情况下，泵类电机的启动方式包含多种形式，其中包含自动启动、人工手动启动、旁屏手动启动等。通过 PLC 技术的应用，能够在系统控制模式的支持下实现自动启动，并利用顺序模块的控制功能，选择合适的主备用泵，并在手动启动的支持下，控制现场开关。在闭环控制中引入 PLC 技术，能够提高闭环控制系统的运行效率，且保障设

备始终处于可靠的运行状态,有效控制能源损耗。尤其可以利用 PLC 技术提取设备运转速度,确保工作人员及时获得设备运行数据,并展开全方位的数据分析工作,进而精准判断设备运行状态,才能采取相对应的方式进行设备调控,为自动化控制提供保障^[6]。在实际操作中,需要通过 PLC 技术启动电气设备动力泵,并检测动力泵运转速度,保障设备参数的准确采集和应用,为后续 PLC 技术调整设备运行状态工作的开展提供依据。

5 PLC 技术在电气设备自动化控制中的优化策略

5.1 完善运行环境

在 PLC 技术应用中,需要结合电力工程产品的实际生产需求,持续性优化系统设计方案,并进一步完善操作环境,保障电气设备自动化控制功能的全面发挥。在具体生产过程中,工作人员需做好现场环境检查工作,确保 PLC 技术能够达到预期的应用效果。通常情况下,需要对电气设备运行环境温度、湿度进行合理调控,通常为 0-50 摄氏度、85%;此外还需要对空气环境质量进行严格控制,严禁有害气体进入操作环境,防止影响 PLC 技术的正常运行;要适当安装通风仪表系统,进一步强化热负荷,以便有效防护电器设备自动化系统^[7]。

5.2 优化技术网络

工业专业化程度与 PLC 技术的应用效果息息相关。有效提升工业专业化水平,才能全面集成计算机存储系统,进而有效控制 PLC 技术运行压力。在 PLC 技术支持下,可以通过数字化技术构建数字计算操作模型,这样可以降低人工操作失误概率,结合用户的多样化需求通过个性化服务,确保 PLC 技术能够在更多领域发挥作用,促进各个行业的高速发展。

5.3 强化适应能力

PLC 技术的抗干扰能力较强,使其在电气设备自动化控制中进行优化应用,可以进一步控制系统故障频率,进而

实现整体系统的可靠性运行^[8]。此外,PLC 技术还可以辅助电气工程操作系统运行,但是 PLC 技术在实际应用中还存在一定的缺陷问题,需要在未来发展中对 PLC 技术的适应能力开展进一步深入研究。

6 结语

综上所述,为了进一步提高电气设备自动化控制系统的运行效率,需要对 PLC 技术进行优化应用,尤其可以实现远程操控和监测设备生产过程,促进整体电气系统的安全性运行,并降低生产成本。其中,PLC 技术的适应性较强,可以在各种复杂环境中良好适用,且能够降低设备运行能耗,对内外干扰的抵抗能力较强,方便使用,在电气设备自动化控制行业发挥了不可替代的重要作用。

参考文献

- [1] 张俊莲. PLC技术在电气工程自动化控制中的应用[J]. 造纸装备及材料, 2025, 54 (02): 55-57.
- [2] 马奇友. PLC技术在电气仪表自动化控制中的应用研究[J]. 现代盐化工, 2025, 52 (01): 97-99.
- [3] 赵锡坤. PLC技术在医院电气设备自动化控制中的应用[J]. 通讯世界, 2025, 32 (01): 145-147.
- [4] 刘勇. PLC技术在电气工程及其自动化控制中的应用[J]. 中国设备工程, 2025, (01): 227-229.
- [5] 张晓强. PLC技术在电气设备自动化控制中的应用[J]. 工程技术研究, 2024, 9 (21): 76-78.
- [6] 李书奎. PLC技术在电气工程及自动化控制中的应用[J]. 电子产品世界, 2024, 31 (11): 58-60+64.
- [7] 张艳. PLC技术在电气设备自动化控制中的应用分析[J]. 科技与创新, 2024, (19): 179-181.
- [8] 展思彬,鹿洪勇. 仪表测控技术在变电站电气设备自动化控制中的应用[J]. 电气技术与经济, 2024, (09): 188-190.
- [9] 张国才. PLC技术在电气工程及其自动化控制系统中的应用[J]. 造纸装备及材料, 2024, 53 (09): 40-42.
- [10] 蔡志远,王凤姣,谢子楠. PLC技术在电气自动化控制中的应用研究[J]. 智能物联技术, 2024, 56 (04): 123-126.

Research on the intelligent upgrading path and future technology development trend of primary and secondary integrated ring network cabinet

Yong Li Changlu Shen Yuejing Su Meng Li Ke Zheng

Jubang Group Co., Ltd., Wenzhou, Zhejiang, 325600, China

Abstract

In the context of accelerated urbanization and large-scale integration of renewable energy, traditional ring main units are gradually revealing limitations in operational monitoring accuracy, fault response speed, and equipment maintenance efficiency, making it difficult to meet the real-time perception and rapid decision-making requirements of modern distribution networks. Against the backdrop of building a new power system, the intelligent transformation of distribution networks has become a crucial support for the energy revolution. It is necessary to overcome the functional fragmentation caused by the physical isolation of primary and secondary equipment, as well as address the operational control challenges brought about by the volatility of distributed power sources. The continuous iteration of industry standards and the ongoing penetration of digital technology are driving ring main units toward integration and digitalization. Deep equipment collaboration and data value extraction have become key to breaking through these challenges, urgently requiring intelligent upgrades to create distribution nodes with active defense capabilities and flexible regulation functions.

Keywords

primary and secondary integration; ring network cabinet; intelligent upgrading; technology development trend

一二次融合环网柜智能化升级路径及未来技术发展趋势研究

李勇 沈昌禄 苏岳景 李猛 郑克

巨邦集团有限公司, 中国 · 浙江 温州 325600

摘 要

在城市化进程加速与可再生能源规模化接入的态势下, 传统环网柜在运行监测精度方面、故障响应速度层面以及设备维护效率角度逐渐显露出局限性, 难以契合现代配电网对实时感知与快速决策的需求。在新型电力系统建设的背景中, 配电网智能化转型已然化作能源革命的重要支撑点, 既要突破因一二次设备物理隔离而引发的功能割裂问题, 又得应对由分布式电源波动性带来的运行控制挑战。行业标准不断迭代的进程与数字技术持续渗透的状况正在推动环网柜朝着集成化、数字化的方向演进发展, 设备深度协同和数据价值挖掘变成了破局的关键所在, 亟待通过智能化升级构建具备主动防御能力和弹性调节功能的配电节点。

关键词

一二次融合; 环网柜; 智能化升级; 技术发展趋势

1 引言

当前配电网正经历从单向供电向多元互动的结构性转变, 环网柜作为电网末端的核心设备, 面临着功能需重构、价值待延伸的双重考验。传统机械式操作机构与分立式保护装置形成的物理屏障, 使得设备状态呈现出透明度不够以及运维决策出现滞后的问题, 在应对高比例新能源接入和柔性负荷调节时显现出力不从心的疲态。智能化升级不单单是设备自身要在技术层面实现突围, 更是构建新型电力系统所需的基础支撑条件, 这就要求必须打通设备级的信息孤岛, 建

立由数据驱动的闭环控制体系。本文聚焦于一二次融合环网柜的功能演进所遵循的逻辑上, 对硬件重构与软件迭代之间的技术耦合关系展开系统解析, 深入探讨智能化升级过程里设备形态的变革与运维范式的内在规律, 为配电设备智能化转型提供可落地的技术路线参考。

2 一二次融合环网柜的智能化需求分析

2.1 传统环网柜的功能局限与运维痛点

环网柜 (Ring Main Unit) 是一组输配电设备 (高压开关设备) 装在金属或非金属绝缘柜体内或做成拼装间隔式环网供电单元的电气设备, 其核心部分采用负荷开关和熔断器, 具有结构简单、体积小、价格低、可提高供电参数和性能以及供电安全等优点。它被广泛使用于城市住宅小区、

【作者简介】李勇 (1980-), 男, 中国湖北襄阳人, 本科, 高级工程师, 从事配电设备一二次融合技术研究。

高层建筑、大型公共建筑、工厂企业等负荷中心的配电站以及箱式变电站中。但是传统环网柜在长期运行中暴露出多维度功能缺陷与运维难题：人工巡检模式受限于人员技术水平与作业环境复杂度，地下配电室潮湿闷热或暴雨天气等场景下存在巡检盲区，设备隐性缺陷易演变为绝缘击穿或短路故障。机械式保护装置动作精度受弹簧疲劳特性影响显著，负荷波动频繁区域可能引发误动或拒动现象，故障隔离效率难以匹配现代配电网快速复电需求。触头系统磨损状态缺乏量化评估手段，接触电阻随机械老化持续增大易引发放电发热链式反应，运维人员往往被迫采取被动式检修策略。设备通信接口标准化程度不足导致多源数据融合困难，不同厂商环网柜形成的异构数据难以支撑配电自动化系统全景感知，故障研判环节高度依赖调度人员经验判断^[1,2]。

2.2 配电网智能化升级的行业驱动因素

电力系统在能源转型浪潮中承载着使命变迁，能源消费结构向低碳化倾斜促使电网必须从单向电能输送网络转向具备动态平衡能力的综合服务平台，高比例可再生能源并网带来的间歇性功率波动对配电网设备响应速度与协同控制能力提出更严苛的要求，传统机械式环网柜因缺乏实时感知与自适应调节机制，难以支撑光伏、风电等分布式电源频繁启停导致的电压越限与潮流倒送问题。用户侧需求多元化加速了配电网服务边界的延伸，电动汽车充电桩、储能系统及智能家居等新型负荷的随机接入打破了原有供电秩序的确定性，柔性负荷调节与双向能量交互迫使环网柜突破单向保护功能的局限，向支持拓扑灵活重构与信息物理融合的方向演进。数字技术向电力领域深度渗透重构了设备价值创造模式，边缘计算框架的成熟与物联网协议的标准化为环网柜嵌入智能终端提供了低成本集成路径，设备状态透明化与运维策略数字化正成为电网企业优化资产效率的核心抓手，驱动环网柜从孤立执行单元升级为配电网全域感知体系的神经节点。

2.3 一二次设备深度融合的技术必要性

传统环网柜一二次系统分立架构难以适应新型电力系统对设备交互实时性与决策自主性的要求，物理层与信息层的割裂导致数据溯源链条存在断层，互感器、断路器与保护单元间的信号传递需经历多级转换，原始电气特征在传输过程中易受电磁干扰产生畸变。深度融合技术将传感模块嵌入一次设备本体，消除传统外置互感器的空间隔离与接线复杂度，电压电流波形采集精度从毫秒级提升至微秒量级，为暂态过程分析与高频谐波监测提供底层数据保障。跨层级设备协同需要建立统一时序基准与数据语义标准，深度融合架构通过共享时钟源与数字化接口打通信息流传输瓶颈，使得故障电流分断动作与保护逻辑执行的同步误差控制在百纳秒范围内。设备内部多物理场耦合效应要求温度、机械应力、绝缘状态等参数实现原位感知与联合解耦，深度融合设计的微型化传感器网络可突破传统分立式监测装置的空间局限，构建多维参数融合分析的设备健康画像。

3 智能化升级路径设计

3.1 硬件升级路径

硬件升级路径聚焦于感知层与执行层的物理重构（如图 1 所示），嵌入式温度传感器与高频电流互感器融合安装可捕捉触头接触面微秒级温升曲线，局部放电监测模块采用特高频传感阵列实现放电相位分布图谱重构。通信管理单元需兼容 IEC61850 与 MQTT 双协议栈架构，光纤以太网与无线自组网混合传输模式适应复杂电磁环境下的数据保真需求。智能操作机构集成永磁驱动与双线圈冗余设计，动作时间离散性控制在毫秒级误差范围内，霍尔元件实时反馈分闸位置状态形成闭环控制。触头系统镀层工艺引入梯度复合金属材料，银钨合金基体表面气相沉积纳米氧化层抑制电弧烧蚀速率，机械寿命周期内接触电阻波动幅度压缩至初始值 15% 以内。

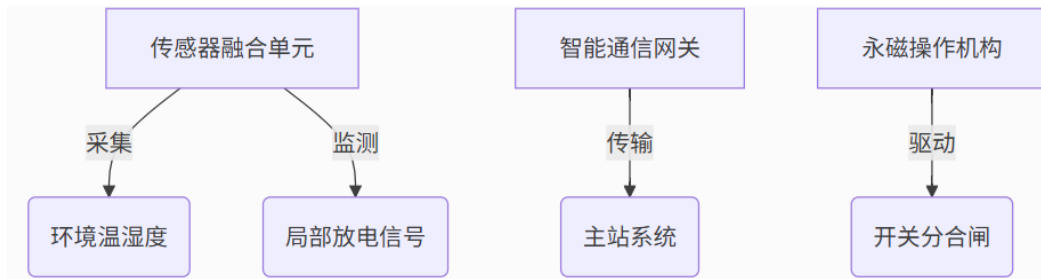


图 1 环网柜硬件升级拓扑图

3.2 软件升级路径

软件升级着力于数据价值挖掘与决策闭环构建（详见图 2），多源异构数据清洗引擎建立设备指纹标签体系，基于迁移学习的故障诊断算法在样本稀缺场景下仍能识别接地电阻异常等隐性缺陷。时序数据库采用滑动窗口压缩编码技术降低高频采样数据的存储冗余度，容器化部署的微服务

架构支撑边缘计算节点动态加载绝缘老化评估模型。人机交互界面集成三维可视化渲染引擎，运维人员拖拽式操作即可重构环网柜内部虚拟孪生体，操作票自动生成模块结合拓扑分析结果推荐最优复电序列。知识图谱引擎将历史检修记录与实时监测数据关联建模，自适应优化周期巡检策略的同时生成设备健康度热力图。

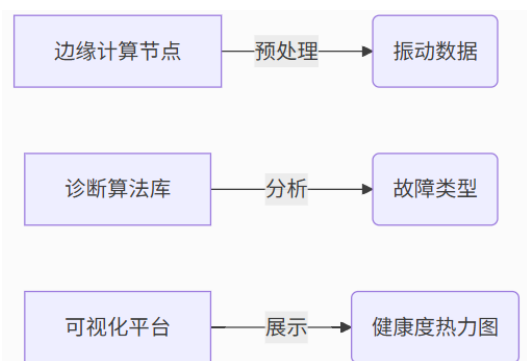


图2 环网柜软件架构数据流程图

3.3 运维模式转型

运维团队需依托环网柜本体加装的振动传感器与局放监测模块实时捕获机械部件磨损程度和绝缘劣化趋势，利用加密通信通道将多维状态量上传至区域运维管理平台形成动态健康档案，历史数据与实时波形的交叉比对帮助技术人员提前识别触头卡涩或电缆头过热等隐性缺陷。设备制造商应当在出厂环节预置标准化数据接口与自诊断算法库，使得不同型号环网柜采集的温度、湿度及操作次数等参数能够自动匹配预设的劣化模型，在异常工况触发阈值告警时自动生成检修工单并关联备品备件库存信息，大幅压缩传统人工巡检与故障复盘的时间窗口。电网企业需要重构运维资源配置逻辑，将原本分散在定期巡检与应急抢修的人力物力转向数据分析与策略优化，基于设备健康指数动态调整检修周期，在负荷低谷时段优先处理高风险节点，形成预防性维护与状态检修协同推进的作业范式^[3,4]。

4 未来技术发展趋势

4.1 人工智能驱动的自主决策能力

人工智能算法在电力设备层级的深度嵌入将重塑环网柜的决策响应机制，复杂工况下多源异构数据的即时处理要求算法具备特征提取与模式识别的双重穿透力，海量运行日志与实时波形叠加形成的时空关联矩阵为负荷预测与故障预判提供动态学习样本，深度学习框架在设备端侧的轻量化部署使环网柜能够自主识别电缆绝缘劣化与机构卡涩之间的隐性关联。边缘计算架构的进化推动决策权限向设备本体下沉，基于数字孪生构建的虚拟镜像系统可同步映射母线温度场分布与机械操作机构的应力变化，当局部放电信号与负荷波动形成复合扰动时，自主决策系统能在百毫秒内完成拓扑重构策略的生成与校验，避免传统保护定值固化导致的误动或拒动风险。

4.2 新型材料与模块化设计创新

新型绝缘材料研发逐步向纳米复合化方向演进，碳化硅增强型环氧树脂体系在湿热交变环境中展现出更优的介电强度保留率，气隙填充特性可抑制沿面放电引发的绝缘劣

化过程。模块化结构设计推动功能单元向可插拔式重构转型，灭弧室与传感器模组采用标准接口卡槽装配模式，现场更换作业时间压缩至传统结构的四分之一以内。相变储能材料与热管散热技术耦合应用缓解了高密度柜体内部温升梯度，微孔金属泡沫载体在有限空间内实现热量定向疏导。磁流体密封技术在可动部件防护领域显现潜力，旋转隔离开关传动轴处形成的自适应液膜屏障有效阻隔粉尘侵入。

4.3 碳中和目标下的绿色智能化技术

绿色智能化技术演进正推动环网柜产品全生命周期的碳足迹管理进入新阶段，环保型固体绝缘介质的研发突破逐步替代传统六氟化硫气体方案，基于纳米改性材料构建的真空灭弧室在降低温室气体逸散风险的同时提升开断性能，设备全密封结构设计与可降解环氧树脂的应用使退役回收环节的资源循环效率显著优化。设备运行能效提升聚焦于功率模块的动态损耗控制，拓扑自适应调节算法可根据负荷波动实时调整磁保持继电器的工作频段，结合母线排温度场仿真优化导体截面积分布，使得空载工况下的铁损与涡流损耗较传统设计下降三至四成。分布式能源消纳需求催生设备与环境的能量交互能力重构，环网柜本体集成光伏逆变器余热回收装置与超级电容储能单元，内置碳流追踪模型可实时关联设备运行模式与区域电网的清洁能源渗透率，在电压越限前触发无功补偿与储能充放策略，形成支撑配电台区碳强度下降的微观调节单元。

5 结语

一二次融合环网柜智能化转型的本质是设备功能从被动执行朝着主动感知发生范式上的跃迁，这需要构建以多维度数据融合为基础的决策中枢。硬件层要突破的是传感器功耗集成与设备状态精准感知方面的技术瓶颈，软件层应建立具备开放兼容特性的数据中台来实现边缘智能计算，运维体系则要对“数据驱动、主动预警”、的服务模式加以重构。建议设备制造商强化模块化设计的理念，目的在于适应快速迭代的需求，电网企业应主导建立标准化通信协议促进生态协同，研发机构要以前瞻性的眼光布局量子传感与数字孪生等赋能技术。

参考文献

- [1] 周楠. 智能配电网一二次融合传感器校验技术分析框架构建[J]. 中国设备工程, 2025, (02): 175-177.
- [2] 闫强强. 基于一二次融合开关的小电流接地故障保护应用[J]. 电力安全技术, 2025, 27 (01): 30-34.
- [3] 陆振东,张永起,姚昀辰,等. 一二次融合的高压智能断路器技术分析[J]. 电子技术, 2024, 53 (04): 363-365.
- [4] 朱剑鹏. 配电开关一二次设备一体化融合及检测技术研究与应用[D]. 郑州大学, 2020.

Application of PLC mechatronics integration technology in CNC machine tools

Zhongyang Liu¹ Yuqing Li^{2*}

1. Zhengzhou National Defense Science and Technology School, Zhengzhou, Henan, 450042, China

2. Henan University of Science and Technology, Xinxiang, Henan, 453003, China

Abstract

This article explores in depth the application of PLC (Programmable Logic Controller) mechatronics technology in CNC machine tools. Firstly, the basic concepts and characteristics of PLC and CNC machine tools are introduced, and the specific application methods and advantages of PLC in coordinate axis control, spindle control, auxiliary function control, and other aspects of CNC machine tools are elaborated. The communication and collaborative working mechanism between PLC and other systems of CNC machine tools are analyzed, and the key points and methods of PLC programming in CNC machine tool control are explored. Finally, the development trend of PLC mechatronics integration technology in CNC machine tool applications is forecasted, aiming to provide comprehensive and in-depth reference materials for technical research, engineering applications, and teaching and training in related fields.

Keywords

PLC; Mechatronics integration; numerical control machine; Coordinate axis control; Programming Applications

PLC 机电一体化技术在数控机床中的应用

刘中阳¹ 李玉青^{2*}

1. 郑州市国防科技学校, 中国 · 河南 郑州 450042

2. 河南科技学院, 中国 · 河南 新乡 453003

摘 要

文章深入探讨PLC（可编程逻辑控制器）机电一体化技术在数控机床中的应用。首先介绍PLC与数控机床的基本概念与特点，阐述了PLC在数控机床中对坐标轴控制、主轴控制、辅助功能控制等方面的具体应用方式及优势，分析PLC与数控机床其他系统的通信与协同工作机制，探讨PLC编程在数控机床控制中的要点与方法，最后对PLC机电一体化技术在数控机床应用中的发展趋势进行了展望，旨在为相关领域的技术研究、工程应用以及教学培训提供全面且深入的参考资料。

关键词

PLC; 机电一体化; 数控机床; 坐标轴控制; 编程应用

1 引言

随着制造业的不断发展，数控机床在机械加工领域的地位日益凸显。它具有高精度、高效率、高自动化程度等优点，能够满足复杂零件的加工需求。而 PLC 作为一种重要的工业控制装置，在数控机床的控制中发挥着关键作用。PLC 机电一体化技术将电气控制与机械运动有机结合，实现了数控机床的智能化、柔性化控制，极大地提高了数控机床的性能与可靠性，推动了现代制造业的进步。

2 PLC 与数控机床概述

2.1 PLC 的基本原理与特点

PLC 采用可编程的存储器，在其内部存储执行逻辑运

算、顺序控制、定时、计数和算术运算等操作的指令，通过数字式或模拟式的输入输出来控制各种类型的机械设备或生产过程。其具有可靠性高、编程简单易学、灵活性强、抗干扰能力强等特点。PLC 以循环扫描的工作方式，不断读取输入信号，执行用户程序，并刷新输出信号，从而实现对设备的实时控制^[1]。

2.2 数控机床的结构与功能

数控机床主要由机床本体、数控系统、驱动系统和辅助装置等部分组成。机床本体是数控机床的机械结构部分，包括床身、工作台、主轴箱等部件，为加工提供基础支撑与运动平台。数控系统是数控机床的核心，负责处理加工程序，生成运动控制指令。驱动系统则将数控系统的指令转化为机床各坐标轴及主轴的运动动力，实现精确的位置控制与速度控制。辅助装置如冷却系统、润滑系统、排屑系统等，保障了机床的正常运行与加工环境的稳定。

【作者简介】刘中阳（1980-），男，中国河南太康人，本科，讲师，从事机械设计制造及其自动化研究。

3 PLC 在数控机床中的应用

3.1 坐标轴控制

3.1.1 点位控制

在数控机床的点位控制应用中,例如钻床、镗床等加工设备,PLC 负责控制刀具快速定位到指定的坐标位置。通过接收数控系统发出的目标位置信号,PLC 驱动坐标轴电机,采用合适的定位算法,如脉冲计数法或位置检测反馈法,确保刀具能够准确地到达加工起始点或孔位等目标点。并且,PLC 还能在定位完成后,向数控系统反馈定位完成信号,以便进行下一步的加工操作。

3.1.2 直线插补与圆弧插补控制

对于需要进行轮廓加工的数控机床,如铣床、加工中心等,PLC 参与直线插补和圆弧插补运算。它根据数控系统提供的插补参数,如起点坐标、终点坐标、圆心坐标等信息,计算出各坐标轴在每个插补周期内的运动增量。然后,通过控制坐标轴电机的转速与转向,使刀具沿着预定的直线或圆弧轨迹运动,实现对复杂零件轮廓的精确加工。在插补过程中,PLC 还需实时监测坐标轴的位置反馈信号,进行误差补偿与修正,以保证加工精度。

3.2 主轴控制

3.2.1 主轴转速控制

PLC 与主轴驱动装置相连接,根据数控系统设定的主轴转速指令,控制主轴电机的转速。它可以通过调节变频器的输出频率或改变直流电机的电枢电压等方式,实现主轴转速的无级调速。在加工过程中,当遇到不同的加工工艺要求,如粗加工时采用较低转速以保证较大的切削力,精加工时提高转速以获得较好的表面光洁度,PLC 能够及时响应并调整主轴转速,满足加工需求。

3.2.2 主轴定向控制

在一些加工工序中,如镗孔、攻丝等,需要主轴精确地停止在某一固定角度位置,即主轴定向。PLC 接收数控系统的主轴定向指令后,控制主轴电机的制动装置和位置检测装置,使主轴准确地定位到指定角度。例如,通过检测主轴编码器的脉冲信号,确定主轴的当前位置,然后采用闭环控制算法,调整主轴电机的转矩与转角,实现主轴的高精度定向,为后续的加工操作提供准确的起始位置。

3.3 辅助功能控制

3.3.1 冷却与润滑控制

数控机床的冷却系统和润滑系统对于保证加工质量和机床寿命至关重要。PLC 根据加工过程中的温度、压力等传感器信号以及数控系统的控制指令,自动控制冷却泵和润滑泵的启停。例如,当加工过程中切削温度升高到一定程度时,PLC 启动冷却泵,向加工区域提供冷却液进行降温;在机床启动前或运行过程中定期启动润滑泵,为导轨、丝杠等运动部件提供润滑,减少磨损与摩擦^[2]。

3.3.2 刀具交换与管理

在加工中心等具有自动换刀功能的数控机床中,PLC 负责刀具交换的控制。它与刀库驱动装置、机械手等部件协同工作,实现刀具的快速准确交换。当数控系统发出换刀指令时,PLC 首先控制刀库旋转,将目标刀具转到换刀位置,然后驱动机械手完成拔刀、换刀、插刀等一系列动作。同时,PLC 还对刀具的使用情况进行管理,记录刀具的编号、使用次数、剩余寿命等信息,以便及时更换磨损刀具,保证加工精度与效率。

3.3.3 工作台交换控制

对于一些大型或柔性制造系统中的数控机床,可能配备有工作台交换装置。PLC 控制工作台交换的整个过程,包括工作台的松开、移出、交换、移入和夹紧等动作。通过与工作台驱动电机、夹紧装置等的联动控制,实现不同工作台之间的快速切换,提高机床的利用率与生产效率。例如,在一个工作台进行加工的同时,PLC 可以控制另一个工作台进行工件的装卸,减少机床的停机时间。

4 PLC 与数控机床其他系统的通信与协同工作

4.1 与数控系统的通信

PLC 与数控系统之间通过数据总线进行通信,如常用的 Profibus-DP、CANopen 等通信协议。数控系统将加工程序中的控制信息、坐标轴运动指令、主轴控制指令等发送给 PLC,同时接收 PLC 反馈的机床状态信息、坐标轴位置信息、辅助功能执行情况等。这种紧密的通信连接使得数控系统与 PLC 能够协同工作,实现对数控机床的全面控制。例如,数控系统在执行加工程序时,根据程序段中的 M 代码(辅助功能代码)向 PLC 发送相应的辅助功能控制指令,如开启冷却、换刀等,PLC 执行完指令后向数控系统反馈执行结果,数控系统再根据反馈信息决定下一步的加工操作。

4.2 与驱动系统的协同

PLC 与数控机床的坐标轴驱动系统和主轴驱动系统密切配合。它向驱动系统发送速度控制指令、位置控制指令以及电机的启停、转向等控制信号,驱动系统则将电机的实际运行状态,如转速、电流、位置反馈等信息反馈给 PLC。PLC 根据这些反馈信息,采用闭环控制策略,对驱动系统进行实时调整与优化,确保机床各坐标轴和主轴的运动精度与稳定性。例如,在坐标轴的位置控制中,PLC 发送目标位置指令给驱动系统,驱动系统驱动电机运动并通过编码器将实际位置反馈给 PLC,PLC 比较目标位置与实际位置的偏差,根据偏差值调整驱动信号,使坐标轴最终准确地到达目标位置^[3]。

5 PLC 编程在数控机床控制中的要点与方法

5.1 编程语言的选择

PLC 在数控机床控制中常用的编程语言有梯形图语言、

语句表语言等。梯形图语言直观易懂,类似于电气控制原理图,适合初学者和电气工程师进行编程。它以图形化的方式表示逻辑关系,易于理解和调试。语句表语言则更接近计算机汇编语言,编程效率较高,适用于对程序执行速度有较高要求或复杂逻辑控制的场合。在实际编程中,可根据具体的控制任务和编程人员的习惯选择合适的编程语言,也可以将多种编程语言结合使用,发挥各自的优势。

5.2 程序结构与模块化设计

为了便于编程、调试和维护,PLC 程序应采用合理的结构与模块化设计。将整个控制程序划分为多个功能模块,如坐标轴控制模块、主轴控制模块、辅助功能控制模块等,每个模块实现特定的功能。在主程序中,通过调用这些功能模块来实现对数控机床的整体控制。这样的设计方式使得程序结构清晰,易于修改和扩展。例如,当需要增加一种新的辅助功能时,只需在辅助功能控制模块中添加相应的程序代码,而不会影响到其他模块的正常运行。

5.3 故障诊断与报警程序设计

在数控机床的 PLC 编程中,故障诊断与报警程序的设计至关重要。由于数控机床在生产过程中会经历大量的高负荷工作,故障的出现是不可避免的。因此,设计一个完善的故障诊断与报警系统是确保机床正常运行的关键。通过实时监测机床各部分的状态信号,如电机的过载信号、坐标轴的超限位信号、冷却系统的压力异常信号等,可以及时发现潜在的故障。例如,当电机发生过载时,PLC 可以通过接收电流传感器的信号,立即判断出故障,并触发报警程序。此外,坐标轴超限位信号或冷却系统异常也能通过传感器进行检测,当超过设定的安全阈值时,PLC 控制系统会发出报警,停机保护并在人机界面上显示故障信息。通过这种方式,故障能够被实时监测并迅速处理,避免了因为隐性故障导致设备的进一步损坏,从而大大提升数控机床的安全性和工作效率。

故障诊断与报警程序不仅能够有效防止设备因故障而停机,还能显著提高机床的可靠性和可维护性。当故障发生时,PLC 控制系统会迅速中断机床的运行,并通过报警信号通知操作人员进行故障排查与修复。这种设计能够减少因设备故障导致的生产停顿时间,确保生产线的高效运作。此外,故障信息在人机界面上实时显示,可以帮助维修人员更快地定位故障原因,提升维修效率。整体而言,完善的故障诊断与报警系统不仅减少了维护成本,还延长了数控机床的使用寿命,提高了生产线的整体稳定性。

6 PLC 机电一体化技术在数控机床应用中的发展趋势

6.1 智能化发展

随着人工智能技术的不断进步,PLC 在数控机床中的

应用将朝着智能化方向发展。例如,采用智能算法进行加工参数的优化选择,根据工件的材料、形状、加工要求等自动调整切削速度、进给量等参数,以实现最佳的加工效果。同时,PLC 能够对机床的运行状态进行智能监测与预测性维护,通过分析大量的运行数据,提前发现潜在的故障隐患,及时安排维修保养,提高机床的利用率与可靠性。

6.2 网络化集成

未来的制造业将更加注重网络化与信息化集成。PLC 在数控机床中的应用也将与工厂自动化网络深度融合,实现与上层管理系统(如企业资源计划 ERP、制造执行系统 MES 等)的无缝对接。通过网络通信,PLC 可以将机床的生产数据、设备状态信息等实时上传到管理系统,管理系统则可以根据这些信息进行生产计划的优化调整、设备资源的合理调配等。同时,在车间层面,多台数控机床的 PLC 可以相互通信与协同工作,实现生产线的自动化与柔性化控制,提高整个制造系统的生产效率与响应能力。

6.3 高速高精度控制

随着机械加工对零件精度和加工效率要求的不断提高,PLC 在数控机床中的坐标轴控制和主轴控制将不断追求更高的速度与精度。采用先进的控制算法,如前馈控制、自适应控制等,进一步减小位置控制和速度控制的误差。同时,随着新型传感器技术和电机驱动技术的发展,PLC 能够获取更精确的位置反馈和速度反馈信息,从而实现对机床运动的更精准控制,满足超精密加工的需求。

7 结论

PLC 机电一体化技术在数控机床中的应用极大地提升了数控机床的性能与自动化程度。通过对坐标轴控制、主轴控制、辅助功能控制等多方面的有效应用,以及与数控系统和驱动系统的协同工作,PLC 实现了数控机床的精确、稳定运行。在编程方面,合理的编程语言选择、程序结构设计以及故障诊断与报警程序的编写,为数控机床的控制提供了可靠的软件保障。展望未来,PLC 机电一体化技术在数控机床中的应用将朝着智能化、网络化、高速高精度方向不断发展,为现代制造业的转型升级提供强有力的技术支持,推动制造业向更高水平迈进。在今后研究与应用中,还需不断探索 PLC 与数控机床各部分的融合创新,进一步挖掘其应用潜力,以适应日益复杂多变的制造需求。

参考文献

- [1] 蒋学利. PLC机电一体化技术在数控机床中的应用[J]. 机电产品开发与创新, 2024, 37 (04): 143-145.
- [2] 杨增锐, 杨海森. PLC机电一体化技术在数控机床中的应用[J]. 造纸装备及材料, 2024, 53 (06): 91-93.
- [3] 唐涛. PLC机电一体化技术在数控机床中的有效应用[J]. 现代工业经济和信息化, 2023, 13 (04): 116-118.

Research on the scheme of “level protection 2.0” for the network security of the application system of petrochemical enterprises

Lu Li

CNOOC Petrochemical Engineering Co., Ltd., Qingdao, Shandong, 266101, China

Abstract

With the acceleration of the information process, the application system of petrochemical enterprises is increasingly dependent on the network technology, and the network security problem has become an important factor affecting the operation of enterprises. In recent years, the network security “hierarchical protection 2.0” scheme, as an effective security management system, has been widely used in various industries. This paper deeply studies the implementation plan of “grade protection 2.0” in the application system of petrochemical enterprises, analyzes the main problems and challenges faced by the network security of petrochemical enterprises, combines with the characteristics of the petrochemical industry, and puts forward a specific solution based on the framework of “grade protection 2.0”. Through the optimization design of the risk assessment, system classification, network protection, data security and emergency response of the information system of petrochemical enterprises, this paper provides feasible technical support and implementation path for the network security protection of petrochemical enterprises.

Keywords

petrochemical enterprise; network security; grade protection 2.0; application system; scheme research

石化企业应用系统的网络安全“等级保护 2.0”的方案研究

李璐

中海油石化工程有限公司, 中国·山东 青岛 266101

摘 要

随着信息化进程的加速, 石化企业的应用系统日益依赖于网络技术, 网络安全问题已成为影响企业运营的重要因素。近年来, 网络安全“等级保护 2.0”方案作为一种有效的安全管理体系, 已在各类行业中得到了广泛应用。本文深入研究了“等级保护 2.0”在石化企业应用系统中的实施方案, 分析了石化企业网络安全面临的主要问题与挑战, 结合石化行业的特点, 提出了基于“等级保护 2.0”框架的具体解决方案。通过对石化企业信息系统的风险评估、系统分级、网络防护、数据安全、应急响应等方面的优化设计, 本文为石化企业的网络安全防护提供了可行的技术支持和实施路径。

关键词

石化企业; 网络安全; 等级保护 2.0; 应用系统; 方案研究

1 引言

随着信息技术的飞速发展, 石化企业在业务操作、生产监控、数据分析等方面依赖的计算机网络和信息系统越来越多。这些信息系统的安全问题日益严重, 尤其是随着生产环境中涉及的设备和系统之间相互连接, 网络攻击、病毒感染、数据泄露等问题的威胁也在不断升级。网络安全不仅关乎企业的日常运营, 还直接影响到企业的核心竞争力、品牌形象和客户信任度。石化行业的网络安全防护更为复杂, 因为石化企业的应用系统通常涉及庞大的生产流程、敏感数据

和高风险的业务操作, 如何保障这些系统的安全, 避免网络安全事件带来的损失, 成为石化企业亟须解决的重要问题。

“等级保护 2.0”方案是我国在网络安全领域提出的一种基于等级保护的安全管理框架, 旨在通过分级管理, 提升信息系统的安全防护能力。该方案已广泛应用于政府部门、金融机构以及能源、交通等行业, 尤其对石化企业的应用系统安全起到了积极的促进作用。随着“等级保护 2.0”方案的进一步推进, 石化企业应当通过深入了解该方案的框架与实施步骤, 结合自身的具体需求, 建立起一套符合行业特点的网络安全保障体系。

本文的研究目标是探讨“等级保护 2.0”在石化企业应用系统中的实施方案。首先, 本文分析了石化企业在应用系统中的网络安全风险, 并阐述了“等级保护 2.0”方案在实

【作者简介】李璐（1984-），男，中国河南郑州人，本科，中级，从事网络安全研究。

际应用中的价值与意义；接着，提出了针对石化企业应用系统的具体实施方案，包括风险评估、系统分级、数据保护等关键环节；最后，本文结合石化企业的特点，提出了实施过程中应注意的问题与挑战。

2 石化企业应用系统的网络安全现状与挑战

2.1 石化企业应用系统的网络安全风险

石化企业的应用系统通常涉及生产调度、设备控制、物料管理、财务审计等多个核心业务环节，这些系统的正常运行对企业的日常运营至关重要。尤其是与生产设备、控制系统、监测系统等相关的应用系统一旦遭遇网络攻击或发生故障，可能会导致严重的生产中断、设备损坏，甚至环境污染，进而造成重大的经济损失和社会影响。因此，石化企业的网络安全工作必须从源头入手，严格防范各类安全风险，以确保企业运营的稳定和安全。

首先，网络攻击已经成为石化企业面临的主要安全风险之一。随着黑客技术的不断升级，网络攻击手段日趋多样化，DDoS攻击、恶意软件传播、勒索病毒等攻击方式可能危及企业网络的安全。特别是在石化企业，生产系统和控制系统的网络化程度较高，这些系统往往涉及工业控制网络（ICS）和监控系统，一旦遭受网络攻击，可能导致生产过程的中断、生产设备的损坏，甚至可能引发安全事故。攻击者不仅能够通过外部网络入侵控制系统，还可能通过内部网络渗透造成更严重的后果。例如，石化企业的监控系统一旦受到攻击，可能导致设备故障、生产停滞，甚至可能危及人员的安全。

其次，信息泄露是石化企业面临的另一个重大隐患。石化企业的内部数据传输频繁，涉及商业机密、生产数据、技术资料等敏感信息。如果这些信息被非法获取或泄露，可能对企业市场竞争力、运营效率及品牌信誉造成极大影响。尤其是在高端技术领域，技术资料的泄露可能导致竞争对手通过抄袭、窃取知识产权等手段，损害企业的创新能力，甚至对国家能源安全构成威胁。为此，石化企业必须加强数据加密、访问控制和信息审计，防止信息泄露带来的潜在风险。

2.2 网络安全防护中的关键问题

尽管石化企业已经在网络安全方面投入了大量资金和技术，但在实施网络安全防护时仍面临一系列挑战。首先，石化企业的网络安全防护普遍缺乏统一的管理体系和标准化的安全措施。许多企业仍然停留在传统的网络安全防护模式下，采取单一的技术手段，如防火墙和入侵监测系统，而未能充分运用现代信息技术来进行有效的风险预测和系统防御。因此，网络防护策略往往不能适应快速变化的网络安全环境，导致系统容易受到恶意攻击和入侵。

其次，随着信息化程度的不断提升，石化企业的网络安全管理变得愈加复杂。信息系统的多元化、跨部门的协作

以及高度集成的技术环境，使得企业的网络安全管理变得错综复杂。很多系统之间缺乏良好的协调与整合，导致信息流动不畅，管理难度加大。同时，网络攻击手段和技术手段不断进步，黑客的攻击策略也日益复杂，面对这种复杂的安全形势，石化企业往往难以采取有效的防护措施，导致防护体系的漏洞频发。此外，企业的网络安全管理人员普遍缺乏足够的专业培训和实践经验，这使得企业在应对复杂安全事件时缺乏足够的应急能力。

3 “等级保护 2.0” 方案在石化企业中的应用

3.1 “等级保护 2.0” 框架与原则

“等级保护 2.0”是我国为应对日益复杂的网络安全威胁，针对信息系统安全提出的分级管理方案，旨在通过多层次的保护措施确保系统的安全。不同于传统的安全管理方式，等级保护 2.0 方案通过对信息系统进行分类、分级，为每一个系统设置合适的安全防护标准和措施，依据信息系统对社会、经济、国家安全的重要性及其所面临的安全风险提供定制化的保护策略。

在具体实施过程中，“等级保护 2.0”方案要求各类信息系统根据其数据的重要性、业务的复杂性和对外界的依赖程度等因素，划分为多个安全等级，并对每个等级的安全防护措施进行详细的规定。这些安全措施包括但不限于物理安全、网络安全、数据安全、身份认证、访问控制等，目的是防止恶意攻击、非法访问、数据泄露等风险。例如，对于涉及企业核心生产控制系统和敏感数据存储的高等级系统，要求采用更为严密的加密技术、更加复杂的身份认证机制以及更高强度的访问控制；而对于一般业务系统，则可以采取基础的防火墙保护和入侵检测措施，达到不同等级保护的目的。

该方案的实施并不仅仅依赖于技术手段的保障，还注重安全管理措施与技术防护手段的结合。通过建立完善的安全管理体系，制定清晰的安全责任分工和管理机制，确保信息系统在运行过程中能够始终保持高效、可靠和安全。

3.2 “等级保护 2.0” 在石化企业应用系统中的实施路径

针对石化企业的特殊需求，实施“等级保护 2.0”方案时需要充分考虑到行业特性、信息系统的复杂性以及不同生产线对信息安全的不同要求。为了高效落地该方案，企业应从以下几个方面着手：

风险评估与资产识别：实施“等级保护 2.0”方案的首要步骤是对石化企业现有信息系统进行全面的风险评估。通过识别关键资产，分析可能的安全威胁和风险点，评估系统在遭遇攻击时可能带来的损失，从而为系统分级提供依据。特别是对于核心生产系统和数据存储系统，需要重点评估其安全风险，并识别出关键的数据保护需求。

系统分级：在石化企业的应用系统中，信息系统通常

涉及多个业务环节与生产过程,因此对其进行分级管理显得尤为重要。企业需要根据不同系统的风险评估结果,结合业务的重要性与敏感度,对信息系统进行分类和分级。核心生产控制系统、企业管理系统、财务审计系统等应该被划分为高等级系统,而一般的辅助系统和办公系统则可以分为较低等级系统。每个等级的系统应配备相应的安全保护措施。

安全防护措施的设计与实施:根据不同等级的需求,设计相应的安全防护措施。对于高等级的系统,可以引入更为严格的数据加密、身份认证机制、多因素验证和严格的访问控制,以确保系统免受外部恶意攻击和内部滥用的威胁;对于低等级的系统,采取基础的防火墙、入侵检测和常规的系统日志审计等手段即可满足安全需求。

应急响应与恢复计划:信息安全事件的应对和系统恢复能力是保障网络安全的重要环节。石化企业需要为每个分级系统建立应急响应机制和灾难恢复计划。在系统出现安全事件时,能够迅速有效地进行处理,及时恢复系统的正常运行。应急预案的制定不仅需要涵盖事件响应流程、沟通渠道,还要明确责任分工、应急资源的调配与使用等内容。

持续监控与改进:信息系统的安全保障是一个动态过程,石化企业应当实施持续监控和定期评估机制。通过对系统进行实时监控和定期的安全检查,及时发现潜在的安全威胁和漏洞。利用漏洞扫描、风险评估、数据审计等工具,企业可以对系统的安全性进行定期评估并对其进行优化改进。安全管理不仅仅是一个初期的实施过程,更需要在日常运维中不断加强。

3.3 石化企业在实施过程中的挑战与对策

尽管“等级保护 2.0”方案为石化企业提供了一个切实可行的安全框架,但在实施过程中,仍然存在着一些挑战,尤其是在技术、人员和管理等方面。

技术人员短缺问题:由于石化行业网络安全技术人员普遍短缺,许多企业缺乏足够的专业人才来进行系统的安全设计和维护。为了应对这一挑战,石化企业需要加大对网络安全人才的培养和引进,提升技术团队的专业能力。通过建立培训机制,提升现有技术人员的安全防护能力和解决实际问题的能力。

系统集成与信息孤岛问题:石化企业的应用系统通常是由多个独立的子系统组成,各子系统之间的信息流动与协作较为复杂。如何在实施“等级保护 2.0”时,统一管理这些子系统,并确保全局层面实施有效的安全防护,成为一个关键问题。对此,企业应当通过系统集成和数据共享策略,确保各系统之间的协同工作,提高信息流通效率,同时避免信息孤岛现象。

安全威胁不断升级,需不断更新安全防护措施:随着网络安全技术的快速发展和黑客攻击手段的不断演化,石化企业面临的网络安全威胁变得更加复杂和多样化。为了应对这一挑战,企业需要加强与网络安全技术供应商的合作,及时了解并应用最新的安全防护技术,并对系统进行定期的漏洞修补和升级,确保防护体系始终处于最新状态。

4 结语

石化企业的网络安全问题越来越受到重视,尤其是随着信息化进程的推进,企业的应用系统面临的安全威胁也在日益增加。通过实施“等级保护 2.0”方案,石化企业可以有效提高信息系统的安全防护能力,减少网络攻击和数据泄露的风险。然而,实施过程中仍面临技术、人员、管理等方面的挑战,企业应根据实际情况不断优化安全措施和管理策略,确保信息系统的长期安全运行。随着信息技术和网络安全技术的不断进步,石化企业的网络安全防护能力将得到不断提升,从而推动整个行业朝着绿色、智能、可持续的方向发展。

参考文献

- [1] 石松.石化企业安全生产中智能控制系统的应用探讨[J].中国石油和化工,2024,(12):47-49.
- [2] 刘砚哲,田向煜,王薇.基于化工安全教育平台的危化品企业安全培训空间建设[J].化工安全与环境,2024,37(12):53-56.
- [3] 吕似蕴,李翰庭,刁旭,等.基于风险与脆弱性评估的危险化学品企业安全生产责任保险计算方法研究[J].中国安全生产科学技术,2024,20(S1):18-24.
- [4] 王树国.石化行业新型电力系统构建及再电气化发展综述[J].电气时代,2024,(11):28-32.

Exploration of instrument and equipment asset management methods

Xiao Liu

Shandong Research Institute of Product Quality Inspection, Jinan, Shandong, 250100, China

Abstract

In the context of the new period, China's product production presents a scale, based on this, quality inspection is becoming more and more important. Only by improving the effectiveness of the quality assessment, can we ensure that the product quality meets the relevant specifications and standards. However, as an important tool of the product quality inspection institute, instruments and equipment generally have problems such as idle equipment or scrapped procedures, which greatly restrict the application efficiency and utilization rate of instruments and equipment. Therefore, this paper mainly discusses the "optimization path of asset management of instruments and equipment". By improving the asset management system, paying attention to the use efficiency of equipment in real time, and promoting the network management of instruments and equipment and other strategies, the added value of assets is maximized.

Keywords

instruments and equipment; asset management; strategy

仪器设备资产管理方法探索

刘晓

山东省产品质量检验研究院, 中国 · 山东 济南 250100

摘 要

在新时期背景下,我国产品生产呈现规模化,基于此,质量检验显得愈发重要。只有提升质量评估的有效性,才能确保产品品质符合相关规范标准。但是,仪器设备作为产品质量检验研究院的重要工具,普遍存在设备闲置或报废程序不够严谨等问题,大大制约仪器设备应用效能与利用率。因此,本文主要就“仪器设备资产管理优化路径”进行探讨,通过完善资产管理体制、实时关注设备使用效能,并推进仪器设备网络化管理等策略,实现资产附加价值最大化。

关键词

仪器设备; 资产管理; 策略

1 引言

仪器设备作为产品质量检验研究院的物质基础,发挥着举足轻重的作用。特别是伴随我国社会经济蓬勃发展,产品质量检测水平成为研究院实力的见证。因此,精细化管理仪器设备势在必行,旨在提供高精度评估结果。然而,仪器设备类资产管理是一项复杂且涉猎面较广的工作,对内部管理与外部协调提出更高要求。为了确保仪器设备资产管理工作的深入人心,我们可以具体问题量化,从根本上攻克薄弱环节,使资产管理项目经济效益化。以下对仪器设备资产管理存在问题及措施作以下几个方面研究。

2 仪器设备管理存在主要问题分析

2.1 管理意识薄弱

目前,虽然一些检验研究院实施仪器设备资产分级管

理,但收效甚微,主要体现在常规管理范畴中,未将仪器设备资产管理纳入其中,使其无法在实际操作层面得到响应,进而流于形式。这样一来,管理计划缺乏职责与权限约束,从而无法落到实处。^[1]另一方面,基于管理意识薄弱,导致许多管理工作无法全方位渗透至各个基层部门,停留在形式层面,如此一来,想要实时监督管理执行情况面临严峻挑战,使资产管理职能受到严重制约。

2.2 设备闲置浪费现象严重

据调查,造成设备闲置的成因是管理人员缺乏完善的调研和论证工作。由于没有充足的数据支撑,导致设备购置决策单一,如仅限于短期需求,对多功能适配性、长期使用价值欠缺考量。又或者,基于研究方向改变或项目结束,导致一些仪器设备长时间处于闲置状态,基于频率骤减,无形中增加了资源浪费。更进一步,购置决策缺乏综合考量,还会造成在有限适用性、单一功能框架下,该设备无法在其他用途得到有效利用,加剧闲置问题。

【作者简介】刘晓(1985-),中国山东泰安人,本科,工程师,从事仪器设备计量检定相关研究。

2.3 仪器设备网络化管理滞后

从传统资产管理模式来看,冗长的管理流程与信息互联互通不足是造成仪器设备网络化管理滞后的重要因素。特别是在新形势背景下,仪器设备管理需求逐渐多元化,一些管理软件虽然具备查询、信息记录等功能,但在具体业务流程的定制化设计上仍存在不足,特别是在远程操作与跨部门协同方面,不利于及时反馈仪器设备的使用状态,对管理效率、信息更新造成负面影响。此外,造成信息不对称的另一个重要因素是在数据处理过程中,软件的扩展性不足,阻碍了其他平台与系统的有效衔接,这种不顺畅对接使得各种数据与审批流程无法实现自动关联,不利于管理效率的提升。

3 仪器设备管理方法探索和研究

3.1 加强和完善资产管理体制

第一,增强管理意识培训与宣导。首先,制定针对性培训计划至关重要,可以遵循层次化原则。即培训内容不仅包括资产管理的实际操作技能、流程标准与理论知识,还涉及专题培训,涵盖资产管理案例分析、真实场景模拟等,这种“理论+实践”的培训方式,有助于管理人员全面掌握实践方法,推动资产管理工作高效运行^[2]。其次,为了落实资产管理制度,研究院可定期开展主题研讨会,主要探讨关键问题与经验分享,可以邀请同行中标杆单位表现优异的管理人员、外部专家等共同参与,使参训人员在潜移默化中提升管理意识、领导能力。另外,构建内部OA系统,从常态化宣导层面出发,通过可视化图表展示的管理知识、潜在问题定期推送,有助于参训人员洞察可能存在的成本浪费与风险,为风险意识树立奠定基础。

第二,明确管理职能和权限。在这一过程中,将管理任务细化到个人层面是重要一环,可以制定详细的责任分解表,以明确资产管理职责,包括定期盘点、资产台账更新、设备日常维护等内容,确保每一个岗位职责可追溯^[3]。其次,编制岗位职责说明书时,将资产管理任务纳入考量范畴必不可少,同时辅以绩效考核,如故障响应时间、设备完好率等,有助于相关责任落实到实际操作层面。此外,制定管理目标时,应确保目标的可操作性与实用性。应以实际情况为导向制定可行性指标,包括提升资产周转率、降低闲置资产比例等,考核过程可利用信息化手段动态追踪,然后根据反馈结果反向指导工作方向。

3.2 利用好仪器设备

第一,做好设备购置的调研和科学论证工作。在前期阶段,应以管理目标、科研需求为导向搭建分析框架,旨在为设备购置提供理论依据。具体而言,采用调研问卷方式,从多维度采集需求数据,例如与仪器设备相关的维护成本、操作复杂度、功能适配性及功能表现等。采集完成后,开展跨部门评估会议势在必行,通常由设备技术专家、管理人员与科研骨干组成。主要对研究项目的多功能适配性、价值进

行逐条分析,从根本上确保资产配置科学化。其次,针对设备配置决策单一问题,可以采用ELCM方法(生命周期管理),全面分析设备从购置--服务--报废的全生命周期。这种全过程管理有助于防止设备闲置,确保其在各个阶段的适应性与使用频率最大化^[4]。当然,为了提升资产购置的合理性,可以设置专门的设备论证委员会,其目的是增加论证权威性。因为委员会涵盖操作经验人员、财务人员和跨领域专业技术专家,他们能够综合评价每一项购置需求并生成报告,如预测设备未来潜在研究方向、评估预算分配合理性以及分析技术参数适配性等,使购置决策实效性和严谨性最大化。

第二,实时关注设备使用效能。在这一过程中,涉及设备使用效能评估体系的建立与应用。首要任务是依托数据分析基础上开发评估工具,对设备的科研产出、使用时长、频率等指标进行全面监测。为了提升数据采集的完整性,可引入智能监测模块,实现关键操作数据、设备运行轨迹自动录入,从而形成评估闭环。接下来,以评估结果为主线,通过可调节资源再分配策略,对利用率较低且长期闲置的设备进行资源重组。举个例子,通过租赁或出售方式转让给有需求团队,避免资源浪费。面向新购仪器,可以制定周期性试运行计划,通常为3~6个月,旨在通过细致观察灵活调节设备管理策略,包括增减科研任务、使用权限优化等。最后,基于应用场景有限、技术门槛高造成的设备闲置,研究院可引入辅助设备拓展其应用范围或增加技术技能培训,使资源效益和利用趋于平衡。

3.3 推进仪器设备网络化管理

第一,对功能模块进行全面升级。在这一步骤中,分析痛点、梳理业务流程和组织用户访谈是获得系统改进需求的有效途径,为明确自动化审批模块的具体目标提供有益参考。具体而言,引入工作流引擎技术,并结合审批流程逻辑与设备使用场景,有助于生成自动化审批模型,这涉及多个环节,包括设备从申请--审核--配置--优化。其次,通过用户权限与设备分类设置,能够确保审批请求精准推送。例如,接收申请后,系统根据预设规则自动验证申请合理性、库存可用性和设备状态等,从而推送给相关人员,从根本上降低人为干预因素,使审批效率大幅度提升。另一方面,对于设备状态监控模块的优化,可灵活应用物联网传感器,使其呈网络状结构,全面采集关键参数,涵盖设备振动、温度、运行时长等,同时融入大数据技术,使监控界面可视化,为运行状态分析提供坚实后盾。接下来,结合异常检测算法,一旦检测状态异常便会触发预警装置并发送至管理端处理,最大程度规避设备故障扩展。此外,效率优化与解决资源冲突是智能预约系统的另一个显著优势^[5]。一方面,智能预约系统支持优先级设置,同时可根据预约条件对设备使用时段、实验需求、类型进行筛选,实现精准匹配。另一方面,后续分析需要大量数据作支撑,而预约功能可自动更新设备

状态、详细记录操作人、预约时间等，通过日志数据整合，促进全程追溯链形成。

第二，加强仪器设备管理系统信息共享和互联。此过程应聚焦可兼容多数据接口的平台开发。具体而言，系统应引入高度灵活性接口，以期提升用户体验感。例如操作界面可使用自定义拖拽方式以及自动生成报告模板。就拿研究院个性化要求来说，通过模块化组件，有助于用户迅速调整内容显示与界面布局，为不同实验室、特定部门提供定制化服务，并且支持多种导出格式。其次，跨部门对接可引入 API 技术，将资产管理系统、财务管理系统和实验室管理系统高效对接，为集约型数据库的建立打下坚实基础。为了确保数据库高敏信息的可靠性，可引入云存储技术对设备的购置、保养、维修和报废进行统一储存，同时嵌入分级权限管理模式，避免数据丢失、被篡改等问题，为信息安全提供保障。另外，想要挖掘数据潜能提升资产管理效率，共享平台需重视跨部门协作能力和设备数据实时性。例如，管理人员可随时访问数据，通过移动设备、固定桌面端等，这涉及双向同步技术应用，助力于预约情况、设备状态同步更新至各个端口。与此同时，防止信息不对称影响管理效率，平台应增加消息推送服务，向相关部门及时推送设备操作指引与状态更新。由此可见，优化管理流程的核心在于提升作业效率与精简冗余操作。最后，资产管理涵盖设备盘点层面，在此过程中，人工操作不可避免，为了提升库存状态准确性，可引入 RFID 技术，采用二维码扫码登记模式，为每台设备打造唯一标签，通过手持终端设备灵敏感应，不仅避免人为因素造成管理效率下降，还实现设备库存实时更新与监控。当然，移动端管理除了随时查阅设备信息外，还应具备提醒功能，如保养计划、维修追踪等。在资产管理过程中，故障处理是

一个不可忽视的环节，如何精准推送至相应维修团队且正确生成任务工单是一个重要议题。在此背景下，可将故障分级机制、分类机制嵌入到移动端故障申报模块，实现快速识别故障并生成任务工单，为资产管理效能注入新活力。

4 结语

综上所述，我们针对产品质量检验研究院仪器设备管理中存在的主要问题进行分析，并提出了优化策略。包括加强管理意识、完善资产管理体制、科学论证设备购置以及推进设备网络化管理等措施，这样不仅有效提升了设备利用率和管理效率，还避免资源浪费，最终实现资产附加价值最大化。尽管当前管理系统存在诸多不足，但通过持续优化管理流程、引入先进的信息化工具以及加强跨部门协同，仪器设备的管理效率将得到显著提升。在未来，伴随信息技术蓬勃发展，管理模式不断创新，仪器设备管理将趋于智能化、高效化，为科研院所的研究能力与整体运营效率提供重要助力。

参考文献

- [1] 刘淑云,王文君,贾存栋,等.高校仪器设备管理模式演变与智慧管理创新[J].实验技术与管理, 2024, 41(3):272-278.
- [2] 李若凡,崔坤安,张云,等.基础医学研究类院所固定资产管理现状初探[J].基础医学与临床, 2023, 43(2):363-366.
- [3] 杨留明,于炜.全生命周期视野下高校仪器设备资产管理绩效考核研究[J].科教导刊, 2023(6):35-37.
- [4] 殷朝阳,刘张凡子,杨文君,等.仪器设备建账报账在线一体化业务办理模式的探索与实践[J].中国现代教育装备, 2023(17):37-39.
- [5] 程飞,黄万明,何侦涛.基于物联网技术的计量技术机构固定资产管理研究[J].计量与测试技术, 2023, 50(2):97-99.

Preparation process and quality control of stable polypeptide drugs

Ziyuan Zhou Juan Hong Jing Zuo Ning Du Jun Meng*

National Cancer Center / National Medical Clinical Research Center for Oncology / Department of Pharmacy, Cancer Hospital, Peking Union Medical College, Chinese Academy of Medical Sciences, Shenzhen, Guangdong, 518116, China

Abstract

This paper analyzes the preparation process and quality control core technology of stable polypeptide drugs, combined with the stable polypeptide project targeting the receptor binding region of the COVID-19 virus spike protein, and reports that the stable polypeptide of the linear polypeptide has a stronger binding ability to the COVID-19 virus spike protein. In view of the poor biological stability and membrane penetration of peptides, easy hydrolysis, the systematic research aims to comprehensively improve the stability and biological activity of peptides, and ensure their safety and effectiveness. Based on polypeptide characteristics and cutting-edge biotechnology, innovative preparation processes and quality control strategies are proposed, so as to lay a solid theoretical and practical foundation for the development and production of polypeptide drugs.

Keywords

polypeptide drug; preparation process; quality control

稳定多肽药物的制备工艺与质量控制研究

周子原 洪娟 左靖 杜宁 孟珺*

国家癌症中心 / 国家肿瘤临床医学研究中心 / 中国医学科学院北京协和医学院肿瘤医院深圳医院药学部, 中国 · 广东 深圳 518116

摘 要

本文剖析稳定多肽药物的制备工艺与质量控制核心技术, 结合靶向新冠肺炎病毒刺突蛋白受体结合区域的稳定多肽项目, 报告了对线性多肽进行关环构建的稳定多肽对新冠肺炎病毒刺突蛋白有更强的结合能力。鉴于多肽类生物稳定性和穿膜性差, 易水解等问题对成药性的限制, 系统性的研究旨在全面提升多肽药物稳定性与生物活性, 保障其安全性和有效性。综合多肽特性与前沿生物技术, 提出创新制备工艺与质量控制策略, 为多肽药物研发生产筑牢理论与实践根基。

关键词

多肽药物; 制备工艺; 质量控制

1 引言

多肽药物, 因其独特的高生物活性和对靶点的高度特异性, 在众多疾病治疗中展现出非凡潜力。从糖尿病治疗中调节血糖相关生理过程的利拉鲁肽, 到针对新冠病毒 (SARS-CoV-2) 刺突蛋白 (Spike protein) 受体结合区域

(Receptor Binding Domain, RBD) 的多肽类药物以及单抗类药物的开发^[1,2], 其应用范围不断拓展。然而, 多肽药物自身稳定性差这一关键短板, 如易受环境因素影响发生降解, 极大地制约了其在临床实践中的广泛应用。因此, 深入探究稳定多肽药物的制备工艺和质量控制技术, 对于突破当前瓶颈、充分挖掘多肽药物的医疗价值、提高其在学习过程中的疗效和保障患者用药安全, 具有不可忽视的重要意义。

2 多肽药物的制备工艺

多肽的制备工艺主要分为化学合成法和生物合成法。

2.1 化学合成法

2.1.1 固相合成

化学合成法作为多肽药物制备的核心方法之一, 固相合成凭借其显著优势逐渐占据主流地位。合适的固相载体应具备优良的化学稳定性、与多肽链的可靠连接能力以及在反应条件下不发生不必要的副反应等特性。通过将起始氨基酸

【基金项目】国家自然科学基金 (项目编号: 22107045、82472934); 国家癌症中心/国家肿瘤临床医学研究中心/中国医学科学院北京协和医学院肿瘤医院深圳医院课题 (项目编号: E010221005、CFA202201006)。

【作者简介】周子原 (1989-), 男, 中国广东深圳人, 博士, 副研究员, 从事临床药学研究。

【通讯作者】孟珺 (1971-), 女, 中国广东深圳人, 硕士, 主任医师, 从事药理学管理研究。

与固相载体牢固连接,为后续的多步缩合反应奠定基础,如图 1^[1]。修饰步骤则是根据多肽药物的设计要求,对合成过程中的多肽链进行功能化修饰,如添加特定的化学基团以增强其稳定性或生物活性,或者通过关环增强多肽的稳定性,

如图 2 展示的靶向新冠肺炎病的刺突蛋白的多肽,适当的关环修饰可以增强结合能力。最后,分离纯化环节利用高效的色谱技术,将目标多肽从复杂的反应混合物中精确分离出来,获得高纯度的多肽产物。^[3]

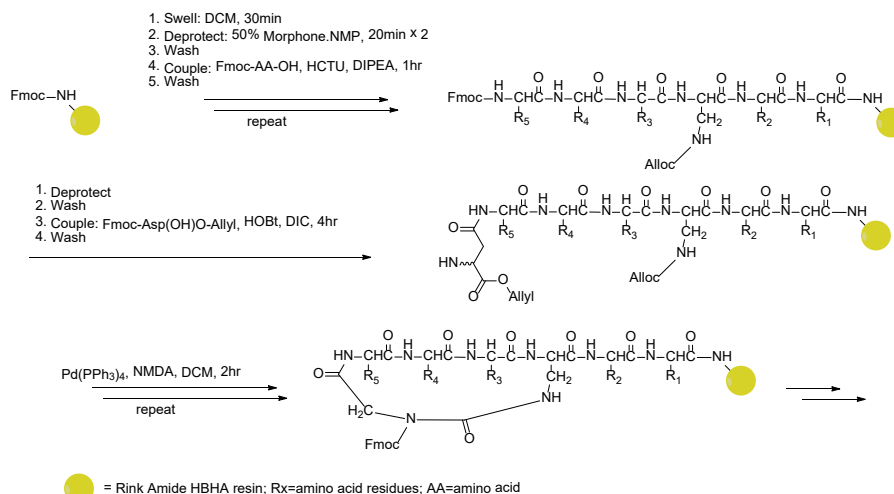


图 1. 稳定多肽的固相合成及关环步骤^[4]

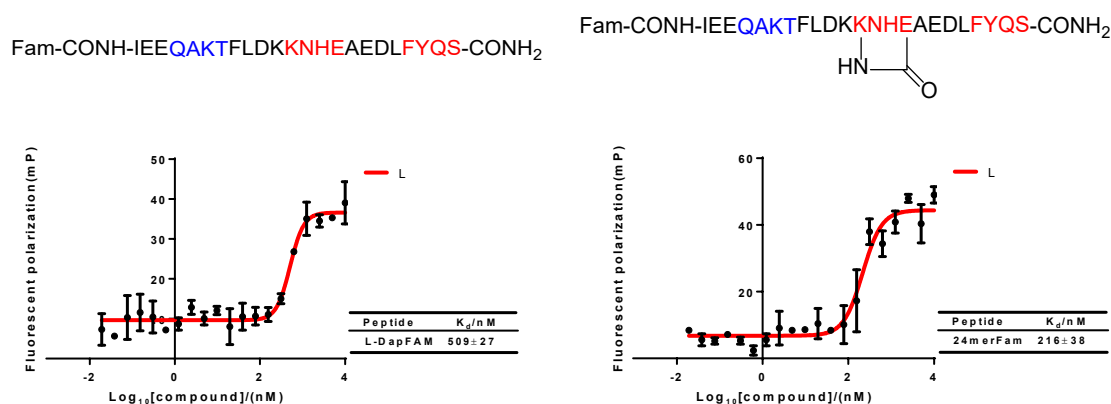


图 2. 对线性多肽进行关环构建的稳定多肽对新冠肺炎病毒刺突蛋白有更强的结合能力

2.1.2 液相合成

液相合成在短链肽的制备中仍有一定应用价值。但反应体系相对复杂,容易引入更多的杂质。随着反应步骤的增加,副反应增多,产物纯化难度呈指数级上升。

2.2 生物合成法

2.2.1 天然提取法

天然提取法是从天然生物来源中获取多肽的方法。然而,这种方法受到资源限制,且提取过程复杂,获得的多肽产量有限,同时还可能受到生物体内其他成分的干扰,需要复杂的分离纯化步骤^[5]。

2.2.2 酶催化法

酶催化法利用特定的酶作为催化剂来合成多肽。酶具有高度的选择性和催化效率,能够在温和的反应条件下实现多肽的合成。但酶的来源、成本以及酶的稳定性等问题限制了其大规模应用,并且需要精确控制反应条件以确保酶的活

性和反应的选择性。

2.2.3 发酵法

发酵法通过微生物发酵来生产多肽。微生物的代谢途径可以被设计和调控,以实现特定多肽的合成。但发酵过程容易受微生物菌株特性、发酵条件(如温度、pH、溶氧等)的影响,需要严格的过程控制来保证多肽的产量和质量。

2.2.4 基因重组法

基因重组法是基于现代合成生物学技术的先进方法,尤其适用于长链肽和复杂肽的制备。通过对基因序列的设计和重组,可以实现多肽的定向表达。这种方法具有表达定向的优势,能够按照预期合成具有特定结构和功能的多肽。基因重组法相对更加安全环保,减少了化学合成过程中可能产生的有害物质。然而,其研发过程涉及复杂的基因工程技术,研发难度大,周期长,而且在表达过程中可能会遇到产率低等问题。

3 多肽药物的质量控制

3.1 纯度检测

纯度检测是多肽药物质量控制的关键环节。高效液相色谱 (HPLC) 联合质谱 (MS) 是多肽药物纯化和纯度监控的重要手段。多级质谱联用技术更是能够深入剖析多肽的结构信息^[5]。

3.2 结构确证

多肽药物的结构正确与否直接决定其生物活性。Edman 降解法作为一种经典的测序方法,对于短肽和中等长度肽的 N 端测序具有较高的准确性。其原理是基于苯异硫氰酸酯 (PITC) 与多肽 N 端氨基酸的特异性反应,通过逐步降解和分析反应产物,可以确定多肽 N 端的氨基酸序列。质谱法在结构确证方面具有独特优势,通过多级质谱联用技术,如串联质谱 (MS/MS),可以对多肽进行裂解和分析,从裂解碎片的质量信息中推断出整个多肽的氨基酸序列。核磁共振 (NMR) 法是一种能够提供丰富结构信息的技术,它可以测定原子间的距离、角度以及动力学参数等。通过对这些参数的分析,可以精确确定多肽的三维结构,从而全面确证多肽的结构完整性和正确性。

3.3 活性与稳定性评估

多肽药物的活性与稳定性评估是保障其疗效和安全性的核心步骤。表面等离子共振 (SPR) 技术可以实时监测多肽与靶标蛋白之间的相互作用,精确测定其亲和力常数。这种对活性的准确评估能够确保多肽药物在体内能够准确地发挥其治疗作用。在稳定性评估中,需要考虑多肽药物在不同储存条件(如温度、湿度等)、运输过程中的振动和温度变化以及使用过程中的各种环境因素下的稳定性变化。通过加速稳定性试验、长期稳定性试验等方法,模拟实际应用场景,观察多肽药物的降解情况、活性变化等,从而全面评估其稳定性,为多肽药物的合理储存、运输和使用提供科学依据。

4 稳定多肽药物的制备工艺优化

为了克服多肽药物稳定性差的问题,修饰与保护策略在多肽药物研发中得到了广泛应用。糖基化和 PEG 化是两种常见且有效的修饰方法^[5]。

糖基化是在多肽分子上引入糖基,通过改变多肽的亲水性、空间构象和电荷分布等性质,提高多肽的稳定性。糖基可以作为一种保护基团,减少多肽与酶的接触,从而降低酶解的可能性。同时,糖基化还可以影响多肽的药代动力学性质,如增加其在血液中的循环时间,提高生物利用度。在糖基化过程中,需要选择合适的糖基供体和反应条件,以确保糖基能够准确地连接到多肽的特定位置,并且不影响多肽的生物活性。

PEG 化则是将聚乙二醇 (PEG) 链连接到多肽分子上。PEG 是一种无毒、生物相容性良好的聚合物,其连接到多肽上可以形成一种空间位阻,阻碍酶对多肽的接近,从而减少酶解作用。此外,PEG 化还可以降低多肽的免疫原性,

因为 PEG 可以掩盖多肽分子上的一些抗原决定簇。PEG 的分子量和连接方式对多肽的性质有重要影响,需要根据多肽的具体特点和应用需求进行优化选择。

除了糖基化和 PEG 化,还有其他多种修饰方法,如酰化、烷基化等,这些修饰方法都可以从不同角度提高多肽药物的稳定性和生物活性,但在应用过程中需要综合考虑修饰对多肽结构和功能的影响,确保修饰后的多肽仍然能够发挥预期的治疗作用。

5 实践案例分析

本文以靶向新冠刺突蛋白的多肽药物为例,重点阐述了化学合成采用固相合成法的纯化过程。质量检测环节,采用 HPLC 和质谱联用技术进行纯度检测,结果显示多肽纯度达到了 99% 以上。结构确证方面,通过 Edman 降解法、质谱法和 NMR 法的综合应用,准确确定了多肽的结构和修饰情况。活性评估实验表明,该多肽药物对新冠肺炎刺突蛋白具有显著的抑制作用,其 IC₅₀ 值达到了纳摩尔级别。稳定性评估结果显示,稳定多肽药物比线形肽更加稳定,更加不易水解。^[3]

6 结论

本文探讨了稳定多肽药物的制备工艺与质量控制的关键技术,提出了一系列创新的制备工艺和质量控制策略。通过实践验证,这些策略能有效提高多肽药物的稳定性和生物活性,为其临床应用提供有力支持。未来,随着生物技术的不断发展,稳定多肽药物的制备工艺与质量控制技术将进一步完善和优化,为更多疾病的治疗提供新的药物选择。

参考文献

- [1] F. Chen, Z. Liu, W. Kang, F. Jiang, X. Yang, F. Yin, Z. Zhou, Z. Li. Single-domain antibodies against SARS-CoV-2 RBD from a two-stage phage screening of universal and focused synthetic libraries[J]. BMC Infectious Diseases, 2024, 24(1): 199.
- [2] Z. Li, F. Yin, Z. Zhou, K. Qiao, Q. Shi, E. Yan, Stable polypeptide targeting spike protein of SARS-CoV-2 pneumonia virus and its application in medicine for treating SARS-CoV-2 pneumonia virus, Peking University Shenzhen Graduate School, Peop. Rep. China; Shenzhen Bay Laboratory Pingshan Biomedical R&D and Transformation Center . CN112321686A, China, 2022, p. 20pp.
- [3] W. Zhong, C. Wan, Z. Zhou, C. Dai, Y. Zhang, F. Lu, F. Yin, Z. Li. 4-Iodine N-Methylpyridinium-Mediated Peptide Synthesis[J]. Organic Letters, 2023.
- [4] X. Qin, X. Shi, L. Tu, Y. Ma, Z. Zhou, R. Zhao, M. Zhan, F. Yin, Z. Li. Autophagy inducing cyclic peptides constructed by methionine alkylation[J]. Chem. Commun. (Cambridge, U. K.), 2019, 55(29): 4198-4201.
- [5] K. Hu, F. Yin, Z. Zhou, C. Lian, Y. Liu, C. Sun, W. Li, J. Zhang, Z. Li. Directional assembly of a stapled α -helical peptide[J]. Chem. Commun. (Cambridge, U. K.), 2019, 55(70): 10484-10487.

Stress analysis and fracture control in ultrathin silicon wafer processing

Huanhuan Zheng Weileng Wang*

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

Abstract

As a key material in the field of semiconductor and microelectronics, ultra-thin silicon wafer due to mechanical, thermal and chemical stress problems in the processing process directly affects the quality and reliability of products. This paper focuses on stress analysis and fracture control in ultra-thin silicon wafer processing. Firstly, it analyzes the source, distribution and evolution law of internal stress of silicon wafer under different processing processes and environmental conditions, and discusses the comprehensive influence of mechanical stress, thermal stress and chemical stress on the performance of silicon wafer. In terms of stress analysis methods, this paper establishes a stress model based on finite element analysis, and combines stress testing technology to simulate and predict the stress field during processing. In terms of fracture control, this paper deeply studies the mechanism of silicon wafer fracture, analyzes the fracture form and characteristics through the fracture mechanical theory, puts forward the effective method of stress release and relief, and optimizes the processing process to improve the fracture strength of silicon wafer. The results provide theoretical basis and technical support for improving the stability and safety of ultra-thin silicon wafer processing.

Keywords

ultra-thin silicon wafer; stress analysis; fracture control; finite element analysis; processing technology

超薄硅片加工中的应力分析与断裂控制

郑欢欣 王伟棱*

浙江海纳半导体股份有限公司, 中国·浙江 衢州 324300

摘 要

超薄硅片作为半导体和微电子领域的关键材料, 其在加工过程中由于机械、热和化学作用导致的应力问题直接影响产品的质量和可靠性。本文围绕超薄硅片加工中的应力分析与断裂控制展开研究, 首先分析了不同加工工艺和环境条件下硅片内部应力的来源、分布及演变规律, 探讨了机械应力、热应力及化学应力对硅片性能的综合影响。在应力分析方法方面, 本文建立了基于有限元分析的应力模型, 并结合应力测试技术对加工过程中应力场进行模拟和预测。在断裂控制方面, 本文深入研究了硅片断裂的机理, 通过断裂力学理论对断裂形式和特征进行分析, 提出了应力释放和缓解的有效方法, 并优化了加工工艺以提高硅片的断裂强度。研究结果为提升超薄硅片加工的稳定性和安全性提供了理论依据和技术支持。

关键词

超薄硅片; 应力分析; 断裂控制; 有限元分析; 加工工艺

1 引言

超薄硅片广泛应用于半导体、微电子和光伏产业, 其高精度和高稳定性要求使得加工过程中的应力问题备受关注。在加工过程中, 由于机械切削、化学蚀刻、热处理等工艺步骤, 硅片内部会产生复杂的应力场, 这些应力不仅影响硅片的平整度和表面质量, 还可能导致微裂纹的形成甚至断裂, 从而严重影响产品的可靠性和使用寿命。尤其是在硅片

厚度不断降低的趋势下, 硅片的力学性能显著下降, 断裂风险显著增加。因此, 深入研究硅片加工过程中的应力产生机制、应力分布特性及断裂控制技术, 对于提高硅片的加工质量和降低生产损耗具有重要意义。

2 超薄硅片加工中的应力来源与分布

2.1 加工工艺对硅片应力的影响

超薄硅片在加工过程中会受到切割、磨削、抛光等多种工艺的影响, 这些加工工艺会导致硅片表面或内部产生不均匀的应力。在切割过程中, 激光、钻孔或机械切割都会产生局部应力集中, 进而引发微裂纹。磨削和抛光过程中的摩擦力和温度变化会使硅片的表面发生变形, 影响应力的分布。不同加工方式下, 硅片表面的应力状态存在显著差异, 特别是在薄硅片中, 由于其薄弱结构, 较大的加工力会引发

【作者简介】郑欢欣 (1981-), 男, 中国浙江杭州人, 中级职称, 从事硅材料加工研究。

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

明显的应力变化,甚至导致断裂或开裂。

2.2 温度变化引起的热应力

在超薄硅片的加工过程中,温度变化是导致热应力的重要因素。加热和冷却过程中,硅片的热膨胀与其热导率不同导致的温度梯度产生应力。当硅片表面与内部温度分布不均时,会造成内应力和表面应力的形成。特别是快速加热或冷却的过程中,热应力的积累可能导致材料的局部变形或开裂。由于硅片薄且脆,温差变化可能导致表面产生明显的裂纹,进而影响硅片的使用性能和稳定性。

2.3 机械应力与化学应力的相互作用

在超薄硅片的加工过程中,机械应力和化学应力之间存在着复杂的相互作用。机械应力通常由加工力、切削力等因素引起,这些应力会对硅片的结构产生直接影响。化学应力则主要源于化学蚀刻、清洗过程中的化学反应,当硅片与化学物质接触时,可能引发表面微观结构的改变,从而导致应力集中。两者的相互作用可能加剧应力的集中区域,导致裂纹的形成。特别是在薄硅片的情况下,机械应力与化学应力的交互作用更易引发脆性断裂。

3 应力分析方法及模型建立

3.1 有限元分析方法在应力分析中的应用

有限元分析(FEA)是一种利用数值计算方法研究超薄硅片应力分布的有效工具,能够精确模拟不同工艺条件下硅片内部的应力场。通过建立二维或三维有限元模型,对硅片厚度低于 $50\mu\text{m}$ 的超薄结构进行网格划分,通常单元尺寸控制在 $1\sim 5\mu\text{m}$ 之间,以提高计算精度。计算过程中,设定硅片杨氏模量为 130 GPa 、泊松比为 0.28 ,并在施加载荷条件下计算硅片内部应力的分布特征和最大应力值。基于有限元分析获得的这些数值结果,能够准确预测应力集中区域,并指导实际加工工艺参数的优化,有效减少加工过程中硅片的断裂风险。

3.2 应力测试技术与设备选择

在超薄硅片加工中,应力测试技术的选择对于精确掌握材料的内部应力状态至关重要。常用的测试技术包括拉曼光谱法、X射线衍射法(XRD)和光弹法,其中拉曼光谱技术可实现硅片表面 $5\sim 10\mu\text{m}$ 深度范围内应力的非接触测量,应力检测灵敏度达到 1 MPa 。X射线衍射技术可检测硅片晶格间距变化,分辨率达到 10^{-4} nm 量级,应力检测精度在 $5\sim 15\text{ MPa}$ 范围内,适用于厚度在 $20\mu\text{m}$ 以下的超薄硅片。在设备选择方面,通常根据硅片厚度和测量精度要求,综合考虑设备的灵敏度、精度及适用范围,结合实际加工条件进行选择,以确保获得可靠的数据支持。

3.3 应力场模拟与预测方法

超薄硅片加工过程中,应力场的模拟与预测主要依靠计算机数值方法实现,通过建立数学物理模型,模拟工艺条件下硅片内部应力分布的变化规律。目前广泛采用的软件

如ANSYS、COMSOL等,能够实现热-机械耦合分析,在温度场梯度超过 $30^\circ\text{C}/\text{mm}$ 或机械加载条件变化超过 $0.05\text{ N}/\text{mm}$ 时,都能够进行精确的数值模拟分析。在模拟过程中,通常设定硅片厚度在 $20\sim 50\mu\text{m}$ 范围内,建立非线性热力耦合模型,通过模拟不同加工参数(如载荷变化 $0.1\sim 0.5\text{ N}$ 、温度变化 $50\sim 200^\circ\text{C}$)对硅片产生的应力进行预测,获得应力分布云图与曲线变化趋势图。模拟结果显示,当温差变化达到 100°C 时,应力集中区最大值可超过 300 MPa ,通过对这些模拟数据的分析,可以提前识别并有效控制硅片加工中的潜在断裂风险区域。

3.4 典型应力分析模型的建立与验证

典型的应力分析模型建立通常基于实际加工工艺条件,选取超薄硅片样品(厚度为 $30\mu\text{m}$)建立具有代表性的有限元模型,定义边界条件、载荷条件和材料参数(杨氏模量 130 GPa 、热膨胀系数 $2.6\times 10^{-6}/^\circ\text{C}$)。针对硅片进行机械加载实验,加载范围通常控制在 $0.1\sim 0.5\text{ N}$,通过测量实际硅片样本的表面位移和应力情况,对模型的精确性进行验证。采用拉曼光谱仪对硅片样品进行实际应力测量,获得真实工况下表面应力分布数据,将这些测量数据与模型计算结果进行对比,验证模型的有效性。数据显示,模型计算的应力分布结果与实际测试数据误差一般控制在 5% 以内,应力峰值差距小于 15 MPa ,验证了有限元模型在超薄硅片加工应力预测中的准确性,为实际生产中的应力控制提供了可靠依据。图1展示了应力分析有限元模型中的网格局部放大图。

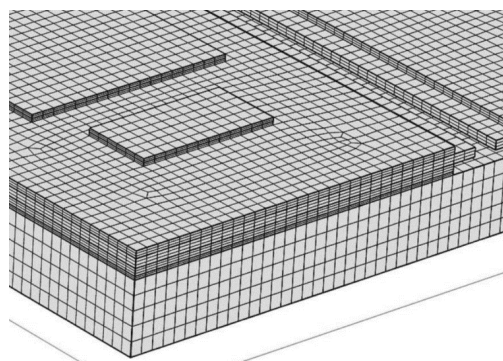


图1 应力分析有限元模型中的网格局部放大图

4 硅片断裂机理与控制策略

4.1 硅片断裂形式与特征分析

超薄硅片在加工过程中表现出的断裂形式主要包括脆性断裂、微裂纹扩展与疲劳断裂三种典型特征。脆性断裂是硅片最常见的破坏形式之一,表现为硅片表面或边缘快速扩展的裂纹,扩展速度可达数百米每秒,其发生时几乎无塑性变形,断口平整、光滑,具有典型的镜面区、雾面区和羽毛状区结构特征。实验表明,当硅片受到机械应力超过材料的临界应力(通常为 $200\sim 400\text{ MPa}$)时,即可瞬间发生脆性断裂。微裂纹扩展则多发生于应力水平较低的长期加工过程中,初

始裂纹尺寸一般在数微米至数十微米之间,这类裂纹会在连续加载或循环应力作用下逐渐扩展,并最终发展成灾难性裂纹。这些不同的断裂形式及其对应的断裂特征,为深入理解硅片断裂机理和提高硅片加工的可靠性提供了重要的理论依据。

4.2 断裂力学在硅片加工中的应用

断裂力学理论广泛应用于超薄硅片的加工过程中,以评估和预测裂纹扩展及硅片的失效情况。材料都具有临界受力点或临界热应力,半导体功率器件封装中的各种材料的临界应力值如表1所示。如果实际热应力超过这一数值,就会出现断裂失效的危险,其中硅芯片的脆性是分析热应力的关键。在对硅片进行切割、抛光或研磨过程中也可能产生裂纹。对于类似砖片的易碎材料,其临界应力 S 可以按照下面的公式进行计算:

$$S = Y \frac{K}{\sqrt{a\pi}}$$

式中, K 为材料的断裂韧度,单位为 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, a 为裂纹长度;对于不同的裂纹,取不同的值,边缘裂纹、表面裂纹和嵌入裂纹对应的 Y 值分别为1.3、1.4与1.56。

表1 不同材料的临界应力值

材料	临界热应力/psi
硅	5.36×10^4 (3 μm 薄片)
氧化铝	4.98×10^4
氮化铝	4.44×10^4
氮化硅	1.40×10^5

利用线弹性断裂力学(LEFM)理论,通过定义应力强度因子(K_{I})来评价裂纹尖端的应力集中程度,当裂纹扩展临界应力强度因子达到硅片的断裂韧性(通常 K_{IC} 为0.7~1.0 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$)时,裂纹将迅速扩展导致硅片断裂。依据Paris公式($da/dN=C(\Delta K)^m$)可分析硅片裂纹扩展速率,其中 ΔK 为应力强度因子变化范围,常用实验数据表明,当 ΔK 在0.3~0.6 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 范围时,裂纹扩展速率达到 10^{-9} ~ 10^{-6} m/cycle,精确预测裂纹扩展寿命。对于硅片,其断裂韧度 K 为0.7~0.8。当硅片边缘存在3 μm 长的裂纹时,其临界应力为 5.36×10^4 psi;当裂纹长度为12 μm 时,其临界应力为 2.7×10^4 psi。断裂力学理论的应用,为硅片加工过程中裂纹控制提供了科学依据和具体的参数指导。

4.3 应力释放与缓解技术

在超薄硅片加工过程中,应力释放与缓解技术对减少硅片断裂风险具有重要作用。退火处理是一种常用的应力释放方法,通过在500~900 $^{\circ}\text{C}$ 范围内对硅片进行退火,保持时间为20~60分钟,研究表明能有效降低硅片内部应力达30%~50%,特别是在温度超过700 $^{\circ}\text{C}$ 条件下,应力释放效果最为显著。激光辅助应力缓解技术则采用功率密度为0.5~1.5 J/ cm^2 的激光束在硅片表面进行扫描,扫描速度通常控制

在50~200 mm/s范围内,实验数据表明该方法能在不影响硅片结构完整性的条件下,有效降低表层应力20%以上。超声波振动缓解技术采用20~40 kHz频率、振幅5~15 μm 的超声波作用于硅片表面,持续处理时间为2~10分钟,能够显著促进硅片内部微裂纹闭合和应力释放,相关测试数据显示应力降低幅度可达25%~35%。化学腐蚀缓解技术利用浓度为5%~10%的氢氟酸或氢氧化钾溶液,对硅片表面进行浸泡处理10~30秒,也能明显减弱表面残余应力,测量数据显示处理后表面应力值一般可降低15%~25%,为硅片断裂的有效控制提供了可靠手段。

4.4 断裂控制工艺的优化与实践

针对超薄硅片易断裂的问题,通过工艺优化可有效提高硅片加工过程中的可靠性和良率。在切割工艺优化中,通过降低机械载荷到0.05~0.2 N范围、提高切割速度至100~300 mm/min,有效减少切割过程中的机械应力峰值,根据实验数据显示,采用该工艺调整,硅片断裂率可从原有的15%降低到5%以下。研磨与抛光工艺中,通过调整抛光垫压力至20~40 kPa、抛光速度控制在50~100 rpm范围内,以及引入研磨液流量为100~200 mL/min的润滑条件,能够降低加工表面粗糙度至0.5 nm以下,显著减少微裂纹的产生和扩展,数据分析显示加工后微裂纹尺寸降低至5 μm 以内,硅片整体断裂风险显著降低。上述工艺优化方案的实际生产实践数据显示,超薄硅片的良品率提高20%以上,整体断裂风险下降50%以上,有效保障了硅片加工工艺的稳定性和可靠性。

5 结语

本文系统分析了超薄硅片加工过程中应力的形成机制与断裂控制方法,通过建立有限元分析模型,精确模拟和预测了不同工艺条件下硅片内部应力场的特征,深入探讨了断裂力学理论在加工过程中的具体应用,并提出了有效的应力释放与缓解技术措施。同时,结合工艺参数的优化实践,实现了硅片断裂风险的显著降低。研究成果可为超薄硅片的高质量加工提供理论支撑与技术指导,推动硅片制造技术的进一步发展。

参考文献

- [1] 张立安.超薄单晶硅片加工检测技术的研究进展[J].现代工业经济和信息化,2022,12(09):27-29.
- [2] 汲国鑫,宋德,陈卫军.超薄硅片制备工艺的优化[J].长春理工大学学报(自然科学版),2022,45(02):1-5.
- [3] 汲国鑫.超薄硅片的制备工艺及其光电性质的研究[D].导师:宋德.长春理工大学,2021.
- [4] 孙洁.超薄硅片倒角工艺研究[J].电子工业专用设备,2016,45(04):17-19.
- [5] 邱维.超薄单晶硅片伸缩性折叠性研究及应用[D].导师:吴星海.四川师范大学,2014.

On the application of BIM technology in construction management of construction projects

Hemin Zhu

Jianyan Kaibo Construction Engineering Consulting Co., Ltd., Beijing, 100080, China

Abstract

The refinement of construction management directly affects the project quality and construction efficiency, while the information fragmentation and collaboration obstacles have long restricted the improvement of management efficiency. The emergence of Building Information Modeling (BIM) technology provides technical support for the reconstruction of construction management processes. The traditional management model relies on two-dimensional drawings and scattered progress reports, and the isolation of data from various disciplines leads to lagging problem prediction and insufficient decision-making basis. Through the functions of three-dimensional visualization and data integration, BIM technology can theoretically realize the simulation and dynamic control of the whole construction process, but in practical application, problems such as insufficient model accuracy and data flow faults are still common. How to transform the technical advantages of BIM into the management effectiveness of the construction site has become a key proposition to break through the bottleneck of traditional management.

Keywords

BIM technology; Construction; Construction management

试论 BIM 技术在建筑工程施工管理中的运用

朱贺民

建研凯勃建设工程咨询有限公司, 中国 · 北京 100013

摘 要

建筑工程施工管理的精细化程度直接影响项目质量与建设效率, 而信息碎片化与协同障碍长期制约着管理效能的提升。建筑信息模型 (BIM) 技术的出现, 为重构施工管理流程提供了技术支撑。传统管理模式依赖二维图纸与分散的进度报表, 各专业数据孤立导致问题预判滞后、决策依据不足。BIM 技术通过三维可视化与数据集成功能, 理论上可实现施工全过程的模拟推演与动态管控, 但在实际应用中, 模型精度不足、数据流转断层等问题仍普遍存在。如何将 BIM 的技术优势转化为施工现场的管理实效, 成为突破传统管理瓶颈的关键命题。

关键词

BIM 技术; 建筑工程; 施工管理

1 引言

施工管理数字化转型进程中, BIM 技术的深度应用成为重构工程管理范式的重要突破口。传统施工协调依赖经验判断与人工巡检, 对隐蔽工程管控、多专业交叉冲突等问题响应滞后。BIM 技术的空间碰撞检测与施工模拟功能, 理论上可提前化解 80% 的现场问题, 但实际应用效果受制于模型更新滞后、协同机制缺失等现实因素。技术应用需突破“重建模轻应用”的误区, 建立模型数据与现场管理的实时联动机制, 这种转型对施工企业的技术适配能力提出更高要求。

2 BIM 技术概念

建筑信息模型技术作为建筑工程领域的革命性创新, 已逐渐成为推动建筑业数字化转型的核心驱动力。从本质上讲, BIM 不仅是一种三维建模工具, 更是一套完整的信息集成与管理方法论, 它通过建立包含建筑物全生命周期数据的数字化模型, 实现了从规划设计到施工建造再到运营维护的全过程信息共享与协同管理。与传统二维设计方法相比, BIM 技术构建的参数化模型能够精确表达建筑物的几何特征、物理属性及空间关系, 使各专业间的信息交互更为直观高效^[1]。

从应用角度进行分析可知, 借助虚拟仿真以及碰撞检测功能的 BIM 技术, 能让设计团队在施工之前就识别出潜在的专业冲突并加以解决。相关研究统计显示, 这种预先协调机制可减少大约 40% 的设计变更以及 80% 的返工情况,

【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。

降低了项目成本超支的风险，BIM技术的四维施工模拟功能也就是三维模型加上时间维度，为项目管理者提供了可视化的进度控制工具。依靠把施工计划和三维模型联系起来，管理者可直观地了解工程进展情况，及时对资源配置做出调整，优化施工组织方案。

从信息流动这个角度出发来看，BIM技术构建了基于云计算的协同工作平台，此平台打破了传统工程管理中各参与方之间存在的信息壁垒，借助统一的数据环境，业主、设计师、承包商以及分包商等各方可随时访问并更新项目信息，沟通效率与决策质量都有了较大幅度的提升。BIM技术和物联网、大数据分析等新兴技术相互融合应用，正催生出全新的智能建造模式。比如把BIM模型和现场传感器网络连接起来，项目管理者就能获取实时的施工状态数据，达成对材料消耗、设备运行以及人员分布的精确监控，这种数字孪生理念的实践，在多个大型复杂项目中都已证实其在质量控制与安全管理方面有一定优势。在成本管理层面，BIM技术的工程量自动计算以及变更实时更新功能，让预算编制与造价控制更加精准高效。借助与供应链管理系统进行集成，BIM平台还可优化材料采购与库存管理，减少资源浪费，提升资金使用效率^[2]。

3 BIM技术在建筑工程施工管理中的运用要点

3.1 BIM技术在决策阶段的应用

BIM技术作为当代建筑信息化的核心支撑力量，凭借其全方位以及多维度的特性，于工程项目决策阶段呈现出不可替代的战略价值。在传统决策模式里，项目前期的数据采集大多时候依靠人工操作，这耗费时间与精力，还会由于资料不完备以及信息孤岛等问题致使决策出现偏差，而BIM技术借助构建统一的数字化信息平台，达成了从数据获取直至分析应用的全流程革新。在项目启动时期，BIM模型可以整合地质勘测、环境评估、法规限制等关键信息，借助参数化建模与可视化展示，帮助决策者直观地掌握项目的可行性与潜在风险^[3]。

BIM平台帮协同决策，业主、设计师、工程师等各方主体能依据同一信息源交流与博弈，减少了沟通成本与理解偏差。经济层面，BIM技术的预见性分析功能让投资估算更精准，借助多方案比选与模拟，能提前识别并规避设计缺陷与施工冲突，遏制成本超支风险因素。技术层面，BIM的参数化设计能力使创新方案可行性验证更便捷，决策者可在虚拟环境评估不同技术路线优劣，为项目创新提供支持。

随着碳中和理念越来越被大众所熟知，BIM技术集成的能耗分析和环境模拟功能，逐渐成为决策阶段衡量项目可持续性的关键工具，推动绿色建筑理念得以实现，BIM技术对决策阶段的作用，体现在静态分析方面，它基于时间维度的4D模拟能力，能保障项目进度计划的合理性以及资源配置的科学性。实际情况显示，在决策阶段充分运用BIM

技术的项目，一般可达成更精准的目标定位、更科学的资源调配以及更顺畅的实施过程，最终成功率和投资回报率都比传统项目高出不少^[4]。

3.2 BIM技术在建筑工程设计中的运用

BIM技术作为当代建筑工程设计领域有变革性的工具，凭借其具有的全方位信息整合能力以及立体化的模型构建功能，正在对传统设计范式产生深刻的重塑作用。建筑设计从本质上来说是一项极为复杂的系统工程，它涉及建筑、结构、机电、给排水等多个专业的交叉融合，在传统二维设计模式下，专业之间的壁垒较为明显，信息传递存在滞后现象，协同效率也比较低下。而BIM技术的引入构建起了一个完整的信息共享生态系统，达成了设计全流程的透明化以及可追溯性，在方案设计阶段，BIM借助参数化建模，能让建筑师迅速构建多种概念方案并开展比对，极大地提升了创意表达的准确度以及设计选型的科学性。

当进入到施工图设计环节时，BIM平台可对各专业模型给予实时关联，并开展碰撞检测工作，可自动识别像管线交叉、梁柱穿插这类潜在冲突点，把传统设计里施工阶段才会发现的问题提前至设计源头，达成了问题的提前预防而非事后修复，BIM技术消除了设计师与业主、施工方之间的沟通障碍，凭借直观的三维可视化表达，让非专业人员可以清楚理解设计意图，参与到决策过程之中，避免了因理解偏差造成设计变更与资源浪费。从技术层面来讲，BIM的参数联动机制保证了设计变更能高效传导，当某一构件参数出现调整时，与之相关联的所有构件会自动更新，大幅降低了设计失误率。在性能化设计方面，BIM平台整合的日照分析、能耗模拟、风环境评估等功能，为绿色建筑设计给予了数据支持，使设计决策并非依靠经验判断而是基于科学计算^[5]。而且BIM技术的应用拓展到建筑全生命周期管理，设计阶段植入的运营维护信息，为后期设施管理奠定了数据根基，从工作流程角度来看，BIM产生了一种新型协同设计机制，打破了传统“设计-校对-审核”的线性工作模式，达成了多专业并行设计与即时反馈。

实践证明，BIM技术提升了设计的质量，也提高了设计的效率，更改变了设计的思维模式。从原本关注局部的构件，转变为思考整体的系统，从静态的图纸表达，转变成动态的信息管理，随着云计算、大数据、人工智能等新兴技术与BIM相互融合，设计过程中的数据挖掘以及知识沉淀，可为未来项目提供经验方面的参考，形成循环的知识管理体系。在转型的大潮之下，BIM技术会推动设计从图形表达向信息管理转变，从经验驱动向数据驱动跃升，最终达成工程全过程的智能化与精细化管控。

3.3 BIM技术在施工阶段的应用

BIM技术作为现代建筑信息化的关键推动因素，在施工阶段正彰显出强大的变革能力，传统施工模式下，施工图纸与现场实际状况大多时候出现脱节现象，致使变更频繁且

返工严重，而 BIM 技术凭借构建高精度的虚拟建造环境，达成了“先虚拟、后实施”的全新施工模式。在施工准备阶段，项目团队可借助 BIM 模型开展深入的施工模拟以及方案推演，借助参数化的虚拟建造过程查验施工逻辑以及工序衔接的合理性，尽早察觉并消除潜在风险点。在复杂节点与异形结构施工过程中，BIM 技术的三维可视化功能让工人可直观地理解构件空间关系以及安装顺序，极大地降低了技术交底的难度以及误解率，碰撞检测作为 BIM 在施工阶段的核心应用，依靠系统性的管线综合优化，完全解决了传统“先到先得”的盲目施工弊病。据实证研究说明，充分运用 BIM 技术的项目可减少大约 75% 的现场碰撞问题，降低 30% 以上的设计变更频率。在工程资源管理方面，BIM 平台支持基于三维模型的精确工程量计算以及材料统计，实现了从粗放估算到精准配置的重大转变，避免了材料浪费，还优化了采购计划以及库存结构。

在进度管理方面，BIM 的 4D 技术也就是三维模型加上时间维度，它把静态的施工计划转变成了动态的可视化模拟，如此一来项目经理可以直观地掌握关键路径以及资源冲突情况，及时对施工组织设计作出调整与优化。在质量控制方面，BIM 技术借助移动终端在现场的应用，达成了施工质量和设计标准的即时比对与验证，构建起了从设计意图直至施工实现的闭环管理体系。在预制装配式建筑施工过程中，BIM 技术有精准定位以及拼装指导功能，这极大地提升了构件安装的精度与效率，为建筑工业化提供了有力的工具支持。实践说明，那些在施工阶段深入应用 BIM 技术的项目，普遍实现了工期缩短 10% 至 15%、成本降低 5% 至 8% 的效益。

3.4 BIM 技术在工程成本控制中的运用

BIM 技术作为数字化建筑信息管理的先进工具，在工程成本控制领域正呈现出变革性力量，传统造价管理模式，工程量计算与造价编制一般依赖图纸信息的人工提取，既耗费时间又消耗人力，还会因信息获取不全面致使成本预测出现偏差，而 BIM 技术借助构建参数化的数字孪生模型，达成了成本信息与工程实体的精准映射关系。在设计阶段，BIM 平台能进行基于三维模型的自动工程量统计以及实时造价分析，让设计方案的经济性评估从定性判断转变为定量比较，为投资决策提供了科学依据。进入招投标环节，BIM 模型所含的构件属性与工程量信息为编制精准的招标控制价以及合理的投标报价提供了可靠数据支持，有效降低了因

图纸理解偏差引发的商务风险。施工过程中，BIM 技术的动态成本监控功能较为突出，当设计变更或现场签证出现时，系统可依据模型自动识别变更范围并计算相应的费用影响，实现了从被动应对到主动预警的管理转变。

BIM 技术具有对工程全寿命周期成本的综合优化能力，借助方案模拟以及参数调整，在契合功能需求的状况下，可平衡初期投资和后期运维成本，为项目决策者给予多维度的经济技术比较，于材料与设备管理方面，BIM 平台支持依据实际进度生成分阶段采购计划，经由与供应链系统的无缝对接，优化了采购时序以及库存周转，有效避免了资金占用和材料浪费。实践证明，在施工现场运用 BIM 技术进行成本控制的项目，由于减少了设计变更和返工，材料损耗率平均降低超过 15%，人工效率提升接近 20%，综合成本节约效果明显，BIM 技术的可视化协同平台为业主、设计、施工等多方主体提供了透明的成本信息共享机制，减少了因信息不对称引发的争议和索赔，大幅降低了工程结算的复杂度和时间成本。随着人工智能与大数据分析技术的深度融合，BIM 平台会强化其成本预测与风险预警能力，依靠对历史数据的深度挖掘与智能学习，为类似项目提供更精准的成本控制参考，推动工程造价管理从经验型向数据驱动型转变。

4 结语

BIM 技术在建筑工程施工管理中的运用，极大地提升了项目管理的效率与精确度，实现了设计、施工、运维等各阶段信息的无缝对接与共享。它不仅优化了资源配置，减少了施工冲突，还增强了项目风险防控能力，为建筑工程的智能化、精细化管理提供了有力支撑，是推动建筑业转型升级的关键技术之一。

参考文献

- [1] 崔琳.基于BIM技术的建筑工程施工工艺流程优化与管理研究[J].产业创新研究,2024,(22):136-138.
- [2] 徐海瑶,郭士海.装配式建筑施工技术在建筑工程施工管理工作中的应用研究[J].房地产世界,2024,(17):146-148.
- [3] 王竹莲.基于BIM技术的建筑工程施工优化与管理策略研究[J].全面腐蚀控制,2024,38(08):93-95.
- [4] 刘建身,陈晓明,曲高飞,等.装配式住宅建筑施工技术在建筑工程施工管理中的应用[J].居舍,2024,(23):54-57.
- [5] 程园.基于BIM技术的装配式建筑工程施工管理应用探究[J].住宅与房地产,2024,(23):56-58.

Research on the optimization and innovation of ice-chip manufacturing process

Wentao Ding Wei Chen* Bin Chen Jing Zheng Lujin Qiu

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

Abstract

As an important Chinese medicinal material and chemical raw material, borneol has a wide range of application value. However, the traditional borneol manufacturing process has certain limitations in the production efficiency, product quality and environmental protection, which is difficult to meet the high standard demand of the modern market. This paper conducts systematic research on the raw material selection, process parameter optimization, production equipment upgrading and quality control technology in the borneol manufacturing process. Through the application of green manufacturing technology, the introduction of microwave-assisted synthesis method and intelligent manufacturing means, the optimization and innovation of the borneol manufacturing process are realized. The research results show that the innovative process significantly improves the purity and production efficiency of borneol, reduces energy consumption and environmental pollution, and achieves a win-win situation of economic and social benefits. This study not only provides feasible technical solutions for borneol production enterprises, but also provides reference for the production process optimization of similar fine chemical products, and helps to promote the development of traditional manufacturing industry to the direction of efficient, green and intelligent.

Keywords

borneol manufacturing process; optimization strategy; innovation method; green manufacturing; intelligent technology

冰片制造工艺的优化与创新研究

丁文涛 陈渭* 陈斌 郑璟 邱露金

浙江正荣香料有限公司, 中国·浙江 衢州 324300

摘 要

冰片作为一种重要的中药材和化工原料, 具有广泛的应用价值。然而, 传统冰片制造工艺在生产效率、产品质量和环保方面存在一定的局限性, 难以满足现代市场的高标准需求。本文针对冰片制造工艺中的原材料选择、工艺参数优化、生产设备升级及质量控制技术等方面进行系统研究, 通过应用绿色制造技术、引入微波辅助合成方法和智能制造手段, 实现了冰片制造工艺的优化与创新。研究结果表明, 创新工艺显著提升了冰片的纯度和生产效率, 降低了能耗和环境污染, 实现了经济效益和社会效益的双赢。本研究不仅为冰片生产企业提供了可行的技术方案, 也为类似精细化工产品的生产工艺优化提供了借鉴, 有助于推动传统制造行业向高效、绿色、智能化方向发展。

关键词

冰片制造工艺; 优化策略; 创新方法; 绿色制造; 智能技术

1 引言

冰片因其独特的清热解毒、消肿止痛等药理作用, 广泛应用于中药、日化及化工领域。然而, 传统冰片制造工艺在生产过程中存在着原材料利用率低、工艺流程复杂、能耗较高及产品质量不稳定等问题, 影响了冰片的市场竞争力。随着现代制造技术的发展, 如何通过优化制造工艺和引入创新技术, 实现冰片生产的高效、低耗和环保, 已成为业内亟

待解决的课题。本文基于传统工艺现状, 通过对冰片制造过程中各环节的深入分析, 提出了系统的优化策略, 重点探讨了绿色制备技术、微波辅助合成方法及智能制造技术的应用效果, 旨在为冰片制造工艺的升级提供科学依据, 并推动相关产业的技术进步。

2 冰片制造工艺现状分析

2.1 冰片的主要制备方法概述

冰片的制备方法主要包括天然冰片的提取和合成冰片的化学合成工艺。天然冰片通常通过从樟脑树中蒸馏提取得到, 工艺相对简单, 但受限于天然资源的供应, 产量较低且质量易受环境影响。合成冰片则主要采用松节油为原料, 通过化学反应制得, 合成方法包括酸催化法、还原法和光化学

【作者简介】丁文涛(1994-), 男, 中国浙江衢州人, 本科, 助理工程师, 从事制药工程研究。

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

法等。合成工艺在原料供应、生产效率和产品纯度方面具有明显优势，逐渐在工业生产中占据主导地位，但制备过程中涉及的化学试剂和工艺条件的选择对产品质量和环境影响具有较大挑战。

2.2 传统工艺流程及关键技术点

传统冰片制造工艺通常包括原料处理、反应合成、产品分离与纯化、最终包装等环节。在原料处理阶段，通过物理或化学方法去除杂质，提高原料的纯度。在反应合成阶段，通过控制反应温度、压力和催化剂用量，确保冰片的有效生成。分离与纯化过程中多采用蒸馏、结晶和重结晶技术，以实现高纯度冰片的分离。在关键技术点上，需要精确控制工艺参数、反应时间以及催化剂的选择，保证冰片产率和纯度的稳定。整个流程需要严格的工艺控制，以避免因操作不当导致产品质量波动和生产效率下降。

2.3 当前工艺中存在的技术瓶颈与质量控制难题

当前冰片制造工艺中存在的主要技术瓶颈包括反应效率低、生产过程中能耗高、废弃物处理难度大以及生产设备自动化水平不高等问题。在质量控制方面，冰片产品的纯度、结晶形态和稳定性往往受制于工艺参数的微小波动，难以实现批次间产品质量的一致性。此外，传统的质量检测方法滞后，无法实时监控生产过程中的关键质量参数，导致在产品质量出现问题时难以及时调整生产工艺。如何在保持高纯度的同时提高生产效率，并实现生产过程中的环境友好和成本控制，是当前工艺优化亟需解决的难题。

3 冰片制造工艺的优化策略

3.1 原材料选择与处理工艺的改进

冰片制造过程中原材料的选择与处理工艺对产品质量和生产效率具有重要影响。在原材料选择方面，通过采用高纯度的松节油或其他稳定性好的化学原料，可以显著提高冰片的反应收率和最终产品纯度。针对不同批次原料的特性，通过预处理技术，如提纯、去杂和均质化处理，有助于减少原料中的杂质对后续反应的影响。在处理工艺上，通过优化萃取、溶解和催化剂添加步骤，能够有效提高冰片前驱物的转化率。此外，采用环保型溶剂和绿色化学试剂，可以减少生产过程中的有害物质排放，实现更为环保的生产模式。在储存和运输环节，通过控制温湿度和密封性，保持原料的活性和稳定性，为后续制造工艺提供更加优质的生产基础，从而全面提升冰片制造工艺的整体水平。

3.2 生产工艺参数的优化与控制

冰片制造工艺中反应温度、压力、催化剂用量、反应时间等工艺参数的精确控制直接决定了产品的质量 and 生产效率。在温度控制方面，通过研究不同温度条件下的反应动力学行为，确定最佳反应温度区间，以保证冰片的高产率和纯度。在压力控制上，通过合理设计反应器的密封性和压力调节装置，实现恒定的反应环境，从而提高反应的稳定性。

在催化剂用量的优化方面，通过实验数据分析确定催化剂的最优添加量和活化条件，有助于加快反应速率，降低生产成本。在反应时间的控制上，结合反应物浓度变化和反应速率曲线，选择适宜的反应终点，避免过度反应或反应不完全的问题。此外，通过引入自动化控制系统和在线监测设备，实现对关键工艺参数的实时监控和动态调整，可以有效提升生产过程中的稳定性和产品的一致性，确保冰片的生产工艺始终处于最佳状态。

3.3 生产设备与工艺流程的改进措施

冰片制造过程中生产设备的先进性和工艺流程的合理性直接影响着生产效率和产品质量。在生产设备方面，通过引入高效反应釜、自动化蒸馏设备和连续结晶装置，可以显著提高生产过程的自动化程度和生产能力。在反应阶段，通过采用具有高传热和良好混合性能的设备，能够更均匀地控制反应温度和反应物浓度，提升冰片的合成效率。在分离与纯化过程中，通过引入分子蒸馏、膜分离和超临界流体萃取等新型设备，可以更精细地分离冰片产品中的杂质，提高产品的纯度和稳定性。在工艺流程设计上，通过流程的集成化、连续化和短流程化，减少中间环节的物料损耗和能量消耗，实现生产效率的最大化。同时，通过优化设备布局和物料输送路径，减少停机时间和生产过程中的瓶颈现象，提升生产线的整体运作效率，为冰片制造工艺的优化提供可靠的技术保障。

4 冰片制造工艺的创新方法

4.1 绿色制造技术的应用探索

冰片制造工艺中绿色制造技术的应用旨在实现生产过程的环境友好和资源高效利用。在原料选择阶段，通过使用可再生资源 and 生物基材料，减少对石化原料的依赖，降低生产过程中的环境负担。在工艺过程中，采用绿色溶剂替代传统有机溶剂，通过水基介质、离子液体和超临界流体技术，实现反应的高效进行和废弃物的减少。在分离和纯化环节，引入膜分离技术和绿色提取方法，减少有机溶剂的使用，提升产品的纯度和收率。通过应用循环利用技术，将生产过程中产生的副产物和废弃物转化为可用资源，实现生产系统的闭环管理，推动冰片制造工艺向低能耗、低污染和高效益的方向发展，全面提升企业的绿色竞争力和社会效益。

4.2 先进生产技术（如微波辅助合成）的引入

在冰片制造工艺中引入微波辅助合成技术能够显著提升反应速率和产品质量。微波加热通过极性分子在电磁场中的快速运动产生热量，使反应体系加热均匀，避免了传统加热方式中的局部过热问题，有助于提高冰片合成反应的选择性和收率。在微波辅助反应中，反应物分子获得的能量更高，能够有效降低反应活化能，加快反应速度，缩短生产周期。此外，微波加热具有升温迅速、能量利用率高的优点，在保证高产率的同时显著降低了生产过程中的能耗。在设备选择

上,通过采用微波反应釜和连续流微波反应装置,实现工艺过程的连续化和自动化,提升冰片制造工艺的整体水平,推动传统化工生产向高效、节能、环保方向迈进。

4.3 智能制造技术在冰片生产中的应用前景

智能制造技术在冰片生产中的应用能够有效提升生产过程的自动化和精细化管理水平。通过引入智能传感器和物联网技术,实现对生产过程中的温度、压力、流量、浓度等关键工艺参数的实时监控,确保生产过程的稳定性和一致性。在生产设备中应用机器学习和大数据分析技术,通过历史数据的积累和分析,优化工艺参数设置,提高冰片产品的质量预测能力和生产效率。在生产调度和管理方面,利用智能生产调度系统实现生产计划的动态调整,减少生产过程中的资源浪费和设备闲置。在质量控制环节,通过智能检测系统实现对冰片产品外观、纯度、含量等指标的自动化检测和分析,减少人工检测的误差和效率瓶颈。智能制造技术的全面应用将推动冰片生产从传统的经验控制模式向基于数据驱动的智能化、精细化方向发展,提升企业在市场中的竞争力。

5 冰片制造工艺优化与创新的实际应用效果

5.1 生产效率提升的具体表现

冰片制造工艺的优化与创新显著提升了生产效率,通过引入微波辅助合成技术和连续化生产设备,反应时间从传统工艺的8小时缩短至3小时,生产周期缩短了62.5%。在生产能力方面,采用自动化生产线后,单批次产量从500千克提升至800千克,生产效率提高了60%。在能耗方面,通过优化反应条件和设备改进,每生产1吨冰片的能耗由原来的1500千瓦时降至900千瓦时,降低了40%的能源消耗。设备利用率也显著提升,通过智能调度系统的应用,设备开机率从80%提升至95%,设备闲置率降低了50%以上,整体生产流程的运行效率得到大幅提升,实现了生产线的高效、稳定运行,为企业实现大规模生产和订单快速交付提供了有力保障。

5.2 产品质量改进的技术指标变化

冰片产品质量在优化工艺后取得了显著提升,通过绿色制造技术和精细化质量控制措施,冰片的纯度从传统工艺的95%提升至99.5%,杂质含量显著降低。在结晶形态上,通过优化结晶工艺,冰片产品的结晶度从80%提升至90%以上,产品稳定性得到增强。在质量一致性方面,通过在线质量监测技术的应用,批次间产品质量差异系数降低了30%,保证了产品的一致性和可靠性。在外观检测中,合格率由90%提升至98%,产品质量投诉率下降了50%。在药理学活性检测中,冰片的有效成分含量提高了20%,显著增

强了产品的市场竞争力。在国际质量标准的检测中,冰片产品全面通过了ISO9001质量管理体系认证,进一步提升了产品的市场认可度和品牌价值。

5.3 经济效益和市场竞争力增强

冰片制造工艺的优化与创新带来了显著的经济效益和市场竞争力提升。在生产成本方面,通过工艺优化,每吨冰片的生产成本从2万元降低至1.5万元,成本下降25%。在销售收入方面,由于产品质量的提升和生产效率的提高,企业年产量从2000吨提升至3000吨,实现销售收入从4000万元增长至6000万元,年收入提升50%。在利润率方面,企业的净利润率由原来的10%提升至15%,年利润总额从400万元增加至900万元,实现了125%的利润增长。在市场份额方面,通过产品质量和品牌影响力的提升,企业在冰片市场中的占有率从15%提升至25%,增强了在行业中的竞争力和话语权。在国际市场拓展方面,通过质量认证和绿色生产工艺的应用,企业成功打开了欧美高端市场,出口量占比由10%提升至30%,实现了国际业务的快速增长,为企业的长期可持续发展奠定了坚实基础。

6 结语

本研究围绕冰片制造工艺的优化与创新展开,通过对原材料选择、生产工艺参数、设备与流程、质量检测等方面的深入分析,提出了系统的优化策略和创新方法。研究结果表明,通过引入绿色制造技术、微波辅助合成工艺和智能制造手段,显著提升了冰片生产的效率和产品质量,降低了能耗和成本,实现了经济效益和环境效益的双赢。在实际应用中,不仅生产效率提升了60%,产品纯度提高至99.5%,企业市场竞争力也得到了显著增强。未来,随着新技术的不断发展,冰片制造工艺将朝着更高效、更绿色、更智能的方向发展,为精细化工行业提供新的技术路径和发展机遇,推动传统制造产业转型升级,实现更高质量的可持续发展。

参考文献

- [1] 费文玲,张怡心,谭雄,王涇禧,杨莉宁,秦蓓.丹参素酰基丙氨酸脯氨酸冰片酯片剂的制备工艺[J].化工科技,2023,31(01):37-41.
- [2] 余丽丽,谭雄,张怡心,张涵怡,杨宽,杨莉宁,秦蓓.冰片衍生物N-Boc基脱保护工艺研究[J].当代化工,2022,51(12):2843-2846.
- [3] 肖春燕,肖文龙,易争明.冰片副产物粗品白轻油及小茴香油的资源化回收工艺模拟与优化[J].广州化工,2022,50(24):40-43.
- [4] 陈传兵,伍海海,宓穗卿,王宁生.冰片酯的合成、结构表征及工艺优化[J].广州中医药大学学报,2021,38(04):801-805.
- [5] 廖芳,田吉,陈斯玮,谭天林,王欢,马书军,张丹,星点设计-响应面优化法优化五黄液中冰片的溶解工艺[J].成都中医药大学学报,2018,41(02):15-17+126.

The Rise and Fall of the German Camera Industry and the Impact of World War II

Guangyuan Jiang Qing Tong

Jilin University of Foreign Studies, Changchun, Jilin, 130117, China

Abstract

This paper takes the German camera industry as the research object and explores its rise and fall before and after World War II, as well as its impact on the global camera industry. Introduced the development of the German camera industry and elaborated on the profound impact of World War II on it. Depicting the prosperous scene of the German camera industry before World War II and the impact caused by the war. This article focuses on how the post-war German camera industry rose again and occupied an important position in the global market "The Conclusion and Discussion" section summarizes the overall development trajectory of the German camera industry from pre war to post-war, as well as its significant importance to the German economy and global industrial landscape. This paper reveals the importance of technological innovation and market demand, and also provides a reference for understanding the evolution of the manufacturing industry in major historical events.

Keywords

German camera industry; The impact of World War II; Post-war reconstruction; International market; technological innovation

德国相机工业的兴衰与二战的影响

姜光远 佟庆

吉林外国语大学, 中国 · 吉林 长春 130117

摘要

此篇论文把德国相机工业设为研究对象, 对其在二战前后经历的兴衰历程以及给全球相机产业造成的影响加以探讨。介绍了德国相机工业的发展, 也阐述了二战给它带来的深刻影响。刻画了二战前德国相机工业的繁荣景象以及战争所引发的冲击。着重探讨了战后德国相机工业是如何再度崛起的, 并且在全球市场上占据重要地位。“结论与讨论”部分归纳了德国相机工业从战前一直到战后的整体发展轨迹, 以及它对于德国经济和全球产业格局的重要意义。这篇论文揭示出技术创新与市场需求的重要性, 同时也为理解制造业在重大历史事件当中的演变给出了参考。

关键词

德国相机工业; 二战影响; 战后重建; 国际市场; 技术创新

1 引言

德国相机工业在世界摄影技术发展进程中扮演着极为重要的推动者角色, 其发展历史能够一直追溯到 19 世纪末期那个时候。在当时, 德国凭借其在精密机械以及光学技术方面的卓越表现而声名远扬, 这无疑为相机工业的蓬勃兴起扎稳了根基、筑牢了基础。在 1902 年的时候, Oskar Barnack 于柏林成功发明出了首台能够方便携带的 35 毫米胶卷相机, 而这一创举也正式标志着德国相机工业就此迈入了一个全新的发展纪元 [1]。莱卡 (Leica) 品牌的横空出世可不单单是一种简单的技术突破的象征体现, 更是极为有力地确立了德国在全球相机领域当中所占据的领先优势地位。在随后的几十年间, 德国相机制造商们始终秉持着创新精

神, 不断地推陈出新, 像是自动对焦技术、多重曝光技术以及测光技术等诸多先进技术的应用推广, 使得德国相机成为广大摄影爱好者以及专业人士心目中的不二之选 [2]。进入到 20 世纪 20 至 50 年代期间, 德国相机工业迎来了自身发展的黄金时期, 徕卡 I 型、B 型以及 C 型等一系列经典型号相机相继闪亮问世, 这进一步更为稳固地巩固了德国在相机制造这一重要领域当中的霸主般的优势地位 [3]。

第二次世界大战的爆发完全改变了这一发展轨迹 [4]。在战争期间, 德国的工业将重心转向了军事生产方面, 民用相机的研发以及生产差不多都停滞了下来。人才的大量流失、经济的崩溃状况以及社会的动荡不安, 这些因素都对相机工业的发展造成了极为严重的阻碍。等到战争结束之后, 德国工业的基础设施受到了极为沉重的打击, 许多知名的相机制造企业都被毁坏掉了, 相机工业在那时一下子就陷入了低谷之中, 甚至还面临着被其他国家赶超的风险。而就在这

【作者简介】姜光远 (2003-), 男, 中国辽宁丹东人, 从事德语语言学研究。

同一时期,日本的相机工业却快速地崛起了,依靠着价格方面的优势以及技术上的优势,逐渐占据了全球市场当中的主要份额。

不过德国相机工业可并没有因为某些情况就走向衰败呀。在战后那个时期呢,借助马歇尔计划的助力,德国的经济慢慢复苏过来了,相机制造商们也纷纷调整自身的战略规划,就这样一步一步地恢复到了往日那种辉煌的状态。像莱卡以及禄莱等知名品牌,始终坚持在技术方面不断创新,凭借着这份坚持,它们又重新在国际市场上赢得了认可。当进入到数字时代之后,德国的相机制造商们更是展现出了极为出色的适应能力,接连推出了多款质量上乘的数码相机。一直到2022年的时候,德国相机以及与之相关的光学设备,其出口额达到了大约40亿欧元这样的规模,这无疑彰显了德国相机工业在全球高端市场当中所具备的那种强劲无比的竞争力。德国相机工业可不仅仅承载着极为深厚的历史底蕴,而且还靠着卓越非凡的技术实力以及极具影响力的品牌价值,将这段传奇一直延续了下去呢。

对德国相机工业发展历程展开研究,尤其着重关注二战前后它所发生的种种变化,这一方面能够助力我们去理解该行业究竟是怎样应对危机的,又是通过何种方式实现复兴的;另一方面,也能给当代制造业带来极为重要的启示。它所取得的成功,是建立在长时间的技术积累、秉持的工匠精神以及对市场需求所具备的敏锐洞察之上的。其所历经的诸多挑战以及碰到的各种机遇,都为其他行业留存下了十分宝贵的经验。从历史层面来讲,德国相机工业可不仅仅是技术不断进步的见证者呀,它更是文化得以传承的重要载体呢。每一件德国相机作品里面都蕴含着别具一格的艺术价值以及独特的工艺魅力,正因为如此,才使得它在全球范围当中始终保持着那种独特的吸引力。

2 历史背景

德国相机工业在19世纪末一直到20世纪初这段时间里快速地崛起了起来,而这一崛起态势的出现是得益于德国自身所拥有的深厚技术积累情况,以及其对于摄影技术所秉持的那种深刻理解程度。早在1839年的时候,法国人达盖尔成功发明出了第一台具有实用价值的相机,在这之后,德国方面就极为迅速地紧紧跟进了这一情况,并且着手开始大力发展属于自己的相机制造相关技术,这在相关资料文献的记载中是有明确标注的,比如在文献[5]里就有提及。到了19世纪末的时候,慕尼黑以及莱比锡这两座城市已然成为德国相机制造业当中十分重要的中心区域,这在相关的研究资料中也是有确切记载的,像文献[6]里就有所说明。虽说在当时那个阶段所存在的相机,大多都是那种构造极为复杂并且显得颇为笨重的大型木制或者金属制的结构样式,但是德国的工程师们通过不断努力去提升机械部件所具有的精度标准,以及着力去提高光学镜头所具备的质量水平,就这

样逐步奠定了德国相机工业得以发展的坚实基础。卡尔·蔡司公司是在1846年正式成立的,在成立之后,该公司就一直专注于光学镜头方面的研发工作,其生产出来的镜头因为有着极为卓越的成像质量表现而声名远扬,也正是因为如此,为德国相机工业能够实现腾飞式的发展提供了极为关键的技术层面的有力支撑。

步入20世纪之后,德国的相机工业踏入了技术创新的绝佳时期。伴随着胶卷技术方面取得的进步,德国的制造商们着手展开对小型化以及便携化相机的研发工作。在1913年的时候,恩斯特·莱茨公司所推出的徕卡原型机Ur-Leica,其意义非凡,标志着现代摄影设备正式诞生了。从这之后,德国的相机制造商们持续不断地对产品设计加以优化,并且引入了诸如自动曝光控制以及快门速度调节这类自动化技术。如此一来,一方面使得相机的操作变得更加便利,另一方面也极为显著地提升了成像的质量,进而让德国相机在全球市场当中占据了主导性的地位。等到了20世纪30年代,德国所生产的35毫米相机已经在全球市场上占据了绝大部分的份额,而其中徕卡相机更是成为专业摄影师们的首选之物。

第二次世界大战的爆发实实在在地改变了德国相机工业原本的发展轨迹[7]。在战争进行期间,德国相机制造业的发展方向发生了转变,转向了军事方面的用途,而民用相机的生产以及销售情况呢,几乎处于停滞的状态。有不少相机制造工厂都被改造成了军需品生产的基地,就拿卡尔·蔡司在耶拿的工厂来说,这个工厂大量地去生产军用光学设备。盟军针对德国工业设施展开的轰炸行动,同样给相机制造业造成了极具毁灭性的打击,就好比康泰克斯相机的生产线,在1945年遭遇空袭的时候,就遭受了极为严重的破坏。这场战争还使得德国相机工业在国际市场方面失去了原有的优势,其出口量出现了大幅度的下降情况,很多原本一直依赖德国相机产品的国家,也都纷纷开始去寻找能够替代德国产品的其他供应商了。美国的柯达公司以及日本的佳能公司等,它们抓住了这样的一个机遇,快速地对自身技术水平加以提升,从而为战后和德国相机工业展开竞争打下了一定的基础[8]。

即便如此,德国有如徕卡、蔡司这类的知名品牌,它们依靠长时间积累起来的技术长处以及在市场上所形成的良好口碑,在战后依旧维持了特定的国际影响力。这样复杂的状况表明,二战对于德国相机工业而言,既是一项挑战,同时也是一个得以重塑的契机[9]。德国相机工业在经受了战争的洗礼过后,尽管碰到了不少困难,可凭借着自身扎实的技术根基以及品牌所拥有的声誉,还是能够在国际市场上拥有属于自己的一方天地[10]。

3 二战对德国相机工业的影响

二战对德国相机工业的影响如表1所示。

表 1 二战对德国相机工业的影响

相机品牌	影响因素	战前状况	战时状况	战后状况
徕卡	二战影响	徕卡相机在二战之前，乃是专业摄影师以及业余爱好者常常会去选择的对象，其具备小型的特点，同时还很精密，并且十分耐用。	在第二次世界大战期间，徕卡相机凭借着自身所具备的精良品质，以及那超强的感光能力，进而成为军用相机当中的首选。	在战争结束之后，徕卡相机出现了供不应求的情况。到了 1951 年的时候，徕卡已经成功生产出了多达 100 万台相机。而徕卡 M3 相机则是在 1954 年正式问世的，这款相机还被赋予了‘旁轴之王’的美称。
爱克发（AGFA）	二战影响	爱克发在二战前是生产摄影化学品和胶卷的公司	第二次世界大战结束之后，德国的工业遭到了近乎毁灭性的沉重打击。就在这样的情形之下，盟军方面做出了一项重要决定，那就是投入数额巨大的资金来着手重建德国的工业。也正是在这样的大背景下，爱克发公司顺势开始向市场推出胶片相机产品。	在战后进行重建的时期，爱克发公司面向市场推出了诸多款式的胶片相机，其中就包括 AGFA Flexilette 这一款。
爱克山泰（EXAKTA）	二战影响	爱克山泰牌照相机在战前是 135 单镜头反光照相机的代表	依哈哥工厂在 1945 年 4 月的德累斯顿轰炸中被彻底摧毁	在战争结束之后，位于德累斯顿的依哈哥工厂，其中处于苏联占领区的那部分，在苏联给予的助力之下，极为快速地完成了重建工作。而重建完成之后，该工厂的主体部分依然留存着独立开展生产经营活动的地位。

在第二次世界大战期间，德国的相机工业遭遇了史无前例的剧烈动荡局面。战前的时候，徕卡这个在摄影领域堪称标杆式的品牌，凭借着自身独特的小型化设计特点，还有那精密无比的机械结构，以及极为卓越的耐用性能，在全球市场上赢得了广泛的喜爱与青睐。当战争正式爆发之后，徕卡相机很快就被征调用于军事方面了，进而摇身一变成为战场上极为重要的记录工具。它那出色的感光性能以及高度的可靠性，一方面满足了拍摄宣传照片的实际需求，另一方面还在航空侦察等诸多领域得到了广泛的运用，这也使得徕卡工厂不得不去扩大自身的生产规模，并且对相关技术加以优化。爱克发呢，由于一直专注于摄影化学品以及胶卷的生产，所以也获得了军方的大力支持，其生产的胶片被大量地应用于军事摄影以及情报收集等工作当中。即便如此，这场战争对于德国相机工业来说，还是造成了近乎毁灭性的沉重打击。就拿德累斯顿轰炸来说吧，这一轰炸行动直接摧毁了爱克山泰牌照相机的主要生产基地——依哈哥工厂，从而致使工厂里的设备遭到了严重损毁，众多技术人员也纷纷流失，这一系列情况严重地影响到了该工厂的生产能力。

在第二次世界大战结束之后，德国的相机工业遭遇了诸多严峻的挑战，像物资短缺以及市场需求不断萎缩等情况就接连出现。就拿原材料来说，金属、玻璃这类制造相机不可或缺的原材料出现了供应不足的状况，这一情况直接致使相机的品质出现了下滑的态势，比如说在战后初期所生产出来的徕卡相机，其品质便没办法达到战前的那种水平了。在这样艰难的处境下，许多相机工厂都不得不采取缩减生产规模的举措，甚至有不少工厂直接就关闭了，如此一来，整个德国相机行业都陷入了十分低迷的状态之中。不过，随着盟

军投入资金着手对德国工业展开重建工作，德国相机行业中的部分企业也开始逐渐有了复苏的迹象。其中，爱克发公司在盟军的有力支持之下，重新启动了生产线，并且顺势推出了新型的胶片相机。而依哈哥工厂呢，也在苏联的帮助之下迅速完成了重建工作。需要注意的是，这些企业的重建过程并非对战前模式进行简单的复制，而是在其中融入了不少新的技术以及新的工艺 [11]。就徕卡公司而言，其在战后更是加快了自身的研发速度，在 1951 年的时候就成功实现了第 100 万台相机下线这一目标，并且在 1954 年还推出了具有革命性意义的 M3 相机，这款旁轴相机凭借着自身极具创新性的设计以及十分卓越的性能，被人们赞誉为“旁轴之王”。

凭借着技术方面的革新举措以及对市场的拓展行动，德国相机工业慢慢摆脱了此前所处的低谷状态，重新恢复起自身的竞争力 [12]。像徕卡这类品牌，一方面将自身传统优势很好地延续了下来，另一方面还在持续不断地去适应新兴市场所产生的各种需求 [13]。M3 相机所取得的成功，无疑是德国相机工业具备创新能力的一个极为有力的证明。爱克发等相关企业在胶片相机这一领域同样在持续不断地发力推进，进而推动了整个相机行业逐渐走向复苏。当下国际市场中的竞争态势日益变得激烈起来，特别是日本相机品牌的迅速崛起，这无疑给德国的相机企业带来了相当大的压力，在这种压力之下，迫使这些德国企业不得不更加着重关注产品的质量情况以及服务的水平高低。从整体情况来看，德国相机工业在二战期间经历了从兴盛繁荣到走向衰落这样巨大的转变过程，然而在战后进行重建之时，却又充分展现出其自身顽强不屈的生命力以及极为卓越的适应能力 [14]。

4 二战后德国相机工业的恢复与发展

在第二次世界大战结束之后,德国的相机工业颇为迅速地从战争所遗留的废墟当中逐步恢复过来,并且凭借着技术方面的创新举措以及对市场的大力开拓,再次确立起了其自身在国际市场当中的重要地位。1950年的时候,蔡司·依康公司成功推出了“Contax IIa”与“IIIa”这两款旁轴相机,而这一事件无疑标志着德国在高端相机制造能力方面的强势回归。这两款相机一方面在机械结构之上实施了优化性质的设计,另一方面还开创性地首次引入了内置电子测光表的功能,如此一来便为摄影师赋予了更为便捷的操作方面的体验。在这一特定时期,德国的相机工业把精密的光学设计以及精湛的机械制造当作自身的核心竞争力所在,进而逐渐收获了全球范围内摄影爱好者们的由衷青睐。

徕卡公司在战后同样呈现出颇为强劲的复苏能力。在1954年的时候,徕卡M3相机正式问世,而这一事件被视作德国相机工业得以复兴的重要标志性节点。这款相机开创性地搭载了带有测距器的取景器,如此一来便让拍摄操作变得更为精准且高效。M3的机械构造不仅紧凑,而且还十分耐用,也正因如此,它还被赞誉为“旁轴相机领域的王者”。一直到1951年为止,徕卡公司累计所生产的相机数量已然超过了100万台,进而使其成为德国二手市场当中备受欢迎的产品中的一员。这般旺盛的市场需求状况清晰地表明,德国的相机品牌在全球的范围之内依旧拥有着相当高的认可度以及极大的吸引力[15]。

伴随市场竞争不断加剧以及技术变革逐步到来的情况,德国相机工业在国际市场当中所处的地位正面临着全新的一些挑战。德国的诸多品牌像哈苏、禄莱等在专业领域确实一直保持着较为领先的地位,不过日本相机工业兴起之后,对德国相机工业已然构成了相当大的威胁。就拿日本相机制造商来说,其在135规格以及120规格这两个领域都取得了颇为显著的突破,凭借着相对更低的成本以及更高的生产效率,进而占据了一定的市场份额。与之相对照的是,德国相机向来是以其极为卓越的光学性能还有精湛无比的工艺而闻名遐迩的,然而在规模化的生产以及价格方面的竞争上,却渐渐处于不利的态势了。比如哈苏1600F这款相机,它虽说采用了那种纤薄的不锈钢焦平面快门帘幕,达成了最高速度能够达到1/1600s的技术成果,可是其高昂的价格却对它的普及范围起到了限制的作用。

即便在各种情况之下,德国相机工业仍旧依靠着自身所具备的独特优势,从而在全球市场当中成功占据了属于它的那一份额。就拿哈苏相机来说,它凭借极为出色的画质方面的表现,有幸被美国国家航空航天局(NASA)给选中,进而被应用到太空任务之中,如此一来,更是进一步强化了其在专业领域所拥有的领导地位。而禄莱双反相机呢,它也一直在商业摄影领域以及艺术创作领域持续不断地发挥着十分重要的作用。从这些具体的案例当中能够很明显地看

出,德国相机工业尽管遭遇到了异常激烈的竞争局面,可是它依旧能够通过把精力集中在高端市场之上,并且大力开展技术革新活动,以此来维系自身在行业内的影响力。这样一种始终坚持品质并且不断推动创新的发展路线,不但助力德国相机工业在战后时期顺利实现了恢复与发展,而且还为后来数码时代背景下的传统影像文化的传承筑牢了根基。

5 结论与讨论

德国相机工业在二战前后所经历的起伏变化颇为显著,这一发展历程对其在全球相机产业当中的地位塑造起到了极为深刻的作用[16]。回溯历史,在1846年的时候,卡尔·蔡司创立了蔡司公司,由此德国便在光学仪器领域稳稳地确立起了自身的领先地位。时间推移到1924年,徕卡相机正式推向市场,这一事件标志着35mm胶卷标准得以制定出来,并且徕卡相机很快就成了全球众多摄影爱好者们热烈追捧的对象[17]。也是在这一年,蔡司通过收购三家照相机制造公司的方式,进而成立了ZEISS IKON照相机公司,如此更是进一步强化了德国作为世界上规模最大的民用照相机制造中心的地位[18]。然而,这般繁荣的景象随着二战的爆发一下子就终止了。在战争期间,德国相机工业受到的重创极为严重,许多工厂要么被直接摧毁掉了,要么就被迫转为进行军用生产,原本一直将技术创新当作核心的产业发展进程也无奈地被迫中断了。

在战后的时期,德国所经历的分裂状况给其相机工业带来了极为深刻且长远的影响。时间来到1949年,伴随着东德以及西德这两个不同政权区域的正式形成,德国的相机工业也随之被分割成了两个部分。即便处在这样的形势之下,西德那边的相机制造商,像是徕卡、禄莱等知名品牌,依旧以一种极为顽强的姿态恢复了生产活动,并且还借助持续不断的技术升级举措,一步一步地重新在国际市场上占据了一席之地。当时间推移到20世纪60年代一直到20世纪70年代这个阶段,日本相机工业蓬勃兴起的态势给德国方面带来了以往从来都未曾遭遇过的严峻挑战[19]。日本所生产的相机凭借着相对更高的性价比优势以及出色的技术革新能力,慢慢地对德国相机原本所占据的传统市场份额形成了侵蚀之势。就在这同一时期,德国有许多从事相机生产的企业,因为自身没办法很好地适应这种激烈的市场竞争环境,最终只能落得倒闭或者是相互合并的结局,如此一来,德国相机工业的整体规模也就出现了大幅度的缩减情况。不过即便如此,德国的部分高端相机品牌,比如徕卡、禄莱以及蔡司等,还是保持住了自身的竞争实力,而且还逐渐朝着专业市场以及收藏领域的方向去谋求发展了。

德国相机工业的发展状况,一方面体现出了本国制造业具备的技术实力水平,另一方面也在全球相机产业领域产生了颇为重要的影响。德国于相机设计以及制造方面所做出的创新举动,实实在在地奠定了现代摄影的根基,就拿徕卡

来说,它所推动的 35mm 胶卷标准,直至今日依旧属于主流规格当中的一种 [20]。德国相机品牌所拥有的卓越品质,还有其积攒下来的技术优势,已然变成全球同行竞相学习的参照标杆,特别是在光学镜头这块领域,蔡司镜头的质量到现在都还被大范围地认可。德国相机工业虽说在市场竞争的大环境下有一定程度的退缩情况出现,不过其品牌价值却一直在持续不断地增长,尤其在艺术摄影以及收藏领域当中占据着十分独特的地位。当下,徕卡、禄莱以及蔡司等品牌,它们不仅仅是技术层面的一种象征标志,更是代表着一种文化传承方面的内涵以及历史所沉淀下来的深厚底蕴 [21]。德国相机工业一路走来的兴衰历程清晰地表明,就是要面对来自外部的种种冲击,那种强大的技术创新能力以及品牌价值,始终都是维持一个行业具备竞争力的极为关键的因素所在。

参考文献

- [1] The Impact of War on Photographic Companies in the United States, Japan and Germany.PA Nelson - academia.edu
- [2] Competition and the Politics of War: The Global Photography Industry, c. 1910–60.PA Nelson - Journal of War & Culture Studies, 2016 - Taylor & Francis
- [3] Rivalry and cooperation: how the Japanese photographic industry went global.PA Nelson - 1998 - wrap.warwick.ac.uk
- [4] Canon catching up with Germany: the mass production of «Japanese Leica» cameras (1933 until 1970).PY Donzé - Zeitschrift für Unternehmensgeschichte, 2014 - degruyter.com
- [5] World War II, film, and history.JW Chambers, DH Culbert, D Culbert - 1996 - books.google.com
- [6] 卞鑫童.20世纪初德国背景下德意志制造联盟对包豪斯的影响.美术教育研究,2021-04-25
- [7] 谭斯斯.现代主义影响下的德国平面设计.艺术品鉴,2015-06-15
- [8] 石杰.从技术引进视角剖析近代广西机械厂发展之衰荣.广西大学,2005-05-01
- [9] 马青.德国信息技术产业发展研究.吉林大学,2019-03-01
- [10] 迈克尔·S.罗斯 王玺钧.摄影的矛盾与历史意识.学术研究, 2020-10-20
- [11] 王金玲.苏联对德国科技成果的取与用(1945-1949).吉林大学,2023-05-01
- [12] 张小兵.苏联民族利己主义外交政策与二战的爆发.宁夏大学学报(人文社会科学版),2006-03-30
- [13] 马雯雯.从德国媒体发展现状看传统媒体产业转型.海峡科技与产业,2020-09-15
- [14] 周彦兵.产教融合视域下德国“二元制”模式分析及借鉴.教育与职业,2020-06-15
- [15] 邵亚光 李妹.二战后中日韩三国产业结构比较与分析.信息化建设,2016-07-15
- [16] 韩英 贺志坤.浅析二战初期德国《绿色方案》未实施的原因.赤峰学院学报(汉文哲学社会科学版),2020-01-25
- [17] 王振涛.二战前后日本知识界的思想转向及其反思.历史教学(下半月刊),2023-08-16
- [18] 巩雪.我国信息产业对经济增长的影响.吉林大学,2009-05-01
- [19] 白玉.后危机时代欧盟绿色贸易壁垒对我国机电产品出口的影响.山东财经大学,2012-04-10
- [20] 祝志满.近现代德国美学对现代中国美育理论建构的影响研究.辽宁大学,2019-11-01
- [21] 凌钦章.吴印咸早期摄影艺术的电影化特质探究(1920-1949).南京艺术学院,2022-05-26

The influence of raw material quality on product—The yellow color of phenylguanidine is caused by the change of mononitramine quality

Jie Ge¹ Lingling Dai²

1. Nantong Jiangshan Pesticide Chemical Co., Ltd., Nantong, Jiangsu, 226017, China

2. Jiangsu Antai Safety Technology Co., Ltd., Nantong, Jiangsu, 226017, China

Abstract

The phenylguanidine product has changed from its original white color to the current yellow color. This study analyzes the reasons for the yellowing of phenylguanidine products by examining four aspects: production equipment and facilities, process routes, process control, and raw materials. After ruling out issues related to process routes and process control, the focus will be on comparing the phenylguanidine produced using reagents such as aniline, activated carbon, and monomethylamine in the laboratory with those produced using large-scale purchased raw materials from the factory. The analysis of experimental results and visits to manufacturers reveal that changes have occurred in both the origin of the monomethylamine raw material and the supplier of the monomethylamine, leading to variations in the purity and impurities of the monomethylamine raw material. This has resulted in a qualitative change in the phenylguanidine product. This paper also provides insights for analyzing the causes of substandard products in other chemical production processes.

Keywords

phenylguanidine, monomethylamine, yellowing

原料质量对产品的影响—单氰胺质量变化导致苯基胍颜色发黄

葛杰¹ 戴玲玲²

1. 南通江山农药化工股份有限公司, 中国·江苏 南通 226017

2. 江苏安泰安全技术有限公司, 中国·江苏 南通 226017

摘 要

苯基胍产品由原来的白色, 变成现在的黄色。通过对苯基胍生产的设备设施、工艺路线、工艺控制, 原辅料四个方面进行分析苯基胍产品发黄的原因。在排除工艺路线、工艺控制问题后, 重点将在实验室将试剂苯胺、活性炭、单氰胺与工厂大批量采购的苯胺、活性炭、单氰胺原料生成的苯基胍做对比, 识别苯基胍产品发黄的原因。通过对试验结果分析以及厂家的走访发现, 原料单氰胺的产地以及生成单氰胺的原料厂家均发生了变化, 导致单氰胺原料的纯度、杂质发生了变化, 从而使苯基胍的产品发生质变。本文也为其他化学品生产过程中不合格产品原因分析提供了思路。

关键词

苯基胍、单氰胺、发黄

1 引言

苯基胍碳酸盐为白色针状结晶或粉末状固体, 熔点 149-153℃, 微溶于水, 溶于热水、乙醇、丙酮等有机溶剂。主要用于合成嘧啶类医药产品、杂环类染料和农药杀虫剂等精细化学品的重要中间体。

根据企业标准《苯基胍碳酸盐 Q/320601 NY 143-2022》苯基胍控制指标包括: 结晶水苯基胍碳酸盐质量分数、苯二胍质量分数、苯胺质量分数等, 还包括其外观(白色晶体), 2020 年 1 月 4 日起, 苯基胍碳酸盐陆续出现产品发黄的现象, 虽然中间一段时间产品颜色转为正常, 4、5 两个月份生产

的产品颜色均发黄。为此, 公司从苯基胍工艺路线、工艺控制、原材料等方面分析苯基胍颜色发黄的原因。



图 1 2019 年 11 月 21 日格品苯基胍(左)与 2020 年 1 月 14 日不合格品苯基胍(右)颜色对比

2 苯基胍生产工艺

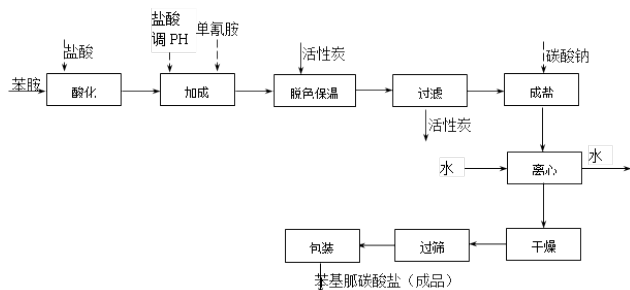
2.1 生产工艺流程简述

酸化、加成：将一定量的苯胺从苯胺高位槽一次性加入加成釜，并开启加成釜搅拌。打开盐酸进料阀，通过流量计将定量的盐酸从盐酸高位槽滴加入加成釜，通过人孔取样测量 PH 值，控制反应釜 PH 值；控制滴加温度，当温度高于指标时手动打开循环水阀门进行降温。PH 调节结束后，打开加成釜夹套蒸汽控制阀将反应釜升温，打开单氰胺高位槽底部调节阀，通过调节阀控制滴加速度，同时打开盐酸高温槽底部调节阀开始滴加盐酸，控制 PH 值，滴加完毕后继续保温。保温结束后，向加成釜内投入一定量的活性炭，继续保温 1 小时。保温结束后，打开循环水阀门，将反应液冷却，打开加成釜出料阀门出料，并清洗反应釜，完毕之后关闭出料阀准备下一批加成反应。加成液通过泵送至微孔过滤器，待回流液澄清后打开微孔过滤器出料阀门，将加成液送入中间槽备用。

成盐反应：将加成液由中间槽一次性加入成盐釜，调节成盐釜蒸汽或冷却水阀门，控制并控制成盐釜温度，滴加一定量事先配制好的碳酸钠水溶液，氯化苯基胍和碳酸钠反应生成并析出苯基胍碳酸盐固体颗粒，滴加结束后继续保温，反应结束后，打开冷冻盐水阀门，将成盐液冷却后出料。

离心、干燥：成盐釜出料至离心机进行离心，用水反复冲洗固体物料以洗去反应生成的杂质、离心完毕后出料，将离心所得的固体物料通过溜管送入双锥干燥器进行烘干，出料，经分析合格后，过筛、包装，离心废液至废水预处理槽进行废水预处理。

2.2 工艺流程简图



3 产品颜色异常排查

工艺路线：2019 年公司对苯基胍装置与进行改造、提升，主要是自动化与设备材料方面的提升，如苯基胍加成、成盐自动化控制提升，反应程序采用顺控，一键启动，自动备料、自动控制滴加反应、控温，无需操作人员手动操作，附属罐区储槽由碳钢材质改为不锈钢材质，苯基胍生产工艺路线未发生改变。截止 2020 年 1 月 4 日苯基胍装置改造完成后已经运行长达半年时间，未发生苯基胍颜色发黄现象，排除工艺路线出现偏差对产品颜色的影响。

工艺控制：2020 年 1 月发生生产异常 2 起，但均不属

于苯基胍装置，查反反应曲线，温度、pH 值控制在产品发黄前后一致，并无差异。储槽备料量及用酸量均无差别。排除工艺控制出现偏差对产品颜色的影响。

设备设施：加成釜清洗后人釜检查，釜内搪瓷完好，修补部位未损坏，生产停用外循环生产一批，加成液颜色没有好转，与使用外循环一样颜色为红棕色。检查反应釜及外循环系统，设备设施完好，排除因设备设施损坏对产品颜色的影响。

结论：工艺路线、工艺控制、设备设施均不是造成苯基胍发黄的原因。

4 原料质量异常排查：

通过小试，排查试剂苯胺、活性炭、单氰胺与工厂大批量采购的苯胺、活性炭、单氰胺原料方面的影响因素，试验步骤如下：

通过小批量试剂苯胺和工业化大批量（即装置内）苯胺对比试验，排查苯胺是否产品颜色发黄的原因。

使用装置内活性炭及研究院小试用活性炭，排查活性炭脱色是否产品颜色发黄的原因。

用储槽盐酸酸化白色产品，再进行成盐反应，通过得到的产品颜色判断盐酸是否苯基胍产品发黄的原因。

通过小批量试剂单氰胺和工业化大批量（即装置内）单氰胺，排查单氰胺是否产品颜色发黄的原因。

试验一：通过使用不同来源的苯胺，判定苯胺是否为产品颜色不合格的原因：取试剂苯胺、装置内苯胺分别与装置内盐酸、单氰胺反应形成中间体加成液，并经过活性炭二次过滤，对比加成液颜色变化情况。

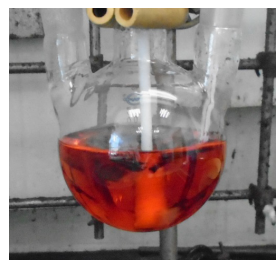


图 2 加成液（试剂苯胺）颜色



图 3 加成液（装置内苯胺）颜色

小结：由试验可以看出，新购的试剂苯胺加成后正常投活性炭过滤，颜色为红棕色，与取自储槽内苯胺实验结果

无差异，与生产中投一袋活性炭时的加成液颜色相近，得到的产品颜色明显发黄，母液为黄色。因此，苯胺不是产品颜色发黄的原因。

试验二：使用不同来源活性炭脱色，判定活性炭脱色不完全是否为产品颜色不合格的原因：使用研究院小批量采购的活性炭与现场工业使用的活性炭分别对步骤一加成液进行脱色，对比加成液脱色后的颜色变化。



图4 活性炭脱色后加成液颜色（左：工业使用活性炭脱色；中：小批量采购活性炭脱色；右：10倍小批量采购活性炭脱色）

小结：从照片可以看出使用研究院小批量采购活性炭对加成液脱色后（中）颜色为红棕色；现场工业使用的活性炭对加成液脱色后，加成液颜色为红棕色；对比两种活性炭脱色效果无任何区别。但加入10倍的活性炭脱色后加成液基本没有颜色，因此，活性炭脱色不是产品颜色发黄的原因。

试验三：使用装置内盐酸酸化，判定装置内盐酸是否为产品颜色不合格的原因：取装置内盐酸酸化白色苯基胍（颜色合格）



图5 装置内盐酸酸化后苯基胍

小结：装置内盐酸酸化白色苯基胍后再成盐，分层后下层结晶颜色为白色，上层是清液，为无色，因此，装置内盐酸不是产品颜色发黄的原因。

试验四：通过使用不同来源的单氰胺，判定单氰胺是否为产品颜色不合格的原因：试剂单氰胺与装置内单氰胺（厂家）与苯胺、装置内苯胺分别与装置内盐酸反应形成中间体加成液，并经过活性炭二次过滤，对比加成液颜色变化情况。

试剂单氰胺与装置内单氰胺（厂家）
加成液：

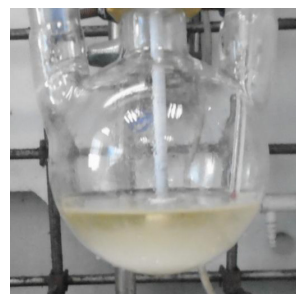


图6 加成液（试剂单氰胺）颜色



图7 加成液（装置内单氰胺）颜色



图8 产品（试剂单氰胺），白色

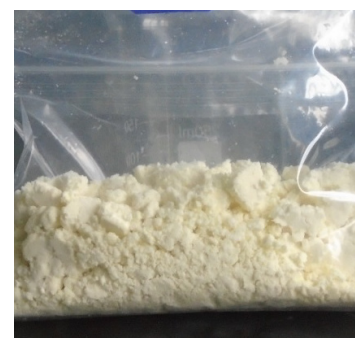


图9 产品（装置内单氰胺），黄色

小结：使用试剂单氰胺生成的加成液、苯基胍产品均为白色，装置内单氰胺（厂家）生成的加成液棕红色，产品为黄色。因此，厂家提供的原料单氰胺是导致苯基胍变色的原因。

总结：从试验1-4小结看，2020年1月初苯基胍产品颜色发黄由装置单氰胺引起的，排除苯胺、盐酸及装置本身的因素以及工艺控制方面的因素。

表一各阶段试验结果汇总：

试验	批次	原料及试验					产品颜色	小结
试验 1	1	生产加成液	纯碱			成盐后观察产品颜色	黄色	产品颜色发黄因素在成盐之前
试验 2	2	储槽苯胺	储槽盐酸	储槽单氰胺	生产活性炭		黄色	更换活性炭脱色，产品颜色都发黄，（另外，产品变黄前后使用的是同一批上料的活性炭）排除活性炭因素。
	3	储槽苯胺	储槽盐酸	储槽单氰胺	511 活性炭		黄色	
	4	储槽苯胺	储槽盐酸	储槽单氰胺	研究院活性炭		黄色	
试验 3	5	白色苯基胍产品	储槽盐酸			酸化后再成盐，观察产品颜色	白色	排除盐酸是产品发黄的原因
试验 4	6	试剂苯胺	储槽盐酸	储槽单氰胺	生产活性炭	加成、成盐、过滤后观察产品颜色	黄色	苯胺不是发黄的原因
	7	储槽苯胺	储槽盐酸	储槽单氰胺	生产活性炭	加成、成盐、过滤后观察产品颜色	黄色	
试验 5	8	储槽苯胺	储槽盐酸	中如单氰胺	生产活性炭 × 2	加成、成盐、过滤后观察产品颜色	黄色	中如小样单氰胺得到的产品仍黄色，可以排除单氰胺储槽系统的影响。
	9	储槽苯胺	储槽盐酸	储槽单氰胺	生产活性炭 × 2	加成、成盐、过滤后观察产品颜色	黄色	
试验 6	10	试剂苯胺	储槽盐酸	试剂单氰胺	生产活性炭	加成、成盐、过滤后观察产品颜色	白色	用试剂单氰胺取代生产中的单氰胺，无论使用试剂苯胺还是储槽内的苯胺，得到的产品均为白色。
	11	储槽苯胺	储槽盐酸	试剂单氰胺	生产活性炭	加成、成盐、过滤后观察产品颜色	白色	

5 结语

合格的产品不仅仅是原药的含量达标、杂质达标，其外观也是因素之一，原材料、设备设施、过程控制等等方方面面都影响着产品的合格率，如何控制产品合格率需要全链条的管控各个生产环节。

合格原材料变化对产品最终质量影响是最大的，如何控制原材料的质量，这需要企业建立有效原材料的检验、验收标准，同时建立供应商的审核体系，定期对供应商开展系

统性的审核，及时、准确的掌握供应商的动态，并实施调整采购政策，保障原材料供应的持续、稳定。

参考文献

[1] 朱慧琴,张志春. 苯基胍碳酸氢盐的合成研究 [J]. 石油化工应用, 2009, 28 (02): 18-19+25.

[2] 夏天喜. 一种含有强吸电子基团的苯胍及其盐的制备方法[J]. 中国专利, CN106699608A, 2017-05-24.

[3] 周彬. 对胍基苯甲酸的化学合成方法[J]. 中国专利, CN102329 251A, 2012-01-25.

Research on the construction and application of ammonia mixed combustion test bench

Fengtao Wang

1. Xinjiang Railway Vocational and Technical College, Hami, Xinjiang, 839000, China

Abstract

Ammonia (NH_3) has important potential as a zero-carbon fuel in the energy transition, but its combustion characteristics are complex, and there are problems such as difficult ignition, slow flame propagation, and high nitrogen oxide (NO_x) emissions. In this paper, a set of miniaturized ammonia-doped mixed combustion test benches was designed and built, and the mixed combustion characteristics of ammonia, hydrogen, methanol and other fuels were studied through modular design, domestic equipment substitution and intelligent data acquisition system integration. The total cost of the laboratory bench is controlled at 100,000 yuan, with 10Hz real-time data collection capabilities, NO_x detection accuracy of $\pm 5\%$, and the flame temperature measurement range covers 400~1800 °C.

Keywords

ammonia-doped combustion, test bench construction, low-cost exploration

掺氨混合燃烧实验台搭建及应用研究

王峰涛

1. 新疆铁道职业技术学院, 中国·新疆 哈密 839000

摘 要

氨 (NH_3) 作为一种零碳燃料, 在能源转型中具有重要潜力, 但其燃烧特性复杂, 存在点火困难、火焰传播速度慢及氮氧化物 (NO_x) 排放高等问题。本文设计并搭建了一套小型化掺氨混合燃烧实验台, 通过模块化设计、国产设备替代及智能数据采集系统集成, 实现了氨与氢气、甲醇等燃料的混合燃烧特性研究。现有掺氨燃烧实验室投入大占地广, 每次实验成本高, 不利于日常实验和教学, 实验台总成本控制在10万元, 具备10Hz级实时数据采集能力, NO_x 检测精度达 $\pm 5\%$, 火焰温度测量范围覆盖400~1800°C。

关键词

掺氨燃烧, 试验台搭建, 低成本探索

1 引言

1.1 研究背景

全球气候变化背景下, 碳中和目标的推进促使清洁能源技术快速发展。氨因其高能量密度 (18.6 MJ/kg)、无碳特性及成熟的储运技术, 被视为替代化石燃料的重要选择。然而, 纯氨燃烧存在以下挑战:

点火困难: 氨的着火温度高达 651°C, 需借助辅助燃料 (如氢气) 降低点火能量;

火焰传播速度低: 纯氨层流燃烧速度仅约 7 cm/s ($\Phi=1.0$), 远低于甲烷 (38 cm/s);

NO_x 排放高: 燃烧过程中燃料氮转化为 NO_x 的比例可达 10%~30%。

针对上述问题, 掺混氢气、甲醇等燃料可有效改善燃烧性能, 但需通过实验研究优化混合比例与工况参数。传统燃烧实验装置多依赖进口设备 (如德国 ITHACON 系统),

成本高昂 (超 50 万元), 且体积庞大, 难以在中小型实验室推广。因此, 开发低成本、小型化实验台具有迫切需求。

1.2 研究目标与创新点

本研究目标为:

设计模块化掺氨燃烧实验台, 支持氨 / 氢 / 甲醇多燃料混合燃烧;

集成国产传感器与数据采集系统, 总成本压缩至 10 万元级;

揭示混合燃料燃烧稳定性与污染物生成规律。

创新点包括:

采用静态混合腔与多孔介质喷嘴, 提升燃料混合均匀性;

基于 Python 开发智能数据采集平台, 支持实时报警与远程控制;

国产电化学传感器替代进口光谱仪, 成本降低 80%。

2 实验装置设计与搭建

2.1 系统总体架构

实验台由燃料供给、燃烧反应、排放监测、安全控制及数据采集五大子系统构成，整体尺寸为 $1.8\text{m} \times 1.5\text{m}$ ，采用模块化设计。燃料供给系统通过质量流量控制器（MFC）和蠕动泵精确控制氨气、氢气及甲醇的流量；燃烧反应系统包含耐高温燃烧室、点火装置及温度监测模块；排放监测系统集成 NO_x 、 NH_3 及颗粒物检测设备；安全控制系统通过泄漏传感器与紧急切断阀实现风险防控；数据采集系统基于研华 DAQ 模块与信捷 PLC 实现多参数同步记录与分析。

2.2 燃料供给系统

2.2.1 燃料输送与控制

氨气与氢气：采用国产质量流量控制器（七星华创 D07 系列和成都松盛 CS-FLOW100）分别调控流量，氨气量程为 $0\sim 50\text{ SLM}$ ，氢气量程为 $0\sim 20\text{ SLM}$ ，精度均为 $\pm 1.5\%$ 。

甲醇：通过兰格 BT100S 蠕动泵输送液态甲醇（流量范围 $0.1\sim 100\text{ mL/min}$ ），经 JYQ-200 型电加热汽化器（功率 500 W ）转化为气态后进入混合腔。

2.2.2 混合腔设计

混合腔由不锈钢材质制成，内部集成特氟龙静态混合器。混合器采用多级螺旋叶片结构，通过增强湍流实现燃料均匀混合。腔体耐压 0.6 MPa ，出口直径为 10 mm ，确保燃料在进入燃烧室前充分混合^[1]。

2.3 燃烧反应系统

2.3.1 燃烧室结构

燃烧室主体采用 310S 不锈钢（尺寸 $\Phi 80 \times 200\text{ mm}$ ），耐温 1200°C 。前端配置多孔介质喷嘴（孔径 1 mm ，孔隙率 60% ），通过增强湍流缩短火焰驻留时间。燃烧室顶部设置石英玻璃视窗（直径 50 mm ，耐温 800°C ），用于观测火焰形态。

2.3.2 点火与测温

点火装置：采用国产 HGT-01 型高压火花塞，点火频率 $1\sim 10\text{ Hz}$ 可调，陶瓷护套耐温 1500°C ；

温度监测：沿燃烧室轴向布置 3 支 K 型热电偶（Inconel 护套，精度 $\pm 1\%$ ），同步使用海康威视 HT-30 红外测温仪（响应时间 1 ms ）捕捉火焰瞬态温度。

实验台原理简图如图 1 所示。

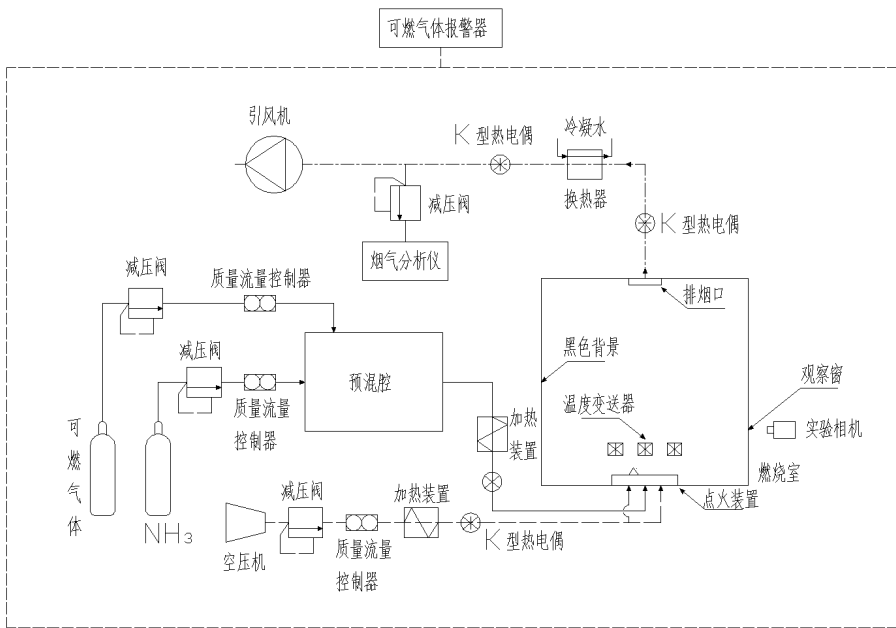


图 1 实验台原理简图

试验台主要设备有：

质量流量控制器 3 个：分别用来监测可燃气体流量、氨气流量、空气流量，用以调定掺氨比例和燃烧时不同空气比例，是研究不同比例下的掺氨实验的重要计量工具。

烟气分析仪 1 个：用以分析燃烧后产物含量变化，需能检测氮氧化物含量，碳氧化物含量，氧气等气体含量。

K 型热电偶 4 个：分别用来测量输入空气温度、掺氨可燃气体加热后温度、燃烧产物温度、冷却后温度，用以确定掺氨比例和预热温度之间的变化关系以及确保燃烧尾气

温度在烟气分析仪接受范围内。

减压阀 4 个：用以控制气体流量，改变掺氨比例和燃烧情况。

管型加热装置 2 个：用以对空气以及掺氨气体进行预热，降低燃烧难度。

实验相机 1 个：按一定间隔时间记录氨燃烧情况及火焰状态。

可燃气体报警器：检测是否有可燃气体泄漏情况，便于对泄漏等突发情况进行及时处置。

2.4 排放监测系统

2.4.1 污染物检测

NO_x 与 NH₃: 采用雷磁 DDBJ-350F 便携式检测仪, NO_x 检测范围为 0~1000ppm, NH₃ 检测范围为 0~200ppm, 精度均为 $\pm 5\%$ 。采样管路配备加热硅胶管(耐温 200℃)及陶瓷滤芯(过滤精度 0.5 μ m), 以去除颗粒物干扰。

颗粒物(PM_{2.5}): 通过滤膜称重法评估排放水平, 使用国产分析天平(精度 0.1mg)称量滤膜质量变化。

2.4.2 校准与维护

传感器校准: 每周使用标准气体(NO_x 100ppm、NH₃ 50ppm)进行两点校准, 确保检测精度;

滤膜预处理: 滤膜在恒温恒湿箱(25℃, 50%RH)中平衡 24 小时后称重, 减少环境湿度影响。

2.5 安全控制系统

泄漏监测: 在燃料管路关键位置安装 3 个海康威视 HK-AM 氨气传感器(量程 0~100ppm)和 2 个 HK-H2 氢气传感器(量程 0~100%LEL), 氨气报警阈值为 25ppm, 氢气为 10%LEL;

紧急切断: 亚德客 VSA-01 电磁阀(响应时间 < 0.5s)串联于燃料管路, 当传感器触发报警时, PLC 立即关闭气源并启动排风系统。

2.6 数据采集与控制系统

2.6.1 硬件配置

DAQ 模块: 采用研华 USB-4718 数据采集模块(8 通道 AI 输入, 采样率 10kHz), 同步采集温度、压力、流量信号;

控制终端: 信捷 XDM-60 PLC 集成 7 寸触摸屏, 支持 Modbus RTU 协议, 实现远程监控与紧急逻辑控制^[2]。

2.6.2 软件开发

基于 Python 构建数据采集平台, 主要功能包括:

实时数据显示: 动态展示温度、压力、污染物浓度的变化曲线;

数据处理: 对原始数据进行移动平均滤波(窗口宽度 10 点)及热电偶冷端补偿。

4 结论与展望

4.1 结论

成功搭建低成本掺氨混合燃烧实验台, 总成本 11.11 万元, NO_x 检测精度满足科研需求;

氨/氢混合燃料在当量比 $\Phi=1.0$ 时燃烧稳定性最佳, 火焰传播速度达 22 cm/s, NO_x 排放峰值为 220ppm;

智能数据采集系统实现多参数同步监测与动态优化, 为后续算法开发提供基础。

4.2 展望

未来工作将聚焦于: 集成 TDLAS(可调谐激光吸收光谱)技术, 提升 NH₃ 逃逸检测分辨率至 ± 1 ppm; 开发基于机器学习的燃烧控制算法, 实时优化燃料比例与当量比; 联合本地企业开展工业锅炉中试, 验证实验台在规模化应用中的可行性。

参考文献

- [1] 李华, 王强. 氨氢混合燃料燃烧特性研究[J]. 工程热物理学报, 2022, 43(3): 45-52.
- [2] GB/T 16157-1996, 固定污染源排气中颗粒物的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 1996.
- [3] 杨浩杰, 刘春雨. 低旋流配置对氨-甲烷-空气预混旋流火焰稳定性和排放特性. 化工学报. 2024-12-31.

Study on tool selection and clearance compensation in CNC turning

Xiaohong Fu

Hubei New Industry Technician College, Xianning, Hubei, 437000, China

Abstract

In the process of CNC turning, accuracy and surface quality are key indicators for evaluating its effectiveness. This paper explores strategies to optimize the precision and surface quality of CNC turning through empirical research methods. By reasonably adjusting parameters such as cutting speed, feed rate, and depth of cut, and combining them with target optimization algorithms, specific operational solutions have been successfully found to achieve coordinated optimization of precision and surface quality. The study finds that by reducing the cutting speed, increasing the feed rate, and selecting an appropriate depth of cut, it is possible to significantly improve the dimensional accuracy and surface roughness of turned parts while maintaining processing efficiency. Furthermore, using optimization algorithms can further enhance processing accuracy, with the improvement in surface quality reaching up to 30%. This research has significant guiding significance for improving the efficiency and quality of CNC turning processes and provides theoretical references for optimizing turning parameters in practical production.

Keywords

CNC turning processing; precision optimization; surface quality; cutting parameters; target optimization algorithm

数控车削加工中的刀具选择与间隙补偿研究

付小红

湖北新产业技师学院, 中国 · 湖北 咸宁 437000

摘要

在数控车削加工过程中, 精度和表面质量是评价其效果的关键指标。本文以实证研究的方法, 探索了优化数控车削加工精度和表面质量的策略。通过对车削参数如切削速度、进给速度和切削深度等进行合理调整, 以及结合目标优化算法, 成功找寻了达到精度与表面质量协同优化的具体操作方案。研究发现, 通过减小切削速度, 提高进给速度和取适当的切削深度, 可以在保证加工效率的同时, 显著提高车削工件的维度精度和表面粗糙度。此外, 采用优化算法能进一步提升加工精度, 优化后的表面质量提升幅度可达30%。此研究对于提高数控车削加工效率与质量具有重要指导意义, 为生产实践中车削参数的优选提供了理论参考。

关键词

数控车削加工; 精度优化; 表面质量; 切削参数; 目标优化算法

1 引言

数控车削加工作为现代机械制造领域的关键技术环节之一, 其加工精度与表面质量直接决定了制造件的性能和使用寿命。然而, 如何在保证车削效率的条件下达精度和表面质量的协同优化, 一直是制造行业面临的挑战。过去的研究中, 虽然已经开展了大量关于车削性能的优化尝试, 如调整切削参数、采用新的切削材料等, 但仍存在诸多约束条件, 比如时间、成本和设备性能等。这使得在实际生产中, 达到精度与表面质量协同优化的操作方案仍需进一步探索。根据上述考虑, 本研究采用实证研究的方法, 探索优化数控

车削中的精度和表面质量优化策略, 我们对车削参数如切削速度、进给速度和切削深度等进行合理调整, 并结合目标优化算法, 期望找到一个能够实现精度和表面质量协同优化的具体操作方案。通过我们的研究, 提供了一种实用性较高的优化思路, 可为生产实践中车削参数的优选提供理论依据。

2 数控车削加工的精度与表面质量概述

2.1 数控车削加工基本原理与技术

数控车削加工是现代制造业中最常用的一种加工方法, 所谓的数控车削加工, 即通过数控技术控制机床的运行和切削过程, 达到精准量产零部件的目的^[1]。本章节主要阐述数控车削加工的基本原理与技术。

着重了解数控车削加工的基础知识。数控车削加工是一种由数字程序控制的加工技术。这种技术利用数字编码,

【作者简介】付小红(1973-), 女, 中国湖北咸宁人, 本科, 车工一级实习指导教师, 从事车工专业研究。

对机械运动轨迹、工艺参数进行编程,车床根据编程指令完成零件的加工。数控车削加工具有精度高、复杂度高、自动化程度高等优势,堪称现代制造业中的得力助手。

在了解数控技术的基础之上,数控车削加工就不难理解了。车削加工过程中,通过控制主轴的旋转和鞍部的移动,使切削刀具按照预设的路径对工件进行切削,从而形成所需要的零件形状。车床主轴的旋转、鞍部的移动及切削刀具的前进,都是通过数控系统进行精确控制的。

既然谈及数控系统,就不得不提其核心部分——数控装置。数控装置是控制数控车床工作的核心,它接收编程人员输入的加工程序,经过解译和计算,并将结果发送给驱动装置,驱动装置进一步控制主轴、鞍部和切削刀具的动作。

数控车削加工的技术关键在于切削参数的设定,切削参数的主要设置有放电间隙、切削深度、切削速度和进给率,这四个主要因素都决定了数控车削加工的效果^[2]。精选合适的切削参数,可以大幅提升加工效果,提高精确度和表面质量。

在数控车削加工中,还需要注意材料选择、刀具选择以及切削液的使用等方面。合适的材料选择,能够实现工件的高精度加工。合理使用切削液,既可以降低刀具的磨损,又可以改善切削效果。所选取的刀具,需要有足够的强度、刚度以及良好的热稳定性。

数控车削加工无疑是一种精度高且效率化的加工方式。其基本原理与技术的学习,为进一步优化数控车削加工中的表面质量和精度提供了理论基础^[3]。

2.2 精度在数控车削加工中的影响

在数控车削加工中,精度是一个重要且不可或缺的考量因素,其直接影响到成品的质量、稳定性和可靠性。精度在数控车削加工中的作用正是本章需要探讨的主题。

精度在数控车削加工中的定义主要包括两方面:一是几何形状精度,二是尺寸精度。在实际加工中,以上两个精度通常需要满足,才能保证零件达到预定要求。工件的精度也需要考虑其加工后的磨损稳定性,确保其长期使用中的可靠性。

几何形状精度主要指工件加工后的外观形状与预设设计图是否吻合。车削加工过程中,由于各种因素的影响,如切削力、热量、振动等,进而使得工件的形状可能存在偏离。需要通过精确控制刀具的路径和切削参数,以尽量减少偏差。

尺寸精度则是指工件的加工尺寸是否达到设计预期,这是衡量数控车削加工精度的重要依据。尺寸精度受到很多因素的影响,例如切削参数(如切削深度、切削速度和进给速度等)、刀具的磨损、切削液的使用、切削环境、工件和刀具的安装等,只有在这些因素相互调和,才能得到预期的尺寸精度。

一方面,高精度可以直接提高零件的质量,当零件精

度高,可以减少机械装配过程中的误差,从而提高机械设备的运行精度、减少磨损、延长使用寿命。另一方面,高精度加工的零件通常具有良好的互换性,可以方便维修和更换零件,提高了生产效率。

数控车削过程中的误差修正也是精度控制的重要环节之一。为良好的延续精度,需要实时监控刀具磨损情况和切削参数,通过数控编程进行参数修正,从而实现精度的自动控制。这项技术要求高精度的测量设备和先进的数控系统。

在实际生产过程中,通过合理调整切削参数、优化刀具路径、精确控制切削环境、实施精确的误差检测与修正等多方面努力,才能提高加工精度,优化表面质量。显然,精度在数控车削加工中起着不可替代的作用,从而为高质量、高效率的生产提供了基础。

2.3 表面质量在数控车削加工中的重要性

表面质量是另一个衡量数控车削加工质量的关键指标。它指的是工件表面的平整度、光洁度以及微观组织结构等参数。优良的表面质量不仅能提高工件的抗疲劳强度,延长工件寿命,而且在大量的工件加工中能大幅提升生产效率。

表面质量的影响因素众多,其中包括切削参数,例如切削速度,进给速度,切削深度等,刀具的选择,工件的夹持方式,以及加工环境等。理解这些影响因素并进行合理控制,是提升数控车削加工表面质量的基本途径。

总体来看,数控车削加工的精度与表面质量是两个互相关联又相互制约的因素。在实际生产中,需要根据加工工艺、工件材料等实际条件,合理调整切削参数,选用适当刀具,以达到既保证精度又优化表面质量的目标。

3 切削参数对数控车削加工精度与表面质量的影响

3.1 切削速度的调整与精度表面质量的关系

切削速度对数控车削加工精度和表面质量的影响主要体现在两个方面。一方面,较高的切削速度能够提高生产效率,但也可能会引起工件的热变形,从而降低加工精度。另一方面,较低的切削速度虽然能降低工件的热变形,保证加工精度,但生产效率会相应降低。

切削速度对表面质量的影响主要体现在切削力的变化上。高切削速度会引发高的切削力,从而增大切削热,引起工件的热变形,进而影响表面质量。对于切削速度应进行合理的选择和调整,以达到在保证加工精度和表面质量的提高生产效率。

3.2 进给速度的提高对精度表面质量的改善

进给速度是指刀具与工件进行相对运动的速度。它直接影响着切削效率和切削热的产生。适当提高进给速度,可以在短时间内完成加工任务,提高生产效率。而且,高的进给速度可以降低切削热在工件和刀具间的传播,降低刀具磨

损和工件变形的可能性。

过高的进给速度会迅速增大切削力和切削温度，引发刀具的快速磨损和工件的过度热变形。过高的进给速度会引发切削层的破碎，产生粗糙的表面，并可能导致振动，影响加工精度。进给速度的选择和调整应该根据材料的特性和机床的性能灵活处理。

3.3 切削深度的优化与精度表面质量的平衡

切削深度是决定车削加工效率和加工质量的重要参数。通过优化切削深度，能够在一定程度上调节切削力，控制切削热对工件的影响，从而达到优化加工精度和表面质量的效果。

切削深度的增加，可以提高加工效率，但也可能产生较大的切削力和切削热，导致刀具磨损和工件热变形，影响加工精度和表面质量。深度的增大也会对表面质量产生负面影响，表现为切削带的增厚和磨粒的增大，从而加剧刀具磨损和表面质量的降低。切削深度应在能保证精度和表面质量的前提下进行优化。

总的来说，切削参数对数控车削加工精度和表面质量的影响是复杂的，只有通过合理地选择和调整，才能在提高生产效率保证加工精度和表面质量。

4 目标优化算法在数控车削加工精度与表面质量优化中的应用

在数控车削加工过程中，为了实现精度和表面质量的最优化，无论在实际操作还是设计计划时，都需要考虑到一些关键要素。其中，目标优化算法在该过程中发挥了重要的作用。本章将深入探讨目标优化算法的概述，其在工程实践中的价值，具体在车削参数选择中的应用以及优化结果的分析。

在数控车削加工中，最直接影响加工精度和表面质量的要素之一便是切削参数的选择。而目标优化算法就是一个强有力的工具，可以精确地为制造商提供合适的参数选择。目标优化算法的运用必须基于对其基本概念和工作原理的理解。目标优化算法是一种通过寻找最优解来解决多目标优化问题的计算步骤。它涵盖了设计、建模、仿真、评估和优化等环节，其基于固定的模型寻求最优解。在数控车削加工中，可以通过算法找到最佳切削深度、进给速度和切削速度等参数，进而实现加工精度和表面质量的最优化。

对于工程实践来说，目标优化算法是一种高效、精确的解决方案。其工作原理和实际实践效果在减少浪费，提高生产效率，降低生产成本等方面显示出极高的价值。形象地说，目标优化算法就像是一把精准的尺，帮助在复杂、多变

的实际制造过程中，精准直击最优解，为卓越的制造质量保驾护航。

在车削参数选择中的具体应用，目标优化算法所起到的作用是不可忽视的。通过程序化设计，可以将切削深度、进给速度、切削速度等参数输入至算法中，由算法根据预设的目标（例如：最大化加工效率，最小化能耗等）找出最优的参数组合。它还可以根据实际反馈数据进行自我学习和调整，以适应生产环境的变化，实现动态优化。

在分析优化结果时，要格外注意的一点是，理解和解读算法给出的优化结果需要一定的专业素养和实践经验。算法所给出的结果往往是综合各种参数后的最优解，但并不能直接解读为具体的工艺参数，还需要经由工程师确认并转化为具体的工艺参数。

总的来说，目标优化算法是目前数控车削加工领域最重要的工具之一。它为工程实践提供了极高的价值，为车削参数选择中的具体应用铺平了道路，并且为优化结果提供了可靠的依据。如何更好地理解 and 运用目标优化算法，以及有效地解读和利用优化结果，仍是需要持续研究和探索的问题。

5 结语

本研究通过实证分析，深入研究和探讨了数控车削加工过程中精度和表面质量的优化策略。我们发现，通过调整车削参数，如切削速度，进给速度和切削深度，以及结合目标优化算法，可以在保证加工效率的同时，显著提高工件的维度精度和表面粗糙度。优化后的表面质量提升幅度可达30%。然而，需要注意的是，前述优化策略可能并不适用于所有车削条件下，因为各种切削条件和工作环境可能会对优化结果产生影响。因此，在实际操作过程中，需要根据具体工作环境和车削条件进行适当的调整。未来的研究方向，在后续研究中，可以进一步研究和探讨更多因素对数控车削加工精度和表面质量的影响，例如冷却润滑剂的使用，刀具的选型等，并尝试将这些因素纳入优化框架中，以寻求更为全面的优化解决方案。本研究对于优化数控车削加工过程中的精度和表面质量具有一定的理论价值和指导意义，可以为生产实践中车削参数的优化选择提供理论支撑，促动我国数控车削领域的进一步发展和优化。

参考文献

- [1] 张伟.影响加工表面质量的因素及优化措施[J].内燃机与配件, 2021,(18).
- [2] 蒋毅.数控车床加工表面质量分析[J].南北桥,2021,(13).
- [3] 冯利章.基于蜂群算法的数控车削加工工艺参数优化方法[J].电气传动自动化,2023,45(03).

The application of Metal-Organic Frameworks (MOFs) in food safety sensors

ZHANG Lei, WANG Guiying

College of Home and Art Design, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang, 500400, China

Abstract

Metal-organic frameworks have attracted more and more attention in the field of food contaminant detection due to their uniform structure, huge surface area, extremely high porosity and easy surface modification. This review article details the use of metal-organic framework based sensor technologies such as luminescence, electrochemistry, electroluminescence, and colorimetric sensors to detect contaminants in food, including pesticide residues, mycotoxins, antibiotics, food additives, and other potentially hazardous substances, and compares and discusses their performance. In addition, the paper delves into the main limitations of each sensor and discusses how metal-organic frameworks can address these issues through their enhancement mechanisms.

Keywords

food packaging; organometallic frame; sensor; food contamination

金属有机框架 (MOFs) 在食品安全传感器中的应用

张磊 王桂英*

东北林业大学家居与艺术设计学院, 中国·黑龙江 哈尔滨 150040

摘 要

金属有机框架因其均匀的结构、巨大的表面积、极高的孔隙率以及表面易于修饰等特性,近年来在食品污染物检测领域的传感器应用上越来越受到重视。这篇综述文章详细介绍了利用基于金属有机框架的传感器技术,如发光、电化学、电化学生发光和比色传感器等,来检测食品中的污染物,包括农药残留、真菌毒素、抗生素、食品添加剂以及其他潜在的危险物质并对它们的性能进行了比较和讨论。此外,文章还深入探讨了每种传感器的主要局限性,并讨论了金属有机框架如何通过其增强机制来解决这些问题。

关键词

食品包装; 有机金属框架; 传感器; 食品污染

1 引言

食品安全问题已经成为全球性的关注焦点,特别是近年来食源性疾病的频发进一步加剧了人们的担忧。食品品质问题可能导致消费者健康受损。因此,研究和采用能够迅速、精准地检测食品污染物的技术变得尤为关键。尽管如此,食品安全检测仍多依赖传统实验室技术,虽有优点,但需专业人员、昂贵设备、复杂预处理且耗时。因此,需发展新型传感技术以克服其不足。

随着材料科学的进步,许多新型传感器正在被开发,以期达到更佳传感效果。这些传感器采用了多样的先进材料,包括碳纳米管、石墨烯等碳基材料,贵金属和磁性纳米

粒子以及金属有机框架(MOFs)等,以实现理想的传感特性。特别是 MOFs,由于其高表面积,可调的组成和结构,良好的荧光性和导电性,使其在作为传感器方面具有巨大潜力。

2 发光传感器

发光传感器,通常指的是利用材料的发光性质来检测和测量某些物质的存在和浓度的传感器,通常用于检测不同的物质或环境条件,比如气体、液体或固体中的特定化学成分。其敏感性和选择性使其在环境监测、医疗诊断以及食品安全检测等领域得到了广泛应用。

在开发基于发光的传感器时,选择合适的传感器材料对于实现对目标分析物的有效检测至关重要。传统的有机染料虽然在发光传感器中得到了广泛应用,但它们存在一些局限性,这些局限性可能会影响传感器的性能和应用范围。为了克服存在的缺点,为了克服这些缺点,各种发光材料,如金属配合物、半导体和镧系掺杂无机荧光粉,在食品安全控制中得到了广泛的研究。

【作者简介】张磊(1998-),男,中国天津人硕士,从事智能包装技术研究。

【通讯作者】王桂英(1968-),女,博士,副教授,从事轻工技术装备及其自动化、智能包装技术研究。

2.1 兽药

在食用动物源食品时,人们可能会考虑到残留在食品中的药物对人类健康的可能影响,兽药主要用于治疗动物疾病和预防性地保护动物免受疾病侵害。它们包括多种不同的化合物,如抗生素、呋喃类药物、磺胺类药物和驱虫药尽管这些兽药在正确使用时对动物健康有益,但它们也可能带来潜在的风险。这些风险包括对动物健康的潜在影响以及对食用动物产品的人类健康的潜在威胁。

在过去的几年里,众多依托金属有机框架(MOFs)材料的荧光传感器已被开发出来,用于迅速筛查兽用药物。HONG等人通过溶剂热法合成Zn(II)金属-有机框架(MOF)传感器。基于荧光共振能量转移(FRET),其中四环素(TET)的存在导致显著的荧光猝灭效应,这是因为TET吸收了传感器的激发能量,减少了荧光发射。该传感器对TET表现出高选择性,能有效区分TET和其他四环素类抗生素,显示了其在实际应用中的潜力^[1]。

广谱检测对食品安全中动物源性食品中兽药的快速筛选具有重要意义,WANG等人合成了一种新型化学稳定的铝基金属有机框架,并将其作为荧光传感器用于检测15种常用的兽药,包括硝基呋喃类、磺胺类、四环素类、氯霉素类、抗球虫药和驱虫药^[2]。证明了MOFs材料在兽药检测和食品安全领域的应用潜力。

2.2 农药残留

由于农药的普遍使用,农药残留经常存在于水、空气和食品中。有机磷农药(Organophosphorus pesticides,简称OPs)是一类广泛使用的农业化学品,它们在提高农作物产量和保障食品安全方面发挥了重要作用。但是,不加控制和过度使用农药导致食品污染。对公众的健康造成了极大的危害。

有机磷农药是一类广泛使用的农业化学品,它们通过抑制乙酰胆碱酯酶(acetylcholinesterase, AChE)的活性来发挥作用。乙酰胆碱酯酶是一种关键的酶,负责分解神经递质乙酰胆碱(acetylcholine, ACh),调节神经系统中的信号传递。近年来通过制作发光传感器将MOF引入到OPs的检测中,例如YANG等人开发了一种基于氨基功能化的铁基金属有机框架(Fe-MOF)的磁性SERS(表面增强拉曼光谱)纳米传感器,用于苹果汁中有机磷农药(OPs)的超灵敏检测。该传感器在食品中农药的超灵敏痕量检测方面具有潜力^[3]。

2.3 生物胺

生物胺是一类在食品中产生的化合物,由于生物胺具有一定毒性,且它们的存在通常与食品的新鲜度和腐败过程有关,因此它可以作为判断食品变质和污染程度的重要标准。近年来基于MOF的发光传感器被应用于生物胺的检测。HASHEMIAN等人开发了一种基于黄芪胶(tragacanth gum)的水凝胶传感器,该传感器嵌入了金属有机框架,并加载了从植物中提取的天然荧光染料。黄芪胶提供了一个天

然、生物相容且可生物降解的基质,而MOF的高比表面积为荧光染料提供了更多的负载空间。这种荧光染料在紫外光下显示红色荧光,并且其颜色会随着氨气的接触而变化,显示出高灵敏度和良好的选择性^[4]。

2.4 病原体 and 真菌毒素

快速且精确地检测病原体对于控制传染性疾病的蔓延具有关键作用。目前,金属有机框架由于其多孔性、良好的稳定性和高吸附能力,已经被证明是构建高效病原体检测平台的有力候选者。例如二维金属有机框架(2D-MOFs)因其卓越的物理化学特性,能够有效地吸附并猝灭与染料标记的肽结合的荧光^[5]。当病原体存在时,它们的阴离子表面和多样的生物分子组成通过包括范德华力、 $\pi-\pi$ 堆积作用、静电吸附和疏水效应在内的多种非特异性相互作用与2D-MOFs或肽发生作用,导致荧光标记的肽从2D-MOFs表面释放,进而引起荧光强度的恢复。

3 电化学传感器

电化学传感器具有快速响应,操作简便,成本效益高等优点,是一种有潜力的食品安全传感方法。但是电化学传感器在广泛应用中存在局限性,包括易受样品中其他电活性物质干扰、选择性和特异性不足以及无法满足某些应用的检测限要求。由于MOF具有极高的比表面积,能有效地促进协同作用,因此被认为是一种潜在的电催化剂。其官能团与生物分子之间通过氢键、 $\pi-\pi$ 堆叠和/或静电力的强相互作用有利于目标分析物的积累和生物传感器的构建。

3.1 兽药

金属-有机框架因其独特的孔隙结构和可调节的化学性质使其成为一种多用途的平台材料,能够在苛刻条件下维护生物分子的稳定性和活性。

为了检测兽药,LIU等人利用名为SXNU-3-Cu的金属-有机框架(MOF)材料制作电化学传感器,该材料通过混合连接策略合成,结合了4,4,4'-s-三嗪-2,4,6-三基三苯甲酸和异烟酸作为配体,形成了一个稳定的双互穿笼中笼结构。这种结构赋予了传感器出色的热稳定性和对水及pH变化的抵抗力。由此说明SXNU-3-Cu基电化学传感器是一种高效且实用的检测工具,尤其适用于氯霉素等药物的检测。

3.2 农药残留

作为一种潜在的替代检测手段,基于有机磷农药(OPPs)对乙酰胆碱酯酶(AChE)的抑制效应或有机磷水解酶对OPPs的水解作用的生物传感器技术,在过去数十年中被广泛地研究和应用于检测有机磷农药的残留。

利用有机磷农药对乙酰胆碱酯酶的抑制作用进行电化学检测有机磷残留,将酶固定在电极表面是保证性能的关键步骤。为了将乙酰胆碱酯酶有效固定在电极上,ZHAO等人制备了一种新型的电化学生物传感器,该传感器基于具有纳米结构的双富集ZrO₂@Fe₂O₃-C多功能材料。在这个生物

传感器中,固定在电极上的乙酰胆碱酯酶(AChE)能够催化分解硫代乙酰胆碱(ATCl),生成硫代胆碱(TCl),并且TCl在氧化过程中会产生电流。然而,有机磷农药(OPs)的存在会抑制AChE的活性,减少ATCl水解成TCl的数量,导致电流信号降低。这实现了对AChE和OPs的双重富集,增强了信号,提升了检测效果。此外,该复合材料的优异生物相容性为酶提供了适宜的环境,同时它的高电导率也提升了电化学性能。因此,该生物传感器不仅增强了电流信号,还为农药的检测提供了一种新颖、灵敏且高效的电化学方法。

3.3 病原体和真菌毒素

在病原体和真菌毒素检测领域,基于金属-有机框架(MOF)的电化学传感器通常与具有高度特异性的识别元件如适配体、抗体和分子印迹聚合物(MIP)等结合使用。

食源性致病菌的快速筛查对于食品安全至关重要。研究人员开发了一种高效的电化学传感器,这种传感器通过在电极表面集成了由适配体/二维羧基化Ti₃C₂Tx(2D C-Ti₃C₂Tx)和二维锌基金属有机框架(2D Zn-MOF)组成的复合物,实现了病原体的识别、信号标记和信号放大。适配体的特异性结合增强了电极的阻抗,进而降低了2D Zn-MOF的电流信号。通过一步检测方法和适配体的更换,实现了对细菌的快速定量分析。在实际样品中的应用测试证明了其具有可靠的检测性能,显示出该传感器在食品安全检测领域的重要应用潜力。

4 电化学发光传感器

电化学发光技术是一种融合了化学、电子学和光学技术的先进分析手段。这种技术通过在电极表面引发化学反应产生光,从而实现对物质的检测。其融合了电化学检测的精确性和光学检测的直观性,展现其优势,高灵敏度快速响应,宽检测范围,低背景干扰,操作简便。由于MOFs的活性表面、金属中心、多功能位点和孔隙率,可以使其实现优异的光和电子转移。为了确保食品的安全性,科研人员开发了基于MOFs的电化学发光传感器,这些传感器被用于检测食品中可能存在的对人体有有害物质。

为了检测蔬菜中乙酰胆碱受体(acetamiprid, ACE)残留,LIU等人构建了一种基于竞争机制的双模式传感器,通过水热法合成了一种双金属RuZn-MOF。与单金属Zn-MOF相比,双金属RuZn-MOF由于不同金属之间的协同效应,展现出更强的电子转移能力。显示出良好的稳定性和特异性,为其他物质的检测和分析提供了有价值的支持。

5 比色传感器

比色传感器具有灵敏度高、选择性好、操作简单、可通过肉眼进行识别等优点。近年来,随着数字成像技术的普及,比色传感器因其操作简单和成本低廉的特点而被广泛采

用。在近十年的时间里,基于天然酶的比色传感技术已经被广泛应用于检测多种生物分子、无机物和有机污染物的分析中。尽管天然酶在比色传感器中很重要,但因高成本和环境敏感性受限。MOF可能会成为解决这一问题的突破口。

组胺是一种生物胺,存在于高蛋白水产品如鱼类中。由于其毒性,准确测定鱼肉中的组胺对食品安全至关重要。XU等人研究开发了一种基于Fe₃O₄@MOF@Pt纳米酶的創新比色传感器,用于超灵敏检测鱼肉中的组胺。该传感器利用具有高过氧化物酶样活性、磁性和优异光学性质的纳米酶,通过将组胺适体的互补DNA修饰在纳米酶表面,构建有效的比色探针。在组胺存在时,探针与组胺竞争结合,触发颜色变化,实现快速准确检测。

6 总结

文章综述了基于MOFs的传感器,如荧光、电学、电化学发光和比色传感器,以及其在食品安全领域的传感器应用中扮演了关键角色,特别是在检测兽药残留、农药、微生物污染以及其他有害物质方面。

尽管MOFs基材料在传感领域已经显示出了巨大的潜力,但是其还有一些方面例如灵敏性,稳定性等还需要进一步提高。首先是要精确MOFs的大小和结构,第二要解决其在水和不利环境下的稳定性,第三要提高MOFs基材料的选择性和抗干扰能力,同时,鉴于食品中可能同时含有多多种有害成分,因此,设计和研制能够进行食品中多种有害物质广泛检测的MOFs材料具有重要意义。金属有机框架(MOFs)基材料在开发用于食品安全检测的快速传感器方面展现了巨大的潜力,但要将这些材料的实际应用推广到更广泛的范围,仍需进行深入研究。

参考文献

- [1] HONG C, HUANG Y-L, LI L, et al. A fluorescent Zn(II) metal-organic framework sensor for quantitative tetracycline determination [J]. *Journal of Molecular Structure*, 2024, 1299.
- [2] WANG B, LIU J-H, YU J, et al. Broad spectrum detection of veterinary drugs with a highly stable metal-organic framework [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2020, 382.
- [3] YANG N, PU H, SUN D-W. Developing a magnetic SERS nanosensor utilizing aminated Fe-Based MOF for ultrasensitive trace detection of organophosphorus pesticides in apple juice [J]. *Food Chemistry*, 2024, 446.
- [4] HASHEMIAN H, GHAEDI M, DASHTIAN K, et al. Highly sensitive fluorometric ammonia detection utilizing *Solenostemon scutellarioides* (L.) extracts in MOF-tragacanth gum hydrogel for meat spoilage monitoring [J]. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2024, 406.
- [5] SUN Z, WU S, PENG Y, et al. Sensor array for rapid pathogens identification fabricated with peptide-conjugated 2D metal-organic framework nanosheets [J]. *Chemical Engineering Journal*, 2021, 405.

Application of Nanosensors in Food Packaging and Recent Advances

Kun Wang Guiying Wang*

College of Home and Art Design, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang, 150040, China

Abstract

Nanomaterial-based products are stable under high pressure and temperature and are subject to excellent quality control during food production, processing and packaging. This paper focuses on an overview of the application of nanosensors in food packaging detection and discusses the key role of nanomaterials in enhancing the performance of food packaging, prolonging the shelf life of food products as well as food safety detection. Nanosensors are highly sensitive and selective in detecting food freshness in food products. Nanosensors enable rapid and accurate detection of harmful substances in food by utilizing the unique optical, electronic and catalytic properties of nanomaterials.

Keywords

Nanomaterials; Food packaging; Nanosensors; Packaging detection

纳米传感器在食品包装的应用及最新进展

王琨 王桂英*

东北林业大学家居与艺术设计学院, 中国·黑龙江 哈尔滨 150040

摘 要

以纳米材料为基础的产品在高压和高温下是稳定的, 并且在食品生产、加工和包装过程中受到优秀的质量控制。本文重点综述了纳米传感器在食品包装检测中的应用, 探讨了纳米材料在提升食品包装性能、延长食品保质期以及食品安全检测中的关键作用。纳米传感器在检测食品中的食品新鲜度方面具有高度敏感性和选择性。纳米传感器通过利用纳米材料的独特光学、电子和催化性能, 实现了对食品中有害物质的快速、准确检测。

关键词

纳米材料; 食品包装; 纳米传感器; 包装检测

1 引言

作为食品和周围环境之间的屏障, 食品包装起着至关重要的作用, 不仅仅是提供有关产品的详细信息, 它们还保护食品免受周围环境的影响, 以避免不良的质量变化。在这种情况下, 可以提高包装的机械性能、阻隔性能和抗菌性能, 延缓食品变质过程。

纳米材料是一种以其纳米尺度为特征的材料, 这赋予了它们因其细粒度而产生的独特性能。纳米材料已广泛应用于活性、可生物降解和智能包装。特别是聚合物基材料, 能够生产具有超级阻隔性能的软包装, 可以与玻璃或金属的性能相媲美。此外, 它们具有更好的生物降解性, 可以提供纳

米级杀菌和抑菌性能, 以降低微生物活性, 从而保护包装内容物。因此, 纳米材料在主动和智能包装中的应用为开发具有增强性能和新功能的包装材料提供了一个令人兴奋的机会。对包装膜的屏障特性、机械强度和结构完整性的有利影响, 不仅减轻了食品的腐败, 而且有助于有效传递有关食品安全性的信息。

2 食品包装中的纳米材料

将纳米材料加入到聚合物基体中, 以延长食品的保质期, 确保食品安全, 并提高阻隔性能, 特别是抗氧化和防潮性能。碳纳米管、纳米纤维可作为补充纳米材料。这些材料被加入到包装材料可以增强其固有的性能。比如, 银纳米颗粒融入包装材料的目的是为了抗菌, 从而延长被封装食品的寿命。

将金属纳米粒子添加到包装材料中可以增强包装材料的特性, 使其更易可生物降解和环保, 例如金纳米粒子和银纳米粒子。Yang 等人通过将茯苓多糖-银纳米粒子(PCP-AgNPs)加入到壳聚糖膜溶液中, 成功制备了PCP-AgNPs/

【作者简介】王琨(1999-), 男, 中国安徽合肥人, 硕士, 从事食品包装新鲜度指示研究。

【通讯作者】王桂英, 女, 硕士, 副教授, 从事智能包装材料及技术, 轻工技术装备及其自动化研究。

CS 复合膜。该膜对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌和铜绿假单胞菌表现出优异的抗菌活性，尤其是对大肠杆菌的抗菌活性最高，有效的将草莓的保质期延长^[1]。研究人员通过溶液浇注技术制备载有姜黄素和银纳米颗粒的果胶 / 明胶薄膜，用作抗菌多功能食品包装薄膜。发现和银纳米颗粒姜黄素在薄膜中分布均匀。复合膜具有良好的抗氧化活性、机械性能、疏水性和抗菌能力。同时，复合膜具有从黄色到浅红色再到深红色的 pH 响应颜色变化行为，适用于根据变质过程中的 pH 值变化监测虾包装的新鲜度^[2]。张家乐等人^[3] 制备了一种基于表面增强拉曼散射的纳米探针，用于葡萄酒和啤酒中硫化氢的快速灵敏检测。

表 1 金属纳米粒子抗菌食品包装膜的研究进展

金属纳米粒子	聚合物基质	抗菌菌种	包装应用
CuO	聚(丁二酸丁二醇酯-co-对苯二甲酸)/TiO ₂ /CuO	金黄色葡萄球菌和大肠杆菌	樱桃、番茄等
TiO ₂	Ag/TiO ₂ 、CS-PEO	黑曲霉菌、白色念珠菌	牛肉等
MgO	CS/Carboxymethyl chitosan/ Polyvinyl Alcohol/ Carboxymethyl Cellulose et al.	金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌和大肠杆菌	猪、牛肉等

3 纳米材料传感器在食品包装的应用

在食品加工、运输、销售和储存过程中，人们非常重视食品的质量和安全。传感器可以测量重要的质量属性，包括新鲜度、风味、质地和安全性。完善的传感器系统可以检测并减少微生物污染的风险、识别毒素的存在、检测不良商家在视频中添加的化学品、防止食品掺假和检测食品新鲜度。

现在，食品质量和安全至关重要。纳米传感器利用纳米材料的独特的性质改变着以前传统的检测方式。与传统检测方式相比，纳米传感器有着高敏感性和高度选择性，响应时间短和高稳定性的特点。纳米传感器检测机制可以总结为两个方面：表面相互作用和催化作用。纳米材料的表面可与分析物之间相互作用(例如蛋白质、DNA 等)，而分析物的变化又可带来其他可测量事物的变化，如光信号、电信号和颜色信号等。值得注意的是，纳米材料具有独特的光学、电子和催化性能，以及高表面体积比，为纳米传感器表面附着更多生物分子提供了平台，提高了总体特异性和灵敏度

3.1 用于食源性病原体纳米传感器

食物由于腐败产生的毒素和在运输、销售、处理和储存过程中滋生的细菌给食品安全带来重大挑战，严重影响了人类的生命安全。纳米传感器由于其独特的理化性质可以在食物产生问题是给人类带来预警，提醒人们食物已变质或被污染。据报道，多个 NPs 用于检测食品中致病菌的传感器，

其灵敏度优于传统方法。Hend S. Magar 等人通过制备了由磁性的四氧化三铁纳米粒子作为内核，外层包裹着金纳米粒子的纳米尺度的复合材料，并形成了一种快速分析食品中金黄色葡萄球菌的一次性无标记纳米电化学免疫传感器芯片。作者开发的无标记免疫传感器芯片为食品样品中金黄色葡萄球菌的快速、灵敏检测提供了一种有效的工具，具有实际应用潜力^[4]。细菌毒素是一种严重的食品安全风险问题，尤其是葡萄球菌毒素。金纳米粒子修饰的纳米传感器已被开发用于检测食物中的毒素^[5]。利用金纳米颗粒组装的介孔氧化硅纳米结构作为生物纳米标记物检测链霉素残留，最低检出限可达 5 pg/mL^[6]。

3.2 用于食品质量和新鲜度检测的纳米传感器

食品质量和新鲜度一直是食品安全的重要方面之一。食物在运输、售卖和储存的环节中，因为微生物作用和自身理化性质的改变，食物风味发生改变，新鲜度降低，变得不适合消费者使用。所以能反映食品质量和新鲜度的传感器就变得重要。

3.2.1 生物胺检测

生物胺是一类在食品中自然存在的化合物，它们由氨基酸的酶促脱羧反应或醛 / 酮的胺化 / 反胺化反应生成。这些反应大多由微生物如细菌在食品中进行，尤其是在食品的储存和成熟过程中。生物胺的存在和积累水平通常被视为食品新鲜度和质量的指标。因此，监测食品中生物胺的含量对于评估食品的新鲜度、质量和安全性至关重要。这可以通过各种分析方法实现，包括薄层色谱、气相色谱、毛细管电泳和高效液相色谱等。近年来，随着纳米技术和生物传感器技术的发展，基于纳米材料的纳米传感器因其高灵敏度和简单操作而受到关注，它们为快速检测食品中的生物胺提供了新的可能性。

3.2.2 TVB-N 检测

总挥发性基氮是食品工业中用来评估水产品特别是鱼类新鲜度的一个重要参数。TVB-N 含量的测定可以帮助判断鱼类是否开始腐败，因为随着鱼体腐败过程的进行，微生物活动增强，导致蛋白质分解，产生更多的挥发性氮化合物。例如，中国的国家标准规定，鱼类中可接受的 TVB-N 含量为 25 mg/100g。Zhang 等人研究开发了一种双信号荧光测试条，用于包装海鲜的腐败感测和 TVB-N 的视觉监测。作者制备了 D- 青霉胺修饰的银纳米簇和金 / 银双金属纳米簇。TVBN 与 DPA-AgNCs 相互作用，导致荧光强度降低，实现了对海鲜产品腐败过程的实时监测^[7]。

3.2.3 次黄嘌呤检测

次黄嘌呤(Hx)是一种天然的嘌呤衍生物。在水产品新鲜度下降的过程中，体内 ATP 由于酶的作用经过一系列降解反应最终生成次黄嘌呤。随着水产品被屠宰后的时间不断增加，体内的次黄嘌呤也不断积累，使鱼肉产生苦味，导致感官评价和风味不断降低。因此可以通过检测次黄嘌呤的

含量,实现对水产品新鲜度的评价。催化次黄嘌呤生成黄嘌呤,再继续催化黄嘌呤生成尿酸,两次反应都会生成中间产物过氧化氢。围绕过氧化氢参与的氧化与还原反应,结合不同的换能元件,将化学信号转化为颜色信号,光谱信号或电信号,对样品中次黄嘌呤浓度进行定量检测,从而实现水产品新鲜度的评价,如图。Wu 等人成功合成了具有优异过氧化物酶模拟活性的 2D Fe MOF 纳米片,并基于此构建了一种用于 Hx 检测的比色方法,该方法快速、准确,适用于评估水产品的新鲜度^[8]。段烁等人通过利用纳米二氧化铈修饰电极检测克氏原螯虾 Hx 含量^[9]。

Application

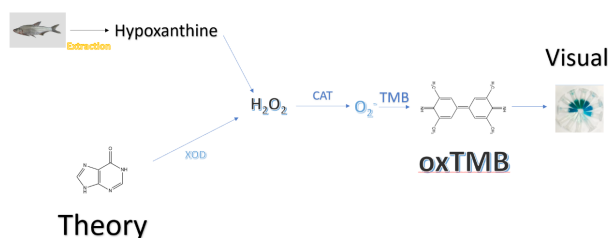


图 1 黄嘌呤氧化酶和过氧化物酶检测次黄嘌呤的催化反应示意图

4 结语

本文综述了纳米传感器在食品包装领域的最新应用进展,强调了其在提高包装性能、延长食品保质期及提升食品安全监测效率方面的关键作用。纳米材料因其独特的尺寸效应和理化特性,在包装膜中能显著改善阻隔性、抗菌性与机械强度。文章重点介绍了金属纳米粒子(如银、金)和纳米氧化物在包装材料中的功能性作用,能有效抑制微生物生长。另一方面,纳米传感器在食品新鲜度指示中的应用也得到广泛关注,尤其在检测食源性病原体、生物胺和次黄嘌呤方面表现出高灵敏度和快速响应能力。通过将纳米催化材料

与颜色或电信号响应结合,可实现对食品腐败过程的实时监测。尽管纳米传感器展现出巨大的应用前景,但其在实际商业化过程中仍需解决成本、安全性与毒理学等问题,为未来智能包装的发展提供了研究基础与方向。

参考文献

- [1] Yang X, Niu Y, Fan Y, et al. Green synthesis of *Poria cocos* polysaccharides-silver nanoparticles and their applications in food packaging[J]. *Int J Biol Macromol*, 2024, 269(Pt 1): 131928.
- [2] Li S, Wei N, Wei J, et al. Curcumin and silver nanoparticles loaded antibacterial multifunctional pectin/gelatin films for food packaging applications[J]. *Int J Biol Macromol*, 2024, 266(Pt 1): 131248.
- [3] 张佳乐,陈晓雅,王赟,等.葡萄酒和啤酒中硫化氢的快速灵敏检测[J/OL].*食品与发酵工业*,1-8.
- [4] Magar H S, Abdelghany H, Abbas M N, et al. Fast analysis of *Staphylococcus aureus* in food products using disposable label-free nano-electrochemical immunosensor chips[J]. *Microchemical Journal*, 2023, 193.
- [5] Dobrucka R. Metal nanoparticles in nanosensors for food quality assurance[J]. *Logforum*, 2020, 16(2): 271-278.
- [6] 曹丰晶,胡玉才,王卓,等.金纳米颗粒在疾病诊断和食品检测领域的研究进展[J].*中国材料进展*,2012,31(06):31-35+55..
- [7] Zhang W, Ma J, Sun D W. Dual-signal fluorescent test strips for spoilage sensing of packaged seafood: Visual monitoring of volatile basic nitrogens[J]. *Food Chem*, 2023, 416: 135725.
- [8] Wu H, Xu Z, Xiong D, et al. Two dimensional iron metal-organic framework nanosheet with peroxidase-mimicking activity for colorimetric detection of hypoxanthine related to shrimp freshness[J]. *Talanta*, 2023, 265: 124833.
- [9] 段烁,贺建悦,占可,等.纳米二氧化铈用于克氏原螯虾鲜度特征物次黄嘌呤的电化学检测[J].*食品安全质量检测学报*,2022,13(08):2426-2432.

Research on fatigue life prediction and inspection standard of bucket metal structure

Hui Wang Yu Fang Ting Lou

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

Abstract

The service conditions of bucket wheel excavators are complex, making them prone to fatigue accumulation and hidden damage. This paper develops a fatigue life prediction method driven by stress spectra, integrating finite element modeling, hot spot identification, and strain life parameters to achieve local life estimation and fatigue zone division. It proposes a logic for setting life coefficients and controlling fatigue limits, establishing a hierarchical inspection process and early warning mechanism. Combining on-site data from the Huadian Electric Power Research Institute, the prediction model error is controlled within 8%, and the inspection standards can dynamically adapt to degradation trends. The verification method is highly practical and has engineering application value.

Keywords

fatigue life prediction; bucket crane structure; stress spectrum modeling; inspection standard; engineering verification

斗轮机金属结构疲劳寿命预测与检验标准研究

王辉 方瑜 楼挺

华电电力科学研究院有限公司, 中国 · 浙江 杭州 310030

摘 要

斗轮机结构服役工况复杂, 易发生疲劳累积与隐性损伤。本文构建应力谱驱动的疲劳寿命预测方法, 集成有限元建模、热点识别与应变寿命参数, 实现局部寿命估算与疲劳分区划分。提出寿命系数设定与疲劳极限控制逻辑, 建立分级检验流程与预警机制。结合华电电力科学研究院斗轮机现场数据开展验证, 预测模型误差控制在8%以内, 检验标准可动态适配退化趋势, 验证方法实用性强, 具备工程推广价值。

关键词

疲劳寿命预测; 斗轮机结构; 应力谱建模; 检验标准; 工程验证

1 引言

斗轮机作为大型连续作业设备, 其金属结构长期承受变幅载荷、冲击振动与焊接残余应力作用, 面临高强度疲劳累积风险。结构疲劳破坏呈隐蔽性、突发性与不可逆性特征, 难以通过常规检修手段提前识别。现有寿命预测方法与检验策略多缺乏工况响应耦合、局部应力识别与标准转换机制, 制约了疲劳状态全生命周期管理的技术进展。斗轮机在复杂服役环境下的疲劳寿命精准评估及基于模型的检验体系构建已成为工程结构安全性研究的重要方向。

2 疲劳寿命预测方法体系与关键参数获取

2.1 应力谱构建方法

斗轮机在作业过程中承受多工况、多轴向变幅载荷, 具备典型疲劳响应特性, 应力谱构建需尽可能还原设备运行

中的真实载荷输入, 并提取构件等效应力幅。在臂架主段、回转平台支承区与斗轮传动连接区布设应变计与加速度计, 采集冲击、振动及惯量变化下的应力响应时间序列作为疲劳寿命建模输入。采集信号经带通滤波处理以剔除高频干扰后, 采用雨流计数法对应力历程进行载荷分段, 统计不同幅值与频率的应力循环数量。基于 Miner's 线性损伤累积原理, 将非规则应力载荷转换为统一等效应力谱, 并按 10^6 次标准循环数归一化, 便于与材料 S-N 曲线对应评估。考虑臂式结构各部位受力特征差异, 对典型构件如臂架中段主承力结构、连接铰座、回转支撑平台等建立工况等效载荷数据库, 按分类建模方式分别处理, 并绘制典型构件的应力幅与载荷持续时间双参数分布图谱, 为后续有限元边界条件加载与疲劳寿命预测提供数据支撑。

2.2 热点区域寿命预测策略

焊接节点与连接部位易形成裂纹, 应采用应力谱驱动的局部疲劳分析。通过多尺度建模提取载荷路径, 在局部区域细化网格至 1 mm, 确保应力集中与几何特征充分表达,

【作者简介】王辉 (1969–), 男, 中国浙江宁波人, 本科, 高级工程师, 从事机械检测研究。

用于识别疲劳热点并提高寿命预测精度。边界条件通过位移场映射技术由全局模型投影至子模型边界,实现耦合控制。材料选用 Q345D 钢与 Q420 钢,分别输入其 S-N 曲线参数与切线模量,焊缝区域引入附加应力集中系数 K_t 值范围 1.8~2.2,反映焊趾几何不连续引起的局部增强。采用变幅载荷驱动方式将构建的等效应力谱输入至模型,提取热点节点应力幅分布并统计最大主应力方向变化,结合 DIN EN 1993 标准定义的结构疲劳类别计算疲劳寿命。结果以安全寿命倍数表达,通过多点拟合方法构建寿命-载荷关系曲线,识别寿命低于 2×10^5 循环次数的高风险构件,输出裂纹易发区坐标与推荐加固方案。预测结果结合节点疲劳强度分级标准进行分区管理,预留风险控制数据接口供后续监测系统调用。

2.3 应变与断裂模型集成方法

高应变焊接区应引入应变寿命法与断裂力学法协同建模。Coffin-Manson-Basquin 方程用于描述低周疲劳行为,实验拟合参数为 $\sigma'_f = 850 \text{ MPa}$, $b = -0.08$, $\epsilon'_f = 0.6$, $c = -0.56$ 。Q420 钢与 Q345D 钢的试验数据通过等幅拉压试验获取。高周区采用 Basquin 公式修正弹性寿命,构建双区模型。断裂力学评估采用 Paris-Erdogan 公式,裂纹扩展常数 $C = 1.2 \times 10^{-12}$, $m = 3.2$,初始裂纹尺寸 $a_0 = 1.0 \text{ m}$, ΔK 由有限元法提取前沿应力场计算。将应变寿命法用于裂纹萌生阶段,断裂力学用于扩展阶段,形成统一寿命叠加模型。通过寿命区间分解集成两模型,分别求得起始寿命 N_i 与扩展寿命 N_p ,得出总寿命 $N_f = N_i + N_p$ 。模型输入参数由监测系统动态更新,支持基于物理机制的疲劳寿命实时预测,提升评估精度与在线响应能力。

3 检验标准构建方法与寿命评估判据设定

3.1 疲劳关键区识别与控制分区

斗轮机结构中多处连接节点与焊缝部位在长期变载荷作用下形成应力集中区,典型疲劳热点包括回转平台连接螺栓区、臂架铰接焊缝、臂架中段开孔结构及斗轮支臂根部焊缝。这些位置是裂纹可能起始的高风险区域,需优先识别并纳入分区控制,采用寿命等值线图判据,将高精度有限元模型中疲劳寿命低于设计寿命 25% 的区域划为一级疲劳关键区,25% 至 60% 之间划为二级控制区,其余区域为常规监控区。在关键区内结合应力梯度方向识别裂纹主扩展路径,参考焊缝形式与材料等级建立疲劳风险因子矩阵,对应设置不同的检验周期与触发响应等级。各分区主控物理量设为主应力幅、剪切应变幅与循环次数指标用作疲劳评估依据,分区边界划定中引入空间关联度分析法,对寿命突变区进行二维风险映射,确保划分具备结构连续性与响应一致性,为后续标准化检验策略提供逻辑支撑与参数基础。

3.2 寿命控制值设定方法

控制值基于 S-N 曲线、预测模型与服役应力确定。依

据热点应力幅与焊缝类别,匹配《EN 1993-1-9》和《GB 50017-2017》标准曲线,获取构件疲劳极限 σ_e ,作为疲劳判定与检验参数设定基础。将预测寿命结果中最短寿命值记作 $N_{\min}$,设计目标寿命为 N_d ,则定义安全寿命系数 λ 为 $\lambda = N_{\min}/N_d$ 。一级关键区 λ 值控制在 0.2 以下,表示该区域实际寿命远低于目标寿命,需强制进行周期性检验与剩余寿命预测修正。二级控制区中 λ 值设置在 0.2~0.6 之间,作为次风险区域采用低频周期检验与趋势分析策略。常规区域 λ 值大于 0.6,采取监测数据异常触发型检验策略。为增强模型鲁棒性,引入失效概率 P 的概念,使用 Weibull 分布拟合寿命预测数据,设定 90% 置信水平下寿命下限 N_{90} 作为容许寿命下限值,补充原始 $N_{\min}$ 指标,并将其作为分级管理的判定基础。控制值在应用中根据现场加载条件、监测系统响应能力和构件后处理工艺进行适度修正,形成基于预测模型主导的动态参数控制体系。

3.3 检验触发机制与预警分级标准

检验流程以预测驱动、分级响应构建闭环管理链。输入包括预测结果、数据异常与故障聚类。系统标记待检区域并触发动态检验,支撑疲劳精细化管控。一级区域每 3 个月检验,二级区域每 6 个月检验,常规区域不定期抽查。触发机制基于三重条件:寿命系数 λ 下降超 10%;应力幅连续 5 天高于 75% 疲劳极限;局部载荷峰值异常且无应力释放。任一条件满足即触发局部检验并生成待检列表。检验手段涵盖裂纹检测、声发射、无损评估与焊缝强度回评。结果反馈更新寿命模型,闭环修正预测路径。预警分级包括三级:一级为严重退化,立即停用更换;二级为可控退化,需加固或修复;三级为早期异常,建议缩短检验周期并持续跟踪。预警信息上传至数据库,供运维、设计与监理三方参考,实现结构退化的全生命周期可视、可控、可溯源。

4 工程应用验证与标准适配性评估

4.1 结构监测系统部署方案

华电电力科学研究院在沿海某燃煤电厂部署 DQ1000/3000 型臂式斗轮堆取料机结构监测系统。设备已服役 12 年以上,曾多次焊补维护,整体疲劳状态不明,裂纹预警困难。受海风腐蚀及运行载荷耦合影响,设备长期承受回转、俯仰与斗轮作业负荷作用,疲劳风险显著,监测需求紧迫。监测系统部署目标为:基于前述寿命预测与检验标准体系,构建高密度、多参数、智能化监测平台,实现对臂式斗轮机关键结构的疲劳应力动态监测与寿命状态评估,支撑设备预测性维修与运维调度优化。本系统在斗轮臂架主梁、回转平台底座、斗轮传动连接区、立柱焊缝节点等典型疲劳源位置布设共计 68 个应变测点,实时采集应力响应与位移协同变化。系统采用分布式无线应变采集节点,接入中央控制器并通过 4G 远程链路上传至数据中心,采样周期 10ms,结合寿命评估模型构建预测-实测融合平台。

4.2 实测应力与寿命模型对比

斗轮臂架中段测点最大应力幅为 98.3MPa，平均 64.7MPa，应力频谱呈周期性波动，体现出回转振动特征。传动臂连接区峰值应力达 112.5MPa，存在短周期突跳，源于启动与制动冲击，应力集中严重。寿命模型基于 S-N 曲线与应力谱输入，预测臂架中段寿命为 3.6×10^5 次，传动连接区为 2.8×10^5 次，均低于设计寿命 5×10^5 次。依据 Miner's 规则，累积损伤系数分别为 0.84 和 0.96，表明两处区域已接近疲劳极限状态。误差分析显示模型预测与实测反演残差控制在 $\pm 8\%$ 内，具备良好适配性与工程可用性。局部如立柱底座连接焊缝区，模型寿命预测偏离实测推算值约 17%，原因是该处焊缝质量较差，存在加工缺陷，导致局部应力集中。模型未计入残余应力与制造误差，建议引入缺陷修正因子进一步提升预测准确度。关键部位应力与寿命对比如下表 1 所示：

表 1：关键部位应力与寿命对比

序号	部位	最大应力 (MPa)	平均应力 (MPa)	预测寿命 ($\times 10^5$)	损伤系数	误差 (%)
1	臂架中段主梁	98.3	64.7	3.6	0.84	6.5
2	传动连接焊缝区	112.5	73.2	2.8	0.96	7.3
3	回转平台螺栓孔	87.9	59.1	4.2	0.68	5.9
4	立柱焊缝连接区	105.4	69.5	3	0.79	16.8
5	框架边角节点	90.2	60.3	4	0.72	6.1

4.3 标准适配性分析与修正建议

实测与模型预测结果高度吻合，说明控制区划分与寿命参数配置有效，斗轮臂架与连接焊缝属一级疲劳控制区

域，应力与损伤状态接近极限当前检验策略可有效反映趋势。部分区域如立柱底座出现预警滞后问题，建议引入焊缝残余应力与厚度修正参数补强模型鲁棒性。低幅疲劳区应纳入标准带宽范围避免过敏预警。建议采用区间双参数替代固定阈值，建立覆盖扰动响应的寿命控制带宽，在预警策略上应由单一应力幅阈值转为应力幅 + 循环频率 + 损伤率等多因子联合判断以提高触发准确率。针对臂式斗轮焊缝复杂结构，建议标准中引入“可视裂纹长度”作为判据并配合声发射检测手段，构建融合力学响应、寿命退化与形态演化的三维疲劳识别系统提升适应性与检验动态性。

5 结论

研究建立了斗轮机结构疲劳寿命预测方法，基于应力谱构建、热点识别与寿命参数集成实现多尺度疲劳建模。提出了控制分区划分方法与寿命系数控制值设定逻辑，构建了面向工程应用的检验标准流程。结合华电电力科学研究院项目开展了现场验证，实测应力与预测寿命误差控制在合理区间，标准体系可有效匹配结构退化趋势。建议未来将预测误差建模、残余应力补偿与多源数据融合作为优化方向，支撑检验机制向动态化、自适应方向演进。

参考文献

[1] 孙力. 斗轮机行走机构润滑系统改造的应用 [J]. 模具制造, 2025, 25 (02): 205-207.

[2] 毛军. 发电厂煤场斗轮机数字化管理技术研究 [J]. 电力设备管理, 2025, (02): 126-128.

[3] 薛允涛. 斗轮机悬臂高精度电子皮带秤研发与应用 [J]. 衡器, 2023, 52 (08): 35-38.

[4] 王军正. 巨型臂式斗轮机设计探讨 [J]. 建设机械技术与管理, 2023, 36 (02): 52-54.

[5] 张琦昊. 斗轮机回转轴承损坏原因分析及维护策略 [J]. 中国设备工程, 2023, (04): 145-147.

Study on the influence of shaking process on the quality of black tea processed from summer and autumn tea

Wangdong Bao¹ Hongyan Ye¹ Xiaofen Zhou^{2*}

1. Wuyi Shushui Tea Co., Ltd., Zhejiang, Jinhua, 321000, China

2. Wuyi County Tea Technical Service Station, Jinhua, Zhejiang, 321000, China

Abstract

To improve the utilization of summer and autumn tea resources and enhance the quality of black tea, this study introduces the shaking process from Oolong tea into traditional black tea processing techniques. Using the main tea varieties planted in Wuyi County (Chunyu No.1, Chunyu No.2, Jiukeng, and Jin Guanyin) as raw materials, different combinations of shaking parameters were set up. The impact of the shaking process on the quality of black tea was analyzed through sensory evaluation and physicochemical testing. The results show that performing two shaking treatments during the withering process (each lasting 4-5 minutes) can significantly enhance the aroma and flavor of the finished tea. Among these, the Jin Guanyin variety performed the best, achieving a total sensory score of 92.4, with the aroma and flavor scores rising to 96 and 93, respectively. Compared to traditional methods, black tea processed using the shaking method exhibits characteristics such as “flower and fruit fragrance” and “sweet and mellow,” making it particularly suitable for high-aroma varieties. This study verifies the feasibility of the shaking process in the processing of summer and autumn tea, providing technical support for increasing the added value of these teas.

Keywords

shaking process; summer and autumn tea; black tea quality; processing technology

摇青工艺对夏秋茶加工红茶品质影响研究

鲍王栋¹ 叶红燕¹ 周小芬^{2*}

1. 武义熟水茶业有限公司, 中国·浙江 金华 321000

2. 武义县茶叶技术服务站, 中国·浙江 金华 321000

摘 要

为提高夏秋茶资源利用率并改善红茶品质, 本研究在传统红茶加工工艺中引入乌龙茶的摇青工艺, 以武义县主栽茶树品种(春雨一号、春雨二号、鸠坑种、金观音)为原料, 通过设置不同摇青参数组合, 结合感官审评与理化检测, 分析摇青工艺对红茶品质的影响。结果表明: 萎凋过程中进行2次摇青处理(每次4~5分钟)可显著提升成品茶香气与滋味, 其中金观音品种表现最佳, 感官总分达92.4分, 香气和滋味分别提升至96分和93分。与传统工艺相比, 摇青工艺红茶呈现出“花果香”“甜醇”等特征, 尤其适用于高香型品种。研究验证了摇青工艺在夏秋茶加工中的可行性, 为提升夏秋茶附加值提供了技术支撑。

关键词

摇青工艺; 夏秋茶; 红茶品质; 加工工艺

1 引言

萎凋是红茶加工过程中的第一步, 萎凋方式对红茶品质形成非常重要。随着创新红茶的兴起和推广, 传统红茶萎凋方式不断被改进以提高茶叶品质。香气是茶叶优良品质的重要构成因子, 乌龙茶工艺中摇青工艺对香气形成至关重

要, 在红茶萎凋中引入此工艺可以增加花果香味。茶叶按生产季节分为春茶、夏茶和秋茶, 夏秋季节由于温度高、光照强, 茶树新梢生长迅速, 采收周期长, 产量大, 生产成本低, 适合进行批量生产。但由于夏秋茶中茶多酚、花青素和咖啡碱含量高, 酚氨比较大, 制成的红茶普遍存在滋味苦涩、香气不佳等问题。

武义县茶园管理多为机采茶园为主, 夏秋茶资源非常丰富, 多用于生产中低档香茶, 产量高, 但产品品质欠佳, 造成产品附加值普遍偏低。武义是传统绿茶生产大县, 近年来, 红茶产业发展迅速, 成为我县茶类的有力补充, 通过优化加工工艺来降低夏秋茶制红茶苦涩味, 改善夏秋茶的滋味和口感, 可以提高我县夏秋茶资源利用价值^[1]。该试验以我

【作者简介】鲍王栋(1983-), 男, 中国浙江金华人, 农艺师, 从事茶叶加工、审评研究。

【通讯作者】周小芬(1986-), 女, 中国湖南汨罗人, 硕士, 高级农艺师, 从事茶叶加工研究。

县主栽茶树品种春雨一号、春雨二号、鸠坑种以及花香红茶适制品种金观音为原料,开展摇青工艺对夏秋茶加工红茶品质影响研究。

2 试验材料与方法

2.1 试验材料

根据试验方案设计,为完成不同摇青工艺参数筛选、不同品种摇青工艺比较,同时开展验证试验,供试样品共有三批:

2022年5月,春雨二号一芽二叶手采鲜叶,经“萎凋→揉捻→发酵→初烘→复烘”加工而成红茶;

2023年8月,采摘相同原料嫩度(一芽三叶)鲜叶,品种分别为春雨一号、春雨二号、金观音和鸠坑群体种,经“萎凋→揉捻→发酵→初烘→复烘”加工而成红茶;

2023年10月,采摘原料嫩度(一芽三叶)鲜叶,品种分别为春雨一号、春雨二号、金观音和鸠坑群体种,经“萎凋→揉捻→发酵→初烘→复烘”加工而成红茶。

2.2 加工设备和参数

(1)萎凋:室内萎凋,室温28℃,空气相对湿度65%,摊叶厚度约4cm,时长约10h,萎凋至叶色转暗、青气减退;期间摇青,摇青机为SX-6CZQ-110茶叶综合做青机,摇青机转速400r/min,每次4-5min。

(2)揉捻:采用6CR-55型揉捻机,投叶量60kg,揉捻时间约60min,转速48r/min,空压20min,轻压10min,加压20min,轻压10min。

(3)发酵:室内发酵,室温28℃,厚度15cm,时间4h。

(4)初烘:采用6CHZ-9B型提香机,110℃,40min。

(5)复烘:采用6CHZ-9B型提香机,90℃,120min。

2.3 检测方法

茶叶感官审评参照国家标准GB/T23776-2018《茶叶感官审评方法》,取3g茶叶置于150mL审评杯中,以100℃的水注满,冲泡4min后,沥出茶汤,依次对茶样外形、汤色、香气、滋味和叶底5项因子进行密码审评^[2]。试验茶样由具有二级评茶师资质的本地茶叶专家完成,验证性试验茶样委托农业农村部茶叶质量监督检验测试中心进行测定和评价,出具检测报告。

3 结果与分析

3.1 摇青工艺参数筛选试验。

以春雨二号一芽二叶为原料,设置不同摇青参数,在萎凋工艺中分别进行2次、3次、4次摇青,每次摇青时间4-5min,比较不同摇青参数下成品茶产品内质。摇青参数控制如下:

(1)二次摇青参数控制 萎凋2h→第一次摇青→继续萎凋2h→第二次摇青→继续萎凋6h;

(2)三次摇青参数控制 萎凋2h→第一次摇青→继续萎凋2h→第二次摇青→继续萎凋2h→第三次摇青→继续萎凋4h;

(3)四次摇青参数控制 萎凋2h→第一次摇青→继续萎凋2h→第二次摇青→继续萎凋2h→第三次摇青→继续萎凋2h→第四次摇青→继续萎凋2h。

表1 不同摇青处理成品茶香气、滋味得分

样品编号	品种	原料嫩度	摇青处理	香气	滋味
1	春雨二号	一芽二叶	0次	85	82
2	春雨二号	一芽二叶	4次, 4-5min/次	87	82
3	春雨二号	一芽二叶	3次, 4-5min/次	88	84
4	春雨二号	一芽二叶	2次, 4-5min/次	89	85

由表1可知,在萎凋过程中进行摇青处理,其成品茶香气、滋味表现明显优于常规工艺,且2次摇青处理香气、滋味表现最突出^[3]。

3.2 不同品种摇青工艺比较试验。

分别以春雨一号一芽三叶、春雨二号一芽三叶、鸠坑群体种一芽三叶、金观音一芽二叶为原料,比较摇青工艺和常规工艺成品茶产品内质。

表2 不同品种摇青处理成品茶香气、滋味得分

样品编号	品种	原料嫩度	摇青处理	香气	滋味
1	春雨一号	一芽三叶	0次	81	79
2	春雨一号	一芽三叶	2次, 4-5min/次	84	82
3	春雨二号	一芽三叶	0次	80	78
4	春雨二号	一芽三叶	2次, 4-5min/次	82	79
5	鸠坑	一芽三叶	0次	82	85
6	鸠坑	一芽三叶	2次, 4-5min/次	85	86
7	金观音	一芽二叶	0次	90	85
8	金观音	一芽二叶	2次, 4-5min/次	92	87

由表2可知,春雨一号、春雨二号、鸠坑群体种、金观音4个品种摇青工艺茶叶品质均优于常规工艺,以金观音品种整体表现最佳。

3.3 不同品种摇青工艺验证性试验。

为进一步验证试验结论,项目组继续以2023年秋茶原料开展验证试验,分别对春雨一号、春雨二号、鸠坑群体种、金观音茶树品种,采用2次摇青处理(每次4-5min),以及常规工艺处理加工成红茶成品,并委托农业农村部茶叶质量监督检验测试中心感官审评,出具审评报告。

由表3可知,2023年秋茶原料开展验证试验结果表明,高香型品种(春雨二号、金观音)萎凋过程加入摇青工艺,能较好提升产品内质,产品呈现“花果香”、“花蜜香”、“甜醇”等品质特征;相对来说,春雨一号、鸠坑品种摇青工艺对产品内质改善不明显。

表 3 不同品种摇青工艺验证试验感官审评结果

产品名称	外形（25%）		汤色（105%）		香气（25%）		滋味（30%）		叶底（10%）		总分
	评语	分	评语	分	评语	分	评语	分	评语	分	
春雨一号 摇青	紧结、略卷曲、 微有毫尖、较乌	91	橙红、明亮	92	较高甜	89	甜醇	92	软较匀、较红	89	90.7
春雨一号 未摇青	紧结、略卷曲、 微有毫尖、较乌	91	橙红、明亮	91.5	较高甜、有火工	89	甜醇	92	软较匀、较红	89	90.6
春雨二号 摇青	较紧结、略卷曲、 较乌	90	红、明亮	93	甜、有花果香	93	甜醇、有花果香	92.5	软较匀、较红	89	91.7
春雨二号 未摇青	较紧结、略卷曲、 微有毫、较乌	91	红、较明亮	92	较高甜、微闷	87	较甘醇、微酸	90	软较匀、较红	89	89.6
金观音 摇青	较紧结、略卷曲、 微有茎梗、微有 折叠片、较乌	89	橙红、明亮	93	清甜、花蜜香显	96	甜醇、花蜜香显	93	软较匀、微有 芽、微有茎梗、 红明亮	90	92.4
金观音 未摇青	较紧结、略卷曲、 微有茎梗、微有 折叠片、较乌	89	橙红、尚明亮	90	尚高甜、有火工	86	较甘醇、微酸	89	较软匀、微有 茎梗、尚红	86	88.0
鸠坑 摇青	较紧结、略卷曲、 微有茎梗、稍碎、 较乌	87	橙红、明亮	91	较清甜	87	较甘醇、微酸	90	软较匀、有茎 梗、较红	87	88.3
鸠坑 未摇青	较紧结、略卷曲、 微有茎梗、稍碎、 较乌	87	橙红、较明亮	90.5	尚甜	86	甘醇	91	软较匀、微有 茎梗、较红	88	88.4

4 结论

与传统工艺红茶相比，摇青工艺红茶呈现“橙红明亮”、“花果香”、“花蜜香”、“甜醇”等品质特征，具有独特的品质风味，表明对萎凋叶进行适度摇青处理，能显著提升红茶品质，对于高香型品种，内质提升较为明显。需要注意的是：摇青过程中必须根据叶面情况灵活掌握程度，避免红边过度或死青现象发生，否则细胞破损较大，茶叶失水快，不利于茶叶“走水”、“还阳”，进而影响红茶发酵效果，

不利于茶叶品质形成。

参考文献

[1] 胡玉荣. 外源单宁酶处理对乌龙茶原料品质影响的研究 [J]. 饮料工业, 2025, 28 (02): 23-26.

[2] 张伟明,黄珊由美,樊容昊,等. 基于电子鼻和HS-SPME-GC-MS 研究有机硅消泡剂对乌龙茶饮料香气的影响 [J/OL]. 食品科学, 1-25[2025-05-21].

[3] 刘凯良,张树钦,周子维,等. 寿宁高山白茶不同萎凋加工技术比较分析 [J]. 现代农业科技, 2025, (08): 118-120.

Research and application of intelligent concrete safety pouring monitoring system

Wang Shuai¹ Wu Sidie² Wang Lin³ Wang Li¹ Cui Yilong¹

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

2. Wuhan Urban Construction Group Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430022, China

3. Wuhan Business School, Wuhan, Hubei, 430065, China

Abstract

To address potential safety hazards such as uneven loading and instability of the scaffolding during concrete pouring, an integrated plug-in monitoring device has been developed. Equipped with key parameter sensors for pressure, inclination, and displacement, this device monitors parameters like formwork load, displacement, and inclination during the pouring process. Data is collected in real-time via an IoT platform, with set monitoring and warning thresholds, which are then uploaded to an online platform. This system addresses issues such as high costs and expensive data collection equipment associated with traditional concrete pouring monitoring systems. It is applied to critical nodes and sections of concrete pouring, providing a reference for the quality and safety of construction projects.

Keywords

concrete; intelligent and safe pouring; monitoring system

混凝土智能安全浇筑监测系统研究及应用

王帅¹ 吴思迪² 王林³ 王理¹ 崔义龙¹

1. 武汉建工集团股份有限公司, 中国·湖北 武汉 430056

2. 武汉城市建设集团有限公司, 中国·湖北 武汉 430022

3. 武汉商学院, 中国·湖北 武汉 430065

摘 要

针对混凝土浇筑过程中可能存在的堆载不均、架体受力失稳等安全隐患, 研发一体承插式监测装置, 搭载压力、倾角、位移等关键参数传感器, 实现浇筑过程中模架荷载、位移、倾角等参数的监测, 通过物联网平台实时采集数据, 并设置监测预警值, 并上传至线上平台。该系统可解决传统混凝土浇筑监测系统费用高、数据采集设备贵等问题, 应用于混凝土浇筑关键节点、部位, 为工程建设的质量和安全生产提供参考。

关键词

混凝土; 智能安全浇筑; 监测系统

1 引言

混凝土浇筑是形成建筑承重体系(如梁柱、楼板、墙体、基础等)核心工序, 直接影响建筑物的安全、稳定和使用寿命^[1]。混凝土浇筑通常采用人工作业的方式较普遍, 成型质量受施工工序、工艺水平、振捣密实度等工人施工水平影响(图1、图2)。在部分超高大跨度的混凝土浇筑部位, 其混凝土浇筑过程相对危险和复杂^[2-4], 该浇筑过程通常视为危险性较大的分部分项工程, 过程中需要高度重视浇筑荷载分布、架体稳定性、人员安全、工序、工艺控制等事项的管理, 及时有效地识别出浇筑过程中的危险。

在建筑工程项目安全事故中, 高支模坍塌事故占据着较大比例。因此, 实施强有力的技术保障措施和严格的管理监督, 以预防此类支架坍塌事故的发生, 显得尤为关键。为确保施工的安全性及质量, 需要对其浇筑过程的关键参数进行监测与控制。而目前, 高支模混凝土浇筑施工存在着安装人员高空作业, 监测费用高、监测方法单一、布设繁琐、自动化水平低、数据获取滞后、监测与管控分离等一系列问题, 影响施工效率, 诸多方面尚待优化。

混凝土浇筑过程中, 混凝土荷载向模架体系施加, 模架体系受力产生位移。现有混凝土浇筑监测通常采用布设在模架体系上的传感器、采集器, 经过人工进行附加式安装, 现有的模架钢管常采用侧面安装, 布线也较为繁琐。因此利用智能化手段研究智能安全浇筑监测系统, 可对混凝土浇筑过程进行实时监控, 提升混凝土浇筑质量, 减少安全隐患。

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



图 1 混凝土浇筑作业



图 2 高支模事故危害

2 系统设计

针对混凝土浇筑过程中可能存在的堆载不均、架体受力失稳等关键安全问题。系统以其轴力、倾角和位移作为需要获取的环境参数传感器。多源数据传感器经过变送器，使其成为物联网设备可采集的数据传感器，通过有线或无线信号传输至物联网设备，数据通过网络上传到云平台管控。当

出现异常情况时，系统会自动发出预警通知相关人员；当异常状况持续、恶化时，会触发现场报警装置。用户可以远程访问云平台，查看实时数据、历史数据及预警信息，并可以对监控系统进行设置（例如，采样频率的调整，报警阈值的设定），实现高支模轴力、倾角和位移的精确测量，系统整体设计如图 3 所示。

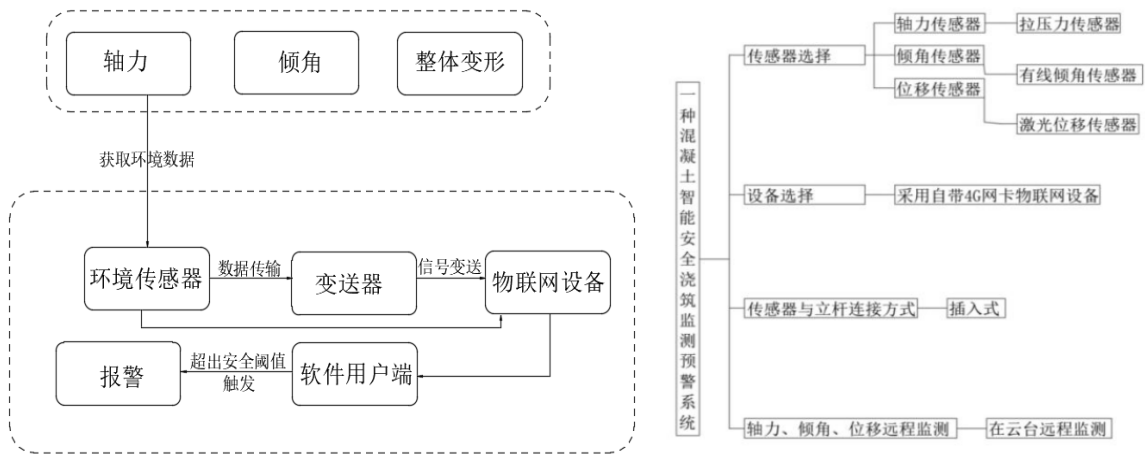


图 3 混凝土浇筑监测系统设计

3 装置功能

将监测设备与混凝土支撑架体相融合，实现一体式智能化监测技术，便于快速安装。为对高支模支撑状态进行监测，拉压力传感器通过螺纹孔装置与转接杆配合使用，插入到混凝土支架的立杆内，保证受力均衡。倾角传感器安装在混凝土支架上特定位置，由感应元件捕捉支架倾斜角度变化，并转换电信号输出；激光位移传感器安装在混凝土支架的位移敏感区域，对支撑竖向、水平位移进行实时测量。系统可对混凝土浇筑过程中高支模的轴力、倾角、位移等关键参量进行精确监测，及时发现安全隐患并预警，有效避免架体坍塌等重大安全事故。同时，本还可提高工人的配合工作效率，优化浇注工艺，减少质量缺陷。

4 装置特点

与外挂式监测管相比，混凝土智能安全浇筑监测系统将监测设备与框架结构深度融合，可实现对轴力、倾角、位移的实时监测。设备安装无需专业人员，普通架子工即可快速完成装配，大幅降低人工成本与使用难度。

监测系统实时监控浇筑作业，自动发出指令并进入待机模式以实现人机协作。在混凝土异常时，系统通过持续监测和预警快速通知施工人员，若无响应则启动警报。该系统利用数据而非经验控制浇筑过程，优化工序，提升效率，并为施工优化提供数据支持。监测数据上传至云端，管理人员可使用移动设备实时监控施工现场，及时排查和整改安全隐患，确保施工安全并减少人力成本。系统在复杂环境下保持高效稳定运行，增强作业安全性、确保质量一致性和管理便捷性。

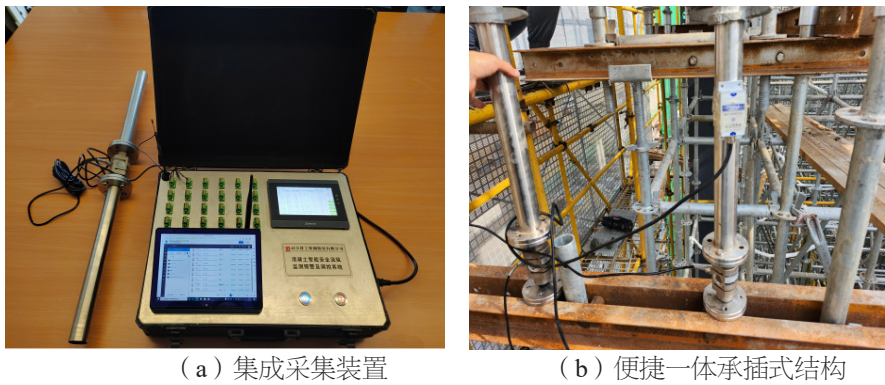


图 4 混凝土浇筑装置

5 工程应用及效果

混凝土智能安全浇筑监测系统在武汉市第七医院迁建项目和中共市委党校迁建项目中得到应用。武汉市第七医院迁建项目建筑面积 120600m²，由于结构复杂，高大模板支撑体系的稳定性监测至关重要。受限于预算，传统监测难以

实施，影响工程可靠性。市委党校迁建项目工期紧张，传统监测技术成本高且操作复杂，难以适应浇筑时间的不确定性。系统通过手机端实时监测架体受力，集成智能监测设备和预警系统，实时监控浇筑过程中的关键参数，确保施工安全。该系统安装简便、成本低，能显著提高浇筑质量、工程效率 and 安全性，具有很好的推广潜力。



图 5 工程应用项目

6 结论及展望

系统实现了对浇筑过程的轴力、倾角、位移等关键参数的实时监测，可以与现有架体管快捷对接。一体式的监测系统，可监测架体荷载、倾角、变形位移等控制参数，同时具备超限报警功能，较现有管侧安装测量手段，一体式监测系统与架体同轴居中，轴力测量精度得到提升，倾角、变形位移与系统同身，数据测量更真实、更敏捷。并及时发出预警，从而有效避免潜在的安全隐患。通过智能化的监测和控制手段，降低混凝土监测成本、降低施工过程中的安全风险，提高施工效率，缩短工期，为项目建设提供有力保障。

参考文献

- [1] 王晓娟. 高层房屋建筑工程大体积混凝土施工技术[J]. 工程与建设, 2023, 37(02): 682-684.
- [2] 赵岩枫, 廖术龙, 张艳奇. 混凝土浇筑过程中高支模实时监测分析[J]. 建筑安全, 2020, 35(07): 4-7.
- [3] 陈鲁, 汪德鸿. 大体积异形混凝土浇筑时模架体系监测试验研究[J]. 施工技术, 2016, 45(21): 52-54.
- [4] 辜文凯. 大体积混凝土浇筑过程中温度监测与控制技术[J]. 四川建筑, 2010, 30(04): 206-207.
- [5] 周云鹏, 靳宏, 刘元涛, 等. 超危高支模结构混凝土施工架体安全在线监测技术[J]. 建筑技术, 2021, 52(10): 1276-1278.

Analysis And Research On Over-temperature Mechanism Of Wind Power Gearbox In Low-temperature Environment And Measures

Xie Yong

Nanjing Fourall Intelligent Technology Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 211122, China

Abstract

The installed capacity of domestic wind turbines continues to grow every year, and the application scenarios are rapidly extending from inland normal temperature environments to extreme climate areas such as oceans and plateaus. Practice has found that the reliability of wind power cooling systems in normal temperature environments is very poor in low temperature environments. This paper aims to solve the problem of frequent high temperature alarm failures in large megawatt wind turbine gearboxes in low temperature environments. By studying and analyzing the working principle, operating conditions, structural parameters and control scheme of the gearbox lubrication cooling system, the structural reorganization flow resistance modeling analysis method and the orthogonal experimental method are used to eliminate the quality problems of the basic components of the fluid circuit one by one. Two key research contents are proposed: the structural reorganization of the air-cooled radiator and the reorganization of the control logic of the air-cooled unit. The structural reorganization optimizes and reduces the pressure resistance of the fluid in low temperature environments. The control reorganization integrates the neural network control mechanism, optimizes and solves the nonlinear problem of control in low temperature environments. The actual application of wind farms shows that the high temperature alarm problem of wind turbine gearboxes in low temperature environments has been reliably solved. This research plan can provide design experience and technical basis for the subsequent development and promotion of large megawatt wind turbines in the wind power industry.

Keywords

Low temperature environment; Lubrication and cooling system; Frequent high temperature alarms; Structural reorganization; Logical reorganization

低温环境风电齿轮箱超温机理分析及措施研究

谢勇

南京孚奥智能技术有限公司, 中国·江苏 南京 211122

摘 要

国内风力发电机组装机容量每年持续增长, 应用场合从内陆常温环境正快速向海洋、高原低温等极端气候领域延伸; 实践发现常温环境的风电冷却系统在低温场合的可靠性很差。针对大兆瓦风电齿轮箱在低温环境频发高温报警故障问题, 通过对齿轮箱润滑冷却系统的工作原理、运行工况、结构参数及控制方案进行研究分析, 采用结构重组流阻建模分析法、正交实验法在逐个排除流体回路基本元件的质量问题基础上, 提出了风冷散热器结构重组和风冷机组控制逻辑重组两项攻关内容, 结构重组优化并降低了低温环境下流体的压阻, 控制重组融合了神经网络控制机理, 优化并解决了低温环境下控制的非线性问题。风场实际应用表明, 风电齿轮箱在低温环境条件下的高温报警问题已得到可靠解决。该研究方案为风电行业后续大兆瓦风力发电机组开发及推广应用, 可提供设计经验和依据。

关键词

低温环境; 润滑冷却系统; 频发高温报警; 结构重组; 逻辑重组

1 引言

国内风力发电机组装机量每年持续增加, 机型也由原来的 2.X 快速发展至 6.X MW 以上机型, 目前批量新增机

型基本为 6.XMW 以上大兆瓦机型。机型的增大对风机传动链齿轮箱的传动功率也随之增大, 齿轮箱的发热量也会随之增大。为了满足齿轮箱能在夏季高温环境下正常散热稳定运行, 其配套的润滑冷却系统中配置的风冷却器换热功率及外形尺寸逐渐增大。

齿轮箱润滑冷却系统中配置的风冷却器作用是将齿轮箱运行产生的热量散发到空气中, 在夏季高温环境时齿轮箱内部润滑油油温保持在一个稳定的温度范围内, 使得齿轮箱

【作者简介】谢勇(1987-), 男, 中国江西吉安人, 硕士, 中级工程师, 从事工业流体控制及润滑冷却方面应用研究。

内部各个摩擦点得到有效的润滑和冷却。所以齿轮箱风冷却器设计边界条件则是以风机最高运行环境温度为技术依据。该设计边界条件可以满足齿轮箱在夏季高温环境下正常运行,但是近年在北方地区风电场夏季高温环境时风机齿轮箱运行正常,进入冬季低温时出现大量风机齿轮箱频发高温报警故障,严重影响风机发电量。

2 齿轮箱润滑冷却系统工作原理

齿轮箱润滑冷却系统主要由泵装置、过滤装置、风冷却器及管路组件等组成。其中泵装置和过滤装置由齿轮泵、电机、阀组和双精度过滤器等组成;风冷却器是由风叶、电机、铝合金散热芯体、壳体等组成;主要用于向齿轮箱各个摩擦点提供满足压力、流量、温度和清洁度要求的润滑油。

过滤器出口设有温控阀,温控阀可根据温度变化控制两路润滑油流向的比例。随着温度升高逐渐增大润滑油进入风冷却器的比例,直至油温达到 60℃ 时,润滑油完全经过风冷却器冷却后进入齿轮箱^[1]。

3 齿轮箱高温报警原因分析

从润滑冷却系统角度分析齿轮箱出现报高温主要因素为电机泵故障、风冷却器故障、温度传感器故障、温控阀故

障^{[2][3]},通过现场排查硬件没有异常。

从齿轮箱高温报警时运行数据分析整个过程中齿箱轴承温度、齿轮箱进油温度、齿轮箱电机泵出口压力比正常值高,齿轮箱进油压力均比正常值低。当外界环境温度低、风机满功率发电时齿轮箱会出现内部油池温度高于 75℃、齿轮箱轴承温度高于 85℃ 触发风机齿轮箱高温报警。

风机运行过程中当齿轮箱内部油温超过 60℃ 时,温控阀动作切换油路,关闭冷油回路使得所有润滑油经过风冷却器冷却后再进入齿轮箱;根据风冷却器控制逻辑此时触发了风冷却器风扇启动散热。若此时外界环境温度低于冰点,风冷却器电机风扇吸入的风温度也低于冰点,会将流经风冷却器散热芯体内部的润滑油瞬间冷却到冰点以下。根据齿轮箱润滑冷却系统工作原理以及齿轮箱润滑油温粘特性可知,在流量不变情况下风冷却器散热芯体内部压阻随油温变化而变化,温度越低润滑油粘度越大,流过散热芯体产生的压阻也越大。风冷却器散热芯体压阻增大后使得润滑冷却系统整体运行压力升高,当压力升至超过系统安全阀开启力或者超过风冷却器旁通阀开启压力值;润滑油未经过冷却直接进入齿轮箱,造成齿轮箱各个摩擦点得不到散热,使得齿轮箱温度持续升高,最终产生风机齿轮箱低温环境下高温报警故障^[4]。

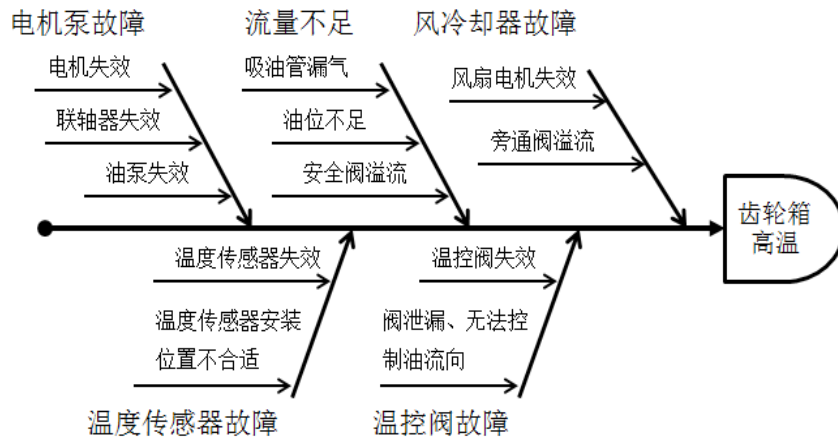


图 1 润滑冷却系统影响因素

Fig. 1 Factors affecting the lubrication and cooling system

4 齿轮箱风冷却器换热计算

齿轮箱风冷却器换热计算包含被动散热和主动散热两部分,其中被动散热可根据冷却功率计算公式(1)进行理论计算:

$$P = S * K * \Delta t / 1000 \quad (1)$$

式中: K 为铝合金散热芯体自然散热系数; S 为散热芯体散热面积, m^2 ; Δt 为冷却介质温度与环境空气温度温差值, $^{\circ}C$ 。

主动散热可根据热平衡^[5]公式(2)进行理论计算:

$$P = Q * C * \rho * \Delta t / 60 \quad (2)$$

式中: Q 为冷却介质流量, L/min ; C 为冷却介质比热,

$KJ/kg \cdot K$; ρ 为冷却介质密度, kg/m^3 ; Δt 为风冷却器进出口冷却介质温差值, $^{\circ}C$ 。

根据热平衡公式(2)可知,其它参数一定条件下风冷却器进出口冷却介质温差值越大其换热量越大;当环境温度低至冰点,风冷却器出口介质温度也被冷却值冰点,此时风冷却器进出口冷却介质温差值大,风冷却器换热量也大,容易造成换热量过大,影响润滑冷却系统正常运行。

5 齿轮箱风冷却器结构重组研究

5.1 风冷却器散热芯体结构重组

风冷却器散热芯体采用的铝合金翅片式结构^[6],芯体

由汇集流道、冷侧流道、热侧流道及扰流翅片组成。从齿轮箱出来的热油进入散热芯体热侧进口主流道中，再分成很多细小流道，细小流道中设计有扰流翅片，增加换热面积及换热效率。热侧细小流道中的扰流片会增大润滑油阻力，细小流道长度也会增加沿程阻力，当润滑油温度低时阻力会增大。

原有风冷却器散热芯体润滑油润滑油流向从散热芯体一端进入在从对角方向流出，会产生较大内阻。根据大兆瓦齿轮箱在低温环境条件下高温报警原因分析结果对散热芯体进行结构重组优化，其重组优化设计的目标是将散热芯体内部压阻降低。在不改变风冷却器满足高温环境时换热需求的条件下，通过优化热侧内部细小流道中的翅片结构尺寸和减小细小流道长度的方式，以达到降低散热芯体压阻的目的。

将结构重组前后的散热芯体进行压阻性能测试，通

过测试在同样工况下结构重组后的散热芯体压阻可降低约50%，达到结构重组目标值。

5.2 风冷却器控制逻辑重组

风冷却器电机风扇启停控制逻辑^[7]目前是由齿轮箱内部润滑油温度和轴承温度作为控制条件，当齿轮箱内部油温或轴承温度达到第一设定值时启动电机风扇低速运行；当齿轮箱内部油温或轴承温度达到第二设定值时启动电机风扇高速运行。

根据齿轮箱高温报警分析原因及实际运行工况对风冷却器电机风扇启、停控制逻辑进行重组优化，即在控制逻辑中增加环境温度条件。根据不同机型及装机环境进行重组优化控制逻辑图2所示，避免低温环境对风冷却器运行影响，以达到更优的控制润滑油温度，提升风电齿轮箱运行稳定性。

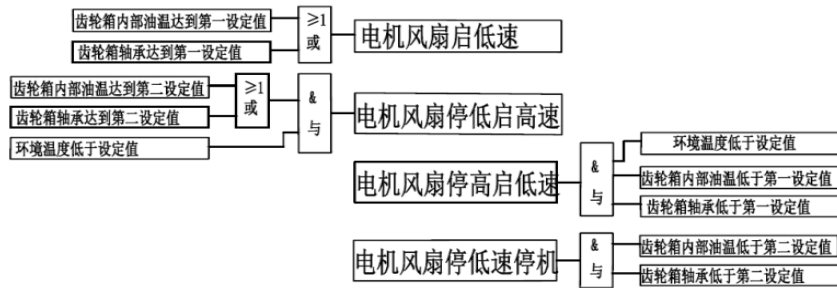


图2 重组后控制逻辑

Fig. 2 Reorganized control logic

5.3 重组优化后应用情况

重组优化后的润滑冷却系统在西北某风电场经过一个月以上的低温环境实际运行验证，低温环境时风机齿轮箱满功率运行状态下未出现高温报警故障。同时现场实际运行环境温度低于零下30℃，运行过程中触发了风冷却器电机风扇低速运行，未触发风冷却器电机风扇高速运行，齿轮箱内部油温和轴承温度稳定控制在设计要求范围内，满足风机齿轮箱低温环境运行工况要求。

6 结论

针对低温环境大兆瓦级风电齿轮箱高温报警故障问题，通过分析其故障机理，提出了对风冷却器散热芯体进行结构重组降低内部压阻以及重组风冷却器电机风扇控制逻辑的解决方案，经过风电场实际应用运行验证可以有效解决风机齿轮箱低温环境条件下高温报警故障。该优化方案同时可以应用于风冷却器外置安装的风力发电机组，减小风机机舱尺寸，降低风机生产成本。有效的提升风机齿轮箱全天候环境温度运行的适应性和稳定性，扩大风力发电经济性效应。为

后续大兆瓦风力发电机型齿轮箱风冷却器设计开发、安装布局提供有利的技术参考依据。

参考文献

- [1] 魏永红.风电齿轮箱润滑冷却系统及风力发电系统: CN117366215A [P].2024.
- [2] 张上.风力发电机组齿轮箱油温高原因及散热改造方案分析[J].科技与创新, 2015(18): 36-37.
- [3] 张军苗.兆瓦级风电齿轮箱温度超限原因探讨分析[C]//中国农机工业协会风能设备分会《风能产业》, 2018(11): 82-86.
- [4] 谢勇, 艾文峰, 尹立松, 陈春.一种适用于低温环境风电齿轮箱润滑冷却系统:CN112145660B[P].2021
- [5] 杨世铭, 陶文铨.传热学[M].北京: 高等教育出版社, 2003: 313—341.
- [6] 许增金, 薛园园, 杨永江, 邢作霞.风电齿轮箱油温高原因分析及解决方法[J].太阳能学报, 2020,41(3): 74-19.
- [7] 马金国.风电齿轮箱油温高限功率故障分析处理[C]//中国农机工业协会风能设备分会《风能产业》, 2015(3): 54-58.

Leak detection and safety protection technology of natural gas pipeline transmission system

Changyu Liu

Sichuan Guotai Minan Safety and Environmental Protection Technology Service Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610000, China

Abstract

Natural gas, as an efficient and clean energy source, plays a crucial role in ensuring stable energy supply through its pipeline transportation system. However, pipelines operating under long distances, high pressures, and complex geological conditions are highly susceptible to leakage accidents, which can lead to severe consequences such as fires, explosions, and environmental pollution. This paper systematically analyzes the risk characteristics and causes of natural gas pipeline leaks, summarizes the current mainstream leakage detection technologies, including physical parameter monitoring, sensor network applications, and data model identification methods, and explores the synergistic prevention and control effects of various safety protection technologies within the pipeline system. Additionally, in response to the trend towards integrated and intelligent detection systems, the paper proposes ideas for constructing information fusion and remote management platforms, emphasizing the importance of both institutional norms and technical mechanisms to enhance the intrinsic safety level of natural gas transmission systems, reduce operational risks, and provide technical support and management references for the industry.

Keywords

natural gas pipeline; leakage detection; safety protection; risk identification; system integration

天然气管道输送系统泄漏检测与安全防护技术

刘昌玉

四川国泰民安安全环保技术服务有限公司, 中国 · 四川 成都 610000

摘 要

天然气作为高效清洁能源, 其管道输送系统在保障能源稳定供应中具有关键地位。然而, 管道在长距离、高压力及复杂地质环境下运行, 极易发生泄漏事故, 带来火灾、爆炸与环境污染等严重后果。本文系统分析天然气管道泄漏的风险特征与成因, 归纳当前主流的泄漏检测技术路径, 包括物理参数监测、传感网络应用及数据模型识别方法, 并探讨多种安全防护技术在管道系统中的协同防控作用。同时, 针对检测系统集成化与智能化发展趋势, 提出信息融合与远程管理平台建设思路, 强调制度规范与技术机制并重, 以期提升天然气输送系统的本质安全水平, 降低运行风险, 为行业提供技术支撑与管理参考。

关键词

天然气管道; 泄漏检测; 安全防护; 风险识别; 系统集成

1 引言

天然气在全球能源结构中占据重要地位, 其运输主要依赖管道输送系统。由于输送过程需跨越复杂地质、多种气候及高人口密度区域, 导致安全运行风险显著提升。尤其在高压输送环境下, 管道一旦发生泄漏, 极易引发燃爆事故, 影响社会稳定与生态环境安全。因此, 构建科学、高效的泄漏检测与安全防护体系是保障天然气输送系统安全运行的核心课题。当前行业内虽已形成多种检测与防护技术体系, 但仍面临响应不及时、误报率高、覆盖能力不足等现实挑战。本文旨在通过深入剖析泄漏风险机理与技术发展路径, 提出

具有前瞻性和可实施性的系统性解决方案, 推动天然气输送领域安全水平的持续提升。

2 天然气管道泄漏风险特征与成因分析

2.1 天然气管道输送系统的运行环境与风险暴露点

天然气管道常跨越城市、农村、山地与河流区域, 环境复杂多变, 地质结构不稳定, 存在滑坡、沉降、地震等自然风险。高压运行条件下, 焊缝老化、管体腐蚀与涂层剥落加剧金属疲劳, 易形成微裂纹。城市建设施工频繁, 第三方破坏成为管道受损的主要人为因素。老旧管网缺乏智能化监控, 长期运行状态下难以及时发现早期损伤。气候变化引发的冻融交替和极端天气同样影响地表稳定性, 增加埋地管道变形与应力集中风险。运行过程中, 如调压系统失效或过压

【作者简介】刘昌玉(1993-), 女, 中国四川广汉人, 本科, 注册安全工程师, 从事安全评价研究。

操作,亦可能造成机械损伤,诱发泄漏事件。

2.2 常见泄漏类型及诱发机制解析

天然气管道泄漏可分为连续性泄漏、突发性破裂、微渗漏等类型。连续性泄漏常因长期腐蚀作用或小型裂纹扩展造成,难以在初期被察觉。突发性破裂多与应力超载、地基失稳或外力撞击相关,破坏范围广、能量释放强烈。微渗漏则常发生在法兰连接、阀门接口等部位,长期积累可能引发爆炸风险。腐蚀机制包括电化学腐蚀与应力腐蚀开裂,受土壤湿度、电位差和金属疲劳程度影响较大。焊接缺陷、管材瑕疵、安装误差等也会在运行中逐渐演化为泄漏点,形成复杂的多因耦合破坏过程。

3 天然气管道泄漏检测技术体系

3.1 基于物理参数监测的泄漏检测方法

物理参数监测技术通过实时采集管道内外的压力、流量、温度和声波信号等数据,识别异常状态以判断是否发生泄漏。当管道泄漏导致压力突变或流量不匹配时,可通过压差分析实现快速报警。声波检测技术能捕捉泄漏点产生的高频噪声,在高压输送环境中具有灵敏性。温度监测可识别天然气气化吸热效应造成的局部温度降低,用于辅助定位。流量不平衡计算基于进出口流量对比判断泄漏量,适用于长输管道的宏观异常识别。这些方法虽响应速度快、系统简单,但在微泄漏和复杂干扰环境中准确性仍需提高。

3.2 基于传感网络与分布式监测技术的应用

传感网络技术通过在管道沿线布设光纤、声波、气体浓度等多类型传感器,形成分布式实时监控体系,实现大范围、全天候的连续监测。分布式光纤传感技术如 DTS (分布式温度传感) 和 DAS (分布式声波传感) 能精准检测泄漏引起的温度或声信号变化,具有高灵敏度与广覆盖能力。无线传感节点则能将局部异常信息迅速上传至控制中心,便于远程决策。该技术可构建泄漏报警、定位、追踪一体化系统,提升反应效率。但对设备布局、传感器灵敏度和数据同步要求较高,建设与运维成本亦需统筹考虑。

3.3 基于数据分析与建模识别的泄漏诊断技术

数据分析与建模方法借助历史运行数据、实时监测数据及环境变量进行模式识别,构建多源融合的泄漏判断模型。通过统计分析、时间序列建模、模式识别等手段提取泄漏特征向量,实现对微小变化的快速识别。概率模型可评估不同类型泄漏的发生可能性与影响范围,提升检测预判能力。机器建模与数学仿真在异常分类、故障识别、故障趋势预估方面具有优势,适用于多参数干扰环境中的复杂决策需求。多模型集成提升整体检测准确率,并通过误差反演实现泄漏位置反推,为精准维护提供支撑,图1为数据分析与建模识别的泄漏诊断技术分析。

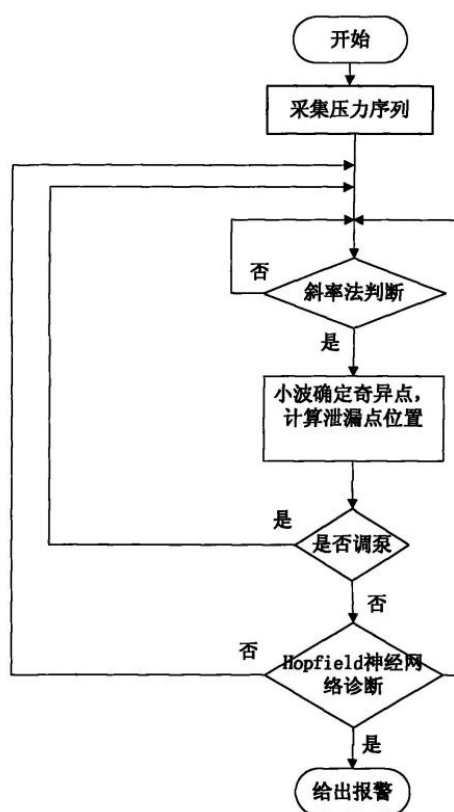


图1 数据分析与建模识别的泄漏诊断技术分析

4 天然气管道安全防护技术措施

4.1 主动防护机制与管道完整性管理技术

主动防护技术以预防性控制为目标,涵盖阴极保护、缓蚀剂注入、管道覆层优化等手段,用于延缓金属腐蚀与疲劳裂纹形成。通过定期实施智能检测如内窥检测(PIG)和超声波检测,获取管道壁厚、焊缝完整性与潜在损伤信息,构建动态风险图谱。管道完整性管理系统基于结构分析、历史工况与检测数据,预测可能的失效模式与关键节点,制定个性化维护策略。定期进行地质风险评估与沉降监测,有助于调整埋深与支撑结构。综合评价结果可用于更新风险矩阵,实现资源最优配置与分级管理,保障输送系统稳定运行。

4.2 紧急切断与事故响应系统设计

天然气输送系统中设置的紧急切断装置可在检测到超压、泄漏或管道破裂等异常信号后快速动作,阻断气源,限制事故影响范围。阀组通常分布于重要节点与高风险区段,可通过远程控制系统或自动化触发机制实现精确响应。事故响应系统包含应急联动、就地控制、报警联动等功能,支持多路径控制信号传输与设备自诊断。与检测系统集成后可实现泄漏识别、区域封闭与排空联动操作,提高初期处置速度。配合完善的事故预案体系与应急演练机制,保障处置行动快速有序,降低安全事故对人员与设施的危害。

4.3 防爆设施与环境适应性防护装置配置

防爆设计贯穿于天然气管道的站场、阀室与控制中心

建设过程中,主要通过设置防爆墙体、泄压装置、防火涂层与隔爆电气系统等形式阻断能量传递路径。阀井与站场周边常配备通风与气体稀释系统,降低气体积聚浓度,抑制火源传播。设备间距与布局设计符合防火间距标准,控制设备采用本安或隔爆型产品以保证运行安全。对于山地、盐碱地、冻土层等特殊环境,采取绝热材料、防冻保护与抗沉降装置,确保长期运行稳定。环境适应性设计通过参数动态调节与反馈控制,维持防护装置与环境变化同步适应,提升系统耐久性。

5 泄漏检测系统的集成优化与智能化发展

5.1 检测系统软硬件集成架构设计

泄漏检测系统在构建过程中需兼顾数据采集、信号传输、分析处理与反馈控制功能,形成完整软硬件协同体系。前端采集模块集成压力、流量、温度、声波与气体浓度等多种传感单元,布局覆盖主干管线与高风险节点。边缘计算设备嵌入管道沿线节点,实现初步数据处理与局部判别。中心处理平台通过高性能服务器运行实时监控程序,支撑大数据存储、模型分析与报警判断。系统软件需具备自学习能力、阈值自适应与设备状态感知功能,实现运行状态自诊断与动态调优。接口统一标准化设计,便于与安全管理系统对接,提升系统整体联动性与维护效率。

5.2 多源信息融合与预警算法优化路径

多源信息融合技术整合来自不同监测模块的数据,通过统一数据格式与时间同步机制形成完整事件画像。融合算法采用贝叶斯推理、支持向量机、卷积神经网络等建模工具提取关键特征值,提高异常检测灵敏度。多尺度分析与频域识别方法可强化微弱信号判别能力,特别适用于微渗漏场景。基于工况分区构建分层报警策略,实现区域化、自适应预警模型。通过引入反馈机制对误报与漏报事件进行历史回溯分析,优化参数设定。事件级联模型与失效演化预测方法用于提升预测准确度,为事故前置干预提供数据支持与决策参考。

5.3 智能管控平台构建与远程协同管控机制

智能管控平台整合 GIS 空间信息、SCADA 监控系统与泄漏识别模块,实现跨区域、跨系统的数据集中管理与可视化展示。平台支持多级权限管理,保障调度中心、巡检单位、应急队伍等多方同步协作。远程管控机制基于 5G 通信与边缘计算技术,能在关键节点快速获取数据并实时响应操作指令。平台具备动态趋势分析、故障演化模拟与风险热力图生成功能,支持智能调度与辅助决策。应急状态下,系统可推送最优处置路径与资源调配方案,实现全过程、全链条、全要素的远程指挥与联动管控。系统运行数据闭环管理机制也为长期安全运营积累基础数据资源。

6 天然气管道安全管理的制度与技术协同路径

6.1 标准化建设与检测规程制度完善

安全管理标准化是天然气管道系统运行可靠的制度基础,涵盖设计、建设、运营、检测与报废全周期。统一技术标准体系包括泄漏检测设备安装规范、检测频率、判定阈值、报警机制与记录保存要求。规程中明确管道等级分类、隐患排查内容、检测方法适用条件等,形成覆盖面广、执行力强的管理指南。制度体系要求各类检测数据有据可依、有标可循,降低人为主观误差。结合实际运行情况不断动态修订与技术更新,增强制度适配性与前瞻性。建设标准统一的同时,配套推进人员培训与持证上岗管理,实现技术、操作与管理的闭环统一。

6.2 基于风险评估的维护与巡检策略

风险导向管理理念推动管道维护工作由定期制向状态感知与风险分级转变。通过构建涵盖地质条件、运行年限、历史事故、周边干扰与结构完整性等指标的风险评估模型,对管道段落进行风险等级划分与预警等级标注。评估结果作为排定巡检频次、技术手段与维护优先顺序的依据,实现高风险段主动预防、低风险段合理延后。在巡检策略上引入无人机巡线、地面雷达与红外成像等多元技术手段,增强数据获取深度与覆盖广度。多源数据反馈机制实现异常自动识别、动态调度与智能排障,提升巡检效能与风险控制能力。

6.3 多部门协同与应急演练体系构建

天然气管道安全管理涉及建设、运营、安监、消防、环保、交通等多部门协同。构建跨部门联动机制需明确职责边界、沟通流程与信息共享机制,实现资源统筹与快速响应。建立统一应急平台,集成监测预警、通讯调度与行动指令,确保事故发生后各单位可在最短时间内启动相应处置程序。完善应急预案库,涵盖不同泄漏情境下的应对策略与撤离路线。常态化组织多场景、多层级的应急演练,检验协调效率与系统响应能力。演练反应用于修订预案与优化资源配置,强化各方协作默契,提升综合防控与救援能力的系统性与实效性。

参考文献

- [1] 王雅倩.石油与天然气管道输送中BOG处理技术的应用与研究[J].辽宁化工,2025,54(02):328-330.
- [2] 张刚,孙启超,钟炎鑫,方超,庄学良.天然气管道输送安全关键技术与进展研究[J].石化技术,2024,31(10):260-262.
- [3] 李天一.石油与天然气管道输送节能降耗研究[J].中国储运,2024,(07):56-57.
- [4] 李雨琼,董雨茜.天然气管道输送安全关键技术与进展[J].当代化工研究,2024,(06):194-196.
- [5] 薛琪影.天然气管道输送工程消防设计及火灾预防对策[J].消防界(电子版),2024,10(04):81-83.