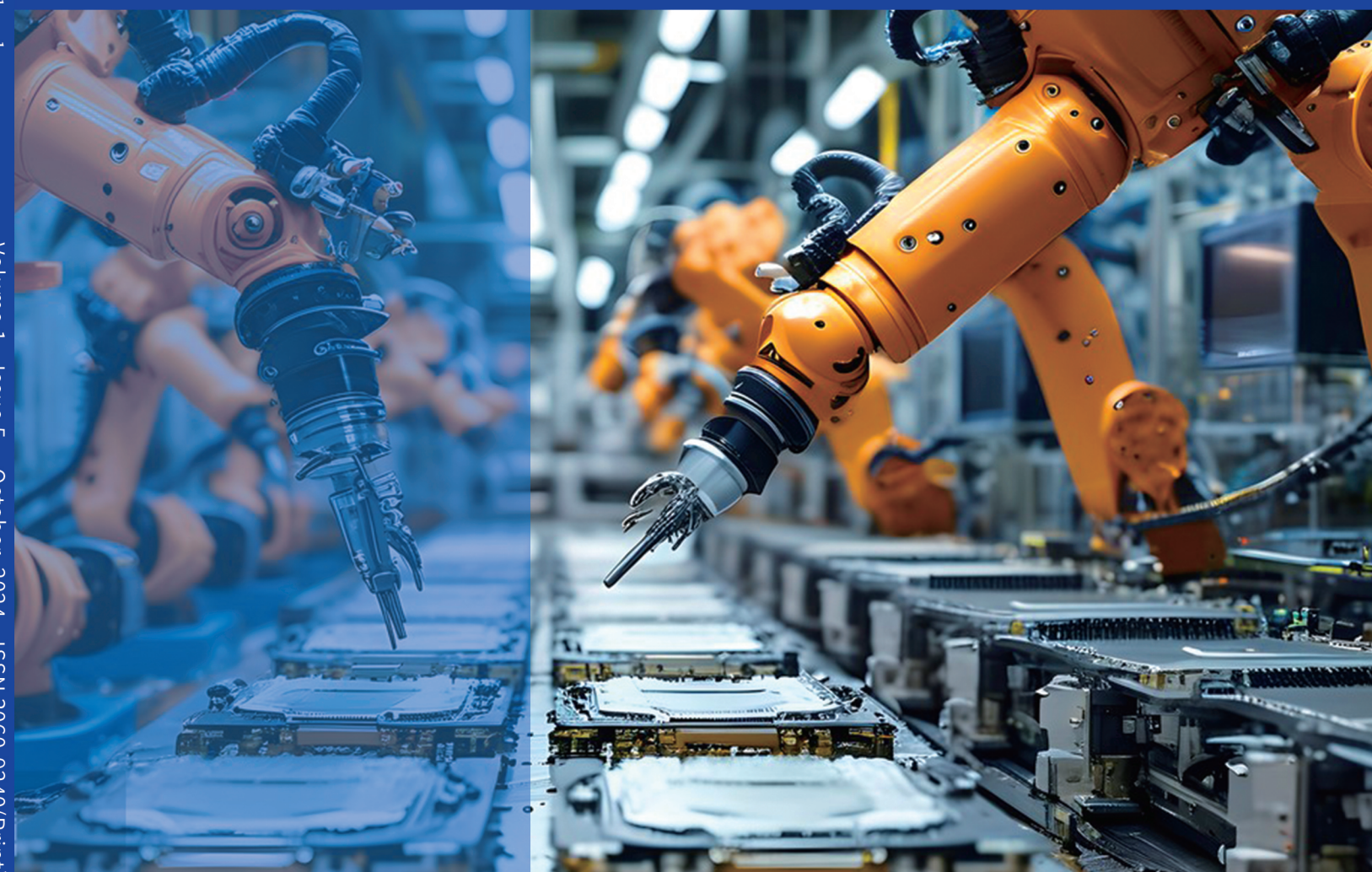


现代工业与技术

Modern Industry and Technology

Volume 1 • Issue 5 • October 2024 • ISSN 3060-9240(Print) 3060-9259(Online)



Nanyang Academy of Sciences Pte. Ltd.
Tel.: +65 62233839

E-mail: contact@nassg.org
Add.: 12 Eu Tong Sen Street #07-169 Singapore 059819

中文刊名：现代工业与技术	Serial Title: Modern Industry and Technology
ISSN：3060-9240（纸质）3060-9259（网络）	ISSN: 3060-9240 (Print) 3060-9259 (Online)
出版语言：华文	Language: Chinese
期刊网址：http://journals.nassg.org/index.php/mit-cn	URL: http://journals.nassg.org/index.php/mit-cn
出版社名称：新加坡南洋科学院	Publisher: Nan Yang Academy of Sciences Pte. Ltd.

Database Inclusion



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》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。

现代工业与技术

Modern Industry and Technology

Volume 1·Issue 5· October 2024·ISSN 3060-9240(Print) 3060-9259(online)

编委会

主 编

蒋 晶 郑州大学

编 委

李伟锋 华东理工大学

李 硕 重庆理工大学

李益国 东南大学

高学金 北京工业大学

1	化工废水处理过程中的安全隐患控制与排放合规研究 / 张航健	22	球磨设备主轴轴承衬瓦温升异常机理与散热优化研究 / 袁文明 李安龙 王志强
4	智能化机电设备在煤矿掘进中的优势及应用 / 冯浩	25	汽车行业智能化设备改造与技术革新研究 / 臧龙飞
7	探究保护层分析法在化工企业重大危险源罐区的应用 / 张先琳 徐海涛	28	对直升机电子元器件管理及选用控制的思考 / 翟魁
10	交联剂与稀释剂在高性能聚合物涂层中的相互作用机理及其对涂膜物性的影响研究 / 王慧宇	31	基于数字孪生技术的工业机器人路径规划与仿真研究 / 单孟丽 刘亚西
13	浅谈烤烟精细化技术解决百色烟区 K326 品种烤青烟对策 / 麻海戈 黄振华 岑脉 吴雪娇 黄馨醇	34	机械工程自动化设备安装技术及应用探讨 / 王一
16	SSD 卡线路板的抗干扰设计与测试方法研究 / 巫灵进 朱徐城 孙小睿 柯雪丽 吾晨阳	37	氦气及其子体监测与净化技术在地下空间中的应用探索 / 韩明
19	多品种小批量生产模式下的物料调度策略 / 何子君	40	仪表仪器中的计量检测技术分析 / 张军

- | | | |
|----|---|---|
| 1 | Study on safety hazard control and discharge compliance in chemical wastewater treatment process
/ Hangjian Zhang | / Zijun He |
| 4 | The advantages and applications of intelligent electromechanical equipment in coal mine excavation
/ Hao Feng | 22 Research on the Mechanism of Abnormal Temperature Rise of the Main Shaft Bearing Babbitt Lining of Ball Mill Equipment and Heat Dissipation Optimization
/ Wenming Yuan Anlong Li Zhiqiang Wang |
| 7 | To explore the application of protective layer analysis method in the major hazard tank area of chemical enterprises
/ Xianlin Zhang Haitao Xu | 25 Research on intelligent equipment transformation and technological innovation in automobile industry
/ Longfei Zang |
| 10 | Mechanism of crosslinker and diluent in high performance polymer coating and its influence on coating properties
/ Huiyu Wang | 28 Reflections on the management and selection control of helicopter electronic components
/ Kui Zhai |
| 13 | Discussion on the countermeasures to solve the K326 variety toasted smoke in Baise tobacco area by fine technology of flue-cured tobacco
/ Haige Ma Zhenhua Huang Mai Cen Xuejiao Wu Xinchun Huang | 31 Research on Path Planning and Simulation of Industrial Robot Based on Digital Twin Technology
/ Mengli Shan Yaxi Liu |
| 16 | Study on the anti-interference design and test method of SSD card circuit board
/ Lingjin Wu Xucheng Zhu Xiaorui Sun Xueli Ke Chenyang Wu | 34 Discussion on the installation technology and application of mechanical engineering automation equipment
/ Yi Wang |
| 19 | Material scheduling strategy in multiple variety small batch production mode | 37 Application of monitoring and purification technology of radon gas and its daughters in underground space
/ Ming Han |
| | | 40 Analysis of measurement and detection technology in instrument instrument
/ Jun Zhang |

Study on safety hazard control and discharge compliance in chemical wastewater treatment process

Hangjian Zhang

DuPont Xingda (Wuxi) Single Silk Co., Ltd., Wuxi, Jiangsu, 214183, China

Abstract

In the chemical industry, wastewater treatment is an important concern in the field of safety and environmental protection. This study aims to analyze and optimize the safety risks of chemical wastewater treatment process, effectively improve the treatment efficiency and safety, and ensure the environmental compliance of wastewater discharge. Using scientific methods such as multivariate statistical analysis and accident tree analysis, we find and sort out many safety risks in the processing process, including chemical leakage, equipment failure, human operation error, etc. We designed the solutions to these problems and improved the original process, which significantly improved the safety of the wastewater treatment process. At the same time, through the adjustment of the treatment process and the use of new environmental protection materials, the parameters of the discharge wastewater meet the standard, and the discharge compliance is significantly improved.

Keywords

chemical wastewater treatment; safety risks; environmental compliance

化工废水处理过程中的安全隐患控制与排放合规研究

张航健

杜邦兴达（无锡）单丝有限公司，中国·江苏 无锡 214183

摘要

在化工工业中，废水处理是安全和环保领域的重要关注点。本研究旨在分析和优化化工废水处理过程的安全隐患，切实提高处理效率和安全性，保证废水排放的环境合规性。采用多元统计分析和事故树分析等科学方法，发现并整理出现有处理过程中存在的多个安全隐患，包括化学物质泄漏，设备故障，人为操作失误等。我们设计了针对这些问题的解决措施并对原有流程进行改进，显著提高了废水处理过程的安全性。同时，通过调整处理工艺和采用新型环保材料，使得排放废水的各项参数均达标，排放合规性显著提升。

关键词

化工废水处理；安全隐患；环保合规

1 引言

化工工业作为全球重要的产业之一，它的废水排放和处理问题具有极高的重要性。这些废水含有大量有害物质，如重金属、有机物及多种无害与有害化合物，若无法得到有效处理和妥善排放，将引发严重的环境污染和健康风险。当下，化工废水处理中的安全隐患仍是企业和社会亟待解决的难题。据最近的统计数据显示，化工废水处理事故频发，其中包括化学物质泄漏、设备故障及人为操作失误等，增加了这一问题的复杂性与重要性。由于上述问题，本研究将聚焦于化工废水处理过程中的安全隐患控制及排放合规性问题。我们首先采用多元统计分析和事故树分析等科学的研究方法，去发现和整理处理过程中现有的安全隐患，然后针对这

些问题，我们尝试提出并设计相关的解决措施，对原有的处理流程进行改进及优化，并使其达到环保排放标准，旨在切实提高废水处理的效率、安全性，以及排放的环保合规性。

2 化工废水处理过程中主要危险有害因素介绍

2.1 化学物质泄漏问题

化学物质泄漏是化工废水处理过程中常见且严重的安全隐患^[1]。其危害不仅限于对作业人员的健康威胁，还有可能对待处理设备造成损害，进而影响废水处理效率和环境安全^[2]。化学物质在废水处理过程中需严格控制，无论是化工废水本身还是处理所用的药剂，通常都带有腐蚀性和毒性，即便是轻微的泄漏也可能引发重大的安全事故，因此，识别和防范化学物质泄漏的工作显得尤为重要。潜在泄漏的主要来源包括设备、设施、管线本体的设计、制造缺陷和腐蚀、疲劳、老化，接头密封异常等。在废水处理现场，尤其要关注埋地管道、储液罐、反应池等的运行状态，及时检查并维护关键

【作者简介】张航健（1992-），男，满族，中国吉林松原人，本科，工程师，从事安全工程研究。

部位。通过对关键环节的严密监控及快速反应,可有效减少化学物质泄漏的发生,并为整个废水处理环节的安全性提供保障。

2.2 设备故障问题

设备故障是化工废水处理过程中引发安全事故的关键因素之一,其突发性和复杂性对整体处理流程构成显著威胁。不当的设备选型、建设与安装会降低系统稳定性,而运行阶段的设备则可能因磨损、腐蚀、老化、疲劳及环境变化等因素出现故障,导致化学物质泄漏、机械伤害、触电、火灾、中毒窒息等严重后果。

在化工废水处理环境中,设备长期遭受复杂的物理化学作用,故障风险可能加剧,进而引发次生事故,如异常气体排放和环境污染扩散。从工艺角度看,缺乏定期有效维护会导致泵阀失灵、工艺参数失控,影响出水稳定性。研究表明,科学制定并执行设备维护计划能显著降低故障发生概率,据行业统计,降幅可达40%以上^[2]。因此,为确保化工废水处理过程的安全与稳定,必须重视设备选型、安装及运行维护,通过科学管理减少故障风险,保障处理流程的安全高效运行,防止环境污染和事故的发生。

3 安全隐患统计与事故树分析

3.1 多元统计分析法的应用

在化工废水处理安全隐患分析中,多元统计分析法是一种有效的工具,用于识别和评估潜在的风险因素。通过该方法,可以从大量复杂的数据集中提取出关键变量,帮助识别化工废水处理过程中潜在的安全隐患。多元统计分析包括主成分分析、因子分析和聚类分析等技术。这些技术能够将多维度数据转化为易理解的指标,为化工过程安全隐患的识别提供依据。主成分分析可以将多个变量整合为少数几个主成分,有效减少了数据的复杂性。因子分析则可帮助识别潜在的、共同影响多个观测变量的因素。聚类分析有助于将相似的风险事件进行分类,便于集中处理和控制在。通过多元统计分析,发现了化工废水处理系统中易被忽视的隐患,如特定化学物质在特定条件下的泄漏频率及其影响程度,提供了改进处理流程的数据支持^[3]。

3.2 事故树分析的实施

事故树分析法通过建立事故树模型,对化工废水处理过程中的安全隐患进行系统化描述和量化分析。该方法通过定义顶事件,结合基本事件及中间事件,识别并理解可能导致顶事件发生的各种路径和原因。在化工废水处理中,顶事件通常设定为重大安全事故,如化学物质泄漏或设备重大故障。通过对基本事件的频率和可能性进行统计,可以量化每个事件对顶事件的贡献度,从而识别关键节点。事故树分析不仅有助于明确安全隐患的源头,还能够支持针对性安全策略的制定,以防止顶事件的发生。通过这种系统化的分析方法,废水处理的安全性和可靠性得以有效提高。

3.3 分析结果的综合及总结

通过多元统计分析法与事故树分析的结合,逐一识别化工废水处理过程中的关键安全隐患。分析结果显示,化学物质泄漏大多源于管道老化及密封不严,设备故障主要与长期缺乏有效维护有关,而人为操作失误则集中于操作规程不当及缺乏足够的培训支撑。这些隐患不仅影响处理效率,还对操作人员和环境构成潜在威胁。通过综合整理,发现隐患呈现出复杂交织、相互影响的特性,为改善现有废水处理流程提供了明确的优化方向,进而提升整体安全性。

4 安全隐患控制措施与制度设计

4.1 泄漏检测报警系统的增设

泄漏检测报警系统的增设是化工废水处理过程中减少化学物质泄漏风险、提高安全性的关键措施。该系统主要由高敏感传感器、实时监控装置和报警模块构成,通过对关键环节的全面覆盖,实现对泄漏情况的快速检测与响应、泄漏源定位和浓度预测。在敏感区域安装高精度气体与液体传感器,以识别潜在泄漏源,能够显著提高检测精度。通过与集中监控平台的联动,实时数据得以自动上传和分析,为事故预警提供支持。

报警模块负责在检测到异常指标后触发声光报警信号,协同监控操作人员快速决策,减少因延误而导致的事后后果。系统设计还兼顾处理流程的复杂性与外部环境的不确定性,通过可调节报警阈值与智能化数据分析手段,提高系统对多种化工废水处理环境的适应能力。实验测试表明,增设该系统能够有效减少未检测泄漏事件的发生频率,为化工废水处理的环境合规性和安全性提供强有力的保障。

4.2 设备维护策略优化

设备维护周期的提升是确保化工废水处理过程安全性的重要环节。通过优化设备维护周期,能有效避免因设备老化或故障引发的安全隐患。具体措施包括制定详细的设备维护计划,定期检查和更换老化部件,以防止设备突发故障带来的风险。引入先进的设备监测技术,实现对设备运行状态的实时监控,一旦发现异常可立即响应,也可基于设备运行数据动态调整维护周期,避免过度维护或维护欠缺。为了提高维护工作的质量,应加强技术人员的培训和考核,提高其发现和解决设备潜在问题的能力,从而保障化工废水处理的持续高效与安全。

4.3 人员安全培训计划的实施

为有效控制化工废水处理过程中的人为操作失误,制定了一套全面的人员安全培训计划。该计划重点提高一线操作人员的安全意识和专业技能,涵盖了化工安全知识、事故应急处理流程及标准操作规程^[4]。培训以定期理论课程、模拟实操练习和专家讲座等多种形式展开,确保参训人员能够有效识别和应对潜在安全隐患。考核制度的引入进一步增强了培训的效果,通过严格的考核标准,确保人员具备足够的

处理能力和安全操作水平，为废水处理安全性的提升提供了保障。

5 合规排放方案调整与优化

5.1 处理工艺的调整

合规排放的实现需要对现有废水处理工艺进行必要的调整，以确保各项排放标准的达标。从源头上优化处理工艺是提升化工废水处理效率与合规性的重要途径。现有工艺中的沉淀和过滤是关键环节，必须加强对沉淀反应条件的控制，以提高悬浮物和重金属絮凝沉降的效果。需要优化生化处理工艺，以增强其对有机污染物的降解能力。通过采用更高效的微生物菌株和调整水力停留时间，强化了污染物降解速率。应用膜分离技术能够实现对细颗粒和溶解性有机物的进一步去除，在废水终端排放前提供了一道有效的保障。调整工艺不仅要关注处理效果，还需考虑资源与能耗的平衡，由此在实现合规排放的同时，也推动了废水处理的可持续发展^[4]。这样的调整过程使得废水处理不仅更为彻底，而且满足了日益严格的环保规定。

5.2 环保材料的采用

在化工废水处理中，环保材料的采用是提升排放合规性的重要一环。新型环保材料以其高效的污染物去除能力和化学稳定性，显著改善处理效果。这些材料包括新型吸附剂、改性催化剂和高效生物膜等，能够有效降解或吸附废水中的有害成分，减少污染物的排放。环保材料的适用性和耐用性在处理过程中表现出高度一致性，降低了处理装置的维护成本和频率。采用这些材料的废水处理装置在多重参数测试中表现出更佳的处理效率，经济和环境效益得以同时实现，从而确保排放符合严格的环保标准。

5.3 合规参数对比与实施效果

在合规排放方案调整与优化过程中，通过对处理工艺的改进和环保材料的应用，对排放废水的各项参数进行了全面的对比分析。调整后的工艺流程显示出污染物去除效率的显著提升，尤其是在COD、氨氮和悬浮物等关键指标上，达到了国家排放标准中的要求。使用新型环保材料有效降低了特定重金属离子的含量，进一步减少了潜在环境危害。实施效果的评估表明，优化后的方案不仅提高了废水处理的环境合规性，也降低了处理过程中的环境风险，为化工行业的绿色发展提供了坚实保障。

6 优化废水处理流程后的安全性与环保性提升

在优化化工废水处理流程之后，安全性能得到显著提升。通过增设泄漏检测报警系统，化学物质泄漏的及时检测和响应能力得到了大大增强。报警系统在化学物质泄漏初期

即可触发警报，使得工作人员能够迅速采取措施，防止事故的进一步扩大。设备维护周期的提升，通过定期检修和保养，减少了设备故障的发生率。设备的预防性维护策略有助于延长设备使用寿命，降低突发故障风险，从而保障了废水处理过程的连续性和稳定性。

操作人员的安全培训也在整体安全性提升中发挥了重要作用。安全培训计划的实施，提高了操作人员的安全意识和应急处理能力，降低了因人为操作失误而导致事故的可能性。人员的安全技能通过培训得到强化，事故处置流程更加熟练，无疑为处理过程增加了一层安全保障。

通过上述多方面的改进，在优化后废水处理过程中，安全事故的风险显著降低，系统的整体安全性得到了具有实证意义的提升。这种全方位的安全性能改进，不仅保护了人员的安全，也为设备和环境的安全提供了可靠保障。通过严谨的监测和控制，一旦出现异常便能快速应对，大大降低了潜在的安全隐患，确保了化工废水处理过程中安全操作的有效实施。

7 结语

在本研究中，通过对化工废水处理过程中的安全隐患进行深入分析，对各种可能导致事故的潜在危险因素进行了整理，并针对这些问题提出了有效的改善措施。同时，对现有废水处理流程进行了优化和提升，使得废水处理的安全性和环保合规性得到了显著提升。虽然在处理安全隐患方面取得了明显的成效，但仍存在一些局限性，例如在处理一些特定类型的化工废水或面对复杂的工况时，可能仍存在部分安全风险。更优化的处理流程和更精确的安全隐患控制方法还需要进一步研究开发。未来研究也需要进一步关注尖端的废水处理技术及其在安全性与环保合规性上的综合效益，来进一步提升化工废水处理的效率和安全性。且对于遗留问题，本研究结果将为相关领域的后续研究提供指导。综上，本研究不仅为化工废水处理提供了一个具有实用价值的安全隐患控制方法，同时也为化工废水处理的环保合规提供了理论和实践的参考。

参考文献

- [1] 钱源.化工废水处理技术的分析[J].幸福生活指南,2020,(49):0165-0165.
- [2] 黄殿举陈金海.氟化工废水处理技术分析[J].石化技术,2022,29(02):68-69.
- [3] 张秀玲.化工废水处理技术分析[J].卷宗,2021,(06):302-302.
- [4] 丁传龙.环保理念下化工废水处理研究[J].化纤与纺织技术,2022,51(08):35-37.

The advantages and applications of intelligent electromechanical equipment in coal mine excavation

Hao Feng

Shaanxi Yanchang Petroleum Group Hengshan Weiqiang Coal Industry Co., Ltd., Yulin, Shaanxi, 719000, China

Abstract

The application of intelligent excavation equipment can improve the production efficiency of coal mining enterprises and promote the sustainable development of the coal mining industry. Intelligent excavation technology mainly relies on intelligent equipment and professional control software to achieve automated and intelligent operation, effectively respond to various complex situations, and ensure the efficiency and quality of coal mining. In specific applications, coal mining enterprises need to select appropriate technical equipment based on demand, strengthen intelligent design management and control, deal with various problems, strengthen links between various links, and improve production efficiency. In view of this, the research work of this article is carried out to briefly outline the key technologies of intelligent electromechanical equipment, analyze its application advantages in coal mining excavation, and explore specific applications and development trends for reference by relevant enterprises and personnel.

Keywords

intelligent electromechanical equipment; Coal mining excavation; advantage

智能化机电设备在煤矿掘进中的优势及应用

冯浩

陕西延长石油集团横山魏墙煤业有限公司, 中国 · 陕西 榆林 719000

摘 要

智能化掘进设备的应用, 可以提高煤矿企业的生产效率, 促进煤矿行业的可持续发展。智能化掘进技术主要依赖于智能化设备与专业控制软件, 实现自动化智能化的运行, 有效应对各种复杂情况, 保障煤矿开采的效率与品质。在具体的应用中, 煤矿企业需要结合需求选择合适的技术设备, 加强智能化设计管控, 应对各种难题, 加强各环节的联系, 提高生产效率。鉴于此, 开展本文的研究工作, 简单概述智能化机电设备的关键技术, 分析其在煤矿掘进中的应用优势, 并探究具体的应用和发展趋势, 以供相关企业和人员参考。

关键词

智能化机电设备; 煤矿掘进; 优势

1 引言

随着对能源需求不断增多, 煤矿企业面临着更为广阔的发展空间。在发展的过程中, 企业需要保障煤矿开采工作的安全性, 提升整体的效率, 才能实现可持续发展。因此, 积极推进智能化机电设备在掘进工作中的应用, 实现传统技术的有效升级。构建智能化工作面, 使掘进的过程更加安全可靠。智能化机电设备的合理应用, 可以搭建智能化工作系统, 实现掘进、支护、锚固、运输协同作业, 便于煤矿企业编制详细计划, 应对多种情况, 提高生产效率, 保障开采的品质, 实现预期目标, 从而促进煤矿行业的进一步发展。

2 智能化机电设备的关键技术分析

2.1 信息传输与智能分析技术

掘进面信息传递途径主要有有线和无线两种。按照数据特性, 传输方式可分为两类: 其一, 让掘进巷道内所有工作设备相互连通, 达成近距离数据共享; 其二, 实现掘进工作面与集控室之间的数据交互, 再现生产场景, 将各类数据还原显示出来。巷道内掘进设备在信息交互时, 呈现出设备数量多、数据规模庞大、数据价值高的显著特征。考虑到实际生产需求, 我们引入区块链、大数据、云计算等前沿技术, 搭建智能煤矿系统, 同时构建标准化的数据体系。这样一来, 就能实现多传感器信息的高效融合, 提前完成数据的计算、匹配与归类工作, 大幅降低数据拥堵问题^[1]。在绝大多数矿区, 掘进生产设备之间的信息交互, 主要依靠以太网、光纤这类传输方式。随着 5G 技术的兴起, 其低延时、高可靠性的特性, 突破了传统传输局限, 实现了掘进设备端到端的远

【作者简介】冯浩(1989-), 男, 中国陕西佳县人, 本科, 助理工程师, 从事矿山掘进研究。

程精准控制,以及对设备运行数据的实时监控。在实际应用中,构建5G网络系统架构,在煤矿作业中全面推广部署,可以实现生产管理、设备巡检和人员定位等诸多功能。

2.2 信息感知及智能交互技术

信息感知及智能交互技术主要是整合相关信息,进一步分析确定煤矿的运行状态,做好监测运行。智能感知技术主要包括环境感知、设备感知和地质感知。将该技术应用于掘进设备中,感知各项工作性能参数和设备故障情况,可以将多源信息收集起来,上传至远程监控软件,集中处理数据信息,诊断掘进作业设备的健康状态。开展地质状态感知。主要信息含瓦斯、地下水、断层构造、围岩压力等,采用机械超前钻探、物理探测技术。通过钻探与物探结合的方式,提高探测距离的同时,控制钻探方向,为掘进工作提供保障。计算机视觉与图像数据技术进步,为工程监测开辟新路径。借助这些技术开展图像识别,实时监测围岩变形、破坏,辨识稳定性。为工作人员和设备提供可靠的信息,用于调整设备参数和运行方案。

2.3 自主定形定向切割技术

在煤矿智能化生产的众多关键技术里,自主定形定向截割控制技术占据着重要地位,主要由精准定位定姿技术、记忆截割控制技术和自适应截割技术进行支持。

在煤矿掘进作业中,精准定位定姿技术精准把控掘进机身姿态与方向,按截割支护步距要求实现设备前移,确保巷道直线度,为后续开采打基础;记忆截割技术优化掘进机工作流程,削减信息采集处理工作量,降低自主定形定向控制难度,提升作业流畅度;自适应截割技术以掘进机恒功率截割控制为核心,降低截割振动量,提升截割效率^[2]。

3 智能化机电设备在煤矿掘进中的优势

3.1 实现掘进的远程监控

在煤矿掘进中,智能化机电设备让工作人员能远程监控运行状况。设备通过传感器和监测装置抓取机械工作状态、温度等关键实时数据,传输到监测中心。工作人员实时监测诊断,发现故障等问题能快速检修,缩短停机时间,避免生产中断。借助智能化还能远程操控、指导维修,加快排障,保障设备稳定运转,助力煤矿掘进高效持续开展。

3.2 自动控制截割过程

智能化掘进机借助高精度传感器和先进控制算法,实现远程截割自动化操控。传感层实时捕捉煤层厚度、硬度等变化,监测截割头位置和运动状态,据此迅速精准调整截割参数,确保截割精确度^[3]。智能化掘进机可根据煤层特性和截割要求,自动调整截割策略与工艺参数,分析实时数据后切换截割模式、调节速度和深度,既提升截割效率,又降低对人工经验的依赖,推动煤矿开采向高效、智能发展。

3.3 在线监测截割轨迹

智能化掘进机利用定位和惯性导航系统,实时获取自

身位置、姿态及截割位置、角度、方向等数据,开展截割轨迹在线监测。掘进机记录、存储截割轨迹数据,为后续分析评估提供依据,以了解截割准确性与稳定性,进一步优化机电设备。也能及时发现其中的问题,加强改造,提高机电设备的灵敏度,保障煤矿掘进生产的工作效率。

4 智能化机电设备在煤矿掘进中的具体应用

4.1 智能化掘进机的应用

煤矿智能化掘进作业中掘进机型号多样,EBZ200型因性能和适配度出色,近期应用最频繁,故以它为例优化煤矿智能化掘进系统设计,提升作业效率与智能化水平。掘进机的机构十分复杂,运输机构、后支架机构等都是掘进机的重要组成部分,如果性能较差,无法满足实际需求,会影响到整体的生产效率,就此,在智能化控制中必须将截割部分作为重要对象。系统设计需全面考量智能化掘进原理,以及传感器与掘进机参数的关联。压力传感器精准探测油缸垂直升降和水平回转压力,位移传感器测定截割角度。将各种传感器与控制器模块连接,便于开展实时监测工作,掌握掘进工作面设备的运行状态。

4.2 梭车无人驾驶的应用

在掘进工作中,应用梭车无人驾驶技术,进一步优化设计,提高煤矿掘进的作业效率。一,梭车自动行驶。在自动驾驶领域,磁导航技术较为常见,常被应用于短距离无轨设备的导航工作中,助力这类设备实现精准运行路径规划与定位,按照预定的运行路线导航和定位,具有结构简单、抗干扰能力强的优势。梭车运行的过程中不间断地获取磁场参数以及同磁轨道预设位置的偏移量,进行自动调节,按照既定的路线行进^[4]。二,梭车自动接煤。梭车前端通过安装限位磁铁与刮板输送机相连,末端配置磁信号接收器。在特定距离范围内,掘进机一旦接收到磁信号,便会自动启动刮板输送机,为装煤工作做好准备。同时,梭车料斗上安装的料位传感器,能自动感知物料情况,一旦满足条件,即可触发设备启动,让装煤作业迅速展开。三,梭车自动卸煤。在给料破碎机的料斗内部安置限位磁铁,于梭车刮板输送机的尾部配备磁信号接收器。当磁信号接收器接收到破碎机料斗信号后,梭车停止退机,开始卸载。根据限煤量得出卸煤时间,到达指定时间后停止作业。

4.3 掘锚一体化系统的应用

掘锚一体智能掘进系统由掘锚一体机、转载破碎机、柔性运输系统、锚杆钻车、迈步自移机尾组成。运行时截割与锚护独立,截割为主,锚护服务截割。掘锚一体机后配转载破碎机和柔性运输系统,负责物料破碎与运输^[5]。锚杆钻车搭载多组装机,能在运输系统上方依据锚护作业需求灵活移动,实现独立的锚杆支护作业。掘锚一体机作业时,强调截割与锚护同步开展,在中等稳定的围岩地质条件下,它能够独自完成所有锚杆支护任务。在实际运用中,可依照不同

地质条件灵活调整作业模式，适应性强，所以在各类煤矿开采场景中被广泛采用。

4.4 全断面智能掘进系统的应用

TBM 优点是断面一次成型、可成异形断面，多环节并行实现整体智能化。不过该设备具有体积大、转弯半径大、作业工期长的特点，适用于长距离、断面形状固定、小曲度转弯的巷道掘进作业。这几年随着科技水平不断提升，对 TBM 掘进过程进行了智能化改进，设计全断面智能掘进系统，加入实时感知技术，开展全岩掘进作业。不过在推广过程中还有一定的技术难点，例如 TBM 的高效破岩控制难度大，掘进过程监测难度大，难以进行掘进参数的决策控制。

4.5 掘进工作面网络架构

掘进工作面布设网络，优化整体架构，可以确保智能化机电设备之间的互联互通，实现全过程的控制工作，从而提供一个更加安全稳定的作业环境，提高生产效率。交换机借助井下工业管网，搭建起掘进工作面与地面之间的数据传输通道，使得远程控制中心能够实时掌握掘进面的实际状况^[6]。数据采集设备通过以太网与交换机相连，掘进机、梭车的相关运行参数，借助无线网络汇总至交换机。集控计算机依托交换机，打通设备间的通信链路，成功搭建起覆盖整个掘进工作面的网络架构，让各类数据能够高效流通，保障掘进作业智能化有序开展。

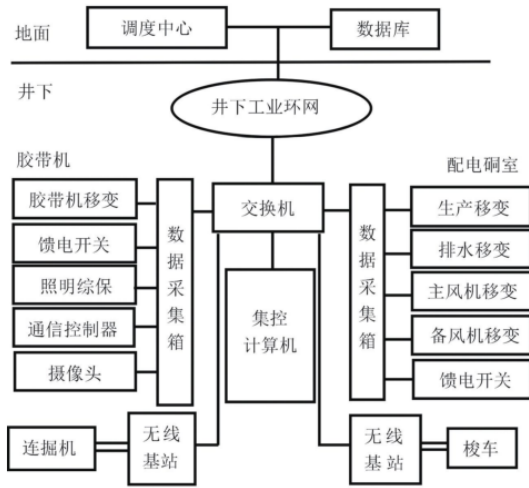


图 1 掘进工作面网络架构

5 煤矿掘进中智能化机电设备的发展趋势

5.1 革新巷道支护理念

煤矿坑道的主流支撑形式有锚、喷、网以及两种以上的共同支撑，现阶段并不适用于综合智能挖矿设备，因此在

未来发展中，需要进一步革新项目支撑理念。考虑到智能化的发展需求，进一步改进相关的机电设备，使用管道支撑和主坑道平等技术，实现巷道支护型式的优化改进，满足智能化的需求。

5.2 专业智能化系统的发展方向

在煤矿巷道掘进方面，现有的安全监测和自动化控制系统已经相当成熟，在此基础上根据实际的生产情况，进一步实现挖掘运输排水系统的智能化以及运输供水等的智能化。可以从单一智能设备走向专业智能化系统的发展方向，加强设备之间的互联互通构建，全系统网络实现有效管控。

5.3 综合智能掘进系统的发展。

设备自适应功能综合智能掘进设备，实现地下巷道工作面的独立运行，而终极目标是实现一次掘进。在未来发展中，通过实现无人化或者最低程度的人性化，节约人工成本，避免安全隐患，可以提高煤矿掘进的生产效率。而为了实现这一目的不断地改进盾构机的智能化。由专业智能化系统向综合智能掘进系统方向发展，发挥各设备性能优势，搭建统一系统，开展一体化控制，朝着目标的方向发展迈进。

6 结语

综上所述，现阶段煤矿掘进涉及的各项机电设备，正朝着智能化和自动化的方向发展，考虑到实际的工作需求，可以选择合适的设备，优化井下作业系统的架构，实现掘进智能化工作面的布局。通过应用智能化机电设备，可以实现远程控制、掌握截割过程的具体情况，自动记录轨迹，为优化生产提供重要依据。应用智能化掘进系统，优化整体设计，实现梭车无人驾驶改造，可以自动接煤与卸煤。应用掘锚一体化技术，同步作业，提高生产效率。与此同时，还需要加大对机电设备的研发力度，推动其朝着综合化、智能化的方向发展，在煤矿掘进中得到更加广泛的应用。

参考文献

[1] 张利民. 基于物联网技术的煤矿掘进机电设备智能化管理系统研究[J]. 电气技术与经济,2024(7):287-289.
[2] 柴树攀. 煤矿智能化掘进工作面关键技术及应用实践[J]. 晋控科学技术,2024(3):48-51.
[3] 唐铵. 煤矿智能化掘进工作面应用分析[J]. 科学与信息化,2024(1): 129-131.
[4] 袁猛,崔东伟. 掘进机智能化设计与应用效果研究[J]. 中国机械, 2023(16):13-16.
[5] 李东洋. 浅析智能化掘进技术的应用与发展[J]. 能源与节能,2023 (6):192-194.
[6] 姚武江. 煤矿智能化掘进系统的开发与应用[J]. 矿业装备,2023 (3):143-145.

To explore the application of protective layer analysis method in the major hazard tank area of chemical enterprises

Xianlin Zhang¹ Haitao Xu²

1. Shaanxi Liangtai Safety Technology Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710000, China

2. Sichuan Tiancheng Safety Technology Evaluation and Consulting Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610000, China

Abstract

The major hazard tank area of chemical enterprises is an area with high safety risk and serious accident consequences. In chemical industry production, many factors can trigger the initial event, such as mechanical failure, human error, abnormal changes in process parameters, or external force majeure. Layer of Protection Analysis (LOPA), as a semi-quantitative risk assessment method, plays an important role in the risk management of major hazard tank areas in chemical enterprises. In this paper, the basic principle and analysis steps of LOPA are described in detail, and its application in the major hazard tank area of chemical enterprises is discussed through specific cases, aiming at providing a set of scientific and effective risk management tools for enterprises.

Keywords

protective layer analysis; Chemical enterprises; Major hazard tank area

探究保护层分析法在化工企业重大危险源罐区的应用

张先琳¹ 徐海涛²

1. 陕西良泰安全技术有限公司, 中国·陕西 西安 710000

2. 四川天成安全科技评估咨询有限公司, 中国·四川 成都 610000

摘 要

化工企业重大危险源罐区是安全风险高、事故后果严重的区域。并且在化学工业生产中, 多种因素均有可能触发初始事件, 例如机械故障、人为操作错误、工艺参数异常变化或外部不可抗力等因素。保护层分析法 (Layer of Protection Analysis, LOPA) 作为一种半定量风险评估方法, 在化工企业重大危险源罐区的风险管理中发挥着重要作用。本文详细阐述了 LOPA 的基本原理、分析步骤, 并通过具体案例探讨了其在化工企业重大危险源罐区的应用, 旨在为企业提供一种科学、有效的风险管理工具。

关键词

保护层分析法; 化工企业; 重大危险源罐区

1 引言

化工行业作为国民经济的支柱产业之一, 近年来在我国取得了迅猛发展, 为经济增长、社会就业和科技创新作出了巨大贡献。然而, 化工生产过程涉及大量易燃易爆、有毒有害的危险化学品, 生产工艺复杂, 操作条件苛刻, 使得化工企业面临着诸多安全风险。保护层分析 (Layer of Protection Analysis, LOPA) 作为一种半定量的风险评估方法, 近年来在化工领域逐渐得到广泛应用。它基于事故场景, 通过识别和分析阻止事故发生或减轻事故后果的独立保护层 (Independent Protection Layers, IPLs), 量化评估各保护层的失效概率, 进而确定现有保护措施能否将风险降低至可

接受水平^[1]。与传统的定性风险分析方法相比, LOPA 能够提供更为精确的风险量化结果, 为企业决策提供有力的数据支持; 与复杂的定量风险分析方法相比, LOPA 又具有操作相对简便、成本较低的优势, 易于被企业工程技术人员掌握和应用。这对于预防罐区重大事故的发生, 减少人员伤亡、财产损失以及环境污染具有重要的现实意义。

2 保护层分析法 (LOPA) 核心理论

保护层分析 (LOPA) 作为一种半定量的风险评估方式, 其关键在于通过事故情景来解析潜在风险。这种方法通常利用初始事件后果的严重性以及该事件发生的频率来大致描绘出风险状况^[2]。以化工厂储罐区域为例, 储罐阀门泄漏、管道破裂或是泵设备故障等情况都有可能成为引发事故的原因。如果缺乏有效的安全防护措施, 一旦这些起始事件发生, 就极有可能沿着特定路径演变成火灾、爆炸或者有毒物

【作者简介】张先琳 (1985-), 女, 中国陕西兴平人, 本科, 工程师, 从事安全工程研究。

质泄漏等重大灾难。LOPA 可以被看作是一种特殊的事件树分析方法,在这一过程中,从源头处开始的每一个事件都可能导致不良后果,而系统内部设置的各种防护屏障则像是一道道防线,目的是阻止事故进一步恶化。其中一些防护措施可以直接防止潜在危险的发生,起到预防作用;另一些则是在事故发生后尽可能减少损失,发挥减缓影响的作用。当某一防护层按照设计预期正常工作时,就能有效避免更严重的后果出现。

3 化工企业重大危险源罐区特点剖析

3.1 储存物质高危险性

在化工企业的重大危险源储罐区域,存放着大量具有易燃、易爆、有毒或腐蚀性的化学品。例如,汽油和柴油等燃料物质因其高度可燃性和爆炸性,在泄漏后若遇明火,则极有可能导致严重的火灾及爆炸事件;而苯与硫化氢这类化合物不仅毒性强烈,还能造成材料的腐蚀,给人体健康以及自然环境带来极大威胁。鉴于上述特性,这些储存设施及其相关操作环节均面临着较高的安全隐患。

3.2 罐区设施复杂隐患

罐区设施涵盖了一系列关键组件,如储罐、管道、泵及阀门等,它们共同组成了一个错综复杂的系统。其中,储罐作为主要的危险化学品储存装置,其结构设计 with 材料选择对于保障安全至关重要。例如,如果储罐的焊接工艺不达标或防腐措施执行不到位,则可能会导致泄漏事故的发生。在长期使用过程中,管道和阀门因受到内部介质腐蚀以及外部压力变化等因素的影响,也容易发生泄漏或破裂等问题。另外,罐区内配置的电气设备及其仪表控制系统同样存在潜在风险,例如电气装置防爆性能不足或者控制仪表失效等情况均有可能诱发安全事故。

3.3 事故后果严重性

在化工行业,大型危险源储罐区域若遭遇事故,通常会导致极其严重的后果。这类事件不仅可能引起火灾或爆炸,进而导致容器破裂和物料外泄,从而引发更大范围的灾难性事件,还可能造成大量的人员伤亡与财产损失。此外,有毒有害物质的泄漏还会对周围环境及居民健康产生持久的影响,例如土壤与水源污染,以及人体中毒等问题。一个典型的案例是 2015 年天津港“8·12”瑞海公司危险品仓库特别重大火灾爆炸事故,该事件共造成 165 人死亡、8 人失踪、798 人受伤,并且直接经济损失高达 68.66 亿元人民币,给社会带来了难以估量的精神创伤与经济损失。

4 LOPA 在化工企业重大危险源罐区的应用实例

4.1 案例选取说明

为了进一步研究保护层分析法(LOPA)在化工行业重要危险源区域的实际应用成效,我们选取了一家典型的石油化工企业作为案例研究对象。该企业的主营业务包括石化产

品的制造与储藏,其罐区占地大约 50,000 平方米,存放着多种具有易燃、易爆及毒性特性的化学品,例如液化石油气、苯、甲苯以及二甲苯等,总储存容量达到了 100,000 立方米。区域内布置了超过 100 个不同类型的容器,包括球形罐体、水平放置的罐体和气体存储柜,这些设施能够承受从常压到高压范围内的各种储存条件^[3]。

4.2 风险场景识别

4.2.1 初始事件确定

经过对化工企业罐区的细致研究,我们确定了几个可能导致安全事故的关键因素。其中,储罐压力超标是一个较为普遍的问题,其主要原因有:物料输入速率失控,例如由于输送泵出现故障或调节阀门失灵导致短时间内大量物料涌入储罐,从而引起内部压力急剧增加;对于需要在低温条件下保存且易挥发的物质来说,如果冷却系统发生故障,会导致存储物温度上升,蒸汽压力随之增大,进而产生超压现象;另外,在极端天气条件下,尤其是夏季高温期间,如果没有适当的遮阳和隔热措施来保护罐区,则储罐会因环境温度升高而膨胀,内部压力亦将显著提升。

4.2.2 事故场景构建

根据前述初始事件,进一步探讨潜在的事故演变情景。以储罐压力超标为例,如果安全阀未能及时释放多余压力,那么随着内部压力持续增加至超出储罐设计极限时,将导致物理性爆炸的发生。此过程中会瞬间释放出巨大的能量,形成强大的冲击波,对周围的储罐、管道及相关设施造成严重破坏,并且爆炸产生的碎片可能飞散到远处,从而诱发次生灾害;此外,储罐内泄漏出来的易燃或易爆物质会迅速与外界空气混合,形成可燃性气体云团。一旦这些气体遇到任何形式的火源——例如电气设备工作时产生的火花、未完全熄灭的明火或是爆炸本身带来的高温区域就会触发大规模火灾。借助风力作用,火势可以迅速扩散,最终影响整个储罐区域,甚至威胁到邻近的企业和居民区的安全^[4]。

4.3 保护层分析

4.3.1 既有保护措施梳理

这家化工企业在其罐区实施了多层次的安全保护策略,这些措施涉及工艺设计、自动化控制、安全装置、人员操作规程以及应急响应预案等关键领域。在工艺设计层面,储罐采用了创新的双层壁构造,这种结构不仅具有优异的抗腐蚀能力,还能够有效抵御内部物料对罐体的侵蚀作用,从而显著延长了储罐的服务寿命,并降低了潜在的泄漏风险;此外,管道系统的设计也充分考虑到了所输送物料的具体性质,通过选用耐腐蚀性好、能承受高温高压条件的管材,并采取科学合理的布局方案,有效地减少了因磨损或连接处松动而导致的问题;罐区的整体规划严格遵守安全间距规范,确保每个储罐与周围建筑、设施及其他不同危险等级的储罐之间保持适当的安全距离,以此来预防一旦发生事故时可能产生的连锁反应及危害范围扩大。

4.3.2 IPL 判定与分级

根据独立保护层 (IPL) 的定义及其特性,对罐区已识别的各项保护措施进行了评估。经过细致审查后发现,基本过程控制系统 (BPCS) 在硬件配置、软件设置以及运行逻辑方面均与潜在的初始事件保持了必要的独立性,并能够持续稳定地监控和调节工艺参数,防止这些参数超出安全界限,因此可以被认定为一个有效的 IPL。同样地,安全仪表系统 (SIS) 采用了三重冗余架构设计,具备全面的自我诊断功能,在从设计到安装再到日常运营及定期维护的过程中严格遵守相关行业标准,确保了其专属性、独立运作能力、高度可靠性和良好的可追溯性,从而也被确认为一种高效的 IPL^[5]。此外,防火堤和围堰的设计建造均达到了规定要求,在日常使用过程中未观察到任何可能削弱其防护效果的问题或缺陷,如结构损伤或形状变化等,证明它们能够在发生泄漏时有效阻止物料扩散,故也视为 IPL 之一。对于安装位置恰当、检测精度高且报警机制可靠的可燃气体与有毒气体探测报警设备而言,这类装置能迅速向操作人员发出泄漏警告,属于 IPL 的重要组成部分;而针对超压情况的安全阀、爆破片等压力释放设施,则因其正确的选型及定期校准保养,在储罐内部压力异常升高时能够按照预设条件及时开启泄压通道,亦被视为合格的 IPL。基于上述分析,还进一步依据各 IPL 措施的实际可靠度和有效性对其进行了等级划分。特别指出的是,鉴于 SIS 系统的三重冗余设计显著提高了其稳定性,加之过往事故模拟测试及实际应用中所展示出超过 99.9% 的安全连锁响应准确性,表明该系统在预防事故扩大化方面发挥了极其重要的作用,故将其归类为具有最高可靠性级别的 IPL。

4.4 风险量化评估

在风险量化评估中,初始事件频率的准确性对于后续分析至关重要。针对该化工企业的罐区,我们对储罐超压这一初始事件的年度发生概率进行了综合考量。首先,通过对企业过去十年内设备故障记录的研究,发现有两起案例是因为冷却系统失效而导致储罐压力超出安全范围,据此推算出由冷却系统故障引起的超压事件大约每年发生 0.2 次;其次,根据行业组织发布的统计资料,在相同类型、物料及工艺条件下,由于物料供给流速失去控制而引发的压力过高现象平均每年约为 0.3 次;另外,考虑到当地气候特征以及现有遮阳隔热设施的有效性,专家们估计极端气温上升导致储罐内部压力升高的可能性为每年 0.1 次左右。结合上述所有因素,

预测该企业罐区内储罐超压事件的年发生率大约为 0.6 次。

4.5 结果应用与优化建议

根据 LOPA 分析得出的结果,企业应当优先考虑对关键设备实施升级和改造。对于储罐超压的风险管理,如果安全仪表系统 (SIS) 被认为在可靠性方面存在不足,则应探索其冗余设计的进一步优化方案,如增加设备用电源或增加冗余传感器的数量,以确保即使在极端条件下也能保持系统的稳定运行。

除此之外,还需要根据 LOPA 分析识别出的新风险场景及风险等级变化,对应急预案进行全面修订。细化应急响应流程,明确在不同事故阶段各部门、各岗位的具体职责与任务分工。例如,在储罐泄漏事故初期,现场操作人员如何快速准确地判断泄漏源、泄漏量及物料特性,及时采取初步控制措施,如关闭相关阀门、启动泄漏收集装置等;安全管理部门如何迅速组织周边人员疏散,划定警戒区域,协调应急救援资源调配;工程技术人员如何对泄漏设备进行紧急抢修,防止泄漏扩大等,确保应急响应的及时性与有效性。

5 结语

综上所述,通过对某典型化工企业罐区的深入剖析,充分展示了 LOPA 在化工企业重大危险源罐区风险评估与管理中的显著应用成效。在风险场景识别环节,精准定位储罐超压、泄漏、液位异常以及设备故障等关键初始事件,并构建出全面且细致的事故场景,为后续精准防控奠定坚实基础。保护层分析过程中,对罐区既有保护措施进行系统梳理,严谨判定并合理分级各独立保护层,如将安全仪表系统 (SIS) 归为高可靠性 IPL,防火堤和围堰列为较高可靠性 IPL 等,为风险量化评估提供可靠依据。

参考文献

- [1] 王海娥.保护层分析法在化工企业重大危险源罐区的应用研究[J].现代职业安全,2023,(09):71-74.
- [2] 康映雪.精细化工装置风险评估模型的建立及应用分析[D].东北石油大学,2023.
- [3] 李洋,盖盈盈.保护层分析(LOPA)与HAZOP分析结合的应用研究[J].山东化工,2022,51(12):201-203.
- [4] 路笃辉,李兵,王新慧,丁彦龙,吕鸿刚.化工领域优化的安全保护层模型及保护层分析理论研究[J].中国特种设备安全,2021,37(04):12-17.
- [5] 闫俊,张舒,许开立.化工危险源定量保护层分析[J].中国安全科学学报,2019,29(01):100-105.

Mechanism of crosslinker and diluent in high performance polymer coating and its influence on coating properties

Huiyu Wang

Ningxia Zhuoyu New Material Technology Co., Ltd., Yinchuan, Ningxia, 751400, China

Abstract

This paper focuses on the interaction principle of crosslinking agents and diluents in high-efficiency polymer coatings, and analyzes how they affect the physical properties of the coatings. On the physical surface, the diluent acts on the dissolution and distribution of the crosslinker and the viscosity of the whole system; chemically, it advances or hinders the rate of the crosslinking process and may cause some additional chemical reactions. These two factors significantly determine the coating hardness, elasticity, adhesion, wear resistance, corrosion resistance properties, and the ability to resist natural erosion. In addition, taking automotive coating as an example, it reveals the realistic influence of material selection on coating function, and provides reference for improving the performance quality of coating.

Keywords

cross-linking agent; diluent; interaction mechanism; influence

交联剂与稀释剂在高性能聚合物涂层中的相互作用机理及其对涂膜物性的影响研究

王慧宇

宁夏卓昱新材料科技有限公司, 中国·宁夏 银川 751400

摘 要

本文聚焦高效能聚合物涂料中交联剂和稀释剂的相互作用原理, 并分析它们如何影响涂层的物理特性。在物理层面上, 稀释剂会作用于交联剂的溶解与分布状况以及整个系统的粘度大小; 从化学角度来看, 它对交联过程的速率有着推进或阻碍的效果, 并且有可能引发一些附加的化学反应。这两个因素显著地决定了涂层的硬度、弹性、粘附度、耐磨损能力、抗腐蚀性以及抵御自然侵蚀的能力。另外, 以汽车涂料为例, 揭示了选材对于涂层功能的现实影响, 为提升涂层性能质量提供了参考。

关键词

交联剂; 稀释剂; 相互作用机理; 影响

1 引言

当代工业和科技进步的背景下, 先进的聚合物覆层在航空航天、电子信息、汽车制造、建筑业等多个行业扮演了极为关键的角色。此物质可防范外部腐蚀, 增强材料的机械强度, 确保制品的品质及使用年限。交联剂能够在聚合物分子链之间形成化学键连接, 打造出具有三维网格的结构, 并提升了涂料的多重性质; 而稀释剂则主要用以控制涂料的粘度, 对其干透速率、表面光滑度以及粘附性有所作用。研究双方互动的原理及其对涂层特性所产生的效应, 不仅可以加深我们对聚合材料构造与功能关联的认识, 还可助推高效能合成物涂料的配比提升和制程创新, 以适应各种不同的要求。

【作者简介】王慧宇(1986-), 男, 中国山西大同人, 硕士, 工程师, 从事化学合成及材料研究。

2 交联剂与稀释剂概述

2.1 交联剂种类及特性

2.1.1 有机交联剂

高性能聚合物涂料领域普遍采用有机交联剂。常见的化合物中, 包含了过氧化物系列, 例如二异丙苯过氧化物与苯甲酰过氧化物等。DCP 中存在双氧键, 在经受高温时会分裂产生自由基, 从而促使交联反应, 这样可以显著增强涂料的硬实度、韧性及耐高温能力。然而, 其分解过程会释放出具有强烈刺激性的苯乙酮蒸汽, 这一点限制了它在那些对气味较为敏感区域的应用范围。BPO 为白色的粉末状固体, 可溶于苯、氯仿、乙醚, 微溶于乙醇及水, 并且在较低温度下便会发生分解, 且反应速率较快, 因此在使用过程中必须严密监管反应环境。

多氨基构成的交联剂, 例如二亚乙基三胺(DTA),

因其分子内众多氨基反应活性较高,有能力与聚合物中的活性官能团发生化学反应。

2.1.2 无机交联剂

无机联接剂对特殊的高性能聚合体涂层扮演着至关重要的角色。橡皮制造领域普遍使用的硫化促进剂是硫磺,它具有由八个硫原子组成的环状分子结构。在适当环境下,这些分子会均匀断裂形成自由基,激发橡皮的硫化交联过程,极大地增强了橡皮的各项性质。然而,单一进行硫化作业时,由于存在耗材多和耗时长的问题,通常需要配合使用添加剂。

氧化锌在化学工业中扮演着至关重要的角色,它不仅可以促进硫磺反应的活跃性,还可以提升硫化过程的速度以及交联作用的效能。

2.2 稀释剂种类及特性

2.2.1 有机稀释剂

高性能聚合物涂料应用中普遍使用有机稀释剂。甲苯作为一种常见溶剂,具备卓越的溶解力,能够高效溶解诸如醇酸、丙烯酸等多种树脂,有助于涂料成分的一致混合,并确保整个配制的稳定性。该物质的沸腾温度为 110.6℃,常温常压下,甲苯的挥发度约为 0.0001 g/L·h,即在每升甲苯中,每小时挥发出的甲苯质量约为 0.0001 克。挥发性指数大约为 1.95。使用该物质进行施工时,其挥发程度恰到好处,可以防止涂层形成针孔、气泡等缺陷,同时不会使得干燥过程过度拖长,有助于漆面迅速展平并凝固。二甲苯的重要性同样不容小觑,它由三种结构相异而分子式相同的异构体构成,对于多种高分子材料例如氯化橡胶和环氧树脂具有良好的溶解能力。沸点 137 至 140℃,挥发系数为 0.68,有较缓的蒸发速度,有利于延长漆膜自我平整的过程,有效避免流线与刷痕的产生,进而增强其表面的平滑与亮泽效果,经常应用于对涂层品质要求较高的汽车和家具行业。

尽管采用有机稀释剂会蒸发释放挥发性有机化合物,威胁身体健康并对空气质量造成破坏,因此在使用过程中须确保良好的空气流通并采取必要的防护措施。

2.2.2 无机稀释剂

非有机稀释物在水性漆中展现出了其独有的益处,而且水是最普遍存在的成分。水基漆使用水作为稀释剂,无挥发性有害物质,符合生态发展理念。在施工用的水性墙漆配方里,加入水分可以适度调整涂料的稠密程度,以适应多样化的施工要求,同时促进涂膜形成物质的平均散布,并且有利于其干透形成坚固涂层。

采用水来稀释,可以增强涂层的柔软度,并确保涂层的结构平整紧凑,有利于适应底材的形变,防止出现裂纹及剥落现象。并且蒸发速度较快,油漆层迅速成干,因而能减少施工时间。

3 相互作用机理分析

3.1 交联剂与稀释剂的物理作用

3.1.1 溶解与分散作用

溶剂在溶解交联剂方面的效能显著地决定了高质量聚

合物涂料的表现。在有机稀释剂中,像甲苯和二甲苯这类的芳烃类物质,对于各种有机交联剂都有着很好的溶解作用。通过甲苯的苯环与二氯苯(DCP)分子之间的 $\pi-\pi$ 相互作用以及范德华相互作用的叠加力,甲苯可以溶解 DCP,并使其在稀释剂内部均匀扩散,为其在未来的聚合物体系中均匀分布及反应提供前置条件。交联剂的均匀散布对于涂层的性质至关重要,如果分布不均,则会导致涂层在交联反应过程中产生不均匀现象,从而使得某些部位的交联密度过高或者过低,进而分别引发涂层变得易碎裂或者性能未达预期水平。

在水性漆料体系中,氧化锌作为无机交联剂,其在水中的溶解性较差。若陪伴使用有机酸或其盐类的添加剂,它们能与氧化锌的外表层相互作用,形成一层亲水的保护性薄膜,此举有助于氧化锌在水相中保持稳定的分散状态,从而在参与水性树脂体系的交联过程中实现均匀融合,如此能够显著增强最终涂层的性质。

3.1.2 体积效应与粘度调节

使用稀释剂的多少会明显改变涂料系统的容积及粘稠度,并对交联剂的扩散及化学反应的速度产生影响。若加多稀释剂,整个体系的体积随之膨胀,从而降低包材空间的有效使用率,并对施工时的油漆用量及其可涂覆范围造成干扰。此外,溶剂分子穿插进聚合物的分子链之中,减弱了分子链的相互作用,导致粘度下降,例如加入环氧漆中的丙酮会减少其粘稠度,有助于施工操作,并保障涂层平整。

3.2 交联剂与稀释剂的化学作用

3.2.1 交联反应的促进与抑制

溶剂的不同类别会影响交联剂与聚合物的交联反应,可能加快或延缓该过程。含有能参与交联作用的活性官能团的稀释剂,例如,装有环氧功能团的稀释剂被用于环氧树脂体系时,其环氧官能团会与胺基硬化剂的氨基部分发生开环聚合作用,从而增多交联结点,并加快交联过程,促进涂料的迅速硬化,使得形成的交联结构更加紧密,进而显著提高了涂层的整体品质。与之相对的是,惰性稀释剂由于不含活性官能团,其主要作用是减少聚合物与交联剂的浓度,从而减少了它们之间的相互作用机会,使得聚合物的交联反应速度受到制约,进而延缓了涂料固化的过程,减少了交联点的密度,这最终会削弱涂层的硬度、耐磨损能力和对抗腐蚀的性质。

3.2.2 副反应及产物影响

交联剂和稀释剂在涂料体系中可能引起副作用,从而影响到涂层的性能。例如在二苯甲烷二过氧化物与醇类溶剂酒精组成的混合体系内,二苯甲烷二过氧化物经热解后产生的自由基能够从酒精的羟基处夺取氢原子,从而诱发一系列化学反应,进而生成如乙醛、乙酸等副产品。

4 对涂膜性能的影响

4.1 硬度与柔韧性

4.1.1 交联剂的影响

交联剂显著地影响了涂膜的硬度和柔韧性。举汽车零

件表面防护层所采用的异氰酸酯型交联剂为例,当其使用量增多,其交联结构的紧密度就会相应提升。这是因为-NCO基团同活性氢原子的反应作用,能够形成更多的交联点。结果就是,涂层的硬度因之得到增强,从而更有效地抵抗磨损和划伤。然而,当交联剂使用过剩时,涂层的柔软度将降低,因为交联度的过度增加会限制了分子链的活动,导致涂层在外界力作用下容易发生脆性破裂,并且不能适应部件在热胀冷缩过程中的形变。交联剂的种类不同带来的效果也不同,以胺类物质交联环氧树脂能产生硬质键合,从而得到硬度较大但缺乏弹性的涂层;而选择聚酯类交联剂则因其长链结构的特性,能融入柔性链节,赋予涂层既有的坚硬也具备一定的柔韧性。

4.1.2 稀释剂的影响

溶剂对油漆膜的干透进程及成膜后的构造具有决定性作用,它调和了涂层的坚硬度 and 弹性。适量蒸发的甲苯使得涂层逐渐干透时,高分子的聚集度逐步上升,分子链有序排列构成了紧密的结构,从而增强了其硬度同时确保了一定的弹性。丙酮的蒸发速度太快,导致表层迅速形成硬化膜,而内层尚未彻底干透,造成了涂层结构的不均匀性,进而使得其硬度与弹性均有所下降。使用量过多的惰性稀释剂导致聚合物与交联剂的浓度降低,从而使得交联作用不彻底,导致硬度减弱,虽然柔性有所提升,但是强度却显不足。具备活性基团的稀释剂可加入交联过程,适度混合能够在确保硬度的同时增强柔性,以满足塑胶膜涂层对这两种特性的严格需求。

4.2 耐腐蚀性

4.2.1 交联剂的影响

交联剂极大提升了涂层的抗腐蚀性能。若采用环氧树脂与胺类固化剂相结合作为化工装置的防护漆层,胺基会与环氧基发生开环聚合反应,形成致密的交联结构,增强了网络的交联程度,使得分子链紧凑排布,有效抵挡侵蚀性物质的渗透。当环境呈现酸性特征时,氢离子很难穿过交联的构造,而且即使有少许渗透,也将遭到中和消解。

使用的交联剂类型及其添加量会对耐腐蚀性产生影响。特异构造的交联化学物质可打造坚固致密的网状结构,增强对腐蚀的抵抗力;若用量不达标,将导致交联不彻底,易产生多孔性结构遭受腐蚀;反之,用量超量则使涂层易碎,进而裂缝或成为腐蚀的路径,需根据实际环境与需求谨慎选择恰当的交联剂和控制其用量。

4.2.2 稀释剂的影响

溶剂对涂层的防腐性能产生了多维度的作用。若使用的惰性稀释剂蒸发不合适,将导致涂层产生多孔及瑕疵。例如,若甲苯蒸发速度太快,涂层会出现内部气孔,这样就容易让侵蚀性物质渗入。激活型稀释剂中含有能够参加交联过程的活性基,恰当的投入能够优化交联结构,有效降低孔洞,

并增强材料对腐蚀的抵抗能力。

掌控稀释剂的用量至关重要,使用过量会使得聚合物和交联剂稀释,从而减少交联密度,形成结构松散容易被介质穿透,且涂层的厚度分布不均匀,薄的部分容易遭受腐蚀;相反,如果用量过少,涂料的粘度就会偏高,不仅施工困难,而且会造成涂层厚薄不一,容易产生腐蚀问题。因此,必须精确调整稀释剂的种类与用量。

5 实际应用

5.1 交联剂与稀释剂的选择

在车辆漆料行业内,挑选合适的交联剂与稀释剂对于涂层的功效与品质具有决定性的作用。在交联剂的应用领域中,由于其杰出的性能表现,异氰酸酯系列产品在汽车漆料中得到了普遍使用。在汽车出厂时使用的油漆中,大量的多异氰酸酯交联剂与丙烯酸和聚酯类型的树脂进行了结合。它们之间的-NCO基团与树脂的活性基团发生化学反应,形成了密实的交联网状结构,这种结构使得涂层具备了优秀的硬度、抗磨损能力以及对环境的适应力。如此设施的涂层,不但能有效防御外部的摩擦、刮伤以及紫外线和化学物的腐蚀,还保持其表面的完整性和美观度。

5.2 对涂膜性能的实际影响

汽车喷漆过程中,交联剂及稀释剂之间的相互影响,对于漆面的外表质感与持久性有着重要影响。在涂层表面方面,两者恰当的搭配确保了表面平滑和光亮度的优良特性。当配比恰当,油漆施工时可完美展现流畅效果。在轿车外表喷漆过程中,适宜的稀释剂可调节油漆至恰当粘度,利于喷射作业,确保车体涂层均匀;而固化剂促进树脂分子密集结合,使得漆面细腻无瑕、光泽度佳,从而增强了车辆的表现质量。

6 结语

本研究深入剖析了交联剂与稀释剂在高性能聚合物涂层中的相互作用及对涂膜物性的影响,明晰了其在各领域应用的关键要点。随着工业科技持续发展,高性能聚合物涂层需求日益增长,精准掌控交联剂与稀释剂的协同作用至关重要。未来研究可着眼于新型交联剂和稀释剂研发,深度挖掘其作用微观机制,优化配方与工艺,进一步提升涂层性能,降低成本与环境影响,推动高性能聚合物涂层在多领域的创新应用与可持续发展。

参考文献

- [1] 高洁,宋亚军,胡正杭,等.电子束固化丙烯酸酯压敏胶的制备及性能研究[J].精细与专用化学品, 2024, 32(8):31-34,40.
- [2] 曾艳宁,杨伟明,李嘉炜,等.基于硼酸酯交换的高韧环氧类玻璃的制备[J].青岛科技大学学报:自然科学版, 2023, 44(3):78-88.
- [3] 柴卫军.改性水玻璃和聚氨酯封堵材料在防火中的应用[J].江西化工, 2023, 39(1):86-89.

Discussion on the countermeasures to solve the K326 variety toasted smoke in Baise tobacco area by fine technology of flue-cured tobacco

Haige Ma Zhenhua Huang Mai Cen Xuejiao Wu Xinchun Huang

Guangxi Zhuang Autonomous Region Tobacco Company Baise City Company, Baise, Guangxi, 533300, China

Abstract

Roasted green tobacco refers to the original tobacco whose leaf surface or weed contains more than the prescribed limit after roasting (not the current flue-cured tobacco grading standard refers to green and yellow tobacco). The characteristics of roasted green tobacco include that the green content of tobacco exceeds the prescribed limit, the aroma is poor, the aroma is small, the irritant and the impurities are increased, the availability is reduced, and the transformation and decomposition of its internal chemical components are incomplete. Low sugar content, high nitrogen compound content, high protein content, poor aroma, less aroma, strong irritation, increased green impurities, the overall quality is worse than yellow tobacco [8]. Combining with the actual situation of Baise tobacco area, the paper analyzed the causes of K326 varieties containing black smoke from the aspects of mature collection, transportation and furnaces, baking equipment and baking technology, adopted fine baking technology of flue-cured tobacco, and put forward corresponding countermeasures.

Keywords

flue-cured tobacco refining technology; Resolve; K326 variety; Roasted green smoke; counterplan

浅谈烤烟精细化技术解决百色烟区 K326 品种烤青烟对策

麻海戈 黄振华 岑脉 吴雪娇 黄馨醇

广西壮族自治区烟草公司百色市公司, 中国·广西 百色 533300

摘 要

烤青烟是指烤后烟叶的叶面或烟筒含青程度超过规定限度的原烟(非现行烤烟分级标准所指青黄烟), 烤青烟的特点包括烟叶中含青度超过规定限度, 香气质差, 香气量小, 刺激性和青杂气增加, 可用性变低, 其内在化学成分转化分解是不完全的, 糖含量低、氮化合物含量高、蛋白质含量高, 香气质差, 香气量少, 刺激性强, 青杂气增加, 整体质量较黄烟差^[8]。该文结合百色烟区实际, 从成熟采收、运输编烟装炉、烤房设备、烘烤工艺等方面, 分析了K326品种含青烟产生的原因, 采用烤烟精细化烘烤技术, 提出相应解决对策。

关键词

烤烟精细化技术; 解决; K326品种; 烤青烟; 对策

1 引言

烤青烟是烟叶烘烤过程常出现的烤坏烟现象。烟叶在烘烤过程中, 因变黄期温度过高, 通风量过大, 导致烟叶失水过早、过快, 叶绿素尚未完全分解就被终止, 会造成烤后烟叶含有可见的青色^[1]; 烤青的烟叶内物质转化分解不完全, 蛋白质、烟碱含量较高, 杂气重, 劲头大, 香气质和香气量较差^[2]; 随着烟叶含青度的增加, 质量愈加变差, 可用性变低^[3]。烤青烟严重影响到烟叶收购等级, 不仅降低烟农收益, 挫伤种烟积极性, 同时也影响烟叶质量和卷烟的吸食

质量^[4]。作者结合近几年来开展精细化烘烤的工作经验, 从精细化备烤、采收、夹烟装炉和烘烤工艺调整等方面进行分析, 提出了解决 K236 品种烤青烟的措施, 旨在为降低烤青烟的比例、提升烟叶烘烤质量、提高烟农的种烟效益、满足卷烟工业对原料质量的需求提供依据。

2 烤青烟原因分析

2.1 烟叶成熟度不够

烟叶采收时的生理指标要对应不同着生部位的成熟要求, 其最佳状态要达到工艺成熟。成熟度不够的烟叶其化学成分尚未协调, 未达到加工工艺的最佳状态, 则在烘烤调制的过程中易产生烤青烟, 尤其是上部叶, 对采收成熟度的要求较高, 相较于作者产区的云烟 87 品种中上部烟叶成熟度

【作者简介】麻海戈(1982-), 男, 壮族, 中国广西靖西人, 本科, 农艺师, 从事烟叶调制工程研究。

高 0.5~1 个档次。

2.2 运输过程操作不当

烟农在鲜烟叶采收和运输的过程中，因包装不规范被太阳光暴晒，搬运、堆放运输操作不当挤压等因素，尤其是同部位 K326 品种的烟叶含水率要高于云烟 87 品种^[5]，易造成烟叶破损、残伤，损伤部位则细胞失水干燥，则烘烤调制后损伤的部位出现青痕。

2.3 装炉不规范

在装炉的过程中，烟竿（夹）与烟竿（夹）、层与层摆放不均匀，装烟密度不一致，导致叶间隙风速不一致，过稀处温度偏高，叶片过早失水，易烤青烟，如未能分层分类装炉，成熟度低或青烟叶装到高温层（顶层），靠近热风口，则烟叶基部易烤青。

2.4 烤房备烤不到位

笔者产区烤房大多在 2008 年—2012 年间建设，已比较老旧，墙体、门窗等有裂缝，加之烟农在烘烤前对烤房检修不到位，烘烤过程中常出现一些问题，导致烟叶烤青，如烤房密闭性差、漏风、升温难、偏温等。

2.5 烘烤操作不当

起点温度过高，导致变黄前期顶层温度过高，易发生叶基、叶片烤青的现象；变黄期，若风机高档风时间过长，尤其是含水量较少的烟叶，使用高档，排湿过快，上层烟叶

基部易吹干烤青；烟叶变黄程度未达到目标就提前转火进入定色期，叶脉、烟筋变黄程度尚未达到目标就转火升温，则易出现青脉黄片、叶片浮青、叶脉带青或叶基部含青等现象，尤其是难烤的中部叶和上部叶。

3 解决措施

烤烟精细化烘烤技术是将精细化管理理念、思想方法及有关管理技术手段，有机融入烟叶烘烤技术体系，并通过规则系统规范烟叶烘烤行为的烟叶烘烤技术方式、运行模式及其活动过程^[5]。近几年的实践运用表明，该项技术是一项符合作者产区烟叶烘烤实际的实用性技术，效果良好，广大烟农、烟叶技术人员受益匪浅。通过精细化烟叶烘烤技术的研究和应用，出版了《烟叶精细化密集烘烤》一书、制定了《烟叶精细化密集烘烤地方标准》、申请发明专利 2 件。该文结合实际工作经验，从以下几个方面针对性地提出了精细化烟叶烘烤技术中的相关措施。

3.1 精细化备烤

精细化备烤是精细化烘烤技术中的一个重要环节^[6]，因此，开烤前提前 15 天以上完成烤房的设备检修和局部改造，确保烤房主体密闭性，不漏风、漏气，开烤前提前 5 天以上，根据《烤烟精细化烘烤硬件备烤任务（验收）表》表 1 中的相关内容进行检查验收^[6]，确保烤房设施设备及物资完善、配备到位，为烘烤工作顺利开展提供基础保障。

表 1 烤烟精细化烘烤硬件备烤任务（验收）表

__市__ 屯		完成状态	项目内容		完成状态	项目内容		完成状态	
供电发电电路	电源充足		进 风 口	↓ 高度合理		鲜烟堆夹 工作区	面积充足		
	应急发电			↑ 内无障碍			相对分区		
	线路安全①			分风良好			照明好		
	避雷抗雷			方向正确			排水畅		
房体密封隔热，房 顶隔水无水	墙体密封		百 叶 排 湿 窗	百叶规整		烟夹夹台	防雨防晒		
	墙脚密封			百叶灵活			地面清洁		
	炕门密封			两窗对称			牢固端稳		
	炕窗密封			排湿顺畅			数量充足		
加热设备和检修门	炕顶密封		回 风 口	↓ 有挡叶网		采烟包装	配件有余		
	已清灰			↓ 回风顺畅			夹位可调		
	不倒烟			大小适宜			材质可靠		
	不漏烟			↑ 底高合理			规格齐整		
助燃风机	不进水		烟 架	中正稳固		燃煤	系绳安全		
	检修门好			自身密封			热值高		
	底座稳固			各就各位			含硫少		
	布线安全			壶不漏水			结渣性好		
循环风机状态	水平中正		传 感 器	纱布软净		用油	燃油足备		
	支架牢靠			插头位正			机油到位		
	转向正确			控 制 器	安装牢靠		空烤检验	空烤调试	
	无障碍				接线正确			检验整改	
进风门	噪音小		自检无虞			烤干地坪			
	正向安装		联检到位			掌握特点			
	关闭严密		用好电池		设备有备				
	转动灵活		箱隔水汽		消防到位				
项目数和整改要求		1. 验收结果：总检项数（ ）；合格项数（ ）；不合格项数（ ）。 2. 整改要求（开烤前提前 5 天必须完成的项目）：							

注：①“线路安全”含“接地可靠”。②挂烟竿另验收。③验收时对认定合格的项目打“√”，对不合格的项目打“×”或填写简略说明。如果遇到难以界定的项目，请在表外记录。

3.2 精细化成熟采收

为准确掌握田间成熟烟叶数量,确保每批次烟叶都能够适时适量成熟采收,切实解决烤烟成熟采收难以落实到位的问题,作者运用精细化烟叶烘烤技术中“一种用于确定烟叶适宜采收期的烤烟成熟度田间调查定量预测方法”,利用《XX 烘烤片区各类烟叶成熟状况田间调查记录表》(详见表2)精准测算采烟量^[6],提高烟叶成熟采收的比例,下部烟叶采后适熟烟叶比例达80%~85%,中部叶采后适熟烟叶比例达90%左右,上部叶采后适熟烟叶比例达90%~95%,降低烤青烟的产生。

3.3 精细化编烟装炉

在编烟、装炉的过程中,做好《烤烟精细化烘烤烟叶夹持装炕记录表》的登记(详见表3),通过提升编烟和装炉的质量^[6],灵活采取相应的烘烤策略,可以预防烤青烟。基于成熟采收,抓好分类夹烟,立足稀夹密装,合理分布烟叶,合理控制夹烟或编竿的烟叶重量(净重),采用梳式烟夹烘烤的,下部叶每夹鲜烟10~11kg,中、上部叶每夹鲜烟12~14kg;采用挂竿烘烤的,下部叶每竿鲜烟7~8kg,中、上部叶每竿鲜烟9~10kg;防止单夹(竿)的鲜烟量超重;烤房内的烟叶布局要做到“齐、满、匀、准”^[6],同层烟叶同素质,装烟室内纵横方向布满烟叶,不留空,不穿风;每层装烟数量分布均匀一致,上下对应,全炉装烟均匀,使烟叶在烤房水平方向均匀分布;分类装炉,不同素质烟叶(夹)分别装在烤房中的合适位置;采用梳式夹烘烤的,每炉装烟量为310~330夹,采用挂竿烘烤的,每炉装烟量为400~450竿。

3.4 精细化布控

为准确掌握烤房内烟叶变化及温度、湿度的详细情况,在观察窗口装挂代表该棚群体质量的烟叶,根据烤房的气流方式,也要将传感器的两个感温探头精准地布置在烤房内部。以气流下降式烤房为例,主传感器挂置在顶棚装烟室长1/3~1/2(以隔墙为起点)处,横向距侧墙100cm左右,探头低于顶棚烟叶中部3cm~4cm;副传感器挂置在底棚装烟室长1/4~1/3(以隔墙为起点)处,横向距侧墙100cm左右,探头低于底棚烟叶中部3cm~4cm。

3.5 精细化烘烤,灵活调控

烟叶烘烤工艺,从传统的“三段式”演变到现阶段密集烤房的“三段五步式”或“三段六步式”^[7]。在烘烤过程中,根据当地的烟叶素质、气候状况等情况,采取相应的烘烤工艺,把握好关键温度点,灵活调整湿球温度和稳温时间、升温速度,可以预防烤青烟。

①根据烟叶采收时间、天气和烟叶采收的成熟情况和烟叶素质、特性,采取对应的烘烤策略,精准判断烟叶变黄程度,仔细观察主脉、支脉的变化,根据变黄、定色期不同的目标任务及时升温转火,转火过早则易烤青,转火过晚则

易消耗烟叶内物质。

②气流下降式密集烤房,顶层属于高温区,在设定起点温度时,不易过高,应以环境温度为起点,预热1~2小时后,再以1℃/h的速度升36℃稳温烘烤。

③根据天气特点进行烧火如白天气温为33~38℃,装炉后不宜立即点火,可在气温低的晚上点火,使烤房内温度慢上升至36℃。

④干球温度在40℃前,烟叶不宜失水过多,变黄程度不宜低于八成黄,干球温度在42℃时,叶片未全黄不宜转火;定色阶段,升温不宜过快,稳温时间不宜过短,尤其是在变筋阶段适当延长稳温时间,湿球温度不宜过低。

4 取得的成效

通过精细化烘烤技术的运用,作者所在产区烤青烟比例均有大幅度的下降,烟叶烘烤质量明显提升,上等烟比例由往年的不足50%提升至67.32%,烟农交售烟叶均价也由往年的25.56元/kg提升至30.28元/kg,每年可为作者所在的年产1100万kg的烟叶产区增收5000余万元,不仅提高了烟农种烟的收益和种烟积极性,增加了社会效益,同时也提升了烟叶质量和卷烟的吸食质量,卷烟工业企业满意度提升。

5 结论

精细化烟叶烘烤技术体系的运用,进一步提升了烤房备烤质量,提高了烟叶成熟采收的比例、控制了夹(编)烟的重量和装烟量、规范了布置炉内装烟秩序,通过制订相应烘烤工艺和对烘烤过程中相关关键点调控,促进了烟叶内含物质的转化,化学成分更加协调,烤青烟的比例明显降低,烤后烟叶综合质量提升,推进了优质烟叶原料保障上水平,促进了百色产区烟叶产业健康、稳定、可持续、高质量发展。

参考文献

- [1] 朱先志,刘元德,谭青涛.烟叶含青现象产生的原因及解决措施[J].现代农业科技,2011(18):102,105.
- [2] 闫克玉,赵铭钦.烟草原料学[M].北京:科学出版社,2008.
- [3] 周义和,典瑞丽.烟叶调制工(三至五级)专业知识[M].郑州:河南科学技术出版社,2015.
- [4] 李丹丹,张保全,夏琛,等.不同程度含青烟在陈化期间化学成分的变化[J].江西农学报,2012,24(8):41-42.
- [5] 韦建玉,金亚波,吴峰,屈冉,等.烤烟品种K326、云烟85及云烟87的适应性研究[J].安徽农业科学,2008年06期
- [6] 王能如,韦建玉,林北森,等.烤烟精细化密集烘烤[M].广西:广西科学技术出版社,2019.
- [7] 官长荣.密集式烘烤[M].北京:中国轻工业出版社,2007.
- [8] 陈方波.浅析烤坏烟的产生及其防治[J].中国科技纵横,2012(8):251-253

Study on the anti-interference design and test method of SSD card circuit board

Lingjin Wu Xucheng Zhu Xiaorui Sun Xueli Ke Chenyang Wu

Quzhou Sunlord Circuit Board Co., Ltd., Quzhou, Zhejiang, 324000, China

Abstract

This paper aims to explore the anti-interference design and test method of solid state disk (SSD) card circuit board to improve its performance and reliability in complex electromagnetic environment. Firstly, it analyzes the common anti-interference problems in the current SSD card circuit board design, and introduces three main anti-interference techniques in detail. Later, a series of experiments were designed based on these techniques to verify the effectiveness of different schemes, and to compare and analyze the actual test data. The results show that the comprehensive application of various anti-interference technologies can significantly improve the anti-interference ability of SSD card circuit board, and provide an important theoretical basis and technical support for the future design of high-performance storage equipment.

Keywords

SSD card; circuit board; anti-interference; design and test

SSD 卡线路板的抗干扰设计与测试方法研究

巫灵进 朱徐城 孙小睿 柯雪丽 吾晨阳

衢州顺络电路板有限公司, 中国·浙江 衢州 324000

摘 要

本论文旨在探讨固态硬盘 (SSD) 卡线路板的抗干扰设计与测试方法, 以提高其在复杂电磁环境下的性能和可靠性。首先, 分析了当前 SSD 卡线路板设计中常见的抗干扰问题, 并详细介绍了三种主要的抗干扰技术。之后基于这些技术设计一系列实验, 验证了不同方案的有效性, 并通过实际测试数据进行对比分析。研究结果表明, 综合运用多种抗干扰技术可以显著提升 SSD 卡线路板的抗干扰能力, 为未来高性能存储设备的设计提供了重要的理论基础和技术支持。

关键词

SSD 卡; 线路板; 抗干扰; 设计与测试

1 引言

固态硬盘 (SSD) 因其高速读写能力和低功耗特性, 已成为现代计算机系统不可或缺的一部分。然而, SSD 卡线路板极易受到外界干扰, 从而影响其稳定性和可靠性^[1]。

2 抗干扰设计原理与关键技术

2.1 屏蔽设计

屏蔽设计在 SSD 卡线路板的抗干扰策略中占据重要位置。金属屏蔽罩的选择标准不仅涉及材料本身的导电性和磁导率, 还需考虑成本和制造工艺。铜因其高导电性和良好的屏蔽效果, 常被用于高频电磁干扰的防护; 而铝虽然导电性稍逊一筹, 但其轻质特性更适合一些特殊场景。铜屏蔽罩广泛应用于需要高度屏蔽的环境中, 如数据中心内的高性能服

务器, 以确保数据传输的稳定性和可靠性。多层屏蔽结构通过不同材质的组合, 可以有效抑制多种频率范围的电磁干扰。

2.2 滤波电路优化

滤波电路能够有效去除电源线和信号线中的噪声。LC 滤波器由电感 (L) 和电容 (C) 组成, 适用于低频段的噪声抑制, 具有较高的品质因数和良好的选择性。RC 滤波器则更适合高频段的应用, 通过电阻 (R) 和电容 (C) 的组合, 能够平滑电压波动并减少高频噪声的影响。选择合适的滤波元件参数对于滤波效果至关重要。例如, 在设计一个针对 50Hz 工频干扰的 LC 滤波器时, 需要根据实际应用场景计算出最佳的电感和电容值, 以确保滤波器的有效工作频率范围覆盖目标噪声频段。此外, 新型滤波技术如有源滤波器, 由于其内置放大器能够主动补偿输入信号中的失真, 应用前景广阔。在 SSD 卡线路板中, 有源滤波器不仅可以提高系统的抗干扰能力, 还能降低对其他无源元件的要求, 从而简化整体设计。

【作者简介】巫灵进 (1985-), 男, 中国浙江衢州人, 本科, 从事应用电子研究。

2.3 接地策略

接地策略在处理共模噪声和差模噪声时作用更为显著。共模噪声通常由电源线或信号线与地之间的电压差引起，而差模噪声则源于信号线之间的电位差。这两种噪声都会对电子设备的正常运行造成严重干扰。合理接地能够有效抑制这些噪声，通过提供一个稳定的参考点，减少电路中的电位浮动。在 SSD 卡电路板的设计中，良好的接地系统可以显著降低由于外界电磁干扰引起的误操作和数据丢失风险。

单点接地、多点接地以及混合接地是三种常见的接地方式，每种方式都有其独特的应用场景和设计原则。单点接地适用于低频电路，通过将所有接地引脚连接到同一个接地点，可以避免不同路径间的相互干扰。然而，这种方法在高频应用中可能会导致接地阻抗增加，从而影响性能。多点接地更适合高频电路，通过多个接地点分散电流，减少阻抗并提高系统的稳定性。混合接地则结合了两者的优点，在低频段采用单点接地，在高频段使用多点接地，以实现最佳的综合性能。实际设计中，选择合适的接地策略需要根据具体的频率范围、电路复杂度以及环境条件进行权衡。

3 抗干扰设计的具体实现

3.1 材料选择与制造工艺

在探讨 SSD 卡电路板的抗干扰设计时，材料的选择至关重要。铜箔和银浆是两种常用的导电材料，各自具有独特的电气性能。铜箔因其高导电性和良好的机械强度，在高频应用中表现出色，能够有效减少电磁干扰。银浆虽然导电性更高，但其成本较高且加工难度大，因此更多用于特殊场合。新材料如石墨烯和碳纳米管也逐渐进入视野，这些材料不仅具备优异的导电性，还能提供更好的散热性能，有助于提升整体系统的稳定性。

先进的制造工艺同样对提高线路板的电磁兼容性起到关键作用。激光打孔技术能够在不损伤线路板的前提下实现高精度钻孔，确保信号传输路径的完整性和可靠性。化学镀铜则通过均匀沉积一层薄铜层，增强线路板的导电性和屏蔽效果。结合实际生产经验，一套完整的材料选择和工艺流程指南应包括从原材料筛选、加工工艺到质量控制的各个环节，确保每个步骤都符合高标准要求。

3.2 布局与布线优化

SSD 卡电路板的布局与布线优化可以有效减少电磁干扰。电源线、信号线及地线的合理分布可以显著降低相互之间的串扰。例如，将电源线与信号线分离布置，并尽量缩短信号线长度，可以减少信号衰减和噪声引入。差分对设计是一种有效的布线策略，通过成对布线并保持等长，能够有效抵消共模噪声的影响，从而提升信号完整性。微带线和带状线的应用技巧同样不容忽视，前者适用于高速信号传输，后者则更适合多层板设计，两者都能有效降低电磁辐射和接收敏感度。仿真工具在前期设计验证中发挥着重要作用，通过

模拟不同场景下的电磁干扰情况，可以提前发现潜在问题并进行优化。

3.3 系统级抗干扰设计

系统级抗干扰设计关注的是整个 SSD 卡的整体性能，旨在通过模块化设计减少各子系统间的相互干扰。模块化设计通过将功能单元独立封装，不仅便于维护和升级，还能有效隔离内部干扰源^[2]。供电系统的稳定性设计是其中的关键环节，稳压器的选择至关重要。高性能稳压器能够提供稳定的电压输出，避免因电源波动引起的误操作。电源分配网络的优化也是不可或缺的一部分，合理的布线和去耦电容配置能够减少电压降和噪声，确保各个模块获得高质量的电源供应。在系统集成阶段，进行全面的电磁兼容性评估尤为重要。

4 测试方法与实验验证

4.1 测试环境搭建

评估 SSD 卡电路板抗干扰性能的测试环境搭建是确保实验结果准确性和可靠性的基础。电磁兼容性实验室的基本构成包括屏蔽室、天线系统和信号发生器等关键设备。屏蔽室通过其金属外壳和吸波材料，能够有效隔离外界电磁干扰，为实验提供一个纯净的测试环境。天线系统则用于模拟不同方向和频率范围的电磁干扰源，常见的有宽带天线和定向天线，可根据具体需求灵活选择^[3]。信号发生器负责生成各种频率和功率等级的干扰信号，以模拟真实使用场景下的复杂电磁环境。在设置测试参数时，需根据待测设备的工作频段和应用场景，合理选择频率范围和功率等级。

4.2 实验设计

①样品准备：根据不同的设计方案制作多组 SSD 卡电路板样品，并对其进行唯一标识。例如，使用铜箔、铝箔、石墨烯等不同屏蔽材料；LC 滤波器、RC 滤波器、有源滤波器等不同滤波电路；单点接地、多点接地、混合接地等不同接地方案；以及模块化设计的不同实现方式。

②设备校准：在电磁兼容性实验室中，对所有测量设备进行校准，确保其精度和稳定性。这包括信号发生器、频谱分析仪、网络分析仪等设备。

③设置测试参数：根据待测设备的工作频段和应用场景，设定频率范围（从几 kHz 到 GHz）和功率等级（从微瓦到瓦级），模拟真实使用场景下的复杂电磁环境。

④数据采集：在每个测试条件下，记录各项技术指标的数据，如误码率（BER）、信噪比（SNR）、噪声系数（NF）等。每次测试重复三次，取平均值以减少误差。

⑤数据分析：利用统计学方法对测试数据进行处理，包括方差分析、回归分析等，评估各抗干扰措施的效果。通过对比不同设计方案的结果，总结出最佳实践方案。

4.3 数据分析与结果

4.3.1 数据分析

①屏蔽材料性能比较。

在研究不同屏蔽材料对 SSD 卡线路板抗干扰性能的影响时，选择了铜箔、铝箔和石墨烯三种材料进行对比。实验在 100 MHz 到 1 GHz 的频率范围内进行，并设置了 -20 dBm 的功率等级来模拟实际使用环境中的电磁干扰。具体见表 1：

表 1 屏蔽材料性能比较

屏蔽材料	频率范围 (MHz)	功率等级 (dBm)	误码率 (BER)	信噪比 (SNR)
铜箔	100-1000	-20	1E-6	40 dB
铝箔	100-1000	-20	1E-5	35 dB
石墨烯	100-1000	-20	1E-7	45 dB

结果显示，石墨烯表现出最佳的抗干扰性能，误码率（BER）为 1E-7，信噪比（SNR）达到 45 dB。相比之下，铜箔的误码率为 1E-6，信噪比为 40 dB；铝箔的误码率为 1E-5，信噪比为 35 dB。这表明石墨烯不仅具有优异的导电性，还能有效抑制高频段的电磁干扰。

②滤波电路性能比较。

为了评估不同滤波电路类型的抗干扰效果，实验对比了 LC 滤波器、RC 滤波器和有源滤波器。所有测试均在 100 MHz 到 1 GHz 的频率范围内进行，功率等级设定为 -20 dBm。具体见表 2：

表 2 滤波电路性能比较

波电路类型	频率范围 (MHz)	功率等级 (dBm)	噪声系数 (NF)	误码率 (BER)
LC 滤波器	100-1000	-20	3 dB	1E-6
RC 滤波器	100-1000	-20	4 dB	1E-5
有源滤波器	100-1000	-20	2 dB	1E-7

结果表明，有源滤波器在降低噪声系数（NF）和误码率（BER）方面表现最优，噪声系数仅为 2 dB，误码率为 1E-7。LC 滤波器的噪声系数为 3 dB，误码率为 1E-6；而 RC 滤波器的噪声系数为 4 dB，误码率为 1E-5。有源滤波器因其内置放大器能够主动补偿输入信号中的失真，显示出更优越的抗干扰能力。

③接地策略性能比较。

实验对比了单点接地、多点接地和混合接地三种策略。测试条件与前两个实验相同，频率范围为 100 MHz 到 1 GHz，功率等级为 -20 dBm。具体见表 3：

表 3 接地策略性能比较

接地策略	频率范围 (MHz)	功率等级 (dBm)	信噪比 (SNR)	误码率 (BER)
单点接地	100-1000	-20	38 dB	1E-5
多点接地	100-1000	-20	42 dB	1E-6
混合接地	100-1000	-20	45 dB	1E-7

结果显示，混合接地策略在提高信噪比（SNR）和降低误码率（BER）方面表现最佳，信噪比达到 45 dB，误码率为 1E-7。多点接地次之，信噪比为 42 dB，误码率为 1E-6；单点接地的信噪比为 38 dB，误码率为 1E-5。

4.3.2 结果

有源滤波器在降低噪声系数和误码率方面表现最优，适用于高性能 SSD 卡的设计。LC 滤波器和 RC 滤波器虽然也能满足基本需求，但在高要求的应用场景下不如有源滤波器。混合接地在提高信噪比和降低误码率方面表现最佳，适用于多种应用场景。单点接地和多点接地各有优劣，需根据具体需求选择合适的方案。

5 结语

研究表明，采用石墨烯等先进屏蔽材料、有源滤波器优化电路设计、混合接地策略提升电磁兼容性以及模块化设计减少内部干扰，能够显著提升 SSD 卡在复杂电磁环境中的稳定性和可靠性。这些设计方案不仅有效降低了误码率和噪声系数，还显著提高了信噪比，确保了数据传输的完整性和准确性。

参考文献

[1] 郭庆元,邢功,张天新,等.海上通信设备印制电路板防干扰设计[J].天津航海,2023,(02):41-42.

[2] 孙建华,滕新友,牟光红,等.微波射频电路杂波干扰问题技术分析 & 改进研究[J].电子元器件与信息技术,2021,5(02):77-78.

[3] 杨雷.ESD通过传导干扰造成电路系统不稳定问题的分析与解决方法[J].物联网技术,2020,10(08):109-113.

Material scheduling strategy in multiple variety small batch production mode

Zijun He

713 Research Institute of China State Shipbuilding Corporation, Zhengzhou, Henan, 450000, China

Abstract

With the increase of the market demand for personalized and customized products, the manufacturing industry is gradually transforming to a multi-variety small batch production mode. In this mode of production, material scheduling becomes the key link of production efficiency and cost control. Based on the analysis of small-batch production mode, this paper discusses the main challenges and existing solutions in material scheduling. By comparing different scheduling strategies, we propose an optimization method based on a combination of demand prediction and flexible scheduling. The results show that adopting this strategy can effectively reduce the inventory cost, improve the production flexibility, and realize the optimal allocation of resources in multi-variety small batch production. The paper also verifies the feasibility and practical application effect of this strategy through case analysis.

Keywords

small batch production; material scheduling; production efficiency; inventory management; flexible scheduling

多品种小批量生产模式下的物料调度策略

何子君

中国船舶集团有限公司第七一三研究所, 中国 · 河南 郑州 450000

摘要

随着市场对个性化、定制化产品需求的增加, 制造业逐渐向多品种小批量生产模式转型。在这种生产模式下, 物料调度成为生产效率和成本控制的关键环节。本文在分析多品种小批量生产模式特点的基础上, 探讨了物料调度中的主要挑战和现有解决方案。通过对比不同调度策略, 提出了一种基于需求预测和柔性调度相结合的优化方法。研究表明, 采用这一策略可以有效降低库存成本、提高生产灵活性, 并在多品种小批量生产中实现资源的最优配置。文章还通过案例分析验证了该策略的可行性和实际应用效果。

关键词

多品种小批量生产; 物料调度; 生产效率; 库存管理; 柔性调度

1 引言

随着全球化进程的加快和消费者需求的日益多样化, 传统的批量化生产模式已经无法完全满足市场对于高质量、定制化产品的需求。多品种小批量生产模式因此成为制造业发展的重要趋势。与传统的大规模生产模式不同, 多品种小批量生产在提高产品差异化的同时, 也面临着生产效率低、物料浪费大和库存管理困难等问题。

在多品种小批量生产环境下, 物料调度的复杂性显著增加。传统的生产调度方法难以应对产品品种繁多、生产批次小、生产周期短等特点, 因此, 如何有效优化物料调度, 提高生产效率, 降低成本, 成为企业亟待解决的难题。本文将围绕多品种小批量生产模式下的物料调度策略展开讨论,

首先分析该模式下物料调度面临的挑战, 继而探讨现有调度策略的优缺点, 最后提出一种基于需求预测和柔性调度相结合的优化方案, 以期为实际生产提供参考。

2 多品种小批量生产模式的特点与挑战

2.1 多品种小批量生产的特点

多品种小批量生产模式是一种灵活、高效的生产方式, 能够满足市场上不断变化的个性化需求。在这一模式下, 企业生产的产品种类繁多, 单个产品的生产批次较小, 通常在几个至几百个单位之间。这种模式具有较强的灵活性和响应性, 能够快速调整生产线以应对不同订单和需求变化。与此同时, 生产过程中的不确定性和复杂性也使得生产调度面临诸多挑战。

在多品种小批量生产中, 生产计划的调整频繁, 物料的采购和配送需要根据不同产品的生产周期和生产计划进行精确调度。此外, 由于单个产品的生产批次较少, 生产过

【作者简介】何子君 (1991-), 女, 中国安徽安庆人, 本科, 中级经济师, 从事财经研究。

程中的设备利用率和物料利用率较低,导致生产效率较低。因此,如何协调生产与物料流动,确保生产过程中各环节的顺畅进行,是这一生产模式中的关键问题。

2.2 物料调度面临的挑战

物料需求波动:多品种小批量生产模式下,各类产品的物料需求不稳定,波动较大。传统的物料调度方法往往基于历史数据或简单的预测模型进行计划,难以准确预测小批量生产中的实际物料需求。这种不确定性可能导致生产过程中频繁的物料短缺或过剩,影响生产进度和成本控制 [1]。

库存管理困难:在多品种小批量生产环境中,企业往往需要维持多个品种的物料库存。由于生产批次较小,导致不同物料的库存水平差异较大。过多的库存会增加存储成本,而库存不足则可能导致停产或延误交货期。因此,如何在保障生产顺畅的同时,保持合理的库存水平,是企业面临的另一个重要挑战。

生产设备与工艺的适应性问题:多品种小批量生产模式对生产设备和工艺要求较高。设备的设置和工艺的调整需要快速且精准地进行,以适应不同产品的生产需求。在生产过程中,设备的切换频繁,可能导致设备的闲置或利用率低,影响生产效率。因此,合理的物料调度不仅要协调生产进度,还需要合理安排设备的使用,避免设备资源的浪费。

2.3 多品种小批量生产对物料调度的要求

高灵活性:多品种小批量生产模式要求物料调度具备高度的灵活性。生产调度需要根据不断变化的订单需求进行实时调整,确保物料供应与生产进度的匹配。同时,生产过程中可能会出现各种突发问题,调度系统应能够快速响应并做出调整。

高准确性:物料需求的准确预测和调度执行的精确性对生产效率和成本控制至关重要。调度系统需要能够基于历史数据和实时信息进行精确预测,确保物料供应能够及时满足生产需要,避免因物料不足而导致的生产中断。

高效率:多品种小批量生产通常面临生产周期短、生产任务重的情况,因此物料调度需要优化资源配置,减少等待时间和生产周期,最大化生产设备和人力资源的使用效率。

3 物料调度策略的现有研究与应用

3.1 基于需求预测的调度策略

需求预测在多品种小批量生产中的物料调度中扮演着重要角色。通过对历史数据的分析和预测,可以预测出未来一段时间内各类物料的需求量,从而为调度决策提供依据。常见的需求预测方法包括时间序列分析、回归分析、神经网络等。

基于需求预测的调度策略有助于减少物料采购的波动,提前做好物料准备,并合理安排生产进度。例如,企业可以根据预测的需求量提前采购物料,避免生产中途出现物料短

缺的情况。同时,企业还可以根据需求预测调整生产计划,以避免不必要的生产浪费 [2]。

然而,由于市场需求的不可预测性和外部环境的不确定性,需求预测往往难以做到完全准确,因此,企业需要在实际应用中结合其他调度方法,以增强应变能力。

3.2 柔性调度策略

柔性调度策略强调在多品种小批量生产中通过调整生产计划和生产线配置,快速响应市场需求变化。这一策略强调生产过程中的灵活性和适应性,能够在面对不断变化的生产需求时,及时进行资源配置和生产安排。

柔性调度策略通常依赖于先进的信息系统和自动化设备,通过实时数据采集和智能化分析,及时调整生产计划和物料调度。这种策略的核心优势在于能够灵活应对生产中的突发情况,提高生产的响应速度和效率,减少生产线停工时间。

然而,柔性调度策略需要较高的技术支持和系统集成,且成本较高。对于中小企业而言,实施柔性调度策略可能面临技术和资金上的压力。

3.3 混合调度策略

混合调度策略结合了需求预测与柔性调度的优势,在保证物料供应的稳定性的同时,也具备较高的生产灵活性。通过将需求预测与柔性调度相结合,企业可以在确保物料供应的同时,快速响应市场需求的变化。

例如,企业可以通过需求预测制定物料采购计划,但同时生产过程中灵活调整生产线配置,满足小批量多样化的生产需求。混合调度策略的实施不仅提高了生产效率,还优化了库存管理,减少了过多的库存积压和物料浪费。

4 优化多品种小批量生产中的物料调度策略

4.1 基于生产优先级的调度策略

在多品种小批量生产环境下,生产任务通常较为复杂,产品种类繁多,每个订单的交货期和优先级也有所不同,可能会产生资源冲突与调度问题。在这种情况下,如何确保高效、准确地生产安排是优化调度策略的关键。基于生产优先级的调度策略通过对不同订单和产品的优先级进行分类,从而实现对生产过程的有序安排。具体来说,生产优先级的设定需要考虑多个因素,如客户交货期的紧迫性、订单量的大小、产品的重要性、生产资源(如设备、人工等)的可用性以及生产任务的复杂程度等。

通过这种优先级策略,企业可以确保关键产品或紧急订单能够得到及时生产,避免了由于调度不当或资源冲突造成的生产延误。除此之外,这种策略还有助于实现生产资源的最大化利用,避免由于过度依赖某些生产线或工序而导致的瓶颈现象。例如,在面对多个订单时,如果所有的订单都按照相同优先级执行,可能会导致某些生产环节出现过载,而其他环节却因闲置而浪费资源。通过为每个订单或产品设

定优先级,企业能够根据当前的生产能力和订单需求灵活调整资源分配,从而提高整体生产效率。

然而,优先级调度策略并不是一成不变的。随着生产过程的进行,订单的优先级可能发生变化。为了更好地应对这一变化,企业需要实时跟踪生产状态和订单变化,灵活调整生产优先级,以确保调度策略的动态适应性。此外,企业还应建立有效的生产计划与调度系统,通过智能化调度系统的支持,确保生产优先级的合理分配和资源的最优利用[3]。

4.2 基于实时数据的动态调度策略

随着物联网、人工智能和大数据分析技术的广泛应用,实时数据的采集和分析能力大大提升,带来了更加精细化和智能化的调度管理方式。基于实时数据的动态调度策略能够根据生产过程中实时反馈的信息,对物料需求、生产计划、设备状态等进行及时调整,从而优化生产过程中的物料调度,确保生产的顺畅进行。

这种策略的核心在于通过持续监控生产过程中的各项数据,包括设备的运行状态、物料的库存情况、生产任务的执行进度等,实现对生产过程的实时掌控。例如,利用传感器监测生产线的实时运行数据,判断是否有设备故障,若设备出现故障,可迅速调整生产计划,避免因生产停滞而延误交货时间。此外,物料的消耗情况、库存状态也可以通过物联网技术进行实时监控,一旦出现物料不足的情况,调度系统便会自动发出采购提醒,或者调整生产计划以避免因物料短缺导致的生产停滞。

此外,动态调度还能够根据外部环境的变化灵活调整生产策略。例如,市场需求的变化可能会影响生产计划的调整,季节性需求的波动可能导致某些产品的生产量增加或减少。在这种情况下,基于实时数据的动态调度策略能够根据新的需求信息及时调整物料调度和生产计划,使得生产过程始终保持高效与灵活。

4.3 加强供应链协同的调度策略

在多品种小批量生产中,供应链管理的重要性愈加突出。由于生产过程中涉及的物料种类繁多、采购周期不一,而生产计划和订单的频繁变化使得物料的供应需求更具动

态性,因此,单纯依靠生产内部的物料调度是无法满足整体生产需求的。加强供应链协同,确保供应商与企业内部生产部门之间的紧密合作,是解决这一问题的关键[4]。

供应链协同调度策略强调在整个供应链中,包括原材料供应商、生产企业、物流配送中心等各个环节之间进行信息共享和资源整合。这种协同调度策略的核心思想是将生产计划、物料需求、库存水平等信息实时传递给供应商,以便供应商能够根据生产需要及时调配物料,并按需生产和配送。同时,企业内部的生产计划也要与供应商的生产计划、库存水平进行匹配,避免出现生产和物料供应脱节的情况。

5 结语

多品种小批量生产模式下的物料调度是一个复杂的系统性问题,涉及需求预测、库存管理、生产调度等多个方面。随着生产环境和市场需求的日益变化,如何有效优化物料调度策略,提升生产效率,降低成本,成为企业面临的重要课题。通过对现有物料调度策略的分析与优化,企业可以在保证生产灵活性的同时,实现资源的高效配置。基于生产优先级、实时数据的动态调度以及供应链协同的优化策略,为企业提供了应对市场变化和生产管理挑战的可行方案。

未来,随着智能制造技术的发展和生产环境的进一步复杂化,物料调度将越来越依赖于数据分析、人工智能和智能化控制技术,企业将能够实现更加精准、灵活的物料调度。在多品种小批量生产模式下,企业应根据自身的生产特点 and 市场需求,选择合适的物料调度策略,提升企业的生产效率、资源利用率和市场响应能力,为实现可持续发展奠定基础。

参考文献

- [1] 彭远刚,刘忠喜,曾文玉,等.订单型机器人冲压单元排样选配与生产调度集成优化[J].南方农机,2024,55(13):1-4+16.
- [2] 郑洋,崔寅.国有企业多品种小批量生产模式难题与应对策略[J].冶金管理,2024,(11):53-55.
- [3] 杨凤珍.多品种小批量生产企业精益成本管理的探究[J].中国电子商情,2024,(22):54-56.
- [4] 徐耀飞,李星,苏展.实木复合地板生产企业计算机物料仓储管理系统构建与优化[J].森林防火,2024,42(04):119-124.

Research on the Mechanism of Abnormal Temperature Rise of the Main Shaft Bearing Babbitt Lining of Ball Mill Equipment and Heat Dissipation Optimization

Wenming Yuan Anlong Li Zhiqiang Wang

Guotou Jincheng Metallurgy Co., Ltd., Sanmenxia, Henan, 472500, China

Abstract

As a highly efficient crushing equipment, the ball mill drives the interaction between the grinding media and the materials through the rotation of the cylinder body. It is widely used in fields such as ore processing and building materials production, providing powder raw materials that meet the particle size requirements for subsequent processes. The stability of the temperature of the main shaft bearing babbitt lining is crucial for the normal operation of the equipment. However, in actual production, the problem of high temperature of the main shaft bearing babbitt lining occurs frequently, which affects the service life of the equipment and production efficiency. This paper deeply analyzes various causes of this problem, covering aspects such as lubrication system failures, cooling system problems, improper assembly, and excessive load, discusses the relevant influencing factors, and provides targeted solutions, offering a reference for the safe operation of the ball mill.

Keywords

Ball mill; Main shaft bearing babbitt lining; High temperature; Lubrication system; Cooling system; Temperature monitoring technology

球磨设备主轴轴承衬瓦温升异常机理与散热优化研究

袁文明 李安龙 王志强

国投金城冶金有限责任公司, 中国·河南 三门峡 472500

摘要

作为一种高效粉碎设备,球磨机通过筒体旋转驱动研磨介质与物料相互作用,广泛应用于矿石加工、建材生产等领域,为后续工艺提供符合粒度要求的粉体原料,其主轴瓦温度稳定对设备正常运行至关重要。然而实际生产中,主轴瓦温度偏高问题频发,影响设备寿命与生产效率。本文深入剖析该问题的多种成因,涵盖润滑系统故障、冷却系统问题、装配不当、负荷过大等方面,探讨相关影响因素,并给出针对性解决措施,为球磨机安全运行提供参考。

关键词

球磨机; 主轴瓦; 温度偏高; 润滑系统; 冷却系统; 温度监测技术

1 引言

球磨机的主轴瓦温度控制对设备稳定运行至关重要,但实际生产中主轴瓦温度偏高问题常见,主要与润滑、冷却系统有关。润滑系统中,润滑油粘度过低、油路堵塞或供油压力及流量偏低会使轴瓦温度升高;冷却系统里,冷却水流量不足、冷却器结垢或管道堵塞影响散热。预防和解决该问题,可优化润滑油选型、清洗油路,加强冷却水水质管理、清理冷却器,还可采用红外测温仪等技术实时监测预警,确保球磨机安全运行。

【作者简介】袁文明(1986-),男,中国河南三门峡人,助理工程师,从事机电一体化研究。

2 概论

2.1 粉体制备装备技术特征

球磨机作为粉体制备领域的核心装备,其破碎与粉磨功能在工业流程中具有不可替代性。具体表现为:在矿物加工领域,通过高压辊磨工艺实现赤铁矿解离度 $\geq 85\%$ 的技术指标;在新型干法水泥生产线中,实现生料均化与熟料微粉化(比表面积 $\geq 350\text{m}^2/\text{kg}$);在精细化工领域,确保纳米级催化剂载体粒径分布 $D_{90} \leq 5\mu\text{m}$ 。其动力学原理基于离心运动与抛落运动的复合作用,通过优化筒体转速(通常为临界转速的65-78%)与研磨介质级配,形成有效的冲击-研磨双重粉碎机制。

2.2 主轴瓦在球磨机中的重要性

主轴瓦是球磨机的核心部件,承担着支撑磨机重量、润滑主轴的重要职责。磨机运行时,主轴在主轴瓦内高速旋

转,两者间形成的油膜可降低摩擦、减少磨损。同时,主轴瓦能及时传导磨机运转产生的热量,维持主轴和自身正常工作温度。一旦主轴瓦出现故障,如温度过高、磨损严重等,会导致球磨机停机,影响生产进度,增加维修成本。

2.3 主轴瓦热失效问题工程现状

工业现场数据显示,主轴瓦异常温升已成为制约磨机运转率的关键因素。根据 GB/T 25707-2022《矿山机械可靠性评估规范》,主轴瓦热故障在设备非计划停机案例中占比达 28.6%,直接经济损失达 150-300 元/吨·时。典型案例显示,当轴瓦温度超过 65℃时,巴氏合金层会出现细微裂纹;达到 80℃时,粘结失效风险指数增长至正常工况的 7.8 倍。这种现象促使学界提出基于熵产理论的摩擦副热失效判据,推动状态监测技术向多物理场耦合分析方向发展【1】。

3 球磨机主轴瓦热负荷异常成因分析

3.1 润滑失效(油膜破裂、供油异常)

3.1.1 润滑油氧化酸败致极压性能下降

润滑油是保障主轴瓦良好润滑的关键。若润滑油含杂质、水分或已变质,润滑性能会大幅降低。杂质会刮伤轴颈和主轴瓦表面,破坏油膜;水分会使润滑油乳化;变质的润滑油化学性质改变,无法有效润滑和散热,导致主轴瓦与轴颈间摩擦增加,温度升高。

3.1.2 润滑油供应不足

油泵故障、油管堵塞或油量不足等,都可能导致润滑油供应不足。油泵故障(如齿轮磨损、密封不严)会减少输出流量甚至无法供油;油管堵塞多因杂质沉积、润滑油结焦,阻碍润滑油输送;油量不足可能是未及时补充或油箱设计不合理。润滑油供应不充分,就无法有效带走摩擦产生的热量,使得主轴瓦温度上升。

3.1.3 润滑油压力异常

润滑油压力异常分为过高和过低,都会影响润滑效果。压力过高,易出现润滑油泄漏,既浪费资源又污染环境;压力过低,难以形成良好油膜,加剧主轴瓦磨损,致使温度不断上升。

3.2 冷却不足(流量/水质问题)

3.2.1 冷却水流量不足

冷却水是为主轴瓦降温的关键介质,若流量不达标,无法及时带走热量,会导致主轴瓦温度升高。冷却水管堵塞、水泵故障或阀门未全开等多种原因,都可能造成冷却水流量不足【2】。

3.2.2 冷却水温度过高

当冷却水温度过高时,它的冷却能力就会减弱,难以有效地降低主轴瓦的温度。这种情况可能是由多种因素导致的,如冷却水循环系统出现故障、冷却塔散热效果不佳、冷却水的压力或流量偏小等。

3.2.3 冷却系统设计不合理

冷却系统的设计不合理同样会对冷却效果造成影响,最终导致主轴瓦温度升高。举例来说,若冷却水管路过长,会增大流动阻力,使得冷却水的流速降低;若管径过小,无

法满足实际的流量需求;而如果冷却水分布不均匀,会造成部分主轴瓦冷却不充分,出现局部温度过高的情况。

3.3 装配偏差(间隙不当、安装错位)

3.3.1 主轴瓦与轴颈配合间隙不当

主轴瓦与轴颈的配合间隙对润滑和散热至关重要。间隙过小,润滑油难以流动,摩擦增大,温度上升;间隙过大,主轴瓦承载能力下降,运行不稳定,同样会使温度升高。国家标准对球磨机主轴瓦的装配精度有明确规定,例如轴瓦与轴颈的配合间隙需根据设备载荷与转速动态调整,通常设计值为 0.15~0.25mm(参考 GB/T 25708-2010)。

3.3.2 主轴瓦安装位置不正确

主轴瓦安装位置不正确,如倾斜、偏移或预留热膨胀间隙过小,会导致受力不均,局部摩擦增大,从而引起温度升高。安装时,需使用专业测量工具和工艺,严格按照设计图纸控制安装位置。

3.3.3 装配过程中的损伤

装配过程中,若对主轴瓦或轴颈造成划痕、磕碰等损伤,会影响润滑和散热性能,导致主轴瓦温度升高。装配人员应严格遵守操作规程,避免损伤零部件。装配前,还需仔细检查零部件表面质量。

3.4 超负荷运行(进料过量、转速过高)

磨机负荷过大时,主轴瓦承受的载荷增加,摩擦加剧,温度随之升高。这可能是进料量过多、物料粒度过大或磨机运行速度过快等原因导致的。进料量过多使磨机内物料堆积,增加主轴扭矩;物料粒度过大增加研磨难度,加大主轴瓦负荷;磨机运行速度过快,加剧主轴瓦与轴颈间的摩擦【3】。

4 球磨机主轴瓦温度偏高的影响因素分析

4.1 润滑系统的影响因素

4.1.1 润滑油的物理化学性质

润滑油的黏度、闪点、抗磨性等物理化学性质直接影响润滑效果。黏度过高,流动性差,难以形成均匀油膜,增加摩擦;黏度过低,油膜强度不足,易被破坏。闪点是衡量润滑油安全性的重要指标,闪点过低在高温下易着火。

4.1.2 润滑系统的密封性

润滑系统密封性不佳,会导致润滑油泄漏,减少供应量,影响润滑效果,使主轴瓦温度升高。润滑油泄漏还会浪费资源、污染环境,增加安全隐患。

4.1.3 润滑油的清洁度

润滑油的清洁程度至关重要,其中混入的杂质与水分严重破坏油膜,增大主轴瓦与轴颈之间的摩擦,进而促使主轴瓦温度上升。杂质来源广泛,像设备运转产生的磨损颗粒、从外界进入的灰尘等;而水分则多因设备密封存在缺陷,或者润滑油在储存环节出现问题混入其中。

4.2 冷却系统的影响因素

4.2.1 冷却水的水质

冷却水的水质优劣,对冷却效果起着决定性作用。一旦冷却水中含有过多杂质或微生物,就会引发冷却水管堵塞

问题,严重阻碍水的正常流动,进而削弱散热能力。杂质在管道内壁沉积会形成水垢,微生物大量繁殖产生的生物膜,都会使管道的有效流通截面积变小。

4.2.2 冷却介质循环效能

冷却介质的循环效能直接影响热交换系统除热能力。当循环动力不足时,热传导效率的衰减将导致轴瓦组件持续积聚热能。该效能指标受三要素制约:流体输送装置的动力特性、管路系统的流体动力学特性以及管阻压降系数【4】。

4.2.3 冷却装置运维体系

冷却系统的维护管理工作落实到位,定期利用超声波清洗技术清理冷却水管,能够有效防止水垢和杂质在管道内堆积;经常检查冷却水泵和冷却塔的运行状态,则有助于及时发现潜在问题并加以解决。

4.3 装配精度控制要素

4.3.1 工艺设计规范性

精密装配工艺是保证摩擦副稳定运行的核心。工艺参数的偏差将导致轴瓦间隙超标、接触应力分布不均等缺陷。需基于有限元分析建立装配应力模型,制定阶梯式装配流程:基准面定位→预紧力矩控制→接触斑点检测→动态跑合调试。特别要控制轴瓦背隙在 0.03-0.05mm 范围,接触角保持在 110° -130° 区间。

4.3.2 人员技能认证体系

装配作业人员的专业资质直接影响组件配合精度。实施分级技能认证制度:初级工掌握量具校准与基础装配,中级工具备间隙调整与接触检测能力,高级工可进行动态平衡修正。

4.3.3 过程质量管控节点

装配质量要做全过程追溯管理,要是装配把控不严格,易出现质量问题,使主轴瓦温度升高。质量控制包含零部件检验、装配过程监控、装配后调试检测。装配前,严格检查零部件尺寸、形状、表面质量;装配时,按工艺要求操作,监控关键装配参数;装配后,全面调试检测球磨机,保证性能达标。

4.4 运行工况调控策略

环境参数对热平衡系统影响大。环境温度超 35℃,启动二级冷却模式;相对湿度 > 80%,激活除湿装置。建议搭建环境补偿系统,在进风口装干球温度传感器,结合露点计算器动态调节冷却水流量,安装热管式余热回收装置实现能量梯级利用。

5 球磨机主轴瓦温度偏高的诊断方法

5.1 温度监测技术革新

智能监测系统提升了工业设备故障预判水平。如某水泥企业部署无线传感网络,实时采集回转窑主轴瓦振动频谱与热力学参数,用深度神经网络建模,实现温升异常提前 72 小时预警,维护费用下降 40%。

5.1.1 热电偶传感原理

热电偶是核心测温元件,常嵌入主轴瓦内部追踪动态热状态。基于塞贝克效应,两种异质导体构成的闭合回路中,

接触端温差产生电动势,电信号强度和温度梯度正相关。经精密电势测量系统反演温度,测量精度达 $\pm 0.5\%$,热响应速度 200ms,能灵敏监测设备异常发热。

5.1.2 红外热像仪测温

红外热像仪通过检测物体表面红外辐射来测量温度分布。可全面检测主轴瓦温度,快速定位异常区域,助力故障诊断。它将物体的不可见红外能量转化为可见热图像,不同颜色代表不同温度,分析热图像能直观掌握主轴瓦温度分布,判断是否存在高温区域。4.2 润滑系统检查

5.2 润滑油质量检查

定期查看润滑油外观,测量黏度、酸值,判断其是否变质或含杂质。通过观察颜色、透明度和有无沉淀来初步判断质量;用黏度计测黏度,看是否达标;检测酸值,若酸值过高,说明润滑油已变质,需及时更换,保障润滑系统正常运转。

5.2.1 润滑油供应系统检查

检查油泵工作状态、油管是否畅通以及润滑油的压力和流量。听声音、观察振动判断油泵运行状况;用压力测试、通球试验等方法检查油管;借助压力表和流量计检测压力和流量。若供应系统有问题,要及时维修或更换部件,保证主轴瓦能得到充足的润滑油供应。

5.2.2 润滑系统密封性检查

检查油管接头、油封等润滑系统密封点,查看有无润滑油泄漏。可用涂抹检漏剂、压力测试等方式查密封性。若发现泄漏,及时更换密封垫、紧固接头等进行修复,保障润滑系统正常运作。

6 结论

球磨机主轴瓦温升异常是多源耦合性故障,需从设备全生命周期综合治理。系统排查机械传动系统成因链后,建立分级管控机制:预防上,构建规范维护流程,落实润滑和冷却装置周期点检,用实时温控传感技术建预警网络;处置时,依振动频谱和热成像数据精准干预,优化轴瓦配合公差,改善润滑介质参数;管理中,强化岗位技能培训,明确操作规范和责任机制,建关键参数动态调控模型。实现设备预测性维护,提升粉磨系统运行可靠性与能效。

参考文献

- [1] 闻邦椿. 机械设计手册(第5版)[M]. 北京:机械工业出版社, 2018: 456-463. (主轴瓦设计标准与装配规范)
- [2] 王先会. 现代润滑技术 [M]. 北京:化学工业出版社, 2020: 127-135.(润滑系统故障分析)
- [3] GB/T 25708-2010, 球磨机技术条件 [S]. 北京:中国标准出版社, 2011. (设备技术参数要求)
- [4] 国家矿山机械质量监督检验中心 2022 年度球磨机故障统计分析报告 [R]. 洛阳: 矿山机械研究院, 2023: 28-33. (行业故障数据支撑)
- [5] 陈志刚, 球磨机主轴系统热力耦合特性研究 [D]. 长沙:中南大学, 2020: 56-62. (热力学分析理论基础)

Research on intelligent equipment transformation and technological innovation in automobile industry

Longfei Zang

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

Abstract

Under the background of the intelligent transformation of the global manufacturing industry, automobile manufacturing enterprises are facing a series of challenges, such as technology selection, system integration, staff skills improvement and equipment maintenance. In view of these problems, it is the key to formulate a clear transformation plan, select the core technology of adaptation, strengthen staff training, and implement effective equipment maintenance and optimization strategies. Through reasonable technical guidance and strategy implementation, enterprises can realize the smooth progress of intelligent equipment transformation and improve production efficiency and market competitiveness.

Keywords

intelligent equipment transformation ; automobile industry ; technology selection

汽车行业智能化设备改造与技术革新研究

臧龙飞

江苏悦达起亚汽车有限公司, 中国 · 江苏 盐城 224000

摘 要

汽车行业智能化设备改造是推动生产效率和技术创新的重要举措。随着智能化技术的不断发展, 智能设备的引入为汽车生产带来了更高的自动化水平、精确的生产控制和节能降耗的潜力。在当前全球制造业智能化转型的背景下, 汽车制造企业面临着技术选择、系统集成、员工技能提升及设备维护等一系列挑战。针对这些问题, 制定明确的改造规划, 选择适配的核心技术, 强化员工培训, 实施有效的设备维护与优化策略成为关键。通过合理的技术引导和策略实施, 企业可实现智能化设备改造的顺利推进, 提升生产效率和市场竞争力。

关键词

智能化设备改造; 汽车行业; 技术选型

1 引言

随着全球工业智能化的进程不断推进, 汽车行业也在加速向智能化转型。作为全球制造业的重要支柱, 汽车行业正面临着前所未有的技术变革, 智能化设备的改造与应用成为提升产业竞争力、优化生产效率、提高产品质量的关键途径。特别是在制造环节, 智能化设备改造不仅可以推动生产线的自动化、信息化, 还能有效提升生产的灵活性和响应速度, 助力企业应对市场需求的快速变化。^[1]

2 汽车行业智能化设备改造的现状分析

智能化设备改造在汽车行业的应用正逐渐成为提升制造效率和产品质量的核心驱动力。当前, 国内外汽车行业的智能化设备改造已进入加速阶段, 尤其是在生产线自动化、

智能监控、数据分析等领域取得了显著进展。许多领先的汽车制造企业已开始引入机器人、自动化装配设备、物联网传感器以及人工智能系统, 推动生产过程中的各个环节实现智能化管理。这些改造不仅提高了生产线的灵活性和自动化水平, 还增强了对生产过程中潜在问题的预警和控制能力, 极大提升了生产的精度与效率。

然而, 尽管取得了一定的进展, 智能化设备改造在汽车行业的全面推广仍面临诸多挑战。首先, 传统设备的技术架构与智能化系统之间的兼容性问题较为突出, 许多旧有设备在改造过程中难以与新型智能设备和技术进行有效整合, 导致改造成本高企。其次, 由于智能化设备改造需要依赖大量的前沿技术, 如人工智能、大数据、云计算等, 其技术壁垒较高, 企业往往缺乏相应的技术储备和人才支持, 这限制了智能化改造的进一步深入。此外, 智能化设备的改造不仅涉及技术和资金的投入, 还需要对生产流程、组织结构、员工技能等方面进行系统性调整, 这使得改造过程复杂且难度较大。尽管如此, 随着行业竞争的加剧和技术的不断发展,

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

越来越多的企业意识到智能化改造的必要性，并通过加大技术研发和跨行业合作等方式，推动汽车制造领域的智能化转型。

3 汽车行业智能化设备改造的核心技术

3.1 自动化技术在设备改造中的应用

自动化技术是智能化设备改造的基础与核心之一，尤其在汽车制造过程中，其重要性尤为突出。传统的汽车生产线往往依赖大量人工操作，面临着效率低下、质量不稳定以及劳动强度大等问题。而引入自动化技术后，生产过程中的很多环节可以通过机器人或自动化设备进行替代，实现高效、精准且持续的生产。通过使用工业机器人、自动装配线、自动焊接设备等，汽车企业可以大幅度提高生产线的工作效率，同时减少人为错误，确保产品的一致性和高品质。此外，自动化技术还能极大地提升生产线的柔性，适应不同产品的快速切换和小批量生产的需求，从而在激烈的市场竞争中占据优势。

3.2 物联网与大数据的集成

物联网（IoT）和大数据技术的集成为汽车制造业的智能化改造带来了全新的突破。通过物联网技术，汽车制造过程中的每一台设备、每一个生产环节都可以实时连接和共享数据，实现全面的设备监控与数据采集。生产线上的传感器、智能设备与云端平台相互联动，生成海量的实时数据。利用大数据技术对这些数据进行深入分析，可以为设备的运行状态、生产进度以及产品质量等方面提供实时反馈，帮助企业进行精确的生产调度和预测性维护。通过对生产过程中数据的持续积累与挖掘，企业可以不断优化生产流程，提高生产效率和设备的利用率，同时降低生产成本和停机时间。

3.3 人工智能与机器学习技术的应用

人工智能（AI）和机器学习技术是智能化设备改造中不可或缺的先进技术。AI技术在汽车制造中的应用主要体现在智能决策、预测分析和自动化操作等方面。通过对历史数据的深度学习，AI可以帮助企业实现智能预测，提前识别生产中的潜在问题，并提出优化方案。机器学习算法则可以根据不断积累的数据，自动调整生产线的参数，提升生产精度和灵活性。AI技术还可应用于质量控制，通过图像识别与视觉检测系统对产品进行自动化检验，提高产品质量的一致性和精准度。此外，AI的自主学习能力使得设备能够在无人工干预的情况下，通过不断优化和调整适应新的生产需求，从而提升整个生产系统的智能化水平。

3.4 智能传感技术与设备远程监控

通过在设备和生产环节中安装各类传感器，如温度、湿度、压力、振动、流量传感器等，可以实时获取生产过程中的各种关键数据。这些传感器不仅能够监测设备的健康状况，还能够检测生产环境的变化，从而为企业提供详细的运行数据。这些数据经过分析后，可以为企业提供更精准的生产决策依据，帮助企业优化生产调度和维护策略。此外，结合

远程监控技术，企业可以实时掌握设备的运行状态，并对设备进行远程调控与故障排除，实现了对生产过程的全天候监控和管理。通过智能传感与远程监控的结合，企业能够大幅提高设备的利用率与生产效率，减少设备故障和停机时间，确保生产线的高效运行。^[2,3]

3.5 云计算与边缘计算在汽车制造中的应用

云计算和边缘计算为汽车行业智能化设备改造提供了强大的数据处理能力和实时响应能力。云计算可以将分散在不同生产环节的数据集中存储与处理，使得企业能够跨地域地共享信息，进行大规模的数据分析与优化决策。通过云端平台，企业不仅可以实现对设备的集中监控与管理，还能快速响应市场需求的变化，进行灵活的生产调度与调整。另一方面，边缘计算则通过将计算与数据处理任务下沉到靠近设备的边缘节点，实现数据的快速处理与即时反馈。这样，生产过程中的数据不需要完全依赖云端处理，减少了数据传输的延迟和带宽消耗，确保了系统在实时性要求较高的应用场景下的稳定性与响应速度。在汽车制造中，云计算和边缘计算的结合使得生产过程更加智能、精细化，同时提升了数据安全性和设备操作的高效性。

4 汽车行业智能化设备改造的实施策略

4.1 制定明确的智能化设备改造规划

智能化设备改造的成功与否，关键在于是否有清晰且切实可行的规划。汽车制造企业在推动智能化改造时，必须根据自身的生产需求、技术现状和市场竞争环境，量身定制改造方案。在制定改造规划时，首先需要明确项目的目标，设定具体的实施步骤和时间表，确保每一阶段的工作目标能够实现。企业必须对现有生产设备进行全面评估，分析哪些设备可通过技术改造升级，哪些则需要淘汰。企业要对智能化技术进行充分了解和掌握，明确智能化技术的应用优势和应用范围，确定智能化技术在汽车设备安装过程中的应用标准，在确保设备安装质量和效果的基础上，以更加经济实惠的方式将智能化技术引入到机电设备安装过程中。改造规划应当考虑到设备的技术兼容性和生产线的衔接问题。对某些旧设备的智能化改造，要特别注意其可行性和投资回报。企业需与技术供应商、设备制造商以及科研机构进行紧密合作，确保引入的智能化设备和技术能够满足生产需求，并保持长期的技术支持。为确保改造的顺利进行，资金的合理分配同样不可忽视。改造预算应涵盖设备采购、技术研发、员工培训和系统升级等各个方面。合理的资金管理不仅能保证项目按时完成，还能确保改造过程中的每一环节都有足够的资源支持。此外，企业还需设立完善的评估机制，定期对智能化改造的进展进行评估，及时调整策略，确保改造方案能够灵活应对实际执行中的变化。

4.2 加强技术选型与系统集成

汽车行业的智能化改造涉及大量的技术选择与设备集成工作。每一种技术的选型，都对整个智能化改造的效果产

生深远影响。选择适合自己生产线和业务需求的技术，是改造成功的关键一步。企业需要对市场上现有的自动化设备、传感器、机器人、人工智能技术等进行详细评估，依据生产目标和技术要求，精准选型。对于复杂的生产流程，企业应优先选择能够与现有设备兼容的技术，并保证其在未来能够持续优化和升级。^[4]

在系统集成方面，企业不仅要考虑单一设备的智能化，还要将各类技术进行有机融合。智能化生产线往往依赖于机器人、物联网、大数据分析、云计算等多项技术的联动，而各类设备之间的数据流和信息交互需要通过系统集成来实现。选择优秀的系统集成商是确保技术能够无缝对接的关键。系统集成商需要具备整合不同技术资源、制定优化方案并实现精准调控的能力。随着技术的不断发展，企业也应当考虑技术系统的可扩展性，以便未来可以根据市场变化或生产需求的调整，对设备进行进一步升级。在集成过程中，应特别关注设备的互操作性，确保每一环节能够顺利协同运行，提高整个生产系统的效率和稳定性。

4.3 提高员工技能与培训

智能化设备改造的实施不仅是技术升级，更是管理与人力资源的变革。员工的技能提升和知识更新直接决定了智能化改造的效果。随着生产线的智能化，许多传统岗位将被自动化设备所替代，员工的工作内容和职责会发生变化。因此，企业应建立系统的培训机制，针对不同类型的智能化设备制定相应的培训课程，帮助技术人员熟悉设备的功能、操作流程和故障处理方法。定期组织培训和技能认证，确保所有操作人员都具备相应的技术水平和应变能力。

为了提升员工的技术水平，企业可与高等院校、科研机构展开合作，引进外部的技术资源和先进理念，为员工提供更广泛的学习平台。同时，管理层的培训也不容忽视。管理人员不仅要了解技术和设备的工作原理，还需具备处理复杂项目和跨部门协作的能力。在整个智能化改造过程中，管理层应及时掌握改造进度和技术调整，协调各方资源，确保改造计划能够高效执行。因此，定期开展管理层的技术培训和市场趋势学习，使管理者能够更好地参与到技术决策和战略规划中，是非常重要的。

4.4 实施全面的设备维护与优化策略

智能化设备的引入使生产线更加高效，但也带来了新

的挑战，尤其是在设备的维护和优化方面。为了确保智能化设备的长期稳定运行，企业必须制定全面的设备维护与优化策略如精益生产和 TPM 推广。这些策略应覆盖设备的日常维护、故障排查、性能优化以及节能降耗等多个方面。定期检查和维护设备可以及时发现设备的潜在故障，避免设备突然停机影响生产进度。在设备的日常维护中，企业要重点关注设备的运行状态、工况监控和维修记录，及时处理设备的磨损、故障等问题。此外，智能化设备的自我监测功能可以通过物联网技术实现对设备的实时监控，企业可以在远程平台上查看设备运行情况，预测设备可能出现的故障，减少设备停机时间。

随着生产需求的变化和技术的更新，智能化设备还需要不断优化。企业可以利用大数据分析和人工智能技术，对设备进行深度优化和改进。这不仅有助于提升设备性能，还能根据生产流程的实际需要进行智能调节，提高生产效率和产品质量。在设备优化的过程中，企业要特别关注能源消耗和资源利用问题。智能化设备能通过精确的数据分析与优化算法，提高生产过程中的能源利用率，减少不必要的浪费，降低生产成本。因此，企业在设备优化时，除了技术升级和性能提升外，节能与环保同样是重要的目标。

5 结语

智能化设备改造是汽车行业迈向高效、智能和绿色生产的必由之路。随着全球制造业向数字化、智能化转型的趋势日益明显，汽车行业的智能化改造不仅提升了生产效率，还推动了产业结构的优化和企业竞争力的提升。通过合理规划、技术选型、人员培训与设备维护等多方面的实施策略，企业可以有效推动智能化设备的全面升级，并最大化改造效益。

参考文献

- [1] 陈杨.智能化汽车制造工厂机电设备施工的优化方案探讨[J].汽车知识,2024,24(04):19-21.
- [2] 朱汉东.智能拧紧设备在汽车电子智能化生产中的应用[J].汽车画刊,2024,(09):68-70.
- [3] 屠文聪,李勇.智能装备在汽车自动化领域的应用[J].环境技术,2024,42(11):22-25+37.
- [4] 邓钊.面向汽车零部件制造的柔性智能设备应用策略研究[J].科技资讯,2024,22(10):113-115.

Reflections on the management and selection control of helicopter electronic components

Kui Zhai

China Helicopter Design and Research Institute, Tianjin, 300300, China

Abstract

Helicopter electronic components play an important role in ensuring flight safety and improving performance. This paper focuses on the management and selection control of helicopter electronic components, and first discusses the main classification and functions of electronic components, including sensors,

Keywords

helicopter; electronic components; Manage; Opt-in control

对直升机电子元器件管理及选用控制的思考

翟魁

中国直升机设计研究所, 中国 · 天津 300300

摘 要

直升机电子元器件在保障飞行安全、提升性能方面起着重要的作用。本文围绕直升机电子元器件的管理与选用控制展开, 首先探讨了电子元器件的主要分类与功能, 包括传感器、导航设备、控制系统等, 分析了各类元器件在直升机中的具体应用以及它们对直升机性能和安全的影响。然后详细阐述了元器件管理要求与规范, 特别是在采购、存储、维护、检测与测试等方面的管理要求。最后提出了基于性能需求、环境适应性、成本与质量平衡的选用控制方法, 并强调了风险管理的重要性。

关键词

直升机; 电子元器件; 管理; 选用控制

1 引言

直升机的电子系统复杂且高度集成, 涵盖了众多关键元器件, 这些元器件直接影响到直升机的飞行安全与稳定性。为了确保电子元器件能够在极端的飞行环境下正常工作, 电子元器件的选用、管理与控制显得尤为重要。因此, 文章将从元器件的分类与功能入手, 分析其在直升机中的应用, 并探讨如何通过科学的管理和选用控制, 确保直升机电子系统的高效和安全。

2 直升机电子元器件的分类与功能

直升机电子元器件是确保飞行安全和性能的关键组成部分。根据功能的不同, 这些元器件可大致分为几类, 主要包括传感器、导航设备、控制系统和通信设备等。传感器是直升机电子系统的重要组成部分, 负责实时采集飞行数据, 如气压、温度、速度、姿态等信息, 并将数据反馈给飞行控

制系统。常见的传感器, 包括加速度传感器、陀螺仪和压力传感器等, 这些元器件通过精确的测量和传输, 确保飞行员能对飞行状态进行实时监控, 从而提高飞行安全性。导航设备包括 GPS 系统、惯性导航系统等, 负责帮助直升机在飞行过程中实现精确定位与航向控制。精确的导航对于飞行的安全至关重要, 尤其是在复杂环境下, 导航设备可以有效减少飞行误差, 确保直升机按预定路线飞行。控制系统是直升机操作的核心, 涵盖了自动飞行控制系统和动力系统管理等, 这些控制系统通过协调各个元器件的运行, 实现对飞行的精确操控, 直接关系到飞行稳定性与安全性^[1]。上述这些电子元器件的正常运行, 对于直升机的飞行性能及安全至关重要。任何元器件的故障, 都会导致飞行系统失灵, 进而引发事故。因此, 确保这些电子元器件的高质量、稳定性和可靠性, 是直升机设计和运营的基础。

3 电子元器件的管理要求与规范

3.1 采购与选型管理

为了确保元器件的质量与合规性, 必须明确选型的标准和流程, 确保选购的元器件符合航空行业的技术要求和相

【作者简介】翟魁 (1993-), 男, 中国安徽蚌埠人, 本科, 工程师, 从事装备元器件选型管理研究。

关法规。具体要关注：其一，在采购阶段，要对供应商进行严格的资质审核和评估，选择具备相关认证的生产商，包括质量管理体系认证及航空航天领域相关的认证资质，有效确保供应商具备生产高质量元器件的能力。在选型过程中，必须考虑元器件的性能、稳定性以及适应环境的能力。例如，在恶劣天气和极端温度条件下工作的元器件，需要具有较强的抗干扰和耐高温、抗低温的特性。其二，依据直升机的具体需求进行元器件的选择。例如，选择传感器时，要根据其测量精度、响应时间及抗干扰能力等进行严格评估，确保其能够在飞行中精准反馈关键数据。与此同时，还需确保元器件符合航空管理部门的法规要求。其三，为了保证元器件的长期可靠性，还需要进行供应商的持续监控与质量追溯。在元器件的整个生命周期内，应当持续关注其性能表现，及时发现潜在问题并加以解决，从源头上控制质量风险。

3.2 存储与维护管理

由于直升机电子元器件涉及复杂的电子技术和高精度要求，其存储环境和维护方式必须严格遵循相关标准，确保其在长期使用中的性能稳定性。具体要关注：其一，存储环境的控制。电子元器件在存储过程中，需避免受到潮湿、温度波动、腐蚀性气体和强电磁干扰等因素的影响。因此，存储空间需要保持恒定的温度和湿度，并且要有良好的通风与防尘措施。对于高敏感度的元器件，如传感器和集成电路，需要将其存放在防静电包装中，避免静电对元器件造成损坏。存储区域还应有严格的温湿度监控系统，定期检查存储条件，确保符合生产厂商的存储要求^[2]。其二，维护管理。元器件在使用过程中，会因长期的振动、温度变化或电气负载的波动而发生老化或损耗，因此，要建立一个系统的检测与维护计划。定期检查主要包括功能测试、外观检查以及电气性能的检查。对于重要的电子元器件，应定期进行全面的测试，确保其各项参数正常，避免潜在故障的发生。其三，库存管理。库存管理不仅要求准确记录元器件的种类、数量和状态，还应采取先进先出的管理原则，避免元器件因过期或闲置而失去效能。对于容易受环境因素影响的元器件，如锂电池等，应定期对其进行测试，确保其在飞行前的适用性和安全性。

3.3 检测与测试管理

直升机电子元器件的检测与测试管理，是确保其长期稳定性与安全性的重要措施。通过定期的检查与功能测试，可以及时发现潜在的故障隐患，避免在飞行过程中出现电子系统失效或性能异常的情况。具体要关注：其一，定期检查。每个元器件都有其预定的使用寿命，在飞行中会受到环境、负荷等多方面因素的影响，出现不同程度的老化或性能下降。因此，针对各类电子元器件，需根据其工作性质和使用条件，设定不同的检查周期。检查内容包括外观检查、电气连接的完整性、元器件表面是否有腐蚀、老化迹象以及是否有松动的接头等。对于重要元器件，如飞行控制传感器、

导航系统、通信设备等，还应进行更加精细的检测，确保其工作性能符合设计标准。其二，功能测试。功能测试通常在元器件安装前、安装后以及定期维护期间进行。通过对电子元器件进行全面的测试，能够全面评估其各项指标是否满足设计要求。例如，对于传感器类元器件，可以通过模拟飞行环境，对其响应精度和传输稳定性进行测试；对于导航系统，则需要检查其定位精度、航向控制能力等是否满足要求。对于一些高频次使用的元器件，如飞行控制系统的核心组件，功能测试应更加严格，确保其在极端条件下也能够可靠工作。此外，随着技术的进步，现代检测方法和工具的应用，为电子元器件的测试提供了更高的效率和准确性。例如，可以利用自动化测试平台对大量元器件进行批量测试，或者使用环境模拟设备，模拟高温、低温、震动等极端环境，对元器件进行更加细致的检测^[3]。

4 电子元器件的选用控制

4.1 基于性能需求的选用控制

每一类电子元器件在设计和使用都有其特定的性能要求，而这些性能需求与直升机的飞行任务、工作环境以及系统安全密切相关。因此，元器件的选用，必须紧密结合实际性能需求，确保其在极端条件下的可靠性和稳定性。飞行过程中会遭遇不同气候条件、海拔高度、温度变化以及震动等影响，这就要求电子元器件具备极高的适应性与耐久性。具体而言：（1）传感器类元器件在飞行中的首要任务，是准确测量和反馈环境参数，如气压、温度、加速度等。因此，选用的传感器必须具有高精度、低延迟和较强的抗干扰能力，确保数据的实时性和可靠性。（2）控制系统是直升机飞行稳定性的重要保障，其所用的电子元器件，必须能够在极限条件下保持高度的响应性和稳定性。例如，飞行控制计算机和自动驾驶系统中的处理器，需要具备高速运算能力，能够实时调整飞行状态以应对突发状况，对于这些关键元器件的选用，必须优先考虑处理速度、运算精度、数据传输能力和容错能力，确保其在复杂飞行环境中持续稳定工作。（3）电源管理也是直升机电子系统的重要组成部分，尤其是在长时间飞行或极端飞行任务中，电池和电源转换器必须能够提供稳定且持久的电力支持。选择高效能、长寿命、可靠性高的电池和电源管理元器件，能够显著提高系统的整体性能，减少故障发生的几率。

4.2 基于环境适应性的选用控制

直升机在飞行过程中，面临极为复杂和变化多端的工作环境，包括高温、低温、强烈的震动、湿气、尘土及电磁干扰等因素。为了确保电子元器件能够在如此恶劣的环境下持续稳定工作，选用控制必须重点考虑元器件的环境适应性。具体而言：（1）温度是直升机电子元器件面临的最大挑战之一。在飞行过程中，尤其是在高空作业时，直升机内外的温差可能达到数十度，温度的剧烈变化，会对元器件的

性能产生直接影响。因此,元器件的选择需要具备广泛的工作温度范围。温度传感器、控制器和电池等关键元器件,必须要能够在-40℃到70℃甚至更广的温度范围内稳定工作。元器件在低温下的启动性能、抗温度变化引起的性能波动等,也都需要严格检测,确保不会因温度异常导致故障。(2)振动和冲击是直升机运行中不可忽视的环境因素。直升机的发动机、螺旋桨等设备会产生强烈的振动,这有可能导致电子元器件的物理损坏,影响信号传输和数据处理的稳定性。因此,元器件在选型时必须具备较高的抗震性能。对于振动敏感的元器件,如传感器和微电子组件,需要选择具有抗震设计的产品,这些元器件通常通过增强的机械结构、减震封装等方式,提高其在高频振动环境中的可靠性。(3)湿气和尘土也是对直升机电子元器件性能产生威胁的重要因素。在飞行过程中,直升机有时会在雨雪、潮湿的气候环境或尘土飞扬的区域作业,这要求元器件具备较高的防水防尘等级。(4)直升机在高空飞行时还可能会遭遇电磁干扰,尤其是在雷电和强电磁场作用下。元器件需要具备较强的抗电磁干扰能力,确保在电磁环境复杂的区域仍能稳定工作,有效防止信号失真或功能丧失。

4.3 基于成本与质量平衡的选用控制

在确保元器件能够满足性能和环境适应性要求的同时,如何在成本与质量之间找到一个合理的平衡点。具体要关注:(1)考虑元器件在系统中的重要性与关键性。对于一些关键性元器件,如飞行控制系统中的核心控制器、导航系统传感器等,元器件的质量必须是首要考虑因素,因为这些元器件直接关系到飞行安全与系统稳定性。应优先选用经过认证并具有可靠质量保证的产品,虽然其成本较高,但其对飞行安全的保障作用,使其具备不可替代的价值。而对于一些辅助性的元器件,如外部照明、非核心传感器等,则可以在确保满足基本质量要求的前提下,选择性价比比较高的产品。通过对元器件的市场进行调研,选择合适的供应商,可以找到既能满足功能要求又具备成本优势的解决方案。在这一过程中,采购人员还需要对元器件的使用寿命、维护周期和替换成本进行综合评估,避免因低成本而导致频繁更换或高额维护费用的情况,从而在长远的经济效益上获得平衡。

(2)关注技术创新和集成度的提升。随着电子技术的不断进步,许多元器件的集成度逐渐提高,单一元器件可以实现

多项功能,从而减少了对多个元器件的需求。集成化的设计不仅降低了元器件的采购成本,也减少了系统的重量和复杂性,有利于提升直升机的整体性能。

4.4 加强风险管理

在直升机电子元器件的选用过程中,加强风险管理是确保安全性和系统稳定性的关键措施。具体要关注:(1)技术风险管理。每种电子元器件在设计时,都会面临不同的技术挑战,如兼容性问题、工艺缺陷或更新换代等。为减少技术风险,需要在选用前对元器件的技术参数进行充分验证,确保其与直升机系统的其他部分兼容。选择经过严格验证和广泛应用的成熟技术产品,可以降低技术风险。(2)质量风险管理。质量风险涉及元器件的生产质量、可靠性及长期使用中的表现。为了控制这一风险,必须优选有资质认证的供应商,并要求其提供详尽的质量检验报告。同时,定期进行元器件的可靠性测试和老化试验,评估其不同工作环境下的长期表现,确保其不因质量问题影响直升机的飞行安全。(3)供应链风险管理。供应商的交货能力、产品供应的稳定性、突发的生产延迟等,都会影响元器件的及时供应。对此,选择有稳定供应能力且供应链管理完善的供应商,并建立良好的库存管理和应急预案,可以有效缓解这一风险。

5 结语

总之,随着航空技术的不断发展,直升机电子元器件的管理与选用控制面临越来越复杂的挑战,通过严格的管理要求、科学的选型控制方法,以及有效的风险评估与控制,就可以保证直升机电子系统的安全性和可靠性。未来随着新材料、新技术的不断涌现,直升机电子元器件的性能和管理方法也将不断创新与提升,从而更好地服务于航空事业的发展。

参考文献

- [1] 李明杰, 张华. 直升机电子元器件选型与管理研究[J]. 航空制造技术, 2021, (12): 45-48.
- [2] 张伟强. 直升机电子元器件存储与维护管理策略[J]. 航空维修与工程, 2023, (01): 34-37.
- [3] 陈晓芳, 李娜. 直升机电子元器件的环境适应性分析[J]. 航空电子技术, 2022, (03): 22-25.

Research on Path Planning and Simulation of Industrial Robot Based on Digital Twin Technology

Mengli Shan Yaxi Liu

Henan Vocational University of Science and Technology, Zhoukou, Henan, 466000, China

Abstract

With the development of industrial automation, industrial robots play an increasingly important role in the manufacturing industry. As one of the core technologies of industrial robots, path planning directly affects the efficiency and accuracy of robot operation. Traditional path planning methods usually ignore the environmental change and the dynamics of the robot state, making it difficult to adapt to the complex and changing working environment. Digital twinning technology has a significant advantage in path planning by creating virtual models of real systems that can monitor and predict robot behavior in real time. This study presents a new path planning method for industrial robots based on digital twinning techniques. By establishing the digital twin model and combining the path optimization algorithm and adjusting the robot path in real time, more efficient path planning and control are realized. This paper also performs a path planning simulation to verify the feasibility and effect of the proposed method in practical application.

Keywords

digital twin; industrial robot; path planning; simulation; optimization algorithm

基于数字孪生技术的工业机器人路径规划与仿真研究

单孟丽 刘亚西

河南科技职业大学, 中国 · 河南 周口 466000

摘 要

随着工业自动化的发展, 工业机器人在制造业中发挥着越来越重要的作用。路径规划作为工业机器人核心技术之一, 直接影响机器人作业效率和精准度。传统的路径规划方法通常忽视了环境变化和机器人状态的动态性, 难以适应复杂和变化的工作环境。数字孪生技术通过创建真实系统的虚拟模型, 能够实时监控并预测机器人行为, 在路径规划中具有显著优势。本研究基于数字孪生技术, 提出了一种新的工业机器人路径规划方法。通过建立数字孪生模型, 结合路径优化算法, 实时调整机器人路径, 实现了更高效的路径规划与控制。本文还进行了路径规划仿真, 验证了所提出方法在实际应用中的可行性和效果。

关键词

数字孪生; 工业机器人; 路径规划; 仿真; 优化算法

1 引言

随着智能制造的不断推进, 工业机器人已经成为现代生产过程中不可或缺的重要设备。其主要功能之一就是路径规划, 即在给定的任务中通过合理的路径设计确保高效、精确地完成作业。传统的路径规划方法大多依赖于静态模型和预定路径, 然而, 这些方法往往难以应对工作环境的变化以及机器人状态的动态性。因此, 如何提高路径规划的灵活性和精准度, 已成为工业机器人研究的关键问题之一。近年来, 数字孪生技术作为一种新兴的技术手段, 通过构建物理实体的虚拟模型, 实现了对复杂系统的动态仿真与实时监控。将数字孪生技术应用于工业机器人路径规划, 可以实时获取机器人运行状态和环境信

息, 从而在动态环境下进行智能优化^[1]。

2 数字孪生技术定义

数字孪生技术是一种通过创建物理实体或系统的虚拟模型, 将物理世界和数字世界连接起来的方法。这些虚拟模型能够实时反映物理对象或系统的状态、行为和性能, 并且通过传感器、数据采集等技术持续更新。数字孪生不仅能准确再现物理实体的结构和功能, 还能够在虚拟环境中进行模拟和预测, 从而为优化设计、性能评估、故障诊断等提供支持。它打破了传统技术的限制, 提供了一种全新的视角来监控和管理物理系统, 尤其是在复杂系统和动态变化的环境中, 能够提供比传统模型更为精准和实时的反馈。通过数字孪生, 用户能够对物理系统进行更深入的分析, 预测未来的行为, 并及时做出响应。这种技术广泛应用于许多行业, 尤其在制造业、能源、航空航天等领域展现出强大的潜力。

【作者简介】单孟丽(1995-), 女, 中国河南商水人, 硕士, 助教, 从事智能制造研究。

3 数字孪生技术的应用领域

数字孪生技术广泛应用于多个行业，尤其在智能制造、能源管理、城市规划等领域表现突出。在智能制造领域，数字孪生帮助企业实现产品生命周期管理，提升生产效率和产品质量。通过虚拟模型，企业能够实时监控生产线、设备状态，并进行远程诊断和维护。在能源领域，数字孪生技术被用来监控电力、石油等基础设施的运行状态，提前预判设备故障并进行预防性维护，从而降低运营成本和提高安全性。城市规划中，数字孪生用于模拟城市发展、交通流量、环境变化等，优化城市布局和基础设施建设。此外，数字孪生还在航空航天、汽车工业、医疗等行业得到应用，通过精确建模与仿真，提升系统设计和运行效率，减少试验和调试成本^[2]。

4 工业机器人路径规划基础

路径规划是工业机器人在执行任务时，依据任务需求和环境条件，从起始点到目标点规划一条最优或可行的运动轨迹的过程。路径规划问题主要涉及如何在复杂环境中确保机器人能够避开障碍物、避开危险区域，并且以最优方式完成任务。路径规划的目标通常是最小化运动时间、能源消耗或最大化路径的精确度与安全性。机器人需要根据环境中存在的障碍、限制条件以及任务的不同要求，在确定路径的同时避免碰撞，确保运行的可行性和效率。在实际应用中，路径规划问题往往需要考虑多个因素的协调，如机器人的动态特性、任务执行的实时性要求以及环境的变化等。因此，路径规划不仅仅是一个几何问题，还涉及到算法优化、实时反馈等多方面的考虑^[3]。

5 基于数字孪生的工业机器人路径规划方法

5.1 数字孪生与路径规划结合的理论框架

数字孪生与路径规划的结合是通过创建物理机器人和工作环境的虚拟双胞胎，实现对实际系统的动态监控与优化决策。理论框架首先通过传感器和数据采集技术，将工业机器人及其操作环境的信息实时传输至虚拟模型中，形成精准的数字化表示。虚拟模型能够实时反映机器人运动状态、周围环境的变化以及潜在的障碍物，为路径规划提供全面的数据支持。在这一框架下，路径规划不仅是基于静态环境的优化计算，而是通过与数字孪生的实时互动，使机器人能够在复杂、动态环境中不断调整路径。这种框架的核心是将路径规划过程中的各个决策与实时数据相结合，通过算法优化，确保机器人的路径能够最大化地避免障碍、减少运动时间，并且能够灵活应对环境变化，提升路径规划的智能化与精确度^[4]。

5.2 数字孪生技术在路径规划中的优势

数字孪生技术在路径规划中的优势体现在其高精度、实时性和适应性上。通过实时传感器数据与虚拟模型的结合，数字孪生能够准确反映机器人与环境的动态变化，使路径规划能够即时响应环境的变化，避免传统路径规划中的滞

后性。数字孪生模型提供的虚拟环境具有高保真度，能够精确模拟实际场景中可能出现的各类情况，为机器人提供更为细致的路径优化方案。与传统的路径规划方法相比，数字孪生能够通过预测分析、智能优化等技术，实时调整规划方案，确保机器人在执行任务时能够顺利避开障碍并精准到达目标。此外，数字孪生技术可以通过不断更新虚拟模型，提升机器人在复杂环境下的适应能力，优化任务执行效率。其应用不仅能够减少路径规划中的人为干预，还能提高整体系统的自动化水平和智能化程度。

6 工业机器人路径规划仿真方法

6.1 仿真技术概述

仿真技术是工业机器人路径规划中不可或缺的工具，主要用于模拟机器人在不同环境中的运动与操作。在路径规划过程中，仿真技术通过虚拟环境模拟机器人的运动轨迹，评估不同路径方案的可行性与效率。通过仿真，研究人员能够在不直接操作物理机器人和设备的情况下，提前发现路径规划中的问题并进行优化。仿真技术广泛应用于机器人控制、路径规划、运动学分析等方面，其作用在于为实际操作提供数据支持，减少实验的成本与风险。通过仿真，路径规划的效果可以迅速评估，且实验环境可重复，确保不同算法、方案的对比更加客观与系统。在工业机器人领域，仿真技术能够提供高效、灵活的路径设计与调整，并支持路径的动态优化与实时更新，进一步提升机器人作业的精度与可靠性^[5]。

6.2 基于数字孪生的路径规划仿真方法

在实验中，基于数字孪生技术的路径规划仿真方法通过虚拟双胞胎模型与物理机器人的实时数据相结合，为路径规划提供精确模拟。我们使用了虚拟环境中的数字孪生模型来模拟工业机器人的运动状态及周围环境的变化。在仿真中，设置了不同的工作场景，如静态障碍物、动态移动障碍物及不同的路径约束条件。实验中，机器人通过传感器采集环境数据，并实时上传至虚拟环境，数字孪生模型根据这些数据计算出最优路径，进行路径规划与仿真对比。

6.3 仿真结果与路径优化

在实验过程中，首先准备了工业机器人虚拟环境，并通过数字孪生技术对机器人和其操作环境进行建模。实验设置包括不同的工作场景，例如：平面环境、动态障碍物场景、不同的障碍物密度（10%、20%和30%）等多种条件，旨在模拟真实生产中的复杂环境。

实验步骤：

①环境设置：

在实验的第一阶段，我们将虚拟环境分为多个区域，并在不同区域中随机放置静态和动态障碍物。静态障碍物代表固定物体，如工作台、机器设备等；动态障碍物模拟可移动的物体或人员，机器人需要避开这些障碍进行路径规划。

设置了不同的环境复杂度：低复杂度（障碍物占总区

域的 10%)、中等复杂度(障碍物占 20%)和高复杂度(障碍物占 30%)，以测试路径规划算法在不同环境条件下的表现。

②数据采集:

配置传感器系统用于实时监测机器人的运动状态，并将数据传输至数字孪生模型。通过传感器数据采集，虚拟模型能够实时更新机器人的位置、速度、加速度等信息。

③路径规划:

使用基于 A* 算法的传统路径规划方法和基于数字孪生技术的动态路径规划方法分别进行路径规划。传统 A* 算法使用已知的障碍物位置进行路径计算，并在路径计算过程中假设环境保持静止。而基于数字孪生的路径规划则依赖于实时更新的虚拟模型，能够根据实时传输的数据动态调整路径，考虑到障碍物的变化。

④路径优化:

在完成初步路径规划后，系统根据规划结果和仿真数据，对路径进行优化。优化目标是最小化路径长度、减少能量消耗，并最大限度地避免碰撞发生。通过多次仿真调整，

优化路径中的冗余部分，保证机器人以最优的路径进行任务执行。

⑤实验数据记录与对比:

每次仿真测试完成后，我们会详细记录以下数据：路径规划时间、路径长度、能量消耗、碰撞次数等。不同环境复杂度下的实验结果进行了统计和对比分析，重点对比传统路径规划方法和基于数字孪生的路径规划方法在不同条件下的表现差异。

对比的目的是评估数字孪生路径规划方法在时间效率、路径优化、能量消耗和安全性方面的优势，实验结果如表 1 所示。

结果分析:

根据实验结果，数字孪生技术在路径规划时间、路径长度和能量消耗等方面表现出更好的优化效果。特别是在动态环境下，数字孪生能够实时调整路径，减少碰撞的发生，并在较短时间内完成路径计算。实验结束后，数据被整理并用于进一步的分析，通过表格展示了不同环境复杂度下路径规划时间、路径长度、能量消耗和碰撞次数的对比。

表 1 不同环境复杂度下基于 A* 算法与数字孪生的路径规划实验对比

环境复杂度	路径规划时间 (秒)	路径长度 (米)	能量消耗 (J)	碰撞次数	最大转向角度 (°)	速度波动 (m/s)	计算复杂度 (次 / 秒)
10%	15.2	50.3	30.2	0	15	0.35	25
10%(数字孪生)	12.8	49	28.1	0	14	0.31	35
20%	18.6	52.5	32.4	1	20	0.38	22
20%(数字孪生)	15.3	51.2	30.7	1	18	0.34	30
30%	22.1	55.6	35.8	2	25	0.42	18
30%(数字孪生)	17.9	54.1	33.2	1	22	0.39	28
10%(A* 算法)	15.2	50.3	30.2	0	15	0.35	20
20%(A* 算法)	18.7	52.8	32.7	1	22	0.37	19
30%(A* 算法)	22.5	56	36.2	2	28	0.4	17

7 结语

本研究通过实验验证了基于数字孪生技术的工业机器人路径规划方法在复杂环境中的显著优势。数字孪生技术能够实时同步物理环境和虚拟模型，实现动态路径规划与优化。实验结果表明，该方法在路径规划时间、路径长度、能量消耗和碰撞次数等方面均优于传统 A* 算法。在未来的应用中，数字孪生技术有望进一步提升工业机器人在智能制造和复杂任务中的效率与安全性，具有广泛的应用前景。

参考文献

[1] 闵超,李月光,刘思.基于数字孪生的工业机器人定位精度测量技术[J].电子产品世界,2025,32(01):56-59.

[2] 张香玲,祁宇明,邓三鹏,薛强,张人允.工业机器人多功能系统关键技术及数字孪生平台应用[J].装备制造技术,2024,(06):11-15.

[3] 廖俊波.基于数字孪生的工业机器人状态监测关键技术研究[D].导师:董绍江.重庆交通大学,2024.

[4] 蒋啸尘.基于数字孪生的工业机器人健康状态监测与评估方法研究[D].导师:何佳龙.吉林大学,2024.

[5] 欧阳群鑫.数字孪生虚拟仿真在工业机器人应用技术课程中的实践[J].科技风,2024,(10):38-40.

Discussion on the installation technology and application of mechanical engineering automation equipment

Yi Wang

Shaanxi Steel Group Hanzhong Iron and Steel Co., Ltd., Hanzhong, Shaanxi, 724200, China

Abstract

The installation technology of mechanical engineering automation equipment is an important link to ensure the efficient operation of modern industry, involving many fields such as electromechanical system integration, control system debugging and intelligent application. With the development of intelligent manufacturing and industry 4.0, the automation equipment installation technology is constantly upgraded to the direction of precision, intelligence and high efficiency. Reasonable installation process not only affects the stability and production efficiency of the equipment, but also directly related to the safety and operation life of the system. At present, the installation technology of automation equipment is faced with challenges such as high complexity of multi-axis linkage debugging, improved intelligent integration requirements and enhanced remote monitoring requirements.

Keywords

mechanical engineering; automation equipment; installation technology; intelligent manufacturing; system integration

机械工程自动化设备安装技术及应用探讨

王一

陕钢集团汉中钢铁有限责任公司, 中国·陕西 汉中 724200

摘 要

机械工程自动化设备的安装技术是保障现代工业高效运转的重要环节, 涉及机电系统集成、控制系统调试及智能化应用等多个领域。随着智能制造和工业4.0的发展, 自动化设备安装技术不断升级, 向精密化、智能化、高效化方向演进。合理的安装工艺不仅影响设备的稳定性和生产效率, 还直接关系到系统的安全性和运行寿命。当前, 自动化设备安装技术面临着多轴联动调试复杂度高、智能化集成要求提升以及远程监测需求增强等挑战。

关键词

机械工程; 自动化设备; 安装技术; 智能制造; 系统集成

1 引言

自动化设备在机械工程中的广泛应用, 推动了生产模式向智能化、高效化方向发展。安装技术作为自动化设备投入运行的关键环节, 决定了设备的稳定性、精度以及系统协同能力。传统安装技术依赖人工测量和经验调整, 存在误差大、效率低的问题, 难以满足现代工业对高精度、高速运行的要求。随着智能制造技术的发展, 自动化设备的安装方式逐渐向智能化、标准化、模块化方向演进, 涉及机器人装配、自适应调试、在线检测等先进手段, 以提升设备的安装精度与运行稳定性。

2 机械工程自动化设备安装技术的发展概述

自动化设备安装技术的发展经历了从传统机械装配、

机电一体化安装到智能化精密调试的演变过程。早期的机械设备安装主要依赖人工操作, 测量精度受限, 安装精度依赖技工经验。随着数控技术的发展, 机电一体化安装方式逐渐普及, 采用数字测量仪器提高精度, 减少人为误差。近年来, 随着工业互联网、物联网 (IoT) 和人工智能 (AI) 的发展, 自动化设备的安装进入智能化阶段, 依靠传感器网络、智能调试系统和远程监测平台, 实现设备的高精度组装与远程诊断。现代自动化设备安装技术强调高精度、模块化与高效协同。高精度安装依赖激光测量、光学对准等非接触测量技术, 确保机械系统的对位精度。模块化安装则通过标准化接口和快速连接技术, 提高设备组装效率, 减少安装误差。高效协同体现在多轴联动设备安装过程中, 采用自动对齐系统和实时数据分析, 实现多设备协同优化, 缩短设备安装调试周期。

【作者简介】王一 (1990-), 男, 中国陕西汉中, 本科, 工程师, 从事机械工程研究。

3 机械工程自动化设备安装技术的现状与挑战

3.1 高精度设备安装技术的应用现状与问题

高精度设备安装技术的核心矛盾在于多物理场耦合下的误差控制难题。现代工业级激光干涉仪可实现 $0.1\mu\text{m}/\text{m}$ 的线性测量精度，但在六自由度调整过程中，机械装配面的平面度偏差超过 $5\mu\text{m}/\text{m}$ 时，会导致激光束入射角偏移引发非线性误差积累。多轴联动系统的运动学参数标定误差直接影响安装定位精度，研究表明七轴联动机械臂的 D-H 参数辨识残差超过 0.15mm 时，末端执行器重复定位精度将劣化至 $\pm 32\mu\text{m}$ 。^[1] 环境温湿度波动对安装质量构成显著干扰，实验数据显示当温度梯度超过 $0.5^\circ\text{C}/\text{m}$ 时，铸铁基座的热变形将引入轴向偏差达 $1.8\mu\text{m}/\text{m}$ ，而 ISO 230-3 标准要求精密机床安装环境的温度稳定性需控制在 $\pm 0.1^\circ\text{C}/\text{h}$ 以内。当前基于最小二乘法的误差补偿模型在应对非线性变形时存在局限性，其残差平方和 (SSE) 常超过 0.25，导致补偿有效

性下降 37% 以上。

3.2 智能化安装技术的发展与应用挑战

智能化安装技术的发展受制于实时数据处理能力与物理约束的冲突。工业级视觉引导系统需在 8ms 内完成 1024×1024 像素图像的亚像素特征提取，但现有 SURF 算法在 GPU 加速下仍存在 3.2ms 的运算延迟。多传感器数据融合中的时间同步误差直接影响位姿解算精度，当 IMU 与激光测距仪的采样时间戳偏差超过 0.5ms 时，位姿估计均方根误差 (RMSE) 将增加至 1.2mm。5G 工业物联网的推广受限于传输带宽与时延矛盾，实测数据显示在 MEC 边缘计算架构下，128 通道振动传感器的实时数据传输需占用 1.8Gbps 带宽，而现有 TSN 网络的实际有效吞吐量仅为 1.2Gbps，导致数据丢包率升至 15%。深度学习驱动的自适应控制算法面临模型泛化能力不足的挑战，在迁移至新工况时，LSTM 网络预测扭矩的归一化均方误差 (NMSE) 会从 0.08 跃升至 0.34，暴露出过度拟合问题。

表 1 高精度安装技术现存问题参数分析

问题维度	关键参数	影响程度	技术指标阈值
多轴联动误差	D-H 参数辨识残差 0.18mm	定位精度劣化 $32\mu\text{m}$	ISO 10791-1: 0.05mm
热变形干扰	温度梯度 $0.8^\circ\text{C}/\text{m}$	轴向偏差 $2.4\mu\text{m}/\text{m}$	ISO 230-3: $\pm 0.1^\circ\text{C}/\text{h}$
非线性补偿残差	最小二乘 SSE 0.28	补偿效率下降 41%	容许 SSE < 0.15
激光测量误差	入射角偏移 0.03°	非线性误差 $1.2\mu\text{m}$	光束准直度 $< 0.01^\circ$
振动传递效应	基频共振峰值 45dB	安装面振幅 $3.8\mu\text{m}$	DIN 45672: 35dB

表 2 智能安装技术瓶颈参数对比

技术瓶颈	实测参数	性能影响	理论要求值
图像处理延迟	SURF 算法 3.2ms	位姿滞后 0.8mm	实时处理 $\leq 2\text{ms}$
数据传输瓶颈	有效吞吐量 1.2Gbps	数据丢包率 15%	需求带宽 $\geq 2\text{Gbps}$
时间同步误差	采样偏差 0.52ms	RMSE 增加至 1.3mm	IEEE 1588: $\leq 0.1\text{ms}$
模型泛化能力	LSTM 网络 NMSE 0.34	扭矩预测误差 28%	可接受 NMSE < 0.15
传感器融合噪声	卡尔曼增益波动 ± 0.08	位姿漂移 $0.6\text{mm}/\text{s}$	容许波动 ± 0.03

4 提升自动化设备安装技术水平的策略

4.1 优化安装工艺，提高设备对位精度

高精度设备安装的核心挑战在于多物理场耦合下的非线性误差抑制与动态补偿。基于激光跟踪仪构建的六自由度测量系统，通过融合四象限探测器与干涉测距技术，可实现 $\pm 0.5\mu\text{m}/\text{m}$ 的线性定位精度。^[2] 在超精密机床安装中，采用基于雅可比矩阵奇异值分解的轴系正交度补偿算法，可有效消除因几何误差传递导致的定位偏差。实验表明，当机床 X/Y/Z 轴垂直度误差超过 $3\mu\text{m}/\text{m}$ 时，经补偿后定位精度可提升至 $0.8\mu\text{m}/\text{m}$ ，满足 ISO 230-2:2014 规定的 P 级精度标准。振动干扰抑制是提升安装精度的另一关键，采用基于阻抗匹配的主动隔振平台，通过压电作动器与磁流变阻尼器的并联驱动，可将 10-100Hz 频段的振动传递率降低至 -40dB 以下。^[3] 在半导体光刻设备安装中，该技术使晶圆台在 $6\text{m}/\text{s}^2$ 加速度下的残余振幅缩减至 0.8nm (RMS)，显著优于传统被动隔

振系统的 3.2nm 指标。此外，基于李萨如图形分析的动态对心算法，通过解耦旋转轴与平移轴的运动耦合误差，在涡轮机组安装中实现 0.02mm 的转子动态同心度，较传统静态平衡法提升 4.7 倍。值得关注的是，采用数字孪生驱动的虚拟调试技术，通过构建包含接触刚度、阻尼特性的多体动力学模型，可在物理安装前预测螺栓预紧力偏差对结构模态的影响，将实际安装中的共振频率偏移量从 $\pm 12\text{Hz}$ 压缩至 $\pm 2.5\text{Hz}$ ，大幅提升设备运行稳定性。

4.2 智能监测强化，自适应控制实现

智能监测系统的工程化应用依赖于多源异构数据的时空同步与动态建模能力。基于 MEMS 阵列的六自由度惯性测量单元可实现 $\pm 0.002^\circ$ 的姿态角测量精度，配合飞行时间激光雷达构建的毫米级点云地图，可将设备安装基面的三维重建误差压缩至 0.12mm RMS。在重型装备安装中，采用分布式光纤声波传感技术实时监测螺栓预紧力分布，其应变

解析灵敏度达 $1\mu\epsilon$ ，相较传统电阻应变片提升两个数量级。数字孪生驱动的安装过程优化亟需解决物理 - 虚拟空间的高保真映射问题。基于改进型龙格 - 库塔法的多体动力学求解器，在 GPU 并行计算框架下实现微秒级步长的实时仿真，^[4]可精确模拟安装过程中接触碰撞引发的非线性振动。某型号工业机器人安装案例表明，通过数字孪生预测的关节间隙补偿量较传统试错法提升定位重复性达 63%。在精密轴承压装工艺中，融合长短期记忆网络与比例积分微分的混合控制策略，将过盈配合的轴向压装力波动控制在 $\pm 12\text{N}$ 范围内，较经典控制策略降低 58% 的超调量。值得关注的是，5G URLLC（超可靠低时延通信）技术的应用使多节点振动数据（采样率 51.2kHz）的端到端传输延迟压缩至 1.8ms，满足 ISO 17359 标准对机械状态监测的实时性要求，为实现安装过程的边缘智能决策提供可靠通信保障。^[5]

4.3 接口标准统一，模块集成创新

标准化安装体系的核心在于接口几何特征与动态性能的量化控制。基于 IEC 61499 标准开发的机电接口模块，其锥面配合公差带控制在 IT4 级精度（ $\leq 3\mu\text{m}$ ），配合表面粗糙度 $R_a \leq 0.2\mu\text{m}$ ，确保模块对接时接触刚度达 $6 \times 10^8 \text{ N/m}$ 量级。在核电站主泵机组模块化安装中，采用气动快速耦合接头实现法兰面自对心，轴向定位精度达 $\pm 0.05\text{mm}$ ，较传统螺栓连接缩短 80% 的装配耗时。^[6]通过有限元拓扑优化设计的轻量化安装框架，在保证结构基频 $\geq 250\text{Hz}$ 的前提下，实现比刚度值 $\geq 35 \text{ GPa} \cdot \text{m}^3/\text{kg}$ ，满足高速工业机器人动态稳定性需求。模块化装配数据库的构建依托工业互联网平台的实时数据采集，采用 OPC UA 协议实现多源异构设备的

数据互通，其通信周期可压缩至 2ms。某半导体晶圆机械手安装案例中，基于蒙特卡洛仿真的公差链分析模型，将重复定位精度从 $\pm 0.15\text{mm}$ 提升至 $\pm 0.03\text{mm}$ ，对应良品率提高 17.3%。远程诊断系统集成 5G+TSN 混合网络架构，在端到端时延 $\leq 3\text{ms}$ 、抖动 $\leq 10\mu\text{s}$ 的条件下，实现振动频谱特征参数的在线辨识，诊断准确率达 98.6%。

5 结语

机械工程自动化设备安装技术的不断升级，为现代工业生产提供了更高效、更精准的解决方案。随着智能制造的深入发展，自动化设备的安装技术正向智能化、精密化、模块化方向演进。通过优化安装工艺、推广智能监测系统以及建立标准化安装体系，可有效提升设备安装质量，降低运行风险，提高生产效率。

参考文献

- [1] 张朝,徐志鹏,曹松晓,蒋庆,周乔君.基于工业机器人与机器视觉的多路阀自动装配[J].现代制造工程,2022(06):122-127+48.
- [2] 王旭敏,刘敏,杨帆.基于工业机器人的水接头自动装配系统设计[J].电子机械工程,2021,37(04):51-56.
- [3] 杨文旭.基于单目视觉的轴类零件装配位姿在线测量技术研究[D].河北科技大学,2021.
- [4] 金鑫.工业机器人自动装配系统的研究与设计[J].湖南工业职业技术学院学报,2021,21(01):69-72+77.
- [5] 马辉.机械工程的自动化设备安装技术研究[J].工程技术:文摘版, 2021(2017-13):129-129.
- [6] 梁卫红.机械工程自动化设备安装技术[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术, 2023(4):3.

Application of monitoring and purification technology of radon gas and its daughters in underground space

Ming Han

China Institute for Radiation Protection, Taiyuan, Shanxi, 030006, China

Abstract

As a kind of natural radioactive gas, the accumulation of radon gas in the underground space poses a significant threat to human health. With the deepening of underground facility space development, the monitoring and purification technology of radon gas and its subsystems is particularly important. By systematically analyzing the source, transmission route of radon gas and its impact on human health, this paper discusses the main technical means of radon gas monitoring in underground space, including passive monitoring, active monitoring and real-time monitoring system. At the same time, the main technical methods of radon gas purification, such as ventilation, activated carbon adsorption, ion exchange and membrane separation technology, combined with the actual application situation, the effect and applicability of each technology are evaluated. Through a large amount of data analysis, this paper reveals the efficiency and cost benefit of different purification technologies in practical application, and provides a scientific basis for radon management in underground space. Finally, the paper puts forward suggestions to optimize the radon monitoring and purification system to improve the air quality of the underground facility space and ensure people's health and safety.

Keywords

radon gas monitoring; underground space; purification technology; ventilation; activated carbon adsorption

氡气及其子体监测与净化技术在地下空间中的应用探索

韩明

中国辐射防护研究, 中国·山西太原 030006

摘 要

氡气作为一种天然放射性气体, 其在地下空间中的积聚对人类健康构成了显著威胁。随着地下设施空间开发的不断深入, 氡气及其子体的监测与净化技术显得尤为重要。本文通过系统分析氡气的来源、传播途径及其对人体健康的影响, 探讨了当前地下空间中氡气监测的主要技术手段, 包括被动式监测、主动式监测以及实时监测系统。同时, 本文深入研究了氡气净化的主要技术方法, 如通风换气、活性炭吸附、离子交换和膜分离技术, 结合实际应用情况, 评估了各技术的效果与适用性。通过大量数据分析, 本文揭示了不同净化技术在实际应用中的效率和成本效益, 为地下空间氡气管理提供了科学依据。最后, 文章提出了优化氡气监测与净化系统的建议, 以提升地下设施空间的空气质量, 保障人们的健康安全。

关键词

氡气监测; 地下空间; 净化技术; 通风换气; 活性炭吸附

1 引言

氡气及其子体的长期暴露与肺癌等疾病密切相关, 尤其是在通风不良的地下环境中, 其浓度常常超出安全标准。随着地下设施空间的不断扩展, 对氡气监测与净化技术的需求日益增长。本文旨在系统探讨氡气在地下空间中的监测与净化技术, 通过分析现有技术的优缺点, 提出优化策略, 以提升地下空间的空气质量, 保障公共健康。

2 氡气的来源与传播机制

2.1 氡气的自然来源

氡气主要来源于土壤和岩石中的铀、钍等放射性元素的衰变过程。根据地质条件的不同, 氡气的释放量和浓度存在显著差异。例如, 花岗岩地区的氡气浓度通常高于石灰岩地区。此外, 地下水中的氡气溶解度也是氡气进入地下空间的重要途径之一。在封闭或半封闭的地下空间中, 氡气通过渗透、扩散等物理过程逐渐积聚, 形成潜在的健康威胁【1】。

2.2 氡气的传播途径

氡气在地下空间中的传播主要依赖于空气流动和温度差异。自然通风和机械通风系统是氡气在空间内扩散的主要驱动力。空气中的氡气通过对流和扩散作用在空间内均匀分布, 但在密闭环境中, 氡气浓度往往呈现空间不均匀性。此

【作者简介】韩明(1991-), 男, 中国山西太原人, 硕士, 研究员, 从事核空气净化研究。

外,建筑结构的裂缝、管道和通风口等也是氡气传播的重要通道。理解氡气的传播机制对于制定有效的监测与净化策略具有重要意义。

2.3 氡气对人体健康的影响

长期暴露于高浓度氡气环境中,人体吸入氡气后,其放射性子体会在肺部沉积,引发细胞损伤和基因突变,显著增加肺癌的风险。据世界卫生组织统计,氡气是仅次于吸烟的第二大肺癌致病因素。特别是在通风不良的地下空间,氡气浓度往往超过室外水平,长期暴露更具危害性。因此,氡气的有效监测与控制对公共健康具有重要意义。

3 地下空间中氡气监测技术的发展现状

3.1 被动式监测技术

被动式监测技术主要依赖于材料或设备在一定时间内对氡气的累积反应,通过后期分析测定氡气浓度。这类技术包括气体吸收剂、固体探测器等,具有成本低、操作简便的优点。然而,被动式监测的时间分辨率较低,无法实时反映氡气浓度的变化,且受环境条件影响较大,数据的准确性和可靠性有待提升【2】。

3.2 主动式监测技术

主动式监测技术通过电气设备实时采集氡气数据,具有高时间分辨率和实时性。常见的主动式监测设备包括电离室、固态探测器和光谱分析仪等。这类技术能够提供连续的氡气浓度数据,有助于及时发现异常情况并采取应对措施。然而,主动式监测设备成本较高,维护复杂,对操作人员的技术要求较高,限制了其在大规模地下空间中的广泛应用。

3.3 实时监测系统的集成应用

随着传感器技术和数据处理技术的发展,实时监测系统逐渐成为氡气监测的重要手段。通过将多个监测节点与数据采集中心相连接,实时监测系统能够全面、动态地反映地下空间内氡气浓度的分布和变化趋势。结合物联网和大数据分析技术,实时监测系统不仅提高了监测效率,还增强了数据的可视化和决策支持能力。然而,系统的构建和维护需要较高的技术投入和管理成本,如何在保证监测精度的同时降低成本,是当前亟需解决的问题【3】。

4 地下空间中氡气净化技术的应用与优化

4.1 通风换气技术的应用与优化

通风换气作为地下空间氡气净化的基础方法,通过增加空气流量来稀释并排出氡气。根据地下空间的不同规模和用途,通风系统的设计需精确考虑风量、风速及通风方式。研究表明,在大型地下车库中,采用机械通风系统可将氡气浓度有效降低至安全标准以下,具体降幅可达60%以上。例如,在某地下设施空间实施的通风优化方案中,通过调整风速和风向,氡气浓度从初始的400 Bq/m³降至160 Bq/m³,显著改善了空气质量。然而,通风系统的能耗问题不容忽视,尤其在冬季供暖期间,能耗可增加约20%。为优化通风换

气技术,需采用节能型设备并结合智能控制系统,根据实时氡气浓度动态调节通风量。此外,合理布局通风口和优化空气流动路径也是提升净化效率的重要措施。通过这些优化手段,可以在保证氡气浓度控制的同时,显著降低能耗,实现经济与环保的双重目标。例如,某地下空间通过智能控制系统调节通风量,实现了能源消耗的15%降低,同时保持了氡气浓度在安全范围内。这些实践表明,通风换气技术在氡气净化中具有不可替代的重要作用,未来的优化方向应着重于提高能源利用效率和系统智能化水平,以实现更高效的氡气控制和更低的运行成本【4】。

4.2 活性炭吸附技术的应用与优化

活性炭吸附技术利用其高比表面积和多孔结构有效吸附氡气分子,已成为地下空间氡气净化的重要手段。实验数据显示,在标准条件下,活性炭对氡气的吸附效率可超过85%。实际应用中,活性炭吸附装置常被安装于通风系统的前端,以提高整体净化效果。例如,某地下设施空间通过安装活性炭过滤器,将氡气浓度从300 Bq/m³降低至50 Bq/m³,显示出显著的净化效果。然而,活性炭的吸附容量有限,通常在吸附饱和后需进行更换或再生活性炭材料,这增加了维护成本。为优化该技术,可通过改进活性炭的制备工艺,提升其吸附能力和再生活性炭。同时,结合多种吸附剂,如添加氧化铝或硅胶,能够进一步提高净化效率。例如,通过在活性炭中掺入氧化铝颗粒,氡气的吸附效率提升至92%。此外,智能监控系统的引入,可以实时监测活性炭的吸附状态,优化更换周期,减少不必要的维护,提高系统的经济性和可持续性。例如,某地下设施空间采用智能监控系统,动态调整活性炭的更换时间,实现了维护成本的降低和净化效率的提升。通过这些优化措施,活性炭吸附技术不仅在净化效率上有所提高,还在经济性和可持续性方面得到了显著改善,进一步巩固了其在地下空间氡气净化中的重要地位。

4.3 离子交换与膜分离技术的应用与优化

离子交换与膜分离技术通过化学反应或物理屏障去除氡气,具备高选择性和高处理效率的优势。离子交换技术依赖特定材料与氡气发生反应,从而实现去除,实验室条件下其净化效率可达95%以上。例如,某地下空间应用的离子交换系统,通过使用特制的离子交换树脂,成功将氡气浓度从500 Bq/m³降至25 Bq/m³,表现出优异的净化效果。膜分离技术则利用微孔或纳米膜对氡气进行分离,具有操作简便、能耗低的特点。在实际应用中,膜分离设备通常与其他净化技术结合使用,以提高整体净化效果。例如,某地下设施空间采用膜分离技术与活性炭吸附相结合,将氡气浓度进一步降低至安全水平。然而,离子交换和膜分离技术在大规模应用中面临设备成本高和维护复杂的问题。为优化这些技术,需要开发高效、低成本的离子交换剂和膜材料,同时提升系统的自动化水平,降低运行和维护成本。此外,通过优化反应条件和膜结构设计,可以进一步提升净化效率和系统

稳定性。例如,通过调整离子交换剂的浓度和反应时间,某地下空间的氡气净化效率提高至 98%,同时降低了系统运行成本。膜材料方面,采用新型纳米膜材料,不仅提高了氡气的透过效率,还延长了膜的使用寿命,减少了更换频率。这些优化措施表明,离子交换与膜分离技术在氡气净化中具有广阔的应用前景,未来的发展应侧重于材料创新和系统集成,以实现更高效、经济的氡气控制。

5 数字化技术在氡气监测与净化中的应用

5.1 数字化监测系统的数据分析与应用

数字化监测系统通过集成传感器和数据采集设备,实现对地下空间氡气浓度的实时监控。利用大数据分析技术,可以从海量监测数据中提取有价值的信息,识别氡气浓度变化的规律和趋势。例如,通过对某地下设施空间长期监测的数据分析,发现每日高峰期氡气浓度显著上升,随后调整通风系统的运行策略,使得高峰期的氡气浓度降低了 40%。此外,数据分析还能帮助预测未来氡气浓度变化,提供科学依据以制定预防措施。数字化监测系统不仅提高了氡气管理的精确性和及时性,还通过数据可视化平台,增强了管理人员对氡气分布和变化的理解,为决策提供了可靠支持。例如,某地下设施空间通过实施数字化监测系统,实时数据显示氡气浓度的空间分布,管理人员能够迅速识别高浓度区域并采取针对性措施。同时,历史数据的积累和分析,使得系统能够预测未来可能的氡气积聚趋势,提前进行防范。此外,数据共享平台的建立,促进了不同地下空间之间的信息交流和技术共享,提升了整体氡气管理的效率和效果。通过这些措施,数字化监测系统在氡气监测与管理中发挥了关键作用,显著提升了地下空间的空气质量和公共健康保障水平【5】。

5.2 智能控制系统的优化策略

智能控制系统通过自动化技术和算法优化,实现对氡气净化设备的智能调节。基于实时监控数据,系统能够动态调整通风量和吸附设备的运行参数,以适应氡气浓度的变化需求。例如,在氡气浓度突增时,智能控制系统自动增加通风量或启动备用净化设备,使氡气浓度在短时间内恢复到安

全水平。智能控制不仅提高了净化系统的响应速度和准确性,还通过优化运行策略,显著降低了能源消耗,预计可减少整体能耗 15%。此外,系统的自学习功能能够不断优化控制算法,提升净化效率和系统稳定性,确保地下空间的空气质量持续达标。例如,某地下设施空间采用智能控制系统后,通过算法优化,氡气浓度的波动范围从原先的 $\pm 50 \text{ Bq/m}^3$ 缩小至 $\pm 10 \text{ Bq/m}^3$,空气质量更加稳定。同时,智能控制系统能够根据不同时间段和使用情况,自动调整净化设备的运行模式,实现节能与高效净化的平衡。此外,系统还具备故障自诊断和预警功能,能够在设备异常时及时发出警报并采取应急措施,确保净化系统的持续运行和空气质量的稳定保障。通过这些优化策略,智能控制系统不仅提升了氡气净化的效果,还显著提高了系统的经济性和可靠性,为地下空间的健康管理提供了有力支持。

6 结语

氡气及其子体在地下空间中的积聚对人类健康构成了严峻的挑战,亟需有效的监测与净化技术加以应对。通过对氡气来源、传播机制的深入分析,以及对现有监测与净化技术的系统评估,本文提出了优化地下空间氡气管理的多种策略。通风换气、活性炭吸附、离子交换和膜分离等技术各具优势,需根据具体应用场景选择合适的方法,并结合数字化技术实现智能化管理。未来,随着技术的不断进步,地下空间氡气监测与净化将更加高效、经济,为城市地下空间的健康发展提供坚实保障。

参考文献

- [1] 李瑞芳,周建华.地下空间氡气监测技术的发展与应用[J].环境科学与管理,2023,48(3):112-118.
- [2] 孙明辉,陈思源.活性炭吸附在氡气净化中的应用研究[J].大气环境科学,2024,35(4):201-207.
- [3] 赵建国,王海燕.地下空间通风换气系统设计与优化[J].建筑环境与能源,2023,50(2):89-95.
- [4] 郭婷婷,刘志强.数字化技术在氡气监测中的应用探讨[J].智能监测技术,2024,29(1):55-61.
- [5] 张宇航,高伟.离子交换与膜分离技术在氡气净化中的比较研究[J].化学工程,2025,40(1):134-140.

Analysis of measurement and detection technology in instrument instrument

Jun Zhang

Hanzheng Testing Technology Co., Ltd., Deyang, Sichuan, 618000, China

Abstract

With the acceleration of industrial automation and intelligence, the application scenarios of instruments are increasingly complex, and the traditional detection technology is faced with challenges such as lack of dynamic environment adaptability and difficulty of multi-parameter collaborative calibration. At the same time, international measurement standards are constantly upgraded, putting forward higher requirements for the standardization of testing process and data traceability. This paper focuses on the key links of measurement and detection technology, and discusses the breakthrough path of technical bottleneck from the perspectives of calibration method optimization, uncertainty measurement analysis, and data processing logic reconstruction. Through the integration of theoretical analysis and practical verification, it aims to provide systematic solutions for improving the long-term stability and cross-scene applicability of instruments, while promoting the transformation of testing technology from single parameter verification to full life cycle management.

Keywords

instrument and instrument; measurement and detection; technical analysis

仪表仪器中的计量检测技术分析

张军

汉正检测技术有限公司，中国 · 四川 德阳 618000

摘 要

随着工业自动化与智能化进程加速，仪表仪器的应用场景日益复杂，传统检测技术面临动态环境适应性不足、多参数协同校准难度大等挑战。与此同时，国际计量标准不断升级，对检测流程的规范性、数据的可溯源性提出更高要求。本文聚焦计量检测技术的关键环节，从校准方法优化、不确定度量化分析、数据处理逻辑重构等角度切入，探讨技术瓶颈的突破路径。通过整合理论分析与实践验证，旨在为提升仪表仪器的长期稳定性与跨场景适用性提供系统性解决方案，同时推动检测技术从单一参数验证向全生命周期管理的转型。

关键词

仪表仪器；计量检测；技术分析

1 引言

仪表仪器是用于测量、检测和监控各种物理量和工艺参数的设备。而计量检测技术则是指通过各种手段和方法对仪表仪器进行校准、评估和验证，以确保其测量结果的准确性和可靠性。当前技术体系需应对两大矛盾：一是仪器复杂度提升与检测效率之间的矛盾，二是测量场景多样化与标准化流程之间的矛盾。本文通过解构计量检测的技术框架，揭示校准溯源机制的内在关联性，剖析不确定度传递对测量结果的影响权重，进而提出兼顾效率与精度的平衡策略。文章重点在于突破传统检测模式的线性思维，建立多维参数协同优化的方法论，为智能仪表、边缘计算设备等新兴领域提供

技术适配方案。

2 仪表仪器计量检测的重要性

仪表仪器计量检测技术是维护现代工业体系高效运转的核心支撑。在各类生产与科研活动中，测量数据的准确程度直接影响工艺调整、质量评估和决策制定。计量检测通过系统性校准与验证手段，消除仪器因环境变化、元件老化或人为操作导致的偏差，使仪表输出值始终贴近真实物理量。这种技术不仅针对单次测量的即时修正，更通过周期性维护建立长期稳定的性能保障机制，从而提升仪器在复杂工况下的抗干扰能力，降低因设备失准引发的连锁风险。从合规性角度看，计量检测是衔接技术实践与行业规范的桥梁。国际通用的计量标准与地方性法规共同构成技术应用的边界条件，而检测流程的标准化实施能够有效证明设备性能符合安全准入、质量认证及环保要求。这种合规背书既为企业规避

【作者简介】张军（1974-），男，中国四川广汉人，助理工程师，从事计量检测研究。

法律纠纷提供依据,也成为产品进入全球市场的重要技术通行证。在工业生产维度,计量检测技术的价值贯穿于全生命周期管理。精密仪器作为生产线上的感知节点,其测量精度直接决定原材料配比、工艺参数控制和成品质量判定等关键环节。当检测体系持续作用于仪器状态监控时,不仅能预防批量性质量事故,更能通过数据积累优化设备维护策略,形成从被动维修到主动预防的管理升级。

3 仪器仪表计量检测技术的关键环节

3.1 校准与检定

校准是通过标准参照物或已知量值对仪器进行调整,使其输出值与真实值最大限度接近的过程,其本质是修正系统误差,优化仪器的内在精度,而非单纯验证数据是否达标;检定的重点则在于确认仪器是否符合法定标准或行业规范,其流程包含性能测试、误差评估及合规性判定,最终形成具有法律效力的技术结论。校准与检定的逻辑顺序存在明显差异,前者侧重主动优化,后者强调被动验证,二者共同构成设备全生命周期管理的基础框架。校准技术的核心在于建立可溯源的传递链,通过高精度标准器向工作计量器具逐级传递量值,形成覆盖温度、压力、电信号等多维参数的完整溯源体系。现代校准技术已突破传统人工操作模式,引入自动化补偿算法和动态误差修正模型,使仪器在复杂工况下仍能保持稳定输出。检定的实施则依赖预先设定的允差阈值,采用极限值测试、重复性验证等方法,从法规层面划定设备可用性边界。值得注意的是,检定合格不代表测量绝对准确,仅表明误差处于允许区间,这要求校准环节必须持续跟进以提升实际测量精度。两类技术的协同应用构成了完整的质量控制闭环;周期性校准维持仪器的最佳工作状态,而强制性检定设备使用提供合法性背书^[1]。

3.2 不确定度评估

仪器仪表的工作特性决定了其测量结果容易受到环境因素、设备自身性能、操作规范等多重影响,不确定度评估需针对不同仪表的原理和应用场景构建数学模型,将温度漂移、信号噪声、校准偏差等变量纳入计算框架。例如,电子式仪表的非线性误差与传感器灵敏度关联,而机械式仪表的不确定度可能更多源于部件磨损或装配精度。评估过程中需区分系统性和随机性影响分量,前者通过校准修正降低,后者则需借助统计学方法进行概率分布建模。国际通行的GUM方法为不确定度评定提供了标准化流程,通过合成标准不确定度与扩展不确定度的计算,最终形成包含置信区间的测量结果表述。加之,仪器仪表的动态响应特性会引入时变不确定度分量,这对实时检测系统的评估提出了更高要求。合理的测量不确定度表征不仅为判定仪表性能提供科学依据,更是保证检测结果国际互认的关键技术基础。

3.3 数据处理与分析

仪器仪表在运行过程中产生的原始数据往往包含噪声、

偏差或冗余信息,需要通过系统化的处理流程提取有效特征。数据预处理阶段通常涉及信号滤波与降噪技术,例如采用数字滤波器消除高频干扰或环境波动带来的影响,其本质是通过算法分离有效信号与噪声成分,从而提升数据的信噪比。对于动态测量场景,时间序列数据的同步性与稳定性尤为重要,需结合标定参数对数据进行动态补偿,修正因仪器响应延迟或非线性特性导致的误差。数据校准环节则依赖于计量标准与数学模型,通过对比基准值与实际测量值的偏差,建立误差补偿函数。这一过程不仅需要验证仪器的量程精度,还需评估其重复性与长期稳定性,例如利用最小二乘法拟合校准曲线,动态调整参数以适配不同工况。误差分析需从系统误差与随机误差两个维度展开,前者通过溯源至标准计量单位进行修正,后者则需借助统计学方法评估数据离散程度,确定置信区间与测量不确定度^[2]。

3.4 质量控制与溯源

质量控制聚焦于全流程稳定性,从设备选型、环境参数调节到操作规范制定,每个环节均需围绕误差控制展开。仪器的重复性与复现性直接关联测量可信度,需建立标准化操作框架,通过参数阈值设定、异常数据识别机制形成动态监控网络,有效抑制温度漂移、电磁干扰等变量影响。现代智能检测系统引入闭环反馈调节功能,实时对比理论值与实际值差异,自动触发校准补偿程序,这种自我修正能力显著提升了检测过程抗干扰水平。溯源体系则着力打通测量结果的国际等效通道,其本质是建立量值传递的可验证路径。采用经认证的标准物质作为参照基准,通过逐级比对将工作标准器具的量值溯源至国家基准乃至国际单位制,形成完整证据链条。数字证书与区块链技术的融合应用,使每个检测节点的数据变动均被加密记录,确保溯源信息不可篡改。而对于非实物量具类仪器,需通过参考测量方法验证其计量特性,采用不确定度评定模型量化系统误差边界。这种多层次的技术架构既维持了检测体系的纵向一致性,又实现了跨区域、跨平台的横向可比性,为行业监管与国际贸易提供了技术互认的基础支撑。

4 仪器仪表计量检测技术的应用

4.1 温度仪表检测

温度仪表种类繁多,包括热电偶、热电阻、红外测温仪等,其检测需根据不同原理采取针对性方法。接触式检测通过直接接触被测介质获取温度数据,需关注传感器材质的热传导性与耐腐蚀性;非接触式检测依赖热辐射原理,需控制环境干扰因素以提升测量精度。检测过程中,校准需依据国际标准建立完整的溯源体系,例如采用恒温槽或黑体辐射源模拟不同温度场景,通过比对标准器与待测仪表的输出偏差实现校准。实际应用中,仪表可能面临高温、震动、电磁干扰等复杂工况,检测技术需模拟真实环境验证其稳定性。例如,通过温度循环测试评估仪表的热惯性误差,利用振动

台测试机械结构对测量精度的影响。检测技术需兼顾动态响应特性,尤其在快速变温场景中,需验证仪表的响应时间与恢复能力是否符合应用需求^[3]。

4.2 压力仪表检测

压力仪表检测的核心在于校准过程的科学性与误差控制的系统性,需通过标准压力源与被测仪表的信号比对,验证量程范围内各压力点的示值偏差是否符合技术规范。检测中需重点考虑环境温度、介质特性及机械振动等因素对传感器输出的干扰,尤其针对不同原理的压力仪表(如弹性元件式、压电式或电容式),需设计差异化的标定方案以适配其物理响应特性。现代压力仪表检测逐步融合自动化校准系统与数字化补偿技术,借助高精度数字传感器与智能算法,实现实时数据采集与误差修正的动态闭环控制。这种技术路径通过建立数学模型对非线性误差进行了预判和补偿,使仪表在复杂工况下仍能维持稳定输出。检测流程的标准化与智能化转型,进一步强化了压力仪表在能源、医疗、航空航天等领域的可靠性保障能力,推动计量检测从被动验证向主动预防的技术升级。

4.3 流量仪表检测

在石油化工、城市供热、水利监测等领域,流量仪表的计量检测需兼顾介质多样性、工况复杂性和动态响应特性,这就要求检测技术建立多维度的评价体系。通过标准表法检测时,需重点分析主标准器与被检仪表的量程匹配度,消除流体黏度、温度扰动引发的系统误差;采用标准体积管法则要关注管道振动、介质含气率对检测重复性的影响,通过压力补偿算法修正脉动流造成的计量偏差。动态误差分析技术通过建立流量阶跃模型,可有效捕捉仪表在启停、变负荷等瞬态工况下的响应滞后特性,为修正算法提供参数依据。随着智能化检测系统的发展,嵌入式自诊断模块能够实时监测传感器零点漂移和机械磨损状态,结合数字孪生技术实现预测性维护,这种技术融合既维持了传统检测的严谨性,又为流量仪表的长周期稳定运行提供了创新解决方案^[4]。

4.4 其他仪表检测

电学仪表的计量检测技术聚焦于电压、电流、电阻等基础参数的校准。对于数字万用表、示波器等设备,检测系统需建立标准信号源与比对模型,通过动态补偿算法消除环境温度、电磁干扰等因素产生的误差。以电阻测量为例,四

线制检测法通过分离电流施加与电压检测路径,有效规避导线电阻对结果的干扰。高频电信号检测则依赖阻抗匹配技术和时域反射分析,确保信号完整性在传输过程中不被破坏。光学仪表的检测体系围绕光强、波长、折射率等参数展开。光谱分析仪需借助标准光源进行波长标定,同时通过光栅分光系统与光电探测器协同工作,将光信号转化为可量化电信号。针对成像类设备,调制传递函数(MTF)成为评价光学分辨率的关键指标,检测过程通过标准靶标图像采集与频域分析完成。激光干涉仪等高精度设备则利用光的波动特性,通过干涉条纹计算微小位移或表面形变,其校准需在恒温恒湿环境中完成,以排除空气湍流对光路的扰动。特殊仪表的检测需应对极端环境或复杂工况,例如高温压力仪表采用耐热合金材料与隔离膜片结构,检测时需模拟实际工况温度梯度,验证传感器热漂移补偿机制的有效性;防爆类仪表则通过本质安全电路设计限制能量释放,检测重点集中于电路绝缘强度与火花抑制能力;而对于辐射环境使用的仪表,检测系统需集成屏蔽防护与远程操控模块,同时强化传感器抗辐照性能验证。

5 结语

仪表仪器中的计量检测技术是确保测量结果准确可靠的关键。通过校准、评估和验证等方法,可以了解仪器的性能指标,并选择适合的计量检测方法和工具。因此,校准参数的动态补偿机制、不确定度来源的精细化分解以及数据模型的鲁棒性设计,是提升检测效能的三大核心要素。针对未来发展趋势,需在智能化检测设备研发、跨学科技术融合、全链条质量追溯体系构建三个方向重点突破。建议强化计量基准与现场工况的关联研究,开发具备自诊断功能的嵌入式检测模块,同时推动行业标准与技术创新协同发展。

参考文献

- [1] 潘琨,李世君,李倩倩. 仪器仪表中计量检测技术分析 [J]. 中国标准化, 2024, (11): 245-248.
- [2] 蒋卓. 浅谈电子仪器仪表计量管理标准及计量检测分析 [J]. 中国标准化, 2024, (01): 198-201.
- [3] 胡凤岩. 基于仪器仪表计量检测重要性的管理措施 [J]. 大众标准化, 2023, (20): 186-188.
- [4] 王凤云. 自动化仪表中的计量检测技术分析 [J]. 集成电路应用, 2023, 40 (09): 57-59.