



科技创新与工程

Technological Innovation and Engineering

Volume 1 · Issue 5 · October 2024 · ISSN 3060-8996(Print) 3060-8988(Online)

科技创新与工程

Technological Innovation and Engineering

Volume 1 Issue 5 October 2024 ISSN 3060-8996(Print) 3060-8988(Online)



Nanyang Academy of Sciences Pte. Ltd.
Tel.:+65 62233839
E-mail:contact@nassg.org
Add.:12 Eu Tong Sen Street #07-169 Singapore 059819



中文刊名：科技创新与工程

ISSN：3060-8996（纸质）3060-8988（网络）

出版语言：华文

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

出版社名称：新加坡南洋科学院

Serial Title: Technological Innovation and Engineering

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

Language: Chinese

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

Publisher: Nan Yang Academy of Sciences Pte. Ltd.

《科技创新与工程》征稿函

期刊概况：

中文刊名：科技创新与工程

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

出版语言：华文刊

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

出版社名称：新加坡南洋科学院

出版格式要求：

- 稿件格式：Microsoft Word

· 稿件长度：字符数（计空格）4500以上；图表核算200字符

· 测量单位：国际单位

· 论文出版格式：Adobe PDF

· 参考文献：温哥华体例

出刊及存档：

- 电子版出刊（公司期刊网页上）

· 纸质版出刊

· 出版社进行期刊存档

· 新加坡图书馆存档

· 谷歌学术（Google Scholar）等数据库收录

· 文章能够在数据库进行网上检索

作者权益：

- 期刊为 OA 期刊，但作者拥有文章的版权；

· 所发表文章能够被分享、再次使用并免费归档；

· 以开放获取为指导方针，期刊将成为极具影响力的国际期刊；

· 为作者提供即时审稿服务，即在确保文字质量最优的前提下，在最短时间内完成审稿流程。

评审过程：

编辑部和主编根据期刊的收录范围，组织编委团队中同领域的专家评审员对文章进行评审，并选取专业的高质量稿件进行编辑、校对、排版、刊登，提供高效、快捷、专业的出版平台。

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



科技创新与工程

Technological Innovation and Engineering

Volume 1 Issue 5 October 2024
ISSN 3060-8996 (Print) 3060-8988 (Online)

主 编

康继军

Jijun Kang

编 委

刘 敏 Min Liu

龚勤林 Qinlin Gong

陈 升 Sheng Chen

包 艳 Yan Bao

1	纳米银材料的制备及其在导电墨水中的应用研究 / 孙立恒	38	民机试飞安全管理体系中的风险管理的探讨 / 张浩
4	铁路信号设备故障诊断中常见问题分析 / 亢建军	41	直升机的元器件可靠性与使用经济性 / 翟魁
7	以科技创新引领现代化产业体系建设 / 乔旭 苏琴 杨璐 李强	44	发动机缸盖阀系制造精度与性能优化的关联研究 / 唐第进
10	机动通信在中国通信网络中的作用及应急组网方案探讨 / 万甲伟 王祺 武毅	47	一种光伏智能导盲头盔的设计 / 赵垚光 崔宇杰 王浩然 邱晨 蒋昱 纪燕男
13	基于熵权法的道岔评价模型构建与研究 / 任亚琼	50	智能化技术在卫浴产品设计中的应用探讨 / 苏国彬
17	基于有限元的电动汽车盘式制动器设计与优化 / 张凤贤 马芸慧 白雪艳 刘焕伟	53	人工智能技术在公共图书馆服务中的运用探析 / 李培园
20	绿色低碳开发海洋油气资源的路径探索 / 王智	56	机械阀门密封技术的创新与可靠性分析 / 陶小卫
23	基于水利工程中断面信息自动提取软件开发与应用 / 马新勇	59	超高效液相色谱—串联质谱法快速测定减肥软糖中非法添加双醋酚丁及双丙酚丁的研究 / 王飞
26	适用于熊猫型保偏光纤外涂覆层绕环胶的制备与性能研究 / 熊水城 丁燕鸿 熊旭	62	高质量浓香型白酒复合香关键技术创新及应用 / 王永岗
29	人工智能时代工业机器人的发展趋势探索 / 黄庆光	65	基于电磁超声的金属结构焊缝无损探伤检测方法优化 / 宋燕山
32	地面数字电视发射机技术与测量方法 / 巴德拉图	68	半导体洁净室组合式新风机组控制方案 / 王妮
35	某市无线政务专网架构与实践 / 唐小晶	71	一种耐温 900℃的聚合物衍生陶瓷 SiCN 薄膜温度传感器 / 崔在甫 张亦晗 陈烁 陈辉 谢晴

1	Preparation of silver nano material and its application in conductive ink / Liheng Sun	38	Discussion on the risk management in the safety management system of civil aircraft test flight / Hao Zhang
4	Analysis of common problems in the fault diagnosis of railway signal equipment / Jianjun Kang	41	Reliability and economy of helicopter components / Kui Zhai
7	We will lead the development of a modern industrial system through scientific and technological innovation / Xu Qiao Qin Su Lu Yang Qiang Li	44	Research on the correlation between the manufacturing accuracy and performance optimization of engine cylinder head valve system / Dijin Tang
10	The role of mobile communication in China's communication network and the discussion of emergency networking scheme / Jiawei Wan Qi Wang Yi Wu	47	Design of a photovoltaic intelligent guide helmet / Yaoguang Zhao Yujie Cui Haoran Wang Chen Qiu Yu Jiang Yannan Ji
13	Construction and Research of Turnout Evaluation Model Based on Entropy Weight Method / Yaqiong Ren	50	The application of intelligent technology in the design of sanitary ware products / Guobin Su
17	Design and Optimization of Electric Vehicle Disc Brake Based on Finite Element Method / Fengxian Zhang Yunhui Ma Xueyan Bai Huanwei Liu	53	Analysis on the application of artificial Intelligence technology in public Library Service / Peiyuan Li
20	Exploration of the path of green and low-carbon development of offshore oil and gas resources / Zhi Wang	56	Innovation and reliability analysis of mechanical valve sealing technology / Xiaowei Tao
23	Development and Application of Automatic Extraction Software for Section Information in Water Conservancy Engineering / Xinyong Ma	59	Ultra-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry The on of addition of diacetphenol and bis-propofol / Fei Wang
26	It is suitable for the preparation and performance of outer coating of panda fiber / Shuicheng Xiong Yanhong Ding Xu Xiong	62	Innovation and application of key technology of high quality Luzhou-flavor liquor / Yonggang Wang
29	Exploration of the development trend of industrial robots in the era of artificial intelligence / Qingguang Huang	65	Optimization of non-destructive testing method for welds of metal structures based on electromagnetic ultrasound / Yanshan Song
32	Digital terrestrial television transmitter technology and measurement methods / Badelatu	68	Semiconductor clean room combined fresh air unit control scheme / Ni Wang
35	Architecture and practice of wireless government private network in a city / Xiaojing Tang	71	A polymer-derived ceramic SiCN thin-film temperature sensor with a temperature resistance of 900°C / Zaifu Cui Yihan Zhang Shuo Chen Hui Chen Qing Xie

Preparation of silver nano material and its application in conductive ink

Liheng Sun

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

Abstract

Due to its excellent electrical conductivity and stability, nano-silver materials show great application potential in the field of conductive ink. In recent years, various preparation technologies such as chemical reduction method, physical method and biosynthesis method have made continuous progress, which has laid a solid foundation for the wide application of nano-silver materials. This paper discusses the preparation process of nano silver conductive ink in detail, analyzes the influence of solvent selection, nano silver particle stabilization and dispersion on the ink performance, and summarizes its application examples in flexible circuit boards, flexible touch screen, flexible solar cells and wearable devices. The results not only provide a reference for the development of nano-silver materials, but also inject new impetus into the future development of flexible electronic technology.

Keywords

nano silver material; conductive ink; applied research

纳米银材料的制备及其在导电墨水中的应用研究

孙立恒

深圳市中炫天科技有限公司, 中国·广东 深圳 518000

摘要

纳米银材料因其优异的导电性和稳定性, 在导电墨水领域展现出巨大的应用潜力。近年来, 化学还原法、物理方法和生物合成法等多种制备技术不断进步, 为纳米银材料的广泛应用奠定了坚实基础。本文详细探讨了纳米银导电墨水的制备工艺, 分析了溶剂选择、纳米银颗粒稳定化及分散对墨水性能的影响, 并总结了其在柔性电路板、柔性触摸屏、柔性太阳能电池和可穿戴设备中的应用实例。研究结果不仅为纳米银材料的开发提供了参考, 还为柔性电子技术的未来发展注入了新的动力。

关键词

纳米银材料; 导电墨水; 应用研究

1 引言

纳米银材料因其独特的物理化学性质, 如高导电性、高热导性和良好的抗菌性能, 在多个领域展现出广泛的应用前景。特别是在导电墨水领域, 纳米银材料的应用已经从实验室研究逐步走向工业化生产, 为柔性电子、智能穿戴设备和高效能源转换系统的发展提供了有力支持。随着科技的进步和市场需求的不断增长, 对纳米银导电墨水的研究越发深入, 其在柔性电子领域的应用也日趋成熟。纳米银导电墨水的制备和性能优化, 不仅是科研人员关注的热点, 更是推动相关产业技术革新的关键。

2 纳米银材料的制备方法

2.1 化学还原法

化学还原法是制备纳米银材料的一种经典而高效的方法, 其基本原理是利用还原剂将银离子还原成银纳米颗粒。这种方法操作简便、成本相对较低, 能够大规模生产, 因此在工业界和科研领域都受到广泛应用。常见的还原剂有硼氢化钠、柠檬酸钠和抗坏血酸等, 这些还原剂不仅能促进银离子的还原, 还能在一定程度上控制纳米银颗粒的形貌和尺寸。然而, 化学还原法的过程中也存在一些挑战, 如纳米银颗粒的团聚问题, 这会严重影响其导电性能。为了解决这一问题, 研究者们引入了各种表面活性剂和稳定剂, 如聚乙烯吡咯烷酮和十二烷基硫酸钠, 通过这些添加剂可以有效防止纳米银颗粒的团聚, 提高其分散性和稳定性。此外, 反应条件的选择也至关重要, 温度、pH值和反应时间等因素都会对最终产品的质量和性能产生显著影响。化学还原法制备的纳米银颗粒在导电墨水中表现出优越的导电性能和印刷适

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

应性，为柔性电子器件的开发提供了坚实的基础^[1-3]。

2.2 物理方法

物理方法在纳米银材料的制备中同样占据重要地位，尤其是激光烧蚀法和电化学沉积法等技术，它们能够在不使用化学试剂的情况下制备出高质量的纳米银颗粒。激光烧蚀法利用高能激光束在银靶材上产生强烈的局部热效应，使银原子从靶材表面蒸发并迅速冷凝成纳米颗粒。这种方法制备的纳米银颗粒纯度高、形貌可控，但设备成本较高，限制了其大规模应用。电化学沉积法则是通过在电解液中施加电场，使银离子在阴极上还原成纳米银颗粒，这种方式不仅操作简单，而且能够精确控制颗粒的尺寸和分布。物理方法的一个显著优势是环保，因为不涉及有害化学试剂的使用，这对现代社会追求绿色可持续发展具有重要意义。然而，物理方法也存在一些挑战，如工艺条件的精确控制和生产效率的提升，这些问题需要进一步的科研攻关。

2.3 生物合成法

生物合成法在纳米银材料的制备中显得尤为独特和引人关注，这种方法利用微生物或植物提取物中的还原剂和稳定剂，将银离子还原成纳米银颗粒。生物合成法不仅操作简便，更重要的是它具有极高的环保性和生物安全性，这在追求绿色可持续发展的现代社会显得尤为宝贵。微生物如细菌和酵母菌能够在温和的条件下实现银离子的还原，而且通过调整培养条件和反应时间，可以有效控制纳米银颗粒的尺寸和形貌。植物提取物，例如茶多酚、多糖和蛋白质，也能发挥类似的还原和稳定作用，而且植物来源广泛，成本较低，适合大规模生产。生物合成法的一大挑战是反应速度相对较慢，这需要科研人员进一步优化反应条件和提高生产效率。尽管如此，生物合成法的优良特性使其在制备纳米银导电墨水方面具有巨大潜力，尤其是在医疗和生物传感器等对生物相容性要求较高的应用领域^[4-6]。

3 纳米银导电墨水的制备与性能

3.1 溶剂选择及其影响

溶剂选择在纳米银导电墨水的制备中起着至关重要的作用，不同的溶剂不仅会影响纳米银颗粒的分散性和稳定性，还会对最终墨水的流变特性和导电性能产生显著影响。水作为最常用的溶剂，具有成本低廉、环保易得的优点，但水的表面张力较高，容易导致纳米银颗粒在基材上的附着力不足，影响导电膜的均匀性和质量。因此，许多研究者倾向于使用有机溶剂，如乙醇和异丙醇，这些溶剂不仅能够降低表面张力，提高墨水的润湿性，还能有效防止纳米银颗粒的团聚，提升墨水的导电性和印刷适性。然而，有机溶剂的选择也不可一概而论，不同的有机溶剂对纳米银颗粒的稳定性和分散性有着不同的影响，例如，乙醇在提供良好分散性的同时，挥发速度较快，可能会影响墨水的印刷效果；而异丙醇则能在一定程度上平衡挥发速度和润湿性。此外，溶剂的

选择还需要考虑其与基材的相容性，确保在印刷过程中不会对基材造成损害。

3.2 纳米银颗粒的稳定化与分散

纳米银颗粒的稳定化与分散是制备高性能导电墨水的关键步骤之一，因为纳米银颗粒的团聚不仅会影响墨水的流变性能和印刷适性，还会大幅降低最终导电膜的导电性能。为了实现纳米银颗粒的有效稳定和均匀分散，研究者们通常采用表面活性剂、聚合物和小分子稳定剂等方法。表面活性剂如聚乙烯吡咯烷酮（PVP）能够在纳米银颗粒表面形成保护层，有效防止颗粒间的相互吸引和团聚现象，从而提高墨水的稳定性。聚合物稳定剂如聚乙二醇（PEG）不仅能够提供良好的分散性，还能改善墨水的黏度和流动性，使其更适应印刷工艺。小分子稳定剂如柠檬酸钠和氯化钠也能在一定程度上防止纳米银颗粒的团聚，但它们的效果相对较弱，通常与其他稳定剂结合使用以达到最佳效果。值得一提的是，不同的稳定剂对纳米银颗粒的表面修饰和墨水的最终性能有着不同的影响，选择合适的稳定剂需要根据具体的应用需求和实验条件进行细致的优化。

3.3 导电性能的测试与评估

导电性能的测试与评估是纳米银导电墨水研究中不可或缺的一环，它直接关系到墨水在实际应用中的可靠性和性能。在测试过程中，常用的手段包括四点探针法、电阻测量和电导率测定，这些方法能够准确地测量导电膜的电阻值和电导率，从而评估墨水的导电性能。四点探针法尤其适用于大面积导电膜的测试，它能够有效消除接触电阻的影响，提供更准确的测量结果。电阻测量则是一种简单直观的方法，可以快速了解导电膜的基本导电性质。电导率测定则更为全面，不仅能够反映导电膜的导电能力，还能揭示颗粒间的接触电阻和导电路径的情况。值得一提的是，测试条件的选择也非常重要，温度、湿度和测试电压等因素都会对测量结果产生影响，因此在实验设计时需要严格控制这些条件，以确保测试结果的准确性和可重复性。

4 纳米银导电墨水的应用实例

4.1 柔性电路板

纳米银导电墨水在柔性电路板中的应用展示了其巨大的潜力和优势，这种墨水能够赋予柔性电路板出色的导电性能和机械柔韧性。柔性电路板在可穿戴设备、柔性显示器和智能包装等领域中有着广泛的应用，而纳米银导电墨水则是实现这些应用的重要材料之一。与传统的刚性电路板相比，柔性电路板更加轻薄、可弯曲，能够适应复杂的形状和环境变化。纳米银颗粒的高导电性和良好分散性使得导电墨水在印刷过程中能够形成均匀且致密的导电膜，大大提高电路的稳定性和可靠性。在实际制备过程中，选择合适的印刷方法和技术参数也是关键，如喷墨印刷、丝网印刷和凹版印刷等，每种方法都有其独特的优势和适用范围。尽管纳米银导电墨水

水在柔性电路板中的应用已经取得了显著进展,但仍然面临一些挑战,比如长期稳定性和成本控制。

4.2 柔性触摸屏

纳米银导电墨水在柔性触摸屏中的应用堪称这一领域的明星,其出色的导电性和透明性使得柔性触摸屏不仅具备传统触摸屏的功能,还能在各种复杂环境中表现出色。柔性触摸屏在智能穿戴设备、便携式电子设备和未来 flexible 显示器的应用中具有巨大的市场需求。纳米银导电墨水能够形成均匀且透明的导电膜,这不仅保证了触摸屏的高灵敏度和响应速度,还赋予了屏幕良好的柔韧性和耐用性。与传统的 ITO (氧化铟锡) 材料相比,纳米银导电膜的导电性能更优,且在弯曲和拉伸时不易产生裂纹,这对于需要频繁弯曲的设备来说是一个巨大的优势。此外,制备纳米银导电膜的过程相对简单,可以采用多种印刷技术,如喷墨印刷和丝网印刷,这为大规模生产和成本控制带来了便利。尽管目前纳米银导电墨水在柔性触摸屏中的应用还存在一些技术瓶颈,如导电膜的长期稳定性和环境耐受性,但科研人员仍在不断探索和优化,期待在不久的将来,纳米银导电墨水能够为柔性触摸屏技术带来革命性的进展,推动这一领域更加广泛和深入的发展。

4.3 柔性太阳能电池

纳米银导电墨水在柔性太阳能电池中的应用展现了极高的科研价值和实用前景,这种墨水能够显著提高太阳能电池的电导率和机械柔韧性,使得柔性太阳能电池在实际使用中更加可靠和高效。柔性太阳能电池因其轻薄、可弯曲的特点,非常适合应用于便携式电子设备、建筑物一体化和军事领域等,而纳米银导电墨水则为这些应用提供了强有力的技术支持。纳米银颗粒具有优异的导电性能,能够在太阳能电池的电极层中形成均匀且致密的导电网络,从而提高电池的光电转换效率。与传统的金属电极相比,纳米银导电墨水的制备工艺更加简单灵活,可以采用喷墨印刷、丝网印刷等多种方法,这不仅降低了生产成本,还提高了生产效率。尽管在柔性太阳能电池的实际应用中,纳米银导电墨水还需克服

一些问题,比如在高温和湿热环境下的稳定性,但科研人员的努力已经取得了显著进展。相信随着技术的不断成熟,纳米银导电墨水将在柔性太阳能电池领域发挥更大的作用,为能源技术的革新带来更多可能^[7-8]。

5 结语

纳米银材料在导电墨水中的应用实现了柔性电子技术的突破,展示了其在高性能、轻量化和多功能化方面的巨大潜力。尽管目前还面临一些技术和经济上的挑战,但随着制备工艺的不断优化和应用领域的不断拓展,纳米银导电墨水的未来前景无疑是光明的。希望本文的研究能为相关领域的工作者提供有价值的参考,共同推动纳米银导电墨水技术的发展,为人类的科技进步贡献一份力量。

参考文献

- [1] 丁泽宇,罗书轩,何瑞博,等. 纳米银导电墨水的制备及其在高精度柔性电路打印中的应用 [J]. 稀有金属材料与工程, 2023, 52 (10): 3530-3538.
- [2] 许铭淇. 纳米银复合材料的制备及其使用点饮用水消毒性能研究[D]. 广州大学, 2023. DOI:10.27040/d.cnki.ggzdu.2023.001304.
- [3] 董鑫,周银朋,江亚红,等. 纳米银的制备及其在包装领域的应用研究 [J]. 河南化工, 2022, 39 (11): 14-18. DOI:10.14173/j.cnki.hnhg.2022.11.003.
- [4] 高超超. 纳米银/石墨烯复合材料的制备及其导电墨水应用研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2022. DOI:10.27061/d.cnki.ghgdu.2022.006077.
- [5] 丁泽宇. 纳米银导电墨水的制备及其在高精度柔性电路打印中的应用研究[D]. 西北大学, 2022. DOI:10.27405/d.cnki.gxbdu.2022.000307.
- [6] 刘玲. 纳米银的制备及其在电化学传感器中的应用[D]. 太原理工大学, 2020. DOI:10.27352/d.cnki.gylgu.2020.001278.
- [7] 严林娟. 纳米银材料的制备及其在导电墨水中的应用研究[D]. 华南理工大学, 2020. DOI:10.27151/d.cnki.ghnlu.2020.004140.
- [8] 蔡亚果. 纳米银材料的制备及其在柔性印刷电子中的应用[D]. 华东师范大学, 2019. DOI:10.27149/d.cnki.ghdsu.2019.000023.

Analysis of common problems in the fault diagnosis of railway signal equipment

Jianjun Kang

National Energy Group Shuohuang Railway Development Co., Ltd., Yuanping Branch, Xinzhou, Shanxi, 034100, China

Abstract

Railway signaling equipment can promote the safe and efficient operation of railway transportation, and the expansion of railway network makes the types and complexity of signaling equipment increase. These equipment in the high frequency, long time operation process will inevitably appear a variety of faults. Once the fault occurs, it will directly affect the normal operation of the train, and even cause safety accidents. Therefore, timely and accurate signal equipment fault diagnosis is an important task in railway operation and management. In the actual diagnosis process, the equipment system is complex, fault types, many problems will appear. Analysis of these common problems can help to improve the efficiency of fault diagnosis and provide a scientific basis for the subsequent maintenance of the equipment. This paper mainly studies the practical significance of strengthening the fault diagnosis of the railway signal equipment, and then analyzes the common problems in the railway signal equipment fault diagnosis, and finally discusses the countermeasures.

Keywords

railway signal equipment; fault diagnosis; common problems

铁路信号设备故障诊断中常见问题分析

亢建军

国能集团朔黄铁路发展有限公司原平分公司, 中国·山西 忻州 034100

摘要

铁路信号设备可以促进铁路运输安全与高效运行, 铁路网络的扩展让信号设备的种类和复杂性也在增加。这些设备在高频次、长时间的运行过程中难免会出现各种故障。故障一旦发生, 就会直接影响列车的正常运行, 甚至引发安全事故。因此及时、准确地进行信号设备故障诊断是铁路运营管理中的重要任务。在实际诊断过程中, 设备系统复杂、故障类型多样, 会出现很多问题。对这些常见问题进行分析, 可以帮助提升故障诊断的效率, 为设备的后续维护提供科学依据。本文主要研究了加强铁路信号设备故障诊断的现实意义, 然后分析了铁路信号设备故障诊断中的常见问题, 最后探讨了对策。

关键词

铁路信号设备; 故障诊断; 常见问题

1 引言

铁路网络的扩展与设备的逐步老化, 信号设备故障频发成为影响铁路运行安全的关键因素, 铁路信号设备故障诊断作为维护管理的一部分, 要求具备精确的故障检测技术, 还要对设备的运行原理和故障模式有了解。现阶段, 虽然铁路信号设备的技术水平已有了提升, 但环境因素、设备老化以及人为操作因素的干扰, 依旧存在多种故障问题需要诊断和及时处理。因此, 只有对铁路信号设备故障诊断中常见问题的分析才能发现潜在隐患。

2 加强铁路信号设备故障诊断的现实意义

2.1 保障铁路运输安全

信号系统的主要功能是让列车按照规定的路线、速度和时刻运行并提供实时的安全警示, 防止列车间发生碰撞。若信号设备出现故障, 容易出现列车信号失效、误操作或信号延误, 进而造成列车的碰撞、追尾等严重事故, 甚至危及乘客生命安全。因此加强铁路信号设备的故障诊断, 对于及时发现潜在故障和故障隐患、避免由于设备失灵而引发的事件具有很现实的意义。当信号设备发生故障时, 特别是当铁路运营调度中心无法及时获得正确的信号信息, 从而让调度失误或交通流动混乱, 就会增加了操作的风险, 还容易出现大规模的运输事故。加强对信号设备的故障诊断, 就能在故障发生初期便作出响应, 进行快速修复, 让信号系统恢复正常运行^[1]。

【作者简介】亢建军(1983-), 男, 中国山西忻州人, 本科, 助理工程师, 从事铁路信号研究。

2.2 提高铁路运输效率

铁路运输的高效运行依赖于精确的信号指示,尤其是在现代高速铁路和城市轨道交通中,任何一个信号故障都会造成线路的拥堵和大规模的时间浪费。加强铁路信号设备故障诊断,可以通过早期识别和准确定位故障源减少不必要的停运时间,提高列车的运行效率。同时结合实时监测和故障预警,铁路运营方可以采取预防性措施来减少设备发生故障的频率,从而最大限度地提升铁路运输系统的运行效率。

2.3 降低运营成本

加强故障诊断系统可以减少设备故障的发生,在故障初期就采取针对性措施,避免问题恶化,降低后期的维修成本。而且故障诊断技术的完善也可以提高设备的使用寿命,防止出现频繁更换设备或大规模修复的问题,这对于大规模铁路网的维护管理尤其重要,可以在保证铁路安全运行的前提下最大限度地降低整体运营成本。

3 铁路信号设备故障诊断中常见问题

3.1 道岔故障问题分析

在铁路运输系统中,任何道岔故障都容易导致列车偏离轨道或发生事故,因此道岔故障被视为铁路安全中的重要隐患。道岔的故障类型多种多样,主要表现为道岔转换失败、道岔位置不正确、道岔故障报警问题。造成道岔故障的原因繁多,其中机械性故障是导致道岔问题的一个常见原因,道岔的结构包括转辙机、杆件、道岔尖轨、基本轨、道岔夹板,这些部件在长期的使用过程中容易因磨损、松动或变形而影响道岔的正常转换,道岔的尖轨或基本轨出现卡滞或损坏会让道岔无法正常转换,列车无法顺利通过,从而引发行车事故。道岔密贴不良或者损坏也会影响道岔的表示,让道岔失去表示或表示错误,造成信号错误或运输事故。同时,道岔的操作是通过电气信号控制的,其中的部件在长期使用中会因为电力系统的电压波动、电线接触不良、接点组接头氧化的问题,让道岔的电气控制失效,当道岔的控制信号无法传递或者传递错误时,会让道岔失表或位置错误,造成列车的行驶偏离预定轨道。道岔故障的频繁发生不仅影响列车的正常运行,也对铁路信号系统的稳定性带来很大挑战^[2]。

3.2 轨道电路故障问题分析

在轨道电路中,列车通过安装在车头的机车信号双路接收线圈感应轨道电路形成的电流回路,来接受信号码型,并通过轮对的分路,来反映列车的运行。当轨道电路出现故障或机车接受线圈感应不良时,会出现机车无法正常接收到码型或轨道红光带故障。轨道电路故障一般是因为设备故障、继电器接触不良、电缆断短路、开路、混线、绝缘接头阻值不良、接续线、引接线搭接不良、道床漏泄等原因导致的,从而影响信号的传递,最终就会让列车的定位和信号灯的显示受到不良影响。其中站内胶结绝缘阻值不良、轨头掉块封连是引起轨道红光带的常见原因。而区间轨道电路补偿

电容故障是导致区间电压波动、下降的主要原因。特别是冬天,上行正线弯道的电容因受到轮对的纵向冲击力大,同时天气变冷后电容塞钉头机械弹性减弱,再加上三万吨列车长期碾压电容塞钉头疲劳度增加,多重原因的叠加就导致补偿电容塞钉头极易损伤。因此对正线弯道上的电容要按周期进行更换,减少非天窗上道频次。

3.3 信号机故障问题分析

信号机由主副灯泡、反光镜、透镜、调节装置、点灯变压器等设备组成。设备故障、电缆断线、混线及透镜脏污、机构位置不方正均会导致信号机故障及信号显示不良,其中灯泡断丝是发生频次最多的设备障碍,尤其是在极端天气条件下,信号机的灯泡因潮湿、气温变化极易导致灯泡断丝灭灯,因此按检修周期更换灯泡能极大避免非天窗处理灯泡断丝问题,也是对员工人身安全的保障。同时信号机的反光镜和透镜要是脏污或受损也会影响信号的可视性,让列车司机无法清楚地看到信号指示,进而引发交通事故。

4 铁路信号设备故障诊断方法

4.1 应用专家诊断法

专家诊断法主要是利用专家诊断系统通过对微机监测的数据进行分析、判断来完成诊断的一个过程。首先专家诊断的核心是准确性,因此要先建立一个故障诊断的数据库,数据库是专家诊断的核心,这个数据库由多个部分组成。要构建这个数据库,首先要广泛收集铁路信号设备的历史故障数据、维修记录和操作日志,这些数据为专家提供诊断的背景信息。在实际应用中,铁路信号设备涉及的系统和设备种类繁多,每一种设备都有其独特的工作机制和出现的故障模式。因此专家诊断系统要涵盖多方面的知识,结合电气工程、机械工程、信号通信等学科的专业知识来为后续诊断提供全面的支持。在故障诊断过程中,专家诊断系统的第一步是对故障症状进行识别,这一阶段的关键是对铁路信号设备的实时监测数据和报警信息进行收集整理,精准判断设备出现的异常情况,铁路信号设备的故障表现为信号灯不亮、道岔无法正常转换、轨道电路红光带的形式,这些故障表现的症状较为复杂,借助现代化的监控设备与信息传输系统,就能让故障诊断系统快速收集到设备的运行数据,专家诊断系统要对这些数据进行初步筛选,辨识出是否存在故障现象,且根据故障的不同表现归类到的故障类型中。当信号机故障时会出现信号灯闪烁或不亮的情况,此时诊断系统会检查信号机的电气系统是否通电、是否存在电压不稳定的问题,进而判断是否为电气故障,要是道岔出现问题,表现为道岔无法准确转换,此时要分析道岔的电流、电压、继电器的状态,以便判断是机械故障还是电气故障,因此在故障症状识别阶段,专家诊断法需要做好筛选分类,帮助确定故障发生的大致范围,并为后续的诊断提供线索。在症状识别后,专家系统会利用预设的规则与专家经验进行逻辑推理,缩小故障原

因的范围,并最终定位到具体的故障原因,这个阶段需要使用专家系统的推理算法,专家系统根据历史数据建立一定的模式识别算法,以此来预测故障趋势,比如在轨道电路的故障诊断中,专家系统会基于对过往电路故障模式的学习分析当前轨道电路的工作状态,预测出现的接触不良、短路或断电问题^[1]。

4.2 人工经验诊断法

在进行故障症状的初步识别和分析工作时,要注意对设备故障症状的观察和初步排查,借助诊断人员丰富的操作经验快速判断故障的性质和根源,铁路信号设备种类繁多,任何一个环节的故障都引发整个系统的故障,因此技术人员要通过对设备的外观、声音、运行状态方面的细节做好分析,形成一个初步的故障诊断判断,人工经验诊断法依赖于诊断人员对铁路信号设备的了解以及对设备常见故障症状和表现的记忆。信号机故障时,技术人员会检查信号灯是否熄火或闪烁,并通过这种明显的症状与经验中积累的常见故障模式进行对照,道岔的故障表现在无法正常切换,技术人员会结合观察道岔的转换位置、表示缺口、电机、电路和继电器状态来判断是机械故障还是电气故障,是道岔无法解锁还是中途卡阻或无法锁闭,是表示卡口还是电路故障。在这一过程中,诊断人员能够快速识别出哪些故障症状是常见的、哪类设备故障模式通常会导致类似的表现。在初步诊断阶段,技术人员结合对症状和设备表现进行初步判断,然后进入故障原因推测,人工经验诊断法中的这一步骤强调根据诊断人员的实际经验推测的故障原因,并利用多次验证逐步缩小故障的范围,与其他自动化诊断方法不同,人工经验诊断法强调技术人员的判断和直觉,每一位技术人员在长期的工作中都会积累大量的经验并形成特定的“故障模式库”,即他们通过多次接触相似故障记住哪些症状和故障模式经常发生在一起,比如某次故障表现为信号机灯光暗淡,技术人员通过经验推测这是电源电压不足或信号线路老化所导致,要是设备曾经出现过类似的情况,技术人员会更倾向于认为这次故障也是由类似原因引起的,此时技术人员会通过更进一步的检查来验证自己的推测,只要验证结果与推测一致,技术人员就能快速锁定故障原因。

4.3 模糊逻辑诊断分析法

铁路信号设备由多个独立而又相互关联的系统组成,

每个系统都出现不同类型的故障,且这些故障的表现往往不是单一的,而是模糊的、不确定的。应用模糊逻辑诊断分析法时先要做好故障症状的模糊化,铁路信号设备的故障表现是模糊的,不同的故障类型呈现出类似的症状,而同一类型的故障在不同的工作环境和条件下也有不同的表现,这种模糊性会让二值逻辑诊断方法无法快速解决问题。在模糊逻辑诊断分析法中,技术人员将设备的故障症状转化为模糊值来建立模糊集合,这就可以为后续的分析提供基础。具体来说,铁路信号设备的故障症状都可以通过模糊化处理转化为模糊集合中的元素,例如信号灯的亮度呈现出不同的程度,可以根据实际情况将亮度分为“正常”“略微偏低”“明显偏低”不同的模糊等级。在轨道电路中,电流的强度存在波动,也能根据电流强度的变化将其划分为“高”“中”“低”模糊等级。结合将这些症状进行模糊化处理,让系统将各种模糊的症状转化为可以处理的数据,进入后续的推理分析阶段。模糊化的核心是确定适当的模糊集和隶属函数,隶属函数用于衡量每个症状在某个模糊集合中的隶属度,即该症状在某一模糊类别中的归属程度,以信号灯的亮度为例,隶属函数可以定义为从“完全正常”到“完全暗淡”的连续区间,做好对这些隶属函数的划定,就能将信号灯的亮度精确地映射到一个模糊值,结合模糊化处理,让铁路信号设备的各种症状和状态可以被量化成模糊值。

5 结语

综上所述,尽管现代铁路信号设备技术进步,但设备复杂性和故障类型的多样性,故障诊断仍存在很多问题需要解决,注意对常见问题的分析,帮助技术人员识别和定位故障原因,进而提高故障处理的速度,同时智能化和自动化技术的不断发展,未来铁路信号设备的故障诊断方法将更加高效。注意完善故障诊断体系,推动技术创新和优化管理,铁路系统的安全性、稳定性和运营效率将得到进一步提升。

参考文献

- [1] 张宇航.铁路信号设备故障诊断方法研究[J].长江信息通信,2023,36(02):86-87+90.
- [2] 张丽娜.铁路信号设备故障诊断方法研究[J].设备管理与维修,2022,(18):104-105.
- [3] 王天鸣,王剑生,景渊.信号设备智能故障诊断和健康管理系统的[J].运输经理世界,2022,(24):75-77.

We will lead the development of a modern industrial system through scientific and technological innovation

Xu Qiao Qin Su Lu Yang Qiang Li

Inner Mongolia Autonomous Region Science and Technology Strategy Research Center, Hohhot, Inner Mongolia, 010010, China

Abstract

At present, scientific and technological innovation has become the core driving force of modern economic and social development. This paper discusses how to lead the construction of a modern industrial system with scientific and technological innovation from the four aspects of consolidating the foundation of scientific and technological innovation, deepening the digital transformation, cultivating strategic emerging industries, and promoting the low-carbon transformation of industries. The research shows that in order to achieve the high-quality development of the modern industrial system, we must comprehensively deepen the reform of the science and technology system, improve the systems and mechanisms for science and technology innovation, improve the supporting policy support system, and fully stimulate the vitality of various innovation subjects. Only by building a collaborative innovation pattern with the deep integration of government, industry, education and research, and continuously strengthening the leading and supporting role of scientific and technological innovation, can China's industries jump to the middle and high end of the value chain and accelerate the building of a modern industrial system.

Keywords

scientific and technological innovation; modernization; industrial system; digital transformation; low-carbon transformation

以科技创新引领现代化产业体系建设

乔旭 苏琴 杨璐 李强

内蒙古自治区科学技术战略研究中心, 中国·内蒙古 呼和浩特 010010

摘要

当前, 科技创新已成为现代化经济社会发展的核心驱动力。本文从夯实科技创新基础、深化数字化转型、培育战略性新兴产业、推进产业低碳转型四个方面, 探讨了如何以科技创新引领现代化产业体系建设。研究表明, 要实现现代产业体系的高质量发展, 必须全面深化科技体制改革, 健全科技创新体制机制, 完善配套政策支持体系, 充分激发各类创新主体活力。只有构建起政产学研深度融合的协同创新格局, 持续强化科技创新的引领支撑作用, 才能推动中国产业向价值链中高端跃升, 加快建成现代化产业体系。

关键词

科技创新; 现代化; 产业体系; 数字化转型; 低碳转型

1 引言

当今世界, 科技进步日新月异, 创新驱动发展已成为大势所趋。党的十九大报告指出, 创新是引领发展的第一动力, 是建设现代化经济体系的战略支撑。当前, 新一轮科技革命和产业变革蓬勃兴起, 科技创新正深刻影响和重塑世界经济格局, 成为国际竞争的焦点。在此背景下, 中国必须树立创新引领发展理念, 以科技创新为抓手推动产业转型升级, 加快构建以创新为主要引领和支撑的现代化产业体系。

【作者简介】乔旭(1980-), 女, 中国内蒙古乌兰察布人, 硕士, 副研究员, 从事科技信息、科技管理、科技评估研究。

2 夯实科技创新基础

科技创新是推动产业转型升级的根本动力。当前, 中国创新能力与发达国家仍存在较大差距, 科技创新基础亟待加强, 尤其需要重视基础研究, 突破关键核心技术, 完善产学研协同创新体系^[1]。

2.1 加强基础研究

基础研究是科技创新的源头活水。改革开放以来, 中国基础研究虽取得长足进步, 但与应用研究和技术开发相比, 仍是明显的短板。未来, 要把基础研究摆在更加突出的战略地位, 大幅增加财政投入, 建立稳定支持机制, 鼓励科研人员自由探索, 重点支持对经济社会发展具有战略性、基础性、前瞻性影响的基础研究。同时要优化学科布局, 打破学科壁垒, 促进数学、物理、化学、生命科学、地球科学等

基础学科交叉融合,在量子信息、脑科学、合成生物学、纳米科学等前沿领域组建一批高水平基础研究中心,吸引和汇聚国内外顶尖科研人才,力争在基础前沿领域取得重大原创突破,引领未来科技发展方向,为应用研究和技术创新提供源头支撑。

2.2 推进关键核心技术攻关

关键核心技术是国之重器,是产业核心竞争力的根基。当前,中国在高端芯片、基础软件、基础材料等关键领域的核心技术受制于人的情况仍十分严峻,亟需加强攻关突破。必须聚焦集成电路、新材料、生物医药等事关国家战略安全和经济社会发展全局的重点领域,加大研发投入,整合产学研用优势创新资源,组织精干力量联合攻关,力争在“卡脖子”技术上尽快取得实质性突破。要发挥国家重大科技专项和重大工程的引领带动作用,依托国家实验室等高水平创新基地,开展关键核心技术协同攻关。同时,要加强知识产权创造、运用、保护、管理和服务,强化企业创新主体地位,为企业核心技术攻关创造良好环境^[2]。

2.3 完善产学研协同创新体系

产学研深度融合、协同创新已成为新时代科技创新的重要趋势。长期以来,中国产学研合作还不够紧密,存在机制不顺、动力不足、成果转化不畅等问题,亟需构建政产学研金介紧密合作、充满活力的协同创新新格局。一方面,政府要加大对企业参与产学研合作的政策激励,引导高校院所建立适应企业需求的技术研发机制,完善科技成果转化收益分配机制,充分调动科研人员的积极性。另一方面,要支持龙头骨干企业牵头组建创新联合体,与高校院所建立利益共享、风险共担的战略合作关系,开展关键共性技术协同攻关,打通从基础研究、应用基础研究到产业化的全链条,促进创新链、产业链、人才链、资金链深度融合。

3 深化数字化转型

进入21世纪以来,全球新一轮科技革命和产业变革日益向数字化、网络化、智能化方向演进。党的二十大提出,要促进数字经济和实体经济深度融合,打造具有国际竞争力的数字产业集群。深化产业数字化转型,是抢抓新一轮科技革命和产业变革机遇的战略选择。

3.1 推动传统产业数字化改造

传统产业是国民经济的重要支柱,但目前中国传统产业数字化程度还比较低,面临转型升级的迫切需求^[3]。我们必须抓住数字化发展机遇,以数字化、网络化、智能化为方向,全面推进制造业、能源、交通、医疗等重点行业和领域的数字化改造。要大力发展智能制造,推广柔性化、智能化、服务化的先进制造模式,促进大规模个性化定制和网络化协同制造。要加快建设工业互联网,推动5G、人工智能等新一代信息技术与工业生产深度融合,打造智能工厂和智慧园区。要以数字技术全面赋能传统产业转型升级,实现研发设

计、生产制造、经营管理、市场服务等关键环节的全面数字化,催生传统产业发展新动能、新优势,全面提升发展质量和核心竞争力。

3.2 发展数字经济新业态

数字经济是引领新一轮科技革命和产业变革的战略制高点,是全球经济竞争的新赛道。尽管中国数字经济发展取得积极进展,但仍处于起步阶段,新业态培育还有待加强。未来要立足新发展阶段,把发展数字经济作为把握新机遇、塑造新优势的战略选择,加快培育以技术创新、模式创新、业态创新为核心特征的数字经济新业态。要积极推进“互联网+”行动,促进移动互联网、大数据、人工智能同实体经济深度融合,催生智能+、平台经济、共享经济等新模式新业态。要加快新型基础设施建设,发展工业互联网、智慧交通、在线教育、智慧医疗等新兴产业,打造经济社会发展新引擎。要完善数字经济发展制度环境,激发数字经济发展新活力。

3.3 完善数字治理体系

数字经济快速发展的同时,数字鸿沟、网络安全、数据权益保护等问题日益凸显,亟需加强数字治理,维护公平有序的数字生态^[4]。一方面,要大力弥合数字鸿沟,统筹推进信息基础设施城乡及区域间均衡布局,消除“数字落差”,扩大优质数字服务的有效供给,提升中小微企业和广大人民群众运用数字技术的意识和能力。另一方面,要加快健全数字规则和标准,维护公平竞争的数字市场秩序。要加强对互联网平台企业的监管,依法查处垄断和不正当竞争行为,防范资本无序扩张。要加快数据立法,明晰数据产权,完善数据流通交易机制,保护个人隐私和商业秘密。同时,要加强数字内容建设,大力弘扬主旋律,传播正能量,净化网络空间,维护良好网络生态。

4 培育战略性新兴产业

战略性新兴产业代表新一轮科技革命和产业变革前沿方向,对经济社会发展全局和长远发展具有重大引领带动作用。“十四五”时期,中国要加快培育和发展战略性新兴产业,为高质量发展提供新动能。

4.1 布局前沿科技领域

前沿科技领域代表了未来产业变革的方向,是全球科技和产业竞争的制高点。当前,量子信息、脑科学、人工智能、基因技术等前沿领域正在蓬勃兴起,成为各国抢占未来发展先机的焦点。中国要顺应全球科技发展大势,超前谋划和前瞻部署,在量子通信、量子计算、脑机接口、合成生物学、干细胞、基因编辑等前沿科技领域加大投入,集中优势资源,力争取得重大原创突破。要针对前沿领域的重大科学问题和关键核心技术,超前布局,开展战略性、基础性研究。要发挥社会主义集中力量办大事的新型举国体制优势,组织实施国家重大科技项目和工程,加快攻克从0到1的“卡脖子”

技术。要深化国际科技交流合作,积极参与相关领域的全球科技治理,提升中国的国际话语权和规则制定权,争取在前沿技术领域占据制高点。

4.2 发展高端装备制造业

高端装备制造业是现代产业体系的脊梁,是国之重器、国家安全和产业核心竞争力的重要保障。当前,中国高端装备制造业还处于产业链中低端,高档数控机床、高端芯片制造装备、航空发动机等关键装备对外依存度高,面临较大的卡脖子风险。未来要把发展高端装备制造业作为建设制造强国的战略重点,聚焦智能制造装备、航空航天装备、轨道交通装备、海洋工程装备、能源装备等重点领域,加大技术攻关和产业化应用力度,加快关键核心技术装备自主化进程。要坚持创新驱动,加大智能制造试点示范力度,大力推广新型智能化生产方式,促进制造业向柔性化、智能化、服务化转型。要以重大技术装备突破为牵引,超前布局航空发动机及燃气轮机、北斗导航产业等战略性新兴产业集群,打造竞争新优势,抢占未来发展制高点。

4.3 促进新一代信息技术产业发展

新一代信息技术产业是引领新一轮科技革命和产业变革的重要力量,是全球新一轮产业竞争的战略制高点。尽管中国新一代信息技术产业发展取得积极进展,但与发达国家相比,在关键核心技术创新能力、产业生态构建、应用场景拓展等方面还存在差距。未来要顺应信息技术发展趋势,瞄准人工智能、大数据、区块链、云计算、网络安全等前沿领域,加大关键核心技术攻关力度,尽快突破高端芯片、基础软件、核心元器件等“卡脖子”瓶颈制约。要加快第五代移动通信(5G)技术研发和产业化,扩大5G网络的建设覆盖,积极拓展5G在工业互联网、车联网、智慧城市等重点领域的融合创新应用。要把发展集成电路、新型显示、物联网等作为培育壮大战略性新兴产业的重点,加大资金、人才、技术等要素支持力度,加快构建自主可控、安全高效的产业链供应链,努力打造具有全球竞争力的数字产业集群。

5 推进产业低碳转型

绿色低碳发展已成为全球产业发展的重要趋势。党的二十大提出,要推进绿色低碳发展,促进人与自然和谐共生。产业低碳转型是实现碳中和目标的关键所在,事关产业发展全局。

5.1 发展新能源产业

发展新能源是推进能源革命、构建清洁低碳安全高效能源体系的重要内容。要大力发展风能、太阳能、生物质能、

地热能等可再生能源,提高非化石能源消费比重。积极发展风电、光伏发电等新能源发电。大力发展智能电网、分布式能源,推进源网荷储一体化和多能互补发展。加快推动氢能产业发展,探索开发核聚变等未来能源。要加快发展节能环保产业、清洁生产产业,促进新能源与实体经济深度融合。

5.2 推广绿色生产方式

绿色生产是实现工业绿色低碳发展的关键举措。传统制造业能耗高、污染重,绿色改造任重道远。要大力推行清洁生产,建立健全绿色制造体系,加快构建绿色制造标准、认证、评价体系。在重点行业和领域推进节能降碳改造,创新工艺流程,淘汰落后产能。要发展循环经济,推行系统化的废弃物循环利用体系,促进资源循环利用。全面推广绿色建筑,大力发展钢结构等装配式建筑,提高建筑工程标准和工程质量。

5.3 构建绿色供应链

绿色供应链是构建资源节约型、环境友好型产业体系的重要抓手。当前,中国供应链绿色化水平总体不高,亟须加快构建绿色供应链体系,发挥产业链协同减排作用。一方面,要推动供应链上下游企业开展绿色协同,建立绿色设计、绿色采购、绿色制造、绿色包装、逆向物流协同机制,实现产品全生命周期的绿色管理。另一方面,要发挥龙头企业引领作用,协同上下游企业制定碳达峰、碳中和行动方案,创建绿色供应链品牌。同时完善绿色金融支持体系,加大对绿色低碳项目的信贷支持力度。

6 结语

科技强国,产业图强。站在新的历史起点,我们要高举中国特色社会主义伟大旗帜,深入贯彻新发展理念,坚定不移走以科技创新为引领的高质量发展道路,加快推进科技自立自强,着力破除制约产业发展的体制机制障碍,加快构建现代化产业体系,为实现第二个百年奋斗目标、实现中华民族伟大复兴的中国梦提供强大科技支撑和产业支撑。

参考文献

- [1] 闫慧琴.以科技创新引领现代化产业体系建设[N].山西日报,2025-01-07(012).
- [2] 本报评论员.以科技创新引领构建现代化产业体系[N].成都日报,2025-01-05(001).
- [3] 四川日报全媒体评论员.坚持科技创新引领现代化产业体系建设[N].四川日报,2024-12-27(001).
- [4] 陈畴畴.以科技创新引领加快建设现代化产业体系[J].浙江经济,2024,(12):23-26.

The role of mobile communication in China's communication network and the discussion of emergency networking scheme

Jiawei Wan Qi Wang Yi Wu

Unit 46 of Unit 78156 of the Chinese People's Liberation Army, Golmud, Qinghai, 816000, China

Abstract

With the continuous development of communication networks, mobile communication, as a flexible and efficient emergency communication mode, plays an important role in ensuring smooth communication in emergencies. In extreme situations such as natural disasters and major emergencies, the smooth and stable communication network is directly related to the efficiency of emergency response and the safety of life and property.

Keywords

mobile communication; communication networks; Function; Emergency networking scheme

机动通信在中国通信网络中的作用及应急组网方案探讨

万甲伟 王祺 武毅

中国人民解放军 78156 部队 46 分队, 中国·青海 格尔木 816000

摘 要

随着通信网络的不断发展, 机动通信作为一种灵活、高效的应急通信方式, 在保障突发事件中的通信畅通方面发挥着重要作用。在自然灾害、重大突发事件等极端情况下, 通信网络的畅通与稳定直接关系到应急响应的效率和生命财产的安全。本文从机动通信的定义与特点入手, 探讨了其主要技术设备。进一步分析了机动通信在提高通信网络应急响应能力、支撑关键行业通信需求及提升信息传递的实时性与安全性等方面的关键作用。最后, 结合应急组网设计、关键技术与典型通信模式, 提出基于机动通信的应急组网方案。

关键词

机动通信; 通信网络; 作用; 应急组网方案

1 引言

常规通信设施在灾后, 往往面临损坏或无法迅速恢复的困境, 这时机动通信便成为解决问题的关键。机动通信能够在短时间内快速部署, 为灾区提供紧急通信支持, 成为应急响应的重要组成部分, 因此文章将重点研究机动通信在通信网络中的重要作用, 探索应急组网方案, 旨在提供理论支持和技术保障。

2 机动通信的概述

机动通信, 作为应急响应中的关键技术手段, 主要是指在突发事件或特殊环境下, 通过快速部署和灵活配置, 确保通信网络能够及时、有效地运行。其显著特点包括灵活性、快速部署和可移动性。灵活性体现在通信网络可以根据现场条件进行调整和优化, 确保通信的畅通无阻。快速部署是指

在极短时间内搭建起一个临时通信网络, 满足突发情况下的通信需求。可移动性则保证了通信系统可以随时随地根据实际需求调整位置, 尤其是在灾难或军事行动中尤为重要。

机动通信的主要技术和设备, 包括移动通信卫星、应急通信车和无人机通信等。移动通信卫星可以提供广域覆盖, 特别是在传统地面通信网络无法到达的区域, 卫星通信能够填补空白。应急通信车是一种集成化的移动通信平台, 它可以迅速部署在灾区或事故现场, 提供包括无线电、卫星电话、互联网等多种通信服务。无人机通信是近年来兴起的一种新兴技术, 通过无人机搭载通信设备, 可以在空中提供临时通信信号覆盖, 尤其适用于地面通信设施受损或无法到达的地区^[1]。上述这些设备和技术的结合, 使得机动通信在应急情况下的通信保障能力显著提升。

3 机动通信在我国通信网络中的重要作用

机动通信在我国通信网络中扮演着至关重要的角色, 尤其是在应急响应和关键领域通信保障方面。具体而言, 其一, 机动通信显著提高了通信网络的应急响应能力。在自然

【作者简介】万甲伟(1984-), 男, 中国陕西蒲城人, 本科, 工程师, 从事机动通信研究。

灾害、重大突发事件等紧急情况下，传统的通信基础设施往往会遭到破坏或无法及时恢复。此时，机动通信系统凭借其灵活性和快速部署的特点，能够在短时间内建立起临时通信网络，确保救援工作和灾后恢复过程中，信息的顺畅传递。例如，在地震、洪水等灾害发生后，机动通信车和卫星通信设备能迅速投入使用，恢复灾区的通信服务，保证救援指挥和物资调配的顺利进行。其二，机动通信支撑了关键行业和领域的通信需求，尤其是在军事、政府、能源和交通等重要行业中。军事通信对于信息的实时性和安全性要求极高，机动通信能够为作战指挥提供可靠保障，确保战场上的信息畅通无阻。政府在应对紧急社会事件时，也需要快速建立通信网络，以进行信息传递与协调，机动通信能够为此提供有力支持。能源和交通领域同样依赖稳定的通信系统进行远程监控和调度，机动通信设备的部署，使得在远离城市中心的偏远地区，通信设施能够保持持续运行。其三，机动通信在提升信息传递的实时性和安全性方面具有不可替代的作用。在敏感信息的传输过程中，确保信息的安全性需要重视。机动通信系统不仅可以保证信息在灾难现场的即时传输，还能通过加密和多路径传输等技术，减少中断和数据丢失的风险。在国家安全、应急管理等领域，信息的及时传递和保障的安全性至关重要，机动通信系统因此成为现代通信网络不可或缺的一部分^[2]。

4 基于机动通信的应急组网方案

4.1 目标与需求分析

基于机动通信的应急组网方案的构建，首先需要明确应急通信的目标与需求分析。应急通信在面对灾难、事故等突发事件时，扮演着至关重要的角色。不同类型的突发事件，对通信系统的需求各不相同，但总体目标是保障信息的畅通、及时传递与准确对接，确保各方能够及时获得必要的信息，协同进行灾后救援和恢复工作。具体而言：①应急通信的目标，需要确保灾区或事故现场的通信系统能够快速恢复，并满足救援、指挥、协调等各方面的需求。在自然灾害发生后，地面通信设施往往会受到破坏，造成通信中断。此时，机动通信应当能够迅速介入，快速搭建起临时通信网络，为现场的应急指挥、救援队伍、政府部门等提供必需的通信支持。②机动通信需具备适应不同地形和环境的能力。灾难发生的地点往往不固定，可能是城市、山区、海岛或其他偏远地区，通信系统需要能够根据实际需求和环境条件，进行灵活部署，确保无死角覆盖。③应急通信需要具备高效的信息传递能力。在灾难现场，各类信息的实时传递至关重要，无论是指挥调度、资源分配、物资运输，还是医疗救援、灾民安置等方面，都需要准确、及时的通信支持。因此，通信网络不仅要能够快速响应，还应具备信息处理与分发的能力，保障信息流通不受阻碍。④安全性也是应急通信的一项关键需求。特别是在重大事故情况下，信息泄露和网络遭受

攻击，会造成极大的负面影响。因此，机动通信系统在设计时，必须考虑到加密通信、防干扰技术、网络自恢复等方面，确保信息传输的安全性与稳定性。综合来看，机动通信的应急组网方案必须依据上述这些目标与需求，从而为灾难应急响应提供多层次、多维度的支持。

4.2 应急组网设计

应急组网设计是基于机动通信的一项核心，旨在确保在突发事件中迅速恢复通信服务并满足不同需求。为了应对灾难、事故等突发事件，设计一个灵活、高效、稳定的应急通信网络至关重要。主要的设计理念和技术手段包括：①分布式通信网络。与传统的集中式通信网络不同，分布式通信网络通过将通信设施和设备分布到各个节点，使得系统更加灵活，具备较强的抗灾能力。在突发事件发生时，分布式网络可以避免单点故障的影响，提高网络的稳定性与可靠性。每个通信节点都能够独立工作，并与其他节点互联，形成一个整体的通信系统^[3]。例如，在灾区的不同区域部署多个小型通信节点，可以确保即使某一部分的通信设备受损或无法使用，其他区域的网络依然能够维持正常运行。分布式网络还具有良好的扩展性，随着需求的增加，可以通过增加节点或调整网络结构，灵活应对各种变化。②无线临时基站。在灾难发生时，地面通信设施往往会遭到破坏，传统的基站和通信设备可能无法使用。此时，利用移动通信设备搭建无线临时基站，可以在灾区迅速恢复通信服务。无线临时基站通常具有快速部署和灵活移动的特点，可以通过应急通信车、应急通信船或无人机等设备进行部署，这些临时基站能提供基本的通信覆盖，还能够支持语音、数据、视频等多种通信需求。③卫星通信支持。卫星通信是不可或缺的关键技术，尤其在地面通信设施无法恢复或不具备覆盖能力的情况下，提供了无缝连接的保障。卫星通信能够提供全球范围内的通信服务，不受地理位置和环境的限制，特别适用于山区、海岛等偏远地区。通过部署便携式卫星通信设备，灾区就可迅速建立起通信链路，支持应急指挥、救援调度等活动。卫星通信还可以与地面基站、无线临时基站相结合，形成多层次的通信网络，从而提升应急通信的覆盖能力和服务质量。

4.3 关键组网技术

在应急组网设计中，关键组网技术的选型至关重要，直接关系到网络的稳定性、效率和灵活性。网络自恢复、智能路由和快速扩展是当前应急通信系统中最为重要的三项技术，它们确保了在灾难或事故发生时，通信网络能够快速响应并保持持续稳定运行。具体而言：①网络自恢复技术是应急通信中的一项核心能力，特别是在灾后通信网络恢复的过程中。在自然灾害或突发事件中，地面通信设施可能遭受严重损坏，导致通信中断。网络自恢复技术通过自动监测网络状态、识别故障点，并快速修复，保证了网络的高可用性。具体而言，当网络中的某一部分发生故障时，系统能够迅速通过自诊断机制定位问题，采取备用链路或自动切换路径等

措施,恢复网络的正常运行。网络自恢复还可以通过自动调整信号路径和动态分配带宽,优化资源使用,保障通信质量。

②智能路由是一个关键技术,确保信息能够以最优路径在网络中传输。智能路由技术基于网络的实时状态,如流量、延迟、带宽等,动态选择最适合的数据传输路径。在灾后应急通信环境中,传统的固定路由方式往往无法满足变化莫测的需求,而智能路由能够根据网络拓扑结构的实时变化和不同的传输需求,智能地调整路由策略。这不仅提高了通信效率,还减少了数据传输的时延和丢包率。例如,利用多路径路由协议,系统可以同时通过多条路径传输数据,避免由于某一路径损坏导致的通信中断。此外,智能路由还能自适应网络的负载变化,避免拥堵和过载,确保通信的稳定性和可靠性。

③快速扩展技术。由于突发事件往往伴随着大量人员的涌入和通信需求的急剧增加,传统的通信网络在面对这种高负荷状态时,往往力不从心。快速扩展技术能够根据实际需要,快速增加网络的覆盖范围和容量。例如,利用无线临时基站和移动通信设备,网络可以根据灾区的通信需求快速进行扩展。当人员集中在某一地点时,快速扩展技术能够迅速部署新的基站或终端设备,扩大网络容量,满足现场大量通信需求。

4.4 典型应急通信模式

应急通信模式是应急组网设计的核心部分,它们在灾难和突发事件发生后,为恢复和维持通信提供了不同的解决方案。以下介绍常见的几种模式,每种模式都有其特定的应用场景和优势。

①自组织网络。这是一种无需中心化控制,能够自主组网的通信模式。自组织网络的最大特点是其自适应性和自恢复能力,在网络中的每个节点,都能够充当数据的接收、转发和传输的角色,并与周围节点进行协作。在灾难发生后,传统的网络设施往往受到破坏,而自组织网络可以通过移动通信设备、无线传感器网络等技术,在灾区快速建立起一个自愈的通信系统。这种网络无需依赖传统的通信基础设施,能够根据环境变化,自动调整拓扑结构,保证信息流畅传递。特别适用于偏远地区、交通不便的灾区,或在局部网络中断的情况下,快速恢复局部通信。自组织网络能够有效避免通信中断带来的灾难响应延误,提高了信息传递

的及时性。

②快速部署网络。在突发灾难中,要求通信系统能够迅速建立并投入使用。快速部署网络通常通过应急通信车、移动基站或无人机等设备,在灾后第一时间搭建起临时的通信覆盖网络。与传统通信网络不同,快速部署网络的核心是速度和灵活性。通过使用便携式设备和简化的通信协议,快速部署网络可以在短短几小时内为灾区提供临时的通信支持,尤其在灾难发生后的黄金救援期,能够提供持续的语音、数据和视频通信,保证各方能够及时沟通、协调救援。

③临时接入方案。在传统通信基础设施无法使用或恢复困难的情况下,临时接入方案能够通过临时布设的通信节点为灾区提供临时的网络接入点。这些节点可以是临时搭建的无线基站、卫星通信车或便携式通信设备等,能够通过无线、卫星或光纤等方式接入公共网络,确保灾区人员和救援团队能够与外界保持联系。临时接入方案的最大优势在于它能够迅速为应急指挥、救援人员、政府部门等提供必需的通信支持,在灾区形成基本的通信服务保障。

5 结语

综上所述,机动通信在我国通信网络中的作用日益突出,不仅有效提升了应急响应能力,还为关键行业领域的通信保障提供了坚实支撑。随着技术的不断进步,机动通信设备的应用场景和组网方案将更加多样化,尤其是在面对突发事件时,机动通信的快速部署能力和灵活性,将极大增强通信网络的稳定性和可靠性。未来,需进一步加强机动通信系统的建设与优化,为应对各种紧急情况提供更为坚实的通信保障。

参考文献

- [1] 王莉,费爱国,徐连明.智能应急指挥通信网络新框架与关键技术研究[J].通信学报,2023,44(6):1-11. DOI: 10.11959/j.issn.1000-436x.2023112.
- [2] 罗燦.自组织网络下的无人机应急通信系统设计研究[J].通信电源技术,2023,41(9):28-30. DOI: 10.19399/j.cnki.tpt.2023.09.010.
- [3] 刘东海.无线自组网技术在应急通信领域的发展和应用[J].通信电源技术,2023,40(4):137-140. DOI: 10.19399/j.cnki.tpt.2023.04.044.

Construction and Research of Turnout Evaluation Model Based on Entropy Weight Method

Yaqiong Ren

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

Abstract

The stable operation of signal equipment is an important factor affecting the efficiency of railway transportation, and the turnout is the equipment with the stability among signal equipment. At this stage, the stability of turnout equipment mainly relies on regular maintenance and maintenance to maintain, and the operation status of the equipment mainly relies the microcomputer monitoring curve to reflect, the combination of the two is relatively simple, and there is no pertinence, resulting in the coexistence of excessive and turnout maintenance, which is not conducive to the stable operation of the equipment. Therefore, it is urgent to construct a turnout evaluation model, and carry out targeted maintenance according the evaluation results, so as to solve the shortcomings of the existing maintenance mode. This article takes the turnout equipment failure in the past four years as the research object, the end factors that cause the failure, and determines the weight index of the end factors by solving the information entropy. The weight index corresponds to each time period of the computer monitoring power curve, and the evaluation model based on the entropy weight method is constructed.

Keywords

turnout; entropy weight method; microcomputer monitoring curve; evaluation model

基于熵权法的道岔评价模型构建与研究

任亚琼

国能朔黄铁路发展有限责任公司, 中国·山西 原平 034100

摘要

信号设备能否稳定运行是关系铁路运输效率的重要因素, 而道岔是信号设备中稳定性相对较差的设备。现阶段道岔设备的稳定性主要依靠定期检修与养护来维持, 而设备运行状态主要依靠微机监测曲线来体现, 二者结合较为简单, 没有针对性, 致使道岔维修过剩与欠缺并存, 不利于设备稳定运行。因此, 急需构建一套道岔评价模型, 依据评价结果进行针对性维修, 以解决现有维修模式的不足。本文以近四年道岔设备故障为研究对象, 分析引起故障的末端因素, 通过求解信息熵的方法确定末端因素的权重指标, 将权重指标与微机监测功率曲线的各时间段相对应, 构建基于熵权法的评价模型。

关键词

道岔; 熵权法; 微机监测曲线; 评价模型

1 引言

道岔设备的主要作用是引导机车车辆从一股道转入另一股道的线路, 其主体是转辙机, 转辙机通过与杆件、安装装置及外锁闭装置等部件的相互联动与配合, 共同完成对道岔的转换和锁闭。道岔是轨道的薄弱环节之一, 较其他信号设备故障率高, 道岔故障直接导致列车无法进站或机车无法转线, 造成直接经济损失, 因此, 避免道岔故障是非常重要的。

微机监测系统通过采集转辙机内部电机的功率间接反映道岔的运行状态, 道岔运行状态的维护主要依靠月度维修

计划铺排进行, 导致维修与设备运行状态维护各成体系、脱节严重, 不利于设备的精益管理。当道岔运行状态欠佳时, 只能等待“天窗”日进行单独局部维修, 建立道岔微机监测曲线与维修的联系, 可以有效避免现行体制下的维修过剩与维修不足, 实现针对性维修, 保证设备稳定运行, 减少故障发生。

2 道岔故障因素分析

2.1 道岔动作原理

道岔动作的目的是牵引尖轨至规定位置, 以完成道岔的解锁、转换、锁闭过程, 最终实现信号设备的联锁关系。道岔尖轨与转辙机动作杆通过动作连接杆连接, 动作杆在移动一定距离的同时带动道岔尖轨移动。电液转辙机牵引尖轨时, 首先由继电器组合控制电机, 电机旋转通过联轴器带动

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

油泵工作，泵出油缸内高压油，由于活塞固定，使油缸在高压油的压力下，形成缸体运动，缸体经推板向动作杆作用，实现转辙机与尖轨协同运动。

ZYJ7 型电液转辙机的解锁、转换锁闭作用原理图如图 2-1 所示。当道岔处于定位或者反位时，推板与锁闭铁吻合，处于锁闭状态，如图 2-1 (a) 所示。当道岔开始动作时，推板随油缸移动，退出锁块锁闭面，道岔处于解锁状态，随后推板继续移动，带动动作杆运动，道岔进入转换过程，如图 2-1 (b) 所示。油缸和推板继续移动，至锁块与锁闭铁接触，则进入增力状态，使锁块斜锁闭面与锁闭铁完全密贴吻合，道岔锁闭，如图 2-1 (c) 所示。

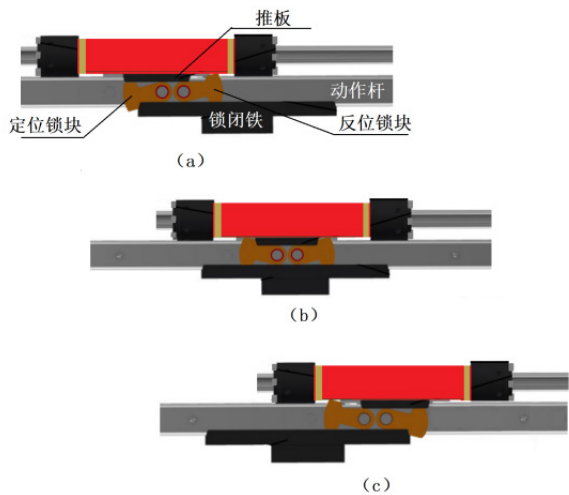


图 2-1 ZYJ7 型电液转辙机机械动作原理图

当道岔设有外锁闭装置时，转辙机内部解锁的同时，动作杆带动锁闭杆移动，密贴尖轨处的锁钩缺口与动作杆凸台吻合，此时外锁闭装置进入解锁状态，如图 2-2 (b) 所示。之后尖轨随动作杆移动，道岔进入转换阶段，如图 2-2 (c) 所示。当道岔动作到另一侧尖轨与基本轨密贴时，锁钩沿锁闭杆斜面向上爬起，锁钩升至锁闭杆凸台顶面时，锁钩同时被外锁闭铁和锁闭杆卡阻不能落下，实现了锁闭，如图 2-2 (d) 所示。

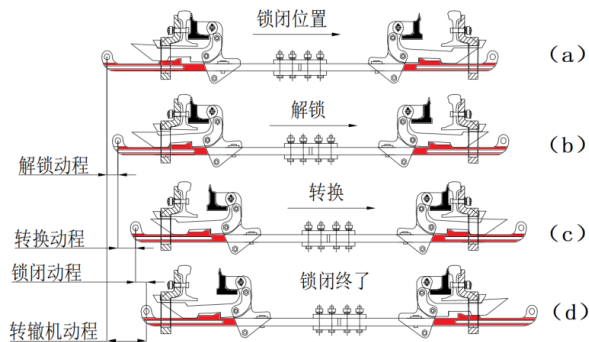


图 2-2 钩式外锁闭装置动作过程示意图

ZYJ7 型电液转辙机的检查和表示装置由固定座、拐臂、锁闭检查柱、轴承座、传动杆及齿轮、动作板、速动片、弹簧、

接点组和内外表示杆组成。锁闭检查柱与内表示杆的主锁闭杆缺口对应，只有缺口对准，锁闭检查柱方可落入检查口。用此来检查道岔尖轨密贴，并通过拐臂带动接点组构成表示电路。表示电路是最终反映道岔转换结果的装置，无论是内锁闭装置还是外锁闭装置的转换结果最终均会反映至表示电路。

2.2 道岔故障因素统计

通过统计分析 2020—2023 年道岔设备故障案例，共计故障障碍 578 件，将故障原因按照道岔动作过程进行归类，如表 2-1 所示。

表 2-1 2021—2023 年道岔故障统计表

年份	故障归类					故障数目
	控制	解锁	转换	锁闭	表示	
2020	2	7	72	94	38	213
2021	1	4	16	74	47	142
2022	0	5	7	57	37	106
2023	1	1	21	58	36	104

3 微机监测曲线分析

3.1 道岔功率曲线采集原理

道岔微机监测动作曲线是通过监测转辙机内部三相交流电机的输出功率，反映道岔动作过程中所受的阻力情况。监测过程中完成对电压、电流、开关量的采集，经功率采集单元计算，绘制出功率曲线实时反映道岔的动作情况、故障情况，可用来指导维修。

每组道岔配置一个功率采集单元。电压的采样点 U_a 、 U_b 、 U_c 不直接与电缆相接，经控制电路继电器 1DQJ 和 1DOJF 的接点断开电缆，只有在道岔扳动时，1DQJ 吸起后，采样点与电缆接通。三相电流采集采用互感器方式，在 DBQ 输出端与 1DQJ 之间进行采集。1DQJ 的状态采样，由开关量采集器隔离采集 1DQJ 或 1DQJF 的一组低压半空接点的中接点和后接点。

3.2 道岔功率曲线分析

道岔功率曲线按照道岔动作时间，将曲线分为五段，分别对应控制、解锁、转换、锁闭、表示。如图 3-1 所示。

道岔电机开始转动时，转速低输出功率大，转换过程中功率稳定，曲线平滑，道岔锁闭时，功率略有上升后，三相电其中一相迅速下降至零，其余两相经短时间延时后下降为零。

通过对比道岔动作程序与功率曲线，能够根据曲线功率的变化来判断道岔运行状态，而每个动作程序包含的机械动作是固定不变的，因此，功率曲线能间接反映道岔各部件的运行状况，这种对应关系为维修提供指导方向，但是道岔设备受外界影响因素较多，不同的道岔设备在不同的动作阶段受到不同的影响，需根据设备的运行状态受影响程度进行针对性维修。

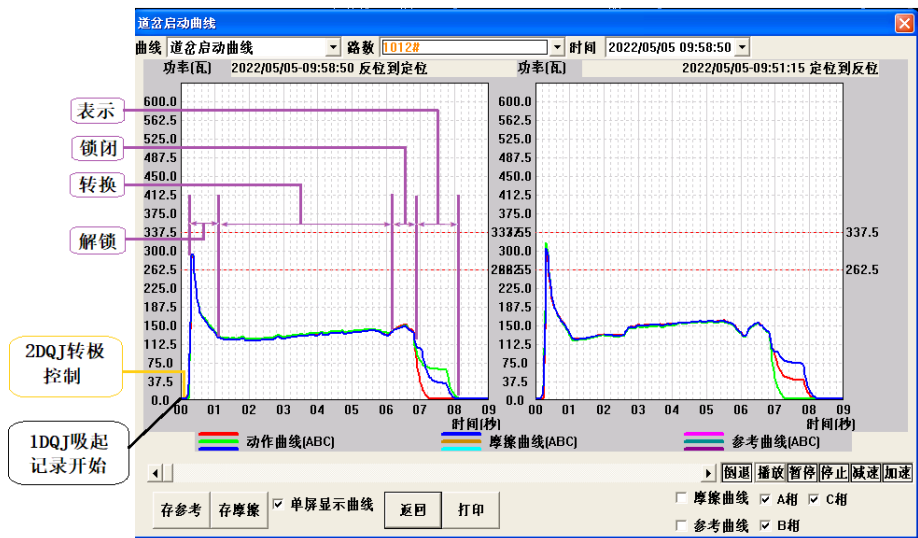


图 3-1 道岔功率曲线分析

4 熵权法评价体系构建

4.1 熵权法应用过程

熵权法是一种可以用于多对象、多指标的综合评价方法，其评价结果主要是依据客观资料，熵权法几乎不受主观因素的影响。应用过程包含数据归一化、计算指标比重、计算信息熵、计算指标权重、计算综合得分。

4.2 道岔评价体系构建

4.2.1 评价指标权重确定

根据表 2-1 统计，将 2020 年至 2023 年道岔故障数量作为研究对象，将道岔五个动作过程作为评价指标，因五个指标对设备故障均为正向指标，根据熵权法数据归一化公式 4-1，形成归一化矩阵 4-1。

$$b_{ij} = \frac{a_{ij} - \min(a_j)}{\max(a_j) - \min(a_j)} \quad (\text{式 4-1})$$

其中 a_{ij} 为第 i 个研究对象第 j 个研究指标， b_{ij} 为评价指标归一化结果。本文中 $i=1, 2, 3, 4; j=1, 2, 3, 4, 5$ 。

表 4-1 归一化数据表

年份	控制	解锁	转换	锁闭	表示
2020	1.00	1.00	1.00	1.00	0.18
2021	0.50	0.50	0.14	0.46	1.00
2022	0.00	0.67	0.00	0.00	0.09
2023	0.50	0.00	0.22	0.03	0.00

根据公式 4-2，对归一化数据进行指标比重计算，形成比重矩阵 4-2。

$$P_{ij} = b_{ij} / \sum_{k=1}^n b_{kj} \quad (\text{式 4-2})$$

其中 $i=1, 2, 3, 4; j=1, 2, 3, 4, 5$ 。

其中 P_{ij} 为指标 b_{ij} 在第 j 个指标所占比重。

表 4-2 比重数据表

年份	控制	解锁	转换	锁闭	表示
2020	0.50	0.46	0.74	0.67	0.14
2021	0.25	0.23	0.10	0.31	0.79
2022	0.00	0.31	0.00	0.00	0.07
2023	0.25	0.00	0.16	0.02	0.00

根据比重数据结果，利用公式 4-3 计算信息熵，形成五项指标的熵值，比重为 0 的指标不予计算，形成熵值数据表 4-3。

$$H_j = -\sum_{i=1}^n P_{ij} \ln P_{ij} \quad (\text{式 4-3})$$

其中 $0 < P_{ij} \leq 1; i=1, 2, 3, 4; j=1, 2, 3, 4, 5$ 。

表 4-3 熵值数据表

熵值	控制	解锁	转换	锁闭	表示
	1.04	1.06	0.75	0.70	0.66

以信息熵为基础，根据公式 4-4 计算五项指标的权重，形成权重数据表 4-4。

$$w_j = \frac{\ln n - H_j}{\sum_{i=1}^m \ln n - H_j} \quad (\text{式 4-4})$$

其中 $j=1, 2, 3, 4, 5$ 。

式中 $\ln n - H_j$ 称为剩余熵。

表 4-4 权重数据表

数值	控制	解锁	转换	锁闭	表示
剩余熵	0.35	0.33	0.64	0.68	0.73
权重	0.13	0.12	0.23	0.25	0.27

4.2.2 道岔综合得分计算

现有道岔工作状态依靠微机监测道岔功率曲线进行判断，主要体现在功率曲线的突变。选取五个阶段的功率变化

量作为评价指标,微机监测系统在采集道岔功率时每 40 毫秒进行一次,即每秒可计算 25 个采集点的变化量。通过计算权重与变化量的乘积,可形成道岔综合得分,得分越高越接近故障状态,依据全站道岔的综合得分排名,即可确定道岔维修时机,实现精准修。

5 结语

针对现有道岔维修模式存在的问题,本文通过构建熵权法评价体系,将原有的维修模式改进为随设备运行变化而随时调整维修策略的模式,提高了信号设备维修的效率、降

低了维修人员劳动强度、节省了维修工时,解决为何修、何时修、怎么修的问题,逐步实现设备精益维修。

参考文献

- [1] 豆晓东.基于RBM分析的ZPW-2000A轨道电路预防性维修方法研究[D].兰州:兰州交通大学, 2017.
- [2] 董程.基于熵权法的厦门市地铁湖滨东路站施工期风险评估研究[D].武汉:武汉理工大学, 2017.
- [3] 魏仲云.模糊综合评价在可研方案优选中的应用研究[D].兰州:兰州交通大学,2020.

Design and Optimization of Electric Vehicle Disc Brake Based on Finite Element Method

Fengxian Zhang Yunhui Ma Xueyan Bai Huanwei Liu

Taishan University of Science and Technology, Tai'an, Shandong, 217000, China

Abstract

With the rapid development of electric vehicles, the safety and braking performance requirements of the braking system are increasing day by day. As the core component of the braking system, the performance of the electric vehicle disc brake directly affects the braking effect and safety of the whole vehicle. This paper studies the disc brake of an electric vehicle based on the structure and working principle of the disc brake. Firstly, determine the calculation of the vehicle parameters and the main parameters and establish the 3 D geometry model, using the 3 D modeling software, conduct modal simulation analysis of the brake disc and static simulation analysis of the friction block, and obtain the simulation analysis results. In this paper, the material characteristics of the brake disc and the friction block and the dynamic behavior are considered. The results show that with the increase of the autovibration frequency, the maximum deformation also occurs, which reduces the service life of the brake disc, and the low autovibration frequency will increase the probability of resonance. During braking, the contact surface of the block produces great stress, and the stress concentration occurs at the position along the center line of the block and is symmetrically distributed.

Keywords

disc brake; finite element; mode analysis

基于有限元的电动汽车盘式制动器设计与优化

张凤贤 马芸慧 白雪艳 刘焕伟

泰山科技学院, 中国·山东 泰安 217000

摘 要

现如今电动汽车的快速发展,其制动系统的安全性和制动性能要求日益提高。电动汽车盘式制动器作为刹车系统的核心部件,其性能直接影响到整车的制动效果和安全性。本文以某电动汽车的盘式制动器作为研究对象,内容主要围绕盘式制动器的结构和工作原理展开。首先,确定整车参数、盘式制动器相关参数的计算和盘式制动器主要参数的确定,利用三维建模软件对盘式制动器的相关组成部件建立三维几何模型;然后利用有限元分析软件对制动盘进行模态仿真分析和对摩擦衬块进行静态仿真分析,进而得出仿真分析的结果。在分析方法上,本文综合考虑了制动盘与摩擦衬块的材料特性、制动过程中的动力学行为等因素。研究结果表明随着自振频率的升高,其最大变形也随之发生,降低了制动盘的服役寿命,过低的自振频率则会加大发生谐振的概率。在制动过程中,衬块的接触面产生了很大的应力,应力集中发生在沿衬块中心线位置处,并且是对称分布。

关键词

盘式制动器;有限元;模态分析

1 引言

随着汽车数量的不断增多以及交通事故的频繁出现,汽车行驶的安全性日益成为大众关注的焦点。在众多影响安全驾驶的因素中,汽车的制动性能直接关乎其安全刹车距离和交通事故的死亡率^[1]。车辆制动的主要目的是在尽可能短的时间内将车速降至零,并确保在行驶过程中车辆能够保持

稳定。制动效能的高低主要取决于制动系统的持久性,而制动时的稳定性和转向可靠性则是评价汽车制动性能的重要指标。目前,常用的车用制动器主要分为两类:一类是安装在车轮轮毂附近的制动器,如盘式制动器和鼓式制动器;另一类则是安装在传动轴附近的制动装置,例如缓速器。

相较于盘式制动器,鼓式制动器在散热性能和防泥水方面表现欠佳,特别是在沙尘环境长期作用下,其制动系统更容易受损。因此,在现代汽车制动技术中,鼓式制动器已逐渐被淘汰。然而,由于成本和经济性的考虑,仍有部分消费者选择配备盘式制动器的汽车。盘式制动器的工作原理是,在车辆需要停车或制动时,通过高压液推动制动盘上的活塞,使摩擦片与制动盘紧密接触,从而产生足够的摩擦力,使车速逐渐降低至零。在制动过程中,盘式制动器的摩擦片

【基金项目】泰山科技学院 2023 年度校级教学团队“机械创新设计教学团队”建设项目。

【作者简介】张凤贤(1991-),女,中国山东菏泽人,硕士,讲师,从事机械设计及理论研究。

会经历频繁的摩擦磨损，这增加了维护成本。此外，由于摩擦片的面积有限，一旦达到其极限值，就无法再扩大有效摩擦范围。这一限制要求制动液压力必须不断增加以满足制动需求，从而需要车辆配备相应的助力装置来提高制动效果。

2 盘式制动器性能参数

电动汽车盘式制动器，作为车辆制动系统的重要组成部分，其分类、结构与功能对于保障行车安全至关重要^[2]。根据工作结构，盘式制动器可以分成三类：摩擦片式制动、摩擦筒式制动和盘式制动。盘式制动是在一块制动片上加上一块制动盘，制动时靠制动片与装在制动盘上的凸起之间的缝隙来实现制动。根据其工作原理，盘式制动可以划分为无心型（弹性压力型）、双向力反馈（两个及以上）以及一方力反馈型（一个）四种^[3]。电动汽车盘式制动器的基本组成包括制动盘、制动钳、摩擦片、分泵和油管等部分^[4]。制动盘是制动器的主要部分，它随车轮转动；制动钳则通过油管与液压系统相连，负责施加制动力；摩擦片则是产生摩擦力的关键部件，它与制动盘接触并产生摩擦力以实现制动效果；分泵则是液压系统中的重要部分，负责将制动液的压力传递到制动钳上^[5]。

忽略掉路面对汽车车轮的滚动阻力和汽车回转质量的惯性力矩，则对任意角速度 $\omega > 0$ 的车轮，在制动时的力矩平衡方程是：

$$T_f - F_{xb}r_e = 0 \quad (1)$$

$$F_{xb} \leq F_\phi = F_z \phi \quad (2)$$

汽车制动时水平地面对前后轴车轮的法向反力 F_{z1} ， F_{z2} 分别为：

$$\left. \begin{aligned} F_{z1} &= \frac{G}{L} \left(L_2 + \frac{h_g}{g} \frac{du}{dt} \right) \\ F_{z2} &= \frac{G}{L} \left(L_1 - \frac{h_g}{g} \frac{du}{dt} \right) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

当不同附着系数的路面上制动，前后轮都抱死，则上式为：

$$\left. \begin{aligned} F_{z1} &= \frac{G}{L} (L_2 + \phi h_g) \\ F_{z2} &= \frac{G}{L} (L_1 - \phi h_g) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

选取一台前轮为驱动轮的某电动汽车作为研究对象，所选取的车辆参数如下表 1-1 所示，地面附着系数取 0.7。

表 1-1 车辆参数

名称	数值（单位）
整备质量	2195 (kg)
质心位置距离前轴距离	1.35(m)
质心位置距离后轴距离	1.40(m)
车轮工作半径	270(mm)
最高车速	200 (km/h)

$$\frac{F_{f1}}{F_{f2}} = \frac{\beta}{1-\beta} \quad (5)$$

$$T_{f1\max} = F_{z1} \phi r_e = \frac{G}{L} (L_2 + \phi h_g) \phi r_e \quad (6)$$

$$T_{f2\max} = \frac{1-\beta}{\beta} T_{f1\max} \quad (7)$$

$$\left. \begin{aligned} F_{f1} + F_{f2} &= F_{xb1} + F_{xb2} = \phi G \\ F_{f1}/F_{f2} &= F_{xb1}/F_{xb2} = (L_2 + \phi h_g)/(L_1 - \phi h_g) \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

其中： T_f ——制动器对车轮的制动力矩，也就是制动器的摩擦力矩，方向与车轮旋转方向相反，单位是 $N \cdot m$ ；

F_{xb} ——地面作用于车轮的制动力，

r_e ——车轮的有效半径，单位是 m 。

令 $F_f = \frac{T_f}{r_e}$ ，式中 F_f 为制动器制动力，单位是 N 。制动器制动力值由制动器结构参数所决定，即取决于制动器的形式、结构尺寸、制动器摩擦副的摩擦因数和车轮半径，并与制动系的液压或气压成正比。

结合（1）-（2）式，本文中选择的某电动汽车。在 0.7 的附着系数路面制动，制动器能产生的前轮最大制动力矩为 $2217N \cdot m$ ，后轮最大制动力矩为 $820N \cdot m$ 。

标准的直径是在 70%~79% 范围的制动盘，若制动盘的直径相比于其他的来说较大，则可以增加制动盘的有效半径，从而减小了制动钳的夹持力，减小了摩擦衬块的单位压力及工作温度。而制动片的直径则由轮圈的直径所限定。根据表 1-1，制动盘的直径采用 $D = 300mm$ 。制动盘的厚度对制动盘的性能及运行时的温度有很大的影响。要保证制动片的重量不会过大，制动片的厚度应该做得更薄；制动盘的厚度也不宜太薄，以减少运转时的温度升高。制动盘可以是纯固体的，也可以是在制动盘的中部浇注一个通气孔来冷却和通气。整体式制动盘的厚度可以采取 10~20mm，制动盘可以取 20~50mm，采用较多的是 20~30mm。本优化设计中制动盘采用通风盘设计，取 $h = 12mm$ ，后制动盘采用实心盘设计，取 $h = 15mm$ 。推荐摩擦衬块的外半径 R_2 与内半径 R_1 的比值不大于 1.5。若比值较大，工作时摩擦衬块的外缘与内缘的圆周速度相差较大，磨损会不均匀，接触面积减小，最终会导致制动力矩变化较大。本文中取 $R_2 = 145mm$ ， $R_1 = 103mm$ 。

3 盘式制动器建模

基于上一节盘式制动器的尺寸参数，对盘式制动器通过用 CATIA 软件对其进行建模。在桌面上选取一个曲面，按照自身的尺寸为 360mm，画一个外圈。接着，凸起的厚度为 28mm。在最终的端面上划出一个小洞，用它在圆盘上开一个对称的小孔，依次建立制动盘三维模型、制动钳三维模型、支架三维模型、制动衬块三维模型如图 2.1 所示。

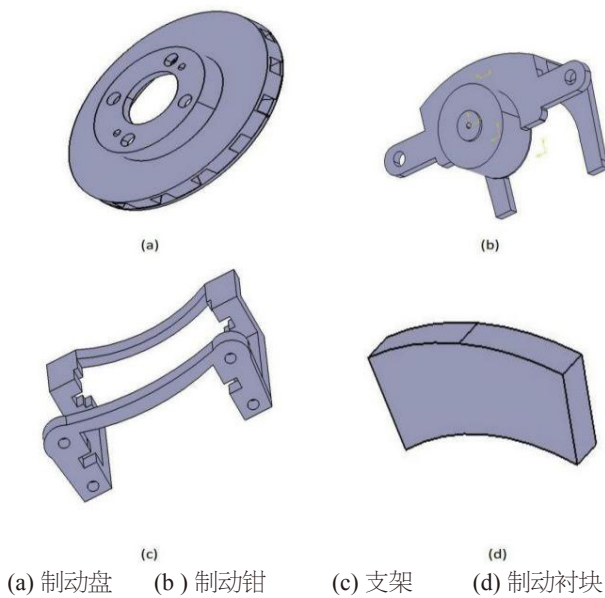


图 2.1 三维模型

4 有限元分析

基于上一节的三维模型，导入到 ANSYS 中完成网格的划分，生成的网格图如图 3.1 所示。预处理选择 SOLID187 单元类型，定义制动盘的弹性模量、泊松比和密度，运用 ANSYS 软件对制动盘进行了详尽的八阶振动分析，结果显示其最大变形量高达 0.697002 毫米。进一步观察发现，随着系统自振频率的提升，制动盘的最大变形量也随之增加，这一现象直接缩短了制动盘的使用寿命。为了有效延长制动盘的服役周期，合理提升系统的自振频率显得尤为重要。这一目标的达成，关键在于通过精细调节制动盘的质量与刚度分布来实现。

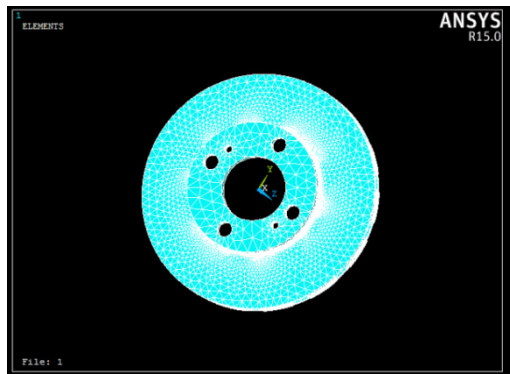


图 3.1 制动盘有限元网格模型

其次选择铜系粉末冶金作为选择的衬垫材质。铜基金具有 7.8*10.6 千克 / 立方公尺的密度，6*102 的弹性模量和 0.33 的泊松比。将 CATIA 零部件存储为 modle，然后开启有限元机械 APDL15.0，单击 File> Import>CATIA，选中模型文件并开启，按顺序选择 Plotrls>Style>Solid Mode

Facets>Fine，然后选取 Plot>Volumes。顺序选取主菜单>预处理器>元素类型>添加 / 编辑 / 删除，以确定 SOLID187 的定义类型。按顺序选取主菜单>预处理>材料程序>材料模块，在其中输入弹性模数为 600、泊松比为 0.33、密度为 7.8000e-06。

按顺序选择主菜单>图像>定义载入>应用>字符串>分配>在区域。在进行限制时，选用了完全限制的方式，即对衬垫与后板接合表面进行完全限制，然后在 DOF 中求解，输出的应力图如图 3.2 所示，该图表示制动衬块与制动盘接触后的应力分布。由图 3.2 可以看出，在制动盘与摩擦垫的接触面处于中心位置，产生了很大的变形，并且呈现对称分布的特征，其最大直径达到 0.729547mm。

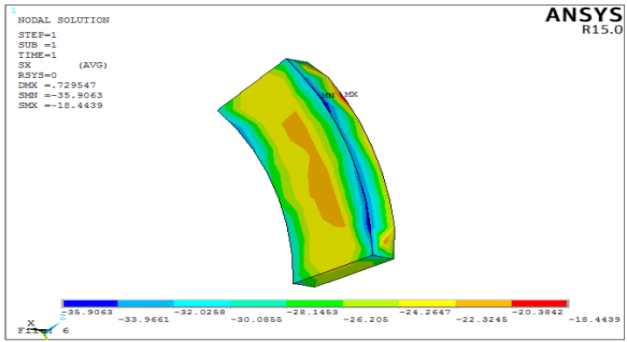


图 3.2 应力云图

5 结论

本文对某电动汽车盘式制动器进行有限元分析，通过对盘式制动器三维建模、理论计算和有限元分析方法对盘式制动盘的主要参数以及制动盘和摩擦衬块应力的分析。研究结果表明随着自振频率的升高，其最大变形也随之发生，降低了制动盘的服役寿命，过低的自振频率则会加大发生谐振的概率，因此需要合理地提高系统的自振频率，能有效延长制动盘的服役寿命。其次，本文对盘式制动器的摩擦衬块进行静态分析，结果发现在制动过程中，衬块的接触面产生了很大的应力，应力集中发生在沿衬块中心线位置处，并且是轴对称分布。

参考文献

[1] 林军涛,王桂锋,刘娟,等.基于轻量化需求的制动器底板有限元分析[J].农业装备与车辆工程,2023,61(04):182-184.
[2] 李乃斌,李耀平.基于ANSYS workbench鼓式制动器制动鼓的有限元分析[J].价值工程,2017,36(08):91-93.
[3] 乔臻,黄金.圆盘式磁流变制动器磁饱和有限元分析[J].机械传动,2016,40(05):139-144.
[4] 刘闯,苏小平,王宏楠,等.基于HyperMesh的盘式制动器有限元分析[J].机械科学与技术,2014,33(04):583-587.
[5] 匡博.盘式制动器制动噪声有限元分析[D].长沙:湖南大学,2013.

Exploration of the path of green and low-carbon development of offshore oil and gas resources

Zhi Wang

China National Offshore Oil Corporation Limited, Beijing, 100000, China

Abstract

Considering the changing global climate and the continuous rising energy demand, studying how to develop oil and gas resources in environmentally friendly and low-carbon ways in the Marine environment has become a core issue of the energy industry. China is facing the increasingly increasing issue of maritime rights and interests, at the same time, the offshore oil exploration and development activities are also on the rise. Nevertheless, given the variability of the Marine environment and the extreme climate conditions, the exploitation and application of Marine oil and gas resources still face many challenges. Starting from multiple dimensions, this paper explores the green and low-carbon development strategies of offshore oil and gas resources in detail, hoping to provide a solid theoretical basis and practical suggestions for the continuous utilization of offshore oil and natural gas resources.

Keywords

green and low-carbon; offshore oil and gas; path

绿色低碳开发海洋油气资源的路径探索

王智

中国海洋石油集团有限公司, 中国·北京 100000

摘要

考虑到全球气候的不断变迁和对能源需求的持续上升,研究如何在海洋环境中以环保和低碳的方法开发油气资源,已经变成了能源行业的核心议题。我国正面对日益加剧的海洋权益问题,与此同时,海上石油的勘探和开发活动也在稳步上升。尽管如此,鉴于海洋环境的多变性和极端的气候状况,海洋石油和天然气资源的开采与应用依然面对着众多的挑战。本文多个维度出发,对海洋油气资源的绿色和低碳开发策略进行了详尽的探索,希望为海洋石油和天然气资源的持续利用提供坚实的理论基础和实际操作建议。

关键词

绿色低碳; 海洋油气; 路径

1 引言

在最近几年的时间里,大众逐渐认同了绿色和低碳的发展观念,其核心思想是通过技术创新和管理优化来减少资源开发过程中的碳排放和生态破坏,从而实现经济和环境的和谐结合。本文为低碳技术的应用、开发模式的进一步优化以及生态环境保护提供了一系列创新性的建议。旨在为海洋油气资源的持续开发提供坚实的理论基础和实践指南,同时也有助于实现“双碳”愿景。

2 绿色低碳开发的理论基础

2.1 绿色低碳理念的内涵

绿色低碳的经济增长策略以环境的守护和持续的发展

为中心,它主张在经济发展中尽可能地降低对环境的不良影响,同时也强调资源的高效使用和生态系统的维护。绿色和低碳的理念推动了人们从传统的发展思维转向更加重视生态文明的思维。鉴于全球气候变化的问题越来越严重,各国在制定能源政策和经济战略时,已经逐渐将绿色和低碳的理念作为核心考量。

低碳经济象征着通过技术革新、政策激励以及社会结构的转变,达到经济扩张与碳排放的有效分离。促进低碳经济的增长已经成为全球在应对气候变化和追求可持续发展策略中的核心选择。低碳经济追求的目标不只是降低温室气体的排放量,更重要的是促使社会在生产、消费、交通和建筑等多个领域向低碳方向转变。在全球气候持续变暖的大环境下,各国普遍认同了推动低碳经济的重要性。低碳经济的核心思想是,通过优化能源分配、改进生产流程和提升产业质量等级,以减少二氧化碳和其他温室气体的排放。

我国的海洋石油和天然气资源是不可再生的,因此,开发和利用海洋能源变得是缓解能源需求压力、保护海洋环

【作者简介】王智(1989-),男,中国四川广安人,本科,工程师,从事海洋石油天然气行业QHSE、生产、节能降碳方面的技术和管理研究。

境和确保能源安全的有效方式。在海洋石油和天然气的开发过程中，可持续发展和低碳经济的理念为绿色和低碳的开发策略提供了坚实的理论支撑。海洋中的石油和天然气资源因其丰富的储量、广泛的地理分布、可再生的特性以及易于获取的属性，被认为是一种至关重要的新型能源。为了确保海洋中的石油和天然气资源得到持续和高效的使用，我们需要采取一系列的策略，这包括降低碳的排放、改进开发手段以及强化环境的保护，这样在推动经济发展的同时，也能避免资源被过度开采和生态环境受到损害。

2.2 绿色技术的应用与推广

碳捕集与封存（CCS）技术是一种通过捕获二氧化碳并将其储存在地下储藏层或其他安全环境中，从而降低大气中二氧化碳浓度的技术。这个领域主要集中在海水淡化和海洋能的应用上，尽管海水淡化技术已经相当成熟，但海洋能的应用技术还在持续的研究和探索中，目前还没有大规模

商业应用的案例。在提取海洋石油和天然气的过程中，CCS 技术能够与油气的生成过程紧密结合，直接捕获和封存开采过程中产生的二氧化碳，从而避免其排放到大气中，实现减少碳排放的目标。

伴随着可再生能源技术的持续发展，海洋中的风能、潮汐能和波浪能这些环境友好的能源开始在石油和天然气的提取过程中得到广泛应用。在过去的几年里，世界各地的研究者们对新型能源在海洋油气勘探和开发中的应用进行了大量研究，这些研究主要聚焦于潮汐能、海浪能、潮流能、温差发电和风能发电等领域。这类能源不仅为油气开采平台带来了对环境友善的能源选择，降低了对化石燃料的依赖，而且可以与传统的油气开采技术结合，从而降低碳排放和环境污染，进一步推动海洋油气资源走向绿色和低碳的发展路径^[1]。

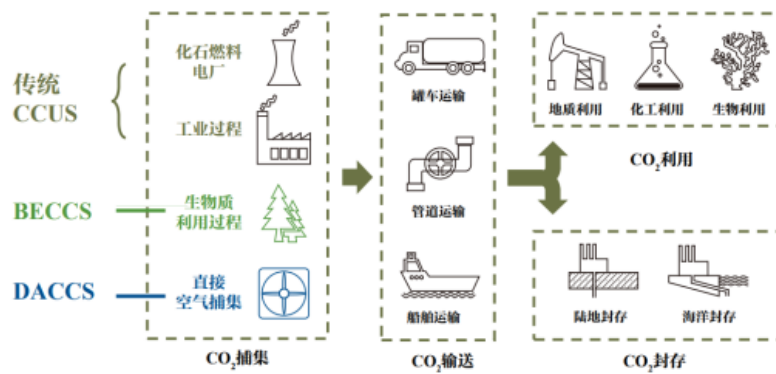


图 1 CCUS 技术环节

3 绿色低碳开发海洋油气资源的路径探索

3.1 技术创新驱动路径

不只是数字技术被广大领域所采纳，智能技术的应用也进一步助推了海洋石油和天然气的开采向更加环保和低碳的方向发展。目前，海上油气田的开发主要是依赖于智能化平台，这是其中的一个核心途径。智能平台运用人工智能算法对数据进行处理，智能地调度开采作业，并在整个生产过程中自动地优化所有参数。另外，借助大数据分析和数据挖掘的能力，我们已经成功地实时掌握了油田的生产状况以及与之相关的数据。这种高度智能化的调度方案不仅可以显著提高油气采集效率和减少能源消耗，还可以在整个生产过程中大幅减少污染物的排放。

另外，海洋风能和波浪能等可再生能源的辅助开发，为海洋油气产业的低碳转型提供了新的可能性。现在，全球约有超过半数的石油储量位于近海地带。海洋中的石油和天然气开采通常需要大量的能源供应，这些能源主要来源于化石燃料，这不仅导致了更高的碳排放量，还进一步加重了石油和天然气开采对环境的负面影响。传统的陆地石油企业在

其发展过程中主要依靠煤炭和天然气的使用，这也是它们二氧化碳排放量持续增加的原因。尽管如此，通过利用海洋风能和波浪能等环境友好的能源为油气平台供应能量，不仅有助于减少化石燃料的消耗，还能有效地减少碳的排放，进而降低在油气开采过程中形成的碳足迹^[2]。

3.2 政策与管理路径

为了确保海洋石油和天然气资源的环境友好和低碳利用能够无障碍地进行，除了依赖先进的技术支持之外，还需要一个全面而系统的政策和管理体系。从目前的情况来看，我国已经具备了发展绿色和低碳能源的技术基础，但是因为缺乏相应的法律支持体系和不完善的市场机制，这些因素都限制了其健康和快速的发展。在促进绿色和低碳发展的进程中，政府的政策导向、市场激励机制以及全球合作的推动都发挥了极其重要的作用。目前，我国在海洋石油和天然气资源的开发与应用上还存在许多问题，其中最核心的挑战是缺乏一个统一的策略框架和高效的管理手段。为确保绿色和低碳开发的顺利推进，建立健全的绿色开发政策框架、促进碳交易流程、加强国际合作以及对海洋油气资源实施标准化管

理,都是至关重要的措施。

3.3 生态保护路径

采取生态恢复和环境补偿措施已经变成了确保海洋生态系统能够持续健康成长的关键战略。随着我国经济的飞速发展和工业化进程的快速推进,海洋资源的过度利用已经引发了海洋生态环境的恶化,给国家经济造成了巨大的损失。在进行海洋石油和天然气的提取时,我们的生态环境可能会受到某种程度的损害,尤其是在提取过程中释放的污染物和对海底结构的破坏,这些因素都有可能对海洋生态系统带来负面效应^[31]。如果我们不能迅速采纳适当的策略来应对,那么整个生态系统的稳定性将会面临直接的威胁。因此,在企业进行开发活动的过程中,有必要制定明确的生态恢复和补偿方案,以确保在开发活动中对环境造成的不良影响能够得到有效的修复。此外,为了保证海洋石油和天然气资源能

够持续地被开发和利用,有必要建立一个与之相匹配的生态补偿体系。生态恢复所采纳的策略涵盖了重建人造植被、重塑海洋生物的居住环境,以及对已受损生态环境的修复和恢复工作。在这一过程中,人工植被的恢复主要依赖于工程技术,对那些已经遭受污染或损坏的海域进行绿化或覆盖,旨在提高海洋环境的品质。例如,当矿产资源被彻底开采之后,为了促进海洋生态系统的多样性和功能的恢复,企业可能会实施多种策略,包括但不限于人工培植水生植物和修复海藻床。除此之外,我们还需要进一步加强对海洋生态环境的保护措施,以防止由于过度捕捞而引发的海洋生态破坏,这种破坏可能会导致海洋生物数量的减少,甚至可能触发海洋污染事件。另外,对于那些因矿业活动而受到影响的海洋生物,我们有可能通过人工繁殖或者放流等多种方式来进行补给,以确保海洋生物种群的持续稳定。



图2 海洋生态系统

为了更加有效地维护海洋生态系统的稳健性,构建一个专门针对生态环境进行监控和预警的系统变得尤为关键。到目前为止,我国已经成功地建立了大量的海洋污染监测站点网络,这些站点在一定程度上为我们提供了海洋环境的即时信息。环境监测站点拥有实时收集和分析海洋油气开发活动对生态环境影响的数据的能力,并能为企业和政府提供科学的支持。虽然在国内和国外都已经构建了大量的生态预警系统,但至今还没有形成一个全面而完善的体系。通过持续和实时的环境监测,我们具备了及时识别石油和天然气开采过程中可能出现的环境问题的能力,并能够采取迅速而有效的应对措施,以减少突发生态灾害的风险。现阶段,在我国,众多的石油公司已经启动了不同层次的生态预警系统建设,并已经获得了相当不错的效果^[41]。另外,一个依赖于数据分析和模型预测的生态预警系统能够提前预警可能出现的环境风险,从而为决策者提供前瞻性的科学依据。至今,我国已经建立了一个全方位的海洋石油污染紧急应对系统。这个系统集成多种在线监测工具,如自动观测站、无人船等,以及先进的遥感技术如遥感卫星等,用于追踪油气生产及其对环境的影响。该预警系统不仅有助于我们预测石油和天然

气开采可能对海洋环境产生的潜在风险,而且也由政府相关部门提供了一个重要的参考依据,以确保在开发过程中能够最大程度地减少或避免对环境造成的潜在伤害。

4 结语

综上所述,我们需要从多个角度来促进海洋油气资源的高效开发与应用。将来我们应该持续增加对绿色技术研发的资金支持,改善政策环境,加强国际合作,以促进海洋油气资源朝着绿色和低碳的方向发展,从而为全球可持续发展做出积极的贡献。

参考文献

- [1] 曹焱,丁健春,刘翠,等.中国海油:绿色低碳开发海洋油气资源[J].企业管理, 2023(5):59-63.
- [2] 米立军,范廷恩,苑志旺,等.中国海洋油气海域整体开发新模式探索与思考[J].石油科技论坛, 2024, 43(3):10-17.
- [3] 李楠,潘继平.协同推进海上油气与海洋新能源融合发展[J].能源评论, 2023(5):56-59.
- [4] 孙颖张岑.海洋可再生能源开发利用模式及海洋石油公司转型策略研究[J].油气与新能源, 2022, 34(5):61-67.

Development and Application of Automatic Extraction Software for Section Information in Water Conservancy Engineering

Xinyong Ma

Xinjiang Changji Fanghui Hydropower Design Co., Ltd., Changji, Xinjiang, 831100, China

Abstract

In river dredging work, cross-sectional data of hydraulic engineering plays a crucial role. The collection methods of cross-sectional data have significantly improved from traditional manual measurement to modern computer technology, but there are still many links in the process that require manual participation. Starting from this, this study aims to explore the automation of manual operation through automatic logical decomposition, while analyzing the principle of adaptive recognition and classification of graphic objects in the secondary development process of AutoCAD using C++ language. Practical application has proven that this software not only ensures the accuracy of data, but also significantly improves the automation and efficiency of data extraction, demonstrating broad application potential.

Keywords

water conservancy engineering; Section information; Automatic extraction software; Software Development

基于水利工程中断面信息自动提取软件开发与应用

马新勇

新疆昌吉方汇水电设计有限公司，中国 · 新疆 昌吉 831100

摘 要

在河道疏浚工作中，水利工程的横断面数据扮演着至关重要的角色。从传统的人工测量到现代的电算技术，断面数据的收集手段已显著进步，但流程中依旧存在许多需要人工参与的环节。以此为出发点，本研究旨在探讨将人工操作环节通过自动逻辑分解实现自动化，同时解析在利用C++语言对AutoCAD进行二次开发过程中，图元对象的自适应识别与分类原理。实际应用证明，该软件不仅确保数据的准确性，还大幅提升数据提取的自动化程度和效率，展现出广阔的应用潜力。

关键词

水利工程；断面信息；自动提取软件；软件开发

1 引言

在水利建设领域，河道清淤等项目在施工前，往往需要参照断面纵 / 横图纸来进行工作。高效且精确地获取这些图纸中的测量数据，成为测绘工作中的一个关键环节，其直接关系到工程进度与效率。本研究采用 C++ 语言进行二次开发，以实现断面信息的自动化和批量提取。最后，将所开发的软件(方法)应用于《新疆某河流地形测量项目Ⅲ标段》，经与已有的软件进行比较验证，验证了其有效性，为提高外业工作效率提供了有力保障。

2 全要素批量提取方法与流程

以 AutoDM 软件版本 V3.0 的运作机制为例，我们可以

把其工作过程归纳为数据预处理和信息获取两个主要环节。

以数据预处理环节为例，工作人员需要手工测量线节点至起点的距离，以此来确定每一条线段的精确里程。这一过程不仅耗时费力，而且极易因测量工具的精度、操作人员的技能水平以及视觉判断的差异而产生误差。同样，在信息获取环节，手工输入断面线的起始点和终点坐标，也是一项重复且枯燥的任务。这些操作几乎全靠人工手动完成，不仅效率低下，而且稍有不慎就可能造成数据录入错误，为后续的数据分析埋下隐患。

在数据预处理工作圆满结束的基础之上，我们可以借助 AutoCAD 软件，通过其二次开发技术，实现图形元素的自动识别、精确分类与高效组合。这一技术的运用，能够极大地减轻人工操作的负担，将原本需要手工完成的复杂步骤转化为自动化流程，从而显著提高工作效率。

具体来说，通过编写定制化的脚本或插件，AutoCAD

【作者简介】马新勇（1985-），男，中国甘肃民勤人，本科，副高级工程师，从事水利设计研究。

能够自动识别图纸中的各类图形元素，如线条、节点、标注等，并根据预设的规则对它们进行分类和整理。随后，这些经过处理的图形数据可以被自动导出为标准格式的 TXT 文档，为后续的数据分析、建模或报告生成提供准确、可靠的原始资料^[1]。

在数据预处理工作之后，首要任务便是关闭那些与当前分析无关的图层，以减少干扰并优化处理资源。这一步骤能帮助我们聚焦于核心数据，避免冗余信息对结果的潜在影响。直接选取所有对分析至关重要的断面信息要素，这些要素是构建模型、分析趋势或验证假设的基础^[2]。随后，软件便开始在后台默默施展其强大的数据处理能力。它依据不同图形元素的独特特征，如形状、颜色、属性标签等，进行精细的识别工作，确保每一个元素都能被准确无误地归类。这一过程不仅考验着软件的算法精度，也体现了对图形学原理的深刻理解。

识别完成后，软件会进一步根据元素间的逻辑联系，如空间位置关系、属性相似性或是用户自定义的规则，对识别出的元素进行分类与组合。这一步骤是数据整合的关键，它能够零散的数据点编织成一张紧密相连的信息网，为后续的分析提供有力支撑。最终，经过一系列复杂的运算与处理后，软件会将精心整理的结果保存为 TXT 文件。这种格式的选择既便于数据的存储与传输，也兼容了多种后续分析工具的需求，为数据的广泛应用打下了坚实的基础。

值得注意的是，上述提到的识别、分类、组合等具体运算过程，并非简单的线性操作，而是基于元素间复杂而微妙的逻辑联系，通过一系列高度智能化的算法实现的。这些算法的细节与实现机制，将在后续的内容中得到详尽而深入的阐述。

3 智能化阈值分析

在智能优化过程中，关键性的改进点集中在“里程追加”和“信息抓取”两大功能模块。

3.1 里程追加部分

在 CAD 系统中，里程标注（表现为文本元素）一般需要按照面向河流下游的方向进行排列，并且要沿着断面线的中轴线位置进行设置。

在实施该步骤时，对起始点至各节点的距离 L 以及其旋转的角度 α 进行精确的测量至关重要。节点间距的累积方法 AGO 可用于确定距离 L ；至于旋转角度，则需依照截面线的方向来设定。若假定终点的坐标 (x_1, y_1) 和 (x_2, y_2) 已知，借助公式 (1) 和公式 (2) 即可计算出该点相对于水平线的角度 β 以及必要的旋转度数 α 。

$$\beta = \arctan\left(\frac{|y_2 - y_1|}{|x_2 - x_1|}\right) \quad (1)$$

$$\alpha = \begin{cases} \beta & y_2 > y_1, x_2 > x_1 \\ 360 - \beta & y_2 < y_1, x_2 > x_1 \\ 180 - \beta & y_2 > y_1, x_2 < x_1 \\ 180 + \beta & y_2 < y_1, x_2 < x_1 \end{cases} \quad (2)$$

3.2 信息提取

在 N 条特定的断面轨迹中，每一轨迹都对应一个唯一的起始原点和里程数值，因此我们拥有 N 组原点与里程数据。考虑到高程点与轨迹之间为非单一对应，实际上有 M 个高程数据点（包括非有效点）。在数据的前处理环节，关键要素一般会被调整到轨迹两侧。本系统支持以下规则设定：

- ①位于断面轨迹 5 米内的高程点被认为是有效数据。
- ②断面轨迹 10 米内所对应的里程数值与相关高程点相对应^[3]。
- ③断面轨迹 1 米以内的圆形被视为相关圆；以圆心作为基准点，若高程点与圆心的距离在 0.1 米以内，则该点被认定为原点（目的是收集高程信息）。

超出上述范围的图形要素均视为无效。基于这些规则，本文进一步展示了识别、分类以及归纳的流程逻辑，具体如图 3 所示。

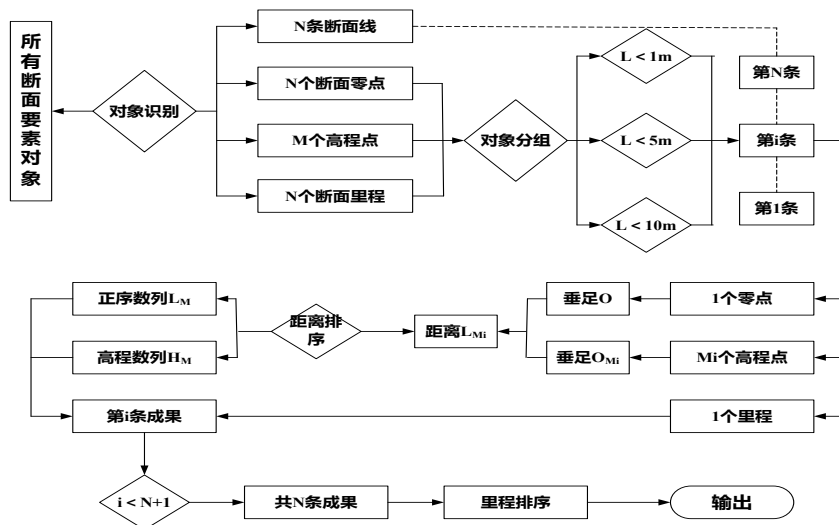


图 3：运行逻辑图示

如图 3 所示, L 指标表示物体嵌入位置与断面轨迹的间隔距离; M_i 则指的是那些达到阈值标准的高程数据点; O 点代表起始点在断面轨迹上的垂足, 而 O_{M_i} 则对应 M_i 个高程数据点在断面轨迹上的垂足位置; L_{M_i} 指的是 M_i 个高程数据点的垂足 O_{M_i} 与起始点垂足 O 的间距; LM 是将所有 L_{M_i} 值依照递减顺序排列形成的数组; HM 则表示与 LM 数组中各值对应的高程数据序列。

4 实际工程应用

该部分内容深度剖析软件的最终效能, 以及对用户交互界面和程序编码核心要素的详尽介绍。

4.1 交互界面设计

本软件采用 C++ 语言开发, 构建一个图形窗口应用程序。该程序成功实现了第二部分所述的两大功能模块, 并且针对断面信息提取过程中的技术细节进行了专项开发, 以应对起始里程不为零或起始编号非标准的情况。另外, 在执行《新疆某区域地形测绘项目 III 标段》时, 对点属性信息的详细度要求极高。由于在 TXT 格式文件中手动输入这些详细信息极为费时, 因此我们尝试将展点功能的相关代码独立出来, 这要求我们必须精确掌握高程点与代码嵌入点之间的位置对应关系。

在 1:1000 这一特定比例尺下, 高程点坐标与以文本形式展现的展点代码插入点坐标之间存在的细微偏差。这一发现深刻揭示不同比例尺之间存在的内在联系与转换规律, 其中, S 作为 CAD 图像比例尺的代名词, 扮演着至关重要的角色。在实际操作中, 深知文本插入点的完全重合是一种理想状态, 难以实现。但正是这种不完美, 促使寻找到另一种解决方案——利用比例尺的独有属性。通过精准地把握比例尺的特性, 能够确保在数据转换或信息提取过程中, 属性信息的完整性得到最大程度的保留。这一方法不仅巧妙地规避因坐标偏差导致的信息丢失问题, 更为在不同比例尺间自由切换、灵活应用数据提供坚实的保障。

4.2 实际应用展现

在某新疆区域的一条河流 III 标段中, 该标段被细分为 A、B、C 三个区段, 总长达到 160km, 共布置了 130 个测

量断面。以 A 洪道作为参考, 每两公里设立一个主要横断面, 共计布置了 45 个这样的横断面。在这些横断面上, 平均每个都分布着 120 个监测点, 并且这 45 个横断面线的长度均值均超出两公里。

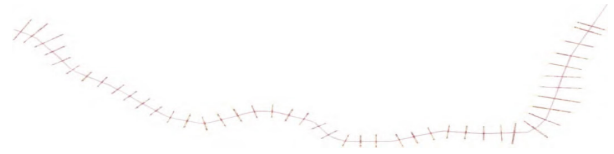


图 4: A 洪道断面整理数据图示

利用 AutoDM 软件版本 3.0 对断面数据进行常规效率的搜集以及添加地形标注 (即断面点的属性信息) 的过程中, 大概耗费的时间为 3 到 8 个小时。而对于全部资料整理完毕, 则通常需要 1 到 3 个工作日。通过直接选取所有断面元素 (除中心线外) 并按下 ENTER 键, 使用计时器记录, 运行时间约 100 秒, 平均每个断面的处理时间仅为 2.3 秒, 因此提取 160 个断面信息仅需 6 分钟。与原先“1 至 3 天”的时间相比, 效率显著提高。

5 结语

综上所述, 文章深入剖析水利领域断面信息自动化提取系统的构建原理及开发过程, 并在篇末对该软件系统与市场上普遍应用的软件 (如 AutoDM) 在执行效率与稳定性两个关键指标上进行详尽的比较分析。该软件在确保稳定性的基础上, 显著提高信息提取速度 (对比现有软件处理单个断面的时间单位从分钟级降至秒级)。尽管本软件在智能化方面取得一定的成就, 但依旧面临一些挑战, 包括代码的优化简化以及复杂场景的应对能力等。未来计划针对这些问题进行优化升级, 以促进软件的更广泛使用。

参考文献

- [1] 李磊, 徐树元, 罗时龙, 等. 水利工程中断面信息自动提取软件开发与应用[J]. 现代测绘, 2023, 46(6): 58-61.
- [2] 王林森, 王存堂, 牛首印, 等. 基于 VisualStudio 下 MES 系统开发与应用[J]. 制造技术与机床, 2024(8): 97-104.
- [3] 吴国军. 基于 Ansys 软件的大体积混凝土温度场仿真程序设计[J]. 湖南水利水电, 2024(4): 1-3.

It is suitable for the preparation and performance of outer coating of panda fiber

Shuicheng Xiong Yanhong Ding* Xu Xiong

School of Materials and Advanced Manufacturing, Hunan University of Technology, Zhuzhou, Hunan, 412000, China

Abstract

The self-made optical fiber wrapping adhesive synthesized by HDI and other raw materials was used to match the outer coating layer of the panda-type polarization-maintaining fiber used in the fiber optic gyroscope with a purchased ring wrapping adhesive. After the ring is wound, the full-temperature performance test is carried out, and the self-made ring winding rubber is obtained, and the output is more stable, and the zero bias and zero drift are lower. This is due to the self-made thermal expansion coefficient of the ring winding glue, the glass transition temperature is closer to the properties of the outer coating layer, with similar thermodynamic properties and mechanical properties, good matching, and can reduce the insynergistic error caused by the external environment.

Keywords

ring winding rubber; outer coating; coefficient of thermal expansion; Glass transition temperature

适用于熊猫型保偏光纤外涂覆层绕环胶的制备与性能研究

熊水城 丁燕鸿* 熊旭

湖南工业大学材料与先进制造学院, 中国·湖南 株洲 412000

摘 要

通过对光纤外涂覆层成分进行分析,采用HDI为主要原料合成的自制光纤环绕环胶,与外购的一款绕环胶对光纤陀螺仪所用的熊猫型保偏光纤外涂敷层进行匹配研究。绕成环后进行全温性能测试,得出自制绕环胶绕成的环,输出更稳定,零偏及零漂更低。通过红外分析、热分析、热膨胀系数测量得到自制的绕环胶热膨胀系数,玻璃化温度与外涂覆层性质更接近,具有相似的热力学性质和机械性能,匹配性好,能够降低因外部环境引起的不协同性误差。

关键词

绕环胶; 外涂覆层; 热膨胀系数; 玻璃化温度

1 引言

随着北斗产业的大力兴起以及光纤陀螺仪在军民领域的广泛应用,对于高精度高可靠的陀螺仪需求也不断提高,目前很多场景要求光纤陀螺的工作环境保持在 $-40\sim 120^{\circ}\text{C}$,这对陀螺精度的保持是一个重大挑战^[1,2]。研究表明,影响光纤陀螺仪的性能的要素有很多,如温度、振动、磁场、应力、光源等,对于光纤环而言,最主要的要素之一就是温度和应力^[3]。温度变化在光传输的过程中会产生较大的温度梯度引起误差^[4],同时由于材料热胀冷缩的特性,温度变化时会产生膨胀或收缩的差异,导致光纤环内部产生热应力,从而影响光纤陀螺的性能^[5]。如果绕环胶与光纤外涂覆层匹配性差,还会导致环体开裂破坏,造成不可估量的损失^[6,7]。本文从外涂覆层与绕环胶的匹配性入手^[8],分析匹配性的好坏对陀螺输出的影响,通过实验验证,为光纤环绕环胶的选取提供

实验数据。

2 绕环胶制备

主要原材料有:六亚甲基二异氰酸酯(HDI)、甲基丙烯酸异冰片酯、光引发剂4265以及光引发剂184。对光纤外涂覆层进行成分研究分析,以HDI为预聚体,加入甲基丙烯酸异冰片酯稀释剂,常温搅拌均匀,再加入一定量的光引发剂184和4265,光引发剂在紫外光的照射下会迅速产生大量自由基,与基体反应,形成三维交联网状结构反应物。避光搅拌均匀后进行静置脱泡处理,得到自制UV固化聚氨酯丙烯酸酯绕环胶,制备工艺流程如下图1所示。

3 结果与讨论

3.1 FT-IR 表征

图2分别展示了外涂覆层、自制绕环胶和外购绕环胶的红外光谱图。与图2(a)和(c)相比较, 2953cm^{-1} 处为 $-\text{CH}_3$ 的伸缩振动峰(图2b),在 $2240\sim 2275\text{cm}^{-1}$ 处是平缓的,没有出现特征峰,说明 $-\text{NCO}$ 基团都已经与醇和羟基反应完全

【作者简介】熊水城(2001-),男,中国湖南娄底人,在读硕士,从事材料与化工研究。

形成了 NHCOO- (氨基甲酸酯), 1713cm^{-1} 为羰基 C=O 的伸缩峰, 1180cm^{-1} 处是 -C-O 的伸缩振动峰, 在 3327cm^{-1} 处的峰是 N-H 的伸缩振动峰, 1535cm^{-1} 是 N-H 的弯曲振动吸收峰, 这四个峰的出现意味着氨基甲酸酯已经形成^[9]。从图 2 红外光谱来看, 自制绕环胶的成分与外涂覆层很接近, 主要官能团相同。

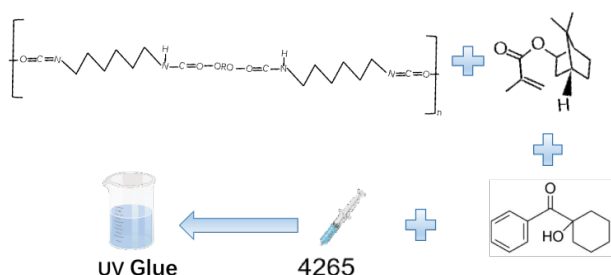


图 1 自制绕环胶制备反应流程图

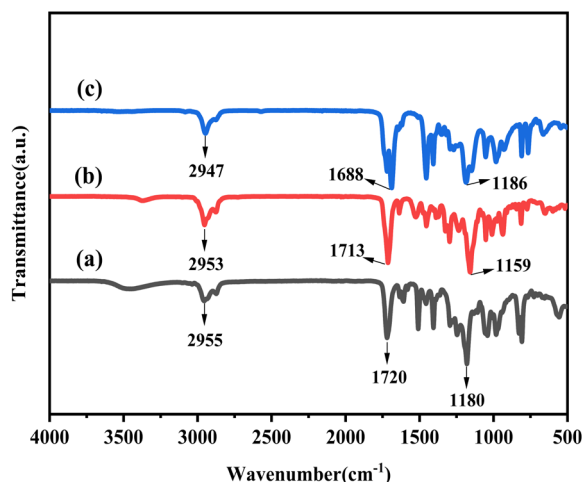


图 2 (a) 外涂覆层的红外光谱图; (b) 自制绕环胶的红外光谱图; (c) 外购绕环胶红外光谱图

3.2 热分析

采用热重分析仪和差示扫描量热分析仪对试样进行测试, 全程通氮气气氛, 升温速率为 $10^\circ\text{C}/\text{min}$, 升温范围为 $23^\circ\text{C} \sim 500^\circ\text{C}$ ^[10]。通过对这三组固化后的试样的 TG-DTG 曲

线、DSC 曲线进行分析, 结果如下图 3 所示。由图 3 (a) 可见, 自制绕环胶和外涂覆层胶的热分解过程都出现了两个明显的失重阶段。第一阶段的温度范围在 $190 \sim 320^\circ\text{C}$, 主要是聚氨酯丙烯酸酯中聚丙烯酸酯热解。第二个失重台阶开始于 $320 \sim 350^\circ\text{C}$, 此阶段主要是残余的聚氨酯有机分子链的分解。自制绕环胶和外涂覆层胶失重 5wt% 的温度分别在 246°C 和 283°C 。在 500°C 时, 自制绕环胶和外涂覆层胶的残炭量分别为 2.57wt% 和 15.31wt%。而外购绕环胶仅有一个失重阶段, 失重 5wt% 的温度在 367°C 左右, 500°C 时残炭量为 8.25wt%。由此可见, 自制绕环胶和外涂覆层胶的热分解过程相似, 其主要的成分也类似。对图 3 (c) DSC 曲线分析发现, 外涂覆层的玻璃化温度在 149.9°C 左右, 自制绕环胶的玻璃化温度在 175.2°C 左右, 外购绕环胶的玻璃化温度在 193.5°C 左右。在光纤陀螺的工作的温度范围内, 三款胶的热稳定性都较好, 但自制胶与外涂覆层的玻璃化温度更接近。

3.3 热膨胀系数

将三种树脂固化后制成标准样品进行热膨胀系数测试, 实验结果如下图 4 所示。图 4 (a) 为热膨胀曲线, 主要观测物体随温度变化时长度或体积的变化情况, 图 4 (b) 为平均热膨胀曲线, 主要观测一段时间内物体的长度或体积随温度变化的情况, 图 4 (c) 为微分热膨胀曲线, 它是对热膨胀曲线进行微分处理后得到的曲线, 能够清晰地看到材料在热膨胀过程中的变化率。从热膨胀曲线图 4 (a) 可以明显观察到自制绕环胶的转折点温度为 96°C , 热膨胀曲线在转折点之后收缩一段时间又继续膨胀, 但始终围绕着外涂覆层胶的热膨胀曲线上下波动。从图 4 (b) 可以发现自制绕环胶的平均热膨胀曲线膨胀到转折点 79°C 之后收缩一段时间又在 116°C 继续膨胀, 但自制绕环胶的平均热膨胀曲线也围绕着外涂覆层胶的平均热膨胀曲线上下波动。由图 4 (c) 可知, 自制的绕环胶变化速率也更贴近外涂覆层, 在应力释放的过程同步效果更好^[11]。外购绕环胶热膨胀系数与外涂覆层差距较大, 在加热过程中, 产生形变更大, 对内产生应力也越大。综上可知, 自制绕环胶的热膨胀系数与外涂覆层胶的热膨胀系数更加贴合, 在加热过程中产生局部内应力更小。

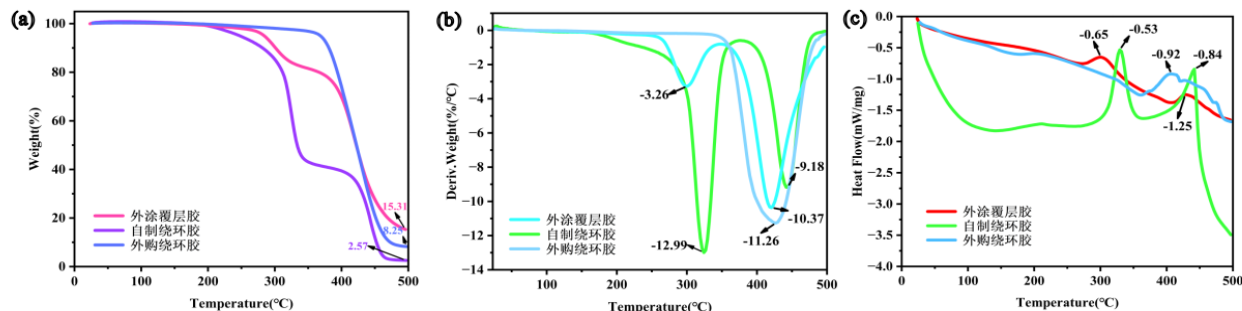


图 3 (a) 三种样品 TG 曲线; (b) 三种样品 DTG 曲线; (c) 三种样品 DSC 曲线

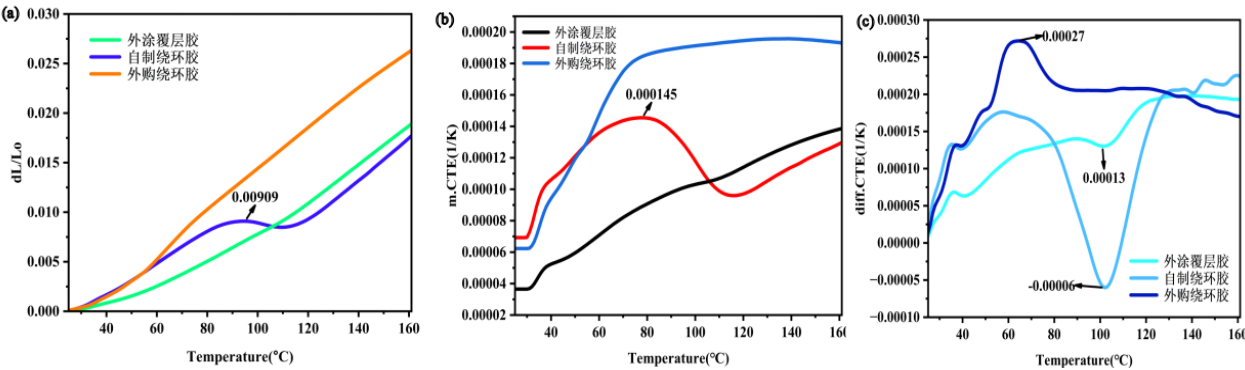


图 4 (a) 三种试样热膨胀曲线, (b) 三种试样平均热膨胀曲线, (c) 三种试样微分膨胀曲线

3.4 光纤环全温性能测试

将两款绕环胶分别绕环处理,放入温箱,与光源、探测器等搭建光纤环测试系统,进行全温性能测试。主要检查光纤环在不同环境温度下的表现。本次实验进行的是 -40℃~60℃范围的测试,升温速率为 1℃/min。对得到的数据进行分析,重点观察零偏、零漂,及可补性,具体数值如下表 1 所示。

表 1 光纤环测试结果表

编号	常温零偏	零漂	可补性
自制绕环胶绕环	0.09656	0.0167	好
外购绕环胶绕环	0.129598	0.0241	较好

从上表可以看出,在温度变化的过程中,自制绕环胶绕成的环零偏表现很优秀,零偏稳定性(零漂)值 0.0167°/h 也更低于外购胶的 0.0241°/h。

4 结论

绕环胶主要用于固定光纤,确保在环绕过程中保持稳定,防止光纤因外力或温度变化而发生变形,此外,环胶的材料特性会影响光纤的机械性能和光学性能。不同材料的热膨胀系数差异会导致在温度变化时光纤的应力集中,进而影响测量精度。本文通过实验验证,当自制的绕环胶玻璃化温度,热膨胀系数等性质与外涂覆层越接近时,外界温度环境变化对光纤环的影响也越低,因为协同性误差更好,对陀螺的精度影响更小。通过以上研究,可以为光纤陀螺仪的性能提升提供理论支持和实验依据。

参考文献

[1] 王巍. 新型惯性技术发展及在宇航领域的应用[J]. 红外与激光工程, 2016, 45(03): 11-16.

[2] 胡建帮, 王贵腾. 光纤陀螺仪的原理、应用及发展[C]//国防科技大学智能科学学院, 湖南云箭集团有限公司. 2023年全国智能导航学术论文集. 湖南云箭集团有限公司, 2023: 6.DOI:10.26914/c.cnkihy. 2023.037817.

[3] 黄冬. 高精度光纤陀螺仪的研究[D]. 西安石油大学, 2019.

[4] 张天乐, 温坤华, 张翔, 等. 光纤陀螺光路热致零漂误差机理与抑制方法[J]. 弹箭与制导学报, 2024, 44(05): 14-24.DOI:10.15892/j.cnki.djzdx.2024.05.003.

[5] 田凯迪. 干涉式圆保偏光纤陀螺偏振特性及温度性能研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2023. DOI: 10.27061/d.cnki.ghgdu. 2023.002472.

[6] 孟照魁, 邵洪峰, 徐宏杰, 等. 固胶对保偏光纤环的影响[J]. 北京航空航天大学学报, 2006 (08): 958-961. DOI:10.13700/j.bh.1001-5965. 2006.08.020.

[7] 杨学围, 杜新政, 林恒, 等. 封装光纤线圈的胶粘剂对光纤产生的热应力影响[J]. 中国惯性技术学报, 2003(06): 95-98.

[8] 黄星, 万欢, 崔丽云, 等. 光纤陀螺环纤胶匹配性探讨[C]//光纤材料产业技术创新战略联盟. 光纤材料产业技术创新战略联盟一届六次理事会暨技术交流会会议文集. 武汉长盈鑫科技有限公司, 2016: 7.

[9] 王玉杰, 刘浩, 孔明明, 等. 绿色环保型聚氨酯胶粘剂的制备及性能研究[J]. 中国胶粘剂, 2017, 26(06): 23-25+55.DOI:10.13416/j.ca. 2017.06.006.

[10] 肖文清, 涂伟萍. 光固化超支化聚氨酯丙烯酸酯的合成及其固化膜性能[J]. 高校化学工程学报, 2009, 23(02): 240-245.

[11] 车亚敏. 紫外固化聚氨酯丙烯酸酯复合材料的热物性研究[D]. 中国科学技术大学, 2022. DOI:10.27517/d.cnki.gzkju. 2022.001386.

Exploration of the development trend of industrial robots in the era of artificial intelligence

Qingguang Huang

Zhejiang Zhongyang Liku Technology Co., Ltd., Jiaxing, Zhejiang, 314100, China

Abstract

With the rapid development of artificial intelligence technology, industrial robots are undergoing unprecedented changes. This paper discusses the composition, development history, core technology and future trend of industrial robots. This paper first analyzes the core components of industrial robots, such as mechanical structure, control system, drive system and perception system. Then, the development process of industrial robots was reviewed, and the progress of key technologies such as high-precision reducer technology, motor and servo drive technology was discussed. Then, the future development trend of industrial robots in the era of artificial intelligence is prospected, including performance improvement, biological and biomimetic development, sensor fusion configuration technology, and intelligent and networked control system. Finally, the article also puts forward corresponding suggestions for the problems existing in the development of China's industrial robots, aiming to promote the further development of China's industrial robot industry.

Keywords

industrial robots; Artificial intelligence; Trends

人工智能时代工业机器人的发展趋势探索

黄庆光

浙江中扬立库技术有限公司, 中国·浙江 嘉兴 314100

摘要

随着人工智能技术的快速发展,工业机器人正经历着前所未有的变革。本文从工业机器人的构成、发展历程、核心技术以及未来趋势等方面进行了深入探讨。文章首先分析了工业机器人的机械结构、控制系统、驱动系统和感知系统等核心组成部分。接着回顾了工业机器人的发展历程,并探讨了高精度减速机技术、电机与伺服驱动器技术等关键技术的进展。随后展望了工业机器人在人工智能时代的未来发展趋势,包括性能提升、生物性与仿生性发展、传感器融合配置技术以及控制系统的智能化与网络化。文章最后还针对我国工业机器人发展中存在的问题提出了相应的建议,旨在推动我国工业机器人产业的进一步发展。

关键词

工业机器人; 人工智能; 发展趋势

1 引言

工业机器人作为现代制造业的重要组成部分,自20世纪50年代问世以来,经历了从简单机械操作到智能化、自主化的巨大转变。随着人工智能技术的迅猛发展,工业机器人正逐步从传统的自动化设备演变为具备自主学习、感知和决策能力的智能系统。在这一背景下,探索工业机器人在人工智能时代的发展趋势,不仅有助于推动制造业的智能化升级,也为我国工业机器人产业的未来发展提供了重要的理论依据和实践指导。本文将从工业机器人的构成、核心技术、

发展趋势以及我国面临的挑战与对策等方面进行系统分析,以期对相关领域的研究和实践提供参考。

2 工业机器人概述

2.1 工业机器人的构成和类型

工业机器人是现代工业生产中不可或缺的重要设备,通过模拟人类手臂的动作,实现对工件的抓取、搬运、装配、加工等功能。工业机器人的构成主要包括机械结构、控制系统、驱动系统和感知系统四个部分。机械结构是工业机器人的骨架,主要由基座、腰部、臂部、腕部和手部组成,不同类型的机械结构决定了机器人的适用范围和灵活性^[1]。控制系统是工业机器人的大脑,主要负责接收和处理信号,控制机器人的运动轨迹和作业任务。驱动系统则是将电能转换为机械能,为机器人提供动力,常见的驱动方式有电气驱动、

【作者简介】黄庆光(1968-),男,中国浙江金华人,本科,高级工程师,从事机电领域:仓储物料设备、仓储机器人;电池行业:专用非标设备研究。

液压驱动和气压驱动。感知系统则包括传感器和检测装置，用于获取环境信息和工件状态，使机器人能够准确执行任务。

2.2 工业机器人的发展概况

工业机器人的发展源头可追溯至20世纪50年代，由美国发明家George Devol与Joe Engelberger成立的一家名为Unimation公司，发明制造出了世界上第一台可编程的工业机器人——Unimate（译为“万能自动”）。这也标志着机器人时代的开启。随后，日本和欧洲等发达国家纷纷加入工业机器人的研发与应用行列中来，使得工业机器人技术得到了迅速的发展。在过去的几十年里，工业机器人的发展经历了示教再现型向智能型机器人的转变，其发展概况主要体现在以下几个方面：①工业机器人的应用领域不断拓展，从最初的汽车制造业逐步渗透电子、食品、化工、医疗等众多行业，成为推动产业结构优化的重要力量。②工业机器人的性能不断提高，速度、精度、负载能力等关键指标均有显著提升，使得机器人在复杂环境下的作业能力得到加强。③工业机器人控制系统和软件的发展，使得机器人具备了一定的自主学习、感知和决策能力，为人工智能技术的融合奠定了基础。在我国，工业机器人产业得到了国家政策的大力支持，市场规模持续扩大，已成为全球最大的工业机器人市场。然而，与国际先进水平相比，我国工业机器人在核心技术和高端产品方面仍存在一定差距。

3 人工智能时代工业机器人的技术分析

3.1 高精度减速机技术

高精度减速机技术主要指的是能够实现高传动精度、高刚度、低背隙和低噪音的减速机技术，对于提升工业机器人的性能和可靠性具有决定性作用。这种技术的核心在于采用了精密的齿轮加工工艺和独特的结构设计，使得减速机在传递动力时能够达到极高的精度和稳定性。高精度减速机技术的关键点包括：首先，齿轮的加工精度。通过采用先进的磨齿技术、剃齿技术等，使得齿轮的齿形、齿距误差极小，从而降低传动误差，提高传动效率。其次，材料的选用。高精度减速机通常采用高性能合金钢或特种钢材，通过热处理工艺提高齿轮的硬度和耐磨性，确保减速机在高速运转下的可靠性和寿命。再次，独特的润滑系统设计。通过优化润滑路径和润滑方式，减少齿轮磨损，降低运行温度，延长减速机的使用寿命。

3.2 电机和高精度伺服驱动器技术

在人工智能时代，工业机器人的技术分析不可或缺地涉及电机和高精度伺服驱动器技术，这两者作为机器人的动力源泉和精准控制的核心，共同决定了机器人的性能和效率。电机是工业机器人的心脏，负责将电能转换为机械能，而高精度伺服驱动器则如同大脑，对电机的运转进行精确控制，确保机器人能够准确、迅速地执行复杂任务。高精度伺服驱动器技术集成了电力电子技术、控制理论和计算机技术，通过闭环控制实现电机转速和位置的精确控制，其关键

技术包括矢量控制、位置控制、速度控制和电流控制等。矢量控制技术能够实现电机转矩和磁通的解耦控制，使得电机在宽广的速度范围内都能保持较高的效率和稳定性；位置控制则确保了电机在运动过程中的定位精度，对于要求高精度定位的机器人应用尤为重要；速度控制保证了电机在预设的速度范围内平稳运行；而电流控制则是确保电机高效、安全运行的基础。

4 人工智能时代工业机器人的发展趋势

4.1 工业机器人性能持续提升

在新时期的发展趋势下，工业机器人的精度和稳定性将得到显著提高，这得益于高精度减速机技术、伺服驱动器技术和先进的控制算法的发展，工业机器人能够实现更加准确的运动控制和重复定位，满足了精密装配、高精度加工等领域的需求。其次，机器人的负载能力不断增强，新型材料和应用理念的应用使得机器人的结构更加坚固，能够承受更大的负载，拓宽了机器人在重工业、物流行业等相关技术产业的应用范围^[2]。此外，机器人的速度和加速度不断提高，高速运动控制技术的进步使得机器人在保证精度的基础上，大大提升作业效率，缩短作业周期，提高生产效率，不仅如此，机器人的智能水平也迎来不断提升，人工智能技术的融合使得机器人具备更强的自主学习、自主决策和自适应能力，能够应对更加复杂多变的作业环境。同时，机器人的能效比也在不断提高，节能设计和高效驱动技术的应用降低了能耗，符合绿色制造和可持续发展的要求；最后，机器人的可靠性不断增强，通过故障预测与健康管理系统，机器人的维护更加科学，故障率降低，使用寿命延长。

4.2 工业机器人向着生物性与仿生性方向发展

在人工智能时代的推动下，工业机器人朝着生物性与仿生性方向发展的趋势体现了人类对于自然界生物特性的模仿与应用，意在提升机器人的适应能力、灵活性和智能水平，生物性与仿生性的发展包括如下几个方面：首先，机器人的形态设计越来越接近生物特征，如仿生机器人的手部关节设计模仿人类手指的灵活性和握力，使得机器人能够完成精细的操作任务。其次，机器人的运动模式借鉴了生物的运动机理，如四足机器人的行走模式就是通过模仿动物的步态，能够在复杂的地形上稳步行走，提高了机器人在非结构化环境中的作业能力。再次，机器人的感知系统融合和生物的感知能力，如模仿人类视觉和触觉的传感器，使机器人能够更准确地感知外部环境，进行有效的交互。此外，机器人的控制策略也在向生物神经系统靠拢，如使用神经网络和机器学习算法模拟大脑的处理方式，使机器人能够进行自主学习、决策和适应。同时，机器人的材料选择也在向生物材料靠拢，如开发具有自修复功能的材料，使机器人在受损后能够自我修复，延长使用寿命。

4.3 工业机器人传感器融合配置技术

人工智能时代下的工业机器人的广泛应用与发展，基

于通过多种传感器采集的数据进行综合分析处理,这一技术极大地提升了机器人的环境感知、决策和控制能力。传感器融合配置技术的重要发展趋势体现在如下几个方面:首先,传感器种类和数量的多样化,现代工业机器人不仅配备了传统的视觉、触觉、力觉传感器,还集成了激光雷达、超声波、红外、温度等多种传感器,实现了对作业环境的全方位感知;其次,传感器数据融合算法的进步,通过采用先进的信号处理、模式识别和机器学习技术,机器人能够更准确地解析传感器数据,提高感知的准确性和可靠性;再次,传感器融合系统的实时性提升,高速数据处理和传输技术的应用使得机器人能够实时响应环境变化,进行快速决策和动作调整;此外,传感器融合技术的智能化,通过与人工智能算法的结合,机器人能够实现更高级的感知功能,如自主避障、物体识别、场景理解等;同时,传感器融合技术的模块化和标准化,使得传感器配置更加灵活,便于集成和升级,满足了不同应用场景的需求。

4.4 工业机器人控制系统更加完善

工业机器人控制系统的智能化水平不断提升,通过集成先进的算法和人工智能技术,能够使机器人实现更复杂的任务规划和决策制定,例如,利用深度学习和强化学习,机器人可以自主优化作业路径,提高作业效率和精度;其次,控制系统的网络化发展,使得机器人能够与工厂内的其他设备和系统进行实时数据交换和协同作业,通过工业互联网,机器人可以实现远程监控、故障诊断和维护,大大提高了生产管理的便捷性和效率;再次,控制系统的模块化设计,使得机器人的配置更加灵活,可以根据不同的生产需求快速调整和升级控制系统,这种设计也便于系统的维护和扩展^[3];此外,控制系统的开放性增强,开放的编程接口和软件平台使得开发者能够更容易地定制和优化机器人的功能,满足了个性化生产的需求;同时,控制系统的安全性也得到了前所未有的重视,通过采用加密通信、安全认证等技术,确保了机器人在数据传输和操作过程中的安全性;最后,控制系统的实时性不断提高,高速的处理器和优化的控制算法使得机器人在执行任务时能够更快地响应外部变化,提升了机器人的动态性能和稳定性。

5 人工智能时代中我国工业机器人发展存在的问题与建议

我国的工业机器人发展虽取得了一些显著成就,但仍

存在一些略显薄弱的项目,亟待提出相应的解决建议。

第一,核心技术研发能力不足,国产工业机器人在关键零部件如精密减速器、伺服电机和控制器等方面仍依赖进口,导致成本较高,并且受制于人,因此建议加大研发力度,提高研发投入,突破核心技术瓶颈,摆脱在核心技术上被其他国家“卡脖子”的尴尬局面,提高我国国产零部件的自主化水平。

第二,产业链配套不完善,目前,我国工业机器人产业尚未形成完整的产业链,导致上下游企业之间协同效应不足,建议通过相关政策引导,给予适当的资金支持,培育出一批具有国际竞争力的机器人产业链上下游相关企业,形成良好的产业生态。

第三,市场应用推广力度不够,许多企业尤其是中小企业对工业机器人的认知度和接受度不高,应用范围有限,建议政府和行业协会加强宣传推广,提供技术培训和财政补贴,鼓励企业尤其是中小企业使用工业机器人进行智能化改造。

第四,人才队伍建设不足,我国工业机器人领域缺乏高端人才和专业性技能人才,建议高校和职业院校加强机器人相关专业的设置和人才培养计划,同时加强企业与教育机构的合作,共同培养出符合市场需求的人才。

6 结语

人工智能时代的到来为工业机器人带来了前所未有的发展机遇,同时也提出了更高的技术要求。目前,工业机器人正朝着高精度、高智能化、生物性与仿生性、传感器融合以及控制系统智能化的方向快速发展。然而,我国在核心技术研发、产业链配套、市场应用推广和人才队伍建设等方面仍面临诸多挑战。为此,必须加大研发投入,完善产业链,加强市场推广,培养高端人才,以推动我国工业机器人产业的持续健康发展。随着未来科技的不断进步与应用范围的拓展,工业机器人将在更多领域发挥重要作用。

参考文献

- [1] 牛皓聪.机器人在制造业中的应用与发展趋势[J].产业创新研究,2024,18(14):32-34.
- [2] 夏海洵.人工智能时代工业机器人的发展趋势探索[J].现代工业经济和信息化,2023,13(04):287-288.
- [3] 任斌.人工智能背景下工业机器人发展动态[J].电子世界,2021,13(09):8-9.

Digital terrestrial television transmitter technology and measurement methods

Badelatu

Chenbal Tiger Banner Integrated Media Center, Chenbal Tiger, Inner Mongolia, 021500, China

Abstract

With the development of economy and society and the progress of information technology, China's radio and television industry has developed rapidly, and people have put forward higher requirements for the clarity and sound quality of TV images. Therefore, the broadcast and television industry continues to innovate and apply new technologies, among which the shift from analog TV signals to wireless digital signals is a typical representative. The application of terrestrial digital TV transmitter makes radio and television transmission more high-quality, but its technical maintenance is more difficult, so relevant practitioners need to understand the technology better to ensure technical maintenance and maintenance, and promote the update and iterative development of technology. This paper focuses on the relevant content and measurement methods of terrestrial digital television transmitter technology.

Keywords

terrestrial digital television; Transmitter; Measurement; technology

地面数字电视发射机技术与测量方法

巴德拉图

陈巴尔虎旗融媒体中心, 中国·内蒙古 陈巴尔虎 021500

摘要

随着经济社会的发展和信息技术的进步,我国广播电视行业得到迅猛发展,并且人们对电视图像的清晰度和响声品质提出了更高的要求。因此,广播电视行业不断创新和应用新技术,其中从模拟电视信号转向无线数字信号是典型代表。地面数字电视发射机的应用使广播电视传输更为优质,但是其技术维护更加具有难度,所以需要相关从业人员更加了解该技术,以保证技术维护和养护工作,促进技术的更新迭代发展。本文着重阐述了地面数字电视发射机技术的相关内容和测量方法。

关键词

地面数字电视; 发射机; 测量; 技术

1 引言

数字电视逐渐取代模拟电视在日常生活中成为越来越多用户的选择,为用户带来更好的观看体验。地面数字电视是一种融合多种技术的现代化传播方式,其工作原理就是通过数字编码的形式进行电视目录录制、收集、广播和接收^[1]。数字电视接收信号更为稳定和简便,由此使其传播应用范围进一步扩大。但是,如何保证地面数字发射机技术的高效性和稳定性成为技术人员的工作重点。

2 地面数字电视发射机技术概述

2.1 简介

地面数字电视广播是广播电视的一次重大创新和探索。

【作者简介】巴德拉图(1976-),男,蒙古族,中国内蒙古陈巴尔虎旗人,本科,助理工程师,从事地面无线数字电视发射研究。

与传统的模拟电视相比,地面数字电视具有抗干扰强、自动化程度高、灵活性高、耗能低等优势。地面数字电视发射机技术是多种类型的,主要包括 ATSC/SVSB 全时域处理技术、DVB-T/C-OFDM 全频域处理技术以及 DTMB/TDS-OFDM 频、时域处理技术等。作为我国自主研发的 DTMB/TDS-OFDM 频、时域处理技术可以支持高清、标清和电视三种接收方式,可以分为单频网和多频网,因此可以根据不同业务选择不同的模式,实现高参数和高性能,实现业务和传输的高质量匹配,保证业务经营的稳定性和经济性。地面数字电视广播系统主要包括信源编码器、TS 信号接收机、加密机、数字激励器、GPS 信号接收机、数字电视发射机、天馈系统等组件。地面数字电视发射机作为地面数字电视广播系统的重要部分,属于发射信号部分,主要包括传输网络适配器、发射机、天馈系统和 GPS 信号接收机^[2]。

2.2 优势

2.2.1 抗干扰能力强

地面数字电视发射机技术的快速革新不仅大幅度提升

了电视图像的清晰度,还进一步打破了信号接收的时间和空间限制,极大程度上强化了信号接收和发射的平稳性。我国通常采用电视 DVB-T 规范的地面数字电视无线发射机,实现 VHF 和 UHF 载波通信充分结合,极大程度上提升了地面数字电视发射机的解码技术和频率,增强了信号传输的质量。地面数字电视发射机通常采用了模块化设计,使信号接收、发射可以根据实际情况采用不同的波段,提升信号传输的稳定性和抗干扰能力,保证可以实时向用户输出优质的音像。

2.2.2 自动化程度高

随着地面数字电视发射机技术的更新迭代以及人工智能、云计算等计算机技术的使用,其自动化、智能化水平在不断提升,已经充分具备精准及时的故障预警系统,使发射机技术检修更易于操作。并且如果地面数字电视发射机在应用过程中出现一些较为常见的问题就会自动发射故障信号给专家,使其对故障类型和检修进行分析,进而得出具体是哪些部件故障引起的。实现自动识别和报警,节省分析故障原因的时间,快速做出反应,实现对设备和系统的高质量管理和控制,降低运营和检修成本,提升检修效率。

2.2.3 灵活性强

地面数字电视发射机技术可以采用多路复用技术,即将多个频道汇集到一个节目进行集中传输,从而提升传输效率和质量。多路复用技术的使用不仅可以最大程度上利用频谱资源,还能向用户传输更多的节目和频道,使用户的体验感会更加满意。地面数字电视发射机从用户的地域和需求喜好出发,信号传输上更具有灵活性。地面数字电视发射机技术的使用可以实现对地域和频道的定向发射,从而满足用户个性化和多样化的观看需求。

2.2.4 能耗低

地面数字电视发射机技术通过应用数字编码解构过程,即“编号—传输—编解码”过程^[3],并且辅以高性能的输出功率合成技术,强化放大场效应管运算能力,使发射机电压低于 5%、电流流量低于 10%,大幅度提升了传输速度,减少耗能,进一步节约资源。

2.2.5 适配程度高

地面数字电视发射机可以对周围环境进行实时监控,并且利用不同设备的信息交换实现远程操作,实现技术应用的适配性和智能化。由于发射机技术使用模块化设计,工作人员对设备的检修和维护更为方便,实现降本增效。

2.3 特征

2.3.1 数字电视激励器

数字电视激励器作为地面数字电视发射机的重要组成部分,其运行效果直接决定着发射机技术的传输质量。所以在选择数字电视激励器的各个部件时,相关技术人员应充分考虑影响质量的多重因素,以提升产品质量。数字电视激励是用来编码信息和传输信号的,所以其零部件质量影响最终

的电视画面和声音。技术人员应重点检查数字电视激励器的运行情况,以保证高质量的传输。地面数字电视发射机会使用双激励器,预留备份信号,保证播出安全。使用全自动输出功率控制系统可以增强稳定性。

2.3.2 功率分配器及合成器

功率分配器及合成器可以稳定地面数字电视发射机的功率,并实现多种形式信号的转换,再将功率精准分配给各个功率放大模块,再利用功率合成机制传输到天馈系统。例如,1kW 的功率分配器可以利用威尔金技术分配成两个相同的信号,使功率合成器更为稳定和准确,使地面数字电视发射机信号传输性能更优质。

2.3.3 功率放大器

功率放大器存在多种性能,可以适配功率分配器和合成器、场效应管匹配网络等设备,但是需要注意的是做好电路的屏蔽接地,并且要注重使用排热基材。

3 地面数字电视发射机关键技术

3.1 软件控制技术

软件控制技术作为地面数字发射机技术的关键技术之一,主要包括通信软件和内部控制软件。在进行内部控制软件运行之前需要首先设置程序框架,保证系统正常运行。例如,某个程序框架包括文件管理系统、实时化操作系统等中间件,实现内容控制软件的有效搭建。使用如 SPI 等接口可以将多种模块组合获得高质量的通信效果,并且合理编写相关驱动程序,搭建内部关联。地面数字电视发射机可以实现强有力的通信,在内部控制软件中设置客户端服务器,可以对发射机进行实时监控。灵活发挥客户端服务器的控制性能,可以做到对发射机参数的远程及时调整,并且合理控制其他设备的参数,增强设备的稳定性。

3.2 自适应功率合成技术

地面数字电视发射机的功率放大需要通过功放模块。但是,如果只有一个模块难以实现预期中的功率,所以需要利用多个模块实现功率放大的效果,提升多层次功率合成的效果。当输入射频信号后,首先利用功放模块将信号做分解处理,然后利用功放模块对分解完成的信号集中放大处理,最后将放大后的信号做合成处理,达到预期的功率标准。例如,“不等分、定向耦合”功率处理,当输入射频信号后,会被分解成不同的四个方向,并且分别利用功率放大器进行功率放大化,实现功率的整合,获得既定的功率目标。值得注意的是,输出的信号相位并不一致,存在 90° 的差距,功放模块并不会改变相位差距。利用比例耦合做功率合成,以获得最大的功率。信号相位会受到元件、电路等因素的影响而存在细微的差距,相位差并不会获得绝对的 90°,所以必须将相位误差控制在标准范围内以保证发射机使用质量。地面数字电视发射机需要对电路和输出信号进行集中化处理,并利用功率合成技术与变步长相位扫描方法调整相位

差距,实现多重的整体调整。

4 地面数字电视发射机技术的测量方法

4.1 功能验证测量

功能验证测量是开展地面数字电视发射机技术测量的关键方式。相关人员进行精准性功能验证的数据测量和信号传输过程中,必须按照连接框架图的说明介绍,严格按照步骤进行操作,使多个系统获得合理科学的连接,保证功能验证数据的精准性。技术人员要对涉及误差的设备和图像进行细致观察,一旦超出相位差超出误差率必须进行干预和纠正,保证将误码率控制在合理范围内,进一步保证发射机输出信号的准确性。通常地面数字电视发射机技术要将误码率误差降低到 1min 内,做到数据为 0。

4.2 频谱特性测量

频谱特性测量是开展地面数字电视发射机技术的另外一项重要测量方式,需要根据实际情况进行调整和设计,保证发射机工作方式和频率相匹配,获得高质量的输出信号。利用频谱分析仪器对频谱特性进行准确测量,由此实现对整体设备的运作和调整,做好对各项参数的精准分析,避免内部软件控制系统的频率出现过大的数据偏差,导致信号传输的稳定性程度降低,发射机接收信号能力较弱,影响数字电视的画面和声音。

4.3 本振性能测量

本振性能测量是地面数字电视发射机技术的一种常见测量方式。性能测量过程需要将地面数字电视发射机的本振测试端口与频率计等设备进行连接。另外,本振性能测量中需要技术人员将测量过程、测量次数和测量结果进行准确记录,并对这些数据进行深入挖掘和研究,进一步保证数字电视画面播出的平稳性。

4.4 整机频率测量

整机频率达到标准之后才能够发挥出发射机的最大功效。技术人员在进行频率测量时应根据地面数字电视发射机的效率公式进行测算:

$$\text{地面数字电视发射机整体高效率} = \frac{\text{功率}}{\text{整个设备的功能损耗}}$$

所有机器和设备连接之后要使用耦合计算效率,做到对整体信号强度的测量,促进功率的稳定运行。通过测量模拟发射机明确地面数字电视发射机的缺陷或者不足之处,做进一步的优化和调整,提升发射机的效率,稳定整体输出功率。

5 地面数字电视发射机的维护

5.1 散热系统维护

第一,做好散热片的清洁工作。散热片是发射机散热系统的重要组成部分,技术人员应对散热片做定期的清理,

及时去除杂物,保证散热系统的正常运行。第二,做好风扇检修。技术人员应定期检查风扇的使用状态,如果发现问题应及时维修或者替换零部件。做好风扇的清洁,避免灰尘堆积影响通风。

5.2 做好冷却系统的维护

要保证地面数字电视发射机的稳定运行必须定期维修和保养冷却系统。冷却系统的质量会受到多种外界因素的影响。在面临恶劣天气时,冷却系统容易出现堆积灰尘的问题,影响其正常运转。发射机在长期的运转中会产生大量的热量,一旦热量无法正常排出就会影响其性能和使用寿命。使用液体冷却系统是一种较为常见的维护方式,其工作原理是利用液体的循环排出热量,实现降温的目标。另外,液体在循环过程中可以带走附着在零部件的灰尘,使其保持清洁状态,保证冷却系统的正常稳定运行。另外,变送器也会影响冷却系统的运行状态,即当其稳定运行时可以改善周围的环境,为冷却系统提供更加良好的工作环境。

5.3 做好用电检修

第一,检查电源。负责人员应定期检查和维修电源线路,确保电源线无破损,避免出现漏电等情况。注重电压的稳定性,如果有异常情况应做好第一时间的紧急处理。第二,电路检查。负责人员应定期检查发射机内部的电路,保证线路无短路、断路等问题。

5.4 做好备件的备份和替换

第一,备件备份。为了应对紧急情况,部门应做好发射机零部件的备件备份工作,保证发生故障时可以及时更换,维持发射机的正常运转。备件应放置在干燥、通风的位置,做好防潮防腐工作,实现定期检查和更换。第二,备件更换。当发射机发生故障时,维修人员应及时更换零部件,保证备件与发射机零部件各项参数一致,安装顺序严格根据操作手册进行。更换后要进行测试,保证其运行质量。

6 结语

地面数字电视发射机技术是对模拟电视的一次革新,可以为用户提供更加优质的信号传输。本文主要介绍了发射机的关键技术、不同的测量方式以及维护方式,强调信号传输和数据传达的精准性,强化数据传输的稳定性,保证发射机可以接收、传输精准的数据,延长其使用寿命。

参考文献

- [1] 王禹凡.地面数字电视发射机技术与测量方法[J].数字传媒研究, 2023, 40 (09): 41-43.
- [2] 张莉军.地面数字电视发射机关键技术与日常维护探讨[J].中国信息界, 2024, (04): 240-242.
- [3] 姜山.央广工程地面数字电视发射机的维护检修及故障处理[J].电声技术, 2024, 48 (11): 4-6, 16.

Architecture and practice of wireless government private network in a city

Xiaojing Tang

Nanjing Xintou Kuanhui Wireless Network Communication Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210000, China

Abstract

In the rapidly changing era of information technology, the demand for broadband wireless communication is being addressed in various public utilities such as government management, public safety maintenance, and transportation guidance. In the international perspective, developed countries led by the United States are constructing a nationwide broadband wireless private network system. The construction of a wireless government private network experimental network based on time-division technology in China. With the continuous deepening of market applications and the steady progress of standardization, the wireless government private network within the metropolitan area has grown and developed through continuous exploration. This is not only an indispensable part of the construction of a smart city in a certain city, but also requires the improvement of the city's comprehensive management capabilities, the improvement of emergency response mechanisms, and the strengthening of network and service guarantee capabilities during major events.

Keywords

wireless communication; Smart city; Integrated management of emergency response mechanism

某市无线政务专网架构与实践

唐小晶

南京信投宽慧无线网络通信有限公司, 中国·江苏南京 210000

摘要

在信息技术日新月异的当下, 针对宽带无线通信的需求, 在政务管理、公共安全维护与交通出行指导等诸多公共事业的范畴内。在国际视野中, 尤以美国为引领的发达国家群体, 构建全国范围的宽带无线专用网络体系。我国国内, 时分技术为依托的无线政务专网试验网络的建设工作。伴随着市场应用的持续深化以及标准化进程的稳步推进, 城域范畴内的无线政务专网, 在不断的摸索中成长壮大, 这不仅是某市智慧城市建设不可或缺的一环, 亦是对城市综合管理能力提升、应急机制完善、重大赛事期间网络与服务保障能力的强化提出了要求。

关键词

无线通信; 智慧城市; 综合管理应急机制

1 无线政务专网背景

小城镇的现代化既是我们国家向前推进的一个课题, 也是我们不断扩张内需的潜在动力。一个城市的发展模式、治理能力和服务水平是决定一个国家发展水平的重要因素。智慧城市是在新一代信息技术支持下, 在知识社会和下一代创新背景下发展起来的一种新型的城市形式。

构建新的智能城市, 及时传递, 整合, 沟通; 利用城市的经济、文化和公共资源; 在管理服务、居民生活、生态环境等方面, 都有了很大的进步, 因此, 在一定程度上, 政府的管理与服务的能力得到了很大的提升, 人们的物质与文化生活也得到了很大的改善。在推进智慧城市建设中, 无线

宽带集群专用通信网正是在这种需求下诞生的, 专用网络计划利用国内领先的 TD-LTE (Time Long Term Evolution, TD-LTE), 利用 1.4 GHz 频段资源, 构建一个城市级可提供高带宽、高速率、可移动性的网络; 并且能够在各种条件下, 为突发事件提供可靠的服务, 并进行紧急的指挥和调度。

经过对行业技术的调研, 某市在全国范围内率先试点时分长期演进 (TD-LTE) 无线宽带集群技术, 在大型活动召开前夕, 建成技术先进, 产品成熟, 网络稳定的无线宽带政府专用网。解决不同城市专网承载数据业务和语音业务, 网络之间无法互通的状况, 为行业专网发展探索新的道路。为城市管理部门处理紧急情况时的决策渠道, 为其提供强有力的支持。

重要赛事 (如某市马拉松) 是一个人数众多参加、地域覆盖、频繁活动、广阔领域、活动主题的综合体育赛事。社会关注度高、大型群体活动, 对综合指挥调度的需求十分

【作者简介】唐小晶 (1989-), 男, 中国江苏启东人, 本科, 工程师, 从事电子政务外网研究。

强烈。通过政务专网的建设,满足赛事中语音移动、高清视频、数据业务的需要。通过本项目的研究,为我国的实际应用奠定基础,为我国的实际应用奠定基础。

2 无线政务专网架构

无线政务专网规划的原则:①无线网络覆盖某市十二个行政区。②无线网络解决好网络质量与无线覆盖的问题。③有线骨干网络采用覆盖全市的万兆光网络,骨干网络成环。④利用已有的基础通信设施,避免重复投资。

无线政务专网建设目标:通过基站设备、传输骨干网、网络运维、应用平台四个方面的内容建设,形成一张有效、安全、可控的无线政务专网,完成视频同步回传,视频会议,数据传送,声音呼叫等服务。

无线政务专网系统架构及设备组成,采用时分长期演进(TD-LTE)技术和设备构建无线政务专网,采用时分长期演进(TD-LTE)基站对某市主城区覆盖,使用终端设备满足各行业的应用需求,提供无线方式的网络接入。

某城市无线政府专用网络由终端、无线网络和有线网络组成;终端包括以下类型:数据卡:为单个用户提供网络用户接入;高速无线网关:可将专网信号转换成平板电脑、智能手机、笔记本等移动终端使用的无线网络信号,直接连接电脑使用。嵌入式模块:为个人便携终端提供可在多网间自由切换的无线数据通信能力;手持终端:为个人提供多媒体功能,平板电脑:确保用户随时办公。

无线网络接入部分由演进型节点B(Evolved NodeB),即基站组成,包含基带处理单元(BBU)和射频拉远单元(RRU)构成。

无线政务网络核心网络部分由基带处理单元(BBU)主要由主控与时钟模块、基带处理模块、风扇模块、电源以及机箱构成。基带处理单元(BBU)提供GE/FE接口,支持网际互联协议(IP)网络。为了满足不同网络环境和不同传输方式的需要,支持与射频拉远单元(RRU)通过星型、链型和混合组网。

无线政务专网有线部分由多个核心机房和汇聚机房组成,骨干光缆采用大芯数的专用光缆进行铺设,适应骨干网络大带宽的需求,接入光缆也采用专用光缆进行铺设,光缆覆盖全市全部行政区域,节点全部入环避免单点故障造成的网络抖动及不稳定因素等带来的影响。

核心环网带宽可达万兆,采用服务商高端交换设备和传输设备,各节点之间大芯数光缆互联,动态路由协议冗余机制构建起环网保护。汇聚环网带宽可达多千兆,仍然采用服务商高端交换设备和传输设备,各节点之间光缆互联,动态路由协议冗余机制形成环网保护。接入环带宽可达千兆,使用工业级别的交换设备接入,节点上行采用光缆接入,使用网桥、波分等方式形成接入保护。

应用平台包含视频监控服务器、视频会议服务器、授权访问终端、视频监控管理系统、多路解码器、视频交换矩

阵、视频会议系统等。

3 无线政务专网场景应用

3.1 公共安全及应急处理

公共安全是涉及政府和老百姓的事的大事。一个城市管理能力的整体在处理紧急事情时在应急处理中得到体现,各个城市现在都建立起来应急处理的一些制度、流程还有指挥中心什么的都有的。无线政务专网因为它带宽特别大还有整合了多媒体的调度,所以能够又快又准处理突发事件带来了很大的好处。移动监控技术被使用这个作为一个新的获取现场信息方法,这让它变得更丰富了信息需要及时和正确。而移动的应急指挥中心,作为一个能灵活移动的现场指挥中心,不但这样不仅让整个城市范围的指挥调度的工作效率很高,另外还通过和已经存在的固定应急指挥中心实时进行联系通信,实现了语音、图像、视频及数据信息的无缝传输。指挥中心根据现场传回来的实际情况,使用调度系统来远程安排策略和指挥工作。另外方面,应急中心里面装的视频会议系统,不光让现场指挥的人可以直接参加开会讨论,而且还能把现场视频能实时连进会议系统,做到所有参会地方的信息分享,特别提升了应急响应时候的协同效率与决策的科学性。移动应急中心通过系统里的多媒体呼叫调度和定位功能,这样的话就能随时寻找到周边可用警力资源。

3.2 120 应急救援车

120 应急救援车在改装后的车体上,具备调度呼叫系统、视频监控设备和视频会议系统等多样功能。这些改装车辆能够实现调度呼叫的功能,同时车上装载的视频监控可以实时监控,还能通过视频会议系统进行多方连线。

120 的应急救援车上装有高科技设备,能够做到把现场的视频和语音的实时情况传回给 120 急救中心。这个系统给了急救中心最高调度和管理的权力,让它可以全面掌握控制并更好管理所有 120 急救车辆及人员,包括调度指令的下达和实时位置的追踪。

在急救中心指挥调度室的里面,他们配备有调度台、管理台还有定位监控台的设备,这样可以用来保证调度指挥工作的进行工作能够有序地开展。这里面定位监控台安装了先进的定位技术,可以在电子地图上清楚显示出所有急救车的分布情况,然后这些数据再通过高精度投影仪设备实时投影到大的投影幕墙上头,便于指挥人员全局把握,迅速做出决策。

让医院医生获取病人情况信息的时间被很大减少,这样就能很快安排更合适的医疗设备和药物从而有效地提高了急救的响应速度和救治的效率,给患者争取更多宝贵的抢救时间。

3.3 移动单兵终端

可以车载,可以背负,可以手提。提供调度呼叫,视频监控等功能。

3.4 移动办公

随着社会节奏变得更快,政府部门的办事效率也要跟上现在时代,必须得不断提升。按照服务群众的理念,服务人民为宗旨,现在很多政府部门都积极到基层去,努力处理老百姓的问题,为建设和谐社会贡献力量。通过长期演进(TD-LTE)技术的无线政务专网,我们做了个高效移动办公平台。这让政府里各级领导和员工都能用手机、平板像iPad、笔记本电脑等移动设备,随时随地连接到政府里面的移动办公系统。就算用户没在线的时候,系统还是会用推送信息的方法,及时地提醒用户有待处理的事务。

通过移动办公软件,用户能够很方便地查找待办事项和进行公文审批处理,比如说看正文内容浏览可以查看附件、看以前的历史意见、填审批意见还有处理审批流程这些事。这个平台用起来之后,不光是大大提高了政府工作的灵活性还有效率,而且促进政府服务变得更方便和高效的发展方向。

3.5 长江航运港口安防监控

长江作为中国最重要的内河运输的重要河流,承担了非常多的货物运输的任务。特别是其中某市段的主航道长度有300多公里,区域里面混合了桥区、港区还有油区以及锚地这些,然后组成了长江干线上面的典样子的复杂航道环境。特别该区域的某市港,不光长江内河这里最大的港口,还是国内年作为货物运输量超过一亿吨的十个最大的港口中的一个,每天都有很多船来来往往,水的情况非常复杂,这对航道管理来说是个很大的挑战。

更关键的是,沿江地区分布有很多大型的化工企业,这些企业的原材料和产品大部分都是依靠航运用来运输货物输入输出,同时一些货物是危险物品,如果发生事故的话,结果会很难想象。为了保证航道的安全,所以要对航道的基础水文数据进行远程监视,这些数据包括水位的情况、流速快慢、风吹的方向、温度高低、空气湿度这些温度、气压还有能见度这些重要数据,方便随时知道航道的水文和气象变化情况。同时江面的情况监控同样至关重要,这主要通过先进的视频监控技术来实现。通过使用政务无线专网,我们能够直接连接现在有的各种语音通信的系统,像是语音交换、语音广播、船只管理、火灾警报还有广播这些,把所有的设备都合并到一个界面里面,就能直接呼叫了的方便通信。这不止可以快速发起呼叫、临时建组、做组呼群呼这些,

还能让终端自己独立控制每个播放内容,完全超越传统广播系统的功能范畴。在无线政务专网的强力支持下,船舶监视系统可以高效运行,做到全天候和大范围、多艘船只的实时定位、锁定跟踪目标、指挥和调度等的这些功能。这个系统具有直观的图像化控制平台的使用,极大提升船舶的管理运行,让长江范围内船舶监控和调度指挥的效率得到了保证与准确性。

3.6 综合视频平台

综合视频平台通过无线政务专网将实时视频图像进行整合,有利于图像资源的利用,各种图像在统一的资源上部署。各种图像通过综合视频平台互连共享,有助于数据的交互和业务配合。

3.7 城市交通管理

无线宽带政务专网,凭借其融合了物联网等先进技术,为城市交通管理带来了端到端的创新解决方案。在公共出行服务方面,该专网发挥着至关重要的作用。系统后台能够实时整合并分析路面前端设备所收集的各类交通信息,精准描绘出当前的交通状况。随后,这些实时交通信息会通过无线政务专网的强大传输能力,迅速推送至交通参与者的各类智能终端,包括手机、导航设备、移动设备等。这一举措极大地提升了交通信息的可及性和即时性,为公众提供了更为快捷、便利的出行服务。在智能公交服务领域,无线宽带政务专网同样展现出了其强大的技术实力。通过集成视频监控以及移动无线通信技术,能够在公交车和公交站分别设置车载设备和采集设备,实现公交位置信息的实时采集与传输。在监控中心,这些信息会被进一步加工处理,生成丰富的数据资源,不仅有助于公交企业的自身管理和监管部门的监督,为出行者提供全面的公交综合信息服务。这一系列举措共同构建了一个信息化、智能化、社会化、人性化的智能公交综合管理系统。此外,在轨道交通方面,无线宽带政务专网也发挥着不可或缺的作用,视频监控图像能够实时通过该专网回传至监控中心,预防可能出现的交通危险。

4 结语

无线政务专网的基本应用涉及应急指挥、视频监控等公共服务领域,将有利于打造政府服务者,有效推动了法治某市、平安某市的深入建设。能够更加高效地开展各项工作,及时发现并解决社会问题。

Discussion on the risk management in the safety management system of civil aircraft test flight

Hao Zhang

Comac Shanghai Aircraft Test Flight Engineering Co., Ltd. Shanghai 20000

Abstract

Civil aircraft test flight involves the evaluation of aircraft performance, flight control system, aerodynamic characteristics and other aspects, and is an important step to verify the aircraft design and certification of airworthiness. At present, the flight environment and technical challenges are becoming more and more complex. In the test flight link, the effectiveness of the test flight safety management system is crucial to ensure the flight safety. However, the safety risks of civil aircraft test flight have a wide range of sources, such as structural failure, uncertain flight environment, human error, and insufficient data and technical support. The existence of these risks may not only affect the smooth implementation of test flight missions, but also may lead to the deviation of aircraft performance assessment, and even cause serious flight safety accidents. Therefore, it is particularly important to do a good job in the risk management of civil aircraft test flight. Based on this, this paper discusses the risk management method in the safety management system of civil aircraft test flight, in order to play a certain reference role in the improvement of the safety factor of test flight.

Keywords

civil aircraft test flight; safety management system; risk management

民机试飞安全管理体系中的风险管理的探讨

张浩

中国商飞上海飞机试飞工程有限公司, 中国·上海 200126

摘 要

民机试飞涉及机体性能、飞行控制系统、气动特性等多方面的评估,是验证航空器设计以及认证适航的重要步骤。当前飞行环境和技术挑战越来越复杂,在试飞环节,试飞安全管理体系的有效性对于确保飞行安全至关重要。但民用飞机试飞的安全风险来源广泛,既有结构故障的原因,也有飞行环境不确定的原因,还有人为操作失误的原因,更有数据和技术保障不足的原因。这些风险的存在,不仅有可能对顺利执行试飞任务造成影响,还可能导致飞行器性能评估的偏差,甚至引发严重的飞行安全事故。因此,做好民机试飞的风险管理工作尤为重要。基于此,本文以此为基础,对民机试飞安全管理制度中的风险管理方法进行了探讨,以期对试飞安全系数的提升起到一定的参考作用。

关键词

民机试飞;安全管理体系;风险管理

1 民机试飞存在的安全风险来源

1.1 结构及系统失效风险

在民用飞机试飞阶段,常常会因为新设计方案的复杂性、材料性能的不确定性以及系统集成的适配性等问题而引发结构及系统失效风险。首先,机体结构需要承受包括空气动力载荷、惯性载荷和温度应力在内的实际飞行环境中的复杂载荷作用。如果在设计阶段没有充分分析疲劳寿命和损伤容限,就容易造成局部应力集中,造成裂口扩大或结构断裂。虽然复合材料和新型合金的应用使机体的轻量化和强度性

能得到了提高,不过其长期服役特性及环境适应性仍存在较大不确定性,加上在试飞环节各种无法预测的降解行为都有可能发生,这些均对结构的完整性产生一定影响。外,直接影响飞行安全的还有飞行控制、航电、液压和动力系统等方面的综合配套。如果飞控系统在算法参数设定上出现偏差,就有可能造成方向面指令超过限制或动态响应不稳定,从而对飞行操纵特性造成影响。这些因素可能会在试飞时叠加放大到特定的飞行剖面上,造成结构和系统的突然故障。

1.2 飞行环境不确定性风险

民机试飞过程中,飞行环境的不确定性主要体现在大气扰动、气象条件突变及外界干扰因素的复杂性。首先,大气层内的风切变、湍流及气流分层现象可能在不同飞行高度和速度条件下诱发非预期的气动力变化,导致机体姿态偏差

【作者简介】张浩(1992-),男,中国江苏连云港人,硕士,工程师,从事试飞安全体系建设,试飞安全技术研究。

或控制律修正延迟,增加飞行试验参数的波动性。其次,雷暴、积冰、沙尘暴等极端天气条件可能影响发动机进气效率、传感器数据采集精度及结构材料的温湿度响应特性,进而改变机载设备的工作状态。此外,高空电磁环境的不稳定性可能干扰通信链路及导航系统,造成数据链传输延迟或信号失真,影响飞行员及试飞工程师对状态信息的准确判断。同时,机场区域及试飞空域内的其他航空器、无人机活动及鸟类撞击风险亦不可忽视。试飞过程中,异物撞击可能造成机翼前缘、风挡及进气道等关键部位受损,影响气动性能及动力系统的稳定运行。

1.3 人为操作与管理失误风险

民机试飞过程中,人为操作与管理失误可能由飞行员操纵偏差、指挥决策漏洞及试飞流程控制缺陷等因素引发。首先,飞行员在复杂飞行剖面下的操纵精度直接影响试验数据的准确性,若对控制律特性理解不足或操作习惯偏离标准规程,可能导致操纵超调、响应滞后或误输入指令,进而影响飞行试验的安全性。其次,试飞工程师及地面指挥人员在数据分析、状态监控及应急处置环节的判断误差可能导致信息传递滞后或指令执行偏差,影响试飞任务的顺利实施。此外,试飞管理体系中的安全管控缺陷亦可能增加人为失误风险。试飞科目编排若缺乏系统性评估,可能导致任务安排超出机组承载能力,增加人员操作负荷。试飞过程中,若风险评估机制不完善,可能对潜在故障模式识别不足,影响安全预案的有效性。

1.4 试飞数据与技术保障风险

试飞数据的准确性与完整性直接影响飞行试验的评估质量,数据采集、传输及分析过程中若存在偏差,可能导致试验结果的可靠性下降。首先,飞行状态参数、结构载荷及环境变量的测量依赖高精度传感设备,若传感器零漂、标定误差或数据丢失问题未得到有效控制,可能引发试飞数据偏离实际工况,影响机载系统性能分析的准确性。其次,数据传输链路在高动态环境下易受信号衰减、电磁干扰及通道拥塞等因素影响,可能造成关键参数延迟、失真或缺失,影响实时监控与远程指挥的有效性。此外,技术保障体系的完备性对试飞任务的安全实施具有直接影响。试飞前,机载测试设备的状态检查、信号同步及存储系统的冗余设计若存在疏漏,可能导致试飞过程中数据采集异常或记录系统失效。试飞过程中,若地面测控系统的远程监测能力受限,可能影响对飞行器状态的精准掌握,降低异常工况下的响应效率。

2 民机试飞安全管理体系中的风险管理的策略

2.1 结构与系统失效风险控制策略

针对结构与系统失效风险,试飞安全管理体系应以系统性分析和预防措施为核心。首先,在设计阶段,特别是极限飞行条件下受力分布和载荷响应的极限飞行条件,必须对机体结构进行充分强度和疲劳分析。要建立涵盖气动载荷、

惯性载荷和温度梯度等因素的综合性模型,通过多学科协同仿真技术进行综合力学分析,避免由于结构设计不当而造成局部的应力集中。对于复合材料或新型合金使用区域等重要部位,未来保证在长期服役过程中结构的安全与稳定,需要对其疲劳寿命预测与损伤容限实施全方位分析。其次,可以通过模拟地面环境以及小规模试飞的方式来对各种飞行环境以及气候条件下材料的可靠性与降解特性进行评估,来有效试验与验证新材料。对于复合材料及新型合金,应当深层次分析其在高温、高压及低温等极限环境下的物理性能,以充分验证材料的环境适应性。另外,在试飞阶段建立精确的卫生监测和故障预警系统是必不可少的。通过布设先进的传感器和监控系统,实时监测关键结构的受力、温度及振动等参数,确保发现潜在问题,在出现异常情况下及时处置。所有试飞资料都要经过严格的后处理和分析,确保结构与系统失效的模式能够被准确识别,并为后续设计优化提供数据支持。

2.2 飞行环境不确定性风险管理策略

首先,在大气扰动上,通过高精度气象雷达和气象预报技术,加强飞行器与气象资料采集系统的集成,对飞行过程中遇到的风切变、湍流及气流分层等现象进行动态监控。在试飞之前,飞行员要接受包括应急处置和适应极端气象条件的专门训练,并根据所预测的气象资料对飞行线路进行事先规划,这样才能避免进入剧烈气象变化区域,在飞行过程中遇到的风切变、湍流、气流分层等现象。其次,针对雷暴、积冰、沙尘暴等特殊天气事件的冲击,应制定全面的极端天气应对预案。这些气象条件对发动机进气效率、飞机控制系统稳定以及传感器的数据采集精度等潜在的影响,都应该纳入试飞计划的考虑范围。比如,在积冰的情况下,需要在飞机上安装冰霜探测和除冰系统,并对相关设备进行定期的检验和检测。对于沙尘暴这样的环境,为了防止外界颗粒物对机体和电子设备的破坏,飞行器应该加强空气过滤系统和传感器的保护。此外,在高空电磁环境方面,为保证数据链的冗余性和抗干扰能力,应充分结合飞行安全管理系统与通信、导航系统的设计,将高可靠性的备用通信系统及多通道数据传输模式引进,减少由于电磁环境波动异常而引发信号中断或信号失真风险。同时为保障飞行器与地面控制中心在试飞过程中的通信畅通,应加强对空域内电子干扰源的监控和管理。最后,在空域管理方面,需加强对试飞区域的严格划定与航空器活动监控,避免飞行器与其他航空器、无人机或鸟类的意外碰撞。通过与民航当局的协作,确保试飞区域的空域划分合理、空中交通指挥得当。

2.3 人为操作与管理失误风险管理策略

在民用飞机试飞过程中,对飞行员操作规范、指挥决策流程、试飞总体管理制度的完善等方面,都要着重考虑人为操作和管理失误风险的管理。首先,要加强对飞行员的训练和模拟演练,尤其是不同飞行阶段的操作技能和应急反应

能力,提高他们在复杂试飞环境下的操作精度。飞行员在严格按照飞行手册和操作规程执行任务的同时,还要掌握精确的操纵技巧,减少操纵失误造成的危险。在使用新型飞行器时,要求飞行员能够对其控制律、自动化系统及飞行器的动态响应特性具有全面的了解且熟练掌握,避免因操作不规范而导致超调、滞后或误输入等问题出现。其次,为保证在试飞过程中飞行员和指挥人员能及时获得准确的数据支持与反馈,需建立完善的信息传递和指令执行机制。应充分注重状态监控与数据分析的准确性要求,尤其是出现飞行器异常或故障的情况下,为防止信息传递滞后或决策失误,避免影响试飞任务的安全实施,要迅速采取有效的应急处置措施。另外,为避免因安排任务不合理,人员过载等造成的风险,应加强任务科目的系统性评估和规划,确保各种试飞任务的安排与飞行员、机组人员的承载能力相适应,避免负荷过大的现象发生。最后,务必要严格把控试验数据记录、分析及存储的管理流程,保证不会遗漏或误判重要数据,给决策的制定提供有效的数据支撑。

2.4 试飞数据与技术保障风险管理策略

在民机试飞中,保证飞行试验评估可靠性的核心因素是试飞数据的准确性和技术保障体系的完整性。首先,在设计和使用过程中,试飞所依赖的高精度传感器要加强标定和维护,这样才能保证它的长期稳定与精确无误。对传感器的零漂、误差范围、资料丢失等现象进行经常性的检查,并实行必要的补偿机制和自动校准流程,这样就避免了由于硬件故障或性能衰减而造成数据准确性下降的现象。同时传感器的数据输出要通过冗余系统进行交叉验证,在关键时刻保证飞行状态的正确参数的获取,从而降低单点故障的风险。其次,为确保飞行状态信息的高效传送,在试飞过程中应采用先进的数据链路技术,以应对数据传输过程中的风险。因为在高动态环境下可能会有信号衰减与电磁干扰等情况发生,所以需要将数据传输系统设计为多路径冗余、抗干扰

能力强的架构,装置动态监控设备,以便于可以将数据传输过程中出现的失真以及延迟的情况及时发现并修正。同时在飞行过程中要对传输设备的性能进行经常性的评估和测试,确保数据的完整性与时效性,避免由于信号丢失或通道拥塞而造成飞行任务不能顺利进行。另外,确保技术保障制度的有效性。试飞之前要对全部机载测试设备状态,尤其是测量仪器和信号传输系统进行全方位地检查,保证其运行情况正常且无缝对接地面控制系统。机载设备应具备自检与报警功能,及时发现系统故障或功能异常,减少试飞过程中因设备问题导致的数据偏差或丢失。为了确保数据记录的连续性和可靠性,在试飞过程中要采用冗余存储功能的系统,这样才能保证不会因为设备故障或者其他外部因素而造成关键数据的丢失。

3 结语

民机试飞的安全风险管理需要在多维度、全生命周期的框架下进行综合考虑。通过建立科学的风险评估机制和防控策略,加强技术保障与操作规范的执行,可以显著降低试飞过程中可能发生的安全事故。此外,试飞数据的精确采集与实时分析、飞行员及试飞工程师的技能提升以及跨部门协同配合等方面的优化,均是确保飞行安全管理体系有效运作的关键。随着技术的不断进步和安全管理理念的不断深化,民机试飞的风险管理将更加精细化、系统化,为航空器的安全飞行提供坚实的基础。

参考文献

- [1] 刘超强.民机试飞风险评估方法研究[J].民用飞机设计与研究, 2015(4):5.
- [2] 黄涛,王伟.大型民机试飞测试发展与挑战[J].计算机测量与控制, 2016, 24(9):4.
- [3] 杨守财,丁楠,张远祯.浅谈民机试飞机务保障准备[J].军民两用技术与产品, 2018(4):1.

Reliability and economy of helicopter components

Kui Zhai

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

Abstract

Helicopter is widely used in many fields in modern society, and has important strategic and economic value, but it is faced with flight safety, mechanical failure, operating cost and other challenges in the process of use. This paper analyzes the component reliability of helicopter equipment from the design stage, the manufacturing and testing stage, the operation and the maintenance stage, and discusses the influence of fuel consumption, maintenance cost, procurement cost and other factors on the economy, and puts forward the economic optimization measures such as technical innovation and resource sharing. Through optimizing management and technical improvement, the reliability and economy of helicopter equipment can be effectively improved, and then the comprehensive use efficiency can be improved.

Keywords

helicopter; component reliability; Economical to use

直升机的元器件可靠性与使用经济性

翟魁

中国直升机设计研究所, 中国·天津 300300

摘要

直升机在现代社会中广泛应用于多个领域,具有重要的战略和经济价值,然而其在使用过程中面临着飞行安全、机械故障、运营成本等方面的挑战。本文重点从设计阶段、制造与检测阶段、运行与维护阶段,分析了直升机装备的元器件可靠性,同时探讨了燃料消耗、维护费用、采购成本等因素对经济性的影响,并提出了技术革新和资源共享等经济优化措施。通过优化管理与技术改进,直升机装备的可靠性和经济性就可以得到有效提升,进而提高综合使用效益。

关键词

直升机; 元器件可靠性; 使用经济性

1 引言

直升机作为一种高度机动化的飞行器,因其垂直起降、快速响应等特点,在许多特殊领域发挥着不可替代的作用。然而,直升机的安全可靠性和经济性,始终是其运营管理中的两个核心问题。装备可靠性是确保飞行员和乘客生命安全的基础,而经济性则关系到直升机长期运行的可持续性。因此,文章从多个维度分析直升机的元器件可靠性与使用经济性,提出改进措施,旨在为相关行业提供理论支持与实践参考。

2 当前直升机的应用领域和重要性

直升机作为一种独具优势的航空器,凭借其垂直起降、悬停飞行以及灵活机动的特性,广泛应用于多个领域,发挥着重要作用。军事领域是直升机最初的应用场景之一,尤其在战场上,直升机能够快速机动,执行侦察、运输、空中打

击等多种任务。同时,直升机在民用领域也有着广泛的应用,尤其是在交通不便的地区,直升机成为连接城市与偏远地区的空中桥梁,极大地提高了运输效率。在医疗急救方面,直升机通过空中快速救援,成为抢救重病患者、灾难事故中的受害者的重要工具,特别是在交通不便的山区或交通事故频发的地方,直升机可迅速将患者送至医院,挽救宝贵生命。在森林防火和海上救援等应急救援任务中,直升机凭借其机动性,可以及时到达事故现场,执行灭火、救援和物资运输等多项任务。此外,直升机还广泛应用于新闻采集、空中巡逻、环境监测等领域,尤其是在重大公共安全事件中,直升机为实时掌握情况、调度指挥提供了强有力的支撑^[1]。

3 直升机装备的元器件可靠性分析

3.1 直升机装备的主要元器件

直升机装备的主要元器件,包括发动机、传动系统、飞控系统、航电系统和电气系统等,这些元器件在直升机的运行中起着至关重要的作用。发动机是直升机的核心动力来源,决定了直升机的飞行性能。直升机的发动机通常采用涡轴发动机,其特点是能够提供强大的动力输出,并且具备较

【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。

高的能效。发动机的可靠性直接关系到直升机的飞行安全，任何发动机故障都会导致飞行事故。因此，发动机的设计、制造和维护需要严格控制，确保其在恶劣环境下的稳定性与可靠性。（2）传动系统是将发动机产生的动力传递到直升机的旋翼系统，确保旋翼的转动与飞行控制。传动系统通常由主传动轴、减速器、齿轮箱等组成，它们需要在高速运转下承受巨大的动力负荷和振动。传动系统直升机选用的元器件可靠性尤为重要，任何传动部件的故障可能导致旋翼失效，从而危及飞行安全。因此，传动系统的元器件在设计时必须注重元器件质量可靠性水平。（3）飞控系统是直升机的“大脑”，负责飞行中的操控和稳定性。它包括飞行控制系统、导航系统和自动驾驶仪等，能够确保直升机在飞行中按照预定轨迹稳定飞行。飞控系统依靠电子元器件与传感器的配合，实时反馈飞行数据，并进行自动调节。这些元器件的稳定性和精度，对直升机飞行的安全性至关重要，尤其是在复杂的飞行环境和特殊情况下。（4）航电系统是指用于直升机飞行控制、导航、通信、监视等多种功能的电子设备和系统的集合。电气系统包括电池、电源管理系统等，为直升机提供电力支持，确保各项设备的正常运行。电气系统的稳定性对直升机的正常运行至关重要，尤其是在飞行过程中，需要确保电力系统不会出现故障^[2]。

3.2 直升机装备元器件可靠性优化策略

（1）设计阶段的优化。在直升机装备元器件的可靠性优化中，设计阶段的优化起着至关重要的作用。其中，优化设计与选材，这是提升元器件可靠性的重要手段。设计阶段需要根据直升机的实际使用环境和工作负荷，合理选择材料与元器件。例如，选用具有高耐磨性、抗腐蚀性和良好热稳定性的材料，能够在极端温度、湿度和高压等环境下维持元器件的稳定性。此外，在设计时应综合考虑元器件的寿命、耐疲劳性与维修便捷性，以减少因材料老化或疲劳损伤导致的故障风险。另外，在直升机中，尤其是发动机、飞控系统和传动系统等关键元器件，需要通过冗余设计来确保在某一元器件失效时，系统仍能正常工作。例如，可以通过配置备用电源、双重控制系统或冗余传动部件等方式，确保即使某一元器件发生故障，直升机仍能保持飞行安全。此外，冗余设计还能在发生故障时，为飞行员提供更多的应急操作时间，从而减少潜在的安全风险。

（2）制造与检测阶段。在直升机装备元器件的制造与检测阶段，提升制造工艺，引入先进的检测与监控技术，这是确保元器件可靠性的关键措施。首先，提升制造工艺对于提高元器件的质量和合格率至关重要。制造过程中，采用先进的加工技术和高精度的生产设备，可以有效减少元器件在生产过程中出现的缺陷。特别是在关键元器件的制造过程中，采取精细化加工和严格的工艺控制，能够确保各部件的尺寸精度和表面质量，减少因制造缺陷导致的故障。精确的热处理、表面处理和焊接技术，有助于增强元器件的耐用性

与抗疲劳性能，提升其在实际飞行中的稳定性。其次，引入先进的检测与监控技术，能够实时掌握元器件的质量状况，确保每个元器件在出厂前都符合严格的质量标准。现代化的无损检测技术，如超声波探伤、X射线检测、红外热像监测等，可以有效发现潜在的结构缺陷、应力集中和微裂纹等问题，避免因这些隐患导致的飞行事故。此外，利用传感器和智能监控系统对元器件进行实时监测，可以动态跟踪元器件的工作状态，及时发现异常并进行预警，从而在出现问题前采取相应的维护措施^[3]。

（3）运行与维护阶段。在直升机的运行与维护阶段，保障元器件的可靠性是确保飞行安全的关键环节。强化飞行前检查与定期保养，以及数据驱动的预测性维护技术，这是提高直升机装备元器件可靠性的两大重要措施。具体而言，飞行前检查，通常由飞行员和地勤人员共同进行，涵盖对发动机、传动系统、电气系统等关键元器件的检查。检查包括目视检查、功能测试以及各种物理性能检测，确保元器件在飞行前无明显故障隐患。定期保养则是通过定期对直升机各个系统进行全面检查和维护，及时发现并解决潜在的故障。例如，对传动系统进行润滑油更换、滤清器清洁、燃油系统检查等，能有效延长元器件的使用寿命，减少故障发生率。定期保养不仅是延长直升机元器件寿命的重要手段，还能保证飞行过程中系统的稳定性，防止因小问题引发大故障。另外，数据驱动的预测性维护技术，为直升机的可靠性保障提供了全新的思路。通过在直升机上安装各类传感器，对发动机、传动系统、飞控系统等重要元器件进行实时数据采集，监控其工作状态与性能变化。通过大数据分析 with 人工智能算法，能够预测元器件在未来一段时间内的工作表现与潜在故障风险。这种基于数据的预测性维护技术，可以提前预知系统可能出现的故障，进行有针对性的维修和更换，从而有效避免了突发性故障的发生。例如，通过分析发动机温度、振动等数据，可以预测其可能发生的故障，并在其出现之前采取必要的维修措施，这不仅减少了维修成本，也提高了直升机的安全性和飞行可用性。

4 直升机使用中的经济性分析

4.1 运行成本

直升机的运行成本是衡量其经济性的重要因素，主要包括以下两大方面：（1）燃料消耗与经济效益。直升机的燃料效率直接影响其经济效益，尤其在长时间、高强度的飞行任务中，燃料消耗将占据较大比例。不同类型的直升机，具有不同的油耗标准，一些现代化的直升机在引擎和燃油系统的优化设计下，能够有效降低燃料消耗，从而减少飞行成本。例如，采用高效发动机和轻量化设计的直升机，能够提高燃油利用率，降低单位飞行成本。在对比不同飞行任务时，飞行时间长、航程远的任务通常需要更多燃料，因此，根据飞行需求合理规划航线、优化飞行方案，可以有效减少燃料

消耗,提高运营效率。燃料消耗的经济效益不仅体现在单次飞行中,也影响到长时间运营的成本控制。(2)维护与维修费用。直升机的维护与维修费用,涵盖了日常检查、定期保养、故障修复等多个方面。由于直升机的机械系统复杂,维护与维修需要高度专业的技术和设备。每次飞行后,飞行员和地面维护人员都需对直升机进行详细检查,确保其机械部件正常运行。尤其在高强度飞行任务中,直升机的发动机、传动系统和旋翼等关键部件容易磨损,必须定期进行检修和更换。维修费用还与直升机的使用频率、维护保养的规范性及配件的更新等因素密切相关。定期维护和使用高质量的备件,虽然初期投入较大,但可以有效延长直升机的使用寿命,减少频繁维修带来的额外成本^[4]。

4.2 投资回报分析

在直升机的投资回报分析方面,需要关注:(1)采购成本与使用寿命。直升机的采购成本通常较高,这是其初期投资的主要组成部分。与普通民用航空器相比,直升机的制造工艺复杂,设计标准严苛,导致其价格相对较贵。然而,直升机的使用寿命可以通过定期的维护与保养得到有效延长,许多现代化直升机的使用寿命可达到20年或以上。通过合理的采购策略,如选择适合业务需求的机型和考虑生命周期成本,就可以平衡初期的高成本与后期的长期效益。此外,直升机的高效能、灵活性以及应急救援等特殊功能,使其在特定行业中的回报远超其采购成本,尤其是在紧急救援、医疗运输等领域,直升机能够带来不可替代的高效服务。(2)成本效益对比。在传统航空器与直升机的成本效益对比中,虽然直升机的单次飞行成本相对较高,但其独特的垂直起降能力和机动性,赋予了其在特定任务中的不可替代性。例如,在山区、海上或城市复杂环境中的应用,直升机比传统固定翼航空器更具优势,能够直接到达目的地,减少时间成本。在远程运输、救援任务等领域,直升机凭借高灵活性,能够节省大量的地面交通时间,从而提高了任务效率,降低间接成本。直升机的维护周期较短且频繁,但其高频次和高价值的任务执行,使得总体投资回报率较高。

4.3 经济性优化措施

为提高直升机使用的经济性,可采取优化措施:(1)

技术革新。随着航空技术的不断进步,现代直升机在发动机性能、材料技术、燃油效率等方面取得了显著突破。例如,新一代发动机采用更高效的燃烧技术,可以显著降低燃料消耗,提高燃油利用率,减少飞行成本。轻量化设计和新型复合材料的使用,不仅提高了直升机的机动性,还有效减轻了自重,从而提升了飞行效率,降低了能源消耗。通过对传动系统、飞行控制系统等关键部件的持续优化,直升机的维护周期得到延长,能够减少维修频率和成本。技术创新还可以改善飞行器的可靠性和安全性,减少因故障停机造成的经济损失,从而进一步提升整体经济效益。(3)资源共享与合作。在直升机运营中,不同企业或机构之间的资源共享,如共享飞行器、共享维护设施等,可以大大降低单个企业的运营成本。例如,航空公司、医疗救援机构和政府部门可以根据需求共同利用直升机资源,通过调度与协调,实现资源的最优配置,这种合作模式不仅提升了直升机的使用率,还能有效分摊成本,减少空闲时间,提高整体的经济效益。此外,通过跨领域的合作,直升机的应用范围可以得到扩展,带来更多的盈利机会,进而实现经济效益的最大化。

5 结语

直升机的安全性与经济性是相互关联、相辅相成的。随着技术的发展,现代直升机在提升飞行安全的同时,也通过技术革新和资源共享等手段降低了运营成本。未来随着新技术的发展,更多新型装备元器件的应用,直升机的经济性和安全性将不断优化,进一步提升应用价值。在确保安全的前提下优化经济性,将使直升机成为更具竞争力的航空工具,推动行业可持续发展。

参考文献

- [1] 张海,沈凌志.某型号直升机超短波电台电磁干扰问题研究[J].河南科技,2023,42(22):4-7.
- [2] 许勇,董旭.基于故障树分析的飞机起落架故障风险评估方法[J].桂林航天工业学院学报,2022,29(5):63-64.
- [3] 瞿德锋.某型直升机尾上舱结构失稳故障修复研究[J].航空维修与工程,2021,(04):55-58.
- [4] 杨元勋.运输类直升机商业运输飞行的性能分析规范及实例研究[D].中国民用航空飞行学院,2023.

Research on the correlation between the manufacturing accuracy and performance optimization of engine cylinder head valve system

Dijin Tang

Guangxi Jiade Machinery Co., Ltd., Yulin, Guangxi, 537000, China

Abstract

In the wave of modern industrial manufacturing and scientific and technological innovation, the continuous improvement of the performance and efficiency of the engine, as the heart of various mechanical equipment, has become one of the key driving forces to promote social progress and economic development. As an important part of the engine, the engine cylinder head valve system not only directly affects the working efficiency, fuel economy and emission performance of the engine, but also is one of the key indicators to measure the overall performance of the engine. Therefore, it is also a direction to control the consistency of engine performance by conducting in-depth research on the manufacturing accuracy and performance optimization of the engine cylinder head valve system, and strictly controlling the manufacturing accuracy and quality tolerance of each part of the valve system. In this paper, the correlation between the manufacturing accuracy and performance optimization of engine cylinder head valve system is studied.

Keywords

engine cylinder head valve; Precision; performance optimization; Manufacturing research

发动机缸盖阀系制造精度与性能优化的关联研究

唐第进

广西嘉德机械股份有限公司, 中国·广西 玉林 537000

摘 要

在现代化工业制造与科技创新的浪潮中, 发动机作为驱动各类机械设备的核心, 其性能与效率的持续提升成为了推动社会进步与经济发展的关键动力之一。发动机缸盖阀系作为发动机的重要组成部分, 不仅直接影响到发动机的工作效率、燃油经济性和排放性能, 更是衡量发动机整体性能的关键指标之一。因此, 对发动机缸盖阀系制造精度与性能优化进行深入研究, 严格控制阀系每个零件的制造精度和质量公差也是控制发动机性能一致性的一个方向。本文对发动机缸盖阀系制造精度与性能优化的关联作出研究。

关键词

发动机缸盖阀; 精度; 性能优化; 制造研究

1 引言

在全球范围内, 随着节能减排和环保意识的不断加强, 汽车、航空、船舶等行业的迅速发展, 对发动机的工作性能提出了更高的要求。发动机的高效性、低排放和轻量化已成为发动机技术发展的主流。发动机缸盖阀系是实现缸中气体流动的关键部件, 其设计精度、材质选择、加工工艺和组装工艺等都将对进气效率、燃烧效率和废气净化性能产生重要影响。

【作者简介】唐第进(1983-), 男, 中国广西玉林人, 本科, 工程师, 从事发动机缸盖气门密封性影响因素与控制研究。

2 国内外研究现状

在国内, 研究人员主要通过对阀系几何结构进行合理设计, 以提高发动机的经济性和减少污染物排放。比如, 通过使用铝合金和复合材料等轻量化材料降低阀门系统的质量, 并通过拓扑优化方法实现更有效的流道结构, 降低气流阻力, 提升换气效率。在此基础上, 进一步完善阀座、阀瓣等关键零件的高精度铸件和研磨方法, 并结合现代检测手段, 实现高质量加工, 降低泄漏和损耗, 提高使用寿命^[1]。在国外, 欧美等多个国家更加注重多领域研究, 如将热力学、流体力学和结构动力学等多个领域有机地结合起来, 开展阀门系统的多尺度性能模拟研究, 实现阀门系统的热载荷、应力分布和动力学响应特性的预测和优化。在此基础上, 采用遗传算法和神经网络等智能化算法, 反复进行阀系参数的迭

代和寻优,从而达到在复杂运行条件下寻找最优控制方案的目的。随着越来越严格的尾气排放标准,国内外学者也在不断地尝试利用可变气门、连续可变气门定时和缸内停车等方法来实现节能减排。

3 发动机缸盖阀系制造设计优化

3.1 流体动力学分析

对发动机缸盖阀系进行制造和优化时,对其进行流体动力计算十分必要。利用 CFD 分析技术,对阀门启闭过程进行准确仿真,揭示阀门启闭过程中流体的运动规律,了解其对发动机工作特性与性能的影响。

阀门开启/关闭时机设计优化:通过 CFD 数值模拟,能够准确地得到气门前后的压力分布、速度矢量以及紊流特征。通过对上述参数的研究,可以发现在启闭过程中,诸如漩涡的形成、流动阻力的大小等特定因素对流场的作用。在这种情况下,可以根据实际情况对气门开度进行调节,从而使流量损耗降到最低,达到改善发动机性能的目的。比如,通过推迟进气门的时间,借助气门的惯性作用,使进气量增大,进而提高发动机动力。

精确的流量控制设计:计算流体力学的研究也有助于设计者评估各种阀门的构造(如阀门大小、形状、数量)对流动的作用^[2]。通过调节阀门的结构参数,能够对经过阀内的流量进行仿真,从而对阀门最佳结构进行优化,保证各种条件下的高效稳定流量。比如,在涡轮增压的进气系统上加装可调涡轮增压器(VGT),并与 CFD 技术相融合,能够在保证高转速工作效率的前提下,稳定较大的进气量。

3.2 结构优化设计

在发动机缸盖阀系生产工艺中,采用有限元法对阀门进行数值仿真,实现对各种工作状态下阀门系统受力状态的准确仿真,保证阀门在各种工作条件下的强度与刚度需求。首先,对阀门进行有限元计算时,必须对阀门的阀座、阀杆和弹簧等关键元件进行精确的数学建模。该建模需要建立在真实的 CAD 数据基础上,以保证其与实物的高一致性。在此基础上,通过引入弹性模量、泊松比、屈服强度等物理参量,研究其对有限元计算精度的影响。结合实际工况,对其进行相关边界条件及负荷计算。这些参数主要是指阀门在打开或闭合过程中所受到的压力,弹簧的预紧力以及温度的影响。通过对各加载参数的逐级调节,能够反映各工作状态下阀门的实际应力状态。

在 FEA 求解中,通过合理的数值方法以及网格剖分方法,实现数值模拟的准确性与高效性的兼顾。为了保证计算精度,需要对阀门系统中的一些重要部件,例如阀杆、气门座等进行局部细化。通过有限元分析,可以清楚地反映出阀门在各种工作状态下的受力及变形状况。着重研究高应力区及潜在破坏形式,如裂纹、塑性变形等。在此基础上,利用材料学的相关理论,对各部位的力学性能进行评估,并对其

进行结构优化。但在实际设计过程中,往往会遇到一些局部应力集中和局部刚性不够的情况。在这种情况下,可以采用结构尺寸的调整、截面形状的变化,或增设加强筋的方法来实现。比如,通过在阀门杆结构周围增设支撑结构,可以明显地改善阀门弯曲强度;通过对弹簧结构进行合理设计,可以使其既能满足一定的预张力,又能降低材料的应力集中。

3.3 材料选择与性能评估

在发动机缸盖阀系生产中,材料的选择非常关键,其好坏不但关系到产品的重量、导热性能以及防腐性能,而且对整机的使用周期及成本都有很大的关系。

铝合金:由于具有较高密度(大约是钢材的三分之一),因此,它是实现轻量化的最佳选择。在汽车发动机缸盖阀系中,使用铝合金可以减轻零件重量,达到节能减排的目的。另外,由于其优良的热传导性,使工作时所释放的热能迅速消散,确保阀门系统的平稳运转。但由于其本身的硬度偏小,加之其在阀门系统高温条件下需要长时间运行,易发生蠕变,抗腐蚀性能也比一些金属材料差。所以,在设计时,需要进行加固或采用适当的表面处理技术。

钛合金:具有高强度、轻质和优异的抗腐蚀性等优点,已被大量用于高端发动机缸盖阀系的制造中。虽然比铝合金的密度要大一些,但其硬度比铝合金要大得多,可以在恶劣的工作条件下运行。尤其是在含有盐分或海水等潮湿环境中,钛合金基本不会受腐蚀影响,从而极大地提高了整机的寿命与可靠性。但是,由于其制作成本昂贵,并且其热导率远低于铝合金,所以在散热设计上要求更高。

综合以上材料特点,设计师往往会在特定的使用环境中进行取舍。比如,在要求最大限度地减轻车身重量的情况下,铝合金是较为理想的材料,可以通过适当的结构设计来达到均衡强度和重量;而对于高性能、高耐久性的要求,例如赛车和高端轿车,则采用钛合金材料,虽然价格昂贵,但在极限工况下的性能却是无与伦比的。另外,以 Al-Si 为代表的复合材料具有高强度、高导热、轻质等优势,近年来展现出一定优势,但存在制备工艺复杂、生产成本高等问题。

4 发动机缸盖阀系制造精度与性能优化策略

4.1 精密制造技术应用

1. 激光熔敷技术:是利用能量极强的激光束对熔覆材料进行瞬时加热、熔化,使其在金属表面与基材之间产生良好的冶金连接,从而显著提升阀门座等重要零件的耐磨、耐腐蚀性能。2. 微纳结构表面改性技术:可从微观上调整其表面粗糙度和纹理,实现对材料润湿性与附着力的调整。将该技术用于阀杆与阀座的接触表面,可以增大接触面,降低摩擦阻,改善密封效果。3. 超精密磨削技术:利用高精度研磨装备,实现缸盖平面度、阀座角度等参数的精准调控,以保证各阀系装配体的几何尺寸在微米量级。这种结构不但改善了整个缸体的刚性,而且保证了各个零件的精密匹配,降低了由于

装配不当而造成的渗漏与失效问题。

4.2 仿真与优化设计

将 CAD (计算机辅助设计)、CAM (计算机辅助制造) 与 CAE (计算机辅助工程) 技术相结合,可以使企业从方案设计到产品验证的整个流程都达到数字化和虚拟化。这种集成方法不但可以有效地改善产品的开发效果,而且可以有效地提升产品的精度与可制造性。首先,在计算机辅助设计中,运用 3D 造型技术建立准确的气门结构、进气排气道布置和气缸盖曲面形状等多个参数的数学模型。该模式既可以在视觉上进行评估,也可以为随后的模拟分析提供依据^[9]。之后,利用计算机辅助工程软件分析该系统的受力和热特性,并对其进行动态性能分析。在发动机运转过程中,对阀门进行应力分析,以保证阀门系统的强度及耐用性;在热分析方面,重点研究阀体和阀座的热胀性能,以防止由于温度应力引起的过早损坏;动态性能分析可以评估阀门在高速运转时的稳定度以及噪声抑制能力。

4.3 智能化制造与检测

在发动机缸盖阀系的加工制造中,其综合性能的最大提升,除了需要在设计层次上进行革新外,还需要对制造和检测方法进行智能升级。以 CNC (计算机数控)、机器人等为代表的智能化生产技术逐渐成为推动这一进程的重要动力。数控系统的运用,实现了高精度、高重复性作业,极大地降低了人工误差,同时也改善了产品质量。利用预先编制的程序,实现多个数控加工,保证阀系的孔位、角度和表面光洁度等重要参数满足设计指标。另外,数控系统具有自动更换刀具的能力,使制造时间更短,费用更低。

而机器人设备,主要负责搬运、组装和初步测试,其不仅能在极端环境下保持稳定工作状态,又能 24 小时持续运转,大大提高了生产效率。在缸盖阀系装配时,机器人可以精确定位,保证各零件之间的严密装配,降低人为因素造成的失误。采用机械视觉、3D 扫描等智能检测方法,完成气缸盖阀系全尺寸非接触式检测。利用该方法可以实现高精度的零部件 3D 建模,通过与 CAD 软件的比对,及时检测出产品的几何形状等缺陷,为产品的质量管理奠定基础。通过对大数据技术的应用,企业能够对产品的各个生产环节进行追踪,找出问题所在,从而达到不断改善和预防性维护的目的。

4.4 性能测试

4.4.1 气密性测试

该测试目的是为了检验气缸盖阀门系中各个零件之间的密封性,从而避免由于漏气而造成动力损耗及其他零件的

损坏。测试时,利用专门的气密性测试装置,将特定气压作用于气缸盖和气阀总成上,以测量气压的改变来评估该装置的密封性。其主要步骤为:首先完成气缸盖阀系总成的组装,并将其安装在测试支架上,以压缩气体为测试媒介,逐级递增气体压力到预定的数值(一般比发动机工作时的最高压强要高),并对其进行观测和记录,看看有没有气体泄漏或者泄漏声音。如果气压维持不变,没有明显泄漏,即为合格。

4.4.2 耐久性测试

该测试是为了对发动机长期高负荷运转状态进行仿真,对阀门总成的磨损状况及使用寿命进行评估。测试方法主要是通过通过对阀门、弹簧、座圈等重要零件的测试,如开启闭循环测试、高速转动测试、外加高压测试等,来检测阀门、弹簧、座圈等重要零件的磨损与变形状况。在测试期间,对阀门与阀座接触面的磨损情况、弹簧弹性系数的变化进行连续监控和记录,直到满足预定的百万次周期或显著的性能衰减为止。

4.4.3 热循环测试

考虑到发动机工作时,由于气缸内的温差变化对气缸套的性能有很大的影响,所以热循环测试就显得非常必要。在此基础上,开展基于高速冷热循环的涡轮增压测试,研究气门结构在不同工况下的热膨胀系数、承受热应力的能力和热疲劳性能。在测试中,可以通过电加热或者液体加热的方法将阀门内部的温度快速升高到与真实工作温度相近的状态,再快速降温,反复进行几次,并实时监控阀门的变形、开裂和材料特性的改变。

5 结语

综上所述,发动机缸盖阀系的制造精度和性能优化对于提高发动机甚至整车的综合性能具有重要意义。随着材料科学、智能制造技术和计算机数值模拟技术的发展,未来发动机缸盖阀系统将向着高效、可靠和环境友好方向发展。但是,随着环保政策的改变和工作环境的日趋复杂,相关企业需要通过多学科交叉的方式进行深入研究,以更为智能和高效的技术,发掘更多的发动机潜能,为推动可持续发展作出新的贡献。

参考文献

- [1] 孟庆站.发动机X7缸盖阀座、导管快速压装技术[J].汽车工艺师,2024,(Z1):29-31.
- [2] 赵迎芳,郭辉,蒋海梅,等.汽车发动机缸盖智能装配生产线设计与实现[J].信息技术与标准化,2025,(Z1):93-97.
- [3] 伍启华,李娜娜,王健,等.发动机缸盖用蠕墨铸铁高温性能研究[J].铸造,2025,74(01):33-37.

Design of a photovoltaic intelligent guide helmet

Yaoguang Zhao Yujie Cui Haoran Wang Chen Qiu Yu Jiang Yannan Ji*

School of Electrical and Energy Engineering, Nantong Institute of Technology, Nantong, Jiangsu, 226000, China

Abstract

By 2023, the number of visually impaired groups in China has exceeded 17 million, accounting for 17% of the disabled population, ranking first in the world. In view of the pain points such as spatial orientation and lack of environmental perception faced by visually impaired people when traveling, this research innovated and developed the photovoltaic intelligent guide helmet system. The equipment realizes auxiliary power supply range through photovoltaic power generation module. Combined with infrared and AI image recognition technology, it can accurately identify various dangerous elements including static obstacles, mobile vehicles in the range of 0.5-5 meters. The Beidou / GPS dual-mode positioning chip and offline voice navigation module equipped with the system can provide real-time voice interaction service, forming a full-link solution of "environment awareness-intelligent analysis-voice guidance", effectively improving the travel safety and independence of visually impaired groups.

Keywords

guide helmet; photovoltaic; intelligent

一种光伏智能导盲头盔的设计

赵焱光 崔宇杰 王浩然 邱晨 蒋昱 纪燕男*

南通理工学院电气与能源工程学院, 中国·江苏 南通 226000

摘要

截至2023年,我国视障群体规模已突破1700万人,占残疾人口17%,居全球首位。针对视障人群出行时面临的空间定向障碍、环境感知缺失等痛点,本研究创新研发了光伏智能导盲头盔系统。该设备通过光伏发电模组实现辅助供电续航,结合红外与AI图像识别技术,可精准识别0.5-5米范围内包括静态障碍物、移动车辆等多种危险要素。系统搭载的北斗/GPS双模定位芯片与离线语音导航模块,可提供实时语音交互服务,形成"环境感知-智能分析-语音引导"的全链路解决方案,有效提升视障群体出行安全性与独立性。

关键词

导盲头盔; 光伏; 智能

1 引言

在全球范围内,视力障碍问题一直是影响人们生活质量和社交活动的重要因素。这一庞大的群体在日常生活和出行中面临着诸多不便,尤其是缺乏安全、高效的辅助工具,严重限制了他们的独立生活能力和社会活动参与度。

为了应对这一挑战,本文设计了一款光伏智能导盲头盔,该头盔集光伏辅助供电、障碍物规避、红绿灯识别、智能语

音助手以及定位功能于一体,旨在通过智能化手段提升视障人士的出行安全性和自主性,进而改善视障人群的生活质量。

2 系统设计

2.1 电源模块

负载可由蓄电池和柔性太阳能电池供电,柔性太阳能电池采用12块全柔性PSC/CIGS(钙钛矿/铜铟镓硒)叠层太阳能电池,并实现了21.5%的光电转换效率。CIGS叠层太阳电池可以制备在柔性衬底上,具有成本低和重量轻等优势,具有广泛的应用潜力。并且由于与入射粒子或辐射的相互作用较小,CIGS太阳电池具有很强的耐辐照性能,辐照对载流子扩散长度影响小。CIGS的发电量对比相同功率的晶体硅太阳电池能增加10%左右。设太阳能板的表面积为 S , S 的近似值为:

$$S = \frac{W}{\cos \theta} \times L \quad (1)$$

式中: W 为太阳能板宽度,取60cm。 θ 为太阳能板与水平面的角度,以南通本地为例,取 31° ; L 为太阳能板长度,

【基金项目】南通理工学院2024年国家级大学生创新训练计划立项项目“光伏智能导盲头盔”(项目编号:202412056005Z)。

【作者简介】赵焱光(2004-),男,中国山东菏泽人,在读本科生,从事新能源发电技术研究。

【通讯作者】纪燕男(1994-),女,中国江苏南通人,硕士,讲师,从事新能源发电、电气控制研究。

取 60cm。

根据式 (1) 计算可得，太阳能板面积为 4200.211cm²

安装 12 块全柔性 PSC/CIGS 叠层太阳能电池，太阳能发电量为：

$$E_p = H_A \times K \times \frac{P_A}{E_s} \quad (2)$$

式中： H_A 为太阳能日平均辐射量的数值，以南通市为例，取 3.793 kW·h/m² K 为综合系数，取 85%。 P_A 为组件功率； E_s 为标准条件下的辐照度的数值，取 1 kW·h/m²。根据式 (2) 可得，12 块全柔性 PSC/CIGS 叠层太阳能电池可发电约 96.7215W·h。

柔性太阳能电池在给蓄电池充电时遵守轮流充电的原则，电源模块示意图如图 1 所示。

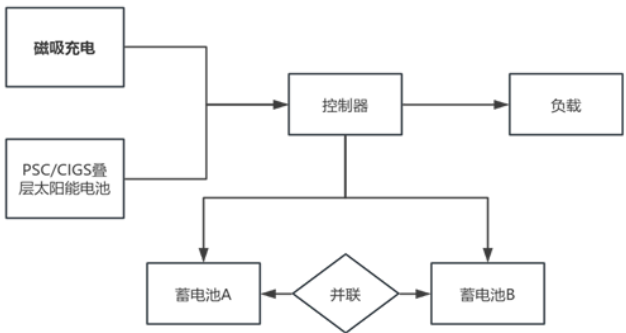


图 1 电源模块示意图

2.2 图像识别模块

该设计采用树莓派 4 代 B 型开发板为该模块的核心，树莓派 4 代 B 型开发板中内置 ARM 的微型电脑主板，运用支持多任务、支持多线程的 Linux 系统。通过使用 TensorFlow 训练一个图像分类模型，并将其转换 TensorFlow 模型并上传到树莓派中，随后使用 Python 代码加载模型并进行预处理等主要功能。树莓派模块的组成部分如图 1 所示。

图像识别模块流程图如图 2 所示。

1- 通过摄像头采集图像导入到树莓派中；2- 由树莓派生成 TensorFlow 模型；3- 将得到的图像通过 Python 进行预处理；4- 将预处理的数据输出并执行相应的指令；5- 预处理好的数据将会传送回树莓派中并储存在 SD 卡中；

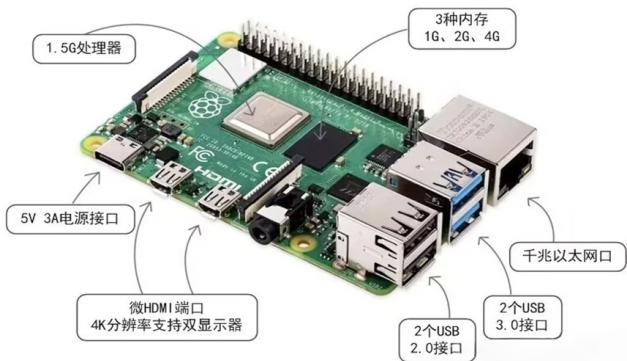


图 2 树莓派模块的组成部分

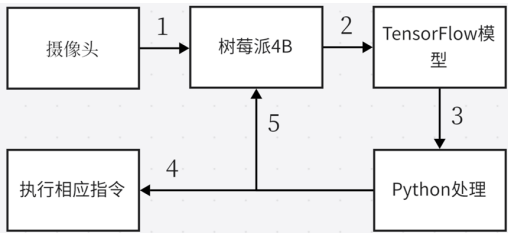


图 3 图像识别模块流程图

2.2.1 摄像头

采用 ORBBEC Astra Pro Plus 摄像头，该摄像头采用单目结构光技术，具有高精度、低功耗、响应迅速、稳定可靠的优点，开发人员可以通过选择不同的版本自由地在短距离、长距离和高分辨率 RGB 摄像机之间切换，可以更好地识别盲道、红绿灯和斑马线。ORBBEC Astra Pro Plus 摄像头的组成部分如图 4 所示。

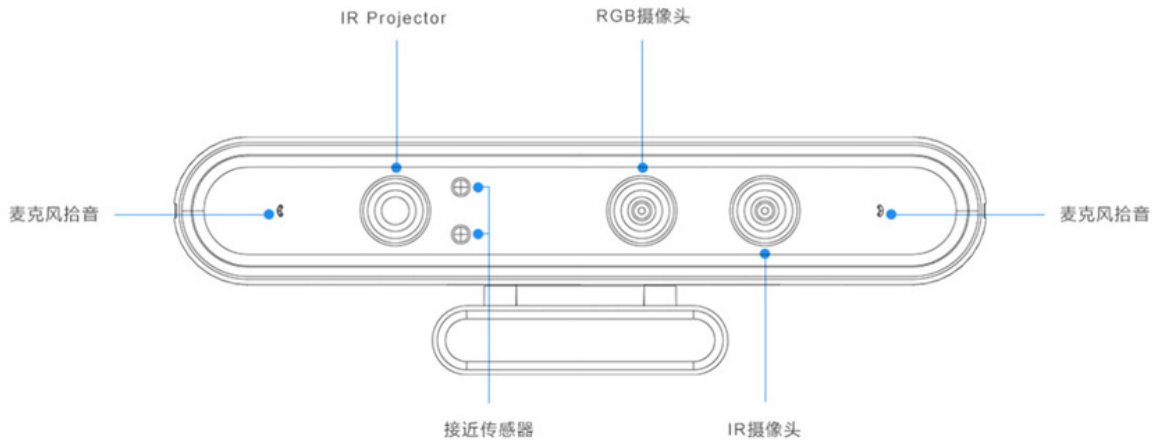


图 4 ORBBEC Astra Pro Plus 摄像头的组成部分

2.2.2 图像的预处理环节

将已训练的 TensorFlow Lite 模型部署至树莓派后，可以利用 Python 脚本轻松加载该模型。在树莓派平台上，可以灵活选择使用其内置的摄像头模块或外接的高质量摄像头来捕捉实时图像。为了适配模型输入的需求，捕获的图像需经过一系列预处理步骤，其中尤为关键的一环是将图像缩放至模型所规定的尺寸。这一缩放功能在处理如红绿灯这类可能处于较远距离的目标时显得尤为重要，它能有效调整图像比例，确保模型能够准确识别并响应。此功能可以实现图形的放大与缩小，也可以实现图形的旋转、仿射变换、拉伸等功能（采集的图像宽度为 x 和高度为 y ， x' 、 y' 为 x 、 y 按照仿射变换后的宽度和高度。 a 、 b 、 c 、 d 、 e 、 f 为变换系数，其中 a 、 d 为缩放因子； b 、 e 为旋转因子； c 、 f 为平移因子）其公式为：

$$x' = a * x + b * y + c \quad (3)$$

$$y' = d * x + e * y + f \quad (4)$$

当 a 、 d 不等于 0 时，系数 a 、 d 可以实现图形的放大与缩小，其具体表达式为：

$$x' = a * x \quad (5)$$

$$y' = d * y \quad (6)$$

其中，当 $a > 0$ 时，表示图形放大；当 $a < 0$ 时，表示图形缩小。当 $a = 0$ 时，表示图形不发生放大与缩小的变化。

2.2.3 鉴别环节

首先，由树莓派读取拍摄的图片，然后树莓派建立 TensorFlow 模型，再用 Python 算法进行处理并通过树莓派输出相应的指令提醒使用者，最后把处理好的数据回传至树莓派中并存储。

以下是关键的 Python 算法编程

图像预处理：缩放（提取关键信息，如红绿灯，斑马线及障碍物）

```
image_resized = tf.image.resize(image, [224, 224]) # 缩放图像
```

显示处理后的图像

```
plt.imshow(image_flipped.numpy().astype("uint8"))
plt.show()
```

2.3 导航模块

本系统采用中科微电子的 AT6558 芯片作为 GPS 信号接收器，配合 ATMEGA328 单片机进行数据处理。AT6558 负责接收卫星 C/A 码，而 ATMEGA328 则通过其 PD0 接口（UART 协议）与 ATGM336H-5N31 GPS 芯片的 TXD 接口相连，接收 GPS 数据；PD1 接口与 GPS 芯片的 RXD 接口相连，用于可能的双向通信。ATMEGA328 对接收到的位置信息进行解码和提取后，计算出经纬度信息，并通过 PD3 接口连接的短信模块以文本形式发送至手机。为确保数据的准确性，系统还设计了错误检测和数据校验机制。最终，视障人群可以由语音播报模块得到所需的位置信息。

2.4 SYN6288 语音播报模块

在语音模块中使用 2 种类型的芯片，分别为科大讯飞

的 AIUI 评估板和北京宇音的 SYN6288 芯片模块，以及在科大讯飞的 AIUI 评估版中插入的讯飞星火大模型。在该头盔的智能系统中，AIUI 评估板发挥着关键作用，其赋予了头盔与使用者日常生活互动的能力。与之不同的是，SYN6288 芯片主要负责安全预警功能。在科大讯飞的 AIUI 评估版中插入的讯飞星火大模型，不仅提升了信息处理的效率和准确性，还增强了与用户的互动性和个性化服务能力。

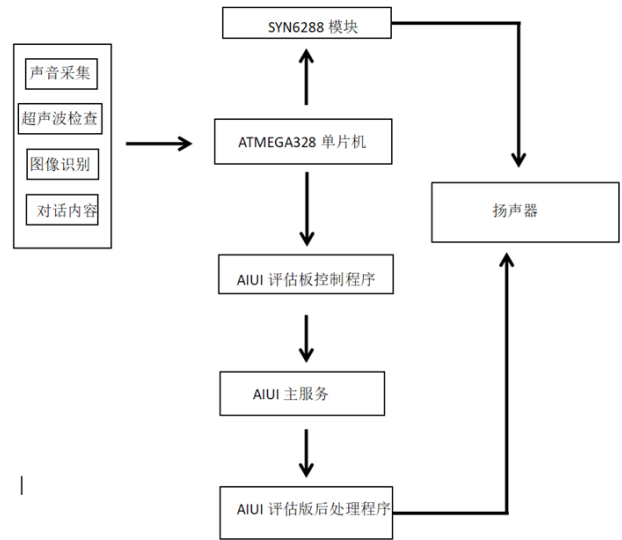


图 3

3 结语

此导盲头盔集成了规避障碍物、红绿灯识别、智能语言助手以及定位功能于一体，为视障人士提供了全方位的出行辅助。并且通过智能语言助手，用户可以与头盔进行语音交互，获取路线导航、天气查询等信息，提高了出行的便捷性和自主性。

通过不断优化设计、提升技术性能和加强用户体验，我们相信光伏智能导盲头盔将成为未来辅助视觉设备的重要发展方向。在此，我们期待更多科研人员和工程师的加入，共同推动光伏智能导盲技术的创新与发展，为视障群体点亮前行的道路，让科技之光温暖每一个需要关怀的心灵。

参考文献

- [1] 林星妍,王雨乐,薛皓闻,等.一种光伏智能导盲头盔[J].中国新技术新产品,2022,(23):11-14.
- [2] 王甜甜,王凯,李辉.铜钢镓硒(CIGS)薄膜太阳能电池研究进展[J].稀有金属,2024,48(10):1475-1501.
- [3] 周卓峰,吕世凯,王思源,等.基于树莓派的智能导盲装置[J].山西电子技术,2024,(02):20-22.
- [4] 王星,丁来国,刘超,等.基于大模型的人工智能家居语言交互研究[J].轻工标准与质量,2024,(03):107-109.
- [5] 陈雷博,陈智利.基于定位导航的多传感器导盲系统设计[J].计算机应用与软件,2023,40(10):90-93+119.

The application of intelligent technology in the design of sanitary ware products

Guobin Su

Jiumu Kitchen & Bathroom Co., Ltd., Quanzhou, Fujian, 362000, China

Abstract

The development of intelligent technology opens a new chapter for the design of bathroom products. This paper discusses the application value of intelligent technology in the design of sanitary ware products, and focuses on the analysis of its outstanding advantages in improving user experience, realizing energy saving, environmental protection and intelligent health management. Taking the intelligent toilet as an example, the article systematically expounds the realization of intelligent temperature control, automatic washing, deodorization and sterilization, health monitoring and other functions and user interests, showing the great potential of intelligent technology to enable bathroom products. At the same time, the article also puts forward the corresponding countermeasures for the convenience, privacy security and stability in the design of intelligent bathroom products, which provides a reference for the further improvement of intelligent bathroom products.

Keywords

intelligent technology; sanitary ware products; intelligent toilet; user experience; energy saving and environmental protection; health management

智能化技术在卫浴产品设计中的应用探讨

苏国彬

九牧厨卫股份有限公司, 中国·福建 泉州 362000

摘要

智能化技术的发展为卫浴产品设计开启了新篇章。本文探讨了智能化技术在卫浴产品设计中的应用价值, 重点分析了其在提升用户体验、实现节能环保和智能健康管理等方面的突出优势。以智能马桶为例, 文章系统阐述了智能温控、自动冲洗、除臭杀菌、健康监测等功能的实现方式和用户利益点, 展现了智能化技术赋能卫浴产品的巨大潜力。同时, 文章还针对智能卫浴产品设计中的便捷性、隐私安全、稳定性等问题提出了相应对策, 为智能卫浴产品的进一步完善提供了参考。

关键词

智能化技术; 卫浴产品; 智能马桶; 用户体验; 节能环保; 健康管理

1 引言

随着人们生活水平的提高, 人们对卫浴产品的要求也在不断提升。传统的卫浴产品已经无法满足现代人的需求, 人们更加追求卫浴空间的舒适性、便捷性和个性化。与此同时, 节能环保、健康生活等理念也深入人心。在这样的背景下, 将智能化技术应用于卫浴产品设计成为大势所趋。智能化卫浴产品不仅能够提供更加舒适便捷的使用体验, 还能实现节能环保及健康管理等功能, 为用户带来更加智能、健康的卫浴生活。

2 智能化技术在卫浴产品设计中的应用优势

2.1 显著提升用户体验

传统的卫浴产品功能较为单一, 无法满足用户日益增长的个性化需求。而智能化技术的应用, 能够根据不同用户的喜好, 提供个性化的使用体验。例如, 智能马桶可以根据用户的坐姿、体重等数据, 自动调节座圈温度及冲洗水压, 提供更加舒适的如厕体验^[1]。智能化淋浴系统可以通过语音或手机 APP 控制水温、水量, 并根据用户的喜好提供不同的水流模式, 如按摩、氧气 SPA 等, 让沐浴成为一种享受。此外, 智能化技术还能大大提高卫浴产品的便捷性。传统卫浴产品的操作往往需要手动完成, 而智能化卫浴产品可实现多种功能的自动化和远程操控。如智能马桶可以通过人体感应实现自动翻盖、冲洗、烘干等, 免去了手动操作的繁琐。智能镜柜可以通过语音控制照明、调节色温, 甚至播放音乐, 为用户提供更加便捷的梳洗体验。

【作者简介】苏国彬(1991-), 男, 中国福建泉州人, 本科, 工程师, 从事卫浴建材, 智能卫浴研究。

2.2 高效节能且环保

传统卫浴产品往往存在能源浪费的问题,如使用过程中忘记关闭水龙头,导致大量水资源的浪费。而智能化技术的应用,能够有效解决这一问题。智能马桶通过泵冲、脉冲等新型冲刷技术的开发与应用,在提升冲刷性能的同时,显著降低了用水量。如今市面上大部分智能马桶产品的用水效率都已达到了非常可观的水平,不仅完全符合国家标准对卫浴产品的严苛要求,部分搭载新技术的智能马桶,其节水性能甚至优于国家一级水效标准,且丝毫不会影响马桶的冲刷效果。此外,许多智能卫浴产品采用了环保材料,如植物纤维、纳米抗菌材料等,在提高产品使用寿命的同时,减少了环境污染^[2]。部分产品还加入了空气净化等功能,如智能马桶的自动除臭功能,智能镜柜的负离子发生功能等,在改善卫浴空间空气质量的同时,营造了更加健康舒适的卫浴环境。

2.3 健康管理更智能

智能化技术与健康管理的结合,为用户的健康生活提供了有力保障。智能马桶可以通过粪便分析等技术,了解用户的身体健康状况,不仅如此,在强大的人工智能算法支持下,智能马桶还能根据检测结果,直接给出个性化的饮食建议、运动方案等,让用户轻松掌控自己的健康。同时,智能马桶还可以将这些健康大数据上传至云端,供医生进行远程会诊,为用户提供更专业、更贴心的健康指导服务。随着人工智能、大数据分析、物联网等新兴技术的快速发展,智能马桶在健康管理、舒适体验、节能环保等方面的应用也变得越来越简单、高效。比如,通过机器学习算法的不断迭代优化,智能马桶可以持续学习用户的如厕习惯,随之调节座圈温度、冲洗水压等,时刻给予最贴心的如厕体验。再如,基于海量用户数据的深度挖掘分析,智能马桶能够精准掌握不同人群的用水特点,自动匹配最佳的节水策略,在提升冲洗效果的同时最大限度地减少水资源浪费。此外,在疫情防控常态化的背景下,智能消毒已成为智能马桶不可或缺的重要功能。一些新型智能马桶产品搭载了紫外线杀菌、臭氧消毒等先进技术,能够自动、快速、高效地清除马桶表面的细菌病毒,让用户远离健康隐患,安心享受卫浴生活。

3 智能化技术在智能马桶设计中的应用

3.1 温度及冲洗压力自动调节

传统的坐便器冲洗水温通常偏冷,且无法根据个人需求进行调节,容易在如厕过程中引起不适感。智能马桶通过内置的温度传感器和水温调节装置,可以将冲洗水精准控制在人体感觉舒适的温度范围内^[3]。不仅如此,智能马桶还能根据当前季节进行自动调温,在炎热的夏季适当降低水温,在寒冷的冬季则适度升高水温,确保用户在任何时节如厕都能感受到如沐春风般的舒适体验。除了水温调节,智能马桶还能通过内置的压力传感器,实时监测管道内的水压情况。

结合智能调压阀,马桶可根据用户的个人喜好,灵活调节冲洗水压的大小。这一人性化的设计不仅满足了不同人群的多元化冲洗需求,更是对老年人、孕妇等特殊人群的一种贴心呵护。智能马桶通过 AI 机器学习算法分析用户的使用习惯和偏好,自动记忆并调用每位用户的专属舒适温度和水压档位,让智能马桶能够做到因人而异、随需而变,带来更加个性化的如厕体验。

3.2 智能除臭及杀菌功能

家居卫生是每个人都十分重视的问题,而马桶作为家中使用频率较高的如厕设施,其清洁卫生情况备受关注。普通马桶经常会残留异味,需要频繁打扫,既耗时费力,又难以彻底清除。相比之下,智能马桶可谓是解决如厕异味问题的"高效能手"。它在内部装有活性炭过滤装置,能快速吸附空气中的异味分子,并通过自动控制的排气扇,将臭味及时排出,使卫浴间始终保持清新怡人。除了祛除异味,智能马桶在杀菌消毒方面也有出色表现。它采用了先进的紫外线杀菌技术,能够 360 度无死角地对马桶内部进行杀菌处理,有效抑制细菌滋生。同时,马桶内壁选用了纳米抗菌材料,具有良好的抑菌性能和持久性,免去了用户频繁清洁的烦恼。正是凭借这些人性化的贴心设计,智能马桶不仅大大提升了卫浴间的整体清洁卫生水平,更是为人们营造了一个健康、安心的如厕环境,让每一次如厕都能成为一种享受。此外,还可以利用 AI 算法对除臭杀菌装置的工作状态进行实时监控,一旦发现异常情况及时预警维修,确保其稳定高效运行。

3.3 健康监测及护理功能

智能马桶不仅在使用便捷性和卫生性能上下足了功夫,在用户健康监测和护理方面也有诸多创新之举。它内置了多个精密的传感器,可实时记录用户的如厕频率、如厕时长等关键数据。利用 AI 智能算法对海量用户健康数据进行深度挖掘,建立个性化的健康档案,为用户提供更加精准、专业的健康指导。同时,还可以结合自然语言处理技术,让智能马桶能够"听懂"用户的语音指令,实现更加人性化的交互体验^[4]。除了"智能管家"的贴心服务,智能马桶还集成了尿液检测等功能,可快速筛查泌尿系统的常见疾病,成为了用户健康的"守门员"。在日常护理方面,智能马桶提供了坐浴、暖风烘干等人性化功能。其中坐浴功能可有效改善痔疮、妇科炎症等毛病;暖风烘干功能既增添了如厕舒适度,又能缓解湿疹、皮炎等皮肤问题。由此可见,智能马桶已然成为了一台全方位呵护用户身心健康的"智能卫浴管家"。

3.4 自动翻盖及冲洗功能

传统马桶最令人诟病的一点,莫过于使用后还需手动翻盖和冲水。久而久之,马桶表面极易藏匿细菌,如厕后还需频繁接触,不仅不卫生,清洁起来也十分麻烦。智能马桶有效解决了这一人们"如厕后遗症"。它采用了人体红外感应技术,当用户靠近时,马桶盖会自动开启;如厕完毕离开,马桶盖又会自动合上^[5]。整个过程无需用户动手,最大程度

避免了细菌滋生。与此同时,智能马桶还搭载了感应式冲水系统。它通过坐圈上的压力传感器,准确判断用户如厕时间的长短,进而智能控制冲水的时间和水量。这样不仅杜绝了因忘记冲水而引发的卫生问题,还能避免过度用水,在节约水资源的同时,也为用户省去了不少麻烦。可以说,正是凭借翻盖与冲洗的"智能组合",智能马桶为人们开启了一扇全新的"智慧如厕"大门。

4 智能化卫浴产品设计应注意的问题

4.1 注重用户操作便捷性

智能化卫浴产品以其酷炫的外观设计和丰富多样的功能吸引着越来越多的消费者。然而,在追求产品智能化的同时,设计者切不可盲目堆砌功能,而忽视了用户的实际体验。试想,一款操作繁琐、设置复杂的智能卫浴产品,即便集成了再多黑科技,也难以赢得用户的青睐。因此,智能化卫浴产品在设计之初,就要充分考虑不同用户群体的需求。比如,老年人群可能对智能设备的操作不太熟悉,那么产品就应提供清晰易懂的操作指引,如配备大尺寸显示屏,界面设计简洁明了,并辅以语音提示等。再如,行动不便者可能难以完成精细操作,产品设计上则应着重考虑大按键、语音控制等更加人性化的交互方式。同时,在追求便捷的同时,也要重视使用安全。设计者应当为产品设置紧急制动装置,避免因误触、误操作等引发的安全隐患。

4.2 数据安全与隐私保护

随着物联网技术的发展,智能卫浴产品在带来诸多便利的同时,也引发了人们对隐私安全的担忧。这些产品在使用过程中,往往会收集用户的生理数据、行为习惯等敏感信息。一旦这些隐私数据遭到泄露或非法利用,将给用户的生活带来难以预估的风险。因此,智能卫浴产品的设计者和制造商必须将数据安全和用户隐私保护视为重中之重。首先,要利用加密、匿名化等技术手段,全方位构筑数据安全防线。比如,对收集到的用户数据进行去标识化处理,即使数据不慎外泄,也难以追踪到具体个人。其次,要制定完善严谨的隐私政策,对数据收集、存储、使用的各个环节进行明确规范,杜绝任何非必要、未经授权的数据收集行为。与此同时,企业还应主动加强与用户的沟通,让用户全面了解自己数据的使用情况。这就要求隐私政策必须以通俗易懂的方式呈现,让用户对"数字影子"的去向心中有数。

4.3 产品稳定性与耐用性

作为日常生活中不可或缺的卫浴设施,智能马桶、智能浴室柜等产品的稳定性和耐用性至关重要。与普通家电相比,智能卫浴产品面临更加复杂多变的使用环境。潮湿多水汽的浴室,对产品的防水、防潮能力提出了严苛考验。同时,卫浴产品往往使用频率较高,如何经受得住日复一日的考验,也是设计者必须思考的问题。为保障产品的稳定耐用,设计之初就要选用高品质、抗腐蚀的材料,从源头上提升产品质量。此外,还要对产品反复测试,模拟各种极端使用情况,全面评估产品性能。比如,在高温高湿环境下,测试产品的防水防潮性能;在频繁使用场景下,考察产品的耐磨损程度。只有在设计和生产的每个环节都精益求精,才能确保产品经得起时间和使用的考验。与此同时,完善的售后服务体系也是延长产品使用寿命的关键。企业应当为用户提供及时、专业的维修保养服务,定期为用户"体检",排查安全隐患。而在大多数智能卫浴产品已搭载物联网系统的当下,远程监控和预警显得尤为重要。

5 结语

智能化技术为卫浴产品设计带来了新的生机,极大提升了卫浴空间的舒适性、便捷性和个性化体验,同时实现了节能环保和智能健康管理。智能马桶作为智能卫浴产品的典型代表,集成了丰富的智能化技术,为用户带来了全新的如厕体验。但智能卫浴产品在设计中也应注意提升用户操作的便捷性,重视数据安全与用户隐私保护,保障产品的稳定性与耐用性。相信通过产学研界的共同努力,智能卫浴产品必将迎来更加广阔的发展前景,为人们打造一个更加智能、健康、舒适的未来卫浴空间。

参考文献

- [1] 王婷婷.人工智能技术在卫浴产品设计中的应用[J].大观,2023(08):82-84.
- [2] 许怡雯.智能化技术在卫浴产品中的应用及发展——以淋浴房为例[J].建筑工人,2023,44(06):24-27.
- [3] 叶佳祥.探讨人工智能技术在卫浴产品设计中的应用[J].产业创新研究,2020,(22):66-67.
- [4] 陈韦志.从专利角度分析卫浴产品在智能化方面的技术趋势[J].技术与市场,2020,27(09):74-75.
- [5] 郑艳玲,李柳霖.智能化卫浴产品的设计研究[J].西部皮革,2020,42(16):35+98.

Analysis on the application of artificial Intelligence technology in public Library Service

Peiyuan Li

National Library of China, Beijing, 100080, China

Abstract

With the rapid development of artificial intelligence technology, its application in all walks of life is increasingly extensive, and public libraries also actively explore its application in service. Artificial intelligence technology can improve the service efficiency of libraries, optimize resource management, improve user experience, and promote the intelligent transformation of library management mode. This paper first gives a brief overview of artificial intelligence, then analyzes the application significance of the technology in library services, and finally analyzes the application fields of artificial intelligence in public library services, including self-service borrowing and return, collection resource management, service management and user information feedback.

Keywords

artificial intelligence; public library; service; application

人工智能技术在公共图书馆服务中的运用探析

李培园

国家图书馆, 中国·北京 100080

摘 要

随着人工智能技术的快速发展,其在各行各业中的应用日益广泛,公共图书馆也积极探索其在服务中的运用。人工智能技术能够提升图书馆的服务效率、优化资源管理、改善用户体验,并推动图书馆管理模式的智能化转型。本文首先简要概述人工智能,随后分析该技术在图书馆服务中的应用意义,最后着重分析了人工智能在公共图书馆服务中的多个应用领域,包括自助借还书、馆藏资源管理、服务管理以及用户信息反馈等方面。通过智能化手段,公共图书馆能够提供个性化的服务,提升工作效率,同时减少人工成本。本文旨在探讨人工智能技术在公共图书馆中的应用现状与前景,为图书馆的服务创新提供参考。

关键词

人工智能; 公共图书馆; 服务; 运用

1 引言

公共图书馆作为文化传播的核心场所,承担着信息存储、检索与共享的重大任务。然而,随着信息时代的发展和社会需求的多样化,传统的图书馆服务逐渐暴露出一些瓶颈,特别是在服务效率、资源管理和用户体验方面。为了应对这些挑战,人工智能技术作为一种革命性技术,正在公共图书馆中得到逐步应用。人工智能技术通过模拟人类的思维和行为,能够有效地处理大量复杂数据,为公共图书馆提供智能化的解决方案。

2 人工智能概念概述

人工智能是计算机科学的一个重要分支,旨在研究如

何通过模拟和延伸人类智能,使机器具备学习、推理、感知和决策的能力。随着计算能力的提升和大数据的发展,人工智能逐渐从理论研究走向实际应用,涵盖了自然语言处理、机器学习、计算机视觉、深度学习等多个领域。机器学习和深度学习是人工智能领域最具代表性的技术,通过对大量数据的训练,机器可以自动发现规律、做出预测,并在特定任务中逐步提高效率和准确性。人工智能的核心目标是模拟和扩展人类的认知能力,使得机器能够像人类一样感知、理解和适应环境,从而完成复杂的任务。人工智能技术不仅限于数据处理和分析,它还能够通过模拟人类的思维和决策过程进行判断。例如,计算机视觉技术使机器能够“看到”并识别图像或视频中的对象,而自然语言处理则使机器能够理解和生成文本或语音,甚至进行情感分析。通过不断学习,人工智能系统能够根据已有的信息做出决策,从而在多个领域中自动执行任务,如自动驾驶、智能客服、推荐系统等。

【作者简介】李培园(1985-),女,中国北京人,本科,副研究馆员,从事读者服务,阅读推广研究。

3 人工智能技术在公共图书馆服务中运用的意义

随着信息化社会的发展,公共图书馆作为知识传播的重要场所,承担着为公众提供信息、文化和教育服务的使命。然而,传统的图书馆服务模式常常面临诸如工作效率低、资源管理繁琐、用户体验不足等问题。人工智能技术的引入,为公共图书馆提供了崭新的解决方案,提高图书馆的服务质量和管理水平。首先,人工智能技术能够大幅提高图书馆的服务效率。过去,公共图书馆在借书、还书、查询等环节依赖人工操作,往往导致工作流程繁琐、服务响应缓慢。而人工智能技术的应用,如自助借还书系统和智能图书管理系统,通过自动化流程使得这些服务环节更加快捷高效。用户可以通过自助终端设备完成借书、还书、查询等操作,减少等待时间,提高资源利用效率。其次,人工智能在资源管理方面的运用也使得公共图书馆的管理更加精准和智能。传统的馆藏资源管理往往依赖人工分类、整理和调配,耗时耗力且容易出现错误。通过机器学习和大数据分析技术,人工智能能够根据借阅数据、用户兴趣和阅读趋势等信息,对馆藏资源进行智能化预测与调配。通过数据挖掘,人工智能还可以为图书馆提供精准的资源采购建议,帮助馆长进行更科学的资源配置。最后,人工智能技术的运用为公共图书馆带来了更多的创新空间。例如,基于人工智能的语音识别系统可以实现语音查询和语音导航,读者可以通过语音与图书馆系统互动,进一步提升了图书馆的智能化水平。未来,随着人工智能技术的不断进步,公共图书馆将能够实现更加智能化和人性化的服务模式。

4 人工智能技术在公共图书馆服务中的运用

4.1 人工智能在进出图书馆与借还图书中的运用

传统图书馆借还书需要人工操作,用户在高峰时段往往面临排队等候,甚至因为操作繁琐或人员疏漏而出现错借、错还的情况。人工智能技术的引入,通过自动化、智能化手段解决了这些问题。首先,人工智能在借还书系统中的运用使得借还书流程更加便捷。自助借还书系统是人工智能在图书馆借还书环节中的典型应用。通过射频识别技术(RFID)和智能终端设备,用户只需将图书放置在自助借还机上,系统便会自动识别图书信息,完成借书和还书操作。这一过程中,RFID技术和人工智能的结合使得书籍的借还更加快速与准确,系统能够实时更新借阅记录,避免人工操作中的遗漏和错误。其次,人工智能技术在图书馆的进出管理中也得到了广泛应用。传统图书馆的进出管理依赖于人工审核身份和借阅记录,容易出现排队、等待等情况,且难以做到高效、准确的人员流动管理。通过人脸识别技术和RFID技术,人工智能可以实现对图书馆进出人员的自动识别与记录。用户只需通过人脸识别系统或者携带RFID卡片,便能顺利进出图书馆,无需排队验证身份,大大提高了进出

效率。人工智能在借还书和进出管理中的应用还体现在数据分析与服务优化上。通过收集用户借书历史和行为数据,图书馆可以利用人工智能技术进行数据分析,预测用户需求并优化馆内资源分配。例如,在热门书籍借阅量较大时,人工智能可以帮助图书馆提前调度资源,合理安排图书库存,确保用户能够快速借到所需书籍。同时,基于用户的借阅习惯和偏好,人工智能还可以为读者提供个性化的书籍推荐,提高图书馆的服务质量和读者满意度^[1]。

4.2 人工智能在公共图书馆馆藏资源服务中的运用

公共图书馆的馆藏资源是其核心资产,如何高效管理和利用这些资源,成为提升图书馆服务质量的关键。传统的馆藏资源管理往往依赖人工分类、整理和调配,这不仅费时费力,还容易出现资源分配不均或浪费的情况。首先,人工智能技术能够通过智能化管理优化馆藏资源的分类与排序。图书馆的馆藏资源种类繁多,包括图书、期刊、音像资料、电子资源等,传统的分类方式往往依赖人工制定规则和标准,难以做到高效、精准的管理。人工智能通过机器学习算法和自然语言处理技术,可以自动化地对馆藏资源进行分类和标签化处理。系统能够根据书籍的内容、主题、关键词等信息进行智能分析,自动为资源打上标签,并按照类别进行高效排序。其次,人工智能在馆藏资源的智能推荐方面也发挥着重要作用。例如,机器学习算法能够识别用户的阅读偏好,基于用户过去的借阅记录和收藏情况,为其推荐相关的书籍、期刊或电子资源。最后,人工智能技术在馆藏资源的保护与修复方面也表现出潜力。图书馆馆藏资源尤其是纸质文献,随着时间的推移容易受损。通过图像识别和机器学习技术,人工智能能够对损坏的文献进行自动识别,分析其损坏程度,并提供修复建议。这不仅有助于保护珍贵文献,还能延长馆藏资源的生命周期。

4.3 人工智能在公共图书馆服务管理工作中的运用

公共图书馆的服务管理工作中,人工智能技术的运用使得图书馆的运营更加高效、智能、精准。首先,人工智能在图书馆的运营管理中,尤其是在馆员排班和资源调配方面,具有显著作用。图书馆的开放时间、人员配置和工作负荷在不同的时段会有所不同,传统的排班方式往往依赖人工安排,难以做到高效合理。人工智能通过大数据分析和智能算法,能够实时分析读者流量、馆内资源使用情况以及不同时间段的工作需求,从而为图书馆的管理人员提供智能化的排班方案。

其次,人工智能在图书馆的客户服务方面发挥着越来越重要的作用。例如,智能客服系统和虚拟图书馆员的应用,提升图书馆与用户之间的互动效率。人工智能技术通过自然语言处理(NLP)和语音识别技术,使得图书馆能够提供24小时自助服务。用户可以通过智能客服系统获得实时的服务,例如查询图书馆馆藏、办理借还书手续、获取馆内活动信息等。这种智能化服务不仅提高了用户的满意度,还

有效解放了馆员的工作负担,使他们能够将更多精力投入到更为复杂和专业的服务中。人工智能还能够帮助图书馆提升活动组织和信息推送的效率。传统的活动组织往往依赖人工宣传和推广,效果有限。通过人工智能技术,图书馆可以根据用户的兴趣和阅读习惯,自动推送相关的活动信息和书籍推荐,进一步提升用户参与度和图书馆的影响力。此外,人工智能还可以帮助图书馆定期分析用户反馈,优化服务内容和方式,从而确保图书馆活动和服务能够更好地满足读者的需求^[2]。

4.4 人工智能在公共图书馆信息感受反应中的运用

随着人工智能技术的引入,尤其是在自然语言处理(NLP)、语音识别、情感分析和智能推荐系统等领域,图书馆能够更加智能化地理解并响应读者的需求,提高信息服务的个性化与实时性。首先,人工智能通过自然语言处理技术优化了读者与图书馆之间的信息互动方式。读者通常通过文字或语音查询书籍信息、活动安排、馆藏状态等,传统的人工系统往往依赖于静态查询界面,且需要人工解答。而基于自然语言处理的智能问答系统,则可以实时理解读者的查询意图并提供快速回应。例如,读者可以通过文本或语音提出“有关于人工智能的书籍吗?”这一问题,智能系统能准确理解其需求并直接返回相关书籍的推荐或馆藏信息。通过这种方式,图书馆的查询效率和服务响应速度得到了显著提升,且服务内容更加多样化和精准。其次,人工智能在语音识别方面的应用,进一步丰富了图书馆信息反馈的互动形式。读者通过语音输入或与虚拟助手互动,不仅能完成简单的查询,还可以进行复杂的操作,如预约书籍、查询借阅历史、了解图书馆活动等。语音识别技术使得读者能够在没有键盘操作的情况下,完成信息查询,极大地方便了行动不便或习惯语音交互的用户。此外,语音交互可以使得图书馆与读者之间的互动更加自然、流畅,提升了用户的参与感和满意度。在情感分析领域,人工智能技术使图书馆能够实时识别并响应读者的情绪和态度。情感分析技术通过分析读者的语言表达、语气、情感倾向等,帮助图书馆及时察觉读者在互动过程中的情感变化。人工智能在图书馆信息感受中的运

用还体现在个性化推荐系统的智能化提升。传统的图书馆推荐系统往往基于读者的借阅历史进行单一推荐,难以准确捕捉读者的兴趣变化和潜在需求。而人工智能通过大数据分析和机器学习,能够根据读者的行为数据、阅读习惯及社交互动等多维度信息,精准推送个性化书籍、课程或活动推荐。例如,如果一位读者经常借阅科幻类书籍,智能推荐系统能够在其阅读行为发生变化时,提供更多该领域的书籍推荐,或是通知读者有关的作者讲座和新书发布。这种智能化的推荐机制,不仅提高了读者获取相关信息的效率,也增加了他们的参与度和忠诚度。最后,人工智能还可以通过实时反馈和推送系统,帮助图书馆快速响应读者的兴趣变化。例如,基于用户行为分析,图书馆可以在新书上架时,自动推送相关图书信息,或者在读者完成某本书籍的借阅后,提供类似书籍的推荐和预约功能。通过这种精细化、定制化的信息推送,图书馆能够更加精准地满足读者的多样化需求^[3]。

5 结语

随着人工智能技术的迅速发展,其在各行各业中的应用已经逐渐深入,公共图书馆作为知识传播和文化服务的重要平台,正迎来智能化转型的机遇。人工智能技术使图书馆的服务更加智能化、便捷化,并推动了图书馆信息资源的深度整合与优化。通过自然语言处理、语音识别、情感分析和智能推荐等技术,图书馆能够更好地理解读者需求,及时做出反应,提供个性化的资源推荐和信息推送,增强了图书馆与读者之间的互动与沟通。随着技术的进一步成熟与普及,人工智能将在提升公共图书馆服务质量、推动文化传承和知识共享方面发挥越来越重要的作用。

参考文献

- [1] 石晶,李红宇,刘佳.基于通用人工智能的公共图书馆服务的优化与创新[J].图书馆建设,2024(2):94-101.
- [2] 石晶,刘佳.基于通用人工智能的公共图书馆服务的优化与创新[J].图书馆建设,2024,326(2):94-110.
- [3] 杜媛媛.人工智能在公共图书馆智慧服务中的应用[J].中文科技期刊数据库(全文版)社会科学,2023(1):3-10.

Innovation and reliability analysis of mechanical valve sealing technology

Xiaowei Tao

Shanghai Lianggong Valve Factory Co., Ltd., Shanghai, 201901, China

Abstract

With the rapid acceleration of the industrialization process, the application of mechanical valves in oil, natural gas, electricity and other fields is becoming more and more common. Valve sealing technology, as one of the core performance, is directly related to its service life and working efficiency, mechanical valve sealing situation is not only related to the reliability and safety of equipment, but also to the steady and intensive energy, environmental governance significance. In view of the errors in the actual operation of traditional valve sealing technology, such as sealing gap, rapid aging speed, poor environmental adaptability and other problems, more and more innovative sealing technology is born. This paper discusses the current situation of valve sealing technology, and analyzes the advantages and defects of different types of sealing materials and structural design, combined with the actual needs of the current engineering, gives an effective means to improve the sealing performance, and also makes a careful analysis of its reliability.

Keywords

mechanical valve; sealing technology; reliability; innovation; sealing material

机械阀门密封技术的创新与可靠性分析

陶小卫

上海良工阀门厂有限公司, 中国·上海 201901

摘 要

随着工业化进程的急剧加速,机械阀门在石油、天然气、电力等领域里的应用愈发普遍。阀门密封技术作为核心性能里面的一项,直接关系其使用寿命和工作效率,机械阀门的密封情况不光关乎设备可靠性及安全性,还对能源稳步集约、环境治理意义非凡。鉴于传统阀门密封技术在实际操作中存在的差错,如密封存有间隙、老化速度迅猛、环境适应能力不好等问题,越来越多透出创新性的密封技术诞生。文章探讨了阀门密封技术的当前情形,并分析了不同式样密封材料及结构设计优势与缺陷,结合当下工程实际需求,给出了增进密封性能的有效手段,也对其可靠性展开周密分析。

关键词

机械阀门; 密封技术; 可靠性; 创新; 密封材料

1 引言

在现代工业阶段,机械阀门密封技术作用极大,尤其是在石油化工、电力、冶金等主流行业内,密封性能的好坏直接牵扯设备运行时期的安全及效率。伴随技术的渐次进步,阀门密封技术面临持续上扬的要求,如更强的耐温本领、耐压本领、防腐蚀本领、抗冲击本领等特性。这要求我们一贯改进和优化现有的密封技术,以贴合复杂的工况态势。本文将探讨机械阀门密封技术的创新进展,并分析其可靠性。

2 机械阀门密封技术概述

众多工业管道中大量采用机械阀门,作为掌管流体流

动的关键器械,其密封技术对维持系统不间断运行极为关键。阀门密封性能直接牵扯着设备安全性、工作效率以及环境保护能力。机械阀门密封性是借助密封材料跟结构实现的,这些密封技术不只要面对高压、高温等严酷环境,还应拥有抗腐蚀、耐磨特性以及长时间可靠性。随着工业对能源利用效能和环境保护要求的上扬,阀门密封技术面临着渐次棘手的挑战。

阀门密封技术的创新方向主要归拢到高性能密封材料的研发、新型密封结构设计的优化以及智能化监控技术的引入等方面。新型密封材料的采用为阀门密封增添了更强的抗腐蚀性能、耐受高温高压的本质,而且具备更长久使用期限。密封结构的创新设计借助对接触面及压力分布的优化,增添密封的稳定性及有效性^[1]。

【作者简介】陶小卫(1982-),男,中国江苏姜堰人,本科,工程师,从事阀门设备研究。

3 传统密封技术的问题分析

3.1 密封不严的原因

机械阀门的密封性能直接牵扯设备稳定运行及安全相关要素。密封不严是阀门故障当中绝对普遍的问题之一，原因显示多样化，主要关联到密封材料的质量、密封结构设计的恰当水平以及阀门的使用环境等内容。密封不严大概是鉴于密封材料选取错误或质量未达标，一般规格的橡胶、聚四氟乙烯等材料虽说在不少工况下可起到良好的作用，但在高温、高压且具有腐蚀性的环境阶段，其密封性能极易被破坏波及，进而引起密封漏洞。

阀门密封结构设计不当确乎是重要因素。例如，密封面之间的接触压力不均，密封环的安装精度差，都会使密封效果不理想。密封环的安装精准程度欠佳，都将引起密封效果欠佳，阀门长时间不停歇地运行结束后，密封面说不定由于磨损、腐蚀等缘故产生变形，进而失去起始的密封成效。随着阀门的使用周期增长，密封面跟密封环相互间的接触情形变了，密封面也许会慢慢呈现失效情形，引发流体外溢，密封不严也许跟操作不规范有关。

3.2 密封材料的老化

密封材料的老化是影响阀门密封性能的一个重要因素。当阀门度过长期运用阶段，密封材料会受热度、压力、化学添加物、紫外线辐射等多方面因素影响，引起其物理性质跟化学性质产生变化，从而慢慢失去原本的密封本领。密封材料老化阶段主要显现出硬化、脆化、膨胀或收缩等表现，这些改变造成密封面之间的接触力稍变弱，密封效果变差^[2]。

温度是引起密封材料老化的关键条件。在高温环境里，密封材料的分子结构大概出现破坏，引起材料硬挺或变脆，进而妨害密封实力。比如，处于高温环境里橡胶密封圈易出现老化，其弹性急剧减弱，密封性能急剧下降，化学介质的侵蚀也会引起密封材料趋向老化。在石油、天然气等化学介质引起的作用下，密封材料表面极容易出现化学反应，令它的结构出现毁坏，密封效果慢慢变差。尤其是在腐蚀性气液发挥影响的时候，密封材料会出现不同程度的蚀坏，诸如表面剥脱、开裂、变脆等情况。

3.3 环境适应性差

阀门密封材料环境适应表现欠佳是影响密封性能的一大因素，尤其是碰到极端工况的环境下，传统密封材料一般无法契合高温、高压或腐蚀性介质需求。彼此不同的工业应用场景对阀门密封性能需求不一，密封材料适应环境的水平直接关乎阀门能否长时间稳定运行。温度是影响密封材料环境适应性的关键点，仅仅是示例用以说明思考过程，现改为：温度是关联密封材料环境适应性的关键因子，当面临某些高温情形，密封材料倘若没有足量的耐高温能力，会碰到变形、软化、老化等情形，引起密封不紧密性。比如，在石油、化工、发电等行业内，阀门往往需在高温环境里做事，传统的橡胶或聚四氟乙烯密封材料难以招架住这般极端条件，于

是需要采用抗高温材料，诸如金属密封、陶瓷密封这般。

密封材料的抵御腐蚀能力是其环境适应性的关键指标。在石油、天然气、化工等关联范畴，介质的腐蚀效应对密封材料要求上扬，要是密封材料没法有效抵御介质的侵害，极易引起密封失效。例如，像氯化物、酸性气体这类介质对传统密封材料侵蚀作用极大，或许在短时间过程中造成密封环受损^[3]。

4 机械阀门密封技术的创新与可靠性

4.1 新型密封材料的应用

随着工业全面发展对阀门密封性能要求的上扬，采用新型密封材料慢慢成为增强阀门密封技术的重要途径。以往采用密封材料如橡胶、聚四氟乙烯等，在高温、高压、腐蚀性介质等苛刻操作环境中的运用存在一定局限，尤其是材料老化、耐腐蚀性欠佳状况显著暴露。近年来，随着新材料科技的不断蓬勃发展，某些新式密封材料渐渐应用到阀门领域，诸如含油陶瓷、碳纤维增强复合材料、金属合金等。这些新型材料不光具备更高的耐温、耐压、抗腐蚀本领，还能有效增进密封质量。

陶瓷密封材料展示出相当出色的耐高温能力，面临高温环境可维持强度与硬度，同时对繁多腐蚀性介质体现出超凡的抗腐蚀性。碳纤维复合材料凸显出较高的耐磨特质及强度，可切实抵挡长时间的摩擦及损耗。金属共混物质，就像不锈钢与钛合金，处在高温高压的境遇里有更好稳定性，能够应对更棘手的情形。应用这些新型密封材料可显著增进阀门密封的可靠性，加大其使用阶段，而且在特定工况下凸显出传统材料不能匹敌的长处。因此，选审并推广针对特定工况的新型密封材料，是提升阀门密封技术实力的关键途径。

4.2 密封结构设计创新

除了密封材料实施升级，密封结构的设计妙招同样是提高阀门密封技术的关键要点。阀门的密封性能不只是凭借材料选取，还跟密封结构的合理设计紧密相连接。随着工程技术的不断优化升级，阀门密封结构的设计正缓缓朝着更高效、更耐用、更适宜复杂工况的方向迈进。首先，密封面彼此接触压力的均匀属性和密封面设计精度对密封效果极为要求。可凭借采用柔性密封环、金属弹簧条等举措，保障密封面在长时间工作里可维持稳定的接触力，杜绝因接触不稳定引起密封失效。其次，密封面形状设计同样须革新。例如，采取起伏样式、波浪密封面等，可以有效增添密封面的接触面积，增大密封成效。

必须着重的是，密封结构的设计必须依照不同工况选定恰当的密封型式。例如，在呈现高温高压的情形里，金属对金属密封结构大概更贴合，于低温低压的环境情形里面，诸如橡胶、聚四氟乙烯等原料的密封效果也许更佳。密封结构设计的创新挖掘，要求设计人员不仅要掌握坚实的理论基础，还需充分顾及现场实际格局，保障阀门的密封效果做到

极限增强。

4.3 高性能涂层技术的引入

高性能涂层技术的采用为提升阀门密封工艺开拓新途径。涂层技术是在密封面或密封材料表面贴上一层独特的涂层，以此增进其抗磨损、抗侵蚀、耐高温等性能，以此实现密封提升。一般的常规密封物件往往难以契合特定工况要求，而高性能涂层能巧妙弥补这一缺陷。

常见高性能涂层囊括诸如陶瓷涂层、金属涂层以及聚合物涂层等。陶瓷涂层展现出绝佳的耐磨性与抗腐蚀性，能够有效预防密封面因摩擦引起的损毁，格外适配高压环境及高速启停里的阀门。金属涂层可明显提升密封面的抗氧化性与耐腐蚀性，很适合在高温或拥有腐蚀性介质的工作环境下采用。聚合物涂层体现上佳的柔韧属性，可以有效填补密封面的微小缺欠，加紧密封效力。

此外，纳米技术的采纳也给涂层技术引发了革命性变革。纳米涂层不仅显示出极好的耐磨性，还能极大削弱摩擦系数，增加密封材料的使用时长。跟着涂层技术的稳步发展与创新，未来阀门密封性能的增进会更依托先进涂层的采用。

4.4 优化密封材料选择

优化密封材料的筛选是提高阀门密封技术的关键手段。密封材料的筛选直接涉及阀门的密封性能和耐用格局，选定契合作业状态的密封材料意义重大。不同作业态势下对密封材料的要求各不一样，恰似在高温高压环境里面，密封材料须体现耐高温、耐腐蚀、耐压等特性；在腐蚀性介质的环境中，密封材料得展示一定的耐化学性；面临低温的实际情形，密封材料得维持良好的弹性及柔韧性。

伴随着新型材料的不断涌现，材料选择的范畴也日益拓展。例如，从高温工况的角度看，可挑取耐高温的金属合金材料抑或陶瓷材料；若有腐蚀性介质，可可选抗腐蚀性强的聚四氟乙烯或氟橡胶材料；面临糟糕天气或低温环境时刻，可选用聚氨酯跟聚酰亚胺等类别的柔性材料。通过对材料特性跟使用环境的全面恰当评估，优化密封材料的采选，有利于增强密封效能并延长阀门的使用阶段。

4.5 改进密封结构设计

密封结构设计的转变对提升阀门密封可靠性起到关键作用，早前的密封样式在某些特定工况时或许无法达到密封标准，完善好密封结构设计是保障阀门在高温、高压、腐蚀性介质等环境中稳定运转的关键。依仗优化密封环的形状及材质，实现密封面接触均一度，防止因接触不良而引起密封差错。比如，采用扭折式密封面设计，得以延展密封面的接触面积，增大密封效果。

密封结构设计应按使用环境定制。在承受高压肯定需要的场合，可设计更显坚毅的金属对金属密封结构，以此强化密封效果；从低压、常规作业环境下的应用局面看，就不妨采用软密封结构，该设计能造就恰当的密封效果，同样可降低材料磨损。

此外，结构设计的转变也应顾及密封结构的耐用程度和易维护性。采用模块化设计的密封结构样式，便于开展更换及保养，减少停机天数，压减维养的花费。密封结构设计的改良不仅能革新密封成效，还可延长阀门的使用期限，节省检修开支，是提升阀门密封技术的有效招数。

4.6 增强阀门检测与监控

为保证阀门在长时间运行阶段一直维持良好的密封效果，肯定要增强阀门的检测与督察。按步对阀门开展排查，可以迅速察觉并处理密封问题，杜绝由密封缺陷引发的重大后果。鉴于现代检测技术的新进展，实施阀门密封性能检测更精准高效。

阀门检测途径有压力测试、泄漏检测、温度查看等。正值压力测试阶段，依靠施加高压型液体或气体，检验阀门密封面有无滴漏；处于推进泄漏检测阶段，可借助气体探测仪等器械，查看阀门是否冒出微小渗漏。此外，温度监测可辅助检查阀门在高温工况下的密封情形，凭借实时查看阀门的运行情形，可以及时鉴别密封不良的情形，采取对应的矫正办法。

此外，伴着物联网技术的应用实施，阀门远程监控已成为强化阀门管理模式的重要手段，采用尖端智能化传感器和数据采集系统，可以实现对阀门工作状态的实时查看。预警潜在的密封裂缝，提早安排检修，保证阀门始终处在优质运行状态。

5 结语

机械阀门密封技术的创新不仅需要科学的技术支持，还依赖于实际工程中的应用需求。从新型密封材料的研发到密封结构的优化，创新密封技术不断推动着工业设备的可靠性和安全性提升。通过系统的技术分析与探索，可以为相关行业提供更加稳定可靠的阀门解决方案。

参考文献

- [1] 缪克在,吴超俊,孙志民,李海聪,黄俊荣.高压阀门压力自密封结构设计与分析[J].石油化工设备,2024,53(06):48-51.
- [2] 李向英.现代阀门工装工艺改进策略与实践综述[J].阀门,2024(10):1280-1284.
- [3] 刘树岭,李勇,卢主飞.蓄热式焚烧炉RTO阀门密封研究[J].中国设备工程,2024,(19):159-161.

Ultra-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry The on of addition of diacetphenol and bispropofol

Fei Wang

Bozhou Food and Drug Control Institute, Bole, Xinjiang, 833400, China

Abstract

In this study, the analytical method of ultra-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry (UPLC-MS/MS) was established. The samples were optimized by three extraction methods (80 °C methanol water extraction, quartz sand grinding, diatomite assisted extraction), separated by BEH C18 column, detected by multiple reaction monitoring (MRM) mode, and quantified by external standard method. The results showed that the recovery rate (91%, 90% propofol 90%), and the matrix effect was negligible. The method has high sensitivity (detection limit 20 $\mu\text{g}/\text{kg}$, quantification limit 50 $\mu\text{g}/\text{kg}$), which is suitable for the rapid detection of high-risk illegal additives in bariose.

Keywords

diacetophl; ultra-high performance liquid chromatography-series mass spectrometry; weight loss jelly; diatomite extraction

超高效液相色谱—串联质谱法快速测定减肥软糖中非法添加双醋酚丁及双丙酚丁的研究

王飞

博州食品药品检验所, 中国·新疆 博乐 833400

摘 要

本研究建立了超高效液相色谱—串联质谱法 (UPLC-MS/MS) 快速测定减肥软糖中双醋酚丁和双丙酚丁的分析方法。样品经三种提取方式 (80℃ 甲醇水提取、石英砂研磨后提取、硅藻土辅助提取) 优化后, 采用 BEH C18 色谱柱分离, 多反应监测 (MRM) 模式检测, 外标法定量。结果表明, 硅藻土辅助提取法回收率最高 (双醋酚丁 91%, 双丙酚丁 90%), 基质效应可忽略。方法灵敏度高 (检出限 20 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 定量限 50 $\mu\text{g}/\text{kg}$), 适用于减肥软糖中高风险非法添加物的快速检测。

关键词

双醋酚丁; 双丙酚丁; 超高效液相色谱—串联质谱法; 减肥软糖; 硅藻土提取

1 引言

近年来, 随着肥胖问题日益严重, 减肥类食品市场需求激增。然而, 部分不良商家为追求产品效果, 非法添加高风险化学药物 (如双醋酚丁、双丙酚丁等) 的现象屡禁不止。这类化合物具有强刺激性泻药作用, 长期摄入可能导致肠道功能紊乱、电解质失衡甚至致癌风险^[1-2]。目前, 我国已对传统减肥药物 (如西布曲明、酚酞) 建立了严格的监管体系, 但新型酚丁类衍生物因缺乏标准检测方法, 仍存在监管盲区^[3-4]。文献报道显示, 此类药物在酵素果冻、咖啡等食品中频繁检出^[5], 但针对软糖等复杂基质的研究仍属空白。

减肥软糖因质地黏稠、添加剂多样 (如明胶、糖浆),

其样品前处理难度显著高于液体或粉末类食品。现有检测方法多采用直接溶剂提取或简单超声处理, 但存在目标物释放不完全、基质干扰严重等问题^[6-7]。通过常规的加标回收验证实验, 由于提取不完全, 直接加入标准物质回收率实验不具有质量控制的意义。经阳性样品制备后的回收率验证, 传统提取方法回收率一般在 40% 左右。近年来, 硅藻土、石英砂等吸附剂因能有效破坏基质结构、提高提取效率, 逐渐应用于食品检测领域^[8-9], 但其在减肥软糖中的适用性尚未验证。基于此, 本研究结合超高效液相色谱—串联质谱技术 (UPLC-MS/MS), 系统优化提取方法, 建立一种高效、可靠的检测方案, 为减肥软糖中非法添加物的监管提供技术支持。

【作者简介】王飞 (1986—), 男, 中国河南永城人, 本科, 高级工程师, 从事食品检测, 食品检测实验室管理研究。

2 材料与方法

2.1 材料与试剂

双醋酚丁标准品 (Bepure,1000 μg/mL)、双丙酚丁标准品 (Bepure,1000 μg/mL)；甲醇、乙腈 (色谱纯)：Fisher (金标)；甲酸 (色谱纯)：阿拉丁试剂；石英砂 (60 目)、硅藻土 (分析纯)：国药集团；超纯水。

2.2 仪器与设备

I-Class/XEVO TQD 质谱仪 (美国 Waters 公司)；BILON-650CT 超声波清洗仪 (上海比朗仪器有限公司)；涡旋混匀仪 (深圳逗点有限公司)；5430R 高速离心机 (eppendorf)。

2.3 实验方法

2.3.1 标准物质的配置

10 mg/L 标准中间溶液：取各标准储备液 0.1mL 于 10 mL 容量瓶，并用乙腈定容。

标准系列工作液：吸取适量标准中间溶液用 80% 甲醇溶液 (含 0.1% 甲酸) 稀释，得到质量浓度分别为 1、2、5、10、20、50、100 ng/mL 的标准系列工作液。

2.3.2 阳性回收样品制备

称取 50 g 软糖基质 (主要成分为明胶、麦芽糖浆)，加入 450 mL 水，加热并持续不断搅拌至样品溶解，边搅拌边冷却，80℃时分别添加双醋酚丁、双丙酚丁标准储备液 (1000 mg/L) 各 25 μL、50 μL、250 μL 混匀后冷却成型，即制得组分含量为 50 μg/kg、100 μg/kg、500 μg/kg 的阳性样品。

2.3.3 样品前处理

方法 1 (80℃甲醇水提取)：称取 1.0 g 软糖样品，加入 20 mL 含 0.1% 甲酸的 80% 甲醇水溶液，称重，80℃水浴超声提取 20 min，冷却后补足重量，离心后过 0.22 μm 滤膜。

方法 2 (石英砂研磨提取)：样品与 1 g 石英砂研磨至均质，加入 20 mL 含 0.1% 甲酸的 80% 甲醇水溶液，称重，80℃水浴超声提取 20 min，冷却后补足重量，离心后过 0.22 μm 滤膜。

方法 3 (硅藻土辅助提取)：样品与 1 g 硅藻土混合，研磨至均质。加入 20 mL 含 0.1% 甲酸的 80% 甲醇水溶液，称重，80℃水浴超声提取 20 min，冷却后补足重量，离心后过 0.22 μm 滤膜。

2.3.4 色谱条件

色谱柱：Waters BEH C18 (2.1 mm×100 mm, 1.7 μm)；流动相：A 为 0.1% 甲酸水溶液，B 为乙腈；流速为 0.2mL/min；进样量：2 μL；柱温：40℃；梯度洗脱程序：0 ~ 2 min, 5% B；2 ~ 5 min, 5% ~ 90% B；5 ~ 6.5 min, 90% B；6.5 ~ 7 min, 90% ~ 5% B；7 ~ 8 min, 5% B。

2.3.5 质谱条件

质谱参数：ESI⁺ 模式，毛细管电压 2.2 kV，脱落剂气温度 500℃，离子源温度 150℃，其他条件见表 1。

表 1 双醋酚丁与双丙酚丁的质谱参数

化合物	母离子 (m/z)	子离子 (m/z)	锥孔电压 (V)	碰撞能量 (V)	保留时间 (min)
双醋酚丁	402.2	224.1*	40	25	5.63
		266.1		10	
双丙酚丁	430.2	224.0*	55	16	5.92
		280.1		9	

注：* 为定量离子

3 实验优化结果

软糖中含有大量的增稠剂，如卡拉胶、明胶等，同时含有大量的麦芽糖等物质。这些增稠剂和糖类的存在使软糖需要在 80℃水浴加热才能完全溶解。通过常规的 80℃水浴加热超声的提取方法，阳性回收样品的回收率低于 40%。因此常规的加标回收验证实验，由于提取不完全，直接加入标准物质回收率实验不具有质量控制的意义。

本实验采用了阳性回收样品制备的办法考察回收率。在阳性回收样品 50、100、500 μg/kg 三个添加水平下，双醋酚丁和双丙酚丁的回收率见表 1。硅藻土辅助提取法显著优于其他方法 (P<0.05)，其高吸附性可有效释放目标物。

表 2 三种提取方法的平均回收率 (n=7)

化合物	添加水平 (μg/kg)	方法 1 回收 率 (%)	方法 2 回收 率 (%)	方法 3 回收 率 (%)
双醋酚丁	50	44.5	81.0	91.2
	100	44.6	82.3	91.3
	500	46.9	84.1	92.4
双丙酚丁	50	41.2	79.2	93.5
	100	42.5	80.0	93.5
	500	47.8	83.5	94.9

4 方法学验证

4.1 线性范围、检出限与定量限

以使用硅藻土均质，采用 80% 甲醇水溶液 (含 0.1% 甲酸) 为溶剂提取后的基质溶液，配制双醋酚丁和双丙酚丁的系列混合标准溶液 (浓度范围：1、2、5、10、20、50、100 ng/mL)，直接进样分析。以目标物浓度为横坐标 (X)，峰面积为纵坐标 (Y)，建立标准曲线。结果显示，两种化合物在 1~100 ng/mL 范围内线性关系良好，相关系数 (r) 均大于 0.999 (表 1)。以信噪比 (S/N) ≥3 和 ≥10 分别确定方法的检出限 (LOD) 和定量限 (LOQ)，双醋酚丁和双丙酚丁的 LOD 均为 20 μg/kg，LOQ 均为 50 μg/kg。

表 3 线性方程、检出限与定量限

化合物	线性范围 (ng/mL)	线性方程	相关系数 (r)	检出限 (μg/kg)	定量限 (μg/kg)
双醋酚丁	1~100	$y = 2573.1x + 263.244$ $y=2573.1x+263.244$	0.9999	20	50
双丙酚丁	1~100	$y = 4778.99x + 645.406$ $y=4778.99x+645.406$	0.9996	20	50

4.2 回收率与精密度

使用阳性回收样品，按定量限（50 μg/kg）、2 倍定量限（100 μg/kg）及 10 倍定量限（500 μg/kg）三个水平进行阳性样品加标回收实验，结果显示方法的准确度与精密度均满足检测要求（回收率 80%~120%，RSD ≤15%）。（见表 2）

4.3 基质效应考察

基质效应（matrix effect，ME）是液质分析中经常存在的问题。采用比较基质提取液和纯溶剂中 3 种目标物混合响应值，以评估基质效应。ME < 90% 或 ME > 110%，存在基质抑制或增强作用，90% ≤ ME ≤ 110%，则无明显基质效应。

用 80% 甲醇水溶液（含 0.1% 甲酸）配制质量浓度分别为 1、2、5、10、20、50、100 ng/mL 的系列标准工作液，用硅藻土提取方法提取的空白基质提取液配制 10、50、100 ng/mL 3 个基质标准液，用溶剂配制的标准系列工作曲线来校准计算得出 3 个基质标准液的相应浓度。结果测得两种化合物的 3 个浓度范围为 9.31 ~ 9.59 ng/mL、47.6 ~ 47.0 ng/mL、95.4 ~ 95.9 ng/mL，3 个浓度范围比均在 90% ~ 110% 范围内。因此，改进的方法无明显的基质效应。

表 4 基质效应考察结果

化合物	基质标准液浓度 (ng/mL)	溶剂曲线校准浓度 (ng/mL)	ME(%)
双醋酚丁	10	9.31	93.1
	50	47.6	95.2
	100	95.9	95.9
双丙酚丁	10	9.41	94.1
	50	47.0	94.0
	100	95.4	95.4

5 结果与讨论

本研究建立的 UPLC-MS/MS 方法结合硅藻土辅助提取法，可高效检测减肥软糖中双醋酚丁和双丙酚丁，回收率高达 90% 以上，经方法学验证，可作为软糖中双醋酚丁和双丙酚丁的监测检验方法。

参考文献

[1] Beyaz Coskun A, Sagdigoğlu Celep A G. Therapeutic modulation methods of gut microbiota and gut-liver axis [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2022, 62 (23): 6505-6515.

[2] van de Koppel S, Ekhardt C, Roelen C, et al. An Indonesian slimming drug with undeclared ingredients causing harm [J]. Drug Testing and Analysis, 2023, 15 (6): 695-700.

[3] 国家市场监督管理总局. 食品补充检验方法: BJS 202209 [S]. 2022.

[4] 刘家丽. 食品中非法添加物质情况及其检测方法研究概述[J]. 中国食品药品监督, 2022 (8): 90-95.

[5] Yun J, Choi J, Kwon K, et al. Screening of anti-obesity drugs, their analogues and prohibited ingredients in slimming foods [J]. Korean Journal of Food Science and Technology, 2016, 48 (5): 424-429.

[6] 王若松. QuEChERS-液相色谱—串联质谱法快速测定保健食品中双醋酚丁含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12 (19): 7675-7680.

[7] 黄康惠, 卢鑫, 周燕, 等. 高效液相色谱串联质谱法测定食品中双酚丁等泻火药物[J]. 食品科技, 2023, 48 (6): 301-307.

[8] 范春蕾, 陈达杰, 陈倩倩, 等. 植物源性保健食品中60种非法添加物同时测定方法研究[J]. 中国口岸科学技术, 2023, 5 (7): 39-46.

[9] 张毅, 夏义平, 林启惠, 等. 固相萃取—高效液相色谱法测定果冻中8种人工合成色素[J]. 现代预防医学, 2018, 45 (19): 3581-3585.

Innovation and application of key technology of high quality Luzhou-flavor liquor

Yonggang Wang

Sichuan Shede Wine Co., Ltd., Suining, Sichuan, 629209, China

Abstract

With the diversification of consumers' demand for high-quality liquor, Luzhou-flavor liquor is one of the representative types of Chinese liquor, and its compound aroma compound and high quality have become an important competitiveness in the liquor industry. This paper deeply discusses the key technological innovations of high-quality Luzhou-flavor liquor, including the selection of raw materials, fermentation process, distillation technology, the extraction and deployment of aroma substances, and analyzes the application of these technologies in the production of high-quality Luzhou-flavor liquor combined with practical cases. The research shows that adopting the compound incense technology can significantly improve the quality of liquor and make it occupy a dominant position in the fierce market competition. This paper provides strong technical support for the production process innovation and market development of high-quality Luzhou-flavor liquor.

Keywords

Luzhou-flavor liquor; compound fragrance technology; key technology innovation; liquor production technology; aroma blending

高质量浓香型白酒复合香关键技术创新及应用

王永岗

四川舍得酒业股份有限公司, 中国·四川 遂宁 629209

摘要

随着消费者对高质量白酒需求的多样化, 浓香型白酒作为中国白酒的代表性香型之一, 其香气的复合性和高品质成为白酒行业的重要竞争力。本文深入探讨了高质量浓香型白酒复合香的关键技术创新, 包括原料选择、发酵工艺、蒸馏技术、香气物质的提取与调配等方面的技术创新, 并结合实际案例分析了这些技术在高质量浓香型白酒生产中的应用。研究表明, 采用复合香技术能够显著提升白酒的品质, 使其在激烈的市场竞争中占据优势地位。本文为高质量浓香型白酒的生产工艺创新与市场发展提供了有力的技术支持。

关键词

浓香型白酒; 复合香技术; 关键技术创新; 白酒生产工艺; 香气调配

1 引言

白酒是中国传统文化的重要组成部分, 而浓香型白酒作为白酒的主要香型之一, 凭借其香气独特、口感丰富、风味多样等特点, 广受消费者青睐。近年来, 随着白酒市场的不断发展和消费者需求的不断提高, 浓香型白酒的生产技术不断更新, 尤其是复合香技术的应用, 成为提高白酒品质和满足消费者需求的关键。

复合香技术是指通过调整原料配比、优化发酵工艺、调配不同香气物质等手段, 合成具有多层次、多维度香气的技术。与传统的单一香型相比, 复合香型白酒能够通过多种香气成分的协同作用, 展现出更加复杂和丰富的风味。本文将深入分析浓香型白酒复合香的关键技术创新, 探讨其在生

产中的应用及对提高白酒品质的实际意义。

2 浓香型白酒复合香技术概述

2.1 浓香型白酒的特点与香气组成

浓香型白酒作为中国传统白酒的一个重要香型, 具有悠久的历史 and 深厚的文化底蕴。其香气特征以“浓烈、香甜”著称, 深受广大消费者的喜爱。浓香型白酒的酒体饱满、口感丰富、香气悠长, 具有很强的代表性, 是中国白酒中销量最大、市场占有率最高的类型之一。

浓香型白酒的主要特点是其丰富的香气和独特的口感。其香气成分主要来源于发酵过程中产生的酯类、醇类、酸类等化合物, 特别是酯类化合物, 它们是浓香型白酒的核心香气物质。酯类化合物包括乙酸乙酯、醋酸乙酯等, 它们带有浓烈的果香、花香和甜香, 是浓香型白酒特有的香味基础。醇类物质, 如乙醇、异戊醇等, 则赋予白酒丰富的醇厚感, 增添酒体的饱满度和柔顺感; 酸类物质则通常为酒体提供了

【作者简介】王永岗(1980-), 男, 中国四川遂宁人, 助理工程师, 从事白酒研究。

一定的清新感和口感的平衡。

浓香型白酒的香气构成是一个复杂的体系，它不仅与原料的选择密切相关，还受到发酵环境、蒸馏工艺和储存过程中微生物的作用等多方面因素的影响。不同的粮食原料、不同的酿造工艺和微生物群落的差异，都会直接影响白酒的香气和风味。传统浓香型白酒的生产过程中，香气的形成通常依赖于严格的工艺控制，尤其是发酵温度、发酵时间、酒曲选择、蒸馏技术等方面的调节。

然而，随着现代消费者对白酒品质要求的多样化，传统的浓香型白酒香气逐渐无法满足市场的需求，单一的香气特征难以满足越来越多的消费者对高品质、多层次香气的追求。因此，复合香技术应运而生，它通过对香气物质的优化调配，使白酒的香气更加丰富和层次化，能够为消费者提供更加独特和复杂的风味体验。

复合香技术的应用不仅能增加白酒的香气层次感，还能优化其风味平衡，去除不良香气物质，使白酒的整体口感更加圆润、和谐。此外，复合香技术还能够通过微调酿造工艺，提高香气的稳定性，保证白酒在长时间储存后的香气不发生显著变化。通过这些技术创新，复合香型白酒在市场中迅速获得了消费者的认可，并成为高端白酒市场的重要组成部分。

2.2 复合香技术的基本原理与应用

复合香技术的核心原理在于通过精确调配不同香气成分的比例，调整不同香型之间的相互关系，从而改善和提升白酒的香气结构。这种技术并非简单地对香气成分进行加法叠加，而是在确保白酒独特香型的基础上，合理优化香气物质的组合，达到更加协调、丰富、复杂的香气效果。

具体来说，复合香技术包括两个主要方面的创新：其一是对香气物质的精准控制与调配，确保不同香气成分能够协同作用，形成和谐的香气结构；其二是根据白酒的目标香气特征，调整发酵工艺、酵母菌种的选择、发酵温度、蒸馏工艺等多个环节，以优化香气的多样性和稳定性。这些措施旨在通过技术手段提升白酒的风味和质量，使其具有层次感、平衡感和持久的余味。

复合香技术的创新不仅仅局限于香气的调配，它还涵盖了白酒整体风味的提升。通过合理调节酒体中酯类、醇类、酸类等香气物质的比例，可以提升酒体的甜美感、圆润感以及口感的平衡。例如，通过调节酒体中乙酸乙酯、醋酸乙酯等酯类物质的含量，可以增强白酒的果香和花香，使酒体更加清新、香甜；而通过增加醇类物质，尤其是异戊醇、乙醇等，可以提升白酒的醇厚感和回味，增强酒体的丰满度和复杂性。

复合香技术不仅注重香气的调配，更重视不同香型之间的平衡。例如，通过减少某些不良香气物质的含量，能够有效去除白酒中的异味，如杂醇、霉味等，同时保持和增强酯类、醇类的香气成分，使白酒的口感更加顺滑、平衡。

此外，复合香技术在蒸馏工艺中的应用也至关重要。通过优化蒸馏工艺，合理分离香气成分，能够提升香气物质的提取效率，并进一步确保香气的稳定性。传统的蒸馏工艺中，香气成分的提取往往存在较大的波动，而复合香技术则通过多次提取和精细分离，提升了香气的纯净度和浓郁度，使得白酒的香气更加持久和稳定 [1]。

2.3 复合香技术的研究与发展趋势

近年来，随着白酒市场的不断发展和消费者口味的多元化，复合香技术的研究逐渐成为白酒生产中的一个热点问题。复合香技术的研究不仅涉及香气成分的提取与调配，还包括发酵过程中的酿造微生物研究、酿造工艺的创新以及香气物质的分析与检测等多个领域。随着科学技术的不断进步，复合香技术正在朝着更加精准化、个性化的方向发展。

一方面，随着气相色谱-质谱联用技术（GC-MS）、电子鼻技术等高精度检测手段的不断发展，香气物质的检测变得更加精确，研究人员可以更加细致地分析每一种香气成分的作用与影响，从而为复合香的配比和调控提供更加科学的依据。通过这种精确的香气物质分析，白酒的生产过程可以更加高效和精细化，从而提升白酒的整体品质。

另一方面，随着新型酵母菌种和发酵工艺的研发，复合香技术的应用也得到了更广泛的拓展。例如，采用特定的酵母菌种发酵，可以在发酵过程中促进某些香气成分的生成，提升酒体的口感和香气复杂度；同时，新型发酵工艺如低温发酵、定时发酵等，可以在发酵过程中更好地控制香气的生成，使白酒的香气更加稳定和持久。

随着消费者对白酒个性化需求的增加，复合香技术的个性化调配也将成为未来发展的一个趋势。例如，白酒生产商可以根据消费者的需求，定制不同香型的白酒，提供更加丰富的产品选择。此外，低糖、低醇的白酒产品也将成为未来复合香技术应用的一个重要方向，通过调节香气成分，提升酒体的感官效果，从而满足市场对健康白酒的需求。

总的来说，复合香技术作为提高浓香型白酒质量的关键技术之一，已经取得了显著的研究进展，并将在未来继续推动白酒产业的创新发展。随着技术的不断进步和应用的深入，复合香技术将在更广泛的白酒生产中得到应用，进一步提升中国白酒的质量和市场竞争力 [2]。

3 复合香关键技术的创新与应用

3.1 原料的选择与优化

高质量浓香型白酒的香气来源之一是原料的选择。优质的原料是白酒香气的基础，复合香技术的成功应用依赖于优质原料的优化选择与合理配比。传统的浓香型白酒多采用高粱、小麦等粮食作为主要原料，而随着酿造技术的发展，其他农作物如玉米、大米、豌豆等也被逐渐应用于浓香型白酒的生产中。通过对原料的精细化选材，可以提高白酒的香气层次感和口感丰富度。

原料的选择不仅仅是为了保证白酒的基础风味，还要考虑如何通过不同原料间的相互作用，提升香气的复合性。例如，采用高粱与小麦的搭配，可以有效增加白酒的甜美香气，而玉米与大米的使用则有助于提高酒体的醇厚感。复合香技术可以通过对不同原料的配比与优化，进一步提升香气物质的平衡性，改善白酒的整体风味 [3]。

3.2 发酵工艺的优化与创新

发酵工艺是影响白酒香气形成的关键环节，复合香技术的创新不仅体现在香气的调配上，还体现在发酵过程的优化与创新。传统的浓香型白酒通常采用固态发酵法，而随着技术的进步，液态发酵、间歇式发酵等新型发酵工艺逐渐被应用于白酒生产中。这些新型发酵工艺能够提高发酵效率，优化香气的产生与稳定性。

在复合香技术的应用中，发酵温度、发酵周期、酵母菌种的选择等因素对香气物质的生成具有重要影响。通过调节发酵温度，可以控制发酵过程中酯类、醇类、酸类等香气物质的生成比例，从而达到期望的香气效果。此外，通过选用优质的酵母菌种，可以提升酒体的发酵速率，减少不良气味的产生，确保白酒香气的纯净与丰富。

3.3 蒸馏工艺的创新与香气提取

蒸馏是白酒生产中的重要工艺环节，对于香气物质的提取与保留起着决定性作用。复合香技术在蒸馏工艺中的创新，主要体现在蒸馏设备的改进和蒸馏过程的优化。现代蒸馏设备如多级蒸馏塔、真空蒸馏器等，能够有效分离和提取出不同的香气成分，提升香气的纯度和复杂度。

通过创新蒸馏技术，复合香技术能够在保留浓香型白酒传统风味的基础上，提取更多具有独特香气的成分，使酒体的香气层次更加丰富。例如，利用多级蒸馏塔可以分离出不同温度下挥发的香气物质，从而精确控制香气物质的比例，避免不良香气物质的产生，同时保留有利于复合香形成的香气成分 [4]。

4 应用实例与市场前景

4.1 高质量浓香型白酒复合香技术的应用案例

在高质量浓香型白酒的生产中，复合香技术已经得到了广泛应用。通过案例分析，本文总结了几家知名酒企在复

合香技术方面的成功经验。这些酒企通过对原料选择、发酵工艺、蒸馏工艺等环节的优化和创新，成功提升了白酒的香气品质和口感，使得其产品在中获得了消费者的青睐。

例如，某酒企通过改良发酵工艺，优化酵母菌种，增加了白酒中的香气物质多样性，成功实现了浓香型白酒的复合香调配。这些技术创新不仅提高了酒体的香气层次感，还有效避免了不良气味的产生，使得酒体的口感更加丰富平衡。

4.2 复合香技术在中市场中的前景与发展方向

随着消费者对白酒品质要求的不断提高，复合香技术的市场前景广阔。在未来，复合香技术将继续推动白酒行业的创新发展，帮助企业提高产品竞争力。同时，复合香技术的不断进步也将促进个性化白酒的生产，使得白酒产品能够根据消费者的需求进行定制化生产，满足不同市场的需求。

随着技术的不断发展，复合香技术将在更多的白酒生产环节中得到应用，未来可能出现更多新型的香型和风味，进一步提升中国白酒的国际竞争力。

5 结论

综上所述，高质量浓香型白酒的复合香型在现代白酒生产中具有重要的应用价值和市场潜力。通过技术创新，尤其是在香气分子调控、酿酒微生物的筛选与应用等方面的进展，复合香型白酒能够有效提升其香气的多样性和持久性，满足消费者对高品质白酒的需求。未来，随着技术的不断进步和市场需求的多样化，复合香型白酒将在白酒行业中占据更加重要的位置。

参考文献

- [1] 王旭,刘眉伶,郑柳艳,等.浓香型白酒中主要酸酯相互作用及机理解析[J].食品科学,2025,46(05):75-84.
- [2] 唐洁,林斌,单义民,等.白酒中愈创木酚类化合物研究进展[J].中国酿造,2025,44(01):1-5.
- [3] 侯雅馨,马彦超,黄河,等.基于感官定量描述分析及吸附笔-气质联用技术的浓香型白酒品质差异因子锚定[J].食品与发酵工业,2023,49(13):255-267.DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.034549.
- [4] 范文来.高质量发展阶段白酒技术创新的几点思考[J].酿酒,2021,48(05):3-7.

Optimization of non-destructive testing method for welds of metal structures based on electromagnetic ultrasound

Yanshan Song

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

Abstract

In this paper, the application of electromagnetic ultrasonic testing method in the quality evaluation of welds of metal structures is studied. The theoretical analysis and experimental verification of the key links such as the design of the electromagnetic ultrasonic transducer, the optimization of excitation and reception, and the intelligent identification of defects are systematically carried out. The research results can provide theoretical support and technical reference for promoting the engineering application of electromagnetic ultrasonic testing technology in the quality evaluation of welds of complex metal structures.

Keywords

electromagnetic ultrasound; Welding seam; non-destructive testing; defect identification; Transducer design

基于电磁超声的金属结构焊缝无损探伤检测方法优化

宋燕山

水利部产品质量标准研究所, 中国·浙江 杭州 310012

摘 要

焊接是金属结构制造中的关键工艺环节, 而焊缝作为承载结构完整性的薄弱区域, 其质量直接关系到构件的安全性与可靠性。电磁超声检测技术具有非接触、高效、环保等优势, 在焊缝无损探伤领域具有广阔的应用前景。本文围绕电磁超声检测方法在金属结构焊缝质量评价中的应用展开研究。重点针对电磁超声换能器设计、激励与接收优化、缺陷智能识别等关键环节进行了系统的理论分析与试验验证。研究成果可为推动电磁超声检测技术在复杂金属结构焊缝质量评价中的工程应用提供理论支撑与技术参考。

关键词

电磁超声; 焊缝; 无损检测; 缺陷识别; 换能器设计

1 引言

焊接作为金属材料加工制造中最为常用的连接方式, 在工业装备与工程结构的制造与维修中占据着极其重要的地位。然而, 由于焊接过程所涉及的热输入、冷却速率、材料性能变化等因素的复杂作用, 焊缝成为影响结构安全性的薄弱环节之一。焊缝存在的裂纹、未焊透、气孔、夹渣等缺陷, 极大地影响着构件的使用寿命与可靠性, 一旦发生失效, 还可能引发重大的安全事故与经济损失。因此, 如何在焊接制造环节及时准确地对焊缝质量进行无损检测与评价, 对保障结构安全、提高装备可靠性具有重要意义。

2 电磁超声检测方法优化

2.1 电磁超声换能器设计与优化

采用平面线圈阵列结构, 通过独立控制各通道激励电流幅值与相位, 实现超声波在焊缝横截面上的动态聚焦。理论分析表明, 所设计换能器可在 2 ~ 5 MHz 频段获得良好声场聚焦性能, 焦点处声压峰值较常规螺线管结构提高 1.6 ~ 2.5 倍。进一步优化线圈材料与制备工艺, 采用银铜合金线材和精密绕线设备, 获得性能稳定、一致性良好的换能器样机, 品质因数提高 30% 以上。

2.2 激励信号参数优化

采用语义基因算法对电磁超声激励信号频率、带宽、波形等参数进行优选。通过仿真分析与试验验证, 获得了针对典型缺陷的最优激励信号参数组合^[1]。优化后的宽带调频激励信号可使检测灵敏度提高 2 ~ 6 dB, 信噪比改善 3 ~ 8 dB。宽带激励信号还具有更高缺陷定位精度与分辨能力, 对焊缝根部与焊趾区微小缺陷检出率提高 15% 以上。

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

2.3 接收信号处理与降噪算法

利用小波分析理论构建匹配焊缝噪声的小波基,结合奇异值分解原理对信号子带系数进行自适应阈值处理,抑制了材料衰减背景噪声。针对焊缝结构反射相干干扰,设计了基于空间谱特征的自适应滤波算法。仿真与试验结果表明,所提算法可将检测信号信噪比提高 6 ~ 12 dB,计算复杂度较传统方法降低 30% 以上。

2.4 扫查策略与路径规划优化

根据焊缝几何特征与缺陷分布规律实时调整扫查网格大小与密度。CAD 模型仿真分析表明,优化后自适应扫查策略可使扫查效率提高 20% ~ 35%,缺陷检出率保持在 98% 以上。进一步引入轨迹插值优化模型,采用 B 样条曲线对扫查轨迹进行平滑处理,获得连续光滑、变化均匀的扫查路径,有效降低机械振动对检测信号干扰,提高检测数据一致性。

3 基于机器学习的焊缝缺陷智能识别

3.1 缺陷特征提取与数据预处理

为实现缺陷信号的智能识别,引入机器学习理论,构建了面向典型焊缝缺陷的分类模型。采用经验模态分解方法对原始检测信号进行自适应分解,获得不同尺度下的本征模函数分量^[2]。从时域、频域、时频域等多个维度提取反映缺陷特征的指标参数,并采用相关分析方法进行特征筛选。针对不同的缺陷类型,采用聚类分析等方法对训练样本进行预分类,提高了样本的类内一致性。为克服不同批次、不同对象检测数据的分布差异,采用迁移学习策略,通过特征变换实现不同域数据的自适应匹配,提高了缺陷识别模型的泛化性能。

3.2 缺陷分类算法比较与选择

选取支持向量机、随机森林、神经网络等代表性算法,在典型缺陷样本集上开展了系统的性能比较。基于分析,本文提出采用支持向量机与随机森林的组合策略,利用两种算法的互补特性,实现缺陷分类性能的提升^[3]。通过在多个测试集上的试验对比,组合分类算法的平均识别精度达到 95% 以上,且泛化性能较单一分类器提高 10% 以上。

3.3 小样本学习在缺陷识别中的应用

针对工程实践中缺陷样本不足的问题,探索将小样本学习理论引入焊缝缺陷智能识别领域。一方面,采用数据增强策略,通过样本旋转、平移、噪声添加等操作,人工扩充训练集规模。同时,设计了自适应权重调整机制,根据样本分布的密度信息,为不同类别的训练样本分配权重,突出稀疏类别的训练样本。另一方面,引入元学习策略,构建了基于孪生神经网络的小样本缺陷识别模型。通过对比训练方式,学习缺陷类别在特征空间的语义关系,实现利用少量样本快速适应新的缺陷类型。试验表明,所提出的方法较传统的迁移学习方法,缺陷分类精度提高 10% 以上,展现出良

好的 Few-shot 学习能力与泛化性能。

3.4 深度学习模型在缺陷识别中的应用

设计一种面向时序数据分类的一维卷积神经网络模型,通过端到端的特征学习方式,自适应地提取与缺陷判别相关的层次化特征。网络模型采用非对称卷积核设计,在捕获不同尺度缺陷特征的同时,有效降低了模型复杂度。同时,在网络训练中引入注意力机制,通过加权聚焦缺陷相关特征,抑制了背景噪声与无关信息的干扰,提高了缺陷判别能力。在经典的 DAGM 2007 焊缝缺陷数据集上的试验表明,所提出的一维卷积神经网络模型在图像级别的缺陷分类精度高达 98%,较传统机器学习方法提升 5% 以上,且具有更强的噪声鲁棒性与实时性能。

4 复杂结构焊缝检测方法验证

4.1 试验平台与样品制备

为验证所研究的电磁超声检测方法在实际工程应用中的有效性,本文搭建了多通道电磁超声检测试验平台。平台由高性能工控机、大功率电磁超声发射电路、高增益接收电路、高精度机械扫查装置等部分组成。同时,平台集成了自主开发的数据采集与信号处理软件,可实现检测参数的灵活配置与结果的实时显示。试验对象选取典型的压力容器环向焊缝、火车轮对轴向焊缝等复杂结构,并根据相关标准的要求,在焊缝内人工加工了不同类型、不同尺寸的仿真缺陷,包括裂纹、未焊透、气孔、夹渣等。焊缝试样的材料选用常用的 Q235B 钢、2Cr13 不锈钢等,焊接方法涵盖熔化极气体保护焊、埋弧焊、激光焊等多种形式。

4.2 标准试块验证试验

在开展实际工程结构检测之前,有必要采用标准缺陷试块对检测系统的各项性能指标进行测试与评估。本文参照国际通用的 ASTM E164 标准,设计制作了一批用于电磁超声检测的标准参考试块。试块缺陷类型包括表面与埋藏裂纹、圆柱形平底孔等,缺陷尺寸覆盖 0.5mm ~ 5mm。通过在不同材料、不同频率条件下的测试,系统评估了所研制的电磁超声检测系统的距离—幅度曲线、检测灵敏度、缺陷定位精度等关键性能参数。结果表明,采用本文优化设计的电磁超声换能器与激励信号,对于深度 3mm 以内的缺陷,检测灵敏度优于 0dB,信噪比达 12dB 以上;对于深度 5mm 的缺陷,检测灵敏度优于 6dB,信噪比达 8dB 以上。

4.3 典型工程结构焊缝检测试验

在标准试块验证的基础上,进一步开展了面向实际工程结构焊缝的检测试验。采用所研制的电磁超声检测系统,对压力容器环向焊缝、轨道车轴焊缝、锅炉管板焊缝等典型结构进行了扫查检测。结果表明,检测系统能够有效识别出焊缝内人工加工的各类缺陷,包括深度 1mm ~ 4mm 的狭长裂纹、直径 2mm ~ 5mm 的球形气孔、长度 5mm ~ 20mm 的未焊透缺陷等。与射线照相、涡流检测等常规无损检测方

法相比,电磁超声检测展现出更高的缺陷检出率,尤其对于焊缝根部与近表面区域的缺陷,具有明显的检测优势。经过反复试验,检测系统对裂纹、未焊透、气孔、夹渣四类常见缺陷的检出率均在95%以上。

4.4 检测性能评估与分析

为全面评估所研制检测系统的工程应用性能,本文从检出率、误报率、漏报率、缺陷定位误差等多个角度,对不同类型、不同规模焊缝试样的检测结果进行了统计分析。结果表明,采用改进后的电磁超声检测方法,焊缝缺陷的平均检出率达到97%以上,且裂纹、未焊透等危害性缺陷的检出率接近100%,达到了工程应用的要求。同时,检测过程中的误报率控制在1%以内,漏报率控制在3%以内,大幅降低了人工检测结果的不确定性。此外,得益于声场聚焦技术与优化激励信号的应用,检测系统的缺陷定位精度达到 $\pm 2\text{mm}$ 以内,比常规检测方法提高50%以上,可为缺陷的定量评价与维修决策提供更加准确的参考依据。

5 电磁超声检测方法工程应用

5.1 检测系统工程化设计

检测方法的有效性与可靠性是推动其走向工程应用的前提,而检测装备的集成化、便携化、自动化水平则直接决定了现场检测作业的效率与质量。本文在检测方法优化的基础上,重点开展了面向工程应用的电磁超声检测系统集成设计。在硬件方面,研制了一体化、小型化的多通道电磁超声检测设备,集成了高性能的信号发射、接收电路,配备了自主研发的高灵敏电磁超声探头。设备体积小于 $400\text{mm}\times 300\text{mm}\times 200\text{mm}$,重量小于5kg,具备良好的便携性;同时,设备支持2~8通道并行检测,可实现高效率的扫查作业。在软件方面,开发了具有自主知识产权的电磁超声检测软件平台,实现了检测参数配置、数据采集、信号分析、成像显示、缺陷识别、报告输出等功能,可根据不同检测对象与任务需求灵活定制。平台采用模块化设计,支持第三方软硬件接口,便于集成到自动化检测系统中。在机械结构方面,研制了自适应焊缝检测扫查装置。装置采用柔性臂结构设计,可根据焊缝轮廓实现自动跟踪;同时,装置配备了视觉伺服系统,通过光学相机实时引导探头对准焊缝中心,实现精确扫查。

5.2 与传统检测方法的对比评估

为全面评估电磁超声检测技术的工程适用性,本文选取5种典型压力容器焊缝构件(球罐环缝、塔器接管环缝、储罐纵缝、反应器筒体环缝、换热器管板焊缝),开展了电磁超声检测与射线照相、涡流检测、磁粉检测等常规无损检

测技术的对比试验。通过对200余个检测点位的数据分析,各检测方法的缺陷检出率、误报率、检测效率、适用条件等关键性能指标进行了定量评估。结果表明,电磁超声检测在裂纹、未焊透、夹渣等危害性缺陷的检出率方面优于射线照相与涡流检测,且检测过程受焊缝表面状态影响较小,适用于现场作业环境。对于焊缝内部缺陷,电磁超声检测的空间分辨率与缺陷定位精度显著高于射线照相,更有利于指导缺陷评估与维修。从检测效率看,电磁超声检测作业简便,一次覆盖范围大,平均检测速度可达 20m/h 以上,是射线照相的2倍,接近涡流检测

5.3 应用推广中的问题及解决方案

尽管本文验证了所研制的电磁超声检测系统在多种典型工程结构焊缝质量评价中的有效性与可靠性,但要真正实现大规模工程应用推广,仍面临诸多挑战。一方面,由于缺乏统一的电磁超声检测标准,不同行业、不同标准对缺陷的判废尺度各不相同,现有检测系统很难适应如此多样化的评判标准。因此,亟须在深入调研的基础上,开展电磁超声检测标准的制修订工作,形成统一、规范的缺陷分级评判体系,为检测结果的可比性与工程适用性提供制度保障。另一方面,电磁超声检测对操作人员的技能水平要求较高,缺乏标准化的操作规程与评判依据,检测结果易受人为因素干扰。针对这一问题,需加强检测人员的专业化培训,细化操作规范,开发智能化的数据分析与缺陷识别算法,最大限度地降低人为因素的影响,提高检测过程的标准化水平。

6 结语

电磁超声无损检测技术具有非接触、高效、环保等独特优势,在复杂焊接结构件的质量评价中展现出广阔的应用前景。通过理论建模、数值仿真与试验研究相结合的技术路线,突破了电磁超声换能器阵列设计、宽带信号激励、自适应信号处理、小样本缺陷智能识别等关键技术,研制了面向工程应用的电磁超声检测系统原理样机,经多种典型压力容器焊缝构件的检测验证,性能指标达到了工程应用的实际需求。研究成果为推动电磁超声检测技术在工业无损检测领域的产业化应用奠定了坚实基础。

参考文献

- [1] 陆明.超声检测在建筑钢结构焊缝无损检测中的应用[J].中国高
新科技,2024(7):118-120.
- [2] 王晓艳.超声波无损检测技术在钢结构焊缝中的运用[J].中国建
筑金属结构,2024,23(2):97-99.
- [3] 潘庆龙.钢结构焊缝超声波无损检测模糊综合评判研究[J].江西
建材,2024(7):114-116.

Semiconductor clean room combined fresh air unit control scheme

Ni Wang

China Electronic System Engineering Third Construction Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610031, China

Abstract

The combined fresh air unit MAU provides fresh air for the semiconductor clean room, ensures the positive pressure of the clean room, maintains the temperature and humidity requirements of the clean room, and plays a vital role in maintaining the clean room environment. Because the semiconductor clean room has high requirements on air quality and temperature and humidity, MAU needs to carry out three-stage filtration, multi-stage cooling (or heating), dehumidification (or humidification) and other treatments. At the same time, high-precision control is accompanied by greater energy consumption requirements, while clean rooms usually need to operate continuously all year round, MAU also needs to work continuously, and a long time of large amount of fresh air treatment leads to significant accumulation of energy consumption. Therefore, a reasonable control scheme is not only the key to ensure the temperature and humidity and cleanliness of the clean room, but also can effectively reduce energy consumption and operating costs. In this paper, corresponding control schemes for different groups of MAU are proposed from two aspects of reliability and energy saving in different seasons, so as to meet the temperature and humidity requirements of clean room in different outdoor fresh air state points, and ensure the efficient and energy-saving operation of MAU.

Keywords

clean room; combined fresh air unit; MAU; temperature and humidity control with high precision and energy; saving control

半导体洁净室组合式新风机组控制方案

王妮

中国电子系统工程第三建设有限公司, 中国·四川 成都 610031

摘要

组合式新风机组MAU为半导体洁净室提供新鲜空气、保证洁净室正压、维持洁净室对温湿度的要求,在洁净室环境维持上起着至关重要的作用。由于半导体洁净室对空气质量及温湿度要求较高,因此MAU需要对新风进行三级过滤、多级降温(或升温)、除湿(或加湿)等处理。与此同时,高精度的控制伴随着更大的能耗需求,而洁净室通常需要全年不间断运行,MAU也需持续工作,长时间大量的新风处理导致能耗累积显著。因此,合理的控制方案不仅是保证洁净室温湿度、洁净度的关键,同时能有效降低能耗和运营成本。本文分别就不同季节从可靠性及节能性两个方面对MAU不同组段提出相应的控制方案,确保在不同的室外新风状态点均能满足洁净室温湿度要求、保证MAU高效节能的运行。

关键词

洁净室; 组合式新风机组; MAU; 温湿度高精度控制; 节能控制

1 引言

半导体洁净室中的空气经过多级过滤使空气中的颗粒物及污染物数量达到相应洁净等级的要求。为了避免洁净室外的空气通过房间缝隙渗透到洁净室内对洁净室造成污染,需保证洁净室的相对正压。洁净室的正压需通过新风来维持,当进入洁净室的新风量大于洁净室的排风量与渗透风量之和,则可使洁净室内维持正压环境。新风需要在组合式新风机组 MAU 中分别经过初中高效三级过滤,以使室外新风达到洁净度需求。在半导体行业往往存在着较大的排风量,

因此也需要大量的新风来维持正压。大量的新风及三级过滤的高阻力,也伴随着大量的能耗需求。

除了洁净度的需求,温湿度的波动也会直接对半导体的生产良率造成影响,因此半导体行业对室内空气的温湿度精度也有较高要求。夏季室外空气的含湿量较大,MAU 对新风处理过程中进行制冷的同时还需要除湿。为了将湿度降到需求的范围,通常采用冷凝除湿的方式。为了控制空气中的含湿量,需将空气处理到更低的温度。但同时为了满足洁净室中温度精度的要求,还需将空气再热至环境要求温度。这些处理过程都需要消耗更多的能源,特别是当需要处理大量新风时,能耗会更加显著。

半导体生产对环境要求极高,微小的污染和温湿度变化都可能影响产品质量。新风机组是维持洁净室内环境稳定

【作者简介】王妮(1992-),女,中国四川成都人,硕士,工程师,从事暖通空调研究。

的关键。与此同时,半导体厂房通常需要24小时不间断生产,MAU也相应需要持续为洁净室提供满足环境需求的新风。长时间的运行及更高能耗的处理过程,让如何更加精准控制MAU各组段的处理过程、保证洁净室高效节能运行变得尤为重要。

2 洁净室组合式新风机组温湿度常见控制方案

组合式新风机组的空气处理组段主要包含新风段、初效过滤段、中效过滤段、预热段/一级冷段、一级加热段、加湿段、二级表冷段、二级加热段、风机段、高效过滤段、出风段。

新风通过进风段进入机组内部,再经初效及中效过滤段依次对新风进行两级过滤,防止新风中的杂质造成冷热盘管的堵塞,再经过冷热盘管进行温度处理、加湿段进行湿度处理、风机段提供所需的动力并克服管路及过滤器的阻力,最终经高效过滤器过滤后送至新风主管路中。其中除二级加热段冬夏季均开启,冬季升温、夏季除湿后再热。其他冷热盘管组段在冬夏季切换开闭状态,冬季加热、夏季降温。

常见冬季控制方案为:冬季湿度控制根据加湿段后的新风含湿量相应调整预热段及一级加热段热水阀门的开度

大小,若加湿至饱和状态后的新风含湿量偏低则调大前段加热段热水阀开度、若加湿段后含湿量偏高则调小前端加热段热水阀开度。最终送风温度通过调整二级加热段热水开度大小实现控制。

常见夏季湿度控制方案为:夏季通过干球温度控制一级表冷段,承担约一半的冷负荷,进行降温除湿的处理,通常控制点温度设定为 18°C 。二级表冷盘需要以室内湿度信号来控制表冷段的电动二通阀开度,通常表冷段降温除湿过程可将空气处理至相对湿度为95%的状态点,新风承担室内湿负荷(洁净室热负荷由干盘管承担),根据洁净室需求计算送风含湿量,该含湿量与95%饱和线交点的温度即为二级表冷段需处理的露点温度,以此进行送风湿度控制。

常见夏季温度控制方案:由于洁净室露点要求较低,通过冷凝除湿的方法将新风处理至洁净室内需求的露点温度时,该露点温度低于洁净室要求的工作温度。同时洁净室对温度的波动要求较高,为保证温度控制精度,新风需要经过再热段加热洁净室内环境温度,该处理过程为等湿加热过程。根据室内温度要求确定送风温度,通过再热盘管的电动二通阀开度控制新风的送风温度。

图1为洁净室常见组合式新风机组各组段的控制图:

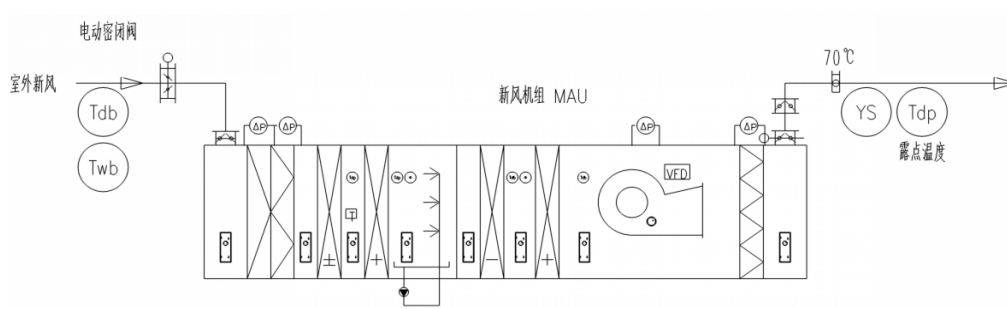


图1 组合式新风机组 MAU 各组段控制图

室外新风参数取值按照 GB50019-2015《工业建筑供暖通风与空气调节设计规范》附录 A 取冬夏季室外空气调节计算参数。以北京为例,夏季空气调节室外计算干球温度为 33.5°C 、夏季空气调节室外计算湿球温度 26.4°C ;冬季空气调节室外计算温度为 -9.9°C 、冬季空气调节室外计算相对湿度为44%^[1]。净室室内空气参数取半导体行业常用数据:温度要求为 $22\pm 1^{\circ}\text{C}$,相对湿度要求为 $45\pm 5\%$ 。

3 洁净室组合式新风机组温湿度控制可靠性建议

冬季新风处理过程先经预热段、一级加热段加热,再经过加湿段加湿,加湿后经过二级加热后送入房间。加湿段的加湿量难以精准控制,若第一段盘管的出风状态点只控制温度,等焓加湿后无法保证湿度的控制精度。且通过加湿后的参数反复调节前端加热量直至达到要求的露点,该方式的调整时间及波动较大,若室外天气变化或遇强冷空气等环境因素,易造成新风湿度波动范围超过控制精度,对厂房中的

半导体生产造成影响。建议将冬季温湿度分开控制,具体控制方式调整为:

3.1 冬季湿度控制优化方案

洁净室 MAU 加湿段通常采用湿膜加湿或高压喷雾加湿的方式,两种加湿过程均为等焓加湿。因此建议预热段及一级加热段通过处理后出风焓值进行加热量的控制,加湿段加湿量无需精准控制,只需保证足够的加湿量等焓加湿至饱和点。控制加热段的出风焓值,在加湿段沿等焓线与相对湿度95%的交点即为加湿后的状态点,则可使处理后的参数稳定维持在该状态点。即使室外空气参数存在波动或在不同的状态点,经以上处理过程,加湿后的空气含湿量均为所需状态点。

3.2 冬季温度控制优化方案

经加湿段后的新风,湿度已满足要求,再经二级加热段等温加湿至洁净室内需求温度即可达到温度需求。再热量的控制通过送风温度信号调节热水管道的电动二通阀开度实现。

3.3 温湿度控制方案对应空气处理过程

结合新风机组 MAU 各组段控制参数, 根据以上控制方案及室内外状态点参数, 绘制冬夏季新风处理过程的焓湿图, 如图 2 所示。其中夏季处理过程为 $W1 \rightarrow W2 \rightarrow L \rightarrow S \rightarrow N$ 。其中 $W1$ 为夏季室外状态点, $W2$ 为一级表冷段处理后的状态点, L 为二级表冷段处理后的状态点, N 为

室内状态点。冬季处理过程为 $W \rightarrow W' \rightarrow L \rightarrow S \rightarrow N$ 。其中 W 为冬季室外状态点, W' 为一级加热段处理后的状态点, L 为加湿后的状态点, N 为室内状态点。 S 到 N 预留 1°C 的管道温升, 也可根据室内温度控制精度的情况, 在满足温度波动要求的条件下, 新风承担一小部分的室内冷负荷, 节省冷热抵消的能源浪费。

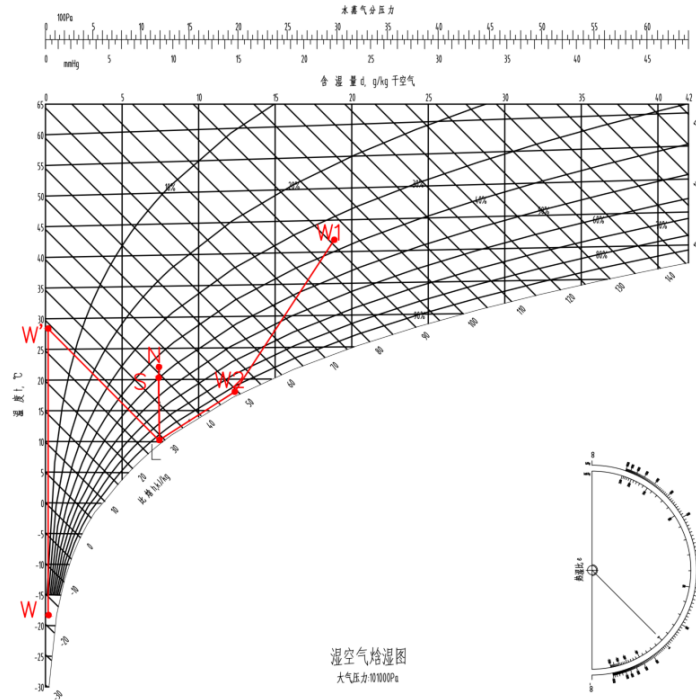


图 2 新风冬夏季处理过程焓湿图

4 洁净室新风机组预冷段节能运行建议

4.1 一级表冷段出风温度优化建议

多数半导体厂房对空气中微小有机分子污染物 AMC 有控制要求, 因此夏季也会开启加湿段对空气进行水洗, 以去除空气中的 AMC。常见控制方案中一级表冷段出风干球温度为 18°C 、湿球温度为 17.5°C 。半导体厂房中设有 RO 系统, RO 水温约为 22°C , 加湿水通常采用 RO 水, 可避免水垢造成喷淋头堵塞。加湿段设置在一级表冷段后, 夏季空气先经过一级表冷段处理至 18°C , 再经过加湿段进行水洗, 但由于 RO 水水温为 22°C , 在经过水洗时空气会被加热, 造成水洗后出风温度的上升。因此建议将一级表冷段的出风温度调整为 22°C 即与 RO 水相同的温度, 以避免空气通过水洗段时造成冷热抵消的能源浪费现象。

4.2 一级表冷段冷源优化建议

通常情况下, 在其他参数相同的条件下, 冷冻水出水温度每提高 1°C , 冷水机组的 COP 提高约 2~3%。常规控制方案中新风机组一级及二级表冷段采用的冷源均为供水为 6°C 、回水为 12°C 低温冷冻水。洁净厂房中会设置中温冷冻水系统, 供承担洁净室内显热负荷的干盘管 DCC 使用。中温冷冻水的供水为 12°C 、回水为 18°C 。按 3.1 中所述, 一级表冷段需将新风处理至 22°C , 若一级表冷段采用中温

冷冻水同样可满足降温除湿的要求, 同时中温冷水机组的 COP 比低温冷水机组的 COP 高出约 12%~18%, 因此在达到相同处理能力的同时, 将中温水作为一级表冷段的冷源相对于采用低温冷冻水可有效节能。

5 结语

半导体制造对生产环境要求极高, 洁净室需要持续供应大量经过过滤、温湿度控制的新风。新风的处理过程不仅关系着洁净空气质量、温湿度稳定、正压环境等洁净厂房的可靠性需求, 也伴随着风机、制冷制热等大量的能耗需求。因此, 在设计、控制组合式新风机组 (MAU) 时需要综合考虑生产可靠性及能耗问题。通过合理的选型、优化控制策略等措施, 可在保证环境要求的前提下, 有效降低能耗、提高能源利用效率、降低半导体生产成本、减少环境影响, 实现经济效益及生产质量的双赢。

参考文献

- [1] GB50019-2015 工业建筑供暖通风与空气调节设计规范[S]. 中国计划出版社
- [2] 王海桥, 李锐. 空气洁净技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2017.
- [3] GB50073-2013 洁净厂房设计规范[S]. 中国计划出版社
- [4] GB50472-2008 电子工业洁净厂房设计规范[S]. 中国计划出版社

A polymer-derived ceramic SiCN thin-film temperature sensor with a temperature resistance of 900 °C

Zaifu Cui Yihan Zhang Shuo Chen Hui Chen Qing Xie

School of Mechanical and Electrical Engineering, Lingnan Normal University, Zhanjiang, Guangdong, 524048, China

Abstract

Aiming at the needs of ultra-high temperature (>900 °C) environments such as geothermal power generation, this paper develops a polymer-derived ceramic (PDC-SiCN) thin-film temperature sensor with temperature resistance of 900 °C. The sensor is designed with a three-layer structure, including an alumina substrate, a SiCN sensitive layer prepared by direct-write 3D printing, and an improved antioxidant protection layer. The ceramic film was formed by pyrolyzing the sensitive layer precursor through nitrogen atmosphere and integrated with a high-temperature lead structure. Experiments show that the sensor exhibits stable resistance-temperature characteristics in the range of room temperature to 900 °C, and maintains excellent antioxidant performance after multiple thermal cycles ($\Delta T = 900$ °C), with a temperature measurement error of -7.2% at 900 °C. The study verifies the effectiveness of direct-write 3D printing combined with the protective layer modification process to enhance the high-temperature stability of PDC-SiCN thin-film sensors, which provides a new strategy for the development of high-precision temperature sensor devices suitable for extreme environments.

Keywords

High temperature resistance; Polymer-derived ceramics; SiCN; Thin films; Temperature sensors.

一种耐温 900 °C 的聚合物衍生陶瓷 SiCN 薄膜温度传感器

崔在甫 张亦晗 陈烁 陈辉 谢晴

岭南师范学院机电工程学院, 中国 · 广东 湛江 524048

摘 要

针对地热发电等超高温 (>900 °C) 环境需求, 本文开发了一种耐温 900 °C 的聚合物衍生陶瓷 (PDC-SiCN) 薄膜温度传感器。该传感器采用三层结构设计, 包括氧化铝衬底、直写 3D 打印制备的 SiCN 敏感层及改进型抗氧化保护层。通过氮气气氛热解敏感层前驱体形成陶瓷薄膜, 并集成高温引线结构。实验表明, 传感器在室温至 900 °C 范围内呈现稳定的电阻-温度特性, 经多次热循环 ($\Delta T = 900$ °C) 后仍保持优异抗氧化性能, 900 °C 时的测温误差为 -7.2%。研究验证了直写 3D 打印结合保护层改性工艺对提升 PDC-SiCN 薄膜传感器高温稳定性的有效性, 为开发适用于极端环境的高精度温度传感器器件提供了新策略。

关键词

耐高温; 聚合物衍生陶瓷; SiCN; 薄膜; 温度传感器

1 引言

先与传统的传感器材料相较, 聚合物衍生陶瓷展现出了在高温条件下的优异耐蚀性、抗热冲击能力和抗氧化特性^[1-5]。此外, 使用 PDCs 制作温度传感器的成本相对较低, 这为在航空航天及其他需要承受极端温度条件的领域中的应用提供了巨大的潜力^[6-8]。与传统的块状传感器相比, 薄膜型传感器因其对环境干扰的低敏感度和快速的响应能力, 更适合于现场温度测量的需求。这些特性使得 PDCs 薄膜传感器在高温应用场景中, 尤其是需要精准温度监测和控

制的场合, 具有显著的优势^[9-10]。

尽管聚合物衍生陶瓷薄膜传感器在耐高温、抗热冲击和抗氧化方面表现出显著的优势, 但其易氧化的特性确实影响了传感器的可靠性^[11-14]。如 Wu 所述, SiBCN 薄膜在 800 °C 的条件下也会逐渐氧化, 导致在此温度下电阻随时间增加^[15]。为了增强 PDC-SiCN 薄膜的抗氧化性, 可以通过在 PDC-SiCN 前驱体中填充颗粒来实现。我们之前研究的两种 PDC-SiCN 薄膜温度传感器在空气中的工作温度可达 800 °C, 其抗氧化机制主要是通过表面的液态 B₂O₃ 薄膜来阻止氧气扩散至薄膜中。然而, 当温度超过 800 °C 时, B₂O₃ 容易蒸发, 这对维持其抗氧化性能构成挑战^[11,12,15,16]。目前, 还没有关于在 900 °C 以上应用的 PDC-SiCN 薄膜温度传感器的报道, 这表明需要进一步的研究和技术改进以扩展其应用范围。

【作者简介】崔在甫 (1987-), 男, 中国河南许昌人, 博士, 讲师, 从事微纳米耐高温传感器的设计、制造和测试研究。

本研究提出了一种具有改进型抗氧化保护涂层的 PDC-SiCN 薄膜温度传感器,其抗氧化性能可达 900 °C。本研究在空气中对传感器从室温至 900 °C 的电阻性能进行了测试。利用电路技术,本研究测量了 PDC-SiCN 薄膜温度传感器的温度,并将其与市面上的 K 型热电偶进行了对比。

2 传感器的设计和制备

2.1 传感器设计

聚合物衍生陶瓷前驱体薄膜在保护性氛围热解后转变成陶瓷,其电阻随着温度升高而下降,其本质为负电阻系数的热敏电阻。其电阻与温度的关系可以采用公式(1)^[17]:

$$\frac{1}{T+273.15} = A + B \ln(R) + C(\ln(R))^3 \quad (1)$$

式中: T 为温度,单位为 °C, A、B、C 为系数, R 为电阻,单位为 Ω 。

这种陶瓷在空气中逐渐氧化,采用保护性涂层可以有效地保护传感薄膜在高温下免受氧化。聚合物衍生陶瓷的成分及其高温引线连接结构与文献[11,12]中描述一致。保护性涂层中 B_2O_3 的含量对耐温性能有重要影响。之前的工作中使用聚硅氮烷填充 TiB_2 和 YSZ 纳米粉末已能保护传感薄膜至 800 °C,目前将 YSZ 替换为 BN 以增加 B_2O_3 的生成,从而提高其抗氧化性能^[13]。图 1 展示了设计的薄膜温度传感器示意图。保护涂层完全覆盖了传感薄膜,而传感薄膜通过陶瓷引线连接结构与铂丝相连。传感薄膜的厚度设计为 10 至 15 μm ,保护涂层约 20 μm 厚,铂丝直径为 0.2 mm,氧化铝圆片的厚度为 0.5 mm,直径为 3 mm。传感薄膜的栅形区域尺寸为 5 mm $\times$ 4 mm。

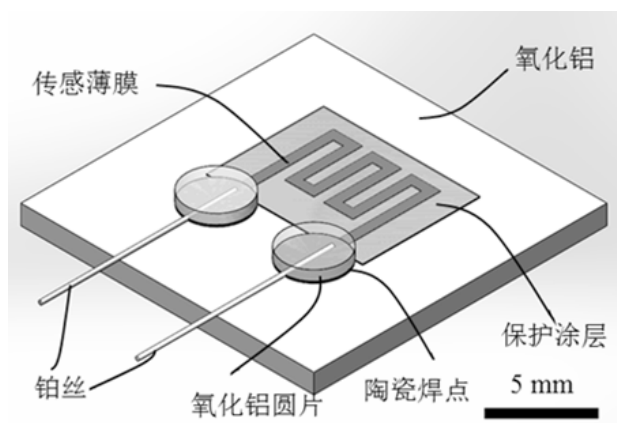


图 1 设计的薄膜温度传感器示意图

2.2 传感器制备

采用由中国科学院北京化学研究所提供的液相聚硅氮烷 PSN2 作为 PDC-SiCN 的前驱体。此外,作为填料颗粒,购买了 TiB_2 、 ZrB_2 、SiC 和 h-BN 纳米粉末(粒径为 50 nm,来源于上海超威纳米科技有限公司)。敏感薄膜的前驱体组成包括 20 wt% TiB_2 、20 wt% ZrB_2 、10 wt% SiC 和 50 wt% PSN2。PDC 浆料的前体含有 60 wt% TiB_2 和 40 wt%

PSN2,而改进涂层的前体则由 30 wt% TiB_2 、20 wt% h-BN 和 50 wt% PSN2 组成。聚合物前驱体薄膜是使用自制直写设备直接沉积于氧化铝和二氧化硅基底上的^[13]。

SiCN 薄膜的热处理采用管式炉(型号 GSL-1700X,合肥科晶制造)。敏感薄膜的前驱体首先图案化于氧化铝基底上,随后在 150 mL/min 的氮气流中进行热处理,目的是防止氧化。初始阶段,温度以每分钟 1 °C 的速率从室温升至 450 °C,并维持此温度 1 小时以促进交联作用。接着,以每分钟 2.5 °C 的速率升温至 1000 °C,保持 1 小时,之后以同样的速率冷却回室温。随后,PDC 浆状前驱体涂布于引线上,并使用夹子固定连接铂丝的氧化铝颗粒于引线。最后,将样品置于管式炉内,在空气环境中进行 17 个从室温至 900 °C 的退火温度循环。

3 实验结果及分析

3.1 涂层表征及分析

涂层热解前后的表面和剖面形貌,以及相应的元素组成,是通过扫描电子显微镜(SEM)和能量色散光谱(EDS)分析获得的,使用的设备型号为 SU-70,由日本日立公司生产。涂层的厚度是由台阶仪(型号 Dektak-XT,德国布鲁克公司生产)测量记录的。X 射线衍射(XRD)分析用于获取涂层热解前后的衍射图谱,采用的设备是 XRD-7000,制造商为日本岛津公司。

图 2 为热解前后的保护涂层的 SEM 表面形貌,可以看出热解前填充颗粒均匀分散在前驱体里面,热解后涂层表面更加光滑致密。

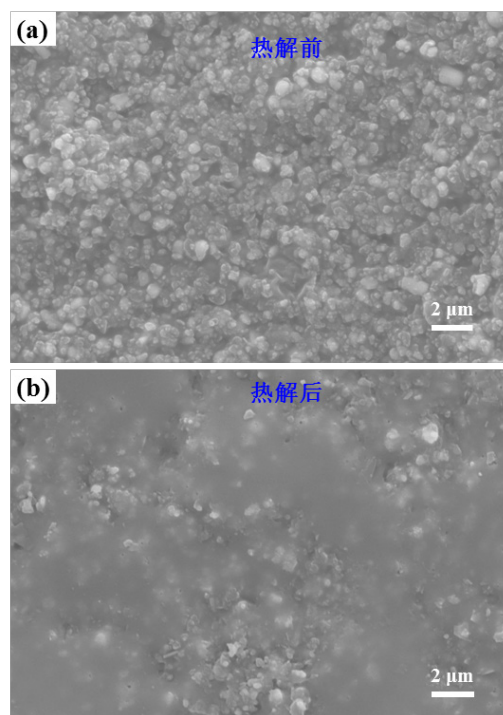


图 2 保护涂层的 SEM 表面形貌

(a) 热解前; (b) 热解后

图 3 为涂层热解前后的元素含量，可以看出热解后氧的含量急剧增加，硅的含量也增加，说明薄膜表面发生了氧化反应。

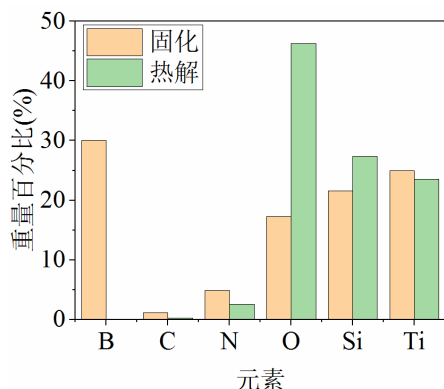


图 3 保护涂层热解前后的元素含量

图 4 和图 5 分别为保护涂层热解前、后的剖面形貌和元素含量。由图 4a 和图 5a 可知，涂层热解前后均比较致密。元素强度代表了元素含量的多少，由图 4b 可知，保护涂层热解前剖面元素强度比较均匀，说明在剖面上元素含量较为均匀。由图 5b 可知，剖面元素强度出现非均匀分布，根据 O 元素和 Si 元素的强度分布，可以看出氧化层厚度约为 $9\ \mu\text{m}$ ，非氧化层厚度约为 $15\ \mu\text{m}$ 。

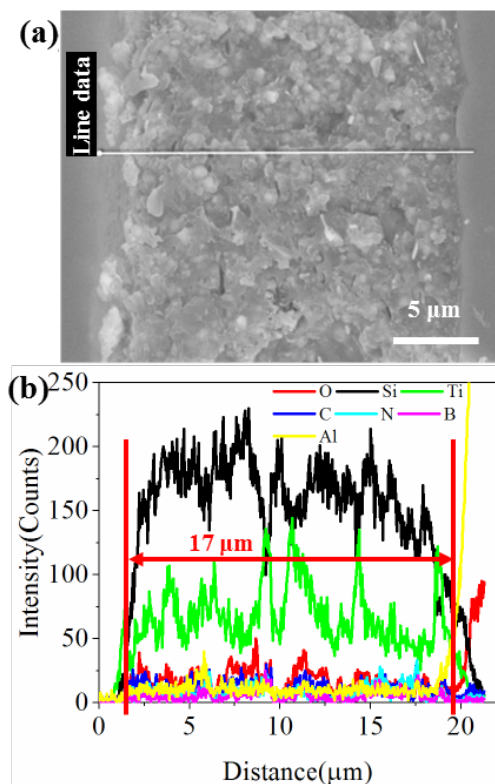


图 4 保护涂层热解前剖面

(a) 表面形貌，(b) 元素分布

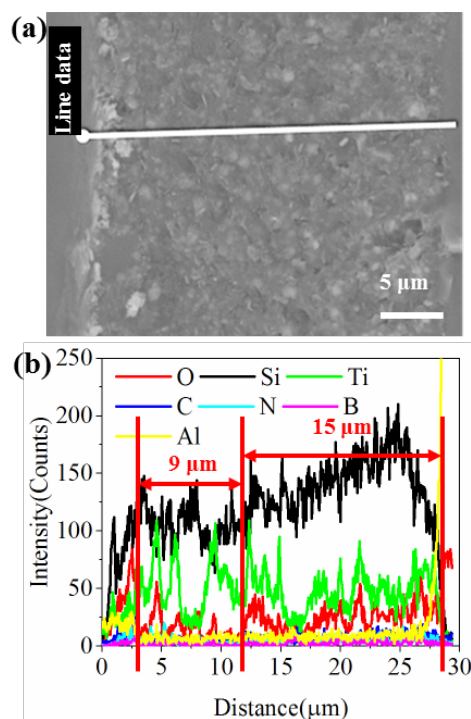


图 5 保护涂层热解后剖面

(a) 表面形貌，(b) 元素分布

由图 6 可知，热解前涂层中含有 TiB_2 和 BN，热解后涂层中含有 TiO_2 和 BN，说明 TiB_2 氧化生成了 TiO_2 ，而 TiB_2 和氧气在高温下反应的化学式为^[18,19]：



此外，涂层中的 BN 纳米粉末在高温下氧化生成了 B_2O_3 ^[19]，具体化学反应式为：

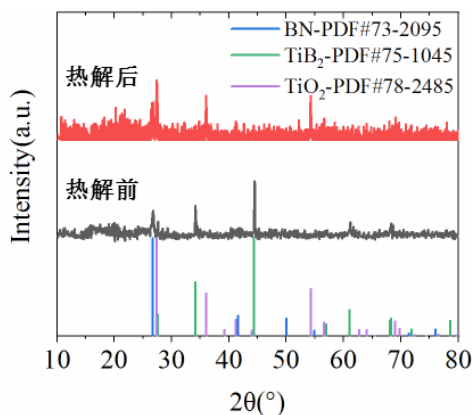


图 6 保护涂层热解前后的 XRD 图谱

由于两种填料均生成了 B_2O_3 ，因此在涂层近表面形成了一层液膜，可以阻止氧气在高温下进入薄膜内部^[12]。

3.2 传感器的灵敏度

图 7 为制备的薄膜温度传感器。图 8 为该传感器从室温到 $900\ ^\circ\text{C}$ 的电阻随温度变化的测试曲线及其采用公式拟合的结果。可以看出拟合结果良好，拟合度达到了 1，系数 A、B、

C 分别为 0.02906 、 -0.00357 、 8.50792×10^{-6} 。根据电阻温度系数 α 的定义可以得到材料常数 β [13]:

$$\alpha = \frac{dR}{R} / dT = -\frac{\beta}{(T + 273.15)^2} \quad (2)$$

$$\beta = -\alpha (T + 273.15)^2 \quad (3)$$

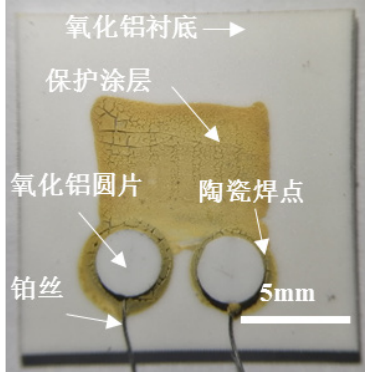


图 7 制备的薄膜温度传感器光学图片

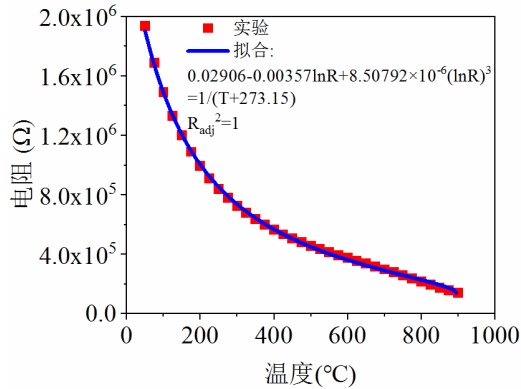


图 8 薄膜温度传感器的温阻测试曲线及其拟合结果

对图 8 的数据根据公式处理, 得到了电阻温度系数随温度的变化, 如图 9 所示, 可以看出, 随着温度的升高, 电阻温度系数从室温的 $-0.008/^{\circ}\text{C}$ 降低到了 600°C 左右的 $0.002/^{\circ}\text{C}$, 然后再随着温度升高到 900°C , 电阻温度系数增加到了 $-0.005/^{\circ}\text{C}$ 。而根据公式将图 9 的数据转变为材料常数随温度的变化曲线, 如图 10 所示, 可以看出, 在 600°C 以下时, 材料常数为 $500 \sim 1000$, 超过 600°C 后, 材料常数急剧增加。因此该传感器的灵敏度先减小后增加, 低温段和高温段具有较高的灵敏度, 适合于低温场合和高温场合。

3.3 传感器的重复性

对该传感器进行室温至 900°C 的温度循环测试, 测试结果如图 11 所示, 可以看出, 三次温度循环测试的曲线几乎重合, 说明该传感器重复性较好 [13,15]。

3.4 温度测试

将该传感器的电阻通过公式 (1) 转变成温度, 与热电偶测试的温度对比, 如图 12 所示, 可以看出, 该传感器测得的温度与热电偶测得的温度比较接近, 在 700°C 、 800°C 和 900°C 时的测量误差分别为 -10.7% 、 -8.1% 、 -7.2% , 其误

差与同类别的温度传感器接近 [16]。

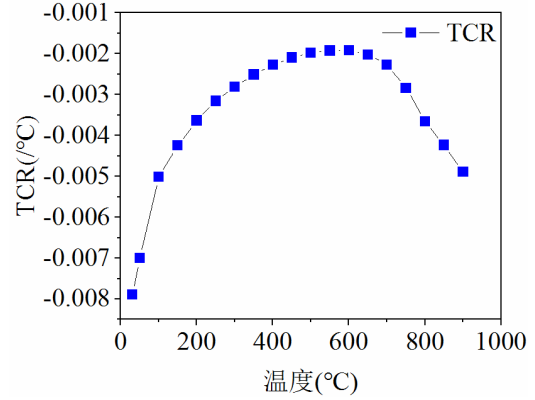


图 9 薄膜温度传感器的电阻温度系数随温度变化曲线

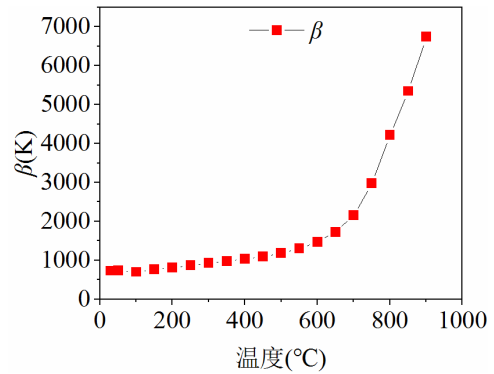


图 10 薄膜温度传感器的材料常数随温度的变化曲线

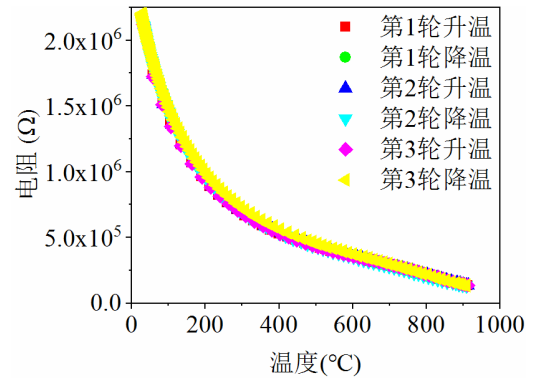


图 11 薄膜温度传感器三轮温阻循环测试

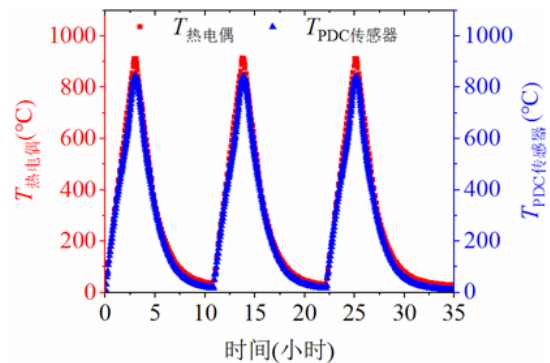


图 12 薄膜温度传感器与热电偶的测温对比

4 结论

本研究提出了一种聚合物衍生陶瓷薄膜温度传感器, 该传感器采用保护层。通过分析保护层的表面形貌、元素组成以及剖面形貌和物相, 结果显示, 高温下保护层部分氧化, 形成的富含 B_2O_3 的氧化层为液态, 有效防止了传感薄膜的进一步氧化。温度循环测试表明, 该传感器在高温下具有良好的重复性。与商用温度传感器相比, 本传感器显示出较高的精度。因此, 本方法不仅能制备耐温达 $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的薄膜温度传感器, 还为类似传感器的开发提供了新途径。

参考文献

- [1] Qingbo Wen, Zhaoju Yu, Ralf Riedel. The Fate and Role of in situ Formed Carbon in Polymer-Derived Ceramics[J]. *Progress in Materials Science*, 2019, 100:623.
- [2] Xiaohui Zhao, Haitao Li, Yinzhi Chen, et al. Preparation and thermoelectric characteristics of ITO/Pt thin film thermocouples on Ni-based superalloy substrate[J]. *Vacuum*, 2017, 140(Supplement C): 116-120.
- [3] Baisheng Ma, Yejie Cao, Yan Gao, et al. Fabrication of a thin double-layer thermistor based on DVB-modified polymer-derived SiCN ceramics[J]. *Journal of Alloys and Compounds*, 2018, 732: 491-497.
- [4] Yuxi Yu, Qifan Huang, Samuel Rhodes, et al. Si CNO-GO composites with the negative temperature coefficient of resistance for high - temperature sensor applications[J]. *Journal of the American Ceramic Society*, 2017, 100(2): 592-601.
- [5] Yongdong Yu, Jinping Li, Jiahong Niu, et al. The stability and repeatability of high temperature electrical properties of SiAlCN ceramic sensor heads[J]. *Ceramics International*, 2019, 45(6): 7588-7593.
- [6] Lida Xu, Lanlan Li, Lantian Tang, et al. Rapid Printing of High-Temperature Polymer-Derived Ceramic Composite Thin-Film Thermistor with Laser Pyrolysis[J]. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2023, 15(7): 9996-10005.
- [7] Xiong Zhou, Lida Xu, Lantian Tang, et al. Piezoelectric-pneumatic material jetting printing for non-contact conformal fabrication of high-temperature thick-film sensors[J]. *Additive Manufacturing*, 2024, 83: 104058.
- [8] Ni Li, Yejie Cao, Ran Zhao, et al. Polymer-derived SiAlOC ceramic pressure sensor with potential for high-temperature application[J]. *Sensors & Actuators A Physical*, 2017, 263.
- [9] Gustave C Fralick, John D Wrbanek. Thin Film Ceramic Strain Sensor Development for Harsh Environments[R]. Cleveland : NASA Glenn Research Center, 2007.
- [10] John D. Wrbanek, Gustave C. Fralick, José M. Gonzalez, et al. Thin Film Ceramic Strain Sensor Development for High Temperature Environments[C]. *Aging Aircraft* 2008, 2008 : 1-14.
- [11] Zaifu Cui, Xin Li, Xiaochuan Pan, et al. Polymer-derived ceramic thin-film temperature sensor[J]. *Sensors and Actuators A: Physical*, 2021, 332: 1-7.
- [12] Zaifu Cui, Guochun Chen, Xin Li, et al. An anti-oxidative coating made from particle-filled SiCN precursor for applications up to 800°C [J]. *Journal of Alloys and Compounds*, 2022, 913: 1-7.
- [13] Zaifu Cui, Xiaojun Chen, et al. Thin-film temperature sensor made from polymer-derived ceramics based on laser pyrolysis[J]. *Sensors and Actuators A: Physical*, 2022, 350: 114144.
- [14] Chao Wu, Xiaochuan Pan, Fan Lin, et al. TiB₂/SiCN Thin-film Strain Gauges Fabricated By Direct Writing for High-temperature Application[J]. *IEEE Sensors Journal*, 2022, : 1-10.
- [15] Chao Wu, Fan Lin, Xiaochuan Pan, et al. TiB₂ - modified polymer - derived ceramic SiCN double - layer thin films fabricated by direct writing for high - temperature application[J]. *Advanced Engineering Materials*, 2022, : 1-8.
- [16] Zaifu Cui, Xin Li, Guochun Chen, et al. Thin-film temperature sensor made from particle-filled polymer-derived ceramics pyrolyzed in vacuum[J]. *Journal of the European Ceramic Society*, 2022, 42(6): 2735-2742.
- [17] Kanwar Pal Singh Rana, Vineet Kumar, Amit Kumar Dagar, et al. FPGA Implementation of Steinhart-Hart Equation for Accurate Thermistor Linearization[J], *IEEE Sensors Journal* 2018, : 1-1.
- [18] Alina Kulpa, Tom Troczynski. Oxidation of TiB₂ powders below $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ [J]. *Journal of the American Ceramic Society* 1996, 79(2): 518-520.
- [19] Ta Parthasarathy, Ra Rapp, M Opeka, et al. A model for the oxidation of ZrB₂, HfB₂ and TiB₂[J]. *Acta Materialia* 2007, 55(17): 5999-6010.
- [20] Zi-Bo Niu, Zhuan Li, Peng Xiao, et al. Influence of h-BN as additive on microstructure and oxidation mechanism of C/C-SiC composite[J]. *Journal of the European Ceramic Society*, 2019, 39(15): 4634-4644.