



科技创新与工程

Technological Innovation and Engineering

Volume 3 Issue 1 January 2026 ISSN 3060-8996(Print) 3060-8988(Online)



科技创新与工程

Technological Innovation and Engineering

Volume 3 · Issue 1 · January 2026 · ISSN 3060-8996(Print) 3060-8988(Online)

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



中文刊名：科技创新与工程

ISSN: 3060-8996 (纸质) 3060-8988 (网络)

出版语言：华文

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

出版社名称：新加坡南洋科学院

Serial Title: Technological Innovation and Engineering

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

Language: Chinese

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

Publisher: Nan Yang Academy of Sciences Pte. Ltd.

《科技创新与工程》征稿函

Database Inclusion



Google Scholar



Crossref



China National Knowledge Infrastructure

版权声明/Copyright

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

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

Nanyang Academy of Sciences Pte. Ltd.
12 Eu Tong Sen Street #07-169 Singapore 059819

Email: info@nassg.org

Tel: +65-65881289

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



期刊概况：

中文刊名：科技创新与工程

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

出版语言：华文刊

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

出版社名称：新加坡南洋科学院

出版格式要求：

- 稿件格式：Microsoft Word
- 稿件长度：字符数（计空格）4500以上；图表核算200字符
- 测量单位：国际单位
- 论文出版格式：Adobe PDF
- 参考文献：温哥华体例

出刊及存档：

- 电子版出刊（公司期刊网页上）
- 纸质版出刊
- 出版社进行期刊存档
- 新加坡图书馆存档
- 谷歌学术（Google Scholar）等数据库收录
- 文章能够在数据库进行网上检索

作者权益：

- 期刊为 OA 期刊，但作者拥有文章的版权；
- 所发表文章能够被分享、再次使用并免费归档；
- 以开放获取为指导方针，期刊将成为极具影响力的国际期刊；
- 为作者提供即时审稿服务，即在确保文字质量最优的前提下，在最短时间内完成审稿流程。

评审过程：

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

科技创新与工程

Technological Innovation and Engineering

Volume 3 Issue 1 January 2026
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

夏旭东 Xudong Xia

1	基于全生命周期的传动零部件技术管理方法 / 孙丹丹	/ 匡海琴 肖晴
4	灌区水利设施老化病害检测及安全运行评估体系研究 / 牙侯泽	28 火电厂煤质采样误差分析及其控制策略 / 朱玉凤
7	电视播出机房监测系统及播控设备运维策略探究 / 刘龙	31 新型配电设备在老旧小区电网升级中的适配性与经济性研究 / 谯富意
10	高效液相色谱—串联质谱法测定饮用水软管浸泡液中 12 种邻苯二甲酸酯 / 凌廉杰 白佳威 于孟琦 焦鹏飞 毛建伟	34 青贮玉米中淀粉检测方法的研究 / 刘艳杰 徐海贺 朱文龙 刘宇璇 仝家玮
13	聚酯与环氧玻璃钢管道结构性能及工程应用分析 / 孙玉军	38 电子元器件失效风险识别中的检测技术研究 / 李星儒 郭可欣
16	天然气脱水工艺乙二醇损耗原因分析及应对策略 / 于海滨	41 汽车覆盖件拉延模具回弹控制的有限元分析与结构改进 / 黄颖
19	新形势下的计量检验检测工作提升探索 / 刘彦麟	45 基于精益生产理论的船舶建造项目生产计划优化与资源调配研究 / 王磊
22	火力发电厂辅机振动故障分析及其处理 / 宋远健	48 车辆盲区监测 (BSD) 相关标准规程体系综述 / 奚瑞轩 杜若愚 季钊
25	“次元重塑”——基于经典 IP 的二次元文化衍生产 品创新与商业化实践	

- 1 Technology Management Method of Transmission Parts Based on the Whole Life Cycle
/ Dandan Sun
- 4 Research on the Detection and Safety Operation Evaluation System of Aging Diseases of Irrigation Area Water Conservancy Facilities
/ Houze Ya
- 7 Research on TV broadcast room monitoring system and operation and maintenance strategy of broadcast control equipment
/ Long Liu
- 10 Determination of 12 kinds of phthalate esters in the soaking solution of flexible hoses contacted with drinking water by high performance liquid chromatography - triple quadrupole mass spectrometer
/ Lianjie Ling Jiawei Bai Mengqi Yu Pengfei Jiao Jianwei Mao
- 13 Structural Properties and Engineering Application Analysis of Polyester and Epoxy Glass Fiber Reinforced Plastic Pipe
/ Yujun Sun
- 16 Analysis of Ethylene Glycol Loss in Natural Gas Dehydration Process and Countermeasures
/ Haibin Yu
- 19 Exploration on the improvement of metrological inspection and testing work under the new situation
/ Yanlin Liu
- 22 Analysis and Treatment of Auxiliary Machine Vibration Fault in Thermal Power Plant
/ Yuanjian Song
- 25 “Dimensional Reconstruction”—Innovation and Commercialization of 2D Cultural Derivative Products Based on Classic IP
/ Haiqin Kuang Qing Xiao
- 28 Error Analysis and Control Strategy of Coal Quality Sampling in Thermal Power Plant
/ Yufeng Zhu
- 31 Research on Adaptability and Economy of New Distribution Equipment in the Power Grid Upgrade of Old Residential Area
/ Fuyi Qiao
- 34 Study on the detection method of starch in silage corn
/ Yanjie Liu Haihe Xu Wenlong Zhu Yuxuan Liu Jiawei Tong
- 38 Research on Detection Technologies in Failure Risk Identification of Electronic Components
/ Xingru Li Kexin Guo
- 41 Finite Element Analysis and Structure Improvement of Springback Control for Drawing Die of Automotive Cover
/ Ying Huang
- 45 Research on Production Planning Optimization and Resource Allocation of Shipbuilding Project Based on Lean Production Theory
/ Lei Wang
- 48 Comprehensive Review of Standards and Regulations Related to Vehicle Blind Spot Detection
/ Ruixuan Xi Ruoyu Du Zhao Ji

Technology Management Method of Transmission Parts Based on the Whole Life Cycle

Dandan Sun

Xuzhou XCMG Transmission Technology Co., Ltd., Xuzhou, Jiangsu, 221000, China

Abstract

This paper explores the technical management methods for transmission components based on the full lifecycle approach, with a focus on analyzing its application in various stages such as design, production, use, and maintenance. Full lifecycle management enables quality control from the source, improves the service life of transmission components, and reduces maintenance costs. Through systematic lifecycle management, enterprises can achieve optimal resource allocation and minimize risks at each stage, while simultaneously enhancing product reliability and economic efficiency. The paper also discusses the application of intelligent technologies in lifecycle management, such as big data analysis and the Internet of Things, and how they facilitate precise management and optimized decision-making.

Keywords

Full lifecycle management; transmission components; technical management; intelligent technologies; optimization strategies

基于全生命周期的传动零部件技术管理方法

孙丹丹

徐州徐工传动科技有限公司, 中国·江苏 徐州 221000

摘要

本文探讨了基于全生命周期的传动零部件技术管理方法,重点分析了其在设计、生产、使用和维护等各个阶段的应用。全生命周期管理能够从源头控制质量,提高传动零部件的使用寿命并减少维修成本。通过系统化的生命周期管理,企业能够在每一环节实现资源的最优配置与风险的最小化,同时提升产品的可靠性与经济效益。文中还探讨了智能化技术在生命周期管理中的应用,如大数据分析、物联网技术等,如何促进精准管理与优化决策。

关键词

全生命周期管理; 传动零部件; 技术管理; 智能化; 优化策略

1 引言

随着工业化进程的推进,尤其是在高端制造业和汽车产业中,传动零部件的技术管理面临着越来越复杂的挑战。如何通过系统化、科学化的管理方法,提升传动零部件的整体质量、延长其使用寿命并降低成本,成为制造业关注的重点。传统的零部件管理模式大多集中于单一阶段的优化,如生产过程中的质量控制或使用阶段的维护,缺乏对全生命周期的综合管理。全生命周期管理(LCM)理念的提出,弥补了这一不足,它强调从产品的设计、生产、使用到报废的全过程进行管理^[1]。通过对各个阶段的全面分析和优化,能够有效提升零部件的性能,降低资源消耗并延长其使用寿命。本文旨在探讨基于全生命周期的传动零部件技术管理方

法,分析其实施策略及技术路径,并探讨当前实施中的困难与挑战。

2 全生命周期管理概述

2.1 全生命周期管理的定义与意义

全生命周期管理(LCM)是指对产品从设计、制造到使用、维护直至废弃的整个生命周期进行规划、管理和优化的过程。其核心思想是通过对产品全程的控制与管理,实现产品效能的最大化与资源利用的最优化。在现代制造业中,企业面临的市场竞争日益激烈,产品的质量和成本控制直接影响到企业的竞争力。全生命周期管理的实施不仅能够提高产品的使用效益,延长产品生命周期,还能降低环境影响、减少资源浪费,推动可持续发展。它的意义在于,能够打破传统的阶段性管理模式,形成系统化的产品管理流程,在各个环节进行优化,从而提升整体性能和降低运营成本。

2.2 传动零部件全生命周期的基本特征

传动零部件作为机械系统中关键的组成部分,其生命

【作者简介】孙丹丹(1987-),女,中国山东济宁人,硕士,副高级工程师,从事工程机械传动核心零部件技术管理研究。

周期包括了设计、生产、使用、维修及报废阶段。设计阶段注重零部件的性能需求与适配性，确保其能够满足特定机械系统的工作要求。生产阶段则聚焦于零部件的加工工艺、质量标准以及成本控制，保证零部件的高精度和高可靠性。使用阶段涉及零部件在实际工作条件下的表现，包括负载、摩擦、温度等环境因素的影响。维修阶段则是确保零部件在使用过程中尽可能延长其使用寿命，降低因故障造成的停机时间。报废阶段则考虑零部件的回收与资源再利用，减少环境污染。每个阶段相互关联，形成了一个完整的生命周期链条，只有在每个环节得到有效管理，才能确保传动零部件的长期可靠性与经济效益。

3 传动零部件技术管理的核心要素

3.1 设计阶段的技术要求与创新

在传动零部件的设计阶段，技术要求的明确和创新思维的融入对后续生产和使用阶段的管理至关重要。设计的核心目标是确保零部件能够在实际运行中满足特定功能需求，同时具备较高的安全性和可靠性。为了应对不同工作环境下的严苛条件，设计阶段需要引入创新性技术，如先进的材料选用、优化的结构设计以及智能化设计工具的应用。这些创新不仅能够提高零部件的性能，还能在降低制造成本、提升生产效率方面发挥重要作用。同时，在设计阶段，零部件的可维护性与可修复性也应予以考虑，以便在后期使用中降低维护难度和成本。因此，设计阶段的技术要求不仅要满足基本功能需求，还需要通过创新推动传动零部件的性能和可持续性提升^[2]。

3.2 生产与制造过程中的质量控制

在生产与制造过程中，质量控制是确保传动零部件达到设计要求的重要环节。生产过程中的每一个环节都必须严格按照技术规范进行操作，确保零部件的加工精度和表面质量。为此，企业应采取高精度的加工设备和先进的质量检测手段，如激光扫描、三坐标测量仪等，以确保零部件的尺寸精度和几何形状符合设计要求。此外，质量控制不仅局限于零部件的生产环节，还应覆盖到原材料采购、工艺流程、生产设备的维护与操作规范等方面。通过全程的质量监控，企业可以有效避免因零部件缺陷导致的生产故障，减少生产过程中的浪费，提升产品的整体质量，图 1 为一种铝合金变速箱的精密铸造方法的流程展示。

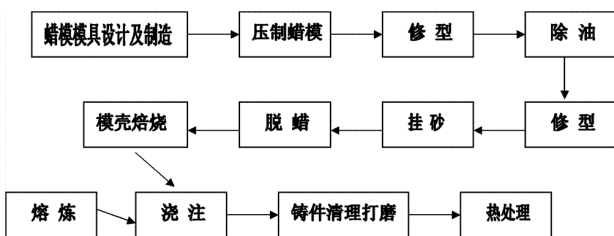


图 1 一种铝合金变速箱的精密铸造方法的流程展示

3.3 使用与维护阶段的技术支持与改进

传动零部件在使用阶段面临严苛的工作环境和长时间的负荷运作，因此，技术支持与维护改进显得尤为重要。在使用阶段，企业应通过建立完善的监控系统，对零部件的工作状态进行实时监测，及时发现潜在的故障隐患，防止突发性故障的发生。维护阶段则是保证零部件长期稳定运行的关键。通过定期的检修、润滑和更换等操作，可以延长传动零部件的使用寿命，减少因故障停机带来的损失。在这一过程中，技术支持需要结合最新的维护技术和智能化设备，进行精细化的管理。此外，随着技术的不断进步，维护方法也应不断改进，采用先进的诊断与修复技术，如基于数据分析的预测性维护、智能诊断等手段，从而提高维护效率，降低维修成本。

4 全生命周期管理模式下的传动零部件优化策略

4.1 生命周期成本分析与控制

生命周期成本分析是全生命周期管理模式中的关键环节，旨在通过对传动零部件从设计到报废全过程中的各类成本进行系统分析和控制，最大程度地降低总体支出。传动零部件的生命周期成本不仅包括初期的设计和生产成本，还涉及使用阶段的维护费用、能源消耗以及最终的废弃与回收成本。通过精确的成本分析，企业能够识别出各个阶段的成本驱动因素，并采取相应的优化措施，如选用成本效益较高的材料、优化生产工艺、延长零部件使用寿命等方式，进而实现成本的控制与节约。此外，生命周期成本控制还需考虑到潜在的风险与不确定性因素，确保通过长远规划避免因短期决策带来的高成本支出。

4.2 可持续性环保要求的融合

在全生命周期管理中，传动零部件的可持续性与环保要求已成为重要考量因素。随着环保法规的日益严格和全球环境保护意识的增强，传动零部件的设计与生产必须满足绿色环保标准，减少对环境的负面影响。从材料选取、生产工艺到产品的回收处理，每个环节都应纳入环保与可持续发展的要求。例如，采用可回收的环保材料和减少生产过程中的废弃物排放，有助于降低零部件生产的碳足迹。与此同时，零部件的设计需注重生命周期内的资源高效利用，通过减少能源消耗、延长使用寿命以及优化维修策略，实现产品的可持续发展。环保与可持续性要求的融合不仅能促进企业的绿色转型，还能提升其社会责任形象，增强市场竞争力。

4.3 智能化与数字化技术的应用

智能化与数字化技术在传动零部件的全生命周期管理中具有显著的作用。随着物联网、大数据、人工智能等技术的快速发展，传动零部件的设计、生产、使用和维护都可以通过数字化手段实现精细化管理。通过传感器、监控设备与智能算法，企业可以实时收集零部件的运行数据，对其工作

状态进行分析预测,从而优化维护和调度。数字化技术不仅能够提升零部件设计与生产的精准度,还能通过数据分析揭示潜在的故障隐患,提前进行维修与优化,避免故障的发生。智能化管理的实施还能够提高生产效率,降低人工成本,同时加强资源利用的效率,使得整个生命周期中的每个环节都更加高效、灵活、精准^[3]。

5 全生命周期管理在传动零部件中的实施路径

5.1 全过程数据收集与分析

全过程数据收集与分析是全生命周期管理的核心内容之一,它通过对传动零部件各阶段运行数据的采集与分析,形成闭环管理。数据采集不仅限于生产过程中的质量监控,还应覆盖到零部件使用阶段的运行状态、环境条件、维护历史等多个维度。借助传感器、嵌入式技术、物联网等手段,企业能够实时获取零部件的各类运行数据,将其转化为有价值的信息进行分析。这些数据的收集与分析不仅有助于及时发现零部件的异常,还能为生命周期成本的优化提供依据,为未来的设计和生产改进提供数据支持。通过有效的数据管理,企业能够实现零部件管理的智能化和精细化,进一步提高运营效率。

5.2 技术培训与人员管理体系

技术培训与人员管理体系的建设对于全生命周期管理的成功实施至关重要。企业应加强对相关人员的技术培训,确保设计、生产、维护等各环节的工作人员能够理解并掌握全生命周期管理的理念与方法。在设计与生产阶段,技术人员需具备较强的创新能力和技术支持能力,能够根据全生命周期的要求进行零部件的设计与生产优化。在使用与维护阶段,操作人员与维护人员则需要掌握先进的维修技术和设备,能够有效延长零部件的使用寿命。此外,建立完善的人员管理体系,确保各环节的沟通与协作顺畅,也是保证全生命周期管理有效实施的关键。通过技术培训与人员管理体系的建设,企业能够提升整体管理水平和生产效率。

5.3 质量监控与反馈机制

质量监控与反馈机制是全生命周期管理的保障体系,确保零部件在整个生命周期内始终保持高质量的运行状态。质量监控不仅在生产阶段进行,整个使用阶段及维护过程中,企业也应对传动零部件的工作状态进行持续监控。通过

质量数据的实时反馈,企业能够及时发现潜在的质量问题,并根据反馈信息进行调整与改进。此外,质量反馈机制还应鼓励客户与使用方提供使用反馈,确保产品在实际应用中的问题能够及时被解决。在此基础上,企业应建立快速响应机制,确保质量问题能够及时得到处理,从而保障零部件的高效运行^[4]。通过全面的质量监控与反馈机制,企业能够持续优化零部件的管理,提升产品的整体质量与可靠性。

6 结语

全生命周期管理为传动零部件的技术管理提供了全新的视角和方法,通过系统性地优化每个阶段的管理流程,能够有效提升零部件的整体性能和使用效益。在设计阶段,通过创新技术与合理的规划,确保零部件在各个使用环境下的可靠性与适配性;在生产与制造过程中,严格的质量控制和精细化管理保证了产品的高质量标准;在使用与维护阶段,实时监控和智能化技术的应用进一步延长了零部件的使用寿命,降低了运营成本。通过实施生命周期成本分析、可持续发展要求的融合及数字化管理,企业能够在保障产品质量的同时,实现资源的最优配置和环境效益的最大化。未来,随着技术的不断发展,基于全生命周期的传动零部件管理模式必将为制造业的可持续发展提供强大的支撑,并推动行业向更加智能化、绿色化的方向迈进。

参考文献

- [1] 余海涛,陈燕燕.数控机械加工技术在汽车传动系统零部件制造中的应用[J].内燃机与配件,2025,(15):89-91.
- [2] 吴晓强,薛锐,贾东洲,李佳,龚太彦,丁帅,陈培凯,王利华,李晓雪,姜鑫,金永泉,李增荣,刘勇,李世田,乌兰.内蒙古民族大学,天津天海同步科技有限公司;内蒙古一机集团瑞特精密工模具有限公司;辽宁工业大学;鄂尔多斯应用技术学院;内蒙古工业大学.新能源汽车传动机构零部件制造关键技术装备及应用[Z].项目立项编号:2021GG0432.鉴定单位:天津市科学技术评价中心.鉴定日期:2024-11-03.
- [3] 马俊强,李帅.数控机械加工技术在汽车传动系统零部件制造中的应用[J].汽车测试报告,2024,(12):83-85.
- [4] 阮益谊,杭舰,沈阳,李海娟,孔建光.浙江安格鲁传动系统有限公司,传动带全尺寸投影磨削技术[Z].鉴定单位:浙江安格鲁传动系统有限公司.鉴定日期:2023-03-31.

Research on the Detection and Safety Operation Evaluation System of Aging Diseases of Irrigation Area Water Conservancy Facilities

Houze Ya

Guangxi Hechi Haoyu Engineering Consulting Co., Ltd., Hechi, Guangxi, 547000, China

Abstract

Irrigation district water conservancy facilities constitute a fundamental basis for agricultural water allocation and irrigation assurance, and their operational condition is directly related to water supply security, irrigation efficiency, and the sustainable development of agriculture within irrigation districts. With the continuous increase in service life, many irrigation district facilities have exhibited widespread problems such as structural aging, functional degradation, and the accumulation of operational hazards, making traditional experience-based management and single detection methods insufficient to meet the requirements of refined safety operation control. Focusing on the practical needs of aging defect identification and safe operation management of irrigation district water conservancy facilities, this study systematically analyzes the types, characteristics, and formation mechanisms of aging defects in water conveyance and distribution projects as well as canal systems and associated structures, and establishes a defect detection technology system integrating routine inspection and instrument-based monitoring. The results provide systematic technical support for operational risk identification and scientific management of irrigation district water conservancy facilities.

Keywords

irrigation district water conservancy facilities; aging defect detection; safe operation; evaluation index system; comprehensive assessment method

灌区水利设施老化病害检测及安全运行评估体系研究

牙侯泽

广西河池浩宇工程咨询有限公司, 中国·广西河池 547000

摘要

灌区水利设施作为农业水资源配置与灌溉保障的重要基础,其运行状态直接关系到灌区供水安全、灌溉效率及农业可持续发展。随着服役年限的持续增长,部分灌区水利设施普遍出现结构老化、功能退化及运行隐患累积等问题,传统经验式管理和单一检测手段已难以满足安全运行精细化管控需求。本文围绕灌区水利设施老化病害识别与安全运行管理实际,系统梳理灌区输配水工程及渠系建筑物老化病害的类型特征与形成机理,构建以常规巡查与仪器监测相结合的病害检测技术体系,为灌区水利设施运行风险识别与科学管理提供系统化技术支持。

关键词

灌区水利设施; 老化病害检测; 安全运行; 评估指标体系; 综合评估方法

1 引言

灌区水利设施是保障农业生产用水、稳定粮食安全与支撑区域经济发展的重要工程基础。受建设年代久远、运行工况复杂及维护投入不足等因素影响,部分灌区设施在长期服役过程中逐渐暴露出结构性性能衰减、渗漏破损加剧及运行稳定性下降等问题,安全风险呈现隐蔽化和累积化特征。当前灌区运行管理中,对设施老化病害的认识多停留在局部经验判断层面,检测手段分散,评估标准缺乏系统性,难以全

面反映设施真实安全状态。随着灌区管理向精细化与规范化转型,对老化病害的系统检测和安全运行评估提出了更高要求,所以有必要从病害形成机理出发,整合多种检测信息,构建科学合理的安全运行评估体系,为灌区水利设施的运行管理、维护决策与风险防控提供可靠依据。

2 灌区水利设施老化病害的类型特征与形成机理

2.1 灌区输配水工程结构老化病害特征

灌区输配水工程在长期运行过程中普遍承受水流冲刷、结构荷载变化及材料性能衰减等多重作用,其老化病害具有渐进性与隐蔽性并存的特征。渠道衬砌结构易出现表层剥

【作者简介】牙侯泽(1986-),男,壮族,本科,中级职称,从事水利评估、水利检测、水利工程技术指导研究。

蚀、裂缝扩展及局部脱空现象,混凝土构件因碳化深度增加、钢筋保护层减薄而导致承载能力下降。部分输水建筑物在长期水位波动条件下产生不均匀沉降,致使结构整体性受损,局部应力集中明显。金属构件受潮湿环境影响,腐蚀速率加快,启闭设备灵敏度下降,运行阻力增大。这类结构老化病害往往不以突发破坏形式出现,而是在持续服役中逐步累积,对输配水安全和工程耐久性形成长期制约,需要从结构响应变化中加以识别。

2.2 灌区渠系及附属建筑物功能退化表现

灌区渠系及附属建筑物在实际运行中承担着水量调配与运行控制的重要功能,其功能退化主要表现为水力条件恶化与控制能力下降。渠道断面因淤积与边坡坍塌而发生变化,过水能力明显降低,水位调控精度受到影响。量测设施受长期运行磨损和精度漂移影响,计量误差逐步放大,难以准确反映实际供水状况。闸门启闭系统在长期频繁操作下出现机械磨损与传动效率下降,调节响应时间延长。部分附属建筑物防渗性能减弱,渗漏现象加剧,导致水量损失增加。这类功能退化虽不一定直接引发结构失稳,但会持续削弱灌区运行效率,对供水均衡性和调度可靠性产生不利影响。

2.3 运行环境与长期服役条件对病害演化的影响

灌区水利设施所处运行环境对老化病害的演化过程具有显著影响。区域气候条件决定了温湿度变化频率,冻融循环会加速混凝土微裂缝扩展,高温暴晒促使材料内部水分迁移和性能衰减。水质条件中含沙量与化学成分变化,对渠道衬砌表面磨蚀和钢筋腐蚀产生持续作用。长期超设计流量运行使结构处于高应力状态,疲劳效应逐步显现。运行管理中检修周期偏长、养护措施不足,会使初期轻微病害演化为系统性问题。多种环境因素与服役条件相互叠加,推动病害由局部向整体发展,形成复杂的演化路径,对设施安全运行构成长期压力。

3 灌区水利设施老化病害检测技术体系构建

3.1 基于常规巡查的灌区水利设施病害识别方法

常规巡查是灌区水利设施病害识别的基础手段,依托规范化巡查制度对结构外观和运行状态进行持续记录。通过对渠道裂缝宽度、衬砌破损面积、渗漏点数量等指标进行量化统计,可形成年度变化序列。实际巡查中,裂缝宽度超过0.3毫米、单段渠道渗漏点密度达到每百米2处以上时,往往反映结构性能开始明显下降。巡查数据结合运行水位、流量变化记录,可分析病害与运行工况之间的关联性。通过统一巡查表单与数据编码,实现病害信息的标准化存储,为后续分析提供可靠基础,使经验判断逐步向数据支撑转变^[1]。

3.2 基于仪器监测的灌区水利设施病害检测技术

仪器监测技术为灌区老化病害检测提供了量化手段。通过布设位移计、应变计与渗压计,对关键结构部位进行连续监测,可获取结构变形与内部应力变化数据。监测结果表

明,当渠道结构水平位移年变化量超过5毫米,应变值相较初始状态增加15%以上时,结构安全裕度明显降低。超声检测与回弹检测技术可用于评估混凝土强度衰减程度,检测结果显示,部分老旧渠道衬砌强度下降幅度可达原设计值的20%。水位与流量自动监测系统能够实时反映运行状态,为病害识别提供动态数据支撑。

3.3 多源检测信息在灌区病害识别中的协同应用

多源检测信息协同应用是提升病害识别准确性的关键途径。通过整合巡查记录、仪器监测数据及运行调度信息,可构建完整的病害特征数据库。实际应用中,将裂缝发展速率、位移变化率与流量波动幅度进行关联分析,可识别潜在风险区段。当多项指标同时出现异常波动,如位移增长率超过年均值的1.5倍且渗漏量同步增加10%以上时,病害演化趋势更加明确。基于数据融合分析,可对病害程度进行分级判定,避免单一信息带来的判断偏差,为后续安全运行评估提供更具可靠性的技术依据。

4 灌区水利设施安全运行评估指标体系构建分析

4.1 灌区水利设施老化病害评估指标选取原则

灌区水利设施老化病害评估指标的选取应以工程安全运行需求为导向,注重指标对设施真实状态的反映能力。在技术层面,指标需具备可检测性和可量化特征,能够通过巡查记录或仪器监测获得稳定数据来源。结构类指标可采用裂缝宽度、变形量、强度折减率等参数,相关监测结果显示,当混凝土强度折减率达到15%时,结构安全储备明显下降。运行类指标应关注水位波动幅度、过水能力变化率等参数,统计数据表明,渠道过水能力下降超过10%后,运行风险显著增加。管理类指标需反映养护频率与设施状态之间的关系,如年度维修投入与病害发生率的相关系数可达到0.65以上^[2]。通过将技术可行性与数据敏感性相结合,确保指标体系能够客观刻画灌区水利设施老化病害水平。

4.2 灌区水利设施安全运行综合评价指标框架

安全运行综合评价指标框架应涵盖结构安全、运行状态与管理保障等核心维度,并形成层次清晰的技术体系。结构安全维度侧重反映设施承载能力与稳定性,可设置位移变化率、裂缝扩展速率和渗漏强度等指标,其中位移年变化量超过设计允许值的80%时,风险等级明显提高。运行状态维度关注水力条件与功能发挥情况,水位偏差控制指标常以设计水位 ± 0.2 米作为参考阈值,超过该范围运行不稳定性增强。管理保障维度通过检修周期、巡查覆盖率等指标反映运行支撑能力,数据分析表明,巡查覆盖率低于85%的灌区,病害漏判概率明显上升。该框架通过多维指标耦合,实现对灌区水利设施安全运行状态的综合刻画。

4.3 指标权重与评价等级划分方法设计

指标权重与评价等级划分是安全运行评估体系发挥作

用的关键技术环节。权重确定可结合专家评分与历史数据分析结果,对结构安全指标赋予较高权重,其权重系数一般控制在0.4至0.5区间,以突出结构稳定性在整体安全中的主导作用。运行状态与管理保障指标权重可分别设定在0.3和0.2左右,反映运行条件与管理水平的支撑效应。评价等级划分可依据综合得分区间进行设定,当综合得分高于85分时判定为安全运行状态,60至85分区间反映为存在一定风险,低于60分则表明安全隐患较为突出^[3]。通过明确权重分配与等级界限,使评估结果具备可比性和可操作性,为灌区运行管理决策提供量化依据。

5 灌区水利设施老化病害检测与安全运行综合评估方法

5.1 检测结果在灌区设施安全评估中的集成方式

灌区水利设施老化病害检测结果来源多样,既包括人工巡查形成的定性与半定量信息,也包括仪器监测获取的连续性数据,在综合评估中需通过技术集成实现信息协同。集成过程中,应以统一的数据结构为基础,对裂缝宽度、破损面积、位移量、渗漏强度等指标进行量纲统一与标准化处理。工程实践表明,将裂缝宽度0.3毫米、年均位移5毫米、渗漏量增长率10%设定为参考阈值,有利于不同检测结果的横向对比。对连续监测数据可采用时间序列分析方法提取趋势特征值,对巡查数据则通过等级量化方式转化为数值参数。通过建立综合数据库,实现不同来源数据在同一评价模型中的融合计算,使检测结果由分散状态转变为系统化评估输入,为安全运行评价提供完整的数据支撑。

5.2 灌区水利设施安全运行状态分级评价方法

安全运行状态分级评价以综合评估模型输出结果为依据,通过定量阈值划分反映设施运行风险水平。在技术实现上,可对结构安全、运行条件及管理保障等指标进行加权求和,形成单体设施或区段的综合评分。统计分析显示,当综合评分达到85分以上时,位移变化率和渗漏强度均低于控制阈值,设施处于稳定运行状态;评分介于70至85分之间时,部分指标呈现接近临界值趋势,表明风险处于可控但需关注状态;评分低于70分时,结构变形速率和功能退化指标明显偏高,运行安全隐患突出^[4]。通过这种分级方法,可将复杂的检测与计算结果转化为直观等级,便于灌区管理部

门快速识别风险区段并实施针对性管控措施。

5.3 评估结果对灌区水利设施运行管理的指导作用

综合评估结果在灌区水利设施运行管理中可作为制定维修计划和运行调度方案的重要依据。通过对评估等级的空间分布分析,可明确不同设施和区段的风险差异,从而优化资源配置。实际应用表明,将年度维修资金中不低于50%的比例投向评估等级偏低的区段,可在较短周期内显著改善设施状态,综合评分平均提升10分以上。评估结果还可用于运行方式调整,当某些设施评分接近风险阈值时,通过降低运行水位0.1至0.2米或减少高负荷运行时段,可有效减缓结构应力积累。通过持续更新评估数据并跟踪管理措施实施效果,逐步形成以评估结果为核心的动态管理机制,推动灌区水利设施运行管理向精细化和科学化方向发展^[5]。

6 结语

灌区水利设施老化病害的识别与安全运行评估是保障灌区长期稳定运行的重要基础工作。通过系统分析老化病害类型特征与形成机理,构建以常规巡查和仪器监测相结合的检测技术体系,并在此基础上建立科学合理的安全运行评估方法,可有效提升灌区设施风险识别的准确性与管理决策的可靠性。研究表明,将多源检测数据纳入统一评价框架,有助于全面反映设施运行状态,避免单一判断带来的偏差。相关评估成果在运行管理、维修决策及调度优化中的应用,能够推动灌区水利设施管理由经验依赖向数据支撑转变,对提升灌区供水安全保障能力和延长工程服役寿命具有积极意义。

参考文献

- [1] 陈明星.水利设施赋能城市建设发展的探索与实践——以山美灌区晋江灌片工程为例[J].海峡科学,2024,(01):97-101.
- [2] 王四海.灌区水利工程运行管理措施分析[J].水上安全,2024,(01):158-160.
- [3] 蔡玉梅.浅谈灌区水利工程运行管理措施[J].农业科技与信息,2022,(05):75-77.
- [4] 魏强.都江堰灌区小型农田水利设施管护及农户参与意愿研究[D].导师:唐宏;阮成.四川农业大学,2021.
- [5] 刘静雯.公共选择视角下泽口灌区水利设施管护制度创新研究[D].导师:危怀安.华中科技大学,2016.

Research on TV broadcast room monitoring system and operation and maintenance strategy of broadcast control equipment

Long Liu

Xinjiang Production and Construction Corps Radio and Television, Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract

This paper first systematically analyzes the above four core challenges, and then proposes optimization countermeasures from four aspects: equipment life cycle management, intelligent monitoring system construction, operation and maintenance team capacity improvement, and multi-level security protection, so as to provide practical guidance for improving the operation and maintenance level of the computer room and ensuring continuous and stable broadcasting.

Keywords

TV broadcast room; monitoring system; broadcast control equipment

电视播出机房监测系统及播控设备运维策略探究

刘龙

新疆生产建设兵团广播电视台, 中国·新疆 乌鲁木齐 830000

摘要

电视播出机房作为媒体内容输出的关键环节,其监测系统与播控设备的稳定运行是节目安全播出的基础。当前,机房运维面临设备老化衰减、监测智能化不足、运维团队能力短板及安全防护不完善等突出问题,严重制约运维效率与播出质量。本文先系统剖析上述四类核心挑战,再针对性从设备全生命周期管理、智能化监测体系构建、运维团队能力提升、多层次安全防护四方面提出优化对策,为提升机房运维水平、保障持续稳定播出提供实践指引。

关键词

电视播出机房;监测系统;播控设备

1 引言

电视播出机房是媒体信号传输的核心枢纽,直接决定节目播出稳定性与媒体公信力。随着IP化播控、云转播、AI监测等新技术快速应用,传统运维模式逐渐适配不足:设备长期高负荷运行导致老化衰减,网络接入加剧安全风险,运维团队面临技术迭代与人员断层压力,若运维问题得不到解决,易引发信号中断、画面卡顿等播出事故。在此技术变革与运维需求升级的背景下,探究机房监测系统与播控设备运维策略,成为保障媒体传播安全的关键课题。

2 电视播出机房监测系统及播控设备运维面临的问题挑战

2.1 设备老化与性能衰减问题

电视播出机房核心播控设备如编码器、切换台、信号

分配器,按需保障节目持续播出,长期处于高负荷运行状态,硬件部件老化速率显著加快,日常运行中易出现信号中断、画面卡顿等故障,直接影响播出质量。同时,部分老旧设备与新部署的监测系统存在兼容性矛盾,数据传输接口不匹配问题凸显,导致监测数据采集不完整,无法精准反映设备运行状态,而且故障维修时面临备件获取难的困境,不仅增加维修难度,还延长故障处理周期,进一步加剧播出风险。

2.2 监测系统智能化水平不足问题

当前部分机房监测系统仍依赖人工巡检的传统模式,该模式实时性薄弱,难以捕捉毫秒级信号抖动等瞬时异常,易错过故障预警关键时机。且监测数据分散存储于电源监测、环境监测、信号监测等独立子系统,缺乏统一的数据整合平台,无法实现多维度关联分析,难以从整体层面判断设备与系统运行隐患。同时,预警机制仅依赖阈值告警,对设备温度缓慢攀升等潜在故障预判能力不足,常错过最佳维护时机,导致小隐患发展为大故障。

【作者简介】刘龙(1988-),男,中国新疆乌鲁木齐人,本科,高级工程师,从事电视播出研究。

2.3 运维团队专业能力与梯队建设短板

随着 IP 化播控、云转播、AI 监测等新技术在机房的应用，技术迭代速度加快，但运维人员知识更新节奏滞后，对新型设备的原理、操作及故障排查能力欠缺，难以满足运维需求。同时，监测系统与播控设备运维人员职责划分模糊，跨系统协同能力薄弱，故障响应时易出现推诿、衔接不畅问题，降低故障处理效率。

2.4 安全防护体系不完善问题

在网络连接背景下，播控系统接入互联网后，勒索病毒攻击、非法入侵等网络安全风险显著提升，一旦遭遇攻击，将直接威胁信号播出安全。物理安全管理方面也存在漏洞，机房人员准入登记不严格、外来设备随意接入等行为，可能引入外部干扰，引发设备故障或数据泄露。且部分关键设备未配置冗余备份，应急备份机制不健全，突发故障时无法快速切换备用设备，导致播出中断时长增加，损害媒体传播公信力。

3 电视播出机房监测系统及播控设备运维优化对策

3.1 设备全生命周期管理与更新升级策略

设备全生命周期管理需以精细化信息管控为基础，构建完整的设备台账与健康档案体系。台账需详细记录设备型号、采购日期、安装调试报告、原厂维保周期及历次故障维修记录，确保设备全服役期信息可追溯；健康档案则依托监测系统实时采集核心运行参数，包括部件温度、工作电压波动值、累计运行时长及信号输出误码率等，形成动态更新的设备状态数据库。基于数据库数据，结合设备原厂设定的老化阈值与机房实际运行负荷，制定差异化动态维护计划：对编码器电源模块、切换台信号处理板等接近预警值的高风险部件，提前列入季度更换清单，从源头规避突发故障风险；对运行状态稳定的辅助设备，适当延长维护间隔，实现运维资源精准分配。^[1]

老旧设备更新需遵循“分阶段推进、核心优先”原则，避免大规模更新对播出稳定性造成冲击。优先替换主备编码器、高清信号分配矩阵等核心播控设备，及机房电源总监测单元、信号链路关键检测点等关键监测节点设备；选型时严格把控兼容性，优先选择支持 SMPTE 2110 IP 接口、RS485 数据通信接口的标准化产品，通过前期模拟测试确保与现有监测系统、信号传输链路无缝衔接。更新过程采用“单台替换+并行测试”模式：新设备安装后与旧设备并行运行 1-2 周，通过监测系统实时对比两者信号质量、运行稳定性数据，确认无异样后再逐步停用旧设备，保障更新期间播出不中断。

备件库管理需建立分类储备与动态调配机制，提升应急保障能力。针对散热风扇、信号线缆接头、电源适配器等易损部件，按 3-6 个月实际消耗量进行常规储备；针对已停产设备的专用备件，如老旧切换台控制主板、定制化信号转换器等，通过与第三方备件供应商签订长期合作协议、委托

原厂授权厂商定制加工等方式补充库存，并严格记录备件存储温湿度要求与有效期。同时制定月度盘点制度，结合设备故障记录调整备件储备数量，减少冗余库存；建立备件领用登记与归还核销流程，确保故障维修时能快速定位、调取备件，大幅压缩故障维修周期，降低播出中断风险。

3.2 构建智能化监测体系

构建智能化监测体系需以技术融合为核心，优先引入 AI 与物联网协同技术，搭建全域感知的监测网络。在信号链路关键节点部署高精度信号质量传感器，实时采集误码率、信号强度、帧同步状态等参数；在设备核心部件加装微型状态传感器，监测温度、电流、振动频率等运行数据；在机房空间内布设环境传感器，记录温湿度、空气质量、静电值等环境指标。同时，在机房本地部署边缘计算节点，将各传感器采集的数据进行实时本地化处理，无需传输至远端后台即可完成数据筛选与异常识别，可自动捕捉传统人工巡检难以发现的毫秒级信号抖动、微秒级电压波动等瞬时异常，实现对信号质量、设备状态、机房环境的 24 小时不间断监测，打破传统监测的时间与空间局限。

在此基础上，搭建具备数据汇聚、存储、分析功能的统一数据管理平台，打通电源监测、环境监测、信号监测等子系统的数据壁垒。平台需支持多类型数据格式的兼容接入，将分散的离散数据转化为结构化数据集，并通过数据清洗、标准化处理，消除不同子系统数据的格式差异。借助机器学习算法构建多维度关联分析模型，例如通过设备运行状态与环境参数的关联建模，当机房温度超过 30℃ 且设备核心部件温度同步上升 5℃ 时，系统可自动关联信号传输链路的误码率数据，判断是否存在“环境高温—设备过热—信号质量下降”的连锁风险；通过信号质量与设备参数的联动分析，当信号误码率突然升高时，可快速定位是信号源问题、传输链路问题还是设备处理模块问题，实现“设备状态—信号质量—环境参数”的跨维度联动预警。^[2]

预警机制的优化需依托数据积累与算法迭代，构建动态化、多维度的预警模型。系统需整合近 3-5 年的设备历史故障数据，包括故障发生时的运行参数、环境条件、信号状态等信息，通过 AI 算法挖掘故障发生的潜在规律。针对设备温度缓慢攀升、电源电压渐进式波动等潜在故障，建立趋势预警模型，设定动态预警阈值——如当设备温度以每周 1℃ 的速率持续上升时，即使当前温度未达固定阈值，系统也会触发预警；针对多因素叠加引发的故障，构建关联预警模型，例如当电源电压波动超过 ±5% 且机房湿度高于 65% 时，自动预警设备绝缘性能下降风险。预警触发后，系统需结合故障类型、设备型号、维护记录，推送具体维护建议，如“建议更换编码器散热风扇，当前风扇转速较额定值下降 20%”，为运维人员提供精准操作指引，避免盲目维护。

3.3 强化运维团队建设与能力提升

强化运维团队建设需从分层培训切入，构建覆盖不同

层级人员的能力提升体系。针对新入职人员，聚焦基础运维技能开展培训，内容涵盖核心设备的日常操作规范、信号链路的基础巡检流程，以及简单故障的排查方法，通过理论授课与模拟操作结合，确保新手快速具备独立上岗能力；针对骨干人员，围绕IP化播控协议调试、云运维平台资源调度、AI监测模型校准等新技术开展专项培训，每月组织1次设备厂家技术交流，邀请工程师讲解新型设备原理与故障处理要点，每季度举办案例分享会，由骨干人员复盘复杂故障的处理过程，促进技术经验沉淀。

同时建立“师徒带教+轮岗实践”双轨机制，为每位年轻人员指派经验丰富的核心运维人员作为导师，全程指导其参与主备编码器、信号分配矩阵等核心设备的维护工作，从故障预判到部件更换全程实操教学；安排年轻人员每半年在监测运维岗与播控运维岗轮岗一次，熟悉跨系统工作流程。此外，明确两类岗位职责边界：监测运维岗负责告警信号初步判定与数据分析，播控运维岗负责设备参数调整与硬件维修，制定《故障协同响应流程》，规定告警触发后监测岗需在5分钟内反馈故障类型与初步定位，播控岗同步启动设备排查，避免职责推诿。

引入科学的运维绩效考核机制，将关键运维指标量化纳入考核体系：按季度统计设备故障率，核心设备故障次数需控制在1次以内；设定故障处理时长标准，核心设备故障处理不超过30分钟，普通设备不超过1小时；考核预警准确率，以实际故障与预警信息的匹配度为依据。考核结果与绩效奖金、晋升资格直接挂钩，对连续3个季度考核优秀的人员给予专项奖励，对未达标的人员开展针对性补训，充分激发团队成员的工作主动性与技术提升动力。

3.4 完善多层次安全防护体系

网络安全防护需构建“技术防护+管理管控”双重屏障，从源头阻断风险入侵。在技术部署层面，需在播控系统网络边界部署下一代防火墙，基于白名单机制严格控制外部访问权限，仅开放必要的设备维护端口；同时加装入侵检测系统（IDS），实时监测网络流量中的异常数据包，对端口扫描、恶意代码传输等行为自动触发告警并阻断。针对信号数据与运维数据，采用AES-256加密算法对传输链路及存储节点进行加密处理，防止数据被窃取或篡改。在管理层面，严格限制播控系统互联网接入，核心设备网络采用物理隔离设计，确需联网的监测终端需通过专用安全网关接入，并定

期开展网络安全漏洞扫描，每季度组织1次勒索病毒、非法入侵等场景的应急演练，提升团队应急处置能力。^[3]

物理安全管理需强化全流程管控，筑牢机房实体防护防线。人员准入环节严格执行“双人验证”机制，进入机房需同时验证门禁卡与本人人脸信息，且需两名授权人员共同在场方可开启设备区柜门，避免单人冒用权限或违规操作；外来设备接入机房前，必须通过专用安全检测设备进行病毒查杀与恶意程序扫描，确认无风险后才能接入临时接口，杜绝外部设备引入安全隐患。机房内部需实现监控全覆盖，在设备机柜区、出入口、备件存储区等关键位置安装高清红外摄像头，支持24小时录像与移动侦测报警；夜间无人时段启动红外报警系统，一旦检测到非法闯入，立即触发声光告警并同步推送信息至运维人员手机，确保机房动态实时可控。

应急备份优化需聚焦“冗余配置+实战演练”，提升故障恢复效率。关键设备需采用冗余部署模式，主备切换台、核心服务器等核心设备配置热备份系统，通过实时数据同步实现“无缝切换”，即主设备故障时，备用设备可在30秒内自动接管业务；易损部件在备件库中预留至少2套备用件，确保快速替换。同时制定精细化应急演练方案，针对信号中断、设备宕机、网络故障等不同场景明确操作流程。

4 结语

本文围绕电视播出机房监测系统与播控设备运维展开深入探究，明确了设备老化、智能监测不足、团队断层、安全漏洞四大核心挑战，并对应提出全生命周期管理、智能体系构建、团队建设强化及多层次安全防护的优化对策。这些策略可有效破解运维痛点，完善运维机制，提升设备可靠性与播出安全性。未来可结合更前沿技术深化运维创新，其成果对媒体行业机房运维实践具有重要参考价值，助力持续保障媒体传播公信力与播出稳定性。

参考文献

- [1] 张建军. 电视播出机房的监测系统与播控设备的运行维护[J]. 电视技术, 2025, 49(05): 192-194.
- [2] 高昱锋, 高玉娟, 魏鹏, 等. 电视播出机房综合监测报警系统设计与应用[J]. 广播电视网络, 2023, 30(12): 54-56.
- [3] 范遥远. 广播电视播出机房安全运行的可靠性研究[J]. 西部广播电视, 2023, 44(03): 222-224.

Determination of 12 kinds of phthalate esters in the soaking solution of flexible hoses contacted with drinking water by high performance liquid chromatography - triple quadrupole mass spectrometer

Lianjie Ling Jiawei Bai Mengqi Yu Pengfei Jiao Jianwei Mao

Beijing Building Materials Testing Academy Co., Ltd., Beijing, 100041, China

Abstract

A method was set up for the determination of 12 kinds of phthalate esters in the soaking solution of flexible hoses contacted with drinking water by high performance liquid chromatography - triple quadrupole mass spectrometer. The soaking solution of flexible hoses contacted with drinking water was processed using the US EPA 3510C separatory funnel liquid-liquid extraction method, followed by gradient elution with methanol and water as mobile phase. Qualitative and quantitative analysis was performed by multiple reaction monitoring mode in the positive ion mode with the electrospray ionization source. Twelve phthalate esters can be separated by this method. The correlation coefficients of the standard curves for the target analytes were above 0.995 within the linear range. The limits of detection were 0.008 $\mu\text{g/L}$ ~0.030 $\mu\text{g/L}$. The recoveries were 93%~118%. The relative standard deviations were 0.32%~4.44%. This method has low detection limit and is accurate and reliable, which can further improve the detection quality of phthalate esters in the flexible hoses contacted with drinking water.

Keywords

phthalate esters; high performance liquid chromatography - triple quadrupole mass spectrometer; flexible hoses contacted with drinking water

高效液相色谱—串联质谱法测定饮用水软管浸泡液中 12 种邻苯二甲酸酯

凌廉杰 白佳威 于孟琦 焦鹏飞 毛建伟

北京建筑材料检验研究院股份有限公司, 中国·北京 100041

摘要

建立了饮用水软管浸泡液中12种邻苯二甲酸酯的高效液相色谱-串联质谱测定方法。饮用水软管浸泡液经US EPA 3510C分液漏斗液-液萃取法处理后,以甲醇和水为流动相进行梯度洗脱,在电喷雾离子源正离子模式下以多反应监测模式进行定性和定量分析。本方法可以有效分离12种邻苯二甲酸酯,在线性范围内目标物标准曲线的相关系数均 ≥ 0.995 ,检出限为0.008 $\mu\text{g/L}$ ~0.030 $\mu\text{g/L}$,加标回收率为93%~118%,相对标准偏差为0.32%~4.44%。本方法检出限低且准确可靠,可以进一步提高饮用水软管中邻苯二甲酸酯析出的检测质量。

关键词

邻苯二甲酸酯; 高效液相色谱-串联质谱法; 饮用水软管

1 引言

邻苯二甲酸酯作为增塑剂被广泛应用于工业合成,相关产品包括软管、涂料、胶粘剂、玩具等,涉及建筑材料、生活用品等多个领域^[1]。作为一类环境激素,长期接触邻苯

二甲酸酯会影响生物体内激素的正常分泌,造成生殖系统的损害,导致细胞突变、致畸和癌症^[2-3]。

饮用水是人与邻苯二甲酸酯接触的主要途径之一,而饮用水中的邻苯二甲酸酯主要来源于水源污染以及饮用水软管析出^[4]。相关标准 GB/T 23448-2019《卫生洁具 软管》中给出了饮用水软管中 5 种邻苯二甲酸酯析出的气相色谱-质谱检测方法,为了进一步提高检测质量,本研究采用高效液相色谱-串联质谱法,同时检测 12 种邻苯二甲酸酯类有机化合物:邻苯二甲酸二甲酯(DMP)、邻苯二甲酸二乙酯(DEP)、邻苯二甲酸二丙酯(DPRP)、邻苯二甲酸二异丁酯

【基金项目】北京建筑材料检验研究院股份有限公司科研项目(项目编号: KYHJ017)。

【作者简介】凌廉杰(1995-),男,中国河南许昌人,硕士,工程师,从事建筑材料、环境中有害物质检测研究。

(DIBP)、邻苯二甲酸二丁酯(DBP)、邻苯二甲酸丁苄酯(BBP)、邻苯二甲酸二环己酯(DCHP)、邻苯二甲酸二己酯(DHXP)、邻苯二甲酸二(2-乙基己)酯(DEHP)、邻苯二甲酸二正辛酯(DNOP)、邻苯二甲酸二异壬酯(DINP)和邻苯二甲酸二异癸酯(DIDP)。

2 实验部分

2.1 仪器和试剂

AB SCIEX QTRAP 4500 三重四级杆质谱, 配有 Shimadzu LC-20AD 液相进样系统; 恒奥科技 HSC-24B 圆形水浴氮吹仪。

邻苯二甲酸酯混合标准品 (ANPEL, 1000 mg/L); 二氯甲烷 (色谱纯); 甲醇 (LC-MS 级); 超纯水。

2.2 仪器条件

2.2.1 色谱条件

色谱柱: Poroshell 120 SB-C₁₈ 柱 (2.7 μm); 柱温: 40 °C; 流速: 0.3 mL/min; 梯度洗脱程序见表 1。

表 1 梯度洗脱程序

梯度时间/min	A 相 (水) /%	B 相 (甲醇) /%
0-2	90	10
13	0	100
16-18	90	10

2.2.2 质谱条件

离子模式: 电喷雾离子源 (ESI), 正离子模式; 离子化电压: 5500 V; 离子源温度: 500 °C; 雾化器压力: 50 psi; 监测方式: 多反应监测 (MRM); 质谱参数条件见表 2。

表 2 质谱参数条件

	母离子 (m/z)	子离子 (m/z)	碰撞电压 (V)	去簇电压 (V)
DMP	195.1	163.0	16	31
		77.0	46	
DEP	223.1	177.0	12	79
		149.0	23	
DPRP	251.1	149.0	20	85
		191.1	11	
DIBP	279.1	149.0	21	116
		205.0	10	
DBP	279.1	149.0	21	116
		205.1	10	
BBP	313.1	149.0	17	106
		91.1	40	
DCHP	331.2	149.0	36	100
		167.0	19	
DHXP	335.2	149.0	19	116
		233.1	11	
DEHP	391.2	149.0	28	110
		166.8	19	
		278.9	13	

	母离子 (m/z)	子离子 (m/z)	碰撞电压 (V)	去簇电压 (V)
DNOP	391.2	149.0	28	118
		166.8	19	
		121.0	69	
DINP	419.2	149.0	38	114
		71.0	27	
DIDP	447.2	141.2	16	111
		149.0	50	

2.3 样品处理

按照 GB/T 23448-2019《卫生洁具 软管》附录 B 规定的浸泡方式获得饮用水软管的浸泡液, 浸泡液参照 US EPA 3510C 分液漏斗液-液萃取法进行提取。

3 结果与讨论

3.1 邻苯二甲酸酯标准品检测结果

12 种邻苯二甲酸酯的多反应监测总离子流色谱图见图 1。DIBP 和 DBP、DEHP 和 DNOP 为两对同分异构体, 在定量选择离子相同时, 同分异构体出峰时间较为接近, 但仍可进行有效分离。DINP、DIDP 均为同分异构体的混合物, 在采用气相色谱质谱法检测时, 两者出峰存在部分重叠且均为“五指峰”, 对峰面积进行积分比较困难^[5], 采用高效液相色谱-串联质谱法检测时两者出峰不重叠且峰形较为尖锐, 易进行峰面积积分。

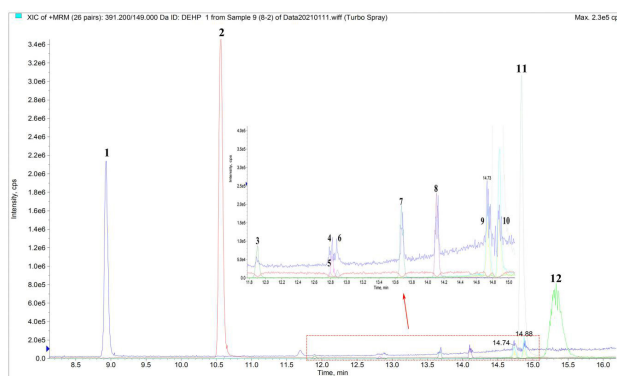


图 1 12 种邻苯二甲酸酯的多反应监测总离子流色谱图 (1-DMP; 2-DEP; 3-DPRP; 4-DIBP; 5-BBP; 6-DBP; 7-DCHP; 8-DHXP; 9-DEHP; 10-DNOP; 11-DINP; 12-DIDP)

3.2 标准曲线及检出限

采用多反应监测模式对 12 种邻苯二甲酸酯的标准工作溶液进行定量分析, 通过空白样品加标的方法测定各组分的检出限, 结果见表 3。DINP 和 DIDP 在 0.2 mg/L~50 mg/L、其余组分在 0.02 mg/L~5 mg/L 范围内浓度与响应值呈良好的线性关系, 相关系数均 ≥ 0.995。12 种邻苯二甲酸酯的检出限为 0.008 μg/L~0.030 μg/L。

表 3 12 种邻苯二甲酸酯的标准曲线及检出限

	标准曲线方程	相关系数 R ²	检出限 (μg/L)
DMP	$y = 3760640x + 4449.75$	0.99977	0.008
DEP	$y = 7123050x + 387467$	0.99600	0.012
DPRP	$y = 49447.3x - 2032.73$	0.99886	0.027
DIBP	$y = 10014.97x + 559.84$	0.99903	0.025
DBP	$y = 5665.58x - 55.47$	0.99945	0.030
BBP	$y = 29524.47x - 861.56$	0.99953	0.019
DCHP	$y = 105361x - 3694.21$	0.99973	0.012
DHXP	$y = 130994x + 4969.35$	0.99963	0.020
DEHP	$y = 90789.1x + 142966$	0.99873	0.018
DNOP	$y = 96874.4x + 29487.95$	0.99606	0.019
DINP	$y = 959063x + 146224$	0.99762	0.014
DIDP	$y = 587786x + 212521$	0.99989	0.021

3.3 精密度和回收率

通过实际样品加标的方法进行精密度和回收率试验,检测结果表明,12种邻苯二甲酸酯的回收率为93%~118%,相对标准偏差为0.32%~4.44%,方法准确可靠。

3.4 实际样品测试

采用高效液相色谱-串联质谱法对8种饮用水软管的浸泡液以及空白浸泡液中12种邻苯二甲酸酯含量进行检测,检测结果见表4。BBP、DNOP在8个样品中均未检出;DPRP、DIBP、DCHP、DHXP仅在1个或2个样品中有检出且含量较低;DEP、DBP、DEHP、DINP、DIDP在一半以上样品中可以检出,其中DEHP含量相对较高,应该重点关注;DMP在8个样品中均有检出,同样值得关注。

表 4 实际样品检测结果 (单位: μg/L)

	DMP	DEP	DPRP	DIBP	DBP	BBP	DCHP	DHXP	DEHP	DNOP	DINP	DIDP
空白	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
样 1	1.73	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.82
样 2	3.18	0.036	—	—	—	—	—	—	17.7	—	0.176	8.66
样 3	7.12	0.368	—	—	2.38	—	—	—	65.6	—	0.683	18.5
样 4	8.27	0.200	—	—	0.936	—	—	—	18.1	—	0.243	9.24
样 5	6.52	0.211	—	—	0.867	—	—	—	10.6	—	0.301	10.9
样 6	4.76	0.785	—	—	2.08	—	—	—	7.99	—	0.329	—
样 7	7.60	0.252	—	—	1.18	—	—	0.135	—	—	0.201	5.91
样 8	2.20	0.287	0.222	0.114	0.520	—	0.190	0.417	—	—	1.83	5.26

4 结论

建立了可以同时测定饮用水软管浸泡液中12种邻苯二甲酸酯的高效液相色谱-串联质谱法,该方法检出限低且准确可靠,可以进一步提高饮用水软管中邻苯二甲酸酯析出的检测质量。

参考文献

[1] 王小逸,林兴桃,客慧明,等.北京地区家庭中邻苯二甲酸酯类环境污染物的调查[J].环境与健康杂志,2007,24(010):820-821.

[2] 林兴桃,王小逸,任仁.环境内分泌干扰物——邻苯二甲酸酯的研究[J].环境污染与防治,2003(05):286-288.

[3] 叶曦雯,王卉卉,牛增元,等.高效液相色谱法对水性涂料中11种邻苯二甲酸酯类的同时测定[J].分析测试学报,2009,028(005):550-554.

[4] 张付海,张敏,朱余,等.合肥市饮用水和水源水中邻苯二甲酸酯的污染现状调查[J].环境监测管理与技术,2008,20(002):22-24.

[5] 王成云,张绍文,张伟亚. PVC玩具和儿童用品中6种限用邻苯二甲酸酯类增塑剂的同时测定[J].聚氯乙烯,2008,36(002):30-33.

Structural Properties and Engineering Application Analysis of Polyester and Epoxy Glass Fiber Reinforced Plastic Pipe

Yujun Sun

Lianyungang Zhongfu Lianzhong Composite Materials Group Co., Ltd., Lianyungang, Jiangsu, 222000, China

Abstract

Polyester and epoxy fiberglass pipes have formed a typical application system of “medium and low pressure long-distance buried” and “medium and high pressure multi-bend surface or buried mixed” in scenarios such as China’s water supply and drainage, municipal sewage, chemical medium transportation, and oil and gas field gathering and injection. This paper, using continuous winding and traditional winding process documents, epoxy pipe design and inspection documents as clues, combined with China’s current standard clauses and engineering practices, discusses the differences between the two resin systems in terms of lining, anti-seepage, pressure-bearing, and connection structures, and proposes operational design selection, manufacturing control, on-site installation, and pressure test acceptance points accordingly. The study shows that the fiber orientation and curing method of the structural layer determine the safety margin for pressure-bearing and external pressure resistance, while the connection interface and backfilling conditions jointly affect the service life and leakage risk.

Keywords

polyester and epoxy glass fiber reinforced plastic pipes; structural performance; engineering applications; strategies; analysis

聚酯与环氧玻璃钢管道结构性能及工程应用分析

孙玉军

连云港中复连众复合材料集团有限公司, 中国·江苏·连云港 222000

摘要

聚酯与环氧玻璃钢管道在中国给排水、市政排污、化工介质输送与油气田集输注水等场景中形成了“中低压长距离埋地”与“中高压多弯头地面或埋地混合”的典型应用体系。本文以连续缠绕与传统缠绕工艺文件、环氧管设计与检验文件为线索, 结合中国现行标准条款与工程实践, 讨论两类树脂体系在内衬、防渗、承压与连接构造方面的差异, 并据此提出可操作的设计选型、制造控制、现场安装与试压验收要点。研究表明, 结构层纤维取向与固化方式决定承压与抗外压的安全裕度, 连接界面与回填工况共同影响寿命与泄漏风险。

关键词

聚酯与环氧玻璃钢管道; 结构性能; 工程应用; 策略; 分析

1 引言

玻璃钢管道依靠树脂基体与玻璃纤维层结构协同承载, 内衬层控制渗透与耐介质腐蚀性, 结构层以铺层角度提供承压与刚度。比如给排水工程中, 聚酯基夹砂管的分类、环刚度等级与试验方法在 GB/T 21238 等标准中已体系化规定。又比如在油气田注水、集输与化工输送中, 环氧玻璃钢管更关注长期静水压与接头可靠, 工程设计与验收常参考 SY/T 6769.1 等行业规范。本文据此提炼结构性能要点, 并以制造、连接、敷设与试压为主线提出可核查的应用策略。

【作者简介】孙玉军(1976-), 男, 中国江苏连云港人, 本科, 中级工程师, 从事复合材料玻璃钢聚酯管道、环氧管道及其制品的设计、制造、安装、验收; 结合项目的应用和改进分析研究。

2 聚酯与环氧玻璃钢管道概述

聚酯玻璃钢管道以不饱和聚酯树脂为基体, 配合短切毡、针织毡与无碱玻纤, 必要时引入石英砂形成夹砂结构, 以缠绕或连续缠绕方式成型, 内衬层负责耐介质腐蚀与防渗, 结构层承担环向与轴向载荷, 夹砂层提升环刚度并抑制短期变形。生产环节强调分层用胶与定量输送, 内衬树脂与结构层树脂分别计量并与纤维、石英砂浸润混合。环氧玻璃钢管道以双酚 A 型环氧树脂及酸酐或胺固化体系为主, 常配套螺纹或机械接头实现连接^[1]。承插“O”型圈产品在承口端规定范围增设针织毡加强以改善接头区应力过渡。

3 聚酯与环氧玻璃钢管道结构性能分析

3.1 层合承压与纤维取向

聚酯与环氧玻璃钢管的承压能力由结构层环向纤维占比、浸润质量与固化程度共同决定。聚酯体系在常温固化条

件下更依赖促进剂与引发剂的配比,生产中通过稳定缠绕张力与滚压排气,避免夹杂与局部脱层,从而控制环向强度离散。环氧体系以固化反应控制为主,升温与保温阶段将温度波动限定在窄范围并在高温段保持至完全固化。检验环节常以DSC与T_g指标反推固化充分性,并与静水压或爆破压力形成互证。端部与接头区还需通过铺层角度与局部加强实现应力过渡,避免轴向载荷在短距离内突变引发开裂。

3.2 环刚度与抗外压稳定

埋地工况下,玻璃钢管结构评价不能只看内压,还需把土压力、回填压实与交通荷载转化为外压稳定问题。聚酯夹砂管通过在结构层与外层之间布置石英砂夹层提高弯曲刚度并降低短期变形,连续缠绕工艺对切纱与落砂位置实行错位并保留距离,避免纤维与砂料在同一落点叠加形成弱界面。大口径高刚度产品在成型支撑阶段还对托轮夹角作限定,以减小未完全固化时的椭圆化。环氧玻璃钢管虽少采用厚夹砂层,但可通过提高结构层模量与控制固化收缩抑制椭圆度增长,并在埋地段通过止推与支墩体系降低弯头区附加外载,从而减少回填不均引起的局部屈曲与开裂敏感性风险。

3.3 固化充分性与热湿稳定

聚酯与环氧玻璃钢管的热环境适应性,直接体现为固化充分性、残余应力水平与介质渗透速率的综合结果。聚酯体系多在常温条件下固化,需通过凝胶时间与放热峰控制避免厚壁区域过热产生微裂纹,并在配方端稳定促进剂与引发剂比例,使反应速率与缠绕节拍匹配,同时在外表层采取封闭与脱粘措施以形成连续树脂膜,延缓水解与氧化。环氧体系通常配置分段升温的后固化制度,酸酐与胺类体系对加温介质压力与升温速率均设下限控制,借助阶梯保温把反应推进到高转化率,并以热分析指标作为过程判定口径。若升温过快或保温不足,玻璃化转变温度偏低会在运行温度下引起模量衰减并促使螺纹区应力松弛。工程上应把介质温度、现场固化条件与检验判据统一到同一技术文件中,避免仅凭室温硬度或外观判断耐久。

3.4 连接界面与耐久防渗

聚酯与环氧玻璃钢管道的失效多从连接界面启动,其结构性能宜以界面强度、渗透路径与施工可控性耦合评价。对接层压连接,现场结构层应分次补强,单层铺放厚度受限并在每层滚压赶尽气泡,避免形成毛细渗漏通道,内壁成型应保证过渡圆滑并避免台阶,配套工艺还对推荐树脂含量给出区间并要求首层与最外层不刮胶,以减少树脂贫化层。环氧螺纹或机械接头的关键在于密封面完好与预紧力稳定,装配时按温度分档控制扭矩并防止端部损伤。长期运行中,若固化不足或密封面受损,介质会沿纤维与树脂界面渗入并触发层间疲劳扩展,因此连接段应与固化与检验制度同步设定^[2]。

4 聚酯与环氧玻璃钢管道工程应用策略

4.1 制造过程的分层质量控制

为保证聚酯与环氧玻璃钢管在给排水、化工与海工等工况下的耐蚀与承载一致性,制造端应把内衬与结构层作为两条质量进行闭环控制。第一,聚酯管内衬胶料与结构层胶料分路计量与输送,配置计量泵并复核计量偏差,按配方控制黏度与凝胶时间,胶杯法复核凝胶时间,促进剂与固化剂先稀释后加入并满足最低搅拌时长,搅拌罐液位留出安全余量,中转桶上口设置金属网过滤并按运行小时清洗过滤与淋胶孔,树脂槽温度与回流量监控以稳定浸润,避免凝胶颗粒进入浸润区造成条纹与孔洞,同时内衬耐介质体系、结构层选高模量体系并对每批胶做凝胶时间对照。第二,缠绕成型对短切纱落点与夹砂落点实行错位布置并保持轴向间距,切纱刀与砂嘴位置用标尺锁定,砂料入仓前进行粒径级配与含水量抽检,含水量偏高时先烘干或更换并用压缩空气疏通供砂管路,供气压力维持工艺窗口以稳定砂幕,DN2000以上管材对托轮夹角与支撑间距窄区间控制并在线测椭圆度,偏离时优先调整支撑与纤维张力并校核缠绕角度。第三,网格布与毡类铺设执行张力与搭接宽度控制,搭接边沿划定定位线并采取错缝搭接,滚压排气与补喷浸润同步,局部堆积层数按工艺卡限制并在胶化前清除疙瘩与干斑,修磨仅限轻修整且磨削方向顺纤维,边角处补喷封闭以避免纤维切断与树脂贫化^[3]。第四,环氧管固化以温度与时间双指标管理,升温与保温阶段温度公差控制在 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 内,超限时通过调风量或吹气纠偏并记录,厚壁环氧管采用分段升温或内加热以减小径向温差,最高温段持续保温至表面硬度稳定并按批抽测T_g确认固化程度,降温阶段缓冷并在脱模前把管壁温度降至脱模窗口。

4.2 连接与接头施工的可控化

为提升聚酯与环氧玻璃钢管道工程连接的一致性,现场宜将关键尺寸、树脂反应与装配受力纳入可追溯工序。第一,对聚酯玻璃钢管对接层压或承插修补,先用定位卡具锁定同轴并复核对接间隙,端部按工艺坡口打磨后脱脂除尘,铺层由内向外进行且单层厚度控制在规上上限内,滚压排气与补胶同步直至纤维全透胶无白斑,弯曲段逐层调整纤维角度与搭接宽度并在外层做圆角收口。第二,层压树脂按推荐树脂含量与固化体系计量搅拌,记录批号、环境温度与可使用时间,首层及最外层不刮胶以保留富树脂表面,承插加工面先涂密封树脂形成连续富树脂层且厚度不小于0.25 mm,再用球囊或内模具分段压实,固化达到工艺规定后拆除压实工具并复查内壁过渡连续、无气泡空洞与干斑。第三,承插双O型圈接头除检视承口端加强层、端面缺陷与密封槽光洁度外,应按公称直径控制端面垂直度并在插口做深度标记,装配前清洁承插面并涂相容润滑介质,推入时保持轴线一致匀速到位,禁止敲击加强区,装配后核对胶圈未翻转并

复查单口试压孔与进水嘴贴合不渗漏。第四,环氧树脂玻璃钢螺纹或机械接头连接前保持保护帽完好并清洁密封面,干毛刷清理螺纹颗粒后用环规测至收紧位置并记录旋合牙数,按规定采用聚四氟乙烯密封带与密封胶控制旋合阻力,按环境温度选取扭矩范围并分步均匀上紧,过渡到钢制系统时使用专用转换件并校核同轴度,完工后对外观、扭矩复核与端部损伤建立记录闭环。

4.3 埋地敷设、回填与止推协同

埋地敷设应把搬运防损、沟槽支承、回填约束与止推构造纳入同一质量链控制,使聚酯与环氧树脂管在土体中获得连续受力边界。第一,进场验收核对外观与承插口尺寸,装卸采用叉车或软吊带并配护角,控制吊点间距与摆动幅度,严禁钢缆勒吊、滚落和抛掷,落地用木枕隔离硬地面,堆场找平排水后限高堆码,两层管间垫木条并保持端部保护帽完好,碰伤部位按修补工艺即时封闭。第二,管沟开挖后复测底宽与高程,沟底清除尖锐杂物,软弱地基先换填级配砂石并分层夯实,必要时采取降排水,管底铺中粗砂垫层并整形成连续弧形床,按设计控制有效支承角且两侧对称,穿越硬软交界处加过渡垫层或土工布,避免局部悬空引起椭圆度增长与接口受剪。第三,回填按先侧后顶、分层对称实施,管侧回填料选细粒土或筛分砂,粒径与含水量受控,管腋用人工捣固或小型夯机密实至规定压实度以形成侧向约束,回填至管顶以上 0.3m 后方可机械碾压,碾压避开直接跨压承口,同步布设压实度检测点并复核中心线与高程,出现空洞或位移即返工。第四,弯头、三通、变径及高压管箍段配置止推座并与回填衔接施工,按 $A=T/\sigma a \times F_s$ 核算受力面积,止推受力面浇筑在未翻动原土上并定位对准管中心,浇注前对穿越段加橡胶垫或聚乙烯隔离层,混凝土达强度后分级加压,4英寸 16MPa 的 45° 弯头推力约 $4.97 \times 10^4 \text{N}$,沙质泥土 σa 约 $1.44 \times 10^4 \text{kg/m}^2$ 且 F_s 为 1.5 时受力面积约 0.52m^2 ,长距离管线在折点与阀室附近按间距分设止推座^[4]。

4.4 试压验收与运行期修复

为确保聚酯与环氧树脂管道投运质量,试压验收与运行期修复应抓住关键控制点。第一,试压前逐根核查管体、管件外观与端部保护,重点识别擦伤是否进入结构层,承插胶圈、法兰密封面清洁无砂粒,支墩或止推座达到强度且管侧回填已形成约束,接口处留出观察面,注水自下游缓

慢充满并在高点排气,对新做层压或包覆区按测点抽测巴氏硬度核固化^[5]。第二,升压采用分级缓升与稳压观察,预试验升至试验压力稳压 30min,允许补水但不得超压,巡检接口渗漏、管体渗汗,异常即卸压处理,主试验停补压稳定 15min 并核对允许压力降后,将压力降至工作压力恒压 30min 复查外观,试压期间两端及后背顶撑处严禁站人,缺陷仅可标记后卸压修补。第三,出厂与到场复核宜将固化充分性与承压试验写入条款,聚酯夹砂管可按产品标准逐根完成外观、尺寸及巴氏硬度检验,环氧体系除水压外宜结合 Tg 与 DSC 残余放热评估固化,对现场二次粘接或层压接头,按工艺评定点数测量巴氏硬度并取平均值,扭矩与对中偏差同步复核以压缩装配变量。第四,运行期渗漏或外伤先隔离泄压并排空,修复区保持干燥,低压且非结构贯穿可用鞍形补片或套筒式管箍止漏并复核夹紧力,涉及结构层裂纹或纤维外露时,按斜坡修补法打磨成渐变搭接面,手糊分层包裹并滚压排气,固化达规定硬度后再分级升压复压验证界面稳定。

5 结语

综上所述,聚酯与环氧树脂管道在中国分别形成以夹砂管网为代表的市政输配体系与以高压环氧管线为代表的油气田管线体系。结构性能的关键不在单一材料参数,而在内衬致密性、结构层取向、固化充分性与连接界面质量的协同控制。面向工程实施,制造端应以计量、浸润、固化与检验构成可追溯闭环,现场端应以连接、回填、止推与试压构成可复核链条。

参考文献

- [1] 周彬,朱炳麟.玻璃钢结构力学性能试验研究[J].河南科技, 2021, 40(34):3.
- [2] 席卫民,李强,牛建升,等.玻璃钢用不饱和聚酯树脂的生产方法[J].福建化工, 2021(7):16-18.
- [3] 龚常胜.燃气联合循环发电厂大口径玻璃钢管施工工艺技术[J].装饰天地, 2022(18).
- [4] 张羲黄,李金柱,武海军,et al.静,动态压缩下环氧树脂玻璃钢的力学行为和特性[J].Chinese Journal of High Pressure Physics, 2021, 35(6).
- [5] 张晨,周松林,南洋,等.环氧树脂粘度对玻璃钢管道抗拉强度的影响[J].纤维复合材料, 2022(1).

Analysis of Ethylene Glycol Loss in Natural Gas Dehydration Process and Countermeasures

Haibin Yu

PetroChina Liaoning Oil Storage Co., Ltd., Panjin, Liaoning, 124000, China

Abstract

In the natural gas dehydration systems of onshore gas gathering stations, purification plants, and offshore platforms, ethylene glycol solvents can serve both as hydrate inhibitors under low-temperature conditions and as circulating dehydrating agents in glycol absorption processes. Ethylene glycol loss is not a single equipment issue but is often driven by factors such as gas entrainment, foaming contamination, regeneration venting volatilization, and on-site cleaning and drainage. The loss tends to accumulate more easily during conditions of rising liquid hydrocarbon levels, compressor operation fluctuations, and frequent equipment startups and shutdowns. Increased loss can lead to reduced dehydration depth, pump and valve erosion, and higher alcohol content in wastewater. Additionally, offshore scenarios often include ethylene glycol regeneration and recovery units, where solvent loss is also reflected through wastewater pathways. This paper analyzes the causes of ethylene glycol loss in typical China gas stations and proposes control strategies for operation and maintenance.

Keywords

natural gas; dehydration process; ethylene glycol loss; cause analysis; countermeasures

天然气脱水工艺乙二醇损耗原因分析及应对策略

于海滨

中石油辽油(辽宁)储气库有限公司, 中国·辽宁 盘锦 124000

摘要

在陆上集气站、净化厂及海上平台的天然气脱水系统中, 乙二醇类溶剂既可作为低温工况的水合物抑制剂, 也可作为甘醇吸收法的循环脱水剂。乙二醇损耗并非单一设备问题, 常由气相夹带、发泡污染、再生放空挥发与现场排污清洗等因素共同驱动, 且在含液烃上升、压缩机工况波动和装置启停频繁时更易累积。损耗上升会引起脱水深度下降、泵阀磨蚀与污水含醇增加。同时, 海上场景常配套乙二醇再生回收单元, 溶剂损耗还会通过污水路径体现。本文对中国典型站场乙二醇损耗成因进行拆解, 并提出面向运行维护的控制策略。

关键词

天然气; 脱水工艺; 乙二醇损耗; 原因分析; 应对策略

1 引言

乙二醇是油气场站常见的水合物抑制剂, 对天然气净化处理至关重要, 但乙二醇损耗会造成重大经济损失。乙二醇在接触、分离、闪蒸与再生回路内循环, 损耗通常由夹带、发泡污染、挥发放空及排污清洗等环节叠加放大^[1]。运行经验显示, 原料气温度升高会增加甘醇气化损耗, 贫液入塔温度过低则可能诱发烃液冷凝并导致发泡。下文据此展开成因分析与对策研究。

2 天然气脱水工艺乙二醇损耗原因分析

2.1 气相夹带与捕雾失效

乙二醇在接触塔内以液膜或雾滴形式与湿气逆流接触,

当塔顶气速偏高、塔板起泡或填料表面被凝析油润湿后, 雾滴粒径细化并随气相上升。塔顶捕雾器压降偏低常对应丝网破洞或旁路短路, 压降偏高则可能因油泥与盐类黏附而堵塞, 两种状态都会削弱雾滴聚集回流能力, 使乙二醇随干气带出。中国不少集气站处理量季节性波动明显, 叠加压缩机喘振或旁通切换, 瞬时气速脉动会诱发液泛并放大夹带。该类损耗具有突发性和隐蔽性, 外输水露点有时仍处在合格临界附近, 但回收罐液位、污水含醇及下游过滤器压差会同步上升, 运行人员若仅从再生温度判断易出现误诊, 且常伴随下游计量偏差。

2.2 液烃与药剂污染引发发泡

在含凝析油或伴生轻烃的气田, 气井计量分离器脱液不彻底时, 微量液烃进入乙二醇回路会在吸收塔内形成稳定泡沫膜。泡沫占据传质空间并诱发液位计抖动, 液相表观黏度上升后更易发生塔顶夹带。污染物来源除液烃外, 还包括

【作者简介】于海滨(1988-), 男, 中国河北唐山人, 本科, 高级工程师, 从事地面建设和油气储运研究。

缓蚀剂、破乳剂串入、消泡剂反复补加后的残留聚合物、地层细砂及铁硫化物等固体颗粒，这些物质会改变乙二醇表面张力与界面电荷，促进乳化并使泡沫难以破碎。渤海某平台运行总结指出，天然气携带杂质可造成甘醇溶液发泡并伴随高温降解，现场不得不频繁收油而带来显著溶剂消耗。酸性气田还可能因有机酸盐累积导致溶液起泡倾向增强，页岩气返排液夹带的表面活性剂残留也会加重乳化，形成持续性损耗背景。该类损耗通常呈缓慢爬升态势^[2]。

2.3 再生放空与气化损耗

乙二醇在再生塔或再沸器中被加热脱水，塔顶通过冷凝与放空排出水蒸气、轻烃及溶解气。若再沸器热流量过高或液位偏低，局部过热会促使乙二醇及其轻组分挥发并随塔顶蒸汽带走，形成不易被现场察觉的气化损耗。工程资料指出，入口天然气温度升高会增加甘醇的气化损失，同时也可能诱发发泡。部分站场为追求更低水露点而提高再生温度或加大汽提气量，塔顶蒸汽负荷随之上升，冷凝器换热不足或结垢后，放空含醇量会明显增大，且火炬气热值随之波动。在采用气体辅助循环泵的系统，富乙二醇夹带的高压湿气进入再生器后会与水蒸气一并排放，密封磨损还会污染贫液并迫使提高循环量，进而放大放空路径的醇损耗。

2.4 排污清洗与物料外排

乙二醇系统为维持溶液品质，通常设置闪蒸罐、颗粒过滤器和活性炭过滤器，并在运行中进行排污、收油、换芯及化学清洗。若气质含液烃偏高或固体杂质多，滤器很快被油泥与铁硫化物覆盖，现场往往通过频繁放空和排净来恢复压差，排出的富醇液难以完全回收而形成管理性损耗。渤海 J 平台统计显示，受污染溶液需要现场频繁收油并造成日常消耗，同时系统年度碱洗也会带来额外的甘醇损失^[3]。在海上气田，含水乙二醇富液进入乙二醇再生回收系统处理，脱出的水进入生产水处理系统，若分离界面控制不稳或排水带液，同样会把乙二醇带出闭路循环。该类损耗具有持续性，并可能在清管与停产检修期间集中暴露。

3 天然气脱水工艺乙二醇损耗的应对策略

3.1 分离端稳态化改造

要把乙二醇损耗压在可控范围内，分离端的稳态化改造应优先把夹带链条在进入接触塔前后两段切断。第一，在原料气入口设置旋风预分离或高效过滤分离器，并与前置三相分离器联动选型，使游离水、凝析油及固体颗粒在高压区完成脱除，排液采用双阀隔离加定时排放，液位控制采用窄幅比例调节并与压缩机防喘振及切换逻辑做硬联锁，压缩机启停与旁路投切时强制锁定排液阀开度，避免工况波动时液体卷吸进入塔内，同时对入口管线低点、冷端阀组与采气汇管设置保温伴热和凝液收集罐，减少二次成液与杂质冲击。第二，接触塔内件需按最大负荷与最小负荷共同校核气相表观速度、允许压降和塔内分布均匀性，产量季节差异大的站场可采用分段进气或可更换节流孔板控制入口动能，并配置

并联塔或富液回流维持稳定负荷，填料或塔盘需核对泛点裕度与液体分布器喷淋密度，循环量调整应以塔差压与出口露点联动为依据，避免低负荷下气速过高形成射流穿透，导致雾滴细化并携带乙二醇外排。第三，塔顶捕雾器实行压差、拆检和材料老化并行管理，压差偏低时按旁路短路、丝网破损、端面密封失效逐项排查，压差偏高时重点处理油泥黏附、盐类结晶和支撑格栅变形，清洗宜采用热水或低压蒸汽冲洗并回收含醇液，检修后要复核捕雾器压紧比和端面平整度，必要时更换耐腐蚀丝网或纤维床并补做防静电接地，避免盲目升温或加大循环量掩盖夹带。第四，在塔顶或干气出口增设二级聚并除雾单元并设置独立回流通道，使夹带乙二醇在高压条件下完成聚并后回收至富液侧，回流点设置缓冲容积与阻尼孔板吸收脉动，回收罐配套单独排液与计量，避免与凝析油混排造成再乳化，塔体校核时同步核对上升段有效高度与内件形式，保证雾滴有足够停留时间回落，外输气设置带液报警阈值时应联动校核分离器排液周期、回收罐有效容积和放空冷凝负荷，防止排液滞后引起二次夹带。

3.2 溶液品质与发泡闭环

围绕乙二醇脱水系统的携带损耗，需把溶液品质与发泡控制做成可闭合的运行链条。其一，在站场建立乙二醇品质判据并形成月度取样与现场快检组合，除含水量外跟踪 pH、电导率、氯离子与总无机盐、悬浮固体，并把颜色加深、黏度上升与再生釜底盐泥增多作为劣化提示，用量筒按固定次数振荡开展起泡试验，记录泡高与泡沫衰减至液面清晰的时间，将消泡时间设为准入阈值，超限即启动旁路净化、降低循环量或安排再生排盐，并设置溶剂报废阈值与回收频次，pH 控制窗口以 7.0–8.0 为宜。其二，将污染源控制前移至井口与计量分离器侧，重点稳住分离器液位与排液节奏，液烃夹带明显时采用油相旁路或单独外输，必要时在进塔前加高效聚结分离并严控切换工况的液体卷吸，渤海 J 平台通过液烃流程优化并引进能量交换泵后，报告显示甘醇品质提升且年节约约 8000 L 补加量。其三，对循环液实施分级净化，先以 5–10 μm 颗粒滤器截留铁硫化物、细砂与锈蚀产物，压差达限即切换反冲洗，防止固体成为起泡核，随后配置活性炭吸附去除溶解态液烃与降解物，并在旁路串联旋流脱固以削减细颗粒和夹带雾滴，同时定期测 Ca²⁺、Mg²⁺ 硬度离子与乙二酸类有机酸，超限则排放部分富液并补加新液，形成连续净化回路^[4]。其四，药剂管理强调相容性与剂量边界，缓蚀剂、破乳剂、消泡剂与中和剂在同一乙二醇浓度和温度下先做瓶试，按泡高、消泡时间与相分离情况筛选投加体系，现场投加采用小步递增并固定注入点与混合段，避免过量导致界面活性物累积，气田酸性组分波动时以 pH 回控为主同步修正中和剂窗口，并将异常起泡与药剂批次、投加量和过滤压差关联核查。

3.3 再生热工与放空治理

乙二醇脱水装置的隐性损耗多集中在再生热端与放空

链路,应把热工控制与回收治理作为同一条物料衡算来运行。再沸器以火管表面热通量为核心控制量,联锁约束再沸器液位下限与循环泵最小流量,确保火管全浸没并避免局部干烧造成轻组分挥发和溶液变色,燃烧器按贫液含水量分段整定燃气量与过量空气,塔釜温度设置硬上限,富液进塔前优先经空冷或富贫液换热稳住进料温度,避免入口气温升高放大气化损失。塔顶冷凝器按最大水蒸气与汽提气量核算并保留污垢裕度,冷凝液进入回收罐后采用液封和连续坡度回流,必要时引入小回流稳定塔顶温度窗口以保证冷凝液回至贫液槽,日常用冷却介质压差、进出口温差与放空空气含醇取样三项指标触发清洗或检修,且规范要求再生塔顶配置回流冷凝器。富乙二醇再生前实行分段闪蒸脱气,闪蒸罐压力、温度与停留时间按轻析出规律整定并保持液位窄幅,闪蒸气优先并入燃料气或火炬回收,气出口设置除雾与小冷凝回收罐拦截夹带液,海上平台乙二醇再生回收装置将闪蒸作为预处理以降低带入再生塔的轻烃负荷。若循环仍采用气体辅助泵驱动,应核算驱动气携湿与脉动对再生放空的增量,并在驱动气入口增设小型分离器、过滤器与干燥单元,排凝液并回收至闭式排液系统,防止湿气直接窜入再生器与放空管线,同时将泵出口旁通、密封泄漏与检修排放统一接入回收罐,条件允许时替换为电驱泵或液压能量交换泵以压降放空通量并减少密封磨损引入的二次污染。

3.4 作业损耗的制度化控制

在甘醇脱水装置稳定后,乙二醇损耗常由排污、收油与拆检清洗作业触发,需以制度化控制把可回收富醇液留在闭路内。其一,物料平衡台账应按接触塔循环段、再生段与污水段统一口径核算,以补加、回收、排污和库存变化为四类原始数据,班次交接前完成贫液槽与富液槽液位盘点,并结合密度换算质量,排污水相按固定点取样,采用折光或色谱测定含醇,并将损耗折算为单位气量指标用于对标,差额超限时当班双人复核排污阀位、旁通与排放去向,并将异常记录追溯到具体作业票,形成可审计闭环。其二,收油、排污、清洗置换等高风险作业应配套专用暂存罐和回灌管线,作业液入罐静置分层并确认界面位置后再抽吸,按油相、富

醇相、水相分别计量,富醇相经回收泵定量回灌至富液槽或闪蒸罐入口,回灌量纳入台账并与再生负荷联动,水相外排前复测含醇与含油,采用试排取样复核,超限则回送污水处理或再生回收单元,禁止混合液直接排入生产水系统。其三,滤芯更换、碱洗、再沸器与换热器清理等开盖作业应固化隔离与置换步骤,先降压并与放空总管隔断,再置换至可燃和含氧指标合格后开启低点回收口,使用回收泵抽尽设备与管线残液回到循环罐,拆检区设置防渗托盘和带盖收集容器,拆下滤芯与油泥集中沥干回收,碱洗后首段冲洗液优先回收而非直排,并将每次拆检的回收量与遗洒量纳入班组考核^[5]。其四,废乙二醇与含醇污水按分质处置管理,陆上站场将可再生富液送再生系统或外送回收,外排水核算水相携醇与油相夹带并按排放标准控制,海上平台配置乙二醇再生回收单元并将脱水水并入生产水处理,高沸残液按危废要求密闭暂存、台账转运并核对去向,同时对阀组区与装卸口配置带盖收集桶和防渗托盘以削减滴漏外流。

4 结语

综上所述,乙二醇损耗控制应以闭路循环完整性为核心,从分离端的夹带源、溶液污染导致的发泡背景、再生放空路径的挥发外逸以及现场作业外排四个方面同时着手。中国站场和海上平台的运行实践表明,针对气质与负荷波动建立稳态化操作边界,并将溶液品质管理、设备点检与作业票据纳入同一控制框架,可使乙二醇补加量回到可预测区间并保持脱水露点长期稳定,同时降低污水侧的含醇负荷与处理压力。

参考文献

- [1] 高海兰,姜东,刘汉广,等.天然气脱水工艺乙二醇损耗原因分析及应对措施[J].石油炼制与化工, 2025, 56(1):123-130.
- [2] 梁宁,杨勇,杜洋洋,等.真空脱水技术在乙二醇再生回收系统脱水单元的应用探索[J].四川化工, 2024, 27(2):19-22.
- [3] 王乾.乙二醇在天然气处理工艺中的损耗分析[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2022(5):4.
- [4] 刘东玉.天然气制乙二醇工艺技术比较及分析[J].中国科技期刊数据库 工业A, 2021(10):2.

Exploration on the improvement of metrological inspection and testing work under the new situation

Yanlin Liu

Yunnan Qujing Inspection, Testing and Certification Institute, Qujing, Yunnan, 655000, China

Abstract

With the continuous improvement of China's economic transformation and high-quality development requirements, metrological inspection and testing work is facing new development situations and challenges. Modern manufacturing, green industries, and high-end equipment manufacturing have put forward higher requirements for product quality and testing accuracy, while the development of digital and intelligent technologies has brought new opportunities for testing methods and management models.

Keywords

metrological inspection and testing; Quality improvement; Application of new technologies; Management optimization

新形势下的计量检验检测工作提升探索

刘彦麟

云南省曲靖市检验检测认证院, 中国·云南 曲靖 655000

摘要

随着中国经济转型和高质量发展要求的不断提升, 计量检验检测工作面临新的发展形势和挑战。现代制造业、绿色产业以及高端装备制造对产品质量和检测精度提出了更高要求, 同时数字化、智能化技术的发展为检测手段和管理模式带来新的机遇。本文基于新形势下的行业现状, 分析了计量检验检测工作中存在的技术、人才和管理等问题, 提出了通过引入先进技术设备、完善质量管理体系、强化专业培训、推动数字化智能化应用、优化标准化流程以及建立跨部门协作和风险控制机制等策略, 提升整体检测能力和服务水平。研究表明, 创新驱动、规范管理和人才支撑是提升计量检验检测工作质量和效率的核心路径, 为行业高质量发展提供了理论依据和实践参考。

关键词

计量检验检测; 质量提升; 新技术应用; 管理优化

1 引言

计量检验检测是保障产品质量、维护市场秩序和推动科技进步的重要基础工作。随着中国经济结构调整和产业升级加快, 传统的计量检测模式已难以满足现代化生产和国际化竞争的要求。同时, 信息技术、人工智能和大数据等新兴技术的快速发展, 为检测方法、流程优化和数据管理提供了创新手段。当前, 国内计量检验检测机构在设备水平、人才能力和管理体系上仍存在差异, 行业面临标准化不足、技术落后、人员素质参差不齐等挑战。因此, 研究如何在新形势下通过技术创新、管理优化和人才培养等手段提升检测能力, 对于保障产品质量、提高企业竞争力和推动行业可持续发展具有重要意义。

2 新形势下计量检验检测工作的现状分析

2.1 行业发展与政策背景

近年来, 中国正处在经济转型时期, 并逐步向制造业强国迈进, 对计量检验检测工作提出了更高的要求。政府加大了对计量和质量管理工作的高度重视程度, 在计量方面相继出台了相关的法律法规及规章制度, 这些规定都为计量检验检测事业的发展奠定了基础。与此同时, 数字经济发展、绿色制造发展、高端装备制造业发展都对计量检测能力提出新需求, 倒逼行业由传统的人工检测向智能化、信息化转变。国外, 伴随全球供应链的复杂性和技术标准的多样化, 计量检验检测业务不仅要适应国内相关法律法规的要求, 也要适应国外的相关标准。提升产品出口竞争力。

2.2 技术应用现状

就技术层面而言, 计量检测试验由以往的手工化向现代化转变, 在当前计量检测中广泛应用了自动化的检测器具、传感技术和三坐标仪以及光谱检测装置等等, 极大提升了计量检测的效率和精确性; 与此同时, 信息化管理平台、

【作者简介】刘彦麟(1981-), 女, 中国山东潍坊人, 本科, 工程师, 从事计量检验检测研究。

LIMS 和大数据软件也渐渐被用来收集、计算和统计计量检测的数据结果。实现检测过程的全程监控及数据可溯源；同时，一些先进的企业和科研院所也开展了 AI 技术、机器视觉技术和物联网技术在检验中的应用，从而实现复杂产品的高精度测量以及缺陷发现。但是总体而言，行业内应用技术水平还存在着区域不平衡、部分企业检验设备陈旧、自动化水平较低等情况，加快技术推广及设备更新。

2.3 现存问题与挑战

一是技术和设备跟不上，一些规模较小的检测机构设备老化，技术力量薄弱，无法完成高精度和高效率的检测工作；二是专业人员缺乏并且水平不一，在某些大型企业和研究机构中的高级技术人员过多集中在一起。同时，基层单位工作人员素质不高，制约了总体检验水平提升^[1]。另外，一些领域的标准制度还比较滞后，有的检验环节没有形成统一规定，数据的一致性、可比性不强。随着行业的数字化、智能化发展，网络信息安全也带来新挑战，包括数据安全、信息保密以及不同部门之间的数据交换利用等等。最后，国际竞争加剧，一些国内检测机构在国际标准认可、检测能力及服务水平等方面尚有不足，还需要加强创新能力建设和国际合作。

3 提升计量检验检测能力的策略

3.1 引入先进检测技术与设备

首先，要加强先进的检测技术和仪器的应用，在当前形势下，中国已经进入产业升级和智能制造的时代，传统的检测方法和技术无法满足对高精度、高效率以及多样化的检测需求，这就需要检测机构加强先进检测仪器的使用力度，包括高精度的三坐标测量机、激光扫描仪、光学影像测量系统及材料分析仪器等。上述仪器可以达到微米乃至纳米级别的精准度，提升检测试验数据的精确性和可信性^[2]；与此同时，在检验中还需要充分利用信息化手段。新技术应用应充分考虑专业特性，对一些关键部件、特种材质以及新产品需进行有针对性的技术研究并有效应用在实际工作中。

3.2 完善质量管理体系

加强质量管理体系是提高计量检验检测水平的关键所在，科学化、规范化管理可以保证检验检测工作的有序开展，并保证检验结果具有可比性和准确性。首先应当严格按照国家以及行业的有关标准来制定完善的实验室规章制度，第二，实施 ISO/IEC17025 等国际实验室管理体系标准，规范检测工作并获得国际承认，提高机构权威性和市场竞争力；具体工作中应当开展内审活动、危险源分析及持续改进等活动以及及时发现检测中的问题，并予以整改完善；应当加强质控措施的应用。另外，质量管理也应与信息化相结合，将检验数据信息化、可溯源，实现从受检样、检验过程到检验结果的全链条闭环控制，并提升工作质效。

3.3 加强人员专业培训与素质提升

在提高计量检验检测能力方面，主要依赖于人才力量。

为了更好地进行高难度的检测工作，在面对先进的仪器以及数据分析方法的时候，相关人员应该具备相应的专业技术及素养。为此，相关检测部门可以对工作人员定期展开专业知识学习及技能培训活动，并对其进行考核评定，还可以提供外出进修、出国培训的机会给员工，从而提升其业务水平及综合素质。经常性开展内部培训、外出交流学习活动，让技术人员掌握新的仪器设备、新的检测方法和技术规程，以及问题分析的能力、数据结果的判断能力和试验方案的设计能力^[3]；同时重视对复合型人才的培养，培养既懂专业检测技术和方法，也懂信息化、智能化运用的技术人员，满足数字化建设的需要；另外也要重视对技术人员的激励措施；强化业务技能培训和综合素质提高，在提高检验人员实际操作技能和专业素养的同时，也可以促进检测机构的整体技术创新及可持续发展，从而为高水平检验检测工作的开展奠定良好人才基础。

4 创新驱动下的工作优化探索

4.1 数字化与智能化检测应用

目前，在科学技术飞速发展的情况下，数字化、智能化已经成为提高计量检测试验工作质量以及效率的有效方式。数字化检测是利用检测仪器及信息管理系统相连接的方式进行数据收集，并进行分析储存，从而让整个检测的过程变得更加方便快捷、公开透明化并且可以回溯查询。智能检测是指利用人工智能、机器学习及计算机图像处理等先进技术开展的复杂的检测活动，并将这些活动自动化的检测方法。数字化及智能化的应用降低了人员工作强度，并可对检测过程进行优化以减少检测时间，还可以进一步保证数据质量以及分析水平。但数字化及智能化的发展需要硬件设备的支持、相关软件系统的设计及技术人员的配合，还需要制定相关的数据标准及接口协议，实现不同设备、系统之间的互操作性和兼容性；通过数字化、智能化的应用，将计量检验检测由传统的被动式检测转变为主动式监控和预测管控，促进整个行业的高效化、准确化和智能化。

4.2 检测数据管理与信息化建设

测试数据管理和信息化建设是开展现代计量测试检验的基础性工作。随着测试品种和数据量增多，手工填写及纸质管理难以达到快速、精准和可溯源的目的。信息化建设包括实验室信息系统 (LIMS) 建设、数据库建设和数据分析平台建设，实现数据统一管理、规范存储，并可对这些数据进行智能分析和辅助决策。信息化不只是将数据收集、存储起来还要包括对数据的质量控制、数据分析和趋势预测。另外，信息化建设有利于实现跨部门及机构间的数据共享，并促进行业的标准化建设以及协同管理。为保证信息化建设的有效实施，应当制订数据管理规范，包含数据采集规范、存储格式、权限控制、数据安全等内容，以保证数据的完整、准确、安全；同时对技术人员开展信息化操作培训，让其精通掌握各个信息系统，做到人机结合、管技一体。通过对检验检测

机构检测数据管理和信息化建设,可以实现科学化、智能化、精细化管理,并为质量提升提供强有力的数据支撑。

4.3 标准化与规范化工作流程

标准化、规范化是保证计量检定测试工作质量及工作效率的重要条件。通过对工作的规范化,使得计量检定测试机构内部不同的工作人员、不同的班次或者不同的场所所做出的结果具有相同的标准,便于比较分析。标准化包括工作流程以及检测过程中的相关检测手段、仪器仪表的校对、信息录入及报告的制作等多个方面。计量检验检测单位经过科学合理的标准化和规范化的管控,不仅能有效提高检测结果的质量,还可以提高机构的公信力,为企业和社会提供更有权威性的检测服务。

4.4 跨部门协作与资源整合

协同合作也是计量检验检测能力整体提升的有效途径之一,很多现代的检测工作都是多方面、多层次以及多种仪器共同参与的过程,单靠一个部门很难完成一项高标准的工作,只有进行相互间的配合才能保证工作的顺利完成,所以各部门之间应该加强沟通交流,以便更好地利用现有的技术和仪器资源开展相关检测工作。资源的整合不仅是技术、设备,还包括人员、信息、实验室条件等等。大型检测实验室可以将实验室设备统一调配使用,高精尖设备和高端人才进行共享,缩短作业周期时间,提高机器利用率和效率;建立协作机制和沟通渠道,并保证相关信息和数据及时互通,便于不同环节间的配合工作开展。除此之外,多单位协作有利于引入先进技术和规范流程,增强服务水平,特别是在一些特殊材料测试、难测部件测量以及精密仪器应用等方面具备明显的优势。

4.5 风险控制与持续改进机制

风险管控与持续改进也是做好计量检验检测工作的重要保证之一,在检测项目日益繁杂、信息量不断增加以及检测技术不断更新的情况下,存在一些诸如仪器设备损坏、人为失误、数据失真、信息泄露等方面的风险隐患,建立健全风险管控机制,有利于对可能存在的风险进行排查治理。如通过检定、保养、检查等方式减小仪器误差的影响;通过执行规程、人员培训及复核方式减少人为因素影响;通过资料

保存及保密制度防止信息泄露等等。而持续改进则是通过对内审、对比实验、考核评价以及顾客满意程度调查等手段来完善测试程序、技术和规范,实现质量管理动态升级。其次,应当引入数字化、智能化手段,在数据分析的基础上对可能发生的不良现象进行预判,并及时做出优化改良,如借助于检测结果的数据化分析来预测设备老化或产品缺陷倾向,以便提前介入处理;风险管控及不断改善的闭环管理能有效增强检验工作的安全系数及稳定性,同时为机构提供科学的决策依据,促进机构计量检验检测能力迈向新高度,做到稳健、精确、持续地进行检测工作。

5 结语

综上所述,在新的形势下,对计量检测试验来说,面临着诸多挑战,同时也存在着许多机遇。从目前的实际情况来看,存在一定的技术和管理缺陷,并且也缺乏国际化的意识和技术能力。基于此,文章认为可以利用先进的检测手段,提升计量检测试验的质量管理水平;加强对人才的培养力度,提高试验人员的专业素养;加强信息化建设,实现计量检测试验的现代化发展;做好相关标准制度的制定和完善工作,确保计量检测试验工作的科学性、合理性;加强各部门之间的沟通交流,形成良好的协调配合关系;构建计量检测试验的风险预警体系以及监督反馈系统,不断提升试验水平。这些举措有利于提高检验检测效率及数据质量、加强检验检测管理并为行业创新提供有力保障。今后,计量检定测试机构应在重视技术创新的同时,注重制度建设、人才储备以及国际交流与标准化接轨等工作,促进工作的高效化、智能化、规范化及可持续性,从而为进一步保证质量安全、推动经济社会发展及提升社会满意度打下良好基础。

参考文献

- [1] 陈发强,王建英.新形势下县级计量技术机构工作现状及发展构思[J].中国计量,2025,(2):69-72.
- [2] 董洪滔.新形势下企业计量工作的标准化管理[J].数字化用户,2024,(10).
- [3] 袁春丹.市场监管新形势下集贸市场计量管理新思路[J].质量与市场,2024,(7):39-41.

Analysis and Treatment of Auxiliary Machine Vibration Fault in Thermal Power Plant

Yuanjian Song

Liaoning Datang International New Energy Co., Ltd. Jinzhou Thermal Power Branch, Jinzhou, Liaoning, 121011, China

Abstract

Auxiliary equipment in thermal power plant steam turbines, primarily comprising feedwater pumps, condensate pumps, circulating water pumps, vacuum pumps, their drive motors, and lubrication/sealing oil stations, are continuous rotating machinery. Their vibration levels directly reflect the combined effects of shaft system stress, fluid dynamics, and foundation rigidity. Field measurement points are typically installed on non-rotating components like bearing housings, with measurements conducted per national standards and anomalies identified through start-stop cycles and load variations. Due to variations in maintenance quality, pipeline stress relief, and cold/hot-state alignment deviations, vibration characteristics of similar auxiliary equipment often differ. This paper identifies the primary causes of vibration faults in thermal power turbine auxiliary equipment and proposes maintenance-integrated troubleshooting measures for rapid field implementation.

Keywords

thermal power plant; steam turbine auxiliary equipment; vibration fault; cause analysis; corrective measures

火力发电厂辅机振动故障分析及其处理

宋远健

辽宁大唐国际新能源有限公司锦州热电分公司, 中国·辽宁 锦州 121011

摘要

火力发电厂汽轮机辅机多为连续运行的旋转机械, 常见包括给水泵、凝结水泵、循环水泵、真空泵及其驱动电机、润滑与密封油站等, 其振动水平直接反映轴系受力、流体工况与基础刚度的综合状态。现场一般在轴承座等非旋转部位布置测点, 依据国家标准开展测量与评价, 并结合启停与负荷变化识别异常趋势。由于检修质量、管路应力释放、冷态与热态对中偏差等条件不同, 同类辅机的振动特征往往不一致。本文归纳火电汽轮机辅机振动故障的主要致因。本文提出与检修工艺相衔接的处置措施, 便于现场快速执行。

关键词

火力发电厂; 汽轮机辅机; 振动故障; 原因分析; 处理措施

1 引言

汽轮机辅机是指围绕汽轮机做功与凝汽、给水回热、轴封与油系统等环节配置的配套设备与管路组件, 主要任务是提供介质输送、压力建立、真空维持、冷却与润滑保障, 使主机在额定转速与负荷下稳定运行。其辅机长期受管路热位移、阀门节流、水质沉积与启停冲击影响, 因此更容易在轴承、联轴器与泵体处暴露振动与噪声异常^[1]。有鉴于此, 文章先针对提出火力发电厂辅机振动故障原因展开阐述, 随后提出与检修工艺相衔接的处置措施, 便于现场快速执行。

2 火力发电厂汽轮机辅机振动故障分析

2.1 轴系对中失准与热态偏移

辅机多采用弹性柱销或膜片联轴器与电机相连, 冷态检修若只关注端面间隙而忽视径向偏差, 运行后易出现1倍转频为主的稳定振动, 并在联轴器附近测点更为突出。部分机组在启机升温阶段, 泵体与管路受热膨胀产生附加载荷, 若基础二次灌浆不密实或地脚螺栓预紧不均, 会形成软脚, 使机组中心线随温度漂移。运行人员在调节出口阀位或切换备用泵时, 管路应力重新分配, 也可能导致联轴器偏斜量突变。轴系中心不正的外观征兆通常表现为联轴器弹性元件单侧发热、护罩内粉末异常增多, 轴承瓦面可见偏磨或擦亮带。此类振动在水平与轴向方向往往同时抬升, 且相位角较为稳定。

2.2 转子不平衡与部件磨损

泵类辅机长期输送凝结水、除盐水或循环水, 叶轮、

【作者简介】宋远健(1998-), 男, 中国辽宁大连人, 本科, 助理工程师, 从事汽机研究。

平衡盘与口环易发生冲刷、点蚀与结垢,质量分布改变后形成静不平衡或偶不平衡,表现为振动随转速升高而近似线性加大。部分机组在低负荷或启停频繁阶段,凝结水含气量波动,气泡夹带使叶轮局部空化,叶片边缘掉块后进一步放大偏重。若检修中更换联轴器键或拆装叶轮未按配重标记复位,或电机转子端环松动、风扇偏装,也会引入新的不平衡力矩。现场还常见轴套与轴肩磨损后出现偏心装配,导致盘车位置不同振动值差异明显。为压低振动临时加装配重块若固定不牢,会在运行中移位并造成振动突升。

2.3 轴承结构与润滑条件劣化

汽机辅机轴承多为滚动轴承或滑动轴承,运行中润滑脂老化、润滑油含水或含固体颗粒会破坏油膜连续性,使轴颈在负荷区产生微滑与局部接触,振动往往伴随轴承温度升高与噪声尖锐化。滑动轴承若装配间隙偏大或瓦口圆度不足,转子在油楔内摆动幅度增大,容易出现亚同步成分并诱发油膜涡动。滚动轴承内外圈点蚀、滚道剥落或保持架磨损时,振动呈现间歇冲击特征,且在高频段能量明显提升^[2]。火电厂油系统还可能因冷油器结垢或旁路阀卡涩导致油温偏高,黏度下降后承载能力降低,严重时出现瓦面擦伤与合金涂抹。轴承间隙增大后转子下沉,密封环或机械密封端面间隙被破坏,也会引起摩擦激振。国家标准对在非旋转部件上测量振动给出了总则与参数选取要求,可作为运行监视与验收判据的基础。

2.4 水力工况异常与管路激振

泵组振动在许多场景下与水力工况强相关,典型如入口净正吸入压头不足导致汽蚀,叶轮进口气泡破裂后形成高频随机激振,运行声音呈现沙砾感,振动值随入口温度升高或吸入阀门节流而迅速上升。凝结水系统在热井水位波动、滤网堵塞或旁路回流不稳时易夹带空气,产生两相流脉动,使泵体与管路出现周期性冲击,有文献对凝结水泵振动与异响的故障进行了讨论。循环水泵在低潮位、进水池旋涡或水池淤积情况下,流量分配不均会引起水力不平衡,从而放大径向力。真空泵或射水系统若供水压力波动,泵内也可能出现空化与拍击。若管路支吊架松动、补偿器预拉量不当或止回阀拍击,起动压力会通过法兰与底座传递到轴承座,引起结构共振并叠加到原有转频振动之上。

3 火力发电厂汽轮机辅机振动故障处理措施

3.1 对中校核与基础刚度恢复

围绕汽轮机辅机振动处置,检修阶段对中校核与基础刚度恢复应按基准复核、热态补偿、管路解耦、联轴件校验四条线同步闭环。第一,班组在拆检前复核泵、电机与底座基准面和标高点,清除锈蚀、漆皮与油膜后,用塞尺逐角检查贴合度并判别软脚,同时敲击检查灌浆空鼓与底座接触面松动,对底座水平度用框式水平仪复测,垫片优先采用整片或阶梯垫铁,厚度与数量实行台账管理,紧固地脚螺栓时按

规定扭矩分次对称拧紧,必要时补灌无收缩灌浆并在固化后复紧螺栓,再做最终找正。第二,对热态偏移明显的给水泵、凝结水泵等,应结合启机升温曲线与机座膨胀方向,在冷态找正时预留合理偏置,并在机组稳定负荷后测量联轴器端面间隙与同轴度变化,偏差超限时通过微调螺栓与垫铁逐量修正,同时复核不同环境温度下的重复性,将冷、热态数据成组记录,避免季节性漂移引发周期振动。第三,处置对中异常必须同步释放管路外力,先对与泵壳硬连接管段设置临时支撑并松开法兰螺栓,确认泵体水平和对中指标达标且法兰可自由对口、螺栓能顺畅穿入后,再按由近及远顺序复位支吊架与补偿器,逐点检查导向、限位与管夹间隙,并复测泵脚贴合度,防止复位过程中产生二次拉偏^[3]。第四,联轴器弹性元件、键连接及止推结构应检查磨损、裂纹与配合间隙,并用百分表复测端面跳动、径向跳动与轴向窜动值,若出现偏载或擦碰痕迹,应复核半联轴器装配基准、键槽配合和端面间隙后重新找正,装复后按程序空载试运,记录轴承振动、温升与电流,停机复测对中并按扭矩复紧地脚螺栓,试运后24h内再复紧一次,数据归档留痕。

3.2 转子动平衡与磨损部件整治

针对火电厂汽轮机辅机旋转设备的振动治理,转子动平衡与磨损件整治应按拆检、修复、复测、试运的链路闭环推进。第一,解体前先在联轴器端作方向与相位标记并测量轴颈、对轮与叶轮端面跳动,解体后对叶轮、平衡盘、轴套、键槽逐件目视与尺寸复核,重点查冲刷、掉块、裂纹和结垢厚度,附着物采用机械清理后称量清理前后质量差,并把配重孔、键长、锁紧垫片与螺母状态记录入卡,确保复装保持原有相对位置,避免无意引入新偏重。第二,对口环、轴套、平衡鼓和密封环等偏磨部位,应以配合间隙为主控参数,复核圆度、同心度与接触带,发现拉毛擦伤要结合轴承间隙、转子下沉量及壳体中心线复测追查偏心装配、软脚或管路外力,再按规程刮研修整或更换同规格件恢复间隙,同时检查电机端风扇、联轴器半体与键的紧固及止口配合,防止附加不平衡叠加。第三,回装后进行动平衡与跳动复测,现场采用试重法时应在规定校正面分步加试重,按振动幅值与相位变化计算修正量并逐次逼近目标,配重块用螺栓加防松件固定并二次锁紧,配重位置、质量和校正面编号要刻字留档,严禁绑扎或点焊造成运行中移位。第四,试运按低速、额定转速、带负荷三工况分层记录各测点振动、相位及轴承温度变化,若振动随转速持续抬升且相位基本稳定,应回到不平衡链路复核叶轮配重、键长匹配与轴颈跳动,并核对检修中是否更换转子零件或调整过联轴器止口,必要时重新实施单面或双面校正直至满足验收限值。若振动在低速即出现突升或相位漂移明显,应同步复核密封间隙、转子擦碰痕迹及轴承油膜供油状态。

3.3 轴承检修与润滑介质治理

针对汽轮机辅机振动伴随轴承温升的工况,处理措施

应从介质状态、几何配合、系统治理与试运验证四线并行推进。第一，运行侧先将负荷回退到规程允许区间，核对主油压、回油液位与回油管畅通，并比对轴承进回油温差与供油温度，再对润滑油或润滑脂在规定取样点取样，按班组化验流程检查含水量、颗粒度、酸值与黏度，并同步查看油箱底部沉积、磁性捕捉器吸附物及滤芯压差变化，若发现乳化、金属屑或压差突升，应切换备用滤器并加强放水排污，避免污染介质持续磨损瓦面或滚道。第二，停机拆检时检修人员应测量轴瓦顶隙、侧隙与瓦口接触带宽，复核轴颈椭圆度、锥度及键槽毛刺，对轴承座定位销、止口与压盖配合进行蓝点检查，并检查瓦背贴合与止推面划痕，若出现合金涂抹、局部拉伤或滚道点蚀，应结合磨痕方向判断偏载来源，必要时通过刮研恢复承载区接触比例，并校正座体水平与垫片均匀性，保证受力区分布均匀。第三，润滑系统需同步冲洗与排水，重点排查冷油器串水内漏，核对旁路阀、节流孔板与回油滤网是否卡涩或被短接，油温长期偏高时应检查通水量、换热面结垢及温控阀动作，必要时清洗换热面并恢复设计流量，防止黏度下降导致油膜承载不足并诱发涡动。第四，装复后先盘车确认转子无擦碰，再进行低速试运与逐级升速，各稳速段连续记录轴承温度、油压及振动趋势，出现温升斜率突变或频带异常时立即回退速度并复核油路。轴承座振动、油压波动与回油温差，测点按 GB/T 6075.3 在非转动部位布置，统一径向与垂向方向及速度有效值参数，试运后复查压盖扭矩和油路渗漏^[4]。

3.4 水力工况稳定与管路激振消减

在汽轮机辅机振动治理中，先把水力工况稳住并消减管路激振，可使故障边界尽快收敛。第一，处置汽蚀或两相流诱振时，值班人员应核对吸入水位、入口滤网压差与吸入阀开度，沿吸入管逐段排查高点积气、法兰漏气和阀前堵塞，利用放气阀连续排气直至出水致密稳定，再复核吸入侧直管段长度、弯头布置与偏心异径管上平安装，避免入口旋涡和偏流，同时检查吸入管支撑下沉与软接头吸扁情况，按泵铭牌所需汽蚀余量计算净正吸入压头裕量，必要时抬高水位、降低介质温度或切换备用泵降低吸入损失。第二，凝结水泵与循环水泵切换、并列或变工况前，应按操作票分段缓慢调

节出口阀位并监视压力变化与止回阀回座声，出现阀瓣摆动、回流指示异常或压力突跳时应停止动作并通过放空、旁路卸压缓解水锤，同时核对止回阀缓闭或阻尼机构位置，校验最小流量回流装置动作可靠，检查回流阀阀芯磨损、限位与弹簧预紧，避免泵长期落入低流量喘振区。第三，针对管路激振，应以泵出口至母管为主线复查支吊架松动、卡阻与限位间隙，核对弹簧支吊架荷载指示与冷态标高，纠正补偿器预拉量过大、导向失效或滑动支座咬死造成的膨胀受阻，对疑似共振薄弱段可做敲击听音与位移复核后标记，必要时增设刚性支撑或调整跨距与支点位置，使起动压力不再集中于泵体法兰和轴承座。第四，真空泵及其供水系统应保持供水压力与流量稳定，定期清理喷嘴、水室与过滤器沉积，检查供水阀门和节流件是否结垢导致供水不足，复测叶轮间隙并疏通轴封与冷却水通道，试运时同步复测泵体和供水管路振动，确认随机高频成分回落后再恢复常态运行方式^[5]。

4 结语

综上所述，火力发电厂汽轮机辅机振动往往不是单一因素触发，而是安装精度、部件状态与介质工况叠加后的外在表现。现场处理应以风险控制为前提，先稳定工况与隔离激振源，再围绕对中、动平衡、轴承与管路四条主线组织检修与复测，并把关键数据纳入可追溯记录。通过标准化的复测与交接，可减少振动反复并提升辅机运行的可控性，同时为后续计划检修提供依据。

参考文献

- [1] 杨承洪.火力发电厂汽轮机辅机常见故障及解决措施[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2022(8):78-81.
- [2] 高诚.火力发电厂汽机辅机现状和优化措施分析[J].电气技术与经济, 2022(6):152-154.
- [3] 朱伟男,薛 隽.电厂汽轮发电机组振动监测及故障诊断[J].机械与电子控制工程, 2025(9).
- [4] 陈浩然.电站辅机转动设备振动故障与处置方案研究[J].中国机械, 2024(26).
- [5] 宋浩铎.电站辅机转动设备振动故障分析及处理[J].清洗世界, 2023(012):039.

“Dimensional Reconstruction”—Innovation and Commercialization of 2D Cultural Derivative Products Based on Classic IP

Haiqin Kuang Qing Xiao*

Hunan Institute of Applied Technology, Changde, Hunan, 415000, China

Abstract

Against the backdrop of increasingly segmented cultural consumption patterns and the expanding influence of youth subcultures, the anime and manga (2D) culture has emerged as a pivotal force driving the development of the cultural and creative industry. Classic IPs, with their long-established cultural symbolism and stable fan bases, demonstrate significant potential for expansion in 2D derivative product development. This study systematically examines the creative reinterpretation of classic IPs within the 2D context, analyzing their inherent logic in character reimagining, product ecosystem construction, and commercial operations. It further explores how 2D cultural characteristics shape innovation models and value transformation pathways for derivative products. Through comprehensive discussions on product formats, operational strategies, and application approaches, the research identifies practical directions for the 2D adaptation of classic IPs, providing valuable insights for innovative design and commercialization of related cultural and creative projects.

Keywords

classic IP; 2D culture; derivative products; innovative practices; commercialization pathways

“次元重塑”——基于经典IP的二次元文化衍生产品创新与商业化实践

匡海琴 肖晴*

湖南应用技术学院, 中国·湖南 常德 415000

摘要

在文化消费结构不断细分与青年亚文化影响力持续扩大的背景下, 二次元文化已成为推动文创产业发展的重要力量。经典IP凭借长期积累的文化符号价值与稳定的受众基础, 在二次元衍生产品开发中展现出较强的延展潜力。围绕经典IP在二次元语境下的再创作实践, 系统梳理其在形象重塑、产品体系构建与商业运行中的内在逻辑, 分析二次元文化特征对衍生产品创新模式与价值转化路径的影响。通过对衍生产品形态、运营方式与应用策略的综合探讨, 揭示经典IP二次元化发展的实践方向, 为相关文创项目的创新设计与商业化实践提供参考。

关键词

经典IP; 二次元文化; 衍生产品; 创新实践; 商业化路径

1 引言

随着数字媒介环境的演进与青年消费观念的变化, 二次元文化逐渐由兴趣圈层向主流文化领域渗透, 其所形成的内容生产方式与消费模式正在重塑文化产业结构。在这一过程中, 经典IP因具备成熟的文化意象与情感记忆, 成为连

接传统文化资源与新兴二次元市场的重要媒介。不同于传统IP开发路径, 二次元语境下的经典IP再创作更强调审美更新、互动参与与产品延展, 对衍生产品的设计逻辑与商业运行提出了新的要求。探讨经典IP如何在二次元文化体系中实现有效重构与价值释放, 对于深化文创产品创新研究、完善IP商业化实践路径具有现实意义。

2 经典IP在二次元文化衍生产品开发中的基础作用

经典IP在长期传播过程中逐步形成稳定且高度凝练的文化符号体系, 这种符号既承载着特定时代的文化记忆, 也具备跨时间传播的识别优势。在二次元文化语境中, 经典

【作者简介】匡海琴(2005-), 女, 中国湖南耒阳人, 在读本科生, 从事数字媒体技术研究。

【通讯作者】肖晴(1983-), 男, 中国湖南常德人, 硕士, 高级经济师, 从事信息工程教学、工程管理、工程经济研究。

IP 所蕴含的角色形象、叙事母题与情感意象能够被迅速识别并唤起受众共鸣,为衍生产品开发提供稳固的文化基础。经典 IP 的再开发并非对原有内容的简单复制,而是在保留核心符号特征的前提下,通过视觉风格更新、情境设定重构与情感表达深化,使其与当代二次元审美产生连接。这种延续性使经典 IP 在衍生产品设计中具备较高的文化可信度与市场接受度,同时降低了用户认知成本。通过对经典 IP 文化符号的系统梳理与再阐释,可以实现传统文化资产向二次元消费语境的有效转化,推动衍生产品在文化表达与商业价值层面实现同步提升^[1]。

3 二次元文化语境下经典 IP 再创作的创新机制

3.1 二次元审美体系对经典 IP 形象重构的影响

二次元审美体系以夸张化视觉表达、风格化色彩运用与符号化角色设计为特征,这一体系对经典 IP 形象的再创作产生了直接影响。在衍生产品开发过程中,经典 IP 原有形象往往需要在比例结构、服饰设计与表情语言等方面进行调整,以符合二次元受众的审美习惯。通过对线条、色彩与材质表现的重新设计,经典 IP 形象能够在保持原有识别度的同时呈现出更强的视觉冲击力。二次元审美强调个性化与情绪化表达,使角色形象在衍生产品中不再局限于原有叙事功能,而是转化为具备情感投射属性的视觉符号。这种形象重构不仅提升了经典 IP 在二次元市场中的吸引力,也为多样化衍生产品设计提供了丰富的创意空间。

3.2 内容再创作中经典 IP 文化内涵的当代表达

在二次元文化语境下,经典 IP 的再创作不仅体现在视觉层面,更体现在文化内涵的再诠释过程中。经典 IP 所承载的价值观、情感主题与叙事精神,需要通过符合当代语境的表达方式重新呈现。二次元文化强调情感共鸣与个体体验,使经典 IP 在内容再创作中更注重角色心理刻画与情境细节塑造。通过将传统叙事元素与现代生活经验相结合,经典 IP 能够在保持文化深度的同时增强现实关联度。这种当代表达方式使经典 IP 摆脱时间局限,在二次元衍生产品中形成新的文化意义层次,为受众提供既熟悉又新颖的消费体验。

4 经典 IP 二次元衍生产品的体系构建与产品形态

4.1 实体衍生产品在二次元消费场景中的功能定位

在二次元文化消费体系中,实体衍生产品不仅承担商品属性,还兼具情感载体与文化象征功能。围绕经典 IP 开发的实体衍生产品,常以手办、徽章、挂件、文具、服饰及生活用品等形态出现,其核心价值在于将虚拟形象转化为可触摸、可收藏的现实物品,从而强化粉丝与 IP 之间的情感连接。实体衍生产品在消费场景中往往被赋予展示、纪念与身份认同功能,消费者通过拥有和使用相关产品表达对经典 IP 的喜爱态度。在二次元消费环境中,实体产品还常与展会、

漫展、主题快闪店等线下场景相结合,形成沉浸式消费体验。同时,不同价格区间与产品规格的设置,使实体衍生产品在满足核心粉丝收藏需求的同时,也具备吸引普通消费者的市场空间,从而构建层次分明的产品结构^[2]。

4.2 数字化衍生产品的内容形式与传播特征

随着数字媒介环境的成熟,数字化衍生产品在经典 IP 二次元开发中逐渐占据重要位置。数字化衍生产品主要包括数字插画、虚拟形象皮肤、动态表情包、数字周边及线上互动内容等形式,其显著特征在于依托网络平台实现快速传播与高频互动。相较实体产品,数字化衍生产品具有制作周期短、传播范围广、更新频率高的优势,能够及时响应二次元文化中审美趋势与话题变化。数字内容通过社交平台、视频平台与二次元社区进行扩散,在分享、转发与二次创作过程中不断放大影响力。经典 IP 在数字化表达中可以通过动画短片、互动内容与虚拟角色运营等方式,持续强化形象存在感。数字化衍生产品还具备低门槛参与特性,使更多用户能够以较低成本进入 IP 消费体系,为后续实体产品销售与品牌延展提供流量基础。

4.3 二次元文化参与式创作对 IP 活化的推动作用

二次元文化具有高度开放与互动的创作特征,参与式创作成为推动经典 IP 活化的重要动力。在这一机制中,用户不再仅作为内容接受者,而是通过同人创作、内容分享与互动反馈参与 IP 再生产过程。经典 IP 在二次元语境中的再创作,往往借助这种参与机制不断获得新的创意来源与表达形式。衍生产品设计在吸收用户创作灵感的过程中,能够更精准地贴合受众偏好,增强产品的情感连接度。参与式创作还促进了经典 IP 内容的持续更新,使其在不断变化的二次元文化环境中保持活跃状态。这种由创作群体共同推动的 IP 活化模式,为经典 IP 衍生产品创新与商业实践提供了持续动力。

5 经典 IP 二次元衍生产品的商业化运行路径

5.1 以粉丝社群为核心的市场运营方式

在经典 IP 二次元衍生产品的商业化过程中,粉丝社群是最具活力与黏性的市场基础。通过建立稳定的线上社群平台,将核心粉丝集中在固定互动空间内,可以实现信息传递与消费动员的高效运作。在实际运营中,社群成员规模达到三千人以上时,内容互动频率与购买转化效率明显提升。通过定期发布 IP 相关内容、产品预告与互动活动,社群活跃度可维持在每周三次以上互动水平。粉丝在社群中不仅参与讨论,还通过自发分享与内容再创作形成二次传播效应。数据显示,当核心社群用户占总体关注用户比例达到百分之二十左右时,衍生产品的首发转化率可稳定在百分之十五以上。以粉丝社群为核心的运营方式,使商业推广过程更具针对性,也降低了传统广告投放所带来的成本压力。

5.2 内容传播与产品销售融合的转化模式

经典 IP 二次元衍生产品的商业转化并非单一销售行为,

而是建立在内容持续传播基础上的综合过程。通过图文内容、短视频与角色设定展示等方式进行内容输出,可以在产品上线前形成稳定的关注热度。当内容发布频率保持在每周四至五次时,用户对IP的记忆强度与关注黏性明显增强。在内容传播阶段引入产品元素,使消费者在接受内容信息的同时逐步建立购买意愿。实际运营中,当内容曝光量达到五万次以上时,产品页面访问量可提升至三千人次左右,最终形成一百五十单至二百单的销售规模。内容与销售的融合,使商业行为自然嵌入用户体验过程,降低用户对营销行为的抵触情绪,从而提升整体转化效率。

5.3 多渠道协同下的商业价值实现路径

经典IP二次元衍生产品的商业价值实现依赖多渠道协同运作,而非单一销售平台。线上电商平台、社交平台与线下展会共同构成产品销售与品牌传播网络。在电商平台中,产品页面访问转化率保持在百分之三左右时即可实现稳定销售;社交平台则承担品牌曝光与用户互动功能,通过内容传播为电商渠道持续导流;线下漫展与主题活动为消费者提供面对面体验机会,使品牌认知更加立体。实践表明,当线上销售渠道占总销售额比例达到百分之七十以上,线下渠道贡献百分之三十左右时,整体运营结构更具稳定性。多渠道协同运作能够分散市场风险,拓展消费触点,使经典IP二次元衍生产品在不同场景中持续释放商业价值^[9]。

6 经典IP二次元衍生产品商业实践应用策略

6.1 基于内容共创的经典IP二次元产品应用路径

基于内容共创的应用路径以数字媒体技术为支撑,将经典IP再创作过程与商业实践深度结合。在项目实施中,通过引入数字绘制软件、三维建模工具与AIGC辅助设计技术,构建开放式创作流程,使画师、策划人员与粉丝群体形成协同创作关系。经典IP的角色设定与世界观在技术平台上以模块化方式呈现,便于在不同创作节点进行延展与调整,提升内容更新效率。在商业实践层面,内容共创成果通过社交平台与二次元社区持续发布,形成稳定的话题热度,并以点赞、转发与评论数据作为产品开发的重要依据。部分高关注度形象被直接转化为衍生产品设计原型,进入样品打样与生产环节,实现从内容创作到商品转化的闭环。该路径使技术工具成为连接创意表达与商业决策的重要纽带,提升经典IP二次元产品的市场适配度与开发效率^[9]。

6.2 面向多场景消费的经典IP衍生产品应用方式

面向多场景消费的应用方式强调技术手段与商业渠道的协同配置,使经典IP衍生产品覆盖线上与线下多种消费环境。在技术层面,项目通过数字建模与视觉渲染技术实现产品外观的快速迭代,确保不同应用场景下的产品风格保持

一致。线上消费场景依托电商平台与二次元垂直社区,将实体衍生品与数字内容进行组合呈现,增强用户浏览与购买体验。线下场景则通过漫展、主题活动与快闪展示,将数字形象转化为实体陈列与互动装置,提升沉浸感。在商业实践中,多场景布局使产品不再依赖单一销售渠道,而是通过内容展示、互动体验与即时购买形成连续消费路径。这种应用方式有效拓宽经典IP二次元衍生产品的使用情境,增强产品在不同消费节点中的存在感与转化能力。

6.3 以品牌延展为导向的经典IP二次元商业应用机制

以品牌延展为导向的商业应用机制注重技术积累与长期运营的结合,使经典IP二次元化成果持续释放商业价值。在技术层面,通过建立统一的数字资产管理体系,对角色形象、视觉元素与内容素材进行系统化存储与调用,保证不同产品与内容之间的风格连续性。在商业实践中,衍生产品不再作为孤立商品,而是作为品牌形象的重要组成部分参与市场传播。通过持续推出主题系列产品与限量内容,强化品牌记忆点,并引导粉丝形成稳定消费预期。销售数据与用户反馈被持续纳入品牌调整依据,用于优化后续产品方向与内容规划。该机制使经典IP二次元衍生产品由单次交易转向长期品牌运营,实现从产品销售向品牌价值积累的转变^[9]。

7 结语

经典IP在二次元文化语境中的再开发,不仅是内容形式的更新,更是文化价值与商业逻辑的重构过程。通过对经典IP文化基础、再创作机制、衍生产品体系及商业运行路径的系统梳理,可以看出二次元文化为经典IP提供了新的表达空间与价值转化通道。在技术手段持续进步与消费场景不断拓展的背景下,经典IP二次元衍生产品逐渐形成以内容创新为核心、以产品体系为支撑、以品牌运营为导向的发展模式。合理整合创作资源、市场机制与技术条件,有助于提升经典IP衍生产品的市场适应性与持续发展能力,为文创产业中IP商业化实践提供具有参考意义的路径经验。

参考文献

- [1] 钟茜.从“二次元”到山水间动画IP成文旅新引擎[N].综艺报,2025-10-25(005).
- [2] 黄睿智.基于依恋理论的二次元角色设计策略研究[D].导师:袁超;任广军.江南大学,2025.
- [3] 丁雯琦.二次元角色消费社群的互动行为研究[D].导师:曾海芳.浙江传媒学院,2025.
- [4] 袁焯甜.二次元文化背景下品牌视觉形象设计研究[D].导师:史爽.吉林艺术学院,2022.
- [5] 杨静楠.二次元经济下基于用户体验的衍生品设计探索[J].设计,2019,32(15):16-18.

Error Analysis and Control Strategy of Coal Quality Sampling in Thermal Power Plant

Yufeng Zhu

Huaneng Gansu Energy Development Co., Ltd. 803rd Branch, Lanzhou, Gansu, 732850, China

Abstract

Fuel management in thermal power plants primarily focuses on both incoming coal and furnace coal, with sampling serving as the foundation for coal quality assessment. During transportation, unloading, storage, and loading processes, coal is prone to particle size stratification and moisture migration, making laboratory accuracy alone insufficient to ensure reliable results. Coal quality sampling error refers to the discrepancy between measured values and actual values of a coal batch, encompassing both random fluctuations and systematic deviations caused by sampling locations or methods. In accordance with standards for manual and mechanized sampling of commercial coal, sampling protocols should emphasize representativeness, precision, and error control. This paper analyzes common coal arrivals in thermal power plants, identifies error sources, and proposes control strategies.

Keywords

thermal power plant; coal quality sampling; error; analysis; control strategy

火电厂煤质采样误差分析及其控制策略

朱玉凤

华能甘肃能源开发有限公司八〇三分公司, 中国·甘肃 兰州 732850

摘要

火电厂燃料管理以入厂煤与入炉煤为对象, 煤质检验的起点是采样。煤在运输、卸料、堆取和上煤过程中容易出现粒度分层与水分迁移, 单靠化验精度并不能保证结果可靠。煤质采样误差是指煤样测定值与该批煤真实值之间的偏离, 既包括随机波动, 也包括由取样位置、截取方式等引入的系统性偏移。依据商品煤人工采样与机械化采样相关标准, 采样方案应围绕代表性、精密度与偏移控制展开。本文结合火电厂常见来煤形态, 分析误差来源并提出控制策略。

关键词

火电厂; 煤质采样; 误差; 分析; 控制策略

1 引言

火电厂煤质采样通常覆盖入厂卸煤、入厂输煤、煤场堆取以及入炉给煤等节点, 常见方式包括人工分层取样、皮带煤流机械采样和车辆来煤的分布取样。采样的核心任务是从一批不均匀的煤中取得具有代表性的煤样, 并为后续制样与化验提供可追溯来源。煤质采样误差的含义是采得煤样的测定值与该批煤按质量加权的真实值之间存在差异, 该差异可能由随机取样波动造成, 也可能由取样覆盖不充分、截取过程不完整、颗粒破碎与水分变化等因素形成偏移。国家标准 GB 475 及机械化采样系列标准提出了采样精密度与偏移评价思路, 为火电厂建立采样方案与质量控制点提供依据^[1]。

【作者简介】朱玉凤(1989-), 女, 中国甘肃张掖人, 本科, 工程师, 从事火电厂燃料管理研究。

2 火电厂煤质采样误差

2.1 采样点位与截面覆盖偏差

火电厂入厂煤多经翻车机卸料或汽车卸煤后进入落煤斗与皮带, 煤流在落差、转运点和导料槽内受冲击与摩擦影响, 常出现粗粒靠外、细粒靠内或粉煤下沉的分带现象。若机械采样器的取样铲只扫到皮带一侧, 或取样行程未覆盖全宽煤流, 所得增量会放大某一粒级的占比。人工采样时, 作业人员往往在车顶、车门附近或堆体表层取样, 取样深度不足, 且容易回避大块与夹矸, 导致煤样更细且杂质含量被低估。当来煤含泥或含水偏高时, 黏结团块在局部滞留, 若取样未能覆盖这些区域, 煤样水分、灰分与发热量会呈现不稳定偏差。部分现场在皮带启停、落煤量忽大忽小时仍按固定点位取样, 容易把瞬时煤流状态当作整批特征。此类误差多与取样位置固定、取样面覆盖不足相关, 属于典型的系统性偏移。

2.2 增量质量与粒度结构失配误差

火电厂来煤粒度跨度大,既有粉煤也常夹带大块与矸石,煤样代表性依赖于每次取样增量能否截取足够质量并覆盖粒度分布。现场常见情况是采样器开口偏窄或采样桶容量偏小,煤流中粗粒在切取时被挤出、弹落或沿铲面滑回皮带,导致煤样粗粒比例被削弱,灰分、全硫等受矿物质影响的指标随之漂移。若取样动作与输煤速度不同步,切割时间过短,增量对煤流的截取不完整,细粒更容易进入样桶而粗粒更容易遗漏。部分火电厂在取样后才组织破碎与缩分,粗粒在搬运、落料与二次撞击中先行破碎并产生细粉,粒级结构被人为改变,使同一批煤在不同采样时段出现细化趋势。对高水分褐煤或黏煤,团聚体在采样器内黏附,实际进入样桶的质量低于理论值,误差常表现为结果离散度扩大。

2.3 样品状态变化引起的水分偏差

火电厂煤样从取样到化验通常要经历装桶、转运、破碎、缩分和暂存,其间温度、风速和暴露时间会改变样品含水状态。冬季低温时,表面水分结冰并附着在大块外表,取样后若在室内融化形成游离水,煤样局部含水会重新分布,导致全水分测定值在不同缩分份之间差别加大。夏季高温与强风条件下,样桶敞口或封口不严会造成蒸发失水,尤其是褐煤、细粉煤和新鲜破碎煤更明显,结果常呈系统性偏低。雨雪天气时,采样区地面积水或落雪会被带入样桶,随后在化验前逐渐渗入煤粒孔隙,表现为水分偏高且波动大。部分现场为便于破碎会提前摊晾煤样,摊晾过程中细粉先干燥且易扬散,使煤样水分与灰分同时发生变化。若样品在转运途中混入煤场浮尘、木屑或石块,化验结果会出现非煤因素扰动,此类误差往往难以通过重复化验抵消。

2.4 混匀与缩分过程引入的分取误差

火电厂煤样在进入化验前通常要完成破碎、混匀和缩分,缩分的目的在于把大样变成可化验的实验室样,但缩分过程本身会放大不均匀性。若破碎后煤样粒度差异仍大,细粉会在料堆中心下沉,粗粒沿外缘滚落,形成明显分层,随后缩分器分流不均或人工四分法取样位置不一致,就会把分层状态带入样品。部分火电厂在混匀时只进行简单翻动或短时间滚拌,导致矿物质富集颗粒与煤质较好颗粒未能充分交叉,灰分、硫分和发热量等指标在平行样之间出现离散。对水分专用样而言,破碎与缩分的时间延长会叠加水分变化,使缩分误差与水分误差相互耦合。若缩分次数不足或一次缩分比例过大,偶然混入的矸石、木块或金属碎片对小样品的影响会被成倍放大,形成看似跳变的异常数据^[2]。

3 火电厂煤质采样误差控制策略

3.1 采样布置与作业面校准

为把取样位置引起的方向性偏差压到可控范围,火电厂需将采样布置与作业面校准固化为现场规则。第一,工作人员按火车来煤、汽车来煤与皮带来煤分别建立点位台账,

点位以煤流截面稳定区为准,逐点写明行走路线、到位时间、取样深度与样点数量,并把回流堆积区、导料槽滞留区、落差扬尘区列为禁采边界,班组交接核对点位轮换表与作业票,避免长期固定在同一截面形成系统性偏移。第二,火电厂设置点位自检程序,在同一批次煤内选取两处及以上作业面同步平行取样,按统一制样与化验条件比较全水分、灰分与发热量差值,结合历史波动区间给出控制限,控制限按煤种与季节分层设置,现场人员同时观察煤流是否出现分带、偏载或积料,连续超限即暂停该点位并调整到可截取截面的新位置。第三,车辆来煤执行分层分区取样,样点覆盖车厢前中后、左右及不同高度层,遇湿煤、夹矸、混装或冻结时按异常状态加密样点并单独标识,取样桶标签记录样点分布、来煤外观与卸车方式,便于复盘偏差来源并追溯到具体车次与作业面。第四,机械采样系统按偏倚核查与精密度测定要求定期复验,偏倚核查可采用机械样与人工截取对比或平行系统对比,精密度验证分别统计采样、制样与化验的重复性,现场复核取样铲行程、截取宽度、安装角度与切口磨损,核对缩分器开口尺寸和落样通道积料,并在复验前后检查带速、落差与导料板磨损,校准结果以记录卡固化并与检修计划挂钩,复验原则按 GB/T 19494.3-2023 及 ISO 13909 相关试验组织实施。

3.2 增量质量保障与粗细颗粒兼顾

围绕增量质量保障与粗细颗粒兼顾,火电厂应把单次截取样量和粗粒入样完整性设置为可量化、可复核的现场控制点。第一,采样方案应结合来煤最大粒度、煤流量与检验项目确定单次截取目标质量、截取次数和样桶容量,并在班前点检中核对采样器开口尺寸、切割唇口磨损、导料板间隙、回落口密封与落料通道通畅度,同时复称样桶皮重并核对编号,发现变形、堵塞或漏煤缝应立即修复,避免截取阶段挤出回流造成细粉偏置。第二,采样器动作周期与切割速度应与皮带速度和稳定煤流段匹配,保证切割器贯穿煤流全宽形成完整切片,并在运行初期、煤种切换或检修后采用称量试验校核单次样量,按班核对累计样量与设计值偏差并留存记录,异常时优先排查行程不足、偏刀、落点偏移和导料槽回带,必要时调整切割行程与导料角度,避免粗块遗漏。第三,火电厂应明确粗粒与夹矸处置边界,取样后严禁挑拣、敲碎或补入,并在截取后尽快完成初级破碎与缩分,破碎前检查筛板、间隙和堆料,转运时采用接料和挡料控制自由落差,减少二次抛洒与意外破碎,样桶转交需封签并防止混桶,保持粒级组成一致。第四,对高黏结或高水分来煤,应将样桶落料口和溜槽纳入固定清理频次,班中出现挂料或团聚堵塞时停机刮除并核对通畅与落点,交接班核对空桶状态、残留量与皮重,残留物集中清理不得混入当批样品,并在台账记录清理时间与残留重量,用于核对实际入样质量^[3]。

3.3 水分样品闭环管理与状态保持

为把全水分从“取到”稳定保持到“测到”,火电厂

应把时间、密封和环境条件纳入水分样品闭环控制。第一，取样后现场人员在不翻动总样的前提下立即分取水分专用样，优先使用带密封圈的金属罐或厚壁塑料桶，外加双层薄膜袋二次封装，封口用扎带并配套封签号，容器外侧标注采样时间、煤流来源、来煤干湿状态与当班气象，同时在交接单记录容器完好、封签编号和外壁是否有附着水，运输只允许整罐转运，严禁中途开盖倒换。第二，工作人员应将采样至制样、制样至化验的流转时限按季节分级设定并写入作业票，交接时由接收人核对时间戳、封签完整性、暂存点位与温湿条件，化验室接样后先检查容器密封与封签一致性并登记，确认无渗漏后再进入制样与称量环节，发现超时、封口松动、敞口暴露或样品翻撒即按规程判废重取，暂存区要求阴凉避风、远离热源和水汽源，样品不得靠地堆放，入库前不得打开进行二次挑拣或称量。第三，冬季结冰煤样应全程保持密封完成回温，回温采用室内自然升温或缓升温方式，禁止靠近热源烘烤，待冰层完全融化后先在密封状态下轻滚均化使融冰水重新分布，再按规定节拍快速破碎、缩分并立即复封水分样，操作台面和工具应预先擦干且不得用吸水性布料接触煤样^[4]。第四，雨雪与大风天气取样应设置遮挡和风挡，取样点地面及时排水并划定干燥作业区，采样器、样桶和缩分器作业前后擦干并加盖，样桶装样后刮净外壁附着水再封存，样品容器不得落地或靠近喷淋点，发现雨水混入、封签浸湿脱落或容器进水时按规定退样重取。

3.4 混匀缩分规范化与平行样一致性控制

为降低制样环节离散，火电厂应把混匀缩分与平行样一致性按程序化要求落实到班组作业。第一，破碎后应核对应出料粒度与均匀性，按最大粒度要求进行全量过筛或抽检复核，观察硬质夹杂与未破碎块等迹象，出现粗细两极时先分级再破碎后合并返入混匀，并同步检查筛板开孔、锤头间隙与堵塞点，记录出料粒度、返工次数和剔杂情况，防止粒度差异转化为缩分偏差。第二，混匀采用固定步骤与次数，在洁净台面分层摊铺后按对角线交叉翻拌，再进行不少于三次堆锥回堆，使粗粒与细粉充分交错，混匀过程控制时间并避风直吹，冬季结冰细团应在密封状态回温后轻破散团，作业

前后对铲具、分样盘与样桶逐件清扫干擦，不得用潮湿抹布或带水清洗后直接作业，以免吸湿黏附与交叉污染。第三，缩分优先使用检验合格的二分器或缩分机，缩分前应试切称量确认两路对称，按周期校核分流对称性、通道磨耗与漏料点，缩分时保持连续均匀下料并控制落差，接样桶对位固定避免偏摆，出现断料、冲料或两路样量失衡立即停机复核，按标准要求落实最小切割次数与再缩分规则，并在交接单记录缩分比例、次数、最终样量及设备编号。第四，实验室按批次同步形成平行样与备查样，平行样独立编号并在同一分析批次完成全水分、灰分与发热量等关键项目，称量、封存与交接由不同人员交叉复核，备查样按规定期限密封保存，结果差值超出内控限时不直接取平均，而是回溯破碎粒度、混匀步骤和缩分记录，优先用备查样重新制样复验，仍异常则按制度启动复取大样并对相关设备进行核查^[5]。

4 结语

综上所述，火电厂煤质数据的稳定性取决于采样代表性，也取决于样品在流转过程中的状态保持与制样一致性。上文从点位覆盖、截取量与粒级、水分状态变化以及混匀缩分四类误差入手，提出点位校准、样量保障、密封时限管理和制样规范化等控制思路，为燃料验收与运行调整提供更可靠的依据。

参考文献

- [1] 韩晓丽.火力发电厂煤质化验过程中关键因素影响分析与误差控制策略[J].科技与创新, 2025(13).
- [2] 郭娜,苏日娜,张麒,等.智能采样在火电厂燃煤质量监控中的误差分析与优化[J].工程建设与发展, 2025(8).
- [3] 胡继业.煤质对火电厂锅炉运行效率的影响及解决措施[J].工程施工与管理, 2024, 2(7):22-24.
- [4] 郑刚.复杂煤质对火电厂生产运行的影响研究[J].电力设备管理, 2023(17):53-55.
- [5] 李文娟,郭红艳,黄蓉.火电厂煤质检测异常数据分析与改进措施[C]//2025年(第八届)火电燃料管理及智能技术应用研讨会论文集.2025.

Research on Adaptability and Economy of New Distribution Equipment in the Power Grid Upgrade of Old Residential Area

Fuyi Qiao

State Grid Shaanxi Electric Power Co., Ltd. Foping County Power Supply Branch, Hanzhong, Shaanxi, 723000, China

Abstract

To address challenges including outdated power grid equipment, insufficient supply capacity, and safety hazards in old residential communities, this study examines a grid upgrade project in a city's core area. Through research on new distribution equipment selection, compatibility design, electrical system optimization, and cost-effectiveness analysis, the paper proposes tailored equipment adaptation solutions and implementation pathways. Comparative analysis of traditional versus new equipment demonstrates superior performance parameters, installation conditions, and ROI, with new systems achieving 99.97% power supply reliability, 32.6% reduction in line loss rates, and 28.3% decrease in lifecycle costs. The study presents a technically feasible and economically sound approach for upgrading aging residential community power grids.

Keywords

old residential area; new distribution equipment; power grid upgrade; adaptability; economy

新型配电设备在老旧小区电网升级中的适配性与经济性研究

谯富意

国网陕西省电力有限公司佛坪县供电分公司, 中国·陕西 汉中 723000

摘要

为解决老旧小区电网设备陈旧、供电能力不够、安全隐患等问题, 本文以某城市核心区老旧小区电网升级项目为例, 围绕新型配电设备选型、适配性设计、电气系统优化以及经济性分析展开研究, 提出针对老旧小区电网升级的设备适配方案及实施路径。对传统设备和新型设备的性能参数、安装条件及投资回报展开对比, 证实了新型配电设备在供电可靠度、节能效率和全生命周期成本上的优势。运用新型配电设备后, 小区供电可靠率升至99.97%, 线损率降低幅度达32.6%, 全生命周期成本降低28.3%, 给出了老旧小区电网升级的技术可行、经济合理方案。

关键词

老旧小区; 新型配电设备; 电网升级; 适配性; 经济性

1 引言

虽然智能电网小区还处于“概念化”的试验阶段, 但其未来发展前景广阔, 对未来电网升级改造和居民的信息化生活具有示范效应。目前, 我国智能电网小区的建设和改造以及新建项目正不断推进。对于现代住宅小区而言, 小区电力配电及机电设备设施的正常运行是小区居民日常生活得以正常运行的重要保障。但是从目前的实际情况来看, 部分小区的电力配电及机电设备设施管理依旧还存在着诸多问题, 在很大程度上对居民的日常生活造成了严重影响。如老旧小区一般建设年代长、配电设备老化重、供电容量不足、线路布局乱套, 难以满足电动汽车充电、智能家居等新用电

负荷增长需要, 频繁引发停电问题和安全隐患^[1]。新型配电设备靠高效节能、紧凑小巧、智能可靠等优势, 为老旧小区电网升级增添新的技术助力。本文借助实际工程案例, 剖析新型配电设备与老旧小区电网适配性设计关键点, 为同类老旧小区电网升级改造提供借鉴。

2 工程案例

某城市核心区老旧小区电网升级改造项目, 该小区2000年建成, 所占面积约4.2万平方米, 居民楼数量为18栋, 共有864户住户, 有32家商业网点相配套。小区原有电网采取传统配电模式, 电压为0.4kV等级, 拥有配电变压器6台, 总计容量2100kVA, 存在2条10kV进线, 低压出线计36条, 配电线路总长度大概为3.8km。配电变压器、开关柜等既有设备运行时间超20年, 绝缘性降低, 故障发生频次达每年8.7次, 其中变压器漏油、开关拒动等严重故障占比为42%;

【作者简介】谯富意(1997-), 男, 中国陕西西乡人, 本科, 助理工程师, 从事配网检修、电力系统自动化研究。

由于居民用电负荷急剧增加，以往配电变压器负载率一直达85%以上，高峰时段超110%，造成电压质量超出标准，末端电压出现-12%的偏差，无法符合电动汽车、空调等大功率设备使用条件；本项目加入新型配电设备，增强供电稳定性，把供电可靠率从99.78%提高到99.95%以上，年均停电时长缩减至8小时内；提升负荷承载性，满足未来5至8年用电负荷增长所需，把变压器负载率限制到70%以下；改进安装布置，在占地面积无新增的条件下，实现设备紧凑型排列；四是减少能耗与安全风险，线损率减至5.5%以下，清除现有的电气安全隐患。

3 新型配电设备选型与适配性设计

3.1 新型配电设备选型

社会的快速发展推动了城市进程的加速，所以各住宅小区的数目越来越多，作为生活基础建设之一的供配电设施建设就显得越来越重要了。但是在实际的建设和维护中，因为诸多因素导致无法有效利用住宅区域供配电设备。鉴于老旧小区安装空间有限、负荷增长迅速、维护条件不佳等特征，本项目选择以下3类核心新型配电设备（见表1）。

表1 核心新型配电设备

设备类型	型号规格	核心性能参数
干式配电变压器	SCB14-630/10	容量630kVA，损耗等级14型，空载损耗1.2kW，负载损耗5.8kW
紧凑型开关柜	KYN28A-12（改进型）	额定电压10kV，额定电流1250A，防护等级IP4X
智能低压配电箱	MNSL-0.4	额定电压0.4kV，出线回路24路，具备智能监测功能

3.2 适配性设计要点

3.2.1 空间适配设计

把原有的6台传统变压器换成4台SCB14型干式变压器，发挥其体积小这一优势，对原有配电室布局加以优化，将维护通道宽度扩至1.2m；紧凑型开关柜运用“上下层布局+前后错层”形式，若占地面积相同，出线回路数量增长25%；智能低压配电箱采取壁挂式安装方式，代替传统落地式箱体，减少地面空间占用60%。新型电缆采用的是交联聚乙烯绝缘电缆，呈现出外径小、柔韧性佳的特性，适合老旧小区窄电缆沟铺设，敷设占用的空间降低30%。

3.2.2 负荷适配设计

利用智能电表采集近3年用电数据，综合电动汽车充电桩、智能家居等新增负荷的预测，选定变压器容量配置计划，把单台变压器容量从315kVA或350kVA统一提升至630kVA，总容量升高到2520kVA，将负载率限定在65%以内；新型开关柜选用高分断能力断路器，适配老旧小区线路短路大电流工况；智能低压配电箱配置自适应型过载保护装置，可依照负荷变化动态调节保护参数，杜绝误动作跳闸。

3.2.3 运行维护适配设计

由于老旧小区物业维护力量有限，干式变压器采纳真

空浇注工艺，无需定期实施换油维护；开关柜配置智能监测模块，可对设备温度、湿度、绝缘状态实时进行监测，做到故障预警；低压配电箱添加远程控制功能，协助物业人员远程抄表、故障排查，降低现场维护工作量^[2]。设备操作界面设计简明直观，符合老旧小区维护人员操作习惯，降低培训开支。

3.3 设备连接与系统集成

10kV侧通过紧凑型开关柜与原有进线电缆连接，采用插拔式终端接头，安装便捷且接触可靠；变压器与开关柜之间采用封闭母线桥连接，缩短接线距离，降低损耗；低压侧通过智能低压配电箱实现负荷分配，出线电缆采用矿物绝缘电缆，提升防火性能。设备层通过传感器采集变压器温度、线路电流电压等数据；通信层采用LoRa无线通信技术，适配老旧小区布线困难的场景，数据传输速率达50kbps，时延≤100ms；监控层搭建集中监控平台，实现设备运行状态实时监测、故障报警、远程控制等功能，系统架构见图1。

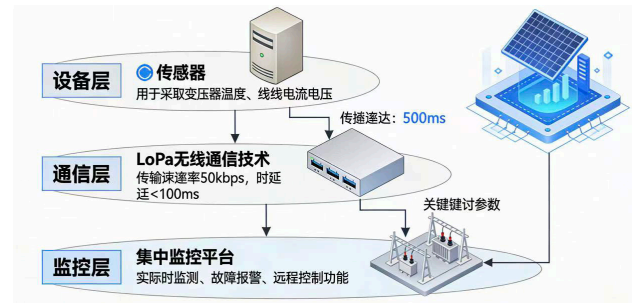


图1 系统架构图

4 电气系统设计

4.1 主接线与负荷分配设计

10kV侧采用单母线分段接线模式，2条进线各自连接两段母线，靠联络开关做到互备；低压侧采用单母线分段的接线方式，一台变压器对应一段母线，分段开关选用智能断路器，可以实现自动切换投送。负荷分配按照“就近供电、均衡负载”标准，实现居民负荷和商业负荷的分开供电，居民用电采用放射式布线，商业负荷采用树干型接线，保证负荷均匀分布，线路损耗最小化。针对新增的电动汽车充电负荷，在低压侧留出16路专用充电回路，利用独立断路器进行保护，回路容量按30kW/路规划，适配未来充电设施安装要求。

4.2 布线设计

依照“隐蔽铺设、安全稳固、方便维护”准则，高压电缆利用电缆沟实施敷设，低压电缆采用桥架加穿管的敷设法^[3]。在居民楼间新添1.2m×0.8m电缆沟，采取防水、防腐手段；楼道当中电缆桥架选防火型，规格设定为300mm×150mm，沿着墙角铺设，不会影响居民走动；入户电缆采取穿管暗装，保护管选取PVC管，管径选择参考电缆截面，保障敷设合乎规范。电缆选型环节，10kV进线

电缆采用 YJV22 - 8.7/15kV 3 × 120mm² 这种型号，低压出线电缆采用 YJV-0.6/1kV 4 × 120mm²，让电缆载流量符合负荷要求，而且具备良好的机械强度和绝缘性能。

4.3 接地与防雷设计

新型配电设备接地采用 TN-S 体系，全部设备金属外壳及电缆金属护套等都要可靠接地，接地电阻值不超 4Ω；配电室实施总等电位联结，居民楼每层安排局部等电位联结工作，增进用电安全性，防雷设计部分，在配电室房顶装设接闪带，给配电设备添装浪涌保护器，10kV 侧选用 10/350μs 规格的 SPD，低压侧采用 8/20μs 型的 SPD，防护等级达 II 级及以上，切实抵挡雷电过电压冲击。

5 适配性与经济性分析

5.1 适配性效果评估

项目实施后监测运行数据，新型配电设备适配老旧小区电网效果好。配电室占地面积未增加的状况下，借由设备紧凑布置与布局优化，配电室利用率上升 40%，使通道宽度达标率达成百分百，电缆敷设圆满结束，没有空间冲突情形；变压器升级后平均负载率降低至 62%，高峰阶段最大负载率为 78%，电压偏差把控在 ±3% 以内，让各类用电设备正常工作，新增电动汽车充电桩接入无障碍；设备运转平稳，投入运行 1 年没出严重故障，故障发生频次减至 1.2 次 / 年，改造后比改造前降低 86.2%；智能监控系统运行靠谱，数据采集完整程度达 99.8%，远程维护响应耗时不超 30 分钟，开展接地防雷优化及设备升级，电气安全隐患发生率降低至 0 起 / 年，完全消除了线路老化、漏电等安全隐患。

5.2 经济性分析

5.2.1 投资成本对比

项目总投资包括设备购置费、安装工程费、设计监理费等，新型配电设备与传统设备投资成本对比见表 2。

表 2 新型设备与传统设备投资成本对比表（单位：万元）

成本类型	新型设备方案	传统设备方案	差异额	差异率
设备购置费	386.4	312.8	+73.6	+23.5%
安装工程费	128.6	115.2	+13.4	+11.6%
设计监理费	28.3	25.7	+2.6	+10.1%
其他费用	18.7	16.3	+2.4	+14.7%
总投资	562.0	470.0	+92.0	+19.6%

注：其他费用含调试费、管理费等

5.2.2 运行经济性分析

对运行费用、能耗节约、维护成本等方面展开经济性分析，计算周期设定为 20 年。新型配电设备节能效果佳，小区线损率从百分之八点三降低到百分之五点六，以年均用电量 1260 万 kWh、电价 0.56 元 / kWh 来计算，年均节约

电费数额是 1260 乘（8.3% 与 5.6% 的差值）乘 0.56，约达 19.1 万元，新型设备的免维护性大幅削减维护成本，年均维护成本由改造前的 28.5 万元减少至 8.6 万元，平均每年节省 19.9 万元；改造前年平均停电损失（居民及商业）约 42.3 万元，经改造后降为 5.8 万元，每年平均节省 36.5 万元；20 年后新型设备残值大约是设备购置费的 10%，传统设备残余价值约为 5%，残值差异达 23.0 万元。

5.2.3 全生命周期经济性评估

全生命周期成本（LCC）= 初始投资 + 运行费用累计 - 残值回收。新型设备方案全生命周期花费为 1286.8 万元，传统设备方案成本达 1768.4 万元，新的设备方案省下成本 481.6 万元，成本节省比例为 27.2%；计算投资回报周期得出，新型设备方案在节能、维护、故障损失等方面实现节省，8 年可回收额外投资，经济效益可观。

5.3 综合效益分析

除直接经济效益外，新型配电设备可创造显著综合效益，提升居民用电质量，停电时长大大缩短，提升电压品质，居民满意水平为 98.3%（见图 2）；助力达成“双碳”目标，每年平均减少碳排放约 86.3 吨，符合绿色发展规定。

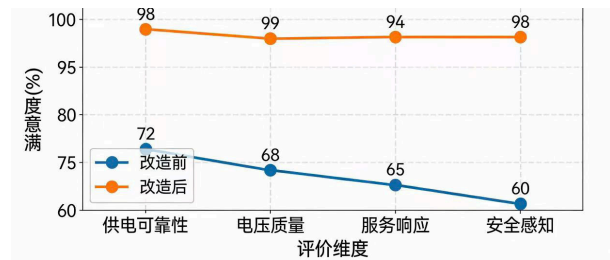


图 2 项目改造前后居民满意度对比

6 结语

本工程实例证明，新型配电设备于空间适配度、负荷承载量、安全运行性等方面呈现良好适配性，虽说初始投资略微偏高，然而经由节能降耗、削减故障损失、降低维护成本等方式，全生命周期经济效益显著。未来老旧小区电网升级改造应率先推行新型配电设备，同时结合小区实际情形进行个性化适配规划，增强智能技术整合应用，进一步增强电网智能化水准和运行效率。

参考文献

- [1] 张永明,于杰生,颜哲,等.面向老旧小区的建筑供配电低碳改造技术研究[J].建筑节能(中英文),2023,51(06):96-101+142.
- [2] 杜石涛.老旧住宅小区供配电设施改造项目管理分析[J].农村电工,2022,30(02):42-43.
- [3] 苏晓翠.浅谈老旧小区配电设置改造项目的工程建设安全分析[J].四川水泥,2021,(01):127-128.

Study on the detection method of starch in silage corn

Yanjie Liu Haihe Xu Wenlong Zhu Yuxuan Liu Jiawei Tong

Beijing Sanyuan Seed Industry Technology Co., Ltd. Feed Division, Beijing, 100151, China

Abstract

The experiment aims to establish a simple, accurate, and reproducible method for rapid determination of starch content in silage corn. The study added gelatinized samples to the test under the catalysis of starch glucosidase (AGS), and finally hydrolyzed them into glucose. Glucose oxidase (GOD) catalyzes the oxidation of β -D-glucose (glucose aqueous solution) under aerobic conditions, producing hydrogen peroxide. Under the catalysis of peroxidase (POD), hydrogen peroxide reacts with 4-aminoantipyrine (4-AAP) and phenol to form a red quinone imine. Measure the absorbance of quinone imine at a wavelength of 505 nm. The results showed that there was a linear relationship between the amount of starch standard solution and the absorbance of the reaction solution, with a correlation coefficient of 0.9998 and a relative standard deviation of less than 1.3%. The detection results were not significantly different from those determined by GB 5009.9-2023 enzymatic hydrolysis method. Research has shown that the method used in the experiment to determine the starch content in silage corn has the advantages of simplicity, speed, high accuracy, and good repeatability, and can be used as a rapid detection method for starch content in silage corn.

Keywords

silage corn; Starch; Glucose oxidase; Peroxidase

青贮玉米中淀粉检测方法的研究

刘艳杰 徐海贺 朱文龙 刘宇璇 全家玮

北京三元种业科技有限公司饲料分公司, 中国·北京 100151

摘要

试验旨在建立青贮玉米快速测定淀粉含量的方法, 操作简便, 准确度高, 结果稳定。研究将糊化过的青贮玉米样品中加入在淀粉葡萄糖苷酶(AGS), 经过在一系列反应后, 得到最终产物为葡萄糖。该原理是在氧气条件下催化 β -D-葡萄糖氧化, 在氧气下形成过氧化氢及其葡萄糖水解产物, 首先由葡萄糖氧化酶(GOD)构成。其次经过氧化物酶(POD)催化作用, 经4-氨基安替比林(4-AAP)和苯酚生成醌亚胺, 经过氧化氢与4-氨基安替比林反应而成。该物质呈红色, 在505nm波长下用可见分光光度计测定测出醌亚胺的吸光度。^[1]测试结果显示: 淀粉标准液的量与反应液的吸光度呈线性关系, R^2 为0.9998, 相对标准偏差小于1.3%, 测试结果与GB 5009.9—2023^[2]酶水解法测定结果无太大差异。研究表明, 试验所采用的方法对青贮玉米中淀粉含量的测定具有操作简便、准确度高等优点, 因此可作为青贮玉米中淀粉含量的测定方法进行试验。

关键词

青贮玉米; 淀粉; 葡萄糖氧化酶; 过氧化物酶

1 引言

淀粉作为畜禽获取能量的核心物质, 是评估饲料营养价值的关键指标之一, 在科学评价其营养价值的同时, 准确测定粗饲料中淀粉的含量, 不仅可以提供数据支持, 还有助于深入研究反刍动物碳水化合物的代谢调节机制。随着畜牧业的发展, 青贮玉米因具有原材料易获取、营养物质较多、工艺简单等优点, 通常作为重要的饲料来源, 广泛应用于反刍类动物, 不仅能够满足反刍类动物的自身营养需要, 还可以提升农产品的质量。淀粉在青贮玉米的营养构成中所占比重较大, 且主要供给反刍动物能量, 是衡量青贮玉米饲用价

值的重要指标。

当前国内具有的检测标准 GB/T 20194-2018《动物饲料中淀粉含量的测定 旋光法》(MOD ISO 6439:2000)^[3], 不适用于含有在分析过程中具有光学活性, 不溶于淀粉以外的干扰物质 40% 乙醇的样品, 检测范围存在一定的局限性, 如马铃薯, 甜菜的叶、根、冠, 以及含量丰富葡萄糖的产品; 另一项检测标准 GB/T 42491-2023《饲料中淀粉总含量的测定 酶法》(MOD ISO 15914:2004)^[4] 其适用范围仅为配合饲料、浓缩饲料、精料补充料和饲料原料, 在定量检测部分需采购试剂盒, 会增加对耗材技术性能验收的工作。

目前国内标准中尚无适用青贮饲料淀粉含量测定的方法, 在团体标准 T/JLSLGY 0001-2020《全株青贮饲料质量评定》^[5] 中, 淀粉检测执行 GB/T 20194, 但其适用范围并没有涉及青贮玉米等粗饲料样品类型。

【作者简介】刘艳杰(1996-), 中国河北承德人, 本科, 助理畜牧师, 从事动物食品检测研究。

测定饲料中淀粉含量的方法有多种,常用的有酸水解法、酶水解法和近红外法等。酸水解法容易造成空白值偏高,并且有一定的危害性。近红外法对样品的均匀性很高,在颜色上容易干扰。其中,酶水解法因其操作简便、精确度高而被广泛应用。酶水解法测定淀粉含量的基本原理是利用淀粉酶将淀粉水解成葡萄糖,然后通过比色法或滴定法测定葡萄糖的含量,从而间接得出淀粉的含量。该方法的关键在于选择合适的淀粉酶和严格控制水解条件,以确保淀粉完全水解成葡萄糖。^[6]

本研究在NY/T 802-2004《乳与乳制品中淀粉的测定 酶-比色法》的原有酶解法基础上开展优化改进,核心改动为为每份待测样品同步设置样品空白,以此消除可溶性糖等样品本底干扰物质对检测结果的影响,进一步提升检测数据的准确性。日常检测实践中发现,基于该方法研发的商品化检测试剂盒已实现试剂标准化,且实际应用效果良好。本研究将该优化后的方法拓展应用于青贮玉米样品的淀粉检测,同时提出两项关键注意事项:其一,饲料样品需充分混匀,防止因样品不均导致检测结果出现偏差;其二,应结合不同饲料的种类与特性,针对性选择适配的检测方法。^[7]

总之,淀粉含量的测定是饲料质量控制和动物饲养管理的重要环节。通过选择合适的测定方法和严格控制测定条件,可以准确、快速地测定饲料中的淀粉含量,为饲料配方设计和动物饲养效果提供有力支持。

2 试验方法

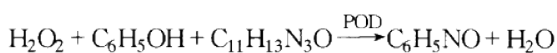
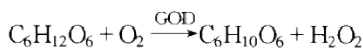
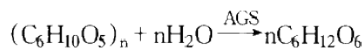
2.1 适用范围

用于玉米青贮饲料样品中淀粉含量的快速检测。

2.2 原理

“Trinder 反应”,方法起源于第一次由科学家 Trinder 提出,后来称为偶联终点比色法,该反应的原理是:被测物质在酶的催化作用下生成过氧化氢(H₂O₂),过氧化氢与4-氨基安替比林(4-AAP)中进一步发生反应,最终生成红色的醌亚胺化合物。^[8]

将此原理应用于淀粉检测中,加入淀粉葡萄糖苷酶(AGS),在酶的催化下,最终水解生成葡萄糖。有氧条件下,β-D-葡萄糖(即葡萄糖水溶液)在葡萄糖氧化酶(GOD)的催化下发生氧化反应,生成D-葡萄糖酸-8-内酯和过氧化氢。通过氧化物酶(POD)催化过氧化氢,与4-氨基安替比林(4-AAP)和苯酚反应,生成红色醌亚胺化合物。在505nm波长下测定该醌亚胺的吸光度值,并与标准系列进行比较以完成定量分析。^[9]



2.3 材料与方法

淀粉葡萄糖苷酶(amyloglucosidase)溶液:取100mL容量瓶,依次加入1.920g一水柠檬酸(C₆H₈O₇·H₂O)、7.415g二水柠檬酸三钠(C₆H₅O₇Na₃·2H₂O)试剂,同时加入相当于100u(活力单位)质量的淀粉葡萄糖苷酶,加水溶解,定容至刻度并摇匀,调节pH至4.6。该溶液于4℃左右保存,有效期为1个月。

葡萄糖氧化酶(glucose oxidase)一过氧化物酶(辣根,peroxidase)溶液:取100mL容量瓶,依次加入1.300g无水磷酸二氢钾(KH₂PO₄)、4.739g十二水磷酸氢二钠(Na₂HPO₄·12H₂O)试剂,同时加入相当于400u(活力单位)质量的葡萄糖氧化酶和1000u(活力单位)质量的过氧化物酶,加水溶解后定容至刻度并充分摇匀,调节pH至7.0。该溶液需在约4℃的条件下保存,有效期为1个月。

0.00154mol/L 4-氨基安替吡啉溶液:取100mL水,溶解0.0313g 4-氨基安替吡啉(C₁₁H₁₃N₃O)。

0.022mol/L 苯酚溶液:取100mL水,溶解0.0207g 苯酚(C₆H₅OH)。

二甲基亚砷[(CH₃)₂SO]。

6mol/L 盐酸溶液:将等体积的水与12mol/L 盐酸(HCl)混合,摇匀。

6mol/L 氢氧化钠溶液:取100mL水,溶解24g 氢氧化钠(NaOH)试剂,摇匀。

淀粉标准溶液:在100mL容量瓶中,加入0.200g的100℃±2℃干燥2h的可溶性淀粉[(C₆H₁₀O₅)_x],精确至0.0001g,加入少量60℃水进行溶解,冷却至室温后,用水定容至刻度并摇匀。移取该溶液10mL,加水稀释并定容至100mL,即得到浓度为200ug/mL的淀粉标准溶液。

2.4 试验仪器

万分之一电子天平;分光光度计(505nm);酸度计;水浴箱;涡旋混合器;台式离心机;10mL具塞比色管;100mL玻璃锥形瓶;250mL玻璃容量瓶;微量移液器20~200μL;移液管。

2.5 试验过程

2.5.1 样品的准备

青贮玉米样品:经过植物专用粉碎机粉碎,过100目标准分析筛后,再取样进行分析检测。

2.5.2 样品处理

取10mL具塞比色管,准确加入0.1g样品(精确至0.0001g),加入前处理液(1.3.5和1.3.6溶液按4:1混合)5mL,充分涡旋混合后,于59℃恒温水浴中水浴处理60min,期间每隔10min涡旋混合2min。水浴结束后,冷却至室温,转移到100ml锥形瓶中,利用浓度为1mol/L氢氧化钠溶液,调节pH值至4.6左右。取250mL容量瓶,将调节pH后的溶液进行转移,定容至刻度并摇匀,离心10min,上清液即为试样溶液。当试样中淀粉含量高于600μg/mL时,

则继续稀释。

2.5.3 绘制标准曲线

取 10mL 容量瓶，用微量移液器吸取 0.20mL 待测试样和试样空白（待测试样中淀粉的含量而定可做稀释），按 1.3.2 中操作进行。从“各加入 0.5mL 淀粉葡萄糖苷酶溶液”开始，操作步骤见表 1。

采用 1cm 比色皿测定各管样液在 505nm 波长处的吸光度。先用蒸馏水调分光光度计零点，再以等量试剂调整仪器至零点，作为空白校准。测出试样吸光度后，在标准曲线上即可查出对应的淀粉含量。

取 6 个 10mL 容量瓶中，分别用微量移液器移取 0.00mL、0.20mL、0.40mL、0.60mL、0.80mL、1.00mL 淀粉标准溶液，分别加入淀粉葡萄糖苷酶溶液 0.5mL，摇匀，放入 60℃ ± 1℃ 恒温水浴锅中加热 20min，取出后冷却至室温，依次加入葡萄糖氧化酶 - 过氧化物酶溶液 0.5ml、4- 氨基安替吡啉溶液 0.5mL 和苯酚溶液 0.5mL，摇匀，于 36℃ ± 1℃ 恒温水浴锅中加热 40min，取出后冷却至室温，用水定容到刻度并摇匀。以 0.00mL 的淀粉标准溶液对应的试剂作为空白对照，在 505nm 波长下，采用 1cm 比色皿于可见分光光度计中测定各样品的吸光度值。以淀粉含量为横坐标，吸光度为纵坐标，绘制其标准曲线。也可以采用单点法，如选用 200ug/mL 标准浓度进行定量分析。

2.5.4 样液的测定

取 10mL 容量瓶，用微量移液器吸取 0.20mL 待测试样和试样空白（待测试样中淀粉的含量而定可做稀释），按 1.3.2 中操作进行。从“各加入 0.5mL 淀粉葡萄糖苷酶溶液”开始，操作步骤见表 1。

采用 1cm 比色皿，于 505nm 波长处测定各管的吸光度。先用蒸馏水调仪器零点，再以等量试剂作为空白校准分光光度计至零点。测出试样吸光度后，在标准曲线上查出对应的淀粉含量。

表 1 试验操作步骤

容量瓶加入物	标准	标准对照	测定	测定对照
淀粉标准溶液 200ug/mL(mL)	0.200	0.200	/	/
待测试样 (mL)	/	/	0.200	0.200
蒸馏水 (mL)	/	0.500	/	0.500
试剂 3.1(mL)	0.500	/	0.500	/
混匀，59℃保温 20 分钟，冷却至室温				
试剂 3.2、3.3、3.4(mL)	各 0.500	各 0.500	各 0.500	各 0.500
混匀，37℃保温 40 分钟，冷却至室温				

2.6 计算

$$X = \frac{OD_{\text{测定}} - OD_{\text{测定对照}}}{OD_{\text{标准}} - OD_{\text{标准对照}}} \times C \times \frac{V \times 100}{m \times 1000} \quad (1)$$

采用单点法测定样品中淀粉的含量，以质量百分率表示，按 (1) 式计算：

式中：

X——样品中淀粉的含量，单位为百分率（%）；

OD 测定——测定管吸光度；

OD 测定对照——测定对照管吸光度；

OD 标准——标准管吸光度 -；

OD 标准对照——标准对照管吸光度；

C——淀粉标准液浓度，200μg/mL；

m——试样的质量，mg；

V——试液的定容体积，250mL；

1000——μg 与 mg 的换算单位；

采用标准曲线法测定样品中淀粉的质量百分含量，按

(2) 式计算，结果保留两位小数：

$$X(\%) = \frac{C \times V_1}{m \times V_2 \times 1000} \quad (2)$$

式中：

X——试样中淀粉的质量百分含量（%）；

C——由标准曲线上查得的待测液中淀粉含量（μg）；

m——试样的质量（g）；

V₁——试液的定容体积（mL）；

V₂——测定时分取试样的体积（mL）。

注：同一试样的两次测定之差，不得超过两次测定平均值的 5.0%

3 性能指标试验

3.1 线性情况

按照 1.3.5 中规定的浓度移取淀粉标准溶液，进行酶解反应，检测其吸光值，并绘制曲线。

3.2 精确度试验

本试验采用两个浓度水平（50mg/g、100 mg/g）进行加标回收，每个浓度梯度平行测定 5 次，通过加标回收率来验证本试验的精确度。

3.3 重复性试验

测定同一个青贮玉米 8 份样品的淀粉含量。

3.4 稳定性情况

将待测样品每经过 24h 滞留后进行一次吸光值检测，对比其含量变化情况。

3.5 不同方法间比对

本研究方法与 GB 5009.9—2023 酶水解法测定方法检测结果进行比对。

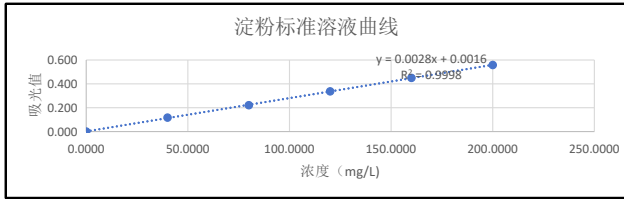
4 结果与分析

4.1 绘制标准曲线

表 2 所示为标准淀粉溶液检测结果，图 1 所示为淀粉浓度标准曲线。结果表明，采用分光光度法测定 40-200m g/L 浓度范围的淀粉时，溶液吸光度与淀粉含量呈现良好的线性关系，R²=0.9998，线性回归方程为 y=0.0028+0.0016。

表2 标准淀粉溶液浓度检测结果

序号	标准曲线浓度 (mg/L)	吸光度值 (0.001)
1	0.0000	0.000
2	40.0000	0.117
3	80.0000	0.221
4	120.0000	0.337
5	160.0000	0.450
6	200.0000	0.558



4.2 精确度试验 (见表3)

表3 精确度试验

淀粉加入浓度 (mg/g)	理论淀粉浓度 (mg/g)	平均回收浓度 (mg/g)	平均回收率 /%	相对标准偏差 /%
100.13	383.5	378.6	98.33	1.34
50.38	363.6	367.2	98.73	0.98

由表3可知, 淀粉的平均回收率为98.33%~98.73%, 5次平行测定结果的相对标准偏差为0.98-1.34。因此, 本测定方法的精确度高, 满足化学分析方法确认和验证的技术要求^[10]。

4.3 重复性试验结果 (见表4)

表4 青贮玉米重复性检测结果

样品名称	平均结果 %	相对偏差 %
青贮玉米-1	31.33	1.21
青贮玉米-2	34.50	0.87

由表4可知, 青贮玉米两组样品各8次平行测定结果的相对标准偏差为1.21%和0.87%, 因此, 本测定方法的重复性良好, 满足化学分析方法确认和验证的技术要求, 测量结果的准确性进一步得到保证^[10]。

4.4 稳定性情况

将待测样品糊化后溶液每经过24h滞留后进行一次酶解反应后吸光值检测, 其含量变化情况检测表(5)。

表5 淀粉含量检测稳定性情况

时间	0小时	24小时	48小时	72小时	96小时
青贮玉米淀粉含量 %	31.15	31.05	31.00	29.89	28.37

由上表数据显示, 待检样品试液中淀粉糊化后的反应液较稳定, 48小时内完成检测对结果影响不显著。

4.5 不同测定淀粉含量方法间检测结果比较

一份青贮玉米样品同时使用本研究方法和GB 5009.9—2023中酸水解法进行检测, 酸水解法测得该样品淀粉含量为27.10%, 而使用本研究方法检测该样品淀粉含量结果为27.40%。综上, 两次检测结果比对满足再现性要求。

5 讨论

本试验对酶解方法进行改进优化, 主要的改进在于每个待测定样品均设置一个样品空白对照, 以保证在试验最终结果中排除样品本身可溶性糖及其他物质的影响。该试验通过预糊化样品、淀粉酶反应以及比色法, 制定了试验步骤, 其优势在于快速测定及增加检测量(可实现单次检测30份样品)。同时研发出一种新的检测青贮玉米淀粉含量的方法, 通过比较方法, 对精密性、重复性及稳定性参数分析, 证实该方法具有可行性。

本试验结果显示, 淀粉浓度在40~200mg/L范围内时, 吸光度与葡萄糖含量呈良好线性关系, $R^2=0.9998$, 回归方程为 $y=0.0028x+0.0016$; 精密性试验中, 淀粉平均回收率为98.33%~98.73%, 5次平行测定的标准偏差为0.98~1.34; 重复性试验下, 所有结果的相对标准偏差均低于3%, 各项指标均符合化学分析方法确认与验证的相关技术规范。此外, 本方法的测定结果与其他酶解法结果高度吻合, 证实该方法兼具有效性与可行性, 可客观、精准地完成淀粉含量检测, 为原料采购及质量验收工作提供科学、可靠的检测依据。

6 结论

本试验研究青贮玉米中的淀粉含量测定, 该方法具有操作简单、精确度高优势, 可发展青贮玉米中淀粉含量检测的方法。

参考文献

- [1] 中华人民共和国农业部, 乳与乳制品中淀粉的测定 酶—比色法: NY/T802-2004[S].北京: 中国标准出版社, 2004.
- [2] 国家卫生健康委员会, 国家市场监督管理总局. 食品安全国家标准食品中淀粉的测定: GB 5009.9—2023[S].北京: 中国标准出版社, 2023.
- [3] 国家标准化管理委员会, 国家市场监督管理总局. 动物饲料中淀粉总含量的测定 旋光法: GB/T 20194-2018[S].北京: 中国标准出版社, 2018.
- [4] 国家标准化管理委员会, 国家市场监督管理总局. 饲料中淀粉总含量的测定 酶法: GB/T 42491-2023[S].北京: 中国标准出版社, 2023.
- [5] 吉林省饲料工业协会. 全株青贮饲料质量评定:T/JLSLGY 0001-2020.吉林省: 2020
- [6] 张杏莉, 蔡艳玲, 张幻, 张志刚, 丁能水. 饲料中淀粉检测方法的研究[J].饲料研究, 2021(18): 106-109.
- [7] 张雪, 刘子放, 南张杰, 张秋芝. 研究报告: 青贮玉米淀粉测定方法的研究[J].分子植物育种, 2022(17): 5788-5789.
- [8] 王建伟. 饲料中淀粉含量测定方法的比对研究[J].兽药饲料, 2021(08): 66-67.
- [9] 曹伟, 武林, 石琴琴, 张楠, 贾洪敏, 李丹丹, 孙春华, 杨青. 饲料原料中淀粉准去监测方法的研究和应用[J].饲料工业, 2023(23): 103-106
- [10] 潘浣玉, 郝艳娟, 陈诗欣, 李子珊, 何绮霞. 酶法测定饲料中淀粉总含量方法研究. 广东饲料, 2023(12): 42-47.
- [11] 国家标准化管理委员会, 国家质量监督检验检疫总局. 合格评定化学分析方法确认和验证指南: GB/T 27417—2017[S].北京: 中国标准出版社, 2017.

Research on Detection Technologies in Failure Risk Identification of Electronic Components

Xingru Li Kexin Guo

Shaanxi Hengtai Electronic Technology Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710021, China

Abstract

Risk identification of electronic component failure is the key to ensuring the reliability of electronic systems. This article constructs a multidimensional detection technology system based on the principles of material properties and energy interaction, involving five major technical directions: appearance inspection, electrical performance testing, non-destructive testing, environmental stress screening, and material analysis. By integrating interdisciplinary theories, analyze the operational mechanism of detection technology in identifying explicit defects and implicit risks, and reveal the transmission path from microstructural changes to macroscopic performance anomalies. The research results obtained provide theoretical support for the full life cycle management of electronic components, promoting the transformation of detection technology from passive diagnosis to active prevention, and have significant reference significance for improving the quality control level of the industry.

Keywords

electronic components; Failure risk identification; detection technology

电子元器件失效风险识别中的检测技术研究

李星儒 郭可欣

陕西恒太电子科技有限公司, 中国·陕西 西安 710021

摘要

电子元器件失效风险识别乃是保障电子系统可靠性的关键所在。本文依据物质特性与能量交互原理, 构建起多维度检测技术体系, 涉及外观检查、电性能测试、无损检测、环境应力筛选以及材料分析这五大技术方向。借助跨学科理论的融合, 解析检测技术在显性缺陷与隐性风险识别中的运作机制, 揭示微观结构变化向宏观性能异常的传导路径。所获研究成果为电子元器件全生命周期管理赋予了理论支持, 促使检测技术从被动诊断朝主动预防转变, 对提高产业质量控制水准有重大参考意义。

关键词

电子元器件; 失效风险识别; 检测技术

1 引言

随着电子设备朝着微型化以及高集成化方向发展, 由元器件失效带来的系统风险正变得越发突出。电子元器件属于系统的基础单元, 其可靠性对终端产品的性能稳定性以及使用安全性起着直接的决定作用。失效模式包括材料劣化、工艺缺陷以及环境应力等, 呈现出多样化的特性。传统的检测方法在面对纳米级缺陷和复杂的失效机理时, 局限性渐渐显露出来, 迫切需要构建科学合理的检测技术体系, 实现从单一参数测量到多维度综合评估的这一转变。本文基于失效风险识别方面的技术需求, 运用原理阐释以及实践应用这两

个视角, 对现代检测技术的应用路径展开系统的分析, 以便为提升电子元器件的可靠性给出系统性的解决方案。

2 检测技术的基本原理

电子元器件失效检测技术原理构建于物质特性与能量交互这一科学根基之上。物理作用原理依据能量传递跟信号反馈机制, 借助施加特定形式能量来激发元器件产生能被观测到的信号^[1]。光学检测运用电磁波与物质的相互作用来判别表面缺陷; 声学检测按照机械波传播特性去识别内部结构的不连续性; 热学检测依靠温度场分布异常来确定潜在故障点。这些物理过程遵循着能量守恒以及波动传播规律, 为缺陷定位给予了定量依据。化学分析原理着重于物质成分跟结构的变化, 当元器件出现失效情况时, 材料化学组成的改变会引起特征性的变化。金属镀层氧化致使的元素比例失衡, 以及电解质分解导致的成分比例失调, 都可以借助成分分析技术去追溯失效的初始原因。

【作者简介】李星儒(1999-), 男, 土家族, 中国陕西西安人, 本科, 助理工程师, 从事电子元器件检测、可靠性试验、破坏性物理分析研究。

成分分析技术借助原子能级跃迁所产生的特征光谱,进行对微区元素组成的精准测定工作,为失效机理研究提供物质基础方面的数据。在系统工程的视角之下,检测技术体现出多学科交叉的特性:材料科学为理解失效机理提供理论层面的基础;物理学运用能量作用模型来提供检测方法;电子工程实现检测信号的采集以及处理;信息科学依靠海量检测数据来进行分析与解读。

这种跨学科的原理整合运用,让检测技术可处理日益复杂的失效模式,实现从单一参数测量往多维度综合评估的转变。微观结构与宏观性能之间的关联机制成为检测技术的核心理论支撑,晶体缺陷、界面状态、应力分布等微观因素发生变化,借助材料学原理转变为宏观性能的异常表现,形成了可予检测的物理或者化学信号,也就是把微观因素的变化依靠材料学原理转变为宏观性能的异常表现,然后形成可检测的物理或化学信号。

3 检测技术的实践意义

检测技术的实践意义于多维度均有体现。于保障系统可靠性而言,运用科学检测在产品生命周期各个阶段给予实施,可有力识别潜在的失效风险,避免单个元器件故障引发的系统级失效问题出现。像在航空航天电子系统这类关键领域当中,检测技术的运用可大幅降低故障发生率,保证设备在极端环境之下可以稳定地运行。如此的预防性维护模式,改变了传统事后维修那种被动的境遇,构建起了主动防控的可靠性保障系统^[2]。在产业经济方面,早期对不合格元器件识别,可避免失效风险向产业链下游传播,以此减少批量质量问题所导致的经济损失。检测技术的运用可对生产流程进行优化,提高产品的合格比例,降低返工所需要的成本。同时依靠检测数据来对失效模式开展分析,可为设计改进运用提供直接的依据,推动产品的迭代升级,提高市场竞争力。

在技术创新推动这一领域,元器件微型化的发展态势促使检测技术朝着更高分辨率以及更高灵敏度的方向去不断发展,而检测技术的进步又为新型元器件的研发有着可行性验证手段的提供。这种相互促进的机制,对于电子技术的创新进程起到了加速的作用。检测技术的标准化推进,对行业质量体系的完善进行了推动,为产业规范化发展有着技术支撑的给予。安全保障意义于特殊应用领域特别较大,医疗电子设备一旦失效,有可能会对患者生命安全造成危及;交通控制系统出现故障,可能导致重大事故的引发。检测技术借由严格的质量把控,为这些安全关键系统有着可靠保障的给予。在环境保护这个方面,依靠检测对潜在的有害物质释放风险进行识别,对于电子产品的绿色设计与制造有着推动作用,可让电子废弃物给环境带来的负面影响得到减少。从全生命周期管理这个角度出发,检测技术是贯穿于元器件的整个过程的,从设计验证开始,到生产制造,再到服役监控,最终形成闭环管理体系,为产品可靠性的提升提供全链条的技术支持。

4 具体技术

4.1 外观检查技术

外观检查作为失效检测的基础性手段,经由对元器件表面特征的系统性观察,达成显性缺陷的初步辨识。一方面,宏观外观检查着重于元器件的整体形状以及结构的完整性,运用目视或者低倍放大的方式,来识别封装出现破裂、引脚产生变形、表面存在烧灼痕迹等较为较大的物理损伤。这类缺陷往往和机械应力或热应力的作用有着直接关联,可迅速判定失效的大致类型。另一方面,微观表面分析借助高倍光学显微镜来达成精细观察,辨别微小裂纹、墙裂、氧化腐蚀等细节特性。就像在焊点检查中,依靠观察焊点的形态以及焊料的分布状况来判断焊接的质量,其适宜用于检测因振动、温度变化所引发的微裂纹或者脱焊现象。再一方面,特殊检测技术囊括了荧光渗透检测以及磁粉检测,前者凭借荧光物质渗透到表面微小裂纹之中,在紫外线下呈现或缺陷;后者凭借磁场在铁磁性材料缺陷处形成漏磁场吸附磁粉构成裂纹图像^[3]。这两种方法分别适用于非金属以及金属材料表面及近表面缺陷的检测工作。

4.2 电性能测试技术

电性能测试会运用施加电激励以及测量响应参数等方式,来评估元器件的电气特性是不是契合设计规范。静态参数测试是于直流条件之中对电阻、电容、电感等基础参数给予测量,并且借助跟标准值的对比来识别参数漂移。好比电阻值出现异常有可能指示着内部导体产生劣化或者接触不良。动态特性测试所关注的是元器件在交流信号作用之下的响应情况,像晶体管的开关速度、集成电路的时序特性等。这类测试可以呈现器件在实际工作条件之下的性能改变,揭示内部载流子迁移或者界面状态的异常状况。极限参数测试是依靠施加超出正常工作范围的电压、电流或者功率,去验证元器件的过载能力以及安全裕度,识别潜在的设计缺陷或者工艺方面的瑕疵,给可靠性评估提供在极限条件之下的性能数据。电性能测试技术体系囊括着测试系统架构、标准规范以及数据解析这三大关键要素。测试系统一般包括信号发生模块、参数测量单元、数据采集卡以及控制软件,能以实现从微伏级别信号至千伏级高压的大范围激励与测量,适配于各类元器件的测试要求^[4]。展开来说,高精度源表可以进行稳定直流激励的提供以及电流电压的同步测量;矢量网络分析仪可在射频频段范围内对器件的S参数给予表征;并且混合信号示波器可捕捉纳秒级的动态响应波形,构建起多维度测试数据矩阵。

4.3 无损检测技术

无损检测技术在保障元器件结构完整性不受损伤的情况下,可实现对其内部缺陷进行识别。超声波检测是借助机械波在不同介质当中的传播特性,凭借接收反射波来判断材料内部是否存在缺陷。它适用于对金属以及非金属材料内部的裂纹、分层等不连续情况进行检测,有较高的灵敏度以及

深度分辨能力。X射线检测依据射线穿透物体时的衰减不同来形成图像,可将元器件内部结构直观地呈现出来,可运用于检测复杂封装之中的焊球空洞、引线键合缺陷等微观结构方面的问题。红外热成像技术是凭借对物体表面温度分布的差异进行检测来识别内部缺陷,当材料有空洞或者脱粘现象时,热量传递的路径会发生改变,致使局部温度出现异常。该项技术有着非接触以及快速检测的特性,适合用于复合材料与电子组件的缺陷定位工作当中。无损检测技术体系存有多种方法协同发展的特征,不同技术借助着能量交互的原理形成互补机制。声波检测凭借纵波和横波的传播特性差异,可以实现对缺陷方位和尺寸进行立体定位;而光学检测则运用反射、折射以及散射现象,建立起表面和近表面缺陷的可视化识别方法。此多技术融合的模式,可契合从宏观结构至微观界面的全尺度缺陷检测需求,特别适宜用于复杂封装元器件的综合评定^[9]。于应用实践之中,无损检测技术需要结合元器件类型以及检测目标来选用方法。针对于高密度集成电路封装,经常会采用超声扫描以及X射线断层成像相互结合的途径,不光能保障内部结构的完整性检测,同时还可以避免单一技术的盲区局限。

4.4 环境应力筛选技术

环境应力筛选运用模拟元器件在生命周期内可能面临的极端环境状况的方式,来加快潜在缺陷的呈现。一方面,温度循环试验借助反复升降温使得元器件承受热应力,推动材料界面产生疲劳裂纹或者焊点掉落,识别出因热膨胀系数不契合而引发的潜在失效状况。另一方面,振动与冲击试验模拟运输或者使用过程里的机械应力,依靠正弦振动、随机振动或者冲击脉冲加载,将结构松动、引线断裂等机械缺陷暴露出来,对元器件的机械可靠性验证。再一方面,湿度与盐雾试验用于评估元器件的耐环境腐蚀能力,依靠分析高湿度环境下的电性能改变或者盐雾腐蚀后的表面状态,来判断封装密封性和材料抗腐蚀性能,适宜用于户外电子设备的可靠性验证。

4.5 材料分析技术

材料分析技术于微观层面将元器件失效的物质基础给揭示出来。成分分析乃是运用光谱技术测定材料的元素组成和含量,像X射线光电子能谱能分析出表面元素价态,能

量色散X射线光谱可对微区成分给予定量,识别出因杂质超标或者元素迁移致使的材料性能劣化情况。结构分析借助电子显微镜去观察材料的微观形貌,透射电子显微镜可观察到纳米级晶体结构,扫描电子显微镜可以分析表面形貌以及断口特征,这样就把裂纹扩展路径以及失效机制给揭示出来了。热分析技术凭借测量材料在温度变化过程中的物理性质改变,比方说差示扫描量热法能分析出相变温度和热稳定性,热重分析可对材料的热分解行为进行评估,为判断材料的劣化程度提供热物理方面的依据。

5 结语

电子系统可靠性的保障离不开电子元器件失效风险识别检测技术的发展。一方面,本文所构建的多维度检测技术体系,运用外观检查、电性能测试、无损检测、环境应力筛选以及材料分析等方法,进行协同应用,从显性缺陷到隐性风险,实现了整个周期的识别,为失效机理研究提供系统方法。另一方面,跨学科理论的融合,让检测技术从测量单一参数不断向多维度综合评估转变,物理作用跟化学分析原理相结合,为复杂失效模式诊断提供科学依据。技术创新与产业需求之间良好的互动关系,也使得检测方法更新换代的速度加快。此研究成果,为电子元器件全生命周期管理提供理论方面的支持,而且为产业质量控制体系的优化以及标准化建设打下基础。未来有必要加强针对微型化元器件检测技术的研究,提高检测的灵敏度和效率,以此来应对电子产业不断发展所带来的技术挑战。

参考文献

- [1] 赵福阳.基于自动化技术的新型电子元器件检修方法研究[J].家电维修, 2025, (12): 183-189
- [2] 刘江,王宇峰.机载电子元器件国产化替代应用验证技术研究[J].计算机测量与控制, 2025, (12): 107-113
- [3] 陶园华,程立江,袁明涛,廖民书豪.电子元器件中零件毛刺控制技术的研究及发展[J].机电元件, 2025, (04): 26-28
- [4] 张小刚.数据分析在电子元器件表面组装工艺质量改进中的应用[J].电子技术, 2025, (08): 134-142
- [5] 窦超,蔡亚辉,杨忠良.基于质量管控电子元器件优选管理系统建设研究[J].航空标准化与质量, 2025, (04): 56-65

Finite Element Analysis and Structure Improvement of Springback Control for Drawing Die of Automotive Cover

Ying Huang

School of Mechanical Engineering, Tianjin Institute of Light Industry Technology, Tianjin, 300350, China

Abstract

Given the complex curved surface characteristics of automotive body panels, springback defects are highly likely to occur after drawing forming, significantly affecting assembly accuracy. Taking a sedan front fender as a case study, this paper employs Dynaform finite element analysis software to create 3D simulation models of drawing dies and panels. Through orthogonal experimental design, the effects of blanking force, drawing rib parameters, and friction coefficient on springback were investigated. Experimental data revealed that when the blanking force was 120kN, drawing rib height reached 8mm, and friction coefficient was 0.12, the maximum springback decreased from 4.2mm to 1.8mm. Based on simulation conclusions, a die surface compensation and drawing rib structure improvement plan was proposed. Physical experiments confirmed that the optimized springback was controlled within 0.8mm, meeting industry assembly accuracy standards. This study provides a technically sound and practically applicable approach for springback control in automotive body panel drawing dies.

Keywords

automotive body panels; drawing dies; springback control; finite element analysis; structural improvement; orthogonal test

汽车覆盖件拉延模具回弹控制的有限元分析与结构改进

黄颖

天津轻工职业技术学院机械工程学院, 中国·天津 300350

摘要

鉴于汽车覆盖件具有复杂曲面特征, 拉延成形完毕后极易出现回弹方面的缺陷, 从而极大影响装配精度。本文以某轿车前翼子板作为案例, 依靠Dynaform有限元分析软件创建拉延模具与覆盖件的三维仿真模型, 利用正交试验设计探究压边力、拉延筋参数、摩擦系数对回弹量的作用规律。实验数据显示, 当压边力取值为120kN、拉延筋高度达8mm、摩擦系数为0.12之际, 最大回弹量从起始的4.2mm下降至1.8mm。依据仿真结论, 拟定模具型面补偿与拉延筋结构改良方案, 经物理实验证实, 优化后覆盖件回弹量被控制在0.8mm以内, 符合行业装配精度标准。研究为汽车覆盖件拉延模具的回弹控制给出了具备理论价值与工程实用性的技术途径。

关键词

汽车覆盖件; 拉延模具; 回弹控制; 有限元分析; 结构改进; 正交试验

1 引言

汽车覆盖件作为车身的核心组件, 其成形优劣直接关系到车身外观与装配精确性。拉延工艺作为覆盖件成形的关键步骤, 然而鉴于板材的弹塑性变形特征, 成型后肯定会产生回弹现象, 进而造成零件尺寸偏差。汤敏等通过研究验证了如何通过 CAE 分析软件 Autoform 在前期模拟时准确的与现场调试状态对应, 从而减少拉延模现场调试的工作量, 达到缩短模具制造周期, 降低模具制造成本的最终目的^[1]。宁海涛等人通过总结如何规避汽车覆盖件拉延缩颈开裂改善中存在的典型误区, 提升问题解决效率, 减少质量损失和重复

工作^[2]。叶梦彬基于对浅拉延技术的实际研究和应用经验, 介绍了浅拉延工艺在汽车覆盖件冲压工艺设计上的优点, 总结了几个浅拉延工艺设计的做法, 并针对浅拉延工艺可能产生的问题, 如刚性不足、滑移等, 提出了一系列处理对策^[3]。张松奇则针对汽车覆盖件模具结构面的自动编程, 实现程序自动生成, 且规范统一, 从而保障模具的加工质量^[4]。

从目前研究来看, 关于轿车前翼子板在制造流程中的回弹现象的相关研究较少。针对回弹的控制手段主要包含工艺参数优化、模具结构改进以及型面补偿等, 有限元分析技术借由高效、精确的特性, 业已成为回弹预测与控制的主要手段。基于上述背景, 本文选取 DC06 冷轧钢板(厚度 1.2mm)作为研究对象, 借助有限元仿真与物理实验相联合的办法, 全面剖析拉延工艺参数对回弹的作用机理, 给出具有针对性的模具结构改进举措, 为攻克汽车覆盖件回弹难题给予技术支持。

【作者简介】黄颖(1979-), 女, 中国天津人, 硕士, 副教授, 从事机械设计与制造研究。

2 有限元模型建立与实验设计

2.1 几何建模与网格划分

借助 UG NX 构建前翼子板拉伸模具的三维模型，涵盖凸模、凹模、压料圈以及拉伸筋构造^[5]，选用 Cr12MoV 合金钢作为模具材料，覆盖件所采用的材料是 DC06 冷轧钢板，其力学性能参数如表 1 所示。将几何模型导入到 Dynaform 软件，运用壳单元进行网格划分，把覆盖件的网格尺寸设定为 5mm，把模具网格大小设置成 10mm，经过网格质量检验，单元的畸变率都小于 5%，符合仿真精度需求（见图 1）。

表 1 DC06 冷轧钢板力学性能参数

弹性模量 E (GPa)	泊松比 μ	屈服强度 σ_s (MPa)	抗拉强度 σ_b (MPa)	延伸率 δ (%)	硬化指数 n	厚向异性系数 r
206	0.3	195	320	38	0.21	1.8

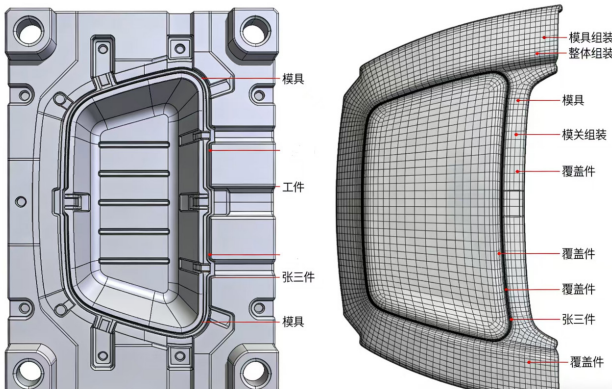


图 1 前翼子板拉伸模具有限元模型

（注：左图为模具整体装配模型，右图为覆盖件网格划分结果）

2.2 边界条件与仿真参数设置

模拟操作过程中，凸模下降速率设定为 50mm/s，凹模与压料圈实施固定约束。选用 Hill48 屈服准则刻画板材塑性变形，将接触类型设定为面-面接触，选取库仑摩擦模型作为摩擦模型。为探寻关键工艺参数对回弹造成的影响，规划 L9 (3³) 正交试验，选定压边力 (A)、拉伸筋高度 (B)、摩擦系数 (C) 作为影响因子，各因子水平如表 2 所示，把覆盖件边缘最大回弹量当作评价指标。

表 2 正交试验因素水平表

水平	压边力 A (kN)	拉伸筋高度 B (mm)	摩擦系数 C
1	80	6	0.08
2	100	7	0.10
3	120	8	0.12

2.3 物理实验方案

按照仿真参数，打造改进前后的两套拉伸模具，在 1000kN 液压机上开展成形试验。利用三坐标测量仪（测量精度为 $\pm 0.01\text{mm}$ ）对成型后的覆盖件实施尺寸检测，选取边缘 10 个特征点测量回弹的数值，把最大值当作评价指

标。试验进行阶段，记载不同工艺参数下的成型质量，对照仿真结果与物理实验数据的相符性。

3 有限元仿真结果与数据分析

3.1 正交试验结果与极差分析

正交试验仿真结果如表 3 所示，利用极差分析判定各因素对回弹量的影响程度，结果表明，压边力（极差 R=1.32）>拉伸筋高度（极差 R=0.87）>摩擦系数（极差 R=0.53），即压边力是影响回弹量的最主要因素。

表 3 正交试验仿真结果

试验号	压边力 A (kN)	拉伸筋高度 B (mm)	摩擦系数 C	最大回弹量 (mm)
1	80 (1)	6 (1)	0.08 (1)	4.2
2	80 (1)	7 (2)	0.10 (2)	3.5
3	80 (1)	8 (3)	0.12 (3)	3.1
4	100 (2)	6 (1)	0.10 (2)	3.0
5	100 (2)	7 (2)	0.12 (3)	2.4
6	100 (2)	8 (3)	0.08 (1)	2.8
7	120 (3)	6 (1)	0.12 (3)	2.2
8	120 (3)	7 (2)	0.08 (1)	2.5
9	120 (3)	8 (3)	0.10 (2)	1.8
极差 R	1.32	0.87	0.53	-

3.2 各因素影响规律分析

3.2.1 压边力对回弹的影响

当压边力逐步增大时，覆盖件的最大回弹量呈降低趋势（见图 2）。当压边力由 80kN 提升至 120kN 时，回弹量从 4.2mm 减少至 2.0mm，减少幅度为 52.4%，这是鉴于加大压边力可防止板材在拉伸进程中的起皱情况，使板材变形更加均匀，让残余应力分布更合理，进而降低回弹。但压边力过大（高于 130kN）会造成板材撕裂危险增大，故而要把控在合理范围。

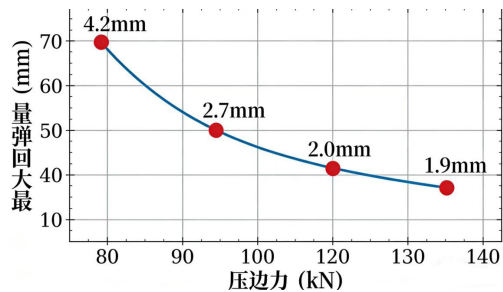


图 2 压边力与最大回弹量关系曲线

3.2.2 拉伸筋高度对回弹的影响

拉伸筋高度增高，回弹量渐渐减小（见图 3）。拉伸筋借助增大板材流动阻力，让板材于拉伸方向得到充足的拉应力，推动塑性变形充分开展，降低弹性恢复量。当拉伸筋高度从 6mm 提升至 8mm 时，回弹量降低 0.87mm，然而高度超出 8mm 后，板材的流动阻力过高，很容易出现局部变薄乃至撕裂的现象。

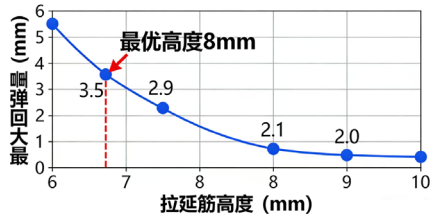


图 3 拉延筋高度与最大回弹量关系曲线

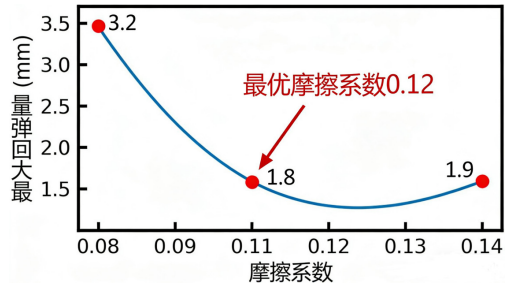


图 4 摩擦系数与最大回弹量关系曲线

3.2.3 摩擦系数对回弹的影响

在摩擦系数为 0.08 - 0.12 的范围当中，回弹量会随着摩擦系数的增大而降低（见图 4）。合理加大摩擦系数可提升板材与模具之间的摩擦力，阻止板材滑移，使形变更趋充分，若摩擦系数过高（超出 0.12），会造成板材表面出现划伤，对外观品质产生影响，故而最优摩擦系数应控制于 0.10 - 0.12 区间当中。

3.3 仿真与实验数据对比

选用正交试验的最优参数组合（A3B3C2）开展验证，经仿真得出的最大回弹量为 1.8mm，经由物理实验测定的最大回弹量为 2.0mm，误差仅为 11.1%（见表 4），这说明所建立的有限元模型具备较高的精准度，可准确预估覆盖件的回弹趋势。

表 4 最优参数下仿真与实验回弹量对比

特征点编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均回弹量 (mm)	最大回弹量 (mm)
仿真回弹量 (mm)	1.3	1.6	1.8	1.5	1.4	1.6	1.5	1.3	1.4	1.5	1.52	1.8
实验回弹量 (mm)	1.4	1.7	2.0	1.6	1.5	1.7	1.6	1.4	1.5	1.6	1.67	2.0
误差 (%)	7.7	6.2	11.1	6.7	7.1	6.2	6.7	7.7	7.1	6.7	9.9	11.1

4 模具结构改进方案与验证

4.1 模具型面补偿设计

按照有限元仿真得出的回弹分布规律，对模具型面实施反向补偿。运用多项式拟合手段，把覆盖件回弹量转变为模具型面补偿量，补偿区域大多集中于翼子板边缘以及曲面过渡之处，最大补偿量为 1.8mm，补偿后的模具型面借助 UG NX 进行校正（见图 6）。

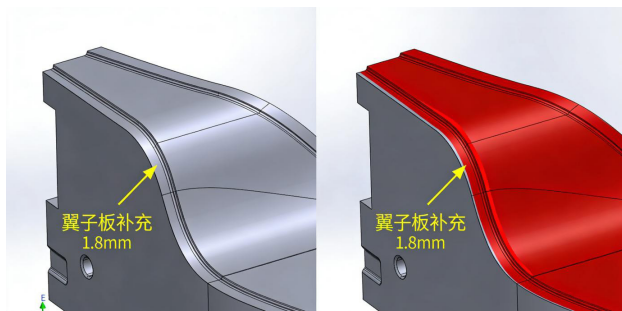


图 6 模具型面补偿前后对比

（注：红色区域为补偿部位，箭头方向为补偿方向）

4.2 拉延筋结构改进

改进前的拉延筋选用矩形截面，经过改进后采用梯形截面（上底 6mm、下底 10mm、高度 8mm），同时对拉延筋表面实施氮化处理（硬度 $\geq 60\text{HRC}$ ），以此提升耐磨性与摩擦系数的稳定性。优化后的拉延筋可更匀称地把控板材流动，降低局部应力聚集。

4.3 改进后实验验证

运用改进后的模具实施成形实验，工艺参数依旧为最优组合。对成型完毕的覆盖件实施尺寸检测，10 个特征点的回弹量数据如表 4 所示，最大回弹量达到 0.78mm，平均回弹量为 0.52mm，和改进前（2.0mm）相比下降幅度为 74%，而且所有测量点回弹量均被控制在 0.8mm 的范围之内，符合行业装配精度要求。

表 4 改进后覆盖件特征点回弹量测量结果

特征点编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
回弹量 (mm)	0.42	0.58	0.78	0.63	0.49	0.55	0.61	0.45	0.51	0.47

4.4 生产应用效果

优化后的模具投入到批量制造中，对生产数据开展 3 个月的跟踪统计，前翼子板废品率从 8.3% 下降至 1.2%，每个月节省生产成本约 18 万元，生产效率提升幅度达 20%，证实了改进方案的工程实用性。

5 结论

依托 Dynaform 构建的汽车覆盖件拉延模具的有限元模型，能够精准预估回弹量，仿真数据与实验数据的误差仅为 11.1%，为回弹调控提供了可信的分析手段。正交试验得出的结果表明，对回弹量影响最大的因素是压边力，其次受影响的是拉延筋高度与摩擦系数，最适宜的工艺参数组合为压边力 120kN、拉延筋高度 8mm、摩擦系数 0.12。借助模具型面反向补偿与梯形截面拉延筋优化方案，可使覆盖件最大

回弹量由 2.0mm 降至 0.78mm，符合装配精度要求。优化后的模具在大规模生产里应用成效突出，次品率急剧降低，生产开支降低，为汽车覆盖件拉延模具的回弹调控提供了可推广的技术方案。未来研究应进一步借助人工智能算法对工艺参数与模具结构进行优化，实现回弹量的精准把控，同时延伸至复杂曲面覆盖件的多目标优化设计。

参考文献

- [1] 汤敏,张毓,吴晓潇. 汽车外覆盖件冲压模具稳定的调试方法[J]. 汽车科技,2025,(05):74-79.
- [2] 宁海涛,一汽-. 汽车覆盖件拉延缩颈开裂改善中的典型误区[J]. 汽车工艺师,2024,(04):34-39.
- [3] 叶梦彬. 浅拉延技术在汽车覆盖件冲压工艺上的应用[J]. 锻造与冲压,2023,(16):50-54.
- [4] 张松奇. 基于UG8.5的汽车覆盖件模具结构面自动编程[J]. 机械工程与自动化,2023,(04):57-58+62.
- [5] 杨玉贵,周雪峰,刘探,等. 基于压力机切换下的汽车覆盖件拉深模着色差异性研究[J]. 模具工业,2023,49(07):24-31.

Research on Production Planning Optimization and Resource Allocation of Shipbuilding Project Based on Lean Production Theory

Lei Wang

Jiangnan Shipbuilding (Group) Co., Ltd., Shanghai, 201913, China

Abstract

The lean production theory, centered on “eliminating waste, continuous improvement, and value creation,” has been widely adopted in manufacturing. Integrating lean principles into shipbuilding projects—through optimized production planning and efficient resource allocation—has become a critical approach to resolving multi-project coordination challenges and enhancing industry quality and efficiency. In recent years, leading enterprises like Dalian Shipbuilding and Guangzhou Shipyard International have pioneered lean shipbuilding models. By establishing standardized planning systems and intelligent scheduling platforms, they have achieved significant improvements in construction efficiency, demonstrating the practical value of lean theory in the shipbuilding industry. Against this backdrop, systematically studying the application of lean production theory in shipbuilding planning and resource management holds substantial practical significance.

Keywords

lean production; shipbuilding; production planning optimization; resource allocation; digital collaboration

基于精益生产理论的船舶建造项目生产计划优化与资源调配研究

王磊

江南造船（集团）有限责任公司，中国·上海 201913

摘要

精益生产理论以“消除浪费、持续改进、价值创造”为核心，在制造业中已实现广泛应用。将精益思想融入船舶建造项目，通过生产计划优化与资源高效调配，破解多项目协同困境，成为行业提质增效的必然选择。近年来，大连造船、广船国际等骨干企业率先探索精益造船模式，通过构建标准计划体系、智能调度平台等举措，实现了建造效率的显著提升，验证了精益理论在船舶工业的实践价值。在此背景下，系统研究精益生产理论在船舶建造计划与资源管理中的应用路径，具有重要的现实意义。

关键词

精益生产；船舶建造；生产计划优化；资源调配；数字化协同

1 引言

船舶工业作为“综合工业之冠”，是国家制造业实力的重要象征，其发展质量直接关系到海洋强国战略的落地。当前全球航运市场竞争加剧，船东对船舶交付周期、建造成本及环保性能的要求日益严苛，同时国内船企普遍面临多船型并行生产的压力，订单结构呈现高端化、定制化特征。本文基于精益生产核心理论，结合船舶建造全流程特性，系统分析当前生产计划刚性、资源配置失衡、协同效率低下等

突出问题，为船舶工业精益化、智能化转型提供理论支撑与实践参考。

2 船舶建造项目生产计划与资源调配现状及问题

2.1 生产计划现状及突出问题

2.1.1 计划体系刚性，动态响应不足

当前多数船企采用“推动式”计划管理模式，基于经验制定年度、月度固定计划，缺乏对实际生产波动的动态适应能力。设计变更频繁是导致计划失效的核心诱因，部分船企因图纸不成熟提前发图，后期变更率超过 20%，直接引发工艺调整、工期重估，原定计划频繁被推翻。

【作者简介】王磊（1981-），男，中国上海人，本科，高级工程师，从事船舶建造管理研究。

2.1.2 多项目协同失衡，生产节拍混乱

船舶建造涉及多个专业车间与部门，理论上需如交响乐团般精密配合，但实际上存在严重的“各自为政”现象。不同车间生产节奏不一致，如船体车间完成分段制造后，舾装车间资源被其他项目占用而无法及时跟进；关键路径把控失灵，非关键任务占用核心资源，导致整体进度受阻。缺乏科学的多项目优先级评估体系，计划制定高度依赖个人经验，未形成标准化的计划编制流程，导致多船型并行时生产节拍混乱，资源在不同项目间频繁切换，效率大幅降低。

2.1.3 计划颗粒度粗放，执行落地困难

现有生产计划多聚焦于大日程、中日程节点，对小日程及工序级计划关注不足，缺乏可操作性的作业指导。以分段制造为例，传统计划仅明确分段交付节点，未细化小组立、中组立、大组立等工序的具体时间窗口与资源需求，导致现场作业无序。部分船企的生产计划未与资源能力匹配，制定的节点目标超出设备产能或人力负荷，导致计划与执行脱节，员工对计划的认可度与执行力不足^[1]。

2.2 资源调配现状及突出问题

2.2.1 关键资源冲突频发，利用效率偏低

船坞、龙门吊、高精度切割设备等关键资源分属不同部门管理，调度指令分散，缺乏统一的优化协同机制。多项目并行时，关键资源竞争激烈，部分资源被过度占用，而部分资源长期闲置，同时存在双吊机干涉导致的作业停滞问题。人力调配缺乏灵活性，熟练技术人员在不同项目间疲于奔命，多技能人才储备不足，难以应对生产波动，导致人力资源浪费与紧缺并存。

2.2.2 供应链协同不足，物资配套滞后

船舶建造物资涉及钢材、设备、舾装件等数千种品类，供应链协同难度大。部分船企缺乏与核心供应商的长期合作机制，物资到货计划完成率不足95%，关键设备交付延迟频发，直接影响生产进度。物料管理粗放，钢材切割套料不合理，利用率未达最优水平，余料积压严重；舾装件与船体零件配套不同步，出现“船体等舾装”或“舾装等船体”的局面，导致分段建造周期延长。

2.2.3 资源调度依赖经验，数字化水平低

当前多数船企的资源调配仍依赖计划员个人经验，缺乏科学的量化分析与推演工具。资源分配决策主观性强，未充分考虑工序优先级、资源能力约束等因素，导致调配方案不合理。数字化调度工具应用不足，未建立统一的资源管理平台，设备状态、场地占用、物资库存等信息分散在不同系统中，形成“数据孤岛”，无法为资源调度提供实时、准确的数据支撑^[2]。

3 基于精益生产的生产计划优化体系构建

3.1 优化目标与原则

3.1.1 优化目标

基于精益生产“消除浪费、创造价值”的核心思想，

船舶建造生产计划优化的核心目标包括：一是缩短建造周期，通过流程优化与协同提升，压缩非增值时间；二是提高计划柔性，增强对设计变更、供应链波动等不确定性因素的适应能力；三是提升工序协同效率，实现各专业、各车间生产节拍同步；四是降低生产成本，减少库存积压、等待浪费等无效支出。

3.1.2 优化原则

优化过程需遵循四大原则：客户价值导向原则，以船东需求与交付节点为核心，明确计划优先级；流动生产原则，消除工序间的等待与停滞，实现连续作业；动态平衡原则，根据生产实际情况实时调整计划，确保资源负荷均衡；全员参与原则，鼓励一线员工参与计划优化，提升执行意愿。

3.2 精益生产计划体系构建

3.2.1 分层分级计划架构设计

借鉴大连造船精益标准计划体系经验，构建“线表计划-年度计划-产品计划-月度计划”四级计划管理体系，实现计划的分层管控与精准落地。线表计划作为顶层规划，明确各船型建造线的总体排产方案；年度计划分解线表目标，统筹全年资源配置；产品计划针对单船项目，细化设计、建造、调试全周期节点；月度计划聚焦具体工序，明确每周、每日作业任务。

在四级计划体系基础上，建立典型产品标准计划库。针对散货船、油船、集装箱船等核心船型，制定标准化的总组合拢计划、分段制造计划、舾装配套计划，形成可复制的计划模板。例如，针对11万系列散货船，按整船建造法编制标准总组合拢计划；针对VLCC产品，按两大段建造法制定分段需求计划，为多项目并行生产提供统一的节奏基准。

3.2.2 价值流驱动的流程优化

运用价值流图（VSM）工具，识别船舶建造全流程中的增值与非增值活动，重点消除等待、返工、过度加工等浪费。以分段制造流程为例，通过价值流分析发现，传统流程中分段等待涂装、舾装件配套滞后等非增值时间占比达30%。针对该问题，优化流程如下：一是推行“分道分线”生产，按产品类型与工艺流程划分专业加工线，实现平板、型材、管子的专业化分工生产；二是实施工序前置化，将应急发电机负载试验、电缆敷设等关键工序提前至总段阶段完成，减少船坞与码头阶段的交叉作业冲突；三是建立“拉动式”生产机制，以船台搭载需求为牵引，反向驱动分段制造、钢材加工等前序工序，通过看板管理实现工序间的精准协同。

3.2.3 动态滚动计划机制建立

针对计划刚性强的问题，建立“月度滚动+周调整”的动态计划机制。每月末根据实际生产进度、设计变更、物资到货等情况，调整下月计划；每周召开生产协调会，细化周作业计划，解决工序衔接中的突出问题。采用ECRS（取消、合并、重排、简化）工具对现有工序进行优化，如合并重复检验环节、重排舾装与涂装工序顺序，缩短流程周期。

3.3 数字化协同支撑平台建设

依托工业互联网技术,构建覆盖设计、生产、物资、资源全业务域的数字化协同平台,打通ERP、MES、设备监控等系统的数据壁垒。平台核心功能包括:一是计划编制模块,集成标准计划库与智能排产算法,实现四级计划的自动生成与动态调整,将计划编制时间从数天级缩短至小时级;二是进度跟踪模块,通过物联网传感器实时采集现场作业数据,可视化呈现各工序进度,支持计划执行情况的实时监控与偏差分析;三是协同沟通模块,建立设计、生产、采购等部门的在线协同通道,设计变更信息可实时同步至生产计划,减少信息传递延迟^[3]。

4 基于精益生产的资源智能调配模型设计

4.1 资源调配核心维度与约束条件

4.1.1 核心调配维度

船舶建造资源调配涵盖四大核心维度:一是人力资源,包括熟练技术工人、工程师、管理人员等,需根据工序技能要求与人员多技能水平进行调配;二是设备资源,涵盖龙门吊、数控切割机、焊接设备等,重点关注设备产能、运行状态与能耗;三是场地资源,包括船坞、总组场地、堆场等,需优化空间布局与分段堆放顺序;四是物资资源,包括钢材、舾装件、设备等,核心是实现精准配套与准时供应。

4.1.2 关键约束条件

资源调配需满足多重约束:一是工艺约束,需遵循船舶建造的技术规范与工序逻辑,如分段制造必须在钢材加工完成后进行;二是资源约束,关键设备、场地等资源的容量有限,不得超出负荷分配;三是时间约束,需满足各工序的节点要求,确保总建造周期可控;四是成本约束,资源调配方案需控制运输成本、设备能耗等支出,实现经济性最优。

4.2 精益资源调配模型构建

4.2.1 动态资源推演模型

基于图论与离散事件仿真技术,构建多项目并行的动态资源推演模型。将船舶建造工艺网络转化为有向图与邻接矩阵,融合各工序的标准周期、资源需求等数据,模拟不同调配方案下的资源负荷变化。模型以“资源利用率最大化、瓶颈工序最小化”为目标,通过约束传播算法预测产能瓶颈与资源冲突,为中长期资源规划提供数据支撑。

4.2.2 场地与设备智能调度模型

针对场地资源优化,采用融合启发式搜索与约束规划的组合算法,在满足安全作业间距、吊装顺序等约束条件下,实现总组场地利用率最大化。模型支持动态重调度,当分段延期抵达或紧急插单时,可在分钟级内生成扰动最小的新布局方案。对于龙门吊等关键设备,构建任务分配与路径优化模型,通过运筹优化算法规划最优行走路径,减少空驶与等待时间,同时集成多机协同防干涉策略,确保作业安全高效。

4.2.3 物资精准配套模型

基于准时制生产理念,构建“需求预测-精准采购-托盘集配”的物资配套模型。通过分析典型产品的物资消耗规

律,建立标准物资需求数据库,结合生产计划实现物资需求的精准预测。与核心供应商建立协同机制,共享生产计划与物资需求信息,实现关键设备与舾装件的准时交付。推行托盘集配管理模式,按分段号、工序节点将零件与舾装件分类集配,由物流部门精准送料至工位,替代传统“车间领料”模式,减少等待浪费。

4.3 资源协同调配策略

4.3.1 多项目资源优先级排序

建立多维度资源分配优先级评估体系,综合考虑订单重要性、交付紧急度、项目产值、资源消耗强度等因素,采用层次分析法确定各项目的优先级权重。关键资源优先保障高优先级项目的瓶颈工序,同时通过资源共享机制提高闲置资源利用率。例如,当某项目的龙门吊闲置时,可调度至其他项目完成紧急吊装任务,实现资源动态平衡。

4.3.2 工序并行与资源柔性调配

推广并行工程理念,打破传统“串行作业”模式,实现设计与生产、船体与舾装的同步协同。例如,在分段制造阶段同步开展预舾装作业,在船坞搭载前完成主机带舱串油、锅炉点火等调试任务,缩短码头周期。培养多技能工人队伍,建立资源柔性调配机制,当某一工序出现资源紧缺时,可从其他工序调度具备相应技能的人员支援,提升人力资源应对波动的能力。

4.3.3 供应链精益协同策略

深化与核心供应商的质量共建与信息共享机制,建立供应商分级管理体系,对关键设备供应商实施驻厂监造,确保设备质量与交付进度。构建物资库存动态监控系统,设定安全库存阈值,实现钢材、涂料等常用物资的自动补货。推行“绿色采购”理念,优先选择环保材料与低能耗设备,降低资源消耗与环境影响^[4]。

5 结论

船舶建造项目的精益化转型是一个长期持续的过程,需要企业从顶层设计入手,将精益理念融入文化建设、流程管理、技术创新等各个方面。随着精益理论与数字化技术的深度融合,船舶工业将逐步实现从“经验驱动”向“数据驱动”、从“规模扩张”向“质量效益”的转变,为海洋强国战略的实施提供坚实支撑。未来船舶工业将向数字化、智能化、绿色化深度转型,精益生产理论的应用也将呈现新的发展趋势。

参考文献

- [1] 王成龙,孙建双,张强. 内河船舶建造监理质量把控模式分析[J]. 船舶物资与市场,2025,33(12):109-111.
- [2] 潘丽聆. 供应链视角下的船舶建造项目管理[J]. 船舶物资与市场,2025,33(11):101-103.
- [3] 李涛. 供应链协同对船舶建造质量管理的影响及优化[J]. 船舶物资与市场,2025,33(10):107-109.
- [4] 任伟,罗鑫. 特种船舶建造过程中重要工序的识别与管理研究[J]. 广船科技,2025,45(03):91-92.

Comprehensive Review of Standards and Regulations Related to Vehicle Blind Spot Detection

Ruixuan Xi Ruoyu Du Zhao Ji

China Automotive Technology & Research Center Co., Ltd., China Automotive Intelligent Technology (Tianjin) Co., Ltd., Tianjin, 300000, China

Abstract

The so-called blind spot area of a vehicle refers to the area where the driver is in the normal driver's seat position with their sight obstructed by the vehicle body, and the targets in this area cannot be observed by the driver. Vehicle blind spot area can be categorized into in-car blind spot area and blind spot area out of vehicle. According to the distribution of blind spots, the area can be categorized into front blind spot, rear blind spot, rearview mirror blind spot, and AB pillar blind spot. In recent years, the number of traffic accidents caused by blind spot has significantly risen. According to relevant statistics, there are up to 500,000 accidents worldwide each year caused by blind spot. Several standards and regulations for blind spot detection have been issued both domestically and internationally. The United Nations has issued ECE R159, ECE R158, and ECE R151 standards for front, rear, and side blind spots respectively. A recommended China national standard for blind spot detection has been issued, and mainstream regulations incorporate contents about blind spot detection system. The author analyzes the similarities and differences, and focuses of different standards and regulations, and provides an outlook on the testing methods and system function development trends of blind spot detection.

Keywords

Blind spot; Detection; Standards; Trend

车辆盲区监测 (BSD) 相关标准规程体系综述

奚瑞轩 杜若愚 季钊

中国汽车技术研究中心有限公司, 中汽智能科技(天津)有限公司, 中国·天津 300000

摘要

所谓车辆盲区是指驾驶员位于正常驾驶座位置,其视线被车体遮挡的区域,该区域内的目标不能被驾驶员观察到。车辆盲区可分为车内盲区 and 车外盲区,按照相对车辆的位置又可分为前盲区、后盲区、后视镜盲区以及AB柱盲区等。近年来随着汽车保有量的提高,由盲区引起的交通事故数量显著增加,全球每年由机动车盲区引发的交通事故多达50万起。国内外颁布多项车辆盲区监测相关的标准法规,如联合国针对前方、后方和侧方盲区分别颁布了ECE R159、ECE R158以及ECE R151标准。国内出台了针对盲区监测的推荐性国家标准,主流汽车测评规程均将盲区监测相关内容纳入其中。作者解析了不同标准法规的异同点和侧重点并针对盲区监测测试以及系统功能发展趋势进行了展望。

关键词

盲区、监测、法规、趋势

1 引言

车辆不同区域存在视觉盲区,在雨天、雾天、夜间等恶劣环境下以及驾驶员观察不充分的情况下,变道和转弯时容易发生交通事故。据统计全球每年由机动车盲区引发的事故多达50万起。特别是对于大型车辆,如商用货车、客车等由于车辆高度高,长度长其视野盲区范围显著增大,往往造成严重的伤亡事故。

随着ADAS高级辅助驾驶系统装配率的不断提升,盲区监测系统也逐渐成为汽车重要的安全配置之一。它通过摄

像头、雷达等传感器,对车辆盲区内的车辆、行人等道路交通使用者进行识别和感知,扫除视觉盲区,并向驾驶者发出报警提示,有效避免变道和转弯过程中的事故。对于大型车辆,由于盲区范围更大,且存在内外轮差等致命因素,往往造成的伤亡事故更加严重,因此在大型车辆上装配盲区监测系统更显重要^[1]。

目前盲区监测系统主要有三种解决方案:(1)视觉方案,基于影像视觉系统识别目标物,其优势是可区分不关注的区域,识别障碍物类型,但是成本较高且覆盖范围小;

(2)毫米波雷达方案,通过雷达传感器感知周围环境中目标的存在,其优势是覆盖范围大且成本低,但不能识别障碍物类型导致误报率偏高;(3)视觉和雷达方案,结合两者

【作者简介】奚瑞轩(1991-),男,中国天津人,本科,工程师,从事主动安全测试研究。

优势,可识别障碍物类型,降低误报率^[2]。

盲测监测系统常常与单车道、多车道相关系统联合,通过对车辆持续进行横向纵向控制,实现更高阶的自动驾驶功能。通过扩展适用速度范围,盲区监测系统可与开门预警系统相互配合,共同守护“盲区安全”。

随着盲区监测系统装配率的不断提升,关于其性能测试的需求也不断增长。由于报警形式、报警时间等关键技术指标对系统应用的实际效果起到至关重要的作用,因此相继出台了多项国内外标准对盲区监测系统的性能要求进行规范,逐步构建相关标准体系。不同的标准在测试场景、通过条件、功能等方面的侧重点并不相同,容易给系统功能开发测试以及消费者使用带来困扰。

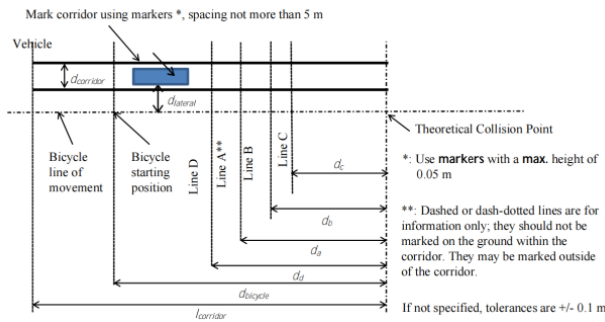
本文梳理了国内外盲区监测相关标准和法规内容,横向对比了不同标准法规的异同点和侧重点,为整车企业和系统供应商进行功能开发提供指导,为标准体系完善提供借鉴。

2 国际标准法规综述

在国际标准方面,ISO17387^[3]智能交通系统车道变更决策辅助系统的性能要求和测试方法是盲区监测领域基础的全球性法规。此外ECE R151^[4]、ECE R158^[5]、ECE R159^[6]是针对车辆侧向、后向、前向盲区的联合国法规,广泛应用于欧盟等地区和国家。

2.1 ISO 17387

ISO17387规定了车道变更决策辅助系统(LCDAS)的系统要求和测试方法。LCDAS警告驾驶员因变道操作而可能发生的碰撞。LCDAS旨在检测目标车辆后部和侧面的车辆,发挥盲区监测作用。当目标车辆驾驶员表示希望变道时,



(a) 动态测试场景

系统会评估情况,并在不建议变道的情况下警告驾驶员,防止其与目标车辆侧面、后部的车辆发生潜在的碰撞。

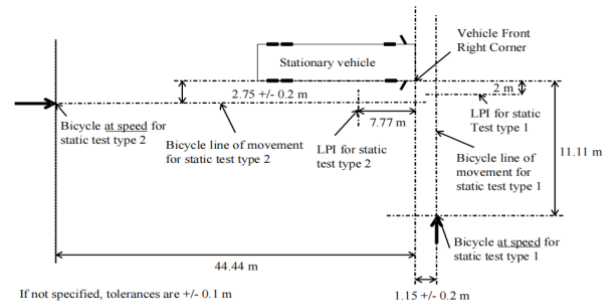
标准内容中包括了盲区区域范围定义、系统类型定义、系统状态转换要求等,阐述了具体的性能要求和测试方法以及通过条件,不但包括盲区监测系统内容还延伸到了后续的换道决策层面,是制定其他盲区监测标准的重要的基础性标准法规。

2.2 联合国经济委员会(ECE)法规

目前联合国发布的关于盲区监测的法规主要包括:UN ECE R151 盲区监测系统(BSIS)、UN ECE R158 倒车监测装置和UN ECE R159 行人和自行车移动监测系统(MOIS),三个法规都已于2022年7月6日强制实施。ECE R151、ECE R158、ECE R159分别针对车辆右侧盲区、后方盲区以及前方盲区提出系统性能以及测试要求。

2.2.1 ECE R151

ECE R151是针对大型车辆右转过过程监测自行车目标的联合国标准。适用于M₂、M₃类客车以及N₂、N₃类货车(大型商用车),大型车辆右转时易形成驾驶员难以直接观察的盲区。车辆准备右转或正在右转的过程中,系统需自动激活并持续监测。法规明确了基于车辆尺寸的具体监测边界参数,重点覆盖自行车常见的行驶与停留位置。标准中规定了动态与静态场景的相应测试方法和通过要求,测试场景如图3所示。要求系统发出声光预警(如仪表盘指示灯闪烁、蜂鸣提示)、触觉预警(如方向盘震动)等,且需满足法规规定的辨识度要求。当传感器受灰尘、雨雪等污染时,系统需具备自检与提示功能;系统故障时需向驾驶员反馈故障状态,且禁止驾驶员手动关闭核心预警功能。



(b) 静态测试场景

图1 ECE R151 测试场景

2.2.2 ECE R158

ECE R158标准内容分成两大部分,第一部分针对倒车安全装置进行独立的装置认证,第二部分针对整车安装,对装置安装在车辆的集成认证提出相关要求。其典型测试场景包括近距后方视野测试以及探测系统测试。ECE R158与

UN R46 互补拓展倒车时的后方视野以及感知能力。

标准分别针对后视摄像头系统(RVCS)以及探测系统(雷达系统)提出了性能要求和测试方法。测试场景如图5所示,将被识别物体放置在法规要求的测试点位上,考察系统的检出率以及系统反应时间等。

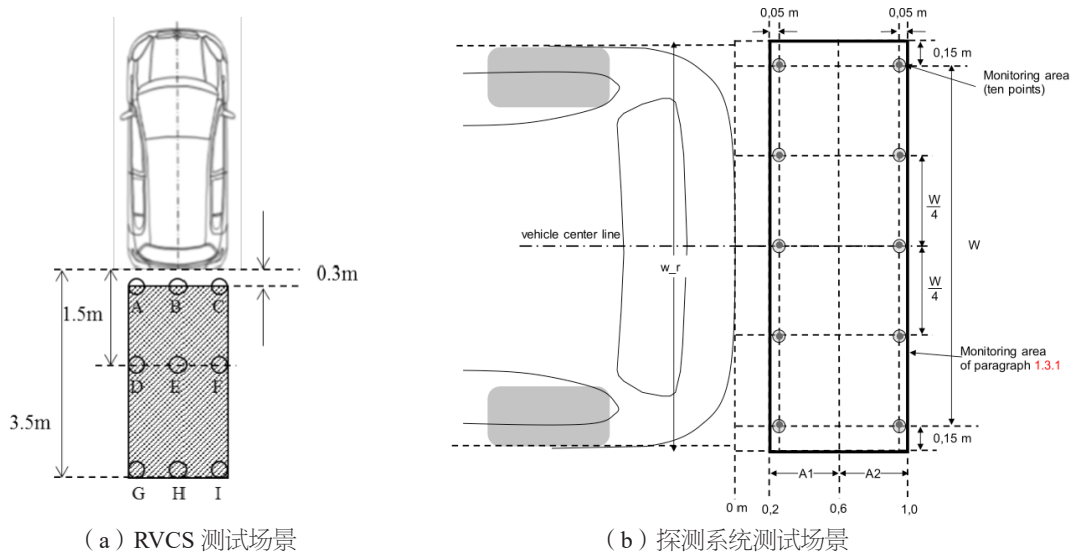


图2 ECE R158 测试场景

2.2.3 ECE R159

适用于 M_2 、 M_3 、 N_2 、 N_3 类车辆，MOIS 系统在车辆准备起步或低速行驶时，实时监测前方盲区，识别行人与自行车骑行者，并向驾驶员发出信息提示与碰撞警告。

车辆前方近距离盲区通常为车辆前方 (0.8-1.5) m 范围，是驾驶员视线难以直接观察的区域。在车辆静止准备起步、起步初期或低速行驶 (0km/h-10km/h) 阶段，系统需自动激活。系统需能检测移动速度为 (3-5) km/h 的行人与自行车骑行

者目标。测试场景包含车辆静止时目标横穿的静态场景，以及车辆停车时自行车纵向移动、车辆和自行车骑行者同步纵向移动的动态场景，如图 6 所示。系统需提供信息信号（提示目标存在）与警告信号（提示碰撞风险），信号可采用声光、触觉等方式，确保驾驶员清晰感知。当传感器受污染（如冰雪、灰尘）时可自动停用，恢复正常后需自动重新激活，且禁止手动关闭信息信号，仅系统故障或传感器污染时可自动停用。

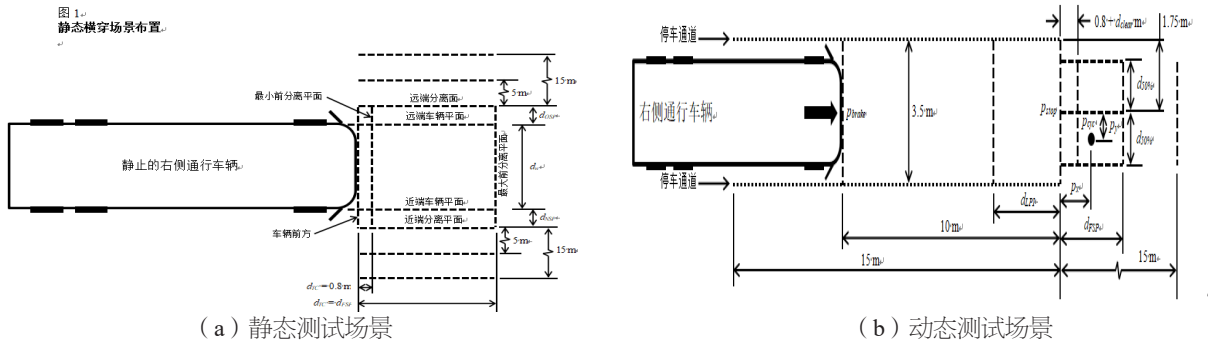


图3 车辆纵向停车自行车纵向移动场景

3 国内标准规程综述

在 ISO17387 的基础上，结合我国实际交通情况，盲区监测系统相关的标准法规应运而生，其中以 GB/T39265^[7] 最具代表性。此外 C-NCAP、I-Vista 等主流测评规程均将盲区监测系统的功能测试纳入其中。

3.1 GB/T 39265-2020

GB/T 39265-2020 道路车辆盲区监测 (BSD) 系统性能要求及试验方法是针对 BSD 系统制定的推荐性国家标准，涵盖了我国典型的实际道路交通场景，是我国盲区监测系统测

试评价重要的参考依据。

GB/T 39265-2020 沿用了 ISO17387 中关于报警区域的划分方法，针对 M 和 N 类车辆提出了 5 个基础测试场景，包括摩托车目标超越测试车辆场景 (图 7a)、车辆目标横向变道场景 (图 7b)、目标车辆超越测试车辆场景 (图 7c)、目标车辆变道超越测试车辆场景 (图 7d) 以及双侧车辆目标超越测试车辆场景 (图 7e)。此外，标准特别针对 M_2 、 M_3 、 N_2 、 N_3 类车辆设置了右转测试场景，对大型车辆 BSD 系统测试提出进一步要求。

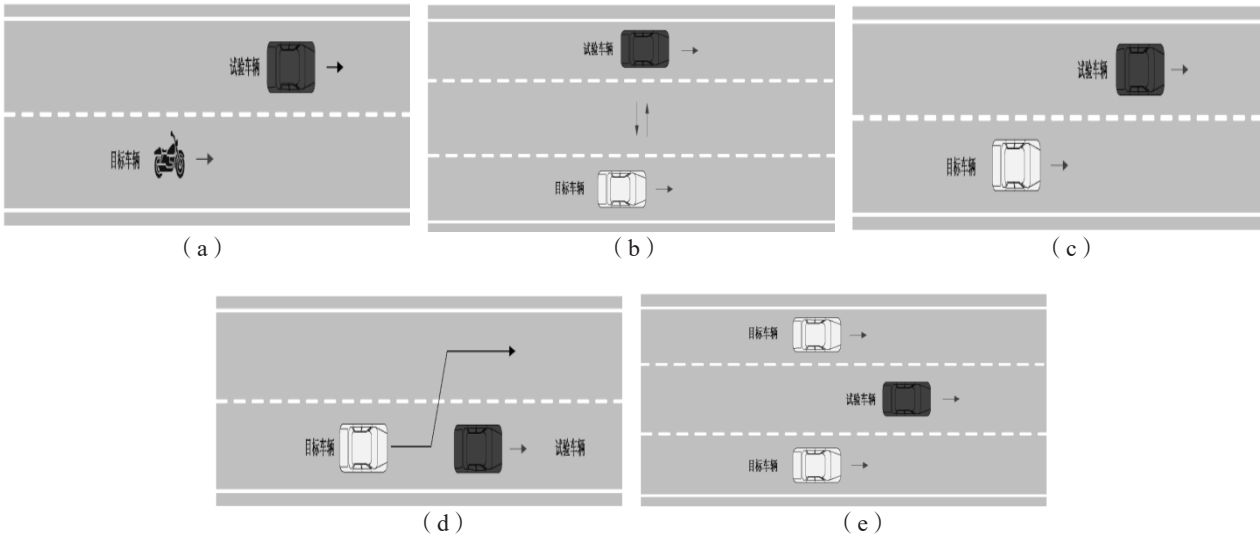


图4 GB/T 39265-2020 测试场景

3.2 主流测评规程中的 BSD 测试

3.2.1 C-NCAP 测评规程

中国新车评价规程 (C-NCAP) 是我国主流汽车测评规程之一, 其主动安全部分将 BSD 系统测试纳入其中。其 BSD 系统测试场景囊括了 GB/T 39265-2020 的主要测试场景类

型, 在此基础上, 通过深度分析事故数据, 针对我国踏板式摩托车保有量大事故占比高的实际情况, 设置了中国特色踏板式摩托车骑行者目标物超越测试车辆 (图 8a) 以及横向变道场景 (图 8b), 与其他标准法规形成互补, 完善 BSD 系统测试评价体系。

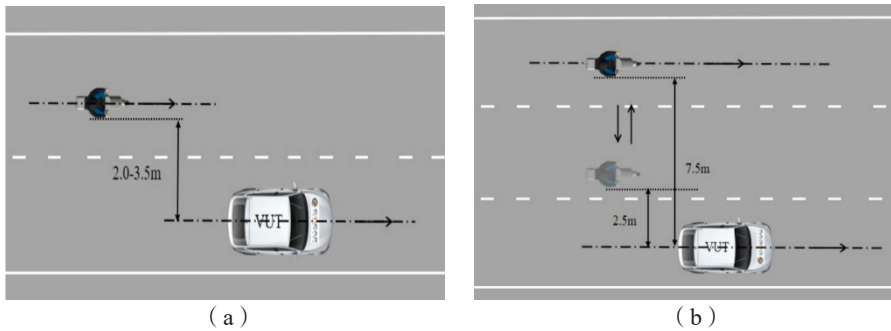


图5 C-NCAP 规程 BSD 测试场景

3.2.2 其他主流测评规程

其他主流测评规程还包括智能安全指数 (I-Vista) 等, 均将 BSD 系统功能测试纳入其中, 测试场景为典型的超车场景。

4 盲区监测技术发展趋势展望

从 BSD 的系统功能角度看, 其技术发展趋势主要体现在智能化、集成化、传感器性能提升三个方面:

借助 AI 算法技术的快速发展, BSD 智能化进程将大幅推进, 更为先进的 AI 算法将被集成进 BSD 中, 以提升对周围环境的识别精度。多传感器融合技术可实现对目标更为精准探测, 借助时空同步算法可将数据延迟控制在 0.5ms 以内, 显著提高复杂场景处理能力。

伴随着其他驾驶辅助系统以及自动驾驶系统功能的不断完善, BSD 将与诸如自动驾驶系统、车辆安全预警系统

等进行深度融合, 以实现协同控制机制。不同类型传感器之间将实现数据互联共享, 可实现更全面的环境感知, 同时降低误报率。

传感器技术的革新是 BSD 功能发展的另一个重要方向。精度更高的雷达传感器可将探测误差从 $\pm 5\text{cm}$ 缩减至 $\pm 2\text{cm}$; 芯片级封装技术的提高可将传感器体积缩小 40%, 以适配更多小型和紧凑型车型。摄像头传感器分辨率和图像识别能力的提升, 可提高摄像头传感器应对不同天气情况的能力, 提升系统的稳定性。

从 BSD 测试角度, 测试技术将朝着测试目标物多元化, 测试场景复杂化的趋势发展。目标物的种类将突破常见的交通参与者类型, 越来越多的具有国家、地域特征的新型目标物将被研发和投入使用以不断提高道路交通安全性。同一种类型目标物将衍生出更多细分品类, 如在普通行人目标物基础上衍生出不同衣服颜色的行人目标物, 打雨伞的行人目标

物、推着婴儿车的行人目标物等。

测试场景的设计过程将增加更多目标的干扰，如设置更多路侧障碍物以更加接近真实的道路交通情况，提升传感器探测的准确性。多目标协同运动场景也是重要的发展方向，使测试场景更加接近真实道路交通情况。

5 结论

BSD 作为主流的驾驶辅助功能之一，能够显著减少因车辆盲区引发的交通事故。随着 BSD 配置率的不断提升，国内外相继出台的标准法规构建起了 BSD 测试评价的标准体系。不同标准法规的适用车型、测试场景、评价方法等互有差异，形成了良好的互补，有效地规范了系统开发以及功能测试过程。

随着传感器技术发展以及 AI 算法的应用，BSD 功能将不断提升以应对多变的天气变化以及复杂交通情况。测试场景的多元化和复杂化将进一步推动 BSD 功能的提升。

参考文献

[1] 马文博,陈帅,赵士舒,王新明,许设.中国汽车 China Auto[J].

2021(11);

- [2] 李阳, 黄庭旭, 何鹏飞. 基于多传感器的车辆盲区探测系统研究[J]. 现代计算机,1522021, 27(23):148-152;
- [3] ISO 17387-2008 Intelligent transport systems-Lane change decision aid systems(LCDAS)-Performance requirements and test procedures;
- [4] UN ECE R151 Uniform provisions concerning the approval of motor vehicles with regard to the Blind Spot Information System for the Detection of Bicycles;
- [5] UN ECE R158 Uniform provisions concerning the approval of devices for reversing motion and motor vehicles with regard to the driver's awareness of vulnerable road users behind vehicles;
- [6] UN ECE R159 Uniform provisions concerning the approval of motor vehicles with regard to the Moving Off Information System for the Detection of Pedestrians and Cyclists;
- [7] GB/T 39265 39265-2020 道路车辆 盲区监测(BSD)系统性能要求及试验方法.