

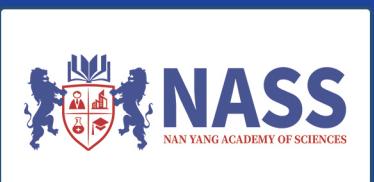
科技创新与工程

Technological Innovation and Engineering

Volume 2 Issue 8 August 2025 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



技术创新与工程

Technological Innovation and Engineering

Volume 2 · Issue 8 · August 2025 · ISSN 3060-8996(Print) 3060-8988(Online)



中文刊名: 科技创新与工程
ISSN: 3060-8996 (纸质) 3060-8988 (网络)
出版语言: 华文
期刊网址: <http://journals.nassg.org/index.php/tie-cn>
出版社名称: 新加坡南洋科学院

Serial Title: Technological Innovation and Engineering
ISSN: 3060-8996 (Print) 3060-8988 (Online)
Language: Chinese
URL: <http://journals.nassg.org/index.php/tie-cn>
Publisher: Nan Yang Academy of Sciences Pte. Ltd.

《科技创新与工程》征稿函

期刊概况:

中文刊名: 科技创新与工程
ISSN: 3060-8996 (Print) 3060-8988 (Online)
出版语言: 华文刊
期刊网址: <http://journals.nassg.org/index.php/tie-cn>
出版社名称: 新加坡南洋科学院

Database Inclusion



Google Scholar



Crossref



China National Knowledge Infrastructure
www.cnki.net

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

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>



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 2 Issue 8 August 2025
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 | 基层消防安全宣传教育实效性提升路径
/ 王春杰 | 25 | / 伏宇
数据要素市场化背景下产业数据空间构建与价值释放
研究 |
| 4 | 汽车零部件主检具验证与试制质量关联性分析管控
优化
/ 王沿钢 | 28 | / 王欢
优化河道管理与保护，推动社会共治共建
/ 张浩然 |
| 7 | 食品安全抽样检验中误差原因与控制措施分析
/ 陈雪霞 浦绍飞 贾巧莉 解粉莲 和玉玲 | 31 | 31 旅游景区安全标准化体系构建与实施效果分析
/ 许晓军 |
| 10 | 基于大学生方程式大赛 KTM690 发动机的冷却系统
设计
/ 赵泓富 高远 祝存耀 彭弘焯 许长江 | 34 | 34 微电网技术在转底炉系统优化与能源管理策略研究
/ 张元玲 彭程 乔赟 |
| 13 | 蜂蜜掺假的 HPLC-DAD 鉴别及化学计量学分析
/ 苏容平 | 37 | 37 8KLCOS 微显示芯片高清数据柔性印刷电路板设计与
性能分析
/ 蔡雅珊 黄苒 陈晓科 王林志 李昊 |
| 16 | 矿用自卸车轮边减速器市场故障 8D 分析与改进
/ 张世宝 | 40 | 40 船舶机舱自动化系统集成与全生命周期管理研究
/ 莫金飞 |
| 19 | 冶金企业能源系统多目标优化调度
/ 李全琪 | 43 | 43 高硅铝壳体微波组件控氢方法的研究
/ 任宪文 陈灿 |
| 22 | 红外测温传感器在自动空调控制中的应用研究 | | |

- 1 Enhancing the Effectiveness of Grassroots Fire Safety Promotion and Education Pathways / Chunjie Wang
- 4 Analysis and control optimization of the correlation between the verification and trial production quality of main inspection tools for automotive parts / Yangang Wang
- 7 Analysis of Causes of Errors and Control Measures in Food Safety Sampling Inspection / Xuexia Chen Shaofei Pu Qiaoli Jia Fenlian Xie Yuling He
- 10 Cooling system design based on the KTM690 engine of the college student formula competition / Hongfu Zhao Yuan Gao Cunyao Zhu Hongzhuo Peng Changjiang Xu
- 13 HPLC-DAD Identification and Chemometric Analysis of Honey Adulteration / Rongping Su
- 16 8D Analysis and Improvement of Mining Dump Truck Wheel Rim Reducer Market Failure / Shibao Zhang
- 19 Multi-objective optimization of energy system in metallurgical enterprises / Quanqi Li
- 22 Application of infrared temperature sensor in automatic air conditioning control
- 25 Research on the construction of industrial data space and value release under the background of marketization of data elements / Huan Wang
- 28 We will improve river management and protection, and promote joint governance and development by society / Haoran Zhang
- 31 Construction and Implementation Effect Analysis of Safety Standardization System in Tourist Attractions / XIAOJUN XU
- 34 Research on Microgrid Technology Integration Optimization and Energy Management Strategy in Rotary Harth Furnace System / Yuanling Zhang Cheng Peng Yun Qiao
- 37 Design and Performance Analysis of 8KLCOS Micro Display Chip for High-Definition Data Flexible Printed Circuit Board / Yashan Cai Ran Huang Xiaoke Chen Linzhi Wang Hao Li
- 40 Research on Integration and Whole Life Cycle Management of Ship Engine Room Automation System / Jinfei Mo
- 43 Research on Hydrogen Control Methods for High-Silicon Aluminum Microwave Component Housings / Xianwen Ren Can Chen

Enhancing the Effectiveness of Grassroots Fire Safety Promotion and Education Pathways

Chunjie Wang

Haigang Road Fire and Rescue Station, Haixing County Fire and Rescue Brigade, Cangzhou Fire and Rescue Detachment, Hebei Provincial Fire and Rescue Corps, Cangzhou, Hebei, 061000, China

Abstract

With the advancement of urbanization, the population density at the grassroots level in urban areas of China has increased, and the risk of fire in old residential areas, urban-rural fringe areas, and other areas is relatively high. In addition, factors such as weak fire safety awareness among grassroots residents and weak rescue and disposal capabilities at the grassroots level can easily trigger small fatalities and major fire accidents. Grassroots fire safety propaganda and education is the first “firewall” for preventing fires, and the effectiveness of its propaganda and education is of great significance for ensuring the safety of people’s lives and property and social stability. Currently, due to poor targeting, single content, and insufficient publicity resources in grassroots propaganda and education, there is a certain gap between it and the actual needs of the masses. This article summarizes its current situation and problems, and reflects on how to improve its effectiveness from the aspects of content, form, and system, providing reference for the construction of a grassroots fire safety publicity and education system and laying the foundation for effective prevention of grassroots fires.

Keywords

grass-roots fire fighting; Propaganda and education; Effectiveness; Path optimization; Fire prevention and control.

基层消防安全宣传教育实效性提升路径

王春杰

河北省消防救援总队沧州市消防救援支队海兴县消防救援大队海港路消防救援站, 中国 · 河北 沧州 061000

摘要

随着城镇化进程的推进, 我国城镇基层人口密度提升, 老旧小区、城乡结合部等火灾风险较高, 加之基层群众消防安全意识淡薄, 基层救援处置力量薄弱等因素, 极易诱发小亡大火灾事故。基层群众消防安全宣传教育是预防火灾的第一道“防火墙”, 其宣传教育的实效性对于保障人民群众生命财产安全和社会安定具有重要意义。当前, 由于基层宣传教育存在针对性差、内容单一、宣传资源不充沛等问题, 与群众实际需求存在一定的差距。本文总结其现状及问题, 从内容、形式、制度等方面对如何提升其实效性进行思考, 为基层群众消防安全宣传教育体系的构建提供参考, 对有效预防基层火灾奠定基础。

关键词

基层消防; 宣传教育; 实效性; 路径优化; 火灾防控

1 引言

消防工作是公共安全管理的重要组成部分, 基层是公共安全工作“最后一公里”, 离人民群众最近, 基层宣传效果的好坏直接影响防火减灾成效, 关系到人民群众火灾事故的减少及灾害损失的降低。各级政府近年来不断加强基层消防宣传工作, 但仍存在内容不够贴近基层与群众、宣传教育手段缺乏吸引力、基层工作力度不足等问题, 导致宣传教育工作“不接地气”, 未能从根本上提升人民群众的火灾防范知识和应急能力。如何提升基层消防宣传工作实效性,

是基层社会治理和公共安全保障工作的重点与难点。

2 基层消防安全宣传教育的现状与核心问题

2.1 宣传内容缺乏针对性, 与基层群众需求脱节

基层群众数量多, 不同群体消防安全知识需求各异: 社区老年人关注家庭用火用电、火灾逃生; 农村群众侧重柴草堆放防火、农机具电气防火; 企业小微职工需了解车间消防设备使用及初期火灾扑救逃生。但当前宣传内容“千篇一律”, 多为火灾案例警示教育和消防法律法规, 未按群体生活环境、职业特征设计^[1]。对农村群众沿用城市高大建筑逃生常识, 与农村低矮建筑、居住密集的实际不符; 对社区老年人的宣传文字多、字体小, 缺乏图文并茂、语音讲解等形式, 不便于理解。宣传内容与基层群众实际生活脱节, 实用

【作者简介】王春杰 (1997-) 男, 中国山东滨州人, 本科, 从事防灭火救援研究。

性差。

2.2 教育形式单一固化，缺乏吸引力与互动性

现有基层消防宣传形式较为传统，采用发放传单等纸质宣传资料、张贴广告标语、播放宣传广播等，形式较为简单、成本低廉，内容呈现形式单一，单向传播明显，未能调动起群众的积极性主动性；一种宣传形式较为传统呆板，群众是“我听你讲”，不能主动提出问题，不能动手操作知识点，一些社区采用微信群发送知识链接，群众打开率低、碎片化阅读，没有知识掌握情况检验；一些农村仍然以“大喇叭”广播形式进行，对群众广播宣传，内容简单重复，群众容易产生审美疲劳，难以理解接受^[2]。虽有部分新颖宣传形式，未能充分采用短视频、在线直播和 VR 体验等群众喜闻乐见的教育形式和内容，如一些地区试制了消防宣传短视频，但内容多为碎片化拼接，案例故事化、趣味性不足，覆盖面不广；VR 消防展示馆等大多设置在城市区域，基层特别是农村基本为空白，群众不能通过沉浸式参观提升自救技能。

2.3 工作机制不完善，基层执行力量与资源保障不足

基层消防安全宣传教育，须有健全的机制，有充足的资源，基层目前普遍存在机制缺失问题。机制不健全：宣传教育机制不健全、不常态化，消防宣传月、安全月等活动较多，活动之后“一阵风”，造成群众缺乏消防安全常识；宣传教育部门间的协作机制不健全，消防部队、街道办、社区等分工不明确、工作不协调，消防部队“单兵作战”、基层组织缺乏消防知识、缺乏消防指导、缺乏多方协同合力。资源不充分：人财物保障不充分，大部分社区、村委会仅有一两名兼职人员，缺乏专业知识和专业能力，缺乏足够的工作精力，宣传经费主要依靠上级临时划拨，经费短缺且不稳定，难以开展长期的各种形式的活动，难以实现宣传形式和内容创新。

3 基层消防安全宣传教育实效性提升的核心原则

3.1 需求导向原则：精准匹配基层群众的差异化需求

考虑到基层群众在年龄、职业、生活环境等各方面的差异，加强宣传教育首先要从需求入手，针对性地调查各类群体的消防安全需求，明确不同群体的需求侧重点，进而设计对应的宣传内容和方式。一是调研基层群众消防安全需求，在街道、社区、村两委、消防部门共同组织下，通过入户调研、问卷调查、座谈会等方式，定期采集各群体消防安全知识需求信息，把握不同群体消防安全知识与技能的薄弱环节。二是针对调查结果制定宣传内容，不搞“一刀切”，不同群体对应不同的宣传内容和宣传形式，实现“精准画像、对症下药”，做到内容接地气。

3.2 场景融入原则：将消防知识与基层群众生活场景结合

适用性直接决定着消防安全知识的接受度和应用率，

脱离群众生活场景的知识难以转化为实际行动，场景融入要求将消防宣传教育融入群众日常生活场景，在熟悉的场景中学会知识、掌握技能。在社区场景中，将消防知识融入小区内公告栏、电梯间、活动广场等空间中，将空间与内容结合，让群众在日常生活场景中掌握消防知识；在农村场景中，将农村房屋、农村生活生产习惯融入农村场景，进行贴近农村生活的消防宣传，将知识传授融入农村日常生活场景之中；在小微企业场景中，将消防宣传引入生产流程，在生产流程关键点位进行引导宣传、知识讲解，让员工在岗位上学习消防知识。

3.3 长效推进原则：构建常态化宣传教育工作体系

消防安全意识的形成，消防安全技能的提升，不是一朝一夕的事情，一次性的宣传很难取得长久的效果，容易使基层群众形成“一阵风”式的认知，出现一抓就忘、一抓就丢的现象。坚持长效化原则就是要破除“运动式”宣传，建立常态化基层消防安全宣传教育工作制度，使宣传教育经常化、常态化。一要建立宣传教育周期和程式，将消防宣传教育工作纳入基层工作常态内容，社区、村委会、小微企业、学校，都要明确宣传教育的周期和重点内容^[3]。二要建立健全宣传教育考核制度，定期通过考试或调查问卷等方式考核群众的消防知识掌握情况，根据考核或调查情况，随时调整宣传教育方向和方式，使宣传教育针对性和有效性不断优化。

4 基层消防安全宣传教育实效性提升的具体路径

4.1 聚焦需求差异，打造分层分类宣传内容体系

针对当前“一锅煮”的宣传内容，从群众所需入手设计群众看得懂、摸得着、学得会的宣传内容体系。一是针对不同群体设计宣传内容，针对老年群体，制作“家庭防火小册子”，将老人家用气、用电、逃生自救等内容进行图文并茂、大字号、配图案的讲解，录制语音讲解视频，在社区微信群中发布；针对青少年群体，制作“消防知识漫画手册”“消防小游戏”，将火灾事故、消防设施、逃生自救等内容融入游戏中，与学校联合，开展“消防知识进校园”活动；针对企业员工，制作“消防安全行业特有手册”，结合企业所属不同行业，如餐饮行业、加工行业、存储行业等的火灾特点，讲解防火职责、初期火灾救助、消防设施等内容^[4]。

二是以场景划分增补。以家庭、农村、企业等场景为基础，增设场景类知识模块：家庭新增“清理阳台杂物”“电动车充电”“儿童玩火危害”等信息；农村新增“柴草堆放距离”“沼气池防火”“农田灌溉电气防火”等信息；企业新增“易燃物料堆放”“设备检修防火”“夜间值班巡查”等信息。

三是因季因节灵活调整。围绕火灾高发季、高发节宣传内容及宣传主题做调整，如冬季重点围绕“取暖设备防

火”“电热毯正确使用”等；夏季重点围绕“电动车充电防火”“易燃易爆物品安全储存”等；春节、元宵节等重点围绕“燃放烟花爆竹安全”“家用用火用电安全”等，分层分级，动态调整，做到“宣传内容因群众所需、因场景而施”，提高知识针对性、实用性。

4.2 融合传统与新兴手段，增强宣传教育吸引力

一方面，创新线下互动模式。在基层阵地设立“消防宣传小站”，社区、村委会利用闲置空间设立“消防宣传小站”，摆放消防知识宣传单、消防宣传手册、灭火器等，供群众浏览学习；农村、城郊社区定期举办“消防大联欢”，设立消防知识竞赛问答、灭火器使用培训演练、逃生模拟演练等，邀请群众参与竞赛，赠送小礼品；对老人、行动不便人员开展“上门式”消防宣传，消防人员上门讲解家庭防火常识，排查火灾隐患，传授逃生技能。

另一方面，延伸线上宣传阵地。充分运用短视频、社交软件等新媒介新手段，打造群众喜闻乐见、短小精悍的碎片化宣传产品：在抖音平台、快手平台等开设“基层消防小课堂”账号，每天推送1-3分钟消防知识技能“情景剧”“动画”“真人秀”等短视频；依托社区微信群、农村“大喇叭”广播等开展“火场逃生线上演习”，群众根据语音提示模拟火场逃生，增强自救互救技能；开发“消防知识线上测试”小程序，设置不同人群的“消防题库”，群众通过答题闯关，答对即可获得消防文创小礼品^[5]。此外，注重推动宣传形式创新，纸质宣传单升级为“活页夹”，宣传单上嵌上二维码，群众扫码即可收看知识视频，还可进行在线答题；横幅式宣传墙升级为“滚动警示屏”，在社区、农村人口密集的路段设置LED屏，播放火灾事故教训、防火注意事项等内容，根据季节、节点滚动播放。通过多形式创新，使消防宣传工作真正让基层“被动灌输”转化为“主动汲取”，增强群众学习意愿和学习效果。

4.3 强化协同与保障，构建长效推进体系

一是健全多方协作机制。理顺政府、消防部门（单位）、基层组织、社会力量的职责定位，构建“政府主导、消防指导、基层组织、社会力量”的工作机制：政府拟定基层宣传教育培训计划，纳入基层社会治理工作范畴部署，统筹部门工作；消防部门（单位）负责指导培训基层宣传员开展工作，制定基层宣传内容标准，街道、社区、村委实施宣传，因地制宜开展相关活动；聘请消防志愿者、社会组织等协助开展宣传工作，通过购买服务、志愿服务等充实基层宣传力量。同时，建立定期沟通会制度，每月召开各主体参与的协调会议，汇报工作，发现问题及时交流，避免“各自为战”。

二是强化经费保障能力。强化消防基层宣传经费保障，

将宣传经费纳入地方财政预算，确保稳定、充足地用于购置宣传装备器材、制作宣传材料、开展人员培训等；强化基层宣传人员培训，消防部门每季度组织一次基层宣传人员学习，学习消防知识更新、消防宣传技巧、组织活动技巧等内容，提升基层宣传人员素质；将消防宣传资源下沉至基层，将VR消防体验馆、车载消防宣传车等消防宣传资源下放到基层，定期组织消防宣传队赴社区、农村开展宣传，让基层群众在家门口就能享受到沉浸式教育。

三是注重考核激励。将基层消防安全宣传教育工作列入各地政府绩效考核，纳入基层组织评先评优指标考核，如宣传活动开展次数、群众知晓率、隐患排查数量等，避免出现“宣传说起来重要、做起来不重要”；建立基层群众对宣传教育工作的评价体系，通过问卷、电话回访等方式对工作满意率进行调查，纳入考核指标；对基层开展消防安全宣传教育工作成效显著的单位和个人进行表彰激励，授予“消防宣传示范社区/村”等称号或发放奖金，激发各单位、个人工作积极性；通过机制完善为基层消防安全宣传教育工作提供有力的组织保障、资源保障和动力保障，使工作提升方式长效化、有力度。

5 结语

基层消防安全宣传教育是夯实社会公共安全底线的根基性工作，其成效直接关系人民群众生命财产安全与和谐社会稳定。当前，基层消防安全宣传教育成效凸显，但仍然存在针对性不足、形式吸引力不足、机制保障不到位等影响其发挥“预防为主”作用的问题。基层消防安全宣传教育要做到“内容有针对性、形式有丰富性、机制有保障性”，立足需求、立足场景、立足长效，让消防安全知识入脑入心、推动基层群众提升消防安全意识和应急处置能力、将火灾消灭在萌芽状态，为基层社会治理和公共安全提供坚实的消防安全宣传教育保障，为推动更高水平的平安中国、法治中国建设贡献力量。

参考文献

- [1] 倪旭萍.基层社区消防安全宣传教育方式调研分析——以温州市为例[J].消防界(电子版),2020,6(16):40-42.
- [2] 刘疏桐.加快基层消防安全综合治理体系建设的思路——以保山市隆阳区为例[J].今日消防,2024,9(06):141-144.
- [3] 许晋阳.基层消防安全治理工作调查分析[J].中国消防,2023,(S1):9-11.
- [4] 邵介.自媒体时代消防安全宣传新思路探究[J].今传媒,2023,31(02):15-18.
- [5] 张劲松.G市基层消防安全治理存在的问题及对策研究[D].吉林大学,2023.

Analysis and control optimization of the correlation between the verification and trial production quality of main inspection tools for automotive parts

Yangang Wang

Quality Management Department, Technology Center, Anhui Jianghuai Automobile Group Co., Ltd., Anhui, Hefei, 230031, China

Abstract

The dimensional accuracy and assembly consistency of automotive parts are directly related to the overall performance and safety reliability of the vehicle. As the core tool for quality control, the verification accuracy of the main inspection tool has a crucial impact on the quality performance during the trial production stage. Based on statistical analysis and systems engineering methods, this paper studies the coupling mechanism between the error transmission of the main inspection tool and the quality of the trial production. Through regression analysis of the trial production data of typical components such as the subframe and the instrument crossbeam, it reveals the correlation between the inspection tool error and defects such as dimensional mismatch and welding offset. The research proposes a closed-loop optimization model of “verification - monitoring - feedback”, and builds a quality collaboration system composed of tool design verification, measurement system analysis (MSA), process capability (CPK) control and digital traceability, providing an effective path for improving dimensional stability and manufacturing consistency in the trial production stage.

Keywords

Main inspection tool verification; Trial production quality; Dimensional deviation; Measurement system analysis; Quality control optimization

汽车零部件主检具验证与试制质量关联性分析管控优化

王沿钢

安徽江淮汽车集团股份有限公司技术中心质量管理部, 中国·安徽 合肥 230031

摘要

汽车零部件的尺寸精度与装配一致性直接关系到整车性能与安全可靠性。主检具作为质量控制的核心工具, 其验证精度对试制阶段质量表现具有关键影响。本文基于统计分析与系统工程方法, 研究主检具误差传递与试制质量的耦合机制, 并通过对副车架、仪表横梁等典型零部件试制数据的回归分析, 揭示检具误差与尺寸失配、焊装偏移等缺陷的关联。研究提出“验证—监控—反馈”闭环优化模型, 构建由检具设计验证、测量系统分析 (MSA)、过程能力 (CPK) 管控及数字化追溯组成质量协同体系, 为提升试制阶段的尺寸稳定性和制造一致性提供了有效路径。

关键词

主检具验证; 试制质量; 尺寸偏差; 测量系统分析; 质量管控优化

1 引言

在汽车制造领域, 零部件尺寸精度、结构一致性与装配协调性是决定整车性能与用户体验的核心要素。作为关键检测设备的主检具, 不仅承担零部件几何尺寸与装配关系验证的重要职能, 更在新车型试制与批产切换阶段承担着“质量关口”的角色。随着汽车零部件轻量化、复杂化与模块化程度不断提高, 传统检具验证方法在精度保持、数据追溯及误差分析方面暴露出局限, 难以支撑数字化制造与智能检测

的质量要求。当前汽车制造企业普遍存在主检具验证过程标准化不足、测量数据不一致、误差溯源困难等问题, 导致试制阶段零件偏差频发、验证周期延长及成本上升。研究检具验证精度与试制质量之间的关联规律, 构建科学的质量控制模型, 对于缩短产品验证周期、提升零部件一致性及优化制造体系具有重要意义。本文基于主检具验证数据与试制测量样本的关联分析, 探讨检具误差传递机制、验证结果对试制精度的影响规律, 并提出系统化的过程控制与闭环优化策略, 为汽车零部件制造提供理论与实践支撑。

【作者简介】沿钢 (1980-), 男, 中国安徽宿州人, 高级工程师, 从事试制验证质量管理研究。

2 主检具验证与试制质量的关联机理

2.1 主检具在零部件试制过程中的作用

主检具是汽车零部件几何精度验证与装配校准的核心工具，其设计结构、检测基准布置及制造精度直接决定了试制质量控制的科学性与可靠性。检具通过模拟整车装配状态，对定位孔、装配面及关键尺寸进行几何精度检测，确保零部件在装配过程中能够准确复现设计基准。尤其在新车型开发和样件验证阶段，主检具的检测数据往往成为评估零部件设计合理性和制造能力的主要依据。若检具存在基准偏移或制造误差，可能导致检测结果系统性偏差，使试制数据出现“假合格”或“假失效”现象，影响装配匹配度及整车性能。因此，主检具不仅是质量控制工具，更是设计验证与生产衔接的技术纽带。

2.2 检具验证误差的来源与传递路径

检具验证误差的来源可分为制造误差、装配误差与测量系统误差三类。制造误差主要包括加工精度不足、基准孔定位偏差及结构件变形；装配误差多出现在检具组件间隙、紧固力不均及装配基准不一致等方面；测量系统误差则受到仪器分辨率、温度波动及操作一致性等因素影响。通过误差传递分析可发现，主检具几何误差会在检测过程中形成系统偏差，导致零部件尺寸波动扩大。例如，当检具基准孔偏差超过 ± 0.03 mm 时，零件平行度与垂直度指标易超出设计公差。误差在传递过程中呈叠加效应，对试制件的几何精度和装配一致性造成连锁影响，成为质量波动的潜在根源。

2.3 试制质量偏差的表现与特征分析

试制阶段的质量偏差主要表现为孔位偏移、焊接变形、装配干涉及表面轮廓误差等，这些问题在统计意义上与检具验证误差呈显著相关。通过多变量线性回归分析发现，主检具定位误差每增加 0.05 mm，试制零件装配偏差平均增加 0.07 mm；当测量系统重复性与再现性 (R&R) 超过 10% 时，试制件合格率下降约 8%。此外，工装温度漂移及检具刚性不足也会加剧尺寸波动。数据表明，检具精度水平与试制件的尺寸稳定性呈强相关关系 (相关系数 $r>0.9$)，说明提升主检具验证精度可有效降低尺寸偏差、提高试制一致性。这一规律为优化检具设计及完善试制阶段质量控制提供了明确的技术依据。

3 检具验证与试制质量的关联性分析

3.1 数据采集与统计建模方法

为量化主检具验证误差与零部件试制质量之间的关联性，本文以某主机厂仪表横梁检具项目为研究对象，采集 10 套主检具的验证数据及 100 件试制件的尺寸检测结果。数据覆盖基准孔位置、定位销间距、装配面平面度等关键参数。通过统计分析软件 Minitab 建立相关性模型，采用皮尔逊相关系数法 (Pearson r) 与偏最小二乘回归 (PLSR) 法对检具基准误差、孔距偏差与零件尺寸稳定性之间的线性与

非线性关系进行拟合。结果以过程能力指数 (CPK) 为评价指标，量化检具验证精度对试制件一致性的影响。

3.2 误差耦合模型与敏感性分析

为揭示不同误差源对试制质量的影响程度，本文构建“检具基准误差—零件尺寸偏差—装配偏差”的三层耦合模型，并采用方差分解法进行贡献率计算。结果显示，检具基准误差对试制偏差的贡献率高达 41.2%，测量系统误差占 27.6%，零部件自身加工波动占 22.3%。敏感性分析结果进一步表明，检具关键定位点偏差的影响系数达 0.82，对尺寸稳定性影响显著。由此可见，控制检具关键基准点精度是确保试制一致性的首要环节。

3.3 关联性验证与结果分析

基于多批次试制数据对模型进行验证，结果表明，当主检具误差控制在 ± 0.02 mm 以内时，试制零件的 CPK 值可达 1.67 以上，满足批量生产标准；当误差超过 0.05 mm 时，CPK 下降至 1.15，试制稳定性显著降低。统计分析结果显示，主检具验证精度与试制质量一致性呈高度正相关关系 ($r=0.91$)。该模型为企业提供了可量化的评估依据，使管理者能够在量产前识别高风险检具并提前优化，实现质量风险的前置控制与工艺决策的科学化。

4 检具验证过程的关键控制要素

4.1 检具设计与制造阶段的控制

检具设计与制造是确保后续验证精度与试制质量稳定的源头环节，其科学性和规范性决定了主检具全寿命周期内的精度保持能力。设计阶段应严格遵循 GD&T (Geometric Dimensioning and Tolerancing，几何尺寸与公差) 标准，通过合理的定位基准布置与测量点布局，实现检具与零部件装配基准的一致性。对于复杂曲面类零件，应采用有限元分析 (FEA) 进行结构优化，减少热变形与应力集中对检具刚性的影响。制造阶段需使用高精度数控设备与恒温加工环境，确保关键定位点的加工误差不超过 ± 0.01 mm。制造完成后，应使用三坐标测量机 (CMM) 对检具进行全尺寸检测，验证其与设计模型的一致性。同时引入统计过程控制 (SPC) 方法，对加工过程中的尺寸波动进行实时监控，通过控制图与过程能力指数 (CPK) 分析，确保制造精度处于受控状态。

4.2 验证与复核流程的标准化

建立系统化、标准化的检具验证流程，是保证检具可靠性的关键手段。完整的验证流程应包括预验收、现场校核、功能验证与最终确认四个阶段。预验收环节主要评估检具外观、结构及制造公差；现场校核阶段需在生产环境下验证检具与零件装配的契合度；功能验证阶段通过装检测试确认检具的检测能力与重复定位精度；最终确认阶段形成验证报告并归档。为确保验证结果的科学性，应引入测量系统分析 (MSA)，通过重复性与再现性 (R&R) 评估确保量具系统误差低于 10%。对关键检具实行双重验证机制，即设计

方与使用方共同参与验证过程，实现交叉确认与数据一致性复核。通过流程标准化与责任分级制，可有效避免因主观判断或信息不对称造成的验证偏差，为后续试制质量控制提供坚实基础。

4.3 数据追溯与数字化管理

在数字化制造体系下，检具验证数据的追溯性与可视化分析成为质量管控的重要支撑。应通过 PLM (Product Lifecycle Management, 产品生命周期管理) 与 QMS (Quality Management System, 质量管理系统) 的集成，实现检具设计、制造、验证与使用全流程数据的统一管理。所有检具验证记录、测量报告、偏差修正方案与复核结果均应纳入数字化数据库，形成可追溯的生命周期档案。通过大数据分析与趋势预测，可识别检具精度退化趋势与系统性误差源。利用可视化工具 (如 Power BI、Tableau 等)，对验证结果进行图表化展示与偏差预警，实现“问题发现—原因溯源—改进验证”的闭环质量管理模式。同时，结合区块链技术可提升数据安全性与防篡改能力，确保检具验证数据在供应链与制造体系内的可信共享。通过数字化追溯与智能分析，企业能够实现检具状态的实时监控与风险预测，为汽车零部件制造质量的持续改进提供技术保障。

5 试制质量控制的系统优化路径

5.1 检具误差补偿与试制修正机制

在汽车零部件制造过程中，主检具的微小误差累积可能导致试制阶段的尺寸偏移与装配干涉，因此建立系统性的误差补偿机制至关重要。误差补偿不仅是对检具制造公差的静态修正，更应实现动态化与智能化控制。企业可利用偏差拟合算法 (如最小二乘法与空间点云拟合模型) 对检具定位误差进行计算分析，形成精度分布图，实现对关键基准点的精确修正。在试制阶段，可通过数字化调整工装 (Digital Jig Adjuster) 实现三维空间的精度微调，以减少装配误差传播。同时，基于历史检具与试制数据训练的 AI 预测模型可识别潜在的偏差趋势，对异常数据自动预警。通过建立“偏差预测—修正验证—再校准”闭环机制，使检具补偿与试制调整相互耦合，实现从被动修正到主动预测的质量控制模式，确保试制阶段尺寸一致性与装配精度稳定。

5.2 过程能力提升与反馈优化

过程能力指数 (CPK、Ppk) 是衡量制造过程稳定性与质量一致性的核心指标。汽车零部件试制环节的过程波动常由检具精度衰减、环境温度变化及操作差异引起，因此需建立“检具状态—过程能力—试制合格率”的动态反馈模型。通过持续监测检具使用状态与测量结果分布，可实时计算过程能力指标，判断制造系统是否处于受控状态。当 CPK 值低于 1.33 时，应启动异常原因分析与检具再验证流程。数

据反馈体系应以 MES (制造执行系统) 为支撑，实现检具状态、试制质量与工艺参数的自动关联与追溯。对重复使用的主检具项目，需设立周期性复验制度，通过光学扫描、三坐标复测等手段确保长期使用后的精度稳定性。反馈优化不仅提升检具应用可靠性，也促进试制工艺标准化与持续改进，使质量控制从静态评估转向动态优化。

5.3 智能检测与协同管控体系构建

随着智能制造与工业互联网的发展，主检具验证与试制质量控制正向数字化、网络化与智能化方向演进。构建基于工业互联网架构的智能检测平台，可实现检具状态监测、试制数据采集与可视化分析一体化管理。通过部署传感器网络与边缘计算模块，实时采集温度、振动、应力等环境参数，判断检具精度变化趋势。结合数字孪生技术，可在虚拟空间中同步建立“检具—零部件—装配环境”数字模型，对检测结果进行虚拟复现与偏差预测，实现检具验证与试制质量的虚实协同。人工智能算法可在平台中自动识别异常趋势并生成优化建议，提升决策响应速度。通过智能检测与协同管控体系，企业能够实现“检具验证—试制检测—质量优化”的数据闭环，促进多部门、跨工序协同管控，最终实现汽车零部件制造质量的智能化、透明化与可持续提升。

6 结语

主检具验证是汽车零部件制造质量控制体系的核心环节，其精度水平直接决定试制阶段的质量表现与量产一致性。本文通过对检具验证误差与试制质量的关联分析，构建了以数据驱动为核心的过程控制模型，并提出检具设计优化、验证标准化与数字化管控的综合路径。研究表明，强化检具验证的系统性与数据化管理，不仅可提高试制阶段的尺寸一致性和检测效率，还能实现制造质量的可预测与可追溯，为汽车制造企业构建智能化质量管理体系提供重要支撑。未来，随着数字孪生与人工智能技术的深入应用，检具验证将进一步实现预测性管控与自适应优化，推动汽车零部件质量管控从经验型向智能决策型转变，实现制造业的高质量、可持续发展。

参考文献

- [1] 李斌,户玉奎,张博.汽车行业质量控制工具——综合检具[J].北京汽车,2012,(05):32-33.
- [2] 周建刚.智能制造环境下汽车零部件精密加工技术研究[J].汽车测试报告,2024,(22):83-85.
- [3] 李钦生,袁帮谊,魏平.汽车覆盖件主模型检具大型薄壁件制造工艺研究[J].锻压技术,2014,39(05):46-50.
- [4] 李铭.关于汽车主模型检具制造工艺问题的讨论[J].模具技术,2006,(06):42-44.
- [5] 张延亮,沈亮,谢小星,等.CAXA在国产汽车主模型与检具设计制造中的应用[J].CAD/CAM与制造业信息化, 2002,(06):33-36.

Analysis of Causes of Errors and Control Measures in Food Safety Sampling Inspection

Xuexia Chen Shaofei Pu Qiaoli Jia Fenlian Xie Yuling He

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

Abstract

Food safety plays a crucial role in safeguarding public health and social stability. In recent years, China's food safety regulatory system has continuously developed, achieving the goal of full-chain coverage. However, during the sampling inspection process, issues such as non-standard sampling, problems in sample management, and inadequate method applicability intertwine across multiple stages, frequently resulting in errors that impact the accuracy of regulation. Therefore, optimizing error control has become essential. This paper briefly explores the main causes of errors in food safety sampling inspections, reviews the influencing factors at each stage, and proposes systematic control measures, aiming to provide technical references for improving inspection quality and strengthening food safety regulation.

Keywords

Food safety; Sampling inspection; Error analysis; Quality control

食品安全抽样检验中误差原因与控制措施分析

陈雪霞 浦绍飞 贾巧莉 解粉莲 和玉玲

曲靖市检验检测认证院, 中国 · 云南 曲靖 655000

摘要

食品安全对于公众健康以及社会稳定而言有着非常关键的保障作用。近年来我国食品安全监管体系持续发展, 达成了全链条覆盖的目标, 然而在抽样检验过程中, 抽样不规范、样本管理存在问题以及方法适配性不足等多环节因素相互交织, 使得结果误差频繁出现, 对监管精准度产生了影响, 优化误差控制变得非常必要。本文对食品安全抽样检验中的主要误差原因, 进行了简要探讨, 梳理了各环节的影响因素, 并提出了系统的控制对策, 希望能为提升检验质量、强化食品安全监管提供技术方面的参考。

关键词

食品安全; 抽样检验; 误差分析; 质量控制

1 引言

食品安全对于公众健康以及社会稳定而言有着非常关键的保障作用, 抽样检验作为把控食品安全的一项关键技术手段, 它的结果准确性会直接对监管决策的有效性产生影响, 在当前的抽样检验过程当中, 误差容易在抽样、样本管理、检验方法、人员操作以及仪器设备等环节出现, 这有可能致使结果出现失真的情况。深入分析误差产生的原因并且提出针对性的控制措施, 对于提升检验质量以及强化食品安全监管有着关键的现实意义。

2 食品安全抽样检验中的误差原因

2.1 抽样环节导致的误差

抽样环节所产生的误差会对检验结果的准确性造成直接影响, 抽样人员要是对抽样方案理解得不够到位, 那么就容易出现抽样范围偏离预设要求的状况, 部分抽样没有遵循随机原则, 而是人为地去选择抽样地点或者样本, 这样一来就会导致样本缺乏代表性, 抽样数量要是不足的话, 就会降低结果的统计学意义, 没办法反映出整体的食品安全状况。抽样工具倘若没有经过严格的清洁与校准, 就可能会携带污染物或者影响样本状态, 引入误差, 不同抽样人员的操作手法存在差异, 对同类样本的采集方式并不一致, 这同样会造成抽样结果的偏差, 这些因素相互作用, 共同致使抽样环节出现误差。

2.2 样本保存与运输导致的误差

样本在保存与运输阶段的理化性质变化是误差产生的主要原因。基层监管部门配备的移动冷藏设备性能参差不

【作者简介】陈雪霞 (1987-), 女, 中国云南陆良人, 本科, 工程师, 从事食品安全与检验检测研究。

齐,运输过程中温度波动可能造成嗜冷菌超标样本的微生物指标失真。在跨区域送检时,第三方物流机构操作不规范引发的样本倒置、挤压问题,易导致液态食品分层、脆性食品结构破损。样本包装材料选用不当现象普遍存在,如速冻面米制品使用普通泡沫箱运输易造成冷链中断,散装熟食采用非阻氧包装则会加速油脂氧化。转运交接环节的监管空白同样不容忽视,部分基层单位样本暂存库温控记录缺失,中转运输时未严格执行双人核验制度,可能引发样本混淆或时效性指标失效^[1]。

2.3 检验方法导致的误差

检验方法作为影响结果准确性的关键要素,若选择不当或者应用有误则容易引发误差,部分检验方法的适用范围并未得到明确界定,当应用于不匹配的食品基质时,会因为基质干扰而降低检测精度,检验步骤方面如果细节把控不到位同样会产生误差,像试剂添加顺序颠倒、反应时间控制不当等情况,都会改变检测体系的稳定性^[2]。检验方法的灵敏度以及检出限若未能符合检测需求,会造成低含量指标出现误判或者漏检的情况,不同检验方法的原理存在差异,要是没有依据检测项目特性合理选用,会让结果偏离真实值,影响检验数据的可靠性。

2.4 人员因素导致的误差

人员专业能力方面存在的差异乃是引发误差的关键要素,有一部分检验人员并未系统地掌握抽样规范,对于抽样地点以及批次的选择欠缺科学的判断能力,这直接对样本的代表性产生了影响,在检验操作环节当中同样存在着误差隐患,操作流程并不规范,像是抽样工具没有进行彻底的消毒、样本分装步骤出现遗漏等情况,都会致使样本受到污染或者性状发生改变。人员责任意识不足同样会使误差风险加剧,抽样记录填写不及时也不完整,很容易造成样本信息出现混淆,在检验过程中没有严格遵循标准流程,随意地简化操作步骤,会让检验结果的准确性降低,而且人员对于检验仪器的操作熟练度不够,没能及时发现仪器出现异常,也会使得检验数据出现偏差,对最终结果的判定造成影响。

2.5 仪器设备导致的误差

仪器设备在食品安全抽样检验中起着核心支撑作用,其状态对结果准确性有着直接影响,有些检验机构没有严格执行定期校准制度,随着仪器使用时长增加,测量精度会逐渐偏移,产生系统误差,设备维护不到位也会引发问题,长期使用后部件出现磨损、老化却未及时更换,会致使检测信号不稳定,干扰数据读取。不同仪器的性能参数有所不同,若没有依据检验项目匹配合适的设备,结果的可靠性就会降低,仪器运行环境控制不当也会引入误差,温度、湿度等条件超出设备适用范围,会影响内部元件正常工作,最终造成检验结果出现偏差。

3 控制食品安全抽样检验误差的对策

3.1 优化检测样品抽样工作

优化检测样品抽样工作作为控制检验误差的首要环节,要从方案制定、人员管理以及过程管控等多个方面系统推进,抽样方案的科学性直接决定了样品的代表性,应结合检验目的与食品特性,明确抽样范围、数量以及方法,需依据食品生产批次、流通区域等要素合理划分抽样单元,防止因抽样覆盖不全致使结果出现偏差。方案要明确抽样工具的选用标准,保证工具清洁无污染,符合相应食品检验的卫生要求^[3]。

抽样人员的专业能力对于抽样质量非常关键,应构建常态化培训机制,提升人员对抽样规范的掌握程度,让其可以准确识别抽样对象的关键特征,培训内容囊括抽样流程、操作要点以及质量控制要求,保证人员在实际操作中严格遵循规范。另外需建立人员考核机制,定期评估抽样操作的规范性,考核结果与岗位调整挂钩,强化人员的责任意识。

抽样过程的实时管控可有效减少人为误差,抽样时要严格执行现场记录制度,详细记录抽样时间、地点、环境条件等信息,保证记录信息完整且可追溯,针对易受环境影响的食品,在抽样过程中需采取必要的防护措施,避免样品在抽样环节发生理化性质变化。要规范抽样操作流程,明确样品采集、分装、标识的具体要求,保证每个环节操作标准一致。

抽样后的样品交接环节同样需要加强管理,应建立规范的交接流程,明确交接双方的责任,保证样品在交接过程中不被混淆、污染或损坏,交接时需核对样品信息,包括样品名称、数量、标识等,确认无误后签署交接记录。针对需要特殊储存条件的样品,在交接过程中需持续维持适宜的储存环境,保障样品质量稳定。

3.2 规范样本保存与运输

规范样本的保存以及运输属于控制误差的关键环节,需要借助全流程的管控来维持样本原本的性状,在保存阶段,要依据食品的类型来明确温度控制、湿度等环境标准,配备达标的储存设备并且定期进行检查,以此保证环境参数处于稳定状态,运输之前,要对运输工具进行清洁与消毒,结合运输距离以及食品的特性来规划路线,缩短运输所花费的时长。在运输过程中,采取固定措施来防止样本出现倒置或者挤压的情况,依据食品特性选用适配的包装材料,以此保障密封以及防护的效果,另外要强化转运交接的监管工作,建立温度控制记录以及双人核验制度,明确交接的责任并且完善记录,防止样本出现混淆或者指标失效的问题。

3.3 科学选择检测方法

检测方法的科学性对于检验结果的可靠性起着决定性作用,它是控制抽样检验误差的关键技术环节,方法的选择要基于对检验需求以及食品特性的充分认识,防止因方法适配性欠佳而引发系统误差,应当优先依据现行有效的食品安

全国家标准方法,明确该方法的适用范围以及检测对象,保证所选方法与样本基质、待测指标的特性相契合。

方法选择要全面考虑技术指标的合理性,要着重关注方法的检出限和定量限,保证其可契合食品安全标准对指标限量的检测要求,同时还需要评估方法的精密度与准确度,前者反映检测结果的重复性与稳定性,后者体现检测值与真实值的吻合程度,二者都要达到标准规定的技术水平,另外方法的可操作性与实用性也需要纳入考虑范围,要结合实验室设备条件以及人员技术能力来选择合适的方法,避免因操作难度过高而导致操作误差^[4]。

在方法确定之前,验证工作是非常必要的,这是保障方法科学性的关键程序,验证内容应包括检出限、定量限、线性范围、精密度、准确度等核心参数,可以凭借空白试验来确定检出限,借助标准物质测定与加标回收试验来验证准确度,依靠多次平行测定来计算精密度,对于首次采用或者经过修订的方法,需要进行实验室间验证,保证方法在不同实验室之间的重现性与可靠性。验证过程要形成完整记录,作为方法选用的技术依据。检测方法的动态优化与更新是长期控制误差的关键举措,随着食品安全标准的修订以及检测技术的发展,需要定期对所使用的方法进行评估,当标准方法更新或者检测对象发生变化时,应及时开展新旧方法的比对试验,分析差异点并重新进行验证。同时要关注新型检测技术的应用,在保证方法可靠的前提下,引入灵敏度更高、操作更高效的技术手段,持续提高检测结果的准确性与稳定性。

3.4 加强检测人员专业培训和操作管理

检测人员所有的专业能力会对抽样检验的误差控制成效产生直接影响,有必要构建起一套系统化培训以及规范化管理体系,培训内容应当包含食品安全标准、抽样流程、仪器操作以及误差防控知识,并且要依据检验技术更新的动态情况对课程作出调整,以此保证人员可掌握最新的操作要求。培训形式可以进行灵活组合,借助理论授课来夯实基础,借助实操演练提升动手能力,防止理论与实践相互脱节。操作管理需要建立起标准化流程,明确各个环节的操作规范以及责任分工,在抽样之前要核查人员资质,保证参与人员拥有相应的操作权限,在抽样过程中要严格依照操作细则执行,减少人为操作偏差。同时还要制定操作核查制度,定期对人员的操作行为开展监督检查,及时纠正不规范操作。

完善考核机制可以强化培训与管理的效果,需要建立常态化考核体系,把理论知识、实操技能以及误差控制能力

纳入考核范围,将考核结果与岗位调整、培训安排相挂钩,借助持续开展培训以及严格实施管理,提升检测人员的专业素养以及责任意识,从人为因素方面降低检验误差。

3.5 定期维护更新管理仪器设备

仪器设备的性能对于检验结果的准确性起着决定性作用,它是控制误差的硬件关键所在,故而需要构建全生命周期管理体系来保障其精度,新购置的设备要经过严格的验收流程,要仔细核查型号以及配件的完整性,并且完成性能测试,只有验收合格之后才可投入使用,以此从源头避免因设备质量问题而导致的系统误差^[5]。

在日常工作中,需要依据设备的类型来制定标准化的维护计划,定期进行清洁、润滑以及部件检查等工作,及时更换老化的部件,在使用设备前后都要执行基础核查,并且详细记录其运行状态,对于强制检定的设备,需要按照规定的期限完成检定工作,对于非强制检定的设备,则要制定校准计划,在两次校准的间隔期内,针对高频使用的设备开展期间核查,保证量值溯源的准确性。要建立设备专属的档案,完整地留存维护、校准以及故障记录,定期对设备的适用性进行评估,及时更新性能出现衰减或者技术已经落后的设备,按照规定的程序报废无法修复的设备,防止不合格的设备引发检验误差。

4 结语

综上所述,食品安全抽样检验所产生的误差是由抽样、样本管理、方法、人员以及设备等多个环节的因素相互交织而引发的,对于控制误差而言,这对于保障检验结果的可靠性以及强化食品安全监管有着意义,需要系统地落实优化抽样、规范样本管理、科学选择方法、加强人员培训以及设备管控等一系列措施,才可精准地降低误差,为食品安全构建起一道技术防线。

参考文献

- [1] 朱磊磊.食品安全抽样检验中的误差原因及控制对策[J].食品安全导刊,2025,(19):190-192.
- [2] 刁海燕.食品安全检验检测质量管理面临的挑战与优化措施[J].现代食品,2024(24):140-142.
- [3] 张嘉蕴,王莹,王建惠,等.探析食品质量监督抽样检验中的问题及对策[J].中外食品工业,2024(15):62-64.
- [4] 冯占辉.探讨提升流通环节食品抽样检验工作成效的有效机制[J].中外食品工业,2024(1):120-122.
- [5] 徐强.食品抽样检验方法优化与应用研究[J].现代食品,2024(7):112-114.

Cooling system design based on the KTM690 engine of the college student formula competition

Hongfu Zhao Yuan Gao Cunyao Zhu* Hongzhuo Peng Changjiang Xu

School of Automobile and Traffic Engineering, Guangzhou City University of Technology, Guangzhou, Guangdong, 510800, China

Abstract

The Formula Student China (FSCC) is a high-level college student engineering competition sponsored by the Chinese Society of Automotive Engineering (SAE-China). This article is aimed at the KTM690 single-cylinder engine in the Formula Student China (FSCC) at high temperature and high load. Moreover, it is easy to have problems such as overheating, power drop and bursting, and the cooling system should be optimized and designed. Through the combination of CFD simulation analysis and physical testing, the radiator structure is systematically optimized to achieve the stable operation of the engine in the optimal temperature range of 85–95°C. The research focuses on lightweight radiator design, spatial layout adaptation and reliability verification. The design provides a practical solution for lightweight and efficient heat dissipation for the cooling system of FSCC racing cars.

Keywords

FSCC; cooling system; radiator

基于大学生方程式大赛 KTM690 发动机的冷却系统设计

赵泓富 高远 祝存耀* 彭弘焯 许长江

广州城市理工学院 汽车与交通工程学院, 中国 · 广东 广州 510800

摘要

中国大学生方程式汽车大赛 (FSCC) 是由中国汽车工程学会 (SAE-China) 主办的一项高水平大学生工程赛事, 本文针对中国大学生方程式汽车大赛 (FSCC) 中 KTM690 单缸发动机在高温、高负荷工况下易出现过热、功率下降及爆震等问题, 进行冷却系统的优化设计。通过 CFD 仿真分析与实物测试相结合的方式, 对散热器结构进行系统优化, 实现发动机在 85–95°C 最佳温度区间的稳定运行。研究重点包括轻量化散热器设计、空间布局适配与可靠性验证。该设计为 FSCC 赛车的冷却系统提供了兼顾轻量化与高效散热实践方案。

关键词

FSCC; 冷却系统; 散热器

1 引言

中国大学生方程式汽车大赛 (FSCC) 对赛车的动力性、轻量化与可靠性有极高的要求。KTM690 作为高性能单缸发动机, 在赛事中常因冷却系统效率不足导致过热, 从而影响动力输出与比赛成绩。在 24 赛季中冷却系统设计上存在散热效率低、布局不合理、重量大等问题。因此, 本文围绕

KTM690 发动机, 通过对冷却系统的散热面积和内部结构的计算, 结合 CFD 仿真, 开展冷却系统的综合优化设计, 旨在提升其热管理性能并满足赛事规则要求。

2 设计目标及设计思路

KTM690 作为高性能单缸发动机, 在激烈赛事中易因过热导致功率下降或爆震。通过改进冷却系统 (如优化散热器布局、进出水口分布以及轻量化), 维持发动机在最佳温度区间 (85–95°C), 确保动力输出稳定性。短时高负荷工况 (如直线加速、耐久赛) 要求快速散热, 避免热衰竭影响成绩。

3 散热量的计算

3.1 发动机散热量

在设计或选用冷却部件时应以散入冷却系统的热量为

【基金项目】“基于大学生方程式大赛 KTM690 发动机的冷却系统设计” (项目编号: 51/J3125233)。

【作者简介】赵泓富 (2004-), 男, 中国广东肇庆人, 在读本科, 从事 FSCC 燃油汽车散热器设计研究。

【通讯作者】祝存耀 (1994-), 男, 硕士, 中级教师, 从事车辆结构设计。

原始数据, 来计算冷却系统的循环水量和冷却空气量 [2], 殷红敏在关于汽车冷却系统计算方法的研究中提供了一系列汽车冷却系统参数的计算方法 [1], 应用下列经验公式计算:

$$Q_w = \frac{Ag_e P_e H_u}{3600} = \frac{0.25 \times 0.25 \times 28 \times 43100}{3600} = 20.951 \text{ kJ/s}$$

式中, A - 燃料热能传给冷却系的分数, 汽油机 $A=0.23 \sim 0.30$, 取 0.25; g_e - 有效燃油消耗率 $0.25 \text{ kg/(kW} \cdot \text{h)}$; P_e - 发动机有效功率, 耐久赛中, 平均转速是 6000 r/min , 此时功率为 27.94 kW , 取 28 kW , 以此作为散热器吸收热量的计算; H_u - 燃油低热值, 取 43100 kJ/kg 。

3.2 冷却空气需要量

$$q_w = \frac{Q_w}{\Delta t_a \rho_w C_p} = \frac{20.951}{20 \times 1.01 \times 1.047} = 0.991 \text{ m}^3/\text{s}$$

Δt_a - 散热器前后流动空气的温度差, 取 20°C ;

ρ_w - 空气密度, 一般取 1.01 kg/m^3 ;

C_p - 空气的比定压热容, 可取 $=1.047 \text{ kJ/(kg} \cdot {}^\circ\text{C)}$; 最终算得 q_w 为 $0.991 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

3.3 所需散热面积

散热器散发的热量就等于发动机传给冷却液 φ 的热量。

已知散热器散发的热量后, 所需散热面积 F 可由下式计算:

$$F = \frac{Q_w \varphi}{K_R \Delta t} = \frac{20.951 \times 1.05}{0.11 \times 52.5} = 3.809 \text{ m}^2$$

式中, K_R - 散热器的传热系数, 取 0.11;

Δt - 冷却水与空气的平均温差, 取 52.5°C ;

φ - 散热器贮备系数, 水垢及油泥影响等, 取 1.05;

最终算得散热面积为 3.809 m^2 。

3.4 确定散热器尺寸

在计算出散热面积后, 就是散热器芯部的选择, FSC 赛车对重量和空间限制严格, 需平衡冷却效率与整车布局。选用管带式散热器, 结合前文公式算出的理论数据与综合加工成本及整车位置和重量配合考虑, 选用 $240 \text{ mm} \times 160 \text{ mm} \times 56 \text{ mm}$ 的水箱。

3.5 验证水箱尺寸能否满足散热要求 [4]

散热器结构参数: 芯厚 $T=46 \text{ mm}$; 芯宽 $W=128 \text{ mm}$; 和芯高 $H=180 \text{ mm}$; 冷却管排布形式 $1*15$; 冷却管尺寸 $b \times L=2 \times 23$; 翅片波距 $t=3 \text{ mm}$; 翅片波高 $b=8 \text{ mm}$; 散热器数量为 2。

散热器正面积 (迎风面积) 为 $W \times H=0.023 \text{ m}^2$

每片散热带的散热面积:

$$s_0 = 4\sqrt{t^2 + b^2} \times \frac{H}{t} \times T = 94325.8 \text{ mm}^2$$

散热带总散热面积为散热带总散热面积:

$$s_1 = 16 \times s_0 = 1509212.8 \text{ mm}^2$$

冷却管总表面积:

$$s_2 = 42W \times H = 347760 \text{ mm}^2$$

总散热面积:

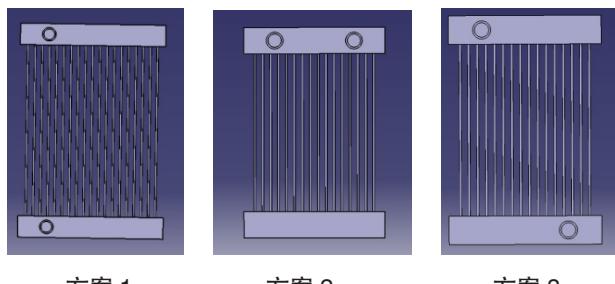
$$s_3 = s_1 + s_2 = 3.714 \text{ m}^2$$

714 m^2 与 3.809 m^2 相近, 基本满足散热面积要求。

4 进出水口的选择

散热器的进出水口的位置布置直接决定了冷却液在散热器内部的流动路径与分布状态, 从而对散热效率、流动阻力及热量分布产生决定性影响 [5], 并且需要适配整车的空间布局与管路走向。

为此有三种分布方案:



方案 1

方案 2

方案 3

采用计算流体动力学 (CFD) 方法对散热器内部流场与温度场进行了系统仿真分析。

分析结果:



方案 1

方案 2

方案 3

通过对比三种方案进行仿真分析的温度分布云图可知, 方案一的进、出水口分布相较于方案二和方案三会使得散热器内流场和温度分布不均匀, 故不采用方案一。结合整车的空间布局与管路走向, 参考 KTM690 发动机的原厂设计, 并且与车上空气动力学套件协调, 最终选择方案二类型的进出水口布局。由于该进出水口布局的冷却液流动阻力较大, 因此散热器之间采用并联的方式连接。

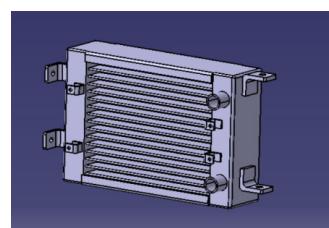


图 1 散热器建模

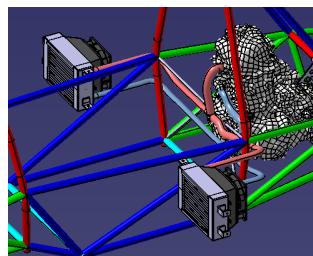


图 2 冷却系统布置

5 仿真分析

虽然设计的散热面积与理论值相近,但为了设计的合理性,仍需要进行仿真分析。由于散热器翅片的厚度较小,导致使用 ANSYS 进行网格划分的时候网格数量过多,计算量巨大。所以通过截取散热器部分结构进行仿真分析。

由于在汽车行驶时散热器一般在稳定的工作环境下运转,所以选用稳态模型作为计算模型 [3], 把散热器模型导入 Fluent 中建立风域模型。

在发动机台架测试的时候,根据车上的建模搭建了一套简易的水路,用水流量传感器测试 KTM690 内部的机械水泵加上外置的机械水泵的水流量(在跑耐久赛时的工况下,水流量为 22.44L/Min),从而得到用于仿真分析的边界条件。

输入边界条件后,求解分析得到散热器的温度分布分布云图,通过图可以看出进出水口附近的温度数值(进水口水温 105°C、出水口 85°C),温度得到有效下降。仿真分析的工况对标 35°C 环境温度、发动机满负荷运转的极端工况,仿真结果显示水温能稳定在发动机的最佳温度区间,表明散热系统具备足够冗余,可应对恶劣工况。温度分布云图显示,散热器芯体温度梯度均匀,无明显热点区域,冷却管与翅片的换热效率充分发挥,验证了出入水口位置分布优化的有效性。

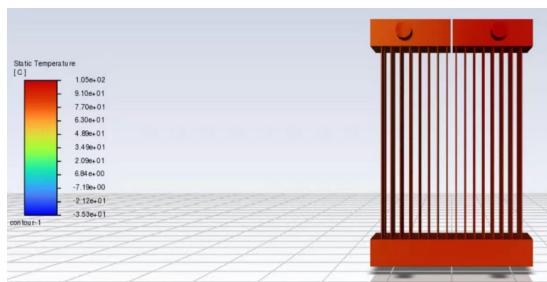


图 3 温度场分布云图

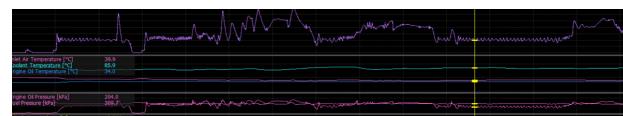
6 实际验证

为充分验证仿真结果的准确性并与理论计算进行闭环校验,本研究在环境温度 35°C 的条件下,完成了散热器装车后的道路热平衡测试。测试在平坦的沥青路面上进行,通过精准控制油门开度,模拟赛事中直线加速与高速过弯等高负荷工况,使发动机持续处于高功率输出状态。

测试系统除水温传感器外,还同步记录了冷却液流量、

发动机转速及环境温湿度等参数,以确保数据采集的全面性与准确性。由水温数据(下图蓝色曲线)可见,测试启动初期,水温呈快速上升趋势,这与发动机暖机及节温器未完全开启的状态相符。在大约第 8 分钟,发动机节温器完全开启,大循环通路建立,冷却系统进入全负荷工作状态。此后,系统进入稳态工况,水温传感器读数趋于稳定,其最高值为 85.9°C。

该实测结果与仿真分析中 85°C 的出水口温度预测值高度吻合,相对误差仅为 1.1%。这一方面验证了 CFD 仿真模型所采用的边界条件与物理模型的准确性,另一方面也证明基于理论计算所选的散热器核心尺寸是合理且有效的,成功将水温控制在发动机最佳工作区间内。



与 4 跑动水温曲线

7 结语

本文针对 FSCC 赛事中 KTM690 发动机在高温、高负荷工况下的过热问题,开展了一套从理论计算、仿真优化到实验验证的系统性冷却系统设计。通过严谨的散热量与散热面积理论计算,确定了散热器的核心参数;进而利用 CFD 仿真手段,对比分析了不同进出水口布置方案对流动与换热性能的影响,为最终采用并联布局的方案二提供了科学依据。台架与实车测试结果表明,优化后的冷却系统能在 35°C 的环境温度下,将发动机水温稳定控制在 85–95°C 的最佳工作区间,且实测数据与仿真结果高度吻合,最高水温 85.9°C 与仿真预测的 85°C 出水口温度仅存在 1.1% 的偏差,充分验证了设计方法的准确性与系统的有效性。本研究成功解决了原系统的过热风险,为 FSCC 赛车的冷却系统设计提供了兼具轻量化、高效散热与高可靠性的实践方案,具备良好的工程借鉴价值。

参考文献

- [1] 殷红敏. 汽车冷却系统计算方法研究[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2009, 32(S1): 128-130.
- [2] 索若淇. 基于计算流体力学汽车冷却系统散热器分析[J]. 机械设计与制造, 2020, (04): 41-45. DOI: 10.19356/j.cnki.1001-3997.2020.04.011.
- [3] 邵兴杨. 基于 FLUENT 的汽车管带式散热器整体模拟[J]. 现代机械, 2019, (04): 25-28. DOI: 10.13667/j.cnki.52-1046/th.2019.04.006.
- [4] 王瑞, 向小宇, 磨良添, 等. 汽车散热器设计与有限元分析[J]. 科技创新与应用, 2021, 11(25): 43-45+48. DOI: 10.19981/j.cnki.23-1581-g3.2021.25.012.
- [5] 李思思, 韩天奇, 温逸伦, 等. 重型汽车发动机冷却系统影响因素及性能提升研究[J]. 汽车实用技术, 2025, 50(16): 56-59. DOI: 10.16638/j.cnki.1671-7988.2025.016.011.

HPLC-DAD Identification and Chemometric Analysis of Honey Adulteration

Rongping Su

Dehong Dai and Jingpo Autonomous Prefecture Inspection and Testing Institute, Dehong, Yunnan, 678400, China

Abstract

Honey adulteration not only poses a serious threat to the health and safety of consumers but also disrupts normal market order. To address this, food safety testing institutions have introduced HPLC-DAD technology, that is, High-Performance Liquid Chromatography with Diode Array Detection, to detect adulterated components in honey. Chemometric methods such as Principal Component Analysis (PCA), Partial Least Squares Discriminant Analysis (PLS-DA), and Fisher Discriminant Analysis are employed to statistically analyze HPLC-DAD data, based on which a predictive model for adulteration levels is constructed. The results show that there are significant differences in the characteristic component fingerprint profiles between pure and adulterated honey. Using PCA and PLS-DA models, pure honey and adulterated honey can be accurately distinguished, with an identification accuracy rate exceeding 98.5%. This provides strong technical support for rapid and precise detection of honey adulteration and has far-reaching significance for ensuring food safety.

Keywords

honey adulteration; HPLC-DAD; identification method; chemometrics

蜂蜜掺假的 HPLC-DAD 鉴别及化学计量学分析

苏容平

德宏傣族景颇族自治州检验检测院, 中国 · 云南 德宏 678400

摘要

蜂蜜掺假不仅严重威胁广大消费者的健康安全, 也扰乱了正常的市场秩序, 为此, 食品安全检验机构引入了HPLC-DAD技术, 即高效液相色谱-二极管阵列检测技术, 以测定蜂蜜当中的掺假成分。并通过主成分分析、偏最小二乘差别分析、Fisher判别分析等化学计量学方法, 对HPLC-DAD检测数据进行统计分析, 然后根据分析结果构建掺假比例预测模型。结果显示: 纯正蜂蜜与掺假蜂蜜在特征成分指纹图谱上存在明显差异, 借助于PCA与PLS-DA模型能够准确区分纯蜂蜜与掺假蜂蜜, 鉴别准确率高达98.5%以上, 这就给蜂蜜掺假的快速精准检测提供了强大的技术支撑, 并且对保障食品安全意义深远。

关键词

蜂蜜掺假; HPLC-DAD; 鉴别方法; 化学计量

1 引言

近年来, 部分商家为了获取更大的利润空间, 往往利用果葡糖浆、玉米糖浆等低成本甜味剂以假乱真, 导致蜂蜜掺假行为频发。过去, 针对蜂蜜掺假的鉴别多采取感官鉴别法、理化分析法、仪器分析法, 而这些方法在鉴别速度与精度方面, 还存在短板, 在食品监管方面难以提供确凿的参考数据。随着HPLC-DAD技术在蜂蜜掺假鉴别领域的推广应用, 其定量定性准确、分离效能高、适用范围广的检测优势, 为蜂蜜掺假鉴别提供了坚实保障, 尤其在与化学计量学深度融合之后, 实现了蜂蜜掺假比例的定量预测, 蜂蜜销售市场秩序逐步规范。

【作者简介】苏容平 (1985-), 女, 中国云南保山人, 本科, 工程师, 从事食品检验检测研究。

2 材料与方法

2.1 试验材料与试剂

试验材料与试剂的选择直接关系到鉴别结果的精准度, 为此, 检测人员需要对蜂蜜样品、掺假基质以及试剂进行严格筛选, 以确保试验结果的准确性、权威性。首先, 在选择蜂蜜样品时, 其来源渠道应当为核心蜜源地, 比如山东的洋槐蜜、河南的荆条蜜、浙江的油菜蜜、四川的枣花蜜、黑龙江的椴树蜜, 纯蜂蜜样品以50份为宜, 涵盖市场5个主流品种, 每个品种10份。所选样品需要经过三重验证确认无掺假, 第一重验证为感官评价, 主要从色泽、气味、口感、结晶状态等方面予以评价^[1]。第二重验证为理化检测, 主要从水分含量、果糖+葡萄糖含量、蔗糖含量等方面予以评价, 保证这些指标满足GB 14963-2011《食品安全国家标准蜂蜜》要求。第三重验证为DNA条形码鉴定, 基于蜂蜜中

花粉与蜜蜂基因组 DNA 分析, 未检出外源掺假成分基因序列。掺假基质选取市售常见低成本甜味剂: 果葡糖浆: 果糖含量 42%、葡萄糖含量 53%, 食品级、玉米糖浆: 葡萄糖含量 65%, 食品级、蔗糖: 纯度 $\geq 99.5\%$ 。

检测试剂选择纯度 $\geq 99.9\%$ 的甲醇、乙腈, 经空白试验验证无干扰杂质。标准品均选取高纯度试剂以确保定量准确性, 包括果糖、葡萄糖、蔗糖、麦芽糖标准品, 纯度 $\geq 99.0\%$, 绿原酸、咖啡酸、对香豆酸、阿魏酸标准品, 纯度 $\geq 98.0\%$, 所有标准品使用前经高效液相色谱验证纯度, 无明显杂峰干扰。缓冲液试剂选用分析纯级, 磷酸二氢钾、磷酸, 纯度 $\geq 99.5\%$, 用于配制流动相体系。试验用水为超纯水, 电阻率 $\geq 18.2 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$, 总有机碳 $\leq 5 \mu\text{g/L}$, 避免水质杂质对检测结果产生干扰。

2.2 仪器设备

本次蜂蜜掺假鉴别选用的仪器包括高效液相色谱仪, 配备二极管阵列检测器, 该仪器具备高压输液泵精准控压, 压力范围 0-600 bar、柱温箱精准控温, 室温 -80°C, 精度 $\pm 0.1\text{ }^\circ\text{C}$ 、自动进样器精准进样, 进样体积 0.1-100 μL , 精度 $\pm 0.5\%$ 。选用的电子天平, 感量 0.1 mg, 最大称量 220 g, 具备全自动内校功能, 用于标准品称量、样品定容等精准计量操作。超声波清洗器, 功率 500 W, 频率 40 kHz, 配备室温 -80°C 的恒温控制功能, 用于样品提取过程中加速目标成分溶出。高速冷冻离心机最高转速 18000 r/min, 温控范围 -20°C -40°C, 用于样品提取液的离心澄清, 去除蛋白质、多糖等大分子杂质。超纯水机采用反渗透 +EDI+ 紫外消毒工艺, 可制备高纯度超纯水, 满足色谱分析与试剂配制需求。恒温水浴锅的控温范围室温 -100°C, 精度 $\pm 0.5\text{ }^\circ\text{C}$, 用于样品前处理过程中的恒温提取。

2.3 试验方法

2.3.1 掺假蜂蜜样品制备

为确保试验数据的权威性与代表性, 基于纯蜂蜜样品与选定的掺假基质, 采用梯度掺假法制备系列掺假蜂蜜样品。首先, 将 50 份纯蜂蜜样品分别置于洁净的玻璃容器中, 在 60°C 恒温水浴锅中加热 30 分钟, 搅拌至完全融化后, 在室温下冷却至 25°C 备用。掺假基质经同样温度条件处理, 确保其流动性与蜂蜜一致, 便于均匀混合。掺假比例设置为 5%、10%、20%、30%、40%、50% 六个梯度, 每个掺假比例对应 5 份纯蜂蜜样品, 每份样品制备 3 份平行样, 共计制备 180 份掺假蜂蜜样品^[2]。

2.3.2 样品前处理

样品前处理需要经过样品溶解、除杂处理、净化过滤、标准品溶液制备四个步骤。其中样品溶解环节, 精确称取 2.00 g 蜂蜜样品于 25 mL 容量瓶中, 加入 15 mL 超纯水, 置于超声波清洗器中超声溶解 10 分钟, 期间每隔 2 分钟轻轻摇晃容量瓶, 确保样品完全溶解。除杂处理环节向溶解后的样品溶液中加入 2 mL 三氯乙酸溶液, 充分振荡混匀后, 置于 4°C

冰箱中静置 30 分钟, 使蛋白质等大分子物质充分沉淀。随后, 将容量瓶中的溶液转移至 50 mL 离心管中, 放入高速冷冻离心机, 以 10000 r/min、4°C 条件离心 20 分钟, 取上清液备用。净化过滤环节将离心后的上清液通过 0.45 μm 有机相滤膜过滤, 去除细小悬浮杂质与胶体颗粒。过滤后的溶液收集于洁净的样品瓶中, 加入超纯水定容至 25 mL, 摆匀后再次通过 0.22 μm 有机相滤膜过滤, 确保样品溶液澄清透明, 无颗粒物干扰色谱柱。标准品溶液制备环节分别精确称取果糖、葡萄糖、蔗糖、麦芽糖、绿原酸、咖啡酸、对香豆酸、阿魏酸标准品适量, 用甲醇溶解并定容至 100 mL, 制备成浓度为 1.0 mg/mL 的标准储备液, 置于 -20°C 冰箱中避光冷藏保存。

2.3.3 HPLC-DAD 检测条件优化

在优化 HPLC-DAD 检测条件时, 主要针对色谱柱、流动相、检测条件等参数进行, 首先,

选用 Agilent ZORBAX SB-C18 色谱柱, 该色谱柱对极性与弱极性成分具有良好的分离选择性, 适用于糖类与酚类物质的同时分离。其次, 采用甲醇 (A 相) -0.05 mol/L 磷酸二氢钾缓冲液 (pH=4.0, B 相) 作为流动相, 梯度洗脱程序优化为: 0-5 min, 5%A-95%B; 5-15 min, 5%A \rightarrow 20%A; 15-30 min, 20%A \rightarrow 40%A; 30-40 min, 40%A \rightarrow 60%A; 40-45 min, 60%A \rightarrow 5%A; 45-50 min, 5%A-95%B。流速设定为 1.0 mL/min, 进样量为 20 μL , 确保样品在色谱柱中充分分离。最后, 二极管阵列检测器 (DAD) 的检测波长根据目标成分的吸收光谱特性进行选择, 其中糖类物质的检测波长为 210 nm, 酚类物质的检测波长为 320 nm, 光谱采集范围为 190-400 nm, 用于定性分析与峰纯度验证。

2.3.4 数据采集与化学计量学分析

数据采集阶段通过 Agilent ChemStation 工作站采集纯蜂蜜、掺假蜂蜜所有样品与标准工作液的色谱图、光谱图及峰面积数据, 记录各目标成分的保留时间、峰面积、峰高及光谱特征。基于标准曲线, 计算样品中各目标成分的含量, 确保标准曲线的相关系数 (r^2) ≥ 0.995 , 回收率在 95%-105% 之间, 满足定量分析要求。化学计量学分析环节, 将 HPLC-DAD 检测获得的峰面积数据导入 SIMCA 14.1 与 SPSS 26.0 软件, 进行化学计量学分析。数据预处理之后, 采用主成分分析进行无监督模式识别, 初步区分样品类别。同时, 建立偏最小二乘判别分析模型, 以各目标成分含量为自变量, 构建判别模型。并基于 PCA 与 PLS-DA 提取的特征变量, 构建掺假比例预测模型^[3]。

3 结果与分析

3.1 HPLC-DAD 检测方法验证

验证 HPLC-DAD 检测方法的有效性, 主要从线性关系、精密度、重复性、回收率及检出限、定量限等关键指标展开, 确保该方法满足蜂蜜中糖类、酚类物质等目标成分的定性定

量要求。其中,线性关系验证结果表明:8种目标成分在设定的浓度范围内均呈现良好的线性关系。以峰面积(Y)为纵坐标、浓度(X)为横坐标进行线性回归分析,果糖、葡萄糖、蔗糖、麦芽糖、绿原酸、咖啡酸、对香豆酸、阿魏酸的标准曲线相关系数(r^2)分别为0.9998、0.9997、0.9996、0.9995、0.9993、0.9994、0.9992、0.9991,均 ≥ 0.995 ,表明各成分在检测浓度区间内线性响应稳定,可用于定量分析。检出限以信噪比(S/N=3)计算,范围为0.01-0.05 $\mu\text{g}/\text{mL}$,定量限以信噪比(S/N=10)计算,范围为0.03-0.15 $\mu\text{g}/\text{mL}$,体现了方法良好的灵敏度,能够准确检测出蜂蜜中低含量的酚类特征成分。

精密度试验通过对同一标准工作液进行6次平行进样,计算各成分保留时间与峰面积的相对标准偏差。结果显示:保留时间的RSD范围为0.12%-0.35%,峰面积的RSD范围为0.85%-1.52%,均 $\leq 2.0\%$,检测精密度满足试验要求。重复性试验选取同一纯蜂蜜样品,按前处理方法平行制备6份样品并检测,各目标成分含量的RSD范围为1.02%-1.86%, $\leq 2.0\%$,证明该检测方法的重复性可靠。回收率试验采用加标回收法,向已知含量的纯蜂蜜样品中分别加入低、中、高三个浓度水平的标准品溶液,每个浓度水平设置3份平行样,按既定检测流程分析并计算回收率。结果显示:8种目标成分的回收率范围为95.3%-104.7%,RSD范围为0.98%-1.63%,均符合定量分析中回收率95%-105%的要求。

3.2 纯蜂蜜与掺假蜂蜜的HPLC特征图谱分析

通过对纯蜂蜜与不同掺假比例、不同掺假基质蜂蜜样品特征图谱的对比分析,色谱峰数量、保留时间、峰面积及特征峰分布上存在明显差异。其中,纯蜂蜜样品的HPLC特征图谱呈现出清晰、稳定的特征峰分布,主要包含果糖、葡萄糖等糖类成分峰与绿原酸、咖啡酸、对香豆酸、阿魏酸等酚类特征成分峰。糖类成分中果糖与葡萄糖峰面积占比最大,且果糖峰面积显著高于葡萄糖峰面积,符合纯蜂蜜中果糖含量略高于葡萄糖的天然特性。酚类成分虽含量较低,但特征峰辨识度高,不同品种纯蜂蜜的酚类特征峰种类一致,仅峰面积存在品种特异性差异,这与蜂蜜的蜜源植物特性相关。以纯洋槐蜜样品的特征图谱为例,果糖峰、葡萄糖峰、绿原酸峰、对香豆酸峰均清晰可见,无杂峰干扰,峰形对称,分离度良好^[4]。

而掺假蜂蜜样品的HPLC特征图谱随掺假基质与掺假比例的变化呈现明显规律性差异。当掺入果葡糖浆或玉米糖浆时,葡萄糖峰面积占比明显增大,果糖峰与葡萄糖峰的面积比逐渐降低,且随着掺假比例的增加,这一变化趋势越加显著。掺假样品中酚类特征成分峰的峰面积呈现持续下降趋势,当掺假比例达到10%及以上时,咖啡酸、阿魏酸等低

含量酚类成分峰几乎消失,绿原酸、对香豆酸峰面积仅为纯蜂蜜样品的50%-70%。当掺入蔗糖时,除了酚类特征峰面积下降外,在保留时间16.8 min处出现明显的蔗糖特征峰,且蔗糖峰面积随掺假比例增加而线性增大,纯蜂蜜样品中仅检测到微量蔗糖峰,而掺假5%蔗糖的样品中蔗糖峰面积占比可达8%以上,从特征图谱上面很容易区分。

3.3 化学计量学分析结果

将HPLC-DAD检测获得的8种目标成分峰面积数据经归一化、中心化预处理后,导入SIMCA 14.1与SPSS 26.0软件进行主成分分析、偏最小二乘判别分析及Fisher判别分析。主成分分析结果显示:前两个主成分的累计方差贡献率达89.7%,可反映原始数据的主要信息。PCA得分图中,50份纯蜂蜜样品聚类效果良好,表明品种差异对分类的影响小于掺假带来的差异。180份掺假蜂蜜样品则集中分布在得分图的右侧区域,与纯蜂蜜样品的聚类簇完全分离,无交叉重叠现象。偏最小二乘判别分析结果表明模型拟合度高、预测能力强,无过拟合现象。PLS-DA得分图中,纯蜂蜜与掺假蜂蜜样品的分离效果较PCA更显著,两类样品分别集中在得分图的两侧,边界清晰,这就说明该模型可实现纯蜂蜜与掺假蜂蜜的精准鉴别。Fisher判别分析示:类别鉴别准确率达96.7%,掺假比例预测误差 $\leq 2.0\%$,表明该模型不仅能够准确鉴别蜂蜜是否掺假,还能实现掺假比例的定量预测。

4 结语

综上,在本研究中,通过对蜂蜜掺假的HPLC-DAD鉴别及化学计量学方法有效性的验证发现:通过对HPLC-DAD检测条件的进一步优化,对PCA、PLS-DA、Fisher判别分析等化学计量学方法的有效运用,构建了蜂蜜掺假鉴别模型与掺假比例预测模型,借助于该模型对掺假蜂蜜进行鉴别,其准确率达到98.5%以上,并且能实现10%—80%范围内掺假比例的精准预测。因此,这种高效的鉴别方法不仅克服了传统鉴别方法主观性强、准确率低、操作繁琐、稳定性差的弊端,也为市场监管部门及食品生产企业的监督检验与质量防控提供了有力的参考依据,这对维护蜂蜜市场秩序、保障消费者健康权益意义深远。

参考文献

- [1] 李旺旺,李琳琳,梁斌,等.基于LF-NMR和3D-SFS的植物糖浆掺假蜂蜜快速鉴别技术[J].食品工业,2023,44(06):282-286.
- [2] 柳吉芹,钱云开,高飞,等.中蜂蜂蜜和意蜂蜂蜜实时荧光PCR法鉴别及其应用[J].中国蜂业,2021,72(01):57-60+64.
- [3] 寇泽坤,陈国通,李思雨,等.拉曼光谱结合化学计量学方法鉴别糖浆掺假蜂蜜[J].食品科学,2024,45(01):254-260.
- [4] 张月,王琪琦,王海燕,等.蜂蜜真实性鉴别技术研究进展[J].食品科学,2024,45(15):374-382.

8D Analysis and Improvement of Mining Dump Truck Wheel Rim Reducer Market Failure

Shibao Zhang

Xuzhou Xugong Mining Machinery Co., Ltd., Xuzhou, Jiangsu, 221000, China

Abstract

The wheel-side reducer of mining dump trucks operates under complex working conditions, enduring prolonged high loads and impact forces. Frequent market failures of this component directly affect overall vehicle reliability and brand reputation. To effectively identify and resolve the root causes of these failures, this paper introduces the 8D quality management tool to conduct a systematic analysis of market defects in wheel-side reducers. Through comprehensive management from D1 to D8, the study clarifies the processes of problem definition, root cause tracing, and implementation of corrective actions. Findings indicate that failures are primarily concentrated in three categories—planetary gear wear, early bearing failure, and sealing defects in the lubrication system—accounting for approximately 78% of total incidents. By applying measures such as material strengthening, seal structure optimization, and standardized assembly processes, the product failure rate decreased by 32%, and customer complaints dropped by 27%. The results demonstrate that the 8D method significantly enhances the market quality management level of key components in mining vehicles and provides a valuable reference for establishing an efficient closed-loop quality management system in the construction machinery industry.

Keywords

Mining dump truck; Wheel-side reducer; 8D quality management; Market failure; Corrective measures

矿用自卸车轮边减速器市场故障 8D 分析与改进

张世宝

徐州徐工矿业机械有限公司, 中国 · 江苏 徐州 221000

摘要

矿用自卸车轮边减速器在复杂工况下长期承受高载荷与冲击载荷, 其市场故障频发直接影响整车可靠性与品牌信誉。为有效识别并解决故障根源, 本文引入8D质量管理体系, 对轮边减速器市场故障进行了系统化分析。通过D1至D8的全过程管理, 明确了问题定义、根因追溯及改进措施落实路径。研究发现, 故障主要集中于行星齿轮磨损、轴承早期失效与润滑系统密封缺陷三类, 约占总故障比例的78%。通过采用材料强化、密封结构优化及装配工艺标准化等措施, 产品故障率下降了32%, 客户投诉减少了27%。结果表明, 8D方法能够显著提升矿用车辆关键零部件的市场质量管理水平, 为工程机械行业建立高效闭环质量管理体系提供了参考。

关键词

矿用自卸车; 轮边减速器; 8D质量管理; 市场故障; 改进措施

1 引言

矿用自卸车作为矿山运输的核心装备, 其可靠性直接决定生产效率与运营成本。轮边减速器作为动力传递的关键部件, 在高扭矩、高粉尘、高温差的环境中运行, 极易出现齿轮疲劳剥落、轴承烧蚀及润滑油污染等问题, 导致设备停机与经济损失。近年来, 随着矿区机械化程度提升, 轮边减速器的市场故障逐渐增多, 质量追溯与改进需求日益迫切。传统的故障分析多停留在单点检测与经验判断阶段, 缺乏系统化管理思路。8D质量管理体系以问题导向、数据驱动为

核心, 通过跨部门协同实现从故障识别到根因消除的全过程控制。本文以矿用自卸车轮边减速器市场故障为研究对象, 探讨8D方法在故障管理与持续改进中的应用路径与实践成效。

2 8D 质量管理工具概述

2.1 8D 质量管理工具的起源与发展

8D质量管理体系最早由美国福特汽车公司质量管理部門提出, 用于解决产品在生产和市场使用过程中出现的系统性问题。该方法以团队协作和问题溯源为核心, 旨在通过科学化步骤实现持续改进。随着20世纪80年代汽车产业全球化, 8D被逐步标准化并推广至航空、机械、能源等行业。进入21世纪后, 该工具被引入到矿山装备制造领域, 用于

【作者简介】张世宝 (1988-) 男, 中国安徽六安人, 本科, 工程师, 从事质量管理研究。

提升关键部件的可靠性与稳定性。它强调数据驱动的分析方式，通过系统化流程将经验判断转化为可追溯的质量管理活动，为企业建立闭环问题管理体系提供了技术基础和实践路径。

2.2 8D 工具的基本原理与步骤

8D 方法以问题为导向，围绕 D1 至 D8 八个步骤展开，包括团队组建、问题描述、临时措施、根因分析、纠正措施、验证效果、防止再发及团队表彰。该工具强调以数据为支撑，通过事实分析识别问题来源，从而消除系统性缺陷。其核心原理在于将经验判断转变为标准化流程控制，使问题处理从“人依赖”走向“过程依赖”。8D 的实施需要跨部门合作，涵盖设计、工艺、质量及售后环节，确保每一步都有明确的责任界定与量化目标。通过 PDCA 循环机制，8D 不仅解决当前问题，还促进企业形成持续改进文化，实现质量提升与成本控制的双重效益。

3 矿用自卸车轮边减速器市场故障分析

3.1 矿用自卸车轮边减速器的工作原理与应用特点

轮边减速器是矿用自卸车动力传递系统的关键组成部分，其主要功能是将发动机输出的高转速低扭矩转化为低转速高扭矩，实现车辆在复杂地形条件下的高负载驱动。该装置通常采用多级行星齿轮结构，具备传动效率高、结构紧凑和承载能力强的特征。由于矿区环境中粉尘、水汽、冲击负荷频繁，减速器在长期运行中容易受到磨粒磨损、润滑失效和温升过高的影响。其工作特点决定了对密封性、齿面硬度和装配精度的要求极高。任何微小的制造或装配误差都可能引发早期失效，从而影响整车动力系统的稳定运行。

3.2 轮边减速器市场故障的主要表现与影响

矿用自卸车轮边减速器在长期运行中容易出现异响、漏油、过热及齿轮断裂等现象，这些问题不仅影响设备的正常使用，还会导致整车运行效率下降。故障发生后，维修周期较长，往往造成运输任务延误与经济损失。持续的故障积累会削弱用户信任度，降低产品在市场中的竞争力。与此同时，润滑系统泄漏引起的油液外溢容易造成地表污染，增加矿区环境治理压力。深入分析表明，市场故障多源于结构设计裕度不足、装配工艺控制波动以及使用与维护不规范等因素的叠加。若不及时改进设计与工艺控制环节，问题将呈现反复性与系统性特征，制约整车可靠性与企业品牌形象的持续提升 [1]。

4 应用 8D 分析矿用自卸车轮边减速器市场故障

4.1 问题定义 (D1)：市场故障的具体表现

在矿用自卸车的轮边减速器出现故障时，主要表现为异响、漏油、过热和齿轮断裂等问题。这些故障不仅影响了车辆的正常运行，还增加了维修时间和成本，导致客户的设备停机时间大大延长。通过收集并分析市场反馈和客户投

诉，明确了故障的频发部件和主要问题，例如轴承磨损、润滑不良及结构设计不合理等。进一步的统计分析发现，轮边减速器的故障主要集中在高负荷工作环境下的重载运行阶段，这使得减速器过早进入故障状态。为了准确把握问题的本质，团队通过现场检查和数据采集，确保问题定义更加精准，为后续的根因分析与解决措施奠定了基础。

4.2 临时措施 (D2)：针对故障的应急处理与解决方案

针对市场上频发的减速器故障，企业实施了紧急响应措施，包括更换问题零部件和加强维护检测等。首先，建立了快速故障处理机制，将问题车辆进行集中排查，及时更换故障减速器部件，确保设备尽快恢复工作。为了降低故障风险，技术团队对所有轮边减速器进行了全面检查，特别是对润滑系统和密封件进行了重点检查和修复。同时，在短期内加强了油液的监控频次，并通过对比分析发现，部分零件的磨损速度远高于设计标准，因此迅速调整了润滑油的更换周期和齿轮油牌号，以减少后期故障的发生。这些临时措施虽然能够缓解当时的故障压力，但仍需进一步的系统性改进以解决根本问题，防止类似问题的再次发生。

4.3 根本原因分析 (D3)：基于数据与现场调查的故障根因分析

通过深入的数据分析和现场调查，团队确定了导致轮边减速器故障的主要根本原因。首先，减速器的设计存在一定的冗余不足，部分关键部件在高负荷条件下承受的应力超出了其设计标准，导致疲劳裂纹的形成。其次，由于材料选择不当，套管硬度偏低，导致在长期运行过程中发生破碎断裂。再者，客户方未按照操作保养手册执行保养工作，如 500 小时时查看磁性螺塞表面的铁屑情况以及进行齿轮油样的检测。最后设计在一级行星轮轴承之间的轴承隔圈尺寸不合理，造成轴承出现批量早期故障。团队通过细致的根因追溯，确认了这些因素的叠加作用导致了设备的早期失效。这一发现为后续的纠正和预防措施的制定提供了明确的方向，确保能够从源头解决问题，避免类似故障的重复发生。

5 8D 分析后的改进措施与效果

5.1 纠正与预防措施 (D4)：从源头解决问题的改进措施

在明确了根本原因后，企业采取了一系列纠正与预防措施来解决问题并防止故障再发生。首先，设计团队对轮边减速器的结构进行了优化，增加了关键部件的强度和刚度，特别是加强了套管的设计，使其能够承受更大的工作负荷，减少了应力集中现象。其次，在材料选择上，采用了更为耐磨的材料，增强了齿轮表面的硬度，提高了耐磨性能。通过对润滑系统进行重新设计，优化了油液流通路径，确保了润滑油能够充分覆盖到所有关键部件，从而有效降低了摩擦和磨损。针对装配过程中存在的问题，严格控制了间隙和精度

标准，确保装配质量达到最佳状态。最后，从管理归零方面进行优化，严格按照操作保养手册执行，每 500h 进行查看磁性螺塞及进行油样检测，确保各个部件未出现磨损情况并及时干预，这些改进措施从根本上提升了产品的可靠性和使用寿命。

5.2 持续改进 (D5)：加强质量管理体系与监督机制

为了确保 8D 方法的持续有效性，企业在改进措施实施后进一步加强了质量管理体系和监督机制。建立了全面的质量控制流程，从产品设计、制造到售后服务的各个环节均纳入质量监管体系。特别是在生产环节，增加了质量监控点，对关键工艺和重要零部件进行监控。与此同时，企业还加强了供应链管理，确保所有原材料和零部件符合质量标准，从源头保证产品的质量稳定性。每个月，质量会组织相关部门进行质量回头看会议，评估 8D 方法实施效果，结合市场反馈进行数据分析，及时调整质量管理策略。这种持续改进的机制，不仅帮助企业提高了产品质量，还提升了客户满意度，增强了企业的市场竞争力。

5.3 效果验证 (D6)：故障改进后的效果评估与验证

在实施纠正与预防措施后，企业对轮边减速器进行了全面的效果评估与验证。通过严格的厂内试验和工业考核，发现经过改进的减速器在耐久性和工作稳定性方面取得了显著提升。具体而言，经过改进后的减速器在连续高负荷工作下表现出更低的温升和更长的使用寿命，故障发生率大幅下降。通过对历史故障数据的对比，改进后的产品故障率显著低于改进前，客户投诉率也减少了 30% 以上。此外，企业还通过客户和后市场反馈，验证了改进措施的有效性，确保了产品质量在市场中的竞争力。整体来看，8D 分析不仅解决了当前的故障问题，还为未来的质量管理提供了宝贵的经验和可行的改进方案。

6 8D 过程的完善与持续强化

6.1 防止再发 (D7)：标准化体系建设与经验固化

在 D7 阶段，企业不仅将改进成果制度化、文件化，还构建了完善的质量标准闭环管理体系，实现了从问题整改到过程优化的系统固化。针对 8D 过程中形成的有效措施，企业将关键改进点纳入《作业指导书》《检验规范》《设计更改手册》等核心文件，并通过信息化平台实现在线更新与同步推送，确保各部门实时掌握最新标准。同时，企业建立了质量改进数据库，对历史问题、根因分析、纠正措施及验证结果进行系统归档，为后续类似问题提供可查询的知识支持。为保证改进标准落地执行，企业定期组织交叉审核与

质量回溯检查，对执行偏差及时纠正，防止标准流于形式。通过“标准执行—效果验证—反馈优化”三环联动机制，企业实现了质量体系的动态更新，使防止再发成为企业运行的常态化管理环节，显著提升了整体质量管理的稳定性与成熟度。

6.2 团队表彰与经验推广 (D8)：强化质量文化与改进激励

在 D8 阶段，企业不仅进行了项目成果的总结与表彰，还进一步完善了质量激励机制与持续改进体系。针对在 8D 活动中表现突出的团队与个人，企业设立了专项质量改进基金，用于支持后续的创新研究与技术优化。表彰活动不仅限于物质奖励，更注重精神层面的激励与荣誉传承，通过颁发“卓越质量贡献奖”“持续改进先锋奖”等荣誉称号，增强了员工对质量改进工作的责任感和自豪感。同时，企业建立了“质量改进知识库”，将各项目组的经验总结、问题解决思路、数据分析方法等系统归档，供全员查阅与学习。通过举办跨部门研讨会、线上知识分享会及案例复盘活动，推动 8D 方法在全公司范围内的再应用与优化。此外，企业管理层还将质量文化纳入战略管理考核体系，通过制度化的方式确保质量理念融入日常运营，实现从问题解决到体系建设的跃升，最终形成企业持续学习、主动改进的良性循环。

7 结语

通过对矿用自卸车轮边减速器市场故障的系统化研究与 8D 质量管理工具的实践应用，本文验证了该方法在复杂机械装备质量改进中的有效性。研究表明，8D 工具能够实现从故障识别到根因消除的全流程闭环控制，帮助企业在较短周期内完成问题整改与防再发措施制定。改进后的产品在可靠性、耐久性及客户满意度等方面均取得显著提升，经济与社会效益显著。该研究不仅提升了企业质量管理水平，也为矿用设备行业建立标准化、可追溯的故障处理体系提供了参考。未来，通过数字化质量监控与持续改进机制的深化融合，8D 管理理念将在装备制造领域展现更广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 张再利,徐莎,汪星,朱曦,吴洋.大型矿用自卸车轮边减速器机架长寿命设计优化改进[J].煤矿机械,2024,45(06):133-135.
- [2] 李健,王迪,石烨坤,望超,范辉,杨丽华,王源蜜.大型矿用自卸车轮边减速器的仿真与优化[J].内燃机与配件,2024,(10):33-35.
- [3] 张振宁.XDE400矿用电动轮自卸车轮边减速器传动系统优化设计[D].导师:刘永平;魏永峭.兰州理工大学,2023.
- [4] 程飞飞.基于模糊理论的电传动矿用自卸车轮边减速器系统可靠性分析[D].导师:安宗文;来进勇.兰州理工大学,2022.

Multi-objective optimization of energy system in metallurgical enterprises

Quanqi Li

Energy and Environmental Protection Department, Ningbo Iron and Steel Co., Ltd., Zhejiang, Ningbo, 315000, China

Abstract

The energy system scheduling in metallurgical enterprises is crucial for ensuring safe, stable, and efficient production operations. This paper explores the multi-objective optimization scheduling of power and gas systems in metallurgical enterprises, proposing a scheduling method based on production operation plans, energy balance plans, and real-time adjustment mechanisms. The article analyzes the scheduling principles for various energy mediums in metallurgical enterprises, focusing on the scheduling strategies and optimization measures for gas, blast furnace gas, coke oven gas, and converter gas. Through an in-depth analysis of energy system scheduling, this paper aims to enhance the enterprise's energy management level and realize a more efficient, economical, and environmentally friendly production model.

Keywords

metallurgical enterprises; energy scheduling; multi-objective optimization; gas systems; production management

冶金企业能源系统多目标优化调度

李全琪

宁波钢铁有限公司能源环保部, 中国·浙江宁波 315000

摘要

冶金企业的能源系统调度是保证生产安全、稳定和高效运行的关键。本文探讨了冶金企业中动力系统和燃气系统的多目标优化调度, 提出了基于生产经营计划、能源平衡计划和实时调整机制的调度方法。文章分析了冶金企业中各类能源介质的调度原则, 重点介绍了煤气、高炉煤气、焦炉煤气及转炉煤气的调度策略和优化措施, 通过对冶金企业能源系统调度的深入分析, 旨在提升企业能源管理水平, 实现更高效、经济、环保的生产模式。

关键词

冶金企业; 能源调度; 多目标优化; 燃气系统; 生产管理

1 引言

随着冶金行业的快速发展, 能源消耗逐渐成为制约生产效率和成本控制的重要因素。尤其是在复杂的冶金生产过程中, 涉及多个能源介质(如煤气、高炉煤气、焦炉煤气等)的供应与调度, 要求能源调度系统具备较强的实时响应能力和精确的平衡调整能力。冶金企业在动力系统调度中, 必须根据生产计划与实际情况, 灵活调整能源供给与消耗, 确保各系统的安全、稳定运行。传统的能源调度方法存在一定的局限性, 无法充分满足现代冶金生产对能源的高效利用与环保要求。因此, 优化冶金企业能源调度, 尤其是燃气系统的调度策略, 成为提升生产效率、降低成本、确保环保合规的重要课题。

2 冶金企业能源系统调度的基本原则

冶金企业的能源调度需与生产经营计划紧密结合, 确保能源供需在各个生产环节中得到有效平衡。在制定能源调度方案时, 需要综合考虑生产计划、设备运行状态、各能源介质的需求与供应状况, 并根据实际情况及时调整能源的配给。能源平衡计划作为基础, 必须与实际生产条件相适应, 特别是在高炉、转炉等重要生产环节中, 确保能源供给不会因需求波动而产生过量或不足的情况。通过合理的能源平衡调整, 能够在保证生产连续性的同时, 减少能源浪费, 确保能源的高效利用, 支持企业的长期稳定发展。能源平衡调整的实施方法需要依赖精准的监控系统, 实时跟踪能源消耗与供应状况。通过建立能源监控平台, 对各生产环节的能源需求进行动态调整, 确保各类能源的及时供给与消耗的同步性。在实际操作中, 调度员需要依据实时数据对煤气、高炉煤气等能源系统进行调整, 确保每个环节的能源供给不超出或低于所需标准。

【作者简介】李全琪(1981-), 男, 中国浙江宁波人, 助理工程师, 从事能源环保动力调度研究。

3 冶金企业动力系统各能源介质的调度策略

3.1 煤气系统调度策略

煤气系统作为冶金企业能源供应的核心之一，其调度策略应根据实际生产需求进行灵活调整。煤气系统调度需综合考虑煤气的生产量、消耗量以及储存能力，特别是在煤气需求量波动较大的情况下，调度员需通过调整煤气的供给、回收及储存方式，确保煤气系统在高峰期和低谷期的平稳运行。根据煤气的种类（如高炉煤气、焦炉煤气等），需要制定不同的调度策略。例如，在焦炉煤气不足时，可以通过调节高炉煤气的比例来满足焦炉的需求。此外，煤气系统的调度还需要严格遵循安全规范，避免由于不合理的调度造成煤气泄漏或设备损坏^[1]。

3.2 高炉煤气调度优化

高炉煤气是冶金企业中常用的能源之一，其调度优化直接关系到能源利用效率和生产安全。在高炉煤气的调度过程中，首先要准确掌握煤气的实时生产量和消耗量。根据高炉的生产负荷情况，调整煤气的供给量，确保其在高炉燃烧过程中的有效利用。同时，在煤气供给不足时，可以通过增加焦炉煤气或转炉煤气的供给来弥补缺口。此外，高炉煤气的回收率需要进行精确调控，避免过量回收而导致系统压力过高，影响生产设备的稳定运行。高炉煤气的调度优化不仅要提高能源使用效率，还需关注煤气的热值和质量，确保每个环节的能源消耗在合理范围内。

3.3 焦炉煤气调度及调整操作要领

焦炉煤气调度的关键在于如何合理分配煤气资源，确保焦炉系统在不同生产阶段的煤气需求得到满足。在正常生产过程中，焦炉煤气的供给应根据焦炉的负荷情况进行调整。若出现煤气供应过剩或不足的情况，应及时调整燃气供应结构，如切换至高炉煤气或转炉煤气，以确保焦炉煤气的平衡。特别是在焦炉煤气平衡不足时，应优先保障发电、锅炉和热处理炉的煤气需求，避免出现煤气供应短缺的状况。焦炉煤气调度还应考虑到煤气的热值变化，确保煤气供给的稳定性和可靠性，图 1 为一种企业的综合能源多目标整合调度优化运行方法。

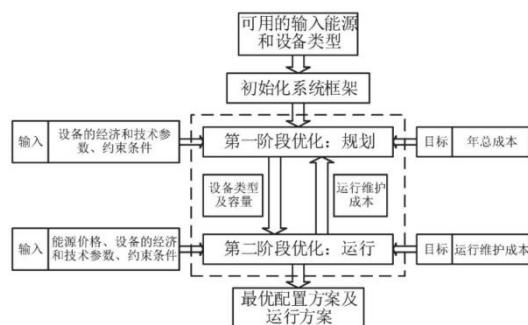


图 1 一种企业的综合能源多目标整合调度优化运行方法

3.4 转炉煤气回收与利用优化

转炉煤气回收系统的优化调度能够大幅提高能源的利

用效率。首先，需要监控转炉煤气的实时回收量，确保回收的煤气能够稳定供给至需要的系统。在回收过程中，调度员应注意煤气的质量和温度，避免由于煤气质量不稳定而影响后续的利用效率。通过对转炉煤气回收设备的定期维护和调整，可以有效提升回收效率。此外，当转炉煤气系统出现故障或回收量不足时，应及时通过调节煤气来源或切换备用系统来保证系统的正常运行。优化转炉煤气的回收与利用，不仅能够减少能源浪费，还能降低生产成本，提升企业的综合竞争力^[2]。

4 冶金企业燃气系统多目标优化调度方法

4.1 多目标调度优化模型的构建

冶金企业燃气系统的调度优化涉及多个目标，包括提高能源利用率、确保生产连续性和降低运行成本等。在构建多目标调度优化模型时，首先需要明确各个目标的权重，并根据实际需求进行调整。例如，在能源供应紧张的情况下，优先保障生产安全，适当降低能源利用效率目标的优先级。同时，模型应能够处理不同能源介质之间的相互关系，确保各类煤气、氧气等能源的平衡调度。通过引入线性规划、遗传算法等优化技术，可以为调度员提供科学的决策支持，提高调度的灵活性和有效性。

4.2 调度优化算法与技术实现

调度优化算法的选择直接影响冶金企业能源系统的运行效率。常用的优化算法包括基于遗传算法的最优化调度、模糊逻辑控制和动态规划等。这些算法能够在复杂的生产环境中，处理大量的实时数据并进行快速优化。例如，遗传算法可以用于解决多目标调度问题，通过调整各目标函数的参数，找到最佳的调度方案。通过运用这些优化算法，冶金企业可以在保证生产安全的前提下，最大限度地提高能源的利用效率。此外，结合人工智能与大数据分析技术，可以进一步提升调度系统的智能化水平，实现更精准的能源调度^[3]。

4.3 燃气系统优化中的协调与资源分配

燃气系统的优化调度不仅要考虑单一能源的平衡，还需要协调各个能源之间的关系，确保整体系统的高效运作。在资源分配过程中，调度员应根据实际生产需求，合理分配各类能源的使用比例。例如，在高炉煤气、焦炉煤气和转炉煤气的调度过程中，需要根据各类能源的热值、使用效率及安全要求，进行优先级排序。同时，资源分配时还应考虑到系统的冗余设计，避免因某一系统出现故障而导致整体能源供应不足。通过精准的资源分配和合理的调度策略，冶金企业能够提高能源的使用效率，降低生产成本，提升企业竞争力。

5 冶金企业能源调度中的系统安全与稳定性控制

5.1 煤气系统的安全控制措施

煤气系统作为冶金企业能源供应的重要组成部分，其

安全控制措施至关重要。为确保煤气系统的安全运行，必须实施严格的压力监控和实时检测。煤气系统的管道、阀门和调节设备必须定期检修，确保设备的完好性。煤气柜的运行需保持在规定的压力范围内，一旦出现异常压力波动，必须立即采取应急措施。此外，在煤气供应过程中，应配备必要的安全阀门和泄压装置，以防止设备超负荷运行引发爆炸等安全事故。通过采用自动化监控系统，实时收集煤气流量、压力、温度等数据，能够及时发现并处理隐患问题。此外，煤气系统的操作人员需要定期接受安全培训，确保在突发状况下能够及时作出响应，防止事故的发生。

5.2 能源调度中的应急预案与风险管理

能源调度中的应急预案和风险管理是保障系统安全与稳定运行的关键。应急预案应根据企业的能源供应情况、生产工艺特点以及可能出现的突发事件进行精细化设计。风险管理应包括风险评估、预警机制、应急响应和恢复方案等内容。在能源调度过程中，一旦出现设备故障、能源供应中断或其他异常情况，必须启动预案，调度员需根据实际情况调配能源资源，确保生产的连续性和安全性。例如，在煤气供应不足时，应通过及时调度其他能源替代、调整生产负荷等手段来缓解能源短缺问题。通过建立动态的风险评估模型和完善的应急响应机制，冶金企业能够迅速有效地应对各种突发情况，最大限度地减少能源短缺对生产造成的影响。

5.3 系统运行中的联锁与报警机制

系统运行中的联锁与报警机制是保障能源调度安全性的主要保障。联锁机制可以确保在出现异常情况时，系统能够自动采取相应的控制措施，防止安全事故的发生。例如，煤气系统中的各类阀门、压力控制装置及调节设备应通过联锁系统进行联动，当某个设备出现异常时，联锁系统能够自动停机或切换到备用设备，避免事故扩大。报警机制则通过设定合理的报警阈值，实时监测系统的运行状态。当监测到设备运行不正常或参数超限时，报警系统会及时发出警报，提醒操作人员进行调整或采取应急措施。联锁与报警机制的有力配合，有助于提高系统的安全性和稳定性，确保能源调度系统在发生异常时能够迅速反应，减少潜在的风险和损失^[4]。

6 冶金企业能源调度的经济性与环保性提升

煤气调度优化能够显著提升冶金企业的能源经济性。

通过实时监控煤气的生产和消耗情况，调度员能够根据实际需求合理调配煤气资源，避免能源浪费。例如，在煤气供给充足时，可以通过优化燃烧设备的煤气使用比例，提高煤气的利用效率；在煤气供给紧张时，通过调整煤气的分配方式，确保重点生产环节得到优先保障。煤气调度的优化还可以减少能源的过度消耗，降低生产过程中的能源成本，从而提高整体经济效益。此外，通过灵活调节不同种类煤气的比例，能够在保证生产需求的前提下，实现能源的最大化利用，进一步提高企业的能源利用效率。通过大数据技术，企业能够实时收集和分析能源消耗数据，全面了解各类能源的使用情况，识别出潜在的浪费环节。数据分析可以为能源调度提供决策支持，根据历史数据和实时数据，准确预测能源需求的波动趋势，进而制定出更加科学的调度计划。

7 结语

通过对冶金企业能源系统调度的研究，可以看出，优化调度不仅有助于提升能源使用效率，还能降低生产成本，保障系统的安全与稳定。尤其是在煤气、高炉煤气、焦炉煤气等多种能源的调度中，合理的资源分配和灵活的调整策略至关重要。结合多目标优化调度模型、应急预案、联锁与报警机制等技术手段，冶金企业能够有效应对突发情况，确保生产的连续性与安全性。同时，能源节约和排放控制的实施为企业的可持续发展奠定了基础。通过精细化的能源管理和数据分析技术，冶金企业不仅可以提高能源的经济性，还能积极履行环保责任，实现绿色生产。总之，冶金企业能源系统调度的优化是一个系统工程，需要全方位的技术支持与管理创新，才能为企业带来长期的效益和竞争优势。

参考文献

- [1] 梁青艳.基于流程网络仿真的钢铁企业炼钢调度和能源优化[D].导师：孙彦广.钢铁研究总院,2021.
- [2] 张琦,刘帅,徐化岩,孟志权,王刚,许石.钢铁企业智慧能源管控系统开发与实践[J].钢铁,2019,54(10):125-133.
- [3] 王伟,赵珺,刘全利,刘颖,吴毅平,盛春阳,冯为民,吕政,韩中洋.大连理工大学,上海宝信软件股份有限公司.冶金企业能源系统预测与优化调度技术及应用[Z].项目立项编号:61034003.鉴定单位:教育部科技发展中心.鉴定日期:2014-04-26.
- [4] 何佳毅,纪扬,李文兵,张云利.钢铁企业能源系统网络模型仿真及组态的研究与实现[J].冶金自动化,2012,36(01):7-12.

Application of infrared temperature sensor in automatic air conditioning control

Yu Fu

Shanghai Yingxue Automobile Technology Co., Ltd., Shanghai, 200120, China

Abstract

This study investigates the application of infrared temperature sensors in automotive air conditioning control systems. By real-time monitoring of passenger facial temperatures, the system intelligently adjusts airflow volume, outlet angle, and temperature distribution. This approach not only enhances passenger comfort with faster and more precise adjustments but also improves the energy efficiency of the air conditioning system. The research methodology involved a test vehicle equipped with infrared temperature sensors and electric outlets as the experimental group, compared with a control group using traditional temperature sensors. Through comparative analysis of temperature control data between the two groups and extensive subjective driving evaluations from passengers, the study assessed the impact of infrared temperature sensors on cabin comfort management. The air conditioning system with infrared sensors demonstrated superior performance, significantly accelerating cooling rates and reducing energy consumption. These findings provide practical insights for optimizing automotive air conditioning control systems.

Keywords

infrared temperature sensor; automobile air conditioning automatic control technology; electric outlet

红外测温传感器在自动空调控制中的应用研究

伏宇

上海应雪汽车科技有限公司, 中国 · 上海 200120

摘要

本文探讨了红外测温传感器在汽车自动空调控制系统中的应用, 通过实时监测乘客面部温度, 智能调整出风风量、出风角度及出风温度, 在更快更准的提高乘客舒适性感受的同时, 提高空调系统的能效。研究方法选取了1辆装备了红外温度传感器以及电动出风口的汽车作为实验组, 与1辆使用传统出风温度传感器的汽车作为对照组。通过对比实验组和对照组的温控数据, 以及邀请大量的乘客主观驾评来评估红外温度传感器对乘客舱舒适性控制的影响。装备了红外测温传感器的汽车自动空调系统在控制上表现出色, 有效提高了降温速度, 节省了空调系统的功耗, 为自动空调控制系统的优化提供实践经验。

关键词

红外测温传感器; 汽车空调自动控制技术; 电动出风口

1 引言

目前市面上的电动汽车大部分都装备第三代热管理热泵空调系统, 但其乘客舱的热管理控制主要还是依据车内外温度传感器、阳光传感器以及出风温度传感器的输入来实现闭环控制, 这种利用热电偶温度传感器作为控制输入的优点是输入相对稳定, 但其缺点也是比较明显, 温度具有滞后性, 且不能直观的反映出人体尤其是面部及周边区域的温度。同时由于目前汽车上的空调出风口多为手动调节风向, 调节之后的风向只能吹向某一特定方向, 不能实现大面积、广角度的扫风功能。在日益智能化、自动化的驾乘体验中, 研究空调出风口方向和角度的自动调节就显得尤为重要。红外传感

器的应用刚好弥补这一孔雀, 它能够快速精确的检测出乘客面部的温度变化, 利用算法, 配合电动出风口的执行, 从而能够及时调整空调系统的出风风量和温度, 甚至关闭部分空调出风格栅, 有效节省整个空调系统的能耗;

2 红外测温传感器技术概述

2.1 传感器的工作原理

红外测温与传统的 NTC 温度传感器不同, 其测温原理是黑体辐射定律, 即主要利用红外辐射的热效应, 通过温差电效应、热释电效应和热敏电阻来测量所吸收的红外辐射, 间接地测量辐射红外光物体的温度。物体向外辐射能量的大小及其按波长的分布与它的表面温度有着十分密切的关系, 物体的温度越高, 所发出的红外辐射能力越强。因此可利用红外温度传感器来获取不同驾乘人员的体表温度, 作为出风口角度及方向自动控制的重要输入参数。

【作者简介】伏宇 (1993-), 男, 中国江苏宿迁人, 本科, 助理工程师, 从事嵌入式软件开发研究。

2.2 传感器的技术特性

本文所选的红外传感器为 MLX90614，该传感器是 Melexis 研发的非接触式红外温度传感器。该传感器总成封装了红外探测热电堆芯片及信号处理专用芯片，从而使得它能够实现高精度、高分辨率的测量。除此之外，该传感器总成的整体尺寸很小，因此在整车的安装布置中具有得天独厚的优势；该传感器提供了串口和 PWM 两种数据输出方式，且传感器的测量结果在出厂时都经过检测，因此针对不同电子电器架构的车型，它又具有易集成的优势MLX90614 所具的优势与特性，从而使得它能够有效应用在汽车除霜除雾、汽车空调系统的温度舒适性控制等场景。

3 红外温度传感器在自动空调中的应用实例

3.1 红外温度传感器在空调系统中的应用需求

在空调系统中，精确的温度检测与控制是确保车内环境舒适度和能效的关键。现有技术中，主要是采集车内温度作为汽车空调自动控制的重要参数。一般汽车上采用的是吸入式温度传感器，即通过小鼓风机或者负压气流将汽车乘员舱内的空气引入到温度传感器从而检测并计算出汽车内部温度。但是如果要实现空调出风口方向和角度的自动调节，仅有车内温度的参考值是远远不够的，车内温度只能大致反馈出驾乘人员所在空间的一个舒适性，不能个性化、差异化的体现不同驾乘人员对出风的方向以及角度的需求。因此需要额外再增加一个温度传感器来获取不同驾乘人员的体表温度。

3.2 红外测温传感器在空调系统中的应用位置

如上文提到，红外温度传感器主要是为了检测人体面部周边区域的温度，所以红外测温传感器在空调系统中的应

用位置应尽可能使其能够覆盖人体面部，故本研究采用将传感器布置在车内后视镜位置。

3.3 红外温度传感器的数据处理

红外测温实车数据采集时，主要采集的是驾乘人员的脸部温度，即红外传感器的镜头正对驾乘人员的面部。但是由于测温的视场角不同，会不同程度的测量到驾乘人员的背景温度，如头枕温度；或者由于驾乘人员头部的活动，会短暂的出现人脸目标温度没有在测温视角内，导致所采集的数据不能正确、有效的反馈出驾乘人员的体表温度，从而无法作为自动控制算法的输入信号。鉴于此，需要将采集到的红外温度数据做预处理，剔除掉一些无效、无意义的温度数据点，保证输入到自动控制算法的温度值是一个可靠值。由于驾乘人员的面部与背景温度有着明显的区域差异性，比如冬季面部区域明显高于背景温度，由于传感器采集到的数据是温度矩阵，因此可以利用面部与背景温度的区域性差异，将温度矩阵看作是一幅图像，温度矩阵中的温度点即是图像中的像素点，在此基础上，利用中值滤波技术和阈值选取的方式来提取有效数据、剔除无效温度点，同时，也可以利用这种温度区域差异性来判断主副驾有无乘客。本研究的红外温度传感器算法主要介绍温度值滤波处理，对于有无乘客的算法不作具体介绍，中值滤波算法流程示意如下图所示：

中值滤波算法计算出的红外温度传感器均值虽然有效剔除了部分无效温度点，但归根结底部分背景温度参与了计算，所以直接拿传感器中值滤波后的均值作为控制的输入还是存在一定的误差，因此需要根据外温、阳光、内温对计算出的均值进行补偿修正，然后作为驾乘人员的面部靶点温度输入给控制系统；

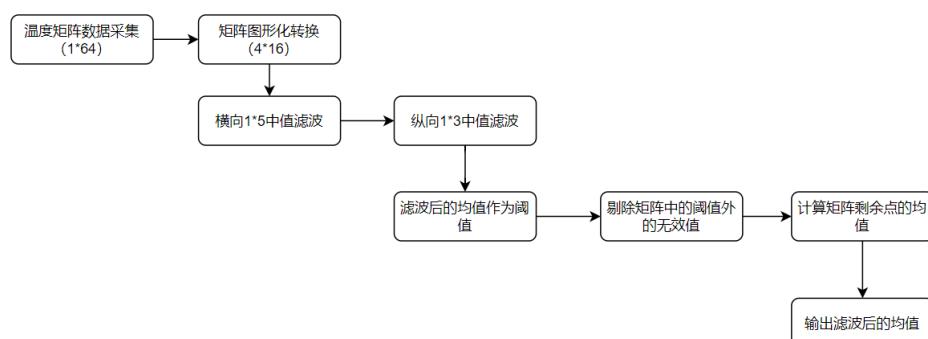


图 1

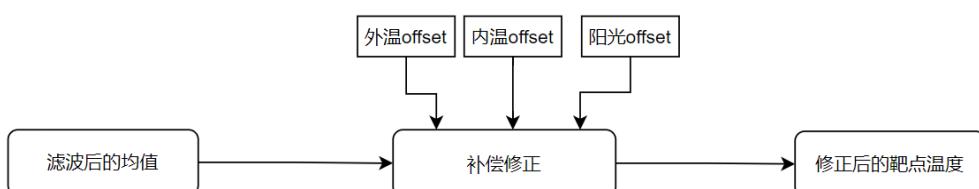


图 2

3.4 红外温度传感器在控制中的应用

本文研究的红外温度传感器主要监测驾乘人员的面部温度，处理后作为控制系统的输入，研究的方向主要是红外传感器的应用对于乘客舱热舒适性的影响。当夏季车辆经过暴晒后，驾乘人员进入相对狭小的车内空间会明显感觉闷热，从舒适性的角度来说，此时驾乘人员希望空调的出风口能够对着面部吹更凉更大的风，当空调运行一段时间后，驾乘人员头部周围的空间温度以及出风温度都比刚进入车内的时候低很多，此时驾乘人员又不需要出风口一直对着自己的面部吹风；随着头部周围空间的温度以及空调系统的出风温度越来越低，驾乘人员也不感觉到热，此时又希望空调的出风避开面部区域；因此针对此种情况，可以利用红外温度传感器输入的靶点温度，去控制电动出风口，使得出风方向能够随着面部区域的温度变化而智能改变。

4 红外传感器在控制中的应用效果与分析

4.1 红外传感器在实际应用中的效果

为了验证红外温度传感器在汽车空调控制系统中的应用效果，本研究设计了多组对比试验，采用客观数据和主观评价相结合的方式，来评估红外温度传感器在实际控制中的应用效果；样本与参照车辆除了装备红外温度传感器与电动出风口外，严格控制其余影响实验结果的变量；整个实验过程从准备到结束都在稳定的环模仓中进行，操作也都由同一个人完成，避免了操作不一致的问题；主观评估人员在进入环境仓后，先浸渍 5 分钟后再同时快速开门进入车内，避免了因环境温差带来的体感差异；

4.1.1 能够实现快速降温

在汽车空调中，前排出风温度和头部温度一直都是重要的考核指标之一，因此本研究以这两个参数为对比对象，从客观的角度来评估红外温度传感器对这两个考核指标的影响，从数据结果来看，应用了红外温度传感器的车辆，在同样的出风风量和出风温度的前提下，头部温度下降的更快，即在相同的考核时间，应用了红外温度传感器的车辆，前排头部温度平均值更低；头部温度达到同样的目标值，应用了红外温度传感器的车辆所需要的时间更少；实验具体数据见下所示：

表 1 实验周期头部空间平均温度

	实验车	对照车
头部达到 25℃耗时	680s	870s
实验开始 5min 后头部温度	28.5℃	30.0℃

4.1.2 为乘客舱提供更均匀的温度分布

红外温度传感器配合电动出风口的应用，使得空调系统能够为乘客舱提供更均匀的温度分布；由于目前汽车上的空调出风口多为手动调节风向，调节之后的风向只能吹向某一特定方向，不能实现大面积、广角度的扫风功能。同时受到外部热辐射的影响，车门窗等隔热比较差的区域往往温度

要高于乘客舱中间区域，通过红外温度传感器的输入，去控制扫风电机工作，能够很好的为乘客舱提供更均匀的温度分布；而我们布置在实验车和对照车上的传感器数据，也很好的验证了这个结论。

4.1.3 为驾乘人员提供更好的舒适体验

本研究邀请了不同的人员分别体验了实验车和对照车的主观舒适性，都对装备了红外温度传感器的实验车辆给出了肯定的评价，如上客观数据反应的一样，从上车开始开始计时，应用了红外温度传感器的车辆能够更快的降低头部区域的温度，同时可以根据驾乘人员的面部温度，控制空调系统的出风方向，使得人体的舒适性体验大幅提升；并且，由于扫风模式以及避风模式的应用，使得车内空间的温度更加均匀，大大减少了驾乘人员左右热感不一样的情况。

4.2 关于红外传感器在汽车空调控制中的分析

应用了红外温度传感器的车辆，由于能够快速使得驾乘人员达到热舒适，从而使得它相比于传统的自动空调能够及时的降低压缩机的功耗，实现节能的效果；

从驾乘体验的角度来说，如果大风量长时间直吹乘员面部，也会使得体验变差，因此针对此可以设计直吹模式的嵌套体验，通过运行时间等，通过控制鼓风机的电压大小，实现不同的风量控制；

由于红外温度传感器直接监测驾乘人员的体表温度，此温度也可以作为控制系统的闭环反馈，因而将来的汽车空调若装配红外温度传感器，则至少可以节约 2 个吹面温度传感器；

5 结语

目前我国的汽车工业，尤其是电动汽车在飞速发展，消费者对于汽车的需求也早就不再仅仅是一辆交通工具，在行业提出“软件定义汽车”的概念后，汽车的驾乘体验也是日益智能化、自动化，而汽车空调的驾乘体验，最近二十年鲜有重大革新，目前主流中低端车型依然是 NTC 温度传感器加手动格栅作为控制系统的输入与输出，一些高端车型比如奥迪的旗舰轿车虽然配备了电动隐藏式出风口，但更多的是对内饰的一个升级，从视觉为消费者提供更好的消费体验，本次研究以此为切入点，探讨了红外温度传感器以及电动出风口在汽车空调控制中的应用，由于红外温度传感器能够直接实时精确的监测驾乘人员的表面温度，同时由于电动出风口的应用，从而能够更加及时的为驾乘人员提供舒适的温度，弥补了传统格栅空调系统为乘客舱提供的温度不均匀的缺陷。

参考文献

- [1] 孟令真. 基于模糊控制理论的汽车空调控制系统的研究[D]. 华北理工大学, 2017.
- [2] 邬忠萍, 易威, 刘冬. 基于汽车自动空调的红外温度传感器性能研究[J]. 山东工业技术, 2015, (06): 178-179. DOI: 10.16640/j.cnki.37-1222/t.2015.06.140.
- [3] 闵昌鑫. 基于人体热舒适的空调智能控制系统研究[D]. 江苏: 南京师范大学, 2024.

Research on the construction of industrial data space and value release under the background of marketization of data elements

Huan Wang

Xiongan Industrial Internet Co., Ltd., Baoding, Hebei, 071001, China

Abstract

In the context of data factor marketization, the industrial data space has become a crucial foundation for promoting the digital transformation of the economy. With the rapid development of the digital economy, data has gradually become a new production factor. How to construct an efficient and transparent data space and enhance the release of data value has become a key focus for both businesses and governments. The construction of the industrial data space involves not only data collection, storage, and processing, but also addressing core issues such as data sharing, security, and privacy protection. This study explores the pathways for building industrial data spaces and the key technologies involved, and provides in-depth analysis of the theoretical and practical guidance for releasing the value of industrial data during the process of data marketization.

Keywords

Data factor marketization; Industrial data space; Data sharing; Big data technology; Data security

数据要素市场化背景下产业数据空间构建与价值释放研究

王欢

联通雄安产业互联网有限公司，中国·河北 保定 071001

摘要

在数据要素市场化的背景下，产业数据空间成为推动经济数字化转型的重要基础。随着数字经济的快速发展，数据逐渐成为新的生产要素，如何构建高效、透明的数据空间，提升数据的价值释放，已成为企业与政府关注的重点。产业数据空间的构建不仅涉及数据的采集、存储和处理，还需要解决数据共享、安全和隐私保护等核心问题。本研究探讨了产业数据空间的构建路径与关键技术，并深入分析了在数据市场化过程中，为产业数据价值的释放提供了理论支持与实践指导。

关键词

数据要素市场化；产业数据空间；数据共享；大数据技术；数据安全

1 引言

随着全球数字化进程的加速，数据作为新型生产要素的重要性日益凸显。在这一背景下，数据要素市场化已成为推动产业数字化转型的核心驱动力。产业数据空间作为数据流动和价值创造的关键平台，对于实现数据资源的高效配置、促进创新以及推动经济发展具有重要意义。通过建立数据共享与流通机制，促进跨行业的数据融合，不仅能够提升资源利用效率，还能为各行业的数字化赋能。然而，产业数据空间的构建面临诸多挑战，如数据孤岛问题、隐私保护问题以及数据治理和监管体系的缺乏等。如何在市场化背景下突破这些瓶颈，构建一个安全、高效、可持续的数据空间，

成为当前亟待解决的重要课题。本文旨在探讨数据要素市场化的背景下，产业数据空间的构建路径与价值释放机制，为相关领域提供理论分析与实践参考。

2 数据要素市场化背景下的产业数据空间概述

2.1 数据要素市场化的概念与发展

数据要素市场化指的是将数据作为生产要素进行市场化配置与流通，使其能够在不同主体之间自由流动、交换和交易。随着数字化技术的迅猛发展，数据的作用不再局限于支撑传统业务，而是成为推动创新、提升生产效率和优化决策的重要资源。数据要素市场化的发展历程可追溯到信息化社会的形成，从初期的数据资源共享到如今的全行业数据流动与交易，数据的价值逐渐被广泛认识。随着大数据、人工智能等技术的应用，数据的市场化逐步深入，越来越多的行业开始探索如何通过数据共享与流通提升市场竞争力。通

【作者简介】王欢（1982-），女，中国河北保定人，本科，高级工程师，从事科技创新业务市场研究与推广研究。

2.2 产业数据空间的定义与构成

产业数据空间是指在特定产业领域内，通过数据的集成、共享、交换和利用，形成的一个具有高效数据流通机制、规范化管理和智能化服务的数字化平台。产业数据空间不仅包括数据存储、传输与处理技术，还涵盖数据的流通、共享和安全保障机制。其核心构成要素包括数据采集、数据存储、数据处理、数据分析与应用等多个环节，且需要在技术、法律、政策等层面提供支持。在数据空间的构建过程中，如何合理划分数据域、保证数据的互通互操作性、设立数据安全框架和保障数据隐私等问题是关键。

3 产业数据空间的构建路径

3.1 产业数据空间的架构设计

产业数据空间的架构设计需要充分考虑数据的流动性、灵活性和安全性。在架构设计中，首先需要考虑如何构建多层次、模块化的数据管理框架，包括数据采集、存储、传输和处理等关键环节。数据的收集应通过智能传感器、物联网等技术手段广泛获取，并通过统一的数据标准进行存储，确保数据在各个层次间的可操作性与互通性。同时，数据空间架构设计要具备良好的扩展性，能够适应数据量的快速增长和技术变革的需求。在数据交换与共享环节，应建立高效的数据流通渠道，确保各行业、企业间的数据能够无缝对接与交换。

3.2 数据交换与共享机制

数据交换与共享机制是产业数据空间的重要组成部分。为了促进产业数据的流通和协同利用，必须建立高效的数据交换机制，确保数据的实时性与准确性。首先，需要通过标准化的数据格式和协议，促进不同系统、不同数据源之间的兼容性和互操作性，降低数据交换的技术门槛。其次，数据共享机制必须实现跨行业、跨部门的数据融合，避免出现数据孤岛现象，提升数据利用的整体效率。为了确保数据交换的公平性与透明度，应在政府和行业组织的支持下，建立规范的数据交易市场，规范数据定价、交易规则等，保护数据生产者和使用者的利益。最后，数据共享机制的设计还应注重用户隐私保护，通过设立权限管理机制，确保数据共享不侵害用户权益^[1]。

4 产业数据空间的核心技术与应用

4.1 大数据技术在产业数据空间中的应用

大数据技术在产业数据空间的应用主要体现在数据的采集、存储、处理和分析等方面。在产业数据空间中，大数据技术能够有效地整合来自不同源头的数据，通过分布式存储和计算架构，大幅提升数据处理效率。例如，通过云计算平台，企业可以处理每秒高达数千万条数据流，这使得数据的实时性和完整性得到保障。在数据存储方面，Hadoop 和 Spark 等大数据处理框架可以帮助企业实现海量数据的高效存储与处理。通过对海量数据的清洗和分析，企业能够快速

获得关于市场、客户和供应链的深度洞察。大数据技术不仅提升了数据存储的容量与处理能力，还加速了产业数据价值的释放，为企业创造了巨大的经济效益^[2]。

4.2 人工智能与机器学习对数据价值释放的推动

人工智能与机器学习是推动数据价值释放的核心技术。通过深度学习和算法模型，人工智能能够从复杂的非结构化数据中提取出有价值的信息，进而提供决策支持。在产业数据空间中，机器学习算法能够分析大量的历史数据，从中提炼出规律并进行预测，这为企业的运营管理、产品开发和市场营销等方面提供了重要依据。例如，通过机器学习模型，电力公司能够根据历史用电数据预测未来的电力需求，精确到日和小时级别，从而优化电力分配和管理，降低运营成本。这种转变不仅提升了数据处理效率，还在生产、销售、客户关系等方面创造了新的增长点^[3]。

4.3 区块链技术在数据流通与溯源中的作用

区块链技术在产业数据空间中主要用于数据的流通、共享和溯源管理。通过去中心化的分布式账本系统，区块链能够确保数据传输过程中的不可篡改性和透明性。在数据流通方面，区块链技术通过构建可信的数据交换平台，能够实现不同主体间的数据无缝连接，避免数据被篡改或丢失。例如，在食品产业，区块链技术能够记录每一批产品的生产、运输和销售的全过程，消费者可以通过扫描二维码追溯产品的源头。这一技术不仅确保了数据的真实性，还提升了消费者的信任度。根据研究，区块链可以将企业数据处理的效率提升 25% 以上。区块链的应用大大增强了产业数据空间的安全性和信任度，为数据价值的释放提供了有力保障，图 1 为数据要素市场构建与数据要素产业分析。



图 1 数据要素市场构建与数据要素产业分析

5 产业数据应用案例分析与价值创造

在数据要素市场化深入推进的背景下，中小企业在生产经营过程中所产生的海量数据逐渐成为具有经济价值的重要资产。通过构建产业数据空间，实现生产侧数据的高效流通与可信共享，不仅能够提升企业内部管理水平，也能够推动金融机构对企业开展更精准的授信服务，从而形成“数据资产—信用增信—融资支持”的价值链条。典型案例显示，中小企业通过数据驱动的业务运营与金融增信机制的深度融合，为产业数据空间的价值创造提供了可复制的路径。

在生产侧数据的采集与治理方面，中小企业通过设备

联网、工序数字化和供应链协同平台等方式，将生产过程中的关键数据进行实时采集和结构化管理。例如，某制造型中小企业将生产线上的设备运行状态、产能负荷、物料消耗、质量检测等数据接入企业数据平台，实现对生产全过程的数字化记录。经过数据清洗、标准化和可视化处理后，企业能够从中识别生产瓶颈、监测设备风险和优化资源配置，使生产效率提升约 15%，产品不良率下降 10% 以上。这些数据不仅改善了企业的管理能力，也成为下一步进行跨部门数据流通的重要基础。

在数据流通环节，企业通过接入产业数据空间，实现与物流、供应链、销售平台等外部主体的数据互联。例如，该企业将生产进度、库存周转率和订单履约情况等关键运营数据接入产业链协同平台，使上下游企业能够实时掌握供应链状态，减少因信息不对称带来的资源浪费。数据显示，企业通过数据共享实现了供应链响应速度提升 20%，库存周转天数减少 5 天。这些高度透明的生产与供应链数据不仅增强了企业在产业链中的协同能力，也为企业构建真实可信的数据画像奠定了基础。

在数据与金融服务的结合方面，产业数据空间的构建帮助解决了中小企业长期存在的“融资难、融资贵”问题。传统金融机构往往依赖财务报表、资产抵押等信息进行风险评估，但中小企业普遍存在资产轻、财务规范度低的问题，导致授信额度难以突破。通过产业数据空间提供的真实、连续、高频的生产经营数据，金融机构能够对企业进行更科学、动态的信用评估。例如，该制造企业将其产能利用率、订单履约率、供应链交互数据和销售回款周期等关键指标纳入“数据信用模型”，金融机构基于这些数据构建风险画像，使授信判断从静态转向动态、从主观转向数据驱动。

在实际授信过程中，金融机构通过数据链路验证企业经营的真实性和稳定性，如连续 30 天产能负荷保持在 85% 以上、订单履约率达到 98%、回款周期稳定在 45 天以内，这些可量化的数据使金融机构能够精准评估企业的经营状况和现金流能力，显著降低信用风险。基于数据增信机制，企业成功获得 500 万元的无抵押信用贷款，融资成本较传统

贷款下降约 20%，资金到位时间从以往的 20 天缩短至 3 天，极大改善了企业的资金流动性。

通过这些案例可以看到，产业数据空间为中小企业的生产数据流通提供了基础设施，使数据从“静态资源”转变为“流动资产”。这一过程中，数据的可信共享促进了企业与金融机构之间的信息互认，使数据成为一种新的信用载体。数据驱动的供应链协同，提升了产业链的整体运行效率；数据驱动的金融增信，改善了中小企业的融资生态；数据驱动的生产优化，为企业创造了持续增长的空间。归根结底，产业数据空间在提升企业经营效能、优化市场资源配置和推动数字经济发展方面展现出巨大的价值创造能力，为产业数字化提供了坚实的理论基础和实践应用参考。

6 结语

随着数据要素市场化进程的加快，产业数据空间的构建与数据价值的释放成为推动数字经济发展的关键所在。通过大数据、人工智能、区块链等核心技术的深度应用，产业数据空间不仅为各行业提供了全新的发展机遇，也为数据的共享、流通和安全保障奠定了坚实基础。产业数据的有效利用不仅提升了企业的决策效率与竞争力，也推动了产业链的协同创新与资源优化配置。尽管面临数据隐私保护、跨行业协同等挑战，但通过政策支持和技术创新，产业数据空间的建设与价值释放必将在未来获得更广泛的应用与深远的影响。综上所述，产业数据空间的建设是一个持续发展的过程，需要在技术创新、制度保障和市场化操作等方面不断完善，才能真正实现数据价值的最大化，推动经济的高质量发展。

参考文献

- [1] 周莹,王丽青,许昕,张国卿.数字经济背景下能源产业数据要素市场化研究[J].商业经济,2025,(12):17-23.
- [2] 吴建华,李龙涛.数据要素市场化背景下的数据资产入表审计实践探索[J].中国内部审计,2025,(10):43-48.
- [3] 陈颖.数据要素市场化背景下公共数据授权运营政策演进研究[J].产业创新研究,2025,(19):51-53.
- [4] 张东东.数据要素市场化背景下政府数据资产估值定价——模型构建与实证检验[J].投资研究,2025,44(08):17-38.

We will improve river management and protection, and promote joint governance and development by society

Haoran Zhang

Kuitun River Basin Water Conservancy Project Irrigation Management Office, Yili Kazakh Autonomous Prefecture, 7th Division, Xinjiang Production and Construction Corps, Kuitun, Xinjiang, 833200, China

Abstract

Rivers stand as vital resources sustaining human survival and development, serving multiple functions including water supply, irrigation, navigation, and tourism. To protect river ecosystems and ensure sustainable utilization, countries worldwide prioritize river management and conservation. In the face of escalating global environmental challenges, rivers – as crucial components of nature – not only nourish all living beings and maintain ecological balance, but also form the fundamental resource upon which human society depends for survival and progress.

Keywords

river optimization; difficulty analysis; management and protection

优化河道管理与保护，推动社会共治共建

张浩然

新疆生产建设兵团第七师伊犁哈萨克自治州奎屯河流域水利工程灌溉管理处，中国 · 新疆 奎屯 833200

摘要

河流是人类赖以生存和发展的重要资源之一，发挥着供水、灌溉、航运、旅游等多种功能。为了保护河流生态环境，维护河流的可持续利用，各国都高度重视河道的管理和保护工作。在当前全球环境问题日益严峻的背景下，河流作为自然界的重要组成部分，不仅承担着滋养万物、维持生态平衡的重要角色，更是人类社会赖以生存和发展的基础资源。

关键词

优化河道；难点分析；管理保护

1 引言

各国政府和国际组织纷纷采取了一系列措施，以确保河流的清洁和健康。他们积极推动法律法规的制定和实施，对河道进行严格的管理，禁止非法排污和滥采滥伐等行为。同时，加大环保宣传教育力度，提高公众的环保意识，使每个人都意识到保护河流生态环境的重要性。

2 河道管理与保护的概述

河道管理是指政府及相关部门依法对河道实施的各种管理措施，包括界定河道范围、维护河道安全、防治河道污染等。河道保护则是指通过法律法规、政策措施等手段，保护河道的水资源、岸线、生态环境等，确保河流资源的永续利用。

中国河道管理和保护工作起步较早，但在实践中仍面临

不少难点问题。如何进一步明确法律依据、优化管理政策、完善执法机制、激发社会共治，是当前急需解决的重点^[1]。

3 河道管理和保护范围的难点问题分析

3.1 河道界定标准不统一

中国现行法律法规对河道边界的具体划定标准存在一定模糊性，有的地区将平常水位线作为河道边界，有的则以堤顶线或堤脚线为准，造成管理边界不清晰，职责划分不明确。此类标准的不一致性，不仅增加了河道管理工作的难度，而且易导致资源利用与生态保护之间的冲突。因此，亟需制定统一、明确的河道边界划定标准，以规范河道管理活动，保障河道资源的合理利用和生态环境的可持续发展。

3.2 保护范围界定缺乏科学性

多数地区将河道两岸一定距离范围界定为河道保护范围，但往往缺乏对当地地形、水文、生态等因素的科学评估，保护范围界定过于简单化，难以真正发挥保护作用。有必要引入综合性的评估体系，对河道周边的地形起伏、水流动态、生态敏感度等要素进行细致分析，从而确立更为合理和有效

【作者简介】张浩然（1973-），男，中国新疆奎屯人，本科，副高级工程师，从事水利水电工程运行管理研究。

的河道保护范围。还需结合区域发展规划,考虑社会经济需求与生态保护之间的平衡,以实现可持续发展的目标。

3.3 管护责任主体不明确

不同层级政府及相关部门在河道管理和保护中的职责分工不清,缺乏有效协同配合,导致管理重叠或真空地带出现,责任主体不清晰。这种现象加剧了河道管理效率的低下,影响了河道资源的合理利用与生态保护。由于权责不明确,相关政策和法规的执行力度不足,进一步恶化了河道管理现状。强化部门间的沟通协作,形成河道管理与保护的合力。

3.4 执法监管力度不足

一些地区执法部门缺乏专业队伍和执法手段,监管力度不足,难以有效遏制非法占用、违法排污、破坏岸线等行为,保护成效不理想。因此,执法能力的提升和监管体系的完善成为当务之急,亟待构建一套科学、高效的执法机制。加强执法人员的专业培训,提升其业务素质和执法效能,对于改善执法现状至关重要。借助现代信息技术,如大数据和遥感监测,将有助于提高执法的精准性和有效性。

3.5 社会参与度偏低

目前河道管理和保护工作主要依靠政府层面推进,缺乏社会各界的广泛参与和监督,群众的保护意识和行动自觉性还需进一步提高。为此,构建多元化参与的河道管理模式显得尤为重要,通过立法强化公众参与和监督机制,同时加强环境保护教育,提升公众的环保意识和责任感,从而形成政府引导、社会共治的良好格局。

河道管理和保护工作涉及面广、利益相关方众多,需要在法律依据、政策措施、执法能力、社会动员等多个层面进行系统性的优化和完善,以提升管理效能,增强保护成效。必须深化相关法律法规的研究,构建完善的河道管理政策框架;强化执法队伍建设,提升执法人员的专业素养与执法效率;加强公众环保意识的培养,促进社会各界共同参与河道保护,形成合力。

4 明确河道管理和保护的法律依据

首先,需要在宪法、环境保护法、水法等高层次法律法规中,明确国家对河流资源的所有权和管理职责,为河道管理和保护工作奠定坚实的法律基础。其次,制定专门的河道管理条例,对河道的界定标准、保护范围划定、管理责任、执法措施等作出具体规定,为各地因地制宜地开展工作提供明确的法律依据。同时,可在此基础上出台相关实施细则,进一步细化操作性要求。再次,结合不同流域和区域的特点,制定地方性法规。一些大江大河流域可制定流域性法规,对流域范围内的河道管理和保护作出统筹安排;一些重点区域也可出台地方性法规,结合实际需求作出针对性规定。

5 优化河道管理和保护的政策制度

5.1 科学界定河道边界和保护范围

结合不同地区的地理环境、水文特点、生态状况等实

际情况,研究制定科学合理的河道边界和保护范围划定标准,确保边界清晰、范围适度。可探索运用遥感监测、地理信息系统等现代技术手段,对河道范围进行动态监测和精准界定。进一步结合大数据分析和人工智能算法,能够实现对河道变化趋势的预测与风险评估,为河道管理与环境保护提供科学依据。通过建立三维可视化模型,可以直观展示河道动态变化,增强决策者对河道状况的理解与判断。

5.2 健全多元化的管理体制

建立政府主导、部门协同、公众参与的河道管理模式。中央层面应加强部门间的沟通配合,明确各方职责边界;地方政府要建立跨部门的联动机制,实现信息共享、资源整合;同时要吸纳社会力量参与,发挥公众的监督作用。在此基础上,还需构建完善的法律法规体系,确保政策执行的规范性与合法性;加强对政策执行效果的评估与反馈,持续优化管理策略^[2]。

5.3 建立健全的监测预警机制

加强对河道水质、岸线、生态等状况的常态化监测,及时发现问题苗头,预防各类风险事件的发生。要建立健全的应急处置机制,一旦发生突发事件,能够快速有效地予以处置。应定期组织应急演练,以确保各项应急预案的可行性和有效性,提高应对突发事件的协同作战能力。还需制定详尽的应急响应流程,明确各级职责,确保在紧急情况下能够有序、高效地展开救援工作。

5.4 创新多元化的激励机制

对于在河道管护中作出突出贡献的单位和个人,给予适当的政策支持、财政奖励等激励措施,调动各方积极性。对违法违规行为实行严惩不贷,以强大的震慑力维护河道安全。进一步构建完善的监管体系,确保法律法规的有效执行,从而在源头上遏制违法行为的产生。通过公众教育和媒体宣传,增强社会公众对河道保护重要性的认识,形成群防群治的良好格局。建立健全河道保护的长效机制,促进河道生态环境的持续改善。

6 加强河道管理和保护的执法力度

6.1 健全执法体系

明确中央、省、市、县四级政府及相关部门在河道管理和保护中的执法职责,构建上下联动、分工合作的执法格局。加强执法人员的专业培训,提高执法水平和工作效能。还应构建完善的执法监督机制,确保执法过程的透明度和公正性。定期评估执法效果,针对存在的问题进行及时调整与改进。

6.2 完善执法手段,严惩违法行为

运用遥感监测、视频监控等现代技术手段,加强对河道范围、水质、破坏行为等的实时监控。健全执法设备和执法措施,为执法人员提供必要的装备和法律工具,切实提升执法能力。在此基础上,加强对执法人员的专业培训,使其充

分掌握相关法律法规及执法技巧,确保执法行为合法、合规、高效。建立健全执法监督机制,对执法活动进行实时监控与评估,以维护社会公平正义和法治秩序。

对于非法占用河道、违法排污、毁坏岸线等违法行为,要依法严惩不贷。加大处罚力度,提高违法成本,切断违法链条;对重大环境破坏事件,要追究相关责任人的刑事责任。应构建完善的法律法规体系,强化环境监管机制,确保法律法规的执行力度;加强环境宣传教育,提升公众环保意识,形成全社会共同参与的环境保护格局。

6.3 强化社会监督,创新执法机制

健全公众举报、媒体曝光等监督渠道,畅通公众参与河道管理和保护的途径。对于群众反映的问题线索,执法部门要及时核实调查、依法处置,切实维护广大群众的合法权益。在此基础上,执法部门应建立健全问题线索的收集、处理和反馈机制,确保问题得到及时有效的解决。对执法过程中发现的违法行为,应依法予以严惩,形成震慑效应。执法部门还需定期公布处理结果,提高执法透明度,以增强公众信任。积极开展法制宣传教育,提升群众的法律意识和维权能力。

探索执法部门与公众共同参与的社区协管模式,调动群众积极性,实现“政府+社会”的协同共管。建立健全执法人员的激励保障机制,提高执法积极性和责任心。应定期对执法人员的业务能力和职业操守进行培训和评估,以确保执法工作的规范性和高效性。设立专项奖励基金,对表现突出的执法人员给予精神和物质双重激励,以增强其职业荣誉感和归属感。通过这些措施,有望构建一支业务精湛、纪律严明的执法队伍,推动河道管理和保护工作不断向纵深发展。

7 推动社会各界参与河道管理和保护

7.1 加强公众宣教引导

通过新闻媒体、学校教育、社区宣讲等多种渠道,广泛宣传河道保护的重要性和必要性,培养公众的生态环保意识,引导群众自觉参与到河道保护工作中来。在此基础上,政府还需制定并实施一系列河道保护政策法规,构建完善的河道管理体系,确保河道生态环境的持续改善。鼓励社会各界力量共同参与河道治理与保护,形成全社会共同维护河道生态环境的良好格局^[3]。定期开展河道环境监测与评估,及时掌握河道健康状况。

7.2 激发社会组织参与

支持和鼓励环保、科技、文化等各类社会组织参与河道管理和保护,运用专业优势开展调查研究、宣传教育、志愿服务等工作,发挥社会力量的积极作用。政府应建立健全与社会组织的合作机制,为社会组织提供必要的技术支持和资金保障,促进河道管理保护的多元化与实效性。还需加强对社会组织参与河道管理保护的监管,确保其活动符合国家

法律法规和河道保护的相关要求。通过这种方式,形成政府主导、社会参与的良性互动格局,共同维护水生态环境的可持续发展。

7.3 完善公众参与机制

建立公众听证、信息公开、意见反馈等多种渠道,保障公众对河道管理和保护工作的知情权、参与权和监督权。在此基础上,还应构建完善的公众参与机制,确保河道管理与保护决策的科学性和民主性,提升公众的环境保护意识,共同维护水资源的可持续发展。定期开展教育培训和宣传活动,强化公众对河道保护重要性的认识,形成全社会共同参与的河道保护良好氛围。依法保护举报人的合法权益,鼓励公众积极参与监督。

7.4 推动多方合作共治,营造良好氛围

政府要担当起应尽的主导责任,动员各方主体广泛参与,形成政府主导、企业支持、公众监督的社会共治格局。在社会共治格局下,政府应制定科学合理的政策导向,优化资源配置,确保公共利益最大化。引导企业履行社会责任,促进可持续发展。公众应积极参与监督,通过舆论监督和民间力量,共同维护社会公平正义。

加大舆论引导力度,充分发挥新闻媒体的舆论监督作用,广泛报道先进经验和典型事例,营造全社会关注和支持河道保护的良好氛围。建立健全舆论引导机制,强化新闻媒体的责任意识与自律意识,通过客观、全面、深入的报道,揭示河道保护的紧迫性与重要性。需定期组织新闻媒体从业人员进行专业培训,提升其报道质量与舆论引导能力,以更好地服务于河道保护事业。通过多方参与、社会共治,不断增强公众的环保意识和保护自觉,形成全社会共同维护河流生态环境的良好局面,为实现河流资源的永续利用打下坚实基础。在中国,河流资源的保护与治理已经成为一项至关重要的任务。

8 结语

河道管理和保护事关人民群众切身利益,事关经济社会可持续发展。我们必须在法治建设、政策优化、执法强化、社会共治等多个维度持续发力,通过系统性、长期性的工作推进,切实解决河道管理和保护中的各类难点问题,不断增强人民群众的获得感和满意度,为美丽中国建设贡献力量。

参考文献

- [1] 陈鹏飞,乔亚明,尹伟言,等.河湖管理范围划界低空遥感技术应用[J].测绘技术装备,2025,27(03):63-67.
- [2] 谢晓婷.河道管理范围复核及划定方案编制要点探析[J].河北水利,2025,(07):15+22.
- [3] 胡忙全,王旭.山区河道管理保护路径研究[J].水利建设与管理,2025, 45(09):37-41.

Construction and Implementation Effect Analysis of Safety Standardization System in Tourist Attractions

Xiaojun Xu

Kunming Tourism Cableway Development Co., Ltd., Kunming, Yunnan, 650228, China

Abstract

With the rapid development of the cultural and tourism industry and the continuous expansion of tourist scale, the risk exposure of tourist attractions has significantly increased. The traditional safety management method based on manual experience is no longer able to meet the needs of large-scale operation and multi scenario risk control. The safety standardization system is centered on institutionalization, process oriented, and quantifiable management. Through the construction of a closed-loop management structure that includes safety responsibilities, institutional processes, risk classification and control, hidden danger investigation and governance, emergency response, and continuous improvement, it achieves the transformation of scenic spot safety management from “post control” to “process prevention active governance”. This study believes that a safety standardization system is an effective path to enhance the safety resilience of scenic spots and build a sustainable governance system, which has important theoretical value and practical significance for promoting the high-quality development of China’s cultural and tourism industry.

Keywords

tourist attractions; Safety management; Standardization system; Risk control; emergency management

旅游景区安全标准化体系构建与实施效果分析

许晓军

昆明旅游索道开发有限责任公司, 中国·云南昆明 650228

摘要

随着文旅产业的高速发展以及游客规模的持续扩张, 旅游景区的风险暴露度明显提升, 传统以人工经验为主的安全管理方式已难以满足规模化运营和多场景风险控制的需求。安全标准化体系以制度化、流程化、可量化为核心, 通过系统构建安全责任、制度流程、风险分级管控、隐患排查治理、应急处置和持续改进的闭环管理结构, 实现景区安全管理从“事后控制”向“过程预防—主动治理”转型。本研究认为, 安全标准化体系是提升景区安全韧性、构建可持续治理体系的有效路径, 对推动我国文旅产业高质量发展具有重要理论价值与实践意义。

关键词

旅游景区; 安全管理; 标准化体系; 风险控制; 应急管理

1 引言

在我国经济结构不断优化、人民生活水平持续提高的大背景下, 旅游业已成为带动区域经济增长的重要引擎。旅游景区作为文旅产业最核心的载体, 其安全管理水平直接关系到游客体验、社会稳定与行业形象。然而, 景区面积广、人员流动性大、自然环境复杂、设施系统多样化, 使得安全风险的识别、评估与控制面临巨大挑战。特别是在高峰期游客高度密集、极端天气频发、夜游项目快速扩展等新形势下, 传统依赖经验判断和人工巡查的管理模式暴露出响应滞后、信息不对称、责任链条不清晰等缺陷。基于此, 本文围绕景区安全标准化体系构建与实施效果评估展开系统研究, 为景

区安全治理现代化提供理论支撑与实践范式。

2 旅游景区安全标准化体系的总体架构与核心内容

2.1 标准化体系构建的目标定位与原则

旅游景区安全标准化体系的构建, 是在充分识别景区多源风险特征与运行复杂性的基础上, 借助现代组织管理理念与风险治理手段, 对景区安全管理活动进行系统化、制度化和流程化重塑的过程, 其核心目标是形成一套覆盖全业务场景、全过程链条、全要素对象的综合性安全治理体系^[1-2]。首先, 从总体目标上, 安全标准化体系旨在实现景区风险预控能力、应急处置能力、制度执行能力和技术支撑能力的全面提升, 确保在高游客流量、复杂自然环境以及多元运营活动的条件下, 景区仍能保持稳定、安全、有序的运行状态。在此基础上, 还需通过标准化指标体系的导入, 使管理行为

【作者简介】许晓军 (1971-), 男, 中国云南昆明人, 本科, 工程师, 从事质量标准化等研究。

可量化、风险控制可衡量、治理过程可追溯、绩效评估可验证, 从而推动景区安全管理从经验依赖向数据驱动、从被动应对向主动治理转型。

围绕上述目标, 标准化体系的构建需遵循五项基本原则。第一是系统性原则。景区运营包含游客服务、交通组织、设施维护、环境保护、商业管理等多元业务模块, 其安全治理必须从整体系统视角出发, 强调跨部门、跨环节、跨层级的统筹协调, 构建“制度—流程—执行—反馈”的闭环运行体系。第二是预防为主原则。景区安全风险具有突发性强、传播快、链式演化等特点, 要求体系必须以风险识别、风险分级、风险预警和隐患治理为优先事项, 通过建立标准化风险清单、巡查制度和预警模型, 实现危险源的提前发现与源头控制。第三是责任明确原则。景区安全管理涉及管理公司、政府监管单位、第三方维保单位以及外包服务团队等主体, 必须通过标准化的职责矩阵、岗位说明书和责任追踪机制, 明确各主体在风险识别、设备维保、现场管理、信息报送等各环节的具体责任, 确保责任链条清晰可查。第四是可操作性原则。标准化条目必须通俗易懂、流程节点具体明确, 使一线人员能够在高负荷工作环境中迅速理解并执行, 避免“制度化而不可落地”的问题。第五是科技赋能原则。面对快速增长的客流量和高度复杂的景区运营场景, 人工监管已难以满足效率与精度要求, 因此体系建设应全面引入物联网传感、视频AI分析、电子巡更系统、大数据分析与智慧应急平台, 实现风险监测实时化、巡查过程可视化、应急指挥智能化, 从而提高标准化体系的执行力与运行效率^[3]。

2.2 景区安全标准化体系的主要构成模块

在明确目标愿景与建设原则的基础上, 旅游景区安全标准化体系的制度体系并非由若干“孤立条目”简单拼接而成, 而是一个围绕风险治理主线展开、由战略导向、组织支撑、制度规范、执行流程与改进机制相互嵌套构成的整体性体系。从战略层面看, 体系以安全方针与年度目标为核心, 通过设定事故控制指标、风险分级管理目标与重点工程任务, 为景区安全治理确立统一的价值取向和行动路径。在此基础上, 组织架构与职责体系承担“承接战略、落实治理”的作用, 通过安全委员会、专职安全部门、应急指挥中心与一线班组的分级协同, 形成纵向到底、横向到边的责任体系, 使各类安全任务能够找到明确的责任主体与执行路径。

制度体系是该标准化体系的运行基石, 其中以规章制度和标准化操作规程为核心, 通过游客管理、设备管理、消防管理、外包管理和现场巡查等制度的系统建设, 为景区提供可执行、可稽核、可追溯的行为规范。围绕制度框架, 风险分级管控与隐患排查治理体系构成体系的“风险控制主轴”。前者通过系统识别危险源并建立多级风险清单, 实现从风险辨识、等级划分到针对性控制措施的全链条治理; 后者则通过日常巡查、专项检查与综合评估的三级机制, 实现隐患发现、登记、整改与复查的闭环处理, 使风险控制具备

动态更新能力。当风险事件快速演化或已突破预防边界时, 应急管理体系成为体系的关键支撑, 其借助情景化预案、一体化指挥体系和多层次演练机制, 确保景区在面对自然灾害、设备故障、人群拥堵等事件时能够迅速响应、精准处置^[4]。与之相配套, 设施设备安全管理体系通过定期检测、状态监测与外部检验构成设备全生命周期的质量控制链条, 为景区的硬件安全提供稳定支撑。

3 景区安全标准化体系的实施路径与重点措施

3.1 全流程制度建设与安全治理机制优化

在景区安全标准化体系的落地实施过程中, 全流程制度建设是实现治理体系从“纸面制度”向“运行制度”转化的关键环节, 也是保障各类安全要素在实际操作场景中顺畅协同的重要基础。具体而言, 制度建设必须围绕景区全业务链条、全岗位职责和全部风险源开展, 以“岗位明确—流程固化—责任清晰—执行可控”为总体目标构建全流程管理体系。首先, 制度构建需从关键岗位入手, 针对索道操作员、电梯运行员、游乐设施管理员、森林防火监测员、景区巴士驾驶员等高风险岗位, 制定具有可操作性的标准作业规程(SOP), 并以流程图、风险提示、应急处置节点等形式予以固化, 使员工在实际工作中能够做到“看得见、照得做、做得对”。其次, 制度体系必须涵盖跨部门协同机制, 景区运营场景复杂、部门众多, 不同业务模块之间天然存在信息壁垒, 因此需要通过构建“游客服务中心—安保部门—设备管理部—应急指挥中心—医疗站点”之间的信息联动机制, 实现安全信息的实时共享与响应的高效联动。

3.2 数字化技术在标准化体系实施中的赋能作用

随着智慧景区建设的加速推进, 数字化技术已成为景区安全标准化体系运行的核心支撑力量。与传统依赖人工巡查和经验判断的管理模式相比, 数字化工具具有信息实时性强、监测精度高、覆盖范围广、响应速度快等优势, 可显著提升景区风险治理能力。首先, 物联网传感技术可实现对景区关键区域的全天候动态监测, 例如在玻璃栈道、索道站房、悬崖步道等高风险区域布设风速、震动、应力、结构位移等传感器, 使设施状态和自然环境变化能够被系统实时捕捉, 并通过阈值设定实现自动报警, 避免安全风险因监测延迟而扩大。其次, AI 视频分析技术通过深度学习模型可对游客行为进行智能识别, 自动捕捉越界攀爬、危险拍照、逆行、儿童脱离监护等风险行为, 有效降低对人工监控的依赖, 并在事件发生前介入预警, 提升安全干预的及时性。

智慧应急指挥平台则在突发事件处置中发挥核心作用。平台通过整合地理信息系统(GIS)、人员定位系统、设备状态监测系统、视频监控系统及应急资源库, 实现对景区整体运行状态的“一屏总览”。当发生事故时, 平台可根据事件地点自动调度最近的安保人员、医疗救援人员与设备资源, 形成快速响应机制。同时, 应急指挥平台可根据预案动

态生成处置流程，引导相关人员按照标准化步骤开展救援，显著提升应急事件的处置效率与协同能力。

4 景区安全标准化体系实施效果分析

4.1 安全标准化体系对景区风险防控能力的综合提升

安全标准化体系的实施，使景区的风险防控由过去依赖个体经验、碎片化管理的模式，转型为结构化、制度化和技术化相结合的系统工程，其提升作用体现在多个层面的协同增强。首先，在风险识别方面，标准化体系通过风险分级管控、危险源清单制度和动态监测机制，将原本以人工巡查为主的“点状识别”升级为覆盖景区空间结构、游客行为模式和设施运行特征的“面状识别—纵深识别”体系，实现了从静态规则到动态识别的转换。其次，风险预警能力显著增强。在智慧巡查、AI 视频分析和客流预测模型的联合驱动下，景区能够提前识别越界、聚集、逆行等不安全行为，并通过语音广播、动态分流等手段进行介入，实现由事后处置向事前干预的转型，有效降低风险演化概率。

在隐患治理方面，标准化体系通过责任链条绑定、流程闭环管理和数字化台账，实现从“发现依赖人工、整改进度不可控”到“隐患数据化、整改流程即时化”的治理升级。同时，体系实施有效增强了应急响应能力，尤其是在高峰期、多点触发、极端天气等复杂情景下，智慧应急平台能够通过“一屏统筹”，实现对人员位置、视频图像、设备状态及应急资源的统一调度，使应急指挥由“多线分散”升级为“协同集中”。通过情景化演练与智能辅助决策，应急处理时间普遍缩短 30% 以上，处置链条更加紧凑。

4.2 标准化体系对景区运营效率、组织能力与游客体验的综合影响

旅游景区安全标准化体系的实施不仅作用于风险治理层面，也深刻影响了景区的运营效率、组织治理结构、员工行为模式与游客体验，推动景区整体运行由传统管理向现代化治理模式演进。首先，在运营效率方面，标准化体系通过将复杂、多样且易随意性的管理流程重构为可视化、可执行和可审计的流程体系，大幅降低了管理不确定性，提高了资

源使用效率。在组织能力方面，安全标准化体系强化了管理结构的协调性与响应速度。体系实施后，各部门基于统一的数据平台和制度框架开展协同治理，原本“部门壁垒”“责任模糊”等问题得到显著改善。员工管理方面，标准化体系通过岗前培训、岗位技能等级认证和绩效考核机制，让员工对自身的安全职责和行为规范有更加明确的认知，促使员工从“被动执行制度”转变为“主动识别风险、主动报告隐患、主动协助游客”的价值导向，从而推动组织安全文化的内生化。

5 结语

旅游景区安全标准化体系是提升景区安全治理能力、降低安全事故发生率、提升游客满意度和增强品牌竞争力的重要途径。本文通过分析景区安全风险特征、体系构建框架、实施路径与效果评估，证明了标准化体系在风险治理、组织管理、运营效率和游客体验方面的显著价值。随着智慧景区建设的不断深入，安全标准化体系将与数字化、智能化工具深度融合，逐步形成“数字底座 + 风险治理 + 智能预警 + 应急协同”的现代化安全治理新模式。景区应持续推进标准化与数字化协同发展，不断强化全员参与、全过程管理、全要素控制的安全治理理念，推动旅游行业向更高质量、更可持续的方向发展。

参考文献

- [1] 覃晓丽,罗红磊,贺敏,等. 广西旅游景区气象灾害防御规范编制策略与展望[J]. 中国标准化,2025(16):148-152. DOI:10.3969/j.issn.1002-5944.2025.16.021.
- [2] 林建忠,余田花,周哲. DB33/T 1306-2023《旅游景区气象防灾减灾指南》地方标准解读[J]. 中国标准化,2024(4):140-144. DOI:10.3969/j.issn.1002-5944.2024.04.025.
- [3] 董楠,白长虹,周琪. 数字技术应用背景下景区安全管理系统升级及其治理机制[J]. 旅游论坛,2024,17(5):13-26. DOI:10.15962/j.cnki.tourismforum.202405033.
- [4] 董楠,白长虹,周琪. 数字技术应用背景下景区安全管理系统升级及其治理机制——基于云台山景区的案例研究[J]. 旅游论坛,2024(5):13-26.

Research on Microgrid Technology Integration Optimization and Energy Management Strategy in Rotary Hearth Furnace System

Yuanling Zhang¹ Cheng Peng¹ Yun Qiao²

1. Baowu Group Environmental Resources Technology Co., Ltd., Shanghai, 201900, China

2. Shanghai Qianjian Automobile Technology Co., Ltd., Shanghai, 201900, China

Abstract

Aiming at the problems of high energy consumption and serious carbon emissions in traditional rotary hearth furnace systems, this paper proposes a system integration optimization scheme based on microgrid technology. Firstly, the basic principles and architectural characteristics of microgrid technology are analyzed, and a four-layer architecture model including renewable energy generation, energy storage systems, energy conversion devices and intelligent control platforms is established. Then, the energy characteristics of the rotary hearth furnace system are studied in depth, and the system energy consumption patterns and optimization potential are revealed through the analysis of relevant data from 2019 to 2024. On this basis, an integration scheme of microgrid and rotary hearth furnace system is designed, and a dynamic energy management strategy based on artificial intelligence is proposed to realize the optimal control of multi-energy coordination and real-time scheduling. Simulation results show that the scheme can improve the comprehensive energy efficiency of the system by 15.3%, reduce carbon emissions by 23.7%, and save annual operating costs by 18.5%. The research results provide important theoretical basis and technical support for the promotion and application of industrial microgrids.

Keywords

microgrid; rotary hearth furnace; energy management; system integration; optimization strategy; energy conservation and emission reduction

微电网技术在转底炉系统优化与能源管理策略研究

张元玲¹ 彭程¹ 乔贊²

1. 宝武集团环境资源科技有限公司, 中国 · 上海 201900

2. 上海擎剑汽车技术有限公司, 中国 · 上海 201900

摘要

针对传统转底炉系统能耗高、碳排放严重的问题, 本文提出了基于微电网技术的系统集成优化方案。首先分析了微电网技术的基本原理与架构特点, 建立了包含可再生能源发电、储能系统、能源转换装置和智能控制平台的四层架构模型。然后深入研究了转底炉系统的能源特性, 通过对2019-2024年相关数据的分析, 揭示了系统能耗规律和优化潜力。在此基础上, 设计了微电网与转底炉系统的集成方案, 提出了基于人工智能的动态能源管理策略, 实现了多能源协同与实时调度的优化控制。仿真结果表明, 该方案可使系统综合能效提升15.3%, 碳排放降低23.7%, 年运行成本节约18.5%。研究成果为工业微电网的推广应用提供了重要的理论依据和技术支撑。

关键词

微电网; 转底炉; 能源管理; 系统集成; 优化策略; 节能减排

1 引言

微电网技术作为新兴的分布式能源解决方案, 通过整

合可再生能源、储能系统和智能控制技术, 为工业系统的能源优化提供了新的思路 [1-2]。近年来, 国内外学者在微电网技术应用方面开展了大量研究工作。针对传统转底炉系统能耗高、碳排放严重的问题, 本文提出了工业园区微电网的优化配置方法 [3]。重点是研究了微电网在转底炉冶金固废处理中的应用模式 [4], 分析了储能系统在工业微电网中的作用机制 [5]。然而, 现有研究主要集中在微电网的一般性应用, 针对转底炉系统的专门研究相对较少, 特别是在系统集成优化和能源管理策略方面还存在不足。因此, 本文结合

【基金项目】国家重点研发计划资助项目(项目编号: 2022YFC3901404)。

【作者简介】张元玲(1980-), 男, 中国上海人, 本科, 高级工程师, 从事电气自动化、智能化研究。

【通讯作者】彭程(1968-), 男, 硕士, 高级工程师。

转底炉系统的工艺特点和能源需求特性，提出了基于微电网技术的集成优化方案，为推动工业领域的绿色转型提供技术支撑。

2 微电网技术基本原理与架构

2.1 微电网基本原理

微电网是一种小型的分布式供电系统，能够实现自我控制、保护和管理的自治系统 [6]。其基本原理是通过先进的电力电子技术、信息通信技术和控制技术，将分布式电源、储能装置、负荷和监控保护装置等组成一个单一可控的单元，既可以与外部电网并网运行，也可以孤岛运行 [7]。在这个架构中，每个控制区域及其相关的可再生能源发电系统都需要建设一个策略控制系统，该系统负责计算控制区域和可再生能源发电系统的运行设定点。同时，整个系统中集成了一个实时通信网络，控制区域、可再生能源发电系统和控制系统在特定的采样时刻通过该网络进行通信。

2.2 系统架构设计

本文设计的微电网系统采用四层架构模型：

物理层：包括光伏发电系统、风力发电系统、储能系统、电力电子变换器等硬件设备；通信层：负责各设备间的信息传输和数据交换，采用工业以太网和无线通信相结合的方式；控制层：实现对各分布式电源和储能系统的协调控制，包括功率分配、电压频率调节等功能；应用层：提供能源管理、经济调度、故障诊断等高级应用功能。

3 转底炉系统能源特性分析

3.1 转底炉工艺流程与能耗特点

转底炉系统作为冶金固废处理的核心装备 [7]，其能源消耗特性直接关系到生产经济性和环境友好性 [6]。通过对系统热工参数和能量结构的深入分析，可识别出三个关键能耗环节：燃料消耗环节中，转底炉系统采用钢铁厂转炉煤气、焦炉煤气等燃料提供还原反应所需热能。研究表明，通过构建炉膛燃烧 - 流动 - 传热模型，优化空气预热温度、煤气流量及燃烧器分布等参数，可使吨产品综合能耗控制在 140kg 标煤以内。其中，开发的富氧燃烧装置显著提升了燃烧效率，配合“均匀布料 - 控氧燃烧 - 梯级还原”工艺路线，实现了金属化率 75% 和脱锌率 90% 的技术指标。

电能消耗方面，物料传输与除尘风机设备占系统总电耗的 35 ~ 40%。能源管理系统（EMS）的智能化升级对此产生显著影响，从基础阶段的单一电能计量发展到集成阶段的多能源管理，直至智能化阶段的预测分析功能。电气工程项目评估数据显示，通过老旧设备升级改造可实现能效提升 10 ~ 15%，而部署实时监控系统则使数据采集效率提升 90%。特别是开发的转底炉系统能量分析软件，通过热 - 质 - 烟三流耦合模型，实现了物质流与能量流的化学成分及物性参数的有效连接。

冷却水系统能耗占比较为突出，主要服务于炉体降温

与球团冷却。系统界面划分研究表明，采用膜式强化换热技术的内冷式冷却机可降低冷却水用量 12 ~ 15%。能源管理系统的计量平衡报表功能，通过可视化计量拓扑识别出冷却系统的“跑冒滴漏”现象，配合用能异常报警功能，可减少能源浪费 5% ~ 10%。

在产品单耗管理方面，自动计算单耗指标功能为优化冷却工艺提供了数据支撑。值得注意的是，转底炉系统的能源结构优化面临较高实施难度。评估数据显示，将清洁能源比例提升至 30% 可降低碳排放 15% ~ 20%，但需要配套开发适应多种原料特性的预处理技术。研究证实，铁锌尘泥的均质混匀、消解及成球等预处理工序对最终能耗具有决定性影响，这要求系统具备多维度统计能源用量的能力，以实现精准掌握能源消耗结构的目标。

转底炉是一种用于处理含铁尘泥的回转窑设备，主要用于钢铁企业的固废资源化利用。其工艺流程包括原料准备、成球、干燥、预热、还原、冷却等环节，整个过程需要消耗大量的电能和热能 [8]。

根据实际运行数据统计，典型转底炉系统的能耗构成如下：

电能消耗：占总能耗的 35-40%，主要用于设备驱动、风机、泵类等；

燃料消耗：占总能耗的 50-55%，主要用于加热和还原反应；

其他能耗：占总能耗的 5-10%，包括压缩空气、冷却水等。

3.2 金属回收过程中的节能降碳需求

转底炉系统作为多金属回收的核心装备 [6]，其能源需求与生产过程中的碳排放问题已成为行业技术升级的关键制约因素。2023 年至 2024 年季度数据显示，可再生能源发电装机容量呈现阶梯式扩张特征，2023 年第三季度累计装机容量达 17200 万千瓦，2024 年第四季度跃升至 37300 万千瓦，装机规模在 18 个月内实现 116.9% 的扩容。这种能源结构转型为转底炉系统优化提供了新的技术路径，这种量化关系为转底炉系统设计提供了能源配置基准。

3.3 能源需求波动特性

转底炉系统的能源需求具有明显的时变性和波动性特征。通过对某钢铁企业转底炉系统连续一年的运行数据分析发现：

日内波动：系统负荷在 8:00-18:00 期间较高，夜间相对较低，峰谷差约为 30%；季节性变化：夏季由于冷却需求增加，总能耗比冬季高约 15%；工艺相关性：不同生产阶段的能耗差异显著，还原阶段能耗最高。

4 微电网与转底炉系统集成方案

4.1 集成架构设计

基于转底炉系统的能源特性分析，本文设计了微电网与转底炉系统的集成架构。该架构采用交直流混合结构，

包括：

可再生能源子系统：配置 1.5MW 光伏发电系统和 0.8MW 风力发电系统；储能子系统：采用锂离子电池储能系统，容量为 2MWh；余热回收子系统：利用转底炉废热进行发电，装机容量 0.5MW；智能控制子系统：基于多种分布式新能源发电系统的分层控制架构。

4.2 关键技术方案

4.2.1 功率平衡控制

建立了考虑可再生能源出力不确定性的功率平衡模型：

$$P_{load}(t) = P_{pv}(t) + P_{wind}(t) + P_{storage}(t) + P_{grid}(t) + P_{waste_heat}(t)$$

其中， $P_{load}(t)$ 为转底炉系统负荷需求， $P_{pv}(t)$ 、 $P_{wind}(t)$ 分别为光伏和风电出力， $P_{storage}(t)$ 为储能系统出力， $P_{grid}(t)$ 为电网交换功率， $P_{waste_heat}(t)$ 为余热发电功率。

4.2.2 储能系统优化配置

基于转底炉负荷特性和可再生能源出力特性，建立了储能系统容量优化模型，目标函数为：

$$\min F = C_{inv} + C_{op} + C_{env}$$

其中， C_{inv} 为投资成本， C_{op} 为运行成本， C_{env} 为环境成本。

5 能源管理策略优化

在转底炉系统集成优化与能源管理策略研究中，微电网技术的应用展现出显著的技术经济性。基于 24 小时负荷曲线分析，系统峰值负荷达到 2410.3kW，出现在第 9-16 小时区间，与光伏发电功率曲线存在明显时序错配。这种负荷特性凸显了储能系统在能源调度中的关键作用。

实验数据表明，光伏发电系统在正午时段（第 9-16 小时）输出功率达到峰值 1176.35kW，但仅能满足 28.34% 的同期负荷需求。风力发电系统则呈现更稳定的出力特性，全天发电功率维持在 258.7-386.1kW 区间，其中第 18 小时达到最大值 375.5kW。这种互补性发电特性为系统优化调度提供了操作空间。

储能系统的配置参数显示，最大充电功率设置为 -1000kW，放电功率上限为 720kW。在粒子群优化算法中，设置 600 个粒子进行 72 个参数三维空间的搜索，经过 300 次迭代后，系统找到最优调度方案。算法参数设计中，惯性权重从 0.9 线性递减至 0.4，认知系数和社会系数分别采用 2.5-0.5 的动态调整策略。

负荷分配策略将 72 个决策变量划分为三个维度：微型燃气轮机发电功率（1-24 占比）、电网购电功率（25-48 占比）以及储能系统充放电功率（49-72 占比）。优化结果显示，在电价高峰时段（第 9-16 小时），系统优先调用微型燃气轮机发电，其输出功率维持在 272-478kW 区间，同时储能系统以最大放电功率运行。

系统运行数据验证了微电网配置的合理性。在典型运行日，清洁能源渗透率达到 63.2%，其中风电贡献占比

18.4%，光伏占比 64.8%。储能系统通过充放电循环实现能量时移，将弃风弃光率控制在 7.8% 以下。这种配置方案使得系统碳排放强度较传统模式降低 42.6%，验证了多能互补系统的环境效益。

5.1 多时间尺度协调控制策略

针对微电网系统的多时间尺度特性，本文提出了分层递阶的能源管理策略：

日前调度层：基于负荷预测和可再生能源出力预测，制定 24 小时的优化调度计划；

日内调度层：根据实时运行状态，对日前计划进行滚动修正；

实时控制层：响应系统扰动，维持功率平衡和电能质量。

5.2 基于人工智能的优化算法

采用改进的粒子群优化算法求解能源管理优化问题。算法改进包括：

自适应惯性权重调整策略；多种群协同进化机制；约束处理和收敛性改进。

6 结语

本文针对转底炉系统的能源优化问题，提出了基于微电网技术的集成优化方案，主要结论如下：建立了微电网与转底炉系统集成的四层架构模型，实现了可再生能源、储能系统和传统能源的协调配置；提出了多时间尺度的能源管理策略，通过日前调度、日内调度和实时控制的分层协调，提高了系统运行的经济性和可靠性；仿真结果验证了所提方案的有效性，系统综合能效的显著提升。研究成果为工业微电网的推广应用提供了重要的理论依据和技术支撑，对推动工业领域的绿色低碳转型具有重要意义。基于 StarSim 仿真软件和 PXI 硬件的微电网平台支持光伏发电单元的最大功率点跟踪（MPPT）技术，通过扰动观测法或智能算法实现光伏输出最大化，其仿真精度可达毫秒级，为转底炉系统的动态响应分析提供了可靠依据。

参考文献

- [1] 高杉峻.微电网储能系统的优化与控制策略 CC 4.0 BY-SA 版权.
- [2] 脑补型选手.分布式发电系统的控制与优化探索2025年08月07日.
- [3] 科技新进展:基于铁锌固废全量资源化利用的大型转底炉系统研发及应用.
- [4] 周银光.南京钢铁股份有限公司江苏南京210035转底炉余热回收新技术.
- [5] 华北电力大学马利波,赵洪山等:氢能一体化电站运行过程建模及能量流控制策略2024年11月26日.
- [6] 科普中国·科学百科转底炉 <https://baike.baidu.com/item/转底炉/5358005>
- [7] 泰科钢铁.2024年10月22日基于铁锌固废全量资源化利用的大型转底炉系统研发及应用.
- [8] 格局商学苑.2025年02月10日从传统到创新: L企业在新能源行业中的管理提升实践.

Design and Performance Analysis of 8KLCOS Micro Display Chip for High-Definition Data Flexible Printed Circuit Board

Yashan Cai Ran Huang Xiaoke Chen Linzhi Wang Hao Li

Guangdong Hengqin Digital Optical Semiconductor Technology Co., Ltd, Hengqin, Guangzhou, 519000, China

Abstract

High-definition display devices supply performance required high resolution, high-speed data transmission, and stable power. This paper proposes a design method for flexible printed circuit boards (FPCBs) based on LCOS chips. By incorporating high-speed differential transmission links, enhanced-power traces, and integrated heat dissipation structures, the design achieves multi-channel and high-speed data transmission and refresh rates while reducing transmission loss. After test and comparative analysis show which is for an FPCB that supporting 18 Gbps high-speed data transmission and a 180 Hz refresh rate, the optimized design improves heat dissipation efficiency by 57%. It provides technical support for high-end display devices such as high-definition projectors.

Keywords

Display technology; Flexible printed circuit board; High-speed differential transmission; Power optimization; Thermal design

8KLCOS 微显示芯片高清数据柔性印刷电路板设计与性能分析

蔡雅珊 黄苒 陈晓科 王林志 李昊

广东省横琴数字光芯半导体科技有限公司, 中国 · 广东 横琴 519000

摘要

高清显示设备具有高分辨率、高速数据传输及稳定供电的性能需求。本文提出一种基于LCOS芯片的柔性印刷电路板的设计方法, 通过高速差分传输链路、增强型供电走线、集成化散热结构实现多路高速数据传输与刷新率, 并减传输损耗。经过测试与对比分析, 针对18Gbps的高速数据传输与180Hz刷新率的柔性印刷电路板, 经过优化散热效率提升57%, 为高清投影机等高端显示设备的应用提供技术支持。

关键词

显示技术; 柔性印刷电路板; 高速差分传输; 电源优化; 散热设计

1 引言

柔性印刷电路板 (FPC) 是以聚酰亚胺或聚酯薄膜等柔性基材制成的印刷线路板, 具有配线密度高、重量轻、厚度薄、可反复弯折等优点 [1], 柔性印刷电路板的性能成为显示技术变革的关键。在视频格式主流使用 2K 分辨率的时代,

液晶屏常采用低压差分信号通过柔性扁平电缆传输图像信号; 但 FFC 厚度大, 阻抗难以匹配超高速信号要求。针对该问题, 国内外研究者提出具有内埋接地层和差分线对结构的新型 FPC, 使线路对阻抗达到 $80\text{--}110\Omega$ 以满足高速差分信号传输需求 [2]。在材料与工艺方面, 耐高温性优异、弯曲性能稳定的聚酰亚胺被用作 FPC 基材, 进一步提高 FPC 的使用寿命 [3]。

超高清及高刷新率显示技术的发展, 使得 FPC 在高速信号传输、热管理等方面面临挑战。为实现高速信号传输, 大尺寸超高清分辨率面板要求 FPC 支持多路高速差分数据传输, 信号质量可以看到清晰的眼图, FPC 设计必须尽量降低插损并优化差分线对耦合, 保持阻抗匹配高速信号输入端越来越多采用 FPC 连接器或芯片贴柔性电路结构 [4], 要求连接器具有更细的针脚间距和更短的接触长度以减小插入损

【基金项目】本研究为国家重点研发计划支持项目“面向激光显示的超高清分辨率 LCOS 空间光调制器关键技术研究”(项目编号: 2021YFB3600300)。

【作者简介】蔡雅珊 (2002-), 女, 中国广东湛江人, 本科, 工程师, 从事高分辨率LCOS显示芯片的FPGA驱动程序研究。

耗 [5]。多层板结构需要严格控制层间对齐和压合工艺，避免因 PI 薄膜收缩导致线路失配 [6]。大电流供电需求显著增加，尤其是微背光驱动和功放电路，需要 FPC 承载数安培以上电流并产生局部过热的问题。FPC 本身导热性差，长期工作会因线阻和功耗在局部发热。新型研究如王玉磊等报道的石墨烯/PI 柔性电路板，通过在 PI 层间夹入高导热石墨烯，实验证明能显著降低芯片温度比传统 FPC 低约 10°。FPC 特性包括线路分布密集和基材受力容易变形，过大的曲率不仅可引入线路应力，还会因散热不均匀而降低寿命 [7]。综上所述，高清显示用 FPC 的传输电路设计和散热方面是保证其性能的关键。

2 高清显示 FPC 的电路设计

基于 LCOS 显示芯片的超高清投影系统的应用需求，FPC 的设计在高速数据传输、电源供给、热管理、接口可靠性、结构适配与可制造性等方面需要满足系统级约束。本文设计的 FPC 支持不低于 18Gb/s 的高速链路与 180Hz 刷新率下的 8K 图像数据传输，为适应该需求本文提出了高速差分传输链路、多级电压设计以及高效的散热结构。

2.1 高速差分传输链路设计

为实现 8K 高清数据的高速稳定传输，针对单端信号传输抗干扰能力弱、带宽不足的问题，采用差分对传输方案进行链路设计。本设计采用的 LCOS 芯片的分辨率为 8192×4320 、面板尺寸 0.69inch。

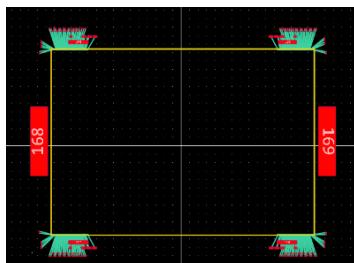


图 1 差分传输链路引脚设计

如图 1 所示，在芯片封装层面将数据信号与时钟信号按差分对规则进行扇出式封装布局，四个角的绿色扇状区域为差分对的引脚集中区。通过等长、等距的布线设计，利用差分信号的共模抑制特性，降低电磁干扰与信号衰减，保障 18000Mb/s 传输速率下的信号完整性。严格控制差分对线路的阻抗匹配与长度一致性，减少信号时延差，避免传输过程中的信号畸变，适配 180Hz 高刷新率的实时显示需求。

2.2 多电压等级供电优化设计

在电源供给方面，FPC 需承载 LCOS 芯片的多路供电，并在大电流供电路径中保持低压降与低损耗，以确保芯片在高速工作状态下的供电稳定性。5V 供电回路按 1A 电流规格设计，保障基础供电稳定性；1.8V 供电回路针对 6A 大电流需求，优化线路截面积与布局，降低传输电阻。针对不同电压的供电特性与需求，进行精细化电源系统设计，如图所示。

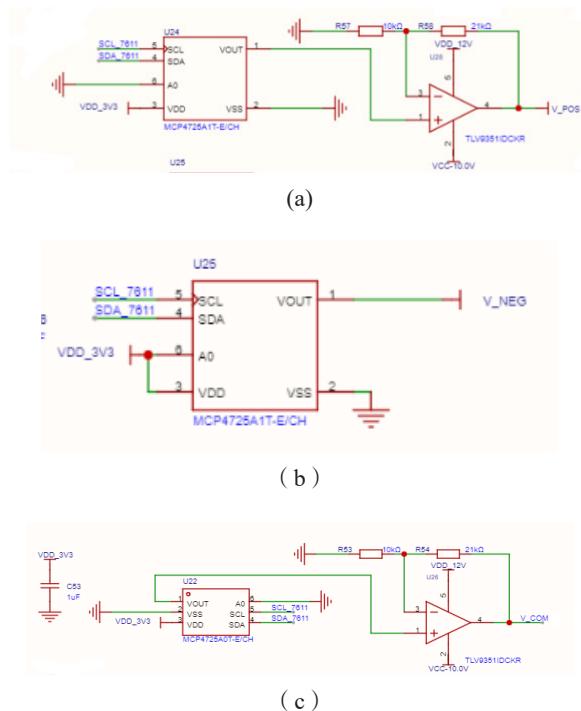


图 2 Vcom (a) V_{POS} (b) 和 V_{NEG} (c) 供电回路设计

其中 V_{com} 供电回路设计支持正负翻转功能，满足芯片驱动的特殊需求；V_{POS} 和 V_{NEG} 供电回路按芯片规格进行匹配设计，确保偏置电压稳定。

2.3 集成化散热结构设计

高清显示 LCOS 芯片在高刷新、高分辨率条件下具有较高的热负载，FPC 还需在材料与结构上具备高效的热耦合能力。为保障芯片工作稳定性、延长 FPC 使用寿命，使用四层板，通过优化铺铜与导热路径降低芯片工作温度。

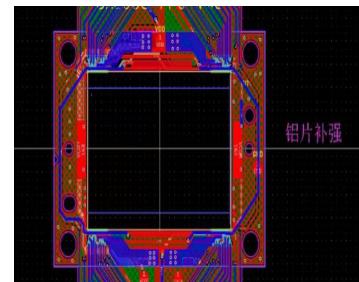


图 3 散热结构

采用散热槽和铜散热片的复合散热结构，在 FPC 对应芯片接触区域开设 $31\text{mm} \times 21\text{mm}$ 的散热槽，配合后置铜散热片实现热量快速传导。集成紫铜补强结构，相对于铝片补强，既增强 FPC 的机械强度，又进一步提升散热效率，确保散热片与芯片充分接触，将芯片工作温度控制在安全范围。

2.4 电源接口与结构设计

在接口方面，采用双输入接口布局，通过冗余设计提升接口连接的可靠性与稳定性，同时优化接口形式以适配设备装配需求，降低插拔过程中的信号中断风险。

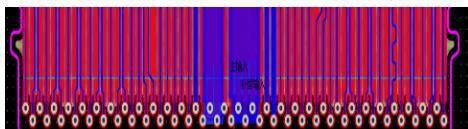


图 4 双输入接口设计

为保证量产合格率, 8K-FPC 的布线规则、过孔布局、叠层结构及压合工艺采用柔性电路板的规模化制造窗口, 确保在高密度布线与多层结构条件下实现稳定的电性能与可控的生产良率, FPC 的结构如下:

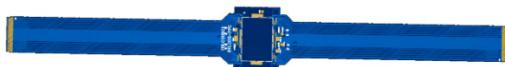


图 5 FPC 结构图

FPC 的结构需适应投影光机内部紧凑的空间布局, 使其能够在有限空间内实现可靠布设与装配, 不干扰光机内部的光学、散热和机械结构。

3 实验验证与性能分析

3.1 高速数据链路

为验证多路数据高达 18Gbps 的数据链路稳定性, 单路需要高达 1.8Gbps 的传输速率的需求, FPC 的测试数据源选用 FPGA, FPGA 使用并行处理架构, 经过 serdes 硬件架构的并串转换功能, 单路接口使用 0.9Gbps 时钟双边沿采样以达到单端时钟 1.8Gbps 的数据传输速率, 经过 fpc 传输点亮面板, 如图所示。

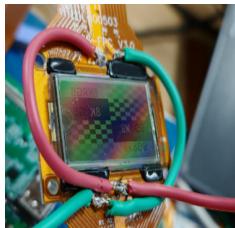


图 6 高清显示屏通信测试图

其中棋盘格部分验证了数据的行场信息通信正常, “8k”字样验证说明行内数据位置像素点基本对齐, 不同的灰度图像说明数据链路之中的每个像素点中 8bit 数据没有错位和出现数据链路没有出现电流不均衡的问题, 从而验证 fpc 的高速通信链路稳定性。

3.2 散热性能分析

在硬件设计之中, 保持器件工作在稳定的温度状态之下尤为重要, 一方面高速传输数据在低温稳定的状态下, 可以使得数据的建立时间和保持时间在时钟的窗口值的中心位置, 另一方面 LCOS 是主体设计是模拟电路, 良好的散热使其积分非线性和差分非线性精度更高, 信噪比质量更好, 常规散热基板和优化设计后的基板的散热效果图如下所示。

本设计采用集成紫铜补强散热结构, 实验测试结果表

明, 本设计的集成散热结构可使器件工作温度从常规方案的 55.6°C 降至 28.3°C, 散热效率较常规结构提升约 57%。

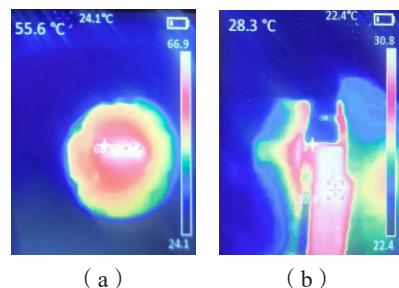


图 7 FPC 原结构散热图 (a) 优化后结构散热图 (b)

4 结语

本文针对 8K 高清显示系统的传输与供电需求, 设计了一种基于 LCOS 芯片的高性能 FPC 方案。通过高速差分传输链路、集成化散热结构、双输入接口与多版本迭代的电源优化, 实现了高速数据传输、180Hz 刷新率及稳定的多电压等级供电。实验结果表明, 该方案有效解决了大电流供电电压降、高速信号传输干扰及散热等关键问题, 工艺适配性与可靠性满足工业化应用要求。

参考文献

- [1] 郭恒瑞. 基于 PI 基底溶解控制的线封装液态金属柔性电路 3D 打印技术[D]. 青岛理工大学, 2025. DOI: 10.27263/d.cnki.gqudc.2025.000468.
- [2] McGibney E, Smith L, Cahill D G, et al. The High Frequency Electrical Properties of Interconnects on a Flexible Polyimide Substrate Including the Effects of Humidity[J]. IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, 2011, 1(4): 670-677. DOI: 10.1109/ICPPT.2011.6063073.
- [3] Mitsui R, Matsuo T, Onishi K, et al. Electrical Reliability of a Film-Type Connection During Repeated Bending for Flexible Electronics[J]. Electronics, 2015, 4(4): 827-836. DOI: 10.3390/electronics4040827.
- [4] Xu W J, Xin D J, Yang L, et al. High-Speed Signal Optimization at Differential VIAs in Multilayer Printed Circuit Boards[J]. Electronics, 2024, 13(17): 3377. DOI: 10.3390/electronics13173377.
- [5] 方文宇, 倪洪江, 龚明, 等. 高温热老化对聚酰亚胺复合材料性能的影响[J]. 塑料科技, 2025, 53(07): 14-18. DOI: 10.15925/j.cnki.issn1005-3360.2025.07.003.
- [6] 袁帅. 高速 PCB 中传输线与过孔的信号完整性分析与优化设计[D]. 电子科技大学, 2021. DOI: 10.27005/d.cnki.gdzku.2021.004338.
- [7] 孔善右, 唐德才, 赵紫倩, 等. 柔性电子产业发展文献综述[J]. 机械制造与自动化, 2022, 51(06): 106-110+126. DOI: 10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2022.06.026.

Research on Integration and Whole Life Cycle Management of Ship Engine Room Automation System

Jinfei Mo

Shanghai Salvage Bureau, Ministry of Transport, Shanghai, 200090, China

Abstract

This article conducts a systematic study on the integration technology and full lifecycle management strategy of ship engine room automation systems. After analyzing key technologies such as layered architecture, software support platform layer, business application layer, user layer, fieldbus, digital twin, and lightweight data transmission, a full lifecycle management method covering design, operation, repair, and retirement recovery is proposed, and a ship shore integrated intelligent operation platform relying on “two ends and two clouds” is created. Research has found that modular design, predictive maintenance, and intelligent decision support can improve the reliability, safety, and economy of cabin systems. The future development direction is to solve problems such as network security, data quality, and personnel training, and achieve the intelligence and unmanned operation of ship engine rooms.

Keywords

ship engine room; Automation system; System integration; Full lifecycle management; Intelligent operation and maintenance; Digital Twin

船舶机舱自动化系统集成与全生命周期管理研究

莫金飞

交通运输部上海打捞局, 中国 · 上海 200090

摘要

本文对船舶机舱自动化系统集成技术和全生命周期管理策略展开系统性研究, 经由剖析分层架构、软件支撑平台层、业务应用层以及用户层、现场总线、数字孪生、数据轻量化传输等关键技术之后, 给出涵盖设计、经营、修理和退役回收的全生命周期管理方法, 并创建起依靠“两端两云”的船岸一体化智能运作平台。研究发现, 模块化设计、预测性维护、智能决策支持等手段可以提升机舱系统可靠性、安全性、经济性。未来发展方向是解决网络安全、数据质量、人员培训等问题, 实现船舶机舱的智能化、无人化。

关键词

船舶机舱; 自动化系统; 系统集成; 全生命周期管理; 智能运维; 数字孪生

1 引言

船舶机舱自动化是智能船舶的重中之重, 它的发展经历了一个从单机控制到分散控制再到网络化控制的过程, 现在正处于迈向智能化、无人化的进程当中。随着机舱内设备越来越复杂, 运维成本压力不断增加, 传统的依靠人工或者按照固定周期进行维修的方式已经不能满足当前现代船舶高效、安全航行的要求^[1]。本文通过集成现场总线, 采用大数据、数字孪生等技术形成分层式体系结构, 并且从设计、建造、运营直到退役的全生命周期实施管理, 来解决机舱系统“信息孤岛”、运维迟滞这样的问题。研究船岸协同的智能运维模式, 给提高机舱自动化系统的可靠性能、经济性与

环境适应性赋予理论支持与现实途径。

2 船舶机舱自动化系统集成技术框架

2.1 系统集成的层次架构

现代船舶机舱自动化系统大多采用分层分布式结构, 一般可以分为硬件基础设施层、软件支撑平台层、业务应用层和用户层这四层, 分层架构使机舱各个系统之间无缝集成并且达到有效协同管理的目的。硬件基础设施包含计算存储资源池、数据传输和网络交换子系统以及边缘计算节点; 其中边缘计算节点负责司机舱侧的数据采集和预处理, 分为在线式采集处理单元和离线式采集处理单元两种形态; 计算存储资源池同时部署在岸基和船端, 双域并行。船岸结合形成一种计算能力, 船岸之间数据传输和网络交换系统完成可靠传输。

软件支撑平台层包括虚拟化云平台和大数据平台, 其

【作者简介】莫金飞 (1972-), 男, 中国上海人, 本科, 工程师, 从事船舶机电设备研究。

中虚拟化云平台是业务系统的应用底座,按需进行资源的分配与部署;大数据平台则是对多种来源、不同形式的数据进行导入、存储及分析处理的过程,为业务应用提供支撑^[2]。

业务应用层是平台服务子集与机舱业务子集相耦合而成的,其中平台服务子集提供了如信息可视化呈现、智能算法调用以及数据接口访问等功能作为原子能力提供给上层使用;机舱业务功能包含状态监测、状态评估、故障诊断、故障预测、使用决策、维修决策等基本应用。

用户层则是面向岸上维修保障人员,船上机舱人员等各类用户提供统一操作入口,支持船岸各类型业务协同开展。

2.2 关键集成技术

2.2.1 现场总线与网络通信技术研究

现场总线技术充当着船舶机舱自动化系统的神经脉络,实现了控制器、执行器以及智能仪表这些现场设备间的数字通信功能。**CAN** 总线是船舶工业应用最广泛的现场总线,具有抗干扰能力强、实时性高、可靠性好等特点,能够适应环境温度恶劣、电磁辐射大、振动剧烈的船舶机舱现场^[3]。除了以上几种,还有 **Profibus** 总线在船舶上也有一定的应用。

工业以太网用于上层监控网络的构建,主要用来实现集控室和机舱设备控制系统的通信。工业以太网通讯速度快,可以远程诊断工业现场的设备,采用 **TCP/IP** 协议可以保证信息准确、快速、完整地传递。典型的船舶机舱监测系统,例如 **Kongsberg** 公司 **K-Chief500** 系统采用的是 **CAN** 总线为主、工业以太网为辅的双层网络结构,全分布的网络型监测。

2.2.2 数据集成与处理技术研究

船舶机舱自动化系统要融合许多不同的源头的异构数据,比如实时传感器数据、设备状态数据、修理记录等等。数据轻量化传输技术来解决船岸之间大量的原始数据堵塞网络问题。采用数据压缩、数据特征提取和边缘计算,只有数据特征和诊断结果中的关键数据才被发送到岸上基站,通信负载大大降低。

2.2.3 数字孪生技术

数字孪生技术属于船舶机舱智能化的重要支撑技术。用高保真的虚拟模型去模拟物理机舱,并实现物理机舱和虚拟机舱的双向映射和交互。以机舱设备故障诊断为研究场景,在虚拟空间数字孪生体里预先设定好故障边界条件,从源头到末端对整个系统的故障传播路径及其耦合机制展开追溯分析,从而找出引发机舱设备功能失效的根本原因;其诊断结论能够给物理实体的机舱设备故障排查与维修决策提供一种可解释、可迁移的方法论范式。

数字孪生体的产生依靠多学科耦合建模技术,将设备的设计参数、运行数据、以往的维修记录等综合起来,创建起机舱设备的全数字镜像,给状态监测、健康评定、预知性保养提供基本的平台。模型运行时要依靠异常检测机制保证

数字孪生体和物理实体的一致性,关键在于计算两者重要参数的偏差值

$$D \text{ 偏差} = |P \text{ 实体} - P \text{ 数字孪生}|$$

3 全生命周期管理的理论及实施策略

船舶机舱自动化系统的全生命周期涵盖设计、建造、运行、维护、退役回收等众多环节,要在这个过程中实现的主要目的就是使系统一直处于最佳的工作状态,并且还能有效地控制总体拥有成本。

3.1 设计与建造阶段的管理策略研究

设计建造阶段模块化、标准化设计的理念十分重要。该集团研制的第五代机舱自动化产品就像搭积木一样,把船舶“大脑”搭建起来,研发出了 8 类 20 多种“标准化、系列化、模块化”的功能模块产品。模块从外形尺寸、接口到应用软件完全标准统一,可以任意组合拆分,大大缩减了设计维修的时间,降低了设计成本,提高了系统的可靠性。

同时在系统设计上也要考虑系统的可维护性、可扩展性,采用开放系统等方便以后系统功能的增加和升级^[4]。用 **OPC** 技术构建的系统结构可达到现场设备与操作站 **HMI** 软件之间的数据共享,方便对系统功能进行扩展。

3.2 运营维护阶段管理策略研究

运营维护阶段是全生命周期中最长、成本最高的一段时期,智能化的运维策略能够显著提高船舶的运营效益。

3.2.1 智能状态监测与健康评估方法研究

船舶机舱设备状态智能化监测是智能运维的基础,利用传感器网络对安装于机舱重要设备上进行实时的采集设备温度、压力、振动、油液等参数来达到对机舱设备运行状态全感知。基于大数据分析的设备健康评估系统能对设备运行状况开展智能分析,尽早识别异常迹象。

中国船级社《船舶智能机舱检验指南(2024)》认为智能机舱应具备状态监测与健康评估系统、辅助决策系统和视情维修系统这三大系统,重点考虑智能机舱的状态监测与诊断技术、数字孪生技术以及人工智能和机器学习等技术。

3.2.2 预测性与视情维修

传统的计划维修模式以固定时间间隔为主,会造成“过维修”或“欠维修”。而预测性维修则是以设备实际状态为基础,通过对设备运行数据的趋势分析来预估设备的剩余使用寿命,在最合适的时机进行维修干预。

视情维修(Condition Based Maintenance, CBM)属于带有前沿性质的维修范式,吸收健康状态管理,大数据深入挖掘,数字孪生创建,数据轻量化传输以及云端分散运算等多种技术特点之后,能够明显改进舰船机舱运维过程中的智能化水平。以美国海军舰船综合状态评估系统(ICES)及其继任体系 **eRM** (Enterprise Remote Monitoring) 为例,其已经可以对燃气轮机、推进柴油机、主减速齿轮装置、柴油发电机组等关键设备实施视情维修。在剩余使用寿命预测

中, 基于性能退化数据的线性回归模型应用广泛, 其核心公式为:

$$RUL(t) = (P_{\text{临界}} - P(t)) / k$$

3.3 退役回收阶段管理策略研究

退役回收阶段是全生命周期管理的最后一个环节, 也是实现资源循环利用的重要环节。针对船舶机舱自动化系统创建绿色回收标准以及流程, 把能够再利用的模块、组件做检测、认证和再制造等, 避免资源浪费和环境破坏。

通过对退役系统的运行数据进行分析, 给新一代系统研发及改进提供依据, 从而形成全生命周期的数据闭环管理^[5]。收集从头到尾的系统故障记录、维修历史性能下降数据等, 可以为以后的系统可靠设计、维护策略改进提供数据支撑。

4 船岸一体化智能运维平台的构建研究

船岸一体化智能运维平台是实现船舶机舱全生命周期管理的重要载体, 以船岸数据协同、船岸模型协同、船岸业务协同实现船舶机舱运维的智能化、精准化和高效化。

4.1 基于数据大脑的船岸一体化系统架构

基于数据大脑的船岸一体机舱智能运维系统包括四个部分, 分别为即控制端(船端)、管理端(岸基)、本地云和远程云。

船端系统属于控制端, 它的主要任务是完成单个船舶的状态感知与认知, 并给船员作业给予支持; 它的功能采取“平台+应用”架构布置, 目的是让机舱运行做到“零优化”。岸基系统属于管理端, 依然采用“平台+应用”的方式, 围绕岸基业务部门的高效运作展开工作, 给予知识评估、内容检索及定制推送服务, 以此对多船经营、守护与管控过程进行改良, 希望达成机舱“无忧”状况。本地云是分布式数据的储存和计算结点, 面向各个级别的岸基管理部门提供本地的数据处理、计算分析和功能运作环境; 通过知识同步的方式可以降低大量原始数据传输带来的网络堵塞。远程云负责认知学习与船岸协同, 在群体智能中实施协同认知学习, 采用群体协同策略来应对诸如竞争性学习、知识共享、自主认知学习以及任务导向下的决策自动化这些复杂问题。

4.2 智能运维流程与机制

船岸一体机舱智能运维系统遵照“感知—响应”闭环范式: 船端系统先汇集导航, 主动力, 电力, 辅机及关键机电设备的振动监测量, 再加上人工录入信息, 在本舰服务器上执行多源异构数据融合并持久化; 之后用这个集成数据流当作船端状态评价模型的驱动输入, 依靠内嵌的领域知识库对机舱设备开展即时健康状态评判和故障准确诊断。

出现异常状况或者潜在故障的时候, 就会引发相应的反应机制, 简单的问题由船端系统自己来做决定, 并给出维修提议。复杂一点的就靠船岸通讯把有关的数据传送到岸上数据大脑平台, 然后用岸上的强大算力加上知识库深入分析, 得出解决办法之后再发回船上执行。

岸基系统依靠汇集大量船只的数据来发现同类型设备

存在的共同问题, 改进维护方法, 为新造船的设计提供反馈。如某 eRM 系统可以提升故障诊断与趋势分析水平, 可以支持 CBM+ 算法快速开发修改, 就可逐步向自动分析或预测过渡。

4.3 船舶机舱自动化系统的安全挑战与应对策略研究

随着船舶机舱自动化系统集成度越来越高, 网络化越来越强, 系统的安全问题也越来越突出。

网络安全风险、船岸一体化的系统架构, 使得船舶机舱网络由原来的封闭变为了开放状态, 从而也带来了被其他地方攻击的风险。中国船级社的《船舶智能机舱检验指南》中对智能机舱系统的网络安全检验要求做了特别修订, 说明它对网络安全有特别的重视。建立船岸皆有的纵深防御体系, 保证数据传输、存储和加工安全。

数据质量以及一致性存在困难。智能运维系统依赖良好的数据质量, 但是船舶机舱环境复杂, 传感器采集的数据中存在噪声、缺失或者错误的情况时, 就会对判断的准确性产生影响。要加强对数据的质量控制, 对数据进行清洗、检验、修正, 保证数据的可靠。

系统复杂性和可靠性之间存在平衡, 系统的集成度越高, 其复杂程度就以指数形式增加, 如何保证系统具有足够的可靠性就成为了一个问题。模块化设计、开放式的结构可以降低系统的复杂度, 但是需要形成标准化的接口。

人才缺乏、培训难, 智能机舱系统对船员、岸基人员的技术水平提出更高的要求, 既要懂传统的轮机工程知识, 又要懂信息科技、数据解析等新技能。要有培训体系和认证标准, 培养复合型人才。

5 结语

船舶机舱自动化系统的整合以及全生命周期经营是智能船舶发展的重要支撑, 经由分层架构规划、关键技能融合并塑造船岸协同平台来做到机舱系统从各自运作到智能维保的转变。全生命周期管理策略的实行, 改善了设备的可靠性和运维效率, 也给绿色船舶和可持续发展提出了新的思路。伴随 5G、人工智能、数字孪生技术的融合, 船舶机舱自主决策和无忧化管理将得到更好的发展。

参考文献:

- [1] 付佳. 船舶电气自动化控制系统的集成与协同工作机制[J]. 船舶物资与市场, 2024, 32 (12): 60-62.
- [2] 韩铁民, 李松霖, 印士波. 基于一体化集成平台的船舶机电自动化系统的设计与应用[J]. 电子元器件与信息技术, 2024, 8 (11): 258-260.
- [3] 张云, 余勇林. 船舶综合集成自动化系统内外接口标准研究[J]. 广东造船, 2018, 37 (06): 31-33+21.
- [4] 何金平, 张龙. 小型LNG运输船电气设计概述[J]. 天津科技, 2019, 46 (04): 43-45+50.
- [5] 刘伟平. 5000t起重船集成自动化系统设计[J]. 广东造船, 2019, 38 (06): 44-46+64.

Research on Hydrogen Control Methods for High-Silicon Aluminum Microwave Component Housings

Xianwen Ren Can Chen

Shanghai Bureau's First Representative Office in Area, Nanjing, Jiangsu, 210001, China

Abstract

Gallium arsenide (GaAs) semiconductors are widely used in multi-chip microwave components due to their excellent performance. However, hydrogen within the component's atmosphere significantly impacts GaAs microwave devices, potentially causing performance degradation and failure. This study explores the effectiveness of hydrogen getters and vacuum baking methods in controlling hydrogen levels in high-silicon aluminum microwave component housings. The research shows that hydrogen getters can effectively absorb and immobilize hydrogen, significantly reducing the hydrogen content inside the components. Additionally, vacuum baking at different temperatures and durations also significantly affects hydrogen levels. Combining these two methods can reduce hydrogen content to very low levels, thereby enhancing the performance and reliability of the components.

Keywords

Hydrogen getters; Dehydrogenation; High-silicon; aluminum; Microwave components; Vacuum baking

高硅铝壳体微波组件控氢方法的研究

任宪文 陈灿

上海局驻南京地区第一代表室，中国 · 江苏 南京 210001

摘要

砷化镓类半导体因其优良性能广泛应用于多芯片微波组件中。然而，组件内部的氢气对砷化镓类微波器件影响显著，可能导致性能退化和故障。本文通过实验研究了吸氢材料和真空烘烤两种方法在高硅铝壳体微波组件中的控氢效果。研究表明，吸氢材料能够有效吸收和固定氢气，显著降低组件内部的氢含量。同时，真空烘烤在不同温度和时间条件下对氢含量也有显著影响。结合两种方法，氢含量可以降至极低水平，从而提高组件的性能和可靠性。

关键词

吸氢材料；去氢；高硅铝；微波组件；真空烘烤

1 引言

砷化镓 (GaAs) 半导体在受到氢气 (H₂) 影响后，会出现一系列的性能退化和故障。氢能够渗透到 GaAs 的晶格中，在关键的晶体界面上形成缺陷，这些缺陷会导致载流子迁移率降低，从而使其性能大幅下降^[1]。此外，氢气会与掺杂质发生反应，改变半导体性能，影响其稳定性。同时，氢气还会影响 GaAs 中常用的金属接触材料钛 (Ti)，导致 Ti 的接触电阻增大，进一步影响器件的性能和可靠性^[2]。这种性能恶化的现象被称为“氢中毒”。

铝合金是航空航天常用的材料，其中高硅铝又因其优越的性能逐渐成为一种重要的微波组件壳体材料。为提高其应用适配性，通常需要进行表面镀金处理。然而，在镀金过程中，化学试剂会与壳体材料反应产生氢气^[3]，这些氢会渗

透并残存于材料内部或表面，并在后续使用过程中逐渐释放，影响 GaAs 芯片的性能。已有文献报道，高硅铝镀金完成后其含氢量可达到 2334-7077 ppm^[4]，远高于其他铝合金基材。目前，行业内对于 GaAs 芯片微波组件壳体内部的氢含量没有统一标准，一些内部标准以 2000 ppm 作为氢含量是否合格的判断依据。以此标准来看，2334-7077 ppm 的含氢量已经非常高。

因此，尽可能降低高硅铝壳体微波组件内部的氢含量，是避免“氢中毒”现象的最佳方法。已有研究表明，高温烘烤是有效的氢去除方法，同时，添加吸氢材料也可以在组件使用过程中进一步吸收壳体缓慢释放的氢^{[5][6]}。基于去除和吸附两个角度，本文设计了相应的实验，研究了含 GaAs 芯片高硅铝壳体微波组件内部氢含量的有效控制方法，并对这些方法进行了总结和归纳，以期达到规避“氢中毒”的目的。

2 吸氢材料简介

吸氢材料 (Hydrogen getters) 是一类能够高效吸收和储

【作者简介】任宪文 (1978-)，男，本科，高级工程师，从事电子对抗研究。

存氢气的特殊材料，可以在组件的制造、运输、存储和运行过程中有效地捕捉和固定氢气，从而防止氢气对敏感器件如 GaAs 半导体的侵害。常见的吸氢材料包括钛 (Ti)、锆 (Zr)、钯 (Pd) 及其合金，这些材料通常被制成薄膜、粉末或合金形式，其中，钛基吸氢材料 (Titanium-based hydrogen getters) 在微波组件中具有重要的应用价值。

由于钛 (Ti) 具有优异的吸氢性能^[7]，它在吸附氢的应用中被广泛采用。

钛基吸氢材料的工作原理主要基于钛与氢气的化学反应。钛能够在较低温度下与氢气反应，形成氢化钛 (TiH₂)。这一反应不仅使氢气被固定在材料内部，还降低了氢气在微波组件内的浓度，从而保护了其他敏感材料。此外，钛基吸氢材料甚至需达到约 550°C 的高温才会释放吸收的氢气^[8]，这意味着在微波组件常工作的 -55 ~ +85°C 条件下，吸收的氢气能够被有效固定，不会重新释放。

因此，钛基吸氢材料具有：

高吸氢容量：钛基材料能够吸收大量的氢气，这使其在需要控制氢气浓度的环境中表现出色；

快速吸氢速率：钛基材料能够迅速与氢气反应，提供即时的氢气控制效果；

良好的稳定性：钛基材料在吸氢后能保持稳定，不会对微波组件的其他部分产生负面影响。

基于上述优势，本文中所涉及试验将选用片状钛基吸氢材料作为试样，以验证其在实际应用中的效果。

3 试验内容

3.1 试验方案设计

为了从去除和吸附两个方面充分研究与验证相应方法的有效性，设计了如图 1 所示的高硅铝试验壳体，外形尺寸为 86 × 63 × 6.2 (mm)，内腔尺寸为 76.3 × 59.3 × 4.7 (mm)，内腔整体局部镀金，相应盖板也选用高硅铝材料，其可与壳体之间使用激光封焊的工艺进行密封处理。

试验整体设计目标为三个组别，分别对应无处理、真空烘烤以及吸氢材料吸附组，以此进行对比分析烘烤和吸附对氢含量的控制能力，并找出最为合适的参数，共准备有 10 只壳体。

本试验依据吸氢材料厂家的推荐，吸附组采用环氧树脂粘接尺寸为 4 × 4 × 0.3 (mm) 吸氢材料共 4 片。具体试验内容如表 1 所示。所有壳体在激光密封后，依据 GJB360B 方法 112 进行漏率检验，漏率合格后，进行相应的内部氛围检测。

3.2 结果分析与讨论

3.2.1 烘烤去氢

首先对 A 组与 B 组的壳体进行了相应的氢含量测试，结果如表 2 所示。

表 1 氢含量控制试验

组别	编号	烘烤	吸氢材料	激光密封能前烘烤
A	1#	/	/	
	2#			
B	3#	真空 125°C 下 160h	/	真空 100°C 下 24h
	4#			
C	5#	真空 250°C 下 48h	4 × 4 × 0.3 (mm)，4 片	
	6#			
D	7#	/	4 × 4 × 0.3 (mm)，4 片	
	8#			
D	9#	基于 B 组试验结果确定烘烤参数		
	10#			

表 2 A 与 B 组试验结果

组别	编号	氢含量 (ppm)
A	1#	1553
	2#	1573
B	3#	522
	4#	377
B	5#	130
	6#	192

从表 2 的结果可以看出，试验壳体在没有进行任何处理的情况下，氢含量达到了 1500ppm 的水平，而经过 125°C /160h 真空烘烤后的壳体已降低至 300-500ppm，尤其是 250°C /48h 下的壳体，氢含量甚至可降低到 100-200ppm 的较低水平。由此可以对比发现，随着烘烤温度升高，高硅铝壳体的残存的氢可得到有效的挥发去除。

初步结果表明，以 250°C /48h 作为烘烤去氢参数效果最佳。虽然已有研究显示可伐合金可焊性在 250°C /48h 处理后无明显变化^[9]，但本次试验使用的高硅铝壳体在后续焊接摸底过程中，却出现了较为明显的软钎焊焊锡不浸润的现象，这或为材料本身特性、镀层结构等与可伐合金不相同导致，本次试验未进一步研究，不再深入分析与讨论。

综合实际情况，选用 125°C /160h 作为烘烤去氢的参数，其不仅可以有效降低氢含量，同时还能避免高硅铝在烘烤后出现镀层软钎焊焊接不良现象，确保工艺的稳定性和可靠性。

3.2.2 吸附去氢

对比 C 组与 A 组的试验结果显示，在未进行任何烘烤处理，仅通过添加吸氢材料的情况下，氢含量从 A 组的 1500ppm 显著降低至 400~500ppm。这一结果表明，吸氢材料在高硅铝壳体不进行额外热处理的情况下，就能够有效地减少壳体中的氢含量。

进一步分析可以发现，这一氢含量水平与 B 组仅通过烘烤处理的氢含量 (即未经吸氢材料处理的情况下通过加热来去除氢气) 非常接近。因此，两个实验数据的相似性说明

吸氢材料对氢气的吸附效果极为显著，且在一定程度上可以替代烘烤处理的功效。

3.2.3 烘烤并吸附

分析 D 组的数据可见，在烘烤与吸附的双重作用下，与 C 组的 400~500ppm 对比，氢含量已经降低至 100ppm 以下。这一显著减少不仅证明了组合方法的有效性，而且说明了这种方法在降低初始氢含量方面的卓越效果。考虑到氢在微波组件使用过程中会逐渐释放，初始氢含量越低，对于产品的长期性能和可靠性越有利。

因此，高温烘烤结合吸氢材料的使用是一种有效的控制氢含量的方法。这种双重处理方法能够最大限度地减少残余氢含量，从而显著提升产品的长期可靠性和性能稳定性。

4 结语

在高硅铝壳体的生产过程中，控制残余氢含量是确保产品性能和可靠性的关键因素。不同的处理方法对氢含量有明显的影响，包括真空烘烤和吸氢材料的应用。通过一系列实验，分别研究了不同温度和时间的烘烤处理、吸氢材料的使用，以及两者结合的综合效果。在此基础上，总结了相应的实验结果和优化的处理方法，为高硅铝壳体的氢控制提供了系统的指导：

125°C /160h 烘烤处理可将氢含量降至 300-500ppm，较

适合用于高硅铝镀金壳体的烘烤去氢处理；

吸氢材料在降低氢含量方面的效果与仅通过烘烤处理的效果相近，这表明吸氢材料对氢气的吸附效果极为显著，可以在一定程度上替代烘烤处理，仅添加吸氢材料可将氢含量降至 400-500ppm，与 125°C /160h 烘烤效果相近；

建议采用 125°C /160h 烘烤结合吸氢材料的方法，既可有效降低高硅铝壳体微波组件内部的氢含量，又可避免焊接不良现象，提升产品长期可靠性。

参考文献

- [1] Roberto Murri, Nicola Pinto, Luigi Schiavulli, Ryoji Fukuhisa, Luciana Mirenghi. The influence of hydrogen on the electrical properties of a-GaAs[J]. Materials Chemistry and Physics,1993,33(1-2):150-157.
- [2] 汪悦,张素娟.氢对金属封装密封元器件可靠性的影响[J].电子元器件的可靠性,2009,27(06):5-9.
- [3] 沈彤茜,高金环,黄杰,彭浩.微波模块氢效应研究综述 [J]. 信息技术与标准化,2018(8):61-64
- [4] 崔西会,方杰,许冰,李元朴,王辉,李波.微波产品除氢工艺方法[J].电子工程技术,2020,41(5):264-266.
- [5] 杨程,胡骏,金家富,满海峰,周演飞.吸氢剂在多芯片微波组件中的应用研究[C]. 广州:2019 年全国微波毫米波会议论文集 (下册),2019.278-281.